

内部资料、免费交流

环境保护技术发展报告

(2016)

环境保护部科技标准司
中国环境科学学会

书 名：环境保护技术发展报告（2016）

准印证编号：京内资准字2016—Y0075号

编制单位：环境保护部科技标准司、中国环境科学学会

印刷单位：北京中科印刷有限公司

发送对象：环境保护部机关、各国家环境保护工程技术中心

印刷日期：2016年7月

印刷数量：600册

各报告编写机构及人员

工业废水污染控制技术发展报告

编写单位 国家环境保护工业废水污染控制工程技术（北京）中心
依托单位 北京市环境保护科学研究院
参编人员 姜林 孙长虹 李建民 杜兵 王永刚 赵淑霞 林秀军
何星海 傅海霞 阎中 刘寅 熊娅 张漫 常丽春

水污染控制领域技术发展报告

编写单位 国家环境保护水污染控制工程技术（浙江）中心
依托单位 浙江省环境保护科学设计研究院
参编人员 梅荣武 王长智

村镇污水治理技术发展报告

编写单位 国家环境保护村镇生活污水处理与资源化工程技术中心
依托单位 辽宁省环境科学研究院
参编人员 郎咸明 冯欣 师晓春 马盼

有机化工废水污染控制技术发展报告

编写单位 国家环境保护有机化工废水处理与资源化工程技术中心
依托单位 江苏南大环保科技有限公司
参编人员 张炜铭 赵昕 吕路 汪林 陈良 李丽芳 臧传利
俞守业 林原 徐敬生

电子电镀废水污染防治技术发展报告

编写单位 国家环境保护电子电镀废水处理与资源化工程技术中心
依托单位 江西金达莱环保股份有限公司
参编人员 廖志民 周荣忠 谢锦文 蔡忠萍 胡姣姣

高盐废水脱盐处理技术发展报告

编写单位 国家环境保护特种膜工程技术中心
依托单位 江苏金山环保科技有限公司
参编人员 王军 侯得印

膜行业技术发展报告

编写单位 国家环境保护膜分离工程技术中心
依托单位 蓝星环境工程有限公司
参编人员 吉春红 张震天 崔彦杰 杨晓伟 张 萌 赖冰冰 王立媛

膜生物反应器与污水资源化技术发展报告

编写单位 国家环境保护膜生物反应器与污水资源化工程技术中心
依托单位 北京碧水源科技股份有限公司
参编人员 文剑平 陈亦力 俞开昌 李锁定 薛 涛 李天玉 吴媛媛
肖宏康 梁铁红

高污染废水行业技术发展报告

编写单位 国家环境保护石油化工和煤化工废水处理与资源化工程技术中心
依托单位 新疆德蓝股份有限公司
参编人员 曾凡付 王 刚 潘洪涛 王 军 王 薇 庞 健 姬保江
艾 山 玉素莆

燃煤大气污染控制技术发展报告

编写单位 国家环境保护燃煤大气污染控制工程技术中心
依托单位 浙江大学
参编人员 高 翔 郑成航 张涌新 竺新波 徐 甸 周志颖 吴贺之

工业烟尘控制技术发展报告

编写单位 国家环境保护工业烟气控制工程技术中心
依托单位 中钢集团天澄环保科技股份有限公司
参编人员 冯 斌 姚 群 李 宁 马晓辉 胡汉芳 刘世铮

燃煤烟气超低排放技术发展报告

编写单位 国家环境保护工业资源循环利用工程技术中心
依托单位 亚太环保股份有限公司、昆明理工大学
参编人员 曾子平 刘应隆 周锡飞 叶智青

燃煤工业锅炉环保技术发展报告

编写单位 国家环境保护燃煤工业锅炉节能与污染控制工程技术中心
依托单位 山西蓝天环保设备有限公司
参编人员 王 欢 郎鹏德

工业炉窑烟气脱硝技术发展报告

编写单位 国家环境保护工业炉窑烟气脱硝工程技术中心
依托单位 江苏科行环保科技有限公司
参编人员 刘怀平 宋正华

制药行业挥发性有机物及恶臭污染防治技术发展报告

编写单位 国家环境保护制药废水污染控制工程技术中心
依托单位 河北省环境科学研究院、河北华药环境保护研究所有限公司、
河北科技大学
参编人员 邢书彬 郭 斌 倪爽英 周 琳 赵树慈

石油石化行业挥发性有机物污染控制技术发展报告

编写单位 国家环境保护石油石化行业挥发性有机物污染控制工程技术中心
依托单位 海湾环境科技(北京)股份有限公司
参编人员 万 晓 杨 磊 刘国强 崔立鹏 毛智明

污染场地修复技术发展报告

编写单位 国家环境保护危险废物处置工程技术(沈阳)中心
依托单位 沈阳环境科学研究院
参编人员 陈 曦 王 坚

城市土壤污染控制与修复领域技术发展报告

编写单位 国家环境保护城市土壤污染控制与修复工程技术中心
依托单位 上海市环境科学研究院
参编人员 黄沈发 杨 洁 李忠元 李青青 邢绍文 王 旌 刘 芳
郭 琳 吉 敏 喻 恺 朱 悦

工业污染场地及地下水修复技术发展报告

编写单位 国家环境保护工业污染场地及地下水修复工程技术中心
依托单位 中国节能环保集团公司
参编人员 张文辉 肖 满 李真子 熊 杰 万 鹏 张雪峰 魏宝莹

生活垃圾清洁焚烧与资源化技术发展报告

编写单位 国家环境保护垃圾焚烧处理与资源化工程技术中心
依托单位 重庆三峰环境产业集团有限公司
参编人员 刘思明 季 炜 黄 明 李文旭

乡镇生活垃圾处理处置技术发展报告

编写单位 国家环境保护乡镇生活垃圾处理处置工程技术中心
依托单位 湖南现代环境科技有限公司
参编人员 卢海威 黄磊 黄瑾 郭赛

污泥行业技术发展报告

编写单位 国家环境保护污泥处理处置与资源化工程技术中心
依托单位 北京京城环保股份有限公司
参编人员 申维真 李琳 沙雪华 刘玲 武志飞 高光宇

农业废弃物综合利用技术发展报告

编写单位 国家环境保护农业废弃物综合利用工程技术中心
依托单位 大连市环境科学设计研究院
参编人员 王妮 刘善斌 于军 周春婧

矿山固体废物处理与处置领域技术发展报告

编写单位 国家环境保护矿山固体废物处理与处置工程技术中心
依托单位 中钢集团马鞍山矿山研究院有限公司
参编人员 那琼 常前发 杨效华

清洁煤炭与矿区生态恢复技术发展报告

编写单位 国家环境保护清洁煤炭与矿区生态恢复工程技术中心
依托单位 中国矿业大学
参编人员 杨建国 桂夏辉 武建军 曹亦俊

固化/稳定化处理技术发展报告

编写单位 国家环境保护危险废物处置工程技术（天津）中心
依托单位 国环危险废物处置工程技术（天津）有限公司
参编人员 蔡凌 伧沛崧 马建立 梁贤伟

废弃电器电子产品回收信息化与处置行业技术发展报告

编写单位 国家环境保护废弃电器电子产品回收信息化与处置工程技术中心
依托单位 上海金桥（集团）有限公司
参编人员 潘建中 沈燕军 杨义晨 褚永怡 李英顺

危险废物焚烧处置行业技术发展报告

编写单位 国家环境保护危险废物处置工程技术（重庆）中心
依托单位 中天环保产业（集团）有限公司

参编人员 陈中华 许桂连

铅蓄电池生产和回收再生行业技术发展报告

编写单位 国家环境保护铅酸蓄电池生产和回收再生污染防治工程技术中心

依托单位 超威电源有限公司

参编人员 陈中华 徐学良 黄思淼 邓康宁

工业副产石膏资源化利用技术发展报告

编写单位 国家环境保护工业副产石膏资源化利用工程技术中心

依托单位 江苏一夫科技股份有限公司

参编人员 万建东 唐绍林 唐永波 杨 丹

污染物自动监测技术发展报告

编写单位 国家环境保护工业污染源监控工程技术中心

依托单位 太原罗克佳华工业有限公司

参编人员 冯德星 郝炳文 李 慧 刘 燕 张瑾夏 郑 鑫 周 祺

烟气重金属在线监测技术发展报告

编写单位 国家环境保护监测仪器工程技术中心

依托单位 聚光科技（杭州）股份有限公司

参编人员 於有利 姜雪娇

环保物联网领域技术发展报告

编写单位 国家环境保护物联网技术研究应用（无锡）工程技术中心

依托单位 无锡高科物联网科技发展有限公司

参编人员 汤 浩

城市噪声与振动控制技术发展报告

编写单位 国家环境保护城市噪声与振动控制工程技术中心

依托单位 北京市劳动保护科学研究所

参编人员 张 斌 邵 斌 户文成 魏志勇 姚 琨

道路交通噪声控制技术发展报告

编写单位 国家环境保护道路交通噪声控制工程技术中心

依托单位 交通运输部公路科学研究院

参编人员 王彦琴 魏显威 袁旻杰 黄述芳 沈 毅 晏晓林

有色金属工业污染控制技术发展报告

编写单位 国家环境保护有色金属工业污染控制工程技术中心

依托单位 中南大学、湖南省环境保护科学研究院
参编人员 柴立元 闵小波 刘恢 廖骐 向仁军

钢铁行业污染控制技术发展报告

编写单位 国家环境保护钢铁工业污染防治工程技术中心
依托单位 中冶建筑研究总院有限公司
参编人员 杨景玲 彭 犇 韩志强 王海东 王 瑋 孙 健 卢忠飞
张亮亮 郑 琦

纺织行业污染控制技术发展报告

编写单位 国家环境保护纺织工业污染防治工程技术中心
依托单位 东华大学
参编人员 柳建设 马承愚 李 方

畜禽养殖污染治理技术发展报告

编写单位 国家环境保护畜禽养殖污染防治工程技术中心
依托单位 青岛天人环境股份有限公司
参编人员 曹 曼 刘 林 宁 娟 吴健敏

汞污染防治技术发展报告

编写单位 国家环境保护汞污染防治工程技术中心
依托单位 中国科学院北京综合研究中心
参编人员 姜晓明 陈 扬 冯钦忠

工程创面生态修复技术发展报告

编写单位 国家环境保护创面生态修复工程技术中心
依托单位 路域生态工程有限公司
参编人员 尤冬梅 高明清 赵 英

环境技术指导体系技术发展报告

编写单位 国家环境保护技术管理与评估工程技术中心
依托单位 清华大学
参编人员 王凯军 高志永 张鸿涛 刘秋琳

前 言

国家环境保护工程技术中心（以下简称“工程技术中心”）是国家组织重大环境科技成果工程化、产业化、聚集和培养科技创新人才、组织科技交流与合作的重要平台。截止到 2015 年底，环境保护部共建设了 42 家工程技术中心，涵盖了水、气、固废、土壤、噪声、监测、农村、生态、重点污染工业行业、技术管理与评估等主要污染防治领域和技术支持领域，在国家环境保护工作中发挥着积极作用。

为了更好地发挥工程技术中心为环境管理决策提供技术咨询建议的作用，环境保护部科技标准司、中国环境科学学会共同组织编印了《环境保护技术发展报告（2014—2015）》（以下简称《技术发展报告》）。《技术发展报告》由各领域工程技术中心供稿，对环境技术有关行业和领域近年来的主要进展进行了综述。主要内容包括国内外相关法规、政策、标准体系现状，国内外对污染控制涉及的重点行业污染控制管理现状，主要技术发展情况，我国自有知识产权技术的竞争力评价等。同时，《技术发展报告》还提出了我国现有技术开发、应用和发展过程中存在的问题，我国现有相关政策、法规与技术发展之间的矛盾，并提出了建议和改进思路。

《技术发展报告》编制工作得到了“国家环境保护工业污染场地及地下水修复工程技术中心”与“国家环境保护石油石化行业挥发性有机物污染控制工程技术中心”的大力支持，在此表示感谢。

由于报告编制的时间紧，难免疏漏，恳请读者批评指正。

目 录

水污染控制技术发展报告

工业废水污染控制技术发展报告	3
水污染控制领域技术发展报告	41
村镇污水治理技术发展报告	58
有机化工废水污染控制技术发展报告	68
电子电镀废水污染防治技术发展报告	89
高盐废水脱盐处理技术发展报告	96
膜行业技术发展报告	110
膜生物反应器与污水资源化技术发展报告	122
高污染废水行业技术发展报告	133

大气污染控制技术发展报告

燃煤大气污染控制技术发展报告	143
工业烟尘控制技术发展报告	164
燃煤烟气超低排放技术发展报告	179
燃煤工业锅炉环保技术发展报告	185
工业炉窑烟气脱硝技术发展报告	198
制药行业挥发性有机物及恶臭污染防治技术发展报告	210
石油石化行业挥发性有机物污染控制技术发展报告	224

土壤污染控制技术发展报告

污染场地修复技术发展报告	249
城市土壤污染控制与修复领域技术发展报告	262
工业污染场地及地下水修复技术发展报告	306

固废污染控制技术发展报告

生活垃圾清洁焚烧与资源化技术发展报告	327
乡镇生活垃圾处理处置技术发展报告	344
污泥行业技术发展报告	364
农业废弃物综合利用技术发展报告	381

矿山固体废物处理与处置领域技术发展报告	389
清洁煤炭与矿区生态恢复技术发展报告	398
固化稳定化处理技术发展报告	413
废弃电器电子产品回收信息化与处置行业技术发展报告	425
危险废物焚烧处置行业技术发展报告	444
铅蓄电池生产和回收再生行业技术发展报告	453
工业副产石膏资源化利用技术发展报告	464

环境监测及物联网技术发展报告

污染物自动监测技术发展报告	473
烟气重金属在线监测技术发展报告	493
环保物联网领域技术发展报告	505

噪声污染控制技术发展报告

城市噪声与振动控制技术发展报告	523
道路交通噪声控制技术发展报告	543

重点行业及其他领域技术发展报告

有色金属工业污染控制技术发展报告	555
钢铁行业污染控制技术发展报告	563
纺织行业污染控制技术发展报告	600
畜禽养殖污染治理技术发展报告	616
汞污染防治技术发展报告	640
工程创面生态修复技术发展报告	662
环境技术指导体系发展报告	678

水污染控制技术
发展报告

工业废水污染控制技术发展报告

1 行业总体情况概述

1.1 国内外相关法规、政策、标准体系现状

1.1.1 国外相关法规、政策、标准体系现状

世界各国有关工业废水防治的法规体系以欧盟和美国的最具代表性，研究和借鉴两者法规体系对完善我国工业废水污染控制监管体系有积极的意义。

1.1.1.1 欧盟工业废水环境管理制度

欧盟在控制工业废水排放方面实行排污许可制度，在不违反成员国和欧盟有关法律的前提下，申请排污许可企业必须保障处理装置满足污染综合防治指令（简称 IPPC 指令）的要求。IPPC 指令要求成员国在推广最佳可行技术（Best available techniques，即 BAT）的基础上建立涉及若干污染行业的、协调一致的、一体化的工业污染防治系统，防止或减少企业向环境排放污染物，从而达到整体上高水平的环境保护。为了给成员国提供参考，欧洲污染综合防治局组织编制了食品、饮料、牛奶加工、精细有机化工、医药、电子、石化、炼油、火电等工业行业最佳可行技术参考文件（BAT reference documents，BREFs）。BREFs 不仅对节能技术、污染控制技术和生产技术等最佳可行技术作了介绍，还对技术经济适用性进行了分析，并给出了 BOD、COD、AOX、TOC、PAH、表面活性剂、酚类、苯类、金属等控制指标的参考值。

目前欧盟针对工业废水特征污染物的排放指令有氯碱电解工业汞排放限值指令（82/176/EEC）、除氯碱电解工业外汞排放限值指令（84/156/EEC）、镉排放限值指令（83/513/EEC）、六氯环己烷排放限值指令（84/491/EEC）、特种危险物质排放限值指令（86/280/EEC）等。

1.1.1.2 美国工业废水环境管理制度

国家污染物排放削减体系（National Pollutant Discharge Elimination System，NPDES）许可证制度是美国水污染防治的核心内容。该制度是以技术为基础的排放标准限制和以水质为基础的排放总量限制相结合的污染物控制制度。

美国对工业废水排放限制分为直接排放水体和向公共污水处理厂排放两类。直接向水体排放污染物的工业企业要遵守国家排放限制导则（Effluent Limitation Guidelines，ELGs），目前已发布了 50 多个行业的排放限制导则。对于现有工业污染源排放有毒物质、非常规污染物的执行基于最佳处理技术（Best available technology economically achievable，BAT）

的排放标准，排放常规污染物的执行基于常规污染最佳控制工艺（Best conventional pollution control technology, BCT）的排放标准；对于新建工业污染源执行基于最佳示范控制工艺（Best available demonstrated control technology, BADT）的排放标准。向公共污水处理厂排放污染物的工业企业要遵守《清洁水法》和《预处理条例》的相关规定，《预处理条例》对于可能导致“穿透”或“干扰”公共污水处理厂的有毒污染物和非常规污染物的排放颁布了排放禁令；对于其他污染物根据是现有工业项目还是新建工业项目，分别执行基于 BAT 技术的预处理标准和基于 BADT 技术的预处理标准。

NPDES 许可证中的排放总量限制是通过最大日负荷总量计划（Total Maximum Daily Load, TMDL）实现的。《清洁水法》规定，各个州必须每 3 年对各州所属水体的水质标准进行评估并重新修订，国家污染物排放削减体系 NPDES 许可证应每 5 年进行重新核定，现行的 TMDL 计划的评估部分将这两个过程有机地结合在了一起，能够有力促进国家减排计划，并保障水体水质稳定达标。

1.1.2 我国相关法规、政策、标准体系现状

1.1.2.1 相关法律

我国非常重视环境保护立法工作。《中华人民共和国宪法》明确规定：“国家保护和改善生活环境和生态环境，防治污染和其他公害”。《中华人民共和国环境保护法》于 1979 年首次颁布，1989 年 12 月 26 日第一次修订实施，2014 年 4 月 24 日第二次修订通过，自 2015 年 1 月 1 日起施行。《中华人民共和国环境保护法》是我国环境保护的基本制度，内容共 7 章，包括总则、监督管理、保护和改善环境、防治污染和其他公害、信息公开和公众参与、法律责任和附则。在此基础上，我国还颁布了一系列保护环境、防止污染及其他公害的行政法规，包括《中华人民共和国海洋环境保护法》、《中华人民共和国水污染防治法》和《中华人民共和国大气污染防治法》。

1.1.2.2 相关政策

国务院 2015 年 4 月发布了《水污染防治行动计划》（国发[2015]17 号）。该计划对工业废水的源头控制、清洁利用、监管机制等方面进行了相关规定。

《水污染防治行动计划》中第（一）款对工业企业源头控制进行了相关规定，包括：取缔“十小”企业，全面排查装备水平低、环保设施差的小型工业企业；专项整治十大重点行业，制定造纸、焦化、氮肥、有色金属、印染、农副食品加工、原料药制造、制革、农药、电镀等行业专项治理方案，实施清洁化改造；集中治理工业集聚区水污染。强化经济技术开发区、高新技术产业开发区、出口加工区等工业集聚区污染治理。集聚区内工业废水必须经预处理达到集中处理要求，方可进入污水集中处理设施。

《水污染防治行动计划》第（五）、（六）款对产业结构调整、工业空间布局进行了具体规定，包括：依法淘汰落后产能。

《水污染防治行动计划》第（七）款要求：推进循环发展，加强工业水循环利用。推进矿井水综合利用，煤炭矿区的补充用水、周边地区生产和生态用水应优先使用矿井水，加强洗煤废水循环利用。鼓励钢铁、纺织印染、造纸、石油石化、化工、制革等高耗水企业废水深度处理回用。

《水污染防治行动计划》第（十六）、（十七）、（十八）、（二十三）款从建立激励机制、

完善法规标准、加大执法和实行排污许可等方面强化了工业废水排放监管。

1.1.2.3 相关标准体系现状

根据我国现有环境保护标准体系，与工业废水污染防治相关的标准有：水污染物排放标准、污染防治技术政策、污染防治最佳可行技术指南、环境工程技术规范等，现行各类标准详见表 1，表 2，表 3，表 4。

表 1 我国现行工业行业水污染物排放标准

序号	标准名称	标准编号	发布时间	实施时间
1	合成树脂工业污染物排放标准	GB 31572—2015	2015-4-16	2015-7-1
2	石油炼制工业污染物排放标准	GB 31570—2015	2015-4-16	2015-7-1
3	再生铜、铝、铅、锌工业污染物排放标准	GB 31574—2015	2015-4-16	2015-7-1
4	无机化学工业污染物排放标准	GB 31573—2015	2015-4-16	2015-7-1
5	制革及毛皮加工工业水污染物排放标准	GB 30486—2013	2013-12-27	2014-3-1
6	电池工业污染物排放标准	GB 30484—2013	2013-12-27	2014-3-1
7	合成氨工业水污染物排放标准	GB 13458—2013	2013-3-14	2013-7-1
8	柠檬酸工业水污染物排放标准	GB 19430—2013	2013-3-14	2013-7-1
9	纺织染整工业水污染物排放标准	GB 4287—2012	2012-10-19	2013-1-1
10	缫丝工业水污染物排放标准	GB 28936—2012	2012-10-19	2013-1-1
11	毛纺工业水污染物排放标准	GB 28937—2012	2012-10-19	2013-1-1
12	麻纺工业水污染物排放标准	GB 28938—2012	2012-10-19	2013-1-1
13	铁矿采选工业污染物排放标准	GB 28661—2012	2012-6-27	2012-10-1
14	铁合金工业污染物排放标准	GB 28666—2012	2012-6-27	2012-10-1
15	钢铁工业水污染物排放标准	GB 13456—2012	2012-6-27	2012-10-1
16	炼焦化学工业污染物排放标准	GB 16171—2012	2012-6-27	2012-10-1
17	磷肥工业水污染物排放标准	GB 15580—2011	2011-4-2	2011-10-1
18	稀土工业污染物排放标准	GB 26451—2011	2011-1-24	2011-10-1
19	钒工业污染物排放标准	GB 26452—2011	2011-4-2	2011-10-1
20	汽车维修业水污染物排放标准	GB 26877—2011	2011-7-29	2012-1-1
21	发酵酒精和白酒工业水污染物排放标准	GB 27631—2011	2011-10-27	2012-1-1
22	橡胶制品工业污染物排放标准	GB 27632—2011	2011-10-27	2012-1-1
23	弹药装药行业水污染物排放标准	GB 4 470.3—2011	2011-4-29	2012-1-1
24	淀粉工业水污染物排放标准	GB 25461—2010	2010-9-27	2010-10-1
25	酵母工业水污染物排放标准	GB 25462—2010	2010-9-27	2010-10-1
26	油墨工业水污染物排放标准	GB 25463—2010	2010-9-27	2010-10-1
27	陶瓷工业污染物排放标准	GB 25464—2010	2010-9-27	2010-10-1
28	铝工业污染物排放标准	GB 25465—2010	2010-9-27	2010-10-1
29	铅、锌工业污染物排放标准	GB 25466—2010	2010-9-27	2010-10-1
30	铜、镍、钴工业污染物排放标准	GB 25467—2010	2010-9-27	2010-10-1
31	镁、钛工业污染物排放标准	GB 25468—2010	2010-9-27	2010-10-1
32	硝酸工业污染物排放标准	GB 26131—2010	2010-12-30	2011-3-1
33	杂环类农药工业水污染物排放标准	GB 21523—2008	2008-4-2	2008-7-1
34	制浆造纸工业水污染物排放标准	GB 3544—2008	2008-7-25	2008-8-1
35	电镀污染物排放标准	GB 21900—2008	2008-7-25	2008-8-1

6 环境保护技术发展报告（2016）

序号	标准名称	标准编号	发布时间	实施时间
36	羽绒工业水污染物排放标准	GB 21901—2008	2008-7-25	2008-8-1
37	合成革与人造革工业污染物排放标准	GB 21902—2008	2008-7-25	2008-8-1
38	发酵类制药工业水污染物排放标准	GB 21903—2008	2008-7-25	2008-8-1
39	化学合成类制药工业水污染物排放标准	GB 21904—2008	2008-7-25	2008-8-1
40	提取类制药工业水污染物排放标准	GB 21905—2008	2008-7-25	2008-8-1
41	中药类制药工业水污染物排放标准	GB 21906—2008	2008-7-25	2008-8-1
42	生物工程类制药工业水污染物排放标准	GB 21907—2008	2008-7-25	2008-8-1
43	混装制剂类制药工业水污染物排放标准	GB 21908—2008	2008-7-25	2008-8-1
44	制糖工业水污染物排放标准	GB 21909—2008	2008-7-25	2008-8-1
45	皂素工业水污染物排放标准	GB 20425—2006	2006-9-1	2007-1-1
46	煤炭工业污染物排放标准	GB 20426—2006	2006-9-1	2006-10-1
47	啤酒工业污染物排放标准	GB 19821—2005	2005-7-18	2006-1-1
48	柠檬酸工业污染物排放标准	GB 19430—2004	2004-1-18	2004-4-1
49	味精工业污染物排放标准	GB 19431—2004	2004-1-18	2004-4-1
50	兵器工业水污染物排放标准火炸药	GB 4 470.1—2002	2002-11-18	2003-7-1
51	兵器工业水污染物排放标准火工药剂	GB 4 470.2—2002	2002-11-18	2003-7-1
52	兵器工业水污染物排放标准弹药装药	GB 4 470.3—2002	2002-11-18	2003-7-1
53	污水海洋处置工程污染控制标准	GB 18486—2001	2001-11-12	2002-1-1
54	烧碱、聚氯乙烯工业水污染物排放标准	GB 15581—1995	1995-6-12	1996-7-1
55	航天推进剂水污染物排放标准	GB 14374—93	1993-5-22	1993-12-1
56	钢铁工业水污染物排放标准	GB 13456—92	1992-5-18	1992-7-1
57	肉类加工工业水污染物排放标准	GB 13457—92	1992-5-18	1992-7-1
58	海洋石油开发工业含油污水排放标准	GB 4914—85	1985-1-18	1985-8-1
59	船舶工业污染物排放标准	GB 4286—84	1984-5-18	1985-3-1
60	船舶污染物排放标准	GB 3552—83	1983-4-9	1983-10-1

表 2 现行工业废水领域相关的污染防治技术政策

序号	技术政策名称	公告号	实施时间
1	合成氨工业污染防治技术政策	公告 2015 年 第 90 号	2015 年 12 月 24 日
2	砷污染防治技术政策	公告 2015 年 第 90 号	2015 年 12 月 24 日
3	铬盐工业污染防治技术政策	公告 2015 年 第 90 号	2015 年 12 月 24 日
4	汞污染防治技术政策	公告 2015 年 第 90 号	2015 年 12 月 24 日
5	硫酸工业污染防治技术政策	公告 2013 年 第 31 号	2013-05-24 实施
6	钢铁工业污染防治技术政策	公告 2013 年 第 31 号	2013-05-24 实施
7	水泥工业污染防治技术政策	公告 2013 年 第 31 号	2013-05-24 实施
8	制药工业污染防治技术政策	公告 2012 年 第 18 号	2012-03-07 实施
9	石油天然气开采业污染防治技术政策	公告 2012 年 第 18 号	2012-03-07 实施
10	铅锌冶炼工业污染防治技术政策	公告 2012 年 第 18 号	2012-03-07 实施

序号	技术政策名称	公告号	实施时间
11	电解锰行业污染防治技术政策	环发[2010]150号	2010-12-30 实施
12	废弃家用电器与电子产品污染防治技术政策	环发[2006]115号	2006-04-27 实施
13	制革、毛皮工业污染防治技术政策	环发[2006]38号	2006-02-21 实施
14	汽车产品回收利用技术政策	公告 2006 年第 9 号	2006-02-06 实施
15	废电池污染防治技术政策	环发[2003]163号	2003-10-09 实施
16	印染行业废水污染防治技术政策	环发[2001]118号	2001-08-08 实施
17	草浆造纸工业废水污染防治技术政策	环发[1999]273号	1999-05-28 实施

表 3 工业废水领域相关的污染防治最佳可行技术 (BAT) 指南

序号	可行技术指南名称	(公告) 编号	公告时间
1	铜冶炼污染防治可行技术指南 (试行)	公告 2015 年 第 24 号	2015 年 4 月 21 日
2	钴冶炼污染防治可行技术指南 (试行)	公告 2015 年 第 24 号	2015 年 4 月 21 日
3	镍冶炼污染防治可行技术指南 (试行)	公告 2015 年 第 24 号	2015 年 4 月 21 日
4	再生铅冶炼污染防治可行技术指南	公告 2015 年 第 11 号	2015 年 2 月 16 日
5	《电解锰行业污染防治可行技术指南 (试行)》	公告 2014 年 第 81 号	2014 年 12 月 8 日
6	《钢铁行业烧结、球团工艺污染防治可行技术指南 (试行)》	公告 2014 年 第 81 号	2014 年 12 月 8 日
7	《水泥工业污染防治可行技术指南 (试行)》	公告 2014 年 第 81 号	2014 年 12 月 8 日
8	《造纸行业木材制浆工艺污染防治可行技术指南 (试行)》	公告 2013 年 第 81 号	2013 年 12 月 27 日
9	《造纸行业非木材制浆工艺污染防治可行技术指南 (试行)》	公告 2013 年 第 81 号	2013 年 12 月 27 日
10	《造纸行业废纸制浆及造纸工艺污染防治可行技术指南 (试行)》	公告 2013 年 第 81 号	2013 年 12 月 27 日
11	铅冶炼污染防治最佳可行技术指南 (试行)	HJ-BAT-7	2012 年 1 月 17 日
12	钢铁行业焦化工艺污染防治最佳可行技术指南 (试行)	HJ-BAT-004	2010 年 12 月 17 日
13	钢铁行业炼钢工艺污染防治最佳可行技术指南 (试行)	HJ-BAT-005	2010 年 12 月 17 日
14	钢铁行业轧钢工艺污染防治最佳可行技术指南 (试行)	HJ-BAT-006	2010 年 12 月 17 日
15	钢铁行业采选矿工艺污染防治最佳可行技术指南 (试行)	HJ-BAT-003	2010 年 3 月 23 日
16	燃煤电厂污染防治最佳可行技术指南 (试行)	HJ-BAT-001	2010 年 2 月 20 日

表 4 现行工业废水治理相关的环境工程技术规范

序号	标准名称	标准编号	发布时间	实施时间
1	烧碱、聚氯乙烯工业废水处理工程技术规范	HJ 2051—2016	2016-2-1	2016-3-1
2	饮料制造废水治理工程技术规范	HJ 048—2015	2015-11-20	2016-1-1
3	水解酸化反应器污水处理工程技术规范	HJ 2047—2015	2015-11-20	2016-1-1
4	石油炼制工业废水治理工程技术规范	HJ 2045—2014	2014-12-19	2015-3-1
5	发酵类制药工业废水治理工程技术规范	HJ 2044—2014	2014-10-24	2015-1-1

序号	标准名称	标准编号	发布时间	实施时间
6	淀粉废水治理工程技术规范	HJ 2043—2014	2014-10-24	2015-1-1
7	采油废水治理工程技术规范	HJ 2041—2014	2014-6-10	2014-9-1
8	厌氧颗粒污泥膨胀床反应器废水处理工程技术规范	HJ 2023—2012	2012-12-24	2013-3-1
9	焦化废水治理工程技术规范	HJ 2022—2012	2012-12-24	2013-3-1
10	内循环好氧生物流化床污水处理工程技术规范	HJ 2021—2012	2012-10-17	2013-1-1
11	钢铁工业废水治理及回用工程技术规范	HJ 2019—2012	2012-10-17	2013-1-1
12	制糖废水治理工程技术规范	HJ 2018—2012	2012-10-17	2013-1-1
13	水污染治理工程技术导则	HJ 2015—2012	2012-3-19	2012-6-1
14	生物滤池法污水处理工程技术规范	HJ 2014—2012	2012-3-19	2012-6-1
15	升流式厌氧污泥床 (UASB) 反应器污水处理工程技术规范	HJ 2013—2012	2012-3-19	2012-6-1
16	制浆造纸废水治理工程技术规范	HJ 2011—2012	2012-3-19	2012-6-1
17	生物接触氧化法污水处理工程技术规范	HJ 2009—2011	2011-10-24	2012-1-1
18	膜生物法污水处理工程技术规范	HJ 2010—2011	2011-10-24	2012-1-1
19	酿造工业废水治理工程技术规范	HJ 575—2010	2010-10-12	2011-1-1
20	厌氧-缺氧-好氧活性污泥法污水处理工程技术规范	HJ 576—2010	2010-10-12	2011-1-1
21	序批式活性污泥法污水处理工程技术规范	HJ 577—2010	2010-10-12	2011-1-1
22	氧化沟活性污泥法污水处理工程技术规范	HJ 578—2010	2010-10-12	2011-1-1
23	膜分离法污水处理工程技术规范	HJ 579—2010	2010-10-12	2011-1-1
24	含油污水处理工程技术规范	HJ 580—2010	2010-10-12	2011-1-1
25	电镀废水治理工程技术规范	HJ 2002—2010	2010-12-17	2011-3-1
26	制革及毛皮加工废水治理工程技术规范	HJ 2003—2010	2010-12-17	2011-3-1
27	屠宰与肉类加工废水治理工程技术规范	HJ 2004—2010	2010-12-17	2011-3-1
28	人工湿地污水处理工程技术规范	HJ 2005—2010	2010-12-17	2011-3-1
29	污水混凝与絮凝处理工程技术规范	HJ 2006—2010	2010-12-17	2011-3-1
30	污水气浮处理工程技术规范	HJ 2007—2010	2010-12-17	2011-3-1
31	污水过滤处理工程技术规范	HJ 2008—2010	2010-12-17	2011-3-1
32	纺织染整工业废水治理工程技术规范	HJ 471—2009	2009-6-24	2009-9-1

1.2 我国工业废水排放与污染治理现状

1.2.1 工业废水排放现状

1.2.1.1 废水排放量

“十二五”期间全国废水排放总量呈缓慢增加的趋势,年增长率为2.8%,而工业废水排放量逐年降低,年降低率为3.8%,见图1。2014年,全国废水排放量716.2亿吨,比2013年增加3.0%。工业废水排放量205.3亿吨,比2013年减少2.1%;占废水排放总量的28.7%,比2013年减少1.5个百分点。根据“十二五”前四年全国废水排放量和工业废水排放量的趋势来看,预计2015年全国废水排放总量比2014年仍有一定的增长,排放总量约为736.2亿吨,而工业废水排放量比2014年有所降低,排放量约为197.8亿吨。

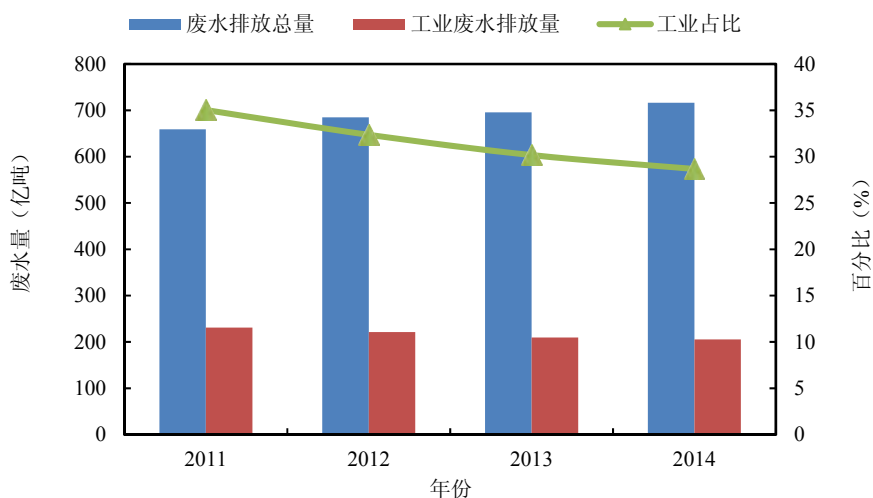


图1 “十二五”全国废水排放总量与工业废水排放量情况

1.2.1.2 污染物排放量

(1) 主要污染物排放量

2011—2014年主要污染物（COD、氨氮）排放量见图2和图3。由图2和图3可以看出，废水中COD、氨氮排放总量和工业废水中COD、氨氮排放量都有逐年下降的趋势，年下降率分别为2.8%、2.9%和4.3%、6.2%。

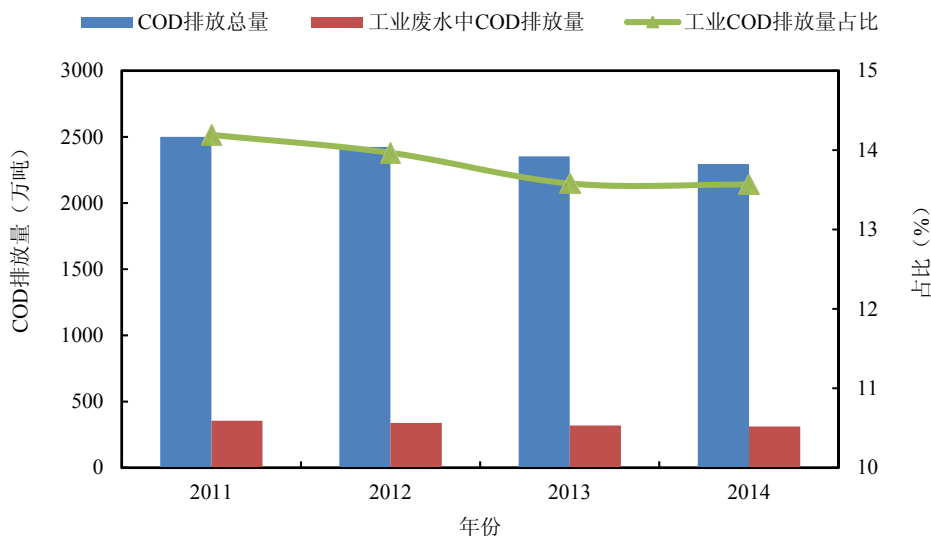


图2 “十二五”全国废水COD排放量与工业废水COD排放量情况

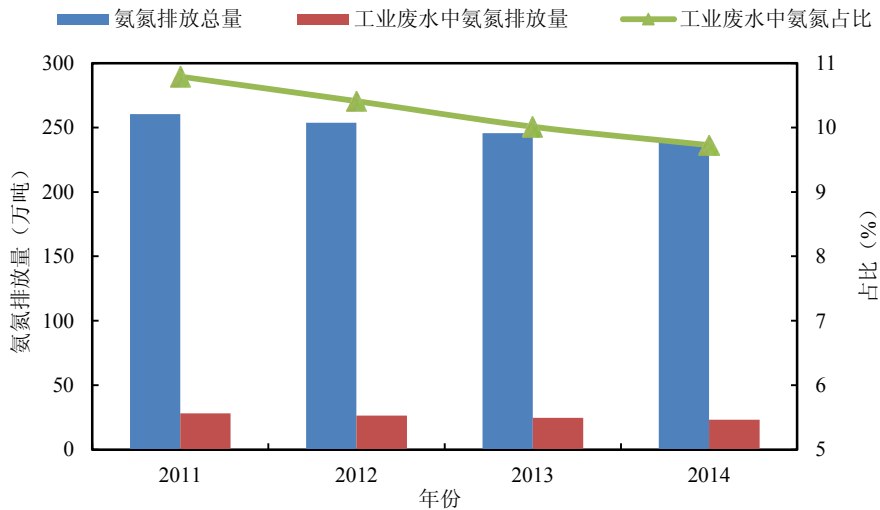


图3 “十二五”全国废水氨氮排放量与工业废水氨氮排放量情况

2014年,全国化学需氧量排放量2294.6万吨,比2013年减少2.5%。其中,工业废水中化学需氧量排放量311.3万吨,比2013年减少2.6%;占化学需氧量排放总量的13.6%,与2013年持平。2014年,全国氨氮排放量238.5万吨,比2013年减少2.9%。其中,工业废水氨氮排放量23.2万吨,比2013年减少5.7%;占氨氮排放总量的9.7%,比2013年减少0.3个百分点。

(2) 其他常规污染物及重金属排放量

2011—2014年全国工业废水中其他常规污染物(石油类、挥发酚、氰化物)和重金属排放量见表5和表6。

表5 “十二五”全国工业废水中其他常规污染物排放量

单位: t

年份	挥发酚	氰化物	石油类
2011	2430.6	217.9	21012.1
2012	1481.4	171.8	17327.2
2013	1259.1	162	17389.2
2014	1362.9	165.4	16050.4

表6 “十二五”全国工业废水中重金属及砷排放量

单位: t

年份	汞	镉	六价铬	总铬	铅	砷
2011	1.2	35.1	106.2	290.3	150.8	145.2
2012	1.1	26.7	70.4	188.6	97.1	127.7
2013	0.8	17.9	58.1	161.9	74.1	111.6
2014	0.7	16.9	34.8	131.8	71.8	109.2

2014年,全国工业废水中石油类排放量1.6万吨,比2013年减少7.7%;挥发酚排放量1362.9吨,比2013年增加8.2%;氰化物排放量165.4吨,比2013年增加2.1%。2014

年,全国工业废水中重金属汞、镉、六价铬、总铬、铅及砷排放量分别为 0.7 吨、16.9 吨、34.8 吨、131.8 吨、71.8 吨和 109.2 吨,重金属污染物分别比 2013 年减少 12.5%、5.6%、40.1%、18.6%、3.1%和 2.2%。

1.2.1.3 重点污染行业分析

从各行业废水排放量上看,在调查统计的 41 个工业行业中,2014 年废水排放量位于前四位的行业依次为造纸和纸制品业、化学原料及化学制品制造业、纺织业、煤炭开采和洗选业,四个行业的废水排放量为 88.0 亿吨,占重点调查工业企业废水排放总量的 47.1% (见图 4)。从时间维度上看,四个行业的废水排放量均呈逐年下降趋势,详见表 7。

表 7 “十二五”重点行业废水排放情况

单位:亿 t

年份	合计	造纸和纸制品业	化学原料及 化学制品制造业	纺织业	煤炭开采和洗选业
2011	105.4	38.2	28.8	24.1	14.3
2012	99.6	34.3	27.4	23.7	14.2
2013	90.8	28.5	26.6	21.5	14.3
2014	88.0	27.6	26.4	19.6	14.5

注:自 2011 年起,环境统计按《国民经济行业分类》(GB/T 4754—2011)标准执行分类统计。

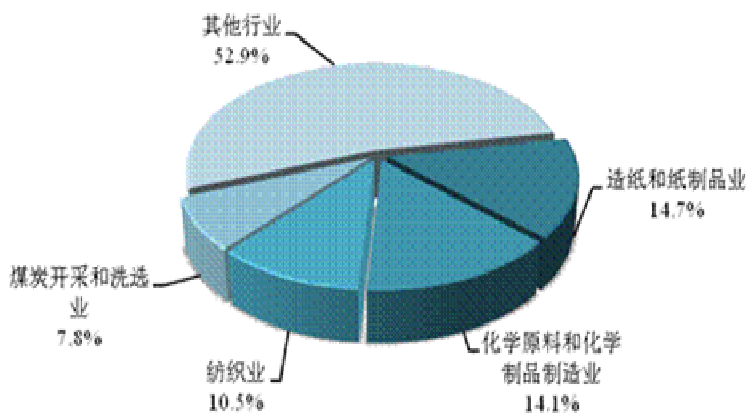


图 4 2014 年重点行业废水排放情况

从各行业 COD 排放量上看,在调查统计的 41 个工业行业中,2014 年化学需氧量排放量位于前四位的行业依次为造纸和纸制品业、农副食品加工业、化学原料及化学制品制造业、纺织业。四个行业的化学需氧量排放量为 149.4 万吨 (见表 8),占重点调查工业企业排放总量的 54.4% (见图 5)。其中造纸和纸制品业、农副食品加工业、纺织业 COD 排放量均呈现逐年下降趋势,造纸和纸制品业的 COD 排放量下降幅度较大降幅达到 35.5%。

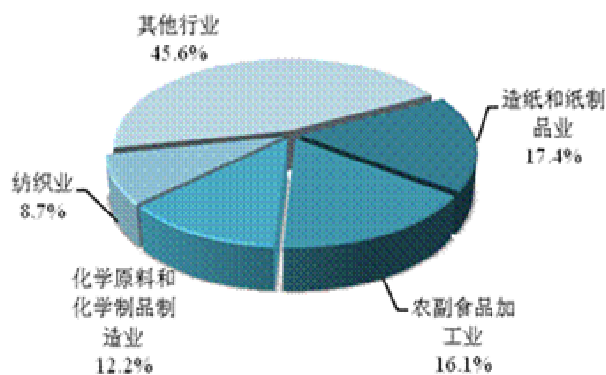


图5 2014年重点行业COD排放情况

表8 “十二五”期间重点行业COD排放情况

单位：万吨

年份	合计	造纸和纸制品业	农副食品加工业	化学原料和化学制品制造业	纺织业
2011	191.5	74.2	55.3	32.8	29.2
2012	173.6	62.3	51	32.5	27.7
2013	158.0	53.3	47.1	32.2	25.4
2014	149.4	47.8	44.1	33.6	23.9

从各行业氨氮排放量上看，在调查统计的41个工业行业中，2014年氨氮排放量位于前四位的行业依次为化学原料和化学制品制造业、农副食品加工业、纺织业、造纸和纸制品业。四个行业的氨氮排放量11.9万吨（表9），占重点调查工业企业排放总量的56.3%（见图6）。这四个行业的氨氮排放量均呈现逐年下降趋势，其中化学原料和化学制品制造业、造纸和纸制品业下降幅度明显。

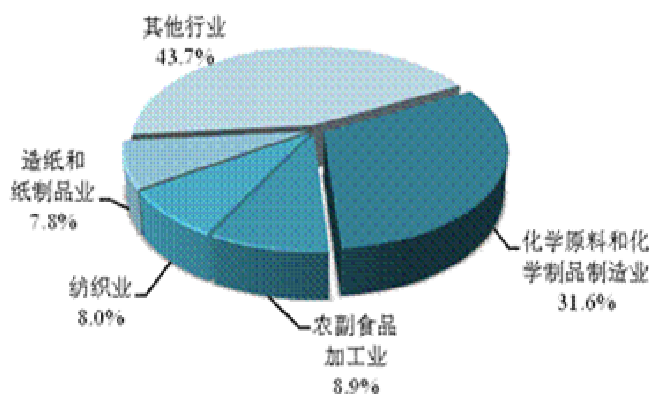


图6 2014年重点行业氨氮排放情况

表9 “十二五”重点行业氨氮排放情况

单位：万吨

年份	合计	化学原料和化学制品制造业	农副食品加工业	纺织业	造纸和纸制品业
2011	15.9	9.3	2.1	2.0	2.5
2012	14.4	8.4	1.9	1.9	2.1
2013	13.1	7.6	1.9	1.8	1.8
2014	11.9	6.7	1.9	1.7	1.6

从石油类排放量看，2014年排放量位于前四位的行业依次是石油加工、炼焦和核燃料加工业，化学原料和化学制品制造业，黑色金属冶炼和压延加工业，煤炭开采和洗选业，排放量相差不大。四个行业石油类排放总量为8903.5吨，占重点调查工业企业石油类排放量的55.5%（见图7）。

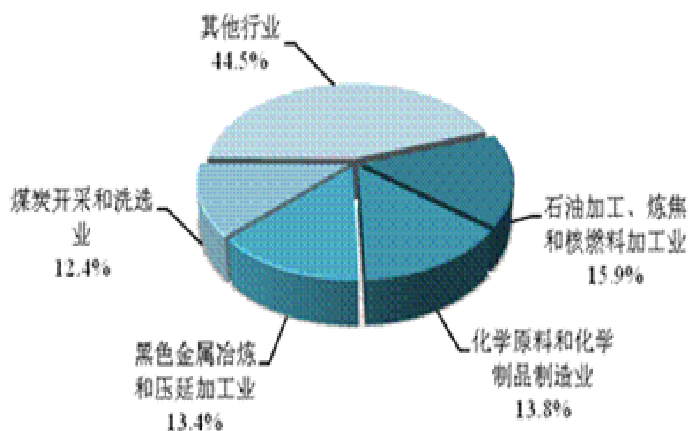


图7 2014年重点行业石油类排放情况

从挥发酚排放量看，2014年排放量最大的行业为石油加工、炼焦和核燃料加工业，挥发酚排放量为1117.7吨，占重点调查工业企业挥发酚排放量的82.0%；其次为化学原料和化学制品制造业，挥发酚排放量为105.0吨，占重点调查工业企业挥发酚排放量的7.7%（见图8）。

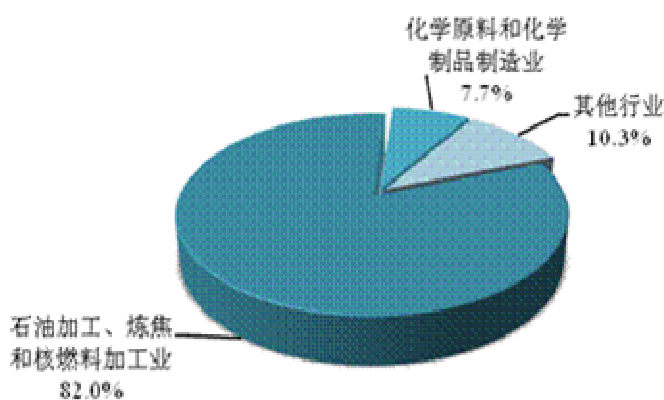


图8 2014年重点行业挥发酚排放情况

从氰化物排放量看，2014年排放量位于前四位的行业依次为石油加工、炼焦和核燃料加工业、化学原料和化学制品制造业、黑色金属冶炼和压延加工业、金属制品业。四个行业氰化物排放量为154.9吨，占重点调查工业企业氰化物排放量的93.6%（见图9）。

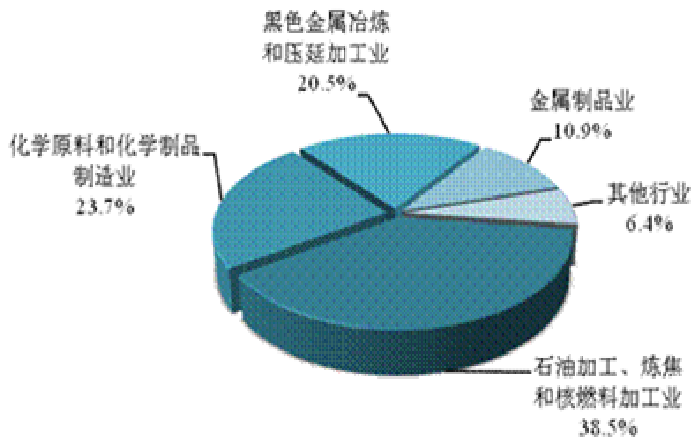


图9 2014年重点行业氰化物排放情况

从重金属排放量看，2014年重金属（汞、镉、六价铬、总铬、铅、砷）排放量位于前四位的行业依次为有色金属冶炼和压延加工业，有色金属矿采选业，金属制品业，皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋业。四个行业重金属排放量为253.1吨，占重点调查工业企业重金属排放量的69.3%（见图10）。

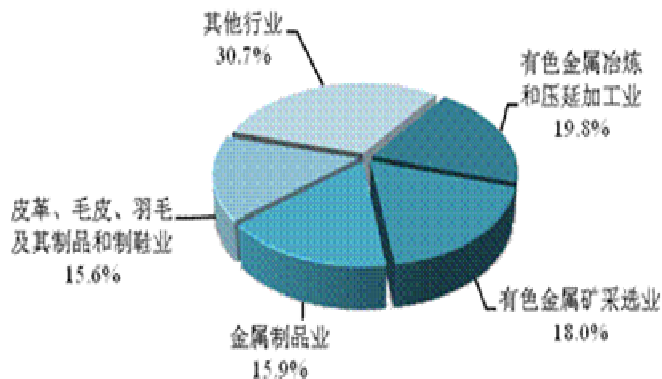


图10 2014年重点行业重金属排放情况

1.2.1.4 工业废水排放重点区域

2014年全国各地区工业废水排放量见图11，工业废水排放量前三位的省份是江苏、山东和广东，分别占全国工业废水排放量的10.0%、8.8%和8.6%，占全国工业废水排放量的1/4以上。

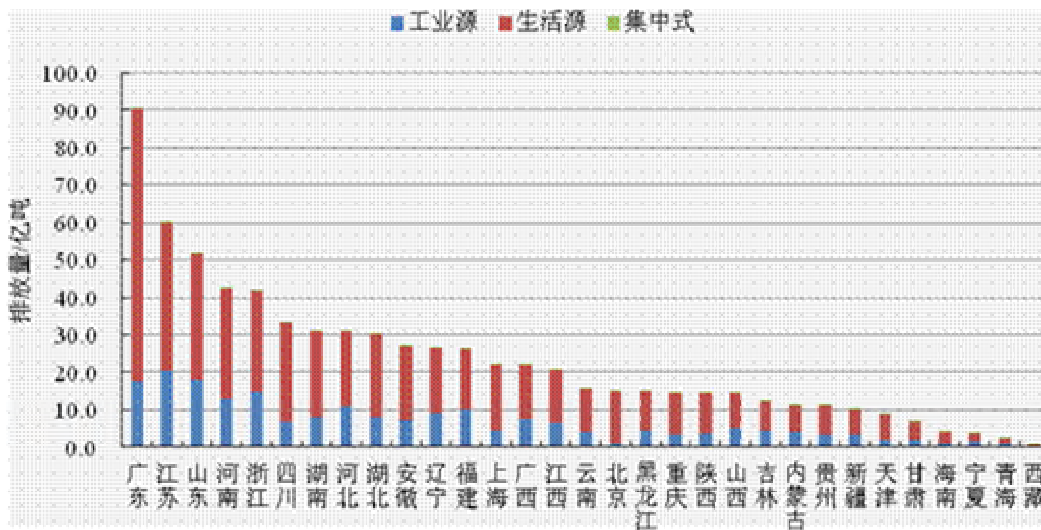


图 11 2014 年各地区废水排放量

2014 年全国各地区工业废水 COD 排放量见图 12，工业化学需氧量排放量前三位的省份依次是广东、江苏和新疆，分别占全国工业化学需氧量排放量的 7.6%、6.6%和 6.0%。

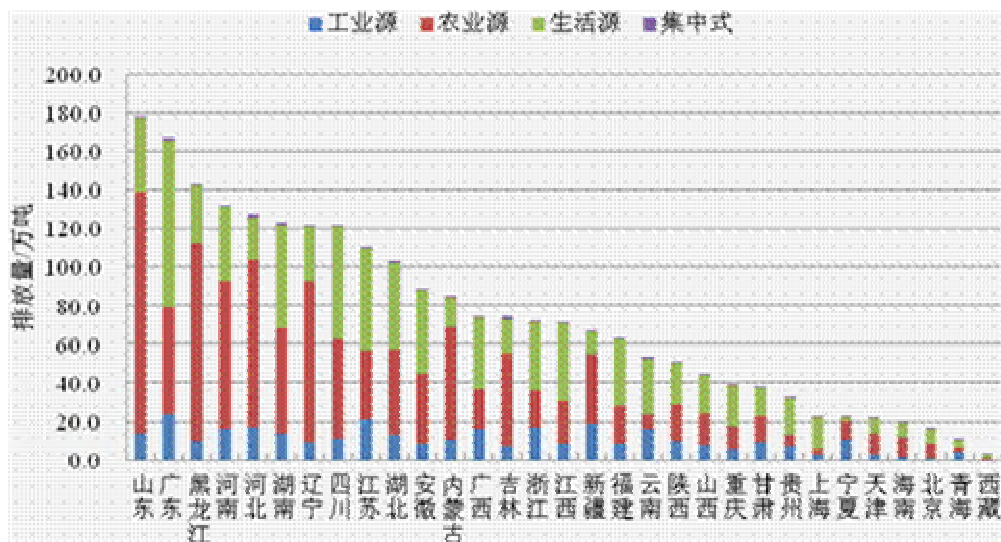


图 12 2014 年各地区 COD 排放量

2014 年全国各地区工业废水氨氮排放量见图 13，排放量前三位的省份依次为湖南、广东和江苏，分别占全国工业氨氮排放量的 9.0%、6.2%和 5.9%。

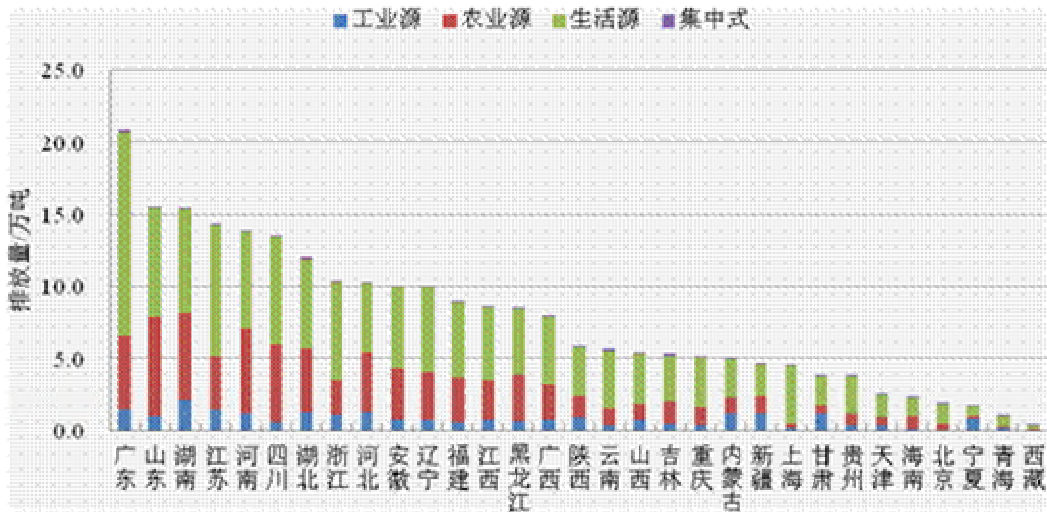


图 13 2014 年各地区氮氮排放量

2014 年工业废水中石油类排放量大于 700 吨的省份有 9 个，依次为内蒙古、江苏、河南、河北、山西、湖北、新疆、辽宁和安徽（见图 14）。9 个省份的石油类排放量为 8 604.0 吨，占全国工业废水石油类排放量的 53.6%。

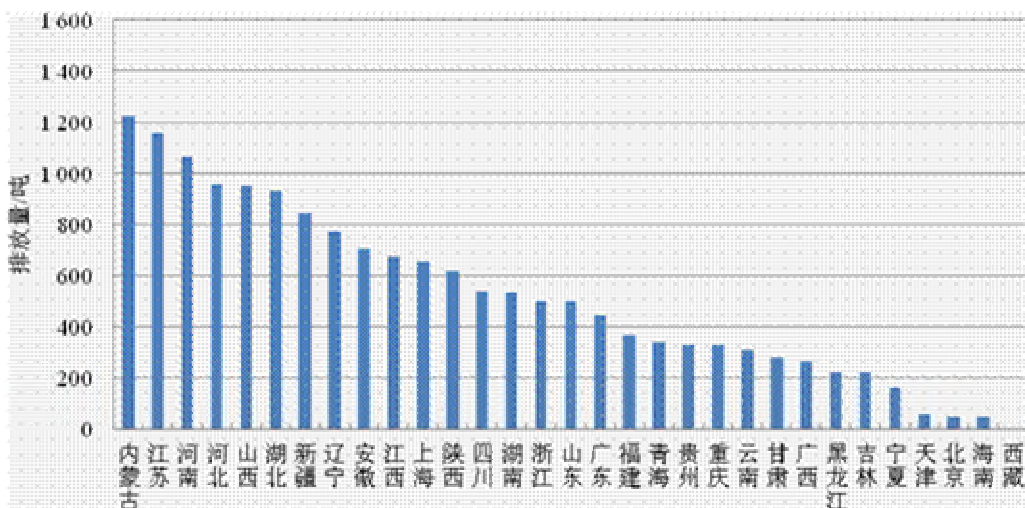


图 14 2014 年各地区石油类排放量

2014 年工业废水中挥发酚排放量较大的省份有三个，依次为山西、内蒙古和宁夏（见图 15）。三个省份的挥发酚排放量为 993.3 吨，占全国挥发酚排放量的 72.9%。

工业废水中氰化物排放量大于 10 吨的省份有 4 个，依次为山西、河南、江苏、河北（见图 16）。4 个省份的氰化物排放量为 74.4 吨，占全国氰化物排放量的 45.0%。

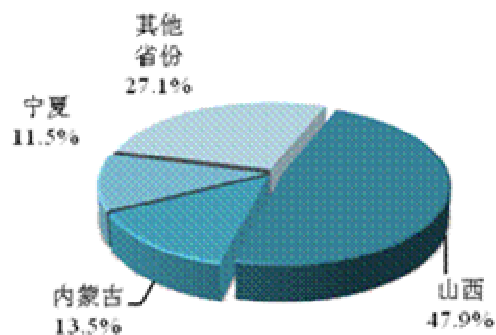


图 15 2014 年各地区挥发酚排放量

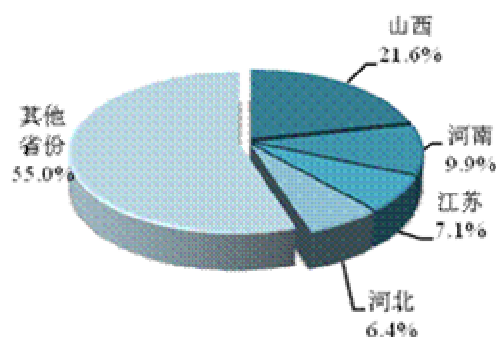


图 16 2014 年各地区氰化物排放量

工业废水中汞排放量前三位省份依次为湖南、广西和甘肃（见图 17），3 个省份工业废水汞排放量为 0.3 吨，占全国废水汞排放量的 48.1%。

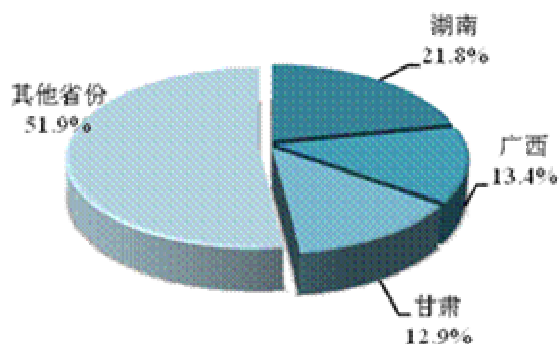


图 17 2014 年各地区汞排放量

工业废水中镉排放量前三位的省份依次为湖南、江西和山东（见图 18），3 个省份工业废水镉排放量为 9.3 吨，占全国工业废水镉排放量的 55.0%。

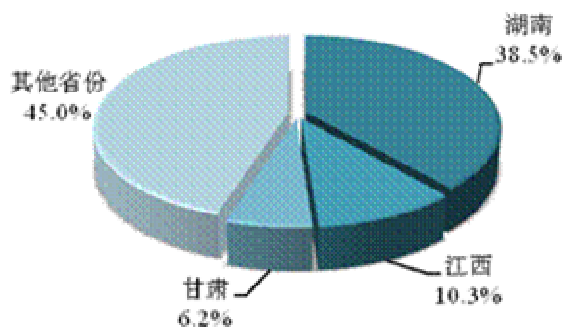


图 18 2014 年各地区镉排放量

2014 年工业废水中六价铬排放量前三位的省份依次为湖北、浙江和江苏（见图 19），3 个省份工业废水六价铬排放量为 18.5 吨，占全国废水六价铬排放量的 53.1%。

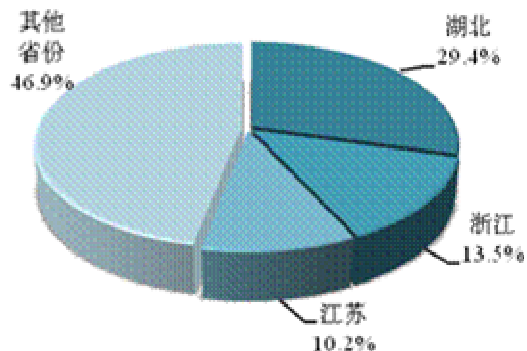


图 19 2014 年各地区六价铬排放量

工业废水中总铬排放量前三位的省份依次为河南、湖北和广东（见图 20），3 个省份工业废水中总铬排放量为 54.6 吨，占全国废水总铬排放量的 41.4%。

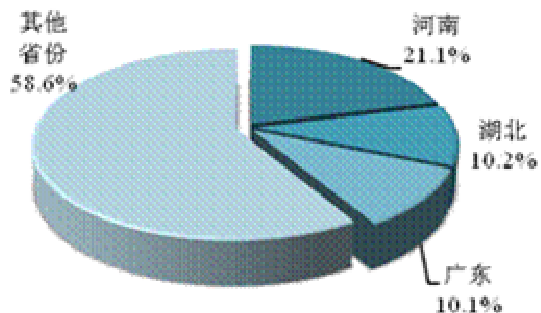


图 20 2014 年各地区总铬排放量

2014 年工业废水中铅排放量前三位的省份依次为湖南、内蒙古和江西（见图 21），3 个省份工业废水铅排放量为 34.6 吨，占全国废水铅排放量的 48.2%。

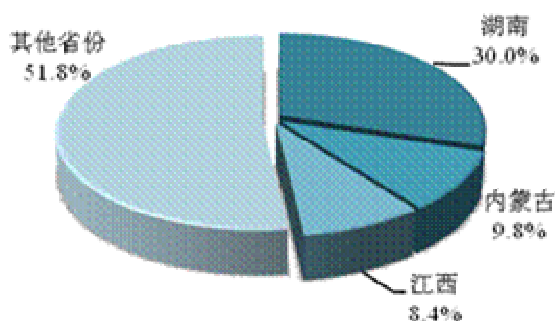


图 21 2014 年各地区总铅排放量

2014 年工业废水中砷排放量前三位的省份依次为湖南、内蒙古和湖北（见图 22），3 个省份工业废水砷排放量为 63.8 吨，占全国废水砷排放量的 58.4%。

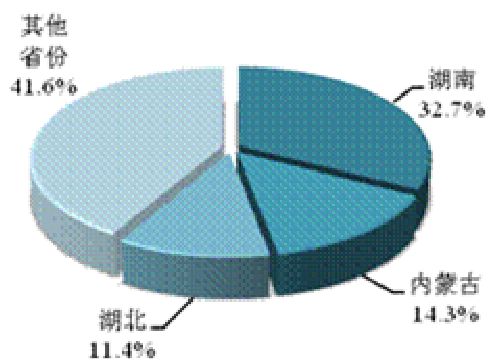


图 22 2014 年各地区砷排放量

总体上，2014 年工业废水排放量、COD 排放量和氨氮排放量大的地区主要分布在中东部和华南地区，以广东省和江苏省最为严重。而工业废水中石油类、挥发酚和氰化物等其他常规污染物排放量大的地区以中西部地区居多，其中，山西省、内蒙古自治区最为严重。工业废水中重金属排放量大的地区主要分布在华中地区，其中，湖南省和湖北省最为严重。

1.2.2 工业废水治理与投资现状

1.2.2.1 治理现状

截至 2014 年，全国累计共有 82084 套工业废水治理设施，形成了 25317 万吨/日的废水处理能力（图 23），投入年运行费用 660.9 亿元。2014 年实际处理工业废水 499.9 亿吨，年削减化学需氧量 1 732.6 万吨，削减氨氮 102.2 万吨，削减石油类 23.1 万吨，削减挥发酚 6.5 万吨，削减氰化物 0.5 万吨。

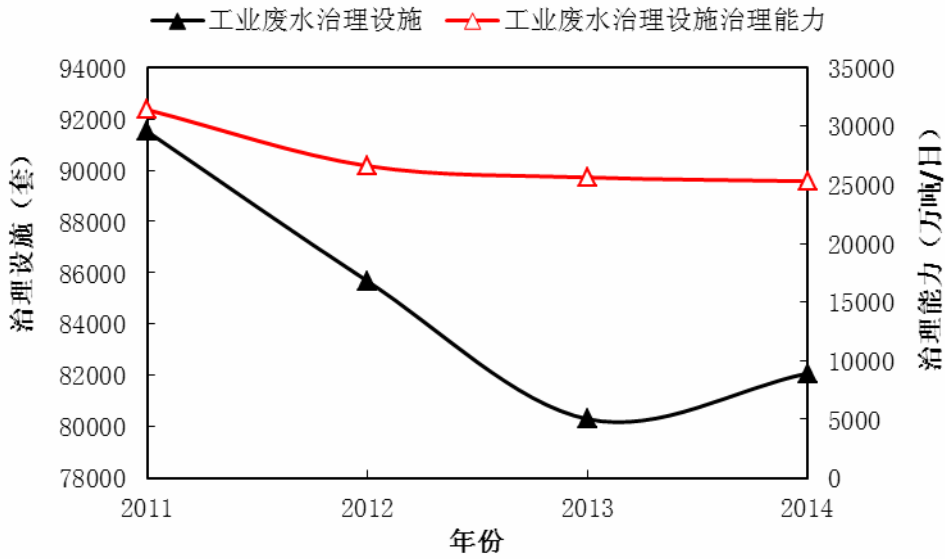


图 23 “十二五”全国工业废水处理设施及处理能力

图 24 为“十二五”期间全国新增工业废水治理项目数量，2014 年，实施工业污染源污染治理项目 5951 个，其中废水治理项目为 1266 个，占本年实施项目数的 21.3%。

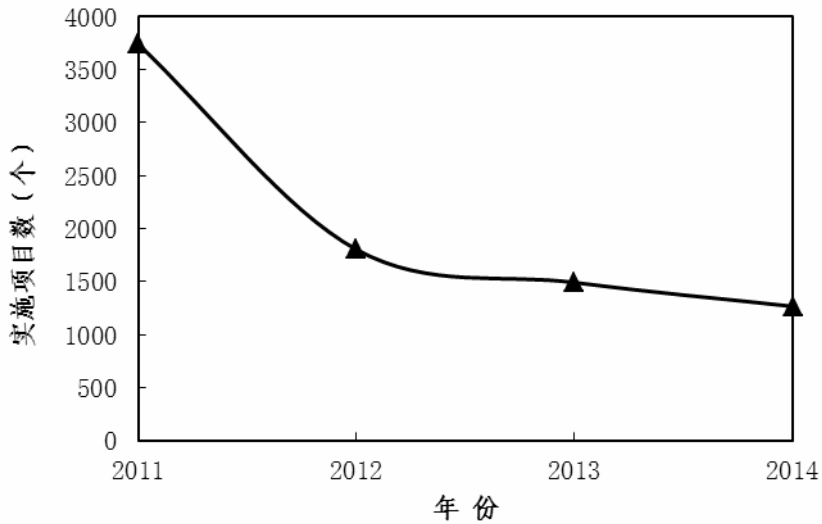


图 24 “十二五”全国工业废水实施的治理项目

1.2.2.2 投资现状

2014 年，工业污染源污染治理投资中，废水治理项目投资为 115.2 亿元（见图 25），占工业污染源治理投资额的 11.6%。投资额较 2005 年减少 13.8%，较 2010 年减少 11.5%。

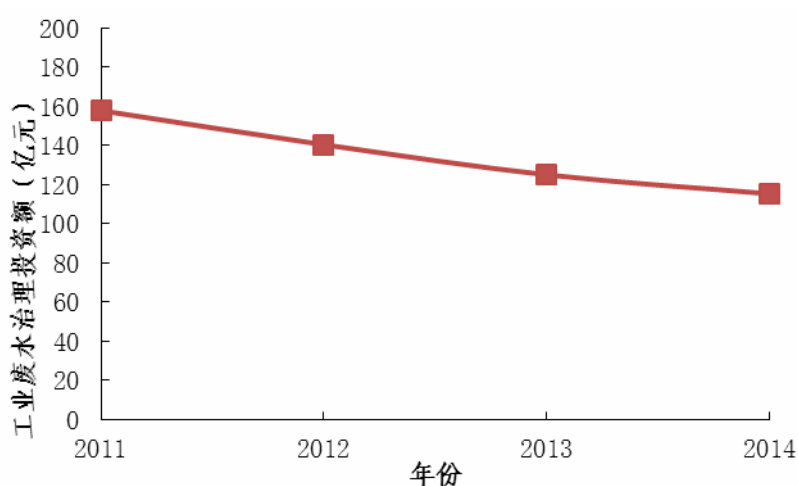


图 25 “十二五”全国工业废水治理投资额

2014年，工业废水治理设施运行费（包括工业企业废水治理设施和污水处理厂两个部分）共计1100.8亿元。其中，工业废水治理设施运行费用660.9亿元（见图26），占废水治理设施运行费用的60.0%，较2013年增加5.1%；较2010年增加21.2%。一方面由于行业污染物排放标准不断提高，对工业废水中污染物的排放要求更为严格，增加了深度处理工艺使运行成本提高；另一方面是由于工业废水处理必需的能源、药剂和人力价格也有所增加。

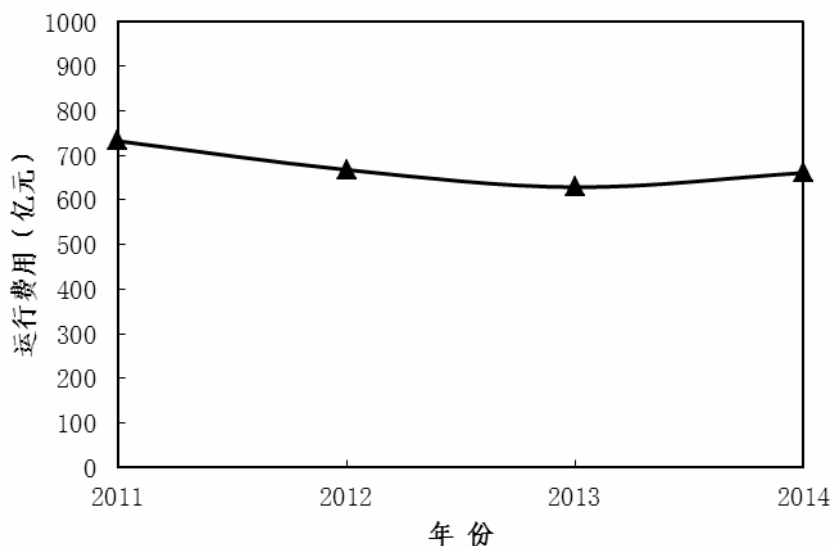


图 26 “十二五”全国工业废水治理设施运行费用

1.2.3 工业废水污染监管现状

1.2.3.1 严格环境准入

2014年,全国审批建设项目投资总额370567.6亿元,审批建设项目环保投资总额13130.0亿元,审查规划环境影响评价文件数441951个。2014年,全国完成环境保护验收项目数142448个,一次合格项目数137758个,完成环保验收项目总投资85053.9亿元,完成工业企业环保验收项目环保投资2256.2亿元。三同时制度和项目的环境保护竣工验收制度,确保了项目环保设施及其他环保措施的及时到位,为项目主体工程的运行打下了良好的基础。

1.2.3.2 加严排放标准

对于排放废水的工业类污染项目而言,“十二五”期间随着30项行业(含畜禽行业)排放标准的逐步施行,在项目环境影响评价工作中也采用了相应行业的水污染物排放标准,并提出了合理的水污染防治措施,从源头极大地遏制了工业废水的排放总量,2014年工业废水排放量较2010年下降了13.6%,COD和氨氮排放量也分别下降了28.4%和15.0%。

1.2.3.3 推行排污许可管理

目前,环境保护部正全面推行排污许可制度。第一,核发许可证,在2015年底前完成国控重点污染源及排污权有偿使用和交易的试点地区的核发工作;第二,强化排污许可在水环境管理中的核心地位,打通排污许可与环境标准、环境监测、环评、“三同时”验收、排污收费等制度的连接,推动事前审批和事中事后监管的有效衔接,实现全过程监管;第三,通过排污许可证推动网络化和精细化的管理,全面收集摸清工业排污的信息和家底。

1.2.3.4 强化工业废水监测和污染风险防范

截至2014年底,14462家国家重点监控企业中有10597家企业开展了自行监测,环保部门全年共开展监督性监测51594家次,开展监测的重金属污染防控重点企业数3661个,其中排放达标重点企业数3100个,达标率84.7%。已实施自动监控国家重点监控企业数10270个,全国除西藏以外的省(自治区、直辖市)均建立了企业自行监测及污染源监督性监测信息发布平台,促进重点排污企业接受社会公众监督。

1.2.3.5 加大监察处罚力度

2014年,全国共立案查处环境违法案件73160件,下达行政处罚决定83195份,罚没款数额总计316832.6万元。地方各级环保部门向公安机关受理涉嫌环境污染犯罪案件2180件。截至2015年10月底,全国共检查企业141万家次,查处违法排污企业4.68万家、违法违规建设项目企业6.37万家,责令停产2.86万家,关停取缔1.7万家,罚款4.7万家。

1.2.3.6 强化公众参与

2014年,“12369”环保举报热线接受群众来电及网上反映问题59917次,受理举报1463件,已全部办结。对群众不满意事件采取了现场督办、区域限批、约谈督促等督办措施,按期办结率达100%。建立举报案件公开制度,2014年已公开群众举报案件1479件、曝光案例33个。

2 主要技术发展情况

2.1 主要技术发展情况

2.1.1 工业废水污染控制技术的总体发展状况

随着我国环境和污染治理形势的变化,我国工业废水治理在废水治理深度、污染物控制种类、污染控制手段和途径、污染控制范围等方面呈现以下特征:

(1) 由达标排放为主逐渐转向高端回用

从工业废水污染控制程度上,我国的工业废水控制经历了“直接排放、达标排放、低端局部回用、高端规模化回用”的发展过程。

随着经济的快速发展,国内水资源危机日益凸显,为了在缓解水环境污染的同时解决工业和经济发展所面临的水资源“瓶颈”问题,废水的深度处理回用作为“开源节流”的重要措施受到普遍重视。最初的回用主要集中在局部、小范围的入户冲厕、市政冲洗、绿化浇灌等方面,对再生水的水质要求相对较低,处理工艺也相对简单。近两年,尤其是北方地区水资源短缺加重,工业用水价格不断加严,加之国家强化了推行循环经济的力度,推动了工业废水的再生回用技术向高端、规模化发展。目前工业废水深度处理技术得到快速的发展,该技术已拓展到农业灌溉、地下水回补、生态环境用水、工业循环水、工艺用水等多方面。随着对水质要求的提高,处理工艺技术难度也日益加大。

(2) 污染物控制类别由常规污染物控制向各类污染物全面控制转变

从工业废水污染控制类别上,我国工业废水处理技术正由控制常规污染物为主,向常规污染物、TN、TP、有毒污染物全面控制转变,更加注重保护水生生态环境和人体健康转变。

工业废水污染控制在所控制的水质类别方面的进步是随着我国水环境污染形势的变化而发展的。最初,工业水污染控制的重点是去除以有机污染物为主的常规污染物,体现在水质指标上是悬浮物、COD、BOD等,采用的处理工艺为一级处理、一级强化处理、二级处理。进入21世纪以后,水污染形势的发展要求工业废水不仅需要控制有机污染物,也需要严格控制N、P的排放,并考虑接纳水体的环境容量。在有机物和N、P得到有效控制以后,应当充分重视工业废水中含有的有毒污染物对水生态和人体健康的影响。除了传统的以重金属为主的一类污染物以外,一些微量、持久性有毒污染物的排放控制将是未来我国工业废水污染控制技术的主流发展方向之一。

(3) 工业污染末端控制向源头和全过程控制转变

从污染控制途径看,我国工业废水正由末端治理向污染源头控制转变,通过产业规划和布局、严格环境准入、实施清洁生产等措施,从源头上控制和减少工业废水排放。

要想解决经济发展和环境保护之间的尖锐矛盾,必须在谋划产业布局的时候,充分考虑区域环境的容量和特点;提高环境准入门槛,制定淘汰限制产业名录,限制技术含量低、消耗高、排污量大的项目建设,对既有企业实施关停并转;全面实施清洁生产。

(4) 污染控制范围由企业单独处理向生态工业园区集中控制转变

工业企业污染治理范围由企业独立处理逐步向工业园区集中,通过市场化运行管理和生态园区建设,更多地体现循环经济理念。

在我国工业化发展的初始阶段,工业企业的建设缺乏统一规划,选址分散,较少考虑物质、能量、信息等方面的交流;上世纪90年代开始,工业园区作为新兴的工业组织模式在我国逐渐兴起并迅速得到普及,然而,一些工业园区片面追求经济利益,忽视环境保护,致使一些工业园区成了“污染重灾区”。现在,开始提倡生态工业园(Eco-industrial Park, EIP),利用工业生态学及系统工程学的理论和思想来规划和运行的工业园区。生态工业园遵从循环经济的减量化、再利用、再循环的3R原则,不仅强调园区内的各成员内部实现清洁生产、减少废物源,同时强调成员之间的联系、合作和参与,通过形成各成员相互受益的网络,使园区对外界的废物排放趋于零,实现经济、社会和环境的协调发展。

2.1.2 工业废水处理工艺技术

工业废水处理工艺技术包括物理化学处理技术、厌氧生物处理技术、好氧生物处理技术、膜处理技术、高级氧化技术、脱氮除磷技术、生态处理技术等。还有一些近年来陆续出现的新技术,本节将进行详细介绍。

2.1.2.1 物理化学处理技术和工艺

工业废水物理化学处理法是通过物理化学反应改变废水中污染物的化学性质或物理性质,使它或从溶解、胶体或悬浮状态转变为沉淀或漂浮状态,或从固态转变为气态,进而从水中除去的废水处理方法。以投加药剂产生化学反应为基础的处理单元有混凝、中和、氧化还原等;以传质作用为基础的处理单元有萃取、汽提、吹脱、吸附、离子交换以及电渗吸和反渗透等。与生物处理法相比,化学处理法能迅速、有效地去除种类更多的污染物,特别是生物处理法不能奏效的一些污染物。化学处理设备容易操作,也容易实现自动检测和控制;一些有毒有害的污染物能作为有用的资源回收利用。化学处理系统能实现一些工业用水的闭路循环。在水和其他资源日渐短缺的现状下,废水化学处理法将获得更大的发展。

2.1.2.2 水体污染电化学处理技术和工艺

电化学处理方法是利用电解的作用,通过电流使污染物进行化学反应,使水体中的污染物变为无害、低害或者可以经过沉淀作用滤去的物质。电化学处理法包括电絮凝法、电化学氧化法、电化学还原法、电沉积法、电解气浮法等等。电化学氧化法是利用阳极的直接电极反应与某些阳极反应产物间接的氧化作用来使废水中污染物氧化破坏。实际上,为了强化阳极的氧化作用,通常投加一定量的食盐,进行所谓电氯化,这时阳极的直接氧化作用和间接氧化作用往往同时起作用。电化学氧化法主要用于去除水中氰、酚、COD、 S^{2-} 等。电化学还原电解槽的阴极可以给出电子,相当于还原剂,可使废水中的重金属离子还原出来,沉积于阴极,予以回收利用。

2.1.2.3 厌氧生物处理技术和工艺

厌氧生物处理是利用厌氧微生物的代谢特性,在无需提供氧气的情况下把有机物氧化或部分氧化,从而降低污染负荷的一种经济有效地处理技术。世界范围内可统计到的各种厌氧装置分布情况见图27。对于国内大量中、高浓度的有机废水,高效厌氧生物处理技术

是最合适、最经济的处理工艺。从 20 世纪 70 年代开始，大批高效厌氧生物处理技术迅速发展，到今天，其早期的一些缺点已经不复存在，厌氧生物处理技术作为高效、低耗的废水处理工艺已经得到国内外众多研究者的普遍承认。

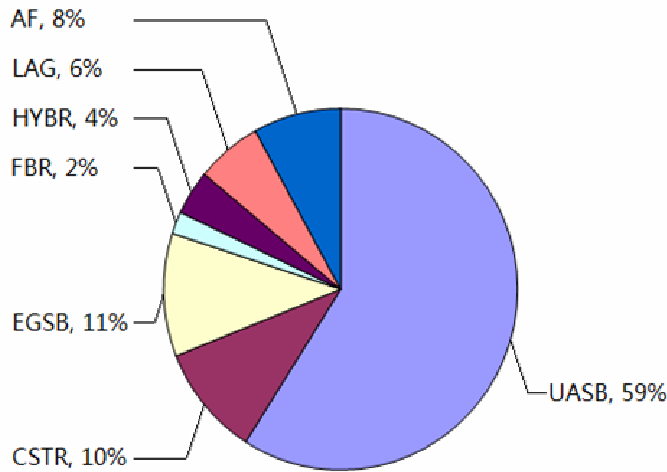


图 27 世界范围不同类型厌氧反应器应用分布

未来厌氧反应器的研究应着眼以下几个方面：研究开发具有高稳定性、高负荷并能处理低浓度有机废水以及含高浓度有毒物质废水的厌氧反应器；研究以颗粒载体为基础的固定化厌氧生物膜颗粒污泥，其能够改善反应器中微生物与基质之间的传质条件，加快反应速率，提高污水处理效率；研究内、外循环和沼气循环的复合循环方式来保证在厌氧反应器内维持厌氧细菌所需要的最佳生存环境。基于以上目的，厌氧反应器的未来发展方向为：追求高效率的处理能力；扩大适用范围；提高出水水质；缩短启动时间；耐冲击负荷。

2.1.2.4 好氧生物处理技术和工艺

好氧处理是污水处理领域最为成熟应用的技术，其原理为利用好氧微生物（包括兼性微生物）在有氧气存在的条件下进行生物代谢以降解有机物，使其稳定、无害化的处理方法。对于工业废水领域，好氧生物处理技术往往作为最重要的一个环节，也被认为是污水处理成功与否的关键性环节。随着污水控制指标的变化，基于活性污泥工艺的各项变体工艺不断出现，如 AO、AAO、氧化沟等，为了增加污泥浓度，接触氧化等工艺也逐渐开发。即便到目前，上述工艺仍然在工业废水处理领域大范围应用。

2.1.2.5 膜处理技术

由于工业的发展，大量工业废水排入水体，这些工业废水中大多含有不同浓度的化学物质，为保护环境不受污染，并回收有用物质，在工业废水排放之前必须进行净化处理。作为一种新型的分离技术，膜技术既能对废水进行有效地净化，又能回收有用物质，同时具有节能、设备简单、操作方便等特点。因此，在造纸废水、重金属废水、含油废水、印染废水、食品废水等工业废水处理中得到了广泛的应用，并显示了广阔的发展前景。膜处理技术包括微滤、超滤、纳滤、反渗透等单体技术（见表 10），或不同单体技术的工艺组合。近年来以膜技术为基础的 MBR 技术受到了广泛关注。

表 10 四种膜分离技术简单比较

名称	功能	推动力	分离机制	应用举例
微滤	滤除 0.1 μm 以上颗粒	压力差	筛分	饮料和药液的除菌
超滤	滤除 5-100nm 以上颗粒	压力差	筛分	生物制品浓缩
纳滤	大分子有机物与盐分离	压力差	溶解扩散优先吸附	染料脱盐
反渗透	水-溶盐分离	压力差	溶解扩散优先吸附	海水脱盐

纸浆厂冲洗水中含大量的污染物,采用纳滤膜技术替代传统的吸收和电化学处理法能更为有效地除去深色木质素和木浆漂白过程产生的氯化木质素。重金属废水具有极大的危害性,传统的中和沉淀处理工艺出水往往不能达到排放要求,而采用超滤、微滤是一种较好的处理方法。国外从 20 世纪 70 年代已开始对无机膜在处理植物油脂工业废水中的应用进行了研究。Bansal 采用 ucarsep 无机超滤膜对植物油厂废水进行过滤处理,表明无机膜对废水中油的截留率高达 99.5%。Bhave 等人应用 membrabox 无机膜处理植物油厂废水,取得了油截留率 99.7%的效果。近年来国内关于利用膜技术治理植物油脂工业废水的报道逐渐增多。

2.1.2.6 高级氧化技术

高级氧化处理(AOP)涉及氢氧自由基的生成与氧化作用,氢氧自由基的强氧化作用可使得处理过的污水中残留的难降解有机化合物被氧化分解为无机物,较多地被应用于消毒处理中。目前应用得较多的高级氧化技术有臭氧联用技术以及其他一些使用 fenton 试剂的反应和半导体金属氧化剂吸收紫外线来生成氢氧自由基的技术。

采用臭氧化处理有机废水反应速度快、无二次污染。但是单纯使用臭氧化法处理废水存在臭氧利用率低、氧化能力不足的问题,为此,近年来发展了提高氧化效率的相关组合技术,其中 $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ 法、 O_3/UV 法、 $\text{O}_3/\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ 法等组合方式较为有效。Jun-ichiro Hayashi 等的研究表明,使用 O_3/UV 体系对有机物的降解能力比单独的氧化增强了 10 倍以上。在 O_3/UV 体系中加入 H_2O_2 可以进一步增强处理效率,可以使有机氯化物的去除率达 98%,几乎可使芳香化合物完全矿化。美国环保局已经将 O_3/UV 技术列为处理多氯联苯的最佳实用技术。

Fenton 类氧化技术具有设备简单、反应条件温和、操作方便、高效等优点,在处理有毒有害难生物降解有机废水中极有应用潜力,但是该方法处理费用高,只适用于低浓度、少量废水的处理。将其作为难降解有机废水的预处理或深度处理方法,再与其他处理方法联用,则可以更好地降低废水处理成本,提高处理效率,拓宽该技术的应用范围。

目前来说,高级氧化技术因其运转费用过高、氧化剂消耗量大等缺点而使得其普遍应用受到限制。要使其得到广泛应用必须解决以下几个问题:① 弄清 $\cdot\text{OH}$ 自由基产生机制和提高产生率的条件;② 明白 $\cdot\text{OH}$ 自由基与污染物的反应机制,自由基在氧化过程中究竟起多大的作用,从而获得污染物降解最快的条件;③ 阐释清楚污染物在反应器内的反应与传质机理,为设计出最佳的反应器提供依据。

2.1.2.7 生态处理技术

污水生态处理技术是指运用生态学原理、采用工程学手段对污水进行治理与水资源利用相结合的方法,一般是把污水有控制地投配到土地上,利用土壤-植物-微生物复合系统

的物理、化学、生物学和生物化学特征对污水中的营养物质加以回收利用，对污水中可降解污染物进行净化的工艺技术，是生态学基本原理在水污染控制和水资源保护领域的具体运用。常见的生态处理技术包括慢（快）渗生态处理系统、地表漫流生态处理系统、湿地生态处理系统、地下渗滤生态处理系统等。

污水生态处理技术发展的第一阶段是污水灌溉，主要利用污水中的营养资源以提高作物的产量，很少考虑处理系统的连续运行，用水则灌，不用则放，其后果往往导致灌溉土地的污染问题。第二阶段是在设计时考虑处理系统的环境同化容量，避免灌溉土地的污染，防止污水穿透处理系统污染地下水及承接水体，但该阶段的主要问题是污水的处理为主要目标，很少兼顾水资源的利用问题。

90年代以后，以污水处理为主要目的土地处理技术逐渐向以处理与利用相结合为特色的污水生态处理技术发展，并逐渐脱离食物链影响的经济作物利用方式。为了使生态处理系统的有效性进一步提高、适用性更加广泛，一方面是采用物理处理法（如吸附法、重力法、离心法和引力法等）、化学处理法（如凝絮法、提取法、氧化法、离子交换法和沉淀法等）和生物处理法（如活性污泥法、SBR和BSAR等）对处理系统进行强化，另一方面是利用基因工程和生物技术，筛选超积累、高耐性修复植物和具有特异降解功能的微生物进入处理系统，即构成强化式生态处理系统，这是污水生态处理技术今后发展的另一主要趋势。

2.1.3 新技术的研发、推广与应用情况

近年来工业废水领域出现了新的需求与变化，一方面当前的水处理系统已经不能满足人们对水质标准的严格要求；另一方面，新污染源的出现，比如：药品、个人护理品和病毒等。无论是集中水处理系统和分散处理系统都不能适应对水质更高标准的要求。因此，相比较传统的各类处理技术，近年来一些新的工业废水陆续出现，典型的几类技术如下所示：

(1) 厌氧氨氧化

厌氧氨氧化（Anaerobic Ammonium Oxidation, Anammox）工艺因其无需外加有机碳源、脱氮负荷高、运行费用低、占地空间小等优点，已被公认为是目前最经济的生物脱氮工艺之一。厌氧氨氧化生物脱氮技术已经成功应用于处理多种实际废水，包括高氨氮、低碳氮比的污泥液、厕所水、垃圾渗滤液等。其中，应用最多的无疑是污泥消化液和污泥压滤液的处理，而该技术在制革、半导体、食品加工等工业废水和垃圾渗滤液处理方面的推广也逐步展开。但是，一方面由于厌氧氨氧化菌生长缓慢、细胞产率低、对环境条件敏感，另一方面由于实际废水成分复杂，常含有微生物的抑制物质，限制了厌氧氨氧化工艺在实际工程中的大规模应用。

(2) 膜生物反应器（MBR）

由于膜处理法具有占地面积小、出水水质高、剩余污泥少等优点，因此越来越多的工业废水处理及回用的项目倾向于使用膜处理法，膜的应用领域进一步扩大。MBR技术在我国发展时间并不长，2006年才开始规模化地应用于市政污水处理领域，出现了万吨级项目，2006年底我国MBR污水处理规模仅为10万吨/日。此后，随着我国城镇污水处理能力的增长及MBR渗透率的提升，到2013年我国形成了233万吨/日的MBR的规模，年均

复合增长率达到 56.8%，远超过同期城镇污水处理能力 6% 的年均复合增长。经过近 20 年的发展，MBR 逐渐成为城市污水和工业废水处理具有竞争力的选择。已经成功应用于生活污水、石化废水、印染废水、医院废水、垃圾渗滤液处理等领域。我国 MBR 市场正在加速成长，项目数量和处理规模不断增加。

(3) 移动床生物膜反应器 (MBBR)

MBBR 吸取了传统的活性污泥法和生物接触氧化法两者的优点而成为一种新型、高效的复合工艺处理方法。其核心部分就是以比重接近水的悬浮填料直接投加到曝气池中作为微生物的活性载体，依靠曝气池内的曝气和水流的提升作用而处于流化状态，当微生物附着在载体上，漂浮的载体在反应器内随着混合液的回旋翻转作用而自由移动，从而达到污水处理的目的。作为悬浮生长的活性污泥法和附着生长的生物膜法相结合的一种工艺在过去十几年的研究中，MBBR 法已经作为一种成熟的工艺广泛应用于造纸废水、食品工业废水、屠宰废水、炼油废水等工业废水中，同时也可以处理城市生活污水以及城市废水与工业废水的混合污水。许多工程实例表明，用 MBBR 法处理污水效果良好。

(4) 厌氧膜生物反应器 (AMBR)

厌氧膜生物反应器 (Anaerobic Membrane Bioreactor, 简写 AMBR) 是厌氧和膜技术有效地结合工艺。厌氧处理时出水水质较差，而膜的引入可以代替其后续处理单元，通过膜截留作用，可以使反应器中微生物浓度维持在较高水平，弥补了厌氧处理容积负荷低的缺点。由于可以维持较长的 SRT，因此污泥产量低，同时出水水质好，甲烷转化率高。由于膜的截留作用，可以维持反应器中高浓度的微生物量，提高了反应器的容积负荷。

(5) 同步硝化反硝化技术 (SND)

工业废水脱氮是长期以来的热点技术领域，最近几年国外有不少实验和报道证明存在同步硝化反硝化 (Simultaneous Nitrification and Denitrification, 简称 SND)，尤其是有氧条件下的反硝化现象确实存在于不同的生物处理系统中，在 SND 工艺中，硝化反应的产物可直接成为反硝化反应的底物，因此，整个反应过程加快，水力停留时间可缩短，反应器容积也可相应减小；同时，有机物氧化、硝化和反硝化在反应器中同时实现，既提高脱氮效果，又节约了曝气和混合液回流所需的能源。目前国内外学者也越来越多的关注 SND 技术的发展，并且进行了一些实验性的研究和应用。

(6) 微生物燃料电池 (MFC)

微生物燃料电池 (Microbial Fuel Cell, MFC) 是一种利用微生物将有机物中的化学能直接转化成电能的装置。其基本工作原理是：在阳极室厌氧环境下，有机物在微生物作用下分解并释放出电子和质子，电子依靠合适的电子传递介质在生物组分和阳极之间进行有效传递，并通过外电路传递到阴极形成电流，而质子通过质子交换膜传递到阴极，氧化剂 (一般为氧气) 在阴极得到电子被还原与质子结合成水。微生物燃料电池 (MFC) 提供了从可生物降解的、还原的化合物中维持能量产生的新机会。MFC 可以利用不同的碳水化合物，也可以利用废水中含有的各种复杂物质。MFC 有可能是工业废水领域下一阶段的发展方向。

(7) 其他工业废水处理新技术

纳米技术：纳米技术不仅可以改进、增加当前水处理技术的性能，并且可以发展为一门新的水处理技术。目前纳米技术及纳米材料在水处理和废水回收应用主要表现在几方

面。如用于吸附剂、传感和检验、消毒和降解等等。纳米技术提供了实现新一代水处理系统跨越式发展的机会。在发达国家，纳米技术在水处理的短期应用包括解决当前水处理出现的问题，改造现有的水供应系统；通过对当前现有设备较小的改动来实现增加水处理容量，并提高效率。

催化氧化技术：催化氧化法通过各种途径使一般化学氧化法的氧化效果加强。它通过催化剂对氧化剂的分解起作用，促进氧化剂发生链式反应而产生具有高度化学活性的游离基或离子，使有机物氧化分解。其氧化效率高，分解速度快，成为一种新型高效的水处理技术，利用此法处理高浓度难降解废水，可得到较好的处理效果。

磁分离技术：磁分离技术是近年来发展的一种新型的利用废水中杂质颗粒的磁性进行分离的水处理技术。对于水中非磁性或弱磁性的颗粒，利用磁性接种技术可使它们具有磁性。磁分离技术应用于废水处理有三种方法：直接磁分离法、间接磁分离法和微生物—磁分离法。目前研究的磁性化技术主要包括磁性团聚技术、铁盐共沉技术、铁粉法、铁氧体法等，具有代表性的磁分离设备是圆盘磁分离器和高梯度磁过滤器。目前该技术还处于实验室研究阶段。

铁碳微电解处理技术：铁碳微电解法是电化学的氧化还原、电化学电对对絮体的电富集作用，以及电化学反应产物的凝聚、新生絮体的吸附和床层过滤等作用的综合效应，其中主要是氧化还原和电附集及凝聚作用。此法具有适用范围广、处理效果好、使用寿命长、成本低廉及操作维护方便等诸多优点，并使用废铁屑为原料，也不需消耗电力资源，具有“以废治废”的意义。目前铁碳微电解填料已经广泛应用于印染、农药/制药、重金属、石油化工及油分等废水以及垃圾渗滤液处理，取得了良好的效果。

辐射技术：利用辐射技术处理污染物，不需加入或只需少量加入化学试剂，不会产生二次污染，具有降解效率高、反应速度快、污染物降解彻底等优点。而且，当电离辐射与氧气、臭氧等催化氧化手段联合使用时，会产生“协同效应”。因此，辐射技术处理污染物是一种清洁的、可持续利用的技术，被国际原子能机构列为 21 世纪和平利用原子能的主要研究方向。该技术已成功应用于线路板电镀废水、石油化工废水、印染废水、制药废水、电泳涂装废水、皮革废水及精细化工废水等多种工业废水处理工程。

2.1.4 计算机模拟技术在污水处理领域的应用

随着计算机技术的发展，及数学、物理学原理的应用，国内外已研究出多种可行的计算机模拟技术来应用于污水处理。结合网络、通信、模拟、检测等方面，根据设计方案，寻找最佳的计算机操作方法，在反复模拟试验中，进行污水处理检测，排除实际运行时可能产生的各种障碍，减少实际运行与设计方案的差距。随着我国计算机技术的发展，研究科学、标准、高效的计算机模拟和控制技术并应用于污水处理，是一个重要议题。

近年来，全球不乏专家学者对计算机控制技术在污水处理中的应用进行了研究。其中比较著名的计算机控制技术有以下几种：PLC 是在继电器的基础上发展的，即可编程控制器，是污水处理系统用中的关键。它运用计算机技术，对设备开关进行设计控制，较好、较可靠地保证了污水处理的成功。DCS 是分散控制系统，在计算机控制技术中，相当于一个实施检测、管理和分散控制其他设备的结合体，对于污水处理的作用也是不容小觑的。FCS 是将各种传感器、执行器、控制器通过网络连接起来，协调各种设备进行正常运作的

现场总线控制系统。它主要的特点是以网络输送信息。SCADA 是监视和数据采集系统，通过监视、控制污水处理过程中的所有细节、设备，来进行自动管理，能够很好地节约人力，提高效率。

2.2 我国自有知识产权技术的竞争力评价

2.2.1 废水处理相关专利情况

2.2.1.1 专利数量增长趋势

从我国现有专利技术的数量上看，与工业废水处理相关的专利，数量大、覆盖面也较为广泛。涉及工业领域的各个行业，如煤炭、化工、石油、轻工、机加工、制药、冶金等行业的废水处理均有相关专利技术。

依据国家知识产权局专利数据库公布的 2001 年 1 月 1 日以来公布的全部我国专利信息，其中在“CO₂ 水、废水、污水或污泥的处理”分类中，截至 2015 年 12 月 31 日发明专利公开总计 48267 条，实用新型专利 39343 条。

根据查询结果，2001 年至 2015 年十五年期间，我国国家知识产权局公布的有关水处理方面专利数量呈指数形式增长（见图 28）。

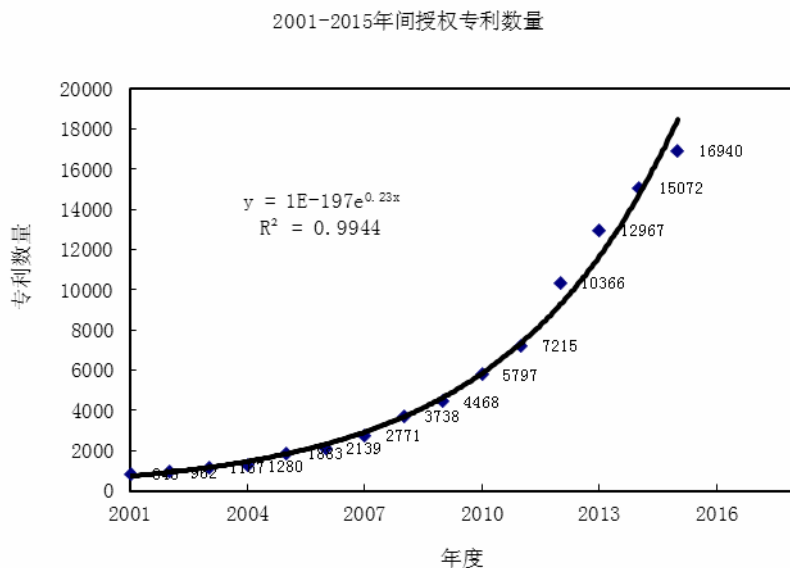


图 28 2001-2015 年间我国水处理专利数量增长趋势

依据近十五年的专利数量增长态势，预计 2016、2017 年我国与水处理相关专利数量将达到 23563 件和 29686 件。2014 年和 2015 年的年均增长率达到 14.3%。

2.2.1.2 专利类型统计

从专利类型上看，2001—2015 年间发明专利 48267 件，实用新型 39343 件，分别占授权专利数量的 55.1%和 44.9%。其中，2014 年发明专利 8226 件，实用新型 6846 件，2015 年发明专利 9189 件，实用新型 7751 件。专利类型占比见表 11。

表 11 水处理技术类授权专利类型分析 (2001-2015)

项目	发明专利		实用新型专利		专利总计	
	专利件数	占比	专利件数	占比	专利件数	占比
2001-2015	48267	55.1%	39343	44.9%	87610	100%
2014	8226	54.6%	6846	45.4%	15072	100%
2015	9189	54.2%	7751	45.8%	16940	100%

实用新型与发明专利的占比在近十五年间基本维持在 1:1 左右, 技术含量较高的发明专利的数量仍未占据较大的比例, 但 2014、2015 年已有上升趋势。

2.2.1.3 专利申请人分布

将专利申请人按照大专院校、科研院所、企业和个人四大类型, 进行专利数量统计分析, 大致可以看出我国在本领域内专利申请人的分布情况。1995-2012 年期间, 水处理技术研究的主体以及水处理技术专利申请人的情况见图 29。

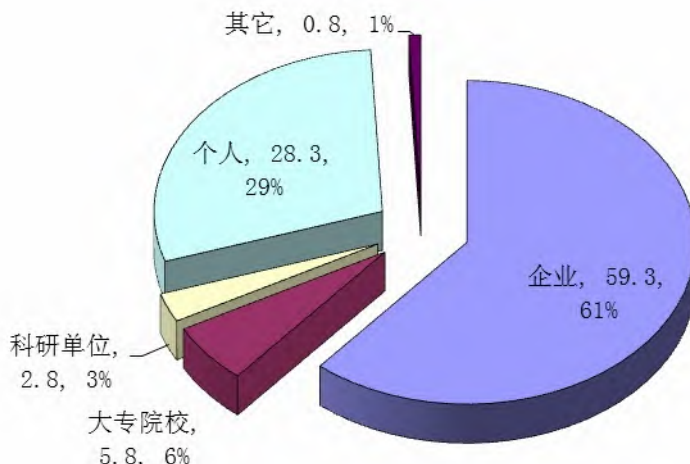


图 29 专利申请人分布

2006 年之前, 水处理技术专利申请主要是个人申请, 总体申请量不大; 从 2006 年开始, 企业成为主要申请人; 2009 年以后, 企业和院校的申请量呈指数增长的趋势。这说明随着环保力度的加大, 相关工业企业由于节能减排的需要, 不仅加大了对水处理技术的研究力度, 而且逐渐认识到专利制度及专利保护的重要性。而传统科研体制下资源集中的科研院所及院校在技术研发上占有重要地位, 越来越多地参与到技术创新活动中。

2.2.1.4 专利的技术领域分布

从水处理技术的细分技术领域上看, 2001~2015 年间, “化学或物理处理” 共 4990 件, 占 5.7%; “生物处理” 共 1270 件, 占 1.5%; “水域的曝气” 共 1486 件, 占 1.7%; “多级处理” 共 193 件, 占 0.2%; “污泥的处理” 共 1657 件, 占 1.9%。而 2014~2015 年间, 上述数量和占比分别为 1492 件 (1.7%)、422 件 (0.5%)、505 件 (0.6%)、49 件 (0.1%)、651 件 (0.7%)。

2.2.1.5 热点领域专利情况

近十五年来,国内外围绕“脱氮除磷”、“水质深度处理或回用”、“难降解废水处理”等方面开展了大量的研究工作,形成了一批专利。采用上述关键词,在国家知识产权局网站上查询专利分别情况见表12。

表12 技术热点专利分布(未特殊标明的均为已授权专利)

技术热点	2001-2015年		2014-2015年	
	发明	实用新型	发明	实用新型
脱氮除磷	691	386	授权: 26 实审中: 176	136
水质深度净化或再生水回用	39	21	授权: 1 实审中: 23	8
难降解废水处理	45	10	10	1

另外,从近十年专用单一技术热点来分析,以“厌氧氨氧化”、“自养脱氮”、“MAP或HAP结晶除磷”、“主流厌氧氨氧化”、“侧流厌氧氨氧化”、“MBR”、“MBBR或IFAS(填料活性污泥法)”、“好氧颗粒污泥”等关键词查询专利分布,结果见表13。

表13 专用单一技术热点专利分布(未注明均为已授权专利)

单一技术热点	2001-2015年		2014-2015年	
	发明	实用新型	发明	实用新型
厌氧氨氧化	625	110	125	30
自养脱氮	195	29	60	11
MAP或HAP结晶除磷	15	8	5(实审中)	3
主流厌氧氨氧化	1	0	1(实审中)	0
侧流厌氧氨氧化	0	0	0	0
MBR	27	43	15	23
MBBR或IFAS(填料活性污泥法)	121	237	19	38
好氧颗粒污泥	185	37	52	11

2.2.2 工业废水处理领域的科技成果

以中国知网为知识源,查询经过鉴定的污(废)水处理领域的科技成果,结果见表14。

科技成果查询条件

学科导航: 基础科学 + 工程科技 I + 工程科技 II

高级检索: 不设时限、每年

评价状态: 有鉴定证书

检索查询: 成果简介、污水、或含废水

表 14 2000-2015 年间经鉴定的污（废）水类科技成果汇总表

成果说明	2015	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001
成果总数	18	237	509	633	614	626	586	555	367	299	218	166	100	49	33
成果属性	原始性创新	14	153	343	405	392	392	354	352	230	161	60	35	27	1
	国内技术二次开发	3	57	106	128	137	141	122	100	82	50	37	29	6	16
	国外引进消化吸收创新	1	20	36	48	46	53	68	60	38	21	7	5	1	1
成果所处阶段	成熟应用阶段	13	148	350	430	456	467	435	402	259	175	76	50	24	6
	中期阶段	3	51	93	98	80	85	78	85	68	39	18	15	8	6
	初期阶段	2	31	42	54	45	43	36	35	29	26	8	2	7	4
成果水平	国内领先	11	118	213	285	277	310	294	281	186	135	64	36	11	4
	国际先进	2	38	110	133	148	132	134	145	103	57	33	24	7	5
	国内先进	1	27	60	79	72	77	77	74	41	31	11	7	5	2
	国际领先	3	13	34	40	39	49	35	30	29	16	8	3	1	1
	未评价	1	21	40	41	32	12	8	5	1					
	国内一般			3	8	2	5	3	3	1	4	2	1	1	1

2.2.3 国家科技进步奖及其他奖项

2014—2015 年，在污（废）水领域，获得环保部奖项的项目较少，共获得国家科技部颁发的“国家技术发明奖”二等奖 1 项（2015 年）、环保部颁发的一等奖 2 项（2014 年 1 项、2015 年 1 项），环保部二等奖 4 项（2014 年 2 项、2015 年 2 项）。具体见表 15。

表 15 国家科技部、环保部奖项（污废水类，2014-2015）

序号	奖项	颁奖部门	年份/等级	获奖项目名称	完成单位
1	国家技术发明奖	科技部	2015 二等奖	基于纳米复合材料的重金属废水深度处理与资源回用新技术	南京大学、陕西科技大学
2	环境保护科学技术奖	环保部	2015 一等奖	垃圾渗滤液处理关键技术、装备研发及产业化应用	江苏维尔利环保科技股份有限公司、江苏省环境科学研究院、南京大学、同济大学
3	环境保护科学技术奖	环保部	2015 二等奖	有机多孔—金属微孔复合填料开发及其在污水处理中的应用研究	兰州交通大学、环境保护部华南环境科学研究所、西安科技大学
4	环境保护科学技术奖	环保部	2015 二等奖	废液晶显示器资源再生与污染防治关键技术	中国环境科学研究院、环境保护部固体废物与化学品管理技术中心
5	环境保护科学技术奖	环保部	2014 一等奖	水中 As(III) 和 As(V) 一步法去除技术及应用	中国科学院生态环境研究中心、郑州自来水投资控股有限公司

序号	奖项	颁奖部门	年份/等级	获奖项目名称	完成单位
6	环境保护科学技术奖	环保部	2014 二等奖	典型农药、染料生产废水中有毒污染物治理新技术及工程应用	沈阳化工研究院有限公司
7	环境保护科学技术奖	环保部	2014 二等奖	高效混凝剂制备及耦合生物法污水处理及回用技术	同济大学、中国环境科学研究院、重庆大学

2.2.4 我国自有知识产权技术应用情况及竞争力分析

在工业废水处理领域,我国已授权的专利数量巨大,特别是2014、2015两年增长极快,每年增长率达到14%以上。2001-2015年间,专利数量总体上呈指数形式增长,专利数量远超过国外同期水平,工业废水处理领域自由知识产权技术呈现较好发展态势,主要体现在以下几个方面:

(1)为解决行业共性问题而开展科研攻关,形成的一批专利、成果已成为科研的方向。2014-2015的科技成果和国家奖项,已经充分说明了这一问题。

(2)国家科研费用的投入已经转向企业为主体,一大批水务公司和工程公司已经成为专利的申报主体。这一趋势延续一段时间后,具有真正实用价值的一批专利一定会在我国工业废水处理领域出现。

(3)“华为”、“格力”等一批靠技术进步驱动型的企业,为我国从事污水处理事业的公司树立了良好的榜样。在高投资强度的水污染治理的市场里,一定会有类似的优秀企业出现。伴随着一批优秀企业和科研机构的成熟,必然会有高价值自主知识产权专利、科技成果诞生。

(4)我国科研力量在自主创新上正在觉醒。随着我国第一座污水处理“概念厂”的建设,必然会催生一批原创性和高技术含量的专利成果。这也代表了我国水处理领域科研力量开始引领技术发展。

纵观污(废)水处理领域的这些专利,在数量优势的光鲜背后,我们不难发现,这些专利绝大多数并未转化为生产力,是形式上的无形资产,主要存在以下几个方面的问题:

(1)专利意识已深入人心,但专利价值未得到认同。专利数量的突飞猛进,在很大程度上表明,以专利为主要形式的自主知识产权意识已经深入人心。但是对于自己的专利的重视,本不代表对别人专利的认可,大量相似性的专利的申报和授权,也是导致专利数量增长的重要原因。同时,重大的专利技术转让或价值评估认定,在污水处理领域还未曾出现。真正意义上的专利技术转让与应用,在业界较为罕见。

(2)一些专利通用性差,技术强度低,转化应用难度大。多数专利源于特殊的应用场景或是多级工艺过程的组合,真实的技术含量和技术诀窍成分少,以企业为主体的专利技术,由于工业企业缺少专业的技术力量和经费,多数专利局限于解决自身个别问题,通用性差,大多数专利只能用于单一案例,进而带来专利的规模化应用难度大。

(3)原创性专利缺失,引进和二次开发类专利数量占比较大。在工业废水处理领域,绝大多数的原创技术均来自于国外。我国的多数专利是基于国外的原始技术和思想,进行

跟随研究和二次开发，形成了众多相关的专利，这些专利较国外原创技术，只能是局部的应用，还停留在学习、消化国外先进的工艺技术阶段，重复、模仿是主要的研发方式，缺少具有自主知识产权的技术集成。

(4) 专利权益的保护任重而道远。专利的重要性人人皆知，但尊重专利权益的文化还没有真正形成。只有切实保护专利发明人的权益，才能促进专利的产生、应用和长期发展。

综上所述，在工业废水处理领域，我国虽然拥有众多专利和成果，但具有原创性的高附加值者极少。虽然，这些专利为解决特定的工业水污染问题起到了重要作用，但是作为知识产权，其推广和转让的价值难以体现。2014-2015年，我国在跟踪国外先进的污水处理技术方面也做了很多工作，已授权了一些与热点技术相关的专利，并且一大批这类专利正在审核之中。我们相信在未来几年中，经过这些年的积累，我国在这一领域会出现具有原创性和核心竞争力的专利。

3 主要问题分析

3.1 技术开发与推广应用方面存在的问题

3.1.1 工业废水处理技术研发投入少，创新力不足

(1) 技术的自主研发能力相对薄弱

工业废水处理技术的前瞻性和基础性研究仍然不足，环保企业由于缺乏人才、资金，大多不具备自主研发能力，少量企业虽然具备一定研发能力和意识，但研发投入不足，技术开发没有系统性、连续性、层次性和前瞻性。同时，现在我国环境技术现状总体上存在缺少原创性的开发，缺少具有自主知识产权的技术集成，创新层次较低，缺乏技术储备等。而当前我国环境问题呈现出区域性、复合型和压缩性等特点，基础研究和原创性技术研发的不足导致现有的环境科技难以为环境管理提供有效地技术支撑。

(2) 引进国外技术缺乏战略性统筹

改革开放以来，随着外资企业的引入和对外交流的扩大，我国已通过国际贷款、引进、合资等方式引进大量的国外的资金、技术和设备。这些资金和技术对于我国环保事业的发展起到了积极作用，但也显现出一些问题。一是国内环境技术管理体系的缺失，在技术引进上没有明确的政策和规范引导，在装备（产品）上没有明确的标准可循，导致盲目引进、重复引进、引进技术渠道不畅通、引进的技术不适应国情、引进后不注意跟踪消化吸收等方面的问题；二是在选择引进技术时缺乏战略性统筹，再加上经济利益等方面的原因，限制了技术设备的选择范围，无法保证得到最优的技术和设备，有的甚至成为国外新技术的实验场。

3.1.2 工业废水处理难度大、成本高

(1) 工业废水成分复杂，大部分工业废水不是单一技术可以处理的，需要多种技术结合使用。

从目前掌握的技术水平看，国内很多工业废水的处理在理论上是不能达到真正的长期

稳定达标运行的。如制药、农药、化工、造纸、电镀、味精等废水,处理难度很大,现有技术对不同企业废水的适用性还有待提高。同时,治理技术的选择要考虑多方面原因,包括企业的原料、生产工艺等。而企业的治污水平普遍不高,对废水处理设施的管理、使用上也缺乏经验,面对市场上纷繁复杂的技术,难以选择。

(2) 工业园区废水处理技术难以达到预期效果。

近年来,伴随着一些污染事件的曝光,原本被誉为各地经济发展引擎的工业园区,部分却成了藏污纳垢的代名词,对流域水环境的破坏、饮用水源的污染,更是把工业园区推上了风口浪尖。工业园区本意是将工业废水集中处理,但是现实运作中又造成了新的问题。工业园区产业结构复杂、废水排放量大、污染物种类多而复杂、污染负荷排放强度高、水质水量变化幅度大;而集中处理的后果是容易处理的污染物质工厂自行处理了,到了末端的污染物质大部分都是难以处理的,最终导致园区污水处理厂处理难度大,污染物削减难以达到预期效果。

(3) 工业水污染控制与高成本的矛盾急需破解。

相对于生活污水处理,工业废水存在处理难度大、成本高的问题。有些工业废水现有技术可以达标,但需要投入很高的成本,给企业造成的成本压力大,甚至无法承受。特别是高氨氮、高浓度难降解有机污染物等领域,需要更经济、更稳定的技术。随着我国工业污水排放标准的逐渐提高,我国工业污水处理行业不但面临着极大的挑战,同时新的机遇也将显现出来。

3.1.3 工业废水新技术示范推广阻力大

新技术的工程示范是技术产业化重要环节,而目前我国在新技术示范和推广方面缺乏有效地组织机制,示范工程缺乏系统管理和科学指导,没有建立系统的示范工程管理制度,以及相应的科研和监测手段。目前的管理模式仅局限在示范工程完成后的技术评估,而没有形成全过程管理,使一部分市场前景良好、治理效果好的成果得不到真正推广,而一些尚不具备推广条件的不成熟的技术以及一些没有价值的成果,通过不规范的市场行为,反而得以滥竽充数,混迹在污染治理的市场中。

此外,技术推广体系中主体不明,也限制了技术的转化与推广。应用新技术的工业企业是技术推广体系的主体,在技术创新与产业化方面承担着重要的作用,而目前作为技术推广体系的重要内容之一的示范工程多由科研单位来承担,导致技术创新和技术推广脱节。

3.2 管理方面存在的问题

3.2.1 法律法规方面

由于法律法规长期的不健全,执法力度不够,造成工业废水排放监管不尽如人意。据不完全统计,我国目前建成的环保治理设施的有效运行率很低,仅有 1/3 保持在正常运行状态,大多数排污企业不同程度存在逃避监管、偷排漏排、人为停运治理设施等行为,以牺牲环境为代价来获取经济效益。

在超标排污处罚方面,目前新实施的《中华人民共和国环境保护法》加大了监察执法

和处罚力度，对加大了企业违法排污的惩治，建议从国家层面加快修订《水污染防治法》。此外，应尽快建立和完善总量分配办法、排污许可制度，加大对中小企业超标排污的处罚力度。

3.2.2 技术管理体系方面

3.2.2.1 环境污染防治技术管理体系缺乏系统性

2007年以来，环境污染防治技术管理体系拟建立以污染防治技术政策为统领，污染防治最佳可行技术指南为主干，工程技术规范为细节的环境技术指导体系。截至目前，按照环境保护部的统一部署，总计发布污染防治技术政策36项，最佳可行技术指南17项，工程技术规范84项；同时，为规范各类技术指导文件制修订工作，陆续出台了一系列规范编制指导文件。但环境污染防治技术管理体系仍存在以下问题：

(1) 技术政策制订缺乏系统性、时效性和配套性。

一是目前一些重污染和迅速发展行业没有行业污染防治技术政策，导致各级环保部门在环境管理和监督执法中缺乏技术依据；二是行业技术政策制订与同行业污染物排放标准缺乏相对应的明确、稳定、可靠的关系，相互之间缺乏互动性；三是某些行业技术政策制定后未随着技术发展、行业发展及时修订，导致技术政策适用性差。

(2) 技术指南覆盖面不足、行业引领作用不够。

截至目前已经发布了燃煤电厂、钢铁行业、铅冶炼、医疗废物处理处置、城镇污水处理厂污泥处理处置、畜禽养殖、农村生活、电镀等领域的17项污染防治最佳可行技术指南。造纸、水泥、纺织染整、合成氨、制药等重点领域的污染防治最佳可行技术指南也将陆续发布。但我国工业行业繁多，技术指导文件覆盖度还远远不足，且制定颁布与行业发展相比进度滞后，行业引领作用不足。

(3) 技术规范应不断补充新技术规范内容，完善监督、监管。

技术规范属于工程施工中应遵循的技术标准，对于不断涌现的改进技术，应及时补充技术规范，规范工程施工及运行管理，使污染治理工程满足设计要求，达到排放标准。同时，在规范执行过程中，谁来监督监管、如何监督监管应引起高度重视，施工人员若对环保项目不熟悉，监理人员对环境技术一知半解，技术标准的规范作用就失去了应有的作用。

3.2.2.2 环境污染防治技术评估体系不完善

虽然环境科技成果的转化和技术推广工作，伴随着国家科技体制的不断完善而取得了一定进步，但我国环保科技成果的转化率和贡献率都远低于发达国家，很多高新技术实际上成为“凝滞的技术”。造成这种结果的原因是多方面的，特别是环境技术评估体系不健全，示范推广系统不完善，极大地影响了先进技术的有效应用与推广。

(1) 环境技术评估机制是造成科技成果转化缓慢的瓶颈因素之一。

环境技术的评估主要依靠环境主管部门主持进行的单一模式，且评估标准偏向上项目、报成果。对成果的评价多数停留在学术性、先进性的层面，而对成果的实用性、市场性估计不够，更不能量化该成果的社会价值、经济价值。很多科研院所的科研工作定位不准，不是面向市场和经济建设，而是面向政府和上级。

(2) 环境技术评估体系仍处于起步阶段，尚待发展。

目前我国的技术评估工作还没有与环境保护整体战略和环境科技发展战略紧密结合，

不能面向国家环境管理和污染治理的重大需求组织技术项目评审;评估的技术缺乏广泛性和代表性问题;技术推广工作没有与环境管理的目标指标挂钩,缺乏系统性,致使未起到其对环境管理工作的技术支持作用;再加上我国还处于无序的市场竞争阶段,使很多真正好的技术不能被有效地转化和推广。

3.2.2.3 环境污染防治技术示范推广管理制度不健全

国家环境技术管理的技术示范和推广工作已全面展开,以推动技术进步,带动环保产业发展。但我国在技术示范工程中缺乏系统管理和科学指导。示范工程包括环境新技术和引进技术的示范,对新技术而言,在示范过程中还有不断改进和继续研发的过程,同时所有的示范工程都有其适用条件的局限性。在这一过程中要使示范工程真正起到示范作用,指导其他类似工艺,就需要建立系统的示范工程管理制度、并有相应的科研和监测手段与之配套管理,能够将示范工程条件、结果和应用范围全面、系统、完整的公示于众。而目前对其管理模式仅局限在示范工程完成后的技术评估,尚未形成全过程管理。

3.2.3 经济政策方面

目前我国的一些企业仍沿用粗放发展方式,有些行业污染排放比重较大,企业在污染治理方面的技术创新能力和水平还比较低,而专业的科研院所和大专院校在技术应用和产业化方面又不具备条件。考虑到工业水污染治理技术难度大、投入高的特点,企业在技术创新中的重要地位,以及企业在治理资金、设备、人才等方面的劣势,我国政府应当制定和采取各种优惠政策鼓励和扶持企业进行污染治理的技术创新,辅以推行集约化污染控制模式,尽快实现污染排放的有效控制。

3.2.4 排放标准方面

环境标准的制修订是以环境目标和污染控制技术及其经济可行性为基础的,污染物排放标准是我国进行环境管理的最重要的标准依据,但是长期以来,由于缺乏完整配套的达标技术,排放标准限值的制订和实施往往处于没有成熟可行的工程技术支持或标准所依据的控制技术落后于环境技术发展的尴尬境地。现有的工程技术规范及环保标准体系的科学性、完整性、系统性、协调性和可操作性尚待提高,标准适用范围存在重叠、空缺现象。有些标准的科学性不足或实施后长期没有修订,导致控制水平比较落后,制约了环保产业的技术进步。

4 建议

4.1 工业污染控制优先发展的领域、技术

4.1.1 工业废水的源头控制技术

工业废水的系统化解决是未来趋势之一,即从清洁生产到废水处理最后至回用的各个环节,使工业废水从源头减量化、处理无害化再到资源化。首先,从生产工艺的“源头”,即原材料选择阶段采取科学、合理措施,减少污染物的产生隐患,降低原料物料的消耗,

提高产品的回收率。其次，工业行业从生产工艺和全过程减轻环境污染，减少生产用水的消耗，降低废水排放量，增加循环利用率。

4.1.2 工业废水的深度处理及资源化技术

由于如何更好地由以达标排放为目的的污染治理调整到以水资源循环利用为目的的“零排放”，进行技术的综合集成，实现工业废水再生利用与资源化，应是今后研发的重点。针对不同的特征污染物，未来工业废水深度处理技术开发的重点应集中在高级氧化处理技术、高级生物处理技术、膜处理技术和生态处理技术等领域。此外，实施废水的“分类收集和分别处理”可以大大降低废水处理的技术难度和运行管理难度，也有利于实现废水的循环利用。

4.1.3 高浓度难降解有机工业废水处理技术

目前，化学氧化和催化氧化是处理毒性大、浓度高、难生化降解废水的有效方法，但是这些方法投资很大，运行费用高，企业负担过重，无法正常运行，成为制约废水处理的瓶颈问题。目前这一领域需要解决的关键问题：一是开发有针对性的催化剂和合适的反应器并寻找最佳反应条件；二是研究开发多相催化氧化工艺，研制、开发一项适用范围广、高效的废水治理技术。同时，也要加强一些对高浓度难降解有机废水处理效果好的新技术的研发和推广，例如超重力技术、等离子体高级氧化技术等。

4.1.4 重金属废水处理与综合利用技术

对重金属废水处理的要求从简单处理后的出水达标提升到重金属资源的回收利用的高度。膜分离技术使得重金属废水的资源化成为现实，正渗透技术是近年来发展起来的一种浓度驱动的新型膜分离技术。相对于压力驱动的膜分离过程如微滤、超滤和反渗透技术，正渗透技术具有低压甚至无压操作，因而能耗较低；对许多污染物几乎完全截留，分离效果好；低膜污染；膜过程和设备简单等优点。同时，高分子纳米复合吸附剂因兼具纳米材料大比表面积、高吸附容量的特点和合成高分子材料可设计性、吸附选择性的优势而备受瞩目，成为当前吸附法处理重金属废水领域的热点。

4.1.5 高盐工业废水污染处理技术

废水膜法脱盐技术包括膜分离技术、电化学技术、离子交换等，虽然这些技术在处理高盐度有机废水中取得了进展，但其投资大、运行费用高的问题依然没有得到有效解决，需要进一步探索物化法低成本新工艺。目前开发快捷的嗜盐菌驯化方法和高效的生物反应器，如膜生物反应器是目前的研究热点，但是在耐盐微生物的培育驯化和降盐机理方面还需要进行大量的研究工作。

4.2 尚需配套的标准、法规、政策

4.2.1 完善相关环境保护法规政策

要完善相关政策法规的体系建设，一是要加大对未批先建等建设项目违法行为的处罚

力度，要明确法律责任，健全追责机制；二是要梳理现行的法规、规章和规定，查缺补漏，并辅以具体实施办法，如针对工业废水中持久性有机污染物、环境内分泌干扰素等物质的污染防控应制定相应的法律或行政法规；三是继续优化整合现有的水环境管理制度，加快制定出台排污许可等配套法规，建立排污许可、总量控制、区域限批等环境管理制度的配套实施法规；四是推进环境金融产品创新，完善市场化融资机制。

4.2.2 完善水污染物排放标准体系

完善工业废水污染物排放标准体系，应以人为本，配套环境质量标准实施需求，以总量控制污染物、重金属、持久性有机污染物和其他有毒污染物为重点控制对象；修订污水综合排放标准，完善污染物控制指标和要求，保障污染物排放监控体系的严密性。建立长期的定期评估和修订制度，公众参与评价制度，逐步建立强制性排放标准的实施与示范制度，保证排放标准的科学性、合理性，充分发挥标准引领技术发展的作用。

4.2.3 完善水污染防治技术管理、评价和推广体系

以评价规范标准化为手段、保证技术评价程序、评价方法具有一致性和可比性；以培育第三方评价市场为抓手、确保技术评价工作第三方公正性和可持续性；以公开化、透明化监督为保障，保障技术评价工作的规范性和公正性，建立完善科学、规范、客观、公正的技术评价管理制度、方法和程序。

针对处于市场推广应用阶段的技术，主要解决进入市场困难，打破传统技术垄断困难的问题，主要将技术纳入由技术中介机构、企业孵化器、区域技术转移服务中心、行业协会、行业学会等技术转移机构组成的技术转移服务平台，通过社会组织力量加速技术的市场转化。

水污染控制领域技术发展报告

1 水污染控制领域总体概况

1.1 2014-2015 年国内外相关法规、政策和标准现状

1.1.1 国外相关法规、政策和标准现状

1.1.1.1 美国水污染控制法规、政策和标准现状

(1) 美国水污染控制法规

《清洁水法》(Clean Water Act) 是美国最全面地水污染控制的联邦法律, 所有水污染控制相关的政策均包含在其中。《清洁水法》中指明, 水环境管理的最终目标即“恢复和保持国家水体化学的、物理的和生物方面的完整性”。为了实现上述目标, 《清洁水法》中声明了两项国家目标和五项国家政策, 两项目标是至 1985 年, 全面停止向通航水体排放污染物; 到 1983 年 7 月 1 日, 在所有可能实现的地方实现水质保护的中期目标。五项国家政策为: 禁止排放达到毒害数量的有毒污染物; 为公共废物处理工程的建设提供联邦财政援助; 为确保各州对污染源的有效控制, 制定并实施区域性的废物处理管理规划; 大力进行研究和示范, 开发必要的技术, 消除向通航水域、临界水体和海洋排放污染物的行为; 尽快制定和实施非点源污染控制计划, 通过对点源和非点源的双重控制实现国家目标。

美国《联邦水污染控制法》建立了以技术排放标准为主、以水质标准为辅的标准体系, 技术排放标准是根据不同工业行业的特点, 以不同污染控制技术为基础制定的排放限值。技术排放标准在控制水污染上的优势体现在制定相对容易、可预测性好、体现环境公平以及与其他管理手段兼容等方面, 水质标准是技术排放标准的补充。当执行技术排放标准仍然不足以达到某水域的既定用途时, 法律要求各州根据能够达到用途的水质标准确定污染物的最大日排放量并在各污染源间分配, 它的制定建立在保护环境是为了利用环境的理论前提下, 两种标准的结合适用能发挥各自的优势实现对水污染物排放的严格控制。

(2) 美国水污染控制政策

美国在 1948 年之前, 州和地方政府是水污染控制的主要责任者, 1972 年《清洁水法》出台之后, 包括水污染控制政策目标制定、政策执行及监督检查的职责被赋予了联邦政府, 即联邦政府是国家层面法律的直接执行者, 州政府则必须首先满足联邦政府的一系列要求后才能参与法律的执行。如 1972 年实施的“美国国家污染物排放消除制度”(NPDES) 规定, 所有排污单位必须申请并获得 NPDES 之排污许可证。许可证制度的实施主要由联邦环保署 (USEPA) 负责。州在达到特定条件后可以向联邦申请, 联邦环保署通过和州签署

授权协议，授权这些州来具体实施。联邦负责相关法律规范的制定、人才培养、批准和否决以及核查和监督的权力。对授权的州提供资金、技术和法律方面的支持和培训，并对州的执行情况进行监督管理。

1972年的《联邦水污染控制法》要求，除公共污水处理厂以外，所有现有点源要在1977年7月1日之前采用普遍适用的“最佳可行技术（BPT）”中所确立的排放标准，且到1983年7月1日前，升级到“最佳可得技术（BAT）”限值标准，BAT主要针对有毒和非常规污染物的经济可行的最佳可达技术。在BPT标准的开发中，要求环保局作费用-利益平衡试验。对于公共污水处理厂，则要求到1977年采用二级处理，到1983年采用“在污水处理厂整个运行期内都能使用的最佳可靠污染处理技术”。

美国在水环境管理方面提出了环境战略的思想和原则，其主要思想包括：（1）生态系统保护原则，美国国家环保署将通过采用“地点驱动”来提高其保护、保持和恢复国家土地和水域（包括人类健康、城市地区动植物物种）生态完整性的能力。（2）环境公平原则，目标是使美国全体公民不会再忍受对人类健康造成严重危害的环境问题，所有人都应当生活在洁净的、可持续的生活环境中，使公众及时获取健康方面信息并积极参与。（3）污染预防原则，实施“源头控制”政策，对工艺过程实施全过程控制，从根本上解决污染问题，美国国家环保署将带领整个国家把保护环境的努力转移到在源头减少和消除污染。（4）依靠科学技术的原则，美国国家环保署将确保国家的环境政策建立在最有效地科学和信息的基础上。

（3）美国水污染控制标准

美国水质标准（Water quality standard）在界定水体保护目标时，涉及了水体指定用途、水质基准和水质反退化政策三部分。各州和部落首先需要对辖域内的水体指定用途。联邦EPA颁布科学基准，然后各州根据水体用途和经济社会因素等，最终由州法律确认后具有法律效应，成为具体的水质准则（目标值）。同时制定反退化政策和一般政策（即对执行方面的要求）。所有内容经联邦审批通过后，构成该州的水质标准。

美国的水质标准是一个广义的水环境质量标准体系，它由水体化学物质标准、营养物标准、底泥标准以及水生生物标准组成，反映了水生态系统所有组成的质量状况。目前美国环境保护署共提出了165种污染物的基准，包括保护水生生物的水质基准、保护人体健康的水质基准和防止水体富营养化的营养物基准、生物基准等，其中涉及了合成有机物（106项）、农药（30项）、金属（17项）、无机物（7项）、基本物理化学特性（4项）和细菌（1项）等。根据基准的制定方法，可以将水质基准划分为两大类：毒理学基准，该类基准是在大量科学实验和研究的基础上制定的，如人体健康基准、水生生物基准等；生态学基准，该类基准是在大量现场调查的基础上通过统计学分析制定的，如营养物基准等。

美国水污染物排放标准体系，是国家污染物消除制度（NPDES）的核心内容，其要求任何一个工业点源都要确定特定的排放标准，即点源排污许可证中包括的基于技术的排放限值和基于水质的排放限值。因此，美国工业点源水污染物排放标准可分为两个层面：国家层次的点源水污染物排放限值导则；每个点源排污许可证中规定的基于技术的排放限值和基于水质的排放限值。

《清洁水法》中规定除非遵守所有相关法规，否则任何排放污染物的行为都是非法的。污染源的守法行为即表现为遵守规定的排放限值。《排放限值导则》是美国环境保护署发

布的基于工业范畴、子范畴以及工业点源使用的特定技术（包括工艺的变化）而制定的可行性排放限值，称为排放限值导则或者标准。目前，美国环境保护署已经颁布了 56 种工业类别的排放限值导则，适用于大概 35000 到 45000 种直接排放到美国水体的设施，并且包括其他的 12000 种排放到公共污水处理设施的预处理标准。《排放限值导则》中只规定了基于技术的污染物排放限值，并通过州的认可后成为州的法律。各州根据具体水体的水质标准，确定是否需要实施基于水质的排放限值。一般而言，基于水质的排放限值要严于基于技术的排放限值。具体到污染源，还需要结合企业的产品特性、生产周期和生产工艺等最终确定适用于该污染源的排放限值，并通过排污许可证制度得到落实和实施。

美国反退化政策是水质标准的重要组成部分，在维持和保护有限的清洁水体资源和确保引起水质下降的开发项目的决策能够带来公众利益方面起着重要作用。水质标准反退化政策包括三个层次：①确保所有的情况下，水体至少维持“现有功能”的必要水质状况；②在水质好于维持鱼类、贝类和野生生物保护和繁殖以及娱乐所需水质的最低水平时，只有在水质的降低能够带给该地区重要的经济和社会发展时，才可能通过一个严格的程序批准这些可能引起水质降低的开发项目；③确定具有娱乐和重要生态价值的水体，维持和保护这些水体的水质，这有利于保护国家重要的珍稀水资源。

1.1.1.2 欧盟水污染控制法规、政策和标准现状

欧盟于 1986 年 2 月签署《单一欧洲法》，1987 年 1 月正式生效，《单一欧洲法》对欧共体环境政策具有重大影响，彻底消除了欧洲共同体的环境权限，该法将“环境”条款加入欧洲共同体条约环境条款中，从而为欧洲环境法确立了明确的基本法根据。1992 年 2 月 7 日，欧盟缔结了《欧洲联盟条约》又称《马斯特里赫特条约》，明确规定，欧盟有权就环境问题进行立法。在联盟内部，委员会根据“环境行动计划”负责起草立法草案，理事会负责对委员会起草的草案进行表决。

1997 年 11 月 1 日，欧盟颁布了《阿姆斯特丹条约》，该条约最重要的修改是明确地提出了“可持续发展”的概念。将“可持续发展”的概念作为原则与目标写入了有关条约，并在《罗马条约》“环境保护”条款中规定：在界定和实施共同体政策与活动时，必须包括环境保护的要求，并将此规定升格为欧共体的一项原则。

1995 年，欧洲委员会及欧洲理事会环境理事就水管理政策改革达成共识，认为水管理应实施流域综合管理、整合所有涉水政策、设定污染物排放限值、明确排放及质量标准、突出公众参与，要将这些方面及各种保护目标综合到一个集成的、简约的法令框架中，并在该框架内开发综合的、可持续的、一致的水政策。按照这种理念，欧盟制定并于 2000 年颁布实施了《欧盟水框架指令》，该指令于 2000 年 12 月 22 日开始实施，是欧盟水管理的基础，建立了所有地表水（内陆、过渡带、沿海）、地下水保护的框架。以流域为尺度，强调水管理要综合所有水资源、水利用方式及价值、不同学科及专家意见，涉水立法、生态因素、治理措施、利益相关者意见和建议及不同层次决策等诸多因素，要加强政策、措施制定及实施的透明度，鼓励公众参与，并给出了流域水管理的基本步骤和程序。同时，指令规定了监督监测、运行监测和调查监测等监测模式，其中监督监测主要承担常规监测；运行监测主要针对的是不达标或存在环境风险的水体；调查监测主要根据某一特定需求而展开的。

欧盟水框架指令突破了行政区域限制，以流域为基本单元进行水资源保护综合规划与

管理,其主要特征有:① 将流域上、中、下游以及干、支流作为一个整体系统进行规划与管理;② 在对原有法律法规重新梳理基础上,形成了一套较为完善的水资源保护管理法规体系;③ 实行水量、水质和水生态系统统一管理,水体保护目标不仅包括污染控制和水质保护,还包括水文指标和水生态指标;④ 强化公众参与,让公众参与到规划制定到实施和评估的全过程中。

欧盟在环境政策和标准方面,1991年出台的《城市废水处理指令》,进一步明确了对待废水处理的严格规定,同年出台的《硝酸盐指令》,规定了要控制来自农业的硝酸盐对水体造成的污染。另外,1998年11月出台了《新的饮用水指令》,强化了饮用水标准。1996年通过的《综合污染预防和控制指令》(IPPC),旨在控制来自大型工业设施造成的水污染。

另外,欧盟建立了财政补偿、执法费用征收等一系列配套制度。欧盟在相关的法律法规中强化了“污染者付费原则”,即在事故发生时,污染者有责任承担清理和赔偿费用。比如,在英国,根据《重大事故危害控制法规》(COMAH),注册登记场所的经营者要支付管理机构(如环境署、卫生和安全执行局等)除了提供参照法律执行的建议外,在事故现场工作的费用,除了实际清理费用外,检查人员用于评估申请或事故调查的费用也会要求企业支付。另外,欧盟范围内的企业一般都有涵盖环境、健康和安全事故的保险,并依据企业的危险性和风险管理水平来确定保险费数额,从而促进企业加强自身安全管理。

1.1.2 国内相关法规、政策和标准现状

1.1.2.1 我国水污染控制法规

我国水资源保护的相关立法,主要包括《水法》、《水污染防治法》及其实施细则、《水土保持法》、《防洪法》等,就此形成了我国现阶段水环境管理的制度体系。从50年代起就由卫生部门负责开展水污染防治工作,其工作重点只是在于饮用水卫生管理方面。1984年5月11日,全国人大常委会通过了《中华人民共和国水污染防治法》,1989年又通过了《中华人民共和国水污染防治法实施细则》,此后又颁布了一系列相关法规。1995年,针对我国淮河流域的严重污染状况,国务院制定了《淮河流域水污染防治暂行条例》,1996年5月15日,人大常委会又通过了新修改的《中华人民共和国水污染防治法》。我国现行的《水污染防治法》共七章62条,各章内容依次为:总则,水环境质量和污染物排放标准的制定,水污染防治的监督管理,防止地表水污染,防止地下水污染,法律责任和附则。

十八届四中全会系统地提出了依法治国,为国家治理体系现代化提供了有力的法律基础;2015年正式实施的新《环保法》作为史上最严格的环境保护法,针对当前我国环境执法存在的有法不依、执法不严、违法不究等问题进行指导。《水污染防治行动计划》是我国水污染防治工作开展的最高指导方针,其提出了严格环境执法的具体措施,强化执法模式、创新执法手段、加强执法力度,措施具体翔实,责任分工明确,具备强有力的指导意义。《水污染防治行动计划》进一步提出“完善国家督查、省级巡查、地市检查的环境监督执法机制,强化环保、公安、监察等部门和单位协作,健全行政执法与刑事司法衔接配合机制,完善案件移送、受理、立案、通报等规定。加强对地方人民政府和有关部门环保工作的监督,研究建立国家环境监察专员制度”。

1.1.2.2 我国水污染控制政策

1973年第一次全国环境保护会议以及1989年第三次全国环境保护会议之后,我国环

境管理制度开始逐渐建立起来,其中 1989 年以前形成的环境管理制度称为“老三项制度”,1989 年以后形成的环境管理制度为“新五项制度”,合称环境管理“八项制度”,在这八项制度中,排污收费制度、总量控制和排污许可证制度是最值得关注的环境管理政策,与排污权交易联系也最为密切,它们构成了我国实行排污权交易的主要政策背景。

这八项制度主要包括:环境影响评价制度、“三同时”制度、排污收费制度、环境保护目标责任制度、城市环境综合整治定量考核制度、排污许可证制度、污染集中控制制度和污染限期治理制度。

我国从 20 世纪 70 年代开始水污染防治规划的研究,开展了大量水环境背景值、水体功能分区、水环境容量理论与总量控制方法的研究,20 世纪 90 年代以来,国家制定了多部水污染防治的计划和规划,如“三河”(淮河、辽河、海河)、“三湖”(太湖、滇池、巢湖)、重点工程(三峡工程、南水北调工程)的水污染防治计划、《淮河、海河、辽河、巢湖、滇池、黄河中上游等重点流域水污染防治规划(2006-2010 年)》、《全国地下水污染防治规划(2011-2020 年)》、《全国重要江河湖泊水功能区划(2011-2030 年)》等。2007 年底,国家环保总局出台了《“十一五”主要污染物总量减排考核办法》、《“十一五”主要污染物总量减排统计办法》、《“十一五”主要污染物总量减排监测办法》,构成了“十一五”期间主要污染物减排考核工作的“三大体系”,为污染物总量减排提供了重要支撑。“十一五”以来,中国污染物总量控制制度取得实质性进展,对遏制污染物排放已形成“强约束”,并推动了污染物排放逐步实现转折,“十二五”期间总量控制的指标中又增加了氨氮指标。总体上,总量控制制度的实施,对水污染物控制发挥了重要作用。排污许可证制度是作为总量控制制度的配套制度从 1988 年开始试行,到 1995 年底全国基本上实行排污许可证制度,2001 年、2004 年国家环保总局先后发布了《淮河和太湖流域排放重点水污染物许可证管理办法(试行)》、《关于开展排污许可证试点工作的通知》、《国务院关于落实科学发展观加强环境保护的决定》,进一步明确要“推行排污许可证制度,禁止无证或超总量排污”。截至 2013 年底,全国绝大多数省级行政区已将排污许可证制度纳入地方性法规,并制定了规范性文件。2008 年 1 月,国家环保总局公布了《排污许可证管理条例》(征求意见稿)和起草说明,标志着我国将通过立法全面推行排污许可证制度。

2015 年 4 月 2 日,国务院发布《关于印发水污染防治行动计划的通知》(国发〔2015〕17 号)，“水十条”从全面控制污染物排放、推动经济结构转型升级、着力节约保护水资源、强化科技支撑、充分发挥市场机制作用、严格环境执法监管、切实加强水环境管理、全力保障水生态环境安全、明确和落实各方责任、强化公众参与和社会监督十个方面部署了水污染防治行动,共制定了 10 条、35 款、76 项、238 个具体措施。区别于以往的环境保护规划,“水十条”对工业废水处理、城镇污水处理提标改造、污泥无害化处理处置、河流黑臭治理、农村畜禽养殖污染防治等均以明确的量化指标进行了详细的要求,这标志着我国以环境质量和环境效果为核心的环保新时代即将到来。

1.1.1.2.3 我国水污染控制标准

20 世纪 70 年代,我国制定了《工业“三废”排放试行标准》,20 世纪 80 年代,先后制定了《污水综合排放标准》等综合性标准。随着 1984 年《水污染防治法》的颁布实施,中国对轻工、冶金、石油开发等 30 多个主要行业逐步制定了行业水污染物排放标准,初步形成了行业水污染物排放标准体系。20 世纪 90 年代有关部门陆续制定了畜禽、造纸、

印染、合成氨、磷肥、烧碱、聚氯乙烯工业等多个工业行业水污染物排放标准。2000年以后,有关部门制定了《畜禽养殖污染物排放标准》、《城镇污水处理厂污染物排放标准》等。2010年,环境保护部修订发布了《地方环境质量和污染物排放标准备案管理办法》。

我国的水质标准于20世纪80年代逐步建立并完善,国家陆续制定了《地表水环境质量标准》、《海水水环境质量标准》、《农田灌溉水质标准》、《渔业水质标准》、《地下水质量标准》等,经过多年的发展和修订,已逐渐形成了一个相对完整的标准体系。其中,作为综合性标准的《地表水环境质量标准》,从1983年开始颁布实施以来,迄今为止已经修订3次,已成为中国水环境监管的核心尺度,依据地表水域使用功能和保护目标将水体划分为5类功能区,即自然保护区、饮用水源地、渔业、工业和农业等用水水域,并按照高功能区高要求、低功能区低要求的原则,分别赋予了I~V类的水质标准,水域功能类别高的标准值严于水域功能类别低的标准值。此外,我国已制定的污水水质排放标准、再生水利用水质标准、污泥泥质控制和应用标准20余项;污水输送、污水处理、工程施工和验收、城市水环境管理等方面工程标准30余项;水处理重要器材、设备、设施标准50多项,百余项现行相关标准为城市水污染控制和水环境综合整治标准体系的建立提供了基础。

近年来,为贯彻落实新修订的《中华人民共和国水污染防治法》,完善国家水污染物监控体系,环境保护部对现行的水污染物排放标准体系进行了补充,在原有的直接排放限值的基础上,设立了水污染物间接排放限值,并制定了《国家污染物排放标准中水污染物监控方案》,用以规范排放标准制订工作。从2010年开始,所有的行业排放标准中,均增加了间接排放标准值。到目前为止,共颁布了21项行业标准,大部分标准中设置了氨氮、总氮和总磷浓度的直接和间接排放限值。

2015年新颁布了《合成树脂工业污染物排放标准》(GB 31572-2015)、《石油炼制工业污染物排放标准》(GB 31570-2015)、《再生铜、铝、铅、锌工业污染物排放标准》(GB 31574-2015)和《无机化学工业污染物排放标准》(GB 31573-2015),并对《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002)进行了修订。

1.2 水污染治理行业管理现状

1.2.1 国内外水污染行业管理现状

美国在水污染防治方面,基本上形成了以污染控制技术的排放法规管理为主,以水质标准管理为补充,以总量控制和排污许可证为主要内容的水污染防治机制。其中,基于污染控制技术的排放法规包括最佳可行控制技术(BPT)、最佳常规污染物控制技术(BCT)、最佳经济可行技术(BAT)、现有最佳示范技术(BADT)等工业污染源控制规范和二级处理标准或等价于二级处理标准的市政污染源控制标准。

欧盟污染综合预防和控制指令(IPPC)是在欧盟各个成员国范围内为减少水污染等环境污染而实施的以最佳经济可行技术(BAT)为基础的许可证制度,它已成为欧盟环境法规的核心内容。其宗旨可分三方面:综合方面,实现对整体环境的高水平保护;污染预防方面,针对废弃物的预防措施,在没有可行措施的情况下,减少对空气,水和土壤中污染物的排放,预防所有大范围的污染;污染控制方面,采取所有适宜的污染预防措施。

我国环境技术管理体系整体框架包括:环境技术指导文件体系(污染防治技术政策、

污染防治最佳可行技术指南、环境工程技术规范)、环境技术评价制度(技术和项目筛选和评估、最佳可行技术评估、环境技术验证)和环境技术示范推广机制(环境技术示范机制、环境技术推广机制、环境技术信息系统)。2020年国家环境技术管理体系总目标为建立层次清晰分工明确、运行高效、支撑有力的国家环境技术管理体系,使环境技术管理成为国家环境管理体系的重要组成部分。

1.2.2 我国水污染治理行业技术发展现状

在水污染治理行业,企业作为环境保护科技创新的主体力量已初步形成,既发挥了企业在科技成果产业化、工程化的优势,也显示了企业的科技创新和技术开发能力。据《中国环境保护产业协会水污染治理委员会》统计,2014年,我国从事水污染治理产业的单位总计7000余个(年销售(经营)收入200万元以上的法人单位),其中从事水污染治理服务业的约5000个,占整个环保领域环境服务单位总量的60%左右;从事水污染治理产品生产经营活动的单位约2500个,占整个环保领域环境保护产品生产经营活动总量的50%左右。我国水污染治理产业总的销售收入约为2500亿元,其中产品制造业的销售收入约875亿元,占行业总收入的35%;环境服务业总收入约1625亿元,占行业总收入的65%。

近年来,我国水污染治理行业得到了较快发展,从全面实施工业废水治理,推动城市污水处理、普及小城镇污水处理,到近年提出的农村面源污染治理;从污染源末端治理,到推进清洁生产在生产过程中削减水污染物排放;从点源污染控制,发展到城市景观水体、河流湖泊的污染控制和生态修复;从推进达标排放,到推行“低排放”、“零排放”,以及污水回收再利用。《水污染防治行动计划》规定了工业废水治理、城镇生活污水治理、农业污染治理、港口水环境治理、饮用水安全、城市黑臭水体治理、环境监管等方面的相应目标,预计到2020年,将完成环境保护建设资金投入4万~5万亿元。

与市政污水处理相比,我国的重污染行业的工业废水排放远未得到有效控制,近年来比较严重的环境污染事件和曝光的环境违法事件几乎都与工业废水超标排放有关。工业废水的环境危害远远高于生活污水,对流域环境及居民健康造成的影响不可低估,此外,我国将进一步严格工业行业的废水排放标准,将不断加强工业废水污染治理对高新技术的市场需求。由于重污染工业行业排放的工业废水成分复杂、有毒有害、难于生物降解,这就对工业废水处理技术研发行业提出严峻的挑战,重污染工业行业排放的工业废水污染治理应选择正确的污染防治技术路线,应更多地采用清洁生产技术、过程减排技术和物料回收的资源化综合利用技术,要从单纯的末端治理走向全过程的污染控制,将更多地依赖常规生物处理以外的废水处理技术,包括:特效生物降解技术、物理法分离技术、物化法分离技术和化学法分离技术和降解技术等。

目前,我国水污染控制和水污染治理已经进入全面推进和综合整治新阶段,化工、石油、制药等行业高含盐废水给生化系统带来了不小压力,除了常规的蒸馏和离子交换等废水脱盐技术外,重点发展柱塞流填充床电解装置、改性纳滤膜资源化处理工艺、耐盐生物载体流化床工艺等。对化工等行业产生的高浓盐水,首先根据高盐废水的软化程度选择合适的软化方法,经软化后的高盐废水经过“超滤+纳滤”或“超滤+反渗透”等组合膜分离工艺进行脱盐处理,处理后的浓盐水可选用压缩蒸发和热泵蒸发以及相应固化措施回收盐。针对煤化工、食品发酵、制药、石油化工和有机合成等行业高氨氮废水(浓度在2000~

8000 mg/L), 可采用“蒸馏/精馏+生物处理”的工艺。对氨氮浓度在 300~800 mg/L 的中浓度氨氮废水, 重在分解含氮有机物, 可采用“物化强化(氨吸附、低温蒸氨)”和“化学氧化+生化强化”的污水处理工艺; 氨氮浓度在 800~2000 mg/L 的高浓度氨氮废水, 可采用膜分离技术结合物化+生化技术的工艺方法处理, 并对浓水进行深度处理。

针对造纸、制药、石化、纺织、有机化工等行业高浓度难降解有机废水, 重点发展高浓度难降解有机废水强化预处理技术, 单一的高级氧化技术处理此类废水的效果有待进一步提高, 所以两种或多种强化氧化的协同催化氧化技术的研究是难生物降解工业废水预处理技术的重点发展领域。重点发展具有较强分解复杂有机物能力的特效生物处理技术, 尤其是适合高浓度有机废水的厌氧生物降解技术。

随着污水排放标准的日趋严格, 需对部分已建污水处理设施进行升级改造, 进一步提高对主要污染物的削减能力, 大力提升脱氮除磷能力, 降低能耗和污泥产量。首先要加强对进水水质的源解析, 实地调研重点污染企业废水特征污染物类型和排放规律, 建立相应特征污染物数据库, 进行特征污染物对生化系统影响的毒性实验确定生化系统的耐受阈值, 提出特征污染物清洁生产和源头污染治理的综合控制对策。针对污水处理厂 COD 的稳定达标, 需发展膜生物反应器(MBR)处理技术、高级催化氧化技术和曝气生物滤池技术; 针对常规的生物脱氮工艺外加碳源需求量大、低温时脱氮处理效果不佳等问题, 大力发展生物膜法污水处理工艺、物化-生化法脱氮除磷工艺, 推广应用臭氧氧化技术、好氧生物流化床成套装置、好氧膜生物反应器成套装置、溶气供氧生物膜与活性污泥法复合成套装置。

1.2.3 水污染治理产业发展现状

以美、日、德三国为代表的发达国家环保产业已走过发展初期和迅速发展期, 进入技术成熟期, 对污染的控制方法、技术和手段趋于完善和成熟。环保产业的产值已占到了国内生产总值 10%~20%, 环保业在国民经济中所占的份额不断上升, 环保产业的就业人数增长率为 3%~10%, 在水污染治理方面, 开发了系列化的用于污染治理的设备、产品和水处理药剂, 以及各类水质监测设备。

2014 年初, 中国环境保护产业协会水污染治理委员会对本行业部分环保骨干企业进行了 2013 年度市场经营与企业发展状况的抽样调查, 涵盖了我国水污染治理行业的工程设计施工、设施运营、产品生产制造和水污染物资源化综合利用等四大领域, 参加抽样调查的 108 个环保企业在水污染治理领域的年销售总收入约 195 亿元, 较上一年度增加了 24.9%, 年末在册从业人员总数 23 655 人, 预计全行业当年的销售总收入约为 2300 亿元。在水污染治理领域, 主要有北控水务、碧水源、桑德环境、津膜科技等 10 家企业, 以北控水务、首创股份和创业环保等为代表的国有企业, 凭借资本、市场规模等多重优势, 依然引领着水务市场的发展方向, 代表性的大型民营企业桑德集团、碧水源等, 正逐渐向综合环境服务商的模式发展。以中持环保、大通水务、博天环境为代表的中、小环保企业, 在合同环境服务、中小城镇水务、排水管网、技术应用及创新等各自的细分领域处于领先地位, 领跑着各自所处的细分领域。

当前我国水污染治理行业发展的整体水平而言, 与“十二五”规划乃至更长时期环境保护和节能减排的要求, 以及与发达国家环保产业的发展水平相比, 还有一定的差距, 主

要体现在：一是水污染治理行业的总体供给能力和水平与环保发展需求还未很好适应，总体市场状况是供大于求；产业结构尚不合理，低水平制造能力过剩，高端产品、关键部件和材料依然依靠进口，市场急需的关键技术储备不足；新技术推广应用的渠道不畅、效果欠佳，先进高效的技术难于应用；环保产品质量的总体水平尚需提高，技术研发投资严重不足，部分重点领域的关键技术和重大装备还无法满足污染治理的需要。二是环保装备制造和环境服务业总体规模比较小，集中度偏低，集聚发展不够，综合服务业发展迟缓，服务水平低，服务能力弱。三是环保科技项目和科技经费的分配机制亟待优化，政府财政资金在环保科技方面的投入比例过小、总量不足；中小型环保企业难以得到国家科技资金的支持，企业自身的科技投入能力有限。

2 主要技术发展情况

2.1 水污染治理领域主要技术发展情况

2.1.1 污水脱氮除磷技术发展情况

传统的脱氮工艺采用时间或者空间上的顺序硝化/反硝化过程，虽然能够满足较低的出水氮磷要求，但是存在的问题是流程长、能耗高以及效率较低等缺点。随着国家对氨氮总量控制和排放标准的提高，现有处理工艺在气温较低时候难以稳定达到较高氨氮排放标准，此外，实现 TN 达标的也是迫切需要解决的问题。因此，污水处理许多生物脱氮的新理论和新工艺被开发出来。

异养硝化-好氧反硝化脱氮技术主要参与的酶包括：氨单加氧酶（AMO）、羟胺氧化酶（HAO）、亚硝酸盐还原酶（NIR）、一氧化氮还原酶（NOR）、氧化二氮还原酶（NOS）、周质硝酸还原酶（NAP），目前已从污水、污泥、土壤、污水处理反应器等分离出多种异养硝化-好氧反硝化细菌，已应用于高浓度有机含氮废水、高浓度氨氮废水、玉米酒精废水等。异养硝化-好氧反硝化实际是通过生物手段实现同步硝化反硝化，具有经济、高效、实用等特性。

SHARON 工艺（Single reactor for High Activity ammonia Removal Over Nitrite）是由荷兰 Delft 大学于 1997 年开发的脱氮工艺，其基本原理是在同一个反应器内，氨氧化细菌利用氧气将 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 氧化成 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ ；然后在缺氧条件下，反硝化菌利用有机碳源作为电子供体将 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 转化成 N_2 。SHARON 工艺成功在于巧妙地利用了硝化细菌和亚硝化细菌的生长速率不同，在较高温度下，硝化细菌的生长速率明显低于亚硝化细菌。ANAMMOX 反应是在厌氧条件下厌氧氨氧化细菌利用 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 作为电子供体，将亚硝酸盐还原为 N_2 ，SHARON-ANAMMOX 工艺与传统生物脱氮工艺相比，具有耗氧量少，污泥产量少，不需要外加有机碳源等优点。

应用于城市污水处理厂除磷的方法主要是生化法和化学沉淀法，由于磷是一种不可更新，难以替代的有限自然资源，实现磷资源的可持续开发利用是人类发展必将面临的重大课题之一。城市污水中含有大量的磷，排放到水体中不仅会引起富营养化，也浪费了磷资源。因此，利用污水处理过程中磷的迁移转化规律，采用合适的技术回收污水中的磷是实

现磷资源可持续利用的重要途径,越来越受到国内外污水处理界的高度重视。以磷酸钙盐、鸟粪石等磷酸盐沉淀方式从污水处理过程中回收磷已成为排水界研究的新热点。

2.1.2 城镇污水处理技术发展情况

低碳的、资源回收利用的零排放污水排放系统将是城镇污水处理技术路线的发展趋势,一是沿着传统污水处理厂工艺进行发展和改进,可在节能减排、提升水质等方面取得良好成效。二是以源头减量、循环利用、全过程控制为原则(符合清洁生产、循环经济和可持续发展的原则),实现最大程度污水能源与资源回收,减少化石能源消耗与浪费。三是新型城市污水资源化、能源化处理技术。膜技术是水处理发展的重要技术之一,在回用水和饮用水之外,通过将膜用于污水直接混凝和工业废水处理也是未来的发展方向。

随着国家对污染物排放标准的提升,近年来完成了大批污水处理厂的升级改造,升级改造主要从工艺改造、水力改造和设备改造3个方面入手,有针对性提高污水处理厂出水水质。

在工艺改造方面,一方面通过增加厌氧/缺氧处理过程、调整厌氧/好氧/缺氧的体积比、增设不同区域的污泥回流和混合液回流系统,将传统的活性污泥工艺改造为 Bardenpho 工艺、A²/O 工艺、改良 A²/O 工艺等,达到脱氮除磷目的。另一方面,采用活性污泥和生物膜复合工艺,如曝气生物滤池和生物流化床工艺等,发挥2个污泥系统的特点和优势,达到高效脱氮除磷的目的。

在设备改造方面,主要具体措施有:采用更高效的水泵和变频设备,提高输水能力和效率,国外利用磁悬浮轴承代替传统的机械轴承技术已日趋完善,该技术的应用可大幅度降低泵的磨损能耗,发展空间广阔;采用新型除砂系统,提高预处理的能力;采用高效的鼓风机控制系统和曝气设备,提高充氧能力;采用仪表、控制和自动化(ICA)实时监控和在线监测技术提高处理效率。特别是活性污泥仿真模型、BP神经网络模型等模型已在国内外大型污水厂应用日趋成熟,国内一些污水处理厂也在提标改造过程中逐渐引进类似模型,通过计算机优化控制工艺运行系统,实现整个系统的稳定运行与达标。

水力改造通常贯穿于工艺改造和设备改造,作为工艺、设备改造的辅助手段,主要是对构筑物优化布局和增设挡板等措施,改善流量分配不均、短流、死水区、密度流、射流和污泥流失等问题,如高密度沉淀池、BDP生物倍增技术均对水力优化提出更高的要求。

2.1.3 农村生活污水处理技术发展情况

在农村生活污水处理方面如何形成一整套处理效果好、运行费用低、管理便利的农村生活污水处理技术体系,已成为我国新农村建设的迫切需求。目前,农村生活污水治理面临的主要技术问题有:①污水水质、水量波动大,不同区域污水排放量和污染物浓度相差很大;②从水处理工程角度来看,污水源布分散,单个污水源产生量少,处理规模小,造成单位污水处理工程建设费及运行费用过高;③处理工艺和技术的选择受当地自然与生态条件(气温、地形、地质、水文等)的影响较大,难以采用“通用”的污水处理工艺。近年来,一些适用于农村污水处理要求的分散式处理技术得到了较快发展和推广应用。

土壤渗滤技术利用生态学原理与环境工程技术,将经过前处理的污水流入到具有一定构造、良好扩散性能的土层中,在毛管浸润和土壤渗滤作用下,利用土壤的物理、化学和

生物净化功能,使生活污水中有机物氮、磷等物质得以转化利用,从而实现污水的再生与循环利用,以实现中水回用的目的。土壤渗滤系统中,N的脱除机理主要是微生物脱N,P的去除机理主要有作物吸收、土壤微生物的生物同化和土壤化学固P。土壤渗滤系统的应用上有以下优点:①利用原有土地对污水进行处理,不需要基建费用,不需要人为铺设填料,就地取材,工程造价较低,管理方便,运行费用低;②土地资源易得,且可以结合相应的地形,隐蔽处理,不破坏景观,建设面积比人工湿地系统小,系统建成后,可复耕。

人工湿地技术是一种利用工程手段模拟自然湿地系统的人工生态系统,利用自然生态系统中物理、化学和生物的重重协同作用来实现对污水净化处理,在构筑物底部按一定的厚度分层填充选定级配的不同填料(如碎石、砂子、沸石等),组成填料床,不同填料层厚度受水力负荷、水的流速及填料级配的影响。不溶性有机物主要是通过湿地填料的沉淀、过滤作用被截留在湿地中;可溶性有机物则通过填料表面生物膜及植物根系的吸附、吸收及生物降解过程而被分解去除。生物降解过程主要是通过好氧和厌氧代谢使污水中的BOD和COD得到降低。人工湿地中,N、P主要通过填料及植物的吸收及与其他有机物结合被去除或产生气态物质(如 NO_2 、 N_2 、 PH_3)释放到大气中。人工湿地工艺在农村生活污水处理上有以下优点:①模拟自然系统并对其进行人工改造,对污水的处理效率较高,填料介质可以就地取材,工程造价较低;②湿地表层种植各种湿地植物,可以通过植物的搭配,达到美化环境的效果。

农村污水太阳能驱动一体化生物膜处理技术将太阳能引入污水生物处理系统,构建一种新型太阳能驱动一体化生物膜反应器,不仅解决污水处理设备对电能的依赖,而且将太阳光的日变化规律和污水处理过程中对溶解氧的不同要求相结合,在去除有机污染物的同时还具有一定的脱氮功能。

2.2 我国自有知识产权技术竞争力评价

2.2.1 ABFT 废水深度处理与生物脱氮技术评价

ABFT 废水深度处理与生物脱氮技术是近年新兴的一种生物法去除低浓度、难降解有机物和氨氮的污水处理技术,其流化介质采用了 NC-5ppi 型专用生物载体,通过接种 nitrobacteria-II 高效菌种与载体的自固定化技术将成活后的微生物固定在生物载体上。该技术不仅在市政污水深度处理回用领域得到应用,还广泛应用于化工制药、煤焦化、印染制革、玻纤等行业废水深度处理及生物脱氮。

技术优势主要体现在:①采用接种 nitrobacteria-II 高效菌种,一次接种投加,稳定运行后无需补充;②流化载体固着微生物量大、传质快、反应效率高;③采用新型 NC-5ppi 载体,切割气泡效果好、流化动力低;④运行受水温、水质、水量波动影响小,一般市政污水深度处理无需补充碱度;⑤水力停留时间短,占地面积小,较传统硝化一反硝化脱氮工艺减少 80%空间。

该技术应用于浙能长兴电厂城市中水综合利用工程,年处理污水量约 2190 万 t,运行成本 0.196 元/ m^3 ,进水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 平均浓度为 8.92 mg/L, COD 进水平均浓度 40.04 mg/L,应用该技术后出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 稳定在 0.45 mg/L 以内, COD 稳定在 9.5 mg/L 以内。年削减 $\text{NH}_3\text{-N}$

排放量 185.5 t, COD 排放量 668.8 t, 每年产生经济效益 447.1 万元。

2.2.2 生活垃圾填埋场渗滤液治理工艺系统优化集成技术评价

生活垃圾填埋场渗滤液治理工艺系统优化集成技术采用预处理+MBR(二级 A/O+UF)+NF/RO 来完成垃圾渗滤液的处理, 各个单元功能独立, 可灵活调整, 处理效果根据业主要求可达到不同的排放指标, 投资和运行成本低。

MBR 系统由二级 A/O 生化系统和外置管式超滤膜系统两部分组成。一级 A/O 系统水力停留时间 5~7 d, 二级 A/O 系统水力停留时间 1~2 d, UF 将生化系统的污泥浓度提升至 15~30 g/L。

生活垃圾填埋场渗滤液经过本技术治理后, 出水水质可以达到《生活垃圾填埋污染控制标准》(GB16889-2008) 中的出水要求。应用本技术的工程运行成本较低, 约为 25 元/吨。该技术成果的实施以削减污染物的角度出发, 对处理量 200 吨/天的项目, 年削减 COD 的量为 202 吨, 降低了环境容量的承载压力, 具有明显的环境效益和良好的社会效益。

宁波大岙垃圾填埋场渗滤液处理系统升级改造工程项目业主单位为宁波枫林绿色能源开发有限公司, 建设地点为宁波市北仑区小港宁波枫林绿色能源开发有限公司, 处理规模为 840 吨/天, 出水水质达到《生活垃圾填埋场污染控制标准》(GB16889-2008) 表 2 标准, 投资 936 万元, 运行成本为 16 元/吨(不含原系统耗电成本)。

2.2.3 生物技术处理高浓度有机废水技术评价

厌氧技术在高浓度工业废水处理领域应用较广, 特别是厌氧颗粒污泥床技术经历 UASB、EGSB 以及 IC 工艺的不断革新, 其处理负荷也大幅度提高。近年来, 厌氧技术在处理难降解高浓度废水、含高硫酸盐高有机浓度废水的成功案例越来越多, 厌氧颗粒污泥技术结合预水解技术以及高级氧化预处理技术, 在处理更多类型的高浓度有机废水方面发挥巨大作用; 根据硫酸盐还原菌(SRB)、产酸菌(AB)、光合菌(PSB)和产甲烷菌(MPB)的生态位特征开发研制的光合厌氧反应器也成为厌氧发展的技术路线之一。生物电化学技术是近十年来的研究热点, 包括微生物燃料电池(MFC) 产电技术和微生物电解池(MEC) 产氢技术。理论上, 微生物燃料电池可使污水的能量回收率超过 80%, 但仍存在反应器放大的困难, 离生产性应用还相距甚远。实践中普遍采用的是厌氧消化技术。传统厌氧消化技术源转化率 30%~40%, 而高级厌氧消化技术(Advanced Anaerobic Digestion)可提高到 50%~60%。高级厌氧消化技术包括高温厌氧消化、温度分级厌氧消化(TPAD)和酸-气两相厌氧消化。

2.2.4 去除高悬浮物和总磷的处理技术评价

针对当前污水处理厂出水悬浮和总磷超标比较普遍的问题, 近年来开发的超磁分离水体净化技术达到了较好的处理效果, 已列入 2012 年《国家鼓励发展的环境保护技术目录》。该技术原理是通过向被污染的水体中投加磁种介质, 在絮凝剂和助凝剂的作用下, 水体中的悬浮物形成以磁种为“核”的微磁絮团, 微磁絮团在通过超磁分离机水体流道时被磁盘所“捕获”, 快速实现泥水分离, 从而达到对水体的净化处理。超磁分离技术可有效去除悬浮物、总磷、非可溶性 COD、重金属等污染物, 对 SS 和总磷去除率大于 95%。适用

于污水处理厂升级改造和污水的深度处理，近年来在河道水体快速修复、水污染事故的应急处理中得到了应用，在北京北小河污水处理厂、小汤山景观湖区净化工程等项目中得到应用。

3 主要问题和解决思路

3.1 我国水污染治理存在的主要问题

当前，水环境污染呈现复合型和叠加性特征，除 COD、氨氮、总磷等常规污染物外，重金属和有毒有害持久性有机污染物，对自然水体的威胁日益严峻，出现新旧污染源、点源和面源、二次污染叠加的新问题。水体污染的科学本质是自然水体循环或伴生过程的失衡问题，人类的工农业生产和聚居生活对自然水体的开发利用和影响，天然的一元自然水体循环结构就被打破，形成了“自然—社会”二元水循环结构，即完整的水循环系统由“降水—坡面—河道—地下”为基本过程的自然主循环与区域“取水—供水—用水—排水”为基本过程的社会侧支循环耦合而成。因此，从根本解决城市黑河、臭河和垃圾河现象，提升平原河网和流域水环境质量，消除湖泊和水库藻类暴发等突出水环境问题，需要遵循水体的社会循环，不损害或少损害水体自然循环的客观规律，社会物质流循环中不切断、不损害植物营养素的自然循环，排放的污染物总量不超过其自净能力，外来污染物不积累于自然水体，从而实现水体的健康循环和水体功能的可持续利用。

在当前水体污染已呈现常态化、复杂化的新形势下，短期内实现水环境质量根本性好转的治本措施是有效控制各类污染源，降低排入自然水体的各类污染物的总量，恢复水体自净功能，由于人类活动引起的水污染源主要有：工业源、农业源、城镇生活源和集中式污染设施排放源，其中，工业源排水量及污染物总量相对较小，但污染物种类多、治理难度大，容易引起水环境质量急剧恶化并引发污染事故；农村面源污染具有分散性、随机性，以及不易监测和难以量化的特征；城镇生活源和集中式污染设施排放源的水量大、水质相对稳定，污染物浓度中等，含有较高的 N、P 等营养物，并含有大量的病菌等污染物。

3.1.2 解决思路

实现水环境质量的持续改善和良性循环还需建立基于水循环的污染物总量控制机制，建立全过程污染防控模式，采取源头减排、过程控制和末端治理相结合的综合治理手段，同时对水污染治理的技术发展提出了新的要求，主要体现在：① 污水处理技术对污染物去除能力和效率需进一步提高。一方面，随着污染强度不断增大，污染物种类日趋复杂，传统的生化处理工艺和物化处理工艺对废水/污水中持久性有机污染物、环境内分泌干扰物、药物和个人护理品残留等去除率低，迫切需要高效的深度处理工艺，如高级氧化技术、膜分离技术等。② 节能降耗和能源综合利用技术是未来污水处理技术发展的重要方向。污水厌氧消化是一个能量释放过程，而城市污水处理本身是高能耗行业，以高效厌氧消化等成熟技术进行能量回收，污水处理能源自给率可达到 60% 以上。污水节能降耗处理技术需求主要包括污水处理单元高效控制技术和节能降耗新设备的应用。③ 污水处理过程的资源综合利用技术。污水污泥中蕴含丰富的磷资源，采用污水磷回收技术将污水中的磷转化

为磷酸钙和磷酸铵镁等有机磷肥还归于农田,能够实现自然界磷元素的良性循环。还有污水生物质能回收技术(PHA 生物塑料回收技术等)均可实现废水的资源化利用。④ 污水深度处理回用技术是实现水资源再生利用的技术保障。在工业行业自来水价提高和废水回用率要求的双重压力下,通过高级氧化和膜技术等深度处理技术实现印染、造纸和化工等工艺废水的深度处理满足不同工艺段用水水质要求,最大限度地实现工业废水循环利用。

3.2 我国现有政策、法规与技术发展的矛盾和改进思路

3.2.1 我国现有政策、法规与技术发展之间存在的矛盾

(1) 水污染治理行业规模偏小,技术水平不高

我国水污染治理行业整体创新能力较弱,大部分环保企业为兼营,近 85%都是中小型企业,技术设备落后,专业化水平低,尚未形成规模效益。

(2) 水污染治理行业发展不平衡

由于水污染治理行业的标准化程度低,针对不同的水污染治理项目需个性化的定制技术方案,对环保企业而言需要较高的技术支撑,尽管在水污染防治设施运营有着很大的市场需求,大多数中小企业由于技术不过关、资金不充足而参与行业竞争的意愿低,导致高技术高水平的水污染防治企业较少,出现市场供需失衡的现象。

(3) 污染治理设施社会化运营水平不高

长期以来,环保市场监管缺位,环保监督执法与市场监管分离,行业自律能力薄弱,造成市场不正当竞争现象严重,水污染治理设施社会化运营已经有了一定规模的发展,但社会化运营在我国还处于起步阶段,法规制度不健全、缺乏激励扶持政策、市场不规范等基础性问题尚待解决。

3.2.2 改进思路

水污染治理关键技术装备与材料是水污染防治的基础的物质支撑,政府要加大对环保技术研发的资金投入引导,建立多层次的环保产业园,支持企业对环保新产品、新技术、新工艺的研发和推广应用,加快示范工程建设,重点扶持环保共性产品的产业化和关键设备国产化。

政府应利用发达国家水污染治理技术转让的有利时机,积极促进环保产业的国际技术合作,引进国外先进技术和高端人才,帮助环保企业实现技术创新目标。同时,采取市场经济政策措施,鼓励有实力的环保企业搭建产学研平台,采取联合、联盟、产学研合作等各种形式,集聚资金、技术、管理等优势资源,发展具备提供水污染治理综合服务能力的领军企业,提升水污染治理行业的产业化水平。

鼓励环保产品出口,加强政府在环保产业国际贸易中的作用,政府应为环保产业参与国际竞争扫除障碍,提供出口信息服务、减免出口关税、简化行政手续。同时,应以政府的名义在国际有关组织中为环保企业争取权益。

优化科技资源配置,加强对中小型环保企业科技创新的资金支持,改革科技项目资金补助的分配机制,鼓励和培育中小环保企业的科技创新;建立环保科技开发基金,动员社会各方力量,实行国家财政科技补助资金、金融信贷资金、大型企业资金投入相结合的科

技投入保障体系；重视科技成果的推广应用，建立政府主导、市场机制为基础的科技推广平台，提高科技成果推广应用的实际效果。

4 建议

4.1 优先发展水污染控制技术领域

“十三五”期间，国家将在 COD、氨氮减排的基础上，加强对 TN、TP 和重金属等的污染控制和总量削减；水污染防治仍以城镇生活污水、难处理工业废水为重点，同时加强农村生活污水、畜禽养殖废水处理。

(1) 工业废水治理技术需求

随着《纺织染整工业水污染物排放标准》(GB 4287-2012) 的出台和实施，与《纺织染整工业水污染物排放标准》(GB 4287-92) 相比，对主要污染物的排放要求有大幅度提升，对单位产品排水量的进行了限制，在印染废水治理方面需开发超滤-纳滤-反渗透的集成膜分离深度处理工艺，针对印染废水中染料中间体和助剂生化性差的问题，重点开发高效低耗的水解酸化处理工艺和催化氧化预处理工艺。

电镀废水水质复杂，废水排放较敏感，有氰电镀工艺还排放毒性较大的含氰废水，电镀废水处理后的污泥为危险废物，因而，电镀行业废水应重点开发用于回收高浓度的镍、铬和铜的集成膜工艺，开发含氰废水氯氧结合的破氰氧化处理方法，开发含铬废水的的碱沉淀法、离子交换法和膜法处理工艺。

造纸行业废水排放量大、悬浮物浓度较高(SS)，非溶解性 COD 占总的 COD 比重大。造纸行业存在的问题主要是清洁生产水平较低和造纸白水回用率低，其技术需求主要是高效造纸纤维回收利用设备和白水深度处理技术。因而，造纸白水回收应重点开发高效的多圆盘过滤机、同向流斜板沉淀和浅层气浮等设备，造纸废水厌氧处理应开发高效的 UASB (升流式厌氧污泥床)、IC (内循环厌氧反应器)、ANAMET (厌氧接触法) 等工艺；好氧处理应开发抗冲击能力强的氧化沟、带选择区的完全混合曝气、SBR 等工艺。造纸废水深度处理和回用应开发离子交换、超滤、纳滤、反渗透等单元处理技术组合工艺。

化工废水成分复杂、有机污染物繁多，含酚类、苯类、取代苯类化合物等生物毒性物质。化工废水处理的技术难点是对反应单元中间环节物料的资源化回用、高 COD 和高氨磷废水的预处理。因而，化工废水应重点研发高效集成膜技术、电催化氧化技术、MVR 高效脱盐技术、电絮凝技术、湿式氧化技术、高效脱色絮凝剂及混凝剂、新型生物脱氮除磷技术及优化组合工艺。

(2) 城镇污水处理技术需求

针对当前污水处理厂的建设需求和现有城镇污水处理的提标改造需要，应该重点开发和推广应用小城镇污水处理厂尾水深度处理的臭氧-活性炭处理技术和人工湿地生态治理技术，达到国家一级 A 排放标准的城市生活污水脱氮除磷处理技术，污水处理厂高效节能曝气和升级改造技术，厌氧发酵沼气能源回收再利用技术，硝化/反硝化滤池技术和磁分离水处理技术等，为了满足污水处理厂再生水利用的技术需求，需重点研究滤布滤池等高效过滤设备和以膜生物反应器技术。

(3) 农村生活污水治理技术需求

农村面源污染具有分散性、随机性、波动性、季节性特点,农村面源污染治理的难点在污染面广量大、收集困难,运行管理难度大,需要因地制宜选择适用处理工艺。农村生活污水处理技术的选择要参考各地农村的区域区位、受纳水体、经济水平等客观条件,农村生活污水的技术需求为多样化和组合化,根据农村生活污水治理的目标要求,应重点研究和推广预处理+生态滤池技术、厌氧+复合人工湿地技术、高负荷地下渗滤污水处理复合技术、多介质土壤渗滤污水处理技术、净化槽污水处理技术、厌氧+生物接触氧化法+人工湿地技术、厌氧+潜流人工湿地技术和预处理+生态塘技术等。

(4) 河道治理技术需求

河道治理的重点是消除黑臭河道、恢复河道基本水质功能,通常需要通过物理、化学和生态的综合治理方法重新建立生态系统,因此,河道治理在截污、清淤和驳坎基础上,治理技术发展的重点应是生态修复技术,利用生态系统中植物的吸收作用以及微生物的降解作用恢复水体的自净能力并改善水质。适用的生态修复技术有:水生植物修复技术、人工湿地技术、水培技术、生态浮岛技术、生物调控技术、微生物修复技术和仿生植物净化技术等。

4.2 需配套的环境管理制度、标准和政策建议

4.2.1 环境政策建议

(1) 加强水污染控制相关法规和考核制度建设

强化与水污染控制环境保护法规、政策以及环境监管体制相关的基础研究,开展完善环境保护目标责任考核、污染物排放总量控制等创新制度的研究;研究推进环境保护工作的环境经济政策。

(2) 充分发挥市场机制的作用

加快水污染治理工程投融资体制改革和运行管理机制创新,建立促进环境友好型社会建设的资源环境税收政策和消费政策。完善水价形成机制和排污收费制度。逐步提高水利工程供水水价,合理调整城市供水价格和污水处理费,提高水资源费征收标准。城市生活用水推进阶梯式水价,工业用水实行超定额累进加价制度。将污水处理费作为行政事业性收费,由政府实行强制征收,财政专户管理。

(3) 引导公众参与水污染防治,加大水环境执法力度

政府要做好宣传教育工作,积极发挥群众的主动性,鼓励大家参与到水污染防治的监督管理工作中,逐步形成社会公众关心水环境质量和爱护环境的良好社会风气。以新《环境保护法》的实施为契机,完善统一的管理机制和加大水环境执法力度。

4.2.2 环境管理建议

(1) 以市场机制为导向,实行水环境管理

进一步推进和深化水污染物排放许可证制度的试点工作,加强环境监管能力入手,尽快解决排污许可证制度实施中监测、报告、核查等环节存在的关键问题,为排放许可证制度全面推行提供必要的基础和条件。运用市场机制,实行水的有偿使用,包括制定合理的

水资源价格政策、排污交易政策，进一步明晰排污收费制度的政策目标，推动排污收费由费改税，制定适合我国国情的环境税收政策等，鼓励重点地区和重点行业提高排污费征收的标准。

(2) 推行以流域为单位进行水资源综合管理

逐步建立以水环境质量为核心的水污染防治政策目标，将量化的水质改善目标纳入水污染防治的各类考核制度，针对当前我国水环境管理中的条块分割、城乡分割、部门分割较为严重的现象，设立一个专门的流域管理机构负责流域水资源的统一管理，而且在管理权限和财务方面逐步独立，加强对流域内各地方政府水环境工作和企业排污行为的监督和管理。

(3) 加强水环境综合管理研究

重点研究流域水污染物总量控制制度，逐步扩大总量控制范围，将总磷、总氮等水污染物指标逐步纳入总量控制。优化污染物排放总量分配机制，考虑区域之间的差异，建立指标的调节机制。、水环境监测全过程质量管理体系；研究不同行业的产污水平和清洁生产技术水平；开展不同区域环境承载力和环境污染损失调查方法研究，以及对环境污染与经济损失的关系和环境污染的经济补偿技术的研究。

(4) 积极引导社会资本进入水污染治理市场

合理划分政府与市场边界，明确水污染治理投入主体和职责分工明确排污企业和治污企业在污染治理中的责任。建立并完善与环境污染第三方治理相适应的预处理标准体系与相关制度。进一步放开并规范水污染防治领域的市场准入制度，鼓励专业化污染治理公司进入污染治理设施的投资、建设、运行和维护管理等领域，进一步完善污水处理市场的价格形成机制和监管机制。

村镇污水处理技术发展报告

1 所属行业或领域总体概况

1.1 国外管理制度发展现状

在美国、日本、英国等发达国家，已经完成了城市化，城市与农村的基础设施差别并不是很大。村镇污水处理等基础设施的建设模式与管理模式已经相当的成熟，我国在推进城镇污水处理时可以借鉴这些国家的相关经验。

1.1.1 多渠道融资方式

在美国，1987 年就开始实施的《清洁水法案》要求联邦政府用分配给各州的拨款建立水污染控制工程的周转基金，就是清洁水州滚动基金计划，用以代替联邦拨款计划。目前美国各州都已经有了比较完善的州滚动基金计划。滚动资金主要来自联邦政府和州政府，这些资金作为低息或者无息贷款拨付给重要的环保项目。当滚动资金不能满足需求时，还需要依靠其他渠道的资金来源，包括国家环保局、农业部、房屋及城市发展部等部门的资助。

香港 BOT 项目的成功经验在污水处理中的推广具有重要意义。BOT (build-operate-transfer) 即建设-经营-转让，是政府通过契约授予私营企业（包括外国企业）以一定期限的特许专营权，许可其融资建设和经营特定的公用基础设施，并准许其通过向用户收费或出售产品的方式以偿还贷款，回收投资并赚取利润，特许权期限届满时，该基础设施无偿移交给政府。

英国的“私人主动融资模式”是目前国际上应用最为广泛的项目融资模式，在污水处理设施方面，这种方式也较为常见，为英国环保事业的发展作出了无法磨灭的贡献。另外，英国的“特许经营”和日本的污水处理市场化理论都较为成熟，值得借鉴。

国外的环境公共管理方面，很多都以“污染者付费”为原则，部分环保资金以污染收费的方法筹集。“污染者付费”是 1972 年由经济合作与发展理事会提出的，该原则作为环境保护的一项基本原则很快被国际社会广泛接受并采纳。

1.1.2 多级别管理模式

美国国家环保局提出了 5 种管理程度逐步加强的管理模式：一是户主自觉制；二是保养合约制；三是操作准许制；四是管理实体操作和保养制；五是管理实体所有权制。这五种管理模式的管理程度随着处理系统的复杂性及其对周围环境的敏感性增加而增强。一项

法国的全国水资源调查结果表明,目前已有 99%的人都用上了安全卫生的自来水,这与近年来法国水务管理的改进是密不可分的。在法国,水被视为国家资源,国家具有专营权,所以水厂永远是公有化,私人企业只有在各级政府的特许下,采取招标方式,获得投资、经营和使用权力。政府对水厂的设备、施工、服务及水价都做出了详细规定,这样既引进了私营企业先进的商业化管理概念,又可以有效地保证水质,为民众提供优质服务。

日本村落以上的污水设施大多具有公营或者合营性质,建设资金主要由各级自治体(市、町、村)筹集,国家给以财政支持。日本是主要发达国家中城市化进程完成最晚的国家,而且由于日本独特的土地政策,至今在乡村地区还保留了很多小规模农户,但是日本农村污水治理的水平在主要发达国家之中首屈一指。这都要归功于政府主导、家庭参与和第三方负责的乡村污水治理的组织与实施体系。

1.1.3 多层次监督体制

在日本,县(市)级的行政机关及其指定的机构,对污水治理设施的申请设立、变更、废除具有审批权,并通过指定的机构对建设与运行的质量进行监管。监管有两种,一种相当于设施建成后的验收检查,主要对设施建成后的出水水质和运行状况进行评估;另一种是设施运行过程中的定期检查,相当于运行监管。作为第三方的行业机构在分散污水治理中担负很重要的角色。行业机构包括设备制造公司、建筑安装公司、运行维护公司和污泥清扫公司,行业机构均需取得相应的资质,并且从业人员都必须通过培训和考试获取相应的专业证书。此外,还有专业性的行业协会和培训机构等,在开展分散污水治理技术的研究、推广、宣传教育、专业人才培养方面做出了很大贡献,每年都为该行业培训出足够的合格的技术人员和管理人员。

美国主要的管理实体类型有联邦、州和民族地区的行政部门、地方政府的办事机构、特别目的区和公共事业实体以及私有运营管理实体等。各级政府在开发和执行污水处理系统管理上具有不同的分工,它们共同的职责是颁布和执行与污水处理系统相关的法律法规,提供资金和技术支持,监督行政部门和其他管理实体对分散污水处理系统的管理工作。在联邦政府层面,国家环保局的职责是通过执行相关法案来保护水质。在这些案法下,国家环保局设立并管理许多与分散型污水处理系统管理相关的计划和项目。州和民族地区政府则是通过各种行政部门来管理分散型系统,通常是由州或民族地区的政府办公室负责制定规章,由当地办公室来执行管理。

1.2 国内管理政策体系现状

1.2.1 我国村镇污水管理机制

(1) 我国管理法规与标准

我国目前已颁布并正在执行的水污染物排放标准约 35 部,其中仅有宁夏,福建和江西三省区出台了农村生活污水排放标准。在北京、浙江、江苏、湖北等省市出台的地方农村生活污水处理实用技术指南、技术导则等规定中有相关标准,涉及有关农村地区污水处理的调节池、污水净化沼气池、人工湿地、稳定塘以及污泥处理的相关规定。我国农村环境保护迫切需要填补法律空白,依法实施法律监管,以畜禽养殖污染和土地污染为突破口,

《畜禽养殖污染防治条例》和《土壤环境保护法》等相关法规正在准备中。

全国各地根据自身具体情况采取不同的管理方法,《西宁市污水处理费征收使用管理实施办法》已出台并于2016年1月30日起执行,有效期5年。污水处理费是按照“污染者付费”原则,由排水单位和个人缴纳,并专项用于城镇污水处理设施建设、运行和污泥处理处置等的资金。《陕西省城镇污水处理规范化管理考核办法》(试行)本办法自2014年1月1日起实施,有效期至2018年12月31日。

(2) 国内村镇污水管理机制存在问题

由于对村镇基础设施建设的忽视,导致我国现在污水处理厂的建设缺少一个权责明确的行政监督机制,由于这个机制的缺失直接导致污水处理厂以及其他的基础设施的建设效率低下,建设质量低劣的局面。

① 村镇污水处理厂建设监管机制相对不完善。我国政府管理和分配“二元”经济模式,使得对村镇基础设施建设投入缺乏良好的制度条件。长期以来,我国的二元发展模式重工轻农,重城市轻农村的策略,造成了长期对村镇关注力度不够的局面,这就直接导致了现在的村镇污水处理厂以及相关的基础设施的建设监管制度,以及行政监督制度的缺失。

② 村镇统筹规划不合理且产业化程度低。由于现在村镇的发展速度很快,村镇规模不断增大,导致很多地区村镇之间相互交叉,已经没有了明确的行政区界限,但各个行政区之间政策的执行又是独立的,多不能同意执行相关的政策,这样就直接造成村镇建设政策无法有效执行。村镇的发展水平与村镇规模,功能定位和产业布局不匹配。

③ 村镇污水处理厂投入的主体责任感和动力不足。村镇污水处理厂建设主体的划分较为模糊,投资主体缺乏。实行分税制以来,大多数乡镇一级财力十分有限,很多乡镇、政府沿袭传统的城市建设体制,新建各种城建项目,削弱了政府在村镇基础设施建设方面的作用。按照国家相关政策规定,政府并非法人和实体,不能成为独立的融资主体,既不能向银行融资也缺乏还贷保证。

1.2.2 我国村镇污水控制新政策

(1) 水十条

2015年4月16日,国务院正式发布《水污染防治行动计划》,简称“水十条”。环保部所属中国环境规划院是“水十条”编制组牵头单位和主要技术支持单位。“水十条”将实施最严格的源头保护和生态修复制度,主要内容包括全面控制污染物排放,着力节约保护水资源,全力保障水生态安全,充分发挥市场机制作用,明确和落实各方责任。

行动计划提出,到2020年,全国水环境质量得到阶段性改善,污染严重水体较大幅度减少,饮用水安全保障水平持续提升,地下水超采得到严格控制,地下水污染加剧趋势得到初步遏制,近岸海域环境质量稳中趋好,京津冀、长三角、珠三角等区域水生态环境状况有所好转。到2030年,力争全国水环境质量总体改善,水生态系统功能初步恢复。到本世纪中叶,生态环境质量全面改善,生态系统实现良性循环。主要指标是:到2020年,长江、黄河、珠江、松花江、淮河、海河、辽河等七大重点流域水质优良(达到或优于III类)比例总体达到70%以上,地级及以上城市建成区黑臭水体均控制在10%以内,地级及以上城市集中式饮用水水源水质达到或优于III类比例总体高于93%,全国地下水

质量极差的比例控制在 15%左右,近岸海域水质优良(一、二类)比例达到 70%左右。京津冀区域丧失使用功能(劣于 V 类)的水体断面比例下降 15 个百分点左右,长三角、珠三角区域力争消除丧失使用功能的水体。到 2030 年,全国七大重点流域水质优良比例总体达到 75%以上,城市建成区黑臭水体总体得到消除,城市集中式饮用水水源水质达到或优于 III 类比例总体为 95%左右。

据了解,目前江苏省正在结合水环境战略研究,加紧编制江苏省治水“升级版”,制定“江苏水十条”实施方案,全面提高全省水污染防治水平;山东省环保厅第一时间召开厅长专题会,副厅长葛为砚召集厅机关有关处室和直属单位负责人对“水十条”进行深度解读和分析,结合全省实际情况,研究讨论贯彻落实“水十条”工作方案;广东省环保厅表示,“水十条”中的目标与广东省已经出台的《南粤水更清行动计划(2013—2020 年)》基本一致,不过,南粤水更清计划的目标是到 2020 年,“水十条”提出了 2030 年的目标,正在对“水十条”进行研究,会根据广东省的具体情况再制定相应的落实方案;北京市环保局针对“水十条”与水务局一起研究,并将制定出落实“水十条”的京版方案,除了完成国家明确的水污染防治任务外,北京市还将提出自己的目标,北京市的水污染防治工作主要体现在上游保护、下游治理。

(2) 村镇污水控制 PPP 模式

PPP 模式是指政府、营利和非营利性企业基于某项目形成的合作关系。PPP 模式的典型结构是:政府通过政府采购形式与中标单位公司签订特许经营合同,由其负责筹资、建设、运营,政府与金融机构达成直接协议,承诺按合同支付有关费用。政府在 PPP 模式中既要提供信用担保和特许经营协议,又要作为一个投资主体参与项目建设,承担一定的风险。政府和企业“风险共担、诚实守信、利益共享”,这是 PPP 模式良性运行的前提。PPP 项目的运作需要在法律层面上,对政府部门与企业部门在项目中需要承担的责任、义务和风险进行明确界定,保护双方利益。

乡镇污水处理 PPP 项目打捆招商交易程序复杂,专业性强,涉及特许经营、水务行业、财务、法务、商务等众多领域和各乡镇的实际情况,一方面要求制定相应的政策和规范化、标准化的 PPP 交易流程,对项目的运作提供技术指导和相关政策支持;另一方面需要专业化的中介机构提供具体专业化的服务。一般县级以下政府都不具备类似的专业人才和操作经验,若无专业咨询机构协助,政府和社会公共利益难以得到保障。因此水处理技术单位和投资咨询单位应根据自身专业技术优势在 PPP 模式运作中发挥着重要作用。

2 主要技术发展情况

2.1 主要技术发展情况

村镇污水处理根据处理规模的不同,可分为集中式处理和分散式处理;按照处理工艺的不同,可分为常规处理和生态处理。

2.1.1 人工湿地

人工湿地根据布水方式或污水在系统中的流动方式,一般可分为自由表面流人工湿地

系统和潜流人工湿地系统,后者又可分为水平流和垂直流两种。表面流人工湿地水位较浅,多在 0.1-0.9 m 之间,处理能力较低,并且在寒冷地区冬季水体易结冰,但其造价最低,多用于气候温和、有广阔土地条件的地区。水平潜流型人工湿地的水力负荷比表面流湿地大,污水在填料表面以下流动,保温性较好。垂直潜流型人工湿地系统的污水在填料床中由上而下或由下而上做竖向流,脱氮除磷效果较好,但其投资高,控制相对复杂。人工湿地处理系统的优点是基建、运行费用低,对污水负荷波动有一定的自适应能力,在视觉上可起到美化环境的效果,具有一定的生态效益。缺点是占地面积较大,处理效果受季节影响。

人工湿地工艺在我国村镇污水处理中应用广泛,技术也在不断改进和创新。东南大学吕锡武教授研究构建了一种水培蔬菜滤床-蔬菜型潜流人工湿地组合式生态系统,在净化生活污水的同时进行蔬菜的无土栽培,结果验证出水达标,栽培的蔬菜安全且产量较高,实现了环保与经济的双赢。重庆大学翟俊教授针对村镇特点,开发了复合型人工湿地(折流湿地+侧向潜流湿地),在重庆市、四川省的一大批小城镇和重点村成功应用,与传统侧向流人工湿地相比,供氧效率提升了 4 倍,占地面积减小 50%以上。在此基础上还研发微曝气自清式高负荷人工湿地系统,解决传统人工湿地长期运行后常遭遇的板结堵塞难题,提升湿地中微生物量和活性,与传统侧向流人工湿地相比,占地面积减小 50%左右,运营维护费用较低。

2.1.2 地下渗滤

地下渗滤土地处理系统是一种基于生态学原理的分散污水处理技术,具有出水水质稳定、受季节影响小、运行费用低等优点。利用地下渗滤系统处理污水的过程也是污水资源化的过程,污水中的营养物质被地表景观性植物吸收,出水可二次利用。并且其投资和运行费用都较低,易于管理。鉴于地下渗滤系统的上述优点,其在污水处理特别是在村镇污水处理中的应用研究受到越来越多的关注,适合土地资源充裕的农村地区使用。

地下渗滤目前在应用推广中存在的主要技术难点:一是处理效率低,地下渗滤系统通过物理截留、吸附、化学沉淀、生物降解作用去除污染物,系统中有限的空间、有限的生物量影响了系统处理效率的提高;二是系统堵塞,其成因主要有三方面:悬浮物引起的堵塞、微生物及胞外聚合物的积累引起的堵塞以及有机物分解产生的气体引起的堵塞;三是脱氮效果差,地下渗滤系统埋于地下,系统的氧化还原电位不易控制,氨化、硝化、反硝化细菌的生长环境不易调控。

针对以上问题,基质的改良、系统的改进可减少堵塞的发生、提高处理效率。上海交通大学聂俊英在地下渗滤系统的基质中添加含量为 0.8%的聚氨酯泡沫,提高基质的平均孔隙率和饱和渗透率,可减少堵塞。东南大学吕锡武等在地下渗滤系统的进水管处设置预留通风装置,运行一段时间后进行通风,形成好氧条件,促进胞外聚合物降解,可有效地减少堵塞的发生。干湿交替的运行方式也可有效防止微生物新陈代谢产生的气体对基质孔隙造成的堵塞。同时通过设置通风管,以适宜的干湿比运行可以提供有效地好氧环境,从而增加铵态氮的转化率。山东大学张建等通过在基质中添加 10%的草炭,使系统的铵态氮去除率由原来的 83%提高到 95%。

深圳市深港产学研环保工程技术股份有限公司开发了 CRI 快速渗滤系统,填充渗透性能良好的 CRI 介质,采用干湿交替的运转方式,在淹水期,截流和吸附污水中的悬浮物和

溶解性物质，在落干期，滤料表面的生物膜在好氧状态下对附着在填料内部的污染物进行好氧生物降解。CRI 系统工程已建设了 60 多个实用工程，单个工程处理规模从几十吨/日到十万吨/日不等。中国科学院广州地球化学研究所研发了高负荷地下渗滤污水处理技术，将地下湿地与高负荷地下渗滤技术相结合，日处理 1 吨污水占地面积小于 2 m^2 ，而且永不堵塞。进入地下湿地与地下渗滤单元的污水，通过埋在地下的散水管网投配到高负荷地下渗滤单元，在人工滤料中横向运移和竖向渗滤，污染物被不同功能-结构层的滤料拦截、吸附，并且不断被微生物分解转化。该技术在江苏、广东、福建等多个省份建设了示范与应用工程，具有一次性投资较少、运行费用低、受气候条件影响小、不危害周围环境和景观等优点。

2.1.3 稳定塘

稳定塘是一种经过人工修整而设有围堤和防渗层的池塘，它主要利用水生生物系统（菌藻共生系统和水生生物系统），依靠自然生物净化功能使污水得到净化的生物处理技术。这种污水处理系统具有基建投资和运转费用低、维护和维修简单、便于操作、能有效去除污水中的有机物和病原体、带有厌氧塘或兼性塘的塘系统无需污泥处理等优点，是实现经济欠发达地区污水处理迅速发展，实施污水资源化利用的有效方法。

传统的生物稳定塘多为 1 级塘，缺乏必要的预处理措施以及人工强化措施，出水水质不稳定，处理效果较差。有研究表明，采用人工强化技术，可有效降低污水中有机物及悬浮物浓度，提高处理效果。例如处理系统设计为前置氧化塘、自然塘、后置调节塘，前置塘可降低固体悬浮物和 COD 浓度，在塘中添加高效填料构建物化吸附反应塘，通过吸附、沉淀等作用，还可强化对水体氮磷的去除。污水经过前置塘和自然塘的处理后，由于气温（如冬季）和降雨等因素的影响，会造成出水水质不能达标，后置调节塘可以进一步去除污染物，保证出水水质。

2.1.4 移动床生物膜反应器（MBBR）

移动床生物膜反应器（MBBR）是为解决固定床反应器需定期反冲洗、流化床反应器需使载体流化、淹没式生物滤池堵塞需清洗滤料和更换曝气器等问题而发展起来的一种新型污水处理工艺。其填料可借助气泡与水的推动力在反应器内处于流动状态，使废水、空气、生物膜三者充分接触，相互作用，共同完成废水净化功能。MBBR 的优势体现在将现有的曝气池直接改进后即可使用，占地面积小，处理量大，无需另建反应池；填料上生长了大量的微生物，经过强烈的曝气搅拌过程，既增加了溶解氧的含量，又加强了生物膜的剪切力，使微生物处于良好的活性状态，种类多样化，生物量加大，保证出水质量；MBBR 能同时提供厌氧和好氧条件，无需添加反硝化池，不需要回流，不需要反冲洗，操作简单，运行方便；与其他的生物膜反应器相比，MBBR 脱落下来的生物膜污泥颗粒大，在二沉池的沉降性能较好。

保定市排水总公司对保定市城区三座污水处理厂进行升级改造，将原有 A/O 工艺的生物反应池改造为 Bardenpho 工艺与 MBBR（移动床生物膜反应器）工艺相结合的生物反应池，其中三座污水厂的原好氧池采用 MBBR（移动床生物膜反应器）工艺，填料投加量为好氧池池容的 30%，填料上附着的生物膜大大提高了池中的 MLSS 浓度，并且有利于硝化

菌和亚硝化菌的增殖,强化了对有机物与氨氮的降解。陕西西安市第四污水处理厂升级改造工程,应用厌氧、缺氧 MBBR 技术,最大限度地发挥现有构筑物的处理能力,无需增加占地。厌氧、缺氧 MBBR 技术的最大难点是保证填料的流化状态,该项工程通过不同密度填料的组合、搅拌机功率位置的选择、分层能量流场控制等措施,实现了池内良好的流化状态,最大限度利用生物除磷,减少化学除磷,强化反硝化作用,最终达到降低工程投资、节约运行成本的目的。

2.1.5 膜生物反应器 (MBR)

膜生物反应器 (MBR) 将膜分离技术与生物技术有机结合,反应池中保持高浓度活性污泥,容积负荷高,剩余污泥少,膜组件可起到二沉池固液分离的作用,截留活性污泥和大分子有机物。MBR 的优势在于固液分离效果好、生物反应器内生物量高、污泥产生量低,处理效果好,占地面积小等。缺点是投资和运行费用相对较高,管理复杂。

MBR 工艺近年来发展迅速,金达莱环保股份有限公司自主原创的 FMBR 工艺,突破传统好氧 MBR 在实际应用中能耗高、需排泥等局限,成功建立兼氧 FMBR 工艺,培养出以兼性复合菌为主的特性微生物体系,水中的污染物被高浓度的兼性复合菌降解为二氧化碳和水等无机物质,同时衰亡的菌体又作为其他细菌的营养源被分解代谢,系统内的有机剩余污泥未富集增长,实现有机剩余污泥的近零排放,同时可减少供氧,节约曝气能耗。系统可使有机磷转化为磷化氢及联磷,而磷化氢在空气中迅速转化为磷的氧化物,实现高效除磷,并可实现同步脱氮(厌氧氨氧化)。浙江开创环保科技有限公司的 KC-MBR 一体化设备,可实现污水污泥同步处理(有机污泥近零排放)、同步脱氮、脱磷(厌氧氨氧化)。与传统工艺相比占地小 50%,15~20 天即可完成现场施工,安装完成后 1 周出水就能达标,可全自动控制,做到无人值守。

2.1.6 一体化污水处理装置

一体化污水处理装置是集污水处理工艺各部分功能,包括预处理、生物处理、沉淀、消毒等于一体的生活污水处理装置。工艺优势:一是可以就近设置,因此无需修建很长的管道系统;二是安装方便,施工周期短;三是设备可埋入地表以下,不占用地表面积,无需建筑物;四是平时一般无需专人管理,只需每月或每季度的维护和保养等优点。由于一体化污水处理装置可以根据处理需求对工艺进行调整,因此能够满足绝大多数地区对于污水处理的要求,适合于分散型的污水处理要求,对解决我国农村地区污水处理问题有极大的推广意义。

天津科技大学王昶教授研发了农村生活污水高效处理净化槽,其中平推流厌氧生物反应器和全混流好氧生物反应器一体化技术采用两步厌氧一步好氧,先厌氧后好氧的方式,利用平推流流动模式抑制高浓度污水流入低浓度区,提高抗冲击性能力。生物膜滤床技术,在厌氧区和好氧区增加一定量的滤床,发挥滤床固液分离作用和生物膜吸附作用以及生物降解作用,抑制冲厕水等的颗粒物流入低浓度区,进一步提高抗冲击性能力。当进口污水浓度发生变化时,由于生物膜的吸附作用可以降低污水中的污染物浓度,减少后段工序生物降解的负荷,具有很好的缓冲作用。广东东日环保有限公司开发的小城镇生活污水处理一体化装置以生物膜法去除 COD 及氮磷,以浸没式超滤去除悬浮物,使污水得以净化。

生物膜法耐冲击负荷，运行稳定，净化效率高，污泥产量少；浸没式超滤过滤精度高，通量大，节能高效，能够保证出水水质。江苏金梓环境科技有限公司开发的拼装式污水处理成套设备是一体化污水处理装置的一种变形，采用栓接方式将骨架型材、内外墙板及各单元设施进行现场拼装的新型污水处理设备，是由设备墙体结构设计、基础设计及配套设施的嵌接设计三个方面构成。结构灵活多变，可适用于各种污水处理工艺的壳体装配，拼装体积可以从几个立方到几千个立方。北京博汇特环保科技有限公司开发的 BioComb 的技术集结浓缩了德国 BioDopp 技术的优势，是一个小型紧凑的污水处理装置，装置由标准集装箱（海运标准集装箱 10、20、30 或 40 英尺）加工而成。一般采用地上式或半地下式，结合了 BioDopp 全液内回流及一体化结构理念，利用控制技术实现间断进水，创造脱氮环境，借助生物膜工艺实现长污泥龄，辅以高效的曝气技术，通过创新的空气提推技术将脱落的生物膜进行回流，使污泥产量降到最低，将不同功能单元结合在一起的生物处理工艺。其特点为占地少、能耗低、投资少及运营管理简便等优点。

2.1.7 氧化沟

氧化沟因其构筑物呈封闭环形沟渠而得名，它是活性污泥法的一种变形，属于延迟曝气法之列。可以将氧化沟认为是一个完全混合曝气池，池中浓度变化很小，新进入的污水将得到迅速的稀释，具有较强的抗击负荷能力，而且氧化沟内活性污泥已经好氧稳定，可直接浓缩脱水不必要再进行厌氧消化。氧化沟工艺的优势：流程简单，构筑物少运行管理较方便；具有一定的承受水量、水质冲击负荷的能力。原污水一进入氧化沟就会被几十倍甚至上百倍的循环流量所稀释，消除高浓度进水对活性污泥细菌的抑制作用；氧化沟的污泥泥龄一般长达 20-30d，污泥在沟内得到了好氧稳定，污泥产生量少；处理效果好且运行稳定可靠，可以实现脱氮、除磷等深度处理的要求。

曝气设备是氧化沟运行的关键，曝气设备的性能直接影响到氧化沟污水处理系统的处理效率、能耗以及其运行稳定性，决定氧化沟处理系统的占地面积与投资费用。曝气装置主要有鼓风曝气和机械曝气两大类。转刷曝气器属于水平轴曝气机，起到曝气充氧与混合推流的双重作用，缺点是混合液的流速分布不均匀，活性污泥在底部沉积形成淤泥，长时间会造成活性污泥的大量死亡。射流曝气器充氧性好，氧的利用率能够达到 15%~30%。

鼓风曝气器是通过空气输送管道系统将压缩过滤的空气输送到曝气池底部的空气扩散装置，空气扩散装置产生气泡。气泡上升过程中，通过气液接触将氧气转移到混合液，混合液在气泡的扩散和搅动下处于搅拌状态。

辽宁北方环境保护有限公司研发的可用于低温环境下氧化沟工艺的导流式潜水曝气器，水流全部从导流式潜水曝气器上方进入，经导流罩从叶轮下方流出，叶轮旋转产生的向下流打碎空气出口提供的空气而产生微气泡，从而产生混合均匀的气水流。解决了现有表面曝气设备过度搅拌水面，引起水温下降，热量流失多，能耗大，沟底推流动力小，不适用于低温环境下氧化沟工艺等问题。具有推流效果好，设备数量少，不需另外设置推流搅拌器，不产生飞沫、水声和臭气等二次污染，适用于任何形状、不同深度的氧化沟，在低温环境下也能充分发挥其功能。

2.1.8 厌氧氨氧化

厌氧氨氧化与传统硝化-反硝化脱氮相比,能耗与成本低,污泥产生量小,近年来应用在各种类型废水处理中。厌氧氨氧化(Anammox)反应是指在厌氧或者缺氧条件下,厌氧氨氧化微生物以 NO_2^- -N为电子受体,氧化 NH_4^+ -N为氮气的生物过程,该过程不需有机碳源,是一种新型自养生物脱氮反应。但厌氧氨氧化菌属于自养厌氧菌,生长速率缓慢,倍增时间长。厌氧氨氧化工艺主要有亚硝化-厌氧氨氧化工艺(Sharon-Anammox工艺)和完全自养脱氮工艺(CANON工艺)。Sharon-Anammox工艺分为两步,第一步SHARON段,约一半的氨氮被氧化成亚硝态氮,第二步Anammox段,剩余的氨氮与新生成的亚硝态氮进行厌氧氨氧化反应生成氮气,并生成部分硝态氮。SHARON段和Anammox段一般在不同反应器中进行,其中Sharon段的出水能稳定达到后续Anammox段的要求是保证处理效果的关键。CANON工艺指的是在单个反应器内通过控制溶解氧,利用好氧氨氧化菌和厌氧氨氧化菌的协同作用来去除废水中的氨氮。由于在低氧条件下,好氧氨氧化菌比亚硝酸盐氧化菌更有优势,而厌氧氨氧化菌是厌氧菌,通过调节曝气量,在低氧条件下好氧氨氧化菌将氨氮部分氧化成亚硝氮,并消耗掉几乎所有的溶解氧,之后产生的亚硝氮与剩余的氨氮发生厌氧氨氧化反应生成氮气。

北京城市排水集团自主研发的厌氧氨氧化菌(红菌)技术已经达到国际领先水平。在高碑店污水处理厂的厌氧氨氧化示范工程中,红菌成功对高氨氮浓度的消化污泥脱水滤液进行处理,进而降低回流到总进水的氨氮浓度,节约运行成本,是未来生物脱氮的主流方向。

2.2 我国自有知识产权技术的竞争力评估

在技术日新月异发展的今天,技术创新决定着国家的竞争力。1985年9月10日开始的,国家知识产权局专利数据库内,截至目前,题名中包含“村镇污水”的发明专利有23条,“村镇生活污水”15条,“乡镇污水”6条,“乡镇生活污水”4条,“分散污水”17条,“分散式污水”32条,“分散型污水”10条。从专利的数量上可以看出,村镇污水处理技术研发还有很大的发展空间。我国在污水治理技术研发方面与先进国家相比起步较晚,但具有中国特色的村镇污水处理需求,为本土企业提供了竞争优势。村镇污水治理也从照搬城市污水处理工艺,逐步转化为因地制宜的技术筛选。如何将技术做实、做细,将是提升我国村镇污水处理自有知识产权技术竞争力的关键。

自有知识产权的另一个大方面是商标品牌,知名商标品牌也就意味着品质的保证。随着城市污水处理率的逐步提高,污水治理市场将转向村镇污水,我国村镇污水处理相关企业的品牌打造将是今后发展的重要课题,也将决定我国自有知识产权技术的竞争力。

3 主要问题分析

3.1 对村镇生活污水特征的掌握不够

主要体现在缺乏实际可收集污水水量及水质数据。生活污水根据给排水系统、卫生器具完善程度,以及当地的水资源条件等,水质水量有很大差别。由于目前缺少这方面的基

础调研数据，容易造成治理措施选择不当。

3.2 处理设施未能起到治理污水的作用

其原因主要出在两个方面：一是无水可治，而出现这个现象的原因一个是污水收集系统不完善、不规范，导致污水进不到处理设施，另一个则是污水水量较少，在汇集的过程中污水就已经通过蒸发、渗透消解掉了；二是处理工艺选取不当，各地有追求项目建设的简单易行，忽略设施是否满足处理需求的倾向，从而出现设施规模小于处理需求，或是无法运行等问题。

3.3 运营管理机制的不健全

这是目前村镇治污设施普遍存在的问题，主要存在运行维护资金保障困难，运营管理不力，专业管护人员缺乏，监管制度不完善等问题。

4 建议

4.1 制定村镇污水处理设施排放标准

目前虽然个别省市发布了村镇污水排放标准，但没有国家级别的村镇污水排放标准，村镇污水处理设施的设计出水水质多是参照《城镇污水处理厂污染物排放标准》，容易造成排放标准过于严格，运行成本过高，不利于污水回用等问题。制定村镇污水处理设施排放标准还应考虑南方和北方的地域特色，以及冬季和夏季的气温影响。

4.2 村镇污水排放状况普查

目前村镇污水治理存在的主要问题之一是治理设施与实际需求不匹配，急需村镇污水排放状况的第一手数据。建议根据地域、经济水平、生活习惯等因素，开展村镇污水排放状况普查，为治理设施的建设提供水质、水量等基础数据。

4.3 建设过程中的监管

为了确保工程质量，市县相关部门不仅要进行工程竣工验收，还应成立督查小组在工程建设过程中对施工进度以及质量进行监督和指导。

4.4 后期运营管理机制

农村环境治理设施普遍存在运行管理制度不完善、缺少运行资金、无专业技术人才等问题。因此建立完善的运行管理机制是保证水污染治理设施取得成效，避免治污设施闲置、无人管理的关键之一。管理模式可根据治污设施的覆盖范围，实行统一管理与分户管理相结合的方式。

有机化工废水污染控制技术发展报告

1 有机化工行业总体概况

自环保部发布国家环境技术管理体系建设规划以来,经过多年来的建设,我国环保标准体系初具雏形,初步建立起了与我国环境管理体系相适应的国家环境技术管理体系框架,包括重点污染行业的污染防治技术政策、污染防治最佳可行技术导则、环境工程技术规范以及环境技术评价制度、示范推广机制等,并逐步从环境质量标准控制向污染物排放标准控制及清洁生产源头控制转变。

有机化工行业是我国国民经济基础产业之一,也是资源密集型的高耗能、高污染产业。针对有机化工行业的环境保护工作,我国 2014-2015 年以来颁布的相关法规、政策及标准如下。

1.1 2014-2015 年国内相关法规、政策、标准体系现状

1.1.1 法规政策

- (1)《中华人民共和国环境保护法》(2014 年修订),2015 年 1 月 1 日施行
- (2)《中华人民共和国大气污染防治法》(2015 年修订)主席令第 31 号,2016 年 1 月 1 日施行
- (3)《水污染防治行动计划》国发[2015]17 号
- (4)《挥发性有机物排污收费试点办法》财税[2015]71 号
- (5)《环境保护主管部门实施限制生产、停产整治办法》环护部,自 2015 年 1 月 1 日起施行
- (6)《关于开展化工、有色行业危险废物建设项目环评专项清理工作的通知》环办[2015]61 号
- (7)2015 年《国家先进污染防治示范技术名录(水污染治理领域)》环境保护部公告 2015 年第 82 号
- (8)2015 年《国家鼓励发展的环境保护技术目录(水污染治理领域)》环境保护部公告 2015 年第 82 号
- (9)《国家安全监管总局关于废止和修改危险化学品等领域七部规章的决定》国家安全生产监督管理总局令(第 79 号),2015 年 7 月 1 日实施
- (10)《建设项目主要污染物排放总量指标审核及管理暂行办法》环发[2014]97 号
- (11)《2014 年国家鼓励发展的环境保护技术目录(工业烟气治理领域)》环境保护部

公告 2014 年第 71 号

- (12) 《水体污染控制与治理科技重大专项档案管理规定（试行）》环办函[2014]36 号
- (13) 《2014-2015 年节能减排低碳发展行动方案》国办发[2014]23 号

1.1.2 技术标准

- (1) 《危险化学品名录》（2015 版），2015 年 5 月 1 日起施行
- (2) 《再生化学纤维（涤纶）行业规范条件》工业和信息化部公告 2015 年 40 号
- (3) 《国家重点节能低碳技术推广目录（2015 年本，节能部分）》
- (4) 《锅炉大气污染物排放标准》（GB13271-2014），2014 年 7 月 1 日实施
- (5) 《合成树脂工业污染物排放标准》（GB31572-2015）
- (6) 《石油炼制工业污染物排放标准》（GB31570-2015），2015 年 7 月 1 日起实施
- (7) 《石油化学工业污染物排放标准》（GB31571-2015），2015 年 7 月 1 日起实施

1.1.3 地方性法规、政策、标准

地方环境保护标准作为国家环境保护标准的补充和完善，在地方环境管理中发挥着重要的作用。2014-2015 年各省市主要颁布了如下与有机化工行业相关的法令、标准：

- ①上海市《涂料、油墨及其类似产品制造工业大气污染物排放标准》DB31/881-2015，2015 年 5 月 1 日起实施。
- ②《天津市危险化学品企业安全治理规定》，2015 年 9 月 6 日起施行。
- ③《天津市工业企业挥发性有机物排放控制标准》DB 12/524-2014，2014 年 8 月 1 号起实施。
- ④《江苏省重点工业行业清洁生产改造实施计划》苏经信节能[2014]733 号。
- ⑤《江苏省大气污染防治条例》江苏省人大第 2 号。
- ⑥《浙江省涤纶产业环境准入指导意见（试行）》2015 年 6 月 8 日起实施。
- ⑦《山东省危险化学品企业安全治理规定》鲁政办字[2015]259 号。
- ⑧福建省《合成革与人造革工业污染治理工程技术规范》闽环保科[2014]45 号，2014 年 12 月 1 日实施。

1.1.4 正在编制及征求意见中的标准规范

- (1) 《黑臭水体治理技术政策》（征求意见稿）环办函[2015]1398 号
- (2) 《国家危险废物名录（修订）》（征求意见稿）环办函[2014]1111 号

此外，《土壤污染防治行动计划》、除杂环类农药以外的其他九大类农药行业污染物排放标准、染料/树脂行业/医药行业的污染物排放标准、染料化学工业污染防治技术、氟化工产业政策等多项技术标准也在制定过程中。

1.2 2014-2015 年国外相关法规、政策、标准体系现状

目前，美国和欧盟等一些发达国家已逐步建立了较健全的有机化工行业污染物处理政策和法律法规，也拥有较先进的处理技术。

美国工业污染控制在清洁水法（CWA）和清洁大气法（CAA）框架下实行分解质管理。

制定基于技术的排放标准是美国工业污染控制体系最为突出的特点。以《清洁水法》为例,直接和间接排放的工业废水污染源被划分为七个控制技术等级,在制定相应的排放标准过程中,对各等级技术进行综合评价,从而确定技术上可行、经济上可接受、环境负荷适宜的排放标准。美国的技术评价过程虽然没有对各种类别的环境效应进行量化,但特别重视排放标准的成本效益分析,对排放标准可能导致的技术改造费用、不达标企业关闭带来的经济和社会影响等方面给予了更为详细的分析。

欧盟环境法体系中对于环境标准和污染控制方面的法规、政策基本上都是以指令形式颁布的,指令在欧盟法律体系中属于二级法律,在成员国议会通过后具有法律效力。

欧盟针对工业废水治理的环境政策主要体现在污染综合防治指令(96/61/EC,简称 IPPC 指令)中,IPPC 指令也是欧盟环境政策中最重要的指令之一。IPPC 指令要求成员国在推广最佳可行技术(Best available techniques,即 BAT)的基础上建立涉及若干污染行业的、协调一致的、一体化的工业污染防治系统,防止或减少企业向环境排放污染物,从而达到整体上高水平的环境保护。欧洲污染综合防治局为食品、饮料、牛奶加工、精细有机化工、医药、电子、石化、炼油、火电等工业行业编制了最佳可行技术参考文件(BAT reference documents, BREFs)。BREFs 不仅对节能技术、污染控制技术和生产技术等最佳可行技术作了介绍,还对它们的经济适用性进行了分析,并对一些控制项,如 BOD、COD、AOX、TOC、PAH、表面活性剂、酚类、苯类、金属等给出了较详细的参考值。

欧盟近年来对 REACH 法规(即《化学品注册、评估、许可和限制》法规)进行了扩项、完善和加强;德国 GS 认证和 LFGVB 认证、欧盟的 76/769/EEC 等多环芳烃(PAHs)物质进行了明确的限制;2014 年,欧洲环境署(EEA)发布了《欧洲的废弃物预防计划》(EEA Report No9/2014)。

针对有机化工行业的环境保护工作,近阶段国际实行的公约及法规如下:

- (1) 欧盟《化学品注册、评估、授权和限制法规》(简称 REACH 法规)。
- (2) 欧盟《欧洲的废弃物预防计划》(EEA Report No9/2014)。
- (3) 欧盟《PBT 类物质控制战略》。
- (4) 欧盟《有毒物质管理政策》。
- (5) 《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》(简称 POPs 公约)。
- (6) 《关于在国际贸易中对某些危险化学品和农药采用事先知情同意程序鹿特丹公约》(简称 PIC 公约)。
- (7) 《关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书》。
- (8) 美国《清洁水法》《清洁大气法》《联邦水污染控制法修正案》等。
- (9) 日本《大气污染防治法》《水污染防治法》《湖泊水质保护特别措施法》《濑户内海环境保护特别措施法》《关于有明海及八代海再生的特别措施法》等。

1.3 2014-2015 年国内外对污染控制涉及的有机化工重点行业的污染控制管理现状

1.3.1 国内外污染控制管理制度对比

欧盟工业国的工业废水排放同时受到排污许可证和行业排放标准的约束,以排污总量

控制为基础。排放标准中污染物控制项目的制订采用“技术强制”的原则，即某种工业废水的污染物排放标准值是根据不同生产工艺和现有有效地治理技术的去除率确定的。

美国对于某种工业废水以现源和新源区分，而非接纳水体或污水处理厂。对现源和新源分别执行不同的排放标准值。新源标准值是基于较高的生产工艺水平、污水治理水平而设立的。

中国的污水排放标准采用的是接纳水体的功能区类别分类确定排放标准值，兼顾治理技术的思路。对于国家标准，重点行业实行行业排放标准，非重点行业执行综合排放标准，采用分时段、分级等控制方式。总体上讲，我国采用的是污染物排放浓度控制。“十三五”时期，将逐步发展为从达标排放、总量控制向质量、总量双控转变，质量、总量、风险协同推进，空间均衡、多污染物协同治理；从控制增量向增量、存量并重，加强削减存量、治理历史遗留问题转变，资源环境联动，保护环境安全；从政府主导向社会共治、制衡转变，自上而下与自下而上相结合，政府市场两手发力，倒逼与激励并重；治理要求由统筹管理向分区分类、精细化管理、精准发力转变，并推进基本公共服务均等化。

1.3.2 我国有机化工行业污染控制管理新动态

近年来，我国出台了一系列有机化工行业环境保护的政策、法规和措施，以石油化工业和合成树脂行业为例，对有机化工行业污染控制管理新动态做简要分析。

1.3.2.1 石油化工业

2015年4月16日，环保部发布了《石油化学工业污染物排放标准》(GB31571-2015)、《石油炼制工业污染物排放标准》(GB31570-2015)。

《石油化学工业污染物排放标准》(GB31571-2015)采用浓度和总量控制双重手段制定，按新源和现源两个时段设置不同的标准值。同时，监测挥发性有机物的总量，并控制单位产品基准排气量，限制企业对产生的废气进行回收、治理，减少工艺尾气排入大气环境，进而达到减少污染的目的。

1.3.2.2 合成树脂行业

《合成树脂工业污染物排放标准》(GB 31572-2015)于2015年7月1日实施，该标准将促进我国合成树脂工业废水和废气处理水平上一个新台阶，并将取得显著的“减排”效果。

该标准制定的现有企业的废气和废水污染物排放标准为目前国内现有合成树脂企业通过努力能够达到的先进水平；新建企业的废气和废水污染物排放标准已接近国际先进水平，个别指标达到了国际先进水平。废气和废水污染物特别排放限值达到了国际先进水平，部分指标超过了国际先进水平。

2 主要技术发展情况

2.1 主要技术发展情况

根据“十三五”规划中对环境治理领域的发展要求，结合有机化工行业环境问题的特点和总体发展趋势，本领域环境保护技术的发展总体上可分为减排减负、循环回用、节能

降耗三个方向。

2.1.1 减排减负技术

2.1.1.1 生化处理技术

(1) 好氧生化法

本钢集团北营公司焦化厂孙红艳和张成展在对现有焦化废水处理 AAO 工艺中存在的问题及原因进行分析后,对传统的 AAO 工艺进行改进,并将其应用于焦化废水的处理中。其通过利用事故调节池均衡原水水量和水质,可以减少因原水指标波动对 AAO 系统造成的冲击;在好氧池中投加浮动填料可以提高生化系统的处理能力,降低出水 COD 浓度;在原水中投加絮凝剂可以较大程度地降低原水中的总氰浓度,同时还能少量降低 COD 浓度,减轻生化系统负荷,优化微生物生长环境。

辽宁工程技术大学刘宝勇等为提高 CAST 工艺在我国北方地区冬季时对工业污水处理效果,以北京某污水处理厂实际规模 CAST 工艺为研究对象,对其原有的 CAST 工艺进行优化:在主反应区引入独立的搅拌,缩短曝气 0.5h,当采用分段进水时,回流时间延长 0.5h。优化后,出水中的 COD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TN 和 TP 含量平均分别为 29.55、4.86、16.25、0.91 mg/L,,均达到 GB18918-2002 一级 B 要求,去除率分别为 92.72%、87.05%、67.89%、87.22%,相比于传统工艺,分别提高了 1.9、15.2、13.6、16 个百分点。优化后的 CAST 工艺降低冬季出水中污染物含量,提高了出水水质,有效地降低了 COD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TN 和 TP 的排放。

① MBR 法

山东潍坊滨海经济开发区先进制造产业园,以化工、医药中间体为主,设计处理能力 10000 m^3/d ,进水接管指标 COD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TN、TP、TDS、SS 指标分别为 1000、100、120、20、6000、50 mg/L。2013 年 7 月月升级改造,生化主体工艺为“A2/O—MBR 膜池—活性炭吸附”,由于增设 MBR 膜装置,出水达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)中一级 A 标准规定的指标值。

江苏泰兴滨江污水处理厂,一期工程设计规模 30000 m^3/d (工业废水 20000 m^3/d),进水接管指标 COD 500 mg/L、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 45 mg/L、TP 2 mg/L、硝基苯 35 mg/L,2015 年升级改造,采用“水解酸化—A2/O—MBR—O3 催化氧化”处理工艺,出水也达到一级 A 标准。

中石化南京金陵分公司原设计采用“两段水解+A/O”为主体的生化处理工艺,运行后出水 COD 90-120 mg/L,提标改造后,增加 MBR 膜处理,近年运行后基本达到 COD \leq 60 mg/L 出水要求。MBR 工艺运行的主要问题是膜污染影响出水合格率。以该企业运行数据为例,全年有 6 个月出水合格率 100%,仍有 6 个月出水合格率在 98%左右,另外由于膜污染,膜元件的清洗和膜元件跟换频率增多,增加运行管理成本。中石化某企业应用 MBR 后,不到两年膜通量下降,导致产水率降低,处理能力下降。

② 纯氧曝气技术

中石化企业在高浓度有机废水处理中普遍采用纯氧曝气,既利用石化企业空分装置分离的氧气,又提高了生化处理有机物的效率。高浓度有机废水处理效果好,需满足生化池混合液污泥浓度高,DO 供应充足两个条件。当生化反应池 MLSS6-12g/L,混合液主流 DO 宜保持 6-10 mg/L,若采用空气曝气系统,技术上有困难,在经济上也不合理。南京扬子石化曾对两种曝气方式进行过对比,采用纯氧曝气系统 MLSS5870 mg/L, DO5.5 mg/L;

采用空气曝气 MLSS 2440 mg/L, DO 1.5 mg/L。COD 去除率前者为 75.8%, 后者仅为 51.9%。对于高浓度有机废水处理, 有纯氧条件的企业, 生化处理宜首选纯氧曝气。

③ 生物强化技术

山东制药厂排放的污水中 COD 2000 mg/L, 通过特殊生物酶催化处理后, 出水可达到 COD \leq 80 mg/L。福建某制药厂中药提取工序, 废水以有机物为主, 主要成分木质素、多糖类、植物酸、植物碱, 原采用“厌氧—好氧—沉淀—过滤”组合工艺, 出水一直未达标; 利用“生物酶催化—生物强化”技术, 在进水 COD 540 mg/L 下, 处理后出水 COD $<$ 50 mg/L, 达到升级改造处理要求。

王方圆等用生物铁强化活性污泥法处理工业园区综合化工废水, 可将废水 COD 处理效率提高 17%, 但此法应用有局限性。耐水量水质冲击负荷较弱, 不能改变难生物降解有机物的分子结构。

(2) 厌氧生化法

目前, 厌氧生化反应器已经发展到第三代产品, 三代产品的代表分别为: 厌氧滤池、UASB、EGSB 与 IC 等。华东理工大学朱培等采用多级厌氧法处理螺旋霉素工业发酵菌渣, 启动初期多级厌氧反应器系统会出现产气不稳定现象, 经过 2 个月的运行之后系统达到稳定状态。在有机负荷达到 2.73 kg COD/(m³·d) 时, 各级罐体仍能稳定运行, 总产气的 45% 集中在一级厌氧反应器。在系统启动初期, 螺旋霉素不能被明显降解。运行约 80d 后, 整个体系达到了快速降解螺旋霉素的状态, 在 2.73 kg COD/(m³·d) 的有机负荷率下, 螺旋霉素降解率达到 97%, 同时可溶性 COD 降解率也达到了 90%。

江南大学闫林涛等对厌氧膜生物反应器 (AnMBR) 处理高浓度有机废水的运行效能进行了中试研究。在不排泥工况下 (SRT 无限长), AnMBR 的 COD 去除负荷和沼气生产强度可分别稳定在 4.4~4.8 kg/(m³·d) 和 2.2 m³/(m³·d) 左右; 而在排泥条件下 (SRT=50d) 两者可分别稳定在 5.2~6.0 kg/(m³·d) 和 2.9 m³/(m³·d) 左右。在整个 220d 的运行过程中, AnMBR 的 COD 总去除率都可维持在 90% 以上, 且沼气中甲烷体积分数基本保持在 58% 左右。发酵系统中 pH 较为稳定, 保持在 7.6~7.8 之间; VFA 含量始终维持在较低水平。此外, 虽然运行过程中有较高浓度的氨氮积累, 但是并没有对厌氧消化性能造成显著影响, 展现了 AnMBR 对内源性抑制因素的良好耐受力。排泥和不排泥条件下的运行参数对比表明, AnMBR 运行过程中 SRT 的优化非常关键, 不同 SRT 会导致发酵体系发生一系列的变化, 很大程度上决定了 AnMBR 的处理效能。中试结果表明, AnMBR 可以实现高效厌氧消化系统的快速启动, 而且良好的抗冲击负荷能力能够保证消化体系长期稳定运行, 表明厌氧法是一种高效的有机高浓度废水减排减负技术。

江苏南大环保科技有限公司开发了“零价铁-微生物-颗粒活性炭”组合工艺, 结合了零价铁厌氧还原协同强化技术和颗粒活性炭的载体固定技术, 可以快速促进厌氧污泥颗粒化, 强化厌氧还原处理效果和增强抗毒性冲击能力。其技术原理是在厌氧水解酸化阶段, 零价铁腐蚀生成亚铁离子, 增强了厌氧污泥的絮凝性, 通过生物酶作用增加微生物的活性, 提升厌氧生物降解效率; 而颗粒活性炭作为载体, 固定厌氧微生物, 富集于其孔道内, 提高生物处理系统抗毒性冲击性能。该技术已成功应用于福建某大型氯碱及甲苯二异氰酸酯 (TDI) 生产废水, 处理规模 3000 m³/d, 运行稳定后, 生化处理 (包括好氧生化) 装置 COD 去除率由 20%~30% 提高到 70% 以上, NH₄⁺-N 去除率由 40% 提高到 95% 以上, 在不新增

设备投资情况下,曾多次排除了由于进水水质波动大导致生化污泥中毒干扰,有效地控制生化系统崩溃的局面。

2.1.1.2 物化处理技术

(1) 树脂吸附法

柳钢股份公司焦化厂采用江苏南大环保科技有限公司开发的特种吸附树脂,利用固定床吸附法深度处理焦化废水,对色度和 COD 截留效率高且污染浓缩液产率低(2%~3%),出口水质稳定性好,浓缩液经 Fenton 后回送生化系统而无二次污染;装置运行成本小于 0.6 元/(t 废水),投资费用按设计能力约为 2.86 万元/(t 废水),占地相对节省。按柳钢 500 万吨焦/a 产能计,每年可回用尾水约 300 万吨,测算每年直接效益可达 420 万元;同时可最终减排 COD、SS 分别达 331t/a、108t/a。

(2) 吹脱法

中山大学孙连鹏等制备的高效脱氮剂中含有大量的 O、H、CO、HO、CH、CH₂ 等原子和离子活性基团,在生物活性催化酶的催化作用下,可以高效地将废水中的铵盐转化成氨气(挥发氨、游离氨)。以氨氮浓度为 7000 mg/L 以上的甘氨酸废水为研究对象,采用吹脱法去除氨氮,对比了 pH=10.0 时,加脱氮剂和不加脱氮剂条件下的氨氮去除效果,结果表明加脱氮剂的在吹脱时间为 5.5h 时剩余氨氮浓度为 11.4 mg/L,达到国家一级标准的排放要求(小于 15 mg/L),不加脱氮剂的剩余氨氮浓度为 112.3 mg/L,无法达标;降低废水 pH 至 9.5,投加脱氮剂进行吹脱,通过延长吹脱时间 2.0~2.5h,也可使废水氨氮含量达标。

(3) 高级氧化法

① 臭氧催化氧化法

北京科技大学郑天龙等在传统臭氧法的基础上,引入微气泡技术,开发微气泡-臭氧工艺,将其应用于腈纶废水的深度处理,并与微孔-臭氧工艺进行对比研究。微气泡技术具有泡粒径小、气泡停留时间长、气体溶解性强、破裂时产生羟基自由基、可提高气体传质效率等特性。同时,微气泡发生装置占地面积小、操作方便、能耗低、处理效率高的特点,将使臭氧的高效利用成为可能。结果表明:在 COD、UV254、NH₄⁺-N 的去除方面,微气泡-臭氧工艺处理腈纶废水的效果均优于微孔-臭氧工艺,微气泡-臭氧工艺的 COD、UV254、NH₄⁺-N 的最大去除率分别为 41.5%、42.1%和 20.9%,相比微孔-臭氧工艺的分别提高了 25.0%、34.9%和 9.0%;气含率、臭氧传质系数和臭氧平均利用率方面分别是后者的 11 倍、3 倍和 1.5 倍,特别是微气泡-臭氧体系的羟基自由基数量和溶解性臭氧浓度均高于微孔-臭氧体系,即前者的氧化能力更强,使含双键和苯环类物质更多地氧化成烯酸、羧酸等小分子有机物,从而改善废水的可生化性。

② 电化学法

中国矿业大学李鹏等采用溶胶凝胶法制备了 TiO₂ 负载型活性炭颗粒。使用 X-射线衍射仪、电子扫描显微镜对其进行物相组成及微观形貌分析,结果表明,TiO₂ 晶粒主要以锐钛矿及金红石相填充于 AC 孔径之中,并形成均匀连续的负载膜;以 TiO₂-AC/AC 分别作为填充床电化学反应器的填充物质对苯酚废水进行了电催化氧化对比性研究,引入表征填充床电化学反应器传质特性的传质系数 k_m 计算阳极和粒子电极对苯酚废水的氧化选择系数;实验结果表明,在苯酚废水浓度 600 mg/L,操作电压为 4.0V,30A/m² 电流密度,流

速 0.6L/h 反应条件下以 $\text{TiO}_2\text{-AC}$ 为填充颗粒时填充床电化学反应器体系的传质系数 $4.032 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ 大于以 AC 为填料时填充床电化学反应器的传质系数 $3.281 \times 10^{-6} \text{ m/s}$, 电化学反应电荷控制阶段进程延长 0.21h, 苯酚废水 COD 的去除率由 73.2% 提高至 80.4%, 体系电流效率亦由 40.2% 增加至 49.5%, 能耗降低 2.01 kWh/kg COD; $\text{TiO}_2\text{-AC/AC}$ 作为填充床电化学反应器填充颗粒对苯酚废水的选择氧化系数分别为 0.74 和 0.80, TiO_2 涂层增加了颗粒活性炭对含酚废水的电催化氧化能力。

(4) 蒸发法

国外引进的机械式蒸汽再压缩蒸发技术 (MVR) 成为处理工业高盐废水的全新技术装备。其基本原理是将蒸发原本需要用冷却水冷凝的二次蒸汽, 经压缩机压缩后提高其压力和饱和温度, 增加焓值, 再送入加热器壳程作为热源来加热料液。二次蒸汽在加热器壳程冷凝释放的热量, 就是加热器管程物料得到的热量。加热器既对物料起加热作用, 也对二次蒸汽起冷凝作用。该系统能耗低, 结构简单, 运行稳定, 无需冷凝器、冷却塔等设备, 也无需生蒸汽、冷却水 (冷冻水) 等公用工程。MVR 蒸发技术无需原生蒸汽、冷凝器、冷却循环水系统。通过研究, 该技术较常规的单效蒸发设备而言, 可节省标准煤 85% 以上, 比三效蒸发设备而言, 节省标准煤 60% 以上, 可大大降低了废水处理企业的生产成本, 节约大量的资金。基于 MVR 新型节能蒸发技术的研究与推广, 可为化工废水处理工艺提供一项全新的节能型蒸发设备, 填补国内外的蒸发处理废水工艺成本大的空白, 极具市场潜力和发展前景。对我国节能减排, 尤其对我国单位 GDP 碳排放具有极其重要的意义。

2.1.1.3 清洁生产技术

亚太森博 (山东) 浆纸有限公司对清洁生产技术创新性研究和技术实践。生产工艺方面, 亚太森博 (山东) 浆纸有限公司实行“两段除节-四段筛选-两段原浆洗涤-两段氧脱木素-两段氧脱后洗涤-四段漂白”工艺。浆料逆流洗涤和封闭筛选工艺, 大大提高了黑液提取率, 黑液提取率可达 99% 以上, 提取的稀黑液浓度 16% 左右, 较传统工艺高, 这样可大量节省蒸发用蒸汽。无元素氯漂白工艺的采用, 在保证纸浆强度不变的同时, 大大减少了漂白废水中有机卤化物和污染物的负荷 (制浆废水中有机卤化物相比传统氯气漂白下降了 93%, 且有机卤化物生物毒性近于消失), 同时大大降低污染物向环境中排放的可能。

2.1.1.4 污泥减量化技术

(1) 生化系统污泥减量化

① 超声波污泥减量化技术

利用超声波在水中产生空化作用, 破解污泥絮体、菌胶团和细胞体。较低的声能密度和较长的接触时间能产生较好的污泥减量化效果。沈会山等用声能密度为 1 W/mL 超声波对 SBR 生化系统 2/3 剩余污泥预处理, 最终实现污泥减量化 45.64%。超声波技术不仅对污泥减量化效果明显, 而且可提高污泥稳定性和污泥脱水效果, 同时具有杀菌、除臭等优点。

超声波污泥减量化技术应用方面, 上世纪 90 年代末就在德国、英国大型污水处理厂安装并使用。我国在应用领域尚处于起步阶段, 研究不够深入, 与工程实践结合不紧密。

② 好氧-沉淀-厌氧工艺 (简称 OSA 工艺)

OSA 工艺为在常规活性污泥工艺污泥回流中设置一段厌氧处理单元, 可有效降低污泥的增长率。唐悦恒等研究认为, 采用此工艺污泥减量率可达 12%~40%, 同时污泥沉淀效果得到加强。该工艺方便管理, 且运行费用较低。目前国内工程上应用未见资料报道。

(2) 污泥脱水减量化

近两年有以下两种污泥减量化技术在工程中应用建设中,预期年内将投入使用。

① “污泥干化机”与“旋转脱水机”耦合减量化技术

污泥干化机是一种直接接触型污泥干化设备,以蒸汽为热源,借助于桨叶旋转污泥被压缩、膨胀,交替更迭而被进一步脱水干化。2015年江苏南大环保科技有限公司与设备厂合作在泰兴某化工园区废水处理一、二期两个厂区共建一套污泥分类脱水减量化设施。目前已完成设计,正在施工建设中。可将经旋转污泥脱水机处置的物化污泥 35 t/d(含水率 80%),进入蒸汽干化机中处理至 10 t/d(含水率 30%);生化污泥 70 t/d(含水率 80%)经蒸汽干化机处理至 35 t/d(含水率 60%),物化污泥减量率为 71.4%,生化污泥减量率为 50%,经初步测算,运行一年后污泥蒸汽干化机及附属设施的投资即可收回。

② “电渗透”与“板框压滤”耦合脱水减量化技术

启迪桑德集团与海斯顿联合开发这项技术,可将城市污泥含水率从 80%~85%降至 40%~50%。2014年10月,处理能力为 25t/d 示范工程建成投产,运行以来,不加任何化学调理剂情况下,总电耗 80~120 kW/t 污泥,与现有同等热干化技术脱水效果相比,投资和节能效果明显。此项技术,利用电加热,污泥灭菌率高,可与常规脱水设备直接衔接,工艺简单,占地小,操作方便。2015年7月国内业内专家已进行技术成果鉴定,有待在工业废水处理工程中扩展应用。

2.1.2 循环回用技术

2.1.2.1 中水回用

中水处理工艺一般包括预处理、主要处理和后处理三个阶段,根据水源的不同,其流程也不同,多是表现在主要处理阶段所采用的工艺不同,而在预处理和后处理阶段所采用的处理工艺基本都是相同的。

(1) 生物处理技术

活性污泥法、厌氧消化法、氧化沟、厌氧好氧交替法、吸附再生法、循环活性污泥工艺(CASS)等技术都广泛应用于中水回用处理中,且处理后水质良好。

(2) 物化处理技术

主要用于对优质生活杂排水的处理,以混凝沉淀(气浮)技术与活性炭吸附技术相结合为基本工艺,与传统的污水处理二级工艺相比,混凝沉淀与活性炭吸附的处理技术先进,管理方便的同时改善了水质,但对于来水的水质要求高,运行成本相对较高。

(3) 膜处理技术

采用双膜技术,在回收大量水资源的同时,也产生了一部分反渗透浓水。而且这部分浓水中的污染物和含盐量由于浓缩作用而进一步提高了。对于反渗透浓水的处理,需进一步降低其主要污染物含量,以达到排放标准,同时尽可能从浓水中回收水资源。对于反渗透浓水宜先采取膜技术、电化学处理等非蒸发的方式进行处理,最后依靠蒸发对少量浓缩后污水进行处理。表1列出了主要的反渗透浓水处理技术。在实际应用中,往往会根据排放标准和排放量的要求进行技术组合。

表 1 主要反渗透浓水处理技术比较

技术类型	优点	缺点
活性炭吸附	充分利用了活性炭的吸附净化能力，对 COD 吸附能力强，去除率高	活性炭价格高，导致处理成本过高，活性炭再生技术还不成熟，不能除盐，仅能实现浓水达标排放
高级氧化	采用臭氧、芬顿试剂等对浓水进行处理，对 COD 有一定去除效果，成本较活性炭处理要低	很多情况下难以实现达标排放，不能除盐，仅能实现浓水达标排放
高效反渗透	对浓水除硬后，再进行反渗透浓缩，回收一部分水资源，特别适合零排放要求下的反渗透浓水处理	由于反渗透浓水硬度高，必须设置除硬工艺后再进行高效反渗透处理
多效蒸发	凭借该技术可将反渗透浓水浓缩 10 倍以上，最终的浓水再通过结晶、自然蒸发可实现污水零排放，且产水水质很好	处理成本过高，设备易腐蚀，对蒸发设备材质要求较高
膜蒸馏(MD)	凭借该技术可将反渗透浓水浓缩 4~10 倍，最终的浓水再通过结晶、自然蒸发可实现污水零排放，且产水水质很好，可以使用低品位热源	对膜材料要求太高，疏水膜易污染而失去分离性能，需经常清洗
电脱盐	凭借该技术可将反渗透浓水浓缩 4~5 倍，同时对 COD 有 30~40% 的去除率，产水水质一般可满足循环水补水要求，无需预处理，成本较低	浓缩倍数较蒸发法小，电极易结垢造成效率降低

(4) 人工湿地处理法

人工湿地污水处理技术是在一定的填料上种植特定的植物，利用填料的过滤、植物的吸收及植物根部微生物的处理作用，将污水进行净化的技术。这种新型处理系统具有处理高效、运行管理方便、技术可行等优点，且其投资成本远低于常规技术。鉴于目前我国的国情，人工湿地处理法在我国是值得推广的，尤其是我国的南方地区，将有非常广阔的应用前景。

2.1.2.2 废水中碳能源的回收

废水中碳能源的回收可以通过厌氧转化将有机碳转化为沼气来实现最大化这可以通过以下途径实现：高浓度和最大化污泥消化源分离和厌氧处理。

目前，厌氧生物处理法在高浓度有机废水处理方面的应用还是很广泛的，已经由传统的普通消化法发展为厌氧接触法、厌氧生物滤池法、上流式厌氧污泥床反应器法，以及内循环厌氧反应器法（IC）、厌氧颗粒污泥膨胀床法（EGSB）、外循环高效厌氧反应器法（ECSB）等国际通称的第三代厌氧反应器技术。当前，将厌氧生物处理技术同超声技术进行结合，还能够大大缩短水处理时间，提高水处理效率。另外，利用好氧预挂膜快速排泥法还能够加快启动时间。

(1) 内循环厌氧反应器（IC）

IC 具有两个三相分离器，相当于二级 UASB 构成，采用气提循环结构，使底部泥水混合更加充分，荷兰在处理高盐度有机废水有成功使用的经验。在进水 COD $>$ 900 mg/L，Cl $^{-}$ 4200 mg/L 情况下，COD $_{Cr}$ 去除率仍达 80%。国内处理 PTA 生产废水，含有苯甲酸、醋酸、乙二醇，进水 COD $_{Cr}$ 4400 mg/L，处理后出水 COD1500 mg/L。IC 在国内应用目前存在的主要问题是：

由于采用内循环,内部结构复杂,设计施工要求高;泥水混合液上升易产生堵塞导致内循环瘫痪,处理效果变差,日常维修困难。

由于高径比大,水力停留时间短,影响不溶性有机物的处理效果,其出水含有更多细固体颗粒,加重后续沉淀设施的处理负担。

采用 IC 反应器,需要进口国外颗粒污泥接种,投资费用较高。

(2) 厌氧颗粒污泥膨胀床法(EGSB)

国内天津一精细化工企业,排放丁醛、聚乙烯醇高浓度 $\text{COD}_{\text{Cr}}1600\sim6000\text{ mg/L}$ 。采用“催化氧化-EGSB-接触氧化”组合工艺,经催化氧化预处理后,进 EGSB 反应器 $\text{COD}1150\text{ mg/L}$,再通过好氧接触氧化处理,最终出水 $\text{COD}400\text{ mg/L}$,低于天津市地方标准三级排放标准 $\text{COD}_{\text{Cr}}500\text{ mg/L}$ 的指标要求。

EGSB 反应器国内应用的主要问题是过大的回流比及过高的水力上升流速,会加重上部三相分离气的负担,导致出水水质不稳定,悬浮固体浓度增加,后续沉淀设施处理负荷加大。

(3) 外循环高效厌氧反应器法(ECSB)

ECSB 反应器是荷兰海卓森公司推出的新一代厌氧生物反应器,是对第三代厌氧生物反应器的优化和改进,克服 IC、EGSB 反应器存在的弊端,具有以下优势和特点:

- 反应器结构简洁,无需维护

无复杂部件,无气液分离器、水封罐,无需维修,运行稳定。

- 无需外置储气罐

内置高效三相分离器,布水装置。采用独特的外循环罐,便于泥水分离及投加营养液,有利于颗粒污泥的稳定形成及增殖,可防止跑泥及污泥钙化现象的发生。

- 具有 IC、EGSB 反应器的全部优点

高容积负荷、高水力上升流速、高径比高、泥水混合充分,占地小,处理效率高。既能形成稳定的颗粒污泥,又能产生高质量的沼气(CH_4 含量 $>60\%$),资源化利用价值高。

2015年江苏南大环保科技有限公司与江苏无锡践行环保公司合作,在湖南某化工企业处理含有没食子酸、单宁酸等有机酸工业废水及难生物降解有机废水,进水 COD_{Cr} 高达 20000 mg/L ,含盐浓度 1% 以上,设计采用“树脂吸附—中和—水解酸化预处理”,后续采用 A^2/O 组合工艺处理,其中厌氧处理单元采用 ECSB 反应器。2015年12月调试处于稳定阶段,ECSB 进水 $\text{COD}2881\text{ mg/L}$,出水 $\text{COD}1182\text{ mg/L}$ 、 COD_{Cr} 去除率达 59% 。最终处理出水 $\text{COD}_{\text{Cr}}\leq 300\text{ mg/L}$,满足了接管出水指标。

2.1.2.3 闭路循环系统的新思路

传统的废水治理闭路循环系统:废水先经过蒸发除盐→馏出液→物化→生化→深度处理的模式。该工艺存在一个严重的问题,水相中的部分有机污染物会在蒸发除盐过程中转移到固相。进入蒸发系统中,高浓度有机物会对结晶盐的产生带来负面影响,蒸发器会出现结晶盐粘壁、堵塞现象。同时,蒸发后的釜底残液只能作为化工生产的危险固废处理,导致运行成本的大幅度升高,只能实现水的零排放。

为彻底解决这个难题,必须突破传统闭路循环传统模式,寻求合理、高效的治理方式,我们从改进特定工艺顺序和强化耐盐生物技术两个方面对原思路进行改进。

(1) 特定的工艺顺序

对含盐量在 2~5wt% 的化工生产工艺废水先采用物化和生化的工艺降解废水中的有机物，再通过膜深度处理，膜处理清液可做水循环回用，浓液进入蒸发工艺。该特定顺序有以下两个优点：

通过物化和生化一、二级污水处理，此时进入膜深度处理系统的水质较为洁净，一般废水 $\text{COD} \leq 80 \text{ mg/L}$ ，降低了废水对膜组件的污染，延长使用寿命。

膜处理后的浓水有机物浓度较低，进入蒸发系统中，消除了较高浓度有机物会对结晶盐的产生带来负面影响，蒸发器不会出现结晶盐粘壁、堵塞现象。蒸发出的馏出液可以作为循环冷却补充水和厂区中水回用。结晶盐可以进一步提存、达到生产回用或作为副产。

(2) 耐盐生物强化技术

对于一些特定工艺顺序的闭路循环水处理系统，我们发现在二级生化处理中，如果采用普通的活性污泥法，需要对废水稀释 2~5 倍，加大了对后续膜处理和蒸发工艺的水处理量，后续运行成本和投资成本也会翻 2~5 倍。并且化工废水中的有机物相对复杂、可生化性差、具有一定的生物毒性。因此我们在选择水处理生物技术时应注重两点，首先能够耐受 2~5wt% 的盐分，其次是能够适用于各类化工废水处理。根据以上 2 点需求，研发出一种新型耐盐生物强化技术。该技术指在 2~5wt% 的盐分下，微生物能够正常的进行新陈代谢作用，实现对废水有机物的生化降解。

目前这种新型耐盐生物强化技术日趋成熟，已经在精细化工、染料、医药、农药等行业废水治理中广泛应用。该耐盐生物强化技术突破传统活性污泥法的范畴，有 100 多种微生物组成，具有以下几个特点：

- 高分解力菌种构成完成的化合物分解链：菌群分解有机物的效率比一般纯菌种更有效，一个有机物被复合菌微生物菌种利用和分解，直至分解为无害的最终产物。利用纯菌种来分解有害物，会停在某一个中间阶段，如果没有其他菌继续分解残余的中间产物，废水的处理是无法进行到底的。如果用普通的活性污泥，则需要很长的时间去逐步驯化和转变微生物菌群。

- 耐盐性：由于微生物来源的改变，生物工程技术的进步，复合菌微生物菌群能在 Cl^- 在 30000 mg/L 或 SO_4^{2-} 在 40000 mg/L 存在下的条件下有效地进行有机物的分解和氨氮的去除。

- 复合菌微生物技术提高了耐受抑制物浓度：整个复合微生物种群能够耐受较高浓度的毒物性质，一般是普通活性污泥法的 3~10 倍，整个生化系统具有一定抗冲击负荷能力，运行更加稳定。

闭路循环是化工废水治理的一个终极目标，如何实现和解决目前闭路循环系统存在的问题是当务之急。突破传统思路，对每一段的水处理工艺革新，切实为化工企业解决环保问题，为化工企业实现经济效益和环境效益的双赢，是今后化工废水处理的方向，值得我们更深入的研究和探讨。

2.1.3 节能降耗技术

目前，有机化工废水处理中通常需要投入大量的能量与资源。以污水处理为例，其主要能耗主要集中于污水处理设备的直接能耗（鼓风机、搅拌推流器、提升泵等）和间接能耗（絮凝剂、中和药剂、碳源等耗材生产所需要的能量）。在传统的污水处理厂中，直接

能耗(电耗)占整个污水处理厂运营成本的50%以上。由于社会和经济的快速发展,全球能源日益短缺,

因此,如何有效降低化工废水治理过程中的能耗对于化工企业的环境保护显得尤为重要。在化工废水的处理技术的节能降耗方面,根据国内外文献报道,可将其处理技术分为以下几个方面:生化处理、物化处理、污水处理工艺和设备等方面。

2.1.3.1 生化处理技术

(1) 好氧生化法

传统好氧生化处理法包括A/O、AAO、SBR、氧化沟、生物膜法等。传统的好氧处理法虽然能够有效地将废水中污染物质进行去除,但是仍存在需要较高的溶解氧浓度和较大的回流动力,因此存在能量消耗过高等问题。在传统技术的基础上,国内外学者进行了深入的研究,在原有技术基础上进行优化和改进,并开发出新的好氧生化处理工艺。

辽宁城市建设设计院有限公司赵永臣等在深井曝气处理法的基础上,开发出节能型井式AAOO新工艺,并将其运用于焦化废水的处理中。通过对现有技术处理焦化废水的情况分析,表明井式AA/OO工艺继承了深井曝气和AA/OO工艺特征,能够对高浓度有机废水进行处理,不仅降低了基建投资,同时受温度影响低,溶解氧利用率高,降低了蒸汽等能耗,具有一定的市场前景和综合效益。

中石化上海工程有限公司何小娟等采用生物倍增法处理Sohio法丙烯腈污水,结果表明,当进水中COD、BOD₅、TN分别为1600、800、250、400 mg/L时,经生物倍增处理后,其COD、TN、NH₄⁺的平均值为123、51、11 mg/L, COD和TN的平均去除率达到95.8%和88.3%。生物倍增法通过将反应池内溶解氧控制在0.5 mg/L以下,实现短程硝化反硝化;同时通过空气气提,实现了废水的大比例回流,降低了机械推动过程中的动力消耗。生物倍增法需要曝气量是传统活性污泥法的40%以下,大大降低了废水的处理成本。

(2) 厌氧生化法

中山市迦南节能环保科技有限公司董龙标等研究采用厌氧工艺处理制药产生的废渣和污水,药渣TS产气率为205.6 mL/g~223.59 mL/g, VS产气率为221.3 mL/g~239.5 mL/g,有机物降解率为40%左右,系统中不存在产气抑制物;制药污水的TS产气率为403.9~409.2 mL/g, VS产气率为563.4~578.6 mL/g, COD降解率85%以上。结果表明,厌氧在制药废水中具有较好的应用前景。

北京工业大学彭永臻等基于小试和示范工程的试验研究结果,对一体化厌氧氨氧化工艺进行了综合分析和评价。结果表明,与传统AAO相比,厌氧氨氧化技术可以使总氮达到一级A排放标准的同时,有机物回收量增加1倍,曝气能耗的降低和厌氧消化工艺中甲烷产量的提高,使得污水处理厂的理论能量自给率达到90%,从而大大降低了污水处理厂的能耗。

2.1.3.2 物化处理法

(1) 氨氮吹脱法

南京苏环环境科技发展有限公司陈平等采用一种高效复合脱氮剂,其中含有大量的离子活性基团,能够在生物活性催化酶的催化作用下,几乎可以百分之百地将废水中的铵盐转化为氨气。同时不需要将废水pH调节至14,只需要保持在9.5左右即可。由于活性物质使得氨气与水体物质结合能力较弱,因此所需要的曝气量也较传统的小。该技术能够显

著降低高氨氮废水处理过程中的氨氮，同时具有节能降耗的优点。

国内外行业专家在高效脱氮药剂方面有很多研究，有以乳酸乙酯为主体的有机复合脱氮剂，也有以羟甲基纤维钠盐、丁二醇脱氮酶为主剂，并以多种活化剂为辅的复合化学药剂。这些复配药剂中都含有大量的 O、H、OH、CH、CH₂ 等自由基和活性基团，在碱性条件下，几乎能够百分之百地将离子态的铵盐(NH₄⁺)全部转化成分子态的氨气(游离氨)，并高效断掉 NH₃ 分子和水分子之间的氢键，使 NH₃ 分子彻底摆脱水分子的结合力，从而百分之百的以游离氨的形态从水中分离出来。

有机复合脱氮剂对氨氮的去除率可达 99.99%以上，废水中的剩余氨氮浓度最低可达 0.2 mg/L。且最佳的 pH 值比直接吹脱法的低，节省了加碱量。最佳的气液比是直接吹脱法的 1/10，大大降低了能耗。吹脱速率是直接吹脱法的 2 倍。常温条件下，吹脱 1.5h 后对氨氮的去除率比直接吹脱法吹脱 6h 的高；而在加热条件下，其吹脱 1h 后对氨氮的去除率就比直接吹脱法吹脱 6h 的高，从而大大缩短了吹脱时间。

但脱氮剂有效地作用对象是高浓度氨氮废水，对于低浓度氨氮和以有机氮为主的废水没有明显的优势。有机脱氮剂具有很强的氧化还原作用，在脱氮过程中，含氮有机物和其他的有机以及其他含氮无机物中的氮最终可还原为氮气，此部分的研究和工程案例鲜有报道。

(2) 高级氧化法

近年来，以臭氧为核心氧化剂开发了多种高级氧化技术，如多金属催化臭氧氧化技术、超声强化臭氧氧化技术以及双氧水协同臭氧氧化技术等，可有效地氧化分解水中高稳定性、有毒有害的有机污染物。催化剂、超声波和双氧水的引入能加快水体中臭氧分解产生具有极强氧化能力的·OH 的过程，显著增强体系的氧化能力，大幅度提高废水 COD 去除率和污染物的氧化分解效率。

① 多金属催化臭氧氧化

通过一定方式制备的金属催化剂能够促使水中臭氧分解，产生具有极强氧化性的自由基，从而显著提高其对水中高稳定性有机物的分解效果。许多金属离子可用于催化臭氧氧化过程中，如钛、铜、锌、铁、镍、锰等。

