

大气质量管理规划框架

二〇一六年八月

致：

江苏省环境保护厅
中国江苏省南京市鼓楼区
江东北路176号
邮政编码210036

编者：

RTI International
(三角国际研究院)
美国北卡罗来纳州研究三角园
科恩沃利斯东路3040号
邮政编码27709-2194



本次报告的编制由美利坚合众国联邦政府机构之一的美国联邦贸易和发展署 (USTDA) 资助。报告中涉及的观点、研究结果或建议均为编者提出，不代表美国联邦贸易和发展署的官方观点或政策。美国联邦贸易和发展署不对报告内容的准确性或完整性发表评论，也不承担相关责任。

大气质量管理规划框架

二〇一六年八月

致：

江苏省环境保护厅
中国江苏省南京市鼓楼区
江东北路176号
邮政编码210036

编者：

RTI International
(三角国际研究院)
美国北卡罗来纳州研究三角园
科恩沃利斯东路3040号
邮政编码27709-2194



本次报告的编制由美利坚合众国联邦政府机构之一的美国联邦贸易和发展署 (USTDA) 资助。报告中涉及的观点、研究结果或建议均为编者提出，不代表美国联邦贸易和发展署的官方观点或政策。美国联邦贸易和发展署不对报告内容的准确性或完整性发表评论，也不承担相关责任。

本次《大气质量管理规划框架》由RTI International（三角国际研究院）项目组成员编制完成。RTI项目组以Rebecca Nicholson为首，包括Stephen Boone、David Bullock、Jeremy Guo（国家逸）、Dr. George Gao（高庆国博士）、张化天、David Reeves、Karen Schaffner、Jeff Coburn、Katie Hanks、Mike Laney、David Green和Dr. Prakash Doraiswamy等成员。来自Regulatory Assistance Project（睿博能源智库，RAP）的Chris James和Max Dupuy以及来自Sonoma Technology, Inc.（索诺玛科技公司，STI）的Hilary Hafner和Alan Chan（陈志杰）为报告的编写提供了重要支持。中国科学院大气物理研究所的王自发博士也提供了宝贵意见。

美国联邦环保署（U.S. EPA）在本次报告的编写过程中提供了重要的技术指导。美国联邦环保署团队以Dale Evarts为首，包括Rich Damberg、Dr. Carey Jang（张志诚博士）及Rebecca Schultz等成员。

本次《大气质量管理规划框架》得到了江苏省环境保护厅陈蒙蒙厅长、于红霞副厅长、陈志鹏副厅长、刘建琳总工程师、刘晓蕾处长和华凤林主任等领导同志的重要指导，以及各有关部门的大力支持。江苏省环境保护厅的刘海东、杨浩明；江苏省环境经济技术国际合作中心的刘明、周君薇；江苏省环境监测中心的张祥志、汤莉莉；江苏省环境科学研究院的李冰、赵秋月、李荔；南京市环境保护局的孟凡有、郭健、汪焯；南京市环境科学研究院的李文青、谢放尖；南京市环境监测中心的喻义勇、母应锋；常州市环境保护局的周忠华、王荣俊；常州市环境科学研究院的尹勇、周美春；常州市环境监测中心的滕加泉、程钟；苏州市环境保护局的蒋勐、孙昕、陈建宁、王志斌、吴高鹏；苏州市环境监测中心的顾钧、姚玉刚；以及苏州环境科学研究所的谭译等同志也为报告的编制提供了宝贵意见。

本次报告由turney&hall llc的Richard Hall设计并制作。报告的中文翻译由RTI项目组的Jeremy Guo（国家逸）完成。Triad Engineering Application, Inc.（弗大工程运用公司）的傅有彤博士提供了其它后勤保障。

| 章节 | 页码 |
|---|----|
| 内容提要 | 1 |
| 1 项目背景介绍 | 9 |
| 1.1 项目目的 | 9 |
| 1.2 项目组 | 10 |
| 1.3 报告内容 | 10 |
| 2 中国的大气污染防治目标 | 13 |
| 3 江苏省及三试点城市概况 | 19 |
| 概述 | 19 |
| 3.1 江苏省 | 19 |
| 3.2 南京市 | 22 |
| 3.3 常州市 | 24 |
| 3.4 苏州市 | 26 |
| 4 大气质量管理规划的重要步骤 | 29 |
| 概述 | 29 |
| 4.1 确定大气质量目标以及完成目标的时间点 | 31 |
| 4.2 描述当前大气污染问题的实际情况 | 32 |
| 4.3 与其它省市共同参与区域规划和咨询 | 32 |
| 4.4 建立排放清单 | 33 |
| 4.5 建立大气质量模型，确定在实现大气质量目标的过程中 需要执行的其它减排策略 | 33 |
| 4.6 采纳并实施有效和可行的减排要求 | 34 |
| 4.7 实施有效的排污许可证制度和执行程序 | 34 |
| 4.8 建立并维护应急响应制度 | 34 |
| 4.9 持续追踪大气质量管理项目的进展 | 35 |
| 5 确定大气污染源 | 37 |
| 概述 | 37 |
| 5.1 排放清单的建立 | 38 |
| 5.2 大气监测 | 40 |
| 5.3 源解析 | 42 |
| 5.4 未来年份的排放预测（2017年和2030年） | 45 |
| 6 江苏省大气排放清单的发展 | 47 |
| 6.1 工作方法与发展 | 47 |
| 6.2 造成大气污染的主要因素 | 48 |
| 6.3 主要挑战 | 49 |
| 6.4 2014年南京青奥会大气质量保障工作的重要收获 | 51 |

| 章节 | 页码 |
|--|------------|
| 7 现行大气污染防治政策与措施 | 53 |
| 概述 | 53 |
| 7.1 基本情况 | 53 |
| 7.2 电力行业 | 56 |
| 7.3 工业部门 | 57 |
| 7.4 移动源和燃料 | 57 |
| 7.5 其它部门 | 58 |
| 8 区域规划和协调 | 60 |
| 概述 | 60 |
| 8.1 区域规划的经验 | 61 |
| 8.2 增进交流 | 62 |
| 8.3 区域性研究需求 | 62 |
| 9 重点行业的大气污染防治方案 | 64 |
| 概述 | 64 |
| 9.1 燃煤电厂 | 65 |
| 9.2 炼油厂 | 84 |
| 9.3 钢铁制造 | 93 |
| 9.4 水泥制造 | 103 |
| 9.5 表面涂装 | 110 |
| 9.6 移动源和燃料 | 120 |
| 9.7 其它行业 | 125 |
| 10 对未来的污染防治方案进行大气质量改善效果、成本和效益评估 | 128 |
| 概述 | 128 |
| 10.1 减排 | 129 |
| 10.2 大气质量改善 | 129 |
| 10.3 污染防治成本 | 130 |
| 10.4 公共卫生及经济效益 | 132 |
| 10.5 其它影响 | 135 |
| 11 规划实施和持续评估 | 137 |
| 概述 | 137 |
| 11.1 规划实施及合规执行日程安排 | 137 |
| 11.2 固定排放源 | 137 |
| 11.3 移动源 | 144 |
| 11.4 应急响应制度 | 146 |
| 11.5 追踪进展 | 146 |

| 章节 | 页码 |
|----------------------------------|-----|
| 12 能源规划 | 148 |
| 12.1 简介 | 148 |
| 12.2 中国现阶段能源状况的描述 | 148 |
| 12.3 根据美国和国际社会的经验总结的能源规划准则 | 149 |
| 12.4 能源规划案例和最佳实践方案 | 151 |
| 12.5 能源规划对大气监管的重要性 | 154 |
| 12.6 大气监管部门应采取的步骤 | 155 |
| 12.7 为江苏省提出的建议 | 157 |
| 12.8 总结 | 158 |
| 13 江苏省大气质量管理规划工作面临的主要挑战 | 161 |
| 概述 | 161 |
| 13.1 综合性挑战 | 161 |
| 13.2 排放清单 | 162 |
| 13.3 减排策略 | 162 |
| 13.4 大气质量模型分析 | 162 |
| 13.5 大气质量监测 | 163 |
| 13.6 移动源 | 163 |
| 14 重点建议 | 164 |
| 概述 | 164 |
| 14.1 总体建议 | 164 |
| 14.2 大气质量目标 | 164 |
| 14.3 排放清单 | 165 |
| 14.4 排放标准及减排策略 | 165 |
| 14.5 能源规划 | 166 |
| 14.6 大气质量模型分析 | 166 |
| 14.7 大气质量监测 | 167 |
| 14.8 进度追踪 | 167 |
| 14.9 应急响应规划 | 167 |
| 14.10 合规与执行 | 167 |
| 14.11 排污许可证制度 | 168 |
| 附录A | 169 |
| 附录B | 200 |

| 表格编号 | | 页码 |
|-------|--|----|
| ES-1 | 江苏省各类排放源占全省大气污染排放总量的比重 (2014年) | 2 |
| 1-1 | 《大气质量管理规划框架》内容简介 | 11 |
| 2-1 | 《重点区域大气污染防治“十二五”规划》为江苏省提出的大气质量目标 | 14 |
| 2-2 | 《重点区域大气污染防治“十二五”规划》为江苏省提出的减排目标 | 14 |
| 2-3 | 江苏省实施的燃煤电厂超低排放标准 | 16 |
| 2-4 | 中国重点行业的国家大气污染物排放标准 | 17 |
| 3-1 | 江苏省主要地理数据 | 20 |
| 3-2 | 江苏省主要人口数据 (2014年) | 20 |
| 3-3 | 江苏省主要经济指标 (2014年) | 21 |
| 3-4 | 江苏省2014年落后产能淘汰情况 | 21 |
| 3-5 | 江苏省主要交通数据 (2013年) | 21 |
| 3-6 | 南京市主要地理数据 | 22 |
| 3-7 | 南京市主要人口数据 (2014年) | 23 |
| 3-8 | 南京市主要经济指标 (2014年) | 23 |
| 3-9 | 南京市主要交通数据 (2014年) | 24 |
| 3-10 | 常州市主要地理数据 | 24 |
| 3-11 | 常州市主要人口数据 (2014年) | 25 |
| 3-12 | 常州市主要经济指标 (2014年) | 25 |
| 3-13 | 常州市主要交通数据 (2013年) | 25 |
| 3-14 | 苏州市主要地理数据 | 26 |
| 3-15 | 苏州市主要人口数据 (2014年) | 26 |
| 3-16 | 苏州市主要经济指标 (2014年) | 27 |
| 3-17 | 苏州市主要交通数据 (2014年) | 27 |
| 4-1 | 三试点城市PM _{2.5} 浓度水平与降低20%目标的比较 | 32 |
| 6-1 | 江苏省各类排放源占全省大气污染排放总量的比重 (2014年) | 48 |
| 6-2 | 江苏省及三试点城市的重点排污行业 | 49 |
| 9.1-1 | 中国现行的燃煤电厂大气排放标准 | 66 |

| 表格编号 | 页码 |
|---|-----|
| 9.1-2 氮氧化物第二组别的后燃烧排放控制技术要求 | 70 |
| 9.1-3 江苏省需要对新建发电机组进行考虑的因素 | 73 |
| 9.1-4 江苏省在监测和维护发电机组烟气脱硫系统绩效方面可以采取的措施 .. | 75 |
| 9.1-5 江苏省在燃煤电厂国家颗粒物排放标准的合规执行方面可以采取的措施 | 77 |
| 9.1-6 江苏省在燃煤电厂国家汞排放标准的合规执行方面可以采取的措施 | 79 |
| 9.1-7 燃煤电厂大气污染防治技术的总结 | 80 |
| 9.1-8 现代化燃煤发电机组大气运营许可证的常规排放限值及监测技术 | 80 |
| 9.2-1 美国炼油厂主要排放源的现行排放规定总结 | 88 |
| 9.2-2 炼油厂大气污染防治系统制造商（部分） | 91 |
| 9.2-3 美国在炼油厂大气污染防治方面的经验和建议 | 92 |
| 9.3-1 钢铁制造企业常用的污染防治设备 | 96 |
| 9.3-2 部分钢铁制造行业大气污染防治设备制造商 | 97 |
| 9.3-3 美国有关法规中涉及的钢铁制造行业排放限值 | 98 |
| 9.3-4 美国和其它国家在钢铁制造行业大气污染防治方面的经验和建议 | 102 |
| 9.4-1 不同类型水泥窑的输入热量 | 104 |
| 9.4-2 水泥制造过程的大气排放 | 105 |
| 9.4-3 美国的水泥窑排放限值 | 105 |
| 9.4-4 美国有关法规涉及的污染物种类、排放控制设备及其污染物去除效率 .. | 106 |
| 9.4-5 水泥制造行业大气污染防治设备制造商（部分） | 106 |
| 9.4-6 基准排放因子 | 107 |
| 9.4-7 熟料年产量为120万吨的预分解窑的基准排放情况和减排估算 | 107 |
| 9.4-8 熟料年产量为120万吨的预分解窑的排放控制设备建设成本与年运行成本 | 108 |
| 9.4-9 美国在水泥制造行业大气污染防治方面的经验和建议 | 109 |
| 9.5-1 污染防治和废物最少化 | 113 |
| 9.5-2 挥发性有机物大气污染防治附加设备 | 114 |
| 9.5-3 受美国联邦环保署表面涂装大气排放法规约束的行业 | 115 |
| 9.5-4 美国汽车和轻型卡车载装业表面涂装的大气排放限值 | 116 |

| 表格编号 | 页码 |
|--|-----|
| 9.5-5 美国汽车和轻型卡车载装业表面涂装的大气排放建议限值 | 116 |
| 9.5-6 汽车和轻型卡车载装业表面涂装使用的其它材料的大气排放建议限值 .. | 117 |
| 9.5-7 常见溶剂的MIR值 | 117 |
| 9.5-8 美国全国范围内汽车和轻型卡车载装业表面涂装大气污染减排情况 | 118 |
| 9.5-9 美国汽车和轻型卡车载装业表面涂装的大气污染防治成本 | 118 |
| 9.5-10 美国在表面涂装大气污染防治方面的经验和建议 | 119 |
| 10-1 各工业部门的减排情况 | 129 |
| 10-2 美国常见大气污染物的浓度变化（百分比） | 129 |
| 10-3 美国常见大气污染物的排放变化（百分比） | 130 |
| 10-4 主要工业部门大气污染防治成本 | 130 |
| 10-5 炼油厂大气污染防治成本 | 131 |
| 10-6 多种指标污染物和有害大气污染物对人体健康的影响 | 132 |
| 10-7 2010年波特兰水泥制造业有害大气污染物国家排放标准和新源绩效标准的公共卫生效益及货币化PM _{2.5} 减排效益估算的总结 | 134 |
| 12-1 多重污染物能源与大气质量综合规划（IMPEAQ）流程 | 157 |
| B-1 确保大气排放限值切实可行的各项基本参数 | 201 |
| B-2 美国采用的排放限值与平均值计算时段的示例 | 202 |

| 图表编号 | 页码 |
|--|----|
| 1-1 项目组的基本组成 | 10 |
| 2-1 中国的大面积雾霾 | 13 |
| 2-2 中国国务院《大气污染防治行动计划》内容总结 | 15 |
| 2-3 国务院2013年9月印发的《大气污染防治行动计划》 | 16 |
| 3-1 江苏省行政区划图 | 19 |
| 3-2 长江 | 20 |
| 3-3 江苏省不同年龄段人口比例 | 20 |
| 3-4 江阴长江大桥 | 22 |
| 3-5 中山陵 | 22 |
| 3-6 常州市区景观 | 24 |
| 3-7 拙政园 | 26 |
| 4-1 美国重点经济指标与六种常见大气污染物排放总量的 变化(1970年-2013年) | 30 |
| 4-2 美国《清洁空气法案》第812部分的二次前瞻性研究 | 30 |
| 4-3 美国大气质量管理规划流程 | 31 |
| 5-1 美国联邦环保署大气质量管理体系 | 37 |
| 5-2 从监测到大气质量管理规划实施结果的数据流程 | 40 |
| 5-3 江苏省大气监测站示意图 | 40 |
| 5-4 南京市大气监测站示意图 | 41 |
| 5-5 常州市大气监测站示意图 | 41 |
| 5-6 苏州市大气监测站示意图 | 41 |
| 5-7 数据审核和确认过程 | 42 |
| 5-8 弥散模型和受体模型的区别 | 43 |
| 5-9 科罗拉多州丹佛市PM _{2.5} 排放清单与受体模型的比对结果 | 44 |
| 8-1 美国大气质量管理责任的层级划分 | 60 |

| 图表编号 | 页码 |
|--|-----|
| 9.1-1 不同国家发电燃料使用情况的比较 | 65 |
| 9.1-2 一部安装选择性催化还原技术的发电机组在夜间必须以低容量运行时，其氮氧化物排放速率与电力输出情况的对比 | 67 |
| 9.1-3 为确保氮氧化物第一组别燃煤发电机组连续合规执行提出的相关建议 ... | 69 |
| 9.1-4 为确保氮氧化物第二组别燃煤发电机组连续合规执行提出的相关建议 ... | 71 |
| 9.1-5 常见的发电机组大气污染防治系统的简化示意图 | 72 |
| 9.1-6 为确保二氧化硫第一组别燃煤发电机组连续合规执行提出的相关建议 ... | 74 |
| 9.1-7 为确保二氧化硫第二组别燃煤发电机组连续合规执行提出的相关建议 ... | 76 |
| 9.1-8 中国的现代化燃煤电厂 | 77 |
| 9.1-9 湿法烟气脱硫系统的简化示意图 | 78 |
| 9.1-10 配备选择性催化还原、冷侧静电除尘器和湿法烟气脱硫系统的发电机组的汞去除情况图解 | 79 |
| 9.1-11 具备生产高质量石膏能力的发电厂区的湿法烟气脱硫及其它配套处理系统的布局 | 81 |
| 9.1-12 常见的烟气脱硫废水分析 | 81 |
| 9.1-13 常见的除雾器系统 | 82 |
| 9.1-14 FLEXICHEVRON Style VIII (3 Pass)除雾器的去除效率分析 | 82 |
| 9.1-15 零废水排放燃煤电厂的布局示意图 | 83 |
| 9.2-1 常见炼油厂生产设备和产品的简化示意图 | 84 |
| 9.2-2 美国炼油厂不同排放源类别的PM _{2.5} 排放情况 | 84 |
| 9.2-3 对催化裂化装置的催化剂再生器进行排放控制的BELCO EDV湿式洗涤器 | 85 |
| 9.2-4 美国炼油厂不同排放源类别的二氧化硫排放情况 | 85 |
| 9.2-5 美国炼油厂不同排放源类别的氮氧化物排放情况 | 86 |
| 9.2-6 美国炼油厂不同排放源类别的挥发性有机物排放情况 | 86 |
| 9.2-7 美国炼油厂不同排放源类别的温室气体排放情况 | 87 |
| 9.4-1 水泥制造的主要过程 | 103 |
| 9.4-2 干法长回转窑 | 104 |

| 图表编号 | 页码 |
|---|-----|
| 9.4-3 预分解窑系统 | 104 |
| 9.5-1 近地面臭氧的形成 | 110 |
| 9.5-2 侧风通风喷漆室 | 110 |
| 9.5-3 喷涂作业 | 111 |
| 9.5-4 涂料成分 | 111 |
| 9.5-5 降低表面涂装过程挥发性有机物排放的污染防治策略 | 112 |
| 9.6-1 洛杉矶地区有毒大气污染物的致癌风险 | 120 |
| 9.6-2 2008年各国人均机动车活动水平（机动车行驶公里数） 与国内生产总值（GDP）的比较 | 120 |
| 9.6-3 2002至2007年发展中国家的机动车普及和经济增长情况 | 121 |
| 9.6-4 根据预测，中国的机动车保有量在未来将大幅增长 | 121 |
| 9.6-5 美国的研究数据显示，随着年龄的增长，开车出行的人口比 例也会相应降低 | 122 |
| 9.6-6 中国与其它国家的人口正在逐步老龄化 | 122 |
| 12-1 美国的电力行业综合规划 | 150 |
| 12-2 中国借助实施能源标准节省的能源 | 153 |
| 12-3 氮氧化物减排潜力与不同种类技术和过程成本的比较 | 156 |

| 缩略词 | 定义 |
|---------|--------------------|
| ABaCAS | 大气效益成本和达标评估系统 |
| AC | 活性炭 |
| ACI | 活性炭加注 |
| AEO | 年度能源展望 |
| AERMOD | AMS/EPA监管模型 |
| AGU | 美国地球物理联盟 |
| AIM | 建筑和工业维护 |
| Al | 铝 |
| AOCs | 行政命令许可 |
| AP-42 | 美国联邦环保署大气污染物排放因子汇编 |
| APC | 大气污染治理 |
| APCD | 大气污染治理区 |
| AQ | 大气质量/空气质量 |
| AQI | 空气质量指数 |
| AQM | 大气质量管理 |
| AQMD | 大气质量管理区 |
| AQMP | 大气质量管理规划 |
| AQRV | 大气质量相关值 |
| ARB | 大气资源管理局 |
| As | 砷 |
| B | 硼 |
| BACT | 最佳可获得控制技术 |
| bbl/d | 桶/天 |
| BBQ | 烧烤 |
| BEIS | 生物质排放清单系统 |
| BenMAP | 环境效益测绘和分析项目 |
| Btu/scf | 英热单位/标准立方英尺 |
| Ca | 钙 |
| CA/FO | 许可协议/最终行政命令 |
| CAA | 清洁空气法案 |
| CAAC | 中国清洁空气联盟 |

| 缩略词 | 定义 |
|-------------------|-----------------|
| CaCO ₃ | 碳酸钙 |
| CAISO | 加利福尼亚州独立系统运营商 |
| CALPUFF | CALPUFF空气质量扩散模型 |
| CAM | 合规确认监测 |
| CARB | 加利福尼亚州大气资源管理局 |
| Cd | 镉 |
| CDS | 循环干式洗涤器 |
| CEMs | 持续性排放监测系统 |
| CFR | 美国联邦法规 |
| CGA | 汽缸气审核 |
| CHIEF | 排放清单和排放因子数据交换中心 |
| CICA | 大气污染信息中心 |
| CIEPE | 中国（南京）国际环保产业博览会 |
| CISWI | 商业/工业固体废弃物焚化炉 |
| Cl | 氯 |
| CMAQ | 交通拥堵缓解和大气质量改善项目 |
| CMB | 化学质量平衡 |
| CMV | 商业海运船舶 |
| CO | 一氧化碳 |
| Co | 钴 |
| CO ₂ | 二氧化碳 |
| CO ₂ e | 二氧化碳当量 |
| COD | 化学需氧量 |
| CPDS | 认证产品数据表 |
| cPM | 可凝结颗粒物 |
| CPP | 清洁电力计划 |
| Cr | 铬 |
| CTG | 治理技术指导方针 |
| Cu | 铜 |
| CUF | 容量利用系数 |
| DAHS | 数据采集及处理系统 |

| 缩略词 | 定义 |
|-------|-----------------|
| DC | 直流电 |
| DfE | “为环境而设计”项目 |
| DPM | 柴油机颗粒物 |
| DRC | 发展研究中心 |
| DSM | 需求侧管理 |
| EAFs | 电弧炉 |
| EDP | 电泳漆 |
| EDV | Belco湿式洗涤器系统 |
| EE | 能源效率 |
| EGU | 发电机组 |
| EIA | 能源情报署 |
| EIA | 环境影响评估 |
| EPA | 环境保护署 |
| EPB | 环境保护局 |
| EPP | 能效电厂 |
| ESP | 静电除尘器 |
| F | 氟 |
| FCCU | 流化催化裂化装置 |
| Fe | 铁 |
| FGD | 烟气脱硫 |
| FLM | 联邦土地管理局 |
| fPM | 可过滤颗粒物 |
| ft | 英尺 |
| FYP | 五年计划 |
| GB | 中国国家标准 (GB) |
| GC | 气相色谱 |
| GDP | 国内生产总值 |
| GHG | 温室气体 |
| GHGRP | 美国联邦环保署温室气体申报项目 |
| GIS | 地理信息系统 |
| gpm | 每分钟…加仑 |

| 缩略词 | 定义 |
|--------------------------------|------------------|
| GW | 吉瓦 |
| H ₂ | 氢气 |
| H ₂ O | 水 |
| H ₂ S | 硫化氢 |
| H ₂ SO ₄ | 硫酸雾 |
| HAP | 有害大气污染物 |
| Hg | 汞 |
| Hg CEMS | 持续性汞排放监测系统 |
| HOV | 大容量汽车 |
| HR | 小时 |
| HVLP | 高容低压 |
| I/M | 年检和维护 |
| IMPEAQ | 多重污染物能源与大气质量综合规划 |
| IRP | 综合资源规划 |
| ITS | 智能交通系统 |
| JJJ | 京津冀 |
| K | 钾 |
| kg/MT | 千克每公吨 |
| kPa | 千帕 |
| kWh | 千瓦时 |
| LAER | 最低可实现排放速率 |
| lb/ton | 磅每吨 |
| lbs | 磅 |
| LDAR | 泄漏检测与修复 |
| LNB | 低氮燃烧器 |
| LNG | 液化天然气 |
| LoTOx | Belco氮氧化物排放控制技术 |
| LPG | 液化石油气 |
| MEGAN | 自然界气体和气溶胶排放模型 |
| MEP | 环境保护部 |
| mg | 毫克 |

| 缩略词 | 定义 |
|--------------------|-----------------|
| Mg | 兆克 |
| MIR | 最大增量反应活性 |
| mg/dscm | 毫克每干标准立方米 |
| MJ/sm ³ | 兆焦耳每标准立方米 |
| MMBtu | 百万英热单位 |
| MMT | 兆吨 |
| Mn | 锰 |
| MOU | 谅解备忘录 |
| MOVES | 美国联邦环保署机动车排放模拟器 |
| MSDS | 材料安全数据表 |
| MW | 兆瓦 |
| MWe | 兆瓦电 |
| MWh | 兆瓦时 |
| N ₂ | 氮气 |
| NAAQS | 国家环境空气质量标准 |
| NDRC | 国家发展和改革委员会 |
| NEA | 国家能源局 |
| NEI | 国家排放清单 |
| NEMS | 国家能源模型系统 |
| NESHAP | 国家有害大气污染物排放标准 |
| NH ₄ | 铵 |
| Ni | 镍 |
| NIOSH | 国家职业安全与健康研究院 |
| NO ₂ | 二氧化氮 |
| NO ₃ | 硝酸根 |
| NO _x | 氮氧化物 |
| NSPS | 新源绩效标准 |
| NSR | 新源审查项目 |
| O ₂ | 氧气 |
| O ₃ | 臭氧 |
| OC/EC | 有机碳/单质碳 |

| 缩略词 | 定义 |
|-------------------|----------------------|
| ORP | 氧化还原潜力 |
| Pb | 铅 |
| PDS | 产品数据表 |
| pH | pH值 |
| PH | 预热器 |
| PH/PC | 预热器/预分解窑 |
| PM | 颗粒物 |
| PM ₁₀ | 直径在10微米以下的颗粒物 |
| PM _{2.5} | 直径在2.5微米以下的颗粒物 |
| PMF | 正矩阵形成 |
| ppbw | 十亿分之…质量 |
| ppm | 百万分之… |
| ppmv | 百万分之…体积 |
| PRC | 中华人民共和国 |
| PRD | 珠江三角洲 |
| PSD | 防止大气质量显著恶化 |
| PtD | 通过设计加以避免 |
| QA/QC | 质量保证/质量控制 |
| QAPP | 质量保证项目计划 |
| RACT | 合理可获得控制技术 |
| RAP | 睿博能源智库 |
| RATA | 相对精度测试审核 |
| RBLC | RACT/BACT/LAER数据交换中心 |
| RE | 可再生能源 |
| REZ | 可再生能源区 |
| RMB | 人民币 |
| RPOs | 区域规划组织 |
| RPS | 可再生能源配额标准 |
| RSD | 遥感设备 |
| RTO | 再生式氧化焚烧设备 |
| SCAQMD | 南岸大气质量管理区 |

| 缩略词 | 定义 |
|------------------|--------------|
| scf/hr | 标准立方英尺每小时 |
| SCR | 选择性催化还原 |
| Se | 硒 |
| SEMC | 上海市环境监测中心 |
| SEPs | 环保补充项目 |
| Si | 硅 |
| SiO ₂ | 二氧化硅 |
| SIP | 州级实施计划 |
| SNCR | 选择性非催化还原 |
| SO ₂ | 二氧化硫 |
| SO ₄ | 硫酸根 |
| SOPs | 标准操作程序 |
| TCEQ | 德克萨斯州环境质量委员会 |
| TDS | 总溶解固体 |
| THC | 总烃 |
| Ti | 钛 |
| tPM | 总颗粒物 |
| tpy | 吨每年 |

| 缩略词 | 定义 |
|-------------------|---------------|
| TSM | 交通运输系统管理 |
| TSO | 输电系统运营商 |
| TSS | 总悬浮固体 |
| TTN | 美国联邦环保署技术传输网络 |
| µg/m ³ | 微克每立方米 |
| U.S. | 美国 |
| Unmix | 美国联邦环保署数学受体模型 |
| USTDA | 美国联邦贸易和发展署 |
| UV/EB | 紫外光/电子束 |
| V | 钒 |
| VKT | 机动车行驶公里数 |
| VMT | 机动车行驶英里数 |
| VOC | 挥发性有机物 |
| WRAP | 西部区域大气合作组织 |
| WRF | 天气研究和预报 |
| yr | 年 |
| YRD | 长江三角洲 |
| Zn | 锌 |



内容提要

项目背景

本次《大气质量管理规划框架》是由美国联邦贸易和发展署（USTDA）资助的中国大气质量管理技术援助项目的一部分，旨在通过共享美国大气污染防治的最佳实践方案和先进的大气污染防治技术，加速实现中国大气质量的改善。美国联邦贸易和发展署在2013年10月同中国环境保护部签署了此次项目的协议。此后，中国环境保护部将江苏省确定为此次项目的试点省份，并选取了南京市、常州市和苏州市作为试点城市。

本次报告将基于美国大气质量管理的最佳实践方案提出一系列指导和建议，以帮助江苏省与三试点城市建立下一阶段的大气质量管理规划。其中，报告介绍了降低PM_{2.5}、PM_{2.5}前体物（二氧化硫、氮氧化物和挥发性有机物）和有害大气污染物排放的污染防治策略，并在能源规划和温室气体减排方面提出了相关建议。报告同时也介绍了中国在全国层面的大气质量管理规划方面所作的工作，以及江苏省与三试点城市在此方面取得的进展。

江苏省大气污染防治工作现状和面临的挑战

江苏省及各地市环保部门正在为改善全省大气质量作出巨大努力，但同时也面临着一些挑战：¹

- 近年来，江苏省人口数量快速增长、城镇化程度不断加深，由此带来了能源需求的大幅提高及其引发的大气污染问题；
- 2015年，江苏省年均PM_{2.5}浓度为58 μg/m³，较2014年和2013年分别下降了12.1%和20.5%。但是全省和13个地级市的PM_{2.5}浓度仍然超出35 μg/m³的国家年均PM_{2.5}浓度标准；²
- 煤炭是最主要的能源类别，占总能耗的70%左右。煤炭消耗率在过去的几年间增长了近6%。在能源需求不断增长的情况下，江苏省计划在2017年前将煤炭消耗占能源需求总量的比例降至65%以下面临着诸多挑战；

- 江苏省工业化程度较高，其烟尘排放总量在全国各省、自治区、直辖市中排名第一；煤炭消耗GDP、钢铁生产和水泥生产总量排名第二；二氧化硫、氮氧化物和挥发性有机物排放总量排名第三。江苏省GDP总量的一半左右来源于工业部门。全省工业企业数量不断变化，每年均有一部分企业关停或搬迁。这些动态变化也为建立一项准确的排放清单和制定一项有效的大气质量管理规划带来了困难；
- 江苏省的地形特点与全省复杂的工业源运行情况共同为大气质量管理规划带来了许多挑战。例如，南京市三面环山，这样的地形特点使得大气污染在特定的气象条件下难以扩散；
- 在过去的十年间，江苏省的道路机动车保有量增长了约406%，年增长率约为20%。江苏省各港口的船运占全国船运总量的21%左右，而船舶的废气排放也对省内的大气质量造成了影响。这些类别的移动源排放水平持续发生变化，也为大气质量管理规划的制定带来了许多困难；
- 诸如餐饮、油漆、露天焚烧和烟花爆竹燃放等大量的小型、生活排放源也是江苏省大气污染的重要来源。有效降低小型“面源”的大气排放需要更加深入的知识普及和公共宣传。

排放清单的建立

江苏省环保厅和各城市环保局的有关人员正在为所有行业和污染物种类建立一项详细的排放清单。现有的排放清单涵盖了全省范围内排放源总数的80%左右。目前，环保部门已经掌握了一些配备持续性排放监测系统的大型排放源的排放数据，但是其它排放源（特别是中小企业）的排放数据却不尽完备，数据的可靠性也不甚理想。

据江苏省环保厅估算，2014年，全省二氧化硫、氮氧化物和烟（粉）尘排放总量分别为90.47万吨、123.26万吨及76.37万吨。各类排放源占全省大气污染排放总量的比重如表格ES-1所示。³

表格 ES-1 江苏省各类排放源占全省大气污染排放总量的比重 (2014年)

| | 工业排放源 | 生活排放源 | 垃圾和危险废物集中式治理设施 | 机动车 |
|-----------------|--------|-------|----------------|--------|
| SO ₂ | 96.19% | 3.78% | 0.03% | — |
| NO _x | 72.06% | 0.52% | 0.04% | 27.38% |
| 烟(粉)尘 | 94.34% | 2.38% | 0.04% | 3.24% |

现行大气污染防治策略及目标

在项目组会议上，江苏省环保厅和三试点城市环保局的有关人员介绍了下一阶段的大气污染防治策略、大气质量改善目标及其它辅助计划，以实现全省大气质量的总体改善：¹

- 优化能源结构，在2017年前将煤炭占总能耗的比重降低至65%以下；
- 推动清洁能源和可再生能源的应用，并提高能源效率（例如建设绿色建筑等）
- 治理小型燃煤锅炉（改建或替换）
- 调整工业结构。加速废旧工业企业和设备的关停，加大违规现象的处罚力度，降低过剩产能，以及控制高污染、高能耗行业的产能等；
- 推动清洁生产，包括通过工艺调整、材料回收、采用更加先进的排放控制技术和更加严格的监管方式有效实现污染防治；
- 提倡清洁交通和绿色交通（例如制定更加严格的尾气排放标准、提高燃油质量、建设轨道交通等）；
- 加大对船舶和非道路移动源排放的控制力度；
- 加强控制城市大气污染（例如餐饮油烟和有机溶剂中VOC的挥发）和扬尘排放；
- 扩大绿地面积（到2017年，绿地占全省总面积的比重将达到38.7%）；
- 支持科学技术的不断发展。针对大气污染防治策略开展研究，加大投资大气污染防治技术的开发和部署，并通过专业培训和业务能力建设培养优秀的科研团队；
- 与气象部门紧密合作，推动大气监测（区域环境空气监测及污染源排放监测）与污染预警系统在重污

染天气形成之前发挥必要作用；

- 根据污染现象的程度建立不同级别的应急响应规划，并指导各地市有效落实；
- 深化完善相关法律、法规和标准；
- 建立环境信息发布系统：
 - 按照大气质量和排放速率对各地市和重点企业进行排名，并向社会大众公开
 - 要求重点企业自行申报其排放水平
- 加强区域协调，促进国际合作与交流：
 - 将PM_{2.5}防治作为各个行业的强制性要求
 - 通过绩效评价系统对各个行业与重点企业进行年度考核，对违规者进行处罚
- 提高公众参与、知识普及与宣传的力度。

大气质量管理规划的重要步骤

本次报告为江苏省及三试点城市提出的建议以江苏省环保厅和三试点城市环保局迄今开展的工作为基础。报告中涉及的背景信息和重点建议与下列大气质量管理过程的重要步骤紧密相关：

1. 确定大气质量目标以及完成目标的时间点

在本次项目进行的过程中，中国国务院陆续为全国重点区域和城市群制定了一系列大气质量目标。其中一项中心目标是在2017年将长三角区域（包括江苏省在内）的PM_{2.5}年均浓度在2012年的基础上降低20%。此步骤的内容之一便是确定国家有关目标将如何适用于江苏省，并对省内的特殊情况加以考虑（例如周边省市大气污染的影响及季节性原因等）。

2. 描述当前大气污染问题的实际情况

与美国早期的大气质量管理规划不同，江苏省可以有效利用遍布全省的大气监测站提供的实时监测数据。这些数据将帮助有关部门在重污染天气形成时及时通知社会大众；了解细颗粒物的化学组分及对应的污染源；确定大气质量变化趋势和季节性变化规律；以及了解在重大活动（例如2014年南京青奥会）举办期间采取的特殊管制措施对大气质量造成的影响。

3. 与其它省市共同参与区域规划和咨询

多个省份借助区域规划过程对其减排措施进行统筹协调，将会以更低的成本更加有效地实现大气质量目标。深化与长三角地区及其它区域省市环保部门的合作对江苏省有效应对下一阶段的区域大气质量挑战来说是必不可少的。区域规划过程同时还将帮助各省市环保部门的有关人员拓展其业务能力；协调排放清单、政策制定和模型分析等工作；促进资源的充分利用；并为未来工作的开展打下坚实的专业知识和工作关系基础。

4. 建立排放清单

大气质量管理规划的核心基础是建立、分析并定期更新高质量的固定源、面源和移动源排放清单（包括基准年份和未来年份）。进一步修订并完成现有的排放清单是江苏省制定下一阶段大气质量管理规划过程中的重要环节。

5. 建立大气质量模型，确定在实现大气质量目标的过程中需要执行的其它减排策略

大气质量模型将帮助江苏省及各主要城市了解落实现行政策和项目与实现大气质量目标的差距。如果现行政策和项目的力度不足，那么模型分析将帮助有关部门确定最终实现大气质量目标所需的其它减排策略。由中国和美国的专家们共同开发的ABaCAS系统（大气成本效益及达标评估系统）可以为江苏省的有关部门提供帮助。模型分析还可以帮助结合并评估清洁能源和能源效率政策，并对其改善大气质量的潜力进行分析。

6. 采纳并实施有效和可行的减排要求

大气质量管理规划中选取的减排方案应当以监管部门（环保部、省环保厅和市环保局）能够有效执行的法

规和要求为依据。适用于工业企业的规定应采用最佳可获得控制技术，除排放限值之外还应包括测试方法、排放源监测、数据记录和申报要求等内容。

7. 实施有效的排污许可证制度和执行程序

排污许可证制度是一项非常重要的工具，用来在环保部门和企业之间明确各企业适用的大气污染防治要求，并对其合规执行情况进行确认。

8. 建立并维护应急响应制度

当大气污染水平超过特定的门槛值时，应急响应制度便成为保护公共卫生状况的必要环节。有效的应急响应制度内容主要包括：向社会大众发出预警；与其它政府部门密切协作；以及要求有关行业和企业为重污染天气形成时采取必要的减排措施等。