张彭义等以吐氏酸的臭氧氧化为例，研究了过渡金属镍、铁、铜单组分和不同配比双组分氧化物的催化作用。结果表明，它们能不同程度地提高臭氧的利用效率，其中附着沉淀法制备的以 γ -Al₂O₃ 为载体的 Ni-Cu-Urea1 催化剂活性最高，当臭氧投加量为 0.82g/L 时，其臭氧化指数为 1.1，同时 COD 去除率达到 51%以上。制备的 Ni-Fe (m (Ni): m (Fe) =1: 4) 和 Ni-Cu (m (Ni): m (Cu) =4: 1) 催化剂的臭氧利用率分别比 γ -Al₂O₃ 载体提高了 28.9%和 24.3%。当臭氧消耗量为 0.25~0.35 g/L 时，BOD₅/COD 最大达到 0.28。

李鹏程等以 γ -Al₂O₃ 为载体，采用浸渍法制备了 CuO、MnO₂ 及 MnO₂/K₂O 等 3 种负载型催化剂。以臭氧为氧化剂，采用多相催化氧化法处理煤制气厂和焦化厂的含酚氰废水。结果表明：MnO₂/K₂O 催化剂活性最高，在臭氧气相质量浓度 1.0 mg/L，气相流速 2.0L/min 的条件下，分别处理 60 min 和 20 min 即可使酚氰混合液中的苯酚(初始质量浓度 300 mg/L) 和 CN⁻(初始质量浓度 50 mg/L) 的去除率达到 90%以上。60 minCOD_{Cr} 去除率达 82.59%，几乎是单独使用臭氧时的 3 倍。

② 超声波协同氧化技术

引入超声波,可使臭氧充分分散与溶解,提高臭氧氧化能力。故其具有高效、低成本的特点,在水处理中具有很大的应用潜力。

赵朝成等用超声/臭氧工艺对有机物进行处理。在废水初始 pH 为 11、臭氧氧化氧气流量 $0.1 \text{ m}^3/\text{h}$ 、声能密度 0.1 W/mL 、反应时间 100s 条件下,质量浓度为 100 mg/L 的含酚废水的酚去除率可达 99.6%。

Teres 等考察了超声/臭氧过程对于棕黄酸的处理,发现单独用臭氧氧化 60 min 以后 TOC 去除 40%,矿化度达 28%;超声和臭氧联合(55w, 20 kHz)作用相同时 TOC 去除 91%,矿化度达 87%。

V. Ragaini 等用超声/臭氧工艺降解水溶液中的 2-氯酚,当 2-氯酚的降解率为 70%时,超声/臭氧工艺较单独使用臭氧时能耗高 7%,处理时间却减少 24%。

③ 非均相臭氧催化氧化技术

哈尔滨工业大学邓凤霞等在传统臭氧氧化基础上,研究了非均相臭氧催化氧化法对炼油废水进行深度处理,结果表明:当催化剂投加量为 3 g/L 时,臭氧利用率达到 82.41%,较传统臭氧氧化提高了 16.54%,COD 的去除率提高了 62.72%。经中试试试验验证,污水吨水运行成本为 1.216 元/吨,远低于传统臭氧处理的运行成本。

(3) 膜技术

清华大学李继定等研究了渗透汽化膜技术,该技术是一种新型膜分离技术,能够用于液体混合物的分离,特别是以低的能耗实现蒸馏、萃取、吸附等传统方法难以完成的分离任务。它特别适用于普通精馏难以分离或不能分离的近沸点、恒沸点混合物的分离,与传统的恒沸蒸馏和萃取精馏等相比,采用渗透汽化技术可节能 $1/3 \sim 1/2$,运行费不到传统分离方法的 50%。

(4) 多效蒸发法

蒸发脱盐工艺主要原理是采用加热的方法使废水中的溶剂部分汽化并去除,从而提高废水的浓度,或为溶质析出创造有利条件。多效蒸发器是由相互串联的多个蒸发器串联组成,生蒸汽首先被引入到一效加热室作为一效加热室的热源,一效溶液被加热后在一效分离室产生的二次汽进入到二效加热室作为二效加热室的热源,依此类推,下一效的热源由上一效的二次汽提供。这种蒸发废水的方法在能量利用上比单效蒸发要节约好几倍。

广州中环万代环境工程有限公司周秀霞等采用五效蒸发法处理环氧丙烷氯醇法工艺生产过程中产生的高氯离子含量有机生产废水,结果表明,采用五效蒸发装置进行预处理后,每年可减少废水排放量 405150 m^3 ,并回收废水中的氯化钙,其中固体氯化钙(75%)占 59%和液体氯化钙(40%)占 41%。多效蒸发的使用,回收了大量的工艺水和盐分,实现了工业废水的零排放,符合节能减排的环保政策。

2.1.3.3 污水处理工艺与设备

正如上文所提到,污水处理中电耗是污水处理的主要运营成本,因此,除了采用最新的节能降耗污水处理工艺外,对现有污水处理工艺的设计和选型进行改造和优化也是目前有机化工废水处理工程中实现节能降耗的关键。

利尔化学股份有限公司张成甫等从曝气风机、曝气器、曝气水深、污泥截留方式、生化污泥处置等角度对利尔化学股份有限公司所产生的化工废水处理过程中的能耗影响进行了探讨,并进行了 $4000 \text{ m}^3/\text{d}$ 的示范工程研究,结果表明:好氧生化采用磁悬浮风机、

板式曝气器、曝气水深 6 m、二沉池及气浮截留生化污泥、强化缺氧共代谢等措施可以在出水达标排放基础上，示范工程生化处理段实现比功率 3.2 kgCOD/kW，及零剩余生化污泥，吨水功耗较传统处理方法降低了 37.8%。

唐山城市排水有限公司王秋生等对唐山某污水处理厂传统三槽式氧化沟工艺中硝化反硝化时段的重新设定，在转刷、离心机等主要设备的运行中执行“避峰就谷”原则，通过合理降低扬程从而提高水泵运行效率，合理配置工频泵和变频泵的运行方式，科学减少电气系统变压器的容量，提高厂内再生水的使用范围等节能措施的有效开展，每年可节约 810 kW·h、降低生产费用支出约 133 万元，生产运行实现了节能降耗的目的。

宝钢工程技术集团有限公司庞翠玲等在宝钢焦化废水处理站改造过程中采用涡轮传动式单机离心式风机更换原有二级增压罗茨鼓风机，同时从风机选型、工艺布置、主要设备参数、节能分析等方面介绍风机的工程设计要点，并阐述了工程投资及运行效果。结果表明：采用涡轮传动单级离心式风机替换二级增压罗茨风机有很好的节能效益，节约年用电量 19.09%，设备噪声从 105dB 降低至 82dB，具有很好的经济效益及环境效益；同时，其可用于好氧池池深大于 11 m，有效水深大于 10 m 的焦化废水处理站，方案可靠可行，对于同等类型的新建改建扩建项目具有指导意义。

2.1.3.4 计算机模拟和污水处理节能

污水处理作为大型流程工业过程，其受到的影响因素十分复杂，目前，我国污水处理厂运行过程中广泛存在电能消耗大、运行成本高的现象。通过污水处理人员和经验与管理往往无法达到污水处理厂最优的运行状态。随着计算机模拟技术的迅速发展，实时优化（RTO）控制方法已经成为解决复杂流程工业过程优化与控制的有效手段。

北京工业大学韩广等采用神经网络系统对污水处理过程进行实时优化控制研究，同时在实时优化层提出了基于前馈神经网络建模的增广拉格朗日乘子法优化方法，根据污水处理系统的计划调度和系统运行信息的实时反馈对系统控制变量的设定值进行在线优化，实验结果表明，基于 NNALM 优化 NNOMC 控制的污水处理过程实时优化控制方法能够实现污水处理过程的平稳运行，同时在保证在甚至优化出水水质的情况下，有效地降低了系统的能耗，在不同工况下，节能效果均达到 2.6%以上。

华东理工大学丛露露等采用优化的 RBF 神经网络对活性污泥法处理污水的工艺过程中曝气阶段进行模拟与预测，结果表明优化过的 RBF 神经网络预测效果比传统 RBF 神经网络模型预测效果更准确，更稳定，从而实现系统更加稳定的控制溶解氧浓度，提高处理效率，并且在排水水质达到标准的前提下，实现节能目标。

2.2 我国自有知识产权技术的竞争力评价

有机化工行业的污染治理问题一直是国内外环境保护工作的关注重点之一。我国在本技术领域开展了大量技术研究和开发工作，现已拥有了一批有竞争力的自主知识产权技术，近两年申请相关发明专利 100 余项。其中，在化学药剂、生化等常规处理技术方面比较成熟，吸附、萃取、蒸发等资源化技术有较大发展。焚烧、湿式氧化、膜技术方面尚与国际先进水平存在差距。

随着水处理技术研究深入，逐步向成套化、装备化发展，尤其是有机化工行业污染治理技术，更加注重实际工程化应用。从相关领域发明专利申请数据来看，申请人为环保企

业或企业与院校联合申请的,已占新申请发明专利的一半以上,同时该领域还申请了数量与发明专利相当的实用新型专利。显示出我国研究者正积极推动水处理新工艺由实验室进入市场,转化为有机化工废水处理与资源化核心设备并实现工程化应用,从而带动了我国自主知识产权技术市场竞争力的进一步提升。进入 21 世纪以来,技术改造及关键设备引进消化吸收再创新,使得水处理装备制造水平得到大幅度提升,特别是自控、材料、传感等方面的科技进步,带动了环保装备制造行业制造水平的突飞猛进,逐步具备提供成套产品的能力,培育了一批具有核心竞争力的优势环保装备制造企业,促进了环保装备制造业的快速发展。其中,常规水处理设备基本实现国产化,核心设备开始参与国际竞争,国产的微孔曝气器、生物填料、高强度曝气机等常规设备已实现出口。

总体而言,我国有机化工行业污染控制技术总体水平保持着稳步提升的态势,但距离国际领先技术仍存在差距。特别是高浓度有机废水、难降解有机废水、高含盐、高含硫等废水的处理技术还难以达到稳定达标的基本要求,污泥处理处置缺乏有效地技术工艺,部分工艺配套设备的技术和质量水平普遍较差,持久性污染物的控制方面仍处于起步阶段,部分水处理核心技术仍依赖进口。

3 主要问题分析

3.1 技术开发、应用和发展过程中存在问题

有机化工行业是国民经济重点行业之一,同时也是我国环境问题中最突出的问题来源之一。其污染物种类繁多、毒性大,对生态环境安全产生严重威胁。近年来我国在有机化工环保技术研究与应用方面取得了重要进展,尤其是在国家水专项的支持下,取得了一批先进技术成果,部分成果达到国际先进水平。同时,国内科研院所日渐重视对相关领域技术的应用基础研究和成果转化,不少高校积极与企业合作,将实验室研究成果推向工程化应用。然而,限于规模化的中试验证条件不足,工程化应用技术成熟度不够;同时由于研究成果缺乏系统集成创新,难以为用户提供切实可行的整体技术方案,造成科研成果的产业化转化率仍然偏低。而我国大部分环保企业主要从事以生物技术为主的城市污水处理,研究创新能力较弱,对于有机污染物特别是治理难度很大的高浓度、难降解有机化工废水,自主开发能力不足。

十二五期间,总量控制成为环境保护工作的指标之一。根据十三五环境规划,我国环境保护工作将从达标排放、总量控制向质量、总量双控转变,质量、总量、风险协同推进,空间均衡、多污染物协同治理。然而,我国在污染物总量控制方面的技术支撑尚显薄弱。我国迄今没有比较成熟的环境模型系统,多数研究采用购买或技术合作引进的模型,对模型结果验证及系统集成重视不足,还不能适应对重点区域和流域环境污染总体水平进行生态监控的实际需求。我国相关领域关键技术研究大多处在原型样机阶段,离产业化和推广运用还有较大差距。同时,需要加快环保监测、监察、考核三大体系建设,配合环境容量方面的研究,制定科学的环境控制指标,大力实施环境综合整治,提升环境管理水平,有效削减污染物排放总量。

随着化学物质种类的逐年增加,单一物质控制指标也存在诸多不足,如较少考虑对生态

系统的影响、化学物质毒性数据不足、不能反映化学物质的联合作用、新的有毒有害化学物质因在环境中浓度低反而增加了分析技术的难度和分析费用、单一指标建立往往比较滞后等。多数发达国家早在 1970-1980 年代就已经实施废水综合毒性管理,我国亟待研究、制定适合我国国情的废水毒性控制指标、评价方法和毒性标准。有机污染物对综合性水质指标 BOD₅、TOC 等贡献较小,但对人类的危害却很大。生态毒理学的研究表明,这类污染物有些极难生物分解,对化学氧化和吸附也有阻抗作用,在急性及慢性毒性实验中往往并不表现出毒性效应,但却可以在水生生物,农作物和其他生物体中迁移、转化和富集,并具有三致(致癌、致畸、致突变)效应,在长周期、低剂量条件下,往往可以对生态环境和人体健康造成严重的影响。上世纪七十年代以前,由于受分析手段的限制,人们只能从 COD、BOD、NH₃-N、TN、TP 等综合性水质指标反映有机物的污染状况,但这些指标具有其自身的局限性,对于控制一般有机污染是有效地,但不能精确表征有机物污染的致突变性、致畸性和致癌性,因而无法针对这类特定污染物制订水质标准。随着现代分析技术的发展,GC/MS、LC/MS 等分析设备日趋先进,然而,要对环境中众多的有机污染物逐一进行监测和控制几乎是不可可能的,这就提出对毒性强、暴露程度高、持久性长、难降解的有机污染物进行优先监测和控制研究的课题。目前发达国家已经建立了相对完善的有毒有机物污染防治的技术体系和排放标准,我国在有毒有机物污染防治方面起步较晚。我国水中优先控制污染物的筛选工作开展于 20 世纪 80 年代末,提出水中优先控制污染物共 68 种。然而,由于我国各地区、各区域社会和经济发展的不平衡,环境污染的程度各不相同。因此,我国虽提出了针对全国范围 68 种优先监测的有机污染物,但针对某一具体局部区域,究竟应该优先监测哪些有机污染物,特别是对内分泌干扰素、藻毒素等新型有机污染物的富集、分离与快速检测水平还需提高。此外,我国大部仍倾向于废水的末端处理,建立了大批综合污水处理厂,由于缺乏适宜技术实施过程和有效处理,难降解有毒有机物往往直接排入以生物处理为核心工艺的综合污水处理厂,对生物处理单元造成冲击,影响其运行稳定性。部分难降解有毒有机物“穿透”综合污水处理厂直接泄入接纳水体,或在剩余污泥中富集积累,成为潜在的环境安全风险源,导致部分流域(区域)的水体中有毒有机物各类和含量持续增加。

另外,随着对有机化工废水处理与资源化领域人才的需求日益增加,如何加大对专业精通、实践能力强的复合型应用人才的培养,也是我国环境保护技术应用和发展过程中目前面临的主要问题之一。

3.2 改进思路

有机化工行业排放的难生物降解有机污染物、毒性物质种类多浓度较高,利用单一的技术原理难以保证处理水质,需多种技术原理和处理单元组合。我国治理领域多集中在单项技术的开发或改进,针对废水处理的评价方法和工艺优先方法的研究较少。新技术和工艺应用前的工艺、运行操作模式条件等的选择需加强。有机化工废水的治理途径应包括生产工艺减排、废水循环利用和废水处理系统的优化。

清洁生产减排方面,生产原材料的选择应在满足生产要求前提下尽可能采用产污少、处理性好的原材料,避免冗余高产污工艺环节。清洁生产的实施不仅需要国家法律保障和经济支持,更需要对企业管理人员对清洁生产循环经济有更为深刻的理解,需要企业赋予环保部门参与生产决策的权利。通过企业和环保部门的有效合作,可以从源头削减污染物

的排放减少环境治理费用,又使企业减少生产成本,实现经济环境的双赢。

4 建议

4.1 重点优先发展的领域、技术

4.1.1 工业行业的清洁生产和源头控制技术

以末端控制和治理技术,实施难度大,研发和应用经济代价高,投入力量及时间多,不合我国的国情。治理理念必须实现从单一末端治理技术向清洁生产和源头控制转变,工业行业应从生产工艺和生产全过程减轻污染物排放负荷,削减末端废水排放量,增加循环利用率,降低末端处理的难度,简化末端处理流程。

国家应鼓励开发应用绿色化工新工艺和新设备,发展循环经济,在政策上给予支持。

4.1.2 有机化工行业废水适用的组合处理工艺

有机化工生产废水末端治理技术,不管是用物化,还是生化方法,单一的处理工艺技术一般都很难达到规定排放指标。建议由行业协会牵头,组织业内专家学者分类筛选,推荐本行业内废水治理组合处理工艺,在化工园区及企业中推广应用。

4.1.3 适合国情的 MBR 膜生物技术

MBR 膜生物技术在废水处理升级改造及深度处理中水回水工程中有广阔的发展前景,但现阶段存在膜使用寿命短,膜容易出现污堵,膜冲洗频繁,膜组件更换周期短,增加了运行费用,能耗较高等诸类问题。因此研究开发低成本、高性能、耐污染、高膜通量、使用寿命长的膜组件应是今后几年膜技术发展的重点。其技术提升方向包括改善膜材料与膜组件的性能,包括增大膜通量,扩大出水能力;进一步研究膜污染的形成机理及控制技术;降低 MBR 工艺的能耗,拓展应用领域;膜元件与膜组件的标准化等。

针对不同废水水质,MBR 工艺研发方向包括:

- (1) 复合 MBR 工艺
- (2) 厌氧 MBR 工艺
- (3) 好氧颗粒污泥型 MBR 工艺
- (4) 专用菌种 MBR 工艺

4.1.4 生物强化技术

4.1.4.1 专用菌种培养,筛选及接种

目前国内大多是引进国外菌种,应用到工程中售价高,使用条件来源均受限制。应在未来几年自主研发,一旦技术突破,便可在生化系统中发挥生物强化增效的功能。

4.1.4.2 研制优质价廉的生物载体、开发优势菌种固定/富集方法

专用菌种依附生物载体(俗称填料),借助于固定、包埋及悬浮在系统中富集多种方法、充分发挥细胞降解废物的功能。

生物载体要求可附着性强，物化性质稳定，挂膜性能良好，抗水力冲击负荷好、开发同时具备性能稳定，传质好，使用寿命长，价格低，挂膜性能良好的固定化载体和固定富集方法，促进微生物增殖增效。

4.1.4.3 生物活性炭-活性污泥法及低溶氧-大回流生物强化技术

对现有工程应组织调查分析，提出优化改进意见。明确使用场合，使用条件，为有关行业推广应用提供技术支持。

4.1.5 新型厌氧反应设备

新一代厌氧反应设备在有机化工废水处理中，目前国内处于起步阶段，研究不够深入，应用领域不广。针对在工程中应用存在问题，结合工程实践，探索解决措施，使在未来工程中能够稳定运行，少出故障。

对 IC、EGSB 改进重点是：内循环回流的控制及三相分离器结构的改进，预防堵塞，出水不稳定及维修困难。

对新一代厌氧反应设备，应着重研究分析工艺参数（污泥负荷、水力负荷），接种污泥，环境条件（pH、温度及营养剂）对颗粒污泥形成的影响，掌握快速启动及高效稳定运行的关键技术，自主开发颗粒污泥制备技术，降低工程造价。

4.1.6 污泥减量化技术

推广应用少产污泥的生物处理新技术新工艺。如有氧气的企业，优先采用纯氧曝气，有条件的企业，应采用 MBR 工艺。

开发应用污泥深度脱水技术及二次脱水技术。从污泥改性和污泥脱水工艺两方面着手，降低脱水后污泥的含水率。

从源头控制上实现固废/危废减量化。法、美等发达国家在固废/危废管理中以减量化、资源化优先，而我国在固废/危废管理中往往重视末端治理的无害化，建议未来固废/危废管理法规和相关标准规范修订中从目前侧重无害化防治向减量化、综合利用转化，加强源头减量，促进资源化利用。

4.1.7 化工园区环境综合管控技术

近年来，随着大量“小化工”企业的关停转并，化工企业逐渐呈现集中化、规模化、规模化发展态势，全国陆续新建了上百家化工园区。由于化工产品种类繁多、工艺复杂、数量庞大，生产废水水质杂、毒性高、水量大；强化“入区入园”后，上游企业污染废水经预处理后直接接管至园区污水处理厂，使得园区化工综合废水水质成分更加复杂、可生化降解性低、水量可控性差、处理难度较高，严重威胁受纳水体生态环境安全。因此，有必要发展针对化工园区环境问题的源头控制技术、在线监测技术、末端治理技术和风险管控技术。

4.2 尚需配套的政策、法规、标准发展的建议

4.2.1 推进产学研科技成果转化，加强科技支撑

国家环境保护工程技术中心的定位是成为环境保护重大关键共性技术的开发、转化、

工程化和产业化的创新平台，解决重点领域、行业污染综合防治的技术支撑服务平台和产业化信息平台，为实现国家环境保护目标、提升环境保护决策和管理能力、促进环境产业和循环经济发展提供技术支持。大力推动有机化工行业污染治理的关键技术和共性技术研发，强化先进技术示范与推广，将对有效解决我国现阶段环境技术研究开发和工程化应用之间的衔接问题，产生积极的推进作用。

4.2.2 发展有机化工行业污染综合防控技术，推行减排减负，节能降耗和循环回用技术

目前，有机化工废水处理中通常需要投入大量的能量与资源。以污水处理为例，其主要能耗主要集中于污水处理设备的直接能耗（鼓风机、搅拌推流器、提升泵等）和间接能耗（絮凝剂、中和药剂、碳源等耗材生产所需要的能量）。在传统的污水处理厂中，直接能耗（电耗）占整个污水处理厂运营成本的50%以上。由于社会和经济的快速发展，全球能源日益短缺，因此实现污水处理过程中的节能降耗成为污水处理过程中亟需解决的问题。

有机化工废水主要产生于化工生产、农药、化学制药及染料等行业，该类废水中污染物的浓度高、毒性强、结构及成分复杂、难以降解，可对人、动物及微生物造成急性、慢性中毒或存在潜在毒性，严重危害生态环境，已成为世界范围内公认的减排减负难题。因此，如何有效提高化工废水的减排减负能力对于化工企业的环境保护显得尤为重要。

紧紧围绕有机化工行业减排减负，节能降耗，循环回用等迫切需求，首先是重点领域和行业废水的趋零排放技术，其次是利用重点行业的共性关键问题技术攻关为突破口，以点带面，实现行业的可持续发展。

4.2.3 发展技术模块化、集成化及中试平台

特色技术单元及设备实现模块标准化和集成化，主要有脱盐技术、电化学技术、固液分离技术等。搭建各种行业废水的中试实验平台，开展现场试验和工程技术示范。

电子电镀废水污染防治技术发展报告

1 电镀工业污染防治总体概况

1.1 国内外相关法规、政策、标准体系现状

电子电镀行业废水水量大、水质复杂、含威胁食品安全和人类健康的重金属及类重金属污染物，电子电镀废水污染防治引起了国家的高度重视。

国务院批复《重金属污染综合防治“十二五”规划》，这是我国第一个“十二五”专项规划，充分体现了党中央、国务院对重金属污染防治的高度重视。政府提出一定要抓住全面启动实施《规划》的契机，把思想认识统一到中央对重金属污染防治工作的决策部署上来，始终秉持民生为要、环保为民的理念，集中力量攻坚克难，不折不扣完成重点任务，全面遏制重金属污染事件高发态势，切实维护人民群众身体健康。

电子电镀行业污染防治的相关国家政策和条例纷纷出台。2008年6月1日颁布修订后的《中华人民共和国水污染防治法》，明确禁止含汞、镉、砷、铬、铅、氰化物等可溶性剧毒废渣向水体排放。2008年9月1日国家环保部颁布了新的电镀行业污染物排放标准《电镀行业污染物排放标准》(GB 21900-2008)。新标准的颁布实施大幅提高了电镀行业污染物排放的控制要求。2011年，国务院正式批复的《重金属污染综合防治“十二五”规划》要求，提出到2015年，重点区域铅、汞、铬、镉和类重金属砷等重金属污染物的排放，比2007年削减15%，非重点区域铅、汞、铬、镉和类重金属砷等重金属污染物的排放量不超过2007年水平。2015年4月2日，国务院印发的《水污染防治行动计划》中提出专项整治十大重点行业，其中包括制定电镀等行业专项治理方案，实施清洁化改造。

大量有关电子电镀行业污染防治的技术规范和技术标准也相继出台。2003年2月27日，原国家经贸委和国家环境保护总局公布了《国家重点行业清洁生产技术导向目录》(第二批)；2003年3月1日，北京电镀协会发布了《北京地区电镀行业清洁生产评价指标体系(试行)》。同时，国家环保总局科技标准司、国家清洁生产中心和北京电镀协会起草了《电镀行业清洁生产审核技术要求》；北京电镀协会还组织专家制定了《电镀行业清洁生产审核指南》；2003年6月18日，国家环境保护总局发布了《关于加强含铬危险废物污染防治的通知》。2010年，国家环保总局科技标准司相继组织起草《电镀污染防治最佳可行技术指南》(HJ-BAT-11)、《印制线路板废水治理工程技术规范》《电镀工业污染防治技术政策》等。

多个省市地方法针对当地电镀行业的发展特点制定了相关管理办法、污染整治实施方案、污染治理设计技术规范等。电镀行业的发展从整体上看是比较完善的，但有些地方发展比较快，例如江浙、北京、珠江三角洲等经济较发达区域。

浙江省为解决电镀行业污染严重、无序发展等突出问题，根据污染防治相关法律法规

及《浙江省重金属污染综合防治规划(2010—2015年)》，整治全省范围内所有电镀企业和企业配套电镀车间。

北京市环保局编制“北京市重金属污染综合防治‘十二五’规划年度实施方案”，规定在未来一段时期内重金属污染防治的工作重点之一是开展涉重金属行业企业专项检查，重点检查铅酸蓄电问题及时促改。

广东省环境保护厅印发《广东省电镀行业清洁生产审核技术指南》，内容涉及电镀行业清洁生产标准解读、审核技术方法和典型案例分析等，对于推动电镀行业的节能减排和清洁生产技术进步，实现“节能、降耗、减污、增效”目的，起到积极的作用。对于发达地区和污染严重的区域，建议制定适合本地区且更为严格的电镀行业政策；2015年8月20日，由广东省环境保护厅、广东省质量技术监督局联合发布的《电镀水污染物排放标准》(DB44/1597-2015)正式执行。

1.2 国内外对污染控制管理现状

面对日益严峻的环境形势，全国不断加大对电镀行业的管理和整治力度，各地坚决取缔了一批无牌无证的小电镀，对于部分设备先进规模较大的企业进行升级改造，同时科学规划电镀产业园区，通过集约化管理提升电镀企业治污水平。

近几年，政府充分利用政策和监管手段，制定严格的污染物排放标准等手段，建立倒逼机制，从而促使企业转型升级，实现减排。广东等省采用制定和执行严格的污染物排放标准倒逼机制，在促进电镀企业减排方面取得一定的成效。国家和各省市已经颁布了多项与电镀行业相关的法规、标准及规范。如2012年，广东省环境保护厅印发文件(即粤环[2012]83号文)，要求珠三角地区电镀行业新建、改建、扩建项目执行《电镀污染物排放标准》的水污染物特别排放限值(简称表三)。

我国目前对于新建的电镀企业，按照有利于调整结构、有效竞争、降低能耗、保护环境和安全生产的原则，设置电镀行业准入条件，引导电镀行业健康发展，抑制盲目扩张，制止低水平重复建设，促进产业结构升级。新建电镀企业进行园区化管理，可做到集中生产、集中管理、集中污染治理，有效减少环境污染，降低企业治理成本，是目前国家提倡的做法。北京、浙江、江苏、湖北等省市加强电镀行业园区管理，在资源优化整合、减少污染物排放方面取得明显的成效。但近年来电镀园区存在的弊端也显露出来，存在园区分包、片区污染严重等问题，主要原因在于前期园区规划不合理，后期园区管理不科学，政府主管部门监管力度较弱。

2 主要技术发展情况

2.1 主要技术发展情况

2.1.1 国内技术发展情况

2.1.1.1 电子电镀重金属废水处理技术

从建国以来，直至50年代，我国电子电镀规模一般较小，装备也较简陋，电子电镀

废水的治理也处于“空白”状态。60年代至70年代，随着电子电镀工业的发展，电子电镀污染问题也引起了政府的重视。在这一时期，开展了治理技术及应用的研究。这一时期电子电镀废水治理的主要目标为氰、铬两种有害成分。处理的方法多采用化学沉淀法。化学沉淀法具有试剂来源广、成本低、操作过程简单等优点，但因大量化学药剂的加入会产生大量污泥，该类污泥作为危险废物需移交有运营资质的机构进行后续的处理处置，对环境造成二次污染。

70年代至80年代初，我国对电子电镀废水的处理方法有了较大的进步，在这个时期，已由单纯的无害化，发展到综合回收阶段。在这个阶段研究和使用的有：离子交换法、蒸发浓缩法、电渗析法、反渗透法、表面活性剂法、溶剂萃取法等。在我国的应用实践证明，单独使用上述方法，虽然比单纯的无害化排放前进了一步，但还存在一些局限性，在处理效果上也不够彻底。例如，离子交换法除铬的阳离子树脂交换柱产生的酸性重金属再生废液还需用化学法补充处理。自从80年代后，明确了单纯治理已不能适应形式的要求，对电子电镀废水的处理进入到多元组合技术处理防治阶段，并取得了一定成效。同时吸附法、膜过滤法等新型方法在电子电镀废水的处理方面也受到了众多研究者的广泛关注，但是，它们存在着成本和能耗高、装备复杂、操作时间长以及选择性低等缺点而在推广应用上受到了限制。

近年来，很多省市陆续规划筹建“电子电镀工业园区”，将多家电子电镀生产厂家集中在指定地区。在电子电镀园区或集控区，电子电镀废水在实际排放中，无法完全按常规的“分流分治”的原则通过管道将各类金属离子废水进行分别输送至各自处理系统，废水混排日益严重。由于各个电子电镀企业的镀种不同，几十种不同污染物成分、不同时段废水量及废水浓度的急剧变化等加剧混排废水处理的困难，传统的电子电镀废水处理方法，例如化学沉淀法、电解法、离子交换法等处理混排废水不能达标。电子电镀废水的处理方法需要不断改进、创新，向更广泛、更彻底的方向发展才能满足园区各类企业混排废水处理的需求。

2.1.1.2 电子电镀重金属废水资源化技术

电子电镀废水中重金属不能被任何手段所分解和破坏，只能转变其物理和化学形态，废水中离子态的重金属经化学处理转变成固态的电子电镀污泥。电子电镀污泥是电子电镀行业中废水处理产生的含重金属污泥废弃物，被列入国家危险废物名单中的第十七类危险废物。一方面，作为电子电镀废水的“终态物”，废水中的Cu、Ni、Cr、Zn、Fe等重金属都转移到污泥中，对生态环境的破坏是不言而喻的；另一方面，如果对电子电镀污泥中品位极高的重金属物质不加以回收利用，也意味着资源的巨大浪费。随着金属资源日益贫乏，电子电镀重金属污泥的资源化综合利用逐渐受到人们关注。近年来，电子电镀重金属污泥资源化综合利用的研究虽取得不少进展，至今有不少报道出现在科技文献中，同时也开展了综合利用的尝试，但我国现阶段电子电镀污泥在工程中依然以处置为主。

(1) 电子电镀污泥堆肥处理

对来源于某厂电镀车间的含铬污泥，西北轻工业学院进行了堆肥化处理研究，使大部分重金属固化，大大降低了其毒性，通过堆肥后污泥施用于花卉的盆栽试验，显示了较好的生长响应。虽然用于花卉种植避开了人类食物链，但我国电子电镀污泥一般重金属含量较高，性质复杂，采用堆肥处理后的污泥农用仍有一定的难度和风险，加上堆肥周期长、

程序复杂,也限制了电子电镀污泥的堆肥化处理研究及应用。

(2) 电子电镀污泥中重金属的回收利用

电子电镀污泥进行重金属回收的首要步骤是将电子电镀污泥中的重金属进行酸浸,以重金属离子态或络合离子态浸出,然后将浸出液中的重金属元素进行分离和选择性回收。回收的最终产物为高品位金属单质或相应的高纯度金属盐。

① 离子交换膜法

一般采用液膜来进行回收。液膜分散于电子电镀污泥浸出液时,流动载体在膜外相界面有选择地络合重金属离子,然后在液膜内扩散,在膜内界面上解络。重金属离子进入膜内相得到富集,流动载体返回膜外相界面,如此过程不断进行,废水得到净化,重金属得到回收利用。离子交换膜法的优点:能量转化率高,装置简单,操作容易,易控制、分离效率高。但投资大,运行费用高,薄膜的寿命短,比较容易堵塞,操作管理烦琐,处理成本比较昂贵。

② 湿法回收有价金属

氨浸处理法:主要利用弱酸性条件下 $\text{NH}_3\text{-(NH}_3)_2\text{SO}_4$ 体系中金属元素生成的不同的产物将其分离。近来有报道称,在一定条件下,利用氨浸法能将 Fe、Cr、Cu 等金属加以有效地分离。但这种方法存在较为明显的缺点,其最后产生的铁铬氨浸渣无法作进一步处理。

(3) 电子电镀污泥的生物处理技术

近年来去除城市污水污泥中重金属的试验研究发现,可利用 S_0 或 FeSO_4 作为基质。驯化培养嗜酸菌,在这类生物的作用下,污泥自然酸化,使污泥中的重金属元素溶出,再经泥水分离从而达到去除重金属的目的。中国科学院成都生物研究所从电镀污泥、废水及下水道内,分离、筛选、净化,获得高效去除重金属的 SR 复合功能菌,用其对铬、镉、锌、铜、镍和铅等金属进行净化,净化去除率达 99% 以上,回收率达 80% 以上。另外 Atkinson 的工作也表明,生物方法可有效地去除电子电镀污泥中的 Cu、Zn、Ni、Cr 等重金属。但是这类研究仅仅限于实验室研究,并未应用与实际工程。

(4) 等离子技术

等离子技术具有高效率、低能耗、安全、无二次污染等特点,为固体废弃物的无害化、减量化和资源化处理开拓了一个新途径。等离子体技术应用于污染治理的研究始于 20 世纪 50 年代,近年来 Kikukawa 等人提出了用等离子技术处理电镀污泥,由于等离子体的电子具有较宽的能量分布,电子能量高,可与原子、分子碰撞,产生各种粒子,从而有可能进行热化学反应较困难甚至不可能进行的化学反应。等离子体技术是将电子电镀污泥中的重金属进行有效分离的一种新兴的方法,但实施成本高。

2.1.2 国外主要技术发展情况

电子电镀是一个重污染行业,世界各国都十分重视电子电镀工业污染防治。国外尤其是欧洲、美国和日本,由于对电子产品的研发和生产较早,电子电镀废水、电子电镀污泥相关的处理工作起步也较早。

在电子电镀废水处理方面,国外在 20 世纪 60 年代中期就进行了电子电镀污染区域性集中防治,主要分为污染源的区域集中和污染物的区域集中处理。污染源的区域集中就是

将小型电子电镀点合并成电子电镀中心，如日本东京的京滨岛中央镀金工业团地就是一个由 24 个小型电镀厂联合而成的电镀中心，建立共同的废水处理站进行集中处理。废物区域集中处理就是社会化处理工程，在工业集中的地区内建立专门处理废水（物）的设施，为工厂企业服务，日本东京的城南处理中心就专门处理 1000 多家电镀厂的含氰废液。德国是世界上最早采用集中处理的国家，鲁尔地区有专门的集中处理工厂，承担处理氰化物、 Cr^{6+} 还原、中和沉淀以及废铬液的回收与处理。

美国首先研制成功并应用了离子交换树脂、电解、电渗析、反渗透及薄膜蒸发装置，并已开始出现微排放及零排放的理论、技术及装备。美、日、欧等国的环境保护机构曾提出，在 20 世纪八十年代中期前实现电子电镀废水的零排放计划。美国环保专家们曾认定这些装置加上电脑技术可以做到电子电镀废水治理的全自动控制，并做到闭路循环无排放。于是美国环保局提出全美在 1985 年 7 月 1 日前实现该类废水零排放计划，并决定取消传统的化学法治理电子电镀废水。可是后来美国电子电镀企业家们无法大量投资购买上述昂贵的装备，美国环保局不得不于 1978 年 10 月宣布放弃这个计划。因此，传统的化学法至今仍遍布美国城乡各地。随着环境问题日益严重和环保意识的加强，国外工业发达国家将电子电镀生产逐渐移到发展中国家，本国电子电镀企业数量逐渐减少，例如日本现有电镀企业 1660 家，比 1985 年的 2983 家减少了 45%，从源头上杜绝了电子电镀废水的产生。

在电子电镀污泥的处理方面，国外从 70 年代至 80 年代初，电子电镀污泥的处理开始向社会化集中处理的方向发展，建立了专业性工厂以进行电子电镀污泥的处理和回收。如瑞士的一家除毒中心厂，其装备能力每天能处理 300 吨含重金属的湿污泥。瑞典把板框压滤机安装在污泥脱水车内，定期去工厂进行污泥脱水，然后对污泥进行集中处理。日本东京都十个小型电镀厂为消除公害而组成联合企业-东谷电镀中心，对污泥分门别类进行综合利用，Ni、Cu、Zn 废渣出售给有色金属冶炼厂回收金属，而以铁为主的废渣则送给工业废渣处理厂填海造陆。

在电子电镀废水技术装备化工程化方面，一方面，国外末端治理技术研发较早，技术转化、推广机制完善，能迅速完成新的电子电镀技术装备化、工程化的应用，其中很大部分的技术装备出口至发展中国家，产生巨大经济和环境效益，目前发达国家电子电镀生产为专业化生产，电子电镀生产实现了数字化自动化，生产设施与环保设施自动控制。

2.2 我国自有知识产权技术的竞争力评价

国内申请与电子电镀废水有关的专利共计 675 项，其中发明专利 407 项，实用新型专利 268 项。虽然中国电子电镀废水专利申请量较多，但专利技术转化为装备、实现产业化推广应用的很少。一方面可能由于专利本身的技术内容市场应用价值不广泛；另一方面部分申请人把专利等同于科研成果来对待（如大专院校科研机构的专利），忽视了专利的市场属性，以获得专利授权为目的。此外，外国申请我国国内专利占比较小，在国际相关的专利申请中，我国申请量占比很小。从一定程度说明我国在电子电镀废水处理领域技术创新的国际影响力和竞争力方面仍比较弱。

近年来，我国重视关于电子电镀废水处理技术方面知识产权的建设，产生了一批成果，如国家环境保护电子电镀废水处理与资源化工程技术中心针对国内电子电镀废水治理及

现状,制订了适用于以膜分离法进行污水处理及深度处理回用工程的《膜分离法污水处理工程技术规范》(HJ 579-2010)、用于指导金属加工工业等行业产生的油脂、表面活性剂等含有污水处理工程的《含油污水处理工程技术规范》(HJ 580-2010)和适用于电镀污水处理工程的《电镀污染防治最佳可行技术指南》(HJ-BAT-11)、《电镀工业污染防治技术政策》等技术政策规范。

3 主要问题分析

随着我国废水治理工作不断发展,我国电子电镀废水治理向专业化、装备化、系列化发展越来越成为人们的共识和努力的方向。但由于种种因素所限,与国际上一些发达国家各种形式的专业化、装备化治理相比还有一定差距,主要表现为:

(1) 传统技术处理效率低

目前我国电子电镀企业废水处理大部分采用传统工艺,与国外发达国家相比,处理效率低,主要表现在以下几个方面:

① 废水处理及资源化利用效率低

发达国家电子电镀废水技术及装备先进,国家扶持力度大,新技术及装备推广应用快,废水处理资源化利用效率高。而我国有很大部分电镀企业废水处理后没有水的回用设施,处理后的水即被排放掉,浪费了宝贵的水资源。仅有少数的企业如新建大型企业、三资企业、大型专业电镀厂、部分国企等有水的回用设施进行水的回用,回用率达到了60%左右。对于电子电镀污泥,目前大部分仍作危废处理,很少电子电镀企业实现金属污泥回收利用。

② 水处理成本高

发达国家电子电镀企业清洁生产力度大,从源头产生的废水量少,处理成本低。相比之下,我国废水处理与生产过程污染物控制结合不够,不能有效从源头减少污染物的产生。废水处理没有采用自动加药控制,为达到排放标准要求,采取过量投药,浪费了化学药品,同时加大了废水的处理费用。

③ 企业污水处理设施管理不善

发达国家由于企业环保意识强,相关部门监督力度大,对企业污水处理设施管理相对完善,电子电镀污水装备正常运行,废水处理达标排放。而由于我国相关部门监督力度不够,装备运行成本高等原因,我国不少电子电镀企业废水处理设施未能正常运转,电子电镀废水不能达标排放。

(2) 高效合成技术及装备少

由于我国在电子电镀废水处理技术的研发领域和发达国家相比,较为滞后,对于电子电镀处理技术及混合废水处理技术的合成技术研发不够深入、系统,很多共性关键技术尚未取得突破,特别是对工程化、产业化缺乏可靠的、成熟的技术支持,从而严重制约了电子电镀水高效处理技术的产业化进程。此外,我国专门从事电子电镀废水处理技术装备化、工程化的企业少,废水治理技术装备的生产和销售被欧、美、日等发达国家所垄断。

(3) 新技术及装备推广应用不足

与发达国家新技术及装备推广应用快的情况相比,目前我国在新技术及装备推广方面缺乏有效地组织机制,公共平台的持续服务,工程运用缺乏系统管理和科学指导,使一部

分市场前景良好、治理效果好的成果得不到真正推广。

4 建议

(1) 完善电镀污染防治设施，确保电镀污染物达标排放。

健全完善污染防治设施是企业污染物达标排放的基础，必须完备“三废”治理设施。国家环境保护部发布的《电镀污染防治最佳可行技术指南（试行）》（HJ - BAT - 11），阐述了电镀工业的生产工艺及污染物排放、各项污染防治技术以及污染防治最佳可行技术，可为电镀企业污染防治工艺和设施的选择提供参考。同时建议企业委托有相关资质的第三方进行污染治理设施的运行管理，更加专业化和透明化，确保达标排放。企业应按照规定，安装 COD、重金属等主要污染物的在线监测装置，提高控制水平与环境管理信息化、精细化水平，实时了解生产排污状况，才能切实将污染防治落到实处。

(2) 制定电镀企业日常管理制度。

提高电镀企业日常管理水平电镀企业日常管理制度包括技术工艺管理、设备管理、生产现场管理、污染防治设施管理、资源化管理等内容。建立制度、严格执行并及时完善是企业稳定运行的有力保障。应加快淘汰高耗水、高耗能、重污染的落后工艺设备；减少生产现场的跑、冒、滴、漏；制定污染物监测计划和建立污染防治设施运行台帐，废水分类收集、分质处理，严控电镀、退镀工序的无组织排放对大气环境产生的不良影响；将采用或研发先进清洗技术和固体废物资源化技术等纳入日常

(3) 研发符合我国国情的电镀废水处理技术

目前电镀行业废水处理中存在的问题主要是较低的废水回用率、较高的运行成本、较低的有效治理率、较低的污染治理水平、较低的机械装备水平、较低的专业化程度等。在我国实施新的电镀污染物排放标准之后，电镀行业中面临着越来越严格的污染物排放标准，而采用现有的电镀废水处理技术往往不能够符合新排放标准的要求，所以必须要对电镀废水处理相关技术进行深入研究。电镀废水处理技术未来的发展方向主要是多元组合技术、资源的回收利用和闭路循环、循环经济、总量控制和清洁生产工艺整合。

高盐废水脱盐处理技术发展报告

1 高含盐废水防治概况

1.1 国内外盐废水及其相关法规、政策、标准体系现状

随着环保制度的逐步完善,国家在涉及国计民生的大部分环境领域均有相应的法律、法规、标准出台,有力促进了经济发展与生态环境保护的协调发展。从水质检测标准的提高与“水十条”的颁布可见国家对水生态环境的重视逐渐加大。其中,典型高能耗高污染工业的废水治理一直是环保重点治理与监管的对象,相关领域的环保工作重点也从最初的“达标排放”转向“节能、降耗、减排、回用、资源化回收”,并取得了一系列令人瞩目成果。但随着我国经济社会的快速发展和人口的不断增长,水资源短缺日益严重,水环境污染遭到破坏,已严重制约我国经济、生态的可持续发展,大力加强水回用和海水淡化是解决我国水资源短缺的根本途径。工业生产中产生的高含盐废水是工业废水中的重要组成部分之一,通过经济、有效地处理技术对其有用成分回收利用,实现水和矿物资源的循环利用,实现以及高含盐水的减量排放具有重要意义,也显得尤为迫切。

高盐水主要包括三大类:①高盐工业废水,包括高含盐的有机和重金属废水等,如石油化工、煤化工、电力、冶金、医药等行业生产过程中产生大量的高盐度、高有机、高氨氮、高重金属(简称“四高”)含量的工业废水。②反渗透(RO)等膜工艺处理排放的浓缩高含盐水;目前电力、化工、钢铁、医药等行业的工业废水回用以及纯水的制造,多采用集成膜(UF+RO)工艺净化处理技术,但RO膜滤产生的30%~40%浓盐水进行回收再处理的甚少。③苦咸水,如我国西北,尤其新疆、内蒙古、甘肃等地地下水多为苦咸水质,这些地区人民长期饮用这种苦咸水,对人民健康构成严重威胁。解决这些地区居民的饮用水问题,是涉及民生的大问题。

浓盐水排放到城市管网中,或直接排放内陆河湖、近海水域中,不仅浪费大量宝贵的矿物质和水资源,而且破坏近海水域盐度平衡、加剧内陆水环境矿化危机。长期取用这些高盐度、高矿化度的水,不仅严重腐蚀工业设备及公用环境设施,而且严重破坏生态环境平衡,造成土壤板结、草地植物枯萎,加速土壤盐碱化、沙漠化进程。高盐水处理已成为当前水环境污染治理,生态环境建设中凸显的问题。我国十二五规划中就提出绿色发展,建设资源节约型、环境友好型社会的总体目标,十三五规划更是将生态文明建设提到与经济建设,政治建设与党的建设相同的高度上来。可见,高盐废水的安全处理与处置将对改善水环境、实现生态文明建设健康发展、圆满完成十三五规划目标具有重要意义。

国外早已关注高含盐废水排放对环境的影响,国际上目前通行的做法是根据接纳水域

实际情况,规定总盐量排放限值,如加拿大和美国的相关法规和标准中规定,含盐废水排放造成的纳污水域的盐度波动不得超过 10%。欧盟在 2000 年颁布社会公约以防止水体受到高盐废水的污染。

尽管我国相关部门对含盐水质已有具体标准限制,如《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)对集中式生活饮用水地表水源地的硫酸盐、氯化物、硝酸盐都有控制指标;《农田灌溉水质标准》(GB5084-2005)规定非盐碱土地区灌溉水质含盐量不超过 1000 毫克/升,盐碱土地区不超过 2000 毫克/升,但高盐废水排放问题至今没有引起足够的重视和监管。在我国现行的环境排放标准、法规中,如《污水综合排放标准》(GB8978-2002)及其他行业废水排放标准中,都没有对排放污水中的盐度或接纳水体总盐量进行限制。

1.2 国内外对污染控制涉及的重点行业污染控制管理现状

由于高盐水的高含盐特性,目前几乎所有脱盐技术存在投资高、能耗高,成本高等特点,企业一般难以承受,新型的脱盐技术尚处于研发阶段。因此,目前国内外对所涉及的重点行业盐类物质的污染控制尚无明确具体的管理措施,加拿大、美国、欧盟等国仅对含盐废水排放造成的纳污水体盐度控制提出总量控制措施。

欧洲议会第六框架项目下的一个为期 3 年的项目,即针对高浓度膜滤浓缩液的安全处理与处置展开研究及示范。其主要内容是对现有膜法海水淡化进行工程优化设计,解决或改进一些在海水淡化及浓盐水处理工艺中的关键问题,包括:① 先进监测与预测仪器及工具;② 多种膜工艺集成及其与传统工艺的比较;膜法脱盐单元装置设置,清洁策略及其浓缩比例;③ 提高膜法水回用率(95%)技术的开发,以及减少浓盐水排放对环境影响的脱盐技术开发;④ 降低脱盐技术能量消耗,以及再生能源的可持续利用。

《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006-2020 年)》设置了水体污染控制与治理科技重大专项,主要针对解决制约我国社会经济发展的重大水污染的瓶颈问题,重点突破工业污染源控制与治理、农业面源污染控制与治理、城市污水处理与资源化等水污染控制与治理等关键技术和共性技术,但没有涉及高盐废水和浓杂盐水的脱盐处理技术。

在 2012 年 8 月 27 日提请十一届全国人大常委会初次审议的环境保护法修正案草案中,国家对重点污染物实行排放总量控制制度,但似乎也没有涉及水体总盐量的控制,只有在《中国节水技术政策大纲》曾指出:目前制约废水回用的最主要因素之一是浓盐水处理问题,并强调应积极开发高盐废水的处理技术。

2 主要技术发展情况

2.1 国内外主流技术研发、推广和应用情况、技术的进步和发展

传统脱盐技术主要有离子交换法和石灰/石灰-纯碱软化法(主要用于电力行业脱盐软化处理)。离子交换法可以去除水中各种阴阳离子,尤其去除水中的碳酸盐硬度和碱度,但它只适用于盐度低于 500 mg/L 的低含盐水,且对进水水质要求严格,树脂及再生费用高,再生浓盐水处理困难;石灰/石灰-纯碱软化法是应用最广泛的单元技术之一,能有效降低水中结垢成分与悬浮物浓度,并且可使部分水处理剂经软化工艺后再回流系统中继续

循环使用,石灰乳与水中的碳酸盐硬度成分反应,生成难溶的 CaCO_3 或 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 后沉淀析出。单纯的石灰软化法只能去除碳酸盐硬度,而石灰-纯碱软化法能有效去除水中结垢的主要成分如钙、镁、磷酸盐和二氧化硅等,并将水中的悬浮物、腐蚀产物和微生物粘泥等在沉淀和过滤过程中去除,且产生泥渣易脱水,可作为非毒性废弃物掩埋处置。但缺点是出水残留硬度大、pH 值较高、泥渣量大;另外,还存在石灰乳制备系统的操作条件、运行环境差,管道易堵塞、自动化难度大等问题。尽管如此,石灰价格低廉、来源广泛,运行成本低,可与絮凝过程同时进行,即可降低水的硬度,又可除浊。因此,石灰-纯碱软化法已广泛用于工业纯水系统补充水的预处理。

温石灰软化法(WLS)、高剂量石灰软化法(HLS)和超高剂量石灰软化处理工艺(UHLS)等都是石灰软化技术的升级技术。这些方法经过多年发展,已有成熟的理论设计方法,技术可行性强。但存在“软化污泥处置”和“与化学处理法相互影响”的两大技术瓶颈。

近年传统脱盐技术已逐渐淡出市场。目前国内外对高盐水脱盐处理的主流技术主要有热法和膜法两大类。

2.1.1 热浓缩法脱盐技术

热法是最古老、最常用的脱盐方法。它实际是将高含盐水加热沸腾蒸发,再将其冷凝成淡水的过程,也是最早、最多采用的海水淡化技术,主要包括多效蒸发(MED)、多级闪蒸(MSF)、压气蒸馏(VC)等形式。目前工业废水热法脱盐技术基本上都是在海水淡化的热法技术基础上发展的。热法脱盐技术普遍存在设备投资、运行成本,能耗高以及设备、管线腐蚀严重等问题。

2.1.1.1 多效蒸发脱盐(MED)技术

MED 脱盐技术是将加热后的盐水在多个串联的蒸发器中蒸发,前一个蒸发器蒸发出来的蒸汽作为下一蒸发器的热源,最后冷凝成淡水。MED 蒸发脱盐设备分为长管升、降膜式,自然循环与强制循环式等。MED 技术也是用于海水淡化的脱盐技术之一,其中低温多效蒸发是目前热法中最节能的方法之一。由于其高效节能因素,近年发展较为迅速,装置规模日益扩大,投资成本日益降低,已成为热法脱盐的主流技术之一。

2.1.1.2 多级闪蒸脱盐(MSF)技术

MSF 脱盐技术是将高盐水加热到一定温度后引入闪蒸室,由于该闪蒸室中的压力控制在低于热盐水温度所对应的饱和蒸汽压的条件下,故热盐水进入闪蒸室后即成为过热水而急速地部分气化,从而使热盐水自身的温度降低,所产生的蒸汽冷凝后即为所需的淡水。多级闪蒸就是以此原理为基础,使热盐水依次流经若干个压力逐渐降低的闪蒸室,逐级蒸发降温,同时盐水也逐级增浓。

MSF 技术是针对 MED 技术结垢严重的缺点而发展起来的,也是目前海水淡化中较成熟技术之一。MSF 设备有水平式、竖管式、沸腾床式、横管式与长管式等等,具有设备简单可靠、运行安全性高、防垢性能好、操作弹性大以及可利用低位热能和废热等优点,适合于制造大型和超大型海水淡化装置,目前在海湾国家应用较多。

多级闪蒸法不仅用于海水淡化,而且可用于火力发电厂、石油化工厂的锅炉供水、工业废水和矿井苦咸水的处理与回收,以及印染、造纸工业废碱液的回收等。

2.1.1.3 蒸汽压缩冷凝脱盐 (VC) 技术

VC 脱盐技术是将盐水预热后, 进入蒸发器并在蒸发器内部分蒸发。所产生的二次蒸汽经压缩机压缩提高压力后引入到蒸发器的加热侧, 蒸汽冷凝后作为产品水引出, 如此实现热能循环利用。如当其作为循环冷却水脱盐回收工艺时, 可使冷却水中的有害成分得到浓缩, 并可得到 95% 以上的纯水, 作为循环水和锅炉补充水返回系统。VC 脱盐技术一般分为机械压汽蒸馏 (MVC) 技术和热力压汽蒸馏 (TVC) 技术。VC 脱盐技术对设备材质的要求极高, 运行中需消耗大量的热量, 存在一次性投入和运行费用极高的缺点, 只能在特别缺水的地区发电厂中采用。

热法脱盐技术的主要发展趋势是如何提高装置单机的造水能力, 设备材料的耐盐腐蚀性、使用寿命, 操作运行温度, 以及提高传热传质效率等, 其最终目的是降低设备工程造价, 运行成本和热能的消耗量。

2.1.2 膜法脱盐技术

膜分离技术是由压力差、浓度差及电势差等因素驱动, 通过溶质、溶剂和膜之间的尺寸排阻、电荷排斥和物理化学作用实现的分离技术。与热浓缩相比, 膜分离技术具有结构简单、易于操作、操作温度低, 过程无相变, 分离效率高等特点。近 40 年来, 膜分离技术已迅速发展成为水处理中最重要、最广泛采用的新型高效节能回用处理技术, 尤其在高盐水脱盐处理中, 得到广泛的应用, 主要包括:

2.1.2.1 电渗析 (ED) 技术

电渗析 (ED) 技术是以电位差作为推动力的一类膜分离过程。在外加直流电场作用下, 利用荷电离子膜的反离子迁移原理使水中阴阳离子做定向迁移, 从水溶液及其他不带电组分中分离带电离子组分。电渗析技术的关键是离子交换膜, 一般为 0.5-1.0 mm 厚度的正离子交换膜 (阳膜) 与负离子交换膜 (阴膜)。ED 装置是将具有选择透过性的阳膜与阴膜交替排列, 组成多个相互独立隔室。在交替隔室中盐水分别被淡化和被浓缩, 使淡水与浓水分离。ED 技术一般与离子交换水处理技术等相结合, 用于处理含盐较高的苦咸水、高硬度水除盐, 或高纯水制取。也可作为 RO 技术的预处理或后续深度脱盐技术。

ED 技术在 20 世纪 70~90 年代, 曾在化工、医药、食品、电力等行业的水质除盐得到广泛应用, 但由于仅适用于低盐度废水的脱盐处理, 且能耗高, 离子膜更换频繁等原因, 已逐渐被反渗透膜 (RO) 技术所替代。

ED 技术的创新发展是电去离子技术 (EDI) 技术, 该技术是一种将电渗析和离子交换技术有机结合的脱盐净水技术, 又称之为填充床电渗析脱盐法。虽然 EDI 技术具有高效、节能、环境友好等显著优点, 但对进水要求极为苛刻。只适于制备超纯水。ED+RO 脱盐系统是当今制备超纯水的主流脱盐技术。

2.1.2.2 反渗透膜 (RO) 技术

RO 技术又称逆渗透, 是一种以压力差为驱动力, 从溶液中分离出溶剂的亲水膜分离过程。RO 膜能截留大于 0.1nm 的污染物质, 可有效截留所有溶解盐及分子量大于 100 的小分子有机物。RO 膜分为淡水膜和海水淡膜两种。淡水膜的操作压力一般为 5~7MPa, 海水膜则高达 60~80 MPa。与电渗析、热法脱盐技术相比, RO 技术的最大优点是节能, 其能耗仅为电渗析的 1/2, 热法蒸馏技术的 1/40, 而且能够达到深度除盐目的。RO 技术作

为海水和苦咸水的淡化技术已相当成熟。近年来,随着工业生产中高含盐废水的增多,RO技术也开始广泛被用来浓缩各种高含盐工业废水。随着RO膜技术的快速发展,工程造价和运行成本的持续降低,已取代传统的离子交换、电渗析等除盐技术,已成为目前化工、冶金、电力、食品等行业工业废水和循环水深度回用处理的首选技术,得到广泛应用。

RO技术可实现极高的工业废水回用率,通常一次除盐率高达95%以上,清水回收率在60%~80%。尽管RO分离技术在工业废水除盐回收上得到了广泛应用,但因膜污染而导致的能搞增加和回收率降低问题,仍是限制RO技术应用的主要问题。由于RO膜易被污染,因此RO技术对进水水质要求苛刻。同时运行过程中压力的波动易造成膜的损坏,水中微生物、铁硅钙镁等金属离子也易使反渗透膜堵塞、污染,频繁清洗,因此需要严格繁杂的前处理和保护装置,这不仅增加了投资费用,也导致运行成本增大。

二级RO膜理论产水率只有75%,实际只有65%左右。为了提高产水率,目前多采用二级RO膜脱盐,产水率可提高到85%以上,但也增加设备投资和能耗动力。另外,RO的产水率与进水温度密切相关,以25℃为基准,升高或降低1℃,相应膜通量则上升或下降3%。因此,RO技术在北方地区,冬季产水率明显下降,浓盐水量也显著增加。因此,在RO技术运行过程中,约30%~40%的浓盐水的处理与排放污染问题日益突出。

在高盐水RO脱盐领域,目前最具有代表性的工艺是美国AQUATECH公司推出的HERO™(High Efficiency Reverse Osmosis, HERO™高效RO技术)的零排放专利技术。HERO™工艺系统通过加酸脱气、混凝澄清、过滤、离子交换,水质碱化等预处理工序,去除水中的硬度,脱去水中的CO₂,调节水为碱性环境(pH>8.5以上)。由于净化处理在高pH条件下运行,增大了SiO₂的溶解度,有效解决了结垢,使得回收率高高达95%;杀灭或抑制了水中微生物的繁殖,减少了膜表面的生物垢污染;延长了运行周期,提高了产水率和水质纯度,同时减少了浓杂盐水的排放。但该工业系统存在预处理过程复杂,频繁的酸碱调节以及前置离子交换单元的清洗,投资和运行成本较高等问题。

另一较新颖的RO脱盐技术为高频错流振动膜再浓缩技术,该技术在总结以往RO膜处理工艺技术上开发了具有震动效果的叠式分离膜,利用振动膜设备底部的机械传动装置产生振动。通过膜片连续振动作用,可以有效地提高膜面的剪切速度,料液与膜表面的高频错流运动使滤液中的“溶质”难以在膜片表面附着堆积形成污垢层,提高了膜片抗污染能力,提高回收利用率,同时能够节省大量的能源。该技术系统更适合高浊、高污染含盐废水的脱盐处理。但也存在化学清洗频率较高,设备投资成本高等问题。在国外得到充足的开发和运用,而国内对其研究较少,少数几家公司通过引进超频振动膜技术取得了良好的经济和社会效益。

目前在工业废水脱盐回用领域,集成膜工艺已成为主流发展方向,其中“UF+RO”双膜工艺或“UF+NF+RO”三膜脱盐技术是目前主流深度脱盐技术。

RO膜技术今后主要发展趋势是研发新型RO膜材料,提高膜的脱盐性能,增强膜组件抗污能力,降低RO膜的操作压力,减少能耗,提高纯水产率和浓缩液回收率等,最重要的是如何有效解决浓盐水的再处理和处置问题。

2.1.2.3 纳滤膜(NF)技术

NF是介于RO和UF之间的一种亲水性压力驱动的膜分离过程,与RO相比,NF技术的操作压力较低(0.5~2.0MPa),因此NF技术又称低压RO技术,适宜分离分子量在

200-1000Daltons (1Dalton=1.65×10⁻²⁴g), 分子大小约为 1nm 溶解组分的膜工艺。纳滤膜上或膜孔中存在带电基团, 因此纳滤膜分离具筛分效应和电荷效应两个特征。分子量大于膜孔径的物质, 将被截留, 反之则易透过, 此即膜的筛分效应。纳滤膜表面分离层由聚电解质构成, 存在氨基和羧基两种正负基团, 膜表面带有一定的电荷, 通过静电相互作用从而阻碍多价离子的渗透, 使纳滤膜在较低的压力下仍可以有较高的脱盐性。纳滤膜对一价盐的截留率较低, 尤其是在盐浓度较高的情况下; 对二价和高价盐类及大分子有机物等具有较高截留率, 可去除约 80%的总硬度、90%的色度和几乎全部浊度、微生物及大分子有机物污染物。NF 的软化功能近年引起重视, 在高盐工业废水软化回用处理中展现了良好的应用前景。同时, NF 膜在应用过程中也面临着膜污染导致的性能下降问题。水中污染物的物理、化学、微生物性质决定了纳滤膜污染的特性, 纳滤膜污染分为无机污染、有机污染和微生物污染。被截留的颗粒、胶粒、乳浊液、悬浮物、大分子和盐等在纳滤膜表面或膜内发生不可逆沉积。纳滤膜技术在处理水的过程中, 污染物质在膜表面形成滤饼、凝胶及结垢等附着层或堵塞膜孔, 从而导致膜分离性能发生变化, 膜通量减少、膜的荷电性质和膜孔结构发生变化。因而减轻膜污染、增加膜通量, 延长膜的使用寿命成为纳滤膜技术应用于水处理的关键技术问题。虽然不可能完全避免纳滤膜被污染, 但可根据不同的膜污染情况采取相应的措施以减少膜的污染程度。清洗、改变物料性质、改变操作方式和纳滤膜的改性均可降低膜污染程度, 实践证明, 在实际操作中几种方法的结合使用可以达到最佳效果。

目前, 以纳滤膜为技术的高含盐废水处理得到了广泛的研究应用。苏保卫等试验研究了采用 NF 作为海水淡化的预处理工艺。结果表明, 该法可以大幅度降低进料水的硬度、浊度和 TDS 含量, 解决传统海水淡化过程中存在的结垢污染等许多问题, 从而大幅度提高水回收率, 降低蒸馏法和膜法海水淡化的成本和能耗。Hassan 等首先把作为预处理的 NF 技术用在海水反渗透 (SWRF)、多级闪蒸 (MSF) 和 SWRFrejected-MSF 上。在这些过程中, NF 膜有效地降低了硬度、微生物和浊度。在 2.2×10³ kPa 的压力下, NF 膜对硬性离子 Ca²⁺、Mg²⁺、SO₄²⁻、HCO₃⁻ 和总硬度的截留率分别是 89.6%、94.0%、97.8%、76.6% 和 93.3%。透过液的质量远远超过作为 SWRF 或 MSF 的进料液的海水。由于 NF 膜的前处理, 使得 SWRF 和 MSF 系统分别拥有 70%和 80%的高回收率。

尽管纳滤膜也是压力驱动的膜过程, 但与反渗透的传质机理有所不同, 细孔模型、溶解-扩散模型、电荷模型、静电排斥和立体位阻模型等都用来描述纳滤传质机理。建立纳滤膜分离过程中的传递模型能使人们更全面地认识纳滤膜的发展潜力, 更准确地预测纳滤膜的性能, 纳滤膜的分离机理也成为当前膜科学领域的研究热点之一。另外, NF 膜在国际上已有产业化产品, 但国内仍缺少自主知识产权的 NF 膜, 且性能稳定性差。据报道, 我国 90%的 NF 膜仍需进口, 面对 NF 膜及 NF 配套设施巨大的应用市场需求, 我国纳滤膜产业具有广阔的发展空间。未来发展趋势是向低污染膜、正电荷膜, 抗氧化、多品种多用途的方向发展。

2.1.2.4 膜蒸馏 (MD) 技术

MD 是将膜技术与蒸馏过程结合在一起的一种组合技术, 采用一种微孔膜将两种不同温度的溶液分开, 较高温度侧溶液中易挥发的物质呈气态透过膜进入另一侧冷凝的过程。近十多年来 MD 技术发展迅速, 与传统蒸馏相比, 它不需要复杂的蒸馏系统, 且能得到更

纯净的馏出液；与一般的蒸发相比，它的单位体积蒸发面积大；与反渗透相比，它对设备的要求低且过程中溶液浓度变化的影响小。MD膜的特征是：膜是微孔膜；膜不能被所处理的液体浸润；膜孔内无毛细管冷凝现象发生；只有蒸汽能通过膜孔传质。膜不能改变操作液体中各组分的气液平衡；膜至少有一侧要与操作液体直接接触；对每一组分而言，膜操作的推动力是该组分膜两侧的气相分压梯度。MD具有以下优点：①与传统热法脱盐过程相比，MD膜运行过程的操作温度（50~70℃）远低于热法脱盐操作温度；与压力驱动的亲水膜（RO/NF）相比，MD膜可在常压下操作运行，因此分离过程对设备和膜的机械性能要求较低，可采用非金属设备，降低投资；②MD膜材料一般为聚四氟乙烯（PTFE）和聚偏氟乙烯（PVDF）等，具有极好的化学稳定性，耐酸碱、抗氧化，难溶胀或溶解等优点；③MD膜具有较好的抗亲水性物质污染，且易于清洗；④MD蒸馏过程中，仅有水蒸气能透过膜孔，可得到比RO膜更纯净的纯水；⑤截留率高（若膜不被润湿，理论除盐率可达100%），是目前所有脱盐技术无法实现的。因此，在由美国21世纪化学科学挑战委员会编写的《超越分子前沿—化学与化工过程面临挑战》一书中，将膜蒸馏技术列为21世纪重点关注并发展的新型传质分离技术。

重要的是MD技术具有显著的节能效果。MD操作温度50~70℃，因此，其所需的低频热源完全可有效利用化工、冶金、电力等行业生产过程中产生大量的低品位废热。此外，还可充分利用地热，尤其太阳能作为其热源。因此，MD技术与工业余热、太阳能等廉价能源、并与其他水处理技术的集成，将是未来工业废水深度脱盐处理、纯水制造以及海水淡化过程产生的浓盐水资源化回收处理领域的革新技术。在我国西部地区，太阳能资源丰富，同时，也是我国苦咸水分布的较多的地区，MD技术的开发对该地区人民饮用水质的提升具有重要的意义。

根据MD膜冷侧挥发组分蒸汽冷凝方法或排除方法的不同，可分为直接接触式膜蒸馏（DCMD）、气隙式膜蒸馏（AGMD）、吹扫气膜蒸馏（SGMD）和真空膜蒸馏或减压膜蒸馏（VMD）等。其中，VMD具有明显应用前景。陈利等分别采用聚乙烯、聚丙烯微孔膜对反渗透海水淡化浓盐水进行真空膜蒸馏的研究，最大截留率可达99.99%，表明利用真空膜蒸馏技术可有效实现反渗透海水淡化浓盐水的浓缩。刘东等采用自制的高通量PVDF中空纤维疏水微孔膜，通过VMD过程对石化企业废水处理的RO浓水进行处理。通量保持在10 kg/m²·h，过程产水电导率保持在4 μs/cm以下，脱盐率达99.99%，产水COD稳定于35~45 mg/L。

MD技术发展初期，主要是针对海水淡化进行研究的，随着膜蒸馏技术研究的不断进展，逐步扩展到苦咸水淡化、废水处理以及食品、冶金等行业。MD技术在高盐水脱盐领域的技术优势，已引起国内外高盐水脱盐技术领域的高度重视，发达国家，如德国、意大利、新加坡等国近年在MD技术方面已投入大量研发经费。我国近些年来也在MD研究方面取得了一些成果。可以预期，MD技术在近几年内将会得到迅猛发展，并将成为新兴环保产业技术。

尽管国内外在MD膜及其MD技术研发方面已有较大进展，并有小批量MD膜生产和小型MD装置在运行，但该技术仍面临一些问题。如MD过程是有相变的膜过程，汽化潜热降低了热能的利用率，所以在组件的设计上必需考虑到潜热的回收，以尽可能减少热能的损耗，在有廉价能源可利用的情况下才更有实用意义；膜蒸馏与制备纯水的其他膜过程

相比通量较小,所以目前尚未实现在工业生产中应用,如何提高膜蒸馏的通量也就成为一个重要的研究课题;膜蒸馏采用疏水微孔膜,与亲水膜相比在膜材料和制备工艺的选择方面局限性较大;蒸馏膜在应用过程中的润湿现象导致膜失效,稳定性较差。尽管如此,MD的高脱盐率依然是其他膜过程不可比拟的,MD技术将来一定会在海水及苦咸水淡化、反渗透浓水处理、化学物质浓缩、中药提取液的浓缩等领域显示其巨大的潜力。

2.1.2.5 正渗透(FO)技术

正渗透最早是相对于反渗透技术提出来的,研究用的膜也是经改性的反渗透膜,限于当时的技术原因,经过几十年后人们才重新对这一技术进行研究。正渗透作为新兴的绿色膜分离技术,不需要外加压力作为分离驱动力,而是靠选择性膜两侧溶液自身的渗透压差推动正渗透分离过程,是目前世界膜分离领域研究的热点之一。主要原理是在具有选择透过性膜的两侧分别放置两种具有不同渗透压的溶液,一种为具有较低渗透压(π_1)的原料液,另一种为具有较高渗透压(π_2)的驱动液,以FO膜两侧溶液的渗透压差($\Delta\pi = \pi_2 - \pi_1$)为驱动力,使水分子自发地从原料液一侧透过选择透过性膜到达驱动液一侧,从而达到分离效果。

FO技术具有以下优点:1)FO膜运行过程中水分子可自发透过选择性半透膜,结合易于循环使用的驱动溶液,可显著降低海水淡化和工业废水脱盐过程的能耗;2)渗透压本身是一种绿色能源,可以通过正渗透技术将渗透压转化为电能及其他形势的能源;3)由于FO运行过程中不需要外加压力,同时由于FO膜的亲水性,可有效降低膜污染,减少膜清洗频率,即降低了膜清洗费用以及化学清洗剂对环境的污染。4)FO技术产水率较高,通过选择合适的驱动溶液,其产水率可达75%以上。与RO膜技术相比,由于FO膜技术无需外加压力,即能有效节省能量,又能实现零排放。因此,FO膜技术在许多领域,如海水淡化、废水处理、食品和医药产品脱水、药物缓释、军事航天、渗透能发电等领域有着广泛的应用前景。

目前的FO膜大多为非对称的膜结构,支承层的存在使得应用过程中膜内部存在较严重的浓差极化效应,与理论产水量相比,实际产水量远低于理论值,因此,目前关于FO的研究大多是在实验室和小试层面上,大规模应用依然鲜见。研究表明,支承层越薄,孔隙率越大,会大大降低内浓差极化效应,使得水通量提高;但是,支承层越薄,会降低膜的机械强度,从而限制膜的应用。理想正渗透膜应具有以下特征:①具有致密的亲水表面活性层;②支承层尽量薄,具有较高的孔隙率;③具有较高的机械强度;④具有一定的耐酸碱、盐等腐蚀性。另外,驱动液也是影响正渗透性能的主要因素,具有较高渗透压,与水易分离的驱动体系是人们研究的目标。

近年,发达国家,如美国、欧盟等国对FO技术在海水淡化、工业废水、垃圾渗滤液、食品浓缩、药物释放等方面进行了大量应用研究并进行了小规模产业应用示范。HTI公司生产的正渗透膜被认为是目前性能最好的商业化的正渗透膜,被制成水包应用在应急饮用水方面。耶鲁大学Elimelech等人采用HTI公司商品化的正渗透膜和 NH_4HCO_3 汲取液,通过柱蒸馏或膜蒸馏的方法进行汲取液的浓缩,结果表明,盐截留高于95%,水通量大于 $25\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,整个FO过程电能消耗为 $0.25\text{ kWh}/\text{m}^3$,低于目前脱盐技术的电能消耗,显示出很好的应用前景,目前他们已开发了中试规模的装置用于海水淡化,极大地推动了正渗透技术在海水淡化中的应用进程。美国宇航局(NASA)联合Osmotek公司开发了直接渗透

浓缩系统,即 DOC 系统用于太空任务中的水处理和循环利用。最初的 DOC 测试系统处理流程包括一个反渗透处理系统和 2 个 DOC 预处理子系统,一个是正渗透过程、另一个是正渗透与膜蒸馏结合过程(用于分离尿素和尿酸类物质),采用氯化钠驱动溶液将废水浓缩后,利用反渗透从稀释的汲取液中分离得到纯净水。目前,该系统仍在不断的优化升级中。

我国近十年来也进入正渗透相关研究的高峰期,无论是在正渗透膜研发、正渗透与其他技术组合处理工艺以及驱动体系上,都得到了广泛的研究,但无论在 FO 膜制备还是装置以及工艺技术等方面,目前还处于研发阶段。目前,FO 技术研发的核心是寻找更为合适的驱动液和正渗透膜。需要指出的是,正渗透系统不可单独作为处理技术进行水处理,需要与其他分离技术进行结合,用来处理驱动液中水与驱动溶质的分离,才能最终实现水处理过程。

2.1.3 电吸附技术 (EST)

电吸附技术属于物理脱盐技术,利用带点电极表面的电化学特性来实现水中离子的去除、有机物的分解等。其原理是利用电化学体系的双电层电容特性,当原水从一端进入阴阳极组成的空间,受电场的作用,水中离子分别向带相反电荷的电极迁移,被电极吸附并储存在双电层内,随着离子在电极表面的富集浓缩,不断获得净化/淡化的出水;当去除电压并让双电层短接放电时,双电层所吸附的离子又重新释放出来,随水流冲走,电极材料得到再生,为下一轮电吸附做好准备。该技术采用了全新的水处理概念,在处理效率、适应性、能耗、运行维护以及环境友好等方面,有着独特的优势。该技术的创新之处是将“水中占少数的杂质吸附出来”。与 MD, RO 等技术相比,EST 系统采用静电作用而不是通过高温高压将离子从水中提取出来,因此能耗相对较低。与 RO 技术相比,EST 系统浓水排放量小且不含膜类元件,因此对进水水质要求较低。EST 系统无需添加任何药剂进行电极材料的再生,排放的水无新的二次污染物。陈兆林等采用 EST 技术对首钢污水厂二级出水进行中试研究,在原水电导率为 $1654 \mu\text{S}/\text{cm}$ 条件下,产水率达到 73.1%,除盐率为 82.1%。但 EST 技术适于处理电导率小于 $5000 \mu\text{S}/\text{cm}$ 的水质,且除盐率不是很高,所以可以根据回用水水质要求,将 EST 技术与其他除盐技术结合,以降低总体运行成本。如采用 EST 技术预处理 HERO 系统中 RO 装置进水,可提高系统产水率和出水水质,延长膜的使用寿命,降低运行成本。EST 技术目前还存在电极吸附容量低、价格昂贵、重复利用性差等缺陷,因此提高电极材料性能及优化电吸附模型,将会促进 EST 技术走向成熟。电吸附技术适用于低盐废水脱盐处理,是脱盐技术的有益补充,其也存在浓盐水在处理问题。目前电吸附技术在部分化工废水、市政污水等领域进行了工程化应用。

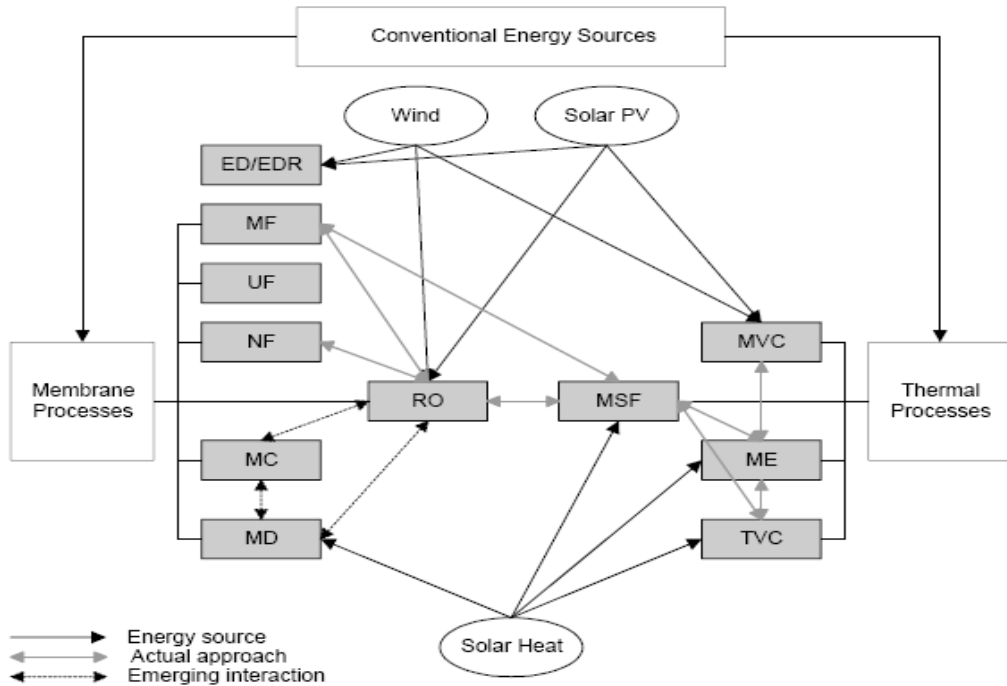
2.1.4 脱盐技术的比较与发展趋势

高盐水脱盐处理虽是水处理领域中的技术难题,但在高盐工业废水(如医药、冶金、化工与煤化工等典型行业废水)处理、海水淡化以及膜滤过程的浓盐水处理等领域的需求极为迫切。因此,近年国内外在脱盐技术方面进行了大量的技术研发,脱盐技术得到快速发展,一些技术已日趋成熟。

目前所应用的脱盐技术各有优缺点。在实际选用中,究竟哪种方法最好,何种脱盐技

术处理成本最低，都不是绝对的，应根据脱盐规模大小、选材、当地能源价格、水质要求、地理气候条件、技术可靠性与安全性、投资来源与管理体制等实际条件而定。而且脱盐技术的选择也不是仅仅局限于单个脱盐技术，而是建立在多种脱盐技术与传统技术的集成之上。

图 1 为主要膜法脱盐与热力脱盐工艺的集成关系及工艺与可利用能源的关系图。清晰表明多级闪蒸（MSF）、低温多效蒸发（MED）和反渗透（RO）是目前脱盐领域中的三大成熟主流技术，相对于 RO 技术，MSF 和 MED 技术都普遍存在能耗高，成本高、投资高等缺点，一般企业难以承受。RO 以其设备简单、易于维护和设备模块化等优点迅速占领市场，已逐步取代热法成为应用最广泛的脱盐技术。在高盐水深度处理或“零”排放工艺方面，多种集成膜脱盐技术与热法技术相结合，将是解决高盐水零排放唯一有效方法和发展趋势，如目前在海水淡化中逐渐得到应用的 NF-RO, RO-MD, MED-RO 或 MSF-RO 等，就是热法和集成膜法结合的典范。绿色能源（风能、太阳能及太阳能光伏发电）的利用也是今后研究发展的主要趋势。



ED 电渗析；MF 微滤；UF 超滤；NF 纳滤；MC 膜接触器；MD 膜蒸馏；
 RO 反渗透；MSF 多效闪蒸；MVC 机械蒸汽压缩；ME 多效蒸发；TVC 热力压汽蒸馏

图 1 脱盐工艺的组合示意图

近年，随着科技的飞速发展，压力驱动的 RO 膜分离技术在膜、膜组器、设备和工艺等方面都有了较大创新和改进，但人们也越来越意识到 RO 技术在节能、环保领域存在的局限。而且就脱盐来讲，RO 技术似乎已接近发展的顶峰。因此，近年来发达国家相关研究机构和企业已开始转向“疏水膜蒸馏（MD）技术”和“正向渗透膜（FO）分离”的研发，特别是“太阳能-疏水膜蒸馏技术”和“压力延缓渗透（FRO）海水发电”，更是极具

发展应用前景的清洁再生能源与水资源利用的新型战略环保产业技术。

2.2 我国自有知识产权技术的竞争力评价

高盐水脱盐或零排放技术的竞争力主要包括以下两方面:

2.2.1 目前较成熟的脱盐技术竞争力评价

目前成熟的高盐水脱盐技术竞争力主要反映在反渗透(RO)与多级闪蒸(MSF)、低温多效蒸发(MED)等技术及装备方面。就RO技术而言,其技术核心-反渗透膜,已被美国陶氏化学、科氏、海得能,日本东电工、旭化成、东丽和欧盟等几家国际大公司所垄断,其市场份额达到90%以上。

近几年,随着中国膜技术的不断成熟与提高,以及国家对膜技术的更强有力的资金及政策支持,我国膜企业不断壮大,技术不断提升,膜产业发展迅速。一直被跨国公司垄断的RO膜产业格局也逐渐被打破,涌现了一批拥有膜材料技术的国产化品牌,如北京时代沃顿科技有限公司、杭州水处理技术中心,湖南沁森环保高科有限公司等。但在生产规模、膜及膜组件性能等方面,与国外尚存一定差距,核心RO膜制造技术和设备也多从国外引进,缺乏自主创新。

适用于高浓度含盐废水深度脱盐处理或零排放的蒸发结晶技术是从海水淡化技术演变而来,由于蒸发、结晶单元属于基础化工单元,因此国内应用较多,但多属于散兵游勇、力量较弱,目前在大型工程项目总承包能力方面难以与GE等国际大公司相抗衡。

认识到与国外技术存在差距,国内目前希望通过技术联盟等形式组成联合体,为行业发展及技术进步搭建平台。如中关村新能源海水淡化产业技术创新联盟由北控集团公司、首都钢铁集团公司等共13家单位共同发起,以提升企业自主创新能力和产业核心技术竞争力为宗旨,通过产业联盟方式促进产学研应用协同创新,开展规模化工业性项目的试验研究,验证自主创新的膜、泵、能量回收等海水淡化的关键材料和装备的性能,热法海水淡化技术及装备的工程化应用,为具有自主创新特色的大规模海水淡化工程提供总体解决方案,也为海水淡化产业领域的技术创新和企业发展搭建良好平台。

2.2.2 新型脱盐技术竞争力评价

创新发展的新型脱盐技术是目前正处于产业化技术研发阶段的“疏水膜(MD)蒸馏技术”和“正向渗透膜(FO)”等脱盐技术,也是目前国际上处于研究前沿的脱盐技术。与国外同类技术发展状况相比,国内创新脱盐技术整体表现为“量”与“质”不成正比。在研发队伍数量上,国内研发从业人数甚至超过了国外,但在研发深度,技术创新,尤其产业化实施方面,却与国际差距较大。这些领域的研究与产业化工作应得到充分重视。

目前国际上MD和FO工业化应用的重点与关键在于膜制备与改进,包括膜材料、成膜辅料和助剂的优选,膜组件及其反应设备传质传热效能的优化,膜蒸馏系统的合理设计,尽可能回收汽化潜热,有效提高膜通量等。尤其将MD和FO过程与其他分离过程相结合,创新研发出新的、具有更好分离性能、操作更简便、能耗更小、更易产业化的膜分离过程。

目前,参与MD和FO技术研发的国内外科研院所与公司日趋增多,如美国耶鲁大学、新加坡南洋理工大学、美国水化技术创新公司(HydrationTechnologyInnovations),英国现

代水公司 (Modernwater) 等。国内主要有中科院生态环境研究中心、天津工业大学、杭州水处理研究中心, 中科院海洋研究所, 中国海洋大学, 中科院上海高等研究院等。尤其在膜蒸馏领域, 尽管目前国内研发人数、技术成果均处在国际前列, 但多处于实验室研究阶段成果。在产业化方面, 仅有金山环保集团公司在进行规模化实施。另有少数环保企业, 如上海风渡、天津海之风, 苏州信望膜技术公司、厦门鲲杨膜科技有限公司等单位有宣传报道, 但未见实质性技术设备的应用。另外, 国内这些公司的规模、实施力度与研发投入的深度都无法与国际公司抗衡与竞争。因此, 加大研发力度, 加快新型特种膜技术发展, 打造行业旗舰公司, 有利于增强特种膜行业国际竞争力。可以预测, 在高盐水脱盐与水资源化处理领域, MD 和 FO 技术将是新的前沿热点, 势必会在掀起一场新的技术“革命”。

《海水淡化科技发展“十二五”专项规划》中, 提出在新工艺和新技术的开发上, 要进行电吸附、膜集成、热膜耦合、膜蒸馏、正渗透等海水淡化新技术的开发和中试研究; 在核心技术和重点装备的研发上, 要以开发反渗透海水淡化膜及组件、能量回收装置、海水预处理膜及连续膜过滤装置、蒸馏法海水淡化传热材料和核心部件、低温多效蒸馏海水淡化蒸发装置等为重点; 在大型示范工程建设上, 要建设大型反渗透海水淡化示范工程和大型低温多效蒸馏海水淡化示范工程。绿色能源(风能、太阳能)的利用将是今后研究发展的主要趋势。截至 2014 年年底, 已建成海水淡化工程 112 个, 日产水规模 92.69 万吨。近年来, 我国还实现了海水淡化关键技术的突破, 自主建成日产水 1.25 万吨反渗透海水淡化示范工程和日产水 2.5 万吨低温多效海水淡化工程, 并自主设计制造了 4 台低温多效海水淡化装置出口印度尼西亚, 相关技术达到国际先进水平, 成为世界上少数能完整自主设计建设海水淡化工程的国家之一。

2016 年, 作为“十三五”规划开局之年, 我国将推动海水淡化大发展, 海水淡化产业将向规模化、集成化方向发展, 逐步成为重要的战略性新兴产业, 国家将从四个方面推动海水淡化产业发展。一是实施海岛海水淡化利用工程, 以满足海岛基本生活工作需求; 二是促成海水淡化发展产业基金, 为淡化装备“走出去”打下基础; 三是加大对海水淡化装置运营的扶持力度, 降低运营成本; 四是建立完善海水淡化标准体系, 培育龙头企业, 形成产业规模。

3 我国盐废水污染控制的主要问题和解决思路

3.1 主要问题

3.1.1 技术种类繁多, 缺乏导向

目前高盐废水深度处理或浓缩脱盐处理的技术繁多, 且各有优缺点, 应用领域各不相同。国内缺乏针对脱盐深度处理或零排放的污染防治技术示范分类名录, 缺乏技术政策、工程技术规范等应用指导性文件。

3.1.2 技术选择比较盲目

企业在高盐废水处理技术的选择上较盲目。在技术比选、技术应用、工程施工、维护

与管理等方面基本是企业行为，由此导致一些脱盐设施不能正常运行，造成“建成不运行”、“建成不达标”的现象。

3.1.3 新技术研发缺乏有力支持

目前对适合于高浓度含盐废水深度处理或零排放技术的新技术的研发，如 MD 和 FO 技术，国外政府均给予高度政策及相应资金扶持。以 MD 为例，目前德国、新加坡等国政府对新技术都给与相关政策和研发经费的支持，使技术研发深度和进程显著加快。正全力打造像“memsys、memstill、solarspring”等膜蒸馏产品品牌。国内对这些新技术研发缺乏有力支持，更缺乏对自主知识产权的保护，结果只能像目前国内超滤膜一样，遍地开花，缺乏质量稳定的品牌产品，品质参差不齐，伪劣低质产品充斥市场，以致用户对国内膜产品失去信心。

3.1.4 企业对新技术研发缺乏资金或短视行为

企业是作为新技术产业化实施的主体，目前国际相关科研院校都与一些大型企业结合，成立研发、推广新型脱盐技术应用的科技公司，加大产业化实施力度。国内在 MD 和 FO 技术进行宣传报道的环保企业，基本是国外留学归来人员创办的小型膜科技企业，企业规模小，技术研发人员与资金严重不足。尽管国内一些大型环保企业已看到 MD 和 FO 等深度脱盐技术的应用前景与巨大的市场空间，或由于缺乏技术支持，或由于短视行为，不愿投入资金和人力，却希望在短时间获得成熟技术，或想直接引进国外技术，结果只能像目前反渗透膜技术那样，绝大部分市场被国际大型膜公司垄断，丧失核心技术的知识产权。所以，企业应避免短视行为，主动承担新技术从实验室成果到工业化应用的必经阶段工作。

3.2 解决思路

(1) 充分认识并重视高盐废水的生态环境的长期潜在的影响与危害，监控重点水域盐度（矿化度）的变化及其生态环境影响。

(2) 制定并建立高盐废水排放限值，或对含盐废水排放实施总量控制，制定标准、法规等。

(3) 加大推进典型行业污染防治的过程管理，大力实施清洁生产，降低高盐废水的排放量。

(4) 鼓励在高盐废水深度处理或零排放领域采用新技术，多方面给予政策及资金扶持。

(5) 鼓励企业承担脱盐新技术产业化工作，使其真正成为研发与产业化的主体。

4 建议

4.1 未来应重点和优先发展的领域、技术

与海水淡化一样，高盐废水脱盐主要应围绕膜法和热法两大主流工艺，超前部署前沿技术的研发，加快示范工程建设和产业发展，按照“双法并举抓时机、产研结合促发展、

攻克关键核心技术、形成自主知识产权，重点扶持规模化产业”的总体思路，全面提升高盐废水治理技术水平和产业竞争力。具体而言，应着重发展如下工作。

- (1) 加强典型行业污染过程管理，推进行业清洁生产，从源头减轻或降低污染；
- (2) 加大对膜蒸馏（MD）、正渗透（FO）等新兴脱盐技术的研发开力度和资金支持。
- (3) 发展以清洁、绿色能源为基础的高浓度、难降解工业污水膜滤浓缩液的膜蒸馏减量技术；
- (4) 加强基于膜脱盐集成技术中典型行业水、热综合评价、利用方法的研究；
- (5) 开展挥发性成分的膜脱气技术及设备研发，推动膜脱气、膜脱盐技术的产业化进程；
- (6) 推动膜蒸馏（MD）与正渗透（FO）的技术创新，加强该领域的专利保护，抢占新兴膜脱盐技术市场。

4.2 尚需配套的标准、法规、政策的建议

(1) 在充分研究论证的基础上，补充并完善工业污水综合排放标准中总盐量排放标准，以及受纳水体的总盐排放控制标准；

(2) 制定高盐废水深度处理与回用技术导则，以及高盐废水深度处理与回用优化实用技术指南；

(3) 筛选高盐废水深度处理或零排放实用技术，依靠技术领域领军科研院所和企业，建立工程技术规范。

膜行业技术发展报告

国家环境保护膜分离工程技术中心(以下简称“中心”),为依托蓝星环境工程有限公司的非独立法人单位。中心于2010年7月按照环境保护部科技标准司复函(环函[2010]203号)正式成立。作为环境保护部环境污染治理领域的诸多国家级工程中心之一,肩负着加快我国废水资源化处理技术的研发和应用推广重任。中心具备膜集成、膜性能测试以及膜工程化中试试验能力,参与相关领域环保技术政策、技术标准和规范的研究制定,为膜技术的推广应用、膜行业的发展壮大做出了自己的贡献。

中心紧跟膜技术的发展前沿,尤其关注膜技术在污水处理领域的工程应用。在此基础上,结合文献及实地调研,形成该《环境保护技术发展报告》,以分析膜行业的总体概况、技术发展情况、问题分析,并提出相关建议供环境保护部参考。

1 膜行业总体概况

在国家大力支持、市场需求激增的大好形势下,我国膜工业迅速发展。目前,我国已成为世界膜技术发展最活跃、膜工业增长最快、膜应用市场最大的地区之一。“十二五”期间,中国膜工业产值平均年增长约24%,远高于世界8%~9%平均水平。2013年,分离膜产值已达578亿元,较2010年的300亿元增长近一倍;2014年分离膜产值约735亿元,加上光电膜、医用膜等膜工业总产值已突破千亿大关;预计2015年膜工业产值可达1200亿元。一批企业迅速成长,大批产品和工程化技术被国外客户采用,中国膜产品纷纷进入国际市场。2014-2015年,随着生态文明建设的深入推进,国家层面陆续出台了相关政策法规,并对现有标准体系进行了修订,对我国膜工业的发展具有重大的促进作用和指导意义。

1.1 宏观政策

1.1.1 产业政策

在2015年的政府工作报告中,李克强总理提出“要把节能环保产业打造成新型的支柱产业”。在随后的全国发展和改革工作会议上,再次明确了“大力发展节能环保产业,努力把节能环保产业打造成新的支柱产业”的目标任务。膜产业作为国家战略性新兴产业,隶属于节能环保产业的范畴,迎来了前所未有的发展机遇。在2015年底发布的《中国制造2025》战略规划中,高性能分离膜材料作为新材料产业的重要组成部分位列其中,勾勒了未来10年的努力方向。

1.1.2 环保政策

2015年1月1日,修订后的《中华人民共和国环境保护法》正式实施。为解决旧环保法对新环境问题适用过程中的问题,新环保法作了多方面的重大修改,引进了按日计罚、行政拘留、查封扣押等手段加重了违法成本,以扭转过去违法成本低、而守法成本高的窘境。另外,新环保法在推动建立符合环境承载能力的绿色发展模式、在推动多元共治、联防联控的现代环境治理体系方面也作出了很大的努力。

2015年4月2日,《水污染防治行动计划》正式发布。“水十条”以改善水环境质量为核心,统筹水资源管理、水污染治理和水生态保护,涉及工业水、城镇生活污水处理、农业污染治理、城市黑臭水体治理、畜禽污染防治、环境监管能力建设等众多领域。同时,“水十条”提出了强化科技支撑,大力发展环保产业,充分发挥市场机制作用,开展政府和社会资本合作、环境污染第三方治理、环境绩效合同服务、授予开发经营权等方式。据估算,“水十条”的实施将直接带动环保产品和服务超过1.4万亿,其中直接带动水污染防治专用设备制造、环境监测仪器设备制造及水处理专用药剂制造等占比约为70%,环境咨询、建设运营服务等占比约为30%。据悉,“水十条”实施情况评估考核办法和实施细则将于2016年出台。

另外,《中华人民共和国环保税法(征求意见稿)》已有国务院法制办公布,其关键内容包括:企业超标、超总量排放污染物,要加倍征收环保税;对依照环境保护税法规定征收环保税的,不再征收排污费等。预计最早于2017年实施。

1.1.3 环保标准

《城镇污水处理厂污染物排放标准(征求意见稿)》已有环境保护部发布。相比当下执行的排放标准,此次意见稿在原有一级A标准和一级B标准的基础上,增加了一项新指标——特别排放限值,规定生态环境敏感区的污水排放须提高至地表水IV类水质要求。特别排放限值的提出,意味着在达到一级A标准的基础上,污水处理厂需进一步提高处理深度,突破原先一级A标准的天花板。此外,意见稿要求新建污水处理厂均须达到一级A标准,敏感区域内的现有污水处理厂要求于2017年底前全面达到一级A标准。据环境保护部估算,目前各类提标改造投资费用达336亿元。新标准出台后,新建及现有污水处理厂将掀起提标改造的高潮,水处理膜市场需求将加快释放,成为污水深度处理的趋势和方向,将利好膜产业的发展。

1.2 技术标准体系

标准作为行业发展的一个重要步骤,起着肯定已有成果、引导行业发展方向的重要作用,具有很强的指导性。因此相关标准的制定对促进膜产业科学化、规范化管理,引导膜产业朝着健康有序的方向发展,推动膜技术广泛应用起到了重要的技术支撑作用。由于我国分离膜行业发展较晚,出台的国家标准和行业标准较少,其中膜与膜组件标准有21项,与膜产品相关的装置标准有24项,全部为推荐性标准,除5项为国家标准外,其他均为行业标准,主要是海洋行业标准(共27项)。

1.2.1 通用标准

通用标准包括《膜分离技术术语》(GB/T20103—2006)和《膜组件及装置型号命名》(GB/T20502—2006)。其中 GB/T20103—2006 标准界定了膜分离领域包括电渗析、反渗透、纳滤、超滤、微滤、气体分离膜及离子交换膜的常用术语,对膜分离技术领域的 221 条术语进行了定义,适用于膜与膜材料、膜组件、液体分离、气体分离及其他膜分离过程。GB/T20502—2006 标准规定了膜组件及装置型号的命名规则,适用于反渗透、纳滤、超滤、微滤、气体分离膜、电渗析及电去离子装置。

1.2.2 反渗透 (RO) 膜标准

反渗透膜标准有 4 项:《中空纤维反渗透膜测试方法》(HY/T049—1999)、《中空纤维反渗透技术中空纤维反渗透组件》(HY/T054.1—2001)、《中空纤维反渗透技术中空纤维反渗透组件测试方法》(HY/T054.2—2001)和《卷式反渗透膜组件测试方法》(HY/T107—2008)。HY/T049—1999 标准规定了中空纤维反渗透膜除盐率和水通量的测试条件和测试方法,适用于进水为自来水、苦咸水及海水的中空纤维反渗透膜的测试。在测试前要进行试样制备,将膜丝用环氧树脂粘结于尼龙管或橡皮塞上,然后将固化的膜样装入测试管中在测试装置上进行测试,但对样品的制备及测试管的要求没有做出具体详细的规定或说明。水通量的测定用量筒和秒表测量,不要求恒温,测得的数据查表换算成 25℃时的数值。标准附录 A 给出了中空纤维反渗透膜测试装置流程图,附录 B 给出了醋酸纤维素膜的水通量温度校正因子表。HY/T054.1—2001 标准实施要求与 HY/T049—1999 标准和 HY/T054.2—2001 标准配套使用,规定了中空纤维反渗透膜组件的技术要求,适用于纤维素材质膜,对产品规格和尺寸(包括接口尺寸)做出了规定。技术要求中,规定了进水水质和水温。对 3 种膜(自来水膜、苦咸水膜和海水膜)的初始除盐率和初始产水量(校正到 25℃)做出了要求,且产水量允许有±10%的误差范围。HY/T054.2—2001 标准等效采用了美国材料与试验协会的标准《反渗透组件性能测试方法》(ASTMD4194:1995)。标准规定了中空纤维反渗透膜组件的测试条件和测试方法,其中自来水和苦咸水膜组件测试的回收率为(60±2)%,海水膜组件测试的回收率为(30±2)%。标准附录 A 给出了中空纤维反渗透膜组件测试装置流程图。HY/T107—2008 标准规定了卷式反渗透膜元件脱盐率、回收率、产水量、水通量、密封泄漏点及气密性 6 个参数的测试方法。脱盐率可按氯化钠浓度法或电导率法计算。目前,中空纤维反渗透膜已很少见,工程中应用的几乎全为卷式反渗透膜,但是缺乏对卷式反渗透膜元件性能技术要求做出规定的标准,质检机构只能根据厂家的标称值进行质量检验,评判尺度不统一。由时代沃顿公司承担起草的海洋行业标准《卷式聚酰胺复合反渗透膜元件》发布实施后将解决这一问题。

1.2.3 纳滤 (NF) 膜标准

纳滤膜标准有 1 项,即《纳滤膜及其元件》(HY/T113—2008)。该标准规定了纳滤膜及其元件的分类与型号、要求、检测、检验规则等。技术要求规定了在标准条件下纳滤膜对于一价离子及二价离子的水通量和脱除率,脱盐率可按重量法或电导率法测量。一价离子以 500 mg/L 的 NaCl 为测试液,脱除率应不小于 30%;二价离子以 2000 mg/L 的 MgSO₄

为测试液，脱除率应不小于 90%。

1.2.4 超滤 (UF) 膜标准

超滤膜标准有 3 项：《中空纤维超滤膜测试方法》(HY/T050—1999)、《中空纤维超滤膜组件》(HY/T062—2002) 和《超滤膜及其组件》(HY/T112—2008)。HY/T050—1999 规定了纯水透过率、截留分子量及截留率的测定方法。所用标准物质聚乙二醇测试液浓度定为 5000 mg/L，操作上不易实现，应该给出一个允许误差范围；所用标准物质牛血清蛋白测试液浓度为 1000~3000 mg/L，范围太宽，不科学。关于纯水透过率的测试条件，对测试结果有重要影响的测试液温度及回收率，标准中未做出规定，缺乏严格性。HY/T062—2002 规定了中空纤维超滤膜组件的分类与型号、要求、试验方法等。其中试验方法均要求按 HY/T050—1999 的规定操作，但这两项标准有不对应的地方，例如在 HY/T050—1999 中找不到“外观检测”和“渗漏检测”的规定；另外所用术语也存在不统一，例如 HY/T062—2002 中“纯水通量”指标在 HY/T050—1999 中以“纯水透过率”表述。HY/T112—2008 规定了对超滤膜的技术要求，专门规定了用于海水预处理的超滤膜组件的技术要求。纯水通量及截留性能试验方法要求按 HY/T050—1999 的规定执行。另外，规定了完整性检测、渗漏检验及耐压性能试验的方法，但后两者按厂家标称的最大工作压力测试，无统一确定的测试压力规定。耐压性能试验要求在标称的最大跨膜压差下运行 12~24h，测试周期过长。

1.2.5 微滤 (MF) 膜标准

微滤膜标准有 6 项：《微孔滤膜孔性能测定方法》(HY/T039—1995)、《中空纤维微孔滤膜测试方法》(HY/T051—1999)、《微孔滤膜》(HY/T053—2001)、《中空纤维微滤膜组件》(HY/T061—2002)、《聚偏氟乙烯微孔滤膜》(HY/T065—2002) 及《聚丙烯中空纤维微孔膜》(HY/T110—2008)。HY/T039—1995 标准规定了最大孔径、平均孔径、孔径分布及孔隙率等性能指标及其检测方法。该标准适用于测定平均孔径为 0.1~20 μm 的多孔膜的最大孔径（也可用泡点压力表示）、平均孔径、孔径分布及孔隙率，测试对象为膜片。测定装置采用 HY/T038—1995 规定的 CTL-D 型膜孔径测定仪，该装置为杭州水处理中心自制，不具有通用性。HY/T051—1999 标准规定了用泡点压力法测试中空纤维微孔滤膜最大孔径的方法及水通量（又称纯水透过率）测试方法。HY/T053—2001 标准规定了微孔滤膜的产品标记、要求、试验方法等。规定了膜的厚度范围、亲水性和疏水性微孔滤膜泡点压力及通量值。泡点压力测定按 HY/T039—1995 规定执行，通量是将湿润的直径为 47 mm 的膜片装在过滤器上在 0.09MPa 的负压条件下测得，不要求恒温，根据实测水温时的通量值，用温度校正因子换算成 25℃ 的通量。HY/T061—2002 标准的基本要求规定了渗漏检测的测试压力，技术要求中没有规定具体的技术指标，不利于检验判断。外观检测、渗漏检测、纯水通量和起始泡点压力测定均按 HY/T051—1999 进行，但 HY/T051—1999 中没有渗漏检测，纯水通量是以纯水透过率表示。存在标准不对应和术语不统一的问题。HY/T065—2002 标准适用于气体净化用的聚偏氟乙烯微孔滤膜。过滤精度分为 0.01 μm 和 0.3 μm 两种，性能要求中规定了空气通量、孔隙率和截留率指标值。过滤精度与截留率采用气溶胶和完整性试验方法测定，孔隙率用汞压仪测定。HY/T110—2008 标准规定了聚丙烯中空纤维微孔膜产品的分类及型号、要求、试验方法等。分别规定了疏水性膜和亲水性膜的最大孔径、

孔隙率、气体通量。对膜丝的平均直径和壁厚做出了相应的规定。最大孔径、纯水通量按 HY/T051—1999 规定执行,孔隙率按 HY/T065—2002 规定执行,标准还规定了膜丝平均直径、壁厚和气体流量的测量方法。

1.2.6 帘式膜标准

帘式膜标准有 1 项,即《中空纤维帘式膜组件》(GB/T25279—2010)。该标准适用于中空纤维帘式微孔滤膜组件和中空纤维帘式超滤膜组件两类。规定了膜组件的分类与型号、要求、检测方法、检验规则等。对外观、外形尺寸、无渗漏性及产水量做出了具体要求。产水量的测试条件:自来水,25℃,-0.02MPa。

1.2.7 陶瓷微孔滤膜标准

陶瓷微孔滤膜标准有 3 项:《管式陶瓷微孔滤膜元件》(HY/T063—2002)、《管式陶瓷微孔滤膜测试方法》(HY/T064—2002)及《陶瓷微孔滤膜组件》(HY/T104—2008)。HY/T063—2002 标准规定了管式陶瓷微孔滤膜元件的外观、尺寸公差、性能要求、试验方法及检验规则等。性能要求包括:最大孔径、平均孔径、孔隙率、纯水通量、弯曲强度及耐酸碱性能。性能测试方法按 HY/T064—2002 标准进行。HY/T064—2002 标准与 HY/T063—2002 配套。HY/T104—2008 标准规定了陶瓷微孔滤膜组件的分类与型号、要求(包括主要尺寸、使用条件等)、试验方法及检验规则等。

1.2.8 离子交换膜标准

离子交换膜标准有 1 项,即《电渗析技术异相离子交换膜》(HY/T034.2—1994),该标准规定了电渗析异相离子交换膜的技术要求、试验方法及检验规则等。指标包括外观、含水率、交换容量、面电阻及选择透过率。

膜产品装置标准膜产品通过组装成装置或设备应用于许多行业,装置标准的建立促进了膜技术的广泛应用。反渗透膜产品装置标准有:《反渗透水处理设备》(GB/T19249—2003),《反渗透系统膜元件清洗技术规范》(GB/T23954—2009),《纯水机》(CJ/T168—2002),《生活垃圾渗滤液碟管式反渗透处理设备》(CJ/T279—2008),《反渗透海水淡化装置》(CB/T3753—1995),《火电厂反渗透水处理装置验收导则》(DL/T951—2005),《反渗透装置》(HCRJ065—1999),《环境保护产品技术要求反渗透水处理装置》(HJ/T270—2006),《反渗透装置完好要求和检查评定方法》(SJ/T31455—1994),《饮用纯净水制备系统 SRO 系列反渗透设备》(HY/T068—2002),《膜法水处理反渗透海水淡化工程设计规范》(HY/T074—2003);纳滤膜产品装置标准有:《纳滤装置》(HY/T114—2008);超滤膜产品装置标准有:《超滤水处理设备》(CJ/T170—2002),《中空纤维超滤装置》(HY/T060—2002),《环境保护产品技术要求超滤装置》(HJ/T271—2006),《火力发电厂超滤水处理装置验收导则》(DL/Z952—2005),《家用和类似用途超滤净水机》(QB/T4143—2010);微滤膜产品装置标准有:《微滤水处理设备》(CJ/T169—2002),《GTL-D 型膜孔径测定仪》(HY/T038—1995),《聚偏氟乙烯微孔滤膜折叠式过滤器》(HY/T066—2002),《中空纤维微孔滤膜装置》(HY/T103—2008);离子交换膜产品装置标准有:《电渗析技术电渗析器》(HY/T034.3—1994),《电去离子膜堆(组件)》(HY/T120—2008),《环境保护产品技术要求电渗析装

置》(HJ/T334—2006)。

2 主要技术发展情况

膜技术是材料科学和过程工程科学等诸多学科交叉结合、相互渗透而产生的新领域，是当代新型高效的共性技术，特别适于现代工业对节能降耗、低品位原材料再利用和环境治理与保护等重大需求，成为实施可持续发展战略的重要组成部分。膜分离技术推广应用的覆盖面在一定程度上反映出一个国家过程工业、能源利用和环境保护的水平。

近年来，中国膜研究人员在膜领域取得了长足的进步。面向我国在水资源、能源、传统工业技术改造等方面的重大需求，研究紧密围绕“膜的功能与膜及膜材料微结构的关系、膜及膜材料的微结构形成机理与控制方法、应用过程中的膜及膜材料微结构的演变规律膜领域”三个关键科学问题展开，通过对膜及膜材料微结构与膜功能性质和制备过程关系的研究，初步建立了面向应用过程的膜材料设计与制备理论框架，形成了一系列具有自主知识产权、性能达到国际先进水平的膜材料与膜过程，在水处理膜、透汽化膜、气体分离膜、离子交换膜、无机膜、膜反应器、新型膜的理论和应用研究方面取得了重要的创新进展，为我国的节能减排与传统产业改造作出了突出贡献。

目前，中国有超过 100 个高校与科研院所从事膜科学技术研究，其中大约 30 个研究团队活跃在国际学术前沿。这些年来，我国在分离膜领域取得的巨大进步离不开中国政府的大力支持，包括国家的“973”计划、“863”计划、自然科学基金等。自 2003 年起，膜领域的研究得到了我国连续两期“973”计划的资助（“面向应用过程的膜材料设计与制备基础研究”：No. 2003CB615700，2003—2008；No. 2009CB623400，2009—2013），极大地提升了我国膜科学技术的基础研究水平。此外，国外知名膜企业不断进入中国市场，众多本土膜公司也相继建立，拥有近 1000 家膜公司，其中超过 300 个膜制造厂家。这些膜企业对中国的膜工业发展起到了显著的推动作用，缩短了中国与发达国家的技术差距。

2.1 水处理膜

目前，中国最大的膜产品是用于水处理的超/微滤膜。非溶剂致相分离法（NIPS）和热致相分离法（TIPS）是用于制备多孔聚合物 MF/UF（微滤/超滤）膜最主要的两种方法。通常，通过 NIPS 方法制备的 MF/UF 膜具有较大的指状孔，但其孔径大小不均一。经由 TIPS 方法制备的 MF/UF 膜具有均匀的孔径和良好的机械强度。最近浙江大学研究人员在国际上首次研制出编织管增强型复合聚氯乙烯（PVC）中空纤维超滤膜制备技术，解决了超滤涂层与编织管界面结合强度差的难题并得到全海绵结构膜层，实现了抗污染、高通量、长寿命 PVC 复合超滤膜规模化生产，年产量 $4 \times 10^6 \text{ m}^2$ ，成功用于自来水、海水淡化预处理等大型工程，实现了产品出口，应用总规模达到日产净水 $5 \times 10^5 \text{ 万 m}^3$ ，年产值 5.5 亿人民币。国内最大的超滤膜生产厂家——海南立升公司，在海口建有全球最大的超滤膜生产基地之一，年产 $3 \times 10^6 \text{ m}^2$ PVC 和聚偏氟乙烯（PVDF）毛细管式超滤膜，稳居世界前列。2010 年，立升承担了上海世博会世博园区全部直饮水设施的建造和维护工作，为来自全球的约 7000 万名游客提供高标准的直饮水。此外，PVDF 中空纤维超滤膜被广泛地应用于不同的领域，如膜生物反应器（MBR）系统。近年来，国内首次研制出 TIPS 法 PVDF 膜的

规模化制备技术, PVDF 膜产品的产业规模增长到 2013 年的 $1 \times 10^6 \text{ m}^2$ 产能, 占比由约 5% 提高至约 10%。膜产品已在 40 多个工程项目中得到应用, 其中重大工程主要有唐山国丰钢铁有限公司 $3 \times 10^4 \text{ t/天}$ 市政污水回用工程、山西太原钢铁集团 $3 \times 10^4 \text{ t/天}$ 炼钢废水回用工程、内蒙古大唐国际呼和浩特热电有限责任公司 $2 \times 10^4 \text{ t/天}$ 中水回用工程, 以及中国最大市政中水回用超滤部分——北京未来科技城 $8 \times 10^4 \text{ t/天}$ 再生水厂一期项目。

我国用于海水淡化方面的膜产品已具备 1 万只 8040 膜组件的年生产能力, 其宏观分离性能达到国际先进水平: 与国际主流产品相比, 在通量 ($42 \text{ L/m}^2 \text{ h}$) 和脱盐率 (99%) 相当的前提下, 膜产品价格低 50% 以上, 已在日产万吨级的项目中, 进行了示范和应用。另外, 还自主设计制备了抗污染反渗透膜 (FR8040), 并成功应用于上海焦化厂、国电大连开发区热电厂等中水回用项目, 运行时间已超过 12 个月, 运行状态良好, 系统脱盐率达到 97.5% 以上, 水通量大于 $40 \text{ L/m}^2 \text{ h}$ 。产水达到用户标准, 膜性能稍优于国外同类产品, 推广应用装置 47 余套。

水处理膜在实际应用中的关键问题之一是膜污染。例如, 在膜生物反应器 (MBR) 系统中, 膜表面形成的生物污染层, 会显著降低膜产品的分离性能和使用寿命。为了提高多孔膜的亲水性和防污性能, 浙江大学开发了一系列聚合物膜表面改性方法, 包括聚合物接枝、等离子体处理、共聚、大分子固定化等, 有效地降低了生物污染。例如, 针对疏水的 PVDF 膜材料, 采用共混方法, 两亲高分子组分在成膜过程中, 亲水链段会富集到水凝固浴及膜的表面, 疏水链段“锚定”在膜表面, 防止亲水分子流失。再如, 将两性离子单体、纳米颗粒 (分子筛、碳纳米管、 TiO_2)、磷脂抑菌剂等引入到聚酰胺膜中, 获得抗污染超低压的反渗透、纳滤混合基质膜材料。

2.2 渗透汽化膜

渗透汽化是近年膜科学研究中最活跃的领域之一, 在分离液体混合物, 尤其是痕量、微量物质的移除, 近、共沸物质的分离等方面具有独特优势。20 世纪 90 年代, 清华大学在我国首次实现渗透汽化有机膜 (聚乙烯醇, PVA) 的工业化应用。目前在我国建立了 50 多套有机膜渗透汽化脱水工业工程。其中, 渗透汽化乙醇脱水技术与传统的恒沸精馏脱水技术相比, 节能 60% 以上, 为国家节能和传统工业技术改造做出了贡献。2009 年, 南京工业大学实现了我国分子筛膜的规模化生产, 建成年产 12 万根管式支撑体工业化生产线和 10000 m^2 /年的规模化生产线, 开发出万吨级有机溶媒脱水成套装置, 其价格是国外同等技术的 50% 左右, 具有明显的技术经济优势。该技术先后推广有机溶媒脱水工业装置近 40 套, 年处理量达 $7 \times 10^4 \text{ t}$, 占有国内分子筛膜脱水市场的 90% 以上。与传统片碱脱水和分子筛吸附等脱水工艺相比, 实现了废液、废渣零排放, 节约分离成本 50% 以上。此外, 还在国际上首次实现了渗透汽化有机-无机复合膜的规模化制备, 建成年产 1000 m^2 的规模化生产线, 膜产品性能优于国际主流渗透汽化优先透有机物膜产品, 尤其在通量方面具有显著优势。已建成渗透汽化优先透有机物工业示范装置, 在白酒提纯、油气回收等多个领域实现工业应用。

2.3 气体分离膜

为了解决 CO_2 的排放问题, 我国开展了面向节能减排的膜材料与膜过程研究工作。在

973 项目的资助下,首次合成了 6 个系列 15 种新型共聚聚酰亚胺,均具有较好的气体分离性能,其中,2'-双(3,4-二羧酸苯基)六氟丙烷二酐与 2,4,6-三甲基-1,3-苯二胺、1,3-苯二胺、2,6-二氨基甲苯共聚聚酰亚胺的气体分离性能接近或突破了 CO_2/CH_4 分离体系的 Robeson 上限。中国科学院大连化学物理研究所与中国海洋石油总公司合作,将膜分离技术用于分离低品位天然气中 CO_2 ,回收甲烷、轻质油及液化气,总投资近 500 万人民币,年处理天然量为 $1360 \times 10^4 \text{NM}^3$,解决了单井气田气源不稳定、 CO_2 含量高(80%以上)、含重烃及砒油等技术难点,研发出直接处理油井气的成套工艺及装置,于 2006 年 10 月 28 日在中国石油天然气股份有限公司海南福山油田一次开发成功并即投入生产使用。该装置是前国内唯一一套膜分离技术用于 CO_2 分离装置,也是目前世界上同类装置中处理 CO_2 含量最高的天然气膜法处理装置。最近,基于含醚氧基团聚酰亚胺膜材料,研究人员采用干湿法相分离纺制出中空纤维膜,开发了工业级分离 CO_2 中空纤维和平板膜卷式组件,组件有效膜面积为 4.5m^2 和 5m^2 ,并制备出 CO_2 中空纤维膜分离器,为国内首创,渗透性能优于国外产品。

2.4 离子交换膜

在离子交换膜方面,中国科学技术大学开发了四大系列(溴化聚苯醚系列、氯乙酰化聚合物系列、共混系列和多硅共聚物系列)20 余种离子膜产品和一种新型卷式扩散渗析膜组件,建成了年产 $1 \times 10^5 \text{m}^2$ 的均相离子膜生产线,填补了国内均相离子膜产业化的空白,膜产品实现出口。在化工、冶金、特种金属加工等领域得到广泛应用,2003 年至今推广使用膜面积达 $7.35 \times 10^5 \text{m}^2$,打破了以日本和美国为首的国家对我国的技术封锁和价格垄断。中国拥有世界上最大的氯碱行业,规模达到每年 $3.5 \times 10^7 \text{t}$ 。离子膜是氯碱工业核心设备电解装置的核心部件。2010 年,东岳集团 100% 国产化的全氟离子膜在万吨级规模氯碱生产装置上获得成功应用。该成果打破了我国氯碱工业长期受制于人的历史,使我国氯碱工业从此走上了健康发展的道路。

2.5 无机膜

除了有机膜,在中国也有许多科研机构致力于无机膜的研究。其中,陶瓷膜因具有优异的化学稳定性、机械稳定性和热稳定性能,在化工、石化、制药、生化等过程工业中获得了成功应用,成为我国膜领域最有国际竞争力的膜品种之一。南京工业大学膜科学技术研究所将陶瓷膜过程的设计从以工艺设计为主推进到膜材料微结构的设计,将膜制备技术从以经验为主推进到定量控制的水平。建成了陶瓷膜规模化生产线,提升了陶瓷膜产品的国际竞争力,在中药澄清、生物发酵液净化、石油化工、环保等领域得到了广泛应用。生产出三种材料(氧化铝、氧化锆和二氧化钛)、十几种规格的陶瓷超/微滤膜产品。陶瓷膜生产规模全国最大,世界前三,占中国市场的 60% 以上,极大地推动了我国陶瓷膜产业的发展。陶瓷膜产品与国外产品相比具有更高的分离性能与运行稳定性。陶瓷膜产品推广近 1000 个工程,产品出口到美国、德国、加拿大等 55 个国家。用户涉及国有特大型企业、上市公司、大型民营企业及研究开发单位等,累计创造直接经济效益 10 多亿元,间接经济效益 100 多亿元。例如,陶瓷膜应用于印钞废水,可回收废水和有价值的染料;氧化锆膜处理钢铁厂产生的大量油包水乳液,油的截留率可达 99.9%,水的回收率超过 90%,工

艺稳定运行 10 多年, 超过 20 个钢铁厂采用了该技术。多孔陶瓷膜的另一个重要应用是在生物工程, 如肌昔提纯。与传统技术相比, 采用陶瓷膜技术肌昔回收率从 85% 提高至 90% 以上, 降低了生产过程中酸、碱的消耗, 减少了 70% 的废水排放。多孔金属作为一种颇具潜力的工程材料引起了研究者广泛关注。中南大学开发了一系列多孔 Ti-Al 系和 Fe-Al 合金多孔膜, 并应用于 TiCl_4 和 ZnSO_4 生产。例如, Ti-Al 合金多孔膜应用于粗 TiCl_4 原料的固液分离过程中, 表现出使用周期长、过滤通量大、分离精度高的突出优势。最大孔径为 $17\ \mu\text{m}$ 的 Ti-Al 过滤管, 其通量可长期稳定在 $8.17\ \text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ 左右, TiCl_4 透过清液的固体含量稳定在 0.1% 左右, 完全满足工厂要求。通过该项目的实施, 每吨电解锌可节约 6 kg 锌粉; 过滤后, 新液品质显著提高, 0# 锌的产率将显著提高, 经济效益和社会效益显著。

2.6 膜反应器

膜反应器是将膜分离技术与反应过程相结合、实现反应产物或催化剂原位分离的一种新技术, 被认为是影响化工与石油化工未来的重要研究领域之一。南京工业大学将陶瓷膜分离技术与催化反应技术耦合, 实现了纳米催化剂的循环使用。该技术对纳米催化剂的工程应用具有重要的作用, 可应用于大部分非均相催化领域, 对传统催化反应技术的改造具有重要影响。将陶瓷膜反应器用于钛硅分子筛催化环己酮肟化制环己酮肟的反应中, 通过陶瓷膜截留钛硅分子筛催化剂, 构建反应与分离耦合系统, 有效解决了催化剂的循环利用问题, 缩短了工艺流程, 实现了生产过程的连续化。在巴陵石化建成 3 套 $7\times 10^4\text{t}/\text{年}$ 的钛硅分子筛催化环己酮肟化制环己酮肟的生产装置, 在石家庄建成 1 套 $1\times 10^5\text{t}/\text{年}$ 的生产装置, 反应的转化率和选择性均大于 99.5%, 膜渗透液中催化剂含量小于 1ppm, 最终产品己内酰胺的质量达到优级品, 该工艺已连续稳定运行 5 年。这是全球第一套大规模的反应-陶瓷膜分离耦合系统, 标志着我国反应-膜分离耦合技术处于国际前列。

20 世纪 90 年代以来, 离子电子混合导体 (MIEC) 材料被广泛研究。近年来, 提出了具有“协同效应”的多相混合导体膜材料的设计策略, 建立了耐 CO_2 气氛、耐还原气氛、高通量的新型混合导体材料的设计与制备方法; 提出了具有组成梯度与孔结构梯度的混合导体复合膜的设计策略, 采用协同收缩的思想及开发旋转喷涂技术制备了管式担载超薄致密膜。建立了具有自主知识产权的 CO_2 有效利用及纳米催化与膜分离耦合的综合流程, 为工程化奠定了坚实的地理理论基础。

2.7 新型膜

新材料、新结构的不断涌现为分离膜的精密制备提供了新的机遇。过去十年中, 我国的新型膜得到了迅速发展。四川大学开发了温度响应膜、pH 响应膜、分子或离子识别膜以及仿生离子通道膜等具有环境响应调控功能的新型智能化膜材料设计与制备方法, 制备出高性能环境响应型亲和分离膜以及环境响应型控制释放膜。南京工业大学提出了基于嵌段共聚物选择性溶胀获得均一孔道的方法。将两亲嵌段共聚物作为膜基材, 在溶剂退火形成规整分相结构后, 采用选择性溶剂, 对分散相溶胀成孔, 获得孔径均一、孔道垂直的多孔结构。有序介孔材料、多孔配位框架材料、金属-有机骨架体和共价有机骨架材料等具有分子尺寸的孔径, 可以通过分子筛分实现对不同尺寸物质的选择性截留, 在催化、分离、气体储存、传感以及手性拆分等相关的领域具有重要的应用前景。通过新型晶种方法的开

发以及 MOF 膜在气体、液体分离方面的应用研究，建立了基于金属有机骨架的高精度分离膜的设计与制备方法。此外，石墨烯作为一种由单层碳原子紧密堆积成二维蜂窝状晶格结构的碳质新材料，因其厚度超薄、机械性能超高等诸多特性，可用于制备兼具高通量与高选择性的新型膜材料，并提高膜材料的稳定性与使用寿命。最近，南京工业大学在多孔陶瓷支撑体上成功制备出氧化石墨烯/陶瓷复合膜，在渗透汽化脱水方面展现出良好的应用前景。

近年来，我国通过对膜材料设计、制备与应用的深入研究，形成了一系列具有自主知识产权、性能达到国际先进水平的膜材料体系。反渗透膜、PVC、PVDF 膜等水处理膜缩短了与国际水平的差距；在分子筛膜、有机-无机复合膜、致密膜反应器等赶超了国际先进水平；金属合金膜、智能膜等新型膜引领了国际膜材料的发展。通过解决高性能膜材料的微结构控制与过程应用的关键技术问题，突破了产业化的技术瓶颈，在水资源、能源、环境、传统产业改造若干重大领域实现了工业应用。膜科学技术的研究提升了我国膜领域的原始创新能力、膜材料的产业竞争力、膜研究的国际影响力。

3 主要问题分析

近年来，我国膜技术发展日趋活跃、膜工业增长日趋强劲、膜应用市场日趋成熟，取得了举世瞩目的成绩。同时，我们也清楚地看到我国膜行业还存在以下共性问题，制约着行业的进一步发展：

- (1) 原始创新缺乏，尤其是膜原料及配方的研究，缺乏引领行业发展潮流的原创技术。
- (2) 技术转化能力较弱，技术开发缺乏企业的普遍参与，没有形成实质意义上的产学研用相结合的产业技术创新联盟，极少研究成果实现了产业化。
- (3) 产品质量有待提高，在膜生产工艺关键参数的控制上与国际先进水平存在较大差距。
- (4) 膜装备建设有待加强，膜装备的国产化率仍有较大提升空间，在高压泵、能量回收装置等膜配套设备的技术开发方面仍需努力。
- (5) 膜技术的应用领域有待进一步开发，应突破目前海水淡化、污水处理的范畴，积极拓展物料回收、特种分离等新领域，在发酵、制药、造纸等行业实现突破。

4 建议

在 2015 年发布的《中国制造 2025》重点领域技术路线图中，高性能分离膜材料作为新材料产业的重要组成部分，明确了未来 10 年的工作目标：海水淡化反渗透膜产品脱盐率大于 99.8%，水通量提高 30%，海水淡化工程达到 200 万吨/日，装备国产化率大于 80%。陶瓷膜产品装填密度超过 300 平方米/立方米，成本下降 20%，需求量达到 20 万平方米，突破低温共烧结技术，形成气升式膜分离装备，能耗下降 30%。离子交换膜产品膜性能提高 20%，氯碱工业应用超过 1000 万吨规模，突破全膜法氯碱生产新技术和成套装置。渗透汽化膜产品渗透通量提高 20%，膜面积达到 10 万平方米，突破大型膜组器和膜集成应用技术，推广应用规模超过百万吨溶剂脱水和回收，节能 30%以上。

为具体落实《中国制造 2025》战略规划,以“十二五”期间的发展业绩为基础,中国膜工业协会制定了《中国膜产业“十三五”发展规划纲要》。纲要提出以下发展目标:功能膜产值年均增长率达到或超过 20%,到“十三五”末期产值实现翻番,达到 2500 亿~3000 亿元;膜产品出口额超过 100 亿元/年;形成“龙头企业引领、骨干企业支撑、中小企业配套”的格局,其中龙头企业实现“10、20、30”的目标,即培育 10 家年产值 50 亿~100 亿元的企业、20 家年产值 10 亿~50 亿元的企业、30 家年产值 5 亿~10 亿元的企业。

为实现以上目标,必须坚持创新驱动发展战略,在膜技术原始创新上有新的突破,实现由膜应用大国向膜技术强国的转变。其中反渗透膜技术达到国际先进水平,反渗透膜国产率达到 40%~60%;纳滤膜、超滤膜和微滤膜(含 MBR)质量显著提高,国内市场占有率达 60%~80%。

在离子交换膜方面,开发出面向化工、冶金、生物工程等要求的高性能分离膜。其中,氯碱工业用离子膜实现产业化,膜电阻和跨膜电压等性能达到世界先进水平,国内市场占有率实现 30~50%;燃料电池膜研究实现新突破,形成产业化并推广应用;实现工业用高性能双极膜装备产业化,并大面积推广应用;针对酸碱回收,开发低成本高性能的渗析和电渗析设备并产业化应用。

在光电膜方面,强化锂电池隔膜的研制开发和生产的升级改造,改变目前只能生产低端锂电池膜的现状,尽快实现中高端市场需求的隔膜材料国产化;加快液流电池隔膜材料国产化的进度;围绕太阳能光伏产业需求,开发双向薄膜,提升 EVA 膜性能。

在气体分离膜方面,重点是二氧化碳等酸性气体分离膜,空气中 PM_{2.5} 的分离膜,以及富氮、富氧、脱湿、脱氢和有机蒸气回收等分离膜的产业化等。

此外,要大力开发各种适合于不同条件下的特种分离膜。开发出 2~3 种具有世界先进水平的特种分离膜材料,实现推广应用,促进老旧传统工业的技术升级及创新;用先进的膜技术促进各种工业废水、废液中宝贵资源的回收再利用。

在膜生产技术创新的同时,还应重视膜原料及配方的研究。力争研制出 5~6 种新型膜用基础材料,使其中 2~3 种实现产业化,PVDF 国产化率超过 60%;研制出高性能、抗污染、抑菌等新型功能膜材料的配方 5~6 种,使其中 2~3 种实现产业化。

为实现“十三五”期间中国膜工业产值翻番的目标,还需国家在宏观层面配套保障措施:

(1) 加强政策引导。供给侧方面,进一步发挥《中国制造 2025》战略规划的指导作用,出台具体战略性新兴产业优惠政策,在行政审批、财政税收等方面为膜产业的发展提供便利;需求侧方面,贯彻“创新、协调、绿色、开放、共享”的发展理念,统筹经济建设与生态文明建设,落实《水污染防治行动计划》及其配套政策,严把节能环保关口,刺激海水淡化、污水处理等领域的需求,有效促进膜产业的发展壮大。

(2) 鼓励支持技术创新。依托骨干企业,示范建设几家国家级技术中心、省级技术中心;支持建设一批产学研用相结合的产业技术创新联盟;创新高校、科研院所与企业共同参与的技术开发模式,加强协同创新和联合攻关,加大投入力度。

(3) 优化企业规模结构。形成大型企业与中小企业互动发展的良好局面;支持骨干企业组建大公司或企业集团;支持和引导百家中小企业,为大企业提供配套服务。

(4) 制定完善的膜行业标准。健全膜产业市场准入制度,完善膜产品和工程企业资质

认定和特许经营权制度；鼓励企业参与行业标准制定，完善膜产业标准体系；充分发挥协会和相关联盟的作用，开展企业信誉和产品质量管理；积极借鉴引用国际标准或国外先进标准，推动膜产品标准修制定。

（5）创新多元化投入机制。积极利用中央财政战略性新兴产业发展专项资金、节能减排专项资金等；综合采用财政投资政策、税收优惠政策、融资优惠政策和人才政策等多种政策；充分运用市场机制，鼓励和引导社会资金进入膜工业市场；探索产业投资基金、风险投资基金等形式。

膜生物反应器与污水资源化技术发展报告

1 所属行业或领域总体概况

1.1 2014-2015 年国内外相关法规、政策、标准体系现状

1.1.1 国内法规、政策、标准体系现状

2014-2015 年,在水环境持续恶化和水资源短缺日益严峻的双重压力下,我国继续加大节能减排和生态建设力度,污水资源化成为污水处理的发展方向,国家也密集出台相关法律法规、政策文件,从法律、政策层面加大力度促进污水资源化行业的发展。

1.1.1.1 法律法规

- (1) 基础设施和公用事业特许经营法(征求意见稿),颁布时间:2014-11-27
- (2) 中华人民共和国环境保护法,颁布时间:2014-04-24
- (3) 关于推进环境监测服务社会化的指导意见(环发[2015]20号),颁布时间:2015-02-05
- (4) 国务院办公厅关于加强环境监管执法的通知,颁布时间:2014-11-12
- (5) 企业事业单位环境信息公开暂行办法(征求意见稿),颁布时间:2014-10-20
- (6) 环境保护限制生产、停产整治暂行办法(征求意见稿),颁布时间:2014-10-20
- (7) 环境保护按日连续处罚暂行办法(征求意见稿),颁布时间:2014-10-20
- (8) 实施环境保护查封、扣押暂行办法(征求意见稿),颁布时间:2014-10-20
- (9) 《南水北调工程供水水管理条例》,颁布时间:2014-02-28

1.1.1.2 政策文件

- (1) 财政部关于印发《PPP 物有所值评价指引(试行)》的通知,颁布时间:2015-12-18
- (2) 国务院下发推进海绵城市建设指导意见,颁布时间:2015-10-16
- (3) 《中共中央国务院关于推进价格机制改革的若干意见》,颁布时间:2015-10-12
- (4) 《城市黑臭水体整治工作指南》,颁布时间:2016-01-21
- (5) 国务院办公厅关于印发生态环境监测网络建设方案的通知,颁布时间:2015-07-26
- (6) 关于贯彻实施国家主体功能区环境政策的若干意见,颁布时间:2015-07-23
- (7) 三部委关于印发《排污权出让收入管理暂行办法》的通知,颁布时间:2015-07-23
- (8) 水利部关于印发加快推进江河治理工程建设实施细则的通知,颁布时间:2015-07-03
- (9) 中华人民共和国环境保护税法(征求意见稿),颁布时间:2015-06-10
- (10) 基础设施和公用事业特许经营管理办法,颁布时间:2015-04-25
- (11) 关于推进水污染防治领域政府和社会资本合作的实施意见,颁布时间:2015-04-09

(12) 国务院关于印发水污染防治行动计划的通知, 颁布时间: 2015-04-16

(13) 关于印发《政府和社会资本合作项目财政承受能力论证指引》的通知, 颁布时间: 2015-04-07

(14) 关于推进开发性金融支持政府和社会资本合作有关工作的通知, 颁布时间: 2016-01-21

(15) 关于市政公用领域开展政府和社会资本合作项目推介工作的通知, 颁布时间: 2015-02-13

(16) 城镇污水排入排水管网许可管理办法, 颁布时间: 2016-01-21

(17) 关于推进环境监测服务社会化的指导意见, 颁布时间: 2015-02-05

(18) 关于制定和调整污水处理收费标准等有关问题的通知, 颁布时间: 2015-01-21

(19) 基础设施和公用事业特许经营管理办法(征求意见稿), 颁布时间: 2015-01-22

(20) 国务院办公厅关于推行环境污染第三方治理的意见, 颁布时间: 2014-12-27

(21) 政府购买服务管理办法(暂行), 颁布时间: 2015-01-04

(22) 污水处理费征收使用管理办法, 颁布时间: 2014-12-31

(23) 国家发展改革委关于开展政府和社会资本合作的指导意见, 颁布时间: 2014-12-02

(24) 关于推广运用政府和社会资本合作模式有关问题的通知, 颁布时间: 2014-09-23

(25) 国务院关于创新重点领域投融资机制鼓励社会投资的指导意见, 颁布时间: 2014-11-26

(26) 《水质较好湖泊生态环境保护总体规划(2013-2020年)》, 颁布时间: 2014-09-10

(27) 关于促进生产过程协同资源化处理城市及产业废弃物工作的意见, 颁布时间: 2014-05-06

1.1.1.3 标准体系

(1) 《城镇污水再生利用技术指南(试行)》, 颁布时间: 2016-01-21

(2) 《城镇供水设施建设与改造技术指南》, 颁布时间: 2016-01-21

(3) 固体废物再生利用污染防治技术导则(征求意见稿), 颁布时间: 2016-01-21

(4) 城镇污水处理厂运行监督管理技术规范, 颁布时间: 2014-06-10

1.1.2 国外法律法规现状

(1) 欧共体城市污水处理指令

(2) 英国水工业法

(3) 城市污水处理条例(英格兰和威尔士)

(4) 城市污水处理条例(北爱尔兰)

(5) 德国向水系排放废水的规定

(6) 德国排水收费法

(7) 美国清洁水法

(8) 美国安全饮用水法

(9) 日本水污染防治法

(10) 新加坡公用事业法

(11) 新加坡排污与排水法

- (12) 新加坡地表水工程准则
- (13) 新加坡污水及卫生工程准则
- (14) 中国香港水污染管制条例
- (15) 中国香港污水隧道(法定地役权)条例
- (16) 中国香港污水处理服务条例
- (17) 中国香港水务设施条例
- (18) 核准中国澳门供排水规章
- (19) 中国澳门供排水规章
- (20) 中国台湾排水管理办法
- (21) 中国台湾民营公用事业监督条例
- (22) 中国台湾水污染防治法

1.2 2014-2015年国内外对污染控制涉及的重点行业的污染控制管理现状

1.2.1 欧盟污染综合防治指令

欧盟污染综合防治指令要求申请排污许可企业必须安装满足指令要求的处理装置。欧洲污染综合防治局在医药、电子、石化、炼油等工业行业编制了最佳可行技术参考文件,不仅对节能技术、污染控制技术和生产技术等最佳可行技术作了介绍,还对一些控制指标给出了详细的参考值。目前欧盟针对工业废水特征污染物的排放指令有氯碱电解工业汞排放限值指令、除氯碱电解工业外汞排放限值指令、镉排放限值指令、六氯环己烷排放限值指令、特种危险物质排放限值指令等。

1.2.2 美国工业废水环境管理制度

国家污染物排放削减体系许可证制度是美国水污染防治的核心内容。美国对工业废水排放限制分为直接排放水体和向公共污水处理厂排放两类。直接向水体排放污染物的企业要遵守国家排放限制导则。对于现有工业污染源排放有毒物质、非常规污染物的执行基于最佳处理技术的排放标准。排放常规污染物的执行基于常规污染最佳控制工艺的排放标准。对于新建工业污染源执行基于最佳示范控制工艺的排放标准。向公共污水处理厂排放污染物的工业企业要遵守《清洁水法》和《预处理条例》的相关规定。对于其他污染物根据是已有工业项目还是新建工业项目,分别执行基于BAT技术的预处理标准和基于BADT技术的预处理标准。NPDES许可证中的排放总量限制是通过最大日负荷总量计划实现的。TMDL计划的核心思想是指在满足水质标准的条件下,水体能够接受的某种污染物的最大日负荷总量。主要目标是将可分配的污染负荷分配到各个污染源。

1.2.3 我国污染控制管理现状

我国的水污染防治工作以健全法制和加强环境道德教育为主,经济处罚为辅,法制滞后。修订后的《水污染防治法》集中体现了水污染防治由分散治理为主转向集中控制与分散治理相结合,由末端治理为主转向全过程控制、清洁生产,由单一的浓度控制转向浓度和总量控制相结合,由区域管理为主转向区域与流域管理相结合的指导思想的转变。国务

院也规定全国所有工业污染源都要做到达标排放，对新建企业实行三同时制度，这为进一步加强水污染的防治工作奠定了坚实的法律基础。今后工作的重点应是加强监督管理和强化执法，加强机构建设，强化流域管理，达标管理，总量管理，真正做到有法必依，违法必究，最终实现水体变清，保障水资源的可持续利用。相关管理制度还包括：环境影响评价制度与“三同时”制度、排污许可证制度、水污染排放监测制度、污染物排放总量控制制度等。

2 主要技术发展情况

2.1 主要技术发展情况

2.1.1 MBR 技术核心材料研发

(1) FS-NIPS 法制备高性能 PVDF 中空纤维超/微滤膜技术

基于 PVDF 为主要成膜材料，选取湿法纺丝工艺，并采取在中空纤维膜丝内增加支撑基衬的方法提高中空纤维膜的强度。包括：中空纤维膜支撑基衬优选、新型铸膜液配方的优化、喷涂成膜和成孔技术、纤维支撑复合膜丝后处理和保护技术等。研制出的 PVDF 中空纤维膜，强度高，达 200N 以上；通量高；独特的膜恢复技术，大大提高膜抗污染性；运行寿命达 5 年以上。

(2) 嵌入增强型中空纤维超/微滤膜材料制膜配方和工艺研究

传统中空纤维膜的强度较低，在污水运行中很容易出现断丝的现象，大大影响处理效果。经过改进的内衬型纤维增强膜强度得以大大提高，远远超出超/微滤膜在使用过程中所需的强度，但超/微滤膜增加支撑衬后，制备成本大大增加，在一定程度上限制了膜的广泛应用。基于上述问题，针对水处理行业对膜材料的技术和产业化需求，通过优选超滤膜材料长纤维基材，优化铸膜液配方及制膜技术，研制出用于污水处理和膜法给水的高强度、高通量、抗污染、低成本的长纤维嵌入增强型中空纤维超/微滤膜产品，开发出高性能亲水性 PVDF 中空纤维复合超/微滤膜的制备关键技术，研制 2 种以上规格的高强度、大通量、抗污染、低成本的 PVDF 中空纤维复合超/微滤膜产品，所制备的嵌入增强型 PVDF 中空纤维膜丝拉伸强度达 50N 以上，强度高，孔径分布均一，且强度和精度可控。

(3) PVDF 膜亲水性升级优化方法研究

为了使 PVDF 分离膜能够更好更持久的发挥作用，需要对膜进行一系列的改性，其中亲水改性就是较重要的一项，亲水改性是通过改变其物理化学性质，赋予其更多的功能。增大膜的亲水性（润湿性）可以提高膜的抗污染性，改善膜材料的生物相容性，对分离膜进行必要的亲水化改性以提高膜综合性能具有重要的意义。

目前，对 PVDF 分离膜的改性可归结为膜表面改性和膜材料本体改性两大类，前者是在通过紫外射线，高能电子束， γ 射线，等离子辐照，化学处理，表面涂覆等各种方法在已有的膜表面引入各种极性基团以提高膜表面的亲水性。本体改性是直接对制膜材料中引入基团以从根本上改善 PVDF 的亲水性，通常是对 PVDF 原料进行共聚接枝改性，或者采用共混的方法加入各种添加剂以及一些两亲性共聚物。

2.1.2 MBR 膜组器曝气系统开发与优化

市场上膜组器结构大同小异,一般均由膜丝、抽吸系统、曝气系统构成。将膜组器放到污水生化池里,清水通过中空纤维膜丝表面的微孔渗透到膜丝的中心内孔中,污泥被挡在膜丝外,实现泥水分离。再通过抽吸泵将膜丝内的清水抽吸到清水池。由于在抽吸过程中,污泥不断在膜表面积累,水流阻力不断加大,需要对膜组器进行曝气,使膜丝不断抖动,清除膜表面污泥,减小过膜阻力,恢复水流的通量。生化池的污泥浓度高,污泥在膜表面的积累速度很快,因此需要高强度曝气才能将膜丝表面的污泥抖掉,以保证膜组器正常运行。

目前,国内外膜处理公司的膜组器一般采用恒定曝气强度进行曝气,恒流曝气的缺点是能耗高,污水处理厂运行费用大,成为 MBR 技术推广普及的主要障碍。从新型膜组器曝气系统入手,开发出新型低能耗膜组器。

为有效实现膜组器高低交互曝气系统的实现,在保证曝气效率的前提下,开发出与之相匹配的膜组器进口气流分配装置。包括壳体、安装在壳体内的气流控制管路、节流调节管路和控制屏,气流控制管路与节流调节管路并联连接,气流控制管路和节流调节管路均与控制屏连接、受控制屏控制,气流分配装置还与 PLC 程序控制器连接,并受 PLC 程序控制器控制。

MBR 膜组器进口气流分配装置通过分析 MBR 膜丝表面污泥吸附与曝气污泥脱附的规律,采用高低曝气强度相结合,可以显著的节约曝气量。低曝气强度时维持膜丝轻微抖动,以清除膜表面松散的泥饼层。短时间高强度曝气使膜丝碰撞摩擦,以清除膜表面上粘性较大的凝胶层,因此可以十分有效地清洗膜丝,恢复膜丝的水通量。高曝气强度时历时时间短,因此曝气平均强度比恒流量曝气低很多,从而在保持清洁效果的同时有效达到节能目的。

2.1.3 高浓度废水组合工艺研究

(1) 强化内源反硝化的 MBR 脱氮除磷工艺技术

强化内源反硝化的 MBR 脱氮除磷工艺技术,污水首先进入厌氧池,在该池发生厌氧释磷;之后进入前置缺氧池,来自好氧池的回流带来大量硝酸盐,反硝化菌利用进水中的碳源进行反硝化脱氮,同时部分反硝化聚磷菌利用胞内 PHA 进行反硝化除磷;之后进入好氧池,进水中的氨氮通过硝化作用被去除,聚磷菌通过吸磷去除溶解性磷;之后进入后缺氧池,由于碳源在好氧池已基本消耗殆尽,此阶段的主要功能是利用高污泥浓度促进内源反硝化,实现总氮的深度去除;最后进入膜池,该池的高污泥浓度、高溶解氧和高分离能力进一步保障出水水质。其工艺流程如图所示:

该工艺流程的技术要点如下:

厌氧段进行聚磷菌释磷,前置缺氧段进行反硝化除磷,好氧段进行好氧吸磷及硝化;前置缺氧段利用外碳源进行常规反硝化,后置缺氧段进行内源反硝化,后置缺氧段保持较高的污泥浓度(约为前置缺氧段的 1.5 倍)。

(2) 节能降耗的氧化沟-MBR 城市污水再生技术研究

针对氧化沟工艺和 MBR 工艺的优缺点及发展趋势,开发了一种强化脱氮除磷的新型城市污水处理工艺,使污水处理厂处理出水主要指标达到 IV 类水体标准,该工艺在大兴黄

村再生水厂进行了示范应用。

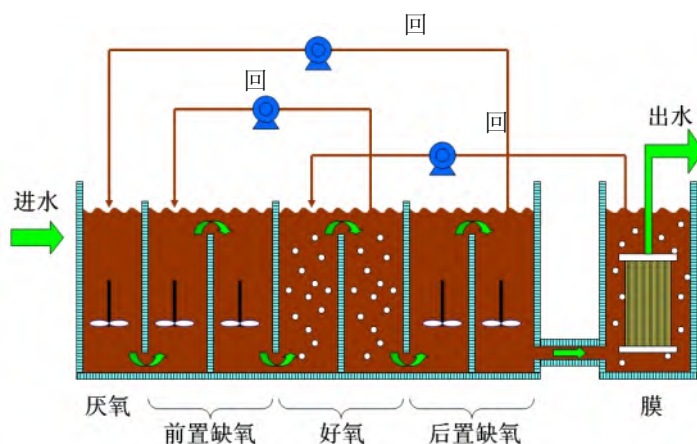


图 1 工艺流程图

2.1.4 臭氧催化氧化技术处理高有机浓度工业废水

随着工业的发展，大量人工合成的有机污染物进入水体，这类污水通常对微生物有毒害作用，常规的废水处理技术很难将其处理。膜处理技术虽然能够处理此类污水，但仅仅是实现了污染物与水体的分离，难降解的污染物依然在浓水中存在未能彻底降解去除，因此具有强氧化降解有机污染物能力的高级氧化技术便受到越来越多的重视。臭氧催化氧化技术是高级氧化技术的一种，该技术能够在常温、宽 pH 范围内降解有机污染物，同时能够去除废水中的色度和臭味；并且臭氧在水处理领域应用比较广泛、工艺比较成熟，为催化臭氧氧化技术的工业化应用提供依据。

2.1.5 超低压选择性纳滤膜（DF）技术

针对我国“水少”问题，开发具有自主知识产权的研发超低压选择性纳滤膜技术与设备，填补国内外空白。超低压选择性纳滤膜（DF 膜）与传统反渗透膜（RO 膜）相比，具备操作压力低、产水回收率高、盐透过选择性强、抗污染性能强、污染物截留率高等特点。适用于城镇再生水深度处理，出水水质达到地表Ⅲ类以上，实现高品质再生水，补充新水源。该技术已在北京翠湖新水源厂进行了示范应用。

2.1.6 技术推广和应用情况

据全球专门统计 MBR 技术、产品及项目的国际专业网站——MBR Site (www.thembrsite.com)，日前发布统计数据显示：截至 2015 年 3 月为止的全球最大的 MBR 工程项目（含在建项目）及其运行商信息。其中，碧水源和 GE 所承担的项目数量最多，分别为 18 个和 17 个。

MBR工程	地点	提供商	投产期 (预计)	高峰处理 量 千吨/日	平均处理 量 千吨/日
瑞典斯德哥尔摩Henriksdal污水处理厂	斯德哥尔摩, 瑞士	GEWPT	2016-2019	864	536
Seine Aval污水处理厂	巴黎, 法国	GEWPT	2016	357	224
Canton污水处理厂	俄亥俄州, 美国	Ovivo USA	2015-2017	333	159
Euclid污水处理厂	俄亥俄州, 美国	GEWPT	2018	250	83
顺义污水处理厂	北京, 中国	GEWPT	2016	234	180
澳门污水处理厂	澳门特别行政区, 中国	GEWPT	2017	210	210
武汉三金潭污水处理厂	湖北, 中国	碧水源	2015	200	
吉林污水处理厂(第一期, 升级改造)	吉林省, 中国	碧水源	2015	200	
Brussels Sud污水处理厂	布鲁塞尔, 比利时	GEWPT	2017	190	86
澳门污水处理厂	澳门特别行政区, 中国	GEWPT	2014	189	137
Riverside污水处理厂	加州, 美国	GEWPT	2014	186	124
Brightwater污水处理厂	华盛顿, 美国	GEWPT	2011	175	122
Visalia污水处理厂	加州, 美国	GEWPT	2014	171	85
清河再生水厂(二期)	北京, 中国	碧水源	2011	150	
昆明第十污水处理厂	云南, 中国	碧水源	2013	150	
南京城东污水处理厂(三期)	江苏, 中国	碧水源	2014	150	
烟台套子湾污水处理厂	山东, 中国	碧水源	2014	150	
吉林污水处理厂(二期)	吉林, 中国	碧水源	2014	150	
清河污水处理厂	北京, 中国	碧水源-三菱	2011	150	150
长沙第二污水处理厂	湖南, 中国	碧水源	2014	140	
拉斯维加斯城北污水处理厂	内华达, 美国	GEWPT	2011	136	97
Ballenger McKinney ENR污水处理厂	马里兰, 美国	GEWPT	2013	135	58
Assago污水处理厂	米兰, 意大利	GEWPT	2016	125	55
大兴黄村再生水厂	北京, 中国	碧水源	2012	120	
晋阳污水处理厂(一期)	山西, 中国	碧水源	2015	120	
Cox Creek再生水厂	马里兰, 美国	GEWPT	2015	116	58
Yellow River污水处理项目	乔治亚, 美国	GEWPT	2011	114	71
十堰神定河污水处理厂	湖北, 中国	碧水源-三菱	2009	110	110
Aquaviva污水处理厂	戛纳, 法国	GEWPT	2013	108	60
乌鲁木齐甘泉堡再生水厂	新疆, 中国	碧水源	2014	105	
Busan市污水处理厂	韩国	GEWPT	2012	102	102
温榆河污水处理厂(二期)	北京, 中国	碧水源-三菱	2010	100	
昆明第九污水处理厂	云南, 中国	碧水源	2013	100	
河北正定污水处理厂	河北, 中国	碧水源	2014	100	
珠海前山污水处理厂	广东, 中国	碧水源	2016	100	
广州污水处理厂	广东, 中国	新加坡美能	2010	100	
温榆河污水处理项目	北京, 中国	碧水源-旭化成	2007	100	100

市政污水是目前 MBR 市场的首要增长点。2009-2015 新增的 MBR 应用领域以市政污水的处理回用为主, 占 MBR 处理总量的 80% 以上。这些新增 MBR 多用于污水处理厂提标改造、市政污水回用和微污染地表水处理中, 其出水水质稳定达标、运行水平稳步提高。

即将落幕的“十二五”和发布不久的“水十条”对污水处理处置做了重点提及。随着膜技术成本降低、水质标准提升、污水治理和再生水需求的增加, 膜技术应用领域和规模将不断提升。治水市场拥有 10 万亿元的市场, 污水处理行业上游产业——膜产业也将很快从政府治污中受益。研究测算, 当 2015 年市政污水处理能力达到 2.04 亿立方米/日时, 需新增膜法水处理能力 0.025 3 亿立方米/日, 对膜处理工程规模的需求规模将达到 89 亿元。

在环保领域, 以政府采购服务为核心的 PPP 整体解决方案模式与正在或即将实施的大气、水、土壤三大行动计划将引领的由总量减排走向质量改善的趋势相契合。政策加码与环保需求合力之下, 环保 PPP 项目大量涌现。在 2014 年 5 月发改委上线的 PPP 项目库中, 环保类 PPP 项目数量最多, 总计能达到 370 个, 数量上占比达到 35%, 但总投资额在 1700 亿元左右, 仅占项目库总投资额的 8.5%。环保 PPP 项目中水务 PPP 项目数量居首, 且多为新增项目, 预计主要采用 BOT 或 BOO 方式运营, 也有少量存量项目需要改造或移交, 采用 ROT 或 TOT 方式。有个别地方政府财力紧张的, 还明确指出要通过融资租赁售后回租的方式, 融资所得用于新建管网建设。而流域管理项目数量不多但投资规模较大。环保 PPP 项目中水务项目属于资本密集型项目, 是我国 PPP 实践经验积累较多的领域, 政府和社会资本操作得都比较熟练, 但也面临诸多挑战, 亟待模式创新。随着财政部于 2014 年 11 月公布第一批 30 个示范项目 (总投资 1800 亿元), 新一轮 PPP 大潮正式开启。其中污水处理、供水、环境治理等项目合计达到 15 个。

2015 年 8 月 26 日, 国务院总理李克强主持召开国务院常务会议, 决定进一步破解审批繁琐、资金缺口大等问题, 设立 PPP 项目引导资金, 扩大有效投资需求。专家认为, 未来如果采取多管齐下的方式, 降低项目资本金比例, 扩大企业债和银行贷款的支持力度, 以及民企更多地进入, 可以使得投资加快。

2014 年, 全国投运的城镇污水处理设施共 4436 座, 总设计处理能力 1.71 亿立方米/日, 平均日处理水量 1.35 亿立方米。(摘录 环境保护部公告 2015 年第 35 号) 在污水厂中采用 MBR 工艺只占小部分。

2.2 我国自有知识产权技术的竞争力评价

2.2.1 污水处理相关技术获得国家技术发明奖、国家科技进步奖情况

表 1 2005-2013 国家技术发明奖 (与污水处理相关)

序号	项目名称	完成单位	年份	等级
1	污染物微生物净化增强技术新方法及应用	南京大学宜兴环保技术研究院	2013	二等奖
2	化工园区废水处理技术	南京大学宜兴环保技术研究院	2009	二等奖
3	纺织印染废水微波无极紫外光催化氧化分质处理回用技术	武汉科技学院、武汉方元环境科技股份有限公司等	2009	二等奖
4	化工园区工业废水处理新技术及工程应用	南京大学、无锡轻工大学等	2009	二等奖

序号	项目名称	完成单位	年份	等级
5	耦合式城市污水处理新技术及应用	同济大学、中国环科院	2008	二等奖
6	水溶性、难降解有机污染物治理与资源化新技术	南京大学	2007	二等奖
7	臭氧催化氧化除污染技术	哈尔滨工业大学	2005	二等奖

表2 2000-2009 国家科技进步奖(与污水处理相关)

序号	项目名称	完成单位	年份	等级
1	受污染水体生态修复关键技术研究与应用	中国科学院水生生物研究所、北京大学等	2009	二等奖
2	低能耗膜-生物反应器污水资源化新技术与工程应用	清华大学、中国科学院生态环境研究中心等	2009	二等奖
3	SBR 法污水处理工艺与设备及实时控制技术	北京工业大学、哈尔滨工业大学等	2009	二等奖
4	含氮有机废水生物脱氮新技术与工程化应用	华南理工大学、中石化广州分公司等	2008	二等奖
5	城市污水生物脱氮除磷技术与控制措施研究	青岛理工大学、同济大学等	2007	二等奖
6	难降解有机工业废水新型预处理技术及关键设备	中国环境科学研究院、清华大学等	2003	二等奖
7	有毒有害有机废水高新生物处理技术	清华大学、中国科学院成都生物研究所等	2003	二等奖
8	城市污水水解-好氧生物处理工艺示范工程研究	北京市环境保护科学研究院	2000	二等奖

2.2.2 我国自有知识产权技术应用情况及竞争力分析

我国现有专利技术中与市政污水和工业废水处理相关的专利数量大、覆盖面也较为广泛为我国水污染防治工作提供了技术支持。但我国市政污水和工业废水处理领域专利存在缺少核心专利、专利转化率低等问题。专利技术依赖国外的技术和设备多为照搬国外技术和设备或进行一定程度的改良。国内自主知识产权的技术和设备不多,有核竞争力的发明专利数量则更少,能形成一定市场占有率的则属凤毛麟角。分析造成专利有效率偏低的原因,一方面专利本身的技术内容市场应用价值不广泛;另一方面部分申请人把专利等同于科研成果来对待,如大专院校科研机构的专利,忽视了专利的市场属性,以获得专利授权为目的。近年来,具有较好竞争力的专利技术和获得国家科技进步奖并取得一定市场份额的工艺技术有水解—好氧工艺、膜生物反应器技术、难降解有机工业废水新型预处理技术等。

3 主要问题分析

3.1 我国污水排放标准过低,污水厂已成污染源

国家《城镇污水处理厂污染物排放标准(GB18918-2002)》要求城镇污水处理厂出水

作为回用水的标准为一级 A，对照《中华人民共和国地表水环境质量标准》，“一级 A 标准”相当于地表水劣 V 类，属于不可直接利用的污水范围。

据统计，截至 2014 年，我国污水处理能力约 1.71 亿 m^3/d 。然而，由于排放标准过低，大量“达标”排放的污水造成城市环境和周边水体二次污染，严重影响人民群众的生产生活。

3.2 低水平的价格竞争问题突出，市场秩序混乱

中国环保产业过于分散、混乱、市场竞争无序，新技术、新设备的应用较难、市场回报率低。由于缺乏科学、权威的技术评估，技术、经济政策的牵引作用不明显，环保新技术、新设备的研发缺乏动力，部分企业和研究机构大都转战在重复的工程建设、市场营销和原有技术利用上，规模企业难以突破发展瓶颈形成更大市场占有率，严重影响了中国环保产业做大做强，也成了中国企业参与国际竞争的绊脚石。

3.3 技术评估体系不完善、操作性差、评估标准不健全

环境技术评估体系不健全，示范推广系统不完善，极大地影响了先进技术的有效应用与推广。没有客观、公正的环境技术评估体系，技术评估工作不能与环境保护整体战略和环境科技发展战略紧密结合，不能面向国家环境管理和污染治理的重大需求组织技术项目评审，评估的技术缺乏广泛性和代表性问题，技术推广工作没有与环境管理的目标指标挂钩，缺乏系统性，致使其未起到对环境管理工作的技术支持作用，再加上我国还处于无序的市场竞争阶段，使很多真正好的技术不能被有效地转化和推广，致使我国每年投入的环保资金的“有效性”很差，国家损失大，污染局面扭转缓慢。

4 建议

4.1 重点和优先发展的领域、技术

4.1.1 双膜法水处理工艺技术

我国已经掌握了拥有完全自主知识产权的膜生物反应器技术（简称：MBR 技术），其出水水质可达到地表 IV 类水（一般工业用水区及人体非直接接触的娱乐用水区）标准；再配合超低压反渗透（DF）技术，其出水水质可达到地表 III 类水（集中式生活饮用水地表水源地、渔业水域及游泳区）标准，将污水净化为传统工艺无法实现的高品质再生水。整套膜法水处理技术可从根本上改变水环境污染和水资源短缺的状况。

使用 MBR 工艺技术进行污水处理，仅比传统工艺技术增加 7%，不足 0.1 元的成本，然而它可以在实现 IV 类高品质再生水的同时，减少 COD、氨氮的环境负荷超过 40%；如果进一步应用超低压反渗透技术，出水水质达到地表水 III 类，实现污水变成新水源，可进一步提高 COD、氨氮等主要污染物的减排。

4.1.2 地下式污水处理厂建设

传统工艺建设的污水处理厂均为地面式，而膜法水处理技术可建设地下式污水处理厂。地下式较地面式在占地面积上缩小 2/3，非常节约土地资源，并且整个厂区采用除臭和降噪技术，有效地消除了污水厂臭味以及噪音对周围居民的影响，地表部分可进行景观绿化，如改造为湿地生态公园或森林公园，增加了周边环境的绿化率，具有明显的经济效益和社会效益。我们以 500 万元/亩的土地价格计算，全国可节省约 585 亿元土地成本。采用 MBR 技术建设的地下式污水处理厂开启了大中城市污水治理和节约城市用地的新趋势。

4.2 尚需配套的标准、法规、政策的建议

4.2.1 加快污水排放新标准的制定

我国现行污水排放标准一级 A 标准处理出水相当于地表水劣 V 类标准，而劣 V 类水无法再生利用，排入水体后会进一步加剧水污染状况，造成水体二次污染。只有提高污水排放标准，使污水处理厂出水达到地表水 IV 类标准，才可以实现真正意义上的污水再生利用，使污水变为“新水源”，切实解决水环境问题。

4.2.2 引入社会资本可激发环境治理机制的活力

长期以来，社会公用事业以政府投入、国有企业经营为主，导致经营机制较呆板，缺乏自我激发的活力。引入社会资本可带来技术和机制上的创新，形成良性竞争，激发国有及各种经营主体的活力，从而促进污水处理行业快速发展，进而推动我国环保产业的发展 and 实现环境保护目标。

4.2.3 通过财政补贴政策、征收环境税推动新标准的实施

污水排放标准的提高需要更先进的技术来支撑，需要研发新技术、新工艺、新产品，必然会导致投资成本的增加。因此推进污水排放新标准的实施，需要政府积极鼓励引导，对采用新技术、新工艺、新产品，落实新标准的企业给予适当的财政补贴和优惠措施。税收作为政府筹集财政资金的工具和对社会经济生活进行宏观调控的杠杆，在环境保护方面大有可为。在新标准实施后，针对未实施新标准的企业征收一定的环境税，增加税收负担，促使其不得不采用新标准。

4.2.4 明确法律责任加大执法力度

由于执法力度不够，超标排放或偷排事件不断发生，导致我国水环境虽然经过多年治理，但污染问题依然非常严峻。必须加大执法力度，严格执法。同时，应当明确治污企业的法律责任，对偷排及超标排放的企业追究法律责任。

高污染废水行业技术发展报告

1 行业总体概况

1.1 行业体系现状

我国的石油、煤炭富集区域多集中在山西、山东、陕西，内蒙古、新疆等地，区域资源优势使得石油化工、煤化工、纺织工业成为这些地区经济发展的支柱产业，但是这些地区多为干旱半干旱缺水区域，石油化工、煤化工、纺织工业耗水量大、污染性高的问题与当地水资源匮乏之间形成的矛盾已成为制约石油化工、煤化工、纺织工业行业可持续发展的瓶颈。为了缓解石油化工、煤化工、纺织工业行业可持续发展与当地水资源短缺的矛盾，推动石油化工、煤化工、纺织工业行业的健康、可持续发展，国家和各地方政府陆续出台了一系列政策。

2015年1月1日，新环保法正式实施。新环保法新增“按日计罚”、罚不封顶的制度，从而倒逼企业纠正污染行为，新环保法的实施为我国的环保事业开启新篇章。

2015年2月5日，环保部印发《关于推进环境监测服务社会化的指导意见》。意见提出，全面放开服务性监测市场，有序放开公益性、监督性监测领域。这是环保部对国务院办公厅发布的《关于政府向社会力量购买服务的指导意见》在环境监测领域的细化。从此之后，各级政府纷纷开始尝试，我国环境监测领域第三方运营事业发展步伐明显加快。

2015年4月2日，国务院发布了《关于印发水污染防治行动计划的通知》（国发〔2015〕17号），标志着“水十条”在我国正式实施，同时也显示出了我国治理水污染的决心。

2015年7月，由环境保护部和国家质检总局联合制定的《石油炼制工业污染物排放标准》（GB31570-2015）、《石油化学工业污染物排放标准》（GB31571-2015）正式实施。标准的颁布与实施将促使我国的石化环保工作跃升一个大台阶。

2015年10月29日中国共产党第十八届中央委员会第五次全体会议通过《关于制定国民经济和社会发展第十三个五年规划建议》，其中关于环保，首次将生态文明建设写入五年规划，以改善环境质量为核心，推进绿色发展。

随着环保标准的趋严以及“十三五”规划对我国环境改善提出的更高要求，未来环保各子领域均有放量增长的巨大潜力，政策推动下的环保行业在“十三五”期间将处于高速发展期。

1.2 行业发展现状

1.2.1 石油化工行业发展现状

据统计，我国每年石油化工系统加工原油消耗新鲜水 12.8 亿吨，2014 年工业废水排

放量 205.3 亿吨, 占废水排放总量的 28.7%。其中, 中国石油、中国石化两大集团公司直属的上百家单位中, 大型甚至特大型炼油、化工、化纤和化肥生产企业有数十家, 分别在 21 个省市自治区内。从目前来看, 石油化工生产企业相对集中的分布于我国长江、黄河、珠江、淮河、海河、和辽河等七大水系流域内。石油化学工业生产工艺复杂, 有些过程的废水是连续排放, 有些则是间歇排放, 因此水量的波动较大。

目前国内较好的炼油厂, 如兰州石化平均新水单耗 0.51 吨水/吨原油(国外为 0.4 吨水/吨原油)。国外部分炼油厂现在可以做到废水全部回用, 基本上不向外排放废水。如日本兵库炼油厂, 平均加工 1 吨原油的废水排放量仅为 6-7 kg; 日本科斯莫(COSMO)公司千叶炼油厂, 原油加工能力为 1200 万吨/年, 每年排放废水不到 3000 吨, 平均每加工 1 吨原油排放废水不到 0.25 kg。我国只有燕山石化公司炼油厂、齐鲁石化公司炼油厂、镇海炼化公司炼油厂、福建炼油厂、济南炼油厂和林源炼油厂等单位加工 1 吨原油排放废水小于 1 吨, 高于兵库炼油厂排放量 100~130 倍, 高于科斯莫(COSMO)公司千叶炼油厂排放量 3000~4000 倍, 而其他炼油厂差距更大。

为了提高油品的轻质化程度, 企业因此加大了相对密度较大的重质油和含硫原油化学加工工艺的难度, 从而导致加工过程中产生的废水成分复杂、排污量多, 废水处理难度大。全国有大型炼厂 80 多家, 中小炼厂不计其数, 水资源的严重短缺和环境因素制约着我国炼油企业的进一步发展壮大。

1.2.2 煤化工行业发展现状

煤化工行业水资源利用量大, 废水产生量也大, 以年产 1.00×10^6 t 焦炭为例, 焦化废水产生量为 4.0×10^6 m³/a, 吨耗水量 4 m³/t; 年产 1.00×10^5 t 液化油, 废水产生量 1.58×10^5 m³/a, 吨耗水量 1.58 m³/t。煤炭成分复杂, 含有 C、H、O、N、P、S 等元素及多种重金属离子, 造成废水含有氨氮、酚类、多环芳香族化合物及含 N、O、S 的杂环化合物等石油类化合物。这些典型的含有难降解有机污染物的废水, 采用一般污水处理工艺难以彻底去除污染物, 不易满足达标排放, 并且回用更加困难。大量煤化工废水的不合理排放容易污染环境, 导致水环境恶化、土壤污染及植被死亡等。

1.2.3 纺织行业发展现状

纺织行业是我国传统的支柱产业之一, 同时也是一个高污染行业。据国家环保总局统计, 印染行业污水排放总量居全国制造业排放量的第 5 位, 80% 的行业污水排放也来自印染行业, 且污染重、处理难度高, 废水的回用率低。化纤行业在生产过程中, 有些产品大量使用酸和碱, 最终产生硫磺、硫酸、硫酸盐等有害物质, 对环境造成严重污染; 有些则是所用溶剂、介质对环境污染较为严重。化纤生产污染环境的另一种表现是化纤产品本身的不可降解性, 特别是合成纤维, 其废弃物回收成本高, 燃烧后污染空气; 废弃后不易降解, 造成土壤环境恶化。另外, 毛麻丝行业的前处理过程也是行业污水排放的重点。印染和棉浆作为国内纺织行业中重要的两个产业领域, 同时也是高污染行业, 其发展现状也有着各自的特点。

(1) 印染业发展状况

印染不仅是连接纺织服装产业上下游的重要链条, 也是提高纺织服装产品技术含量和产

品附加值的关键环节。纺织工业发展主要阻碍之一是环保节能(低碳)问题,环保的主要问题是废水,而印染行业所产生的废水是纺织废水的主要来源。2014年国家统计局统计年鉴显示,我国印染废水排放量在11.3亿t左右,约占到整个纺织工业废水排放量的80%。据《中国环境统计年鉴2014》统计,中国工业废水排放量达到205.3亿吨,其中排名前5位的行业依次为造纸业、化工制造业、电力业、黑色金属冶炼业和纺织印染业,纺织废水排放量位于工业废水排放的第5位,因此,印染行业是非常重要的亟需进行污染控制的行业。

(2) 棉浆业发展状况

棉浆粕工业需消耗大量水资源,并产生难以控制的环境问题,废水污染治理一直是制约生产棉浆粕企业发展和生存的重要难题。棉浆粕的废水中可能含有14种有机污染物,主要污染物为有机酸类,占有机物总量的35.19%;其次为酯类和酮类,它们分别占有机物总量的30.03%、19.68%。此外,浆粕废水中还可检测出二苯胺和环境优先污染物苯酚,分别占有机物总量的7.85%及5.42%。分析结果说明,棉浆粕废水不但有机物种类多,且毒性大。若采用次氯酸盐法漂白,含氯化合物在水洗时随水排出,漂白工段产生的大量废水也是浆粕生产污染环境的重要因素。由于目前部分企业处理黑液及漂白废水的能力和方简单,回用少量的黑液及水后,在锅炉冲煤渣中和后即排放。

因此,在此大形势下,印染废水与棉浆粕废水处理回用技术的推广将成为推动印染企业依法实施清洁生产,提高资源利用率,减少和避免污染物的产生,保护和改善环境的重要手段。

2 行业技术发展

2.1 主要技术发展情况

根据石油化工、煤化工、印染、棉浆行业废水水质特点,可以将废水归类为难降解有机废水、高含盐废水、高含油废水等。下面就目前在难降解有机废水、高含盐废水、高含油废水、高浓度氨氮废水、含硫废水、高色度废水处理技术现状进行介绍。

2.1.1 难降解有机废水处理技术

难降解有机废水的处理,是目前国内外废水处理界公认的难题,而石油化工、煤化工以及印染和棉浆废水正是属于高浓度的难降解的有机废水。目前处理此类废水的主要方法有物化法、氧化法和生物法。

近20多年来,在氧化法中出现了一些对难降解有机物处理效果较好的高级氧化技术。常见的有催化湿式氧化法、催化臭氧氧化法、芬顿(Fenton)试剂氧化法以及电化学氧化法等,其中一些已经被成功应用或正处于重点研究阶段。如美国的炼油厂目前已成功的将臭氧氧化法应用于含酚废水的处理当中;80年代开始研究的催化湿式氧化(CWAO)以及超临界湿式氧化(SWAO)工艺,至今国外也已出现了成熟的湿式氧化处理工艺。美国德克萨斯州哈灵顿首次大规模应用超临界水氧化法处理污泥,此方法将污泥中的有机成分被全部转化为 CO_2 、 H_2O 及其他无害物质,且运行成本较低。国外已有研究证明,Fenton试剂可以有效地处理含油、苯系物及酚等物质的废水,尤其对印染废水的脱色效果非常好。

目前,许多国家也正在开展光催化氧化技术的研究。

生化过程是处理难降解有机物不可缺少的一环。目前的生物处理技术主要以传统的活性污泥及生物膜为主。此类方法大多利用的是自然的或是经过一定驯化的微生物群落,这些常规微生物已不能满足当今工业废水中难降解有机污染物的需求。因此目前国际上正在研究高效菌种技术、细胞固定化技术、生物促生技术等高效处理技术以提高生物法的处理效率。目前,研究开发出的难降解有机污染物处理基因工程菌有降解除草剂、杀虫剂的基因工程菌、降解卤代芳烃的基因工程菌、清除石油污染物的基因工程菌等。在生物促生技术中,已产生的成熟的工艺产品有生物促生剂(Bio Energizer),生物解毒剂(Micatrol),生物营养剂(X-TEND)等。商业化的有 Bio Enviro Tech 公司生产的 BET BIOPETRO, BioNutraTech 公司生产的 BiNutrix 产品。

另外,近年来出现的生物炭法(PACT)处理生物难以降解的有机污染物,对煤化工废水中的高浓度大分子有机物具有良好的处理效果。目前,该方法也已经成为国外研究的新方向。

2.1.2 高含盐废水处理技术

煤化工废水和印染废水除含有高浓度的有机物外,还含有高浓度的盐类物质,这些高含盐高浓度有机废水可采用生物法和物化法进行处理,但单纯采用物化法处理投资大,运行费用高,且难以达到预期的净化效果。生物法是处理含盐废水比较流行的方法,采用生物法对此类废水进行处理,仍是目前国内外研究的重点。

国内外利用生物法处理高含盐有机废水的研究多集中在“盐度对生物处理效果的影响”方面。另外,在处理工艺上多集中在 SBR 和生物接触氧化等工艺方面。

膜分离技术产生于 20 世纪 60 年代,主要是利用水分子和各种污染物不同的透过性,在外力作用下使其分离。现在应用较多的膜分离技术有微滤、超滤、纳滤、反渗透、电渗析等。

2.1.3 高含油废水处理技术

工业生产中一个重要的污染源就是石油业生产所排放的含油污水。这种污水中含有大量的有害物质,比如说重金属、油类和悬浮物等,这些物质不仅会危害人们的身体健康,还会对土壤、农作物和水生生物造成极大的破坏。所以,我们必须重视含油污水的处理问题,这也是一个石油企业能否可持续发展的关键。

在含油污水中油质的组成部分主要有乳化油、浮油、悬浮固体、分散油和胶体溶解物质等。在含油污水中,存在浮油,这种浮油的存在形式是一种连续的形式,要想将这种污染物处理掉通常可以使用物理方式或者是机械设备。在含油污水中还存在一种有害物质就是分散油,这种物质也可以被称为浮油,一般这种物质是可以在两个小时的静置状态之下仍然能够在水面上漂浮的油珠,如果油珠在两个小时之内不能够浮在水面上,那么这种油就是乳化油。分散油可以通过静置,然后再按照处理浮油的方式处理掉,也可以使用化学方法、生化方法或是物理方法解决。而乳化油的处理则比分散油的处理更加复杂,这是因为乳化油的油珠表面受到乳化剂的保护或者是存在双层点,这样就导致油珠能够长时间的处于稳定状态,不容易清除在含油污水之中,还有一种溶解油,这种物质指的是在水中以分子状态溶解的部分。在水中,这种油质的溶解度特别低,一般来说每升水就只能溶解几

毫克,所以在除掉水中的溶解油时,要根据这种物质所具备的化学性质来选择适当的方式。

吸附法就是利用吸附剂的多孔,比表面积大而且表面疏水亲油的特性,使油经过物理或化学作用吸附在表面或空隙内,从而达到除油的目的。一般吸附剂以煤灰、矿渣、果壳、锯末、粘土等为原料,经过炭化、活化或有机改性来扩大空隙,增加比表面积和提高表面亲油性。一般吸附剂分成粉末状和颗粒状两种类型,粉末状直接投加到水中,而颗粒状则以吸附柱的形式应用。

近几十年来,随着科技的不断发展,膜分离技术发展迅速。在国外,膜技术已广泛应用于含油污水中乳化油、溶解油的去除和脱盐的研究与工业化试验。微滤(MF)和超滤(UF)技术处理含油污水的特点是:不加药剂,是一种纯物理分离,不产生污泥,对原水油份浓度的变化适应性强,需要压力循环污水,进水需严格与处理,膜需定期杀菌清洗。简单的除油机理是乳化油基于油滴尺寸大于膜孔径被膜阻止,而溶解油则是基于膜和溶质的分子间的相互作用,膜的亲水性越强,阻止游离油透过的能力越强,水通量越高。含油污水中油的存在状态是选择膜的首要依据,若水体中的油是因有表面活性剂的存在,使油滴乳化成稳定的乳化油和溶解油,油珠之间难以相互粘结,则须采用亲水或亲油的超滤膜分离,为此超滤膜孔径远 $<10\text{nm}$,而且超细的膜空有利于破乳或有利于油滴聚结。

目前高级氧化技术在含油污水处理中的研究处于起步阶段,但取得不少进展。含有表面活性剂的采油污水中乳化油去除难度大,处理的关键在于消除油水界面膜上的表面活性剂。表面活性剂的消除将使油滴可以发生重排、聚集,然后就容易分离。半导体 TiO_2 , 催化剂在油水界面层存在,光照时可以发生光催化氧化反应,达到乳化油破乳的效果,可以去除石油类污染物。超临界水氧化技术则是将水的温度、去除压力升高到临界点以上,水处于一种不同于气态,液态和固态的新流态——超临界态。水的物理化学性质发生显著变化,可以与有机物和氧气以任意比例互溶。利用水的这种性质使它成为一种理想的反应介质,有机物的氧化可以在富氧的均一相中进行,可在很短时间内达到对有机物很高的破坏效果。

生化法在含油污水处理方面近年来也有许多研究,一般要求进入生化系统前含油 $<50\text{mg/L}$,厌氧折流板反应器、半推流式活性污泥系统、ASRB、厌氧-好氧接触氧化等技术都有很好的处理效果。生化法是一种去除有机污染物很成熟的方法,应用于含油污水处理有很好的前景。

2.1.4 高氨氮废水处理技术

目前,对高浓度氨氮废水的处理技术可以分为物化法、生化联合法和生物脱氮技术三大类。常用的物理化学方法有吹脱、沉淀和化学氧化(折点氯化法、电化学氧化法)等;生化联合法中生物处理法主要包括活性污泥法、厌氧生物处理法;新型生物脱氮技术包括短程硝化反硝化工艺、同步硝化反硝化工艺和厌氧氨氧化工艺等。

物化方法中常用的仍是吹脱法;沉淀法由于投加镁盐,增加了成本使得该方法的应用范围较小;电化学处理技术对高氨氮表现出了很强的降解能力,但由于过高的电耗导致其工业化程度不高,使得处理氨氮废水的研究仍处于实验阶段。

生物处理法是目前最常用的进一步去除废水中可降解氨氮的二级处理方法,主要有A/O法、厌氧-缺氧-好氧(A-A/O)法等。A-A/O法工艺在氨氮去除和反硝化方面均优于A/O工艺,对COD也有很高的去除率。因此,A-A/O工艺是应用最为广泛的一种工艺。

近年来国内外出现了一些全新的脱氮工艺,如短程硝化反硝化等,为高浓度氨氮废水的脱氮处理提供了新的途径。生物硝化反硝化是应用最为广泛的脱氮方式,其中,短程硝化反硝化由于其低运行成本的优势成为研究最多的新生物脱氮工艺。如何将新型高效的生物脱氮工艺投入实际应用应该成为今后研究工作的重点。

2.1.5 含硫废水处理技术

硫化物主要存在于煤气、染料工业、化工和冶金工业等工业生产废水中。废水中的硫化物有毒性、腐蚀性,并具臭味,对环境造成极大的污染,且会对废水构筑物的正常运转产生很大影响。从处理方法上分,有物理化学处理和生化处理两大类。

目前通常采用的物化方法是直接汽提、化学沉淀和氧化法等。化学沉淀法是目前应用最广的方法,但存在二次污染及高污染的问题。湿式空气氧化法(WAO)是一种有效去除硫等有毒有害工业污染物的处理技术,20世纪70年代以来,湿式氧化法在国外发展很快,但由于该法需要在较高压力和较高温度条件下运行,对设备的要求较高,投资较大,因此国内运用较少。

近年来,微生物除硫技术正在快速发展,该技术被看成是一项很有前途的技术。荷兰学者从20世纪80年代末就开始了研究无色硫细菌氧化硫化的工艺及其理论,近年来,将重点研究微生物在含硫废水生物处理过程中的应用。

2.1.6 高色度废水处理技术

对于印染行业中染色废水和棉浆行业中的黑液都属于难降解高色度有机废水,印染废水成分复杂、多变、COD高,往往含有多种有机染料(如分散染料、直接染料、酸性染料、冰染染料、活性染料、还原染料等)、助剂、油剂、酸碱、纤维杂质及无机盐等,这些是造成印染废水色度高的主要原因,而棉浆黑液色度高的主要原因是黑液中含有大量木质素等高分子难降解有机物。

目前针对染色废水的处理,常规的工艺方法是中和法,即在印染废水中,该法只能调节废水PH,不能去除废水中污染物,在用生物处理法时,应控制其进入生物处理设备前PH在6-9之间;混凝法,即用化学药剂使废水中大量染料、洗涤剂微粒子结合成大粒子去除,印染废水处理中需用的混凝剂有碱式氯化铝,聚丙烯酰胺、硫酸铝、明矾、三氯化铁等;气浮法,即印染废水中含大量有机胶体微粒呈乳状的各种油脂等,这些杂质经混凝形成的絮体颗粒小、重量轻、沉淀性能差,可采用气浮法将其分离,目前在印染废水治理中,气浮法有取代沉淀法的趋势,是印染废水的一种主要处理方法;电解法,该法脱色效果好,对直接染料、媒体染料、硫化染料、分散染料等印染废水,脱色率在90%以上,对酸性染料废水,脱色率在70%以上。该法缺点:电耗及电极材料耗量大,需直流电源,适宜于小量废水处理;吸附法:吸附法对印染废水的COD、BOB色去除十分有效,由于活性炭吸附投资较大,一般不优先考虑,近年来有泥煤、硅藻土、高岭土等活性多孔材料代替活性炭进行吸附的,对印染废水宜选用过滤孔发达的活性吸附材料。氧化脱色效率低,仅40—50%,混凝脱色效率较高,达50—90%之间,但用这些方法处理后,出水仍有较深的色度,必须进一步脱色处理,目前用于印染废水脱水的方法主要有光氧化、臭氧氧化和氯氧化法,由于价格等原因,应用最多的是氯氧化法,其常用的氧化剂有液氯、漂白粉和次氯酸钠。

2.2 我国自有知识产权技术的竞争力评价

国内目前针对石油化工废水处理工艺主要包括臭氧氧化、生物活性炭法（BAC）、膜分离、膜生物反应器（MBR）、光化学及电化学等水的深度处理技术，出水的水质也能回用于工业生产和生活中，但是存在处理费用高，能耗高的问题。

目前国内煤化工废水深度处理的方法主要有物化处理方法、氧化法、生物处理方法和膜技术处理方法三类。物化处理方法以混凝沉淀技术和活性炭吸附技术为主。根据水质的不同可采用不同的处理方法，有时可将两者结合起来使用。物化处理方法投资成本较低，但运行成本较高，受外界条件影响较小，出水水质比较稳定。氧化法目前主要以高级氧化技术为主，由于煤化工废水中的有机物复杂多样，其中酚类、多环芳烃、含氮有机物等难降解的有机物占多数，这些难降解有机物的存在严重影响了后续生化处理的效果，高级氧化技术是在废水中产生大量的羟基自由基，自由基能够无选择性地废水中的有机污染物降解为二氧化碳和水，目前高级氧化技术可以分为光催化氧化法、多相湿式催化氧化法、湿式氧化法、催化臭氧氧化法、芬顿（Fenton）试剂氧化法以及电化学氧化法等。生物处理方法主要用于进一步去除废水中可降解的有机物以及水中氨氮的去除，多采用好氧法，近年来出现了一些新的处理方法，如 PACT 法、固定床生物膜反应器（FBBR）、移动床生物膜反应器（MBBR）等。生物处理技术适用于较大规模的处理工程，工程初期投资较大，但运行成本较低。而对于煤化工过程产生的高盐废水，主要以膜分离技术进行脱盐，现在应用得较多的膜处理技术有微滤、纳滤、超滤、反渗透等。

目前国内外针对印染高污染浓盐水的回用技术，主要是先进行一定程度的预处理，再通过以生化为主的二级处理，出水达到《GB 4287-2012 纺织染整工业水污染物排放标准》后，再进行深度回用处理。一般印染废水处理技术包括物理法、化学法、生物法。其中物理法包括过滤、气浮、沉淀以及磁分离等方法。过滤法和沉淀法可以去除污水中的颗粒悬浮物，常作为废水治理的预处理；气浮法是常用的工业净水方法。化学法包括化学混凝脱色、氧化法、电化学法、吸附法等，但是印染废水回用率还比较低，与国外还有一定的差距。

3 主要问题分析

反渗透和电渗析是目前应用比较广泛的膜法脱盐技术，但是，电渗析多用于盐度较低水体的脱盐和苦咸水的淡化，且存在能耗大、成本高等缺点。针对高含盐废水的脱盐技术尚需进一步开发。

目前，含油废水中油的去除率还是比较低，因此针对一些新型技术，比如萃取、磁分离，电渗析、水利旋流器，超声波技术等作为新兴的除油技术在处理含油废水方面都有待深入的研究。

近年来，不断有新的方法和技术用于处理煤化工废水，但各有利弊。单纯的生物氧化法出水中含有一定量的难降解有机物，COD 值偏高，不能完全达到排放标准。吸附法虽能较好地除去 COD_{cr}，但存在吸附剂的再生和二次污染的问题。催化氧化法虽能降解难以生物降解的有机物，但实际的工业应用中存在运行费用高等问题。因此，多种工艺技术的联合使用是处理煤化工废水的发展方向。

4 建议

4.1 石油化工行业

目前，石油化工废水的高效处理已成为水处理行业研究的热点，近年来，国内外在废水处理活性污泥技术、难降解废水无害化处理技术、膜生物反应器（MBR）废水处理技术以及废水回用技术等方面取得了较快发展，很多新技术已在石油化工企业得到推广和应用，但这些工艺仍存在氨氮去除效果差、剩余污泥量大等问题，需要研发更加高效的处理工艺及生物反应器，并对运行参数进行优化。未来，针对石油化工废水处理领域中生化工艺的研究将主要集中在生物强化技术、生物工程菌种获得、高效生物除氮工艺以及配套设备的改进等方面。

4.2 煤化工行业

煤化工废水除含有高浓度的有机物外，还含有高浓度的盐类物质，这些高含盐高浓度有机废水可采用生物法和物化法进行处理，且单纯采用物化法处理投资大，运行费用高，难以达到预期的净化效果。生物法是处理含盐废水比较流行的方法，采用生物法对此类废水进行处理，仍将是国内外研究的重点。

煤化工高含盐废水脱盐方面，膜分离法、蒸馏法、膜蒸馏等物理方法可以有效除盐，但膜分离法膜成本昂贵，对预处理要求高。利用蒸馏法可以回收高含盐污水中的无机盐，但设备投资巨大，运行成本较高。膜蒸馏技术是近年发展的一种以疏水微孔膜两侧蒸汽压力差为其传质驱动力的新型膜分离技术，又称低温膜蒸馏技术，可处理极高浓度的无机盐水溶液，理论上除盐率可达 100%。而疏水膜所需要低温热源完全可利用太阳能、地热、生产过程中余热等廉价能源，因此膜蒸馏技术有较好的应用前景。

4.3 纺织行业

由于印染废水具有“高浓度、高色度、高 pH 值、难降解和多变化”等五大特征，膜的联合使用在印染废水处理回用中表现出了良好的效果，可以实现印染废水的高回用率及高水质标准，但是高性价比膜材料的开发影响着膜分离技术在印染废水回用中的高效性和经济性。目前印染废水处理逐渐向膜法与其他处理技术相结合发展，主要目标是研制新的超滤膜，以及改善超滤膜的材质，孔径大小等性能。

零排放问题，我国推行工业废水处理零排放已经多年，但实际上尚未做到，也不存在完美的零排放案例。在零排放的问题上，我们现有的工艺进行组合后从技术层面基本可以达到“零排放”的水平，但随之而来的问题是成本的大幅度提高。因此，未来的发展趋势将集中在低成本条件下实现“零排放”，提高废水的资源化利用率。

大气污染控制技术
发展报告

燃煤大气污染控制技术发展报告

1 行业总体概况

1.1 2014-2015 年国外相关法规、政策、标准体系现状

美国、欧盟等国际发达国家和地区经过数十年的大气污染治理工作，针对不同大气污染源、不同类型大气污染问题以及大气污染的长期性和跨区域性，采取了包括立法保障、制订战略和计划、分污染源分阶段跨区域综合治理等在内的多项积极应对措施，已形成了较完整的大气污染防治法律法规、管理政策和标准体系，并仍在不断加严和调整完善过程中。如 2015 年美国开始实施覆盖 28 个州的《跨州空气污染法规》(Cross-State Air Pollution Rule, CSAPR)，代替了 2005 年发布的《清洁空气州际法规》(Clean Air Interstate Rule, CAIR)，要求各州通过减少发电厂排放降低年度二氧化硫排放、年度氮氧化物排放、臭氧季节氮氧化物排放，以达到 1997 年臭氧和细颗粒物及 2006 年细颗粒物国家环境空气质量标准 (National Ambient Air Quality Standard, NAAQS)，以显著提升空气质量。基于保护人体健康的根本出发点，美国在 NAAQS 中纳入了 O₃、CO、Pb、NO₂、SO₂、TSP 等 6 种常见的空气污染物 (见表 1)，并在此基础上结合了各州的实施计划 (SIP, State Implementation Plan)、污染物排放标准、许可证制度、污染物控制措施等政策措施来保障大气污染防治工作。美国的大气污染排放标准体系则以清洁空气法和联邦法规法典为依托，分为固定污染源和移动污染源两个子系，其中固定源标准体系中又针对新建排放源的标准 (NSPS, New Source Performance Standard) 和针对有毒有害污染物的标准 (NESHAP, National Emission Standard of Hazardous Air Pollutants) 为核心，对常规污染物的现有排放源通过州的实施计划进行控制落实。

表 1 美国主要大气污染物环境标准

指标	标准值
SO ₂	全年在 30ppb 以下
CO	8 小时 9ppb 以下
PM ₁₀	24 小时平均值为 150 μg/m ³ 以下
NO ₂	全年在 53ppb 以下
Ox	8 小时臭氧 0.075ppm 以下
PM _{2.5}	24 小时平均值在 35 μg/m ³ 以下，年平均值为 12 μg/m ³ 以下

欧盟法规体系则由法规、指令、决定、推荐和意见四种形式构成。其法规具有法律效力,要求成员国严格遵照执行,一经公布立即生效或在数日内生效。指令是对成员国具有约束力的立法,是欧盟法规的主要形式,但指令强调目的,如何执行则由成员国自行决定,一般允许成员国在一定期限内,参照执行或把指令纳入本国立法。决定是执行决议,约束有关成员国、公司或个人。推荐和意见是某个问题在理事会未能达成一致意见并形成指令时,就对成员国提出推荐或意见,作为欧盟立法趋势和政策导向,供成员国参考。欧盟通过设立长期的空气质量目标以避免、预防或减少对人体健康和环境的有害影响,目前欧盟针对大气污染治理的环境政策主要体现在《环境空气质量指令》(2008/50/EC)上。该指令求到2020年,欧盟各成员国城市地区大气环境PM_{2.5}浓度须在2010年的基础上平均降低20%,欧盟环境空气质量限值见表2。此外,针对PM_{2.5}增加了额外两个标准,分别为“曝露浓度标准”、“曝露减少目标”,一旦浓度超标,将会采用一个全国污染质量策略以减少城市人口接触到的PM_{2.5}平均剂量,详见表3。

表2 欧盟空气质量限值

污染物	浓度/ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	平均时期	法律性质	每年允许超过量
PM _{2.5}	25	1年	目标值生效时间:2010.1.1 限制生效时间:2015.1.1	n/a
SO ₂	350	1小时	限制生效时间:2005.1.1	24
	125	24小时	限制生效时间:2005.1.1	3
NO ₂	200	1小时	限制生效时间:2010.1.1	18
	40	1年	限制生效时间:2010.1.1	n/a
PM ₁₀	50	24小时	限制生效时间:2005.1.1	35
	40	1年	限制生效时间:2005.1.1	n/a
Pb	0.5	1年	限制生效时间:2005.1.1(或者 2005.1.1-2009.12.31实行10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 限值, 2010.1.1在被通知的工业源紧邻实施)	n/a
CO	10000	每日8小时平均 最大值	限制生效时间:2005.1.1	n/a
苯	5	1年	限制生效时间:2010.1.1	n/a
O ₃	120	每日8小时平均 最大值	限制生效时间:2010.1.1	3年平均25天
As	0.006	1年	限制生效时间:2012.12.31	n/a
Cd	0.005	1年	限制生效时间:2012.12.31	n/a
Ni	0.02	1年	限制生效时间:2012.12.31	n/a
PAHs	0.001	1年	限制生效时间:2012.12.31	n/a

表3 PM_{2.5}暴露浓度目标

名称	目标值	平均时期	法律性质
PM _{2.5} 暴露浓度标准	20 μg/m ³ (AEI)	以三年平均为基础	2015 年具法律约束性 (年份 2013, 2014, 2015)
PM _{2.5} 暴露减少目标	减少比例所有措施实现 18 μg/m ³ (AEI)	以三年平均为基础	2020 年可能实现的减排以 2010 年暴露指标为基础

随着人们对环境质量要求的不断提高,国际上发达国家对大气污染防治政策法规加严的过程中,也对燃煤电厂等污染源提出了更严的排放要求。如近年来美国环保署(EPA)针对新建燃煤电厂修订了大气污染物排放标准,对普通燃煤机组和低品质煤机组规定了更严格的常规污染物排放标准,其中颗粒物(PM)、二氧化硫(SO₂)和氮氧化物(NO_x)的排放限值分别为 10.21 mg/M³、113.40 mg/M³和 181.44 mg/M³。除常规污染物外,欧美等发达国家针对三氧化硫(SO₃)等可凝结颗粒物也提出了排放限值要求,如美国有 14 个州的 SO₃ 排放限值低于 6 mg/m³,德国、新加坡等国燃煤烟气中 SO₃ 的排放浓度限值为 10 mg/m³。美国 EPA 已发布了 SO₃、可凝结颗粒物测试标准方法(EPA Method8、EPA Method 202)等。

1.2 2014-2015 年我国相关法规、政策、标准体系现状

与国外发达国家相比,由于发展阶段、经济水平及技术水平的差异,我国在借鉴国外大气污染治理经验的基础上,形成了具有中国特色、符合现实国情的大气污染防治法律法规。新修订的《中华人民共和国环境保护法》是我国环境领域的基础性、综合性法律,自 2015 年 1 月 1 日起施行,对于保护和改善环境,防止污染和其他公害,保障人体健康,推进生态文明建设,促进经济社会可持续发展具有重要意义。新修订的《中华人民共和国大气污染防治法》是大气环境保护方面的单行法律,自 2016 年 1 月 1 日起施行,被称为“史上最严”的大气污染防治法。新《大气法》突出了大气环境质量改善主线,强化政府责任,强调源头治理,强化重点区域联防联控和重污染天气应对,充分体现了信息公开和公众参与,加大了处罚的力度。

2014 年以来,国家还陆续颁布实施了《2014-2015 年节能减排低碳发展行动方案》、《能源发展战略行动计划(2014-2020 年)》、《煤电节能减排升级与改造行动计划(2014-2020 年)》、《燃煤锅炉节能环保综合提升工程实施方案》、《能源行业加强大气污染防治工作方案》、《全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造工作方案》等一系列政策和规划,有力推进了我国相关行业的大气污染防治治理工作。重点区域大气污染联防联控方面,建立了京津冀、长三角、珠三角等区域大气污染联防联控协调机制,出台了一系列联防联控措施。特别是在京津冀协同发展战略中,根据相关规划部署,相关地方政府不断加大对大气污染防治的投入,实施了一批重点污染防治工程。为贯彻落实《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国大气污染防治法》和《大气污染防治行动计划》等,满足新形势下国家环境空气质量管理工作需求,2016 年 1 月正式实施新的《环境空气质量标准》(GB 3092-2012),并颁布实施了《火电厂大气污染物排放标准》(GB13223-2011)、《水泥工业大气污染物排放标

准》(GB 4915-2013)、《锅炉大气污染物排放标准》(GB 13271-2014)等严格的重点用煤行业大气污染物排放标准。

此外,在国家下达的大气污染物总量控制目标要求及改善环境质量的客观需求下,2014年以来,各地方政府也积极行动,发布实施了一系列地方性清洁空气行动计划及主要用能行业大气污染物排放新标准,对地方主要用能行业排放的SO₂、NO_x、颗粒物、重金属等大气污染物提出了更严格的控制要求,如北京市《锅炉大气污染物排放标准》(DB11/139—2015),上海市《大气污染物综合排放标准》(DB31/933—2015)、《燃煤电厂大气污染物排放标准》(DB31/963—2016)、《锅炉大气污染物排放标准》(DB31/387—2014)、工业炉窑大气污染物排放标准(DB31/860—2014),河北省《燃煤电厂大气污染物排放标准》(DB13/2209—2015)、《钢铁工业大气污染排放标准》(DB13/2169—2015)、《水泥工业大气污染物排放标准》(DB13/2167—2015),天津市《工业炉窑大气污染物排放标准》(DB15/556—2015)等,强力推动了各地方能源利用行业大气污染治理工作。

1.3 国内大气污染控制管理现状

1.3.1 大气污染物排放现状

我国一次能源消费结构以煤为主,据《2014年国民经济和社会发展统计公报》数据,2014年我国煤炭消费量约为35.1亿吨,约占全球一半。煤燃烧过程中产生的大量的烟尘、SO₂、NO_x和重金属等多种污染物,是形成高浓度细颗粒污染的重要组成部分,也是造成近年来中东部地区屡屡发生重污染灰霾天气的重要原因之一。火电、冶金、建材、石化等是煤炭的主要消费行业,也是PM_{2.5}及其前体物的重要贡献源。此外,我国每年仍有7亿吨左右的煤炭用于分散的、难以管控的、燃烧效率较低和污染治理措施落后或无污染治理的中小工业锅炉/炉窑、民用锅炉等燃烧,煤炭集中利用率不足50%,远低于欧美日等发达国家。

据《2014年环境统计年报》数据,2014年全国工业废气排放量69.4万亿立方米(标态),比2013年增加3.7%。全国二氧化硫、氮氧化物、烟(粉)尘排放量分别为1974.4万吨、2078.0万吨和1740.8万吨。调查统计的41个工业行业中,SO₂排放量排行前三的行业依次为电力、热力生产和供应业,黑色金属冶炼及压延加工业,非金属矿物制品业,3个行业共排放二氧化硫1044.8万吨;氮氧化物排放量位于排名前三的行业依次为电力、热力生产和供应业,非金属矿物制品业,黑色金属冶炼及压延加工业,3个行业共排放氮氧化物1105.3万吨;烟(粉)尘排放量位于排名前三的行业依次为黑色金属冶炼及压延加工业,电力、热力生产和供应业,非金属矿物制品业,3个行业共排放烟(粉)尘964.1万吨,详见图1。

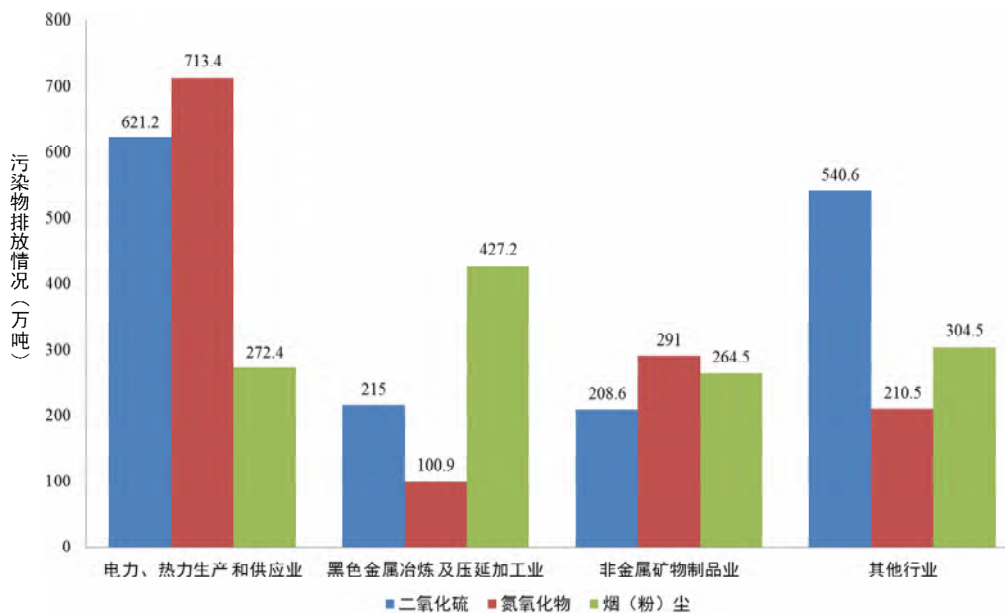


图 1 2014 年重点调查的工业行业企业二氧化硫、氮氧化物及烟(粉)尘排放情况

1.3.2 燃煤大气污染治理现状

我国能源资源的基本特征是“富煤、少油、缺气”。煤炭占我国已探明化石能源资源储量的 94% 左右，是我国经济和社会发展最大的能源支撑，在保障我国能源安全中起基础性作用。为解决燃煤造成的环境污染，全国各地相继推出了以天然气替代燃煤的措施；然而 2014 年我国天然气产量仅为 1329 亿立方米，进口天然气约 580 亿立方米，天然气产量和进口量远不能满足消费需求，全面煤改气难以实现。

“十二五”是我国燃煤大气污染防治尤其是燃煤电厂节能减排工作极不平凡的五年。在改善区域大气环境质量、推进煤炭清洁高效利用和加快行业转型升级的客观需求下，国内浙江能源集团、神华集团等发电集团和地方政府进一步自我加压，通过产学研合作，于 2014 年 5 月底 6 月初率先在长三角地区的嘉兴嘉华电厂 1000MW 机组、舟山电厂 350MW 机组等完成了燃煤电厂超低排放改造，实现燃煤电厂锅炉烟气中烟尘、二氧化硫、氮氧化物的排放浓度（在基准含氧量 6% 条件下）分别不超过 5 mg/m^3 、 35 mg/m^3 、 50 mg/m^3 。随后，超低排放技术开始逐步在京津冀鲁、珠三角等重点区域燃煤机组（如三河电厂、五沙电厂等）上实现工程化试点应用和推广。特别是 2014 年以来，国家陆续出台了《全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造工作方案》等一系列政策文件大力支持和推进燃煤电厂超低排放改造。据《“十二五”生态环境保护成就报告》统计，截至 2015 年 9 月我国已完成煤电行业超低排放改造 8400 万千瓦，约占全国煤电装机 1/10，正在进行改造的超过 8100 万千瓦。随着燃煤发电机组超低排放的深入推进，我国煤电行业将取得革命性进步，为建成世界上最大的清洁高效煤电体系提供重要支撑。实施超低排放改造，不仅进一步驱动燃煤电力行业大气污染治理技术的创新研发及应用，还促进了我国钢铁、建材等非电燃煤行业大气污染治理技术的研发及应用。截至 2015 年底，我国燃煤脱硫装机容量由 2010 年的

5.3 亿千瓦增加到 8.9 亿千瓦,占煤电总装机容量的比例由 83%增加到 99%以上;燃煤脱硝装机容量 0.8 亿千瓦增加到 8.3 亿千瓦,占煤电总装机容量的比例由 12%增加到 92%;而安装脱硫设施的钢铁烧结机面积由 2.9 万平方米增加到 13.8 万平方米,安装率由 19%增加到 88%;安装脱硝设施的新型干法水泥生产线由零增加到 16 亿吨,安装率也达到 92%。

此外,随着国家大气污染防治行动计划等减排法规政策的深入实施,我国开始更加关注在中小燃煤炉、农村燃煤等散烧煤污染,特别是供暖季的散烧煤污染问题,推动了天然气等清洁能源替代散煤工作。如河北省 2014 年启动实施农村清洁能源开发利用工程以来,累计推广高效清洁燃烧炉具 333 万台,乡镇锅炉改造 1209 处,煤改太阳能、煤改电和煤改气等清洁能源替代模式 17 万户,约有 21.1%的农户实现了燃煤清洁燃烧,累计实现农村燃煤清洁燃烧 930 万吨,压减散煤 918 万吨,减排二氧化硫 9.5 万吨、粉尘 9.8 万吨。

2 行业治理技术发展情况

2.1 主要技术发展情况

当前我国燃煤源大气污染物治理工作呈以下特征:从煤电行业为主的污染物治理向煤电、钢铁、建材、民用等主要燃煤行业全面治理转变;污染物高效脱除技术向达到特别排放限值,甚至超低排放限值的要求转变;从末端单一污染物高效脱除向多种污染物全过程高效协同脱除转变;从常规污染物(PM 、 SO_2 、 NO_x)控制向常规及非常规污染物(SO_3 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、重金属 Hg 等)协同控制的新理念转变。

2014 年以来,我国在实施超低排放改造的过程中,国内高等院校、科研院所、电力集团、环保企业等相继从全过程控制角度对颗粒物、二氧化硫、氮氧化物等污染物的高效协同脱除开展了进一步系统研究,并通过对不同环保设备的优化集成研究,开发了自主创新的系列超低排放成套关键技术与装备。高精度的低浓度污染物检测方法和仪器也得到了发展和示范应用,提高了低浓度污染物的监测能力和水平,如针对高湿条件下超低浓度的颗粒物连续在线监测问题已实现突破,可满足现有监测水平的需求; SO_3 在线监测仪器已开发成功,并在 1000MW 等机组上进行了比对试验研究;同时,低污染燃烧技术、劣质煤超低排放技术、超超低排放技术、低成本超低排放技术等一批先进控制技术也正在加紧研发和示范应用中。此外,实施超低排放改造还促进了我国钢铁、建材等非电燃煤行业大气污染高效治理技术研发及应用。

典型燃煤烟气污染物超低排放关键技术及系统工艺如图 2 所示。

2.1.1 颗粒物治理技术

我国颗粒物的治理经历了从机械式除尘器(以旋风除尘器为主)到湿式除尘再到静电除尘/布袋除尘/电袋复合除尘/湿式静电除尘转变的历程。目前,以电力行业为代表的除尘技术已发展到了一个新的高度,通过多环节环保设备的联用,如“电除尘器/袋式除尘器+湿式静电除尘器”或“低低温静电除尘器+湿法脱硫除尘一体化装置”等,可实现燃煤电厂颗粒物的超低排放。下面主要介绍近年来发展的几种典型颗粒物治理技术。

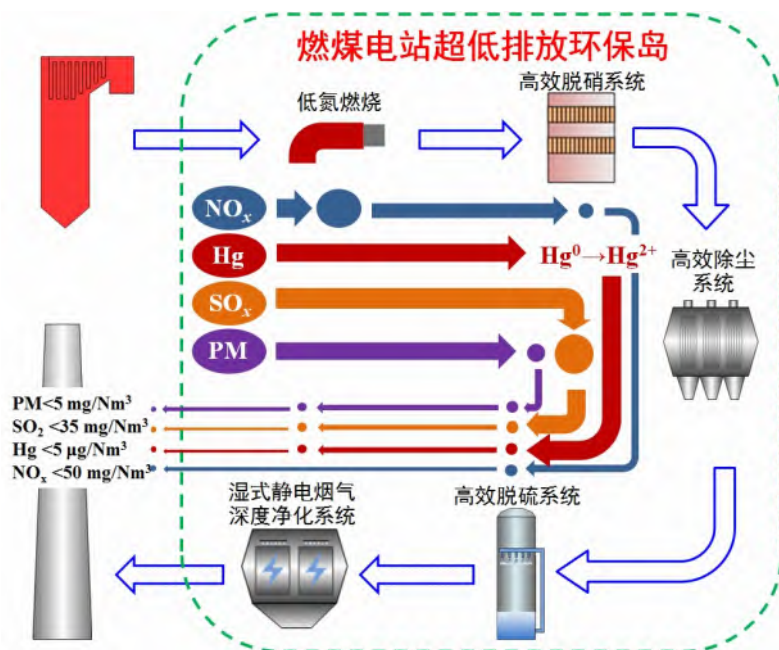


图2 典型燃煤烟气污染物超低排放关键技术及系统工艺

2.1.1.1 静电除尘技术

近年来,随着我国主要燃煤行业烟尘排放要求的不断提高,涌现了湿式静电除尘技术、低低温静电除尘技术和移动极板电除尘技术,以及高效电源技术、微颗粒捕集增效技术和烟气调质技术等增效技术。以上技术主要从电除尘工作原理入手,通过优化工况条件或改变除尘工艺路线或克服常规电除尘器存在高比电阻粉尘引起的反电晕、振打引起的二次扬尘及微细粉尘荷电不充分的技术瓶颈,从而大幅提高除尘效率。

(1) 湿式静电除尘技术

湿式静电除尘(WESP)技术利用液体冲刷极板、极线来进行清灰,避免产生二次扬尘,可处理燃煤电厂及工业锅炉的 $PM_{2.5}$ 、 SO_3 酸雾及铵盐气溶胶等,尤其是解决了石膏雨问题。目前,湿式静电除尘技术已在国内300MW、600MW及1000MW燃煤机组和热电锅炉上成功应用,可实现出口粉尘排放小于 5 mg/m^3 ,是当前技术条件下满足排放新标准可靠途径。同时,与半干法脱硫技术联用的湿式静电除尘技术也在国内热电机组上获得应用,提供了一条经济可行的节水型超低排放技术路线。在国内外湿式静电除尘器的除尘原理基本相同,主要的差别在于气流流向及阳极板材质。根据气流流向可分为卧式湿式静电除尘技术、立式向下流湿式静电除尘技术及立式向上流湿式静电除尘技术;根据收尘极板材质的不同对目前燃煤电厂湿式静电除尘技术进行分类为三种:金属电极湿式静电除尘、导电非金属电极湿式静电除尘和柔性电极湿式静电除尘。

金属电极湿式静电除尘器收尘阳极板采用耐腐蚀的金属极板,金属不直接作为电极,使用时需保证表面均匀覆盖水膜,板块平行结构,荷电均匀,单位体积极板面积小,机械强度高,刚性好,不易变形,极间距有保证。一个电场布置时,除尘效率一般为70%以上。采用水膜连续冲洗清灰,无框架,内部支撑构件采用碳钢加玻璃鳞片。阳极板有连续

中性喷淋水膜保护,耐腐蚀性能好。国内浙江大学自主研发的湿式静电除尘技术已在广东顺德五沙热电 $2\times 300\text{MW}$ 机组、兰州铝业 $4\times 300\text{MW}$ 机组,广东新荔热电 300MW 、嘉兴新嘉爱热电、杭州萧越热电等机组上得到应用,均取得较好的除尘效果,达到了超低排放限值要求;龙净环保湿式静电除尘技术已在华电淄博电、大唐山东黄岛电厂、神华国华惠州电厂、扬州第二发电厂以及新特能源电厂应用;菲达环保引进日本三菱湿式静电除尘技术已在国广州恒运发电厂、广州华润热电、神华国华舟山电厂、神华国华三河发电厂等应用。湿式静电除尘器出口烟尘浓度可以控制在 5 mg/m^3 以内,满足超低排放的要求。如舟山电厂4号机组,在脱硫装置后配备湿式静电除尘设备,为双室单电场板式结构,采用高频电源,总的进口均值浓度平均值为 11.05 mg/m^3 ,湿式静电除尘器的出口烟尘排放浓度可以控制在 5 mg/m^3 以内。浙江浙能嘉华发电厂 $2\times 1000\text{MW}$ 机组采用湿式静电除尘技术可实现烟尘排放浓度低于 2 mg/m^3 的水平。

导电玻璃钢电极湿式静电除尘器采用导电玻璃钢阳极板,蜂窝结构,具有收尘面积大,荷电均匀,长寿命等特点。玻璃钢电除雾器本体、阳极管组等的材料为碳纤维增强复合塑料(C-FRP, Carbon Fiber Reinforced Polymer),阴极线材料为铅铋合金或SMO254。目前,导电玻璃钢电极湿式静电除尘器已在国电都匀福泉电厂的 600MW 机组中投运,处理烟量达到 $300\text{万 m}^3/\text{h}$ 。华能济南黄台电厂、国电承德热电、国电怀安热电厂、国电榆次热电、国电江苏谏壁电厂、华能铜川电厂、浙江北仑电厂均采用立式导电玻璃钢湿式静电除尘器。从测试数据结果看湿式静电除尘器出口烟尘浓度基本在 5 mg/m^3 以内,可以满足超低排放的要求,但是长期运行稳定性有待进一步考察,且对系统运行安全性提出更高要求,如目前国内已有导电玻璃钢湿式静电除尘器放电造成阳极板烧毁的案例。

柔性电极湿式除尘器阳极板材料采用柔性绝缘纤维织物,成本较低,一般为立式布置。目前,此类型湿式静电除尘器已经在国电益阳 300MW 机组、国电九江 350MW 机组、国电蒙阳 600MW 机组等工程中投运,从运行情况看系统运行稳定性、可靠性和腐蚀情况有待进一步验证。

(2) 低低温静电除尘技术

低低温静电除尘技术通过设置烟气冷却器或烟气换热系统,使进入静电除尘器的运行温度由通常的低温状态($130^\circ\text{C}\sim 170^\circ\text{C}$)下降到低低温状态(根据含硫量、酸露点不同而变化,一般为 $85^\circ\text{C}\sim 100^\circ\text{C}$),实现烟气余热利用并降低粉尘比电阻与烟气流速,提高了除尘效率,且对 SO_3 有协同脱除作用,烟气中大部分的 SO_3 冷凝成硫酸雾被飞灰颗粒吸附,并被静电除尘器高效脱除。实践证明该技术除尘效率可达 99.8% 以上,除尘器入口烟气温度较高且燃煤硫份适宜时,低低温静电除尘技术有较强的可行性。

根据调研案例,电厂采用不同烟气降温方式在静电除尘器前加装低温省煤或者烟气换热器,使电除尘器入口烟气温度降低,出口烟尘浓度在($13\sim 33$) mg/m^3 范围内,除尘效果较好。如中电投江西电力有限公司新昌发电 $2\times 660\text{MW}$ 机组为达到更高环保要求,对原有电除尘器改造,加装电除尘烟气余热利用调温节能装置,并将电除尘器前两个电场的工频电源改为高频电源;改造后低低温静电除尘器运行温度降到 95°C ,电除尘器除尘效率提高到 99.92% ,粉尘平均排放浓度由原有的 52.5 mg/m^3 降低到 17.25 mg/m^3 。

(3) 移动电极电除尘技术

移动电极电除尘技术可有效解决传统除尘器中高比电阻颗粒物引起的反电晕及振打

清灰引起二次扬尘等问题,从而大幅提高除尘效率,是目前突破常规电除尘器技术瓶颈最有效的方法之一。特别是对于改造项目,移动电极电除尘器的优势更为突出。目前,我国移动电极电除尘器已在 300MW 及以上机组得到工程化应用。华润电力常熟有限公司 3×650MW 机组第四电场进行移动极板改造,末电场除尘效率由 50%~70%上升到 70%~90%,颗粒物排放浓度由 72.9 mg/m³下降到 21.6 mg/m³。

(4) 电除尘增效关键技术

高压供电电源是电除尘器的核心设备之一,近年来在传统工频电源的基础上,我国先后开发了三相电源、高频电源和新型脉冲电源。新型脉冲电源在直流供电的基础上叠加脉冲供电,提高电场击穿电压,进而提高峰值工作电压,强化颗粒荷电,目前正在进行工业化试验。高频静电除尘电源输出电压更高更平稳,闪络反应与恢复速度更快。大量的工程实例证明,基于脉冲工作的高频电源在提高除尘效率、节约能耗方面,具有显著的效果,国内诸多电厂在进行高频电源改造后,烟尘排放和高压能耗都有明显的降低。山西太钢能源动力总厂 300MW 燃煤电厂进行了高频电源增效改造,结果表明颗粒物排放浓度可小于 20 mg/m³。

细颗粒电凝并技术使含尘气体进入除尘器前,先进入预荷电区进行双极性预荷电,使相邻两列的烟气粉尘带上正、负不同极性的电荷,并通过扰流装置的扰流作用,强化带异性电荷的不同粒径粉尘的碰撞,从而促进异性荷电颗粒的有效凝并和长大,形成大颗粒后被电除尘器有效捕集。这种增效装置可有效提高微米级颗粒物的脱除效率。国内目前已掌握其核心技术,在上海吴泾热电 300MW 等级燃煤机组有成功应用。

烟气调质技术目前主要有蒸汽调质、SO₃调质、NH₃调质、SO₃-NH₃双重调质、Na₂CO₃调质等方法,其中 SO₃调质是燃煤锅炉应用最广泛、最成熟可靠的技术。内蒙古在 600MW 等级机组上已成功应用 SO₃-NH₃烟气调质系统,调质后烟尘排放浓度下降显著;广东在 1000MW 等级机组上配套了 SO₃烟气调质系统,以应对燃用低硫煤产生的高比电阻粉尘,强化了粉尘脱除效果。

2.1.1.2 电袋复合除尘技术

电袋复合除尘技术是在一个箱体内安装电场区和滤袋区(电场区和滤袋区可有多种配置形式),将静电和过滤两种除尘技术复合在一起的除尘技术。其工艺原理如下:含尘烟气经过气流分布板均匀地进入电除尘部分,在收尘电场的作用下大部分粉尘荷电,并在电场力作用下向收尘极移动并在收尘极板上去除带电性和沉积;经过电除尘处理后含有少量粉尘的烟气少部分通过多孔板进入袋收尘区,大部分烟气向下部,然后由下而上地进入袋除尘区,粉尘被阻留在滤袋表面上,经过净化后的烟气经提升阀进入烟道排出。

近年来,国内在气流分布技术、均流喷吹清灰、滤袋材料选择和配套电源等多方面取得突破,使电袋复合除尘技术及其标准化、产业化取得了重大进展。现电袋复合除尘器已成为我国燃煤电站除尘的主流技术之一,可节约能源消耗,减小粉尘特别是细颗粒的排放。国内的过滤风速设定相对较低,设备阻力也较低,可靠性更好,单位设备投资和年运行费用相比国外技术具有明显优势。目前该技术已在广东省粤电集团有限公司沙角 C 电厂、中电投河南鲁阳电厂、华能阳逻电厂、广东珠海电厂、中电投河南开封电厂、江苏常熟电厂等电厂应用,出口粉尘浓度小于 20 mg/m³,压力损失低于 1100Pa,并已出口印度、印尼、越南等多个国家。

2.1.1.3 脱硫除尘一体化技术

脱硫除尘一体化技术是利用高效喷淋技术、塔内构件筛板或托盘结合高性能除雾器,将烟尘中尘粒高效脱除,主要有高效脱硫除尘技术、高效除雾器技术、离心式管束式除尘技术三种技术。

(1) 高效脱硫除尘技术

高效脱硫技术是利用塔内构件-筛板/托盘结合高效喷淋技术,再由除雾器进一步除去石膏雨滴的高效除尘技术的组合。烟气中尘粒被捕集的主要是惯性碰撞、截留和布朗运动的综合效应的叠加。在喷淋量一定的情况下,喷出的液滴越细,则塔截面上有液滴通过的部分越多,喷淋密度也愈大,尘粒被捕集的机会也越多。因而,优化喷淋布置使用高效喷淋,在脱硫塔内增加防“短路”环,可以增加尘粒被捕集的可能性。同时在脱硫塔入口上方架构筛板/筛板,形成液层加大尘粒逃逸的阻力,使得除尘效率提高。经过浆液洗涤后的烟气,夹带着粒径为 10-60 μm 的浆滴,为避免对下游设备和烟道的玷污、腐蚀,同时避免石膏微粒逃逸,在吸收塔顶部安装除雾器,用来收集吸收塔运行状态下夹带的液滴。

(2) 高性能除雾器技术

先进的高性能除雾器装置可在去除液滴的同时达到除尘的目的,高性能除雾器相比较传统除雾器主要是通过除雾器叶片间距,叶片厚度,设计角度优化,使其具有更好地分离性能;并除雾器冲洗水系统整体优化,保证更好地冲洗效果,不易结垢。

一般采用吸收塔顶部安装的高性能除雾器+吸收塔出口水平烟道段加装一级高性能除雾器,烟气流经除雾器时,液滴由于惯性作用留在挡板上,从而实现细小雾滴与微尘颗粒从烟气中的脱除,使得在不加湿式静电除尘器的情况下,除尘效果达到目标成为可能。除去除雾器本身的性能参数,烟气流经除雾器的流速决定着除雾器除尘效果。对于烟道除雾器在流速 5-6 m/s 之间,除雾器捕集液滴量大,起到较好的除尘效果。

(3) 离心管束式收尘技术

离心管束式除尘装置属于一种高效除雾(尘)器,由分离器、增速器、导流环、汇流环及管束等构成。经高效脱硫及初步除尘后的烟气向上经离心管束式除尘装置进一步完成高效除尘除雾过程,实现对细小雾滴的脱除,最后经过汇流环排出。大唐国际云冈热电有限责任公司 3#机组除尘改造工程中在吸收塔内安装了管束式除尘装置,脱硫塔出口粉尘浓度可实现小于 5 mg/m^3 ,但长期稳定运行,煤种适应性、负荷适应性等需长时间运行验证。

2.1.1.4 烟尘超低排放治理技术

随着新标准的实施和超低排放政策的出台,单纯依靠电除尘、电袋复合除尘、布袋除尘、湿式静电除尘或者脱硫塔除尘技术,已难以满足严格的排放要求。如何运用已有烟尘处理设备协同治理烟尘排放,提高除尘效果和降低能耗成为新的研究热点。当前,针对火电行业烟尘典型烟尘协同治理技术主要包括:高效静电除尘器/布袋除尘技术/电袋复合除尘技术+脱硫塔除尘一体化技术和高效静电除尘器/布袋除尘技术/电袋复合除尘技术+脱硫塔除尘一体化技术+湿式静电除尘技术。通过这些技术的组合以及烟气治理设备之间的协同作用,烟尘排放可达到超低排放的要求。

华能邯峰电厂两台 660MW 机组采用烟气冷却换热器+低低温静电除尘器+高效除尘的石灰石-石膏湿法烟气脱硫装置协同治理烟尘。改造后测试结果表明:电除尘器出口粉尘浓度由 35 mg/m^3 降低到 20 mg/m^3 ,脱硫塔出口烟尘降低到 10 mg/m^3 以内,在环保验收测试

表明, 2号机组脱硫塔出口烟尘浓度在 2 mg/m^3 。大唐国际云冈热电公司采用低低温静电除尘器+单塔一体化脱硫除尘深度净化技术, 其排放烟尘浓度为 4.36 mg/m^3 , 满足超低排放要求。

广东省粤电集团有限公司沙角 C 电厂 2 号 660MW 燃煤机组原配套的电除尘器为卧式干式 4 室 4 电场, 在煤种灰分波动的情况下, 除尘器出口烟尘浓度在 $60 \sim 80 \text{ mg/m}^3$, 烟囱出口烟尘浓度也大幅超过新标准的排放限值。为此, 采用电袋复合除尘技术对原电除尘器进行改造, 改造后除尘器出口烟尘浓度达到了排放要求。

在脱硫后采用湿式静电除尘技术进一步控制烟气中的烟尘、酸雾、水滴、气溶胶等污染物, 可以较全面确保颗粒物脱除效果, 并长期达到超低排放要求。目前神华集团、国电集团、浙能集团、大唐部分电厂粉尘超低排放技术大多采用该技术路线。如嘉兴电厂、浙江六横电厂、大唐乌沙山电厂、国电江苏谏壁电厂、国电江阴苏龙电厂、大唐南京电厂、国华定州电厂、国神大港电厂、国华惠州电厂等电厂在脱硫后加装了湿式静电除尘技术, 其排放烟气中烟尘浓度低于 5 mg/m^3 , 在高效脱除烟尘的同时, 对二氧化硫和重金属如汞也有较好的脱除效果。

2.1.2 硫氧化物治理技术

近年来, 随着我国出台更为严格的大气污染物排放标准, 推动脱硫技术朝着高效、高可靠性、高适用性进一步发展, 并涌现出了一批具有自主知识产权的高效脱硫技术。

2.1.2.1 石灰石-石膏湿法脱硫技术

由于石灰石-石膏湿法脱硫技术使用最为广泛, 该技术的增效研究已成为烟气脱硫领域的热点之一。空塔高效脱硫技术、强化传质高效脱硫技术、单塔双循环高效脱硫技术、双塔双循环高效脱硫技术、pH 分区高效脱硫技术、旋汇耦合脱硫技术等是近几年出现的基于石灰石-石膏湿法的烟气高效脱硫技术, 脱硫效率可达 99% 以上。

(1) 强化传质技术

该技术是在喷淋空塔湿法脱硫技术的基础上进行内部的改造或通过添加脱硫增效剂, 提高气液传质效率, 从而提升 SO_2 的脱除率。本技术改造工作量较小, 特别适用于老塔改造, 在原有吸收塔内部进行一系列改造 (包括优化喷嘴布置、增加均流提效构件—筛板/托盘、控制内部 pH 值等) 来实现系统提效的目标。

如大唐南京发电厂 $2 \times 660 \text{ MW}$ 燃煤机组脱硫系统采用石灰石-石膏湿法脱硫工艺, 为提高系统脱硫效率, 吸收塔内增加筛板, 更换喷淋层喷嘴, 增加内部构件强化传质效果, 同时增加塔外浆液罐实现 pH 分区控制, 改造后经测试结果表明, 脱硫系统出口 SO_2 浓度可以长期稳定控制在 35 mg/m^3 以下。浙江嘉华#7 和#8 号两台 1000 MW 机组在安装双层托盘的基础上, 采用交互式喷淋层高效湿法脱硫技术, 对两台机组选取长期数据进行分析结果表明达到超低排放 35 mg/m^3 目标的小时浓度达标率达到 99.31% 以上。五沙热电 $2 \times 300 \text{ MW}$ 机组, 为实现燃煤锅炉 SO_2 超低排放改造目标, 采用浙江大学强化传质吸收塔技术进行改造; 测试结果表明: 改造后可实现脱硫效率达到 98.5% 以上, 脱硫塔出口 SO_2 排放浓度小于 30 mg/m^3 。

(2) 单塔双循环脱硫技术

单塔双循环湿法脱硫技术是在单循环湿法脱硫技术上发展而来的。其主要工艺在脱硫

塔内设置积液盘将脱硫区分隔为上、下循环脱硫区,下循环脱硫区、下循环中和氧化池及下循环泵共同形成下循环脱硫系统,上循环脱硫区、上循环中和氧化池及上循环泵共同形成上循环脱硫系统,在一个脱硫塔内形成相对独立的双循环脱硫系统。本工艺双循环脱硫系统相对独立运行,但又布置在一个脱硫塔内,既保证了较高的脱硫效率,又降低了浆液循环量和系统能耗,适合于燃烧高硫煤产生的烟气脱硫,脱硫效率可达到99%以上。如广州恒运热电厂8号机组采用了石灰石-石膏湿法单塔双循环工艺进行脱硫改造。改造完成后,在吸收塔入口 SO_2 浓度 $1800\sim 4200\text{ mg/m}^3$,出口 SO_2 浓度可以控制在 35 mg/m^3 以内。

(3) 单塔双区技术

单塔双区湿法脱硫技术与传统方法区别主要为:浆池部分布置有pH调节器和射流搅拌,通过相互配合使得浆液区上部pH维持在 $4.9\sim 5.5$,而下部pH维持在 $5.1\sim 6.3$,在浆池中相对维持上下2种pH值环境的不同区域,分别作为氧化结晶区和吸收区,即实现“单塔双回路”。单塔双区湿法脱硫技术的分区关键是控制上下部浆液的返混,通过设置氧化隔离装置,可以防止上下部浆液返混,在塔内形成分区,保证高效的脱硫效率,同时提高副产物石膏品质。如大唐河北发电有限公司码头热电分公司9号300MW机组,采用单塔双区石灰石-石膏湿法烟气脱硫技术,共设置5层喷淋层,塔内设置防止烟气短路的提效环,增设分区调节器,浆池pH分区,实现单塔双区,其中上部氧化区pH约5.3有利于生成高纯石膏,下部吸收区pH约6.1,脱硫系统出口二氧化硫浓度低于 35 mg/m^3 。华能上海石洞口第二电厂2号600MW机组,亦采用单塔双区技术,脱硫系统出口二氧化硫浓度低于 35 mg/m^3 。

(4) 双塔双循环技术

双塔双循环技术是在双循环技术上的发展和延伸,非常适用于高含硫煤和高脱硫效率的改造工程。该技术能有效地利用原有脱硫装置,避免重复建设和资源浪费。如国电广西永福电厂 $2\times 300\text{ MW}$ 机组,为提高脱硫设备效率,将原有脱硫系统改造为双塔双循环石灰石-石膏湿法脱硫系统,改造后在吸收塔入口 SO_2 含量 11500 mg/m^3 、粉尘 100 mg/m^3 、钙硫比1.0下,粉尘 23.9 mg/m^3 ,脱硫效率达到99%以上,满足当地环保要求。白杨河电厂 $2\times 300\text{ MW}$ 机组采用双塔双循环脱硫增效技术,对高浓度 SO_2 烟气进行脱除,实现脱硫塔出口 SO_2 低于 35 mg/m^3 。

(5) 旋汇耦合脱硫技术

旋汇耦合技术,是在喷淋空塔的基础上增加了湍流器,使气、液、固三相充分接触,从而实现气体高效净化目的。河北陡河发电厂7号和8号 $2\times 200\text{ MW}$ 机组,烟气脱硫工程采用旋汇耦合石灰石-石膏湿法烟气脱硫技术,经过运行测试,两套脱硫装置脱硫效率在95%以上。

2.1.2.2 炉内脱硫+半干法脱硫除尘技术

我国在半干法脱硫过程反应机理、温度调控、高活性钙基吸收剂制备、气固混合优化等方面的研究也取得了显著进展,发展了基于半干法的高效脱硫、脱硫除尘一体化技术、多种污染物协同脱除等关键技术,在燃煤电厂、工业锅炉、钢铁烧结机等重点行业实现了应用,脱硫效率达到了90%以上;结合炉内脱硫,可实现脱硫效率在98%以上,尤其适用于中小型热电联供锅炉或缺水地区的燃煤锅炉高效脱硫。同时,若采取“炉内脱硫+半干法脱硫技术+湿式静电除尘技术”的路线,可将湿式静电除尘产生的废水用于脱硫剂的增

湿活化,既解决湿式静电除尘的废水问题,又可实现二氧化硫和烟尘的协同超低排放控制。如嵊州新中港热电采用 CFB 锅炉“炉内脱硫+炉内 SNCR 脱硝+炉外半干法脱硫+袋式除尘+湿式静电除尘”技术路线,经第三方检测 SO_2 排放浓度低于 35 mg/m^3 ,满足二氧化硫超低排放限值要求。

2.1.1.3 海水脱硫增效技术

目前我国对海水脱硫技术的改进主要集中于强化塔内传质以提高污染物脱除效率,减小曝气池占地面积,提高脱硫设备的抗腐蚀性能等,但是海水脱硫仍存在重金属沉积对海水水体污染的隐患。在传统海水脱硫技术的基础上,可通过改用低压力大孔径喷嘴,防止小颗粒物堵塞、覆盖“喷淋死区”,改善烟气流场和海水配水流场的不均匀性,使脱硫效率可达 97%以上。如神华国华(舟山)发电有限责任公司,4#机组采用海水湿法脱硫,在各种负荷变化范围内,海水脱硫装置入口 SO_2 浓度在 $680 \text{ mg/m}^3 \sim 1500 \text{ mg/m}^3$ 变化,出口 SO_2 浓度 $0.71 \sim 27.74 \text{ mg/m}^3$ (平均值为 2.19 mg/m^3),FGD 脱除效率在 97.45%~99.96%,平均值为 99.76%,实现了 35 mg/m^3 的超低排放控制目标。

2.1.1.4 三氧化硫控制技术

三氧化硫(SO_3)易于烟气中的水分结合生成硫酸(H_2SO_4)雾气溶胶,难以被湿法烟气脱硫装备(WFGD)吸收,当烟囱出口 SO_3 (含 H_2SO_4) 排放浓度超过 35 mg/m^3 时,会出现明显的蓝色或黄色烟羽现象,增加排烟浊度;同时,硫酸雾气溶胶会在大气中形成细颗粒物($\text{PM}_{2.5}$),加重灰霾和酸沉降污染,不但破坏景观、影响视觉感受,而且危害周边人群的健康。燃煤电厂排放的 SO_3 主要来源于两方面:一方面是燃煤过程中约 0.5%~1.5% 的硫份会被氧化成 SO_3 ,其生成量与电厂燃煤煤质(硫份、挥发份等)、锅炉炉型、燃烧工况等因素直接相关,同等条件下燃用烟煤时生成的 SO_3 比无烟煤和褐煤更多;另一方面是在 SCR 脱硝过程中,在催化剂作用下会将烟气中 1%左右的 SO_2 转化为 SO_3 ,实际 SO_2/SO_3 的转化率与商用催化剂的活性组分含量、催化剂类型、催化剂层数及烟气条件等多种因素有关,对于中高硫煤而言,脱硝装备出口处烟气中的 SO_3 浓度可达 $140 \text{ mg/m}^3 \sim 180 \text{ mg/m}^3$,甚至更高。燃煤电厂 SO_3 控制主要包括减少 SO_3 生成技术、现有污染物控制装备的协同控制技术,如低低温静电除尘技术,湿法脱硫技术及湿式静电除尘技术,及碱基喷射 SO_3 控制技术等。

针对 SO_3 生成,浙江大学通过研究 SCR 脱硝过程中的 SO_2/SO_3 转化规律,开发了低硫转化的脱硝催化剂配方,在保证脱硝效率的同时实现了 SO_2/SO_3 转化率低于 1%,可有效控制 SO_3 的生成。

现有 SO_3 协同控制方面,烟气中的 SO_3 经过换热器时会与水蒸气结合,生成硫酸雾气溶胶,烟气中高浓度粉尘为硫酸雾的凝结附着提供了良好的条件, SO_3 易被飞灰颗粒吸附,进而被电除尘器捕捉脱除,脱硫效率根据温度, SO_3 浓度及粉尘浓度不同而变化,可达 80%以上;烟气中的 SO_3 经过脱硫装置,脱硫装置中的浆液会与烟气中的 SO_3 反应,进一步脱除烟气中的 SO_3 ,脱除效率一般为 50%。烟气中的 SO_3 在 205°C 以下时,主要以 H_2SO_4 的微液滴形式存在。其平均颗粒的直径在 $0.4 \mu\text{m}$ 以下,属于亚微米颗粒范畴,湿式静电除尘器对亚微米颗粒的具有较高的捕获效率,可实现 SO_3 的协同脱除。

针对 SO_3 引起的空预器腐蚀及硫酸氢铵沉降堵塞问题,国内开展了碱性物质吸收 SO_3 的实验研究,并通过烟道喷碱降低烟气中 SO_3 的浓度, SO_3 脱除效率可到 80%以上。

2.1.3 氮氧化物治理技术

近年来我国针对烟气中 NO_x 高效脱除的关键科学问题,在高效低氮燃烧技术、烟气脱硝系统喷氨混合、流场优化以及 SCR 催化剂配方设计、催化剂再生处置等多项基础研究和关键技术上取得了重要进展。

低氮燃烧技术工艺成熟,投资与运行费用较低,近年来我国针对不同炉型及不同负荷工况的影响条件,对低氮燃烧器做了大量改进和优化,使其性能日趋完善。低氮燃烧已成为氮氧化物控制的优选技术,常与烟气脱硝技术联用以实现 NO_x 高效控制。

常用的烟气脱硝技术主要包括选择性非催化还原(SNCR)烟气脱硝技术、选择性催化还原(SCR)烟气脱硝技术及 SNCR-SCR 耦合技术。还原剂与烟气的充分混合及有效反应,是保证烟气脱硝系统高脱除效率和低氨逃逸率的关键。国内针对煤粉炉、循环流化床锅炉、水泥窑炉等不同炉膛结构及燃煤锅炉大截面、短行程、突变/多变截面烟道等复杂条件下还原剂氨与烟气混合问题,通过数值模拟和冷态模化技术对 SNCR 及 SCR 系统烟道内的烟气流动特性进行了研究和优化,并开发了系列喷氨混合装置,使 SNCR 和 SCR 烟气系统的混合均匀度 Cv 值降低,为烟气脱硝系统的高效稳定运行提供了关键支撑。

SCR 脱硝催化剂配方的理论及实验研究取得了重要进展。建立了基于催化剂酸性、氧化性等物理化学特性的分子轨道能量判据,获得了基于量子化学理论的催化剂关键组分功能划分方法;通过对 SCR 催化剂表面活性位点及中毒机理的分析,发现平衡催化剂表面酸性和氧化还原性是保证其脱硝活性的关键。在此基础上,通过稀土、过渡金属、类金属等元素的掺杂改性,提升了催化剂的抗中毒能力、单质汞氧化能力及低温区间的反应活性,开发了适合我国复杂多变煤质特性的高效抗碱金属/碱土金属/重金属等中毒系列催化剂配方,已在燃用复杂煤质、污泥等锅炉的催化脱硝工程上得到应用。如 Nb、Sb 等过渡金属氧化物及硫酸盐的添加可提高催化剂表面酸性并维持其氧化还原能力,有效提高催化剂活性及抗中毒性能;通过对催化剂配方改性,实现氮氧化物脱除率达到 80%~90%,汞氧化率达到 50%以上;Ce 具有良好的储氧能力和氧化还原能力,添加 Cu、W、Mo、Nb、Mn 等元素的 Ce 基催化剂具有良好的低温活性和抗硫中毒能力;活性炭纤维、C 纳米管、Ti 纳米管、CeO₂-ZrO₂-Al₂O₃、有序介孔碳等新载体的使用及制备方法的优化也可以不同程度地提高 Ce 基催化剂低温范围内的脱硝活性;除 Ce 基催化剂之外,实验研究发现,Mn 基、Fe 基等催化剂同样具有较好的低温活性。而新型宽温度窗口催化剂及精确喷氨调控技术的研发,为在低负荷下 SCR 脱硝系统的高效稳定运行提供科技支撑。如温州发电厂 330MW 燃煤机组超低排放示范工程脱硝装置采用浙江大学研发的宽温度窗口催化剂实现了机组的全负荷高效脱硝,经第三方检测表明,在锅炉 35%~100%负荷下系统脱硝效率稳定在 85%以上,NO_x 排放浓度小于 40 mg/m³。

我国在催化剂生产工艺方面也取得了重大突破,形成了具有完全自主知识产权的原料、生产设备及工艺国产化的催化剂成套生产工艺及技术。目前,我国已掌握了催化剂生产的关键工艺和关键控制参数,开发了适用于国产原材料的催化剂成型配方及催化剂制备成套生产技术,形成了国产催化剂混炼、挤出、干燥和烧成工艺;实现了催化剂生产中核心设备的国产化,形成了采用国产设备的催化剂规模化生产线,改变了单纯依赖进口的现状。据中国环境保护产业协会不完全统计,2014 年底国内脱硝催化剂总产能已超过 65

万立方米/年，已面临供过于求的局面。

近年来，燃煤电厂脱硝催化剂在线运行量显著增长，大量催化剂将面临使用寿命到期、退役淘汰的境况。据中国电力企业联合会预计，2020年后的废旧脱硝催化剂将稳定在20万-25万立方米/年；由于煤中含有的汞、砷等重金属成分容易在SCR催化剂上富集，废旧催化剂处理问题十分紧迫。根据SCR催化剂不同的失活机理（如催化剂的中毒、烧结、堵塞等），国内开展了广泛的再生工艺方法研究，目前已形成了具有自主知识产权的脱硝催化剂再生工艺技术及装备，并成功应用于五沙热电300 MW机组及嘉兴电厂1000 MW机组等催化剂再生项目。同时，针对不同再生价值的废弃脱硝催化剂，部分高校、环保骨干企业正在开展钠化焙烧-化学沉淀或溶液溶解-离子交换等手段分离提取钒、钨、钛氧化物等的技术研究，以提高废弃催化剂资源化回收再利用程度。

2.1.4 汞等重金属治理技术

燃煤、有色金属等行业排放产生的重金属污染物主要包括汞(Hg)、铬(Cr)、镉(Cd)、铅(Pb)和类金属砷(As)等，具有高稳定性、神经毒性以及生物累积效应等特点，严重危害人体健康。近年来，我国以汞为代表的重金属污染物排放控制技术取得长足发展。燃煤电站锅炉是汞等重金属污染物排放的重要来源，烟气中的Hg主要以零价(Hg^0)、二价(Hg^{2+})和颗粒态(Hg^p)的形式存在，其他重金属以烟雾或颗粒状态存在。根据所处工艺段的不同，燃煤电厂中汞等重金属污染物的脱除技术分为燃烧前控制、燃烧中控制和燃烧后控制三类。其中燃烧后控制技术应用较为广泛，主要有利用现有污染物控制设备协同控制技术和活性炭喷射技术、改性飞灰吸附等专用脱汞技术。

燃烧前脱汞是在煤燃烧前通过洗选煤和热处理来减少煤中汞等重金属的含量。洗选煤技术利用煤与矿物的密度差异及疏水性差异来实现煤与矿物的分离。物理选煤技术能够在一定程度上降低燃煤烟气中重金属的浓度。煤的热处理使在热解过程中煤中的汞等重金属脱附出来，从而达到脱除的目的。研究表明400℃条件下，热解的方法能够去除烟煤中70%~80%的汞。另外通过化学及微生物法脱除煤炭中的汞也有较多的研究，但距离工程应用还有较远的距离。

燃烧中采用的一些控制技术可以不同程度地将烟气中的零价汞氧化，从而有利于后续吸附和捕集。炉膛喷射技术是在炉膛的合适位置直接喷射微量氧化剂、催化剂或者吸附剂，降低汞等重金属污染物的排放。燃烧工况改变是通过低氮燃烧和流化床燃烧技术中较低的炉内温度，促进氧化态汞的形成。煤基添加技术是在煤上喷洒微量的卤素添加剂，利用其在燃烧过程中释放的氧化剂将零价汞氧化成二价汞后进行脱除。

利用已有的污染物控制装置如除尘器、SCR装置、湿法脱硫设备等来实现汞和其他重金属的协同控制是目前应用较为广泛的方法。袋式除尘器对于吸附在亚微米颗粒上的汞及其他重金属颗粒污染物颗粒有较好的脱除效果。选择性催化还原(SCR)装置将氮氧化物还原为氮气的同时，也可有效促进 Hg^0 的氧化。湿法脱硫装置可以溶解捕获烟气中易溶于水的 Hg^{2+} 化合物，与汞的强化氧化技术耦合使用，脱除率可以达到80%~95%以上；针对浆液中存在 Hg^{2+} 再释放的问题，向浆液中添加有机硫TMT和无机硫抑制剂与 Hg^{2+} 反应形成 HgS 沉淀、加入EDTA和DTCR等螯合剂减少浆液中金属离子对 Hg^{2+} 的还原，抑制 Hg^{2+} 再释放过程，可实现汞的高效固化以及提高脱汞效率。

除了直接利用现有设备,各种单项脱除重金属污染物的方法也相继出现,如电晕放电等离子体法、电催化氧化联合处理法、氧化剂注入法等。其中固定床吸附法具有脱汞效率高、投资成本低、改造容易、适应性强等优点,已成功应用于垃圾站的汞等重金属污染物脱除。所使用的吸附剂主要有活性炭、飞灰、金属氧化物、沸石等,其中以活性炭吸附法最为成熟,通常在除尘器上游位置将活性炭粉喷入烟气中使其在流动过程中吸附烟气中的汞,再通过下游的除尘装置与飞灰一起收集,选择合适的炭汞比例可以获得90%以上的脱汞效率。

2.2 我国自有知识产权技术的竞争力评价

近年来,我国通过加强原始创新、集成创新和引进消化吸收再创新,突破了一批燃煤大气污染控制领域的关键核心技术,在专利技术、论文、科技奖励三个方面聚集了大量自主知识产权成果,推动了大气环境保护的跨越式发展,为实现节能减排,改善大气环境质量提供了强有力的科技支撑。

2.2.1 专利公布情况

从我国现有专利技术情况的总体上看,与燃煤大气污染控制技术相关的专利数量大、覆盖面也较为广泛,燃煤电厂、钢铁冶炼、水泥生产等各行业的燃煤大气污染控制均有相关专利技术。国家知识产权局专利数据库收录1985年9月至今公布的中国专利信息,搜索结果显示,从2011年1月至2015年12月,已公布“除尘、脱硫、脱硝、脱汞”相关的发明专利11836件。

2.2.2 SCI 论文发表情况

在Web of Science核心库中检索2011—2015年间大气污染治理领域的相关论文,历年发表文献数量及我国所占百分比如图3所示。可以看出,国际发表论文数随时间呈逐年增加趋势,这反映了大气污染治理领域的研究热度在不断增长。总体上来说,我国在过去5年间发表的SCI论文数占世界总论文数的百分比由2011年的18%提高到2015年的26%,比例逐年上升,表明我国在大气污染治理领域的研究在国际占有重要地位。

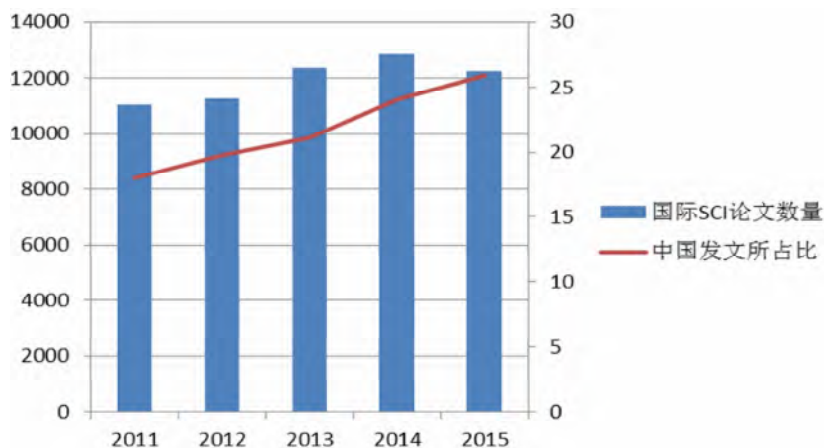


图3 2011—2015年国际发表SCI论文量及我国所占百分比

2.2.3 科技奖励情况

国家自然科学奖、国家技术发明奖、国家科学技术进步奖是国家最高科技奖励，每年评定一次。经统计，2011-2015年间，国家自然科学奖共颁发219项，国家技术发明奖共颁发262项，国家科学技术进步奖共颁发800项。燃煤大气污染控制领域相关获奖情况为：1项国家自然科学奖（占该奖项总数的0.46%），1项国家技术发明奖（占该奖项总数的0.38%），6项国家科学技术进步奖（占该奖项总数的0.75%），详见表4。

以上统计表明，燃煤大气污染控制领域获奖项目在总奖项中占有一定比例，近年间有较大一批优质成果问世，燃煤大气污染控制研究稳步发展。

表4 2011—2015年获国家最高科技奖励

序号	奖项	项目	完成人	完成单位	年份	等级
1	国家自然科学奖	中国大气污染物气溶胶的形成机制及其对城市空气质量的影响	庄国顺、郭志刚、黄侃、孙业乐、王瑛	复旦大学	2012	二等
2	国家技术发明奖	燃煤烟气选择性催化脱硝关键技术研发及应用	李俊华、郝吉明、刘汉强、汪德志、黄锐、王兰武	清华大学, 北京国电龙源环保工程有限公司, 江苏龙源催化剂有限公司, 重庆远达催化剂制造有限公司, 四川华铁钒钛科技股份有限公司	2015	二等
3	国家科学技术进步奖	百万千瓦超超临界机组系统优化与节能减排关键技术	冯伟忠、俞兴超, 王立群、张岭, 姚进、陈仁杰, 陈模嘉、潘峰, 金峰、姚峻	上海外高桥第三发电有限责任公司, 中能股份有限公司, 中国电力建设工程咨询公司, 中国电力工程顾问集团华东电力设计院, 上海电力建设启动调整试验所, 上海明华电力技术工程有限公司	2011	二等
4	国家科学技术进步奖	我国二氧化硫减排理论与关键技术	郝吉明、柴发合、王金南、贺克斌、杨金田、王书肖、段宁、陈义珍、严刚、段雷	清华大学, 中国环境科学研究院, 环境保护部环境规划院	2011	二等
5	国家科学技术进步奖	湿法高效脱硫及汞控制一体化关键技术与应用	高翔、骆仲泱、倪明江、岑可法、周劲松、王树荣、余春江、张涌新、朱燕群、文雅	浙江大学, 浙江蓝天求是环保集团有限公司, 浙江浙大网新机电工程有限公司, 蓝天环保设备工程股份有限公司, 广东电网公司电力科学研究院	2012	二等

序号	奖项	项目	完成人	完成单位	年份	等级
6	国家科学技术进步奖	电袋复合除尘技术及产业化	黄炜、修海明、林宏、宋蕾、吴江华、陈奎续、邓晓东、朱召平、郑奎照、阙昶兴	福建龙净环保股份有限公司, 清华大学	2014	二等
7	国家科学技术进步奖	大气细颗粒物在线监测关键技术及产业化	刘建国、刘文清、桂华侨、陆钜、钱江、陈军、程寅、潘焕双、赵南京、张帅	中国科学院合肥物质科学研究院, 安徽蓝盾光子股份有限公司	2015	二等
8	国家科学技术进步奖	区域大气污染源高分辨率排放清单关键技术与应用	贺克斌、王书肖、张强、程水源、郑君瑜、吴焯、谢绍东、宋宇、蒋靖坤、薛志钢	清华大学, 北京工业大学, 华南理工大学, 北京大学, 中国环境科学研究院	2015	二等

2.2.4 我国自有知识产权技术应用情况及竞争力分析

2.2.4.1 颗粒物治理技术

燃煤烟气颗粒物脱除技术主要包括静电除尘技术、袋式除尘技术及电袋复合除尘技术。我国袋式除尘整体设计、工装设计、制造技术、控制技术、纤维和滤料生产技术、配件设计和生产技术及大多数产品质量和整体技术水平已达到国际先进水平。同时袋式除尘技术的主机、滤料、自动控制的技术水平都得到了长足发展, 耐高温、耐腐蚀特种纤维的研究、开发、生产等方面均有所突破, 高端纤维的国产化将带动国产高端滤料的发展。袋式除尘技术及电袋复合除尘技术对颗粒物脱除效率高达 99.9% 以上, 可达到烟尘质量浓度低于 20 mg/m^3 的排放指标, 但其存在运行压损大, 滤袋更换成本高、处理困难、长期运行稳定性差等劣势, 在大型燃煤电站应用相对较少。静电除尘技术是大型燃煤电站烟气烟尘治理应用最广的技术, 常规静电除尘器对 PM_{10} 可达到 99.8% 以上的脱除效率, 而对细颗粒的脱除效率相对较低。近年来国内研发出一系列静电除尘改造增效专利技术, 如低低温静电除尘技术 (CN201310288968)、移动电极技术 (CN201310640370)、烟尘凝并技术 (CN1390157A)、烟气调质技术 (CN 201110109663)、新型高效节能电源技术等, 可实现常规静电除尘器出口烟尘排放浓度小于 30 mg/m^3 , 但干式静电除尘已无法满足更高的排放限值要求, 湿式静电除尘技术克服了反电晕、二次扬尘等干式电除尘难以解决的关键问题, 可实现 $\text{PM}_{2.5}$ 的深度脱除。国内湿式静电除尘技术已在燃煤电站实现了示范应用, 通过 WESP 改造实现烟尘排放浓度降至 5 mg/m^3 左右, 同时国内大量湿式静电除尘器正在设计安装中, 部分机组设计指标可达到更严格排放要求。目前我国生产、使用电除尘器的数量均居全球首位, 在该领域的科技排名也居世界前列, 所生产的电除尘器出口至几十个国家和地区。

2.2.4.2 硫氧化物治理技术

湿法烟气脱硫技术具有脱硫效率高、运行可靠、适应机组负荷变化范围大的特点。其

中石灰石-石膏湿法烟气脱硫技术由于技术成熟、吸收剂来源广泛、煤种适应性强、价格低廉、副产物可回收利用等特点,应用最为广泛,占我国烟气脱硫技术的90%以上。目前我国已掌握自主知识产权的石灰石-石膏湿法烟气脱硫技术,具备1000MW级机组脱硫装置的生产制造能力,并在此基础上发展了燃煤烟气多种污染物协同脱除技术,实现了复合添加剂、高效吸收塔及成套工艺的应用,该技术已经在大型燃煤机组上实现示范应用。湿法烟气脱硫工艺的研究方向主要致力于改进原有工艺,开发新型高效吸收塔(相关的专利如US6550751B1, ZL200810003528, ZL200610200285),已实现脱硫效率达到99%以上,SO₂排放浓度达到或接近20 mg/m³的指标。国内贵州某600MW机组采用“双塔”脱硫改造技术,脱硫效率达到99%;利用托盘塔脱硫技术,可实现脱硫效率提高3%以上,该技术在国内外得到广泛应用。江苏南通电厂1000MW机组,平均脱硫效率可达99.6%,平均SO₂出口浓度可达18 mg/m³。活性焦法、氨法、有机胺法等资源化脱硫技术研究较为活跃,其中活性焦脱硫技术与有机胺脱硫技术在国内外初步实现了工程示范。

2.2.4.3 氮氧化物治理技术

低氮燃烧技术可从源头控制氮氧化物生成,且经济性较好,我国已研发了具有完全自主知识产权的风控浓淡煤粉燃烧技术、可调煤粉浓淡低氮燃烧及低负荷稳燃技术等低氮燃烧技术并进行了产业化应用。通过低氮燃烧技术可实现氮氧化物排放达到300 mg/m³以下,部分大型燃煤机组排放可达到200 mg/m³。但仅依靠低氮燃烧技术无法满足目前严格的排放要求。SCR技术是目前最主流的炉后烟气脱硝技术。在国家政策和科技项目支撑下,我国SCR脱硝技术突破了多项技术瓶颈,逐步实现了国产化。一直被国外垄断的SCR脱硝催化剂生产技术已取得重大突破(相关专利如ZL201210051 993.6, ZL200910087 773.7等),已有多家企业建立了SCR脱硝催化剂生产线(如瑞基科技发展有限公司,浙江海亮环境材料有限公司,东方凯特瑞环保催化剂有限责任公司,江苏龙源催化剂有限公司等)。同时通过高效喷氨混合装置及SCR反应器优化技术(相关专利如ZL201020194 901.6, ZL200910089 817.X等),进一步提升NO_x脱除效率。通过SCR脱硝技术可实现NO_x排放达到或接近30 mg/m³,如浙能乐清电厂660 MW机组采用SCR高效脱硝技术后,氮氧化物出口平均浓度可达20.5 mg/m³。SNCR脱硝技术取得较大进展,目前已实现自主技术在300MW机组上的应用。此外,催化直接分解法、碱液吸收法、微生物法和固体吸附法等烟气脱硝技术目前大都处于实验研究或工业示范阶段。

2.2.4.4 汞等重金属治理技术

目前国际上已经开始进行脱汞检测与研究,我国在新标准中制定的排放指标为0.03 mg/m³,目前已经在神华国华三河电厂等16家电厂开展了相关的在线监测研究。燃煤烟气脱汞技术包括活性炭脱汞、飞灰脱汞、钙基吸收剂脱汞及利用现有污染控制设备协同作用联合脱汞等。2013年神华国华研究院利用华北电力大学的改性吸附剂喷射技术,在国华三河电厂300MW机组的研究结果显示,其汞污染排在现有基础上降低了30%~50%。在利用现有烟气污染控制设备协同脱汞技术研究方面,选择性催化还原(SCR)脱硝工艺可催化氧化元素态汞,常规除尘设备可脱除颗粒态汞,湿法烟气脱硫装置可吸收烟气中的氧化态汞,前期研究表明,神华国华三河电厂联合脱硫、脱硝、除尘及吸附剂吸附技术后,汞综合脱除效率达到75%~90%。

3 主要问题分析

近年来,我国燃煤大气污染治理技术研发已取得显著的进展,科技成果的转化应用有效减少了重点工业行业主要大气污染物的排放。然而经济新常态下我国经济结构和能源结构调整力度不断加大,燃煤、冶金、建材等行业节能减排要求不断增强,对燃煤大气污染治理技术提出了更高的要求。市场的迫切需求一定程度上暴露了我国技术研发系统性、连续性、层次性和前瞻性不足的缺陷;以及技术评估体系构建不完善、操作性较差,造成市场上各种技术良莠不齐,难以促进优胜劣汰等问题。

从煤炭消费结构上看,据《2014年国民经济和社会发展统计公报》统计数据显示,2014年我国煤炭消费量约为35.1亿吨,其中煤炭在燃煤电厂的消费量约占全国的50%(远低于2010年美国的92%、德国的80%),散烧煤量约占全国煤炭消费量的22%。据测算,1吨散煤燃烧排放的污染物总量是1吨工业燃煤(采取环保措施)排放量的数倍之多,散煤已经成为我国煤炭清洁高效利用的难点。

从区域煤炭消费结构上看,京津冀、长三角、珠三角等重点地区单位国土面积能源消费强度大,尤其是煤炭消费强度约为全国平均水平的4.9倍,是美国的15.7倍,导致单位国土面积污染物排放强度大。要使重点地区空气质量达标,必须执行比发达国家更为严格的燃煤大气污染物排放标准。特别是要更加重视燃煤中重金属及二氧化硫等非常规污染物的排放控制标准问题。

4 对策建议

鉴于我国能源消费现状以及大气污染治理的严峻形势,实施燃煤电站超低排放改造,大力推进煤炭集中清洁高效利用,已成为我国深入推进能源消费革命的重要方向,是新形势下我国大气污染防治从减排为主向减排与质量改善并重转变过程中的战略需求。

(1) 针对超低排放技术在我国推广过程中仍面临的一些问题,如我国不同区域煤质复杂多变,燃高硫/高灰/高碱等劣质煤的机组实现超低排放困难;京津冀等重点地区随季节的燃煤消费强度变化大,冬季燃煤清洁排放要求高等;现有机组缺乏超低排放的标准与评估方法,且普遍存在投资与运行成本较高的问题;欠缺规模化标准化的装备制造等。重点研究突破重金属富集、可凝结颗粒物治理、劣质煤利用等关键技术,破解燃煤电厂劣质煤超低排放、低成本超低排放、超超低排放等技术难题,构建适用于不同区域、不同煤质、不同负荷的低成本超低排放及超超低排放技术路线,推进超低排放技术在全国燃煤电厂的推广应用;形成燃煤电站污染物超低和超超低排放技术与规模化装备及评估方法,提升煤电节能减排技术能力,支撑清洁高效煤电体系建设。同时,进一步推进我国钢铁、建材等非电燃煤行业大气污染高效治理技术的研发及应用,如非电行业全过程多污染物排放协同控制、污染物脱除与资源化利用一体化、多污染物协同控制等技术。

(2) 当前,我国能源领域供给侧结构性改革正在加快推进。针对散烧煤污染治理问题,也要用改革的办法推进煤炭消费结构调整,减少终端用能散烧煤的供给,扩大煤炭在火电行业的集中利用。加大天然气或电能等清洁能源来替代散煤的力度,进一步提高终端用能

的非煤化比例，实现冬季采暖期大气污染物超低排放。同时，将散烧煤炭集中用于污染控制设施先进的燃煤发电锅炉或热电联供锅炉上燃烧，提高散烧煤炭的利用效率，并通过升级改造实现燃煤烟气污染物超低排放，从而大幅降低散烧煤污染排放水平。经济新常态下我国电力相对过剩的现象日趋显现。据测算，通过电能替代散烧煤，与散烧煤炭相比，预计可实现大气污染物减排 90%以上，热效率可提高 20%以上，节约用煤约 1.4 亿吨/年。同时，可提高火电厂发电设备年平均利用小时数至 5600 小时以上（2015 年全国平均水平仅 4329 小时），节约用煤约 8600 万吨/年。因此，通过电价调控机制，特别是冬季采暖季节适度降低居民用电电价，引导用电采暖替代散烧煤采暖，提高社会电气化水平，同时提高超低排放发电机组的发电负荷，降低发电成本，可显著提升整体社会、经济和环境效益。

(3) 推进健康、高效的环保装备建设、运营及监管体系建设。健全环保装备标准体系，推动环保装备建设与运营的专业化、高质化和社会化，促进环保产业规范化发展；健全适合我国国情的燃煤大气污染控制管理政策、及污染物排放和监测标准体系，支撑燃煤污染治理；推进基于物联网、互联网、大数据、云计算等信息技术的环保设施智能化远程监视管理系统开发及应用，实现全国范围内重点污染源治理设施全流程和关键设备的全天候实时监控，建立环保监管新模式，提高环保执法水平，实现燃煤污染控制的精细化管理。

不难看出，我国以煤为主的一次能源消费结构在短期内难以根本改变，随着经济的发展，能源和环境的问题日益严峻。新形势下，加快实施燃煤电厂超低排放改造，建设环境友好型的清洁燃煤电厂，是深化煤炭行业供给侧改革的重要举措，为破解我国同时存在的燃煤大气污染和能源安全问题提供了一条重要出路，对推进大气污染减排和加快生态文明建设都具有重要意义。另外，在实施燃煤电厂超低排放改造，推动超低排放技术创新发展和应用，不断提高煤炭集中、清洁、高效利用水平的过程中，除依靠政府的政策驱动外，还需呼吁社会各方力量凝聚起来，共同推进我国大气环境保护。

工业烟尘控制技术发展报告

1 所属行业或领域总体概况

1.1 2014-2015 年国外相关法规、政策、标准体系现状

从全球饱受雾霾天气影响的国家的情况来看,雾霾污染主要集中在工业化阶段的中、后期。体现在三个方面:一是大规模的工业发展与高耗能产业分不开,这些产业不仅能耗高,污染也严重,典型代表如水泥、钢铁、燃煤、化工等工业;二是工业化往往需要大规模的工程建设来保障,工地扬尘若不能被有效治理,则直接令“天地失色”;三是随着工业化进程的深入,汽车大量进入家庭,尾气排放成倍增加,令可吸入细微颗粒物以几何数级上升。针对雾霾掀起的风波,国外出台了系列政策文件。

美国颁发了美国针对发电厂、工业主体、机动车辆等领域,制定了国家空气质量标准(NAAQS),由联邦通过、并由各州具体落实的行动方案。1997年,美国在《国家环境空气质量标准》中增加了对PM_{2.5}浓度上限的要求。2006年,美国修订空气质量标准,对PM_{2.5}浓度提出了更为严格的限定标准。按照美国目前的标准,PM₁₀日均浓度上限为150微克/立方米;PM_{2.5}日均浓度上限为35μg/m³,年均浓度上限为15μg/m³。2012年6月15日,美国国家环境保护署提议将空气中颗粒物年平均浓度限值进一步降低至12~14μg/m³。

2008年4月,欧盟委员会颁布了《环境空气质量指令》,规定到2020年,欧盟各成员国必须在2010年的基础上平均降低20%的可吸入颗粒物。经过多年努力,欧盟成员国目前空气中可吸入颗粒物已经比2000年减少了15%。德国的排放标准较欧盟严格,大多工业窑炉颗粒物排放标准为20mg/m³,电弧炉炼钢二次除尘排放标准甚至达到5mg/m³。南非的排放标准与欧盟较为接近,钢铁工业新建炼铁和炼钢颗粒物排放浓度为30mg/m³,新建烧结则为50mg/m³。日本地方政府制定的排放标准均低于20mg/m³。

1.2 2014-2015 年国内相关法规、政策、标准体系现状

2015年是中国环境发展历史上具有里程碑意义的一年,2015年1月1日,被称为“史上最严环保法”一新《环境保护法》正式实施。在2015年政府工作报告会上,由2014年的“向雾霾等污染宣战”升格为“节能减排和环境治理攻坚战”,并明确指出要把节能环保产业打造成新兴的支柱产业。近年来国家陆续出台多项环保政策与国家标准,要求从国家到地方均加快落实各项污染防治政策,加速环境治理。

中共十八届五中全会通过的“十三五”规划建议,将“绿色发展”作为五大发展理念之一,对生态文明建设和环境保护作出了重大战略部署。中国政府还发布了《关于加快推

进生态文明建设的意见》和《生态文明体制改革总体方案》，这些文件相互衔接，彼此呼应，明确了中国未来五年乃至更长时期生态环境治理的理念、原则、目标和任务，是中国生态文明建设和绿色发展的顶层设计和路线图。这充分表明，中国政府对生态文明建设和环境保护的认识不断深化，进程在加速推进。

表 1 国家环保政策一览表

序号	发布时间	名称
1	2014.4.21	《关于在化解产能严重过剩矛盾过程中加强环保管理的通知》 (环发[2014]55号)
2	2014.4.21	国务院办公厅关于印发大气污染防治行动计划实施情况考核办法 (试行)的通知(国办发[2014]21号)
3	2014.5.4	关于《“十二五”主要污染物总量减排目标责任书》要求2014年完成的减排 项目公告(环公告[2014]第30号)
4	2014.5.15	《2014-2015年节能减排低碳发展行动方案》(国办发[2014]23号)
5	2014.7.25	《京津冀及周边地区重点行业大气污染限期治理方案》 (环发[2014]112号)
6	2014.9.19	《煤电节能减排升级与改造行动计划(2014-2020年)》
7	2014.12.31	《能效“领跑者”制度实施方案》(发改环资[2014]3001号)
8	2015.7.4	国务院关于积极推进“互联网+”行动的指导意见(国发〔2015〕40号)
9	2015.4.25	《中共中央国务院关于加快推进生态文明建设的意见》 (中发〔2015〕12号)
10	2015.9.21	《生态文明体制改革总体方案》
11	2015.12.11	《全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造工作方案》

表 2 国家环保标准一览表

序号	标准名称	实施时间
1	《中华人民共和国环境保护法》	2015.1.1
2	《火电厂大气污染物排放标准》(GB 13223-2011)	2012.1.1
3	《钢铁烧结、球团工业大气污染物排放标准》(GB 28662-2012)	2012.10.1
4	《铁合金工业污染物排放标准》(GB 28666-2012)	2012.10.1
5	《炼铁工业大气污染物排放标准》(GB 28663-2012)	2012.10.1
6	《炼钢工业大气污染物排放标准》(GB 28664-2012)	2012.10.1
7	《水泥工业大气污染物排放标准》(GB 4915-2013)	2014.3.1
8	《锅炉大气污染物排放标准》(GB 13271-2014)	2014.7.1
9	《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB 18485-2014)	2014.7.1
10	《锡、锑、汞工业污染物排放标准》(GB 30770-2014)	2014.7.1
11	《石油化学工业污染物排放标准》(GB 31571-2015)	2015.7.1

各行业颁布的大气污染物排放标准各项排放限值控制指标与《大气污染物综合排放标准(GB16297-1996)》的规定相比，要求更加严格，其中大气颗粒物污染排放限值普遍为30-50 mg/m³，而且逐步对现有企业和新建企业均执行统一的排放控制限值。我国电力、钢铁、水泥三大颗粒物重污染行业均相继出台了更为严格的排放标准。

《火电厂大气污染物排放标准(GB13223)》经历了1991、1996、2003版本,每一个版本都规定了更加严格的烟尘排放控制限值;2003版本规定,除属于1996年12月31日前通过的建设项目环境影响报告书审批的新建、扩建、改建的火电厂建设项目外,从2010年1月1日起烟尘允许排放浓度由原标准的 200 mg/Nm^3 提高到 50 mg/Nm^3 ,经历了一次大幅度提高;2011版本提出了更高的排放控制要求:新建火力发电厂自2012年1月1日起、现有电厂自2014年1月1日起,烟尘允许排放浓度限值为 30 mg/Nm^3 ,重点地区为 20 mg/Nm^3 。该限值已与2001年欧盟的制定标准一致,比美国2005年制定的 20 mg/Nm^3 的排放限值略高。国家发展改革委、环境保护部和国家能源局联合发布《煤电节能减排升级与改造行动计划(2014—2020年)》,对于新建机组要求东部地区(辽宁、北京、天津、河北、山东、上海、江苏、浙江、福建、广东、海南等11省市)基本达到燃机标准,要求排放限值(6% O_2):烟尘: 10 mg/m^3 、 SO_2 : 35 mg/m^3 、 NOx : 50 mg/m^3 ;对于现役机组,由于环境容量有限等原因,江苏省、浙江省、山西省、广州市等地部分燃煤电厂已参考燃机标准限值,要求排放限值(6% O_2):烟尘: 5 mg/m^3 、 SO_2 : 35 mg/m^3 、 NOx : 50 mg/m^3 。

《水泥厂大气污染物排放标准(GB4915)》分别于1985年、1996年、2004年和2013年修订,各版本的最严格限制值分别为 150 、 100 、 30 mg/Nm^3 ;2004版本规定,2006年7月1日起至2009年12月31日止,热力设备颗粒物排放浓度限值为 100 mg/Nm^3 ;自2010年1月1日起,区别执行排放限值的过渡期结束,不论新建或现有生产线,一律执行:颗粒物最高允许排放浓度由原来 50 mg/Nm^3 (通风设备)和 100 mg/Nm^3 (热力设备)提高到 30 mg/Nm^3 (通风设备)和 50 mg/Nm^3 (热力设备),并对单位产品排放量进行了严格的限制;2013年修订环保部12月5日审议并原则通过的标准,对水泥工业的大气污染物排放限值进行调整,又进一步提高到 10 mg/Nm^3 (通风设备)和 20 mg/Nm^3 (热力设备),对重点污控区也做了进一步的严格规定。

环保部已于2012年6月27日发布了钢铁行业污染物排放系列标准(8项标准),该标准从2012年10月1日起开始实施。标准规定自2015年1月1日起,根据不同工艺,颗粒物排放限值在 $15\sim 50\text{ mg/Nm}^3$,而环境敏感地区的排放限值更为严格。国外发达国家钢铁企业颗粒物排放现状在 $10\sim 30\text{ mg/Nm}^3$,可见,我国钢铁排放标准已与国外先进水平接轨。

1.3 2014-2015年国内对污染控制涉及的重点行业的污染控制管理现状

目前,我国烟尘控制管理水平基本与世界同步,烟尘(粉尘)排放达标率在95%以上。除了颁布排放标准,对生产过程产生的污染物进行全过程控制外,我国各个污染排放行业都实行“三同时”制度、环境影响评价制度、排污收费制度、污染物总量控制制度、排污权申报与排污许可证制度(简称许可证制度)、限期治理污染制度和实行关停并转制度,用以保证环境目标的可达性。

近年,国家环保部加大了对环境技术管理体系建设力度,组织制订了包括钢铁、电力、化工等多个行业污染防治技术政策、污染防治最佳可行技术指南、环境工程技术规范等技术指导文件。上述技术指导文件与环境管理政策相辅相成,为管理部门、环保企业以及污染排放企业提供了必要的技术支撑和技术规范,为环保标准的实施起到有力的助推作用。

2 主要技术发展情况

2.1 主要技术发展情况

2.1.1 袋式除尘技术

2.1.1.1 袋式除尘技术推广和应用情况

袋式除尘器作为高效去除颗粒物的装备完全可以大幅度降低烟尘和粉尘的排放量,是解决我国我国烟粉尘排放重要技术与装备。袋式除尘器设计选型由原来的高滤速、高阻力、短寿命转变为高效、低阻、长寿命,追求优良的节能减排综合效应,具体体现在钢铁炉窑除尘、燃煤电厂锅炉烟气除尘、水泥窑头窑尾烟气除尘、垃圾焚烧烟气净化领域迅猛推广应用袋式除尘,并取得显著成效。

(1) 水泥行业

水泥行业是重污染行业之一,以往水泥厂周边 1-2 公里均会落有厚厚一层水泥尘。2004 年在广州某水泥厂建设 5000T/d 水泥生产线改造时,国内科技人员在累积几十年除尘经验基础上,比照国外环保设计要求,研发出大型低阻长袋在线/离线脉冲清灰除尘器,处理风量 100 万 m^3/h ,烟气温度 240°C ,滤袋使用寿命达到 6 年,设备运行阻力低于 1200Pa 以下,烟尘排放浓度 $10 \text{ mg}/\text{m}^3$ 以下;达到了国际上严苛的环保要求,不仅满足了此生产线的要求,为后来我国 5000T/d 到 12000T/d 生产线的技术推广扫清了水泥厂烟尘排放能否达标的重大环保障碍。

近年来,水泥行业整条工艺线采用袋除尘,特别是窑头、窑尾由电除尘改为袋式除尘器,使得水泥厂厂区一改过去脏乱景象,不少已成为花园式清洁工厂。

(2) 钢铁行业

钢铁行业亦是重污染行业之一,钢铁行业袋除尘技术进步的典型代表是高炉煤气除尘净化。高炉在炼铁过程产生大量高炉煤气,5000 m^3 以上高炉每小时产生 90 万 m^3 左右的高炉煤气。高炉煤气中含有大量 CO 和少量氢气,是宝贵的能源;但是,粗煤气中含有大量粉尘,必须经过净化处理才能应用。传统高炉煤气采用文氏管湿法降尘,该方法不仅热损失大,净化效率低,而且消耗大量水资源并产生严重水污染。

上世纪 90 年代我国科技人员在世界上率先开展高炉煤气袋除尘净化研究并取得成功;我国研发的脉冲清灰高炉煤气净化袋式除尘技术,采用惰性气体清灰及输灰等技术,从根本上避免了高炉煤气干法净化的燃爆问题。

该技术具有高效稳定的净化效率,净煤气含尘量低于 $5 \text{ mg}/\text{m}^3$ 以下,从根本上革除瓦斯泥以及污水处理的庞大设施及对环境的严重污染,充分利用高炉煤气的压力能,热能,增加了余压发电发电量 30-50%,节能 40%~50%、节水 80%~90%,节省投资 30%~40%,降低运行能耗 60%~70%,该项技术是具有国际领先的技术。

(3) 电力行业

我国多家单位共同完成的国家“十五”863 项目,焦作电厂 200MW 机组电除尘改为袋除尘,张家港沙洲电厂 600MW 机组袋除尘,宝钢自备电厂的电改袋,上海外高桥 300MW

×4 机组电改袋为典型的燃煤电厂袋除尘应用,显示了火电行业高效控制烟尘排放,实现国家和地方制定的排放低于 30 mg/m^3 , 20 mg/m^3 的现实状态和广阔前景。

这些项目系统阻力低于 1200 Pa ,有的还低于 800 Pa ,烟尘排放浓度均低于 20 mg/m^3 ,滤袋使用寿命最长达五年以上。

(4) 新能源开发和节能工程应用

在一些新能源开发和节能工程中,袋式除尘器作为重要环保设备提供了有力的支撑。

在“煤制油”的新能源开发项目中,作为煤粉的收集设备,袋式除尘器是不可缺少的。高炉煤气余压发电具有重大的节能价值,采用干法袋式除尘器净化高炉煤气比湿式净化可增加发电 $30\% \sim 40\%$,节水 $80\% \sim 90\%$,节省投资 $30\% \sim 40\%$,节省运行能耗 $70\% \sim 80\%$,煤气的热值大幅度提高,净煤气的含尘量更低、净化效果更稳定,环境经济效益十分显著。占我国煤炭保有资源量 12.69% 的褐煤,需经提质处理后方可使用,而袋式除尘器是该提质工艺中不可替代的设备。

2.1.1.2 袋式除尘技术的进步和发展

近几年我国袋式除尘应用技术的水平有很大提高,袋式除尘器在我国各行业已经得到广泛的应用。在钢铁、有色冶金、建材、动力、化工、粮食加工行业和炉窑烟气净化中,各种复杂环境和不利因素都被克服,袋式除尘技术的应用领域不断扩大。

袋式除尘技术在燃煤电厂锅炉烟气除尘应用越来越多,滤袋平均使用寿命 3 年左右,也有的超过 4 年或更长。用于 300 MW 机组的袋式除尘器已很普遍,与 $2 \times 660 \text{ MW}$ 机组配套的脱硫、脱硝除尘一体化的袋式除尘机组已经投入运行。

2014-2015 年我国袋式除尘技术的发展体现在主机、滤料、自动控制的质量和和技术水平普遍提高,耐高温、耐腐蚀特种纤维和复合滤料的研究、开发、生产等方面取得突破,高端纤维的国产化带动了国产高端滤料的发展。PTFE 纤维、PPS 纤维、聚酰亚胺纤维和芳纶纤维的国产化,使原来进口滤料占据主要市场的垃圾焚烧、燃煤电厂锅炉、水泥窑尾、窑头、钢铁等行业的袋式除尘器使用国产滤料比例越来越大,高端滤料的国产化率显著提高。袋式除尘器对于烟气的高温、高湿、高浓度以及微细粉尘、吸湿性粉尘、磨琢性粉尘、易燃易爆粉尘有了更强的适应性,在加强清灰、提高效率、降低消耗、减少故障、方便维修方面达到了更高的水平。袋式除尘技术开发和创新具体表现在以下几个方面:

(1) 袋式除尘器的设备结构大型化(如处理烟气流 $200 \text{ 万 m}^3/\text{h}$ 以上),适应大型燃煤锅炉机组和钢铁、水泥窑尾的烟气净化。

(2) 低阻、高效袋式除尘器结构的创新,袋式除尘系统阻力长期在 800 Pa 以下运行已经很常见,适应国家节能减排的需要。

(3) 以合理清灰强度为特征的清灰技术的进步,满足长滤袋清灰要求。

(4) 开发出气流分布技术和计算机数字模拟技术,满足大型袋式除尘器合理气流分布、延长滤袋使用寿命的要求。

(5) 特殊滤料所需 PPS、PTFE、聚酰亚胺和芳纶国产纤维的开发,满足电厂、钢厂、水泥厂和垃圾焚烧烟气净化的复杂工况对滤料的要求。

(6) 超细(亚微米级)纤维的研发,以提升 $\text{PM}_{2.5}$ 的控制效果。

(7) 脱酸加除尘的复合式袋式除尘器的研发和应用,满足干法脱酸除尘工艺的需求。

(8) 脉冲阀性能和技术的技术升级,适应袋式除尘器高强度清灰和稳定运行的要求。

(9) PLC、DCS 控制技术升级和模块化产品,可分别满足大型和中、小型除尘系统的控制要求。

2.1.1.3 主要企业的经营和发展情况

2014-2015 年袋式除尘行业初步出现了较具品牌优势的骨干企业,在这些企业中,江苏科林、天澄环保、江苏瑞帆、上海凌桥主要服务于钢铁行业;江苏新中、浙江菲达、浙江洁达、福建龙净、武汉凯迪、清华同方主要服务于电力行业;合肥水泥院、天津仕名、河南中材、浙江洁华主要服务于水泥行业。这些企业年产值都在亿元以上,企业规模已进入我国中型企业的范畴。其中龙净、菲达、科林环保、三维丝、安徽盛运和际华集团已是上市公司,袋式除尘行业中还有一批企业正在培育,准备上市。

纤维、滤料、配件生产的骨干企业主要有:泰和新材、得阳新材、长春高琦,厦门三维丝、抚顺恒益、南京三五二一、上海凌桥、上海博格、中材科技,上海袋配、苏州协昌、上海尚泰等。

2.1.2 电除尘技术

2.1.2.1 电除尘技术推广和应用情况

电除尘技术经过几代人的艰苦奋斗,行业由小到大,逐年发展,如今已形成装备精良、配套齐全的一个行业。目前我国从事电除尘器生产的企业有 200 多家,还有一批高等院校和科研、设计院(所)。我国生产的电除尘器不仅能满足国内需求,还有相当部分出口至几十个国家和地区,虽然受全球金融危机的影响,近几年来出口量仍在 15 亿元到 30 亿元之间,电除尘行业已经成为我国环保产业中能与国外厂商相抗衡且最具竞争力的一个行业。

电除尘器是具有高效率、低排放、低能耗且无二次污染的除尘设备,对国内大部分烟尘具有广泛的适应性。中国电除尘行业经过 30 多年的发展,技术水平有了长足的进步,电除尘新技术进一步提高了电除尘器的除尘效率,扩大了电除尘器的适应范围。在达到特别排放限值和 $PM_{2.5}$ 治理需求背景下,电除尘新工艺彰显了非常突出的优势。但各种技术都有其优点和局限性,实际应用时,需根据实际情况合理选择。

(1) 低低温电除尘工程

当前,低低温电除尘技术在宁德电厂 2X600MW 机组、潮州电厂 2X600MW 机组、宁夏宁东电厂 2 号 600MW 机组、内蒙古通辽电厂 5 号 600MW 机组、河源电厂 1 号 600MW 机组等数十台燃煤机组上已成功实施,应用前景广阔。

(2) 湿式电除尘工程

国内已有多个电厂签订湿式电除尘器合同或确定采用此技术。浙能六横 2×1000MW 机组、山东华电淄博热电厂 330MW 机组提效改造工程、宁波中华纸业 2×50MW 机组等已签订湿式电除尘器合同。嘉兴三期 2×1000MW 机组、浙能台州 2×1000MW 机组、温州发电厂 2×600MW 机组等已确定采用此技术,烟尘排放要求均小于 5 mg/m^3 。

(3) 移动电极式电除尘技术

河北衡水发电厂二期 300MW 机组电除尘器改造;华能北京热电#3 炉 200MW 机组电除尘器改造;靖远第二发电有限公司#6 炉 300MW 机组电除尘器提效改造;江阴苏龙热电有限公司#1、#2 炉 135MW 机组电除尘器提效改造。

(4) 机电多复式双区电除尘技术

华能重庆珞璜发电有限公司一期#2炉360MW机组提效改造工程中应用机电多复式双区技术及高频电源等新技术集成,第一、二电场采用高频电源,第三~五电场采用三相电源,第五电场采用机电多复式双区技术。

(5) 高效电源技术

电除尘器供电电源设备是电除尘器的控制核心,其控制策略和技术水平直接影响电除尘器的除尘效率和运行能耗。为实现电除尘器的提效节能,电控设备成为世界不断攻关的方向,并取得快速发展。

近年来,高频电源、中频电源、三相电源等供电电源技术的研发成功,以及智能节能的先进控制方法不断推出,使电除尘器的提效节能得以实现。电除尘委员会于2013年6月出台了《电除尘器供电电源装置选型设计指导书》,内容科学、翔实,旨在推动电除尘行业供电装置及提效节能运行控制的技术进步,指导电除尘行业科学合理地进行供电装置的选型设计,帮助电除尘使用者和设计者掌握各种供电装置的性能特点,引导用户合理选用供电装置并有效管理运行。

2.1.2.2 电除尘技术的进步和发展

(1) 低低温电除尘技术

低低温电除尘器是在燃煤锅炉汽机系统中,采用汽机冷凝水与热烟气通过特殊设计的换热装置进行气液热交换,使得汽机冷凝水得到额外的热量,以减小汽机冷凝水低压加热器(以下简称“低加”)回路系统中所消耗的抽汽量,从而实现少耗煤多发节省煤耗的目的。

烟气换热降温后进入低低温电除尘器电场内部,其运行温度由通常的低温状态(120~170℃)下降到低低温状态(85~110℃),烟气的体积流量得以降低,相应地,电场烟气通道内的烟气流速也得以降低,同时由于烟温降低使得烟气的粉尘比电阻降低,使电除尘效率得到大幅提高,满足排放标准。

①低低温电除尘器技术的主要技术特征是:

②减少烟气量,降低电场风速,降低烟尘比电阻,提高电除尘效率。

③开发配套烟温调节与电除尘自适应控制系统,适应性好,运行稳定。

④综合应用高频、新型阴阳极极配、CFD气流分布优化、振打控制优化等电除尘技术,形成采用众多新技术的黄金组合,满足国家最新粉尘排放标准要求。

⑤热量循环利用,降低发电煤耗1.0~3.5 g/kwh(具体与降温幅度大小相关)。

⑥提高SO₃去除率,解决SO₃腐蚀难题。

⑦采用复合翅片/销钉管排技术,可成排或模块化设计出厂,换热效果好。

⑧针对粉尘浓度较高等工况,特别采取“四防(防磨损、防低温腐蚀、防积灰、防泄漏)”措施,确保换热器长寿命使用要求。

(2) 湿式电除尘技术

湿式电除尘的原理与干式电除尘类似,都需要经历荷电、收尘和清灰三个过程。但在湿式电除尘器里,水雾使粉尘凝并,荷电后一起被收集,收集到极板上的水滴形成水膜,可以使极板保持洁净。其性能不受煤灰性质影响,没有二次扬尘,没有运动部件,因此运行稳定可靠,除尘效率高。此外,湿式电除尘器对SO₃、PM_{2.5}等细微颗粒物有很好的脱除效果,能够解决湿法脱硫带来的石膏雨,蓝烟酸雾等污染问题,还可缓解下游烟道、烟窗

的腐蚀，减少防腐成本。

虽然国外湿式电除尘技术很成熟，但引进费用高，且由于国情的差异，部分技术难以直接使用。为了从根本上解决我国燃煤电站的污染物排放问题，国内投入了大量的人力、物力和财力进行国产湿式电除尘器的研发。这项技术的自主开发具有十分重要的意义，已被列入国家 863 计划。

该技术具有如下特点：

①科学喷淋，用水量省。喷淋系统建立在实验研究的基础上，配置科学，参数合理，水膜分布均匀，可高效清灰，用水省。

②高效分离，废水循环利用。研究的废水处理循环利用系统，可以将废水中和除酸，并通过高效分离去除悬浮物，实现循环使用。

③机电配合，提效节能。针对湿式电除尘器带水工作的特殊性，研制了新型高压供电系统，能有效配合喷淋系统，运行平稳，输入功率高，除尘效率高。

④特殊设计，抗腐蚀性好。针对湿式电除尘器各部件的特点，合理地选择结构材料。壳体采用普通碳钢，内衬优质涂层进行防腐。

⑤结构紧凑，占地少。湿式电除尘器结构紧凑，可以在有限的场地内，布置足够多的收尘面积，确保湿式电除尘器高效率的同时，减少占地需求，能适应场地狭窄的电厂布置使用。

在湿法脱硫系统后加装湿式电除尘器，可轻松达到以下目标：①满足当前国家排放标准要求，稳定实现超低排放，可达到 10 mg/m^3 以下。②有效脱除 $\text{PM}_{2.5}$ 微细粉尘和气溶胶，满足更长远的国家空气质量控制要求。③有效脱除 SO_3 ，缓解下游烟道、烟囱的腐蚀，减少防腐成本。④解决湿法脱硫带来的石膏雨，蓝烟酸雾等环境污染问题。

目前国内已有数台燃煤机组成功应用湿式电除尘技术，其性能测试结果表明：排放远低于国家新标准要求，可达 10 mg/m^3 以下，应用前景广阔。

2.1.2.3 主要企业的经营和发展情况

我国电除尘行业在起步较晚的情况下能够获得较快的发展，主要是由于适应了市场需求，同时有赖于一批能与世界知名公司相媲美的骨干企业。浙江菲达环保科技股份有限公司和福建龙净环保股份有限公司是我国电除尘行业中的领军企业，是骨干企业中的佼佼者。

据不完全统计，目前我国从事电除尘技术研究、设计、高校及生产、安装的企业达 200 多个。在生产企业中，主要包括电除尘器本体，电除尘器供电电源及其相关的配套件企业。真正形成了一个装备精良、配套齐全的行业。使我国在较短时间内，成为电除尘设备生产大国。在该领域的世界科技排名位居前列。我国生产的电除尘器产品不仅能满足国内的要求，还有大批量的产品出口到数十个国家和地区。

国内目前具有 1000MW 超超临界机组配套电除尘器设计、生产、制造能力的企业，除浙江菲达、福建龙净外，还有天洁集团、兰州电力修造厂。仅上述四个企业的员工超万人。天洁集团和兰州电力修造厂，也都是 20 世纪 70 年末诞生的老牌企业。天洁集团是电除尘行业最大的民营企业，经营灵活有业绩，是行业企业的有力竞争者；兰州电力修造厂是国营老牌大厂，依托电力系统，特别是在西北和华北有较大的影响力。福建东源也是电除尘行业中的上市公司企业，该公司虽然起步较晚，但上市后正在发挥自己的优势，进行市场整合，在安徽蚌埠建设了规模较大的环保产业基地。上海冶矿、宣化冶金、河南中材、

西安西矿、北票波迪、浙江东方、福建卫东、杭州天明、浙江绿洲、山西电力、安徽意义等一批骨干企业,虽然规模不像上市公司那么大,但也都各具特色。在不同领域各具很强的竞争实力。

在供电电源企业中,除了机电一体化的福建龙净、浙江菲达以外,目前南京国电、宁波天元、龙岩五环、浙江佳环、大连电子、国电南自、金华大维、厦门绿洋等都显示出较强的实力。这些企业开发的高频电源、中频电源、三相电源以及智能化的常规电源也都在不同的领域获得广泛应用。

2.2 我国自有知识产权技术的竞争力评价

我国除尘技术发展很快,目前不论生产规模,还是加工装备水平,都已接近世界先进水平,我国的除尘技术除了满足国内需求,还有部分产品出口到世界数十个国家和地区,一般主要是发展中国家,有些发达国家也成套进口了我国的除尘设备。但是,我国除尘技术与国际先进技术相比,仍有一定差距,主要表现在:

(1) 袋除尘器耐高温、耐腐蚀滤料 PPS、P84、PTFE 及复合滤料和玻纤覆膜材料,在我国均有生产,但其质量与国外产品相比尚有明显差距,在市场占有率方面,仍然是国外产品占统治地位。

(2) 袋除尘器国产的脉冲膜片寿命普遍较短,部分零件的质量较差,从而导致脉冲阀性能不稳定。

(3) 电除尘供电电源的技术性能近年来又有不小进展,但可靠性较国外先进水平还具有一定的差距。电除尘器的应用领域有待于进一步开拓,对于高浓度、高温、高比电阻及腐蚀性气体的除尘应用受到限制。

(4) 除尘设备的设计及制造水平不高,钢耗和能耗高于国外先进水平。

3 主要问题分析

3.1 袋式除尘行业发展存在问题及建议

袋式除尘行业从绝对产值而言仍很弱小,与我国的经济发展规划远远不相适应。我国钢铁、水泥、有色冶金产量都居世界第一,其他一些行业的产量也在全球名列前茅,这些都是工业烟尘和粉尘污染严重的产业;我国烟尘的排放居世界前列,全国各地的灰霾天气频繁出现。由此看来,包括袋式除尘在内的我国环保产业还有很大的发展空间,袋式除尘将起到举足轻重的作用。建议如下:

3.1.1 袋式除尘行业的发展需要国家的支持

国家前几个五年计划期间,曾将袋式除尘技术和电除尘技术的研究开发列入国家攻关计划,安排了不少重点项目,对除尘技术和产业的发展起了极大的推动作用。改革开放后是袋式除尘技术大发展时期,研究开发主要是对引进技术和设备进行消化、移植,并部分创新,袋式除尘技术和装备才有今天这样的局面。当前,国家提出了更严格的环保要求,PM₁₀、PM_{2.5}、二噁英、汞等的控制均对袋式除尘技术提出了新要求,技术创新和新产业

仍然需要国家在财力、税收优惠等方面的扶持和支持。

3.1.2 袋式除尘行业需要不断技术创新，推出具有自主知识产权的技术和产品

在技术创新方面，鉴于企业目前的实力仍不够强，单靠企业自身的力量难以实现预期的目标，仍然需要有关部门予以支持。袋式除尘行业将根据国家环保形势和国内实际情况，联合相关高校、科研机构、企业构建团队，加强向国家有关部门的科研立项工作，提高企业的自主创新能力。

3.1.3 进一步提高产品质量，增加竞争力，打造名牌产品，扩大国内外市场份额

目前袋式除尘行业内的小微企业居多，集中度不够。很多企业的设备水平和管理水平较低，企业的生产规模和产值不大，在高端市场还没有形成很强的竞争力，这种现象在滤料生产企业中尤为突出。应继续为袋式除尘行业的骨干企业提供技术咨询，继续培养骨干企业，加大产业化和工程化的力度，促进骨干企业做大做强。支持推动行业内有条件的企业并购重组，提高产业集中度。袋委会将一如既往，向会员企业提供技术咨询和技术服务，帮助企业解决生产和工程中的技术问题。

积极打造国际品牌，继续参与国际间的技术交流和鼓励有条件的企业走向国际市场。为适应袋式除尘技术应用领域不断扩大的形势，袋委会将在袋式除尘技术在垃圾焚烧行业和火电行业的应用方面继续指导和培训相关企业。

3.1.4 其他

袋式除尘行业标准不完善，包括覆膜、涂膜滤料标准，两种及两种以上纤维的复合滤料标准。新技术和新产品不断出现，规范和标准的现状已经满足不了行业的发展需求。袋式除尘器产品标准体系尚未完善，多部委、多途径同时申报的现象突出，局面混乱，没有做到归口管理。针对目前这种状况，鼓励有条件的企业参与国家和各部委的规范、标准制定。

继续与其他行业联合，把本行业的先进技术和产品推向更广阔的市场，扩大袋式除尘技术的应用领域。为进一步推进国内外袋式除尘企业与其他行业用户间的交流与合作，将努力搭建最具实效的对话平台，使袋式除尘企业与用户单位更紧密地接触交流、彼此了解，共同探讨和促进袋式除尘产业的发展。

3.2 电除尘行业发展存在问题及建议

3.2.1 烟尘排放标准的频繁修订导致除尘设备的更新换代跟不上脚步

我国的排放标准修订频次远高于其他国家。从1973年首部排放标准至2011年，共经历了4次修订。

1973年的《工业“三废”排放试行标准》，对燃煤电厂的烟尘排放以烟囱数量和烟囱高度共同来规定全厂小时排放量限值，电厂大部分采用旋风、多管等机械式除尘器，除尘效率一般低于85%。

1991年《燃煤电厂大气污染物排放标准》(GB 13223-91)，以三电场电除尘、高效水力除尘器的技术水平确定排放限值除尘效率大于95%。

1996年修订为《火电厂大气污染物排放标准》(GB 13223-1996),开始以电厂建设或环评批复年为标志划分时段,以三、四电场除尘器技术水平确定排放限值除尘效率大于98%。

2003年修订为《火电厂大气污染物排放标准》(GB 13223-2003),重新时段调整,以四电场、五电场高效电除尘器、布袋除尘器的技术水平确定排放限值,除尘效率大于99%。

2011年修订为《火电厂大气污染物排放标准》(GB 13223-2011),再次重新调整时段按五电场或更高的电除尘器、袋式除尘器的技术发展水平确定排放限值,同时考虑到湿法脱硫系统的部分除尘作用,除尘效率大于99.5%。

欧盟、美国每次标准的修订都是针对新建燃煤电厂,现役燃煤电厂基本遵循原排放标准的限值要求;而我国新修订的标准基本上针对的是所有的机组(包括现役机组),对新建机组直接进行更高标准的限制,对现役机组则要求在2年内执行更加严格的标准。如,2003年环评报告书得到批复的机组于2005年投产,但要求2005年1月1日、2010年1月1日分别执行 200 mg/m^3 、 50 mg/m^3 的标准;再如对2009年批复的环评报告机组执行 50 mg/m^3 的限值要求,如2011年投产,当到2014年7月1日需执行 30 mg/m^3 的限值标准,即机组还没有到大修期,除尘设备就需要进行提效改造。

还应该指出的是,鉴于我国标准的频繁修订,使一些人误以为电除尘器不能达标排放。电除尘器的设计是量体裁衣,标准提高后,不能达标排放不是电除尘技术本身存在的问题,更不是电除尘技术解绝不了的问题。

3.2.2 电除尘设备存在的问题

(1) 电除尘器存在的主要问题如下:电场数偏少,比集尘面积偏小;实际燃煤种与设计煤种偏差大;对粉尘特性较敏感;安装及调试存在缺陷。

(2) 电袋复合除尘器存在的主要问题如下:应用时间短,积累经验少;设备压力损失较大;滤料对烟气温度、烟气成分较敏感;旧滤袋资源化利用率较小;一般不能在100%负荷下在线检修。

(3) 传统系统工艺存在的主要问题如下:SCR脱硝装置中 NH_3 过喷易产生过量的粘性硫酸氢铵,使空预器和除尘器的性能下降。

(4) 遗留问题:由于历史原因,之前执行的国家“大气污染物排放标准”比较低,早期设计是根据当时的标准设计,由于标准低,电除尘器比集尘面积普遍偏小,同时由于我国燃煤资源调配等原因,电厂实际燃煤种偏离设计值的情况十分突出,所以部分电厂的电除尘器出口浓度超标。同时由于污染物控制种类的不断增多,不同设备间的相互影响、相互作用及对运行安全等方面的问题逐渐凸显,例如在燃煤电厂传统工艺流程中,烟尘控制主要靠湿法脱硫前端的除尘装置实现,但不能控制后端湿法脱硫产生的细微颗粒粉尘。另外,由于我国燃煤电厂平均燃煤灰分接近30%,发达国家一般在10%以内,这就意味着即便是与发达国家的排放限值标准相同,我们也需要更高的除尘技术。

(5) 市场机制不健全

我国市场机制不健全,导致秩序混乱、低价竞争、行业垄断、政府垄断现象严重。特别是行业组织相关经济政策更是个薄弱环节。虽然有市场招投标,但一般是形式摆设,往往是不管优劣,大都低价中标。

行业企业背景不同,存在着工程项目的限制条件,导致竞争环境不公平,影响行业的正常发展。

我国电除尘的许多电源企业及配件企业,规模虽小,但开发能力很强。由于规模小,融资和贷款困难。加上经营成本的增加较快,使得小企业举步维艰。

3.2.3 解决对策及建议

(1) 提高企业技术开发能力

面对竞争越来越激烈的市场,以及市场中越来越诱人的前景,但有些企业,特别是技术开发能力比较差、运作不规范的中、小企业,在激烈的市场竞争中,举步维艰,或者倒闭,或主动淡出。以电除尘器行业为例,专家指出,目前中国的电除尘市场需求满足不了企业的生产能力,寻找新的出路是企业持续发展的关键。记者了解到,为了规避生产单一产品带来的风险,许多电除尘企业纷纷努力开拓相关领域的市场,将过剩的生产力转向烟气脱硫、袋式除尘器、污水处理、垃圾处理及综合利用等方面。通过一段时间的研究、开发及引进、消化、移植,已经取得较大进展,提升了企业综合实力。为了适应中国环保事业及国际市场竞争的需要,除尘行业还应该进一步加大技术开发力度,加强国内学术交流,积极参加国际行业学术活动,及时掌握新的国际动态,不断促进行业的技术进步。

(2) 向以服务为中心转变

全球化和信息化潮流改变了企业竞争的环境,也改变了企业竞争的规则,一般制造业呈现利润递减趋势,知识密集型服务业呈现利润递增趋势,硬件产品利润越来越薄,软件产品特别是系统产品利润越来越丰厚。企业竞争的重点正从产品制造转向为客户服务,从硬件产品转向软件产品和系统产品。

促进行业发展的最好办法是通过技术创新,重点突破,围绕国家出台的新排放标准,提高电除尘技术的针对性和适应性,实实在在地提高除尘效率,并建立一些样板工程。应该指出的是,在过去的一年,浙江菲达、福建龙净这两个龙头企业,在新技术研发方面树立了榜样。特别是目前我国已经出现局部区域性大面积复合污染物的治理,行业中的骨干企业开发的新技术大有用武之地,也为电除尘的进一步发展提供了更大空间。

健全环保市场管理机制,真正形成统一开放的市场,促进公平、公正竞争。制定积极扶持骨干企业的自主创新机制,以及建立高新技术产业化的激励机制,进一步推进电除尘技术的进步和产业升级。

(3) 加大电除尘新技术的开发研究,使新技术的发展能满足不断提高的排放标准要求。

(4) 加大电除尘技术在各行业的宣传力度,制定有效地技术路线,形成可靠的达标工艺,保证电除尘器在各行业的广泛应用。

(5) 大力发挥电除尘委员会的协调沟通作用,加强同行业的交流与合作,避免恶性竞争,使电除尘市场稳定有序的发展。

(6) 国家在政策方面应有鼓励采用电除尘新技术、新工艺实施的激励措施。

4 建议

4.1 袋式除尘行业发展展望

4.1.1 净化微细粒子的技术和装备

袋式除尘器虽然能够有效捕集微细粒子,但以往未将微细粒子的捕集作为技术发展的重点。面临微细粒子,袋式除尘技术需要进一步提高捕集效率、降低阻力和能耗。针对 $PM_{2.5}$ 超细粉尘的捕集,研究和开发主机、超细纤维和滤料、测试及应用技术。

新一代专门针对水泥行业、燃煤电厂、钢铁冶金几大重污染行业的 $PM_{2.5}$ 超细粒子的水刺滤料研制为核心,利用计算机模拟设计超大规模除尘系统的风流均布优化、高效节能清灰技术、滤袋 $PM_{2.5}$ 低能耗高效率捕集、滤袋失效防护与寿命延长技术、除尘装备可靠性保障技术、粉尘运输与其他配套技术、袋式除尘器协同脱汞技术、 $PM_{2.5}$ 监测技术,开发低阻、高效、气流分布合理、安全和快装化的大型主机设备,建立三大重污染行业 $PM_{2.5}$ 超细粒子的示范工程。

4.1.2 协同净化有害气体的袋式除尘技术和装备

特别应当研究和开发垃圾焚烧尾气处理用去除有毒有害气体和除尘一体化系统,研究和开发去除重金属的技术和装备。

4.1.3 开发新的应用领域

铁矿烧结机的机头烟气采用“ESP+CFB+BF”组合的脱硫除尘一体化处理技术已有成功应用实例,应扩大袋式除尘技术在烧结机头烟气脱硫除尘系统的应用。

4.1.4 进一步降低袋式除尘器的能耗

袋式除尘器在降低阻力方面已经取得很大的进步,但考虑到“节能减排”的大目标,考虑到今后袋式除尘器的应用越来越广的局面,仍需加强研究,以期进一步降低袋式除尘器的阻力和能耗。

4.1.5 耐高温滤料纤维和水刺滤料的开发研究

我国耐高温滤料纤维的开发和生产虽取得一些进展,但质量与国外产品尚有不同程度的差距,还需要加强这些产品的开发研究。

水刺滤料是采用高压水射流纤维环绕抱合与成毡技术到喇叭状三维滤料结构,表面具有像膜一样的超纤布状非织造特征,并经 PTFE 膨泡涂覆等功能性加工形成高效过滤材料。水刺滤料突破了纺粘产品用作过滤材料的局限性,具有过滤精度高、阻力小、易清灰、使用寿命长等特点,过滤效果满足 $PM_{2.5}$ 控制要求,是我国烟尘标准从目前的总尘控制提高到 $PM_{2.5}$ 控制的更新换代产品,全球尚没有用于烟气除尘的水刺滤料产品,该产品与现有针刺工艺相比,生产效率提高 10 倍,原材料节省 20%,各项性能指标可以达到世界领先

水平，对提升我国环保过滤产业的技术水平有极其重要的意义。

4.1.6 研发超高压袋式除尘技术和设备

水煤气行业正向高压制气方向发展，压力越高，产气率越高。国内拟建设工作压力 0.6~1.0MPa 的制气系统，随后的目标是建设压力 3~4MPa 的制气系统。能适应这种高压的袋式除尘技术和装备，是亟待研究的课题。

4.1.7 提高脉冲阀产品的质量和性能

脉冲喷吹是我国袋式除尘器目前主要的清灰方式，其主要部件是脉冲阀。长期以来，我国大型和重要的袋式除尘项目，脉冲阀市场还是由国外企业所控制。

客观而言，我国脉冲阀的喷吹性能（即清灰性能）不亚于国外产品，某些指标甚至优于国外产品。但我国脉冲阀早期存在膜片寿命较短的缺点，有的零件质量（包括材质）不够好，从而导致脉冲阀性能不稳定。现在虽然有很大进步，但与国外产品仍有差距。加上在用户中未能建立信誉以及企业竞争力等原因，一直未能占领主要的市场。

4.2 电除尘行业发展展望

（1）提高企业技术开发能力

面对竞争越来越激烈的市场，以及市场中越来越诱人的前景，但有些企业，特别是技术开发能力比较差、运作不规范的中、小企业，在激烈的市场竞争中，举步维艰，或者倒闭，或主动淡出。以电除尘器行业为例，专家指出，目前中国的电除尘市场需求满足不了企业的生产能力，寻找新的出路是企业持续发展的关键。记者了解到，为了规避生产单一产品带来的风险，许多电除尘企业纷纷努力开拓相关领域的市场，将过剩的生产力转向烟气脱硫、袋式除尘器、污水处理、垃圾处理及综合利用等方面。通过一段时间的研究、开发及引进、消化、移植，已经取得较大进展，提升了企业综合实力。为了适应中国环保事业及国际市场竞争的需要，除尘行业还应该进一步加大技术开发力度，加强国内学术交流，积极参加国际行业学术活动，及时掌握新的国际动态，不断促进行业的技术进步。

（2）向以服务为中心转变

全球化和信息化潮流改变了企业竞争的环境，也改变了企业竞争的规则，一般制造业呈现利润递减趋势，知识密集型服务业呈现利润递增趋势，硬件产品利润越来越薄，软件产品特别是系统产品利润越来越丰厚。企业竞争的重点正从产品制造转向为客户服务，从硬件产品转向软件产品和系统产品。

促进行业发展的最好办法是通过技术创新，重点突破，围绕国家出台的新排放标准，提高电除尘技术的针对性和适应性，实实在在地提高除尘效率，并建立一些样板工程。应该指出的是，在过去的一年，浙江菲达、福建龙净这两个龙头企业，在新技术研发方面树立了榜样。特别是目前我国已经出现局部区域性大面积复合污染物的治理，行业中的骨干企业开发的新技术大有用武之地，也为电除尘的进一步发展提供了更大空间。

健全环保市场管理机制，真正形成统一开放的市场，促进公平、公正竞争。制定积极扶持骨干企业的自主创新机制，以及建立高新技术产业化的激励机制，进一步推进电除尘技术的进步和产业升级。

(3) 加大电除尘新技术的开发研究,使新技术的发展能满足不断提高的排放标准要求。

(4) 加大电除尘技术在各行业的宣传力度,制定有效地技术路线,形成可靠的达标工艺,保证电除尘器在各行业的广泛应用。

(5) 大力发挥电除尘委员会的协调沟通作用,加强同行业的交流与合作,避免恶性竞争,使电除尘市场稳定有序的发展。

(6) 国家在政策方面应有鼓励采用电除尘新技术、新工艺实施的激励措施。

4.3 尚需配套的政策、法规、标准发展的建议

(1) 结合 2012 年新颁布的《环境空气质量标准》,核算各企业排放指标,确定排放总量指标,完善排污监控及排污费征收。

(2) 除尘行业行业门槛相对较低,从业企业众多,技术和质量水平层次不齐,市场价格竞争惨烈,不利于行业技术进步和质量提升。希望充分发挥政府政策的导向作用,积极扶持骨干企业提高自主创新能力和建立高新技术产业化的激励机制。

(3) 部分市场行业保护现象严重,希望能够健全环保产业的市场管理机制,真正形成统一开放的市场,鼓励竞争,相互发展,促进公正、公平的市场竞争机制,切实实施行业自律,规范监督管理。

燃煤烟气超低排放技术发展报告

燃煤烟气超低排放就是使燃煤机组的大气污染物排放标准达到天然气燃气机组的排放标准，即烟尘排放浓度 5 mg/m^3 ， SO_2 排放浓度 35 mg/m^3 ， NO_x 排放浓度 50 mg/m^3 。燃煤电厂是烟尘、二氧化硫、氮氧化物等大气污染物的主要排放源。

1 所属行业或领域总体概况

1.1 2014-2015 年国内外相关法规、政策、标准体系现状

(1) 2014 年 7 月 1 日起，根据环境保护部《关于执行大气污染物特别排放限值的公告》(2013 年第 14 号) 京津冀、长三角、珠三角等“三区十群” 19 个省(区、市) 47 个地级及以上城市火电行业燃煤机组执行烟尘特别排放限值；

(2) 2014 年国家发改委、环保部、能源局联合印发《煤电节能减排升级与改造计划(2014-2020)》，提出超低排放改造计划，要求东部 11 省市新建燃煤发电机组大气污染物排放浓度基本达到燃气轮机组排放限制(即在基准氧含量 6% 条件下，烟尘、 SO_2 、 NO_x 分别不高于 10 、 35 、 50 mg/m^3)。

1.2 2014-2015 年国内外对污染控制涉及的重点行业的污染控制管理现状

(1) 2015 年 12 月 2 日国务院常务会议决定：全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造，大幅度降低煤耗和污染物排放。会议指出，按照绿色发展要求，落实国务院大气污染防治行动计划，通过加快燃煤电厂升级改造，在全国全面推广超低排放和世界一流水平的能耗标准，是推进化石能源清洁化、改善大气质量、缓解资源约束的重要举措。

(2) 2015 年 12 月 11 日环境保护部、国家发展和改革委员会和国家能源局联合印发《全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造工作方案》(环发[2015]164 号)，要求煤电企业主动承担社会责任，积极采用环境污染第三方治理和合同能源管理模式，加快超低排放和节能改造项目实施，确保改造工程按期建成并稳定运行。

(3) 江苏、浙江等沿海发达省份，当地政府已发文要求燃煤发电机组达到超低排放。要求燃煤发电机组(燃煤锅炉)的排放达到天然气锅炉及燃气轮机排放限值(即在基准氧含量 6% 条件下，烟尘、 SO_2 、 NO_x 分别不高于 5 、 35 、 50 mg/m^3)。

2 主要技术发展情况

2.1 2014-2015年国内外主流技术研发、推广和应用情况、技术的进步和发展

我国大气污染严重,面对我国能源以煤为主的特点,节能减排压力大和雾霾严重危害的背景下,应研究环境污染源头预防、全过程控制和高效治理的对策和技术途径,针对燃煤质采用技术经济可行、高效率能源转化设备和烟气污染控制技术。

通过对国内已建成或正在实施、准备实施采用超低排放技术的燃煤电厂的调查,烟气超低排放采用的技术方案就是对现有的脱硝设备、脱硫设备和除尘设备进行改造提效,使电厂排放的烟尘、二氧化硫、氮氧化物达到清洁排放的要求。总结技术路线如下:

(1) 针对二氧化硫(主要是应用在钙法脱硫装置),对FGD脱硫装置进行改进,采用增加均流提效板、提高液气比、脱硫增效环和脱硫添加剂等方式,实现脱硫提效。

(2) 针对氮氧化物,通过实施锅炉低氮燃烧改造、SCR脱硝装置增设新型催化剂等技术措施实现脱硝提效。

(3) 针对烟尘,采用低温除尘、FGD脱硫装置、湿式电除尘等协同脱除实现高效脱除和超低排放。

此技术已在浙能嘉兴发电厂、浙能六横发电厂、神华国华舟山发电厂等各大企业电厂实施,效果明显,目前正在准备在雾霾严重的京津冀鲁、沿海地区推广,但投资高,占地大,不是所有企业都能适用。

目前国内用于脱硫装置之后去除极细雾滴颗粒的除尘设备主要是湿式电除尘,湿式电除尘器是一种用来处理含湿气体的高压静电除尘器,主要工作原理是:烟气中的雾滴进入湿式电除尘器,靠高压电晕放电使雾滴荷电,在电场力的作用下捕集到集尘(雾滴)板或管,雾滴聚集后随冲洗液带出。

国内燃煤电厂锅炉尾部烟气治理工艺流程一般是由脱硝、除尘器、湿法脱硫(含机械除雾滴装置),烟气进入烟囱。在入口粉尘 $<10\text{ mg}$ 时经过湿式除尘器出口粉尘可 $<5\text{ mg}$,雾滴去除率约为62.9%, $\text{PM}_{2.5}$ 去除率约为75%,气溶胶去除效果较理想。

湿式电除尘具有除尘效率高、压力损失小、操作简单、无运动部件、无二次扬尘、工作于烟气露点温度以下。

湿式静电除尘器接触烟气的部件大量采用耐蚀不锈钢材料,同时运行过程中除了除尘器本体消耗的电量外,辅助的循环水泵等还将消耗部分电量,喷嘴更换和泵的维护也增加了额外费用。

另外,用于粒径较小的极细雾滴去除较多的还有纤维除雾器,在工程上也有应用。纤维除雾器是由单个或多个安装在容器或槽体内的除雾元件组成,不仅可以除去气流中大颗粒雾粒(直径 $>3\text{ }\mu\text{m}$,去除率可达到100%),而且对于除去亚微粒(直径 $<1\text{ }\mu\text{m}$)也非常有效,其作用原理为:通过惯性碰撞、直接拦截、布朗运动原理将雾粒捕集在除雾器单个的纤维上,并逐渐凝聚成大颗粒或液膜,在气流推动力的作用下,穿过纤维床层,并沿床层的内表面在重力的作用下排除床层,达到捕集雾滴净化气体的作用。

纤维除雾器要求过滤风速较低,而实际上,烟气脱硫项目气体流量很大、流速也高,

而滤床却要求较低的过滤速度，是需要解决的问题。

目前国内火电大型锅炉用于脱硫装置之后去除极细雾滴颗粒的除尘设备主要是湿式电除尘，该设备除尘（雾）效果好，但体积大，占地面积较大，能耗高，有污水需要处理，因而投资大，运行费用较高。

2.2 国内主要研发机构工作进展情况

国家环境保护工业资源循环利用工程技术中心及其依托单位亚太环保股份有限公司结合湿式氨法脱硫工艺特点，经过大量的研究工作，与工艺控制相结合开发了运用洗涤凝聚、重力分离、离心力惯性分离，多层液膜形成并阻滞气溶胶的组合式超级除雾技术对不同粒径的尘粒、雾滴分级进行分离，取得了实际的效果，该技术可很好的适用于不同煤质、不同的含硫量和粉尘特性的工况，排放的尘浓度 $\leq 5 \text{ mg/m}^3$ 、 $\leq 10 \text{ mg/m}^3$ 、 $\leq 20 \text{ mg/m}^3$ 。在设备投资上仅为安装湿式电除雾器的 1/4 左右，占地面积小、阻力小、能耗低、无污水处理问题，因而运行费用也远低于湿式电除雾器。

(1) 组合式流体力学超级除雾器的设计原理

鉴于湿法脱硫带液滴（雾滴）大的这一特点，经过对氨法脱硫处理后的排放烟气中烟尘（颗粒物）的监测分析，发现氨法脱硫后的烟气中检测出烟尘由以下几部分组成：

① 燃煤烟气带入的机械尘；

② 水雾滴中溶解的铵盐：

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$ 、 NH_4HSO_3 ，以 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 为主；

③ 气溶胶类（ $< 2.5 \sim 5.0 \mu\text{m}$ ），由排放的游离氨 NH_3 、 SO_2 、铵盐与水雾形成的粒子。因此，排放烟尘应是不可溶性尘（机械尘）和可溶性尘（铵盐及气溶胶）。

燃煤锅炉超低排放技术的关键在于排放烟尘浓度的控制，而排放烟尘的控制关键在于脱除机械尘，难点则是控制脱硫装置本身产生的脱硫副产物颗粒物，即可溶性尘（铵盐及气溶胶）。

本除雾装置是基于从源头及过程综合控制污染物产生量，末端逐级分段削减排放的污染物，从而达到超低排放的要求，实际的生产装置直接针对锅炉烟气的湿式氨法脱硫，应用了下述基本过程：

① 锅炉炉内低氮燃烧烟气经 SNCR 或 SCR 脱硝后，首先强化烟气除尘，控制烟气尘含量 $\leq 20 \text{ mg/m}^3$ ；

② 烟气进入脱硫系统在脱硫阶段首先有效降低烟气温度，根据 SO_2 的气速浓度合理控制吸收液的密度 ρ 、pH 值、吸收液量，在保证脱硫效率的前提下，控制 NH_3 的平衡分压和气溶胶的产生量，同时在湿法脱硫过程中进一步脱除了烟气带入的机械尘约 70%；吸收液合理的组成控制还可进一步减少 NO_x 的排放量；

③ 烟气带出 NH_3 的洗涤：设置了氨除雾器，回收微量氨和可溶硫酸盐，回收的液体返回脱硫系统；

④ 利用屋脊式安装的两级波形折流板的离心力及撞击作用，利用两级改进的除雾结构工艺尺寸的差别，第一级脱除较大粒径（ $> 15 \mu\text{m}$ ）的雾滴，第二级脱除较小粒径（ $5 \sim 15 \mu\text{m}$ ）的雾滴；

⑤ 利用网膜结构、液膜捕集的原理，脱除大部分气溶胶。

实现超低排放,全过程工艺控制污染到末端高效治理是本项技术的基本原则,各项污染物的减排寓于整个工艺流程中,末端的超级除雾装置与脱硫塔连于一体置于塔上,依次包括了除氨雾器、除液滴(雾)和气溶胶。设备紧凑,投资仅为使用湿式电除雾器的1/4左右、系统阻力小、能量充分利用、运行费用低,对不同燃煤锅炉具有很好的适应性。

(2) 示范工程建设与运行情况

无锡友联热电厂4台循环流化床锅炉,蒸发量为 $2\times 100\text{t/h}$ 、 $2\times 150\text{t/h}$,采用了布袋除尘器,布袋除尘器出口尘浓度 $\leq 18\text{ mg/m}^3$,脱硝装置采用SNCR技术, NO_x 排放浓度 $\leq 50\text{ mg/m}^3$,采用炉内喷钙脱硫后 SO_2 浓度 $800\sim 2600\text{ mg/m}^3$ 。采用亚太环保股份有限公司氨法脱硫及组合式超级除雾器技术达到超低排放指标,烟尘、 SO_2 、 NO_x 分别不高于5、35、 50 mg/m^3 ,同时降低逃逸氨的浓度,提高氨利用率。

无锡友联热电厂采用环保型次高温次高压循环流化床锅炉(分别为 $2\times 100\text{t/h}+2\times 150\text{t/h}$),脱硝设施采用SNCR技术,根据该型锅炉的特点设计SNCR保证了还原剂和烟气混合的良好条件,反应时间也较普通锅炉长,有利于进行脱硝反应。工艺上SNCR脱硝与湿法氨法脱硫工艺相匹配,共用氨水配置储存系统,为提高脱硝率保证脱硝达标,经过试验研究脱硝供氨适当过量,脱硝剩余氨直接进入湿法脱硫系统进行脱硫,工艺上保证消除了逃逸氨的问题。除尘采用布袋除尘器,布袋选用PPS基布+PPSE超细纤维,保证了进入脱硫系统的机械尘 $< 18\text{ mg/m}^3$ 。氨法脱硫塔采用四炉二塔,每台塔可处理三台炉的排放烟气共 $480000\text{ N m}^3/\text{h}$,每个塔可根据需要处理两台或三台锅炉烟气。

脱硫塔中烟气以一定风速进入塔内,改进了对烟气的洗涤降温喷淋设备,进一步除去机械尘,并保证烟气降温以适应吸收的温度条件,进入 SO_2 吸收段后控制液气比、吸收液密度、组成、pH值,既保证 SO_2 的吸收率使得 SO_2 排放达标,同时抑制和减少形成气溶胶。脱硫塔顶采用高效氨除雾器,降低脱硫后烟气中的氨及铵盐类气溶胶,之后设置了亚太环保开发的组合式超级除雾器,利用分段不同结构的功能,通过碰撞、离心力、液膜作用,先脱除大颗粒尘,小颗粒凝聚液膜网络等作用实现除尘、除雾,最终实现达标排放。

装置建设完成后,经过调试稳定运行,连续运行168h性能考核,由江苏省环境监测中心验收监测,每天检测6组数据,验收监测结论:验收监测期间,废气中 SO_2 、 NO_x 及烟尘排放浓度满足《火电厂大气污染物排放标准(GB13223-2011)》中表2的相应限值要求,“以气体为燃料的锅炉或燃气轮机组”大气污染物特别排放限值标准;氨气排放浓度满足《大气污染物综合排放标准(DB11/501-2007)》表1中II时段标准要求。

2.3 我国自有知识产权技术的竞争力评价

目前脱硫、脱硝技术日趋成熟,对二氧化硫和氮氧化物脱除可以达到超低排放指标,但在烟尘排放指标超低排放上仍有较大差距,目前主要的除尘技术是湿式电除雾除尘技术,该技术具有设备材质要求高,投资、运行和维护费用高的缺点,企业难以承受。

针对该技术问题,亚太环保股份有限公司以氨法脱硫脱硝技术为核心,利用流体力学颗粒物多次撞击合并离心力分级除雾、除尘、液膜捕集的集多种功能原理,开发了“燃煤烟组全式超低排放技术”,核心技术具有自主知识产权,申请了专利或获得了专利。与目前国内现有超低排放技术相比较,具有占地小、投资省、运行成本低等特点,性价比高。有较大的竞争优势。

鉴于国内“超低排放”排放要求远超过世界发达国家控制标准，技术难度大，技术有优势，在国际市场上有较强的竞争力。

3 主要问题分析

就目前而论火电超低排放要求煤质低硫、低灰、高挥发分、高热值烟煤，脱硫脱硝控制技术方面，目前的技术经过改造一般可达到超低排放要求，烟尘的脱除则是目前改造达标的重点和难点，综合国内外领先的除尘技术，采用多个除尘技术的组合方式。而对于湿法脱硫 SO_2 治理后的尾气，湿式 ESP 是不可少的配置。一般 30 万千瓦的湿式电除尘设备费用即高达 1000 万元左右，且运行费用每度电尚需在现有基础上增加 1.5~2 分钱，对于一般热电锅炉、工业锅炉改造是难于承担，因此开发适用于热电锅炉、工业锅炉进一步推广到火电，对煤质适应性强、投资低、运行费用低的除尘技术十分紧迫。

(1) 煤炭目前仍然是保障我国经济社会发展的主要能源，清洁利用煤炭资源是提高能效、减少环境污染、治理雾霾的主要途径。煤炭选洗排出了灰分、降低了硫含量。根据资料数据我国目前入选原煤按 23.5 亿 t/a 计算排除灰分约 3.06 亿 t/a、硫分约 800~1200 万 t/a，大大减少了入炉煤污染物的产生量，燃煤仅 SO_2 产生量约减少 1600~2400 万 t/a，发挥了源头净化作用，同时提高了燃煤效率 10~15%，实现高碳能源低排碳，又减少污染。要实现超低排放，煤质是一个重要的前提条件，不同煤质区别利用、分质利用，低硫、低灰、高热值烟煤采用技术经济合理的成熟技术，易于实现超低排放，对东中部国土开发密度较高及经济密集环境敏感的地区，需要优先考虑利用优质煤，对降低 $\text{PM}_{2.5}$ 控制雾霾发生效果显著。由于我国能源结构和煤炭资源分布、煤质的特点，约有一半的产煤量未能选洗，一些低质煤如褐煤、含硫和灰分较高的无烟煤、洗中煤、煤矸石燃煤污染物排放强度大，需要加强针对性的技术研究选择最佳途径综合利用，对其污染治理也需要全过程控制，有效末端治理。

(2) 烟尘排放的控制：锅炉燃煤过程因存在灰分而排放机械尘，经过电除尘、电袋除尘、袋式除尘，仅有 $<20\sim50\text{ mg/m}^3$ 的尘进入后续脱硫系统，湿法脱硫能除去大部分进入的机械尘，但同时又会产生新的气溶胶粒子，要实现超低排放需要从源头控制，有关研究表明火电行业对近地 $\text{PM}_{2.5}$ 的贡献中 SO_2 的氧化形成硫酸盐和 NO_x 的转化形成的 $\text{PM}_{2.5}$ 共约占 $>70\%$ ，烟尘形成 $\text{PM}_{2.5}$ 占火电贡献的约 12%，因此控制治理后 SO_2 、 NO_x 的排放对降低近地 $\text{PM}_{2.5}$ 至关重要，它们也是烟气最终排放烟尘的重要来源。

4 建议

4.1 未来 3~5 年应重点和优先发展的领域、技术

超低排放有助于切实改善环境质量，我国燃煤烟气烟尘、 SO_2 、 NO_x 排放量大是雾霾和大气环境污染的主要来源，降低燃煤电厂和工业锅炉的排放水平可以显著降低三项主要污染物的排放量和排放浓度，是空气质量改善的根本途径。未来 3~5 年应重点和优先发展以下领域、技术：

(1) 超低排放与节能提高能效统筹,从源头和全过程控制温室气体和污染物产生和排放,优先发展高效热电联产机组,鼓励采用清洁高效、大容量超临界燃煤机组,整体煤炭气化燃气—蒸汽联合循环发电,在高效用能源节约煤耗基础上,既减少碳排放、减少了温室气体排放,也减少污染物的排放量。

(2) 烟气脱硫脱硝已实施多年,特别是脱硫应用湿法脱硫已有明显的成效,除了最早应用的石灰石—石膏法,国内自己开发应用的氨法在脱硫的同时生产化肥硫酸铵且无固体废物排放,更符合循环经济的原则。全面实施超低排放,针对较高的 SO_2 浓度通过单塔双循环、双塔双循环的改造,综合优化和提高工艺操作技术,实践证明是可以实现超低排放脱硫指标,同时改善其他的排放指标。 NO_x 的控制方面结合锅炉的局部改造,应用炉内低氮燃烧技术,对烟气根据 NO_x 的浓度采用 SCR 或 SNCR+SCR 的脱硝技术。

(3) 提高 SO_2 脱除率和减少逃逸氨对末端治理又是一个保证后续高效除雾的重要前提,利用湿式电除雾可以有效地达到烟尘超低排放的要求,但其投资、能耗、运行费用均高。为了进一步对大量的热电锅炉实施超低排放,提供投资省、运行费用低的技术,通过对尘产生机制和它们的载体分析研究,首先工艺控制气溶胶的产生量,应用组合式超级除雾器分级分段去除液滴(雾滴)和对气溶胶的阻拦作用,实现在热电锅炉、工业锅炉并进一步推广到火电除尘实现超低排放。

4.2 尚需配套的标准、法规、政策的建议

(1) 各地应根据《全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造工作方案》(环发[2015]164号),出台符合本地实际的《实施方案》。

(2) 出台《燃煤烟气超低排放技术指南》。

(3) 制定《燃煤烟气超低排放技术规范》。

燃煤工业锅炉环保技术发展报告

锅炉是重要的能源转换设备，也是能源消费大户和重要的大气污染源。我国能源分布特点为煤炭能源占总能源的 60% 左右，这决定了我国锅炉还是以燃煤为主，其中燃煤电站锅炉近年来向大容量、高参数方向快速发展，无论是生产制造还是运营管理均已接近国外先进水平；而燃煤工业锅炉保有量大、分布广、能耗高、污染重，能效和污染控制整体水平与国外相比有一定的差距，节能减排潜力巨大。

截至 2012 年底，我国在用燃煤工业锅炉达 46.7 万台，总容量达 178 万蒸吨，年消耗原煤约 7 亿吨，占全国煤炭消耗总量的 18% 以上。我国燃煤工业锅炉整体能效水平较低，其实际运行效率比国际先进水平低 15 个百分点左右，具有较大的节能潜力。同时，燃煤工业锅炉污染物排放强度较大，是重要污染源，年排放烟尘、二氧化硫、氮氧化物分别约占全国排放总量的 33%、27%、9%。近年来，我国出现的大范围、长时间严重雾霾天气，与燃煤工业锅炉区域高强度、低空排放的特点密切相关。

如果现有燃煤工业锅炉的热效率平均提高 25%，节煤潜力约每年 2 亿吨，节能量可观；每年因节煤可减小 SO_2 排放量约 30 万吨，灰渣 3000 万吨， CO_2 3.5 亿吨，这将大大的降低污染问题，为改善环境提供可行性方法。

1 燃煤工业锅炉总体概况

由于石油、天然气等能源的大量使用，国外燃煤工业锅炉保有量较少，在美国及少数欧洲国家尚有使用，其保有量均不超过数千台，下面主要对国内燃煤工业锅炉总体概况进行介绍。

1.1 2014-2015 年国内相关法规、政策、标准体系现状

1.1.1 燃煤工业锅炉法规概况

(1) 2015 年 8 月 29 日，十二届全国人大常委会第十六次会议表决通过了修订后的《中华人民共和国大气污染防治法》，国家主席习近平签署主席令予以公布。新修订的法律将于 2016 年 1 月 1 日起施行。

修订后的大气污染防治法共设八章 129 条，除总则、法律责任和附则外，分别对大气污染防治标准和限期达标规划、大气污染防治的监督管理、大气污染防治措施、重点区域大气污染联合防治、重污染天气应对等内容作了规定。

修订后的大气污染防治法主要是以改善大气环境质量为目标，强化了地方政府责任，加强了对地方政府的监督。重点解决了当前大气污染防治中存在的突出问题。如大气污染

的主要污染源是燃煤、工业排放、机动车排放。针对这些方面,法律中做了具体规定,尤其是对重点区域联防联控、重污染天气的应对措施也做了明确要求。还增加了建立大气环境保护目标责任制和考核评价制度、重点领域大气污染防治、重污染天气的预警和应对等内容,提高了对大气污染违法行为的处罚力度。

(2) 2015年12月30日,国家发改委、环境保护部发布《京津冀协同发展生态环境保护规划》,规划提出:到2017年,京津冀地区 $PM_{2.5}$ 年平均浓度要控制在73微克/立方米左右。到2020年, $PM_{2.5}$ 年平均浓度要控制在64微克/立方米左右,比2013年下降40%左右。

(3) 2015年9月21日,中共中央、国务院印发了《生态文明体制改革总体方案》,要求为加快建立系统完整的生态文明制度体系,加快推进生态文明建设,增强生态文明体制改革的系统性、整体性、协同性,树立发展和保护相统一的理念,发展必须是绿色发展、循环发展、低碳发展,平衡好发展和保护的关系,按照主体功能定位控制开发强度,调整空间结构,给子孙后代留下天蓝、地绿、水净的美好家园,实现发展与保护的内在统一、相互促进。

(4) 2014年4月24日第十二届全国人民代表大会常务委员会第八次会议通过修订的《中华人民共和国环境保护法》,提供了“按日计罚”、查封、扣押、限制生产、停产整治等一系列有针对性执法利器,规定了对情节严重的环境违法行为将采取行政拘留的处罚等措施,增强了环保执法的刚性。划定了生态红线,有利于提升环境承载力,为子孙后代的发展留下更多的资源和空间。确立了多重的监督机制,既明确了政府的保护监督管理职责,还规定通过社会监督,包括公众参与、公益诉讼、民主监督等方式,集全社会之力,共同保护环境。

(5) 2014年4月,国务院办公厅关于印发大气污染防治行动计划实施情况考核办法(试行)的通知京津冀及周边地区(北京市、天津市、河北省、山西省、内蒙古自治区、山东省)、长三角区域(上海市、江苏省、浙江省)、珠三角区域(广东省广州市、深圳市、珠海市、佛山市、江门市、肇庆市、惠州市、东莞市、中山市等9个城市)、重庆市以 $PM_{2.5}$ 年均浓度下降比例作为考核指标。其他地区以 PM_{10} 年均浓度下降比例作为考核指标。

1.1.2 燃煤工业锅炉政策概况

燃煤工业锅炉政策主要有:

(1) 2015年7月,工业和信息化部印发《京津冀及周边地区工业资源综合利用产业协同发展行动计划(2015-2017年)》

(2) 2015年3月,工业和信息化部启动2015年工业绿色发展专项行动。2015年专项行动重点工作主要包括:提升重点区域重点行业煤炭清洁高效利用水平,建立全国工业节能监测分析平台,以及建立京津冀及周边地区工业资源综合利用协同发展机制。

(3) 2015年3月,工业和信息化部关于印发《2015年工业节能监察重点工作计划》的通知。关于燃煤锅炉节能环保综合提升工程落实情况要求如下:

各地要按照发展改革委、工业和信息化部等七部门《关于印发燃煤锅炉节能环保综合提升工程实施方案的通知》(发改环资〔2014〕2451号)要求,加强对重点锅炉制造企业和重点用能企业的监察,对工业企业淘汰落后锅炉、推广高效锅炉等情况开展专项监察,

严禁制造企业生产达不到《工业锅炉能效限定值及能效等级》(GB24500-2009)限定值的工业锅炉;严禁工业企业使用列入《部分工业行业淘汰落后生产工艺装备和产品指导目录(2010年本)》、《高耗能落后机电设备淘汰目录》等的工业锅炉和热网泵、阀产品。

(4) 2015年3月工信部发布本年工业节能与综合利用工作要点。推动重点行业清洁生产和结构优化,减少大气污染物排放。实施《工业领域煤炭清洁高效利用行动计划》,推动焦化、煤化工等重点行业及工业炉窑(锅炉)设备煤炭清洁高效利用。在水泥、平板玻璃等行业实施能效“领跑者”制度。配合有关部门对地方能耗总量控制和煤炭消费减量替代进行考核,指导督促大气污染防治重点企业实施清洁生产。

(5) 2015年2月工业和信息化部、财政部关于联合组织实施工业领域煤炭清洁高效利用行动计划的通知。在焦化、工业炉窑、煤化工、工业锅炉等重点用煤领域加强对能耗高、污染重的工艺装备技术改造,推广应用一批先进适用、经济合理、节能减排潜力大的煤炭清洁高效利用技术,支持窑炉、锅炉先进技术装备产业化,加快落后窑炉、锅炉淘汰步伐,从源头减少煤炭消耗及污染物的产生,并配套相应的末端治理措施,达到或优于国家相关节能环保要求。

(6) 2015年2月,工业和信息化部发布关于印发《2015年工业绿色发展专项行动实施方案》的通知。推进工业领域煤炭清洁高效利用。印发煤炭清洁高效利用行动计划,指导煤炭消耗大的城市,结合本地产业实际,围绕焦化、煤化工、工业炉窑和工业锅炉等编制具体实施方案,加大地方政府组织协调力度,实施燃煤锅炉节能环保综合提升工程。推动辖区内相关企业实施工业用煤技术改造和节能技术改造,培育一批技术创新能力强、拥有自主知识产权和品牌、高能效的锅炉生产企业和节能服务企业,优化产品结构、加强产业融合,综合提升区域煤炭清洁高效利用水平,实现控煤、减煤,降低大气污染物排放,促进环境质量改善。

(7) 2015年3月,为贯彻落实国务院关于促进装备制造业由大变强的总体要求,加快推进重大技术装备研制和推广应用,现发布《首台(套)重大技术装备推广应用指导目录(2015年版)》。其中与燃煤工业锅炉相关的产品和性能技术参数主要有:

工业锅炉脱硝装备:脱硝效率 $\geq 70\%$; NO_x 排放浓度 $\leq 150 \text{ mg/m}^3$; 装备阻力 $\leq 800 \text{ Pa}$; 氨逃逸量 $\leq 3 \text{ ppm}$ 。

干法烟气脱硫除尘脱汞一体化装备: SO_2 排放 $\leq 100 \text{ mg/m}^3$; 汞及化合物排放 $\leq 0.02 \text{ mg/m}^3$; 粉尘排放 $\leq 30 \text{ mg/m}^3$; 副产物综合利用率 $\geq 60\%$ 。

燃煤烟气多污染物超低排放成套装备: SO_2 排放 $\leq 20 \text{ mg/m}^3$; NO_x 排放浓度 $\leq 30 \text{ mg/m}^3$; SO_3 排放浓度 $\leq 2.5 \text{ mg/m}^3$; 汞及化合物排放 $\leq 0.003 \text{ mg/m}^3$; 粉尘排放 $\leq 5 \text{ mg/m}^3$ 。

大型生活垃圾焚烧炉及二噁英处理成套装备:单台日处理能力 ≥ 700 吨;炉膛温度 $\geq 850^\circ\text{C}$;烟气停留时间 ≥ 2 秒;炉渣的热灼减率 $\leq 3\%$;二噁英分解率 $\geq 95\%$;二噁英排放浓度 $\leq 0.1 \text{ ng}/(\text{TEQ}) \text{ Nm}^3$ 。

(8) 2014年12月,国家能源局、环境保护部、工业和信息化部发布《关于促进煤炭安全绿色开发和清洁高效利用的意见》,其中提高燃煤工业炉技术水平:实施炉窑改造工程,鼓励发展热电联供、集中供热等供热方式,以天然气、电力等清洁燃料和生物质能替代落后的分散中小燃煤锅炉。加快推广高效煤粉工业锅炉等高效节能环保锅炉,加快淘汰低效层燃炉等落后设备。推广先进适用的工业炉窑余热、余能回收利用技术,实现余热、

余能高效回收及梯级利用;减少煤炭利用污染物排放:搭理推广可资源化的烟气脱硫、脱氮技术,开展细颗粒物($PM_{2.5}$)、硫氧化物、氮氧化物、重金属等多种污染物协同控制技术及应用。严格执行排污许可制度,落实排放标准和总量控制要求,加强细颗粒物排放控制。研究煤炭深加工转化废弃物治理技术,到2020年,燃煤固体废弃物实现资源化利用率超过75%。

(9) 2014年12月,七部委联合发布《能效“领跑者”制度实施方案》,建立能效“领跑者”制度,通过树立标杆、政策激励、提高标准,形成推动终端用能产品、高耗能行业、公共机构能效水平不断提升的长效机制,促进节能减排。

(10) 2014年10月,七部委联合印发《燃煤锅炉节能环保综合提升工程方案》,设定主要目标为:到2018年,推广高效锅炉50万蒸吨,高效燃煤锅炉市场占有率由目前的不足5%提高到40%;淘汰落后燃煤锅炉40万蒸吨;完成40万蒸吨燃煤锅炉的节能改造;推动建成若干高效锅炉制造基地,培育一批大型高效锅炉骨干企业。到2015年底,京津冀及周边地区地级及以上城市建成区全部淘汰10吨/时及以下的燃煤锅炉,北京市建成区取消所有燃煤锅炉;到2017年,地级及以上城市建成区基本淘汰10吨/时及以下的燃煤锅炉,天津市、河北省地级及以上城市建成区基本淘汰35t/h及以下燃煤锅炉。在城市热力管网覆盖区域,推行城市集中供热。

(11) 2014年10月,环境保护部办公厅发布《2014年国家鼓励发展的环境保护技术目录(工业烟气治理领域)》,鼓励发展在火电、钢铁、水泥等工业烟气治理重点行业的已经工程实践证明,技术指标先进、治理效果可靠、经济可行的成熟技术。

(12) 2014年10月,国家发改委、工信部联合发布《重大节能技术与装备产业化工程实施方案》,在锅炉窑炉领域,鼓励用户采用高效煤粉工业锅炉、节能高效循环流化床锅炉等,推动锅炉房系统节能改造。

(13) 2014年6月,国务院办公厅发布《能源发展战略行动计划(2014-2020年)》,计划指出,将着力优化能源结构,把发展清洁低碳能源作为调整能源结构的主攻方向。坚持发展非化石能源与化石能源高效清洁利用并举,逐步降低煤炭消费比重,提高天然气消费比重,大幅增加风电、太阳能、地热能等可再生能源和核电消费比重。

(14) 2014年5月,国务院办公厅发布《2014-2015年节能减排低碳发展行动方案》,方案明确指出加快更新改造燃煤锅炉,到2015年推广高效节能环保锅炉25万蒸吨,全面推进燃煤锅炉除尘升级改造,形成2300万蒸吨标准煤节能能力、40万吨二氧化硫减排能力和10万吨氮氧化物减排能力。

(15) 2014年3月,国家发改委、国家能源局、国家环保部发布《能源行业加强大气污染防治工作方案》,方案指出提高燃煤锅炉、窑炉污染物排放标准,全面整治无污染物治理设施和不能实现达标排放的燃煤锅炉、窑炉。加快推进集中供热、天然气分布式能源等工程建设,在供热供气管网不能覆盖的地区,改用电、新能源或洁净煤,推广应用高效节能环保型锅炉。在化工、造纸、印染、制革、制药等产业聚集区,通过集中建设热电联产和分布式能源逐步淘汰分散燃煤锅炉。到2017年,除必要保留的以外,地级及以上城市建成区基本淘汰每小时10蒸吨及以下的燃煤锅炉;天津市、河北省地级及以上城市建成区基本淘汰每小时35蒸吨及以下燃煤锅炉;北京市建成区取消所有燃煤锅炉。北京市、天津市、河北省、山西省和山东省地级及以上城市建成区原则上不得新建燃煤锅炉;其他

地级及以上城市建成区禁止新建每小时 20 蒸吨以下的燃煤锅炉；其他地区原则上不再新建每小时 10 蒸吨以下的燃煤锅炉。

(16) 2014 年 3 月，国家工信部发布《2014 年工业绿色发展专项行动实施方案》，实施方案指出主要目标为，组织京津冀及周边地区重点工业企业实施清洁生产技术改造，促进区域大气环境质量改善，重点工作包括：筛选煤清洁高效利用、清洁生产、高效电机系统、高效锅炉系统等 5-10 项先进适用的节能环保技术。

1.1.3 燃煤工业锅炉标准概况

2014 年 5 月，环境保护部、国家质检总局联合发布了《锅炉大气污染物排放标准》(GB13271-2014)，关于锅炉大气污染物排放，各个地方除了遵守国标的排放要求，同时还各自有自己的地方标准，以下对国家和重点地区的标准进行介绍：

(1) 国家《锅炉大气污染物排放标准》(GB13271-2014) 关于燃煤锅炉大气污染物的排放控制要求如下：

表 1 国家燃煤锅炉大气污染物排放浓度限值 单位：mg/m³

污染物项目	在用锅炉限值 A ₁	新建锅炉限值 A ₂	重点地区限制 A ₃	污染物排放监控位置
颗粒物	80	50	30	烟囱或烟道
二氧化硫	400 500 ^①	300	200	
氮氧化物	400	300	200	
汞及其化合物	0.05	0.05	0.05	
烟气黑度	≤1	≤1	≤1	烟囱排放口

注：① 位于广西壮族自治区、重庆市、四川省和贵州省的燃煤锅炉执行该限值；② 基准氧含量为 9

a) 10t/h 以上在用蒸汽锅炉和 7MW 以上在用热水锅炉 2015 年 9 月 30 日前执行 GB13271-2001 中规定的排放限值，10t/h 及以下在用蒸汽锅炉和 7MW 及以下在用热水锅炉 2016 年 6 月 30 日前执行 GB13271-2001 中规定的排放限值。

b) 在用锅炉限值 A₁：10t/h 以上在用蒸汽锅炉和 7MW 以上在用热水锅炉自 2015 年 10 月 1 日起执行该排放限值，10t/h 及以下在用蒸汽锅炉和 7MW 及以下在用热水锅炉自 2016 年 7 月 1 日起执行该排放限值。

c) 新建锅炉限值 A₂：自 2014 年 7 月 1 日起，新建锅炉执行该排放限值。

d) 重点地区限值 A₃：重点地区锅炉执行该特别排放限值。

(2) 北京市《锅炉大气污染排放标准》(DB11/139-2015) 关于燃煤锅炉大气污染的排放控制要求如下：

表 2 北京市燃煤锅炉大气污染物排放浓度限值 单位：mg/m³

污染物项目	新建锅炉	新建锅炉	区域内在用锅炉	区域外在用锅炉
	I 时段	II 时段	II 时段	III 时段
颗粒物	5	5	5	10
二氧化硫	10	10	10	20

污染物项目	新建锅炉	新建锅炉	区域内在用锅炉	区域外在用锅炉
氮氧化物	80	30	80	150
汞及其化合物	0.5	0.5	0.5	30
烟气黑度	1	1	1	1

- a) I时段: 指2017年3月31日前;
 b) II时段: 指2017年4月1日后;
 c) III时段: 指标准实施之日起;
 d) 区域: 指高污染燃料禁燃区;

(3) 上海市《锅炉大气污染物排放标准》(DB31/387-2014)关于燃煤锅炉大气污染的排放控制要求如下:

表3 上海市燃煤锅炉大气污染物排放浓度限值 单位: mg/Nm³

污染物项目	排放限值 C ₁	排放限制 C ₂	污染物排放监控位置
颗粒物	80	20	烟囱排放口
二氧化硫	300	100	
氮氧化物	400	150	
汞及其化合物		0.03	
烟气黑度(林格曼黑度, 级)	1	1	

- a) 排放限值 C₁: 自本标准实施之日起至2015年9月30日, 在用锅炉(集中供热锅炉及额定蒸发量小于65t/h的热电联产锅炉除外)执行该系列排放限值。自本标准实施之日起至2017年9月30日 在用集中供热锅炉及额定蒸发量小于65t/h的热电联产锅炉执行该系列排放限值;
 b) 排放限值 C₂: 2015年10月1日起, 在用锅炉(集中供热锅炉及额定蒸发量小于65t/h的热电联产锅炉除外)执行表该系列排放限值。2017年10月1日起, 在用集中供热锅炉及额定蒸发量小于65t/h的热电联产锅炉执行该系列排放限值。自本标准实施之日起, 新建锅炉执行该系列排放限值。

(4) 河北省《燃煤锅炉氮氧化物排放标准》(DB13/2170-2015)关于燃煤锅炉大气污染的排放控制要求如下:

表4 上海市燃煤锅炉大气污染物排放浓度限值 单位: mg/Nm³

污染物项目	排放限值 D ₁	排放限制 D ₂	污染物排放监控位置
氮氧化物	300	200	烟囱或烟道排放口

- a) 排放限值 D₁: 非重点控制区的现有燃煤锅炉, 自本标准实施之日起执行本标准表1规定的现有燃煤锅炉氮氧化物排放浓度限值。
 b) 排放限值 D₂: 新建燃煤锅炉和重点控制区的现有燃煤锅炉, 自本标准实施之日起执行本标准表2规定的新建燃煤锅炉氮氧化物排放浓度限值。

1.2 2014-2015年国内对燃煤工业锅炉污染控制管理现状

近两年来, 国家和地方出台很多关于燃煤工业锅炉污染物控制的新法规、新政策、新标准, 国家和地方都加大治污减排工作力度, 加强环境执法监管, 加大治污研发投入, 打一场大气污染治理的整体战攻坚战。

1.2.1 燃煤工业锅炉污染物治理研发投入情况

2015年11月科技部发布《国家重点研发计划试点专项2016年度第一批项目申报指南》，与燃煤工业锅炉污染物治理相关的专项为“大气污染成因与控制技术研究”，包括组织开展监测预报预警技术、雾霾和光化学烟雾形成机制、污染源全过程控制技术、大气污染对人群健康的影响、空气质量改善管理支持技术和大气污染联防联控技术示范等6项重点任务科研攻关，为大气污染防治和发展节能环保产业提供科技支撑。

其中污染源全控制技术中第二项为“燃煤工业锅炉超低排放控制技术”。

研究内容：重点研究燃煤工业锅炉超低排放控制技术，实现烟气污染物排放达到燃烧天然气排放标准，并在国家大气污染防治重点区域开展工程示范。

考核指标：烟尘排放浓度 $\leq 5 \text{ mg/m}^3$ ，SO₂排放浓度 $\leq 35 \text{ mg/m}^3$ 和NO_x排放浓度 $\leq 50 \text{ mg/m}^3$ 。完成2-3个工程示范。

该项目正处于申报阶段。

1.2.2 污染物控制法规、政策、标准执行情况

各地积极响应国家政策，以大气和水环境质量改善为目标，强力推进污染减排，认知执行相关法规、政策、标准，全国各地掀起了环境保卫战。

(1) 今年北京市燃煤锅炉“煤改气”任务已完成5900蒸吨，其中，采暖锅炉5286蒸吨，工业锅炉614蒸吨，超过3579蒸吨年度目标。

2015年，共完成远郊区县燃煤锅炉清洁能源改造4907蒸吨。目前，远郊区县的燃煤锅炉剩余2万蒸吨，其中，1.4万蒸吨集中在五环至六环的“城关镇”附近，也是下一步减排重点，预计2020年，将完成远郊区县的燃煤锅炉清洁能源改造。

(2) 截至11月15日取暖期前，在2015年河北省“拔烟囱”专项行动中，河北省共淘汰燃煤锅炉、茶浴炉3706台，占总任务量的96.31%，剩余的142台锅炉正在加快淘汰。同时在专项行动涉及的需拆除的351根废弃烟囱中，目前已拆除335根，完成总任务量的95.44%。

1.2.3 污染物控制管理成效

虽然各地都为改善环境做出了努力，但环境改善的成效不同，有些城市比较好，如北京、天津、兰州，有些城市没有达到很好的效果，尚需努力。

(1) 北京市2015年前十月PM_{2.5}浓度同比降21.8%

16日召开的京津冀及周边地区大气污染防治协作小组会透露，前十月北京市PM_{2.5}累计平均浓度为69.7微克/立方米，同比下降了21.8%。

燃煤控制方面，实施燃煤锅炉清洁能源改造5900蒸吨，超额完成3500蒸吨年度目标任务，城六区基本无燃煤锅炉。完成旧城剩余3万户平房采暖改造，核心区基本实现无煤化。国华、京能两大电厂关停，更是将全年燃煤消费总量从1760万吨降至1300万吨以下。

(2) 天津2015年PM_{2.5}浓度下降27.1%提前两年完成国家规定目标

天津市市长黄兴国在天津市十六届人大四次会议上说，2015年，天津PM_{2.5}浓度比2013年下降27.1%，提前两年完成国家规定目标。

“十二五”期间,天津为改善空气质量继续做了大量努力:关停第一热电厂、陈塘庄热电厂,改燃并网供热锅炉 147 座,淘汰黄标车 29 万辆,全市空气质量综合指数 2015 年比 2013 年下降 24.4%。

黄兴国在政府报告中提出:到 2020 年,(天津)PM_{2.5}浓度比 2015 年下降 25%”。根据数值计算,届时天津的 PM_{2.5}浓度将下降至 52.5 微克每立方米左右。

(3)兰州市荣获巴黎气候大会“今日变革进步奖”强力治污的“兰州模式”赢得各国专家点赞

过去,由于产业结构偏重、能源结构不合理、地理地貌特殊、生态环境脆弱,长期以来,兰州深受大气污染困扰,一度成为全球大气污染最严重的城市之一。

近年来,甘肃省委、省政府确立了建设幸福美好新甘肃的目标,全面推进国家循环经济示范区、国家生态安全屏障综合试验区等战略平台建设,全力支持做大做强做美兰州,提出打一场兰州大气污染治理的整体战攻坚战。在省市联动的强力推动下,兰州市闯出一条科学化、目标化、工程化、法治化、创新化的治污之路,摘掉了长期罩在城市头上的“黑帽子”,打造了人人共享的“兰州蓝”,稳定退出全国十大污染城市行列,也成为全国环境空气质量污染指数下降最快的城市,同时取得环境大幅改善、群众直接受益、发展明显提速、作风不断转变等方面的综合效应。

(4)环保部 2015 年环保综合督查结果表明华北地区大气污染防治问题仍然突出

今年以来,环境保护部积极探索推进环保督政。截至目前,华北地区已完成 22 个城市(区)的环保综合督查,督查范围涵盖了华北六省(区、市)。综合督查中发现,各地市的大气污染治理工作存在一些共性问题,有的事关地方长远发展,有的涉及工作落实机制和精细化管理水平。问题主要有:产业结构布局和能源结构问题日益成为环保瓶颈;环保基础设施建设滞后的问题十分普遍;基层政府及有关部门环保责任落实不到位;城乡结合部和农村环境问题日益突出;治污方案落实、考核不力的情况仍然多见;散煤污染治理工作问题依然突出;企业环境违法违规问题依然常见。

2 主要技术发展情况

2014-2015 年,随着对大气污染控制的指标愈加严格,燃煤工业锅炉行业逐渐向设备大型化、污染物脱除一体化,以及超低排放的方向转型。

2.1 主要技术发展情况

2.1.1 锅炉设备的大型化

工业锅炉是重要的热能动力设备,广泛应用于建筑采暖、工业供汽、冶金化工等各个行业。目前,我国在用燃煤工业锅炉主要是链条炉,另外还有少量往复炉排、固定炉排、循环流化床、煤粉锅炉等,在全国各地呈小型化、分散化分布,燃煤工业锅炉的平均热效率只有 65%左右,造成一次能源浪费严重。鉴于在相当长的时间内,我国都将实行以煤为主的能源政策,因此,改变目前分散供热小锅炉效率低下、煤耗高的局面,促进燃煤工业锅炉大型化、集中化成为工业锅炉行业节能、降耗的重要手段之一,同时也为污染物集中

治理创造了条件。

(1) 大容量链条炉排工业锅炉

我国在役燃煤工业锅炉 70%以上为链条炉，同时每年新生产的燃煤工业锅炉中也有 40%左右是链条炉，发展大容量链条炉的关键技术在提高燃煤工业锅炉平均能效方面具有显著的影响。

大容量层燃锅炉高效节能的关键是降低飞灰、炉渣和漏煤中的含碳量，因此，灵活、可靠的大面积（大于 100 m²）的链条炉排的生产是关键。选用金属模机器造型生产的炉排片或由其组装的炉排，控制炉排片加工精度，减少漏煤热损失；研究炉排燃烧配风技术和二次风强化燃烧技术以及两者优化匹配技术，减少灰渣含碳量和过量空气系数，减少灰渣含碳量引起的热损失和排烟热损失；研究炉拱和二次风的强化燃尽技术以及创新飞灰高温分离和高温再燃结构，减少飞灰含碳量和由此引起的热损失。

此外，通过对不同燃煤的层燃燃烧特性的研究，开发适应多煤种（包括烟煤和无烟煤）燃烧的链条炉排和新型炉拱结构的优化设计技术，提高链条炉排锅炉燃烧效率，可为链条炉排工业锅炉设计提供理论依据，并用于指导燃煤链条炉排工业锅炉的节能改造。

(2) 大容量循环流化床工业锅炉

循环流化床燃烧锅炉具有燃尽率高，氮氧化物排放低，燃料适应性强的优点，一般燃烧方式难以正常燃烧的石灰、煤矸石、泥煤、油页岩、低热值无烟煤等劣质燃料都可在循环流化床锅炉中有效燃烧。循环流化床工业锅炉的平均热效率可以达到 82%~84%，略高于层燃锅炉。

目前国产循环流化床锅炉 75t/h 等级及以下在技术已较为成熟，130t/h、220t/h、410t/h 流化床锅炉已相继投入运行。但是，循环流化床燃烧锅炉设备投资大，辅机电耗大，事故率高，运行维护费用比较高，因此，针对循环流化床辅机节能和降低料床磨损的技术一直是技术攻关的重点。

(3) 大容量煤粉工业锅炉

对于燃煤工业锅炉领域来说，与传统的 7MW、14MW 链条锅炉相比，发展 58MW 及以上级别的大容量煤粉工业锅炉可将锅炉热效率提高 10~20%或更高。

煤粉工业锅炉大型化发展的技术重点主要有燃料的制备和供应、受限空间内煤粉快速燃烧、炉膛燃烧组织等关键技术。在保证煤粉质量稳定的前提下，发展精密给料系统，通过称重-转速协同校准和控制系统，实现连续稳定给粉，保证燃烧稳定性；将受限空间燃烧理论研究和试验的结果应用于实际领域，保证煤粉在炉内的快速燃尽，以提高燃烧效率，同时避免炉膛和尾部受热面的传热偏差；对于炉膛的燃烧组织进行数值模拟和工业试验，匹配不同燃烧器布置方式对于主燃烧区温度场、流场的影响，充分利用炉膛空间，节省钢耗量，对抑制煤粉锅炉氮氧化物排放也能起到明显的效果。

2.1.2 污染物脱除一体化

2014 年修订的《锅炉大气污染物排放标准》（GB13271-2014）对燃煤工业锅炉粉尘、二氧化硫、氮氧化物等污染物的排放均提出了明确的限制要求，以往单一的污染物脱除手段已经不足以适应最新的环保要求，须考虑尘、硫、氮分段脱除或一体化脱除新技术新手段。

(1) 烟气除尘技术

现有燃煤粉尘控制技术有重力除尘、惯性力除尘、离心除尘、湿式除尘、过滤除尘和电除尘等,不同的除尘技术对粉尘的处理效果均有其适宜的处理粒度、压降范围。燃煤工业锅炉领域较为常见的是静电除尘器和布袋除尘器。

静电除尘技术阻力小,对烟气温度和水蒸气含量要求不高,但占地面积较大,安装运行要求高,不宜在小容量、分散的燃煤工业锅炉中应用。

布袋除尘技术效率高,对粉尘适应性广,可适用于各种燃煤工业锅炉,但布袋除尘器运行阻力大,且布袋需要定时检修更换,一旦布袋破损将明显影响除尘效率。

(2) 二氧化硫脱除技术

对二氧化硫的控制主要通过燃烧中脱硫和尾部烟气脱硫进行控制。

炉内钙基干法脱硫技术目前在层燃、室燃、流化床等燃烧方式中均有应用,炉内脱硫后烟气中粉尘量增加,造成除尘设备的负荷增加,因此只能作为脱硫的辅助工艺。炉外半干法脱硫技术是投资相对较少的脱硫方式,可以实现90%的脱硫效率。目前国内主要工艺有:双循环流化床脱硫技术、多种污染物协同脱除的MCFB烟气净化装置、多级喷动增强内循环高效烟气净化技术、烟气循环流化床脱硫技术等。

湿法脱硫技术是目前燃煤电厂实现超低排放的主要技术,但该工艺存在系统复杂、投资与运行费用高等缺点。针对湿法脱硫技术的研究集中在流场优化、强化传质,主流技术有:双循环湿法脱硫技术、双托盘技术、双温双循环技术等。

(3) 氮氧化物脱除技术

燃煤锅炉烟气氮氧化物控制技术多采用低氮燃烧技术(炉内脱氮技术)和烟气后处理技术。由于锅炉采取的燃烧方式不同,炉内产生的初始氮氧化物排放也有所不同,一般来说,循环流化床的氮氧化物排放值最低,煤粉锅炉的氮氧化物排放值最高;烟气后处理技术国内较常采用的是选择性催化还原法(SCR)、选择性非催化还原法(SNCR)、氧化法等。

我国大多数流化床工业锅炉的氮氧化物初始排放放在 $200\sim 300\text{ mg/m}^3$,部分高达 $300\sim 400\text{ mg/m}^3$,大多数流化床锅炉采用SNCR技术即可满足环保要求;链条锅炉和煤粉锅炉的氮氧化物初始排放放在 $300\sim 600\text{ mg/Nm}^3$ 不等,可根据不同的初始排放选取SCR、SNCR或氧化法。

(4) 烟气联合脱硫脱硝脱汞工艺

脱硫除尘一体化技术一直是燃煤工业锅炉重要研究方向之一。研究燃煤工业锅炉烟气特点,针对烟尘、二氧化硫、氮氧化物和汞等烟气污染物研究其脱除机理,将不同烟气污染物的脱除机理进行耦联,实现多种污染物的联合脱除。

各污染物控制单元对颗粒物控制都有贡献,因此颗粒物的控制既要强化除尘单元性能,又要兼顾末端脱硫等单元的颗粒物控制。除尘单元控制技术有高效布袋除尘技术、低低温电除尘技术、新型湿电技术(WESP)等。湿法脱硫配套高效的机械除雾器和新型湿式静电设备是实现颗粒物控制的有效手段。采用强氧化剂对一氧化氮进行氧化,在该反应过程的同时,可以将单质汞氧化成二价汞盐,汞盐再经过脱硫废水脱重金属处理,完成烟气脱汞过程。

2.1.3 污染物超低排放技术

随着部分重点地区对燃煤工业锅炉排放值的要求愈加严格，为达到粉尘 $\leq 5 \text{ mg/m}^3$ 、二氧化硫 $\leq 35 \text{ mg/m}^3$ 、氮氧化物 $\leq 50 \text{ mg/m}^3$ ，的超低排放要求，近年来正在研发应用于燃煤工业锅炉超低排放的新技术。

(1) 粉尘超低排放技术

最终排放限值为小于等于 5 mg/m^3 ，主要技术手段有：布袋除尘器的性能强化技术，干法/半干法增效布袋除尘技术，基于深度除湿的烟尘协同净化技术，结合湿法脱硫，实现二次颗粒物的一体化控制技术。

(2) 二氧化硫超低排放技术

为达到最终排放限值为小于等于 35 mg/m^3 ，研发兼顾低成本、适应不同燃烧方式、不同燃煤含硫量及负荷变化，以达到 SO_2 的超低排放，并消除白烟现象。主要技术手段有：干法/半干法梯级耦合脱硫技术、湿法脱硫高效强化技术；湿烟气凝结式除尘除雾技术，基于溶液除湿的湿烟气节能净化技术。

(3) 氮氧化物超低排放技术

主要目的是达到烟气氮氧化物排放小于等于 50 mg/m^3 ，需要针对不同的燃烧方式尝试不同的技术手段。对于链条炉，研发异相双循环低氮燃烧与尾部氧化脱硝结合的层燃超低排放技术，以及层燃锅炉炉内超级还原与 SCR (SNCR) 协同脱硝技术；对于循环流化床锅炉，研发流态化低氧燃烧技术，分级后补燃技术；对于煤粉锅炉，研发受限空间内煤粉工业锅炉深度空气分级技术，宽负荷炉内低氮与高效 SCR 协同脱硝技术。

2.2 我国自有知识产权技术的竞争力评价。

国际上较常采用燃煤工业锅炉的国家主要有美国和德国。美国的燃煤工业锅炉主要为层燃锅炉，但近年来美国对新建燃煤锅炉的审批非常严格，获得新建燃煤锅炉的许可证或运营执照较困难，因此新建燃煤锅炉的数量非常有限。德国于 90 年代开发成功新型煤粉工业锅炉，用于建筑物供暖和工业供汽，与美国普遍采用的层燃技术相比，煤粉燃烧技术具有燃尽率高、烟气损失小等优点，是目前德国燃煤工业锅炉的主导技术，但是近年来新建的煤粉工业锅炉也是数量有限。

我国是全球燃煤工业锅炉生产规模最大、应用数量最多、应用范围最广泛的国家，在 market 需求的推动下，国内多家大中学校、研究所，以及企事业单位专门针对煤粉工业锅炉的特点，进行技术研发及创新工作，表现在：一，吸收美、德等国家先进工业锅炉技术的基础上加以发展和优化，去芜存菁，研发更加适合于国内常用煤种的燃烧技术和设备；二，借鉴了国内外电站锅炉对于污染物脱除的先进技术手段，针对燃煤工业锅炉的特点，同时兼顾燃煤工业锅炉初期投资和运行成本进行调整和缩减后，也发展出更加适合燃煤工业锅炉特点的烟气净化新技术、新设备。

综上所述，国内针对燃煤工业锅炉的自有知识产权技术相比国外技术更加适应本国国情的需要，在国内市场上极具竞争力。

3 主要问题分析

我国加大了锅炉节能和污染控制工作的力度,通过实施节能改造工程、污染综合整治、推动能效对标、强化监督执法、加强能力建设等工作,取得了积极成效,但仍存在一些问题,主要表现在:

一是技术水平有待提高。燃煤工业锅炉研究机构和企业机构很多,研究力量充足,但研究和产业集中度很低,规模小,重复性、模仿现象严重,缺少创新,技术水平普遍较弱,造成大量资源浪费,研究产出率低,科技竞争力差。

二是相关标准、规程有待完善。目前专门针对燃煤工业锅炉的设计、制造、运行、检测等在节能环保方面的技术规范和标准尚不完善,现在燃煤工业锅炉的设计还都是按照电站锅炉的设计规程和经验进行设计,但燃煤工业锅炉空间狭小,煤质多变,负荷不稳定,结构多样,炉内温度场、气相组分差别大,与燃煤工业锅炉和电站锅炉在投资和运行费用、炉型、场地空间等方面差别明显,按照电站锅炉设计方法产出的工业锅炉的运行效果没有设计的那么好,急需对设计方法进行校验。

三是技术开发和应用脱节。科研院校、研究机构、企业单位每年都投入大量研究经费进行新产品、新工艺、新技术研究,每年会有大量的专利、论文发表,但真正应用到实践生产推广的技术少之又少。

四是锅炉经济运行水平不高。锅炉选型裕度过大,运行负荷波动大,调节能力有限,实际运行效率低。风机、水泵等辅机大多无负荷调节档次。锅炉水质大多不能达到国家标准要求,锅炉结垢较为严重,热效率下降明显。锅炉自动化水平低,运行管理粗放,操作人员技术素质偏低。

五是脱硝技术达到较高要求有一定困难。目前烟气脱硝技术主要有选择性催化剂还原法(SCR)和选择性非催化剂还原法(SNCR)。其中SNCR投资成本和运行费用较低,系统运行稳定,设备模块化,但脱硝率相对较低,只有25%~40%;SCR脱硝率可达80%~90%,还原剂消耗量及尾部氨逃逸较小,但投资成本和运行费用高,系统复杂。要想脱硝效率高,选择SCR脱硝技术,但对于燃煤工业锅炉,尤其是小型的锅炉,SCR脱硝技术投入相对较大,实现相当困难。

4 建议

4.1 燃煤工业锅炉技术发展建议

- (1) 进行宽煤种、即时点火、低氮燃烧器研究;
- (2) 提高燃煤工业锅炉自动化水平,开发燃煤工业锅炉自动控制系统全自动化;
- (3) 进行大型高效洁净煤粉工业锅炉系统技术研发与工程示范,形成一个新型高效节能环保工业锅炉的产业集群,进一步加快国内外技术市场的成果转化;
- (4) 开发烟气低温SCR脱硝技术,提高催化剂的活性和选择性,提高催化剂的机械强度和热稳定性,降低成本;

(5) 完成燃煤工业锅炉污染物成套净化系统技术的研发和工程示范, 实现污染物排放接近甚至低于燃气锅炉;

(6) 进行锅炉智能监控平台建设, 及时掌握锅炉运行情况, 提高锅炉运行水平;

4.2 配套的标准、法规、政策的建议

(1) 进一步推进节能减排的进程及污染物控制水平的提高。组织相关行业专家修改燃煤工业锅炉技术规范和排放标准, 激发锅炉厂家实施节能减排、采用新型燃烧技术的主动性。

(2) 加强对新型锅炉技术的研发支持力度。目前国外及国内部分锅炉生产商制造的新型锅炉设备均具有高效率、低排放的水平。对此类新技术, 国家应提供相关的科研支持, 促进生产厂商和相关优势专业高校间的合作。

(3) 加强对节能减排型锅炉设备的政策和财政支持力度。尽管新锅炉燃烧技术已达到较高水平, 但是受到个别地区或城市对工业锅炉仅允许使用燃气锅炉等“一刀切”的政策影响, 阻碍了正常的技术开发和市场运行。国家应加强对高水平新技术的财政和政策支持。

工业炉窑烟气脱硝技术发展报告

1 2014-2015 年国内外相关法规、政策、标准体系现状

水泥工业作为建材工业的主要力量,产量由 2000 年的 5.97 亿吨,到 2005 年增加为 10.6 亿吨,2010 年水泥产能为 18.68 亿吨。对应的 NO_x 排放量分别为 77 万吨、136 万吨、200 万吨。2013 年全国熟料产量为 13.6 亿吨、水泥产量为 24.1 亿吨,同比增长 9.6%。水泥行业是全国高能耗重污染行业,对环境的压力日趋增大。经初步估算,颗粒物排放占全国排放总量的 20~30%, SO_2 排放占全国排放总量的 5~6%, NO_x 排放占全国排放总量的 10~15%。

国家发改委数据显示:截至 2010 年底,国内新型干法水泥生产线已达 1300 多条。4000t/d、5000t/d 规模水泥线占 60%左右,总计 800 多条。2009 年,中国建材研究总院和合肥水泥研究设计院共同对我国代表性的 1500t/d 规模以上的 9 条新型干法水泥窑进行了 NO_x 测试,检测结果表明: $\geq 5000\text{t/d}$ 、 $\geq 2500\text{t/d}$ 和 $\leq 1500\text{t/d}$ 窑的 NO_x 排放分别平均为: $600\text{mg}/\text{Nm}^3$ 、 $1100\text{mg}/\text{Nm}^3$ 和 $1600\text{mg}/\text{Nm}^3$,全国新型干法水泥窑氮氧化物排放量加权平均值约为 $800\text{mg}/\text{Nm}^3$ 。

十二五期间, NO_x 被纳入控制目标,各类政策法规及控制标准相继出台:

(1)《国务院关于印发“十二五”节能减排综合性工作方案的通知》(国发〔2011〕26 号):①“推动燃煤电厂、水泥等行业脱硝,氮氧化物削减 358 万吨”;②“新型干法水泥窑实施低氮燃烧,配套建设脱硝设施”。

(2)《国务院关于印发国家环境保护“十二五”规划的通知》(国发〔2011〕42 号):①联防联控重点区域,实施大气污染物特别排放限值;②对水泥等行业 SO_2 、 NO_x 和 PM 进行控制,新型干法水泥窑进行低氮燃烧改造,新建水泥线安装效率大于 60%脱硝设施。

(3)《国务院关于印发节能减排“十二五”规划的通知》(国发〔2012〕40 号):① 2015 年水泥行业 NO_x 排放量控制在 150 万吨;② 推广大型新型干法水泥线,普及纯低温余热发电;③ 水泥行业新型干法窑实施降氮脱硝,新建改扩建水泥线脱硝效率大于 60%。

(4)《重点区域大气污染防治“十二五”规划》(环发〔2012〕130 号)。水泥行业属于污染控制重点,建设、淘汰落后、 NO_x 治理、粉尘治理等有明确要求。

(5) GB 4915-2013《水泥工业大气污染物排放标准》、GB 30485-2013《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》等标准已于 2013 年 12 月 16 日由环保部批准,其中新建企业自 2014 年 3 月 1 日起、现有企业自 2015 年 7 月 1 日起开始实施。新标准对环保指标的控制较严,且比多数发达国家要严格。其中 NO_x 的指标要求为 $400\text{mg}/\text{Nm}^3$,重点地区为 $320\text{mg}/\text{Nm}^3$,这势必对水泥行业的带来一定压力。

1.1 国内排放标准

国内各省市在“十二五”期间也对其辖区内的水泥企业提出了 NO_x 减排政策和要求，详见表 1。

表 1 各地 NO_x 减排政策

序号	省/市	执行范围	执行标准	技术路径	最后期限
1	北京市	所有水泥窑	270 mg/Nm ³		“十二五”末
2	河北省	所有水泥窑	500 mg/Nm ³		“十二五”末
3	山西省	所有现役新型干法窑		低氮燃烧+脱硝设备	2014年6月
		4000t/d 以上熟料线	脱硝效率 60%	脱硝设备	2013 年底
4	陕西省	2000t/d 及以上新型干法水泥生产线	脱硝效率 30%	低氮燃烧	2012 年底
		2500t/d 以上新型干法水泥生产线	脱硝效率 60%	低氮燃烧+SNCR	2013 年底
5	杭州市	所有水泥窑	150 mg/Nm ³		2013 年底
6	四川省	现有 2000t/d 及以上新型干法水泥生产线	脱硝效率 40%	SNCR	“十二五”末
		新建、改扩建项目	脱硝效率 70%	低氮燃烧+SNCR	“十二五”末
7	湖南省	所有现役 2000t/d 新型线	脱硝效率 30%	低氮燃烧	2013 年底
		4000t/d 以上熟料线	脱硝效率 60%	低氮燃烧+SNCR	2013 年底
8	福建省	新建新型干法水泥项目	脱硝效率 60%		
		4000t/d 以上新型干法水泥生产线	脱硝效率 60%		2012 年底
		2000~4000t/d (含 2000t/d) 新型干法水泥生产线	脱硝效率 50%		2013 年底
		2000t/d 以下新型干法水泥生产线	脱硝效率 30%		2013 年底
9	广东省	所有水泥窑	530 mg/Nm ³		

2013 年 12 月 31 日，工业和信息化部办公厅关于印发 2013 年第四批行业标准制修订计划的通知（工信厅科[2013]217 号文），下达了（2013-2042T-JC）《水泥工厂脱硝技术规范》节能领域行业标准项目。

2014 年 2 月 28 日，中国建材联合会标准质量部在北京组织召开了《水泥工厂脱硝技术规范》行业标准编制工作启动会，中国建筑材料联合会标准质量部、中国中材国际工程股份有限公司、合肥水泥研究设计院、中材装备集团、中材国际环境工程（北京）有限公司、山东天璨环保科技有限公司、江苏科行集团、广东南大环保有限公司等单位参加了会议。因该项目与住建部下达的国家标准计划重复，会议重点讨论标准名称的调整、标准范围，成立标准编制工作组，工作分工、时间节点的安排等。会后经专家协商一致，标准名称改为《水泥烧成系统脱硝技术控制规范》；调整负责起草单位为：中国中材国际工程股份有限公司、合肥水泥研究设计院和中国建筑材料联合会。

经过4个月的努力,标准工作组查阅了大量的技术资料和相关国家标准,并结合多年来对水泥工厂脱硝系统设计、施工、安装、调试与验收及运行等方面的工作经验,起草小组于2014年7月提出了本标准的工作组讨论稿。

2014年7月18日,由中国建筑材料联合会在南京组织召开了该标准的第二次工作研讨会,中材装备集团有限公司、中材国际环境工程(北京)有限公司、山东天璨环保科技有限公司、中国建筑材料科学研究总院、北京建筑材料科学研究总院、葛洲坝集团水泥有限公司等多家相关单位的专家提出了大量宝贵的意见。起草小组根据研讨会会议纪要的修改意见,对工作组讨论稿的相应条款进行了修改、细化、删节、补充和论证,于2014年8月中旬完成了征求意见稿,2014年8月29日~10月13日在中国建筑材料联合会网站公开征求意见,同时还以书面文稿和电子邮件两种形式定向发送至XX家单位,其中包括编制组成员单位、生产厂家及有关专家,收到回复9家,共9条意见。各单位及专家对“征求意见稿”文本提出了许多宝贵的意见,标准编制组整理收集的“征求意见稿”的意见,编写“行业标准征求意见汇总处理表”并据此修改“征求意见稿”形成标准的“送审稿”。

本标准适用于各级政府建筑材料行业主管部门、各级环保部门、各设计单位和水泥熟料生产企业对脱硝系统的设计、运行、维护等工作。

2013年,中华人民共和国住房和城乡建设部下达了《水泥工厂脱硝工程设计规范》,该标准重点是脱硝的设计;2014年,中华人民共和国住房和城乡建设部将原《水泥工厂脱硝工程设计规范》更名为《水泥工厂脱硝工程技术规范》。

2013年12月31日,工业和信息化部办公厅下达了(2013-2042T-JC)《水泥工厂脱硝技术规范》,本标准定位于脱硝技术的控制规范。同时,为突出标准的适用性,且水泥企业生产线的 NO_x 仅在水泥烧成系统内产生和排放,起草组将标准名称改为《水泥烧成系统脱硝技术控制规范》。

现阶段,应用于水泥窑炉 NO_x 排放控制的技术有低氮燃烧器、空气分级燃烧技术、燃料分级燃烧技术、添加矿化剂、选择性非催化还原SNCR法和选择性催化还原法SCR。

本标准重点考虑到脱硝技术的经济性、适用性和可操作性,且有利于推广无二次污染、成本低、但操作水平要求高的脱硝控制技术。本标准的脱硝技术控制要求主要针对窑头低氮燃烧、空气分级燃烧、燃料分级燃烧和SNCR等四种方法

1.2 国外标准

1.2.1 美国 NSPS & NESHAP 标准

美国关于水泥行业 NO_x 排放控制,在针对常规污染物的新源特性标准(NSPS)中进行了限制,并列入联邦法规典40 CFR 60 Subpart F,见表2。

表2 40 CFR 60 Subpart F

受控设施/工艺	污染物	1971.8.17-2008.6.16 建设、重建、改建	2008.6.16 后建设、重建、改建	说明
水泥窑(包括窑磨一体机)	NO_x	—	1.5 磅/吨熟料($\sim 300 \text{ mg/m}^3$)	—

1.2.2 欧盟 IPPC 指令及 BAT 指南

除大型燃烧装置（2001/80/EC）、废物焚烧（2000/76/EC）以及 VOCs 排放控制（1999/13/EC、94/63/EC）外，欧盟将工业点源的污染物排放纳入综合污染预防与控制（IPPC）指令进行多环境介质（水体、大气、土壤、噪声等）的统一管理。如果前三项是针对通用操作或设备的要求，IPPC 指令则是对典型行业的要求。它将工业生产活动划分为能源工业、金属工业、无机材料工业、化学工业、废物管理以及其他活动 6 大类共 33 个行业，水泥行业是其中之一。

为配合 IPPC 指令以及许可证制度的实施，欧盟委员会出版了 33 份行业 BAT 参考文件（BREF）。水泥行业 BAT 文件最初发布于 2001 年 12 月，最新的文件是 2010 年 5 月，相应 BAT 排放要求 NO_x 的标准见表 3。

表 3 欧盟水泥行业 BAT 排放水平

NO_x	预热器窑	$<200\sim 450 \text{ mg/m}^3$	1、窑况良好时，可实现 $<350 \text{ mg/m}^3$ ； 200 mg/m^3 仅三家工厂有过报道。2、如果采用初级措施 / 技术后， $\text{NO}_x > 1000 \text{ mg/m}^3$ ，则 BAT 排放水平为 500 mg/m^3 。
	立波尔窑、长窑	$400\sim 800 \text{ mg/m}^3$	基于初始排放水平和氨逸出率。

1.2.3 德国

德国是世界上环保要求最为严格的国家之一。《联邦排放控制法》是德国大气污染控制的基本法律，下辖各种条例 BImSchV 和指南 TA Luft。在《空气质量控制技术指南》（Technical Instructions on Air Quality Control, TA Luft）中规定了大气污染物排放限值。2002 年最新版的 TA Luft 中规定的水泥行业排放要求为： $\text{NO}_x 500 \text{ mg/m}^3$ （一般行业为 350 mg/m^3 ）。

对于水泥窑协同处置固体废物，执行废物焚烧和共焚烧的 17.BImSchV 条例要求。该条例要求较 TA Luft 更加严格， NO_x 为 200 mg/m^3 。按掺烧废物比例，计算应执行的标准，如掺烧 60% 的废物， NO_x 执行的标准值为 320 mg/m^3 。

1.2.4 日本

日本是按污染物项目制订排放标准，而不是按行业，类似我国的《大气污染物综合排放标准》。对某一行业的大气排放要求分散在不同的污染物项目标准里。就 NO_x 而言，在制订排放限值时考虑了行业差异，区分了锅炉、熔炼炉、加热炉、水泥窑等，排放浓度限值从 60 ppm（燃气锅炉）到 800 ppm（电子玻璃熔炉）不等。表 4 为日本水泥工业执行的 NO_x 排放标准。

表 4 日本水泥工业执行的大气污染物排放限值

NO_x
$250/350 \text{ ppm} (500/700 \text{ mg/m}^3)$

2 2014-2015 年国内外对污染控制涉及的重点行业的污染控制管理现状

我国是世界第一煤炭消费国,2014 年中国原煤消耗 38.7 亿吨,下降 2.5%;出口煤炭 574 万吨,进口煤炭 2.911 2 亿吨。其中燃煤电厂:54%;焦化、煤化工、工业锅炉、工业炉窑,以上 4 个耗煤重点领域煤炭消耗量占工业煤炭消耗量(除电力)的 95%。目前在燃煤电厂烟气多污染物治理方面,国家已出台相关政策和标准,要求在 2020 年之前对燃煤电厂全面实施超低排放和节能改造,大幅降低发电煤耗和污染排放,但众多的工业炉窑烟气多种污染物的治理标准和政策还没有完善,在十三五期间需要加大对水泥、玻璃、陶瓷等工业炉窑以及煤化工等行业的烟气治理力度,加大对工业窑炉超低排放技术的科研投入,做好超低排放政策和技术方面的准备。

3 主要技术发展情况

水泥工业废气中的 NO_x ,采用选择性非催化还原技术(SNCR),实现系统的 NO_x 减排 >50%。目前,我国超过 85%的水泥生产线建设了 SNCR 脱硝工程,但此技术只能满足水泥工业现有 NO_x 排放标准的要求,无法满足北京和重庆等重点地区的地方环保排放标准,以及未来可能更加严格的国家环保排放标准要求。据国外专业环保机构多年研究和试验情况分析,水泥工业要达到 $\text{NO}_x \leq 200 \text{ mg/Nm}^3$ 的排放标准,采用中温高尘 SCR 技术或低温低尘 SCR 技术将是必由之路。

国内新型干法水泥窑生产线大都配备了余热发电,烟气经窑尾预热器需先进入余热锅炉再去生料磨、窑尾除尘等后续设备,根据水泥窑炉工艺布置特点以及烟气温度区间特性,中低温高尘 SCR 脱硝技术,脱硝系统将预热器 C1 出口高温烟气引出经高空长烟道进入 SCR 反应器,在催化剂的作用下烟气得到净化,净化后的烟气再回到后续设备如余热锅炉,保留原有烟道作为脱硝停运时的旁路,SCR 脱硝反应器底部脱落的粉尘集中收集排至水泥生料均化库,技术路线流程如图 1;

SCR 系统采用原 SNCR 系统中的氨水作为还原剂,氨水从氨区储罐输送模块输送到计量模块,通过压缩空气将氨水喷射到气化器中,同时气化风机的风经过在反应器出口烟道上换热后进入气化器中将氨水气化及稀释,经气化稀释后的氨/气混合气通过喷氨格栅喷入反应器入口烟道中。此外,SCR 反应器每层布置一个声波吹灰器和耙式吹灰器,其中耙式吹灰器采用换热后的热压缩空气。SCR 系统工艺流如图 2。

4 我国自有知识产权技术的竞争力评价

虽然我国目前在该领域具有一定专利优势,且以科行环保、中电投远达、龙净环保以及大唐科技等为代表的环保企业开展了一系列专利布局,但是重要专利、核心专利仍显不足,专利质量亟需提高。

4.1 技术发展路线展示

烟气脱硝技术由 20 世纪 50 年代开始探索，经历了 70 年代的发展阶段，在 90 年代技术成熟并得到商业应用，在 20 世纪工艺整合的新技术开始浮现。

20 世纪 50 年代至 60 年代：50 年代中期，美国安格公司首次提出了选择性脱硝技术，最早是采用 Pt 催化剂除去汽车尾气中的氮氧化物，代表专利为 US3032387A，是世界上首个探索脱硝技术的国家。

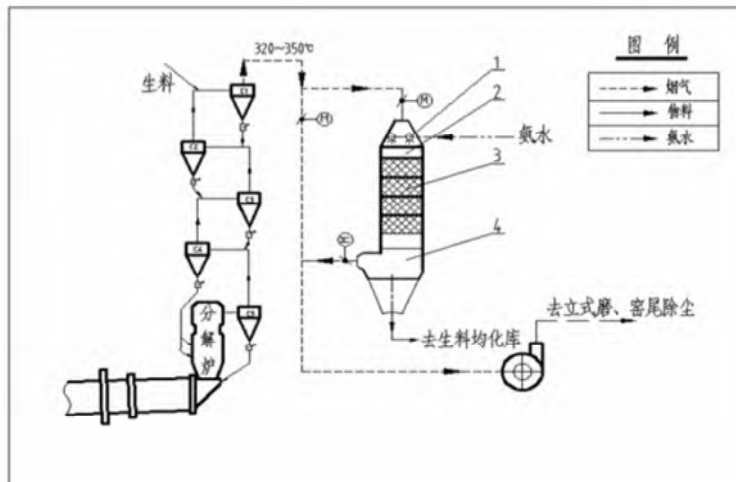


图 1 SCR 技术路线

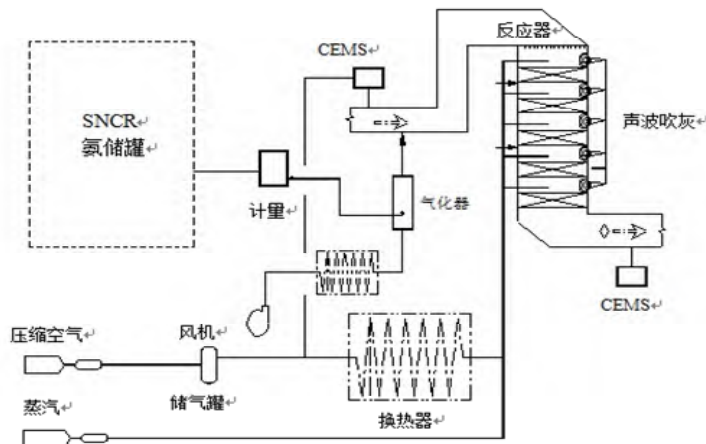
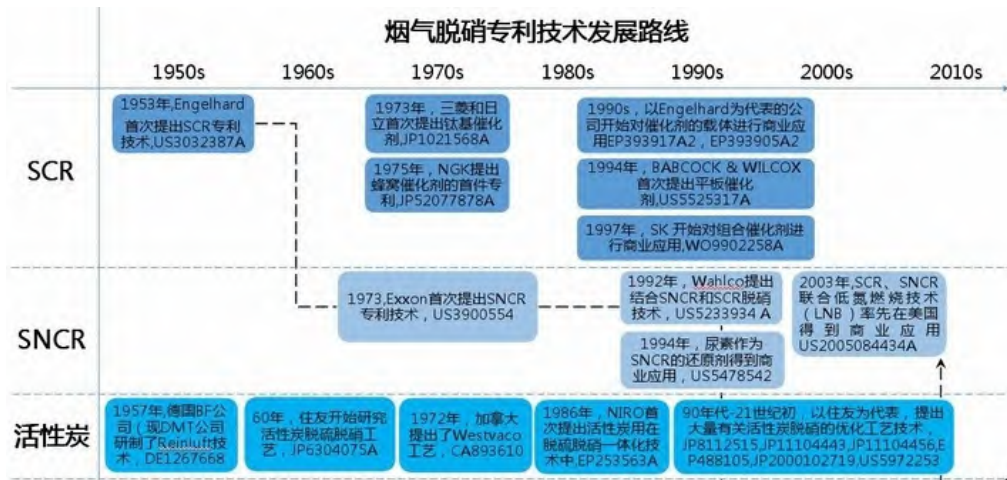


图 2 SCR 工艺流程



20 世纪 70 年代至 80 年代：这一阶段脱硝技术开始缓慢平稳发展。美国在提出选择性脱硝技术后，将这项技术进行优化推广，开始应用在烟气脱硝上。20 世纪年代 70 代，美国的 Exxon 的 Lyon 提出了选择性非催化还原技术 (SNCR) 用于移除高温烟道中的氮氧化物。1973 年，Exxon 提出世界上首件 SCNR 专利：US3900554。

同期，日本在 70 年代迎来了脱硝专利申请的首个高峰。1973 年，三菱和日立联合申请提出用钛基催化剂选择性脱硝技术 (JP1021568A)。1975 年，NGK 公司提出了 (JP5207781A) 蜂窝催化剂脱硝技术。1970 年，住友首次提出活性炭吸附用在脱硫脱硝中 (JP4011551B)。1991 年至 1999 年：这一阶段是脱硝技术成熟和得到商业应用的阶段。

90 年代初，安格为代表的美国公司开始对脱硝催化剂进行商业化研究，代表专利有 EP393917A2；Babcock&Wilcox 公司 1994 年提出了板式催化剂的专利，代表专利 US5525317A；1997 年，SK 公司开始对组合催化剂进行商业应用，代表专利 WO99022258A。同时期，SNCR 的技术也取得了长足的发展，出现了 SNCR 与 SCR 结合脱烟技术、尿素作为 SNCR 还原剂也开始在美国商用应用。

在美国出现脱硝专利申请高峰的同时，日本的专利迎来了第二次申请高峰，以住友为代表，大力在钢铁企业中推广活性炭吸附脱硝技术，并申请了大量的专利，代表专利有 JP81125115A, JP11104443A。同期，国外来华专利也开始增多。这一阶段也出现了除干法或半干法外的液相移除氮氧化物技术，专利有：JP8168638A 和 JP7112117A，1994 和 1995 年，三菱分别提出使用胺基水溶液和石灰石吸收 NO_x；EP0859659A，1995 年，BASF 提出使用 HNO₃ 水溶液移除 NO。

2000 年至今：这一阶段可以看作是工艺整合再创新的阶段。经历之前 3 个阶段，烟气脱硝技术的 SCR、SNCR 等技术等基本成熟，已解决了催化剂载体成本高、脱硝效率低等关键问题。同期，各国大力发展多种工艺联合的脱硝技术，代表专利 US2005084434A。2003 年，美国提出 SCR、SNCR 联合低氮燃烧技术，并随后在美国得到商业应用。

4.2 日美技术优势显著

截至 2014 年 7 月底，全球烟气脱硝技术的专利申请总量超过 16000 项，形成日本独

大、中国和美国占据第二的局面，日本申请总量占全球比例 51%，专利主要掌握在巴布考克日立、三菱重工、新日铁、住友、石川岛播磨、川崎、松下、神户钢铁等企业手中。美国专利申请量虽然较少，但是重要专利和核心专利较多。我国专利申请量虽然占比超过 20%，但是核心专利不多，技术优势不足。

我国烟气脱硝技术专利申请量超过 6000 件，其中发明占 75%，除中石化和神华外，前十大国内申请人均为大学及研究机构，中石化、中电投远达、龙净环保等为烟气脱硝产业链中的专业研发主力企业。国外来华申请占国内申请总量的 12%，主要来华申请国家为美国和日本，申请量之和占整个国外来华专利申请总量的 61%。排名前五大申请人为三菱、日立、住友、埃克森美孚和 B&W，前三者为日本企业，产品覆盖了化工、重机等领域；后两者为美国公司。

4.3 关键技术领域专利布局

国内烟气脱硝市场的产业链，基本上是以选择性催化还原技术（SCR）这条主工艺链上的催化剂原材料以及催化剂产品分别构成上游和中游，而下游的装置除了 SCR 工艺的催化剂单元，还包括燃料单元、吸附单元、附件连接等单元。上游的原材料主要包括催化剂载体（目前基本以纳米级 TiO_2 为主）、活性组分（钒钨氧化物及重金属）、还原剂（主要是氨和尿素）以及还原助剂和原料浆液。中游的催化剂产品涉及的专利包括了催化剂成品组装、结构（目前板式催化剂最常见）、解毒、再生、成分等主题。在产业链的中下游，也存在一些除 SCR 外的其他工艺，如 SNCR 法、氧化法、吸附法等。

5 主要问题分析及解决办法

5.1 行业现状

截至 2015 年底，我国共有水泥窑窑炉约 7800 条生产线，其中新型干法生产线约 1700 条，水泥总产量约 21.47 万吨。

水泥生产过程中的水泥煅烧系统是最重要的大气污染物排放源，其尾气量占全厂废气量 70% 左右，产生的污染物除有大量粉尘外，还生成二氧化硫（ SO_2 ）、氮氧化物（ NO_x ）、氟化物、二氧化碳（ CO_2 ）、一氧化碳（CO）等有害气体及汞及其化合物。2013 年水泥工业污染物排放：粉尘排放总量 586 万吨， SO_2 排放总量 137 万吨， NO_x 排放总量 240 万吨。据测算，我国水泥工业颗粒物排放占工业烟尘排放 39%， SO_2 排放占 3~4%， NO_x 排放占 10~12%。

5.2 技术应用情况

5.2.1 除尘

水泥工业目前使用的除尘技术主要是静电除尘、袋式除尘和电袋复合除尘。水泥窑的窑头窑尾一般需要对烟气降温调质，采用增湿塔或余热利用锅炉等措施将高温气体降到 100°C 左右，再利用袋式除尘器或静电除尘器净化处理。但是随着排放标准的趋严，水泥

工业除尘技术的升级换代迫在眉睫。

5.2.2 脱硫

水泥工业废气中的 SO_2 ，主要来源于水泥原料或燃料中的含硫化合物，及在高温氧化条件下生成的硫氧化物。对于新型干法生产来说，硫和钾、钠、氯一样。是引起预热器、分解炉结皮堵塞的重要因素之一，是一种对生产有害、需要加以限制的一种组分。由于在水泥回转窑内存在充足的钙和一定量的钾钠，所形成的硫酸盐挥发性较差、有 90% 以上残留在熟料中，因而在废气中排放的 SO_2 和其他工业窑炉（如电力锅炉）相比要少许多。但是随着水泥工业排放标准的趋严和地方排污总量的控制，目前重点地区约 20%~25% 的企业需要进行脱硫，非重点地区约 2%~5% 的企业需要进行脱硫。

5.2.3 脱硝

近两年来，大部分水泥厂采用选择性非催化还原技术（SNCR），即将氨水或尿素等氨基物质在一定的条件下与烟气混合，在不使用催化剂的情况下将氮氧化物还原成为无毒的氮气和水，实现系统的 NO_x 减排 > 50%。少部分水泥厂窑头主燃烧器采用低氮燃烧、分解炉分级燃烧技术，以最小的操作成本，尽可能地降低 NO_x 在分解炉内浓度；分解炉采用空气分级和燃料分解燃烧技术，利用助燃风的分级或燃料分级加入，降低分解炉内燃料 NO_x 的形成，并通过燃烧过程的控制，还原炉内的 NO_x ，从而实现系统的 NO_x 减排，总的 NO_x 减排 10%~30%。使用分级燃烧技术+选择性非催化还原技术联用，系统 NO_x 减排水平达到 > 60%。上述技术只能满足水泥工业现有 NO_x 排放标准的要求，无法满足北京和杭州等地区，以及未来行业标准的要求（ $\text{NO}_x \leq 200 \text{ mg/Nm}^3$ ）。

5.3 存在的问题

- (1) 现有治理技术运行稳定性差，运行成本高。
- (2) 现有污染物治理技术减排效率低，难以达到将来的超低排放目标。
- (3) 现有烟气污染物治理技术均为单一治理某一种污染物，未考虑有效协同治理。

5.4 解决思路

(1) 水泥窑高效 SNCR 脱硝技术与装备

针对当前国内水泥窑 SNCR 脱硝存在的脱硝效率低、氨耗量高、氨逃逸高等现状，分析 SNCR 脱硝的特点，深入研究影响 SNCR 性能的各个因素，包括喷枪喷嘴的形式、喷射距离、覆盖范围、雾化效果、安装位置，还包括分解炉内温度、压力、流速、 NO_x 、 NH_3 的分布以及对还原剂氨水喷射的控制等。以此为基础，研究适用于水泥窑的高效、低氨耗、低氨逃逸 SNCR 技术。重点解决三维立体测温、先进模拟仿真、多反馈自动控制等技术在水泥行业的应用，形成可持续稳定运行的关键产业化技术，推动水泥行业 SNCR 脱硝技术的优化升级，为国内水泥行业 NO_x 减排工作寻找新的突破口，也为其他行业的节能减排工作提供新的思路。

(2) 水泥窑 CO_2 捕集、分离、提纯及利用一体化技术与装备

我国水泥工业的 CO_2 排放量巨大，水泥工业 CO_2 的捕集、分离、提纯及利用既是国家

应对气候变化的重大需求，也是水泥工业可持续发展的重大需求。针对这一现状，分析国内外水泥窑 CO₂ 捕集、分离、提纯及利用的技术特点，深入研究可集成的 CO₂ 捕集、分离、提纯及利用一体化技术与装备，包括捕集和分离装置的协同、提纯方式的高效组合以及纯化后的 CO₂ 利用与再循环等。以此为基础，研究适用于水泥窑的 CO₂ 捕集与利用一体化技术，着重解决高效捕集和分离 CO₂、深度提纯、高效固化 CO₂ 等核心技术，形成完整的产业链技术，推动水泥行业温室气体高效治理与利用工作的开展，为水泥工业的 CO₂ 捕集利用对我国碳减排和可持续发展奠定基础，也为国家应对气候变化提供强有力支撑。

(3) 水泥窑中低温高尘 SCR 脱硝技术与装备

针对当前水泥窑脱硝存在的脱硝效率低、氨耗量高、氨逃逸高等现状，深入研究水泥工艺特点及现有脱硝技术，探索 SNCR+SCR 复合脱硝工艺路线，包括高效 SNCR 技术和适用于中低温高尘的 SCR 技术，重点解决高效 SNCR 技术装备、中低温 SCR 催化剂以及多反馈自动化技术装备在水泥行业的应用。在此基础之上，开展技术适用性试验，开发配套技术装备，形成可持续稳定运行的关键产业化技术，推动水泥行业脱硝技术的优化升级与完善，为国内水泥行业 NO_x 减排工作寻找新的突破口，也为其他行业的节能减排工作提供新的思路。

6 建议

6.1 加强水泥工业氮氧化物控制

水泥窑炉是居火力发电、汽车尾气之后的第三大氮氧化物排放大户。我国是世界水泥生产大国，全国现有新型干法水泥生产线 1600 多条，目前 80% 的新型干法水泥窑安装了 SNCR 脱硝装置，但脱硝效率较低，目前的执行 GB4915-2013《水泥工业大气污染物排放标准》NO_x 排放浓度为 400 mg/Nm³，与燃煤电厂超低排放要求的 NO_x 为 50 mg/Nm³ 的还有较大差距。烟气脱硝 SCR 技术脱硝效率高达 80% 以上，目前 SCR 技术在电站锅炉上已经很成熟。SCR 烟气脱硝技术在国外的水泥窑上已有多年的应用经验，2015 年，我国首台水泥窑 SCR 中试装置在苏州东吴水泥厂的 2500t/d 新型干法水泥窑上已进行中试，脱硝效率达 80% 以上，为我国水泥窑烟气治理提供了有力的技术支撑。建议能够收严水泥窑的 NO_x 排放标准，减少水泥工业的氮氧化物排放量。

6.2 加强玻璃窑炉的污染物控制

玻璃工业有 70% 以上大气污染物主要来自玻璃炉窑，玻璃窑炉目前执行的 GB26451-2011《平板玻璃工业大气污染物排放标准》，其中粉尘为 50 mg/Nm³，SO₂ 为 400 mg/Nm³，NO_x 为 700 mg/Nm³。

目前，平板工业玻璃窑炉采用的燃料有天然气、重油、石油焦及混合燃料等，烟气主要污染物为 NO_x、SO₂ 和粉尘，其中 NO_x 浓度高 2000-3000 mg/Nm³，采用石油焦、重油等燃料的玻璃窑炉的 SO₂ 浓度高 3000-5000 mg/Nm³，为治理的难点，存在 SCR 脱硝催化剂堵塞和中毒等问题，目前采用石油焦或掺烧石油焦混合燃料窑炉的脱硝装置绝大部分不能正常运行。建议淘汰污染较重的石油焦燃料的玻璃窑炉，改用天然气和清洁煤气技术。

我国现有平板玻璃生产线 200 多条, 80% 的玻璃窑炉已安装了高温除尘、SCR 脱硝、简易的湿法脱硫装置。近两年, SCR 脱硝技术已逐步完善, 除尘和脱硫技术也已经非常成熟, 建议能够收严玻璃窑炉的污染物排放标准。

6.3 加强陶瓷窑炉的污染物控制

建陶是一个高污染, 高能耗产业, 目前现有生产线 2000 多条, 工业烟气排放口多而散, 无组织排放现象严重, 治理难度较大。《陶瓷工业污染物排放标准》(GB25464-2010) 大气污染物排放标准 (8.6% O₂) 对粉尘、SO₂ 及 NO_x 排放要求较严格, 我国建陶企业能够达标的企业不超过 2%。由于当时 NO_x 控制技术还难以支撑此标准, 在 2014 年建筑陶瓷工业大气污染物排放标准 (2014 年修改单) 将基准氧调整为 18%, 放宽了排放标准。

建陶行业 95% 以上大气污染物主要来自陶瓷喷雾干燥塔、成品窑废气来源于窑炉 (使用水煤气) 烧成及喷雾干燥塔前的热风炉 (使用水煤浆) 排出的烟气, 其主要排放的污染物有氮氧化物、二氧化硫及烟 (粉) 尘等。受工艺的影响, 喷雾干燥塔排放的烟气中的粉尘及 NO_x 浓度含量较高, 粉尘初始排放浓度实测值为 2200~5590 mg/Nm³, NO_x 初始排放浓度实测值为 100~250 mg/Nm³; 而窑炉出口烟气 SO₂ 浓度较高, 实测值为 120~600 mg/Nm³。

目前, 对于喷雾干燥塔的烟气主要采用简易的 SNCR 脱硝、布袋除尘及简易的喷淋洗涤处理, 而对于窑炉烟气中的 NO_x 并没有相关的处理措施, 仅依靠喷淋脱硫塔进行除尘及脱硫处理, 导致污染物排放仍然较高, 需要进一步降低烟气中 NO_x、粉尘及 SO₂ 浓度。

(1) 喷雾干燥塔烟气排放现状及治理技术

污染物	初始浓度 (mg/Nm ³)	处理技术	排放浓度 (mg/Nm ³)
粉尘	2200~5590	布袋除尘	101~149
SO ₂	15~75	喷淋洗涤	<30
NO _x	100~250	SNCR	<150

(2) 窑炉烟气排放现状及治理技术

污染物	初始浓度 (mg/Nm ³)	处理技术	排放浓度 (mg/Nm ³)
粉尘	41~211	喷淋洗涤	<100
SO ₂	120~600	湿法脱硫	<30
NO _x	~124	—	~124

针对以上问题, 在当前的治理基础上, 可采用的超低排放技术方案, 主要包括以下技术:

(1) 热风炉 SNCR 脱硝技术, 可以达到 50% 以上的脱硝效率;

(2) 窑炉中低温 SCR 脱硝技术。针对烧成窑抽湿风机入干燥窑的烟气进行中低温 SCR 脱硝;

(3) 脱硫提效改造技术。通过对现有脱硫塔进行提效改造、自动化控制及喷淋技术的改造来满足 SO₂ 的减排要求, 并且达到更高的脱硫效果;

(4) 湿式除污器技术。将喷雾干燥塔及窑炉的烟气最后一并汇总引入到湿式除污器中, 进一步对粉尘、SO₂、氟化物、重金属等物质进行脱除, 从而达到超低排放标准;

近两年,中低温 SCR 脱硝技术开始在工业窑炉上进行推广,可以高效脱除氮氧化物;借助于燃煤电厂的湿式电除尘技术,湿式除污器技术在陶瓷行业也已成功应用,PM_{2.5} 微细颗粒物脱除效率高,粉尘排放可以做到 10 mg/Nm³ 以下;高效湿法脱硫技术目前在燃煤电厂也已经成功应用,此技术如应用到陶瓷工业上,同样能够有效控制 SO₂ 的排放;建议出台新的排放标准,加快陶瓷工业的多种污染物的治理。

6.4 推广工业窑炉的煤制煤气洁能技术

在玻璃窑炉和陶瓷窑炉等工业炉窑上,在由于采用天然气的成本较高,有不少厂家采用煤制煤气替代石油焦燃料,但目前采用的煤气发生炉为系统简易的两段炉,没有考虑煤气脱除 H₂S 的净化装置以及废水处理装置,导致煤气中的 H₂S 转化为烟气中的 SO₂,给后端的窑炉烟气脱硫带来难度,设备投资和运行成本较高。建议能推广清洁燃煤系统化设备,可以解决工业窑炉的四大难题:环保、碳的高转换率(由老式水煤气炉的 70%提升至 90%以上)、炉内不结焦(炉内气化温度控制的低、煤炭粉料加煤矸石)、性能稳定。

制药行业挥发性有机物及恶臭污染防治技术发展报告

1 制药行业 VOCs 及恶臭污染防治整体概况

1.1 制药行业相关法规、政策、标准体系

1.1.1 制药行业概况

近十几年来,无论是世界医药还是中国医药,其增长速度都要比经济增长高出 2~3 倍,即使在全球经济危机期间,医药行业的总体效益和增长水平也领先于其他行业。

化学原料药产业是医药产业的重要基础,随着世界化学原料药生产中心向亚洲转移。我国作为世界原料药最大生产国和出口国,能生产的原料药有 1500 多种。在维生素、解热镇痛药、激素类药物、青霉素及 β -内酰胺类药物等方面具有比较优势,尤其是抗生素、维生素等大宗原料药产量在世界上占绝对优势地位。而这些品种也正是制药工业污染的主要环节,随着行业的迅猛发展,环保压力也随之增大。随着近年来世界制药生产、销售格局的变化和我国一系列相关产业政策的出台,我国制药行业发展也出现新的发展趋势,加强产业的污染控制刻不容缓。

2014 年,我国医药工业企业共计 7511 家。其中化学药品制剂、化学药品原药、生物生化制品、中成药及中药饮片的工业企业共计约 5649 家,在这些企业中,大、中型企业数量占的比重约为 60%; 小型企业占的比重为 40%。我国医药工业企业数量多、小型企业占的比重相对较大。

1.1.2 制药行业 VOCs 及恶臭来源

根据制药生产工艺的不同,一般将制药企业分为发酵类、化学合成类、提取类、生物工程类、中药类和制剂类。不同类型的企业产生的 VOCs 和恶臭的来源也不同,其中发酵类、化学合成类及提取类产生的 VOCs 及恶臭排放量较大。另外,除生产工艺产生的废气,污水处理站也是制药行业主要的废气污染来源之一。

(1) 发酵类

发酵类药物的生产特点基本相似,一般都需要经过菌种筛选、种子制备、微生物发酵、发酵液预处理和固液分离、提炼纯化、精制、干燥、包装等步骤。

发酵类药物生产过程产生的废气主要包括发酵尾气、含溶媒废气、含尘废气、酸碱废气及恶臭气体。VOCs 及恶臭主要产生于发酵、提炼纯化、精制、干燥等工艺过程。其中,发酵尾气废气量较大,含有少量培养基物质、菌丝气味,VOCs 含量不高,臭气浓度较高。

(2) 化学合成类

化学合成类制药生产过程主要以化学原料为起始反应物，通过化学合成先生成药物中间体，然后对其药物结构进行改造，得到目的产物，然后经脱保护基、提取、精制和干燥等主要几步工序得到最终产品。化学合成药物生产品种多、更新快、生产工艺复杂；需要的原辅材料繁多，基本采用间歇生产方式；其原辅材料和中间体不少是易燃、易爆、有毒性的物品。

化学合成类制药废气种类复杂，废气成分取决于原辅材料的使用，VOCs 及恶臭主要来自提取、精制、干燥及有机溶剂回收等工艺过程。常见的污染物种类包括丙酮、甲醇、甲醛、酚类、二氯甲烷、三氯甲烷等。

(3) 提取类

提取类制药运用物理的、化学的、生物化学的方法，将生物体中起重要生理作用的各种基本物质经过提取、分离、纯化等手段制造药物。提取类制药工艺大体可分为六个阶段：原料的选择和预处理、原料的粉碎、提取、分离纯化、干燥及保存、制剂。

提取类制药 VOCs 及恶臭主要来自提取、精制及有机溶剂回收等工艺过程。提取常用的溶剂为水、稀盐、稀碱、稀酸溶液，有的用不同比例的有机溶剂，如乙醇、丙酮、三氯甲烷、三氯乙酸、乙酸乙酯、草酸、乙酸等。精制工艺种类较多，部分工艺会使用有机溶剂，排放 VOCs 和恶臭物质。

(4) 污水处理站废气

制药废水大多数具有有机物浓度高、色度高、含难降解和对微生物有毒性的物质、水质成分复杂、可生化性差等特点。废水处理系统 TOC 的去 除并非完全被微生物去除，而是通过恶臭逸散方式污染环境。制药废水处理产生 H₂S、VOCs 等恶臭的场所非常多，如调节、厌氧、沉淀、好氧、污泥脱水等制药废水处理单元。

制药废水处理系统中恶臭物质来源可以分为两类：(1) 生产废水、车间冲洗废水等本身所含的醇类、酮类等有机溶媒，大部分是易挥发的 VOCs；(2) 来自于污水中有机物由于微生物的生物化学反应而新形成的分解物，主要是 H₂S 以及大分子有机物在厌氧消化的过程中被微生物分解为新的小分子物质。制药废水中的硫酸盐在厌氧状态下，污水中含有较高的硫酸盐还原菌，由于反硫化作用的存在，SO₄²⁻、硫酸盐作为受氢体使硫酸盐还原成带有气味的 H₂S 气体。

1.1.3 国内制药行业相关法规、政策、标准

(1) 《制药工业污染防治技术政策》

2012 年 3 月 7 日，环保部颁布实施了《制药工业污染防治技术政策》，对制药行业 VOCs 与恶臭物质的污染控制提出了政策要求：① 有机溶剂废气优先采用冷凝、吸附—冷凝、离子液吸收等工艺进行回收，不能回收的应采用燃烧法等进行处理；② 发酵尾气宜采取除臭措施进行处理；③ 含氯化氢等酸性废气应采用水或碱液吸收处理，含氨等碱性废气应采用水或酸吸收处理；④ 产生恶臭的生产车间应设置除臭设施；动物房应封闭，设置集中通风、除臭设施。

对于制药废水处理站废气技术政策要求：① 厌氧生化处理过程中产生的沼气，宜回收并脱硫后综合利用，不得直接放散；② 废水处理过程中产生的恶臭气体，经收集后采用化

学吸收、生物过滤、吸附等方法进行处理。

技术政策的颁布为在建设项目和现有企业的管理、设计、建设、生产、科研等工作提供了指导。鼓励制药工业规模化、集约化发展,提高产业集中度。鼓励中小企业向“专、精、特、新”的方向发展。限制了大宗低附加值、难以完成污染治理目标的原料药生产项目,防止低水平产能的扩张,提升原料药深加工水平,开发下游产品,延伸产品链。并将 VOCs 和恶臭列为了环境污染防治的重点工作。

(2)《制药工业(发酵类、化学合成类及制剂类)污染防治可行技术指南(报审稿)》

由河北省环境科学研究院、中国环境科学研究院、江苏省环境科学研究院、清华大学编制的《制药工业(发酵类、化学合成类及制剂类)污染防治可行技术指南》目前已完成了公开征求意见,已形成报审稿,上报环保部待审议。《指南》主要包括了:① 制药工业污染防治技术。简要概述制药生产过程中的污染预防技术和末端治理技术,着重于它们的技术特点、适用范围、技术指标和经济性,并提出制药污染防治新技术。② 制药工业污染防治可行技术。在上述内容的基础上,从工艺过程、水污染物排放控制(分类别)、大气污染物排放控制及固体废物处理处置四个方面筛选并推荐若干可行技术路线及单项可行技术,深入论述可行技术特点、可行工艺参数、污染物削减、二次污染及防治措施、技术经济适用性。

指南是我国环境技术体系建设的一项重要内容,为实现制药行业节能减排目标提供技术保障。目前我国还没有颁布制药行业的清洁生产标准,尚未形成适于制药行业排放标准要求的可行的污染防治技术与评估方法、评估机制,制药行业在污染防治工作中缺乏技术支撑,很难保证污染防治设施在方案制订、工程设计、实施运行等过程。《指南》的编制使制药企业在污染防治过程中有章可循,保证污染防治设施长期、可靠运行及污染物稳定达标排放,确认制药行业污染综合防治技术的有效性、稳定性和经济性等指标。

(3)《挥发性有机物(VOCs)污染防治技术政策》

2013年5月24日,环境保护部发布《挥发性有机物(VOCs)污染防治技术政策》,提出了生产 VOCs 物料和含 VOCs 产品的生产、储存运输销售、使用、消费各环节的污染防治策略和方法。文件提出 VOCs 污染防治应遵循源头和过程控制与末端治理相结合的综合防治原则。到 2015 年,基本建立起重点区域 VOCs 污染防治体系;到 2020 年,基本实现 VOCs 从原料到产品、从生产到消费的全过程减排。

技术政策囊括了含 VOCs 原料的生产行业、油类(燃油、溶剂等)储存、运输和销售过程、含 VOCs 产品使用过程的污染防治。

政策鼓励工业生产过程中能够减少 VOCs 形成和挥发的清洁生产技术;旋转式分子筛吸附浓缩技术、高效蓄热式催化燃烧技术(RCO)和蓄热式热力燃烧技术(RTO)、氮气循环脱附回收技术、高效水基强化吸收技术,以及其他针对特定有机污染物的生物净化技术和低温等离子体净化技术等;高效吸附材料(如特种用途活性炭、高强度活性炭纤维、改性疏水分子筛和硅胶等)、催化材料(如广谱性 VOCs 氧化催化剂等)、高效生物填料和吸收剂等;挥发性有机物回收及综合利用设备等的研发和推广。

(4) 制药行业 VOCs 及恶臭污染物排放标准

我国正在制订的《制药工业大气污染物排放标准》尚未颁布,目前仍执行《大气污染物综合排放标准》和《恶臭污染物排放标准》的有关规定,由于综合排放标准不是针对制

药行业而制订,因此存在针对性不强、生产过程控制无全覆盖等问题应尽快制订制药工业大气污染物排放标准,扩充有毒有害特征污染物指标,同时规范制药企业生产全过程的污染控制细节,以有效削减制药行业的大气污染物排放。

目前,我国部分地市颁布了相关的地方标准。1)天津市《工业企业挥发性有机物排放控制标准(DB12/524-2014)》对医药制造行业的化学反应、生物发酵、分离精制、溶剂回收、制剂加工等使用和产生 VOCs 的工艺规定了 VOCs 的排放限值与排放速率;2)上海市地方标准《生物制药行业污染物排放标准(DB31/373-2006)》对生物制药的发酵、生物提取、生物技术制药、生物制剂等类型排放的废气排放浓度、排放速率进行了规定。其中包括发酵过程产生的氨、苯、苯酚、丙酮、二甲苯、二氯甲烷、1,2-二氯乙烷等 20 种废气污染物,生物提取过程产生的氨、丙酮、二甲苯、二氯甲烷等 20 种污染物;生物技术制药类 11 种、生物制剂类 9 种。3)浙江省《生物制药工业污染物排放标准(DB33-923-2014)》,按照发酵、提取类、发酵类和生物工程类对主要大气污染物如甲醇、甲醛、非甲烷总烃、甲苯、二甲苯、二氯甲烷、苯、氯苯类、苯酚、臭气浓度等 13 项污染物做出了相应的排放标准。4)河北省地方标准《青霉素类制药挥发性有机物和恶臭特征污染物排放标准》(DB13/2208-2015)对青霉素类制药企业排放的大气污染物,如乙酸丁酯、正丁醇、丙酮、TVOC 等污染物规定了排放限值。

1.1.4 国外制药行业相关法规、政策、标准

在世界范围内,美国和欧盟一些发达国家有着比较健全的制药行业污染物处理政策、法律法规和标准,同时也拥有先进的处理技术。

(1) 美国

美国的制药工业很发达,拥有当前全球第一大规模的医药产品市场份额。在制药工业经济快速增长的同时,美国也非常重视制药工业的污染控制,早在上世纪 70 年代,美国就有了对于制药污染物的规定和排放标准,包括《资源保护和回收法》、《综合环境反应、赔偿和责任法》等多项法规。美国制药行业环境技术管理体系由环境法规(包括技术政策)及环境标准组成,无论是法律法规还是各项制度都比较完备。

美国大气污染物排放标准将常规污染物与有害大气污染物分开进行控制。① 常规污染物。常规污染物包括 PM、CO、O₃、SO₂、NO_x、Pb、有机物(VOCs)、酸性气体(氟化物、HCl)等。我国暂未把挥发性有机物(VOCs)列为常规污染物进行控制。而美国为控制光化学烟雾和臭氧层破坏等环境问题,对 VOCs 的排放作了详细的规定。首先,涉及这类污染物的行业都制订有行业排放标准,这其中包括了制药行业的废气排放标准。在行业排放标准中又根据排放源类型的不同,分工艺排气、设备泄漏、废水挥发、储罐、装载操作五类源,分别规定了排放限值、工艺设备和运行维护要求。② 有害大气污染物。美国列出了 187 种有害大气污染物(HAP),包括无机 HAP 和有机 HAP,其中有 33 种属于挥发性有机物。美国 EPA 针对 187 种有害大气污染物名单制订有害大气污染物排放标准。

(2) 欧盟

欧盟的环境技术管理,主要是根据欧盟综合污染防治(IPPC)指令 96/61/CE 的规定,以采用最佳可用技术(BAT)作为能够达到对整个环境进行高水平保护的重要工具。BAT 文件详细描述了各类工业生产的工艺过程、存在的环境问题以及问题产生的环节、原因及

控制措施,除一般技术控制措施外,特别给出了在目前条件下不同工艺、不同控制技术下的最佳可行技术,并且给出通过应用这种技术可能达到的污染物排放量和资源消耗量。

欧洲综合污染预防控制局(EIPPCB)制定了制药行业污染防治的BAT说明文件(BREF)。BREF对制药行业的每个生产单元、操作单元、能源利用以及各类污染防治等都有明确的规定和说明。

欧盟的环境标准是以指令形式发布的。欧盟发布的有关VOCs排放的指令有欧盟综合污染预防与控制(IPPC)指令、关于特定大气有害物质最高排放量的指令(2001/81/EC)、有机溶剂使用指令(1999/13/EC)、涂料指令(2004/42/EC)、油品储运指令(94/63/EC)等。

1.2 制药行业VOCs及恶臭污染控制管理现状

我国制药行业发展迅速,已成为世界上原料药和医药中间体的生产大国,现代制药工业的生产过程中,使用大量的化学与生物制剂,使得化学药物和半合成药物的合成、生物发酵、溶剂的贮存提取运输、溶媒回收、产品提纯干燥及废水处理等生产工艺过程中会产生各类VOCs与恶臭污染物,从而影响区域大气环境。

随着制药行业的不断发展,VOCs的排放总量正逐年增加,VOCs与恶臭污染物的排放,会严重影响人们的生活质量。近年来不断增多的恶臭污染投诉中,制药企业占有相当的比例。制药工业排放的常见VOCs如甲醇、丙酮、苯胺类、二氯甲烷、三氯甲烷等都对人体具有较大的危害作用,长期接触会严重影响人们的身体健康。因此,严格限制VOCs及恶臭物质的排放是保障人群健康,提高环境质量和药企周边群众生活质量,促进社会和谐的重要手段。目前,我国制药行业VOCs和恶臭的管理主要存在以下问题:

(1) 缺少健全的管理制度。在管理制度体系建设方面,VOCs的排污许可证制度和排放量申报制度等一些基本的管理制度尚未建立,排污收费制度的制订工作尚未完成,致使很多制药排污企业处于观望状态,还没有进入实质性的治理阶段。

(2) 缺少制药行业VOCs及恶臭排放标准。现行标准对制药行业VOCs及恶臭的排放针对性不强,同时,现行标准制订时间较早,对于目前的技术水平来说,标准限值设定的较为宽松,而正在制订的《制药工业大气污染物排放标准》尚未颁布。排放标准的缺失使得各地环保部门在促进行业治理时无法可依,监管困难,限制了行业VOCs治理工作的开展。

(3) VOCs检测环节薄弱,检测方法体系不完善。由于VOCs种类繁多,性质各异,排放情况复杂,VOCs的检测问题一直是困扰排放管理的一个主要问题。目前的行业排放标准中一般是规定非甲烷总烃(NMHC)和行业特征污染物的排放浓度,或者是总VOCs和行业特征污染物的排放浓度。NMHC检测方法相对成熟,但在进行含氧、氮、硫等有机污染物检测时存在很大的偏差,并不能反映排放时的实际情况。检测体系的不完善影响了制药行业VOCs治理工作的开展和对治理设施的有效监管。

2 制药行业 VOCs 及恶臭治理技术发展情况

2.1 主要技术应用情况及开发重点

2.1.1 末端治理技术

对于有机废气及恶臭的处理技术大致可以分两类：回收技术和销毁技术（如图 1 所示）。

回收技术是通过物理的方法，改变温度、压力或采用选择性吸附剂和选择性渗透膜等方法来富集分离有机污染物的方法。该方法主要包括吸附技术、吸收技术、冷凝技术及膜分离技术等。回收的挥发性有机物可以直接或经过简单纯化后返回工艺过程再利用，以减少原料的消耗，或者用于有机溶剂质量要求较低的生产工艺，或集中进行分离提纯。

销毁技术是通过化学或生化反应，用热、光、催化剂或微生物等将有机化合物转变为二氧化碳和水等无毒无害无机小分子化合物的方法，主要包括高温焚烧、催化燃烧、生物氧化、低温等离子体破坏和光催化氧化技术等。

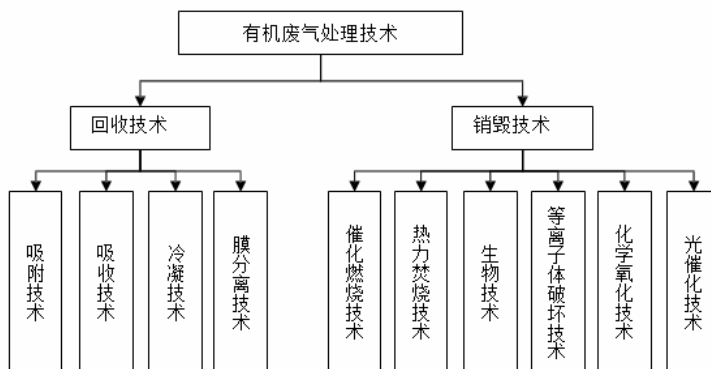


图 1 常见的有机废气及恶臭处理技术

(1) 吸附技术

原理：利用各种固体吸附剂（如活性炭、活性炭纤维、分子筛等）对排放废气中的污染物进行吸附净化。

技术关键：该方法主要适用于低浓度高风量有机废气处理。TVOC 浓度介于 500~10000 mg/m³ 之间，但处理 VOCs 体积分数小于 0.1%（TVOC 约 2000~4000 mg/m³）的气体时，VOCs 回收难度加大，处理成本增高。吸附剂吸附能力饱和后，要及时更换吸附剂，或进行吸附剂再生。

开发重点：① 加强吸附的基础理论研究，深入研究微孔吸附过程的传质传热机理，加强吸附过程传热传质耦合研究，为吸附技术的应用打下坚实的基础；② 针对活性炭的易燃易爆特性，开发新型的可替代微孔活性炭的高性能、安全吸附剂；③ 加强多组分有机废气分离净化的实验及应用研究，特别是变压吸附分离净化多组分有机废气的研究；④ 进一步

完善吸附模型,寻找更为精确的传质系数,传热系数模型。

技术发展及应用情况:吸附法设备简单、适用范围广、净化效率高,是一种传统的废气治理技术。主要包括固定床吸附技术、移动床吸附技术、流化床吸附技术和变压吸附技术等。目前我国主要采用的是固定床吸附技术,吸附剂通常为颗粒活性炭和活性炭纤维。此外随着新式吸附剂的开发和联合处理方式的应用,吸附法的应用范围也越加广泛,如吸附浓缩-催化燃烧技术、沸石转轮吸附浓缩技术。

(2) 焚烧和催化燃烧技术

技术关键:在有机废气治理中,热力焚烧在一些特殊情况下被采用,特别是针对高浓度有机废气且不考虑废气回收利用,或者废气中含有能够引起催化剂中毒的化合物时,如含硫、卤素有机物,不宜采用催化燃烧法时,通常也采用热力焚烧法。

技术发展及应用情况:高温焚烧和催化燃烧技术是最为普遍的 VOCs 治理技术,也是目前 VOCs 治理最为彻底有效地治理技术,但无论是哪种方法,都需要将废气加热到相应的燃烧温度,如果废气中的有机污染物浓度高,其燃烧产生的热量足以维持有机物分解需要的温度,但废气中有机物浓度较低时,采用直接燃烧的方法能耗较大。为了提高热利用效率,降低设备的运行费用,近年来发展了蓄热式热力焚烧技术和蓄热式催化燃烧技术,并得到广泛的应用。蓄热系统是使用具有高热容量的陶瓷蓄热体,采用直接热交换的方式将燃烧尾气中的热量蓄积在蓄热体中,高温蓄热体直接加热待处理废气,换热效率可达到90%以上,远高于传统间接换热器的换热效率。蓄热式催化燃烧技术大大拓展了催化燃烧技术和高温焚烧技术的应用范围,可以在较低浓度使用,近年来得到广泛地应用,并逐步替代了传统的高温焚烧技术和催化燃烧技术。

(3) 生物技术

原理:利用附着在反应器内填料上的微生物,在其新陈代谢过程中将废气中污染物转化为简单的无机物和微生物细胞质(VOCs被分解为二氧化碳、水等无机物)。

技术关键:生物净化技术适用于处理低浓度(TVOC浓度介于 $500\sim 2000\text{ mg/m}^3$ 之间)、大气量且易生物降解的有机气体。处理过程中,温度、PH值和营养物质等因素都会对净化效率产生影响,一般情况下,适宜的温度在 $15\sim 40^\circ\text{C}$,大多数微生物的最适宜pH值为 $6.5\sim 7.5$ 。同时需要提供给微生物氮、磷、硫和微量元素等无机盐类营养物质,此外废气进气速度、液气比、循环液喷淋量等参数,也会对处理效率产生较大的影响。

开发重点:①培育针对性强的VOCs废气治理优势菌种,缩短工程处理装置的启动时间,提高废气处理效率;②对现有的处理工艺开展研究并进行优化设计(填料的比表面积、孔隙率等参数),实现运行参数的自动控制,简化操作,降低运行费用;③开展生物处理原理的研究,建立数学模型,并结合工程实际对关键的模型参数进行改进,进一步提高生物净化效率。

技术发展及应用情况:生物净化技术具有处理成本低、无二次污染的特点,常见的生物法处理VOCs的工艺为生物滤池、生物洗涤塔和生物滴滤塔。在制药废气处理中较多的用于污水处理站的废气处理。另外,生物处理技术对VOCs物质具有一定的选择性,较少应用于卤代烃和烷烃处理。

(4) 冷凝技术

原理:利用物质在不同温度下具有不同饱和蒸气压的性质,通过降低系统温度或提高

系统压力等方法，使处于蒸汽状态的污染物从废气中冷凝分离出来。

技术关键：冷凝法适用于高浓度有机废气的净化（TVOC 浓度大于 10000 mg/m^3 ），经过冷凝后尾气仍然有一定浓度的有机物，需进行二次低浓度尾气治理。另外，冷凝法对 VOCs 的物质也有一定的要求，不适用于处理低沸点的有机物，如烷烃、烯烃等，较多的应用于卤代烃、醚、酸的处理。此外，在一些特殊的情况下需要采用液氮制冷剂深度冷凝（如回收二氯甲烷）。

技术发展及应用情况：该技术的优点是经济效益高、资金投入少、操作简单、便于维修、运行安全。在有机废气治理中，通常采用常温水或低温水对高浓度废气首先进行冷凝回收，冷凝后的尾气再进行吸附或催化燃烧处理。对低浓度的有机废气，当需要进行回收时，可首先采用吸附浓缩的方法，吸附浓缩后高浓度废气再采用冷凝技术处理。

（5）吸收技术

原理：采用低挥发或不挥发液体为吸收剂，利用废气中各组分在吸收剂中溶解度或化学反应特性的差异，使废气中有害组分被吸收剂吸收，从而达到净化的目的。

吸收过程按其机理分为物理吸收和化学吸收。有机废气的吸收通常为物理吸收，根据有机物相似相溶的原理，采用沸点较高、蒸汽压较低的柴油、煤油作为溶剂，使有机废气从气相转移到液相中，然后对吸收液进行解吸处理，回收其中有机化合物，同时使溶剂得以再生。对于一些水溶性较高的化合物，也可用水作为吸收剂，吸收液进行精馏以回收有机溶剂。

技术关键：一般用于处理 TVOC 浓度低于 500 mg/m^3 的低浓度有机废气。此外，吸收剂的选择是非常重要的，一般需考虑以下因素：① 对气体溶解度；② 粘度；③ 饱和蒸汽压、挥发性；④ 吸收剂的熔点、沸点、化学稳定性、毒性、有害性、易燃性；⑤ 吸收剂的价格，对设备的腐蚀性。同时应重视废气净化的后处理，避免二次污染。

开发重点：① 开发高效吸收剂；② 开发吸收法净化有机废气吸收尾液的处理技术，减少二次污染。

技术发展及应用情况：吸收技术的优点是投资少、操作简单，维修方便，运转安全。常用的装置如喷淋塔、填充塔、各类洗涤器等。为了提高吸收效率，在不增加设备本身阻力以及操作难易程度的前提下，大量选择多级联合吸收。

（6）等离子体技术

原理：等离子体是由大量电子、离子、中性原子，激发态原子、光子和自由基组成。在外加电场作用下，产生大量携能电子轰击有机废气中的污染物，使其电离、解离和激发，然后通过一系列物理、化学反应，使得有毒有害污染物转变为简单小分子物质。

技术关键：适用于较低浓度的有机废气处理，浓度低于 500 mg/m^3 。

开发重点：① 开发能与催化剂进行最佳匹配的等离子体反应器，包括其放电形式、放电管结构、与催化剂的结合方式和输入电源的性能等；② 研制处理各类气体的合适催化剂；③ 研究非平衡等离子体催化协同作用的机理和被处理废气间的物理、化学反应过程，以实现低能耗去除污染物；④ 研究放电过程中副产物的形成机理，使反应具有选择性。

技术发展及应用情况：该技术是近年来发展的 VOCs 处理新技术，目前没有大范围推广应用，主要处于研究阶段。

（7）光催化技术

原理：光催化氧化技术主要利用光催化剂（如二氧化钛）的光催化性，氧化吸附在催化剂表面的 VOCs。利用特定波长的光（通常为紫外光）照射光催化剂，激发出“电子-空穴”对，与水氧化发生反应，产生具有极强氧化能力的自由基活性物质，将吸附在催化剂表面上的有机物氧化为低分子的无毒无害物质。

开发重点：① 催化剂的制备（拓宽催化剂的光敏范围，使这些催化剂在自然光下发挥作用）；② 光催化氧化基础理论研究。废气的多相光催化氧化是一个十分复杂的能量与物质转化过程，其中涉及半导体材料的光电特性和界面化学等诸多领域的内容，研究这些理论对提高光催化反应的效率有重要的指导意义。

技术发展及应用情况：目前光催化氧化技术未在制药废气中大规模应用，仅有少数企业在处理臭气时进行探索式运行。

(8) 膜分离技术

原理：膜分离是利用天然或人工合成的膜材料分离污染物的过程。其基本工艺为，有机废气首先进入压缩机压缩后冷凝，冷凝下来的有机物进行回收，余下的进入膜分离单元后分为两股，一股返回压缩机重新进行处理，一股处理后排放。

技术关键：该法是一种新型的高效分离方法，适合处理高浓度的有机废气。同时由于有机蒸汽分子与高分子膜有很强的相互作用，因此要求用于分离挥发性有机物的膜材料对于有机蒸汽要具有一定的耐受性，以防在使用过程中因为有机蒸汽的溶胀而使膜性能下降，此外，所分离挥发性有机物的沸点、进气流速、进气浓度、分离器形式及操作方式等都会影响净化效率。

开发重点：分离膜的材料包括有机高分子材料和无机材料，在气体分离膜中，有机高分子材料应用更广，其中有机硅膜材料是研究和开发的重点。

技术发展及应用情况：采用膜分离技术回收处理废气中的 VOCs，具有流程简单、回收率高、能耗低、无二次污染等优点。近 10 年来，随着膜材料和膜技术的不断发展，国外已有许多成功应用的范例。而国内膜分离法回收 VOCs 刚刚开始研究，距离实现工业化还有一段距离。常用的处理有机废气的膜分离工艺包括蒸汽渗透、气体膜分离和膜接触器等。

各种技术的适用条件及优缺点等参数见表 1。

表 1 常见 VOCs 末端治理技术比较分析

控制技术	去除率 (%)	适用条件	优点	缺点	投资成本	运行成本	二次污染
吸附法	90-99	中、低浓度 VOCs (20-5000ppm)	去除效率高，易于自动化控制	不适用于高浓度、高温的有机废气，且吸附材料需定期更换	中	较高	易产生
吸收技术	>90	高可溶性 VOCs，不适用于低浓度 VOCs	技术成熟、可去除气态和颗粒物、投资成本低、占地空间小、传质效率高、对酸性气体高效去除	有后续废水处理问题、颗粒物浓度高、会导致塔堵塞、维护费用高	低	较高	易产生

控制技术	去除率 (%)	适用条件	优点	缺点	投资成本	运行成本	二次污染
冷凝	50-85	较高 VOCs 浓度 (> 5000ppm)	回收技术简单, 回收物质纯度高, 易于回收利用。	处理成本较高, 处理效率一般	中	较高	无
膜分离	>97	高 VOCs 浓度, 高回收价值 VOCs	回收效率高	成本较高, 膜稳定性差	高	较高	无
热力燃烧	>95	适用于高、中、低浓度, 无回收利用价值的有机废气治理。	净化效率高, 不稳定因素少, 可靠性高	处理温度高, 能耗大, 运行费用高, 不适用于易燃易爆气体	中	高	少
催化燃烧	>90	不适用于能够引起催化剂中毒的有机废气, 其他同热力燃烧	净化效率高	不适用于能够引起催化剂中毒的有机废气和易燃易爆气体	高	较低	无
生物控制技术	>85	低 VOCs 浓度, 有机硫化物、有机氮化物等有机废气的处理	能耗低、费用低	不够稳定, 处理效果一般	中	低	小/无
等离子体分解	>90	低 VOCs 浓度 (< 500 mg/m ³)	条件温和, 常温常压, 设备简单、维护方便	占地面积大, 气候影响大	中	低	无

(9) 组合技术

在对有机废气处理技术的选择上, VOCs 的浓度可以作为技术初步筛选的一个重要依据。对于高浓度有回收价值气体, 可考虑采用先冷凝回收利用(有机气体沸点越高越适宜), 冷凝处理后的废气再进行末端处理。另外, 对于一些高浓度气体, 流量不大且温度不高时, 可以考虑采用膜分离技术进行回收处理。对于一些中高浓度的有机废气, 若无回收价值, 可采用催化燃烧、热力焚烧等技术进行处理。对于低浓度有机废气, 可采用生物处理或等离子体技术进行处理。除了浓度之外, 还需考虑气体流量、成分、温度、湿度、颗粒物含量等因素去筛选和设计处理工艺。

多数情况下, 采用一种技术治理有机废气往往难以达到净化的要求, 而且也不经济, 通常需要多种技术组合。例如, 高浓度有机废气: 车间预处理(冷凝)+吸收处理(喷淋)+焚烧/催化燃烧+吸收处理(喷淋), 低浓度有机废气: 吸附浓缩+焚烧、冷凝+吸收、冷凝+吸收+等离子体+氧化。

2.1.2 无组织控制技术

目前大多数制药企业生产设备均为密闭设备, 操作过程为密闭式操作, 产品、有机溶剂从生产设备到储存区均为密闭的管道输送; 蒸馏产生的少量不凝气也通过管道引至冷凝装置处理后集中排放。因此, 制药生产过程中废气的无组织排放主要来源于设备、管道的跑冒滴漏等造成的物料无组织挥发。

目前较好的控制措施主要有: 生产中所用易挥发物质均用储罐密封储存, 生产过程中投料采用放料、泵料或压料, 尽可能避免采用真空抽料, 减少溶剂的挥发; 溶剂类物料、易挥发的物料(氨、盐酸等)采用储罐集中供料和储存, 储罐呼吸气收集后处理。

泄漏检测与修复技术（LDAR）是对工业生产活动中工艺装置泄漏现象进行发现和维修的一种技术，目前广泛应用于石化行业，也适用于制药企业的无组织排放控制与管理。该技术采用固定或移动监测设备，监测企业各类反应釜、原料输送管道、泵、压缩机、阀门、法兰等易产生挥发性有机物的泄漏处，并修复超过一定浓度的泄漏检测处，从而减轻原料泄漏对环境造成的污染，是国际上较先进的无组织废气检测技术。

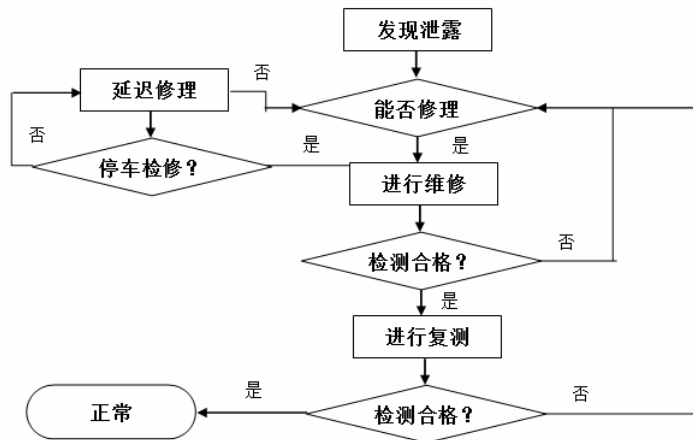


图 2 LDAR 技术工作流程

LDAR 技术工作流程（图 2）：首先，根据企业需求开展现场调研与资料分析工作，根据工艺流程、介质类型、现场结构等因素制订泄漏检测与修复方案，并且根据密封点类型、介质性质等分类建立密封点数据库。之后，开展现场检测与修复后检测工作，根据制订的检测方案，准备相应的检测仪器，培训检测人员，完成密封点数据库中所有密封点现场泄漏检测，并且将检测结果导入数据库，将泄漏密封点信息反馈给企业，企业组织维修人员维修后，开展泄漏密封点复测工作。最后，统计分析检测数据，评估泄漏损失，编写检测分析材料，完成材料归档管理。目前 LDAR 技术在制药行业还没有开始应用，但随着该技术的不断发展，其在制药行业将会得到推广和使用。

2.2 治理技术发展趋势

2.2.1 市场发展趋势

近年来，制药工业 VOCs 治理行业的发展呈现以下几个趋势：（1）新注册了一大批 VOCs 治理企业；（2）之前从事除尘、脱硫、脱硝的治理企业纷纷转到 VOCs 治理领域，这些企业资金实力强，技术转型快，发展也较快；（3）一些境外企业依托其技术优势，开始进军我国的 VOCs 治理市场，这些企业技术先进，资金雄厚，对我国企业形成了很大冲击；（4）随着环保部门对 VOCs 排放的监管力度加强，VOCs 检测市场发展迅速，从事 VOCs 检测仪器和检测业务的公司得到了快速发展；（5）社会资本进入 VOCs 治理市场，一些实力较强的企业通过融资、注资等途径提高企业实力，扩大企业市场竞争力。

2.2.2 技术发展趋势

目前应用范围最广的治理技术主要包括吸附回收技术、吸附浓缩技术、催化燃烧技术和高温焚烧技术等,此外,低温等离子体技术和生物治理技术也得到了快速发展。总体技术发展情况主要表现在以下几个方面:

(1) 新的吸附技术不断发展和完善

吸附浓缩技术: 制药行业排放的 VOCs 大多以低浓度、大风量的形式排放的,为了降低治理费用,通常是利用吸附材料首先对低浓度废气进行吸附浓缩,然后再进行冷凝回收、催化燃烧或高温焚烧处理。目前吸附浓缩技术主要包括固定床吸附浓缩技术(通常采用蜂窝状活性炭为吸附剂)和沸石转轮吸附浓缩技术(采用多种类型的硅铝分子筛作为吸附剂)。其中沸石转轮吸附浓缩技术最早从日本企业开始,现已在全世界范围内得到了应用。该技术净化效率高,尾气排放浓度稳定,采用高温热气流再生时安全性好。

活性炭吸附集中再生技术: 吸附法处理 VOCs 及恶臭气体是目前制药行业应用比较广泛的治理技术,但对于小企业来说,往往很难承担治理费用,因此目前大量企业只是安装了活性炭吸附装置,而没有安装活性炭再生装置,需定期更换活性炭。由于更换活性炭的成本较高,更换下的活性炭作为危废处理又增加了部分成本,因此在实际运行中缺乏监管的情况下吸附装置实际上成为摆设。各地环保管理部门已经逐步认识到了这个问题,为了减轻单个企业的治理费用,采用集中收集吸附后的活性炭,建立统一的活性炭异地再生装置,是目前最为可行且成本低的一种模式。

(2) 蓄热式(催化)燃烧技术逐步替代传统的(催化)燃烧技术

催化燃烧技术和高温焚烧技术是最为普遍的燃烧 VOCs 治理技术,也是目前 VOCs 治理最为有效彻底的治理技术。但无论是热力焚烧法还是催化燃烧法都需要将废气加热到相应的燃烧温度。如果废气中有机物的浓度较高,废气燃烧后所产生的热量可以维持有机物分解所需要的反应温度,采用燃烧法是一种经济可行的方法。当废气中有机物浓度较低时,则需要大量能耗,治理设备运行费用高。为了提高热利用效率,降低设备的运行费用,近年来发展了蓄热式热力焚烧技术(RTO)和蓄热式催化燃烧技术(RCO),大大拓宽了催化燃烧技术和高温焚烧技术的应用范围,可以在较低浓度下使用,近年来得到了广泛应用,并逐步替代了传统的(催化)燃烧技术(特别是在低浓度范围的 VOCs 废气治理)。

(3) 低温等离子体技术异军突起、乱象纷呈

低温等离子体净化技术是近年来发展起来的废气治理新技术。由于低温等离子体技术具有反应器阻力低(系统的动力消耗非常低),装置简单,易于操作,占地面积小,使用方便等优点,受到了用户的青睐,近年来得到了迅速的发展。但在实际应用中也存在很多问题,一是作为一项新技术,目前对于其作用机理的研究还不够充分,针对不同污染物,如何有针对性地进行等离子体发生器的设计,目前还没有形成规律性认识;二是目前很多企业只是在模仿该技术,对技术特点理解不够。应尽快对该技术的应用进行规范。

(4) 生物技术的发展不断深入,适用范围逐渐拓宽

生物法最早应用于废气脱臭。近年来随着对有机污染物治理技术研究的不断深入,生物法逐步被应用于有机污染物的治理领域。但由于生物法对有机污染物的降解速率较低,只是在处理低浓度有机废气时才具经济性。此外,由于生物菌种对有机物的消化具有很强的

的专一性,只适合于易生物降解的有机物,一般生物菌剂生物法处理有机废气的普适性较差。近年来,生物法处理有机废气的研究工作进展很快,各种生物菌剂和填料的开发不断取得突破,除了在除臭领域应用外,逐步拓展到酮类、醛类、脂类等多种类型的有机物的净化(在低浓度情况下使用)。

(5) 不同技术交互融合,组合技术发展迅速

VOCs 治理的难点在于成分极其复杂,不同类型的化合物性质各异,在大多数行业中所产生的 VOCs 又是以混合物的形式排放。因此采用单一的治理技术往往难以达到治理效果,在经济上也不合理,通常情况下需要采用多种治理技术的组合治理工艺。因此近年来各种组合治理工艺发展迅速,如吸附浓缩+催化燃烧技术、吸附浓缩+高温焚烧技术、吸附浓缩+吸收技术、低温等离子体+吸收技术、低温等离子体+催化技术等,即使是吸附技术,有时也会采用不同吸附剂工艺的组合工艺。采用组合治理技术,从净化效果上考虑,是为了实现污染物的达标排放,从成本上考虑,可以降低治理费用,以最低的代价实现治理效果。

2.3 自有知识产权技术的竞争力评价

与美国、日本、欧洲等发达国家和地区相比,我国制药行业 VOCs 治理工作起步较晚,之前环境管理的重点集中在除尘、脱硫、脱硝方面,对 VOCs 的治理工作未给予足够重视。近年来随着 VOCs 治理逐步成为大气污染治理的热点领域,一些技术实力较强、具有良好发展前景的治理公司开始寻求通过融资、注资等途径进行发展,一些较大的公司通过收购规模小、技术特点强的企业,进行合并重组,不断提高企业的实力和竞争力,已成为目前 VOCs 治理企业发展的一个显著趋势。同时 VOC 治理企业主要集中东部沿海地区,其中以江苏、浙江、广东、上海、福建、天津和北京为主。

企业服务方面,VOCs 治理设施的运维服务重要性逐渐显现,由于 VOCs 治理设施的专业性强,企业缺乏运行维护的人才队伍,治理设施运行条件无法保障,难以达到既定净化效果,因此近年来一些治理公司在治理设施完成后继续提供运行维护工作已成为发展趋势。

3 制药行业 VOCs 及恶臭治理技术存在问题及分析

我国在“十二五”期间才开始重视 VOCs 的污染控制问题,并将 VOCs 与颗粒物、SO_x 和 NO_x 一起列为改善大气环境质量的控制目标污染物。由于起步晚,VOCs 治理市场的准入门槛又比较低,因此目前 VOCs 的治理市场比较混乱,在法规制度、行业管理以及技术提升等方面都还有待于进一步的规范,以促进该行业健康有序发展。

制药行业 VOCs 治理技术水平有待加强。吸附技术、吸收技术、冷凝技术、催化燃烧技术和高温焚烧技术是 VOCs 治理的主流技术,和国外相比,我们在功能材料、技术细节、工艺设计水平和制造水平上还存在一定的差距,特别是在规范化设计方面尚没有统一的设计规范约束,不同企业的净化设备在性能上存在很大的差距。膜分离技术、生物技术、低温等离子体技术、光催化技术和光氧化技术是近年来应用于 VOCs 净化的新技术,由于技术基础薄弱,缺乏对技术的适用范围和使用条件规律性的认识,因此在工艺设计和净化装

备设计上存在很大的随意性,造成很多净化设施净化效果不佳,难以实现达标排放要求。同时,由于生产工艺尾气中含有多种类型的污染物,通常需要采用组合技术进行综合治理,因此净化系统的优化组合设计是系统集成的关键。和国外治理公司相比,目前国内的治理企业在系统设计上缺乏经验,系统设计能力较弱,在系统集成上往往存在很多缺陷,达不到技术集成效果。需要企业在实践中不断的设计积累经验,优胜劣汰,全面提高工艺设计水平。此外,由于缺乏技术性法规的指导,VOCs的治理市场混乱,鱼龙混杂,有待于进一步规范。

缺少技术支撑。目前只制订了《吸附法工业有机废气治理工程技术规范》和《催化燃烧法工业有机废气治理工程技术规范》,对于生物法治理工艺、低温等离子体治理工艺、吸收法治理工艺等尚未制订相应的工程技术规范,致使环保部门和企业对工程设计、治理设施的管理难以提出规范性要求,设计、施工和管理等方面都无章可循,很多治理设施不能实现达标排放的要求。

4 建议

医药行业是保证人们基本生活健康的重要行业,但其大量排放的有机废气却存在严重的环境污染隐患,危害人体健康。为保障制药行业的绿色可持续发展,现提出以下建议:

(1) 建立健全的管理制度。建立 VOCs 的排污许可证制度、排放量申报制度和排污收费制度等一些基本的管理制度

(2) 制订制药行业 VOCs 及恶臭排放标准。现行标准对制药行业 VOCs 及恶臭的排放针对性不强,同时,现行标准制订时间较早,对于目前的技术水平来说标准限值设定的较为宽松。应尽快完善制药行业 VOCs 及恶臭气体排放标准体系。

(3) 制订工程技术规范。目前只制订了《吸附法工业有机废气治理工程技术规范》和《催化燃烧法工业有机废气治理工程技术规范》,对于大量使用的生物法治理工艺、低温等离子体治理工艺、吸收法治理工艺等尚未制订相应的工程技术规范,致使环保部门和企业对工程设计、治理设施的管理难以提出规范性要求,设计、施工和管理等方面都无章可循,很多治理设施不能实现达标排放的要求。应尽快完善有机废气治理技术的工程技术规范。

(4) 完善 VOCs 检测方法体系。由于 VOCs 种类繁多,性质各异,排放情况复杂,VOCs 的检测问题一直是困扰排放管理的一个主要问题。因此,近期内国家应该进一步加强投入,进行检测分析设备的研发,尽快完善 VOCs 检测分析方法体系。

(5) 提高污染物治理技术水平。和国外的同类技术相比,我国在功能材料、技术细节、工艺设计水平和制造水平上还存在一定的差距,特别是在规范化设计方面尚没有统一的设计规范约束,不同企业的净化设备在性能上存在很大的差距。对于吸附浓缩技术、分离技术、生物技术、低温等离子体技术、光催化技术和光氧化技术这些新技术的应用,应该加大基础研究投入,明确不同技术的治理对象和适用范围,指导技术应用和工程设计。为了制药行业的 VOCs 治理工作,应规范 VOCs 治理市场,从国家层面上应尽快制订与其相关的技术法规体系,淘汰技术能力差的落后治理企业,促进 VOCs 治理市场的有序发展。

石油石化行业挥发性有机物污染控制技术发展报告

1 所属行业或领域总体概况

1.1 2014-2015 年国内外相关法规、政策、标准体系现状

1.1.1 美国 VOCs 相关法规标准体系

美国在 1963 年颁布《清洁空气法 (Clean Air Act)》，经过 1977 年、1990 年两次重大修订，规定主要空气污染物的污染控制手段和目标。1990 年修订案列出了 189 种需要削减的有害空气污染物名单 (其中大部分为 VOCs 物质)，成为一部完整全面地美国空气污染控制的基本法律。

在《清洁空气法》之下，从空气质量角度建立了《国家环境空气质量标准 (NAAQS)》，从污染源排放角度建立了一系列污染源排放标准，主要包括《新污染源运行标准 (NSPS)》和《有害空气污染物国家排放标准 (NESHAP)》。同时，促使和指导各州制定并实施州污染控制计划 (SIPs)。这一体系如图 1 所示，具体到 VOCs 的控制，其法规标准体系如图 2 所示。

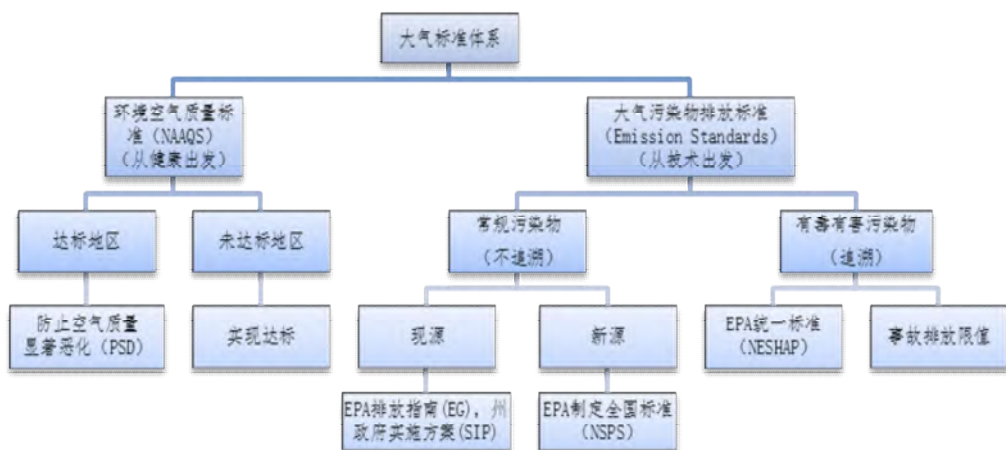


图 1 美国大气法规标准体系

与此同时，还根据环境空气质量达标情况和污染源的属性，实施不同的控制技术体系，详见表 1。

表 1 污染物控制技术体系

排放标准 (Emission Standard)			质量标准 (NAAQS)	
常规污染物	有毒害污染物		达标地区	未达标地区
RACT (EG-SIP)	MACT (NESHAP)	现源	RACT	RACT
LEAR/BACT (NSPS)	MACT (NESHAP)	新源 NSR 许可证	BACT	LAER

其中:

RACT: Reasonable Available Control Technology, 合理可得控制技术

BACT: Best Available Control Technology, 最佳可得控制技术

LEAR: Lowest Achievable Emission Rate, 最低可达排放率

MACT: Maximum Attainable Control Technology, 最大可得控制技术

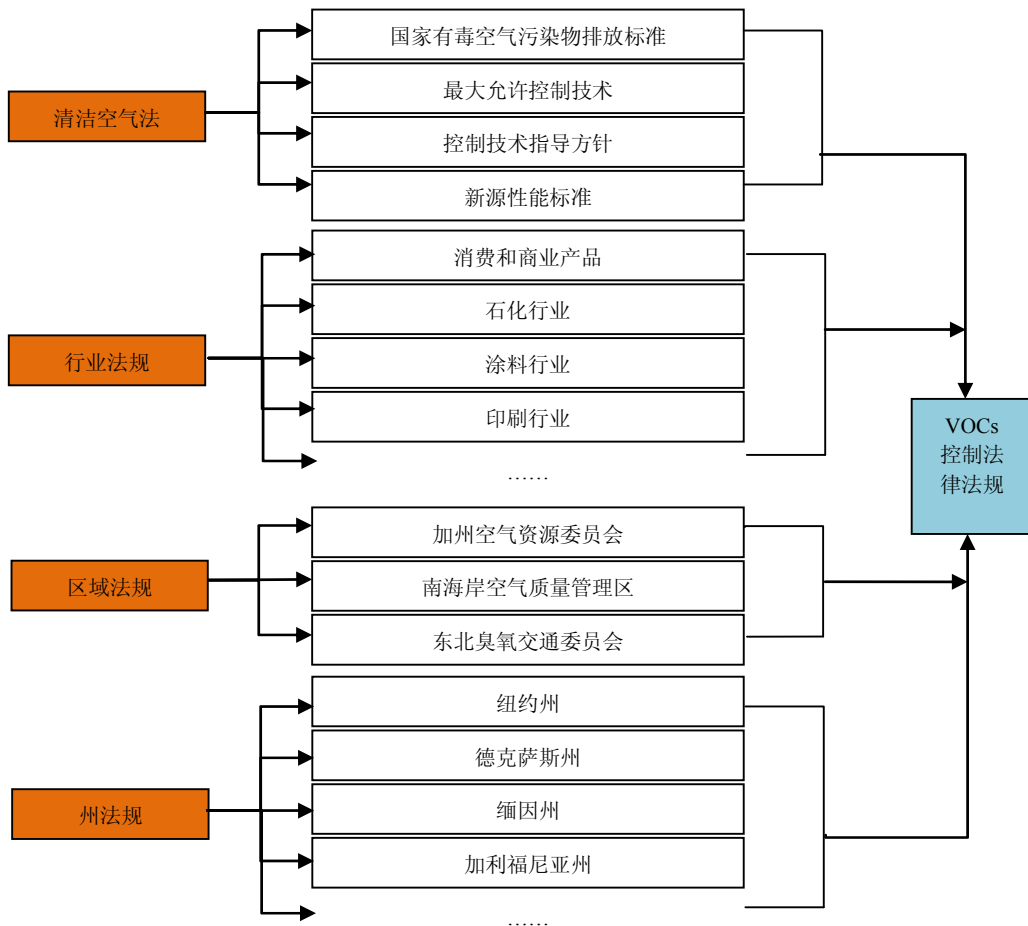


图 2 美国 VOCs 控制法规标准体系

1.1.2 欧盟 VOCs 相关法规标准体系

欧盟议会和理事会颁布环境空气质量标准和工业排放控制标准。除《欧盟大气质量框

架公约(96/62/EC)》外,还对各国的大气污染物(包括VOCs)排放量作出规定《大气污染物排放量最高国家标准(NECD)》。而污染源排放标准方面,有《综合污染防治指令(IPPC 96/61/EC)》,对包括石化在内的6大类33个行业进行规范。还发布了《有机溶剂使用指令(99/13/EC)》《汽油贮存和配送指令(94/63/EC)》《有害物质限制指令(76/769/EEC)》等VOCs相关指令。

此外,欧洲国家对VOCs进行分级控制,按VOCs物质的毒害作用(包括健康风险和环境影响)分为高毒害、中等毒害和低毒害三类分别按不同标准进行控制。

1.1.3 我国VOCs相关法规标准体系

2015年修订的《大气污染防治法》首次将VOCs列为主要大气污染物进行控制,并对涉及VOCs的各个环节进行规范。

2015年,环保部出台《石化行业VOCs污染源排查工作指南》,开展石化行业VOCs排放情况的摸排统计,为未来将VOCs纳入总量管理奠定基础。

与此同时,财政部、国家发展改革委、环境保护部出台《挥发性有机物排污收费试点办法》,对石油化工行业和包装印刷行业试点征收排污费,北京、上海等地相继出台实施细则。

在标准规范方面,2015年出台的《石油炼制工业污染物排放标准GB 31570》《石油化学工业污染物排放标准GB 31571》《合成树脂工业污染物排放标准GB 31572》与2007年出台的《储油库大气污染物排放标准GB 20950》《汽油运输大气污染物排放标准GB 20951》《加油站大气污染物排放标准GB 20952》等标准一起对石化行业的VOCs排放进行了系统的规范。北京、上海、天津、广东等地也先后发布或修订了相关地方标准,对石油石化行业VOCs污染控制提出了更严格的要求。

GB 31570、31571、31572要求对生产装置尾气、储罐、装卸、设备和管阀件泄漏、废水固废处理逸散气、火炬、乃至开停机、检维修、采样等环节的VOCs排放进行控制。除提出非甲烷总烃(NMHC)控制指标外,还对特征污染物提出了控制限值要求。

在泄漏控制方面,GB 31570、31571、31572要求采用LDAR(泄漏检测与修复)程序对设备和管阀件泄漏进行管控。还出台了标准检测方法(《泄漏和敞开液面排放的挥发性有机物检测技术导则HJ 733-2014》)和工作指南(《石化企业泄漏检测与修复工作指南》)。

在污染物检测尤其是特征污染物的检测标准方面尚显薄弱。GB 31571、31572分别提出了64种和30种特征污染物,但仍有48种特征污染物没有检测方法标准。标准还提出对排放口进行连续自动监测(CEMS),但尚未出台VOCs的CEMS技术规范。

1.2 2014-2015年国内外对污染控制涉及的重点行业的污染控制管理现状。

1.2.1 美国石油石化行业VOCs污染控制现状

《清洁空气法》实施以来VOCs排放量持续下降,图3整理了1970年至2014年14个人为源的VOCs排放量(其中2002年以后的统计方法有变化)。

2011年,美国EPA对全国炼油厂的污染物排放量进行收集统计(ICR),全美所有炼油厂VOCs排放量16万吨(短吨)/年,如图4典型1000万吨/年炼厂的VOCs排放量约

580 吨（短吨）/年。储罐和设备泄漏是最主要的 VOCs 排放源。



图 3 美国人为源 VOCs 排放控制情况（单位：千吨（短吨）/年）

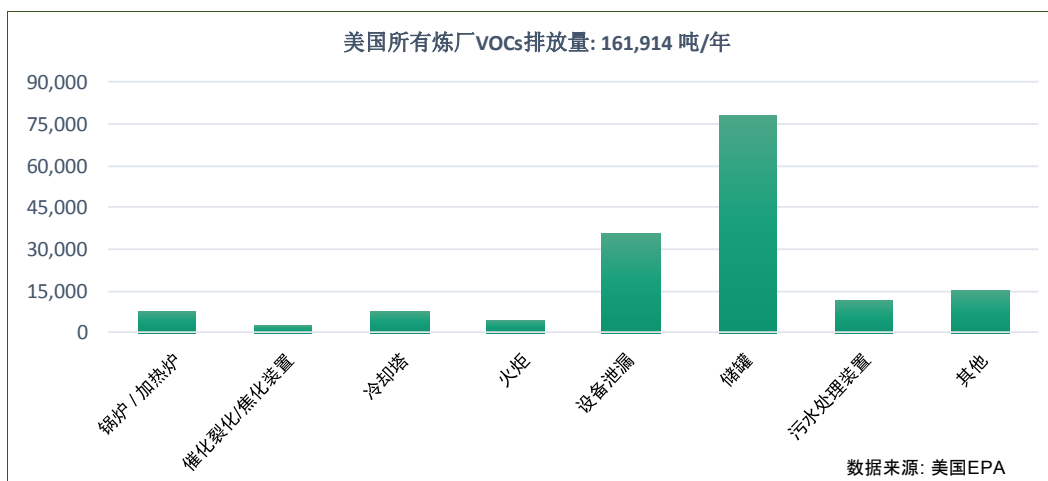


图 4 美国炼油厂 VOCs 排放量统计（2011 年 ICR）

1.2.2 我国石油石化行业 VOCs 污染控制现状

我国全面开展 VOCs 污染控制的时间较晚。2012 年 9 月发布《重点区域大气污染防治“十二五”规划》将石油石化行业列为 VOCs 控制的重点行业，启动了全行业的 VOCs 污染控制，此前只是对成品油销售环节的油气污染进行控制。

2014 年 12 月，环保部印发《石化行业挥发性有机物综合整治方案》，全面开展石化行

业 VOCs 综合整治, 提出到 2017 年, 全国石化行业基本完成 VOCs 综合整治工作, 建成 VOCs 监测监控体系, VOCs 排放总量较 2014 年削减 30% 以上。2015 年, 相关政策、标准、技术规范密集出台, 有力的促进了石化行业 VOCs 污染控制工作。

石化行业骨干企业中国石化、中国石油、中海油等公司先后开展了 VOCs 污染专项整治行动。对炼化企业的装置尾气、储罐、装卸、设备和管阀件泄漏、废水固废处理逸散气等环节的 VOCs 排放进行了摸排和梳理, 新建、改建处理设施, 开展 LDAR。中石化“碧水蓝天”行动计划、中石油“低碳与清洁发展重大专项”等都将 VOCs 治理作为重点纳入计划。

中石化和中石油还分别建成了全集团的 VOCs 管控信息平台, 对全集团各炼化企业的 VOCs 排放情况进行统一管控。

虽然全面地治理工作正在快速推进, 但全行业的排污量仍没有确切的统计数据。此前我国没有专门针对单一企业的 VOCs 排放量计算方法, 统计排放量时多采用编制源清单的方法, 基于产品制造量的排放因子或宏观的物料衡算, 得到的排放量数据与实际偏差较大。如, 华南理工大学估算 2010 年我国石油石化行业 (含 VOCs 生产、储运、以 VOCs 为原料的工艺过程) VOCs 排放量约 570 万吨。2015 年环保部参考美国 EPA 的《Emissions Estimation Protocol for Petroleum Refineries》制定了《石化行业 VOCs 污染源排查工作指南》, 排污收费的计算依据也采用该思路。基于新核算方法的石化行业 VOCs 排放量核算工作正在全国石化系统推进, 近期会获得更加符合实际的排放量统计。

2 主要技术发展情况

2.1 主要技术发展情况。

2.1.1 石油石化行业 VOCs 污染的特点和控制思路

石油石化行业产品种类、生产工艺众多, 但在生产过程上又具有一定的共性, 图 5 显示了石油石化行业一般的生产过程, 及基于生产过程和生产设施要素进行分类的 VOCs 排放源。总体上可分为有组织排放和无组织排放两大类。

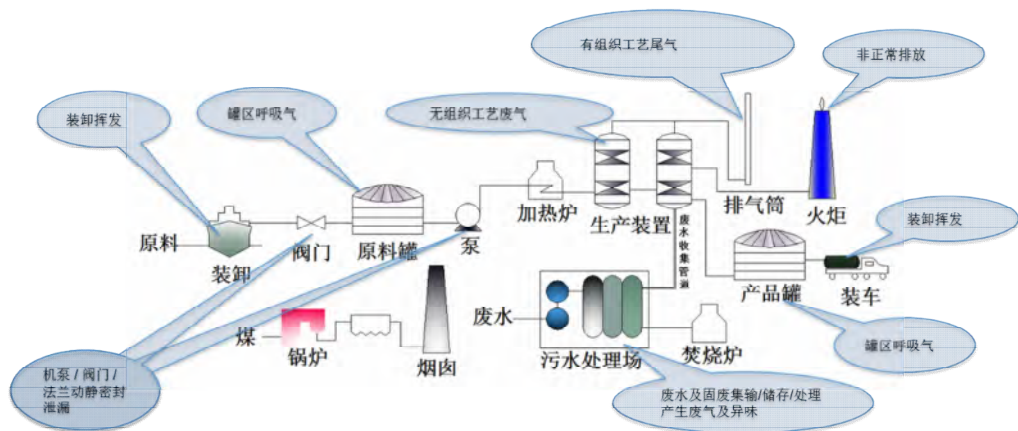


图 5 典型石油化学工业企业设施图

有组织排放可直接采用各种 VOCs 处理技术进行处理；无组织排放中的装卸过程排放、工艺废气、储存罐区呼吸气、废水池等开放液面排放等可通过收集措施送入处理装置处理；管阀件的密封泄漏排放通常采用 LDAR（泄漏检测与修复）技术进行管理和控制。

2.1.2 通用 VOCs 废气末端处理技术

石油石化行业 VOCs 的末端控制技术可以分为两大类：回收技术和破坏处理技术。

回收技术是通过物理化学的方法，改变温度、压力或采用选择性吸附剂和选择性渗透膜等方法来富集分离有机污染物的方法，主要包括吸附技术、吸收技术、冷凝技术及膜分离技术等。回收的有机溶剂可以直接或进一步提纯后作为产品或用于生产工艺。

破坏处理技术是通过化学或生物化学反应，用热、光、催化剂或微生物等将 VOCs 转变成二氧化碳和水等无毒害无机小分子化合物的方法，主要包括高温氧化、催化氧化、微生物处理、低温等离子体破坏和光催化氧化技术等，如图 6 所示。

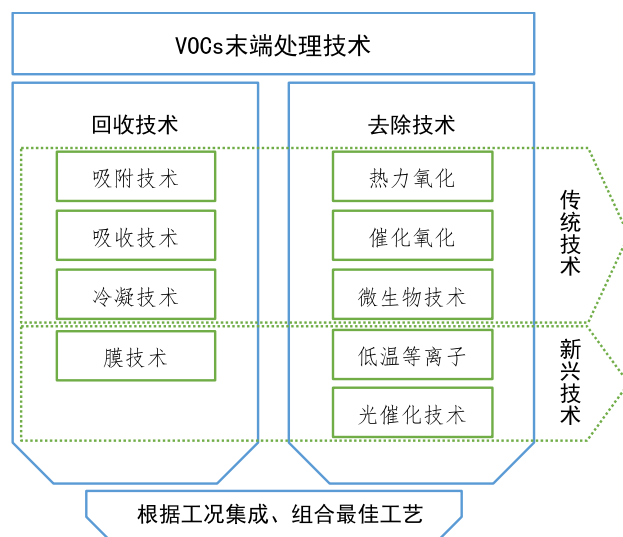


图 6 通用 VOCs 末端处理技术

其中，吸附、吸收、冷凝、热力氧化、催化氧化及微生物技术是较为成熟的传统工艺技术，膜技术、低温等离子技术、光催化技术等是近年来发展起来的新兴技术。在实践中，往往需要根据实际工况和排放要求，选择合适的工艺集成、组合使用，形成最佳的工艺路线。

2.1.2.1 VOCs 回收技术

目前常用的 VOCs 回收技术主要有四种，吸附、吸收、冷凝和膜技术。从应用情况上看，吸附技术、冷凝技术及膜分离技术是目前主流的 VOCs 回收技术，吸收技术目前已经很少有单独使用的情况，通常都是和吸附或者膜分离技术组合使用。其中吸附技术是最为传统、也是到目前为止安装数量最多的 VOCs 回收处理装置。

(1) 吸附技术

吸附技术在 VOCs 治理领域的应用，通常是将含 VOCs 废气通过多孔固体吸附剂，将其中所含的 VOCs 组分吸附截留在固体吸附剂上，以达到分离净化的目的。其中，固定床

活性炭吸附法是最早采用的 VOCs 治理方法，早在 1925 年就在欧洲开发和应用。吸附法在 VOCs 的处理过程中应用极为广泛，既可用于低浓度高通过量的有机废气，亦可用于高浓度低通过量的有机废气。

常用吸附剂包括分子筛、颗粒活性炭、活性炭纤维、硅胶等，以各种活性炭应用最为广泛。研究表明，活性炭吸附 VOCs 性能最佳，原因在于其他吸附剂（如沸石、硅胶等）具有极性，在水蒸气存在的情况下，水分子和吸附剂极性分子结合，从而降低了吸附剂的吸附性能，而活性炭分子不易与极性分子结合，因而体现出较强的吸附能力。常用的活性炭吸附材料包括颗粒活性炭、碳纤维和蜂窝活性炭，如图 7 所示。



图 7 常用 VOCs 处理炭吸附材料（颗粒炭、碳纤维、蜂窝炭）

实用的有机废气吸附处理工艺中，通常由两个或多个吸附床轮换工作，一个吸附床完成吸附操作后进行解吸操作，气体切换到另一个吸附床进行处理。根据解吸方式的不同，分为变压吸附和变温吸附。前者通过改变吸附塔内的压力（真空度）实现解吸，后者通过改变温度实现解吸。变温吸附可以采用蒸汽或热氮气解吸。图 8 和图 9 分别展示了典型的变温吸附和变压吸附工艺。

变压吸附技术对公用工程要求较低，无需热氮气、蒸汽等，在装卸环节油气回收（汽车、火车、油轮）、罐区呼吸气治理等领域是国内外主流技术；气体中含有难以真空解吸的组分、并且能够提供蒸汽、热氮气等公用工程的场合才使用变温吸附技术。蒸汽解吸变温吸附过程产生一定量的废水，需进行进一步处理。

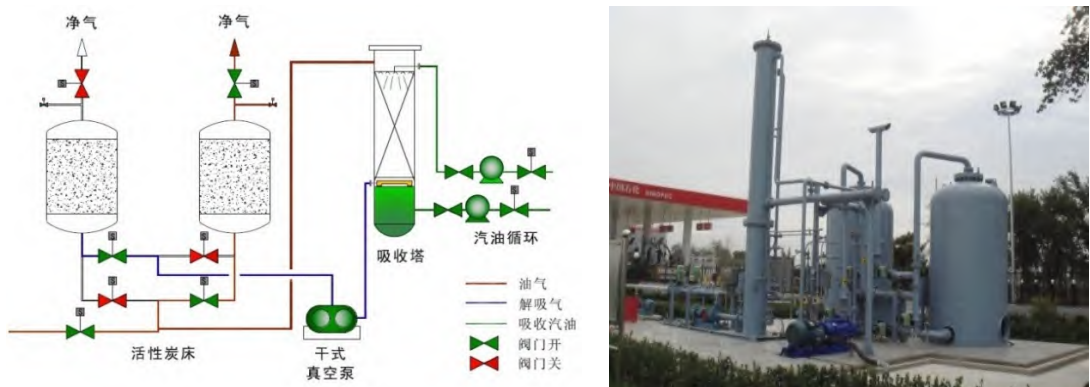


图 8 典型的变压吸附 VOCs 处理工艺

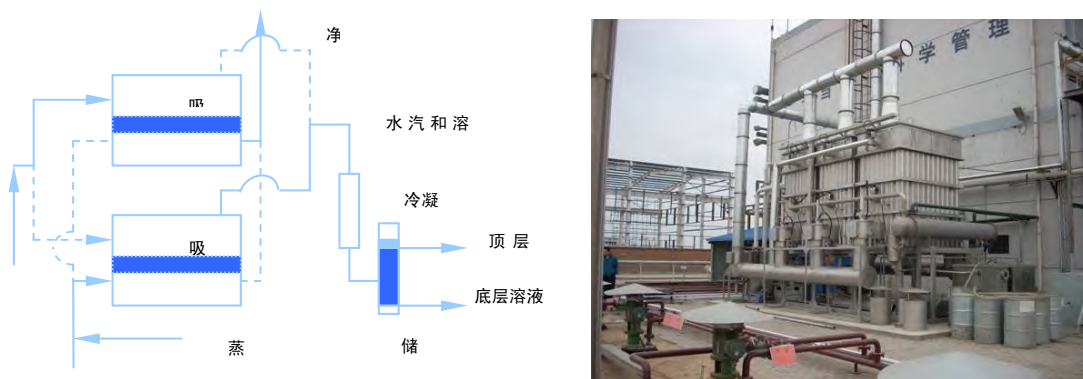


图9 典型的变温吸附 VOCs 处理工艺

此外，吸附法与其他净化方法的组合技术可以治理众多行业的有机废气，在国内外得到了推广应用。例如，对于低浓度、大气量的 VOCs 废气，目前较为成熟的方案是采用转轮吸附浓缩作为后续处理装置（如氧化、冷凝等）的前处理装置。其工作原理如图 10 所示，吸附转轮连续不断将低浓度、大气量废气中的 VOCs 吸附，再用小风量的热风脱附得到高浓度的废气，浓缩后的气体再进入后续的氧化装置或冷凝装置进行处理，从而构成经济、高效的有机废气处理系统。该系统体积小，费用低，在国内外已得到广泛应用。

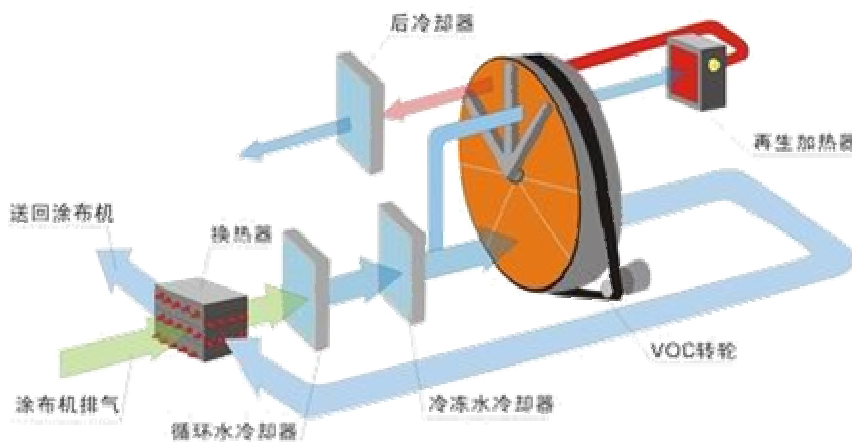


图 10 转轮吸附浓缩原理

(2) 冷凝技术

冷凝法是最简单的处理方法，利用不同物质在不同温度下具有不同饱和蒸汽压这一特性，采取降低温度、升高压力的方法使 VOCs 冷凝并从废气中分离出来的过程。冷凝技术本身可以达到很高的净化程度，但是净化程度愈高，需要的冷却温度愈低，运行费用也就愈高。因此，只有气体中所含蒸气浓度比较高时，冷凝回收才比较有效。而对于一般冷却水能达到的低温度来说，冷凝的净化程度也是有限的。

同时冷凝过程收集的液体 VOCs 的储存也是限制其应用的问题之一，由于 VOCs 的回收过程发生在低温条件下，回收的 VOCs 在恢复正常温度时又会具有较大的挥发性，因此

在常温常压下储存回收产品时,大部分液态 VOCs 经过一段时间又会挥发成为气态 VOCs,如果采用低温或者加压储存,又会增加运行成本。

冷凝回收法的优点是所需设备和操作条件比较简单,回收得到的物质比较纯净,其缺点是净化程度受温度影响很大,常温常压下,净化程度受到很大限制。因此,冷凝法通常做为吸附、膜分离等装置的前处理技术,只有在气体组分相对单纯或者无法提供吸收剂、活性炭吸附无法应用等特殊场合才考虑单独采用冷凝法进行处理。

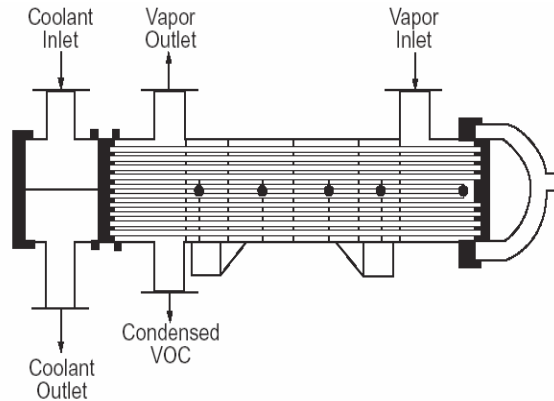


图 11 典型的 VOCs 冷凝设备

(3) 膜技术

膜分离技术的基本原理是利用高分子膜对 VOCs 具有优先透过性的特点,让 VOCs/空气的混合气在一定的压差推动下经膜的“过滤作用”使混合气中的 VOCs 优先透过膜得以“脱除”回收,而空气则被选择性的截留。技术关键是选择合适的膜材料(目前最常用的为高分子橡胶态膜,如 PDMS、POMS 等)以及与其相匹配的膜分离工艺(单级气体膜分离、蒸汽渗透、膜接触器),从而提高分离效率。

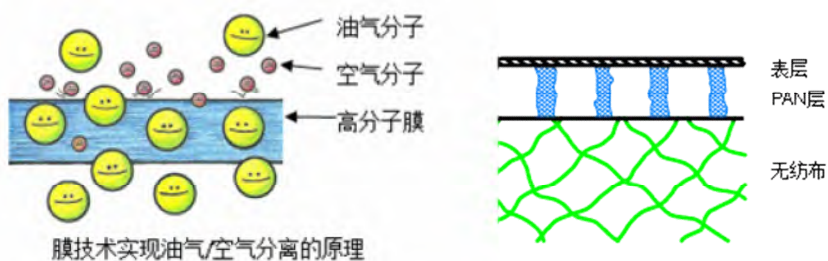


图 12 膜分离过程原理及典型的 VOCs 回收膜结构图

目前能够应用膜系统处理回收的 VOCs 包括氯烃类、烯烃类、氟利昂类、烷烃及苯等,在低浓度范围时可达较好的处理效果,在高浓度范围时可以与冷凝法联合使用。具有效率高、能耗低、操作简单、装置紧凑、占地面积少等特点,尤其不存在二次污染,可回收有价值的 VOCs。从 20 世纪 90 年代以来,全世界范围内已经安装了数百套膜分离法 VOCs 回收装置,并正在逐步取代传统的单纯活性炭分离回收方法。

膜分离技术中的关键设备膜分离器以前一直依赖于进口,主要的供应商有德国 Bosig

公司、美国 MTR 公司等。随着国内技术进步，一些研究机构和企业目前已经可以部分完成自主研发和生产，逐步替代进口膜组件。这些机构主要有中国科学院大连化学物理研究所、大连欧科膜技术工程有限公司、南京天膜科技有限公司等。一些传统的 VOCs 回收企业如海湾环境科技（北京）股份有限公司、南京都乐制冷设备有限公司等也在发展自己的膜分离技术。

(4) 吸收技术

吸收法是采用低挥发或不挥发溶剂吸收待处理气体中的 VOCs 组分的净化方法。在 VOCs 污染治理领域，已经很少单独使用吸收工艺，通常与吸附、冷凝、膜分离、生物法等配套使用。

2.1.2.2 VOCs 去除技术

VOCs 去除技术是通过化学或生物化学反应，借助热、光、催化剂或微生物等将 VOCs 转变成二氧化碳和水等无毒害无机小分子化合物的方法，主要包括氧化燃烧技术、微生物技术、低温等离子体技术和光催化氧化技术等。

其中氧化燃烧技术和微生物技术属于传统主流技术，分别应对较高浓度和较低浓度的 VOCs 去除需求。低温等离子技术和光催化氧化技术是近年来发展较快的新兴技术，在大风量低浓度 VOCs 废气处理尤其是除臭领域有较大的应用前景。

(1) 氧化技术

1) 直接燃烧法

可燃组分含量高或热值较高，能够自持燃烧的废气，可以采用直接燃烧法，将废气作为燃料加以燃烧去除。直接燃烧法是 20 世纪 50、60 年代广泛采用的方法，亦称为直接火焰燃烧。直接燃烧的设备包括一般的燃烧炉、窑，也可以将废气通过某种装置导入锅炉进行燃烧。直接燃烧的温度一般在 1100℃ 左右。

2) 热力氧化法 (TO)

可燃组分含量不足以支持燃烧时，可以采用热力氧化法 (TO)。热力氧化法 1950 年代开始在美国应用，利用辅助燃料（如煤气、天然气、油等）燃烧产生高温烟气（1370℃ 左右），再用高温烟气与废气混合达到 540~820℃ 的反应温度，并保持足够的停留时间将废气中的有机物氧化分解。在供氧充分的情况下，温度、停留时间和湍流混合程度是影响热力氧化效果的关键因素。

3) 催化氧化法 (CO)

催化氧化法 (CO) 采用合适的催化剂在较低温度下氧化分解废气中的 VOCs。其优点是无火焰燃烧，安全性好，要求的燃烧温度低（大部分烃类和一氧化碳在 300~450℃ 之间即可完成反应），辅助燃料消耗少，对可燃组分浓度和热值限制较少，燃烧设备的体积较小。缺点是催化剂价格较贵，且要求废气中不得含有导致催化剂失活的成分。

常用的催化剂是以金属网或蜂窝陶瓷作载体，用贵金属 Pt、Pd 作为活性材料制成的，也有用 Cu、Cr、Fe、Co、Ni 等金属的氧化物作活性材料。此外，稀土催化剂的研究也已取得较大进展。国内已研制使用的催化剂有：以 Al_2O_3 为载体的催化剂，载体可制成蜂窝状或粒状等，然后将活性组分负载其中，现已使用的有蜂窝陶瓷钯催化剂、蜂窝陶瓷铂催化剂、蜂窝陶瓷非贵金属催化剂、 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 粒状铂催化剂、 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 稀土催化剂等；以金属作为载体的催化剂，可用镍铬合金、镍铬镍铝合金、不锈钢等金属作为载体，已经应用的

有镍铬丝蓬体球钯催化剂、铂钯/镍 60 铬 15 带状催化剂、不锈钢丝网钯催化剂以及金属蜂窝体催化剂等。几种国产催化剂的主要性能见表 2。催化剂的活性因可燃组分的种类而异，对于碳氢化合物，碳原子数越多，越容易被氧化分解。

表 2 常见国产催化剂的主要性能

型号	外形尺寸 (mm)	比表面积 (m ² /L)	空速 (m ⁻¹)	转化率 (%)	起燃温度 (°C)	堆积密度 (kg/L)
3138 蜂窝陶瓷	47×47×50	0.8	10000-20000	>90	240	0.83
2314 蜂窝陶瓷	47×43×43	1.0	10000-30000	>90	200	1.16
FCC-1 蜂窝陶瓷载体	47×47×46	0.8	10000-30000	>90	>250	0.92
FG-1 蜂窝陶瓷载体	47×47×47	1.0	30000	>90	-	0.74
FG-2 蜂窝陶瓷载体	截面六边形长 25, 高 100	0.8	30000	>90	-	1.05
RAC-8001 稀土	球 3-6	-	10000	≥99	300~350	0.983
ABO ₃ 合金蜂窝稀土	宽 25, 厚 0.08	2.82	40000-50000	>99	400	-
NZP-1	球 3-5	-	10000-15000	-	≥220	0.75
GM 蜂窝	47×47×47	-	20000-40000	95~99.5	150~300	-
蓬体球	球 26-30	-	-	>99	280	-

4) 蓄热式热力氧化 (RTO) 和蓄热式催化氧化 (RCO)

在热力氧化和催化氧化技术的基础上，1975 年在美国发展起蓄热式热力氧化 (RTO, Regenerative Thermal Oxidizer) 和蓄热式催化氧化 (RCO, Regenerative Catalytic Oxidizer) 技术，采用蓄热陶瓷高效回收利用反应热，用于预热进入系统的废气。目前，RTO/RCO 技术在 VOCs 废气处理领域占有重要地位。

图 13 展示了典型的 RTO 和 RCO 的结构。在 RTO 中设有 2 个或多个由蓄热陶瓷填充的蓄热室，每个蓄热室底部设有切换气流方向的程控阀与进气总管和排气总管相连，蓄热室上方为燃烧室。工作时，废气从一个蓄热室进入系统得到预热，而后在燃烧室完成氧化反应，再经另一个蓄热室排出系统，排气携带的大量反应热被该蓄热室蓄存用于下一轮预热废气。各蓄热室按预先设定的时间间隔切换蓄热和供热。RCO 的结构与 RTO 类似，只是用催化剂床层替代燃烧室。

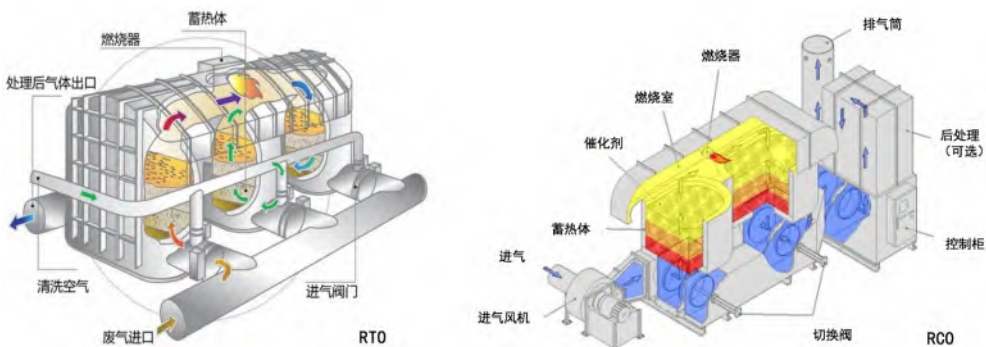


图 13 典型的 RTO 和 RCO 结构图

(2) 生物法净化技术

生物法净化 VOCs 废气是在成熟的生物法处理污水的基础上发展起来的, 早期在德国、荷兰等国家得到规模化应用, 目前在国内主要应用于除臭市场。

生物净化法利用微生物对污染物有较强、较快的适应能力的特点, 用污染物对微生物进行驯化, 使微生物以 VOCs 为碳源和能源维持生命活动, 同时将 VOCs 降解、转化为无害的、简单的物质 (如 CO_2 、 H_2O 等), 从而达到气体净化的目的。

废气中的 VOCs 通过气液传质从气相转移到液相 (或固体表面液膜), 而后在液相中通过微生物的代谢活动, 转化为简单无机物及细胞组成物质。可见, 气液传质和生物降解这两个过程的速率都对 VOCs 的生物净化有直接影响。常见的生物法工艺包括生物洗涤法、生物过滤法以及生物滴滤法等, 都是从不同的角度去提升这两个过程的效率。

生物法最突出的优点是能耗少, 运行费用低, 尤其在处理浓度非常低、气量非常大、生物降解性好的 VOCs 废气时更显其经济性。

(3) 低温等离子技术

低温等离子体技术又称非平衡等离子体技术。在外加电场的作用下, 通过介质放电产生大量的高能粒子, 高能粒子与有机污染物分子发生一系列复杂的等离子体物理化学反应, 从而将有机污染物降解为无毒无害物质。低温等离子技术主要有电子束照射法、介质阻挡放电法、沿面放电法和电晕放电法等。

低温等离子体治理有机废气被认为是很有前途的方法, 与常规技术相比具有工艺简单、流程短、可操作性好的特点, 尤其对低质量浓度的有机废气的处理效果非常好。但目前在实际应用中还存在诸多问题。

低温等离子体技术研究和开发的重要课题是了解放电对处理过程中的中间产物或最终产物的影响, 提高等离子体反应器长时间运行操作的稳定性, 以及后处理问题等, 这些课题也是该技术能够大规模工业应用的关键。此外, 国内外在协同催化剂方面也进行了大量研究。在等离子体中加入催化剂, 利用等离子体与催化反应的协同效应, 能够提高污染物的去除效率, 大大降低能耗和副产物的产生, 国内外对此种协同催化剂的研究主要为金属氧化物和 TiO_2 催化体系。

(4) 光催化氧化处理技术

光催化氧化法是近年来日益受到重视的新技术, 对 VOCs 降解率可达到 90%~95%。该技术是在一定波长光照下, 利用催化剂的光催化活性, 使吸附在催化剂表面的 VOCs 发生氧化还原反应, 最终将有机物氧化成 CO_2 、 H_2O 及无机小分子物质。光催化氧化具有选择性, 反应条件温和 (常温、常压), 催化剂无毒, 能耗低, 操作简便, 价格相对较低, 无副产物生成, 使用后的催化剂可用物理和化学方法再生后循环使用, 对几乎所有污染物均具净化能力等优点。

在近几年的研究中, 纳米 TiO_2 光催化氧化技术日益显露出其优势。纳米 TiO_2 是一种新型的高功能精细无机产品, 其粒径介于 1~100nm。由于它的比表面积大, 化学稳定性和催化活性高, 价廉且来源广泛, 对紫外光吸收率较高, 抗光腐蚀性, 且没有毒性, 对很多有机物有较强的吸附作用, 使得它在去除气态污染物方面有着明显的优势。纳米 TiO_2 的光催化综合性能最好, 能在常温常压下直接利用空气作氧化剂, 使多种有害气体分解为无害气体, 不会造成二次污染, 反应在紫外线辐射条件下发生, 发生反应速度快, 所需时

间仅几分钟至几个小时,因此是一种非常便利的VOCs净化技术。为了避免使用过程中TiO₂的纳米颗粒与空气分离的难题,需要将纳米TiO₂负载在载体材料上,制成负载型的纳米TiO₂光催化剂才便于使用。其中,以活性炭纤维作为载体,将TiO₂以膜的形式负载其上,能够结合两种物质的优点,将有害气体氧化成CO₂和H₂O,并且不需更换再生。

光催化氧化处理VOCs是新兴的研究热点,近年来出现了很多新技术,为其未来的发展奠定了良好的基础。如针对TiO₂进行掺杂、贵金属表面沉积、半导体复合、表面光敏化或超强酸化及微波制备等,以提高光催化量子效率或可见光利用率;采用溶胶-凝胶法、金属有机化学气相沉积法、阴极电沉积法等方法,制备既牢固又具有优良光催化活性的Ti/O膜;把微波场、热催化、等离子体等技术与光催化耦合,应用于有机污染物的气相光催化降解,以提高光催化过程的效率等。

2.1.3 无组织VOCs排放的控制技术

石油石化行业中,VOCs无组织排放源大量存在,根据对国内一些炼油厂排放情况的估算,炼油厂VOCs排放以无组织排放为主,其中设备泄漏、储罐泄漏、装卸过程泄漏、废水处理过程逸散的VOCs分别占全厂VOCs排放量的30%、30%、15%、15%,非正常工况下排放的VOCs占全厂VOCs排放量的10%,工艺尾气和燃烧烟气排放的VOCs为微量。因此,无组织排放的过程管理和控制技术在石油石化行业VOCs控制中显得极为重要。

以下分别论述上述四种主要无组织排放的管控技术:

2.1.3.1 设备泄漏的管控——LDAR技术

石油石化行业生产流程和管线中存在大量的泵、阀门、连接件、采样连接口、压缩机、泄压阀、开口管线等组件,这些组件的动、静密封由于设计、施工、维护保养的问题,可能发生泄漏,造成VOCs的无组织排放。典型炼化、石化企业中,潜在的泄漏组件数以万计,大型企业可达数十万乃至百万。同时,泄漏排放存在很大的随机性,泄漏量也难以预估和直接测定。因此,设备泄漏的监管和控制,应该加强日常的监测和维护。目前,最为行之有效地管理工具是美国EPA提出的LDAR(Leaking Detection and Repair,泄漏检测与修复)程序。该方法被美国、加拿大、欧盟、日本、中国台湾等广泛采用,我国也正在从标准、规范、技术等多个层面推进LDAR技术的应用。

典型的LDAR实践由5个主要元素构成,如图14所示。首先,识别受法规监管的装置和设备(受控组件),为每个受控组件设立一个唯一标识号并挂牌。第二,根据法规要求明确“泄漏”的标准。通常在实践中,会根据工厂的实际情况规定一个不宽于法规要求的泄漏标准。然后按照一定频率(通常是一个季度一次),采用便携式VOCs分析仪逐一检查受控组件的密封面和动密封。比对检测值和泄漏标准,识别出泄漏点,并在法规要求的时限内组织修复或制定修复计划和时间表。最后,对泄漏监测和维修形成记录,按照监管部门的要求,核算排放量,并提交报告。

欧盟的实践证明,炼油厂设备与管阀件泄漏排放约占原油加工量的0.04%~0.08%,保守估计,我国炼化行业的设备组件泄漏排放损失不低于原油加工量的0.06%。我国原油一次加工能力约5.5亿吨/年,设备泄漏排放VOCs可达33万吨/年。根据美国经验,实施LDAR后可削减泄漏60%左右,减排VOCs近20万吨/年。

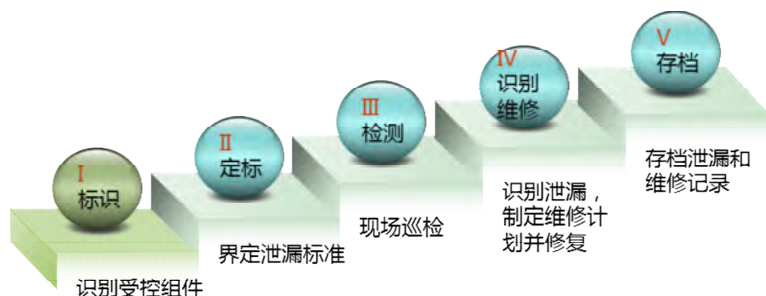


图 14 典型 LDAR 实践的 5 个主要构成元素

然而，传统的 LDAR 程序需要用 VOCs 分析仪人工排查每个组件，费时费工也容易出错。EPA 在 2008 年通过了采用红外气体成像技术的快速检测方法，通常称为 Smart LDAR。该方法利用多数碳氢化合物在中波 3000 波数附近拥有共同的 C-H 共振键吸收谱带的性质，直接在红外摄像机上观察组件，可视化的发现 VOCs 泄漏，如图 15 所示，可大大提高工作效率。



图 15 红外成像检测 VOCs 泄漏

但由于该方法自身的缺点，如红外成像在特定的环境（背景）条件下判断 VOCs 气团很困难，容易出现漏检漏报的情况，同时定量性也较差，EPA 并未完全采用 Smart LDAR 替代传统 LDAR，要求工厂每年仍需进行一次传统的 LDAR 检测。

现在的 LDAR 系统借助繁琐的人工检测来实施，需要耗费大量的人力，还要维护海量的检测数据，容易出错，同时实时性差。未来 LDAR 的发展方向是实时化、智能化，从事后发现事后补救转变为实时监控早期发现。国外已经出现了基于人工智能图像识别技术的 VOCs 泄漏实时监控系統，如图 16 所示，利用这套系統可以实时自动发现泄漏点，将泄漏控制在早期。



图 16 下一代 LDAR 系统概念图

2.1.1.3.2 储罐泄漏的管控

挥发性有机液体的储罐泄漏主要由“大呼吸”、“小呼吸”以及挂壁损失等造成。

其中“大呼吸”是指充罐或排空操作过程中物料在罐顶空间蒸发造成的损耗，排放最为严重。目前，国内轻质油和原油储罐已全面采用浮顶罐（约占 98%）替代传统的固定顶罐，基本避免了“大呼吸”造成的泄漏。

浮顶罐的排放是挂壁损失和小呼吸损失之和。当液位降低浮顶随之降低时，一些挥发性液体保留在罐壁内表面并且蒸发，形成“挂壁损失”。浮顶罐的小呼吸损失包括边缘密封和浮盘配件损失，对于内浮顶罐，还包括浮盘缝隙损失。其他潜在的小呼吸损失包括当温度和压力改变时的呼吸损失。选用适当的密封材料和密封形式，同时定期检修和更换易损件（材料），是减少各种浮顶罐边缘密封损失的主要手段。

一些中间产品罐和有较高储存温度的柴油、蜡油罐由于操作条件限制，没有采取相应的污染控制技术。根据储存物料和蒸汽的性质，集中/分区收集储罐呼吸气，并加以回收或处理，可作为储罐泄漏排放的末端处理技术。如图 17 所示，采用管道连接各储罐的排放口，收集到的呼吸气采用吸附回收等装置进行回收或采用 RTO/RCO 等装置进行处理。为保证安全，储罐排放口应设置阻爆器；同时需要设置专门的调压装置或调压系统，保证各个储罐的内外压力平衡。



图 17 呼吸气收集系统（左：收集管线，右：调压和安全系统）

2.1.3.3 装卸过程泄漏的管控

装卸过程的泄漏排放主要发生在两个过程：一是将挥发性液体产品装入储罐过程中的大呼吸排放，二是将挥发性液体产品装入汽车罐车、火车罐车或者油船过程中的排放。

前一种情况主要见于固定顶罐的装载过程，目前最常见的是加油站地下储油罐的装载过程。罐车向加油站地下储油罐装载油品的同时，地下储油罐的蒸汽采用蒸汽平衡管置换到罐车中，罐车将蒸汽运回到储罐区，从而避免排放。

后一种情况广泛见于各种油品、化工品的发车、发火车以及码头发船。通过敞开的顶部加油孔或底部连接管向油罐车装载挥发性液态产品时，有机蒸汽会排放到大气中。蒸汽浓度取决于产品的种类、温度、油槽温度及装载方式，一般在 15~50% (V)。装车方式主要分底部装载和顶部装载，顶部装载气液比一般在 1: 1.1~1.4，蒸汽产生量大、浓度高；底部装载气液比基本上为 1: 1，油气产生量小、浓度也低。因此，最基本的控制手段是采用底部装载密闭发车。在此基础上，装车时置换出的油气，通常可采用吸附、吸收等装置加以回收；难以回收的可采用 RTO/RCO 等进行破坏处理。典型的应用是储油库油气回收，如图 18 所示，可回收发油过程油气排放的 95%以上。



图 18 典型储油库油气回收系统

2.1.3.4 废水处理过程逸散的管控

废水中溶解、乳化的石油类等有机污染物在集输、处理过程中与水分离，浮于水面，水面波动、空气流通甚至主动曝气等因素加速有机物向空气中挥发，造成 VOCs 污染。污染较严重的单元依次是：浮选、隔油、一级生物处理、二级生物处理设施。我国石油石化行业的污水集输、处理设施，多数在最初设计时并没有考虑污水中有机物挥发造成大气污染的问题，为了消除污水处理过程 VOCs 逸散，需从输送、收集、处理各环节进行过程控制和末端处理。

在废水集输环节，采用密闭管道连接，设置油水分离罐，通过初级油水分离后的污水用密闭管道送入下一级处理设施，分离的油送入装置区污油罐，污油罐呼吸气可以和储罐呼吸气统一考虑收集处理。

对污水处理设施的开放液面进行加盖封闭，可以根据不同设施的具体情况，选用水泥混凝土、碳钢盖板、玻璃钢等材料。采用废气收集管道收集加盖密闭的处理设施的排气，送入处理装置进行处理。收集系统的设计，应考虑压力平衡和防止强制引风造成过度挥发

等问题。



图 19 废水处理设施加盖密闭

废水处理过程各种构筑物排气气量和污染物浓度的差别很大。通常汽提等预处理过程中废气污染物浓度较高，总烃在 $1000 \text{ mg/m}^3 \sim 10000 \text{ mg/m}^3$ ；生物处理过程的废气浓度较低，总烃浓度在 $50 \text{ mg/m}^3 \sim 1000 \text{ mg/m}^3$ 。高浓度废气气量较小， $2000 \text{ m}^3/\text{h} \sim 5000 \text{ m}^3/\text{h}$ ；而低浓度废气气量偏大，可达 $10000 \text{ m}^3/\text{h} \sim 30000 \text{ m}^3/\text{h}$ 。高浓度废气可以选择 RTO/RCO、变温吸附等技术处理；低浓度废气可以采用微生物技术处理。

2.1.4 石油石化行业技术成果应用现状

自 1990 年代开始，石化行业逐步重视烃类回收、恶臭废气处理设施的建设。最早开展的是储罐和装卸过程相关的 VOCs 治理工作。到目前，轻质油品、原油储罐采用浮顶罐技术约 98%，储油库发油过程的油气回收改造已经全面展开。在此过程中，通过自主开发和引进吸收，发展并转化了很多 VOCs 治理技术，如浮顶罐相关的技术、下装发油技术等无组织排放过程控制技术和炭吸附-吸收、冷凝、气体分离膜等通用 VOCs 回收技术，国产化油气回收技术成熟可靠，已经成为市场主流。

在废水处理设施 VOCs 污染控制方面，积极推进了废水处理设施封闭工作，含 VOCs 废水处理构筑物已有约 40% 完成了密闭，密闭输送率约 20%。生物法除臭获得了较多的应用，已经由数十套装置投入运行。

生产过程的工艺废气治理也在最近几年开始开展，主要应用的技术包括催化氧化工艺、变温吸附工艺等。已有 18 套烃类废气催化燃烧处理装置和 10 余套变温吸附工艺投入运行。尤其在合成橡胶废气、丙烯腈废气等技术要求较高的工况取得了突破。

设备泄漏的管控工作得到了中石化、中石油等企业的高度重视，近年开始在部分大型炼化基地开展 LDAR 试点工作，如燕山石化、广州石化、金陵石化、大连炼化、天津石化等。LDAR 的检测方法《泄漏和敞开液面排放的挥发性有机物检测技术导则》(HJ 733-2014) 发布实施，刚刚出台的《石油炼制工业污染物排放标准》(GB 31570-2015)、《石油化学工

业污染物排放标准》(GB 31571-2015)和《合成树脂工业污染物排放标准》(GB 31572-2015)等对石油石化行业实施 LDAR 提出了具体要求,由环保部环境工程评估中心主导起草的《石化企业泄漏检测与修复工作指南》也在去年发布实施。这一系列前期准备工作为进一步全面推广 LDAR 奠定了坚实的基础。

2.1.5 国内本领域未来技术发展的趋势与挑战

石油石化行业的 VOCs 污染控制是一项复杂的系统工程。需要应对有组织排放、无组织排放;高浓度废气、低浓度废气;气量差异、组分差异、温度湿度压力差异、杂质等诸多复杂情况,必须结合现场的实际情况进行合理的全厂统一规划,综合应用多种末端处理技术,配合源头减量和过程控制措施,才能对全厂的 VOCs 排放进行有效控制。随着污染控制要求的提升和相关行业标准的发布与执行,石化行业 VOCs 污染控制将全面系统的展开。

2.1.5.1 生产装置尾气的控制

生产装置 VOCs 废气的控制要求将进一步提高,尤其是在石油化工行业,除了总量要求(通常考察非甲烷总烃指标)外,还应对各种产品不同工段的特征有机污染物进行单独的考核。《石油炼制工业污染物排放标准》(GB 31570-2015)、《石油化学工业污染物排放标准》(GB 31571-2015)和《合成树脂工业污染物排放标准》(GB 31572-2015)等都规定了需要控制的特征污染物。如苯酚丙酮装置的烃化尾气考察丙烷、苯等特征污染物,氧化尾气考察异丙苯等;顺丁橡胶尾气考察丁二烯等特征污染物;丁苯橡胶尾气考察丁二烯、苯乙烯等特征污染物,等等。

采用回收技术或去除技术对废气进行处理,达到相应的特征污染物排放标准,通常为毫克。应对不同的特征污染物和不同的工况,需要研究最适用的工艺。对于回收处理,单纯的一种技术往往很难达到毫克级的排放要求,这就需要对传统的回收工艺技术加以改进,根据污染物的性质组合使用吸附、膜、冷凝、吸收等多种技术进行协同处理。对于去除工艺,通常可以采用热氧化或催化氧化技术,需要根据特征污染物的性质确定具体的工艺参数,还需要针对废气的组成选用合适的预处理技术。

2.1.5.2 装卸过程的控制

装卸过程的污染控制从 2007 年相关标准(GB 20950)发布以来,已经逐步在陆上储油库、炼厂实施。2012 年底环保部下发《关于加强储油库、加油站和油罐车油气污染治理工作的通知》,进一步明确了限期实施的期限,有力的推动了油气回收工作的开展。目前,陆上储油库和炼厂的油气回收工作已经进入收尾阶段,油品、化工品码头装船过程的油气污染控制工作提上了议事日程。

下一步工作的重点将是油品、化工品码头发船的 VOCs 污染控制。国际海洋公约 MSC/Circ.585 通函《关于蒸气排放控制系统标准》对码头油气回收提出了规范和要求,我国虽然是该公约的缔约国,但实质性进展不大。初步估计,我国每年仅油品装船过程排放的 VOCs 高达 9 万吨/年,目前基本处于未控制状态。交通部 2012 年组织对国内现有的码头油气回收设施进行了调研,已建成的 9 项码头油气回收设施在安全性、接口通用性等方面不符合 MSC/Circ.585 要求,多数项目也未正常运行,详情见表 3。陆上发油的油气回收技术可以发展应用于码头发油,技术上的挑战在于装置的大型化(从数百方规模放大到数

千方)、毫克级排放和更高的安全要求,管理上的挑战在于统一油船的接口。

表3 国内码头油气回收项目现状

项目位置	设备类型	使用状况	分析
大连港	膜法 3000 m ³ /h, 国产	未用	安全问题
天津港	活性炭吸附法 500 m ³ /h, 国产	未用	安全问题
青岛黄岛 (丽东化工)	活性炭吸附法, 进口 500/3000 m ³ /h	正常使用 4 年, 石脑油和二甲苯	船岸对接安全系统不规范
南京扬子	活性炭吸附法 800 m ³ /h	停用, 二甲苯	改为管道运输
厦门海澳	活性炭吸附法 300 m ³ /h, 国产	未用	不详
广东番禺	气体吸附罐	停用	不详
南沙建涛	并入锅炉燃烧	停用	码头界面安全
广东东莞	冷凝法, 国产 1000/200 m ³ /h	已使用 3 次, 未验收	码头船岸安全系统不规范
舟山万向	活性炭法 1000 m ³ /h	未使用, 未验收	

2.1.5.3 设备泄漏的管控

设备泄漏的管控最为成熟有效的方法是美国 EPA 提出的 LDAR 程序, 目前已在我国开始试点实施, 并已纳入国家标准。

LDAR 作为一种管理工具, 其核心理念是坚持一定频次, 对所有可能发生泄漏的设备进行逐一排查, 发现泄漏就进行修复, 以减少排放。实施 LDAR 的过程需要形成记录, 每年向监管部门提交报告。监管部门通过审核报告进行监管, 很大程度上是基于信用体系的监管。

在美国目前得到法规认可的检测仪器有两类, 一类是离子化检测器 (FID/PID), 一类是红外气体成像仪。采用 FID 检测工作效率低, 但是可以检测到泄漏点处的环境浓度, 代入排放模型可以计算出泄漏量; 采用红外气体成像技术可以极大的提高工作效率, 但目前尚不能定量。

LDAR 程序实施起来非常费时费力, 熟练工人采用 FID 检测仪巡检, 每天最多完成 500 个组件的检测, 大型石化工厂数十万计的组件工作量巨大; 同时, 海量的数据需要更新和维护, 很容易发生差错; 此外, 按照法规的要求, 通常每 3 个月进行一次巡检, 极端的情况下发现一个泄漏的组件需要 3 个月时间, 实时性差; 而且, 在定量方面, EPA 虽然提供了组件泄漏模型可将检测到的泄漏点环境浓度转换为泄漏量, 但误差最高可达 300%。

现行的 LDAR 程序是在特定技术条件下提出的相对“公平”的方案, 随着技术的发展, 需要更有效地替代方案。同时, 基于信用体系的监管方式也未必适合我国的执法实际。目前, 基于红外气体成像的检测技术已经在实时性和定量化方面取得了重大的突破, 未来应当开发基于红外气体成像技术的定量化、实时性的泄漏管控工具, 发展符合我国国情的先进的泄漏管控体系。

2.1.5.4 储罐泄漏、废水处理过程逸散的管控

目前, 我国轻质油品、原油储罐已有约 98% 采用了浮顶罐技术, 储罐泄漏得到了初步

控制。含 VOCs 废水处理构筑物已有约 40% 完成了密闭，密闭输送率约 20%，也为废水处理过程逸散的管控奠定了良好的基础。

未来，需要进一步加强中间罐区呼吸气及废水处理过程逸散的 VOCs 治理。罐区呼吸气安全收集技术和超低浓度 VOCs 处理技术应当受到重视。

2.1.5.5 VOCs 排放量核算和特征污染物清单

2014 年底，环保部发布《石化行业挥发性有机物综合整治方案》，提出“地方各级环境保护主管部门应组织本行政区内的石化企业，开展 VOCs 污染源摸底排查工作，采用实测、物料衡算、模型计算、公式计算、排放系数等方法，重点对企业原辅材料和产品、主要生产工艺、VOCs 排放环节、治理措施和效果、VOCs 排放量和 VOCs 物质清单等开展排查，摸清企业的 VOCs 排放状况。排查结果按《环境信息公开办法（试行）》要求向社会公开，并作为 VOCs 排污收费、总量控制和危险化学品环境管理等的依据”。并要求 2015 年底前完成 VOCs 排放量和物质清单信息申报。

此前，我国没有实用的石化行业 VOCs 总量核算方法和工具，模型、公式、排放系数等都没有官方统一的要求，在实际核算工作中往往出现企业和监管单位各执一词的情况。2015 年，环保部环境工程评估中心牵头起草的《石化行业 VOCs 污染源排查工作指南》发布实施，填补了我国该方向的空白。该指南参考美国 EPA《炼油厂排放估算协议（第 2 版）》，采用了 EPA 的相关模型、公式及排放系数。未来可以在这套方法的支撑下，建立我国石化行业 VOCs 排放申报机制。美国 EPA 在 2011 年采用《炼油厂排放估算协议（第 2 版）》对全美炼油厂的排放情况进行了信息收集（ICR 2011），并在此基础上对全行业的排放情况进行了全面地评估。由于工作量巨大，同时涉及大量的数据审核、模型计算等技术性工作，各炼厂基本上均委托第三方咨询公司完成申报工作，工作质量因此得到了保证。

虽然排放量估算工具已经初步建立，但未来的数据申报和收集工作还需要精心设计工作机制和实施方案，可以参考美国的经验，充分发挥第三方咨询公司的作用，协助炼化企业完成申报工作，提高工作效率和质量。

2.2 我国自有知识产权技术的竞争力评价

经过多年的研发和市场应用，我国 VOCs 处理技术从最初的引进，到消化吸收自主研发，目前已在各种传统处理技术上形成了自有知识产权，在新兴技术研发上也始终跟踪国际前沿。

2.2.1 VOCs 回收技术

以吸附、吸收、冷凝、膜分离等为核心的 VOCs 回收技术与工艺在我国发展多年，自主知识产权技术发展良好。

我国企业拥有自主知识产权的变压吸附-吸收技术、冷凝技术、冷凝-膜技术等，在装卸和储罐的 VOCs 治理领域已有近千台套的业绩。设备性能和可靠性已达到国外产品的同等水平。在活性炭、膜组件等关键材料上也有较大的进步。

自主知识产权的变温吸附技术在下游溶剂回收领域普遍应用，在石油石化行业亦有 10 余套业绩。活性炭纤维等关键材料可自行制造。

2.2.2 氧化技术

我国企业可自主设计制造 TO、CO、RTO、RCO 等形式的处理设备,在石化行业已有 10 余套应用,并在大规模处理装置上实现了突破。可自行制造各种形式的蓄热体材料,并实现较大规模的出口。电加热器、切换阀等关键设备可实现自主设计制造。催化剂材料主要依赖进口,但国产催化剂的研发和生产正日渐成熟。

2.2.3 生物净化技术

自主知识产权的生物净化技术成熟可靠,自行设计、建造的各种形式的生物净化装置已在石化行业广泛应用。

2.2.4 等离子、光催化等新兴技术

在等离子、光催化等新兴技术方向,国内高校、研究机构及企业分别从机理、关键技术、产品设计制造及工程应用方面做了大量工作。多个企业拥有相关自主知识产权技术,并取得了较好的应用效果。

3 主要问题分析

石油石化行业 VOCs 污染控制技术的开发、应用和发展过程中存在一些问题,具体分析如下:

3.1 重视技术研究,忽视工艺开发和优化

我国的研究机构和企业在 VOCs 处理的相关技术上,从原理到核心技术和工艺的研究有较多的积累,在一些相对单纯的工况上都有了较好的工程应用。然而,石化行业的工艺废气工况多变,特征污染物各异,不可能做到一项技术包打天下,需要对实际工况进行研究,提出合理的工艺路线或组合多种工艺并进行工艺优化。此前,在这方面做的工作比较少,今后应当针对石化行业各种典型工况研究最优工艺,逐步形成 BACT/MACT 体系。

3.2 检测、监测标准需加强

在污染物检测尤其是特征污染物的检测标准方面尚显薄弱。GB 31571、31572 分别提出了 64 种和 30 种特征污染物,但仍有 48 种特征污染物没有检测方法标准。

标准还提出对排放口进行连续自动监测(CEMS),但到目前为止,只有上海市出台了地方性的 VOCs 连续自动监测技术规范,国标层面的技术规范迟迟不能出台。

3.3 行业建设规范的协调

石化行业工程建设规范比传统环保行业建设规范要求高,表现在设备等级、容器等级、电气仪表等级、管道等级等方面。很多传统环保企业进入石化领域后不能及时适应,造成装置无法通过验收或者无法正常合规运行,甚至造成安全隐患。还有的企业利用这一差异,挑起恶意的价格竞争,扰乱市场秩序。

此外，由于石化行业特殊性，很多末端治理措施涉及安全问题，也需要环保主管部门与其他相关行业主管部门就规范问题进行协调。典型的例子是国家安监总局“安监总管三[2014]68号文”停滞了石化行业储罐区 VOCs 治理。

此外，由于历史原因，一些早期建设的石化企业的储罐区不符合当前的设计建设规范要求，如防火距离不够、储罐间距过小、储罐高径比不合规等等。这些储罐区需要进行环保改造时，除非重建，否则很难通过相关建设管理部门的审查。这也在一定程度上制约了老旧罐区的 VOCs 控制。

3.4 LDAR 市场亟待规范

LDAR 作为泄漏管控的主要手段，在 GB 31571、31572、31573 等标准中被提出，污防司也发布了《石化企业泄漏检测与修复工作指南》。但对 LDAR 的实施过程和实施结果缺乏考核措施，对第三方 LDAR 服务商的能力资质也没有要求，造成 LDAR 市场准入门槛过低，服务商水平良莠不齐，事实上形成了低价竞争、劣币驱逐良币的情况。

国家安全监管总局关于 进一步加强化学品罐区安全管理的通知

安监总管三〔2014〕68号

各省、自治区、直辖市及新疆生产建设兵团安全生产监督管理局，有关中央企业：

近年来，我国化学品罐区多次发生泄漏、火灾或爆炸事故，先后发生的大连中石油国际储运有限公司 2010 年“7·16”输油管道爆炸火灾、中石油大连石化公司三苯罐区 2013 年“6·2”爆炸火灾、中石化扬子石化公司 2014 年“6·9”酸性水储罐爆燃等事故造成了重大社会影响，暴露出部分企业化学品罐区在监测监控、设备设施管理、日常运行、特殊作业管理、承包商管理、安全设计等方面仍存在突出问题。为进一步加强化学品罐区安全管理，有效防范化学品罐区生产安全事故，现就有关事项通知如下：

• • • • •

(二) 强化化学品罐区生产运行管理。正常操作时严禁内浮顶罐浮盘和物料之间形成空间，特殊情况下确需超低液位操作时，在恢复进料时，要确保进料流速小于限定流速，以防产生静电引发事故。出现液位高低位报警时，必须立即采取处理措施。上游装置波动时，要加强进罐区物料的分析检测，防止高温物料或轻组分进入储罐引发事故。对有装卸栈台的罐区要严格装卸作业管理和车辆管理，防止违规作业影响罐区安全。严格按变更管理要求，加强罐区变更管理。立即暂停使用多个化学品储罐尾气联通回收系统，经安全论证合格后，方可投用。

4 建议

4.1 重点和优先发展的领域、技术

(1) 毫克级排放的回收技术

油气回收是我国石化行业发展较早的 VOCs 治理领域，传统意义上的油气回收排放要求仅为 25 g/m^3 (GB 20950)。石化行业相关标准 GB 31571、31572、31573 等颁布实施后，

毫克级排放成为常规要求。传统的油气回收技术面临提标的挑战,一些传统工艺如冷凝法无法满足毫克级排放要求,炭吸附等技术也需要额外的工艺开发。

(2) 特征污染物的控制技术

石油石化行业新标准要求对各种产品不同工段的特征有机污染物进行单独的考核。如苯酚丙酮装置的烃化尾气考察丙烷、苯等特征污染物,氧化尾气考察异丙苯等;顺丁橡胶尾气考察丁二烯等特征污染物;丁苯橡胶尾气考察丁二烯、苯乙烯等特征污染物,等等。很多特征污染物属于难去除污染物,需要有针对性的开发去除技术,以保证 NMHC 等综合指标达标的同时,特征污染物也能达标。

(3) 检测和监测技术

为应对新国标的要求,需要开发特征污染物的标准检测方法和相应的检测技术。另一方面,现有的快速检测技术、在线监测技术发展不能适应实际应用的需要。需要开发低成本的总烃和主要特征污染物的快速检测和在线监测技术。

(4) 下一代 LDAR

现行的 LDAR 程序是一种包括检测在内的管理工具,该程序要发挥效用,很大程度上需要依赖信用体系和监管。而且,现有的检测方法费时费力、核算模型准确度不高。美国已经开始开发下一代不依赖信用监管的更加客观、准确、省时省力的 LDAR 技术。我国也应当积极开发基于红外气体成像技术等新技术的定量化、实时性的泄漏管控工具,发展符合我国国情的先进的泄漏管控体系。

4.2 尚需配套的标准、法规、政策的建议

(1) 建立 BACT/MACT 体系

石油石化行业涉及 VOCs 排放的生产过程较多,笼统的规定排放标准(排放浓度或去除率),不足以体现不同工况的特殊性。应当在排放标准之外,结合不同地区的环境容量和经济水平,针对一般污染物和高毒性污染物建立最佳可得技术(BACT)和最大可得技术(MACT)体系。

(2) 加快检测、监测标准的制定

如前所述,在检测方面,目前仍有 48 种 VOCs 特征污染物没有检测方法标准;在监测方面,国标层面的 CEMS 技术规范缺失。这显然不能适应当前 VOCs 污染控制的形势和需求,应当加快相关标准的制定。

(3) 储油库、加油站油气回收标准升级

我国储油库、加油站油气回收标准制定于 2007 年,经过 9 年的应用取得了巨大的环保效益,但同时也与现在紧迫的污染控制形势及国际上的发展趋势不相适应。应当由现在的克级排放向毫克级排放升级。

土壤污染控制技术
发展报告

污染场地修复技术发展报告

1 污染场地修复行业总体概况

1.1 2014-2015 年我国污染场地相关法规、政策、标准体系发展情况

2014 年至 2015 年，是污染土壤、污染场地备受关注的时期。2014 年，《政府工作报告》提出坚决向污染宣战，土壤污染防治与大气污染防治、水污染防治并列作为向污染宣战的“三大战役”。2014 年 4 月 17 日，全国土壤污染状况调查公报发布，公报指出：“全国土壤环境状况总体不容乐观，部分地区土壤污染较重，耕地土壤环境质量堪忧，工矿业废弃地土壤环境问题突出。工矿业、农业等人为活动以及土壤环境背景值高是造成土壤污染或超标的主要原因”。在此背景下，污染场地相关法规、政策、标准体系也得到快速发展。

1.1.1 法规、政策建设

2014 年，环保部印发《关于加强工业企业关停、搬迁及原址场地再开发利用过程中污染防治工作的通知》，要求强化工业企业关停搬迁过程污染防治、组织开展关停搬迁工业企业场地环境调查、严控污染场地流转和开发建设审批、加强场地调查评估及治理修复监管。

2015 年在环保部最新印发的《建设项目环境影响评价分类管理名录》中，首次将污染场地治理修复工程列入，标识环境保护管理部门对污染场地环境监管的加强。

2015 年，备受关注的《土壤污染防治行动计划》（“土十条”）上报国务院，预计将于 2016 年内出台，环保部将启动全国土壤污染状况详查，继续组织实施污染土壤治理与修复试点项目，建立规范的污染场地联合监管机制。

1.1.2 标准规范体系建设加速

2014 年《场地环境调查技术导则》、《场地环境监测技术导则》、《污染场地风险评估技术导则》、《污染场地土壤修复技术导则》发布，初步构建了我国污染场地调查、评估、修复的技术标准体系。2015 年，为了进一步补充和细化上述技术导则，环保部组织编写并发布了《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南（试行）》，为污染场地工作提供技术指导，为管理部门监管工作提供技术支撑，成为目前污染场地工作中实用的技术指南。

2015 年 1 月，环境保护部就现行《土壤环境质量标准》（GB 15618-1995）的修订草案《农用地土壤环境质量标准》与《建设用地土壤污染风险筛选指导值》向社会公开征求意见

见,同年8月形成了二次征求意见稿,继续征求意见。《农用地土壤环境质量标准》修订草案删除了现行标准中“一刀切”规定的自然背景值和高背景值,按照土壤pH条件将原标准规定的镉(Cd)限值由两档细化为四档,收严了铅、六六六、滴滴涕三项污染物限值,增加了总锰、总钴等10项污染物选测项目,更新了监测规范。《建设用地土壤污染风险筛选指导值》规定了118种土壤污染物的风险筛选指导值。

地下水环境质量标准修订已提上日程。此次修订将提升细分标准,或将在增加指标数量和严格指标限值两方面着重展开,重金属、有毒有害物质有望成为重要修订指标。有业内专家表示,必须考虑水环境质量标准体系、污水排放标准体系以及用水标准体系三者的统一。上述工作将为土壤地下水环境调查评估、修复技术选用以及修复效果评价等工作提供更全面有力的支撑。

1.1.3 科技支撑进一步加强

2015年11月,《国家环境保护“十三五”科技发展规划》开始征求意见。“十三五”期间,中央预计投入300亿元,建设一批国家环境保护重点实验室和国家环境保护工程中心。其中,土壤和地下水污染防治领域投入达到30亿元,占总投入的10%。

土壤和地下水污染防治领域的国家环境保护重点实验室方向包括污染场地土壤污染控制与修复、农业土壤环境保护、地下水质量控制与污染风险预警等;国家环境保护工程技术中心建设的方向主要有农用地土壤重金属污染修复与阻控技术、农用地农药等有机污染土壤修复技术、建设用地土壤污染修复与阻控技术、矿山开采土壤污染阻断与生态修复技术、油田石油开采和石油化工污染土壤(场地)修复技术、建设用地地下水修复技术、地下水源地污染风险控制技术等。

1.2 2014-2015年我国污染场地管理现状

1.2.1 法规缺失

目前,我国场地污染治理还处于没有专门法规可循的状态。相关的法律法规对土壤污染防治的规定分散而不系统,缺乏具可操作性的细则和有威慑力的责任追究条款。已发布的关于土壤或场地方面的管理要求多为部门通知的形式,力度有限。值得关注的是《土壤环境保护法》列入本届人大一类立法,在2014至2015年间人大、环保部均针对《土壤环境保护法》立法开展多次调研。

1.2.2 地方探索

(1) 湖北省制定《土壤污染防治条例》

2015年,湖北作为我国最早一批启动土壤污染治理修复工作的省份,在全国率先开展土壤污染防治地方立法工作,为国家土壤污染防治法探路和积累经验。

省政府常务会议于5月讨论通过并向省人大常委会提出了制定土壤污染防治条例的议案及草案。湖北省人大常委会对草案进行了四次审议,数易其稿。2016年2月1日,《湖北省土壤污染防治条例》获湖北省十二届人大四次会议高票表决通过,将于同年8月1日起正式施行。

(2) 福建省制定《土壤污染防治办法》

2015年9月,福建省人民政府第47次常务会议通过了《福建省土壤污染防治办法》,该办法包含了总则、监督管理、土壤污染预防、土壤污染治理、法律责任和附则共六章内容,将自2016年2月1日起施行。

2015年6月,全国人大常委会副委员长沈跃跃率队赴福建省福州市开展土壤污染防治立法专题调研时指出,福建土壤污染防治工作走在全国前列,希望福建在土壤污染防治地方立法上大胆探索、先行先试,及时总结经验,为国家立法探索经验。

(3) 广州、合肥、西安出台土壤污染管理文件

2015年12月,《广州市工业企业场地再开发利用环境管理办法(试行)》公开征求意见,这是广州市首个针对工业企业用地更新改造成居住、商业等功能后土壤管理和修复的详细规定。

2015年10月,安徽省合肥市环境保护局等七部门联合下发《关于加强工业企业场地再开发利用环境管理的通知》,就合肥市加强工业企业场地再开发利用环境管理提出要求。

西安市人民政府11月23日发布了《关于加强土壤环境保护和综合治理工作的实施意见》,要求加快推进土壤污染修复试点示范工作,强化土壤环境风险控制,全力推动土壤环境保护和综合治理工作。