9. 持续追踪大气质量管理项目的进展

追踪大气质量管理规划进展的最即时方法是追踪大气监测数据。这些数据衡量了污染减排、能源规划、人口增长以及与大气质量有关的其它因素的共同作用。另一项有效的方法是追踪某项特定法规或减排措施的实施进度。评估不同时间段的排放变化也是一项重要的方法，但是许多排放源的排放数据无法立即获得，因此通常会在时间上造成一定的延迟。

重点行业的大气污染防治方案

本次报告使用较大篇幅对实现大气质量改善和污染减排目标的大气污染防治策略进行了介绍。报告的第九章将依据美国最佳实践方案详细探讨江苏省重点行业的污染防治策略。这些重点行业包括燃煤电厂、炼油厂、钢铁制造、水泥制造及表面涂装作业等。江苏省环保厅和三试点城市的有关人员建议此次项目重点围绕这些占全省大气污染排放总量比重较大的行业进行。因此，报告将着重讨论这些行业中规模最大的排放源（如减排潜力最大、能够使大气质量效益最大化的排放源）的污染防治方案。在可行时，报告还将介绍同时对多种污染物进行协同控制的技术。另外，鉴于移动源排放也是江苏省大气污染问题的主要来源之一，因此报告也将就移动源的污染防治方案展开讨论。

除大气污染防治策略外，报告还将介绍美国为指定类别的企业和污染物确定的现行排放限值以及排放源

监测要求。在情况允许时，报告将详细介绍污染防治技术的控制成本和预期减排效果。在确定未来年份成本有效的减排策略时，可使用排放清单、潜在防治方案、预期减排效果和控制成本等信息进行估算，以实现指定的大气质量目标。将未来情境结合到区域大气质量模型分析框架中可帮助江苏省根据计划实施的排放控制方案的力度预测未来的大气质量状况。如前所述，由中国和美国的专家共同开发的ABaCAS系统是一项非常实用的综合性工具，可帮助有关部门确定必要的区域污染防治策略以实现大气质量目标。ABaCAS系统还可估算降低PM_{2.5}颗粒物浓度的公共卫生效益和控制成本。经初步估算，江苏省通过降低PM_{2.5}颗粒物浓度实现的公共卫生效益将达到其排放控制成本的十倍甚至更多。

另外，本次报告还根据美国过去在大气质量管理规划方面取得的经验为江苏省和三试点城市提出了一系列其它建议，例如美国在实施污染防治策略时遇到的诸多技术问题。随着大气质量管理规划方案的不断发展和完善，这些建议可能会为江苏省提供一定程度的帮助，避免这些曾经在美国出现的问题再次发生。

选择性催化还原设备（SCR）是本次报告中重点介绍的一项大气污染防治技术。当SCR进气口处的烟气温度低于330℃时，该设备将无法对氮氧化物进行有效处理。这种情况经常在燃煤发电机组以低容量运行时发生，并可导致无控制氮氧化物排放的大幅提高。根据中国现行的电力调度政策，电网中往往存在多个发电厂同时以低容量进行发电。自2008年以来，中国电力行业的发电容量因子下降了20%左右。目前，国家发改委正在推进开展电力体制改革，但是充分落实仍将需要几年时间。

然而，江苏省有关部门仍然可以在接下来的一段时间内采取一定措施提高污染防治设备的效能。报告认识到：（1）由于用电需求的变化，燃煤发电机组无法在全时段保持最大容量运行；（2）在发电机组由最大容量调整至最低容量运行的过程中，烟气温度和流速的变化将对一部分大气污染防治设备的运行造成不利影响。在这样的前提下，报告对如何有效应对燃煤电厂低容量运行带来的问题提出了具体建议。除此之外，报告还建议电力规划部门明确燃煤电厂发电锅炉的设计参数要求，使与之配套的大气污染防治设备在电力输出最高和最低时（例如电力需求较低的夜间）均能保持稳定运行。如果这些建议能够得到切实有效的落实，便可以最为成本有效的方式改善燃煤电厂低容量

运行期间的氮氧化物过量排放问题，并进一步为江苏省实现每日和每小时的臭氧浓度标准提供有力支持。

保持大气污染防治设备稳定且良好的运行和维护是实现预期减排效果的必要条件。江苏省在推动下一阶段的大气质量管理规划工作时也应重点关注这一环节。除此之外，报告还建议江苏省的有关部门和电力企业在选择大气污染防治技术时留意各种技术对废水处理的要求，并考虑是否能与现存的污染防治设备加以整合。

能源规划

本次报告的第十二章将对能源规划进行讨论，并强调能源政策与大气质量管理规划过程结合的重要性。江苏省在建立和实施大气质量规划的过程中遇到了许多挑战。报告认识到，江苏省可能无法同时落实报告中提出的全部建议，但是从现在开始致力于将大气质量管理和能源政策进行有机结合对开展接下来的工作是非常关键的。江苏省的大气污染问题与能源消耗直接相关。能源政策与大气质量管理规划更好地结合将使双方的目标更快、更加成本有效地实现。

与环境规划类似，电力规划也在经历大规模的改革。中共中央和国务院2015年3月发出《关于进一步深化电力体制改革的若干意见》认识到现阶段对电力规划进行大规模调整和更新的需求。国家一系列方针和文件的出台也预示着国家“十三五”计划中将对这项工作重点部署。⁴这将是中国在以合理成本实现电力行业发展和减排目标的过程中非常关键的一步。

重点建议

根据需要，本次报告为江苏省环保部门制定下一阶段的大气质量管理规划提出了一系列建议。自2016年1月1日起实施的《大气污染防治法》新修订稿包含了许多有助于强化江苏省大气质量管理框架的重要规定。在接下来的几年间，这些详细的法规和实施细则将为江苏省有关工作的开展提供必要的指导。报告的第十四章将以落实《大气污染防治法》为基础，完整、详细地对有关建议进行介绍。其中一部分重点建议主要包括：

总体建议

- 寻求提高环保部门人员配备及预算水平的机会，以

有效应对江苏省境内由大气污染导致的公共卫生问题。目前的人员配备及预算水平无法有效满足江苏省众多大气污染防治和执法项目的需求。

- 推进多省市之间的区域大气质量管理规划工作，使有关人员获得互相学习和交流、研究制定潜在减排策略以及确定潜在政策解决方案的机会。
- 协调跨部会规划和数据共享，将大气质量、能源和交通运输规划过程进行整合。

排放清单

- 为固定排放源、面源和移动源建立高质量的基准年份排放清单（例如2012年）及适当的未来年份排放清单（例如2017年）。
 - 排放清单的数据结构应按照国家排放清单编制工作指导意见的有关要求，与全国范围内的其它排放清单保持一致。这将为江苏省今后制定区域大气质量规划和温室气体减排策略带来很大帮助。
 - 排放清单应至少包括以下污染物种类的排放数据：一次PM_{2.5}（含可凝结PM_{2.5}排放）、二氧化硫、氮氧化物、挥发性有机物、氨气、一氧化碳、二氧化碳、黑碳和甲烷等。
- 要求超出“重点排放源”门槛标准的点源企业采用特定的国家（或省级）排放估算方法和申报表格对其大气排放进行年度申报。申报表格应包含排放源所有机组的数据，例如：
 - 各种污染物的排放量
 - 机组参数（例如位置或地理坐标、烟囱高度和直径、排放速度和温度等）
 - 机组年度运行小时数
 - 现存大气污染防治设备的类别
 - 大气污染防治设备的年度运行小时数
 - 排放源监测方法
- 为获取受监管实体的最新排放数据建立法律机制和流程，以便各省市定期（例如每三年）对排放清单进行全面更新。

排放标准及减排策略

- 建立能够反映最佳可获得控制技术且成本有效的排放标准。

- 情况允许时，应当为各类排放源的量化排放标准制定具体的平均值计算时段。企业运营商可根据量化的排放限值选择最能够满足其实际需求的排放控制设备或系统。
- 在评估适当的排放限值时，应对多重污染物跨媒介控制策略、能源使用影响及任何潜在的不良环境影响进行全面考虑。
- 鼓励采取必要措施避免污染的产生，例如对传统燃料、生产原料或替代设备等进行更换，从而消除对附加排放控制设备的需求。
- 为油漆和涂料产品中的挥发性有机物成分制定排放标准。
- 排放标准应包含以下元素：
 - 能够代表最佳可获得控制技术的排放限值，以及具体的平均值计算时段；
 - 为排放源执行排放监测制定的要求（可行时采用持续性排放监测系统，或排放控制设备的运行参数）；
 - 采用排放控制设备运行参数时，应确保运行限值直接与绩效测试关联，且平均值计算时段足够短，以便确认持续性合规情况；
 - 用于衡量实际排放情况的排放源定期测试要求（不使用持续性排放监测系统时）；
 - 关于定期检验、数据记录和自行申报，电子申报，标准格式及常用方案的要求等。

能源规划

- 建立一项综合能源规划过程，促进大气、能源和经济监管部门之间的数据预报共享和规划实施合作。
- 电力规划过程可以从资源规划机制开始落实。该机制：
 - 应将集中和分配可再生能源与末端能源效率作为传统发电最成本有效的替代方案，在满足电力需求的同时降低污染排放。
 - 应将输电与配电规划与电力规划的其它方面紧密结合。
 - 应对待评估资源的环境和公共卫生成本及效益进行量化。
 - 确定资源的经济、商业和环境风险并降到最低。

- 通过环境影响评估（EIA）过程促进大气和能源政策的整合。实施环境影响评估（以及未来的预建和运营许可证项目）可确保新建或改建排放源具有较高的热效率、采用标准化过程提高煤炭质量、并根据大气质量目标的要求对本地和下风方向的大气排放进行预报。

- 要求重点行业的企业制定企业层级的风险管理计划。各企业均应制定应急响应预案，以便在高污染天气或排污事故发生时及时采取缓解和补救措施。

大气质量模型分析

- 根据现行的国家政策、省级减排措施以及上风方向省市的预期减排情况，对省内的预期减排情况进行估算。在建立相关排放估算时应考虑能源需求预测。执行大气质量模型分析，估算未来年份的大气质量。
- 江苏省可考虑在大气质量管理规划过程中使用ABqCAS系统确定潜在的排放控制措施，并估算有关措施的成本和公共卫生效益。

大气质量监测

- 保持江苏省现存PM_{2.5}监测网络的良好运行，并在情况允许时进行扩展。PM_{2.5}化学成分监测在通过源解析确定污染贡献源行业时具有重要作用。为有效开展源解析工作，化学成分监测的物质至少应包括：有机碳、单质碳、硫酸铵、硝酸铵，以及铝、硅、钙、铁、钾和钛等微量元素。江苏省正在对其中多种物质开展每小时监测。这将为源解析工作提供良好的统计学支持。
- 修订大气质量监测、数据分析和数据申报的标准化程序，以改善数据的质量和稳定性。标准化程序应包括适当的质量保证/质量控制方案，确保大气质量监测数据的可靠性，并为政策制定打下坚实的基础。

应急响应规划

- 更新并落实应急响应程序，在大气污染等级提升至特定阈值时采取必要的防范措施。该程序应包括：
 - 及时发布大气质量预报，向社会大众通报实时的大气质量数据。在紧急情况发生时，应及时通知社会大众采取必要的防范措施以减少污染暴露。
 - 当大气污染水平提升至特定阈值时，政府部门和排放源应采取的不同级别的应对措施。

合规与执行

- 建立一套行之有效的执行机制，并交由国家和省级有关部门进行监管。
 - 政策执行必须公正、公平、标准一致。
 - 因违反规定受到的处罚必须大于合规执行的成本。
 - 罚金的数额应高于违反规定取得的经济利益。违规企业缴纳的罚金可以用于支付执法人员和合规检验的开支。
- 与执法人员互相协调，以改善合规执行情况和提升环境利益为目标，制定明确且容易执行的大气监测和排污许可证规定与要求。
- 为受监管企业提供现场咨询、技术协助与能力培训，以改善其合规执行情况。
- 采用电子申报系统，使环境数据申报更加准确、完整和高效，并同时帮助大气质量监管部门更好地管理有关信息，提高其工作效率。
- 制定省级“材料安全数据表”执行规定或与之类似的项目，要求企业对特定化学品的成分进行申报。材料安全数据表包含化学品的基本信息及其理化性质，详细说明安全处置的方式，并说明在不当接触时应如何处理。

排污许可证制度

- 江苏省应根据国家《大气污染防治法》的有关规定和指导意见创建运营许可证项目。
- 该项目应适用于特定规模阈值以上的所有污染源（在美国，潜在排放量超过100吨一般大气污染物或10吨有害大气污染物的所有排放源均须申领运营许可证）。
- 运营许可证应包含并明确以下内容：
 - 适用于该企业排放源的全部要求；
 - 适用于该企业特定排放机组的全部排放标准、排放限值和平均值计算时段；

- 所有与排放标准相关的监测、申报、数据记录及测试方法；以及该企业适用的其它合规执行要求；
 - 适用于该企业排放源的其它运营限值、设备或实践方案要求；
 - 关于企业负责人对其年度合规情况进行认证的要求；
 - 根据排放量征收排污费的要求。应依照排污许可证项目的运行成本确定适当的排污费征收标准；
 - 关于企业必须向环保部门报告违规行为的要求。
- 该项目应具备特定的机制，允许：对排污许可证条款进行必要的修订；将排污许可证提交政府部门和社会大众审阅；以及在审批之前与可能受该排放源影响的下风方向相邻省市进行沟通和协调。

规划可以同时多种污染物展开协同控制，并利用能源效率更高的技术和工艺。这是一项更加成本有效的途径。

我们有理由相信，江苏省的大气质量将会得到显著提高，并将在改善公共卫生状况的同时为成熟的环境服务行业的形成打下坚实的基础。当前的许多技术和工具是美国五十年前采取行动应对挑战性极高的大气污染问题时不具备的。这项优势应当能够协助江苏省在未来的大气污染防治和气候变化应对方面取得明显进展。中国和江苏省的有关部门应持续深化与美国联邦环保署及其它项目伙伴的合作，确保当前的最佳可获得控制技术能够以最为成本有效的方式融合到大气质量管理规划过程中，并有效借鉴美国在相关领域取得的经验。

结语

美国的经验证明，社会经济可以在政府实施强力的大气污染防治项目的同时保持健康成长。大气污染是全球范围内导致过早死亡的首要原因。据世界卫生组织估算，2012年全世界共有约700万人因大气污染暴露过早死亡。⁵研究表明，美国《清洁空气法案》于1990年至2020年间产生的公共卫生和环境效益超出其成本近30倍之多，其中大约85%的效益可归功于造成细颗粒物污染的污染物水平的大幅降低。我们相信，如果中国能够持续采取有效措施降低大气污染和碳排放，同样也可实现类似的公共卫生效益。

大气质量管理规划是一个环环相扣的过程，因此本次报告中提出的重点建议可能无法立即同时执行。另外，为体现污染物产生和防治两方面技术的最新变化，持续对大气质量标准进行审阅和修订也是必不可少的。美国的经验表明，健全的环保标准可以有力地促进技术创新，有时还可使成本显著降低（例如经过改进的、能源效率更高的设备设计方案和工艺流程等）并提高资源利用效率和生产力。改善江苏省和中国全国范围内的大气质量将为环保创新和环境服务行业的发展提供良好的契机。成熟的环境服务行业也将帮助中国有效应对当前面临的多种环境问题。

中国经济飞速增长的时期恰好也是与大气污染有关的科学和公共卫生研究取得重大进展的时期。与此同时，能够有效降低大气污染不良健康影响的技术和工艺也得到了跨越式发展。因此，中国的大气质量管理

参考文献与注释

1. 李冰, 江苏省大气质量管理技术援助项目启动会总结报告。2014年6月13日.
2. 江苏省环保厅, 2015年江苏环境“体检”报告。2016年6月2日.
3. 江苏省环保厅, 大气质量管理规划对应章节数据提交汇总。2016年1月27日.
4. 2015年3月下旬, 中共中央和国务院发出了《关于进一步深化电力体制改革的若干意见》, 又称“九号文件”。详情请参阅<http://www.ne21.com/news/show-64828.html>. 该文件的英译版请参阅<http://raponline.org/featured-work/anew-framework-for-chinas-power-sector>. 2015年6月, 国家能源局颁布了国能法改[2015]199号文件, 对改进能源规划提出了指导意见。详情请参阅http://zfxgk.nea.gov.cn/auto81/201506/t20150610_1936.htm.
5. 世界卫生组织。引用自<http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en/>。

1

项目背景介绍

1.1 项目目的

本次《大气质量管理规划框架》（AQMPF）是美国联邦贸易和发展署（USTDA）资助的一项为期三年的中国大气质量管理技术援助项目的一部分。项目的主要目的是将美国联邦环保署与美国州级、市级环保部门在大气质量管理规划方面的最佳实践方案提供给中国的有关部门作为参考，加速推动中国大气质量的持续改善。同时，项目还将美国最先进的大气污染防治技术引进到中国，帮助其实现并超出PM_{2.5}减排的有关目标，同时强化对其它污染物的协同控制。¹

2013年10月，美国联邦环保署与中国环境保护部共同签署了有关协议，标志着此次项目的正式启动。此后，考虑到江苏省在排放清单建立和评估、污染防治技术应用和大气质量管理规划模型开发等诸多方面的有利条件，中国环保部将其确定为此次项目的试点省份。江苏省根据境内各城市的大气质量问题、经济发展情况和参与意愿选择了南京市、常州市和苏州市作为此次项目的试点城市。

1.2 项目组

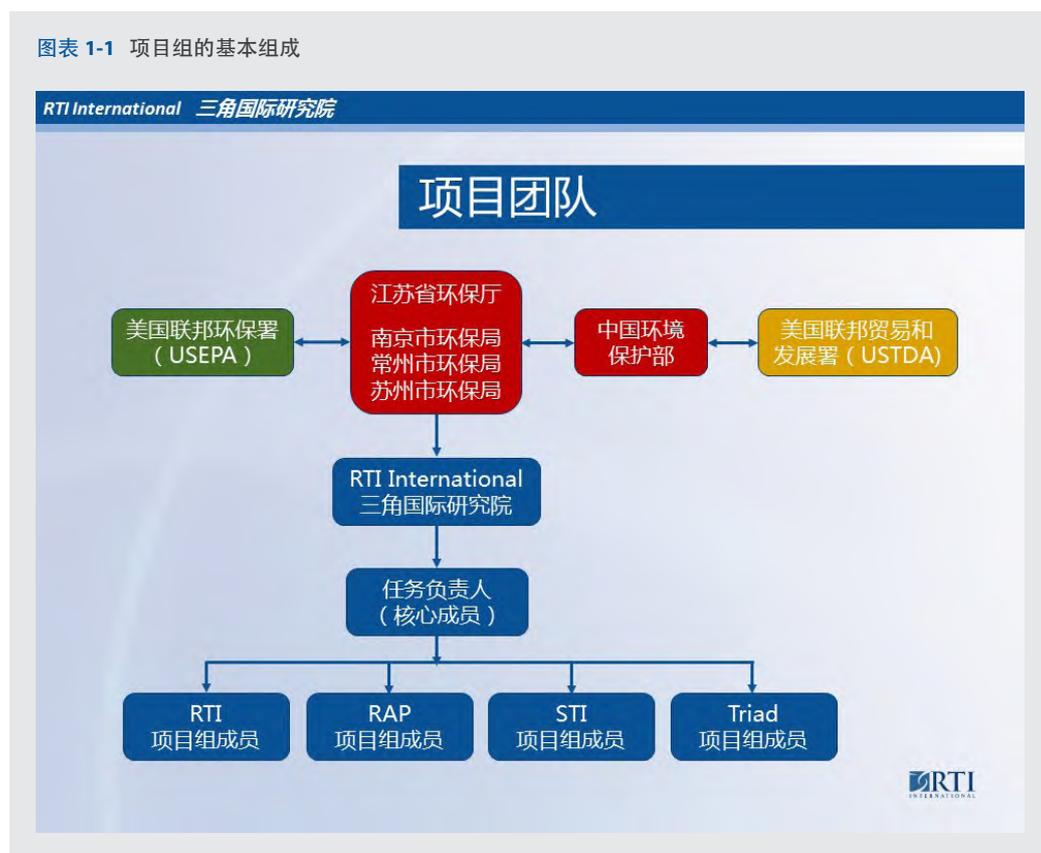
为保障项目的有序管理与推动，此次项目的省级工作组由江苏省环保厅环境经济技术国际合作中心牵头，大气处、省环境监测中心和省环境科学研究院等单位共同参与。三试点城市也分别成立了市级工作组。各工作组以实现项目主要目标为出发点，配备了大气质量监测、排放清单编制与效益达标评估等重点业务领域的主要成员。²

在美国方面，江苏省环保厅选择了RTI International（三角国际研究院，RTI）作为此次项目的主承包方，同时邀请美国联邦环保署（USEPA）为项目提供技术指导。RTI项目组同时还包括睿博能源智库（The Regulatory Assistance Project, RAP）、索诺玛科技公司（Sonoma Technology, Inc., STI）与弗大工程运用公司（Triad Engineering Application, Inc.）的有关人员。中美双方项目组的基本组成如图表1-1所示。

1.3 报告内容

本次《大气质量管理规划框架》根据美国的最佳实践方案为江苏省大气质量管理规划的编制工作提出了一系列指导和建议。在项目开展的三年间，报告中涉及的许多内容已经以案例分析和培训等形式得到呈现。同时，省级和市级工作组的有关人员也多次在研讨会和项目组会议期间提供了许多重要信息，帮助美国方面的项目组成员更好地了解江苏省的大气质量现状以及在实现大气质量目标的过程中需要有效面对的各项挑战。本次报告基于美国最佳实践方案，以较大篇幅对工业企业的减排策略及大气污染防治方案进行了重点介绍，详情请参阅第九章。同时，鉴于工业部门对江苏省的大气质量造成了显著影响，省级和市级政府部门的有关人员建议将其作为此次项目的重点。表格1-1对《大气质量管理规划框架》的各个章节进行了简要介绍。

图表 1-1 项目组的基本组成



表格 1-1 《大气质量管理规划框架》内容简介

| 章节 | 主要内容 |
|----------------------------------|--|
| 内容提要 | 本次报告重点内容的概述 |
| 1. 项目背景介绍 | 介绍了项目目的和项目组等背景信息 |
| 2. 中国的大气污染防治目标 | 介绍了中国全国层面和区域层面的大气污染防治目标，其中包括江苏省主要大气污染物（二氧化硫、氮氧化物和PM _{2.5} ）的减排和防治目标 |
| 3. 江苏省及三试点城市概况 | 介绍了江苏省及南京市、常州市、苏州市等三试点城市的地理、人口、经济、交通概况和大气排放现状 |
| 4. 大气质量管理规划的重要步骤 | 简要介绍了美国自20世纪70年代以来在保持经济持续增长的同时实现的大气质量改善，并详细探讨了建立一项有效的大气质量管理规划的九个重要步骤 |
| 5. 确定大气污染源 | 介绍了排放清单基本元素（如点源、面源等）的背景信息，以及排放清单在大气质量管理规划各个阶段发挥的作用。同时还讨论了如何有效利用大气监测数据和源解析的分析结果以及未来年份的排放清单 |
| 6. 江苏省大气排放清单的发展 | 介绍了江苏省及南京市、常州市、苏州市等三试点城市大气排放清单的发展现状，并在讨论当前面临的主要挑战时分析了大气污染的重点来源 |
| 7. 现行大气污染防治政策与措施 | 介绍了江苏省及南京市、常州市、苏州市等三试点城市的现行大气污染防治政策及采取的有关措施 |
| 8. 区域规划和协调 | 介绍了区域大气质量管理规划的优势，并分析了美国与中国的具体案例 |
| 9. 重点行业的大气污染防治方案 | 介绍了PM _{2.5} 、PM _{2.5} 前体物（二氧化硫、氮氧化物和挥发性有机物）以及有害大气污染物的污染防治方案。这些方案涵盖江苏省燃煤电厂、炼油厂、钢铁制造、水泥制造及表面涂装等重点行业。关于燃煤电厂的章节采用了江苏省目前正在执行的超低排放标准，并为保障有关标准的连续合规执行提出了一项涉及排放监测、数据记录和申报等工作的框架。鉴于移动源也是江苏省大气污染的一个主要来源，因此本章也对移动源的污染防治方案进行了介绍。另外，本章还介绍了温室气体，特别是二氧化碳的污染防治事项。除污染防治方案外，本章的各个小节还介绍了美国现行的大气污染排放限值及相应的监测要求，并在适当时对预期的减排效果和控制成本进行了说明 |
| 10. 对未来的污染防治方案进行大气质量改善情况、成本和效益评估 | 介绍了美国评估规划污染防治方案的大气质量改善情况、成本和公共卫生效益的最佳实践方案，例如使用美国联邦环保署的大气效益成本和达标评估系统（ABaCAS）将基准年份和未来年份的排放清单进行比较。关于ABaCAS系统的更多信息请参阅附录A |
| 11. 规划实施和持续评估 | 介绍了确保规划实施和持续评估程序有效性的基本元素，包括：规划实施及合规执行日程安排；特别针对固定排放源采取的措施（预建许可证；运营许可证；排放监测、记录和申报要求；合规监测；执法项目等）；特别针对移动源采取的措施（年检和维护项目；油品质量定期检测等）；应急响应制度；以及实施进度追踪等 |
| 12. 能源规划 | 介绍了将能源政策与大气质量管理规划有机结合的重要性和效益，并引用了美国联邦层面、州级层面以及欧洲和世界其它地区的相关案例 |
| 13. 江苏省大气质量管理规划工作面临的主要挑战 | 根据省级和市级工作组在研讨会和项目组会议上提供的信息，重点讨论了省环保厅和市环保局有关人员在推动大气质量改善和建立下一阶段大气质量管理规划的过程中需要有效应对的挑战 |
| 14. 重点建议 | 以大气质量管理规划的重要步骤和第十三章列举的部分重点挑战为基础，为省环保厅和市环保局建立下一阶段的大气质量管理规划提供了全面且详细的建议。这些建议同时也依据自2016年1月1日起实施的《中华人民共和国大气污染防治法》。该法中涉及的许多重要规定将帮助江苏省有效强化其大气质量管理规划框架 |
| 附录 | 附录A介绍了美国联邦环保署的ABaCAS系统在评估大气质量改善情况、成本及公共卫生效益方面的发展和应用；附录B介绍了有关部门在为工业污染源制定大气排放限值时应严格规定的参数，以确保排放限值的实际可行性 |

参考文献与注释

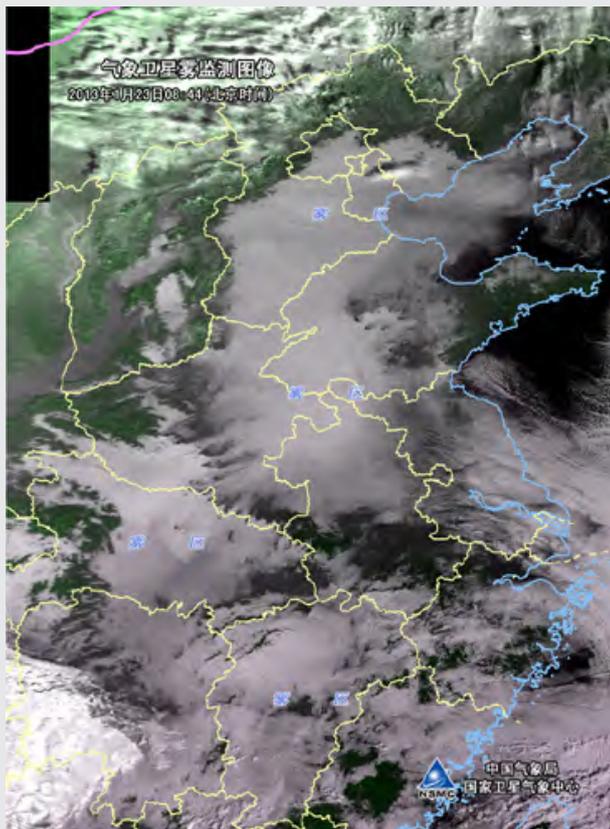
1. Request for Proposals: Feasibility Study for the China Air Quality Management Program; Annex 4: Terms of Reference from USTDA Grant Agreement. October 2013.
2. 江苏省环保厅, 《中美合作大气质量管理技术援助项目工作简报第一期》。

2

中国的大气污染防治目标

中国在持续发展经济和提高人民生活水平的过程中也遇到了严重的大气污染问题。在过去的几十年间，中国每年出现严重雾霾的天数随着生产力的发展大幅增长。图表2-1展示的是一幅2013年1月拍摄的卫星云图，其中灰色区域为面积约为143万平方千米的雾霾区，北京、天津、河北、河南、山东、江苏、安徽、湖北和湖南等多个省市的空气质量均受到了严重影响。

图表 2-1 中国的大面积雾霾¹



中国国务院在2000至2005年期间实施的国家“十五”计划中第一次提出了明确的大气污染减排目标，即在2005年年底前将二氧化硫排放水平降低10%。之后的“十一五”计划中又提出在2010年年底前将二氧化硫排放水平再次降低10%。“十二五”计划中提出的需要在2015年年底前实现的其它全国性大气污染防治目标则以2010年的排放水平为基准。这些目标包括：

- 二氧化硫排放水平降低8%；
- 氮氧化物排放水平降低10%；
- 单位GDP二氧化碳排放水平降低17%

2012年2月，在“十二五”计划实施期间，国务院制定了PM_{2.5}国家环境空气质量标准，即年均PM_{2.5}浓度为35 μg/m³、日均PM_{2.5}浓度为75 μg/m³。² 除此之外，环境保护部、国家发改委及财政部于2012年12月5日共同颁布了《重点区域大气污染防治“十二五”规划》³，为包括京津冀、长三角（含江苏省）和珠三角区域以及19个省份的117个城市在内的全国三个重点区域和十个城市群制定了更加严格的大气质量目标。这些重点区域和城市群涵盖了中国总人口的48%及国内生产总值的71%，其大气污染物浓度较全国平均水平高出2.9至3.6倍。《重点区域大气污染防治“十二五”规划》同样采用2010年的大气质量数据为基准，但是为以上重点区域和城市群提出了较国家“十二五”计划更为严格的大气质量目标。江苏省须在2015年年底前实现的大气质量目标如表格2-1所示。

如表格2-2所示，《重点区域大气污染防治“十二五”规划》还为江苏省境内的大气污染排放源制定了严格的减排目标。该《规划》要求长三角区域的排放源加强对产生酸雨的污染物的控制（包括二氧化硫和氮氧化物等）。另外，该《规划》还特别要求江苏省加强对PM₁₀排放的治理，并重点对PM_{2.5}和臭氧的形成进行防控。

2013年6月，国务院印发了《大气污染防治行动计划》，其中包括被称为大气“国十条”的十项重点措施（如图表2-2所示）。该《行动计划》还提出了推广公共交通系统、提高清洁燃料的使用（例如低硫燃油）等重要目标。

表格 2-1 《重点区域大气污染防治“十二五”规划》为江苏省提出的大气质量目标

| 主要大气污染物环境空气浓度目标 | |
|--------------------------|-------|
| PM ₁₀ 环境空气浓度 | 降低14% |
| PM _{2.5} 环境空气浓度 | 降低7% |
| SO ₂ 环境空气浓度 | 降低12% |
| NO ₂ 环境空气浓度 | 降低10% |

表格 2-2 《重点区域大气污染防治“十二五”规划》为江苏省提出的减排目标

| 授权文件 | 江苏省境内的二氧化硫排放 | 江苏省境内的氮氧化物排放 | 江苏省境内的工业颗粒物排放 |
|-------------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| 国家“十二五”计划中提出的全国性减排目标（2011年3月） | 到2015年年底前降低8% | 到2015年年底前降低10% | 无全国性减排目标 |
| 《重点区域大气污染防治“十二五”规划》提出的减排目标（2012年2月） | 到2015年年底前降低12% | 到2015年年底前降低13% | 到2015年年底前降低10% |

图表 2-2 中国国务院《大气污染防治行动计划》内容摘要

| 2013 年《大气污染防治行动计划》提出的十项措施 (大气“国十条”) | | | | | |
|---|--|--|--|---|---|
| <p>1. 综合治理</p> <p>淘汰小型燃煤锅炉</p> <p>加快落实重点行业二氧化硫、氮氧化物、扬尘排放控制改造及 VOC 排放控制安装</p> <p>在三个重点区域内全面落实发电机组和锅炉的大气污染防治；加强城市扬尘排放控制</p> <p>推进交通运输管理，改善公共交通系统；限制大型城市的机动车增长</p> <p>推动炼油厂升级改造；实施国四（2014 年）和国五燃油标准（重点区域 2015 年开始，全国范围 2017 年开始）</p> <p>2017 年前淘汰全部黄标车；加强机动车检验</p> <p>升级三轮车和行驶速度过慢的卡车；推广清洁燃料机动车</p> | <p>2. 工业重组</p> <p>限制高污染行业的生产与排放补偿</p> <p>局部地区可进行更加严格的工业重组</p> <p>改善效率</p> <p>提前一年实现“十二五”计划中淘汰 21 个重点行业落后产能的目标</p> <p>重点审查运行状况较差的小型行业</p> <p>降低过剩产能；禁止在产能过剩时批准新增产能</p> <p>禁止未经审批的违法建设施工</p> | | | | |
| <p>3. 技术改造</p> <p>深化大气化学、监测、公共卫生、模型分析、污染传输、技术、应急响应等领域的研究</p> <p>在五个重点行业开展清洁生产调查</p> <p>在 2017 年前将排放强度降低 30%</p> <p>推动循环经济——可持续、回收、环境保护、副产品回收</p> <p>培养以市场为导向的环保服务业</p> | <p>4. 调整能源结构</p> <p>在 2017 年前将煤炭占全部能耗的比重降低至 65% 以下；提高天然气应用比例</p> <p>使用容量在 300 兆瓦以上的大型发电机组取代现有小型机组</p> <p>天然气；开发可再生能源</p> <p>核能容量增长至 5 万千瓦，在 2017 年前将非化石能源的比例提高至 13%</p> <p>扩大高污染燃料禁用区域；使用天然气或电力取代煤炭</p> <p>提高能源效率</p> <p>建设绿色环保建筑</p> <p>供热费按用量定价</p> | | | | |
| <p>5. 环境阈值</p> <p>针对排放源新建、改建和扩建项目进行环境影响评估</p> <p>禁止在环境基础较为脆弱的地区执行高能耗/高污染项目</p> <p>为中国西、中、东部区域制定不同的行业政策</p> <p>提高重点行业的环境阈值</p> <p>七个重点区域和十个城市群的七个重点行业制定特殊的排放限值；各区域可根据需要设定更加严格的排放限值</p> <p>项目建设开始前必须经过能源审核和环境影响评估审查</p> <p>推进城市和绿地规划</p> <p>在 2017 年之前完成对六个行业高污染企业的搬迁和改造</p> | <p>6. 环境经济</p> <p>污染源必须承担相应的责任</p> <p>按照效率对水力和电力进行整合</p> <p>推进环境服务行业的发展</p> <p>使污染防治和能源成本内在化</p> <p>调整油品和天然气价格</p> <p>提高排污费，并整合 VOC 排放</p> <p>鼓励企业对大气污染防治技术进行投资和融资</p> <p>增强地方政府对油改气、淘汰黄标车和购买监测设备的支持力度</p> <p>中央政府组织专项行动并提供资金和奖励</p> | <p>7. 法律和规定</p> <p>加速对现有法律和规定的修订——许可证、排放、应急响应、法律责任、配套法律、重点排放标准等</p> <p>改进监测系统</p> <p>监管法律规定在地方的落实情况</p> <p>建立完善城区监测点、清洁对照点和区域监测点；到 2015 年底，所有重点城市均设有 PM_{2.5} 监测站</p> <p>深化相关法律法规的执行，提高违法处罚力度</p> <p>强化信息公开——各省每月发布大气质量最好和最差的城市名单</p> <p>及时公开新的环境影响评估结果、排污情况及污染防治设备的运行信息等</p> | <p>8. 区域管理</p> <p>在京津冀和长三角地区建立区域协调机制</p> <p>国务院和省级政府共同制定污染减排和大气质量目标（重点区域的 PM_{2.5} 与其它区域的 PM₁₀），交由地方政府和各个行业贯彻执行</p> <p>国务院每年对各个省份的合规执行情况每年进行评价；2015 年进行中期评价，2017 年进行最终评价；具体结果向社会公布</p> <p>制定一系列改正措施，在各行业未能实现有关目标时严厉追究其责任</p> <p>调查未能实现有关目标的行业的具体情况</p> | <p>9. 应急响应</p> <p>环保部和国家气象局共同建立重污染天气监测和预警系统</p> <p>为大气质量未达标的城市制定应急规划</p> <p>三个重点区域须在 2014 年年底前建立重污染天气应急响应机制；其它省份应在 2015 年年底前完成</p> <p>根据污染现象的严重程度适当缩减生产规模或限制机动车出行</p> <p>将重污染天气应急响应整合到各地的应急规划中</p> | <p>10. 责任/公众参与</p> <p>明确地方政府的责任</p> <p>地方政府对各自辖区内的大气环境质量负责</p> <p>强化跨部会协作；强化环保部的指导、协调和监管力度</p> <p>各行业负有主要的大气污染防治责任，须确保大气排放低于有关限值或接近于零</p> <p>提高社会参与力度——保护环境人人有责</p> <p>提倡更加文明、高效和绿色环保的生活方式</p> |

此后，为改善全国大范围地区的大气质量，国务院又于2013年9月在《大气污染防治行动计划》的框架下制定了一系列更加严格的大气质量目标（如图表2-3所示）⁵。其中，江苏省须以2012年的大气质量为基准，在2017年年底将PM₁₀和PM_{2.5}的浓度分别降低10%和20%。同时，2013年9月修订的《行动计划》还明确指出，大气污染源必须根据其排污量向监管部门缴纳排污费。

2014年11月，燃煤电厂超低排放标准开始在江苏省内实施，并于2015年11月开始在全国范围内推广实行。表格2-3对有关超低排放标准进行了总结。

目前，全国层面的燃煤电厂超低排放控制规定已经开始实施。根据有关规定，当发电机组按超低排放标准进行发电时，电力企业可以将每千瓦时的电费提高0.01元，作为执行超低排放的经济补偿。

除了2014年11月起在江苏省内开始实施的燃煤电厂超低排放标准之外，表格2-4还列举了其它适用于江苏省各类工业排放源的国家大气污染物排放标准。

近年来，江苏省在贯彻落实国家大气污染防治工作方面取得了长足进步，并成功地改善了既有的大气监测站网络，使其更好地满足每日大气质量评估和预报的需求。江苏省通过将大气监测站网络取得的数据与国家有关标准和行动目标进行比对，不断地对有关工作进行调整和改进。目前，江苏省境内的大气污染排放源正在执行本节中介绍的国家排放标准。有关部门根据中共中央和国务院的决策部署与大气污染防治技术的改进升级定期对这些标准进行修订和完善。现行的大气污染物排放标准中还包含一项适用于全部行业的《大气污染物综合排放标准》。江苏省有关部门预计，随着表格2-3和2-4中列举的适用于重点区域和城市群的标准逐渐推广到全国，周边省市的大气质量将得到显著改善，并将有效缓解江苏省境内由污染物跨界传输导致的大气污染问题。

2015年8月29日，第十二届全国人大常委会第十六次会议批准对中国现行的《大气污染防治法》进行全面修订和强化。修订之后的新法于2016年1月1日起实施。新法中确认了中国能源行业对大气污染造成的影响，并进一步将大气质量改善与能源行业重组联系在一起。除此之外，新法第十九条要求工业排放源和发电厂在运行时须取得大气排污许可证；第三十二条要

图表 2-3 国务院2013年9月印发的《大气污染防治行动计划》



表格 2-3 江苏省实施的燃煤电厂超低排放标准⁶

| 受管制排放源 | 污染物 | 排放标准 | 合规执行期限 |
|--------------|--------------|------------------------------------|--------|
| 为发电机组服务的燃煤锅炉 | 扬尘（颗粒物） | 10 mg/m ³ ， 基准氧含量为6% | 无特别说明 |
| | 氮氧化物（以二氧化氮计） | 50 mg/m ³ ， 基准氧含量为6% | 无特别说明 |
| | 二氧化硫 | 35 mg/m ³ ， 基准氧含量为6% | 无特别说明 |

表格 2-4 中国重点行业的国家大气污染物排放标准

| 编号 | 排放标准 | 实施日期 |
|---------------|----------------------|----------------------------------|
| GB 16297-1996 | 《大气污染物综合排放标准》 | 自1997年1月1日起实施。适用于不具备本行业特定排放标准的行业 |
| GB 13223-2011 | 《火电厂大气污染物排放标准》 | 自2012年1月1日起实施 |
| GB 16171-2012 | 《炼焦化学工业污染物排放标准》 | 自2012年10月1日起实施 |
| GB 28662-2012 | 《钢铁烧结、球团工业大气污染物排放标准》 | 自2012年10月1日起实施 |
| GB 28663-2012 | 《炼铁工业大气污染物排放标准》 | 自2012年10月1日起实施 |
| GB 28664-2012 | 《炼钢工业大气污染物排放标准》 | 自2012年10月1日起实施 |
| GB 4915-2013 | 《水泥工业大气污染物排放标准》 | 自2014年3月1日起实施 |
| GB 13271-2014 | 《锅炉大气污染物排放标准》 | 自2014年7月1日起实施 |
| GB 31570-2015 | 《石油炼制工业污染物排放标准》 | 自2015年7月1日起实施 |
| GB 31571-2015 | 《石油化学工业污染物排放标准》 | 自2015年7月1日起实施 |

求大气监管部门制定支持清洁能源、提高生产机组燃煤效率并降低煤炭消耗总量的有关措施；第四十一条要求大气监管部门支持并推动燃煤电厂多重污染物协同控制方案（包括对硫、氮、汞和扬尘的控制）；第四十二条要求中国的电网运营商优先使用清洁能源进行电力调度等。

中国环境保护部在2016年的一项重要工作任务是制定保障新《大气污染防治法》有效实施的配套法规。江苏省及省内的部分重点城市也将参与到这项工作中，并可能会被要求对新编制的法规或标准提出意见和建议。在今后制定大气质量管理规划时，江苏省和各地市的环保部门也应将国家最新的大气污染防治标准和要求整合在内。

参考文献与注释

1. 由风云2E气象卫星于2013年1月22日拍摄，中国气象局。 <http://www.cma.gov.cn/2011zwxx/2011zyjgl/2011zyjgldt/201402/W020140224373404636236.jpg>.
2. Zhang, Qiang, Kebin He, and Hong Huo. "Cleaning China's Air." *Nature*, 484: 161-162, 2012.
3. 《重点区域大气污染防治“十二五”规划》英译版，2013年4月。由中国清洁空气联盟（CAAC）秘书处提供。《规划》的中文原件于2012年9月经中国国务院批准，并于2012年12月5日发布。英译版可由以下网址获取：<http://en.cleanairchina.org/product/6285.html>.
4. 由美国联邦环保署大气质量规划和标准处Scott Voorhees于2014年提供，并于2016年修改及翻译。
5. 相关信息于2016年2月1日由中国环境保护部网站获取：http://english.mep.gov.cn/News_service/infocus/201309/t20130924_260707.htm.
6. 详情请参见：<http://www.mep.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201512/W020151215366215476108.pdf>.