(4) 北京市

北京市一直走在污染场地环境管理的前列,早在2007年北京便发布了多项污染场地技术导则,这些导则为环保部发布的技术导则提供了重要基础。2014年,北京市环保局成立“污染场地环境管理专家委员会”,主要负责协助北京市环保局开展场地环境评价报告审核及污染场地修复技术方案、实施方案、效果验收审核的技术支持工作。委员会的成立是北京市污染场地环境管理规范化的一个重要举措。其目的是在国家尚未出台污染场地环境管理法规,地方缺乏管理依据的情况下,充分发挥专家在场地风险评估、污染场地修复方案审查及修复效果验收等环节的技术支持作用,以保证污染场地的修复效果,保障首都环境安全。

(5) 上海

通过世博会场地、迪士尼场地以及多个大型居住区建设场地的土壤地下水修复工程的实施,上海市在污染场地修复与管理方面初步积累了经验。2014年,上海市发布《关于加强本市工业用地出让管理的若干规定(试行)》、《关于保障工业企业及市政场地再开发利用环境安全的管理办法》、《上海市工业企业及市政场地再开发利用场地环境调查评估、治理修复单位考核评估管理办法(试行)》、《上海市工业企业及市政场地环境保护领域专家评审工作管理办法》等管理文件,规范了污染场地工作的启动条件、从业要求和专家评审要求。2015年,上海市制定并发布了《上海市场地土壤环境健康风险评估筛选值(试行)》,进一步完善了场地调查评估技术体系。

(6) 辽宁、重庆

辽宁省、重庆市借助世行资金提升污染场地管理能力。在世界银行与中国政府共同开发的全球环境基金“中国污染场地管理项目”中,辽宁省、重庆市凭借较好的前期工作基础和场地条件成为项目的两个示范省。两个示范省将在7年的项目执行期内,开展

法律法规标准体系建设、典型 POPs 污染场地修复示范和污染场地管理能力提升等 3 方面工作。

2 主要技术发展情况

2.1 研究发展趋势

(1) 土壤环境调查表征与风险评估研究

随着我国退二进三产业政策的实施,一批工业场地搬迁或停产关闭,局部地区遗留场地土壤受到严重污染。工业场地土壤环境调查土壤样品的采集、保存、实验室分析测试、场地环境调查信息和样品分析数据管理相关技术方法和设备研发,工业场地土壤污染的人体健康风险评估技术,工业场地土壤污染的生态风险评估技术,工业场地土壤污染物的扩散迁移过程表征技术等是研究的热点。

(2) 污染土壤高效环保综合性修复研究

由于工业场地土壤修复受到再开发计划影响,往往表现为时间紧、工程量大,因此研发修复效率高、速度快、经济可行而又不引起二次污染的环保型土壤修复技术和设备十分迫切。鉴于我国工业场地土壤污染呈现重金属、有机物复合,新老污染物共存的特点,土壤修复技术的研发趋势将从物理修复、化学修复和物理化学单一修复技术研发,逐渐发展为多技术联合修复、综合集成的工程修复技术。在修复设备上,将兼顾固定设备离场修复和移动设备的现场修复的研发;在修复应用层面,需重点开展重金属、农药、石油、持久性有机物污染土壤的联合修复技术设备的研发;成本可接受、高效快速、废物可循环利用,对水、气环境不产生二次污染的绿色环保型土壤修复技术的研发将倍受关注。

(3) 矿区和油田土壤调查与评价研究

根据矿区和油田区科可能导致土壤污染的人为活动情况,开展土壤环境调查和污染表征研究,探明主要重金属和石油烃化合物的扩散迁移途径和规律、扩散影响范围(水平和垂直方向)、重金属含量水平、石油烃化合物组分及含量,评价矿区和油田土壤环境质量状况,特别矿区和油田周边农用地土壤污染状况及其对农产品产量和品质的影响。

(4) 矿区污染土壤风险管理与治理修复研究

重点研究内容是矿区金属污染土壤对农产品质量的影响和食物链风险评估,重金属污染土壤的生态风险评估,重金属污染土壤的治理修复和风险控制技术。矿区污染土壤植物修复、固化/稳定化处理、封存处置,通过农艺措施调控实现土壤污染风险削减技术将是研究的热点。

(5) 油田污染土壤风险管理与治理修复研究

重点研究油田及其影响区污染土壤综合治理修复与风险管控技术。包括石油污染土壤物理修复、化学修复、物理化学修复技术和设备研究、包括石油烃污染土壤的植物修复、微生物修复、植物-微生物联合修复、热脱附修复、催化氧化修复等技术和设备设施的研发。

2.2 主要技术发展情况

2014 年,环保部发布《2014 年污染场地修复技术目录(第一批)》。该目录列出污染

场地修复过程中常见的 15 种技术，对其中的主要技术介绍如下：

2.2.1 解吸脱附技术

解吸脱附技术可分为常温解吸和热解吸，热解吸又称为热脱附技术，可根据解吸温度分为低温热脱附（土壤加热温度低于 315℃）及高温热脱附（土壤加热温度高于 315℃）。在国内工程应用时，常温解吸技术通常将污染土壤堆置成条形土垛，通过翻抛设备对土垛进行翻抛作业，使土壤中的挥发性污染物经挥发去除。热解吸技术用到的处理系统及设备相对复杂，如滚筒式热脱附系统、流化床式热脱附系统、微波热脱附系统及远红外线热脱附系统。国内工程中应用的主要是滚筒式热脱附系统，该系统主要由进料系统、热解吸系统和尾气处理系统组成，加热方式可以选择直接加热或间接加热。一般情况下，直接加热处理土壤的温度为 150~650℃，间接加热处理土壤温度为 120~530℃。在国内工程应用中，为保证热脱附的效率和能耗，土壤进料前需进行预处理使其含水率低于 25%，最大土壤粒径不超过 50 mm。

2.2.2 化学氧化/还原技术

目前国内在化学氧化/还原技术的应用中，常见的氧化还原剂包括芬顿试剂、锰酸盐、过硫酸盐、臭氧、硫化氢、亚硫酸氢钠、硫酸亚铁、多硫化钙和零价铁等，其中过硫酸盐和零价铁是目前国内外较为推崇的氧化剂和还原剂。工程应用技术可分为原位处理技术和异位处理技术。异位处理系统主要包括土壤预处理、药剂混合及防渗系统等。预处理系统是对污染土壤进行破碎、筛分或添加改良剂等，主要设备包括破碎筛分斗、挖掘机等。药剂混合系统是将污染土壤与药剂进行混合搅拌，主要设备包括土壤改良机、浅层土壤搅拌机等。防渗系统是具有抗渗能力的反应池，并且能够防止搅拌设备对其损坏，通常采用抗渗混凝土或防渗膜加保护层。原位处理系统主要由药剂制备/储存系统、注入系统、监测系统等组成。药剂通过注射井注入到污染区，注射井的数量和深度根据污染区的范围及污染程度进行设计，在注射井的周边及污染区域的外围部署监测井，以便在修复过程中及修复后对污染区的污染物，及药剂的分布和迁移情况进行监测。对于渗透性较低的土壤，可以采用土壤混合技术或液压破裂技术帮助化学药剂分散到污染区土壤中。

2.2.3 化学淋洗技术

在化学淋洗技术的应用中，有机污染选择的淋洗一般为表面活性剂和有机溶剂，重金属污染选择的淋洗剂一般为无机酸、有机酸、络合剂等，对于有机物和重金属复合污染，可考虑两类淋洗剂的复配。工程应用技术也可分为原位处理技术和异位处理技术，但在国内的工程应用中，受场地条件等因素限制，很少使用原位处理技术，工程中更多地偏向于使用异位化学淋洗技术。异位处理系统主要包括土壤预处理、筛分、淋洗、水土分离、污水处理及挥发气体控制系统等。主要设备包括土壤预处理设备（如破碎机、筛分机等）、输送设备（如螺旋输送机、带输送机等）、物理筛分设备（如湿法振动筛、滚筒筛等）、增效淋洗设备（如淋洗搅拌罐、水平振荡器、加药配药设备等）、水土分离及脱水设备（如脱水筛、压滤机、离心分离机等）、污水处理系统（如沉淀池、物化处理系统等）、泥浆输送系统（如泥浆泵、管道等）、自动控制设备等。该技术对于污染物集中的大颗粒土壤（如

砂砾、沙和细沙及相似土壤等）更为有效，对黏土的处理较为困难，土壤中细粒的百分含量是决定该技术修复效果和成本的关键因素，若土壤中含有 25% 以上的黏粒，则修复成本会大大提高，这种情况下通常不会考虑采用化学淋洗技术。

2.2.4 固化/稳定化技术

固化/稳定化技术使用的修复材料主要分为 3 类：无机黏合剂（水泥、火山灰质材料、石灰、磷灰石和矿渣等）、有机黏合剂（有机黏土、沥青、环氧化物、聚脂和蜡类等）、专用添加剂（活性炭、pH 调节剂、中和剂和表面活性剂等）。工程应用包括原位和异位两种处理技术，在国内的工程应用中，更多地偏向于使用异位固化/稳定化技术。异位处理系统主要包括土壤预处理、药剂添加及混合搅拌系统等。主要设备包括土壤挖掘设备（如挖掘机等）、土壤水分调节设备（如输送泵、喷雾器、脱水机等）、土壤破碎筛分设备（如破碎机、破碎斗、振动筛、筛分破碎斗等）、土壤与药剂混合搅拌设备（双轴搅拌机、单轴螺旋搅拌机、切割锤击混合式搅拌机等）。在修复实施过程中，土壤和药剂的混合程度是该技术能否成功应用的关键性指标，混合越均匀则固化/稳定化效果越好，而对土壤的预处理破碎有利于后续与药剂的充分混合接触，一般要求破碎后的土壤颗粒粒径不宜大于 50 mm。



图 1 固化稳定化流程示意

2.2.5 阻隔填埋法

阻隔填埋法是将污染土壤进行掩埋覆盖，采用防渗、封顶等配套设施防止污染物扩散的处理方法。填埋法不能降低土壤中污染物本身的毒性和体积，但可以降低污染物在地表的暴露及其迁移性。

2.2.6 气相抽提技术 (SVE)

气相抽提技术是利用真空泵相并联，在受污染区域诱导产生气流，将被吸附的、溶解状态的或者自由相的污染物转变为气相（气化），抽提到地面，然后再进行收集和处理。气相抽提技术既可用于原位有机污染土壤修复也可用于异位有机污染土壤修复。

异位 SVE 技术，是利用物理方法去除不饱和土壤中挥发性半挥发性有机组分污染的

一种修复技术，利用真空泵或者鼓风机等产生负压驱使空气流过被污染的土壤孔隙，有机挥发性半挥发性污染物通过解吸、挥发、蒸发等作用变为气相，并被空气流夹带流向抽提井，被抽提出来的污染物通过尾气处理装置（包括气液分离器、催化氧化、活性炭吸附）得到最终处置。

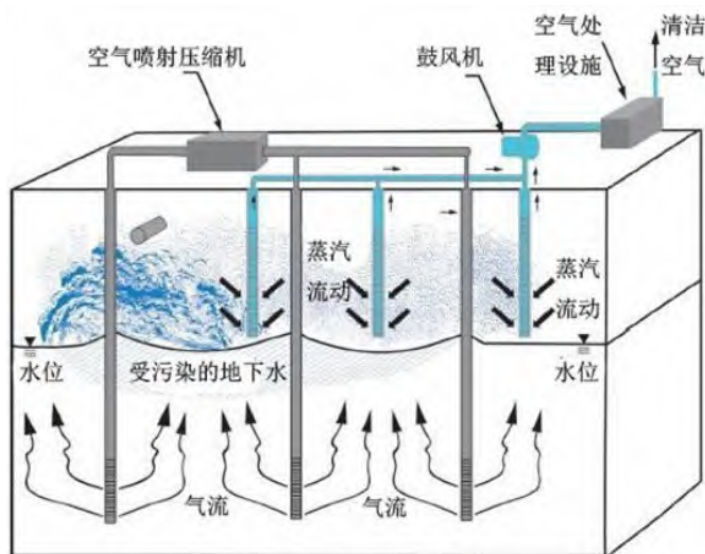


图2 SVE 流程示意

2.2.7 水泥窑焚烧修复技术

水泥窑焚烧技术目前主要应用于现有的先进工艺技术装备的新型干法水泥生产线，其技术原理是将污染土壤按一定比例添加到水泥生料中，利用水泥回转窑内的高温、气体长时间停留、热容量大、热稳定性好、碱性气氛、无废渣排放等特点，将污染废物作为水泥生料的一小部分制成水泥，在生产水泥熟料的同时，焚烧处理废弃物，既可有效节省资源，又能保护环境，具有良好的经济、社会效益。该法可有效处理含六六六、DDT 等农药的废物。

利用水泥窑处理危险废物，先要对危险废物的成分进行化验分析，确定是否适宜利用水泥窑焚烧处置。若适宜焚烧处置的危险废物，需结合水泥生产的要求，确定单位时间的焚烧量，进入水泥窑内进行锻烧。

危险废物从窑尾烟室通过上料系统进入水泥回转窑，窑内气相温度最高可达 1800℃，物料温度约为 1450℃，气体在大于 800℃ 下停留时间长达 20s 以上，完全可以保证危险废物中的有机物完全燃烧和彻底分解。

2.2.8 微生物修复

利用原有或接种微生物（即真菌、细菌其他微生物）降解（代谢）土壤中污染物，并将污染物质转化为无害的末端产品的过程。可通过添加营养物、氧气和其他添加物，增强生物降解的效果。这种生物修复技术已在农药或石油污染土壤中得到应用。

微生物修复研究工作主要体现在筛选和驯化特异性高效降解微生物菌株,提高功能微生物在土壤中的活性、寿命和安全性,修复过程参数的优化和养分、温度、湿度等关键因子的调控等方面。微生物固定化技术因能保障功能微生物在农田土壤条件下种群与数量的稳定性和显著提高修复效率而受到青睐。通过添加菌剂和优化作用条件发展起来的场地污染土壤原位、异位微生物修复技术有:生物堆沤技术、生物预制床技术、生物通风技术和生物耕作技术等。运用连续式或非连续式生物反应器、添加生物表面活性剂和优化环境条件等可提高微生物修复过程的可控性和高效性。目前,正在发展微生物修复与其他现场修复工程的嫁接和移植技术,以及针对性强、高效快捷、成本低廉的微生物修复设备,以实现微生物修复技术的工程化应用。

微生物修复重金属污染的技术主要为原位修复和异位修复。微生物原位修复技术是指不需要将污染土壤搬离现场,直接向污染土壤投放 N、P 等营养物质和供氧,促进土壤中土著微生物或特异功能微生物的代谢活性,降解污染物,主要包括:生物通风法、生物强化法、土地耕作法和化学活性栅修复法等几种。异位微生物修复是把污染土壤挖出,进行集中生物降解的方法。主要包括预制床法、堆制法和泥浆反应器法。

2.3 我国自有知识产权技术的竞争力评价

通过中国知网,利用“污染土壤”或“污染场地”搜索专利名称,得到历年来相关专利申请数量如图 3 所示。可见污染土壤或污染场地在 2010 年开始受到国内重视,2010 年以前每年申请的专利不足 50 项;而 2010—2015 年,相关专利申请数量迅速增长,2015 年相关专利数量超过 400 项。

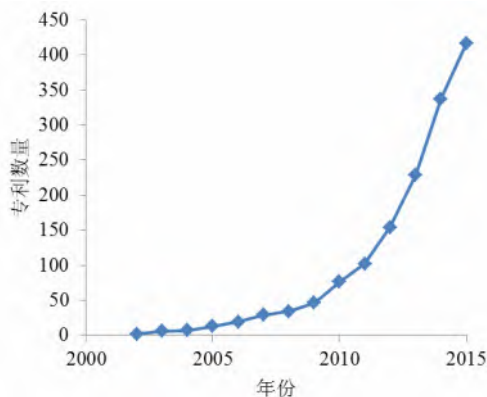


图 3 相关专利数量

进一步统计 2014、2015 年的相关专利类别,如图 4 所示。从图中可见,尽管 2014、2015 年专利数量大幅增长,但从专利类型上看高度集中,重金属的固化/稳定化、重金属及有机污染物的生物修复、有机污染物热脱附技术、重金属的淋洗技术、有机污染物的氧化/还原技术是专利的主要技术内容。

可以发现,我国现有污染土壤或污染场地治理修复技术有如下几个特点:①工作重复性较高,针对国内污染场地问题,专利集中的技术可能是工程实践发现较为有效地技术;②异位修复技术较多而原位修复技术、土壤和地下水联合修复技术较少;③技术概念较多,

而针对修复施工的专项技术较少。

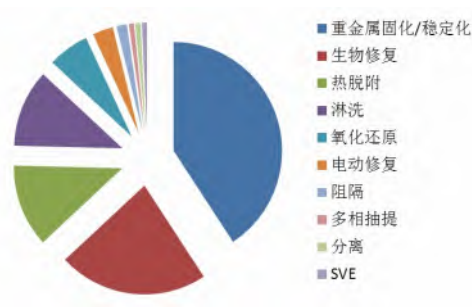


图4 2014、2015年专利类型

3 主要问题分析

3.1 管理层面

(1) 场地污染管理观念存在误区

我国的场地污染管理观念非常的落后。随着污染问题的严重，人们开始注意到环境的重要性，有不少的企业为了保证企业的经济效益提出了“先污染后治理”，可是先污染后治理的生产模式加剧了我国的环境问题。我们所处的环境，对于污染物是有一定的承载力的，少量的污染物，环境就可以通过自然地循环将其分解，但是当污染物超过了环境本身承载量的时候就会衍生出非常严重的环境问题，这时环境会很难修复，所以在场地污染管理的过程中树立正确的管理观念，可以保证管理有效地进行。

(2) 场地污染管理存在滞后性

我国在场地污染的管理上存在着严重的滞后性。环境的自身，具有一定的承载力，当污染排入其中，可以降低污染程度，这就在于环境自身有着一定的净化能力，这种净化能力使环境问题不会立刻的显现出来。我们在工业生产时排放的废气，以及汽车行驶中排放的尾气，都作为一种污染源进入到大气层，可是这种污染并不会立刻的就显现出来，而是进行着累积，只有环境污染到达一定度的时候，才会一种显现的方式给我们影响。就比如酸雨，酸雨对于农业的危害非常大，它可以使农作物减产，减少大豆中蛋白含量，使土壤流失元素变得贫瘠。此外，酸雨也使得水中的生物灭绝，影响人类的健康等。空气污染的程度，我们很难预计，只有当酸雨发生，我们才能意识到空气污染的危害性，才开始找寻解决措施，改善环境，多以说在场地污染的过程中，我们存在一定的滞后性。

(3) 场地污染管理法律制度不完备

在中国，尽管国家和地方环保主管部门已经开始重视污染场地管理工作，并于2014年发布了一系列污染场地环保标准，旨在为各地开展场地环境状况调查、风险评估、修复治理提供技术指导和支撑，为推进土壤和地下水污染防治法律法规体系建设提供基础支撑。然而，相比较水污染和大气污染所具有的国家性防治法律依据和行动纲领，如《水污染防治法》和“大气十条”等，污染场地修复行业仍然缺乏顶层设计和更高层次统筹规划

的专门法律,直接导致地方各级环保部门在开展监管工作时面临无法可用、无法可依的窘境。相关法律条文的缺失也直接导致了基层环境执法部门在面对污染场地治理时,无法明确责任主体,而只能笼统地依照《环境保护法》相关条文进行处理。

(4) 污染场地底数不清,亟待修复场地数量巨大

中国虽然在2006年开展了全国土壤污染状况调查工作,针对重污染工业企业等10类场地进行调查,但是受限于诸多因素,调查的普及面相当有限,无法全面掌握我国主要行业退役工业用地的污染状况,遑论建立类似美国“国家优先治理场地列表”一样的污染场地清单。另外,在已经调查过的数量有限的场地中,场地的众多基础数据和资料严重缺失,无法用于建立污染场地档案。根据相关调查报告,仅重金属一项,中国存在严重重金属污染的省份就多达14个,存在污染问题的农田面积达1494万亩,占18亿亩耕地的8.3%;存在污染问题的工业用地面积为1205.25万亩,其中位于市辖区的工业用地面积占48.52%,约合584.79万亩。考虑到中国绝大部分工业退役场地在使用过程中都没有采取相应的土壤和地下水保护措施,因此可以推测,几乎所有现存的工业场地都存在或多或少的土壤及地下水污染问题。

3.2 技术与工程层面

(1) 技术成熟程度差

与西方发达国家相比,我们国家在土壤地下水修复领域毕竟处在起步阶段,就算近几年市场比较热,工程在增多,充其量也只能算作发展阶段的初期,这也与我国经济社会发展阶段相一致。所以,技术的应用主要以引进为主,这就导致不同理念、不同经济实力、不同工程要求引进的技术参差不齐,技术应用水平差异化较大。一是我国修复存在重效率轻效益、重修复轻调查、重结果轻过程的理念,使一些项目不得不放弃性价比更高的技术,转而在“短平快”的昂贵方法,这也是目前最要命的问题,是某些专家所说我国修复成本高、让人怯步的根本原因;二是进入该领域的企业在理念与认识方面还有不足。做得比较好的企业确实有,但屈指可数,多数企业本是属于水处理、防水、地勘、工程设计等领域的,在向修复领域转型或拓展业务的过程中,并没有真正认识到土壤地下水修复的复杂性,把它理解成是其自身领域的技术方法的简单复制。举例来说,场地调查就有别于传统的工程地质勘察与水文地质调查,不仅要求获取土层、含水层的常用参数,还需要了解污染物类型、垂直向及水平向分布特征、污染物与介质的物理化学关系等等。施工方面也不是简单的挖个坑把土运走的过程,其间涉及基于污染物和水文地质条件不同而选取不同的对策。

(2) 缺少工程范例,修复技术难以比选

在目前国内场地修复工作刚刚开展,严重缺乏基础研究数据和实际工程数据支撑的前提下,不可能详细地、可靠地对不同修复技术进行评价。由于我国场地的污染特征和污染形成历史非常复杂,土壤性质和地质水文条件也不同于美国,采用美国超级基金的数据对中国的场地修复技术进行评价,得出的结论很可能是不可靠的。国内示范工程真正应该起到示范的作用,不管是成功的经验还是失败的教训,都应该做到全过程的公开。

(3) 缺乏行业培训机制,从业者素质偏低

随着国家对污染土壤修复的重视和资金投入不断加大,土壤修复行业所蕴含的上千亿

商机吸引着各种企业和人员纷纷加入，各显神通承揽土壤修复工程；大量从业者没有土壤修复的专业背景和施工技能，视“土壤修复工程”为“土石方工程”，使得污染治理项目成为了“二次污染项目”。急需建立行业培训机制，对从业人员进行相应的技术和工程培训。

(4) 过度修复问题

在修复技术理念方面，中国仍处于以“彻底清除污染，恢复污染场地至初始状态”的阶段，对污染场地修复技术的理解主要集中在借鉴和参考以美国为代表的国外先进技术的基础上进行模仿式的工程实施。此观点约相当于 30 年前美国修复行业的主流观点，但是所付出的修复成本非常高昂，也由于污染场地本身错综复杂的性质，只有极少数场地能够达到预定的修复目标。

同时，中国现阶段所采用的修复技术也较为粗放，在修复设备的生产研发、修复药剂的开发、修复施工管理体系的建设和运营、修复技术的应用规模等方面还处在起步阶段。反观以美国为代表的发达国家，其修复目标已经转移到“阻隔和停止污染，保护人体健康和环境安全”上。在对污染场地概念模型和修复技术具有深入理解的基础上，允许采用基于风险的管理方式，针对不同的污染类型、污染途径、人体损害模式等采取不同的修复方法，极大地节约了修复工程的成本，同时提高了政府管理机构 and 行业从业者的环境风险管理水平。有理由相信，随着污染修复行业的发展和行业修复理念的转变，我国的修复行业也将转向基于风险的修复方式上。

(5) 二次污染问题

鉴于我国污染场地的修复属于“土地开发驱动型”的情况较多，因此在修复技术选择上，目前采用较多的是异位修复技术。然而，这个方法在修复实施过程中，监管部门难以密切跟踪，一般由修复企业凭良心作业。一些企业为了节约成本，在修复过程中控制不到位，开放式挖掘、开放式运输，没有控制措施地“随地堆放”。还有一些企业在污染土壤的运输过程中甚至出现过偷倒行为。对于挥发性有机污染物，在土壤的挖掘、运输和处理处置过程中若不采取有效措施，污染物本身可能就挥发出去大半了。

在国外，绿色修复技术的应用越来越受到重视。在满足修复目标的同时，绿色修复尽可能降低修复行动的环境足迹及经济上的负面影响，正确运用有限资源来设计或选择污染修复方案，使修复行为的净环境收益最大化。如在大气方面减少修复过程中温室气体、氮氧化物、硫化物和颗粒物的排放，减少修复行为对土壤物理、化学和生物条件的改变，以及对土壤、地表水和地下水带来可能的化学溶剂和溶解性有机碳，同时还要考虑修复行为对生态系统植物、动物、食物链和生物入侵的影响等。

3.3 资金层面

中国在修复资金方面，由于缺乏对污染者追责问责机制、修复行为责任主体不明晰，污染场地修复行业的资金来源一直是广大修复行业从业者的关注焦点。统计表明，政府预算拨款占我国污染场地修复资金来源的 54.3%，政府财政拨款和修复企业自筹占 21%，剩余的不到 1/4 的资金来源才是污染责任方企业自筹和其他渠道。一方面，中央财政虽然有一定数额的专项整治经费用于污染场地修复，但是“饼大芝麻少”，往全国各地众多亟待修复的场地项目上一分，显得杯水车薪；另一方面，在地方财政关注重点集中于基础设施

建设的大环境下, 地方政府很难抽出足够的经费支持当地的修复项目。值得关注的是, 北京、上海、南京、杭州、重庆等地方政府、环保管理部门和修复行业从业者克服重重困难, 开创了一些较新的修复治理融资模式, 但是要实现现在全国范围内的大规模推广应用, 仍然需要更多的探索。

4 建议

4.1 加快土壤污染防治与修复的法律法规制订

以国内现行土壤污染防治法律规范为基础, 借鉴国外及中国台湾地区有关土壤环境保护和污染控制的立法经验, 制定一部中国专门的土壤环境保护与污染防治法。明确土壤环境保护和污染控制的监督管理体制, 最主要的是机构的设置及其职权的划分, 特别是环保与农业、国土资源、工信及建设等部门之间的职责分工。考虑我国的环境保护水平, 应从土壤污染的预防和治理两个方面加以规定为宜, 规定预防土壤污染及对受污染土壤进行修复或整治的基本要求和基本措施。另外, 还应当明确规定土壤污染防治纠纷的处理及违反土壤污染防治立法所应承担的法律后果。

4.2 为土壤污染防治提供稳定的资金保障

资金保障是进行土壤污染调查修复工作的生命线和基石, 制定完善的资金筹措、管理、使用制度是决定土壤污染防治法能够得以有效实施并达到最终目标的根本保障。污染防治基金制度应当包括基金筹集方法及来源、基金管理方法、基金使用制度等一系列规则体系, 确保专款专用, 让资金使用后取得最好的效果。就资金筹集来讲, 应当规定基金筹集的主体、方法, 土壤污染者、土壤使用受益者应当成为资金缴纳的义务主体, 政府应当拨付专项资金用于土壤的预防和控制。筹集的方法可以是行政的、司法的、税收等方法。对于资金的管理, 要规定资金的管理主体和管理办法。农田土壤污染修复管理模式可以结合农村土地流转制度, 通过适当的经济手段来调控土壤污染的修复与开发过程。尽快建立以“谁污染、谁治理”为主体的多责任、多目标的融投资体系, 稳定资金来源, 保证修复工作可持续开展。

4.3 为污染场地修复技术的筛选与应用提供指导

鉴于修复技术筛选存在的随意性和盲目性现象, 建议国家应出台污染场地修复技术筛选方面的指南。以修复技术的原理为基础, 明确一些技术的优劣势和适用范围。注重引进适用于我国的国外先进技术, 搭建土壤修复的国际交流与合作平台, 加强修复技术的引进与本土化。应该结合国内外修复技术的应用案例, 针对不同的污染物类型(如挥发性有机污染物)和用地类型(如农田耕地土壤等), 逐步建立土壤修复技术默认清单制度, 从而规范和优化修复技术的选择, 减少修复技术比选代价, 避免修复技术盲目选择现象的发生。

4.4 建立并完善多样化的污染土壤修复效果评价方法

树立风险管理理念, 针对不同的修复技术, 进一步完善污染土壤修复效果的评价体系。

如针对城市污染土壤、农田污染土壤和矿山污染土壤在直接保护目标、受体和风险暴露途径等方面的差异，分别建立以保护人居健康为目标的城市污染土壤修复效果评价体系，以保护农产品安全和土壤生态系统为目标的农田污染土壤修复效果评价体系，以及以保护水源和生态环境为目标的矿山污染土壤修复效果评价体系。以典型土壤动物、陆生植物、土壤功能微生物等为对象，探索建立基于土壤中污染物生态毒理效应的效果评价体系。

4.5 加强污染土壤修复过程监管

在我国当前修复行业鱼龙混杂的背景下，监管部门必须加大监管力度，在修复技术选择的导向、修复工程招投标的机制等方面把关，提出污染场地修复技术选择的一些基本原则，倡导绿色修复技术理念。强化污染场地修复环境监理制度，细化污染土壤修复工程的环境监理环节与内容，实行污染场地修复的全过程监管。这样不仅能实现修复工程的规范化运行，减少修复过程二次污染的发生，而且可能使修复企业从不敢违法过渡到不想违法。

城市土壤污染控制与修复领域技术发展报告

1 所属行业或领域总体概况

1.1 法规政策及标准体系现状

1.1.1 国外现状

污染场地及其引发的一系列问题，已经成为世界性难题，也构成了对人类健康和环境的严重威胁，如美国拉弗运河事件、荷兰 Lekker 事件和英国 Loscoe 事件等。为了应对并解决这一难题，20 世纪 80 年代以来，以美国为代表的欧美发达国家将污染场地纳入国家环境管理体系中。发达国家在应对污染场地的法律法规管理制度、技术储备和资金来源渠道等方面已形成了较完备的制度体系，制定了基于风险的污染场地调查评估修复技术和环境质量标准等系列技术文件。其中以美国为代表的发达国家的土壤保护实践在世界范围内极具代表意义。

1.1.1.1 美国

20 世纪 70 年代末，长期的雨水冲刷使地下的化学废物渗入居民区的地下室并形成毒气释放，这就是震惊全美的“拉弗运河事件”。美国境内有许多类似于拉弗运河的危险废物简易填埋场，这些场地严重威胁了公众健康和环境安全。在社会舆论压力下，美国于 1980 年 12 月通过了《环境应对、赔偿和责任综合法案》，该法案批准设立污染场地管理与修复基金，通常被称为《超级基金法》，也被称为超级基金制度。

超级基金的管理程序见图 1。

美国超级基金主要用于对土壤中污染物及其迁移的治理，尤其是对工业造成的土壤污染的治理。美国超级基金的法律是比较单纯的治理法律，着眼于已有的环境问题，重视经济刺激手段。该法案确保了“以人为本，以生态为本，不惜代价最大限度保护人类健康和生态环境”这一立法宗旨。

1.1.1.2 英国

英国政府从 1970 年代就开始关注“棕色土地”问题。在英国，“棕色土地”不仅指被污染的土地，还包括城市和农村地区的永久性建筑以及任何与之相关的地面基础设施所占用的土地，废弃的军事用地和用于矿山冶炼、垃圾处理的土地。

英国有两方面的法律用于控制污染场地的再开发和治理：《城镇和乡村规划法案 1990》；《环境保护法案 1990》和《环境法案 1995》。《城镇和乡村规划法案 1990》规定，开发商治理污染场地应满足未来规划土地用途的要求；《环境保护法案 1990》建立了对污染场地识别和治理的法律框架；英国在 1995 年颁布的《环境法案 1995》提出了污染场地

的管理和控制程序。

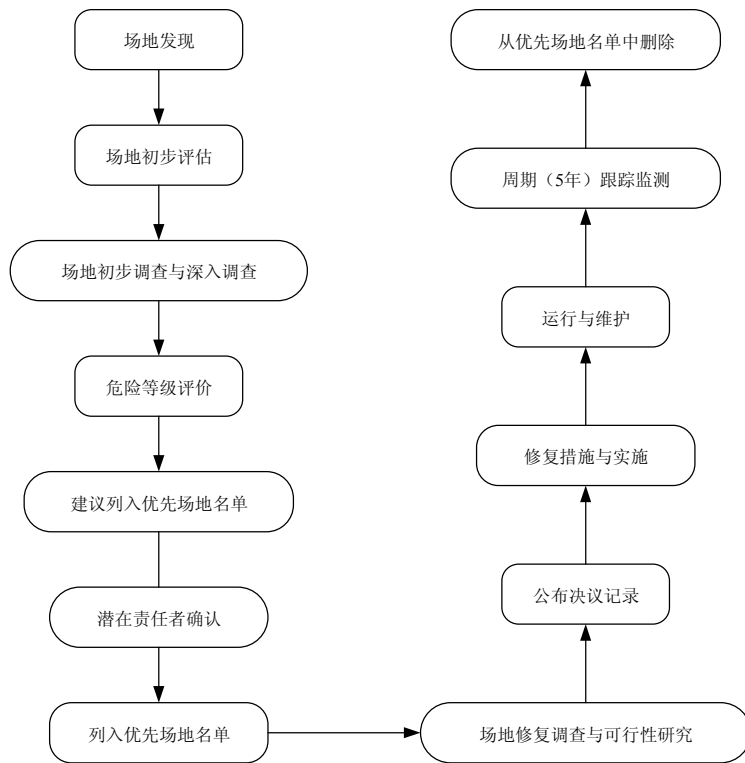


图 1 超级基金管理程序

1998 年，英国制定了“棕色土地”政策，约束或制止对未开发土地的利用，重新开发棕色土地。英国土地管理模式被称为“重新开发利用管理模式”，这种管理模式以市场为驱动力的开发过程让污染场地重新焕发生机，产生经济效益。

1.1.1.3 荷兰

荷兰于 1983 年开始土壤修复的立法，1987 年，荷兰通过《土壤保护法》。该法律在随后的 20 年里逐渐发展完善。

根据 2008 年 1 月生效的《荷兰土壤质量法令》，建立了新的土壤质量标准框架。该框架场地污染调查的判定标准为：① 在土壤至少 25 立方米范围内，一种或多种化学物质的平均浓度超出干预值，判定土壤严重污染；② 在至少 100 m³，孔隙饱和的土壤中，一种或多种物质的平均浓度超出干预值，判定地下水严重污染。

荷兰制定了严重污染场地的目标指导值、土壤修复干预值及指示水平。荷兰建立了相对完善的土壤质量标准框架，这套体系注重土壤质量标准的建立。

1.1.1.4 日本

日本以《环境基本法》为基础，以土壤环境标准为目标，针对农用地土壤污染和城市工厂迹地土壤污染两种情况，分别制定了《农用地土壤污染防治法》和《城市用地土壤污染防治法》

根据《农用地土壤污染防治法》，日本对农用地土壤污染防治的目的是通过防止和去除特定有害物质对农用地土壤的污染，并合理利用受污染的土地，防止受污染土地妨碍农

作物的生长及生产出的农畜产品危害人体健康,从而保护人体健康和环境安全。《城市用地土壤污染防治法》通过对土壤中有毒物质污染状况进行调查,采取相应修复措施,防止工业用地污染对人体健康和环境造成损害。

1.1.1.5 加拿大

1989年,加拿大制定了《国家污染场地修复计划》,对污染场地的调查评估及修复提供人力与资金支持,并对场地修复技术、修复标准及法规相关的研究提供资金支持。

《国家污染场地修复计划》提出了污染场地的修复流程。加拿大各省和地区负责制定各自的污染场地修复通用标准和修复指南。同时,加拿大环境部制定并更新了国家修复指南。加拿大《国家污染场地修复计划》公布了土壤和水体的环境质量评价标准,以及针对特定土地用途设定修复目标值的修复标准。暂行土壤修复标准将土地利用方式划分为3种:农业用地、住宅和公园用地以及商业和工业用地。

加拿大《国家污染场地修复计划》与美国《超级基金法》的相似之处在于:都遵循“污染者付费”的原则;都采用了优先处理高污染风险场地的机制。

1.1.1.6 德国

1999年3月,德国开始实施《联邦土壤保护法》《联邦土壤保护与污染场地条例》和《建设条例》等。

根据《联邦土壤保护法》和《联邦土壤保护和污染场地条例》,德国政府已经建立了较为完善的污染场地管理制度(图1-2),该管理制度包括污染场地的识别、风险评价、修复和检测四个阶段,每个阶段都有明确的管理要求。

《联邦土壤保护法》为污染场地提供污染物清除计划和场地修复条例。《联邦土壤保护与污染地条例》是德国实施土壤保护法律方面的主要举措,整个条例仅有13项规定。

联邦德国的相关立法强调在土壤利用中加入可持续发展的思想和预防性的土壤保护理念。此外,德国的相关立法强调对农用土地的保护。

德国污染场地管理政策面临的一个挑战是,如何应对污染场地的突发性事件。迄今为止,世界各国因污染场地而发生的灾害性事件多有先例,一套成熟全面地应对机制可以有效降低突发事件的危害及风险,并有助于后期开展污染场地的修复工作。在这一方面,包括德国在内的许多国家都需要建立并进一步完善污染场地的突发事件应对机制。

1.1.2 国内现状

1.1.2.1 国家层面

2003年12月3日,曾培炎副总理批示要求“环保总局会同国土资源部就我国部分地区土壤地球化学状况恶化,查清异常原因,并提出综合治理的意见”。2004年,国家环保总局会同国土资源部研究制定了《全国土壤现状调查及污染防治专项工作实施方案》,并征求了国家发改委、农业部、财政部、科技部、质检总局和法制办的意见。2004年12月,国家环保总局、国土资源部联合向国务院报送了《关于开展全国土壤现状调查及污染防治专项工作的请示》。2005年4月29日,国务院办公厅提出了“原则同意有关部门提出开展《全国土壤现状调查及污染防治专项工作》的计划,建议国家环保总局、国土资源部按统筹规划、分工协作、避免重复、资源共享的原则,进一步明确调查技术规范 and 任务分工,修改和完善具体调查方案”的意见,该意见经温家宝总理圈阅。2005年3-12月,国家环

保总局在沈阳、南京和广州市组织开展了土壤污染调查试点工作。2005年11月17日，国家环保总局第二十二次局务会议审议通过了《全国土壤现状调查及污染防治专项实施方案（环保总局部分）》。2006年5月25日，国家环保总局主持召开全国土壤现状调查及污染防治项目专家咨询会，国内土壤和环境学界的6位院士和5位知名专家对全国土壤现状调查项目方案设计与组织实施提出咨询建议。如今，运用法律手段防治土壤污染已经成为共识。虽然我国现行法律法规中已有一些有关土壤污染防治的规定，但不能达到有效防治土壤污染的程度，迫切需要专门制定一部关于土壤污染防治的法律法规。

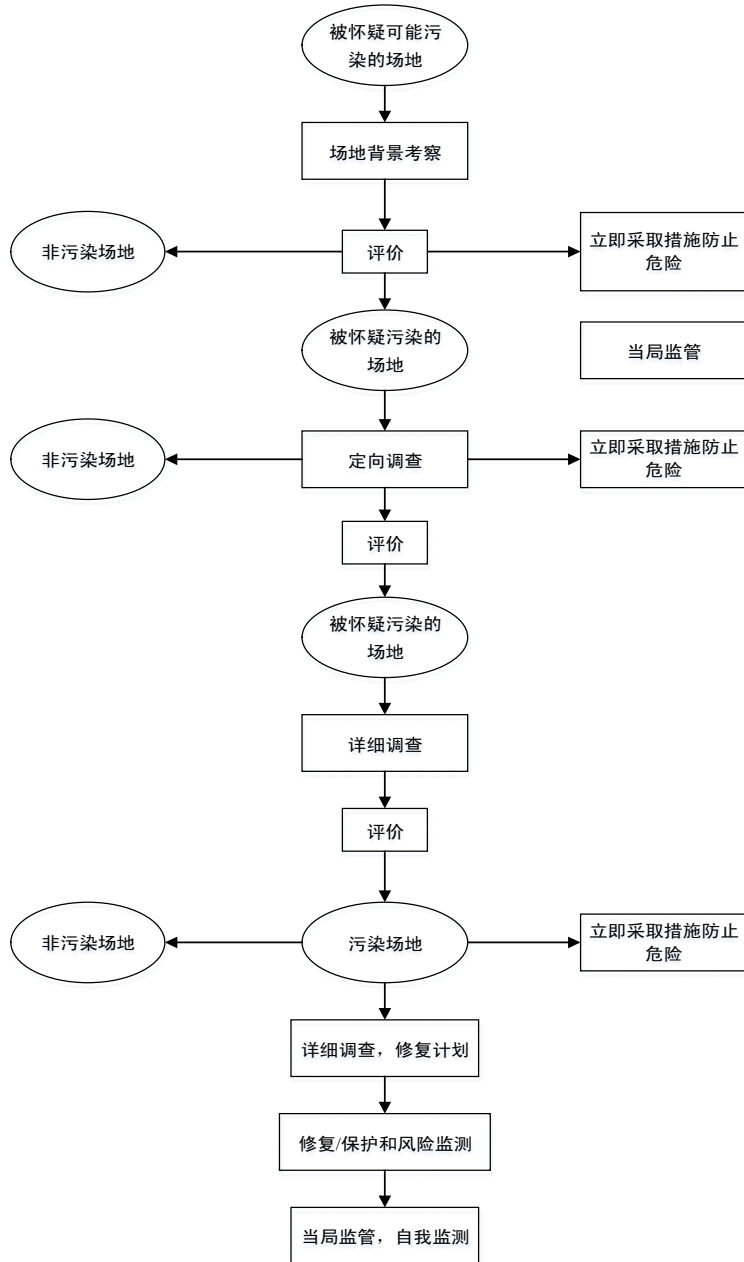


图2 德国污染场地管理示意图

我国的《土壤环境质量标准》(GB15618-1995)对许多污染组分并未做出规定,也没有污染场地的分类和分级控制标准。日前,我国污染场地的基础数据缺乏,污染场地的种类、数量、污染程度、扩散范围的底数模糊。而且,由于历史原因,污染场地责任主体不明,造成很多污染场地无人治理、无人问津。为贯彻《中华人民共和国环境保护法》,保护环境,保障人体健康,防治土壤污染,我国批准《展览会用地土壤环境质量评价标准》为国家环境保护行业标准,并予发布。该标准为指导性标准,自2007年8月1日起实施。此标准按照不同的土地利用类型,规定了展览会用地土壤环境质量评价的项目、限值、监测方法和实施监督,适用于展览会用地土壤环境质量评价。

自2014年起,国家层面发布了一系列的技术标准导则,包括《场地环境调查技术导则》(HJ 25.1)、《场地环境监测技术导则》(HJ 25.2)、《污染场地风险评估技术导则》(HJ 25.3)、《污染场地土壤修复技术导则》(HJ 25.4)、《污染场地术语》(HJ 682)等用于指导场地调查评估和修复工作。

1.1.2.2 各地方省市

(1) 北京市

2007年7月,北京市环保局发布《关于开展工业企业搬迁后原址土壤环境评价有关问题的通知》(京环发151号),2013年至今,北京市政府发布了管理办法和一系列配套的技术导则规范,包括《北京市污染场地开发利用环境保护暂行管理办法》,《污染场地修复工程环境监理技术规范》,《污染场地土壤再利用风险评估技术导则》,《污染场地修复技术方案编制导则》,《污染场地挥发性有机物调查与风险评估技术导则》。

为了进一步提高北京市场地环境监管水平和能力,北京市场地监管部门明确4个方向:①继续完善北京市场地环境管理标准体系;②提高风险评价方法技术水平,降低不确定性;③促进符合“绿色可持续”理念的场地修复工程控制技术应用;④场地环境管理由“末端治理”转向“前端防控”,实现全过程监管。近几年来,北京市场地环境调查、健康风险评价、修复技术研发、法规标准体系建设以及能力建设方面取得了一些成果,在国内污染场地行业具有一定影响力。

(2) 上海市

上海在场地环境调查评估和治理修复方面的工作起步较早,从2007年开始至今,若干个大规模的成功整治改造(包括世博园区、迪士尼园区、宝山南大及桃浦智慧城等),让上海获得了丰富的实践机会和经验。

2014年7月,上海市环保局、市规划国土资源局、市经济信息化委、市建设管理委联合发文《关于保障工业企业及市政场地再开发利用环境安全的管理办法》(沪环保防[2014]188号)及配套附件《场地环保专家评审工作管理办法》,《场地从业单位考核评估管理办法(试行)》,《关于加强本市工业用地出让管理的若干规定(试行)的通知》(沪府办[2014]26号),明确了污染场地的管理流程。2014年至2015年间,上海地方性技术文件《上海市场地环境调查技术规范》、《上海市场地环境监测技术规范》、《上海市污染场地风险评估技术规范》、《上海市污染场地修复方案编制规范》、《上海市污染场地修复工程环境监理技术规范》、《上海市污染场地修复工程验收技术规范》、《上海市场地土壤健康风险评估筛选值》的陆续发布进一步规范了场地调查评估和修复治理的技术流程。

(3) 重庆市

2006年,重庆市环保局委托重庆市固体废物管理中心具体承担城区土壤污染防治工作,对污染场地进行调查、评估、修复全过程管理。2014年1月,重庆市环境保护局成立了固体处。2015年12月四项地方污染场地技术标准通过重庆市质量技术监督局评审。2013年到2015年,重庆市环保局和重庆市固体废物管理中心陆续印发了《重庆市污染场地评估咨询和治理修复单位名录申报指南(试行)》、《重庆市场地环境风险评估及污染场地治理修复技术审查程序(试行)》,加强从业单位管理,完善技术审查工作流程,建立了信息通报制度。在此期间,2013年重庆市环保局立项开展污染场地地方环境保护系列标准制定工作,2015年12月《场地风险评估技术导则》、《场地土壤环境风险评估筛选值》、《污染场地治理修复验收评估技术导则》、《污染场地治理修复环境监理技术导则》四项地方污染场地技术标准通过重庆市质量技术监督局评审。

(4) 浙江省

2006年3月,浙江省颁布了《浙江省固体废物污染环境防治条例》,规定对污染土壤要实行环境风险评估和修复制度,拉开了浙江省对土壤污染环境治理和修复的序幕。从2011年开始,浙江对各类关停并转遗留或遗弃的污染企业原址用地,开展了场地污染风险排查工作,并下发了一系列行政法规和技术规范。从2014年开始,浙江还着手建设场地信息库,汇总、分析全省污染场地信息,为污染场地再开发利用的安全监管提供科学依据。

(5) 江苏省

2014年4月14日,江苏省环保厅颁布了《关于规范工业企业场地污染防治工作的通知》(苏环办〔2013〕246号),明确了强化污染场地日常管理,加强企业搬迁关停过程的环境监管,认真开展工业企业场地环境调查工作,风险评估,治理修复,以及加强污染场地流转前的环境监管等规定。

江苏省环科院与台湾土壤及地下水环境保护协会经过友好协商,在平等互惠、优势互补、循序渐进、合作共赢的指导原则下,确立了双方在土壤及地下水领域合作关系,并于江苏设立苏台土壤与地下水修复技术中心,以促进两地在土壤及地下水环境领域的法规、制度、学术、技术交流,协助两地土壤及地下水产业的深度合作。

(6) 广东省

《广州市人民政府办公厅关于土地节约集约利用的实施意见(穗府办〔2014〕12号)》,明确要求“对城市工业企业遗留(弃)场址改变用途的储备用地,按有关规定开展土壤环境风险评估,并由市、区(县级市)土地储备机构组织对被污染的土壤环境进行治理修复。”

2015年制定《广州市工业企业场地再开发利用环境管理办法(试行)》,系统规定了工业企业场地再开发过程中的环境调查、风险评估、治理修复、再开发利用等环节的具体要求。《污染场地分类分级管理技术指引》综合考虑人体健康风险、再开发紧迫程度、生态环境风险、社会舆论关注程度等因素,对污染场地进行分类分级针对50个典型“退二”工业企业地块进行分类分级实例分析,涉及电镀、印染、皮革、涂料制造、化工等行业,将场地划分为高、中、低风险潜在污染场地。

1.1.2.3 台湾地区

20世纪70年代初,我国台湾地区开始对农用地土壤重金属含量进行调查测算,从而揭开了土壤污染防治工作的序幕,调查工作历时20余年。于2000年1月13日,台湾通过了“土壤及地下水污染整治法”。在资金流转方面,台湾环境保护局建立了一个类似美国超级基金的基金项目,称为“土壤及地下水污染修复基金”,用来解决在找不到污染者的情况下,对场地的修复及管理的费用问题。基金的经费来源为针对石油、石化工业及制造业等工业征收的特别税。

台湾地区土壤污染防治制度可分成4大块,即污染预防制度、污染整治制度、财务制度和污染责任制度。污染预防制度的目的是:“为了预防及整治土壤及地下水污染、确保土地及地下水资源永续利用”。污染预防制度强调土壤污染信息收集和公开制度。环境保护部门收集信息的目的是为了准确告知公众有关土壤的污染信息,便于公众监督和参与。

1.1.2.4 国内现状总结

我国已开展了一些污染场地土壤污染状况调查,但我国污染场地土壤状况仍不明确,污染场地特征、分布数据库均未构建完成,也缺乏突发事故污染、重金属污染、有机物污染、矿山开采污染等典型污染场地的土壤特征和重点区域分布等基础数据。我国需要有针对性地开展污染场地的监督管理和污染土壤治理,从国家层面上对污染场地土壤治理和监督管理统一进行规划布局。

从美国的超级基金制度看,经费问题一直制约着污染场地环境管理工作的进行。我国目前环境污染防治主要遵循“污染者付费”原则。然而,土壤污染具有隐蔽性、滞后性以及复杂性等特点,而且处理受污染土壤工程量大,费用高昂。此外,土壤环境管理中存在的问题还有:如何准确地识别场地受污染程度;如何判定污染者所承担的责任;在土壤污染找不到责任主体或责任主体无力承担修复费用时如何筹措场地修复需要的资金。

我国对污染场地修复技术的研究起步晚,很多土壤修复技术还处于研究阶段,不能应用于实际,还没有形成有中国特色的、适合中国现状的实用技术,这就需要我国借鉴欧美发达国家污染场地修复方面的先进技术,同时大力发展适合我国国情的场地污染修复技术,力争早日解决我国目前复杂的土壤污染问题。

1.1.3 国内外政策管理方面的主要差异

1.1.3.1 责任及污染者付费原则

一般来说,尽管在场地污染案例中责任划分问题并非易事,大多数国际法规和政策框架均坚持“污染者付费原则”。一些国家已确定具体办法来划分法律责任,处理废弃场地,并联合私人 and 公共资金进行场地修复和开发。在中国土地是属于国家所有,对于大多数工业用地而言,工厂也都是国有企业。如果业主或经营者首先要为污染付费那么责任最终将落在国家身上,由政府支付修复费用。若涉及合资企业、垃圾填埋厂和公共倾倒地这类污染事项时,因缺乏历史记录,赔偿责任的认定将变得复杂,无法像美国超级基金计划的责任认定那样容易执行。

1.1.3.2 中央/联邦与当地政府

各国为达到土壤质量目标，需要国家、区域和地方各级政府共同采取行动，共同责任制也许更符合现实并更有利于充分利用各层面的资源。在中国，制定污染场地管理的政策和法规框架需考虑中国国情，诸如：不同地区之间在经济和社会发展水平上存在较大差异；配套基础设施的可利用性问题，例如垃圾填埋场及运输、储存及处置设施；知识和技术技能等能力水平；污染历史的长短、场地污染的程度和性质；最重要的是，按照人口密度客观评估暴露风险的影响后果。因此，选择分区域和分阶段的方法建立污染场地管理的框架似乎更为合理。

1.1.3.3 历史、当前和未来污染

在美国，超级基金计划针对的是历史遗留的废弃场地，该法律具有追溯效力。在荷兰，法律规定划分历史污染的分割日期是1987年。对于1987年以前的污染，责任方可立即采取基于风险管理方法进行修复，可以获得国家的支持。总体来说，欧盟现有的土壤保护政策并不适用于在其生效前产生的污染，《欧盟土壤框架指令》是未来解决土地历史污染问题的希望。

在中国，大多数国有企业都经历了某种形式的所有制重组，这些所有权变更的日期是有迹可寻的。但是，改制过程中鲜有进行任何场地环境评价，也没有实施所有适当的调查来划定基准线（摸底）或参考点。因此，中国是否应为历史污染赔偿责任设定分割日期仍有待讨论。不过，可以明确的是，中国应制定法规防止污染和避免产生新的污染场地。

1.1.3.4 土地使用备选方案及修复方法

虽然早期国家政策中强调多功能或彻底修复（永久污染物去除）（如美国和荷兰），现今在多数发达国家，修复的总体趋势倾向于以“适用性”作为修复目标。场地风险评估和修复目标通常需考虑被调查场地当前或未来的土地用途。对于中国来说，大部分的工业场地位于城市之中，有些甚至处于房地产开发黄金地段。再开发后，这些场地可用于住宅或商业用途。因此，使污染场地返回原始未受污染状态似乎是个保守且有吸引力的选择。不过，多数场地的污染历史超过半个世纪甚至更久，且鉴于再开发的时间紧迫，提供给修复的时间非常有限。昂贵的修复费用和开发时间限制使得将污染场地修复到可满足任何用途的标准是不现实的。中国拥有强大的中央和省级规划能力及单一的土地公有制制度，这为未来统筹规划土地利用与场地修复提供了巨大的优势。规划部门尽早介入修复变得十分迫切和重要。

1.1.3.5 可接受风险水平与社会、经济和政治影响

基于风险管理设定的筛选值和修复值往往受到科学、社会经济和政治文化的影响。因为，社会、经济、政治和科学问题往往是高度关联，很难割裂开来分别讨论。各国“可接受的”阈值范围波动较大。这一般可以被解释为一种政治、经济选择。例如在实际操作中，“ 10^{-6} 致癌风险”是在保守判断、公众认知，以及社会和经济对风险影响的可接受性的基础上，由决策者和科学家共同认可的具有可操作性的阈值。因此，可以理解为这是一个决策者与科学家之间约定的问题。修复标准制定的一个重要工具是建立暴露概念模型，即确定污染土壤对人类和生物受体的潜在暴露途径。这可解释为一个科学问题，但它绝不仅仅是纯粹的科学问题。通过定义潜在受体和土地利用类型，概念模型设定或锁定了需要对土

地规划用途，以及对哪类敏感人群和生物群体的关注。所以概念模型也是同时基于政治、社会约定和科学判断。在筛选值选择及场地风险评估中都融合科学和政治的判断。

1.2 场地管理与行业发展现状

1.2.1 国外现状

1.2.1.1 美国

超级基金场地修复程序：当污染场地被发现或者环保署接到关于危险物质可能释放的通知时，场地的超级基金修复程序开始实施，场地进入美国环保署潜在危险物质释放场地名录，按照图 3 的程序进行一系列的调查评估修复等工作。

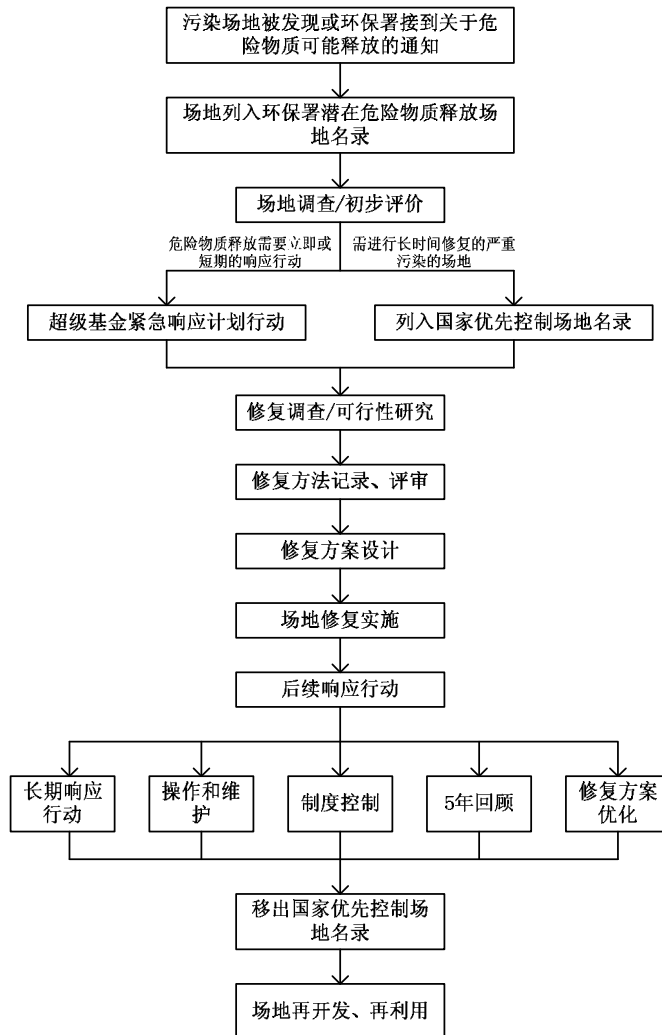


图 3 超级基金场地修复程序

棕地再开发程序：相比超级基金场地修复程序，美国《棕地法》所规定的棕地再开发的程序更为简单和简化，流程图如图 4：

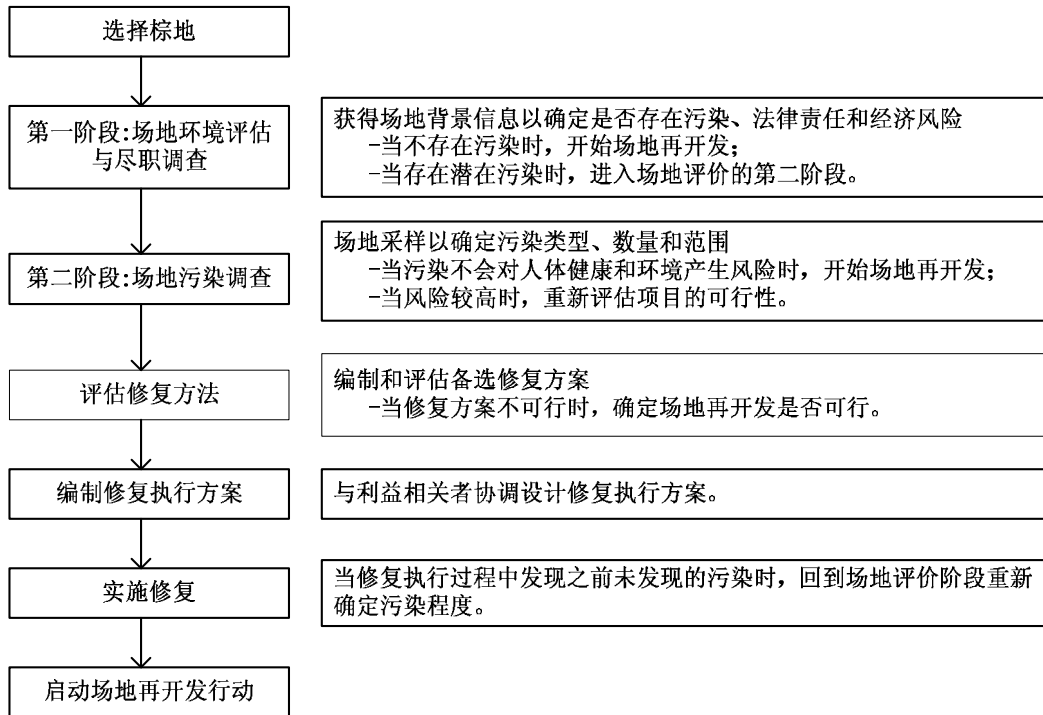


图 4 美国棕地再开发利用程序

美国超级基金是迄今为止世界范围内最为著名的用于污染场地修复的专项基金。该基金由美国国会通过立法建立，资金来源渠道主要有：政府拨款、针对石油和化学产品征收的专门税、针对一定规模企业征收的环境税、向《超级基金法》违法者征收的罚款和惩罚性赔偿金、从污染责任方收回的场地修复成本以及基金的利息受益等。

随着美国污染场地数量的不断增加，美国政府提供了政府赠款和贷款、税收优惠以及环境保险等其他资金来源途径（见表 1），从而鼓励棕地的修复和在开发。

表 1 美国棕地修复资金来源

资金来源	举例	来源、目标与原理
政府赠款	场地环境评估赠款	为棕地的污染调查、评估和规划提供资金支持
政府贷款	棕地修复循环贷款基金	资助单位为申请者进行污染场地修复提供低息或无息贷款
	第 108 条款贷款担保	政府提供担保来负责降低贷方的风险。第 108 条款贷的相应款项可以配发给已获得社区开发赠款的社区
税收激励	联邦棕地税收减免政策	对于符合规定的环境修复支出，可以从当年的联邦所得税中一次性扣除，而不必在费用产生后的几年内分摊计算。
	低收入住宅税收抵免政策	针对将棕地再开发用于居住的项目，每个州都给予一定额度的联邦低收入住房税收抵免，用于吸引对这些项目的投资。
	税收增量融资政策	税收增量融资已逐步成为占主导地位的资金支持手段，其基本原理是，为交付预付款项，地方将税收冻结在场地开发前的水平，并用预期的开发后的税收增量列为收入项来融资，并以此支付预付款项。
环境保险	污染责任险； 制度控制和修复后维护险； 成本上限险； 承包商污染责任险	棕地开发一直被认为具有极大的不确定性和极高的环境责任风险。因此，风险管理——更确切地说是风险转移——一直是棕地开发商关注的问题。环境保险作为风险管理的一种方式，是指一些公司通过收取一定的费用而承担其他公司的风险。

1.2.1.2 英国

2004年9月,英国环境公署公布了污染场地管理示范程序(CLR 11, 2004),该示范程序为治理污染场地的风险管理流程提供了一个技术框架。这个风险管理流程包括根据政府政策和立法进行场地确定和决策,采取适当行动治理污染场地,详细流程见图5。

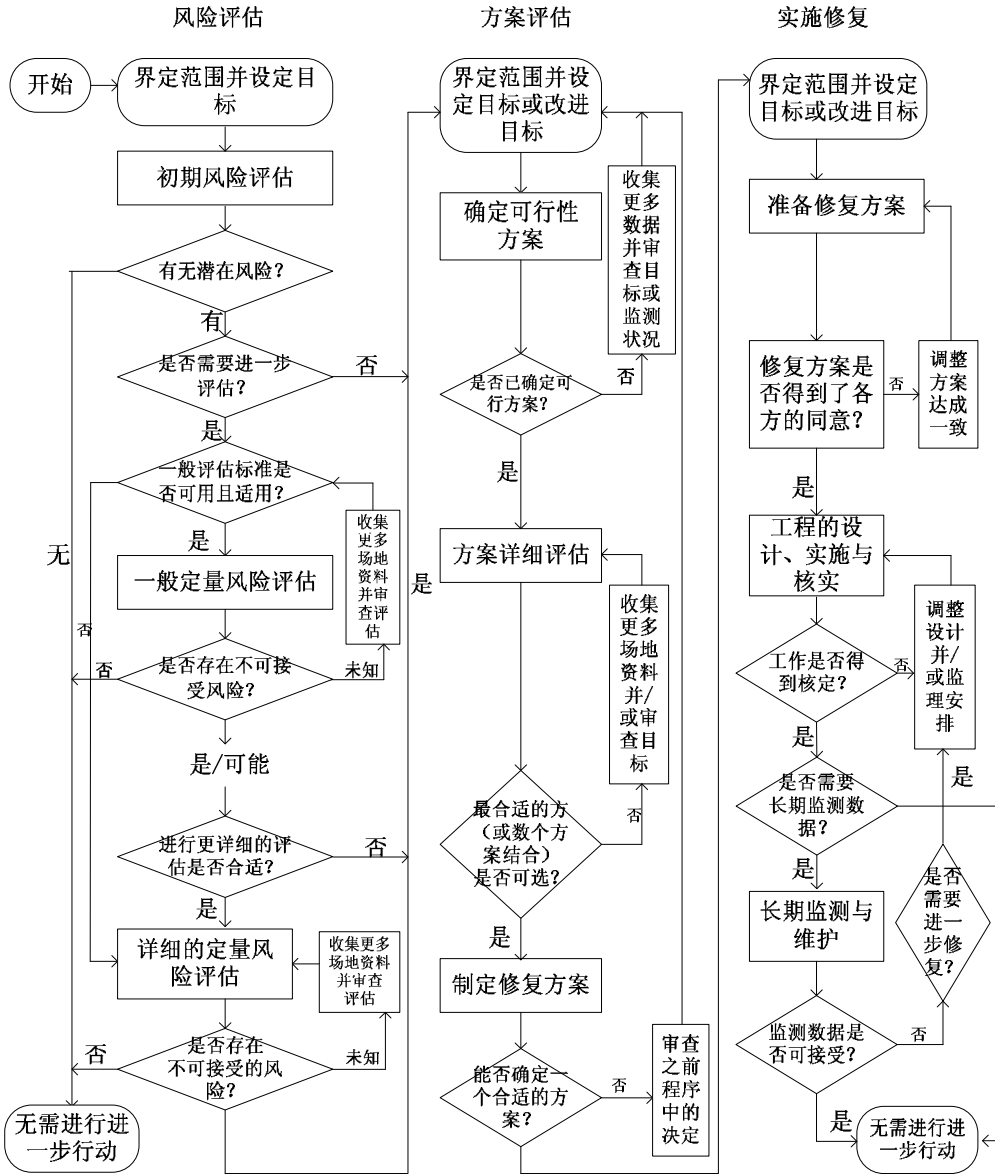


图5 英国污染场地管理示范程序

英国的经验体现在其对待棕地的方法上,即在战略层面上把棕地改造作为城市复兴和可持续发展的关键举措,这种做法促成了英国当前的融资机制。

在有限的政府资金中,英国设立了污染土地资本赠款。赠款主要帮助英国地方当局来支付1990年实施的《环境保护法》第2A部分规定的关于受污染土地制度下的修复项目需要支付的资本成本。赠款主要用于场地调查和修复工作。

对于那些私人机构没有完成的再开发项目，英国政府将尽力促成由准民间组织和独立的公共机构来完成。这些机构的努力有助于促进那些被私人部门放弃的棕地在开发项目重新启动。

1.2.1.3 荷兰

荷兰污染场地的确定、调查评估及修复程序见图 6:

荷兰中央政府针对棕地再开发设立了项目直接对其进行支持,这些项目与地方土地利用和发展规划相配套,是中央政府针对未被充分利用的场地进行清理和再开发的主要措施。

对不属于中央政府再开发项目内的污染场地,荷兰政府推行了一系列适用性的改革,为修复工作提供资金支持。各省和市政府负责污染场地的识别,并采用分级评估系统,按照场地对人体健康和环境构成的威胁程度,对场地进行分级。对污染严重和急需修复的场地,可以使用国家基金进行修复。

荷兰政府也向在用的商业设施的修复工作提供资金支持,可提供最高占修复成本 60% 的资金。

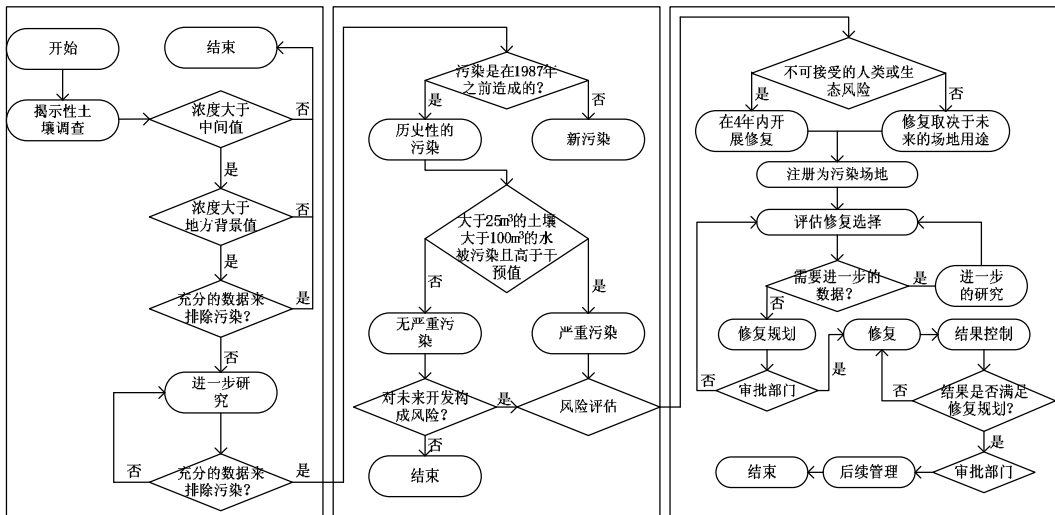


图 6 荷兰污染场地调查修复程序

1.2.1.4 日本

日本有关土壤污染的调查和修复对策主要依据《土壤污染对策法》及《土壤污染对策法实施规则》，污染场地的确定、调查评估及修复程序见图 1-7:

日本《土壤污染对策法》未规定污染场地的优先次序。

对于日本城市污染土壤,以污染者负担为原则,土地所有者等以及污染者有义务采取必要措施。若污染是由土地所有者之外的其他人造成的,土地所有者等在实施污染治理等措施后,有权要求污染者承担费用。

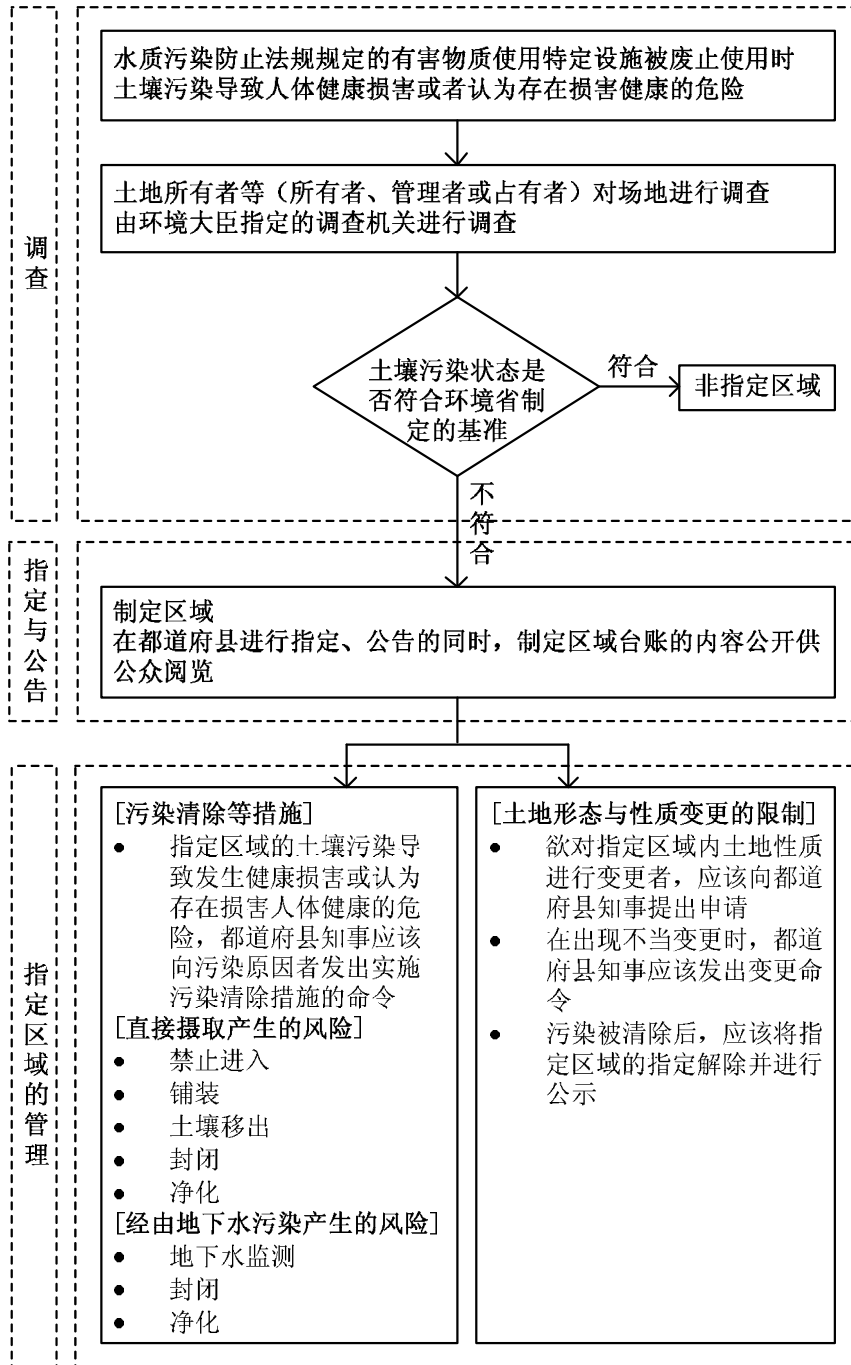


图7 日本污染场地调查修复程序

1.2.1.5 加拿大

1992年，加拿大环境部长理事会颁布了“国家污染场地分类系统”，专门对污染场地进行分类和优先排序。该系统根据场地的性质因子对其进行赋值评分，评分范围为0-100分。

加拿大污染场地修复的主要资金来源于私营机构和政府。加拿大政府机构，在国家层面上，联邦政府和加拿大城市联合会共同管理的绿色城市基金为棕地再开发提供资助，为棕地研究提供赠款，为资本项目提供低息贷款。在省一级层面上，安大略省、不列颠哥伦比亚省、阿尔伯塔省、曼尼托巴省、魁北克省和新斯科舍省也为棕地发展提供了相应的资金。

1.2.1.6 德国

德国污染场地的修复，采用基于风险管理标准，按照执行调查、风险评价和修复三个阶段来执行，修复程序如图 8：

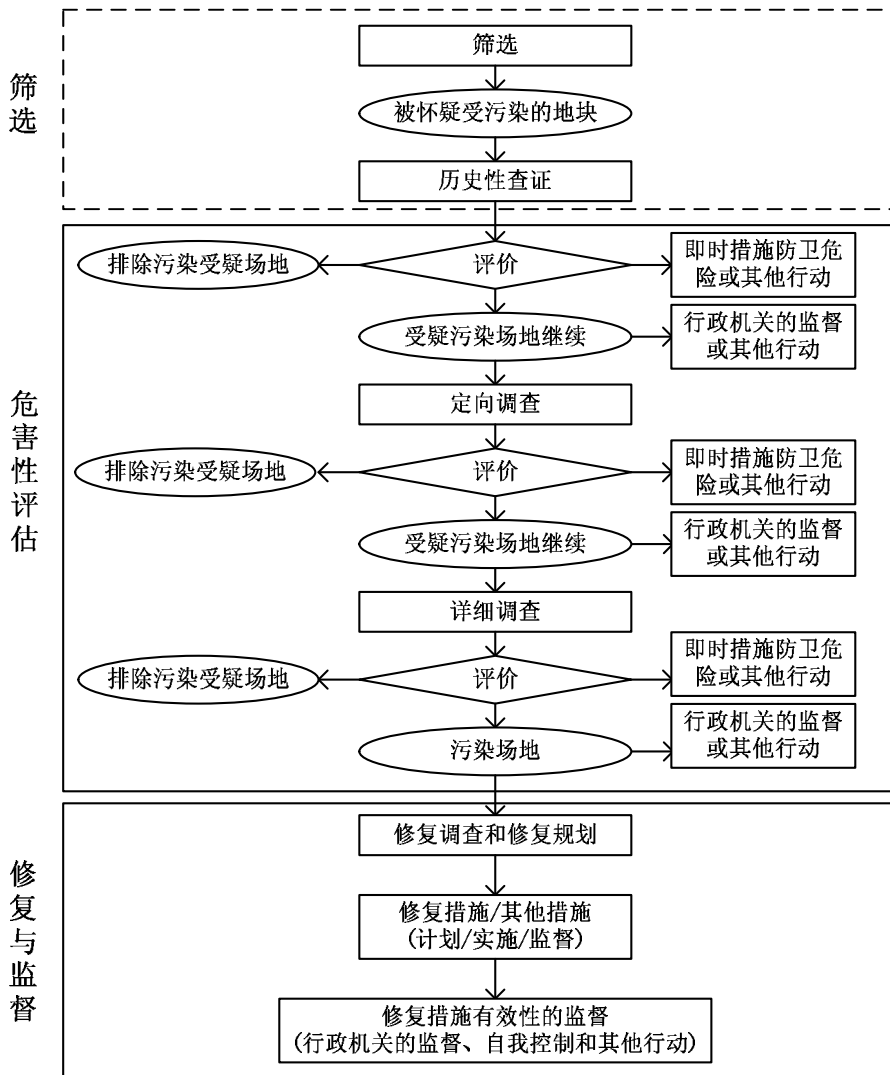


图 8 德国污染场地筛选-调查-修复程序

德国《联邦土壤保护法》定义了污染场地和疑似污染场地，帮助确定场地修复的优先顺序。对污染场地和疑似污染场地的识别由各州予以具体规定并负责执行。

1.2.1.7 国外经验总结

各国场地管理现状关键点(责任认定、场地修复优先顺序、修复目标确定、资金来源)的比较如表 2。发达国家在过去场地环境管理中积累了丰富的经验,有诸多方面值得我们借鉴:

(1) 建立污染场地信息管理系统

上述发达国家的经验证明,在场地调查和风险评估的基础上,建立国家和地区污染场地信息档案是进行污染场地环境管理的一种有效手段。建立国家污染场地数据库,根据潜在的环境风险将场地进行分类,建立场地干预的优先排序制度体系,制定《优先污染场地名录》,抓大放小先重后轻,有利于集中人力、物力和财力优先实施高风险污染场地的修复和监管。

(2) 加强利益相关方责任鉴定

要制定合理的政策,明确不同情况下各利益相关方的责任和义务,推动污染场地问题的合理高效解决。例如,《超级基金法》对于开发商责任的规定过于广泛和严厉,严重阻碍了遗留场地的再开发,目前美国的法律法规越来越倾向于减免开发商的责任和风险,越来越鼓励地方政府强制进行棕地的治理和开发。

(3) 场地环境以风险管理为本

风险管理是以保护环境和公众健康为根本,为污染土地合理规划和再开发服务的先进管理理念,在国际上得到了普遍认可和应用。污染场地的环境修复往往需要付出较高的社会和经济成本,而基于风险的管理理念能使成本合理化和最优化。风险管理理念的最终目标是减小和消除环境和健康风险。

表 2 各国主要场地环境管理政策法规比较

国家	责任认定/付费原则	场地修复优先顺序	修复目标	资金来源
美国	污染者付费	建立了《国家优先控制场地名录》,可提供污染场地信息,有利于对污染场地进行管理,并帮助环境保护署确定场地修复的优先次序。	将风险控制 在可接受水平。	超级基金、政府赠款、政府贷款、税收激励、环境保险等
加拿大	污染者付费	1) 优先采取行动的场地(超过 70 分) 2) 中度优先采取行动的场地(50~69.9 分) 3) 低度优先采取行动的场地(37~49.9 分) 4) 低度优先采取行动的场地(37~49.9 分) 5) 非优先采取行动的场地(低于 37 分) 6) 信息不足	以保护人 体健康和 生态环境 为目标。	国家修复计划仅包括 联邦政府负责的污染 场地; 省、市、私人拥有者 对管辖区域内的污染 场地负责
德国	污染场地的责任人 包括污染场地的污 染者以及其全部权 利继承人、土地所 有权人和土地使用 权人。	1) 污染场地 2) 疑似污染场地	根据土地 用途来确 定修复目 标值。	联邦政府投入了大量 资金用于煤矿业、钢 铁业、纺织业等工业 用地的再开发。

国家	责任认定/付费原则	场地修复优先顺序	修复目标	资金来源
荷兰	污染者付费为主调	1) 具有不可接受的人体健康风险的污染场地; 2) 具有不可接受的迁移风险的污染场地; 3) 具有不可接受的生态风险的污染场地; 4) 尚未构成不可接受风险的污染产地。 新污染场地, 理论上由污染者尽快加以修复。	适合场地未来具体用途作为修复目标。	荷兰中央政府针对棕色地再开发设立了项目直接对其进行支持; 设立了国家基金对污染严重和急需修复的场地进行支持。
日本	土地所有者为第一责任人, 即土地所有者有义务对土壤污染情况进行调查和采取治理措施。	基于污染土壤的风险管理: 1) 存在污染并存在污染暴露途径的土地为“需要修复的区域”, 必须采取污染治理措施; 2) 存在污染但不存在污染暴露途径的土地为“待开发时必须通知主管当局”的区域, 可以暂不采取污染治理措施。	/	建立了土壤污染对策修复基金, 基金由民间捐赠资金以及政府划拨的土壤环境保护综合对策推进费补贴组成。

(4) 加强场地再开发过程中的环境管理

企业在搬迁过程中因操作不当或有意偷倒、偷排会造成场地环境污染事故; 而场地修复工程本身也可能造成噪音、交通、废气和废水等环境污染, 带来健康风险, 要加强场地再开发过程中的环境管理, 建立二次污染防治制度和工人劳动保护制度。

(5) 建立多渠道的资金筹措机制

“污染者付费”原则在理论上比较公平, 但在实际操作中存在许多无法克服的障碍, 比如污染者破产、无法查明、污染者责任无法鉴定等。污染场地的修复费用高昂, 需要持续的和专门的资金来支持污染场地的修复。建立多渠道的资金的筹集机制, 通过机制的建立, 规范和管理场地污染治理资金的筹集和使用, 能保证治理的技术和物质要求。可以考虑政府、污染企业、受益者、社会等多方面组成的资金渠道。

(6) 加大公众参与和信息公开力度

建立有效地信息披露制度, 让公众参与到具体的土壤污染体系中来。使公众更多地解场地污染情况以及场地修复进展, 积极听取公众意见。同时政府应将潜在的、可能造成场地污染事故的污染源进行普查, 列出清单, 并向社会及时披露。比如: 日本在污染土壤的管理中认识到不隐匿污染土壤信息、向全社会公开, 更有利于环境风险的降低和管理的推进, 日本法律规定, 针对城市土壤环境问题, 特别是存在污染的土地, 环境省和地方政府对污染土地的调查结果、风险、处置措施、处置期限等的信息要定期向公众通告。

1.2.2 国内现状

1.2.2.1 场地污染现状

(1) 污染场地数量与污染情况

我国污染场地的产生可以追溯到 50 多年前“大跃进”时期(甚至新中国建国前的更早时期)一些高污染工业企业的建设。当时, 大多数工厂建在城市的周边地区。如今这些生产历史悠久, 工艺设备相对落后的国营老企业, 经营管理粗放, 环保设施缺少或很不完

善, 土地污染状况十分严重。有些场地污染物浓度非常高, 有的超过有关监管标准的数百倍甚至更高, 污染深度甚至达到地下十几米, 有些有机污染物还以非水相液体的形式在地下土层中大量聚集, 成为新的污染源, 有些污染物甚至正移至地下水并扩散导致更大范围的污染。

(2) 污染场地种类

按照污染物类型划分, 我国城市工业污染土地大致可以分为以下几类:

重金属污染场地: 主要来自钢铁冶炼企业、尾矿以及化工行业固体废弃物的堆存场。代表性的污染物包括砷、铅、镉、铬等;

持续性有机污染物(POPs)污染场地: 中国曾经生产和广泛使用过的杀虫剂类 POPs 主要有滴滴涕、六氯苯、氯丹及灭蚁灵等, 有些农药尽管已经禁用多年, 但土壤中仍有残留;

以有机污染为主的石油、化工、焦化等污染场地: 污染物以有机溶剂类, 如苯系物、卤代烃为代表, 该类场地也常复合有其他污染物, 如重金属等;

(3) 污染场地带来的后果

工业企业搬迁遗留遗弃场地是近年来中国城市化进程加速的产物, 其所引起的环境问题已经成为土地再开发过程中的一个障碍。目前一些位于城市中的老工业区由于污染及追责问题迟迟不能再开发, 同时还产生了更为深远的社会影响, 诸如生衍环境差、就业机会减少甚至社会不稳定因素增加等。此外在快速城市化和污染场地再开发过程中, 还发生了一些严重的土壤/地下水污染事件。污染事故导致损失惨重, 不仅增加了环境保护治理成本, 也使社会稳定成本大增。

1.2.2.2 场地管理现状

(1) 管理模式较为落后

环境管理包括计划、组织、协调使用、控制、监督和管理等手段, 实施环境管理的一系列综合活动以期达到预期的环境目标, 在环境污染防治中起着非常重要的作用。目前国内普遍采取的场地环境管理程序是: 初步调查与评估→详细调查与健康风险评估→修复方案编制→修复工程实施→修复工程验收。这种分阶段进行的传统管理模式会导致分析测试成本高昂, 场地污染分布刻画存在较大的不确定性以及修复设计的不合理, 修复方案的变更进而引起修复时间的延长等。

(2) 政策法规与标准体系正在完善

就现行的环境管理立法而言, 我国尚处于较为初级的阶段, 还存在很多实践层面的问题。国家层面立法仍然政策化和笼统化, 地方层面立法分散而局限, 宣言式和框架性的法规和规范性文件居多, 而较为详细并具有可操作性的条文较少, 各单行法规和规范性文件之间又相互割裂, 有关场地污染防治和管理的法律规范大多散布于一些相关法律的条文中, 年代大多较为久远, 新的修订和更新比较少, 导致相关法律法规脱离现实, 场地相关法律法规之间缺乏系统性和一致性。同时, 现有的法律规定还比较粗略, 缺乏更为具体和可操作的实施细则, 以及有威慑力的责任追究条款。此外, 各个地区的地方性法规的空间效力范围有限, 也缺乏广泛的适用性。值得欣慰的是, 《土壤污染防治法》与《土壤环境保护和污染治理行动计划》也即将出台。

(3) 底数尚不清楚

污染场地一般呈点状分布，污染场地的调查、识别方法与土壤污染调查有本质区别。当前，只有北京、上海、重庆等少数城市对搬迁或拟搬迁工业企业场地的污染状况进行了调查。掌握了一定情况。绝大多数城市对污染场地的范围、污染程度和环境风险等尚缺乏了解。

(4) 治理修复责任认定困难

由于企业产权随着国家经济体制改革发生了大变化，以及场地使用人变更等原因，难以确定历史污染者和未来开发商的责任，如果修复后场地被证实仍然存在污染或者污染判定的标准变得更加严格，责任界定将更加困难，因此我国很难按照“谁污染，谁治理”的原则对场地污染责任进行认定。

(5) 场地治理修复资金缺乏

污染场地治理修复费用高昂，有的高达上亿元。国内还没有像美国超级基金和棕地修复基金这样专门用于修复治理的资金计划。目前国内正在积极探索“谁投资、谁受益”的资金筹措策略。

1.2.2.3 行业发展现状

(1) 土地管理机构与利益相关方

我国的土地管理主要是国土资源部，代表国务院依据法律和国务院的规定行使中央政府统一管理土地的职权。同时还有一些部委就土地问题的相关方面不同程度地参与土地管理。

污染土地再开发利用过程中，利益相关者包括直接利益相关者和间接利益相关者。直接利益相关群体主要包括：当地政府、社区居民、企业和开发商。间接利益相关群体包括：金融机构、研究机构、仲裁或诉讼机构、媒体、社会公众、生态保护组织、非政府组织、子孙后代等。

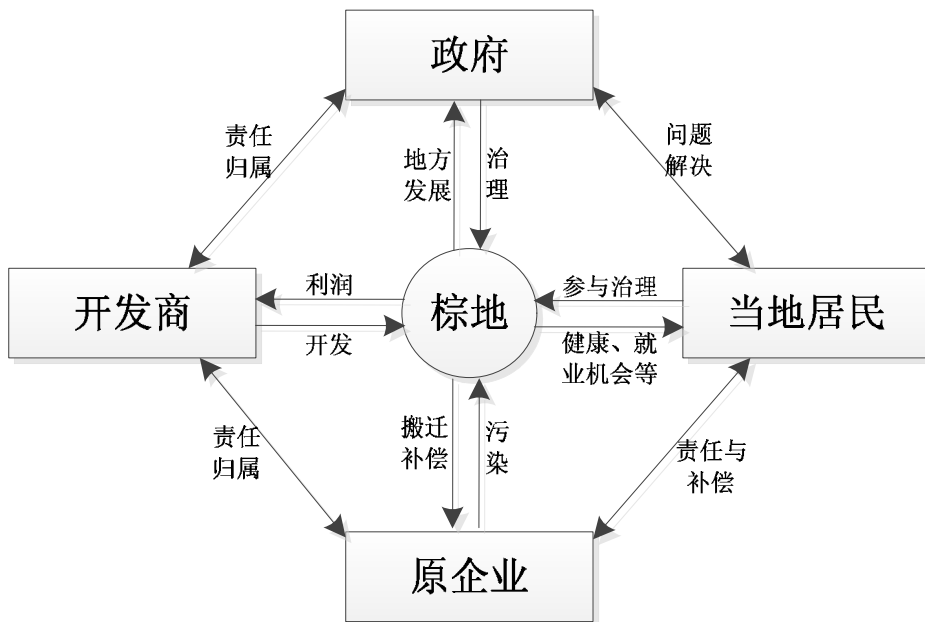


图9 污染土地开发各利益相关者关系

(2) 场地修复资金

“谁污染、谁治理”原则在我国具有一定的局限性，只能针对经营状况良好的企业采用这样的模式。在这样的背景下，“谁投资、谁受益”策略筹集资金便成为最可行的途径了。

中央财政对土壤环境保护工程中符合条件的重点项目予以适当支持，在《国家环境保护“十二五”规划》中，地下水和土壤污染修复被列为“十二五”期间需要切实解决的突出环境问题之一。地下水污染防治、受污染场地和土壤污染治理与修复等工程，已列为“十二五”环境保护重点工程之一。

(3) 场地修复市场

据统计北京四环内百余家污染企业搬迁，置换出 800 万平方米工业用地再开发；沈阳于 2009 年将城区内所有重金属污染企业进行了搬迁；重庆于 2010 年对主城区 112 家污染企业实施了“环保搬迁”；江苏对 400 家化工企业实施了搬迁，关停了小化工企业 1000 多家，置换出 30 万亩土地；浙江自 2005 年其，有上百家大型企业异地重建或关闭；广州自 2007 年起 147 家大型工业企业关闭、停产和搬迁。国内目前已搬迁的工业企业总数累计达 20 万家以上，涉及化工、冶金、石油、交通运输等行业，遗留了 1000 多个农药生产基地。业内人士估计，我国场地修复的资金大体上可以达到五六千亿。预计整个土壤修复的市场到 2020 年有可能达到上万亿，而与场地修复相关的第三方环境检测市场规模有望达到 50 亿至 100 亿元。污染场地治理行业大幕正在拉开，市场预期前景广阔，吸引了众多企事业单位加入场地修复市场。

(4) 土壤修复项目的分配模式与企业盈利模式

目前国内污染场地修复一般由国土储备部门控制管理，即土壤修复项目的分配大权主要掌握在政府手中。常见的商业模式有两种：一种是招投标模式，另一种是“修复+开发”模式。招投标模式是政府向从业单位招标，中标企业负责标的的调查评估或治理修复，其优点是政府作为土地的实际控制人，可以对土壤修复效果进行严格把关，避免修复企业急功近利、偷工减料。“修复+开发”模式是从业单位与开发商联合，作为一个整体同时承包污染场地的修复和开发。其优点是土壤修复成本费用由开发商承担，减轻了污染土壤修复对政府财政的负担；其弊端是目前我国还没有形成相应的法律法规、行业准则等制度约束开发商将土壤修复资金用到实处，而不偷工减料。

2 主要技术发展情况

2.1 主要技术发展情况

我国于 2014 年发布《污染场地修复技术目录（第一批）》，涵盖了 15 项污染场地土壤与地下水修复技术。其中，部分技术已在我国得到广泛应用，部分技术已有少量应用案例或尚未得到应用。本章将从技术原理和关键、国内外应用现状以及发展趋势等方面对各项技术进行详细阐述。

表 3 概括了各项技术的适用性、原理、技术特点及应用局限性以及成熟程度。

表3 城市土壤污染控制与修复技术列表

序号	名称	适用性	原理	技术特点及应用局限性	成熟程度
1	固化/稳定化技术	适用于污染土壤。可处理金属类、石棉、放射性物质、腐蚀性无机物、氰化物以及砷化合物等无机物；农药/除草剂、石油或多环芳烃类、多氯联苯类以及二噁英等有机化合物。当需要添加较多的固化/稳定剂时，对土壤的增容效应较大，会显著增加后续土壤处置费用。	向污染土壤中添加固化剂/稳定剂，经充分混合，使其与污染介质、污染物发生物理、化学作用，将污染土壤固封为结构完整的具有低渗透系数的固体，或将污染物转化成化学性质不活泼形态，降低污染物在环境中的迁移和扩散。	不适用于挥发性有机化合物和以污染物总量为验收目标的项目。当需要添加较多的固化/稳定剂时，对土壤的增容效应较大，会显著增加后续土壤处置费用	国外应用广泛。据美国环保署统计，1982-2008年已有200余项超级基金项目应用该技术。国内有较多工程应用。
2	化学氧化/还原技术	适用于污染土壤。其中，化学氧化可处理石油烃、BTEX（苯、甲苯、乙苯、二甲苯）、酚类、MTBE（甲基叔丁基醚）、含氧有机溶剂、多环芳烃、农药等大部分有机物；化学还原可处理重金属类（如六价铬）和氯代有机物等。	向污染土壤添加氧化剂或还原剂，通过氧化或还原作用，使土壤中的污染物转化为无毒或相对毒性较小的物质。常见的氧化剂包括高锰酸盐、过氧化氢、芬顿试剂、过硫酸盐和臭氧。常见的还原剂包括连二亚硫酸钠、亚硫酸氢钠、硫酸亚铁、多硫化钙、二价铁、零价铁等。	不适用于无机物污染土壤（汞除外），也不适用于腐蚀性有机物、活性氧化剂和还原剂含量较高的土壤。化学氧化不适用于重金属污染土壤的修复，对于吸附性强、水溶性差的有机污染物应考虑必要的增溶、脱附方式；化学还原不适用于石油烃污染物的处理。	国外已经形成了较完善的技术体系，应用广泛。国内发展较快，已有工程应用。
3	异位热脱附技术	适用于处理挥发及半挥发性有机污染物（如石油烃、农药、多氯联苯）和汞（汞除外），也不适用于腐蚀性有机物、活性氧化剂和还原剂含量较高的土壤。	通过直接或间接加热，将污染土壤加热至目标污染物的沸点以上，通过控制系统温度和物料停留时间有选择地促使污染物气化挥发，使目标污染物与土壤颗粒分离、去除。	该方法能耗大、操作费用高，对处理土壤的粒径和含水量有一定要求，一般需要对土壤进行预处理；有产生二噁英风险。	国外已广泛应用于工程实践。1982-2004年约有70个美国超级基金项目采用该技术。国内已有少量工程应用。
4	土壤淋洗技术	适用于污染土壤。可处理重金属及半挥发性有机污染物、难挥发性有机污染物。不宜用于土壤细粒（粘/粉粒）含量高于25%的土壤。	采用物理分离或增效洗脱等手段，通过添加水或合适的增效剂，分离重污染土壤组分或使污染物从土壤相转移到液相，并有效地减少污染土壤的处理量，实现减量。洗脱系统废水应处理后回用或达标排放。	各类淋洗剂均具有一定局限性。用酸性无机淋洗剂冲洗污染土壤时，可能会破坏了土壤的理化性质，使大量土壤养分流失，并破坏土壤微团聚体结构。螯合剂价格昂贵，生物降解性差，且淋洗过程易造成二次污染，在处理质地较细的土壤时，需多次清洗才能达到较好效果。表面活性剂的毒性和可能造成的二次污染尚不十分明确，导致其应用中的不确定性增加。	美国、加拿大、欧洲及日本等已有较多的应用案例。国内已有工程案例。

序号	名称	适用性	原理	技术特点及应用局限性	成熟程度
5	水泥窑协同处置技术	适用于污染土壤，可处理有机污染物及重金属。不宜用于汞、砷、铅等重金属污染较重的土壤。	利用水泥回转窑内的高温、气体长时间停留、热容量大、热稳定性好、碱性环境、无废渣排放等特点，在生产水泥熟料的同时，焚烧固化处理污染土壤。	水泥生产对进料中氯、硫等元素的含量有限值要求，在使用该技术时需慎重确定污染土壤的添加量。	国外发展较成熟，广泛应用于危险废物处理，但应用于污染土壤处理相对较少。国内已有工程应用。
6	土壤植物修复技术	适用于污染土壤，可处理重金属（如砷、镉、铅、镍、铜、锌、钴、锰、铬、汞等）以及特定的有机污染物（如石油烃、五氯酚、多环芳烃等）。	利用植物进行提取、根际滤除、挥发和固定等方式移除、转变和破坏土壤中的污染物，使污染土壤恢复其正常功能。	植物修复技术的中间代谢产物复杂，代谢产物的转化难以观测，有些污染物在降解的过程中会转化成有毒的代谢产物；修复植物对环境的选择性强，很难在特定的环境中利用特定的植物种；气候或是季节条件会影响植物生长，减缓修复效果，延长修复周期；修复技术的应用需要大的表面区域；一些有毒物质对植物生长有抑制作用，因此植物修复多只用于低污染水平的区域；有毒或有害化合物可能会通过植物进入食物链，所以要控制修复后植物的利用，污染深度不能超过植物根之所及。同时，植物修复所需周期也很长。	国外应用广泛。国内已有工程应用，常用于重金属污染土壤修复。
7	土壤阻隔填埋技术	适用于重金属、有机物及重金属有机物复合污染土壤的阻隔填埋。	将污染土壤或经过治理后的土壤置于防渗阻隔填埋场内，或通过敷设阻隔层阻断土壤中污染物迁移扩散的途径，使污染土壤与四周环境隔离，避免污染物与人体接触和随土壤水迁移进而对人体和周围环境造成危害。	不宜用于污染物水溶性强或渗透率高的污染土壤，不适用于地质活动频繁和地下水水位较高的地区。	国外应用广泛，技术成熟。国内已有较多工程应用。

序号	名称	适用性	原理	技术特点及应用局限性	成熟程度
8	生物堆技术	适用于污染土壤, 可处理石油烃等易生物降解的有机物。 不适用于重金属、难降解有机污染物污染土壤的修复, 粘土类污染土壤修复效果较差。	将预处理后的污染土壤在地面上堆放为堆形或条垛, 并利用向堆体中通风、补充水分和添加营养物质等手段, 以提高好养微生物降解有机污染物的能力, 从而达到修复有机污染土壤的目的。	系统设计和施工简单; 修复时间通常不长, 理想情况下, 修复可以在 6 个月到 2 年间完成; 环境友好。不宜处理高浓度污染物 (>5%); 污染物去除率很难达到 95% 以上; 需要大量的场地; 需要进行小试以确定污染土壤的生物可降解性, 以及其他的相关参数。	国外已广泛应用于石油烃等易生物降解污染土壤的修复, 技术成熟。 国内已有用于处理石油烃污染土壤及油泥的工程应用案例。
9	地下水抽出处理技术	适用于污染地下水, 可处理多种污染物。 不宜用于吸附能力较强的污染物, 以及渗透性较差或存在 NAPL (非水相液体) 的含水层。	通过在污染场地设置抽/注井, 进行抽水或注水。在抽水过程中, 水井水位下降, 在水井周围形成地下降落漏斗, 使周围地下水不断流向水井, 减少了污染物的扩散, 从而改变局部地下水流场形成水力隔离带, 切断水力联系, 并将大量污染物抽出。	技术适用范围广, 对于污染范围大、污染晕埋藏深的污染场地也适用。 当非水相溶液出现时, 由于毛细张力而滞留的非水相溶液几乎不太可能通过泵抽的办法清除; 该技术涉及地下水的抽提或回灌, 对修复区干扰大; 如果不封闭污染源, 当停止抽水时, 拖尾和反弹现象严重; 需要持续的能量供给, 以确保地下水的抽出和水处理系统的运行, 同时还要求对系统进行定期的维护与监测。	该技术在外国已经形成了较完善的技术体系, 应用广泛。 1982-2008 年期间, 在美国超级基金计划完成的地下水修复工程中, 涉及抽出处理和其他技术组合的项目 798 个, 抽出-处理技术历年累积使用比例高达 68%, 远远超过其他修复技术。 国内对抽出-处理的应用相比国外较晚, 始于 20 世纪 90 年代, 由于抽出处理技术适用范围广, 该技术在国内外已有相关工程应用, 同时也是地下水污染治理主要技术之一。
10	地下水修复可渗透反应墙技术	适用于污染地下水, 可处理 BTEX (苯、甲苯、乙苯、二甲苯)、石油烃、氯代烃、金属、非金属和放射性物质等。 不适用于承压含水层, 不宜用于含水层深度超过 10 m 的非承压含水层, 不适用于 NAPL 存在场地。	在地下安装透水的活性材料墙体拦截污染物羽状体, 当污染羽状体通过反应墙时, 污染物在可渗透反应墙内发生沉淀、吸附、氧化还原、生物降解等作用得以去除或转化, 从而实现地下水净化的目的	长期有效原位处理污染物、处理组分范围广、修复费用低; 适用于对污染范围的控制。 墙体易被堵塞, 渗透性降低; 破坏地下水天然环境条件; 修复效果受地下水流速影响大; 工程措施及运行维护相对复杂; 对渗透系数小、水力梯度小的区域适用性较差。	在国外应用较为广泛。2005-2008 年约有 8 个美国超级基金项目采用该技术。 国内尚处于小试和中试阶段。

序号	名称	适用性	原理	技术特点及应用局限性	成熟程度
11	地下水监控自然衰减技术	适用于污染地下水的修复治理,可处理 BTEX(苯、甲苯、乙苯、二甲苯)、石油烃、多环芳烃、MTBE(甲基叔丁基醚)、氯代烃、硝基芳香烃、重金属类、非金属类(砷、硒)、含氧阴离子(如硝酸盐、过氯酸)等。 一般不适用于高污染场地及存在非水相流体(NAPL)污染的场地。	该技术通过实施有计划的监控策略,依据场地自然发生的物理、化学及生物作用,包含生物降解、扩散、吸附、稀释、挥发、放射性衰减以及化学性或生物性稳定等,使得地下水和土壤中污染物的数量、毒性、移动性降低到风险可接受水平。	适用范围广,能与很多其他技术组合使用。 处理周期较长,一般需要数年或更长时间。在证明具备适当环境条件时才能使用,对自然衰减过程中的长期监测、管理要求高。	美国超级基金场地地下水修复技术统计结果显示,从1986年起,监控自然衰减技术应用案例逐年增加,在2005-2008年实施修复的164个场地中,应用监控自然衰减技术的比例高达56%,其中单独使用的场地有21%。 国内该技术尚无完整应用案例。
12	多相抽提技术	适用于污染土壤和地下水,可处理易挥发、易流动的 NAPL(非水相液体)(如汽油、柴油、有机溶剂等)。 不宜用于渗透性差或者地下水水位变动较大的场地。	通过使用真空提取的手段,同时抽取地下污染区域的土壤气、地下水和浮油层到地面进行相分离、处理,以控制和修复土壤与地下水中的有机物污染的环境修复技术。	广泛适用于各种地质条件;机械设备较容易获得;运作空间需求较小;修复周期几个月至数年。 所需运行维护和废水废气处理费用较高;需要复杂的操作、控制以及监测计划;可能会产生二次污染;对于低湿度土壤可能会降低生物通风处理的效果。	技术成熟,在国外应用广泛。 国内已有少量工程应用。
13	原位生物通风技术	适用于非饱和带污染土壤,可处理挥发性、半挥发性有机物。 不适合于重金属、难降解有机物污染土壤的修复,不宜用于粘土等渗透系数较小的污染土壤修复。	通过向土壤中供给空气或氧气,依靠微生物的好氧活动,促进污染物降解;同时利用土壤中的压力梯度促使挥发性有机物及降解产物流向抽气井,被抽提去除。可通过注入热空气、营养液、外源高效降解菌剂的方法对污染物去除效果进行强化。	工艺相对简单,安装方便;对现场现有的运营干扰小;需要的处理时间相对较短,一般在6~24个月内完成;处理费用相对较低;可和其他修复技术进行结合。 要求污染土层渗透性强;地下水位影响修复;污染物浓度高会对微生物有抑制作用;不能将污染土壤的污染物浓度处理到非常低;如果修复区域介质中不存在碳源,则必须人为添加。	国外应用广泛。 国内尚处于中试阶段。
14	原位热脱附技术	适用于处理挥发及半挥发性有机污染物(如石油烃、农药、多氯联苯)和汞。 不适用于无机物污染土壤(汞除外),也不适用于腐蚀性有机物、活性氧化剂和还原剂含量较高的土壤。	通过升高污染区域的温度,改变污染物的物化性质(蒸汽压及溶解度增加,粘度、表面张力、亨利系数及土水分配系数减小),促进土壤污染物脱附进入气相,再被抽提脱离地下环境。	该方法能耗大、操作费用高,对处理土壤的粒径和含水量有一定要求;有产生二噁英风险,需配套后续处理工艺联合使用。	国外逐渐得到推广。目前在美国已经至少有12座大型的原位热脱附修复场地,另外还有几十个小型的修复工程。 国内已有少量工程应用。

2.1.1 固化/稳定化技术

2.1.1.1 技术原理及关键

固化稳定化技术是指将污染土壤与黏结剂混合形成凝固体而达到物理封锁或发生化学反应形成固体沉淀物，从而达到降低污染物迁移性和活性的目的。固化是指将污染物包裹起来，使之呈颗粒状或者大板块存在，进而使污染物处于相对稳定的状态；稳定化是指将污染物转化为不易溶解、迁移能力或毒性变小的状态和形式，实现其无害化或降低其对生态系统危害性的风险。按处置位置的不同，分为原位和异位固化稳定化。

2.1.1.2 国内外应用情况

固化/稳定化是比较成熟的固体废物处置技术，上世纪八九十年代，美国环境保护署率先将固化/稳定化技术用于污染土壤的修复研究。据美国超级基金项目统计，1982-2008年污染源处理项目中，有203项应用该技术，占污染源异位修复项目的21.4%，是使用最多的污染源修复技术。2004年，英国环保署组织编写了《污染土壤稳定/固化处理技术导则》。

表4 国外污染土壤异位固化/稳定化处理典型案例

序号	场地名称	目标污染物	固化稳定化药剂	规模
1	Massachusetts Military Reservation, USA	Pb	/	13601 m ³
2	Sulfur Bank Mercury Mine Superfund Site, USA	Hg	硫化物	/
3	Pepper Steel & Alloy, Miami	Pb、As、PCBs	水泥等	47400 m ³
4	Douglasville, PAHAZCON	Zn、Pb、PCBs、苯酚、石油烃	水泥等	191100 m ³
5	Former industrialsite, Chineham, Basingstoke, UK	重金属、石油烃	水泥、蒙脱石等	1200 m ³

我国的污染土壤固化/稳定化研究起步于本世纪初。2010年以来，该技术在工程上的应用快速增长，已成为重金属污染土壤修复的主要技术方法之一。据不完全统计，目前国内实施土壤固化/稳定化修复的工程案例已超过50项。

2.1.1.3 主要进展与发展趋势

目前虽然我国已有不少固化/稳定化技术研究、应用的工程案例，但与美国、欧洲和日本相比，还存在研究不够深入；材料、技术、装备等难于相互协同，对实际工程和环境管理支撑力度有限；缺乏对实际固化/稳定化工程的经验总结和长期环境监测评估、工艺控制粗放；国产成套高效可移动固化/稳定化设备有待开发等问题。主要的发展方向如下：

(1) 开展高效固化/稳定化技术、工艺和装备的协同研究，提高产业化水平和装备技术水平，促进我国固化/稳定化工程向高效和精细化施工发展。

(2) 使用绿色环保的固化/稳定化材料。固化/稳定化材料本身的重金属含量需要控制。建议固化/稳定化材料重金属含量满足《土壤环境质量标准》(GB 15618-1995) II类一般农田、果园和蔬菜土壤重金属含量要求。

(3) 开发固定砷、汞等单一污染和复合污染物的稳定化材料和应用工艺。鼓励绿色天然的固化/稳定化材料的开发和应用，防止有毒害或污染物本底含量高的材料作为固化/稳

定化材料。

(4) 结合我国固废毒性鉴别和浸出测试,发展我国污染土壤和底泥固化/稳定化效果浸出评估体系。

2.1.2 化学氧化/还原技术

2.1.2.1 技术原理及关键

氧化还原技术是通过氧化/还原反应将有害污染物转化为更稳定、活性较低和/或惰性的无害或毒性较低的化合物。氧化还原包括将电子从一种化合物转移到另一种化合物。该技术所需的工程周期一般在几天至几个月不等,具体因待处理污染区域的面积、氧化还原剂的输送速率、修复目标值及地下含水层的特性等因素而定。对于高浓度的污染物,本处理方法不够经济有效,因为需要大量氧化剂。

2.1.2.2 国内外应用情况

异位氧化/还原处理技术反应周期短、修复效果可靠,在国外已经形成了较完善的技术体系,应用广泛。在实际工程中,纳米零价铁也在很多国家得到了较为广泛的应用。

表5 国外污染土壤化学氧化/还原处理典型案例

序号	场地名称	目标污染物	修复药剂	规模
1	美国明尼苏达州某木材制造厂	五氯苯酚	芬顿试剂和活化过硫酸盐	656t
2	韩国光州某军事基地燃料存储区	石油烃	过氧化氢	930 m ³
3	美国马里兰州某赛车场地	苯系物、甲基萘	/	662 m ³
4	加拿大亚伯达某废弃管道场地	苯系物	过氧化氢	8800 m ³
5	美国阿拉巴马州某场地	毒杀芬,滴滴涕,DDD和DDE	强还原性铁矿物质+缓释碳源	4500t
6	美国犹他州图埃勒县军方油库	三硝基甲苯,环三亚甲基三硝胺	强还原性铁矿物质+缓释碳源	7645 m ³

该技术在国内外发展较快,2011年之后在一些工程项目上应用。异位化学氧化/还原在国内污染场地修复中的应用越来越广。

2.1.2.3 主要进展与发展趋势

应该在充分借鉴美、德等国的成熟技术和场地修复经验的基础上,从我国场地污染特征、社会经济发展状况以及现阶段科学技术储备等多方面综合考虑修复技术的研究重点和发展方向。

化学技术选择的氧化剂/还原剂应该具有某种特异性,既能去除污染物,又不破坏土壤原来性质,修复成本比较高。纳米零价铁技术不仅可以解决环境问题,近两年有报道表明还可以增加农产品产量。目前零价铁还原脱氯降解含氯有机化合物技术的应用还存在诸如铁表面活性的钝化、被土壤吸附产生聚合失效等问题,需要开发新的催化剂和表面激活技术。

目前,国内环保企业所采用的场地修复设备主要依赖于从欧美等国家进口,但价格昂贵,且受到知识产权保护的制约,因此亟待开发具有自主知识产权的化学氧化/还原场地修复设备。开发与应用基于设备化的场地污染土壤的快速化学氧化/还原修复技术是一种发展

趋势。

2.1.3 异位热脱附技术

2.1.3.1 技术原理及关键

热脱附是指通过直接或间接热交换，将污染土壤及其所含的目标污染物加热到足够的温度，通过控制系统温度和物料停留时间有选择地促使污染物气化挥发，使目标污染物与土壤颗粒分离、去除。

该技术适用于污染土壤中挥发及半挥发性有机污染物（如石油烃、农药、多氯联苯）和汞，污染物去除率最高可达 99.98% 以上。该技术不适用于无机物污染土壤（汞除外），也不适用于腐蚀性有机物、活性氧化剂和还原剂含量较高的土壤。同时，透气性差或粘性土壤由于会在处理过程中结块而影响处理效果，高粘土含量或湿度会增加处理费用，且高腐蚀性的进料会损坏处理单元。

2.1.3.2 国内外应用情况

热脱附技术在国外始于七十年代。目前，在美国的应用比例约 7%，在欧洲各发达国家的应用比例约 3%~35% 不等。经过三十年的发展，欧美国家在热脱附修复污染场地方面，形成了完整的成套技术和设备，广泛应用于高污染的场地有机污染土壤的修复。

在我国，热脱附修复污染土壤研究处于起步阶段，技术应用案例较少，仅在少数几个城市如宁波的有机污染场地修复中得以应用。我国热脱附修复多依赖于国外成熟设备与工艺的引进。

2.1.3.3 主要进展与发展趋势

我国热脱附修复污染土壤研究处于起步和逐步推广应用阶段，浙江大学，清华大学，中国科学院，南京农业大学，西北科技农林大学等多家研究机构在热脱附方面已进行了一系列研究。

目前欧美国家已将土壤热脱附技术工程化，广泛应用于高污染的场地有机污染土壤的修复。同时，我国亦出现热脱附技术的应用案例。然而，该技术要在我国得到进一步的推广应用，诸如设备投资成本高、设备适用性不强、运行费用昂贵等问题尚需解决。具体需要解决的问题和发展趋势如下：

（1）高腐蚀性的进料对修复设备各处理单元会产生损坏，高黏土含量或高湿度土壤会导致处理费用增加，因此针对不同类型的土壤，应当发展具有针对性的前处理工艺；

（2）对不同污染物的认识不够，不当的参数组合会导致其他副产物的产生，特别是含氯有机物的处理过程中会产生二噁英。因此，热脱附废气（如挥发性有机物）的收集和处置工艺是热脱附技术应用的关键工艺环节和重点研发内容；

（3）国外设备引进费用较高，需要研发适用于我国土壤且具有独立自主知识产权的热脱附技术装备。未来我国的热脱附装备应向模块化、自动化和集成化方向发展；

（4）热脱附技术应用的运行过程中，影响其修复成本最主要的因素即能耗，因此，降低能耗是未来我国热脱附技术应用需要重点解决的问题。目前，我国已有部分机构研究利用废热循环的方式减少热脱附技术应用中的能耗，从而降低其运行费用。

2.1.4 土壤淋洗技术

2.1.4.1 技术原理及关键

淋洗技术分为原位和异位土壤淋洗。原位土壤淋洗一般是指将淋洗液由注射井注入或渗透至土壤污染区域,携带污染物质到达地下水后用泵抽取污染的地下水,并于地面上去除污染物的过程。异位土壤淋洗技术需要将污染土壤挖掘出来,然后采用物理分离或化学洗脱等手段,通过添加水或合适的淋洗剂,分离重污染土壤组分或使污染物从土壤相转移到液相,并有效地减少污染土壤的处理量,实现减量化。淋洗技术可用于处理污染土壤中的重金属及半挥发性有机污染物、难挥发性有机污染物等。该技术针对细粒含量高于25%的土壤不适用或应用成本过高。

2.1.4.2 国内外应用情况

土壤淋洗技术在美国、加拿大、欧洲及日本等发达国家已有较多的应用案例,其在美国的应用比例约2%。经过二十多年的发展,欧美发达国家已形成污染土壤预处理、特定淋洗剂的研发、原位异位淋洗设备、土液分离设备及淋洗剂回用设备集成的整套移动式修复体系,并广泛应用于高污染的有机或重金属污染土壤的修复。然而,土壤淋洗技术在我国尚处于起步阶段。目前,土壤异位淋洗技术在我国辽宁、湖南和广东已有应用案例。土壤原位淋洗技术在我国尚无应用案例。该技术处理周期较长,一般受土壤质地、修复目标和污染类型所限。该技术在美的处理成本约为53-420美元/m³;在欧洲的处理成本约15-456欧元/m³,平均为116欧元/m³。国内处理成本约为600-3000元/m³。

2.1.4.3 主要进展和发展趋势

2015年,国家863计划重大项目“污染土壤快速淋洗装备研制”课题取得突破,标志着我国在自主土壤淋洗设备研发方面取得重要进展。此外,上海市某大型工业园区污染土壤将采用土壤淋洗技术进行修复,为我国该技术的应用继续积累经验并提供示范和参考。

然而,该技术要在我国得到进一步的推广应用,诸如设备投资成本高、运行费用昂贵等问题以及诸多工艺问题尚需解决。具体需要解决的问题和发展趋势如下:

(1) 在淋洗材料方面,尚需研发和筛选更加环境友好、成本低廉的广谱性淋洗剂;

(2) 在淋洗工艺方面,改进淋洗废液的处理工艺,提高其回用效率是降低淋洗工程运行成本的关键;

(3) 需要继续研发适用于我国土壤且具有独立自主知识产权的土壤淋洗技术装备。未来我国的淋洗装备应向模块化、自动化和可移动化方向发展;

(4) 研发原位土壤淋洗修复技术。针对多种复杂污染土壤,研究土壤淋洗技术与其他修复技术联合应用的可行性。

2.1.5 水泥窑协同处置技术

2.1.5.1 技术原理及关键

利用水泥回转窑内的高温、气体长时间停留、热容量大、热稳定性好、碱性环境、无废渣排放等特点,在生产水泥熟料的同时,焚烧固化处理污染土壤。有机物污染土壤从窑尾烟气室进入水泥回转窑,窑内气相温度最高可达1800℃,物料温度约为1450℃,在水泥窑的高温条件下,污染土壤中的有机污染物转化为无机化合物,高温气流与高细度、高

浓度、高吸附性、高均匀性分布的碱性物料（CaO、CaCO₃ 等）充分接触，有效地抑制酸性物质的排放，使得硫和氯等转化成无机盐类固定下来。

2.1.5.2 国内外应用及发展情况

水泥窑是发达国家焚烧处理工业危险废物的重要设施，已得到了广泛应用，即使难降解的有机废物（包括 POPs）在水泥窑内的焚毁去除率率也可达到 99.99%到 99.999 9%。从技术上水泥窑协同处置完全可以用于污染土壤的处理，但由于国外其他污染土壤修复技术发展较成熟，综合社会、环境、经济等多方面考虑，在国外水泥窑协同处置技术在污染土壤处理方面应用相对较少。下表列出的是国外水泥窑协同处置技术在污染土壤修复方面的应用情况。

表 6 国外水泥窑处置典型应用案例

序号	场地名称	目标污染物
1	美国德克萨斯州拉雷多市某土壤修复工程 (U.S.-Mexico Environmental Program)	PAHs
2	澳大利亚酸化土壤修复	多种有机污染物及重金属等
3	美国 Dredging Operations and Environmental Research Program	PAHs、PCBs
4	德国海德堡某场地修复	PCDDs/PCDFs
5	斯里兰卡锡兰电力局土壤修复工程	PCBs

我国水泥窑协同处置污染土壤的应用始于 2005 年，某地修建地铁时，发现含六六六、滴滴涕农药类污染土壤 1.6 万 m³，首次采用水泥窑协同处置污染土壤。2007 年，该技术应用于某染料厂污染场地重金属及染料污染土壤的处置，处置规模达 2.5 万 m³。2011 年，该技术应用于某地某焦化厂污染场地多环芳烃污染土壤的处理，处理规模达到 6 万 m³。截至 2013 年年底，某地已处置约 40 万 m³含六六六、滴滴涕、多环芳烃、总石油烃、重金属等污染物的污染土壤。除此以外，某些地区还开展了水泥窑协同处置 POPs 污染土壤的实践。

2.1.5.3 主要进展与发展趋势

水泥窑协同处置常用于处置各种固体废物（如毒鼠强等剧毒农药）、不合格产品（如含三聚氰胺奶粉、伪劣日化产品等）以及事故污染土壤等。水泥窑协同处置技术受污染土壤性质及污染物性质影响较少，而且我国是水泥生产和消费大国，水泥厂数量多，分布广，因此，目前在国内外水泥窑协同处置越来越多应用于污染土壤的处理，特别是重度污染土壤的处理。

2.1.6 土壤植物修复技术

2.1.6.1 技术原理及关键

植物修复是指利用植物进行提取、根际滤除、挥发和固定等方式移除、转变和破坏土壤中的污染物质，使污染土壤恢复其正常功能。植物修复主要通过三种方式进行污染土壤的修复，包括：植物对污染物的直接吸收及对污染物的超累积作用；植物根部分泌的酶来降解有机污染物；根际与微生物的联合代谢作用，从而吸收、转化和降解污染物。通常这几个过程同时进行，但以某种类型为主。植物修复系统主要由植物育苗、植物种植、管理与刈割系统、处理处置系统与再利用系统组成。

植物修复技术适用于污染土壤,可处理重金属(如砷、镉、铅、镍、铜、锌、钴、锰、铬、汞等)以及特定的有机污染物(如石油烃、五氯酚、多环芳烃等)。一般仅适用于浅层污染的土壤。

2.1.6.2 国内外应用情况

重金属污染土壤的植物提取修复技术在国内外都得到了广泛研究,并已经应用于砷、镉、铜、锌、镍、铅等重金属以及与多环芳烃复合污染土壤的修复。超富集植物是植物提取修复技术的基础和关键因素。目前,国际上已报道的超富集植物有 500 多种,但其中绝大多数为 Ni 超富集植物, Cd、Cu、Pb 的超富集植物较少,且这些植物大多数存在生长缓慢、生物量小的特点,导致修复周期较长。目前我国针对砷污染土壤建立起了以“蜈蚣草”为主体的植物修复系统,在湖南等地的污染土壤修复中得到了应用。此外

2.1.6.3 主要进展和发展趋势

我国幅员广阔且重金属来源千差万别。这导致受重金属污染土壤的土壤类型多样,不同类型污染土壤,其重金属存在的形态、生物有效性不同,进而使植物修复过程也不尽相同。未来该技术在我国的应用需要解决的关键问题及发展趋势为:

(1) 继续筛选具有高产和高去污能力的重金属超累积植物,摸清植物对土壤条件和生态环境的适应性,克服超富集植物地域性较强、育种潜力以及生理学的研究不完备等应用瓶颈。

(2) 在大力发展重金属污染土壤超累积修复植物并开展应用的同时,可同步开展有机污染土壤的植物修复技术,并进行应用示范;

(3) 探索多污染物复合或混合污染土壤的植物修复技术,利用分子生物学和基因工程技术发展植物杂交修复技术;

(4) 利用植物的根圈阻隔作用和作物低积累作用,发展能降低土壤污染食物链风险的植物修复技术;

(5) 采用诸如添加外源添加物强化修复作用等方式,提高植物修复技术应用效率,加快修复速度,减少修复周期,从而提高该技术在污染场地修复中的应用可行性。

2.1.7 阻隔填埋技术

2.1.7.1 技术原理及关键

将污染土壤或经过治理后的土壤置于防渗阻隔填埋场内,或通过敷设阻隔层阻断土壤中污染物迁移扩散的途径,使污染土壤与四周环境隔离,避免污染物与人体接触和随降水或地下水迁移进而对人体和周围环境造成危害。按其实施方式,可以分为原位阻隔覆盖和异位阻隔填埋。

2.1.7.2 国内外应用情况

污染土壤阻隔填埋技术早在 20 世纪 80 年代初期就已经开始应用,该技术在国外已经应用 30 多年,已成功用于近千个工程,技术已经相对比较成熟,国外部分案例信息表如下。

我国对该技术的最早应用是在 2007 年,以阻隔填埋方式处置重金属污染土壤;2010 年,某工程采用 HDPE 膜作为主要阻隔材料,阻挡污染物随地下水的水平迁移,将污染物以及污染土壤与外界环境隔绝,杜绝污染扩散,保护周围土壤和地下水。

表 7 国外土壤阻隔填埋技术应用案例

序号	场地名称	目标污染物	规模
1	佛罗里达 Pepper 钢铁合金厂场地修复	PCBs、铅、砷	65000 m ³
2	Kassauf-Kimerling 电池处理项目	铬、铅	34000 m ³
3	美国 Lawrence Livermore National Laboratory Site 300 (填埋场)	重金属、有机物	9700 m ²
4	美国 Kerramerican Mine site (金属矿)	锌等重金属	77000 m ²

2.1.7.3 主要进展和发展趋势

原位土壤阻隔覆盖技术未对污染物进行降解和去除，由于“以风险控制为目标”的修复理念尚未被国内环境管理部门认可，该技术在国内尚未大规模推广。土壤异位阻隔填埋技术通常与固化/稳定化修复技术联用，在国内发展已比较成熟，已广泛用于重金属污染土壤的处置，相关技术设备已能够完全本土化。该联用技术具有处置速度快、效果好、可操作性强、成本低、对土壤质地限制要求少，可适用不同类型污染土壤的优点。

2.1.8 生物堆技术

2.1.8.1 技术原理及关键

生物堆处理 (Biopile) 是一种治理有机污染土壤的异位生物修复技术，该技术的原理是：将预处理后的污染土壤在地面上堆放为堆形或条垛，并利用向堆体中通风、补充水分和添加营养物质等手段，以提高好养微生物降解有机污染物的能力，从而达到修复有机污染土壤的目的。对于挥发性有机污染物，生物堆技术可以通过通风和尾气收集系统将其去除，而对于半挥发和难挥发性有机污染物，则主要通过土壤微生物的呼吸作用将其降解。该技术适用于受石油烃等易生物降解的有机物污染的土壤。利用生物堆技术处理有机污染土壤已在国外广泛开展，其修复工程主要流程如图 10。

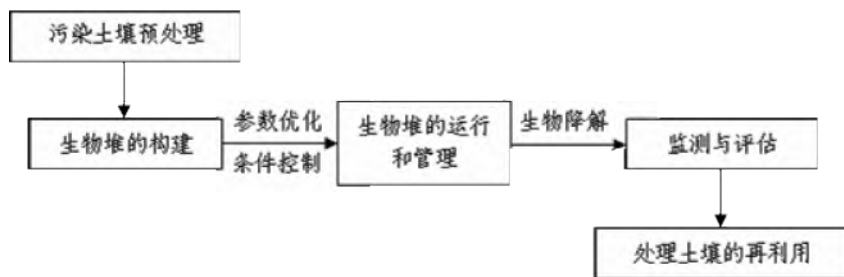


图 10 生物堆修复典型工艺流程图

2.1.8.2 国内外应用情况

由于生物堆技术修复成本相对低廉，相关配套设施已能够成套化生产制造，在国外已广泛应用于石油烃等易生物降解污染土壤的修复，是一种能够产业化应用的成熟技术。美国环保局、美国海军工程服务中心等机构已制定并发布了本技术的工程设计手册。

近十年来，国内学者也逐渐将生物堆处理技术应用于一定规模的有机污染土壤修复工

程中。孙东平等采用生物堆法,通过添加高效石油降解菌处理油污土壤,结果表明这种堆制方式对油污土壤的修复作用十分明显,经过 60d 的培养,石油生物修复的去除率可以达到 40%以上;丁克强等采用生物堆法对辽河油田原油污染土壤进行了修复处理,当进行处理的石油污染土壤中石油烃质量比为 52200 mg/kg 时,利用黄孢原毛平革菌(*Phanerochaete chrysosporium*) 经过 55 d 的修复,石油烃总量去除率可达 54.2%。姜林等则在工业化规模下开展了生物堆处理焦化厂污染土壤的中试实践,发现系统连续运行时,微生物数量增加至 10⁷ 数量级,高出自然状态下土壤中微生物数量 1~2 个数量级,运行结束时,堆体 1.5 m 处 16 种 PAHs 的平均去除率为 71.4%。

2.1.8.3 主要进展与发展趋势

生物堆技术在国内经过近十年的实验室和中试化研究,近两年已经陆续出现了规模化的工程应用项目。例如上海某研究院则将该技术用于多环芳烃污染土壤的修复,修复规模达到 9.2 万 m³。通过以上案例的工程应用,本技术在国内发展已比较成熟,相关核心设备已能够完全国产化。

根据生物堆的系统组成,工艺流程和关键技术参数,目前生物堆技术的开发重点包括:可行性筛选评价参数和流程的确立;土壤预处理技术开发,例如调整土壤中碳、氮、磷、钾的配比,土壤含水率、土壤孔隙度、土壤颗粒均匀性等,研制土壤预处理增效试剂;处理系统的设计与构建,包括场地选择、地建设、堆体构筑、结构配置、单元设计及材料使用以及通风和排水系统设计等技术要求的确定;处理条件的优化,包括最佳土壤通风时间、氧气含量、营养元素添加量以及外源高效降解菌剂的确定等;运行与过程控制,包括确定抽气风机和管道阀门等关键部件的维护方法,污染物浓度、氧气含量、微生物数量、含水率等指标的监测方法,以及二次污染控制措施等;修复效果、安全性和场地利用性评价方法的确定。

2.1.9 地下水抽出处理技术

2.1.9.1 技术原理及关键

抽出-处理技术是一种异位快速处置技术,根据地下水污染范围,将抽水井布设在选好的井位上,通过水泵和水井将污染的地下水从含水层中抽出,送往水处理厂进行处理,再将处理后的水供给用户或回灌到含水层。基本原理是通过在污染场地设置抽/注井,进行抽水或注水。在抽水过程中,水井水位下降,在水井周围形成地下降落漏斗,使周围地下水不断流向水井,减少了污染物的扩散,从而改变局部地下水流场形成水力隔离带,切断水力联系,并将大量污染物抽出。

2.1.9.2 国内外应用情况

该技术在国外已经形成了较完善的技术体系,应用广泛。据美国环保署统计,1982-2008 年期间,在美国超级基金计划完成的地下水修复工程中,涉及抽出处理和其他技术组合的项目 798 个,抽出-处理技术历年累积使用比例高达 68%,远远超过其他修复技术。但根据美国超级基金修复项目报告(2013 年)的统计结果,抽出处理技术的使用量在近年来逐渐下降,截至至 2011 年底,抽出-处理技术的历年累积使用比例已降至 31%。

国内对抽出-处理的应用相比国外较晚,始于 20 世纪 90 年代,1991 年-1995 年在山东

淄博地区首次开展的石油污染地下水修复，首先采用抽出一处理技术，有效地控制地下水污染范围的进一步扩大。由于抽出处理技术适用范围广，该技术在国内已有相关工程应用，同时也是地下水污染治理主要技术之一。

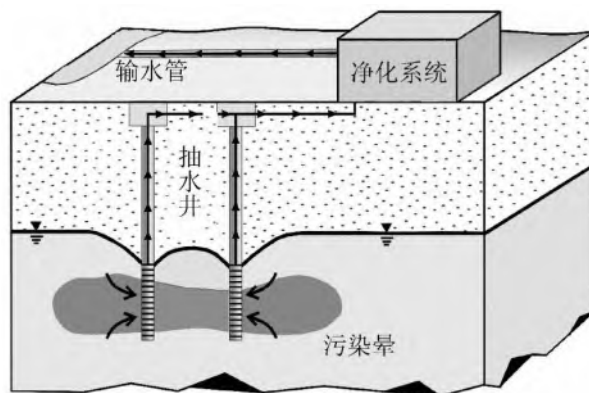


图 11 P&T 技术概念模型

2.1.9.3 主要进展与发展趋势

近期，江苏省环保厅制定了《抽出-处理修复地下水工程关键技术的研究与应用示范》课题。该课题将抽出-处理技术实际应用于化工企业搬迁后遗留场地的污染地下水修复，研究了抽出-处理技术应用的设计参数、抽提过程中地下水污染指标的衰减规律，并提出了地下水修复效果的评估方法。

地下水抽出-处理技术近年的研究进展主要集中于抽出-处理方案的设计和优化的理论研究上。国内目前单独使用地下水抽提-处理进行场地修复的工程实施案例非常少，一般都与土壤修复工程相结合，集中应用于基坑降水-抽提处理，或是与其他原位修复技术进行组合。

由于该技术自身的局限性，抽出-处理技术应该作为一种主要的地下水的污染控制技术而不是修复技术。由于该技术便于实施的优点，可以作为许多在生产企业控制现有地下水污染源的首要选择进行推广。

2.1.10 地下水修复可渗透反应墙技术

2.1.10.1 技术原理及关键

可渗透性反应墙技术（PRB）是一种地下水原位修复技术，其技术原理是：在地下安装透水的活性材料墙体拦截污染物羽状体，当污染羽状体通过反应墙时，污染物在可渗透反应墙内发生沉淀、吸附、氧化还原、生物降解等作用得以去除或转化，从而实现地下水净化的目的，污染被清除后的地下水继续向下游方向移动。PRB垂直于地下水污染羽流运移途径，在横向和垂向上横切整个污染羽流。该技术适用于受碳氢化合物（如BTEX、石油烃）、氯代脂肪烃、氯代芳香烃、金属、非金属、硝酸盐、硫酸盐、放射性物质等污染的地下水，不适用于重金属、难降解有机物污染土壤的修复，并且对粘土类污染土壤修复效果较差。不适用于承压含水层，不宜用于含水层深度超过10m的非承压含水层。图2-3为PRB结构示意图。

2.1.10.2 国内外应用情况

该技术较为成熟,在北美和欧洲等发达国家有较多应用,并形成了产业化规模。美国环保署、美国海军工程服务中心等机构已制定并发布了本技术的工程设计手册。据统计全球目前已有超过 200 个 PRB 工程用于地下水污染治理领域。

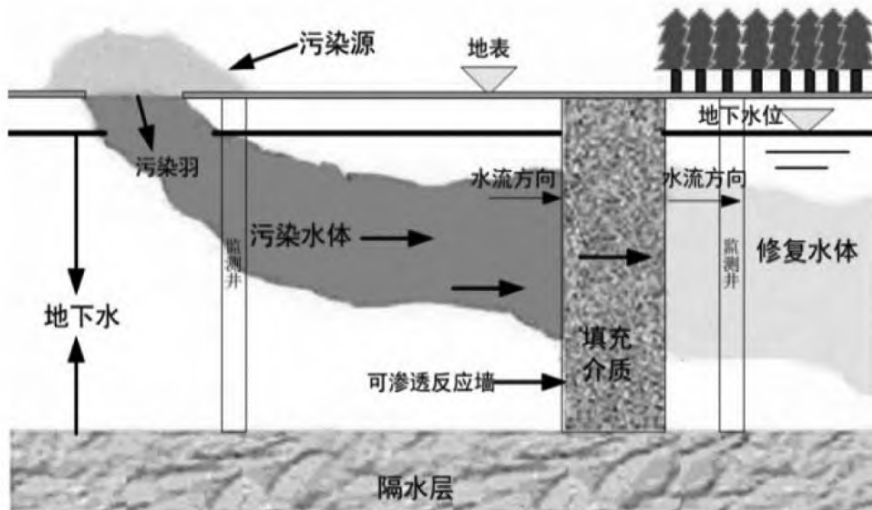


图 12 PRB 结构设计图

我国在 PRB 研究方面还处于初步研究阶段,研究内容主要集中在实验室内进行模拟工艺试验。杨伟等人分别设计了 3 个以还原铁粉、废料生铁、废料生铁与活性炭的混合物为反应介质的 PRB 反应装置,研究表明稳定期内,各柱对重金属(Cr、Cd、Pb、As)的去除效率均在 97%以上。孙本山等人考察了中砂-膨润土-微生物构成的可吸附生物反应墙对模拟地下水中不同浓度 BTEX(苯、甲苯、乙苯和二甲苯)的去除效果。研究显示当消石灰与炼锆煤渣混合比分别为 1:3、1:4、1:6 时,对 U 的去除有明显效果。

2.1.10.3 主要进展与发展趋势

总的来说,PRB 技术的发展大致经过以下几个阶段:

发现阶段:1989 年,加拿大滑铁卢大学的 Gillham 教授及其学生在一项水处理试验采样过程中偶然发现,从铁质水管取出的水,其中 TCE(三氯乙烯)浓度明显低于从其他材质的水管中取出的水,这一现象引起了他们的注意,这就发现了零价铁对 TCE 的独特降解效果。

探索阶段:Gillham 等根据铁质水管对二氯乙院的降解性能,深入研究零价铁对卤代有机物脱卤作用和其降解机理,取得了重要突破。并通过确定与控制零价铁的使用寿命、提高反应速度、扩大污染物的降解范围和研发新的双金属反应介质这些方面来评价零价铁的适用性、有效性和经济性。

验证阶段:1990 年后,科技人员对 PRB 系统的设计和运行进行了概化,并进一步对之进行验证。科学家采用实验室研究取得的各项参数在野外进行现场中试试验研究,对 PRB 技术向工程应用阶段迈进作更深入的研究。

飞速发展新阶段:2005 年至今,国外学者对技术开展了大量的研究工作,并使其进入

了飞速发展阶段。JEEN SW 等研究得出在采用零价铁可渗透反应柱降解二氯乙烯时，碳酸盐矿物会缩短其使用寿命，这是因为零价铁反应活性受到碳酸盐沉淀的影响而被抑制，导致了二氯乙烯去除能力下降。Nooten T.V 通过室内试验研究了微生物活性对不同反应柱长效性的影响，研究发现零价铁在硫酸盐还原菌的作用下通过渗透作用到反应柱中后，反应柱的长效性可得到提高。此外，YU 等也取得了相似的结论。另外，有研究表明，Pd/Fe 双金属体系对可渗透反应墙的性能有很大程度的提升。

2.1.11 地下水监控自然衰减技术

2.1.11.1 技术原理及关键

地下水监控自然衰减，英文名称：Groundwater Monitored Natural Attenuation (MNA)，该技术通过实施有计划的监控策略，依据场地自然发生的物理、化学及生物作用，包含生物降解、扩散、吸附、稀释、挥发、放射性衰减以及化学性或生物性稳定等，使得地下水和土壤中污染物的数量、毒性、移动性降低到风险可接受水平。

2.1.11.2 国内外应用情况

采用监测自然衰减法进行修复的污染物，在 20 世纪 90 年代初主要用于容易生物降解的有机污染物，如地下储油罐泄漏的汽油以及其他燃油、石油管道破裂泄漏的石油烃和工业上广泛使用的有机氯溶剂等，美国超级基金场地地下水修复技术统计结果显示，从 1986 年起，监控自然衰减技术应用案例逐年增加，在 2005-2008 年实施修复的 164 个场地中，应用监控自然衰减技术的比例高达 56%，其中单独使用的场地有 21%。

但是在国内，该技术尚无完整应用案例。

2.1.11.3 主要进展与发展趋势

尽管我国目前还没有地下水监控自然衰减应用案例的报道，但是从已经发表的调查报告和文献上分析，地下水监控自然衰减有很大的应用空间。

何江涛等在华北某城市浅层地下水有机污染的调查和研究中发现，浅层地下水中 PCE 存在天然生物降解，但降解速率比较缓慢。该研究结果表明，可以采用受监控的自然修复恢复技术控制该地区浅层地下水氯代烃污染。陈梦舫等研究了场地含水层氯代烃污染物自然衰减机制，认为在一定的氧化还原电位下，氯代烃在微生物的催化下会有次序地降解，其中以甲烷产生与硫酸根还原过程占优势，在二氧化碳和硫酸根消耗完毕后，将进一步进行铁还原、锰还原和去硝酸根的生物降解。张新珏等对我国华北某场地的地下水四氯化碳污染健康风险评估表明，该场地地下水四氯化碳浓度为明显的羽状分布，且为还原环境，有利于四氯化碳的脱氯反应。除了另辟饮用水源之外，该场地修复最好的方法就是采用监控自然衰减技术。

欧美国家多年场地修复经验表明，主动修复和被动修复自然衰减技术配套使用是地下水污染修复的发展趋势，因此，多种原位修复技术复合后期的地下水监控自然衰减会是国内各机构大力研究和推广的主要方向之一。

2.1.12 多相抽提技术

2.1.12.1 技术原理及关键

多相抽提技术 (Multi-Phase Extraction, MPE) 技术是一种通过使用真空提取的手段，

同时抽取地下污染区域的土壤气体、地下水和浮油层到地面进行相分离、处理，以控制和修复土壤与地下水中的有机物污染的环境修复技术，其是一种原位修复技术，对地面环境的扰动较小，适用于多种污染场地土壤与浅层地下水的修复。MPE 技术也被称为双相抽提和生物抽吸等。MPE 系统通常由多相抽提、多相分离、污染物处理三个主要工艺部分构成，具体如图 13 所示。

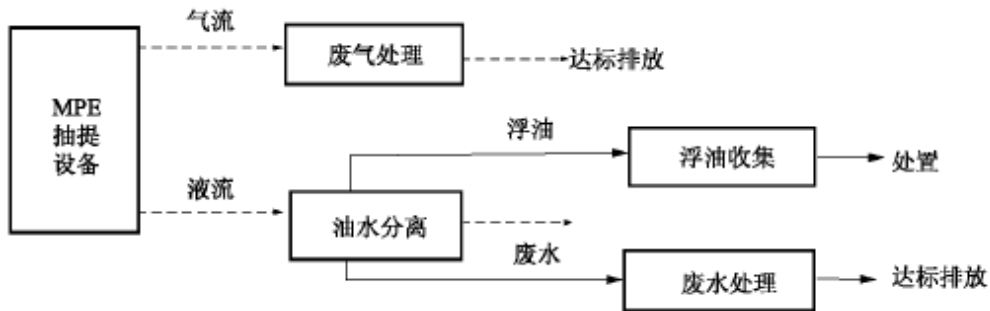


图 13 MPE 典型处理系统组成及工艺流程

2.1.12.2 国内外应用情况

MPE 技术在国外已被广泛应用，技术相对比较成熟，1982-2008 年期间，在美国超级基金计划完成的修复工程中，应用原位修复技术的项目为 519 个，占比达到 47%，且呈现逐年上升的趋势，截至到 2011 年底，原位修复技术占到比可达 50%，而应用多相抽提技术在本位修复场地中占比约 4%。

国内对 MPE 技术处理污染土壤和地下水的工程应用起步较晚，仅在少数场地内有中试规模的研究，尚无大规模的工程应用。

2.1.12.3 主要进展与发展趋势

目前，由环保部南京环境科学研究所主持的“十二五”863 课题《易扩散有机溶剂污染场地物化与生物修复技术设备与示范》（2012-2016）正在进行多相抽提技术的适用性研究以及相应设备的研发。

目前，开发适合我国污染场地情况的 MPE 设备，响应我国环境保护管理和污染场地修复市场的紧迫需求，对于消除环境风险、保障人居安全、维护生态环境平衡以及保障水资源有序利用都有重要意义。

2.1.13 原位生物通风技术

2.1.13.1 技术原理及关键

生物通风法（BV）由土壤气相抽提法发展而来，通过向土壤中供给空气或氧气，依靠微生物的好氧活动，促进污染物降解；同时利用土壤中的压力梯度促使挥发性有机物及降解产物流向抽气井，被抽提去除。可通过注入热空气、营养液、外源高效降解菌剂的方法对污染物去除效果进行强化。该技术适用于受挥发性、半挥发性有机物污染的非饱和带土壤，不适用于重金属、难降解有机物污染土壤的修复，也不宜用于粘土等渗透系数较小的污染土壤修复。生物通风工艺技术的示意图见图 14。

2.1.13.2 国内外应用情况

生物通风技术可以修复的污染物范围广泛，修复成本相对低廉，尤其对修复成品油污染土壤非常有效，包括汽油、喷气式燃料油、煤油和柴油等的修复。在国外已成为一种能够产业化应用的成熟技术。我国对生物通风技术的研究和应用刚刚起步，大部分的研究还处于实验室和中试实验阶段，产业化修复工程示范极少，缺乏工程应用经验和范例。

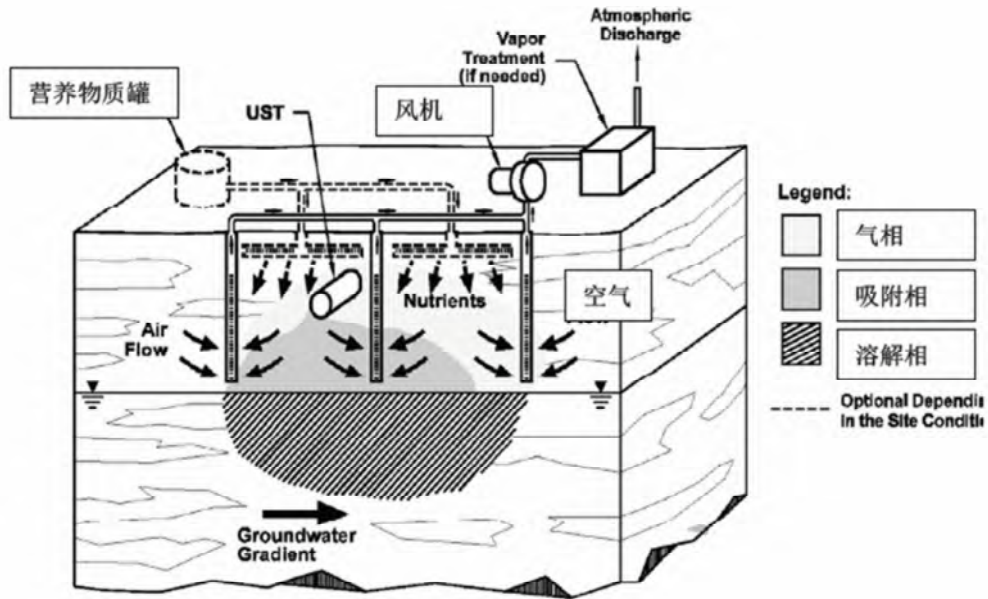


图 14 原位生物通风系统概念示意图

2.1.13.3 主要进展与发展趋势

目前美国、欧洲、澳洲及加拿大、日本、南非、以色列、印度等地也先后进行了与生物通风修复有关的研究和应用。原位生物降解速率是生物通风操作中的一个重要指标，在生物通风过程中通常设计在线控制的测量仪表来监测生物降解速率。Gagnon 等发展了一个实时控制系统来提高生物通风技术的效率，在线监测气体流速和土壤气相中的氧气浓度。Patrick 等在一个燃料油污染现场，进行生物通风处理，由测量仪表远程监控井中的湿度和 CO_2 、 O_2 的浓度。

生物通风技术在国内实际修复或工程示范极少，尚处于实验室和中试研究阶段，国内各主要研发机构缺乏工程应用经验和范例。根据生物通风的系统组成，工艺流程和关键技术参数，目前生物通风技术的开发重点包括：可行性筛选评价参数和流程的确立，测试参数；系统注射井和抽提井的数量和位置以及通风量的确定；抽出尾气后续处理方法的确定；处理条件的优化，包括最佳土壤通风时间、氧气含量、营养物质添加量以及外源高效降解菌剂的确定等；运行维护与过程控制，包括确定对鼓风机、真空泵、管道阀门等关键部件的维护方法，土壤氧气含量、含水率、营养物质含量、土壤中污染物浓度、土壤中微生物数量等指标的监测方法；通风过程数学模型的建立，需考虑土壤中有有机污染物的挥发、吸附/解吸、生物降解以及污染物在多孔介质中的迁移等；修复效果、安全性和场地利用性评价方法的确定。

2.1.14 原位热脱附技术

2.1.14.1 技术原理及关键

原位热脱附技术(In-Situ Thermal Remediation, ISTR)通过升高污染区域的温度,改变污染物的物化性质(蒸汽压及溶解度增加,粘度、表面张力、亨利系数及土水分配系数减小),促进土壤污染物脱附进入气相,再被抽提脱离地下环境。

原位热脱附技术特别适合挥发及半挥发性有机污染物(如石油烃、农药、多环芳烃、多氯联苯)和汞污染的土壤区域。目前,热脱附技术在石化工厂、地下油库、木料加工厂和农药库房等区域以及在一些污染物源头修复治理工作中广泛应用。

2.1.14.2 国内外应用情况

原位热脱附技术作为一种新兴、高效并具有潜力的技术,已在国外逐渐开始得到推广,目前在美国已经至少有12座大型的原位热脱附修复场地,另外还有几十个小规模的修复工程,尤其是针对石油类污染土壤修复的应用前景非常广阔。国外部分案例信息表如下。

表8 国外原位热脱附技术应用案例

序号	年份	场地名称	目标污染物	目标温度	规模
1	2010	法国 louviers 废弃加油站	苯 (TPH-g)	100℃ (燃气加热)	2100 m ³
2	2011	比利时布鲁塞尔居民区地下室	TPH	200℃ (燃气加热)	面积: 1068 m ² 深度: 6.3 m

原位热脱附技术在国内已经有了中试规模及小规模的工程应用,如表9。

表9 国内原位热脱附技术应用案例

序号	年份	场地名称	目标污染物	目标温度	规模
1	2015	苏州某场地中试修复	VOCs (苯和氯苯)、TPH	225℃ (燃气加热)	面积 100 m ² 深度: 18 m
2	2015	宁波某示范工程	邻甲苯胺、2,6-二硝基甲苯、1,2-二氯乙烷、氯乙烯	225℃ (燃气加热)	面积: 600 m ² 深度: 12 m

2.1.14.3 主要进展和发展趋势

原位热脱附技术对于我国部分地区的高粘性高污染土壤具有良好的适用性,具备极大的发展潜力。然而,自主设备的缺乏,工艺的不完善导致该技术应用成本非常高,限制了其大规模应用。因此未来该技术应从如下几个方面开展研究:

(1) 热脱附废气(如挥发性有机物)的收集和处置工艺是原位热脱附技术应用的关键工艺环节和重点研发内容;

(2) 国外设备引进费用非常高,需要研发具有自主知识产权的原位热脱附系统。

(3) 原位热脱附技术应用的运行过程中,影响其运行成本最主要的因素即能耗,因此,降低能耗是未来我国原位热脱附技术应用需要重点解决的问题。目前,我国原位热脱附多以燃气或电为主要能源进行加热处理,未来应从提高这些能源的利用效率发展能源循环利用

用等方面开展原位热脱附的运行工艺研究, 并应开展示范工程, 积累更多的实际经验。

2.2 我国自有知识产权技术的竞争力评价

2.2.1. 我国自有知识产权现状

近年, 我国在场地修复领域, 通过科学技术部、国家自然科学基金委、环境保护部等国家机构资助了大量研究, 重点包括“973”计划、“863”计划、“自然科学基金”等。研究内容涵盖了大区域污染现状调查和污染机理、修复技术研发、设备研发与制造、修复机理研究、联合修复技术研发等。其中, 国家自然科学基金至今已总计资助了 100 多项场地污染修复相关研究项目, 自主的研究项目数量有逐年增加的趋势。这些研究项目主要分布在地学部的地理学和地球化学领域、化学部的环境化学领域及生命科学部的植物学和微生物学领域。项目涉及的研究方向和主要研究内容包括:

(1) 场地污染修复机理的探索。其中, 涉及生物修复的项目有超过 60% (其中 60% 以上属于植物修复, 30% 以上属于微生物修复), 涉及化学修复的超过 30%。

(2) 修复技术研发。重点集中于生物修复及物理化学修复。针对的污染物包括重金属、半挥发性有机污染物、挥发性有机污染物、农药及复合污染等。此外, 国家环保部近年来还资助了数十项场地污染修复相关研究项目, 主要资助方向集中在土壤污染状况评价、风险评估、污染物分析方法、修复技术及其效果评估等方面。

在上述研究中, 我国形成了大量的论文和专利。目前, 我国关于场地修复的年发文量已超过 600 篇, 超过美国, 成为该领域年度发文量最多的国家, 表明中国在场址污染修复领域的研究逐渐变得活跃。发文排在世界前列的机构中, 来自中国的有中国科学院、浙江大学、南京农业大学、中山大学、北京师范大学、清华大学、南开大学、北京大学和台湾大学。在专利方面, 中国国家知识产权局受理的关于土壤修复领域的专利在世界范围内最多, 截至 2013 年, 已超过 600 件, 占世界专利申请总量超过 20%。近年来, 我国场地污染修复领域涉及的学科领域呈现交叉趋势, 技术布局广泛, 主要涉及化学、仪器与仪表、工程学、水资源学、高分子科学、农学、生物技术与应用微生物学、能源与燃料、公共、环境与职业健康、药物学与药剂学等领域。成果产出主体主要集中在高校和科研机构。

2.2.2 竞争力评价

根据论文和专利统计数据, 我国场地修复领域主要成果产出主体为高校和科研机构, 而在修复工程市场活跃的各企业、公司的成果产出较少。尽管我国在生物修复、土壤气相抽提、土壤淋洗、土壤热脱附等技术上开始进行材料和设备自主研发, 但大多成果尚未得到良好的产业化应用, 修复工程仍多以国外成熟工艺、药剂和设备的引进为主。这一现状导致我国在场址修复领域缺乏技术上的核心竞争力。相比美国、日本等发达国家, 我国已有的技术成果实际应用到目前的修复工程中还不够广泛, 多数仍然处于研究试验阶段。为提高我国在场址修复领域的竞争力, 可从以下方面着手:

2.2.2.1 注重论文发表量质同步

我国在该领域研究虽然表现出强劲的发展势头, 取得了重要进展, 但与发达国家相比, 在影响力上还有很大的差距。中国学者在注重发文的同时, 更应注重质量的提升, 进一步提高研究成果的国际影响力。

2.2.2.2 加强我国场地污染修复领域专利申请的国际布局

虽然我国在场地污染修复领域的专利申请量位居世界前位,但是整体申请数量仍然偏低,保护范围还不够广泛,缺少本国专利的国际战略保护。在场地污染修复领域相关的专利产权保护意识有待进一步加强。我国污染场地修复蕴含巨大的市场需求,因此,更应重视并逐渐加强相关研究的专利产权保护,扩大专利的保护地域范围。

2.2.2.3 促进科技原始创新

在研究布局上,我国与发达国家和地区差别不是很大,均主要开展修复机理、技术研发、工程应用、风险评估和修复效果评估方面的研究;采用的修复技术主要集中在植物修复、微生物修复、化学修复和物理修复;针对的污染物主要是重金属及有机污染物。但是总体而言,发达国家布局更加全面,中国缺乏具有独立特色的核心修复技术。因此,在借鉴国外技术发展的基础上,更应注重自身技术的改革与创新。各企业和公司应把新技术研发纳入企业发展规划,投入一定量的资金开展符合我国国情和土壤特征的本土材料、工艺和设备研发。国家和各地方政府应加大投入,鼓励企业进行技术创新。

3 主要问题分析

当前,我国城市地污染控制与治理修复面临着场地信息不清、政策法规和标准缺失、治理责任主体不明、实用修复技术与装备缺乏、治理修复资金难以保障、专业队伍缺少,以及修复行业文化建设薄弱等突出问题。

3.1 法律法规缺失问题

目前国家和地方环保主管部门已经开始重视污染场地管理工作,2014-2015年间陆续下发了《国务院办公厅关于推进城区老工业区搬迁改造的指导意见》(国办发〔2014〕9号)、《关于加强工业企业关停、搬迁及原址场地再开发利用过程中污染防治工作的通知》(环发〔2014〕66号)等通知,为推进土壤和地下水污染防治法律法规体系建设提供了管理支撑。

虽然国家和地方政府开始重视污染场地管理工作,但是缺乏针对污染场地管理整治的专门法律法规,如《水污染防治法》和“大气污染防治行动计划(大气十条)”、“水污染防治行动计划(水十条)”等具有的国家性防治法律依据和行动纲领,污染场地风险控制与治理修复行业仍然缺乏顶层设计和更高层次统筹规划的专门法律,直接导致地方各级环保部门在开展监管工作时面临无法可用、无法可依的窘境。顶层法律制度的缺失导致地方性管理制度缺乏上位法依据,先行先试的地方性管理细则在实施操作中难以落地,特别是场地污染的责任主体认定和相关工作经费缺乏保障机制。相关法律法规和标准的缺失严重影响了产-学-研-金-管的修复研发模式创新与土壤修复产业发展。

3.2 技术标准不够完善问题

2014至2015年间我国和各地方省市陆续发布了一系列污染场地环保标准,例如环保部2014年发布的污染场地系列技术导则。与此同时,北京、上海、重庆等地方环保局也发布了地方性污染场地环保标准,例如北京2014-2015发布《污染场地修复工程环境监理技术规范》、《污染场地挥发性有机物调查与风险评估技术导则》等,上海2013-2015陆续

发布《上海市场地环境调查技术规范》、《上海市场地环境监测技术规范》、《上海市污染场地风险评估技术规范》、《上海市污染场地修复方案编制规范》、《上海市污染场地修复工程环境监理技术规范》、《上海市污染场地修复工程验收技术规范》、《上海市场地土壤健康风险评估筛选值》，重庆 2015 年发布《场地风险评估技术导则》、《污染场地治理修复环境监理技术导则》等。这些技术导则和标准为各地开展场地环境状况调查、风险评估、修复治理提供技术指导和支撑。

现阶段国家和地方发布的相关技术导则，只是初步搭建了污染场地评估和治理修复的技术框架，但还不够完善，现有技术导则和标准需要在实践中进一步磨合和修改。场地环境技术方法是一个处在不断发展和完善中的科学体系，随着污染场地评估和治理修复工作持续推进，技术方法研究更加深入，相关研究成果需要吸纳到现有技术规范中。此外现有技术规范发布后，相关从业单位、科研高校、职能部门等机构在依据技术规范开展工作的过程中反馈了宝贵的意见和建议。基于此需要进一步优化和完善现有的技术方法。

3.3 污染场地信息不清问题

我国污染场地的基础数据和资料至今仍不详。我国虽然在 2006 年开展了全国土壤污染状况调查工作，针对重污染工业企业等 10 类场地进行调查，但由于资金、时间等诸多因素限制，工业企业场地调查的普及面相当有限，基础数据与资料严重不足，无法全面掌握我国主要行业退役工业用地的污染状况，更无法建立类似美国“国家优先治理场地列表”一样的污染场地清单。

另外，在已经调查过的数量有限的场地中，场地的众多基础数据和资料严重缺失，无法用于建立污染场地档案。因此，未来工作中还需要有计划、分步骤地开展场地污染调查，建立污染场地的数量、种类、污染程度和环境风险等信息档案库。

3.4 修复技术与装备问题

土壤修复技术作为我国环境技术领域的一个重要研究方向，始于“十五”初期，对于污染场地土壤及地下水修复技术的研发则在“十一五”期间才开始。虽然技术研发和应用取得了一些成效，但也存在不少问题。

此外，最近今年虽然我国在污染场地修复技术研发方面进步明显，但是现有的治理修复措施仍然比较粗放，在修复设备的生产研发、修复药剂的开发、修复施工管理体系的建设和运营、修复技术的应用规模等方面还处在起步阶段。

3.5 污染场地修复理念问题

在修复技术理念方面，目前我国仍处于以“彻底清除污染，恢复污染场地至初始状态”的阶段，对污染场地修复技术的理解主要集中在借鉴和参考以美国为代表的国外先进技术的基础上进行模仿式的工程实施。此观点约相当于 1980 年代美国修复行业的主流观点，但是所付出的修复成本非常高昂，也由于污染场地本身错综复杂的性质，只有极少数场地能够达到预定的修复目标。我国的污染场地评估与治理修复必然将转向基于风险的管理方式上。

3.6 污染场地修复资金机制问题

在修复资金方面,由于缺乏对污染者追责问责机制、修复行为责任主体不明晰,污染场地评估与治理修复行业的资金来源难以得到保障。有文献统计表明,政府预算拨款占我国污染场地修复资金来源的 54.3%,政府财政拨款和修复企业自筹占 21%,剩余的不到 1/4 的资金来源才是污染责任方企业自筹和其他渠道。值得关注的是在 2014 至 2015 年间,北京、上海、南京、杭州、重庆等地方政府、环保管理部门和修复行业从业者克服重重困难,开创了一些较新的修复治理融资模式,但是要实现在全国范围内的大规模推广应用,仍然需要更多的探索。

3.7 专业人才缺乏问题

虽然近年来污染场地评估和治理修复技术与应用研究得到各方大力支持,发展迅速,在场地调研、风险评估和修复工程技术与实践中培养了一些专业人才,但是人才数量还相当有限,远不能满足目前我国污染场地修复治理的需求。科研机构、咨询公司,以及修复企业更需要专业化风险评估与修复技术研发、咨询和工程施工队伍。

4 建议

4.1 重点领域及技术建议

观察近几年,特别是 2014-2015 年期间污染场地评估与治理修复工作开展的实际情况,我国的修复技术发展趋势表现为从单一的修复技术向多元技术联合方向发展、从单项修复技术向综合集成修复技术发展、从异位修复向原位修复技术发展。因此,未来 3~5 年我国应以节能减排和资源可持续利用为出发点,在借鉴国外成熟修复技术的基础上,从我国场地污染特征、国家经济社会发展、国家科研水平以及现阶段技术储备等多方面考虑,综合社会效益、经济效益、生态效益和环境保护等多方面因素,确定修复技术的选择和发展方向。

未来 3~5 年我国在修复技术方面的发展建议如下:

4.1.1 大力发展联合修复技术

我国污染场地普遍较为复杂,可大力发展联合修复技术解决场地修复难题。现阶段我国场地污染呈现污染物种类多、存在复合污染、污染物浓度变化范围大、土壤结构复杂且存在严重的空间差异性等特点,因此单一修复技术往往受到场地特征的限制,无法满足场地修复需求。联合修复技术应该是未来 3~5 年的重点发展方向,如生物-化学联合修复技术、生物-物理修复技术、化学-物理修复技术等。联合修复技术可成为我国应对大型场地复合污染问题的主要措施。

4.1.2 推动原位修复技术的研发和实施

目前我国在大多场地修复工程中均采用异位修复模式,工程实施多呈现施工粗放、二

次污染潜在风险较高、费用昂贵等限制。从发达国家数十年的发展轨迹来看，原位修复技术由于其对场地扰动较小、二次污染潜在风险低、成本相对较低等优势，得到了大力的发展，代表了场地修复领域未来的发展方向。目前，我国原位修复技术应用较少，相应的施工工艺、修复设备等应用瓶颈亟待打破。因此，我国在持续加大异位修复技术投入的同时，还应强化原位修复技术的发展，并开展应用示范。

4.1.3 推动绿色可持续修复技术的发展

纵观国外 30 多年污染场地治理修复行业的发展，低能耗、低排放的绿色环境友好型修复技术是发展的主线。我国地域广阔，不同区域的土壤和地下水呈现不同的性质，且污染物种类繁多，污染类型复杂。因此从因地制宜的角度，污染场地治理修复领域急需发展适合我国场地特征的高效、安全、廉价和绿色的修复技术。例如生物修复技术，以及与生物相关的联合修复技术可作为未来 3~5 年我国污染场地评估与治理修复行业技术研发和应用的重要方向。

4.1.4 研发自主知识产权修复材料

目前我国污染场地治理修复领域较多依赖进口修复材料和药剂，特别是土壤地下水原位修复，修复药剂主要来自于美国、英国、日本等外资药剂供应商。研发适合我国国情且具有自主知识产权的修复材料尤为迫切。

未来 3~5 年我国污染场地治理修复领域需要加强修复药剂的研发，促进高校与企业的合作，将专利技术转化为现实生产力与竞争力，摆脱依赖进口修复材料和药剂的现状。在修复材料选择方面，我国应从消除次生污染、削弱其职业健康危害、恢复场地功能的的角度，大力发展基于环境功能修复的新型材料，需要由传统化学材料向基于环境功能修复的新型材料方向发展。

4.1.5 着力研发修复专用设备

我国城市工业污染场地修复蕴含着巨大的市场需求，然而，针对污染场地的修复技术及工程应用则刚刚起步，环境治理修复的相关专业设备还比较缺乏，修复设备研发多停留在科研装备开发或实验样机中试阶段，修复设备的产业化应用较少。为满足污染场地治理修复需求，国内一些修复企业成套引进了一些国外现成技术及装备，例如 2015 年江苏大地益源环境修复有限公司引进美国 GTR 原位热脱附设备，但这类设备费用昂贵，且受到国外知识产权保护的制约，缺乏适宜性。

鉴于上述需求，未来 3~5 年我国应加大本土化修复设备投入力度，修复设备研发方向需要由固定式设备向设备的模块化、可移动化和自动化方向发展，以实现污染场地治理修复领域专业设备的模块化、可移动化和自动化。

根据国内现有修复技术的应用情况，建议需要研发的专用修复设备有：固化/稳定化设备、化学氧化/还原设备、土壤淋洗设备、土壤热脱附设备、土壤气相抽提设备、生物修复系统、地下水抽提系统以及土壤与地下水的原位修复系统等。

4.2 标准规范建议

2014~2015年期间污染场地评估和治理修复领域国家发布了场地环境系列技术导则,北京、上海等一些地方政府也出台了地方规定,制定了临时或试行的标准、指南或筛选值,相关政府部门和研究机构一直在使用或参考不同国家关于污染土壤健康风险评价的标准和方法。建议未来3~5年我国加速污染场地评估与治理修复领域相关的国家标准和技术指南的官方批准、发布与实施进程。进一步完善基于环境风险控制的标准及规范体系。同时,还应该鼓励地方政府依据地方的情况发布更为因地制宜的标准。

4.3 法规政策建议

在分析国外重要的污染场地管理框架的基础上,未来3~5年我国在污染场地评估和治理修复领域应加快顶层法规政策的制定工作,为污染场地修复治理相关工作的顺利推进提供制度保障。

4.3.1 尽快制定土壤和地下水污染防治法律

尽管各国的立法背景有所不同,土壤污染管理防治法律也有所差异,但世界上有代表性的国家和地区都经历了从分散立法到专门立法这一过程。由于中国污染场地的复杂性,中国需要一部专门的土壤污染防治法律。

4.3.2 明确利益相关方及其责任分配

未来3~5年期间,我国需要在“污染者付费原则”和执行效率之间找到一个平衡点。此外,还应建立相应的基金和程序,以处理当原始污染者无法确定,或其污染者没有能力支付修复费用时的污染场地修复问题。

4.3.3 制定“风险控制和管理”的保障政策

现阶段我国尚处于经济发展阶段,现有财力无法支撑大量污染场地的修复,因此法规政策方面应将保障重心放在如何控制和管理风险(例如,如何有效封盖阻隔场地污染扩散,改变土地用途),且将其对人类健康的危险或环境风险降至最低,而非对一个场地进行彻底完全的修复。

4.3.4 大力推进基于风险管理的修复目标

国际经验表明,全面彻底的场地修复往往过于昂贵,且修复目标的最佳水平受到场地对于其周边环境及人群的风险影响,而这又取决于场地与人居中心邻近程度和场地的规划用途。采纳基于风险管理的修复目标已成为一种良好的实践模式。基于风险管理的污染场地治理修复,北京、上海、重庆、江苏、浙江等省市2014~2015年间已先行试点,并取得了良好成效。未来3~5年我国在法规政策层面应大力推进基于风险管理的修复模式。

4.3.5 建立污染场地修复的可持续融资机制

未来3~5年我国需要在法规政策层面建立污染场地修复的可持续融资机制,以便加

快急需修复的污染场地的修复工作，甚至在确定谁应该支付修复费用之前，利用这些资金开始应急修复工作。

4.3.6 建立二次污染防治和劳工保护制度

污染场地治理修复工程不同于一般的工程项目，它本身会带来交通、噪音、空气、地表和地下水污染。修复过程要严防污染转移和扩大化，必须建立环境影响消减计划。同时还要提供现场劳工保护，通过个人防护防止工人急性和慢性中毒。未来出台的法规政策应从制度层面建立和保障修复工程的安全。

工业污染场地及地下水修复技术发展报告

1 所属行业或领域总体概况

1.1 2014-2015 年国内外相关法规、政策、标准体系现状

1.1.1 2014-2015 年国外相关法规、政策、标准体系现状

发达国家污染场地的调查评估和治理实践已经比较成熟，大部分国家对于污染场地的管理基本遵循两个模式。其一，从环境质量和公众健康的角度，为避免污染场地给周围人群健康或其周围环境带来危害，需要对其全国范围内潜在的污染场地进行梳理和评估，将全国范围内的污染场地登记在册，建立详细目录，对于不合格的场地要限期进行治理；其二，从未来土地重新开发利用的角度，为提升土地利用价值、降低土地交易风险、避免给污染场地未来的使用者造成危害，在污染场地重新开发利用前需要对该场地进行评价，确定该场地污染的程度和潜在的风险，以及是否需要治理以及选择治理的目标。在污染场地的管理框架上，有的国家采用第一种模式，有的国家采用第二种模式。除了成熟的管理框架以外，国外在污染场地评价和治理的技术标准和技术方法方面已经做到了标准化和程序化，在此基础上，一些北美和欧盟国家的环境咨询公司均设立了场地环境评价与治理的业务，目前污染场地的评价和治理已经成为各类环境咨询公司的主要业务。

（1）美国的污染场地管理体系

美国污染场地管理的主体是美国国家环保署，辅助主体为各州政府以及能源部（DOE）和国防部等其他与污染场地有历史渊源的联邦政府机构。

上世纪 70 年代后期在“拉芙运河”（Love Canal）等一系列污染事件发生后，美国政府于 1980 年通过了《全面环境应急、补偿和责任法案》（CERCLA）。该法案赋予州政府和环境保护署很强的管理权力和责任来管理污染场地，并通过向工业界征税建立了用于管理废弃污染场地的基金制度，即“超级基金计划”（Superfund Program），用来资助污染场地的治理；同时，建立了国家污染场地优先治理顺序名单（National Priorities List, NPL），按照名单上的优先顺序对污染场地进行治理。

在超级基金法案之后，美国国家环保署于 1980-1988 年先后颁布了《超级基金修正与授权法案》和《国家石油与有毒有害物质污染应急计划》作为响应污染物排放和突发污染事件的法律性文件，并制定了一系列诸如《健康风险评价手册》、《场地治理调查和可行性分析指南》、《超级基金暴露评价手册》、《土壤污染筛选导则》等风险评价导则，形成了包括法律法规、导则指南和技术文件在内的一整套完善的污染场地风险评价体系。

(2) 加拿大污染场地管理体系

加拿大是一个由中央联邦政府、10 个省政府和 3 个区域政府组成的联邦制国家。尽管《加拿大环境保护法案》涵盖了大多数的环境问题，但各省政府和区域政府才是环境问题的主要立法机构。各级省政府通过“加拿大环境问题部长委员会”(CCME)广泛地合作。

1989 年 10 月，“加拿大环境问题部长委员会”(CCME)启动了“国家污染场地治理计划”(NCSRP)，目的在于为污染场地的分类和治理提供一套系统方法。该项目在大量详尽细致的指导文件基础上建立起一整套环境管理流程，各级省政府可以根据这套指导文件建立自己的管理办法。由于这些技术性指导文件都是根据大量的基础研究而制定的，因此具有实际操作意义。

(3) 英国污染场地管理体系

英国的污染场地管理政策主要是“棕色土地”政策，于 1998 年依据《未来社会计划》制定，主要目的是通过约束或制止未开发土地的利用，并对棕色土地进行重新开发，从而达到政府所设定的新住宅增长目标。“棕色土地”包括被污染的土地、已开发的土地（即在城市和农村地区的永久性建筑及任何与之相关的地面基础设施所占用的土地）以及一些用于矿山冶炼、垃圾处理的土地。

英国土地管理模式被称为“重新开发利用管理模式”，在意识到污染会引起健康和环境问题的同时，也认识到污染场地问题已经成为经济发展和城市开发的障碍，强调的是将城市萧条程度降至最低，保护当地政府、开发者、商业从业者和国家的经济利益，利用以市场为驱动力的开发过程让污染场地重新发挥经济效益。

(4) 德国污染场地管理体系

在德国，政府管理机构分为联邦政府、州政府和地方政府三个级别。其中，联邦政府级别的环境部、规划部和建设部负责设定目标；而各州州政府土地部负责污染场地的识别、注册、场地勘察、风险评估、治理和监测。尽管每个州的管理结构不同，对于细节的规定也不同，但总体上操作步骤是相似的。在德国，风险评估意味着初步场地勘察之后的全部场地评价过程。风险评估需要逐个场地进行，评估结论需要考虑场地使用类型、污染的程度和范围、相关的污染接受者以及污染接触途径的种类等因素。在德国，有两部主要法律分别涉及污染场地的管理问题和污染场地的重新开发问题。

(5) 日本污染场地管理体系

日本是最早在土壤保护方面立法的国家。在日本，土地与大气和水的性质不同，大气和水是公共财产，而土地属于个人财产，土地污染状况以及所采取的措施对土地的资产价值有很大影响。因此，企业的土地资产价值评价中都引入了资产时价评价。泡沫经济崩溃后，在日本购买房地产的外资企业在购买土地时把美国等国家要求卖主进行土地污染状况调查的商业习惯带入日本，形成了土地买卖时需要确认该场地有无污染的惯例。近年来，随着工业制品的生产基地向中国等国家转移，日本国内原有工厂用地转为其他用途（例如住宅用地）的情形增多。房地产开发商在着手进行开发建设时如果发现所购买的土地被确定存在污染，会导致土地价格下降甚至因需要昂贵的治理费用而解约。土地所有者必须进行污染清除的例子时有发生，使得近年来土地污染问题成为影响较大的社会问题。因此土地所有者自发进行调查的比重呈急剧上升趋势。

1.1.2 2014-2015 年国内相关法规、政策、标准体系现状

1.1.2.1 国内现有政策、法规

在法规方面,我国目前有多部法律法规涉及土壤污染的防治。

■《中华人民共和国环境保护法修订案》,2014

2014年4月24日,十二届全国人大常委会第八次会议表决通过了《环保法修订案》,新法已于2015年1月1日施行。新《环境保护法》加严了对土壤相应的法律规定,特别是第三十二条提出要加强大气、水、土壤等的保护,建立和完善相应的调查、监测、评估和修复制度。该条款为《土壤污染防治法》的立法提供了法律依据。新环保法第39条要求国家建立、健全环境与健康监测、调查和风险评估制度,为目前普遍接受的、基于公众健康风险的土壤污染调查评估方法提供了法律依据。

此外新环保法还有一重大突破,针对信息公开、公众参与和第三方的法律诉讼增加了一个全新的章节(第五章,第53至58条)。新章节规定公众依法享有获取环境信息、参与和监督环境保护的权力;环保部门应及时公开环境质量监测数据及污染事故等相关的信息;非政府组织可针对个人和团体的环境违法行为及政府的无作为采取法律行动。该章节首次为信息公开、公众参与以及非政府组织的诉讼权提供了法律依据,基于国际经验将对工业场地和耕地土壤污染管理将产生重大且积极的影响。

■固体废物污染环境防治法,2004

《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》由中华人民共和国第十届全国人民代表大会常务委员会第十三次会议于2004年12月29日修订通过,自2005年4月1日起施行。主要目的是防治固体废物污染环境,保障人体健康,维护生态安全,促进可持续发展。

■废弃危险化学品污染环境防治办法,2005

《废弃危险化学品污染环境防治办法》于2005年8月18日由环保部(原环保总局)2005年第十四次局务会议通过,自2005年10月1日起施行。

■中华人民共和国水污染防治法,2006

1984年5月11日第六届全国人民代表大会常务委员会第五次会议通过;根据1996年5月15日第八届全国人民代表大会常务委员会第十九次会议《关于修改〈中华人民共和国水污染防治法〉的决定》修正;2008年2月28日第十届全国人民代表大会常务委员会第三十二次会议修订;自2008年6月1日起施行。

国务院及其有关部门和地方政权又制定了《水污染防治法实施细则》、《饮用水水源保护区污染防治管理规定》,以及一系列水质标准、水污染排放标准和地方性水污染防治法规,使我国的水污染防治法律体系初具规模。水污染防治法通过建立有效地监督管理制度、加强对各类污染物排放的控制等措施,实现保护地表水和地下水免受污染的目的。

■中华人民共和国侵权责任法,2009

《中华人民共和国侵权责任法》由中华人民共和国第十一届全国人民代表大会常务委员会第十二次会议于2009年12月26日通过,自2010年7月1日起施行。

自2004年起,我国开始对土壤及地下水污染问题逐步加大关注力度,陆续出台了一系列旨在规范污染场地修复行业发展、推动土壤及地下水调查与修复技术进步的规划政策性文件。

在规划方面,在《“十二五”节能环保产业发展规划》(国发[2012]19号)中,“污染场地土壤修复技术”,包括“受污染土壤原位解毒剂、异位稳定剂、用于路基材料的土壤固化剂以及受污染土壤固化体资源化技术及生物治理技术”被列为环保产业关键技术。《国家环境保护“十二五”规划》(国发[2011]42号)中明确指出要加强土壤环境保护,并将受污染场地和土壤污染治理与修复、地下水污染防治等列入“十二五”环保重点工程之中。《国家环境保护“十二五”科技发展规划》(环发[2011]63号)指出,将20亿元用于土壤污染防治领域。《全国地下水污染防治规划(2011—2020年)》(国函[2011]119号)则计划到2015年全面启动地下水污染修复试点,到2020年全面建成地下水污染防治体系,并拟投资近400亿元优先开展一批重点示范项目。

在政策方面,2004年,原国家环保总局发布《关于做好企业搬迁过程中环境污染防治工作的通知》(环办[2004]47号),首次对企业搬迁中的土地污染情况予以关注。2008年,环保部出台《关于加强土壤污染防治工作的意见》(环发[2008]48号),再次强调将“污染场地土壤环境保护监督管理”作为重点领域,建立污染土壤风险评估和污染土壤修复制度。2012年,四部委联合发布《关于保障工业企业场地再开发利用环境安全的通知》(环发[2012]140号),更为明确和切实地要求各地方排查被污染场地、严格环境风险评估。2013年,《近期土壤环境保护和综合治理工作安排》(国办发[2013]7号)出台,明确提出了我国土壤环境保护的5年和10年目标,并要求提升土壤环境监管能力,选择典型区域开展土壤污染治理与修复试点示范,加快土壤环境保护工程建设。2014年,环保部出台了《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南(试行)》,国土资源部出台了《土地整治蓝皮书》,国务院出台了《关于推进城区老工业区搬迁改造的指导意见》等系列政策文件,主要内容参见表1,以上政策性文件均对污染场地修复产生了积极影响。

表1 2014年政策文件相关信息

政策	发布时间	发布单位	主要内容
《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南(试行)》	2014年12月	国家环保部	规范有序地推动地方开展污染场地调查评估与修复,统筹解决污染场地全过程环境管理中产生的具体操作问题。《指南》对场地调查、风险评估、治理修复、环境监理、验收及长期风险管理等所有环节,明确了各方责任,理顺了工作程序,提出了技术方法,细化了操作规范。
《土地整治蓝皮书》	2014年5月	国土资源部	指出我国土壤污染和土地生态退化问题严重,土地废弃和粗放建设进一步加剧了土地供需矛盾,快速城镇化的中国面临土地利用新挑战,新时期土地整治必须把保护生态放在突出位置,提升利用效率,保障土地可持续利用。
《关于推进城区老工业区搬迁改造的指导意见》	2014年3月	国务院	① 推进企业搬迁改造。对环境污染严重,环境风险及安全隐 患突出,难以通过就地改造达到安全、卫生及环境保护等法律 法规要求和相关国家标准的企业,要异地迁建或依法关停。 ② 治理修复生态环境。大力推进城区老工业区环境整治和生 态系统修复,因地制宜加强绿地、公园建设,结合城市河湖 水系和传统街区改造构筑特色生态景观。对于土壤、水体污 染严重的区域,采取工程技术、生物修复等措施进行专项治 理,防止污染扩散。

1.1.2.2 国内现有标准、规范

自1993年《地下水质量标准》和1995年《土壤环境质量标准》颁布生效起至今,我国陆续有一些土壤与地下水污染防治的规范及标准出台,将其罗列概述如下:

(1) 土壤相关标准与规范

■土壤环境质量标准(GB 15618-1995)

适用于农田、蔬菜地、茶园、果园、牧场、林地、自然保护区等地的土壤。该标准按土壤应用功能、保护目标和土壤主要性质,规定了土壤中污染物的最高允许浓度指标值及相应的监测方法。

《土壤环境质量标准》是中国土壤污染防治的基础,但其所规定的污染物项目仅为十种,主要针对农用地土壤保护,不适用于城市居住和商业用地的场地环境评价。其他对人类健康有极大风险的并且已经对中国环境造成了严重影响的污染物并未得到体现,远远不能满足对土壤质量和污染状况判别的要求。2009年环保部发布了《关于修订国家环境保护标准〈土壤环境质量标准〉公开征求意见的通知》,并形成了《土壤环境质量标准(修订版)》(GB 15618-2009)亟待发布。

■工业企业土壤环境质量风险评价基准(HJ/T 25-1999)

由于《土壤环境质量标准》(GB 15618-1995)不适用于工业用地的场地环境评价,为了保护在工业企业中工作或在工业企业附近生活的人群以及工业企业厂界内的土壤和地下水,对工业企业生产活动造成的土壤污染危害进行风险评价,特制定了该标准。该标准用风险评价的方法确定基准值,制定了两套基准数据:土壤基准_{直接接触}和土壤基准_{迁移至地下水}。土壤基准_{直接接触}是用于保护在工业企业生产活动中因不当摄入或皮肤接触土壤的工作人员。土壤基准_{迁移至地下水}是用于保证化学物质不因土壤的沥滤对工业企业界区内土壤下方作为饮用水源的地下水造成危害。

该基准仅仅是推荐性标准,对工业企业没有强制性约束力。另外,因为该基准所考虑的暴露场景仅局限于不当摄入或直接皮肤接触,从而导致该基准值非常宽松,在实践中很少被采用。

■食用农产品产地环境质量评价标准(HJ 332-2006)

该标准是为了建立和完善食用农产品产地环境质量标准而制定的。它规定了食用农产品产地土壤环境质量、灌溉水质量和环境空气质量的各个项目及其浓度(含量)限值和监测、评价方法。

■展览会用地土壤环境质量评价标准(HJ 350-2007)

该标准按照不同的土地利用类型,规定了展览会用地土壤环境质量评价的项目、限值、监测方法和实施监督。

该标准是为确保展览会建设用地的环境安全性的暂行标准,应用范围具有特殊性,在更广泛的土地利用情况下没有强制性约束力。但该标准所涉及的污染物种类较全面(包括无机污染物14项,挥发性有机物24项,半挥发性有机物47项,其他污染物7项),基本涵盖了常见的土壤污染物,而且标准已接近于欧美发达国家同类标准值,有一定的参考作用。

■土壤环境监测技术规范(HJ/T 166-2004)

该规范为环境保护行业的推荐性标准,规定了土壤环境监测的布点采样、样品制备、

分析方法、结果表征、资料统计和质量评价等技术内容,适用于全国区域土壤背景、农田土壤环境、建设项目土壤环境评价和土壤污染事故等类型的监测。

该规范的实施对土壤环境监测的标准化上迈出了一大步,其适用性广,但对工业场地环境调查的土壤采样分析的针对性较差,无法满足工业场地环境调查土壤采样分析、风险评估、治理修复及后评估等方面监测的实际需要。

■农田土壤环境质量监测技术规范(NY/T 395-2000)

规定了农田土壤环境监测的布点采样、分析方法、质控措施、数理统计等内容,适用于农田土壤环境监测。

■工业污染源现场检查技术规范(HJ 606-2011)

规定了工业污染源现场检查的准备工作、主要内容及技术要点,适用于各级环境主管部门的工业污染源现场检查工作。

(2) 地下水相关标准与规范

■生活饮用水卫生标准 GB5749—2006

2007年7月1日,由国家标准委和卫生部联合发布的《生活饮用水卫生标准》(GB 5749-2006)强制性国家标准和13项生活饮用水卫生检验国家标准正式实施。这是国家21年来首次对1985年发布的《生活饮用水标准》进行修订。新标准水质项目和指标值的选择,充分考虑了我国实际情况,并参考了世界卫生组织的《饮用水水质准则》,参考了欧盟、美国、俄罗斯和日本等国饮用水标准。

■地下水质量标准(GB/T 14848-93)

《地下水质量标准》规定了地下水的质量分类、地下水质量监测、评价方法和地下水质量保护。

地下水质量标准是中国地下水污染防治的基础,虽然其对39个项目设立了相应标准,但远不能囊括当今地下水的污染物质,为了应对地下水污染的复杂性和严重性需要更为细化的有针对性的标准值要求。标准对地下水质量评价方法也进行了说明,以及对地下水质量保护提出了相应要求,但内容较为宽泛。另外该标准要求按国家标准GB 5750《生活饮用水标准检验方法》对地下水水质进行检测,由于污染地下水和饮用水水质的差异,地下水的标准检验方法仍然有待完善。目前,已完成了《地下水质量标准》(报批稿)(GB/T 14848-2009)的编制工作,择日发布。

■地下水环境监测技术规范(HJ/T 164—2004)

本规范为环境保护行业的推荐性标准,规定了地下水环境监测点网的布设与采样、样品管理、监测项目和监测方法、实验室分析、监测数据的处理与上报、地下水环境监测质量保证等项工作的要求。

本规范在《地下水质量标准》(GB/T 14848-93)的基础上对地下水环境监测技术作了全面地规范和阐述,多适用于国控、省控、市控和县控等区域地下水背景值监测和污染控制监测,但对工业场地环境调查等较小范围内地下水采样分析针对性不强,因此较少采用。

■地下水动态监测规程(DZ/T 0133-1994)

规定了对地下水动态长期监测网点的布设、监测项目及要求、监测和试验资料的整编与分析、地下水水情预报、地下水均衡试验及报告编制等项工作的基本要求。

该规范适用于已经开采地下水或拟开采地下水的广大区域和大中城市区开展地下水

动态长期监测工作。在大、中型工矿基地开展地下水动态长期监测工作时,也可参照使用。

■地下水污染调查评价规范(DD2008-01)

适用于1:50000-1:250000地下水污染调查评价工作。

1.1.1.2.3 国内现有技术导则

■场地环境调查技术导则(HJ 25.1-2014)

该导则适用于场地环境调查,针对场地土壤和地下水环境调查的原则、内容、方法、程序与技术要求做了详细规定,是开展场地调查的重要技术参考。

■污染场地风险评估技术导则(HJ 25.3-2014)

该导则适用于污染场地人体健康风险评估和污染场地土壤与地下水风险控制值的确定,针对开展人体健康风险评估的原则、内容、方法、程序与技术要求做了详细规定,是开展该项工作的重要技术指导。

■污染场地土壤修复技术导则(HJ 25.4-2014)

该导则适用于污染场地土壤修复技术方案的制定。明确规定了污染场地土壤修复方案编制的基本原则、程序、方法、内容与技术要求,是实施污染场地修复方案编制与设计的重要参考依据。

■污染场地土壤环境监测导则(HJ 25.2-2014)

该导则的使用范围贯穿了场地调查、风险评估、污染场地土壤修复工程环境监理、修复验收以及回顾性评估等全过程。针对场地环境监测的原则、程序、方法、内容与技术要求做了详细规定,是污染场地调查与修复全过程开展土壤环境监测的重要指导。

■环境影响评价技术导则-地下水环境(HJ 610—2011)

该导则规定了地下水环境影响评价的一般性原则、内容、工作程序、方法和要求。适用于以地下水作为供水水源或对地下水环境可能产生影响(水文影响和水质影响)的建设项目的环评,是土壤与地下水污染预防的有力保障措施。

该导则于2011年6月1日正式实施,这对建设项目的环评提出了更高的要求,同时也间接的要求工业企业加强对环境特别是土壤与地下水环境的关注。因为环评在我国的法律地位,本导则也相应的具有强制性约束力。

■工业企业污染场地调查与修复管理技术指南(征求意见稿)

该指南以“污染场地调查与修复工作程序”为主线,涵盖了场地调查、风险评估、治理修复、修复过程环境监理、修复后验收及修复后场地长期风险管理所有环节。指南将工业企业场地调查与修复管理全过程划分为场地调查评估和污染场地修复管理两个部分,其中场地调查评估包括污染识别、现场采样、风险评估三个阶段;污染场地修复管理包括污染场地修复方案编制、污染场地修复过程监理、污染场地修复验收和长期管理。该指南在我国现有政策框架下,结合大量的国外经验与国内工作基础,针对污染场地调查与修复各阶段的技术要点进行了规定与建议。指南现处于广泛征求意见阶段。

■环境保护部地下水相关技术导则

地下水监测调查指南、地下水健康风险评估指南、地下水污染模拟评估指南以及地下水污染修复(防控)指南正在编制与征求意见中。

可以发现,从七十年代的未受重视、八十年代的原则性关注、二十一世纪初的零散性源头控污,到现阶段的政策频发,我国的土壤环境管理工作,尤其是污染场地的监督与管

理, 在备受重视的同时已逐步向系统化的方向发展。

1.2 2014-2015 年国内外污染场地管理现状

1.2.1 2014-2015 国外污染场地管理现状

美国、欧洲等国家经过 20 多年的实践和发展, 对污染场地开发管理工作日趋深入。

(1) 美国的污染场地管理现状

以美国为例, 土壤修复已形成联邦-地方-非政府组织三层次的土壤管理体系, 形成评估-治理-再评估的治理流程。而政府和私人资金共同构成美国土壤修复资金来源。美国把受污染的土壤称为“棕地”, 全美约有 45 万块棕地, 大部分位于城市的老工业区中。棕地管理由联邦政府、州政府、社区及非政府组织共同完成。其中, 联邦政府以环保署为主导, 负责棕地的评估、管理及开发; 国会则制定并通过有关土壤修复的政策法规文件。州政府制定详细的棕地治理标准, 起到监督作用。地方政府和社区是棕地管理的主要实施力量。非政府组织作为参与者, 参与推进土壤污染的治理。

(2) 欧洲的污染场地管理现状

根据欧盟《第六环境行动规划》(Sixth Environment Action Programme) 的决定, 2006 年 9 月, 欧盟委员会发布了欧洲土壤保护主题战略 (Soil Thematic Strategy, COM (2006) 231)。该战略包括一份欧盟委员会向其他欧洲相关机构发布的通讯、一个土壤框架指令建议和一份影响评价。土壤保护主题战略确定了土壤保护的战略框架, 提出了战略的总目标, 阐述了必须采取哪些类型的措施, 并确立了一个欧盟委员会十年的工作计划。

1.2.2 2014-2015 国内污染场地管理现状

由于我国工业化发展历史相对较短, 场地土壤及地下水污染等环境问题在我国出现较晚, 加之社会、经济、文化、法律和制度等因素的影响和制约, 同发达国家相比, 我国对工业污染场地问题的认识和重视程度不够, 与污染场地管理相关的法律法规、技术导则和评价标准严重缺失, 污染场地修复资金筹措等机制也不够健全, 这导致了污染场地修复无论是在前期调查评估阶段, 还是在后期修复及验收阶段都表现出很大的随意性。随着我国城市化进程和产业转移步伐的加快, 工业企业搬迁成为普遍的趋势。工业企业原有土地功能转变, 大量工业用地变更为商用或住宅用地, 工业遗留污染场地引发的环境污染事故和对人体健康造成伤害的事件在全国各地时有发生, 已经成为当前城市土地再开发的限制因素。

资料显示, 我国各类工业污染场地至少以数十万计, 多数分布在经济发达地区和老工业基地, 涉及化工、冶金、石油、交通运输等多个行业。国家环保部正在起草《土壤污染防治法》, 制定土壤污染行动计划, 届时, 将从建立相应法律制度和体系; 加强工矿企业环境监管, 切断污染源头遏制扩大趋势; 对污染土地实行分级分类管理, 建立自己的技术体系, 逐步推动风险管控等四个方面展开工作。而《土壤环境保护法》也将于“十三五”期间出台。

广西、广东、北京、甘肃、江苏等省份由于是重型化工大省, 其土壤污染较严重, 近年来这些省份开展了污染企业关停、搬迁整改工作, 地方政府针对土壤环境保护、土壤污染治理的相关政策已陆续出台。

(1) 上海市污染场地管理政策

2013年,上海已经研究形成加强土壤污染防治的初步方案,其中以农田和水源地土壤保护及工业结构调整中土壤环境风险管控为重点,以调查监测为基础,以制度规范建设为根本,以污染场地治理修复试点为抓手,逐步深入系统推进土壤污染防治工作。2015年,上海市多部门和企业共同参与的首个污染场地治理修复体系研究推广中心成立,将重点研发适合上海土壤现状的污染修复技术及方案。

(2) 贵州省污染场地管理政策

2014年1月7日,贵州省政府发布了《贵州省土壤环境保护和综合治理方案》,提出通过摸清土壤环境状况,划定土壤环境保护优先区域,建立土壤环境质量监测网等方式,逐步实施典型区域土壤污染治理工程,提升土壤环境监管能力,初步控制土地开发利用的环境风险,最终遏制土壤污染上升势头。

(3) 湖南省污染场地管理政策

2012年6月27日,湘政办发布《湘江流域重金属污染治理实施方案》(2012-2015年),提出到十二五末,重金属企业数量及重金属排放量比2008年减少50%。

(4) 江苏省污染场地管理政策

2013年7月,江苏省环境保护厅发布了《江苏省近期土壤环境保护和综合治理方案》,提出到2015年,完成环境保护部和江苏省签署的《江苏省土壤环境保护和综合治理目标责任书》的目标要求;开展耕地、集中式饮用水源地土壤环境质量评估和污染源排查,划分土壤环境质量等级,完成耕地和集中式饮用水源地土壤环境优先保护区域的确定;确保全省耕地土壤环境质量调查点位达标率不低于88.9%;省级和13个地级市监测站全部具有土壤环境常规监测能力,具有土壤环境常规监测能力县级监测站的比例不低于60%;建立健全土壤环境事故应急机制;完成66个产粮(油)大县耕地和服务人口50万以上集中式饮用水源地保护区土壤环境质量监测;新增关停、搬迁工业企业污染场地建档率不低于95%;完成14个(其中含7个列入国家土壤环境保护工程重点目)土壤污染治理与修复试点示范项目。

(5) 四川省污染场地管理政策

2014年12月9日,四川省环保厅公布了省政府制定的《四川省土壤环境监测制度试点方案》,明确四川省省新建项目将严格土壤环境准入,以新增工业用地为重点,建立土壤环境强制调查评估与备案制度,可能对土壤造成重大影响的项目,必须在环评时开展土壤评价,且应监测特征污染物的土壤环境质量本底值。《方案》确定,到2015年,基本掌握四川省土壤环境状况,确定本省土壤环境保护优先区域,建立严格的耕地和集中式饮用水源地土壤环境保护制度;全省60%以上的耕地、服务人口50万以上的集中式饮用水源地和重点污染企业周边土壤环境,都要开展监测。

《方案》要求禁止在农业生产中使用含重金属、难降解有机污染物的污水以及未经检验和安全处置的污水处理厂污泥、清嫩底泥和尾矿等;拟农用的,须经环保部门会同农业部门监测及检验认定达到相关标准后方可使用。根据《方案》,四川省将用市场手段加强土壤环境保护,鼓励第三方服务。探索建立政府出政策、社会出资金、企业出技术的土壤环境监测与评估市场化机制,并选择部分地区开展试点。

此外,目前颁布实施的法律法规中仅有少部分条款涉及地下水保护与污染防治,缺乏系统完整的地下水保护与污染防治法律法规及标准规范体系,因而难以明确具体法律责

任。同时，地下水环境保护资金投入严重不足，导致相关基础数据信息缺乏，科学研究滞后，基础设施不完善、治理工程不到位，难以满足地下水污染防治工作的需求。

2 主要技术发展情况

2.1 主要技术发展情况

2.1.1 国外污染场地修复技术发展情况

美国、欧洲、加拿大以及日本等国家经过 20 多年的实践和发展，污染土地置换开发管理工作日趋深入，污染场地修复技术已经相对比较成熟和先进，在土壤及地下水治理技术方面，建立了适用于各种常见污染物的治理办法，并已不同程度地应用于污染场地治理的实践中。1995 年以前，各国对污染场地土壤修复技术研究相对较少。1996-2005 年属于过渡期，世界各国对土壤修复技术研究的关注逐渐升温。2006-2010 年呈迅猛发展趋势 2005 年以前发表的所有文献数量仅约为 2006-2010 年的一半，说明从 2006 年开始，土壤修复技术研究已进入黄金期，产生了大量科研成果。其中，联合修复技术科研成果较少，主要原因是联合修复技术近几年才开始兴起，2006 年以前对单项修复技术研究较多。由于污染土壤的复杂性，联合修复技术已成为土壤修复的发展趋势。

以美国为例，在调查技术方面，其政府于 1976 年颁布《资源保护与回收法》，适用于预防场地污染。1980 年发布了《综合环境响应、补偿和义务法》，规定了过去和现在土地的拥有者和使用者必须对土地的污染负责和有清除污染的义务。在这些法律基础上，美国环保局（EPA）和美国测试与材料协会（ASTM）建立了大量场地环境调查和评价的方法、技术标准和指南对场地进行环境调查，判别污染责任。随着近 40 年的发展，发达国家的场地调查技术已能够全面涵盖场地土壤及地下水的物理、化学、生物、地质及水文地质等信息，并结合计算机模拟技术，形成二维或三维污染场地概念模型，以最直观的方式呈现出场地的污染状况，并指导后续的修复工程。

在修复技术方面，根据 EPA 发布的超级基金修复报告（第 13 版），对于场地土壤而言，在 1982 至 2008 年期间，重金属污染修复技术逐渐成为热点，比重超过 60%；物理技术应用减少，化学/生物及协同技术比重增加；原位修复技术应用数量不断增加，应用比例高于 55%；原位处理方法中多相抽提、化学处理、固化稳定化及热处理的比例都有较大上升。在地下水修复技术中，抽出-处理（P&T）技术广泛地与原位处理技术、自然衰减（MNA）技术和制度控制（ICs）有机结合。

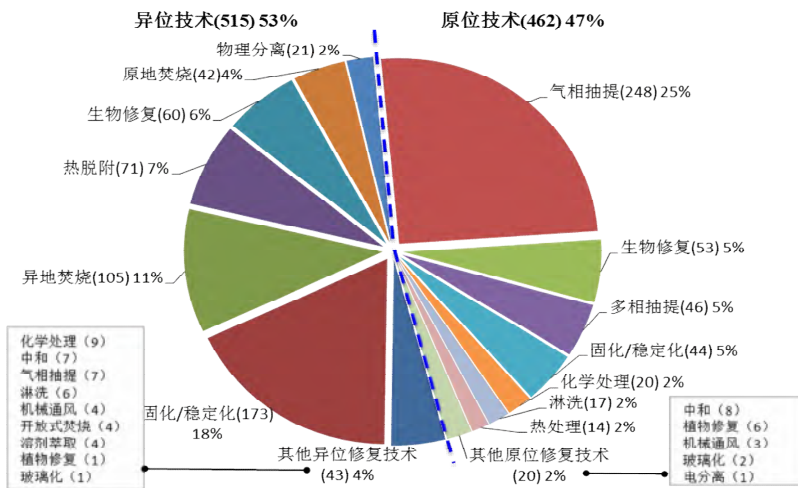
2.1.1.1 国外土壤修复技术现状及发展趋势

污染土壤修复技术从原理上讲包括：① 改变污染物在土壤中的存在形态或同土壤的结合方式，降低其在环境中的可迁移性与生物可利用性；② 降低土壤中有害物质的浓度。

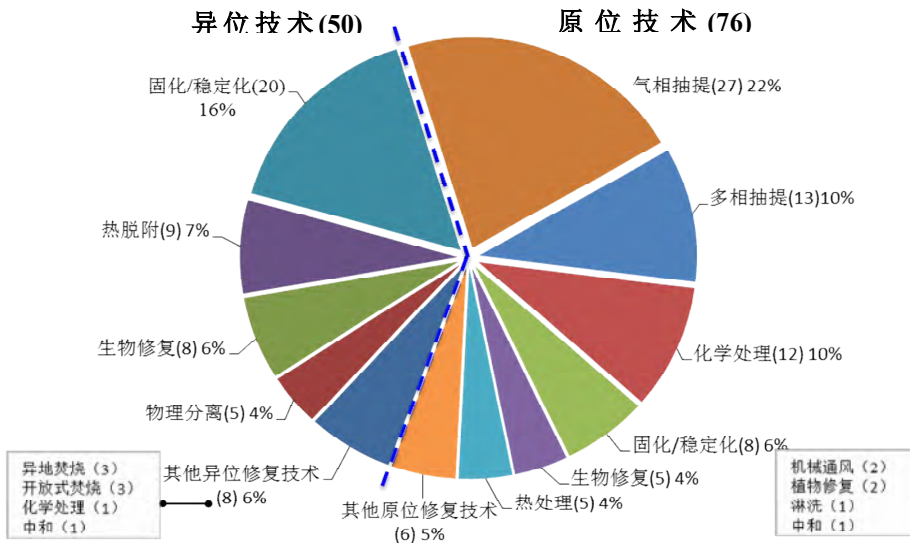
各种污染修复技术在作用原理、适用性、局限性和经济性等方面均存在各自的特点，在特定场合的污染土壤进行工程修复时，需根据当地的经济实力、土壤性质、污染物性质、资源条件等因素，进行修复技术的合理选择和组合工艺的优化设计。EPA 发布的超级基金修复报告（第 13 版），总结了 EPA 在 1982 年到 2005 年共处置的 977 块场地及 2002-2005

年处置的 126 个场地所用到的主要修复技术。1982 至 2005 年的场地修复中异位技术与原位技术的占比分别为 53%和 47%，而在 2005 至 2008 年的场地修复中，原位技术变为主导，占比 60%。原位处理方法中多相抽提、化学处理、固化稳定化及热处理的比例都有较大上升。可见：

- 更多场地选择多种修复方案的组合来处理复杂问题；
- 固化/稳定化 (S/S) 是最常选择的异位处理技术，焚烧大幅度减少，物理分离和回收增加；
- 气相抽提 (SVE)、S/S、多相抽提和原位热处理是最常选择的原位技术；
- 平均有半数土壤修复包括原位处理技术；
- 更广泛地采用制度控制。



(1) 1982~2005年超级基金污染场地土壤修复技术



(2) 2002~2005年超级基金污染场地土壤修复技术

图 1 超级基金污染场地土壤修复应用技术及比例 (1982-2005 年)

据估计, 欧洲每年约有 21.1 亿欧元用于污染土壤的修复及管理工作。欧洲各国根据本国国情, 所采用的土壤修复技术存在明显的较大差异。欧洲运用原位和异位热脱附、原位和异位生物处理、原位和异位物化处理技术修复污染场地的项目占有所有统计项目的 69.17%, 其中原位热脱附、原位生物处理和原位物化处理修复技术占 35%, 异位热脱附、异位生物处理和异位物化处理修复技术占 34.17%, 二者比重相当, 其他修复技术占 30.83%。在实际工程中, 生物处理技术运用最多, 达到 35%, 其中原位生物处理占 18.33%, 异位生物处理占 16.67%。另外, 将污染土壤作为废弃物而非可再生资源处理(包括挖掘处置技术、污染场地管制等)的工程项目在欧洲仍然占有较大比重, 达到 37%。

2.1.1.2 国外地下水修复技术现状及发展趋势

由于地下水和土壤的不可分割性, 早期的地下水修复是与土壤修复紧密联系在一起, 在土壤修复的实践中, 经常是处理土壤的同时也把地下水抽出, 并按照处理工业废水的方法进行处理。而随着地下水修复技术的发展, 目前较典型的地下水污染修复技术已经有十多种, 修复技术根据技术原理可分为四大类, 即物理法、化学法、生物法和复合修复技术。而如果按修复方式划分, 则可分为异位修复和原位修复技术。异位修复指的是将污染物先用收集系统或抽提系统转移到地上, 然后再处理的技术, 一般也指抽出处理(Pump and Treat, P&T)。原位修复技术是指在基本不破坏土体和地下水自然环境条件下, 对受污染对象不作搬运或运输, 而在原地进行修复的方法。原位修复技术不但可以节省处理费用, 还可减少地表处理设施的使用, 最大程度地减少污染物的暴露和对环境的扰动, 因此应用更有前景。常用的地下水原位修复技术有:

(1) 监测自然衰减法(Monitored Natural Attenuation, MNA)

监测自然衰减法是利用污染场地天然存在的自然衰减作用使污染物浓度和总量减小, 在合理的时间范围内达到修复目标。自然衰减作用包括对流、弥散、稀释、吸附、沉淀、挥发、化学反应和生物降解等作用。其中对流、弥散、稀释、吸附、沉淀、挥发等作用属于浓度的稀释, 或是污染物的转移, 污染物本身仍然是存在, 属非破坏性作用; 纯化学的转化一般很少见, 过程也很缓慢, 更常见的是有微生物参与的生物降解作用, 这种作用可将污染物转化为无害物质, 属破坏性作用, 是污染物真正的去除作用。MNA 法的成本低, 人工耗费少, 缺点是处理时长久, 并且对不易降解的污染物的处理效果差。

(2) 渗透反应墙(Permeable Reactive Barrier, PRB)

渗透反应墙是一个填充有活性反应介质材料的被动反应区, 当受污染的地下水通过时, 其中的污染物质与反应介质发生物理、化学和生物作用而被降解、吸附、沉淀或去除, 从而使地下水的水质得以净化。PRB 使用的反应材料一般根据污染物的组分及修复目的不同而各异, 最常见的是零价铁(Fe^0)、纳米零价铁、纳米铁、带有催化金属的包覆纳米铁(例如铁/镍)、活性炭/生物活性炭、石灰等材料。其中, 纳米零价铁(nZVI)较多的用于被氯代烃污染的地下水的修复中。缺点是由于地下水流速缓慢, 运行时间较长久。此外, 还存在地下水流场难以确定, 反应墙材料失效等问题。

(3) 原位曝气(Air Sparging, AS)

地下水的原位曝气是与土壤修复过程中使用的气相抽提互补的一种技术。利用空压机将空气注入污染区域以下, 使得挥发有机物(VOCs)或半挥发有机物(SVOCs)从地下水中吹脱到空气流, 并将空气流引至地面上处理的原位修复技术。该技术被认为是去除地

下水中的 VOCs/SVOCs 污染物最有效的方法。此外,注入的空气能为地下水中的好氧微生物提供足够氧气,促进原有微生物的降解作用。该技术成本低,处理量大,系统容易安装和转移,容易与其他技术组合使用。缺点是对非 VOCs/SVOCs 且不容易微生物降解的污染物处理效果不佳,并且对现场土壤条件和地质结构的要求比较高。

(4) 原位化学氧化 (ISCO) /原位化学还原 (ISCR)

原位化学氧化 (In-Situ Chemical Oxidation) 和原位化学还原技术 (In-Situ Chemical Reduction) 具有处理周期短、见效快、成本低和效果好等优点。由于地下水中的有机污染物多具有一定的还原性,因此 ISCO 的使用范围比 ISCR 更为广泛。ISCO 中可采用的氧化剂包括高锰酸盐、Fenton 试剂、臭氧和过硫酸盐等。其中 Fenton 试剂法因其能够氧化大多数有机物,具有无选择性、反应迅速、处理彻底、原料简单便宜、无需复杂设备、操作简便、反应条件温和、无二次污染、残存的 H₂O₂ 可自然分解成氧气,从而为微生物繁殖提供电子受体等特点,因此成为最有前景的原位氧化修复技术之一。原位还原修复采用的药剂则以纳米零价铁为主,利用纳米材料的高反应活性对氯代烃进行脱氯还原。

(5) 原位电动修复技术

该技术是利用电动力学原理对土壤及地下水环境进行修复的一种绿色修复新技术,可以用来清除一些特定的重金属离子,具有环境相容性、多功能适用性、高选择性、适于自动化控制、运行费用低等特点。在电动修复过程中,金属离子在电场的作用下发生定向迁移,然后在设定的处理区进行集中处理。近年来原位电动修复技术呈现出和其他技术或辅助材料相结合的发展趋势。

(6) 原位生物修复技术

该技术是指利用生物的代谢活动减少现场环境中有毒有害化合物的工程技术系统。用于原位生物修复的微生物一般有三类:土著微生物、外来微生物(多为人工培育或筛选)和基因工程菌。目前地下水有机物原位生物修复方法主要包括生物注射法、有机粘土法、抽提地下水系统和回注系统相结合法、生物活性炭法、植物辅助生物修复法等。原位生物修复技术有其独特的优势,表现在:1、通过微生物群繁殖代谢等活动,使有机污染物分解为无害的物质,甚至直接转化二氧化碳和水,可永久地消除污染物和长期的隐患,无二次污染,不会使污染物转移;2、可与其他处理技术结合使用,处理复合污染;3、对于采用针对特定污染物培育、驯化、强化乃至基因工程培养出来的微生物,降解过程迅速、费用低,费用仅为传统物理、化学修复法的 30%~50%。缺点是微生物培育、筛选强化等技术门槛相对较高,修复效果受温度等当地条件影响大。

除了以上介绍的六大类原位修复技术以外,还有屏蔽法(利用注浆、开沟渠等方法阻隔污染地下水扩散)、被动收集法(利用撇油器或拦油浮筏处理非水相流体, NAPLs),以及水动力控制法(利用井群控制或改变地下水流场,防止污染扩散)等临时性处置方法。这三种方法既可以用来作为紧急污染状况下防止污染物在地下水中扩散的对策,也可以搭配上述六种修复方法进行场地修复。总体上来说,随着材料学、化学和生物学等相关学科的发展,地下水修复技术正逐渐朝着高科技化的方向前进。新材料,新工艺,新机理等的每个发现和进步,都有可能对地下水修复行业产生巨大的影响。

美国超级基金在地下水处理技术方面,采用地下水泵出处理技术(P&T)、原位修复和监测自然衰减(MNA)比例的变化见图2。地下水修复技术呈现如下趋势:

- 抽出-处理 (P&T) 在 90 年代中期大幅下降;
- 监测自然衰减 (MNA) 波动升高;
- 越来越多的方案选择制度控制 (ICs) 或其他;
- 原位处理、MNA 和制度控制增加;
- 更广泛地采用制度控制, 持续采用监测;
- 原位修复中, 生物修复和化学修复增加;
- 原位修复的比例仍维持上升趋势, 但似乎趋于稳定在 30%。

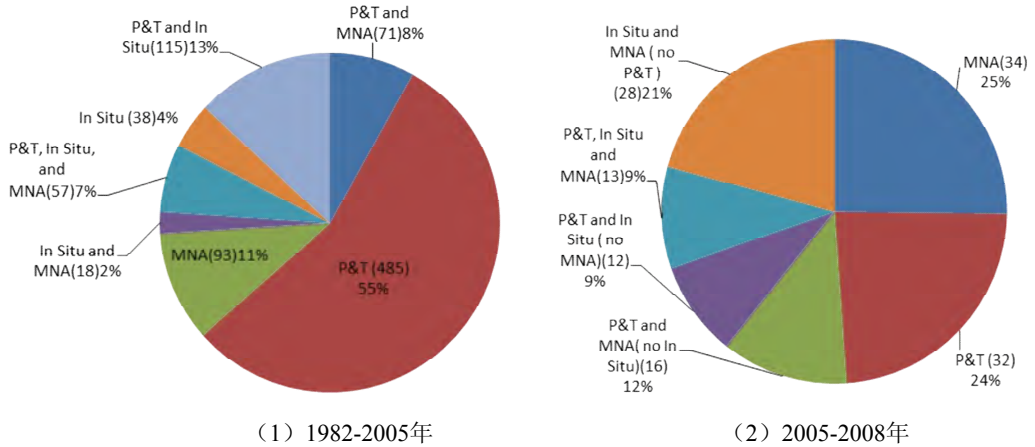


图 2 超级基金地下水修复应用技术及比例 (1982-2008 年)

2.1.2 国内污染场地修复技术发展情况

(1) 国内土壤修复技术现状

虽然现阶段我国对工业场地土壤各项修复技术开展了大量的研究工作,但在实际工程应用中仍以异位修复方法为主,原位修复技术为辅。在有机物污染工业场地修复应用中,异位修复技术以水泥窑协同处置为主,原位修复方法以气相抽提和生物通风方法为主;重金属污染工业场地的修复主要以土壤固化稳定化处理技术和水泥窑共同处置技术为主。目前,在上海、浙江、重庆等地区已有很多土壤修复工程使用稳定化固化处理技术,但有关重金属固化稳定化相关验收规范相对滞后,影响了该技术大范围应用和推广。水泥窑协同处置在污染土壤异位修复中有其独特的优越性,在我国土壤修复行业已得到较多应用,在施工方法和二次污染防治方面也积累了一定经验,但该方法仅适用于污染场地周边建有水泥窑的情况,处理体量受限于水泥窑生产量的限制;处理能力有限,只能在生产水泥的同时处理污染土壤,且掺混比例不超过 5%;此外,水泥窑的尾气处理能力有限,污染土壤运输至水泥窑设备的过程中也可能发生泄漏而造成二次污染。

(2) 国内地下水修复技术现状

我国目前在地下水污染调查及地下水污染物迁移转化模型方面做了不少基础性工作,但在具体的地下水污染治理技术方面做的工作却非常有限,与欧美国家系统的地下水污染治理技术体系相距甚远。从国内现有案例来看,我国地下水处理技术多采用原位曝气 (Air Sparging, AS)、渗透反应墙 (PRB)、原位化学氧化等技术,并且多处于中试阶段,缺乏

实际工程应用经验。

(3) 国内工业污染场地土壤及地下水修复技术发展趋势

我国工业污染场地及地下水修复技术未来的发展趋势将会充分借鉴欧、美、日、德等国的成熟技术和场地修复经验,同时考虑我国特有的经济发展状况、场地污染特征以及技术储备情况。在修复决策上,从基于污染物总量控制的修复目标向基于污染风险评估的修复目标发展;在治理技术上,从单纯物理修复、化学修复和物理化学修复向生物修复、植物修复和基于监测的自然修复方法发展,从以异位修复为主向依据场地特征的原位与异位修复相结合发展;从单一的修复技术发展到多技术联合的修复技术、综合集成的工程修复技术;在设备上,从基于固定式设备的场外修复发展到移动式设备的现场修复;在应用上,将从服务于重金属污染土壤、农药或石油污染土壤、持久性有机化合物污染土壤的修复技术向多种污染物复合或混合污染土壤的组合式修复技术过渡,并从单一厂址场地走向特大城市复合场地,从单项修复技术发展到土壤、土壤气体、地下水监测的多技术多设备协同的场地综合集成修复。

(4) 国内主要研发机构工作进展

国内污染场地修复领域主要研发机构包括中国环境科学研究院、环境保护部南京环境科学研究所、中科院南京土壤研究所、清华大学环境学院、吉林大学环境学院、北京环境保护科学研究所、轻工业环境保护研究所等单位。

中国环境科学研究院团队主要研究固体废物管理与处理处置技术研究,在危险废物鉴别技术、危险废物管理政策、固体废物填埋技术方面。环境保护部南京环境科学研究所团队主要从事典型污染物在土壤-植物体系中的环境过程与生态效应、土壤环境标准和基准、土壤环境调查与风险评估、土壤污染事故调查诊断与应急处置、污染土壤综合治理与修复等研究。中科院南京土壤研究所团队的主要研究方向包括原位化学还原与强化生物修复技术研究;地下水资源管理、土壤及地下水污染调查、风险评估、矿山地球化学演变机理与生态修复技术研究和固体废物填埋的水文地质风险评估等。清华大学团队主要研究方向为地下水与土壤污染控制与修复,研究重点为污染场地修复技术与工程、污染地下水生态毒性与生物过程、劣质地下水净化理论与技术。吉林大学团队主要研究方向为地下水污染的模拟与评价、污染场地的控制与修复;固体废物处理及污染治理、地下水污染的污染源调查、污染途径分析、污染物在包气带和含水层中的迁移转化机理、地下水污染的数值模拟、地下水污染的控制与修复等。

2.2 我国自有知识产权技术的竞争力评价

近年来,我国对污染场地修复工作的关注程度逐年升高,工程经验及研发成果不断积累,形成了一定的知识产权,但相较世界发达国家,过污染场地修复行业无论时间还是体量均为达到产业化条件,各种技术经验尚处在探索过程中,无法形成相应的竞争力。与发达国家相比,我国落后 20 多年,主要存在以下六方面差距:① 技术种类单一,缺乏体系,尤其是原位、快速、适用于污染场地的修复技术;② 技术装备严重缺乏,缺产业;③ 技术规范缺标准,缺法规,技术难以应用;④ 工程化修复案例极少,缺市场化;⑤ 缺乏自身实践积累的经验,专业修复企业少;⑥ 关键是投入少,缺乏实用技术。

3 主要问题分析

我国土壤环境污染状况的严峻态势，国家对土壤环境污染问题的日益关注，以及媒体与社会舆论的持续发声，拉开了“万亿”土壤修复市场的序幕。但对于尚处于萌芽阶段的修复市场，横跨于业界面前的重重关卡严重阻碍了其健康有序的发展。其中，法律法规与政策标准的缺失、缺少成熟可靠的技术、行业准入及市场竞争不规范、竞争的不规范、人才培养不成体系，以及成熟商业模式的欠缺，均成为阻碍我国技术开发及应用的主要瓶颈。资金、盈利模式、技术与政策法规有待进一步完善，污染底细不清、资金短缺成为我国污染场地修复行业发展面临的主要问题。

3.1 法律法规与政策标准缺失

我国污染场地管理工作起步较晚，相关的法律法规与政策正在陆续出台完善；有关部门也陆续发文加强对工业企业搬迁后的污染场地修复及再利用工作的监管；与此同时国内一些经济发达，产业结构调整先行地区，已展开污染场地修复工作，并积累了一定的污染场地管理经验；但从整体来看，污染场地修复及再利用工作尚未形成完整的、系统的管理体系。

3.2 竞争的不规范

由于行业还处在初步发展时期，缺乏行业规范及准入机制造成了一定程度上的无序竞争。在这种背景下，不仅业主、民众对场地修复的理解不同，连从事场地修复领域工作的技术及工程单位对场地修复的认识也大相径庭。

3.3 专业人才储备不足

由于土壤修复在国内环保行业属新兴细分领域，行业发展时间不长，国内大型污染场地调查与修复项目开展较少，技术成熟度与集成度不高，业内缺乏具有专业业务经验的高端技术人员与市场人员，从业人员工程管理经验不足，对大型项目的整体管理与风险把控能力还有待提高。

目前，国内现有高端技术人员多为在国际土壤修复行业内从业多年的技术人员，但中国场地修复市场具有其自身的特点，行业标准体系的缺失，法律法规及政策的缺乏，污染情况与范围、修复体量等的差异，都对从业人员提出了更高的要求，如何将既往国际从业经验与中国国情有效结合，也需要进一步探索。

3.4 商业模式单一

资金匮乏是污染场地修复难以如期开展的最大问题，污染场地的滞留形成恶性循环，导致周边地区土地无法正常规划和使用，进而拖慢城市建设和发展，影响城市经济状况，反过来则更加难以启动污染场地修复。因此，引入新的商业模式、拓展投融资渠道是场地修复的必经之路。

4 建议

4.1 法律法规与政策标准完善建议

(1) 亟需制定土壤及地下水污染防治相关法律法规,在污染场地责权利划分,及防护、治理工作上做到有法可依。

(2) 完善污染场地管理所需标准体系,使得污染场地管理工作有据可循。

(3) 出台鼓励污染场地再开发相应政策,鼓励污染场地市场的活跃与规范竞争。

(4) 建立污染场地调查、修复、再开发全过程风险管控体系,汲取国外先进的管理、监督和评估经验,推动国内土壤及地下水污染修复行业标准、技术指南、管理规范的建设,促进我国污染土壤修复技术与风险控制管理水平的不断提高,推动污染场地调查与修复领域的规范化发展。

(5) 建设污染场地共性修复技术、设备、材料的生产、使用相关标准,推进其应用标准化。

4.2 污染场地修复技术重点和优先发展方向

针对我国污染场地调查与修复领域急需解决的关键和共性技术问题进行重点研究和产业化应用。重点和优先技术发展方向主要有:

(1) 工业污染场地调查与风险评估与管理技术方法研究

针对污染工业污染场地采样与监测的设备材料、水文地质勘探设备与材料,形成标准化工业污染场地污染调查的技术方法。针对城市工业污染场地,结合土地再利用规划和场地特征,建立标准化、流程化的污染场地风险评估技术体系,建立适合国情的污染场地风险评估技术。

针对场地排查、污染工业污染场地调查与风险评价、修复方案可行性研究、修复方案设计、修复工程施工、验收等场地调查与修复全过程,结合风险控制的思路,建立污染场地的风险控制方法,构建污染场地风险管理体系,开展工业污染场地调查与修复全过程风险管理技术体系研究。

(2) 结合风险控制理念的原位修复技术的开发

我国现有政策和导则要求场地修复工作需要结合风险评估进行,但以风险控制理念为基础的修复技术尚未全面尝试和展开,由于土地利用价值和修复成本之间的矛盾,大多污染场地的业主往往只能在“过度修复”或“延缓修复”中做出无奈选择。

综合考虑污染场地的时效性、经济性及可行性,结合风险控制的原位修复技术测试与开发势在必行。

(3) 工业污染场地污染监测技术与设备开发

重点针对工业污染场地,开发污染工业污染场地现场快速检测技术和设备,包括现场高精度土壤重金属污染快速检测技术和设备、土壤气样品采集设备与分析评价方法。开展污染场地水文地质条件与污染空间分布调查技术与设备的集成创新。

(4) 工业污染场地污染修复技术与设备开发

针对污染场地中难降解的有毒有害有机污染物和重金属,结合国内污染场地特性与污染特性,开发工业污染场地修复的技术及相关设备,形成工程化技术与设备及技术评估体系,建立技术规范与操作规程。

针对工业污染场地的特征,从应用标准化、设计体系化和装备系统产业化出发,大力发展固化稳定化、氧化/还原、气相抽提、空气曝气、热脱附等相关技术装备,重点开展关键装备的工程化开发和系统集成,形成可产业化推广的固化稳定化药剂与氧化还原药剂投加与过程控制设备、异位/原位热脱附设备、原位抽提、空气曝气过程监控设备等。

结合场地污染特性,重点集成应用可移动式异位热脱附成套设备和原位热脱附技术设备,重点开发异位热脱附工艺中土壤预处理技术、废水处理技术、尾气处理技术与过程节能降耗优化运行技术等,以及原位加热技术优化、原位加热污染物的优化技术。

(5) 工业污染场地污染修复药剂与材料开发

针对国内不断增长的修复药剂需求,发展低成本、长效、环境友好型化学、物理、生物修复药剂,开发稳定化/固化与物理吸附、化学修复和生物修复所需的药剂与材料,研究不同场地条件下药剂投加技术方法,建立修复药剂修复效果长期有效性和环境友好性的评估方法,形成较为完善的修复药剂及其应用的技术体系,进行推广及产业化。

结合场地特性重点应用国内自主研发的高效、低成本且环境友好型固化/稳定化药剂,建立处理效果评估标准。针对电镀与制革行业、铬渣处理遗留场地等铬污染场地,开发化学/生物还原-沉淀药剂,重点开发环境友好型化学/生物强化还原修复药剂。针对重金属污染地下水,开发阻隔-抽出-处理与原位化学/生物还原-沉淀处理技术,重点开发环境友好型化学还原药剂、高效生物还原-沉淀制剂及其强化处理技术方法。针对有机污染土壤挥发性气体,开发土壤气收集、采样和快速检测技术与材料。

固废污染控制技术
发展报告

生活垃圾清洁焚烧与资源化技术发展报告

1 行业总体概况

目前，世界各国均采取“可持续垃圾管理模式”处理垃圾（图1），其核心理念为有效利用资源、减少垃圾产生、最大限度回收、从回收后剩下的垃圾中获得尽可能多的能源，最终以对环境负责任的方式安全处置无法利用的废物。



图1 可持续垃圾管理模式

“可持续垃圾管理模式”主要包括：

- 尽可能避免垃圾产生；
- 尽可能进行重复使用；
- 尽可能回收利用（包括对可生物降解的有机物进行生物处理）；
- 尽可能对可燃物进行焚烧与资源化处理；
- 对不能处理的垃圾进行填埋处理。

垃圾焚烧处理与资源化不仅是有效地垃圾处理方式，更是对废物回收利用的有效补充，将剩余废物转化成电能，实现能源回收，是可持续发展的一个助推器。目前，全世界共有生活垃圾焚烧厂近2100座，其中生活垃圾焚烧发电厂约1000座；总焚烧处理能力约

62万吨/日,年生活垃圾焚烧量约为1.67亿吨(2007年到2009年数据)。这些焚烧设施绝大部分分布于发达国家和地区,约35个国家和地区建设并运行生活垃圾焚烧厂。按年处理量分析,其中欧盟19国家年2007年年焚烧处理6490万吨(约占39%),日本2007年焚烧处理3870万吨(占23%),美国2008年焚烧处理2860万吨(占17%),东亚部分地区(中国台湾、韩国、新加坡、泰国、中国澳门、中国大陆等)占20%,其他地区(俄罗斯、乌克兰、加拿大、巴西、摩纳哥等)占1%。

1.1 国外相关法规、政策、标准体系现状分析

由于垃圾资源再生利用率提高,同时也为减少垃圾填埋场污染物的产生,垃圾填埋场的填埋物有机物含量会逐步降低。例如,进入90年代以后,美国相继实施禁止庭院垃圾(Yard Waste)进行填埋处置的条例。

为逐步减少可生物降解有机垃圾的填埋量,欧盟垃圾填埋指南(CD1999/31/EU/1999)提出了几个阶段性目标,第一阶段目标是在2006年将进入填埋场的有机物在1995年的基础上削减25%;第二阶段目标是在2009年将进入填埋场的有机物在1995年的基础上削减50%;第三阶段目标是在2016年将进入填埋场的有机物在1995年的基础上削减65%。而德国、奥地利、瑞士等国提出了更高的要求;瑞士要求在2000年实现进入填埋场的垃圾总有机碳(TOC)控制在5%以下,奥地利提出的相应目标是2004年,德国提出的相应目标是2005年。

进入填埋场的填埋物总有机碳(TOC)要小于5%,就意味着填埋的垃圾基本上就是灰渣,也就意味着剩余垃圾(或其余垃圾,即除去单独收集的剩余垃圾)都要进行焚烧处理才能实现这一目标。

1.1.1 欧盟(德国为代表):重视循环利用、周密高效的垃圾处理体系

欧盟于2008年10月通过了《废弃物框架指令》(WFD),并列出了垃圾处理各个方面所可能采取的方式。

以德国为代表的欧盟垃圾处理体系以其设计的周密性和运作的高效性而领先世界。早在1972年,德国就通过了首部《废物避免产生和废物管理法》,开始对垃圾进行环保有效地处理。自20世纪80年代中期以来,德国将废物处理的管理理念确立为“减量、循环与再利用”。通过这一理念,高效而环保的废物避免产生以及再利用原则被贯彻于生产环节中。

20世纪90年代中期,德国实施了《物质封闭循环与废弃物管理法》。这项法律促进了垃圾的循环利用。实施10年来,德国在垃圾回收利用方面取得了骄人的成绩。到2005年,德国就有60%多的市政垃圾得到再循环处理,生产过程中的垃圾再循环利用率达到了65%。在一些领域,例如包装行业,原材料的再循环利用甚至高达80%,而建筑业则达到了87%。

在德国,由于大多数垃圾被回收利用,垃圾填埋的量是非常少的,其余垃圾直接焚烧后发电。图2为1965-2007年德国生活垃圾焚烧厂发展状况。经统计,德国每年产生垃圾6000多万吨,其中3500万吨被回收利用,1100万吨被焚烧,另外1500万吨填埋。目前,德国已有68个垃圾焚烧厂,每年可焚烧包括工厂、办公室产生的生活垃圾近1800万吨。

但是，德国每年产生的生活垃圾约 1400 万吨，不包括纸张、玻璃、肥料等回收后再循环使用的垃圾。

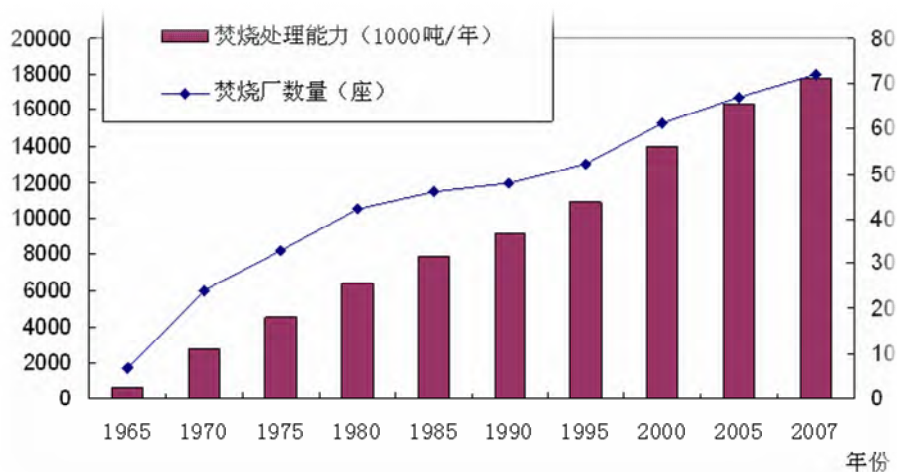


图 2 1965-2007 年德国生活垃圾焚烧厂发展状况

1.1.2 日本：严格分类基础上焚烧为主的垃圾处理方法

日本由于土地面积的狭小，一直以来都坚持以减少最终填埋量为主要处理方式，并且明确提出了“3R”原则，即源头减量（reduce）、回收利用（reuse）和循环再利用（recycle）。现在，日本 80%的生活垃圾被进行焚烧处理，5%左右被回收利用，剩余的 15%被填埋。图 3 所示为 1998-2009 年日本生活垃圾焚烧发电厂数量及装机容量变化趋势。



图 3 1998-2009 年日本生活垃圾焚烧发电厂数量及装机容量变化趋势

据日本国立环境研究院 2006 年发表的《日本废弃物焚烧技术发展报告》，1998 年日本共建有生活垃圾焚烧厂 1676 座，年焚烧处理能力约为 3760 万吨，焚烧处理率占 76.1%，到 2004 年日本的生活垃圾焚烧厂调整为 1374 座，年焚烧处理能力约为 4030 万吨，焚烧处理率占 77.49%，6 年间焚烧厂数量减少了 302 座，降幅为 18%，同期焚烧处理量增长了 270 万吨，增幅为 7.2%。焚烧厂数量减少而焚烧处理量不减反增是日本近年对生活垃圾焚烧厂实施技术改造和结构调整的结果。2006 年，日本生活垃圾年焚烧处理能力虽仍维持在 4031 万吨的水平，但焚烧处理比例已提高到 78.49%。

1.1.3 美国：回收、处理、再利用的生活垃圾商业运转模式

在美国，城市生活垃圾的收集、回收、处理、加工及销售在是一个系统的产业，依靠商业模式来运行。

目前，美国城市生活垃圾的处理方法主要有回收、焚烧和填埋。其中回收占 30%，焚烧占 14%，填埋占 56%。

美国对食物废弃物和庭院废弃物进行堆肥处理。尽管美国对堆肥很重视，但 2001 年产生 2500 万吨食物废弃物，只有 2.8% 得到了回收利用。

焚烧也是美国重要的垃圾处理手段。图 4 所示为 1960-2010 年美国城市生活垃圾焚烧处理量及处理比例变化趋势。根据 2012 年 ISWA (The International Solid Waste Association) 数据，美国共有 87 座“废物能源回收厂”(WtE)，以及 20 个新建及扩建项目，分布在 22 个州，共有焚烧炉 220 台，设计总处理能力 9.4 万吨/日。

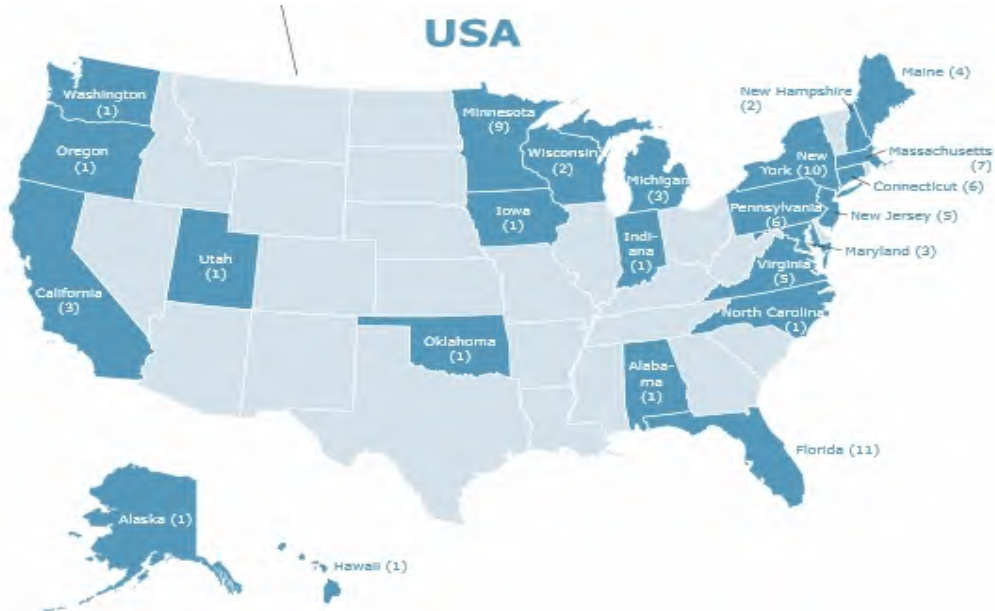


图 4 2012 年美国城市生活垃圾焚烧设施数量及分布

填埋处理在美国依然是处理量最大的方法。但总的呈下降趋势，填埋废弃物的总量从 1990 年的 1.27 亿吨降低至 2008 年的 1.12 亿吨，同时填埋场的数量由 6326 个减少至 1812 个。

1.2 国内相关法规、政策、标准体系现状分析

为支持垃圾焚烧发电产业的发展，国家有关部门出台了一系列文件鼓励各城市进行垃圾发电，让垃圾变废为宝成为清洁能源供应社会使用。2010年4月，《中华人民共和国可再生能源法（修正案）》（（中华人民共和国主席令第二十三号））开始实施，为垃圾焚烧发电项目的电力并网和收购提供了保障，也使得垃圾发电成为我国第一类有法律保护其收益来源的项目。

1.2.1 产业化政策

1.2.1.1 《关于实行城市生活垃圾处理收费制度促进垃圾处理产业化的通知》（2002年国家计委、财政部、建设部、环保总局）

核心内容：

（1）实行生活垃圾处理收费制度，是适应社会主义市场经济体制的客观要求，促进垃圾处理体制改革，实行政事、政企分开，逐步实现垃圾处理产业化的重要措施。

（2）任何单位和个人都不得擅自减免垃圾处理费。生活垃圾处理费全部用于支付垃圾收集、运输和处理费用，任何部门和单位不得截留、挪用。

（3）垃圾处理单位应实行政企、政事分开，要引入竞争机制，通过公开招投标的方式，择优选择有资质的企业承担城市生活垃圾处理工作。

1.2.1.2 《关于推进城市污水、垃圾处理产业化发展的意见》（2002年国家计委、建设部、国家环保总局）

核心内容：

（1）投资城市污水、垃圾处理设施，项目资本金应不低于总投资的20%，经营期限不超过30年。

（2）城市污水、垃圾处理生产用电按优惠用电价格执行；

对新建城市污水、垃圾处理设施可采取行政划拨方式提供项目建设用地。投资、运营企业在合同期限内拥有划拨土地规定用途的使用权。

（3）国家支持城市污水、垃圾处理工程的项目法人利用外资包括申请国外优惠贷款，并对产业化项目给予适当补助。今后，凡是未按产业化要求进行建设和经营的污水、垃圾处理设施，国家不再予以政策、资金上的扶持。

1.2.1.3 《关于公布〈当前国家鼓励发展的环保产业设备（产品）目录〉（第一批）的通知》（国经贸资委[2000]159号）

核心内容：

（1）阐明确定当前国家鼓励发展的环保产业设备（产品）的原则。

（2）根据中央关于采取积极财政政策，促进经济快速、健康发展的精神，对环保设备（产品）给予鼓励和积极扶持的政策。

1）企业技术改造项目凡使用目录中的国产设备，享受投资抵免企业所得税的优惠政策。

2）对企业使用目录中的国产设备实行折旧政策。

3）对专门生产目录内设备（产品）的企业（分厂、车间），其年度净收入在30万元

(含 30 万元)以下的,暂免征收企业所得税,超过 30 万元的部分,依法缴纳企业所得税。

4) 国家经贸委将在技术创新和技术改造项目中,重点鼓励开发、研制、生产和使用列入目录的设备(产品);对符合条件的国家重点项目,将给予贴息支持或适当补助。

1.2.1.4 《关于进一步加强城市生活垃圾处理工作意见的通知》(国发[2011]9号)

核心内容:

(1) 因地制宜地选择先进适用的生活垃圾处理技术。

(2) 到 2015 年,全国城市生活垃圾无害化处理率达到 80%以上,直辖市、省会城市和计划单列市生活垃圾全部实现无害化处理。城市生活垃圾资源化利用比例达到 30%,直辖市、省会城市和计划单列市达到 50%。到 2030 年,全国城市生活垃圾基本实现无害化处理,全面实行生活垃圾分类收集、处置。城市生活垃圾处理设施和服务向小城镇和乡村延伸,城乡生活垃圾处理接近发达国家平均水平。

(3) 加强资源利用。全面推广废旧商品回收利用、焚烧发电、生物处理等生活垃圾资源化利用方式。提高生活垃圾焚烧发电和填埋气体发电的能源利用效率。

(4) 选择适用技术。建立生活垃圾处理技术评估制度,新的生活垃圾处理技术经评估后方可推广使用。城市人民政府要按照生活垃圾处理技术指南,因地制宜地选择先进适用、符合节约集约用地要求的无害化生活垃圾处理技术。土地资源紧缺、人口密度高的城市要优先采用焚烧处理技术,生活垃圾管理水平较高的城市可采用生物处理技术,土地资源和污染控制条件较好的城市可采用填埋处理技术。鼓励有条件的城市集成多种处理技术,统筹解决生活垃圾处理问题。

(5) 加快设施建设。城市人民政府要把生活垃圾处理设施作为基础设施建设的重点,切实加大组织协调力度,确保有关设施建设顺利进行。要简化程序,加快生活垃圾处理设施立项、建设用地、环境影响评价、可行性研究、初步设计等环节的审批速度。

(6) 提高运行水平。焚烧设施运营单位要足额使用石灰、活性炭等辅助材料,去除烟气中的酸性物质、重金属离子、二噁英等污染物,保证达标排放。新建生活垃圾焚烧设施,应安装排放自动监测系统和超标报警装置。

(7) 严格准入制度。加强市场准入管理,严格设定城市生活垃圾处理企业资金、技术、人员、业绩等准入条件,建立和完善市场退出机制,进一步规范城市生活垃圾处理特许经营权招标投标管理。具体办法由住房城乡建设部会同有关部门制定。

(8) 提高创新能力。加大对生活垃圾处理技术研发的支持力度,加快国家级和区域性生活垃圾处理技术研究中心建设,加强生活垃圾处理基础性技术研究,重点突破清洁焚烧、二噁英控制、飞灰无害化处置、填埋气收集利用、渗沥液处理、臭气控制、非正规生活垃圾堆放点治理等关键性技术,鼓励地方采用低碳技术处理生活垃圾。重点支持生活垃圾生物质燃气利用成套技术装备和大型生活垃圾焚烧设备研发,努力实现生活垃圾处理装备自主化。开展城市生活垃圾处理技术应用示范工程和资源化利用产业基地建设,带动市场需求,促进先进适用技术推广应用和装备自主化。

(9) 加大政策支持力度。拓宽投入渠道,严格执行并不断完善税收优惠政策。按照“谁产生、谁付费”的原则,推行生活垃圾处理收费制度。新区建设和旧城区改造要优先配套建设垃圾处理设施。强化对垃圾处理技术和设备研发的支持。

1.2.1.5 《国务院办公厅关于“十二五”全国城镇生活垃圾无害化设施建设规划的通知》(国办发[2012]23号)

核心内容:

(1) 按照“减量化、资源化、无害化”的原则,因地制宜地选择先进适用的技术,有条件的地区应优先采用焚烧等资源化处理技术。

(2) 城乡统筹,区域共享。通过以城带乡、设施共享等形式,逐步将生活垃圾无害化处理设施服务范围扩展至周边地区,鼓励跨行政区域共建共享处理设施。

(3) 到2015年,直辖市、省会城市和计划单列市生活垃圾全部实现无害化处理,设市城市生活垃圾无害化处理率达到90%以上,县县具备垃圾无害化处理能力,县城生活垃圾无害化处理率达到70%以上,全国城镇新增生活垃圾无害化处理设施能力58万吨/日。

(4) 到2015年,全国城镇生活垃圾焚烧处理设施能力达到无害化处理总能力的35%以上,其中东部地区达到48%以上。

(5) “十二五”期间,规划新增生活垃圾无害化处理能力58万吨/日,其中,设市城市新增能力39.8万吨/日,县城新增能力18.2万吨/日。

(6) 健全激励政策,加强生活垃圾处理设施运行的经费保障,在收费不足以补偿运行成本的情况下,地方政府要积极采取措施适当补偿,确保设施的正常运行。

1.2.2 技术政策

1.2.2.1 《城市生活垃圾处理及污染防治技术政策》(建城[2000]120号)

核心内容:

(1) 垃圾焚烧目前宜采用以炉排炉为基础的成熟技术,审慎采用其他炉型的焚烧炉。禁止使用不能达到控制标准的焚烧炉。

(2) 垃圾应在焚烧炉内充分燃烧,烟气在后燃室应在不低于850℃的条件下停留不少于2秒。

1.2.2.2 《生活垃圾处理技术指南》(住建部、国家发改委、环保部联合下发[2010])

核心内容:

(1) 生活垃圾在焚烧炉内应得到充分燃烧,二次燃烧室内的烟气在不低于850℃的条件下滞留时间不小于2秒,焚烧炉渣热灼减率应控制在5%以内。

(2) 生活垃圾焚烧过程应采取有效措施控制烟气中二噁英的排放,具体措施包括:严格控制燃烧室内焚烧烟气的温度、停留时间与气流扰动工况;减少烟气在200℃-500℃温度区的滞留时间;设置活性炭粉等吸附剂喷入装置,去除烟气中的二噁英和重金属。

1.2.3 环境政策

1.2.3.1 《关于进一步加强生物质发电项目环境影响评价管理工作的通知》(环发[2008]82号)

核心内容:

(1) 生物质发电项目主要为农林生物质直接燃烧和气化发电、生活垃圾(含污泥)焚烧发电和垃圾填埋气发电及沼气发电项目。

(2) 明确了生物质发电项目环境影响评价文件审查的技术要点。(详见通知)

1.2.3.2 《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB18485-2001)

核心内容:

规定了生活垃圾焚烧厂选址原则、生活垃圾入厂要求、焚烧炉基本技术性能指标、焚烧厂污染物排放限值等要求。

1.2.3.3 《生活垃圾焚烧污染物控制标准》(GB18485-2014)

核心内容:

新标准与欧盟 2000 标准基本相当。

1.2.3.4 《生活垃圾填埋污染控制标准》(GB16889-2008)

核心内容:

生活垃圾焚烧飞灰和医疗废物焚烧残渣(包括飞灰、底渣)经处理后满足下列条件,可以进入生活垃圾填埋场填埋处置。

- (1) 含水率小于 30%;
- (2) 二恶英含量低于 3 $\mu\text{gTEQ/Kg}$;
- (3) 按照工 HJ/T300 制备的浸出液中危害成分浓度低于表 1 规定的限值。

1.2.4 能源政策

1.2.4.1 《国家计委、科技部关于进一步支持可再生能源发展有关问题的通知》(计基础[1999]44号)

核心内容:

- (1) 垃圾焚烧发电项目资本金应占项目总投资的 35%及以上。
- (2) 垃圾焚烧发电项目可由银行优先安排基本建设贷款并给予 2%的财政贴息;地方项目由地方财政贴息,国家项目由财政部贴息。
- (3) 对垃圾焚烧发电项目,电网管理部门必须允许其电量就近上网,并收购全部上网电量,在项目还贷期内电价实行“还本付息+合理利润”的定价原则,高出电网平均电价部分由电网平摊。
- (4) 利用国产发电设备的垃圾焚烧发电项目在还款期内的投资利润率以不低于“当时相应贷款期贷款利率+5%”为原则。

1.2.4.2 《中华人民共和国可再生能源法》(2005年,人大常委会)

核心内容:

- (1) 对列入国家可再生能源产业发展指导目录、符合信贷条件的可再生能源开发利用项目,金融机构可以提供有财政贴息的优惠贷款。
- (2) 国家对列入可再生能源产业发展指导目录的项目给予税收优惠。具体办法由国务院规定。

1.2.4.3 《国家税务总局关于垃圾处置费征收营业税问题的批复》(2005年)

核心内容:

根据《中华人民共和国营业税暂行条例》的规定,单位和个人提供的垃圾处置劳务不属于营业税应税劳务,对其处置垃圾取得的垃圾处置费,不征收营业税。

1.2.4.4 《可再生能源发电价格和费用分摊管理试行办法》(发改价格[2006]7号)

核心内容:

(1) 垃圾焚烧和垃圾填埋气发电适用于本办法。

(2) 电价标准由各省(自治区、直辖市)2005年脱硫燃煤机组标杆上网电价加补贴电价组成。

补贴电价标准为每千瓦时0.25元。发电项目自投产之日起,15年内享受补贴电价;运行满15年后,取消补贴电价。

自2010年起,每年新批准和核准建设的发电项目的补贴电价比上一年新批准和核准建设项目的补贴电价递减2%。

发电消耗热量中常规能源超过20%的混燃发电项目,视同常规能源发电项目,执行当地燃煤电厂的标杆电价,不享受补贴电价。

1.2.4.5 《可再生能源发电有关管理规定》(发改能源[2006]13号)

核心内容:

(1) 需要国家政策和资金支持的生物质发电、地热能发电、海洋能发电和太阳能发电项目向国家发展和改革委员会申报。

(2) 发电企业应按国家可再生能源发电项目管理的有关规定,认真做好设计、用地、水资源、环保等有关前期准备工作,依法取得行政许可,未经许可不得擅自开工建设。

1.2.4.6 《国家鼓励的资源综合利用认定管理办法》(发改环资[2006]1864)

核心内容:

(1) 根据《国务院办公厅关于保留部分非行政许可审批项目的通知》(国办发[2004]62号)精神,按照精简效能的原则,将保留的资源综合利用企业认定与资源综合利用电厂认定工作合并。根据《行政许可法》有关精神,结合资源综合利用工作的实际,我们对原国家经贸委等部门发布的《资源综合利用认定管理办法》(国经贸资源[1998]716号)和《资源综合利用电厂(机组)认定管理办法》(国经贸资源[2000]660号)进行了修订。在此基础上,特制定《国家鼓励的资源综合利用认定管理办法》,现印发你们,请认真贯彻执行。原国家经贸委等部门发布的《资源综合利用认定管理办法》和《资源综合利用电厂(机组)认定管理办法》同时废止。

(2) 城市生活垃圾(含污泥)发电应当符合以下条件:垃圾焚烧炉建设及其运行符合国家或行业有关标准或规范;使用的垃圾数量及品质需有地(市)级环卫主管部门出具的证明材料;每月垃圾的实际使用量不低于设计额定值的90%;垃圾焚烧发电采用流化床锅炉掺烧原煤的,垃圾使用量应不低于入炉燃料的80%(重量比),必须配备垃圾与原煤自动给料显示、记录装置。

(3) 属于以下情况之一的,由省级资源综合利用主管部门提出初审意见,报国家发展改革委审核。

(一) 单机容量在25MW以上的资源综合利用发电机组工艺;

(二) 煤矸石(煤泥、石煤、油母页岩)综合利用发电工艺;

(三) 垃圾(含污泥)发电工艺。

以上情况的审核,每年受理一次,受理时间为每年7月底前,审核工作在受理截止之日起60日内完成。

1.2.4.7 《中华人民共和国循环经济促进法》(2008年人大常委会)

核心内容:

(1) 对国家产业政策的节能、节水、节地、节材、资源综合利用等项目,金融机构应当给予优先贷款等信贷支持,并积极提供配套金融服务。

(2) 对利用余热、余压、煤层气以及煤矸石、煤泥、垃圾等低热值燃料的并网发电项目,价格主管部门按照有利于资源综合利用的原则确定其上网电价。

1.2.4.8 《关于资源综合利用及其他产品增值税政策的通知》(2008年财政部税务总局)

核心内容:

(1) 对销售下列自产货物实行增值税即征即退的政策:二)以垃圾为燃料生产的电力或者热力。垃圾用量占发电燃料的比重不低于80%,并且生产排放达到GB13223—2003第1时段标准或者GB18485—2001的有关规定。

(2) 申请享受本通知第一条、第三条、第四条第一项至第四项、第五条规定的资源综合利用产品增值税优惠政策的纳税人,应当按照《国家发展改革委 财政部 国家税务总局关于印发〈国家鼓励的资源综合利用认定管理办法〉的通知》(发改环资[2006]1864号)的有关规定,申请并取得《资源综合利用认定证书》,否则不得申请享受增值税优惠政策。

1.2.4.9 《关于完善垃圾焚烧发电价格政策的通知》(发改价格[2012]801号)

核心内容:

(1) 进一步规范垃圾焚烧发电价格政策

以生活垃圾为原料的垃圾焚烧发电项目,均先按其入厂垃圾处理量折算成上网电量进行结算,每吨生活垃圾折算上网电量暂定为280千瓦时,并执行全国统一垃圾发电标杆电价每千瓦时0.65元(含税,下同);其余上网电量执行当地同类燃煤发电机组上网电价。

(2) 完善垃圾焚烧发电费用分摊制度

垃圾焚烧发电上网电价高出当地脱硫燃煤机组标杆上网电价的部分实行两级分摊。其中,当地省级电网负担每千瓦时0.1元,电网企业由此增加的购电成本通过销售电价予以疏导;其余部分纳入全国征收的可再生能源电价附加解决。

(3) 切实加强垃圾焚烧发电价格监管

省级价格主管部门依据垃圾发电项目核准文件、垃圾处理合同,以及当地有关部门支付垃圾处理费的银行转账单等,定期对垃圾处理量进行核实。电网企业依据省级价格主管部门核定的垃圾发电上网电量和常规能源发电上网电量支付电费。

当以垃圾处理量折算的上网电量低于实际上网电量的50%时,视为常规发电项目,不得享受垃圾发电价格补贴;当折算上网电量高于实际上网电量的50%且低于实际上网电量时,以折算的上网电量作为垃圾发电上网电量;当折算上网电量高于实际上网电量时,以实际上网电量作为垃圾发电上网电量。

1.2.5 标准体系

我国生活垃圾焚烧处理与资源化标准分为国家标准和住房和城乡建设部归口的行业标准,随着生活垃圾焚烧处理与资源化形势的变化,我国围绕资源能源节约与综合利用、工程质量安全等,突出体现以人为本、保障公共利益、服务人民群众,以及可持续发展、产业结构调整、国家“十二五”规划等要求,促进生活垃圾焚烧处理与资源化行业发展和技术水平提高,以完善生活垃圾焚烧处理与资源化标准体系为目标,鼓励标准制订、修订。截至2015年12月我国已经颁布20多个生活垃圾焚烧处理与资源化有关的国家标准和行

业标准。

1.3 国内生活垃圾污染管理现状

在当今中国，大量的生活垃圾已成为环境保护中一个长期存在的污染源。对生活垃圾的处理不当，可能会造成严重的大气污染、水污染和土壤污染，并将占用大量的土地。鉴于此，国家积极探索适合中国国情的垃圾处理方式，同时出台了一系列政策法规，保证生活垃圾的处理达到“减量化、资源化、无害化”。

目前，国内生活垃圾主要通过填埋、堆肥、焚烧三种方式进行，主要污染物为渗滤液、焚烧烟气污染物、焚烧灰渣。渗滤液通过三种方式处理：与城市污水厂合并处理、填埋场内回灌处理、独立处理系统（按照 GB16889-2008，只能采用单独处理）。焚烧污染物按照《生活垃圾焚烧污染控制标准》（GB18485-2014）及修改后的《城市生活垃圾焚烧污染控制标准（GB 18485-2013）》达标后排放。焚烧灰渣按照《生活垃圾填埋污染控制标准》（GB16889-2008）达标后，炉渣综合利用、飞灰固化填埋（国内相关企业正在积极研发焚烧飞灰资源化清洁利用技术）。

2 主要技术发展情况

生活垃圾焚烧技术种类繁多，根据欧盟委员会（European Commission）于 2006 年 8 月份公布的《垃圾焚烧最佳可行技术指南》（Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration），目前用于固体废弃物焚烧处理的技术大体上可分为 4 大类（如表 1 所示），即机械炉排、回转窑、流化床及热解气化炉。其中机械炉排中的往复式炉排最适合生活垃圾的焚烧处理；回转窑和流化床技术并不适合生活垃圾处理，但回转窑适合危险废弃物和医疗垃圾的焚烧处理，循环流化床适合市政污泥的焚烧处理；热解气化炉商业化应用较少。

表 1 欧盟推荐使用固体废弃物焚烧技术

焚烧技术	Technique (原文名称)	原生生活垃圾	预处理生活垃圾 /RDF	危险废弃物	市政污泥	医疗垃圾
往复式炉排	Grate-reciprocating	广泛应用	广泛应用	通常不用	通常不用	有应用
移动式炉排	Grate-travelling	有应用	有应用	极少应用	通常不用	有应用
摆动式炉排	Grate-rocking	有应用	有应用	极少应用	通常不用	有应用
滚动式炉排	Grate-roller	有应用	广泛应用	极少应用	通常不用	有应用
水冷式炉排	Grate-water cooled	有应用	有应用	极少应用	通常不用	有应用
炉排+回转窑	Grate plus rotary kiln	有应用	通常不用	极少应用	通常不用	有应用
回转窑	Rotary kiln	通常不用	有应用	广泛应用	有应用	广泛应用
水冷式回转窑	Rotary kiln- water cooled	通常不用	有应用	有应用	有应用	有应用
静态壁炉	Static hearth	通常不用	通常不用	有应用	通常不用	广泛应用
静态熔炉	Static furnace	通常不用	通常不用	广泛应用	通常不用	有应用
鼓泡流化床	Fluid bed-bubbling	极少应用	有应用	通常不用	有应用	通常不用
循环流化床	Fluid bed-circulating	极少应用	有应用	通常不用	广泛应用	通常不用

焚烧技术	Technique (原文名称)	原生生活 垃圾	预处理生活垃圾 /RDF	危险废弃物	市政污泥	医疗垃圾
回转流化床	Fluid bed-rotating	有应用	有应用	通常不用	有应用	有应用
热解炉	Pyrolysis	极少应用	极少应用	极少应用	极少应用	极少应用
气化炉	Gasification	极少应用	极少应用	极少应用	极少应用	极少应用

2.1 主要技术发展情况

1985 年, 深圳市市政环卫综合处理厂从日本进口了两台“三菱--马丁”式垃圾焚烧炉, 自此拉开我国垃圾焚烧发电的序幕。随着一大批环保产业化和环保高新技术产业化项目的相继启动, 中国垃圾发电行业在一片质疑声中艰难发展和进步, 形成了以炉排炉技术为主 (图 5), 循环流化床技术、回转窑技术、热解气化技术等多种热处理技术共存的格局 (表 1)。

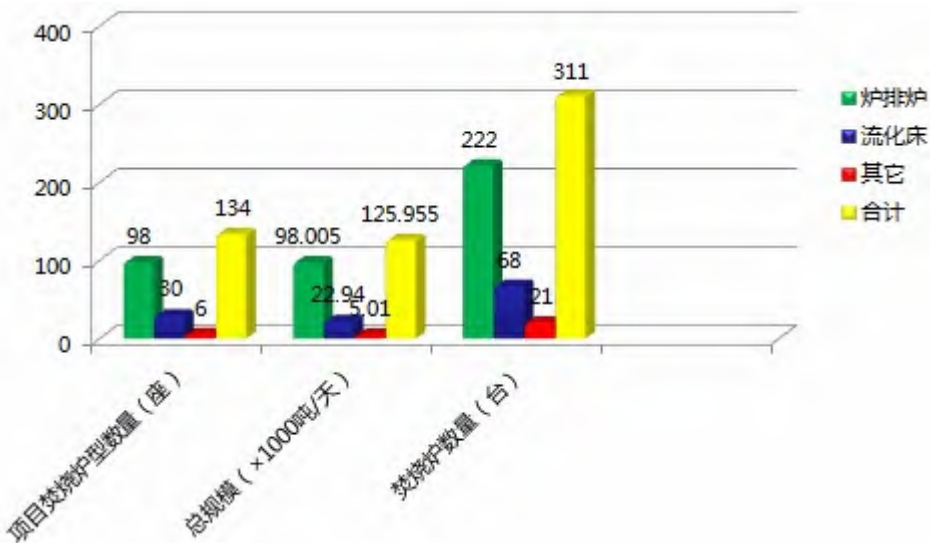


图 5 中国垃圾焚烧发电技术发展趋势

2.1.1 机械炉排焚烧技术

机械炉排炉采用层状燃烧技术, 具有对垃圾的预处理要求不高, 对垃圾热值适应范围广, 运行及维护简便等优点。是目前世界最常用、处理量最大的城市生活垃圾焚烧炉。在欧美等先进国家得到广泛使用, 其单台最大规模可达 1200t/d, 技术成熟可靠。垃圾在炉排上通常经过三个区段: 预热干燥段、燃烧段和燃尽段。垃圾在炉排上着火, 热量来自上方的辐射和烟气的对流, 以及垃圾层的内部。炉排上已着火的垃圾通过炉排的翻转作用, 使垃圾层强烈的翻动和搅动, 引起垃圾底部的燃烧。连续的翻动和搅动, 也使垃圾层松动, 透气性加强, 有利于垃圾的燃烧和燃尽。

机械炉排炉技术主要包括:

- 德国马丁 SITY2000 逆推往复式炉排炉

- 日本日立造船炉排炉
- 新加坡吉宝西格斯炉排炉
- 日本三菱马丁炉排炉
- 丹麦伟伦 (Volund) 炉排炉
- 瑞士冯罗 (Von Roll) 炉排炉
- 日本田熊炉排炉
- 意大利英波基洛集团的 Steinmueller 炉排炉和 Noell 炉排炉
- 日本 JFE 炉排炉
- 日本荏原炉排炉

2.1.2 循环流化床焚烧技术

流化床技术系 70 年前开发，在 20 世纪 60 年代用于焚烧工业污泥，70 年代开始焚烧生活垃圾，80 年代在日本得到一定的应用，市场占有率达 10% 以上，但到 90 年代后期，由于烟气排放标准的提高和自身存在的不足，焚烧生活垃圾的应用范围受限。近年来国内循环流化床焚烧炉得到了一定程度的应用，但多用于日处理垃圾 500t 以下规模的垃圾处理项目。

循环流化床焚烧炉的焚烧机理与燃煤循环流化床相似，利用床料的大热容量来保证垃圾的着火燃尽，床料一般加热至 600℃ 左右，再投入垃圾，保持床层温度在 850℃。但对垃圾有破碎预处理要求，容易发生故障。另外，国内大部分流化床均需加煤才能焚烧，其技术存在一定的争议。

循环流化床技术主要有：

- 中科院工程热物理研究所涡流流化床
- 中科院力学研究所内旋流流化床
- 日本荏原公司内循环流化床
- 浙江大学异重流化床
- 清华大学循环流化床 (CFBI)

2.1.3 回转窑技术

回转窑焚烧炉的燃烧机理与水泥工业的回转窑相类似，主要由一倾斜的钢制圆筒组成，筒体内壁采用耐火材料砌筑，也可采用管式水冷壁，用以保护滚筒。垃圾由入口进入筒体，并随筒体的旋转边翻转边向前运动，垃圾的干燥、着火、燃烧、燃尽过程均在筒体内完成。并可根据筒体转速的改变调节垃圾在窑内的停留时间。回转窑常用于处理成分复杂、有毒有害的危险废弃物和医疗垃圾，在生活垃圾焚烧中应用较少。

最近几年，由于国内水泥行业产能过剩，以海螺水泥、华新水泥、中材集团、拉法基水泥为代表的水泥生产商将目光投向了垃圾焚烧处理行业。其利用水泥窑协同处置生活垃圾技术归根结底与回转窑技术类似，并不适合生活垃圾的处理。

2.1.4 热解气化技术

热解气化技术是指在缺氧或非氧化气氛中以一定的温度 (500℃~600℃) 分解有机物，

有机物在热裂解过程中，产生热分解气体（可燃混合气体）；再将热分解气体引入燃烧室内燃烧，从而分解有机污染物，余热用于发电、供热。

典型的热解气化工艺：生活垃圾经过简单预处理后，通过上料机连续送至旋转床，通过布料装置将物料均匀的布置在炉底。在高温绝氧条件下，炉内生活垃圾中的有机质通过裂解产生高温裂解气，裂解气通过输气管进入冷却塔。冷却后的不凝气经过除焦油、脱硫（Fe₂O₃ 脱硫剂）、除尘净化处理后得到可燃气，送入气体储罐；冷却后的油水到分离塔进行分离，产生的可燃油送至油罐储存。

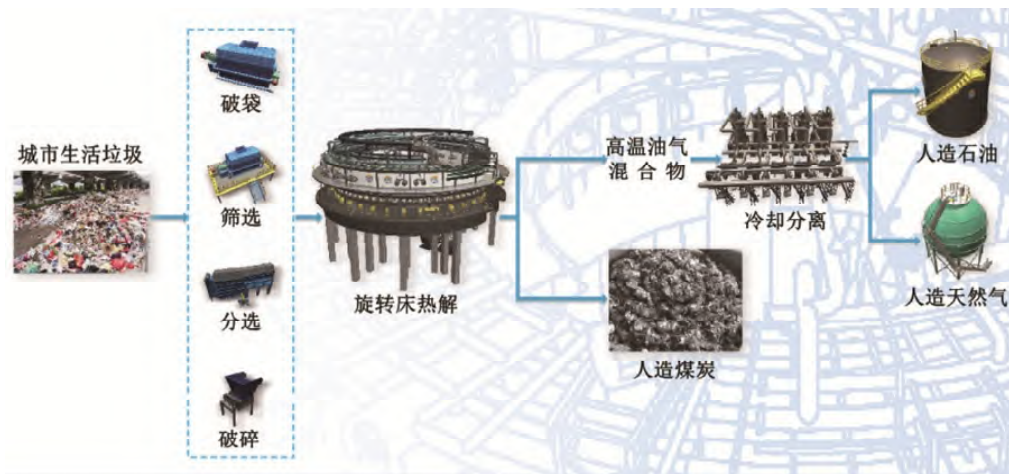


图 6 垃圾热解技术工艺流程示意图

在旋转床热解炉内，炉顶、炉墙固定不动，物料随炉底旋转，蓄热式辐射管燃烧器加热物料发生热解，生成固体炭，从出料口密封排出。采用喷雾冷却，通过水雾对高温固体炭进行冷却。



图 7 旋转床热解炉



图 8 旋转床热解炉炉内辐射管燃烧

表 2 垃圾焚烧处理技术对比

项目	机械炉排炉	循环流化床	回转窑	热解气化炉
炉床及炉体特点	机械运动炉排，炉排面积较大，炉膛体积较大	固体式炉排，炉排面积和炉膛体积较小	无炉排，靠炉体的转动带动垃圾移动	多为立式固定炉排，分两个燃烧室
垃圾是否需要预处理	不需要	需要	不需要	热值较低的时候需要

项目	机械炉排炉	循环流化床	回转窑	热解气化炉
对垃圾水分的适应性	可通过调整干燥段适应不同湿度垃圾	炉温易随垃圾含水量的变化而波动	可通过调节滚筒转速来适应垃圾的湿度	可通过调节垃圾在炉内的停留时间来适应垃圾的湿度
对垃圾不均匀性的适应性	可通过炉排拨动垃圾反转,使其均匀化	较重垃圾迅速达到底部,不易燃烧完全	空气供应不易分段调节,因此大块垃圾不易燃尽	垃圾需经破袋筛分、干燥处理
单炉最大处理量	1200t/d	500t/d	500t/d	200t/d
燃烧介质	不用载体	需石英砂	不用载体	不用载体
垃圾炉内停留时间	较长	较短	长	最长
燃烧工况控制	较易	不易	不易	中等
灰渣热灼减率	易达标	原生垃圾在连续助燃下可达标	原生垃圾不易达标	原生垃圾不易达标
烟气中含尘量	较低	高	高	较低
烟气处理	较易	较难	较易	较易
设备占地	大	小	中	中
设备投资	最高	较高	较高	高
运行费用	较高	高	较高	较高
维修工作量	较少	较多	较少	较少
运行周期	长达8个月	最多2个月	2-4个月	2-4个月
运行业绩	适合生活垃圾焚烧处理,全球范围应用广泛	生活垃圾焚烧处理应用较少,适合市政污泥处理	生活垃圾焚烧处理应用较少,适合危险废弃物及医疗垃圾处理	实际业绩极少
综合评价	对垃圾的适应性强,故障少,处理性能和环保性能好,但成本较高	垃圾需预处理且故障率较高,国内一般加煤才能焚烧,环保不易达标	要求垃圾热值较高(2500 kcal/kg以上),且运行成本较高	垃圾需预处理,否则灰渣不易燃尽,热灼减率高

2.2 我国自有知识产权技术的竞争力评价

垃圾焚烧技术在西方发达国家已有很长的发展历史,我国生活垃圾焚烧处理与资源化技术于上个世纪80年代开始从国外引进,在当时的客观历史条件下主要还是技术引进,在技术引进、消化吸收的基础上不断创新,逐步形成我国自有知识产权技术,为我国生活垃圾焚烧处理与资源化提供了技术支持。

国家级和区域性生活垃圾处理技术研究中心建设不足,生活垃圾处理基础性技术研究薄弱,清洁焚烧、二噁英控制、飞灰无害化处置、填埋气收集利用、渗沥液处理、臭气控制、非正规生活垃圾堆放点治理等关键性技术尚未突破。生活垃圾生物质燃气利用成套技术装备和大型生活垃圾焚烧设备研发滞后,生活垃圾处理装备自主化不足。

我国垃圾焚烧自有知识产权技术领域专利存在核心专利较少、专利转化率较低等问题,有核心竞争力的发明专利数量则更少,能够形成一定市场占有率的则属凤毛麟角,相比之下,我国的垃圾焚烧设备的设计、生产和应用的水平和规模与发达国家的差距还

较大。

3 存在问题

3.1 技术开发、应用和发展中存在问题

(1) 低水平的价格竞争问题突出，市场秩序混乱，技术和经济政策引导力还需要进一步加强。生活垃圾焚烧处理与资源化行业投入高、技术密集、需要经营者有较强社会责任感，而我国目前并没有行业准入门槛。加之我国还处于无序的市场竞争阶段，已出现恶性竞争苗头。部分垃圾焚烧处理与资源化投资经营企业在竞标时只要求政府给予很低的垃圾处理服务费。显而易见，很低的垃圾处理服务费价格标准下企业不可能赢利。要想保证利润，只能在耗资最大、弹性尺度也最大的环保指标上做手脚。长此以往，正规投资经营者的发展空间就会受到局限。

(2) 生活垃圾焚烧处理与资源化技术评估体系不够完善、操作性较差，评估标准不够健全、较缺乏权威性，造成市场上各种技术良莠不齐、鱼龙混杂。一些尚不具备推广条件的不成熟的技术以及一些没有价值的成果，通过不规范的市场行为，反而得以滥竽充数，混迹在生活垃圾焚烧处理与资源化的市场中，难以有效保证优胜劣汰。

(3) 基础性研究重视不够，技术研发投入较不足，技术研发的系统性、连续性、层次性和前瞻性较差。

3.2 改进思路

(1) 制定垃圾焚烧发电的政策法规以及合理的规划，严格准入制度，建立评价制度，加大监管力度。

(2) 进一步完善生活垃圾焚烧处理与资源化技术标准体系，保证标准的科学性与合理性，进一步充分发挥标准引领技术发展的促进作用。

(3) 加大对生活垃圾处理技术研发的支持力度，加快国家级和区域性生活垃圾处理技术研究中心建设，加强生活垃圾处理基础性技术研究，重点突破清洁焚烧、二噁英控制、飞灰无害化处置、填埋气收集利用、渗沥液处理、臭气控制、非正规生活垃圾堆放点治理等关键性技术，鼓励地方采用低碳技术处理生活垃圾。重点支持生活垃圾生物质燃气利用成套技术装备和大型生活垃圾焚烧设备研发，努力实现生活垃圾处理装备自主化。开展城市生活垃圾处理技术应用示范工程和资源化利用产业基地建设，带动市场需求，促进先进适用技术推广应用和装备自主化。

4 对策建议

4.1 重点优先发展的领域、技术

(1) 我国拥有自主知识产权的炉排炉垃圾焚烧发电技术是近 20 年才逐步发展起来的新技术，中国垃圾焚烧发电事业要推广和发展壮大，就必须要走垃圾焚烧发电技术的中国

之路，需要针对我国垃圾成分复杂、热值低、水份高和灰份多的特点自主创新研发拥有我国自主知识产权的核心技术——特别适合于处理中国生活垃圾的核心技术，这样在垃圾焚烧发电技术的核心设备领域才能制造出真正意义上属于我们自己的垃圾焚烧炉排炉。只有我们自己掌握了垃圾焚烧领域顶尖的核心技术，我们国家的垃圾焚烧发电事业才能有飞跃的发展，才能使我们大家的生活环境变得更加美好。

(2) 随着我国城市生活垃圾不断增长，垃圾围城态势日益凸显，并且对环境安全构成了严重威胁，急需发展新一代的环保节能的先进技术。等离子体技术发展已逾百年。由于等离子体具有很高的温度，且富含化学反应活性粒子，拥有超凡的处理能力，近二十年，等离子体生活垃圾处理技术迅速发展，技术水平大幅提升，处理成本也能控制在合理范围内，其研发及产业化应用得到了人们的深切关注。等离子体生活垃圾处理技术二次污染极小，是最有希望成为替代焚烧的环保技术之一。目前全球从事该技术研发应用的研究院所和公司有二十余家，多处于商业化的门槛阶段。应该不断发展拥有我国自主知识产权的等离子体技术，然后取得具备规模化应用的工程经验，从而实现技术水平处于世界前列。

4.2 尚需配套的标准、法规、政策的建议

(1) 不断开展应用技术政策的研究，完善技术审查制度，建立技术评估体系，设立专项垃圾处理与资源化新技术设备应用基金；制定对相关技术是否准入的限制政策，并不断制定相关技术的经济鼓励政策。一方面大力支持垃圾处理与资源化新技术设备的开发和应用，同时避免盲目使用和重复使用不成熟的垃圾处理与资源化“新技术”和“新设备”带来的损失。

(2) 不断加强国家环境保护垃圾焚烧处理与资源化工程技术中心服务于政府、企业、技术市场和研发，积极发挥技术中心的技术引领作用，参与国家和行业标准的制订和修订，参与行业应用技术的培训、咨询和服务的技术评估，真正做到为垃圾焚烧处理与资源化行业的健康有序发展起到的积极作用。

乡镇生活垃圾处理处置技术发展报告

1 所属行业或领域总体概况

1.1 2014-2015 年国内外相关法规、政策、标准体系现状

2015 年是国家“十二五”规划的收官之年，纵观国家政策走向，快速城镇化所带来的公用事业设施缺失，成为垃圾处理行业的重要驱动力。新型城镇化建设以及新农村建设是未来我国的战略规划，在此背景下，近两年，除了大城市外，中小城镇、新农村环境治理也逐渐成为环境产业的新兴服务领域，垃圾处理设施已逐步向中小城镇进一步覆盖。

作为环保行业的“政策元年”，进入 2015 年以来，环保行业相关环保的政策相继出台、实施，其中也包括生活垃圾行业的相关政策、法规和标准体系的逐步完善。无论是年初中央一号文件的浓墨重彩，还是生活垃圾填埋规范，以及生活垃圾验收办法，都极大推动了垃圾处理行业的有序稳定发展。

1.1.1 国外相关法规、政策、标准体系现状

许多发达国家已经把垃圾资源化作为垃圾治理的最终目标，并把该目标提高到了社会可持续发展的战略高度，在推进生活垃圾资源化进程中，都制定了符合本国国情的相关法规。除了制定相关法规外，发达国家还对废弃物的资源化利用给予了政策上的支持，依据“谁污染谁负责”的原则借助经济手段以保证相关措施的实施。

以德国为代表的发达国家，生活垃圾的处理是建立在垃圾分类收集的基础上，并形成一个个行之有效地生活垃圾一体化管理和资源化技术体系。特别是欧盟、德国在新通过的相关立法中，明确“废物避免（减少）与废物管理”优先顺序 5 步架构。2012 年，德国议会通过了新的《循环经济废物管理法》（Kreislaufwirtschaftsgesetz-KrWG）：必须遵循的优先顺序 5 步架构：第一步：减少废物的产生（Reduce）；第二步：再利用（Reuse），对产生的废物进行预处理[检测（查），清洁和修复]，使之能再利用；第三步：资源化（Recycling），对不能再利用的废物进行资源化处理，以作为再生料重新进入生产领域；第四步：其他利用措施，例如能源利用。第五步：处置，对残渣进行对环境和人体健康不产生危害的最终处置。该废物管理优先顺序 5 步架构完整体现了国际上通行的循环经济基本原则“3R”（Reduce 减量、Reuse 再利用、Recycling 资源化）和德国《循环经济与废物管理法》的“纲领”。

德国根据其现实国情规定，从 2005 年 6 月 1 日起，进入填埋处置的生活垃圾，其总有机碳（TOC）含量要小于 5%。依据法定的废物管理优先顺序原则，进入填埋场处理的生活垃圾只能是经分类收集后的剩余垃圾。该剩余垃圾在经过焚烧发电厂或 MBT（机械

分选—生物处理技术)处理达到总有机碳(TOC)含量要小于5%要求后,方可进行填埋处置,在此规定下,德国进入填埋场最终无害化处理的居民生活垃圾份额仅占9%。

美国确定的固体废弃物治理战略方针是,保持环境的可持续发展,实施源头控制政策,从生产阶段抑制废物的产生,减少使用成为污染源的物质,节约资源,减少浪费,最大限度地实施废物资源回收,通过堆肥、焚烧热能回收利用实现废物资源、能源的再生利用,最后进行卫生填埋,填埋过程中也充分考虑资源、能源的再生利用,将环境污染减少到最低限度。《资源保护与回收利用法》成为美国城市生活垃圾减量化管理的基本法。州政府具有管理和实施《资源保护与回收利用法》的条件后,可向联邦政府正式申请行使《资源保护与回收利用法》的权力。到目前为止,美国已有46个州获得了这项权力,并制定了自己的有关城市生活垃圾的法律和法规,明确了资源再循环目标,所定再循环目标一般在15%~30%。联邦政府主要从产品的生命周期始端制定消减城市生活垃圾法律法规,以政策引导居民和企业对城市生活垃圾实行减量,各州政府主要负责实施城市生活垃圾的减量化工作。

日本已经形成了一个比较全面地法律体系。以《循环型社会形成推进基本法》以《环境基本法》为基础,确立了废弃物处理和资源再利用的基本政策。《废弃物处理法》和《资源有效利用促进法》分别从废弃物处理和资源再利用的不同侧重来推动循环型社会的形成。在资源再利用方面,还具体制定了《容器包装再利用法》、《家电再利用法》等法律来强化商品生产者和经营者的责任和义务。

韩国在立法中规定企业必须预交企业在生产中,有可能出现的废物垃圾的管理费用。这部分费用作为押金性质在企业一个时期结束后,根据其垃圾的回收情况的优良给予退回或者没收的政策。

1.1.2 生活垃圾行业国内法规、政策、标准体系现状

(1) 法律规范

《环境保护法》是我国环境保护的基本法,它确立的污染防治的基本原则和制度,是我国生活垃圾污染防治的首要依据和指导。2014年4月24日,十二届全国人大常委会第八次会议表决通过了《环保法修订案》,新法已经于2015年1月1日施行。

2013年6月29日第十二届全国人民代表大会常务委员会第三次会议通过对《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》作出修改,将第四十四条第二款修改为:“禁止擅自关闭、闲置或者拆除生活垃圾处置的设施、场所;确有必要关闭、闲置或者拆除的,必须经所在地的市、县人民政府环境卫生行政主管部门和环境保护行政主管部门核准,并采取措施,防止污染环境。”

(2) 行政法规和部门规章

国务院1992年颁布了《城市市容和环境卫生管理条例》,对单位和个人倾倒垃圾的时间、地点、方式给予了相关规定,并要求城市生活废弃物应当逐步作到分类收集、运输和处理。2007年颁布的《城市生活垃圾管理办法》确立了城市垃圾治理应当实行减量化、资源化、无害化和“谁产生、谁依法负责”的原则,并且规定对于垃圾处理应当逐步实行分类投放、收集和运输。

(3) 2014-2015年国内发布/实施的生活垃圾行业有关标准和政策

1) 《垃圾填埋场用土工排水网》(CJ/T 452-2014)。

2)《生活垃圾堆肥处理技术规范》(CJJ52-2014),替代原《城市生活垃圾好氧静态堆肥处理技术规范》(CJJ/T52-93)。

3)《大中型沼气工程技术规范》(GB/T51063-2014)。

4)《粪便处理厂评价标准》(CJJ/T211-2014)。

5)《生活垃圾堆肥处理厂运行维护技术规程》(CJJ86-2014)。

6)《生活垃圾土工试验技术规程》(CJJ/T204-2013,实施日期:2014年3月1日)。

7)2014年5月国务院办公厅下发的《关于改善农村人居环境的指导意见》;

8)《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB18485-2014)。该国标自修订之初便备受关注,新国标中对颗粒物、重金属等(如汞、HCl、SO₂、NO_x和二噁英类)污染物的排放限值均有不同程度的收紧趋严。

9)《生活垃圾收集运输技术规程》(CJJ/T205-2013),实施日期:2014年6月1日。

10)《农村生活垃圾分类与静态发酵处理》(DB12/T 511-2014),该标准由天津市质量技术监督局发布,实施日期:2014年7月20日。

11)2014年11月18日,住房和城乡建设部组织召开全国农村生活垃圾治理工作电视电话会议,启动农村生活垃圾5年专项治理,使全国90%村庄的生活垃圾得到治理。

12)2015年8月,国家发展改革委发布《国家重点推广的低碳技术目录》(以下简称《目录》),《目录》涉及煤炭、电力、钢铁、有色、石油石化、化工、建筑、轻工、纺织、机械、农业、林业等12个行业,共33项国家重点推广的低碳技术。其中“生活垃圾焚烧发电技术”被列入。

13)生活垃圾焚烧厂运行监管标准(CJJ/T212-2015),实施日期:2015年10月1日。

14)2015年11月,住房城乡建设部等十部门第一次以联合发文的形式出台《全面推进农村垃圾治理的指导意见》;

15)2015年12月,为做好农村生活垃圾治理验收工作,住房城乡建设部、发展改革委、财政部、环境保护部、等10部委联合发布《农村生活垃圾治理验收办法》,从设施设备、治理技术、监管制度等方面建立农村生活垃圾治理的验收标准。

16)其他地方政策条例。自启动农村生活垃圾5年专项治理计划后,上海、广东、海南等省市纷纷出台政策进一步推进农村垃圾治理。如,上海出台了《关于开展本市农村生活垃圾全面治理工作的实施意见》;广东出台了《广东省城乡生活垃圾管理条例》,同时,广东省财政安排专项资金纳入农村生活垃圾处理设施建设,共计36000万元用于补助70个欠发达县(市、区);海南出台“清洁家园”行动,要求到2015年底,农村生活垃圾治理覆盖率达70%以上。2014年7月,贵州省住建厅、发改委、环保厅联合印发《<贵州省乡镇生活垃圾收运处理技术指南(试行)>的通知》,出台《贵州省乡镇生活垃圾收运处理技术指南(试行)》。2015年8月,陕西省住房和城乡建设厅出台了《关于加快全省农村生活垃圾治理工作的通知》。

1.2 2014-2015年国内外对污染控制涉及的重点行业的污染控制管理现状

1.2.1 排放标准接轨国际,环境问题仍然突出

(1) 垃圾填埋污染控制管理

垃圾填埋场带来的二次污染是指垃圾填埋过程中会产生大量的二次污染物，主要是指垃圾渗滤液及填埋气。城市垃圾的二次污染主要是指在垃圾收集、运输、处理处置的过程中，由于管理不善、硬件不足等原因导致再度产生臭气、粉尘、污水以及白色污染等形成对大气、水体和土壤的污染。随着技术水平的提高，垃圾填埋所带来的二次污染得到了逐步的控制。

随着垃圾处理环境保护要求的不断提高，我国垃圾处理污染物排放的标准也日趋严格。2008年修订的《生活垃圾填埋场污染控制标准》，要求渗滤液处理后COD达到100 mg/L方可排放。同时，渗沥液、填埋气体、堆体稳定等方面的监控体系将逐步在新建或改建项目中进行完善和应用，并配备相关的监控仪器精度，采用先进的在线和离线监测手段。此外，一些填埋场通过引进和消化先进运营管理理念和模式后，创新出了一些适合中国国情的监管运行模式，填埋场管理机构趋于精简，效率逐步提高，环保执法更严。但是，部分地区填埋场污染排放超标、臭气扰民等环保问题仍然比较突出，仍然有待解决和完善。广州市2014年国控及生活垃圾处理重点监控企业第三季度污染源监督性监测结果显示，两个垃圾填埋场废水、臭气排放出现超标；2014年5月深圳市垃圾填埋场臭气严重超标，市民投诉，围堵垃圾填埋场大门；2014年9月，江门市环保验收公示市区卫生填埋场地下水监测严重超标。2015年4月，六里屯垃圾填埋场渗滤液排进市政管道，造成了严重环境影响。

(2) 垃圾焚烧污染控制管理

从2016年1月1日起，全国所有新建、已运行的生活垃圾焚烧炉必须执行新的《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB18485-2014)(下称“新标”)的污染物排放限值。较之2001年的旧版本，新标在常规污染物、二噁英类污染物上都有更为严格的标准，采用“过程控制”和“风险控制的理念，增加在垃圾焚烧设施运行过程中的污染控制要求。

据相关测算，随着垃圾焚烧量的增加，污染物排放量也相应增加。以氮氧化物为例，老标准(400 mg/m³)下，2011年，全国烟气氮氧化物排放总量为2404.3万吨，生活垃圾焚烧的氮氧化物排放量在5.5万吨-9.6万吨之间，占比0.23%~0.40%。若执行新标准(日均值250 mg/m³)，则当年生活垃圾焚烧的氮氧化物排放量可比执行现行标准减少1/4，相当于2011年全国氮氧化物减排了0.1%左右，占整个“十二五”氮氧化物减排指标的约1%。

“十二五”期间，我国增加了近100座垃圾焚烧厂。在新标落地前，全国各地针对生活垃圾焚烧处理设施进行的一系列抽样排查、重点监控企业自行检测信息公开等工作。包括：芜湖生态中心开展抽样排查，以企业自动监测公布烟尘、二氧化硫、氮氧化物数据为主。通过对浙江省企业自行监测平台、山东省重点监控企业自行监测信息平台公布的两省34座生活垃圾焚烧厂12月1日-12月22日的指标数据和新标进行对比分析，结果表明，浙江30座在列生活垃圾焚烧厂，其中22座污染物频超新标准，3座无在线监测数据；22座超新标的企业中有19座烟尘超新标，11座二氧化硫超新标，12座氮氧化物超新标。山东省重点监控企业自行监测信息公开平台有4座生活垃圾焚烧厂，从污染物日均值排放情况看，以二氧化硫日均值为例，存在不同程度的超标现象。

1.2.2 重点突出污染防控目标，科学规划选址并强化过程监管

针对填埋场处理技术规范、工程建设、运行管理、监测监管、效果评价、封场实施与场地利用以及相关产品设备等方面，我国出台了一系列标准与规范。这些标准主要围绕填

埋场的污染防控目标,而填埋场污染防控水平是衡量一个填埋场运行效果好坏的重要依据。《生活垃圾填埋场污染控制标准》(GB16889-2008)等一系列标准规范的颁布实施,极大提高了污染防控的要求,但针对一些不适宜进行填埋或者生态脆弱的区域,应进行科学规划选址,并加强防渗水平,此外,目前填埋场过程中臭气控制、渗滤液处理等方面技术水平与低成本运行以及民众期望效果还存在一定的差距,应在填埋场建设、运行、封场后期等全生命周期内围绕污染可控、环保达标的目标,进一步加大科技攻关、落实建设要求、加强运行管理,实现填埋场安全稳定运行与环保达标要求。

为了让公众对焚烧设施更加放心,同时加强监管,《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB18485-2014)还增加了运行工况和烟气排放在线监控的要求,设施烟气净化系统应安装在线监控设备,可随时检测及记录炉温、 O_2 、 CO 等运行工况和烟气中颗粒物、 HCl 、 SO_2 、 NO_x 等污染物的排放数据;并且在厂区外设立公示牌,显示检测数据,即时接受公众的监督。同时,系统与当地环保行政主管部门监控中心联网,接受执法部门的监督和管理。此外,还对企业自我监测和监督性监测的频次提出了要求。

1.2.3 乡镇生活垃圾污染控制管理

(1) 国外对农村生活垃圾污染控制管理现状

自上世纪九十年代开始,美、日、英等国家开始重视有利用价值的物质的循环再利用,垃圾分类和资源回收得到了较大发展,垃圾回收率也得以大幅度提升。欧洲垃圾填埋方针(CD1999/31/EU/1999)中提出在1995年的基础上,2016年进入填埋场的有机物减少65%的目标。法国,私营企业Eco-Emballages公司和政府签约,向获得“绿点”的使用权的充填商、产品制造商提供包装废弃物管理服务,并达到和政府约定的处理水平。废旧电池的回收处理主要是由电池生产企业组成的基金会GRS公司来完成。美国农村生活垃圾的处理一般由小规模的家庭公司来承担,他们开着小吨位的垃圾车深入农村每个角落,同时收取一定费用,收取分类后的垃圾,美国的农民居住的比较分散,但垃圾公司会深入到每个乡村的每个角落。由于禁止庭院垃圾进行填埋处置条例的实施,庭院垃圾生物堆肥处理场发展很快。20世纪90年代,3R(Reduce-Reuse-Recycle)的理念成为日本大部分企业和民众的基本行为准则。在日本,对于垃圾分类的规定更加细致具体,值得称道的是,日本运输垃圾的垃圾车也很讲究,全部是自动封闭式,自动加压式,装车的垃圾可自动压实,这就避免了垃圾在运输途中对环境的再次污染,也更加节省了运输空间和运输成本。

(2) 国内对乡镇生活垃圾污染控制管理现状

目前,生活垃圾处理是乡镇环境综合整治的重点和难点。因农村村民居住分散,绝大部分农村地区没有专门的垃圾收集、运输、填埋及处理系统,因此存在随意倾倒、难以收集处理等诸多问题。同时,由于农村地区缺乏垃圾治理的专业技术及资金投入,使农村生活垃圾处理一直是我国固体废物环境管理中的薄弱环节。而且国内大部分地方农村生活垃圾污染控制管理主要是依靠政府,但也有部分地区的农村生活垃圾治理是主要依靠市场来进行推动的,如上海、山东、四川和北京等地。

治理乡镇生活垃圾耗费精力、财力巨大,效益实现周期长且不显著,相关部门往往忽视垃圾治理投入和管理的重要性。村镇垃圾处置设施匮乏,环境卫生经费不足,仅仅有6%的村庄有垃圾清理资金,普遍村庄都没有其他环境类型的环境投资。在2015年,由上海

环境卫生工程设计院在环博会上举办的“中国农村生活垃圾治理”热点论坛上，专家认为对农村生活垃圾处理现状基本可以概括为“四六六”，即四成农村没有收集垃圾，六成农村垃圾没有得到处理，六成行政村没有处理垃圾。我国农村垃圾处理的公共服务，采取的是分级负责的管理模式。乡村环境卫生体系相对薄弱，农村大都没有分管环保科室，部份乡镇有环保科，而县级环保局基本都设立了。村级执行情况较差，没有明确的管理法规，部分地区仅提到垃圾集中堆放的规定等。地区之间存在各自为政、整体运作不协调现象。另外，国家农村生活垃圾管理仍主要采用末端治理型，前端分类远远没有到位。前端分类收集末端集中处理型往往因为政策、资金不到位或村民环保意识薄弱等原因不能落实。部分地区试行了“户集、村收、乡（镇）运输、县（市）处理”的环卫管理体系。此管理模式适用于城镇，可在处理农村尤其是偏远农村生活垃圾上存在许多弊端。首先，浪费了农村生活垃圾中可回收利用的废品，掩蔽了农村自行消纳生活垃圾的优点。其次，兴建转运站、购进清运设备、运输费用等耗资巨大，运输过程中还易产生二次污染。最后，我国 90% 县级城市的垃圾终端处理依然是填埋，填埋场建设规划和容量的主要设计依据是所在县城城区的垃圾产生量，如若再将农村生活垃圾运到城市无疑给城市环卫系统增加压力。

住建部于 2014 年 11 月 18 日召开全国农村生活垃圾治理工作电视电话会议，住房和城乡建设部部长陈政高提出在全国启动农村生活垃圾 5 年专项治理，农村生活垃圾处理将迎来快速发展时期。农业部规划也指出到 2015 年，在全国 22 万个自然村实施农村清洁工程，使项目村实现生活垃圾和污水的处理利用率、农作物秸秆资源化利用率和人畜粪便处理利用率均达到 90% 以上。

部分地区逐渐摸索出了新的农村生活垃圾污染控制管理模式，其中较为典型的是城乡环卫一体化管理，对农村生活垃圾统一管理、集中清运、定点处理，和城市垃圾管理方法十分相似。以北京市为例，实行了农村垃圾管理城市化的办法，各村聘请专口的保洁员，从事道路清扫、垃圾的收集运输，以及环卫设施的日常维护工作。通过对生活垃圾的集中管理，实现了按时密闭清运，做到日产日清，并计划在 2020 年达到全部生活垃圾日产日清和无害化处理的目标。浙江省也实施了“村收集、镇乡中转、市县区域处置”的垃圾处理办法，加强了农村垃圾无害化处理力度。以杭州市余杭区为例，仅区镇两级财政投入就以千万元计，做到专用垃圾运输车统一购置，17 个垃圾中转站得到新建改建，政府还召集了一支庞大的专职保洁队伍，由将近千人组成，结果 90% 以上的农村垃圾进行了无害化处理。上海郊区农村也是如此，其垃圾管理工作同样采用由城市环卫体系拓展到农村的方式。

部分地区借鉴了城市社区的垃圾管理办法，根据村镇自身的经济实力，选择合适的自觉收集、义务清扫、有偿包干及物业管理相结合的多样化保洁制度。自觉收集指的是以农户个体为单位，每家农户自己把生活垃圾装入垃圾袋筒，以方便后续的统一运送和管理。如浙江省宁波市江北区，其多个行政村均实行了垃圾袋筒装化，基本上实现了区域全覆盖。义务清扫，指的是实行各家农户口前屋后卫生包干，自家卫生自家清，如浙江奉化市江口街道竺家村采用的就是这种模式。有偿包干指的是把村庄划分为数个卫生区域，由村保洁员卫生包干，专人负责。如奉化市西巧街道余家项村分片聘请村民从事垃圾清扫和收集工作，受聘村民每月可获得 150 元报酬，年底还举办各类检查评比和群众评议，根据评比结果还可荣获不同层次的奖励。物业管理方式适用于农村新社区和部分城镇化程度较高的村庄，如江北洪塘街道姚江花园，居民主要是新搬迁入的原住农民，该小区由物业负责新村

的日常垃圾收集和清运工作。

此外，部分农村地区针对当地生活垃圾的特点，摸索出了因地制宜的就地减量化分类处理模式。如浙江省宁波市北仑区牌口村根据当地情况，把农村生活垃圾划分为食物垃圾、非食物垃圾两类，分别采用生物技术和资源回收技术进巧处理，很好的解决了当地垃圾运量多、成本较高等垃圾处理难题。其基本做法如下：一是对食物垃圾就地生态处理。农户将食余垃圾倒入带密封盖的小桶内，由村保洁员负责集中到统一建设的生态堆肥装置内，早晚两次。经过生态堆肥装置的厌氧处理，三个月后就可作为优质有机肥料加以使用。二是对非食物垃圾就地分掠处理。村民先将非食物垃圾倒入统一设置的非食余垃圾箱，再由保洁员定时运送至集中堆放场分类。橡胶、塑料、废铜残铁等可回收垃圾可卖给回收公司；碎砖和石块等固体可作为建筑道路的填充物；电池、农药瓶等有害废弃物则进行单独处理。牌口村采用的就地减量化分类处理方法，既能够有效节约垃圾处理成本，又可以产生优质有机肥源和实现再生资源回收。

2 主要技术发展情况

2.1 主要技术发展情况。

2014年年末，全国城市道路清扫保洁（覆盖）面积 67.6 亿平方米，其中机械清扫面积 34.1 亿平方米、机械清扫率达到 50.4%。全年清运生活垃圾、粪便 1.94 亿吨，比上年增长 2.6%。全国城市共有生活垃圾无害化处理场（厂）819 座，比上年增长 54 座，日处理能力达到 53.3 万吨，处理量为 1.64 亿吨，城市生活垃圾无害化处理率达到 91.77%，比上年增长 2.47 个百分点。



注：数据来源于住建部 2014 年城乡建设统计公报全文部分截取。

图 1 2010-2014 年城市生活垃圾处理情况

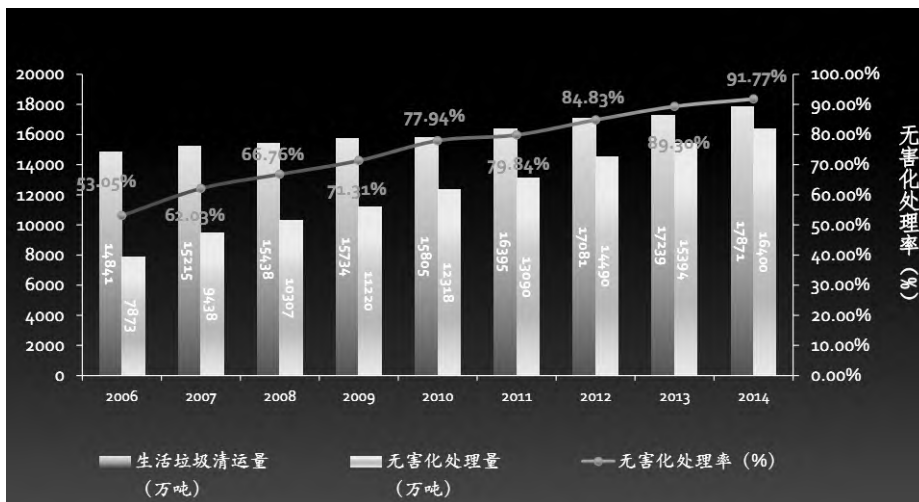


图2 全国生活垃圾无害化处理率 (2006-2014)

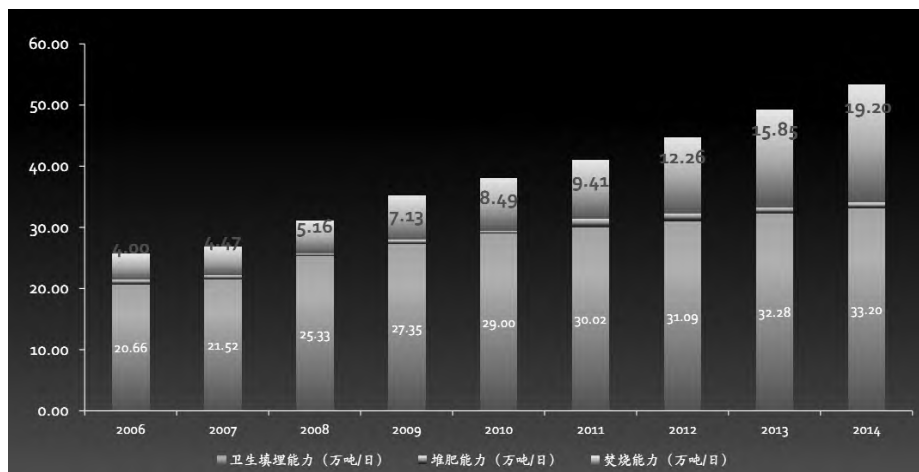


图3 生活垃圾无害化处理量和处理率 (2006-2014)

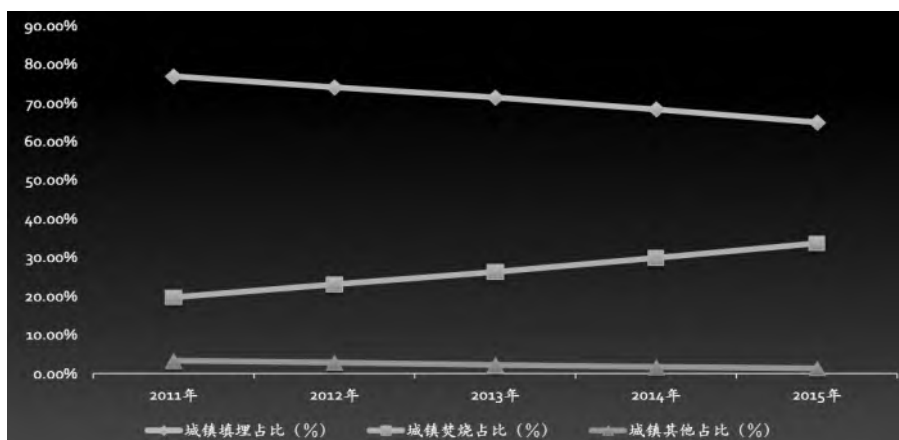
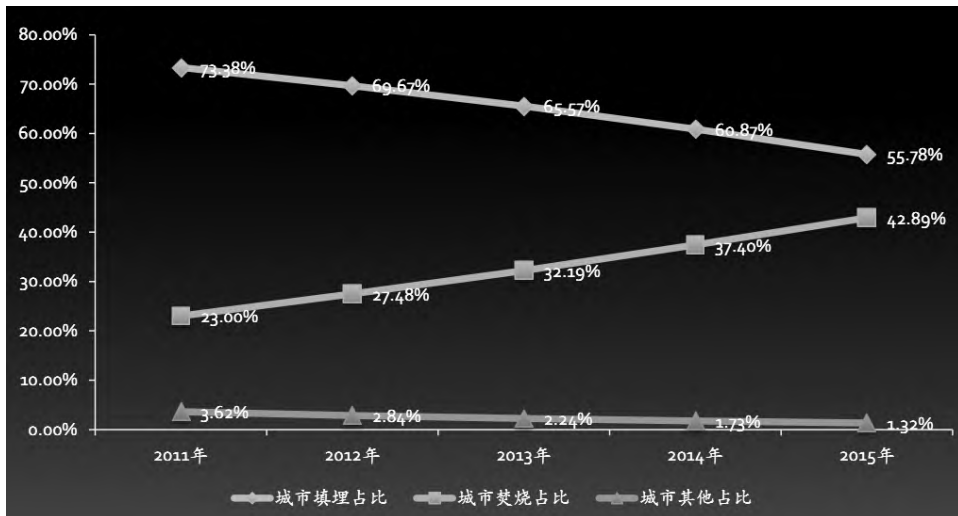


图4 城镇生活垃圾无害化处理能力占比



注：数据来源于 E20 环境平台。

图 5 城市生活垃圾无害化处理能力占比

2.1.1 生活垃圾卫生填埋技术研究进展

截至至 2014 年 12 月底，我国各省份运营垃圾填埋场情况如表 3 所示，全国范围内填埋设施主要集中在人口相对集中、密度较大的东部发达地区，占全国填埋总处理能力的 42.24%。但东部发达地区由于经济发展水平较高，大力发展了垃圾焚烧技术，填埋处理能力占各地区无害化设施处理总能力比重最低，平均在 50.40%，其中福建占比最低，至 29.47%。

表 3 垃圾填埋设施和处理能力的地域分布情况（截至 2014 年）

地区	省份	设施数量（座）	处理能力（吨/日）	处理能力占所在地区总能力比例
东部	浙江	26	16076	34.96%
	江苏	28	19757	39.07%
	广东	40	39906	61.49%
	山东	41	19211	54.62%
	福建	13	5349	29.47%
	河北	32	10524	61.24%
	上海	5	11230	54.70%
	天津	4	5100	54.26%
	北京	16	12121	56.72%
	海南	6	2230	57.47%
中部	湖北	28	13066	54.41%
	安徽	20	10203	67.33%
	山西	17	7115	67.60%
	河南	39	19257	82.98%
	湖南	32	20009	92.60%

地区	省份	设施数量 (座)	处理能力 (吨/日)	处理能力占所在地区总能力比例
西部	江西	17	9273	100
	四川	32	14217	65.59%
	云南	18	3753	40.30%
	广西	17	7491	92.58%
	重庆	14	5110	58.67%
	内蒙古	24	9890	88.38%
	贵州	14	5545	100.00%
	西藏	—	—	—
	陕西	16	14897	99.00%
	甘肃	16	4475	100.00%
	青海	5	2110	100.00%
	宁夏	8	2980	100.00%
新疆	22	8218	100.00%	
东北	辽宁	25	20075	88.60%
	吉林	14	7443	68.33%
	黑龙江	16	8355	75.99%

(数据来源: 中国城乡建设统计年鉴.2014 年中华人民共和国住房和城乡建设部编)

近 2 年来, 针对生活垃圾卫生填埋, 在填埋场污染控制、生物反应器填埋场研究、存量垃圾治理、填埋场稳定性、填埋气体利用研究等方面取得了较多的成果。

清华大学等许多研究机构针对填埋场的各类污染及其控制方法展开了一系列的研究, 针对我国生活垃圾填埋产生的一类污染物——非甲烷有机物, 开展了释放和迁移转化规律的研究, 为其排放总量的评估和削减提供了理论依据; 分析了填埋场渗滤液中多溴联苯醚的污染特性及污染现状, 并通过源头估算和室内模拟, 探讨了渗滤液性质对其浓度、存在形态和浸出的影响, 研究成果为生活垃圾填埋场的有机污染物的风险管理提供了理论基础和技术支撑; 针对生活垃圾填埋场作业面的恶臭污染, 研究了恶臭物质的释放特征、时间变化和产生来源, 结果可为填埋场恶臭污染控制工程提供借鉴。

生物反应器填埋场采用生物反应器技术, 利用渗滤液回灌等手段, 改善填埋场内部的生化反应环境, 从而加快垃圾的降解速率、加速填埋场的稳定化进程。该技术近 20 年来得到发展, 国内近 5 年来也对此展开了一系列的研究。对生活垃圾生物反应器填埋与资源能源回收技术进行了研究, 并建立了示范工程。利用自主开发的双参数反馈气-水联合调控系统平台, 研究分析了含水率、氧浓度及垃圾初始特性对生物反应过程的影响, 筛选出生物反应器填埋场垃圾稳定化进程的表征指标。

由于经济水平低、环保要求不高, 我国曾建设了大量的非正规生活垃圾堆放点和不达标生活垃圾处理设施, 存在大量存量生活垃圾。根据《“十二五”全国城镇生活垃圾无害化处理设施建设规划》, “十二五”期间, 预计实施存量治理项目 1882 个。其中, 不达标生活垃圾处理设施改造项目 503 个, 卫生填埋场封场项目 802 个, 非正规生活垃圾堆放点治理项目 577 个。因此, 十二五期间, 存量垃圾的治理工作也成为研究热点。有研究总结了目前存量垃圾治理的主流技术, 并通过技术经济性比较, 认为原地封场治理应为主要的治理手段; 在特殊情况下, 可采用原地筛分处置和原地好样处置。

由于垃圾填埋场中填埋体成分复杂,填埋产生的渗滤液和填埋气会产生渗透压力和孔隙压力,导致填埋场结构稳定性的研究十分复杂,需要持续性的投入。有研究提出了分层综合沉降计算算法,编制了填埋场沉降和容量分析的三维软件,并将其用于上海老港填埋场等工程的稳定性分析,结果表明该方法可以很好的计算填埋场内部沉降,从而指导填埋场内部的管线设计等。另有学者在国内某填埋场扩容工程的基础上,对生活垃圾填埋场扩容时的稳定性进行了分析,提出原有垃圾强度和渗滤液水位的控制是稳定性控制中的关键因素。

随着城市垃圾填埋量的增加,填埋气体造成的环境问题被愈加重视,国内外对填埋气的产生和排放也进行了大量研究,以温室气体和挥发性有机物为主要研究对象。有研究通过对填埋气释放的监测了解填埋气释放特征,研究填埋场甲烷及非甲烷有机化合物(NMOCs)释放特征及控制措施的有效性,从而对填埋气的控制起到指导作用。填埋场的资源化利用技术中,锅炉供热或并网发电是目前国际上应用最广泛的温室气体减排技术,此外还有甲烷氧化技术、甲烷菌抑制技术、准好氧填埋技术、制备性能卓越的管道气、生物覆盖层、可持续填埋技术、生物反应器填埋技术也可减少甲烷排放,若能利用较低成本的填埋气分类使填埋气中各类气体能得到较好的资源化分类利用,不仅能减少不利影响,还能产生经济效益,其中填埋场渗滤液的生物发酵技术有较好的商业利用前景。据中国科技部报告,韩国利用垃圾填埋场的可燃性气体生产出氢燃料,并为氢能源汽车建设了氢能供应站。

2.1.2 生活垃圾焚烧处理技术研究进展

我国《“十二五”全国城镇生活垃圾无害化处理设施建设规划》中,鼓励在经济发达地区优先采用焚烧处理技术,焚烧处理设施规模增加 21.75 万吨/日,焚烧占无害化处理规模的比例从 20% 提升至 35%。大量焚烧设施的建设,离不开焚烧处理技术的深入发展。主要的研究方向包括:烟气、渗滤液、飞灰等污染的控制,焚烧技术和设备自主研发,资源化技术和设备自主研发和优化组合,焚烧设施评价及管理研究等。

《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB18485—2014,代替 GB18485—2001)修订后,特别对生活垃圾焚烧烟气中污染物的排放控制提出了更高的要求。因此,针对烟气系统的研究也大量展开。针对光大环保能源(常州)有限公司的烟气处理系统进行了优化,增加了 SNCR 脱硝和干法脱酸工艺,形成了“半干法+干法”的组合工艺,排放的烟气可达到欧盟 2000 标准。设计采用 SNCR+SCR 联合脱硝技术,对南京市江南垃圾焚烧发电厂一期项目烟气进行处理。实际运营结果表明,氮氧化物的排放低于 80 mg/Nm^3 ,远低于国家相关标准(250 mg/Nm^3)。脱硝单位处理成本约为 11 元/吨,技术经济可行。采用“半干法+干法”组合工艺去除焚烧烟气中的 HCl,优化后的 HCl 可减排 60%,并可节约石灰等耗材费用约 94 万元/年,为生活垃圾焚烧烟气中 HCl 的控制提供了技术选择。

渗滤液处理也是焚烧厂污染控制的重要环节之一。研究通过分析多个垃圾焚烧设施的渗滤液水质及水量,给出了渗滤液处理工程设计规模的确定方法,提出和优化了“预处理+复合式厌氧反应器(UBF)+序批式简写活性污泥法(SBR)+膜处理”的工艺组合,并在镇江垃圾焚烧发电厂进行了应用,为其他焚烧设施渗滤液处理技术方案的制定提供了借鉴。

在现行工艺条件下, 焚烧过程中产生的二噁英 90%以上富集于焚烧飞灰中。因此, 飞灰处理受到人们的关注。有研究分析比较了飞灰处理中常用的水泥固化法、熔融固化法和螯合剂稳定化方法, 认为螯合剂稳定化处理飞灰不仅可以达到相关标准要求, 处理费用也较低, 是较为经济实用的处理方法。以六氯苯 (HCB) 为模型污染物, 采用低温热处理脱氯技术, 研究了焚烧飞灰中副产物类 POPs (UPOPs, 包括二噁英、多氯联苯和六氯苯) 脱氯的主要反应途径和产物的最终归趋, 为该技术在飞灰处理中的应用提供了理论基础。

除焚烧处理技术的发展外, 随着大量焚烧设施的建设, 焚烧设施的综合评价和管理技术也得到了提升。采用生命周期评价 (Life Cycle Assessment, LCA) 方法, 对三种烟气处理工艺进行了环境影响分析和综合评价, 发现一次能源消耗是烟气处理工艺方案的主要环境影响类型, 并最终计算得出“半干法+干法”工艺方案环境影响最小。采用模糊综合评价法, 从经济、技术、环境和社会四个方面选择了十二个评价因子, 建立了评价模型, 可对生活垃圾焚烧发电设施进行综合效益分析, 为相关投资决策分析提供了方法。

2.1.3 生活垃圾其他处理技术研究进展

除焚烧和填埋技术外, 针对其他生活垃圾处理技术相关的研究也大量进行。其中, 热解气化处理技术的研究尤为突出。

采用外热式回转窑, 研究了不同升温速率和转速下生活垃圾中的主要组分热解过程中的传热特性。结果表明, 升温速率增加到 $(32\pm 2)^\circ\text{C}/\text{min}$ 时, 各种物料在热解段的表观传热系数均有增大, 热解总时间缩短。该结果可为回转窑热解反应器的设计提供参考。

采用固定床电加热炉, 对生活垃圾典型组分在恒温条件下进行了热解特性研究。结果表明, 不同垃圾组分热解气的成分及其析出高峰时间有所不同。纸张、树枝及厨余热解气性质相近; 而塑料、橡胶等热解气体成分含量波动较大。在 750°C 时, 5 min 后热解气大部分释放完毕。

利用小型固定床气化实验装置, 进行了连续性的生活垃圾空气气化和水蒸气气化实验。同时, 采用 CaO 作为催化剂, 以减少热解气化过程中焦油的产生。结果表明, 水蒸气气氛下热解气的氢气含量和热值高于空气气氛。CaO 对纸类和木竹类生活垃圾有明显的催化效果, 对塑胶类生活垃圾则没有明显的影响。

2.1.4 乡镇生活垃圾处理技术研究进展

近两年来, 我国乡镇生活垃圾收集处理初见成效。东部地区有生活垃圾收集点的行政村比例达 82%, 对生活垃圾处理的行政村比例达 68%; 中部、东北地区有生活垃圾收集点的行政村比例超 50%; 西部地区农村生活垃圾的收集和处理工作均相对滞后。许多地方处理模式粗放, 收运处理过程污染严重, 一般有 3 种模式: 没有垃圾收运处理设施, 垃圾随处乱堆, 甚至直接倾倒在河道; 设有简易垃圾收集点, 但没有密封、清洁措施, 最终采取简易堆放; 收集点转运至简易填埋场, 收运成本高, 资源浪费。

在垃圾物联网收运技术方面, 不少研究实例将物联网技术运用到固体废物收运管理领域, 并取得一些成果, 为生活垃圾信息化收运系统的管理提供了借鉴。德国是最早把 RFID 技术运用在固废收运管理中的国家之一。通过德国联邦废弃物处理协会把垃圾桶的信息提供给各分属的垃圾运输公司, 然后把信息发送给相应的垃圾收集车和垃圾收集车手动读取

设备。在垃圾收集车的尾部装有 RFID 检测装置,在垃圾收集箱被清空时,会自动获取居民的 ID 号码。同时,垃圾回收车自动将垃圾箱提起,提升设备上的吊杆装有称量标尺,为回收废物称量,RFID 装置记录并存储相关数据,最后德国联用 RFID 读取按照生产厂家和产品序列号分配的垃圾桶信息,通过德国联邦废弃物处理协会把垃圾桶的信息提供给各分属的垃圾运输公司,然后把信息发送给相应的垃圾收集车和垃圾收集车手动读取设备,通过车载 RFID 装置记录和储存数据,最终再汇总到废弃物处理协会进行统计分析。在欧洲,部分城市已建立了基于 RFID 的城市生活垃圾收运体系,从源头进行监管,并根据家庭垃圾产量采取“Pay as you throw”生产者收费制度,取得了一定成效”。Maheret al 针对马来西亚出现的日益严峻的固体废弃物管理问题,为了提高工作效率和精细化数据管理,聚焦收运环节载体垃圾箱和车辆,通过载体上搭载的 RFID 标签、GPS 等信息化装置及车载自动称重系统建立了自动化的固体废弃物监测系统,从而对固体废弃物进行有效跟踪和实时监控。

在国内,基于物联网的城市生活垃圾信息化收运管理也初见成效。针对武汉市城市生活垃圾前端控制不受重视、运输成本高、效率低等问题,构建了基于物联网技术的武汉市再生资源循环管理信息平台。利用红外感应采集垃圾信息,实现垃圾自动分类,然后将 RFID 标签贴在收集装置上,在收运过程中通过运输设施上的 RFID 读写器和 GPS 装置及时与管理信息平台互相更新信息,从而实现垃圾的智能收集、智能运输、智能处理全程信息化监控与管理。但物联网收运技术在我国乡镇垃圾收运中的研究和应用尚处于起步阶段,湖南郴州市永州县等地于 2014 年起相继开展了此项工作。

2.1.5 国内外新兴热点和发展趋势

在生活垃圾处理领域,利用中国知网专利数据库、Web of Science 中国科学引文数据库、Web of Science SCI Expanded 数据库分别进行搜索,获得国内外近 5 年来生活垃圾相关专利申请和论文发表情况如图 8 所示。可以看出,“十二五”期间,国内外生活垃圾处理相关研究总体呈上升的趋势。

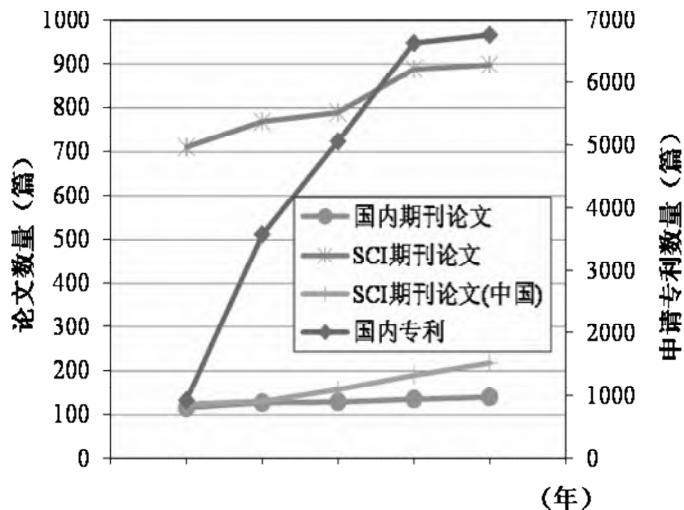


图 8 国内外生活垃圾相关论文/专利数量变化

利用中国知网中国硕博学位论文全文数据库，搜索 2014-2015 年间，主题中含有“生活垃圾”一词的博士论文。结果发现，相关博士论文共有 23 篇（含政策金融方向）。针对处理方式进行分析，得出主要的研究方向包括垃圾收转运、填埋、焚烧、热解气化和清洁能源化。与收转运相关的有 1 篇，主要研究方向为基于地理单元的生活垃圾收运系统优化研究。填埋相关的有 3 篇，主要的研究方向集中在填埋场稳定性的研究、填埋渗滤液处理及其污染控制、渗滤液土壤污染修复的研究；与焚烧相关的有 4 篇，主要的研究方向为生活垃圾干燥与燃烧气体排放特性实验研究、焚烧飞灰污染控制研究；与堆肥有关有 1 篇，主要是针对生活垃圾堆肥过程污染气体减排与管理的生命周期评价研究。与清洁能源有关的 1 篇，主要研究方向为混合原料厌氧发酵产沼气动力学及工艺优化研究。

通过 Web of Science SCI-Expanded 数据库，采用“municipal solid waste”对近 5 年的论文进行主题词检索，得出 4054 条记录。采用 Web of Science 分析工具进行分析，可得出相关结果如图 9 所示。

其中，我国发表的 SCI 论文有 751 篇。在生活垃圾研究领域，国内外的研究方向基本一致，环境科学生态学、工程、能源燃料、农业、生物技术应用微生物学等是主要的研究方向。

字段: 研究方向	记录数	占 4054 的 %	柱状图
ENVIRONMENTAL SCIENCES ECOLOGY	2348	57.918 %	██████████
ENGINEERING	1956	48.249 %	██████████
ENERGY FUELS	639	15.762 %	████
AGRICULTURE	444	10.952 %	██
BIOTECHNOLOGY APPLIED MICROBIOLOGY	433	10.681 %	██
CHEMISTRY	304	7.499 %	█
WATER RESOURCES	279	6.882 %	█
GEOLOGY	129	3.182 %	█
MATERIALS SCIENCE	97	2.393 %	█
THERMODYNAMICS	76	1.875 %	█

图 9 近 5 年间国内外生活垃圾相关 SCI 论文发表情况分析

2.2 我国自有知识产权技术的竞争力评价。

自有知识产权，主要指与创新和竞争行为密切相关的知识产权，包括：发明专利、实用新型专利、外观设计、商标、商业秘密、软件版权等。发明专利、实用新型专利和外观设计三项又被统称为专利权。由于专利权最具有代表性，它一直是相关经济研究的核心，已经形成了相对成熟的经济理论和研究方法，因此这里着重把对专利权的评价作为我国自有知识产权技术的竞争力评价。

2.2.1 我国生活垃圾卫生填埋技术知识产权竞争力评价

从专利来看,2008年以来我国与生活垃圾卫生填埋技术相关三种专利的增长趋势较为明显。根据 SooPAT 专利搜索引擎分析可得图 10,其中 2014 年-2015 年共申请专利 263 个,授权的发明专利有 235 个(167 个有权),获得实用新型专利 103 个,获得外观设计专利 1 个。

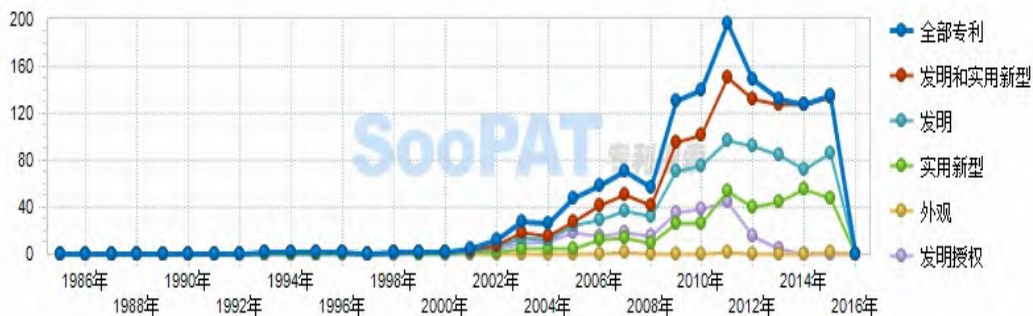


图 10 我国生活垃圾卫生填埋技术专利数量变化 (1986-2015)

2.2.2 我国生活垃圾焚烧处理技术知识产权竞争力评价

从专利来看,2007 年以来我国与生活垃圾焚烧技术相关的三种专利的增长趋势较为明显。根据 SooPAT 专利搜索引擎分析可得图 11,2014 年-2015 年共申请与生活垃圾焚烧技术相关的专利 1079 个,其中共申请发明专利 495 个(74 个已授权,350 个正在进行实审),共获得实用新型专利 579 个,共获得外观设计专利 5 个。

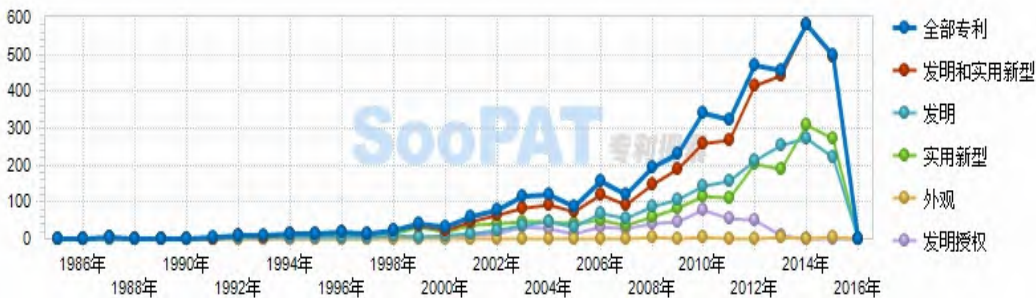


图 11 我国生活垃圾焚烧技术相关专利数量变化 (1986-2015)

2.2.3 我国生活垃圾其他处理技术知识产权竞争力评价

从专利来看,2007 年以来我国与生活垃圾其他处理技术(热解、堆肥、综合处理等)相关的三种专利的增长趋势较为明显。根据 SooPAT 专利搜索引擎分析可得图 12,2014 年-2015 年共申请专利 365 个,其中共申请发明专利 167 个(133 个正在进行实审),共获得实用新型专利 182 个,共获得外观设计专利 3 个。

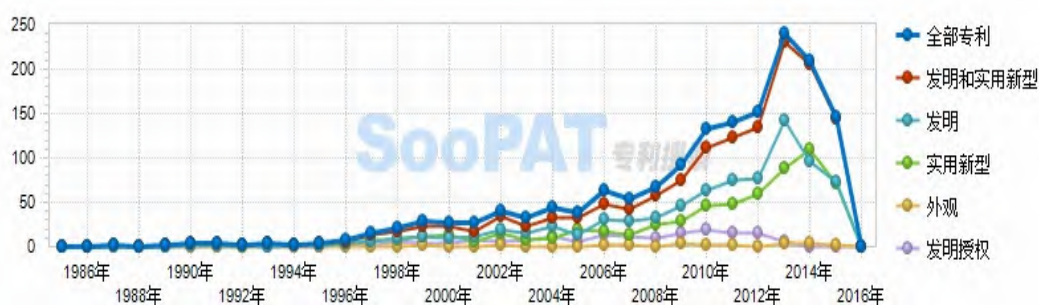


图 12 我国生活垃圾其他处理技术相关专利数量变化 (1986-2015)

2.2.4 我国生活垃圾收集转运处理技术知识产权竞争力评价

根据 SooPAT 专利搜索引擎分析可得图 13, 1986 年至今国内申请与生活垃圾收集转运处理技术相关的专利共有 47 个, 其中 2014 年-2015 年共申请专利 7 个; 授权的发明专利有 7 个, 其中 2014-2015 年共申请发明专利 5 个, 共获得实用新型专利 2 个, 共获得外观设计专利 0 个。

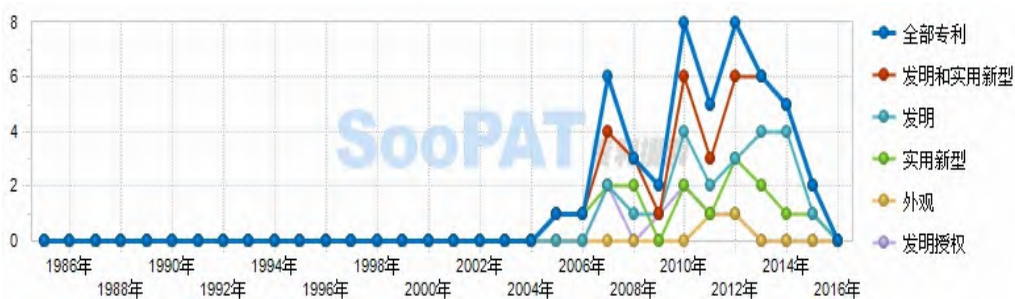


图 13 我国生活垃圾收集转运处理技术相关专利数量变化 (1986-2015)

3 主要问题分析

(1) 垃圾处理设施选址需进一步规范, 环境风险需规避

通过对 2013 年我国各省份及地区运营的 1549 座填埋场分析发现, 在河网较为密集地区, 其上规模的填埋场合计数仍然有 380 座, 流域面积占比为 22.57%。这些流域的填埋场分布密度相对较大, 而且大多为我国水源地上游, 存在极大隐患。

垃圾焚烧厂选址一直是困扰我国垃圾处理的难题之一, 一是规划选址时论证不充分, 缺乏多厂址必选、多因素分析。二是在规划选址时未能与区域发展结合考虑。三是政府在选址决策过程中缺乏透明度。

(2) 二次污染仍然严重, 环境问题仍突出

2014 年至今, 全国多地填埋场仍然存在污染排放超标、臭气扰民等环保问题报道, 污染可控、环保达标仍然是填埋场需解决的重点目标, 由填埋场引起的渗滤液、臭气、土壤

污染等环保问题有待解决和完善。据已有的统计显示,我国70%的填埋场都存在渗滤液泄漏问题。《160座在运行生活垃圾焚烧厂污染信息申请公开报告》中显示,160座在运行垃圾焚烧厂,仅获知39座垃圾焚烧厂的飞灰处理去向信息。面对已经提高的垃圾焚烧污染控制标准和日趋严格的监管,如何做好垃圾焚烧厂的污染控制管理,研究和发 展先进可靠和经济性可行的污染控制技术,是目前垃圾焚烧领域的主要问题之一。

(3) 垃圾处理费用高,资源利用水平相对较低

由于我国垃圾混合收集模式,使得混合生活垃圾中的水分及有机物含量都很高,使得降解活跃,渗滤液产生量占垃圾处理量的20%~30%,极大地增加了处理成本。另一方面垃圾中存在大约15%~20%的塑料、10%以上的纸张等有价值物质,这些可回收组分被直接填埋,也极大地造成了资源的浪费,同时占用了大量十分紧缺的填埋库容。

(4) 乡镇(农村)生活垃圾处理缺乏资金投入

近5年,国家逐年加大投入农村环境综合整治资金,但我国农村村镇数量多,能申请到的村镇率不足10%,无法全面、彻底解决农村生活垃圾污染问题。随着生活垃圾的持续增多,治理负担越来越重。

(5) 乡镇(农村)生活垃圾基础设施建设滞后

农村垃圾的处理流程必须经过村、镇(乡)、县的收集网络才能有效分类处理,目前很大一部分农村还缺乏资金开展村小组建垃圾池、村委会设垃圾收集点、镇(乡)建垃圾压缩中转站、县建垃圾填埋场的基础设施网络建设。一般农村的转运站都设在镇区中心或居民区旁边,没有对转运站的布点选址作综合规划分析,从而造成部分收集点运输距离远、运输费用高;转运站周围缺乏防护措施或离居民区距离太近,从而造成转运站作业所产生的臭气、噪声、废水及灰尘等问题,对周边居民生活带来很大影响。大部分农村的生活垃圾收集运输一般采用拖拉机或农用车的敞开式运输方式,运输过程容易造成垃圾的散落、废水滴漏和产生臭气等二次污染问题。

(6) 科学研究广度、深度不够,成果转化有待加强

目前,对农村生活垃圾污染防治的科技支撑还很薄弱,还处于起步阶段。一是研究广度和深度不够,二是未能较好地实现研究成果转化,还需要与国内外相关部门进行深入的技术合作和交流,联合开展有关农村生活垃圾污染防治的技术研究。

近几年部分乡镇为了解决当地垃圾处理问题,盲目引进一些小型低温热解焚烧炉,这种炉型不具备科学先进的污染控制环节,易造成垃圾焚烧不彻底,二次污染严重等后果;另一方面,大量垃圾堆场污染环境亟待修复。深层次的原因是没有形成有效地行动机制,管理体制不清晰,职权不明确,财政资金不能及时到位,村民环保意识不高,没有兼顾城乡、区域统筹发展。

4 建议

4.1 未来3-5年应重点和优先发展的领域和技术

目前,国内运用比较普遍的乡镇生活垃圾处理方式主要有集中处理(填埋/焚烧)、垃圾堆肥、生物质利用、小型焚烧炉和综合利用处理,整体资源化水平较低,未来3-5年,

应着力提高乡镇生活垃圾分类收运和处理技术水平、资源化水平，推进场地修复和稳定性评价工作，实现乡镇生活垃圾污染排放达标、技术安全可靠、经济合理，打造可持续发展的和谐宜居乡镇。

4.1.1 生活垃圾填埋技术

- (1) 逐步转向接收惰性垃圾，延长填埋库容使用年限。
- (2) 重点突出污染防控目标，科学规划选址并强化过程监管。
- (3) 提高资源综合利用水平，推进封场修复利用示范

4.1.2 稳步发展垃圾焚烧技术

与垃圾填埋技术相比，垃圾焚烧处理技术具有占地面积小、选址容易、处理速度快、减量化显著、无害化彻底以及可回收焚烧余热等优点，在发达国家得到了广泛的应用，该技术已有多年的历史，预计将来仍会继续得到发展。

4.1.3 因地制宜开展乡镇（农村）生活垃圾处理模式

我国乡镇（农村）农村垃圾的处理还处于刚刚起步阶段。部分地区已经开始或者准备开始村收集、镇转运、县市处理的垃圾处理模式；小部分地区已经在尝试农户分类、源头减量来减少农村垃圾的产生量，对村镇垃圾做到了减量化、资源化、无害化，其成功经验值得今后在农村垃圾处理上借鉴参考。农村生活垃圾处理要按照源头削减、过程控制、末端资源化的综合防治原则，根据清洁生产和循环经济的理念和指导思想，确定农村生活垃圾污染治理应从源头控制，实施以防为主、防治结合、末端资源化的原则。从源头上减少生活垃圾的产生，可以降低和减轻污染物末端治理的压力，提高环境污染防治和管理水平。农村生活垃圾污染防治应立足于农村实际，充分考虑不同地区的农村社会经济发展水平、自然条件及环境承载力等差异，遵循城乡统筹、因地制宜的原则，统筹城乡生活垃圾污染防治基础设施建设，实现农村生活垃圾污染处理及资源化基础设施城乡共建共享、村村共建共享，推动农村生活垃圾污染防治工作。根据前期调研分析，农村生活垃圾处理模式归纳起来主要有以下几种做法。

(1) 城乡一体化处理模式。一些经济发达的农村地区或城镇周边的农村地区，采用有机垃圾和无机垃圾分类收集方式。无机垃圾可结合城市生活垃圾管理体系，执行“村收集—镇运输—县（市）处理”的垃圾收集运输处理系统，实施城乡一体化管理。厨余等有机垃圾分开收集堆肥，分类收集的有机垃圾可采用静态堆肥或能源型生态模式（如秸秆气化、沼气发酵）处理，今后也将鼓励发展乡镇有机垃圾堆肥处理技术。

(2) 源头分类集中式处理模式。对于我国大部分平原型农村，经济一般、距离县市距离在 20 km 以上的农村，可考虑集中力量建立覆盖该区域周围村庄的垃圾收集、转运和处理设施，实现垃圾的分类收集、集中处理。要求村民每天产生的生活垃圾首先要进行分类，将垃圾内的有机物、废金属、废电池、废橡胶、废塑料以及泥沙等进行分离，可回收部分由废品回收人员收购，餐厨等有机垃圾集中式堆肥、不可回收垃圾进入村镇垃圾处理场集中填埋处理。村镇垃圾处理场可利用区域废弃土地建设简易填埋场，但场地应具有承载能力，符合防渗要求，远离水源。

(3) 源头分类分散处理模式。对于我国部分山区农村、远郊型农村和其他偏远落后农村,经济欠发达、交通不便、人口密度低,距离县市 20 km 以上的农村,可考虑源头分类分散处理模式。该模式要求村民首先要对生活垃圾进行源头分类,可回收垃圾由废品回收人员收购,厨余垃圾、灰土垃圾(占农村生活垃圾总量的 60%以上)不出村或镇即就地消纳,可以大大减少传统模式垃圾收集、运输和处理过程中的固定设施投入和运营成本,并且杜绝了对环境的二次污染。剩余的少部分不可回收垃圾进入分散式村镇垃圾处理场填埋处理。分散式村镇垃圾处理场要避开地下水位高、土壤渗滤系数高、农村水源地或丘陵地区。

4.1.4 加快发展垃圾分类和回收利用技术与产业链的建立

加快建立城市生活垃圾分类和回收利用体系,同时以试点的形式在乡镇(农村)进行推广,加快发展垃圾分类和回收利用技术,如互联网+垃圾分类技术,互联网+资源回收利用技术等,对城市和乡镇生活垃圾实施分类收集,以尽可能地对生活垃圾进行回收和循环资源化利用。

4.2 尚需配套的标准、法规、政策的建议

目前我国有关生活垃圾管理的法律法规种类非常庞杂,立法效力也是参差不齐。大部分立法所涉及生活垃圾管理的规定,也只是给出了一个概括性的立法,一旦深入到具体的管理和救济问题上就能发现仍有不足之处。

(1) 乡镇生活垃圾管理的法律规定欠缺。

首先,我国《固体废物污染环境防治法》、《城市生活垃圾管理办法》都明确规定,对城市生活垃圾应当逐步做到分类收集、运输和处理。但对乡镇生活垃圾的分类收集、运输和处理没有明确立法和规定;其次,目前我国大部分生活垃圾仍采取混合的收集方式,导致生活垃圾不能及时分类处理,使生活垃圾的利用率大大降低。

(2) 乡镇生活垃圾处理的基础资金缺乏。

我国在乡镇生活垃圾处理问题中,较为凸现的问题就是分类收集转运和安全处理垃圾的费用不足。我国现在实行的生活垃圾管理收费的具体标准是按照地方立法具体规定实行的。其中分为居民按每户固定费率收取;餐饮服务、食品加工销售、美容美发等的工商户按营业面积收费;村委会、机关事业单位、学校、幼儿园、敬老院、工矿企业等按实际发生排放量计收。可是,许多乡镇每年的垃圾处理实际费用远远超出所征收的费用。而这部分超出的费用大部分时候是政府买单或者直接缩小乡镇垃圾管理的资金投入。中国是典型的城乡结合的“二元式”国家模式,乡村对生活的垃圾的管理更是无法与城市相比。农村生活垃圾的排放近年来受重视的程度越来越高,但政府的资金投入却远远达不到要求,财政吃紧和民营资本的盈利模式不清晰,导致农村-乡镇垃圾收运、处理问题日益紧迫。

(3) 居民对垃圾安全处理意识薄弱。

在国务院批转进一步加强城市生活垃圾处理工作意见中提出,政府部门要要加强正面引导,提倡城市生活垃圾处理的各项政策措施及其成效,倡导绿色生活。其实现在无论是媒体报道还是政府的宣传已经在社会上引起了不小的关注。可是,由于国民对垃圾安全处

理的意思只是停留在表面上，区域差异性也非常的大。

针对上述问题，建议未来 3-5 年配套相应法律、法规和标准政策。

(1) 乡镇生活垃圾管理的法律规定欠缺。

首先，我国对乡镇生活垃圾的分类收集、运输和处理没有明确立法和规定；其次，目前我国大部分生活垃圾仍采取混合的收集方式，导致生活垃圾不能及时分类处理，使生活垃圾的利用率大大降低。

(2) 乡镇生活垃圾处理的基础资金缺乏。

我国在乡镇生活垃圾处理问题中，较为凸现的问题就是分类收集转运和安全处理垃圾的费用不足。财政吃紧和民营资本的盈利模式不清晰，导致农村-乡镇垃圾收运、处理问题日益紧迫。

(3) 居民对垃圾安全处理意识薄弱。

由于国民对垃圾安全处理的意思只是停留在表面上，区域差异性也非常的大。

针对上述问题，建议未来 3-5 年配套相应法律、法规和标准政策。

(1) 加强生活垃圾管理的立法。

我国乡镇垃圾处理的立法，应借鉴国外经验，同时重视乡镇垃圾处理的专门性立法。立法过程应与乡镇建设相结合，促进乡镇垃圾问题的早日解决。

(2) 逐步建立适合国情的乡镇生活垃圾管理和资源化技术体系。

对于经济欠发达、面积较大的乡镇地区，应该因地制宜地采取“分类、分片、分级”处理模式，源头分类减量后，区分近郊、远郊、偏远村庄，分别选在县、镇或村进行最终处理：距离县处理厂 20 公里范围内村收镇运县处理；20 公里范围外，村收镇运片处理，通过片区建设生活垃圾转运站和处理场；20 公里范围外，位置偏远的农村，就近就地处理，强调分类处理。

(3) 转化生活垃圾处理费用的市场化运营模式。

以城市和农村垃圾管理费用差别对待和“多用多付费，少用少付费”的原则建立市场化收费管理模式。一方面可以整顿部分农村垃圾管理空白的局面，另一方面也可以体现公平公正的管理征费问题。

污泥行业技术发展报告

1 主要技术发展情况

1.1 主要技术发展情况

1.1.1 国外污泥处理处置技术总体发展状况及发展趋势

经过几十年的发展，欧美、日本等发达国家已形成了相对完善的污泥处理处置技术路线，相关设备的应用也趋于成熟，相关的法律法规及标准规范已比较完善。

美国，从 1972 年政府颁布水净化条例以来，污泥量呈逐年增加趋势。污泥处理处置途径以土地利用为主，且为污泥农用做了大量安全性评价工作，填埋方式逐渐减少。目前，美国有超过 16000 座污水处理设施在运行，日处理污水量 1.5 亿 m^3 ，年产干污泥（干物质质量）约 710 万 t，其中大约 60% 农业利用，17% 填埋，20% 焚烧，3% 用于矿山恢复的覆盖。

欧盟，最初的污泥处理处置方式主要是填埋和土地利用。目前，欧盟已对填埋、投海等简单的处置方式下达禁令，并鼓励泥质符合公众健康和环境保护要求的污泥直接用于绿化、土地修复等用途，或将厌氧消化或好氧发酵处理后的污泥用于土地用途。虽然欧盟各国对土地利用的限制越来越严格，但对该方式依旧保持大力支持的态度，使污泥土地利用成为欧盟污泥最重要的处理处置方式。目前，欧盟产生的污泥中大约 55% 土地利用、26% 焚烧、16% 填埋、3% 采用其他方式进行处理处置。总的来说，欧盟污泥利用率不断上升，各成员国的污泥资源化利用项目也大幅增加。

日本，污泥处理处置方式最初以农用和焚烧占主导。近年来，日本对污泥处理处置技术路线进行了战略调整，逐渐降低了污泥焚烧比例，并将研究和发展重点转向了污泥资源化利用，污泥焚烧灰分也用于生产建筑材料。

综上，欧美、日本等发达国家污泥处理处置的总体思路是污泥的资源化利用，并将土地利用作为污泥处置的主要方式和鼓励方向。因此，厌氧消化、好氧发酵、土地利用、建材制造等资源化处理处置技术将会是国际上污泥处理处置的研究重点，而保证污泥的资源化利用将是该领域的发展趋势。

1.1.2 我国污泥处理处置技术总体发展状况

与国外相比较，我国污泥处理和处置技术起步较晚，污泥的处理处置随着我国污水处理的发展经历了以下过程：污泥初期形成及污染隐患出现阶段、污泥处理处置起步阶段和发展阶段。

污泥初期形成及污染隐患出现阶段：20世纪60—70年代，我国污泥处理处置问题尚不突出。由于污水处理厂少，污泥量不多且成分简单，可简单处理作为农肥。20世纪80年代以后，随着城市污水处理事业的跳跃性发展，污泥污染逐渐成为环境隐患。

污泥处理处置起步阶段：在20世纪90年代以前，我国一般采用浓缩、中温消化、干化脱水流程为主导的污泥处理处置工艺，污泥最终处置手段缺乏。20世纪90年代以后，我国污泥处理处置开始起步，污泥处理主要采用延时曝气和好氧消化方式，污泥处置主要采用堆肥农用、填埋和综合利用等多种形式。

污泥处理处置发展阶段：21世纪以来，随着城市发展和环境污染的加剧，我国污泥处理处置领域有了较快发展，污泥处置市场逐渐形成。“十二五”开始，我国污泥处理处置已步入快速发展期。

近年来，我国污泥处理处置各项技术和专用设备有了较大进展。但与欧美、日本等发达国家相比，我国的污泥处理处置技术路线不明晰，相关的法律法规及标准规范还不够完善。目前，我国产生的污泥约48.28%土地利用，34.48%填埋，3.45%焚烧，13.79%未进行合理处置。目前，我国污泥处理处置总体状况以土地利用形式为主，大部分用于农业。仍有大部分的污泥没有得到合理的处置，将会对环境带来潜在的危害。

1.1.3 我国污泥处理处置技术发展趋势分析

近年来，迫于国际能源价格暴涨和资源供给短缺的压力，欧美等发达国家纷纷将污泥处理处置目标转向了资源和资源化利用，对土地利用、厌氧消化及好氧发酵等技术的研发和推广热情高涨。在保证污泥无害化的前提下，实现污泥最大程度的利用（如直接或间接作为燃料、热分解制油等，作为建材水泥骨料、制砖、制陶瓷、制活性炭吸附剂等）已经成为了国际污泥处理处置领域发展的趋势。

对我国来说，我国地域辽阔，不同地区的自然环境、人文环境、产业结构和经济发展水平都不同，各地区应从自身特点出发，采取适宜的技术路线；同时依据国家相关政策和规范的要求，在参考借鉴国外的经验和教训，必须和国内的具体国情相结合，并应该符合“安全环保、循环利用、节能降耗、因地制宜、稳妥可靠”的原则；以“减量化、稳定化、无害化”为目的，并达到最大化的资源化利用。

因此，建议未来在各地区依靠自身特点、因地制宜开展污泥处理处置工作，采取以下技术路线：

（1）厌氧消化后进行土地利用

本方案能实现污泥中有机质及营养元素的高效利用和能量的有效回收，不需要大量物料及土地资源消耗。厌氧消化后的污泥泥质能够达到限制性农用、园林绿化或土壤改良的标准，可优先考虑采用。本方案有以下具体操作方案：

厌氧消化→脱水→自然干化（或好氧发酵）→土地利用（适用范围：改良土壤、园林绿化、限制性农用）；

脱水→厌氧消化→脱水→自然干化（或好氧发酵）→土地利用（适用范围：改良土壤、园林绿化、限制性农用）；

厌氧消化（或脱水后厌氧消化）→罐车运输→直接注入土壤（适用范围：改良土壤、限制性农用）。

（2）好氧发酵后进行土地利用

本方案能实现污泥中有机质及营养元素的高效利用。好氧发酵后的污泥泥质能够达到限制性农用、园林绿化或土壤改良的标准，是较好的选择。本方案有以下具体操作方案：

脱水→高温好氧发酵→土地利用（适用范围：土壤改良、园林绿化、限制性农用）；

（3）机械热干化后进行焚烧

本方案能实现污泥较高级别的减量化和稳定化，占地面积较小。当污泥中的有毒有害物质含量很高且短期不可能降低时，可作为污泥处理处置可行的选择。本方案有以下具体操作方案：

脱水或深度脱水→热干化→焚烧→灰渣建材利用；

脱水或深度脱水→热干化→焚烧→灰渣填埋。

1.1.3 2014-2015 年国内污泥行业论坛及展会情况

1.1.3.1 第 15 届中国环博会（IEexpo2014）

2014 年 5 月 20 日—22 日，第 15 届中国环博会（IEexpo2014）在上海新国际博览中心举行，该会由中国环境科学学会、德国慕尼黑国际博览集团、中贸慕尼黑展览（上海）有限公司等单位联袂举办，见图 1。

秉承全球环保第一展德国 IFAT 母展 48 年的品质，作为亚洲最具影响力的环境技术交流盛会，IE expo2014 中国环博会将荟集全球顶级膜、水处理、泵阀管件、固体废弃物处理、资源回收利用、大气污染治理，室内空气污染治理、场地修复、环境监测、环境服务业等行业精英与解决方案，展会同期还将举办中国环博会环境产业高峰论坛，来自政策制定部门、科研院所、领先技术企业的百余名业内顶级专家全程参与 200 多场专业会议论坛，致力于打造一个政、产、学、研一站式环境技术交流平台。期间，工程技术中心的依托单位作为协办单位参加了 21 日位于 N4 馆二楼 M46 会议室的“新形势下城镇水务发展论坛暨 2014 上海市土木工程学会给排水专业委员会学术报告会”。通过此次展会的平台，充分展示了在国内外环保领域雄厚的实力，巩固了作为“固废处置专家”在环保处置领域的地位，作为国内环保领域龙头企业的形象，加深了与国际环保行业之间的联系，为公司开展国际型业务打下了基础。



图 1 2014 中国环博会

1.1.3.2 2014年中国城镇污泥处理处置技术与应用高级研讨会

《中国给水排水》杂志社联合湖南省九方环保机械有限公司、上海施维英机械制造有限公司、威立雅水务工程（北京）有限公司、北京中科博联环境工程有限公司、中国市政工程华北设计研究总院等单位决定举办的“2014年中国城镇污泥处理处置技术与应用高级研讨会”于2014年9月12日—14日在湖南长沙召开。

研讨会邀请有关单位领导和专家到会作主题报告，针对污泥处理处置的标准实施、成熟工艺及设备运行经验、污泥处置政策等问题进行解答和研讨交流，同时为相关单位搭建推介城镇污泥处理处置与综合利用新技术、新工艺、新设备的平台。

本次会议邀请了住房与城乡建设部领导、中国土木工程学会领导、中国城镇供水排水协会领导、中国工程院院士、行业内和国内的知名专家学者，以及全国排水行业设计、科研、运营单位、建设单位的领导、知名专家、学者、工程技术人员以及国内外知名企业参会并作学术交流。

此次大会的讨论主题见表1。

表1 2014年中国城镇污泥处理处置技术与应用高级研讨会报告

主要工艺	报告单位	演讲主题
干化工艺 为主	北京沃特林克环境工程有限公司 于凡 总经理	太阳能污泥干化工艺介绍
	霍斯利机械（徐州）有限公司 周东 中国区总监	霍斯利盘式污泥干化机技术特点和应用介绍
	佛山市南海绿电再生能源有限公司 常光 董事 副总经理	瀚蓝环境污泥干化处理项目
	北京京城环保股份有限公司（原北京机电院高技术股份有限公司）	市政及工业污泥的干化、焚烧及综合利用解决方案
	浙江大学 环境与生物地球化学研究所 翁焕新 教授 博士生导师	利用烟气余热的污泥低温干化新技术
	湖南省九方环保机械有限公司 刘涌 营销总监	污泥生物干化一体化处理处置技术介绍
	哈尔滨北方环保工程有限公司 杜玉柱 主任	电渗透污泥改性干化机研发与应用
	黎明兴技术顾问股份有限公司 黎德明 董事长	高速污泥旋风干燥机之应用发展
焚烧工艺 为主	北京市市政工程设计研究总院 鲁威 博士	污泥焚烧工艺应用条件探讨
厌氧消化 为主	普拉克环保系统（北京）有限公司 姜巍 工艺部经理	污泥高温厌氧消化和沼气净化
	中国科学院生态环境研究中心 魏源送 教授 博导	污泥中温厌氧消化过程中耐药菌的分布与去除研究
	德国亚琛工业大学环境工程研究所 姚刚 教授	德国城市污泥处理中沼气回收利用的现代技术水平
	安阳艾尔旺新能源环境有限公司	AAe 市政污泥高效生物厌氧消化技术及核心设备

主要工艺	报告单位	演讲主题
	清华大学 环境学院 吴静 研究员	关于中国的污泥厌氧消化的思考
	上海市水务局 唐建国 处长 副总工	让厌氧消化工艺技术重新焕发活力
好氧消化	国美(天津)水技术工程有限公司—— 原西门子(天津)水技术工程有限公司 杨淑霞 方案部经理	ATAD 污泥好氧消化技术经济分析
	北京中科博联环境工程有限公司 陈俊 副总经理	序批式与连续式污泥好氧发酵工艺的对比分析
	北京中科博联环境工程有限公司 王慧娟 商务副总监	CTB 智能好氧发酵技术与应用
	郑州市污水净化有限公司 张东东 工程师	寒冷地区的槽式污泥好氧发酵工程选型与设计
脱水	上海施维英机械制造有限公司 工业系统部 王世杰 总经理	施维英脱水污泥泵送系统及料仓存储系统介绍
	得利满中国公司 史平 方案部技术市场经理	得利满高效污泥脱水技术与应用
	拜玛机械制造(上海)有限公司 胡伟 市场总监	德国奔马经济高效的污泥浓缩和脱水
	同济大学 环境科学与工程学院 赵由才 教授	城市污泥深度脱水和利用与卫生填埋技术
	中大贝莱特压滤机股份有限公司 王德忠 副总	中大贝莱特压滤机在污泥深度脱水中的应用
	上海申耀环保工程有限公司 陈良才 经理	新型连续压榨技术在污泥深度脱水中的应用
	厦门水务中环污水处理有限公司 谢小青 总经理	污泥脱水泥饼作为城市园林绿化肥的研究与实践
湿式氧化	北京绿创生态科技有限公司 李玉鸿 技术总监	HiROS 污泥部分湿式氧化工程设计及应用
污泥碳化	上海东硕环保科技有限公司 陈业钢 董事长	污泥碳化零排放专业化彻底解决方案
污泥改性	北京中博佳源环保科技发展有限公司 许晓增 总经理	一种高效污泥改性处理药剂的实验研究及在隔膜压滤机中的应用
热水解	威立雅水务工程(北京)有限公司 宫曼丽 高级工程师 博士	法国里尔马凯特连续式污泥热水解工程案例介绍
	裕川环境科技有限公司 左健 博士	污泥水解资源化利用技术及工程应用
资源化	同济大学 环境科学与工程学院 戴晓虎 教授 博导 院长	国内外污泥能源化资源化处理技术研究现状与进展
	住房和城乡建设部 城建司 巡视员 城镇水务管理办公室 主任 张悦	坚持污泥资源化处理处置路线
	四川深蓝环保科技股份有限公司 靳志军 技术总监	生物质废物无害化与资源化技术路线选择与优化

主要工艺	报告单位	演讲主题
	上海轻工业研究所有限公司 王维平 总工程师 教授级高工	重金属污染控制与资源化
综述	湖南省九方环保机械有限公司 莫唐文 董事长	湖南省九方环保企业及工艺介绍
	中国科学院地理科学与资源研究所 陈同斌 研究员	污泥工程中的几个前沿科技问题
	王凯军 清华大学 环境学院 副院长 教授 博导	我国污泥处理处置技术的发展与瓶颈分析
	中持水务股份有限公司 王志立 副总经理	城市污泥综合解决方案
	中国市政工程华北设计研究总院 李成江 总工 教授级高工	主要污泥处理技术在工程中的应用
	北京市市政工程设计研究总院 黄鸥 副总工程师	城镇污水处理厂污泥处理处置规划设计方法
	美国普茨迈斯特公司市政系统工程部 于东 总经理	美国污水处理厂污泥处理实例
	机械科学研究总院环保技术与装备研究所 王涛 副总工 研究员级高工	污泥去哪儿----城镇污水处理厂污泥处置路线分析与GI模式

1.1.3.3 2014（第六届）上海污泥热点论坛

2014年9月19日—20日，“2014（第六届）上海污泥热点论坛”在上海同济大学一二九礼堂隆重开幕，论坛由E20环境平台、上海市市政工程设计研究总院（集团）有限公司、上海城投污水处理有限公司联合主办。本次论坛主题为“蓝色思维之下的污泥解决之道”，对污泥处理领域进行广泛而深入地讨论，将创新性地首次引入倡导大循环、零排放，道法自然、系统自净的蓝色思维模式，从“技术政策与技术方向”、“污泥综合技术解决方案及应用”、“投融资及商业模式”、“蓝色思维之下污泥领域的共生之路”、“面向用户、以效果为导向的E20环境（污泥）专科医院考察”五个角度探讨污泥解决之道，从而为污泥处理迈向新的发展阶段增添有效助力。

国内各大污水污泥处理企业也通过这一平台开展学术交流、政策研讨和相互学习，并以此为契机，创新理念，整合资源，与行业内企业相互协作，探索系统解决方案。

论坛现场，工程技术中心管理委员会成员申维真高工还进行了题为“污泥—垃圾协同处置实践及展望”的演讲，对北京京城环保股份有限公司（原北京机电院高技术股份有限公司）多年来开展的典型“污泥垃圾协同处理处置项目”进行了分享，并重点介绍了以佛山南海污泥处理项目为代表的佛山模式，见图2。

1.1.3.4 “国家环境保护污泥处理处置与资源化工程技术中心”验收会

2014年11月28日，中国环境科学学会受环境保护部科技标准司委托，在北京京城环保有限公司召开了“国家环境保护污泥处理处置与资源化工程技术中心”验收会，见图3。环境保护部有关领导和相关行业专家近20人参加此次验收会议，京城环保总经理赵传军做专项报告，副总经理郭漫宇、总工程师白金玉参加会议。会议上，专家组一致认为工程技术中心超额实现了考核指标，具备较强的污泥处理处置与资源化领域技术研发能力和工

程转化能力，建立了高效管理体制与运行机制，并在行业内建成了佛山、竹园、呼市、温州等一批具有示范效应且各项运行指标良好的污泥处理处置项目，得到了业内的高度认可和好评。故与会专家组一致决定同意“国家环境保护污泥处理处置与资源化工程技术中心”通过验收。



图2 2014（第六届）上海污泥热点论坛

图3 “国家环境保护污泥处理处置与资源化工程技术中心”验收会

1.1.3.5 2015（第十届）水处理行业论坛

由中国国际贸易促进委员会建设行业分会主办、《水工业市场》杂志，焦点水网承办的“2015（第十届）水处理行业热点技术论坛”于2015年4月9—10日在北京新疆大厦举行。论坛主要围绕水环境治理技术的政策与市场走向；污水处理、再生水及园区水环境治理中的经验交流；污泥处理处置中的成功案例模式与技术经验交流三大热点板块展开。见图4。

住建部城建司副司长章林伟致辞并就中国水处理行业的政策焦点做了主题发言。住建部城建司水务处调研员曹燕进、住建部城镇水务管理办公室副处长牛璋彬、住建部科技发展促进中心城乡减排技术处副处长孔祥娟等领导介绍了城镇排水与污水处理新常态、城镇再生水利用与水生态改善现状和政策导向；同济大学环境科学与工程学院院长戴晓虎、北京工业大学市政工程研究所所长李军、清华大学环境学院教授王伟、中国水利水电科学研究院及中科院生态环境研究中心的专家就污水处理热点技术研发与产业化、污泥处理处置技术现状和发展趋势，以及再生水回用标准与技术经济分析等问题分享了他们的研究成果。苏伊士环境集团、威立雅水务、康碧集团、液化空气（中国）、哈希公司、北京排水集团、北控水务、巴安水务、景津环保、普拉克环保、环能德美等水处理行业各知名企业代表也分别做了的演讲，为与会者分享了最前沿的水处理行业热点技术、应用实践与市场导向。



图4 2015（第十届）水处理行业论坛

1.1.3.6 2015（第七届）上海水业热点论坛

2015年9月11日—12日，由E20环境平台、上海市政工程设计研究总院有限公司、上海城投污水处理有限公司主办的2015（第七届）上海水业热点论坛正式开幕，见图5。2015上海水业热点论坛以“面向未来的污水污泥极致化之道”为主题，以实地参观考察为核心内容，多维度打开更多了解污水污泥技术现状的通道，来自行业内外的500余位代表齐聚上海，畅谈极致化的力量。



图5 2015（第七届）上海水业热点论坛

本届论坛将分为两大单元、一场夜话、三个项目实地考察。一天半的会议内容+半天的实地考察，旨在为与会者多维度呈现污水污泥领域的产业现状及市场热点，帮助企业明晰自身业务定位、产业发展目标及未来发展通道。

公司作为活动的主要协办方，公司副总经理郭漫宇代表公司及“国家污泥工程中心”应邀参加本次论坛的开幕式，和行业顶层专家一同触动水晶球，开启面向未来的污水污泥

极致化之路，并发表寄语。公司环保三部副经理申维真做了主题发言，介绍了“市政污泥处理处置概况及处理技术工程应用”，同时借助污泥处置引入了公司“环保循环产业园”的发展模式；最后还参加集中讨论与答疑环节。与会第二天，E20 污泥热点论坛的行业领导和专家等 150 余人前往公司上海竹园污泥处置项目，此参观作为本次论坛的核心内容。

下表 2 是论坛主题演讲部分，受邀发言的公司通过介绍各自的污泥解决方案，与行业领跑者们一起分享了效果时代下的产业机遇与发展困惑，并从系统化、极致化、资源化等产业视角下的污水污泥解决方案。同时，我公司紧密结合上海竹园污泥干化焚烧处置项目，向政府机构、行业顶级专家、领先企业等从业者分享了公司的技术成果。借此平台进一步有效树立了公司综合环保服务商的业内形象。

表 2 第七届上海水业热点论坛主题演讲——方案工艺分类

主要工艺	报告单位	演讲主题
焚烧工艺为主	北京京城环保股份有限公司	市政污泥处理处置概况及处理技术工程应用介绍
	奥图泰中国	奥图泰流化床能源系统为市政污泥提供可持续的解决方案
	上海城投污水处理有限公司 王丽花	“水十条”出台后上海中心城区污泥处理处置项目建设思考
厌氧消化为主	安阳艾尔旺新能源环境有限公司	Aee 污泥系统化处理技术及案例——平顶山污泥处理项目介绍
	威立雅水务工程（北京）有限公司	丹麦 Billund 污水处理厂案例——一座系统污泥处理和处置的示范工程
	北京洁绿科技发展有限公司	湿污泥的高效厌氧处理系统
	上海城投污水处理有限公司	污泥厌氧消化系统运行管理实践与探索
	中环协生活垃圾处理专业委员会	污泥与餐厨废弃物联合厌氧利用案例分享
	GE 水处理及工艺过程处理	GE Monsal 高级厌氧消化技术
	普拉克环保系统（北京）有限公司	污泥处置的高效绿色可持续化解决方案
	中持水务股份有限公司	泥、水系统化思考与实践
堆肥为主	天津市裕川环境科技有限公司	污泥资源化利用极致之路——天津裕川污泥处理及资源化利用工程案例
	北京嘉博文生物科技有限公司	污泥有机肥在海绵城市建设中的应用
高干脱水	上海同臣环保股份有限公司	超高压弹性压榨机在中国污泥深度处理领域的广泛应用
	安徽省通源环境节能股份有限公司	一体化污泥高干脱水技术及污泥处理处置系统方案
	上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司	基于深度脱水的污泥处理及资源化技术
超临界水氧化	新奥环保技术有限公司	新奥超临界水氧化技术在污泥、危废领域中的综合运用

1.1.3.7 2015 年（第六届）中国城镇污泥处理处置技术与应用高级研讨会暨首届“两岸三地”污泥处理处置实用技术研讨会研讨会

2015 年（第六届）中国城镇污泥处理处置技术与应用高级研讨会暨首届“两岸三地”污泥处理处置实用技术研讨会 4 月在江苏省宜兴市举办。会议由中国宜兴环保科技工业园和《中国给水排水》杂志社等单位主办，环境污染治理与生态修复河南省协同创新中心协办，包括大会报告、研讨、参观示范工程和展览。会议研讨将着眼于国际最新的技术趋势，对相关理念和技术问题进行高端深入探讨，见图 6。



图 6 2015 年（第六届）中国城镇污泥处理处置技术与应用高级研讨会

污泥处理处置被列为国家“十二五”规划的重点方向，受到了广泛关注。目前，如何从纷繁多样的技术和装备市场中选择合适的、低能耗的实用技术和装备，满足工程项目的实际需求是非常急迫的问题。与会者就我国污泥处理处置路线、技术发展及瓶颈，城市污泥综合解决方案，污泥处理市场化设施建设与运行投融资探讨等问题进行了深入交流。

本次污泥会议主要着眼于国际最新的技术趋势，对相关理念和技术问题进行高端深入探讨，精心筛选了 49 个报告（下表是论坛报告方案工艺分类），围绕着污泥处理处置的政策与市场、技术及应用、最新工程案例等主题展开，并涉及污水处理和餐厨垃圾处理，650 多名政府官员、行业专家与企业界代表就我国污泥处理处置路线、技术发展及瓶颈、城市污泥综合解决方案，污泥处理市场化设施建设与运行投融资探讨等问题进行了深入交流与探讨，见表 3。

表 3 第六届中国城镇污泥处理处置技术与应用高级研讨会报告——方案工艺分类

主要工艺	报告单位	演讲主题
高干脱水	同济大学 环境科学与工程学院	城市污泥化学调理深度脱水与卫生填埋技术
	上海市离心机械研究所有限公司	离心脱水干化一体系统工厂实际运行介绍
	无锡国联环保科技有限公司	无锡国联污泥处置之路

主要工艺	报告单位	演讲主题
干化工艺为主	苏伊士环境水处理工程	先进的污泥干化技术及应用
	浙江大学 环境与生物地球化学研究所 翁焕新教授	利用烟气余热的污泥低温干化技术与装备—开辟“泥与霾”共治的新途径
	黎明兴技术顾问股份有限公司	新颖厌氧氨氧化技术及高速污泥旋风干燥机发表
	苏州工业园区中法环境技术有限公司	苏州工业园区污泥处置的实践与探索
	上海巴安水务股份有限公司	采用巴安水务的污泥干化协同发电技术
焚烧工艺为主	北京京城环保股份有限公司、国家环境保护污泥处理处置与资源化工程技术中心	市政污泥处理处置概况及干化焚烧技术工程化应用
	奥图泰中国	奥图泰流化床能源系统在市政污泥处理上的应用
厌氧消化为主	清华大学 环境学院	污泥厌氧消化进展
	中国科学院生态环境研究中心 魏源送 教授	硝酸盐积累导致的厌氧氨氧化工艺在线恢复技术研究
	中原环保股份有限公司	郑州市王新庄污水处理厂污泥厌氧消化及沼气利用系统运行管理实践
	普拉克环保系统(北京)有限公司	市政污水及污泥处置的高效绿色可持续系统解决方案--BIOMEC 及高级厌氧技术分享与案例
	青岛天人环境股份有限公司	物联网在污泥厌氧发酵中的应用
	康碧集团亚太地区	基于热水解高级厌氧消化的污泥安全处理处置途径
	天津大学 环境科学与工程学院	污泥和餐厨垃圾混合发酵产氢产甲烷技术发展与研究
	安阳艾尔旺新能源环境有限公司	AAe 生物厌氧消化+AAe 阳光棚干化
好氧消化	北京中持水务股份有限公司	中持水务市政污泥处理实践案例
	国美(天津)水技术工程有限公司	好氧消化工艺流程分析
好氧堆肥	郑州轻工业学院环境污染治理与生态修复河南省协同创新中心	城市污泥堆肥用作无土草坪基质的研究
	中国科学院地理科学与资源研究所	中国污泥堆肥技术的发展历程与思考
	北京中科博联环境工程有限公司	我国污泥好氧发酵核心设备进展
	北京中科博联环境工程有限公司	CTB 污泥智能好氧发酵技术与产业化
	机械科学研究总院环保技术与装备研究所	机械化堆肥概念厂——中国污泥堆肥系统技术发展方向
	山东福航新能源环保股份有限公司	新能源污泥干化工艺和智能高温好氧发酵工艺的技术优势及工程案例
生物捕食法	天津市政工程设计研究院	天津张贵庄污泥处理项目设计及运行总结
	哈尔滨工业大学市政环境工程学院 田禹 教授	基于生物捕食的城镇污水污泥过程减量技术
	哈尔滨工业大学市政环境工程学院 赵庆良 教授	城市污水污泥集中处理污泥收集半径研究
碳化	上海东硕环保科技有限公司	污泥碳化“零排放”创新研究
湿式氧化	北京绿创生态科技有限公司	基于部分湿式氧化的 HiROS 污泥处理技术优势及工程实践
综述	清华大学 环境学院 王伟	以固废零排放为目标的污泥处理技术方案
	威立雅水务工程(北京)有限公司	大城市的污泥处理和处置方法的探讨
	台湾新竹交通大学 黄志彬	台湾自来水厂污泥资源再利用之分析及发展

主要工艺	报告单位	演讲主题
	中国市政工程华北设计研究总院	污泥处理处置技术探讨
	深圳水务集团有限公司	城市污泥处理与资源化的再思考
	哈尔滨工业大学宜兴环保研究院	城市污水处理厂污泥减量化与资源化技术应用实践
	江苏哈宜明轩泥技术有限公司	污泥处理技术中的新问题及新技术探讨

其中，我公司环保三部技术部部长刘玲在研讨会上作了主题为“市政污泥处理处置概况及干化焚烧技术工程化应用”的专题报告，向其他与会专家讲解了“新常态”下污泥产业动力及法规政策解析，并通过分析污泥处理技术适用性推介，着重介绍我公司上海竹园干化焚烧工艺模式的应用现状，分享了污泥领域的见解和心得。

26日上午，与会代表参观宜兴国际环保展示中心；下午参观了无锡国联环保科技“深度脱水+资源化焚烧”经典案例：① 无锡梅村水处理厂污泥深度脱水项目，② 无锡惠联垃圾污泥焚烧炉示范项目。

1.2 我国自有知识产权技术的竞争力评价

我国与“污泥”有关专利涵盖范围较广，在污泥干化、焚烧、厌氧消化、好氧发酵以及资源化利用等方面均获得了一些新工艺、新方法和新设备的专利。

根据 soopat 专利搜索网 (<http://www.soopat.com>) 的统计数据，到目前为止公布的全部授权中国专利中，关于“污泥”的专利共计 20438 项，其中发明专利 12153 项，实用新型专利 8150 项，外观设计专利 135 项。

同时，通过对“专利信息服务平台”现有资料的检索，在截至到目前的国外及港台专利中，以“sludge”为第一搜索关键词查到的最终结果为国外及港台地区相关专利情况见表 4。

表 4 国外及港台地区相关专利列表

序号	具体国家或地区	专利数
1	日本	30089
2	韩国	10612
3	美国	8534
4	世界知识产权组织 (WIPO)	4965
5	欧洲专利局 (EPO)	4883
6	德国	5299
7	加拿大	3109
8	澳大利亚	1527
9	英国	2822
10	法国	1249
11	俄罗斯	1910
12	奥地利	717
13	瑞典	1157
14	东南亚	224
15	意大利	511
16	西班牙	466
17	香港特区	91

序号	具体国家或地区	专利数
18	瑞士	214
19	非洲地区	13
20	中国台湾专利	26
21	阿拉伯	1
22	专利总数	85991

(数据来源: 专利信息服务平台 <http://search.cnipr.com/>)

在 2014 年 1 月 1 日—2015 年 12 月 31 期间的专利授权情况, 根据 soopat 专利搜索网 (<http://www.soopat.com>) 公布的统计数据, 以“污泥”为搜索关键词的授权中国专利共计 8258 项, 其中发明专利 3722 项, 实用新型专利 4451 项, 外观设计专利 85 项; 以“污水污泥”为搜索关键词的专利共计 119 项, 其中发明专利 69 项, 实用新型专利 50 项。

由表 4 可见, 我国“污泥”相关专利数量较多, 高于美、英、法、德等发达国家, 仅与日本存在较大差距。但国内污泥处理处置行业市场上采用的技术却主要靠外国引进, 相关设备的国产化率也一直在较低水平徘徊, 可采用的国产专业处理设备很少。从整体上看, 国内拥有自有知识产权的技术和设备的国际竞争力较弱。究其原因, 主要有以下几方面。

- (1) 我国对专利技术的转化率较低;
- (2) 专利技术实用性和经济性较差, 市场推广价值和应用前景较小;
- (3) 国内专利技术中的重复研究较多;
- (4) 对关键技术的深入探究不足, 研发水平较低, 实质性技术突破较少;
- (5) 对国外现有技术的依赖性较强, 很大一部分仅是对原技术的改良, 独创性较差。

此外, 根据对 2014-2015 年间国家科学技术进步奖、国家自然科学奖、国家技术发明奖、国家能源科学技术进步奖以及国家为促进环境科学技术研究而设立的“环境保护科学技术奖”获奖项目的调查统计, 与污泥处理处置技术相关的项目非常有限, 因此, 我国对污泥处理处置技术的创新研发环节相当薄弱, 需要加强在新产品、新技术的研究开发工作。

2 主要问题分析

2.1 我国现有技术开发、应用和发展过程中存在的问题和解决思路

我国现有污泥处理处置技术开发、应用和发展过程中存在的问题主要包括以下几方面。

- (1) 技术开发资金投入不足, 基础研究薄弱

近年来, 随着国家对污泥处理处置越来越重视, 企业和高校在污泥处理处置新技术开发上取得了很大的进展, 但与发达国家相比, 结合目前我国面临的污泥处理处置难题, 科研投入还远远不够, 技术开发没有系统性、连续性、层次性和前瞻性。

解决思路: 加大对污泥处理处置标准规范研究、技术路线开发, 资源化利用途径, 新技术和重大装备的产业化研发投入, 有计划地建立一批新技术的示范工程, 为我国解决污泥问题提供有力的科学技术支撑。

(2) 污泥最终处理处置出路不明晰, 技术路线缺乏统一规划

按最终目标的不同, 污泥处理处置技术可分为有两种: 一种是将污泥视做废弃物, 以无害化为目标; 另一种是将污泥视做资源, 以污泥再利用为目标。由于国内污泥行业刚刚起步, 法律法规、政策和标准体系尚不完善, 处理处置目标尚不明晰, 进而对污泥最终处理处置技术路线的选择也未达成一致意见。导致国内污泥处理处置企业在方向不明确的条件更倾向于保持观望状态, 发展趋于保守, 对技术创新和设备研发的积极性不足。

解决思路: 根据国情和可持续发展的要求, 加强政策上引导和标准体系建设, 明确污泥处理处置目标, 鼓励采用节能减排的处理处置技术, 借鉴国外先进经验, 制定因地制宜、远近结合的污泥处理处置技术路线, 激发企业对相关技术和设备的研发活力。

(3) 技术发展滞后, 自有技术缺乏创新, 设备依赖引进

国内污泥处理处置技术尚不成熟, 总体发展水平较落后, 污泥专用处理设备少, 较之国外先进设备, 国产设备性能差、效率低、能耗高、未能形成标准化和系列化。目前, 国内污泥处理处置市场普遍采用国外引进的技术与设备。然而, 国内对国外技术与设备引进的同时, 却忽略了对国内自有技术及设备的研发和自身研发水平的提升, 限制了我国污泥处理处置行业创新能力的发挥。

解决思路: 加强政策引导扶持, 积极鼓励污泥处理处置技术创新和科技进步, 鼓励研发适合我国国情和地区特点的污泥处理处置新技术、新工艺和新设备。利用国内外已发展成熟的研究成果进行技术和设备的集成再创新, 积极推动具有自主知识产权的先进技术和国产设备的研发、示范和推广。保证引进消化吸收再创新与自有技术、设备研发同步进行。

2.2 我国现有相关政策、法规与技术发展之间的矛盾及改进思路

我国现有相关政策、法规与技术发展之间的矛盾主要表现在以下方面。

2.2.1 政策保障不足, 产业化发展滞后

安全可靠的污泥处理处置需要有大量的资金投入和政策配套, 需要制定污泥处理处置设施建设和运营的保障性、鼓励性措施, 引导和推动产业健康发展。目前, 我国污泥处理处置产业政策扶持力度不够, 社会、企业参与程度不明确, 缺乏对具体实施措施, 可操作性欠缺, 法律效力不足, 使得污泥处理处置与资源化利用产业链的形成和发展严重滞后。

解决思路: 从收费保障政策、财税优惠政策、投资运营政策、行业监管政策等方面强化产业政策, 逐步完善污泥处理收费体系, 建立合理的价格机制, 鼓励成立专业污泥处理处置企业, 开发新技术, 实现污泥产业化经营, 推动行业的发展进步。

2.2.2 标准体系不完善, 缺乏科学指导

我国污泥处理处置标准规范的编制工作较为滞后, 以致标准体系不完善, 污泥处理处置与资源化工作缺乏科学指导, 主要表现在以下几方面。

(1) 我国现行的法律法规、标准规范和产业政策中的相当一部分是宏观原则性规定, 具有现实意义的技术指导和操作细节较少, 可实施性较差。而欧美、日本等发达国家的政策法规和标准规范一般均制定有若干具体实施方案, 增加了可操作性, 如日本的《污泥绿农地使用手册》和《污泥建设资材利用手册》。

(2) 尚未实现对污泥领域的全面覆盖,在监督管理、污染物指标、污染物排放与控制、污泥资源化利用等很多方面依然存在法律法规、标准规范和产业政策制定上的不足或空白。而欧美、日本等发达国家的政策法规和标准体系通常会涉及污泥检验测定、调质、浓缩、储运、预处理、处理处置和资源化利用、工程建设、设备安装、调试、竣工验收等多个方面,可为污泥行业提供全过程、全方位、多角度的规范指导。

(3) 修订不及时,导致多项法规、标准、政策条款对发展变化较快的污泥行业的指导、规范和扶持作用不断弱化,比如,《农用污泥中污染物控制标准》(GB 4284—1984)自颁布之日起,均已有超过二十年的历史,至今尚未进行必要的修订。相比之下,欧美、日本等发达国家对相关政策法规和标准体系的修订较为及时,比如,美国政府和立法机构在出台多项污泥处理处置与资源化法规和标准的同时就制定了相应的定期修订计划,以保证其时效性。

解决思路:填补标准编制空白,制定配套的细节规定,推进标准规范实施情况的后续评估工作,根据实施情况加以修订,真正使规范具有可操作性,并使监管考核指标具有法律约束力。

2.2.3 政府监管体系不完善,缺乏系统性

政府的高效监管是污泥处理处置的关键。然而,我国各级政府对污泥储存、运输、测定检验、工程设计、选址、施工、设备安装、调试、竣工验收各个环节的监督不力,对污泥处理处置的监管力度弱、水平低,导致污泥处理处置技术市场乱象丛生,存在造假、不实宣传和不正当竞争及成本过高等现象。

解决思路:建立健全环境技术管理体系,为各项环境管理目标的设定以及环境管理制度的实施提供技术支持,加强政府对污泥处理处置全过程的监管。

2.2.4 信息不公开,公众参与度低

国内污泥处理处置工程项目的重要信息基本上不对公众公开,公众参与渠道不畅通,不利于技术方案设计、工程施工、竣工验收和项目运营过程中公众利益的维护,不利于社会效益和环境效益的实现。

解决思路:开辟公众参与的途径,切实保证污泥工程的数据信息公开,保障公众的权益。

2.2.5 市场准入制度不健全,技术政策引导不力

污泥处理处置过程中的环境风险高于污水,若处理不当,极易造成二次污染。与污水处理行业相比,污泥处理处置对技术储备的要求更高,更需要体现相关企业的技术专业性。而我国对进入污泥处理处置领域的企业尚未设定严格的技术准入门槛,一些不具备技术条件和能力的企业也进入市场,扰乱了市场秩序,加剧了无序竞争,打击了企业不断优化污泥处理处置工艺、改进相关设备性能和提升总体技术水平的积极性。

解决思路:设定合理的技术准入门槛,明确具备准入条件的企业的合法地位,激发企业开发先进技术和设备的积极性和创造性,提高污泥处理处置行业整体的技术水平,引导行业健康有序的发展。

3 建议

3.1 重点和优先发展的领域及相关技术建议

在未来 3-5 年内，建议立足于我国国情，瞄准国际动态，将以污泥为生产原料或燃料并以污泥资源化和能源化为目的的相关领域作为我国重点和优先发展的领域，如污泥协同焚烧发电、厌氧消化制沼、好氧发酵、土地利用和建材生产等领域。

相应的，我国重点和优先发展的技术主要包括以下几方面。

(1) 污泥厌氧消化技术：重点和优先发展污泥厌氧消化强化产甲烷定向调控技术、污泥与餐厨垃圾等有机废物的混合厌氧消化技术与设备、高含固率污泥的厌氧消化技术与设备、沼气提纯及利用技术。

(2) 污泥好氧发酵技术：重点和优先发展高效的污泥堆肥工艺与设备、污泥与生活垃圾等有机废物的混合堆肥技术与设备、堆肥过程调控技术。

(3) 污泥热解技术：重点和优先发展高效低耗的污泥低温热解技术与设备、热解产物净化提纯及利用技术。

(4) 污泥焚烧技术：重点和优先发展污泥与生活垃圾混合焚烧发电技术、基于燃煤热电厂的污泥与煤混烧发电技术、利用工业锅炉的协同处理污泥技术、大气污染物控制技术、高效低耗的污泥干化焚烧技术与设备。

(5) 土地利用技术：重点和优先发展污泥中重金属及持续性有机污染物的脱除技术、污泥的间接（经过厌氧消化或好氧发酵处理后）土地利用技术，并加强对污泥土地利用时的使用量、使用条件、污染物含量等重要指标的研究。

(6) 污泥资源化利用技术：重点和优先发展污泥资源化利用过程中有毒有害物质的脱除和稳定技术、建材生产技术、高性能吸附材料生产技术。

3.2 尚需配套的标准、法规、政策

(1) 完备并完善标准体系，突出标准规范的指导作用

建议国家和主管部门抓紧相关标准规范的制定和完善工作，填补相应的标准空白，增强我国污泥标准体系的系统性和完整性；制定与标准规范配套的具体操作措施，提高针对性和可操作性；进行标准规范实施情况的后续评估，根据其实施情况加以修订，提高标准体系的与时俱进性。

(2) 建立健全融资及财税政策，为污泥处理处置行业获得更多经济支持提供政策基础

建议各级政府在稳定并不断加大财政投入的基础上，建立适用的、可行的融资政策，开辟融资渠道，鼓励国内外企业、银行以及国内民间资本等进入污泥处理处置行业，引导污泥处理处置的资金来源向多元化、商业化与国际化方向发展。

通过财税政策的完备完善，为污泥项目的建设运营提供财政补贴、贷款贴息、增值税减免或即征即返、税前还贷等优惠政策保障，尤其是对国家重点或优先发展的污泥处理处置领域及相关技术，国家更应给予政策倾斜。

(3) 建立行业全过程监管体系，保证信息公开透明，开辟行业监督和社会监督的可行

渠道

加强行业监管，建立涵盖污泥储存、运输、检验、工程选址、工艺设计、工程施工、设备安装、试车、调试、竣工验收、工程运营等环节的行业全过程监管体系，并不断加以优化完善；定期对设施设备运行情况、污泥处理处置效果、污染物排放状况、运营成本等进行监督和评估，并且评估结果向国家环保部报告。

同时，切实保障污泥处理处置工程基本信息的公开透明，主要包括工艺路线、处理规模、环保措施、污染物排放情况以及污泥最终去向等，为社会监督和公众参与的贯彻落实提供前提条件。

（4）贯彻落实各级政府责任，为污泥行业创造良好的发展环境

贯彻落实各级政府责任，充分发挥其保障、协调与监督作用，并将政府责任履行情况作为相关政府官员绩效考核的重要内容。各级政府责任应主要包括以下几方面。

为污泥处理处置行为提供政策保障，并对各项污泥政策措施的实施情况进行评估，维护相关企业的合法利益；协调相关部门间的关系，避免职能交叉现象和管理盲区的出现，为污泥处理处置工程的土地征用、环境影响评价审批等环节排除障碍；加强各级政府对污泥处理处置全过程和企业相关资质的监督管理，建立健全责任追究机制和奖惩措施，预防并整治项目建设和运营过程中的违规现象，积极推动污泥行业的健康发展。

农业废弃物综合利用技术发展报告

1 所属行业或领域总体概况

1.1 2014-2015 年国内外相关法规、政策、标准体系现状

1.1.1 2014-2015 年国家发布的农业废弃物综合利用相关法规、政策

2014 年 1 月,中共中央国务院印发《关于全面深化农村改革加快推进农业现代化的若干意见》,意见指出大力推进机械化深松整地和秸秆还田等综合利用,加大农业面源污染防治力度,支持高效肥和低残留农药使用、规模养殖场畜禽粪便资源化利用、新型农业经营主体使用有机肥、推广高标准农膜和残膜回收等试点。

2014 年 9 月,发改委印发《京津冀及周边地区秸秆综合利用和禁烧工作方案(2014-2015 年)》(发改环资〔2014〕2231 号),推进京津冀及周边地区秸秆综合利用和禁烧工作,促进京津冀大气污染防治。

2015 年 3 月,国务院办公厅发布《关于加强节能标准化工作的意见》(国办发〔2015〕16 号),意见提出在农业领域,加快修订农作物秸秆资源化高效利用等相关技术标准。

2015 年 5 月,中共中央办公厅、国务院办公厅印发了《关于深入推进农村社区建设试点工作的指导意见》,意见提出,改善农村社区人居环境。强化农村居民节约意识、环保意识和生态意识,形成爱护环境、节约资源的生活习惯、生产方式和良好风气。分级建立污水、垃圾收集处理网络,健全日常管理维护,促进农村废弃物循环利用,重点解决污水乱排、垃圾乱扔、秸秆随意抛弃和焚烧等脏乱差问题。

2015 年 5 月,中共中央国务院《关于加快推进生态文明建设的意见》中提出推进秸秆等农林废弃物以及建筑垃圾、餐厨废弃物资源化利用。

2015 年 7 月,国务院办公厅发布《关于加快转变农业发展方式的意见》(国办发〔2015〕59 号),意见指出推进农业废弃物资源化利用;落实畜禽规模养殖环境影响评价制度;启动实施农业废弃物资源化利用示范工程;推广畜禽规模化养殖、沼气生产、农家肥积造一体化发展模式,支持规模化养殖场(区)开展畜禽粪污综合利用,配套建设畜禽粪污治理设施;推进农村沼气工程转型升级,开展规模化生物天然气生产试点;引导和鼓励农民利用畜禽粪便积造农家肥。支持秸秆收集机械还田、青黄贮饲料化、微生物腐化和固化炭化等新技术示范,加快秸秆收储运体系建设。扩大旱作农业技术应用,支持使用加厚或可降解农膜;开展区域性残膜回收与综合利用,扶持建设一批废旧农膜回收加工网点,鼓励企业回收废旧农膜,加快可降解农膜研发和应用,加快建成农药包装废弃物收集处理系统。

2015年11月,发展改革委、财政部、农业部、环境保护部联合发出《关于进一步加快推进农作物秸秆综合利用和禁烧工作的通知》(发改环资〔2015〕2651号),要求各地进一步加强秸秆综合利用与禁烧工作,力争到2020年全国秸秆综合利用率达到85%以上。通知提出,完善秸秆收储体系,进一步推进秸秆肥料化、饲料化、燃料化、基料化和原料化利用,加快推进秸秆综合利用产业化,加大秸秆禁烧力度,力争到2020年全国秸秆综合利用率达到85%以上。鼓励有条件的企业和社会组织组建专业化秸秆收储运机构,鼓励社会资本参与秸秆收集和利用,逐步形成商品化秸秆收储和供应能力,实现秸秆收储运的专业化和市场化。通知指出,各地要积极扶持秸秆收储运服务组织发展,建立规范的秸秆储存场所,促进秸秆后续利用。各地应出台方便秸秆运输的政策措施,提高秸秆运输效率。通知要求,完善落实有利于秸秆利用的经济政策。

1.1.2 2014-2015年国家财政支持农业废弃物综合利用项目

2014年国家深化农村改革、支持粮食生产、促进农民增收政策措施中土壤有机质提升补助政策。2014年,中央财政安排专项资金8亿元,通过物化和资金补助等方式,调动种植大户、家庭农场、农民合作社等新型经营主体和农民的积极性,鼓励和支持其应用土壤改良、地力培肥技术,促进秸秆等有机肥资源转化利用,提升耕地质量。2014年,继续在适宜地区推广秸秆还田腐熟技术、绿肥种植技术和大豆接种根瘤菌技术。因地制宜发展户用沼气和规模化沼气。在尊重农民意愿和需求的前提下,优先在丘陵山区、老少边穷和集中供气无法覆盖的地区,发展户用沼气。支持为农户供气的大中型沼气工程建设,鼓励农民合作社、村委会和企业承担建设沼气工程,把开展沼渣、沼液利用作为项目立项审核的重要内容;创新大中型沼气工程建设机制,建立产业化发展平台,引导社会力量参与沼气和运营,拓宽沼气使用出口。依托公益性(农业)行业科技专项,加大研发攻关力度,加快新工艺、新材料、新设备的更新换代,提高沼气项目工艺技术水平。在有条件地区试点推广政府购买沼气服务,健全服务体系,多措并举提高沼气服务质量和水平。

国家发展改革委办公厅关于组织申报资源节约和环境保护2015年中央预算内投资备选项目的通知(发改办环资〔2015〕631号)秸秆综合利用项目。重点安排京津冀及周边大气污染防治重点地区秸秆利用项目。拟安排中央预算内投资10亿元,支持北京市、天津市、河北省、内蒙古自治区、山西省、山东省、黑龙江省、西藏自治区等地区,采取打捆下达计划方式。补助标准:原则上按东、中、西部地区分别不超过8%、10%、12%,且单个项目最高补助上限为1000万元进行控制。西藏自治区项目按相关规定执行。

2015年4月,国家发展改革委和农业部联合印发了《2015年农村沼气工程转型升级工作方案》,提出今年中央预算内投资将支持建设日产沼气500立方米以上的规模化大型沼气工程,开展日生产物天然气1万立方米以上的工程试点,预计年可新增沼气生产能力4.87亿立方米,处理150万吨农作物秸秆或800万吨畜禽鲜粪等农业有机废弃物。同时鼓励各地利用地方资金开展中小型沼气工程、户用沼气、沼气服务体系建设。

1.1.3 2014-2015年国家发布农业废弃物污染防治与综合利用技术目录及技术规范

2014年11月,国家发改委和农业厅联合发布《秸秆综合利用技术目录(2014)》(发改办环资〔2014〕2802号),是继2008年国务院办公厅印发《关于加快推进农作物秸秆综

合利用的意见》(国办发〔2008〕105号)以后,各地区、有关部门大力推进秸秆综合利用,秸秆肥料化、饲料化、原料化、燃料化、基料化利用技术快速发展,一批秸秆综合利用技术经过产业化示范日益成熟,成为推进秸秆综合利用的重要支撑。为指导各地推广实用成熟的秸秆综合利用技术,推动秸秆综合利用产业化发展,确保实现“到2015年秸秆综合利用率超过80%”目标任务,国家发改委和农业厅发布的指导性技术目录。

2014年农业部公告第2350号发布包括生物质成型燃料工程运行管理规范(NY/T2880-2015)和生物质成型燃料工程设计规范(NY/T2881-2015)在内的23项行业规范,该规范将于2016年4月1日起执行。

1.2 2014-2015年国内外对秸秆禁烧和畜禽污染的污染控制管理现状

2014年1月1日起,《畜禽规模养殖污染防治条例》开始实施,这是我国加强生态文明制度建设的又一新的成果。它的实施将推动实现畜禽养殖业发展与农村环境保护和谐统一。其中,强调了通过强化激励扶持促进废弃物综合利用。畜禽养殖业属于相对弱势的基础性产业,畜禽粪便等废弃物是“放错了地方的资源”,通过综合利用可以基本实现零排放,不能简单采取工业污染的治理模式。但由于综合利用的成本高、收益低,需要政府通过强化激励扶持,实现变废为宝。

2014年3月,国家环保部发布《关于征求国家环境保护标准《畜禽养殖业污染物排放标准》(二次征求意见稿)意见的函》,针对2001年发布的《畜禽养殖业污染物排放标准》进行修订,修订稿增加了控制配方的污染物项目,提高了污染物排放控制要求。

2014年5月,为了规范和指导秸秆焚烧卫星遥感监测工作,防止大气环境污染,改善环境空气质量,国家环境保护部发布《关于征求国家环境保护标准《秸秆焚烧卫星遥感监测应用技术规范》(征求意见稿)意见的函》(环办函〔2014〕524号)。目前该技术规范还未正式发布。

2015年11月,发展改革委、财政部、农业部、环境保护部日前联合发出《关于进一步加快推进农作物秸秆综合利用和禁烧工作的通知》(发改环资〔2015〕2651号)。通知中对于秸秆禁烧,四部委要求各地强化卫星遥感、无人机等应用,提高秸秆焚烧火点监测的效率和水平;健全秸秆资源评估、综合利用和焚烧监测的统计、评价体系;逐步建立以过火面积、焚烧量和综合利用量为核心的秸秆禁烧工作评价、考核方法和奖惩机制。通知提出,力争到2020年,秸秆焚烧火点数或过火面积较2016年下降5%,在人口集中区域、机场周边和交通干线沿线以及地方政府划定的区域内,基本消除露天焚烧秸秆现象。

2 主要技术发展情况

2.1 主要技术发展情况

2014~2015年国内外主流技术研发、推广和应用情况、技术的进步和发展,主要包括:技术关键、开发重点、主要进展、国内外应用情况、产业化情况、发展趋势、国内主要研发机构工作进展情况等(对热点单项技术、新技术补充介绍技术原理)。

2.1.1 秸秆能源化综合利用技术

秸秆能源化利用的主要方式有直接燃烧(包括通过省柴灶、节能炕、节能炉燃烧及直燃发电)、固体成型燃料技术、气化和液化等。后三种利用方式是近年来研究的重点,相关技术及设备得到了突破性的进展。

由天津大学环境学院院长陈冠益教授牵头研发的“农林废弃物清洁热解气化多联产关键技术与装备”项目获 2015 年国家科技进步二等奖,为农林废弃物找到焚烧以外高效利用的途径。利用该项目研发的技术,1 公斤的秸秆,可以一次性转化出约 0.85 立方米燃气,0.05 公斤的燃油,以及 0.10 公斤左右的复合生态肥。

该项目的技术突破包括两方面。一、生物质的转化过程中会产生出黑色的焦油,导致二次污染(例如废水),该项目在秸秆气化过程中使焦油降低 85%以上,剩余的少量焦油,再由净化装置去做进一步分离收集处理,对环境更友好;相应的净化装置价格经济,让用户“用得起”。二、该项目能产生多种产物,生物质经热解气化后主要成为燃气,废渣可成为生态肥,液体可提炼成燃油,提高了综合经济效益。不仅是诸如秸秆、玉米芯等农业废弃物,包括树枝、木屑、家具刨花等林业废弃物以及酒糟、药渣等工业废弃物,都可以经过“热解气化”而变废为宝。

该成果已在全国十几个省市推广应用,建成了一批示范工程,用户群主要为农民和企业,燃气可用于家庭做饭、企业供热等,项目累计实现产值约 10 亿元,累计利用农林废弃物 855 万吨,显著改善了农村当地环境,促进了村镇经济,产生了巨大效益。

东北林业大学王述洋教授团队成功解决农林废弃物规模化、低成本生产清洁燃油联产炭、热的全部技术难关,目前已全面进入产业化推广阶段。目前团队已经成功推出用农林废弃生物质规模化生产生物质清洁燃油的大型成套化高技术装备,已可为用户提供年产 20 万吨清洁燃油联产炭、热的大型成套化制油装备。

该成套装备包括物料预处理、物料干燥输送、闪速裂解、冷凝换热、气固分离、固液分离、固固分离、余热回收利用和过程安全自动检测与控制等一系列子系统。经该装备转化,每 20000 吨秸秆、林木废弃物可生产出清洁燃油 10000 吨、生物炭粉 5000 多吨和可约供 20000 m² 供热的余热。目前国际上对于农林废弃物的燃油转化率一般在 40%左右,而该成套装备的清洁燃油转化率现阶段可以达到 50%~60%,处于世界先进水平。据王述洋教授介绍,该成套装备早在 2011 年就在陕西装机投产成功,并成功产出了清洁燃油。该燃油可广泛应用于热能、电力生产及有色冶金、石灰、陶瓷、水泥等领域。而且由于这种燃油几乎不含硫,是真正的清洁能源。因其价格低廉,市场前景被普遍看好。另外,该团队已经掌握了将生物质清洁燃油进一步转化为柴油、汽油等燃料的方法,正在筹资中试和开发。不久的将来,人们就会用上由秸秆和林木废弃物制造的柴汽油燃料。

2.1.2 农业废弃物肥料化技术

作物秸秆主要由纤维素、木质素、淀粉等糖类有机物组成,还包含少量粗蛋白、粗脂肪以及钙、磷、钾等其他成分。畜禽粪便是一种天然有机肥,其主要养分包括氮、磷、钾、锌、铜等,可改善土壤结构,提高土壤肥力水平。秸秆、畜禽粪便的肥料化利用主要由秸秆还田和堆肥两种方式。

秸秆还田是把秸秆（麦 秸、玉米秸和水稻秸秆等）直接或堆积腐熟后施入土壤中的一种方法，是当今世界上普遍重视的一项培肥地力的增产措施，也是现在秸秆综合利用的主要途径。秸秆还田具有明显的粮食增产效果，有利于改良土壤与水土保持、减少温室效应。2015 年 8 月，农业部发布《关于开展主要农作物生产全程机械化推进行动的意见》，大力推进秸秆机械化还田技术。

堆肥法是一种古老而现代的有机固体废弃物生物处理技术，实质上是有机物质稳定化和腐殖化的过程。堆肥工艺可以分为好氧堆肥和厌氧堆肥两种。现代化堆肥工艺大都采用好氧堆肥系统，因为好氧堆肥处理方法成本低、无害化程度高、处理能力大、堆体温度高（50~65℃）、发酵周期短、有机物分解彻底，主要生产有机肥料，处理后的产品方便运输且适于农田施用。在实际工程化堆肥中仍会遇到恶臭气味和气悬微粒的污染等问题。畜禽粪便中散发的气味气体由 121 种化合物组成，主要包括氨、胺化物、硫化物、挥发性脂肪酸、醇、醛、醚等。目前主要采用物理和生物两种除臭法，物理除臭技术是向粪便中投放吸附剂，效果较好的吸附剂为沸石、锯末、膨润土、秸秆、泥炭等。生物除臭法是向畜禽粪便中接种微生物作为生物除臭剂，是目前较为有效地方法。生物有机肥的施用具有改良土壤，增加土壤活性、减少温室气体排放、降低作物病虫害率从而减少农户的农药、化肥施用量和投入费用。

2.1.3 农业废弃物秸秆目前关键技术研究进展

目前，秸秆的研究重点仍然集中在洁净能源的开发，包括秸秆的气化、固化成型、清洁燃油等技术的开发和改进，这也是最有可能形成工业化价值的方向。在理论研究方面，秸秆的节能转化机理是秸秆综合利用研究的重点趋势。如何将生物质原材料经高效转化为低成本、高品质的五碳糖、六碳糖和木质素及其衍生物，进而产生更有价值的生物基材料和能源，仍然是一个关键问题。

秸秆的木质素包围纤维素的结构，使得降解成为亟待解决的关键难题。秸秆表面富含一种脲醛胶黏剂难以润湿的蜡状物质，经过物理或化学方法对这种物质的处理和秸秆破坏是实现秸秆进一步降解应用的前提和基础。蒸汽爆破结合机械筛分，可以同时实现秸秆纤维素、半纤维素、木质素组合分的成分利用，且可大幅度降低秸秆转化生产成本。

秸秆的能源转化是最理想的选择，但由于其元素组成、化学键型、化学成分等十分复杂，使其从固体原料到固体或液体产品的转化过程要难于传统的石油炼制过程。热化学转化达到 CO₂ 减排和能源可再生目标是当前研究的重点方向之一。生物质属于高分子化合物，原料组成差异很大，热化学转化产物组分很复杂，国内外对于生物质的热化学转化的关键技术虽有所突破，但目前液化、热解还没有实现工业化。

2.2 我国自有知识产权技术的竞争力评价

目前，我国涉及农业废弃物秸秆的具有自主知识产权的专利技术共有 4923 条，其中发明专利 2753 条，占 55.9%；实用新型专利 2152 条，占 43.7%；外观设计专利 18 条，占 0.4%。涉及畜禽粪污处理及综合利用的专利技术共有 272 条，其中发明专利 198 条；实用新型专利 74 条。从所占比例上看，发明专利占了我国关于农业废弃物秸秆的专利技术的一半以上，比例较之前有所提高。说明近年来我国在农业废弃物综合利用技术上有所创新，

标志着我国在该行业的竞争力有所提高。

秸秆资源的多宜性使其有众多的利用方式,秸秆资源的有限性又使其各种利用方式之间存在着一定的竞争关系。但秸秆资源的这种竞争利用关系并不像商品化程度很高的煤、电、“三气”等商品能源那样,表现为明显的市场竞争。除局部地区的个别种类的秸秆(如造纸厂收购的麦秸等)外,我国广大农村地区的绝大多数秸秆仍没有成为商品,仍保持着以农民家庭自给自足为主的生产消费状态,具有十分明显的自然经济特征。因此,秸秆资源各种利用方式之间的竞争是潜移默化的,只有经过长期的竞争演替,利用结构发生较大改变后才能凸显出来。秸秆资源各种利用方式之间的竞争结果最终表现为秸秆利用方式和利用构成的趋势性变化。技术进步、资本集约和劳动密集,尤其是秸秆产业化发展,对秸秆利用的趋势性变化有重大推动作用。随着秸秆新能源开发、秸秆工业加工等秸秆现代利用方式的长足进步,将使秸秆资源逐步从自然经济中走出来,作为能源工业、造纸业、建材工业、饲料工业等行业的原材料,参与到市场竞争中去。在这一发展变化过程中,不仅会使秸秆资源各种利用方式之间的竞争利用关系由潜在的自然竞争逐步转变为显性的市场竞争,而且会使秸秆资源的可再生性和廉价优势在其与煤炭、石油、天然气等化石能源的竞争利用中得以更充分地表现。

3 主要问题分析

3.1 农业废弃物资源化利用的全民意识没有完全树立

由于历史上的原因,致使我国农业资源的综合利用水平与国民经济发展相对滞后。农民对秸秆的认知不足,没有了解到焚烧秸秆的危害性和秸秆的重大价值,常常为了省事,在田里直接一烧了之。我国存在着大量的地方中小企业、乡镇企业,这些企业在进行生产时基本不考虑环保、污染等问题。在日益重视可持续发展的今天,工作的重点之一是要加深对农业废弃物综合利用的意识,充分认识到农业废弃物综合利用的经济、环境与社会价值,加强开展农业废弃物资源化利用与可持续发展的重要关系,使农业废弃物作为可再生资源利用的观念深入人心。同时,在对农业废弃物进行回收时,应提倡绿色回收,兼顾节约和环保。

3.2 相关秸秆综合利用政策、法规亟待完善

农业废弃物资源化利用时实行农业可持续发展的根本保证。目前,我国农业废弃物秸秆再生利用的政策法规还很不完善,缺乏行之有效地配套措施,基层政府职能部门很难执行。此外,其他的政策仅散见于其他法律、法规中,可操作性极差,致使该产业是在混乱、无序的状态下自由发展。在实质性的资金、技术引进、税收、应用推广等方面都未得到切实的支持,即使当前颁布了资金扶持法规,但准入标准过高,吸引的企业少,达不到推广的目的。

3.3 综合利用技术还不完善

秸秆收集、运输成本太高,经济效益不显著,对农民没有很强的吸引力,秸秆综合利

用项目和技术推广难度大。秸秆还田机具价格偏高，利用率低，缺少丘陵山区适宜的机具；还田秸秆粉碎不够细、不易腐烂，会影响下茬作物播种和出苗质量，带病、带虫秸秆没有清除还田，会提高作物病虫害的发病率；秸秆利用工业化程度低，规模化利不够发达。

3.4 秸秆储运系统不健全

虽然近几年关于秸秆利用的技术层出不穷。秸秆这个“宝贵”的“废物”越来越受到人们青睐。以秸秆为原料的建设项目很多，且有大规模利用的发展趋势，但是这些项目在研发、设计中首先遇到的是原料收集和储存问题，很多拟上项目的“搁浅”基本上也都是因为没有解决好秸秆的收集和储存。有的已建成项目甚至由于原料秸秆供不上而停产。

秸秆物料密度较低。以亩产 2000 kg 计算（两季种植区），物源密度仅为 3 kg/m^2 ，而成材树的物源密度可达 $50\sim 100 \text{ kg/m}^2$ ，煤炭的物源密度高达吨级数量。自然形态的秸秆较为松散，其收集后堆放密度不足 0.1t/m^3 ，堆放储存占地较大。

收集期短、即地保存性差。秸秆虽然是每年都可产生的，但可收集期很短，只是在作物收获期的短短几天里。而且秸秆产生后，为了不影响下一季粮食生产，必须快速处理掉，没有即地保存性。

秸秆收购价格低。秸秆大部分掌握在农民手中，由于秸秆收集密度低、收购价格低，农民为保证粮食生产不愿意收集、储存，更喜欢付之一炬，于是出现了秸秆利用厂没有原料，而农民又在田间焚烧秸秆的奇怪现象。

4 建议

4.1 完善农业废弃物大数据收集

为充分发挥大数据在农业农村发展中的重要功能和巨大潜力，有力支撑和服务农业现代化，按照国务院《促进大数据发展行动纲要》精神，农业部近日印发了《关于推进农业农村大数据发展的实施意见》，全面部署农业农村大数据发展工作。根据数据分析，可指导农业废弃物综合利用市场化健康发展，避免出现信息沟通不畅、供求关系不平衡的状态。

4.2 加大政府支持力度并建立激励机制

根据各地的实际情况制定出切实可行的政策，对秸秆综合利用制定合理的目标和规划，提出保障措施和支持政策，对焚烧秸秆、掠夺式经营土地的行为给予法律约束，对增加有机肥投入、进行秸秆还田或有效利用的农民要给予政策鼓励或奖励。同时各级政府要因地制宜，加大推广投入力度，安排专项资金重点支持建立示范基地，对推广项目的技术、设备引进给予适度补贴。

4.3 加强对农民的宣传和技术培训

加强在法制和环保方面宣传教育，强化农民对焚烧秸秆的危害性和秸秆综合利用的科学性的认识，提高其对秸秆肥料、饲料、燃料和原料价值的认识，宣传和推广新技术，建立技术服务站，为农民提供技术上帮助和指导，调动农民积极性。

4.4 加强秸秆利用技术瓶颈问题的研究

有的技术还不成熟、有的还需进一步研发,如秸秆气化中的焦油问题,高效生物有机肥工业化生产设备的引进、消化吸收及国产化问题,秸秆饲料的优化配制等。针对不同作物秸秆利用机械的引进、消化与优化改良,政府和研究部门应因地制宜,加大研究资金,扩宽研究的范围。

4.5 因地制宜搞好示范推广工作

从实际出发,因地制宜搞好综合利用技术的推广应用,使其产品化、工业化,实现秸秆产业化经营。如平原地区和大城市郊区,要大力推广应用秸秆机械化粉碎还田、保护性耕作等适用技术;丘陵区与经济欠发达区,要着重推广秸秆快速腐熟还田;草食动物比较集中地区,推广过腹还田技术,发展秸秆养畜;经济较发达地区,要推动秸秆气化、沼气和秸秆加工业的发展,开拓农民增收的新途径,推进新农村建设。

矿山固体废物处理与处置领域技术发展报告

1 所属行业或领域总体概况

矿产资源是人类生存和发展的重要物质基础，在我国经济快速发展过程中大约 85% 的原材料来自矿产资源，然而矿产资源在开发利用过程中能够利用的有用组分相当有限，我国用量最多、利用最广的铁矿石平均品位不到 30%，60% 以上的物质将成为废石与尾矿被丢弃，金属矿山废石和尾矿已成为我国工业目前产出量最大、综合利用率最低的大宗固体废弃物，所带来的资源、环境、安全和土地等诸多问题已成为国家和企业迫在眉睫要解决的问题。

废石与尾矿内部组成中含有一定数量的有用金属、非金属矿物，可视为一种“复合”的硅酸盐、碳酸盐等矿物材料。废石具有块度大、而尾矿粒度细、两者数量多、伴生有价元素种类多、复杂难选，对环境的污染和危害大，但同时又是一种潜在的二次资源，换言之，废石与尾矿具有二次资源与环境污染双重特性。

目前我国金属矿山废石与尾矿累计堆存量达数百亿吨，但我国的废石与尾矿综合利用率不到 20%。截至 2012 年底，全国铁矿山共有废石堆 2857 座，累计存放量 132 亿吨。其中，仅 2012 年全国铁矿就排放废石 9.4 亿吨，利用率 19.8%。2013 年我国尾矿综合利用率仅为 18.9%（含尾矿充填）。金属矿山固废的综合利用大大滞后于其他大宗固体废弃物。它们已成为我国工业目前产出量最大、综合利用率最低的大宗固体废弃物，其中尾矿积存量和递增量到了令人忧虑的地步，矿业对环境的破坏和地球资源的日趋枯竭，致使人们越来越关注废石与尾矿减量化与资源化的开发利用。《金属尾矿综合利用专项规划（2010-2015 年）》对我国尾矿综合利用基本情况、存在问题作了详细阐述，并对综合利用的重点领域、重点项目、保障措施做出了明确规划和实施意见，这对今后我国进一步加强尾矿综合利用，挖掘资源复用潜力，节约资源，搞好矿山行业的安全环保必将起到重要作用

1.1 我国金属矿山固体废物废弃物的基本情况

金属矿山废石与尾矿资源排放或堆存，对环境、生态平衡、人类健康及生命财产安全造成极大的危害和潜在的威胁，主要表现为环境污染、生态资源破坏、地质灾害三大类。

1.1.1 环境污染

矿山尾矿，尤其是浮选尾矿，其中残留的选矿药剂有氯化物、氰化物、硫化物、松油、有机絮凝剂、表面活性剂等，受到阳光、雨水、空气的作用以及它们的相互作用，会产生有害气体、液体或酸性水，加剧了重金属的流失，严重污染地下水和土壤。其次，矿山的

废石、废渣的堆存还占用了大量的土地资源。据有关资料显示我国矿业及相关行业废渣堆存情况,矿业及相关行业的固体废渣所占比重超过了固体废弃物的85%。

1.1.2 生态资源破坏

矿山开发对水资源的破坏主要表现在地下水源枯竭或流量减少。由于疏干排水及废水废渣的排放,使水环境发生变异甚至恶化,导致地表水、地下水系统失衡,造成大面积疏干漏斗、泉水干枯、水资源逐步枯竭、河水断流,地表水入渗或经塌陷灌入地下,影响了矿山地区的生态环境。例如,黑龙江省鸡西、鹤岗、双鸭山、七台河4个矿业城市,每年因采煤排放地下水1.56亿立方米,约为地下水可开采量的5倍,因此形成了地下水疏干区,导致大量水井报废,严重影响城市供水和农业供水;山西省因采煤排水,使区域地下水水位下降数十米到一百多米,造成18个县28万人饮水困难。同时矿山的突水事件时有发生;大规模的采矿活动常使地形发生较大改变,破坏原始地貌。所有大中型矿山在开采过程中或多或少都会对当地的地形地貌产生不良的影响,如个旧锡矿、大厂锡矿、德兴铜矿等矿山的地形地貌都发生了很大的改变;矿山的开采在占用土地的同时,还对耕地、森林、草地等造成了破坏。我国采矿业破坏的土地面积约有1.4-2.0万平方公里,并以每年200平方公里的速度增加,造成矿山占地的原因主要是露天采场及各类矿渣、工业垃圾堆置所致。一般一座大型矿山平均占地达18~20万平方米,小矿山也达几万。平方米,据此推算,全国矿山开发占用耕地面积是全国耕地面积的1.04%;占用林地是全国林地约0.79%。

1.1.3 地质灾害

几乎所有矿山都不同程度地遭受到滑坡、崩塌、泥石流灾害的危害或威胁。地质灾害在某种程度上已成为影响矿山建设和矿产开发的“公害”。

(1)冒顶片帮。冒顶片帮是地下开采空间顶板和边帮岩石冒落、崩塌,是矿山开采导致的最直接的地质灾害。冒顶片帮常常无明显前兆,具突发性,发生频率高,难以防范,是矿山生产安全的主要危害。据统计,我国有色金属地下开采矿山冒顶片帮造成的人员死亡人数占矿山总事故死亡人数的18%。

(2)地表塌陷与裂缝。采矿活动引起大面积的地表塌陷,在塌陷同时,地表出现高度、深度不等的裂缝。近10余年来,金属矿山地表塌陷呈急剧上升的势头,如凡口铅锌矿已发生了2600多处地表塌陷;甘肃厂坝铅锌矿因民采,也存在大量不明采空区;锡矿山因开采导致地表塌陷区面积高达80.2万平方米,成为下沉盆地,其最大沉降量达2.8米,大量建筑物被毁。

(3)滑坡。滑坡是露天矿山最常见的工程地质灾害。当山体坡度超过25度,地表为砂质粘土和坡积物时,由于长时期受风化侵蚀或水流冲刷而处于自然平衡的临界状态,尤其当受到采矿影响时,很容易出现裂隙、滑动,继而出现大面积的山体滑坡。据调查资料表明,由于受采矿影响而引起的山体滑坡在全国许多矿山时有发生。

(4)泥石流。矿产开发活动中乱采乱挖,随意丢弃废石、土及植被破坏等,都可能诱发泥石流或加大原有泥石流的规模。如水口山铅锌矿曾发生井下泥石流,涌出量达400立方米,堵塞巷长达80米;向山硫铁矿曾发生较大泥石流现象,淹堵巷长达147米,造成重大事故和经济损失;云南东川铜矿区由于历史上伐木烧炭炼钢,毁坏了大面积森林,致使

生态环境恶化，泥石流灾害频繁发生。

1.2 矿山固废目前处理与处置技术水平

金属矿山固废综合利用难度大、牵涉面广，既关系企业和行业生存与发展，又影响环境与安全，是社会关注的热点。与粉煤灰、煤矸石等固体废弃物相比，金属矿山固废的综合利用技术更复杂、难度更大。目前，我国工业固体废弃物综合利用率在 60%左右，而金属尾矿的综合利用率平均不到 20%，其中铁矿尾矿的综合利用率更低，大多数直接堆存在尾矿库中。尾矿和废石已成为我国工业目前产出量最大、综合利用率最低的大宗固体废弃物。在矿石日趋贫化、资源日渐枯竭、环境意识日益增强的今天，解决金属矿山固废的根本出路依赖于二次资源的开发利用，综合利用这类资源已成为矿山可持续发展的必然选择，并受到世界各国的重视。

2 主要技术发展情况

2.1 国外矿山固废资源化利用技术

国外发达国家把废物二次资源利用程度作为衡量一个国家科技水平和经济是否发达的重要标志，采用立法形式进行管理，利用目的不仅仅是追求最大经济效益，而且还从资源综合回收利用率、保护生态环境等综合因素加以考虑。国外对金属矿山废石与尾矿的综合利用主要体现在：（1）多金属伴生元素的综合回收；（2）利用废石与尾矿资源特性，生产高附加值的添加剂、建筑和玻璃材料；（3）采空区的胶结充填；（4）土壤改良及微量元素化肥；前苏联胡杰斯克矿山综合回收了铜、锌、镉、钴、铁、硫、碲、硒等 8 种成分，综合利用率达 87%以上。美国、加拿大等国还利用尾矿生产微晶玻璃、水泥渗合料、化工管道，前苏联利用铜选厂尾矿、锰矿尾矿制作农业用微量元素化肥。瑞典斯特拉萨铁矿选厂采用大型的 Sala480 型转盘式高梯度磁选机处理弱磁选和螺旋选矿机的尾矿，结果从含铁 11.5%的尾矿中获得含铁 42.61%的精矿，铁回收率 44.1%，尾矿含铁 7.05%；对分离出来的非金属物料可作混凝土的高质量碎石，细粒级的湿式磁选尾矿可用于筑坝、筑堤及尾矿堆场的建筑，还可将部分尾矿分级，+0.14 mm 粒级粗砂可作建筑公路混凝土的配料等。

2.2 国内矿山固废资源利用技术

废石与尾矿资源综合回收与综合利用水平是衡量一个国家经济与技术发展水平的标志之一。受经济和技术发展水平的制约，世界各国在有价矿产资源综合回收与综合利用方面的差距较大。西方发达国家废石与尾矿资源综合回收率大多在 60%以上，综合回收伴生金属的产值可占总产值的 30%以上。与国外先进水平相比，我国矿产资源综合回收与综合利用水平要低得多。

目前，废石与尾矿利用可以概括为废石与尾矿再选、废石与尾矿整体利用两个方面，具体体现在：

2.2.1 废石与尾矿再选技术

采用大型大型高效节能干式预选设备 CTDG1527 处理水厂铁矿西排土场废石,处理能力达 2768t/h, 粒度 450-0 mm, 抛出的废石磁性铁含量平均为 1.05%, 预选粗精矿铁品位达 20%左右, 预选粗精矿经磨选流程选别后, 可获铁品位 65%以上的铁精矿, 年产铁精矿粉 8 万吨。马钢南山铁矿采用高压辊磨超细碎、湿式分级、粗粒磁选预选抛废工艺, 将破碎粒度从常规三段一闭路的一 20 mm 降至一 3 mm 以下, 入选边界品位由 20%降低到 15%, 扩大资源量 2000 万吨以上。对山西临钢二峰山铁矿尾矿进行了多种选别流程的对比试验研究, 分别获得铁精矿品位 62% - 67%, 磁性铁回收率 80%以上的技术指标。马钢桃冲铁尾矿中含有 85.36% 的钙铁石榴石, 采用强磁选一次粗选、二次精选、一次分级摇床选别流程, 选出了石榴石含量 97.39%, 回收率 41.00% 以上, 磁性物含量 0.54% 的石榴石精矿。对南京栖霞山铅锌矿, 采用高梯度强磁选流程进行锰矿物回收, 可获得碳酸锰精矿品位 20% 的锰精矿; 对富石英和长石的某铌钽尾矿进行了综合回收试验研究, 得到了达到玻璃及陶瓷 II 级的长石精矿, 达到硅铁 II 级及玻璃 II 级的石英精矿, 并使该矿矿物回收率提高到了 75%。石英脉型金尾矿主要成分为石英, 通过技术创新, 从石英脉型金尾矿中选出了合格的石英精矿。

2.2.2 废石与尾矿整体利用技术

废石与尾矿矿物成分和化学组成常与一些建材、轻工、无机化工原料较为接近, 是一种不完备的天然混合料, 可以通过掺入少量其他原料, 适当调配, 经过一定的制备工艺, 成为建筑砖与砂、采空区胶结充填、微晶玻璃、建筑陶瓷、土壤改良剂等。利用尾矿制备建筑砖 ($\text{SiO}_2 > 65\%$) 是尾矿利用较广途径之一, 采用金属尾矿为原料研发出的产品有免烧砖、透水砖、蒸压砖、加气混凝土切块等。马矿院采用齐大山、歪头山铁矿的高硅尾矿为主要原料配入少量骨料、钙质胶凝材料及外加剂, 加入适量的水, 均匀搅拌后在 60t 的压力机上模压成型, 脱模后经标准养护 28 天, 成功地制成免烧砖。利用唐山地区高硅铁尾矿为主要原料, 加入一定量粗骨料、水泥、粉煤灰和外加剂, 经配料、坯料制备、振动成型后蒸压养护, 再蒸汽养护, 成功地研制出尾矿掺量 50% 以上的蒸压砖, 所制得的尾矿砖抗压、抗折强度均达到相关标准, 其他性能指标也满足要求。马钢南山铁矿从粗细分选抛出废石中所获得的粗砂可以替代河砂作为建筑材料, 年产粗砂 130 万吨。利用尾矿制备微晶玻璃属高层次尾矿利用, 微晶玻璃是由基础玻璃控制晶化而形成的微晶体和玻璃相均匀分布的复合多晶陶瓷, 兼具有玻璃和陶瓷的性能, 机械强度高, 耐腐蚀、耐磨, 抗氧化性、热稳定性能好, 广泛应用于电子、化工、建筑、航天等领域, 利用唐山地区高硅 ($\text{SiO}_2 > 70\%$) 铁尾矿成功研发出的 SiO_2 含量在 54.59% 的 $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ 系微晶玻璃; 利用辽宁五龙金矿、山东新城金矿高硅 ($\text{SiO}_2 > 70\%$) 金尾矿制取的 $\text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ 系微晶玻璃。硅酸盐水泥生产中一般需要配入 20% 的粘土和铁, 而部分铅锌、铁、铜、钼尾矿主要成分与水泥生料所用粘土质原料接近, 马钢桃冲铁矿和安徽龙桥铁矿利用选铁尾矿作水泥添加剂, 其性质完全可以替代水泥生产所需的全部粘土和铁, 尾矿中的一些微量元素还可以提高水泥生料的易烧性, 起到降低能耗作用。含有锌、锰、钼、钒、硼、铁等微量元素的尾矿可以生产各种微量元素肥料, 如对含有钙矿物的尾矿, 可用作土壤改良剂施于

酸性土壤；对于含有钙、镁和硅的氧化物尾矿，可用作农业肥料对酸性土壤进行钙化；将某些钼矿的尾矿作为微量元素肥料施于缺钼的土壤，则既有利于农业增产，又有利于降低食道癌的发病率。无较大经济价值的尾矿可用作采空区充填料，既可以解决矿山充填骨料来源，又能够帮助解决尾矿排放问题，且具有就地取材、来源丰富的特点，尾矿复垦可以节约土地、增加绿化、减少沙尘。

3 矿山固废资源利用的效益和前景

3.1 废石与尾矿资源利用资源效益潜力分析

金属尾矿综合利用专项规划（2010-2015年）》对我国尾矿综合利用基本情况、存在问题作了详细阐述，并对综合利用的重点领域、重点项目、保障措施做出了明确规划和实施意见，这对今后我国进一步加强尾矿综合利用，挖掘资源复用潜力，节约资源，搞好矿山行业的安全环保必将起到重要作用。但是废石与尾矿综合利用是集环境、社会、经济效益于一体的长期性、社会公益性事业，成熟的技术加上市场，是企业积极参与废石与尾矿开发的保证。

我国是一个资源短缺的国家，现有大型矿山到2010年将有50%以上要关闭，到2020年则仅有不足20%能维持，而目前各大金属矿山堆存的废石与尾矿量数量巨大，而且铁矿山每年以约1.5亿t的速度进行排放，如从中选出品位63%的铁精矿，回收率按40%计，可选出铁精矿1400多万t，相当于建四个年处理1000万t原矿的选矿厂。因此开展废石与尾矿综合利用，既可延长矿山使用年限，减少尾矿库堆存量，又能解决工人的再就业问题，还可以增加资源补给，是一件利在当代、功在千秋的大好事，也是解决资源短缺矛盾的有效途径。

3.2 废石与尾矿资源利用环境效益潜力分析

金属矿山废石与尾矿资源排放或堆存，打破了原始的生态平衡，给人类环境带来了不同程度的污染，也对地球环境、生态平衡、人类健康及生命财产安全造成极大的危害和潜在的威胁。目前我国仅有耕地0.968亿公顷，人均不足0.08公顷，仅为世界人均数的四分之一。同时我国又是矿业开发大国，因为开发矿藏不可避免地对耕地造成破坏，据统计全国因各种人为因素造成废弃地1333万公顷，预计今后每年因工矿废弃地将增加4万多公顷。光江苏南京市尾矿库占地面积约1.33km²，每年要花费近200万元用于尾矿堆存库的维护。其次尾矿中所含的有毒成分及残存于尾矿中的磁化物、氯化物、氰化物等选矿药剂受雨水淋滤进入周围环境，成周围土壤水系等生态系统的污染，尾矿粉尘也对周围环境产生危害。此外，废石与尾矿堆存还造成了大量矿产资源的浪费。因此，金属矿山废石与尾矿资源化利用，是解决环境和资源问题的重要途径，对于我国这样一个人口众多、人均占地面积很少的农业大国，意义深远，也是我国矿业与环保部门面临的严峻挑战。

3.3 废石与尾矿资源利用社会效益潜力分析

金属矿山废石与尾矿堆存后，企业需要花费大量征地及管理费用，仅尾矿库基建费用

就占整个采选企业费用的10%左右,最高达40%。全国现有的400多个大中型尾矿库,每年的运营费用就达7.5亿元,引起环境污染的直接经济损失也高达十余亿元,间接损失则难以估量。

许多事例表明,开展金属矿山废石与尾矿有效利用与合理处置,经济效益和社会效益十分显著。2008年-2011年,首钢共处理尾矿3136万吨,生产铁精矿粉96.12万吨,创造效益6.49亿元;建成的排土场废石回收的高效分选工艺,处理废石745万吨,生产铁精矿粉244.60万吨,创造效益10.34亿元。马钢南山采用高压辊磨、分级技术后,年产尾砂130万吨,尾砂的性质与河砂接过,完全能代替河砂作建筑沙使用,尾砂量提取后,每年减少输入尾矿库的容量约1/5,新增产值2个多亿,新增利润1.1亿元,为马钢南山铁矿带来了显著的经济效益、良好的环境效益和社会效益。本钢歪头山铁矿、南芬铁矿每年从尾矿中选出TFe65.5%~67.0%的铁精矿7万余t,年创经济效益1700余万元;江西铜业公司永平铜矿系露天开采的大型矿山,设计总剥离量3.0亿t,经过现场试验、观测、分析研究后,提出并实施了引排地表汇水,实行平台反坡,改善岩、土的流向,并对排土平台及时植被,在排土场下游建立分拦挡坝等综合措施后,避免了泥石流灾害的进一步发生,给企业产生了巨大的经济效益、环境效益和社会效益。

3.4 废石与尾矿资源利用指标预测

目前金属矿山废石与尾矿资源开发和综合利用整体技术水平相对落后,具有自主知识产权技术极少,设备陈旧,导致我国共伴生矿产总回收率比发达国家低20%左右。而我国铁矿石以贫、细、杂难选而著称,原矿品位低、难磨、难选,产生的废石与尾矿量逐年增多,未来五年,随着国民经济快速发展,对原材料的依赖程度只会越来越高,将金属矿山废石与尾矿作为复合矿物原料进行整体开发利用,使它成为经济、实用的新矿产资源。

4 矿山固废资源综合利用过程中存在的主要问题及分析

我国在废石与尾矿综合利用方面虽然取得了很大成绩,但远不能适应经济和社会可持续发展的要求,与国内其他领域工业固体废弃物的综合利用水平及国际先进水平相比,存在着较大差距。主要体现在:

4.1 综合利用率低,高附加值产品少,缺乏市场竞争力

我国每年产生的废石与尾矿量大,矿石类型多、成分复杂、废石块度大、尾矿粒度细,有价元素含量相对较低,回收和综合利用难度大、成本高。有些产品本身的附加值低,质量和性能上还存在不足,市场竞争力差。而在技术上可行的产品,由于工艺复杂,投资大,能耗高,目前还难以实施,或者说从经济上讲还行不通。利用量较多的建材产品虽然容量大,但附加值低,产品销售和辐射范围有限,而且由于经济效益较小,企业的积极性不高,技术研发投入不足,造成我国尾矿在工业上的应用多数仅停留在对尾矿中有价元素的回收上或直接作为砂石代用品(粗、中粒)销售,开发出的高档建材产品如微晶玻璃花岗石、玻化硅等,因工艺过程相对复杂、成本较高、比重较大,无法与市场上出售的各种装饰建材相竞争。这些现象都为金属矿山废石与尾矿减量化利用带来了困难。

4.2 对废石与尾矿综合利用意识淡薄，投入不足，政策扶持力度有待加强

废石与尾矿是“放错地方”的资源，其综合利用是保护环境和节约资源的有效手段。近年来在综合利用方面虽然取得了一定的成绩，但其开发利用程度仍然很低，远不能适应经济和社会可持续发展的需求，因此应当从政策、经济、法律以及技术等方面着眼，采取切实可行的措施。虽然国家在政策扶持上，先后出台了资源综合利用减免所得税、部分资源综合利用产品企业减免增值税的优惠政策，但尚没有具体制定针对金属矿山废石与尾矿综合利用的鼓励性政策。因此，国家及地方政府应进一步给予足够重视和大力支持，制定矿业可持续发展的法律、法规和促进循环经济发展的政策和机制，促进矿山企业对废石与尾矿资源循环利用的积极性，使金属矿山废石与尾矿综合利用步入正轨。

4.3 废石与尾矿综合利用的研究开发滞后，技术支撑力度不够

冶金废石与尾矿综合利用涉及跨行业、多学科的许多领域，目前各学科都各自研发，很多研究成果单一，难以推广应用，各相关部门应坚持科研和生产相结合的原则，促进产学研相结合。利用途径首先应该以大宗利用为主，先解决利用量的问题，深入完善废石与尾矿建材和充填采空区技术研究，并根据不同地区地质条件、化学组成和物化性质方面差异，在特定条件下做专门的研究。此外以精细利用的多样化方法为辅，开展金属矿山废石与尾矿的整体利用，通过工程示范建设，加快推进尾矿综合利用产业的发展。

5 建议

5.1 政策管理方面

5.1.1 发挥政策的导向和支撑作用

废石与尾矿综合利用是一项政策性很强的工作，政策的导向作用非常重要，应采取行政、经济等手段加强引导，充分发挥政策的导向和支撑效应。凡是从废石与尾矿中回收有用资源和综合利用等二次资源所生产的一切产品，均应享受同等的优惠政策或减免税政策。综合利用部分生产的产品，也应按年消耗的尾矿量享受优惠。同时国家应制定鼓励开展废石与尾矿综合利用科学技术研究工作的奖励政策，对开展无废和少废生产工艺研究取得的重大成果，应给予奖励，并积极予以扶持，使其尽快变成生产力。总之，国家应通过政策上的扶持、引导和技术经济上的支持、鼓励，为金属矿山废石与尾矿综合开发利用和生产新型建材产品市场营造有利条件，从而使我国废石与尾矿等二次资源的综合利用得到全面健康的发展。

5.1.2 加强科学系统顶层设计

矿山固废资源综合利用技术的研发、工程化涉及许多复杂的科学技术问题，诸如：矿山环境调查、监测系统；矿山环境评价标准与地表环境无害化的矿产采掘技术；矿山废水无害化处理与再利用技术；尾矿、废石及其他废渣资源化与综合利用，针对这些问题开展

深入研究,全面、系统地进行顶层设计,才能为矿山环境管理提供科学基础,为矿山环境保护与治理提供技术支持。

5.1.3 持续开展领域内的技术研发,建立相应的示范基地

支持和扶助相关科研机构和企业开展再选与资源化综合利用研究工作,建立工程化研究基地和示范工程。针对金属矿山废石与尾矿资源块度大、粒度组成细,有价值组分品位低的特点,重点寻求高效回收尖端技术,解决伴生有价值元素的综合回收问题,实现矿产资源二次高效回收与综合利用;按照“减量化、资源化、无害化”的处置原则,提高我国金属矿山废石与尾矿综合利用的整体水平,实现矿山资源保护与综合利用的统一;发展高效、低成本、少污染的矿产资源选冶工艺技术,依靠高技术和高效率提高资源综合利用水平,缩小我国尾矿综合利用与世界先进水平的差距。

5.2 装备技术研究方向

金属矿山废石与尾矿整体利用是矿业开发高科技、深层次的系统工程,涉及多学科、综合技术和边缘学科以及多行业,需要有关行业通力合作进行技术创新。建议装备的研究方向为:

(1) 耐磨、处理能力大、高磁场强度的预选装备,主要用于从废石中预先回收有价值元素。

(2) 低成本、高效浮选药剂的研发,包括捕收剂与调整剂、活化剂等,主要用于黑色金属矿中的铁钛锰铬以及有色金属矿中的铜硫铅锌等尾矿的分选,尾矿作建筑材料的粘剂。

(3) 细粒物料高效回收的磁选装备,包括利用重力与磁力的共同作用进行分选的磁选装备。

(4) 烧结制砖装备的研发,高效节能的焙烧技术及炉内结构等。

(5) 采空区井下充填装备。

(6) 废石与尾矿综合利用的检测、分析装备。

5.3 标准体系建设

我国金属矿山废石与尾矿种类多,黑色金属矿山有铁钛锰铬、有色金属矿山有铜铅锌金银、非金属矿山有硫磷等矿种,矿石性质差异较大,国内矿山处理规模又分为大、中、小型矿山,因此建议标准体系建设应根据国内具体情况,从技术经济、环境因素与社会效益全方位考虑,建议体系建设如下:

(1) 标准体系建设中应发挥政策导向和支撑效应,国家应通过政策扶持、技术经济上的支持,为金属矿山废石与尾矿综合开发利用和生产新型建材产品市场营造有利条件。

(2) 建立废石与尾矿整体利用数据库及信息管理系统。

(3) 分板块建立标准体系,分为黑色金属矿山、有色金属矿山、非金属矿山三个板块建立标准体系。

(4) 分大、中、小型矿山建立标准体系,选择大、中、小型有代表性的矿山建设废石与尾矿整体利用示范基地,作为区域内矿山企业综合利用样板,为政府出台相关政策、技

术标准提供参考依据。

(5) 根据国内废石与尾矿整体利用现状, 标准体系的建设以 5 年期为一个周期, 动态考核标准体系

金属矿山废石与尾矿资源化利用关键技术研究是一个系统工程, 涉及多学科、跨行业的许多领域, 技术难题大。因此, 需加强产学研相结合, 结合行业发展规划, 突出金属矿山废石与尾矿减量化的综合利用, 力求解决行业中带有普遍性、关键性的技术难题。国家及矿山企业应该加强科技创新, 提供技术、人才、资金和工作条件的支持, 将环境保护及生产安全放在首位, 努力开发新技术, 实现矿山的少尾或无尾生产。提高金属矿山废石与尾矿整体利用在技术开发和转化方面各个环节上的创新能力、增强经济实力, 造就科技型企业企业家和企业型科技人才, 使金属矿山废石与尾矿利用形成良性循环, 最终实现金属矿山废石与尾矿减量化 30% 以上的技术目标。

清洁煤炭与矿区生态恢复技术发展报告

1 所属行业或领域总体概况

1.1 国内外清洁煤炭生产概况

1.1.1 国内煤炭清洁生产技术现状

煤炭清洁生产技术指在煤炭从开发到利用全过程中,旨在减少污染排放与提高利用效率的加工、燃烧、转化和污染控制等新技术的总称。基于我国能源结构及环境状况,为实现资源、环境与经济的协调可持续发展,我国围绕着如何提高煤炭资源的开发利用率、尽量减小对环境污染开展了大量的研究工作。中国已把发展煤炭清洁生产技术作为重大的战略措施,列入“中国 21 世纪议程”,煤炭清洁生产技术得到了政府的大力支持并取得了一定的研究成果。

我国煤炭清洁技术主要涉及四个领域,即煤炭加工、煤炭高效洁净燃烧、煤炭转化、污染排放控制与废弃物处理,包括了十四项技术:煤炭洗选、水煤浆、型煤;增压流化床发电技术、循环流化床发电技术、整体煤气化联合循环发电技术;煤炭液化、气化、燃料电池;电厂粉煤灰综合利用、烟气净化、煤层甲烷的开发利用、煤矸石和煤泥水的综合利用、工业窑炉和锅炉。

1.1.2 国外煤炭清洁生产技术现状

美国煤炭清洁生产主要包括四个方面:先进的燃煤发电技术(Advanced Electricity Generation System)、环境控制技术(Environmental Control-)、煤炭洁净燃料技术(Clean Fuels from Coal)和工业应用技术(Application of new high-tech in coal)。项目总投资超过 60 亿美元,其中政府投资约占 1/3,工业界投资约占 2/3,目前已有 13 项取得初步商业化的成果。

继美国之后欧洲开始积极推动煤清洁生产技术的研究和开发利用。为了促进欧洲能源开发利用新技术的发展,减少欧洲国家对石油的依赖和煤炭利用时造成的环境污染等问题,确保经济可持续发展,欧共体国家制订了“兆卡”计划。目前,欧共体国家正在研究开发的项目有煤气化联合循环发电(IGCC),煤和生物质及废弃物联合燃烧(或气化),循环流化床燃烧,固体燃料气化和燃料电池联合循环技术等。

1993 年,日本在“新能源产业技术综合开发机构”(NEDO)内成立“洁净煤技术中心”(CCTC)全面负责日本的新能源和煤炭清洁生产技术的规划、管理、协调及实施。在

煤气化联合循环发电技术、流化床燃烧技术、烟气净化技术等方面开展了研究工作并取得相应的研究成果。目前主要研究方面包括：煤炭利用效率的提高技术、脱硫、脱氮技术、煤炭转化技术和粉煤灰有效利用技术。

1.2 国内外矿区生态恢复现状

1.2.1 国外矿区生态恢复现状

矿区生态恢复最早开始于美国和德国，早在 20 世纪初，这些工业发达国家已经自发的在矿区进行种植试验，开始了矿区生态环境恢复。英国、澳大利亚等有悠久采矿历史发达国家也很早就开始恢复生态学相关研究，并在矿区生态恢复方面取得了很大的成绩，生态恢复已成为采矿后续产业的重要组成部分。前苏联也十分重视矿区废弃地土地复垦工作，加拿大、法国、日本等国在矿区生态恢复方面也做了大量的工作。

另外，美国、英国、加拿大、澳大利亚等国家都通过制定矿区环境保护法规理顺矿区环境管理体制、建立矿区环境评价制度、实施矿区许可证制度、保证金制度，严格执行矿区监督检查制度等措施来保证矿区生态恢复的成效。

近年来，这些发达国家土地复垦率达 70%~80%，在矿区生态恢复中积累了丰富的经验，取得了丰硕的成果，形成了一大批经典的、成熟的生态恢复案例，如美国的麦克劳林金矿。

1.2.2 国内矿区生态恢复现状

我国每年开采矿石总量达到 93 亿 t，矿业废弃地面积大、种类复杂，目前 80%以上的矿业废弃地尚未恢复；20 世纪 80 年代初，我国矿区废弃地的生态恢复率不到 1%，至 20 世纪 80 年代末期，生态恢复率约为 2%，到目前为止，生态恢复率仍不到 12%，远低于发达国家 65%的恢复率；对我国矿区损毁土地复垦潜力进行了研究，结果表明，1987~2009 年间，我国煤矿、金属矿损毁土地面积为 133.3 万 hm^2 ，只有 13.3 万 hm^2 土地已恢复、复垦利用，尚有 120 万 hm^2 损毁土地面积有待恢复、复垦。这 120 万 hm^2 有待生态修复达到土地复垦的矿区损毁面积，对于改善生态环境、保证矿区可持续发展、保证粮食安全、保护 1.2 亿 hm^2 （18 亿亩）耕地红线具有极其重要现实意义。

我国于 20 世纪 50 年代末开始废弃矿区的治理工作，但一直到 20 世纪 80 年代，矿区的生态恢复工作还处于分散、小范围、不成熟的阶段。尽管我国矿区废弃地生态恢复相当缓慢，但其比例在逐年提高。特别是 1988 年我国颁布《土地复垦规定》后，矿区废弃地的生态恢复工作开始步入法制化轨道，生态恢复速度和质量有了较大的提高，并取得了一定的成效，如大型煤矿区生态重建。

目前，国家大力提倡生态文明建设，特别强调加大耕地保护力度，恢复矿区占用和被破坏的耕地面积迫在眉睫，我国在这方面也做了大量的工作，国内矿区生态恢复工作任务任重道远。

1.3 国内外相关法规、政策、标准体系现状

1.3.1 国内相关法规、政策与标准体系现状

煤炭是我国的主要能源,占一次能源的70%左右,2014年全国煤炭产量达到38.7亿t,2015年我国的煤炭产量为36.8亿吨。然而,煤炭从开采到利用过程也引发了重大的环境污染。清洁煤炭(选煤)及矿区生态环境问题受到国家及行业部门的高度重视,并从节能减排和环境保护的国家宏观层面上,陆续出台了一系列相关法规、政策和标准,以强化清洁煤炭与矿区环境保护工作。

2015年1月,《商品煤质量管理暂行办法》开始正式实施。《办法》对煤炭生产、加工、储运、销售、进口和使用等环节都做出了明确规定,对不符合要求的商品煤,不得进口、销售和远距离运输。同年根据新修订的《煤矸石综合利用管理办法》,我国禁止新建煤矿及选煤厂建设永久性煤矸石堆场,的确需建设临时堆场(库),原则上占地规模按不超过3年储矸量设计,且应有后续综合利用方案。2015年3月1日,《工业领域煤炭清洁高效利用行动计划》出台,这项计划由工信部、财政部共同推出,初步设定的目标是到2020年力争节约煤炭消耗1.6亿吨以上。我国《矿产资源保护法》《固体废物污染环境防治法》,以及政府颁布的《中国21世纪议程》《国家中长期科学和技术发展规划纲要2006-2020年》《煤炭工业发展“十二五”规划》《国家环境保护“十一五”规划》《国家环境保护标准“十二五”规划》等都明确了从战略高度深刻认识处理好经济发展同人口、资源、环境的重要性,明确提出了“合理和永续利用资源,不断改善城乡环境并抑制生态恶化”的要求,“必须在发展中采取更加严格的环境与资源保护措施”。《国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》指出:“加强煤炭资源勘探,合理开发,减少煤炭开采对生态环境的影响。加强煤炭清洁生产和利用,发展煤炭洗选及低热值煤、煤矸石发电等综合利用”。《国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》指出:“落实节约优先战略,全面实行资源利用总量控制、供需双向调节、差别化管理,大幅度提高能源资源利用效率,提升各类资源保障程度”。

2015年2月26日,国家能源局发布《煤层气勘探开发行动计划》,提出,到2020年,我国将新增煤层气探明地质储量1万亿立方米;煤层气(煤矿瓦斯)抽采量力争达到400亿立方米。相对于2014年的170亿立方米,未来5年,我国煤层气抽采量将增长1倍多。2015年3月25日,国家能源局官方网站公布《关于促进煤炭工业科学发展的指导意见》,进一步明确经济发展新常态下我国煤炭工业发展的指导思想和基本原则,并对优化煤炭开发布局、调整煤炭产业结构、加强煤炭规划管理等工作,提出十条具体意见。

2015年7月7日,国家发改委、能源局7日对外发布《关于规范煤制燃料示范工作的指导意见(第二次征求意见稿)》。明确提出稳步推进煤制燃料示范项目建设,依托示范项目不断完善国内自主技术,加快转变煤炭利用方式。在《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国煤炭法》《中华人民共和国大气污染防治法》《中华人民共和国清洁生产促进法》《煤炭工业污染物排放标准》等相关法规中强调清洁煤炭与脱硫降灰在环境保护中的地位作用。我国《能源中长期发展规划纲要(2004—2020年)》明确指出:“能源在国民经济中具有特别重要的战略地位。促进煤炭的清洁高效利用,降低环境污染,大力发展煤炭

清洁、高效和利用技术”。清洁煤炭已成为大气污染防治的重要环节。根据煤炭行业“十二五”规划和2020年远景规划，到2015年全国原煤入洗率达到65%以上，高硫、高灰煤原则上都要入洗，逐步改善产品结构和生产布局；商品煤灰分、硫分和水分的都要大幅度下降，洗煤效率提高到90%以上。2020年原煤入洗率达到70%时，原煤入洗量为16亿t以上；炼焦精煤的灰分降到8%以下。将从选煤大国变成世界选煤强国。

2015年12月10日，为明确各级环境保护部门建设项目环境保护事中事后监督管理的责任，规范工作流程，完善监管手段，提高事中事后监管的效率和执行力，切实管好建设项目建设和生产、运行过程中的环境保护工作，不断提高建设项目环境监管能力和水平，强化建设单位履行环境保护的主体责任，增强地方政府改善环境质量的责任意识，环境保护部组织制定了《建设项目环境保护事中事后监督管理办法（试行）》。2015年12月15日，环保部印发《全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造工作方案》，方案提出，到2020年，全国所有具备改造条件的燃煤电厂力争实现超低排放。全国有条件的新建燃煤发电机组达到超低排放水平。

2015年12月18日，为督促地方政府履行环境保护责任，集中解决突出环境问题，推动区域环境质量的改善，规范区域限批管理，根据《环境保护法》《水污染防治法》《大气污染防治法》《规划环境影响评价条例》等法律法规要求，环境保护部制定了《建设项目环境影响评价区域限批管理办法（试行）》。在《中华人民共和国土地管理法》《中华人民共和国矿产资源法》《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国煤炭法》《中华人民共和国铁路法》等都有相关土地复垦的规定，但相对比较笼统。特别是1988年颁布了《土地复垦规定》，对土地复垦与生态重建工作起到了较大的驱动作用。由于《土地复垦规定》制定的背景、社会发展等原因，现在已经不能完全满足矿区土地复垦与生态重建的要求。2015年12月28日，为保障环境监测数据真实准确，依法查处环境监测数据弄虚作假行为，依据《中华人民共和国环境保护法》和《生态环境监测网络建设方案》（国办发〔2015〕56号）等有关法律法规和文件，环境保护部组织制定了《环境监测数据弄虚作假行为判定及处理办法》。

在标准体系方面，目前矿区土地复垦与生态重建领域没有国家标准，只有1995年颁布的《土地复垦技术标准（试行）》。

1.3.2 国外相关法规、政策与标准体系现状

国外关于煤炭加工与清洁煤炭研究与实践相对较早，美国、英国、俄罗斯等发达为了对某项技术或产品有一个统一的判定尺度，制定了许多规定或规程。起初主要针对煤炭作为发电或锅炉燃烧利用时，出台了有关煤炭产品灰分、硫分、选煤筛分浮沉试验及矿区环境保护等相关政策法规。后来相继出现了选煤国际标准。

国际标准化组织ISOPTC27是“固态矿物燃料”技术委员会，有关煤炭的ISO国际标准均由其制定和发布；其中ISOPTC27PSC1是“选煤—术语和特性”分技术委员会；ISOPTC27PSC3是“焦炭”分技术委员会；ISOPTC27PSC4是“取样”分技术委员会；ISOPTC27PSC5是“分析方法”分技术委员会。ISOPTC27PSC1的秘书处设在澳大利亚标准学会（SAA）。ISOPTC27PSC1下设十个工作组，即“术语”工作组（WG1）、“浮沉”工作组（WG2）、“筛分”工作组（WG3）、“浮选”工作组（WG4）、“符号和流程”工作

组(WG5)、“絮凝”工作组(WG6)、“磁铁矿”工作组(WG7)、“破碎”工作组(WG8)、“页岩破碎”工作组(WG9)、“浆体取样”工作组(WG10)。ISOPTC27PSC1已制定选煤相关标准13个,正在制定的有5个。

国际上有关清洁煤技术开始于20世纪80年代,1986年3月美国率先推出“洁净煤技术示范计划,CCTP”,到1994年共优选出45个商业性示范项目,总投资72.4亿美元。项目涉及4个主要应用领域,即先进发电系统,环境控制设备,煤炭加工清洁燃料装置,工业应用示范。洁净煤技术计划资助的重点是先进的发电系统及发电污染控制设备,以提高煤炭质量、降低煤炭灰分为主要措施,火力发电要求用煤灰分必须控制在9.23%。后来,欧共体推出的未来能源计划和日本推出的“新阳光计划”都把发展洁净煤技术作为主要的内容。本世纪,美国政府颁布的《大气修正案》对二氧化硫排放的限制和布什政府“净化天空”的计划,都旨在进一步控制美国发电厂的二氧化硫排放,减少对环境的污染,迫使发电厂由燃烧高硫煤改为低硫煤。导致市场对低硫煤需求量日益增多,促进了美国西部低硫煤的开发与利用。近年来,美国围绕未来能源结构、能源环境问题及发展洁净煤技术的相关问题进行了大量的研究探讨,确定了未来煤炭及电力研究推广计划的近期和远期目标,即近期内(~2010年)致力于发展成本有效地环境控制技术,以使现有的能源工厂能够符合已有的及新制定的政策法规规定,远期(~2020年)目标则致力于发展未来能源工厂所需要的技术,如电力和氢能技术,近零排放技术,CO₂处理技术等。

国外土地复垦与生态重建研究与实践开始于20世纪20年代,许多国家制定了土地复垦与生态重建的相关法规,对该领域的管理形成了比较成熟的体系。如美国方面,1977年制定了专门要求恢复矿区生态环境的法规-《露天采矿管理与土地复垦法》,对矿区生态环境恢复管理进行了全面规范。除此之外,还有许多相关法律,如《矿山租赁法》(1920)《联邦金属矿与非金属矿安全法》《矿业及矿产政策法》(1970)等。澳大利亚主要是以州颁布法律,如维多利亚州《矿产资源开发法》(1990)、《采掘工业发展法》(1995)、《矿产资源权属规定》(1991);西澳大利亚州《环境保护法》(1986)、《矿业法》(1978)等。除了美国、澳大利亚之外,其他国家也有相关法律,如加拿大的《北方内陆水法》;前苏联的《苏联乌克兰自然保护法》(1960)《苏俄自然保护法》(1960)《苏联各加盟共和国土地法》(1968)、《苏联各加盟共和国森林立法纲要》(1977)《苏联大气保护法》(1981)《苏联最高苏维埃关于进一步加强地下资源保护和改进矿产利用的措施的决议》(1975)《关于有用矿物和泥煤开采、地质勘探、建筑和其他工程的土地恢复、肥沃土壤保存及其利用规定》(1976)《有用矿物和泥煤开采、地质勘探、建筑河其他工程破坏土地复垦条例》(1977);南非的《采矿工程规程》等。

1.4 国内外对污染控制涉及的重点行业污染控制管理现状

矿业生产作为全国重点污染源行业之一,在其采选作业过程中,最容易对大气、水流、地表地质、自然资源、矿工的健康环境等多方面造成污染和破坏。在煤炭开采、加工及转化利用过程中所带来的环境污染问题,引起世界各国的高度重视。

2015年1月国家能源局、环境保护部、工业和信息化部《关于促进煤炭安全绿色开发和清洁高效利用的意见》指出,到2020年,煤炭工业生产水平大幅提升,资源适度合理开发,全国煤矿采煤机械化程度达到85%以上,掘进机械化程度达到62%以上;煤矿区

安全生产形势根本好转,煤炭百万吨死亡率下降到 0.15 以下;资源开发利用率大幅提高,资源循环利用体系进一步完善,生态环境显著改善,绿色矿区建设取得积极成效,资源节约型和环境友好型生态文明矿区建设取得重大进展;煤炭清洁高效利用水平显著提高,燃煤发电技术和单位供电煤耗达到世界先进水平,电煤占煤炭消费比重提高到 60%以上;燃煤工业锅炉平均运行效率在 2013 年基础上提高 7 个百分点,煤炭转化能源效率在 2013 年基础上提高 2 个百分点以上,低阶煤炭资源的开发和综合利用研究取得积极进展,新型煤化工产业实现高效、环保、低耗发展;实现资源利用率高、安全有保障、经济效益好、环境污染少和可持续的发展目标。煤矸石综合利用率不低于 75%;在水资源短缺矿区、一般水资源矿区、水资源丰富矿区,矿井水或露天矿矿坑水利用率分别不低于 95%、80%、75%;煤矿稳定塌陷土地治理率达到 80%以上,排矸场和露天矿排土场复垦率达到 90%以上。

2015 年 4 月,国家能源局发出《煤炭清洁高效利用行动计划》,计划中指出大力发展高精度煤炭洗选加工,实现煤炭深度提质和分质分级;开发高性能、高可靠性、智能化、大型化(炼焦煤 600 万吨/年以上和动力煤 1000 万吨/年以上)选煤装备;新建煤矿均应配套建设高效的选煤厂或群矿选煤厂,现有煤矿实施选煤设施升级改造,组织开展井下选煤厂示范工程建设。严格落实《商品煤质量管理暂行办法》,积极推广先进的煤炭提质、洁净型煤和高浓度水煤浆技术。全国新建燃煤发电机组平均供电煤耗低于 300 克标准煤/千瓦时;到 2017 年,全国原煤入选率达到 70%以上;现代煤化工产业化示范取得初步成效,燃煤工业锅炉平均运行效率比 2013 年提高 5 个百分点。到 2020 年,原煤入选率达到 80%以上;现役燃煤发电机组改造后平均供电煤耗低于 310 克/千瓦时,电煤占煤炭消费比重提高到 60%以上;现代煤化工产业化示范取得阶段性成果,形成更加完整的自主技术和装备体系;燃煤工业锅炉平均运行效率比 2013 年提高 8 个百分点;稳步推进煤炭优质化加工、分质分级梯级利用、煤矿废弃物资源化利用等的示范,建设一批煤炭清洁高效利用示范工程项目。

针对我国矿区的生态问题,《国家中长期科学和技术发展纲要 2006—2020 年》指出,重点开发矿产开采区等典型生态脆弱区生态系统的动态监测技术。2005 年国家环境保护局发布了 109 号文件《矿区生态环境保护与污染防治技术政策》。国家发展改革委员会近年都将生态恢复列入《产业结构调整指导目录》中,国家“十一五”规划及“十二五”规划中都将生态环境的治理恢复列入重要地位。全国几乎所有省市的“十一五”规划和“十二五”规划中都有生态恢复的内容,提出了生态工业技术孵化基地建设,推广生态工业园区和实现生态工业技术产业化的构想。安徽、宁夏、河北、福建等省的“生态建设规划”中均提到了成果转化和产业化的具体目标和思路。

《中华人民共和国环境保护法》在第 19 条规定了“开发利用自然资源,必须采取措施保护生态环境”。《中华人民共和国矿产资源法》第 32 条规定了开采矿产资源,必须遵守环境保护的法律规定,防止污染环境”。但总体上,有关矿区生态恢复的相关法规和政策还缺少直接具体操作性的措施。

国外许多国家按照源头控制、全程监督、合力参与的原则,采用许可制度和社会监督全力保护矿区环境,如《法国矿业法》《波兰矿业法》《葡萄牙矿业法》等。矿区环境的立法以美国最为悠久,20 世纪 70 年代初,已经形成了一套比较完善的管理措施和法律法规体系。近 20 年以来,发展中国家对环境问题给予了高度重视,把矿区环境管理和治理逐

渐提到了议事日程上来。但大多数国家并未制定专门的矿区环境法律,主要是通过对矿业法、资源法和环境保护法等法律法规的不断完善,进一步明确和强化矿区环境管理的内容。只有少数国家专门针对矿区环境问题制定了有关矿区环境保护的法律和规章制度,其主要依据是基本的环境保护法和矿业法,也可以看做是矿业法中关于矿区环境保护管理的实施细则。如日本的《矿山保安法》和《金属行业等矿害对策特别措施法》,对矿区环境管理、监督、矿地复垦和治理费用等,从法律条文上作出了明确规定。最近几年,为适应矿区国际化和环境保护日益受到重视的需求,世界上许多国家都修改了矿业法或者实施细则和规章,增添了包含更多和更严的环境保护内容,其中对矿区回复、复垦和闭坑都有了专门规定。例如,日本的《矿业法》就专门明确了矿区环境破坏的赔偿责任,同时制定了保证金制度,以《矿业法》为基础,在矿区矿害防治对策上制定了现营矿区主要使用的《矿山安全法》以及闭坑后的矿区主要适用的《矿害对策特别措施法》;等等。

2 主要技术发展情况

2.1 主要技术发展情况

随着我国煤炭资源的开采和消耗,我国面临着严重的能源问题和环境问题,通过对稀缺中煤的再选回收、低品质煤的脱灰降硫提质以及复合干法选煤成为我国高效清洁利用煤炭、提高经济效益和社会效益的主要方法。下面从煤炭高效分选技术、低品质煤降灰、脱硫和脱水、节水型煤炭分选技术和矿区生态恢复几个方面分别阐述国内外的技术现状。

2.1.1 煤炭高效分选技术

2.1.1.1 稀缺煤资源中煤的二次分选

稀缺中煤再选研究主要为中煤的选择性破碎解离研究、解离后中煤的高精度分选研究以及中煤二次分选的工艺优化方案确定等。丁晴晴等在对中煤的破碎解离研究和工艺探索研究表明,对该中煤样品进行破碎粒度上限分别为 6 mm、3 mm、1 mm、0.5 mm 的破碎试验,通过对碎后产品的性质分析可知,随着破碎粒度上限的降低,一定灰分下的精煤理论产率不断增加,从未破碎时的 8%增加到破碎粒度 0.5 mm 时的 35%。随着中间密度级产率的不断减少,煤和矿物质解离情况逐渐变好。朱向楠等通过研究表明,对于矿物质以微细粒嵌布为主的炼焦中煤,破碎至-0.5 mm 是较为合理的解离方式,浮选和强化重力分选都可对炼焦中煤破碎产物达到较为理想的分选,在优化条件下,浮选精煤产率 34.01%,灰分 12.85%,重选精煤产率 38.77%,灰分 13.91%。尉迟唯等通过研究表明,煤岩组分充分解离这一过程的实现主要通过磨矿作业得以完成。刘永华等通过研究表明,通过对煤样进行磨矿解离后初步分选,可有效提高精煤产率。当中煤全部磨碎至小于 0.074 mm 时,初步分选精煤产率为 27.94%,可提高全厂精煤产率 6.98%。

邹文杰等通过对浮选中煤的选择性絮凝-浮选研究发现,与常规浮选试验相比,精煤灰分相当时,选择性絮凝-浮选提高了精煤产率 6.38 个百分点,捕收剂用量降低了 30%。低灰物料的回收率和回收速度均高于常规浮选试验,实现了浮选中煤的高效回收。当浮选 3 min 时,选择性絮凝-浮选试验精煤累计产率为 62.15%,较浮选试验精煤产率高 3.08 个百

分点,精煤灰分与之相当为 12.13%。李霞在对中煤的疏水絮凝研究发现,调浆进行疏水絮凝后添加合适的抑制剂进行浮选,得到最终产品,精煤产率为 35%左右,灰分由 30%降到为 14%左右。蔡璋等人对煤泥选择性絮凝进行系统研究后,得出选择性絮凝方法对极细粒煤泥分选具有较好的选择性,杂质的嵌布粒度对分选效果有较大的影响。杂质呈极微细嵌布,且含量较高时,常造成分选困难,效果有所下降。王怀法等人采用选择性聚团法对山西某高灰、超细、极难选煤进行了一系列实验研究。实验中分别采用煤油、柴油、索罗明、油酸钠为团聚剂和浮选捕收剂,六偏磷酸钠为分散剂,仲辛醇为浮选起泡剂。结果表明索罗明油降灰效果最明显,原煤灰分 30.88%,最终可得到灰分为 12.28%,精煤产率为 55.31%。

中煤再选的工艺基本为将中煤进行破磨后进行浮选或者煤泥重介分选相结合的工艺。孟丽城等对汾西炼焦中煤破碎再选技术研究并结合选煤厂现有工艺特点,确定中煤再选工艺为中煤破碎至 3 mm 以下,3~0.5 mm 煤泥重介旋流器分选,-0.5 mm 煤泥压滤后混入中煤,预测精煤实际产率增加 5.07%。丁晴晴对淮北重介中煤的工艺探索发现以及对采用煤泥重介旋流器分选进行预测发现,将工艺方案为中煤破碎解离至-0.5 mm 后煤泥重介分选或脱泥后离心分选,取得灰分低于 12%的精煤。杨永亮等人对抚顺矿区的炼焦煤工艺探索发现,在将重介中煤破碎至<3 mm 的基础上,依次通过水力旋流器和螺旋溜槽对其中>0.25 mm 粒级进行分选;螺旋溜槽精煤经粗磨后与破碎产物中<0.25 mm 粒级混合,通过预先浮选进一步抛尾,浮选精煤经细磨后再次分选,可获得产率为 39.30%、灰分为 11.49%的精煤。

2.1.1.2 高精度重介质分选技术

高精度重介质分选技术通过构建以分选过程强化为特色的高效分选环境与条件进一步提高重介质分选环节的作业精度。

重介旋流器工作过程建模方面。在两段等密度分选技术的基础上,研究重介旋流器分选过程中操作参数(悬浮液压力、悬浮液密度、非磁性物含量、系统处理能力)变化情况对精细分选的影响。杨建国等人以邢台矿选煤厂的重介质旋流器分选系统为研究对象,以一段分选密度为因变量,原煤灰分、合介密度、磁性物含量、入介压力、给料量为自变量,进行回归分析,并建立模型方程;然后建立二段分选密度与一段分选密度之间的关系模型,实现由一段分选密度预测二段分选密度。通过多组数据的分析,建立了精煤、中煤产品结构与分选密度及各工艺参数的关系模型,以实现根据产品结构要求,及时调整各工艺参数以达到最佳的分选条件。

重介选煤过程中重介质的密度预测控制方面。从控制角度出发,以重介质密度预测控制为主线,对控制过程中的数据反馈、参数给定、重介质密度控制三个环节展开研究。中国矿业大学研究人员通过配置数据通信软件 rslinx,利用 VB 调用 OPC 动态链接库,实现了 VB 与 AB PLC 的数据交互;同时利用 MATLAB 将 LS-SVM 及 GPC 相关子函数编译成动态链接库,通过 VB 调用相关函数,完成预测算法的实施,并最终设计了重介质密度预测控制系统软件。

2.1.1.3 细粒煤分选技术

浮选预处理及高效调浆技术研究方面,通过研究微波、超声、研磨等预处理对浮选的影响并进行了优化,针对浮选调浆过程,进行搅拌过程强化研究,开发多段强制混合调浆装备,并实现浮选调浆由混匀向表面改质的转变。

搅拌调浆过程强化及多段强制混合机理研究。通过考察不同搅拌机制作用下的流场型

式及作用过程的功率耗散量、混合时间情况,以功率准数、混合时间数以及表征循环、剪切性能的特性参数作为评价标准,汇总叶片型式、折叶角度、叶片数以及附件型式对混合性能的影响规律,并提出相应混合效率的评价标准。利用流体力学软件 FLUENT 对不同搅拌机制作用下的流场进行数值模拟,推导出二次流循环特性数和二次流循环系数,构建以轴流式叶轮与径流式叶轮共同作用的双叶轮作用体系。从混合特性参数与悬浮能力参数综合分析,结果表明:以“多段、强制”为特征的优化设计构型在实现快速混合、槽内物料有效悬浮以及调浆效果方面相对于普通搅拌槽存在较为明显的优势。

浮选调浆的界面效应及过程强化研究。针对微细粒及难浮矿物调浆作业存在的突出问题,以提高浮选回收率与选择性为目标,从浮选调浆界面效应入手,研究了药剂的分散、药剂在颗粒表面的吸附和颗粒之间的聚团等界面行为,结合不同结构和操作条件下搅拌流场的模拟,分析了调浆过程中流体剪切率和湍流程度对调浆的影响,然后进行了高效调浆过程设计与设备开发,形成高效调浆新方法并完成了高效调浆与柱式分选配合的柱式短流程矿物分选新工艺。

2.1.1.4 多流态梯级强化浮选技术

浮选柱的多流态过程及其分选动力学方面。将浮选柱中集成的三种流态单独进行研究,设计分别以逆流、旋流、管流为主要矿化方式的浮选柱,利用湍流动能以及湍流耗散率衡量浮选过程内部能量状态。建立以高速摄像机为核心的气泡观察系统,研究湍流耗散率对气泡尺寸的影响。揭示与不同流场环境相适配的物性特征。三种矿化方式对相同粒级的回收能力比较,逆流、旋流、管流分别对粗粒级、中间粒级和细粒级的回收能力较强。

柱式分选的多流态过程模拟及其流体动力学研究。采用 CFD 多相流数值模拟结合先进流场测量技术为研究手段,以浮选柱清水-气泡两相流场为研究对象,按照以下思路进行研究:首先通过实验室浮选柱的流场测量及数值“实验”,确立适于浮选柱多流态过程复杂流场计算的数学模型,再使用该数学模型对工业浮选柱进行气-液两相流数值计算,然后从宏观流态和微观湍流能量两方面研究分选中的流体动力学过程特征,最后结合矿物可浮性,从理论上构建柱式分选的多流态梯级强化机制。

2.1.2 低品质煤的降灰、脱硫和脱水技术

对低品质煤进行降灰、脱水和脱硫不仅可以提高资源回收率而且可以收到巨大的环境效益。包洪光等采用低温酸碱联合法研究了烟煤深度脱灰工艺,结果表明经过低温酸碱脱灰处理,烟煤的灰分可以从 28.37%降低到 0.17%。

低品质煤脱水方面,低阶煤的脱水干燥工艺主要有热空气干燥、热蒸汽干燥、微波干燥和太阳能干燥等蒸发干燥工艺,以及水热处理(HTD)、机械热压脱水(MTE)、有机溶剂脱水(DME)等非蒸发干燥工艺。蒸发干燥过程简单,设备成本较低;HTD 和 MTE 等非蒸发干燥过程不消耗气化潜热,并能对低阶煤进行深度改性,将水分从低阶煤中不可逆地脱除,同时提高低阶煤的煤阶和热值,因此应用前景广阔。

王永周等研究表明,热压脱水工艺中,在压力较低阶段(8MPa 以下),随着实验压力的升高水分呈快速降低趋势,当压力大于 8MPa 后,水分降低趋势明显减缓,表明此后单纯依靠压力的挤压作用水分较难脱除。并且,热压过程中温度和压力对水分都有脱除作用,但单纯依靠某一因素的作用,如 200℃,3MPa 条件下,褐煤水分含量仍达 15%以上,

说明热压联合作用导致了最终水分含量的降低。

低品质煤微波脱硫方面,微波作为一种能量形式,在不同的介质中表现出各种不同的特性,绝缘体几乎不吸收微波的能量,微波可以穿透它们并继续传播。极性分子的物质会吸收微波(属损耗因子大的物质),极性分子在微波场中随着微波的频率而快速变换取向,来回转动,使分子间相互碰撞摩擦,吸收微波的能量而使温度升高。微波的热效应具有很强的选择性,只对吸收微波的物料(介质体)有加热效应,无环境热损耗。

目前,低品质煤脱硫的方式探究中基本分微波+氧化剂脱硫和微波+碱性溶剂脱硫的这两种方式。汪朋等研究表明,微波辐照高锰酸钾+硝酸氧化剂的脱有机硫效果相比次氯酸钠氧化剂的脱硫效果好。盛宇航等人进行了微波辐照脱除煤中硫的试验研究,结果表明:微波功率为 800 W,辐射时间为 7 min 时,以氢氧化钠为浸提剂,降硫率可以达到 52.85%。另外,煤炭粒度的减小有利于煤中黄铁矿的解离,增加降硫率。李志峰等人以莱钢焦化厂炼焦高硫肥煤煤种为研究对象进行微波脱硫实验,将高硫肥煤浸渍在 NaOH 溶液中,再经微波辐照进行脱硫研究表明,辐照功率为 700W、辐照时间 1 min, NaOH 的溶液为 2 mol/L,煤的粒径为 0.45~0.6 mm 时,脱硫率可达 42.5%。

2.1.3 节水型煤炭分选技术

节水型煤炭分选技术的研究主要体现在复合式干法选煤和模块式干法选煤两个方面。大型复合式干法分选机采用入选原煤中所含细粒煤(自生介质)与空气组成气固两相混合介质分选,利用振动力和风力的综合作用造成床层松散和矿粒按密度分层,而不是单以空气做分选介质,因此分选物料粒度范围宽,可达到 80~0 mm。

马建军对复合式干法选煤研究发现,对于改善动力煤质量,降灰脱除硫铁矿有显而易见作用,并投资少、见效快,以最低的投资和运行成本实现动力煤效益最大化,可作为高灰劣质煤进行简易加工的方向。目前,我国各大中型选煤厂基本已完成了集中控制系统的升级改造,由原先的继电器—接触器控制升级为基于 PLC 的集中控制系统,薛章华对复合式干法选煤自动控制系统进行了研究,并根据大平矿复合式干法选煤系统的实际情况,按照现代控制网络的发展要求,设计了基于 PROFINET 智能 IO 设备的控制网络,对复合式干法分选机实验系统的硬件设计,包括床面横向纵向角度的检测、风量风压的检测、执行机构的设计、控制器 PLC 各模块的选型。大型复合式干法分选机采用入选原煤中所含细粒煤(自生介质)与空气组成气固两相混合介质分选,而不是单以空气做分选介质,因此分选物料粒度范围宽,可达到 80~0 mm。

模块式干法选煤系统根据煤炭性质和产品质量要求,通过优化分选工艺,实现 80~0 mm 煤炭的有效分选,分选精度高、处理能力大、不用水、工艺简单、成本低、无环境污染。解决了我国西部干旱缺水、高寒地区及易泥化煤炭的高效加工利用难题。模块式干法分选系统分选精度高,用于原煤排矸,可能偏差 $E=0.20$,不完善度 $I=0.1$,数量效率大于 90%,大大优于传统风选;用于生产低灰精煤,可能偏差 $E=0.05$,分选精度大于其他干法分选技术。赵跃民等人对模块式干法选煤理论和工业应用进行研究,研究表明模块式干法分选在工业上可实现生产超低灰精煤,模块式干法重介质流化床选煤厂将原煤准备系统、煤炭分选系统、介质净化回收系统和供风除尘系统装配于同一平台,该选煤系统的精煤灰分为 3.46%,精煤产率为 67.88%。可能偏差 E 值为 $0.055\text{g}/\text{cm}^3$,数量效率 $>90\%$,吨煤

介耗 $<0.5\text{ kg}$ 。

陶双双等对振动螺旋干法分选机参数优化研究发现,振动频率、螺距、径向倾角主次关系为振动频率 $>$ 螺距 $>$ 径向倾角对精煤带煤量的影响得到约束范围内最大精煤带煤量73.66%,对应的各参数为振动频率34.704 2HZ、螺距341.364 2 mm、垂直振幅1.856 8 mm、水平振幅 $0.148 6^\circ$ 、径向倾角 $1.235 6^\circ$ 。

2.1.4 矿区生态恢复方面

矿区废弃物综合利用技术是利用矿区固体废弃物充填形成的技术体系,包括煤矸石综合利用、粉煤灰综合利用、废弃矿坑综合利用、矿井水综合利用、尾矿综合利用。

生态农业重建技术包括物质循环利用的生态农业重建模式、生物立体共生的生态农业重建模式和种养加工结合的物质循环利用模式。

湿地生态恢复技术包括湿地生境恢复、湿地生物恢复和生态系统结构与功能恢复。植被重建技术包括植被品种筛选和植被工艺。

土壤重建技术包括表土转换、客土覆盖、土壤物理性状改良和土壤营养状况改良。

地表整形工程技术是对矿区破坏土地地表形态进行恢复和重造,包括梯田法、疏排法、基塘法、泥浆泵充填等技术。

2.2 我国自有知识产权技术的竞争力评价

随着我国的选煤技术的快速发展和相关法律法规的制定完善,我国已经从传统的世界选煤大国向选煤强国转变,但是随着优质煤炭资源的日益减少、煤炭用户对质量要求的提高、经济效益的驱使、国家环保政策的制约,以及改革开放后进口设备的竞争等各方面原因促进了我国选煤设备的开发向高效、节能、节水、环保方向转变。选煤设备在开发、研制、推广等各方面都有了快速发展,其中进一步完善了大直径三产品重介旋流器、旋流静态微泡浮选柱、大型高效磁选机、煤泥离心脱水机、加压过滤机以及快速压滤机的设备性能和优化了设备参数,悬浮液密度自动控制系统、耐磨材料和设备、等设备及其形成的配套工艺等已处于世界先进水平,在国际上形成了一定的竞争力,并对世界选煤产生越来越多的影响,推动了世界选煤技术的发展。

我国矿区土地复垦与生态重建研究主要集中在农业土地工程复垦方面,形成了比较成熟的技术体系。在土地复垦与生态重建新技术方面主要跟踪国际研究,在土壤重构、矿区土研发等方面取得了一定成果,但是由于其大面积推广需要的代价大,目前主要在试验或小规模进行试验研究,我国在土地复垦与生态重建技术方面还没有形成较强的竞争力。

3 主要问题和解决思路

3.1 我国现有技术开发、应用和发展过程中存在的问题和解决思路

3.1.1 清洁煤炭方面

目前,我国煤炭资源开发技术处于“工艺领先、工程主导、装备跟进”的水平,按照

安全、绿色、集约、高效的原则，开发绿色智能高效开采与洁净利用技术，在清洁煤炭技术研究和装备开发上取得长足进步，逐步实现采掘作业智能化、生态环境友好化、转化利用洁净化的目标，但在清洁煤炭方面诸如煤炭开采污染治理、煤炭洗选技术、煤炭燃烧技术、煤炭转化利用效率等方面上存在许多问题，我国清洁煤炭方面存在的问题主要体现在如下：

(1) 煤炭开采上的问题：开采过程中，采出率低、储采比低；岩巷（半煤岩）掘进机械化程度低、速度慢，开采强度高、深度大，动力、地质灾害频发，行业整体绿色水平落后，资源采出率有待提高；矿区环境破坏严重，矿区矸石减排、污水与瓦斯综合利用起步晚、恢复手段单一，环境恢复率低，效果待提高。煤炭开采过程中排出的废水、废气、粉尘以及煤矸石等固体废弃物，使生态环境遭到了极大的污染和破坏，土地塌陷对植被造成的破坏，导致产生的滑坡、泥石流、矿震、酸雨及飘尘等。

(2) 煤炭分选提质和煤炭综合利用上的问题：国产洗选装备可靠性有待进一步提高，寿命短仅为国外设备的 1/3~1/2；低阶煤利用以蒸发脱水干燥为主，褐煤转化利用率低；干法分选技术取得较大进展，但动力煤总体入洗率低；煤系伴生资源综合利用率低。

(3) 煤炭绿色开采和分选过程中智能化上的问题：国内的开采和分选装备智能化水平低；在矿区物联网技术与装备方面，缺乏嵌入式智能感知装备和公共网络平台；在供配电与节能技术方面，缺乏标准，关键设备依赖进口针对以上问题，洗选厂设计与建设的 CAD 设计和模块化建设结构、洗选过程与管理的自动化等有待进一步提高。

其解决思路为：

(1) 煤炭绿色开采上，在煤炭储量探勘规划、工程地质条件探测精细和严格环境评估基础上，从开拓开采源头出发，统筹煤炭与伴生资源协调开采，减少开采过程中的资源浪费。技术研发的趋势为与环境协调的绿色、安全、高效的煤炭开采技术，减少地表沉降和三废排放、采动损伤控制、火区监测与灭火技术和矿区环境治理与生态恢复技术。

(2) 在煤炭洗选方面，通过低阶煤的分级转化和梯级利用、煤炭的分级分质利用、矿区的清洁生产和资源循环利用，为用户提供高质量的煤炭；通过降低动力煤分选成本，进一步提高动力煤入选率；大力发展低阶煤、低品质煤的提质加工技术、高效干法选煤技术、低成本动力煤分选技术、煤泥全流程减量技术、矿区废水绿色循环净化处理技术、煤中矿物资源低能耗材料化利用技术。提高选煤厂的自动化水平，发展深度降灰脱硫技术及适用于缺水地区的干法或省水干法选煤技术。实现选煤生产过程自动化，加强高灰高硫煤、难选煤的分选技术和装备研究。

(3) 加快选煤关键技术攻关和大型成套装备研制，提高选煤装备国产化水平。充分发挥产学研相结合的创新机制，积极推广应用具有自主知识产权的大型选煤装备，组织具有研发能力的主要大型设备制造企业，对大型振动筛等国外技术占优势的设备组织联合攻关。同时，通过信息化和工业化融合，促进大型现代化选煤厂生产系统自动化、操作系统智能化、质量控制标准化和企业管理信息化。

3.1.2 矿区生态恢复方面

我国矿区土地复垦与生态重建技术主要集中在农业用地复垦方面，现在逐步开发湿地治理和生态恢复（如矿区土研发等）转变，但也存在以下问题：

(1) 对水资源和空气的污染严重。煤矿开采地区本身水资源的储备量就很不理想,加上煤矿开采导致的地下水流失和污染,导致煤矿开采地区水资源紧缺,由于煤矿开采缺乏保护措施,矿区附近的水源污染严重。同时,煤矸石自燃会产生污染气体污染大气以外,煤矿在开采过程中还会产生多种对大气造成污染的情况,煤矿开采的同时,地下会冒出大量的瓦斯,瓦斯气体的存在不仅对煤矿的安全运作造成了安全隐患,而且瓦斯对于臭氧层的破坏也相当严重。

(2) 对土地资源污染严重。煤矿开采过程中产生的伴生物对于土地的影响也很严重,煤矸石对于环境的主要污染来自于煤矸石占用的土地面积大,影响生态环境,同时,煤矸石在自燃的过程中会产生大量的二氧化碳和二氧化硫等有害气体,对空气的污染也相当严重。自燃过程中排放的有害气体总量大,严重的危害人类的健康和安全。

(3) 噪声污染严重。由于煤矿的煤矿开采的工程周期长,而且开采设备的噪音严重,导致煤矿开采地区的环境受噪声污染严重。矿工在开采工作中受到连续性的高强度噪声污染不仅会产生听力下降和耳鸣耳聋的听觉问题,同时还会进一步引发矿工心脑血管和神经系统的衰弱。矿工身体健康的下降导致了矿工工作效率的下降、工作状态不佳,加重了煤矿开采安全事故的发生几率和安全隐患。在这基础上,煤矿开采还对矿区附近居民的正常生活造成了严重的影响。

(4) 诱发自然灾害。采动塌陷后地表破坏状况与地形地貌关系密切,低山丘陵区井下开采引起地表沉陷区内地表裂缝和滑坡现象较为严重。由于采煤塌陷造成地表裂缝和采动滑坡,对土地破坏影响较大,加剧了水土的流失,与暴雨泥石流等次生灾害产生连锁反应。

(5) 矿区生态恢复监管机制,资金以及技术力量不足。例如,充填复垦土壤质量监测与调控方法研究不足;缺乏保障土地生产力和生态系统稳定性的生态恢复研究;技术成果多为工程技术研究,生态恢复技术,尤其是生物技术的应用研究少;矿区土地复垦与生态重建的全要素协调机制研究少,主要局部进行土地复垦应用,不能大区域综合应用;缺乏土地破坏机理的深入研究,源头控制手段少,源头控制与过程控制结合的复垦措施更少;土地复垦组织机构不健全,在人员配备上兼职较多,管理的力度不够,投入的时间和精力较少,存在管理不到位的现象;复垦资金难以解决。

在矿区土地复垦与生态重建方面,要将矿区开采与调控作为整体研究。按照采前一采中一采后全过程,综合研究矿区土地复垦与生态重建的环境监测、生态退化、恢复技术等,完善理论体系。矿区土地复垦与生态重建应采取的措施:

(1) 在煤矿开采的过程中,对煤层进行注水和使用集尘风机等设备,对开采过程中的粉尘进行控制和防范。同时在开采过程中对井下进行注氮、灌浆等方式,可以有效地中和井下煤炭自燃时产生的二氧化碳气体。

(2) 将井下污水排出地表是开采过程中的重要环节,同时,作业用水和地下水受到煤碳的污染严重,直接排放到环境中对于水资源会造成严重后果,采用新型的脱水和滤水设备,对井下排出的废水进行分成脱水和过滤,减少污水的排放,将高浓度的煤泥水回收至选煤厂从新加工和处理。

(3) 采取土地保护措施:由于煤炭的开采会导致地下结构和承力的严重变化,常常会引起地表的坍塌,对于煤矿附近的建筑物安全造成了严重后果影响。为此,在开采过程中要注意矿洞的支护工作,增加矿洞的稳定性,对于废弃的矿洞要做好回填工作。对过去的

矿区塌陷土地,由国家筹资进行复垦,或由社会力量(包括矿区企业)出资进行复垦,国家给予优惠政策;新塌陷土地由企业复垦,对新塌陷土地应打破单一征地的旧模式,若经过复垦,土地生产力能达到原有土地效用的一律不征用,企业支付复垦及地力补偿费,仍由农民使用。对于有些塌陷土地也可采用多方协同复垦,股份经营土地的混合模式。

(4) 制定相应的法律法规和矿区环境保护规划:我国与先进国家相比,其相关法律偏少,虽然我国先后制定了《中华人民共和国矿产资源法》《土地管理法》《煤炭法》《水土保持法》《土地复垦规定》,通过法律法规的制定,在一定程度上使我国初步走上了开采、治理、保护的法制化轨道。但法律操作性不强,应加大立法强度和执法力度,制定分行业的技术标准和规范,并加强区际、国际间土地复垦技术的交流以及学术探讨,成立专门的复垦技术标。

(5) 加强对噪声污染进行控制,煤矿开采和生产过程中的噪声问题由来已久,根据我国卫生部对于工业生产过程中有关噪声问题的相关条例和规范标准,我国煤矿的开采过程中的噪声严重超标,为此,煤矿开采时,相关企业必须做好噪声的消除和隔离工作,矿区必须配备噪声消音设备,将煤炭的生产噪声控制在标准范围内。

3.2 我国现有相关政策、法规与技术发展之间的存在问题及解决思路

随着煤炭工业技术的快速发展,在煤炭资源开发利用过程中所带来的环境问题和资源紧缺问题更加严重,我国现有的相关政策法规和技术发展之间的矛盾也进一步突显。一方面,重视提高燃烧效率,忽视燃前处理;重视化学转化法以消除燃煤污染,忽视低成本物理加工;入洗率有明确目标无具体措施;煤炭市场准入制作用还有待进一步提高等,另一方面,部分动力煤集配站为达到产品硫分要求,通过掺配调整方法取代分选加工提质的方法去降低煤中的硫分,以达到产品硫分要求。电煤或动力煤用户为降低成本,把重点放在改进高灰高硫煤燃煤锅炉性能或采用其他新的技术手段和方法去使用高灰高硫煤燃煤,在很大程度上掩盖煤炭燃前净化的基本环节和要求。建立和完善相关政策法规和标准体系,对于促进煤炭洗选加工业发展、提高煤炭质量、降低环境污染、实现节能减排目标至关重要。

3.2.1 法律法规的制定进度无法适应技术的发展

我国国产洗选装备整体落后,原煤入洗率低,低阶煤利用以蒸发脱水干燥为主,褐煤转化利用率低,动力煤入洗率低(33%);固废资源利用率低,综合利用率不到70%,吨煤产值仅相当于发达国家的30%左右,矿区水整体循环利用率低。新技术、新设备的推出并经工业化扩大阶段困难大,使得煤炭行业整体生产力水平较低,先进的技术并未得到广泛推广甚至普遍应用。装备水平差、管理能力弱、职工素质低、作业环境差的小煤矿数量仍占全国的80%,采煤技术装备自动化、信息化、可靠性程度低,采煤机械化程度与先进产煤国家仍有较大差距,生产效率远低于先进产煤国家水平。这对煤炭开采、分选技术提出挑战。

3.2.2 使用洁净煤的成本和收益之间的矛盾

大力发展洁净煤技术,促进资源高效清洁利用是保护、节约国家资源的有利手段,但

我国仍然存在资源破坏浪费严重，资源回采率低的问题，资源开发和利用方式难以支撑。诸如目前仍有部分矿区直接销售原煤，这就更要求相关政策的完善和贯彻实施。

洁净煤技术的发展出来国家政策的大力倡导外，还需要必要的市场需求来刺激技术的发展。而国内比如硫等有害元素的排放标准并不是十分的严格，部分企业便不能主动降低排污量，如果能基于市场的机制，激励国内外市场洁净煤技术开发，相信会对环境保护起到一定的作用。

4 建议

我国耕地资源紧张，按照矿区土地复垦与生态重建的要合理和科学改善区域生态环境和提高土地利用效率，土地复垦与生态重建领域的立法，是我国急需解决的一些问题。我国现行政策、法规如《中华人民共和国土地管理法》指出耕地占补平衡等，解决当前客观政策需求与技术发展实际需求存在矛盾和冲突，加快土地复垦与生态重建相关标准制定，明确矿区土地复垦与生态重建的具体操作。

针对以上相关政策、法规与技术发展之间的矛盾提出具体改进思路。

(1) 针对相对落后的开采工艺及装备水平与现代社会对高效安全的高保障程度之间的矛盾，开发煤炭绿色安全开采、难开采煤层安全高效开采、难开采煤层安全高效开采等技术，建设煤矿物联网与云服务平台，为智慧矿区建设提供技术支撑。

(2) 加大选煤科技资金投入，重点开发包括高效干法选煤在内的低成本动力煤分选技术、矿业废水循环利用技术、煤泥的综合利用技术以及低阶煤分质利用技术。开发褐煤脱水提质、低阶煤煤泥高效浮选、煤泥减量与处置、粉煤灰高效分选与综合利用、矿区废水净化与循环利用、配煤调质与高碱煤提质等技术，提高我国洗选设备的研发和生产制造水平。国家在资金和政策方面应大力扶持相关科学研究，快速提升自主创新能力，为我国煤炭企业提供先进的选煤装备。

(3) 进一步落实煤炭市场准入制。根据各个地区的资源条件和市场需求制定各地区的商品煤准入标准。严格控制进口煤质量，限制劣质煤、高污染煤的进口。

(4) 制定相应的法律法规和矿区环境保护规划，加强执法强度和立法力度。

固化稳定化处理技术发展报告

1 所属行业或领域总体概况

固化是将惰性基材与废物充分混合，并形成结构完整、具有一定尺寸和机械强度的块状结构的过程，稳定化是利用药剂与废物有害成分间的相互作用改变其形态或化学组成，从而降低废物中有害成分的溶解性、迁移性，最终实现降低废物环境危害性的目的。固化过程中往往伴随着稳定化过程一同发生，因此常将两种废物处理技术统称为固化稳定化技术。固化稳定化技术不能彻底消除废物的环境危害，常被用作危险废物填埋处置的预处理技术，主要用于处理以重金属危害为主要危害特性的废物，经过处理后废物中有害物质浸出浓度满足危险废物填埋场入场浓度限值，方可进行填埋处置。

含重金属废物主要来自电镀行业、金属冶炼行业、电子废物拆解业、生活垃圾焚烧、危险废物焚烧及污水处理等诸多行业，依据《国家危险废物名录》及《危险废物鉴别标准》，这些行业产生的污泥、飞灰、炉渣等废物大多为危险废物，具有特殊的环境危害性，需进行严格管理。目前世界各国对这些废物的管理及处置都十分重视。

1.1 国内外相关法规、政策、标准体系现状

由于固化稳定化技术是危险废物填埋处置的常用预处理技术，且在各国的法律法规体系中普遍缺乏专门对于固化稳定化技术的相关管理规定，对固化稳定化技术处理效果的要求一般均以危险废物填埋场入场控制标准为依据。

美国于 1965 年制定了第一个固体废物专业性法规——“固体废物处置法”，但针对危险废物的管理工作并没有给予足够的重视，直到 1976 年，美国国会通过《资源保护和回收法》（以下简称 RCRA），才提出了对固体废弃物特别是有害废弃物从产生到最终安全处置的全过程管理。1984 年，美国国家环保局（以下简称 EPA）根据 RCRA 的要求，颁布了《危险和固体废物修正法》（以下简称 HSWA），其结构与内容均与 RCRA 相对应并包含了大量附录，RCRA 和 HSWA 成为美国规范和管理危险废物产生和处置的主要法律依据。在 HSWA 的基础上，美国又制定了“土地处置禁令（Land Disposal Program Flexibility Act，简称 LDP）”要求 EPA 对废物的填埋处置建立处理标准或方法，以降低废物中有害组分迁移转化的可能性，使其对人体健康和生态环境的短期或长期威胁达到最小。EPA 据此要求将废物填埋场分成了处置危险废物的危险废物填埋场和处理生活垃圾、工业废物的非危险废物填埋场，对填埋场的设计运营提出了统一的最低标准并要求各州建立固体废物管理计划，制定标准均不得低于联邦的统一要求。EPA 提出的废物进入危险废物填埋场进行填埋处置的浓度限值见表 1。

出于保护地表水、地下水、土壤与人体健康的考虑, 欧盟制定的严格环境保护要求。1999年欧盟颁布了《废物填埋技术指令(1999/31/EC)》, 旨在防止或减少废物垃圾填埋场对环境产生不利的影 响, 各国在此基础上制定符合本国固体废物管理法案。法国、德国、英国都对本国的废物填埋场进行了分类, 建立了专门用于处置危险废物的填埋场。对进入危险废物填埋场的废物, 欧盟又分为块状废物(monolithic)和粉末状废物(granular), 并规定了相同的进场废物最高允许浓度, 各国可自行规定两类废物的最高允许浓度及检测方法。法国规定对两类废物采用不同的浸出实验但最高浓度限值相同, 英国则是对两类废物的浸出实验及最高允许浓度都进行了区分, 德国则采用了与欧盟同样的规定, 两类废物执行同样允许浓度标准。各国规定的危险废物填埋最高允许浓度见表1。

我国在《中华人民共和国环境保护法》的基础上, 于1995年通过了《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》(以下简称“《固废法》”), 并于1996年4月1日开始实施, 该法第四章专门针对危险废物的管理以及经营做出了详细规定, 成为我国危险废物管理的根本大法。1996年国家制定了《危险废物鉴别标准》(2007年重新修订), 1998年颁发了《国家危险废物名录》(2008年重新修订), 这两部法规明确了危险废物的概念, 使得《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》中关于危险废物的管理得以落到实处。2001年国家环境保护部发布了《危险废物填埋污染控制标准》, 对危险废物填埋场的选址、设计、施工、质量保证、填埋废物入场最高允许浓度、运行管理及污染排放等内容进行了详细规定。填埋废物入场最高允许浓度见表1。

表1 各国危险废物填埋场入场最高允许浓度

	法国		英国		德国	美国	澳大利亚	中国
	粉末状	块状	粉末状	块状	危险废物	危险废物	危险废物	危险废物
As	25	25	25	20	2.5	5	5	2.5
Ba	300	300	300	150	30	100	100	150
Cd	5	5	5	1	0.5	-	0.5	0.5
Cr	70	70	70	25	7	5	5	12
Cu	100	100	100	60	10	-	10	75
Hg	2	2	2	0.4	0	0.2	0.1	0.25
Mo	30	30	30	20	3	-	-	-
Ni	40	40	40	15	4	-	2	15
Pb	50	50	50	20	5	5	5	5
Sb	5	5	5	2.5	0.5	-	-	-
Se	7	7	7	5	0.7	1	1	-
Zn	200	200	200	100	20	-	250	75
Cl	-	-	25000	20000	2500	-	-	-
CN	-	-	-	-	<10	-	10	5
F	500	500	500	-	50	-	-	100
SO ₄	-	-	50000	-	5000	-	-	-
DOC c	-	-	1000	-	-	-	-	-
TDS d	10%	10%	100000	-	-	-	-	-
LOI	-	-	10%	-	-	-	-	-
TOC	6%	6%	6%	-	-	-	-	-
pH	4 - 13	4 - 13	-	-	4 - 13	-	-	7 - 12

需要说明的是,我国现行的《危险废物填埋污染控制标准》是2001年颁布实施的,其修订工作已经正式启动,并于2015年9月发布了征求意见稿,征求意见稿中对砷、汞、铅、镍等污染物的入场要求都大幅提高。新修订的《危险废物填埋污染控制标准》标准实施后可能会对入场废物的前处理提出更严格的技术要求。

固化稳定化技术是含重金属废物进入危险废物填埋场前常用的预处理技术,其目的就是降低废物中重金属成分的浸出浓度以满足入场要求。目前除美国、英国外,关于固化稳定化技术各国普遍没有形成法规或技术指导性文件。英国环境署于2004年以科学研究报告的形式发布了《固化稳定化技术处理污染土壤应用指南》(Guidance on the use of Stabilization/Solidification for the Treatment of Contaminated Soil),该指南针对固化稳定化技术在土壤修复领域应用进行了详细介绍,包括技术选择、技术设施建设、检测采样长期监测等。美国于EPA于1986年发布了“危险废物固化稳定化手册”,详细介绍了固化稳定化技术及技术涉及的稳定化药剂等,此后,EPA先后出台多部关于固化稳定化技术的规范文件,并于1999年发行了固化稳定资源指南,对历年关于固化稳定化技术的法规、研究报告、项目应用、测试方法等消息进行全面地汇总。

在我国,虽然固化稳定化技术已得到广泛应用,但也仍未形成正式的法律规范或技术指南,2014年发布的《危险废物处置工程技术导则》中指出固化稳定化技术是危险废物处置的一种预处理技术,包括“水泥固化、石灰固化、塑料固化、自胶结固化和药剂稳定化等”,“性质不稳定的危险废物需经固化稳定化处理后方可进行安全填埋处置”,固化稳定化处理后需要达到的浸出浓度应满足《危险废物填埋污染控制标准》的要求,而关于固化稳定化的技术选择、应用、管理及后期监测等都未有法律法规或技术规范做出任何要求,可见针对固化稳定化技术的法规管理工作,已经落后于对该技术进行管理的实际需求。

1.2 国内外对重点行业的污染控制管理现状

由于重金属物质具有特殊的危害性,而电镀行业、垃圾焚烧、金属冶炼、电子废物拆解、污水处理等诸多行业产生的污泥、飞灰、炉渣等废物通常会含有一定量重金属成分,因而各国对这些废物的管理也十分严格。

欧盟为了避免污泥农用对土壤、动植物和人体健康造成危害制定了《污泥农用准则》,该准则也是欧盟各成员国制定本国污泥标准的基本参考。在污泥的处理处置以及资源化方面,欧盟制定《废弃物焚烧准则草案》、《欧盟废物指令》、《欧盟填埋指导原则》、《污泥管理办法》等多部文件。

日本从污泥处理处置与资源化的实践出发制定了本国的政策法规。早期依据《废弃物处理法》的要求,主要采用热干化和焚烧法对污泥进行减量无害化处理,后期日本制定了污泥ACE计划及将污泥无害化后用于绿地园林、焚烧灰分用于建筑材料生产并综合利用污泥焚烧产生的热能、电能,进而相继出台了《污泥绿农地适用手册》、《促进资源有效利用法》及《污泥建设资材利用手册》等。此外,日本的《化学物质排出管理促进法》对用于土地利用和进行填埋处理的污泥中污染物浓度提出了严格限制。

在美国,依据RCRA与HSWA的规定,飞灰及其他含重金属的废物为危险废物,需送至危险废物填埋场进行处置。其他发达国家和地区如荷兰、新加坡、中国台湾地区等也多对危险废物采用固化技术进行处理后送至危险废物填埋场进行最终处置。

在我国,自《固废法》颁布实施后,国家环境保护部门加强了对危险废物的关注,相继颁布的诸多污染控制标准、技术规范、技术指南等法律法规中都涉及了危险废物(如生活垃圾焚烧飞灰、电镀污泥、危险废物焚烧炉渣与飞灰等)管理工作,并且明确要求将这些废物送至具有处理资质的企业进行无害化处置。目前针对这些废物的处置通常有处置、暂存和资源化利用三种途径,暂存除了占用大量的土地资源外,也存在一定风险。资源化利用方面,近年出现了一些用于处理焚烧飞灰的技术项目,如全国首条采用水泥窑协同处置技术处理飞灰的工业化处置示范项目于2015年在北京投入运营;天津一环保企业自主开发了“垃圾焚烧飞灰微波解毒及药剂稳定化处理后制免烧型飞灰陶粒技术”也为飞灰的无害化资源化处置提供了新的途径,但这些新型技术处于发展阶段,固化稳定化后进行安全填埋处置仍是飞灰、电镀污泥、冶炼废渣等含重金属废物目前常用且最为成熟的处理处置工艺。但据统计显示,2012年我国生活垃圾焚烧产生的飞灰量约为180万吨,若按50%的飞灰采用固化稳定化后填埋的处置工艺的话,则处置量约为90万吨,目前全国关于危险废物固化稳定化处理能尚无具体数据,“十一五”全国危险废物设施建设规划全部建设完成,全国危险废物填埋年处置能力也仅能达到107.9万吨,根据实际经验,固化稳定化年处理能力应小于填埋年处置能力,按填埋能的80%计算,则固化的年处理能力仍不到90万吨,仍不能满足生活垃圾焚烧飞灰的处理需求。可见我国对焚烧飞灰、电镀污泥及各类含重金属废渣的处理处置能力仍显不足。

2 固化稳定化技术发展情况

2.1 技术发展情况

固化稳定化技术是否能够满足应用需求,应从材料和能量消耗,药剂来源,处理效果等多方面因素进行考虑,处理效果上主要考察处理后固化体的增容率、抗渗透性、抗浸出性、抗干湿性、抗冻融性等性能。目前常用的固化稳定化处理技术,按所用固化剂、稳定剂的不同可分为:水泥固化、石灰固化、沥青固化、玻璃固化、自胶结固化、塑料固化以及药剂稳定化等。为了确保处理效果,实际应用过程中常会在固化操作中添加稳定化药剂。

2.1.1 技术发展情况

(1) 水泥固化

水泥固化是利用水泥的水化和水硬胶凝作用对废物进行固化的一种危险废物处理方法,该方法是目前最为成熟,且经济的危险废物固化处理方法。应用时将废物掺入水泥中,水泥经水化反应后可生成坚硬的水泥固化体,在此过程中,废物中有害的重金属成分通过物理化学作用,或与水泥中有效成分发生反应而被增加稳定性,或被包裹在水泥固化体中而降低其迁移性,从而降低废物的环境危害性。

适用性方面,水泥固化技术的工艺设备成熟,经验丰富,是适用性最为广泛的固化稳定化技术之一,大量的危险废弃物都可以通过此种技术得到固化,尤其含各种金属(如:镉、铬、铜、铅、镍、锌等)的电镀污泥,也用于处理含有有机物的复杂废物,如含PCBs、油脂、氯乙烯、二氯乙烯、树脂、石棉等。因水泥是碱性物质,可与废酸类废物直接进行

中和；由于水泥固化时需要用到水作反应剂，所以对含水量比较大的废物也适用。

技术研究方面，近年来，学者开始关注水泥固化技术与其他技术联合应用的处理效果。在国外，Lamprisa 等将普通硅酸盐水泥与炉石粉共混作为固化剂固化飞灰，固化剂的添加量 10%~50%（质量分数），水固比 0.4~0.8，浸出测试结果表明，当添加质量分数为 50% 的固化剂时，对于 Pb 和 Zn，可以达到英国废物可接受标准；在国内，有研究者对水泥固化和药剂稳定化联合处理技术进行了研究，结果表明：单独采用普通硅酸盐水泥固化处理垃圾焚烧飞灰，水泥添加量为 35%（质量分数）左右，采用水泥固化与药剂稳定化联合处理技术时，仅需添加 3.0% 的稳定化药剂、15% 的水泥，即可满足垃圾填埋场入场控制标准，大大减小了固化后体积。此外，因为垃圾焚烧飞灰的成分及活性与水泥相似，有学者建议在制备混凝土时，可用适量的含重金属垃圾焚烧飞灰替代水泥，从而在固化飞灰的同时实现飞灰的资源化利用。

在工程应用上，水泥固化工艺一般包括进料，搅拌成型和养护三个阶段。图 1 是高波等提出的采用水泥固化与药剂稳定化联合应用技术处理焚烧飞灰和危险废物，固化稳定化后进行安全填埋处置的工艺技术路线图。

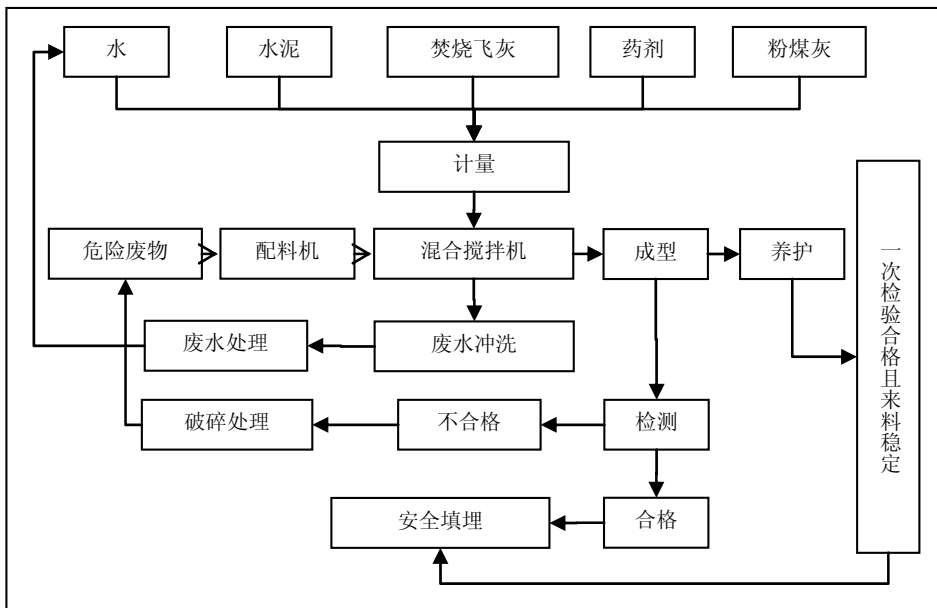


图 1 危险废物水泥固化后安全填埋处置工艺技术路线

(2) 石灰固化

当有水存在时，石灰、粉煤灰、水泥窑灰以及熔矿炉炉渣等物质中的活性成分在常温下，可与碱金属或碱土金属的氢氧化物发生凝硬作用，即发生波索来反应，以该类物质为固化基材而开发的固化稳定化技术即为石灰基固化技术。常用的石灰基固化技术是将废物与水，熟石灰混合，通过反应使废物得到稳定化。

在适用性方面，石灰基固化技术多用于处理含有硫酸盐或亚硫酸盐类泥渣，也有研究报道称石灰基固化技术可用于处理含重金属的飞灰、污泥等危险废物。

在技术研究上，因石灰固化处理所能提供的结构强度不如水泥固化，因而近年有关石

灰固化技术与药剂稳定化技术联用的相关研究开始引起关注，如国内张复实等人在石灰固化技术处理飞灰的过程中添加了高分子稳定化药剂，并对处理效果进行了分析测试，表明经该法处理后，固化体中重金属浸出浓度符合废物填埋污染控制标准，且固化体无侧限抗压强度良好，水稳定性好，长期抗渗透能力高，实现了飞灰的无害化直接填埋。

工程应用上，石灰固化技术工艺与水泥固化技术工艺相似，包括进料，搅拌成型及干化养护。下图是王坤红等人提出的采用石灰固化技术处理污泥的工艺流程。

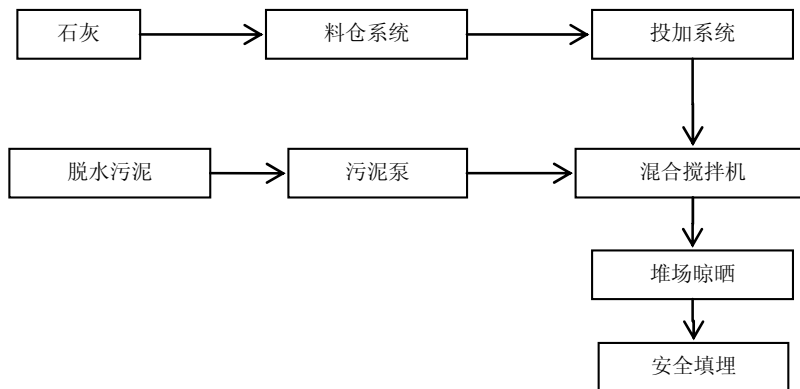


图2 石灰固化技术处理污泥工艺流程

（3）沥青固化

沥青的化学成分包括沥青质、油分、胶质、沥青酸、石蜡等，作为一种多物质混合体系，沥青具有良好的憎水性、粘结性、化学稳定性和较高的耐腐蚀性，是一种理想的危险废物固化剂。沥青固化技术即是在一定温度、配料比、碱度下，将危险废物与沥青材料充分搅拌，使之发生皂化反应，有害物质被包容在沥青中，形成稳定固化体的过程。同水泥固化相比，有害物质的渗出率减少2%~3%。

在适用性上，沥青固化技术可用于处理中、低放射水平的蒸发残液、炉渣、塑料废物、电镀污泥和砷渣等危险废物。

在技术研究上，有学者对沥青固化过程的物料比、添加剂等影响固化效果的因素进行了研究，如严建华等人就采用沥青固化技术对城市生活垃圾焚烧飞灰进行了固化研究，研究中考察了物料比，以及添加S和NaOH对固化效果的影响。研究表明：随沥青加入量的增高，Cd、Ni、Cu、Zn的浸出量逐渐减小，而Pb和Cr则出现了先增大后减小的现象，说明在低添加量的情况下，沥青固化技术具有一定的应用限制；在沥青与飞灰的混合比例一定的情况下，加入一定配比的S和NaOH，能使重金属的浸出更少。

在工程应用上，沥青固化技术又分为高温融化混合蒸发法、暂时乳化法和化学乳化法，三种技术又以高温融化混合蒸发法较为常见，该方法是将废物与预先融化的沥青混合搅拌，然后冷却成型。其工艺流程如下图所示：

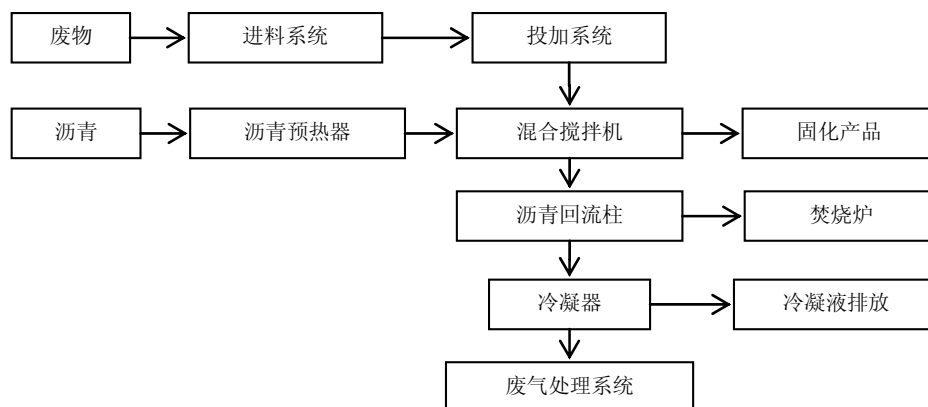


图3 高温融化混合蒸发法沥青固化技术工艺流程图

(4) 玻璃固化

以玻璃原料为固化剂，将其与有害物质以一定的配料比混合后，在高温（1000~1500℃）下熔融，经退火后即可转化为稳定的玻璃固化体。目前较普遍采用的是磷酸盐玻璃和硼酸盐玻璃。玻璃固化的优点是固化体结构致密，在水、酸性、碱性水溶液中的浸出率很低，减容系数大。其缺点在于工艺复杂，处理费用昂贵，设备材质要求高。

适用性方面，玻璃固化法主要用于固化剧毒废物或高放射性废物。

技术研究方面，国内外近年来相关报道较少，且研究方向较为分散。固化效果研究上 Young J P 等人在采用该法处理垃圾焚烧飞灰时添加了 SiO₂，结果表明，SiO₂ 的添加有利于熔融渣玻璃体的形成，降低了熔融处理的难度，且灰渣中重金属的浸出浓度极大降低，玻璃体的机械性能和稳定性能均有所增强。日本的 Katsunori 等人的研究表明，在采用高温熔融工艺处理垃圾焚烧飞灰时，二噁英几乎被完全分解；熔融后的玻璃态物质的重金属浸出浓度完全符合日本的相关法规标准。国内陈德珍等人的研究也表明，玻璃态物质对 Pb、Cd 都具有很好的固化效果。在固化工艺技术开发方面，冷坩埚玻璃固化技术作为第四代玻璃固化工艺成为相关研究的热点，刘丽君在其发表的文章中对国内外冷坩埚玻璃固化技术的发展现状、关键技术等问题做了详细梳理，并预计在 2025 年左右我国能建成 2~3 个冷坩埚玻璃固化工业规模台架，作为今后科研平台，如配方研发和验证、疑难废物处理等问题。在技术机理研究方面，刘丽君等人还对玻璃固化过程中硫酸盐分相和分解行为进行了深入研究。

(5) 自胶结固化

自胶结固化是利用废物自身的胶结特性来达到固化目的的方法。该技术主要用来处理含有大量硫酸钙和亚硫酸钙的废物，如磷石膏、烟道气洗涤污泥和烟道气脱硫污泥等。废物中所含有的 CaSO₄ 与 CaSO₃ 均以二水化物的形式存在，即为 CaSO₄ · 2H₂O、CaSO₃ · 2H₂O，将其加热到脱水温度 107~170℃，逐渐生成 CaSO₄ · 0.5H₂O 和 CaSO₃ · 0.5H₂O，生成物遇水后会重新恢复为二水化物，迅速凝固和硬化。将含有大量硫酸钙和亚硫酸钙的废物在控制的温度下煅烧，然后与添加剂和填料混合成为稀浆，经凝结核硬化后形成自胶结固化体。

在技术研究上，目前相关研究报道极少。

在工程应用上，美国一家技术公司利用该原理开发了一种用以处理烟道气脱硫泥渣的

技术。其工艺流程是：首先将泥渣送入沉降槽，沉淀后再将泥渣送入真空过滤器脱水。得到的滤饼分为两路处理：一路送到混合器，另一路送到煅烧器进行煅烧、经过干燥脱水后转化为胶结剂，并被送到贮槽储存。最后将煅烧产品、添加剂、粉煤灰一并送到混合器中混合，形成粘土状物质，经自胶结固化后，固化产物可以送填埋场处置。

(6) 塑料固化

以塑料为固化剂与有害物质按一定的配料比，并加入适量的催化剂和填料（骨料）进行搅拌混合，使其共聚合固化而将有害废物包容形成具有一定强度和稳定性的固化体。因塑料的不同可分为热塑性塑料固化和热固性塑料固化两类，热塑性塑料有聚乙烯、聚氯乙烯树脂等，热固性塑料有脲醛树脂和不饱和聚酯等。该方法的优点是增容率和固化体的密度较小，为使混合物聚合凝结仅需加入少量的催化剂，且固化体是不可燃的。缺点是固化体的抗老化性较差，破裂后可能会有污染物渗出；混合过程中释放有害烟雾，污染环境，需熟练的操作技术以保证固化质量。

适用性方面上一般用于处理毒性危害大的化学废物，如砷化物、氰化物，放射性废物。

(7) 药剂稳定化技术

药剂稳定化技术是利用化学药剂通过化学反应使有害废物转变为低溶解性、低迁移性及低毒性物质的过程。用药剂稳定化技术处理危险废物，可以在实现废物无害化的同时，达到废物少增容或不增容，从而有效利用填埋场库容。

药剂稳定化技术根据药剂与重金属废物反应理性的不同又可进一步分为：pH 值控制技术、无机硫化物沉淀技术、有机硫化物沉淀技术、有机螯合物技术等。各种技术常用的添加药剂见表 2。

表 2 药剂稳定化技术常用添加剂

药剂稳定化技术	常用药剂
pH 控制技术	CaO、Ca(OH) ₂ 、Na ₂ CO ₃ 、NaOH
无机硫化物沉淀技术	硫化钠、硫化氢钠、硫化钙、硫化亚铁、单质硫
有机硫化物沉淀技术	二硫代氨基甲酸盐、硫脲、硫代酰胺、黄原酸盐
有机螯合物技术	多胺类、聚乙烯亚胺类

在技术研究方面，药剂稳定化技术的研究主要集中在稳定化药剂处理效果对比等方面。王苏琴等人通过实验研究对磷酸二氢钠 (NaH₂PO₄)、人造沸石、胺三乙酸 (NTA) 和乙基黄原酸钾 4 种药剂单独稳定化处理废催化剂效果进行了对比。结果表明：稳定化药剂最佳添加量为 2%，NaH₂PO₄、人造沸石、NTA 和乙基黄原酸钾对废催化剂中 Ni 的稳定化比率分别为 85.7%、94.6%、75.0% 和 99.7%，并且人造沸石和乙基黄原酸钾稳定化处理后的产物可在相当宽的 pH 值范围内保持稳定。

在工程应用上，药剂稳定化技术在国内外均得到了广泛应用，其工艺流程一般包括进料、投药、搅拌、出料等几个环节。对应的设备则包括供料系统、配药系统、混合系统、出料系统和控制系统。俞欣等人在含镍危险废物药剂稳定化工程示范与研究中采用了图 4 所示的工艺流程，以 20:1 的乙基黄原酸钾与人造沸石作为稳定化药剂，建立了 5t/h 规模的含镍危险废物处理示范工程，处理后，危险废物中重金属镍的含量由 10.8 mg/L 降低至

3 mg/L 以下，增容比仅为 1.08，取得了良好的运行效果。

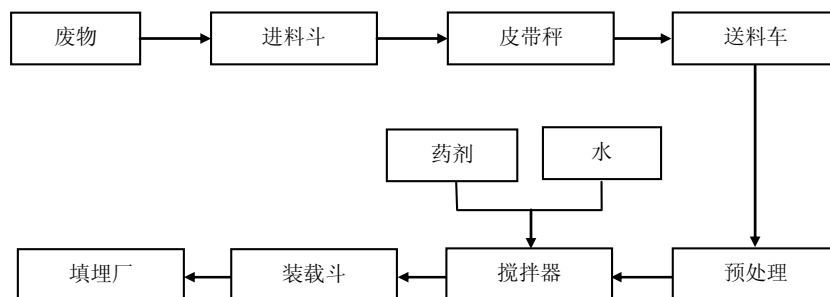


图 4 药剂稳定化处理含镍废物工艺流程图

2.1.2 固化稳定化设备发展情况

随着环境保护要求的显著提高以及设备制造行业技术水平的持续发展，固化稳定化设备的设计水平和制造工艺也在不断更新，从最初的粗放式投料生产逐渐演化到现在的精确定量投料连续生产。水泥固化稳定化技术是目前我国危险废物处置企业通常采用的技术，该类技术设备的发展经历了以下主要四个阶段。

(1) 仿造稳定土拌合站阶段

随着处理科学化水平的提升，固化稳定化处理技术对物料的添加量也有了明确的计量要求，需为初期的原始设备配套适当的计量装置。因建筑行业的稳定土拌合生产工艺基本可以满足固化稳定化技术需求，因此，固化稳定化系统发展初期市场上大多以稳定土拌合站为原型，改造成为固化稳定化系统，该系统以混炼机作为固化稳定化系统的混合搅拌设备，实现了进料、混合、出料连续进行，处理能力显著增加，每小时可达 300 吨以上。但应用过程中系统存在的物料配比不准确、反应时间不够、混合不均匀等缺点逐渐显露，实践证明，此系统无法稳定、可靠的生产，且在日益严格的环保监管下，不能满足出料的检验要求。

(2) 仿造混凝土搅拌站阶段

在总结上一阶段经验问题的基础上，一些设备厂商对固化稳定化系统进行了改进，利用混凝土搅拌站为基础进行设计，核心混合搅拌机为双卧轴强制式混合搅拌机，并充分增加了防腐设计。将计量方式设计为独立的单秤静态计量，系统采用配料机+斗提机计量与输送固态、半固态废料，粉料秤和液剂秤计量粉状和液态物料，各物料在各自的计量秤完成计量，再按顺序投入到混合机中，配比控制精确，彻底解决了上一代系统存在的物料配比不准确、反应时间不够、混合不均匀等缺点，基本达到使用要求，但由于各种物料达不到沙子、石子等流动性的特点，出现了粘料、堵料现象，生产效率大打折扣、增大了工人劳动强度，且混合机为批次生产设备，也限制了生产效率的提高。

(3) 桁车抓斗上料阶段

为解决固态、半固态物料粘度大、流动性不好，输送不流畅的难题，新一代的固化稳定化系统将配料系统的配料机和斗提机上料改造为桁车抓斗上料，解决了粘料问题。

此系统的弊端在于抓斗上料效率较低，固废的处理能力很大程度靠操作工人的熟练程

度，且抓斗运行时，物料容易洒落，造成工作环境的污染。

（4）目前市场主流产品

经过长期的发展，目前市场上最新一代主流固化设备以污泥配料机+皮带机形式为主，该形式产品可进行连续生产，效率高，在输送过程中避免了粘料、洒料对环境的二次污染。设备采用污泥输送系统，解决了固态、半固态等粘度大、含水率高废料的计量和输送问题；主体外做包封设计，确保恶臭气味不扩散；各种物料单独计量，按设定顺序输送；采用机械振动、气动双重破拱；设备的防腐、防尘、防粘、防堵、防漏、防渗等性能全面提升。

随着工业行业的发展，产生危险废物的理化性质不确定性也随之增多，这也要求固化稳定化设备也应不断改进，以满足环境保护需求。

2.2 自有知识产权技术的竞争力评价

随着我的经济发展及环境保护工作力度的不断加强，我国在环境保护技术科技研发上投入不断增加，固化稳定化技术作为含重金属危险废物的常用处理技术，相关技术研发也得到了极大发展，专利申请数目逐年增多。据不完全统计，2000~2015年间我国专用于固化稳定化技术的已授权和受理专利数共达到160余项。从适用对象上看，这些专利覆盖了电镀污泥、生活垃圾焚烧飞灰、危险废物焚烧炉渣、重金属冶炼废渣及污染土壤修复等废物类别；从技术类型上看，这些专利既有关于固化技术的新方法、新设备，也有关于稳定化技术的新药剂、新设备、新工艺。

图5显示了我国自2000年以来专用于固化稳定化技术的专利申请情况。由该图可见，2010年以前，历年专利申请数量较为平稳，进入2010年以后，专利申请数量出现了迅猛增长。

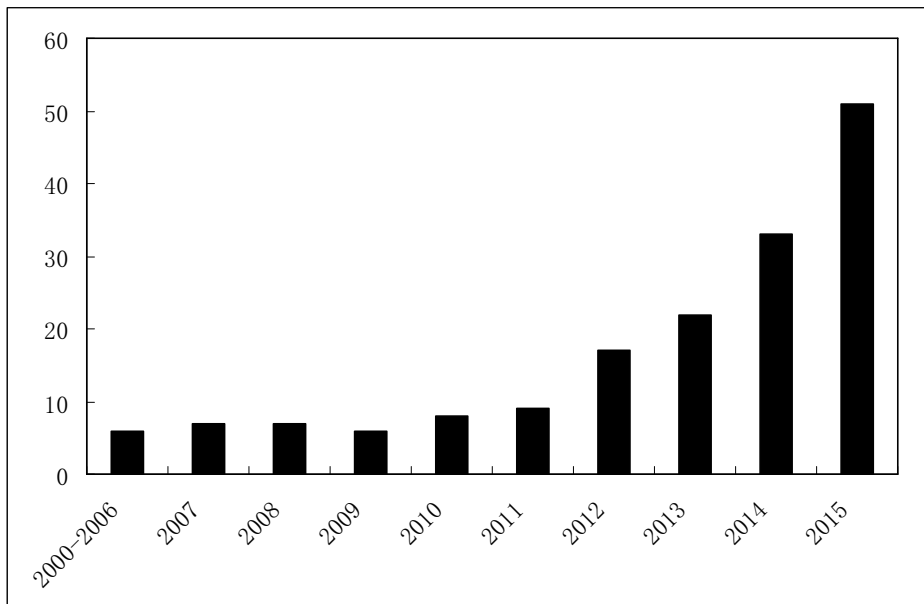


图5 2000~2015年固化稳定化技术的专利申请情况

这些专利技术的适用对象可分为焚烧飞灰、电镀污泥、污染土壤修复以及含重金属废

渣等四大类。其中，垃圾焚烧飞灰、电镀污泥及含重金属废渣依据《国家危险废物名录》及《危险废物鉴别标准》多为危险废物，而污染土壤则应根据具体情况进行确定。需要说明的是，污染土壤修复作为固化稳定化技术应用的新领域，近两年受到了国内研究的巨大关注，在 160 余项已受理授权的固化稳定化相关技术中，明确适用于土壤修复的有 54 项，其中的 38 项是 2014 和 2015 年申请的，占土壤固化稳定化技术专利的 70%，这与国内近年土壤修复项目不断兴起有关。其他明确适用范围的分别为，飞灰 38 项，污泥 38 项，废渣 17 项。需要说明的是，飞灰、污泥及废渣的固化稳定化技术专利申请增长速度缓慢，特别是用于飞灰和污泥处理的技术专利，超过 50% 是 2012 年及以前申请的，表明近期对该类废物处理处置技术研究的关注与投入呈逐渐降低趋势，这种趋势如果持续下去，可能会对环境保护工作造成不利影响。

在众多专利技术成果转化的基础上，一些国内设备制造企业已经面向市场推出了自主知识产权的固化稳定化设备，基本能够满足国内综合性危险废物处置企业的生产需求。但也存在科研成果转化率不高的问题，缺乏良好的产学研用相结合的模式。

3 主要问题分析

3.1 管理体系方面

一方面在固化稳定化技术应用效果上，仅《危险废物填埋污染控制标准》间接提出了固化稳定化处理后应达到的浸出浓度要求，但与欧盟的控制标准相比还存在着指标不全、废物物理形态未区分的等问题；另一方面缺乏针对固化稳定化进料设备、搅拌设备、自动控制、固化产物处置等关键技术或管理问题的专门指导性的行业技术规范。

3.2 技术研究方面

由于固化稳定化技术作为成熟的危险废物处理技术已经应用多年，但由于采用该技术处理的废物及采用的固化剂本身都具有极大的复杂性，如废物中的重金属种类，重金属含量，含水率，固化剂的性质，添加剂的性质及用量，操作过程等因素都会对固化效果产生影响，因此关于该技术研究仍有许多工作要做。目前国内的研究报道普遍较为关注固化稳定化处理后重金属的浸出率，而对固化体的其他性质关注较少，如固化体的空隙度，抗压强度等结构特性和物理特性指标。

此外，无论是国内还是国外，对固化稳定化后固化体在环境中的长期安全性都关注不足，亟待更深入地开展相关研究。

3.3 技术应用

固化稳定化设备在应用过程也存在一些问题。危险废物处置企业需固化的废物的种类、形态、粘度、含水率等指标变化较大，因此适合的固化设备的进料方式也各不相同，目前主流的固化设备的进料系统适用性和效率还有待改善和加强；危废固化后固化体毒性浸出实验如无法达到安全填埋场入场限值，则还需要对固化体进行破碎和二次固化，而目前的技术研究和实际应用中，对二次固化时固化体破碎的粒径要求，固化时间等参数的控

制还关注不足。

4 建议

未来 3~5 年应重点和优先发展的领域、技术、尚需配套的标准、法规、政策的建议如下：

（1）完善法律法规体系建设

针对缺乏固化稳定化技术专门的指导性、规范性法律文件的现状，应当加强国内固化稳定化技术应用项目的工作经验总结，并在此基础上，形成针对固化稳定化技术的法律文件，并在其中明确固化稳定化后进行资源化利用的相关技术要求。

（2）技术研究建议

国内外目前关于固化稳定化技术的长期安全性的研究关注较少，但并不能表明经固化稳定化处理后就不存在潜在的环境风险，特别是针对固化稳定化后进行资源化的工程项目，考虑到自然环境的复杂性，恶劣性，早期的固化稳定化后资源化项目可能存在着较大的潜在风险。因此应立即开展系统性的固化稳定化技术长期稳定性研究。

（3）设备研发建议

《危险废物填埋污染控制标准》修订版征求意见稿中对部分重金属的入场允许浓度提出了更为严格的要求，这一变化可能会对危废处置企业目前常用的固化稳定化技术设备提出挑战，但同时也是固化稳定化技术新工艺及新型药剂研发的新机遇，建议以此契机，结合新标准的要求与当前固化稳定化生产中存在的进料系统适用性不高、固化失败等问题，从设备研发角度开展相关研究，以进一步提高生产效率及固化成功率。

废弃电器电子产品回收信息化与处置行业技术发展报告

1 国内外废弃电器电子产品回收与处置行业总体概况

1.1 欧盟

在欧盟国家，为了人类健康、节约使用自然资源，报废电子电器设备按照环境法的要求进行回收和处理，欧盟议会和欧盟理事会于 2003 年 1 月 27 日，公布了《关于在电子电器设备中限制使用某些有害物质的指令》(ROHS) 和《关于废弃电子电器设备指令》(WEEE)，并分别于 2006 年 7 月 1 日和 2005 年 8 月 13 日生效。欧盟电子废弃物污染防治法律制度的适用对象是电子废弃物。根据欧盟 WEEE 中的解释，电子废弃物指的是废弃的电子或者电器设备，包括电子电器设备的零部件和消耗件。欧盟对电子废弃物的界定从内涵上讲，采取了“弃置”标准，而没有采纳所谓“使用寿命”标准。将被占有者事实上弃置或意欲弃置或必须弃置作为判断废弃物的标准，是国际上较为通行的做法。这是因为产品丧失使用功能，达到报废的使用年限，只是它被弃置废弃的原因，而并不是它作为废弃物的原因。

事实上，随着电子信息产品更新换代的速度越来越快，很多产品尚未达到使用年限而被弃置的现象时有发生，因而为了妥善的处理和利用被弃置的电子电器产品有必要对此做一区分。即除了达到使用寿命需要弃置的电子废弃物外，对于尚具有使用功能，但被使用者弃置的电子电器产品也应纳入电子废弃物的范畴。从外延上看，欧盟的 WEEE 所指的电子废弃物主要是指消费者使用的电子电器设备和专业用的电子电器设备所产生的废弃物，即来源于个人在日常生活中的弃置的电子电器设备以及来源于个人之外，政府、企业等所弃置的电子废弃物，但不包括生产过程中产生的边角余料等电子废弃物。

1.2 美国

作为世界上最发达的国家之一，美国的电子产品生产量和消费量也是其他国家远远不及的，美国的电子废弃物数量之庞大在全球也是有目共睹的。据美国 Computer Industry Almanac (CIA) 调查公司于 2002 年 3 月公布的一项关于个人电脑使用情况的调查报告表明，2001 年在全球使用的个人电脑已经超过了 6 亿台，可以预测不久的将来，废弃电脑将成为电子垃圾中比重最大的一部分。因此，美国各州政府在联邦政府的主导下，根据自己州的实际情况拟定了法律规范，如加利福尼亚州通过了《电子废弃物回收再利用法案》，该法规定顾客在购买不同的电器电子产品时要缴纳不同的回收处理费用；马萨诸塞州则对阴极射线管的回收处理做了五点规定。美国虽然没有统一的国家立法，但在各州的法律规

定里, 我们还是找到了不少的相通之处。

美国对 WEEE 回收处理的管理模式不同于欧盟。美国对固体废弃物的回收处理制定了非常完善的管理制度, 即《资源保护和循环利用法》(RCRA), 其中包括对有害废弃物的管理。在美国, WEEE 通常是指 E - WASTE (电子废物), 即废弃电子产品, 如电脑。而废弃电器产品, 同其他再生资源一样, 按市场机制进行回收利用。美国各州对 E - WASTE 回收处理的要求不相同。目前, 已有加州、纽约州等 23 个州针对 E - WASTE 回收处理进行了州立法, 采用类似欧盟的生产者延伸责任制的管理模式。对于电器产品, 美国一些州规定, 禁止大家电填埋。

在美国, 半数以上的州颁布实施了电子废物管理法。美国加利福尼亚州早在 2003 年就制定了《电子废物再生法》, 规定了视频显示设备回收处理的要求和限制有害物质使用的要求。目前, 美国电子废物的资源化产业已经形成, 共有 400 多家公司, 主要分为专业化公司、有色金属冶炼厂、城市固体废物处理企业、电子产品原产商 (OEM) 和经销商。电子产品的再循环利用在美国政府、生产厂商和消费者中有着较好的认同。美国电子废物的回收再利用率可达到 97% 以上。

1.3 日本

日本关于循环经济发展的法律体系比较健全, 可以分为三个方面, 第一个方面是基本法, 即《促进建立循环型社会基本法》, 在 2000 年公布实施。根据该法规, 建立循环型经济社会的根本原则是: 促进物质循环, 减轻环境负担, 谋求实现经济健全发展, 构建可持续发展社会。第二个方面是综合性的两部法律, 分别是《促进资源有效利用法》和《固体废物管理和公共清洁法》。第三个方面针对电子废弃物的法律是于 2001 年 4 月实施的《指定类型废家用电器回收法》, 该法主要包括四种类型的废家用电器: 电视机、洗衣机、电冰箱和冰柜、空调。

1.4 韩国

2002 年, 《资源节约及回收利用促进法》全面修订, 宣布逐步废除押金返还制度, 从 2003 年 1 月开始实施新的生产者责任延伸制度, 由韩国环境资源公社 (前身即韩国资源再生公社) 负责运营实施。环境部负责制定各指定产品的目标回收利用率和标准再利用成本, 公布各指定产品的回收利用总量, 并确定各生产者需完成的年度回收利用数量指标。生产企业可以自行回收处理, 费用自行承担; 也可以加入“再利用事业共济组织”, 将废弃物回收处理的责任转移给该组织, 各生产企业按照各自产品回收的数量分担处理费用; 还可以委托废弃物再利用企业回收处理, 按废弃物数量缴纳委托金。目前, 绝大多数生产企业采用第二种方式回收处理废弃物。2007 年 4 月, 韩国颁布了第一部针对电器电子产品和汽车设备回收利用的专门法律《电器电子产品及汽车资源回收利用法》, 对电器电子产品废弃物从设计生产环节到最终的回收处理都提出了更加细化的要求, 是对原有体系的补充完善。