3

江苏省及三试点城市概况

概述

本章将对江苏省与三试点城市（南京市、常州市、苏州市）的地理、人口、经济、交通概况及各行政区划的大气排放现状进行简要介绍。

3.1 江苏省¹

3.1.1 地理概况

江苏位于我国大陆东部沿海中心、长江下游，东濒黄海，东南与浙江和上海毗邻，西接安徽，北接山东。江苏省地势平坦，平原辽阔，水网密布，湖泊众多。江苏拥有全国五大淡水湖中排名第三的太湖和排名第四的洪泽湖，此外还有高宝湖、高邮湖、邵伯湖、骆马湖、微山湖等大小湖泊290多个。连云港云台山玉女峰是全省最高峰，海拔625米。表格3-1列举了江苏省的主要地理数据。

图表 3-1 江苏省行政区划图



表格 3-1 江苏省主要地理数据

| | |
|-----------|---------------------------|
| 总面积 | 10.72万平方千米 (占全国的1.12%) |
| 平原 | 占全省的69% |
| 水体 | 占全省的17% |
| 湖泊 | 6260平方千米 (占全省的6%) |
| 丘陵 | 占全省的14% |
| 省际陆地边界线 | 3383千米 |
| 海岸线 | 954千米 |
| 长江流经江苏段 | 425千米 |
| 杭大运河流经江苏段 | 718千米 |

3.1.2 人口概况

表格3-2列举了江苏省的主要人口数据。

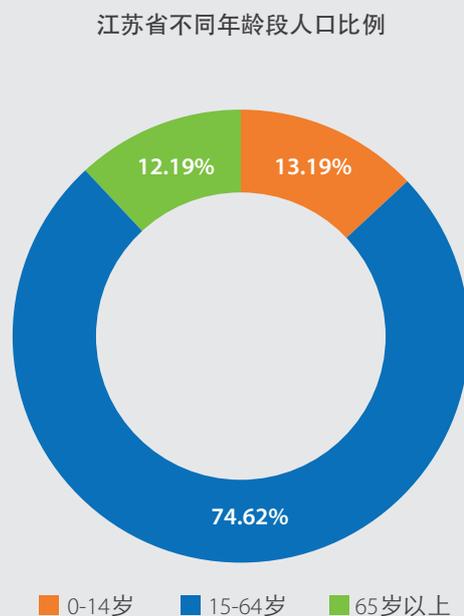
表格 3-2 江苏省主要人口数据 (2014年)

| | |
|----------|------------------------|
| 全省常住人口 | 7960.06万人 (较上年增长0.26%) |
| 男性人口 | 4007.09万人 |
| 女性人口 | 3952.97万人 |
| 0-14岁人口 | 1052.09万人 |
| 15-64岁人口 | 5942.44万人 |
| 65岁及以上人口 | 965.53万人 |
| 人口出生率 | 9.45‰ (较上年增长0.01‰) |
| 人口死亡率 | 7.02‰ (较上年增长0.01‰) |
| 人口自然增长率 | 2.43‰ (与上年持平) |



图表 3-2 长江

图表 3-3 江苏省不同年龄段人口比例



江苏省位于亚洲大陆东岸中纬度地带，属东亚季风气候区，处在亚热带和暖温带的气候过渡地带。一般以淮河、苏北灌溉总渠一线为界，以北地区属暖温带湿润、半湿润季风气候；以南地区属亚热带湿润季风气候。江苏东临黄海，地处长江、淮河下游，海洋对江苏的气候有着显著的影响。在太阳辐射、大气环流以及江苏特定的地理位置、地貌特征的综合影响下，气候呈现四季分明、季风显著、冬冷夏热、春温多变、秋高气爽、雨热同季、雨量充沛、降水集中、梅雨显著、光热充沛、气象灾害多发等特点。

3.1.3 经济概况

表格3-3列举了江苏省的主要经济指标。

表格 3-3 江苏省主要经济指标 (2014年)

| | |
|-------------|-----------------------|
| 2014年全年生产总值 | 65088.3亿元 (较上年增长8.7%) |
| 人均地区生产总值 | 81874元 (增长8.4%) |
| 第一产业增加值 | 3634.3亿元 (增长2.9%) |
| 第二产业增加值 | 31057.5亿元 (增长8.8%) |
| 第三产业增加值 | 30396.5亿元 (增长9.3%) |
| 公共财政预算收入 | 7233.1亿元 (增长10.1%) |
| 社会消费品零售总额 | 23209.0亿元 (增长12.4%) |
| 进出口总额 | 5637.6亿美元 (增长2.3%) |
| 出口 | 3418.7亿美元 (增长4.0%) |
| 进口 | 2218.9亿美元 (与上年持平) |

2014年, 全省扎实推进生态文明建设, 推动节能降耗和淘汰落后产能取得新进展。据初步核算, 2014年全省单位地区生产总值能耗比上年下降5.92%, 超额完成3.6%的年度目标, 完成“十二五”节能目标进度达95.96%。表格3-4简要介绍了江苏省淘汰落后产能的进展情况。

表格 3-4 江苏省2014年落后产能淘汰情况

| | |
|------|---------------------|
| 钢铁 | 377万吨 |
| 水泥 | 153万吨 |
| 平板玻璃 | 220万重量箱 |
| 船舶 | 345万载重吨 (超计划70万载重吨) |
| 稀土 | 1.2万吨 |
| 焦炭 | 58万吨 |
| 造纸 | 12万吨 |
| 化纤 | 1.2万吨 |
| 印染 | 35360万米/2.15万吨 |
| 铅蓄电池 | 749万千伏安时 |
| 纺织 | 9.25万吨/10850万米/6万锭 |
| 铸造 | 65.4万吨 |
| 电镀 | 40.07万吨 |
| 光伏制造 | 2.056万吨/4500万片/25兆瓦 |

3.1.4 交通概况

表格3-5列举了江苏省的主要交通数据。

表格 3-5 江苏省主要交通数据 (2013年)

| | |
|-------------|--------------------------|
| 全省高速公路通车总里程 | 4443千米 (较上年增加72千米) |
| 全省公路里程 | 15.6万千米 (较上年增加1976千米) |
| 全省干线铁路通车里程 | 2591千米 |
| 全省铁路复线率 | 60.9% |
| 全省铁路电气化率 | 61.8% |

图表 3-4 江阴长江大桥²

3.2 南京市⁴

3.2.1 地理概况



图表 3-5 中山陵

2013年，全省交通基础设施建设共完成投资755亿元，交通建设投资保持较高水平，高速公路密度继续保持全国各省和自治区前列。长江江苏境内过江大桥达到8个。9个省辖市拥有民用机场。

3.1.5 大气排放现状

2014年，江苏省二氧化硫排放总量为90.47万吨，其中工业污染源排放占96.19%、生活污染源排放占3.78%、垃圾和危险废物集中式治理设施排放占0.03%；氮氧化物排放总量为123.26万吨，其中工业污染源排放占72.06%、生活污染源排放占0.52%、机动车排放占27.38%、垃圾和危险废物集中式治理设施排放占0.04%；烟（粉）尘排放总量为76.37万吨，其中工业污染源排放占94.34%、生活污染源排放占2.38%、机动车排放占3.24%、垃圾和危险废物集中式治理设施排放占0.04%。³

南京市位于江苏省西南部，是江苏省的省会城市，距长江入海口347公里。南京市北连江淮平原，东接长江三角洲，市区东倚钟山，山高海拔448.9米；西傍长江天堑，万吨海轮可终年通航。南京地貌特征属宁镇扬丘陵地区，以低山缓岗为主。南京属北亚热带湿润气候，四季分明，雨水充沛，每年6月下旬到7月上旬为梅雨季节。表格3-6列举了南京市的主要地理数据。

表格 3-6 南京市主要地理数据

| | |
|------------|--|
| 市域地理坐标 | 北纬31° 14' -32° 37' ， 东经118° 22' -119° 14' |
| 总面积 | 6582平方千米 |
| 最高峰 | 钟山（海拔449米） |
| 岗地 | 占全市的53% |
| 平原、洼地及河流湖泊 | 占全市的39.2% |
| 低山 | 占全市的3.5% |
| 丘陵 | 占全市的4.3% |
| 长江流经南京段 | 95公里 |
| 年平均降水 | 117天/1106.5毫米 |
| 相对湿度 | 76% |
| 年平均气温 | 15.3℃ |
| 无霜期 | 237天 |
| 极端最高气温 | 38.5℃（2009） |
| 极端最低气温 | -14.0℃（1955） |

3.2.2 人口概况

表格3-7列举了南京市的主要人口数据。

表格 3-7 南京市主要人口数据 (2014年)

| | |
|----------|----------------------------|
| 全市常住人口 | 821.61万人 (较上年末增加2.83万人) |
| 全市户籍总人口 | 648.72万人 (较上年末增加5.63万人) |
| 0-14岁人口 | 82.02万人 (占比9.98%) |
| 15-64岁人口 | 655.03万人 (占比79.73%) |
| 65岁及以上人口 | 84.56万人 (占比10.29%) |
| 城镇化率 | 80.92% (较上年增长0.42%) |

3.2.3 经济概况

南京市经济平稳增长，价格水平涨幅较低，产业结构继续优化。三次产业增加值比例调整为2.5: 41.7: 55.8。工业结构调轻调优，全年完成高新技术产业产值5740.94亿元，占规模以上工业的比重为43.4%。汽车、电子、医药、交通运输设备、电气机械和器材、仪器仪表等六大先进制造业产值占规模以上工业的比重为44.5%，比上年提高1.5个百分点；石化、建材、冶金、电力等高耗能行业产值占规模以上工业的比重为33.9%，比上年回落1.7个百分点。工业生产稳定增长。目前，南京市境内共有14座燃煤电厂、5座燃气电厂、2座钢铁厂和15座水泥厂。表格3-8列举了南京市的主要经济指标。

表格 3-8 南京市主要经济指标 (2014年)

| | |
|---------------|---------------------------|
| 地区生产总值 | 8820.75亿元 (较上年增长10.1%) |
| 人均地区生产总值 | 107545元 |
| 第一产业增加值 | 223.96亿元 (较上年增长3.5%) |
| 第二产业增加值 | 3671.45亿元 (较上年增长8.8%) |
| 第三产业增加值 | 4925.34亿元 (较上年增长11.5%) |
| 全年城市居民消费价格总水平 | 较上年增长2.6% |
| 食品类价格水平 | 较上年增长2.8% |
| 居住类价格水平 | 较上年增长2.9% |
| 商品零售价格水平 | 较上年增长0.9% |
| 全年规模以上工业总产值 | 13239.73亿元 (较上年增长5.3%) |

3.2.4 交通概况

南京市交通状况近年来得到了显著改善。2014年，南京市加强机动车污染治理，机动车污染防治继续走在全省前列。推动油品、车辆的“双提标”，完成“国V”汽油油品升级；实现对重型汽油车，轻型、重型柴油车的“国IV”准入，启动提前实施“国V”标准申报工作。全市高污染车限行范围扩大到305平方公里。开展重大污染天气预警应急。实施《大气污染预警与应急处置工作方案》，先后发布红色、橙色预警，并采取企业停产、限产、工地停工、加大道路冲洗、开展人工增雨等有效应急措施。表格3-9列举了南京市的主要交通数据。

表格 3-9 南京市主要交通数据 (2014年)

| | |
|--------------|-------------------------|
| 城市公交运营线路网长度 | 9149千米 |
| 全年城市公共交通客运总量 | 18.79亿人次 (较上年增长3.5%) |
| 乘坐轨道交通出行人数 | 5.03亿人次 (较上年增长11.3%) |
| 公交汽车总数 | 8345辆 |
| 更新和新增公交汽车 | 2530辆 |
| 出租车总数 | 14628辆 |
| 更新和新增出租车 | 2471辆 |
| 有轨交通运行车辆数 | 746辆 |
| 新增公共自行车服务点 | 190个 |
| 新增公共自行车 | 7400辆 |

图表 3-6 常州市区景观⁷

表格 3-10 常州市主要地理数据

| | |
|--------|--|
| 市域地理坐标 | 北纬31° 09' -32° 04' , 东经119° 08' -120° 12' |
| 总面积 | 4373平方公里 |
| 年平均降水 | 1091.4毫米 |
| 年平均气温 | 16.6 °C |
| 相对湿度 | 74.2% |

3.2.5 大气排放现状

据南京市环保局的相关统计数据显示, 2014年 2014年, 南京市二氧化硫排放总量为10.4万吨; 烟尘排放总量为9.6万吨; 氮氧化物排放总量为13.29万吨。⁵

3.3 常州市⁶

3.3.1 地理概况

常州地处江苏省南部、长江三角洲腹地, 东濒太湖、邻无锡, 西与南京、镇江接壤, 南与江苏无锡、安徽宣城交界, 北襟长江。常州地貌类型属高沙平原, 山丘平圩兼有。南为天目山余脉, 西为茅山山脉, 北为宁镇山脉尾部, 中部和东部为宽广的平原、圩区。表格3-10列举了常州市的主要地理数据。

3.3.2 人口概况

表格3-11列举了常州市的主要人口数据。2014年, 全市农村工作按照《关于深化农村改革加快推进城乡发展一体化三年行动计划(2014—2016年)》确定的改革发展目标, 积极推进农村改革, 加快促进城乡发展一体化进程, 各项工作取得新进展。

表格 3-11 常州市主要人口数据 (2014年)

| | |
|----------|------------------------|
| 全市常住人口 | 469.6万人 (较上年增长0.1%) |
| 全市户籍总人口 | 368.6万人 (较上年增长0.7%) |
| 城镇人口 | 322.6万人 |
| 男性人口 | 182.9万人 (较上年增长0.6%) |
| 女性人口 | 185.7万人 (较上年增长0.9%) |
| 0-14岁人口 | 528607 (占比11.51%) |
| 15-59岁人口 | 3614296 (占比78.71%) |
| 60岁及以上人口 | 449069 (占比9.78%) |
| 人口出生率 | 10.3‰ |
| 人口死亡率 | 6.8‰ |
| 人口自然增长率 | 3.5‰ |
| 城镇化率 | 68.7% |

3.3.3 经济概况

表格3-12列举了常州市的主要经济指标。近年来，常州市经济运行总体平稳，十大产业链建设加快推进，生产效益均呈现快速发展态势。

表格 3-12 常州市主要经济指标 (2014年)

| | |
|-----------|----------------------------|
| 地区生产总值 | 4901.9亿元 (较上年增长10.1%) |
| 人均地区生产总值 | 104423元 |
| 第一产业增加值 | 138.5亿元 (较上年增长3%) |
| 第二产业增加值 | 2458.2亿元 (较上年增长9.5%) |
| 第三产业增加值 | 2305.2亿元 (较上年增长11.4%) |
| 规模以上工业总产值 | 11195.3亿元 (较上年 增长11.2%) |

3.3.4 交通概况

表格3-13列举了常州市的主要交通数据。

表格 3-13 常州市主要交通数据 (2013年)

| | |
|------------|----------------------------|
| 交通建设投资 | 99.26亿元 |
| 完成客运量 | 17551万人次 (较上年增长9.5%) |
| 旅客周转量 | 108.4亿人次公里 (较上年增长11%) |
| 完成货运量 | 19325万吨 (较上年增长13.9%) |
| 货物周转量 | 140.7亿吨公里 (较上年增长16%) |
| 全市港口货物吞吐量 | 9696万吨 (较上年增长7.8%) |
| 沿江港口货物吞吐量 | 3059万吨 (较上年增长14.7%) |
| 集装箱吞吐量 | 14.8万个国际标准箱 (较上年增长3.4%) |
| 常州机场旅客吞吐量 | 152万人次 (较上年增长40.74%) |
| 常州公交客运量 | 4.11亿人次 |
| 全市公交车清洁燃料率 | 30% |
| 全市出租车清洁燃料率 | 96% |

3.3.5 大气排放现状

据常州市环保局的相关统计数据显示，2014年，常州市二氧化硫排放总量为3.539万吨；氮氧化物排放总量为7.887万吨。⁸

3.4 苏州市⁹

3.4.1 地理概况

苏州位于长江三角洲中部、江苏省东南部，东傍上海，南接浙江，西抱太湖，北依长江。全市地势低平，境内河流纵横、湖泊众多，是著名的江南水乡，太湖水面绝大部分在苏州境内。苏州属亚热带季风海洋性气候，四季分明，气候温和，雨量充沛，土地肥沃，物产丰富，自然条件优越。表格3-14列举了苏州市的主要地理数据。



图表 3-7 拙政园

表格 3-14 苏州市主要地理数据

| | |
|--------|---|
| 市域地理坐标 | 北纬30° 47' -32° 02'， 东经119° 55' -121° 20' |
| 总面积 | 8488平方千米 |
| 平均海拔 | 4米 |
| 平原 | 占全市的54.8% |
| 水体 | 占全市的42.5% |
| 丘陵 | 占全市的2.7% |
| 年平均降水 | 1265毫米 |
| 年平均气温 | 16.9℃ |

3.4.2 人口概况

苏州被国家列为城乡一体化综合改革试点城市。表格3-15列举了苏州市的主要人口数据。

表格 3-15 苏州市主要人口数据（2014年）

| | |
|----------|---------------------------|
| 全市常住人口 | 1060.40万人 (较上年增加2.53万) |
| 人口出生率 | 11.69‰ (较上年增长1.3‰) |
| 人口死亡率 | 6.72‰ (较上年下降0.11‰) |
| 人口自然增长率 | 4.97‰ (较上年增长1.45‰) |
| 城镇化率 | 74.0% (较上年增长0.8%) |
| 0-14岁人口 | 963100 |
| 15-64岁人口 | 8607700 |
| 65岁及以上人口 | 889100 |

3.4.3 经济概况

苏州工业生产持续增长。电子、钢铁、电气、化工、纺织、通用设备制造六大支柱产业实现产值20358亿元，比上年下降0.4%。其中汽车制造业、电气机械及器材制造业、化学原料及制品制造业产值分别比上年增长14.1%、7.1%和10.3%。电子、钢铁行业产值分别比上年下降4.4%和2.1%。战略性新兴产业稳定发展，工业经济效益稳定改善。目前，苏州市拥有44座大型发电厂和6座黑色金属冶炼及轧制加工厂。表格3-16列举了苏州市的主要经济指标。

表格 3-16 苏州市主要经济指标 (2014年)

| | |
|---------------|------------------------|
| 地区生产总值 | 13761亿元 (较上年增长8.3%) |
| 人均地区生产总值 | 13万元 |
| 第一产业增加值 | 224亿元 (较上年增长3.5%) |
| 第二产业增加值 | 3671亿元 (较上年增长8.8%) |
| 第三产业增加值 | 4925亿元 (较上年增加11.5%) |
| 全年城市居民消费价格总水平 | 较上年增长2.6% |
| 食品类价格水平 | 较上年增长2.8% |
| 居住类价格水平 | 较上年增长2.9% |
| 工业总产值 | 35773亿元 (较上年增长0.2%) |
| 规模以上工业总产值 | 30586亿元 (较上年增长0.3%) |

3.4.4 交通概况

表格3-17列举了苏州市的主要地理数据。

表格 3-17 苏州市主要交通数据 (2014年)

| | |
|------------|----------------------------|
| 公路总里程 | 13212千米 |
| 高速公路里程 | 550千米 |
| 公路、水路完成客运量 | 4.0亿人次 (较上年增长0.9%) |
| 公路、水路旅客周转量 | 137.98亿人公里 (较上年增长0.5%) |
| 公路、水路完成货运量 | 1.30亿吨 (较上年增长9.9%) |
| 公路、水路货物周转量 | 200.5亿吨公里 (较上年增长10.0%) |
| 全年铁路旅客发送量 | 3496.38万人次 (较上年增长15.2%) |
| 铁路货物发送量 | 67.17万吨 |
| 铁路货物到达量 | 154.67万吨 |
| 年末拥有汽车数量 | 240.37万辆 (较上年增长14.8%) |
| 私家汽车数量 | 201.53万辆 (较上年增长16.6%) |
| 苏州港港口货物吞吐量 | 4.8亿吨 (较上年增长9.8%) |

3.4.5 大气排放现状

据苏州市环保局的相关统计数据显示, 2014年 2014年, 苏州市的二氧化硫、氮氧化物及工业废气烟尘排放总量分别为16.84万吨、16.7万吨和7.16万吨。¹⁰

参考文献与注释

1. <http://www.jiangsu.gov.cn/>.
2. http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b1/Jiangyin_Yangtze_River_bridge-2.jpeg/600px-Jiangyin_Yangtze_River_bridge-2.jpeg.
3. 江苏省环保厅。大气质量管理规划对应章节数据提交汇总，2016年1月27日。
4. <http://www.nanjing.gov.cn/>.
5. 南京市环保局。大气质量管理规划对应章节数据提交汇总，2016年1月27日。
6. <http://www.changzhou.gov.cn/>.
7. <https://en.wikipedia.org/wiki/Changzhou>.
8. 常州市环保局。大气质量管理规划对应章节数据提交汇总，2016年1月27日。
9. <http://www.suzhou.gov.cn/szgl2015/>.
10. 苏州市环保局。大气质量管理规划对应章节数据提交汇总，2016年1月27日。

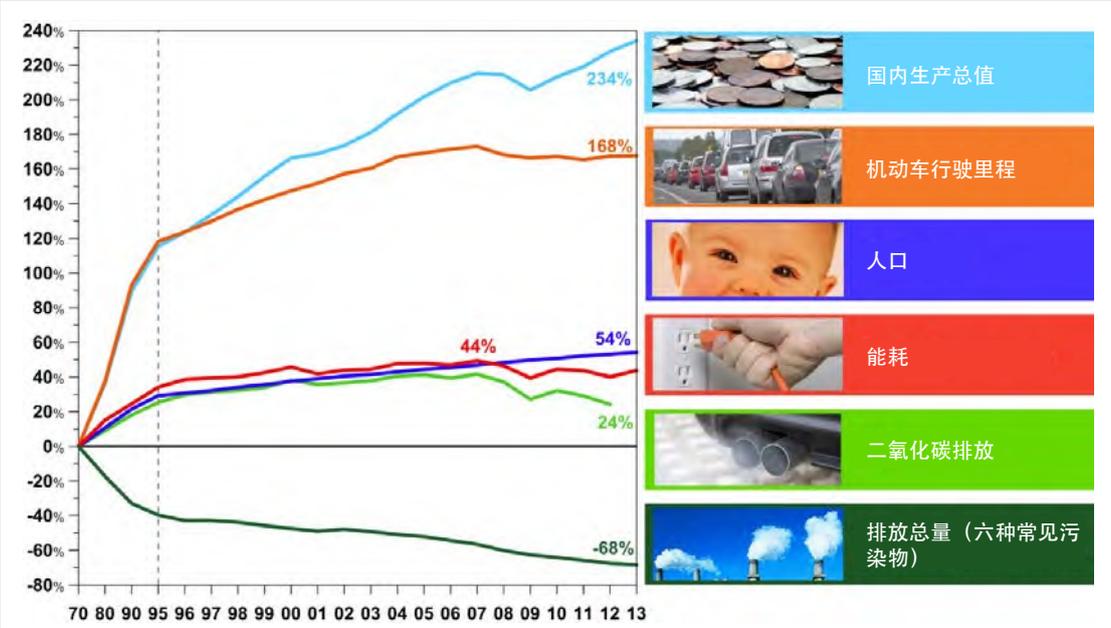
4

大气质量管理规划的重要步骤

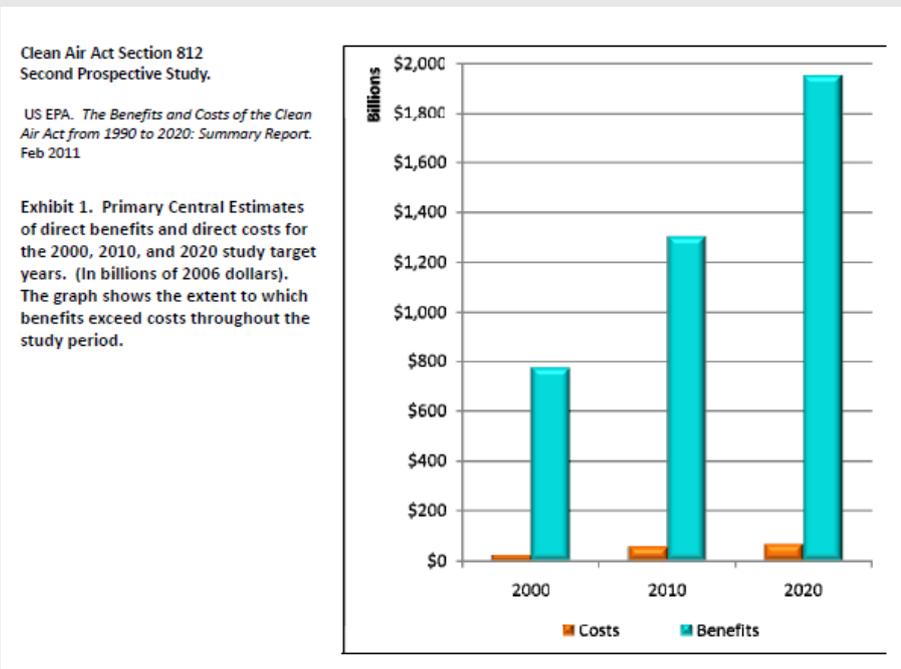
概述

美国的经验证明，社会经济可以在政府实施强力的大气污染减排项目的同时持续健康成长。如图表4-1所示，美国六种常见指标大气污染物的排放总量自实施《清洁空气法案》以来持续降低；但与此同时，一些重点经济指标始终保持稳定增长。大气污染是全球范围内导致过早死亡的首要原因。据世界卫生组织估算，2012年全世界共有约700万人因大气污染暴露过早死亡。¹研究表明，美国《清洁空气法案》于1990年至2020年间产生的公共卫生和环境效益超出其成本近30倍之多，其中大约85%的效益可归功于有效降低造成细颗粒物污染的污染物水平。在此期间实施的大气质量项目的货币化效益估计在2兆美元左右。据图表4-2显示，研究开展期间实行的大气项目的效益远远超出其成本。我们相信，如果中国能够持续采取有效措施降低大气污染和碳排放，同样也可实现类似

图表 4-1 美国重点经济指标与六种常见大气污染物排放总量的变化 (1970年-2013年)²



图表 4-2 美国《清洁空气法案》第812部分的二次前瞻性研究³



虽然当前的大气污染对公共卫生状况造成的影响很大，但是中国目前具备的许多有利条件可以迅速改善全国和江苏省的大气质量，例如多种先进的分析工具、大气污染防治技术及替代能源等，这些都是五十年至七十年前美国试图解决其大气污染问题时不具备的。因此，如果中国能够推进协调机制良好的污染减排项目、开发更多的清洁能源并持续向社会大众普及及公共卫生改善的巨大效益，那么我们应当对中国大气污染问题的妥善解决抱持乐观的态度。

一项行之有效的大气质量管理项目应具备直观的大气质量管理目标、为省级和市级环保部门提供的适当资源、坚实的技术数据和分析工具基础、有效的排污许可证制度和执行程序、社会大众的广泛支持、以及为企业提供的完善的技术支持等组成部分。省市大气质量管理是一个持续性过程，主要包括以下几个基本点：

1. 确定大气质量管理目标以及完成目标的时间点
2. 描述当前大气污染问题的实际情况
3. 与其它省市共同参与区域规划和咨询
4. 建立排放清单
5. 建立大气质量模型，确定在实现大气质量管理目标的过程中需要执行的其它减排策略
6. 采纳并实施有效和可行的减排要求
7. 实施有效的排污许可证制度和执行程序
8. 建立并维护应急响应制度
9. 持续追踪大气质量管理项目的进展

本章将对以上大气质量管理过程进行简介和概述。后续章节还将具体介绍许多其它业务领域，如大气监测、排放清单的建立、能源规划协调、以及建议江苏省重点行业采用的最佳可获得控制技术。图表4-3展示了大气质量管理过程的主要步骤。

图表 4-3 美国大气质量管理规划流程⁴



下面的各个小节将对制定有效大气质量管理规划的各个重要步骤进行详细介绍。

4.1 确定大气质量管理目标以及完成目标的时间点

根据2013年发布的《大气污染防治行动计划》，江苏省现阶段的大气质量管理目标是：将2017年的PM_{2.5}年均浓度在2012年的基础上降低20%。自2012年以来，江苏省境内PM_{2.5}大气监测点的数量增幅很大。到目前为止，全省范围内的PM_{2.5}大气监测点已达到100个。表格4-1列举了2013年南京市、常州市和苏州市的细颗粒物平均浓度水平。假设2012年的细颗粒物浓度水平与2013年持平，为了在2017年前实现降低20%的目标，那么每座城市需要在接下来的五年时间里将年均PM_{2.5}浓度降低14-15 μg/m³，并将24小时峰值水平降低63-77 μg/m³。

表格 4-1 三试点城市PM_{2.5}浓度水平与降低20%目标的比较

| 城市 | 2013年PM _{2.5} 浓度水平 (年均/24小时) (单位为μg/m ³) | 2017年PM _{2.5} 降低20%的目标, 年均标准 (单位为μg/m ³) | 2017年PM _{2.5} 降低20%的目 标, 24小时标准 (单位为μg/m ³) |
|-----|---|---|--|
| 南京市 | 75.3 / 312 | 60.2 | 249 |
| 常州市 | 75.6 / 322 | 60.5 | 257 |
| 苏州市 | 67.1 / 384 | 53.7 | 307 |

江苏省大气质量管理规划对实现PM_{2.5}降低20%目标的评价标准进行准确切直观的描述是非常重要的。例如, 规划须明确规定PM_{2.5}降低20%的目标应使用江苏省境内所有监测点的平均监测数据进行评价。

2013年发布的《大气污染防治行动计划》在规定2017年前各地区需实现的大气质量目标之外, 还包括在2030年之前使大气质量达到现行的中国PM_{2.5}大气标准(中国现行的PM_{2.5}年均标准为35 μg/m³, 24小时标准为75 μg/m³)的长期目标。省级和市级政府部门应留意该项大气质量长期目标, 确保用来实现2017年中期目标的减排策略也可同时为实现2030年的长期目标服务, 并对第十二章介绍的能源与大气质量的协调规划进行考虑。

4.2 描述当前大气污染问题的实际情况

环保部门应对各种类型的数据和分析结果进行全面考虑, 帮助各利益相关方就全省或当地的大气污染问题达成一致性共识。这些利益相关方将负责在大气质量管理规划的框架下采取必要行动, 以改善大气质量。有时候, 环保部门需要通过一系列研究分析来回答下面的基本问题:

- PM_{2.5}浓度一般在什么季节和气象条件下最高?
- 在PM_{2.5}浓度最高的季节中, PM_{2.5}的化学组分是什么? 年均基础上的PM_{2.5}质量成分又是什么?
- PM_{2.5}化学组分一般以不同污染物的PM_{2.5}质量百

分比的形式表达, 包括硫酸铵、硝酸铵、有机碳、元素碳和地壳物质(尘土)等。

- PM_{2.5}化学组分可通过大气监测数据进行估算(PM_{2.5}形态监测), 或由大气质量数据分析获取(例如源解析)。
- 根据PM_{2.5}化学组分的分析结果, 哪些排放源类别是该地区大气污染最主要的贡献源?
- 其它省份贡献的PM_{2.5}大约有多少? 现有的模型分析或其它研究可能已经提供了有关信息; 也可通过新的大气质量模型分析加以确定。

4.3 与其它省市共同参与区域规划和咨询

多个省市间共同进行区域规划和咨询可以帮助参与的各方更好地了解由外省市传入的大气污染的实际情况。美国的经验表明, 区域规划过程可以作为各地专业人员互相学习和交流的平台, 共同讨论潜在的减排策略并确定可行的政策方案, 以降低本地大气污染对下风方向省市的影响。美国大部分区域规划组织由参与运作的州级和本地监管部门提供资助。这些区域规划组织推动了许多环保项目, 例如PM_{2.5}和臭氧的州际影响、潜在的区域性控制策略模型分析以及特定行业污染控制技术的信息汇总(包括成本有效性和安装、运行所需时间等)。在区域性PM_{2.5}和臭氧污染防治方面, 如果多个省份能够借助区域规划过程有效协调其减排措施, 则很有可能以更低的成本、更有效地实现有关的大气质量目标。促进与长三角地区及其它区域

省市环保部门的合作对江苏省有效应对下一阶段的区域大气质量挑战来说是必不可少的。

4.4 建立排放清单

大气质量管理规划的核心基础是建立、分析并定期更新高质量的固定源、面源和移动源排放清单（包括基准年份和未来年份）。这些排放清单的其中一项重要用途是执行大气质量模型分析，对实现大气质量目标的潜在减排情况（包括清洁能源的使用）进行设计和评价。应至少为以下类别的污染物建立排放清单数据：一次PM_{2.5}（包括可凝结PM_{2.5}排放）、二氧化硫、氮氧化物、挥发性有机物、氨气、一氧化碳、二氧化碳、黑碳及甲烷等。

有关部门应优先为重点排放源类别建立并完善基准年份和未来年份的排放清单数据。根据江苏省、南京市、常州市和苏州市的实际情况，重点排放源类别应主要包括：发电；工业生产（炼油、化工、钢铁、水泥制造等）；道路移动源（汽车、卡车、摩托车等）；非道路卡车和机械；以及道路和非道路机动车和机械燃料等。其它排放源类别还包括：小型工业锅炉和区域供暖锅炉；施工、道路和农业生产活动的扬尘排放；生物质或废弃物露天燃烧；化肥施用；以及养殖业生产活动等。

在理想情况下，基准年份排放清单应采用大气质量管理规划开始实施年份的大气污染物浓度数据。然后，大气质量管理规划的实施进度可以按照减排或降低大气污染物浓度两种方式进行追踪。美国的有关规定要求各州政府每三年对其排放清单进行全面彻底的更新。另外，许多点源（例如安装持续性排放监测仪的排放源）也同时适用特定的年度申报要求。如果排放源的年度排放潜力超过特定的门槛值，则将被强制要求申报排放数据。这个“重点排放源”的门槛值为每年排放100吨污染物。在一些污染问题更加严重的区域，该门槛值最低可达到10吨。

未来年份的排放清单应能够反映从基准年份到未来年份预期排放变化的净效果，包括预期由现行大气污染防治政策实现的减排（例如国务院2013年颁布的大气“国十条”）；由工业设施搬迁或关停实现的减排；以及由人口增长、新工业企业投产、新增能源需

求、汽车和卡车数量增长、以及周边省市排放预测变化实现的减排。在建立未来年份的排放清单时，尤其是在经济发展和人口增长迅速的地区，准确预测未来的活动水平和增长因子是十分重要的。另一项需要在单一点源层面获取的重要信息是排放源目前是否具备、或使用什么种类的污染防治设备，以及该设备是否能够持续稳定运行。这项数据对于评价其它可能的减排措施来说必不可少。如需了解更多详情，请参阅第五章和第六章中介绍的其它有关建立排放清单的内容。