1.5 中国大陆

废弃电器电子产品处理基金, 是国家为促进废弃电器电子产品回收处理而设立的政府

性基金，2012年5月21日，财政部、环境保护部、国家发展改革委、工业和信息化部、海关总署和国家税务总局联合发布《废弃电器电子产品处理基金征收使用管理办法》，并于当年7月1日起正式实施，使得废弃电器电子产品处理有法可依。作为家电“以旧换新”政策的延续，基金制度极大推动了废旧家电拆解规范化进程。在《条例》和配套政策全面实施推动下，很多方面都取得了非常显著的成果。

2014年，获得资质的废弃电器电子产品处理企业拆解处理首批目录产品约7千万台，总处理量达150万吨，处理行业的资源效益和环境效益日益显现。根据国家电器研究院测算，2014年，处理企业共回收铁14.6万吨、铜3.06万吨、铝0.62万吨、塑料23.22万吨。

在废弃电器电子产品回收处理领域，近年来已发布的管理文件、国家标准和行业标准见表1，表2。

表1 新发布的管理文件

国务院	《国务院办公厅关于促进国家级经济技术开发区转型升级创新发展的若干意见》 (国办发[2014]54号)
发改委	《重要资源循环利用工程(技术推广及装备产业化)实施方案》(发改环资[2014]3052号) 《废弃电器电子产品处理目录(2014年版)》(2015年第5号公告)
工信部	《再生资源综合利用先进适用技术目录(第二批)》(2014年第5号公告) 《国家鼓励发展的重大环保技术装备目录(2014年版)》(工信部联节[2014]573号)
环保部	《关于做好下放危险废物经营许可证审批工作的通知》(环办函[2014]551号) 《关于开展铅冶炼企业协同处置阴极射线管含铅锥玻璃试点工作的通知》(环办函[2014]748号) 《废弃电器电子产品规范拆解处理作业及生产管理指南(2015年版)》(2014年第82号公告) 《进口废物管理目录(2015年)》(2014年第80号公告) 《废弃电器电子产品拆解处理情况审核工作指南(2015年版)》(征求意见稿)(环办函[2015]71号)
商务部	2014年流通业发展工作要点(2014年3月6日) 《再生资源回收体系建设中长期规划(2015-2020)》(商流通发[2015]21号)
财政部	第四批纳入废弃电器电子产品处理基金补贴范围的处理企业名单(财综[2014]45号)

表2 我国废弃电器电子产品回收处理领域新发布和实施的国家标准

序号	标准号	标准名称	实施日期
1	GB/T 29769-2013	废弃电子电气产品回收利用 术语	20140201
2	GB/T 29770-2013	电子电气产品制造商与回收处理企业间回收信息交换格式	20140201
3	GB/T 31371-2015	废弃电子电气产品拆解处理要求 台式微型计算机	20151001
4	GB/T 31372-2015	废弃电子电气产品拆解处理要求 便携式微型计算机	20151001
5	GB/T 31373-2015	废弃电子电气产品拆解处理要求 打印机	20151001
6	GB/T 31374-2015	废弃电子电气产品拆解处理要求 复印机	20151001
7	GB/T 31375-2015	废弃电子电气产品拆解处理要求 等离子电视机及显示设备	20151001
8	GB/T 31376-2015	废弃电子电气产品拆解处理要求 液晶电视机及显示设备	20151001
9	GB/T 31377-2015	废弃电子电气产品拆解处理要求 阴极射线管电视机及显示设备	20151001

从现有国家出台的现有关技术规范及标准来看,在治理废弃电器电子产品环境污染和回收处理方面做了有益的尝试,但针对废弃电器电子产品回收体系、处理处置、循环利用等方面的技术规范及标准尚不完善,因此,有必要成立废弃电器电子产品回收信息化与处置工程技术中心,制定标准及技术规范,解决目前行业共性问题,填补行业政策规范空白。

2 废弃电器电子产品的主要技术发展情况

2.1 回收体系现状

电子废弃物回收在发达国家及地区的发展已走过较长的一段时间,回收体系建设较为成熟。2003年欧盟颁布《关于在电子电气设备中限制使用某些有害物质的指令》(RoHS指令)和《废弃电子电气设备指令》(WEEE指令),以德国、荷兰等为代表的欧盟国家依照此两项指令制定各自的国内法,采用延伸生产商责任制度(EPR)回收电子废弃物,即电子产品的生产商或进口商须承担其产品废弃后的回收责任。德国与荷兰两国以此为指导建立起符合本国国情的电子废弃物回收体系。日本电子废弃物回收体系建设起步也较早,颁布了相关法规,规定了生产商与消费者在电子废弃物回收过程中的责任,并由生产商主导建立起覆盖全国的电子废弃物回收网络。中国台湾省自1988年开始建立废弃物回收体系,经历20余年的发展,建立起由政府主导,多方参与的电子废弃物回收体系。

(1) 欧盟

欧盟2005年8月起实施《报废电子电气设备指令》,规定生产商、进口商和经销商负责回收进入欧盟的废弃电子产品;出口欧盟的生产企业,必须支付相当于电子产品价格3%~5%的费用给专业回收公司,并设定了欧盟地区人均每年收集4公斤废弃电器电子垃圾的最低目标。

德国是欧洲废弃电子产品产生量最大的国家,同时也是废弃电子产品回收处理走在前列的国家。1998年,德国就通过了《关于防止电子产品废物产生和再利用法(草案)》,各州根据自己的实际情况又分别制定了废旧电器回收的法规,在回收担责方面,德国既强调了生产者的责任,也澄清了消费者责任,并制定了消费者经济奖惩制度,如规定消费者在购买冰箱时,必须支付40~50马克的污染费,消费者利用废弃电子产品收集物流系统将废电子产品送到零售店,零售商再将其转送到市政收集中心,同时可获得5美元津贴。但若将电子垃圾丢进生活垃圾中,则将面临罚款。

芬兰的每个社区都有一个回收中心,全国每年回收利用的电子垃圾达5万吨,其中50%以上是由芬兰最大的电子垃圾回收公司——库萨科斯基公司进行分类加工处理的。这些电子垃圾包括电脑、打印机等办公自动化设备,电话、手机等通信设备,微波炉、冰箱等家用电器以及音响喇叭等电子娱乐设备。在处理这些电子垃圾时,库萨科斯基公司的预先分类厂先将废品中的有害物质拆除,再将各种电子设备拆卸,按不同材料进行分类。其中一些材料可以加工处理成原材料,出售给那些可以再利用它们的工厂。

瑞典法律规定处理费用由制造商和政府承担,挪威、荷兰、瑞士和意大利等国政府已要求电子设备制造商负责回收电子垃圾。法国更强调全社会共同尽责,规定每人每年要回收4公斤电子垃圾。

(2) 美国

美国虽是全球电子垃圾第一生产国。但美国的消费者并不担心废弃电子产品的回收问题。除了政府机构提供的废弃电子产品收集服务中心回收外，不少生产厂商和零售商也都有自己的回收渠道，例如著名的家电零售企业“百思买”，通过设置店内回收亭，上门回收旧家电，以旧换新等服务回收废旧家电。而苹果公司则鼓励消费者将所有电池和 iPod 送到其遍布美国的 247 家门店进行回收。且消费者在购买新的 iPod 时，可以用旧的 iPod 抵价 10%。除此之外，美国还有专门的承运人员收集废弃电子产品，但要求每件废弃电子产品给承运人员支付 15~20 美元的费用。

作为联邦制国家，美国没有统一的电子废弃物管理法律。美国主要依靠 1976 年制定的《资源保护与回收法》作为支持各州制定专门电子废弃物管理法案的法律基础。截至 2013 年，美国已有 25 州立法进行电子废弃物管理，其中加利福尼亚州、密歇根州、伊利诺伊州、纽约州、阿肯色州等出台了废旧手机回收处理的管理政策。此外，美国也开始准备制定统一的联邦法律，如 2007 年 5 月，电子行业联盟发布了针对家用电视和信息技术产品的国家回收再利用计划。美国每年废弃约 1.3 亿部手机，美国环保署、各州、非政府组织，及手机生产商销售商等通过各种活动以对消费者便利的方式免费回收废旧手机，回收率约 10%~12%。

(3) 日本

日本废旧家电的费用机制为“废弃付费模式”，即消费者在废弃家电时，支付收集搬运费和回收再利用费，其中，收集搬运费由零售商计算和确认，回收再利用费则按家电产品类别实行全国统一的收费标准。征收的回收再利用费主要用于废旧家电产品的回收处理、设定制定的废旧家电产品回收站、支付废旧家电产品从回收站到处理厂的运输费用、处理厂的费用补助及回收再利用费的运营管理。日本家电制品协会成立了一个家电再生利用券管理中心（RKC），负责废旧家电产品再生利用的运营管理，并按法律的要求发行废旧家电再生利用管理券。

在日本，家电生产企业负责废旧家电的再商品化，零售商负责废旧家电回收并将其送交生产厂家，而消费者则最终支付废旧家电回收处理的费用。近 15 年，日立公司不断进行家电回收和再利用的研究和开发，取得了丰富的实际回收和再利用经验。日立的家电再利用企业，注重人工分解的重要性，仅使用简单的机械设备，既提高利用效率，又降低了运营成本，并提供就业岗位，把保护环境变成赚钱的产业。日立公司的家电再利用企业，同时又是环境友好型企业。到 2006 年，该工厂已经处理了 150 万台废旧家电，处理完需要掩埋的垃圾只有 0.1%，蒸发和焚烧的量只有 1.9%，转化成资源的量达到 98%。

为应对大量废弃物的产生，日本已制定实施多项废弃物管理及电子废弃物循环利用方面的法律法规。针对小型家电填埋造成的资源浪费和环境污染问题，2012 年 8 月 3 日，日本参议院通过《废弃小型电子产品回收再利用促进法》，并将在 2013 年 4 月 1 日正式实施。而具体产品目录及对处理企业资质的认证标准的详细法规草案也于 2013 年 1 月公布，共有包含手机在内的 30 类小型电子产品，并从中筛选和推荐了 15 种以手机、笔记本电脑为代表的资源化效益高和易于拆解的特定对象品种。截至到 2014 年 1 月 23 日，日本共有 28 家企业具有回收资质。与日本大型家电回收管理显著不同的是，消费者无须支付回收处理费。同时该法律不再是“义务型”，而是“促进型”，各级政府、生产者、销售者及回收处

理企业可自愿参与,构建互助合作关系。另外,该法律要求实施回收企业资质认证制度,且只有获得认定的市町村才能参与小型电子产品的回收收集,且专用回收装置要进行密闭防盗设置,以防个人信息泄露。日本每年废弃约 65 万吨小型电子产品,按每年回收 20% ~ 30% 的废旧小型电子产品,计划到 2015 年达到 14 万吨的回收目标。

(4) 韩国

早在 2005 年,韩国就将废旧手机纳入生产者责任延伸制度管理清单。2007 年 4 月 2 日通过、2008 年 1 月 1 日开始实施的《电器电子汽车产品资源循环法》(韩国的 WEEE 和 ROHS 指令)由韩国环境部提案,并联合产业资源部和交通建设部共同推进,该法并于 2010 年 7 月 23 日重新修订[34]。该法要求制造商(包括进口商)和受委托回收处理商应根据环境部令规定的回收处理方法和标准对包括废旧手机在内的 10 种产品(TV、冰箱、洗衣机、空调、PC(包含显示器)、音响、手机、打印机、复印机、传真机等)进行废弃产品的回收处理,而处理企业对手机等的回收利用率须达到 70% 以上。如果生产者(或进口者)、再生互助协会没有达到按销售量确定的最低回收量,将被征收未达到量对应费用 130% 的罚款。当前,韩国每年产生废旧手机约 2700 万部,因为消费者将废旧手机视为有价废旧物资,且环保意识不高、对废旧手机闲置过程中可能的危害认识不足,地方政府、手机生产商、运营商和零售商等利益相关方,及非政府组织在大力宣传教育的基础上,主要通过免费回收、以旧换新(折抵 5 ~ 30 美元)或经济刺激等手段进行回收,使废旧手机回收率达到 21%。

(5) 中国大陆

针对目前中国废弃电子产品回收处理业仍存在回收分散、拆解不规范、拆解残余物二次污染严重、难以监管等问题,亟需在全国范围建立覆盖城乡的规范、完善的废弃电子产品回收处理体系,只有通过这样一个回收处理体系,才能确保废弃电子产品的有效回收和循环利用,才能从根本上解决当前废弃电子产品回收处理行业存在的一系列问题。

结合中国当前废弃电子产品回收处理现状,借鉴国外废弃电子产品回收处理体系建设的经验,构建中国废弃电子产品回收处理体系,通过借助物联网技术,使回收处理体系逐渐实现信息化和智能化,进而推动废弃电子产品回收处理业向集约化、规模化、产业化方向发展,这既是我们应对未来大量废弃电子产品的重要举措,也是中国建设生态文明、走新型城镇化道路的内在要求。

电器生产商、经销商、消费者等都是电子产品的受益者,根据“谁受益谁担责”的原则,对于废弃电子产品的回收,受益各方都有义务承担部分责任。而政府作为废弃电子产品回收处理市场的监管者和提供服务者,应着力负责做好政策法规制定和相关基础设施建设方面的工作,为废弃电子产品回收处理体系的健康运行提供前提保证。

在我们建设的物联网再生资源回收体系中,关键技术包括电子商务、触摸屏技术、条码技术、射频识别(RFID)技术、无人值守回收箱、红外报警技术、GPS 车辆管理等,结合积分兑换等形式,吸引公众交投再生资源。再生资源回收体系具有行业先进性,是目前国内再生资源回收类企业的主要技术研究方向。

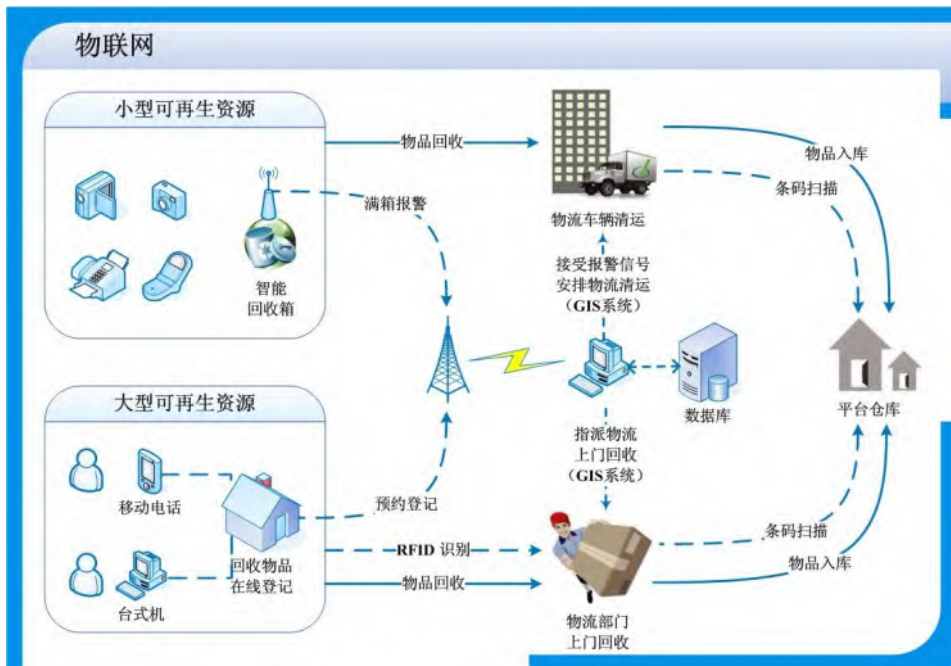


图 1 物联网回收体系示意图

这个回收体系的核心是一个电子商务平台和物联网运营体系，通过交易平台、信息流、资金流和物流，建立一个再生资源回收供应链体系，为客户提供一种全面地再生资源服务，在这个服务过程中，无需投入的大量物流人员、物流设备、处置设备、处置人员都通过整合的形式来满足，而自身仅提供服务全过程中最核心的信息、调度、结算和商业合作的环节工作的这种运作模式。通过电子商务平台和物联网回收网络，将生产性企业、销售企业、消费者、废弃物回收、废弃物处置、原料再生利用牢牢捆绑在一起，形成了资源再利用的产业链条，在便利居民的同时，促进了企业的发展。

整个体系最终将建成废旧电子产品城市感知网络及智能物流回收体系；利用物联网智能传感设备，建立可控制的安防监控体系和全程可追溯的电子产品拆解监管体系，实现拆解过程各环节的无缝对接和实时监控；体系将促进废弃电器电子产品回收处置的规范化，杜绝可能发生的环境污染，最大限度的降低环境风险。

体系具体建设内容包括：

(1) 建立废旧电子产品城市感知网络

经过几代回收采集箱的迭代开发，公司在全国范围内率先研发出了具有自主知识产权的以物联网智能回收箱和回收信息服务云平台为主要内容的废旧电子产品信息智能采集服务平台，对传统的、低技术含量的、无次序化的再生资源行业废旧电子产品信息采集模式进行革新，初步建立全面感知、可靠传送、智能处理的基本覆盖全上海市的废旧电子产品城市感知网络。改变传统再生资源信息采集水平低、人力消耗过大的状况，极大提高废旧电子产品信息采集的效率，为废旧电子产品的回收提供可靠、高效的数据来源。

废旧电子产品信息智能采集服务平台利用射频识别（RFID）、二维码、GPS、摄像头、传感器、传感器网络等感知、捕获和测量的技术手段，随时随地对分布在城市体中的废旧

电子产品进行信息存量采集和属性信息获取；通过各种通信网络与互联网的融合，将废旧电子产品的属性信息接入信息网络，随时随地进行可靠的信息交互和共享；利用云计算、模糊识别等智能计算技术，对海量的、跨地域的废旧电子产品存量信息和属性信息进行分析处理，提升对城市电子产品消耗活动、废旧电子产品存量以及相关变化变化的洞察力，实现智能化的决策和控制。

（2）建立废旧电子产品智能物流回收体系

废旧电子产品智能物流回收体系由四部分构成：废旧电子产品物流回收网络的覆盖、废旧电子产品物流回收过程的跟踪、废旧电子产品物流回收线路的智能推荐以及废旧电子产品物流回收库存管理。废旧电子产品物流回收网络将结合物联网智能回收箱，以“点、站、中心”为核心构建三层物流回收体系。废旧电子产品逆向物流回收过程的跟踪将利用物流追踪技术，采用多种追踪技术融合，实现废旧电子产品逆向物流回收数据的异构共享、废旧电子产品逆向物流回收数据的链式查询等。借助 GPS、GIS、蓝牙技术、条码技术、射频技术、3G 无线网络技术等多种先进的技术手段，使废旧电子产品回收的物流信息、资源在共享的基础上得到优化利用，使废旧电子产品回收的运输全过程始终处于动态控制中。在物流回收信息数据管理的基础之上，提供对废旧电子产品库存的日常管理和决策支撑。

（3）建立可控制的安防监控体系

可控制的安防监控体系是集实时图像监控和录像、图像技术处理、数字高清硬盘录像机、大型视频矩阵等功能为一体的综合安全管理体系。功能全面，能充分满足各种安全管理要求。减少对于安全方面的人力投入，实时记录处置现场的状况，极大地提高了工作效率，并能事后查找当时发生的情况，为处置过程的监控提供准确、及时、有效地信息服务。

（4）建立全程可追溯的拆解监管流程

废旧电子产品拆解处置过程监管运用条码技术、射频技术等多种技术手段对废旧电子产品回收后的拆解处置进行全过程的监控。该过程监控将以条形码为数据载体、与回收处置企业的内部管理系统无缝对接，实现回收处置企业内部的各个职能部门业务数据的实时共享，为废旧电子产品拆解流程的监控和追溯提供数据支撑。

2.2 处理处置技术现状

废弃电器电子产品品种类型非常复杂，各厂家所生产的同种功能的产品从材料选择、设计、生产上也各不相同，一般拆分为金属、塑料、印刷电路板、电缆电线、显像管等，其回收处理一直是一个相当复杂的问题。目前处理处置废弃电器电子产品的方法主要有机械物理法、化学处理方法、火法冶金、生物技术法或几种方法相结合。

在德国，电子废弃物回收处理企业一般规模都不大，大多为市政系统专业回收处理公司、制造商专业回收处理公司、社会专业回收处理公司、专业危险废物回收公司等。在美国，电子废弃物的资源化产业已经形成，共有 400 多家公司，主要分为专业化公司、有色金属冶炼厂、城市固体废物处理企业、电子产品原产商（OEM）和经销商。高度机械化和自动化同样是日本处理技术的特点，但同欧洲国家的处理工艺相比，在以机械处理为主的流程中相对较多地加入人工拆解工序，在破碎前进行最大程度的拆解，具有合理性和借鉴意义。

(1) 机械物理法

物理处理法就是利用各组分间的物理性质差异进行分选的处理方法。电子废弃物的物理处理法包括以下几个部分：电子设备的拆解、破碎和筛分、粉碎后的碎渣分选、有害物质的处理等过程，工艺流程如图 2 所示。

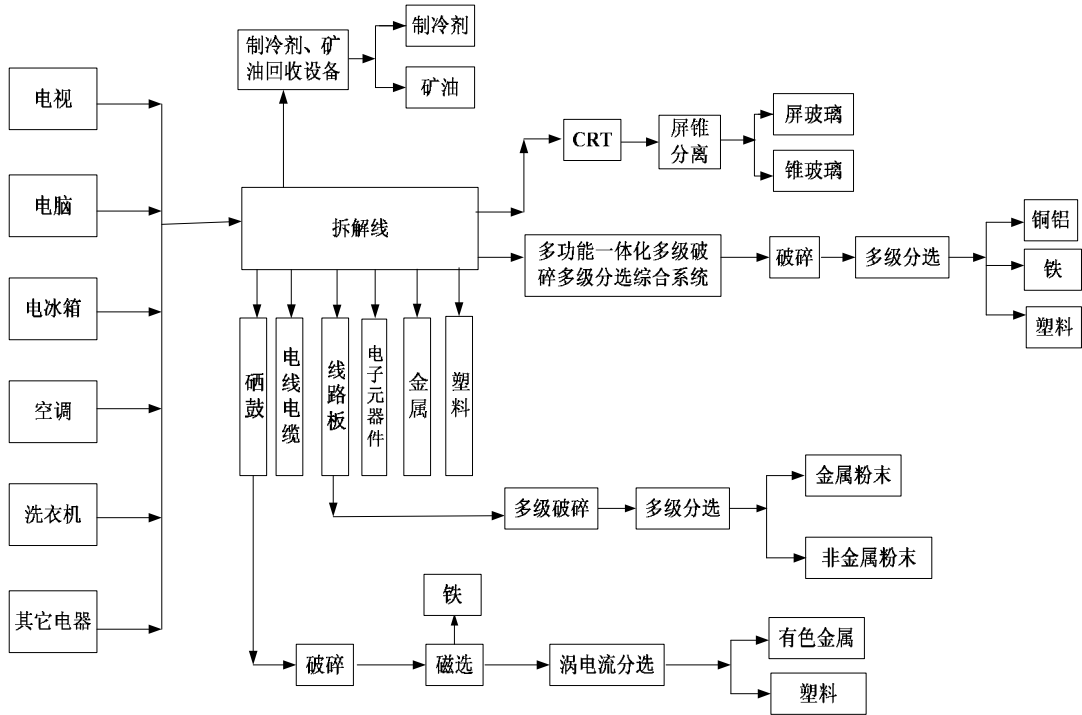


图 2 机械物理提取金属的工艺流程图

机械物理法可以使废旧电器中的有价值物质充分的富集，减少了后续处理的难度，与其他方法相比其主要优点在于污染小、成本低、易实现规模化且可对废旧电器中的金属和非金属等各种成分综合回收利用，缺点是机械处理后物料还需采用物理化学方法进行后续处理，才能得到高纯度的金属、塑料、玻璃等再生原材料。随着人们对环境保护的日益重视和贵金属的使用逐年减少的趋势，废旧电器的机械回收方法在废旧电器资源化研究中逐渐占据主导位置。

物理法不仅作为化学法的预处理方法，在直接回收方面也发展很快。国内外对废弃电器电子产品等的主流方法是物理法，国内因专业技术参差不齐，工艺链不完整，在技术及装备系统化方面存在不足，国内技术装备相对落后粗放，回收效率低，二次污染重。而国外以专业细分、产业细分和互补的方式进行废弃电器电子产品的处理，未见有废弃电器电子产品整体资源化的相关报道，但国外装备进口价格昂贵。以废旧线路板及硒鼓处理技术为例，见表 3 和表 4。

对已分离的树脂粉、墨粉等非金属废物国内外多以焚烧填埋为主，资源化利用水平较低。国内技术处理方式多以非金属废物焚烧为主，不进行资源化。

表 3 废旧电路板国内外处理技术比较

	主要技术	技术指标	优缺点
国内技术	国内传统的方法以破碎/水力摇床分选为主,目前破碎/风力分选,破碎/磁选/电选、破碎/气流分选等技术发展较快。	金属回收率 90%左右	国内技术存在能耗较大,破碎过程中易引起过热散发有害气体,对不同性质线路板适应性不强的缺点。非金属材料不能资源化,有毒有害重金属不能回收。
国外技术	德国开发了以液氮冷冻/静电分选为核心的处理工艺;美国开发了破碎/流态化分选工艺;日本开发了破碎/分级流程;瑞典开发了破碎/磁选/风力摇床分选工艺。	分离效率大于 95%,金属总体回收率大于 90%。	国外尽管技术和装备较先进,但进口价格昂贵。

表 4 以废硒鼓墨盒处置技术为例比较表

	国内技术	国外技术
技术方案	目前国内仅上海新金桥一家企业对废硒鼓墨盒进行破碎/分离处置;多以个人或制造商修复再用为主。	国外多以填埋、焚烧处置方式,存在资源浪费、环境污染的问题。
技术指标		不进行资源回收。

(2) 火法冶金

废旧电器的火法处理是指通过焚烧、等离子电弧炉或高炉熔炼、烧结或熔融等火法处理的手段去除废旧电器中塑料及其他有机成分,使金属得到富集并进一步回收利用的方法。这一方法的优点是可以处理任何形式的废旧电器,对废弃物的物理成分的要求不像湿法处理那么重要,回收的主要金属如铜、金、银、钯等的回收效率很高。但目前火法处理仍存在很多问题:易造成有毒气体逸出,如二恶英等;废旧电器中的陶瓷及玻璃成分使熔炼炉的炉渣量增加,易造成金属的损失;废弃物中高含量的铜增加了熔炼炉中固体粒子的析出量,减少了金属的直接回收;部分金属的回收率相当低,如锡、铅等;有的金属在目前经济技术条件下还无法回收,如铝、锌等;大量非金属成分如塑料等也在焚烧过程中损失。

火法冶金从废弃电器电子产品中提取金属工艺技术一直是一种重要的金属回收技术,基本原理是利用冶金炉高温加热剥离非金属物质,贵金属熔融于其他金属熔炼物料或熔盐中,再加以分离。非金属物质主要是印刷电路板材料等,一般呈浮渣物分离去除,而贵金属与其他金属呈合金态流出,再精炼或电解处理,工艺流程如图 3 所示。该工艺方法具有简单、方便和回收率高的特点,80 年代应用较为普遍。

焚烧法首先将废线路板进行机械粉碎至 1~2 厘米大小后,然后送入一次焚化炉中焚烧,将含有约 40%的树脂分解破坏,使有机气体与固体物分离,剩余残渣即为裸露的金属(Cu、Ag 等)、玻璃纤维以及一部分的金属氧化物,经粉碎后送冶炼厂进行金属回收。由

于废印刷线路板中含有溴、苯、铅、汞等有毒物质，燃烧的有毒烟气、水和废渣会引起人和牲畜呕吐、恶心、头晕等症状。这种方法对生态环境会产生不可恢复的严重影响。

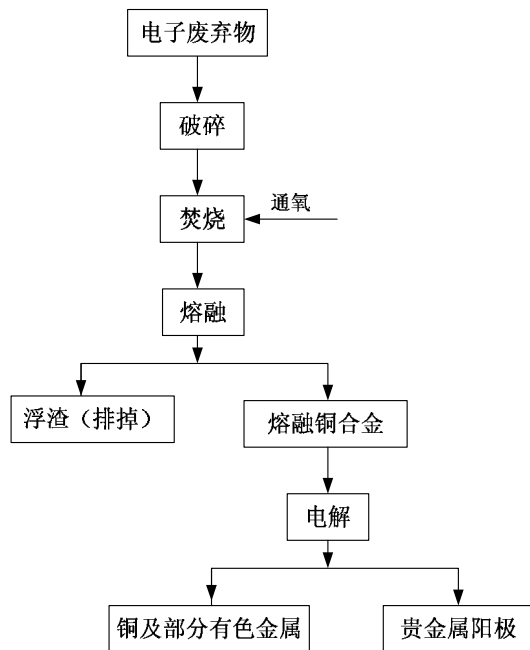


图3 火法冶金提取金属的工艺流程图

热裂解是在缺氧的环境下，将有机物质置于密封容器中，在高温高压、高温低压或常压下，使有机物质加热（通常是 350℃~9000℃）分解，转换成油气利用。裂解后废弃 PCB 中胶结的有机物分解、挥发，其他各组分成分成单离状态——铜等金属物质，易于用简单的粉碎、磁选、涡电流分选等办法将其分选回收。裂解所产生的挥发气体由反应器的排气管排出，经过油气分离（冷凝）、将可凝结的气体冷凝成油，不可凝的气体经处理后作为燃料利用，并经二次燃烧室使其完全破坏后排放。

(3) 化学处理方法

废弃电器电子产品的化学处理也称湿法处理，该技术于 70 年代始于西方发达国家，该技术的基本原理主要是利用贵金属能溶解在硝酸、王水或其他苛性酸中的特点，将其从废弃电器电子产品中脱除并从液相中予以回收。较早开展从废弃电器电子产品中采用湿法冶金提取贵金属技术研究的是英国 Johnson Matthey 电子有限公司的 Embleton, F., 70 年代末开始研究从印刷电路板上回收贵金属，提出了一个初步的回收工艺。80 年代后，由于人们对环保的重视和从电子废物中回收贵金属已变得有利可图，许多科研工作者开始从事这方面的研究，并取得技术上的突破与进步，使湿法冶金提取金属技术日趋完善。

通过湿法浸出回收废旧电器中的贵金属是废旧电器回收利用中应用最早的方法，始于 20 世纪 60 年代末期。废旧电器的湿法处理包括破碎后的颗粒在酸性或碱性的条件下浸出，浸出液的溶剂萃取、沉淀、置换、离子交换、过滤及蒸馏等过程。通过这一系列的处理过程可获得高品位及高回收率的金、银等贵金属及铜、锌等有色金属，其中金的浸出率可高达 99%。当回收废旧电器中的钯、钌等成分时，其费用与其他方法相比较低。此方法经济

效益显著、工艺流程简单。但湿法处理也有一些缺点：不能直接处理复杂的废旧电器；当金属被覆盖或有焊锡时回收率较低；浸出液及残渣具有腐蚀性及毒性，若处理不当，易引起更为严重的二次污染；只能回收废旧电器中的贵金属及铜等金属，不能回收其他金属及非金属成分。

酸洗法是一种无选择性的湿法冶金方法，它是将含有贵金属的废板以强酸或强氧化剂处理，先得到贵金属的剥离沉淀物和含铜以及其他价值比较低的金属废酸溶液，再对贵金属的剥离沉淀物进行处理，分别将其还原成金、银、铂等金属产品，含有高浓度铜离子的酸溶液则可回收硫酸铜或电解铜。往往由于后者其经济价值明显降低，导致在贵金属回收后的废板、废料及含有有害有毒离子的废液遭任意倾弃或掩埋，而造成严重的二次污染。

溶蚀法选择性湿法冶金方法。主要用于回收含贵金属的接点、合金底材。将废弃 PCB 置于氯化溶蚀液中，在适当的氧化还原电位值控制下使底材溶蚀，而贵金属则不溶，因此可以将其回收，含有高浓度铜离子的氯化溶蚀液再用氯气氧化，氯化溶蚀液循环使用，最后加以处理使尾液合乎排放标准。而多层板需经破碎处理后再溶蚀，其内层的溶蚀效率较低。从废弃电器电子产品中用湿法冶金提取金属技术的工艺原理和流程图 (图 4) 如下。

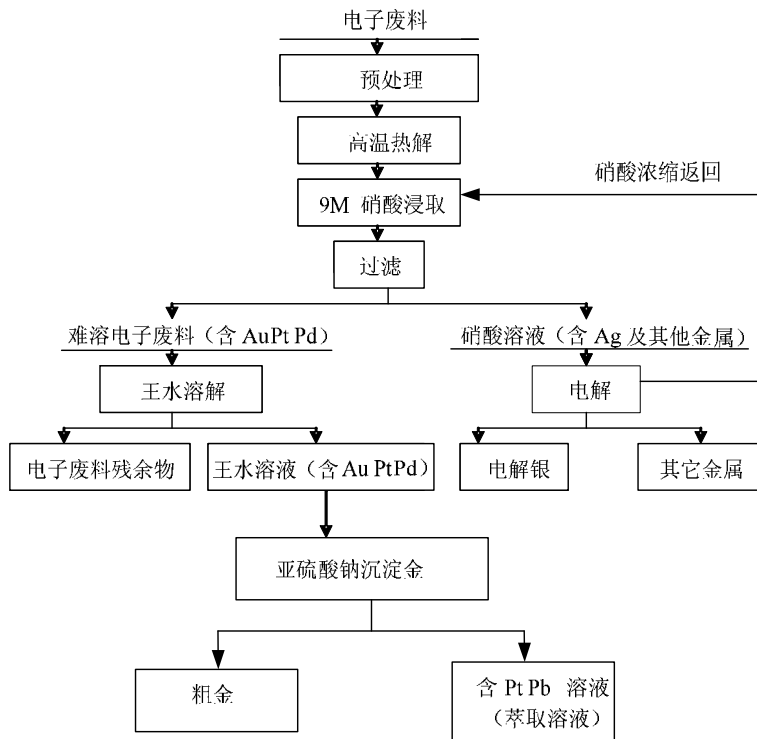


图 4 湿法冶金提取金属的工艺流程图

(4) 生物处理方法

利用微生物浸取金等贵金属是在 20 世纪 30 年代开始研究的提取低含量物料中贵金属的新技术。利用微生物的活动使得金等贵金属合金中其他非贵金属氧化成为可溶物而进入溶液，使贵金属裸露出来以便于回收，工艺流程如图 5 所示。生物技术提取金等贵金属具有工艺简单、费用低、操作简单的优点，但浸取时间较长。H.Brandl 等利用氧化亚铁硫杆菌

菌对经过粉碎预处理的废弃电器电子产品碎块进行浸出试验，在选定的温度、pH、投加量下，可以浸出超过 90% 的 Cu、Zn 和 Ni、Pb 以 $PbSO_4$ 的形式稳定在沉淀物中。

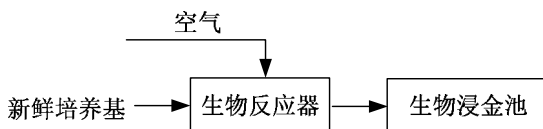


图 5 生物法提取金属的工艺流程图

2.3 国内外回收及处理技术对比分析

无论是发达国家，还是发展中国家，采用什么样的技术工艺都是与其政策法规、标准规范和经济利益等密不可分的。发达国家有完善的回收处理管理的立法、环境标准和监管制度。完善的制度促进了规范回收的物流、资金流和信息流系统的建立，保证了回收处理企业规模化处理和产业化运作。而高昂的人工费用，促使机械化、自动化程度高的回收处理技术工艺的广泛应用。

我国是发展中国家，劳动力成本相对低廉，经济的快速增长带来巨大的资源需求。因此，我国的废弃电器电子产品回收处理技术工艺是以最大限度的进行手工拆解细分材料和最大限度元器件的再使用为原则，不易拆解部件进行专业集中回收处理。我们可以看到，不仅是国家示范试点企业，还是多年形成的废弃电器电子产品集散地，手工拆解是主要的手段。在市场需求为导向下，无损拆解技术孕育而生，并广泛应用。

目前，我国废弃电器电子产品回收、处理及综合利用行业的政策和标准体系正在完善过程中。2012 年 7 月实施家电以来，一定程度上促进并规范了废弃电器电子产品的回收、处理及综合利用。随着企业处理规模的扩大，深入处理及综合利用技术的应用成为了可能。由于我国废弃电器电子产品处理及综合利用行业正在起步和快速发展阶段，各企业间技术差距较大。国内行业发展的问题是：小、散、无规模、无龙头、法律法规缺失，国内行业成果转化问题急待解决。

因此，应培育龙头企业按市场规律收编和整合个体经营户，规范回收网络，提升废弃电器电子产品资源综合利用水平。同时，鼓励龙头企业技术创新，提高行业科技水平。随着我国废弃电器电子产品回收处理管理制度和专项处理补贴制度的完善和落实，对废弃家电环保技术的需求将加速我国废弃家电回收处理技术的产业化进程。

2.4 国内外废弃电器电子产品回收体系及处置技术发展趋势

2.4.1 回收体系发展趋势

国外成熟的废弃电器电子产品回收体系，包括再生材料的运用回收、便捷的回收体系、专业化的分拆分类基地和从业人员，以及居民对环保和社会责任的正确意识。欧盟现在允许制造商在今后 2 年内，通过在家电销售价格之外加收额外费用来回收处理废旧家电。而在 2013 年以后，制造商将不能采取这种加收额外费用的方式。在 2013 年后，家电产品的价格将包括以后回收处理的成本。欧盟之所以进行这样的规定，是因为各个企业的回收处

理成本是不一样的,企业不加收额外费用,将更有利用于市场竞争。

我们需要将发达国家的经验认真加以分析研究,结合我们的国情消化、吸收,找出我们可以借鉴的、有用的东西。在建立回收体系时更要充分考虑我国现阶段的基本国情,使其具有前瞻性和可操作性,以更好地推进我国循环经济的发展。

(1)目前,我国废弃电器电子产品回收处置行业发展缓慢的主要瓶颈在于缺乏规范的回收体系,致使废弃电器电子产品不能有效地收集起来进而无法对其进行资源化处置。

(2)废弃电器电子产品的回收需要理论的指导和科学的研究方法。应采用从定性到定量的理论联系实际的研究方法,提出废弃电器电子产品回收信息化的构建方案。

(3)废弃电器电子产品回收网络体系的建立和正常运转需要法律法规、规章制度和信息系统的有力支持,完善废弃电器电子产品回收处置的相关法律并建立相关的管理机构。

2.4.2 处置技术发展趋势

废弃电器电子产品回收处理技术主要分为三大类。第一类是预处理技术,即将整机拆解为主要零部件。第二类技术是部件处理技术,例如 CRT 处理技术、PCB 处理技术等。第三类为资源综合利用技术,即回收材料再利用技术。其中分为含有有害物质材料的资源综合利用(例如 CRT 含铅玻璃)和不含有害物质的资源综合利用技术(如复合塑料等)。

由于废弃电器电子产品中含有有害材料,因此,欧盟、日本等发达国家均要求在废弃电器电子产品处理前,要将有害部件拆除,以免污染其他回收材料。废弃电器电子产品产业化的处理技术起源于欧洲,德国率先研制成功废弃电器电子产品成套的处理技术和设备,以后被日本等国家和地区引进。总体来说,发达国家废弃电子电器回收处理工艺路线是手工拆解有害部件与多级机械破碎、多级自动分选相结合,自动化程度高,运行维护费高。

2013年8月11日,《国务院关于加快发展节能环保产业的意见》明确指出:“重点发展报废汽车和废旧电器破碎分选等技术。提高稀贵金属精细分离提纯、塑料改性和混合废塑料高效分拣、废电池全组分回收利用等装备水平。”尽管国家在产业政策、投资引导等方面力度很大,但当前我国电子废弃物循环利用产业发展仍面临着诸多困境。

我国电子废弃物循环利用产业水平与国外存在很大差距,表现在技术、装备落后,回收率偏低,资源化水平低,大量企业沿用的是“回收、分拣、打包销售”三部曲的捡垃圾传统模式;工程技术落后,专门人才缺失,99%的企业没有设立研发部、没有

研发支出、没有专门研发人员,大型装备完全依赖进口。家电产品的再循环利用在美国已经受到政府、生产厂商和消费者越来越多的重视。与此同时,如何设计既容易回收、又对环境损害较小的家电产品,已经成为一些知名公司的研究重点。

我国废旧电子电器产品拆解技术与装备研究刚刚起步,迫切需要大型废旧家电低成本破碎与高效分选一体化装备、小型废旧电子产品贵金属清洁分离与提取技术、非金属材料高值化利用技术及二次污染控制技术等关键技术及装备,支撑废旧电子电器拆解产业升级。废旧电子电器产品拆解技术设备的改进提升,对提高国内的环保技术水平和废旧电器电子产品拆解处理行业的发展具有积极的促进作用,

电子废弃物中含有大量的铁、铜、铝、稀贵金属、塑料以及玻璃等资源,经过集中进行无害化处理加工后,60%~80%的材料可以被分离成再生资源。但目前,如何从复杂

的电子废弃物中提取稀有、稀贵、稀土等稀缺金属和实现废塑料等非金属废料的高附加值循环利用，同时又能达到无害化处理，是全球电子废弃物循环利用的技术难题。

目前，机械化自动拆解的方法已经成为发展的方向，日本的 NEC 公司和德国的 FAPS 公司研究开发了废弃 PCB 的自动拆卸装置和方法。日本 NEC 公司开发了一套自动拆卸废电路板中电子元器件的装置，这种装置主要利用红外加热和两级去除的方式（分别利用垂直和水平方向的冲击力作用）使穿孔元件和表面元件脱落，这样不会对电子元器件造成任何损伤。德国的 FAPS 公司采用与电路板自动装配方式相反的原则进行拆卸，先将废电路板放入加热的液体中融化焊料，再用一种 SCARA 机械装置根据构件的形状分检出可用的构件。

废弃电器电子产品经过拆解，除了 CRT、PCB、电机、压缩机、电线电缆之外，还有许多小部件需要进一步处理。这些部件从环境角度来说是无害的。传统的处理方法是卖给下游企业进行手工拆解。随着国家加强对资源综合利用率的要求，处理企业也希望延长产业链，提高附加值，因此，对小部件的高效处理技术将成为今后企业的另一个技术需求。

德国十分重视废旧电器处理技术的研发，科研人员发明了一种可以有效回收旧电器上全部塑料和防火材料的溶解技术。根据这一技术，废电器被放入有专门溶剂的池内，经过数小时溶解后再对溶解液进行处理，从中分离出可再利用物质，最后再将剩余的塑料转换成有使用价值的二次原料资源。

3 主要问题和解决思路

3.1 主要问题

(1) 废弃电子产品回收渠道相对单一，导致正规回收企业“吃不饱”。

我国是电器电子产品（简称“EEE”）的生产大国、出口大国和消费大国。据中国再生资源回收利用协会统计，未来 5~10 年是 EEE 报废的高峰期。我国已建立电子废弃物处理基金制度。2009-2011 年，我国开展家电“以旧换新”政策，积极探索电子废弃物资金机制。2012 年 7 月 1 日，我国开始执行废弃电器电子产品（WEEE）基金制度，为 WEEE 环保处理打下坚实的基础。

截至 2015 年底，相关部门先后公布了 5 批 110 家补贴企业名单，完善了基金补贴等相关政策。然而很多正规回收企业受回收市场的影响，导致回收四机一脑品种单一，回收价格高，常处于“吃不饱”状态。再加上高成本、低利润、综合考虑经济和环保双重效应的现状，限制了正规处置企业的议价能力，使回收数量少，回收价格偏高。“回收难”已成为制约行业发展的桎梏。为了抢夺“货源”，回收处理企业往往通过获得数量补贴、运费补贴等多种不正当的手段进行恶性竞争，甚至出现专门生产或改造 WEEE 来骗取基金补贴的违法行为。

(2) 废弃电子产品回收利用率处于较低水平

自 2009 年家电以旧换新政策实施以来，中国由生产企业、销售商、正规拆解企业构成的废旧家电回收处理体系已经初现雏形。目前拥有正规的废旧家电拆解企业 110 家，有效回收了城市中产生的各类废弃电器电子产品。但从全国范围看，废弃电子产品回收利用

率仍处于较低水平。据赛迪发布的研究报告,目前中国每年可以回收而没有回收利用的再生资源价值达 350 ~ 400 亿美元,每年约有 500 万吨左右的废钢铁、20 多万吨废有色金属、1400 万吨的废纸及大量的废塑料、废玻璃等没有回收利用。而缺乏完善的废弃电子产品回收处理系统,是导致这一现象的主要原因。

中国废旧家电年废弃量大、回收价值高,但回收处置技术还存在很多问题。若想充分利用这部分资源,必须要找到符合中国国情的先进、适用、经济、高效的环保型废旧家电处理工艺、技术。

(3) 高增值税税负减少了企业的经营利润

2008 年财政部、国家税务总局发布财税(2008)157 号文,调整再生资源回收与利用的增值税政策。取消了原来的增值税免税政策,在 2010 年底以前对符合条件的增值税一般纳税人销售再生资源缴纳的增值税实行先征后退政策,2009、2010 年分别按 70%、50% 的比例退回给纳税人。从 2011 年 1 月 1 日起再生资源经营单位就不再享受任何增值税税收优惠政策了。

此税收政策的变化对再生资源企业影响很大,自 2011 年不再实行退税后,企业的增值税税负一直很高,直接影响到企业的经营利润。回收企业正规销售额达到 180 万元就得缴纳 17% 增值税且没有任何抵扣,导致正规回收企业很难生存,这也间接助推了回收行业的混乱。WEEE 回收企业的税负水平在加重。例如,在出售 WEEE 时,原来按 5% 全额上交税金;现在按 17% 上交税金,回收企业的税负水平明显增大。虽然国家对部分企业免税,但同时规定不能开具增值税专用发票,企业不能抵扣进项税,相当于又征收了该部分的增值税。此外,行业所需要的税收支持政策被取消,回收企业的税收负担大幅增加,严重影响整个产业链的良性发展,高税负制约了整个资源再生行业的发展。

(4) 我国废弃电器电子产品处理与资源化利用技术需求巨大

当前,我国各省市废弃电器电子产品拆解处理企业仍然以手工拆解为主,整机拆解企业所占比例最大,达 57%;其次为整机拆解、关键部件的处理企业,占 34%;而处理及综合利用企业所占比例仅为 9%。

随着我国加强对废弃电器电子产品处理及综合利用的管理,各大科研院校、企业也已积极投入废弃电器电子产品处理及综合利用技术和设备的研发和推广。目前,我国已经拥有一批具有自主知识产权的废弃电器电子产品拆解处理技术和设备,如 CRT 分离技术、PCB 破碎分选技术等,但是与行业发展的需求仍有很大差距。研制适合中国国情的、经济的、高效的、环保的拆解处理技术成为促进行业发展的必然要求。

(5) 互联网和传统产业需进一步融合发展

废弃电器电子产品回收处理与资源综合利用行业是一个新兴的行业。这个行业在国家政策的推动下,正在向规范化、规模化和产业化发展。目前,我国还未建立完善的废弃电器电子产品回收处理及综合利用行业互联网系统。互联网管理系统是连接和沟通电器电子产品制造商、销售商、回收企业、处理企业、政府相关部门、消费者的重要媒介,也是连接和沟通国际动态和实现国际交流的重要手段。因此,建立良好的管理信息系统既有利于政府的宏观管理,也有利于企业和产业之间的交流,促进该产业的正常发展。

WEEE 回收与互联网的融合发展趋势在国家大力提倡“互联网+”、鼓励“大众创业、万众创新”的宏观背景下,C2B 的 WEEE 网络回收渠道与日俱增并日益活跃、新型回收体

系管理技术在不断推广、B2B 电子商务平台雏形出现、再生资源 O2O 模式也在探索中，这些都在尝试破解 WEEE “回收难题”。探讨通过互联网平台将消费者与正规回收者、环保处理企业连接起来，即以消费者为核心，注重用户体验，操作简单，信息及时，消费者可便捷完成交售活动，实现 WEEE 回收行业和互联网融合发展。

(6) 技术水平和人员素质参差不齐

在我国废弃电器电子产品回收处理立法过程中，国家发改委和工信部先后在北京、天津、青岛、上海、杭州等地建立了废弃电器电子产品回收处理及综合利用的示范项目。这些示范项目在多年的经验摸索下，技术、设备和人员方面都有较强的基础。但是，目前大量涌现的废弃电器电子产品拆解处理企业纷纷新上项目，在技术、设备和人员方面管理比较欠缺，大部分企业仅仅对废弃电器电子产品进行手工拆解，然后卖部件和材料，在环保、资源有效利用等方面还需进一步努力，而这依赖于技术水平和人员素质的提高。

3.2 解决思路

(1) 加强废弃电子产品回收处理体系的构建

针对目前中国废弃电子产品回收处理业仍存在回收分散、回收数量少、回收价格高等问题，亟需在全国范围建立覆盖城乡的规范、完善的废弃电子产品回收处理体系，只有通过这样一个回收处理体系，才能确保废弃电子产品的有效回收和循环利用，才能从根本上解决当前废弃电子产品回收处理行业存在的一系列问题。结合中国当前废弃电子产品回收处理现状，借鉴国外废弃电子产品回收处理体系建设的经验，构建中国废弃电子产品回收处理体系，通过借助物联网技术，使回收处理体系逐渐实现信息化和智能化，进而推动废弃电子产品回收处理业向集约化、规模化、产业化方向发展，这既是我们应对未来大量废弃电子产品的关键举措，也是中国建设生态文明、走新型城镇化道路的内在要求。

废弃电器电子产品回收信息管理系统的建立，将对市场上的每一件电子电器单品进行安全追踪和溯源管理，能够及时汇总最新信息，有利于对国内的废旧家电进行有效回收处理，循环利用资源，同时也将为相关部门提供更多的决策支持。如何根据我国废弃电器电子产品回收现状，研究开发适合中国国情的废弃电器电子产品回收体系，对控制废弃电器电子产品行业污染和实现资源循环利用具有重要的现实意义。

结合“互联网+”时代的基本特征，使废弃电器电子产品回收与互联网相互融合发展。破解当前“回收难”的瓶颈，“互联网+回收”是一种行之有效地解决途径。一方面，它具备“个体回收”的低成本优势，另一方面，通过互联网可实现高效整合，即将许多看似零散的点有效地连接起来。我国 WEEE 行业发展现状面对当前我国回收难的困局，为了尽快建立 WEEE 回收体系，政府出台了一系列利好政策，同时，我们也应清醒地看到未来回收所面临的挑战。

(2) 提高中国废旧电器电子回收技术水平

中国劳动力资源丰富且廉价，可充分发挥这种优势，提高废旧家电预处理阶段再生品的附加值；中国废旧家电年废弃量大，迫切需求废旧家电处理企业的处理技术规模化，使得供求平衡；中国的环境污染问题已相当严峻，环境友好型技术是社会发展的必然选择；随着新材料行业的发展，电子产品中使用的贵金属和金属的比例将会不断下降，企业需从回收金属和贵金属逐渐转向资源的全面回收。机械物理法相比湿法冶金和火法冶金技术来

说具有较大的发展优势,是目前最适合国内实情的一种废旧家电回收方向。

中国的机械物理法不能完全照搬国外运用机械物理法回收废旧家电的成功经验。国外机械处理法回收设备造价昂贵,并不适合中国国情。由于中国劳动力资源丰富,所以应采用手工拆解、专用手动工具、专用设备为主的技术路线,对废旧家电进行最大程度的人工拆卸,回收其中的可用零部件,提高零部件、元器件再使用部分的比例。这样既提高再使用品、材料再生利用的附加值,又降低处理成本。然后将剩余部分进行破碎、分选处理,将电路板、压缩机、热交换器等特殊部件分离开来,有限度地采用破碎、分选的技术和装备,部分引进国外适用的处理技术和装备,尽量减少焚烧、填埋。这种处理技术降低了处理成本、处理效率较高、资源得到全面利用、创造更多的就业机会、降低了环境负荷。

(3) 制定优惠政策

政府主管部门应对废弃电器电子产品回收处理及综合利用企业中业绩良好的企业给与优惠政策,以引导行业的发展。如制定增值税免税政策等,对符合条件的增值税一般纳税人销售再生资源缴纳的增值税实行先征后退政策,按70%或50%的比例退回给纳税人。

(4) 促进我国废弃电器电子产品处理与资源化利用技术的发展

国内现实和经济发展显示,电子垃圾已经成为社会发展过程中的一个严重问题。随着经济的发展和持续高速增长以及人民生活水平的日益提高,电子垃圾的产生量日渐增多。当前,电子垃圾不规范处理处置已经成为了固废领域的一个新的污染源,造成了严重的大气污染、水污染和土壤污染,并对人群造成严重健康危害。如何根据我国废弃电器电子产品回收处理现状,研究开发拥有自主知识产权的关键技术工艺与装备,对控制废弃电器电子产品行业污染和实现资源循环利用具有重要的现实意义。

目前绝大部分处理企业均涉及不同程度的深加工活动,其中以废旧线路板和塑料外壳等产品为主。部分处理企业也通过和高校科研院所合作自主研发适合本身生产情况的设备,甚至有的设备成功在行业内推广。

(5) 加强互联网和传统产业的融合发展

“互联网+回收”资源整合的终极目标是实现线上和线下的整合。一是线上整合,主要是对电话平台、网上平台、手机平台等相关载体进行整合,为消费者、回收者、物流提供信息、交易、行情、市场等多重服务内容,确保线上的信息流与线下的物流实现无缝对接;二是线下整合,主要是对回收网点、分拣中心、物流配送等进行整合,降低物流仓储成本,实现交易价值最大化;最后,线上线下整合,从线上的信息流到线下的物流,再到线上的资金流,形成信息流、资金流、物流的闭环发展模式,为行业发展提供全面服务。

(6) 加强再生资源专业技术人才培养

行业要发展,离不开人才,人才的培养,又离不开教育。由于行业教育本身基础较差,再加上从业人员的文化素质普遍较低,使行业教育目前面临着许多问题。建议尽快建立废旧电子电器拆解科学技术专业院校,或在较多的高等院校开设相关专业,培养更多的从事废旧电子电器拆解技术研究的高级专业技术人才,提升行业专业技术水平已迫在眉睫。同时广泛开展技工专业技能培训和管理人员专业知识培训,提高行业职工素质,鼓励院校、培训机构、企业,多层面开展授课、短训、讲座多种形式的教育。有关部门应当督促废旧电子电器拆解企业制定完善的岗位操作守则和 workflows,明确人员岗位责任和工作权限,对关键岗位人员必须进行相关岗位技能培训,取得人力资源和劳动保障部颁发的相

关工种职业技能证书，实行持证上岗制度。鼓励企业组织人员参加行业培训，提高企业人员素质。

4 建议

(1) 完善废旧小家电环境管理政策

我国已颁布实施了一系列废弃电器电子设备管理的政策法规和标准。正式实施新的目录之后，废旧小家电将会被正式纳入现在的电子废弃物管理体系中。针对小家电环境负荷小、但废弃量大的特点，建议对当前 WEEE 相关管理政策重新梳理调整，对 WEEE 管理相关法律条文、回收和处理企业的资质认定、绿色设计要求等进行修订，并加强复印机、打印机等再使用的鉴定检测技术标准，及小家电回收处理技术研发。

(2) 政府要加强和完善政策法规及基础设施建设

相对于电器生产商、经销商和消费者，政府是推动废弃电子产品有效回收处理的关键。首先，政府应通过网站、电视、广播、社区宣传栏、发放宣传册、张贴公益广告等手段，加大对回收利用废弃电子产品重要性的宣传力度，提高公众对废弃电子产品的正确认识。其次，要完善政策法规，激励、监督、规范相关利益者的行为。通过法令法规明确规定相关责任者的权利和义务，通过设立回收处理补贴基金（主要用于补贴回收和处理企业）、税费减免、无息或低息贷款等经济手段，激励一些有资质、有能力的企业投入到废弃电子产品回收处理产业中来，与此同时，还需构建市政、环保、行业协会三位一体的监管体系，确保企业健康发展。

(3) 废弃电子产品回收处理体系的实现路径

电器生产商、经销商、消费者等都是电子产品的受益者，根据“谁受益谁担责”的原则，对于废弃电子产品的回收，受益各方都有义务承担部分责任。而政府作为废弃电子产品回收处理市场的监管者和提供服务者，应着力负责做好政策法规制定和相关基础设施建设方面的工作，为废弃电子产品回收处理体系的健康运行提供前提保证。

(4) 采取相应政策、促进电子垃圾处理产业化、规模化

废弃电子电器产品回收处理企业除了具有盈利的目的以外，对环境保护也做出了贡献，政府应该顺应经济市场化及专业化的发展趋势，大力支持和引导它们的发展，推动电子垃圾处理走向专业的分工明确的产业市场，吸引更多的企业参与到废旧电子电器处理，形成规模，让负责回收、拆解、再利用、提炼贵金属等各企业能各司其职，有利于重金属防治中社会多元资本投入的形成，而且还有利于形成良性的行为激励及约束机制。同时，规范电子产品回收体系，研究健全技术路线、技术规范、评价标准与分析方法等技术体系问题，推动产业标准的实施。

危险废物焚烧处置行业技术发展报告

1 所属行业或领域总体概况

“十二五”期间,随着我国经济的快速发展,各种资源的大量消耗,产品的更新换代步伐加快,从而产生了大量危险废物。目前,我国危险废物产生量约为固体废物总量的1.2%,按照我国的相关法规规定,危险废物一共有49类600多种,种类多,成分复杂,由于危险废物具有毒性、易燃性、反应性、腐蚀性、爆炸性、传染性的废物,其污染具有潜在性和滞后性,对人类和环境构成严重威胁。基于环境保护的需要,许多国家将这部分的废物单独列出加以管理一直以来是国内外污染防治的重点领域。

1.1 2014-2015年国内外相关法规、政策、标准体系现状

2014年3月1日,环境保护部制定《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》(GB30485-2013)并正式实施。该标准规定了协同处置固体废物水泥窑的设施技术要求、入窑废物特性要求、运行操作要求、污染物排放限值、生产的水泥产品污染物控制要求、监测和监督管理要求;适用于利用水泥窑协同处置危险废物、生活垃圾(包括废塑料、废橡胶、废纸、废轮胎等)、城市和工业污水处理污泥、动植物加工废物、受污染土壤、应急事件废物等固体废物过程的污染控制和监督管理。

2014年4月24日,第十二届全国人民代表大会常务委员会第八次会议修订了《中华人民共和国环境保护法》,自2015年1月1日起施行,是为保护和改善环境,防治污染和其他公害,保障公众健康,推进生态文明建设,促进经济社会可持续发展制定的国家法律,号称“史上最严”的“新环保法”,是危险废物处置过程中应遵循的基本准则。

2014年5月6号,国家发展改革委、科技部、工业和信息化部、财政部、环境保护部、住房城乡建设部、国家能源局七部委联合印发《关于促进生产过程协同资源化处理城市及产业废弃物工作的意见》(发改环资[2014]884号),明确提出将水泥行业作为重点领域,推进利用现有水泥窑协同处置危险废物、污水处理厂污泥、垃圾焚烧飞灰等,并且积极开展试点示范工程和相关技术攻关,加大资金政策的支持投入,扩大可利用废弃物范围,制定有针对性的污染控制标准,完善现有标准,规范环境安全保障措施。该文件进一步明确了水泥窑协同处置将作为危险废物处置的重要方向,并将通过试点示范和资金支持等方式推动水泥窑协同处置危险废物的产业发展。

2014年6月10日,环境保护部发布了《危险废物处置工程技术导则》(HJ 2042-2014),自2014年9月1日起实施。该导则为指导性文件,为首次发布,规定了危险废物处置技术的应用及工程设计、施工、验收、运行管理等过程中应遵守的有关技术要求和管理规定,

有利于规范危险废物处置工程建设和运行,实现危险废物处置减量化、资源化和无害化目标,控制环境风险,改善环境质量。

2014年8月19日,环保部发布了《废烟气脱硝催化剂危险废物经营许可证审查指南》,该指南按照《危险废物经营许可证管理办法》第五条的有关要求,针对废烟气脱硝催化剂(钒钛系)再生和利用过程中存在的主要问题,对从事废烟气脱硝催化剂(钒钛系)收集、贮存、运输、再生、利用处置活动的经营单位,从技术人员、废物运输、包装与贮存、设施及配套设备、技术与工艺、制度与措施等方面提出了相关审查要求。

2014年9月,环保部发布了“关于征求《国家危险废物名录(修订稿)》(征求意见稿)”,标志国家对危险废物处置工作的重视是非常高的,也说明随着工业的迅速发展,危险废物的处置过程中产生了很多具有时代意义的问题,因此需要根据具体情况进行修改,这是国家法律法规制定的进步,更是危险废物处置执行标准的合理化,有利于逐步实现规范化、法制化。

2015年3月19日,环境保护部部务会议通过《突发环境事件应急管理办法》,自2015年6月5日起施行,危险废物处置过程中的应急事件的处理应参照遵循该规章制度。

1.2 2014-2015年国内外对污染控制涉及的重点行业的污染控制管理现状

2014~2015年间,围绕《固体法》,环境保护部先后出台了多项政策文件及规范指南,促进了固体废物环境管理工作进一步向精细化方向发展。2013年,环境保护部固体废物和化学品管理技术中心成立,强化了固体废物管理的技术支撑。截至2015年10月,全国31个省(区、市)全部成立了省级固体废物与化学品管理机构,其中30个是经地方编制管理机构批准的具有独立编制的机构。另外,全国有25个省份的187个设区市成立了地市级固体废物与化学品管理机构。在信息化建设方面,全国固体废物管理信息系统已经建成,全国废弃电器电子产品回收处理信息管理系统建设稳步推行。在危险废物环境管理方面,深化简政放权,推进放管结合。在深化监管方面,“十二五”期间,以重点产废单位和经营单位的规范化管理合格率考核为抓手,推动企业责任落实。

2014年全国工业危险废物产生量3633.5万吨,综合利用量2061.8万吨,贮存量690.6万吨,处置量929.0万吨,全国工业危险废物综合利用处置率为81.2%。从行业来看,化学原料和化学制品制造业、非金属矿采选业、有色金属冶炼和压延加工业、造纸和纸制品业是我国危险废物产生的主要行业,占到危险废物产生量的70%。其中化学原料和化学制品制造业是危险废物产生量最大的行业,占到22%左右。从危险废物种类来看,共分为48个大类,主要类别为废酸、废碱、石棉废物、冶炼废物和无机氰化物。

根据《“十二五”全国危险废物规范化管理督查考核工作方案》和《危险废物规范化管理指标体系》(环办〔2011〕48号),环境保护部持续深入开展危险废物规范化管理督查考核工作。2014年,环境保护部各环境保护督查中心共抽查1681家企业,其中危险废物产生单位1313家,经营单位368家。整体抽查合格率为74.9%,比2013年提高6.4个百分点。其中危险废物产生单位和经营单位的抽查合格率分别为73.7%和79.2%。2014年各省(区、市)危险废物规范化管理督查考核抽查合格率情况见图1。

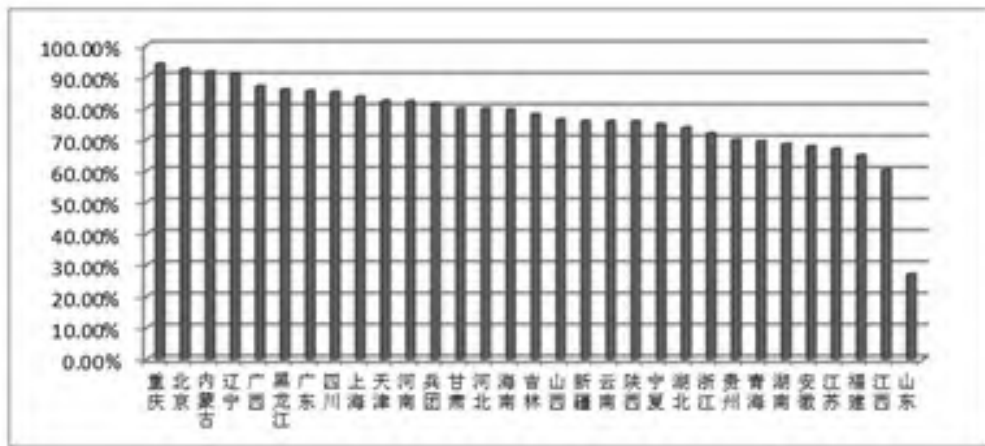


图1 各省（区、市）危险废物规范化管理督察考核抽查合格率

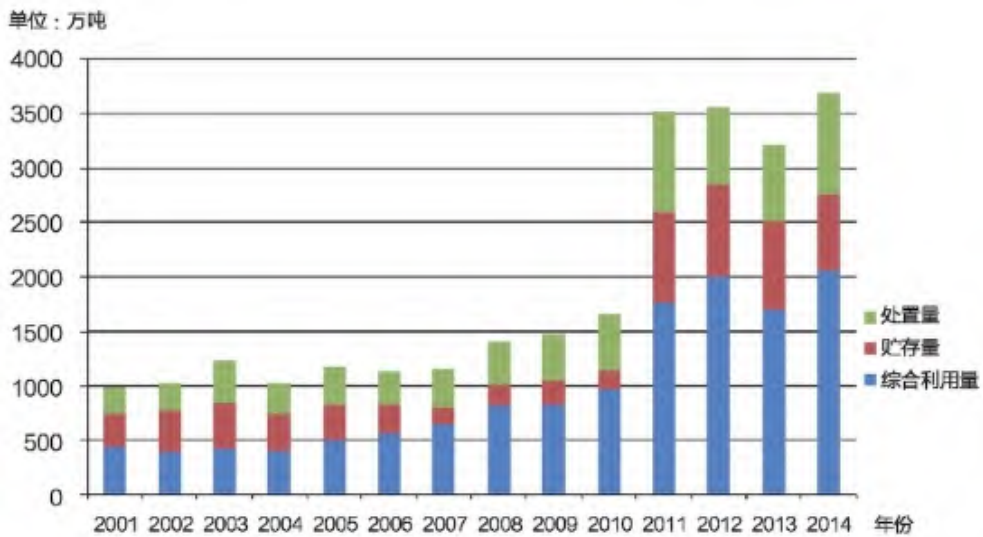


图2 危险废物产生利用贮存情况

2014年5月，遵循简政放权原则，根据《国务院关于取消和下放一批行政审批项目的决定》（国发〔2013〕44号），原由环境保护部负责的危险废物经营许可证审批事项已下放至省级环保部门。截至到2014年，全国各省（区、市）颁发的危险废物经营许可证共1921份。其中，江苏省颁发许可证数量最多，共319份。2011—2014年环保部门颁发危险废物经营许可证数量情况见图3。

2006—2014年危险废物实际经营规模情况见图4。

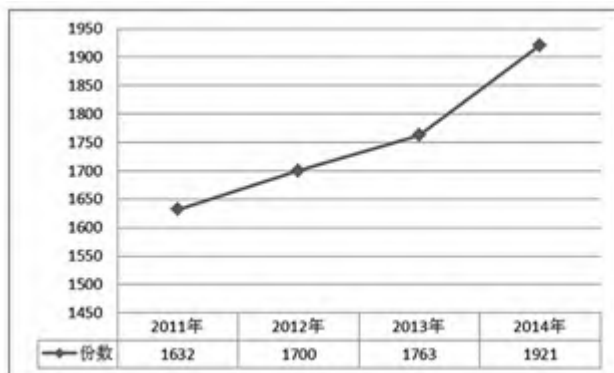


图3 2011—2014年环保部门颁发危险废物许可证数量变化情况

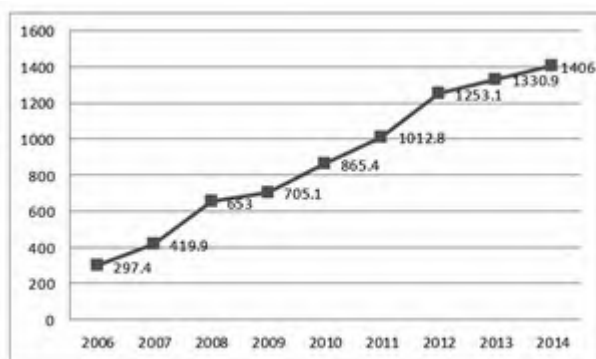


图4 2006—2014年危险废物实际经营规模情况(万吨)

为更好地履行《巴塞尔公约》，环境保护部与欧盟主管部门建立了预防和打击固体废物非法越境转移信息交换工作机制。2009—2014年，累计交换情报信息734余次，发现并阻止了其中54批次固体废物向我国非法出口。其中，2014年就完成交换信息94次，阻止了其中6批次固体废物向我国非法转移。此外，环境保护部与香港特区环境保护署建立年度“内港两地废物转移工作层面会议”制度，与日本环境省建立了“中日废物进出口管理跨部工作组会议”热线联系机制，截至到2014年，分别召开双边例会9次和7次。

2014—2015年，各地环保部门在全面深化改革的大背景下，积极探索、不断创新，努力解决固体废物污染防治工作中出现的难点问题，形成了一批具有借鉴意义的地方工作经验。如北京市市管中心运用大数据概念，于2014年启动原有固废信息系统升级改造，标志着北京市强化污染源管理探索固废管理转型的开始。河北省环境保护厅结合工作实际从五个方面强力推进危险废物监督管理。提出了全省固体废物管理总体框架，并积极推动地方立法，组织起草了《河北省固体废物污染环境防治条例(草案)》，2015年3月通过审议，6月1日正式颁布实施。针对现有收运体系对执行危险废物管理有关制度产生制约的现象，上海市试点探索多层次危险废物收运新模式，现已试点开展4种收运模式，分为园区收集模式、“产销用废”模式、物业服务模式及特定废物收集模式。江苏省以信息化手段推进危险废物监管，通过“危险废物动态管理信息平台”，推动企业按月申报危险废物产生量、经营单位按日报告经营情况，形成申报数据联动审核、自动预警和综合分

析机制,试点达到提效减负、优化服务的预期目标。为进一步规范固体废物领域审批审核程序、防范廉政风险,四川省环保厅从多个方面强化相关制度建设,专门建立了固废领域审批审核工作机制与程序,下发了《关于印发四川省固体废物领域审批审核工作机制和程序的通知》(川环办函〔2014〕114号),同时落实固废管理监管责任,完善廉政风险防控机制,落实属地责任。

2 主要技术发展情况

2.1 主要技术发展情况

危险废物处理的最终目标是达到无害化要求,处理方法很多,但目前较为常用的方法包括以下几种:物理处理、化学处理、热处理、固化处理和生物处理。近年来国内外技术发展围绕这几个方向开展了多方面的研究,取得了一定的成效。

从2014、2015年度环境保护科学技术奖获奖成果来看,固体废物污染防治相关科研成果覆盖了危险废物、一般工业固体废物和农业固体废物等多个领域,涉及污染控制技术、治理装备研发、检测管理、污染评估等多方面内容。主要成果有:危险废物污染防治体系建设、关键技术研究示范,水泥窑协同处置POPs杀虫剂废物技术研究与应用,环境污染事故应急监测关键技术方法与装备研发,环境污染的健康风险调查、评估与信息管理技术,有毒有害化学品环境暴露人群健康影响,等各方向。

2014年“国家鼓励发展的重大环保技术装备目录”选录了“可用来处置固态(或液态)废弃物、危险固态(或液态)的多功能移动式固态(液态)污染物处理装备”,展现了环境治理装备领域研究的新发展。

华北电力大学能源动力与机械工程学院联合中国环境科学研究院固体废物污染控制技术研究所及环境保护部对外合作中心对有机危险废物在惰性气体中热降解动力学特征进行了研究,通过有机物在高温环境中的热降解动力学研究,建立了工业窑炉内有机物热降解动力学模型,为预测工业窑炉协同处置有机危险废物的工程效果提供理论参考。

浙江大学能源清洁利用国家重点实验室对我国危险废物和医疗废物焚烧处置行业二噁英排放水平开展了研究,对全国危险和医疗废物焚烧处置设施进行了调研工作,收集炉型、处置量和烟气净化装置以及二噁英排放数据等相关信息;并对收集到的排放数据按处置对象、焚烧炉型和处置容量进行分类,分析危险和医疗废物焚烧烟气和飞灰中二噁英的排放水平及排放特性,得出了“危险废物焚烧设施烟气中二噁英排放水平比医疗废物低、危险废物选择回转窑炉型处理效果较好、大多数危险和医疗废物焚烧设施烟气中二噁英的生成以PCDFs为主”等重要结论。

焚烧是处置危险废物的主要手段之一,而回转窑和二燃室焚烧技术是最常用的危险废物焚烧技术。科研机构对回转窑和二燃室焚烧技术进行了研究创新,以改善危险废物的焚烧工况,从而提高危险废物的完全焚烧。

云南大地丰源环保有限公司结合有机废液回转窑焚烧处理技术要点,分析了回转窑处理有机废液的技术要点,探究预处理方式、进料设备的选择、雾化效果、热值及废液进料量对焚烧系统的影响,着重研究了有机废液热值对焚烧运行参数和油耗的影响。

北京机电院高技术股份有限公司对回转窑焚烧系统出现的问题进行了研究分析,并给出了优化设计方案,对回转窑焚烧系统的优化设计提供了借鉴;研究了危险废物处理行业中采用回转窑焚烧处理铬渣,及后续烟气净化、彻底无害化处理的工艺设计过程,为铬渣的处理提供了一套系统高效的处理方式。同时,对影响危险废物焚烧处置系统中烟气脱酸效率的原因及工艺进行了研究与分析,认为需要具体情况具体分析危险废物焚烧处置系统中烟气脱酸可选的工艺。

上海博士高环保设备工程有限公司对危险废物焚烧处理产生的烟气净化工艺进行了探讨,介绍了能使烟气达标排放的合理的烟气处理工艺,为危险废物焚烧厂建设单位、设计单位等提供参考。

中冶赛迪工程技术股份有限公司对危险废物无害化焚烧处理技术进行了探析,介绍了危险废物焚烧处理过程中产生的主要污染物如二噁英类有机污染物、酸性气体、飞灰、重金属颗粒等,阐述了各种污染物的防治措施,提出了污染物的控制途径,从而实现对危险废物的无害化处理,避免二次污染的发生。

南京市环境保护科学研究院联合其他危险废物处置单位对填埋固化中含镍危险废物药剂稳定化开展了研究,实验表明,在满足填埋控制标准的前提下,尽可能降低重金属危险废物固化/稳定化的增容比,能够有效节省填埋库容、延长填埋场运行年限。通过实验室的药剂筛选、配比试验,研究以 20:1 的乙基黄原酸钾与人造沸石作为稳定化药剂,对含镍危险废物进行了 5 t/h 规模的稳定化处置工程示范。实际运行结果显示,处置后危险废物中金属镍浸出浓度由 10.8 mg/L 降低至 3 mg/L 以下,增容比仅为 1.08,满足填埋控制标准,可直接入场填埋。与水泥固化法相比,该方法工艺难度小、直接成本低,可节省 10%的填埋库容。

重庆市环境保护信息中心对基于物联网技术的危险废物管理监控系统进行了研究,通过对现代物联网技术应用的分析,探索了对危险废物的产生、运输、处置等全过程远程跟踪监控的路径,为强化危险废物监管、预防环境污染事故的发生提供了技术解决方案。

2.2 我国自有知识产权技术的竞争力评价

在近二十年的技术研究过程中,我国在回转窑、流化床、多层炉、固定床等危险废物焚烧技术中取得了许多专利,获得了自主知识产权,这些技术经过中试、示范工程建设、产业化的推广已经形成规模化效应。这些技术的整体技术水平较为先进,能解决危险废物的主要问题,基本满足国家相关法规要求,但与欧美、日本等世界一流的技术相比,还存在不小的差距,主要体现在工况波动的适应性、主要材质的选取、主要工艺参数的深化设计、相关经验数据的选取等方面,设备的稳定性、可靠性与先进性上都存在差距。在国内的危险废物焚烧市场上,中石油、中石化、大型化工企业等高端危险废物焚烧系统主要是采用进口设备与进口技术;中高端市场上则呈现进口技术、具有自主知识产权的引进消化吸收技术、国产一流技术、二流进口设备之间共同竞争的局面;在中端及中低端市场上我国自有知识产权技术则全面占领市场。在海外市场上,我国的技术还仅仅只能在东南亚地区获得少量的市场份额。

总的说来,我国自有知识产权技术的竞争力在中、低端市场的竞争力很强,在中高端市场有一定的竞争力,在高端市场上的竞争力欠缺,有待进一步深化研究,提高技术水平

与综合竞争力。

3 主要问题分析

在我国危险废物的技术开发、应用和发展的过程中由于处理对象的不同、技术水平及经济水平的限制，遇到了一些困难与问题，这些问题及相关的解决思路如下：

3.1 污染物排放控制设计的可升级性

随着我国经济水平的提高，人们对环境质量的要求越来越高，我国相关的环保标准也在逐年更新，而我们的设备寿命一般都在 15 年以上，这就要求我们在设计时要留有余量，不仅满足现有标准，还应通过简单的技术参数调整以及工艺设计能满足更严格的环保要求。前些年，由于经济水平及技术水平的制约，很多焚烧系统不仅是现有国家标准难以达到，更不用说满足今后的环保要求，经过几年的强化管理与技术发展，现有主流的技术得到了长足的进步，一般能满足国家标准要求，且具备一定的升级能力。升级能力主要体现在：

燃烧控制采取 3T+1E 的燃烧控制技术，强化二燃室气流场的设计，使其现在就满足更严格的一氧化碳及有机污染物焚毁率的要求；采用低氮燃烧技术满足现有氮氧化物的排放的要求，且预留 SNCR 或 SCR 装置升级的位置满足今后能达到欧盟最新标准；脱酸系统采用两级脱酸且保留技术参数的调整使现在就优于国家排放标准，且今后通过升级工艺参数或零部件就能达到欧盟最新标准；活性炭及二恶英的吸附系统在设计时留有一定的余量，设计标准优于国家标准，今后通过药剂升级及零部件升级（如催化滤袋）满足重金属和二恶英能达到欧盟最新标准；袋式除尘器设计时应优于现有国家标准为二恶英控制提供间接支持，今后升级滤袋即可满足欧盟最新标准。

3.2 关键零部件的技术性能与设备寿命

过去，受材料及加工水平的限制，一些关键零部件的技术性能不能满足要求，设备使用寿命较短，通过多年的研发与应用，现在国内外已经解决了这些零部件的技术性能与设备寿命，主要体现在：回转窑窑尾密封结构采用风冷复合端面密封减少热变形及漏风；耐火材料借鉴国外先进工艺提高技术指标；燃烧器、冷却水喷枪采用压缩空气雾化喷嘴降低雾化粒径使燃烧更充分、冷却更快；雾化喷嘴的材料采用哈氏合金抗腐蚀能力强，使用寿命长；袋式除尘器滤料采用更先进的 PTFE 材料性能更好，寿命更长。

3.3 设备对物料的适应性与运行的稳定

由于以前危险废物的处置多为大型企业自建焚烧系统，焚烧处理本企业的危险废物，这些废物的理化特性以及数量都比较稳定，对焚烧系统的要求不高，常规的焚烧系统均能处理，随着危险废物管理的集中化，危险废物处置场处理的对象复杂了很多，热值、形态、数量、污染物含量波动很大，对焚烧系统适应性的要求也大大提高，许多常规的焚烧技术都出现了经常结焦停炉、技术参数波动大、指标不达标等现象。经过研究，采取以下一些思路取得了比较好的效果：采取适应能力强的熔渣焚烧技术；强化物料分类贮存、混配及

组合式上料技术使物料入炉更加均匀；强化燃烧控制与工艺控制满足大负荷的波动；增加燃烧器、焚烧炉、余热锅炉等主体设备负荷范围；采取各种技术措施保障连续运行时间。经过以上一些措施，国内外的一些工程取得了较好的效果。

4 建议

2014年，环保部6个督查中心在全国抽查了1681家产废和经营单位，合格率为74.9%。相当一部分产废单位将危险废物按照一般工业固体废物进行管理；贮存不规范；无环评和验收；未申报登记；联单不规范等问题。部分经营单位也存在联单管理不规范；未按要求开展监测；未定期进行演练；经营情况记录不合格等问题。

2014年，地方各级环保部门向公安机关移送涉嫌环境污染犯罪案件总计2180件，超过2013年的3倍，公安机关受理2080件，案件受理率达95.4%。经分析，非法排放、倾倒、处置危险废物3吨以上的案件约占移送案件总数的40%。

因此，在废弃环节和废物处理环节，尤其是对危险废物的处置，应实施精细化管理，推动不同种类危险废物综合利用，制定相关产品标准和技术规范。危险废物减量化、资源化是解决问题的根本之策，但是根据我国危险废物环境标准的制修订情况，结合危险废物的管理原则，目前发布的行政法规、部门规章等主要是关于危险废物转移联单、经营许可、出口核准管理、国家危险废物名录、污染防治规划等方面，危险废物的减量化和综合利用的管理较为薄弱。因此应加大危险废物的产生及综合利用情况的监管，同时制定相关的管理条例，明确分层管理理念，加强源头减量，促进资源化利用。监督危险废物处置单位的建设和运行，督促企业守法经营，让企业认清非法转移危险废物的危害及企业应承担的法律责任，督促企业树立危险废物合法安全转移处置的自律意识，在固体废物管理中不仅要重视危险废物产生后末端治理的无害化，更应注重从源头控制实现危险废物的减量化，并鼓励综合利用实现其资源化。从而真正实现危险废物处置的源头管理，减缓由于治理而产生的问题，减少对环境的污染。

附：危险废物焚烧领域相关标准、规范

近三十年来，我国政府制定了许多国家标准与行业标准、规范、技术导则，用于规范化管理危险废物，与焚烧有关的标准、规范有：

- 1) 《中华人民共和国环境保护法》主席令 第22号（1989年）
- 2) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》主席令 第31号（2004年）
- 3) 《危险废物污染防治技术政策》环发[2001]199号
- 4) 《国家危险废物名录》环发[1998]89号
- 5) 《危险废物鉴别标准》（GB 5085.1~7-2007）
- 6) 危险废物鉴别技术规范 HJ/T 298-2007
- 7) 《危险废物焚烧污染控制标准》GB 18484-2001
- 8) 《危险废物贮存污染控制标准》GB 18597-2001
- 9) 《危险废物集中焚烧处置工程建设技术规范》HJ/T 176-2005

- 10) 《医疗废物集中焚烧处置工程建设技术规范》 HJ/T177-2005
- 11) 《医疗废物焚烧炉技术规范》 GB19218-2003
- 12) 医疗废物专用包装袋、容器和警示标志标准 HJ 421-2008
- 13) 医疗废物转运车技术要求(试行) GB 19217-2003
- 14) 含多氯联苯废物污染控制标准 GB 13015-91
- 15) 危险废物(含医疗废物)焚烧处置设施二噁英排放监测技术规范 HJ/T 365-2007
- 16) 危险废物集中焚烧处置设施运行监督管理技术规范(试行)(HJ 515-2009)
- 17) 医疗废物集中焚烧处置设施运行监督管理技术规范(试行)(HJ 516-2009)
- 18) 危险废物(含医疗废物)焚烧处置设施性能测试技术规范 HJ 561-2010
- 19) 固体废物浸出毒性浸出方法 水平振荡法(HJ 557-2010)
- 20) 《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》(GB30485-2013)
- 21) 《危险废物处置工程技术导则》(HJ 2042-2014)

以上这些标准包括危险废物焚烧处置的通则、污染控制、鉴别、监测以及其他相关标准。

在国际上,美国、德国、日本等发达国家对危险废物的管理更加严格,在过去的几十年里,也颁布了许多相应的法律以控制有毒有害废物对公众的侵害,减少对公众健康和环境的潜在危险。这些法律主要包括:劳动保护、环境保护、化学品使用及评估、排放物的报告及净化、对无意处置的化药品的净化的管理、污染防治。美国的相关法律如下:

劳动保护:

劳动安全健康法(OSHA)

超基金修正案和再授权法(SARA)

环境保护:

清洁大气法(CAA)

清洁水法(CWA)

安全饮用水法(SDWA)

资源保护和回收法(RCRA)

化学品使用及评估:

联邦食品、药物和化妆品法(FFDCA)

联邦杀虫剂、杀菌剂、和杀鼠剂法(FIFRA)

有毒物质控制法(TSCA)

排放物的报告及净化:

清洁水法(CWA)

危险废物运输法(HMTA)

资源保护和回收法(RCRA)

对无意处置的化药品的净化的管理:

综合环境反应、赔偿和责任法(CERCLA)

清洁水法(CWA)

污染防治(PPA)

铅蓄电池生产和回收再生行业技术发展报告

1 铅蓄电池生产和回收再生行业或领域总体概况

铅蓄电池作为二次能源载体，由于技术成熟、性能稳定、成本低、可回收再利用等优点，广泛应用于国防、民用交通、通讯、储能等领域，是目前世界各类电池中产量最大、用途最广的一种电池，在国民经济和人们生产生活中发挥着重要的作用。根据中国化学与物理电源行业协会统计，2005 年我国铅酸蓄电池的总产量为 4 334.5 万 kVAh，2009 年达到总产量 1.2 亿 kVAh，占全球铅酸蓄电池总产值约 1/3；2005 年我国铅酸蓄电池产品的销售收入为 250 亿元，2009 年达到 760 亿元，2005 年至 2009 年我国铅酸蓄电池产品年均增长速度达到 30%。2009 年我国铅酸蓄电池直接出口额超过 12 亿美元，成为世界上最大的铅酸蓄电池出口国。根据工信部统计，2010 年我国铅酸蓄电池累计完成产量 14, 416.60 万 kVAh，同比增长 17.3%，2014 年全国蓄电池行业产能 22069 万 kVAh。产能保持稳步增长，并在今后很长时期内，铅蓄电池仍将在二次电源中占据较大市场份额。

1.1 2014-2015 年国内外相关法规政策、标准体系现状。

铅蓄电池及回收再生产业由于产品原材料的特殊性，国内外十分重视相关法律法规、标准的制定与管理，欧盟完善了欧盟电池指令、美国出推进 RBRC 可充电电池回收计划等，强化对铅蓄电池生产与回收的管理，我国政府近两年也十分重视铅蓄电池及回收再生的法律法规、标准体系建设，主要情况如下：

1.1.1 我国相关法规政策、标准体系现状

出台《电池工业污染物排放标准》GB 30484-2013，建立了我国电池行业的专业污染物排放标准，明确电池各项污染物的排放限值，于 2014 年实施。

工信部发布《铅蓄电池行业规范条件》（2015 年第 85 号公告）按照合理布局、控制总量、优化存量、保护环境、有序发展的原则，进一步规范铅蓄电池行业生产。

国家发改委、环保部、工信部发布《电池行业清洁生产评价指标体系》，《再生铅行业清洁生产评价指标体系》（2015 年第 36 号公告），以凡国家或行业在有关政策、规划等文件中对该项指标已有明确要求的就执行国家要求的数值；凡国家或行业对该项指标尚无明确要求的，则选用国内重点大中型电池企业近年来清洁生产所实际达到的中上等以上水平的指标值的清洁生产的原则要求，对铅蓄电池及回收再生绿色生产提出评价标准。

实施《铅酸蓄电池环保设施运行技术规范》GB/T32068-2015：第 1 部分：铅尘、铅烟处理系统、第 2 部分：酸雾处理系统、第 3 部分：废水处理系统。规定了铅酸蓄电池工业

铅尘、铅烟处理系统、酸雾处理、废水处理系统系统的设计、施工、验收和运行的技术要求。适用于铅酸蓄电池企业新建、改(扩)建项目的酸雾处理系统从设计、施工到验收、运行的全过程管理和已建项目酸雾处理系统的运行管理。

1.1.2 国外相关法规政策、标准体系现状

(1) 欧盟

在欧洲,欧盟委员会于2006年9月26日正式公告第2006/66/EC号《电池、蓄电池、废电池及废蓄电池》指令。规定欧盟各国于2008年9月26日前将本指令转化为各国法律,并自2008年9月26日开始实施并同时废止原有的电池指令(91/157/EEC)及其修订条文(93/86/EEC和98/101/EEC),由单一项指令取代。2013年12月10日,欧盟在其官方公报上公布了电池修订指令2013/56/EU,取消无线电动工具电池的镉豁免并禁止纽扣电池含汞。

欧盟于2006年发布的电池指令(2006/66/EC)要求各成员国禁止含汞量超过0.0005%(重量百分比)的所有的电池及蓄电池(不管是否与设备配套使用)以及含镉量超过0.002%(重量百分比)的便携式电池及蓄电池(包括与设备配套使用的产品)投放市场。但无线电动工具中的锂离子电池及纽扣电池豁免本指令。

2013年,欧盟颁布了新版的2013/56/EU指令,其中规定,有关无线电动工具电池中的镉豁免可继续沿用至2016年12月31日,而含汞量不超过2%(重量百分比)的纽扣电池可继续沿用至2015年10月1日。本法规自2013年12月30日起生效。

(2) 美国

1996年颁布联邦法令《含汞电池和可充电电池管理法》(US PUBLIC LAW 104-142)于1996年5月13日开始实施。在这部法律中,对废镉镍电池、废小型密封铅酸电池和其他废充电电池的标签、生产、收集、运输、储存等作出规定,其立法原则是:生产适用于回收利用和易于处置的氢镍电池、小型密封铅酸蓄电池和其他电池;高效低成本收集、回收或适当处置废镉镍电池、小型密封铅酸电池,以及其他需要控制的电池,教育公众关心对各类废电池的收集、回收利用和合理处置。

关于《普通废物垃圾的管理办法(UWR)》:1995年美国环境保护协会制定了《普通废物垃圾的管理办法(UWR)》,并于1999年7月进行了修订,普通废物垃圾包括废旧电池、温度计和农药。立法规定,所有废旧电池均需遵守《普通废物垃圾的管理办法(UWR)》的规定。任何电池产品及产品的包装材料上,以及使用充电电池的器具外表上须贴上有统一规定的标签,标签上须印有“电池不得随意丢弃,须妥善处理”的字样,鼓励非盈利性工业计划,克服障碍,自愿收集和回收镉镍电池,建立废旧的二次电池收集、回收和处理的网络;要求环保局建立公共教育计划,教育公众关心对各类废旧电池的收集、回收利用和合理处置工作,鼓励公众使用可充电电池,并参与废旧电池的收集和利用工作。

RBRC可充电电池回收计划:通过三种渠道回收,包括:零售商回收,社区和公共服务机构回收,商业回收,企业产品在通过检测,加贴该标志后可以被认为是可回收电池。

1.2 2014-2015年国内外对污染控制管理现状。

从目前国际总体发展情况来看,无论在发达国家还是发展中国家,废铅蓄电池的回收管理已经在逐步进入到有序管理阶段,群众环保意识逐步增强,政府逐步重视,他们也在

结合各自国家的特点制定出较为完善的政策、法规或标准，行之有效。在具体的废蓄电池回收组织方面也建立了比较完善的体系，在“用户-回收商-再生铅厂-蓄电池厂”之间逐步形成了良性的“闭路”循环。在美国，蓄电池协会作为废蓄电池回收和冶炼的主管机构，与环保局联合制定了一系列的法令、标准，把废蓄电池作为危险废物管理，禁止随便处置，规定蓄电池生产厂家要承担起回收废电池的任务额，否则将受到惩罚。而对一般公众，也严格禁止随意丢弃，否则将重罚。

美国政府采用一些经济手段用于鼓励废电池的回收。1996年5月克林顿总统签署了一项“含汞电池和可充电电池管理”法令，该法律要求：①生产适于回收利用和易于处置的小型密封的铅酸电池和其他电池。②教育公众关心对各类电池的收集、回收利用和合理处置工作。③任何电池产品及产品的包装材料上，以及使用充电电池的器具的外表上须贴有统一规定的标签，标签上须印上“电池不得任意丢弃，须妥善处置”的字样。④鼓励公众使用可充电的电池，参与废电池收集和回收利用工作。法律还规定，对于违反者，联邦环保局应令其整改或征收不超过10000美元的罚金。部分州政府对市场上销售的电池征收一定税率的处理费用，例如，美国密歇根州1990年通过一项法律，对在本州境内销售的汽车用铅酸蓄电池征收6美元的处理费用。如果将用过的旧电池交电池销售商，则可以退出部分费用。

日本在1984年以前，除重大且用途集中于汽车行业的铅电池由汽车解体业者集中交铅电池再生业者再生处理。日本各地在学校、商店、社会团体、企业和居民点普遍设立了废干电池回收箱（20多万个），并对上交废干电池的学生实行有偿鼓励政策。日本从事废电池回收的最大组织是北海道的野村兴产株式会社，其每年由全国回收的废电池达13000吨，占日本废弃电池量的20%，其中93%通过民间环保组织收集，7%通过生产厂家收集。此公司得到日本电池工业协会的支持。它们的主要业务是废弃电池处理。

德国则要求电池生产商和销售商必须收集所有废电池，并由销售商将有标识和无标识的电池分开回收，然后再由生产商分类处理和利用。但分类回收率仅为20%。

我国于2014年11月12日发布《国务院办公厅关于加强环境监管执法的通知》，开展了一次环境保护全面排查，重点检查所有排污单位污染排放状况，各类资源开发利用活动对生态环境影响情况，以及建设项目环境影响评价制度、“三同时”（防治污染设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用）制度执行情况等。

随着人们环保意识的逐步提高，环保政策法规逐步健全，推进清洁生产工艺是世界各国的共同选择，而再生铅清洁生产技术的关键是解决铅再生过程的铅污染，提高铅回收率和控制过程中二氧化硫的排放。进而，也就迫切要求各国政府积极探索有效地废铅蓄电池的管理模式，研发和应用清洁的铅回收生产方式，在实现资源再生利用的同时，推进环境问题的解决。

2 主要技术发展情况

2.1 主要技术发展情况

美国、日本等发达国家在铅酸蓄电池生产技术及污染控制方面一直处于领先水平，主

主要表现在以下几个方面:

(1) 铅粉机向大型化发展, 优先采用巴顿式铅粉机。铅粉的输送与储存采用密封技术, 实现铅粉制造系统的全自动生产。

(2) 合金配制过程中淘汰有毒有害的铅铋镉合金, 使用铅钙等环保型合金。在铅钙合金的配制与铸板过程中, 使用铅减渣剂, 以减少危险废物铅渣的量。

(3) 实现和膏与涂片的一体化与自动化生产, 取消涂片工序中的淋酸工艺。

(4) 改进铅膏配方和固化工艺, 尽量缩短固化时间。

(5) 采用电池内化成工艺取代极板槽化成工艺, 废除极板水洗与极板干燥工艺。

(6) 用铸焊取代烧焊, 推广应用多工位铸焊(四工位以上)自动化装配线生产工艺与设备。

大多数发展中国家, 如印度、越南、印尼等, 目前依然采用较落后的铅酸蓄电池制造技术, 铅酸蓄电池生产过程的污染问题依然没有解决, 特别是数量众多的部分中型及小型企业生产过程的污染问题更重: 规模小, 污染较严重、品质参差不齐, 污染防治设施不配套, 生产没有在严格的环保措施和工业安全卫生条件下进行, 给周边环境与人群健康造成危害。

20 世纪 70 年代以后, 随着汽车工业成为国民经济的支柱产业以及国民环境意识的逐渐提高, 废铅酸蓄电池再生铅生产技术得到了发达国家政府的高度重视。目前发达国家的铅蓄电池铅再生工艺主要是采用机械破碎分选和对含硫铅膏进行脱硫等湿法预处理技术, 然后再用火法、湿法、干湿联合工艺回收铅及其他有用物质。对于火法冶炼, 发达国家一般采用短窑熔炼或长短窑联合熔炼工艺, 废铅膏经过脱硫预处理后, 一方面减少了进炉的物料量, 提高了炉料的铅品位, 从而减少了烟气量、弃渣量、烟尘量、能耗、二氧化硫排放量, 提高金属回收率、工效、产能, 有利于环境保护; 另一方面也降低了工人劳动强度, 减少了生产过程中的人为环境污染问题。如意大利某公司采用该技术, 使炉料的含硫量降低了 90%, 这使得冶炼熔剂量和二氧化硫的排放大大减少; 与未脱硫相比, 脱硫可使冶炼能力提高 30%, 铅回收率达到 90%以上, 冶炼温度降低 150℃, 能耗降低 10%, 冶炼废弃物减少 75%。对于全湿法冶炼, 废旧蓄电池的湿法预处理脱硫是实现湿法电沉积冶炼的前提, 其主要特点是在冶炼过程中无废气、废渣产生, 铅回收率可达 95%~97%。

2.2 2014-2015 年国内外主流技术研发、推广和应用情况、技术的进步和发展

2.2.1 技术关键

(1) 在铅蓄电池生产产污节点方面, 铅烟、铅尘主要来自合金配制、铸板、铅粉制造、和膏、涂板、分刷片、焊接等工序, 解决铅蓄电池电池生产过程的主要污染产生环节是铅蓄电池污染防治的核心之一。铅蓄电池生产工艺及产污节点如图 1、图 2 所示。

(2) 铅蓄电池污染防治的另一个核心要是铅蓄电池废气、废水、固废的防治技术, 通过开发先进的铅烟、铅尘、废水、固废处理技术是污染防治的核心内容之一。

(3) 研究开发高效回收管理模式与再生技术。铅蓄电池正常使用时, 很少造成环境污染不会对人体造成危害, 废铅蓄电池回收环节是造成污染的主要途径。

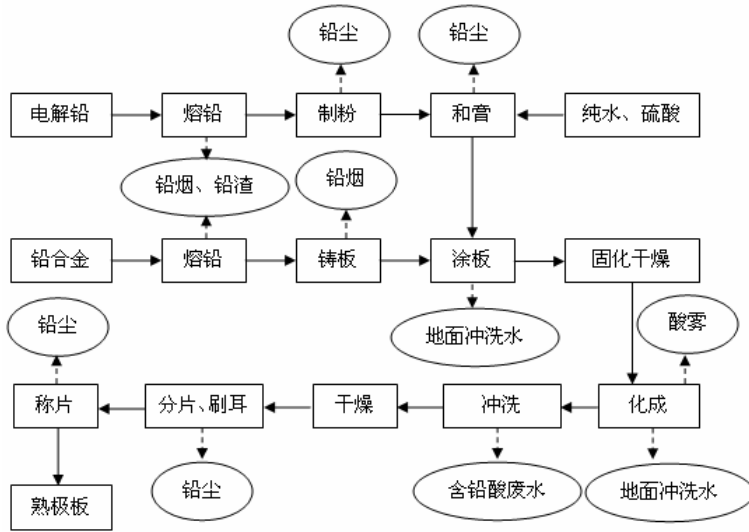


图1 铅蓄电池极板生产工艺及产污节点

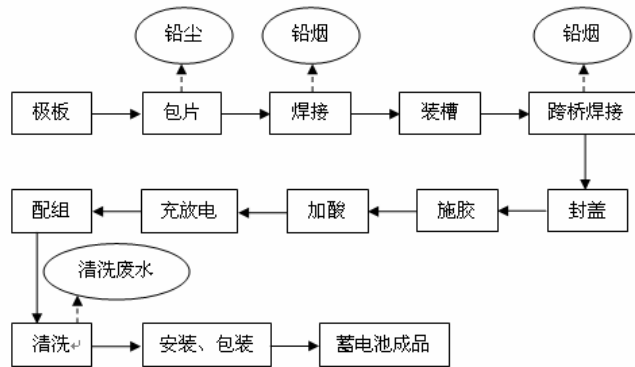


图2 铅蓄电池组装生产工艺及产污节点

2.2.2 开发重点

- (1) 铅蓄电池无镉化技术（镉含量低于 0.002%）；
- (2) 扩展式（如拉网）、冲孔式、连铸连轧式铅蓄电池板栅制造技术；如采用拉网板栅技术，每片板栅可减少铅耗量（18 克）15%~25%，铅烟和铅渣排放量小；
- (3) 铅蓄电池内化成工艺技术；
- (4) 化成放电能量回收技术；推广铅蓄电池极板内化成工艺，可大大减少含铅含酸废水及酸雾产生，年节水约 600 万吨；
- (5) 极板制造清洁生产技术：包括极板/电池快速充电技术、真空和膏技术、管式电极灌浆挤膏先进技术及设备、铸板机集中供铅技术；
- (6) 管式电极灌浆挤膏技术；
- (7) 酸循环电池化成技术；

- (8) 极板水洗循环回用技术;
- (9) 自动和膏机、自动分片机和自动涂板机;
- (10) 生产废水处理及中水回用技术研究;
- (11) 生产废水回用技术研究研究梯级高效蒸发处理技术及化学反应技术，对经反渗透膜处理后的高盐水进行进一步处理，使生产废水回用率达到 95%以上，并降低处理成本。
- (12) 废酸回收处理技术研究。通过对废酸进行预处理、扩散渗析、中和等过程，利用浓差扩散再生原理，使含酸废水中的酸得到有效地回收利用;
- (13) 废气处理技术研究。研究“急冷+布袋除尘+SCR”等协同技术及装备，控制二噁英的排放。
- (14) 低成本高效废气处理过滤材料研究国内外废气过滤材料的综合评价研究，改进滤料生产工艺，提高滤料孔径均匀性和滤筒密封性能，有效降低滤料成本。
- (15) 固废铅资源高值回收氧化铅技术研发：针对铅蓄电池生产及回收再生过程中产生的废铅粉、铅泥、铅渣等含铅固废，采用氧化铅络合等技术，高值低成本回收氧化铅。
- (16) 铅蓄电池回收再生技术研究。在原子经济法处理废铅膏小试、中试研究成果的基础上，优化工艺设计，合理工程布局，开展自动控制系统优化，检验系统集成度；开展经济性、环境性和社会性评价。

2.2.3 产业化情况

(1) 铅尘治理：目前我国普遍采用二级除尘，铅尘经整体密封、吸风收集进入净化器除尘后达标排放。除尘设施采用冲激式除尘或脉冲袋式除尘，我国已有采用较为先进的滤筒及高效过滤器除尘，如“滤筒+HEPA 方框高效过滤系统”，处理效率达到 99.5%以上。工艺流程如图 3 所示。



图 3 铅尘治理工艺流程

(2) 铅烟治理：目前我国普遍采用“预处理器+滤筒+超高效过滤系统”处理。铅烟经整体密封、吸风收集进入净化器处理后达标排放，处理效率达到 99.5%以上。预处理器主要对高温、含油烟气进行冷却和过滤，防止损坏过滤装置。工艺流程如图 4 所示。

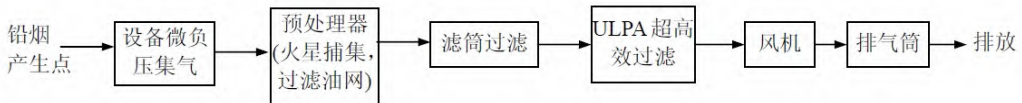


图 4 铅烟治理工艺流程

为提高处理效率，2011 年起，江苏二环环保科技有限公司根据工信部准入条件和环保核查的要求，联合超威公司，共同开发出了一种超高效铅烟尘净化系统，采用“滤筒+

“超高效 HEPA 过滤+喷淋洗涤”工艺，排放浓度： $pb+\leq 0.1\text{ mg/m}^3$ ，排放速率 $\leq 0.004\text{ kg/h}$ 。工艺流程如图 5 所示。

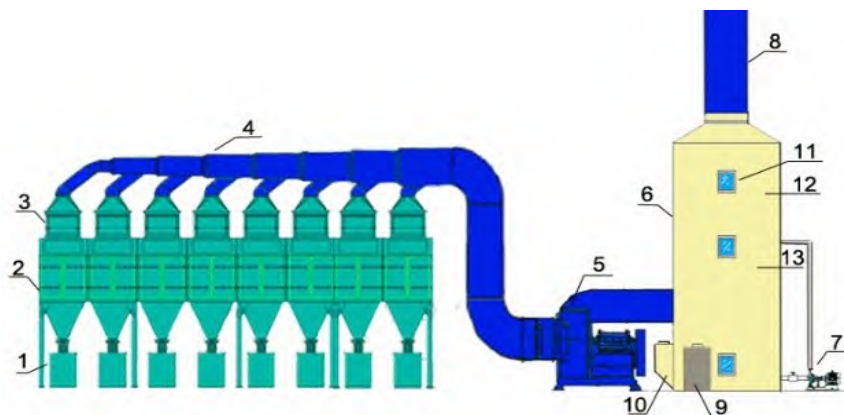


图 5 滤筒+超高效 HEPA 过滤+喷淋洗涤

(3) 酸雾：酸雾经收集后，采用二级碱液喷淋中和吸收处理，中和液采用氢氧化钠，硫酸吸收效率达到 98% 以上。其工艺流程如图 6 所示。

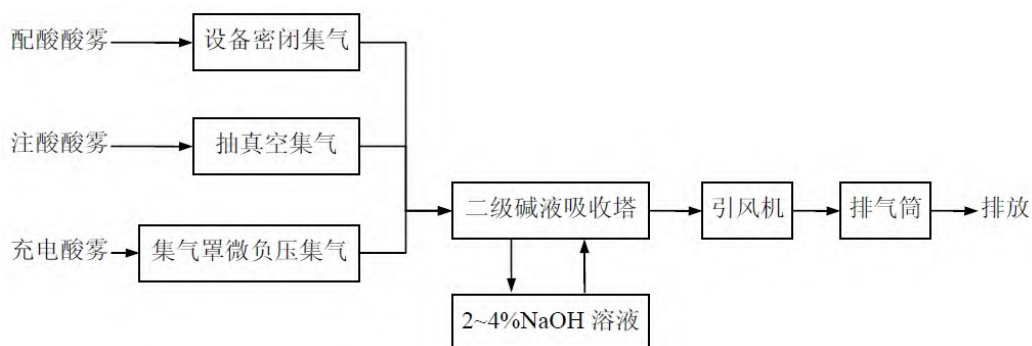


图 6 酸雾工艺流程

(4) 有机废气：采用固定床式活性炭吸附处理，活性炭具有高度发达的微孔结构和吸附广谱性，吸附效果良好，处理效率达到 85% 以上。工艺流程如图 7 所示。



图 7 有机废气处理流程

(5) 含硫废气：废铅蓄电池火法冶炼过程中产生的二氧化硫，采用干式、半干式、半湿和湿式等先进成熟的脱硫技术和设备，与铅烟处理设备同时运行，经处理后达标排放。

(6) 含铅废水：主要有化学沉淀法、生物法、吸附法、电化学法、膜分离法、离子膜反渗透等单一或组合工艺进行处理，目前主要采用化学沉淀法。为提高处理效率，2012年超威公司联合江苏三环公司开发出斜板沉淀及反渗透生产废水处理系统，采用 pH 调节、斜板沉淀、超滤、反渗透工艺，处理效率可达 99%，污水处理关键技术指标达到《清洁生产标准—铅蓄电池工业》(HJ 447-2008) 一级标准水平。其中废水治理设施出口总铅浓度 $\leq 0.2 \text{ mg/L}$ (国家标准为 $\leq 0.5 \text{ mg/L}$)，中水回用率达到 85% 以上，已在我国数十家单位应用。工艺流程如图 8 所示。

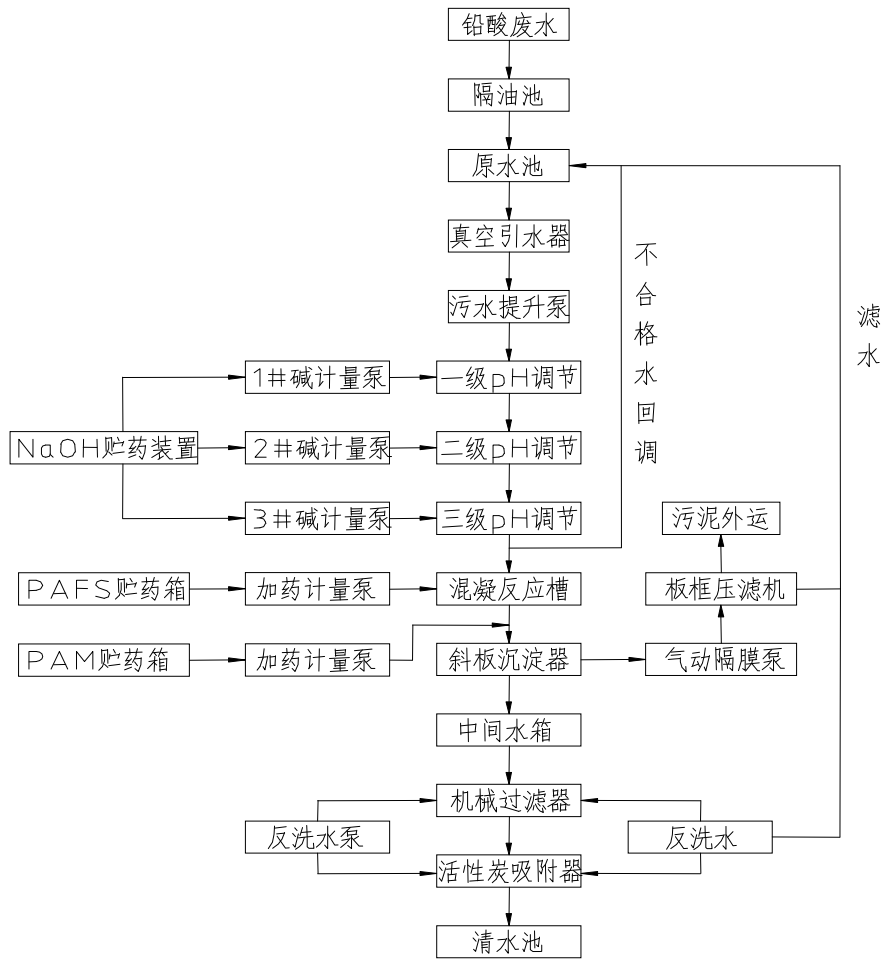


图 8 含铅废水处理工艺流程

(7) 废酸：目前我国废酸处理采用碱液脱硫处理后，再进入生产废水处理系统处理，也有收集后交由资质机构回收。

(8) 固体废物处置：对于含铅废物，电池生产企业采用集中收集、存放，并交付有资质的再生铅企业处理的方式；再生铅企业可直接返回再生系统。对于含铅量 $< 1\%$ 冶炼终渣可委托固体废物处理处置有限公司安全填埋，也可作为建材、水泥行业原料使用。

2.3 我国自有知识产权技术的竞争力评价

从我国现有专利技术情况的总体上看,与工业废水处理相关的专利数量大、覆盖面也较为广泛,制药、化工、冶金、印染等各行业的废水处理均有相关专利技术。国家知识产权局专利数据库内收录 1985 年 9 月 10 日以来公布的全部中国专利信息,其中“CO₂水、废水、污水或污泥的处理”类中,截至目前发明专利总计 17927 条,实用新型专利总计 14914 条。根据中国知识产权网 2007 年行业专利统计数据,从 2000 年 1 月至 2006 年 9 月,有关水处理的中国发明专利申请为 6107 件(其中专利合作协定 Patent Cooperation Treaty, PCT 申请 822 件)。分析 2000 年 1 月至 2006 年 9 月期间我国发明专利相关信息可总结出以下几点结论:

(1) 我国发明专利数量的年增长率约为 10%。

(2) 在中国发明专利申请(不含 PCT)中,中国申请占 89.9%;在 PCT 申请中,中国申请仅为 0.9%,美国、日本申请量分别为 29.6%和 24.1%,合计占半数以上。

(3) 外国申请我国国内专利占比较小,仅约 10%。国际 PCT 专利申请中,我国申请量占比不足 1%。可从一定程度说明我国在废水处理领域技术创新的国际影响力和竞争力方面仍很弱。

(4) 有关水资源循环再生专利申请,在国内申请中占 22.3%,在 PCT 申请中占 14.8%;有关水处理设备装置的专利申请在国内申请中占比 37.9%,在 PCT 申请中占比 44.7%;

其他方面的专利申请在国内申请和 PCT 申请中各自所占比重相差不大。这表明国内申请已经全面涵盖了水处理领域中的主要技术,并且更加重视对水资源的合理利用和循环再生,同时也暴露出水处理常用设备装置所占百分比偏低。

3 主要问题分析

(1) 对铅酸蓄电池生产过程中防治法规落实不到位。近年国家陆续出台了《水污染防治法》、《大气污染防治法》、《固体废物污染环境防治法》和《环境空气质量标准》、《大气污染物综合排放标准》、《铅蓄电池厂卫生防护距离标准》、《铅作业安全卫生规程》、《工业企业设计卫生标准》和《使用有毒物品作业场所劳动保护条例》等一系列的法律和法规,但是一些企业缺乏环境守法的意识,没有很好地贯彻、落实和实施国家相关的法律和法规。

(2) 企业环保资金投入不足。在一些企业中,特别是中小企业宁可缴纳排污费,也不愿投资治理,道理很简单,缴纳排污费有人认账,弄好了还可以返回一部分,但如果投资治理,初期投入不说,每年的治污设备运行费可能比上缴的排污费更多。特别是一些承包企业和租赁企业,很少考虑污染治理设备投资问题,而是以牺牲环境为代价来换取一己之利。

(3) 环保设施管理不善。有些企业虽然投入了一些环保设施,也经过技改达到了排污标准,但由于放松管理,一段时间以后环保设备利用率不高或维护不当,跑、冒、滴漏现象严重,尘毒的处理效果不佳。更有甚者是有些企业为了降低运行成本,环保设施没有运行,检查时开,不检查时停。

(4) 设备工装落后、密封性差,环保设施简陋,造成泄露污染。

(5) 对铅污染的信息公开程度不够。无论是企业的员工还是社会相关公众,很难准确

知道一些污染给自身和周边环境带来的不利影响,更不知该如何有效地进行预防。

(6) 生产区域与社会居息群体以及公共设施安全防护距离不够。没有很好地执行 GB11659-1989《铅蓄电池厂卫生防护距离标准》,由此而引发了社会居息群体与企业的铅污染纠纷。

(7) 铅酸蓄电池工厂整体专业设计的缺失。目前铅酸蓄电池工厂设计基本上缺乏统筹的思想,土建找建筑设计单位设计,而工艺设计都是企业自己完成或根本就不去设计只是看到别的单位如何自己照搬而已。

(8) 铅蓄电池生产及回收再生污染防治技术成熟度和推广应用水平不高。我国铅蓄电池生产及回收再生“三废”尤其是废气、废水先进高效治理技术尚处于试验阶段,仍有诸多问题需要改进;受建设及使用成本的限制,应用仅限于少数几家规模型企业,未实现大规模应用推广。

(9) 资源循环利用率不高。1) 废酸:我国对含酸废水的处理方法大多数采用为化学中和沉淀法,该方法优点是投资小,工艺简单;缺点是废水中的酸得不到回收利用,同时中和过程中要消耗大量的碱,造成资源浪费;2) 中水回用:目前我国生产废水处理采用超滤+反渗透技术回收率最高仅达到 85%,低于发达国家 95%水平;3) 铅再生率:规模企业最高仅达到 95%,中小型企业低于 90%,低于发达国家及我国《清洁生产标准—废旧铅蓄电池铅回收业》(HJ 510-2009)一级标准(98%)水平。

(10) 污染治理成本高。如铅烟处理采用“滤筒+超高效 HEPA 过滤+喷淋洗涤”工艺,由于滤材选用进口材料,更换成本过高;中水回用后,浓盐水采用多级蒸发,其处理成本超过 90 元/吨。过高的运行成本限制了先进治理技术及装备的推广应用。

4 建议

4.1 建立健全的法规体系

通过对美国、欧洲等国的废铅酸蓄电池污染控制情况进行研究发现,建立健全的法规体系是实现污染控制最重要的、也是首要的一步。美国控制电池回收的法律法规分三个层次:联邦法规、州法规和地方法规,除此之外,还在管理和控制铅排放方面出台了一系列的标准;欧盟相关的法规体系更是严格,仅是电池指令就进行了多次修改,并要求欧盟成员国进行国内法转换。除此之外,《关于化学品的注册、评估、许可办法》(REACH)、《报废电子电气设备指令》与《关于在电子电气设备中禁止使用某些有害物质指令》等也在废铅酸蓄电池污染物控制方面发挥了极大的作用。日本虽然没有专门针对废铅酸蓄电池污染控制的法规,但是环保方面出台了相应的法规,如《节能法》、《再生资源法》、《资源回收利用法》等,这些法规对废铅酸蓄电池的污染控制也起到了积极的作用。

4.2 建立有效地回收体系与制度

从目前国际总体发展情况来看,无论在发达国家还是发展中国家,废铅蓄电池的回收管理已逐步进入到有序管理阶段,民众环保意识逐步增强,政府逐步重视,结合各自国家的特点制定出较为完善的政策、法规或标准,行之有效。在具体的废蓄电池回收组织方面

也建立了比较完善的体系，在用户、回收商、再生铅厂、蓄电池厂之间逐步形成了良性的“闭路”循环。

通过分析国外发达国家的废旧铅酸蓄电池污染控制情况，可以总结出废旧铅酸蓄电池的两个主要回收途径：

(1) 第一条途径是由蓄电池制造商通过其零售网络组织回收，如美国。

(2) 第二条途径是由那些依照政府法规批准的专门收集废旧铅酸蓄电池和含铅废物的联盟和回收公司运作，这些废料商从各种可能的途径收集到废旧铅酸蓄电池、杂铅等含铅废弃物后，再转卖给有规模、有经营许可证的再生铅厂，如法国。

4.3 采取有效地回收制度

目前看来，押金制度是各国采取较多的回收制度，依据各国的实施情况来看，这也是一项行之有效地制度。如美国规定零售商在售出一个车型的可替代蓄电池时，顾客需付至少 10 美元的押金，在退回已使用的相同型号的蓄电池时才将押金退回。如果顾客在购买之日起 30 天内没有退还已使用的汽车蓄电池，那么押金将归零售商所有；在瑞典购买每一个汽车蓄电池，除按价付款外，还要交 40 瑞典克朗（约合 6 美元）的税金，然后把所有税金交给瑞典国家环保局。环保局再把部分税金给予一个由废料收集站、蓄电池制造厂和再生铅冶炼厂组成的联合公司 Returbat 公司，以资助蓄电池的收集和处理。

4.4 进一步提升污染治理效率

随着社会的发展和环保要求的严格要求，结合科技进步及先进装备的开发，废气、废水中的危险污染物去除率将进一步提升。如《电池工业污染物排放标准》要求废气中总铅浓度限值为 0.5 mg/m^3 ，水处理设施排放口总铅浓度限值为 0.5 mg/L 。

4.5 进一步减少污染物无组织排放水平

随着自动化、机械化装备水平的提高，将进一步提高生产设备、设施产污的密封收集水平，尽最大限度减少污染物无组织排放，提高职业卫生防护水平。

4.6 进一步提升资源回收利用率

充分利用铅蓄电池再生资源，形成铅蓄电池“闭环”循环利用体系。如生产过程中废酸及生产废水的回用，废旧铅蓄电池回收再生塑料、硫酸、再生铅等。

4.7 进一步提升节能、降耗水平

兼顾提升铅蓄电池产品质量、生产效率以及环保治理效率的同时，开发铅蓄电池生产及回收再生节能降耗清洁生产技术及工艺，降低生产及环保处理成本。

4.8 进一步支持与研发开发先进的节能环保装备、技术、工艺

通过进一步研究开发国内领先的原子经济法铅循环技术、自动化生产装备、节能充电工艺、水平电池技术等，进一步提升行业的污染防治水平。

工业副产石膏资源化利用技术发展报告

1 所属行业或领域总体概况

1.1 2014-2015 年国内外相关法规、政策、标准体系现状

环保部于 2015 年颁布了《新环保法》，新环保法于 2015 年元月一日实施。1989 年 12 月 26 日第七届全国人民代表大会常务委员会第十一次会议通过 2014 年 4 月 24 日第十二届全国人民代表大会常务委员会第八次会议修订。

国务院于 2015 年 4 月 16 日实施 颁布了《水污染防治行动计划》，水污染行动计划提出要制定造纸、焦化、氮肥、有色金属、印染、农副食品加工、原料药制造、制革、农药、电镀等行业专项治理方案，实施清洁化改造。新建、改建、扩建上述行业建设项目实行主要污染物排放等量或减量置换。

2011 年，发改委员印发了《“十二五”资源综合利用指导意见和大宗固体废物综合利用实施方案》，方案中要求到 2015 年，工业副产石膏综合利用率提高到 50%以上，其中脱硫石膏、磷石膏综合利用率分别达到 80% 和 30%，通过实施重点工程新增 2000 万吨的年利用能力。

工信部于 2011 年印发了《大宗工业固体废物综合利用“十二五”规划》的通知通知中要求拉动工业副产石膏综合利用产品的市场需求，鼓励工业副产石膏综合利用产业集聚发展，大力推进先进产能建设，重点建设消纳工业副产石膏能力强、潜力大、见效快的项目，促进建材生产企业与工业副产石膏产生企业合作，着力培育 2~3 家具有国际竞争力的大型企业集团。

1.2 2014-2015 年国内外对污染控制涉及的重点行业的污染控制管理现状

1.1.1 磷石膏的排放现状

“十一五”期间我国磷肥的产量连年攀高，制造磷肥的关键原料之一磷酸一般由硫酸和磷矿石反应获取，在这过程中产生了含有少量可溶性和不可溶性的磷、氟及其他元素的磷石膏，据测算，每生产 1 吨磷酸约产生 5 吨磷石膏。据国家统计局数据显示，2013 年全国磷肥产量约 1 655.6 万吨，磷石膏产生量约 7900 万吨，堆存量接近 3 亿吨。我国近几年磷石膏产生量见表 1。

表 1 2006~2013 年磷石膏产量表

年份	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
高浓度磷复肥产量 (P_2O_5 100%) / 万吨	820	992	948	1062	1602	1413	1956	1633
磷石膏产生量/万吨	4000	4800	4500	5200	6200	6800	7200	7800

1.1.2 脱硫石膏的排放情况

随着我国燃煤电厂装机容量的快速增长, 脱硫石膏产量由 2005 年的 500 万吨迅速增加至 2013 年的 7550 万吨, 脱硫石膏历年的排放情况及利用率如表 2 所示。

表 2 2005~2012 年脱硫石膏产量表

年份	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
脱硫石膏产生量 (万吨)	500	950	1700	3500	4300	5230	6770	6800	7550
脱硫石膏综合利用量 (万吨)	50	190	561	1580	2400	3600	4800	4900	5436
综合利用率 (%)	10	20	33	45	56	69	71	72	72

1.1.3 其他工业副产石膏的排放情况

钛石膏是采用硫酸法生产钛白粉时, 为治理酸性废水, 加入石灰、电石渣等碱性物质中和废水中的硫酸而生成的以二水硫酸钙为主要成分的工业废渣。近年来, 随着我国钛白粉行业的快速发展, 我国的钛白粉产量近几年也在逐年增加。2011 年, 我国钛白粉总产量超过 180 万吨, 至 2013 年我国钛白粉产量已突破 200 万吨, 平均每产一吨钛白粉要产出 6 吨钛石膏, 据此估算, 2013 年我国钛白粉行业产生的钛石膏超过 1200 万吨。

柠檬酸石膏是生产柠檬酸过程中, 利用硫酸酸解柠檬酸钙时产生的一种工业废渣, 主要成分为二水硫酸钙, 每生产 1 吨柠檬酸可产生 2.5 吨含水分柠檬酸石膏渣 (折合干料 1.5 吨)。据了解, 目前, 我国柠檬酸年产能占世界的 70% 左右, 年产量占世界的 65% 左右, 是全球最大的柠檬酸生产国。2011 年, 我国柠檬酸产量达百万吨, 柠檬酸石膏的产生量超过 150 万吨。由于柠檬酸石膏中的腐植酸、柠檬酸等有机杂质含量高且 pH 值一般小于 3, 酸性强, 这些不利因素对建筑石膏粉的性能有很大的影响, 因此, 柠檬酸石膏的利用率一直较低, 目前柠檬酸石膏大部分处于堆放状态。此外, 残余酸随着气温的上升, 堆场会散发出酸腐气息, 或产生扬尘, 影响大气环境; 堆场渗沥出的废水, 对地下水造成污染。

氟石膏用硫酸酸解萤石制取氟化氢所得的以无水硫酸钙为主的废渣 (几乎所有的工业副产石膏都是二水石膏, 只有新鲜的氟石膏是无水石膏), 每生产 1 吨氟化氢约产氟石膏

3.6 吨左右,我国年产生量达 50 多万吨。新排出的氟石膏常伴有未反应的萤石和硫酸,其中氟及硫酸的含量较高,都超过危险废物鉴别标准所规定的限值,属腐蚀性强的有害固体废物,对植物、动物和人都具有极大的副作用。

我国其他的工业副产石膏如盐石膏、芒硝石膏、铬石膏、等工业副产石膏的年产生量约 2000 万吨,资源综合利用比例都很低。

2 主要技术发展情况

2.1 主要技术发展情况

2014-2015 年国内外主流技术研发、推广和应用情况、技术的进步和发展,主要包括:技术关键、开发重点、主要进展、国内外应用情况、产业化情况、发展趋势、国内主要研发机构工作进展情况等(对热点单项技术、新技术补充介绍技术原理)。

2.1.1 我国石膏产业的发展情况

近年来,在石膏行业虽然出现了以北新建材为代表的从事纸面石膏板生产加工的大型企业,但在个别企业的一枝独秀局面之下呈现的是整个行业的生产管理、技术研发、关键装备的落后。目前我国石膏行业的发展主要呈现以下特点:

(1) 无序竞争

由于市场监管不严和我国石膏制品的行业和国家标准建设的滞后导致产品质量差、规模小、设备简陋的作坊式小企业得以生存。有些技术力量薄弱的作坊式小微企业唯利是图,为了达到追求石膏产品强度高、不起灰的要求,在石膏粉中掺入了大量有机粘结剂,这些粘结剂在后期使用过程中不仅会逐步向空气中释放污染性气体,也会随着时间的推移而呈现石膏产品强度低、耐久性差、不环保等问题。

这些为数众多的作坊式的小企业导致市场的无序竞争,低档次的以石膏为原料的新型建材产品出现饱和甚至过剩,劣币驱良币的现象在石膏行业也不鲜见。与此同时,我国中高档新型建材产品及石膏制品仍存在相当缺口,即出现了总量供给过剩与优质高端石膏制品短缺并存的格局。

(2) 石膏生产工艺、装备总体落后

我国从事建筑石膏粉生产的企业的大多规模较小,产能大多介于 1 万吨至 10 万吨之间,自动化程度也很低,而石膏粉的质量直接决定了众多石膏产品的质量。近年来虽有位于山东平邑和湖北黄石的石膏煅烧装备企业陆续在不同地区建成了年产 5 万吨至 10 万吨的建筑石膏生产线,但究其装备水平而言与整个水泥行业的装备水平仍有很大的差距。我国从事石膏生产装备制造的一些厂家大多研发力量不足,最终导致关键设备的设计、制造仍停留在定性的层面,对所制造的关键装备在实际运行过程中的传热、传质、化学反应等热力学和反应动力学没有进行深入研究,以 Fluent、CFX 为代表的计算流体力学软件也很少被运用于设备工艺的研发工作中去。

(3) 我国石膏产品的生产消费情况

2014 年我国总共约利用了 1 亿吨天然石膏和工业副产石膏,这其中作为水泥缓凝剂用

而消耗的石膏量约为 8500 万吨，全国年产建筑石膏粉约为 1500 万吨，同期全球的建筑石膏粉产量超过 1 亿吨，我国的建筑石膏粉的产量约占全球的 15%。我国水泥产量占世界水泥产量的 60%，钢材产量占世界的 50%，而石膏产量仅占世界石膏产量的 15%左右，与水泥、钢材等大宗基础商品相比，我国石膏行业仍有很大的市场空间。

2.1.2 发达国家石膏产业的发展情况

日本是生产脱硫石膏最早的国家，目前日本的脱硫石膏几乎 100%得到应用。其脱硫石膏再利用的类型主要有：墙板、建筑熟石膏、工业灰泥、粘接剂、石膏天花板等产品，其中超过 90%的脱硫石膏主要用于水泥添加剂和墙板原料。另外，日本将脱硫石膏与粉煤灰及少量石灰混合，形成烟灰材料，利用这种材料在凝结反应过程中产生的强度，作为路基、路面下基层或平整土地所需砂土。日本公共设施建筑法律规定，公共场所必须用低碳环保的石膏材料。在这一点上日本都早于其他国家，日本在工业副产石膏资源化利用方面的部分技术措施尤其是用副产石膏和粉煤灰、石灰生产烟灰材料的技术值得我们重视和借鉴。

在西方发达国家，特别是欧洲，石膏砌块是仅次于纸面石膏板而位居第二的石膏内隔墙材料。尽管这些国家纸面石膏板的生产量不少，但石膏砌块一直在市场上占有自己的份额，长期不衰。在美国，石膏制品也得到了大量的应用，据毕业于美国阿克伦大学的 Ratan K. Mishra 博士在他的博士论文中提供的数字，在美国一个新家平均消耗 7.31 吨的石膏制品。

2.2 我国自有知识产权技术的竞争力评价

目前我国科研院所和企业石膏资源化利用关键技术和装备等领域都申请了为数众多的专利，但转化为实际生产力的先进技术和装备却不多见。如用于水热法工艺生产 α 高强石膏的离心机、生产建筑石膏粉用的煅烧设备等都有待进一步的研究工作。

3 主要问题分析

3.1 高校和科研院所对石膏的科技研发情况

我国科研机构 and 主要的科研力量大多分布于国内的众多高等院校和科研院所，近年来从国家到地方各级科技主管部门都投入大量资金资助对大宗工业固体废弃物的资源再生利用研究，在工业副产石膏领域也有较多的资金投入，每年在石膏领域以论文形式呈现的研究成果众多，但真正能从实验室走向市场并转化为生产力的科技成果屈指可数。

长期以来我国在自然科学和工程领域的研究，普遍存在着闭门造车，各自为政的问题，只为报项目、争取课题、获取资金而下功夫，当项目、课题、资金取得后做一些常规性的试验工作，再将这些工作撰写成报告后即束之高阁，不闻不问。无意间形成了学术研究与工程技术之间的隐形壁垒，既不利于真正成果的取得，又大量的浪费学术资源。

3.2 企业对石膏的研发情况

我国从事石膏制品及装备生产的企业大多规模不大，经济实力和技术积淀都很有限，企业自身的研发能力亟待提高，再加上我国的知识产权保护力度不够，企业常常奉行拿来主义，长此以往，最终造成了与广大百姓日常生活息息相关的产品质量不好的恶劣影响。

试问一个造得了飞船和高铁的国家为什么造不出质优价廉的诸如马桶盖这样的产品？要知道马桶盖在制造过程中的一个关键环节就是将陶瓷浆料或陶泥用石膏模具进行成型。因此，以上所述现象值得科学家和企业家长们深思。

4 建议

4.1 建议国家调结构，引领和规范石膏产业发展

(1) 调整传统建材产业结构，减少高能耗、高污染的水泥生产，在建筑装饰、砂浆、砖块等领域逐步增加石膏的用量。石膏用途广泛性远超过水泥，作为建材还有保温、杀菌、调湿等水泥所不具有的性能，加上工业副产石膏储量巨大，分布广泛，完全可以用工业副产石膏产品部分替代水泥作为一种不可或缺的建材，因此有必要通过宏观调控的办法，扩大石膏在建材生产中的比重。

(2) 完善信息管理机制，加大公众参与力度，统计更加具体细致的数据，并建立数据库，向公众和企业公开相关信息，让公众参与监督管理。与此同时，让部分已经具有成熟的技术和工艺的生产企业发挥领头羊作用，推动工业副产石膏产业健康有序发展。

(3) 加大对天然石膏滥挖滥采监管力度，提高相关企业违法成本。介于目前天然优质石膏矿产面临枯竭，必须采取措施关停滥采滥挖的小石膏矿，同时通过政策引领逐步把这些企业引向工业副产石膏循环利用的轨道上来。对私采滥挖现象要通过经济、法律等强硬手段，使其无法承担非法成本。

(4) 加快工业副产石膏产品国家标准的制定，通过统一标准加快规范石膏产品市场，杜绝劣币驱逐良币的现象发生，对一些产品质量不过关，达不到国家标准的企业坚决关停，市场上一旦发现相关产品以假冒伪劣产品处理。

(5) 引导工业副产石膏企业向规模化、集约化发展，形成多途径、大用量、高附加值、经济环保的工业副产石膏产业格局。同时加快探索材料研发与工艺实践相结合所形成的可持续创新机制。

4.2 建议相关部委出台政策，扶持石膏产业发展

加大政策支持力度，解决工业副产石膏资源化利用中投资、技术、市场等实际问题，切实落实资源化利用相关优惠政策，加快资源化利用的产业化进程。加大对研发、生产、销售等环节的扶持力度，鼓励相关企业在工业副产石膏综合利用工艺、技术、设备等方面不断创新，加快探索工业副产石膏循环利用新途径。

(1) 加大财政补贴力度，减免产品增值税和企业所得税，鼓励科研院所、生产企业为不同副产石膏产出单位量身定制特色各异解决方案，确保磷肥、燃煤电厂以及冶金、化工、

造纸工业、酸洗等行业所产生的各类工业副产石膏得到循环利用。

(2) 加大对现有工业副产石膏工程研究中心、技术研究中心、产品检测中心、国家重点实验室等单位资金投入，不低于相关企业销售收入的 5%，确保相关平台正常运转。

(3) 工业副产石膏资源再生利用国家工程技术研究中心积极参与相关领域技术政策、技术标准和规范的研究制定，承担相关的工程技术评估和工程化验证，向社会提供信息和咨询服务。

(4) 以工程技术中心为技术交流平台，广泛开展国内外合作与交流，开发适合我国国情的工业副产石膏资源化利用技术。持续不断地为我国工业副产石膏资源化利用行业提供成熟的先进技术、工艺及技术产品和装备，提高行业的核心竞争力，使工业副产石膏资源化利用技术处于国际先进水平。加快现有成熟技术的推广利用，定期召开示范线建设现场会、观摩会等方式，推广新技术、新工艺、新设备。

(5) 改善工业副产石膏相关企业融资环境，采用政府担保等方式，帮助相关企业吸纳资金，解决企业融资难的问题。加大政府投入力度，发改委划拨专项资金，扶持从事工业副产石膏研发、生产、销售的企业快速发展。

环境监测及物联网技术
发展报告

污染物自动监测技术发展报告

1 污染物自动监测总体概况

环境监测作为环境保护工作的重要内容之一，与我国环境保护工作同期起步，随着环境保护的发展而不断发展。在国家和地方对环境监测工作大力支持下，全国环境监测系统在能力建设上有了长足的进步，先进技术的广泛应用为监测工作提供了强大的支撑。水、气、土壤环境监测深入推进以及生态环境监测网改革取得较大突破，较好地完成了专项和例行监测任务，推动环境监测整体能力水平明显提升，为生态文明建设和环境保护提供了有力保障。

目前，全国环保系统已形成国家、省（自治区、直辖市）、地（市）、县（区）4级隶属于政府环保主管部门的环境监测站 2223 个，从业人员近 36 万，约占环保系统职工总人数的 42.5%，其中高级技术人员 2350 人，中级技术人员 8400 人。此外，全国其他行业和部门建立的环境监测机构约 2634 个，从业人员 21 万。

在我国现有的环境监测站中，具备各环境要素监测能力的环境监测站有：从事空气质量监测 980 个站，环境噪声监测 1131 个站，海洋监测 63 个站，地下水监测 111 个站，生态监测 16 个站，酸雨监测 185 个站，放射性 32 个站。

全国有近 70 个城市建立了空气自动监测系统；国家和地方在十大流域建设了 50 个水质自动监测站；在淮河流域和部分省市开展的污染源废水和废气在线自动监测试点工作取得了重要成果；开展了全国环保系统环境监测信息卫星通讯系统的建设。

全国已经形成了国家、省、市、县 4 级环境监测网络。共有专业、行业监测站 4800 多个，其中环保系统监测站 2200 多个，行业监测站 2600 多个。

1.1 2014-2015 年国内外相关法规、政策、标准体系现状

我国环境监测自 70 年代起步开始，已经取得了长足的进步，为现代环境监测奠定了重要基础，使环境监测经历了“认识不断深化、队伍不断壮大、能力不断增强、技术水平不断提高、工作不断深入”的发展历程。

2015 年 7 月中央深化改革领导小组审议通过《生态环境监测网络建设方案》，明确提出“全面设点、全国联网、自动预警、依法追责”，形成政府主导、部门协同、社会参与、公众监督的新格局，为环境监测工作指明发展方向，为环境保护提供科学依据。按照方案提出的总体要求，到 2020 年，我国将基本建成陆海统筹、天地一体、上下协同、信息共享的生态环境监测网络。下半年，环境保护部将全力推动《生态环境监测网络建设方案》的落实，具体包括任务分工、编制实施计划、编制出台《国家环境质量监测事权上收方案》

并实施等。上述措施无疑为国内相关环境监测行业带来政策面的有力扶持。

2015年8月4日,环保部发布了《提升能力 支撑决策——2015年上半年环境监测工作综述》,对上半年国内环境监测领域发展状况进行了总结。这次环保部首次就环境监测情况进行半年度或年度的工作综述。2015年环保行业政策弹药足,业绩暴发性亦强于以往,相关环境监测产业有望分享政策红利。

1.1.1 以政策法规推动环境监测市场化

2015年2月5日,环保部印发《关于推进环境监测服务社会化的指导意见》。意见提出,全面放开服务性监测市场,有序放开公益性、监督性监测领域。这是环保部对国务院办公厅发布的《关于政府向社会力量购买服务的指导意见》在环境监测领域的细化。从此之后,各级政府纷纷开始尝试,我国环境监测领域第三方运营事业发展步伐明显加快。

2015年4月2日,国务院印发《水污染防治行动计划》(简称“水十条”)。“大气十条”对行业的影响使大家对“水十条”充满了期待,大部分环保企业认为这是一个很大的机遇。从报道的多起收购并购可以看出,各仪器生产厂商对此市场充满信心。但是由于我国水质监测事业发展较早,故与大气监测不同的是,水质监测市场主要集中在设备更新、设备升级以及细分市场上。

2015年5月19日,工信部发布《钢铁行业规范条件(2015年修订)》。此文件要求钢铁企业配套建设污染物治理设施,实施在线自动监控系统等,并与地方环保部门联网。企业要接受环保监测,定期形成监测报告。

除此之外,还有三项相关政策发布征求意见稿,分别为《环境监测数据弄虚作假行为处理办法》、《环境保护公众参与办法(试行)》、《中华人民共和国环境保护税法》。这些政策都将促进环境监测市场规范化。

1.1.2 关注行业污染和土壤检测的方法标准陆续出台

检测标准是环境监测工作开展的重要依据。2015年,环保部共颁布20项排放和监测标准,与2014年同期相比,在数量上基本持平。

排放标准主要是针对某些行业污染物的排放限值做出了规定,分别是合成树脂、石油化工、石油炼制、火葬场、无机化学以及再生铜、铝、铅、锌等行业。

监测标准共有13项,其中3项涉及水质,2项涉及环境空气,8项涉及土壤。频繁的土壤监测标准的颁布,可能是在为正在修订中的土壤新标的实施做准备。对于监测项目,其中9项涉及有机物的监测,3项涉及重金属的监测。有机物的检测主要采用气质联用和气相色谱法,重金属的检测主要采用原子吸收法。

1.2 2014-2015年国内外环境监测管理现状

我国建立环境监测标准体系的起步较晚,环境检测方法与规范的制定目前较为完善,然而对于细节方面的要求还有待改进,例如缺乏基本监测程序与基础设备使用方面的规定等。环境监测规范化的程度不够,则会使各地区环境监测落实的程度无据可依,各个环境监测部门采样分析设备购买的渠道与种类繁多,缺乏统一性,不仅使环境监测的数据结果得不到有效地保证,而且也加大了我国对环境监测管理的难度。此外,我国在环境监测站

标准化建设标准中还尚未对各级环境监测站的的监测能力提出规范化的要求,阻碍了环境监测技术的进步。

我国环境监测管理办法明确提出,环境监测机构的条件与能力应该和环境监测的业务相符,且从事环境监测工作的专业技术人员要在接受相应的技术培训并获得我国环境保护局的环境监测岗位的认可之后,才能上岗工作。然而,目前我国环境监测人员薄弱,缺少拔尖人才,科研能力不强,队伍素质与紧迫的形势、繁重的任务不相适应。受事业单位人员编制的限制,环境监测人才的引进、管理、培养等都缺少行之有效地激励和竞争机制。近年来,虽然有一些大学院校环保专业毕业生面临就业,但大多数二、三级站由于编制已满或超员,不能够招聘到进应届大学毕业生,导致监测人员青黄不接,人员年龄结构极不合理。另外,监测站复合型中、高级人才匮乏,监测人员往往在标准制定、专项课题研究及先进仪器设备操作等方面显得力不从心。

环境监测质量有待提高。各级环境监测站普遍存在重实验室内部质量控制,轻环境监测的全程序质量管理,监测质量的监督管理力度不够,自我约束能力和外部监督机制尚待完善。质量体系不能得到有效运行。

2 主要技术发展情况

2.1 主要技术发展情况

2.1.1 水环境自动监测技术发展情况

2.1.1.1 国外发展情况概述

美国的水质在线监测从上世纪 50~60 年代开始,水质质量监视网由联邦政府的地质调查局建立,约有 2000 个点实现了实时在线监测。英国在 1975 年建成泰晤士河自动水环境监测系统,由数据处理中心和 250 个子站组成。国外的水站形式多样,有固定站,测量船,固定或游走的浮标等。监测技术以电磁光谱和声学多普勒技术为主,化学分析为辅,传感器新技术也得到应用。监测指标有溶解氧、水温、氨氮、硝酸盐氮、pH、电导率、悬浮固体、浊度、电导率、流量、叶绿素、磷酸盐等参数。监测数据主要在饮用水源、水处理、项目管理、娱乐、公众安全以及一般生态系统的健康等议题上提供决策支持。还利用水质模型,结合在线监测和实验室监测数据对部分指标进行模拟预报,并实时发布模拟结果及其可能性和不确定度。

2.1.1.2 废水自动监测技术及仪器

在国家各类科技计划和市场需求的共同推动下,近年来我国环境监测传感器技术研发水平得到了一定的发展,与国外先进水平的差距不断缩小。自主科技成果的涌现及产业化,初步打破了多年来我国高档环境监测仪器必须依赖进口的局面,加快了我国环境自动监测技术进步的步伐。随着国家对重金属监测力度的加大和国家“十二五”提出过程监控的需求,及近年来物联网技术的发展,带动了样品前处理技术、重金属在线监测技术、智能化在线监测技术和过程监管技术的发展,业已成为当前废水监测的研发热点。

(1) 样品自动前处理技术

鉴于污染源水体复杂,自动分析前必须开展样品前处理,以确保测量结果的准确性。目前,用于水质污染物在线监测的样品自动前处理方法主要包括高压消解法和微波消解法。这两种方法具有消解速度快、消解完全、设计和操作简单等特点,是目前最常用的自动消解方法。

(2) 重金属在线监测

2002年,我国颁布的《地表水和污水检测技术规范》中将重金属(包括As、Hg、Cr(VI)、Pb和Cd)列为国家总量控制指标,并明确提出,总量控制的指标要逐步实现等比例采样和在线监测。为了实现重金属污染事故从“被动响应”向“主动预防”的转变,重金属在线监测技术和装备的研究开发是非常必要的。当前采用的水质重金属监测技术主要包括光度法分析技术、电化学法分析技术、原子光谱分析技术、电感耦合等离子体质谱分析技术等。不过,受污染源现场工况复杂性和监测成本等原因限制,一般污染源在线监测重金属常采用的方法是光度法和电化学法。

(3) 智能化在线监测

在石油化工、钢铁冶金、水泥建材、能源电力、冶金电镀、食品酿造等众多行业的生产过程中都会产生和排放大量废水。在线监测传感器及系统是优化生产工艺、监控污染排放的“眼睛”。在线监测为生产工艺优化、能源回收、安全保障和环境保护提供了技术支撑。而这些现场往往工况比较复杂,现有的在线监测仪器对复杂工况的适应性较差,导致故障率较高,而且由于缺乏自维护、自诊断、自分析等智能化功能,导致仪器的维护量很大。结合现代传感器技术、自动测量技术、自动控制技术、计算机应用技术以及相关的专用分析软件和通讯网络技术,目前已有成品化的智能化水质在线监测设备,智能化指标包括智能化运行指标、智能化监测指标和智能化控制指标,具备零点/量程自动校正、浊/色度自动补偿、故障自动诊断、试剂余量自动统计、运行步骤实时显示、仪表状态数字信息输出、远程反控、标样核查、加标回收等智能化功能,一定程度上降低了日常维护的技术难度和工作量,提高仪器在线运行率和数据有效性。

(4) 过程运行监控

近几年,国内逐渐发展出可实现过程运行监控的自动监测设备。该类设备可以通过状态参数的采集和智能诊断,实时获取设备的运行状态,保证监测数据的有效性,为减排统计和排污费征收提供完整、有效地监测数据。与传统自动监测设备相比较,该类设备的先进性表现如下:①能够自动获取监控设备和治理设施的运行参数。②通过标准库的建立,判断智能诊断设备的运行状态(常态、非常态、故障态),提前对现场设备的非常态和故障态进行响应,确保设备连续、正常运行。③实现环保治理设施(污水处理、脱硫、脱硝)工艺过程参数的自动采集,为监测数据准确性的参考依据。同时,实现环保治理设施工作状态的自动监控。

2.1.1.3 地表水自动监测技术及仪器

水环境在线监测设备自二十世纪初以来,在国内得到了迅速发展,通过污染信息的实时获取,提高了环保部门对地表水环境的的监督和管理能力。目前,除了COD、BOD、TOC、氨氮、总磷、总氮以及五参数等常规在线自动监测仪器外,越来越多的新型仪器不断涌现,包括用于重金属、有机物、藻类和综合毒性等的在线监测新设备。

目前,用于水环境自动监测的热点技术如下:

(1) 样品自动前处理技术

用于地表水的样品自动前处理装置主要是基于湿消解法和微波消解法设计开发的,并且已经在重金属、有机物、COD、氨氮等污染因子自动监测方面获得了广泛应用。然而随着各类自动化监测设备的快速发展,传统的样品自动前处理技术已经无法满足高端监测设备的自动化样品前处理需求。膜分离法、气体萃取法、树脂吸附法、溶剂萃取法、顶空(HS)法、固相微萃取法(SPME)和吹扫捕集法(P&T)等多种新型前处理技术已成为VOC样品前处理中的研发热点。沉淀-共沉淀、螯合沉淀和电化学捕集等重金属富集技术逐渐成为重金属样品前处理技术中的研发热点。

(2) 水质重金属监测

当前,采用的水质重金属自动监测技术主要包括光度分析技术、电化学分析技术、原子光谱分析技术、电感耦合等离子体质谱分析技术等。

光度分析技术成熟、检测稳定性好、抗干扰能力强,研制产品适用于地表水的在线监测,但是易受色度、浊度影响,检出限通常在10ppb以上,无法满足饮用水和I类地表水中铅、镉、汞等低排放限值(1-10ppb)监测要求。电化学分析技术可实现重金属离子定性和定量分析,相关设备的实际应用效果较佳。国内应用的基于电化学分析的重金属自动监测仪器既有便携式的也有在线式的,可以满足铅、镉、汞、砷、铜、锌等金属离子浓度及总量测定。X射线荧光光谱法具有分析速度快、与样品化学结合状态无关、结果重现性好、可分析同族元素、分析精密度高等优点,将会越来越广泛的用于水环境质量检测的各个领域。

(3) 水质有机污染物监测

当前,水中有机污染物主要包括有毒有机污染物、持久性有机污染物以及挥发性有机污染物,三者互相包含,并不冲突。用于这些有机污染物自动监测的技术主要包括紫外光度分析技术、荧光分析技术和色谱-质谱联用技术等。

① 紫外光度分析技术具有外界干扰较小、性能较稳定等优点。然而,当无机悬浮物含量越高时,测量误差可能越大;对高浓度水样测量精度较高,对低浓度水样测量精度差;无法区分水中存在的有机物的种类。紫外光度分析仪发展比较成熟,价格低廉,操作简单,非常适于应急、预警监测,比较适合我国水质情况的实际应用。

② 荧光分析技术具有灵敏度高、测量准确性高、能够指示水中有机物种类等优势。但是,当水质有机物浓度过高时,荧光会发生淬灭、自吸收等不稳定现象,导致荧光强度与水中有机物浓度的不一致;光谱仪测得的荧光信号中往往含有拉曼散射和瑞利散射等干扰信息,却没有合适的噪声去除方法。荧光光谱的自动监测仪器发展较为成熟,主要用于应急检测。

③ 色谱-质谱联用技术采用气相色谱作为质谱分析的前级样品处理单元,从而为后者提供纯度较高的样品,提高了系统定性和定量的水平。质谱法根据测定粒子不同质量和强度分布提供化合物分子量、元素组成以及分子结构等信息。随着色谱-质谱联用仪的小型化、集成化发展,便携式气质联用仪逐渐成为国内外环境突发性污染事故中最权威的分析鉴定手段。

(4) 水质藻类检测

藻类自动监测可以定量监测蓝藻和绿藻等的动态变化,以及藻类的叶绿素荧光参数,

从而全面分析藻类生理状况、胁迫状况、生长状况及浓度状况。基于藻类、总氮、总磷的检测信息,结合磷酸盐、氨氮、亚硝态氮、硝态氮的动态变化,可以全面监测和解析富营养化的时空动态变化及来源,及时作出预测预报及相应防治对策。因此藻类及其直接指示因子(叶绿素等)的自动监测技术在国际上得到越来越广泛的重视和应用,已经成为评估水体富营养化的重要技术手段和研究领域。目前,水中藻类自动监测技术主要包括荧光分析技术和遥感监测技术等。

(5) 水质综合毒性监测

生物毒性检测技术是一种快速检测分析方法,它能够反映各种有毒污染物对环境影响的综合毒性,是一项综合性指标。生物毒性检测技术是利用生物的组分、个体、种群或群落对环境污染或环境变化所产生的反应,来评价环境质量的。就水质综合毒性分析而言,主要有四种常见方式,即急性毒性检测、亚急性毒性检测、慢性毒性检测和蓄积性毒性检测。其中急性毒性试验由于具有检测时间短、操作简便等特点,成为水质生物毒理学监测的主要手段,它根据受试生物的不同又可分为发光细菌法、硝化细菌法、活性污泥法、生物燃料电池法等微生物法和藻、蚤、鱼等动植物监测法。

2.1.1.4 地下水自动监测技术及仪器

随着《全国地下水污染防治规划 2011-2020》、《华北平原地下水污染防治工作方案》等政策和规划的出台,带动了地下水水位、一体式探头式多参数在线检测技术、有机污染物和重金属等检测技术和仪器的研制。

(1) 探头式水位在线监测

目前适宜用于地下水水位自动测量的主要仪器是浮子式水位计和压力式水位计两种类型。

① 浮子式地下水位计。该类水位计适用于埋深小于 20 米的测井,只要测井口径满足安装要求即可使用。该仪器使用时容易发生悬挂浮子和平衡锤的二根悬索缠绕和浮子、悬索、平衡锤碰擦井壁的问题,增加测量误差,或使仪器不能工作,需要人工定期进行水位校正。

② 压力式地下水位计。该类水位计可以通过压力传感器及其有关的引压、信号传输、数据处理等装置来测定水位。压力传感器分为固态压阻式压力传感器和陶瓷电容压力传感器两类。

(2) 地下水水质监测技术

根据监测项目的需求和目前水质自动监测技术的发展,地下水水质自动监测仪器从安装和使用方式上分为两类:A、自动测量仪器的传感器在监测点地下水体中直接测量所需要的水质参数,并将测得的数据记录下来,也可传输到数据收集中心,常使用电极法水质直接测量仪器;B、在监测点地面上安装包括水质自动分析仪等设施的水质自动分析系统,从监测井中自动抽取水样,进行自动分析,测得所需要的水质参数,并将测得的数据记录下来,再传输到数据传输中心。

2.1.2 气环境自动监测技术发展情况

2.1.2.1 废气自动监测技术及仪器

在综合排放标准规定的 33 项污染源大气污染物中,能用自动监测技术及仪器进行监

测的有 SO_2 、 NO_x 、颗粒物、重金属和挥发性有机物等项目。根据国家环境监测总站 2014 年最新公布的烟尘烟气连续自动监测系统 (CEMS) 认证检测合格厂家名录 (截至 2014 年 4 月 9 日), 总共 65 个批次的烟尘烟气连续自动监测系统 (CEMS) 获得认证, 其中 80% 以上为国产仪器, 基本满足我国污染源烟尘烟气连续自动监测的需求。经过“十一五”和“十二五”两个发展阶段, 目前 SO_2 、 NO_x 、颗粒物、重金属和挥发性有机物等自动监测仪器的种类较多, 各个项目采用的测量技术如下:

SO_2 连续自动监测仪采用的测量技术有以下几种: 溶解电导率法、非分散红外吸收法 (NDIR)、紫外吸收法、紫外脉冲荧光法、火焰光度检测法、定电位电解法。目前普遍应用的有非分散红外吸收法、紫外脉冲荧光法和差分紫外吸收法。对含有二氧化硫气体介质的处理方法有三种: 热管抽气采样法、稀释采样法、原位在线直接测量法。

NO_x 连续自动监测采用的测量技术主要有: 非分散红外吸收、非分散紫外技术 (NDUV)、紫外差分吸收技术 (DOAS)、紫外荧光、化学发光、气体过滤相关技术 (GFC) 等, 采样方法主要有: 完全抽取式、稀释抽取式和原位直接测量等。

颗粒物连续自动监测采用的测量技术有: 直接抽取 β 射线法、直接测量的浊度法、散射法和光闪烁技术。目前, 在我国应用的主要是浊度法和散射法, 其中浊度法更适合对高浓度的颗粒物进行测量。近年来, 随着颗粒物监测浓度的下降, 散射法的应用越来越多, 已然成为颗粒物监测的主流技术。

重金属 (汞、铅等) 自动监测采用的技术有: 电感耦合等离子体质谱 (ICP-AES)、激光诱导击穿光谱 (LIBS)、X 射线荧光光谱 (XRF) 等, 目前国内已有科研机构和企业从事相关技术研究和仪器研制, 并且已经有基于 XRF 的商品化仪器推出, 并取得示范应用。X 射线荧光分析是一种无损的检测技术, 能精准实现几十种元素的定性定量分析, 还具有无需样品预处理、分析速度快、多元素同时检测、分析结果准确等特点。基于 XRF 技术的烟气重金属连续自动监测系统是在滤膜上富集一段时间的样品, 再采用 XRF 分析仪进行样品重金属的检测, 经过计算机的计算后得出样品重金属的含量。该技术可以实现样品连续采集、无需专业操作人员、无需化学消解, 真正做到无损检测、并能同时监测多种重金属元素含量, 是一种较为理想的在线重金属监测手段。

挥发性有机物 (VOCs) 的自动监测可以采用传感器、质谱、光谱、在线色谱等多种技术, 能够用于 VOCs 总量和多组分 VOCs 的分析。VOCs 排放总量连续监测的常见方法主要包括氢火焰离子化检测、光离子化检测、非色散红外分析、在线气相色谱四种类型。多组分 VOCs 监测目前仍以离线的实验室气相色谱法为主流, 但是近年来随着在线监测技术的迅速发展, 基于色谱、质谱、离子迁移谱、光谱技术的 VOCs 在线监测仪器也已研制成功并开始进入实际应用阶段。

2.1.2.2 空气质量自动监测技术及仪器

环境空气自动监测是以自动监测仪器为核心的自动“测-控”系统, 用于采集和分析环境空气质量的状况和变化, 对空气质量日报和预报的发布发挥了重要作用, 并提高了我国的空气质量监测水平。环境空气质量自动监测系统是由中心控制室、质量保证实验室和系统支持实验室、监测子站等部分组成 (见图 1)。中心计算机室的主要任务包括: 通过有线或无线通讯设备收集各子站的监测数据和设备工作状态信息, 并对所收取的监测数据进行判别、检查和存储; 对采集的监测数据进行统计处理、分析; 对监测子站的监测仪器进行

远程诊断和校准。质量保证实验室的主要任务包括：对系统所用监测设备进行标定、校准和审核；对检修后的仪器设备进行校准和主要技术指标的运行考核；制定和落实系统有关监测质量控制措施。系统支持实验室的主要任务包括：根据仪器设备的运行要求，对系统仪器设备进行日常保养、维护；及时对发生故障的仪器设备进行检修、更换。监测子站的主要任务包括：对环境空气质量和气象状况进行连续自动监测；采集、处理和存储监测数据；按中心计算机指令定时或随时向中心计算机传输监测数据和设备工作状态信息。包括采样系统、气体分析仪器、校准装置、气象系统、子站数据采集等。监测子站仪器设备配置示意图见图 2。

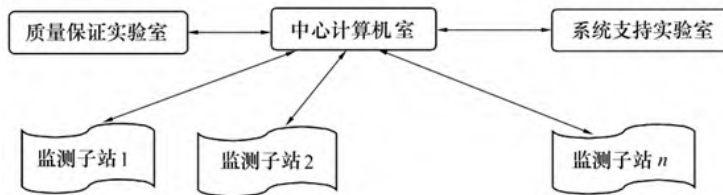


图 1 监测环境空气质量自动监测系统基本构成框图

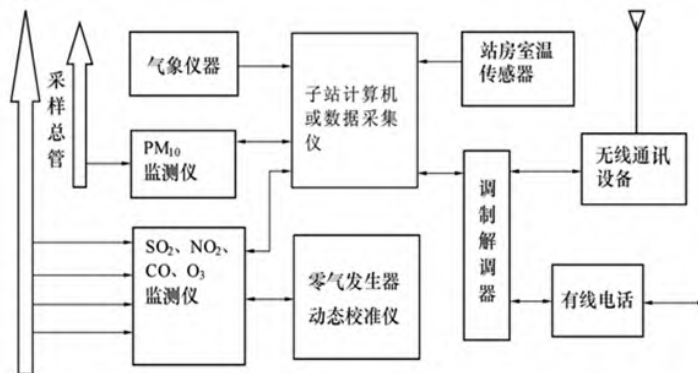


图 2 监测子站仪器设备配置示意图

空气质量自动监测系统一般采用湿法和干法两种方式。湿法的测量原理是库仑法和电导法等，需要大量试剂，存在试剂调整和废液处理等问题，操作繁琐，故障率高，维护量大。干法基于物理光学测量原理，使样品始终保持在气体状态，没有试剂的损耗，维护量较小。干法以欧美国家为主，代表了目前的发展趋势。目前，我国正在运行的空气质量自动监测系统也主要以干法仪器为主。

空气质量自动监测系统基本上做到了自动化采样、自动化分析、自动化数据处理及传输，并能自动显示区域环境质量状况。当前，点式环境空气自动监测系统和开放式环境空气自动监测系统等高端设备依然是我国空气质量监测领域的研发热点。

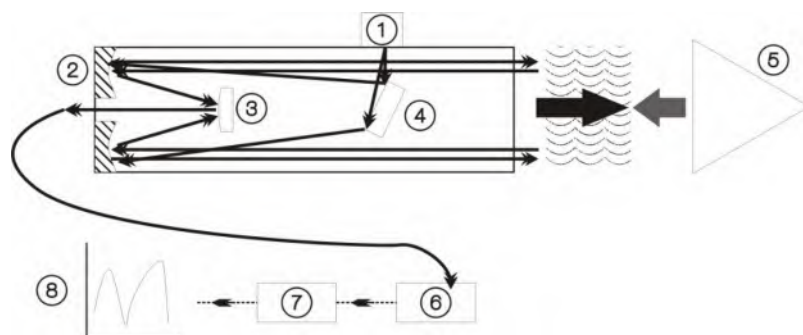
(1) 点式空气质量自动监测系统

点式空气质量自动监测系统能够连续在线自动测量空气的质量，对空气质量日报和预报的发布起到重要作用。该系统主要由 SO_2 自动监测仪、 NO_x 自动监测仪、 O_3 自动监测仪、

CO 自动监测仪、PM₁₀ 和 PM_{2.5} 自动监测仪、THC 自动监测仪、零气发生器和多元气态校准仪构成。该方法较为成熟，具有完善的布点理论、数据统计理论、污染成因和演变趋势模型理论、污染预报理论，业已成为空气自动监测技术的主导方向。

(2) 开放式空气质量自动监测系统

开放式空气质量自动监测系统主要采用差分光学吸收光谱技术(DOAS)，系统由光源、发射和接收系统、角反射镜、光缆、单色仪、CCD 探测器和计算机等多部件组成，主要结构图如图 3 所示。



① 光源；② 主镜 M；③ 次镜 M2；④ 次镜 M1；⑤ 角反射镜；⑥ 单色仪；
⑦ CCD 探测器；⑧ 计算机

图 3 典型 DOAS 系统示意图

该系统的特点是采用线采样，与传统的点式采样相比，其采样代表性有较大改善，有利于对空气质量的表征。该系统能够分时测量 SO₂、NO₂、O₃ 三个主要参数，还能测量总烃 (THC)、甲烷 (CH₄)、非甲烷总烃 (NMHC)、苯系物 (BTX) 等有机污染参数，具有高灵敏度、高分辨率、测量组分多、结果代表性好、维护量小、维护周期短、运行成本低等优点。

2.1.3 污染源重金属监测技术发展情况

(1) 污染源重金属监测技术现状

国内外重金属实验室检测技术发展较为成熟，主要采用传统酸消解及微波消解的前处理方式。分析通常用原子光谱方法，包括火焰原子吸收光谱法 (AAS)、石墨炉原子吸收光谱法 (GFAAS)、电感耦合等离子体-发射光谱法 (ICP-AES) 和电感耦合等离子体质谱法 (ICP-MS)，对于颗粒态的金属还可使用 X-射线荧光光谱法 (XRF)。

(2) 国外监测开展情况

美国、日本、英国等发达国家对污染源监测由企业自行监测和污染源监督性监测组成。污染源监督性监测由环保部门开展现场检查，用于收集相关信息以评价企业环境行为是否达到排放许可及其他法规的活动。监督性监测的频次一般为 1~2 次/年。

(3) 国内监测开展情况

“十一五”期间，各地环境监测部门对国家重点监控企业按季度开展污染源监督性监测。国家重点监控企业的名单由环保部发布，企业监测项目按照行业或地方排放标准以及该企业环评报告书规定的项目确定，并按照相应的监测技术规范开展监测重金属。

目前各级环境监测部门承担的重金属污染源监督性监测主要是通过现场采样-实验室分析的方式实现。

2012 年全国共对 2540 家废水国家重点监控企业开展了重金属监测，监测项目包括总铅、总镉、总汞等 18 项（其中包括六价铬、烷基汞）。开展重金属监测的废气国家重点监控企业仅 597 家，监测项目包括镉及化合物、汞及化合物、镍及化合物、铅及化合物、铍及化合物、砷及化合物和铬酸雾 7 项。

2.1.4 环保物联网技术发展情况

2.1.4.1 国内概况

基于环保物联网的环境在线监控技术，实现由从传统的“点末端监控”向全方位、多层次、全覆盖监控，是现阶段环境监控治理的有效手段和研发热点。

环保物联网是在传统环境监测的基础上，通过环境与各类污染源监测信息的采集、处理、传输、存储、基础应用和综合应用，实现环境监测监控管理的信息化、网络化和规范化。它通过综合应用传感器、全球定位系统、视频监控、卫星遥感、红外探测、射频识别等装置与技术，实时采集污染源、环境质量、生态等信息，构建全方位、多层次、全覆盖的生态环境监测网络，推动环境信息资源高效、精准的传递，并通过环保数据集成与融合技术，构建海量数据资源中心和统一的服务支撑平台，支持污染源监控、环境质量监测、监督执法及管理决策等环保业务的全程智能，从而达到促进污染减排与环境风险防范、培育环保战略性新型产业、促进生态文明建设和环保事业科学发展的目的。

我国高度重视物联网在环保领域的应用，《国家环境保护“十二五”规划》中明确提出加强环境监管体系建设，加快国家、省、市三级自动监控系统建设，建立预警监测系统，建设环境信息资源中心。利用物联网和电子标识等手段，对危险化学品等存储、运输等环节实施全过程监控。《国务院关于加强环境保护重点工作的意见》，提出要全面提高环境保护监督管理水平，着力解决影响科学发展和损害群众健康的突出环境问题，并改革创新环境保护体制机制，其中明确提出通过“加强物联网在污染源自动监控、环境质量实时监测、危险化学品运输等领域的研发应用，推动信息资源共享”，从而不断增强环境保护能力。而新修订的《中华人民共和国环境保护法》明确提出促进环境保护信息化建设，增强环境监管能力和水平。强调从新常态下环境保护工作“一体化”管理的角度出发，以信息化为手段，推动污染物排放统一监管，推动环境信息公开，推进国家监察、地方监管、单位负责、公众参与的监管体系，实现对区域环境精细化管理，为节能减排和改善区域环境质量提供重要的信息化工具和综合平台。

环保物联网技术架构包括三个层面：基础感知层、网络层、应用层。感知层是利用传感器、自组织传感器网络以及其他传统信息采集装置，全天候协作地感知、采集所覆盖区域中的环境监测信息，主要包括数据采集、处理技术及传感器的部署、自组织网和协同等技术，以传感器等采集感知技术、RFID 识别技术以及无线传感器网络技术为代表。网络层由各种私有网络、互联网、电信网、广播电视网等组成，承担着数据传输的功能，通过不同的接入方式将感知环节的传感器、传感器网络和其他信息采集装置获取的数据接入到基础架构统一的传输网络中，主要包括两种数据传输方式，有线传输和无线传输。应用层包括环保物联网应用门户和业务应用系统，门户为环保物联网各类用户提供所需服务和资

源的入口和交互界面，应用系统涉及环境质量监测、污染源监控、环境风险应急处理、综合管理和服务等。

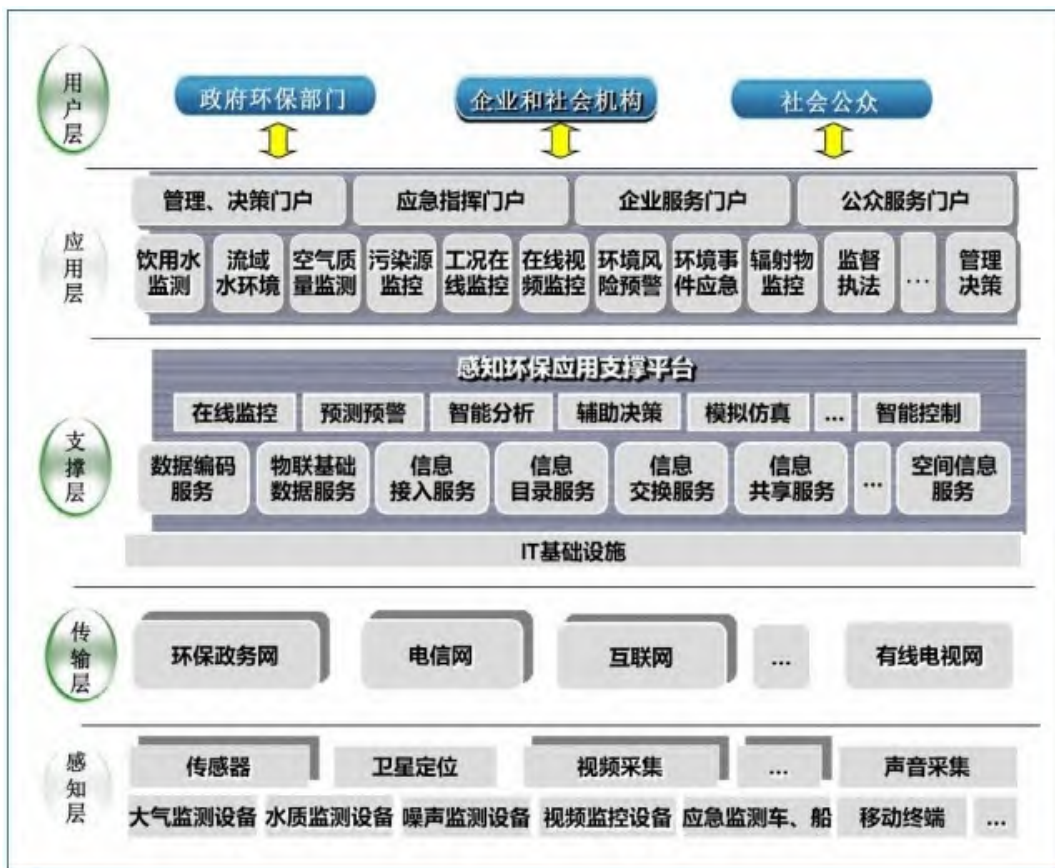


图 4 环保物联网总体架构图

环保物联网典型应用场景主要包括环境质量在线监测、污染源自动监控、机动车排气污染防治、危险源监管等领域。目前，环保物联网在我国多个省市已有了行业级实践和应用。通过山西、山东、江苏、成都等地环保物联网的应用示范工程的建设，发现环保物联网需要形成全天候、多区域、多层次、多要素的监控体系，因而导致环保物联网应用将是高度集成、投资规模大、多部门配合、实施难度大的工程。环保物联网做为一个战略新兴产业，随着各地环保物联网的应用示范工程的建设及应用，将为环保物联网的推广和应用和进一步发展积累丰富经验。

2.1.4.2 研发热点

(1) 重点研发领域

根据“十二五”期间，《国务院关于加强环境保护重点工作的意见》中加强物联网在污染源自动监控、环境质量实时监测、危险化学品运输等领域的研发要求，我国的环境信息化建设取得显著成效，基本形成了国家、省、市三级环境信息机构；初步建成了覆盖 31 个省自治区直辖市的广域网系统，实践证明，环境信息化与环境管理业务结合将日益紧密，应用深度不断增加，应用范围不断扩大，环境信息化工作将从“数字环保”向“智慧环保”

转变,由点末端监控向全过程监控转变,由平面监控向立体化监控转变,由单一化向多元化监测转变。

① 全过程监控

污染源排放过程(工况)自动监控通过对工业污染源生产设施、污染治理设施进行实时、连续的跟踪监测,在不影响相关设备正常运行的前提下,采集污染源企业生产设施、污染治理设施的工艺参数和电器参数等关键参数,结合企业生产工艺原理和末端污染物排放监测数据,全面监测企业的生产设施和治理设施的运行、污染物治理效果和排放量情况,有效判断污染物排放监控数据的真实性和准确性,为污染源自动监控数据在排污申报收费、总量核定、环境执法等环境监督管理应用中提供依据。因此,污染源排放过程(工况)自动监控不但对企业的安全稳定运行具有十分重要的意义,也对环保减排工作具有举足轻重的作用。

② 立体化监控

随着环境问题日益突出宏观综合快速的卫星遥感已成为大范围环境监测的主要技术。新时期环保工作有必要发展卫星遥感新型环境监测手段,作为地面环境监测网络重要补充,与地面监测、污染源调查等手段有机结合,构建先进的天地一体化环境监测预警体系,客观、准确、全面地反映全国生态环境状况,大幅提高国家监测、监管和监督能力。

③ 多元化监控

环境监控从原先的工业污染源监控向生态监控、风险源监控等多元化监控转变成为必然趋势。

生态监测是一项复杂的系统工程,它对环境监测系统提出了更高的要求。环境监测的最终结果是对环境质量进行评价从而提出污染治理方案,生态监测将为更深层次的环境管理和决策部门服务,提出生态环境规划、生态设计方案,最终目的是建立天地人和的生态环境。

现阶段的风险源人工监管方式,不仅检查手段繁杂、工作效率低下,而且还浪费大量的人力、物力资源,并且人为因素和监管手段缺乏是事故发生的主要因素。针对国内危险化学品的现状,迫切需要运用环保物联网技术对危险化学品生产、仓储、运输等方面进行及时有效地监控。

(2) 重点研发技术

环保物联网技术将针对水体、大气、噪声、放射源和废弃物等几类典型环境保护对象,构建物物互联的实时感知网络和高速信息传输通道,建设具有高性能计算能力、海量数据挖掘能力和智能环保数据可视化能力的高性能智能信息处理平台,建设集监测中心、监控执法中心、数据交换与共享中心、应急指挥中心、电子政务管理中心和教育展示中心于一体的智慧环境管理系统。

① 信息感知技术

作为环保物联网最核心的工作之一,主要感知端包括在线监测系统、视频监控、射频识别技术(RFID)、3S技术等。

• 在线监测技术

环境在线监测系统是指利用在线式监测仪器及设备对其监测指标进行连续监测,并通过网络传输和数据处理设备对监测信息进行分析、处理与管理,实现环境要素实时、动态

监控的系统，主要包括环境质量在线监测和污染源在线监测。

环境质量在线监测系统主要包括水质在线监测系统和大气环境质量在线监测系统。水质在线自动监测系统是指运用自动控制技术、计算机技术并配以专业软件，完整的水质自动监测系统一般包括取样系统、预处理系统、数据采集与控制系统、在线监测分析仪表、数据处理与传输系统及远程数据管理中心，由水质监测单元完成水样的监测分析工作，常见的包括五项参数分析仪（水温、pH、电导率、溶解氧和浊度）、COD分析仪、氨氮分析仪、总磷分析仪、氰化物分析仪、六价铬分析仪、重金属分析仪等，通过各分系统相互协作，完成水样的监测分析和系统的控制工作。大气环境质量在线监测系统主要由若干个监测子站、一个监测中心和数据通信系统三部分组成，通过在线监测技术实现SO₂、NO_x、PM₁₀、PM_{2.5}等项目的实时感知和测定。大气环境质量在线监测所获得的长期、连续的实时数据用于掌握区域环境质量现状与污染趋势、评估污染影响程度、验证污染扩散模型，并为制定空气质量标准、污染预报预警等提供依据。这两种系统能为政府提供及时、准确的环境质量数据，同时满足公众对环境质量现状和变化的知情要求。

污染源在线监测系统是通过污染源现场安装的各种在线监测设备，组成数据收集子系统，主要包括污染物排放监控监测仪器（COD、TOC、pH等水污染物在线监测分析仪，二氧化硫、烟尘等气体污染物在线监测分析仪）、流量（速）计、污染治理设施运行记录仪和数据采集传输仪等自动监控仪器，围绕工业污染源生产排放活动全生命周期，全面监测企业末端排放和过程排放情况，采集的污染源信息最终传送至计算机信息终端设备和监控中心，形成污染源在线监测数据库。污染源在线监测系统对企业等排污单位的排污状况进行有效跟踪、监控和管理，为环境执法机构提供数据依据，为区域污染源总量核定、排污申报收费、排污权交易等管理工作提供数据支持。

- 视频监控技术

视频监控是在现场部署摄像机和视频编码器，主要完成图像的采集，编码和传输，摄像机的控制和辅助报警的输入、出工作，通过环保专网将现场图像信息传送至宽视界平台进行存储，各个监控中心根据实际需求从宽视界平台调用现场图像。视频监控系统是由摄像、传输、控制、显示、记录登记五大部分组成，应用环保物联网的视频监控是通过人工对上传图像进行解析，判断现场的状况，未来发展方向通过视频对现场的风险源的泄漏事故进行直接反馈。从系统应用领域来说，主要包括两个环节的监控：重点污染源视频监控和环境保护全方位动态监控。

重点污染源视频监控是在工厂的排污管道口安装昼夜监控摄像机，利用视频服务器连接上摄像机，并将前端站点采集来的视频通过网络传输到监控中心，监控人员实时观看前端视频，并根据具体需求，针对排烟监控、清废监控等实现智能化预警功能。

环境保护全方位动态监控是在环境监测的中心区域或主要地点安装视频摄像头，利用摄像机的“登高望远、一揽全局”特点，对整个区域实现全覆盖不间断动态监控，将前端视频图像传输到监控中心，通过视频画面颜色、状态、温度感应等，探测市场区域内的状态，出现异常情况系统自动检测并发出报警信息，并实现动态视觉分析，进行重点监控布防。

通过监控数据与监控视频的融合应用，并与后台业务系统集成，能有效提升环境监管

能力。通过视频监控系统与环境监测系统的对接以及图像与数据的叠加和关联特性,可以方便地查看监测点图像和数据信息,借助视频信息对在线监测数据比对,确保监测数据的准确性,并及时直观地发现现场问题。

- 射频识别技术

RFID(Radio Frequency IDentification)技术又称电子标签、无线射频识别,在环保物联网中主要应用在风险源监控方面,利用RFID技术可实现风险源联单自动化处理。当风险源在运输过程中,通过RFID标签的射频信号便可精确定位风险源位置。当风险源运达目的单位时,RFID射频识别设备通过发射信号自动识别目标对象(贴有RFID标签的风险源)并获取相关数据(RFID标签存储的联单信息)。

- 3S感知技术

3S技术是遥感技术(RS)、全球卫星定位系统(GPS)和地理信息系统(GIS)的统称,这三大支撑技术为地球与环境科学提供了新一代的观测手段、描述语言和分析管理工具。它借助传感器、导航、计算机等,通过采集、整理、分析等手段获得空间信息。

遥感技术是在远离目标、与目标不直接接触的情况下判定、量测并分析目标的性质,利用遥感观测具有范围广、信息量大、速度快、实时性好及动态性强的特点,该技术是人类获得自然环境的重要信息源和宏观监测手段。

全球定位系统能提供连续、实时的三维位置、三维速度和时间,具有全球、全天候、快速、准确的定位功能,为遥感实况数据提供空间坐标,用于建立实况环境数据库及同时对遥感环境数据发挥校正、检核的作用,该技术提供的数据能方便地用于建立和管理GIS数据库,在环保领域有较广泛的应用。

地理信息系统可用于环境质量监测、污染源监测、污染事故应急处理、城市环境规划、环境评价、环境科研等方面,进行测点定位、定高、标定和计算面积、显示运动轨迹等业务操作。

这三大技术工具各具特色,在实际工作中单独使用时各自存在缺陷,许多应用工程项目需要综合的运用这三大技术的特长,方可形成和提供所需的对地观察、信息处理和分析模拟的能力。

② 网络传输技术

通信层技术主要包括无线通信、有线通信和传感器网络。

无线传感网技术是由一组传感器节点以自组织的方式构成的有线或无线网络,其目的是协作地感知、采集和处理网络覆盖的地理区域中感知对象的信息,并发布给观察者。无线传感网凭借其自组织、多跳、动态拓扑等特点成为传感网的首选。然而,无线传感网亟须解决如何在有限计算能力的条件下进行协作分布式信息处理的难题。

GPRS(通用分组无线业务)具有“永远在线”、“按流量计费”、“快捷登录”和“适用于中小数据量传输”的优点。通过GPRS网络建立系统之间的无线安全连接,可以拓展系统范围,为远程自动控制提供安全、可靠、快捷、便宜的通信渠道。

有线通信技术可分为短距离的现场总线和中长距离的广域网络两大类。“三网合一”的技术将传统的计算机网络、电信网络和有线电视的网络合并一体化,即计算机网、电信网和有线电视网将趋于相互通渗透和相互融合,形成一个统一的网络系统,并以全数化的网络设施来支持包括数据、语音和视频图像在内的所有业务通信。“三网合一”技术的出

现和发展将推动物联网的发展。“三网合一”网络覆盖面广、稳定性高，并且具有多媒体快捷传输的特点，能够很好地服务于物联网海量信息的快速可靠传输。

③ 应用层技术

应用层主要包括面向环境保护的特定应用服务以及实现网络层和应用服务间接口和能力调用的中间件，完成信息的分析处理和决策，实现特定环境监测的智能化应用和服务任务，以实现环境监测信息的识别、感知、分析和预测，从而发挥智能作用。

- 数据融合与共享技术

数据融合技术解决多传感器采样数据中的二义性、数据缺损和丢失、综合评判等诸多问题，有利于对多传感器的观测数据进行分析、综合、支配和使用，以获得对被测对象的一致性解释和更为精确、全面地描述。

- 云计算技术

云计算平台是一种基于网络的结构，它为业务提供了一个资源丰富的平台，使其可以享用各种服务。基于云计算技术和理念，利用虚拟化技术、分布式海量数据存储技术、海量数据管理技术、编程技术、云计算平台管理技术等，重点解决了环保物联网的年均数据产生总量和峰值预测，数据存储空间计算，网络拓扑架构设计，服务器配置选型，容灾备份体系设计和数据业务发布模式优化等内容。

- 海量数据挖掘技术

数据的挖掘和分析是物联网技术应用的本质特征之一，基于海量的数据，综合使用统计方法、神经网络方法和数据库方法对环境背景数据库、空间信息数据库、环境应急专项数据库中的相关知识与数据进行综合分析，建立污染物扩散以及辅助决策等模型，为决策者快速提供一个直观、科学、合理、优化的应急处置方案和指挥调度方案，并能够为事件后期评估、科学制定善后处理措施，全面提高环境保护的事件处置能力和管理决策能力。

- 应用平台技术

环保物联网智慧监控平台基于浏览器服务器的应用结构，按照插件化思路进行设计，立足于物联网各项支撑技术实现污染源综合监控、环境质量综合监测管理预警、生态环境监控、风险源全过程监管的全面整合，实现业务的协同分析，借助先进的通信手段和数据分析处理手段进一步集成整合提升数据分析数据利用能力。该平台是整个系统的核心，它提供一套完整的物联网环保业务集成框架，在该框架的基础上，通过插件的形式丰富业务功能，每一个具体的业务逻辑通过模块化设计，能够进行方便快捷的嵌入与分离。

2.2 我国自有知识产权技术的竞争力评价

环境监测技术的迅猛发展使得环境监测设备全面升级以实现其高质量化、自动化、智能化、集成化等等发展目标，环境方面的技术范围正在逐渐扩大，结合了物理、化学、生物、电子等方面的综合应用。我国在环境监测技术方面与同时期的国外发达国家相比仍存在很大不足，我们不仅需要不断学习国外先进技术经验，同时也要不断培养国内优秀人才进行开拓创新，将环境监测技术推上一个台阶，技术的革新是为更好地发展更强的竞争力以应对更大的挑战。

3 主要问题分析

3.1 水环境自动监测技术主要问题

(1) 样品前处理技术的污染源适用性差

目前,市场上的水污染源在线监测仪器大多从地表水等洁净水体在线监测仪器发展而来,尤其是进口的在线监测仪器更是直接面向洁净水体进行应用设计,对样品不作前处理或者仅采用紫外法进行简单的消解处理,这并不适合我国的污染源水质检测,通常测量结果偏小,甚至无法正常监测。

(2) 重金属在线监测设备的污染源适用性差

当前重金属在线监测设备主要采用光度法或电化学法。光度法虽然技术成熟、检测稳定性好、抗干扰能力强,较为适合污染源在线监测,但是易受色度、浊度影响,检出限通常在10ppb以上,无法满足铅、镉、汞等低排放限值(1-10ppb)监测要求。电化学方法虽然不易受色度、浊度影响,检测灵敏度高,一般重金属均能达到ppb级限值检测要求,但是由于电极易受环境影响、干扰离子不易克服、电极寿命与水质状况有关,导致该类产品在污染源使用中表现不佳,准确性、稳定性差,维护工作量大。

(3) 国产在线监测设备的数据可靠性低

国产在线监测设备在长期运行期间获得的数据可靠性较低,主要原因为系统误差偏大,其产生的原因较多,其中有些与仪器本身密切相关。因此,在同一测量条件下多次测量求平均值往往不能减少或消除它,必须找出产生问题的原因,针对原因消除或引入修正值,对测量结果加以修正。

(4) 水环境监测技术装备不完备

主要问题如下:①仪器可靠性普遍偏低,维护工作量大;②高端监测仪器种类有限,产品类型没有形成规模;③藻类、叶绿素、有毒有害污染因子等的高端监测设备主要依靠进口;④仪器信息化程度低,难以实现规模化集成应用。

(5) 物联网技术应用范围不足

目前,国内通过自动监控等系统主要实现了点源水质监控,然而控制范围仅为流域、湖库等的一小部分,无法达到国际先进的流域区域控制水平。同时,现有地表水监测网对一些不在指标监控范围内的环境要素还无法实施有效监控。而目前环保工作考核要求面上达标,在环保物联网监测数据的应用方面,需要不同物联网的信息共享与业务协同,结合监测、气象等数据分析原因、追溯源头,目前这些方面的应用较少。

(6) 设备和物联网等的标准化不力

目前监测设备、仪器以及监测方法纷繁多样,取得成果虽多,但并没有统一的考核标准。此外,环保物联网标准体系尚未统一,严重制约产业规模的快速发展。亟须规划环保物联网应用的业务关联关系,前瞻性地设计系统总体框架,体系化分析建设需求,以统一平台、统一标准等方式保障信息共享,从而降低信息化建设风险、控制建设经费、保证进度和质量。

(7) 流域性立体监测技术体系不健全

在流域物理生境监测方面,专门针对流域水生态物理生境调查指标的遥感技术及相关

评价研究比较薄弱,随着我国流域水环境质量评估从单纯侧重水质因素向同时考虑生态因子的新型转变,遥感监测在快速准确提取并评价流域物理生境指标的应用就成为迫切、现实的需求,其技术体系有待建立。

3.2 气环境自动监测技术主要问题

(1) 重金属样品采集技术不完备

气体中的重金属污染物采样重复性不佳,易造成测量偏差。因此研究以颗粒物采集技术为基础的烟气重金属样品制备技术是实现烟气重金属连续、自动、准确监测的关键。

(2) 特征污染因子监测范围不足

目前,我国已经开始重视并实施重金属、VOCs、HF、HCl 等特征污染因子的监测能力建设,但在具体监测内容方面与发达国家还有差距。

在重金属监测方面,美国规定要求在线监测污染源中汞、镉、砷、钡、铍、镉、铬、钴、铜、铅、锰、镍、磷、硒、金、钍和锌等 17 中重金属,日本和欧共体要求在线监测固定污染源排放中 11 种重金属。我国目前在固定污染源气体监测中只明确了汞和铅两种重金属的在线监测要求。

在挥发性有机物监测方面,美国环保署(EPA)公布的 129 种环境优先污染物的“黑名单”中有 31 种 VOCs,其光化学评估监测系统(PAMS)项目中包含 56 种需要关注的 VOCs,欧洲则有 30 种以上的 VOCs 被列入。我国《大气污染物综合排放标准》规定了 14 类 VOCs 的最高允许排放浓度、最高允许排放速率和无组织排放浓度限值,但目前主要还是开展非甲烷总烃和苯、甲苯与二甲苯、苯系物等少数几种有机物的自动在线监测。

除此之外,发达国家还把污染源中二噁英类、光化学氧化剂(O_x)、 $PM_{2.5}$ 、温室气体(N_2O 、 CO_2 、甲烷、 SF_6 、HFCs、PFCs 等)列入监测范围,但我国目前只做了一些试点,还没有正式开展。

(3) 监测标准方法的制订相对滞后

我国环境监测体系建设发展时间较短,目前已对纳入监测范围的污染物因子制订了相应的监测标准和方法,不过还需要针对更多的污染物因子自动监测需求制定相应的标准和方法。

(4) 国产在线监测仪器的成熟度不够

我国的环境监测技术和仪器研究开发经历的时间短,国产仪器从无到有,从落后到赶上需要有一个过程。同时,国产环境监测仪器产业的发展也受制于政府的规划和资金投入。反之,政府在没有成熟的监测手段和仪器支撑下,在实施大规模监测计划时也会比较谨慎。上述原因导致一些新型特征污染因子在线监测仪器国产化水平落后,存在投入不够、研制时间短、应用示范不足、产品可靠性差等问题,与国外同类仪器相比仍有相当大的差距,需要进一步完善。

3.3 环保物联网技术主要问题

我国环保物联网总体处于起步阶段,已初步具备一定的产业、技术和应用基础,已形成一定产业规模。但由于兴起及发展历经时间较短,技术体系尚未完备,还未形成较为成熟的产业链,现阶段环保物联网相关技术的应用以及产业发展还存在一些问题。主要表现

在以下几方面。

(1) 关键技术有待提升

对照物联网感知层、网络层和应用层三个层面,环保物联网的主要技术问题有:传感器方面:一是主要以化学分析方法为主,存在可靠性、一致性、规模生产的产能、价格和成本问题;二是种类少,可监测的污染物种类有限;三是监测设备的稳定性有待提高,自动监测是不间断无人监测,对数据采集端的稳定性具有较高要求,设备性能不稳定或出现故障都严重影响监测数据的准确性;在网络和信息技术方面,现有大量成熟的信息技术手段没有得到充分应用,层次比较低;应用层面,一是应用广度不足,多个地市仍存在“信息孤岛”、各自为政的现象,环境信息资源亟须整合,二是应用深度不足,缺乏对环境数据的智能化分析与处理,目前环境信息资源实际开发与应用有限。

(2) 环境信息安全问题

环保物联网总体安全需求的确定、安全架构的设计、如何建立基于普适异构环境下的可信物联网的安全机制,以保证物联网构建多层面、互相间协同运作的整体安全性和可靠性、安全接入控制系统设计、基于可信平台的安全模块及其提供的可信度量和评估机制、加密技术等,必然会成为今后研究的热点问题。

(3) 环保物联网标准体系尚未统一

由于缺乏统一标准,我国环保物联网应用和产业规模也都受到很大影响。缺乏终端统一标准,造成物联网终端不兼容,不同厂商的设备和软件无法在统一平台上使用,设备间的协议无法统一;数据标准不统一,需建立统一的数据标准,规范信息传输接口,数据计算方法等,提高数据质量和有效性,通过规范运维管理考核制度,提高环境自动监控数据的有效性和权威;应用标准不统一,环保物联网标准体系的制定需要由政府统一领导,相关部门牵头,协调其他部门共同制定统一面向环境保护的物联网的相关标准和规范,打破行业壁垒,跨行业、部门,在标准化组织之间形成标准体系,促进环保物联网的健康发展。

(4) 应用产业化问题

现阶段环保物联网的应用规模不足,应用范围满足不了环境保护的需要,虽然目前已实现对污染源的自动监控和非法排放监控等,但对于土壤污染和重金属还无法实施有效监控,这使得环保物联网一方面形成不了成熟的商业模式,另一方面也不利于市场的培育。因此,未来要选择重点领域和重点工程,积极引导环保物联网行业示范应用,扩大应用规模,积累技术发展、产业应用、经营管理和政策实施等方面的经验。

4 建议

在新的环境监测发展形势下,与环境监测发达国家相比,我国环境监测技术在“技术标准体系”和“环境监测体系”方面尚存在一定的问题与差距。经过环境监测技术现状的全面分析,围绕技术标准、监测技术、先进设备、监测体系和物联网应用五方面形成我国未来气、水污染物自动监测技术发展重点建议,具体如下。

4.1 技术标准体系的发展重点建议

在未来一段时间内,我国的环境监测标准体系在数量上将进一步扩大,在技术内容上

将主要从以下几方面来开展：①针对大气重金属污染物开展分析方法标准研究，以引导和规范大气中金属自动监测；②针对新型污染物开展分析方法标准研究，如新增 POPs 物质、抗生素类物质、复杂有机污染物等；③针对先进分析仪器设备，如色谱、质谱、电感耦合等离子体质谱等，开发具有更低方法检出限、更高方法精密度、准确度的分析方法，满足环境精细化管理的需求；④研究开发适用于污染综合毒性控制的方法标准，如水生生物急性毒性测定方法等，满足对复杂环境污染水体的监测与判定；⑤不断完善环境质量和污染源连续自动监测系统的技术规范要求，提升我国环境监测自动化、信息化水平；⑥继续完善环境标准样品研制。

4.2 监测技术的发展重点建议

随着经济不断发展，我国的环境污染问题日益复杂，新的风险污染物不断出现。同时，随着环境突发污染事故的频发，我国在针对特殊有毒污染物的现场快速检测等方面的技术研发和应用依然存在较大缺陷。我国现有环境监测技术尚不能满足应对新型污染物和生物毒性监测等的技术需求。因此，我们要进一步加大对新型热点污染问题监测技术的创新研究，不断满足环境管理的技术需求。

- (1) 加强气环境监测领域的技术研发。
- (2) 加强水环境监测领域的技术研发。

4.3 先进设备的发展重点建议

我国自动化、智能化高端环境监测设备落后，在品种、数量、性能、质量上满足不了环境保护实际工作的需要，应加大对高端水平仪器的研发投入，推动成套设备技术突破与仪器研制，开展相应的产业化推广，努力解决制约监测发展的先进设备问题。

- (1) 加强热点污染因子和生物生态监测设备开发，完善环境监测设备种类。
- (2) 加大现代环境监测设备研发力度，提高集成化、自动化、智能化水平。
- (3) 加快监测设备产业化进程，降低价格提高监测覆盖范围。

4.4 监测体系的发展重点建议

我国传统环境监测体系以陆地自动监测站为主，难以形成较强的环境质量综合分析能力，多局限于区域性、微观层面的评价，对环境本底、环境现状、环境变化趋势及内在原因缺乏全面、深入、科学的分析手段，缺乏大尺度宏观生态综合分析能力，离三个“说清”（说清污染源减排状况及对环境质量的响应关系，说清环境质量现状及变化趋势，说清生态环境安全风险）还有很大差距，与全面掌握环境质量和生态状况的要求不适应。针对上述不足，亟须加强立体监测技术和服务平台的研发，建立天地一体化遥感监测体系。

4.5 物联网应用的发展重点建议

环境信息化与环境管理业务结合将日益紧密，应用深度不断增加，应用范围不断扩大，环境信息化工作将从“数字环保”向“智慧环保”转变，由点源监控向全过程监控转变，由平面监控向立体化监控转变，由单一化向多元化监测转变，对此，亟须发展满足环境监测需求的环保物联网。

为了使物联网技术真正服务于环保监测领域，我国应进一步加强环保物联网感知端技术、传输层技术和应用层技术的研究与开发，提高物联网智能信息处理水平，形成点面分析相结合，现状和趋势分析相结合、静态和动态分析相结合、微观和宏观分析相结合的环境质量综合分析能力，实现环境生态监测领域服务上的突破性进展。

烟气重金属在线监测技术发展报告

1 烟气重金属污染监测总体概况

人类活动已经成为大气中重金属元素的重要来源，并且影响重金属在地质化学圈内的循环。随着我国国民经济的飞速发展，城市地区日益频繁的工业活动、金属冶炼、煤炭发电、汽车尾气和城市垃圾焚烧每天都会将大量有毒的重金属元素释放到大气中，导致我国城市地区气溶胶重金属元素浓度普遍较高。

烟气中的重金属排放到大气中，对生物的生命活动具有显著影响，它们可以通过动物、人体呼吸过程被摄入，造成直接影响，也可通过降尘将颗粒物本身及其吸附的重金属等污染物带入土壤、水体中去，不仅影响土壤、水体的质量，还会由此间接地对各种生物体产生影响，最终会通过食物链进入人体，危害人体健康。其中，汞具有剧毒性，对人类健康的危害及对环境的破坏受到越来越多的关注。汞对生物群的危害尤为严重，汞可以通过多种渠道进入大气，包括自然过程（如火山暴发）和人为活动（如电厂燃煤），当前美国及欧洲国家已经对工业汞排放进行控制，进而减少人类对汞的摄入，防止由此而产生的病变和危害。通过控制燃煤电厂汞排放将显著地降低生物群中汞，增强公众的健康。减少汞排放有利于人类健康和环境。

日益严重的重金属污染事件给人们的生命和健康带来了严重的威胁。下面主要介绍一下国内外烟气重金属排放监测相关法规、政策以及标准发展情况。

1.1 国外相关法规、政策和标准现状

美国环境监测机构分为联邦政府、独立机构以及州地方政府三个层级。环境保护署（EPA）根据需要，设置了旨在保护公共健康和福祉的环境标准。

1970年美国通过《清洁空气法》，其中包括了对烟气重金属的排放限制，同时成立了环境保护署，标志着美国对环境控制采取了严格的新方法。

1990年美国联邦政府颁布的《清洁空气法案修正案》，成为全世界为控制空气污染制定的意义最为深远的法律之一。该法案扩大了控制污染物的范围，提高了废气排放标准，将工业排放的189种排放物列为毒性空气污染物，其中包括重金属污染物。由于汞对人体危害的特殊性，2005年，EPA通过了《清洁空气汞规则（Clean air mercury rule）》，要求控制燃煤电厂汞的排放，并强制燃煤电厂在线监测汞排放状况，使美国成为世界上第一个提出对燃煤电厂汞控制限制排放的国家。

EPA在废物焚烧方面，细分了市政垃圾焚烧、医疗废物焚烧炉、商业和工业固废焚烧炉、危险废物焚烧炉及其他固废焚烧厂等五种主要类型，主要针对镉、铅、汞的排放进行

限制,此外针对危险废物焚烧炉行业,还规定了砷、铬、铍的排放限值。

EPA 在金属污染控制方面,规定了燃煤电力设施厂蒸汽发生单元、汞矿石处理、汞电池氯碱、污泥干燥/焚烧或联合处理、波特兰水泥制造、公用锅炉设施及过程加热器等行业汞的排放限值;在铅酸电池生产、铅初炼及二次熔炼、铬电镀等行业规定了铅和铬的排放限值;在玻璃熔炉、铜初炼、砒霜及金属砷生产等行业规定了砷的排放限值,并根据大气金属排放与 PM 的关系,通过限制 PM 的排放以控制砷污染。

比较成熟的烟气重金属检测方法是美国 EPA 标准《方法 29 固定污染源金属的测定》(EPA M29),该方法以 EPA 方法 5 (EPA M5) 为基础,能够检测包括汞在内的 17 种金属元素,分别是铈、砷、钡、铍、镉、铬、钴、铜、铅、锰、镍、磷、硒、金、钽和锌,EPA M29 推荐的实验室分析方法包括电感耦合等离子体原子发射光谱(ICP-AES)、原子吸收光谱(AAS)、电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)等。除了 EPA M29 外,还有一些国外标准也对固定污染源重金属含量的检测方法进行了规定,如日本工业标准《JIS K0083-2006 烟道气体中金属含量的测定方法》、欧共体标准《EN 14385: 2004 固定源排放 As, Cd, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Ti 和 V 总排放的测定》等。汞监测方面,美国 EPA 早已开展污染源的汞监测,监测技术发展得也比较完善,针对手工方法和自动连续监测方法都形成了相应的技术规范。最主要的方法有三种,包括 EPA Method 30A、30B、安大略法等,其中 30B 和安大略法为手工监测方法,30A 为在线自动连续监测方法。表 1 为国外发布的部分固定污染源重金属排放的检测标准。

表 1 国外大气固定污染源重金属排放相关检测标准

	标准编号	标准名称
日本	JIS K0083-2006	烟道气体中金属含量的测定方法
欧共体	EN 14385: 2004	固定源排放 As, Cd, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Ti 和 V 总排放的测定
美国	EPA Method 29	固定源排放金属的测定
美国	EPA Method 101A	Determination of Particle-Bound and Gaseous Mercury Emissions from Sewage Sludge Incinerators.
美国	EPA Method 30A	Instrumental Reference Method for Mercury CEMS
美国	EPA Method 30B	Determination of Total Vapor Phase Mercury Emissions from Coal-Fired Combustion Sources Using Carbon Sorbent Traps.
美国	安大略法	Stand Test Method for Elemental, Oxidized, Particle-Bound and Total Mercury in Flue Gas Generated from Coal-Fired Stationary Sources

1.2 国内相关法规、政策和标准现状

1.2.1 相关政策现状

重金属污染具有长期性、累积性、潜伏性和不可逆性等特点,危害大、治理成本高。我国在长期的矿产开采、加工以及工业化进程中累积形成的重金属污染近年来逐渐显现,污染事件呈多发态势,对生态环境和群众健康构成了严重威胁。党中央、国务院对此高度重视,作出了一系列重要部署。2009 年 11 月,国务院办公厅转发了环境保护部等部门《关

于加强重金属污染防治工作的指导意见》，明确了重金属污染防治的目标任务、工作重点以及相关政策措施。

《国家环境保护“十二五”科技发展规划》中明确提出：需加强环境应急能力和预警水平，保障环境安全是环境保护工作的重要内容；环境风险识别、评估、预防、应急处置等环境预警和监控技术已成为我国环境科技发展的重点；要开展重金属领域的预防与应急、监测与预警、生态修复与恢复等一系列环境应急管理的技术研究；开展健康风险评估、突发环境健康事件应急处理和预警技术等方面的研究。

2011年2月18日，《重金属污染综合防治“十二五”规划》已被国务院正式批复，成为第一个“十二五”国家专项规划。《重金属污染综合防治“十二五”规划》明确将铅（Pb）、汞（Hg）、镉（Cd）、铬（Cr）和类金属砷（As）等生物毒性强且污染严重为主的重金属元素列为第一类规划对象，指出当前和今后一个时期，要将上述5大重金属污染物作为重金属污染防治的重点对象。第二类规划对象是具有一定毒性的重金属，包括Ti、Mn、Sb、Mo、Ni、Cu、Co、Sn、Zn、V等，在政策措施上兼顾其他具有一定毒性的重金属，全面带动重金属污染防治工作。“十二五”期间，我国将重拳严惩重金属环境违法违规行为。《重金属污染综合防治“十二五”规划》要求：到2015年，重点区域铅、汞、铬、镉和类金属砷等重金属污染物的排放，要比2007年削减15%；非重点区域的重点重金属污染排放量不得超过2007年的水平。2011年，环境保护部表示，重金属污染防治将是九部门环保专项行动的重点，将对重点防控行业和企业实行多方面的有效监控。《重金属污染综合防治“十二五”规划》对重点区域、重点行业、重点企业制定了严厉的整治措施。未来五年，国家计划投入750亿元，开展重金属污染综合防治，各地还要将防治成效纳入政府领导考核内容。另外，《重金属污染综合防治“十二五”规划》中还指出：重金属污染防治的目标是到2015年建立比较完善的重金属污染防治体系、事故应急体系和环境与健康风险评估体系，解决一批损害群众健康的突出问题；进一步优化重金属相关产业结构，基本遏制住突发重金属污染事件高发态势。

1.2.2 相关排放标准现状

经过近20年环境监测和分析技术的发展，国内已初步形成重金属排放和残留限值标准体系，如《GB 3095-2012 环境空气质量标准》规定了大气中重金属镉、汞、六价铬的浓度限值；《GB 16297-1996 大气污染物综合排放标准》规定了除锅炉、工业炉窑、火电厂、炼焦炉、水泥厂、垃圾焚烧、危险废弃物焚烧、恶臭物质、汽车排放、摩托车排放以外的其他大气污染物排放中铅、镉、汞、镍、锡等元素及其化合物的排放限值；《GB 18485-2014 生活垃圾焚烧污染控制标准》规定了焚烧炉大气污染物排放中镉、铅、汞元素的排放限值；《GB 18484-2001 危险废物焚烧污染控制标准》规定了危险废物焚烧大气污染物排放中汞、镉、砷、镍、铅、铬等元素及其化合物的排放限值；《GB 9078-1996 工业炉窑大气污染物排放标准》规定了工业炉窑大气污染物排放中铅、汞、铍等金属的排放限值；《GB 26453-2011 平板玻璃工业大气污染物排放标准》规定了平板玻璃工业大气污染物排放中锡元素及其化合物的排放限值。《GB 13223-2011 火电厂大气污染物排放标准》规定了烟气中汞的排放限值为 0.03 mg/m^3 。保护工作的持续推进及环境科技的日新月异，我国重金属排放和控制标准体系将会得到进一步完善和强化。

1.2.3 相关检测标准现状

目前我国对烟气中重金属采样及检测的方法可参照《HJ 538-2009 固定污染源废气 铅的测定 火焰原子吸收分光光度法(暂行)》、《HJ/T 63.2-2001 大气固定污染源 镍的测定 石墨炉原子吸收分光光度法》、《HJ/T 64.3-2001 大气固定污染源 镉的测定 对-偶氮苯重氮氨基偶氮苯磺酸分光光度法》、《HJ/T 65-2001 大气固定污染源 锡的测定 对-石墨炉原子吸收分光光度法》等,其中汞的检测标准有《HJ-542 2009 环境空气 巯基棉富集 汞的测定》、《HJ-543 2009 固定污染源废气 汞的测定 冷原子吸收分光光度法(暂行)》等标准,通过等动力采样探头进行采样,用滤筒或者滤膜富集进入采样器的颗粒物,将滤筒样品送入实验室进行分析。常见的实验室分析方法有电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法、离子色谱(IC)法、原子吸收光谱(AAS)法、原子荧光光谱(AFS)法、电感耦合等离子体原子发射光谱(ICP-AES)法、火花源质谱(SSMS)法等。表2为国内发布的固定污染源重金属排放的检测标准。

表2 我国固定污染源重金属排放相关检测标准

序号	标准编号	标准名称	实施日期
1	HJ/T 63.1-2001	大气固定污染源 镍的测定 火焰原子吸收分光光度法	2001-11-01
2	HJ/T 63.2-2001	大气固定污染源 镍的测定 石墨炉原子吸收分光光度法	2001-11-01
3	HJ/T 63.3-2001	大气固定污染源 镍的测定 丁二酮肟-正丁醇萃取分光光度法	2001-11-01
4	HJ/T 64.1-2001	大气固定污染源 镉的测定 火焰原子吸收分光光度法	2001-11-01
5	HJ/T 64.2-2001	大气固定污染源 镉的测定 石墨炉原子吸收分光光度法	2001-11-01
6	HJ/T 64.3-2001	大气固定污染源 镉的测定 对-偶氮苯重氮氨基偶氮苯磺酸分光光度法	2001-11-01
7	HJ/T 65-2001	大气固定污染源 锡的测定 石墨炉原子吸收分光光度法	2001-11-01
8	HJ 538-2009	固定污染源废气 铅的测定 火焰原子吸收分光光度法(暂行)	2010-04-01
9	HJ 540-2009	环境空气和废气 砷的测定 二乙基二硫代氨基甲酸银分光光度法(暂行)	2010-04-01
10	HJ 541-2009	黄磷生产废气 气态砷的测定二乙基二硫代氨基甲酸银分光光度法(暂行)	2010-04-01
11	HJ 542-2009	环境空气 巯基棉富集 汞的测定	2010-04-01
12	HJ 543-2009	固定污染源废气 汞的测定 冷原子吸收分光光度法(暂行)	2010-04-01
13	征求意见稿	固定污染源废气气态汞的测定活性炭吸附/热裂解原子吸收法	
14	征求意见稿	固定污染源废气总汞的测定冰浴吸收瓶采样-冷原子吸收分光光度法	

1.2.4 烟气重金属相关在线监测现状

烟气重金属污染的常规检测方法是用采样器采样后将样品送入实验室进行取样分析,费时、费力且效率较低,无法做到在线监测。XRF分析是一种无损的分析技术,能精准实现几十种元素的定性与定量分析,还具有无需样品预处理、分析速度快、多元素同时检测、分析结果准确等特点,已广泛应用于现代科学实验、冶金、地质、环境保护等领域,尤其

是在大气、烟气重金属污染采样检测技术领域的应用前景更是受到业界的极大关注。基于 XRF 技术、自动采样、滤膜富集及模型分析等技术，结合应用系统集成技术、自动控制技术、信息化技术及仪表智能化技术等先进手段，研制烟气重金属在线监测设备，可在线对烟气中的重金属进行定性和定量分析，从而实现对重金属污染情况的智能化监控及预警，满足人们日益增长的对重金属污染现状及变化趋势实时感知的需求。然而，目前基于该技术的烟气重金属在线监测技术基本被国外垄断，国内仅有聚光科技一家公司研发生产该技术产品，垄断的技术使得该类设备价格非常昂贵，难以广泛普及。烟气汞在线监测方面，国内目前仅有聚光科技和雪迪龙研制出了各自的在线产品，大部分在线监测产品还处于被国外垄断的状态。

2 烟气重金属污染监测技术发展情况

2.1 烟气重金属采样及实验室分析技术发展情况

目前对烟气重金属的常规检测方法是：通过等动力采样探头进行采样，用滤筒或者滤膜富集进入采样器的颗粒物，将滤筒或者滤膜样品送入实验室进行分析。烟气汞主要为气态汞，采样方法和常见烟气重金属不同，一般有直接抽取采样和稀释采样法。常见的实验室分析方法有电感耦合等离子体质谱（ICP-MS）法、原子吸收光谱（AAS）法、原子荧光光谱（AFS）法、电感耦合等离子体原子发射光谱（ICP-AES）法等。

目前国内对于烟气排放采样技术，已经有相关标准出台，如《GB16157-1996 固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法》，与国外相关方法相比，国内采样方法多为烟道内过滤法，即在烟道内过滤颗粒物。对于重金属采样，国内相关标准《HJ 538-2009 固定污染源废气 铅的测定 火焰原子吸收分光光度法（暂行）》、《HJ/T 63.2-2001 大气固定污染源 镍的测定 石墨炉原子吸收分光光度法》、《HJ/T 64.3-2001 大气固定污染源 镉的测定 对-偶氮苯重氮氨基偶氮苯磺酸分光光度法》、《HJ/T 65-2001 大气固定污染源 锡的测定 对-石墨炉原子吸收分光光度法》等，传统的采样后将样品送入实验室分析的方法存在操作复杂、检测滞后等缺陷，在采样之前，需要对玻璃器件及采样设备进行专业复杂的准备，采样之后都需要将样品进行消解，而消解过程非常耗时，还需要使用较危险的强酸（硝酸、氢氟酸）等化学试剂。此外，样品的分析也很昂贵和耗时，这些因素导致该类方法一般适合对大气、烟气中的重金属元素含量进行例行检测，无法满足对重金属污染物质实时监测的需求。

2.2 烟气重金属在线监测技术发展情况

随着社会各界对烟气重金属污染排放的关注程度越来越大，以及重金属排放控制政策的不断收紧，对能实时掌握并反馈调节企业污染状况的在线监测控制设备的需求与技术发展迅速。

按照测量原理，烟气重金属排放连续监测技术可分为基于 X 射线荧光（XRF）原理的烟气重金属连续监测技术、基于电感耦合等离子体发射光谱（ICP-AES）原理的烟气重金属连续监测技术、基于激光诱导击穿光谱（LIBS）原理的烟气重金属连续监测技术以及

基于飞行时间质谱(TOF-MS)原理的烟气重金属连续监测技术,基于阳极溶出原理的烟气重金属连续监测技术。基于XRF原理的烟气重金属连续监测技术是目前实用性最强、稳定性、检测准确性和采样代表性都能得到保障的技术,并且目前已经是商业化的技术。其他几种技术大多都处于研究阶段,并存在很多难以克服的缺陷。烟气汞在线监测技术中,分为冷原子荧光(CVAFS)、冷原子吸收光谱(CVAAS)、塞曼调制原子吸收光谱(ZAAAS)等技术,目前在市场上都有对应成熟的产品。

2.2.1 基于XRF原理的烟气重金属连续监测技术发展情况

对于固定污染源烟气排放,往往存在许多不确定性,其中颗粒物中重金属的排放也会随之不断变化,因此亟须研制一款烟气颗粒物中重金属智能化在线监测设备,在线监测烟气颗粒物中重金属的含量及变化趋势,对可能发生的重金属污染事件进行预警。

X射线荧光(XRF)分析是一种无损的检测技术,能精准实现几十种元素的定性与定量分析,还具有无需样品预处理、分析速度快、多元素同时检测、分析结果准确等特点,已广泛应用于现代科学实验、冶金、地质、环境保护等领域,尤其是在重金属污染检测技术领域的应用前景更是受到业界的极大关注。基于XRF技术、滤膜富集、烟气等动力采样及薄膜XRF分析算法等技术,研制固定污染源烟气重金属连续监测技术,能科学地实现烟气重金属污染物的连续在线监测。目前,研制出XRF技术烟气重金属在线分析设备的单位很少,除国内的聚光科技外,国外仅有一家Cooper Environmental Service LLC(美国,CES)公司研发生产,垄断的技术使得该仪器价格非常高昂,阻碍了该技术在我国的普及,因此,打破国外垄断并研制具有自主知识产权,性能与国外仪器相媲美的烟气重金属连续监测设备已刻不容缓。

XRF即X射线荧光分析,XRF仪器主要由X光管、探测器、控制及分析系统组成,该技术利用X射线照射待测物质,使待测物发出特征荧光X射线,利用探测器检测物质发出的特征荧光X射线就可得到待测物的元素含量信息。

采用XRF法分析气体滤膜中金属元素的含量是EPA推荐的方法。基于XRF的烟气重金属连续监测技术通过等动力采样系统抽取烟道中的烟气,同时利用滤膜富集烟气中的重金属污染物,采用XRF技术快速、无损地分析滤膜上富集的金属物含量,得到烟气中金属污染物质量 m 。同时用质量流量计测量通过滤膜的气体体积 V ,将两者相除即可得到烟气中金属污染物的质量浓度 $C(C=m/V)$ 。

基于XRF原理的烟气重金属连续监测系统对烟气中的颗粒物采样,必须保证等动力采样,这样才能保证采样具有足够的代表性,然而烟气成分往往比较复杂,采样探头除要满足等动力要求外,还需要适应高温、高湿、含腐蚀性气体等复杂工况;同样的,由于固定污染源烟气一般都是高温,高湿气体,这就需要将采样流路进行合理伴热,才能避免出现冷凝和腐蚀现象,然而伴热温度的确定不仅需要结合具体工况,还受管材、伴热设备等因素的局限;烟气监测中,经过采样滤膜后的尾气往往还含有大量气体污染物,如果直接排放到环境中将会对环境造成二次污染,因此需要将尾气进行处理,再排放到空气中,或者直接将尾气排放回烟囪或烟道;对于烟气重金属在线监测设备,需要对其准确性进行验证,这就需要将常规采样器与在线设备同步采样,需要对采样点、采样时间、采样滤膜的选择等进行全面地考虑,设计可行的实施方案;另外,该技术利用滤膜对烟气中的颗粒物

进行富集后用 XRF 技术进行检测，这就需要开发出精确的薄膜 XRF 分析算法，需要精确的解谱过程来消除元素间的相互干扰。目前已经有了较成熟的方法来修正这些干扰。

2.2.2 基于原子荧光 CVAFS 的烟气汞在线连续监测技术发展情况

根据汞分析技术的不同，汞的在线监测技术可以分为冷蒸气原子吸收光谱法 (CVAAS)、塞曼调制原子吸收光谱法 (ZAAS)、冷蒸气原子荧光法 (CVAFS)、原子发射光谱法 (AES)、紫外差分吸收光谱法 (UV-DOAS)。

CVAAS 法出现与发展较早，技术最为成熟，但是该方法容易受样气中其他气体成分的干扰，如 SO_2 在 253.7 nm 波长处有较强吸收特性，浓度高时干扰更大。另外， NO_x 、水蒸气、一些挥发性有机物 (VOCs) 及颗粒物也会产生干扰。而且由于烟气中汞浓度较低，一般还需要使用金汞齐，成本较高。

应用偏振光高频调制器和塞曼效应扣除背景的原子吸收光谱技术 (ZAAS) 是一种快速实时监测气态汞的新方法。借助偏振调制器，能随时间变化分开分析谱线与对比谱线，当不存在汞蒸气时，两种谱线强度相等，当出现汞的吸收原子时，两种谱线的强度差随汞含量增大而加强，并成线性关系。采用 ZAAS 法可以扣除背景干扰，但在汞吸收线 (253.7 nm) 附近有较强吸收带的 SO_2 、NO 和 H_2S 等气体仍然可能造成仪器的响应偏差。

CVAFS 主要原理：汞基态蒸气原子受波长 253.7 nm 的紫外光激发，当激发态汞原子回到基态时，辐射出相同波长的共振荧光，在特定条件及较低浓度范围内，共振荧光强度与汞的浓度成正比。与 CVAAS 法相比，CVAFS 法灵敏度高，且抗干扰能力更强。

我国在常规 CEMS 方面具有深厚的技术储备和丰富的应用经验，但在 Hg-CEMS 技术方面的研究起步较晚，Hg-CEMS 技术相关的研究开展较少。2010 年 9 月 15 日，环境保护部主持召开燃煤电厂大气汞污染控制试点工作座谈会，部署在五大电力集团开展燃煤电厂大气汞污染控制试点工作，由于当时国产商用的 Hg-CEMS 还是空白，试点中采用的烟气汞监测系统均为国外产品。我国煤种多而且不同煤种中的汞含量、氯、硫含量差异较大，国外 Hg-CEMS 产品对我国工况适用性具有一定局限性，且国外产品价格昂贵。我国在烟气汞连续监测关键技术掌握较少、国外产品价格昂贵的现状，阻碍了我国烟气汞监测技术水平的进步和普及。2010 年，聚光科技首先研制出了基于 CVAFS 技术、惯性分离稀释采样技术的烟气汞在线监测系统 CEMS-2000 B Hg，填补了国产烟气汞在线监测产品的空白，2012 年雪迪龙研制出基于 CVAAS 的烟气汞在线监测系统 SCS-900Hg，丰富了国产烟气汞在线监测的产品。

2.2.3 基于其他原理的烟气重金属连续监测技术发展情况

基于 ICP-AES 技术的烟气重金属连续监测技术具有测量周期短、频率高、能够监测到金属含量的连续变化、可以同时监测气态、液态以及颗粒态金属物质、测量元素种类多等优点。但该系统也存在一些不足，如维护费用较高（高纯氩气消耗量较大，且较昂贵），背景受 CO_2 、 N_2 以及 NO_x 等气体的影响较大，测量存在滞后，某些元素间存在干扰等。

基于 LIBS 原理的烟气重金属连续监测技术虽然可以做到原位检测，但该技术存在着明显的不足，因为该方法可以说是一种统计分析方法，受脉冲激光诱导的等离子体的体积有限，检测到的样品体积也有限，不具有足够的代表性；另外，该方法受基体影响较大，

也就是受烟气成分的影响较大,这将导致该技术无法适应变化的工况,需要根据工况进行调整。

基于 TOF-MS 原理的单颗粒质谱仪只能检测含有某种金属的颗粒物的数目和数浓度,而无法检测其质量含量和浓度。另外该技术还存在一个明显的局限,那就是该技术监测的颗粒物的尺寸有一定的限制,一般只能监测 50nm~500nm 尺寸范围内的颗粒物。目前该技术在大气单颗粒物的监测方面已经发展成熟,但是对于连续排放的烟气监测,还处于研究阶段。

基于阳极溶出原理的重金属检测方法根据溶出峰电位确定被测物质的成分,根据氧化波的高度确定被测物质的含量。在烟气重金属的检测运用中,需要进行采样、过滤、超声消解、浓缩液化、导出废液等步骤,存在富集时间长,同时能测的元素种类少,操作繁琐,二次污染等局限性。目前该技术在液体中的重金属监测方面发展比较成熟,但对于烟气监测,目前只有少数的产品。

2.3 烟气重金属监测技术总结

测定固定污染源烟气排放中重金属污染物的几种主要方法中,传统的常规检测方法是采用采样器采样后送实验室分析,该类方法存在操作复杂、检测滞后、不能在线监测等缺陷,无法满足人们对重金属污染情况实时监测的需求。

大多数连续监测技术都处于研究阶段,其中较为成熟的几种技术也都存在明显缺陷,基于 XRF 的烟气重金属连续监测技术是实用性最强的商业化技术,该方法在采样代表性、检测准确度和稳定性、运行可靠性上比其他方法有明显优势,该方法能够同时测量多种元素,检测过程对样品无损伤(可将样品保存用来后期追溯),且该技术维护简单,维护成本低(只需要定期更换采样滤膜即可),因此,基于 XRF 的烟气重金属连续监测技术是目前烟气重金属在线监测的主流技术和发展趋势。在烟气汞连续在线监测方面,存在着多种成熟的技术路线,其中冷原子荧光技术具有更好地抗干扰能力和准确性,无需金汞齐,成本低,是目前烟气汞在线监测的发展趋势。

2.4 我国自有知识产权技术竞争力评价

2.4.1 专利情况

在《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006-2020年)》和《国家“十二五”科学和技术发展规划》的政策号召下,国内相关公司立足自主研发,开展了烟气重金属监测领域的研究和拓展工作,在自主创新能力和自我装备水平领域取得了长足的进步。但是,在烟气重金属监测行业,由于我国起步较晚,至今还没有形成一定的产品市场规模。国内仅有几家公司,像聚光科技、雪迪龙等具备自主的核心技术专利,但产品应用还处于初步推广阶段,市场上大多数应用场合还基本采用国外进口产品。

2.4.2 应用情况

聚光科技研制开发的 CEMS-2000 B XRF 产品已经在江苏昆山、浙江长兴、山西太原等地投入使用,CEMS-2000 B Hg 在山东莱芜、青海西宁等地投入使用,积累了丰富的实

际运行经验。相较于国外同类产品，在现场应用领域具有响应快、售后服务充分、维护及时等优势。

3 主要问题和解决思路

3.1 我国现有技术开发和应用中存在的主要问题和解决思路

3.1.1 主要问题

重金属污染防治体系的建设和运转需要各类重金属监测分析仪器的支撑，并对监测仪器在现场监测中的实用、精确、专业化方面都有着很高的要求。另外，随着我国监测技术水平的高速发展，对监测仪器的高精度、自动化、集成化、网络化、连续自动监测等方面的要求也不断提高。但是从目前烟气重金属监测技术的发展现状来看，主要存在以下几方面的问题：

(1) 目前烟气重金属监测常规技术还是采样器采样后将样品送入实验室进行分析，在线监测技术没有得到普及，无法满足人们对污染情况实时感知的需求。另外，基于 XRF 的在线监测技术基本被国外垄断，国内只有聚光科技一家研发生产。

(2) 烟气颗粒物采样须满足等动力，即等速采样要求，才能保证样品的代表性。另外，不同工况条件下烟气的组分、温度、湿度等参数各异，而含硫氧化物、氯化物或氟化物等的强腐蚀性烟气工况十分常见，因此需要设计一种能够适应恶劣工况的等动力采样装置。

(3) 烟气重金属在线监测设备准确度有待验证。由于烟气采样需要满足等动力条件才能确保采集样品的代表性，而开发的烟气颗粒物等动力采样装置是否能准确地采集烟气颗粒物，则需要进一步的验证。

(4) 汞标气是保证仪器计量准确性的前提，汞标气制备方面，我国目前还处于起步阶段，还没有成熟的汞标气制备厂商，同时我国相关的汞标气的溯源以及量值传递体系还没有建立，这都制约了汞监测仪器的发展。

(5) 由于汞的浓度极低，同时极易吸附，因此气态汞的采样传输十分关键，为减小采样传输过程中样气中汞的损耗，必须对采样传输管路内壁进行惰性化处理，而我国目前尚无成熟的惰性化处理工艺以及厂商。

(6) 汞的浓度极低，与传统的 SO_2 、 NO_x 相比，汞的浓度要低三到四个量级，基本达到了传统光学测量方法的检测极限，因此要实现汞的准确测量，必须从测量腔的设计、光源驱动电路的设计、信号采集电路的设计全方位进行改进优化。

3.1.2 解决思路

(1) 要大力发展烟气重金属在线监测技术，加快技术创新体系建设，完善技术平台和监测平台，打破国外垄断，为烟气重金属在线监测提供充足的技术支持和质量保证。与此同时要普及烟气重金属在线监测新技术，做好宣传和推广工作。

(2) 针对恶劣工况，对包括采样探头和采样管路等在内的接触烟气的部件进行特殊设计，如采用耐腐蚀、耐高温材料及全程伴热控温等。

(3) 将传统的采样方法作为烟气重金属在线监测方法的验证方法,将烟气采样器与在线设备同步采样,将在线监测结果与采样后实验室的检测结果进行比对,来验证在线监测设备的准确度。

(4) 加大汞标气的研发投入,建立国家层面的汞标气的溯源以及量值传递体系,为在线监测仪器的研发和应用提供支撑。

(5) 加强惰性处理工艺的研究,道破国外的垄断,实现惰性处理工艺的国产化、商业化,并实现在线监测仪器的应用。

(6) 培养相关的光学设计的人才,培育精密光电子器件相关行业顶尖配套厂商,为精密光电测量仪器设计和工程化提供支持。

3.2 我国现有政策、法规与技术发展之间的矛盾和改进思路

3.2.1 主要矛盾

第一个主要矛盾是我国的分析方法标准、仪器检测标准长期滞后于相关排放标准以及国家宏观政策,因此导致了标准明确、执行模糊的问题,严重阻碍了仪器的应用与推广,同时加大了厂商在新仪器、新应用上投入的风险,阻碍了仪器厂商创新的热情。以《重金属污染综合防治“十二五”规划》为例,虽然规划中明确要求推行污染源自动监控,完善污染源自动监控系统建设提高监控技术手段,在重点区域开展重金属污染物自动监控试点,重金属废气排放企业优先安装汞、铅、镉尘(烟)等在线监控系统,在线监测装置要与环保部门联网。然而,尽管《重金属污染综合防治“十二五”规划》推出了上述政策,但是相关的检测标准还没有同步更新。因此目前的烟气重金属检测标准还都是采样后实验室分析的传统方法。因此“十二五”已经结束的时候大多数重金属污染重点区域和重金属废气排放企业也还没有安装在线监测设备。

第二个主要矛盾体现在我们国家这些新技术、新仪器推广过程中人为制造的门槛不合理,以烟气汞在线监测设备为例,在2011年时,聚光科技已成功研发第一套国产烟气汞在线监测设备并实现商业化,并在现场稳定运行,且聚光科技的烟气汞监测设备的技术指标以及国外已经非常接近,并且某些指标还超过国外仪器,然而在2012年环保部在五大电力推广烟气汞在线监测试点过程中,烟气汞设备招标文件中却明文规定所采购设备必须为国外进口,且通过美国EPA认证,直接将聚光科技的设备踢出投标入围名单中。因此政策导向主要是鼓励进口或代理,而不是自主创新,因此严重阻碍了国产厂商投入新技术、新产品研发的热情和动力。

3.2.2 改进思路

从以上矛盾的分析可以看出,我国在重金属监测领域目前仍处于政策倒逼模式,前期在技术、方法、标准方面投入过少,底子太薄,缺少储备,当某一环境问题成为公众关心的热点时,我国的管理部門才开始重视,缺少对环保新产业、新技术引导孕育的循序渐进。要解决这些问题,我们可以从以下几步着手:

(1) 加大政策引导,针对环境监测技术、环境监测方法、环境监测标准、环境监测政策在国家层面建立宏观的规划与路线图,引导相关技术的发展、标准的制定,培育相关产

业，降低相关厂商在该领域新技术、新方法研发投入的风险，让仪器厂商集中优势资源解决国家政策层面继续解决的问题。

(2) 提前布局，加大投入，加大环境监测原创新技术的投入，加快培育相关掌握相关高端、高技术含量的仪器配套技术、配套工艺的配套厂商，同时在基础工艺方面加强联合研发。

(3) 在环境监测新技术、新方法上鼓励创新，鼓励国产仪器发展，在新仪器、新技术的国外主导的招投标过程中取消必须采购进口仪器的隐形门槛，鼓励国产仪器同台公平竞争。

(4) 在政策方面，要落实到位，彻底贯彻落实《重金属污染综合防治“十二五”规划》指导方针，在重点区域开展重金属污染物自动监控试点，加强烟气重金属在线监测技术推广，完善相关标准体系。

4 对策建议

从长远来看，我国的烟气重金属在线监测需要从政策层面、管理层面和技术层面上开展工作，在政策上有要求、有引导，在技术上有支撑、有保障，管理上有突破、有提高，才能有效解决烟气重金属污染监测问题。

4.1 政策层面

确定烟气重金属环境政策的总体目标和思路，健全烟气重金属排放标准体系，确定重点重金属污染物和重点污染行业，提高控制效率、实现减排效果。针对燃煤电厂、垃圾焚烧厂、铅蓄电池厂、金属冶炼厂等重点重金属排放行业，制订有针对性的行业性大气污染物排放标准和行业通用设备的重金属排放标准。除此之外，还应针对行业重金属排放特性，制定符合行业监管需要的排放标准，尤其是对人体健康有危害的重金属。按重金属的健康毒性或其他环境危害大小，实施分级检测与控制，兼顾重金属元素形态复杂多样的特点，保证标准监控体系的严密。

4.2 管理层面

建立比较完善的烟气重金属污染防治体系与长效监管制度，加强标准体系的建设、制定动态的污染源清单、重点污染源监测体系和重金属物质管理体系。编制重金属有毒有害物质优先控制目录以及重点行业与重点区域重金属污染防治规划。在国家层次重点区域和重点行业进行污染减排与控制的基础上，加大对重金属治理的扶持力度，充分发挥治理企业、污染企业和地方政府管理部门的积极性。组成产学研用联合攻关、一体化的研究队伍。政府主管部门设立国家专项基金支持进行针对重点行业关键技术的研发和在行业内应用推广。

4.3 技术层面

4.3.1 标准建设

完善我国的重金属监测相关的分析仪器标准，以及针对不同应用领域重金属分析检测

行业标准，规范重金属检测方法，提升我国的重金属分析检测能力。

4.3.2 分析检测设备研制与推广应用

加大研发力度，大力支持与发展有关重金属检测相关的分析设备、前处理设备、成套分析系统的研制以及应用软件开发，扶植国内重点企业，进行新设备，新技术集成与工程推广，借鉴国外发达国家的经验，形成重金属监测与治理的后发优势，形成重金属监测、二次回收、环境保护、再生资源的产业化为一体的封闭环，形成良性的生态循环。

4.3.3 开展应用技术研究

针对重金属污染重要行业，如燃煤电厂、垃圾焚烧厂、铅蓄电池厂、金属冶炼厂等展开污染调查，开展烟气重金属监测技术研究，开展有关工业烟气重金属的排放检测技术、源解析技术和控制技术的研究开发和工程应用。进行关键应用技术的研发与示范，源头管理（包括登记管理、物料衡算、绿色工艺）和末端监测治理相结合，提升我国烟气重金属排放的综合控制能力。

环保物联网领域技术发展报告

1 行业总体概况

国内外已经开展了环保物联网技术领域的相关研究和应用，也有了不少环保物联网应用案例，在污染防治、生态保护等领域发挥着巨大作用。

国外环保物联网技术应用案例目前主要在生态环境监测和科研领域，如美国部署的用于实时监测城市环境污染数据的“CitySense”监测系统；由英特尔的研究小组和加州大学伯克利分校以及巴港大西洋大学的科学家把无线感知网络技术应用于监视大鸭岛海鸟的栖息情况；澳洲的 CSRIO ICT 研究中心利用无线传感网、SENSORWEB、潜水机器人等物联网技术，对河流、海洋环境进行动态监控；澳洲的科学家利用无线感知网络来探测北澳大利亚蟾蜍的分布情况；夏威夷大学在夏威夷火山国家公园内铺设感知网络，以监测那些濒临灭种的植物所在地的微小气候变化。

我国于 20 世纪末期启动传感网研究，环保领域作为应用试点领域之一。1999 年，国家环保总局在全国开始推广的环境在线监控系统是对环保物联网的最早探索和实践，为下一步发展积累了经验。当时的传感网只在局域范围内实现物物相连，与现在的物联网主要区别在于其技术架构不涉及互联网。

2005 年，国家环保总局发布 28 号文件，公布了《污染源自动监控管理办法》，并定于当年 11 月 1 日起开始实施。此后，环保物联网得到越来越多的关注，产业化进程加快，相关技术在环保领域已经取得了小范围的应用，如一些市、区建成环境质量监测和污染源在线监控系统，对空气质量、企业环保设备等基本情况进行自动监测。

2007 年，为全面完成主要污染物减排任务，中央财政安排 20 亿元专项资金用于建设污染减排指标体系、监测体系和考核体系“三大体系”。在重点排污单位安装污染源监控自动设备，同时，建设国家、省（自治区、直辖市）、地市三级污染源监控中心并联网，从而将污染源自动监控设备监测到的国控重点污染源排放数据及时传送到三级监控中心，为排污收费、排污执法、排污治理提供依据，为环境应急、减排决策提供支撑。

2009 年，国务院总理温家宝提出要加快推进物联网发展、建立中国感知中心以来，物联网技术的重要性进一步凸显，并成为国家重点发展的战略性新兴产业的重要组成部分。同年，中国环境一号卫星在轨交付，支持通过光学、红外、超光谱等多种遥感探测设备采集数据，可用于大型水体蓝藻水华监测、沙尘暴监测、秸秆焚烧监测、区域生态环境动态变化监测、地震环境风险排查等方面。环保物联网建设热潮在全国各级环保部门不断延展，各地纷纷展开环保自动监控、应急处理等系统的建设。如山西省提出打造全国规模最大的省级环保物联网，并投资 10 亿多元建成全省环境监测和污染源自动监控系统；无锡、成

都、山东被确立为国家环保物联网示范城市、示范省。随着环保物联网技术的不断成熟和应用规模的不断扩大,一个集监测、监控和监管三位一体的全国环保物联网应用体系初步形成。

但是目前我国环保物联网产业存在相关技术还依然不成熟、缺乏统一建设标准、企业分散、规模小等不利因素,制约了我国环保物联网的健康发展。环保物联网由于缺乏整体规划与统一设计,导致后期数据交换共享、业务协同、应用扩展等方面遇到技术或性能上的瓶颈,影响系统实际应用效果。另外,对环境监测数据本身意义及数据间关联系缺乏深入分析,环境数据价值未深度挖掘,未通过多部门数据联动分析,结合各类环境模型的应用,在环境质量预测预报、污染综合防治决策、环境风险防范及应急等方面为政府、企业、科研单位和公众提供服务。

2012年我国《物联网“十二五”发展规划》中明确提出智能环保是“十二五”期间中国物联网重点发展的九大应用之一,我国环保物联网事业将迎来新的发展高潮。随着物联网在国内外环境保护领域应用的不断探索,其各项技术也将逐步趋向成熟。环保物联网应用于环境保护领域可以有效整合通信基础设施资源和环保基础设施资源,使通信基础设施资源服务于环保行业业务系统运营,提高环务系统信息化水平,提高环保行业业务系统基础设施的利用率。同时,环保物联网的发展是一个持续长效的工程,也是一个利国利民工程,需在各方力量的不懈努力下共同构建远大宏伟的面向环境保护应用的物联网。

环保物联网技术研究应用领域涉及芯片设计制造、传感器生产、智能分析仪表、软件开发、系统集成、网络运营以及标准体系建设等众多领域。本工程中心拟从国家工程建设、行业发展需求并结合无锡地方需求与应用特色出发,将重点切入环保物联网标准体系建设、环保物联网感知技术、太湖水质监测传感器生产、环保物联网应用软件开发、系统集成以及基于环保物联网建设产生的环保大数据的挖掘分析等领域。国内外在这些领域研究开发的现状及发展趋势简述如下。

1.1 国内外环保物联网相关标准体系

目前,环保物联网标准无论是在国际或国内均处于初级阶段,尚未形成标准体系。环保物联网包括感知、网络、应用三个层面,每一个层面都会涉及一些标准化组织,目前已经成立了很多标准化组织,而国际各标准组织之间对环保物联网的研究也缺乏统一的协作,同时缺乏权威以及可遵循的标准。每个国际标准组织的研究都是针对某一方面或自己擅长的部分进行研究,国内对于环保物联网的研究也很零散,没有系统的端到端的规划。而由于缺乏统一标准,在多系统数据共享,企业、环保相关部门系统业务协同方面缺乏统筹规划,导致重复建设、“信息孤岛”现象普遍、严重,数据利用程度低,决策支撑作用有限,使建设效果大打折扣,环保物联网应用和产业规模也都受到很大影响。2012年环保部信息中心组织召开的“物联网环保领域应用标准技术交流会”也强调了物联网标准化工作的重要战略地位,并提出标准先行的要求。因此,面对各企业的技术和应用差异,如何做到标准的大统一,这是目前面临的较大问题。环保物联网标准化问题需要在政府统一领导下,由相关部门牵头,协调其他部门共同制定和统一环保物联网基础共性和应用相关标准和规范,打破行业壁垒,跨行业、部门,在标准化组织之间形成标准体系,只有这样才能促进环保物联网的健康、有序发展。

1.2 环保物联网感知网络技术

环保物联网感知网络应用多样，目前产业链还未形成，尚处在起步阶段。感知网络是以感知为目的的物物互联和物人互联。目前，人与人互联的产业已基本趋向饱和，而物与物、人与物的互联将形成全新的业务，是信息技术领域新一轮发展与竞争的制高点。经过十余年的发展，我国在感知网络领域已经具备标准化和技术优势，但其产业化尚处在起步阶段。目前传感网技术流派百家争鸣，缺乏统一的技术的体系。感知网络国际化已进入白热化状态。感知网络经过数年的快速发展，不同的单位机构和相关领域均开发、建立了各自的技术方案。但各种方案间缺乏统一的规划，对物联网产业发展极为不利，亟须建立统一的国家标准体系。

环保物联网感知网络技术综合了传感器技术、嵌入式计算技术、分布式信息处理技术和无线通信技术等多学科交叉的研究成果，它能够灵活地实时感知和处理网络分布区域内的各种环境或监测对象的数据，获得详尽而准确的数据，并传送到需要这些信息的用户。感知网络作为末梢感知网，与移动通信网络等结合，将极大拓展移动通信领域物与物、物与人互联的全新业务，成为未来泛在网络的必要组成部分，具有广泛的应用前景。

目前对于环境状态监控、采集、报警类的应用，在感知网络传输方面无线通信方式主要有两种。一种是在设备内安装面向移动通信的数据模块，采用 GPRS/3G 的模式接入移动运营商的广域覆盖网络并进行数据的双向交换。这类的通信模式的优势是模块成熟，覆盖面广；而其劣势主要表现为该通信模式是直接移植了面向移动互联网的高速率的模式，功耗相对较大，采用该模式的物联网终端设备通常需要采用市电供电，才能保证长时间的连续工作。一些不具备市电供应的安装位置，通常需要采用大容量的电池或者大面积的太阳能电池板来解决供电问题。同时，每个监测点都需要向运营商支付流量费用，在监测点数量较多时流量费用也是一笔较大的开销。另外一种是采用短距离低功耗通信组网技术，较为常见的如 ZIGBEE 联盟认证的相关通信芯片。该类通信模块的优势是其在保持了一个相对较高的数据速率（约 250Kbps）的同时，终端可以实现在极低的功耗下工作。其劣势在于，低功耗只在终端一级实现，需要增加中继、网关等设备来对于前端设备进行通信接力及管理，系统的复杂度较高，同时在系统部署的时候需要给中继、网关等设备提供接电以及网络接入，所导致的系统整体的建设成本以及工期的增加。

大环境监测广域无线数据接入技术面向这类可以容忍一定的延迟，不需要很高的速率的物联网应用，以降低数据传输速率的代价，换取了极高的信号接收灵敏度、极低的设备功耗以及相应取得的低成本的系统建设投入。系统结合了以上两种模式的优势，以超高的接收灵敏度获取了大范围覆盖的优势，同时又以极低的前端功耗确保了在低速率工作模式下较长的电池寿命。目前该领域正在制定的标准规范主要为 IEEE 802.15.4 k，该规范采用 900MHz 频带和 2.4GHz 频带，IEEE802.15.4 k 设想用于覆盖整座城市的长距离通信，目前正在讨论标准化。通信采用在 CDMA 的基础上进行了扩展的“Random Phase Multiple Access”技术，网络拓扑采用终端可直接设置在基站的星型结构。目前，对于一个中型城市，只需要 10 余个接收主机即可覆盖其所有室外的低速率物联网应用。随着接收主机密度的增加，系统可进一步满足室内覆盖以及地下覆盖的相关物联网应用。这一远距离低功耗应用模式非常适合在未来广域的环保物联网监控系统应用中应用。

1.3 环保物联网水质监测传感器

1.3.1 水质监测指标及检测技术

目前水环境污染日益严重,已成为制约社会和经济可持续发展的重要因素。发展快速水质监测仪器,及时反应水质变化情况迫在眉睫。国内外湖泊地表水在线监测传感器的监测因子可以覆盖常规五参数(pH、水温、电导率、溶解氧和浊度),无机盐类(总磷、总氮、氨氮、硝态氮等),有机物类(高锰酸盐指数、TOC、COD_{Cr}、挥发酚),生物毒性(氰化物等),重金属(镉、汞、铅、砷、六价铬、铜、锌等),以及水生物指标(叶绿素、蓝绿藻)等参数。我国水环境监测主要以实验室监测为主,分析方法全面、检测参数全面、数据准确度高,但响应时间长、检测频次低、自动化程度低、人力消耗量大,难以对水质进行整体有效评价。

国外流行的常规五参数自动分析仪多采用流通式多传感器测量池结构,无零点漂移,无需基线校正,具有一体化生物清洗及压缩空气清洗装置等。全光谱检测技术是一种新发展起来的基于微型固化光谱仪的水质直接分析方法,具有响应速度快、维护成本低、可扩展性强等特点。宽波段的光谱可以满足 TOC、BOD、COD、SAC、硝氮、色度等多个参数的检测,可以实现单一探头多参数的同步检测。具有的免化学试剂(Reagent Free)、无二次污染、快速检测、连续测量等特点,使其在水质在线检测及水质污染事故早期预警领域的应用备受国内外学者和仪器厂商关注。美国、日本等发达国家在地表水水质监测方面均认可了基于直接光度法的 SAC254 作为有机污染物水平综合评价指标。奥地利的 Scan 公司基于全光谱技术开发的紫外-可见光光谱水质分析仪,光谱范围覆盖 200nm~700nm,能够实现硝氮、COD、色度、浊度等多个参数的同步检测。我国目前能产业化该类仪器的厂商较少。

水体中有机物种类繁多,代谢漫长,是造成水质污染、富营养化的重要原因。为了衡量水体中有机污染物的水平,一般采用 BOD 和 COD 两个指标。BOD 表示水中有机物由于微生物的生化作用进行氧化分解,使之无机化或气体化时所消耗水中溶解氧的总数量。COD 是指利用化学氧化剂(如重铬酸钾)将水中可氧化物质(如有机物、亚硝酸盐、亚铁盐、硫化物等)氧化分解,然后根据残留的氧化剂的量计算出氧的消耗量。BOD 或 COD 值越高,表明水体有机污染物越严重。但区别在于,BOD 代表着有机污染物中生物氧化降解的部分。大多数情况下,水体本身不含有强氧化剂而含有数量及种类庞大的微生物群,因此,采用 BOD 衡量水体有机物污染指标更具有代表性。

国内外测定 BOD 的标准方法大多沿用美国 1936 年公布的方法,称 BOD₅法。这种传统的 BOD₅测定法存在着严重的缺陷:需在 20℃恒温条件下培养 5 天,工作量大,操作繁琐,受干扰因素多,重复性差、有较大误差,要求相当高的专门训练,且不能及时反映水质变化情况,尤其在污水处理过程中不能有效地进行信息反馈和指导生产。因此,需研究适用、有效、可行的快速 BOD 在线监测方法,并促进其在水体环境监测的实际应用。

1.3.2 水质监测传感器应用现状及存在问题

目前,国内水质自动在线监测系统仪器生产厂家众多,技术水平参差不齐,生产能力

差异较大，监测方法各异，总体水平与发达国家相比还处于十分落后的状态。地表水、饮用水检测仪器技术水平，种类相当于发达国家上世纪 70 年代的水平，具体表现为“三多三少”，即：成果型专利论文多，实用型技术产品少；污水检测仪器相对多，地表水饮用水检测仪器少；常规性检测仪器较多，高端检测仪器少。据住房和城乡建设部水资源中心负责人介绍：目前，国外仪表在饮用水行业尚处于垄断地位，运行费用高，价格高、维护不便，且不适用于特殊水源地的监测需要。对此，科技部、住建部等部委积极鼓励和推进监测仪表的国产化。近些年来，虽然国产仪表有了一定的进步，但在准确度、稳定性、使用寿命方面尚存在不足之处，质量稳定的国产在线监测仪表在实际应用中还很鲜见。整体上国外产品占 70% 以上市场份额，美国赛默飞世尔、美国 MetOne、法国 ESA 等掌握着市场话语权，国内只有雪迪龙、聚光科技、先河环保和天瑞仪器等有限的几家公司涉及该领域。在环境监测仪器的其他领域也面临类似的问题，整体表现为低端产品的重复生产制造严重，高端监测分析仪器偏少，仍然被国外垄断。一次仪表、传感器等核心部件仍然依赖国外进口。再加上稳定性、抗衰老性等问题导致 ABB、哈希、热电、岛津等外资品牌占据了较大的市场份额和中国的高端市场。

国内在水源地水质监测方面尚没有形成稳定成熟的技术和产品，少数引进国外成套的水源地监测系统运行效果也不理想。以太湖水源地监测为例：太湖是国家“十一五”重点治理水域之一，因其地处经济发达、人口稠密地区，周边流域环境及污染源相对复杂，并且太湖水域面积大，水深度较浅，地处亚热带，常年光照充足，气候偏热，藻类暴发频繁，因此太湖水质特征监测十分具有代表性。

2007 年太湖蓝藻暴发后，无锡市政府开展了一系列的“治太”工程，并取得了显著的成果，尤其在保障饮用水水质安全监测预警方面，应用国内外的先进技术，做了很多积极的探索，在水质实时监测方面也引进了国内外先进的检测技术，但运行状态并不理想，主要问题表现在：

(1) 系统运行连续稳定性差

由于藻类等污染物有着很强的附着性，在短时间内很快对检测仪器的传感器和流路造成污染，受水流、风、行船及潮汐等的影响，自然水体一直处于运动之中，这种水体运动将对处于水体中的传感器产生机械损伤，甚至击碎传感器。同时，自然水体含有各种无机及有机污染物，这些生物及非生物物质将对传感器产生腐蚀和附着包裹作用，短时间内导致传感器失真甚至屏蔽传感器。因此现有传感器需要每隔 1-2 天对其进行清洗校准，能自动清洗、免校准，实现长期连续稳定，并免维护的在线监测传感器较少。

(2) 监测指标不全或不具有代表性

尽管目前国际上已经有大量的面向水体物理、化学及生物参数监测的传感器被研制出来，并实现市场化。但是具有连续稳定、数据准确可靠的传感器多是面向水体物理参数监测的传感器，如水温 and 浊度等。但是水化学和生物传感器相对较少，技术不够成熟，实际应用还有许多问题亟待解决。例如，目前太湖应用最多的美国 YSI 公司的叶绿素传感器在实际监测中受水体浊度影响较大，与浊度呈显著相关。在太湖强水体扰动期间，其检测值准确性存疑。此外，藻类荧光功能可能在夜间自动关闭，也可能直接影响叶绿素传感器监测精度。

(3) 在线监测仪表国产化程度低

随着传感器和通信技术的进步,物联网是一个极大的发展产业。目前的在线监测仪表主要是采用进口仪表,国产化率低,建造和运行维护成本高。尽管国外的设备具有一定得技术优势,能够保证检测的稳定性和准确性,但是这也导致消耗更多的财力而不能掌握核心技术,相关产业也不能得到发展,将永远受制于人。

(4) 运行维护得不到保障

由于监测仪器主要依靠进口,构置成本高,运行费用大;另外许多使用单位没有专业的分析仪器维护人员,维护不及时,使系统连续运行得不到有效保障,常处于停滞状态。

(5) 某些关键指标监测技术待突破

自1983年日本首先将BOD传感器开发成商品以来,已有不少的商品化仪器问世,如日本的BOD-3000系列生物耗氧量测定仪,德国LAR公司的BioMonitor BOD生物反应器,德国E+H公司的BIOX-1010 BOD在线监测仪等;在国内,上海雷磁仪器厂生产过生物化学需氧量分析仪,沈阳分析仪器厂生产过SXI-V型快速BOD测定仪,青岛天林环保公司生产过BOD快速测量仪,以及天津赛普环保科技发展有限公司生产过BOD-220系列快速测量仪。这些方法大多采用的仍是国际上通用的微生物传感器法,它的分析信号取决于有机物选择性降解条件下微生物的呼吸强度,而BOD₅的分析信号取决于有机物非选择性生化降解过程中的氧化程度。也就是说,这些快速BOD法能够迅速获得结果是靠损失有机物的降解程度获得的,快速BOD法不能高效、非选择性降解有机物是其在实际应用中出现问题的根本原因。在有机物选择性降解条件下,微生物只利用水样中最少一部分、最容易降解的有机物进行呼吸作用,进而给出分析信号。对于个体微生物的数量、种类或不同微生物之间的比例的改变都会影响测量的精确度和重现性,这反映在分析监测中主要有:①分析结果受环境条件影响很大。传感器对某一种样品响应可能很好,而对其他种类的样品就差。②由于个体微生物的数量、种类及不同种类间比例的改变导致在分析样品时分析信号随时间的改变而变化。因而,个体微生物的数量或微生物的种类或不同种类间的比例的变化都会影响到呼吸速率从而影响到分析信号。在这种有机物选择性降解条件下,即使微生物的种类和数量能够保证,测量的精确度和重现性仍然会受到样品限制,因为对于一类给定的微生物,它的呼吸速率主要取决于样品中有机物(食物源)的种类。

除上述微生物传感器方法外,还有采用微生物反应器、生物燃料电池等方法快速测量BOD的。其目的就是要解决微生物种类单一,有机物降解效率低、高选择性的根本问题,进而希望得到与BOD₅更接近的测试结果。这种方法因为选择混合菌群微生物,因此在有机物降解种类及数量上较微生物膜传感器方法具有显著提高。然而,为了维持微生物活性的稳定(种群、数量),定时定量补充有机物是必不可少的。一方面,增加了人力成本,经济成本也不容忽视,另一方面,核心装置越复杂,要求越多,维护越多,对于终端用户来说长期连续使用越困难。

展望快速BOD测定方法发展30余年历程,至今还没有真正可靠的快速BOD测定方法,国内外BOD的测定仍普遍沿用着传统的五日培养法,滞后的信息反馈已经严重限制了监测的意义,发展适用、有效、可行的快速BOD方法面临巨大挑战。

1.3.3 水质监测传感器技术发展趋势

目前国内在水质监测传感器技术上宏观方面:

(1) 关键技术仍需突破

环境传感器是制约环保物联网应用的主要因素。目前,各种环境传感器功能仍比较单一、种类少,可靠性不高;多数在线监测仪器以化学分析类的为主,大部分依靠进口,价格和维护成本较高。其次,环境传感器组网、能耗、安全隐私等问题受到多运营商、多种通信制式、多网络的制约。另外,信息应用层次较低,可用的综合分析、模拟、判断、预测等应用系统较少,实际效果有限。

另外在应用方面仍面临着许多困难,如传感器识别元件响应稳定性、传感器的使用寿命、选择性、小型化等都还需要研究和完善。

(2) 应用范围需广泛深入

目前我国环保物联网主要应用于重点污染源监控和环境质量监测两个领域,土壤监测、海洋环境监测、生态环境监测等领域还没有纳入环保物联网体系。另外,已纳入监控体系环境污染物也是少数,如大多数污染源在线监控只是监测常规 pH 值、COD、氨氮、SO₂、NO₂、颗粒物等几种环境污染物,还有重金属、有机物、生物菌群等多数项目无法在线监控。环保物联网应用的范围、深度还远不能实现对环境保护的全面支撑。

因此,针对现有湖泊水质传感器大多依赖进口、价格昂贵、功耗大、校准过程复杂的不足,需基于无线传感器网络与先进传感器技术,研究多水质参数的原位高频检测技术和智能传感技术,研发低成本、低功耗、低电压、高性能的水环境多参数智能传感器。

另外在 BOD 监测传感器方面,中国科学院长春应用化学研究所电分析化学国家重点实验室董绍俊科研小组自从上世纪 90 年代便致力于快速 BOD 的实用方法研究中,提出了一种基于管状微生物膜反应器的快速 BOD 检测的新原理和新方法,创新性地利用玻璃管的内壁为载体培养微生物膜进而构建微生物膜反应器。此微生物膜反应器作为流动分析体系内载流的一部分,结合其末端连接的溶解氧电极便可进行水样 BOD 的快速、准确分析。其基本原理类似于污水处理厂普遍采用的生物膜处理污水技术,即当水样经微生物膜反应器到达氧电极时,水样中有机物与微生物膜均与接触过程中被非选择性降解,导致水样含氧量降低,通过计算水样溶解氧含量的变化即可计算该样品的 BOD 含量。这种方法相比以往所建立的快速 BOD 检测方法有诸多创新性的进步。

(3) 向小型化、自动化、国产化应用发展

现有水质在线监测设备大多为国外产品,国外对中国进行技术封锁和严控,使中国客户大量耗费采购成本,同时数据大量依靠进口设备,造成国家关键核心信息流失等安全性问题。随着国内环保管理力度和水体污染治理力度的加强,未来水质监测传感器的需求会愈发旺盛,除了常规监测站点布设外,还需提高设备仪器的便携性,来提高大流域、湖泊以及应急方面的监测能力,需进一步打造国产民族品牌,在 WTT 毒性监测、BOD 五日生化需氧量、电极法 COD、光学方法重金属检测、VOC 水中挥发性有机物在线监测、水中常规 10 参数在线监测仪小型化、自动化,配套物联网监测平台及远程质控系统相关技术的研发。

2 主要技术发展情况

2.1 主要技术发展情况

我国的环境在线水质监测仪器长期以来一直主要依赖进口,从2000年开始,一些国产的仪器设备才逐渐在围内推广。我国的环境水质在线监测仪器厂家目前还主要以民营为主,规模普遍偏小,技术不够成熟,仪器的可靠性、稳定性也不足,难以满足我国复杂的水体环境和日益多样化的污染物监测需求。市场整体存在集中度不高、区域分割严重、单一企业所占市场份额不大等问题。随着近年来国家对环保产业的重视和水质自动监测网络体系的建立,特别是“十五”、“十一五”期间,环境水质在线监测仪器厂家数量迅速增长,部分具备自主研发实力的企业也正在逐渐发展壮大起来,目前已经有近百家,如聚光科技(杭州)股份有限公司、河北先河环保股份有限公司、吉林市光大分析技术有限责任公司、广州市怡文环境科技股份有限公司、宇星科技(深圳)有限公司等业内领先的企业。

据中国工控网预测数据及环保产业协会数据显示,废水污染源监测仪器设备仅在线监测仪器系统的市场规模从2010年的近11亿元(2009年仅6.8亿元),到2013年就会达到23亿元左右的规模,每年有近30%左右的增长,而地表水在线监测仪器市场规模也从2010年的6亿元(2009年3.64亿元)增长到2013年的11亿元左右。特别是“十二五”期间,随着环保执法力度的继续增大和配套环境水质在线监测法律法规的相继出台,环境水质在线监测的需求将更加迫切,将促进我国环境水质在线监测市场快速发展,市场潜力巨大。但目前我国的环境水质在线监测仪仍存在规模小、力量弱等上述严重问题。如聚光科技仅占3.75%,河北先河仅为1.93%。

自1983年日本首先将快速BOD传感器开发成商品以来,已有不少的商品化仪器问世,如日本的Central Kagaku Corp.,德国的PGW GmbH, Dresden、Aucoteam GmbH, Berlin及Dr. Bruno Lange GmbH, Berlin等。近年来,日本日新、德国LAR又陆续推出BOD-3000生物耗氧量测定仪、BOD-3300自动在线快速测定仪、BioMonitor生物反应器等,四川美生科技有限公司与法国SECOMAM公司联合开发的MAYSUN-2100全自动在线式水质监测系统;国内有上海雷磁仪器厂生产过生物化学需氧量分析仪,沈阳分析仪器厂生产过SXI-V型快速BOD测定仪,青岛天林环保公司生产的BOD快速测量仪以及厦门大学进行的“海水BOD现场监测技术”研究等,其中天津赛普环保科技发展有限公司生产的BOD-220系列快速测量仪最受关注,但其采用的仍是国际上通用的单一微生物的生物传感器法,这类快速BOD法能够迅速获得结果是靠损失有机物的降解程度获得的,它不能高效、非选择性降解有机物是其在实际应用中出现问题的根本原因,这反映在BOD分析监测中:1.分析结果受环境影响很大;2.水中有机污染物的数量,种类及比例变化,导致呼吸速度改变,从而影响到分析信号。虽然国内外有如此众多的科技工作者从事这方面的工作,但BOD生物传感器法检测样品BOD的最核心问题即测量重现性、灵敏度及环境依赖性等,这些国际难题目前仍然没有得到有效地解决。BOD仪器在使用范围上大大受限,遇到成分复杂的水样就会导致检测灵敏度下降或检测重现性变差,甚至没有响应信号,无法解决快速BOD法取代传统的BOD5法这一矛盾,造成快速BOD法在实际应用中得不到

认可。

到目前为止，蛙类、鱼类、小鼠、浮游生物、海藻等已被用于水体总毒性检测，虽然这些方法的测试结果直观，但是由于其测试周期长、成本高、操作复杂，因此难以广泛推广，且不能满足现场快速检测的需求。

近年来，基于微生物的总毒性检测方法受到了广泛的关注。微生物种群数量大、生长周期短、对环境变化的敏感性高，具有与高等动物类似的物理化学特性以及酶作用过程等特点，因而适合开发省时、低耗、无道德争议的生物学毒性测试方法，尤其适合开发小型便携式水体毒性检测设备。在水体毒性的微生物检测方法中，基于发光细菌 *Vibrio fischeri* 的荧光方法是目前最成熟的方法。基于发光细菌的毒性测定系统的基本原理是用发光细菌作为受试体，利用毒性物质可影响发光细菌的新陈代谢，从而影响其发光强度，通过对发光强度减弱的测定，可快速准确地测定出样品的毒性，目前可测出水体中 2000 多种有毒有害物质。其准确性和可靠性与用标准小白鼠或鲤鱼来进行毒性实验的结果有明显的相关性，目前已获得广泛的认同。目前市场上已经有多种微生物发光毒性检测仪器，比如美国 Azur Environmental 公司 Microtox、Beckman 公司的 LUMISTox、Merck 公司的 TOX-Alert、HACH 公司的 Eclox，国内公司如南京南达分析仪器应用研究所的发光菌毒性分析仪 SafeLight Plus，上海欧陆毒性分析仪 ET1500。

尽管 Microtox 发光细菌试验法已成为环境样品毒性检测的生物测试技术之一，并被列入了国际标准（ISO11348）和德国国家标准（DIN38412），但这采用单一深海微生物为受试体，必会带来不可克服的问题和缺陷，对毒性物质的影响有选择性。此外，采用深海微生物 *Vibrio fischeri* 作为受试体，它对金属离子的毒性响应迟钝；为了平衡渗透压，测试必须在高盐度条件下进行，可能会引起样品中某些化学性质的改变。例如，对于低浓度金属样品，盐度校正会导致假阳性的结果；而对于一些溶解度低的样品，如苯酚，则会由于毒物的析出而导致假阳性结果。而且，该方法不能应用于混浊或有色样品的毒性检测。

质谱分析技术作为当代最重要的分析技术之一，在水环境监测领域具有越来越显著的作用。进入二十一世纪，随着经济发展，对环境、食品安全、公共安全提出了更高的要求，近年来，重大突发化学性中毒事件、水质污染等时有发生。2005 年吉林石化公司发生爆炸事故，苯类污染物流入松花江流域，造成水质污染，国家环保总局实行现场每小时动态监测。对于诸如松花江发生的重大水质污染事故，现场应急处理不可能等到实验室检测出来后再进行。质谱分析仪器可针对环境、社会安全的现场需要，快速发现并给予定性、定量的判断，从而进行快速反应。目前，国外发达国家一方面投巨资进行质谱检测技术研究，另一方面，对发展中国家实行技术封锁，以维持自己的垄断地位。而国产高质量在线分析仪器及自动监测系统多是国外引进的，研发适合中国国情具有自主知识产权在线质谱分析仪器，对建立、健全突发事件应急机制，提高应对涉及公共危机的突发事件的能力，维护社会稳定，保护环境，促进社会全面、协调、可持续发展具有重要意义。

小型质谱仪器的发展是从上世纪 90 年代中后期开始发展，首先在国外一些大学的实验室进行原型机的研究。目前，以离子阱和四极杆为质量分析器的小型质谱仪器已经开始商品化。世界上生产小型台式 GC/MS 仪器有美国 INFICON 公司和 ICx technology 公司、珀金-埃尔默公司、沃特斯公司等数十家公司，仪器的性能相近，售价都在 10 万美元左右。除了菲尼根公司的 Magnum 和瓦里安公司的 Setum 2000 采用三维四极离子阱分析器之外，

其余均采用四极杆质量分析器。目前,台式 GC/MS 的产量和销售量已于顶峰开始滑落, LC/MS 正朝着台式小型化的方向发展,其产量、销售量均呈上升趋势,但由于其技术开发的难度较大,其价格也远高于台式 GC/MS(一般为 20~30 万美元)。

我国早在 20 世纪 50 年代后期起步研发质谱仪,有十几个科研、教学院所和企业参与,并小批量推出同位素质谱仪和一些专用质谱仪。目前,国内质谱仪器研发团队主要有中国计量科学研究院化学所质谱室以方向为领导的质谱研发团队,复旦大学化学系丁传凡为领导的质谱研发团队。这些科研单位已在质谱研制方面取得丰硕的成果,并研制出台式质谱样机多台,小型仪器的研发也一直进行。

从技术发展来讲,采用以四极杆、飞行时间以及磁质谱等质量分析器为核心质谱仪器各有千秋。但是四极杆与其他质量分析器相比,可以在较高气压下工作,因此对真空度要求不是很苛刻;此外通过时序串联(而不是空间物理串联)可以实现多级质谱分析,整个四极杆分析器易于小型化,因此在小型质谱仪器生产中有独特优势,是一种很有发展前景的痕量在线分析仪器。

对水中重金属的检测技术多停留在实验室阶段,最常用的方法是原子吸收分光光度法(AAS)、电感耦合等离子-质谱法(ICP-MS)、电感耦合等离子体-发射光谱法(ICP-AES)、化学比色法和电化学分析方法。其中,原子吸收分光光度法分为石墨原子化原子吸收分光光度法(GF-AAS)、氢化物发生原子吸收光度法等等,石墨原子化原子吸收分光光度法是现行大多数重金属分析的标准方法之一。除此之外,一些使用到的方法包括化学比色法、X 射线荧光法、中子活化法、离子色谱等等,以及在此基础上的联用技术等。以下列表给出目前几个方法的基本原理和特点:

表 1 当前重金属检测方法比较

检测方法	基本原理	可检测金属种类/ 灵敏度	主要特点
火焰原子吸收 (FAAS)	用火焰将样品气化为基态原子,然后根据被测元素对特定频率辐射线的吸收进行分析。	大多数/检测下限 为 ppm	价格低,样品处理复杂耗时,单一元素检测,不能原位监测
石墨炉原子吸收 (GF-AAS)	利用石墨管使样品原子化,然后根据被测元素对特定频率辐射线的吸收进行分析。	大多数/检测下限 为 ppb	灵敏度高,样品处理复杂耗时,单一元素检测,不能原位监测
电感耦合等离子 体原子发射 (ICP-AES)	利用电感耦合使样品气化并产生等离子体,然后测量原子的发射光谱。	大多数/检测下限 为 ppm	价格高,多元素检测,样品处理复杂,耗时
电感耦合等离子 体质谱(ICP-MS)	利用电感耦合等离子体使样品气化,然后进行质谱分析。	大多数/检测下限 为 ppb	价格高,灵敏度高,多元素检测,样品处理复杂耗时,仪器庞大
X 射线荧光(XRF)	利用 X 射线将样品原子中的电子轰出,然后测量原子回到基态时发射出的 X 荧光。	不适用轻元素/检 测下限为 ppm	适用于固体、液体、气体,灵敏度不高,基体效应复杂

检测方法	基本原理	可检测金属种类/ 灵敏度	主要特点
中子活化 (NAA)	用反应堆、加速器或同位素中子源产生的中子作为轰击粒子,使样品活化并产生辐射能,然后通过分析样品辐射的 γ 射线谱。	大多数/检测下限为 ppt	低浓度,需要核反应装置
原子荧光 (AFS)	用火焰将样品气化,原子灯将样品原子激发到激发态,然后测量原子回到基态时发射出的荧光。	少数 (Hg) / 检测下限为 ppt	低浓度,单元素检测,分析种类受限
化学显色比色法 (Colorimetry)	基于被测物质对光辐射具有选择性吸收来进行测定的方法,通常需要加入显色剂。	10 多种/检测下限为 ppm	测量受限,适用液体
阳极溶出伏安法 (ASV)	利用金属离子在电极上富集和溶出过程中还原电位的特征位置以及电流的强度进行定性定量分析。	30 多种/检测下限为 ppb	灵敏度高,仅适用液体,分析种类受限,可便携,但不能原位检测
激光诱导击穿光谱 (LIBS)	利用高能脉冲激光将样品气化并产生等离子体,然后测量其发射光谱。 ¹	全部元素/检测下限为 ppm	适用固体、液体、气体,可便携,可原位检测,常规测量灵敏度不够。

原子吸收光谱法一般一次只能分析一种元素,检测限相对较高,且预处理复杂。以冷原子吸收光谱法测定水质中总汞含量为例:首先需要在加热的条件下用高锰酸钾和过硫酸在硫酸-硝酸,或在硝酸-盐酸介质中用微波仪消解,该步骤主要消除有机污染物对检测的影响;消解后的样品需用盐酸羟氨将二价汞离子还原成金属汞;最后在室温下通入空气或氮气,将汞气化后载入冷原子分析仪进行吸收光谱检测。该方法可用于几十种元素的检测,但过程复杂且环境温度低于 10°C 时灵敏度显著下降。相较原子吸收光谱法,原子荧光光度法检出极限低,谱线简单,但线性范围较窄(3~5 数量级),应用元素仅有二十几种。电感耦合等离子-质谱法和电感耦合发射光谱法能够同时分析多种元素,但检测耗时,样品制备过程中还会引入一定的物理干扰。以上提到的原子吸收光谱法、原子发射光谱法、离子色谱法、质谱法、电感耦合等离子体法无论是设备费用还是设备运营维护费用,成本都很高。因此,在重金属监测,尤其是野外监测领域并没有广泛普及。目前,国内外真正应用于水中重金属分析的技术主要是比色法和电化学分析方法。

比色法是经典的化学分析方法之一,主要基于 Lambert-Beer 定律,该方法原理简单,不需要特殊设备,一般分光光度计即可满足需求,因此在实验室重金属分析中依旧较为常见。当该技术应用于水质重金属分析时,选择合适的显色剂,以及消除其他金属组分干扰是关键;其次是获得稳定可靠的单色光,以及光强检测系统。阳极溶出伏安法,是将电化学富集与测定方法有机地结合在一起的一种方法。先将被测物质通过阴极还原富集在一个固定的微电极上,再由负向正电位方向扫描溶出,根据溶出极化曲线来进行分析测定。阳极溶出伏安分析技术 (ASV) 使得样品中很低浓度 (~ng/L) 的金属都能够被快速检测出来,并有良好精密度的。由于重金属在水环境,特别是地表水、饮用水源地等水环境中的含

量不高(基本在 $\mu\text{g/L}$ 数量级),即便是市政以及工业企业污水排放口,也仅仅在几十到几百 $\mu\text{g/L}$ 数量级,因此检测限低的电化学溶出分析技术在重金属监测中发挥了很好的作用。

2.2 技术专利情况

在环保物联网水质监测传感器领域的相关专利情况如下表所示:

表2 环保物联网水质监测传感器领域的相关专利情况

序号	专利类型	专利名称	专利号
1	发明	痕量溶解氧电化学传感器	ZL200510119068.2
2	发明	在线全自动钠离子浓度分析仪	ZL200510119092.6
3	发明	超超临界发电机组自调式水汽取样架	ZL200510017041.2
4	发明	凝汽器凝结水取样装置的气水分离器	ZL200810050597.5
5	实用新型	污水 PH 计玻璃电极的自动清洗装置	ZL201020120121.7
6	实用新型	水表面叶绿素 a 检测装置	ZL201020619325.5
7	实用新型	生活饮用水 COD 在线自动检测仪	ZL200920094529.9
8	实用新型	一种耐高温高压低流量水汽分析取样装置配套过滤器手续合格通知书	2007200005161
9	实用新型	一种耐高温高压低流量水汽分析取样装置配套过滤器	ZL200720000516.1
10	实用新型	在线全自动钠离子浓度分析仪	ZL200520029575.2
11	实用新型	超超临界发电机组自调式水汽取样架	ZL200520029061.7
12	实用新型	凝汽器凝结水取样装置的气水分离器	ZL200820071694.8
13	实用新型	痕量溶解氧电化学传感器	ZL200520029538.1
14	实用新型	基于光声光谱技术的 SF6 检测系统	ZL200920093246.2
15	实用新型	水质浊度测量仪的光电检测装置	ZL02209646.9
16	实用新型	纤维过滤装置	ZL98246416.9
17	实用新型	双套式流体高效降温降压器	ZL98209812.X
18	实用新型	杆式自清洗过滤器	ZL97230386.3
19	实用新型	在线水质浊度测量仪检测器的自清洗装置	ZL02209645.0
20	实用新型	液位式可控计时注入装置	ZL98209358.6
21	实用新型	复合式光电检测装置	ZL99256219.8
22	实用新型	恒压式可控计时注入装置	ZL02274364.2
23	实用新型	光电检测装置混合反应池的消解器	ZL02210051.2
24	实用新型	光电检测装置混合反应池的加热器	ZL02210050.4
25	实用新型	流体高效降温降压器	ZL95229316.1
26	实用新型	交流变频式自动加药控制装置	ZL94202285.8
27	发明专利	一种现场培养微生物用于快速生化需氧量检测的方法	ZL 2008 1 0051494.0
28	发明专利	一种传感器式生化需氧量在线监测仪	ZL 2006 1 0130885.2
29	发明专利	一种生化需氧量的检测方法	WO 2013/152474
30	发明专利	一种检测生化需氧量的方法及装置	ZL 2012 1 0313038.5
31	发明专利	一种生化需氧量的检测方法	ZL 2012 1 0103635.5
32	发明专利	一种生化需氧量的检测方法	ZL 2012 1 0199406.8

序号	专利类型	专利名称	专利号
33	发明专利	一种用于生物传感器测定生化需氧量的包埋 BODseed 的有机-无机杂化材料膜及制法	201010519033.9
34	发明专利	一种在线生化需氧量的检测方法及其装置	CN201510526137.5
35	发明专利	一种监测微囊藻毒素的方法	ZL 2011 1 0312171.4
36	发明专利	用于检测水体毒性的检测装置及水体毒性的检测方法	ZL 201110427038.3
37	发明专利	用于水质在线监测的检测装置及水质在线监测方法	ZL 201210308355.8
38	发明专利	水体毒性检测装置的微电极清洗方法	201510267950.5
39	发明专利	一种微盘电极或微盘阵列电极的制备方法	ZL 200710055628.1
40	发明专利	一种微盘阵列电极组件及微盘阵列电极的制备方法和装置	ZL 200910259577.3
41	发明专利	用于水质在线监测的检测装置及水质在线监测方法	ZL 2012103083558
42	发明专利	用于检测水体毒性的微生物反应器及水体毒性的检测方法	ZL 2012100048054
43	发明专利	用于检测水体毒性的检测装置及水体毒性的检测方法	ZL 2011104270383
44	发明专利	一种超微阵列电极的制备方法	ZL 201210384966.0
45	发明专利	一种集成式微阵列电极的制备方法	CN 201410071909.6
46	发明专利	一种集成式微阵列电极的制备方法	CN 201410071940.X
47	发明专利	用于生物化学需氧量生物传感器的微生物有机-无机杂化材料膜	2002116457.6
48	发明专利	纳米金修饰的二氧化钛纳米管电极的应用	ZL 200810050984.9
49	发明专利	一种纳米 TiO ₂ 纳米薄膜传感电极的制备方法	ZL200810050648.4
50	发明专利	一种电极及其制备方法以及一种化学需氧量的检测方法	201110339976.8
51	发明专利	在溶液体系中不除氧条件下的人工媒介体测定生物化学需氧量的方法	ZL 2009 1 0217825.8
52	发明专利	用于水质在线监测的检测装置及水质在线监测方法	ZL201210308355.8
53	发明专利	一种维特比译码方法及维特比译码器	201110038105.2
54	发明专利	一种应用于 OFDM 基带系统的数据传输方法及系统	201110040848.3
55	发明专利	任务协同方法、装置及物联网系统	201110077159.X
56	发明专利	一种信道估计方法和装置	201110090713.8
57	发明专利	一种时隙和信道的分配方法及无线传感网络	201110091382.X
58	发明专利	时间偏移误差的计算方法及系统	201110137796.1
59	发明专利	一种无线传感器网络数据收集方法及装置	201110212375
60	发明专利	一种信噪比估计方法	201110213422.3
61	发明专利	一种无线传感器网络定位方法及系统	201110301062.2
62	发明专利	一种无线传感器网络的数据融合方法和装置	201110300015.6
63	发明专利	一种获得数据插值的方法及系统	201110393256.X
64	发明专利	一种信号频率的校正方法和装置	201110418543.1
65	发明专利	一种传感数据的聚类分析方法和系统	201110450931.8
66	发明专利	一种带宽调整方法、发射机和接收机	201010570537.3
67	发明专利	一种传输模式调整方法、传输模式控制器和传输设备	201010569949.5
68	发明专利	一种信道估计方法及装置	201010601751
69	发明专利	一种矩阵简化方法、降噪方法及装置	201010601838.8
70	发明专利	一种正交频分复用系统中的信道估计方法及装置	201010573201.2
71	发明专利	单频网无线接入方法及相关装置和系统	201010571115.8

序号	专利类型	专利名称	专利号
72	发明专利	基于单频网络的小区切换方法及装置、系统	201010569836.5
73	发明专利	一种信道估计方法及装置	201010601326.1
74	发明专利	一种增强的虚拟多天线 OFDM 接收机信道估计装置及其方法	201010571006.6

在环保物联网水质监测传感器领域的相关专利情况如下表所示:

表 3 环保物联网水质监测传感器领域的相关专利情况

资质或者产品名称	认定或者授权部门	获得年份
IEEE802.15.4c 国际标准	IEEE Standards Association	2012 年 4 月
IEEE802.15.4g 国际标准	IEEE Standards Association	2012 年 4 月
ISO/IEC JTC1 29182-5 国际标准	ISO	2013 年 7 月
ISO/IEC JTC1 20005 国际标准	ISO	2013 年 7 月
信息技术 传感器网络 第 1 部分: 参考体系结构和通用技术要求	国家标准化管理委员会	2012
信息技术 传感器网络 第 2 部分: 术语	国家标准化管理委员会	2012
信息技术 传感器网络 第 301 部分: 通信与信息交换: 低速无线传感器网络网络层和应用支持子层规范	国家标准化管理委员会	2012
信息技术 传感器网络 第 501 部分: 标识: 传感节点标识符编制规则	国家标准化管理委员会	2012
信息技术 传感器网络 第 701 部分: 传感器接口: 信号接口	国家标准化管理委员会	2012

2.3 我国自主知识产权技术的竞争力评价

我国现有专利技术中与环保物联网水质传感器以及感知网络领域相关的技术专利数量大、覆盖面也较为广泛,尤其是物联网相关标准在国际上也有一定的影响力,为我国环保物联网的发展提供了技术支持。但我国在水质传感器监测领域还缺少核心专利、专利转化率低等问题。目前环境监测方面、实验室检测分析方面还是依赖国外的技术和进口设备,多为照搬国外技术和设备或进行一定程度而的改良。国内具备自主知识产权的技术和设备不多,所开发的仪器设备核心部件仍是进口,包括光谱仪、光源、探测器等。核心零部件性能对于仪器整体性能的提升至关重要。但全部国外零部件,也难于形成有国际竞争力的产品。值得欣慰的是,环保物联网 BOD 快速在线监测仪具备国际领先技术,该技术也成功转化为仪器设备、投入试点示范,相关技术检验验证也已达标。

3 存在问题

3.1 监测手段与监测指标还需完善

我国在环境保护监测技术方面研究起步晚、基础薄弱,环境监测感知设备技术水平较

国外有较大差距。在监测方法体系仍存在一些问題：

(1) 污染源的监测还是以常规污染物因子为主，较少涉及特征污染物。尤其是许多新型的行業，产生了许多以前不常见或未知的污染因子。这种情况下，仅按照原来的测试因子已很难反映出企业实际污染状况。另外采用末端排口监测，缺乏掌握污染源企业污染排污的真实情况，数据有效性不高。

(2) 有机污染物（如醛类、酮类）、微量元素污染物、痕量金属、VOCs 等等仍然缺失相应地分析方法。

(3) 水环境分析方法有待完善。第一，现有的水环境质量、污水排放与标准分析方法不配套，且水质分析方法缺乏系统性。第二，多数水环境参数只起到描述水质的作用，而不能切实反映水质污染的现状。第三，许多水质分析参数如活性氯、DMP、丁基黄原酸等干扰因素多，需要寻找新的分析方法消除干扰。第四，水质在线监测、遥感监测等已应用于水质监测领域，但这种新型的技术仍不成熟，仍需要提高。

(4) 生态监测处于起步阶段，目前仍没有完善的监测方法，且没有完整的质量体系保障其准确性。再有，生态监测领域不全面，生态监测应以“生物”为中心，从影响生物活动各个方面包括大气、地表水、声音、土壤、辐射等各方面进行监测。从目前来看生态监测仅局限于地表水领域，不能代表整个生态系统。

目前我国监测设备和技术还主要依赖进口，国外产品占 70% 以上市场份额，美国赛默飞世尔、美国 MetOne、法国 ESA 等掌握着市场话语权，国内只有雪迪龙、聚光科技、先河环保和天瑞仪器等有限的几家公司涉及该领域。在环境监测仪器的其他领域也面临类似的问题，整体表现为低端产品的重复生产制造严重，高端监测分析仪器偏少，仍然被国外垄断。一次仪表、传感器等核心部件仍然依赖国外进口。再加上稳定性、抗衰老性等问题导致 ABB、哈希、热电、岛津等外资品牌占据了较大的市场份额和中国的高端市场。

3.2 数据可用性不高，缺乏深度应用

环境监测是为环境管理服务，是为政府及环境管理机关提供依据，故必须完整地、准确地客观地反映排污状况及其相关方面的情况。但目前地方政府环境监测站与行业、企业环境监测站出具的环境监测报告数据差异较大，问題较多。

环境监测经过三十余年的发展，取得了较好的成绩，提高了对污染排放、风险源、危险品等监督和管理的工作效能，一定程度上缓解和控制着环境质量急剧恶化的趋势。同时，环保信息化的应用与发展也给环境保护积累了大量的原始数据资源，如环境质量的监测数据、污染源排放的监测数据、生态环境的监测数据等等，这些数据将是分析环境质量变化规律、探寻污染综合治理措施、改善生态环境的宝贵资源。

但是因种种因素导致这些数据的可用性还很低，除了职能部门业务差异与空间物理隔离的限制因素外，主要原因还有：一是标准问題，环保行业数据格式无统一标准、交换与共享接口无统一标准等，导致数据交换与共享应用的工作量倍增，应用难度大；二是数据有效性问題，传感器的检测技术、性能稳定性、工作动力环境，传输过程的连续性、安全性，一数多源以及人为篡改等现状，都会导致数据的有效性差，可用性低；三是数据分析技术应用程度问題，相对金融、电子商务等行业等环保管理还未引入或深度应用数据分析技术，个别领先地市引入数据管理工具主要用作数据有效性审核，也有尝试利用统计模型

和数值模型进行环境质量的推演与预测，效果还不是很理想。从另一个角度讲，也是因为目前环保数据还只是为了单纯的“收集”，并没有充分发挥出潜在的价值，而使得数据质量的要求不高，质量控制未得到有效地重视，从而也导致标准与数据深度应用方面乏统一的设计和规划。总之，环保数据的深度挖掘与应用会促进数据标准的建立、数据可用性的提升、数据分析技术的应用与推广，反之标准的建立、可用性的提高、分析技术的应用也会拓展环保数据的价值。

在国内，像环保行业一样诸多行业机构在构建的数据挖掘相关技术应用方面还只是简单的采用国外的技术和方案，但在应用核心技术与创新方面还是远远落后其他国家，没有完全消化国外的技术和产品。在数据挖掘技术创新方面很难有大的建树，并且国内的数据挖掘平台没有其内在真正的核心。

4 对策建议

（1）建立环保物联网水环境污染监测装备工程实验室。环保物联网所需要监测技术必须要走国产化过程，故需要大量的研发投入和试验投入，希望国家出台更多的指导及扶持行政策，促进项目健康发展。把无锡打造成全国领先的水质在线监测设备物联网生产及应用基地，帮助国家完善监控技术及网络。

（2）加强仪器核心技术和核心设备的研发，制定物联网质控标准体系，推动产品的标准化和应用化，带动、建立传感器研发生产-数据采集传输标准制定-数据平台开发-数据分析应用-决策反控的“产、学、研、用”的完整产业链。在“物联网实验室分析系统应用、传感器状态参数传输和反控应用、互联互通开放共享的环保大数据平台应用”等领域优先攻关和突破。

（3）加强检测仪器的自动化、小型化、便携化研究，打造国产民族品牌。

噪声污染控制技术
发展报告

城市噪声与振动控制技术发展报告

1 所属行业或领域总体概况

1.1 2014-2015 年国内外相关法规、政策、标准体系现状

随着《中华人民共和国环境保护法》修订工作经第十二届全国人民代表大会常务委员会第八次会议修订于 2014 年 4 月 24 日顺利完成、2015 年 1 月 1 日起施行,正式确立了“环境保护坚持保护优先、预防为主、综合治理、公众参与、损害担责的原则”,进一步强化了环境保护的战略地位,突出强调政府责任、监督和法律责任。

我国现行环境噪声相关标准主要包括以下五类,以及其他相关环境噪声标准。

(1) 保证人体健康和社会宁静的声环境质量标准

声环境质量标准目的是保护人体健康和社会宁静,创造适宜的生活、工作和学习的环境。评价环境噪声是否符合环境保护要求的量化指标,也是制订高噪声产品标准和高噪声活动或场所噪声排放标准的法理基础和科学依据。

在形式上,声环境质量标准完全是从受体保护(人的睡眠、交谈思考、避免主观烦恼)的角度,分功能区(居住区、商业区、工业区、交通干线两侧区域等)或保护目标规定标准限值要求,遵循敏感点控制的原则。

(2) 针对高噪声源或场所的噪声排放标准

环境噪声排放标准是针对环境噪声污染源场所或活动而制定的强制实施标准,是政府实施环境噪声管理的行政措施依据,具有法律约束力。根据环境噪声管理实践,从性质上又可以将环境噪声排放标准进一步区分为 3 类不同的标准:公共交通设施噪声排放标准和其他噪声源噪声排放标准及公共场所的噪声排放标准。

(3) 针对高噪声产品的辐射标准

噪声辐射标准主要针对建筑和家庭用设备、工程机械、机动车辆、铁路机车、飞机等高噪声产品,规定其噪声辐射水平。适用于产品个体,考虑噪声源头削减。

(4) 针对噪声测量方法的测量方法标准

(5) 针对噪声功能区划分,环境噪声影响评价、验收等管理标准

(6) 环境基础类标准

环境基础类标准指在环境标准化工作范围内,对有指导意义的符号、代号、指南、程序、规范等所做的统一规定,是制定其他环境标准的基础。

噪声振动控制领域相关技术政策和标准体系建设的不断完善,不断推进着噪声振动控制行业的技术进步和业务拓展。

表1 已颁布或新修订的声环境标准

类别	标准编号	标准名称	说明
环境质量标准	GB 3096-2008	声环境质量标准	针对敏感目标保护
	GB 9660-1988	机场周围飞机噪声环境标准	
	GB 10070-1988	城市区域环境振动标准	修订中
环境排放标准	GB 12348-2008	工业企业厂界环境噪声排放标准	针对高噪声活动或场所
	GB 12523-2011	建筑施工场界环境噪声排放标准	
	GB 22337-2008	社会生活环境噪声排放标准	
	GB 12525-90	铁路边界噪声限值及其测量方法	
	GB/T 15190-2014	声环境功能区划分技术规范	
	GB 1495-2002	汽车加速行驶车外噪声限值及测量方法	针对高噪声产品
	GB 16169-2005	摩托车和轻便摩托车加速行驶噪声限值及测量方法	
	GB 4569-2005	摩托车和轻便摩托车定置噪声排放限值及测量方法	
辐射标准	GB 19757-2005	三轮汽车和低速货车加速行驶车外噪声限值及测量方法	
	GB/T 3450-2006	铁道机车和动车组司机室噪声限值及测量方法	
	GB 14892-2006	城市轨道交通列车噪声限值和测量方法	
	GB 5980-2000	内河船舶噪声级规定	
	GB 5979-1986	海洋船舶噪声级规定	
	GB 4964-1985	内河航道及港口内船舶辐射噪声的测量	
	GB 20062-2006	流动式起重机 作业噪声限值及测量方法	
	GB 13669-1992	铁道机车辐射噪声限值	
	GB 16170-1996	汽车定置噪声限值	
	GB/T 8 059.2-1995 (5.5.7.1)	家用制冷器具 冷藏冷冻箱噪声声功率级限值	
	GB/T 18321-2001	农用运输车噪声限值	
测量方法	GB 6376-2008	拖拉机 噪声限值	
	GB 10071-1988	城市区域环境振动测量方法	修订中
	GB/T 9661-88	机场周围飞机噪声测量方法	修订中
	GB/T 14365-93	声学 机动车辆定置噪声测量方法	
	HJ/T 90-2004	声屏障声学设计和测量规范	
	HJ 640-2012	环境噪声监测技术规范 城市声环境常规监测	
	HJ 661-2013	环境噪声监测点位编码规则	
	HJ 2034-2013	环境噪声与振动控制工程技术导则	
	HJ 706-2014	环境噪声监测技术规范 噪声测量值修正	
	HJ 707-2014	环境噪声监测技术规范 结构传播固定设备室内噪声	
		功能区声环境质量自动监测技术规范	制定中
		环境噪声自动监测系统技术要求	制定中
	环境振动监测技术规范	制定中	
	地下轨道交通结构噪声排放监测方法	制定中	

类别	标准编号	标准名称	说明
管理标准	HJ/T 2.4-2009	环境影响评价技术导则-声环境	
	HJ/T 130-2003	规划环境影响评价技术导则（试行）	
	HJ 616-2011	建设项目环境影响技术评估导则	
	HJ 453-2008	环境影响评价技术导则 城市轨道交通	（立项修订）
	HJ 552-2010	建设项目竣工环境保护验收技术规范 公路	
	HJ/T 403-2007	建设项目竣工环境保护验收技术规范 城市轨道交通	
	HJ/T 394-2007	建设项目竣工环境保护验收技术规范 生态影响类	
	HJ/T 255-2006	建设项目竣工环境保护验收技术规范 火力发电厂	
	HJ/T 436-2008	建设项目竣工环境保护验收技术规范 港口	
	HJ/T 408-2007	建设项目竣工环境保护验收技术规范 造纸工业	
	HJ/T 405-2007	建设项目竣工环境保护验收技术规范 石油炼制	
	HJ/T 404-2007	建设项目竣工环境保护验收技术规范 黑色金属冶炼及压延加工	
	HJ/T 256-2006	建设项目竣工环境保护验收技术规范 水泥制造	
	GB 15190-94	城市区域环境噪声适用区划分技术规范	
HJ 641-2012	环境质量报告书编写技术规范		
防治技术标准	HJ/T 17-1996	隔声窗	
	HJ/T 379-2007	环境保护产品技术要求 隔声门	
	HJ/T 380-2007	环境保护产品技术要求 橡胶隔振器	
	HJ/T 381-2007	环境保护产品技术要求 阻尼弹簧隔振器	
	HJ/T 382-2007	环境保护产品技术要求 高压气体排放小孔消声器	
	HJ/T 383-2007	环境保护产品技术要求 汽车发动机排气消声器	
	HJ/T 384-2007	环境保护产品技术要求 一般用途低噪声轴流通风机	
	HJ/T 385-2007	环境保护产品技术要求 低噪声型冷却塔	
	HJ 2523-2012	环境保护产品技术要求 通风消声器	
	GB 50118-2010	民用建筑隔声设计规范	
	GB/T 50121-2005	建筑隔声评价标准	
	GB/T 21232-2007	声学 办公室和车间内声屏障控制噪声的指南	
	JT/T 646-2005	公路声屏障材料技术要求和检测方法	
TB/T 3122-2010	铁路声屏障声学构件技术要求及测试方法		
环境标志标准	HJ/T 221-2005	环境标志产品技术要求 家用微波炉	
	HJ/T 224-2005	环境标志产品技术要求 干式电力变压器	
	HJ/T 237-2006	环境标志产品技术要求 塑料门窗	
	HJ/T 304-2006	环境标志产品技术要求 房间空气调节器	
	HJ/T 308-2006	环境标志产品技术要求 家用电动洗衣机	
	HJ/T 236-2006	环境标志产品技术要求 家用制冷器具	
	HJ/T 385-2007	环境保护产品技术要求 低噪声型冷却塔	
	HJ 459-2009	环境标志产品技术要求 木质门和钢质门	
	HJ 2514-2012	环境标志产品技术要求 吸尘器	
	HJ 2520-2012	环境标志产品技术要求 重型汽车	
HJ 2523-2012	环境保护产品技术要求 通风消声器		
技术政策	环发[2010]7号	地面交通噪声污染防治技术政策	

表2 2014年新颁布的部分与环境、声学相关的标准

标准编号	标准名称	发布部门	实施日期
GB 50949-2013	《扩声系统工程施工规范》	住房和城乡建设部	2014-06-01
GB/T 9397-2013	《直接辐射式电动扬声器通用规范》	国家质量监督检验检疫总局	2014-05-01
GB/T 12179-2013	《噪声发生器通用规范》	国家质量监督检验检疫总局	2014-07-15
GB/T 29529-2013	《泵的噪声测量与评价方法》	国家质量监督检验检疫总局	2014-03-01
GB/T 50087-2013	《工业企业噪声控制设计规范》	住房和城乡建设部	2014-06-01
GB/T 29531-2013	《泵的振动测量与评价方法》	国家质量监督检验检疫总局	2014-03-01
GB/T 29715-2013	《机械振动与冲击桥和高架桥动态试验和检测指南》	国家质量监督检验检疫总局	2014-06-01
GB/T 15168-2013	《振动与冲击分离器静、动态性能测试方法》	国家质量监督检验检疫总局	2014-06-01
GB/T 12 060.7-2013	《声系统设备第7部分:头戴耳机和耳机测量方法》	国家质量监督检验检疫总局	2014-07-15
GB/T 50948-2013	《体育场建筑声学技术规范》	住房和城乡建设部	2014-06-01
QB/T 4599-2013	《工业用缝纫机噪声声功率级的试验方法》	工业和信息化部	2014-07-01
DB11/T 1 034.1-2013	《交通噪声污染缓解工程技术规范第1部分:隔声窗措施》	北京市质量技术监督局	2014-01-01
DB11/T 1 034.2-2013	《交通噪声污染缓解工程技术规范第2部分:声屏障措施》	北京市质量技术监督局	2014-04-01
GB/T 14 790.2-2014	《机械振动人体暴露于手传振动的测量与评价第2部分:工作场所测量实用指南》	国家质量监督检验检疫总局	2014-12-01
JB/T 8690-2014	《通风机噪声限值》	工业和信息化部	2014-11-01
JJG 1095-2014	《环境噪声自动监测仪检定规程》	国家质量监督检验检疫总局	2014-04-23
DL/T 1327-2014	《高压交流变电站可听噪声测量方法》	国家能源局	2014-08-01
QC/T 70-2014	《摩托车和轻便摩托车发动机噪声测量方法》	工业和信息化部	2014-10-01
JB/T 8689-2014	《通风机振动检测及其限值》	工业和信息化部	2014-11-01
JB/T 4364-2014	《风机配套消声器性能试验方法》	工业和信息化部	2014-11-01
JB/T 5137-2014	《通用小型汽油机排气消声器技术条件》	工业和信息化部	2014-11-01
JB/T 5141-2014	《通用小型汽油机排气消声器设计参数》	工业和信息化部	2014-11-01
JC/T 469-2014	《吸声用玻璃棉制品》	工业和信息化部	2015-04-01
JJF 1468-2014	《无指向性声源校准规范》	国家质量监督检验检疫总局	2014-09-15
DB44/T 1479-2014	《电动汽车动力电池振动试验》	广东省质量技术监督局	2015-03-02

表3 2015年新颁布的部分与环境、声学相关的标准

标准编号	标准名称	发布部门	实施日期
GB/T 28784.2-2014	《机械振动船舶振动测量第2部分:结构振动测量》	国家质量监督检验检疫总局.	2015-03-01
GB/T 30649-2014	《声屏障用橡胶件》	国家质量监督检验检疫总局.	2015-07-01
GB/T 4854.6-2014	《声学校准测听设备的基准零级 第6部分:短时程测试信号的基准听阈》	国家质量监督检验检疫总局.	2015-02-01
GB/T 17697-2014	《声学风机和其他通风设备辐射入管道的声功率测定管道法》	国家质量监督检验检疫总局.	2015-02-01
GB/T 31004.1-2014	《声学建筑物和建筑构件隔声的声强法测量 第1部分:实验室测量》	国家质量监督检验检疫总局.	2015-02-01
GB/T 31004.2-2014	《声学 建筑和建筑构件隔声的声强法测量 第2部分:现场测量》	国家质量监督检验检疫总局.	2015-02-01
GB/T 31004.3-2004	《声学 建筑和建筑构件隔声的声强法测量 第3部分:低频实验室测量》	国家质量监督检验检疫总局.	2015-02-01
GB/T 31013-2014	《声学 管道、阀门和法兰隔声》	国家质量监督检验检疫总局.	2015-02-01
GB/T 31014-2014	《声学 水声目标强度实验室测量方法》	国家质量监督检验检疫总局.	2015-02-01
GB/T 15190-2014	《声环境功能区划分技术规范》	环境保护部	2015-01-01
GBZ 7-2014	《职业性手臂振动病的诊断》	国家卫生和计划生育委	2015-03-01
GBZ 49-2014	《职业性噪声聋的诊断》	国家卫生和计划生育委	2015-03-01
HJ 706-2014	《环境噪声监测技术规范 噪声测量值修正》	环境保护部	2015-01-01
HJ 707-2014	《环境噪声监测技术规范 结构传播固定设备室内噪声》	环境保护部	2015-01-01
GB/T 19118-2015	《三轮汽车和低速货车噪声测量方法》	国家质量监督检验检疫总局.	2015-10-01
GB/T 31884-2015	《车载式轮胎路面噪声自动测试系统》	国家质量监督检验检疫总局.	2015-12-01
JJG 2054-2015	《振动计量器具检定系统表》	国家质量监督检验检疫总局	2015-10-10
JJG 175-2015	《工作标准传声器(静电激励器法)检定规程》	国家质量监督检验检疫总局.	2015-07-30
JJF 1496-2015	《声源识别定位系统(波束形成法)校准规范》	国家质量监督检验检疫总局.	2015-02-17
JJF 1505-2015	《声发射检测仪校准规范》	国家质量监督检验检疫总局.	2015-04-30
JJF 1520-2015	《声学用头和躯干模拟器校准规范》	国家质量监督检验检疫总局.	2015-07-10
JJF 1533-2015	《白噪声信号发生器校准规范》	国家质量监督检验检疫总局.	2015-09-15
JJF 1533-2015	《白噪声信号发生器校准规范》	国家质量监督检验检疫总局	2015-09-15
LY/T 2487-2015	《木质地板冲击噪声测试方法》	国家林业局	2015-05-01
DB11/T 1178-2015	《地铁车辆段、停车场区域建设敏感建筑物项目环境噪声与振动控制规范》	北京市质量技术监督局	2015-07-01
14K116-2XZP200	《系列消声器选用与制作》	住房和城乡建设部	2015-01-01
14SK116-3	《微缝板消声器选用与制作》	住房和城乡建设部	2015-01-01

对比美国、欧盟、日本及我国香港、台湾的环境噪声标准体系。这些国家(地区)的环境噪声标准体系建设模式可以分成二类:

一类是美国法规模式。美国以《噪声控制法》为中心,在联邦、州和其他行政部门之间分配权力,联邦对主要污染如飞机与机场、州际公路和铁路运输等实施监督管理,主要表现在:计划对主要污染源的确定(制定和发布环境噪声基准与标准、汇编噪声源和控制技术报告)、飞机噪声标准、铁路噪声排放标准、机动车运输业噪声排放标准、其他商业流通产品(建筑设备、运输设备、发动机、电工和电子设备等)噪声排放标准、开发低噪声排放产品、噪声标签、法规实施(处罚)等内容。州和其他行政部门则保留对噪声源的使用和环境允许噪声水平进行控制的权力。限值要求是噪声法规的一个组成部分,是欧盟的情况也与美国类似。

另一类是以日本为代表标准模式。即:主要由国家环境保护机构制定相关标准,全国统一执行,噪声法规文本不包含各类噪声标准。我国大陆、台湾也属于这种模式。

英国、欧盟为了尽量减少噪声带来的不利影响,在城市规划中给予高度重视。欧盟于2002年发布了2002/49/EC指导令,发展了环境噪声的评价和管理政策。首先,协调噪声指数以及对于环境噪声评价方法。来自于不同声源的噪声其效应相差很大,可以定义为不同的噪声污染源。第二,推荐采用 L_{den} 评价及共同的评价方法,以噪声地图的形式获得噪声暴露的信息,主要应包括公路、铁路、机场和居住区;向公众通报噪声暴露水平及影响,制定行动计划解决噪声污染问题。第三,使得该信息被广大公众所了解,从而对于本地的规划造成影响,以此进一步提高欧盟的形象,发展欧盟测试策略。值得注意的是,它的不是要寻求一个欧盟范围内共同的噪声限值。

在欧盟,噪声地图绘制是为环境噪声的管理和污染防治服务的,在噪声地图绘制完成后,要根据噪声地图制定该区域的“环境噪声缓解行动计划”。行动计划的主要内容包括:噪声地图结果的简要概述,噪声影响人口的评估,未来五年需采取的环境噪声缓解措施,措施实施后的效果评估以及成本效益评估,以达到声环境质量切实改善的目的。

欧盟发布了《欧洲夜间噪声指导方针》,为保护公众,包括最弱势的群体,如儿童,慢性病患者和老年人,将40dB(2002/49/EC指令中规定的室外 L_{night})作为夜晚噪声指导方针(NNG)的目标。由于各种原因有些国家NNG不能在短期内实现,决策者采取逐步实现的方法:建议55dB(2002/49/EC指令中规定的室外 L_{night})作为一个中期的目标,这些准则适用于成员国欧洲的国家或地区,并可以被认为是WHO《社区噪声指南》的一个扩展和更新。

国外一般不区分“质量”与“排放”,只是从管理需要(噪声控制)出发,规定噪声“控制”或“规划”的标准。上述国家、地区、国际组织的环境噪声标准(法规)中,没有名称叫“质量”标准(法规),只有美国夏威夷州在其行政法规第46章社区噪声管制(§11-46-1)“目的”一节中有“建立噪声质量标准,以保护公众健康和福利,这是本章的目的”的表述。重视为达到标准要求或者维持环境质量的噪声消减计划。在标准或法规中都有非常明确的相关内容的要求。

欧盟、美国、香港重视土地建筑的噪声规划工作,噪声规划工作是噪声管理与控制的最初步骤,通过标准、法规指导地方使用其规划的权力,以尽量减少噪声带来的不利影响。

1.2 2014-2015年国内外对污染控制涉及的重点行业的污染控制管理现状

从行业发展分析,目前我国噪声振动控制产业的总体热点仍旧集中在铁路、公路与城

市轨道交通领域。随着国家新一轮“拉动战略”的紧急部署，新建铁路、公路项目均严格按照“三同时”要求规划、实施了大量噪声振动控制措施，工程总量一直持续增加；加之部分已竣工项目降噪措施的实施不够到位（例如从大量公路铁路竣工环保验收调查报告可见，有较大比例的声屏障工程实施长度和高度均有不足），其补救改造工作也带来一定增量，使得交通噪声污染治理继续成为近期最为突出的环境污染防治工作的要素。而具有传统优势的电力、冶金、建材、化工行业噪声振动控制以及建筑声学处理等方面也都处于下降通道，电力行业因发电厂与输变电系统的新建项目持续减少，近期噪声控制工程总量下降，但也有少量改造项目带来一定增量。

随着全国范围多城市持续雾霾的影响日趋严重以及水污染黑幕的不断曝光，环境污染整体控制的呼声日益高涨，有力推动了环境污染治理暨环境保护产业的进阶发展。但在这样全民聚焦大气和水污染治理的特定背景下，从环保部到各级环保主管部门的领导，出于污染治理的紧迫性考虑和“抓大放小”的客观业绩需求，各级政府、执法机构对噪声振动控制专业领域的关注与支持则在一定程度上有所削弱，一些必要的科研课题立项暂时得不到官方的重视与支持，许多噪声治理项目的委托测试被拖延甚至拒绝。“十三五”规划中对噪声控制只字未提，噪声振动控制领域的政策、法规、标准体系建设仍很不到位；目前噪声振动污染防治工作总体上与普罗大众的期望和诉求、与建设生态文明国家的目标还存在较大差距；管理体制也不够完善，纠纷仲裁和解决机制不够健全；污染防治“理念”和投入力度不够，同时仍存在忽视农村与小城镇污染防治的痼疾。对噪声振动控制产业队伍的科研创新、技术开发、团队建设长期缺乏关怀与支持。

2 主要技术发展情况

2.1 主要技术发展情况

2.1.1 国内外技术进步及发展

我国环境噪声与振动控制行业与其他专业相比虽然产业规模不大，但一直在以技术为先导的正确轨道上健康发展，目前已经形成了荟萃国内顶级相关科学研究、分析评估、工程设计、产品研发、生产加工、咨询服务等专业人才队伍的综合型产业架构，逐渐成为支撑产业经济效益增长的重要力量，并在常年的工程实践中积累了丰富的实际经验。相关领域大专院校、设计院所以及企业自主的科学研究、技术创新和新产品研发不断深入，同时也通过各种渠道引进了大量国外的先进技术和产品；其细分专业比较齐全、技术水平较为先进、产品结构基本适应我国噪声振动控制产业体系的需要，已形成一批系列化和标准化的通用噪声控制设备，其技术水平与发达国家较为接近；其品种、规格和性能也在不断改进和提高，工程设计和工艺水平也有了一定的进步；其中部分技术已达到国际先进甚至国际领先水平。

与之相对应的是，环境噪声与振动控制领域的相关法律、法规、条例、国家标准、行业标准、技术规范等也已大量颁布实施并不断修订完善；噪声与振动控制行业的重点产品也已实行认证检测制度。中国环境保护产业协会每年都组织评审发布《国家重点环境保护

实用技术推广项目》和《国家先进污染防治示范技术名录》、《国家鼓励发展的环境保护技术目录》及其相应的技术依托单位名单,对推进行业技术进步发挥了有效作用。

目前我国噪声振动控制行业的总体技术热点仍旧集中在铁路、公路交通与城市轨道交通领域的噪声振动控制,电力行业发电厂与输变电系统噪声振动控制,冶金、建材、化工行业噪声振动控制,城市环境噪声在线监测与综合控制,建筑声学处理与噪声控制以及新型声学材料的研究开发等方面。

近两年我国噪声振动控制行业新技术开发应用方面主要动态包括:

(1) 噪声振动控制工程学不断拓展

噪声控制工程学的理论体系和工程实践不断完善,对振动、声辐射、声场分布以及他们的耦合理论方面,取得重大进展。噪声源识别技术得到了飞速的发展。由于声源降噪的带动,近年来,噪声源识别技术也得到了飞速的发展。主观判断法、近场测量法、表面振动速度测量法、分部运转法、覆盖法、层次分析法、频谱分析法、相干分析法(常相干诊断法、偏相干诊断法)、声强分析法、声全息法等相继出现并应用于噪声控制工程实践,取得重要成效,噪声源识别技术成为噪声控制工程学中的热门领域。

计算机和信息技术的飞速进展,统计能量分析法(SEA)、有限元法顺利地进入噪声控制工程学理论领域,使许多相当复杂的声学计算,如导弹和飞机噪声等,得到了简化处理。应用快速傅立叶积分计算自相关函数、互相关函数、相干函数,使人们对噪声源识别、声强测量提高到一个新的高度。

噪声控制工程学的发展,大大地促进了噪声控制产业化。如今,在世界范围已经形成噪声控制产业,并进入全球绿色产业行列。在欧美,诸多噪声控制设备和声学测量仪器的厂商和供应商提供品质优良的吸声体、消声器、隔声构件、减振器以及声学测量仪器。也有很多的咨询顾问公司专业作设计,解决噪声问题。

(2) 声屏障有望得到大规模应用

随着铁路、公路建设的高速推进,我国在公路、铁路交通噪声污染治理方面逐步实现规范化、标准化和多元化,沿线两侧建立的不同形式、不同材质、不同结构的声屏障与日俱增。尤其在2009年国家拉动内需项目的带动下,高速铁路声屏障成为本行业阶跃式发展的增量焦点,在建和拟建的声屏障总量达到数千公里。在声屏障的设计、制造、安装、抗脉动风压和强化耐候性等方面也积累了一定的经验,目前已经颁发了《HJ/T90—2004 声屏障声学设计和测量规范》、《TB/T 3122-2005 铁路声屏障声学构件技术要求及测试方法》等工程技术规范,09M603《城市道路一声屏障》国家建筑标准设计图集、《客运专线铁路路基整体式混凝土声屏障》通用参考图等专业标准图集相继出版,《公路声屏障设计与施工技术规范》也即将完成修订。这些标准化工作的推进使声屏障的设计安装有法可依、有章可循。另外,以隔声窗为重点的临街建筑噪声防护技术、产品以及降噪工程也取得较大进展。随着高速铁路和公路交通声屏障技术的不断规范化、标准化,以及市场竞争环境的日益公平有序,行业内的相关优势企业或许将在“十二五”发展规划期间,有更多的机会赢得规模化发展的春天。

(3) 电力行业噪声控制深入研发

在电力建设方面,国家电网和南方电网对于噪声控制的问题都非常重视,在特高压输电领域,已经基本实现了噪声控制设计从项目初期可研阶段同步介入,换流站噪声控制设

计实现了专业化、系统化和部分标准化；在高压输电领域，重点城市的市内 110 kV 及以下变电站，基本全部改为户内站形式，噪声问题得到了有效地解决。目前噪声控制的重点集中 220 kV 敞开式变电站，国家电网陆续展开了相关的研究课题，在变电站内的辅助降噪措施和线路的金具噪声控制研究方面都取得了进展。

在输变电方面对换流站开展了大量总体布局降噪研究和工程实践，普遍采用计算机仿真分析等先进技术研究了大型换流站内的主要噪声源设备的噪声产生机理、噪声辐射特性和传播规律，对复杂声场的叠加和指向性影响进行了分离修正，并结合理论分析和大量实测数据建立了大型换流站主要设备噪声源强的声功率频谱数据库，为大型换流站的噪声预测评估开辟了有效途径。对换流站内平波电抗器、换流变压器、交流滤波器场和阀冷设备等主要声源设备，因地制宜地分别开展了多项噪声治理的专题研究和工程实践。包括在多个换流站实际降噪治理早期工程中，对平波电抗器、换流变压器，采用全封闭、半封闭、声屏障结合通风消声器以及附加局部吸声处理的隔声消声综合治理模式；以及后期采用的“BOX-IN”模式、WELL 模式以及将换流变压器单体进行模块化隔声消声新型移动式模式，可以最大限度方便单组换流变压器的快速投退更换；部分电抗器厂家和科研院所则开展了低噪声电抗器暨空心电感线圈一体化专用隔声罩产品的研发，推出了多种适用技术和低噪声新产品，在工程应用过程中发挥了重要作用。对换流站内部不同噪声源的总体布局进行优化研究与工程实践，例如将阀厅暨换流变压器等配套设备布置由阀厅一字型排列改为阀厅面对面排列等，以便充分利用噪声的指向性和隔声降噪措施获得事半功倍的降噪效果；在特高压系统换流站设计中核心设备降噪进行深入优化，例如将电容器塔架竖向“腰斩”改为低空布局，为隔声降噪创造了有利条件。按照计算机仿真噪声预测系统所包含的主要功能模块，探讨了各系统功能的深入开发及协同优化，针对换流站加入了噪声分解等一些实用功能，提高软件的实用性；并对软件的容错性和专家系统等相关内容进行了探讨和研究；在此基础上，利用软件辅助预测分析功能，落实优化各项综合降噪措施：充分利用站址周围地形、地物等天然屏障合理选择站址，将换流站内产生噪声的主要设备布置在站区中心且面向无环境敏感点区域；将换流变压器和交流滤波器组分开布置，防止两种噪声源声级的相互叠加；将交流滤波器场远离村庄和居民点布置，在交流滤波器场与村庄和居民点方向的中间布置交流配电装置或备品备件库等建筑物，加大噪声源与敏感点之间的距离的同时衰减交流滤波器场对村庄和居民敏感点的影响；充分利用换流变压器两侧的防火墙和阀厅墙体对声波的阻碍作用，尽可能采用高低端阀厅面对面、低端阀厅背靠背的布置，将换流变压器的噪声主要集中在运输安装广场，适当抵消、分散部分噪声的传播。

在燃机电厂噪声控制中，深圳中雅机电实业公司率先采用在燃机进风口加装阵列式消声器的技术方案，成功打破了外国厂商禁止在燃机进风口消声降噪的技术禁区。空冷平台噪声治理也是近年来行业研讨热点，已有多项专题研究和不同方案的技术对策逐步付诸工程实践。

(4) 噪声振动控制产品结构更趋合理、性能质量不断提升

随着噪声控制技术应用领域扩大，单纯依靠一种降噪技术解决噪声问题已不可能。多种降噪技术如吸声技术、隔声技术、消声技术及隔振技术综合应用于降噪项目成为主导。而随着噪声控制技术应用领域的扩大，多学科相互交叉也成为噪声控制技术的新特点。环保产业政策的发布和贯彻实施，以及新修订并颁布的一批环保产品技术标准和技术规范、

环保法规,包括各类消声器、吸声材料、阻尼材料、隔声门窗、隔声罩等,虽然还不尽完善,但已经发挥了作用,极大地促进和推动了降噪材料和设备的性能质量提升,知名品牌材料和设备的性能和质量达到或超过国外同类产品水平。噪声振动控制设备的专业质量检测机构也已通过国家相关部门认证,为噪声振动控制设备的质量控制和产品认证创造了条件。一些具有一定规模的噪声控制设备生产企业已取得 ISO9000, ISO14000 认证,建立了噪声控制设备与产品的技术和质量保证体系。以上均为噪声控制设备与产品打入国际市场创造了条件。

根据应用场合和客户需求,噪声控制工程设计除了要考虑声学性能外,还要综合考虑热力学、流体力学、结构力学、美学等多种学科要求。目前,噪声控制产品已发展成包括消声系列、吸声系列、隔声系列、隔振系列在内的四大门类,高、中、低不同档次的,品种、规格和功能齐全的产品体系,可以为多元化的降噪领域提供多种选择。交通噪声污染治理方面,我国在公路、铁路两侧建立不同形式、不同材质、不同结构的声屏障已近千条,在声屏障的设计、制造、安装等方面积累了一定的经验;尤其是强化了抵御脉动风压结构性能的高速铁路声屏障,和具有更好耐候性的全玻璃钢材质声屏障等代表性产品,已成为行业内外的标志性产品,目前已经颁布了多项声屏障性能测试、产品检验和设计规范,以及多套声屏障标准图集,使声屏障的设计安装有章可循。另外,以隔声窗为重点的临街建筑噪声防护技术、产品以及降噪工程也取得较大进展。

我国环境噪声与振动控制行业与其他专业相比虽然产业规模不大,但一直在以技术为先导的正确轨道上健康发展,目前已经形成了荟萃国内顶级相关科学研究、分析评估、工程设计、产品研发、生产加工、咨询服务等专业人才队伍的综合型产业架构,逐渐成为支撑产业经济效益增长的重要力量,并在常年的工程实践中积累了丰富的实际经验。相关领域大专院校、设计院所以及企业自主的科学研究、技术创新和新产品研发不断深入,同时也通过各种渠道引进了大量国外的先进技术和产品;其细分专业比较齐全、技术水平较为先进、产品结构基本适应我国噪声振动控制产业体系的需要,已形成一批系列化和标准化的通用噪声控制设备,其技术水平与发达国家较为接近;其品种、规格和性能也在不断改进和提高,工程设计和工艺水平也有了一定的进步;其中部分技术已达到国际先进甚至国际领先水平。

2.1.2 主流技术研发及国内主要研发机构工作进展情况

近年来,我国噪声污染控制行业的总体技术进展主要表现在如下几个方面:

(1) 噪声预测技术

环境噪声的预测技术是掌握环境噪声影响的重要手段,声学数值模拟技术可以支持室内室外降噪措施设计、工程噪声影响评价、环境噪声管理等多方面应用需求。其技术核心在于建立噪声预测模型,一个完整的噪声预测模型一般由声源模型和声传播算法两部分构成。

各国通常以标准规范的形式规定了环境噪声的预测模型,比较典型的有美国 FHWA 模型、法国 NMPB 模型、德国 RLS90 模型、日本 ASJ 模型、英国 CRTN88 模型等,这些模型通常用于道路、铁路、工业噪声源的预测,国内也有环评方面技术规范确定的道路和铁路噪声预测模型,基本沿袭了欧美国家的做法,主要由国外的经典模型演化而来。近年来,

各国也对噪声预测模型陆续进行了更新，国内环评预测模型的修订也提上了议事日程。这些预测模型各有千秋，但带来的一个问题，基于各国模型获得的噪声预测结果可比性较差，无法支撑各国在噪声环保领域之间的紧密合作和跨区域统一规划，因此欧盟各国一直在尝试寻求建立一个能得到各国认可的统一噪声预测模型。

近年来，欧盟在统一噪声预测模型方面取得了突破性进展，在吸取了 Harmonoise/IMAGINE 等项目的经验后，欧盟 2012 年初步建立了 CNOSSOS-EU 模型，在 2015 年以欧盟指令文件形式予以确立。该模型吸取了 Harmonoise、Nord2000/2006、NMPB2008 等模型的优点，构建了包括道路、轨道交通、工业、飞行器等几大噪声预测模型，该模型基于欧洲最先进的环境噪声科技及评估实践知识，在兼顾模型复杂度的前提下有效保障环境噪声的预测精度，目前已获得了越来越多的行业内的认可，各大主流噪声预测软件已经着手开发基于此模型的预测程序。

环境噪声预测技术的一个重要应用方向是噪声地图技术，噪声地图技术对环境噪声管理的支持和所体现出的噪声管理思路也已经影响到了欧洲以外的其他国家地区。我国在噪声地图的应用方面也做出了有益的尝试，北京（2009-2015 年）、上海、苏州（2011-2015 年）、杭州（2012-2015 年）、深圳（2015 年）等城市开展了噪声地图的应用试点工作。在噪声地图技术的发展和应用研究方面也取得了一批有价值的研究成果，典型的如环保公益项目《基于噪声地图的环境噪声评价技术体系研究》中构建了适合我国国情的交通噪声预测模型，以及相应的软件和基于噪声地图的噪声管理框架。

噪声地图和环境噪声自动监测系统已在北京、上海、广州、南京、苏州、杭州、深圳等地开始推广应用，市场前景非常好。北京市劳动保护科学研究所成立的北京图声天地科技有限公司自主研发噪声地图预测软件、噪声地图云计算平台和城市环境噪声管理系统。大力推动了噪声地图和环境噪声自动监测系统的进程。

环境噪声的预测除了核心预测模型技术以外，也涉及很多技术，其目前发展方向是结合地理信息系统（GIS）技术、互联网技术、高性能计算技术、数据可视化技术等为决策者和终端用户提供全方位的专业服务。目前较为先进的做法是将声学仿真软件与地理信息系统（GIS）相结合，利用 GIS 系统的数据功能、统计功能以及空间分析能力提供与噪声相关的关键信息。此外，互联网技术、云计算技术、3D 技术的引入也提升了环境噪声预测能力和应用能力，可以说环境噪声预测技术在近年来 IT 相关技术快速发展的支持下呈现出了多元化的发展趋势，环境噪声预测技术与一些应用场景的深度融合将发展出更多基于环境噪声预测的行业细分技术。

（2）噪声在线监测技术的提升

随着计算机技术与电子技术快速发展，噪声测试仪器和设备在性能上得到极大提高，使之一些噪声理论分析成为可能，在国内声学这一行业快速发展过程中，国际上最先进的高性能测试仪器、设备、分析技术已全面进入中国市场。我国已颁布的数十项有关噪声测量方法、评价标准和应用规范，促进了噪声测试与分析技术与国际水平的同步发展。环保部评估中心正在牵头编纂《环境噪声影响预测方法及应用》技术手册。

国内环境噪声自动监测系统其市场在 10 亿元人民币以上，经济效益十分可观。但是如果采用国外进口产品，则要花费 3 倍以上的费用。传统的城市环境噪声在线监测系统仍将在今后将长时间内被广泛应用，因此当前首先要进一步提高传统城市环境噪声在线监

测系统的技术水平和应用范围,提高与国外产品的竞争能力。以往具有实时频谱分析功能的环境噪声自动监测系统全部靠国外进口,例如北京市环保局采用的自动监测设备就是从丹麦 B&K 公司进口。目前,国内公司已研制出具有实时频谱分析功能的环境噪声自动监测系统,并投入市场,不仅大大提升国产环境噪声自动监测系统的技术水平,有利于打破国外同类产品在国内市场的垄断,而且还可大大节省外汇。

今后环境噪声和环境振动测量仪器的发展方向是随着云计算技术、大数据、物联网技术的普及推广,和噪声地图技术的发展,各个测点进行联网、实时监测和同步处理。更要重视产品质量和可靠性、可操作性的提高。

(3) 中频声振分析技术

近年来,振动噪声相关立法日益严苛,各方对运载工具的振动噪声问题持续关注。由于后期改进的效果有限,而原型实验的成本太高,为优化结构的振动噪声特性,生产商对数值仿真有迫切需求。现有的大型仿真软件如 ANSYS, NASTRAN, LMS Virtual Lab Acoustics, VA One 等基本上满足了低频和高频的声振仿真需求,但是在中频段存在缺口。国外研究人员试图拓展低频和高频分析方法的适用频段,以期填补中频空白。由此开启了持续十六年的中频研究热点,提出了多达十几种的中频分析方法,其中比较成功的有比利时鲁汶大学的 WBM 方法,英国剑桥大学的 Hybrid FE-SEA 方法,诺丁汉大学的 DEA 方法,南安普顿大学的 EDA 方法;法国卡桑高等师范的 VTICR 方法,里昂应用科学学院的 SmEDA,里昂中央理工的 WFEM 方法等。国内中频研究相对较晚,主要继承发展了国外的主流中频分析方法,早期开展这方面工作的有中科院声学所、西北工业大学、哈尔滨工程大学等。近年来,杂交方法成为国内研究的主流,包括山东大学的 Hybrid mode-Fourier transform 方法,西安交大的 Hybrid FE-EFEA 方法等。

以上提及的多种中频声振分析方法,绝大部分只是针对特定问题,还不能很好地满足工程需求,主要表现在:1)大部分中频方法只提供响应均值估计,没有提供响应方差或置信区间,在实际工程应用中有很局限;2)不能提供统计子系统内部的局部响应分布;3)中频建模难度大,方法之间差异性大,要求使用者具有很强的专业背景;4)针对低频建立的大量有限元模型不能直接使用,造成资源浪费。对于中频问题,迫切需要在统一的建模框架下,提供一般性的解决方案,同时兼具局部响应和响应方差的预报能力。北京市劳动保护科学研究所国家自然科学基金的资助下,系统地建立了复杂结构中频声振分析的尺度变换理论。该理论突破了传统杂交方法的束缚,在统一的有限元分析框架下,提供系统的均值、方差、置信区间等统计量和局部响应信息的预报,在建模和求解效率上优于国外大部分现有的中频分析方法。

(4) 新型声学材料开发与应用成为热点

①超微孔板吸声材料

随着材料工业的技术进步,各类新型声学材料的研发和应用层出不穷。“耐候、安全”型和“宽频、复合”型声学材料(包括超微孔板、泡沫铝、铝纤维、砂岩板等)都得到广泛关注和大量应用。其中基于中国声学泰斗马大猷院士主创的微孔板吸声消声机理而深度开发的超微孔板、微狭缝板新型吸声体,不仅较好地弥补了普通微穿孔板窄带共振吸声的诸多不足,还提升了低频段的降噪效果。2015年在大量工程实践基础上我国出版了《微缝板消声器设计选用及制作》国家标准图集,为该技术的推广应用做出了突出贡献,达到了

国际领先水平。同时值得关注的是，台湾某公司的超微孔板已在全球多地的市场应用中崭露头角；而内陆也有多家企业的类似产品在质量和价格方面取得了突破性的进展，为该技术的广泛推广奠定了基础。中科院声学所在管束状穿孔板吸声结构上又做了改进，可适应更宽频带的噪声控制。

②柔性微孔软膜天花吸声材料

软膜天花在十九世纪始创于瑞士，然后经法国人 Farmland SCHERRER 先生 1967 年继续研究完善并成功推广到欧洲及美洲国家的天花市场，已日趋成为吊顶装饰材料的首选。它采用特殊的聚氯乙烯材料制成，厚度在 0.18-0.2 mm 之间，每平方米重约 180-320 克，其防火级别为 B1 级。可以通过一次或多次切割成形，并用高频焊接完成。其尺寸的稳定性在 -15℃ 到 45℃。透光软膜天花可配合各种灯光系统（如霓虹灯、荧光灯、LED 灯）营造梦幻般、无影的室内灯光效果，同时摒弃了玻璃或有机玻璃的笨重、危险以及小块拼装的缺点，已逐步成为新的装饰亮点。

软膜天花材质柔软造型多变，透光、防火、防水及防霉效果良好，但其声学效果欠佳。柔性微孔吸声软膜天花吸声材料结合了微孔吸声及软膜本身的优势，具备良好的吸声性能，可以更好地应用于室内声学设计，同时满足装修及声学要求。

北京市劳动保护科学研究所攻克了软膜材料大批量超微孔加工难题，在微孔软膜天花吸声材料吸声性能研究和产品开发在国内属于首家，研究成果领先，与国外巴瑞索公司同类产品相比，该材料穿孔率低，孔径小，材料强度高，吸声系数高，尤其是锥面微孔软膜天花吸声结构及双层微孔软膜天花结构，吸声性能更好。

(5) 通风隔声窗

通风隔声窗工作原理是根据大气流学的原理，采取机械排风，负压进风设计，不开窗实现室内污浊空气快速排出室外、室外新鲜空气净化后自然平衡进入室内，形成室内外空气流动交换，保持室内空间的空气质量。按照通风方式不同分为机械式强制通风和自然通风两大类。

近年来隔声通风一体化外窗技术得到了一定的发展，且其设计已能兼顾考虑诸多不利因素之间的影响关系。利用断桥铝窗户中梃空腔作为通风通道设计，在不影响窗户整体美观，不影响采光面积，实现了不用开窗户也能通风换气。克服了开窗通风换气与室外噪声、灰尘不可控的矛盾，在雨雪天气、风沙天气、气候恶劣条件下不开窗也可通风换气。同时采用智能控制，通风系统安装的污染空气检测传感器，可全天候 24 小时对室内的污浊有害气体实施监测。当房间内的污浊气体达到相对值浓度时，传感器第一时间发出信号，动力通风换气系统立即启动，将室内的污浊有害气体排出室外，当室内空气形成负压时，室外的新鲜空气通过进风通道口过滤平衡进入室内。从而快速实现室内外空气对流交换。

目前国内有 10 余家研究院所和大学、近百家企业从事通风隔声窗的应用设计研究，并取得了成果。

(6) 阵列式消声器示范技术得到推广共识

深圳中雅机电实业有限公司设计开发的一种新的应用于地铁和建筑风道等大流量系统的阵列式消声器，可以有效解决在城市轨道交通建设中消声降噪设备要提高消声能力、降低能耗、节省空间，同时又要方便运输、搬运以及安装施工的问题。为我国正蓬勃发展的城市轨道交通建设的消声降噪提供了一种新的更为优化的解决方案。在保证消声效

果和造价不变的情况下,阵列式消声器的应用更符合绿色节能、“低碳”减排的环保理念,在占用空间相同的前提下,拓宽了消声频带,提高了消声器的整体消声量;在消声量相同的前提下,通风阻力变小,可以在降低风机压头的情况下达到同样的通风量,从而降低整个通风系统的运营能耗。按照达到同样的降噪效果和使用寿命的要求,在不增加造价的情况下,可以比采用传统片式结构消声器节省电能消耗 10.6~12.5%。同时该设备在结构方面的特殊优势可以满足工程施工对消声设备多样化、人性化的要求,已经在地铁隧道通风消声、燃机进风口消声和电站大型冷却塔消声工程中得到广泛应用,并连年入选《国家先进污染防治示范技术名录》;随着该技术的工程应用相继荣获 2014 年度中国建筑学会科技进步三等奖和 2015 年度电力建设科学技术进步三等奖,表征阵列式消声器已得到业界高度认可。2015 年,在中国环境保护产业协会和噪声振动控制专业委员会的大力支持下,已将该技术标准编制工作入选 2015 年度中国环境保护产业协会标准制修订计划(第一批)立项,2015 年 3 月已正式启动了《阵列式消声器》技术标准编制工作。藉此进一步彰显了噪声控制行业的技术创新能力和相关产品质量的稳定性,为推动环保产业的健康发展和建设环境友好型社会做出了突出贡献。

(7) 轨道隔振技术产品

随着国民经济的高速发展,我国城市轨道交通的建设全面展开。为解决其穿过文化区、科技区、居民稠密区和文物古迹保护区等一些敏感路段的振动和固体噪声影响。近年来各类新型轨道隔振器具作为轨道交通建设的必备隔振降噪措施,在全国各地城市地铁和轻轨交通建设工程中获得了日益广泛的应用、总量直线上升。国内常见的轨道交通减振措施在洞壁处的减振效果由高到低依次为钢弹簧浮置板、橡胶浮置板、梯形轨枕、弹性轨枕、科隆蛋(轨道减振器)(德国)等。但是在地面处,各减振措施在洞壁处的减振效果由高到低依次为:钢弹簧浮置板、橡胶浮置板、弹性轨枕、梯形轨枕、Vanguard(先锋)扣件、科隆蛋(轨道减振器)(德国)、Lord(洛德)扣件(美国)等。

目前在国内市场,我国城市轨道交通减振技术的竞争优势较为明显,一方面由于在技术层面我国的轨道交通减振技术已经赶超国外相关技术,另一方面由于国内产品造价和设计方面更符合国内实际情况,在存在技术难点时,也便于沟通和改进。

为了满足国内轨道交通对于阻尼钢弹簧浮置道床日益增长的市场需求,北京市科学技术委员会斥资 400 万,授权北京市地铁建设管理公司与北京市劳动保护科学研究所、北京城建设计研究总院、北京世纪静业噪声振动控制技术有限公司等单位一起联合开展阻尼弹簧浮置板隔振技术研究开发课题。研究开发出我国具有自主知识产权的橡胶与钢弹簧浮置道床隔振技术,打破国外技术垄断,北京和上海等地的研究单位均做了大量工作,并取得了一定成效。该产品拥有自主知识产权的四大创新:独特灵活的垫片形式,不仅降低加工成本、节省钢材消耗,并且可以纠正套筒安装倾斜导致的水平偏差;高效阻尼结构结合竖向限位功能,可在改善阻尼效果和乘坐舒适度的同时,提高系统的安全裕度;隔振器顶部加装断簧指示装置,可直观显示断簧或支座失效,方便日常巡检;有效防止弹簧隔振系统的高频失效,更好地发挥隔振降噪作用。该项隔振技术和产品的成功开发,不仅打破了国外厂商独家垄断的局面,填补我国在轨道交通隔振浮置整体道床技术领域的空白,变简单的“中国制造”为更高层面的“中国创造”,可为国家节省大量外汇和环保工程投资。经专家评审,该项研究成果整体达到国际先进水平、部分成果达到国际领先水平。截至 2016

年初,北京市劳动保护科学研究所、北京国奥时代新能源技术发展有限公司、北京首科集团公司和北京北科创业投资有限公司联合创建的注册资金五千万元的北京九州一轨隔振技术有限公司,累计产值已超过6亿元。阻尼弹簧浮置板技术入选近年来历次《国家先进污染防治技术示范名录》;并已入选2013年度国家重点新产品计划和环保部国家级环境友好型技术产品;《轨道交通阻尼弹簧浮置道床隔振系统成套技术研究及产业化》成果还获得了2012年北京市科学技术奖一等奖。目前正在全面开展全线轨道隔振产品和大型设备减振降噪的多元化产业化应用。

2.2 我国自有知识产权技术的竞争力评价

受市场需求和导向的直接牵引,噪声与振动污染防治的行业发展热点与主要市场增量仍集中在铁路、公路、城市轨道交通领域以及电力、冶金、化工行业的噪声控制工程与装备、隔振器产品与隔振工程、声学材料及建筑声学工程等领域。经过这些领域多年来市场经济激烈竞争的磨练,目前我国噪声与振动控制行业已经形成专业比较齐全、技术较为先进、产品结构和产能较为适应我国污染治理需求的噪声振动控制产业和环保工程服务体系,自主研发了系列化和标准化的通用噪声控制设备,噪声控制设备的品种、规格和性能有了显著的改进和提高,工程设计水平和工艺技术水准都有了长足的进步。最为突出地集中表现在高速铁路、城市轨道交通和特高压输变电等领域的减振降噪技术,其技术水平与发达国家较为接近,甚至在部分领域达到了国际先进甚至国际领先水平。

我国噪声振动控制行业的技术水平与发达国家基本相当,比如吸声材料和吸声结构、隔声材料和隔声结构、消声器、隔振器及阻尼材料等常规产品与材料,无论理论研究、产品研发还是工程技术应用,都位居世界前列,尤其在微穿孔板吸声材料吸声结构、微穿孔板消声器、小孔喷注高压排气消声器的研究方面,我国还领先于其他国家。

另外,我国的劳动力成本比发达国家低廉,因此,我国的噪声控制产品(或工程)在价格上具有较强的市场竞争力。这些都是我国噪声控制产业的优势所在。

但认真分析我国噪声控制产业竞争力,仍存在明显不足。由于国内近年来在噪声与振动控制领域,基础理论研究和深层次技术研究开发投入的力度下降,“十五”期间虽然取得了一百多项科研成果,但同一水平的重复研究居多,真正具有高科技含量,拥有自主知识产权的科研成果很少,造成我国噪声与振动控制研究水平与发达国家的差距有加大的趋势,主要在噪声与振动源分析预测技术、噪声与振动设备计算机辅助设计技术、噪声与振动设备计算机辅助制造技术、高速运输系统噪声与振动控制设备研究、新材料研究开发等方面。

(1) 环境噪声预测软件

以欧洲、美国、日本等为代表的国家或地区对声学模拟仿真相关技术的研究开展的比较早,已经取得了不少实践成果,开发出一批商用声学仿真绘制软件,如 Cadna/A, Sound Plan, Lima, MITHRA, Raynoise, INM 等。这些软件也较早的进入我国,在噪声振动环保行业的很多领域得到了应用,并利用其进入行业早的优势一度垄断国内市场。

我国关于声学模拟仿真相关技术的研究起步较晚,经过业内同行的不懈努力,近年来基于公开的噪声预测模型独立自主开发出了一些具有自主知识产权的数值模拟技术和软件产品,代表性的有环安科技噪声环境影响评价系统 NOISESYSTEM、北京市劳动保护科

学研究所(北京图声天地科技有限公司)燕声系列软件等。

环安科技的 NOISESYSTEM 是根据环评导则构建,基于 GIS 的三维噪声影响评价系统,软件综合考虑预测区域内所有声源、遮蔽物、气象要素等在声传播过程的综合效应,最终给出符合导则的计算结果。燕声软件 SwallowSound 是由北京市劳动保护科学研究所开发的国内首个针对环境噪声大规模计算的软件系统。考虑了道路、铁路、工业噪声计算的多种因子,支持 ISO9613 噪声户外传播计算标准,并完全支持国内道路和铁路环评计算模式。计算软件内含并行计算模式和云计算模式,支持超大规模的城市噪声地图计算,据测定,计算精度和速度可媲美国外的计算软件。

近年来随着噪声模拟仿真技术的自主研发,国产软件的市场占有率也在不断扩大,在数年的努力下环安科技的软件用户已超过 500 个,在环评领域取得了面对国外软件的一定竞争优势。图声天地的环境噪声仿真预测系统 SwallowSound-SIM 基础版自发布以来三个月的下载量也已接近 300 个,市场预期良好。

目前国内噪声预测软件产品和技术与国外先进噪声预测软件相比存在的一个较大劣势在于功能较为单一,对于环评导则规定的噪声传播场景以外的噪声预测问题支持不足,尚无法全面支持所有环境噪声影响问题特别是非常规问题的预测,所以很难推广应用到环评以外的领域。该问题主要在于相关软件设计时缺少深入的行业实际应用经验,有望在未来得到足够的行业反馈后得到改善。

在基于预测软件的新技术融合和开发方面,国外的软件大量利用了 IT 新技术。如: Cadna/A 支持了 3D 视觉技术,佩戴专用眼镜后用户可观察到三维立体噪声分布图; SoundPlan 支持了噪声动态显示效果,用户可观察到噪声动态变化影响; Predictor 提供了封装的计算核心,利用互联网技术可服务于特定用户等。这些技术的引入使它们具有了面向未来更多需求时的较强竞争力。

同样国内软件方面也在大胆尝试新技术的融合开发和应用,环安科技自主研发了三维可视化软件,能多角度展示科学计算结果。燕声软件采用具有自主知识产权的 3D 地理信息系统平台技术,有望在大规模噪声预测结果的展示效果方面相比国外同类软件取得竞争优势。同时燕声软件采用了互联网计算技术,开发出了中心云计算平台+免费客户端的配套技术,具备了快速覆盖噪声预测行业的能力。另外燕声软件结合国内噪声地图的试点工作,将噪声计算核心嵌入环保信息管理平台中,实现噪声地图的动态更新,这种灵活的系统配置技术有望能提供深度融合行业需求的软件产品,在某些细分行业中取得优势。

与国外的噪声预测软件相比,在目前核心算法方面差距不显著的前提下,国内的软件如何更高效的利用 IT 技术基础,改变传统思路开发更适用未来噪声预测行业趋势的技术和产品,可能是改变国内行业格局获得竞争优势,乃至参与国际竞争的关键。

(2) 声学测试仪器

我国环境噪声和环境振动测量仪器经过 50 年的发展,已取得很大成绩,基本形成门类计较齐全、技术相对先进、品种和产量能满足国内环境监测和科学研究的需要,并有少量出口。2015 年环境噪声和环境振动测量仪器年产量约 3 万台,销售产值一亿多元,实现利税 3000 多万元。

目前,我国从事环境噪声和环境振动测量仪器研制生产企业有十多家,主要分布在浙江、北京、湖南等省市,从业人员不足 500 人。比较知名的企业有杭州爱华仪器有限公司、

红声器材厂嘉兴分厂、北京东方振动噪声研究所、北京声望声学技术有限公司、湖南衡阳衡仪电气有限公司、浙江嘉兴恒升电子有限公司等，其中杭州爱华仪器有限公司占有半壁以上市场，技术上也领先其他企业，成为我国环境噪声和环境振动测量仪器的龙头企业。

以杭州爱华仪器有限公司、北京声望声电技术有限公司为代表的声学仪器生产企业，为了满足环境监测的需要，打破进口仪器在国内市场的垄断，在深入分析并借鉴国外现有技术基础上再创新，开发出符合我国国情的数字化智能环境噪声自动监测系统。通过采用数字信号处理技术和以 AM 处理器为中心的数据分析单元，不仅可以监测与分析环境噪声的性质和特征，判断噪声的来源，而且可以按精密法测量和计算机场噪声的感觉噪声级和有效感觉噪声级。通过无线或网络传输，实现系统自动校准，远程数据遥测及噪声污染源的在线监测。

尽管我国声学测量仪器已取得较大的发展，但是与国外先进公司相比，还有很大差距。这是由于国产仪器虽然主要技术性能与国外差距不大，但是产品的长时间稳定性和可靠性却有一定差距。环境噪声预测软件主要是国外的软件在国内的应用，缺少自主的适用于中国国情的原创性软件。造成差距的原因主要是多数企业规模小，创新能力不强，企业的生产基本上是手工作坊性质，在人员、资金和设备方面投入严重不足，很难招揽和留住高层次人才，也就在技术和产品上难有更大突破，也很难在国际竞争中有更大的作为。

3 主要问题分析

3.1 管理政策支持方面

我国的环保政策方面，对噪声污染的重视程度不够，在环保职能部门工作重点向大气和水污染治理倾斜，噪声污染相关研究近乎停滞，逐渐呈现真空趋势。在城市环境噪声管理上缺乏统一的规划、清晰的战略目标，对于噪声地图、噪声自动监测等新技术的重视程度不够，使得这类新技术的推广应用面临着较大的阻力。由于缺乏可靠高效技术手段的支持，环境噪声的管理长期处于粗放低效的状态。另一方面，各级职能部门基本取消监测物理室，基层管理人员缺乏相关专业能力，缺乏培训教育，使噪声环保管理工作难以“出成绩”，噪声方面工作越发得不到重视和投入，形成恶性循环。

3.2 科研开发方面

由于国内近年来在噪声与振动控制领域，基础理论研究和深层次技术研究开发投入的力度下降，目前虽然累积取得了一百多项科研成果，但同一水平的重复研究居多，真正具有高科技含量，拥有自主知识产权的科研成果很少，造成我国噪声与振动控制研究水平与发达国家的差距有加大的趋势，主要在噪声与振动源分析预测技术、噪声与振动设备计算机辅助设计技术、噪声与振动设备计算机辅助制造技术、高速运输系统噪声与振动控制设备研究、新材料研究开发等方面。近期受各种外在因素影响，各级政府、执法机构对噪声振动控制专业领域的关注与支持则在一定程度上有所削弱，一些必要的科研课题立项暂时得不到官方的重视与支持，许多噪声治理项目的委托测试被拖延甚至拒绝。一些重要的基础研究无法开展。

3.3 规范设计方面

噪声与振动控制规范化设计文件的制订,对噪声与振动控制领域发展具有重要作用。建立完整的设计规范体系,作为在噪声与振动控制工程设计,产品制作中的指导性文件,是噪声与振动控制产业健康有序发展的重要保证。发达国家制订的设计规范涉及面广,而且很细,工程中遇到的问题都可以在规范化设计文件中找到依据。这些指导性技术文件包括:《低噪声机器设计导则》、《消声器设计及在噪声控制中的应用》、《隔声罩设计及在噪声控制中的应用》、《隔声屏障设计规范》、《低噪声工作场所设计导则》、《建筑施工噪声控制导则》等。近年来,我国开始着手进行相关设计文件的制定,但与发达国家还存在较大差距,应尽快与国际接轨。

4 建议

4.1 未来 3-5 年应重点和优先发展的领域、技术

(1) 推行城市声环境规划设计

逐步实行城市声环境规划设计,主动出击预防环境噪声污染,从源头彻底杜绝,是防止环境噪声污染最理想的方法。《噪声法》第五条:“地方各级人民政府在制定城乡建设规划时,应当充分考虑建设项目和区域开发、改造所产生的噪声对周围生活环境的影响,统筹规划,合理安排功能区和建设布局,防止或者减轻环境噪声污染。”及第十二条:“城市规划部门在确定建设布局时,应当依据国家声环境质量和民用建筑隔声设计规范,合理规划建筑物与交通干线的防噪声距离,并提出相应的规划设计要求。”对城市声环境规划提出明确要求。

做好城市声环境规划工作是体现“预防”思想的最有效手段。由于目前我国声环境规划没有与城市规划和城市建设同步落实,声环境规划的制定往往是孤立和独立的,即在总体规划完成后,才进行环境规划,造成声环境规划中无法弥补总体规划中的缺陷。其结果是使城市声环境质量从一开始就埋下隐患,即使后期投入再多的精力也无法弥补,城市声环境管理工作很难进入良性发展轨道。我国正在实行“城镇化”发展方向,如果在初期没有作好声环境的规划工作,那么将会给未来的城镇带来巨大的环境噪声污染的隐患。

建议借鉴学习欧洲的经验,由于噪声管理方式的不同不能完全照搬其模式,可逐步探索适用于我国基于噪声地图技术的城市声环境规划设计应用模式。以“由小到大,由点到面”的路线推行:“由小到大”先在环境噪声污染典型项目进行规划设计,综合考虑降噪效果、城市景观、经济成本等影响因素,并在项目建成后进行实测对比分析。时机成熟后,可对城市整体声环境进行规划与设计。“由点到面”指的是:先选择几个有城市进行声环境规划的试点工作,根据效果再分阶段在全国范围内推广。

(2) 重视机场噪声污染防治

当前机场噪声污染防治投资主要来自于机场建设阶段,部分项目的环境影响评价审批与建设项目的可研评估同步进行,未将环评的噪声污染防治措施纳入工程概算中,因此机场建设过程中噪声污染防治措施难以落实。此外,机场运营后,机场的飞行模式不断调整,

仍然会产生新的机场噪声问题，但由于没有资金保障，使得一些机场噪声污染问题的解决也受到较大限制。

建议重点从以下 5 方面进一步加强机场噪声防治基础研究：一是开展机场选址阶段的环境噪声影响论证试点研究，制定指导机场选址环境噪声影响论证的相关技术方法和指标；二是开展机场噪声与城市规划相符性技术研究，制定《机场噪声与周边土地相容性技术指南》，从技术层面指导机场噪声与土地规划控制的衔接；三是结合我国国情和机场噪声污染特点，开展机场噪声防治措施控制标准和室内标准的研究；四是开展不同区域机场噪声隔声示范研究，结合我国不同区域建筑物特点，制定建筑隔声技术指南；五是开展机场噪声预测模型的研究，提高噪声预测模型的准确性和灵活性。

(3) 促进环境噪声预测评估技术

环境噪声预测软件由于存在大量有待研究解决的物理问题，即便是世界上很成功的商业软件，也不能很好地精确解决所有的应用性问题。在我国新兴的一些交通工具发展很快，如地铁、轻轨、立交桥和航空噪声等，目前尚缺乏准确预测模型，应当以此为重点，结合我国交通状况和新型发展的特点，进行室外噪声传播模型的研究，同时应尽快扩大预测模型的研究范围，以更实用和更精确为主要研究目标，注重建立环境噪声预测基础数据库，并在此基础上建立起可应用于其他声源类型（如工业噪声、施工噪声等）的准确预测模型。根据中国自身的发展需求和在声学材料、物理传播模型、结构响应等方面取得研究进展的基础上，支持和鼓励开发具有自主知识产权的符合国内大多数人使用的软件系统。最终在学习吸收现有噪声预测软件优点的基础上，利用新发展的环境噪声预测技术，开发出适合我国实际情况的环境噪声预测软件系统，逐步跻身先进发达国家的行列。

(4) 统一轨道交通隔振效用评估

轨道交通隔振技术在快速发展的同时，一些问题逐渐凸显。部分技术和产品的隔振效果良莠不齐，甚至引发了轮轨系统的早期“异常波磨”问题，对轨道交通的安全、稳定运行构成负面影响。因此，引入新的隔振性能和安全稳定性技术评价指标，对现有隔振技术、产品进行“再认识”的基础上“大浪淘沙”，尽快开展全寿命周期内的长效后评估和技术经济性能综合比选，就成为轨道隔振技术应用的行业焦点。

4.2 尚需配套的标准、法规、政策的建议

环保产业是一个法规和政策引导型企业，这是环保产业区别于其他产业的一个突出特点。纵观世界各国环境保护的历史可以看到，环境保护法规健全，环境标准与环境执法越严格的国家，环保产业也就越发达，在国际市场中占优势的环保技术也就越多，市场占有率也就越大。因此，应进一步加强我国噪声与振动污染控制领域的立法，完善和健全该领域的标准、法规体系建设，尽快与国际接轨。另外在管理层面，还应进一步加大执法力度。

(1) 在等效采用国际标准的基础上，根据我国国情制定有关噪声振动控制导则规范，将噪声振动治理中基本的、通用的技术要求，贯穿工程的设计、施工、验收、运行的全过程。使噪声振动治理工程规范化、合理化、法制化是非常必要的，不仅可以规范行业竞争行为，使噪声治理措施更合理，产品质量更优，工程造价降低，节约资源，还可以促进企业技术进步，提升整个噪声治理行业的水平。

(2) 完善机场噪声控制和室内标准

我国机场声环境质量标准的定位与现阶段的实际管理需要还存在一些问题,建议进一步明确3个方面:一是分别制定新建机场和既有机场的噪声控制标准实施期限,新建机场应在投入运行前达标,既有机场可规定在一段时间内实现达标;二是对于暂时无法搬迁的噪声敏感建筑物,应制定室内标准;三是对于需要采取隔声措施的建筑物,应对隔声措施进行分类规定,明确对于超标量较大的建筑物,不仅采取隔声窗措施,还应进一步采取建筑隔声措施。

(3) 我国城市轨道交通建设高速发展,推动着我国的轨道交通减振技术的快速进步,但是在高速发展的同时,我国各项标准及技术规范并未跟上时代的脚步,造成目前对轨道交通减振措施减振效果评价方面存在着产品宣传与实际效果相差较大、减振效果评价方法不一致造成的评价效果相差较大等的问题,城市轨道交通减振措施实际施工与建设图纸相差较大、各减振措施在线路运行后缺少减振效果的长效后评估等问题。完善轨道交通管理机制并建立相应的标准及技术规范,规范轨道交通减振措施的测试方法、评价方法、评价量及措施投入使用后的其减振效果的长效后评估。

(4) 环境噪声预测评估方面

国内噪声环保行业内由于先入为主的印象,通常对于国外噪声预测软件的结果较为认可,对于国产的噪声预测技术和软件普遍持怀疑态度,这对于国产自主技术和软件的发展造成了额外的困难。但另一个事实是外国软件通常基于各国自身的声源特征构建,不符合我国规范和噪声源实情,在国内项目应用中需要做出修正,而这种修正因使用者而异,无任何可靠性方面的保障。这种混乱的应用状况使得噪声预测结果普遍缺乏可靠性,噪声预测技术被环保行业所质疑而不受重视,这种情况的出现很大程度上在于国内缺少噪声预测方面统一的行业权威性标准和软件规范。

建议噪声管理主管部门借鉴ISO/TR17534及类似标准的经验,组织国内有关单位开展关于噪声预测软件的标准化规范化工作,对环境噪声预测模拟推动法规模型认定,设定噪声预测软件的行业标准规范,采取软件认可准入制度,明确测定各个准入软件的精度和可用性范围,保障科学、公平、合理的环境噪声预测软件的行业应用环境。

(5) 建议针对不同交通类型噪声污染现状进行监测数据收集及实际数据调研,建立交通噪声污染数据库,按照不同交通类别等级设置不同的排放标准,例如对城市次干路,主干路,高速路,新建铁路与老旧铁路分别制定排放标准,排放标准限值可以参考国际上有关国家和地区的噪声限值并根据我国噪声影响、技术手段及经济条件、管理水平等合理确定。

(6) 环境噪声排放标准、噪声产品标准及其他环境噪声标准在制定与修订过程中,也应明确标准定位,相关内容应与本标准协调统一。尽快修订《机场周围飞机噪声环境标准》、《铁路边界噪声限值及其测量方法》,进一步研究并完善环境噪声标准体系。

(7) 由于环境噪声管理属于多个不同政府部门,发挥环保部门的统一监管职责,主动协调商榷与其他相关部门的职责明确分工,明确中央与地方政府的职责。同时应遵循“以人为本”的原则,建立共同协商沟通机制,各相关部门联合制定环境噪声相关标准及相关管理政策,鼓励地方政府制定适用本地区的噪声规范,主要侧重点应为具体环境噪声管理手段及考核机制,提高标准间及标准与城市政策协调性,并优先以行政管理手段控制各类环境噪声污染,提高城市声环境质量。

道路交通噪声控制技术发展报告

1 所属行业或领域总体概况

“十二五”期间，道路交通设施建设再创历史新高，为稳增长、扩内需作出了积极贡献。“五纵五横”综合运输大通道基本贯通，综合交通网络初步形成，综合枢纽建设明显加快，各种运输方式衔接效率显著提升。公路网络不断延伸，截至 2015 年底全国公路通车总里程达 457 万公里，高速公路里程突破 12 万公里，“7918”国家高速公路网基本建成，农村公路里程突破 397 万公里，西部地区 81% 的建制村实现通畅，国省干线公路技术等级逐步提升，全国 96% 的县城实现二级及以上等级公路连通，公路养护管理水平持续提升。

现代化的公路建设给经济发展带来了活力，同时也给环境带来了很多负面影响，主要表现为生态破坏、水土流失和环境污染。环境污染中，交通噪声污染已成为公路沿线居民环境投诉的首要问题。公路交通噪声具有强度高，影响范围大，作用时间长等特点，影响了人们的正常生活和身心健康。妥善解决控制或减缓公路交通噪声排放和污染的问题是交通行业构建和谐交通的重要内容之一。

1.1 国内外相关法规、政策、标准体系现状

1.1.1 国外的法规、标准

1.1.1.1 美国

美国联邦政府在控制交通噪声污染方面的主要立法有：美国国会 1972 年通过了《噪声控制法》（The Noise Control Act），宣称此项国家政策将把所有美国人从噪声干扰中解脱出来。1978 年，又通过了《宁静社会法》（Quiet Communities Act），修正了 1972 年《噪声控制法》的部分内容，以增加联邦机构之间的协调，主要是促进 FAA 在噪声管理上的责任。1968 年的《住房和城市发展法》（The Housing and Urban Development Act）和 1970 年的《职业安全与健康法案》（The Occupational Safety and Health Act）虽然不是专门规制噪声问题的法案，但其中也有不少内容与此相关。其中，《噪声控制法》的立法目的是“国会宣布联邦政策，使所有的美国人都能远离威胁其健康和福利的噪声。为了达到此目标，本法之目的是要为噪声控制领域的联邦研究和活动建立一个有效地合作协调模式，授权批准建立联邦商业产品噪声标准，并同时向公众提供有关此类商业产品噪声和噪声减小特性的信息。”从这条规定中可以看出，美国把噪声污染防治的目标定位于增长美国人的“健康与福利”之上，比之一般的保护“健康”是一种进步，在其后的规定中还规定了为了达此目标采取的基本措施，同时也在规定中提出了要保障公民的知情权。

美国要求联邦政府提供统一的噪声控制标准用以减少公众在有害噪声环境中的暴露,但建立和实施这些标准的职责却分配在多个联邦机构中,如美国环保局(EPA)、联邦航空局(FAA)以及职业安全与健康管理局(OSHA)等。过去,主要是通过ONAC来协调各联邦机构之间的噪声控制活动,在ONAC的大力推动下,建立并实施的噪声控制标准包括:飞机与机场、州际公路运输、铁路、工业生产活动、中重型卡车、摩托车和机动脚踏两用车、可移动空气压缩机,同时联邦政府还资助在噪声暴露区开展住房计划(housing projects)。虽然美国国会在1981年取消了ONAC的政府资金,但原来的标准和法规依然有效,其他的联邦机构继续在各自的管理权限内建立和实施噪声源控制标准。

除联邦统一噪声标准外,州和地方政府有权决定其他噪声源的控制范围,包括商业、工业和生活活动中产生的噪声水平。因地点不同,法规对这些噪声源的控制会有很大变化。

1.1.1.2 欧盟

欧盟的立法形式有法规(regulation)、指令(directive)、决定(decision)、推荐和意见(recommendation and opinion)几种形式,关于噪声控制的立法大多数都以指令的形式发布,主要针对交通工具噪声排放、生产设备许可音量和家用设备许可音量三个方面,涵盖了对大量噪声源的控制。由于欧盟作为一个国际组织的性质及其立法形式的独特性,指令都是针对某些特定的产品或生产领域来对噪声污染进行控制,其着眼点除了要消除噪声污染对人们生活的影响之外,实际上更在于要协调、统一各成员国关于噪声控制及产品噪声排放的标准,防止不同的标准对欧盟区域内自由贸易的阻碍,并最终实现区域内商品、服务、贸易的自由流通。

1.1.1.3 德国

德国也并没有一部适用于所有类型噪声规制的专门立法,其散见于其他各种领域的法规之中。德国1968年,颁布了《噪声技术导则》,1971年,颁布了《飞机噪声法》,1974年,颁布了《联邦噪声辐照防治法》及其配套的许多实施细则,如有关割草机、建筑机械、交通、运动设备、交通噪声防护措施的细则等。1998年,修订了《噪声技术导则》。其他如对工商业噪声、水运交通噪声、铁路交通噪声、运动及休闲活动噪声等的规定。

德国还制定了相关配套实施细则和标准,比如:建筑施工中机械的合理使用、交通运输行业对噪声的防治措施等。德国《联邦公路法》还要求公路配套建设隔声措施,保证合理的噪声限值,要求企业生产“安静汽车”,低噪路面计划也在开展中。根据德国《民法典》,对于居民暴露在不合理的噪声之下需要为必要的建筑隔声措施(如隔声门窗等),政府一般给予资金补偿。德国噪声污染防治的主要类型和法律措施噪声地图噪声行动计划根据《欧盟环境噪声指令》(2002/49/EC),德国在2005年6月修订了《联邦排放控制法》,将战略性噪声地图和噪声行动计划进行了立法转化和法律细化。根据该法案,所有的主要道路、铁路、机场和相关居民聚集区域,都必须绘制噪声地图并用不同颜色标注噪声水平;如噪声超过75分贝的地区则被列入最高级别,标注为深红色。目前,德国已有1000多个城镇绘制了噪声地图和噪声行动计划并采取了相应的防治噪声对策,政府将噪声地图放在城市官网上,民众只需输入当地邮政编码,即可得知“噪声污染”程度。交通噪声的防治措施从20世纪70年代起,汽车等交通噪声污染逐渐取代工业噪声污染,成为了德国第一噪声污染源。汽车和交通噪声主要包括发动机噪声、路面噪声、轮胎噪声和风压形成的噪声等。就此德国《交通噪声保护条例》主要适用于新道路的建设 and 现有道路的扩改建工程,该条例规定针对明显的噪

声必须采取防护措施,比如大量种植树木营造隔音带、划定城市步行区、严格规定交通运输工具、交通安宁区禁止鸣笛、使用低噪声标志“L”或“G”、建造噪声防治隔音墙等,以避免或减轻明显的不利影响和身心妨害。法律规定必须开发和和使用更加安静的路面、更加环保的运输方式。目前,德国正在对现有联邦公路进行现代化改造,铺设“消声混凝土”;联邦环境部要求机动车辆、电动两轮车和轮胎的噪声下限值必须反映并采取欧盟和国际上的最佳可行技术(BAT),所有汽车特别是大型公交车和运输卡车的发动机必须配备机舱隔音降噪装置,以有效隔离、降低发动机噪声;在没有紧急情况下,绝对不允许汽车鸣笛,在居民居住密集的地区对车速有严格的限制。德国环境部还将车辆噪声监测列入每年车检。

1.1.2 国内法规、标准

国务院及相关部委先后发布噪声污染防治方面的法律法规标准,各级地方政府发布噪声污染防治条例规定等百余项;噪声污染防治与噪声监测、评价科研力度明显增强;一些城市还建立了有效地噪声污染监督管理机制。尤其是国务院十一部委联合发布的《关于加强环境噪声污染防治工作改善城乡声环境质量的指导意见》中提出了“到2015年,环境噪声污染防治能力得到进一步加强,工业、交通、建筑施工和社会生活噪声污染排放全面达标,居民噪声污染投诉、信访和纠纷下降;声环境质量管理体系不断完善,城市声环境功能区达标率明显提高,国家环境保护重点城市声环境质量符合国家标准要求,农村地区声环境进一步改善”的目标,极大地推进了国家环境噪声污染防治工作。

《环境噪声污染防治法》实施后,我国出台了《建设项目环境管理条例》(1998)、《环境影响评价法》(2002)、《规划环境影响评价条例》(2009)、《物权法》(2006)等相关的环保法律法规,制定了《行政许可法》(2004)、《城乡规划法》(2007)等相关的法律,这些法律都与噪声污染防治有一定的关系,对噪声污染防治提出了新要求。

国内环境噪声标准体系,主要包括质量标准、排放标准和控制标准。2008年环境保护部发布了《声环境质量标准》(GB 3096—2008)、《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB 12348—2008)、《社会生活环境噪声排放标准》(GB 22337—2008)3项标准,其中《社会生活环境噪声排放标准》为首次发布。新标准充分考虑了噪声污染形势的变化和环境管理需求,有利于化解社会矛盾,防治噪声污染,促进社会和谐、稳定。

2010年1月国家环保部发布了《地面交通噪声污染防治技术政策》,规定了合理规划布局、噪声源控制、传声途径噪声削减、敏感建筑物噪声防护、加强交通噪声管理五个方面的地面交通噪声污染防治技术原则与方法。

《关于加强环境噪声污染防治工作改善城乡声环境质量的指导意见》(环发[2010]144号)。2010年12月15日,环境保护部、国家发展改革委、科技部、工业和信息化部、公安部、财政部、住房城乡建设部、交通运输部、铁道部、文化部、工商总局十一个部门联合发布《关于加强环境噪声污染防治工作改善城乡声环境质量的指导意见》(环发[2010]144号),对当前和今后一个时期环境噪声污染防治工作进行了全面部署,明确提出了环境噪声污染防治的指导思想、工作原则、主要目标,及加大噪声污染的重点领域、具体政策措施。

《关于加强公路规划和建设环境影响评价工作的通知》(环发[2007]184号)。2007年12月,国家环境保护总局、国家发展和改革委员会、交通部联合发布“关于加强公路规划和建设环境影响评价工作的通知”,要求“噪声环境影响预测应严格按照国家和行业有关

技术规范导则进行,并结合公路工程可行性研究阶段线位不确定性的特点,提出相应的防治噪声污染措施。”进一步规范公路规划和建设环境影响评价工作。

与道路交通噪声相关的标准主要见表1。

表1 我国现行的交通噪声相关的标准体系

分类	标准名称	标准编号
声环境质量标准	声环境质量标准	GB 3096-2008
环境噪声排放标准	建筑施工场界环境噪声排放标准	GB 12523-2011
	社会生活环境噪声排放标准	GB 22337-2008
	工业企业厂界环境噪声排放标准	GB 12348-2008
	摩托车和轻便摩托车定置噪声排放限值及测量方法	GB 4569-2005
	三轮汽车和低速货车加速行驶车外噪声限值及测量方法(中国I、II阶段)	GB 19757-2005
	摩托车和轻便摩托车加速行驶噪声限值及测量方法	GB 16169-2005
	汽车加速行驶车外噪声限值及测量方法	GB 1495-2002
	汽车定置噪声限值	GB 16170-1996
	铁路边界噪声限值及其测量方法	GB 12525-1990
监测规范方法标准	声屏障声学设计和测量规范	HJ/T 90-2004
	环境噪声监测技术规范 噪声测量值修正	HJ 706-2014
	声学 机动车辆定置噪声测量方法	GB/T 14365-93
	环境影响评价技术导则 声环境	HJ2.4-2009
	技术政策 地面交通污染防治技术政策	2010

另外交通行业为了加强交通噪声控制,交通运输部环境保护标准化技术委员会组织编制了《交通运输环境保护标准体系表》,并进行了标准现状分析,提出公路交通运输环境保护标准须涵盖公路规划、公路建设、公路运营等方面,其中公路运营环境保护标准中明确提出公路基础设施污染防治标准的编制,其重要一部分就是关于公路交通噪声防治措施分类及技术要求。公路基础设施环境保护标准中,《公路声屏障》分为5个部分,即:《公路声屏障 第1部分:分类》、《公路声屏障 第2部分:总体技术要求》、《公路声屏障 第3部分:声学设计方法》、《公路声屏障 第4部分:声学材料技术要求及检测方法》、《公路声屏障 第5部分:降噪效果检测方法》。其中《公路声屏障 第1部分:分类》、《公路声屏障 第2部分:总体技术要求》和《公路声屏障 第4部分:声学材料技术要求及检测方法》标准已颁布实施,其他两项完成了报批稿。标准的发布和使用使得公路声屏障工程更有效发挥其环保效力,声屏障的设置经济合理,公众满意度进一步提升。为保证我国公路交通事业发展,合理使用工程环保投资,同时,为防治公路交通噪声污染,保护和改善生活环境,保障人体健康,促进和谐社会建设,对公路声屏障建设进行合理分类,提出公路声屏障总体技术要求。为我国新建、改建、扩建公路的声屏障工程实施提供技术支持和科学依据。

1.2 内外对污染控制涉及的重点行业的污染控制管理现状

国内外关于道路交通噪声的控制管理都是基于法规、政策以及标准体系的要求,通过

采取技术防治措施来进行控制。

美国自 1981 年国会同意了将首要噪声管理职责转移到州和地方政府以来，有关交通噪声的控制管理主要由州和地方政府来实施。对于道路交通噪声，联邦政府只负责对洲际道路噪声的管理和防治，各州政府则负责本地道路交通噪声的管理和防治。美国加州环境质量法，是控制道路交通噪声的主要立法。

针对噪声议题，欧盟有完整的政策规划，欧盟委员会针对环境噪声于 2002 年 7 月出版官方文件，欧盟环境噪声指令。对于道路交通噪声管理，欧盟要求其成员国根据绘制的噪声地图，并结合欧盟各项标准，制定噪声防治行动计划，包括：道路交通噪声的防治措施、未来五年政府需要采取的行动、财政投入预算以及该行动计划预期取得的效益、对财政预算与取得的效益进行成本效益评估、长期战略规划。

日本在减轻道路交通噪声方面的措施，主要是采取声屏障。另外还通过改善公共交通网络、安装先进的可以及时响应交通状况的管理系统、实施巴士专用线计划、进行道路改进，采取低噪声路面等措施来缓减道路交通噪声的影响。

香港特别行政区的道路交通噪声控制和管理主要是通过规划和环境影响评估预防道路交通噪声问题，立法管制个别车辆噪声、通过教育、公众参与以及与科研单位伙伴关系，共同寻求噪声问题的解决方案。

我国的道路交通噪声控制和管理主要通过规划阶段合理避让，设计阶段进行评估，结合车辆辐射噪声和声环境质量标准，通过政策、技术、管理措施相结合，降低交通噪声的影响。

目前环境噪声监测体系初步建立。全国县级以上环境监测站不同程度地配备了噪声监测仪器和监测人员，近 400 个城市环境监测站按规范开展了区域环境噪声和城市道路交通噪声的常规监测，上百个环保重点城市按季度开展各类声环境功能区监测。部分城市还设立了环境噪声自动监测系统，开展了对重点噪声源的监督性监测，环境噪声监测方法与规范类标准 20 余项。

道路交通噪声控制主要管理模式，依旧采用“三同时”制度，工可阶段进行环境影响评价，根据预测结果提出噪声控制措施，设计施工阶段进行噪声工程设计，采取必要的噪声控制措施，验收阶段对控制措施进行调查对照弥补。运营期虽然提出跟踪监测措施及预留防治费用，但基本实施较少，交通噪声控制基本止步于项目竣工验收。主要措施多采用声屏障措施，与此同时低噪声路面的应用推广也逐渐增加，有望进一步成为道路交通噪声控制的一项重要措施。

2 主要技术发展情况

2.1 主要技术发展情况

2.1.1 噪声地图

欧盟国家（European Union, EU）对环境问题十分重视，噪声地图的应用和研究也以欧洲国家开展最早、最多。2002 年 6 月 25 日，欧洲议会和欧洲理事会正式通过欧洲环境噪声指引（END, Directive 2002/49/EC），该指引要求欧盟成员国须为符合条件的地区绘制

噪声地图,并基于噪声地图的结果编制噪声行动计划,加强环境噪声管理,规划实施噪声削减措施,指令还规定各欧盟成员国须在2007年6月30日前为超过25万人口的城市和城市的大流量道路、铁路、机场等重要地区的编制噪声地图,并且每5年进行评估和更新,该法令被视为噪声地图以立法得以确认的里程碑。围绕噪声地图提出了如下目标要求:(1)统计说明噪声暴露人口情况;(2)明确环境噪声分布对公众的影响情况;(3)根据噪声地图结果制定噪声污染管理方案并采取必要的治理措施;(4)明确声环境质量良好区域的保护工作。最终的噪声地图结果将以不同形式提供给欧盟委员会、居民、政府及管理机构。提供给欧盟委员会的资料要求具有综合说明性;而考虑到成员国政府机构制定行动计划需要更为翔实丰富的资料,其获得的资料应具备图形展示、标识噪声超标区域、现状与预测地图对比分析、需要重点关注区域的噪声情况等信息。

欧盟战略性噪声地图目的是为中长期环境政策和噪声管理规划提供依据,立足宏观管理。因此,不强调局部计算结果的绝对精确性,而是要求了一个可接受的范围。欧洲国家如英国、西班牙、法国、意大利等均开展了噪声地图研,规模也颇大,大部分已形成完整的技术规范和方法。除欧洲国家外,韩国、巴西、美国、日本地区也开展了噪声地图及其应用研究。

和欧盟等国家相比,我国噪声地图的研究起步较晚,到目前为止在国内,有香港、台湾、澳门、北京、广州等城市开展了大区域噪声地图的研究,济南、深圳、杭州、上海等城市未编制噪声地图,但也逐渐在开展小范围的区域性噪声地图研究,成果主要还集中在噪声地图的工程应用层面。

近两年环境保护部环保公益项目开展了基于噪声地图的环境噪声评价技术体系研究,研究了基于我国国情的噪声地图预测软件,在大量调查测试基础上分析了我国的交通噪声特性,对噪声地图绘制误差分析与控制进行研究、研究我国噪声地图规范化绘制技术指南、基于噪声地图的环境噪声监测与评价技术规范 and 基于噪声地图的环境噪声污染防治技术指南,在此基础上提出基于噪声地图的环境噪声管理实施办法。进一步推进了噪声地图在我国道路交通噪声控制管理中的进程。

2.1.2 低噪声路面

从国内外的研究现状来看,近年来出现了诸多新型路面结构与路面材料,大大推动了低噪音路面的研究。低噪声路面分为沥青混凝土和水泥混凝土两类,但目前低噪音路面的研究重点还是主要集中在沥青混凝土路面。低噪声沥青混凝土路面在许多发达国家已经成为对噪声要求高地段的公路为提高行车安全,舒适性的优先选择。

美国早在20世纪50年代已有许多州开始使用开级配,以改善表面积水,同时降低路面噪声。1960年,前联邦德国首次兴建低噪声沥青路面,西班牙、英国、法国、荷兰、瑞士、比利时等国在20世纪70年代开始使用。1981年,在荷兰召开的多孔性沥青路面专题讨论会对多孔性降低轮胎/路面噪声的作用得到了进一步证实。1983年,在悉尼召开的第17届世界道路会议上,不仅对低噪声路面的抗滑、减少溅水和喷雾的功能加以了肯定,而且对轮胎/路面噪声在交通噪声中所占的比重予以了关注,且对其原因做出了分析。

国内外研究发现,具有降噪效果的沥青路面有多孔性沥青路面、超薄磨耗层沥青路面、橡胶沥青路面、SMA路面等。(a)多孔性沥青路面:多孔性沥青路面又称开级配磨耗层

(DG-FC), 或称透水性沥青路面, 其主要特点是压实后孔隙率在 15%~30%。多孔性沥青路面的降噪效果源于孔隙率。当声波入射到材料表面时, 一部分透入材料内部空隙传播转换成热能而吸声, 另一部分在材料表面反射而消除轮胎与路面接触面的吸气。(b) 超薄磨耗层沥青路面: 沥青路面的铺装层厚度 2.0~2.5cm 的称为超薄磨耗层沥青路面。由于厚度薄, 混合料级配中的最大粒径都比较小, 相同面积下表面的纹理多, 从而削弱轮胎与路面间由于“二面体效应”产生的声波; 另一方面, 它所使用的铺筑材料的优良特性可以有效改善轮胎与路面间的摩擦, 从而使噪声尽可能地减小。(c) 橡胶改性沥青路面: 橡胶改性沥青路面是指掺加丁苯橡胶或氯丁橡胶、树脂、高分子聚合物、磨细的橡胶粉或其填料等改性剂, 或采取对沥青轻度氧化加工, 使沥青或沥青混合料的性能得到改善而制成的沥青混合料。橡胶沥青路面的降噪机理主要是由于橡胶颗粒的高弹性, 使得路面具有吸收轮胎振动和冲击效果, 从而大大地降低轮胎与路面的振动噪声。(d) SMA 路面: SMA 沥青玛蹄脂碎石混合料是一种由沥青、纤维稳定剂、矿粉及少量的细集料组成的沥青玛蹄脂填充间断级配的粗料骨架空隙而组成的沥青混合料, 它的基本组成是碎石骨架和沥青玛蹄脂结合料两大部分, 是在浇注式沥青混凝土的基础上增加碎石用量而发展起来的。正是由于 SMA 路面增加了碎石集料量, 使其孔隙率超过了 20%, 路面的构造深度增加, 使得 SMA 路面具有高的抗车辙、抗裂、抗滑能力和良好的耐久性能, 能吸收、减少车轮滚动、振动噪声, 从而使路面噪声降低 3~4dB, 且养护费用低、经济效益好。

多孔性沥青路面一般适合铺筑在车流畅通、车速较高的道路上。如高速公路、城市的高架道路或快速汽车专用道等都是非常适合的。对于低交通量或慢行交通道路, 以及容易污染的道路, 这种路面则是不适合的。总之, 低噪声沥青路面降噪机理源于孔隙率, 增加沥青混合料的孔隙有助于提高路面的吸声功能。根据孔隙率把沥青路面结构分为两大类, 即多孔性沥青路面和密实性沥青路面。多孔性沥青路面主要有多孔性沥青路面和超薄磨耗层沥青路面, 它们的孔隙率大, 降噪效果显著, 但耐久性差; 密实性沥青路面有 SMA 路面和橡胶沥青路面, 它们的孔隙率相对较小, 降噪效果次于多孔性沥青路面, 但摊铺和压实性、耐久性好, 抗滑性强。

“十二五”期间, 交通运输部公路科学研究院对排水降噪沥青路面修筑和养护技术及装备研发进行了深入研究, 先后开展了排水沥青路面成套技术、环保节能、声学优化、养护技术与装备等课题研究, 同时开展了研究成果应用和示范工程建设, 对降噪路面进行了长期观测和性能研究。

为有效指导、控制和规范排水降噪沥青路面的相关设计、施工、试验检测、质量验收等环节的技术要求, 于 2011 年编写了《排水沥青路面工法》, 2013 年编写《排水降噪沥青路面透水标线施工工法》且被推荐为重庆市市级工法, 从而在“十二五”期间进一步加大了排水沥青路面在全国范围的应用。自 2014 年开始对排水沥青路面的技术规范及标准进行制定, 目前已完成交通运输部《排水沥青路面设计与施工技术细则》征求意见稿、交通运输行业标准《排水性沥青混合料用真空塑封仪》报批稿。

在修筑和养护技术研发的基础上, 针对排水降噪沥青路面特点开发了排水降噪沥青路面的养护设备, 以提高多孔沥青路面的耐久性, 保证其降噪性能。

研究成果在石家庄环城公路、湖南龙永高速公路、南京机场高速公路、交通运输部科技示范工程江西永武高速公路、安徽宣宁高速公路、江苏宁靖盐高速公路、江苏宁宿徐高

速公路、四川遂资高速公路和遂宁广安西充高速公路等十几个项目中应用。

2.2 我国自有知识产权技术的竞争力评价。

为促进噪声控制技术的法制化进程,我国目前已经建立了比较完整的噪声控制法规标准体系。其中包括《中华人民共和国环境噪声污染防治法》,它为环境噪声控制技术服务提供了基本法规。环境噪声排放标准、各类噪声源排放标准、各类噪声控制设备技术标准、噪声测试和预测评价标准、噪声控制技术标准和规范等 100 余项。目前,国内出版发行的有关噪声与振动方面的书籍有 170 余种。这些专著和刊物较全面系统地总结和介绍了国内外噪声与振动控制技术的最新成果与发展动态,对噪声与振动控制事业的发展起到了积极的指导推动作用。我国已建成公路、铁路声屏障近千条,包括不同的型式、材料和结构。在声屏障的设计、制造、安装等方面已积累了一定的经验。但是声屏障工程的产业化、标准化和有待加强,有关声屏障的社会经济效益值得进一步深入调查和研究。在低噪声路面研究中,多孔水泥石混凝土路面目前也在逐步开展,并进行基础理论和试验路段的研究。有关噪声地图的研究,特别是针对交通噪声的噪声地图,目前主要是利用国外模拟预测软件来实现,具有我国自主产权的需要进一步的开发和研究。

3 主要问题分析

道路交通噪声的治理和控制是一个复杂的问题,涉及城市土地利用、路网建设、城市交通需求控制、道路设计等多层次多方面的问题,因此必须综合防治,多管齐下。为确保对交通噪声的合理预测和客观评价,并针对噪声的影响确定经济、合理、可行的噪声控制措施,必须依靠现代化的科学手段和仪器设备,综合对噪声各影响因素进行分析,准确的预测交通噪声的实际情况,给出客观的评价结果及噪声控制的合理方案,从而为道路建设的可行性判别提出可靠依据。为了从行业和专业角度更好地完成“落实科学的发展,以人为本,加快建设环境友好型社会”这一重要的战略任务,创建绿色交通、构建和谐社会,从服务行业服务人民的高度,有效控制交通噪声势在必行。

目前国内对影响交通噪声的大多数因素如路面特性、路龄、车辆类型、沿线建筑物类型、沿线地形等等都未进行系统研究。伴随我国交通基础设施建设飞速发展,特别是针对大规模投入运营的高速公路,还缺乏系统的理论体系和实际复杂的交通现状的基础数据库,对交通噪声的预测模拟和评价至今国内没有形成一套完善的交通噪声预测模式,因此无法对交通噪声的影响范围和影响程度作出一个准确的判断,同时对于交通噪声控制的三种主要手段声屏障、隔声窗和减噪路面的机理、性能研究也是各执一词,对各项技术的材料、结构和技术性能指标都没有系统的探讨,与交通噪声控制技术和产品的产业化、标准化的距离还很遥远。这种现状客观上制约了对交通噪声的准确预测和合理的评价,使得交通噪声的控制技术缺乏合理可靠的依据。需要通过完善设备,全面开展噪声源的大规模、全天候监测,得到第一手的可靠数据,建成完善的交通噪声数据库,完善交通噪声的模拟预测和评价,对交通噪声控制技术的发展具有重要的意义。

交通噪声污染防治技术与产品有了较大的发展,如各类声屏障、隔声窗的研发、低噪声路面的研究、噪声地图的绘制等等。在这些交通噪声控制技术及产品的工程化过程中缺

乏相应的标准和评价体系。特别是目前大多数声屏障的实际降噪效果与设计指标存在差异，声屏障材料结构的选用、声屏障的施工、声屏障声学材料的性能需要进行严格管理和认证，使得其经济社会效益得到提高。

4 建议

(1) 加强法规、标准体系建设：进一步加强我国噪声污染控制领域的立法，完善和健全该领域的标准、法规体系建设，尽快与国际接轨。在环境噪声监督管理方面，应进一步完善各地噪声管理条例，加强环境噪声监测系统的建设，包括噪声自动监测系统，进一步加大执法力度。

(2) 加大基础数据和技术创新研究力度：建立我国道路交通噪声污染源数据库，通过引进与合作，逐步完善适合我国国情的噪声预测、分析、设计软件，在道路建设项目规划、设计阶段准确预测噪声污染情况，进而指导路线的合理布设，同时通过预测提高我国道路交通噪声控制产品开发与工程设计的档次和水平；进一步加强基础研究和具有前瞻性的创新技术研究，注重现代新技术（如计算机技术、数字技术、有源控制技术等）在交通噪声与振动控制中的应用，开发科技含量高、拥有自主知识产权的交通噪声控制产品。

(3) 基于噪声地图的交通噪声的预测、模拟技术、噪声污染防治技术及其控制效益研究；

结合车辆源强特性，公路交通噪声影响因素、公路交通噪声传播规律，对交通噪声预测和模拟技术进行系统研究。结合交通噪声控制实施现状，开展公路交通噪声控制效益研究。研究基于噪声地图的环境噪声污染防治技术，结合噪声地图，针对不同区域，不同噪声源、不同噪声分布特点，对区域内的合理规划布局、噪声源控制、传声途径噪声削减、敏感建筑物噪声防护技术的适用性、可行性进行系统深入的研究，为我国环境噪声科学、高效地管理提供技术支撑。

(4) 低噪声路面的噪声特性及工程化推广研究

研究轮胎路面噪声特性，为低噪声路面的实施推广奠定基础，对低噪声路面的评价检测技术进行探索，根据轮胎路面噪声的检测和评价进而为低噪声路面的标准化奠定基础。从而进一步加快低噪声路面推广进程。

(5) 新型结构材料的声屏障产品开发研究

研究新型结构及环保材料标准化声屏障产品，提高声屏障的降噪效果、耐久性，实现声屏障的标准化产业化。

重点行业及其他领域技术 发展报告

有色金属工业污染控制技术发展报告

1 总体概况

有色金属工业是基础原材料产业，是科技进步的先导产业。尽管近年来有色金属行业受境内外市场需求疲软，经济下行压力加大的严重影响，但通过认真贯彻党中央、国务院部署，坚持稳中求进工作总基调，积极开展化解电解铝过剩产能，推进有色金属工业发展方式转变和结构调整，全行业仍基本保持平稳运行态势。

我国有色金属总产量已连续 14 年位居世界第一位。2015 年全国十种有色金属产量合计 5090 万吨，同比增长 5.8%，其中，精炼铜产量 796 万吨，原铝 3141 万吨，铅 386 万吨，锌 615 万吨，同比分别增长 4.8%、8.4%、-5.3%、4.9%。七种精矿产量为铜精矿 167 万吨、铅精矿 234 万吨、锌精矿 475 万吨、锡精矿 10.9 万吨、锑精矿 11.2 万吨、钨精矿（折三氧化钨 65%）14 万吨、钼精矿（折纯钼 45%）30 万吨，同比分别增长-6.3%、-13.8%、-10.5%、3.8%、-8.2%、1.8%、2.4%。此外，氧化铝产量 5898 万吨，铜材 1914 万吨，铝材 5236 万吨，分别增长 9.6%、7.1%、9.0%。

1.1 2014-2015 年国内外相关法规、政策、标准体系现状

为加强有色金属行业的工业污染控制，环境保护部门和工业管理部门进一步制定了有色金属行业相关法规、政策、标准。

2014 年初，环境保护部针对 2010-2011 年间发布的《铝工业污染物排放标准》（GB 25465-2010）、《铅、锌工业污染物排放标准》（GB 25466-2010）、《铜、镍、钴工业污染物排放标准》（GB 25467-2010）、《镁、钛工业污染物排放标准》（GB 25468-2010）、《稀土工业污染物排放标准》（GB 26451-2011）和《钒工业污染物排放标准》（GB 26452-2011）未规定大气污染物特别排放限值情况，进行了调整和完善。通过发布标准修改单规定了上述各有色行业不同大气污染物项目的特别排放限值。这些大气污染物的新标准限值达到或超过目前国际上比较严格的排放控制水平。

2015 年 4 月，环境保护部发布了《铜冶炼污染防治可行技术指南（试行）》、《钴冶炼污染防治可行技术指南（试行）》、《镍冶炼污染防治可行技术指南（试行）》3 项指导性技术文件（公告 2015 年第 24 号）。

2015 年 5 月，环境保护部颁布实施了《锡、锑、汞工业污染物排放标准》（GB 30770-2014），该标准规定了锡、锑、汞工业企业特征生产工艺和装置的水污染物和大气污染物排放限值、监测和监控要求。同期，环境保护部还发布了《再生铜、铝、铅、锌工业污染物排放标准》（GB 31574—2015），并要求 7 月 1 日开始实施。同年 12 月，环境保护

部制定颁布了涉及有色金属行业的《砷污染防治技术政策》和《汞污染防治技术政策》两项技术政策。《砷污染防治技术政策》对我国有色金属含砷矿石采选与铜、铅、锌、锡、锑、金等主要涉砷有色金属冶炼的清洁生产、污染治理、综合利用、二次污染防治、鼓励研发的新技术等6个方面的工作提供了政策和技术管理支持。《汞污染防治技术政策》则重点提出了支持的汞矿采选与铜、铅、锌、金、汞等涉汞有色金属冶炼行业的污染控制技术发展方向。

2015年,环境保护部先后发布了《铜冶炼废气治理工程技术规范(征求意见稿)》和颁布了《铅冶炼废气治理工程技术规范》(HJ 2049-2015),加强对铜、铅重有色金属工业污染物治理规范的制定。

工业和信息化部在原有的基础上继续发布了系列有色金属相关行业的准入条件,如将原有的《铜行业准入条件(2006年)》修订为《铜冶炼行业规范条件(2014)》(公告2014年第29号);将原有的《铅锌行业准入条件(2007)》修订为《铅锌行业规范条件(2015)》(公告2015年第20号)。规范条件从企业设立条件上即规定企业的环保责任和要求。2015年7月发布了《锡行业规范条件(征求意见稿)》和《钨行业规范条件(征求意见稿)》。

除了国家层面不断出台新的法律、政策和标准之外,地方部门也积极开展相关工作。2014年12月,由湖南省环境保护厅和湖南省质量技术监督局联合发布《湖南省工业废水铊污染物排放标准》(DB43/968-2014)。新标准规定了工业废水铊污染物的监测要求和监测方法,限定了湖南省涉铊工业废水铊污染物的排放限值。2015年2月湖南省环境保护厅针对有色金属采选、粗铅冶炼、电解铅(锌)、锑冶炼、(次)氧化锌、硫酸锌、电解锰、有色金属冶炼废渣等八大有色金属细分行业制定并颁布了《湖南省涉重金属污染重点行业生产设施、污染防治设施、风险防范设施规范化建设要求(试行)》和《湖南省涉重金属污染重点行业环境管理、环境风险管控制度规范(试行)》两个规范性文件。

可见,2014-2105年间制定颁布实施多项与我国有色金属工业相关的环境保护法律、法规及标准。这些与之前已颁布实施的法律、法规及标准互为补充,形成了较为系统和完善的有色金属工业环境保护法律、法规及标准体系。

1.2 2014-2015年国内外对污染控制涉及的重点行业的污染控制管理现状

近年来,有色金属工业继续推进技术升级换代,清洁生产水平和节能减排显著提升,主要污染物排放总量得到有效控制。

2014年,全国铝锭综合交流电耗降为13596千瓦时/吨,同比下降144千瓦时/吨,节电35亿千瓦时;铜、铅、电解锌冶炼综合能耗分别为251.8千克标准煤/吨、430.1千克标准煤/吨、896.6千克标准煤/吨,同比分别下降16.2%、6%、1%。

针对汞、铅、镉、砷等重金属污染物产生的关键领域和环节,以重金属冶炼生产过程控制为重点,实施了清洁生产技术改造,从源头消减汞、铅、镉、砷等污染物的产生量,降低了末端治理难度和压力。通过技术改造,提高了产品技术指标,降低了能源消耗,减少了铅尘等污染物排放量。如:实施了“铅冶炼系统液态渣直接还原清洁生产项目”,采用富氧底吹熔炼—液态高铅渣双侧吹直接还原技术等进行升级改造,该项目粗铅冶炼系统铅的回收率提高5%以上,粗铅还原工序烟尘、铅尘和SO₂的排放量分别减少62.4%、67%和39.6%。实施了“锌冶炼废渣综合回收镉生产精镉产业化项目”,镉冶炼总回收率达97%,

每年可以减少烟尘中镉排放量 3326 千克。

我国政府在有色行业环境管理方面做了大量工作、管理水平也得到极大改善。但由于有色行业历史坏账较大、保护管理问题盘根错节、技术水平难以满足监管等诸多问题制约管理成效。需进一步的思考和完善本行业的环境管理工作。

2 主要技术发展情况

2.1 清洁生产技术发展情况

(1) 铝冶金清洁生产技术发展

铝是我国有色金属行业产量最大的金属，2015 年铝产量为 3141 万吨，位居世界第一。2014-2015 年间，铝清洁生产取得了多项重大突破。

2014 年，中国铝业股份有限公司牵头联合开发了“600 kA 超大容量铝电解槽技术”、“氧化铝厂大型搅拌槽高性能搅拌技术”、“串联法氧化铝厂全流程智能生产控制系统”等多项铝冶金的清洁生产技术。其中“600 kA 超大容量铝电解槽技术”先后分别通过国家科技部和有色金属工业协会的技术验收与科技成果鉴定，整体技术水平达到国际领先水平。该技术是我国铝工业发展史尚属首次，是具有自主知识产权的原创性大容量节能铝电解技术。试验表明，600 kA 超大容量铝电解槽技术的成功应用，可以使电解铝原铝液的吨直流电耗达到 12136 kW·h，节电效果显著。山东魏桥铝电有限公司也成功开发了 NEUI600 kA 级高效铝电解槽技术，并进行了产业化应用。

山东索通发展股份有限公司研发了铝用预焙阳极炭碗清理装置、新型阳极焙烧节能燃烧器技术、预焙阳极全寿命质量控制技术等多项铝电解用清洁生产技术与装备，显著提升了行业的技术水平。

2015 年，东北大学牵头研发的具有世界领先水平的“钙化-碳化法高效利用中低品位铝土矿清洁生产氧化铝技术”，将氧化铝溶出率从 70%提升至 86%，该技术具有清洁环保的特点，并可使我国铝土矿资源扩大 2~3 倍，延长铝土矿使用年限 30 年以上。

(2) 铜冶金清洁生产技术发展

铜是我国有色金属行业产量仅次于铝的金属，2015 年铜产量为 796 万吨，位居世界第一。2014-2015 年间，铜清洁生产取得了多项重大突破。

山东东营方圆有色金属公司先后开发了“一元炉方圆法铜精炼技术”和“数字化底吹炉智能熔炼技术”。该技术可以替代原有的低效、污染的反射式阳极炉，并通过在线精准监测和智能控制，一步完成从废杂铜到阳极铜的冶炼，实现了清洁、高效的精铜生产。

中国瑞林工程技术有限公司为主研发的“NGL 炉精炼废杂铜成套工艺及装备”。该废杂铜精炼工艺首次采用了氮气搅动技术和氧气卷吸燃烧的方式供热，显著提高了热效率，减少了 65%以上的烟气量。

北京矿冶研究总院研发了“铜冶炼过程中含砷物料综合利用”新技术。该技术针对铜冶炼过程中产出的砷滤饼、黑铜泥、白烟尘等含砷物料，首次开发出硫化砷渣加压氧化浸出技术，消纳了生产中产生的含砷危险固体废物；提出了铜冶炼含砷物料联合处理流程，实现了砷滤饼、白烟尘、黑铜泥及粗硫酸铜中的砷高效分离及产品化，铜、砷回收率均达

到 98%以上,综合回收了铜、砷、铼等有色金属。

山东祥光铜业股份有限公司开发的“高效节能强化平行射流电解技术”。该技术在 A 级阴极铜合格率 100%的条件下,电流密度较现有常规电解工艺可提高 50%以上,实现了电解产能提高 50%以上,综合能耗远低于国家标准《铜冶炼企业单位产品能源消耗限额》GB21248-2014 先进值。

赤峰云铜有色金属有限公司牵头研发的“双炉粗铜连续吹炼工艺技术”不但彻底解决了现代铜冶炼生产吹炼工序中严重存在的含硫烟气无组织排放问题,而且还可以获得含硫较低优质粗铜和较低的渣含铜(平均 2.25%)。

(3) 铅锌冶金清洁生产技术发展

铅锌是我国产量位居第三和第四的重有色金属,2015 年铅锌产量分别为 386 万吨和 615 万吨。2014-2015 年间,铅锌清洁生产技术也取得了多项重大突破。

湖北金洋冶金股份有限公司牵头研发的“废铅酸蓄电池铅膏连续熔池熔炼工艺、装备新技术”创造性地采用侧吹浸没熔池熔炼工艺处理废铅酸蓄电池铅膏,利用浸没燃烧熔池熔炼直接燃烧向熔体补热的特点,实现了节能、低碳的新型先进连续熔池熔炼工艺。技术经济指标先进,综合能耗优于《再生铅单位产品能耗限额》(GB 25323-2010)中铅膏处理能耗 220 kgce/tPb 先进水平,铅回收率 >98.5%。

北京矿冶研究总院牵头开发了“锌冶炼除铁及钢综合回收”、“锌浸出液深度净化及钎渣综合回收”、“铁闪锌矿低温低压加压浸出新工艺”、“加压浸出提升锌冶炼联合流程”等多项新技术和工艺。这些新技术和工艺实现了锌精矿中锌、钢和铁的总回收率达到 95%、91%和 88%以上,以及锌钢高效回收与无铁渣排放;实现了锌浸出液中钴含量降低至 0.1ppm 以下;实现了在同一反应器中较短反应时间内实现除铁、浸锌双重目标,锌回收率提高了 3%~5%、并减少固体排放量 50%以上。

中南大学牵头研发的“选-冶联合清洁炼锌新技术”,该技术由“热焙砂磁化焙烧-弱酸一段浸出-多段磁选分离工艺等环节,可从根本上解决高铁锌原料炼锌过程铁锌分离回收、铁渣排放量大等难题,实现清洁炼锌。

长沙有色冶金设计研究院有限公司牵头研发的“自动剥锌技术及成套装备”,该成套装备单台剥锌能力达每小时 200 片阴极,码垛能力达每垛 44 片阴极,自动多功能吊车起吊能力每吊 57 片阴极或 39 片阳极,可满足每年 10 万 t 以上大规模和超大规模锌冶炼项目生产需求,提升了锌冶炼企业的清洁生产水平。

2.2 三废污染控制技术发展状况

为保障我国有色金属工业的可持续发展,需要大力研究开发污染控制技术,以实现污染物减排及资源循环。近年来,有色金属行业污染控制技术取得了明显进展。

(1) 水污染控制技术发展状况

水污染控制技术的发展主要集中在冶炼烟气洗涤污染废水治理、金属矿采选废水以及电解洗水等方面。

中南大学与长沙赛恩斯环保科技有限公司联合研发的“有色冶炼烟气洗涤污酸废水治理与资源化利用”、“金属矿采选废水生物制剂协同氧化深度治理与回用”等多项有色采选与冶炼废水处理新技术。通过采用气液强化梯级分离有色金属与砷,膜技术分离回收酸,

并研制了成套装备,实现了污酸废水中有价元素的富集及有害元素的开路、稀酸浓缩及废水回用,且渣量不到传统中和工艺的 8%。通过采用生物制剂和氧化剂的协同氧化作用对废水中的选矿药剂高效破坏,实现重金属离子和选矿药剂的同时深度脱除;采选矿废水处理,铅、锌、镉、铜、砷、锑、汞等重金属离子和 COD、BOD 可稳定达到相关国家排放标准。净化水回用率可达 90%,处理效果稳定。

中国环境科学研究院研发的“锌电解流程重金属水污染源削减成套技术及设备”与“镉离子高效回收技术”,取消了传统的洗板工序,成功实现了剥锌自动化,不仅可减少重金属废水排放 70%以上、减少人工 100 人以上、减少锌粉用量 20%左右,同时可提高镉回收率 20%以上。

(2) 固体废物污染控制技术发展

固体废物污染控制技术的发展主要集中在铜镍渣、锌浸渣、锌冶炼铁矾渣、锑冶炼砷碱渣等方面,形成多项具有良好应用前景的控制技术。

北京神雾环境能源科技集团股份有限公司研发的“转底炉处理铜、镍渣回收铁、锌成套工艺及装备”成功解决了铜、镍渣原料成型难度大、硅酸铁难以还原、锌元素难以回收等资源综合利用难题,实现了铁回收率在 93%以上,锌回收率在 95%以上。

云南驰宏锌锗股份有限公司、中国恩菲工程技术有限公司联合开发的“锌浸渣侧吹熔炼技术与装备”,实现了侧吹炉处理湿法锌浸渣,平均床能力达到 $30.08\text{t}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 。

北京矿冶研究总院研发的“湿法炼锌沉矾新工艺及铁矾渣中锌的综合回收技术”,首次实现了“铁矾早熟”控制,提出两段沉矾新工艺,有效解决了铁矾早熟导致的锌铁分离难题,实现了酸浸液高效除铁和铅银渣富集;开发了铁矾渣低酸浸出回收锌的新工艺,锌总回收率可提高 2%~3%;研发出了快速除铁新技术,研制的高效复合除铁剂,使铁矾渣低酸浸出液的除铁时间缩短至 20 分钟以内。

湖南有色金属研究院、闪星锑业有限责任公司联合开发的“锑冶炼砷碱渣高效综合利用新技术”。该技术采用二段逆流循环浸出,联合价态调控深度脱锑工艺,使砷锑彻底分离。砷碱渣经处理砷的浸出率为 97.72%,锑回收率为 96.74%,回收锑渣中砷含量为 0.36%。得到的砷酸钠复合盐产品中砷酸钠含量到达 48%,副产品碳酸钠盐含砷小于 0.6%,含碱量大于 75%。

(3) 大气污染控制技术发展状况

大气污染控制技术的发展主要集中在二氧化硫、挥发性有机废气等特征性污染物方面,成功解决高浓度二氧化硫制酸、低浓度二氧化硫和挥发性有机物治理等重大难题。

金川集团股份有限公司开发的“超高浓度冶炼烟气制酸过程分流转化与清洁生产技术”,针对高浓度烟气(>30%)制酸过程转化热量不平衡问题,研发了 SO_2 烟气分流控温平衡转化及余热回收技术,提高了 SO_2 转化率,通过净化与转化—干吸之间的“一拖二”匹配化技术提高了冶炼烟气治理的灵活性。

南京格洛特工程股份有限公司开发的“稀土工业挥发性有机废气 VOCs 复相催化氧化治理技术及装备”,已成功应用于包括中国稀土控股有限公司、中铝稀土、五矿稀土、江西钨业等 18 家湿法冶金企业萃取挥发性有机废气 VOCs 的治理,各类有机污染物的浓度均能实现达标排放,

此外,陕西锌业有限公司还开发了“回转窑、多膛炉烟气高效脱硫技术”,广西华锡

集团股份有限公司开发了“非稳态低浓度二氧化硫烟气资源化利用关键技术”、中国铝业股份有限公司山西分公司开发的“氧化铝焙烧炉烟气净化新工艺”。

2.3 我国自有知识产权技术的竞争力评价

随着有色金属行业的快速发展,我国已成为世界有色金属生产第一大国,10种常用有色金属总产量已连续10多年位居世界第一。产量的迅猛增长带来我国有色金属冶金技术百花齐放的格局,从原始粗放的冶炼工艺到节能环保的先进冶炼技术在我国都有实际应用。可以说我国已成为世界有色金属冶金技术的“博物馆”。从目前的发展情况,我国形成的新的清洁生产与污染控制技术普遍具有世界领先水平或先进水平,大量技术开始实现对外输出。

但另一方面,多样化的冶炼技术也给有色金属行业的污染工作带来巨大压力。因为大部分的环境保护技术与工艺过程密切相关,工艺过程的变化使得新技术的适用范围被大幅限制。此外,有些国外成熟的污染防治技术,如锌冶炼的波利登除汞技术,具有一定的技术先进性,但有专利费用成本、运行费用等较高,不适合我国国情。因此,形成了我国有色金属工业污染防治技术的开发主要依靠自身力量研发的格局。

我国有色金属污染防治技术的研发主要集中中南大学、北京科技大学、东北大学、昆明理工大学等为代表的高校,北京矿冶研究总院、北京有色金属研究总院等为代表的科研院所以及部分国有大型骨干企业。这些研究机构和生产企业合作开发了多种具有国际领先或先进水平的污染防治技术。这些技术对保障我国有色金属行业的可持续发展提供了良好的技术支持。

(1) 有色冶炼重金属废水治理与回收实现突破,整体技术与装备具有国际先进性

有色冶炼重金属废水水量大、污染物种类复杂,对其的治理与回收一直困扰有色金属工业发展的重要难题。中南大学基于细菌代谢产物与功能基团嫁接技术,开发了深度净化铅、镉、汞、砷、锌等多金属离子的复合配位体水处理剂(生物制剂),解决了传统化学药剂无法同时深度净化多金属离子的缺陷。发明了“生物制剂配合—水解—脱钙—絮凝分离”一体化新工艺和成套设备,实现了高浓度多金属离子和钙离子的同时高效净化,净化后出水重金属离子浓度达到《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中的III类标准限值,废水回用率由传统石灰中和法的50%左右提高到90%以上。获2011年度国家技术发明二等奖。

该技术成功应用于亚洲最大的铅锌选矿厂凡口铅锌矿,我国最大的锌生产基地株洲冶炼集团、最大的铅冶炼基地河南豫光金铅股份有限公司、最大的铜冶炼企业江西铜业集团,福建紫金铜业集团、中金岭南有色金属股份公司、西部矿业集团、湖南水口山有色金属公司以及郴州金贵银业股份公司、郴州宇腾有色金属股份公司等大型涉重金属企业100多家。实现年减排与回用重金属废水4000多万 m^3 ,直接减排铅、镉、汞、砷、锌等重金属200多吨。该技术协助应急处理广西龙江镉污染、贺江铊污染等重大环境事件,为流域居民环境安全提供技术服务。

(2) 有色金属冶炼含砷固体废物治理技术具有国际领先性

有色冶炼是我国最主要的砷污染源,年排放砷4万吨以上,约占全国砷排放总量的一半,主要以固废形态赋存,含砷固废治理与安全处置已成为我国环保领域和有色金属行业

的重要任务。通过解决砷与相似元素铋、铊分离难题等，开发了机械力化学解毒—胶凝固砷新工艺、高砷危废热压熔融固化新技术、高砷废液沉砷稳砷处置新方法等一系列固砷新技术，实现了与国内外先进工艺相比，固化增容比降低 30%，铋回收率较瑞典波利登工艺提高 25%以上。包括五位院士的同行鉴定专家认为，项目工艺技术居国际领先水平。目前该技术已在铜陵有色集团、郴州金贵银业公司等多家铜、铅、铋冶炼龙头企业大规模推广应用。近三年累计处理含砷固废约 16 万吨，其中固砷约 1.2 万吨，回收有价金属新增产值约 40.51 亿元，利税 2.39 亿元。

3 主要问题分析

有色金属行业的环境保护技术发展与其所属环境保护行业特征紧密相连，属于典型的政策主导型、法规驱动型发展模式。当前存在创新能力不强、产研结合不紧、市场不规范、政策机制不完善、服务体系不健全等问题。

(1) 环保法规可执行力不足

部分技术政策、规范及标准等与现有技术、经济承受能力等之间加大的差距，如有色金属冶炼行业危险废物，如按现有处置标准处理，成本过高企业难以承受；如处置不及时、废物分散监管困难，导致潜在污染与安全风险。环保法规可执行力不足导致企业面临两难处境。

(2) 国家科研平台引领作用有待进一步提高

环保产业具有鲜明时代性特色，技术更新换代快。需立足需求与前瞻性，加强环保技术的顶层设计与联合攻关，充分发挥国家创新平台的作用，架起研究与产业链接的桥梁，着力开发移动式中试孵化装备，加强实验室研究成果的中试孵化；同时国外成熟技术在国内“水土不服”，在引进的同时拟进一步开展再创新的中试研究，以满足市场对创新技术的快捷需求。

(3) 技术与市场联系不够紧密

目前我国存在市场用户污染治理技术缺乏、而另一方面技术研究机构却难以定位市场的现象，造成市场导向需求与创新需求难以有机结合，不能攻克技术难题，占领市场需求制高点。

4 建议

未来 3-5 年有色金属行业环境保护方面可以开展如下工作：

(1) 有色金属行业大气污染控制技术研发

针对有色金属行业涉及的 $PM_{2.5}$ 、 NO_x 、 SO_x 、重金属等多污染物治理的迫切需求，按照污染源多污染物全过程深度减排及资源化利用的新思路，构建“源头削减-过程优化-末端治理”的全流程污染治理技术创新链。

(2) 有色金属行业含砷废物稳定化处理和工程处置技术规范

基于有色冶炼砷渣产生量大、处理处置不当造成严重环境污染的现状，以砷渣无害化和防止二次污染为目标和原则，确定不同类型砷渣的处理处置方法，对砷渣稳定化处理和

安全处置工程进行规范化要求，编制形成《砷渣稳定化处理和安

（3）有色金属行业酸性洗涤废水处理新技术推广应用

有色重金属冶炼烟气制酸洗涤过程会产生大量的高酸重金属废水（常称为“污酸”），该废水酸性强、重金属浓度高、成分复杂、处理难度大，成为我国有色重金属冶炼行业亟待解决的重大问题。目前已证实基于膜分离和高效硫化沉淀的有色重金属冶炼污酸废水的资源化和循环利用新技术可高效的实现污酸中有价金属资源化利用及有害元素砷的开路和水的全面回用。该技术可以在我国有色金属冶炼企业大规模的推广应用，支撑有色金属行业可持续发展。

钢铁行业污染控制技术发展报告

1 钢铁行业污染防治总体概况

我国钢铁行业与其他行业相同，除了执行国家的相关法律法规、政策、标准外，还需执行行业及地方针对钢铁行业制定的相关政策和标准。政府部门通过环境管理手段对工业企业生产排污行为进行规范，是推进工业企业生产工艺设施改进、污染控制治理技术发展的直接动力；大部分新技术的研发、应用都是在新的法规、标准推动下进行的。

因此，了解分析国内外的环境管理法规、政策和标准，有利于促进我国环境保护管理及企业污染控制的发展方向；为了促进钢铁行业环境保护技术发展，对与钢铁行业相关的国内外有关法规、政策和标准体系现状分析如下。

1.1 国内外相关法规、政策、标准体系现状

1.1.1 国外相关法规、政策、标准体系现状

目前在西方发达国家中，欧盟和美国分属两种不同的、有代表性的、全球领先的环境法规体系，另外日本也有较完善的环境法规体系；因此研究和借鉴欧盟、美国和日本的环境法规体系，对完善我国工业企业污染控制监管体系有着积极的意义。

1.1.1.1 欧盟工业企业环境管理制度

在欧盟环境法体系中，关于环境标准和污染控制方面的法规、政策基本上都是以指令形式颁布的，指令规定了所要达到的环境目标，而成员国则可以自由选择达到指令所规定目标的手段、方法。指令在欧盟法律体系中属于二级法律，在成员国议会通过后具有法律效力。欧盟针对工业企业治理的环境政策主要体现在污染综合防治指令（简称 IPPC 指令）中，该指令是欧盟环境政策中最重要的指令之一。

欧盟在控制工业污染物排放方面实行排污许可制度，根据 IPPC 指令要求，在不违反成员国和欧盟有关法律的前提下，申请排污许可企业必须安装满足指令要求的处理装置。IPPC 指令要求成员国在推广最佳可行技术（Best available techniques，即 BAT）的基础上建立涉及若干污染行业的、协调一致的、一体化的工业污染防治系统，防止或减少企业向大气、水体和土壤等环境排放污染物，从而达到整体上高水平的环境保护。IPPC 指令要求成员国为指令中涉及的特定工业（钢铁、能源、化学等）和特定污染物（有机卤化物、生物累积性有机毒物、氰化物、金属、砷等）建立起一种包括制定排放限值、推广最佳可行技术（BAT）在内的认可制度。

1.1.1.2 美国工业企业环境管理制度

排污许可是国际通行的一项环境管理基本制度,美国是最早建立排污许可制度的国家之一,其政策实施效果较好。

美国的排污许可证制度是美国污染防治的核心内容,许可证作为一种强制性的法律文书,以排放许可前置条件的形式,描述了排放源必须遵守的污染物排放限值和相关的法律法规要求;许可证制度要求每一个排污者都必须按照政府发放的排污许可要求规范排污行为,是对污染源进行管理的主要手段之一。

下面以美国《清洁空气法》为例介绍美国排污许可证的管理:

《清洁空气法》是大气许可证的法律依据,《清洁空气法》规定了两类许可证:建设前许可证和运营许可证。建设前许可证主要适用于新建排放源或者现有排放源的改/扩建;运营许可证所管控的对象则是现有排放源。

美国的排污许可证制度,是以技术为基础的排放标准限值和以污染物为基础的排放总量限值相结合的污染物控制制度,其核心是对污染源的监管从控制排放标准向许可证排污限值转化。同时,法律授权环保局足够的权力对违反许可证排污的企业进行严厉惩罚,对工业企业的污染物排放形成了强有力的约束。

1.1.1.3 日本工业企业环境管理制度

日本有完善的污染控制法律体系,有污染防治法、污染物排放标准和环境质量标准等环境管理体系要求,并有详细的条文规定。如《大气污染防治法》,就污染物总量控制、限制燃料使用、控制机动车污染、改善命令、应急措施等方面作了相应规定;以下进行简要说明:

(1) 总量控制

生产企业较集中,仅仅依据二氧化硫、烟粉尘等排放限值控制很难达到大气环境质量标准,为此日本内阁政令确定“指定地区”。该地区都道府县知事应制定降低有关企业污染物排放量的计划,规定排放总量控制基准,即特定企业污染物排放设施排入大气的污染物总量的最高允许限度。污染物总量的降低计划包括排放总量和降低指标、完成计划的时限和方法等。

(2) 限制燃料使用

对二氧化硫排放设施集中,因季节性燃料使用可能造成严重污染的地区,都道府县知事依照环境厅长官的规定,制定燃料使用的基准,限期、限地域地实施限制燃料使用的措施。

(3) 控制机动车污染

环境厅长官规定机动车在行驶过程中产生和排入大气的废气污染物的最高允许量,运输省大臣为确保这一允许量得到实施,依据道路车辆运输法对机动车的构造等规定技术基准,规定禁止不符合这一技术基准的机动车投入运行。都道府县应在交叉路口等交通量大的地点测定环境空气浓度,必要时可以向都道府县公安委员会提出采取限制交通的请求。

(4) 改善命令

在污染物排放者排放的污染量或浓度不符合排放标准的场合下,都道府县知事可以命令排放者限期改善公害发生设施的构造、使用及污染物处理方法,或者命令临时停止使用该设施。

(5) 应急措施

在大气污染严重，出现对人体健康或生活环境造成危害时，都道府县知事可以发出预警警报，广为告知公众，要求企业减少污染物排放量，要求汽车使用者协助自觉停止驾驶车辆。

1.1.2 我国相关法规、政策、标准体系现状

我国现行的环境保护管理体系，主要包括法律法规、部门规章、产业政策、设计规范、污染防治最佳可行技术、环评技术导则、排放标准、环境质量标准、清洁生产标准等。分别说明如下：

1.1.2.1 相关法律法规

《中华人民共和国环境保护法》是我国环保领域的根本法，该法于 1979 年首次颁布，后进行了两次修订，最近一次修订的环境保护法自 2015 年 1 月 1 日起施行。

根据《中华人民共和国环境保护法》，相继制定了完善的环境保护法律法规体系，现行与钢铁行业相关的主要法规条例如下：

- (1) 《中华人民共和国环境保护法》；
- (2) 《中华人民共和国水污染防治法》；
- (3) 《中华人民共和国大气污染防治法》；
- (4) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》；
- (5) 《中华人民共和国环境噪声污染防治法》；
- (6) 《中华人民共和国水土保持法》；
- (7) 《中华人民共和国海洋环境保护法》；
- (8) 《中华人民共和国环境影响评价法》；
- (9) 《中华人民共和国清洁生产促进法》；
- (10) 《中华人民共和国循环经济促进法》；
- (11) 《建设项目环境保护管理条例》；
- (12) 《规划环境影响评价条例》；
- (13) 《排污费征收使用管理条例》。

1.1.2.2 环保部门规章

与钢铁行业相关的主要部门规章如下：

- (1) 《建设项目竣工环境保护验收管理办法》（2010 年修正版）；
- (2) 《危险废物转移联单管理办法》（环保总局令第 5 号）；
- (3) 《清洁生产审核暂行办法》（环保总局令第 16 号）；
- (4) 《污染源自动监控管理办法》（环保总局令第 28 号）；
- (5) 《环境信息公开办法（试行）》（环保总局令第 35 号）；
- (6) 《环境保护公众参与办法》（环保部令第 35 号）；
- (7) 《钢铁工业污染防治技术政策》（环保部公告，2013 年第 31 号）；
- (8) 《大气污染防治行动计划》（国发[2013]37 号）；
- (9) 《水污染防治行动计划》（国发[2015]17 号）。

1.1.2.3 产业政策

近几年国家颁布的涉及钢铁行业的主要产业政策如下:

- (1)《产业结构调整指导目录》(2013年修正);
- (2)《钢铁行业规范条件》(2015年修订);
- (3)《钢铁行业规范企业管理办法》(2015年制定);
- (4)《铁合金、电解金属锰行业规范条件》(2015年制定);
- (5)《铁合金、电解金属锰生产企业公告管理办法》(2015年制定);
- (6)《国务院关于化解产能严重过剩矛盾的指导意见》(国发〔2013〕41号);
- (7)《工业和信息化部关于做好部分产能严重过剩行业产能置换工作的通知》(工信部产业〔2014〕296号);
- (8)《关于在化解产能严重过剩矛盾过程中加强环保管理的通知》(环发〔2014〕55);
- (9)《工业和信息化部关于印发部分产能严重过剩行业产能置换实施办法的通知》(工信部产业〔2015〕127号)。

1.1.2.4 相关标准及导则

钢铁行业在项目建设、运营、监管过程中涉及的主要设计、污染防治最佳可行技术、污染物排放标准、清洁生产标准和环境影响评价技术导则如下:

- (1)《钢铁工业环境保护设计规范》(GB50406-2007);
- (2)《钢铁工业资源综合利用设计规范》(GB50405-2007);
- (3)《钢铁工业除尘工程技术规范》(HJ435-2008);
- (4)《钢铁行业污染防治最佳可行技术指南-焦化工艺》(HJ-BAT-004);
- (5)《钢铁行业污染防治最佳可行技术指南-炼钢工艺》(HJ-BAT-005);
- (6)《钢铁行业污染防治最佳可行技术指南-轧钢工艺》(HJ-BAT-006);
- (7)《铁矿采选工业污染物排放标准》(GB 28661-2012);
- (8)《钢铁烧结、球团工业大气污染物排放标准》(GB 28662-2012);
- (9)《炼铁工业大气污染物排放标准》(GB 28663-2012);
- (10)《炼钢工业大气污染物排放标准》(GB 28664-2012);
- (11)《轧钢工业大气污染物排放标准》(GB 28665-2012);
- (12)《铁合金工业污染物排放标准》(GB 28666-2012);
- (13)《钢铁工业水污染物排放标准》(GB 13456-2012);
- (14)《炼焦化学工业污染物排放标准》(GB 16171-2012);
- (15)《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB 12348-2008);
- (16)《建筑施工厂界环境噪声排放标准》(GB 12523-2001);
- (17)《关于执行大气污染物特别排放限值的公告》(环保部2013年第14号);
- (18)《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》(GB 18599-2001);
- (19)《危险废物贮存污染控制标准》(GB 18597-2001);
- (20)《清洁生产标准-钢铁行业(烧结)》(HJ/T426-2008);
- (21)《清洁生产标准-钢铁行业(高炉炼铁)》(HJ/T427-2008);
- (22)《清洁生产标准-钢铁行业(炼钢)》(HJ/T428-2008);
- (23)《清洁生产标准-炼焦行业》(HJ/T126-2003);

- (24) 《清洁生产标准-钢铁行业（中厚板轧钢）》（HJ/T318-2006）；
- (25) 《规划环境影响评价技术导则-总纲》（HJ130-2014）；
- (26) 《环境影响评价技术导则-总纲》（HJ/T2.1-93）；
- (27) 《环境影响评价技术导则-大气环境》（HJ2.2-2008）；
- (28) 《环境影响评价技术导则-地面水环境》（HJ/T2.3-93）；
- (29) 《环境影响评价技术导则-声环境》（HJ2.4-2009）；
- (30) 《环境影响评价技术导则-生态影响》（HJ19-2011）；
- (31) 《环境影响评价技术导则-地下水环境》（HJ610-2016）；
- (32) 《环境影响评价技术导则-钢铁建设项目》（HJ708-2014）；
- (33) 《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ/T169-2004）。
- (34) 《钢铁企业节能设计规范》（GB50632-2010）；
- (35) 《钢铁企业节水设计规范》（GB 50506-2009）；
- (36) 《钢铁企业综合污水处理厂工艺设计规范》（GB50672-2011）；
- (37) 《钢铁工业废水治理及回用工程技术规范》（HJ2019-2012）；

1.1.2.5 环境质量标准

钢铁行业的企业建设、生产运营需满足的主要环境质量标准如下：

- (1) 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）；
- (2) 《地表水环境质量标准》（GB3095-2012）；
- (3) 《地下水质量标准》（GB/T14848-93）；
- (4) 《海水水质标准》（GB3097-1997）；
- (5) 《声环境质量标准》（GB3096-2008）；
- (6) 《土壤环境质量标准》（GB15618-1995）。

1.1.3 我国现有相关法规、政策、标准体系分析

1.1.3.1 环境管理体系完整性

近年来，随着社会经济的快速发展，我国环境空气污染特征发生了显著变化，区域性大气污染问题日趋严重，雾霾、光化学烟雾和酸雨等复合型大气污染问题较为突出，影响人体健康和生态安全，乃至社会经济的和谐发展。因此，为了满足新形势下国家环境空气质量管理工作需求，环保部于2012年颁布了新的《环境空气质量标准》（GB 3092-2012）。我国污染物排放标准分为国家标准和地方标准，国家标准又分为综合标准和行业标准。在执行效力方面，地方标准应严格且优先于国家标准，行业标准优先于综合标准。随着大气污染防治形势的逐渐严峻，我国对污染物排放标准体系进行了重大调整，针对钢铁冶炼等行业逐渐实行新的严格的行业排放标准，不再执行《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）和《工业炉窑大气污染物排放标准》（GB 9078-1996），以实现污染物的进一步减排。

对钢铁行业，环保部于2012年颁布了《铁矿采选工业污染物排放标准》、钢铁烧结、球团工业大气污染物排放标准》、《炼铁工业大气污染物排放标准》、《炼钢工业大气污染物排放标准》《轧钢工业大气污染物排放标准》、《铁合金工业污染物排放标准》，《钢铁工业水污染物排放标准》和《炼焦化学工业污染物排放标准》等8个行业标准。这8个标准提

高了污染物排放控制限值,增加了二噁英及无组织排放的污染控制标准,包含了钢铁生产的各个主要生产工序,是一个较完善的行业标准。

随着我国大气雾霾问题的日益凸显,环保部颁布了《关于执行大气污染物特别排放限值的公告》(2013年第14号公告),提出为进一步加强大气污染防治工作,在京津冀、长三角、珠三角等“三区十群”19个省(区、市)47个地级及以上城市等重点控制区的钢铁、火电、石化、水泥、有色、化工等六大行业以及燃煤锅炉项目执行大气污染物特别排放限值。对于排放标准中已有特别排放限值要求的钢铁、火电行业,自2013年4月1日起,新受理的环评项目执行特别排放限值。

1.1.3.2 钢铁行业环境管理

从2013年开始,我国各地雾霾天数逐渐增多,尤其是华北、华东区域污染程度最为严重,这多与钢铁企业生产有关。因此钢铁作为典型的重污染行业成为了治理重点。自2013年至今,我国陆续出台了多部政策法规用于治理环境污染,其中涉及钢铁行业的内容非常具体,包括设备改造、技术升级、惩罚措施、排放标准等,足见政府部门已经将治理钢铁业污染提升到了非常重要的层面。

钢铁行业的环保工作虽然取得了一定成绩,但与发达国家相比还存在较大差距,我国对废气中污染物的治理仍以可见粉尘为主,而发达国家已经针对所有不可见的有害气体加以治理,除二氧化硫和氮氧化物以外,还包括了挥发性有机物、卤代烃等有害物质,且发达国家的工业排放标准比我国更为严格。

总体上分析,我国钢铁行业的环保状况尚处于落后水平,大量落后产能的存在导致了严重的环境污染,同时,在治污技术上还有较大的提升空间,需要多方面借鉴与学习发达工业国家的经验与技术,相关的法规、标准体系还需进一步完善提升,以降低生产过程中污染物的排放量,达到钢铁企业与自然环境协调发展的目标。

1.1.3.3 钢铁行业存在的问题

虽然国家制定了一套较完整的环保法律法规等管理体系,但在现实中,由于部门及地方管理的不协调性,导致执行力大打折扣,钢铁产能发展过快,产能严重过剩,其结果是环境资源浪费、环境污染恶化。

钢铁企业存在超标排放、未批先建、环保设施不健全、管理水平低下,至今环保手续不齐全等问题;行业存在环保技术推广应用不畅通、污染控制技术及设备欠缺等问题;存在污染排放量家底不清的问题,如PM_{2.5}、二噁英、重金属物质等排放量。

钢铁行业存在环保工程技术规范、污染防治最佳可行技术指南不够完善的问题;如缺废水治理工程技术规范,烧结/球团、炼铁等工艺的污染防治最佳可行技术指南等。

从钢铁企业整个“生命周期”分析,其规划、设计、建设、投产、生产过程,均有一套环境保护的法律法规、政策、标准体系进行管理,但对产品、企业“死亡”尚待制定相应的管理要求。应推行钢铁产品的低碳产品认证制度,促进企业减少污染物排放;对停产拆除、搬迁的钢铁企业生产场地,需进行土壤污染调查、修复、再利用,制定土壤污染防治条例和相应的土壤修复管理要求,保证土壤修复及再利用过程不会产生环境污染影响。

因钢铁行业废气污染物排放标准是首次颁布,在实施过程中发现存在一些问题,目前环保部已将其列入2016年度环境保护标准评估计划表、确定了评估工作承担机构,待评估、修订后进一步强化对钢铁企业的环境管理。

目前建设项目各环境影响评价技术导则由于不适应现有的国情发展，相关单位正在组织修订，地下水环评导则已修订完成颁布实施、环评导则总纲修改稿正在征求意见，及待颁布指导钢铁行业的环评。

1.2 国内外钢铁行业污染控制管理现状

1.2.1 我国钢铁行业污染控制管理现状

1.2.1.1 钢铁行业发展概况

我国粗钢产量 2000 年为 1.29 亿吨，2014 年达到 8.22 亿吨，年均增长 14.2%，其产量在全球位居第一，占 49.5%（国际钢铁协会 2015 年 1 月 22 日颁布的最新统计数据，2014 年全球粗钢产量为 16.62 亿吨）。

而我国钢铁产能利用率是很低的，据钢联资讯报道：2015 年粗钢产量约为 8.04 亿吨，产能利用率约为 65%（产能约 12.4 亿吨）。因此，国内目前钢铁产能严重过剩的问题。

1.2.1.2 钢铁行业污染物排放及控制

钢铁企业的生产运营，其污染源必须符合国家及地方排放标准要求，对环境的影响需满足环境质量标准要求，同时还需满足地方政府下达的污染物排放总量控制指标（或排污许可量）要求。

但钢铁生产是高污染行业，其生产过程排放大量的废气、废水及冶炼渣等污染物，特别是废气污染物排放对环境的影响较大。钢铁工业在对社会经济带来巨大贡献的同时，排放了大量的污染物，也逐渐造成了周边较严重的环境污染。

据环境保护部公布的《全国环境统计公报（2014 年）》，2014 年调查统计的黑色冶炼和压延加工企业 3880 家，共排放颗粒物、二氧化硫和氮氧化物分别为 101.5 万 t、180.7 万 t 和 56.6 万 t，分别占全国工业总排放量的 7.0%、10.4%和 4.0%；数据分析表明，钢铁行业生产的废气污染物排放位居工业大气污染物排放的第二位。

在钢铁产能发展的情况下，行业污染控制在加强，每年均投入上百亿的环保资金用于老项目的污染源治理和新建项目配套的环保设施建设，使吨钢各项污染物排放指标在不断消减将低。以下利用《中国钢铁工业环境保护统计（2010-2014 年）》（中国钢铁工业协会信息统计部）中的相关数据进行钢铁行业污染物排放控制的分析。

（1）生产给排水情况

新水使用及废水排放情况见表 1 和图 1：

表 1 吨钢生产给排水及变化情况

年份	用水重复利用率 (%)	吨钢新水单耗 (m ³ /t)	吨钢外排废水量 (m ³ /t)
2010	97.2	4.11	1.65
2011	97.4	3.90	1.37
2012	97.5	3.87	1.18
2013	97.62	3.67	0.94
2014	97.52	3.60	0.86

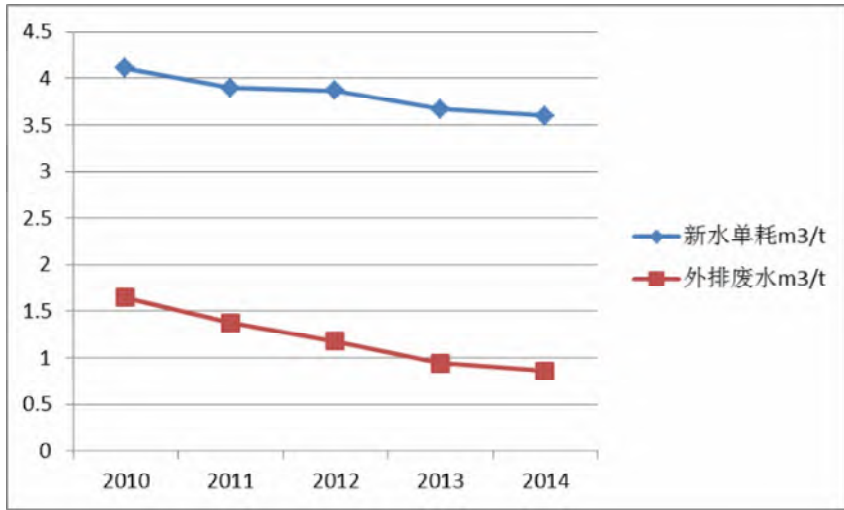


图 1 吨钢生产新水及外排废水变化曲线

5年来工业用水重复利用率变化不大,但基本上是在不断提高,从2010年的97.2%提升到2014年的97.6%;吨钢新水消耗、吨钢外排废水量均在不断降低,新水消耗从2010年的4.11 m³/t下降到2014年的3.60 m³/t,外排废水量从2010年的1.65 m³/t下降到2014年的0.86 m³/t。

(2) 废水污染物排放情况

统计企业的外排废水中吨钢水污染物排放量变化情况见表2、图2~图3:

表 2 吨钢水污染物排放量变化情况

年份	挥发酚 (g/t)	氰化物 (g/t)	氨氮 (g/t)	石油类 (g/t)	COD (g/t)	SS (g/t)
2010	0.062 6	0.072 9	6.759 2	2.485 7	76.287 7	72.251 2
2011	0.056 7	0.053 2	5.923 9	1.994 4	63.156 9	53.858 3
2012	0.033 9	0.038 6	5.025 7	1.541 6	49.070 0	46.152 3
2013	0.027 6	0.029 6	3.462 2	1.080 1	36.040 6	29.945 3
2014	0.028 3	0.032 6	2.669 6	0.865 0	32.894 4	22.186 9

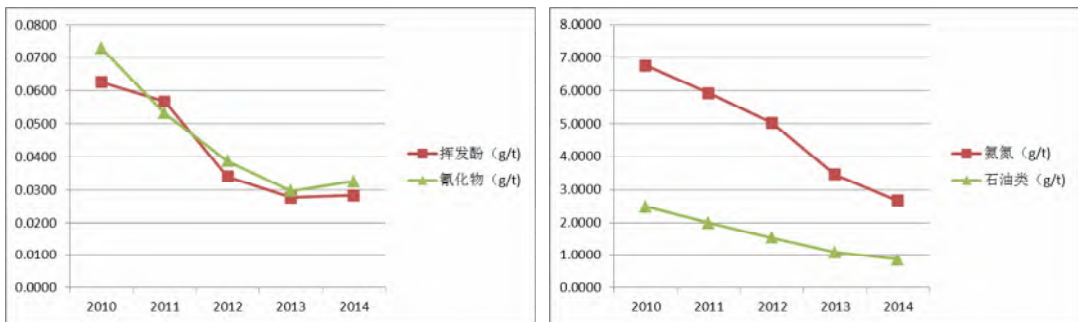


图 2 吨钢挥发酚、氰化物、氨氮、石油类排放量及变化曲线

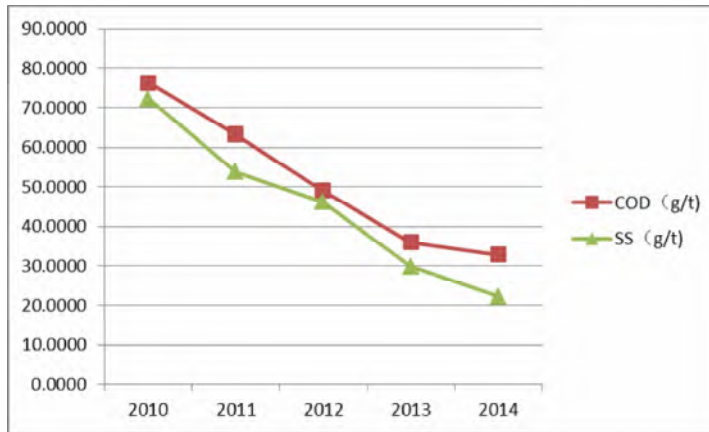


图3 吨钢 COD、SS 类排放量及变化曲线

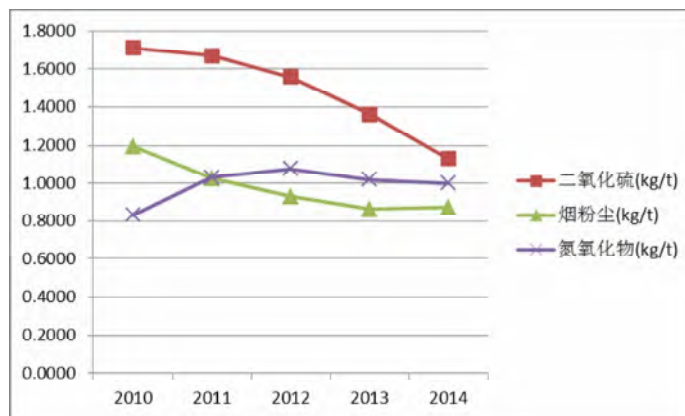
从上述图表可知：外排生产废水中的吨钢污染物排放量，除挥发酚、氰化物 2014 年略比 2013 年增加外，其他各污染物均在逐年消减降低。

(3) 废气污染物排放情况

外排废气中吨钢污染物排放量变化情况见表 3、图 4：

表 3 吨钢废气污染物排放量变化情况

年份	二氧化硫 (kg/t)	烟粉尘 (kg/t)	氮氧化物 (kg/t)
2010	1.711 4	1.195 1	0.831 0
2011	1.669 1	1.026 0	1.030 8
2012	1.557 6	0.929 3	1.075 4
2013	1.363 1	0.861 7	1.019 8
2014	1.128 2	0.871 7	0.999 1

图4 吨钢 SO₂、NO_x、烟粉尘排放量及变化曲线

从上述图表可知：外排生产废气中，SO₂、烟粉尘的吨钢排放量在逐年消减降低；NO_x 2010—2012 年是在不断增加，然后逐年下降，但其吨钢排放量 2014 年大于 2010 年。

(4) 环保投资情况

在调查统计的钢铁企业环保投资情况见表 4 和图 5:

表 4 环境保护投资情况

年份	环保设施投资 (万元)		老污染源治理 (万元)		“三同时”设施 (万元)		绿化投资 (万元)	粗钢产量(万 吨)
	总额	吨钢	总额	吨钢	总额	吨钢		
2010	1015 724.55	23.34	589 527.6	13.54	426 196.93	9.79	70 224.54	43 523.71
2011		29.34	977 623.59	21.64	347 506.04	7.69	68 441.45	45 171.71
2012	1138 057.53	24.30	802 530.76	17.14	335 526.77	7.16	103 326.00	46 832.05
2013	965 203.20	17.98	859 580.09	16.01	105 623.11	1.97	74 101.64	53 676.77
2014	1486 704.43	25.95	1262 852.00	22.04	223 852.49	3.91	73 485.45	57 300.72

注: 环保设施投资包含老污染源治理和“三同时”环保设施投资。

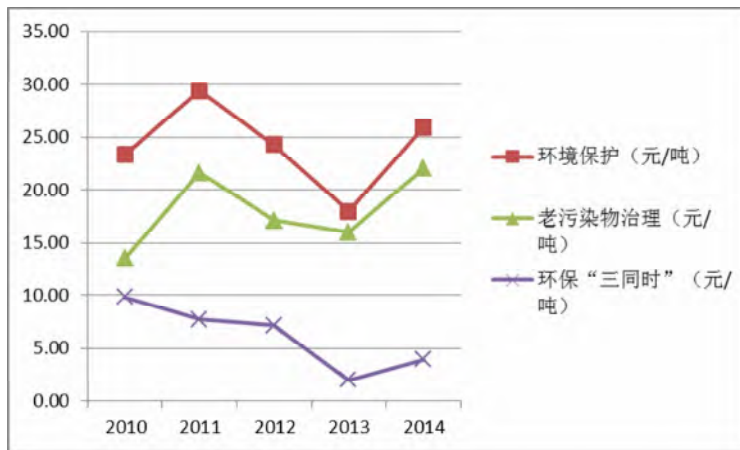


图 5 环保投资情况

(5) 环保设施配置情况

在调查统计的企业中, 有烧结机或球团设备的企业 683 家, 有烧结机 1191 台、球团设备 552 台; 有脱硫设施 995 套、脱硝设施 39 套、除尘设施 16162 套; 烧结、球团脱硫设施配置率约 57%, 脱硝设施配置率仅约 2.2%; 脱硫、脱硝设施配套严重不足。

1.2.2 国外钢铁行业污染控制管理现状

1.2.2.1 美国钢铁工业节能环保现状

美国目前吨钢平均能耗为 18.1MBtu/t (21CJ/t), 2010 年将降低到 15.0MBtu/t (17.4GJ/t)。

其能耗的降低主要是钢铁行业结构变化和工艺技术改进的结果, 节能降耗的主要措施有: 淘汰效率低的老旧设备, 使用喷煤技术减少焦炭用量, 使得大多数钢厂关闭其炼焦炉, 转而进口焦炭, 以减少能源消耗; 对高炉进行技术改进, 增加了顶压发电, 提高了炉顶气体利用率, 利用煤炭燃烧, 配合使用预热废铁的电炉熔炼, 为电炉提供热铁水; 采取热装

热送、直接熔炼、薄板带坯连铸连轧等，尽量减少工序转换过程中的能源消耗；尽力收集废气的化学能；在各个加工过程中使用传感器，改进生产效率，扩大了产量，降低了生产成本，从而，保证了美国钢铁工业在世界上的竞争优势。

1.2.2.2 德国钢铁工业节能环保现状

德国非常重视钢铁工业的可持续发展，制定了相关计划：开发新钢种，生产满足用户要求的新性能材料；开发新的制造设备，提高劳动生产率和成材率及连续化、自动化水平；开发新工艺，简化或缩短生产流程；回收利用副产品，如炉渣、泥浆、粉尘；保护环境，保护空气、水和土壤；节能，控制 CO₂ 排放量；废钢循环使用。

为了保护环境，欧盟钢铁工业承诺，在没有行政开支的情况下，将使用经济、环保和节能设备。比如德国钢铁工业于 1995 年承诺减少 16%，17%CO₂ 的排放量，到 2005 年已经实现了这一目标，而且没有影响钢铁的产量，相反在 1995~2005 年间粗钢产量增加了近 250 万 t，从 4205 万 t 增加到 4452 万 t。2005 年德国的铁钢比为 0.648，1995 年铁钢比为 0.714。2004 年德国钢铁工业平均能耗 18GJ（约合 615 kg 标煤），吨钢 CO₂ 排放量约为 1.3t/t 坯（均计算到铸坯，且电炉钢比约 31%）。

1.2.2.3 日本钢铁工业节能环保技术

日本是个能源极度匮乏的国家，迫使它在节能上下大功夫，不但从全连铸、热装热送及直接轧制等大的方面着想。因此，日本的吨钢能耗多年来一直居于世界领先的地位，其能源费用占生产成本的比重逐年下降，致使其产品在国际市场上具有较强的竞争力。

日本节能技术发展经历了数个时期。第一期（1973—1978 年），采取的措施主要是减少反复加热引起的能量损失，包括降低加热炉热能损失、钢坯热装热送。其次是提高操作水平进行转炉热气回收。第二期（1979—1985 年），引进大规模废热回收设备回收废热，节能具体措施包括高炉炉顶煤气余压发电（TRT）、烧结废热回收、连铸和转炉余热锅炉。第三期（1986—1994 年），主要节能措施包括使用连续退火生产线、高炉喷煤、使用煤湿度控制。第四期（1995—2002 年），主要节能措施包括高炉喷吹废塑料、提高高炉喷煤比、蓄热式烧嘴、高效发电站和无头轧制。第五期（2003 年至今），主要节能措施包括高炉设备更新改造、高炉试用城市燃气、引进高效氧气厂、扩大高炉炉顶煤气余压发电的应用范围和蓄热式燃烧器，与其他产业合作，开展综合节能研究。

1.2.2.4 国外钢铁工业节能环保发展方向

（1）淘汰落后设备节能

淘汰落后产能不仅有利于集约化生产节能，还有利于精简机构、人员以节约辅助用能并大幅度降低成本。

（2）改进工艺技术节能

① 通过提高加热炉空气预热温度和强化炉体绝热以降低油耗的同时；充分回收利用厂内高炉煤气和转炉煤气以取代重油；

② 引进千熄焦、高炉顶压发电、热风炉余热利用和烧结机余热利用及电炉废钢预热等重大节能技术，并在改进后加以推广；

③ 实施工艺简化以节能，如通过提高连铸比以取消初轧、开坯工序以大幅节能；消除或简化降温的工序。如直接轧制（DR）技术、连续退火技术（CAL）、冷轧的酸—轧联机技术、热轧的无头轧制技术等等。其中无头轧制技术可以避免精轧机的头尾非正常现象，

使轧制前后稳定,同时减少板厚和终轧温度的波动,不仅能够明显提高热轧钢板的质量,而且可大大节省能源。

④ 改善能源结构和提高能源转换效率以节能,如高炉通过喷煤代喷油后不断扩大喷煤比来节焦,提高自发电和制氧机效率以节能,电炉通过 UHP 电源操作、吹氧喷燃和 DC 炉等节电,节能效果均很明显。

(3) 钢铁厂副产物的再利用技术

废渣 100%再利用技术。对于发生量达 82%的副产废渣,通过扩大钢厂内再利用和厂外利用,实现废渣埋填量为零的突破,具体开发技术:1)炼钢渣中含有 Fe 和 CaO,一般用作返回料送烧结和高炉进行有效再利用;2)扩大以高炉水渣造水泥的利用比例;3)开发将高炉水渣应用于土木建筑的技术和对水渣作硬质化处理后用作混凝土的骨料;4)开发将炼钢渣(包括不锈钢精炼钢渣)用作路基填料和基础砂桩压缩填料等再利用技术;5)用高炉渣生产石棉纤维。

(4) 消纳社会废弃物

利用钢铁生产工艺中的生产线和设备,消纳社会废弃物,如废旧塑料等。

(5) 生产环保生态型钢材

更高性能钢材,以减少资源和能源消耗,如高强度汽车用钢、Si 超过 6.5%电磁钢板等;对生态环境无污染或少污染的钢材,如无 6 价铬酸盐表面镀锌钢板、无铅镀膜钢板等;抗腐蚀性能强、使用过程噪音等公害少的钢材,如 Eco—Pile 生态型钢板桩、透水型钢板桩等。

2 钢铁行业污染防治主要技术发展情况

随着经济的飞速发展,我国钢产量已经连续多年位居世界第一位。钢铁工业的迅猛发展,也给我们的生存环境带来了巨大影响。废水、固体废弃物、废气等污染物的产生和排放量巨大,环境污染恶化严重。应该看到,我国钢铁工业环境污染状况与国外先进企业相比,差距比较大。但是,我国钢铁工业在“十二五”以来进行了大规模的结构调整和技术改造,在此过程中重视了节能环保的投入和相应的建设、改造。特别是在最近几年更加重视“水更清、天更蓝”的环保治理。绿化环境和建设工业生态园取得了显著进步。虽然总体上与世界先进水平还存在一定差距,但已出现示范性的清洁工厂,全行业取得节能环保工作显著进步。

2.1 主要技术发展情况

2.1.1 钢铁行业废水处理技术发展情况

钢铁工业用水量大,生产过程中排出的废水,主要来源于生产工艺过程用水、设备与产品冷却水,设备与场地清洗水等。70%以上的废水来源于冷却水,生产工艺过程排出的只占较小的一部分。废水含有随水流失的生产用原料、中间产物和产品以及生产过程中产生的污染物。

世界各国水污染防治的历史经验与教训证明,由于技术经济等种种条件的限制,单从

技术上采取人工处理废水的做法，不能从根本上解决水污染问题。历史的经验与教训，把各行各业都引向综合防治之路，并正在沿着这个方向继续前进。所谓水污染综合防治，简单地说，即运用各种措施防治水体污染。一般地说，应遵循如下原则。

(1) 预防为主，防止新污染源、新污染物的潜在污染危害，减少外排废水量

生态学及毒理学的发展，检测技术的进步，导致对水质要求的提高，从而对地面水、渔业用水的水质标准也更加严格。如外排废水入天然水域，往往要花费比从前更多的费用去净化。因此，总的趋势是减少，亦即减少水量，从而节省基建投资及运行费用。为此，必须搞好环境预测和防治水污染的环境（或流域）规划。对于任何一个钢铁企业来说，都应当做到：

① 全面规划，合理布局，在此前提下，认真执行环境影响评价制度，为做好水污染防治规划提供依据；

② 企业本身水污染防治规划在技术经济上的合理性；

③ 企业本身的水污染防治规划，应当和它所从属的环境（或流域）相联系，既要科学利用环境容量与自净能力，又要达到保护环境的目的。

(2) 综合治理

综合治理是相对于传统的单一的采取人工处理废水而言的，要求针对不同情况，从多方面采取措施，如积极研究采用不排污或少排污的工艺，不排毒、少排毒的原则实施清浊分流。大力发展一水多用、重复利用和循环利用的技术，积极研究采用经济而又无害化的技术，结合人工处理废水和积极发展综合利用技术，科学利用环境容量及自净能力，以及加强生物防治等。

(3) 加强科学管理，改善管理机构及制度，建立经济责任制和技术档案

加强对废水处理设施的运行、操作、维护的管理，把人为的浪费和资源利用不合理的部分，通过科学管理，提高资源的利用率，消除浪费，是提高经济效益、环境效益极为重要的方面，科学管理应从行政、法律、经济、技术等方面，结合近期和长远的环境目标，加以有机结合运用。

2.1.1.1 钢铁企业综合污水处理与回用技术

钢铁企业外排废水综合处理与回用是我国国情和我国钢铁企业发展的特色。我国钢铁企业发展历程大都由小变大，经过逐步改建、扩建、填平补齐等过程而发展起来的。因此用水量大、排水量大、用水循环率低成为钢铁企业的普遍问题。钢铁企业要进行环保治理，要寻求新的供水来源，最直接、最经济、最有效和最可靠的是将综合排放废水经处理后回用。钢铁企业外排废水量约为企业新水用量的60%以上，企业若能将这一部分废水处理后再作为净循环系统补充水，将大大提高全厂水重复利用率，节水效果显著。

国外的钢铁企业一般将废水分配或消纳于各级生产工序中，因此目前很少兴建全厂性综合污水处理厂，但仍有各单元循环系统不易解决的零星污水和各单元外排水。近几年世界各国水资源危机不断，因此先进的钢铁企业，如日本、韩国、欧美等大型钢铁企业都在酝酿新建综合污水处理厂以解决零星废水和各单元排水的收集与回用问题。

钢铁企业综合污水特点为水质、水量波动大，污水中主要污染物为悬浮物、胶体物质、油类、盐类等，虽然混有部分生活污水，但可生化性差，不适于采用生化处理，因此对于此类污水一般采用物化工艺处理为主，大部分皆为传统的絮凝、沉淀、过滤工艺技术，部

分采用国外引进工艺技术。

通过对国内外多家钢铁企业综合污水处理及回用工程的调研,具有代表性的工艺流程有如下几种:

(1) 以吸附作为膜过滤预处理工艺

典型如韩国浦项钢铁厂,其综合污水处理厂处理工艺流程如图所示。

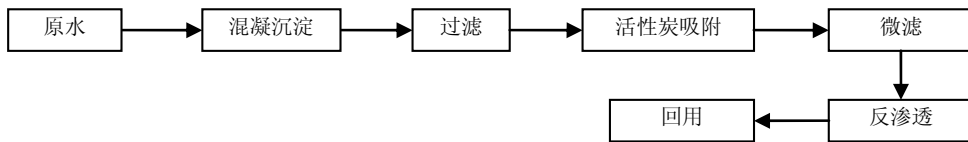


图6 浦项钢铁厂综合污水处理工艺流程图

(2) 絮凝沉淀-过滤工艺

典型如鞍钢综合污水处理厂,工艺流程如图。

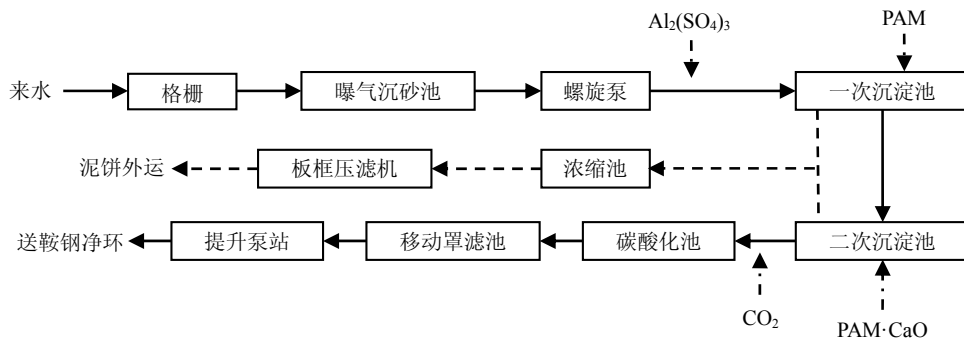


图7 鞍钢综合污水处理厂工艺流程图

(3) 以多级过滤作膜处理预处理工艺

典型如太钢污水处理回用工程。工艺流程见图。

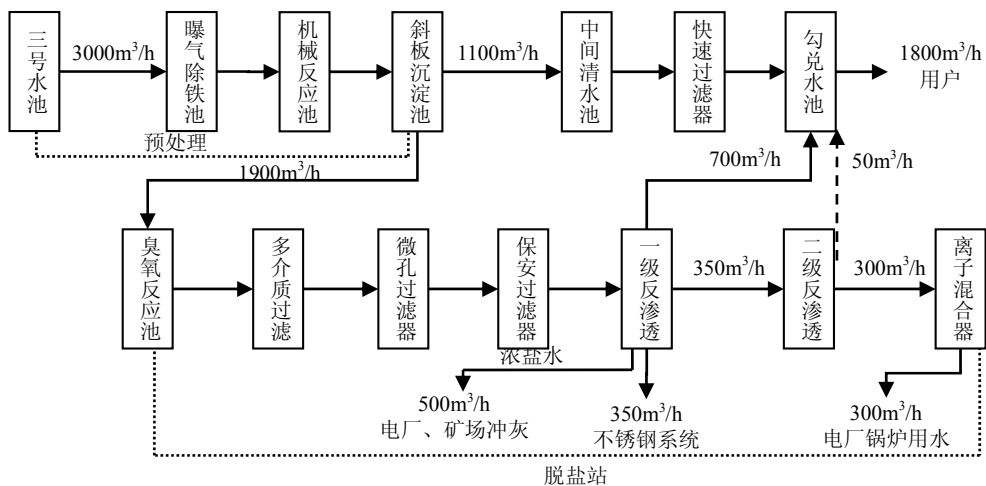


图8 太钢污水处理回用工程工艺流程图

(4) 高密度澄清池-V型滤池工艺
典型如邯钢第二污水处理厂，工艺流程如图。

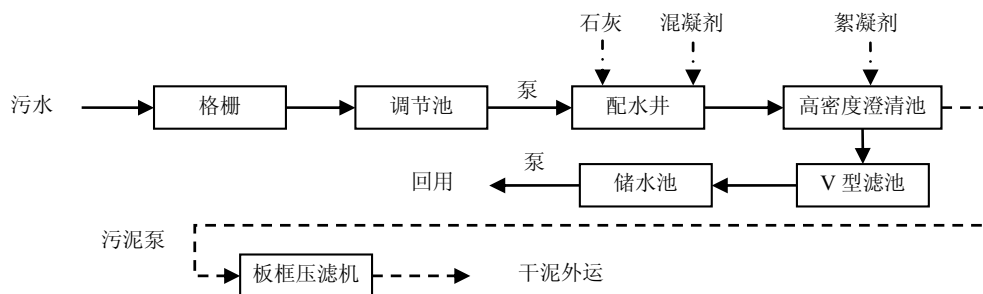


图9 邯钢第二污水处理厂工艺流程图

(5) 多流向强化澄清池+V型滤池工艺
典型如攀钢西昌钢钒公司污水处理厂。其具体工艺流程如下图，其中除盐水系统可根据各钢厂实际情况进行选择。

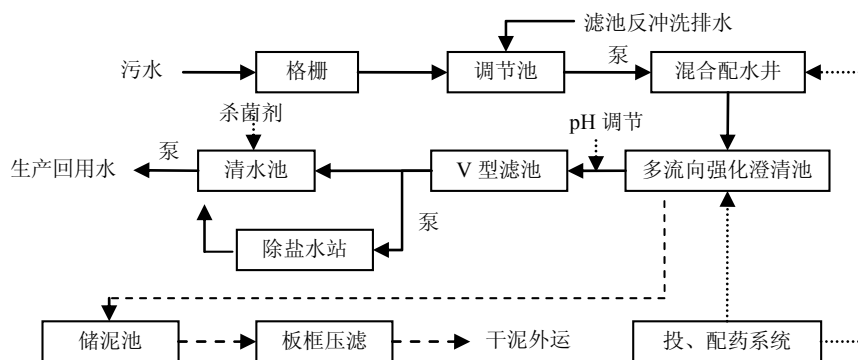


图10 攀钢西昌钢钒公司污水处理厂工艺流程图

2.1.1.2 钢铁企业焦化污水处理与回用技术

焦化废水处理是国内外公认的难题。对焦化废水中酚、氰等有毒物质的处理，采用活性污泥法是一个比较普遍有效方法。但对其中 $\text{NH}_3\text{-N}$ ，COD，氟化物、多环芳烃等去除效果较差，难以满足回用与达标外排要求，因此国内外对焦化废水处理工艺技术进行众多深化研究，不同国家有自身特点和要求，主要是工艺技术、运行测试、自动监控等更多地向节能、环保、高效、实用等方向发展。焦化废水的最终排放与回用，应视本国国情、法律法规、地区环境与生态状况而定。总体而言，我国焦化废水处理工艺、技术的研究的深度与广度已达到世界先进水平。

2004年以来，国家对环境保护特别是对焦化废水提出更严格规定与要求：一是HT/T 126—2003《焦化行业清洁生产标准》；二是2004年国家发改委的《焦化行业准入条件》；三是GB16171—2012《炼焦化学工业污染物排放标准》；四是HJ2022—2012《焦化废水治理工程技术规范》等相继出台，我国焦化废水已进入必须治理回用与“零排”的新的发展阶段。

2.1.1.3 钢铁企业热轧废水处理与回用技术

热轧废水治理应主要解决两方面的问题,一是通过多级净化和冷却,提高循环水的水质,以满足生产上对水质的要求,同时减少排污和新水补充量,使水的循环利用率得到提高。热轧废水治理的另一个方面是回收已经从废水中分离的氧化铁皮和油类,以减少其对环境的污染。因此,完整的热轧废水处理系统还应包括废油回收和对二次铁皮沉淀池和过滤器分离的氧化铁皮的浓缩、分离。

热轧厂一般包括钢板车间、钢管车间、型钢车间、线材车间以及特种轧钢车间等,各厂情况不一。

2.1.2 钢铁行业大气污染控制技术

2.1.2.1 烧结烟气多污染物控制技术

烧结烟气是烧结混合料点火后,随台车运行,在高温烧结成型过程中所产生的含尘废气。现代生产高炉炉料矿石中,90%以上使用烧结矿。烧结烟气中产生的二氧化硫约占钢铁企业生产系统的60%,还含有氮氧化物、三氧化硫、氢氟酸、盐酸、重金属和二噁英等多种污染物。

(1) 烧结烟气脱硫技术

国外烧结烟气脱硫技术的研究与应用都开展比较早。

从日本烧结脱硫工艺选择的发展历程,以及欧美钢铁公司烧结烟气脱硫工艺的选择和应用可看出,国外烧结烟气脱硫工艺的选择趋势是由“湿”到“干”。如果单纯要求实现烧结烟气脱硫,湿法脱硫技术是能够满足要求的,但随着国家对烧结烟气中氮氧化物以及二噁英等污染物也提出了控制要求,干法技术能够处理多种污染物的优势就开始显现,并将逐步替代湿法技术。

国内从2004年就开始进行烧结烟气脱硫的工作,到2010年底,已经有220台建设了脱硫装置,烧结机面积达到25000 m²,采用的工艺有循环流化床脱硫工艺、旋转喷雾干燥工艺、氨-硫酸法工艺、石灰石-石膏湿法脱硫工艺、有机胺法脱硫工艺、密相干塔法脱硫工艺、活性炭吸附法脱硫工艺等十多种。如果将脱硫工艺按照湿法、半干法和干法来划分,这些应用的技术中湿法所占比例63.4%,半干法所占比例29%,干法所占比例7.6%,具体见下表:

表5 烧结烟气脱硫方法及应用列表

脱硫方法	应用套数	应用总面积 (m ²)	平均面积 (m ²)	所属总类	所占比例% (按总面积计算)
石灰-石膏法	76	14064	185	湿法、钙法	40.0
氨-硫酸法	35	6300	180	湿法、氨法	17.9
旋转喷雾法	20	6300	315	半干法、钙法	17.9
循环流化床法	14	3900	280	半干法、钙法	11.1
双碱法	9	1028	115	湿法	2.9
密相干塔法	6	1250	210	干法、钙法	3.6
动力波法	4	360	90	湿法、钙法	1
镁法	1	105	105	湿法、镁法	0.3

脱硫方法	应用套数	应用总面积 (m ²)	平均面积 (m ²)	所属总类	所占比例% (按总面积计算)
有机胺法	1	265	265	湿法	0.8
离子液法	1	173	173	湿法	0.5
活性炭法	1	450	450	干法	1.3
MEROS 法	1	300	300	干法、钙法	0.9
NID 法	1	360	360	干法、钙法	1
ENS 法	1	265	265	干法、钙法	0.8

可见，目前烧结烟气脱硫技术以湿法和半干法技术为主，多来源于火电行业的脱硫公司，技术比较成熟，设备国产化程度高，在国内烧结行业得到了广泛的应用。由于烧结烟气温度低，湿度高，烟气波动性大，而且二氧化硫及氮氧化物的浓度相对较低，因此电厂的脱硫脱硝技术在烧结行业中运用也要水土不服的问题，需要进行选择和改进。

(2) 烧结烟气脱硝技术

烧结烟气中的氮氧化物主要由烧结原料中的氮和空气中的氮气经过燃烧产生的。目前国外控制烧结烟气中氮氧化物浓度的主要技术分为源头控制和尾部控制。源头控制技术主要是采用低氮燃烧技术或者烟气循环技术等，从源头上降低氮氧化物的生成，但是控制效果无法达到我国现行排放标准要求。尾部控制主要是采取合适的烟气脱硝技术，降低氮氧化物的排放量。

在国内外烧结行业得以应用的脱硝技术仅有活性炭吸附技术、选择性催化还原技术(SCR)。我国台湾省中钢公司在上个世纪九十年代有3座SCR法装置投产使用，脱硝效率达到80%。SCR采用氨或尿素将烟气中的氮氧化物还原为无害的氮气后再进行排放，但是对反应温度要求比较高(350℃以上)，烧结烟气温度一般在120℃至180℃之间，经过湿法脱硫技术处理后，烟气温度仅有80℃左右，如采用选择性催化还原法或选择性非催化还原法，必须将烟气加热到反应温度，耗能巨大，同时运行过程中需要喷氨，运行成本较高，而且投资费用较大，经济性较差，不适于在烧结烟气脱硝中应用。

2.1.3 钢铁行业固体废弃物污染控制技术

2.1.3.1 矿渣粉生产技术

水淬高炉渣磨细至400 m²/kg以上，具有良好的潜在水硬性，是水泥和混凝土的优质掺合料。进入二十一世纪以来，我国矿渣粉生产蓬勃发展。矿渣粉生产通常可采用立式磨、辊压机、球磨机、振动磨四种终粉磨工艺，或者采用立式磨+球磨机、辊压机+球磨机的联合粉磨工艺。

(1) 立式磨生产矿渣粉技术

立式磨自20世纪20年代问世以来，一直以粉磨效率高、能耗低著称，尤其是对含水量高达20%左右的物料同时进行烘干粉磨，最早立式磨主要用于水泥生料的生产制备，近年来随着科技的发展，立式磨逐渐克服了振动和材质磨损等问题后，逐步用于矿渣粉的生产，并迅速发展成为最常见的生产矿渣粉工艺。图1是立磨粉磨矿渣的终粉磨系统流程。

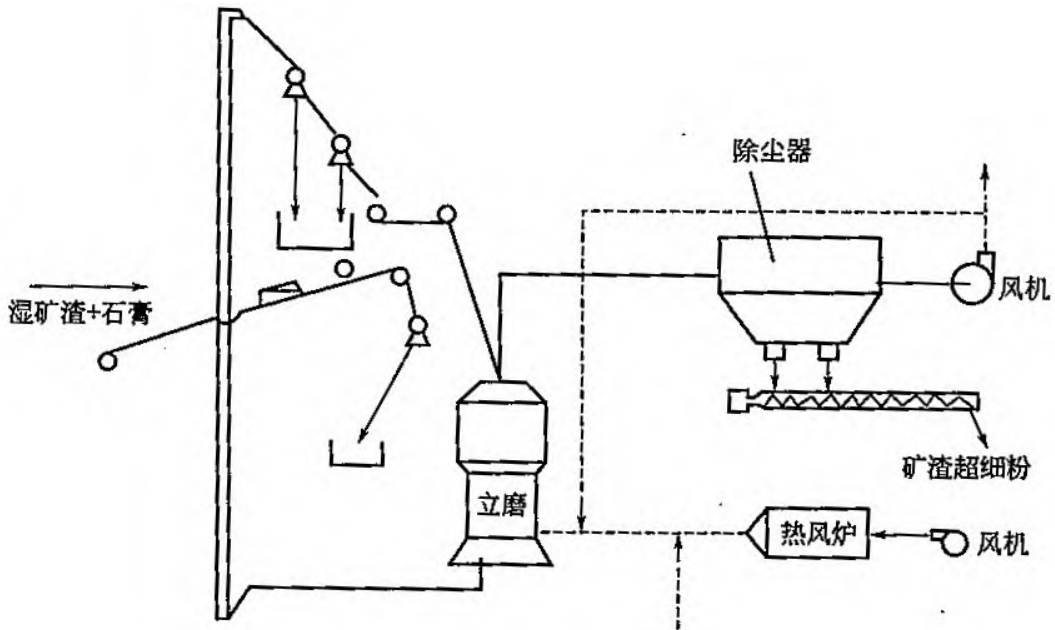


图 11 立磨粉磨矿渣的终粉磨系统流程

与球磨相比，将矿渣磨细至相同细度，立磨的电耗可节省 50% 以上，耐磨材料的消耗比球磨系统低 130 倍以上，立磨工艺采用边烘干边粉磨的技术，减少了烘干机的设备和土建投资，简化了工艺流程，降低了燃料消耗，工艺流程简单，自动化程度高，控制简便。另外立磨设备也趋向大型化，目前已有单台矿渣粉产能超过 180 万吨/年。

(2) 辊压机联合粉磨生产矿渣粉技术

该系统一般由挤压机、打散机、球磨机、选粉机组成，最大的特点是消除了辊压机的边缘效应，满足率辊压机过饱和喂料的要求；同时可采用“低压大循环工艺”，减少辊压机的工作压力，延长辊套使用寿命，提高运转率；不必刻意追求辊压机出料中的合格细粉含量，充分发挥打散分级机的调控作用。

该系统如辊压机的物料水分也要求为 4~5%，磨机采用烘干磨以确保成品水分不大于 1%。该工艺流程比普通球磨机一级闭路系统流程增产 60% 以上，降低单产电耗 15~20%，电耗优于单独采用球磨机系统粉磨，不仅经济效益显著，而且运行费用降低，维护量大为减少。该系统特别适用于水泥企业的老线改造，在球磨机前加辊压机，同时将球磨机进行改造，矿渣经过辊压机的挤压，极大改善了易磨性，再经过打散、分级，将细物料送入高细高产磨中，无论是否采用选粉系统，都将大幅度提高系统产量，其工艺流程如图 12 所示。

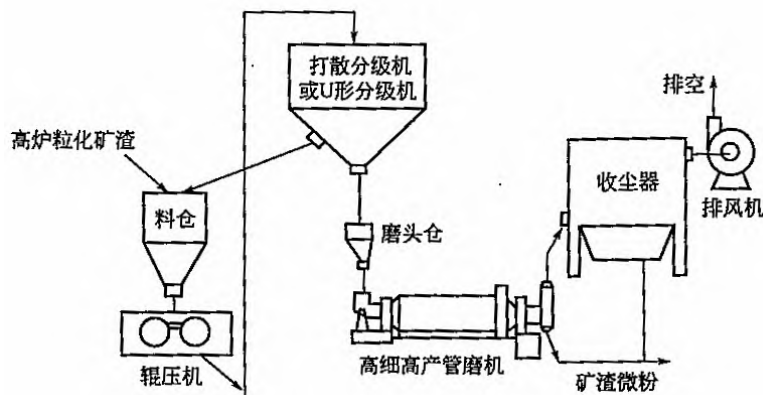


图 12 辊压机与球磨机联合粉磨工艺流程

2.1.3.2 钢渣处理技术

目前国内外熔融钢渣处理技术由于炼钢设备、工艺、造渣制度、钢渣物化性能的多样性及其利用上的多种途径呈现多样化。

(1) 钢渣常压池式热闷处理技术

钢渣自解粉化工艺的技术原理是：在密闭体系下，利用高温钢渣自身所含有的热量使水汽化，所产生的具有一定压力和温度的饱和水蒸气与钢渣中含有的游离氧化钙反应，产生热应力、化学应力和相变应力使钢渣龟裂破碎。此种工艺主要包括：钢渣常压池式热闷处理技术、钢渣辊压破碎-余热有压热闷处理技术。

钢渣常压池式热闷处理技术的原理是将 $200^{\circ}\text{C} \sim 1650^{\circ}\text{C}$ 的钢渣运至余热自解处理生产线，直接倾翻至余热自解装置中，喷雾遇热渣产生饱和蒸汽，与钢渣中游离氧化钙 $f\text{-CaO}$ 、游离氧化镁 $f\text{-MgO}$ 发生如下反应：

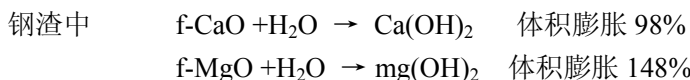


图 13 是钢渣常压池式热闷处理技术示意图，图 14 是钢渣常压池式热闷处理图。

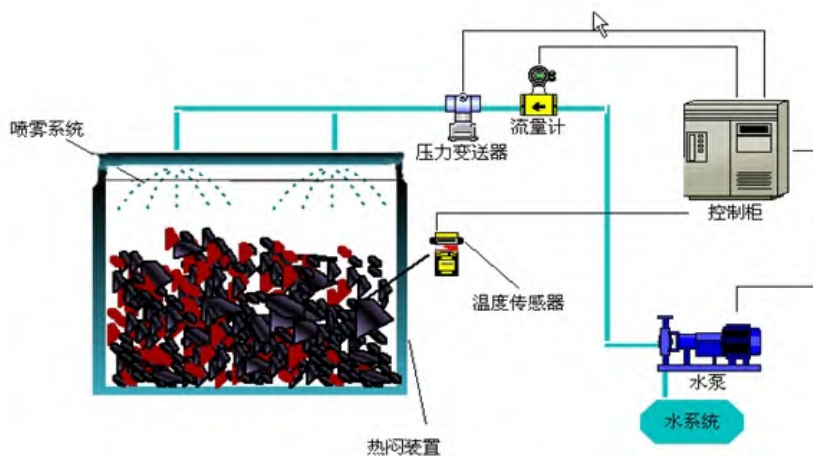


图 13 钢渣常压池式热闷处理技术示意图



图 14 钢渣常压池式热闷处理图

钢渣余热常压自解处理工艺具有以下技术特点：a) 可处理 200℃~1650℃ 的钢渣，对钢渣流动性无要求，固态、液态均可，处理率 100%；b) 钢渣粒度小于 20 mm 的量占 60% 以上，省去了钢渣热泼工艺的多级破碎设备；c) 渣钢分离效果好，大粒级的渣钢铁品位高，金属回收率高，尾渣中金属含量小于 2%，减少金属资源的浪费；d) 与其他工艺相比，钢渣余热自解处理可使尾渣中游离氧化钙 (f-CaO) 和游离氧化镁 (f-MgO) 充分进行消解反应，消除了钢渣不稳定因素，使钢渣用于建材和道路工程安全可靠，尾渣的利用率高；目前这种处理技术已占国内钢渣处理量的 30% 以上，所占市场份额最大。图 15 是国内采用钢渣常压池式热闷处理技术的部分钢厂。



首钢热闷生产线



新余钢厂热闷生产线

图 15 钢渣热闷生产线典型工程

钢渣池式热闷技术与国内外钢渣处理工艺技术特点对比见表 6。

表 6 国内外钢渣处理主要技术参数比较表

工艺技术	池式热闷	蒸汽陈化法 (日本住友)	滚筒法	风淬法
适应性	液态、半固态和固态	冷渣	液态	液态
f-CaO 质量分数 (%)	<2	—	3~5	5~6
浸水膨胀率 (%)	<1.5	<1.5	2.93	1.42
主机能耗 (kg 标煤/吨渣)	0.4	12.03	1.616	4.44
尾渣利用率 (%)	100	100	途径少	途径少

(2) 钢渣辊压破碎-余热有压热闷技术

钢渣辊压破碎-余热有压热闷技术是中冶建筑研究总院有限公司、中冶节能环保有限责任公司在其前三代钢渣常压热闷技术基础上所开发的一种新型钢渣稳定化处理技术。其热闷工作压力约 0.2~0.4 MPa，在较高的压力条件下，增大了水蒸气的渗透压，加快了水蒸气与钢渣中的游离氧化钙的反应速率，将热闷时间由 8~12 h 缩短至 1.5 h 左右。同时，该技术在处理钢渣时，其整个过程基本都是在密闭体系下进行，因此，较现有钢渣处理技术相比，其净化程度更高，更加环保，并为钢渣显热的回收利用创造了条件。

从工艺处理过程上讲，钢渣辊压破碎-余热有压热闷技术可分为钢渣辊压破碎和余热有压热闷两个阶段。辊压破碎阶段主要是完成熔融钢渣的快速冷却、破碎，此阶段的处理时间约 30 min，经过此阶段的处理，可将熔融钢渣的温度由 1600℃ 左右冷却至 800℃ 左右，粒度破碎至 300 mm 以下。余热有压热闷阶段主要是完成经辊压破碎后钢渣的稳定化处理，此阶段的处理时间约 1.5 h 左右，处理后钢渣的稳定性良好，其游离氧化钙含量小于 3%，浸水膨胀率小于 2%。

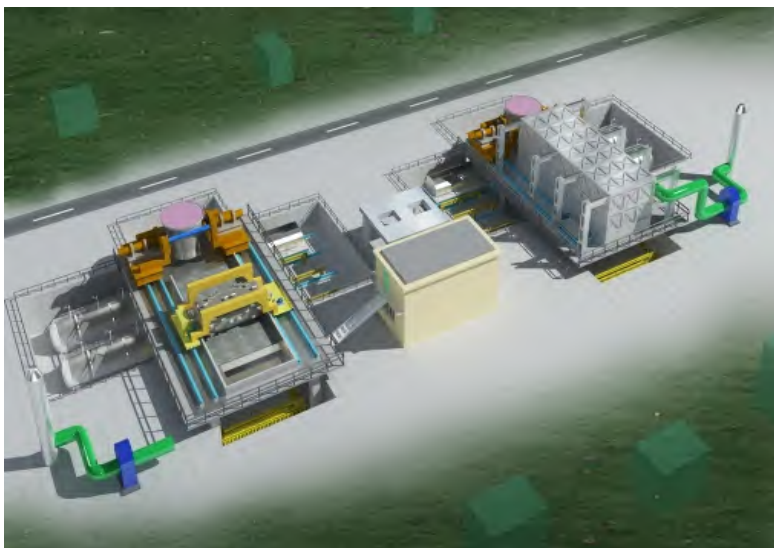


图 16 有压热闷生产线布置效果图

钢渣辊压破碎-余热有压热闷技术的技术特点有：① 物料要求、稳定性情况和渣铁分离情况，与钢渣池式热闷自解处理技术相同；② 粉化率：处理后钢渣中-20 mm 粒级含量可达到 70%以上；③ 热闷参数：热闷时间约 1.5h，热闷工作压力 0.2~0.4MPa，吨渣水耗约 0.3 t~0.4 t；④ 环保情况：热闷过程所产生的蒸汽通过管道进行有组织排放，处理过程洁净环保，尤其是从渣罐倒渣环节在密闭空间内进行，大大减少了粉尘排放；⑤ 自动化程度高；⑥ 运行成本：运行费用折合吨钢约 3 元。

主要应用厂家：珠海粤裕丰钢厂、济源钢厂、沧州中铁。图 17 是有压热闷处理典型工程。



济源钢厂有压热闷生产线



珠海粤裕丰钢厂有压热闷生产线

图 17 钢渣有压热闷处理典型工程

2.2 我国自有知识产权技术的竞争力评价

2.2.1 钢铁行业废水处理技术竞争力评价

2.2.1.1 钢铁行业废水处理技术相关专利情况

从我国现有专利技术情况的总体上看,与钢铁工业污染防治技术相关的专利数量大、覆盖面也较为广泛,其与火电、石油炼化、化工、煤炭等各行业的水污染控制均有相关。根据中国知识产权网专利统计数据查找,从2010年1月至2015年12月,摘要中含有(钢厂/钢铁/烧结/焦化/炼焦/炼铁/炼钢/轧钢/冷轧/热轧)和(污水/废水/循环水/回用水/再生水/新水/工业水)等词的发明专利申请达到2120件。

2.2.1.2 国家科学技术奖及其他奖项(钢铁工业水污染防治技术相关)

表 7 2010—2015 年国家科学技术奖励(与钢铁工业水污染防治技术相关)

年份奖项	编号	项目名称	主要完成人	完成单位
2013 年国家科学技术进步奖二等奖	J-21501-2-01	钢铁企业低压余热蒸汽发电和钢渣改性气淬处理技术及示范	于勇, 张玉柱, 王新东, 胡长庆, 王兰玉, 邢宏伟, 史东日, 李建新, 苏福源, 冯润明	河北联合大学, 唐山钢铁集团有限责任公司, 中国钢研科技集团有限公司, 北京科技大学
2013 年国家科学技术进步奖二等奖	J-205-2-01	冷轧机乳液分区自动吹扫装置的研发和应用	李超	鞍山钢铁集团公司
2013 年国家科学技术进步奖二等奖	F-304-2-02	工业钒铬废渣与含重金属氨氮废水资源化关键技术和应用	曹宏斌, 李鑫钢, 林晓, 张懿, 宁朋歌, 刘晨明	中国科学院过程工程研究所, 天津大学
2014 年国家科学技术进步奖二等奖	J-231-2-05	水与废水强化处理的造粒混凝技术研发及其在西北缺水地区的应用	王晓昌, 金鹏康, 陈荣, 王继武, 毛怀新, 陈军, 张建锋, 袁宏林, 李志华, 王刚	西安建筑科技大学, 中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司, 绿地集团西安置业公司, 甘肃金桥给水排水设计与工程(集团)有限公司

年份奖项	编号	项目名称	主要完成人	完成单位
2015 年国家技术发明奖二等奖	F-304-2-02	基于纳米复合材料的重金属废水深度处理与资源回用新技术	潘丙才, 张炜铭, 张全兴, 马宏瑞, 吕路, 吴军	南京大学, 陕西科技大学

2.2.1.3 我国自有知识产权技术应用情况及竞争力分析

(1) 钢铁企业综合污水处理与回用技术

由中冶节能环保责任有限公司研发的钢铁企业综合污水处理与“零排放”技术, 将钢铁企业外排综合污水通过以具有自主知识产权的多流向强化澄清池等主体处理工艺以及反渗透脱盐及回用水含盐量控制技术处理后回用于工业循环冷却水系统作为补充水, 最大限度提高污水回用率, 实现污水零排放。本技术是通过采用不同的物理化学方法(如均质均量调节、除油、格栅拦截、混凝、沉淀或澄清、过滤、超滤、反渗透、消毒等工艺组合)将污水中的悬浮物、油类、COD、硬度、盐类和部分金属离子等污染物质去除后, 获得用户需要水质的回用水的集成工艺。采用的关键技术主要为具有自主知识产权的多流向强化澄清器、V 型滤池以及反渗透脱盐及回用水含盐量控制技术。

本技术适用于钢铁企业综合污水的回用处理, 外排水污染物平均去除率: SS 为 70.4%, COD 为 70.5%, 石油类 66%; 出水水质: SS 小于 5 mg/L, COD 小于 30 mg/L, 油小于 2 mg/L。处理后水返回生产系统循环使用, 可大幅降低钢铁联合企业的吨钢取新水量。

该工艺技术从 2007 年开始至 2010 年连续 4 年被国家环保部列入《国家鼓励发展的环境保护技术目录》, 并在 2007 年进入国家发改委组织编写的《重点行业节水支撑技术》鼓励推广应用。

该技术已在我国多个大型钢铁联合企业进行了推广应用, 节水减排效果显著。

① 累计处理水规模达到 8249 万 m³/年, 节约淡水资源约 6640 万 m³/年, 减少外排废水 6200 万 m³/年, 示范工程所在企业水重复利用率大幅提高, 均可大于 97.5%, 废水减排率达 80%以上。在节约淡水资源与减少废水排放方面取得了巨大进步。

② 累计减少 COD 排放量 6600 吨/年, 悬浮物 16498 吨/年, 油类 413 吨/年。为我国钢铁企业减少污染物排放作出了显著贡献。

作为获奖项目的主体技术, 获得 2011 年度环境保护科学技术二等奖; 2011 年度北京市科学技术二等奖; 2012 年度中冶集团科学技术一等奖。多流向强化澄清器获得中国中冶专利技术银奖。

(2) 钢铁企业焦化污水处理与回用技术

为了实现焦化的达标排放, 特别是 COD 氨氧等指标满足 GB16171-2012《炼焦化学工艺污染物排放标准》要求, 实现废水处理回用与零排, 近 10 年多来国内外焦化废水研究与开发工艺十分活跃, 新技术、新工艺、新设备、新材料不断涌现和开发试用, 如新型生物脱氧技术不断深化与发展; 生物强化新技术不断涌现与开发; MBR 技术开发应用以及新型物化处理技术与零排工艺不断涌现与发展。

这些技术组合与工艺集成既推动焦化废水处理技术水平提高与发展, 也使得经济有效地实现废水处理回用与零排成为现实。

目前解决焦化污水污染问题主要应从以下三方面着手:

一是焦化污水的减量化。除了加强运行管理, 进行厂内水量的综合平衡以减少污水水

量外,还应在处理环节减少稀释水等进一步减少焦化污水的总量。

二是要重视污水回用与消纳目标的选择。不同的回用目标与消纳点所要求水质有很大的不同,直接确定处理的工艺路线以及投资与运行成本。

三是开发焦化污水深度处理技术,使得其可以进入厂内循环水系统,最大程度的并且是可以为回用点生产岗位人员接受的回用,进而达到零排放要求。

目前深度处理工艺主要有化学混凝和絮凝,微波技术,焚烧法,活性炭吸附,催化氧化技术,以及膜法分离工艺。

化学混凝和絮凝是用于处理污水中自然沉淀法难以沉淀去除的细小悬浮物及胶体微粒,以降低污水的浊度和色度,但对可溶性有机物无效。由于焦化生化出水中含发色基团的有机物极性较和水溶性较强,并且能使一些长碳烃类有机物乳化而高度分散,从而使得通常的混凝难于脱出生化出水的色度。因此,该类技术进行深度处理的效果不佳。

微波技术,活性炭吸附和焚烧法在大水量工程推广的可靠有效性,经济实用性方面存在难以克服的弊端。

我国“水体污染控制与治理重大专项”十一五课题“松花江重污染行业清洁生产关键技术与工程示范”针对煤化工废水 COD 高、难生物降解的特点,所研发“煤化工行业清洁生产关键技术”成果包括酚、氨、焦油的低成本高效回收技术、强化生物处理技术、高级氧化、混凝和膜分离等深度处理和水回用技术等。成果集中体现了产学研的有机结合,具有显著的环境效益和经济效益。以煤焦化废水减排工艺为例,流程图如下:

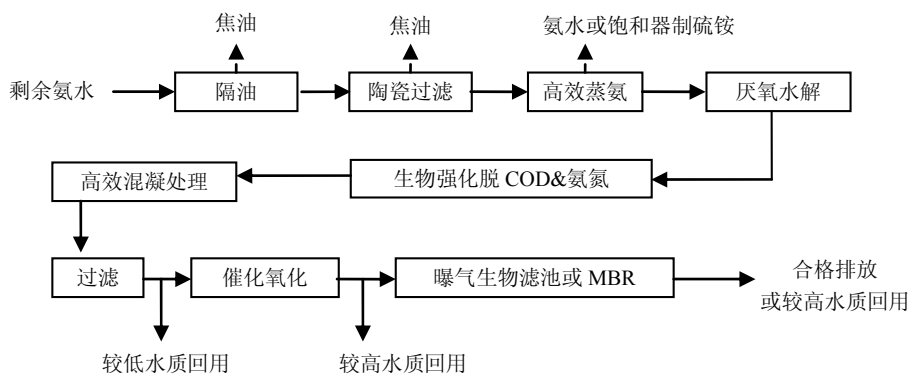


图 18 煤焦化废水减排工艺流程图

该成果包含的关键技术有:抗油污管式陶瓷膜过滤成套技术与设备,抗堵塞、高通量蒸氨技术,强化短程硝化反硝化技术,高效混凝技术,低成本催化氧化技术。

(3) 钢铁企业冷轧废水零排放技术

浓油废水陶瓷膜处理技术,设备占地面积小,正常工作时不消耗化学药剂也不产生新的污泥,回收油质量比较好,在冷轧含油废水处理领域已显示出其极强的竞争力。陶瓷膜具有耐腐蚀,机械强度高,孔径分布窄,使用寿命长等突出优点,已经引起了国内外的广泛注意,并在许多领域得到了应用。陶瓷膜处理含油废水具有操作稳定,通量较高,出水水质好,油含量小于 10ppm。冷轧乳化液废水进入原水池,经过适当预处理后,由泵输送到一级循环槽和二级循环槽中,由供料泵送给陶瓷膜组件,陶瓷膜组件的操作方式采用内外循环式流动方

式,由循环泵提供膜面流速,由供料泵提供系统操作压力,通过供料泵流量来调节系统的浓缩倍数。膜组件处理后的浓液回到循环槽,渗透液作为生活杂用水送到指定点。循环槽中固含量达到一定程度后回到原水池,由刮油器收集废油,由刮泥机去除污泥。

(4) 钢铁企业浓含盐水零排放技术

随着钢铁工业废水零排放工程的日益推进和普及,浓盐水的处理处置成为制约工业废水零排放的关键。对于浓盐水的处理,首先应尽可能考虑用于渣场泼渣处置,剩余的部分再考虑其他减量或固化措施。将浓盐水引入膜装置进行减量处理前,应首先通过残留难溶盐溶解度的计算,确定浓盐水的必须软化程度并选择合适的软化方法,以去除浓盐水中的结垢离子,避免其在膜上结垢。经减量处理后的少量浓缩浓水,可根据每个企业的具体情况选择蒸发池、太阳能池、多效蒸发等手段进行结晶固化处理。

但是反渗透膜和蒸发器的阻垢技术,是目前需要研究解决的问题,不能解决结垢问题,浓盐水处理系统很难良好运行。

2.2.2 钢铁行业大气污染控制技术竞争力评价

2.2.2.1 钢铁行业大气污染控制技术相关专利情况

从我国现有专利技术情况的总体上看,与钢铁工业污染防治技术相关的专利数量大、覆盖面也较为广泛,其与燃煤电厂、水泥生产等各行业的大气污染控制均有相关。根据中国知识产权网专利统计数据查找,从2010年1月至2015年12月,有关“除尘、脱硫、脱硝、脱二噁英”的发明专利申请已达到90691件。

2.2.2.2 国家科学技术奖及其他奖项(钢铁工业污染防治技术相关)

表8 2010—2015年国家自然科学奖(与钢铁工业污染防治技术相关)

序号	项目名称	完成人	完成单位	年份	等级
1	中国大气污染物气溶胶的形成机制及其对城市空气质量的影响	庄国顺,郭志刚,黄侃,孙业乐,王瑛	复旦大学	2012	二等

表9 2010—2015年国家技术发明奖(与钢铁工业污染防治技术相关)

序号	项目名称	完成人	完成单位	年份	等级
1	燃煤烟气选择性催化脱硝关键技术研发及应用	李俊华,郝吉明,刘汉强,汪德志,黄锐,王兰武	清华大学、北京国电龙源环保工程有限公司、江苏龙源催化剂有限公司	2015	二等

表10 2010—2015年国家科学技术进步奖(与钢铁工业污染防治技术相关)

序号	项目名称	完成人	完成单位	年份	等级
1	区域大气复合污染研究的技术体系及在珠江三角洲的应用	张远航、胡敏、钟流举、邵敏、曾立民、王玮、向运荣、范绍佳、王雪松、彭永焯	北京大学、广东省环境监测中心、中国环境科学研究院、中山大学	2010	二等
2	特大城市空气质量改善理论与技术及其应用	郝吉明、贺克斌、王书肖、傅立新、吴焯、许嘉钰、李俊华、马永亮、王聿绚、段雷	清华大学	2010	二等

序号	项目名称	完成人	完成单位	年份	等级
3	稠密多相流动与化学反应耦合体系的节能减排关键技术与应用	肖睿, 钟文琪, 孙克勤, 金保昇, 卫达, 廖东海, 孟令杰, 陆勇, 束长好, 章名耀	东南大学, 中国石化扬子石油化工有限公司, 南京钢铁股份有限公司, 国电科技环保集团山东龙源环保有限公司, 中环(中国)工程有限公司	2010	二等
4	我国二氧化硫减排理论与关键技术	郝吉明, 柴发合, 王金南, 贺克斌, 杨金田, 王书肖, 段宁, 陈义珍, 严刚, 段雷	清华大学, 中国环境科学研究院, 环境保护部环境规划院	2011	二等
5	湿法高效脱硫及硝汞控制一体化关键技术与应用	高翔, 骆仲泐, 倪明江, 岑可法, 周劲松, 王树荣, 余春江, 张涌新, 朱燕群, 文雅	浙江大学能源工程学系, 浙江蓝天求是环保集团有限公司, 浙江浙大网新机电工程有限公司, 蓝天环保设备工程股份有限公司, 广东电网公司电力科学研究院	2012	二等
6	电袋复合除尘技术及产业化	黄炜, 修海明, 林宏, 宋蔷, 吴江华, 陈奎续, 邓晓东, 朱召平, 郑奎照, 阙昶兴	福建龙净环保股份有限公司, 清华大学	2014	二等
7	大气细颗粒物在线监测关键技术与产业化	刘建国, 刘文清, 桂华侨, 陆钺, 钱江, 陈军, 程寅, 潘焕双, 赵南京, 张帅	中国科学院合肥物质科学研究院, 安徽蓝盾光子股份有限公司	2015	二等
8	区域大气污染源高分辨率排放清单关键技术与应用	贺克斌, 王书肖, 张强, 程水源, 郑君瑜, 吴焯, 谢绍东, 宋宇, 蒋靖坤, 薛志钢	清华大学, 北京工业大学, 华南理工大学, 北京大学, 中国环境科学研究院	2015	二等

2.2.2.3 我国自有知识产权技术应用情况及竞争力分析

(1) 除尘技术

就大气颗粒物污染治理而言, 袋式除尘器以其高效、可靠、运行能耗低、维护简单等优异性能得到各行业的广泛认同, 在电力、水泥、钢铁、有色金属、机械、化工、市政等 20 多个领域的应用呈现高速发展态势。经过多年的发展, 我国袋式除尘行业涌现出一大批工程技术人员和骨干企业, 我国袋式除尘整体设计、工装设备、制造技术、控制技术、纤维和滤料生产技术、配件设计和生产技术及大多数产品质量和整体技术水平均已达到或接近国际先进水平, 尤其是我国大型水泥窑头和窑尾袋式除尘技术、燃煤电厂锅炉袋式除尘技术、大型高炉煤气干法袋式除尘技术, 以及垃圾焚烧尾气净化用袋式除尘技术, 同时袋式除尘技术的主机、滤料、自动控制的技术水平都得到了长足发展, 耐高温、耐腐蚀特种纤维的研究、开发、生产等方面均有所突破, 国产芳纶、聚酰亚胺、PPS、PTFE 和改性玻纤等纤维的用量增幅较大, 基本取代了进口, 国产滤料的各项性能指标达到或接近国外产品的水平, 高端纤维的国产化将带动国产高端滤料的发展。

目前我国烟气除尘技术已能满足不同行业各种容量机组的需求, 同时在一些特殊领域如高温煤气净化方面呈加速发展趋势, 但总体上 $PM_{2.5}$ 及二次颗粒物的高效低成本控制技

术尚未完全成熟。

(2) 转炉煤气净化技术

① 第四代 OG 法

国内约有转炉炼钢设备 300 多台套，最大的转炉容量为 300 吨/台，90%以上转炉煤气净化回收系统存在回收率低，排放不达标，能耗高等问题。为满足转炉一次高温烟气的环保排放标准，第四代 OG 法“塔-环”除尘技术，是在第三代 OG 法的基础上改进创新而成。此项技术由中冶节能环保有限公司科研立项，并自主研发完成。通过改进，使得系统的整体运行阻力得以降低，并可以根据转炉炉口微差压和煤气回收或放散的工艺操作要求，采用液压调节装置对环隙式喉口的环缝大小进行调节，提高除尘效率，保证煤气排放颗粒物浓度低于 50 mg/m^3 。除尘系统主要包括饱和蒸发冷却塔、环隙洗涤器和湿旋脱水器。该技术适用于各类型转炉，成熟度好，自控水平高，处于国内领先水平。

② LT 法

转炉干法净化回收技术已被大家认定为今后的发展方向。目前国内各钢厂采取引进少量关键技术和部件，大量的设备设计、系统设计立足于国内。LT 法可以部分或完全补偿转炉炼钢过程的全部能耗，有望实现转炉无能耗炼钢的目标。另外，从更加严格的环保和节能要求看，

由于湿法净化回收系统存在着能耗高、二次污染的缺点，它将随着时代的发展而逐渐被转炉干法烟气净化系统取代，这是冶金工业可持续发展的要求。

(3) 脱硫技术

由于钢铁行业烧结过程的特殊工况，脱硫技术的成熟程度无法和规范化的火电脱硫相比，现役烧结烟气脱硫技术种类多而杂，常规的有石灰石-石膏法、氨法、镁法、双碱法、循环流化床法、SDA 旋转喷雾干燥法，目前应用最为广泛的是石灰石-石膏湿法，但仅占脱硫市场的一半。经火电行业检验多年的烟气脱硫技术为烧结烟气脱硫工艺的选择提供了重要的理论和实践经验，发展较为迅速。但烟气脱硝属于起步阶段，据调研了解，目前钢铁行业几乎没有安装真正意义上的烟气脱硝装置。

目前我国具有自主知识产权的脱硫关键技术及设计方法已得到广泛应用，但部分设备的技术性能与发达国家尚有差距，资源回收型脱硫工艺、脱硫副产物的高效综合利用技术还有待提高。

(4) 脱硝技术

我国在国家政策和科技项目支撑下，SCR 脱硝技术突破了多项技术瓶颈，逐步实现了完全国产化。一直被国外垄断的 SCR 脱硝催化剂生产技术取得了重大突破，已有多家企业建立了 SCR 脱硝催化剂生产线，形成了 $60500 \text{ m}^3/\text{年}$ 的催化剂生产能力。失效催化剂的回收和再生技术，与相应燃煤烟气参数匹配的脱硝催化剂数据库的开发等是当前研究热点。可同时实现脱硫脱硝效果的碳基催化剂，以及低温催化剂的研究也较为活跃。SNCR 脱硝技术取得较大进展，目前已实现自主技术在 300MW 机组上的应用。但在钢铁行业，由于烟气状况不同，还鲜少应用。此外，碱液吸收法、催化直接分解法、微生物法、等离子体氧化法和固体吸附法等烟气脱硝技术目前大都处于实验研究或工业示范阶段。

近年来在我国钢铁工业污染防治技术领域，具有较好竞争力的专利技术和获得国家科技进步奖并取得一定市场份额的工艺技术有：大气细颗粒物在线监测技术、大气污染源高

分辨率排放清单技术、电袋复合除尘器技术、脉冲喷吹袋式除尘器工艺等。

① 大气细颗粒物在线监测技术

2015 年国家科学技术进步二等奖获奖项目

项目名称: 大气细颗粒物在线监测关键技术及产业化

完成单位: 中国科学院合肥物质科学研究院, 安徽蓝盾光电子股份有限公司

完成人: 刘建国, 刘文清, 桂华侨, 陆钊等

技术介绍: 随着工业化、城镇化的快速推进, 我国大气污染形势严峻, 大气细颗粒物已成为影响我国城市空气质量达标的首要污染物, 是制约我国经济社会发展的重要因素之一。准确全面地掌握大气细颗粒物污染状况, 认识其发展和演变规律是制定大气细颗粒物防治措施的基础。项目组围绕大气细颗粒物难以准确、快速、在线测量的难题, 进行了近 8 年的持续科技创新, 重点研发了具有自主知识产权的大气细颗粒物质量浓度、粒径谱、碳组分、消光特性快速在线测量设备, 开展了系统应用示范, 实现了产业化。

② 大气污染源高分辨率排放清单技术

2015 年国家科学技术进步二等奖获奖项目

项目名称: 区域大气污染源高分辨率排放清单关键技术与应用

完成单位: 清华大学, 北京工业大学, 华南理工大学, 北京大学, 中国环境

完成人: 贺克斌, 王书肖, 张强, 程水源等

技术介绍: 排放清单技术、立体观测技术和数值模拟技术共同构成欧美区域空气质量改善重大行动计划(CAF、CAIR 等)的三大核心支撑技术; 因快速工业化和城市化, 我国目前的大气污染排放源体系在世界上技术构成最复杂、时空变化最迅速, 对排放清单技术在准确定量、及时更新和高分辨率方面提出了全面巨大挑战。项目通过研发采样测试技术、基于过程的排放清单技术、高分辨率排放源模式和清单多维校验技术等; 基于在线平台集成, 构建区域高分辨率排放清单技术方法体系及数据集产品。

③ 电袋复合除尘器技术

专利申请号: 201520066013.9

专利名称: 一种电袋复合除尘器

专利人: 福建龙净环保股份有限公司

发明人: 陈妍春, 邓晓东, 林宏, 陶晖, 喻浩

技术介绍: 随着现代工业的迅速发展, 尤其是燃煤电厂、冶金、矿山、水泥及化工、铸造等工业的发展, 造成我国大气的严重污染, 因此也制约了我国经济的发展。面对上述问题, 我国正式发布了《重金属污染综合防治“十二五”规划》, 同时, 燃煤电厂大气汞污染控制试点工作正式启动, 《火电厂大气污染物排放标准》中规定了汞及其化合物的排放限值。现有技术中的部分电袋除尘器一般通过设置脱汞装置对烟气中的汞进行吸附脱离。目前脱汞装置的位置一般位于后级除尘袋区的上游或下游, 并且在水平方向上需要设置单独的空间放置, 也就是说, 脱汞装置的增加必然会增加电袋除尘器的长度尺寸。这对于小空间使用环境而言, 具有脱汞装置的电袋除尘器使用具有非常大的局限性。本实用新型的目的为提供一种电袋复合除尘器, 该电袋除尘器在实现同等脱汞功能的前提下, 具有结构更加紧凑的特点, 应用范围更广, 且气流均布比较好。

④ 脉冲喷吹袋式除尘器工艺

专利申请号：99100248.2

专利名称：将分室反吹袋式除尘器改成脉冲喷吹袋式除尘器的方法

专利人：冶金工业部建筑研究总院

发明人：姜凤有，俞非澹，王纯

技术介绍：我国目前分室反吹袋式除尘器有数千台在工程中运行，有的地方还在新建，在冶金行业，这种除尘器占除尘设备能力的70~80%，仅宝钢就有160多台，在建材、水泥，有色冶炼及炭黑等行业，这种除尘器也占很大比例。而国外，先进的脉冲喷吹袋式除尘器发展很快，大有取代上述除尘器的趋势。如果能将现有的分室反吹袋式除尘器改成脉冲喷吹袋式除尘器，将是具有极大的经济效益、社会效益和环境效益的一件大事。

2.2.3 钢铁行业固体废弃物处理技术竞争力评价

2.2.3.1 钢铁固废污染控制技术相关专利情况

从我国现有专利技术情况的总体上看，与钢铁固废相关的专利数量大，冶金化工类别下的水泥，混凝土，人造石，陶瓷，耐火材料大分类下已授权专利达到248162项，涉及了多途径的处理和应用。

2.2.3.2 钢铁行业技术获奖情况

表 11 2011~2015 年国家技术发明奖（与钢铁固废相关）

序号	项目名称	完成人	完成单位	年份	等级
1	大掺量工业废渣混凝土高性能活性化激发与协同调制关键技术与应用	邢峰，蒋正武，孙振平，寇世聪，崔宏志，白莉	深圳大学，同济大学等	2014	二
2	硫化矿新型高效捕收剂的合成技术与浮选应用	钟宏，刘广义，王帅，蒋玉仁，曹占芳等	中南大学	2013	二

表 12 2011-2015 年国家科学技术进步奖（与钢铁固废相关）

序号	项目名称	完成人	完成单位	年份	等级
1	钢铁企业低压余热蒸汽发电和钢渣改性气淬处理技术及示范	于勇，张玉柱，王新东，胡长庆，王兰玉，邢宏伟，史东日，李建新，苏福源，冯润明	河北联合大学，唐钢等	2013	二
2	熔融钢渣热闷处理及金属回收技术与应用	杨景玲，朱桂林，苏兴文，郝以党，张宇，孙树杉，钱雷，焦礼静，王纯，张淑苓	中冶建筑研究总院有限公司，鞍钢，京冶	2012	二
3	难造块铁矿资源制备优质炼铁炉料的关键技术	姜涛，范晓慧，李光辉，郭宇峰，李春龙，邵安林，唐启荣，贺淑珍，胡友明，杨永斌	中南大学，武钢，湘潭钢铁等	2012	二

2.2.3.3 我国自有知识产权技术应用情况及竞争力分析

(1) 高炉渣处理技术

高炉渣处理技术中，我国已掌握自主知识产权的有底滤法、明特法、嘉恒法等，设计

和设备供货均已实现了国产化,在国内很多改造和新建的大中型高炉中应用良好。

(2) 矿渣粉立磨生产技术

在代表国内外最先进的矿渣粉立磨生产技术上,我国各大设计研究机构经过刻苦攻关,已经陆续研制出并成功应用在水泥工业的生料、煤粉、矿渣和水泥的各型立磨,主要有合肥院 HRM 立磨、天津院 TRM 立磨、中信重机 LGM、沈重 MLS 立磨以及华新 HXLM 立磨等。另外立磨设备也趋向大型化,目前已有单台矿渣粉产能超过 180 万吨/年。

(3) 钢渣处理技术

钢渣处理技术方面,我国已开发出钢渣常压池式热闷技术和钢渣辊压破碎-余热有压热闷处理技术,成功在国内外各大中型钢厂应用,在国内已建成的钢厂中应用此类技术的占 35%以上,还应用到台塑集团在越南河静钢厂的钢渣处理。可以说,钢渣处理技术已走在世界前列。

(4) 钢渣生产钢渣粉技术

与国外显著不同的是,我国在钢渣粉的生产及推广应用走在了世界前列。近年来,国内已相继开发出了技术指标更先进的辊压机+球磨机联合粉磨技术、卧式辊磨等,在节能高效制备钢渣粉方面拥有自主知识产权。

3 钢铁行业污染防治主要问题分析

3.1 钢铁行业节水减排技术实施及管理所存问题

我国钢铁工业在水资源利用方面仍存在以下突出问题:

3.1.1 水价低导致节水动力缺乏,导致用水量

我国地区水资源费用不一,丰水地区的钢铁企业水价偏低,甚至低于 1 元/m³的水价,节水的投资很难回收,从而导致企业缺乏节水的积极性。

3.1.2 钢铁企业水处理运行的浓缩倍数仍然有待提高

目前虽然大部分钢铁企业的循环冷却水系统浓缩倍数达到 2 以上,但是“中国节水技术大纲”中提出:“在敞开式循环冷却系统,推广浓缩倍数大于 4.0 的水处理运行技术;2006 年淘汰浓缩倍数小于 3.0 的水处理运行技术”。目前除了首钢京唐钢铁联合有限责任公司全厂性将循环冷却水系统的浓缩倍数提升到 4 以外,其他钢铁企业相比还有一定差距,没有达到节水技术大纲的要求。钢铁企业的串级补水供应技术应在一定浓缩倍数条件下进行,这样才能达到节水和提高经济效益的目标。

3.1.3 一些成熟的节水和污水处理技术还有待推广

干法熄焦技术和干法除尘技术(包括高炉和转炉除尘)现在是成熟的节水技术,但目前我国老钢铁企业应用尚不广泛。

采用节水型工艺技术是钢铁工业节水的发展方向。具有节能、节水、环境友好效果的先进清洁生产工艺技术还需开发推广。

3.1.4 部分企业还存在落后的供水方式

还有部分企业采用“按需供水”，实行企业水系统的大循环，未实行专用水专供。“高水质低用途”现象十分严重。往往浊环水系统需要补水时，即从净环系统放水，这样造成净环系统浓缩倍数无法提高，浪费药剂，增加水处理费用。

3.1.5 企业用、排水管理制度及管理机构需进一步健全

虽大部分冶金企业都建立了专门的用水管理机构，也设置了相应的用水制度，但是拥有专业知识的水处理人员配备、企业水管理系统网络建立、企业节水发展规划和用水定额管理办法等还不完善。

3.1.6 用、排水监测管理手段不健全

目前大部分国内钢铁企业一级用水计量设施较为完善，少数企业二级计量设施完善，三级计量设施绝大多数企业欠缺，缺乏有力的水质监管。同时对管网巡检未受到重视，管网的渗漏占钢铁企业用水损失量的 20%。此外，绝大多数钢铁企业节水只停留在水循环使用、污水回用等粗放的方式上，没有对各系统进行水质监管，按水质分级使用。

3.1.7 多元化水资源利用技术还需进一步完善

一些多元化取水技术因各种条件限制或者技术问题，目前在钢铁企业应用还不广泛。就雨水利用为例，尽管雨水利用近 20 年有了很大的发展并逐步形成水工业的一个分支领域和市场，但在很多方面还不成熟，需要更多的关注和深入研究，在应用中不断总结。钢铁企业金属粉尘相对含量较高，因此雨水中最主要的污染物是金属粉尘产生的 SS（如氧化铁粉尘颗粒等）。雨水的水质会因地点、时间的不同而有所差异，因此对于推广雨水利用，相关的雨水收集、雨水径流水质控制技术、初期雨水自动控制技术和雨水利用系统管理技术等还需进一步的研究完善。

3.1.8 焦化废水和冷轧废水深度处理回用技术有待进一步研发

钢铁企业产生的焦化废水，污染物成分复杂，处理技术比较单一，更缺乏有效地深度处理回用技术；冷轧废水处理主要引进消化欧美技术，但因废水溶解盐类的影响，不易找到合适的回用途径。

3.1.9 水处理过程中产生的浓盐水的消纳技术有待进一步开发

随着使用纯水作为冷却介质的系统增多、总排污水深度除盐处理回用工程的实施、钢铁工业废水零排放的日益推进和普及，浓盐水将越来越多，如何妥善处置这些浓盐水是制约钢铁工业废水零排放的技术关键。如何经济有效进行浓盐水的减量或消纳，相关技术及管理措施需要做深一步的研究。

3.2 钢铁行业大气污染控制主要问题分析

我国钢铁工业的生产技术水平已经达到了国际先进水平，但是由于区域发展不平衡，

也存在着大量的落后产能。在烟粉尘污染控制方面既有达到国际先进水平的技术和装备,也有极端落后的技术和装备。目前我国国家在烟粉尘控制方面基本解决了设备的有无问题,但是由于长期以来对环保设施的技术水平、建设、运营的不重视,较为普遍地存在技术水平较低、设备不可靠、系统不完善、运行不稳定、运行效果差诸多的问题。

部分钢铁工业亟须的烟粉尘控制技术处于技术薄弱、需要引进的现状。如转炉煤气干法净化技术、塑烧板的加工技术等,知识产权为国外所有,很多关键设备及材料需要进口,国内钢铁企业采购和维护这些装置需要付出高昂的成本。

究其原因,主要是因为钢铁行业的环保技术储备不足,科研能力较弱。对于国外很多先进的环保技术没有进行前瞻性的研究,而后续的研究投入有限,很难短时间得到技术突破。因此,需要重视并解决国外关键技术的国产化问题,通过对重点科研单位或者工程中心进行资金扶持,促进关键技术的理论研究与工业化应用的推广。

3.2.1 除尘设施运行状况不佳

经过对部分钢铁企业的除尘系统评估调查,发现不少钢铁企业的除尘设施运行状况不佳,主要表现在风量分配不合理,风量不足,设备质量低劣,导致烟气捕集率低,有组织排放烟气变成了无组织烟气散逸,从烟囱的监测数据来看,排放是达标的,而实际排放的粉尘量非常大。

主要原因:①部分钢铁企业基于基本建设投资额度的控制,不重视建设过程中的设备采购与施工质量,只解决了环保设施的有无问题;②在基本建设过程中不重视环保设施设计过程中的技术审查,系统建成以后就很不能达到理想的效果;③在生产过程中,环保设施的维护投入不足,与生产设施相比,运行管理薄弱;④为了降低生产运行成本,甚至有部分企业存在着偷排的问题。

要解决上述问题,需要加强对钢铁企业除尘系统运行状况的管理以及排放的监控,完善相关的法律法规,促进钢铁企业重视对环保设施的建设以及运行的管理。另外要组织编写有关钢铁行业烟粉尘控制的工程技术规定,对环保工程的设计、建设与运营给予技术指导。

3.2.2 排放监测体系不够完善

钢铁工业烟粉尘污染源具有点多、分布广、无组织源多的特点。目前环保部门对钢铁企业大气有组织排放点的监测措施主要集中布置在其末端,即烟囱上。没有与工艺参数、生产过程、物流过程和环保设施运行参数等因素相结合,不能实时甄别监测数据的有效性,真实性和准确性。不少企业在实际生产中经常关停或低负荷运行除尘设备,虽然有组织排放点监测数据达标,但是依然不能达到防控减排的目的,反而使厂区内的无组织排放更加无序不可控,监测结果不能客观反映除尘设施的实际运行状态和减排效果,常常“治标而不治本”。

对于钢铁厂内原料堆场、焦炉炉顶、出铁厂、炼钢车间屋顶等无组织排放点,尚缺乏准确有效地在线自动监测方法。这些无组织排放点具有阵发性、瞬时性和扩散辐射面广等特点,也会对厂区空气和作业环境造成严重污染。

因此,在建立监测体系时要划分为有组织(即烟囱)排放和无组织排放两个部分。对

于无组织排放的控制，要通过对除尘系统的风机运行功耗、重污染厂房换气天窗部位的粉尘浓度进行检测等措施来实现。

3.3 钢铁行业固体废弃物处理主要问题分析

3.3.1 立式磨生产矿渣粉技术

目前采用立式磨生产矿渣粉技术已成为矿渣资源利用的主流，我国的矿渣粉生产规模居世界第一，矿渣粉的主要生产装备—立式磨制造技术也已处于世界先进水平，近年来立磨装备也趋向大型化，吨产品电耗成本更低。

3.3.2 钢渣辊压破碎-余热有压热闷技术

钢渣辊压破碎-余热有压热闷技术可以说是颠覆了以往钢渣处理技术的粗放、环境污染严重、自动化程度低等缺点，以无粉尘无组织排放、自动化程度高、快速消解等优点成为国内外最先进的钢渣处理技术。

3.3.3 钢渣生产钢渣粉和钢铁渣粉技术

钢渣所具有的胶凝特性可以成为我国水泥和混凝土行业胶凝材料的有益组分，出于改善水泥和混凝土性能、降低生产成本、大幅减少钢铁渣排放量、提高钢铁渣附加值的考虑，生产钢渣粉和钢铁渣粉是钢渣高附加值利用的主要途径。

4 建议

4.1 钢铁行业节水减排技术及用排水管理发展建议

针对我国钢铁工业水资源循环利用现状及技术发展趋势，建议如下：

4.1.1 采取严格的准入标准，淘汰高耗水、高污染产能

目前我国出台的标准只规定了消耗和排放量的概念，而对于水污染关键性的水质指标仍沿用环保部门外排水的通行标准，各地在执行过程中又存在各种各样的偏差，收费标准不统一，处罚标准千差万别，造成很多企业由于过高的处置成本而失去产品在市场的竞争能力。

标准制定不能照顾局部利益，对目前已成熟使用的节水技术应出台强制性的推广政策，消除地方保护主义，真正淘汰一批高耗水产能，从根本上杜绝企业钻空子的行为。

不但要对新建项目进行节水评估和审核，对现存设施也要进行专业的管理和控制。

4.1.2 提高水资源利用效率

节约用水的核心就是要提高水资源利用效率。

(1) 节约优先。钢铁企业可以参照国内已有成功经验的内部节水管理机制，通过阶梯价格和经济处罚等一系列措施，调动用水单位自主节约的主动性和积极性，鼓励企业加强

对节水工作的资金投入。

(2) 开展废水资源化工作。借鉴国际目前先进的水处理理念,推广分质处理工艺,针对性采取有效地技术手段对不同工序不同成分的污水进行分别处置,提升处置效果。建立科学、合理串级用水工作体系,针对不同废水质量,利用不同处理方法,回用给不同用户,使废水处理量最小化。处理后的中水再转供给低水质要求的环节。特别是对焦化酚氰废水及轧钢含油、含酸、含重金属镍、六价铬等有毒废水,绝对不能与其他系统集中处置。

4.1.3 推广钢铁工业节水及废水资源化利用技术模式,制定企业用水制度

(1) 进一步在工程实践中推广钢铁工业节水及废水资源化利用技术模式。模式的推广要依靠钢铁企业水处理全流程控制专家管理系统,主要进行各循环水系统管理、全厂水系统水质水量平衡及运行制度管理、水处理效果评判等用以指导企业用排水系统的建设和运营。创新钢铁企业水系统运营模式,引入高技术化、专业化的综合环境、动力系统服务及运营的专业公司进行水系统市场化、社会化模式的建设和运营,真正实现钢铁工业节水减排的战略目标。

(2) 制定企业用水制度。用水计划管理是钢铁企业节约用水的重要手段,在有效投入硬件设施以后,长期的稳定运行需要有一套适用的管理方法予以保证。

各企业用水要制订出本企业的用水制度和发展规划。改变各工序过去“按需供水”的观念。要进行科学论证,把联合企业用水指标分解到各工序,进行系统研究,提出合理用水指标,并在工作中得到不断改进。

制度的建立要涵盖水量控制、水质控制、应急处理等多项内容,通过建立完善的节约用水制度和控制指标体系,使运行和维护人员有明确的工作目标要求,从而实现用水的全过程有效管控。供排水专业管理人员要了解用水状况,掌握水处理相关技术,并能建立节水工作目标和措施。

4.1.4 优化钢铁企业布局,合理考虑内陆钢厂水资源需求

从国际先进钢铁企业选址可以看出,基本都向水资源富裕地区、沿海区域倾斜。沿海建设的钢铁企业不仅运输成本低廉,能直接引用海水也是一个重要因素。但我国地域广阔,海岸线相对较短,内陆经济发展对钢铁的大量需求远不能依靠长距离陆路运输来满足,内陆钢厂有其特殊的存在价值。

(1) 对于沿海建设的钢铁企业,节水的重点是海水直接引用和海水淡化技术的应用,日本加古川钢铁厂用海水直接冷却量占总用水量的百分之四十五。首钢京唐公司已经实施了海水直接利用和海水淡化,湛江钢铁基地项目也对此已有方案。海水淡化工程的污染防控重点是产出浓盐水的合理处置,最好供给当地化工生产单位,避免高浓度盐水外排后对当地地下水环境造成不利影响。

(2) 对于内陆型钢厂,节水的重点应放到如何开发利用非常规水源,通过回用城市污水和雨水回收利用,替代短缺的新水资源。同时,污水处理要重点关注零排放技术的应用,避免高浓度盐水排放后对下游水体和土壤的不利影响。

4.1.5 建立适用的节水指标系统

很多企业将对标作为激励和寻找差距的重要手段。由于不同钢铁企业在用水工艺、用水质量，特别是来水水质上存在较大差异，在统计口径没有完全统一的情况下，企业之间不能仅用数字进行简单的比对，判断工艺以及节水技术的先进性。同样的长流程钢厂，工艺路线不同、产品结构不同，生产过程对水的消耗和污染也有很大区别，如简单用数据比对，容易误入歧途。最适用的方法是和自己进行纵向比对，同样的生产和供水条件下，数据降低就意味着进步。

制定和建立钢铁企业《给排水系列技术标准》体系是目前的当务之急。主要内容要包括：供水和污水处理设计规范，给排水运作指标体系，各生产工序用水定额，不同水质的标准等。

4.1.6 进一步研发推广先进的节水和水污染治理技术

先进的节水和水处理技术的应用是短期内实现显著节水效果的主要手段，目前国际国内新开发的有：以多流向强化澄清技术为核心的综合污水处理与回用成套技术，蒸汽冷凝水回收再利用技术，漏汽容率小、背压度大的节水型疏水器，蒸汽冷凝水除铁、除油技术，高效换热技术和设备，高效环保节水型冷却塔，高效新型旁滤器，采煤、采矿等矿井水的资源化利用技术，重点用水系统和设备自动监控系统等，都有较大的推广应用价值。

鼓励企业依靠科技进步，加大对节水设备的技术改造。改造要高起点、高标准、高效益，在优化工艺流程和技术装备结构调整中推进节水工作进展。

对目前国内钢铁企业存在突出矛盾的水处理薄弱环节，如：焦化废水等含有毒有害污染物废水“零排放”技术，高浓度 $\text{NH}_3\text{-N}$ 及高浓度 COD 等废水处理达标处理后用于冲渣等工序的机理性研究、含油（泥）、高浓度盐水处理回用利用技术，企业应与科研单位配合，积极进行合作研发。

4.1.7 实现水资源多元化

(1) 中水回用

国内中水回用率比较低，即使是在节水工作在排名前列的北京，2011 年的中水利用量也仅为 7 亿 m^3 ，约为全市污水排放量 14.5 亿 m^3 的 50%。

中水回用技术为污水处理解决了后顾之忧，在国内大部分处理后的中水无法在民用领域大面积推广的情况下，要充分发挥出经济杠杆的作用，适度提高水价，鼓励使用中水（可在价格上优惠），使得国内钢铁企业可以把中水回用做为降低企业购水成本的重要措施，同时做为稳定的中水用户，也给城市污水处理企业带来收益。

(2) 收集雨水

雨水不但廉价，而且水质相对较好。南方地区年降雨量大，厂区建立相关收集处理系统、储水和回用系统等，只需少量投资，就可取得显著节水的效果。

(3) 海水综合利用

目前，海水淡化已是成熟技术。一般成本在 4.5~6 元/ m^3 （包括取水、生产、回收、日常运行、管理及经营单位的利润等）。如淡化水产量在 8~10 万 m^3/d 规模时，其成本可

降至 3 元/m³。目前,我国一些沿海地区的大型钢铁企业正在研究海水利用技术,解决水资源短缺的问题。

4.1.8 创新钢铁工业水系统运营模式

在国家对于水资源利用以及水污染控制日趋严格的形势下,钢铁工业水系统的建设和运营也面临着日趋专业化的发展趋势。这必然要求钢铁企业积极开展商业模式创新,引入高技术化、专业化的综合环境、动力系统服务及运营的专业公司进行水系统市场化、社会化模式的建设和运营。真正实现钢铁工业节水减排的战略目标。

4.2 钢铁行业大气污染控制建议

(1) 补充对除尘设施运行状态的在线监控

环保部门目前针对钢铁行业的烟粉尘在线监测措施主要布置在有组织排放源末端,即烟囱上,无法反映除尘设施的实时运行状态。不少钢铁企业在实际生产中关停或低速运行除尘设备,虽然末端监测数据达标,但厂房内的烟粉尘无组织排放量却增加了,大部分烟粉尘并未进入烟气净化系统而是直接外排。钢铁行业现有烟粉尘末端在线监测技术无法有效监控环保设施的实际运行状况,烟粉尘的排放较监测值有很大出入。因此,应在现有监测基础上,补充加强对除尘设施运行状态的在线监控,防止偷漏排,保证排放监测数据的真实可信。

(2) 统筹防控措施,加强多污染物协同控制技术

随着新排放标准的执行,钢铁企业在烟粉尘治理的同时,也要面临 SO₂、NO_x、二噁英以及重金属等多种污染的排放治理。统筹各类污染物防控技术措施,加强多污染物协同控制技术开发,规范防控系统建设与管理,既可以节约投资与运行成本,也可以预防烧结机烟气湿法脱硫设备配置不规范导致的“烟囱雨”二次污染等问题的发生。

(3) 推进钢铁行业烟粉尘排放监管的规范化建设

钢铁行业的生产工艺复杂,烟粉尘排放也有其特殊性。虽然新标准对排放浓度进行严格限制,但是对监测方法、措施和技术手段等没有进一步规范。加之,钢铁行业现有的在线监测设备和技术尚不完善。因此,亟须推进钢铁行业烟粉尘在线监测的标准化、智能化、集成化建设,规范监测设备与技术,从而保证监测数据的有效性、准确性和真实性。

4.3 钢铁行业固体废弃物处理建议

针对我国钢铁工业固废治理方面存在的问题,以及我国相关政策、法规和标准存在的不足,结合我国经济发展水平,提出建议如下:

(1) 进一步加强我国工业固废方面的立法和管理。完善和健全该领域的标准、法规体系建设,尽快与国际接轨,制定严格、完善的国家和地方工业固废管理规定,明确各行业治理控制要求。

(2) 加强工业固废全过程监管,建设信息化服务平台。建立废弃物排放、生产、利用等数据信息收集渠道和公共信息平台,加强数据监控分析,及时掌握和分析废弃物综合利用产生和利用趋势,为废弃物综合利用工作的长期开展和分阶段重点实施提供决策依据。

(3) 完善政策法规,加大扶持力度。根据不同行业废弃物资源综合利用效益情况,调

整对相关行业的政策扶持力度，发挥调控杠杆作用，推动行业发展。加强资源综合利用产品的免税额度，促进固废利用在建材、道路等行业的发展。

（4）着力技术创新，提高利用效率。以市场需求为导向，围绕钢铁工业固体废弃物，组织开展固体废弃物综合利用关键共性技术研究，重点攻关钢渣、尾矿、脱硫石膏等废弃物的资源化利用关键技术，拓宽固废资源化利用途径，大力推广低能耗、低成本、高利用率、高品质资源综合利用产品，提升我国资源综合利用产业化水平。

纺织行业污染控制技术发展报告

1 纺织行业整体概况

1.1 国内标准及技术规范

目前国内纺织行业废水的环境标准体系主要分排放标准与治理规范标准,纺织印染废水排放标准是国内最早制订的行业废水排放标准之一。1992年就颁布有《纺织染整工业水污染物排放标准》(GB 4287—92),随着纺织工业的发展和环境问题的日益严峻,2012年对该排放标准又重新进行了修订,颁布《纺织染整工业水污染物排放标准》(GB 4287—2012);在实施过程中新标准与不少地方、行业的发展产生矛盾,因此,2015年又颁布了(GB 4287—2012)标准的修改单及其公告。在此期间,环保部还颁布了不同纺织工艺的排放标准,例如《麻纺工业水污染物排放标准》(GB 28938—2012)、《毛纺工业水污染物排放标准》(GB 28937—2012)、《缫丝工业水污染物排放标准》(GB 28936—2012)。除国家制定了纺织染整工业水污染物排放标准,一些地方政府根据当地的实际情况出台了相应的地方标准与政策。江苏省为了遏制太湖流域富营养化、蓝藻的公害问题,制订了《江苏省纺织染整工业水污染物排放标准》(DB 32/670—2004);山东省制定纺织染整工业水污染物排放标准(DB 37/533—2005),其标准严于国家标准。还有一些省份也准备拟制订了一些地方印染废水排放标准。

为配合排放标准的实施,环保部和住建部也分别相应颁布了《纺织染整工业废水治理工程技术规范》(HJ 471—2009)和《纺织工业企业环境保护设计规范》(GB 50425—2008)。同样,为适应当前的新形势,这些设计规范正在积极的修订过程中。同时,环保部也已编制完成《纺织染整行业污染防治最佳可行技术指南(丝、麻、粘胶子行业)》和行业的清洁生产标准。

1.2 国外印染废水排放相关标准

从美国、德国、欧盟看,针对印染废水处理以最佳实用技术实施,化学需氧量(COD)大多控制在130~160 mg/L,比我国《纺织染整工业水污染物排放标准》(GB 4287—2012)现有企业直接排放宽松。在染整废水定义界定和名称上与我国不完全相同,选用指标也不一样。例如它们大多采用最高值和平均值来表示,我国采用平均值。

1.2.1 德国相关排放标准

按《德国水污染物排放标准》(Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation

and Nuclear Safety, Germany) 中的 Appendix 38 — 纺织制造和织物整理, 几种常见情况下的废水排放要求见表 1。

表 1 排放口处排放废水水质标准

项目	随机样或 2h 混合样	单位
COD	160	mg/L
BOD ₅	25	mg/L
总磷	2	mg/L
氨氮	10	mg/L
总氮	20	mg/L
亚硫酸盐	1	mg/L
上染率: 不同波长下的光谱吸收率		
436 nm (黄色系列)	7	m ⁻¹
525 nm (红色系列)	5	m ⁻¹
620 nm (蓝色系列)	3	m ⁻¹

其中, 氨氮和总氮的要求适用于污水处理厂的生化反应出水废水温度在 12 °C 及以上。混合前的废水排放要求见表 2。

表 2 混合前的废水排放水质标准

项目	随机样或 2h 混合样	单位
可吸收有机卤素 (AOX)	0.5	mg/L
硫化物	1.0	mg/L
总铬	0.5	mg/L
铜	0.5	mg/L
镍	0.5	mg/L
锌	2.0	mg/L
锡	2.0	mg/L

产污点的废水排放要求废水中不可含有: ①有机氯载体 (染色加速); ②氯分离漂白物, 除漂白合成纤维的亚氯酸钠之外; ③使用亚氯酸钠后的游离氯; ④砷、水银以及它们的混合物; ⑤作为漂洗剂的烷基苯酚 (APEO); ⑥酸性染料使用中的 Cr⁶⁺化合物; ⑦水处理中的软化剂使用中的 EDTA、DTPA 和磷酸酯; ⑧累积的化学物质、染料和纺织助剂。

1.2.2 美国染整排放标准

根据美国的 Part410—Textile Mills Point Source Category。

1.2.2.1 织物整理废水

这部分标准适用于纺织厂以下各种工序中产生的废水: 织物整理, 包括漂白、丝光处理、染色、树脂加工、防水整理、后整理等。

美国环保局公布的使用最佳实用技术 BPT (Best Practical Control Technology) 治理织物整理废水可以达到的排放要求见表 3。

表 3 美国采用 BPT 技术治理的织物整理废水排放限值

单位: kg/t 织物

项目	最大值	30 天平均值
BOD ₅	5.0	2.5
COD	60.0	30.0
TSS	21.8	10.9
硫化物	0.20	0.10
苯酚	0.10	0.05
总铬	0.10	0.05
pH	6.0-9.0	6.0-9.0

美国环保局公布的使用最佳可行技术 BAT (Best Available Control Technology), 治理织物整理废水要求达到的排放限制见表 4。

表 4 美国采用 BAT 技术治理的织物整理废水排放限值

单位: kg/t 织物

项目	最大值	30 天平均值
COD	60.0	30.0
硫化物	0.20	0.10
苯酚	0.10	0.05
总铬	0.10	0.05

1.2.2.2 纱线整理废水

这部分标准适用于纺织厂以下各种工序中产生的废水: 纱线染色和整理, 包括冲洗、丝光处理、树脂加工、染色和特殊整理。

美国环保局公布的使用最佳实用技术 BPT (Best Practical Control Technology), 治理纱线整理废水可以达到的排放要求见表 5。

表 5 美国采用 BPT 技术治理的纱线整理废水排放限值

单位: kg/t 织物

项目	最大值	30 天平均值
BOD ₅	6.8	3.4
COD	84.6	42.3
TSS	17.4	8.7
硫化物	0.24	0.12
苯酚	0.12	0.06
总铬	0.12	0.06
pH	6.0-9.0	6.0-9.0

美国环保局公布的使用最佳可行技术 BAT (Best Available Control Technology), 治理纱线整理废水可以达到的排放要求见表 6。

表 6 美国采用 BAT 技术治理的纱线整理废水排放限值

单位: kg/t 织物

项目	最大值	30 天平均值
COD	84.6	42.3
硫化物	0.24	0.12
苯酚	0.12	0.06
总铬	0.12	0.06

1.2.3 欧盟相关排放标准

欧盟并未提出排放标准,而是建议采用纺织染整废水处理的技术。根据 2003 年 6 月欧盟委员会发布的 BAT 在纺织工业中参考文件《综合污染防治与控制》[Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques for the Textiles Industry], 纺织工艺及其产生的废水来自前处理、染色、印染、后整理、水洗等工艺, 欧盟委员会建议废水处理使用:

- (1) 生化处理后采用深度处理(三级处理), 例如回收活性炭等;
- (2) 结合生物化学法和化学法, 用粉末性活性炭、铁盐等;
- (3) 在活性污泥系统前优先考虑使用臭氧技术。

欧盟没有统一的纺织染整行业水污染物排放标准, 其 BAT 导则列出了欧盟国家有机精细化工行业(包括纺织染整行业)的排放状况, COD 排放情况一般为 120~250 mg/L。

1.2.4 日本相关废水排放标准

日本的国家排放标准为综合性排放标准, 各工业行业 COD 排放均执行 120mg/L 的限值。日本为控制琵琶湖的富营养化, 制定了严格的地方标准, 现有企业和新建企业分别执行 30mg/L 和 20mg/L 的限值, 但这相当于需要采取特别保护措施的地区特别控制区。

1.3 国内外标准差异及分析

国内外染整废水排放标准比较见表 7。

表 7 国内外纺织染整工业水污染物排放标准

单位: mg/L

国家	国内外相关标准	COD _{Cr}	BOD ₅	SS	TN	TP	NH ₃ -N	亚硫酸盐	色度	硫化物	苯	酚	总铬	
日本 ⁽¹⁾	国家标准	120	120	150	60	8						5	2	
	琵琶湖标准	现有企业	30	20	70	8	0.8							
		新建企业	20	15	70	8	0.5				1			0.1
德国 ⁽²⁾	纺织制造和织物整理	160	25		20	2	10	1		1			0.5	
	洗毛厂	150	10		30	2								

国家	国内外相关标准	COD _{Cr}	BOD ₅	SS	TN	TP	NH ₃ -N	亚硫酸盐	色度	硫化物	苯	酚	总铬
欧盟 ⁽³⁾	一般地区	125	25	35									
	敏感地区	125	25	35	10	1							
	BAT 排放现状	12~250	1~18	10~20		0.2~1.5							0.004~0.05
美国(BPT标准) ⁽⁴⁾	洗毛废水	140	10	30									
	整理废水	160	20	35									0.1
	织物整理废水	60	5	20								0.1	0.14
中国(GB 4287—2012) ⁽⁵⁾	新建企业	80	20	50			15		50	0.5			/
	现有企业	100	25	60			20		70	1.0			0.5
	环境敏感区域限值	60	15	20	12	0.5	8		30	/			/

注：(1) National Effluent Standards 见 <http://www.env.go.jp/en/water/wq/nes.html>，适用于排水量 1000m³/日以上的企业，见《滋贺县琵琶湖环境保全施策》，中山直编著。北京：日本国际协力机构(JICA)，2004：33-35。

(2) 见 Ordinance on Requirements for the Discharge of Waste Water into Waters, Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, Germany, Appendix 38—纺织制造和织物整理的废水排放标准 and Appendix 57—洗毛厂的废水排放标准。

(3) 见欧盟指令《Council Directive of 21 May 1991, concerning urban waste water treatment》(91/271/EEC)；见 Reference document on Best Available Techniques for the manufacture of Organic Fine Chemicals, European commission, Integrated Pollution Prevention and Control。

(4) 美国为 kg/kg 产品排放标准，采用平均排水量 1000m³/t。见 Part 410—Textile Mills Point Source Category, Code of Federal Regulations。美国环保局公布的最佳实用技术(BPT)，应用 NSPS 治理洗毛废水、毛整理废水和织物整理废水排放状况。其中，洗毛废水：COD_{Cr}138 kg/kg，羊毛：BOD₅10.6 kg/kg 羊毛，SS：32.2 kg/kg 羊毛，苯酚 0.10kg/kg 羊毛，总铬 0.10kg/kg 羊毛；整理废水：COD_{Cr}163 kg/kg 纤维，BOD₅22.4kg/kg 纤维，TSS 35.2 kg/kg 纤维，苯酚 0.14kg/kg 纤维，总铬 0.14 kg/kg 纤维；织物整理废水：CODCr60 kg/kg 产品，BOD₅5 kg/kg 产品，TSS 21.8 kg/kg 产品，苯酚 0.10kg/kg 产品，总铬 0.10kg/kg 产品。

(5) 见《纺织染整工业水污染物排放标准》(GB 4287—2012)。

1.3.1 废水水质差异

由于国内外印染企业染整布料、使用染料及辅料、生产工艺不同，导致排放的废水水质完全不同。中国的印染企业包略从前处理(煮练、退浆、碱减量等)到染色、印花到后整理等所有工序，其产生的废水水量大，污染物成分复杂，有机物浓度高难于生物降解。