4.5 建立大气质量模型，确定在实现大气质量目标的过程中需要执行的其它减排策略

大气质量模型将帮助江苏省及各主要城市了解落实现行政策和项目与实现大气质量目标的差距。如果现行政策和项目的力度不足，那么模型分析将帮助有关部门确定最终实现大气质量目标所需的其它减排策略。减排可以通过多种途径实现，例如：国家和省级的有关规定要求在新建和现存排放源上安装最佳可获得控制技术、低硫燃料的使用和汽车与卡车的清洁引擎改装、扩大能源效率规定的实施范围以限制能源需求的增长、火力发电燃料的替换、减少露天燃烧等。在确定潜在的减排策略时需要考虑的重要问题包括：针对某一特定排放源或源类别来说，“最佳”可获得控制技术或减排措施指的是什么；采用并实行该措施的成本有多少；以及该措施的实行需要多长时间等。

在美国，如果某个州的特定区域在6年内无法达到PM_{2.5}大气质量标准，那么州政府必须强制该区域内的现存排放源采用最佳可获得控制技术及其最佳可获得控制措施。“最佳可获得控制”的定义是根据不同实际情况，在考虑能源、经济与环境的影响和其它成本的基础上，一个排放源或源类别可实现的最大程度减排。成本有效性通常按照减少每吨污染物排放的成本进行考虑，包括建设成本、安装成本、运行成本和维护成本等。中国的规划者和企业运营者可以从多种来源获取这些信息，帮助确定应用于不同种类排放源和生产过程的技术上最为可行的控制方案。由于经济的流动性和政策框架的变化，中国的点源排放控制成本信息收集起来较为不易。当然，这项信息每年都在不断完善，并将对未来的决策工作产生重要影响。

接下来便应通过大气质量模型，将这些额外的潜在减排策略在省内实施的效果与周边省份的预期排放变化进行结合，评估未来的大气污染物浓度是否能够降低，以实现第1步确定的大气质量目标。如果这些额外的减排措施仍不足以帮助该省份实现其大气质量目标，则需要进一步确定其它可行方案，并重新采用大气质量模型来评价大气质量的达标情况。由中国和美国的专家们共同开发的ABaCAS系统包含了一套用于评价潜在减排措施、成本、大气质量模型和公共卫生效益的综合软件模块。本次报告的附录A介绍了ABaCAS系统在中国的最新发展和应用情况。该系统可作为江苏省大气质量管理工作的一项实用工具。

4.6 采纳并实施有效和可行的减排要求

大气质量管理规划中选取的减排方案应当以监管部门能够有效执行的法规和要求（例如环保部、省环保厅和市环保局颁发的排污许可证条款）为依据。新的减排要求都应包含特定的元素以确保其可执行性。例如，点源法规应包含排放限值以及适当的平均值计算时段以进行合规验证；排放监测法规应要求排放源采用持续性排放监测技术（如有）或其它指定的测试方法和定期测试要求；有关定期检验、数据记录和自主申报的法规应要求排放源采用电子方式、标准格式和标准流程。对一些特定类别的面源来说，减排要求可以工作实践标准或最佳管理实践方案的形式进行表述。对移动源来说，年检和维护项目是验证机动车排放标准合规执行的重要途径，在油品通过供应链输送的过程中对其进行定期检测也同样必不可少。

另外，从程序上来说，江苏省新制定的减排规定的可执行性可能取决于从提审到批复的行政程序。在美国，每个州经各自的行政程序通过新的规定，然后再将这些州内执行的规定作为其州级大气质量管理规划的一部分提请美国联邦环保署审批。美国联邦环保署批准这些规定之后便可由联邦政府在全国范围内执行。

4.7 实施有效的排污许可证制度和执行程序

运营许可证制度是一项非常重要的工具，用来在环保部门和企业之间明确适用的大气污染防治要求，并对企业的合规执行情况进行确认。运营许可证涵盖了适

用于某排放源的所有排放标准和合规执行要求。运营许可证的条款可包括以下内容：由企业负责人签署的年度合规认证、自主申报与许可证条款存在偏差的事项、以及排放源按照排污量缴纳排污费的有关要求。在美国，运营许可证须交由社会大众审阅，并且每五年更新一次。

中国2014年通过的环境保护法和2015年通过的清洁空气中均深化了相关法规的执行要求。美国的经验表明，一项有效的执行程序应具备以下重要特点：违反规定的处罚力度必须大于遵守规定的成本；罚款应高于违反规定获得的经济利益；规定的执行必须公正、公平，并采用一致的标准；国家和省级政府部门应当协助各地区的执法人员培养负责的执法意识。为受监管企业提供有效的知识拓展、技术协助和能力培训也会改善其合规执行情况。

执行一项大气质量管理项目需要大量的资源（人员、培训和资金）。例如，位于加利福尼亚州洛杉矶市的南岸大气质量管理区（SCAQMD）负责应对人口约为1600万的洛杉矶都会区的大气污染问题。该管理区拥有800余名员工，其年度预算约为1.3亿美元。南岸大气质量管理区三分之二的预算由排放源缴纳的费用支付。

4.8 建立并维护应急响应制度

当大气污染水平超过特定的阈值时，应急响应制度便成为保护公共卫生状况的必要环节。这些紧急情况可能在不利于污染物扩散的大气条件出现时，或工业排放源和机动车密度较高的区域产生。应急响应制度的主要内容应包括：

- 用于收集和整理数据的大气质量监测网络和数据管理系统，例如AirNow国际版；
- 空气质量指数，用于将污染物浓度转化为更加通俗易懂的公共卫生信息；
- 根据大气质量模型工具建立的大气污染预报能力；
- 通过报纸、电视、互联网和社交媒体进行信息传播的公共预警系统（例如AirNow国际版系统的信息发布、智能手机的推送警报、以及社交网络的通知等）；

- 省级和市级环境监管部门负责提供即时信息，并作出适当的回应。

一套典型的应急预案包含四个重要元素：1) 根据大气监测数据为每种污染物设置预警级别；2) 污染物浓度水平上升至不同阶段的标准和要求；3) 针对不同排放源和污染物造成的排放采取应对行动；以及4) 要求大型工业排放源提交应急响应预案，并由监管机构审查和批准该预案。有关部门可以根据一个或多个监测点测得的污染物浓度峰值来决定是否启动应急响应预案。典型的应急响应预案可包括三个阶段，且每个阶段的应对行动随着污染水平的严重性向上提升：

- 第一阶段：向社会大众、学校和医院发出通知，不强制采取应对行动
- 第二阶段：采取一定程度的强制应对行动，并减少室外体育活动
- 第三阶段：采取一定程度的强制应对行动，并减少室外体育活动

有效的应急响应制度包括提早向社会大众发出通知；与其它有关部门紧密合作；以及要求工厂和业主采取减排措施等。随着大气标准依据公共卫生实际情况不断完善，应急响应制度也需要对其规定的不同污染水平及各阶段的应对行动进行调整。

4.9 持续追踪大气质量管理项目的进展

追踪大气质量管理规划项目的进展和有效性的三种基本方法包括：a) 追踪相关规定和制度的实施情况；b) 追踪减排情况；以及c) 追踪大气质量改善情况。相关规定和制度的实施情况可以通过多种参数进行追踪，例如落实新规定的数量；落实工艺过程改造或安装新型排放控制技术的企业数量；或者颁发排污许可证证的数量等。

减排情况的进展最容易在安装持续性排放监测技术的排放源上进行追踪，例如发电厂。然而，要想全面审阅某一特定年份中整个省份或城市的减排情况的进展，通常需要耗费一年以上的对大量排放源的排放数据进行估算和质量保证审查。大气质量监测数据

可以为追踪项目实施进度提供有效的支持。该数据为研究减排项目、能源规划、人口增长和其它大气质量相关因素的共同效应提供了一项综合性研究方法。

美国联邦环保署开发了许多工具和指导文件，协助有关人员制定有效的大气质量管理规划。如需了解更多详情，请参阅美国联邦环保署大气质量管理门户网站 (<https://www.epa.gov/air-quality-management-process>)。

参考文献与注释

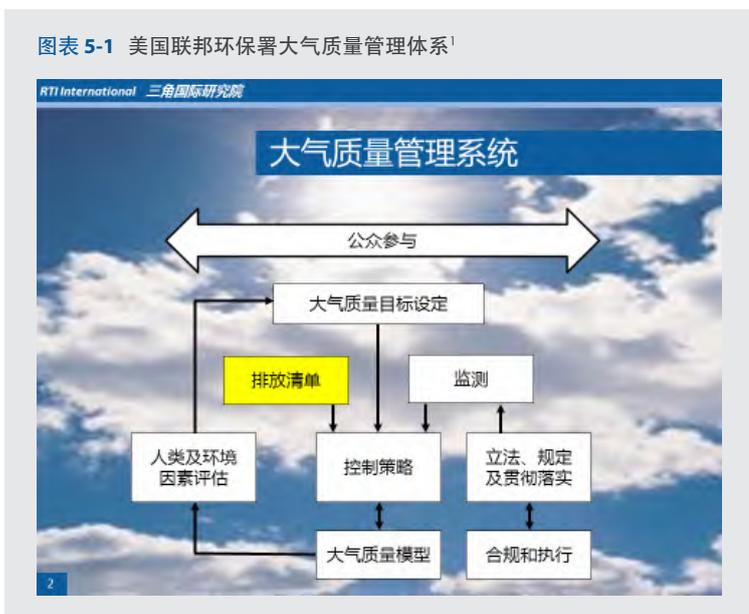
1. 世界卫生组织。引用自<http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en/>。
2. 二氧化碳排放：温室气体排放清单数据浏览器；国内生产总值：经济分析局；机动车行驶里程：联邦高速公路管理局；人口：人口调查局；能耗：能源信息管理局能源处；排放总量：美国联邦环保署排放清单和排放因子数据交换中心。
3. 美国联邦环保署。“《清洁空气法案》1990年至2020年期间的效益和成本：总结报告”，2011年2月。
4. Rich Damberg，美国联邦环保署。

5

确定大气污染源

概述

图表 5-1 美国联邦环保署大气质量管理体系¹



大气质量管理工作的主要内容包括排放清单编制、大气质量目标设定、大气排放监测、模型分析、暴露评估、污染防治策略设计、规定实施及辅助公共服务等。美国联邦环保署的大气质量管理体系如图表5-1所示。

排放清单是大气质量管理规划的重要组成部分。排放清单是在一定时空范围内各类排放源释放的大气污染物的综合列表。排放清单的用途主要包括：

- 确定排放源和一般排放水平
- 帮助确定大气监测站的位置
- 为未来的规划建立基准数据
- 了解重污染现象产生的条件，并量化区域内和跨区域污染问题（污染传输、对照浓度等）
- 对未来的污染防治情景进行模型分析，并据此建立大气质量管理规划和污染缓解方案
- 为工业企业制定配套的环保规定和排污许可证条款，并为排放交易项目建立依据
- 在实现清洁空气目标的过程中衡量项目进度和大气质量的变化情况
- 确定排放源的合规执行情况

5.1 排放清单的建立

常见的排放源类别包括点源、面源、道路移动源、非道路移动源以及生物质源等。举例如下：



点源：大型固定排放源，例如发电厂、钢铁厂、炼油厂、水泥厂、工业锅炉和化工厂等。



面源：同一地理区域内情况相似、规模较小的排放源的集合，例如加油站、干洗店、油漆店和消费品使用等。



道路移动源：汽车、卡车和公交车等。



非道路移动源：飞机、火车和船舶等。



生物质源：天然的排放源，例如植被、土壤和扬尘、火山和雷电等。

在排放清单中，发电厂和炼油厂等大型固定排放源通常按照单体点源进行计算。在建立点源排放清单时，需要获取特定排放过程和排污点（如烟囱或通风口）的详细信息，例如烟囱的高度、直径、烟气温度及其它有关参数。江苏省已经开始为省内的发电厂和其它重点企业使用持续性排放监测系统（CEMS）。CEMS数据的成本虽然较高，但却能够提供可靠和具有时空分辨率的排放估算。这些数据在企业监管和合规认证方面非常实用。

规模太小、数量太大的固定排放源不适合作为单体点源，因此需要按照面源进行计算。常见的面源包括商业和消费品有机溶剂的使用（表面涂装、干洗、脱脂、图形绘画、橡胶和塑料制造等）；烹饪和供暖；其它工业生产过程；以及燃油运输过程和加油站等。在估算面源排放时，一般需要将美国联邦环保署AP-42指导方案中的排放因子与各省市收集的排放源活动数据（如燃料用量）进行结合。有时需要首先对可获得的排放因子进行审阅，找出最能代表该省市面源实际情况的排放因子。在此过程中，应侧重于占整个排放清单比重最大或不确定性最高的排放源部门。

道路移动源包括客车、重型卡车和公交车等。这些排放源释放的污染物种类繁多，会对颗粒物、臭氧、温室气体及有害大气污染物的浓度造成影响。在美国，道路移动源的排放估算采用美国联邦环保署的MOVES模型。该模型的县级层面数据库包含了机动车总数信息（如数量和行驶年限分布等）、机动车活动数据的基本信息（如机动车行驶里程[VMT]和平均行驶速度等）以及管理措施（如年检和维护项目等）。对江苏省来说，类似的信息也可通过旅程需求模型、交通统计和机动车注册数据等其它数据源获取。由于机动车排放与车辆数量、交通流量和行驶速度互相关联，因此污染防治措施应包括对老化的车辆进行报废、降低机动车行驶里程（例如智能增长²和推广公共交通）及交通拥堵缓解策略（例如大容量机动车[HOV]专用道及高速公路自动收费系统）等。

非道路移动源包括商业海运船舶、铁路机车、飞行器以及其它小型排放源（如建筑施工、农业和绿化机械等）。美国联邦环保署的NONROAD模型可将特定型号引擎的排放因子与县级机械数量和活动水平数据（如年运行小时数）结合，估算汽柴油机械的排放情况。然而，NONROAD模型不适用于商业海运船舶、铁路机车和飞行器，因此需要采取自上而下的方法，通过

区域性燃油消耗数据和相关排放因子对这些排放源的排放情况进行估算。对江苏省来说，所有的非道路移动源排放都可借助燃料消耗、船舶靠港次数、飞行器起降情况和机械数量等可用数据，通过这种自上而下的方法进行估算。

生物质源的排放情况一般通过生物质排放清单系统（BEIS）或自然界气体和气溶胶排放模型（MEGAN）进行估算。这些模型采用了特定污染物种类的排放率、地表覆盖数据和气象数据（如温度和太阳辐射）。气象数据必须具有时空分辨率（网格化、每小时的数据），因此应使用天气研究和预报模型（WRF）等中尺度气象模型。

据了解，江苏省的大气排放清单目前已完成了80%左右，并在编制的过程中首先为重点行业建立了排放清单。这是一项常见的途径。江苏省也从一系列实验性措施中学到了很多经验，例如在2014年南京青奥会期间关停部分大型排放源。江苏省可以利用这些机会，借助大气监测数据观察关停重点排放源对大气质量带来的实时影响。这些经验将会对确立和完善污染防治策略和减排措施提供很大的帮助。

江苏省目前面临的重点挑战和问题主要包括：

- 落实CEMS数据申报
- 对所有的数据流和排放清单模块进行质量保证检查
- 使用大气监测数据对排放清单进行评价
- 对排放清单的建立过程进行完整记录，以便在未来需要时参考并借鉴（工作方法、数据源、假设、计算过程等）
- 改进不确定性较高但数值较大的排放估算数据，以更好地符合省内排放源的实际情况
- 收集排放源活动数据
- 挥发性有机物和颗粒物形态分析可对省级污染概念模型进行验证，并支持源解析和其它数据分析工作
- 为模型应用建立空间替代数据
- 持续对新员工进行业务培训
- 与周边省市协作，为未来的模型分析共同建立一项区域性大气排放清单
- 建立长期研究计划，促进与其它有关部门和高等院校的合作

5.2 大气监测

大气监测是大气质量管理规划的重要组成部分。大气数据可有效帮助各省份了解其大气质量问题的实际情况，并对污染防治措施的有效性进行追踪（如图表5-2所示）。

图表 5-2 从监测到大气质量管理规划实施结果的数据流程³



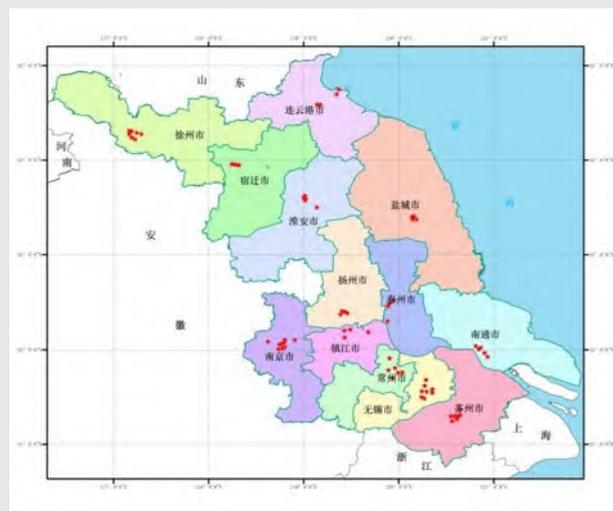
在美国，大气监测数据用来评估目前的大气状态及其与清洁空气标准及历史数据的比较，并为大气质量管理规划提供依据。借助监测数据，监管部门可以更好地了解大气的实际情况，支持合规目标的落实，记录并追踪大气质量达标的进度，更好地了解重污染现象的产生条件，并对排放清单和模型评估提供帮助。根据美国的有关规定，大气监测站须满足一系列监测地点、数据质量和申报日程等要求。大气质量的合规情况通过监测数据进行认证。值得注意的是，美国的许多大气质量标准要求在合规认证时使用三年以上的大气监测数据。数据评估一般由各地监管部门完成，并可根据需要向上寻求区域或国家有关部门的支持。

多数大气监测网络最初是由一些基础监测点组成。这些监测点根据不同的运行计划（由每天至每六天运行一次不等）将24小时内收集到的PM_{2.5}质量进行量化。一般情况下，监测工作会随着时间的推移扩展到更多的监测点，并大幅提高频率（一般每小时进行一次测量），以便更好地了解污染物的时空变化。为了更深入地掌握排放源的实际情况并协助其建立污染防治方案，监测点需要对其PM_{2.5}化学组分测量功能（包括硫酸盐、硝酸盐、铵盐；金属；有机碳、单质碳等）进行扩展，

并保持每三天或每六天执行一次24小时测量。颗粒物化学形态的持续测量成本很高并极少采用，但是江苏省环保厅的中心监测站具备许多这样的测量功能。挥发性有机物的形态分析可以对PM_{2.5}和臭氧的大气质量模型、排放清单的建立和评价以及工业排放规定和合规执行认证提供很大帮助。美国的一项重要经验表明，与大气质量互相关联的气象测量会在数据的有效性验证和解读方面发挥关键作用。对所有的测量工作来说，良好的数据质量都是必不可少的。

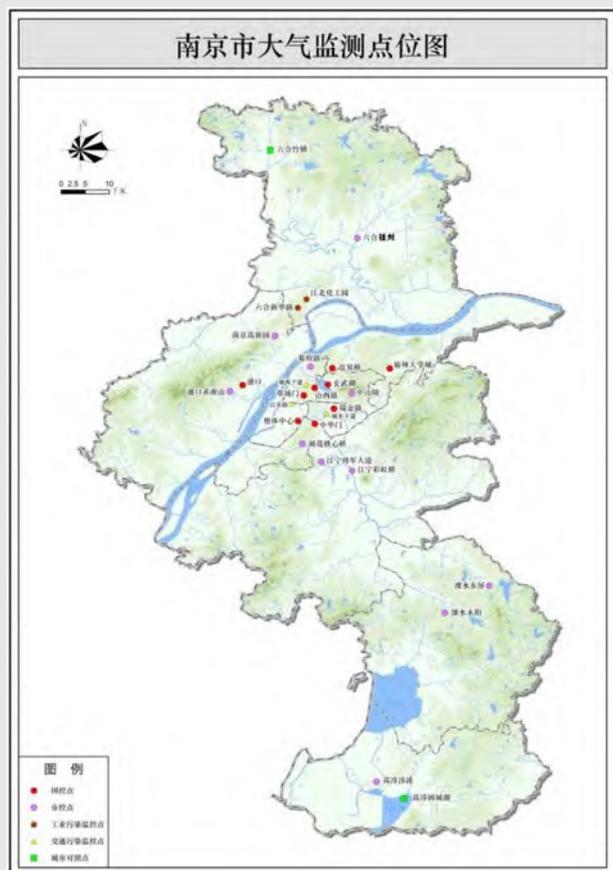
目前，江苏省境内共设有72处大气监测站。这些大气监测站的位置和分布情况如图表5-3所示。

图表 5-3 江苏省大气监测站示意图⁴



南京市大气监测站的类别与分布情况如图表5-4所示。目前，南京市境内共有9处国控点、11处省控点、2处清洁对照点及其它对工业区和交通主干道进行监测的站点。这些站点监测二氧化硫、氮氧化物、PM_{2.5}、PM₁₀、一氧化碳及臭氧等主要污染物。

图表 5-4 南京市大气监测站示意图⁵



常州市大气监测站的类别与分布情况如图表5-5所示。目前，常州市境内共有6处国控点、2处省控点及5处市控点。这些站点同样监测二氧化硫、氮氧化物、PM_{2.5}、PM₁₀、一氧化碳及臭氧等主要污染物。

苏州市大气监测站的类别与分布情况如图表5-6所示。目前，苏州市境内共有8处国控点（含1处清洁对照点）及许多数据处理控制站点和质量保证及技术支持实验室。这些站点也对二氧化硫、氮氧化物、PM_{2.5}、PM₁₀、一氧化碳及臭氧等主要污染物进行监测。

图表 5-6 苏州市大气监测站示意图⁷



图表 5-5 常州市大气监测站示意图⁶



最大限度地发掘监测数据的价值

大气监测包含许多步骤。在确定监测点的位置、测量参数及所需设备之后，监管部门需要建立质量保证项目计划（QAPP）和标准操作程序（SOP），并对有关人员进行培训。为保证各部门、区域或城市之间工作的一致性，为质量保证项目计划、标准操作程序和员工培训内容制定标准化模板是非常重要的。良好的协作也可帮助实现各部门之间的有效分工。

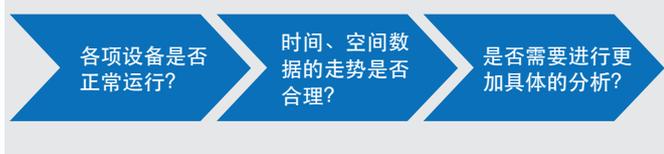
在完成数据收集之后，便可开始执行以下步骤：

1. 数据审阅、确认和验证。数据审阅、确认和验证是一个持续进行的过程，由监测站运行人员和数据审阅员负责完成。数据审阅可确保监测仪器正常运行。数据确认是对数据真实性的调查，用来

确保监测站提交的大气监测数据真实有效。数据验证是对监测数据满足特定要求的检查，例如数据是否达到监管部门质量保证项目计划和标准操作规程中提出的各项要求。经常对数据进行审阅可以提早发现错误并提高数据的完整度，因此该过程十分重要。

图表5-7描述了数据审阅和确认过程。该过程中的一些常见问题主要包括：监测设备是否按照标准操作规程的要求每天进行适当的校正和操作？每天收集的大气测量数据是否合理？每天设备校正或失效期间收集的无效数据是否已经标注？

图表 5-7 数据审核和确认过程



2. 基本数据分析。颗粒物数据的时空分析为改善我们对大气排放和影响颗粒物形成与分布的大气动态过程的理解提供了依据。负责此项任务的数据分析员的工作目标主要包括确定可能的重点颗粒物及其前体物排放源、确定导致高颗粒物浓度的物理和化学过程、以及评估现行污染防治策略的效果。可通过数据分析建立一项影响颗粒物浓度的物化过程的概念模型。数据分析能够解答的问题主要包括：

- a. 颗粒物浓度的昼夜、每日、季节性和全年变化规律是什么，以及通过这些规律发现的颗粒物排放源的情况
- b. 污染物浓度的统计学特点是什么，以及它们在不同站点和不同时间点之间的变化情况
- c. 某种污染物的浓度在时间和空间上相较于其它污染物浓度的变化情况
- d. 颗粒物的化学组分是什么，以及化学成分随时间和站点的变化情况
- e. 对某一监测点造成显著影响的本地或区域排放源是什么
- f. 气象条件、附近的颗粒物和前体物排放以及自然现象如何对颗粒物数据的时空特征造成影响

大气监管部门通常应每年进行一次数据分析，以便尽可能地了解收集到数据的实用程度，评估监测网络中可能需要进行的调整，并尽早发现数据库中的问题。对整个区域来说，可以通过各地监管部门之间的协作有效了解区域大气质量的整体情况。

3. 使用大气监测数据对排放清单进行确认。建立排放清单是一个复杂的过程，其中包括对某区域内大量的点源、面源和移动源排放活动数据进行估算和汇总。由于本项工作的复杂性以及在大气质量模型分析和污染防治策略评估过程中可能出现的错误，对计划应用于大气质量模型的排放清单进行准确性和代表性评价就显得尤为重要。除此之外，现存的 $PM_{2.5}$ 排放源排放因子和活动水平数据可能比较局限，因此在数据应用于光化学模型之前对排放清单进行评价也非常关键。对排放数据进行评价的方法有很多，包括对数据进行一般常识性审阅；采用化学物料平衡模型等源受体方法；从排放活动数据开始，对相应的排放量进行估算的自下而上的评价；以及将排放估算与大气质量数据进行比对的自上而下的评价等。每种评价方法都具有各自的优点和缺点。之后可以根据排放清单的评价结果对可能的改进方法提出建议。
4. 效益评估。在落实排放控制措施的同时，评估这些措施带来的排放变化是否真正帮助改善大气质量也是非常重要的。效果最好的方法是使用相同的测量方法收集排放变化发生之前和之后的数据，然后再运用到趋势分析之中。美国的各级监管部门拥有许多长期趋势分析站点，这些站点的大气质量监测工作已经行之有年。

5.3 源解析

受体模型，也叫做源解析，是一种根据大气的实际状况获取有关大气排放源信息的数据分析方法。该方法能够为大气监管部门指出造成实际大气污染物浓度的排放源类别，以及各个类别的排放估算。源解析数据为大气质量管理规划工作提供了以下帮助：

- 帮助鉴别和确定造成高浓度污染的重点排放源部门
- 帮助鉴别未知排放源

- 通过将受体模型分析结果和本地气象或后向气流轨迹数据结合，或者将多个监测站的数据结合并进行三角化处理，来鉴别排放源的位置
- 为完善排放清单提供重要依据。在将数据输入大气质量模型，预测规划实施带来的大气质量变化时，需要对其进行完善
- 定期（或持续）开展源解析工作也会为污染防治策略的追踪和应对带来帮助

颗粒物源解析需要使用化学组分数据，例如有机碳和单质碳、硫酸铵、硝酸铵及微量元素（铝、硅、钙、钛、铁、钾）等。进行有效的源解析至少需要获得这些污染物的相关信息。江苏省对其中的很多污染物进行每小时测量，并获得了统计学价值很高的数据。

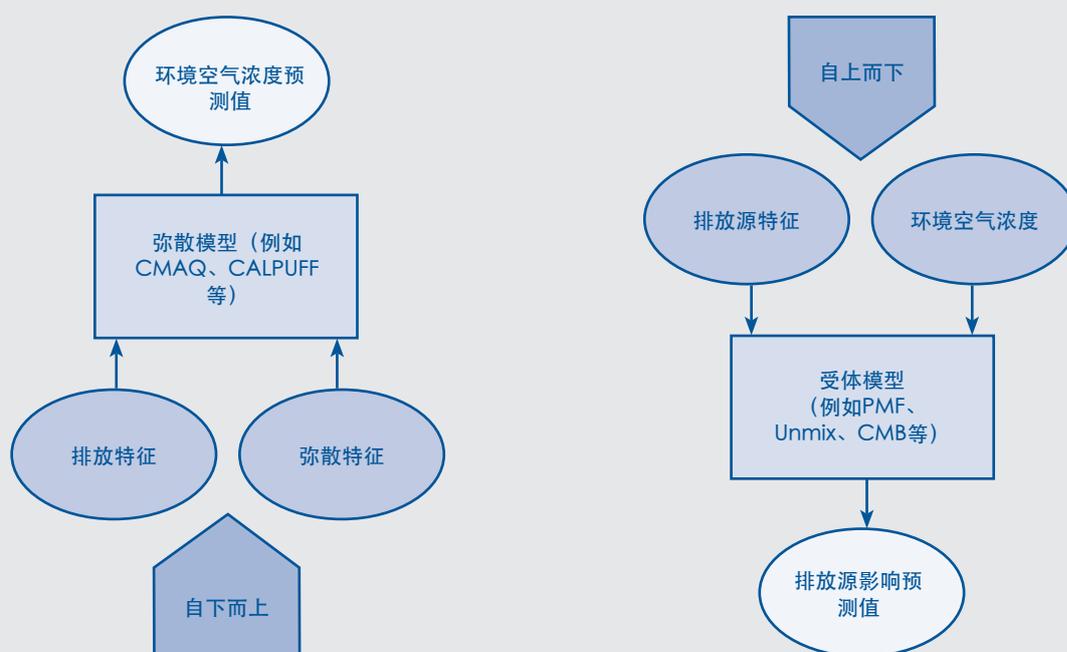
源解析的技术方法涵盖数据分析、弥散或光化学模型分析及统计算法研究等诸多方面。数据分析包括将污染物与特定排放源进行关联、将特定排放源标记与风速和风向进行关联，以及从某污染物的浓度数据中扣除城市和区域浓度以更好地了解特定排放源的分布

情况。大气质量模型分析通常采用美国联邦环保署的AERMOD或CMAQ模型。在这些模型中配备多种统计学工具，可以应用于单一样本（化学物料平衡）或多个样本（正矩阵分解，Unmix）。这些工具也被称为受体模型。弥散模型和受体模型之间的区别如图表5-8所示。

这些工具均有一定程度的局限性，因此在使用前需要充分掌握。用于分析的任何数据集必须保持良好的完整性、通过质量保证检验并具有量化的数据不确定性。目前有许多资源可用来对专业人员进行培训，但是从有经验的前辈那里学到的第一手技能通常是最理想的。美国的经验表明，模型输出结果和输入数据的质量与有关人员对其进行审阅的工作效果直接相关。

中国已经逐步开展一系列源解析的前期准备工作，并且在江苏省取得了一些积极进展⁹。其中，有关部门收集的一些数据已经可以用来开展源解析。与本地高等院校进行合作也会对推动源解析工作带来帮助。在美国，源解析的分析和研究是研究生科研项目的常见课题。

图表 5-8 弥散模型和受体模型的区别⁹



从过去的经验中可以发现，将源解析的结果与排放清单进行比对是非常有帮助的。由此发现的每一项排放清单偏差几乎都需要进行修正。图表5-9展示的是科罗拉多州丹佛市PM_{2.5}排放清单与受体模型的比对结果。在这个例子中，丹佛PM_{2.5}受体模型在扬尘排放清单及道路和非道路柴油机动车排放清单中发现了偏差。这样的结果可能预示该排放清单过高地估算了“高排放”扬尘和机动车对PM_{2.5}浓度造成的影响。

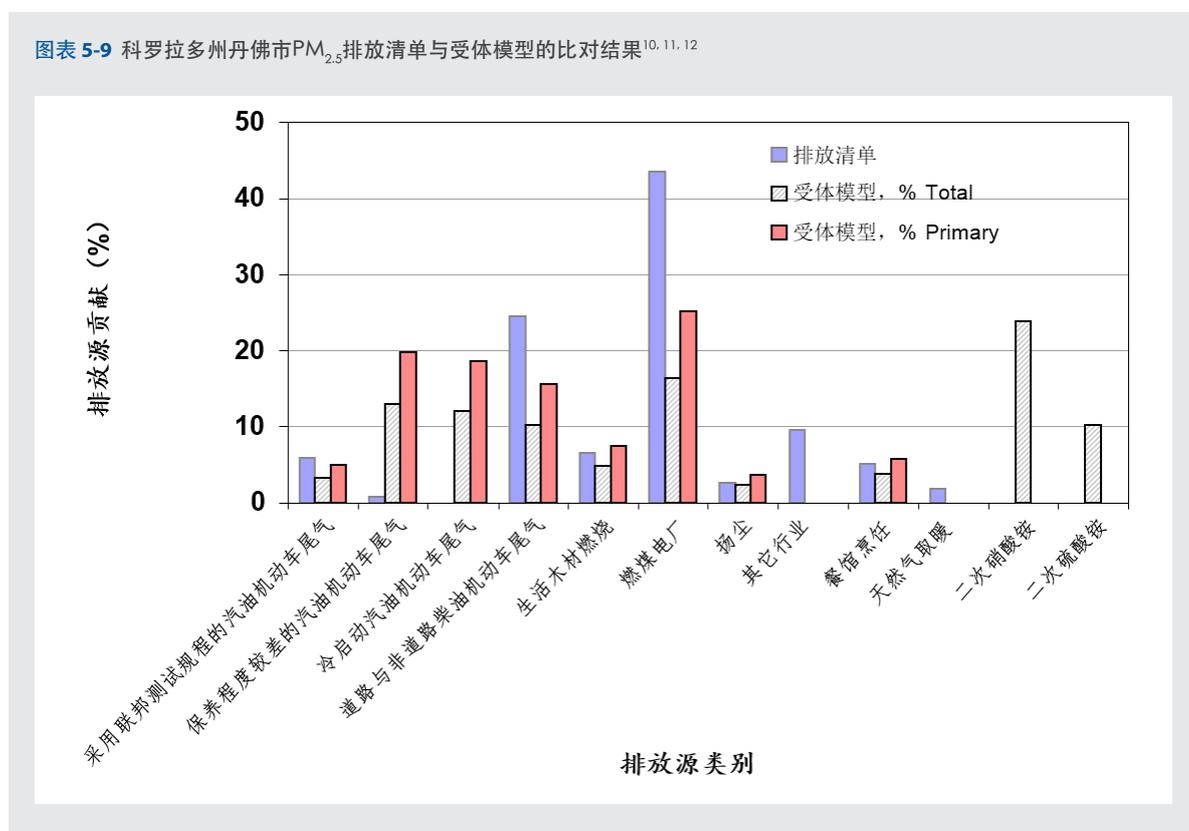
源解析工作也会为有关部门带来很多挑战。美国的监管部门遇到的一些挑战包括：

- 排放源资料及其在化学物料平衡中使用的适当性以及PMF模型结果的解读。许多类别的排放源缺乏最新的资料。例如，美国联邦环保署的Speciate是一个储存排放资料的平台，但是由于其很长时间没有更新，因此很多排放资料可能已经不再适用于各州当前的排放源。另外，排放源资料最好使用与

大气测量类型相同的分析技术的测量数据。建立排放源资料的成本相对较高。

- 对大气中形成的次级颗粒物及其组分进行源解析。将次级污染物（硫酸盐、硝酸盐及部分有机碳）的大气浓度与其前体物排放源进行关联比直接鉴定初级污染物（黑碳、金属等）排放源的难度更大。
- 数据集的准备工作。为排放源和受体价值获取或制定真实的不确定性数据难度较大。不确定性用来衡量输入数据对模型解析的相对重要性，同时估算排放源贡献的不确定程度。
- 更加丰富的经验。为有关人员在源解析方法、数据准备和数据解读等方面组织培训是非常必要的。目前有很多文献资料可以参考，但是从有经验的前辈那里学到的第一手技能是最理想的。

图表 5-9 科罗拉多州丹佛市PM_{2.5}排放清单与受体模型的比对结果^{10, 11, 12}



5.4 未来年份的排放预测（2017年和2030年）

政策分析和大气质量管理规划要求使用未来年份的排放清单评估各种污染防治策略对未来大气质量的影响。建立未来年份排放清单的方法一般是在基准年份排放清单的基础上运用增长因子对预期的排放活动变化情况进行阐释。这些增长因子来源于对未来年份社会经济变量的预测，包括能源需求、资源可用程度、生产水平和人口变化等，同时还应将排放源关停和搬迁情况考虑在内。

例如，美国能源情报署（EIA）每年发布一份年度能源展望（AEO），介绍其在美国国家能源模型系统（NEMS）分析结果的基础上对能源供应、需求和价格的长期预测。NEMS根据对宏观经济和金融因素、世界能源市场、资源可用程度和成本、行为和技术选择标准、能源技术的成本和性能及人口数据等参数，对能源的生产、进口、转化、消耗和价格进行预测。

对江苏省来说，预测未来年份排放情况的一般方法是收集政府部门、贸易协会和市场研究机构提供的预报数据，并对其进行评价。一些其它组织对特定区域内排污比重较大的排放源类别的排放水平具有深入的研究和预测，这部分数据也需要重点加以关注。

参考文献与注释

1. 引用自<http://www.epa.gov/airquality/aqmportal/>.
2. 修改引用自: Hafner H. and McCarthy M. (2011) How to create a successful air toxics monitoring project. Training prepared for the U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, STI-910219-4112, April.
3. 智能增长理论指的是将城市发展集中在较为密集的城市中心区域的步行范围内, 避免无组织、无规则发展。
4. 江苏省环保厅。大气质量管理规划对应章节数据提交汇总, 2016年1月27日。
5. 南京市环保局。大气质量管理规划对应章节数据提交汇总, 2016年1月27日。
6. 常州市环保局。大气质量管理规划对应章节数据提交汇总, 2016年1月27日。
7. 苏州市环保局。大气质量管理规划对应章节数据提交汇总, 2016年1月27日。
8. Johnson T. M., Guttikunda S., Wells G. J., Artaxo P., Bond T. C., Russell A. G., Watson J. G., West J., 2011. Tools for Improving Air Quality Management. Formal Report 339/11. Energy Sector Management Assistance Program. Washington DC, USA.
9. An J., Zhu B., Wang H., Li Y., Lin X., Yang H. 2014. Characteristics and source apportionment of VOCs measured in an industrial area of Nanjing, Yangtze River Delta, China. *Atmospheric Environment* 97, pp. 206-214.
10. Watson J.G., Fujita E.M., Chow J.C., Zielinska B., Richards L.W., Neff W., and Dietrich D. (1998). Northern front range air quality study. Final report prepared for Colorado State University, Cooperative Institute for Research in the Atmosphere, Fort Collins, CO, by Desert Research Institute, Reno, NV, STI- 996410-1772-FR, June.
11. Watson J.G. and Chow J.C. (2005). Source apportionment and emission reduction strategies. AWMA Specialty Conference, San Francisco, CA, April.
12. 受体模型分析结果以总质量百分比和一次排放百分比的形式呈现。

6

江苏省大气排放清单的发展

6.1 工作方法与发展

在江苏省的十三个地级市中，被选为本项目试点城市的南京市、常州市和苏州市的排放清单编制工作进展最快。据了解，三试点城市的排放清单编制工作大约已完成了总量的80%左右。

到目前为止，江苏省大气排放清单编制工作主要侧重于两个方面：为每个行政区划内的排污企业建立一份完整的名录，以及为重点排放源建立完整并准确的排放估算。然而，各行政区划的快速发展和各地环保部门较为有限的资源使得建立和维护一份完整的排污企业名录比较困难。上述两项原因再加上环保部门有关人员在大气排放清单编制工作方面的经验较为不足，更为建立完整和准确的排放估算带来了很大的挑战。

一般来说，各行政区划内的大型企业可以为环保部门提供质量更好的清单数据（包括一些直接通过电子方式向上级环保部门进行申报的持续性排放监测数据），但中小企业则需持续扩展和完善排放清单方面的业务能力。

江苏省在排放清单能力建设方面一直处于国内领先地位。2011年，江苏省与加利福尼亚州南岸大气质量管理区（SCAQMD）签署了一项双边谅解备忘录。自2012年起，江苏省还连续四年举办了中国（南京）国际环保产业博览会（CIEPE）暨环保技术交流洽谈会。

2013年10月，江苏省环保厅成立了由环境经济技术国际合作中心牵头，大气处、省监测中心和省环境科学研究院共建的省级工作组，以应对排放清单编制工作发展的需要。2014年4月，三试点城市也相继成立了各自的排放清单工作组，并配备了大气质量监测、排放清单鉴定及效益和达标评估等领域的业务人员。

2014年，环保部环境规划院为实施国务院《关于加强环境保护重点工作的意见》和《大气污染防治行动计划》发布了PM_{2.5}、挥发性有机物和氨气的排放清单指导文件。这些文件致力于“促进国家大气污染防治工作的进展，提高大气PM_{2.5}、挥发性有机物和氨防治工作的关联性和有效性。”这些指导文件的汇编（称为指导方针）基于《中华人民共和国国家环境保护法》、《中华人民共和国国家大气污染防治法》、《环境空气质量标准（GB3095-2012）》以及其它相关法律、法案、标准和规定。

江苏省环境科学研究院目前正致力于为江苏省境内的排放源建立一份“自下而上”的大气排放清单。省环科院使用的是美国联邦环保署《AP-42大气污染物排放因子汇编》中推荐的排放因子，但同时也对江苏省内情况独特的排放源进行了大量的定性分析工作，其中包括许多新的大气污染排放测量项目。

南京市

南京市的大气排放清单编制工作已经开展了三年左右，并已完成了部分排放源分析方面的初始工作。在此过程中，南京市得到了南京大学、清华大学和环境规划院的支持，并与上海市环境监测中心开展了许多合作。据有关人员介绍，目前南京市的排放清单已经完成了80%左右，并正在与部分点源企业确认其申报的排放数据。南京市的排放清单包含了重点排放源的烟囱参数，并且每年更新一次。排放清单的数据来源于相关行业，其中包括部分企业直接通过电子方式进行申报的持续性排放监测数据。南京市环保局的有关人员负责对企业提交的数据进行核实。南京市的大气排放基本是由生产情况决定的。一些大型企业指定了专门的对接人员，对市环保局的排放清单编制工作进行协助和支持。目前，南京市已经完成了一份2014年大气排放清单，并制订了一份包含最新的《大气污染防治行动计划》预期减排情况在内的2017年排放清单。最新的《大气污染防治行动计划》对南京市提出了72项行动要求（相较于国家行动计划提出的35项行动要求）。目前还需要获取更多的信息对该行动计划带来的排放变化进行预测。清华大学已经通过模型分析对南京市是否能够根据行动计划的要求实现20%的大气质量改善目标进行了评估。

常州市

常州市的大气排放清单编制工作开始于2010年，是江苏省下辖的地级市中最早开始建立排放清单的城市之

一。常州市与上海市环境监测中心的合作为有关工作的开展提供了很大帮助。2013年，常州市制订了一份主要基于排放因子的排放清单初稿。此次初稿涵盖了大约500个工业排放源，占全市工业企业总数的80%左右。常州市的排放清单每年更新一次，更新之后的排放清单涵盖了大约1000个排放源，覆盖面不断扩大并完善。常州市的排放清单编制工作早期主要聚焦于重点工业源、移动源、餐饮企业和仓库等工业设施。近期则主要侧重于挥发性有机物的排放估算，其中部分原因是由于常州市的化学工业所占比重较大，包括400多家主要企业和其它400多家小型企业。汽车涂装、织物喷涂、纺织和一般制造业的油漆作业（如电器和工业机械）等涂装过程产生的挥发性有机物排放也非常显著。

苏州市

苏州市是一座发展势头迅猛的工业化城市，但是在保持经济增长与环境保护的平衡方面也面临较大压力。苏州市境内大约有16万家企业，根据盈利情况划分，其中约2万家属于大型企业。据估算，大约2400多家企业属于重点大气排放源。苏州市与其它城市一样，在建立排放清单的过程中首先侧重于重点行业（如燃煤电厂、钢铁厂等）以及挥发性有机物排放量较大的行业（如电子生产、表面喷涂等）。

6.2 造成大气污染的主要因素

到目前为止，大量的排放清单编制和源解析工作已经帮助江苏省和三试点城市确定了造成其境内大气污染的一些主要因素。据江苏省环保厅估算，2014年，全省二氧化硫、氮氧化物和烟（粉）尘排放总量分别为90.47万吨、123.26万吨及76.37万吨。各类排放源占全省大气污染排放总量的比重如表格6-1所示。

表格 6-1 江苏省各类排放源占全省大气污染排放总量的比重（2014年）¹

| | 工业排放源 | 生活排放源 | 垃圾和危险废物集中式治理设施 | 机动车 |
|-----------------|--------|-------|----------------|--------|
| SO ₂ | 96.19% | 3.78% | 0.03% | --- |
| NO _x | 72.06% | 0.52% | 0.04% | 27.38% |
| 烟（粉）尘 | 94.34% | 2.38% | 0.04% | 3.24% |

此外，南京大学在2012年通过一项研究发现，江苏省境内的点源排放占二氧化硫、氮氧化物、PM_{2.5}和挥发性有机物排放总量的比例分别达到了83.9%、71.2%、63.7%和54.5%。²全省和三试点城市范围内排污量较大的行业如图表6-2所示。

表格 6-2 江苏省及三试点城市的重点排污行业

| | 江苏省 | 南京市 | 常州市 | 苏州市 |
|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| 燃煤发电 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| 重型机械/设备制造 | | | ✓ | |
| 石化 | ✓ | ✓ | ✓ | |
| 化工 | ✓ | | ✓ | |
| 钢铁 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| 水泥 | ✓ | ✓ | ✓ | |
| 工业锅炉 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| 电子制造 | | ✓ | | ✓ |
| 生物制药 | | | ✓ | |
| 油漆和涂装 | | | | ✓ |
| 油漆和涂装（包括汽车、电器、工业设备、织物喷涂、纺织和油漆等） | | | ✓ | |
| 移动源 | | | ✓ | ✓ |
| 移动源（包括非道路柴油排放源） | ✓ | | | |
| 移动源（包括船运和港口排放） | | ✓ | | |
| 建筑施工 | | ✓ | ✓ | ✓ |
| 餐饮 | | ✓ | | |

6.3 主要挑战

在试点城市考察期间以及与江苏省环保厅和三试点城市环保局有关人员交流的过程中，以下几点主要挑战都曾被重复提及。

有限的资源。与美国的州级环保部门相比，中国的省级和市级环保部门规模相对较小，因此工作人员无法专项负责大气质量管理体系的各个具体环节，而必须同时受理大气、水资源和固体废弃物等多个领域的业务。这样一来，为大气质量管理体系的各个具体环节

培养专业人员极其业务能力就变得非常困难。与美国相比，中国环保部门和受监管实体的角色与分工有着显著的不同，这也使问题进一步加剧。

迅猛的增长。随着大量新项目的陆续上马，以及老旧、低效企业的加速关停，江苏省工业企业的总体情况始终在持续变化之中，这为建立完整的省级或市级大气排放清单等基础工作带来了困难。与快速的经济增长相关的建筑施工和工业企业的涉及面很大，也使得数

据收集、检验和政策执行更加不易。江苏省的移动源数量在过去的十年间增长了406%，年度增长率达到近20%。

需要符合中国实际情况的大气排放因子。目前亟需建立符合中国实际情况的大气排放因子，以协助改善大气排放清单。美国的最佳实践方案包括在特定组合的工艺过程和排放控制设备上执行大气排放测试，然后建立可用于情况相似的排放源的大气排放因子，而无需进行进一步的测试。工业生产运行情况相似的其它省市也可以将这些排放因子应用于本省或本市大气排放清单的编制工作中，也可将其开发的大气排放因子与其它省市共享。

环保部门工作人员的经验较为缺乏。建立排放清单对环保部门的很多工作人员来说是一项全新的任务，部分人员在该领域的工作经验非常有限。有关人员需要在大气质量管理系统的各个方面培养更多的经验和技能，为今后工作的开展打下良好的技术基础。

各行业环保工作人员的经验也较为缺乏。除政府部门的环保工作人员之外，各企业负责申报大气排放数据的人员在相关领域的工作经验也较为缺乏。这些环保工作人员也需要接受系统的培训和指导，以获取足够的知识和技能来完整、准确地完成其所属行业或企业的大气排放申报业务。

大气排放清单培训。本次报告中涉及的许多工作都要求有关人员在挥发性有机物排放估算和测量方法方面接受更加深入的培训。另外，对石化、水泥、发电和钢铁等行业的有关人员进行排放估算培训也是非常必要的。其它常见的培训内容还包括使用统计抽样和模型估算移动源和面源的大气排放等。美国联邦环保署和许多州的大气监管部门在大气排放清单领域有着非常丰富的资源。

设备使用培训。各环保部门、监测中心、实验室和高等院校通常拥有最先进的设备。现阶段需要就如何有效使用这些设备对有关人员进行培训，使其在大气质量监测项目和大气排放清单的编制及验证方面发挥更重要的作用。目前需要重点组织培训的项目包括源解析（例如正矩阵形成[PMF]）等。源解析是一项重要的分析方法，可帮助各个城市了解其境内的PM_{2.5}排放的来源，但却需要耗费大量的资源。

数据质量培训。发电厂等排放源提供的数据不一定可靠，因此环保部门的工作人员必须有效应对和解决各

种数据质量问题。对没有安装持续性排放监测系统的企业提供的数据进行验证可能会非常困难。因此需要针对质量保证/质量控制及验证方法的最佳实践方案（例如统计分析）进行系统培训，以确保用于建立大气排放清单的数据真实准确。

大气污染防治培训。需要在臭氧和挥发性有机物防治策略及其有效性等方面组织进一步培训。实行成本有效且可行的大气污染防治措施及相应的排放测量方法是非常必要的，因此这一方面的培训应侧重于多重污染物排放的协同控制，以及落实既可保护环境又可为企业节省开支的双赢策略。

环保部门的权限。在很多时候，市级环保部门没有针对环境问题制定法律法规的权限。现阶段遇到的许多环境问题需要在全国层面上建立更多的政策加以支撑。对市环保局来说，与省环保厅进行协作，通过省环保厅向中央政府争取环保立法或者在省内建立实施新的环保法规，也是非常重要的。在排放清单编制方面，江苏省可考虑开展一项类似于美国联邦环保署温室气体申报项目的指标污染物强制申报项目（含PM_{2.5}、二氧化硫、氮氧化物、挥发性有机物等）。在省级层面上制定统一的指导方针和要求将有助于从各城市收集准确且统一的数据。这将使参与申报的企业承担起更多排放清单编制工作的责任。

改善大气质量的巨大压力。发展势头强劲的工业化城市始终面临着巨大的环保压力，这也是环保部门需要合理应对的一项重大挑战。

在上述主要挑战之外，江苏省在排放清单编制方面需要的其它协助主要包括：

- 大气质量规划目标（目标设定）和审阅（持续性评估）
- 大气排污许可证
- 为重点行业建立大气排放标准
- 大气排放清单的数据收集工作
- 针对特定种类的污染物进行大气排放估算
- 大气监测，包括监测网络的评估
- 在持续性排放监测之外为小型排放源提供排放测量替代方法

- 大气质量法规的合规和实施
- 扬尘排放估算方法（例如建筑工地的扬尘排放等）
- 为较大范围的小型排放源进行大气排放估算（例如餐馆、街边小吃、露天燃烧、焰火、修车厂和有机溶剂使用等）

6.4 2014年南京青奥会大气质量保障工作的重要收获

南京市为保障2014年8月举办的青年奥林匹克运动会期间的大气质量采取了一系列应对措施，其中包括部分施工场地的临时关闭以及大型工业企业的临时停产。南京市同时也借助这项契机淘汰了本市许多高污染黄标车。

南京市青奥会期间的大气质量保障计划为我们实地观察大气质量对特定行业减排的实时反应提供了特殊的机会。该保障计划的实施大幅降低了青奥会期间的大气排放，并使大气质量得到了显著改善。青奥会大气质量保障工作的一项重要收获是，工业源是导致江苏省大气污染的重要因素之一。因此，根据江苏省环保厅的要求，本次《大气质量管理规划框架》主要侧重于工业源的治理。

参考文献与注释

1. 江苏省环保厅。大气质量管理规划对应章节数据提交汇总，2016年1月27日。
2. See a presentation on Jiangsu Province air quality from the December 2015 AGU conference (<https://fallmeeting.agu.org/2015/abstract/establishment-of-a-high-resolution-emission-inventory-and-its-impact-assessment-on-air-quality-modeling-in-jiangsu-province-china/>); and Zhao et al. 2015, “Advantages of city-scale emission inventory for urban air quality research and policy: the case of Nanjing, a typical industrial city in the Yangtze River Delta, China.”

7

现行大气污染防治政策与措施

概述

本章将对中国的有关环保法律和项目以及国家及各省市大气污染防治行动计划的整体情况进行总结。有关部门在对国家有关法律持续进行审阅和修订的同时，也正在按照中国《环境空气质量标准（GB3095-2012）》的要求对现阶段的大气质量管理工作进行评估。在江苏省境内，南京市、常州市和苏州市等三试点城市也正在持续推动市级大气污染防治行动计划。

7.1 基本情况

中国环境保护部于2011年12月颁布了GB13223-2011《火电厂大气污染物排放标准》。此外，国家发展和改革委员会和财政部也共同发布了《重点区域大气污染防治“十二五”规划》，并已于2012年9月经国务院批准开始实施。¹

中国为重点行业及主要污染物种类制定的国家大气排放标准主要包括：

- 《大气污染物综合排放标准（GB16297-1996）》
- 《火电厂大气污染物排放标准（GB13223-2011）》
- 《炼焦化学工业污染物排放标准（GB16171-2012）》
- 《钢铁烧结、球团工业大气污染物排放标准（GB28662-2012）》

- 《炼铁工业大气污染物排放标准 (GB28663-2012)》
- 《炼钢工业大气污染物排放标准 (GB28664-2012)》
- 《水泥工业大气污染物排放标准 (GB4915-2013)》
- 《锅炉大气污染物排放标准 (GB13271-2014)》
- 《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)》

2013年, 中国国务院颁布了被称为“大气国十条”的《大气污染防治行动计划(2013-2017年)》。该行动计划明确要求中国的重点区域和城市必须在目标年份之前采取有效的大气污染防治措施, 并实现国家指定的大气质量目标。为此, 各省、自治区、直辖市已经陆续开展了一系列大气污染防治工作。按照规划, 江苏省所在的长江三角洲地区需要将2017年的PM_{2.5}浓度水平在2012年的基础上降低20%。“大气国十条”也对氮氧化物、二氧化硫和挥发性有机物提出了具体的大气质量目标(挥发性有机物为首次明确提出)。“大气国十条”的达标情况与经济发展和刺激措施互相关联。例如, 国家可取消或降低未达标省市的经济发展资金。

2013年颁布的《大气污染防治行动计划》在提出2017年大气质量目标之外, 也提出了要在2030年前实现中国现行PM_{2.5}大气标准的长期目标。

2014年修订的《国家环境保护法》被称为中国历史上最为严格的环保法律。监管部门现在可以就违反环保规定等现象进行更高额度的处罚。部分省市已经由于其境内的大气质量问题受到了相应的警告或处罚。

2015年, 中国的大气质量法规得到了进一步的修订和强化。修订之后的新法授权环境保护部颁布新的、或调整现行的环境空气质量标准, 并首次正式提出建立排污许可证制度。中国全国人大于2015年秋天通过了该法案。

江苏省

2014年, 江苏省在推动节能降耗和淘汰落后产能方面

取得了显著进展。根据初步计算, 江苏省2014年的单位GDP能耗较前一年降低了5.9%, 大幅超出了原先制定的3.6%的目标, 并实现了国家“十二五”计划节能目标的96.0%。

目前, 煤炭占中国能源消耗总量的70%以上, 而江苏省的煤炭消耗在全国所有省、自治区、直辖市中排名第二, 且保持约6%的年增长率。江苏省目前已经开始大力推动清洁能源和可再生能源的使用, 并着手整治小型燃煤锅炉。

国务院《大气污染防治行动计划》中制定了控制国家总体煤炭消耗的中期和长期目标。到2017年, 煤炭在能源消耗总量中的比重要降低至65%以下。江苏省是计划在2014年前降低煤炭消耗总量的十四个省市之一。

为有效实现国家大气质量目标的要求, 江苏省在省级层面上制定了以下政策和配套措施:²

- 优化能源结构, 在2017年前将煤炭占总能耗的比重降低至65%以下;
- 推动清洁能源和可再生能源的应用, 并提高能源效率(例如建设绿色建筑等)
- 治理小型燃煤锅炉(改建或替换)
- 调整工业结构。加速废旧工业企业和设备的关停, 加大违规现象的处罚力度, 降低过剩产能, 以及控制高污染、高能耗行业的产能等;
- 推动清洁生产, 包括通过工艺调整、材料回收、采用更加先进的排放控制技术和更加严格的监管方式有效实现污染防治;
- 提倡清洁交通和绿色交通(例如制定更加严格的尾气排放标准、提高燃油质量、建设轨道交通等);
- 加大对船舶和非道路移动源排放的控制力度;
- 加强控制城市大气污染(例如餐饮油烟和有机溶剂中VOC的挥发)和扬尘排放;
- 扩大绿地面积(到2017年, 绿地占全省总面积的比重将达到38.7%);
- 支持科学技术的不断发展。针对大气污染防治策略开展研究, 加大投资大气污染防治技术的开发和部署, 并通过专业培训和业务能力建设培养优秀的科研团队;

- 与气象部门紧密合作，推动大气监测（区域环境空气质量监测及污染源排放监测）与污染预警系统在重污染天气形成之前发挥必要作用；
- 根据污染现象的程度建立不同级别的应急响应规划，并指导各地市有效落实；
- 深化完善相关法律、法规和标准；
- 建立环境信息发布系统：
 - 按照大气质量和排放速率对各地市和重点企业进行排名，并向社会大众公开
 - 要求重点企业自行申报其排放水平
- 加强区域协调，促进国际合作与交流：
 - 将PM_{2.5}防治作为各个行业的强制性要求
 - 通过绩效评价系统对各个行业与重点企业进行年度考核，对违规者进行处罚
- 提高公众参与、知识普及与宣传的力度。

南京市

自2010年以来，南京市已经建立了一系列大气污染防治年度行动计划，同时还制定阶段性的五年工作计划。南京市2014年大气污染防治行动计划列举了72项行动要求，相较于国家行动计划的35项行动要求更加深入和具体。

南京市为保障2014年8月举办的青年奥林匹克运动会期间的大气质量制订了一项特殊保障计划，其中包括部分施工场地临时关闭、重点工业企业临时停产及淘汰本市高污染黄标车等。该保障计划的实施成功使青奥会期间的大气排放显著降低，大气质量得到了明显改善。青奥会大气质量保障工作的一项重要发现是，工业源是导致本地大气质量污染的主要因素之一。

南京市还根据《大气污染预警和应急处置机制》建立了重污染天气预警和应急系统。在高污染现象形成时，有关部门将发布红色或橙色预警并采取必要的应急响应措施，例如工业生产临时关停、生产缩减、道路冲刷和人工降雨等。

在大气排放标准和排污许可证制度方面，南京市环保局正在为钢铁、发电和水泥等重点行业建立更加严格的排放标准，同时还计划建立一项排污许可证制度。目前，南京市环保局正在通过一项排污费征收项目为

大气污染防治业务的发展提供资金支持。

南京市环保局建立的排污许可证制度要求新排放源或改建排放源在获得排污许可证前必须首先提交一份环境影响分析报告。南京市对大气排放补偿的要求为2:1，这比国家排污许可证制度的有关要求更加严格。目前，南京市已停止审批新建燃煤电厂（或现有燃煤电厂扩建）的项目申请，并限制部分重工业项目的新建和扩建。

在接下来的十年间，南京市的计划是将重工业企业迁移到江苏省以外的地区，同时实行更为严格的排放标准。南京市今后将更加侧重于吸引轻工业和服务业项目。

为保障有关大气污染防治法规的执行，南京市正在深化落实以下措施：

1. 使用持续性排放监测系统帮助确认部分排放源的排放数据；
2. 对排放源进行现场检验；
3. 向违反有关法规的排放源征收罚款，例如夜间没有正常运行排放控制设备的企业等。涉案企业的信用记录可能将受到影响，无法取得金融机构的贷款，并将面对社会舆论的批评。

常州市

常州市“十二五”大气污染防治计划主要针对10个重点行业。在解决这些行业产生的大气污染的同时，常州市也需要持续维护稳健的经济增长态势。常州市目前正重点考虑吸引服务业进入本地市场，但同时也认识到推动经济由制造业向服务业转变需要一定的时间。

常州市也采取了许多其它措施，加快推动废旧生产设施关停，提高违法违规的惩罚力度，减少过剩产能，控制高污染和高能耗行业，以及改善工业污染治理（例如挥发性有机物、泄漏检测和维修等）。

另外，常州市还计划于近期开始启动实施一项大气排污许可证制度。

苏州市

苏州市的大气质量在过去几年中略有改善，市政府也正在按照国家和省政府的有关要求持续推动大气污染防治工作。根据估算，苏州市现约有人口1200万左右，工业企业16万家，机动车271万辆。苏州市当前面临的一项挑战是对市环保局的有关人员进行环境管理基础知识和技能的系统培训，以提高大气污染防治方面的业务能力。

7.2 电力行业

如前所述，国家的有关目标要求江苏省在2017年前对能源结构进行优化，并将煤炭消耗总量降低至当前水平的65%以下。这些主要包括优化清洁能源和可再生能源的使用、提高能源效率（绿色建筑等），以及对小型燃煤锅炉进行整治（重建或替换）。江苏省环保部门的有关人员已经充分认识到节能中心的重要性以及能源规划对减排的帮助作用。

2011年7月，环境保护部颁布了严格的火电厂大气污染物排放标准。另外，国务院还于2012年12月批准了燃煤发电锅炉大气污染防治项目的资金调配和实施方案。

自2013年以来，中国已经采取了许多煤炭降耗措施。一般来说，降低煤炭消耗主要有四种基本方法：1) 关闭小型和中型废旧电厂（300兆瓦以下）；2) 使用天然气作为燃料；3) 使用热电联产系统；以及4) 小型电厂使用生物质燃料进行发电。没有安装控制设备的排放源均可将安装附加排放控制设备作为选项之一。

2015年3月下旬，中共中央和国务院审议通过了《关于进一步深化电力体制改革的若干意见》，又称“九号文件”。《意见》认为，中国当前需对电力行业进行重大体制改革和重组。从官方发布的消息中也可以看出，中国国家“十三五”计划中将进一步对有关工作进行部署。

当前的能源强度和标准已经帮助中国减少了大量的煤炭消耗以及由此引起的大气污染的进一步恶化。到2020年，新的能源效率标准将会帮助中国节省十亿吨以上的煤炭消耗。

江苏省长期以来在需求侧管理领域处于各省前列。早在21世纪初的电力供应紧缩时期，江苏省就已开始接触需求侧管理。³ 国家电网公司需求侧管理指导中心在江苏省设计并执行了一项“效率电厂”试点项目。效率电厂是由一些与普通发电机组相同、提供可预测负荷容量的能源效率投资项目组成的虚拟电厂。⁴ 国家电网江苏分公司已经在2011年国家发改委发布的“国家需求侧管理措施”框架下持续推广能源节约型需求侧管理工作。

南京市

南京市正在执行比国家有关标准更为严格的火电厂大气排放标准。

常州市

常州市划分了406平方千米的禁燃区，在该区域内只允许使用清洁能源。常州市中心附近共设有六座大气监测仪，但是至今仍未获得充分的监测数据以检验禁燃区政策对当地大气质量造成的影响。

常州市的电力生产主要在市区范围以外进行，市区内仅存部分小型电力企业。2011年，常州市境内发电厂的二氧化硫排放总量约为12000吨。

2013年，常州市拆除了510家企业的686座燃煤供热锅炉，并使用天然气和太阳能等更加清洁的能源进行替换。常州市计划在2016年年底淘汰所有容量低于7兆瓦的小型燃煤锅炉。

苏州市

发电厂是苏州市大气颗粒物、氮氧化物和二氧化硫排放的重要来源。苏州市发电厂的发电总量大约为22000兆瓦。新的发电厂大气排放标准于2014年7月1日开始实施。苏州市将在接下来的3年内逐步拆除小型锅炉（容量低于10吨蒸汽/小时）。其它锅炉（容量高于10吨蒸汽/小时）将在2017年前采用与大型发电厂相同的排放标准。

7.3 工业部门

南京市

南京市现行的新建及现存钢铁厂和水泥厂排放标准比国家有关标准更为严格。接下来，南京市计划为这些重点行业制定更加严格的大气排放标准，并正在持续深化有关领域的分析和研究。

常州市

常州市计划将市内中小规模的化工企业统一迁入现有的工业园区集中管理，促进其统筹协调与发展。

另外，常州市计划在2014至2017年间淘汰落后铸造产能10万吨、印染产能1亿米和纺织产能3000万米等。

一些小型喷漆厂、印刷厂和化工厂的相继关停可能会使本地的失业率有所升高。为应对这种情况带来的压力，政府需要为这些失业人员的再就业提供充分的机会。相较于中小型企业，大型企业将会具备更加充足的资金对现有技术进行升级和改造。由于常州市化工业和印刷业发展情况的不断变化，在对这些行业的2017年大气排放情况进行预测时可能会面临较大挑战。常州市为重点行业的企业制定了2:1的排放补偿要求。据不完全统计，大约有300至400家小型化工厂在过去的5年间陆续关闭。目前，常州市已经停止审批印刷业项目的新建申请。

常州市境内有3座大型钢厂。2011年，常州市钢铁行业的二氧化硫排放总量约为36000吨。但是在安装湿式洗涤器和使用含镁催化剂之后，目前的排放总量已经大幅降低。常州市要求所有的烧结厂和球团生产机组必须在2014年底前完成脱硫设备的安装。

到2015年底，常州市境内所有炼油厂的催化裂化装置必须配备烟气脱硫设备，且硫磺回收率必须达到99%以上。

苏州市

据估算，苏州市境内目前大约有16万家工业企业，其中约2万家企业的规模较大（年利润在2000万元以上）。目前，苏州市正在重点推进2400余家企业的大气污染防治和减排工作。

7.4 移动源和燃料

2014年，国务院启动了一项淘汰六百万辆黄标车和其它老旧机动车的专项计划。截至2013年，全国范围内大约有1.3亿辆黄标车，占机动车保有总量的10%左右，但是其大气排放却占到机动车排放总量的50%以上。

根据中国清洁空气联盟《中国空气质量管理评估报告（2015）简版》的介绍，江苏省是超额完成2014年黄标车淘汰任务的十个省、自治区、直辖市之一，其实际淘汰的黄标车数量约为原计划的120%。

中国在国家层面上采取了一系列措施以鼓励清洁交通和绿色交通的普及与推广，其中主要包括：实施更为严格的机动车排放标准、提高汽柴油油品质量标准以及提升轨道交通的运力。

江苏省就实施第一和第二阶段加油站油气回收之后的大气排放情况进行了专项研究，结果证明该措施的大气质量改善效果非常显著。

南京市

2014年，南京市在机动车污染防治方面取得了非常显著的进展，在江苏省下辖的各地市中保持领先。汽油产品“国五”标准全面实施。南京市对重型柴油机动车采用“国四”准入标准，并提前开始实施“国五”标准申报项目。全市高污染机动车的禁行区域已扩大至305平方千米。

2015年，南京市要求所有的新机动车采用“国五”发动机标准及新的燃油标准（例如10 ppm含硫燃料），并在全市范围内随机进行油品采样和抽检。南京市还将开始在全市的加油站实施第二阶段油气回收。江苏省环境监测中心的研究已经证明第二阶段油气回收具有很强的实效性。

南京市境内共有超过3000处工地以及1万余辆施工车辆。施工车辆通常在白天受到限行措施的制约，并主要在夜间行驶。南京市为施工车辆货仓和底板的覆盖制定了一系列要求。施工车辆在离开工地之前必须对车身进行冲洗，工地周边也需要定期进行洒水冲刷，以降低其扬尘排放。南京市也正在为柴油施工车辆及

其使用的燃油建立新的配套标准。

南京市以2014年举办的青奥会为契机，淘汰了市内的大批黄标车。黄标车禁止驶入市中心内环以内的区域，如发现违章现象将受到处罚。另一项措施则是对旧车进行回购，车主在购买新车时也可凭借旧车报废证明获得一定程度的补贴。落实这项措施需要定期对汽车报废厂的运行情况进行审查和检验，以保证其有效执行。

常州市

常州市预计在2016年年底之前淘汰市内的所有黄标车。另外，常州市还计划在2018年之前新增100辆液化天然气运输车辆，并在2018年之后每年再新增10辆。

常州市在国家和省政府有关要求的基础上额外采取了许多行动，鼓励清洁交通和绿色交通的推广（例如公共交通方面），以及对机动车污染进行治理（例如采用更加严格的排放标准/燃油标准和推广城际交通等）。

苏州市

苏州市目前拥有约271万辆机动车，其中包括数十万辆摩托车。苏州市计划在2015年底之前淘汰20万辆黄标车。

出于安全和污染防治方面的考虑，摩托车禁止驶入苏州市区。

在非道路移动源方面，苏州市也在对大型施工机械的大气排放控制方案进行更加深入的评估。

7.5 其它部门

南京市

船舶/港口排放是一项较为突出的问题。南京市河运规模较大，因此目前正加紧建设岸电电气化系统，以帮助降低靠岸船舶发动机空转的程度。南京港目前的装卸和运输手段比较原始，需要配置效率更高的设备。

餐饮排放是南京市大气污染防治工作需要面对的另一项问题，其具体情况目前正在调查研究当中。

常州市

常州市已经开始与主要油漆及涂料生产厂商合作，为各种挥发性有机物成分建立大气排放标准。国家有关标准的执行相对比较困难。常州市境内设有用于船舶和储油罐的特别种类水基涂料的生产设施，但生产规模相对较小。常州市的一家研究机构目前正在对油漆和涂料的排放控制进行研究。

常州市为小型物体（小于汽车）在封闭空间内的喷漆作业制定了一系列排放要求。此类排放通常在使用设备收集之后导入热焚烧炉进行处理。

另外，常州市也在船舶和非道路机动车排放控制方面开展了许多工作。例如争取在2017年前将绿色空间的比例提高到38.7%、替换或拆除废旧工业设施，以及对扬尘排放进行控制等。

中国施工场地的扬尘排放占PM_{2.5}的比重高于美国。目前，美国在扬尘排放控制方面已经有非常成熟的最佳管理实践方案可供中国参考。例如，泽尼斯钢厂的工作人员经常向铁矿石和焦炭灰尘喷水，以抑制其产生的扬尘排放。厂区的边界也建有一道25米的围墙，以阻止灰尘向周边道路扩散。

常州市境内目前有30家绿色汽修厂正在建设当中。这些绿色汽修厂将使用低排放油漆和涂料，并将作为其它汽修厂升级改造的范例。

苏州市

苏州市计划在接下来的三年内重点对挥发性有机物排放进行治理，但是需要完善配套的排放标准、测试方法和挥发性有机物排放技术。苏州市正在借鉴其它城市的工作经验，并计划自行建立本市的排放标准。

参考文献与注释

1. <http://en.cleanairchina.org/product/6285.html>.
2. 李冰, 江苏省大气质量管理技术援助项目启动会总结报告。2014年6月13日。
3. Hu, Z., Moskovitz, D., & Zhao, J. (2005). Demand-Side Management in China's Restructured Power Industry. Energy Sector Management Assistance Program, The World Bank.
4. Part A Final Report, TA 4706-PRC: Energy Conservation and Resource Management Project, The Regulatory Assistance Project, July 2007.

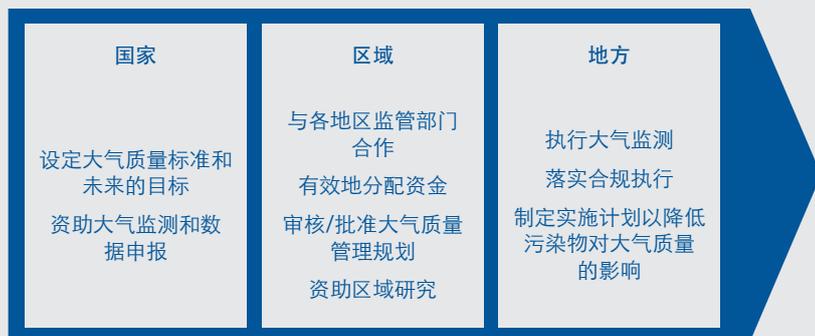
8

区域规划和协调

概述

一般来说，大气质量标准 and 未来的目标由国家制定，而贯彻实施则是各地区监管部门的职责（在美国指的是州级、县级和市级监管部门）。各地区监管部门通常需要为各个排放源颁发排污许可证、监测大气质量并受理各种相关业务。由于空气可以在各个行政区划间自由流动和扩散，某一区域产生的排放将会对另一个区域的大气质量造成影响，因此区域规划和协调十分重要。各部门之间良好的合作和协调对大气质量管理来说更是不可或缺的。区域规划组织（RPO）帮助强化各有关方面对区域层级大气质量问题的关注。它们的覆盖面比县市层级更大，但是比全国层级更为具体和细致。区域规划组织可以有效促进利益相关方的参与、交流和合作。图表8-1中展示的是美国在一般情况下大气质量管理责任的层级划分。

图表 8-1 美国大气质量管理责任的层级划分



8.1 区域规划的经验

江苏省及其境内的主要城市（包括南京市、常州市和苏州市等）须采取一系列力度大、范围广的大气污染防治措施以实现国务院有关部门在2013年制定的大气质量改善目标。在这项工作不断推进落实的过程中，长三角区域的各省市已经意识到各部门之间的协调合作在大气质量管理规划工作中的重要性，并已经启动了一项区域协调机制，以便更好地应对区域内的大气污染问题。

美国过去五十多年的大气质量管理经验可以为中国提供许多参考和借鉴。美国和中国的大气质量问题一直是由本地排放（本省或本市内）和区域排放（相邻省市）共同造成的。多项研究表明，中国城市区域大气中25%以上的PM_{2.5}的来源位于城市区域以外。对中国来说，在现阶段全力实现2017年PM_{2.5}大气质量改善目标的过程中，改善各行政区划之间的协调十分重要，因为这样有助于上风方向的省市采取必要的减排策略以减少对下风方向省市大气质量的影响。许多省市在受到上风方向省市的大气质量影响的同时，自身的大气排放还会对下风方向的其它省市带来不良影响并危害公共健康。关闭低效的工业设施和老化的发电厂已经帮助降低了许多城市中心区域的有害大气污染物浓度，但是许多企业转而搬迁至市郊或相邻省市重新投入生产，且未能采用最佳排放控制技术。这样一来便扩大了大气污染影响的范围，并增加了大气污染治理和改善公共健康状况的难度。各区域应执行统一的大气排放标准并采用最佳排放控制技术，以确保本区域内的企业受到一致的约束。

中国推进实现大气质量达标的工作可能需要持续一段时间。因此，大部分行政区划都应重视区域协调对改善大气质量的影响。另外，现在也是江苏省和其它省市大气质量监管部门开发并扩展业务能力的良好契机，以准备应对当前的高污染在今后几十年间可能带来的公共健康问题。

作为区域规划的一个相关案例，美国在2000年成立了五个区域规划组织（RPO）以应对国家公园和野生保护区范围内的区域性PM_{2.5}污染及其对能见度的影响。区域规划组织的功能是在协助州级监管部门制定大气质量管理规划的过程中协调调动有关资源，并为其提供技术及科学上的支撑。美国联邦环保署在8年间向这些区域协调组织提供了6500万美元以上的资金。美国

联邦环保署同时还为改善各州之间的协调工作，以及每半年组织一次区域规划组织信息交流会议提出了指导意见。区域规划组织根据参与的州份、现有的大气质量管理机构和参与方的技术能力各自采取不同的运作方式。

区域规划组织的工作内容主要包括编制排放清单、建立排放追踪系统、改善区域模型分析能力和支援监测项目等。另外，区域规划组织获得的资金通常还用于进行数据分析、职员培训（能力建设）及现场调研等。美国的区域规划组织为有关部门的职员提供多种技术培训，例如大气污染治理基础、环境监测质量保证、烟囱排放测试的最佳实践方案、数据确认、数据分析、弥散模型、排放估算和清单建立、固定源和移动源相关规定和排放、大气质量模型分析和预报、排污许可证编制以及政策规划和制定等。持续进行系统培训对确保最佳实践方案的应用、职员能力建设和扩展新员工知识面来说都是必不可少的。

区域规划组织可促进各利益相关方的参与、交流和合作，包括地方政府、公共卫生组织、交通组织、工业组织、商业组织和环境组织的代表；群众代表；以及一个由利益相关方组成的顾问委员会。促进利益相关方的参与程度可以提升它们在大气质量管理方面的自主意识和话语权，进而提高排放控制方案顺利实施和大气质量目标成功实现的可能性。

区域规划机制具有以下优点：

- 通过跨区域合作和业务培训为大气质量工作者建立良好的技术能力。经验较少的职员可以向其它区域、高等院校和研究院的经验丰富的职员学习和借鉴。
- 为缺乏大气质量管理经验的省市提供技术协助和培训。
- 均衡利用国家和其它区域的资源，帮助某区域应对自身无法解决的复杂问题（例如区域大气质量模型分析等）。
- 帮助有关部门获取统一、一致的技术信息（例如排放清单和污染防治方案等），为进行准确的大气质量管理决策进行支撑。
- 增进国家和各省市监管部门、工业部门及非政府组织等利益相关方之间的互信。

- 为决策者进行政策分析和制定跨区域减排策略提供一个平台，重点考虑互相关联的能源和气候政策。

美国一些州的大气监管部门规模很大，例如加利福尼亚州大气资源管理局（CARB）和德克萨斯州环境质量委员会（TCEQ）。加利福尼亚州同时还划分了多个大气污染治理区或大气质量管理区，对州内不同区域的大气质量进行监管。其监管机构是管理区内的县级或地区政府部门，主要负责监管固定排放源的大气污染。移动源（汽车、卡车、公交车、火车、飞行器及船舶等）排放标准是由美国联邦环保署和加州大气资源管理局共同制定的。面积较大的大气质量管理区，例如大洛杉矶地区的南岸大气质量管理区（SCAQMD），通过监管部门向排放源收取的费用和联邦补助金获取充足的资金。面积较小的大气质量管理区获取的资金一般不太充足（原因是较少的利润来源和联邦补助金），并需要大气资源管理局对其中一部分业务需求提供支持（例如建立监测标准作业程序和培训员工等）。在加利福尼亚州，各大气监管部门共享数据和业务执行方法，从不同管理区的大气质量管理中学习经验，并非常依赖高等院校的科研支持。