国外印染企业生产工艺较单一，一个企业往往只负责一个工序的生产，如染色企业只进行染色，不包括前处理和后整理。因此，废水水量小，水质较稳定，污染物浓度较低。

清浊分流、分别处理将是趋势，分质处理比较容易，而混合废水处理就较困难。

1.3.2 排放标准限值差异

由国内外染整废水排放标准可知，我国的排放限值明显比国外严格，原因是我国人口密集，环境污染问题严重，水体自净能力差，环境容量远远小于国外。我国印染企业排放的废水水量大，若采用国外的排放标准，将会导致局部地区排污量过大，对周围水体环境造成不可逆转的污染。

1.3.3 我国 2012 年颁布的印染工业废水排放标准的特点

1.3.3.1 标准值要求较 1992 年标准明显提高

我国环保形势严峻，印染行业过于密集，环境容量缺乏。环保“十二五”规划将造纸和印染列为工业控制重点，总量削减 10%（其他行业总量削减 8%），使排放要求不得不提高。

1.3.3.2 六价铬和苯胺不得检出

不得检出不等于含量为零，而指其质量浓度应该低于标准测定方法的检出限。如六价铬的质量浓度应低于 GB/T 7467—1987《水质六价铬的测定二苯碳酰二肼分光光度法》中的最低检出质量浓度 0.004 mg/L。苯胺的质量浓度应低于 GB /T 11889—1989《水质苯胺类的测定 N-(1-萘基)乙二胺偶氮分光光度法》中的最低检出质量浓度 0.03 mg/L。但这两项指标过于严格，根据环保部《纺织染整工业水污染物排放标准》（GB 4287—2012）修改单（环境保护部公告 2015 年第 19 号）。环境保护部已经启动 GB 4287—2012 的评估与修订工作，根据标准及修改单发布实施以来的实际反馈情况，有关事项公告如下：

（1）暂缓执行 GB 4287—2012 中表 2 和表 3 的苯胺类、六价铬排放控制要求，暂缓期内苯胺类、六价铬执行表 1 相关要求。

（2）暂缓实施 GB 4287—2012 修改单中“废水进入城镇污水处理厂或经由城镇污水管线排放，应达到直接排放限值”。

1.4 国内外纺织印染废气排放相关法规、政策、标准体系现状

1.4.1 国内相关标准

（1）国家《纺织印染行业大气污染物排放标准》的制订

纺织行业大气污染物主要来自染整行业和化纤行业。环境保护部于 2013 年组织中华环保联合会标准委员会和东华大学牵头，编制国家《纺织印染行业大气污染物排放标准》，到 2015 年 7 月，该标准已经编制完成，该标准污染物项目包括：苯、甲苯、二甲苯、氯气、醛、芳香烃、卤代烃、氯化氢、二硫化碳（化纤行业）、硫化氢（化纤行业）、粉尘。目前正在征求意见，尚未公布最终版本。该标准中，设定了有组织排放和无组织排放量部分。

（2）地方标准

目前，浙江省是我国主要的纺织印染产业省份，印染企业排放废气相当严重。浙江省 2015 年颁布《纺织印染行业大气污染排放标准》（DB 33/962—2015），规定了纺织染整企业或生产设施大气污染物排放限值、监测和监控要求。规定纺织染整企业或生产设施工艺废气排放控制按本标准的规定执行，不再执行《大气污染物综合排放标准》（GB 16297）中的相关规定；工艺废气中恶臭污染物的排放，除本标准中已确定限值的指标项目外，其余指标项目仍按照《恶臭污染物排放标准》（GB 14554）的要求执行。纺织染整企业或生产设施锅炉和污水处理站大气污染物的排放按照相关标准的要求执行。环境影响评价文件要求严于本标准时，按照批复的环境影响评价文件执行。

1.4.2 国外相关标准

目前,未查询到国(境)外纺织染整行业大气污染物专项排放标准,只查询到相关的标准。

1.4.2.1 美国相关标准

(1) 规定具体管制的污染物范围。

由于废气的产生同具体的工艺和配方有关,难以明确具体的污染物。《清洁空气法》提出有害空气污染物(HAP)清单(共188种)。对列入清单的物质实行总体控制。

(2) 针对不同生产工艺流程进行归类,按类别制定标准。

由于废气的产生同具体的工艺有关,对各种产生废气的生产工艺进行分析,并对产生空气污染物的类似工艺进行归类。美国开始列出了177种(后来调整为166种)生产工艺类别,并提出各种工艺的排放系数,制订出一系列排放标准。

(3) 明确规定适合范围,主要源(重点源)和面源区别对待。

提出主要源(major source)的概念,即指每种污染物(HAP)年排放量超过10吨或年总排放量超过25吨的污染源,小于该标准的称为面源(area source)。

(4) 制定标准的准则

废气排放标准为优先考虑技术因素,即“最可行控制技术”标准(MACT, Maximum Available Control Technology),其次是污染风险因素。对人体健康的评价十分困难,目前基本上还不能有效地实施。

(5) 规定了记录和报告制度。

由于废气的产生和排放方式多种多样(包括污染物种类、排放位置),无法用单一污染因子的限值来规定,所以规定了记录和报告制度。包括达标的计划(或称“实施方案”)、首次符合性报告、年度报告等。对记录和报告都有具体的规定。

(6) 在具体排放指标难以确定或评估的时候,标准也往往规定设计要求、设备要求以及对操作和维护的要求。

(7) 注重成本和效益分析和均衡。

美国的纺织行业在二十世纪八十年代发展十分迅速,后因金融危机等影响,纺织行业在美国境内纺织品市场的增长变缓。近些年来,美国境内纺织废气的排放程度也就相应有所减缓,因此针对此方面的废气排放标准及治理上并未实施相应政策。而近些年来,中国境内纺织行业的发展速率有所加快,国内各种大小型纺织行业不断崛起,这也是我国成为世界纺织强国的一个促进因素,废气的排放问题已经成为大气污染的一个主方向。

1.4.2.2 欧盟相关标准

欧盟在《关于在特定活动和设施中使用有机溶剂的挥发性有机化合物的排放限值》(1999/13/EC)规定了不同种类污染物的排放限值。其中要求排放浓度限值:

三致物质(包含的类别有:致癌、致突变、生殖毒性,以及可能致癌、可能导致遗传突变、可能吸入致癌、可能损害生育、可能危害胎儿)VOCs如果排放速率大于等于10 g/h,则排放总浓度限值为2 mg/m³。

含卤化物 VOCs 如果排放速率大于等于 100 g/h, 则排放总浓度限值为 20 mg/m³。

欧盟废气排放标准主要是规定大气污染物排放浓度限值。而大气排放废气成分比较复

杂，来源也比较多，没有固定的污染源，所以欧盟规定的大气排放的 VOCs 限值会偏高。在我国，虽然纺织印染行业排放的废气量大，但种类较单一。所以在国内纺织印染废气排放标准的制定过程中，参考了欧盟等国家的标准，具体的排放数值还未最后颁布。

1.4.2.3 世界银行相关标准

世界银行规定的纺织工业废气排放标准限值见表 8。

表 8 世界银行规定的纺织工业废气排放标准限值

污染物	单位（在标准状态下）	指导值
挥发性有机物（VOCS）	mg/m ³	2/20/50/75/100/150 ^{ab}
氯气	mg/m ³	5
醛类（甲醛）	mg/m ³	20
氨	mg/m ³	30
颗粒物	mg/m ³	50 ^c
硫化氢（H ₂ S）	mg/m ³	5
二硫化碳（CS ₂ ）	mg/m ³	150

注：a 以总碳计算

b 30 分钟烟道排放的平均值。指导值的适用：

-2mg/m³ 适用于标准状态下质量流量大于等于 10g/h 的致癌类或诱变量 VOC 的排放；

-20mg/m³ 适用于标准状态下质量流量大于等于 100g/h 的卤化 VOC 的排放；

-50mg/m³ 适用于标准状态下大型装置的干燥工艺废气（溶剂消耗：>15t/a）；

-75mg/m³ 适用于标准状态下大型装置的涂层应用过程（溶剂消耗>15t/a）；

-100mg/m³ 适用于标准状态下小型装置（溶剂消耗<15t/a）；

-如果溶剂是从排放物中回收再利用的，该限定值为标准状态下 150mg/m³；

c 30 分钟烟道排放的平均值；

d 指导值适用于溶剂消耗大于 5t/a 的装置。

世界银行所列出的纺织印染业废气排放限量与我国国内相关废气排放的种类基本相同，但是对于纺织印染工业中出现的芳香烃类挥发性有机气体，世界银行并没有纳入。世界银行列出的气体主要是无机废气和恶臭气体等。

1.4.2.4 日本相关标准

日本在《日本工厂和企事业单位大气污染物排放控制措施和控制大纲》中对大气污染物分种类规定了排放控制措施。主要分为烟尘、指定优先控制污染物、有害大气污染物进行控制。其中 有害大气污染物的控制标准如表 9 所示。

表 9 有害大气污染物（Harmful air pollutants）

污染物名称	主要产生形式	标准概要及形式
有害大气污染物（即使在低浓度水平下，长期吸入，也会对健康产生危害的物质）	234 种物质，其中 22 种是优先污染物	事发现场控制细则：应主动采取措施减少污染物扩散，地方政府应控制污染趋势
指定污染物：苯	苯干燥设备	各设备/级别的控制标准： 新源：50~600mg/Nm ³ 现源：100~1500mg/Nm ³
指定污染物：三氯乙烯	使用三氯乙烯的清 洗设备	各设备/级别的控制标准： 新源：150~300mg/Nm ³ 现源：300~1500mg/Nm ³

污染物名称	主要产生形式	标准概要及形式
指定污染物: 四氯乙烯	使用四氯乙烯的清洗设备	各设备/级别的控制标准: 新源: 150~300mg/Nm ³ 现源: 300~1500mg/Nm ³
指定污染物: 二噁英	钢精炼电炉和城市垃圾焚烧炉	各设备/级别的控制标准: 新源: 0.1~5ng-TEQ/Nm ³ 现源: 1.0~10ng-TEQ/Nm ³

注: *对于煤烟、成分和有害污染物,地方可以制定严于国家的排放标准。

*随着污染物的时间变化、控制技术的发展、工业结构的改变,以上标准应当不断修订和改进。

日本的纺织印染生产规模相对较小,所以在这一类行业的废气排放问题上,日本相关标准没有做出相应的法规政策限值。表8中列出的气体种类,只有苯类气体在纺织印染行业出现的比例相对较大。我国纺织印染行业规模十分庞大,所以对于国内纺织印染行业,芳香类气体的排放限值在以上数值的基础上会有所不同。

由于国家的《纺织印染行业大气污染物排放标准》最终版尚未颁布,因此无法与国外标准、地方标准进行详细比较分析。

1.5 2014—2015年国内外对污染控制涉及的重点行业污染控制管理现状

1.5.1 纺织印染废水污染控制管理现状

纺织印染行业污染控制起步较早,目前,国内所有的纺织印染企业均建有污水处理厂,而且均落户在工业园区内。印染废水经厂区污水处理厂处理后,进入工业园区污水处理厂二次处理。由于2012年颁布《纺织印染行业废水污染物排放标准》(GB 4287—2012)比1992年颁布的《纺织印染行业废水污染物排放标准》(GB 4287—92)严格许多,如:进入园区污水处理厂排水COD排放浓度由500mg/L提高到200mg/L,2015年又颁布了修改意见,但无疑使得企业面临巨大的压力,必须改进现有处理工艺,提升废水处理效率。

1.5.2 纺织印染大气污染物污染控制管理现状

由于多年来纺织印染行业没有国家针对性的废气污染物排放标准,其他排放标准也比较宽松,如:热定型机排放油烟只能执行《大气污染物综合排放标准》(GB 16297—1996)的非甲烷总烃标准,其排放浓度为150mg/m³,因此不需油烟处理就可达标排放,即使是黑烟滚滚也符合国家排放标准(GB 16297—1996)。从全国来看,只有少部分印染企业采取了处理措施。浙江省绍兴市颁布了《热定型机油烟排放标准》后,该县的2000多台热定型机全部安装了烟气净化设备,而全国还有大部分企业未采取任何大气污染物治理措施。

另外,从沿海六省份调研来看,印花工段也未见采取“三苯”废气治理措施,丝光工段也未见碱味气体采取任何处理措施。蜡染工段产生的黑烟也是直接排入大气。

上述状况也为局部区域环境贡献了大量粉尘、VOCs等大气污染物。

“十二五”期间,对国内几家主要化纤企业污染物排放进行了调研。从调研情况来看,所有化纤企业均建有污水处理厂,废水得到有效处理;废气进行有效处理,尤其是二硫化碳分别采取了焚烧—碱液吸收法处理;化纤颗粒物采取了过滤处理,回收大量纤维,总体运行良好。

2 主要技术发展情况

2.1 生物技术在印染废水处理中的应用

目前,我国印染废水处理仍以生物处理技术为主,该技术是利用微生物来源广、种类多、易繁殖、适应性强、易变异等特性,运用外界手段,创造有利于微生物生长、繁殖的条件,通过微生物酶来氧化或还原染料分子,破坏其不饱和键及发色基团,能够有效地降解大分子有机污染物。从而达到净化污水的目的。主要生物处理技术主要分为好氧技术、厌氧技术、厌氧-好氧技术。

(1) 好氧生物技术

好氧生物技术是普遍运用于印染废水处理的生物方法,它是指在有氧条件下,有机物被好氧微生物氧化分解的过程,其反应速度较快,所需反应时间短且处理过程中散发的臭味少,对 BOD_5 去除效果好,是目前国内印染废水处理采用的主要方法。好氧生物处理技术包括活性污泥法和生物膜法。SBR 工艺处理是印染废水处理的首选工艺,在曝气时间大于 5 h 时, COD_{Cr} 去除率达到了 65%~88%。针对当前水质复杂的印染废水,单一的好氧生物技术处理只能去除废水中的部分易降解有机物,且无法解决色度问题,出水难以达到排放标准,因此常常需要与其他处理技术联用。

(2) 厌氧生物技术

厌氧生物处理技术是指在厌氧环境下,利用厌氧微生物降解废水中的有机污染物,达到净化污水的效果。厌氧法具有处理有机废水能耗低,剩余污泥少,承受的负荷变化及水质变化大,产生的沼气是一种环保能源等特点。近些年来厌氧生物处理工艺发展迅速,其中包括升流式厌氧污泥床(UASB)、膨胀颗粒污泥床、厌氧流化床、厌氧生物膜法等。

UASB 是由荷兰的 Lettinga 教授在 1972 年研制的,已经成为国内外发展最快的厌氧反应器,成为处理印染废水首选的厌氧处理方法。印染废水处理中的厌氧生物技术虽然具有去除效率高等优点,但是由于印染废水 COD_{Cr} 、色度等基数大,处理后的废水仍然不能达标排放,所以最终产物尚需好氧生物处理。

(3) 厌氧-好氧联用技术

废水生物处理中,厌氧条件对偶氮染料有很好的去除效率,而好氧条件则对芳香族胺的去除效果明显。因此联合厌氧-好氧技术处理印染废水,结合脱磷脱氮,普遍使用 AAO 法、AO 法等。此工艺主要通过提高废水的可生化性来处理高浓度难降解印染废水;且好氧段产生的剩余污泥可部分或全部回流到厌氧段,厌氧段较长的固体停留时间有利于污泥厌氧消化,从而显著降低了整个系统的剩余活性污泥量。

(4) 印染废水膜分离及回用技术

目前在印染废水回用上应用较多的膜分离技术有:反渗透(RO)、纳滤(NF)、微滤(MF)和超滤(UF)。这些膜分离过程都是以压差为驱动力,废水流经膜面的时候,废水中的污染物被截留,而水透过膜,实现了对废水的处理。从调研情况来看,浙江省某印染企业废水处理站水解酸化—好氧接触氧化—UF—RO 工艺的运行实践,该工艺的 COD 和色度的去除率分别高达 90%和 98%,出水水质略次于自来水,完全符合回用水的要求。

广东某纺织厂采用 SBR—光助 Fenton 氧化组合工艺深度处理印染废水,出水 COD 和 TOC 的去除率分别高达 97%和 95%,再经 RO 处理后,出水可 100%回用。

对青岛某印染有限公司的废水处理进行了调研:该公司采用絮凝沉淀—砂滤—光催化氧化工艺对高温水洗印花废水进行深度处理,出水可直接回用于印花车间,还可回收热能;而对退蜡废水则利用酸化破乳—气浮分离—砂滤—光催化氧化工艺进行深度处理,出水除可供蜡染车间直接使用外,还可用于前处理车间,同时回收了松香。

广东省某织染水处理公司利用一体式 MBR 处理的预处理出水,平均 COD 去除率达 90%以上,处理效果较好,可满足生产回用水的要求。

2.2 印染废气处理技术情况

2.2.1 纺织品生产过程污染产生和排放情况分析

纺织印染工业排放的大气污染物以有机气体污染物为主,还会排放无机废气、恶臭以及细微粉尘等。

2.2.1.1 大气污染物分析

化纤生产过程中,生产过程中产生的废气主要为挥发性有机物废气,原材料经纺丝后形成的化学纤维如粘胶纤维中仍残留有部分的有机溶剂,以及在纺丝过程中出现的二硫化碳等气体的释放现象;在纺织印染工序中,有机废气则主要来源于热定型以及染色印花和功能性后整理过程中。热定型机废气排放情况为:

- (1) 纺丝液溶剂及其他挥发性有机物在配料、运输、存放时挥发有机物;
- (2) 热定型机链带在加工以及从传输过程中挥发有机物;
- (3) 在分散染料热熔染色工序中染液加热时挥发有机物;
- (4) 印花过程中树脂的应用在加热时挥发有机物;
- (5) 功能性后整理焙烘过程中挥发有机物;
- (6) 超纤工艺中甲苯在抽取以及回收处理时挥发;
- (7) 在使用溶剂清洗有关设备时挥发有机物。

废气污染物同具体工艺、配方组成有关。对于一定工艺,配方往往可以更改,所以其产生的具体大气污染物也并不固定。生产过程中一般的大气污染物有:

- (1) 纺丝工艺:纤维素磺酸酯、粘胶等有机溶剂(CS₂、甲醛等醛类有机气体)
- (2) 纺织印染热定型工艺:润滑油中有机溶剂(助剂、分散染料升华有机气体)
- (3) 热熔染色工艺:低分子易升华分散染料(以甲醛为主的醛类气体等)
- (4) 印花工艺:溶剂(苯、甲苯、二甲苯等芳香类气体等)
- (5) 功能性后整理工艺:2-D 树脂、十溴联苯醚等整理剂(甲醛等醛类有机气体、醚类蒸汽)
- (6) 超纤工艺:有机溶剂(DMF、甲苯、二甲苯等)

2.2.1.2 其他废气

- (1) 漂白工艺废气

一般纱线经历纺织工序后,形成原坯布,原坯布中含有的杂质十分复杂,如果不经历漂白工序,会直接影响到纺织面料的后续加工,为织物的后续染色、印花以及后整理带来

众多瑕疵等负面影响。在纺织品的漂白工艺中，最常用到的就是次氯酸钠漂白剂，在漂白时会出现一定量的氯气释放问题。

(2) 纺丝液制备工艺废气

纺丝主要在合成纤维的纺丝工艺中，特别是在粘胶纤维的纺丝液制备工艺中，由于在黄化过程中有 CS_2 参与反应，使得在纺丝过程中会出现部分恶臭气体的溢出现象，这些恶臭主要是 CS_2 和 H_2S 气体。

(3) 功能性后整理液氨整理工艺废气

除去其他的功能性后整理中出现的挥发性有机气体释放外，在织物的液氨整理（免烫整理）过程中也会出现由于液氨的吸收不当而致使 NH_3 泄露等问题。

(4) 储罐蒸发的挥发性有机物

纺织企业一般采用铁桶和储罐贮存或盛装溶剂，蒸汽压高的溶剂挥发排放较大。

2.2.2 国内外纺织污染控制水平和实用污染控制技术现状

纺织印染工业的主要污染为有机废气。国内外的控制方法从以下几个方面入手。

(1) 采用替代物质，控制有毒有害的挥发性有机物的使用。

改变配方，使用能够回收的溶剂（如 DMF ），完全不使用非回收型溶剂或减少使用非回收型溶剂的配比是同时具有经济效益和环境效益的技术。

挥发性有机物中的苯是已知的致癌物质，必须加以控制。

尽可能使用无毒或低毒的物质，以替代目前使用的有害物质。如功能性后整理中采用到的一些助剂，可尽可能地采用水性原料或者减少原材料中有机溶剂的含量。

目前很多企业也开始重视纺织面料后整理中助剂的改性问题来，在纯棉织物的防皱整理中，目前已有部分企业开始应用一种低甲醛类的整理助剂，用以降低纺织品在后续穿着过程中出现以甲醛气体为主的醛类气体的释放几率。

(2) 采用提高使用效率的工艺技术。

在热定型工艺中，为最大程度提高织物的尺寸稳定性，通常会在热定型机内设置一较高的适宜温度，而这一温度的控制就导致了机械内部链带间润滑油的挥发问题，使得在热定型机废气的排放管道会检测到大量的挥发性有机气体的释放。目前对于热定型这一工艺环节，已有部分纺织设备公司使用了废气处理装置，将这种装置装备在热定型机出口处，可以使得废气中含有油烟有机物得到降解。

(3) 控制废气的产生和采用末端的治理措施。

控制废气挥发的主要方式是对产生挥发性有机物的设施进行密封。如对存放助剂的料桶加盖。采用密封管道传送溶剂、染液、助剂等可以有效地减少运输中有机物的挥发。

废气的收集是对废气进行末端处理的必要条件。收集的最佳方式是采用密闭式收集系统。

(4) 热定型机烟气治理

目前，从对沿海六省份调研来看，染整热定型机排放的油烟采用的方法有以下两种：

①静电回收，该方法虽然是相对讲话效率比较高的，但也存在集油极板粘附油污后不易清理，现在虽然实施了水蒸气吹喷等，但也不易清理干净，集油极板粘附油污后净化效率会下降。这已成为企业的一大困惑。

②喷淋洗涤，虽然简单易行，但净化效率很低，不易控制，液气比过大，会发生雾沫

夹带, 带出大量水蒸气; 液气比过小, 净化效率会大大降低。

从理论分析, 上述两种方法均不适合处理有机废气, 一是静电除尘是对核电的颗粒静电吸引, 而 VOCs 在没有形成颗粒之前用该方法根本不能除去。再有, 清水是非极性的, 水与极性的油污根本不相溶。吸附法虽然效率也高, 但是对于高浓度的油烟来讲, 恐怕一天就饱和, 因此没有一家企业使用。鉴于上述情况, 东华大学申请了催化燃烧处理热定型机及油烟的发明专利。

2.3 我国自有知识产权技术的竞争力评价

“十二五”期间, 中国国际专利申请数量居世界第四位, 发表论文数量居世界第二位, 据中国纺织工业联合会 2011、2012 年的统计数据显示, 国内纺织行业发明专利及实用新型专利数量见表 10。两年专利统计的数量约占全球的 9.6%左右。

表 10 纺织行业 2011、2012 年发明专利及实用新型专利数量

年份 专利类别	2011 年		2012 年	
	发明	实用新型	发明	实用新型
纤维	1736	1624	1615	2037
纺纱	326	303	420	377
织造	826	1061	766	1289
染整	869	1214	754	1362
整理	446	1066	420	1314
缝纫	2770	2612	2646	3214
织物处理	131	276	68	206
总计	7097	8355	6689	9801

由表 10 可见, 纤维、缝纫是专利是热门。一些专利技术得到推广应用, 据统计一批污染治理、节能降耗减排新技术在全行业获得广泛转让应用, 由此带动柜内企业的国际竞争力, 主要成果为:

- ① 使用无 PVA 环保浆料占比上升 10%;
- ② 膜技术处理废旧聚酯瓶片清洗废水回用技术使水回用率达 80%以上;
- ③ 粘胶短纤维装置吨产品用水量下降近 50%、吨产品能耗下降 18%, 粘胶行业全硫回收率达到 85%以上;
- ④ 印染行业高效短流程前处理技术推广比例达 10%~20%, 少水及无水印染加工技术应用比例达 10%~20%, 印染行业水重复利用率达到 30%;
- ⑤ 太阳能板集热系统、空压机热能回收等技术应用面不断扩大。

3 主要问题分析

3.1 废水处理达标艰难

从我国纺织印染企业调研情况来看, 不论是经济发达地区, 还是经济欠发达地区, 印

染废水处理基本是各个工段废水集中混合后流入厂区污水处理厂，集中处理。虽然有些企业建有 PVA 回收装置。但是由于纺织印染企业普遍存在成本增高、尤其是工人工资上涨最快，利润下滑，有的企业染一米布利润只有几分钱，许多企业甚至临近破产或者已经破产。在这种背景下，印染企业只能先保生存，环保自然就放在第二位了，废水处理设施也就不能正常运行。

3.2 废水处理回用率较低

目前，我国印染行耗水量虽然经过“十二五”技术进步，有所提高，达到 30%，但与发达国家比，还有差距。但由于回用水运行成本的提高，在同行业竞争中，许多企业往往会仍然使用天然水或自来水。

3.3 废气处理的问题

3.3.1 热定型机废气污染严重

由于我国纺织行业长期没有针对性废气排放标准，因此目前全国纺织工业联合会登记的热定型机就有 1 万多台，包括没有登记的在内估计全国有 2 万台左右。一般一台 8 箱热定型机排放颗粒物 $150\sim 250\text{mg}/\text{m}^3$ ，日排放颗粒物 $36\sim 72\text{kg}$ ，一台热定型机排放 VOCs $325\sim 650\text{mg}/\text{m}^3$ ，日排放 VOCs $75\sim 150\text{kg}$ 。按目前全国 90% 没有安装废气治理设施来看，全国还剩余的 1 万 8 千台左右需要进行治理，按 VOCs 去除率达到 80%，粉尘去除率达到 90% 计算，一年可消减 VOCs 排放量：

(1) 按现有剩余热定型机烟气每台每天排放 75kgVOCs 计算：

$18000 \text{ 台} (75\text{kg}/\text{台天}) \times (1-0.8) \times (350 \text{ 天}/\text{年}) = 9.45 \text{ 万吨}/\text{年}$

(2) 按现有剩余热定型机烟气每台每天排放 150kgVOCs 计算

$18000 \text{ 台} \times (150\text{kg}/\text{台天}) \times (1-0.8) \times (350 \text{ 天}/\text{年}) = 18.9 \text{ 万吨}/\text{年}$

如此计算，目前我国现有热定型机每年排放油烟约 9.45 万~18.9 万吨。

3.3.2 染整印花工段“三苯”气体随意排放

苯、甲苯、二甲苯统称“三苯”，是印花颜料的稀释剂。由于我国纺织行业长期没有针对性废气排放标准，其他排放标准又没有明确纺织印染“三苯”气体必须处理，从沿海相对发达省份调研来看，未见一个企业对印花制版工段、印花工段产生的苯、甲苯、二甲苯废气进行处理，几乎是安装一个轴流风机排入大气，对周围环境造成严重影响，有的企业都未安装轴流风机，“三苯”通过无组织排放计入大气环境。

3.3.3 印染丝光工段碱味气体未经处理直接排放

印染行业丝光工段使用加热的氢氧化钠溶液浸泡纺织品，因此碱性气体会大量水蒸气汽化，因此许多印染厂都会散发出“臭碱味”，甚至飘逸数公里，浙江省绍兴县是全国第一纺织印染大县，乘坐高铁一下火车就可闻到数公里远处印染厂的臭碱味。从调研的企业来看，由于我国纺织行业长期没有针对性废气排放标准，没有一家企业处理该污染气体，只是通过轴流风机排入大气。这也就是“臭碱味”成为了印染厂的标志。

3.3.4 蜡染工段黑烟废气未经处理直接排放

蜡染工段需要将蜡质及辅助原料加热，布匹浸泡该高温溶液。目前蜡染布出口形势非常好，深受欧美及非洲市场青睐，但是，蜡染过程中大量加热的黑烟也会逸出，污染严重，主要污染物为蜡质、松香等高分子聚合物。在国外也很少生产。由于我国纺织行业长期没有针对性废气排放标准，从调研情况来看，没有一家蜡染生产企业处理该污染气体，只是通过轴流风机将黑烟排入大气。

4 建议

4.1 纺织化纤工艺废弃物回收与资源化技术开发

对纺织化纤工艺中的产生的废弃物，以及废水中的溶解性固体，例如退浆废水中的 PVA 浆料、碱减量废水中的对 PTA 聚合物、粘胶废水中含有大量的碱和纤维素提出切实可行的回收工艺，提出可行的回收方法或优化传统回收方法中的工艺参数，核算工业化生产的成本。

开发低成本、低能耗、切实可行的粘胶、浆粕黑液中的碱、纤维素回收技术，制备抑尘剂等环保产品；开发苯二甲酸（PTA）、PVA、己内酰胺等合成工业废水中的物料回收技术，减少废弃物的产生量；对于难以直接利用的回收产物提出二次利用的技术，利用水解+厌氧工艺对浆料、纤维素进行产氢、产甲烷，实现资源的有效利用。

4.2 开发针对印花/蜡染等高氮废水的高效脱氮技术

目前国内的印花、蜡染工艺由于尿素大量使用导致排放的废水氨氮、总氮难以达标。当前的生物脱氮技术有了长足的发展，可根据染整废水的特点开发具有针对性的高效脱氮技术，要求稳定、高效和低成本。

4.3 开发低成本高通量膜分离技术及废水分级回用工艺

针对不同纺织工艺的回用水要求，开发不同过滤精度的低成本抗污染膜，采用新型的膜表面改性技术，形成高通量、低成本的脱盐工艺；筛选涂层的接枝或涂层物，降低工艺中油性污染物的吸附；优化双膜法工艺参数，提出“中水分质回用”的思路，通过经济技术比较和相关模型计算最佳的产水率。

根据二级尾水回用等工艺环节的特征污染物，采用超滤+RO 双膜法工艺，优化工艺参数；在普通的商业膜的基础上增强膜的亲水性能和污染耐受性，降低疏水性污染物在膜表面的吸附，在低成本的微滤膜上进行“一步法”涂层技术；针对纺织行业中毛纺行业中洗毛废水的特点，利用超亲水膜进行羊毛脂回收和中水回用，优化工艺参数，对回收羊毛脂进行深度分离与净化；针对纺织行业中退浆废水的特点，利用耐污染膜进行浆料回收和中水回用；针对纺织行业中碱减量废水的特点，利用耐污染膜进行 TA 回收和中水回用。

4.4 尽快颁布适合国情的《纺织印染行业大气污染物排放标准》

国家《纺织印染行业大气污染物排放标准》已经编制完成，目前正在征求意见、审查，

该标准的制订修改应适合中国的国情，目前中国的纺织企业普遍利润偏低，如果，标准中污染物项目过多、过严，企业无法承受，最后企业也只能偷排。如果检测费用过于昂贵，企业无法承担；如果检测技术过于复杂，反而不利于企业定期监测，最后标准也不利于实施。

4.5 采用催化燃烧处理热定型机油烟废气并回收热能

一台 8 箱热定型机一天排放油烟 80~160kg，无疑是一大潜在能源，而且排放温度达到 200℃ 以上，稍再加热即可达到催化燃烧的温度，燃烧后可回收热能，而且处理效率极高，可以达到 99% 以上，因此采用该方法处理热定型机油烟是既经济又环保的处理方法。目前使用的静电法，存在许多问题，首先要降低烟气温度，无疑使热值流失，其次是集油极极板上很容易结成一层油污，不易清除，反而会降低净化效率，是当前印染企业面临的一大问题。

4.6 印花工段采用电脑智能配料

目前，国内多数印染企业印花工段的颜料、溶剂的配置还是采用人工操作，仅有少数合资、独资企业印花工段的颜料、溶剂的采用电脑控制配料。电脑智能配料为密闭操作，管道输送，几乎不挥发出“三苯”等溶剂，即减少溶剂的无谓的损失，也不会对环境造成影响，还改善工人的工作环境，有利于身体健康。应逐步在全染整企业推广。

4.7 细化纺织化纤生产 VOC 及臭气排放标准与开发废气治理技术

对纺织化纤工艺中的产生的 VOC 废气和臭气，以及废水处理中产生的气溶胶、臭气进行综合治理，在染整中后整理、烧毛等工艺段、化纤的拉丝、熔喷等工段、废水处理的曝气、污泥浓缩等工艺段产生的臭气，提出生物处理、等离子体等处理方法。生物法采用优化设计减少了生物法占地多的缺点，结合喷淋液表面活性成分和喷淋方式，提高了 VOC 废气的处理效率，具有成本低、免维护等突出优势。包括以下内容：

介孔表面滤料叠层强化处理 VOC 废气生物反应器的应用性研究与开发；利用特种多孔矿石进行表面改性形成介孔表面滤料，可高效形成气-介孔表面-大孔附着材料；利用高压等离子氧化工艺处理 VOC 废气。

4.8 染整工艺重新组合整理，建立单一加工企业

我国目前的染整布匹数量居世界第一位，建立了许多染整工业园区。应学习国外先进经验，染整工业园区内，各个企业建立固定的单独生产工艺，重新组合，以产业链式生产。这样有利于技术水平的提高，也有利于废水处理，保证达标排放。

畜禽养殖污染治理技术发展报告

1 畜禽养殖污染控制行业总体概况

1.1 2014-2015 年国内外畜禽养殖污染控制行业相关法规、政策、标准体系现状

1.1.1 国内相关法规、政策及标准体系

为了加强对我国畜禽养殖业污染排放的控制,国家环保局 2001 年 5 月发布了《畜禽养殖场污染物管理办法》,2002 年初又发布了《畜禽养殖业污染物排放标准》(GB18596-2001),对畜禽养殖场污染物排放总量及各种污染物的浓度进行了严格的限定。

2005 年 12 月,国务院颁发了《关于落实科学发展观加强环境保护的决定》,明确提出“积极发展节水农业与生态农业,加大规模化养殖业污染治理力度”。

2006 年 10 月,国家环保总局颁布了《国家农村小康环保行动计划》,把防治规模化畜禽养殖污染作为行动计划的重点领域,并计划到 2010 年完成 500 个规模化畜禽养殖污染防治示范工程建设。

2010 年,国家颁布了《畜禽养殖业污染防治技术政策》,政策指出畜禽养殖污染防治应贯彻“预防为主、防治结合,经济性和实用性相结合,管理措施和技术措施相结合,有效利用和全面处理相结合”的技术方针,实行“源头削减、清洁生产、资源化综合利用,防止二次污染”的技术路线。

2012 年 12 月,环境保护部、农业部联合印发了《全国畜禽养殖污染防治“十二五”规划》(环发正[2012]135 号),该规划中强调了统筹兼顾,突出重点的原则,开展重点治理区域和重点治理养殖单元的划分和污染防治技术提升工作。鼓励规模化畜禽养殖场(小区)采用雨污分流、干湿分离、有机肥生产、污水资源化利用全过程控制的减排措施:新(改、扩)建规模化畜禽养殖场(小区)要积极采取干清粪等有效方式减少污水产生量;引导畜禽养殖专业户向规模化发展,逐步实现畜禽散养密集区域的养殖废弃物统一收集、统一处理。

2013 年 10 月 8 日,国务院总理主持召开国务院常务会议,审议通过了《畜禽规模养殖污染防治条例》,并于 2013 年 11 月 11 日中华人民共和国国务院令 643 号公布。该《条例》分总则、预防、综合利用与治理、激励措施、法律责任、附则 6 章 44 条,自 2014 年 1 月 1 日起施行。该条例是中国第一部农业和农村环保领域国家级行政法,中国第一部专门针对畜禽养殖污染防治的法规性文件,是我国农村和农业环境保护工作的里程碑。

《畜禽规模养殖污染防治条例》以生态文明建设的精神为指导,推动畜牧产业发展走

绿色、循环和低碳的路子。它对产业的布局选址、环评审批、污染防治配套设施建设等前置环节做出规定，也对废弃物的处理方式、利用途径等环节做出了规定，同时还特设专章对综合利用的激励措施做出规定。按照条例要求，畜牧养殖将被设立环保门槛，不合规、不守规的养殖户、小规模养殖场及大型规模养殖场将被拒之门外甚至受到相关处罚。

此外，上海市、福建省、杭州市、无锡市、大连市等省市相继制定了各地区的《畜禽养殖污染防治管理办法》或《畜禽养殖污染防治管理办法实施细则》。

在标准方面，目前国内所采用的畜禽养殖业污染物排放标准有《畜禽养殖业污染物排放标准（GB18596-2001）》、山东省《畜禽养殖业污染物排放标准》（DB37/534-2005）、浙江省《畜禽养殖业污染物排放标准》（DB33/593-2005），以及广东省《畜禽养殖业污染物排放标准》（DB44/613-2009）。从排放限值来看，各省市都在GB18596-2001的基础上不同程度的提高了污染物排放控制的要求。其中山东省地方标准则规定从2010年5月1日起执行第三时段的标准值，COD要求达到120 mg/L，氨氮要求达到25 mg/L，其无疑对该省范围内的畜禽养殖业提出了更高的污染控制要求。另外，在排水量方面各地方也加强了要求。



图1 畜禽养殖业污染物排放标准（GB18596-2001）

畜禽养殖业污染物排放标准（GB18596-2001）主要适应于以下规模养殖场和养殖区：

类别 规模分级	猪 (头) (25 kg 以上)	鸡 (只)		牛 (头)	
		蛋鸡	肉鸡	成年奶牛	肉牛
I 级	≥3 000	≥100 000	≥200 000	≥200	≥400
II 级	500≤Q<3 000	15 000≤Q<100 000	30 000≤Q<200 000	100≤Q<200	200≤Q<400

类别 规模分级	猪 (头) (25 kg 以上)	鸡 (只)		牛 (头)	
		蛋鸡	肉鸡	成年奶牛	肉牛
I 级	≥6 000	≥200 000	≥400 000	≥400	≥800
II 级	3 000≤Q<6 000	100 000≤Q<200 000	200 000≤Q<400 000	200≤Q<400	400≤Q<800

根据该标准畜禽养殖业的污水排放标准如下:

控制项目	五日生化需氧量 (mg/L)	化学需氧量 (mg/L)	悬浮物 (mg/L)	氨氮 (mg/L)	总磷 (以 P 计) (mg/L)	粪大肠菌群数 (个/100ml)	蛔虫卵 (个/L)
标准值	150	400	200	80	8.0	1000	2.0

2011 年 3 月, 环境保护部针对《畜禽养殖业污染物排放标准》(GB 18596-2001) 以环办函[2011]305 号文向各有关单位征求意见。2014 年, 为贯彻《环境保护法》和《水污染防治法》, 环保部对标准草案进行公开征求二次意见。

在规范方面, 国家先后颁布了《畜禽养殖业污染防治技术规范》(HJ/T81-2001)、《畜禽养殖业污染治理工程技术规范》(HJ 497-2009)。

近年来, 我国围绕畜禽养殖污染防治和生物质能源产业发展相继出台的政策法规及标准, 对畜禽养殖污染治理工程的专项投入大幅度增加, 为畜禽养殖污染的防治和资源能源循环利用提供了强大动力, 有助于提高畜禽养殖废弃物综合利用水平, 为实现以环境保护促进产业优化和升级、畜牧业发展与环境保护和谐统一提供有力的制度保障。

表 1 我国畜禽养殖业环境管理的相关政策法规

政策法规及颁布年份	相关条款及规定
《畜禽养殖业污染物排放标准》(GB 18596-2001)	本标准规定的污染物控制项目包括生化指标、卫生学指标和感官指标等。为推动畜禽养殖业污染物的减量化、无害化和资源化, 本标准规定了废水、恶臭排放标准和废渣无害化环境标准。本标准按集约化畜禽养殖业的不同规模分别规定了水污染物、恶臭气体的最高允许日均排放浓度、最高允许排水量, 畜禽养殖业废渣无害化环境标准。
《畜禽养殖污染防治管理办法》(原国家环境保护总局第 9 号令, 2001)	畜禽养殖场应当保持环境整洁, 采取清污分流和粪尿的干湿分离等措施, 实现清洁养殖。
《畜禽养殖业污染防治技术规范》(HJ/T81-2001)	养殖场的排水系统应实行雨水和污水收集输送系统分离, 在场区内外设置污水收集输送系统, 不得采取明沟布设。 新、改、扩建的畜禽养殖场应采取干法清粪工艺, 采取有效措施将粪及时、单独清出, 不可与尿、污水混合出; 采用水冲粪、水泡粪湿法清粪工艺的养殖场, 要逐步改为干法清粪工艺。 畜禽养殖过程中产生的污水应坚持种养结合的原则, 经无害化处理后尽量充分还田, 实现污水资源化管理。 污水的消毒处理提倡采用非氯化的消毒措施, 要注意防止产生二次污染物。

政策法规及颁布年份	相关条款及规定
《农业法》(2002)	从事畜禽规模养殖的单位和个人应对粪便、废水及废弃物进行无害化处理或者综合利用。
《固体废物污染环境防治法》(2004)	从事畜禽规模养殖应按照国家有关规定收集、贮存、利用或者处理养殖过程中产生的粪便,防止污染环境。
《上海市畜禽养殖管理办法》(上海市人民政府第20号令,2004)	畜禽养殖场应当按照国家规定科学、合理地使用饲料和饲料添加剂。禁止使用餐厨垃圾或者食品加工过程中产生的动物制品废弃物饲喂畜禽。 畜禽养殖场不得任意向水体或者其他环境直接排放畜禽粪便、沼液、沼渣或者污水等。
《畜牧法》(2005)	畜禽养殖场、养殖小区应当保证畜禽粪便、废水及其他固体废弃物综合利用或者无害化处理设施的正常运转,保证污染物达标排放,防止污染环境。禁止在生活饮用水的水源保护区,风景名胜区,以及自然保护区的核心区和缓冲区;城镇居民区、文化教育科学研究区等人口集中区域;法律法规规定的其他禁养区域内建设畜禽养殖场、养殖小区。 省级人民政府根据本行政区域畜牧业发展状况制定畜禽养殖场、养殖小区的规模标准和备案程序。
《山东省畜禽养殖业污染物排放标准》(DB37/534-2005)	本标准规定: BOD<60 mg/L, COD<120 mg/L, SS<70 mg/L, 氨氮<25 mg/L, TP<5 mg/L
《浙江省畜禽养殖业污染物排放标准》(DB33/593-2005)	本标准规定: BOD<140 mg/L, COD<380 mg/L, SS<160 mg/L, 氨氮<70 mg/L, TP<8 mg/L
《中华人民共和国水污染防治法》(2008)	国家支持畜禽养殖场、养殖小区建设畜禽粪便、废水的综合利用或者无害化处理设施。 畜禽养殖场、养殖小区应当保证其畜禽粪便、废水的综合利用或者无害化处理设施正常运转,保证污水达标排放,防止污染水环境。
广东省《畜禽养殖业污染物排放标准》(DB44/613-2009)	本标准规定: BOD<140 mg/L, COD<380 mg/L, SS<160 mg/L, 氨氮<70 mg/L, TP<8 mg/L
《无锡市畜禽养殖污染防治管理办法》(无锡市人民政府令第108号,2009)	畜禽养殖场不得向水体或者其他环境直接排放、倾倒畜禽养殖产生的废渣和污水,经处理排放达标废水的,只能设置一个排污口,排污口的设置应符合国家和省制定的技术规范。 畜禽养殖场应当采取清污分流和粪尿干湿分离等措施,实施清洁养殖。设置的污水收集输送系统,不得采用明沟布设。
《海南省畜禽养殖场(小区)备案管理办法(试行)》(2009)	饲养规模划分为养殖场和养殖小区。 遵守国家相关的其他法律法规,不使用国家禁用的兽药、饲料添加剂,并严格执行休药期的规定。 有粪污排放处理设施和场所,并获当地环保部门的认可,符合国家相关污染物排放标准的要求。
《畜禽养殖业污染物治理工程技术规范》(HJ497-2009)	本标准集约化畜禽养殖场指存栏数为300头以上的养猪场、50头以上的奶牛场、100头以上的肉牛场、4000羽以上的养鸡场、2000羽以上养鸭和养鹅场。 新、改、扩建的畜禽养殖场应采取干法清粪工艺;采用水冲粪、水泡粪湿法清粪工艺的养殖场,应逐步改为干法清粪工艺;畜禽粪污应日产日清。
《畜禽规模养殖污染防治条例》(2014)	本条例明确其适用范围是养殖场、养殖小区,并要求省级政府根据畜牧业发展状况和畜禽养殖污染防治要求确定养殖场、养殖小区的具体规模标准。要求畜禽养殖场、养殖小区建设污染防治设施,已委托他人对畜禽养殖废弃物代为综合利用和无害化处理的,可以不自行建设污染防治设施。要求畜禽养殖场和养殖小区之外的其他养殖户,采取措施减少畜禽养殖废弃物的产生量和排放量,并及时收集、贮存和清运畜禽养殖废弃物。要求对污染严重的畜禽养殖密集区域,由市、县政府进行综合整治。

1.1.2 国外相关法规、政策及标准体系

畜禽养殖污染已引起了越来越多的国家和地区的重视,尤其是发达国家已经把畜禽养殖污染的防治法规列入了国家法律范围之内。

(1) 美国

美国各级政府都有制定关于防治畜禽养殖的环境保护政策。在美国的清洁水法中将畜禽养殖场列入污染物排放源,侧重于畜禽养殖场建设管理,规定超过一定规模的必须通过排污许可证才可以养殖生产。美国联邦法案 CFR Part 412 规定了集中式畜禽养殖场的水污染物排放要求,其中对标准管辖的畜禽养殖场的规模进行了划分,具体为:

表 2 美国规模化畜禽养殖划分标准及污水排放限值

畜禽种类	规模化标准	污水排放限值
马	500	BPT、BAT: 无工艺污水外排
羊	10 000	
鸭	5 000	BPT: BOD ₅ : 1.66 (日最大), 0.91 (月平均) 粪大肠菌群: 400 个/100 ml BAT: 无工艺污水外排
奶牛	700	BPT、BCT、BAT: 无工艺污水、粪便、垃圾外排,需有贮水池防止降雨造成的溢流
牛	1 000	
猪	2 500 (551bs)	BPT、BCT、BAT: 无工艺污水、粪便、垃圾外排,需有贮存池收集降雨造成的溢流
	10 000 (swine, 小于 551bs)	
蛋鸡	30 000 (蛋鸡, 水清粪)	
	82 000 (蛋鸡, 非水清粪)	
肉鸡	125 000 (非蛋鸡, 非水清粪)	
火鸡	55 000 (火鸡)	
肉牛	1 000 (veal calves, 小肉牛)	

除提出污水排放限值要求外,美国 CFR Part 412 中还强调了规模化畜禽养殖场的环境管理,并提出了具体的要求:

① 场地管理,对于所有规模化畜禽养殖场,都需要实施最佳管理措施 (best management practices),具体包括:

A. 营养元素管理计划 (nutrient management plan)。养殖场主需对场地可能流失的 N、P 等营养元素的量、形态等进行客观的评估,同时,尽可能地采取措施减少 N、P 等营养元素向地表水体的流失和排放。

B. 肥料施用频次的确定。养殖场主需要确定将畜禽养殖产生的粪便、垃圾或工艺污水作为肥料施用于耕地上的频次,需尽可能地降低 N、P 等营养元素向地表水体的排放,同时需要满足营养元素管理的技术标准。

C. 粪便及土壤监测。每年至少需进行一次对畜禽粪便中 N、P 等元素的含量监测,至少每 5 年需进行一次对场地土壤中 P 等元素的含量监测,监测结果作为确定肥料施用频

次的依据。

D. 监控相关设备情况，防止污染。养殖场主需对施用粪便、垃圾或污水的设备进行周期性的检查，防止污染的产生。

E. 缓冲区。畜禽养殖产生的粪便、垃圾和工艺污水不能施用于离地表水体 100 英尺以内的土地上，以及农灌水井或其他直接通向地表水体的设施。或者，养殖场主可以采用建设距地表水体 100 英尺外，宽 35 英尺的蔬菜种植区，在其中使用畜禽养殖产生的粪便、垃圾或污水。除此以外，养殖场主可采取其他措施，并能证明该措施能达到或超过建设缓冲区的污染防治效果。

② 记录制度，关注养殖场所在地的污染状况，包括氮、磷、BOD₅、TSS 等污染物的排放情况；养殖场主需要制定当地的土地营养管理计划，记录养殖粪便、垃圾或工艺污水施用于耕地的情况等，同时需要计算施用于土地中氮、磷等营养元素的总量等。

美国地方环境管理条例内容主要包括畜牧养殖场规模与土地面积相适应、规定禁养区域和其他农业活动区域以及缴纳环境污染债券等。

(2) 欧盟

欧盟成立以来，致力于改善农业生产环境，促进农业持续发展，不断增加控制养殖业污染的政策，并将其列于欧盟宏观战略政策范围内，确保政策的生命力，具体法律法规体系见表 3。

表 3 欧盟主要政策

国家	法律法规	具体内容
欧盟	《农村发展战略指南》 (2007—2013 年)	经过批准的项目和计划所需资金主要由欧洲农业发展基金提供，其中农业环保支付金额占全部农村发展项目/措施支付额的 22%。
	《欧共体硝酸盐控制标准》	每年 10 月至来年 2 月禁止在田间放牧或将粪便排入农田。
德国	《粪便法》	畜禽粪便不经处理不得排入地下水或地面，畜禽排泄量与当地农田面积相适应，每公顷土地家畜的最大允许饲养量不得超过规定数量。
	《肥料法》	规定了回用粪便于农田的标准。
挪威	《水污染法》	规定在封冻和雪覆盖的土地上禁止倾倒任何牲畜粪便，禁止畜禽污水排入河流。
丹麦	《环保法》	确定畜禽最高密度指标，施入裸露土地的粪肥必须在 12 h 内施入土壤中，在冻土或被雪覆盖的土地上不得施用粪便，每个农场的贮粪能力要达到 9 个月的产粪量。
	《规划法》	养殖不同动物的农场执行不同的标准，包括农场与邻居的距离、动物粪便、农场污物的收集处理方案、农场中耕地最小面积、施用动物粪便的种植作物的品种等。
法国	《农业污染控制计划》	限制养殖规模和养殖特定区域，禁止在土地上直接喷洒猪粪，对于采取环保措施降低氮化物、硝酸盐等污染物排放的，给以一定的公共资助。农业经营单位的生产经营活动达到合同规定的环境标准，政府给予相应补贴。
荷兰	《污染者付费计划》	按照粪便的排放量征税，征收标准为每公顷土地平均产生粪便低于 125 kg 的免税，125~200 kg 的每公斤征收 0.25 盾，超过 200 kg 的每公斤征收 0.5 盾。如果农场主将粪便出售给用户而使每公顷土地产生的粪便低于 125 kg 或者将粪便出口的，其税率可以降至 0.15 盾。
英国	《污染控制法规》	粪便贮存设施距离水源至少 100 m，有 4 个月的贮存能力和防渗结构。畜牧业远离大城市，与农业生产紧密结合。

2003 年 6 月，为配合欧盟 IPPC 指令的有效实施，欧盟发布了“集中式畜禽养殖 (Intensive Rearing of Poultry and Pigs) 最佳可行技术支持文件”。在该文件中给出了集中式畜禽养殖场的定义，即：

- 大于 40000 只家禽（家禽包括蛋鸡、肉鸡、火鸡、鸭以及珍珠鸡）
- 大于 2000 头猪（大于 30 kg）
- 大于 750 头母猪

欧盟对于集中式畜禽养殖业的最佳可行技术中一项主要内容是“良好的农业管理实践”(good agricultural practice), 其中的主要内容是:

- ① 对养殖场人员进行培训;
- ② 记录用水量、耗能情况、饲料用量、三废产生情况及施用量等;
- ③ 制订应急预案;
- ④ 确保使用的机械设备等处于良好状态;
- ⑤ 对粪便、垃圾等的处理进行合理规划;
- ⑥ 对粪便施用于土地进行合理计划。

与此同时, 欧盟的 BAT 技术中还对畜禽的饲养、畜舍的设置以及能源的消耗和使用给出了推荐的技术。对于养殖用水, 欧盟推荐使用乳头饮水器、饮水槽等方式, 但都有各自的优缺点, 目前尚未有可以成为 BAT 的推荐技术。为节约养殖业的用水, 欧盟 BAT 推荐: 在每一个养殖周期结束后, 采用高压水枪进行畜舍清洗; 采取措施避免水的渗漏; 对用水量进行记录等。

对于畜禽养殖的粪便处理, 欧盟 BAT 认为即使在富营养化区域, 也可以采用一些如储存池、固体粪便堆积等措施处理畜禽粪便。同时, 欧盟 BAT 指出需要设置足够大的粪便储存设施待进行进一步的处理和施用于土地。

在欧盟的 BRFE 文件中列举了部分养殖场污水的污染物排放量, 见下表。

表 4 欧盟养殖场污水污染物排放量

(单位: g/kg 产品)

控制项目	BOD ₅	COD _{cr}	N	P ₂ O ₅	SS
排放量	0.05~0.8	1~2	0.05~1	0.4~11	0.3~0.6

(3) 日本

70 年代, 日本制定了《废弃物处理与消除法》、《防止水污染法》和《恶臭防止法》等 7 部法律, 对畜禽污染管理作出了明确的规定。日本污染物统一排放标准如下表所示。

表 5 污染物统一排放浓度

控制项目	日最大值	日平均
BOD ₅	160 mg/L	120 mg/L
COD _{cr}	120 mg/L	—
TKN	120 mg/L	60 mg/L
TP	16 mg/L	8 mg/L
SS	200 mg/L	150 mg/L
粪大肠菌群数	3*10 ⁶ 个/L	—

(4) 新加坡

新加坡政府规定, 养猪场的污水排放 COD_{cr} 必须小于 250 mg/L。

1.2 2014-2015 年国内外畜禽养殖行业污染控制管理现状

1.2.1 国内畜禽养殖污染控制管理现状

随着社会经济的发展和人们物质生活水平的不断提高，畜禽养殖业已经成为我国农业发展的支柱产业之一。近年来，随着农业产业结构的调整和农村经济的发展，各省市相继出台了相关鼓励扶持政策，有力的促进了畜禽养殖业的发展。

表 6 和图 2 为我国主要畜禽年末存栏量、年内出栏量及当年产品量情况。

表 6 我国主要畜禽年末存栏量、年内出栏量及当年产品量

指标	单位	存栏量	出栏量	产品	单位	产量
一、大牲畜头数	万头	11 853.2		肉类总产量	万吨	8 535.0
牛	万头	10 385.1	4 828.2	猪牛羊肉	万吨	6 574.4
马	万匹	602.7	149.3	猪肉	万吨	5 493.0
驴	万头	603.4	237.8	牛肉	万吨	673.2
骡	万匹	230.4	47.9	羊肉	万吨	408.1
骆驼	万峰	31.6	7.7	禽肉	万吨	1 798.4
				兔肉	万吨	78.5
二、猪	万头	47 411.3	71 557.3	禽蛋产量	万吨	2 876.1
三、羊	万只	29 036.3	27 586.8	奶类产量	万吨	3 649.5
山羊	万只	14 034.5		其中牛奶	万吨	3 531.4
绵羊	万只	15 001.7		水产品总产量	万吨	6 172.002 9
四、家禽	亿只	57.1	119.0	海水产品	万吨	3 138.825 3
五、兔	万只	22 345.3	50 366.5	淡水产品	万吨	3 033.177 6

资料来源:《中国农业年鉴 2014》,第 246-247 页,第 262 页。

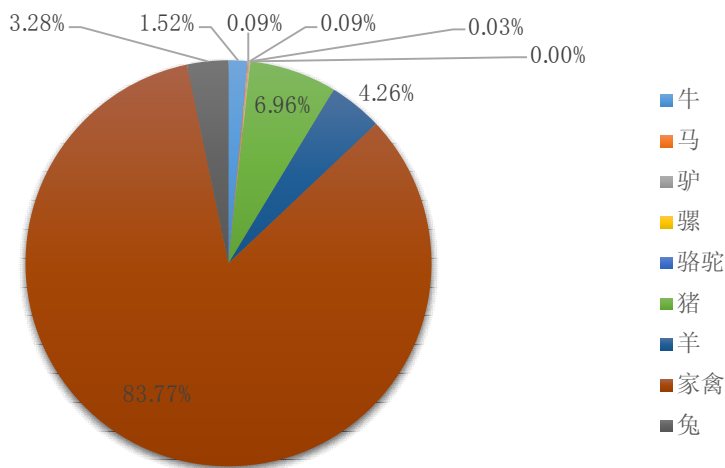


图 2 我国畜禽年末存栏数

由图表可以看出，我国畜禽主要以家禽、猪、羊、兔、牛为主。从绝对数量上来看，我国家禽的数量最多，占畜禽总量的 83.77%；在大牲畜中，以牛的数量为最多；除家禽及大牲畜外，我国以猪、羊、兔的养殖为主，三种牲畜的数量占我国畜禽总量的 14.49%。我

国猪、牛、家禽年末存栏量分别达到约 4.7 亿头、1.0 亿头、57.1 亿只。

此外据调查统计 2014 年底全国生猪养殖场户总数约 4000 万个,比 2010 年(6170 万)减少了 2000 多万户,与此同时年出栏 500 头以上的规模养殖场发展到 26 万个,比 2010 年增加了 2.2 万个。

畜禽养殖业生产水平显著提升,畜禽养殖污染防治压力也随之增大。全国每年产生 38 亿吨畜禽粪污,综合利用率不到 60%。2014 年规模畜禽养殖化学需氧量和氨氮排放量分别为 1049 万吨和 58 万吨,占当年全国总排放量的 45%和 25%,占农业源排污总量的 95%和 76%,全国共有 24 个省份的畜禽养殖场(小区)和养殖专业户化学需氧量排放量占到农业源排放总量的 90%以上。

近年来,各地涌现出多种针对不同畜种、不同养殖规模的粪污处理模式,但真正大面积推广的经济高效的处理模式不多。一方面当前畜牧业传统分散的养殖方式仍占主体,生猪散养比重接近 60%,散养户大多在房前屋后饲养畜禽,散养密集区是形成面源污染的重要隐患;相当一部分规模养殖场户设施化装备水平低,粪污处理基础设施设备和工艺技术缺乏,环保意识不强,也是畜禽养殖污染的重要来源。另一方面粪污处理一次性投入大,运行成本昂贵,养殖场户望而却步。

整体来看目前畜禽养殖污染防治方面仍存在以下问题:

(1) 固体畜禽粪便综合利用率低

我国传统的堆沤发酵和近年来兴起的有机肥技术、沼气工程技术的推广,使畜禽固体粪便污染问题得到了一定程度的解决,但由于 80%规模化养殖场多集中在城市边缘,受土地消纳能力、运输与收集半径和收集方式的影响,综合利用率仍不高。

(2) 大中型养殖废水部分直接排放

近年来,虽然各地农业技术推广部门通过国家畜禽养殖污染防治技术规范 and 科学养殖技术,鼓励各养殖场使用干清粪工艺,对于小型的规模化养殖场废水的减量排放起到了积极的作用,但对于大中型养殖场,废水排放量仍然较大。由于养殖废水有机物含量高,常规的工业水处理方式处理成本大、难度高,以现在湿式发酵沼气工程技术处理又存在沼液排放量大、无法消纳等问题,因此养殖废水的治理仍然是畜禽养殖业污染防治的棘手问题。

(3) 恶臭气体的污染和治理技术没有引起足够重视

养殖场产生的恶臭气体,含有大量的氨、硫化物、甲烷等有毒有害成分,污染周围空气,危害饲养人员及周围居民身体健康,影响畜禽的正常生长,也严重影响了城乡的空气质量。

我国 90%的养殖场缺乏恶臭控制的系统设计,大部分为饲料添加剂和传统的草垫物理吸附法,后续粪污的恶臭处理技术还没有实际应用,效果较差。

(4) 对家畜尸体尚未开展妥善的处置,存在导致疫病的隐患

畜禽粪污及病死的家畜尸体,往往含有大量的病原微生物、寄生虫卵以及孳生的蚊蝇,会使环境中病源种类增多、菌量增大,出现病原菌和寄生虫的大量繁殖,造成人、畜传染病的蔓延,尤其是人畜共患疾病可能引发疫情,给人畜带来灾难性危害。目前,仍有部分病死的家畜尸体没有妥善的处理措施,存在着病疫传染隐患。

经调查,目前国内动物尸体大体有以下几种流向:

① 25 kg 以下的病死猪尸体仅有 20%被埋掉,40 kg 以上的病死猪尸体大多卖给个体屠

宰户宰杀。如此在市面上有些病死猪肉仍得以销售，泔水再返回农村喂猪。这种非法渠道虽经各地政府严厉打击，但在很多地方仍然屡禁不止，导致在一定区域内仍存在重大疫病隐患和风险。

② 城乡非法收购、屠宰、加工、销售动物尸体屡禁不止。部分规范化养猪场、养鸡场和养殖大户，每当猪禽疫病流行季节，常将动物尸体卖给屠宰、加工、销售动物尸体的专业户，这种方式危害极大，严重危害到食品安全和人民群众的身心健康。

③ 散养的动物尸体处理随意化。随着生活水平的提高，农民宰食病死畜禽的现象已不多见。他们往往将几十斤以上的病死猪卖给非法商贩宰杀，而将 10 kg 以下的死猪和零星病死鸡到处乱扔，严重污染周边水体、空气以及土壤环境。

1.2.2 国外畜禽养殖污染控制管理现状

自 20 世纪 50 年代起，大规模的集约化养殖在发达国家兴起，大型畜禽养殖场在城镇郊区建立，粪便和污水源源不断地从这些集约化畜禽养殖场中排放，但未得到合理处理和利用，导致了严重的环境污染。畜牧业发达的美国、欧盟及加拿大等国家，相继制定出一系列合理有效地管理措施，防止畜禽养殖污染。

在美国，高度规模化是美国畜禽养殖的一大特点，2005 年奶牛养殖场的规模大都超过 1000 头，80% 的生猪养殖场规模都在 1 000 头以上，其中 30% 超过 5 000 头；畜禽养殖机械化程度高，其喂食、清洁等全权全部交由机械完成；畜牧业快速发展的同时，环境保护的工作也很到位，1990 年针对 100 家牛场的调查中发现，有 75% 建设了人工粪池，73% 进行了水体治理，42% 进行了草场植树；充分发挥民间协会的力量，帮助政府推广环保计划，为农民提供信息和技术培训资助。实行点源和非点源结合是美国畜禽养殖的另一大特点，通过立法对养殖业的污染方式进行划分，设有专门的管理部门，对点源污染进行调控；政府通过各项污染防治计划、示范项目及生产者的综合素质教育等措施，对非点源层层把关，达到对养殖废物科学合理的利用；在环境保护方面形成了联邦、州和地方三级环境保护政策体系，并通过教育和培训提高各阶层养殖人员的生存竞争能力，为他们提供资金的支持，不仅解决了由于资金不足导致的经营中断，而且也提高了养殖者的积极性；通过农牧结合来防治养殖污染，在农场内部形成“饲草、饲料、肥料循环”的体系，合理利用废物以提高土壤的肥力，还解决了环境污染的问题。

欧盟是工业化最先起步的地区，由于在二战后过度追求经济效益，无科学的养殖计划、经营模式单一及过于集中放牧，导致环境污染的问题非常严重。在意识到环境保护的重要性后，欧盟出台了一系列政治法规，如实施了共同农业政策(CAP)和良好农业规范(GAP)，在提高农民生活质量的同时，也改善了地方环境质量。在欧盟颁布的《饮用水指令》(1980)、《硝酸盐指令》(1991)和《农业环境条例》(1992)中，确定了饮用水中污染物的浓度标准，要求各成员国必须采取行动控制养殖废物产生的污染；采取经济奖励，鼓励粗放式放牧，通过减少放牧量、养殖适宜的品种、减少化肥的使用量来减轻环境的负担。欧盟对于畜禽养殖污染的治理态度是一致的，但欧盟各个国家在控制污染的过程中所实施的具体策略是有差异的，下面简要介绍荷兰和丹麦两个欧盟国家是如何防治畜禽养殖污染的。

荷兰作为欧盟畜禽养殖产业及环保政策的主要决策参与者，在污染防治、清洁生产、循环发展政策管理上形成了先进的理念和经验。从 20 世纪七八十年代起，荷兰陆续颁布

实施了一系列法律法规,有效遏制了环境的恶化。鞭策性监管政策覆盖在动物生产、物质流通、治污设施、施肥控制等各个方面,明确限定了每单位动物每年的氨气最大排放量,并要求粪污存储设施必须密封以阻止氨气泄露;减少动物粪便贮存流失量,在适当耕作季节施粪肥;制定氮肥施入标准,减少施肥操作损失量,合理供给作物的养分。推行积极稳健的引导性财税政策,运用财政资金和补贴支持来刺激研究机构、企业和高校的研究积极性,使得创新技术和优质高效环保管理得以发展和实施。强化落实“以地定畜、种养结合”的畜禽养殖污染防治理念,以因地制宜的养殖方式,在一定区域内实现了种养平衡。优化废弃物中营养物质的综合利用技术,结合精细化管理和全程化的管控手段,实现高产、高效、低污染的目标。

丹麦除了遵守欧盟出台的各种政策法规外,还深度规范了本国的管理措施和执行标准。严格的法律法规约束手段和多种政策鼓励措施相结合,对畜禽养殖废弃物进行管理。由于不同的土壤对有机物的消纳额度不同,不同作物生长过程不同阶段需要的养分也不同,所以丹麦对于粪便的施用量和时间进行了严格的限定。中小型畜禽养殖场将种植业和养殖业有机结合,其中作物肥料和灌溉用水来自无害化处理后的畜禽粪便和冲洗废水,这在减少经营成本的同时,保持了种养平衡。在最初的农场规划中,为保证畜禽排泄物远离水源,要对土壤、坡度及环境风险等做细致的评估规划;运用多元化的管理渠道,注重在源头控制废弃物的排放,可采取改变原料或通过先进技术达到减排的效果。在生态补偿机制方面,尊重农民的意愿,提供丰厚的经济补贴,让农民不仅愿意配合政府,还能够积极响应政府的号召。

在加拿大,虽然其土地资源丰厚,但其畜禽饲养量极少,对土地的负担较轻。长期以来,随着相关法律法规和技术管理的不断完善,在政府的财政鼓励及农牧协会的大力支持和引导下,加拿大对环境的保护意识愈发强烈。加拿大主要通过立法对畜禽养殖业的污染进行防治和管理。各省都制定了畜禽养殖环境管理相关的法律和技术规范,畜禽养殖场的选址及建设、畜禽粪便的储存与土地使用必须严格按相应要求执行。例如,拟建或扩建养殖场必须向市政主管部门提出申请,主管部门根据其规模和周边环境状况,确定最小间距,并审核是否符合要求。农场主必须制定对畜禽粪便处理的营养管理计划。畜禽粪便的土地消化利用是主要的污染治理方法,养殖过程产生的污水不得排放到河流中,以减少污水处理资金的投入。政府还会每年检查养殖场深井水水样的粪便污染情况,有违规或是造成环境污染的,地方环境保护部门将依据《联邦渔业法》及本省的有关法规条款对其进行处罚。加拿大也与其他发达国家一样,禁止畜禽排泄物流入水体中,实行循环种养模式,减少环境污染及不必要的资金投入。

从国外畜禽养殖污染控制管理现状可以看出,对畜禽粪便环境污染的管控主要从以下两方面进行:

一是发达国家普遍建立起配套的政策标准及各项经济刺激措施,通过立法及政策加以干预和限制,进行规范化管理。

二是对规模化的畜禽养殖场必须有一定的污染处理设施,做到达标排放,或者进入市政污水处理厂进行处理,畜禽养殖场支付污水厂污水处理费用。

2 主要技术发展情况

2.1 主要技术发展情况

畜禽养殖污染治理中应用较为成熟的技术主要包括粪便处理技术、污水处理技术及恶臭防治技术三方面。粪便处理技术主要有干燥、焚烧、低等动物处理、堆肥、厌氧发酵等，污水处理技术主要有好氧处理、厌氧处理、自然处理、消毒等，恶臭防治技术主要有物理法、化学法和生物法等。

从处理目标来分，畜禽养殖业污染防治技术可以分为两大类，一类为处理达标排放技术，另一类则为综合利用技术。

2.1.1 处理达标排放技术

目前常采用的处理达标排放技术有自然生物处理法、好氧处理法、厌氧处理法、厌氧-好氧联合处理法。

(1) 自然生物处理法

利用天然的水体和土壤中的微生物来净化废水的方法称自然生物处理法。主要有水体净化法和土壤净化法两类。属于前者的有氧化塘（好氧塘、兼性塘、厌氧塘）和养殖塘；属于后者的有土地处理（慢速渗滤、快速渗滤、地面漫流）和人工湿地等。

自然生物处理法投资小，动力消耗少，对难生化降解的有机物、氮磷等营养和细菌的去除率都高于常规二级处理，其建设费用和处理成本比二级处理厂低得多。此外，在一定条件下，氧化塘和污水灌溉能对废水资源进行利用，实现污水资源化。该方法的缺点是占地面积大，净化效率相对较低。在附近有废弃的沟塘、滩涂可供利用时，应尽量考虑采用此类方法。

污水灌溉农田，也是一种污水的自然生物处理法，是污水在土壤中的自净过程，具有农业上和污水处理上的双重目的和意义。但污灌时要对灌溉水量和浓度进行控制，否则污水会污染土壤和地下水。

(2) 好氧生物处理法

好氧生物处理法可分为天然和人工两类。天然好氧生物处理法有氧化塘和土地处理等。人工条件下的好氧生物处理方法采取人工强化措施来净化废水，该方法主要有活性污泥和生物滤池、生物转盘、生物接触氧化、序批式活性污泥（SBR）、A/O 及氧化沟等。

接触氧化和生物转盘的处理效果好于活性污泥；生物滤池的处理效果也很好，但易于堵塞。氧化沟、SBR、A/O 均属于改进的活性污泥法。氧化沟出水水质好、产泥量少，可对污水进行脱氮处理，但它的 BOD 负荷小、处理水量小、占地面积大、运行费用高；A/O 法是一种具有去除 BOD 和脱氮双重作用的活性污泥处理工艺。规模化养猪场日排放污水量很大，有机物浓度很高，可选择接触氧化、生物转盘等 BOD 负荷较大的好氧处理工艺。

(3) 厌氧处理法

厌氧技术在养殖场粪污处理领域中是较为常用的。对于养殖场高浓度的有机废水，必须采用厌氧消化工艺，才能将可溶性有机物大量去除（去除率可达 85%~90%），而且可

杀死传染病菌,有利于防疫。

目前用于处理养殖场粪污的厌氧工艺很多,其中较为常用的有以下几种:

① 厌氧滤器(AF)。1972年国外开始在生产上应用,我国于70年末期开始引进研究并进行了改进。其沼气产率达 $3.4\text{ m}^3/\text{m}^3\cdot\text{d}$,甲烷含量可达65%。

② 上流式厌氧污泥床(UASB)。1977年在国外投入使用。1983年北京市环境保护科学研究院与国内其他单位进行了合作研究,并在有关技术指标上进行了改进。有机污水的COD去除率可达80%~90%。

③ 污泥床滤器(UBF)。为UASB和AF的结合,具有水力停留时间短、产气率高,COD去除率高等优点。

④ 两段厌氧消化法。两段厌氧消化法主要特点是把沼气发酵过程分为酸化和甲烷化两个阶段,并分别在两个消化器内进行,缩短了工艺整体的水力停留时间,提高了系统产气率。

⑤ 升流式污泥床反应器(USR)。为厌氧消化器的一种,具有效率高、工艺简单等优点。目前已常被用于猪粪废水和鸡粪废水的处置。其装置产气率可达 $4\text{ m}^3/\text{m}^3\cdot\text{d}$ 。COD去除率达80%以上。

上述工艺的特点在于消化器内滞留了大量的厌氧流活性污泥,这些污泥具有极好的沉降性能和很好的生物活性,提高了消化器内的负荷和产气率。国内养殖场主要采用其中的UASB及USR作为养殖场粪水处理的核心工艺。

(4) 厌氧-好氧联合处理法

一般说,活性污泥好氧处理法,其COD、BOD₅、SS去除率较高,可达到排放标准,但N、P去除率低,且工程投资大,运行费用高;自然生物处理法,其COD、BOD、SS、N、P去除率高,可达到排放标准,且成本低,但占地面积太大,周期太长,在土地紧缺的地方难以推广;厌氧生物法可处理高浓度有机质的污水,自身耗能少,运行费用低,且产生能源,但高浓度有机污水经厌氧处理后,往往水中的BOD₅尚有500~1000 mg/L,甚至更多,难以达到现行的排放标准。此外,在厌氧处理过程中,有机氮转化为氨氮,硫化物转化为硫化氢,使处理后的污水仍具有一定的臭味,需要做进一步的好氧生物处理。

而厌氧-好氧联合处理,既克服了好氧处理能耗大与土地面积紧缺的不足,又克服了厌氧处理达不到要求的缺陷,具有投资少、运行费用低、净化效果好、能源环境综合效益高等优点,特别适合产生高浓度有机废水的畜禽养殖场的污水处理。

根据废水资源化利用途径,厌氧-好氧工艺可有多种组合形式,如经厌氧处理后的污水可作为农田液肥、农田灌溉用水和水产养殖肥水。在没有上述利用条件及水资源紧缺的情况下,经深度处理(过滤等)和严格消毒后,可作为畜禽场清洗用水。常见的工艺流程见图3。

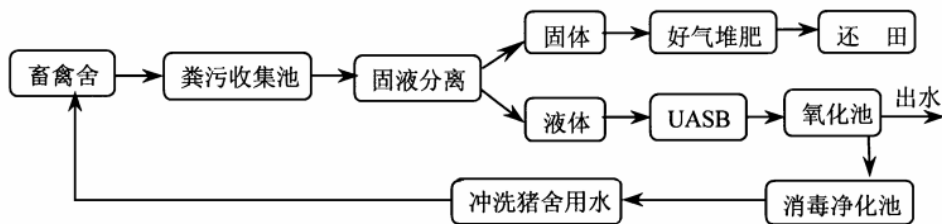


图3 厌氧-好氧联合处理法常见工艺

总之,规模化养殖场采用高效厌氧反应器作为厌氧处理单元,COD去除率可达80%~90%,并采用活性污泥法或生物接触氧化法作为好氧处理单元,COD除率可达50%~60%,最后采用氧化塘等作为最终出水修饰单元,其出水不仅可用于灌溉、养殖,而且也能达到排放标准。

2.1.2 综合利用技术

近年来,畜禽养殖有机废弃物综合利用技术研究成为了畜禽养殖污染治理行业的研究焦点,受到了研究学者的广泛关注,同时也取得了丰硕的研究成果,建立了一批示范工程,推动着行业的快速发展。

目前畜禽养殖有机废弃物综合利用研究方向主要包括:畜禽粪便高温堆肥化处理技术;禽畜粪便高效肥化利用技术;养殖废弃物厌氧发酵综合利用配套技术;畜禽粪便干发酵技术;畜禽粪便热电气肥联产技术;猪场粪物生物发酵舍零排放处理技术。

(1) 畜禽粪便高温堆肥化处理技术

畜禽粪便高温堆肥化处理技术是指在微生物作用下通过高温发酵使有机物矿质腐殖化和无害化而变成腐熟肥料的过程,在微生物分解有机质过程中,生成大量可被植物吸收的有效氮、磷、钾等化合物,且又合成土壤肥力重要活性物质腐殖质。

该技术能够杀灭病原菌、虫卵及杂草种子,同时快速地将有机质降解为稳定的腐殖质,转化为有机肥,解决了发酵周期长、处理不彻底的难题,实现畜禽粪便无害化和资源化处理。目前该技术处于技术推广阶段。国内主要研究单位:东北农业大学、中国农业科学院土壤肥料研究所、北京市环境保护科学研究院等。

(2) 禽畜粪便高效肥化利用技术

禽畜粪便高效肥化利用技术是指在畜禽粪便中接种微生物复合菌剂,利用生化工艺和微生物技术,使有益微生物迅速繁殖,快速分解粪便和秸秆中有机质,将大分子物质变为小分子物质,产生生物热能,抑制或杀死病菌、虫卵等有害生物;并在矿质化和腐殖质化过程中,释放出氮磷钾和微量元素等有效养分;吸收、分解恶臭和有害物质。而后,在其中加入适量无机营养、腐殖酸氮肥增效剂及磷钾螯合剂等,实现各种营养物质的均衡,制成高效无公害的生物有机肥。

以蚯蚓生物消解床处理畜禽粪便技术为例,具体的工艺流程如下:畜禽粪尿水分流分贮→加入蚯蚓→商品蚓养殖→蚓粪→晾干→粉碎→分筛去杂→蚓粪生物有机肥+氮磷钾化肥→混合→制粒→烘干→包装(生物有机-无机复混肥)蚯蚓→提取蚯蚓激酶→蚯蚓浆或其冰冻粉→饲料→特种水产养殖。

每亩蚯蚓生物工程床可年消解3000头猪粪,或相当量的有机固废(220~250吨)。亩一次性固定资产投资不超过2000元,可以长期使用。日常管理中无需特殊设备,每亩仅需0.2个劳动力。按照年亩产蚯蚓3吨以上(1万元/吨),蚓粪80吨(300元/吨)以上,每年经济效益可达4万~5万元/亩。该项技术目前处于示范阶段,国内主要研究单位:扬州大学等。

(3) 养殖废弃物厌氧发酵综合利用配套技术

养殖废弃物农牧循环利用工艺:养殖场的粪污经过集污池内设机械格栅除去大的悬浮物及固形物、漂浮物后,进入水解酸化池内混合均匀,然后通过计量池内的进料泵输送到

厌氧发酵罐,发酵产气;沼渣通过固液分离后,固体沼渣生产有机肥,上清液则回流到水解酸化池,沼气经过处理后,用于生活用气或发电。

通过工程验证,利用工程和生物技术使污水达标排放,猪粪转化为有机肥投入农田,实现了养殖场废弃物综合利用,处理后的污水能达到 $\text{COD} \leq 100 \text{ mg/L}$, 氨氮 $\leq 15 \text{ mg/L}$ 。该项技术目前处于推广应用阶段,国内主要研究单位:杭州能源环境工程有限公司、青岛天人环境股份有限公司、安徽省农业科学院。

(4) 畜禽粪便干发酵技术

畜禽粪便干发酵技术又称高固体厌氧消化,是指总固体含量大约在 20%或更高的情况下进行发酵的一种技术,此技术反应器单位体积的需水量低,产气量高。

研究表明采用单相干发酵工艺,操作简单,能耗低,无二次污染,维护费用低,发酵周期 30 天,容积产气率大于 $1.0 \text{ m}^3/\text{m}^3$,净化后甲烷含量大于 97%。该项技术目前处于示范阶段,国内主要研究单位:青岛天人环境股份有限公司。

(5) 畜禽粪便热电气肥联产技术

目前国内已成功研制出畜禽粪便热电气肥联产技术,可全自动粪便收集系统,实现粪便自动收集、地下运输,有效降低粪便运输过程对环境的污染,高浓度发酵、热电气肥联产、余热回收,满足发酵罐保温、供暖等需求,热烟气用于沼渣干燥生产有机肥,最大限度利用了沼气热能。

工程验证了通过采用所研制的气化多联产的原料干燥系统、自动控制系统及气化炉, $1.5 \sim 2 \text{ kg}$ 的干燥畜禽粪便可发一度电。该项技术目前处于示范阶段,国内主要研究单位:杭州能源环境工程有限公司、青岛天人环境股份有限公司、南京林业大学。

(6) 猪场生物发酵舍零排放处理技术

生物发酵舍零排放养猪技术是根据微生态理论和生物发酵理论,将菌种(桔草菌和酵母菌)锯木屑谷壳米糠生猪粪按一定比例搅拌均匀,并调整水分堆积发酵,形成以有益菌为强势菌的生物发酵垫料,铺垫猪舍 60~100 厘米,使猪舍中病原菌得以抑制,保证了生猪的健康生长。发酵垫料中的有益菌以生猪粪尿为营养保持运行,通过调节养殖密度,使生猪粪尿得到充分分解并转化为水分挥发掉,达到猪舍无臭无排放的环保要求,猪舍垫料一次投入,可连续使用 3 年不用更换。

养殖期成本分析(以出栏 1000 头为例)每出栏一头猪所需成本见表 7,此外垫料转化有机肥增加收益每头猪 108 元,与传统技术相比,每头猪增加收益 257.9 元,以 1000 头为例,增加收益 25.79 万元。该项技术目前处于推广应用阶段,国内主要研究单位:福建洛东生物技术有限公司。

表 7 养殖期成本分析

传统舍		发酵舍	
投资项目	金额/元	投资项目	金额/元
饲料费用	920	饲料费用	837.2
饲料添加剂	0	饲料添加剂	60
医药费	50	医药费	20
人工费	40	人工费	20

传统舍		发酵舍	
投资项目	金额/元	投资项目	金额/元
水电费	15	水电费	7
死淘率(8%~10%)	0	死淘率(3%~5%)	-51.8
污水处理设施运转和冬季取暖费	10	污水处理设施运转和冬季取暖费	0
合计	1 035	合计	892.4

(6) 示范工程简介

① 中粮集团江苏金东台大型猪粪沼气工程

中粮肉食(江苏)有限公司金东台农场大型沼气工程坐落于江苏省东台市新曹镇金东台农场该养殖场采用水泡粪的清粪工艺,沼气工程设计处理粪污 1284t/d(TS 浓度 5.5%)和养殖场内经过无害化处理的病死猪,日产生沼气 17 000 m³/d,发电 34 000 kW h/d,减排温室气体(CO₂当量)6×10⁴t/d,相当于节约标准煤 4700t/a,目前是全国最大的猪粪沼气发电工程。该项目所产沼液全部用于周边万亩盐碱地的灌溉与改良水产养殖和水稻种植等。

主要工艺原理:养殖场粪污通过明渠进入匀浆池,经过无害化处理后的病死猪料液通过管道和泵,泵入匀浆池;匀浆池物料经过螺杆进料泵入厌氧发酵罐,厌氧发酵为 38℃ 恒温发酵;发酵产生的沼气通过生物脱硫系统去除 H₂S 进入沼气储气柜,物料发酵完后进入固液分离机处理,最终产生的沼渣用作固体有机肥,沼液用于周边农业灌溉和盐碱地改良沼气主要用于上网发电,多余沼气用作锅炉燃烧,发电机产生的余热和沼气锅炉产生的热水收集在热水储罐,热水用作匀浆池和厌氧发酵物料的增温,产生的蒸汽用于病死猪无害化处理。

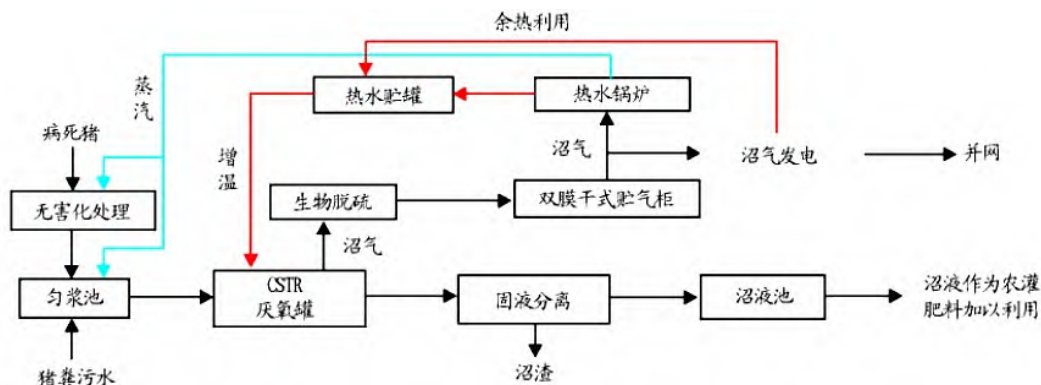


图4 中粮集团江苏金东台大型猪粪沼气工程工艺

② 金锣通辽高寒地区大型养猪场污染治理及资源化利用工程

高寒地区具有自身独特的特点:水量大——单独用生态型工艺投资高、沼液量大、不达标;浓度高——单独用环保型工艺成本高、产气量低、负效益;高寒地区——保温、加热、防冻(沼气管、溢流管)等问题。

针对上述特征,该项目对原料浓稀分离后分别采用 CSTR 和两级 UASB 厌氧发酵工艺。具体工艺如下:

水泡粪经格栅渠去除大块杂质后进入集污池,集污池内物料由泵提升至调配池上的水力筛,通过筛分使物料浓稀分离,筛上物(TS 约 8%)落入调配池作为 CSTR 厌氧发酵的原料,筛下物(污水)自流入缓冲沉淀池,由泵提升至 UASB 厌氧反应器进行厌氧发酵,USAB 设置为两级,每级厌氧发酵时间均为 2 天。筛上物(浓粪污)在 CSTR 中厌氧发酵时间为 25 天,发酵后物料进入沼渣浓缩池。厌氧产生的沼气暂时储存在柔性双膜气柜中,经脱水、脱硫后供沼气发电机使用。沼渣浓缩池中的物料经立毛纤维压滤机脱水,产生的沼渣作为有机肥加工原料,分离的沼液再经絮凝气浮和石英砂过滤后 $SS \leq 150 \text{ mg/L}$,作为底肥施用于农田。

考虑到项目所在地的气候特点,从保温节能、运行维护等方面考虑,将预处理设备及构筑物设置的预处理间内,并在冬季对房间采暖,以保障预处理设备设施的正常运转。罐体采用 300 mm 厚岩棉保温,并在罐体内设置加热盘管并在罐外设置热储罐,通过盘管内热水的循环对管内物料均匀加热,使罐内反应温度在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 范围内波动,以确保厌氧发酵稳系统稳定运行和产气。

工艺流程图如下图所示。

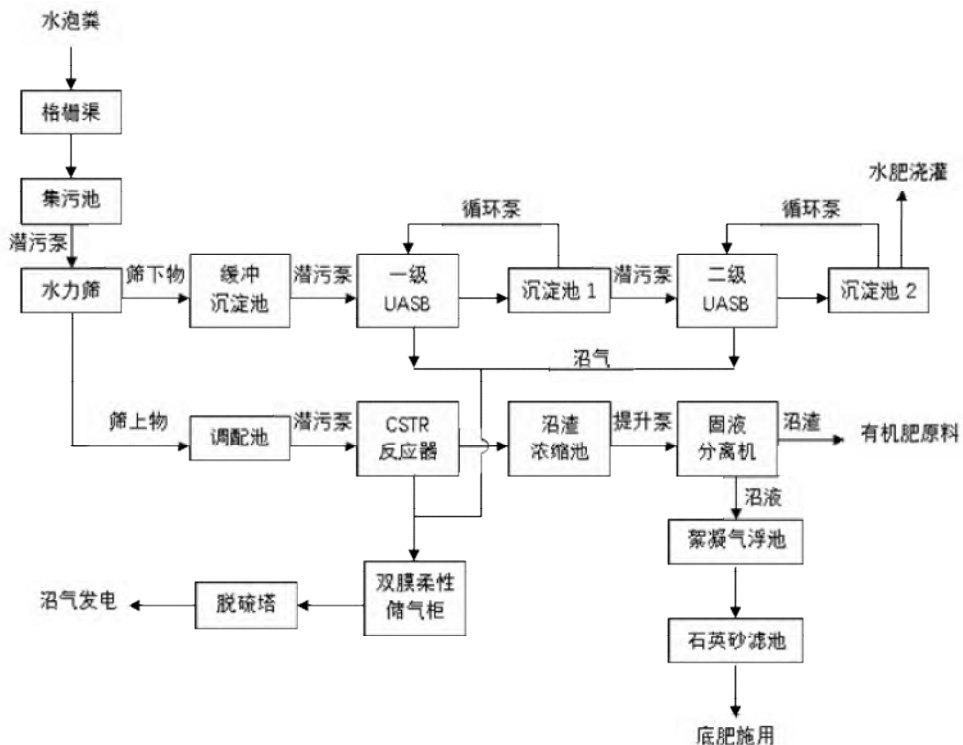


图 5 金锣通辽高寒地区大型养猪场污染治理及资源化利用工程工艺

该工程建成达产后,每天可产生沼气 20400 m^3 ,年产沼气 734.4 万 m^3 ,经脱水、脱硫后输送至沼气发电机进行发电,沼气的发电能力按 1.5 kWh/m^3 计,则年发电量为 1101.6 万 kWh ,以当地电价 0.78 元/kWh 估算,年可实现收入 859.25 万元 。此外,浓物料经 CSTR

厌氧发酵后的物料经脱水后得到沼渣约 38t/d，作为有机肥原料；分离出的沼液 623 m³/d，经进一步处理后，作为底肥施用于周边农田。稀物料经两级 UASB 厌氧发酵后出水 2715 m³/d，作为液态水肥用于周边农田浇灌，将实现有机废弃物的高值化利用。

③ 青岛即墨移风干发酵示范工程

青岛即墨移风干发酵示范工程由青岛天人环境股份有限公司打造，日处理规模为 10 吨，反应器为 100 m³ 卧式滚筒式干发酵厌氧反应器，原料为畜禽养殖粪污、生活废弃生物质和青贮秸秆等复合原料，发酵条件：中温 35℃，采用好氧发酵自升温，以达到节能的目的。与湿发酵相比，它具有含水量较少、反应过程中不会产生污水，运行能耗低、能源效率高，发酵后的剩余物可直接作为有机肥利用等优点。与研究表明同等规模湿式厌氧发酵相比，干发酵能耗降低 30%。

主要的工艺原理如下：

原料经好氧堆制自升温处理后由装载机投入混料仓，按照比例接种发酵后料液（沼液）于混料仓中混合，由注料一体机输送至干式发酵罐进行发酵。反应生成的沼气经凝水器后进入气柜暂存备用，发酵沼渣由柱塞式出料泵输送至沼渣暂存池备用复混或送至有机肥车间生产有机肥，具体流程如图 2.3 所示。

物料经 1~2d 好氧发酵预升温，一方面可以将有机大分子物质分解为短碳链等易利用的小分子有机物，提高后续厌氧微生物的利用效率，同时还能够促进微生物的富集和生长，有助于提高系统抗酸碱变化能力；另一方面，在有效减少进料过程中温度损失的同时可以增加厌氧发酵的温度。本工艺充分结合好氧发酵工艺升温快、传质效果好以及干式厌氧发酵工艺发酵残余物含水率低的优势，二者工艺衔接度极高，进出料系统和干式发酵系统通过好氧-厌氧的有序链接，充分实现有机废弃物的高值化利用。

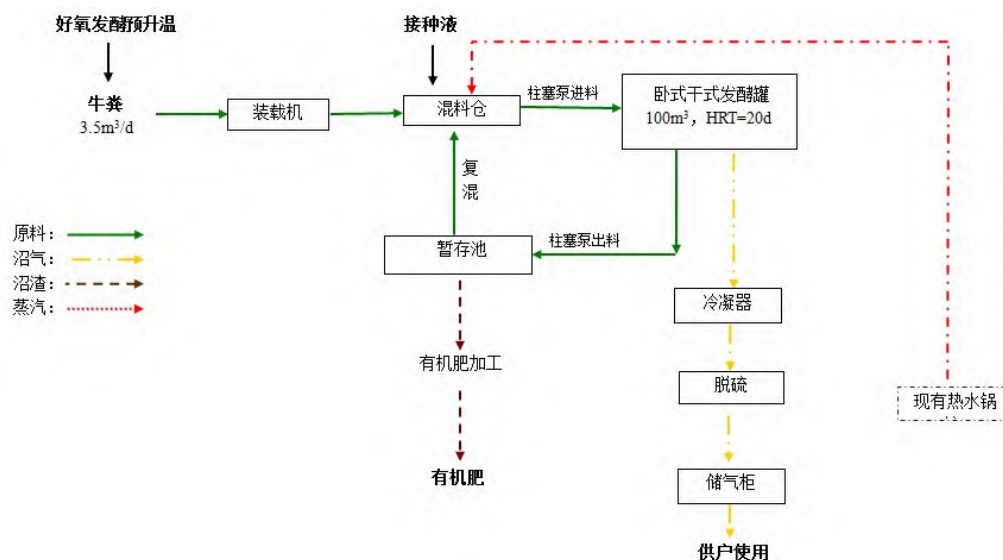


图 6 青岛即墨移风干法厌氧发酵工艺

2.2 我国自有知识产权技术的竞争力评价

2.2.1 国外畜禽粪便治理行业知识产权情况

根据江西省科学院科技战略研究所调查统计数据,截至至2014年8月,德国、美国、法国、荷兰、韩国等主要国家和地区的畜禽粪污治理专利获得1595件。



图7 国外畜禽粪便授权专利发展趋势

根据国外畜禽粪便领域授权专利总体态势主要可以分为以下3个阶段:

(1) 萌芽期(1908—1975年),该阶段授权量较少,国外大力发展畜禽养殖业,对畜禽粪便污染问题尚未有深刻认识;

(2) 技术成长期(1976—1991年),从1976年开始,每年授权量突破10项且发展迅速,并于1991年达到了76项。该阶段授权量大幅增加主要源于国外大力推进了规模化养殖业发展,导致畜禽粪便问题加剧,引发社会的广泛关注;

(3) 技术成熟期(1992—2013年),从1992年起,专利授权量逐年减小,表明了国外畜禽粪便处理技术较为成熟。

2.2.2 国内畜禽粪便治理行业知识产权情况

近年来我国自有知识产权竞争力逐渐增强。根据江西省科学院科技战略研究所调查统计,自1985年开始畜禽粪便专利授权量逐年增加,特别是2006年以后,专利申请量突破30项,并在2010年达到66项,截至至2014年畜禽粪污治理相关专利申请数为367件。根据国内专利申请法律状态分析,目前这些专利已有33.1%被授权,撤回和驳回专利数达到22.9%,在审专利30.8%。

通过对专利申请人和地区分析可知,北京市专利申请人数最多,占据17%,而江苏省和山东省以12%、7%分别位于第2位、第3位,但从申请人分析看发现,江西省的南昌大学以17项授权专利位于首位。多数申请人都是从1993年左右开始专利被授权,南昌大学虽然起步较晚,但发展迅速,充分显示了南昌大学在畜禽粪便处理上领先的技术

实力。

通过 IPC 分析可知, 申请专利中大都用于粪便污水处理 (C02F), 并且主要集中于厌氧处理、厌氧消化工艺、肥料制作设备以及粪尿清除等领域, 表 8 给出了专利数量在 10 件以上的 7 个技术领域的具体情况。

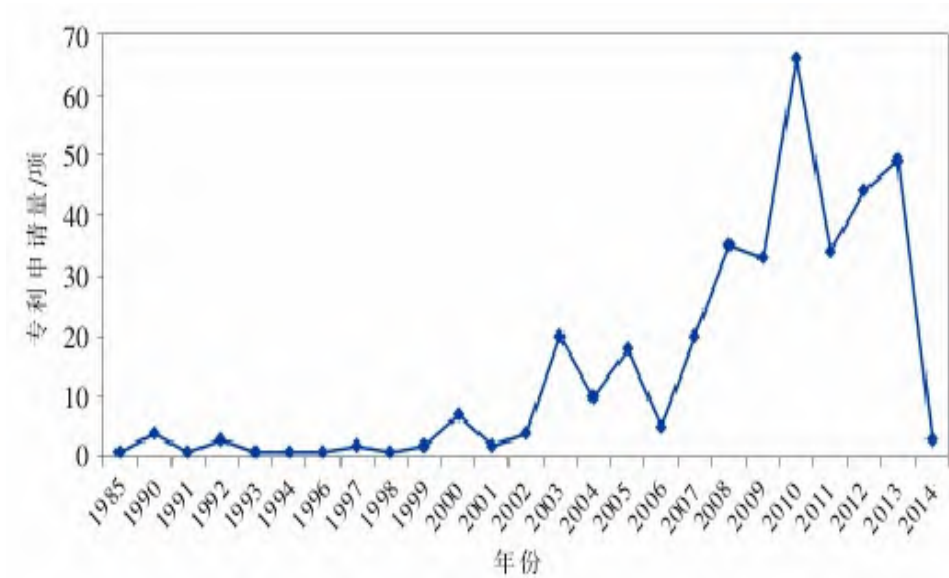


图 8 国内畜禽粪便专利申请发展趋势

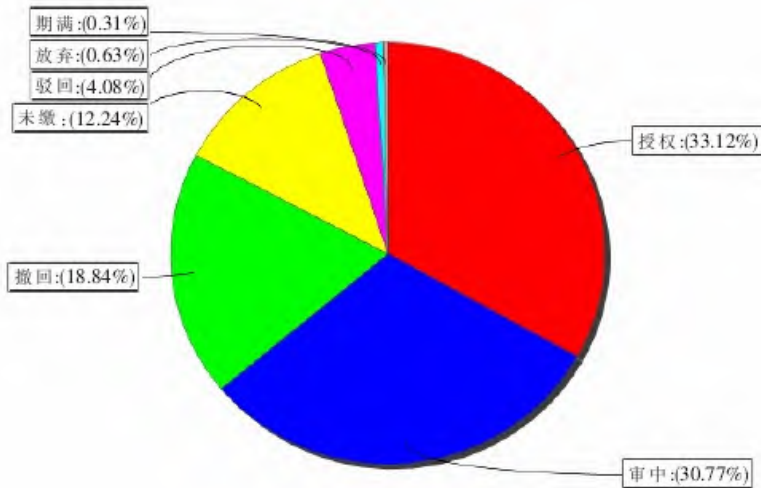


图 9 国内专利申请法律状态分析

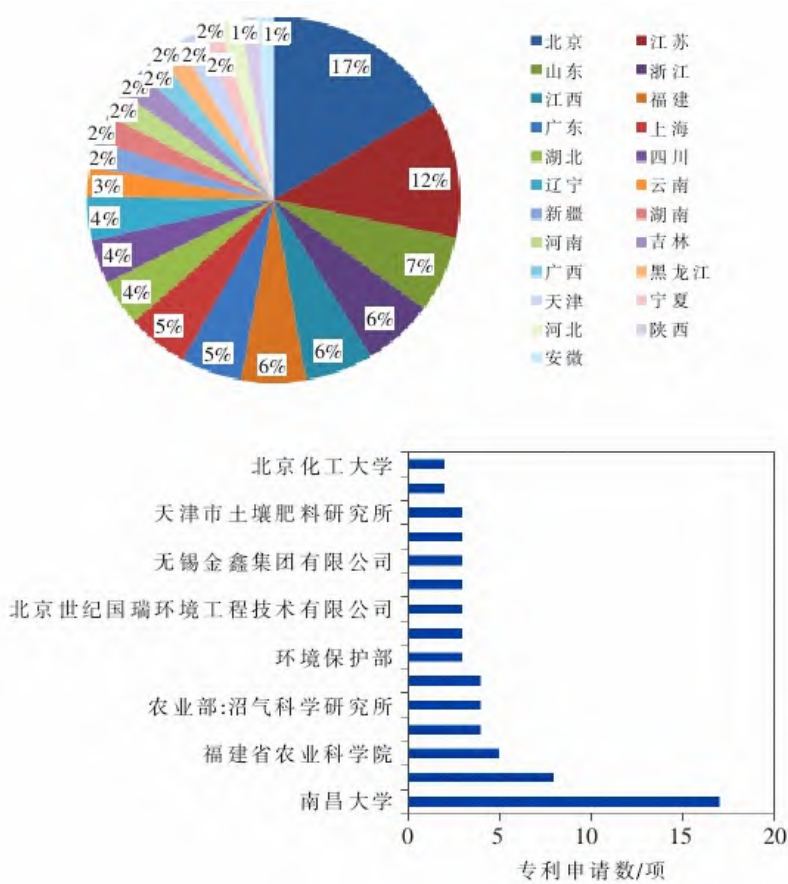


图 10 国内授权专利申请人及其地区分析

表 8 专利所属主要技术领域分析

序号	数量/件	IPC 专利号	内容
1	55	C02F-009/14	多级处理中至少有一个生物处理步骤
2	26	C02F-011/04	厌氧处理
3	25	C12M-001/107	收集发酵气体
4	16	C05F-003/06	制造用设备
5	16	C05F-017/02	设备
6	16	C02F-003/28	厌氧消化工艺
7	12	A01K-001/01	粪尿的清除

由此可见,与国外相比我国目前在粪便污水处理技术领域自有知识产权竞争力逐渐增强,但其他领域相对较弱,应遵循资源化,加强畜禽粪便的资源化利用知识产权技术竞争力。

3 主要问题分析

(1) 畜禽养殖污染设备研发及产业化建设尚不能满足国家畜禽污染控制的需求

原国家环境保护总局于 2001 年颁布了专门的管理法规和标准，已将畜禽养殖业环境管理作为农村环境保护的重中之重，纳入法制化轨道。但从发展水平和产业特征看，我国目前尚未形成畜禽养殖污染防治和资源化处理装备标准化、规模化的产业推广能力，产业链尚不够完善。畜禽养殖行业环境管理必须采取能实现农业发展与环境保护双赢的一体化模式，实现畜禽污染治理成本内部化，使污染治理行为本身产生效益，弥补成本甚至带来收益，必须走污染治理产业化的道路。通过有效地产业化手段，将治理成本转化为经济投入，将治理投资转化为产业发展投资，只有这样才能将被动的环境保护行为转化为主动的环境保护事业，使我国畜产品保持持续的国际竞争力和发展优势。因此畜禽养殖污染治理的产业化是推进畜禽养殖环境保护事业的开展和实现畜牧业可持续发展的需要，也是农村经济与农村环境保护一体化发展的必然要求。

在污染综合治理和资源化利用技术层面，我国尚缺乏具有示范意义的、完善的实用技术，污染治理和末端利用模式多种多样，污染治理与资源利用效果俱佳的技术路线和模式尚不够成熟；从环境治理目的出发的设计和建造技术标准 and 规范尚不够完善；粪污治理和资源化利用的设备生产和施工质量验收尚没有对应的国家标准，与德国等发达国家相比，在装备制造、工程监管、运行监管等方面的标准体系建设相对滞后。

(2) 特大型养殖场问题相对突出，技术难度较大，核心技术和关键设备有待进一步研究开发

以中粮集团、双汇集团、温氏集团、金锣集团等大型和特大型养殖企业为例，规模化养殖数量众多，部分养殖场集中养殖量达到 15 万头乃至 20 万头以上，饲养密度高，加上多采用水泡粪的清粪方式，因而产生的粪便和污水数量巨大、浓度高，且难降解有机物多，往往难有大量的农田和水体可以承载消纳以及稀释扩散，因此造成污染的程度大，且技术上处理达标和扩散排放的难度和风险也非常大。另一方面，占我国养殖量大多数的分散养殖场（户）的污染治理问题仍然十分突出，大部分分散养殖粪便无法集中处理，造成环境面源污染的问题尚未得到有效遏制，研究适合的粪便收集系统，实现散户粪便统一收集，统一处理，是治理畜禽养殖废弃物的难点之一。

(3) 分散养殖废弃物资源化利用模式和污染控制区域解决方案缺失

目前，我国集约化养殖废弃物污染已得到高度重视，但占畜禽废弃物总排放量的 50% 以上的分散养殖废弃物没有得到足够关注和有效治理。因此要想实现环境治理的根本性好转，还必须系统地解决集约化和分散养殖畜禽废弃物的无害化和资源化综合利用问题。

部分发达国家在畜禽污染区域控制模式上已比较完善，采取了区域禁止模式、区域养殖规模限制模式、区域达标排放总量控制模式、区域种养结合控制模式等。而我国在畜禽养殖污染控制区域解决方案上的研究极为薄弱，尚未形成成熟的模式。由于我国地域辽阔，区域环境条件（不同自然生态背景和不同社会经济发展背景）差异很大，从而决定了其废弃物的环境容量及环境承载力差异均很大。因此，根据不同类型区域畜禽养殖污染环境容量或环境承载力确定畜禽养殖区域污染控制模式，并实施相应管理工具，将有利于我国畜

禽养殖污染控制与宏观管理。

(4) 畜禽养殖废弃物资源化利用法律法规、标准规范等基础制度建设滞后

随着对畜禽养殖废弃物资源化利用的重视,各类技术如雨后春笋般涌现,有机肥使用存在盲目性,商品有机肥行业生产则呈现无序性,致使畜禽养殖废弃物资源化利用法律法规、标准规范等基础制度建设滞后的问题凸显。同时,政府激励政策和管理机制缺失,资金投入力度低,也对畜禽废物污染“减量化、无害化和资源化”目标的实现增加了难度。如何尽快解决规模化畜禽养殖废弃物综合利用及污染防治技术的规范化、标准化,使之真正满足产业化发展的需要,是目前产业化方面所面临的主要问题。然而,目前仍有畜禽粪便未经无害化处理而直接农用,商品有机肥的大部分生产企业普遍没有进行严格的生物发酵和无害化处理,有害微生物和重金属等普遍超标。就现有的标准体系来看,虽然环境保护、农业等部门制定已发布畜禽养殖污染的相关排放标准和防治技术规范,但是畜禽废物的综合利用标准几乎空白,农业利用标准尚未制定,畜禽废物收集、处理和利用远远未达到标准化、规范化和系统化。

4 建议

(1) 未来 3-5 年应重点和优先发展的领域、技术

① 研究沼气、沼渣、沼液利用技术途径,提高沼气转化率、沼气附加值,提高其商品化率;研究沼液沼肥的深加工工艺和装备,实现沼肥商品化;解决现有沼气工程存在的沼液排放量大,后续处理难,沼液沼渣利用不充分等问题。

② 发展以“四位一体”模式和“能源—环境工程”技术为代表的生物质资源综合开发技术。重点包括:进一步提高生物质能转换技术的效率、生物质能发电技术、生物质供热技术及装置、生物质热电联供技术以及与上述技术相关的配套技术及设备等。

③ 发展高效的厌氧联合消化沼气工程技术,进行全方位的系统优化研究,解决目前沼气工程存在的产气率低、效益差、运行不稳定、自动化程度低等问题。

④ 引进和消化国外的生物除臭技术,对菌种和菌剂选择和组合,培育出脱臭能力更强、使用范围更广的高效菌株,提高厌氧发酵工艺的稳定性和抗干扰性。

⑤ 研究畜禽养殖污染信息化管理系统,及时发布环境污染风险预警,开发全国范围内的畜牧业环境污染风险预警系统。

⑥ 病死家畜尸体的安全卫生处置及高温消毒技术。

(2) 加强畜牧业污染防治技术示范和推广

以污染防治技术的经济适用性为重点,根据各地污染治理的实践,积极开展畜禽养殖污染防治技术筛选和评估,总结适于某一地区的污染防治的技术模式;选取建设成本低、运行费用低和易于管理维护的畜禽养殖污染防治技术模式,根据各地的实际情况,建设一批技术示范点,逐步摸索出有效地技术和管理模式,为技术推广提供经验;建立相应的畜禽养殖污染防治技术推广与服务体系,定期组织专家和技术人员,开展污染防治科技下乡活动,指导畜禽养殖场采用适宜技术开展污染防治。

此外,通过户外媒体、电视报纸、现场授课等宣传方式,加大生物有机肥的使用率,同时对使用生物有机肥的种植户,给予一定的政策性补贴,使生物有机肥最大限度地

业、林业生产中得到直接利用，降低化肥和农药的使用强度，促进农村畜禽污染的进一步治理。

（3）完善畜禽养殖污染防治技术标准和规范

① 完善畜禽养殖污染物排放标准。以生猪养殖为例，现行的《畜禽养殖业污染物排放标准》（GB18596-2011）仅对年存栏 500 头以上生猪养殖场纳入监管范围，根据统计数据，我国存栏 500 头以上的畜禽养殖场年存栏生猪仅占全国当年生猪存栏的生猪存栏量的 34.54%，因此应进一步完善畜禽养殖污染物排放标准，扩大畜禽养殖环境监管范围。同时，各地要根据国家有关标准，结合当地畜禽养殖污染防治工作实际，制订地方性的畜禽养殖污染物排放标准。

② 探索建立畜牧业温室气体减排的技术体系。积极开展畜牧业温室气体排放监测技术与方法的研究，建立科学、可信和适于我国国情的畜牧业全生命周期温室气体排放清单，探索建立促进畜牧业温室气体减排的技术体系，科学评估我国畜牧业温室气体减排潜力，有助于我国的畜牧业温室气体减排政策的制定。

（4）加强畜禽养殖污染全过程监管

对于新建、改建或扩建的畜禽养殖场，应综合评估养殖场周边人口密度、环境敏感度、土壤肥力、作物需肥量等环境对畜禽养殖规模的承载能力，并配套相应的环保处理设施，严格执行畜禽养殖场建设的环境影响评价制度，实行养殖场建场审批制度，从源头上控制畜牧业环境污染。

另一方面从制度上分解各级政府、农业（畜牧）、环保等部门对畜禽养殖污染防治的责任，协调好畜牧业发展与污染防治之间的关系；各地畜牧业发展应充分考虑区域环境承载能力，科学划定禁养区、限养区和发展区，合理确定畜禽养殖的品种、规模和布局，注重养殖场规划选址、养殖结构、养殖规模、粪污处理设施、粪污处理工艺、粪污排放及其资源化利用方式的日常监管，实现对畜禽养殖污染防治的全过程管理。

汞污染防治技术发展报告

1 涉汞行业污染防治管理和技术概况

1.1 2014-2015 年国内外相关法规、政策、标准体系现状

1.1.1 国外涉汞法律法规、政策及标准体系现状

1.2.1.1 美国汞污染防治管理概况

2014-2015 年, 美国环保署并未颁布新的法律法规, 只是通过一系列行动加强汞的污染防治管理, 相关内容如表 1 所示。

表 1 美国涉汞相关管理规定

时间	机构	行动内容
2014.6	EPA、FDA	EPA 和 FDA 更新了 2004 年联合发布的“你需要了解水星在鱼类和贝类什么。”文件中的数据和建议, 该建议的更新使文件与美国人 2010 年膳食指南相一致, 该更新还包含对那些谁想要了解更详细的建议的附加信息。
2014.9	EPA	发表新的报告, 题为“Mercury Emissions Capture Efficiency with Activated Carbon Injection at a Russian Coal-Fired Thermal Power Plant”。该报告描述了美国环保署牵头、俄罗斯研究所, 联合国环境计划署 (UNEP) 和瑞典环境研究所共同研究的项目成果, 展示了在俄罗斯燃煤电厂采用活性炭喷射技术的汞排放控制效果。此外, 该报告提供了相关的废渣 (假设其在垃圾填埋场进行处置) 的浸出潜力的测试结果。
2014.9	EPA	EPA 计划修改 General Pretreatment Regulations (40 CFR Part 403) 来加强牙科排放污染限值减少汞污染排放, 新标准要求牙医采用 BAT 技术 (牙汞齐分离器) 和其他管理方法减少汞排放。
2014.10	EPA	作为美国对水俣公约规定的国际承诺, EPA 颁布了主题为减少汞污染的汞产品战略, 努力降低国内添汞产品和含汞工艺对汞的生产和使用。
2015.3	EPA	EPA 向 5 家汞回收和汞的分销公司下达了信息调查表, 了解汞的流通和回收信息, 分别发送了 AERC Recycling Solutions, Bethlehem Apparatus Company, Inc., D.F. Goldsmith Chemical & Metal Corporation, Veolia Environmental Services, and Waste Management Mercury Waste Inc. 等 5 家公司, 这也是 2014 年 10 月汞产品战略的一部分。
2015.8	EPA	环保局局长和日本环境部长宣布, 美国和日本将合作, 通过两国的各种活动密切配合, 有助于完成水俣公约的目标。

1.1.2.2 欧盟汞污染防控管理概况

2014年5月20日，欧盟《官方公报》刊登8项新指令，以修订规管电器及电子设备有害物质含量的第2011/65/EU号指令，亦即《限制有害物质指令》(RoHS指令)。

根据RoHS指令，电器及电子设备若含有某些超出浓度上限的有害物质，不得在欧盟市场出售。受指令规管的有害物质分别是：铅，以同质物料的重量计算，其浓度上限为0.1%；汞，浓度上限为0.1%；镉，浓度上限为0.01%。不过，在特定情况下使用该等有害物质可获豁免。上述8项新指令列出可获豁免的使用情况，包括：

(1)第2014/75/EU号指令：背光液晶显示器冷阴极荧光灯中的汞，每盏灯不超过5mg，在2017年7月22日之前投放市场的工业监控仪器中使用。这项豁免将于2024年7月21日届满。

(2)第2014/76/EU号指令：招牌、装饰照明、建筑照明、专业照明及发光工艺品所用的手工制作发光放电管中的汞。这项豁免将于2018年12月31日届满。

1.1.2.3 加拿大汞污染防控管理概况

2014年11月7日加拿大发布了《加拿大环境保护法》框架下汞的专项法规SOR/2014-254，并于2015年11月7日生效。该法规的主要内容如下：

禁止条款：

任何人不得生产或进口任何含汞的产品，除非：

该产品属于附录第一栏中的产品，产品中所含的汞的含量等于或小于附录第二栏中的限值，且产品是在附录第三栏中的截至日期之前制造或进口的，举例如表2所示。

表2 产品汞含量及截至日期

产品类型	产品中的汞的最大总含量	截止日期
纽扣电池	25毫克/电池	2015年12月31日

或，拥有符合该法规要求的许可证。

豁免条款：

部分豁免于此法规的产品如下：

表面涂层材料法规定义的表面涂层材料或玩具法规规定的适用于玩具的表面涂层材料；

非电池产品，且产品的均质材料中的汞含量等于或小于0.1%；

非纽扣电池的电池，且产品的均质材料中的汞含量等于或小于0.0005%；

自2016年1月1日起，均质材料中的汞含量等于或小于0.0005%的纽扣电池；

2016年1月1日至2019年12月31日期间，安装在医疗器械中的纽扣电池，而且这些医疗器械是意图至少会留在人体内30天的。

标识管理：

除某些特定产品之外，所有在加拿大生产或进口的含汞的产品需在其产品或包装上，用英语和法语，标示以下信息：

含汞申明：“该产品中含汞”；

安全使用方法和应对意外泄漏的处理方法；

产品处理和回收的方法;

说明产品应按照相关法律法规进行处理和回收的声明;

部分产品需按法规要求添加 Hg 的标识。

1.1.2.4 日本汞污染防控管理概况

2015 年 7 月,日本环境省 (MoE) 发布《防止汞污染环境法》实施细则。《防止汞污染环境法》明确规定禁止“规定的含汞产品”的生产,并要求政府采取相应措施,如限制“规定的含汞产品”的使用。实施细则将对《防止汞污染环境法》附件 A 的第一部分“规定的含汞产品”进行管理,为它们规定了汞的限值要求和废除时间。实施细则的生效日期为 2018 年 1 月或 2020 年 12 月,具体生效日期取决于具体的产品。具体内容如表 3 所示。

表 3 日本添汞产品及淘汰日期

规定的含汞产品	淘汰日期
电池 (除以下产品) a) 锌氧化银纽扣电池 (汞含量低于 1% 的纽扣电池); b) 锌空纽扣电池 (汞含量低于 2% 的纽扣电池)。	2017 年底 (碱性纽扣电池 2020 年底)
开关和继电器	2020 年底
额定功耗不高于 30W、每灯口汞含量超过 5 mg 的普通照明用单端紧凑型荧光灯和自镇流荧光灯。	2017 年底
下列普通照明用直管荧光灯 (LFLs) 之一: a) 额定功耗低于 60W、每灯口汞含量超过 5 mg、使用三重荧光粉的产品; b) 额定功耗低于 40W、每灯口汞含量超过 10 mg、使用卤化磷酸盐荧光粉的产品。	2017 年底
普通照明用高压汞蒸气灯 (HPMV)	2020 年底
在电子显示器中使用的冷阴极荧光灯和外置电极荧光灯: a) 长度小于 500 mm、每灯口汞含量超过 3.5 mg 的产品; b) 长度大于 500 mm 并小于 1500 mm、每灯口汞含量超过 5 mg 的产品; c) 长度大于 1500 mm、每灯口汞含量超过 13 mg 的产品。	2017 年底
化妆品	2017 年底
农药、生物农药和局部防腐剂	2017 年底 (局部防腐剂 2020 年底)
下列非电子测量装置 (除了用于高精度测量的不适合无汞替代的非电子测量装置): a) 气压计; b) 湿度计; c) 压力计; d) 温度计; e) 血压计	2020 年底

1.1.2 国内涉汞法律法规、政策及标准体系现状

1.1.2.1 法律法规体系

2014 年至 2015 年,与汞污染治理有关的国家法律法规有 2 项,如表 4 所示。

表 4 中国涉汞相关法律法规

法规名称	发布时间/文件名称	发布机构	主要内容
中华人民共和国环境保护法	1989 年颁布, 2014 年修订	人大常委会 (中华人民共和国主席令 [2014] 年第 9 号)	规定了环境保护的体系和制度, 是中国环境保护根本法。

法规名称	发布时间/文件名称	发布机构	主要内容
中华人民共和国大气污染防治法(修订草案征求意见稿)	1987年颁布, 2000年修订、2014年修订	人大常委会	中华人民共和国环境保护法第四十九条提出“应当采取措施, 防止重金属和其他有毒有害物质污染环境。”

中国涉汞相关部门规章如表 5 所示。

表 5 中国涉汞相关部门规章文件

法规名称	发布时间/文件名称	发布机构	主要内容
铅冶炼废气治理工程技术规范	HJ 2049-2015	环境保护部	规范铅冶炼废气治理工程的建设与运行管理, 防治环境污染, 保护环境和人体健康, 制定本标准。本标准规定了铅冶炼废气治理工程的设计、施工、验收、运行和维护的技术要求, 本标准为指导性标准。
汞污染防治技术政策	2015年12月24日	环境保护部	从原生汞生产、用汞工艺、汞产品生产和无意汞排放 4 个方面 9 个行业提出源头替代、过程控制和末端治理的汞污染防治技术引导方向, 并提出硫、硝、汞协同减排和含汞废物资源化利用等技术的鼓励研发方向。
水泥窑协同处置固体废物环境保护技术规范	HJ 662-2013	环境保护部	禁止含汞的温度计、血压计、荧光灯和开关进入水泥窑进行协同处置。汞的最大允许投加量限值为 0.23 mg/kg-cli, 混合材中的汞的最大允许投加量限值为 4 mg/kg-cem。禁止在水泥窑中协同处置《医疗废物分类目录》中的易爆和含汞化学性废物。

1.1.2.2 污染控制标准体系

环保部科技标准司负责组织制订和修订涉及重金属污染防治的技术政策、最佳可行技术指南以及相关标准, 包括排放标准、监测规范、样品标准、清洁生产标准、环境影响评价标准等。2014-2015 年中国污染控制标准体系如表 6 所示。

表 6 中国汞污染排放相关标准

领域	标准名称	发布机构	主要内容
大气	锅炉大气污染物排放标准 (GB 13271-2014)	环境保护部	对烟气汞浓度设定了浓度限值, 规定燃煤锅炉烟囱或烟道中汞及其化合物的浓度限值为 0.05 mg/m ³ , 新建锅炉自 2014 年 7 月 1 日起, 10 t/h 以上在用蒸汽锅炉和 7 MW 以上在用热水锅炉自 2015 年 10 月 1 日, 10 t/h 以下在用蒸汽锅炉和 7 MW 以上在用热水锅炉自 2016 年 7 月 1 日起执行这一标准。
大气	火葬场大气污染物排放标准 (GB 13801—2015)	环境保护部	首次对烟气汞浓度设定了浓度限值, 规定自 2015 年 7 月 1 日起, 新建单位遗体火化执行大气汞排放限值为 0.1 mg/m ³ , 污染物排放监控位置为烟囱。

领域	标准名称	发布机构	主要内容
大气	锡、锑、汞工业污染物排放标准 (GB 30770—2014)	环境保护部	自 2016 年 7 月 1 日起, 现有企业执行企业废水总排口中总汞限值 0.005 mg/L, 车间或生产设施排气筒大气汞及其化合物限值 0.01 mg/m ³ , 自 2014 年 7 月 1 日起, 新建企业执行企业废水总排口中总汞限值 0.005 mg/L, 车间或生产设施排气筒大气汞及其化合物限值 0.01 mg/m ³ 。
大气	生活垃圾焚烧污染控制标准 (GB 18485—2014)	环境保护部	规定了生活垃圾焚烧厂的选址要求、技术要求、入炉废物要求、运行要求、排放控制要求、监测要求、实施与监督等内容。自 2016 年 7 月 1 日起, 现有企业执行生活垃圾焚烧炉焚烧烟气中汞及其化合物限值 0.05 mg/m ³ , 自 2014 年 7 月 1 日起, 新建企业执行生活垃圾焚烧炉焚烧烟气中汞及其化合物限值 0.05 mg/m ³ 。
大气	水泥工业大气污染物排放标准 (GB 4915—2013)	环境保护部 (2014-3-1 实施)	规定了水泥窑及窑尾余热利用系统大气中汞及其化合物排放限值为 0.05 mg/m ³ 。
固体废物	水泥窑协同处置固体废物污染控制标准 (GB 30485—2013)	环境保护部 (2014-3-1 实施)	禁止含汞的温度计、血压计、荧光灯管和开关进入水泥窑进行协同处置。协同处置固体废物水泥窑大气汞及其化合物 (以 Hg 计) 最高允许排放浓度为 0.05 mg/m ³ 。企业对烟气中汞的监测, 在水泥窑协同处置危险废物时, 应当每季度至少开展 1 次, 在水泥窑协同处置非危险废物时, 应当每半年至少开展 1 次。

1.1.2.3 含汞产品和涉汞工艺汞控制管理体系

2014-2015 年新增中国含汞产品汞含量标准如表 7 所示。

表 7 中国含汞产品汞含量标准

领域	标准名称	发布机构	主要内容
环境保护综合名录 (2015 年版)		环境保护部	综合名录共包含两部分: 一是“高污染、高环境风险”产品名录, 包括 837 项产品; 二是环境保护重点设备名录, 包括 69 项设备。200 余种涉重金属污染的产品, 500 多种高环境风险产品。
氯乙烯合成用低汞触媒	GB/T 31530-2015	国家质量监督检验检疫总局、国家标准化管理委员会	规定了氯乙烯合成用低汞触媒的要求、测定方法、检验规则及标志、包装、运输、贮存和安全。适用于以氯化汞为活性组分、活性炭为载体的氯乙烯合成用低汞触媒。
环境标志产品技术要求 微型计算机、显示器	HJ 2536-2014	环境保护部	增加了显示器背光灯中汞含量应小于 3 mg。产品包装中铅、镉、汞和六价格的总量不得超过 100 mg/kg。
环境标志产品技术要求 水性涂料	HJ 2537-2014	环境保护部	该标准提出了水性涂料的有害物质限量要求, 规定了建筑涂料和工业涂料中可溶性汞不超过 60 mg/kg。

1.1.2.4 汞流通全过程控制管理体系

中国汞流通控制管理及检测相关标准如表 8、表 9 所示。

表 8 中国汞流通控制管理

领域	标准名称	发布机构	主要内容
处置	危险废物处置工程技术导则	环境保护部	规定含汞废物不适宜采用焚烧技术进行处置。并指出了含汞危险废物（含医疗废物）的范围和分类。

表 9 中国各环境介质中汞监测的相关标准

领域	发布机构	标准名称
水质 汞、砷、硒、铋和锑的测定 原子荧光法（HJ 694—2014）	环境保护部	规定了测定水中汞、砷、硒、铋和锑的原子荧光法。

1.2 2014-2015 年国内外对重点涉汞行业的污染控制管理现状

1.2.1 汞矿开采行业污染控制管理现状

水俣公约第 3 条规定：“在公约对缔约方生效后，禁止新建原生汞矿，15 年内关闭所有原生汞矿，期间原生汞仅可用于公约允许用途或含汞废物处置”。

目前中国正在生产的原生汞冶炼企业数量较少，分布较为集中。原生汞冶炼含汞废物产生环节包括采矿、选矿和冶炼。采矿单元的采矿废石，来源于剥离的含汞量较低的围岩，含汞量一般在 0.01-0.28 kg/t 之间。选矿单元的浮选工艺产生的尾矿渣，平均含汞量约为 0.3 kg/t。汞冶炼单元产生的汞冶炼废渣，汞含量较高，一般在 0.08-190 kg/t 之间。

2014 年 5 月，国家发布了《锡、锑、汞工业污染物排放标准》。自 2016 年 7 月 1 日起，现有企业执行企业废水总排口中总汞限值 0.005 mg/L，车间或生产设施排气筒大气汞及其化合物限值 0.01 mg/m³，自 2014 年 7 月 1 日起，新建企业执行企业废水总排口中总汞限值 0.005 mg/L，车间或生产设施排气筒大气汞及其化合物限值 0.01 mg/m³。

1.2.2 燃煤行业污染控制管理现状

2014 年 5 月 16 日，环境保护部发布了《锅炉大气污染物排放标准》（GB 13271-2014），首次对烟气汞浓度设定了浓度限值，规定燃煤锅炉烟囱或烟道中汞及其化合物的浓度限值为 0.05 mg/m³，新建锅炉自 2014 年 7 月 1 日起，10t/h 以上在用蒸汽锅炉和 7 MW 以上在用热水锅炉自 2015 年 10 月 1 日，10t/h 以下在用蒸汽锅炉和 7 MW 以上在用热水锅炉自 2016 年 7 月 1 日起执行这一标准。

1.2.3 有色冶炼行业污染控制管理现状

1.2.3.1 铜冶炼行业汞污染控制管理现状

铜冶炼过程释放的汞主要来自于铜精矿。在熔炼过程中，铜精矿中的汞绝大部分都会进入渣选尾矿和熔炼烟气中。进入熔炼烟气中的汞，在后续的烟气处理过程又会进入到收

尘、污酸和硫酸等介质中。

铜冶炼企业绝大部分的汞由烟气制酸过程中产生的白烟尘、铅滤饼、污水处理中和渣排出,进入以上三种固体废物中汞量占到了总汞排放量的 92.1%;进入硫酸产品中汞量占总汞排放量的 2.7%;进入渣选尾矿占总汞排放量的 3.6%;其余仍有少量汞伴随着烟气和无组织排放等排出,大约占总汞排放量的 1.6%。

汞大气排放问题亦是铜冶炼工艺主要的汞产排渠道。铜冶炼过程烟气排放来源主要有,备料过程产生的含尘废气、工业炉窑烟气、环保通风烟气、电解槽等散发的硫酸雾、制酸尾气等。此外,烟气净化排出的废酸、冶炼过程含酸废水、循环排污水等废水,以及水淬渣、尾矿、浸出渣、硫化渣等固体废物也是铜冶炼过程汞产排的主要渠道。

根据调研结果,我国大中型铜冶炼企业汞污染控制相对较好,如金隆铜业制酸烟气中汞浓度为 0.011 mg/m^3 ,铜陵有色金昌冶炼烟气(制酸)出口汞浓度为 $0.003 \sim 0.007 \text{ mg/m}^3$,皆低于《铜镍钴冶炼工业污染物排放标准》(GB25467-2010)的 0.012 mg/m^3 。贵溪冶炼厂废水总排放口处汞排放浓度为 $0.0012 \sim 0.0045 \text{ mg/L}$,铜陵有色集团的冬瓜山铜矿废水汞排放浓度为 $0.05 \text{ } \mu\text{g/L}$,皆低于《铜镍钴冶炼工业污染物排放标准》(GB25467-2010)的水污染物排放浓度限值 0.05 mg/L 。2013 年底由环境保护部颁发的《铜、镍、钴工业污染物排放标准》(GB25467-2010)修改单,增加了铜、镍、钴冶炼和制酸车间或生产设施排气筒大气污染物汞及其化合物特别限值为 0.012 mg/m^3 ,该标准于 2014 年 3 月 1 日正式实施。

1.2.3.2 铅冶炼行业汞污染控制管理现状

铅冶炼过程释放的汞主要来自于铅精矿。在熔炼过程中,铅精矿中的汞绝大部分都会进入熔炼烟气中。进入熔炼烟气中的汞,在后续的烟气处理过程又会进入到收尘、污酸和硫酸等介质中。

铅冶炼企业绝大部分的汞由烟气制酸过程中产生的酸泥、污酸处理渣和污水处理渣排出,进入以上三种固体废物中汞量占到了总汞排放量的 83%;进入硫酸产品中汞量占总汞排放量的 5%;进入次氧化锌和水淬渣中汞量占总汞排放量的 6%;进入阳极泥中汞量占总汞排放量的 3%;其余仍有少量汞伴随着烟气和无组织排放等排出,大约占总汞排放量的 3%。

2013 年底由环境保护部颁布的《铅、锌工业污染物排放标准》(GB25466-2010)修改单,增加了烧结、熔炼车间或生产设施排气筒大气污染物汞及其化合物特别限值为 0.05 mg/m^3 ,该标准将于 2014 年 3 月 1 日正式实施。

1.2.3.3 锌冶炼行业汞污染控制管理现状

2013 年底由环境保护部颁布的《铅、锌工业污染物排放标准》(GB25466-2010)修改单,增加了烧结、熔炼车间或生产设施排气筒大气污染物汞及其化合物特别限值为 0.05 mg/m^3 ,该标准将于 2014 年 3 月 1 日正式实施。

锌冶炼过程释放的汞主要来自于锌精矿。在高温焙烧过程中,锌精矿中的汞绝大部分都会进入烟气中。进入烟气中的汞,在后续的烟气处理过程又会进入到收尘、污酸和硫酸等介质中。

锌冶炼企业绝大部分在焙烧过程中挥发出来,占到总汞的 98.8%,其中有 25.1%的汞由烟气制酸过程中产生的污酸排出,进入硫酸产品中汞量占总汞排放量的 2.3%;进入浸出渣中汞量占总汞排放量的 70.8%;进入净化渣中汞量占总汞排放量的 0.4%;其余仍有少量

汞伴随着烟气和无组织排放等排出，大约占总汞排放量的 1.4%。

锌精矿中大量伴生汞的存在使我国锌冶炼行业汞污染问题较为突出，是中国人为大气汞排放最重要的来源之一。

1.2.3.4 黄金冶炼行业汞污染控制管理现状

我国黄金选冶行业的汞污染问题曾经主要来自汞法提金工艺。易浸金矿及难浸金矿（预处理方法采用加压氧化法和生物氧化法）冶炼过程中只有在金泥铸锭阶段存在高温煅烧，其余主要工艺步骤均属于湿法。汞在金矿中主要存在形式为辰砂（ HgS ）、碲汞矿（ HgTe ），氰化浸出时溶解极慢，不会进入到金泥，也不会进入大气和废水中。所以，矿石中汞以废渣或副产精矿形式存在。

有色副产黄金冶炼工艺目前多采用火法冶炼，汞绝大多数进入烟气，随污染控制设备捕获去除。

1.2.4 水泥行业污染控制管理现状

环境保护部 2013 年底颁布的水泥工业大气污染物排放标准（GB4915-2013），规定了水泥窑及窑尾余热利用系统大气中汞及其化合物排放限值为 0.05 mg/m^3 ，已于 2014-3-1 正式实施。

环境保护部 2013 年底颁布的《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》，禁止含汞的温度计、血压计、荧光灯管和开关进入水泥窑进行协同处置。协同处置固体废物水泥窑大气汞及其化合物（以 Hg 计）最高允许排放浓度为 0.05 mg/m^3 。企业对烟气中汞的监测，在水泥窑协同处置危险废物时，应当每季度至少开展 1 次，在水泥窑协同处置非危险废物时，应当每半年至少开展 1 次，已于 2014-3-1 正式实施。

1.2.5 VCM 生产行业污染控制管理现状

2014 年 2 月环境保护部发布了《废氯化汞触媒危险废物经营许可证审查指南》（公告 2014 年第 11 号），适用于环境保护行政主管部门对从事废氯化汞触媒利用单位申请危险废物经营许可证（包括新申请、重新申请领取和换证）的审查。

1.2.6 添汞产品生产行业污染控制管理现状

1.2.6.1 含汞灯管汞污染控制管理现状

2010 年中国生产含汞灯管用汞量 22.69t，产品含汞量 21.66t，排放废气含汞量为 33.1 kg，废水含汞量为 0.058 kg，固体废物含汞量为 598.7 kg。含汞固体废物主要是破碎和不合格产品、处理废水和废气产生的泥渣或含汞活性炭等，交由有含汞灯管危废处置资质机构处置。全国含汞灯管汞污染控制主要体现在产生的含汞废气和含汞固废的回收处置环节。含汞灯管生产企业普遍存在未按危险废物暂存标准堆存含汞废灯管，非法丢弃及转移含汞废灯管的问题。含汞灯管尚缺乏回收体系，未形成有效地市场机制，仅进行过 ISO14000 认证的企业、高校等自觉将产生的废灯管交由相应处置资质的企业处置，而其他一般企业及家庭产生的废含汞灯管缺乏有效地回收系统，导致含汞灯管汞污染。

1.2.6.2 电池汞污染控制管理现状

环境保护部 2013 年底颁布的《电池工业大气污染物排放标准》（GB30484-2013），规

定了锌锰/锌银/锌空气电池企业执行车间或车间处理设施排放口总汞限值 0.02 mg/L, 大气汞及其化合物排放限值为 0.01 mg/m³, 企业边界大气汞及其化合物排放限值为 0.000 05 mg/m³, 已于 2014-3-1 正式实施。

1.2.6.3 含汞医疗器械生产汞污染防治现状

(1) 含汞体温计行业现状

含汞体温计工艺流程图及汞排放节点如图 1 所示。

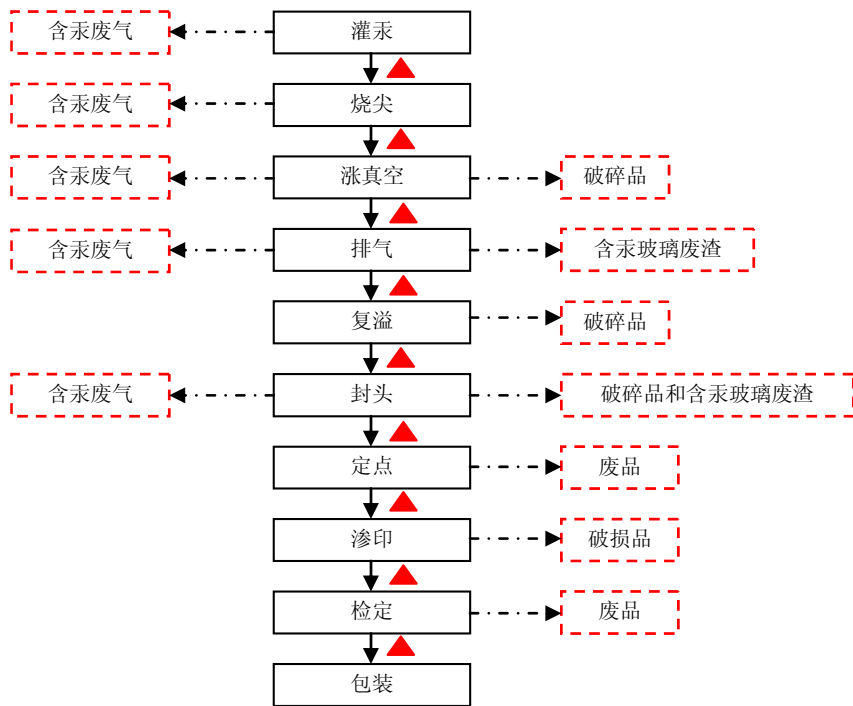


图 1 含汞体温计工艺流程图及汞排放节点

(2) 含汞血压计行业现状

含汞血压计的主要原料是液汞, 其纯度大于 99.99%。手动开关含汞血压计单台产品平均含汞量一般为 20~30g, 自动开关含汞血压计单台产品含汞量一般为 35g 左右。

含汞血压计生产工艺主要包括: 钳加工、金加工、电镀、组装、校验、灌汞、检定和包装等工序, 如图 2 所示。灌汞工序之前不涉及汞的使用, 无含汞三废的产生和排放。

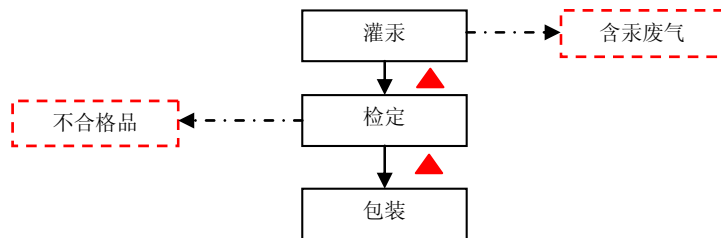


图 2 含汞血压计涉汞生产工艺及汞排放节点

1.2.7 含汞废物处置行业污染控制管理现状

环境保护部 2013 年底颁布的《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB18485-2014), 规定了生活垃圾焚烧厂的选址要求、技术要求、入炉废物要求、运行要求、排放控制要求、监测要求、实施与监督等内容。自 2016 年 7 月 1 日起, 现有企业执行生活垃圾焚烧炉焚烧烟气中汞及其化合物限值 0.05 mg/m^3 , 自 2014 年 7 月 1 日起, 新建企业执行生活垃圾焚烧炉焚烧烟气中汞及其化合物限值 0.05 mg/m^3 。

2 涉汞行业技术发展情况

2.1 主要技术发展情况

2.1.1 技术关键

《汞污染防治技术政策》(2015 年 12 月 24 日发布)指出, 涉汞行业应优化产业结构和产品结构, 合理规划产业布局, 加强技术引导和调控, 鼓励采用先进的生产工艺和设备, 淘汰高能耗、高污染、低效率的落后工艺和设备; 涉汞行业污染防治应遵循清洁生产与末端治理相结合的全过程污染控制原则, 采用先进、成熟的污染防治技术, 加强精细化管理, 推进含汞废物的减量化、资源化和无害化, 减少汞污染物排放; 应按国家相关要求, 健全涉汞行业环境风险防控体系和环境应急管理制度, 定期开展环境风险排查评估, 完善防控措施和环境应急预案, 储备必要的环境应急物资, 积极防范并妥善应对突发环境事件。鼓励研发汞等重金属快速及在线监测技术和设备。

2.1.2 主要技术开发重点

2.1.2.1 含汞废水处理技术研究成果

(1) 复杂化工废水处理技术

多级沉淀-吸附技术具有工艺简单、流程简单、占地少、投资省、汞回收率高、过程清洁等优点, 经济效益、环境效益和社会效益显著。

(2) 超导磁分离处理含重金属废水技术

高炉浊环水处理的高梯度磁分离 (HGMS) 技术, 综合了高强度磁场强吸附、斜板沉淀池在磁场中沉淀悬浮物的优势。

(3) 电子辐照污染物降解技术

电子束辐照降解装置可用于有机污染物以及重金属污染物的污染物降解, 对于推进含汞废气及多污染物协同控制, 重金属废水的治理等领域产生积极影响。

2.1.2.2 含汞烟气协同处置技术研究成果

(1) 低温等离子体集成技术处理含汞废气

等离子体-陶瓷纳米吸附技术实现含汞废气中汞、二噁英及 VOCs 的协同控制。

(2) 含汞等重金属微粒的工业企业尾气净化处理技术

采用“酸处理体系”、“多硫化盐沉降体系”、“碱洗涤体系”、“气液分离体系”、“填料

吸收体系”相结合的技术,确保排放尾气达到国家相关的排放标准。

(3) 燃煤烟气硫硝汞联合脱除及副产物资源化技术

烟气硫硝汞联合脱除及副产物资源化技术可解决硫硝汞资源浪费、成本高、汞等重金属二次污染问题;副产物中硫酸铵、硝酸铵、卤类铵和重金属的分离回收技术,形成有自主知识产权的重金属分离的副产物资源化技术和设备。

(4) 高浓度有机废物脱除燃煤烟气硝和汞技术

高浓度有机废物喷射入锅炉或窑炉炉膛高温区,其中高浓度有机废物分解生成小分子碳氢化合物,与烟气中的氮氧化物发生反应生成氮气和水,从而脱除烟气中的氮氧化物,而高浓度有机废物中的氯化物与烟气中的汞,形成可吸附在颗粒物上的水溶性氯化汞,后经脱硫、除尘过程脱除。

(5) 白泥等固体废物与烟气硫汞协同处置技术

白泥与烟气硫汞协同处置技术利用白泥中的CaO和含氯物,脱除烟气硫和汞,对工业固体废物造纸白泥和燃煤硫和汞的污染防治具有重要意义。

2.1.2.3 污染场地修复技术研究成果

热解析-等离子体技术、矿浆电解技术、固化稳定化技术、稳定层阻隔技术、固化稳定化技术、淋洗技术等含汞重金属污染场地治理修复关键技术。该技术可以应用于包括汞在内的复合重金属污染场地的治理和修复工作。

2.1.2.4 生产过程关键技术研究成果

(1) 铋汞矿铋汞高效分离一体化冶炼技术

铋汞矿铋汞高效分离一体化冶炼技术有效地将我国普遍存在的铋汞伴生矿在一条生产线上高效分离回收,解决了含汞铋矿在生产中汞流失造成环境污染的问题,对有色金属冶炼的技术进步和汞污染防治具有重大的意义。

2.1.3 主要技术进展

2.1.3.1 含汞废水处理技术研究成果

(1) 复杂化工废水处理技术

中国科学院北京综合研究中心与沈阳环境科学研究院开发了多级沉淀-吸附技术。该技术已经在化工行业燃料生产过程含汞废水治理中得到示范应用,该技术可以应用于含汞废渣、含汞废酸以及含汞污泥的处置和资源化环节。

(2) 超导磁分离处理含重金属废水技术

中国科学院高能物理研究所与中国科学院北京综合研究中心开发了高炉浊环水处理的高梯度磁分离(HGMS)技术,综合了高强度磁场强吸附、斜板沉淀池在磁场中沉淀悬浮物的优势。该项技术在处理效率和适应性方面采取的技术措施有创新,综合性能处于国际先进水平,在实现重金属、有机废水等方面具有广泛的应用前景。目前已申请专利10余项。

(3) 电子辐照污染物降解技术

中国科学院高能物理研究所基于高能所在电子辐照领域的优势,承担了科技部科技支撑项目,开发了电子束辐照降解装置,用于有机污染物以及重金属污染物的污染物降解,申请了5项国家专利。相关成果对于推进含汞废气及多污染物协同控制,重金属废水的治

理等领域产生积极影响。

2.1.3.2 含汞烟气协同处置技术研究成果

(1) 低温等离子体集成技术处理含汞废气

针对目前含汞废物处置过程含汞废气难以治理现状,中国科学院北京综合研究中心开发等离子体-陶瓷纳米吸附集成技术,实现含汞废气中汞及 VOCs 的协同控制。该技术已经在贵州某含汞废物处置中心示范应用,即将应用于废弃荧光灯处理过程、废物焚烧过程汞等重金属、VOCs 的协同控制和深度净化。

(2) 含汞等重金属微粒的工业企业尾气净化处理技术

针对工业企业冶炼生产中产生的含汞及其他重金属的尾气,中国环境科学研究院采用“酸处理体系”、“多硫化盐沉降体系”、“碱洗涤体系”、“气液分离体系”、“填料吸收体系”相结合的技术,可以有效将工业尾气中的汞及其他重金属微粒(单质或离子化合物)进行捕集,进入液相,最后形成不溶解、稳定性好、可回收的固体物,再通过冶炼工艺将尾气中的汞及其他重金属除去,确保排放尾气达到国家相关的排放标准。

(3) 燃煤烟气硫汞联合脱除及副产物资源化技术

针对目前燃煤污染控制形成的硫汞资源浪费、成本高、汞等重金属二次污染问题,中国环境科学研究院研发了烟气硫汞联合脱除及副产物资源化技术;根据烟气 NO_x 成分的变化,开发 NO_2 与 NO 的自适应匹配技术,形成 NO_x 、 SO_2 高效去除的关键技术和成套设备;通过 Hg、Pb 和 Cr 等重金属的反应机理及形态转化,使 Hg、Pb 和 Cr 等重金属进入底泥,研发了副产物中硫酸铵、硝酸铵、卤类铵和重金属的分离回收技术,形成有自主知识产权的重金属分离的副产物资源化技术和设备。

(4) 高浓度有机废物脱除燃煤烟气硝和汞技术

针对高浓度有机废物难处理、燃煤烟气硝和汞脱除成本高等问题,中国环境科学研究院研发了高浓度有机废物喷射入锅炉或窑炉炉膛高温区,其中高浓度有机废物分解生成小分子碳氢化合物,与烟气中的氮氧化物发生反应生成氮气和水,从而脱除烟气中的氮氧化物,而高浓度有机废物中的氯化物与烟气中的汞,形成可吸附在颗粒物上的水溶性氯化汞,后经脱硫、除尘过程脱除。本技术实现以废治废,降低了有机废物处理、烟气脱硝脱汞的运行成本。

(5) 白泥等固体废物与烟气硫汞协同处置技术

针对工业固体废物,如造纸白泥等产生量大、难处理,燃煤烟气硫汞脱除成本高的现状,中国环境科学研究院研究开发利用造纸白泥与烟气硫汞协同处置技术,利用白泥中的 CaO 和含氯物,脱除烟气硫和汞,对工业固体废物造纸白泥和燃煤硫和汞的污染防治具有重要意义。

2.1.3.3 污染场地修复技术研究成果

中国科学院北京综合研究中心与沈阳环境科学研究院、贵州银星集团开发了热解析-等离子体技术、矿浆电解技术、固化稳定化技术、稳定层阻隔技术、固化稳定化技术、淋洗技术等含汞重金属污染场地治理修复关键技术。该技术可以应用于包括汞在内的复合重金属污染场地的治理和修复工作。相关成果对于推进国内重金属污染场地的治理和修复提供切实可行的技术路线,具有广泛的推广前景。

2.1.3.4 生产过程关键技术研究成果

（1）CB 型低汞氯化汞触媒配方及生产技术

贵州银星集团自主研发新型环保低汞触媒，在降低触媒中汞含量的同时最大限度保障了触媒在聚氯乙烯催化转化过程中的性能，能有效降低聚氯乙烯生产企业的汞消耗，对降低汞污染效果明显。

（2）铋汞矿铋汞高效分离一体化冶炼技术

贵州银星集团攻克了有色冶炼领域长期以来无法将铋汞伴生矿有效分离的难题，有效地将我国普遍存在的铋汞伴生矿在一条生产线上高效分离回收，解决了含汞铋矿在生产中汞流失造成环境污染的问题，对有色金属冶炼的技术进步和汞污染防治具有重大的意义。

2.1.4 主要技术国内外应用情况

涉汞行业较多，不同行业的汞污染控制技术成熟性不同，对国外发达国家汞污染控制技术发展阶段进行分析，如表 10 所示。

表 10 国外发达国家汞污染控制技术发展阶段分析

序号	技术名称	技术发展阶段
1	静电除尘器	应用
2	布袋除尘器	应用
3	湿法脱硫协同脱汞	应用
4	活性炭吸附	应用
5	电催化氧化技术	应用
6	沉淀/汞沉淀技术	应用
7	吸附技术	应用
8	膜过滤技术	示范
9	旋转窑焙烧分解技术	应用
10	废旧电池热处理技术	应用
11	废旧电池湿处理技术	应用
12	废旧电池固化深埋	示范
13	固化/稳定化技术	应用
14	冲洗/酸提取技术	应用

针对汞的污染控制，我国在电石法 PVC 生产、含汞废物无害化处置及资源化回收利用等行业已经开展了大量的研究，重点从源头控制、生产过程控制、末端控制等方面提出汞的污染削减措施，相应的汞污染控制技术发展阶段分析如表 11 所示。

表 11 我国汞污染控制技术发展阶段分析

序号	技术名称		技术发展阶段			
1	源头控制技术	PVC 生产无汞触媒技术	研发			
2		电池生产无汞替代技术	研发			
3	生产过程控制技术	电石法 PVC 生产行业	低汞触媒技术	推广技术		
4			分子筛固汞触媒技术	小试阶段		
5			氯乙烯流化床反应器技术	研发		
6		燃煤行业	燃烧前脱汞技术	应用		
7			燃烧中脱汞技术	示范		
8	末端控制技术	含汞烟气治理技术	汞矿开采行业	溶液吸收法	应用	
9				固体吸附法	应用	
10			燃煤行业	脱硫除尘协同脱汞技术	研发	
11				半干法脱硫系统协同脱汞技术	研发	
12				强氧化剂吸收法脱除硫磺	研发	
13			钢铁行业	颗粒物控制技术	推广	
14				SO ₂ 控制技术	研发	
15			有色金属冶炼行业	波利顿-挪威锌脱汞法	应用	
16				碘络合-电解法	应用	
17				硫化钠+氯络合法	应用	
18				直接冷凝法	应用	
19			含汞废水处理技术	汞矿开采行业	化学沉淀法、铁屑或铝屑还原法、离子交换法和活性炭吸附法	应用
20					PVC 行业	盐酸脱吸技术
21				硫化钠处理氯化汞技术		应用
22			含汞废物处理和资源化利用技术	废汞触媒处理技术	火法冶炼回收技术	研发
23	化学活化回收生产“再生汞触媒”技术	研发				
24	氯化汞触媒高效汞回收技术	应用				
25	控氧干馏法回收废触媒 HgCl ₂ 及活性炭工艺	推广				
26	含汞盐泥处理技术	氧化熔出法		应用		
27	氯化-硫化-焙烧法	应用				
28	废旧荧光灯回收处理技术	直接破碎分离	应用			
29		切端吹扫分离	应用			
30	含汞污染场地/土壤修复	电动修复技术	研发			
31		植物修复技术	研发			
32		热解析+直流高压窄脉冲等离子体技术	研发			

2.1.5 主要技术产业化情况

(1) 功率脉冲低温等离子体处理含汞废气产业化情况。中国科学院北京综合研究中心在不改变现有生产状况的基础上,将低温等离子体-陶瓷纳米吸附/活性炭吸附集成技术及反应装置安装到实际工艺,实施技术示范,开展技术验证。该项目研究成果得到科技部 863

专家的一致好评,工作的开展也旨在为推进后续科研项目申报、推进科技成果转化、推进相关企业含汞废物及污染场地提供产业化应用基础。

(2) 含汞废液处理及资源化回收产业化情况。针对高酸度复杂化工含汞废液特点,中国科学院北京综合研究中心和沈阳环境科学研究院开展了汞的处理及资源化回收研究,主要解决有机汞的脱除及提质达标两大技术难题,找出合理的工艺参数;寻找技术先进、经济性好、环境效益显著的工艺路线,利于源头控污、职业环境安全可靠;为高难度含汞废液的处理,寻找切实可行的实用技术解决方案。

(3) 氯化汞和汞触媒生产产业化情况。贵州银星集团是国内生产氯化汞和汞触媒最大的企业,为汞触媒行业全国定点厂家。酸化复合环保型汞触媒是公司的主导产品,产品的使用性能明显优于其他单一的汞触媒,具有热稳定性强,增加抗积炭能力和抗毒性,改善触媒中氯化汞在活性炭上的分布,反应带宽,使用寿命长等特点。在国内同类产品占具60%市场份额,还出口到美国、日本、印度等国。

(4) 含汞危险固体废物回收处置产业化情况。贵州银星集团正在建设一个规模化的“含汞危险固体废物回收处置装备”,对含汞危险固体废物进行综合回收处置,将固体废物中的“有价可回收”的汞及其他重金属根据其不同的属性用不同的工艺和装置进行回收,实现循环利用,不但可以消除污染源,还能创造合理的经济效益。

(5) 玻璃窑炉烟气多污染物协同控制产业化情况。中国环境科学研究院正在设计玻璃窑炉烟气多污染物协同控制工程示范,对玻璃窑炉烟气中的硫硝汞联合脱除并回收副产物硫酸铵、硝铵和氯化氨基汞,从副产物中分离回收氯化氨基汞后,硫酸铵、硝铵用作农肥,氯化氨基汞用于高附加值的化工产品。该项目不但可以消除污染,将副产物资源化利用,降低污染控制成本,而且实现农业环保两个国策的高度统一,为解决我国硫汞资源短缺提供了新途径。

(6) 白泥与烟气硫汞协同减排产业化情况。中国环境科学研究院正在设计白泥与工业锅炉的烟气硫汞协同减排工程示范,实现固体废物与锅炉烟气污染物的协同减排,降低污染控制投资运行成本,提高企业运行积极性,切实削减企业污染,改善区域大气环境。

(7) 高浓度有机废物脱除水泥窑硝和汞产业化情况。中国环境科学研究院与青海环保部门、祁连山水泥公司政产学研合作,正在实施高浓度有机废物脱除水泥窑硝和汞工程,利用高浓度有机废物喷射入水泥窑炉高温区,利用高浓度有机废物中的碳氢化合物脱除烟气中的氮氧化物;利用高浓度有机废物中的氯化物烟气中的气态汞形成颗粒态的二价汞,后经除尘过程脱除。实现现有技术从单类污染控制向跨行业的复合污染联合控制转变,从副产物难以利用向资源化转变并大幅度降低污染物控制的运行成本,实现不同类污染物的联合减排。

2.1.6 主要技术发展趋势

基于涉汞行业种类繁多,汞污染来源复杂,污染防治技术差异明显,行业基础条件各不相同的现状,中国在汞污染控制技术方面开展了一定的工作,但目前中国针对汞污染防治的技术还较为落后,国外的技术受成本和专利保护等原因约束很难大面积推行,还缺乏污染物联合控制最佳可行技术及源头控汞策略。因此,结合特定领域,坚持基于国情,坚持抓住重点,逐步推进的原则,推进切实可行的汞污染控制技术的研发和应用应成为未来

汞污染控制技术的发展趋势。

2.1.6.1 源头控制技术

(1) 鼓励研发长寿命低汞触媒的应用技术, 推进低汞触媒技术升级, 加大无汞触媒的研发及示范, 加快新型分子筛固汞触媒及配套大型氯乙烯流化床反应器的研发。

(2) 鼓励含汞产品生产行业开展低汞、无汞技术及汞回收利用技术的研发、引进和推广应用。

2.1.6.2 生产过程控制技术

(1) 加大电石法 PVC 生产行业分子筛固汞触媒技术研发, 推动产业化应用。

(2) 加大电石法 PVC 生产行业氯乙烯流化床反应器技术研发、成熟化研究, 加快实施进度。

(3) 加大燃煤行业燃烧中脱汞技术研究, 加快炉膛喷入催化剂或添加剂技术的示范、产业化应用。

2.1.6.3 末端控制技术

(1) 加快具有脱硫、脱硝协同脱汞等多功能的催化剂核心技术的研发, 推进国产化。

(2) 加强硫、硝、汞等多种污染物一体化高效脱除技术及装备的研发, 推动产业化应用。

(3) 研发高效去除和利用含汞、铅、锌、镉、砷的废水深度及协同处理技术, 研发应用膜分离、树脂分离及生物分离的成套技术和组合装置。

(4) 研发含汞废物汞高效回收技术及装备。

(5) 研发含汞废物安全收集、贮存、运输的新技术及装备。

2.1.7 国内主要研发机构工作进展

汞污染防治问题已经引起了国内科学技术研究领域的有关机构和专家们的高度重视, 并开展了许多有益的研究。例如, 中国科学院、清华大学、北京大学等高校和科研院所, 在人为汞排放特征、大气汞排放清单、大气汞传输和迁移转化规律、大气汞浓度和形态分布、生态环境影响、汞污染控制技术对策、重点源控制经济分析等领域开展了一系列研究, 取得了一些研究成果。

国家环境保护汞污染防治工程技术中心是于2014年2月25日由环境保护部批准建设, 工程技术中心结合我国履行国际汞公约和加强汞污染防治工作特定背景, 从全过程污染控制的角度出发, 推进汞矿开采、有色金属冶炼、废物处置等典型涉汞行业履约关键技术提升, 全力打造汞污染防治和管理的五大平台, 即履约及政策研究平台、技术研发平台、工程及成果转化平台、基础科学研究平台、国际交流及人才培养平台, 为环境保护部汞履约及污染防治工作提供技术支持。目前工程技术中心已拥有低温等离子体技术、超导磁分离技术、电子辐照技术、固相电还原技术、燃煤烟气硫硝汞联合脱除及副产物资源化技术、铋汞矿铋汞高效分离一体化冶炼技术、汞污染土壤治理修复等关键技术, 整体技术水平在国内同行业中居于领先地位。

2.2 我国自有知识产权技术的竞争力评价

我国2014-2015年与“汞”相关的专利申请近600项, 主要涉及含汞废水处理技术、

含汞废气处理技术、硫硝汞一体化处理技术、废物焚烧过程汞和二噁英处理技术、含汞土壤/稻田汞处理技术、含汞废物资源化回收技术等领域,还涉及低汞触媒研制技术、环保功能材料研制装置,充分体现了我国科研人员对汞污染防治的研发力度及能力。主要分析如下:

含汞废水处理技术:该领域专利所占 16%。针对不同行业的含汞废水提出了新的处理技术和方法,其中包括用超导磁体磁场强化硫化法处理含汞废水的新方法,针对印染工业废水提出了高浓度汞的葱醌中间体废水处理方法,也提出了含有机汞废水的处理方法,提出了页岩气、天然气净化过程含汞废水处理方法。

含汞废气处理技术:该领域专利所占 30%。“基于化学吸附的气相脱汞方法及其专用装置”有效解决了高温、低压、高含水气相脱汞难题,尤其是乙二醇再生塔顶不凝气高温、低压、高含水脱汞难题;“一种从含二氧化硫烟气中去除并回收元素汞的方法”所用的洗涤液能够同时快速吸收高浓度二氧化硫,避免了一般汞吸收技术中二氧化硫对汞去除效率的干扰,除了适用于一般含硫烟气的零价汞脱除,更加适用于含有高浓度二氧化硫的有色金属冶炼行业烟气中、高浓度汞的回收以及烟气汞排放控制。

硫硝汞一体化处理技术:其中“一种基于氨基吸收剂的脱硫脱硝脱汞一体化装置及其方法”通过在尿素、氨水或碳酸氢铵混合液中添加过硫酸铵来氧化烟气中的 NO 和 Hg^0 等,再通过湿法吸收氧化后的烟气,提高了燃煤烟气同时脱硫脱硝脱汞的效率;“一种多功能脱硫脱硝脱汞吸附剂及其制备和应用”使用活性焦、钒系 SCR 催化剂和磁性载银沸石的吸附剂,用于烟气同时脱硫脱硝脱汞达到比较明显的净化效果。

含汞土壤/稻田汞治理与修复技术:该领域专利所占 10%。针对含汞污染土壤,主要提出了生物制剂、好氧菌异化还原等生物技术,固化稳定化技术以及热脱附技术,同时提出了一种用于汞污染土壤的复合肥,实现在将土壤中汞进行有效钝化和固定的同时对受污染土壤进行有效修复,使得土壤中的汞活性显著降低;针对水稻甲基汞的去除,提供了向土壤施入无机硒盐,或无机硒盐与硫酸盐的混合物来降低水稻中甲基汞含量的方法,在一定程度上可以降低土壤甲基汞的生物可利用性,进而使得稻米甲基汞含量降低。

含汞废物资源化回收技术:该领域专利所占 7%。针对碱浸出渣提供了固硒脱汞碱浸出渣返回利用的方法,针对含硒汞酸泥提供了溶解、中和、分离、蒸馏的方法,在实现回收硒和汞的同时,还能回收铅;针对废汞触媒提供了蒸馏、冷却、沉淀、离心分离的方法,提高了对汞触媒处理后的汞回收率,降低了废液的排放量,降低了环境污染;对于废旧荧光灯光提供了包括自动化控制箱、直管灯处理装置、异型节能灯处理装置和高压汞灯处理装置的资源化回收处理系统和工艺。

废物焚烧过程汞和二噁英的控制:提供一种废物焚烧产生的二噁英及汞深度净化的方法及装置。将焚烧产生的烟气送入高频脉冲低温等离子体电场中,与该电场产生高能电子和自由基进行反应,同时对单质汞进行强氧化成 Hg^{2+} ;从该电场出来的废气进入冷凝装置,并加入能与 Hg^{2+} 发生成盐反应的添加剂,形成以稳定态的汞化合物析出和废气,实现二噁英去除率 95% 以上,汞脱除率 98% 以上。

低汞触媒研制:该领域专利所占 13%。针对电石法聚氯乙烯生产过程用低汞触媒,提供了高中孔率活性炭制备低汞催化剂的方法、利用氯铂酸协同促进剂吸附制备低汞催化剂的方法、采用低灰分含量的活性炭制备低汞催化剂的方法、采用高碘值活性炭制备低汞催

化剂的方法、利用氯化钡协同促进剂吸附制备低汞催化剂的方法、新型低固汞催化剂及其制备方法等，为我国 PVC 行业汞减排提供了很好的技术参考。

新型环保功能材料研制：该领域专利所占 6%。针对烟气中汞的有效脱除提供了两个活性组分与载体之间可形成具有特殊电子云结构配合物的方法合成功能材料、使用将活性金属催化剂粉末与 PTFE 树脂粉末制备功能材料；针对氮氧化物和汞协同处置，提供了 SnaCobGecCudOx 协同氧化催化剂及其制备方法、协同脱除 NO_x 和氧化脱除重金属单质汞的 SCR 催化剂及制备方法；针对含汞废水，提供了羟基磷灰石、硅藻土、氧化镁、氧化锆、羟丙基壳聚糖 4-10 份、木质纤维素等材料环保吸附材料及其制备方法、基于双硫脲功能化超细纤维快速吸附水中汞离子的方法。

应急技术：专利中提供了含汞天然气泄漏应急汞处理及清洗含汞设备的集成化装置，包括集成化的蒸汽清洗单元、表面活性剂清洗单元、硫粉吸附单元、废气处理单元、废液处理单元以及气体收集单元，从根本上解决了在天然气管道运输工程中面临的含汞气体泄漏后处理不当导致的设备腐蚀、污染环境等、易引发安全事故问题。

在近 600 项专利中，不乏低温等离子体技术、超导磁分离技术等先进的高能物理技术在环境领域的应用，推进了我国先进技术的应用范围；不乏含汞土壤、汞污染稻田汞、甲基汞污染控制技术，说明我国对汞的污染防控已经逐渐深入到国计民生的领域，体现了我国对生态文明建设的具体落实；不乏低汞触媒新技术的研发及应用，用具体行动体现了对 PVC 行业限汞、控汞的步伐和力度。但这些专利目前仅处在申请或刚刚授权阶段，还需要在后续做大量的工作，推进技术产业化。

3 主要问题分析

3.1 国内成果转化与产业化现状、存在的问题及原因

目前我国汞污染控制技术成果转化与产业化存在以下问题：

3.1.1 与科研机构关联度低，汞污染控制技术产业化有待完善

目前涉汞行业、企业研发能力不强，大多采取招商合作和直接购买成熟技术的办法发展，对科研机构实验室技术或未成熟技术并不敏感。同时，许多科研研究机构分散，可研项目则与成果转化脱钩，与市场经济脱轨，不利于科研成果的转化和市场化应用。应鼓励企业与科研机构紧密联系，使科研机构按企业要求进行研发汞污染控制技术，开展多污染物协同控制技术研究，在小试和中试阶段给予大力支持，形成风险共担机制，完善汞污染控制技术产业化链条。

3.1.2 汞污染控制产业化原动力不足，相关扶持政策和资金支持有待强化

汞污染控制技术的科技创新具有高风险性，很难仅仅依赖私人资本投入。国家针对成果转化的优惠政策和鼓励科技企业的发展政策及激励机制尚不完善，限制了汞污染控制技术的成果转化和产业化发展。同时，风险投资等民间科技资金投入及信息渠道不畅也进一步限制了该领域技术的产业化发展。

3.1.3 汞污染控制二次污染问题严重, 关键控制技术有待解决

大部分汞污染控制技术在实际运行过程中均存在二次污染问题, 限制了技术的产业化应用及实际治理效果。以燃煤行业为例, 目前烟气脱汞以脱硫除尘协同脱汞为主, 特别是我国燃煤电站的脱硫除尘装置中, ESP+WFGD 占 90%以上, 其烟气汞约 60%转移至粉煤灰、脱硫石膏和脱硫废水中, 存在二次污染和汞再释放问题, 需深入研究汞稳定化、回收资源化的关键技术。

3.1.4 汞污染控制技术运行成本高, 强制约束力不够

大部分汞污染控制技术仅考虑技术应用的本身, 而针对技术应用成本, 如吸附剂的寿命及再生等考虑不够, 致使技术成本过高, 运营成本过高, 市场推广动力不足。现行的技术也未能从资源化利用的角度出发, 推进在实现汞污染防治的同时, 推进汞的资源化利用。

3.2 需要解决的技术开发、应用和发展过程技术问题

3.2.1 无汞替代及源头控制技术

针对电石法聚氯乙烯、电池生产过程汞污染现状, 开展电石法聚氯乙烯生产过程无汞触媒及电池生产过程无汞电池技术研究, 评估相关影响因素, 摸索工艺参数, 研制成套设备并进行性能控制技术研究, 最终形成小试和中试装置, 推进技术示范。

3.2.2 含汞废气治理与资源化利用技术

针对燃煤锅炉、有色金属冶炼、钢铁、水泥、废物焚烧等过程排放含汞废气现状, 开展硫硝汞联合脱除及副产物资源化技术研发装置、高浓度有机废物与烟气硝和汞协同减排技术与装备、白泥与烟气硫和汞协同减排技术与装备、改性活性炭硫汞协同脱除技术、低温等离子体等含汞废气处理及资源化集成技术研究。评估相关影响因素, 摸索工艺参数; 结合小试研究成果设计、开发直流高压快脉冲等离子体小型设备; 对于中等规模的处理工程, 采用土建方案, 进行工程设计, 建立示范工程项目。

3.2.3 含汞废水治理与资源化利用技术

针对有色金属冶炼行业重金属废水汞污染现状, 开展超导磁体技术、电子辐照技术处理含汞等重金属废水的技术和设备研发工作; 针对化工行业复杂含汞废水, 开展多级硫化沉淀-环境功能材料吸附集成技术和设备研发。验证和评估处理工艺的相关影响因素, 开展小试、中试及工程化示范研究。系统集成国内传统的化学处理技术、生物处理技术的集成应用。

3.2.4 含汞场地/土壤治理与修复技术

针对矿山开采、燃煤、有色金属冶炼、钢铁、水泥、化工等企业周边地区汞污染现状, 按照分类分级以及风险管控的原则, 针对不同程度的汞污染土壤, 重点突破热解析技术应

用过程中含汞尾气的深度净化技术、矿浆电解高浓度含汞污染土壤修复技术及资源利用协同技术；创新性研制汞吸附功能材料研发、重金属高强度固化/稳定化以及全生命组合处理技术，重点突破低成本、可移动、模块化的土壤及地下水修复系列装备；建立创新性系列环境修复功能材料及产品体系，形成具备工程化应用的集约化与模块化修复装备体系；研发经济有效、走可持续发展路线的绿色植物生态修复技术及修复植物资源化处置技术。

3.2.5 含汞废物资源化利用技术

针对含汞废渣、废荧光灯产生量大、难以处置的现状，开展蒸馏-低温等离子体-陶瓷纳米材料-固相电还原组合处理、资源化回收技术，通过功率脉冲组盐反应器实现逃逸汞的捕集与回收及资源化利用技术。验证和评估处理工艺的相关影响因素，开展小试、中试及工程化示范研究。

4 建议

针对未来 3-5 年应重点和优先发展的领域、技术、尚需配套的标准、法规、政策等提出建议。

4.1 重点和优先发展的领域

《汞污染防治技术政策》（2015 年 12 月 24 日发布）指出，涉汞行业主要指原生汞生产，用汞工艺（主要指电石法聚氯乙烯生产），添汞产品生产（主要指含汞电光源、含汞电池、含汞体温计、含汞血压计、含汞化学试剂），以及燃煤电厂与燃煤工业锅炉、铜铅锌及黄金冶炼、钢铁冶炼、水泥生产、殡葬、废物焚烧与含汞废物处理处置等无意汞排放工业过程。今后重点和优先发展的领域应遵照《汞污染防治技术政策》的要求开展相关工作，除此之外，还应关注以下领域：

（1）研究涉汞行业含汞废气、含汞废水、含汞废渣等的污染防治共性关键技术，并推进技术的示范及应用。

（2）研究汞污染防治的策略及政策。

（3）进一步明确全球大气汞排放源，完善监测/检测方法，量化排放清单。

（4）建立全球一体化监测大气汞沉积的网络数据库，完善大气汞分布数据，完善汞传输、风险评估模型。

（5）研究汞沉积、甲基化以及生物摄取量之间的关系，明确汞在大气-海洋、大气-土壤、大气-植被之间的交换通量，研究汞的甲基化和去甲基化机理。研究不同形态汞特别是甲基汞、二甲基汞的毒性及其作用。

（6）研究全球汞迁移和循环过程及相应的数学模型。

4.2 重点和优先发展的技术

重点推进的先进技术，以及计划推广的主要技术如表 12 所示。

表 12 重点推进先进技术和计划推广的主要技术

序号	技术成熟度	技术名称	应用领域	备注
1	研发技术	矿浆电解	高汞污染土壤修复	正在中试
2		陶瓷纳米吸附	含汞废气、含汞废水	正在中试
5	示范技术	低温等离子体集成技术	有色金属冶炼、水泥生产、燃煤等行业含汞废气	正在进行汞冶炼过程含汞废气技术示范
6	示范技术	陶瓷纳米功能材料	含汞土壤修复	含汞土壤修复技术待进行示范验证
7		改性钒钛钢渣脱除烟气零价汞技术装备	钒钛钢渣烟气脱汞	研发完毕
		硫化沉淀+功能材料吸附	复杂含汞废水处理	中试完毕
8		多元含汞固废综合回收处理技术	含汞废渣回用技术	研发完毕
9		含汞废水净化回用技术	汞冶炼过程产生的含汞废水	研发完毕
10		固相电还原技术	汞盐、汞炔、高浓度含汞土壤/废渣资源化回收技术	中试完毕
11	推广技术	低温等离子体集成技术	含汞废物处理处置、废物焚烧等行业含汞废气	已进行汞冶炼过程含汞废气技术示范
12		无汞触媒技术	VCM 生产过程	已有示范
13		无汞技术路线	VCM 生产过程	已有示范
14		燃煤烟气 RECO 全效去零技术	燃煤含汞烟气	已有示范

4.3 尚需配套的标准、法规、政策建议

4.3.1 制定和完善有关汞管理的法律法规

结合国民经济和社会发展规划,将履约要求纳入现有法律法规体系;制定新的管理办法,对现有法律法规体系中未涉及的履约要求进行明确规定。

(1) 制定国家有关法律、法规的制定/修订计划。建议环保部会同有关部门按照履约需求,提出有关法律、法规的制定/修订计划,按程序纳入相应的立法议程,明确涉汞行业全生命周期内汞和汞化合物的使用、流通、处置、排放及污染场地的控制规定。

(2) 制定汞和汞化合物的削减和控制管理办法或指导政策。针对汞和汞化合物污染控制,尤其是重点行业全生命周期内汞的使用和排放控制等履约急需的政策需求,制定汞和汞化合物的削减和控制管理办法或指导政策。

4.3.2 建立汞和汞化合物管理的标准体系

制定和修订有关汞和汞化合物管理的标准和技术规范,控制汞和汞化合物的污染和排放。

(1) 修订相关的环境质量标准。修订涉及 POPs 的大气、水、土壤等方面的环境质量

标准，包括：《地下水质量标准》（GB 14848-93）；《海水水质标准》（GB 3097-1997）；《土壤环境质量标准》（GB 15618-1995）。

（2）修订或制定相关产品质量标准、卫生标准及其他标准。尽快修订或制定涉及汞和汞化合物的产品质量标准和卫生标准，具体包括：修订食品和农产品中总汞和甲基汞的限量指标；制定或修订相关化妆品中汞和汞化合物的限量标准。

（3）修订或制定重点行业污染物排放标准。修订现有标准或制定专门针对汞排放的重点行业汞和汞化合物排放标准。

（4）制定有关行业的清洁生产标准、技术政策或技术规范。针对涉汞重点行业，包括燃煤电厂、电石法 VCM 生产、有色金属冶炼、水泥生产、含汞电池生产、含汞医疗器械生产及含汞电光源生产等行业，制定有关行业的清洁生产标准、技术政策或技术规范。

工程创面生态修复技术发展报告

1 创面生态修复总体概况

高速公路和铁路、油气管道、水电站、矿山建设在国家“十二五”规划中具有重要地位。

“十二五”期间,全国公路网规模进一步扩大。公路总里程达到450万公里,国家高速公路网基本建成,高速公路总里程达到10.8万公里,覆盖90%以上的20万以上城镇人口城市,二级及以上公路里程达到65万公里,国道总体技术状况达到良等水平,农村公路总里程达到390万公里。

到2015年,全国铁路营业里程达12万公里左右,其中西部地区铁路5万公里左右,复线率和电气化率分别达到50%和60%以上。基本建成快速铁路网,营业里程达4万公里以上,基本覆盖省会及50万人口以上城市。大能力区际干线和煤运通道进一步优化完善,煤炭运输能力达30亿吨以上。同时,加快构建与其他交通方式紧密衔接的综合交通枢纽及综合物流中心,提高服务效率,促进综合交通运输体系建设。

我国现有70%的石油和99%的天然气通过管道运输,根据“十二五”规划,到2015年末我国油气输送管总长度将达到15万公里左右(其中:新增原油管道1万公里,成品油管道1-1.5万公里,天然气管道4.4万公里),惠及人口超过4亿人。此外,根据《全国城镇燃气发展十二五规划》,城镇燃气管道总长度也将从35万公里增加到60万公里左右。

“十二五”期间按照“建设十大、建成八大”千万千瓦级水电基地的目标,综合考虑资源状况、开发条件、前期工作等因素,重点开发大渡河、雅砻江、调沧江中下游、金沙江中下潜等流域,启动金沙江上带、澜沧江上游、黄河上游(茨哈以上)、雅鲁藏布江中游、怒江中下游等水电基地开发。优化开发闽浙赣、东北、湘西水电基地。同时,全面总结小水电开发经验,提高建设管理水平,完善电价形成机制,推动小水电持续健康发展。发挥小水电资源丰富、广泛分布于农村地区的特点,重点开发偏远、离网地区小水电,加快解决无电地区用电问题;优化开发中小流域,增加清洁能源电力供应。水电将累计提供4.2万亿千瓦时的清洁电力。

煤炭资源开发是发展我国国民经济的重要任务之一,同时煤电能源是我国能源结构的重要组成部分。“十二五”期间,我国将重点开发山西(晋北、晋中和晋东),内蒙古准格尔、鄂尔多斯、锡盟、呼盟和霍林河,新疆哈密、准东和伊犁,陕西陕北和彬长,宁夏宁东,甘肃陇东,黑龙江宝清,安徽淮南,贵州等共16个大型煤电基地,包括:山西(晋东南、晋中、晋北)、陕北、彬长、宁东、准格尔、鄂尔多斯、锡林郭勒、呼伦贝尔、霍林河、宝清、哈密、准东、伊犁、淮南、陇东以及贵州,逐步形成山西、鄂尔多斯盆地、

西南和内蒙古和新疆五个综合能源基地。据预测,2015年到2020年我国煤电装机规模将达到11.7亿千瓦,外送电规模达到2.7亿千瓦,煤电基地机组开工和投产规模均占全国煤电的一半以上,外电送入对受电区用电负荷的贡献超出1/3。据此分析,未来较长一段时间内,我国煤电基地电力规模和外送电规模仍将持续较大地发展。

这些工程项目的开发与利用,对经济发展起到了巨大的推动作用,但是带来的生态环境负效应也很突出。交通运输是占用土地最多的行业之一,并且其占地规模继续扩大。截至到2010年,中国公路的总里程达到 1.80×10^6 km,造成 5.54×10^{10} m²的土地永远丧失农业生产能力。同时,开挖建设过程中,造成大量的山体、地表裸露,取弃土丢弃占用大量土地,并造成水土流失,地质灾害等。交通运输造成的环境污染以公路运输为主,如汽车尾气、颗粒物、噪音等污染。从发达国家情况看,一些主要污染物如一氧化碳、二氧化碳、一氧化氮、细小颗粒物、挥发性有机复合物等的排放量中,交通运输所占的比重仅次于工业,其中公路运输污染物排放量又占交通运输污染物排放量的60%~90%。由于最近10年中我国汽车数量的大幅度增长,尤其在一些大城市中,由于汽车排放所造成的空气污染日益严重,估计约有50%的氮氧化物来自汽车排放,在交通拥挤的市区一氧化碳超标,光化学烟雾存在潜在危险,臭氧超标也不断增强。大城市中汽车排放已经成为空气污染的主要原因。

我国已探明与钻采的油气田大多远离消费区,随着油气资源的需求量不断增大,长距离油气管道集输成为能源传输的最佳手段,堪称油气田的生命线。管道工程的整个建设过程分勘察设计期、建设期和运营期3个阶段。在勘察设计期,主要进行实地调查、测量及地质勘探等活动,对生态环境影响轻微。在建设期,人员、机械活动最频繁。不仅要进行植被消除、地表开挖、施工便道的挖高垫低、穿跨越河道、隧道钻掘、管道埋设,还要修建许多工艺站场,对周围环境影响最大。在运营期间对生态环境影响主要来自工程事故风险隐患。滑坡、地震、泥石流等地质灾害,海水、盐浸地、湿地对管线的侵蚀,人为机械破坏都会导致管线破裂、罗纹口断裂、闸门破裂以及管线放空,引起油气泄露,污染土壤、水系和大气环境。同时,相关资料显示,平均建设1 km的油气管道大约增加355吨的水土流失量。随着我国油气资源的迅速开发,输油气干线管网和配套设施建设数量急剧增加,管道沿线的水土流失问题日益显著,影响了区域可持续发展。生态保护与修复油气管道建设区不仅能够减少投资,还能提高油气管道的安全性。

水电站项目建设过程中,大量的土石方开挖改变了原有的生态平衡体系,形成许多裸露的土质或石质边坡,原生植被遭到严重破坏,如不及时进行坡面的防护处理,裸露的边坡在降雨作用下,容易造成严重的水土流失。

从“十二五”规划的大型煤电基地所处的地理位置分析,主要分布在干旱半干旱的内蒙古、新疆、甘肃、宁夏和陕北地区,这一区域年降雨量少蒸发量大,水资源匮乏且时空变化剧烈,整体植被条件差,植被覆盖率低,日温差大,冬春季有强季风,地貌特征以沙漠、风沙草地和黄土高原为代表,东部为半干旱草原地区,向西逐步过渡至干旱半荒漠和荒漠,这一区域生态状况属于典型生态脆弱区。随着我国煤电基地建设进程的不断加快,煤电基地建设与开发活动引起的环境问题也日趋严重。煤炭资源的大规模开采,严重破坏了煤炭开采区的土地资源和周边生态环境,地下开采造成大规模的土地沉陷,露天开采造成植被退化、土地沙化、地表塌陷、地下水位下降、水土流失等重大生态问题。对此,如

果不采取适当的控制和治理措施,及时开展生态修复、有效遏制煤电开发重大工程所产生的一系列生态环境问题,将极易造成区域生态环境的进一步恶化,影响国家生态与可持续发展战略的实施,并直接威胁到国家能源安全。

党的十八大报告提出要大力推进生态文明建设,并且首次将生态文明建设提升至“五位一体”的总布局之中,成为全面建成小康社会任务的重要组成部分。建设生态文明,建设美丽中国关乎人民福祉、民族未来,更是实现中华民族伟大复兴中国梦的重要组成部分。

2015年3月28日,国家发展改革委、外交部、商务部联合发布了《推动共建丝绸之路经济带和21世纪海上丝绸之路的愿景与行动》。文中提到,“加大煤炭、油气、金属矿产等传统能源资源勘探开发合作,积极推动水电、核电、风电、太阳能等清洁、可再生能源合作,推进能源资源就地就近加工转化合作,形成能源资源合作上下游一体化产业链。加强能源资源深加工技术、装备与工程服务合作”。

2015年10月,我国“十三五”规划建议提出,必须牢固树立创新、协调、绿色、开放、共享的发展理念,必须坚持节约资源和保护环境的基本国策,坚持可持续发展,坚定走生产发展、生活富裕、生态良好的文明发展道路,加快建设资源节约型、环境友好型社会,形成人与自然和谐发展现代化建设新格局,推进美丽中国建设,为全球生态安全做出新贡献。《建议》还提出要筑牢生态安全屏障,开展大规模国土绿化行动,推进荒漠化、石漠化、水土流失综合治理,加强地质灾害防治。国家政策方针一再强调经济建设和生态文明建设要和谐协调发展。建设资源节约型、环境友好型社会是我国一项长期的战略任务。

1.1 国内外相关法规、政策、标准体系现状

1.1.1 法规类

1.1.1.1 国家层面

20世纪60年代以来,环境保护基本法的积极作用得到越来越多国家的认可与重视,不少国家相继制定了环境基本法。例如,卢森堡于1965年制定《自然环境和自然资源保护法》。日本于1967年制定《公害对策基本法》,并于1993年修改为《环境基本法》,美国于1969年制定《国家环境政策法》,加拿大于1988年制定《环境保护法》等。这些国家的环境保护基本法无一例外地经过了多次修改,以应对不断变化的环境保护需求。对其他国家制定和完善环境保护基本法的经验进行总结,对我国修改《环境保护法》具有重要的借鉴价值。

《中华人民共和国宪法》在2004年修正案第9条第2款规定:“国家保障资源的合理利用,保护珍贵的动物和植物。禁止任何组织或个人用任何手段侵占或者破坏自然环境。”第26条第一款规定:国家保护和改善生活环境和生态环境,防治污染和其他公害。

1989年我国颁布了《中华人民共和国环境保护法》是我国一部环境保护综合法。2014年4月第十二届全国人大常委会第八次会议审议通过了《环境保护法》修订草案,规定行政拘留措施、设立引咎辞职制度,规定按日计罚的措施,增设“信息公开与公众参与”一章,设立了环境公益诉讼制度,是中国环境保护法治史上一项重要改革举措。

目前环境保护的单行法有污染防治类:包括《中华人民共和国水污染防治法》、《中华人民共和国大气污染防治法》、《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》、《中华人民共

和《中华人民共和国环境噪声污染防治法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》等。

生态保护类：《中华人民共和国水土保持法》、《中华人民共和国野生动物保护法》等。例如《中华人民共和国水土保持法》第二章第十八条规定，修建铁路、公路和水工程，应当尽量减少破坏植被；废弃的沙、石、土必须运至规定的专门存放地堆放，不得向江河、湖泊、水库和专门存放地意外的沟渠倾倒；在铁路、公路两侧地界以内的山坡地，必须修建护坡或者采取其他土地整治措施；工程竣工后，取土场、开挖面和废弃的砂、石、土存放地的裸露土地，必须植树种草，防止水土流失。其他类：《中华人民共和国海洋环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》等。

涉及环境保护的一些自然资源保护和其他有关部门法律，如《中华人民共和国森林法》、《中华人民共和国草原法》、《中华人民共和国渔业法》、《中华人民共和国矿产资源法》、《中华人民共和国水法》、《中华人民共和国清洁生产促进法》等。

1.1.1.2 地方层面

西藏自治区立法机关日前通过《西藏自治区湿地保护条例》，该法规是西藏自治区出台的收分有关湿地保护的专门法律文件。于2011年3月1日起施行。该条例共38条。条例规定，县级以上人民政府林业主管部门应当对湿地资源进行定期调查，建立湿地资源档案。县级以上人民政府应当按照湿地保护规划，对退化的湿地采取补水、限牧、退耕、封育等措施进行恢复。

各省市根据国家层面出台的系列法律法规相应的制定了实施办法、细则等。如《青岛市大气污染防治条例》、《山东省高速公路条例》、《山东环境保护条例》、山东省实施《中华人民共和国大气污染防治法》办法。

1.1.2 政策类

1.1.2.1 国家层面

2010年12月交通运输部把在未来几年开展重大交通基础设施生态修复试点工程，包括对穿越或靠近湿地的公路实施湿地水系连通生态恢复工程，对重大围填海港口工程实施植被恢复、增殖放流、人工鱼礁等生态修复工程，对内河航道建设较为密集的流域实施鱼道建设、增殖放流、生态护岸等生态修复工程，写入正在编制《交通运输“十二五”发展规划环境保护专项规划》。

2010年12月，国家实施天然林资源保护二期工程，会议决定为维护国家生态安全，有效应对全球气候变化，促进林区经济社会可持续发展，会议决定，2011年至2020年，实施天然林资源保护二期工程，实施范围在原有基础上增加丹江口库区的11个县（市、区）。力争经过10年努力，新增森林面积7800万亩，森林蓄积净增加11亿立方米，森林碳汇增加4.16亿吨，生态状况与林区民生进一步改善。

2010年12月，“谁污染，谁负责”原则是国际上深受认同的关于污染者承担由于污染和破坏环境造成的损失的一项环境原则，该原则在我国环境立法历程中也得到了逐步渐进深化，从最初的“谁污染、谁治理”，到“污染者付费”是污染者负责原则在不同阶段的体现。并确定了两类环境的责任主体。

2010年12月，进行了改革矿产资源税费制度，实行资源有偿取得，与国外普遍征收的红利相比，我国的矿产权有偿取得制度在维护国家财产权益上力度明显偏弱。我国现有

的矿业制度,包括矿产资源税费制度,却没有针对矿产勘查活动给予充分经费,这是我国商业性矿产勘查不足的一个重要原因。通过制度设计和税费改革,促进矿产行业的可持续发展和解决矿产开发中的问题,其中包括“环境修复基金”和“安全生产基金”的制度设计问题。

2010年11月25日,国土资源部与山西省人民政府签署了一份有关矿业用地管理机制创新的部省合作协议。过去,“重开发、轻复垦”的利用方式,致使一些矿山闭坑后或处于废弃状态,未得以有效利用,或得以复垦而土地难以物尽其用。目前,针对企业复垦土地积极性不高,应尽快研究复垦土地的退出机制;针对土地复垦资金长期得不到落实的问题,制定相关的约束机制。协议探讨了边生产、边复垦模式,积极探索矿产资源管理机制创新。

2010年12月,国家将“加快建立生态补偿机制”写入国民经济和社会发展的“十二五”规划建议。

2011年6月8日,国家发展和改革委员会介绍,即将公开公布的《全国主体功能区规划》按开发方式,将国土空间划分为优化开发区域、重点开发区域、限制开发区域和禁止开发区域。这是新中国成立以来我国第一个全国性国土空间开发规划。

为规范矿山地质环境恢复治理专项资金管理,提高资金使用效益,国家财政部出台了《矿山地质环境恢复治理专项资金管理办法》。该《办法》针对的是国有矿山在计划经济时期形成的或责任人已经灭失的、因矿山开采活动造成矿山地质环境破坏的恢复和治理。专项资金重点支持可以充分挖掘低效、废弃工矿用地潜力,能够同时体现环境效益、社会效益和经济效益的矿山地质环境恢复治理项目。《办法》明确了支出规范化,专项资金用于矿山地质环境恢复治理工程支出及其他相关支出。工程支出包括矿山地质灾害治理、地形地貌景观破坏治理、矿区地下含水层破坏治理和矿区土地复垦等。其他相关支出,是指与项目实施相关的勘察规划设计费、工程监理费、竣工验收费,以及其他经财政部、国土资源部批准的支出。专项资金不得包括对外投资,赞助和捐赠支出,支付滞纳金、罚款、违约金、赔偿金。购置与项目实施无关的设备、装备等固定资产;修建与项目实施无关的房屋、道路、通信、电力等基础设施。人员工资、津贴补贴及奖金和公务车辆支出以及其他与项目无关的支出。

2015年12月,中办国办印发《生态环境损害赔偿制度改革试点方案》,并发出通知,要求各地各部门结合实际认真贯彻执行。该方案中生态环境损害,是指因污染环境、破坏生态造成大气、地表水、地下水、土壤等环境要素和植物、动物、微生物等生物要素的不利改变,及上述要素构成的生态系统功能的退化。当发生较大环境损害时,按本试点方案要求追究生态环境损害赔偿责任。

2015年10月,《全国水土保持规划(2015-2030)》是我国首部获得批复的国家级水土保持规划,是我国水土流失防治进程中一个重要里程碑,是今后一个时期我国水土保持同坐的发展蓝图和重要依据,也是贯彻落实国家生态文明建设总体要求的行动指南。针对我国区域自然、社会经济条件、水土流失状况差异显著的特点,按照水土保持法“全面规划、因地制宜”的方针,规划首次开展了全国水土保持区划,将我国全部陆域(不含港澳台地区)划分为8个一级区、40个二级区、115个三级区。

2015年10月,“十三五”规划是十个目标公布,规划目标中将加强生态文明建设写入

五年规划中。

1.1.2.2 地方层面

2010年12月北京市技术标准制(修)订专项补助资金(以下简称“补助资金”)是针对标准制(修)订单位参与国际标准、国家标准、行业标准、地方标准制修订工作结果的一次性无偿资助。补助资金由市级财政在年度预算中安排,市质量技术监督局负责技术标准补助项目的管理。

《福建省林权登记条例》已由福建省第十一届人民代表大会常务委员会第十二次会议于2009年11月26日通过,条例规定自2010年3月1日起施行林改最关键的是林权登记,它关系到林业是否持续发展、农民是否得到实惠、林区是否和谐等重大问题。2003年,福建省在全国率先进行了集体林权制度改革,实现了“明晰产权、承包到户”。2009年11月25日,福建省十一届人大常委会第十二次会议通过了《福建省林权登记条例》,这是全国首部规范林权登记发证的地方性法规。条例从立法层面完善了林权登记发证的相关工作,依法保护和巩固林权改革成果,必将对福建乃至全国的集体林权制度改革产生深远的影响。

安徽省截至2015年6月底,各地共组织实施“三线三边”矿山地质环境治理项目116个,其中地方政府负责79个、矿山企业负责37个,累计投入治理资金3.18亿元,完成治理面积约700公顷。

1.2 标准体系类

《环境影响评价技术导则 声环境》HJ2.4-2009

《环保用微生物菌剂环境安全评价导则》HJ415-2008

《林木种子质量等级》DB/33176-2005

《主要造林树种苗木质量等级》DB33177-2005

《主要林木种子质量分级》DB41/T504-2007

《四川省林木种子质量分级》DB51/T706-2007

《四川省工程建设地方标准:四川省建筑边坡工程施工质量验收规范》DBJ51\T044-2015

《内蒙古自治区公路路堑边坡设计规范》DB15/T 473-2011

《福建省高速公路施工标准化管理指南:边坡生态恢复》人民交通出版社

《公路边坡加固技术指南》人民交通出版社

《生物多样性观测技术导则》HJ710.1-2014~HJ710.11-2014

《矿山地质环境保护与恢复治理方案编制规范》,DZ/T0223-2011,2011年8月31日起实施。

《非煤露天矿边坡工程技术规范》GB51016-2014。

2013年7月,国土资源部地质环境司近日发布《国土资源部关于编制和修订地质灾害防治行业标准工作的公告》。公告指出,为推动地质灾害防治工程行业健康发展,国土资源部组织拟定了《地质灾害防治行业标准目录》(简称《目录》)和《地质灾害防治行业标准体系框架》,并邀请省级国土资源主管部门和地质、煤炭、有色、化工、建材、冶金、核工业、水利、建筑等领域从事地质灾害防治工作的单位参与编制、修订工作。根据地质

灾害防治工作涉及的管理和技术内容,本次拟编制或修订标准为《目录》提出的调查评价、勘察、设计、施工、监理、监测、应急支撑、预算标准、信息系统及综合等 10 类,包含滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷、地面沉降、地裂缝等 6 种灾害类型,共 145 项。

1.3 国内外对重点行业的控制管理现状

2010 年 12 月 21 日,环境保护部有关负责人在 2010 年度及“十一五”主要污染物总量减排核查核算视频会议上表示,“十二五”期间,我国将在继续推进化学需氧量和二氧化硫减排的同时,把氨氮和氮氧化物作为新的约束性指标。

2010 年 5 月,环保部公布了《“十二五”主要污染物总量控制规划编制技术指南(征求意见稿)》。该指南中最明显的变化是出现了两个“实施总量控制”新指标,即氨氮和氮氧化物。具体减控指标拟定为,氨氮排放总量控制目标要比 2010 年减少 10%,重点行业 and 重点地区氮氧化物排放总量要比 2010 年减少 10%。10 月,环保部又公布了《国家环境保护标准“十二五”规划(征求意见稿)》,也规定了新增的氨氮和氮氧化物的减排标准。

2011 年 1 月“十二五”减排约束性指标增至 4 项,多项政策助力减排,“十二五”期间,我国将继续加大污染减排力度,减排的约束性指标要从“十一五”期间的两项增加为 4 项。在化学需氧量和二氧化硫的基础上增加氨氮和氮氧化物两项约束性指标。

2011 年 3 月 16 日,《国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》正式发布,纲要明确要求加大环境保护力度,以解决饮用水不安全和空气、土壤污染等损害群众健康的突出环境问题为重点,加强综合治理,明显改善环境质量。实施主要污染物排放总量控制。加强造纸、印染、化工、制革、规模化畜禽养殖业等行业污染治理,继续推进重点流域和区域水污染防治,加强重点湖库及河流环境保护和生态治理,加大重点跨界河流环境管理和污染过防治力度,加强地下水污染防治。推进火电、钢铁、有色、化工、建材等行业二氧化硫和氮氧化物治理,将强脱硫脱硝设施稳定运行,加大机动车尾气治理力度。深化颗粒物污染防治。加强恶臭污染物治理。建立健全区域大气污染联防联控机制,控制区域复合型大气污染。地级以上城市空气质量达到二级标准以上的比例达到 80%。有效控制城市噪声污染。提高城镇生活污水和垃圾处理能力,城市污水处理率和生活垃圾无害化处理率分别达到 85%和 80%。防范环境风险,加强重金属污染综合治理。加大持久性有机物、危险废物、危险化学品污染防治力度,开展受污染场地、土壤、水体等污染治理与修复试点示范。强化核与辐射监管能力,确保核与辐射安全。推进历史遗留的重大环境隐患治理。加强对重大环境风险源的动态监测与风险预警及控制,提高环境与健康风险评估能力。

2011 年 5 月 23 日,国家履约工作协调组办公室在京启动了《斯德哥尔摩公约》签约十周年宣传启动仪式。同时国家环境保护部表示,2015 年基本控制二噁英排放的增长趋势。健全环境保护法律法规和标准体系,完善环境保护科技和经济政策,加强环境监测、预警和应急能力建设。加大环境执法力度,实行严格的环保准入,依法开展环境影响评价,强化产业转移承接的环境监管。严格落实环境保护目标责任制,强化总量控制指标考核,健全重大环境事件和污染事故责任追究制度,建立环保社会监督机制。

2011 年,上海市污染减排的具体目标是确保 COD、氨氮、二氧化硫、氮氧化物的排放量在 2010 年基础上分别消减 2%,并同步推进总磷、挥发性有机物(VOCs)的排放控制。上半年,以“抓责任分解,抓项目落地,抓政策配套”为重点,全力推进“十二五”

污染减排启动工作。

2011年7月2日,经北京市政府批准,北京市环保局、北京市发展和改革委员会联合印发了《北京市“十二五”时期环境保护和建设规范》。规范提出了“十二五”期间北京市主要污染物总量减排目标,以及空气、水和声环境质量的规划目标。

交通运输部《公路水路交通运输环境保护“十二五发展规划”》提出,“十二五”期间,交通运输行业将全面体现“绿色发展的理念”,化学需氧量 COD、总悬浮颗粒物 TSP 等主要污染物排放强度比“十一五”末降低 20%,到 2015 年,实现公路水路交通环境污染的到有效控制。将重点开展生态型公路工程、公路生态修复试点、施工期公路污染治理、公路服务区污染治理、营运期公路噪声治理等方面工程建设。

2012年4月,国务院批复《全国地质灾害防治“十二五”规划》,是当前我国地质灾害防治工作的重要指导性文件。《规划》提出的基本目标是,“十二五”期间,完成地质灾害重点防治区调查任务,全查清地质灾害隐患的基本情况。初步建立与全面建设小康社会相适应的地质灾害防治体系,在地质灾害防治区基本建成调查评价体系、监测预警体系、防治体系和应急体系,基本消除防灾减灾体系薄弱环节的突出问题,到 2020 年,全面建成地质灾害调查评价体系、监测预警体系、防治体系和应急体系,基本消除特大型地质灾害隐患点的威胁,使地质灾害造成的人员伤亡明显减少。

2 主要技术发展情况

2.1 国内外主流技术研发情况

2.1.1 国外主流技术研发情况

麦克哈格最早把生态理念引入高速公路、铁路、油气管道设计中,他在《设计结合自然》(design with nature, 1969)一书中对高速公路、铁路、油气管道的设计提出了自己的设想并对里士满林园大路选线方案进行了分析,他认为路线方案的选择除了考虑一般的自然地理、交通和工程标准之外,还要结合资源价值、社会价值和美学价值来考虑。他指出高速公路、铁路、油气管道不再仅仅考虑其通行权内的一些汽车运行问题,而且要考虑它影响地区内自然生物和社会的变化过程的情况,并提出了图形叠置的环境影响评价方法。此外,生态工程技术逐渐融入高速公路、铁路、油气管道工程设计领域,在一定程度上使具体的高速公路、铁路、油气管道工程设计与环境有机结合,减少高速公路、铁路、油气管道的环境影响。

欧美等发达国家比较注重高速公路、铁路、油气管道景观规划设计,将其作为开发和保护自然资源中的审美主题,将高速公路、铁路、油气管道融合在周围环境中,并充分利用自然环境中的地形地貌、山水草木等因素,使高速公路、铁路、油气管道与特定地区的生态环境相协调。在高速公路、铁路、油气管道设计中,宁愿把技术指标降低,或把工程造价提高也绝不轻易大填大挖。如在奥地利境内的阿尔卑斯山区内,高速公路的纵坡最大采用到 7%,平曲线半径的采用也十分灵活,宜大则大,宜小则小;法国的 A14 号公路,是一条典型的环保型公路,该公路地处缓丘区,森林遍布丘陵,因此所有的挖方路段均采

用了明洞或浅埋隧道,工程造价十分昂贵,但自然景观和人文景观取得了十分和谐的效果,在法国被誉为环保型公路的典范;意大利南部山区 E70 号高速公路,基本穿梭于崇山峻岭之中,全路段基本以分离式路基为主,或上下分离或左右分离,或远分或近分,就如两条二级公路自如地穿梭于阿尔卑斯山一般,景观效果十分明显。

美国在高速公路、铁路、油气管道设计中,尽量避免高填深挖,减少对原地形、地貌的影响,高速公路、铁路、油气管道的排水设计非常注重环境保护。同时,美国高速公路、铁路、油气管道在重点路段两边设有监测系统,对空气质量实时监测,对噪声超标地段设置减噪设施。在高速公路、铁路、油气管道施工过程中,美国政府对承包商在环境保护方面的要求非常严格,施工时尽量减少对原有土壤的扰动,施工前根据原有地表径流,并结合设计的永久排水设施的设置做好临时排水系统,对周围环境有较大影响的路段进行重点防范。

瑞典政府规定新建的交通运输设施必须与周围环境相适应,它们的设计也必须为各地的生态、文化与价值观所认同,并且在规划和设计阶段实施避免措施、代替措施和减缓措施等环保措施;在施工过程中实施防治性措施、恢复性措施和补偿性措施等环保措施;在营运和养护阶段实施噪声防治措施、空气污染防治措施以及水资源环保措施等,来加强对环境的保护。

加拿大政府在高速公路、铁路、油气管道建设中采取了很多简单或高成本的环保措施,如在野生动物经常经过的路段建设野生动物通道绿桥,对于给生态环境已造成不可避免影响的地段,尽量进行生态补偿建设,将损害等降低到最低限度。在施工过程中,主要采取环境紧急情况警报、防止水土侵蚀、防噪音、动物保护等环保措施。

德国在高速公路、铁路、油气管道设计过程中,需要对工程项目中如路基路面、路堑、桥梁、涵洞、防护墙、排水设施、噪音防护设施等采取相应的措施,尽最大可能减少或者避免对于一些无法避免的侵害必须采取补偿措施。

国外生态防护理念起步较早。1633 年,日本人采用铺草皮、栽树苗的方法治理荒坡,成为日本植被护坡的起源。到了 20 世纪 30 年代,这种生物途径首次引入中欧,得到迅速发展并在欧洲盛行,主导着世界植被护坡的研究与应用。20 世纪 60 年代以后,植被护坡技术已推广到世界许多国家。在北美,植被护坡运用历史可以追溯到 1926 年,而且承袭了中欧的经验,主要致力于与农林业和道路建设有关的侵蚀控制。在英国,这个方法始于 20 世纪 40 年代末,用于陆地景观的稳定、堤岸和交通线路边坡的稳定等。欧美国家主要是围绕着防止坡面遭受雨水侵蚀的目的而进行,主要应用于公路边坡的植被防护及河堤防护。当前国外主体生态防护技术如下表 1。

表 1 国外当前主要生态防护技术

国家	类型	技术
欧美国家	高养护型	湿式喷播快速植草技术
日本	喷播	客土喷播
	喷附	基质喷附技术
	绿化	绿化喷播技术
	天然植被修复	生态系统重建技术
英国、意大利	加筋土技术与植被防护结合	工程与生态结合技术

2.1.2 国内主流技术研发情况

目前国内创面防护主要有三种形式：圬工防护、综合防护、生态防护。

边坡圬工工程防护的形式种类繁多，主要有浆砌片石衬砌拱、浆砌片石网格、预制混凝土网格、预制混凝土砖块、砖型石块及浆砌片石全防护等。总体来说工程全防护形式防护能力强，但是美观效果差，且工程防护几年后维护费用逐年增加。大量的水泥片石结构不利于生态的恢复和生态系统的连通性。

创面的防护另外一种形式是综合防护，即植被防护与圬工防护相结合。这类防护就是以圬工防护为骨架，在空隙处采用植物防护，重点是骨架形式的设计，目前常用的有衬砌拱、六角空心块、浆砌片石网格等。这种方式也是目前国内目前防护的主要形式。

国内边坡创面还大量采用了生态护坡的形式，并采用了不同的植被类型，取得了较好的环境景观效果和生态效益。主要有播种草皮、铺草皮、植树（灌木），综合植被防护。特别是乔、灌、草相结合的植被护坡技术已成为目前生态防护的主流意识。随着人们生态环保意识的增强，生态防护已在国内大量采用，在创面上营造适合植被生长的土壤基质，采用不同的工程技术手段对创面进行生态恢复。

植被护坡的国内历史源远流长。最早有记载的植被护坡应用先在 1591 年的中国，当时柳树等已用于河岸边坡的加固与保护；在 17 世纪，中国就利用植被护坡技术保护黄河河岸。近年来，随着国家对生态环境建设投入力度的不断加大，针对公路边坡等工程创面植被恢复的工程绿化技术也在不断发展，植草技术、造林技术与坡面防护技术的结合，使得公路绿化从传统的铺草皮技术，发展到人工建植、机械建植、表层覆盖相结合的现代公路绿化技术。当前国内工程创面采用的生态防护主体技术措施见下表 2。

表 2 当前国内创面生态防护主体工程技术

技术类别	技术名称	适应质地	适应硬度	适应坡度
喷附类生态防护	液力喷播	土质/混合	0-3	缓坡、斜坡、陡坡
	有机混材喷附	土质/混合/石质	0-5	缓坡、斜坡、陡坡、特陡坡
	厚层基质喷附	土质/混合/石质	≥5	缓坡、斜坡、陡坡、特陡坡
	植生混凝土	土质/混合/石质	≥5	缓坡、斜坡、陡坡、特陡坡
植生类生态防护	高次团粒	土质/混合/石质	≥5	缓坡、斜坡、陡坡、特陡坡
	植生袋	土质	≥5	缓坡、斜坡
种植类生态防护	植生毯	土质	0-4	缓坡、斜坡
	生态撒播	壤土/黏土	0-2	缓坡、斜坡
	生态穴栽	壤土/黏土	0-2	缓坡、斜坡

目前，人们已经逐渐认识到建立科学的生态补偿机制是解决高速公路、铁路和油气管道建设过程中生态保护问题的有效途径。在我国，虽然有一些涉及高速公路、铁路和油气管道建设生态补偿的相关政策，但这些政策缺乏系统性和协调性，普遍存在生态补偿的法律法规不健全、价格机制不完善和生态补偿资金来源少等问题。

总之，无论是高速公路、铁路和油气管道设计、施工，还是工程创面生态环境修复与保护方面，本项目均具有坚实的技术储备和研究积累。

2.2 国内外主流技术推广和应用情况

2.2.1 主流技术推广和应用情况

目前边坡防护中采用圪工防护与客土喷播的优势体现在施工工艺简单、易操作,对环境与地质条件要求低,技术要求低;但其建成后工程老化与自我损毁较严重,需要投入大量的人工与资金进行维护,并且存在潜在安全隐患。3S-OER 植被生态修复技术措施可以有效地克服圪工防护与客土喷播技术弊端,建成后的防护工程随着时间推迟其稳定性逐步增强,且后期无养护费用。

3S-OER 植被生态修复技术是国家环境保护创面生态修复工程技术中心暨路域生态工程有限公司经十五年自主研发开发的植被生态修复技术体系。该技术体系采用人工手段模拟自然良性生态系统三要素,即土壤生境系统(Soil Habitat System)、植被群落系统(Plant Community System)和物质循环系统(Substance Cycle System)进行创面植被群落恢复或者重建,其内涵包括三大技术体系分支,即土壤生境重建技术体系、群落配置及植被重建技术体系和功能菌筛选及循环系统重建技术体系。其中,每个技术体系分支又包含多项关于材料、施工工艺、生态修复数据库及生物产品等方面的核心技术。

“3S-OER”植被生态修复技术是国内首个将受损植被群落系统修复成为标准化可检测的百年生态工程的一组综合技术体系,其主要创新点如下:

- (1) 可在不利立地条件下构建成熟而稳定的植物群落;
- (2) 针对岩坡和土坡的立地条件对现有播种量计算模型进行了优化;
- (3) 基于筛选、驯化的 CA 菌、KL 菌和 GI 菌,按 3: 2: 3 比例混合培养配制成复合生态修复菌剂,具备固氮、纤维素降解、木质素分解、促进植物生长等多种作用;
- (4) 基于乡土植被数据库确定植物群落配比方案技术;
- (5) 采用有效积温建植技术,使植被群落建植施工节点精确到天。

该技术体系颠覆了传统以园林绿化方式进行生态修复的做法,创新了植被生态修复理论、工艺、材料,解决了工程创面植被修复领域多年存在的“一年绿,两年荒,三年死光光”的质量问题。应用“3S-OER”植被生态修复技术建成的“百年生态工程”,具有一次建成、免人工养护、零运营成本,像大自然中的森林和草原生态系统一样可以永久为业主提供生态服务的特点。

目前该技术已经十分成熟,处于推广应用阶段。“3S-OER”植被生态修复技术在我国东北、西北、华北、东南、西南等地区的公路、铁路、矿山及受损山体、水电站的植被修复领域得到广泛应用,连续推广 12 年,累计示范面积超过 400 万平方米,取得了集工程、生态、社会和经济为一体的显著效应,收到业主、政府、专家、社会和舆论一致好评。

2.2.2 产业化和发展趋势

产业规模

(1) 公路生态修复领域:《国家公路网规划(2013 年-2030 年)》提出未来我国公路网总规模约 580 万公里,未来 17 年间公路投资超 5 万亿。按生态建设占公路建设总投资比 1-3%比例计算,仅高速公路生态修复至少有 500 亿左右的容量,平均每年 30 亿左右的市

场容量。

(2) 矿山及山体生态修复领域:《全国矿产资源规划(2008-2015)》,提出了发展“绿色矿业”的明确要求,并确定了“2020年基本建立绿色矿山格局”的战略目标。《全国资源型城市可持续发展规划(2013-2020年)》,至2020年,用于矿山环境治理保证金预计2800亿元(不含中央及地方政府配套资金),平均每年350亿市场容量。

(3) 流域生态修复领域:2013年7月召开的中国环保产业高峰论坛上,环保部污染防治司处长汪涛表示,“水污染防治行动计划的投入预计达到2万亿元。”其中生态修复工程占比达50%,未来17年总计投资1万亿,平均每年580亿的市场容量。

(4) 湿地生态修复领域:全国现有湿地面积3848多万公顷,其中自然湿地面积有3620多万公顷,库塘湿地228多万公顷。其中11%临近城市边缘,按未来3-5年5%开发总量计算刚性需求,平均每年200亿左右的市场容量。

综合整体生态修复的行业预测,未来生态修复的总市场容量平均每年将达到1160亿元,是新兴产业,市场前景看好。

当前国外发达国家(如日本、澳大利亚、美国、加拿大等)多采用物理防护(修筑构造物工程)和生物防护(绿化植生工程)相结合,并优先考虑生物防护。常用的工艺有钢筋水泥框格法、植生卷铺盖法、客土植生法、纤维绿化法、生态多孔砼绿化法和厚层基材喷射绿化法等。这些技术虽然能够迅速地建立植被体系,但对于植物建群与建群后植物群落的稳定性缺乏保障,而且养护成本偏高。

“3S-OER”植被生态修复技术基于多年多点工程施工现场的数据分析、总结、提升再应用于工程,颠覆了传统以园林绿化方式进行生态修复的做法,创新了植被生态修复理论、工艺、材料,应用“3S-OER”植被生态修复技术建成的“百年生态工程”,具有一次建成、免人工养护、零运营成本,像大自然中的森林和草原生态系统一样可以永久为业主提供生态服务的特点。因此,“3S-OER”植被生态修复技术取代目前所用的其他技术是可以预见的。

2.2.3 国内主要研发机构工作进展情况

我国高速公路、铁路和油气管道生态恢复与保护技术研究队伍日趋专业化、多学科化和高层次化。目前,在国家环境保护工程创面生态修复工程技术中心、中国科学院生态环境研究中心、浙江大学、北京师范大学、中国农业大学、北京林业大学等单位均有专门的高速公路、铁路和油气管道生态修复相关研究室(或课题组),科研人员由地质、测量、农学、林学、地理学、土壤学、环保、水利、生态学、土地规划与利用等多专业组成。

国家环境保护工程创面生态修复工程技术中心致力于交通、矿山、流域、水电站、油气田等领域的创面生态修复工程的理论建设、技术创新和集成应用,在受损植被生态修复技术、受损土壤生态修复技术、受损水体生态修复技术、危岩山体加固技术、矿山固废与重金属污染处理技术、环境微生物应用技术等国内外生态修复技术前沿领域具有人才、技术、项目建设等方面的突出优势。与交通运输、国土资源等领域的业主合作建设了20多个公路边坡、矿山排土场、基建工程创面等生态修复工程化示范基地。目前已具备先进的技术研究与产品开发的硬件条件,成为生态修复行业技术开发与科技成果转化的重要平台。中心在15年研发施工的经验基础上形成了3S-OER植被生态修复技术体系,该技术

体系采用人工手段模拟自然良性生态系统三要素,即土壤生境系统(Soil Habitat System)、植被群落系统(Plant Community System)和物质循环系统(Substance Cycle System)进行创面植被群落恢复或者重建,其内涵包括三大技术体系分支,即土壤生境重建技术体系、群落配置及植被重建技术体系和功能菌筛选及循环系统重建技术体系。其中,每个技术体系分支又包含多项关于材料、施工工艺、生态修复数据库及生物产品等方面的核心技术。且每项体系都根据国标、行标、企标等配有可检测的检测体系,实现了该技术的体系化、标准化。在3S-OER的工程施工方面,中心建立了一套标准化施工工艺流程与质量检测体系,保证了工程效果的稳定与可靠。该技术获得北京市新技术认定(证书编号: XFW2015HB0027)。获省部级奖项4项,国家、省部级课题资助15项,授权专利12项,发表论文11篇;北京市住建委等“五委一局”联合颁发技术认定证书。并被列为国家火炬计划项目(编号:2015GH061451)进行重点示范推广。代表性:奖项、证书、专利如表3:

表3 3S-OER技术代表性课题列表

序号	项目(课题)名称	项目来源
1	3S-OER 植被生态修复技术产业化项目	科技部
2	西部地区公路建设中的环境保护对策研究	交通部
3	盐渍土地区公路养护维修及环境保护技术的研究	交通部
4	公路路域生态工程技术研究	交通部
5	干旱半干旱地区高速公路沿线生态环境建设试验示范研究	交通部
6	国道321线阳朔月亮山至桂林段公路生态恢复和景观建设技术研究	交通部
7	内蒙古中部干旱地区公路边坡生态恢复技术应用研究	内蒙古自治区
8	半干旱地区公路岩质边坡生物恢复加固技术研究	交通部
9	长白山区公路建设植物筛选及植物生态建植技术研究	交通部
10	山区公路弃土场设计与施工技术研究	交通部
11	西部公路工程的生态环境损益分析及路域生态工程效果评估研究	交通部
12	神宜公路生态环保关键技术研究及示范	交通部
13	大兴安岭高寒冻融地区路堑边坡生态修复技术与示范研究	交通部
14	内蒙古中东部地区公路路堑阳坡植被建植技术与示范	内蒙古自治区
15	广西壮族自治区高速公路生态建设技术规范研究	广西壮族自治区

目前在公路、铁路、矿山等领域的示范工程中取得了优异的社会、经济、生态效益,在今后的相关工程创面生态修复工程中应广泛推广使用。

中国科学院生态环境研究中心于1999年9月经中国科学院批准,纳入中国科学院知识创新工程试点,在自然资源合理利用、生态环境保护、国土综合整治、区域可持续发展、资源与环境信息系统等重要领域,取得了一批国家级重大科研成果。此外,还与欧盟和美国的相关实验室建立合作关系,可为本项目实施提供一定的科学指导。

中国科学院是我国从事应用技术研究的专业研究机构,具备多领域甲级咨询资质,其中在煤炭资源行业各类技术的研究与开发,专业人才众多,技术力量雄厚。其下属的各个研究所在矿区环境治理方面技术力量雄厚,现拥有一支集岩层移动控制、环境保护、“三下”采煤、地质、水文地质、地球物理勘探、岩石力学、矿山测量、工业与民用建筑、计

算数学、计算机等多学科专业人才为一体的科研队伍，并拥有解决本课题的较先进的技术手段与设备。承担完成过多项国家攻关及煤炭部重点项目，其成果多次获奖。

中国矿业大学是我国煤炭行业唯一从事矿山测量、矿区开采损害与防治、采煤塌陷地规划与复垦等技术的研究机构，也是我国煤炭行业最具影响力的主力科研机构和技术创新基地。具备工程咨询和工程设计甲级、矿山工程总承包贰级、地质灾害危险性评估资质甲级、测绘资质乙级等资格证书。是矿山测量（矿区开采损害与防治、采煤塌陷地规划与复垦）、矿物加工工程专业的硕士培养单位。该院矿山测量研究所是我国最早研究和应用采煤塌陷地复垦技术的单位，自 1983 年以来，积极参与矿区生态环境保护与土地复垦、采煤塌陷地治理等土地规划治理项目，完成相关科研项目 20 余项。

中国矿业大学（北京）具有环境科学、环境工程、土地资源管理等专业及恢复生态学研究所，完成了“九五”211 工程项目“矿区生态环境监测与治理”，“十五”211 工程项目“矿区生态环境控制、恢复理论与综合治理技术”，“煤炭资源高效与绿色开采系统”，“我国典型露天煤矿生态风险评价与管理”，“露天煤矿区生态系统退化机制与生态安全”等重点项目。

中国煤炭经济研究中心是专门从事煤矿安全的专业研究院，拥有我国唯一专业承担露天煤矿安全开采技术研究的露天安全开采研究所，具备地质灾害防治工程勘查、地质灾害防治工程设计二个甲级资质及地质灾害危险性评估甲级资质。近些年来，相继承担完成了科技部社会公益研究专项资金项目、国土资源部项目；编制完成了“矿山土地复垦与生态环境恢复整治规划”。

2.3 我国自有知识产权技术的竞争力评价

近 30 年来，国内外对高速公路、铁路、油气管道等重大线性工程的生态恢复和生态修复展开了深入研究，取得了一些专利。比如：高速公路生态恢复和生态修复方面，在美国专利中，查选到 277 篇专利，中国在 24 个专利分类中有 14 篇；铁路生态恢复和生态修复方面，在美国专利中，查选到 42 篇专利，中国在 32 个专利分类中有 14 篇；油气管道生态恢复和生态修复方面，在美国专利中，查选到 279 篇专利与生态修复相关，中国在油污染土壤修复方面有 25 篇，在油污染水体修复方面有 25 篇，中国在 8 个专利分类中未检索到相关专利。

受污染土壤的生物修复方面，美国专利在 B09C1/10 国际专利五级分类中有 36 篇，中国在 8 个专利分类中有 10 篇；污染水体生物修复方面，美国专利（以 C02F003/32 or C02F003/34 and lake or river 检索）查选到 60 篇，中国在 11 个专利分类号有 29 篇。总体说，我国开展相关研究的时间比较短，具有自主知识产权技术和专利均较少。

3 主要问题分析

目前我国创面生态恢复产业中存在的问题，主要表现在以下几方面：

（1）理论技术水平低，工程质量差。创面生态恢复与传统的荒山造林、城市绿化之间最大的区别在于立地条件的差异、工程时效的紧迫和施工作业的复杂。目前国内有关这方面的理论研究零散、单一，缺乏系统性，而技术研究也没有形成独自的体系，还是以各自

引进为主,缺乏技术消化、技术普及和技术创新。其结果往往是盲目照搬国外技术,随意扩大使用范围,单纯追求短期、快速的覆盖效果,忽略植物群落的稳定性和与周边自然环境的协调,使得工程质量达不到防护效果、生态效果和景观效果的统一。

(2) 缺少技术标准,企业行为不规范。由于没有全国性或地方性统一的技术标准与施工规范,设计和招标单位难以科学、合理地把握工程价格,而各施工企业则根据自己对相关技术的掌握程度来拟定施工成本,随意提高或降低工程造价,导致恶性竞争不断。例如,客土喷播的工程报价可以从 20 元/m² 到 80 元/m² 甚至 120 元/m² 不等。结果是不合理的高利润和无序的低报价并存,最终会给工程质量带来严重影响。

(3) 产业分工与协作不完善。目前我国创面生态恢复的产业分工还不是很明确,设计、材料、设备、施工、管护等环节尚未完全实现专业化,各企业之间、上下游各环节之间也没有形成分工与协作的机制。例如,目前主要由施工企业自行生产的喷播基材,如果根据区域差异合理布局基材生产企业,完全可以实现专业化生产,这样不仅可以用经过专门发酵处理的农业秸秆和城市污泥等在保证产品质量的前提下代替目前常用的草炭(国家对开采草炭有严格的限制,不可能长期、大量地开采来用作商品供应),还可以保护环境、合理利用资源、缓解运输压力,从根本上解决基材的质量和成本问题。

(4) 科研投入不足,人才培养滞后。创面生态恢复理论、技术研究与工程试验涉及理、工、农、林、水、经济等众多的学科和专业,生态恢复的方向、过程与效果也需要长时期的跟踪调查,这些都需要较大的科研投入才能完成。而在我国国家级、省部级的各种科研计划中,这方面项目的资助都很少。这方面的人才培养也相对滞后,高等院校中还没有培养这方面人才的专业,开设的相关专业课程也很少。

4 建议

为解决上述问题,促进我国创面生态恢复产业化发展,我中心建议今后要加强以下几个方面的工作:

(1) 确立产、学、研、官、民相结合的发展模式。工程创面生态恢复产业是一项公益性事业,政府是投资的主体,政府对产业化发展的引导作用不可缺少,它的受益者是广大的民众,民众的生态意识和积极参与是保障生态恢复效果的重要因素。因此,创面生态恢复产业化发展的模式应该是产、学、研、官、民相结合,即在政府的引导下,在科研单位的技术支撑下,以企业为工程实施主体,发动广大民众参与,在环境友好、资源节约的前提下实现区域化布局、专业化生产、社会化服务、一体化经营,实现生态效益、社会效益和经济效益的统一。

(2) 建立国家级科研和人才培养基地。创面生态恢复的理论研究和技术研发是长期任务,需要不同学科、不同专业的科研人员协同合作,把理论研究、技术研究、工程试验、工程应用、效果监测结合起来,才能够达到目的。为此,建立国家级科研和人才培养基地,提高理论研究和技术开发水平,培养专门人才,是产业可持续发展的保证。

(3) 制定技术标准和施工规范。目前在我国创面生态恢复工程中应用的技术既有从国外引进的,也有自行研发的,但由于研发背景不同、引进渠道不同、鉴定部门不同,再加上我国复杂的自然环境和区域分异,使得这些技术在应用中出现了很大的随意性,造成设

计部门、施工部门、监理部门各行其是，直接影响了工程质量。为此，在对各种技术的原理、特点、适用范围、操作流程进行整理和改进的基础上，制定出国家或行业技术标准与施工规范是当务之急。

（4）组建产业协会。组建跨行业的工程创面生态恢复产业协会，对于构建政府与企业之间的沟通桥梁、推动技术普及、规范企业行为、保障市场秩序是非常必要的，也是促进产业化发展进程的重要步骤。日本根据坡面生态恢复与城市园林绿化的技术特点与施工难度的不同，分别组建了全国特定坡面保护协会（社团法人）和日本绿化协会，对于日本生态恢复产业化发展起了重要作用。日本的做法值得我国借鉴。

创面的生态恢复，即是我国当今社会经济建设中的新课题，也是以往由于种种原因未能解决的老问题。在全球环境问题和全球经济一体化的双重压力下，面对我国生态环境不断恶化的现实，形成产、学、研、官、民相结合的发展模式，将会使创面生态恢复为我国的社会经济可持续发展发挥重要作用。

环境技术指导体系发展报告

1 所属行业或领域总体概况

1.1 2014-2015 年国内外相关法规、政策、标准体系现状

1.1.1 国外相关法规、政策、标准体系现状分析

(1) 美国

美国在 1972 年就颁布了《清洁水法》，水排放法规（或清洁水行业法规）主要由三部分组成：（1）排放指南（Effluent Limitations Guidelines, ELGs）；（2）行业预处理标准（Pretreatment Standards, PS）；（3）新源执行标准（New Source Performance Standards, NSPS）。美国要求工业污染源在 1977 年 7 月 1 日前达到基于 BPT（常规污染物、非常规污染物、有毒污染物）的排放限值，在 1983 年 7 月 1 日前达到基于 BAT（有毒污染物、非常规污染物）的排放限值。基于技术的污染物排放限值和削减技术评估体系对控制美国水域的污染起到了重要的作用。到 1982 年，就有约 96% 的工业污染源达到了基于技术的排放限值，而后直接排放源的达标率维持在很高的水平，污染物得到大幅度削减。美国 EPA 在水领域建立了 54 个行业的指南和标准。尤其在水污染防治方面，基本上形成了以基于污染控制技术的排放标准管理为主，以水质标准管理为补充，以总量控制和排污许可证为主要内容的水污染防治机制。

此外，美国环保局针对现有污染源、常规污染物、非常规污染物和新污染源，要求企业分别采用现行最佳控制技术（BPT）、最佳常规污染物控制技术（BCT）、污染防治最佳可行技术（BAT）和最佳示范技术（BADT），并以控制技术为依据制定颁布了 50 多个行业的工业废水和城市污水排放限值指南和标准。

(2) 欧盟

20 世纪 70 年代初，欧洲共同体（现为欧盟）内各成员国开始出台共同的环境政策，建立共同的环境标准和污染预防与控制政策。1996 年，欧盟在综合污染防治（IPPC）指令 96/61/CE 中提出了建立污染防治最佳可行技术（BAT）的要求，并由欧盟委员会工作小组和各成员国共同起草 BAT 参考文件，从 1999 年开始用于新建设施，到 2002 年，欧盟的 BAT 体系已经基本建立完成，并在主要行业建立起相应的 BAT 参考文件，开始发挥其指导作用。期间，各成员国也相继以 BAT 参考文件为基础，构建起符合各自具体国情的 BAT 体系，要求到 2007 年，所有现存设施都应达到其要求，预测大约有 60000 个环保设施采用 BAT 技术。保加利亚也在 2003 年采纳了 IPPC 指令，确定了 BAT 的指导地位。

IPPC 指令实质上是在欧盟各个成员国范围内为减少各种工业污染而实施的以 BAT 技术为基础的许可证制度。IPPC 指令是欧盟 27 个成员国必须遵守的共同的指令，已成为欧盟环境法规的核心内容。

工业污染排放法令（The Industrial Emissions Directive 以下简称 IED）即法令 2010/75/EU，本质上是 IPPC 法令的进一步深化和延续，依旧是关于最大限度的减少整个欧盟各种工业污染源的污染。在内容上比 IPPC 更为综合，环境标准更为严格，覆盖工业设备也更加广泛。IED 于 2010 年 12 月 17 日正式颁布官方文件，2011 年 6 月 6 日起逐步实行，2013 年 1 月 7 日前逐步进入欧盟各国立法体系。2014 年 1 月 7 日起，IED 替代 IPPC 法令和各个行业法令。

综上所述，发达国家十分重视技术指南、示范技术、最佳可行技术等环境技术体系对环境保护和污染治理达标的重要作用，而且成功的制定和运用了以污染防治最佳可行技术为核心的环境技术指导体系，在环境污染治理和实现环境保护目标上发挥了重要作用。

1.1.2 我国相关法规、政策、标准体系现状分析

我国环境保护事业经过 30 多年的发展，目前已经建立起相对完善的环境管理政策、法规体系、环境标准体系，实施了一系列环境管理制度。

为适应环境管理的需要，在上世纪 90 年代初，原环境保护总局开始对环境技术进行管理。首先集中在对现有治理技术的筛选上，“七五”期间汇编了《1990 年国家科技成果重点推广计划》环境保护项目目录。为使技术成果的筛选规范化，加速环境科技成果转化，1991 年成立了国家环境保护局最佳实用技术评审委员会和环境保护最佳实用技术推广办公室（筹），并于 1995 年 5 月正式成立“国家环境保护局最佳实用技术推广办公室”。1992-2003 年间，全国各省市环保局和国务院各部门、行业协会共推荐了 2418 项环境保护实用技术。通过专家评审和筛选，共选出 1024 项国家重点环境保护实用技术进行推广。“八五”期间，随着国家科技攻关重点的调整，技术管理重点放在了污染防治技术的开发上，国家环保局组织了“八五”国家环保科技攻关研究，针对重点、难点污染防治技术开展了科技攻关。“八五”攻关要求达到工业性示范工程的高要求，同时要求研究治理工艺、装置设备和新产品相结合的成套技术。

“九五”期间，国家环保总局开始制订污染防治技术政策，对污染防治工作发挥了重要的指导作用，极大地促进了相关领域环保治理技术及产业的发展。

“十五”期间，我国环境技术管理工作有了新的发展。在此期间，国家环保总局开始组织实施了系列环境污染防治技术管理工作，先后发布了印染行业废水、危险废物、燃煤二氧化硫、柴油车、摩托车、制革毛皮工业等 15 项污染防治技术政策；制订了医疗废物集中焚烧处置工程技术规范、医疗废物高温蒸汽集中处理工程技术规范、火电厂烟气脱硫工程技术规范等 12 项技术规范；制（修）订了 90 多项环境保护产品技术要求和 70 多项环境标志产品技术要求。综上所述，我国在环境技术管理方面已经开展了大量工作，主要集中在最佳实用技术的筛选和发布，制定技术政策、工程技术规范和技术要求等。

“十一五”期间，根据环境技术指导体系的需求，适时修订与完善 30 多项重点行业污染防治技术政策，制订火电、钢铁等重点行业 40 多项污染防治最佳可行技术导则，制订 40 多项技术规范。

2007年,原国家环境保护总局发布的《国家环境技术管理体系建设规划》(环发〔2007〕150号)明确指出,构建国家环境技术指导体系,以指导社会生产采用先进技术,防治环境污染和保护生态环境,引导环境技术发展为目的,配合环境管理而进行的技术监督与管理,总体目标是到2020年建立层次清晰、分工明确、运行高效、支撑有力的国家环境技术指导体系。

自2007年启动环境技术管理体系建设以来,我国环境技术管理工作取得一些进展,目前已经建立起相对完善的环境技术政策、法律法规和环境标准体系,主要集中在污染防治技术政策、污染防治最佳可行技术导则和环境工程技术规范,同时也出现了一些新情况和新问题,随着环境管理目标的提升和工作的不断深入,对“十三五”的技术管理也提出了更高的要求。

1.2 2014-2015年国内外对污染控制涉及的重点行业的污染控制管理现状

1.2.1 国内对重点行业污染管理现状

2014年中国环境状况公报显示,2014年,在党中央、国务院的高度重视下,生态文明建设和生态环境领域改革取得积极进展,大气、水、土壤污染防治迈出新步伐,主要污染物总量减排年度任务顺利完成,环境保护优化发展的综合作用继续显现,环境法制建设、执法监管和环境风险管理更加有力,生态环境保护稳步推进,核与辐射安全可控。

2015年,十二届全国人大三次会议上,环境保护部部长陈吉宁指出,长期以来,环境保护是我国的一项基本国策,我们历届政府一直努力破解发展与环境之间的矛盾。特别是党的十八大提出,把生态文明建设纳入到“五位一体”的总体布局。整个国家的污染治理进程明显在加速。2015年,从污染物总量减排来看,四项主要污染物,COD和二氧化硫已经提前完成“十二五”的任务,氮氧化物和氨氮预计也会按期完成。随着污染物的持续减排,一些常规的污染物在国控断面上已经出现了持续稳定好转的局面。但是总的来看,污染物排放量仍然处在一个非常高的水平上,已经接近或者说超过环境容量,在一些地方、在一些时间段,超过还比较多。所以说,我们的环境形势仍然十分严峻,表现在三个方面:一是环境质量差。雾霾的问题、水体富营养化的问题、地下水污染的问题、城市黑臭水体的问题等等。二是生态损失比较严重,特别是水体的生态损失。三是由于产业布局不合理,大量的重化工企业沿河、沿湖、沿江的布局仍然带来比较高的环境风险。环境问题已经成为我们实现全面小康的瓶颈问题。

环境技术作为解决环境问题的利器,只有通过行之有效地技术管理,才能够为污染减排和污染治理提供基础保障和技术支撑。随着国家在环境技术管理方面工作力度的不断加大,环境污染防治技术也在不断地进步与发展。

1.2.2 国外对重点行业污染管理现状

欧盟、美国、日本、加拿大等已先后建立了相当完善的环境技术管理体系。目前欧盟已制定环境法规150余项,35个行业欧盟最佳可行技术参考文件(BREFs)文件,20余条环境标准及排放限值,用于指导环境技术发展工作。美国国家环境保护局(EPA)在水领域建立了54个行业的指南和标准。

(1) 发达国家已经建立了相当完善的环境技术指导文件体系

欧盟、美国、日本、加拿大等已先后建立了相当完善的环境技术指导文件体系。例如，1996年，欧盟在综合污染防治（IPPC）指令 96/61/CE 中提出了建立污染防治最佳可行技术（BAT）的要求，并由欧盟委员会工作小组和各成员国共同起草 BAT 参考文件，从 1999 年开始用于新建设施，到 2002 年，欧盟的 BAT 体系已经基本建立完成，并在主要行业建立起相应的 BAT 参考文件，开始发挥其指导作用。

(2) 环境技术评估制度已经发达国家重要的环境法规之一

欧盟对企业 BAT 技术的评审，是针对一定的设施水平，判定其是否为最佳可行技术，同时需要考虑当地的具体条件。评审方法是对拟采用的技术依据当地情况进行费用效益分析，确定最佳技术方案，还需要依据设施的技术特征、设施的地理位置、当地的具体环境条件以及考虑多方收益率等因素进行调整。欧盟污染综合控制指令（IPPC）建立了一个综合性的许可证制度，以控制所有污染物的产生，并以此协调欧盟的环境法规，它已成为欧盟环境法规的核心内容。

(3) 环境技术评价已经成为技术推广、国际交流合作的门槛

从国外的经验来看，环境技术评价是技术示范推广的有利途径。如美国、加拿大等国开展的环境技术验证评价，为新技术的示范推广提供了有力的条件和平台，为新技术进入市场、参与国际竞争提供了有利的保障。环境技术验证制度在美、加、日、韩都已成功应用，并取得良好的运行效果。由于各国认证制度不同造成的差异，使认证制度应有的优点不能得到很好的体现。为打进各国市场，技术提供商需要反复申请多国的认证，其人力物力的消耗及费用的增加是可想而知的。

2 主要技术发展情况

2.1 主要技术发展情况

2.1.1 国外技术指导体系发展情况

(1) 美国

环境技术政策是美国环境技术管理的核心，是环境法规的组成部分和技术支持，在技术政策中所规定技术的经济指标与环境效益的综合效果，包括技术的成熟性、可靠性和经济性，是排放限值标准制（修）订的技术依据。美国的环境技术政策目前已在水污染防治和大气污染防治等领域得以应用。

以水污染防治技术政策为例，在美国清洁水法（CWA）中技术政策分为两类，一类是针对现有污染源，分别给出最佳可行控制技术（BPT）、最佳常规污染物控制技术（BCT）和最佳经济可行技术（BAT）；另一类针对新源，给出现有最佳示范技术（BDT）。

美国环保局以“现有最佳企业平均表现水平”来决定 BPT 技术，BCT 是在同时考虑能源、环境、经济和其他成本条件下，现有的能够使其向环境中排放的污染物量达到最少的可行技术。BAT 是针对现有污染源有毒物质和非常规污染物提出的，较 BPT 排放限值严格的最佳可得技术。现有最佳示范技术（BDT）是经示范证实了的最佳可得控制技术，

是能够最大限度地减少排放量并已经实践验证过的最佳可用技术、工艺、方法和其他措施。美国环保局对这些技术发布的指南,包括相当丰富、完整的技术内容,对于环境管理的各环节都发挥了重要的技术支持作用。

目前,美国基本上形成了以基于污染控制技术的排放标准管理为主,以水质标准管理为补充,以总量控制和排污许可证为主要内容的水污染防治机制。

总体来说,美国是通过环境制约和激励机制结合,促进环境技术发展。首先是制定专项的法律,配有严格的法律要求;其次是制定的污染物排放标准与经济、技术发展水平结合紧密;第三是只要求达标排放,不限制技术选择,可执行性好。同时用优惠政策吸引民间和企业资金的投入,以促进新技术的示范和产业化。

总体来说,美国是要求达标排放,不限制技术选择,可执行性好。同时用优惠政策吸引民间和企业资金的投入,以促进新技术的示范和产业化。

(2) 欧盟

欧盟对 BAT 技术的评审,是针对一定的设施水平,判定其是否为最佳可行技术,同时需要考虑当地的具体条件。评审方法是对拟采用的技术依据当地情况进行费用效益分析,确定最佳技术方案,还需要依据设施的技术特征、设施的地理位置、当地的具体环境条件以及考虑多方收益率等因素进行调整。

BAT 参考文件由欧盟委员会工作小组,各成员国的权威部门和专家共同起草,文件详细描述了迄今为止被视为最佳的污染防治技术,并且给出了通过应用 BAT 可能达到的污染物排放量和资源消耗量水平。

表 1 欧盟最佳可行技术指南(BAT)清单

序号	名称	中文名
1	Reference document on best available techniques in the pulp and paper industry December 2001	造纸纸浆行业
2	Best available techniques reference document on the production of iron and steel December 2001	钢铁行业
3	Reference document on best available techniques in the cement and lime manufacturing industries December 2001	水泥石灰行业
4	Reference document on the application of best available techniques to industrial cooling systems December 2001	工业冷却系统
5	Reference document on best available techniques in the chlor-alkali manufacturing industry December 2001	氯碱行业
6	Reference document on best available techniques in the ferrous metals processing industry December 2001	黑色金属加工业
7	Reference document on best available techniques in the non ferrous metals industries December 2001	有色金属工业
8	Reference document on best available techniques in the glass manufacturing industry December 2001	玻璃制造业
9	Reference document on best available techniques for the tanning of hides and skins February 2003	制革业
10	Reference document on best available techniques for the textiles industry July 2003	纺织业

序号	名称	中文名
11	Reference document on the general principles of monitoring july 2003	监督原则
12	Reference document on best available techniques for mineral oil and gas refineries February 2003	石油和汽油炼制业
13	Reference document on best available techniques in the large volume organic chemical industry February 2003	大容量有机化工
14	Reference document on best available techniques in the smitheries and foundries industry may 2005	锻造和铸造工业
15	Reference document on best available techniques for intensive rearing of poultry and pigs july 2003	集约化畜禽养殖
16	Reference document on best available techniques on emissions from storage july 2006	仓库排放
17	Reference document on best available techniques in common waste water and waste gas treatment/management systems in the chemical sector February 2003	普通废水和废弃物气体处理/化学单元的管理系统
18	Reference document on economics and cross-media effects july 2006	经济学和跨媒体影响
19	Reference document on best available techniques for large combustion plants july 2006	燃料消耗大厂
20	Reference document on best available techniques for the manufacture of large volume inorganic chemicals-ammonia, acids and fertilizers dated October 2006	大容量无机化工制造业-氨、酸和肥料
21	Reference document on best available techniques for the manufacture of large volume inorganic chemicals-solids and others industry dated October 2006	大容量无机化工制造业-固体和其他工业
22	Reference document on best available techniques in the slaughterhouses and animal by-products industries may 2005	屠宰业和动物副产品工业
23	Reference document on best available techniques in the food, drink and milk industries august 2006	食品、饮料和牛奶工业
24	Reference document on best available techniques in the ceramic manufacturing industry December 2006	制陶品业
25	Reference document on best available techniques for management of tailings and waste-rock in mining activities july 2004	采矿业尾矿和矸石管理
26	Reference document on best available techniques for the surface treatment of metals and plastics august 2006	金属和塑料制品表面处理业
27	Reference document on best available techniques for the surface treatment using organic solvents august 2006	有机溶剂表面处理行业
28	Reference document on the best available techniques for waste incineration august 2006	废物焚烧
29	Reference document on best available techniques for the waste treatments industries august 2006	废物处理工厂
30	Reference document on best available techniques for the production of speciality inorganic chemicals dated October 2006	特殊无机化学品生产
31	Reference document on best available techniques for the manufacture of organic fine chemicals august 2006	有机精细化工制造业
32	Reference document on best available techniques in the production of polymers dated October 2006	聚合物生产业

序号	名称	中文名
33	Draft reference document on energy efficiency techniques draft april 2006	能源效率
34	Wood-based Panels Production	人造板生产
35	Surface Treatment Using Organic Solvents (including Wood and Wood Products Preservation with Chemicals)	用化学品保存木材和木制品

欧盟最佳可行技术参考文件(BREFs)体系覆盖广泛,该体系覆盖包含能源、金属加工制造、矿石、化工、废物管理、纺织、造纸和食品工业等部门。文件详细描述了各类工业生产的工艺,存在的环境问题,问题产生的环节,原因及控制措施,除一般的技术控制措施外,特别给出了在目前条件下不同工艺,不同控制技术下的最佳可行技术,并且给出通过应用这种技术可能达到的污染物排放量和资源消耗量水平。

BREFs 包含能源、金属加工制造、矿石、化工、废物管理、纺织、造纸和食品工业等部门。文件详细描述了各类工业生产的工艺,存在的环境问题,问题产生的环节,原因及控制措施,除一般的技术控制措施外,特别给出了在目前条件下不同工艺,不同控制技术下的最佳可行技术,并且给出通过应用这种技术可能达到的污染物排放量和资源消耗量水平。

BREFs 在实施的过程中,必须定期进行评审,根据所依据法令和法规的变化随时保持更新,以保证与科学技术的同步发展,并根据 BAT 执行经验的反馈,来对 BAT 限值进行修正。工业污染排放法令(The Industrial Emissions Directive 以下简称 IED)即法令 2010/75/EU,本质上是 IPPC 法令的进一步深化和延续,依旧是关于最大限度地减少整个欧盟各种工业污染源的污染。在内容上比 IPPC 更为综合,环境标准更为严格,覆盖工业设备也更加广泛。IED 于 2010 年 11 月 24 日通过,2010 年 12 月 17 日正式颁布官方文件,2011 年 6 月 6 日起逐步实行,2013 年 1 月 7 日前逐步进入欧盟各国立法体系。2014 年 1 月 7 日起,IED 将会在替代 IPPC 法令和各个行业法令(各个行业法令,是基于特殊限值要求,主要包括对于特殊工业生产的污染排放限值,例如:大型燃煤发电厂,废物焚烧等行业)。

IED 相比 IPPC,一个重要的区别是新设的成员国环境监测体系建设。该项重要调整,由于具体至不同工业生产过程,使得环境监察从国家层面具体至企业层面,监管更加详细具体。排污许可证申请所需材料,也由原来的以企业生产设备、环境管理措施等,转变为目标管理,即污染排放管理。同时,更加强调了 BAT 的地位和作用,尤其在排污许可证申请中表示会参考 BAT 使用状况,另外专门有一节附录部分阐述了 BAT 遴选原则。最后,IED 对环境要求更为严格,较 IPPC 也更为综合,覆盖工业设备更为广泛,它增加了新的行业,同时整合更多相关法令内容。

欧盟委员会 2004 年 1 月 28 日制订的环境技术行动计划(ETAP)提出,将吸引更多的私有和公共投资用于环境技术的开发和示范应用,鼓励创新工艺,将发明创造从实验室转移到市场。欧盟采取了两大创新行动:建立技术平台和建立测试网络。技术平台就是将所有感兴趣的企业集中起来,建立长期合作关系,开发和促进特定技术或解决特定问题。对环境技术进行测试将有利于验证创新技术的性能,保护人体健康和环境安全。建立测试网络将使信息一致、可比较、评价参数可靠。

在欧盟已经制订的第六个环境行动计划中，已经就经济增长、防止环境衰退制订了整体目标，明确发展和更好地利用环境技术将有助于增加欧洲的竞争能力、开启潜在市场、创造新的就业机会。“研究、技术开发和展示”第七个框架计划（2006-2010）也将为环境技术的进一步开发提供机会。

2.1.2 国内技术指导体系发展情况

我国的技术指导文件主要包括污染防治技术政策、污染防治最佳可行技术指南（BAT）、环境工程技术规范等。2007年以来，技术指导体系基本建立起以污染防治技术政策为统领，污染防治最佳可行技术指南为主干，工程技术规范为细节的环境技术指导体系。污染防治技术政策为宏观指导，污染防治最佳可行技术指南为微观指导，污染防治技术政策与污染防治最佳可行技术指南相互对应。

为规范技术指导文件的制修订工作，自2007年以来，环保部科技司针对不同技术指导文件的定位和特点陆续组织编制了《污染防治技术政策编制要求》、《污染防治最佳可行技术导则编制管理办法》、《污染防治最佳可行技术指南编制导则》、《污染防治最佳可行技术导则编写规则及指南》、《环境工程技术规范制定技术导则》等规范性文件。这些规范性文件明确了技术政策、技术指南和工程技术规范在编制内容、程序、方法和体例上的区别和联系，提出了各类环境技术指导文件的基本框架和要求。为建立层次清晰的环境技术指导文件体系奠定了基础，标志着我国环境技术指导体系框架已经形成。

截至2015年底，环保部门组织编制的技术政策102项，技术指南39项，技术规范70余项；已经发布的污染防治技术政策34项，技术指南28项，技术规范79项。现行和制修订的技术指导文件着眼总量减排指标贡献大的重污染行业，覆盖火电、钢铁、水泥、造纸、石化、化工、印染、化纤、制药、有色冶炼、电镀等十余个行业；同时关注影响民生的热点环境问题，围绕二氧化硫、氮氧化物、农村生活、城镇生活、医疗废物、交通噪声等多项重点问题下达编制任务。从总体上看，技术指导文件的编制工作已经覆盖到“十一五”、“十二五”环境保护规划涉及的主要内容，初步形成了技术管理支撑环境管理的基本态势。

从我国已经发布的各类环境技术指导文件上看，这些文件为解决重点行业和重点问题从宏观技术政策，到中观技术路线，再到微观项目实施提供了全方位多层次的技术指导。目前，已经基本建立起以污染防治技术政策为统领，污染防治最佳可行技术指南为主干，工程技术规范为细节的技术指导文件支撑体系，为促进环境管理目标的实现提供了有力的技术保障。同时，这些文件围绕重点环境问题和重点工业行业提出污染防治的技术路线和要求，强调国家节能减排、预防和治理环境污染，优化产业结构，淘汰重污染行业落后工艺技术和产能等的实施路径和方法，凸显了从需求侧促进国家战略新兴环保产业发展和传统产业转型的导向性作用。环保部门的各类技术指导文件体系为促进国家产业转型，支撑国家宏观环境管理，推动污染防治工作上已经发挥了积极的作用。已发布的技术政策编制要求、BAT编制管理办法等文件在国家重大水专项等项目中得到了大量应用。例如，水污染防治技术管理体系框架及评估方法课题研究形成了由技术指导体系、技术评估体系、技术示范推广体系、技术特别排放限值体系以及监督保障体系等五大支撑体系组成的国家水环境技术管理体系，建立了我国水环境技术管理体系建设路线图，形成了七大组团（化工、

冶金、轻工、建材、面源、城市及通用和跨行业环境问题)、四大板块(城市、农村、工业及通用和跨行业环境问题)、三大水环境(河流水、湖泊水及地下水环境)的水环境技术指导体系。编制完成并由环境保护部科技标准司发布的《污染防治最佳可行技术导则编制指南》和《污染防治最佳可行技术导则制修订管理办法》(环科函[2009]41号)、《污染防治技术政策编制要求》(试行)等文件指导污染防治技术政策、最佳可行技术指南等技术指导文件编制工作。提出了我国环境技术评价体系框架,提出了适合于我国环境技术管理的环境技术评价类型分类,提出具体的法规政策体系、组织管理实施体系、评价技术体系、评价质量控制体系的内容,编制了一系列的环境技术评价管理规范文件。重点研究了最佳可行技术的评估方法和评估程序,研究了最佳可行技术的经济效益分析方法和程序,结合最佳可行技术筛选案例分析结果,编制了系列的最佳可行技术评价规范文件,有效提高了最佳可行技术评价工作的科学性。研究成果直接应用于“十二五”水污染物排放标准体系构建以及环保标准发展规划编制,对环境技术管理体系建设与环保标准体系建设具有重要指导意义。

“十二五”期间我国仍然处于工业化中后期,重工业化特征将更加明显,城镇化和工业化互动促进,经济格局深度调整、明显分化。受金融危机影响,“十二五”期间我国产业结构将呈现不断优化升级趋势,第三产业逐步成为经济发展的支柱产业;与此同时,我国传统工业文明的弊端将日益显现,消费规模的扩大及其从生存型向发展型和享受型快速过渡。机遇与压力并存,城镇化环境问题将更加突出,农业和农村现代化的发展使我国环境保护面临前所未有的新挑战。这些快速变革的背景下,我国的环境问题将变得日益尖锐、复杂和不确定。总体而言,污染物介质从大气和水为主向大气、水和土壤三种污染介质共存转变;污染物来源由单纯的工业点源污染向工业点源污染和农村、生活面源污染并存转变;污染物类型从常规污染物向常规污染物和新型污染物的复合型转变;污染范围从以城市和局部地区为主向涵盖区域、流域和全球尺度转变。完善环境技术管理体系在这一过程中也伴随着面源污染控制、有毒有害污染物控制等技术需求。

由于我国环境技术示范、推广工作起步较晚,规范和机制缺乏,因而出现重复、混乱局面,不能很好满足当前节能减排、强化治理、稳定达标等工作的迫切需求。因此,需要通过环境技术管理体系建设和持续改进,建立能与各时期环境保护发展的要求有机结合,鼓励环境技术不断创新,符合市场经济规律、系统规范、客观公正的技术评价制度和示范推广机制。在技术评估、技术示范及推广的基础上,不定期制订发布国家鼓励发展的环境技术和产品目录,建立环境信息平台。

环境技术指导、示范、推广工作体系的建立,必将会对污染防治技术政策、污染防治最佳可行技术导则和环境工程技术规范的实施以及重大战略性环境技术示范提供强有力的机制支撑和制度保证。

表2 我国现有技术政策清单

序号	名称	发布时间
1	汞污染防治技术政策	公告2015年第90号
2	铬盐工业污染防治技术政策	公告2015年第90号
3	重点行业二噁英污染防治技术政策	公告2015年第90号

序号	名称	发布时间
4	砷污染防治技术政策	公告 2015 年 第 90 号
5	合成氨工业污染防治技术政策	公告 2015 年 第 90 号
6	环境空气细颗粒物污染综合防治技术政策	2013
7	挥发性有机物 (VOCs) 污染防治技术政策	2013 年第 31 号
8	硫酸工业污染防治技术政策	公告 2013 年 第 31 号
9	钢铁工业污染防治技术政策	公告 2013 年 第 31 号
10	水泥工业污染防治技术政策	公告 2013 年 第 31 号
11	制药工业污染防治技术政策	环发[2012]18 号
12	石油天然气开采业污染防治技术政策	环发[2012]18 号
13	铅锌冶炼工业污染防治技术政策	公告 2012 年 第 18 号
14	电解锰行业污染防治技术政策	2010
15	畜禽养殖业污染防治技术政策	2010
16	农村生活污染防治技术政策	2010
17	火电厂氮氧化物污染防治技术政策	2010
18	地面交通噪声污染防治技术政策	环发[2010]7 号
19	城镇污水处理厂污泥处理处置及污染防治技术政策 (试行)	[2009]23 号
20	废弃家用电器与电子产品污染防治技术政策	环发[2006]115 号
21	制革、毛皮工业污染防治技术政策	环发[2006]38 号
22	汽车产品回收利用技术政策	环发[2006]9 号
23	矿山生态环境保护与污染防治技术政策	环发[2005]109 号
24	湖库富营养化污染防治技术政策	环发[2003]163 号
25	废电池污染防治技术政策	2004
26	摩托车排放污染防治技术政策	环发[2003]7 号
27	柴油车排放污染防治技术政策	环发[2003]10 号
28	燃煤二氧化硫排放污染防治技术政策	环发[2002]26 号
29	印染行业废水污染防治技术政策	环发[2001]118 号
30	危险废物污染防治技术政策	环发[2001]199 号
31	城市污水处理及污染防治技术政策	建成[2000]124 号
32	城市生活垃圾处理及污染防治技术政策	建成[2000]120 号
33	草浆造纸工业废水污染防治技术政策	环发[1999]273 号
34	机动车排放污染防治技术政策	环发[1999]134 号

表 3 我国最佳可行技术指南 BAT 清单

序号	名称	发布时间
1	燃煤电厂污染防治最佳可行技术指南 (试行)	2010
2	钢铁行业采选矿工艺污染防治最佳可行技术指南 (试行)	2010
3	钢铁行业焦化工艺污染防治最佳可行技术指南 (试行)	2010
4	钢铁行业炼钢工艺污染防治最佳可行技术指南 (试行)	2010
5	钢铁行业轧钢工艺污染防治最佳可行技术指南 (试行)	2010
6	城镇污水处理厂污泥处理处置污染防治最佳可行技术指南 (试行)	2010
7	医疗废物处理处置污染防治最佳可行技术指南 (试行)	2011
8	铅锌冶炼污染防治最佳可行技术指南 (试行)	2011
9	村镇生活污染防治最佳可行技术指南 (试行)	2013

序号	名称	发布时间
10	规模畜禽养殖场污染防治最佳可行技术指南(试行)	2013
11	电镀污染防治最佳可行技术指南(试行)(试行)	2013
12	造纸行业木材制浆工艺污染防治可行技术指南(试行)	2013
13	造纸行业非木材制浆工艺污染防治可行技术指南(试行)	2013
14	造纸行业废纸制浆及造纸工艺污染防治可行技术指南(试行)	2013
15	电解锰行业污染防治可行技术指南(试行)	2014
16	钢铁行业烧结、球团工艺污染防治可行技术指南(试行)	2014
17	水泥工业污染防治可行技术指南(试行)	2014
18	再生铅冶炼污染防治可行技术指南	2015
19	铜冶炼污染防治可行技术指南(试行)	2015
20	钴冶炼污染防治可行技术指南(试行)	2015
21	镍冶炼污染防治可行技术指南(试行)	2015
22	农村环境连片整治技术指南	2013
23	农村饮用水水源地环境保护技术指南	2013
24	农村生活污水处理项目建设与投资指南	2013
25	农村生活垃圾分类、收运和处理项目建设与投资指南	2013
26	农村小型畜禽养殖污染防治项目建设与投资指南	2013
27	农村饮用水水源地环境保护项目建设与投资指南	2013
28	生活垃圾处理技术指南	2010

2.2 我国自有知识产权技术的竞争力评价

根据国家环境技术管理体系建设要求和国家水环境技术管理需求,为实现到2020年建立层次清晰、分工明确、运行高效、支撑有力的国家水环境技术管理体系目标,经过4年时间的研究,初步建立了国家环境技术管理体系顶层框架,构建了污染防治最佳可行技术评估和环境新技术验证制度,形成了重点行业水污染防治技术管理体系。

继欧盟之后,完成了系统的国家环境技术管理顶层设计,指导了我国环境技术管理体系建设工作,系统建立了最佳可行技术体系,为环境影响评价等环境管理制度以及环境优化经济提供技术支持,构建了我国环境新技术验证(ETV)制度体系框架和技术体系框架,建成水污染防治验证评估平台,完成我国首批技术验证试点,为在全国范围内开展规范化的验证评估奠定了基础,将有效推动环保产业的发展。构建了五大行业环境技术管理体系,为五大行业资源节约和污染减排提供有力技术支持,研发了水污染防治技术信息共享中心及辅助决策支持系统,初步构建了我国了水污染防治技术信息服务平台。

3 主要问题分析

尽管我国环境技术管理工作虽然做了大量工作,但尚未形成完整、科学、系统的环境技术管理体系,不能满足环境监管、科技进步和环保产业发展的要求。目前已开展的环境技术管理工作刚刚起步,与发达国家仍有较大差距,技术评价方式也有待提高。具体表现在以下几个方面:

3.1 环境技术指导体系

(1) 环境技术指导体系支离破碎，行业覆盖不全面

环境技术指导文件体系支离破碎，化工、制药、印染、造纸等部分行业划分过细，过于深入到生产工艺和细分产品；忽视行业内各产品和工序的关系，产业链条不全。以肥料制造业行业为例，指导文件行业覆盖不全面，设计的技术指导文件均缺少工程技术规范，且目前已近开展的文件编制工作仅两项，其余均未安排。以欧盟 BAT 文件体系为例，将行业划分为轻工、重化工、冶金、建材、能源、静脉、城市、农村、通用和跨行业环境问题等几个方面，共计 35 项 BAT 文件，而我国环境技术管理体系“十一五”规划中 BAT 文件多达 120 项。并且环境技术指导文件编制进度参差不齐，不成簇，不能形成合力为环境技术管理体系提供支撑作用。

(2) 环境技术指导体系对国家热点重点工作支撑不足

十八大强调生态文明建设与经济、政治、文化、社会建设同等重要，提出转变经济发展方式、资源节约型、环境友好型社会建设要取得重大进展。《国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》（2016-2020 年）首次将生态文明建设写入五年规划任务，提出生态环境质量总体改善的目标，并指出要改革环境治理基础制度，实行最严格的水资源管理制度。可以预计未来 5 年各地减排潜力下降，主要污染物减排空间将逐渐减少，实施难度将明显加大，仅靠行政手段“一刀切”式的搞污染减排，将因为缺乏技术可行性或合理性难以为继。环境技术作为解决环境问题的利器，只有通过行之有效地技术管理，才能够把科技创新的成果应用到管理实践当中，全面提升污染减排的技术含量，切实保障污染物排放总量的持续下降。

《国务院关于化解产能严重过剩矛盾的指导意见》（国发〔2013〕41 号）指出，通过 5 年努力，钢铁、水泥、电解铝、平板玻璃、船舶等行业产能总量与环境承载力、市场需求、资源保障相适应，空间布局与区域经济发展相协调，产能利用率达到合理水平。李克强在政协十二届全国委员会常务委员会第十三次会议（2015 年 11 月）上指出，“十三五”时期是全面建成小康社会的决胜阶段，“十三五”特别是头两年是调整结构、转型升级的关键期和阵痛期。要以绿色保障发展可持续，积极发展服务业、先进制造业和节能环保产业，实现经济发展和生态建设双赢。这些快速变革的背景下，我国的环境问题将变得日益尖锐、复杂和不确定。总体而言，污染物介质从大气和水为主向大气、水和土壤三种污染介质共存转变；污染物来源由单纯的工业点源污染向工业点源污染和农村、生活面源污染并存转变；污染物类型从常规污染物向常规污染物和新型污染物的复合性转变；污染范围从以城市和局部地区为主向涵盖区域、流域和全球尺度转变。完善环境技术管理体系在这一过程中也伴随着面源污染控制、有毒有害污染物控制等技术需求。

(3) 环境技术指导体系总体进展缓慢，任务任重道远

从发布的环境技术指导文件来看，上下级文件制定的时序颠倒，各个文件过于独立，关联性不能很好体现。如有关行业的技术政策或 BAT 已发布，但该行业的工程技术规范还是空白；污染物排放标准正在修订中，但该行业 BAT 的制定工作还没有开始；一些技术政策未及时修订，技术内容与形势发展不相适应，技术路线不全面，不能很好地指导和鼓励行业技术的发展，对 BAT 和工程技术规范的制定也带来困难。结合“水十条、气十

条”在城市、农村、工业、综合等方面提出的具体要求，应该对环境技术指导文件体系的制定统筹安排、有效衔接。鉴于我国最佳可行技术起步较晚，发展较慢，“十三五”期间必须把加快制定和颁布最佳可行技术导则作为重点任务。已经发布的工程技术规范，要对其技术路线进行时效性分析，其内容和深度不符合最新要求的，要尽快安排修订；正在制定中的工程技术规范应同步安排其 BAT 的编制工作。应尽快对技术政策进行全面梳理，对不合时宜的技术政策应尽快修订，对技术政策和 BAT 尚未制定的行业，应同时安排技术政策和 BAT 的编制。

3.2 环境技术评价制度

尽管国家环境技术管理体系的框架初步建立，在切实提高当前水污染防治技术水平的基础之上，为推动管理部门构建符合我国当前乃至今后一定时期内的环境保护形势以及与环境管理各环节相配套的污染控制和治理技术的评估体系、咨询决策平台、最佳可行技术推广示范机制奠定了坚实的基础。但环境技术管理体系仍然游离在我国环境管理的各项制度之外，未能与其他环境管理制度的有效衔接，技术管理参与环境决策的长效机制尚未完全建立，和行政、经济和管理手段相比，目前技术手段支撑不够，技术手段还不足以成为环境管理的有力支撑。在环境管理决策的全过程，如环境影响评价、国家排放标准制修订和实施、许可证、环境监督和执法等各个管理环节缺少仍然缺少关键的技术依据。各级环保部门在环境管理中还不能充分利用环境技术管理作为有效地管理手段，在监督执法仍然缺乏技术依据，环境技术管理仍未在环境管理的各环节中发挥作用。

3.3 环境技术示范推广体系

当前，节能减排、强化治理、稳定达标等工作都迫切需要科学的技术指导。尽管环保部门在环境技术评价和推广领域做了许多工作，但是环保行业以企业为主体的科研开发良性机制还没有完全形成，以水专项科研成果为代表的一大批环保新技术新成果，至今没有通过技术评估推向市场，环境技术市场分散、各类技术良莠不齐的状况尚未根本改变。环境技术管理体系对环保产业发展推动机制尚不完备，造成产业市场不规范，发展机制不完善。

综上所述，尽管环境技术管理体系建设工程已经成为三大科技建设工程之一，我国环境技术管理取得了显著的成绩。但由于种种原因，国家环境技术管理体系建设的速度仍然偏慢，对环境技术开发、转化，工程化和产业化应用均造成不利影响，对国家节能减排和环境管理的技术支撑作用仍然不足。因此，迫切需要在总结经验的基础上，结合近期国内外相关领域的进展，需要进一步强化我国环境技术管理体系建设工作，为“十三五”环境保护规划的顺利实施提供基础保障。

4 建议

4.1 重点优先发展的领域、技术

未来应充分发挥环保产业协会和行业协会在环境技术指导体系中的重要作用，组织环

保产业积极参与环境技术筛选、推广与示范；积极发展与国外环保产业组织与环保企业的合作关系的建立，吸收、引进国外先进环境发展技术和最佳可行技术。

在污染防治技术政策方面，“十三五”期间编制农村废弃物、废金属回收利用、石棉废物处理利用、脱硫石膏等四项污染防治技术政策，修订城市生活垃圾处理、电池工业及电池回收等两项技术政策。在最佳可行技术指南方面，“十三五”期间编制农村废弃物污染防治最佳可行技术指南、废金属和金属化合物、废交通运输设备、电池工业及废电池、废塑料、废橡胶、废油（液）、废有机溶剂、废弃家用电器与电子产品、石棉废物处理与利用污染防治最佳可行技术指南。还存在一些跨行业领域的通用设备及技术，如工业炉窑、工业固废、工业冷却系统用水等设备，以及工业公用设备噪声防治、工业节能、节水等环保相关技术需求。

4.2 尚需配套的政策、法规、标准发展的建议

加强环境技术指导体系工作，完善污染防治最佳可行技术导则、污染防治技术政策、技术规范、技术指南在各项环境技术发展中的指导作用；在环评审批、环保验收、技术评估中应把污染防治最佳可行技术导则、技术政策、技术规范、技术指南作为实施环境法规、标准的技术依据，逐步把各项环境技术指导条例融入到环境技术工作中，推动环境技术发展，促进环境学科技术成果研究与技术研发相结合，健全环境技术发展体系，使其成为环境管理与评估工作的有力指导依据。