在中国，北京借由建立京津冀区域规划，在这一方面处于领先地位。其它诸如长三角（包括江苏省）和珠三角地区的区域规划工作也正在积极开展中。

根据国务院《大气污染防治行动计划》的有关要求，1个直辖市（上海市）、3个省份（江苏省、浙江省、安徽省）和国务院的8个有关部门（环境保护部、国家发展和改革委员会、工业和信息化部、财政部、住房和城乡建设部、交通运输部、中国气象局和国家能源委员会）共同开展了一项长三角区域大气污染防治协作机制，并组建了长三角区域大气污染防治协作小组。该小组的中心办公室位于上海市环境保护局。由各领域专家组成的区域大气污染防治专家小组负责研究长三角区域的大气质量问题，并评估现行大气污染防治措施的成效及影响。

8.2 增进交流

美国和其它许多国家的政府机构发现，作为大气质量政策贯彻落实的一部分，公民参与往往具有决定性的影响。为了更好地提高公民参与程度，监管部门将复

杂的大气质量信息（尤其是与健康影响有关的部分）以浅显易懂的方式进行表述是非常重要的，例如很多国家采用的空气质量指数（AQI）。空气质量指数通常是一套根据污染物（例如氮氧化物、二氧化硫、臭氧和颗粒物等）潜在的长期或短期健康影响进行衡量的大气污染测量值的集合。

包括上海市环境监测中心（SEMC）在内的许多大气质量监管部门使用美国联邦环保署的AirNow-International或与其相似的信息交流系统向社会大众传达大气质量信息。AirNow-International系统的目标是通过共享美国联邦环保署用来将大气质量数据转化为对决策者和公众至关重要的信息的技术来强化政府和国际组织之间的关系。AirNow-International是美国联邦环保署在促进日常监管、环境数据交换和提升国际透明度等方面非常倚重的一个系统。

AirNow-International包含一套对大气质量数据进行处理、质量控制、分布并按照不同需求生成定制化地图和文件的软件程序。这个系统可以与大气质量预报系统进行结合，在严重的大气污染事件发生之前及时向公众发出预警。



8.3 区域性研究需求

上风方向的外部排放源和本地排放源都会对某一区域的大气质量造成影响。排放至大气层中的二氧化硫和氮氧化物会发生反应形成PM_{2.5}；氮氧化物还会和挥发性有机物发生反应形成地表臭氧。所有污染物都可以传输到很远的地方，对当地和整个区域的大气质量造成严重影响。这些污染物的跨界传输可能会为下风方向地区的大气质量达标工作带来许多困难。为了应对大气污染物的传输问题，美国《清洁空气法案》中包含了一项“好邻居”条款，要求美国联邦环保署和各

州采取必要的措施以解决大气污染的州际传播，保护下风方向州份的大气质量能够持续达到国家环境空气质量标准的要求。该条款要求各州必须减少可能会对下风方向州份的大气质量造成严重影响的大气排放。

在区域层面上，监管部门须根据本地区的大气排放情况确定技术上和经济上可行的措施，并分析这些措施对减排的影响。监管部门必须了解它们自身对本地区大气污染的调控和影响能力。要做到这一点，可以借由实际测量、模型分析，或同时采用这两种方法进行现场调研。美国和其它许多国家已经进行了很多区域性现场调研，以量化污染物跨界传输及其对下风方向的大气质量的影响。由于排放清单的不确定性以及缺乏对某地区污染物传输物理和化学过程的了解，现场调研通常是最先采用的方法。现场调研能够指导该区域重点关注那些可以自行控制和降低的大气排放，并与上风方向的区域进行协作以降低外部排放对本区域的影响。

9

重点行业的大气污染防治方案

概述

本章将主要介绍PM_{2.5}、PM_{2.5}前体物（二氧化硫、氮氧化物和挥发性有机物）以及有害大气污染物的污染防治方案。这些方案涵盖江苏省燃煤电厂、炼油厂、钢铁制造、水泥制造及表面涂装等重点行业，并将侧重于规模较大的排放源适用的污染防治方案（例如具有最大减排潜力及大气质量改善潜力的排放源）。鉴于移动源也是江苏省大气污染的一个主要来源，因此本章也将对移动源污染防治方案进行介绍。另外，本章还将对温室气体，特别是二氧化碳的污染防治事项进行说明。

如前所述，江苏省已经针对燃煤电厂（以及燃煤锅炉）实施了许多大气污染防治措施，并为这些排放源安装了最先进的大气污染防治系统。因此，本章中关于燃煤发电行业的小节将主要讨论政府部门应深化落实的监管工作，例如监测、数据记录和申报要求等，以确保各排放源的大气污染防治系统的连续和正常运行。这些措施将有助于实现燃煤电厂大气污染防治系统的减排效力。

本章的其它小节将对另外多个重点行业进行概述，介绍各行业的主要大气排放源及与之相关的大气污染防治方案，并确定适用于这些排放源产生的大气污染物（PM_{2.5}及其前体物、有害大气污染物等）的防治技术。对防治技术具体情况的描述基于这些技术在美国应用的效能（例如污染物减排百分比等）。本章还将介绍可行的多重污染物协同控制方案。这些污染防治技术均代表了美国在该行业采用的最佳实践方案。

本章还为各行业的污染防治技术选定了部分知名美国设备制造商。在需要时，这些制造商可以为中国提供最先进的大气污染防治技术。除污染防治方案外，各个小节还介绍了美国现行的大气污染排放限值及相应的监测要求（或含有监测要求的文献资料），并将在适当时对预期的减排效果和控制成本进行说明。

为了确保环保系统的有关人员和工业排放源运营商有效配合并追踪各行业特定排放限值的相关参数，江苏省大气质量管理规划为各行业制定的排放限值应包含附录B中列举的有关参数，以确保这些排放限值的实际可行性。

另外，本章根据美国在相关领域的经验为江苏省提出了一系列其它建议，包括在实施污染防治方案的过程中如何应对可能产生的问题等。随着大气质量管理工作的不断推动和完善，这些建议可帮助江苏省有效避免或应对美国曾经遇到的许多困难和挑战。

本章涉及的内容可以与当前的大气排放清单搭配，用于建立一项包含大气污染防治规划的未来年份排放清单。将未来年份排放清单与区域大气质量模型框架结合，可帮助江苏省根据其规划的排放控制水平预测未来的大气状况。

9.1 燃煤电厂

如图表9.1-1所示，煤炭是中国发电的主要能源。2011年7月，中国环境保护部颁布了一项非常严格的《火电厂大气污染排放标准》。2012年12月，国务院还批准

了资助并实施发电机组大气污染防治项目的计划。除此之外，有关部门还为江苏省境内的燃煤电厂提出了2014-2020年期间落实超低排放标准的具体要求。

表格9.1-1总结了中国在燃煤电厂大气污染防治方面的现行政策和标准。本次《大气质量管理规划框架》确定了多项燃煤电厂应妥善监测、记录和申报的参数，以便江苏省环保部门确认其持续合规执行情况。

本次报告将特别针对以下几种主要污染物提出具体的污染防治方案，以帮助江苏省实现并超出国家有关标准的要求：

- 9.1.1 燃煤电厂氮氧化物排放控制及污染防治方案
- 9.1.2 燃煤电厂二氧化硫排放控制及污染防治方案
- 9.1.3 燃煤电厂颗粒物与硫酸排放控制及污染防治方案
- 9.1.4 燃煤电厂汞排放控制及污染防治方案

本次报告认识到，由于电力需求的变化，发电机组无法一直保持最高发电容量运行。同时，在发电机组的生产水平由最高容量向最低容量转变时导致的烟气温度和流速的变化可能会对一些大气污染防治系统的运行产生不利影响。因此，本次报告也为发电厂管理者

图表 9.1-1 不同国家发电燃料使用情况的比较¹



和规划者提出了具体的建议，帮助他们根据发电机组的设计参数和具体特点确定在最高电力输出和最低电力输出两种情况下（例如在夜间电力需求最低时）使发电机组的大气污染防治系统保持有效运行的方法。

<http://www.js.gov.cn/jsgov/tj/bgt/201411/t20141121461250.html>

http://english.mep.gov.cn/standards_reports/standards/Air_Environment/Emission_standard1/201201/W020110923324406748154.pdf

发电机组的运行人员应切实遵守规划中涉及的相关标准，并根据以下有关文件的精神加以落实：

表格 9.1-1 中国现行的燃煤电厂大气排放标准

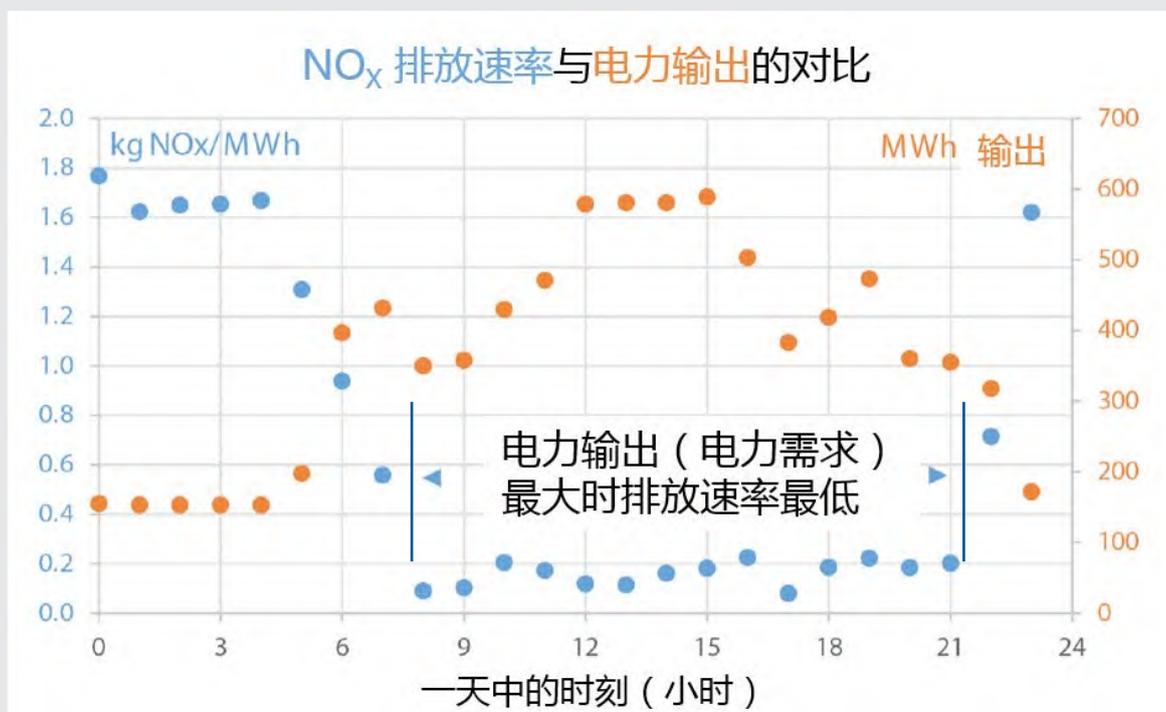
| 污染物 | 授权文件 | 受到影响的发电机组 | 具体要求描述 ² |
|-----------------|--|------------------------------|--|
| NO _x | 《重点区域大气污染防治“十二五”规划》5.1.2节（2012年12月） ³ | 发电容量>200兆瓦以上及剩余运行寿命>20年的现存机组 | 安装低氮燃烧器及选择性催化还原系统（SCR）以实现氮氧化物减排85%以上改善现存SCR系统的监管情况，确保设备保持全时段（包括夜间）正常运行 |
| | 《江苏省煤电节能减排升级与改造行动计划（2014-2020年）》 ⁴ | 发电容量≥100兆瓦的现存机组（氮氧化物第一组别） | ≤50 mg NO _x /m ³ ，NO _x 以NO ₂ 计，基准氧含量为6% |
| | | 发电容量<100兆瓦的现存机组（氮氧化物第二组别） | ≤100 mg NO _x /m ³ ，NO _x 以NO ₂ 计，基准氧含量为6% |
| SO ₂ | 《重点区域大气污染防治“十二五”规划》5.1.1节（2012年12月） | 全部机组 | 按照有关规定的要求去除脱硫设备的烟气旁路；确保总体脱硫水平≥90% |
| | 《江苏省煤电节能减排升级与改造行动计划（2014-2020年）》 | 发电容量≥100兆瓦的现存机组（二氧化硫第一组别） | ≤35 mg SO ₂ /m ³ ，基准氧含量为6% |
| | | 发电容量<100兆瓦的现存机组（二氧化硫第二组别） | ≤50 mg SO ₂ /m ³ ，基准氧含量为6% |
| 颗粒物 | 《江苏省煤电节能减排升级与改造行动计划（2014-2020年）》 | 发电容量≥100兆瓦的现存机组（颗粒物第一组别） | ≤10mg 颗粒物/m ³ ，基准氧含量为6% |
| | | 发电容量<100兆瓦的现存机组（颗粒物第二组别） | ≤20mg 颗粒物/m ³ ，基准氧含量为6% |
| 汞 | GB13223-2011，《中华人民共和国火电厂大气排放标准》，表格1 | 全部机组 | ≤0.03mg 汞/m ³ ，基准氧含量为6% |

9.1.1 燃煤电厂氮氧化物排放控制及污染防治方案

与国务院《重点区域大气污染防治“十二五”规划》及《江苏省煤电节能减排升级与改造行动计划（2014-2020年）》相同，江苏省大气质量管理规划应要求全部新建发电机组以及发电容量 ≥ 100 兆瓦的现存发电机组安装可将燃烧室内氮氧化物的形成降至最低的燃烧技术（例如低氮燃烧器和燃烧空气系统等）。同时，规划还应要求运营商为这些发电机组安装后燃烧排放控制技术，以通过化学方法减少燃烧时形成的氮氧化物。为达到指定的氮氧化物排放限值，江苏省大气质量管理规划应将选择性催化还原（SCR）作为指定的后燃烧排放控制技术。另外，本次报告也认识到发电机组无法一直保持最高发电容量运行。如图表9.1-2所示，当安装选择性催化还原技术的发电机组在夜间以最低容量运行时，烟气的温度会降至有效去除氮氧化物所需的温度范围以下。因此，规划应要求安装选择性催化还原技术的发电机组同时安装将最低容量运行

时的烟气温度保持在 250°C 和 427°C 之间的系统，以持续满足“十二五”规划5.1.2部分提出的要求。同时，规划还应要求电力规划者对发电机组采用特定的设计参数标准，确保其在电力需求较低而必须以最低容量运行、以及省煤器⁵将烟气温度降低至选择性催化还原技术有效工作所需的最低温度以下时，能够实现合理有效的氮氧化物排放控制。

图表 9.1-2 一部安装选择性催化还原技术的发电机组在夜间必须以低容量运行时，其氮氧化物排放速率与电力输出情况的对比⁶



9.1.1(A) 氮氧化物第一组别：发电容量 ≥ 100 兆瓦的发电机组

技术要求

根据目前最严格的氮氧化物排放标准（ $50 \text{ mg NO}_x/\text{m}^3$ ， NO_x 以 NO_2 计，基准氧含量为6%），氮氧化物第一组别的所有发电机组必须安装低氮燃烧器，并在选择性催化还原系统之后安装燃烧空气系统，在发电容量最高时降低95%以上的氮氧化物排放。另外，规划应要求氮氧化物第一组别的发电机组采取必要措施⁷，将发电容量最低时的烟气温度维持在特定的区间，以降低80%以上的氮氧化物排放。通过明确选择性催化还原技术在发电容量最高和最低时的绩效标准，江苏省大气质量管理规划将确保氮氧化物第一组别的发电机组在正常运行情况下的全时段平均排放水平能够达到国家氮氧化物排放标准的要求。⁸

监测要求

氮氧化物第一组别的所有发电机组应安装氮氧化物持续性排放监测系统（CEMS）和数据采集及处理系统（DAHS）。新建发电机组的数据采集及处理系统应在每天午夜（即每个运行日结束时）计算过去720个运行小时内的平均排放浓度，并以此衡量该发电机组的合规执行情况。现存发电机组的平均值计算时段则可以更长，为1440小时。发电机组没有正常运行，或数据采集及处理系统没有记录质量保证数据的时段不参与合规计算。

申报要求

江苏省大气质量管理规划应要求所有氮氧化物第一组别的发电机组运营商必须每月向江苏省环保厅提交一份氮氧化物平均排放浓度的月度报告（根据GB13223-2011国家标准5.2节的要求，基准氧含量为6%）。月度报告应在申报月份结束之后的15天内通过电子方式提交（例如，1月份的月度报告应在2月15日之前提交）。月度报告应包括申报月份内每天午夜计算的过

去720（或1440）个运行小时内的氮氧化物平均排放浓度（应只计算锅炉燃烧燃料进行发电的实际生产小时）。除此之外，月度报告还应包括以下内容：

1. 发电容量最低的时段维持高烟气温度的方法（只适用于SCR设备）
2. 氧化物持续性排放监测系统最近一次相对精度测试审计（RATA）的日期
3. 该月内氮氧化物持续性排放监测系统接受汽缸气审计（CGA）的天数
4. 该月内氮氧化物持续性排放监测系统没有完成汽缸气审计的天数
5. 当氮氧化物持续性排放监测系统没有完成汽缸气审计时采取的修正措施
6. 氮氧化物持续性排放监测系统在通过下一次汽缸气审计之前用于执行修正措施的锅炉运行小时数。此即为持续性排放监测系统数据的“无效小时”
7. 由电厂负责人审核、签字的文件，以证明该月合规情况的计算过程不含任何“无效小时”，以及提交的排放计算数据准确并完整

图表9.1-3总结了为确保氮氧化物第一组别燃煤发电机组连续合规执行提出的相关建议。

图表 9.1-3 为确保氮氧化物第一组别燃煤发电机组连续合规执行提出的相关建议

大气质量管理规划对氮氧化物第一组别发电机组的要求

氮氧化物第一组别包括：

发电容量 \geq 100兆瓦的所有发电机组

氮氧化物第一组别的技术要求：

江苏省大气质量管理规划应要求氮氧化物第一组别的所有发电机组安装低氮燃烧系统和选择性催化还原（SCR）技术，在发电容量最高时降低95%以上的氮氧化物排放，以及在发电容量最低时降低80%以上的氮氧化物排放

氮氧化物第一组别的监测要求：

江苏省大气质量管理规划应要求氮氧化物第一组别的所有发电机组安装持续性排放监测系统（CEMS）和数据采集及处理系统（DAHS），并在每天午夜根据过去一段时间内的平均排放浓度计算其是否符合氮氧化物排放标准的要求：

- 在2014年12月31日之后建设的第一组别发电机组应计算过去720个运行小时内氮氧化物的平均排放浓度（应只计算锅炉燃烧燃料进行发电的实际生产小时）
- 在2014年12月31日之前建设的第一组别发电机组应计算过去1440个运行小时内氮氧化物的平均排放浓度（应只计算锅炉燃烧燃料进行发电的实际生产小时）

氮氧化物第一组别的申报要求：

江苏省大气质量管理规划应要求所有氮氧化物第一组别的发电机组运营商必须每月向江苏省环保厅提交一份氮氧化物平均排放浓度的月度报告（根据GB13223-2011国家标准5.2节的要求，基准氧含量为6%）。月度报告应在申报月份结束之后的15天内通过电子方式提交（例如，1月份的月度报告应在2月15日之前提交）。月度报告应包括申报月份内每天午夜计算的过去720（或1440）个运行小时内的氮氧化物平均排放浓度（应只计算锅炉燃烧燃料进行发电的实际生产小时）。除此之外，月度报告还应包括以下内容：

1. 在发电容量最低的时段维持高烟气温度的方法（只适用于SCR设备）
2. 氮氧化物持续性排放监测系统最近一次相对精度测试审计（RATA）的日期
3. 在该月内氮氧化物持续性排放监测系统接受汽缸气审计（CGA）的天数
4. 在该月内氮氧化物持续性排放监测系统没有完成汽缸气审计的天数
5. 当氮氧化物持续性排放监测系统没有完成汽缸气审计时采取的修正措施
6. 氮氧化物持续性排放监测系统在通过下一次汽缸气审计之前用于执行修正措施的锅炉运行小时数。此即为持续性排放监测系统数据的“无效小时”
7. 由电厂负责人审核、签字的文件，以证明该月合规情况的计算过程不含任何“无效小时”，以及提交的排放计算数据准确并完整

9.1.1(B) 氮氧化物第二组别：发电容量 < 100兆瓦的发电机组

技术要求

江苏省大气质量管理规划应要求发电容量 < 100兆瓦的氮氧化物第二组别的所有发电机组安装燃烧控制技术（例如低氮燃烧器和燃烧空气系统等），将燃烧室内氮氧化物的形成降至最低水平。氮氧化物第二组别的发电机组还应安装后燃烧排放控制技术，通过化学方法减少燃烧时形成的氮氧化物。根据有关排放标准的要求（100 mg NO_x/m³，NO_x以NO₂计，基准氧含量为6%），氮氧化物第二组别的发电机组应安装选择性催化还原（SCR）系统，其设计参数如表格9.1-2所示：

如表格9.1-2所示，规划应要求电力规划者对氮氧化物第二组别发电机组的选择性催化还原技术采用特定的设计参数标准，确保其在电力需求较低而必须以最低容量运行、以及省煤器⁵将烟气温度降低至选择性催化还原技术有效工作所需的最低温度以下时，实现合理有效的氮氧化物排放控制。规划还应要求氮氧化物第二组别的发电机组采取必要措施⁷，在发电容量最低时将烟气温度维持在特定的区间，并使锅炉产生的60%以上的氮氧化物能够被还原为氮气和水。通过明确选择性催化还原技术在各种发电容量时段的性能标准，江苏省大气质量管理规划将确保氮氧化物第二组别的发电机组在正常运行情况下的全时段平均排放水平能够达到国家氮氧化物排放标准的要求。

表格 9.1-2 氮氧化物第二组别的后燃烧排放控制技术要求

| 氮氧化物第二组别后燃烧情况的分类 ⁹ | 要求采用的后燃烧氮氧化物减排技术 | 发电容量最高时的设计参数要求 | 发电容量最低时的设计参数要求 | 机组类型 |
|-------------------------------|------------------|----------------|----------------|-------------------------|
| ≥ 400ppm氮氧化物，基准氧含量为6% | 应采用选择性催化还原技术 | 氮氧化物减排95%以上 | 氮氧化物减排60%以上 | W形火焰炉膛 |
| < 400ppm氮氧化物，基准氧含量为6% | 应采用选择性催化还原技术 | 氮氧化物减排90%以上 | 氮氧化物减排60%以上 | 循环流化床燃煤机组、四角切圆燃煤机组、墙烧机组 |

监测要求

氮氧化物第二组别的所有发电机组应安装氮氧化物持续性排放监测系统（CEMS）和数据采集及处理系统（DAHS）。新建发电机组的数据采集及处理系统应在每天午夜（即每个运行日结束时）计算过去720个运行小时内的平均排放浓度，并以此衡量该发电机组的合规执行情况。现存发电机组的平均值计算时段则可以

更长，为1440小时。发电机组没有正常运行或数据采集及处理系统没有记录质量保证数据的时段不参与合规计算。

申报要求

所有氮氧化物第二组别的发电机组运营商应每月向江苏省环保厅提交一份氮氧化物平均排放浓度的月度报告。详情请参见图表9.1-4。

图表 9.1-4 为确保氮氧化物第二组别燃煤发电机组连续合规执行提出的相关建议

大气质量管理规划对氮氧化物第二组别发电机组的要求

氮氧化物第二组别包括：

发电容量 < 100兆瓦的所有发电机组

氮氧化物第二组别的技术要求：

江苏省大气质量管理规划应要求氮氧化物第二组别的所有发电机组安装低氮燃烧系统，以及符合以下参数要求的选择性催化还原（SCR）技术：

- 对于氮氧化物排放量 ≥ 400 ppm的燃烧系统：应当在发电容量最高时降低95%以上的氮氧化物排放，以及在发电容量最低时降低60%以上的氮氧化物排放。
- 对于氮氧化物排放量 < 400 ppm的燃烧系统：应当在发电容量最高时降低90%以上的氮氧化物排放，以及在发电容量最低时降低60%以上的氮氧化物排放。

氮氧化物第二组别的监测要求：

江苏省大气质量管理规划应要求氮氧化物第二组别的所有发电机组安装持续性排放监测系统（CEMS）和数据采集及处理系统（DAHS），并在每天午夜根据过去一段时间内的平均排放浓度计算其是否符合氮氧化物排放标准的要求：

- 在2014年12月31日之后建设的第二组别发电机组应计算过去720个运行小时内氮氧化物的平均排放浓度（应只计算锅炉燃烧燃料进行发电的实际生产小时）
- 在2014年12月31日之前建设的第二组别发电机组应计算过去1440个运行小时内氮氧化物的平均排放浓度（应只计算锅炉燃烧燃料进行发电的实际生产小时）

氮氧化物第二组别的申报要求：

江苏省大气质量管理规划应要求所有氮氧化物第二组别的发电机组运行商必须每月向江苏省环保厅提交一份氮氧化物平均排放浓度的月度报告（根据GB13223-2011国家标准5.2节的要求，基准氧含量为6%）。月度报告应在申报月份结束之后的15天内通过电子方式提交（例如，1月份的月度报告应在2月15日之前提交）。月度报告应包括申报月份内每天午夜计算的过去720（或1440）个运行小时内的氮氧化物平均排放浓度（应只计算锅炉燃烧燃料进行发电的实际生产小时）。除此之外，月度报告还应包括以下内容：

1. 在发电容量最低的时段维持高烟气温度的方法（只适用于SCR设备）
2. 氮氧化物持续性排放监测系统最近一次相对精度测试审计（RATA）的日期
3. 在该月内氮氧化物持续性排放监测系统接受汽缸气审计（CGA）的天数
4. 在该月内氮氧化物持续性排放监测系统没有完成汽缸气审计的天数
5. 当氮氧化物持续性排放监测系统没有完成汽缸气审计时采取的修正措施
6. 氮氧化物持续性排放监测系统在通过下一次汽缸气审计之前用于执行修正措施的锅炉运行小时数。此即为持续性排放监测系统数据的“无效小时”
7. 由电厂负责人审核、签字的文件，以证明该月合规情况的计算过程不含任何“无效小时”，以及提交的排放计算数据准确并完整

9.1.2 燃煤电厂二氧化硫排放控制及污染防治方案

本次报告为燃煤电厂制定的二氧化硫防治方案以中国之前为实现国务院“十一五”计划的大气质量目标而制定的政策为依据。有关政策规定，如果燃煤电厂运营商在发电过程中持续有效地利用洗涤器对二氧化硫排放进行控制，便可向消费者收取每兆瓦时约2美元的附加费用。如果燃煤电厂的洗涤器利用率没有达到发电过程的80%以上，则将会受到处罚。洗涤器的利用率越低，处罚金额越大。¹⁰

另外，为落实国务院《重点区域大气污染防治“十二五”规划》中取消发电机组烟气旁路的要求¹¹，江苏省将实施一项强制性注册项目，要求现存燃煤电厂的负责人核实并确认该电厂发电机组的烟气旁路已经拆除。这种烟气旁路可以使锅炉产生的烟气绕过脱硫系统，并在未经处理的情况下产生排放。

未来在配备湿法烟气脱硫技术的现存发电机组周边建设新的发电机组时，江苏省环保厅应要求项目规划者

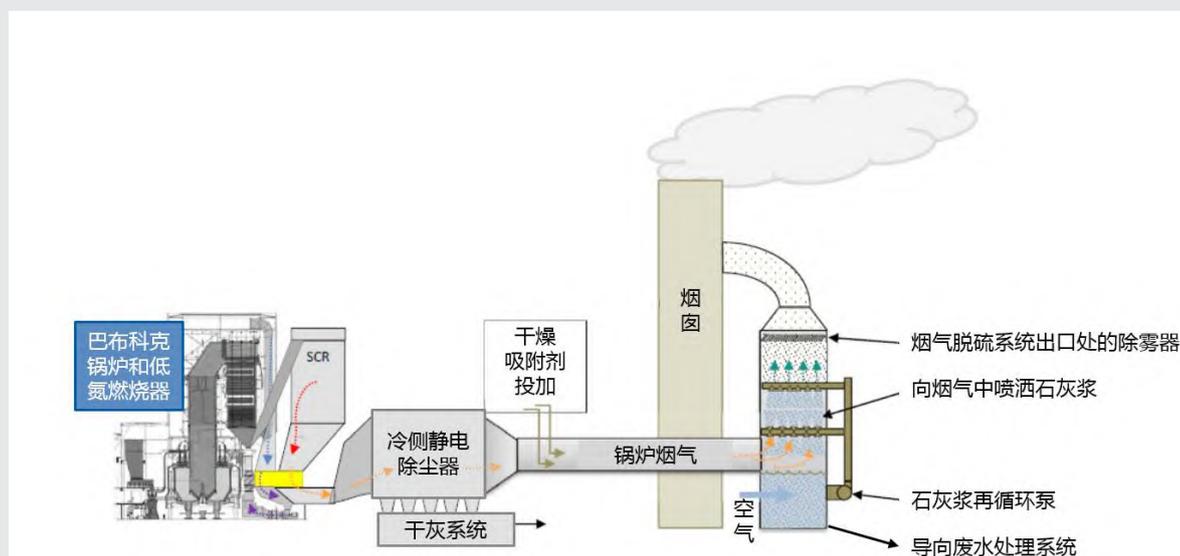
对安装干法烟气脱硫技术的环境效益进行评估，并作为新项目环境影响评估报告¹²的一部分。从美国近期新建的一些燃煤电厂项目中，我们发现为燃煤电厂同时安装湿法烟气脱硫和干法烟气脱硫技术可以取得非常显著的效益¹³。图表9.1-5展示了一项能够去除烟气中99%以上二氧化硫的湿法烟气脱硫技术。

9.1.2(A) 二氧化硫第一组别：发电容量 ≥ 100兆瓦的发电机组

技术要求

国务院“十一五”计划与《江苏省煤电节能减排升级与改造行动计划（2014-2020年）》要求新建发电机组安装烟气脱硫（FGD）技术。对发电容量 ≥ 100兆瓦的机组来说，干法烟气脱硫或湿法烟气脱硫均可满足有关排放标准的要求。¹⁴表格9.1-3总结了江苏省对新建发电项目的环境影响进行评估时，在二氧化硫排放控制方面需要考虑的事项。

图表 9.1-5 常见的发电机组大气污染防治系统的简化示意图



表格 9.1-3 江苏省需要对新建发电机组进行考虑的因素

| 环境及发展因素 | 湿式洗涤器考虑事项 | 干式洗涤器考虑事项 |
|---|--|--------------------------------------|
| 对使用含硫量<1.0%的煤炭且不含脱硫系统烟气旁路的发电机组，二氧化硫去除效率>98% | 当使用含硫量<2.0%的煤炭时，二氧化硫去除效率可达到99%以上 | 循环干式洗涤器（CDS）的二氧化硫去除效率可达到98%以上 |
| 硫酸（PM _{2.5} 气溶胶形态）的去除 | 去除效率约为30-40% | 去除效率>95% |
| 汞去除效率 | 与选择性催化还原和冷侧静电除尘器 ¹⁵ 搭配：去除效率>95% | 与织物过滤器搭配：去除效率>97% |
| | 与热侧静电除尘器 ¹⁶ 和选择性催化还原搭配：去除效率>90% | 与冷侧静电除尘器搭配：去除效率>95% |
| PM _{2.5} 排放浓度 | 与冷侧静电除尘器搭配：排放浓度<10 mg/m ³ | 与织物过滤器搭配：排放浓度<10 mg/m ³ |
| | 与热侧静电除尘器搭配：排放浓度<15 mg/m ³ | 与冷侧静电除尘器搭配：排放浓度<10 mg/m ³ |
| 烟气脱硫系统消耗的辅助电力 | <发电输出的2% | <发电输出的1% |
| 废水处理及排放影响 | 对水质产生影响的风险更高。废水处理系统建设成本约为10000-20000美元/兆瓦 | 不产生废水。 ¹⁷ 无废水处理系统建设成本 |
| 除雾器的运行设计 | 定期进行颗粒物排放测试或安装持续性颗粒物排放监测系统 ¹⁸ | 不适用 |
| 织物过滤器泄漏探测 | 不适用 | 安装袋式泄漏探测仪 |
| 水的消耗量 ¹⁹ | 约为0.2 m ³ /MWh | 约为0.1 m ³ /MWh |
| 总成本 | 26-30万美元/兆瓦 | 32-36万美元/兆瓦 |

监测要求

二氧化硫第一组别的所有燃煤发电机组应安装二氧化硫持续性排放监测系统（CEMS）和数据采集及处理系统（DAHS）。数据采集及处理系统应在每天午夜（即每个运行日结束时）计算过去720个运行小时内的二氧化硫平均排放浓度，并以此衡量该发电机组的合规执行情况。发电机组没有正常运行或数据采集及处理系统没有记录质量保证数据的时段将不参与合规计算。

申报要求

江苏省大气质量管理规划应要求所有二氧化硫第一组别的发电机组运营商必须每月向江苏省环保厅提交一份二氧化硫平均排放浓度的月度报告（根据GB13223-2011国家标准5.2节的要求，基准氧含量为6%）。月度报告应在申报月份结束之后的15天内通过电子方式提交（例如，1月份的月度报告应在2月15日之前提交）。月度报告应包括申报月份内每天午夜计算的过去720个运行小时内的氮氧化物平均排放浓度（应只计算锅炉燃烧燃料进行发电的实际生产小时）。除此之外，月度报告还应包括以下内容：

1. 在该申报月份内燃烧的任何燃料中的硫含量最高值
2. 二氧化硫持续性排放监测系统最近一次相对精度测试审计（RATA）的日期

3. 在该月内二氧化硫持续性排放监测系统接受汽缸气审计（CGA）的天数
4. 在该月内二氧化硫持续性排放监测系统没有完成汽缸气审计的天数
5. 当二氧化硫持续性排放监测系统没有完成汽缸气审计时采取的修正措施
6. 二氧化硫持续性排放监测系统在通过下一次汽缸气审计之前用于执行修正措施的锅炉运行小时数。此即为持续性排放监测系统数据的“无效小时”
7. 由电厂负责人审核、签字的文件，以证明该月合规情况的计算过程不含任何“无效小时”，以及提交的排放计算数据准确并完整

图表9.1-6总结了为确保二氧化硫第一组别燃煤发电机组连续合规执行提出的相关建议。

图表 9.1-6 为确保二氧化硫第一组别燃煤发电机组连续合规执行提出的相关建议

大气质量管理规划对二氧化硫第一组别发电机组的要求

二氧化硫第一组别包括：

发电容量 ≥ 100兆瓦的所有发电机组

二氧化硫第一组别的技术要求：

江苏省大气质量管理规划应要求二氧化硫第一组别的所有发电机组使用硫含量 ≤ 1.0%的煤炭，并安装能够去除烟气中98%以上二氧化硫的烟气脱硫（FGD）技术

二氧化硫第一组别的监测要求：

江苏省大气质量管理规划应要求二氧化硫第一组别的所有发电机组安装持续性排放监测系统（CEMS）和数据采集及处理系统（DAHS），并在每天午夜根据过去720个运行小时内的平均排放浓度计算其是否符合二氧化硫排放标准的要求（应只计算锅炉燃烧燃料进行发电的实际生产小时）

二氧化硫第一组别的申报要求：

江苏省大气质量管理规划应要求所有二氧化硫第一组别的发电机组运行商必须每月向江苏省环保厅提交一份二氧化硫平均排放浓度的月度报告（根据GB13223-2011国家标准5.2节的要求，基准氧含量为6%）。月度报告应在申报月份结束之后的15天内通过电子方式提交（例如，1月份的月度报告应在2月15日之前提交）。月度报告应包括申报月份内每天午夜计算的过去720个运行小时内的氮氧化物平均排放浓度（应只计算锅炉燃烧燃料进行发电的实际生产小时）。除此之外，月度报告还应包括以下内容：

1. 在该申报月份内燃烧的任何燃料中的硫含量最高值
2. 二氧化硫持续性排放监测系统最近一次相对精度测试审计（RATA）的日期
3. 在该月内二氧化硫持续性排放监测系统接受汽缸气审计（CGA）的天数
4. 在该月内二氧化硫持续性排放监测系统没有完成汽缸气审计的天数
5. 当二氧化硫持续性排放监测系统没有完成汽缸气审计时采取的修正措施
6. 二氧化硫持续性排放监测系统在通过下一次汽缸气审计之前用于执行修正措施的锅炉运行小时数。此即为持续性排放监测系统数据的“无效小时”
7. 由电厂负责人审核、签字的文件，以证明该月合规情况的计算过程不含任何“无效小时”，以及提交的排放计算数据准确并完整

9.1.2(B) 二氧化硫第二组别：发电容量 < 100兆瓦的发电机组

技术要求

国家有关标准要求二氧化硫第二组别的发电机组安装烟气脱硫（FGD）技术，在煤炭的硫含量 $\leq 1.4\%$ 的情况下去除烟气中98%以上的二氧化硫；或者在脱硫效率较低时采用硫含量更低的煤炭。对现存发电机组来说，干法烟气脱硫或湿法烟气脱硫均可满足有关排放标准²⁰的要求。

监测要求

二氧化硫第二组别的所有发电机组应安装二氧化硫持

续性排放监测系统（CEMS）和数据采集及处理系统（DAHS）。数据采集及处理系统应在每天午夜（即每个运行日结束时）计算过去720个运行小时内的二氧化硫平均排放浓度，并以此衡量该发电机组的合规执行情况。发电机组没有正常运行或数据采集及处理系统没有记录质量保证数据的时段不参与合规计算。

江苏省已经建立了行之有效的项目，对二氧化硫第二组别发电机组的二氧化硫排放速率进行监测。该组别的所有发电机组都安装了二氧化硫持续性排放监测系统，并与江苏省中心监测站的系统进行联网。表格9.1-4对江苏省在监测和维护发电机组环境绩效方面可以采取的措施进行了总结。

表格 9.1-4 江苏省在监测和维护发电机组烟气脱硫系统绩效方面可以采取的措施

| 措施 | 效益 |
|--|--|
| 尝试在配备湿式洗涤器的现存燃煤电厂内新建配备干式洗涤器的发电机组，以降低对周边水质的影响 | 可以更好地处理现存湿式洗涤器产生的废水，降低溶解性固体在洗涤器溶液中的积累，减少溶液对洗涤器喷嘴和内部其它部件的腐蚀，同时也可减少水的消耗 |
| 降低配备湿式洗涤器的现存发电机组的硫酸排放（PM _{2.5} 气溶胶形态） | 特别向配备选择性催化还原技术的发电机组进行干燥吸附剂投加，并在湿式洗涤器上风方向的烟道中注入石灰浆，可降低以PM _{2.5} 气溶胶形态排放的硫酸 |
| 监测洗涤器溶液中的氯含量，防止已收集到的汞产生二次排放 | 如果烟气脱硫溶液中的氯含量超过一定的门槛值，溶解在洗涤器溶液中的氧化形态的汞便可能会转化为不可溶形态，从而重新排放至烟气中 |
| 评估废水处理及排放影响 | 监测通过各种方式向地表水体（河流、湖泊等）排放的废水，确保洗涤器废水中的高浓度有害元素（硒、砷、汞等）不会发生泄漏 |
| 改进除雾器的设计参数 | 要求定期进行颗粒物排放测试或安装持续性颗粒物排放监测系统，为湿法烟气脱硫系统安装合适的除雾器 ¹⁸ |
| 进行织物过滤器泄漏探测 | 要求在通过织物过滤器进行排放控制的机组上安装袋式泄漏探测仪或持续性颗粒物监测系统，确保颗粒物控制设备的良好维护 |

申报要求

所有二氧化硫第二组别的发电机组运营商应每月向江苏省环保厅提交一份二氧化硫平均排放浓度的月度报告。详情请参见图表9.1-7。

图表 9.1-7 为确保二氧化硫第二组别燃煤发电机组连续合规执行提出的相关建议

大气质量管理规划对二氧化硫第二组别发电机组的要求

二氧化硫第二组别包括：

发电容量 < 100兆瓦的所有发电机组

二氧化硫第二组别的技术要求：

江苏省大气质量管理规划应要求二氧化硫第二组别的所有发电机组使用硫含量 $\leq 1.4\%$ 的煤炭，并安装能够去除烟气中98%以上二氧化硫的烟气脱硫（FGD）技术

二氧化硫第二组别的监测要求：

江苏省大气质量管理规划应要求二氧化硫第二组别的所有发电机组安装持续性排放监测系统（CEMS）和数据采集及处理系统（DAHS），并在每天午夜根据过去720个运行小时内的平均排放浓度计算其是否符合二氧化硫排放标准的要求（应只计算锅炉燃烧燃料进行发电的实际生产小时）

二氧化硫第二组别的申报要求：

江苏省大气质量管理规划应要求所有二氧化硫第二组别的发电机组运行商必须每月向江苏省环保厅提交一份二氧化硫平均排放浓度的月度报告（根据GB13223-2011国家标准5.2节的要求，基准氧含量为6%）。月度报告应在申报月份结束之后的15天内通过电子方式提交（例如，1月份的月度报告应在2月15日之前提交）。月度报告应包括申报月份内每天午夜计算的过去720个运行小时内的氮氧化物平均排放浓度（应只计算锅炉燃烧燃料进行发电的实际生产小时）。除此之外，月度报告还应包括以下内容：

1. 在该申报月份内燃烧的任何燃料中的硫含量最高值
2. 二氧化硫持续性排放监测系统最近一次相对精度测试审计（RATA）的日期
3. 在该月内二氧化硫持续性排放监测系统接受汽缸气审计（CGA）的天数
4. 在该月内二氧化硫持续性排放监测系统没有完成汽缸气审计的天数
5. 当二氧化硫持续性排放监测系统没有完成汽缸气审计时采取的修正措施
6. 二氧化硫持续性排放监测系统在通过下一次汽缸气审计之前用于执行修正措施的锅炉运行小时数。此即为持续性排放监测系统数据的“无效小时”
7. 由电厂负责人审核、签字的文件，以证明该月合规情况的计算过程不含任何“无效小时”，以及提交的排放计算数据准确并完整

9.1.3 燃煤电厂颗粒物与硫酸排放控制及污染防治方案

国家颗粒物排放标准要求发电容量 ≥ 100 兆瓦的发电机组的颗粒物排放速率不得超过 10 mg/m^3 （基准氧含量为6%）；而发电容量 < 100 兆瓦的发电机组的颗粒物排放速率则不得超过 20 mg/m^3 。江苏省的颗粒物污染防治方案与之前介绍的二氧化硫减排策略紧密相关。根据美国在该领域的经验，国家颗粒物排放标准的要求可以通过在发电机组上安装以下排放控制技术加以实现：

- 静电除尘器（安装在燃烧空气预热器之后）；
- 湿法烟气脱硫系统；以及
- 颗粒物持续性排放监测系统

采用这些技术的发电机组可以将颗粒物排放速率稳定保持在 10 mg/m^3 以下。安装在干式洗涤器之后的织物过滤器和静电除尘器也具备国家颗粒物排放标准的



图表 9.1-8 中国的现代化燃煤电厂²¹

合规执行能力。采取表格9.1-5中列举的措施可以确保发电机组的颗粒物排放满足国家颗粒物排放标准的要求。

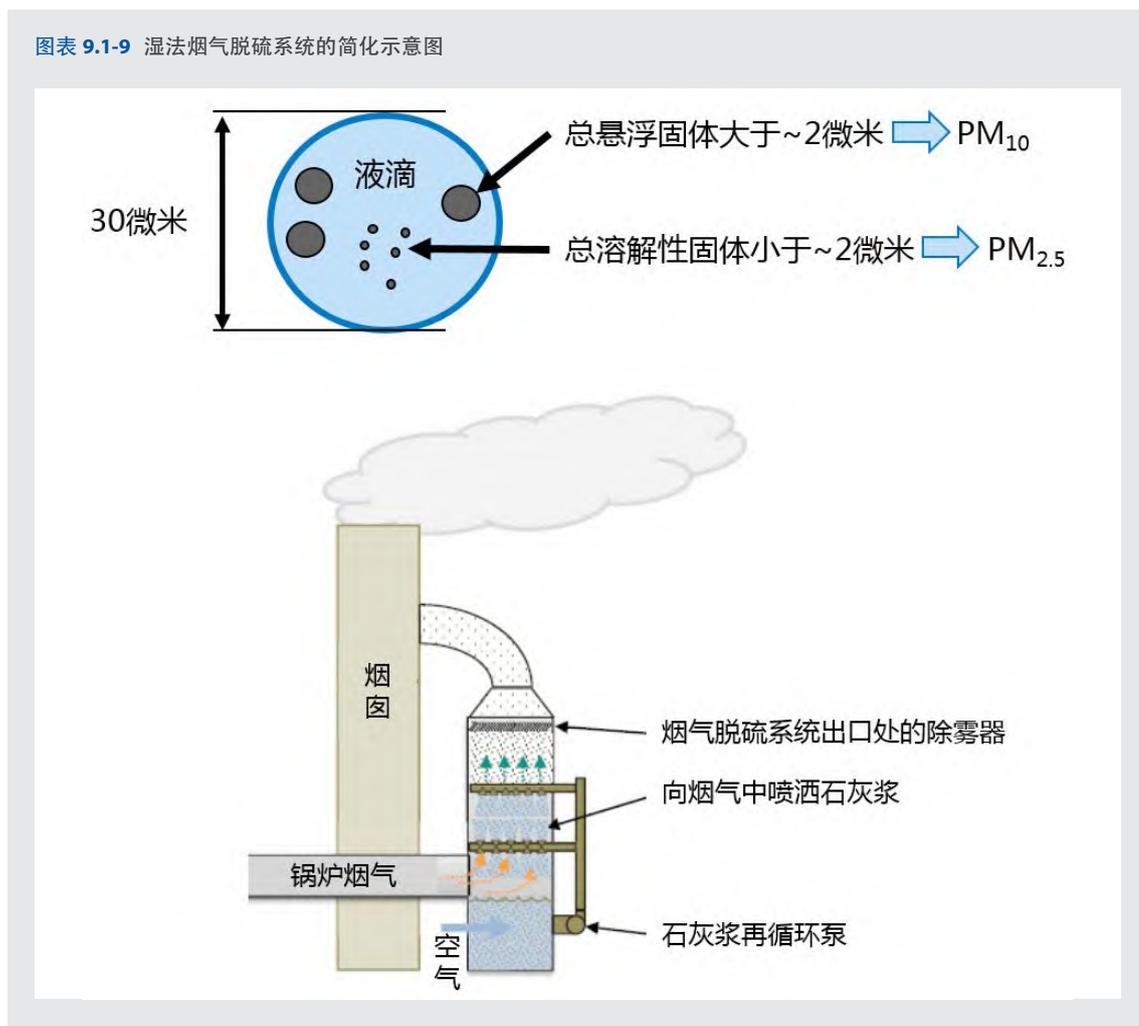
表格 9.1-5 江苏省在燃煤电厂国家颗粒物排放标准的合规执行方面可以采取的措施

| 受影响的排放源 | 措施 | 大气质量效益 |
|-----------------------|--|---|
| 通过湿法烟气脱硫系统进行排放控制的发电机组 | 要求定期进行颗粒物排放烟道测试或安装颗粒物持续性排放监测系统（并通过年度烟道测试进行颗粒物CEMS有效认证），以确保除雾器的正常运行 ¹⁸ | 除雾器的正常运行对防止 $\text{PM}_{2.5}$ 以洗涤器溶液液滴中溶解固体的形式产生排放是非常必要的。更多内容请参阅图表9.1-9 |
| | 在定期进行颗粒物排放烟道测试的时候，也同时要求对溶解性总固体及湿式洗涤器溶液的氯含量进行监测和申报，以确保溶解性总固体的值保持在烟道测试结果的区间内。不对安装颗粒物持续性排放监测系统的烟道进行强制要求 | 较低的浓度可减少除雾器表面残留物质的积累。如果残留物质在除雾器表面积累过多，将可使含有 $\text{PM}_{2.5}$ 溶解固体的液滴穿过除雾器并释放到大气中 |
| | <ul style="list-style-type: none"> • 确定通过选择性催化还原进行排放控制的现存机组 • 要求进行烟道测试：总颗粒物（tPM）= 可过滤颗粒物（fPM）+ 可凝结颗粒物（cPM）²² • 当机组的可凝结颗粒物排放导致总颗粒物排放超出国家标准的要求时，应要求在湿式洗涤器上风方向安装干燥吸附剂投加和石灰浆加注系统，以降低以硫酸形式排放的可凝结颗粒物 | 降低配备湿式洗涤器的现存机组的硫酸排放（ $\text{PM}_{2.5}$ 气溶胶形态） |
| 通过干法烟气脱硫系统进行排放控制的发电机组 | 对于通过织物过滤器进行排放控制的机组，要求安装袋式泄漏探测仪；对于通过静电除尘器进行排放控制的机组，要求安装颗粒物持续性排放监测系统，以保证颗粒物控制设备的良好维护 | 可迅速发现颗粒物控制设备的非正常运行情况，以最大程度降低由此引发的颗粒物过量排放 |

江苏省已经投入使用的湿法烟气脱硫系统在有效运行时可以将颗粒物排放速率稳定保持在 10 mg/m^3 以下。然而，工作人员应密切监测溶解在洗涤器溶液中的固体，并妥善设计和运行除雾器系统，以确保由湿式

洗涤器捕获的颗粒物不会以溶解性固体的形式二次排放。另外，用于清洗除雾器的水中也不应含有任何溶解性固体。图表9.1-9展示的是一部常见的湿法烟气脱硫系统的简化示意图。

图表 9.1-9 湿法烟气脱硫系统的简化示意图



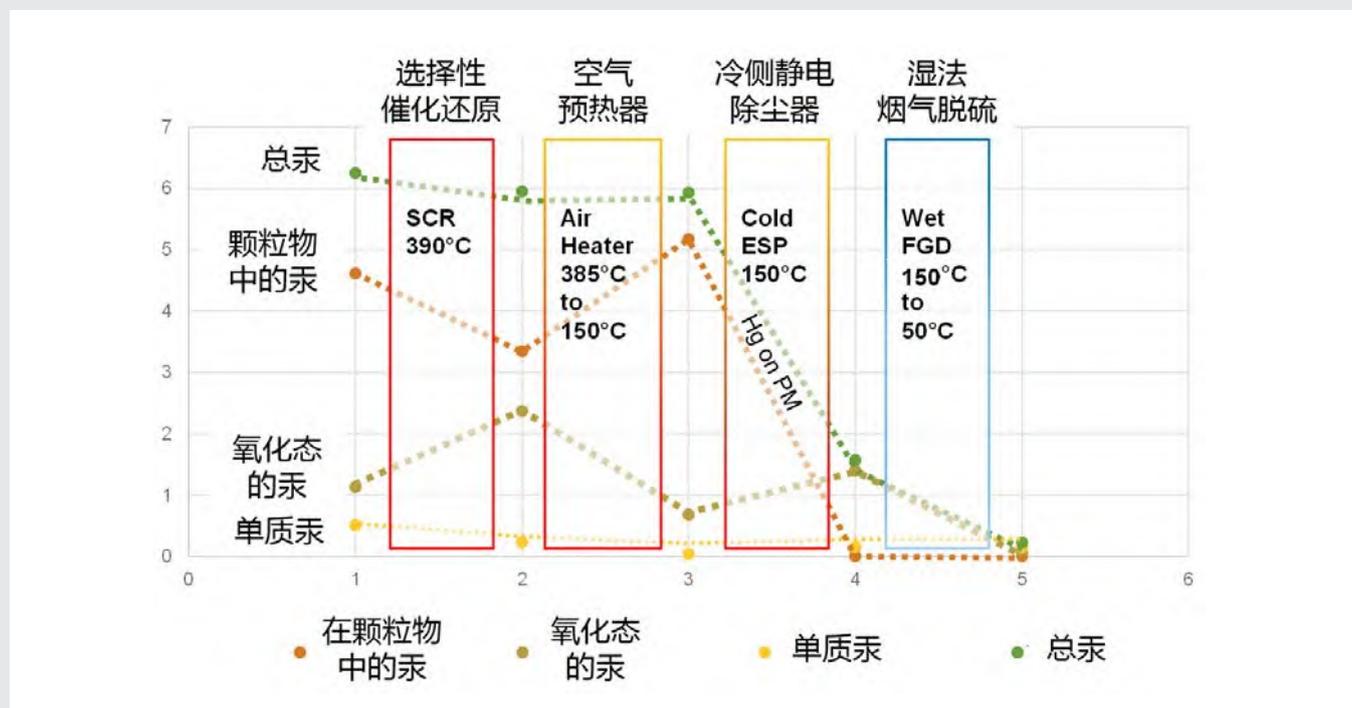
9.1.4 燃煤电厂汞排放控制及污染防治方案

GB13223-2011《中华人民共和国火电厂大气污染排放标准》中规定所有发电机组的汞排放速率 $\leq 0.03 \text{ mg/m}^3$ （基准氧含量为6%）。江苏省的汞污染防治方案与之前介绍的二氧化硫减排策略紧密相关。美国在该领域的经验证明，配备湿法烟气脱硫系统和汞持续性排放监测系统的发电机组可将汞排放速率稳定保持

在 0.03 mg/m^3 以下。安装在干式洗涤器之后的织物过滤器和静电除尘器也具备国家汞排放标准的合规执行能力。表格9.1-6列举的措施可以确保发电机组的汞排放符合国家汞排放标准的要求。

表格 9.1-6 江苏省在燃煤电厂国家汞排放标准的合规执行方面可以采取的措施

| 受影响的排放源 | 措施 | 效益 |
|-----------------------|--|---|
| 通过湿法烟气脱硫系统进行排放控制的发电机组 | 要求定期进行汞排放烟道测试或安装持续性汞排放监测系统（并通过年度烟道测试进行汞CEMS有效认证），以确保洗涤器中的化学环境适合对汞进行去除 ²³ | 将汞保持在氧化状态可以确保其不会释放到大气中。图表9.1-8中列举了适用于美国东部烟煤的常见汞去除方法 |
| | 在定期进行汞排放烟道测试的时候，也应同时要求对氯含量及湿式洗涤器溶液的氧化还原潜力（ORP）进行监测和申报，以确保ORP和氯含量保持在烟道测试期间观察到的范围内。不对使用汞持续性排放监测系统监测的烟道进行强制要求 | 如果通过监测发现任何的汞二次排放，则可向洗涤器溶液中投入添加剂进行修正 |
| 通过干法烟气脱硫系统进行排放控制的发电机组 | 在通过织物过滤器或静电除尘器进行控制的机组上，要求安装汞持续性排放监测系统。如果排放超出相关标准，则要求安装活性炭加注系统 | 汞CEMS与活性炭加注系统搭配使用，可允许燃煤电厂工作人员根据煤炭中的汞含量按照实际需要加注活性炭 |

图表 9.1-10 配备选择性催化还原、冷侧静电除尘器和湿法烟气脱硫系统的发电机组的汞去除情况图解²⁴

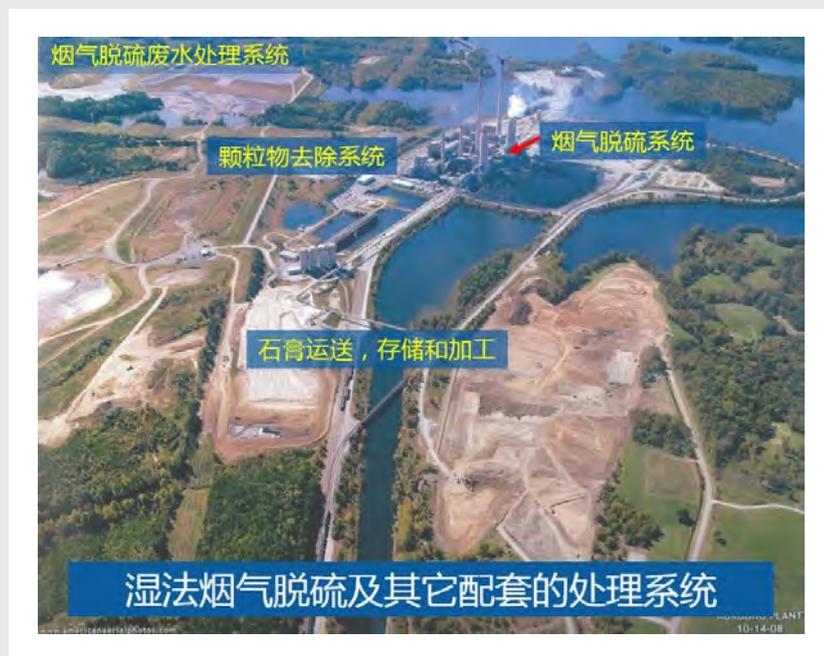
表格 9.1-7 燃煤电厂大气污染防治技术的总结

| 目标污染物 | 最佳控制技术 |
|---------------------------------------|---|
| 氮氧化物 (NO _x) | 低氮燃烧器 (LNB) , 以及 |
| | 选择性催化还原 (SCR) , 以及 |
| | 绕路节约装置 (或可以在低负载情况下保持高烟气温度的等效装置) |
| 颗粒物 (PM) | 织物过滤器, 或者 |
| | 静电除尘器 (ESP) |
| 二氧化硫 (SO ₂) | 湿法烟气脱硫搭配湿式喷雾塔吸附器、高效除雾器及废水处理系统, 或者 |
| | 干法烟气脱硫搭配循环干式洗涤器 (不需要废水处理系统) |
| 硫酸雾 (H ₂ SO ₄) | 搭配湿法烟气脱硫系统使用的干燥吸附剂投加系统 (不对干法烟气脱硫系统强制要求) |
| 汞 (Hg) | 在颗粒物控制设备的上风方向安装活性炭加注系统 (ACI) |

表格 9.1-8 现代化燃煤发电机组大气运营许可证的常规排放限值及监测技术

| 目标污染物 | 排放限值 ²⁵ | 平均值计算时段 | 持续性排放监测技术 |
|---------------------------------------|---------------------------------------|----------|---|
| 氮氧化物 (NO _x) | 50 mg/m ³ , 基准氧含量为6% | 30天滚动平均值 | 氮氧化物CEMS – 稀释抽取、化学发光 |
| 颗粒物 (PM) | 10 mg/m ³ , 基准氧含量为6% | 24小时平均值 | 颗粒物CEMS – 前散射, 仪器必须满足美国联邦环保署PS-11标准及美国联邦法案40 CFR Part 60 附录F操作方法2或相似的质量保证要求 |
| 二氧化硫 (SO ₂) | 35 mg/m ³ , 基准氧含量为6% | 30天滚动平均值 | 二氧化硫CEMS – 稀释抽取、紫外荧光 |
| 硫酸雾 (H ₂ SO ₄) | 5 mg/m ³ , 基准氧含量为6% | 6小时平均值 | 每半年采用烟道测试方法CTM-013A或相似的测试方法进行烟道测试。http://www3.epa.gov/ttnemc01/ctm/ctm-013A.pdf |
| 汞 (Hg) | 0.002 mg/m ³ , 基准氧含量为6% | 12月滚动平均值 | 汞CEMS – 冷蒸气原子荧光或吸附剂捕获监测系统 |

图表 9.1-11 具备生产高质量石膏能力的发电厂区的湿法烟气脱硫及其它配套处理系统的布局



图表 9.1-12 常见的烟气脱硫废水分析²⁶

Table 1. FGD Wastewater Characteristics

| Parameter | Unit | Typical Influent Range | Parameter | Unit | Typical Influent Range |
|------------------------------|------|------------------------|------------------|------|------------------------|
| Suspended Solids (TSS) | mg/L | 250 - 20,000 | Chromium (Cr) | mg/L | 0.3 - 1 |
| Total Dissolved Solids (TDS) | mg/L | 15,000 - 35,000 | Cobalt (Co) | mg/L | 0.1 - 0.8 |
| pH | | 4 - 6 | Copper (Cu) | mg/L | 0.2 - 0.8 |
| Chloride (Cl) | mg/L | 10,000 - 25,000 | Iron (Fe) | mg/L | 80 - 400 |
| COD | mg/L | 200 - 500 | Mercury (Hg) | mg/L | 0.01 - 0.8 |
| Ammonia (NH ₄) | mg/L | 20 - 60 | Nickel (Ni) | mg/L | 2 - 7 |
| Nitrate (NO ₃) | mg/L | 30 - 120 | Lead (Pb) | mg/L | 0.5 - 1.5 |
| Calcium (Ca) | mg/L | 300 - 5,000 | Zinc (Zn) | mg/L | 0.5 - 1.0 |
| Magnesium (Mg) | mg/L | 50 - 4,000 | Manganese (Mn) | mg/L | 3-20 |
| Sulfate (SO ₄) | mg/L | 3,000 - 5,000 | Selenium (Se) | mg/L | 1-4 |
| Fluoride (F) | mg/L | 40 - 100 | Vanadium (V) | mg/L | 2-15 |
| Aluminum (Al) | mg/L | 20 - 200 | SiO ₂ | mg/L | 50-300 |
| Arsenic (As) | mg/L | 0.5 - 0.8 | | | |
| Boron (B) | mg/L | 1-10 | | | |
| Cadmium (Cd) | mg/L | 0.05 - 0.1 | | | |

Michael L. Pudvay
Infilco Degremont, Richmond, VA

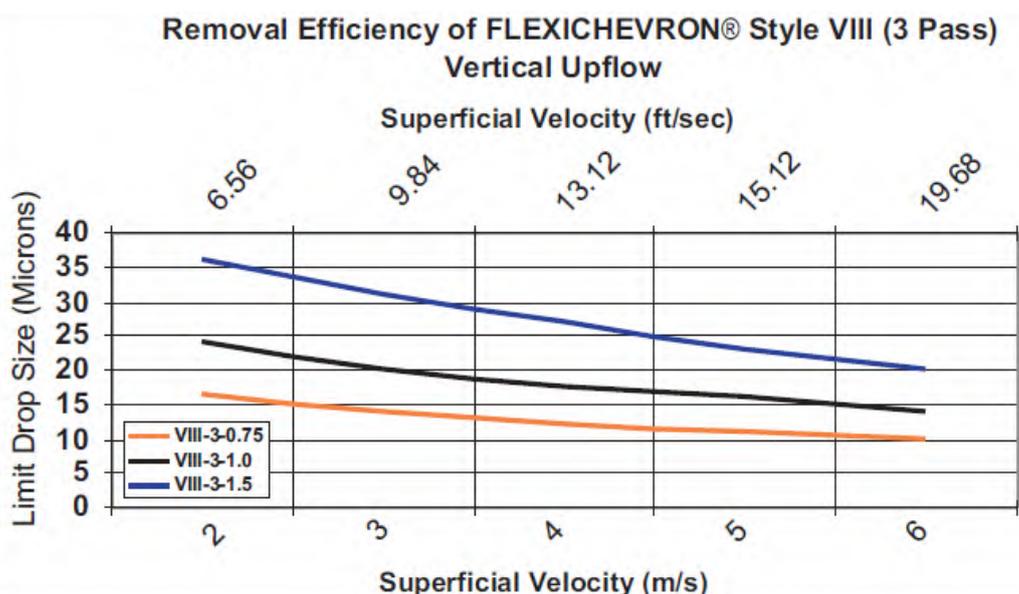
发电机组的烟气必须高速通过除雾器以去除其中的微米级液滴。除雾器必须具备妥善的设计，防止已去除的液滴二次释放到烟气中。如果在湿法烟气脱硫系统的烟气出口处没有安装设计合理的除雾器，含有大量溶解性细颗粒物的液滴便会随烟气一起排放至大气中，进而在水分蒸发后形成大量的颗粒物排放。图表 9.1-13 展示了一套常见的除雾器系统。

除雾器的去除效率是空塔速度的函数。设计合理的除雾器可以去除99%以上的直径大于10微米的液滴。在设计除雾器系统时，应当对发电机组各种容量的运行情况（以及与此有关的烟气速度变化）进行充分考虑，以确保除雾器能够在不同的运行情况下有效去除烟气中的液滴。图表9.1-14展示的是某除雾器设计方案的去掉效率分析数据。

图表 9.1-13 常见的除雾器系统²⁷



图表 9.1-14 FLEXICHEVRON Style VIII (3 Pass)除雾器的去除效率分析²⁸



美国一座最先进的燃煤电厂在干法烟气脱硫系统之后安装了织物过滤器和湿法烟气脱硫系统，从而解决了对废水处理系统的依赖并大幅提高了其石膏产品的质

量。这样的组合方案同时也可降低溶解性固体在洗涤器溶液中积累的速率。图表9.1-15是这座零废水排放燃煤电厂的布局示意图。

图表 9.1-15 零废水排放燃煤电厂的布局示意图²⁹



Components of unit 6

- 1 The unit utilizes closed-loop cooling towers that allow for the water drawn from the Broad River to re-circulate – minimizing the intake from the river
- 2 Inside the 124-ft unit 6 turbine building are the steam turbine and generator
- 3 Standing at 270 feet, the boiler building houses a spiral-wound, wall-fired supercritical boiler that produces nearly 6 million pounds of steam per hour at 1055°F and 3700 psi.
- 4 The state-of-the-art air quality control system reduces SO₂, NOx, mercury, lead particulate by 99 percent.
- 5 Approximately 450,000 tons of coal is stored onsite. Units 5 and 6 consume more than 4 million tons of coal a year.
- 6 Units 5 and 6 flues share a common stack. The white plume that leaves the stack is mostly water vapor. Emissions are continuously monitored to ensure air quality regulations are met.
- 7 (Not pictured) A modern, lined ash/gypsum landfill stores the combustion byproducts generated at Cliffside Steam Station. To the extent possible, the byproducts are recycled for use in the construction industry.

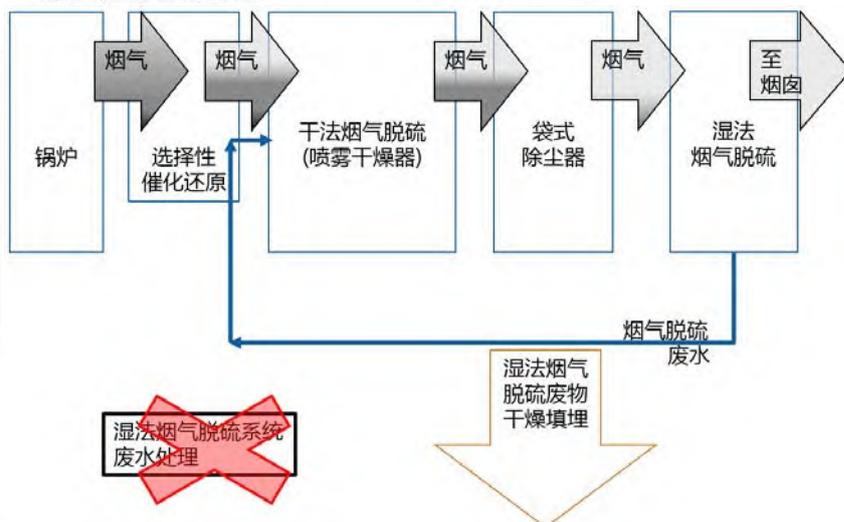


Figure 11. The newest coal plant in the U.S. has a dry FGD system followed by a fabric filter and wet FGD system to eliminate the need for a wastewater treatment system and to produce higher quality gypsum. This arrangement also tends to reduce the rate of accumulation of dissolved solids in the scrubber liquor.

9.2 炼油厂

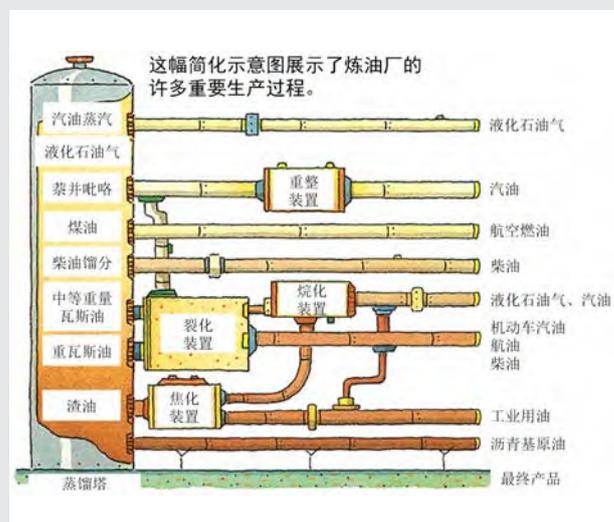


9.2.1 背景信息

炼油厂是通过再蒸馏、裂化或对未完成的石油衍生品进行重组，生产液化石油气、机动车汽油、航空燃油、煤油、馏出燃料油、残余燃料油、润滑油、沥青（柏油）及其它产品的工业企业。炼油厂可分为三种基本类型：拔顶炼油厂、轻度加氢炼油厂和加工炼油厂（也称为转化或复合炼油厂）。拔顶炼油厂具备原油蒸馏塔，可生产石脑油及除汽油之外的其它中间产品。轻度加氢炼油厂具备加氢精制装置和/或重组装置等轻度转化设备，可生产成品汽油，但不能对原油中较重的成分进行加工。这些成分可由原油蒸馏塔底部导出。加工（或转化）炼油厂通过裂化或焦化过程将碳链较长、分子量较大的碳氢化合物（重馏分）转化为分子量较小的碳氢化合物，用于生产汽油产品（轻馏分）及其它价值较高的石化产品和原料。图9.2-1是一幅加工炼油厂的简化示意图，图片的右侧列举了加工炼油厂生产的不同类别的产品。

炼油厂通过不同类别的排放源向大气中释放多种污染物，包括颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、挥发性有机物和二氧化碳等。根据每座炼油厂的具体生产过程及其使用的控制系统，各种排放源在大气污染防治方面的重要性也有所不同。

图9.2-1 常见炼油厂生产设备和产品的简化示意图³⁰

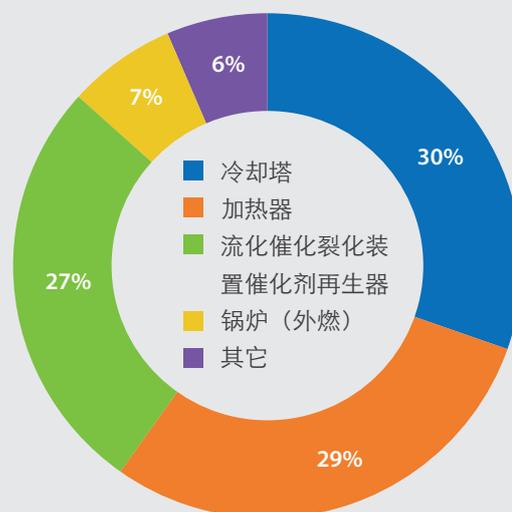


9.2.2 炼油厂颗粒物排放控制及污染防治方案

流化催化裂化装置（FCCU）的催化剂再生器（如有）通常是炼油厂最大的单一颗粒物排放源。美国全国炼油厂排放源的 $PM_{2.5}$ 排放情况如图表9.2-2所示。对于那些不具备流化催化裂化装置的炼油厂来说，加热器、锅炉和冷却塔是颗粒物排放的主要排放源。焦炭生产和运输（如有）及火炬也会产生颗粒物排放。

图9.2-2 美国炼油厂不同排放源类别的 $PM_{2.5}$ 排放情况³¹

炼油厂 $PM_{2.5}$ 排放



最常见的流化催化裂化装置颗粒物排放控制系统是静电除尘器或湿式洗涤器。图表9.2-3展示的是一部对流化催化裂化装置的催化剂再生器进行排放控制的湿式洗涤器。对于加热器或锅炉来说，使用炼厂气取代燃油也可降低其颗粒物排放水平。另外，静电除尘器、湿式洗涤器或袋式过滤器也可用于颗粒物排放水平较高的加热器或锅炉（燃烧焦炭或重燃油）。除雾器可用于降低冷却塔的颗粒物排放水平。

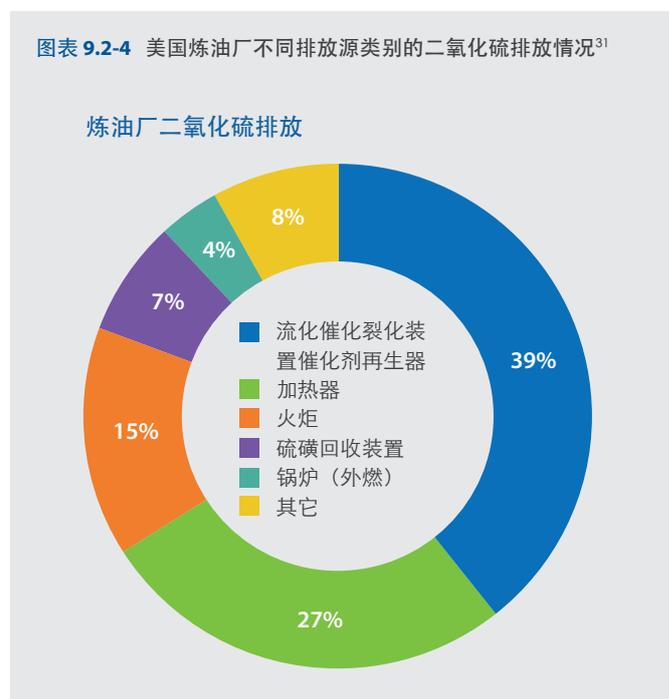


图表 9.2-3 对流化催化裂化装置的催化剂再生器进行排放控制的BELCO EDV湿式洗涤器³²

9.2.3 炼油厂二氧化硫排放控制及污染防治方案

流化催化裂化装置（FCCU）的催化剂再生器（如有）一般是炼油厂最大的二氧化硫排放源。加热器和锅炉也可产生大量的二氧化硫排放，尤其是在燃料气进行燃烧前没有去除其含硫成分的情况下。美国全国炼油厂排放源的二氧化硫排放情况如图表9.2-4所示。

图表 9.2-4 美国炼油厂不同排放源类别的二氧化硫排放情况³¹

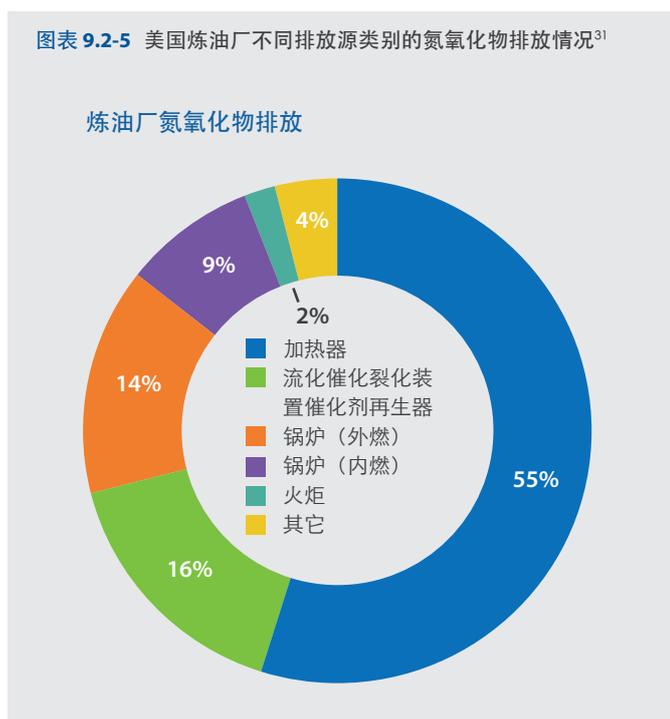


用于进行流化催化裂化装置颗粒物排放控制的湿式洗涤器也可对二氧化硫排放进行有效控制。当流化催化裂化装置通过静电除尘器进行颗粒物排放控制时，可使用催化剂助剂降低其二氧化硫排放水平。对于加热器和锅炉来说，使用脱硫炼厂气（硫化氢成分已通过一种胺洗涤系统去除）取代未经处理的炼厂气或重燃油可有效降低二氧化硫排放水平。炼油厂须具备一定的硫磺回收容量以回收从炼厂气中去除的硫（这样可避免将加热器和锅炉的二氧化硫排放转移至硫磺回收装置或火炬中）。对于二氧化硫排放水平较高的加热器、锅炉和焦化装置，可采用湿式洗涤器等传统型后燃烧排放控制技术。硫磺回收装置的二氧化硫排放可通过湿式洗涤器加以控制，或采用尾气处理装置以改善硫磺回收装置的整体运行效率。

9.2.4 炼油厂氮氧化物排放控制及污染防治方案

加热器和锅炉是炼油厂最大的氮氧化物排放源。其它燃烧排放源，例如流化催化裂化装置的催化剂再生器、内燃发动机和火炬等，也可产生一定程度的氮氧化物排放。美国全国炼油厂排放源的氮氧化物排放情况如图表9.2-5所示。

图表 9.2-5 美国炼油厂不同排放源类别的氮氧化物排放情况³¹



氮氧化物减排可以通过改进的燃烧控制系统（控制过量空气的量）和超低氮燃烧系统加以实现。规模较大的燃烧排放源（大型锅炉或流化催化裂化装置的大型催化剂再生器）可采用选择性催化还原技术（SCR）进行排放控制。配备湿式洗涤器的流化催化裂化装置也可采用低温氧化控制系统。催化剂助剂也可帮助降低流化催化裂化装置催化剂回收器的氮氧化物排放。

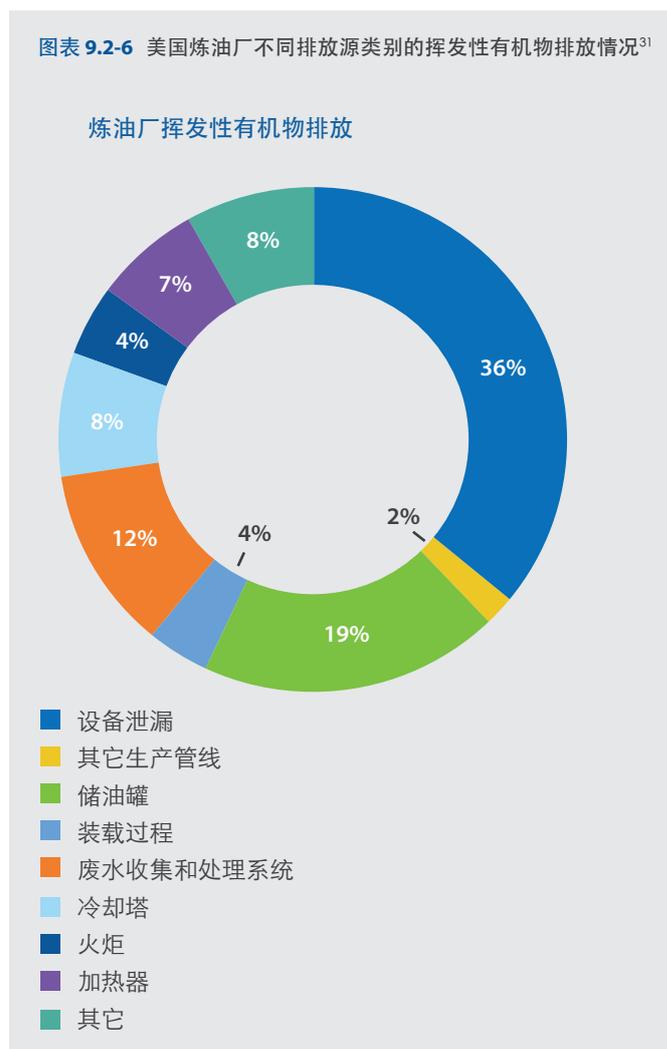
9.2.5 炼油厂挥发性有机物排放控制及污染防治方案

炼油厂的多个排放源都会产生挥发性有机物排放，例如设备泄漏（阀门或油泵封口处等）、储油罐、废水收集和处理系统、冷却塔及运输过程（油罐车、轨道车和海运船舶装载等）。图表9.2-6展示了炼油厂各种挥发性有机物排放源在排放控制方面的相对重要程度。

挥发性有机物的排放控制方法需根据各排放源类别的具体情况进行考虑。最常见的排放控制方法列举如下：

- 设备泄漏：泄漏检测与修复技术；
- 储油罐：内部或外部浮顶，或导向控制设备；
- 废水收集和处理系统：在收集过程中使用水封，并在废水进行处理前加以遮盖（汽提或生物处理装置）；
- 冷却塔：泄漏检测与修复技术；
- 装载过程：蒸汽平衡，或导向控制设备；
- 生产管线：导向控制设备；
- 加热器、锅炉和火炬：保持适当的燃烧环境（过量空气、一氧化碳水平低于500 ppmv）

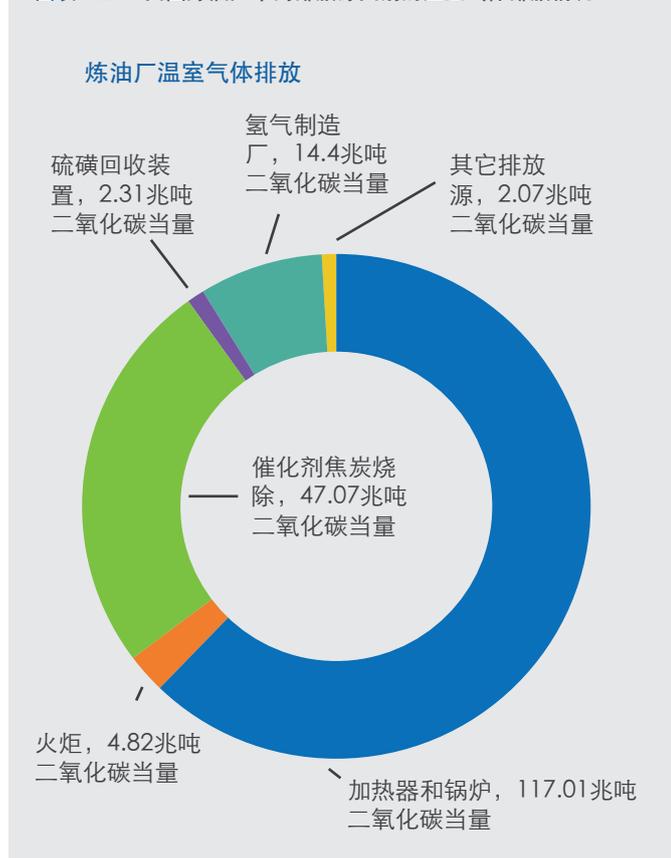
图表 9.2-6 美国炼油厂不同排放源类别的挥发性有机物排放情况³¹



9.2.6 炼油厂温室气体排放控制及污染防治方案

二氧化碳是炼油厂排放量最大的温室气体，但部分生产过程同时也会释放甲烷。大部分二氧化碳是由加热器或锅炉中的燃料燃烧产生的。对于具备流化催化裂化装置的炼油厂来说，催化剂的再生过程也会产生大量的二氧化碳。炼油厂的许多生产过程需要氢气的参与，而氢气制造也是产生大量二氧化碳的另一个主要排放源。图表9.2-7展示了炼油厂各种温室气体排放源在排放控制方面的重要性。

图表 9.2-7 美国炼油厂不同排放源类别的温室气体排放情况³³



9.2.7 炼油厂大气污染物排放标准

美国的新源绩效标准对指标污染物（二氧化碳、氮氧化物、挥发性有机物和颗粒物等）的排放进行了严格的规定。最基本的炼油厂新源绩效标准记录在美国联邦法规40 CFR Part 60的Subpart J和Ja，另外还有一系列其它新源绩效标准适用于特定的排放源类别。例如，Subpart Kb规定了储油罐挥发性有机物的排放控制；Subpart GGG和GGGa规定了控制设备泄漏产生的挥发性有机物排放的泄漏检测与修复技术Subpart Db规定了工业锅炉的排放控制方案等。同时，美国还通过国家有害大气污染物排放标准（NESHAP）对有毒和有害物质进行防治。主要为炼油厂排放源制定的国家有害大气污染物排放标准记录在美国联邦法规40 CFR Part 63的Subpart CC和UUU。涉及炼油厂的大部分国家有害大气污染物排放标准使用指标污染物作为有害大气排放的替代项目（例如将颗粒物作为有毒金属污染物的替代项目）。

表格9.2-1总结了美国为炼油厂各类排放源制定的有关规定，同时还列举了这些规定要求采用的常见污染防治技术和监测系统。

表格 9.2-1 美国炼油厂主要排放源的现行排放规定总结^{34, 35, 36}

| 排放源 | 污染物 | 排放限值 | 控制设备 | 监测系统 |
|-----------------|--------|--|--------------------------------------|---|
| 流化催化裂化装置的催化剂再生器 | 颗粒物 | 现存机组：1.0 克/千克 燃烧焦炭 新建机组：0.5 克/千克 燃烧焦炭 | 静电除尘器或湿式洗涤器 | 监测控制系统的参数 |
| | 二氧化硫 | 7天平均值：50 ppmv 365天平均值：25 ppmv | 催化剂助剂或湿式洗涤器 | 二氧化硫持续性排放监测系统 |
| | 氮氧化物 | 7天平均值：80 ppmv | 燃烧控制系统、选择性催化还原、选择性非催化还原、低温氧化技术、催化剂助剂 | 氮氧化物持续性排放监测系统 |
| | 挥发性有机物 | ≤ 500 ppmv CO | 完整的燃烧再生器或后燃烧设备（一氧化碳余热锅炉） | 一氧化碳持续性排放监测系统或温度及氧气水平的运行限值 |
| 加热器和锅炉（气体燃料） | 二氧化硫 | 3小时平均值：20 ppmv 365天平均值：8 ppmv 或采用烟气的硫化氢限值： 3小时平均值：162 ppmv 365天平均值：60 ppmv | 对烟气进行胺处理 | 废气烟道：二氧化硫持续性排放监测系统，中央烟气管道：硫化氢持续性监测仪 |
| | 氮氧化物 | 自然通风设备：40 ppmv（或0.040 磅/MMBtu）； 强制通风设备：60 ppmv（或0.060 磅/MMBtu）。 均为30天平均值 | 超低氮燃烧器和/或其它先进大气排放控制系统 | 氮氧化物持续性排放监测系统；或者对热效率 < 100 MMBtu/小时的机组测试并设定废气中氧气的最高浓度限值 |
| 加热器和锅炉（液体燃料） | 二氧化硫 | 0.20 磅/MMBtu | 湿式洗涤器；使用低硫燃料 | 废气烟道：二氧化硫持续性排放监测系统，中央烟气管道：硫化氢持续性监测仪 |
| | 氮氧化物 | 根据放热率， 分馏燃料油的机组：0.10-0.20 磅/MMBtu； 分馏残渣燃料油的机组：0.30-0.40 磅/MMBtu | 低氮燃烧器和/或其它先进大气排放控制系统 | 氮氧化物持续性排放监测系统；或者对热效率 < 100 MMBtu/小时的机组测试并设定废气中氧气的最高浓度限值 |

表格 9.2-1 (续)

| 排放源 | 污染物 | 排放限值 | 控制设备 | 监测系统 |
|--------|--------|---|--|--|
| 火炬 | 颗粒物 | 任何2小时之内的可见（烟尘） 排放不得超过5分钟 | 蒸汽辅助或空气辅助技术 | 可见排放观测（或使用相机） |
| | 二氧化硫 | 正常流动的火炬气中的硫化氢限值， 3小时平均值：162 ppmv； | 胺洗涤；火炬最小化计划、 火炬气回收技术 | 火炬气硫化氢持续性监测仪、 火炬气还原硫磺及流速监测 |
| | 挥发性有机物 | 火焰连续导频； 火炬燃烧区域的15分钟平均净热值： 270 Btu/scf | 连续导频；先进的蒸汽控制和 天然气补充技术 | 热电偶或其它导频火焰监测仪； 火炬气和蒸汽流监测仪、持续性 烟气热量计或气相色谱仪 |
| 冷却塔 | 颗粒物 | | 除雾器 | |
| | 挥发性有机物 | 汽提塔废气中的总烃：6.2 ppmv (冷却水中的总烃：80 ppbw) | 修复发现的泄漏点 | 汽提塔月度分析（如果总烃的 泄漏活动水平将至3.1 ppmv， 则可进行季度分析） |
| 硫磺回收装置 | 二氧化硫 | 容量高于每天20长吨的机组： 250 ppmv（干燥、0%过量空气）； 容量等于或低于每天20长吨的 机组：2500 ppmv（干燥、0%过 量空气） | 尾气处理装置的硫磺回收； 其它运行阶段的硫磺回收、 Lo-Cat系统或湿式洗涤器 | 二氧化硫持续性排放监测系统 |
| 设备泄漏 | 挥发性有机物 | 泄漏探测与修复技术： 现存机组泄漏：10000 ppmv 新建机组油泵：1000 ppmv 新建机组阀门：500 ppmv | 修复发现的泄漏点 | 使用美国联邦环保署方法21 每月进行监测。如果连续2个 监测时间段内没有发生泄漏， 则可每季度或每半年监测一次 |
| 储油罐 | 挥发性有机物 | 浮顶设备标准；或将一定规模和 蒸汽压力以上的油罐气体导向 控制设备（控制效率为95%） | 双层密封浮顶、密封舱门、 楼梯擦拭设备和导柱 | 年度检验 |

表格 9.2-1 (续)

| 排放源 | 污染物 | 排放限值 | 控制设备 | 监测系统 |
|---------------|------------|--|---|-------------------------------------|
| 废水收集和处 理系统 | 挥发性有 机物 | 对流率超过0.02升/分钟和苯浓度 超过10 ppmw的水流进行控制（ 部分情况除外） | 对下水道进行水封； 在处理之前对污水 坑、节点和水罐进行 覆盖和控制（使用汽 提或改良的生物处理 装置） | 对控制系统的监测参数进行 季度抽样和年度检验 |
| 生产管线 | 挥发性有 机物 | 挥发性有机物排放超过每天72磅 的管线：控制效率应达到98%， 或者挥发性有机物浓度应低于20 ppmv | 燃烧控制系统（加热 器、锅炉、焚化炉或 火炬） | 初步绩效测试和温度监测（ 或火炬监测—请参阅前面 的内容） |
| 汽油装卸 | 挥发性有 机物 | 10 mg有毒有机物/升装卸汽油 | 蒸汽平衡；或导向控 制设备 | 初步绩效测试和控制系统 参数监测 |
| 海运船舶装卸 | 挥发性有 机物 | 单一有毒有机物每年排放潜力为 10 Mg以上，或各种有毒有机物 每年排放潜力总和为25 Mg以上 的海运船舶装卸：控制效率应达 到97% | 蒸汽平衡；或导向控 制设备 | 初步绩效测试和控制系统 参数监测 |

美国的许多设备制造商可提供以上列举的控制设备。表格9.2-2总结了部分美国制造商、或在美国占据较大市场份额的外国制造商的基本信息及其制造的排放控制设备。

表格 9.2-2 炼油厂大气污染防治系统制造商（部分）

| 制造商 | 污染物及控制设备 |
|---|--|
| Alstom | 颗粒物（静电除尘器和织物过滤器）、二氧化硫（洗涤器）、氮氧化物（选择性非催化还原技术） |
| ClearSign Technologies | 加热器氮氧化物减排：Duplex™技术，不存在与超低氮燃烧器相关的高火焰长度 |
| Ducon | 颗粒物、二氧化硫、挥发性有机物和氮氧化物的排放控制设备 |
| Durr | 有机类大气污染物（蓄热式热力焚化炉） |
| DuPont – Belco Technologies Corporation | 二氧化硫和颗粒物控制：EDV®湿式洗涤器；LoTOx™低温氧化预处理装置（安装在湿式洗涤器之前）可同时对氮氧化物进行控制 |
| Hamon Research Cottrell | 颗粒物（静电除尘器和织物过滤器）、二氧化硫（洗涤器）、氮氧化物（选择性非催化还原技术） |
| Grace | 二氧化硫和氮氧化物控制：流化催化裂化装置催化剂助剂 |
| Johnson Matthey | 二氧化硫和氮氧化物控制：流化催化裂化装置催化剂助剂 |
| John Zink Hamworthy | 氮氧化物控制：低氮和超低氮燃烧器；挥发性有机物控制：火炬和热力氧化炉；火炬气回收系统 |
| Merichem Company | Lo-Cat®硫化氢去除技术、胺洗涤系统 |
| Pall Corporation | 流化催化裂化系统专用的颗粒物过滤系统 |
| WorleyParsons | 胺洗涤系统、硫磺回收装置；二氧化硫控制：尾气处理装置 |
| Zeeco | 氮氧化物控制：低氮和超低氮燃烧器；挥发性有机物控制：火炬和热力氧化炉；火炬气回收系统 |

9.2.8 建议

表格9.2-3根据美国在炼油厂大气污染防治方面的经验为江苏省提出了一些具有减排潜力的方案和建议。

表格 9.2-3 美国在炼油厂大气污染防治方面的经验和建议

| 美国的经验 | | 为江苏省提供的建议 |
|---|---|--|
| 过去 | 现在 | |
| 过去，美国联邦环保署专门为使用催化剂助剂的流化催化裂化装置的二氧化硫排放制定单独的新源绩效标准 | 美国联邦环保署要求实施以最佳技术（湿式洗涤器）为基础的绩效标准。催化剂的供应商对其产品的绩效进行了改进，并达到了排放限值的要求 | 不要对某种特定技术的使用进行具体规定，也不要为不同的控制技术设定不同的排放限值。制定炼油厂可以立即实现的排放限值，并允许运营商根据各自的具体情况选择能够最好地帮助其实现排放限值要求的控制设备或系统 |
| 过去，美国联邦环保署要求炼油厂执行单一初步绩效测试，并允许在不使用持续性排放监测系统的时候通过每日参数监测阐释其合规执行情况 | 控制设备的绩效可能较特定运行参数发生非线性关系变化，且较长的平均值计算时段不能确保控制设备保持连续有效运行。因此在对有关规定进行修正之后，要求炼油厂每年度或每个许可证有效期执行一次绩效测试，并根据绩效测试的结果和时长（通常为3小时）来确定运行限值 | 在使用控制设备运行参数时，确保运行限值直接与绩效测试关联，并且使用较短的平均值计算时段以确保连续合规 |
| 建立了一系列火炬绩效指标，但却没有制定足够的连续监测要求。只有可见排放要求得到了落实，但这样却导致炼油厂提高其生产过程的汽耗率，进而降低了燃烧效率 | 修订并更新了绩效指标，为所有的指标建立了持续性监测要求 | 确保有关法规（或排污许可证条款）涵盖所有用来确认控制设备正常运行的要求。如果只侧重于“简单”或“成本较低”的监测参数，则可能导致较差的运行情况 |
| 设备泄漏和储存罐的监测和检测要求过于简单，效果也比较差。执行检测时只是简单地依照一项检查表。泄漏探测监测和储存罐检验工作没有遵照完整的方法，因此无法有效发现许多泄漏源。执法检查时发现实际的设备泄漏比炼油厂申报的多3至10倍 | 对有关业务的执行要求进行了修正，规定有关人员必须详细记录工作的具体步骤和时间，以确保其严格完成监测和检测工作。在检测时使用光学气体成像相机，确保没有非正常泄漏产生 | 为确保炼油厂遵守有关法规的要求，落实执法监察是必不可少的。提高炼油厂的数据记录和申报要求可能有助于降低检验工作的需求和力度，但却无法替代定期现场检验 |

9.3 钢铁制造

9.3.1 背景信息

钢铁制造行业的企业结构和规模差别较大，环境影响潜力也非常不同。综合钢厂拥有将经过处理的铁矿石转化为铁水的高炉。这种类型的钢厂一般也具备将铁水转化为钢的碱性氧气转炉，并可进行铸造生产。综合钢厂包括炼钢厂、炼焦炉、烧结厂以及生产最终产品的轧钢厂等。炼焦炉将煤炭转化为焦炭（用作高炉的燃料），可作为独立的生产设施运行，也可作为综合钢厂的一部分。电弧炉用来回收钢铁残屑（可包括生产后残屑及钢厂内部产生的残屑），一般作为独立的生产设施运行，但也可作为综合钢厂的一部分。电弧炉主要进行铸造生产，有时也可能涉及炼钢等生产过程。

9.3.2 制造过程

9.3.2 (A) 炼焦炉

炼焦炉是对烟煤进行加热、将其中的挥发性成分去除后产生焦炭的设备。多个炼焦炉并列建设可形成一个焦炉组。各焦炉组采取分批生产的运行模式。炼焦炉具有多个大气污染排放点（烟道排放和无组织排放）。

9.3.2 (B) 烧结厂

在一些综合钢厂内设有烧结厂。烧结厂将矿石粉末、焦炭粉末、高炉残渣和轧屑等废弃物转化为高炉生产原料。在点火时通常使用气体燃料（天然气、焦炉气、高炉气等），但生产过程所需的大部分能量是由原料中含碳物质的燃烧提供的。烧结是一项在移动炉排上进行的连续生产过程。烧结厂具有多个大气污染排放点（烟道排放和无组织排放）。

9.3.2 (C) 高炉

综合钢厂的高炉通过分批生产的运行模式将铁矿石（主要成分为铁氧化物）转化为铁水。铁矿球团、烧结矿、焦炭和石灰石（起到助焊剂作用）分层投入高炉。焦炭在将铁矿石转化为铁水的过程中起到还原剂的作用。其它投入高炉参与生产的材料还包括钢铁残屑、轧屑及碱性氧气转炉的炉渣等。经过预热的空气

由高炉底部导入炉内，参与燃烧。焦炭燃烧会释放热量，并将铁矿石中的铁氧化物还原、烧结为铁水。高炉在出铁和出渣的同时还导出含有高浓度一氧化碳的高炉气。其中一部分高炉气在热风炉内进行燃烧，用来对导入高炉的空气进行预热。剩余的高炉气则在钢厂的其它生产环节参与燃烧。有些时候还需要将过量的高炉气燃尽，避免其排放到大气中。

9.3.2 (D) 碱性氧气转炉

碱性氧气转炉位于综合钢厂内，以分批生产的运行模式向高炉生产的铁水中吹入氧气，使铁水中溶解的碳与之结合，进而转化为钢。钢铁残屑（主要为钢厂内部产生）通常会被投入碱性氧气转炉以降低炉内温度，同时还会投入石灰或其它助焊剂。除了碳之外，硅和其它杂质也会氧化并转移到石灰产生的炉渣中。出炉的钢将会参与铸造生产，而炉渣则将被处理和废弃。

9.3.2 (E) 电弧炉炼钢

电弧炉用来对钢屑进行熔融和有效回收，一般作为独立的生产设施运行，但也可作为综合钢厂的一部分。钢屑和助焊剂投入电弧炉之后，碳电极也将被放置到炉内。电极之间的电弧（直流或交流）为钢屑熔化提供了所需的大部分能量。从经济的角度考虑，还可以向电弧炉内添加天然气或焦炭粉末和氧气的混合物，作为电力的替代品为该生产过程提供部分能量。最后，钢和炉渣由电弧炉导出。大部分电弧炉与连续铸造过程关联，因此有时会产生铸锭。大部分电弧炉以分批生产的模式运行，但也有一部分可以持续运行，并保持更高的能源效率。

9.3.2 (F) 其它排放点

1. 钢包冶金、合金化及脱碳处理

炼钢和合金生产通常由运行碱性氧气转炉和电弧炉的企业进行。炉内生产的钢水通过添加合金材料、脱碳并去除其它杂质等步骤进行精炼，以达到不同等级钢材的品质要求。

2. 锅炉

在综合钢厂中，有时会将过量的高炉气和焦炉气进行燃烧，产生加工蒸汽或电力。

3. 火炬

过量的高炉气和焦炉气有时也会通过火炬进行燃烧。这些过程通常是间歇性的。

4. 材料运输（煤炭、焦炭、矿石、钢屑、炉渣及助燃剂等）

钢铁制造过程的许多输入和输出材料是固体，容易在装卸、传输和转运时产生大气污染排放。堆放材料的场地在风力较大时也可能产生一定程度的扬尘排放。

9.3.3 排放源及相应的污染防治方案

9.3.3 (A) 炼焦炉

炼焦炉的原料装载过程以及产生泄漏的炉门、炉盖和管道等部件都会在焦化周期内释放大气污染物。在焦化周期结束后，推焦、熄焦的过程以及焦炉组和烟道等设备都会产生大气排放。

炼焦炉产生的大气污染物包括：颗粒物；氧化态、还原态和有机的硫化物；挥发性有机物；多环有机物；氨气；以及二氧化碳等。原料装载过程产生的排放可以通过蒸汽收集系统导入排放控制设备中进行处理。由炉门、炉盖和管道产生的排放则需要通过具体的工作流程进行控制，包括在发现泄漏情况时进行检验、维护和修复，并使用黏合剂封堵泄漏点等。如果工作流程完善并妥当，便可有效消除这些泄漏隐患。

当炼焦炉装载过满、燃烧不充分、加热不均匀、炉内温度偏低或者炼焦时间控制不当时，便可能产生“夹生焦”及大量的推焦排放。这种情况可以通过改进工作流程得到较大程度的改善。

推焦排放可通过一种安装在炼焦炉输出侧的特制废气棚、可移动的烟罩或者配备烟罩或通风管道的熄焦车进行收集。收集到的排放可导入文丘里洗涤器、热水洗涤器或多级旋风分离器进行处理。熄焦排放可通过对熄焦水的水质进行控制（有机物和总溶解固体的成分）或者在熄焦塔中安装挡板加以处理。除低温结冰等天气情况以外，应每天对挡板进行清洗。

焦炉组的烟道排放可以通过焦炉气清洁系统进行处理。该系统具备胺洗涤器、氢氰酸破坏装置和硫磺回收装置。

9.3.3 (B) 烧结厂

许多烧结设备，例如风室、排渣系统、破碎和筛选装置以及烧结矿冷却机等，都会产生颗粒物排放，风室还会同时产生多环有机物排放。烧结厂也会排放氮氧化物，但是一般不对其进行防治。烧结厂的大气污染排放一般通过袋式过滤器进行控制。湿式洗涤器也可用于控制风室的排放。

9.3.3 (C) 高炉

含有颗粒物、有机物、硫化物和一氧化碳的高炉气在高炉的顶端进行收集，并通过湿式洗涤器去除其中的颗粒物和有机物。剩余的一氧化碳将在高炉气燃烧过程中去除。用于处理高炉气的湿式洗涤器废水中含有有机物、氢氰酸和硫化物等物质。这些物质在废水处理过程中也可能产生排放。其它污染物（主要是颗粒物）排放一般与出铁和出渣、原材料与炉渣处理及洗涤器废水处理有关。

9.3.3 (D) 碱性氧气转炉

在将热金属向锅炉中转运、装载、吹氧以及出钢和出渣等过程中会产生大气污染排放。颗粒物是碱性氧气转炉产生的主要大气污染物。如果在生产过程中向炉内投入后消费钢屑（含有汞、铅、二恶英和呋喃等物质），则将产生其它种类的污染物。

袋式过滤器、静电除尘器和湿式洗涤器用来控制碱性氧气转炉的排放。有时也会通过喷水抑制炉渣处理和废弃过程产生的颗粒物排放。

9.3.3 (E) 电弧炉炼钢

电弧炉炼钢过程产生的主要大气污染由炉顶排放，特别是在装载过程开始到完成之后的这段时间内。出钢和出渣也会产生一些额外的排放。电弧炉炼钢过程中形成的主要大气污染物是由钢屑中油、油膏和涂料等成分燃烧产生的颗粒物。在熔融后消费钢屑时（特别是汽车钢屑）会产生有害金属污染物的排放，例如汞和铅等。二恶英和呋喃可在含有塑料的钢屑熔融时产生并排放至大气中。

颗粒物排放控制方案一般是在可移除的炉盖上方安装烟罩，将捕获的废气导入织物过滤器进行处理。部分企业将车间通风的空气导入同一部织物过滤器进行处理，其它企业则使用二级袋式过滤器。包括铸造在

内，许多互相关联的生产过程的排放可以通过电弧炉的袋式过滤器进行协同控制。汞、铅、二恶英和呋喃的排放控制需要在钢屑投入电弧炉之前去除其中的含汞、含铅物质及塑料。这项操作在对钢屑进行破碎之前最为可行。

9.3.3 (F) 其它排放点

1. 钢包冶金、合金化及脱碳处理

这些生产过程具有产生颗粒物排放的潜力，一般通过袋式过滤器进行排放控制。电弧炉炼钢过程的脱碳处理（氩氧脱碳和真空脱碳）一般通过电弧炉的袋式过滤器进行协同排放控制。

2. 锅炉

锅炉产生的排放包含二氧化硫和氮氧化物，可通过与其它化石燃料锅炉相同的排放控制设备进行处理。

3. 火炬

火炬的排放一般不通过附加控制设备进行处理。应根据燃烧气体的体积对低氮燃烧系统加以考虑。

4. 材料运输（煤炭、焦炭、矿石、钢屑、炉渣及助燃剂等）

扬尘排放可通过使用扬尘抑制剂、喷水、对转送带进行覆盖、使用封顶的转运站及降低套筒倾斜槽和材料洒落的高度等方法加以控制。

9.3.3 (G) 污染防治设备和排放限值

钢铁制造行业常用的大气污染防治设备和实践方案如表格9.3-1所示。所有企业必须安装适当的废气捕获装置（一般为废气烟罩），将大气排放导向控制设备并加以处理。污染防治设备的有效性应通过绩效测试进行确认。另外，还需确定控制设备的运行参数，并持续保持适当的水平。有时可以通过不透明度测试来确认废气捕获装置的有效性。织物过滤器和湿式洗涤器的颗粒物控制效率一般在95%以上。

表格 9.3-1 钢铁制造企业常用的污染防治设备

| 排放源 | 污染物 | 污染防治设备/实践方案 |
|----------------|--------------|------------------------------|
| 焦炉组—装载过程 | 颗粒物、有机物、可见排放 | 蒸汽收集系统 |
| 焦炉组—炉门、炉盖和管道泄漏 | 颗粒物、有机物、可见排放 | 维护、检测、密封剂 |
| 焦炉组—推焦 | 颗粒物、有机物、可见排放 | 避免产生夹生焦；文丘里洗涤器、热水洗涤器、多级旋风分离器 |
| 焦炉组—熄焦 | 颗粒物、有机物 | 控制熄焦水的水质，为熄焦塔安装挡板并每日清洗 |
| 焦炉组—烟道排放 | 二氧化硫、氢氟酸 | 胺洗涤器、氢氟酸破坏装置、硫磺回收装置 |
| 烧结厂—风室 | 颗粒物、有机物 | 织物过滤器、湿式洗涤器 |
| 烧结厂—排渣 | 颗粒物 | 织物过滤器 |
| 烧结厂—破碎机 | 颗粒物 | 织物过滤器 |
| 烧结厂—热过滤网 | 颗粒物 | 织物过滤器 |
| 烧结厂—冷却机 | 颗粒物 | 织物过滤器 |
| 烧结厂—冷过滤网 | 颗粒物 | 织物过滤器 |
| 高炉—废气 | 颗粒物 | 旋风分离器和湿式洗涤器 |
| 高炉—铸造 | 颗粒物 | 对生产线进行遮盖、织物过滤器 |
| 碱性氧气转炉—热金属转运 | 颗粒物 | 织物过滤器 |
| 碱性氧气转炉—炉渣过滤 | 颗粒物 | 织物过滤器 |
| 碱性氧气转炉—锅炉装载 | 颗粒物 | 织物过滤器、静电除尘器、湿式洗涤器 |
| 碱性氧气转炉—吹氧 | 颗粒物 | 静电除尘器、湿式洗涤器 |
| 碱性氧气转炉—炉渣去除 | 颗粒物 | 织物过滤器、静电除尘器、湿式洗涤器 |

表格 9.3-1 (续)

| 排放源 | 污染物 | 排放控制设备/实践方案 |
|---------------|------------|---------------------------|
| 碱性氧气转炉—锅炉出品 | 颗粒物 | 织物过滤器、静电除尘器、湿式洗涤器 |
| 碱性氧气转炉—钢包冶金 | 颗粒物 | 织物过滤器、湿式洗涤器 |
| 碱性氧气转炉—熔融钢材转运 | 颗粒物 | 织物过滤器 |
| 电弧炉炼钢 | 二恶英/呋喃、汞、铅 | 钢屑质量：去除钢屑中的塑料、去除汽车钢屑中的汞和铅 |
| 电弧炉炼钢 | 颗粒物 | 织物过滤器 |

表格9.3-2列举了为钢铁制造企业提供适用的大气污染防治技术的部分制造商。钢铁制造行业的排放源用来控制颗粒物排放的织物过滤器的建设成本大约为每分钟每立方米400-600美元左右（2015年美元）。这

些污染防治系统的年运行成本大约为每分钟每立方米100-600美元左右。湿式洗涤器的建设成本一般要低于相同容量的织物过滤器，但如果考虑到洗涤器废水的处理成本，织物过滤器的综合效益则可能更好。

表格 9.3-2 部分钢铁制造行业大气污染防治设备制造商

| 制造商 | 污染物种类及大气污染防治设备 |
|-----------------------------|--------------------------------|
| American Air Filter | 颗粒物（织物过滤器） |
| B & W/ MEGTEC | 颗粒物（织物过滤器、静电除尘器） |
| Ducon Environmental Systems | 颗粒物、二氧化硫、二恶英/呋喃、汞及挥发性有机物污染防治设备 |
| Fisher-Klosterman, Inc. | 颗粒物（旋风分离器、洗涤器、织物过滤器） |
| Met-Pro Environmental | 颗粒物（洗涤器、织物过滤器、旋风分离器） |
| Mikropul | 颗粒物（织物过滤器、洗涤器） |

美国为钢铁制造行业的排放源制定的大气污染排放限值如表格9.3-3所示。这些限值适用的具体情况在参考源法规中进行了具体描述，包括绩效测试方法、测试频率、测试时长以及连续合规监测确认等。工业设施启动和停产期间可能需要实施单独的排放限值和求。

表格 9.3-3 美国有关法规中涉及的钢铁制造行业排放限值³⁷

| 排放源 | 有关参数 | 排放限值/实践方案 | 参考源法规 |
|---------------------------------|-----------------|-------------------------------|--------------------------|
| 电弧炉炼钢 | 二恶英/呋喃、铅、汞 | 污染防治（控制消费后钢屑中的塑料、自由液体、汞和铅等成分） | 40 CFR 63, Subpart YYYYY |
| 电弧炉炼钢（包括氩氧脱碳） | 颗粒物 | 0.0052颗粒/dscf（12毫克/dscm） | 40 CFR 63, Subpart YYYYY |
| 电弧炉炼钢（包括氩氧脱碳） | 颗粒物，小型不锈钢厂的替代标准 | 0.8 磅/吨（0.4 千克/公吨） | 40 CFR 63, Subpart YYYYY |
| 电弧炉炼钢（包括氩氧脱碳） | 不透明度 | 6% | 40 CFR 63, Subpart YYYYY |
| 炼焦炉焦炭侧废气棚的推焦排放 | 颗粒物 | 0.01颗粒/dscf（23毫克/dscm） | 40 CFR 63, Subpart CCCCC |
| 炼焦炉向固定排放控制设备导入废气的可移动烟罩的推焦排放 | 颗粒物 | 0.02磅/吨焦炭（0.01千克/公吨焦炭） | 40 CFR 63, Subpart CCCCC |
| 炼焦炉不收集运行期间产生排放的移动洗涤车的推焦排放（低焦炉组） | 颗粒物 | 0.03磅/吨焦炭（0.015千克/公吨焦炭） | 40 CFR 63, Subpart CCCCC |
| 炼焦炉不收集运行期间产生排放的移动洗涤车的推焦排放（高焦炉组） | 颗粒物 | 0.01磅/吨焦炭（0.005千克/公吨焦炭） | 40 CFR 63, Subpart CCCCC |
| 炼焦炉收集运行期间产生排放的移动洗涤车的推焦排放 | 颗粒物 | 0.04磅/吨焦炭（0.02千克/公吨焦炭） | 40 CFR 63, Subpart CCCCC |

表格 9.3-3 (续)

| 排放源 | 有关参数 | 排放限值/实践方案 | 参考源法规 |
|------------------------|--------------|--|--------------------------|
| 炼焦炉的推焦排放 (低焦炉组、烟气垂直排放) | 不透明度 | 30% | 40 CFR 63, Subpart CCCCC |
| 炼焦炉的推焦排放 (高焦炉组、烟气垂直排放) | 不透明度 | 35% | 40 CFR 63, Subpart CCCCC |
| 炼焦炉的熄焦排放 | 熄焦水中的总溶解固体含量 | 1100毫克/升 | 40 CFR 63, Subpart CCCCC |
| 炼焦炉的熄焦排放 | 工作实践方案 | 控制熄焦水中的有机物含量, 为熄焦塔安装挡板并持续清洗 | 40 CFR 63, Subpart CCCCC |
| 焦炉组的烟道排放 (正常周期) | 不透明度 | 日平均值15% | 40 CFR 63, Subpart CCCCC |
| 焦炉组的烟道排放 (延时周期) | 不透明度 | 日平均值20% | 40 CFR 63, Subpart CCCCC |
| 烧结厂 | 挥发性有机物 | 将给料中的油保持在0.02%以下, 或限制风室废气低于0.2磅挥发性有机物/吨烧结物 (0.1千克/公吨烧结物) | 40 CFR 63, Subpart FFFFF |
| 烧结厂风室 (现存) | 颗粒物 | 0.4磅/吨烧结物 (0.2千克/公吨烧结物) | 40 CFR 63, Subpart FFFFF |
| 烧结厂风室 (新建) | 颗粒物 | 0.3磅/吨烧结物 (0.15千克/公吨烧结物) | 40 CFR 63, Subpart FFFFF |
| 烧结厂排放端 (现存) | 颗粒物 | 0.02颗粒/dscf (46毫克/dscm) | 40 CFR 63, Subpart FFFFF |
| 烧结厂排放端 (现存) | 不透明度 | 20% | 40 CFR 63, Subpart FFFFF |
| 烧结厂排放端 (新建) | 颗粒物 | 0.01颗粒/dscf (23毫克/dscm) | 40 CFR 63, Subpart FFFFF |
| 烧结厂排放端 (新建) | 不透明度 | 10% | 40 CFR 63, Subpart FFFFF |

表格 9.3-3 (续)

| 排放源 | 有关参数 | 排放限值/实践方案 | 参考源法规 |
|--------------------------------------|------------|---------------------------|--------------------------|
| 烧结厂冷却机 (现存) | 不透明度 | 10% | 40 CFR 63, Subpart FFFFF |
| 高炉铸造车间 (现存) | 控制设备排放的颗粒物 | 0.01颗粒/dscf (23毫克/dscm) | 40 CFR 63, Subpart FFFFF |
| 高炉铸造车间 (现存) | 不透明度 | 20% | 40 CFR 63, Subpart FFFFF |
| 高炉铸造车间 (新建) | 控制设备排放的颗粒物 | 0.003颗粒/dscf (7毫克/dscm) | 40 CFR 63, Subpart FFFFF |
| 高炉铸造车间 (新建) | 不透明度 | 15% | 40 CFR 63, Subpart FFFFF |
| 碱性氧气转炉 (封闭式烟罩) 在主要吹氧过程期间 | 颗粒物 | 0.03颗粒/dscf (70毫克/dscm) | 40 CFR 63, Subpart FFFFF |
| 碱性氧气转炉 (开放式烟罩) (现存) | 颗粒物 | 0.02颗粒/dscf (46毫克/dscm) | 40 CFR 63, Subpart FFFFF |
| 碱性氧气转炉 (开放式烟罩) (新建) | 颗粒物 | 0.01颗粒/dscf (23毫克/dscm) | 40 CFR 63, Subpart FFFFF |
| 碱性氧气转炉次级排放控制设备 (现存) | 颗粒物 | 0.01颗粒/dscf (23毫克/dscm) | 40 CFR 63, Subpart FFFFF |
| 碱性氧气转炉次级排放控制设备 (新建) | 颗粒物 | 0.0052颗粒/dscf (12毫克/dscm) | 40 CFR 63, Subpart FFFFF |
| 碱性氧气转炉排放控制设备在热金属转运、过滤和脱硫过程期间的排放 (现存) | 颗粒物 | 0.01颗粒/dscf (23毫克/dscm) | 40 CFR 63, Subpart FFFFF |
| 碱性氧气转炉排放控制设备在热金属转运、过滤和脱硫过程期间的排放 (新建) | 颗粒物 | 0.003颗粒/dscf (7毫克/dscm) | 40 CFR 63, Subpart FFFFF |
| 碱性氧气转炉排放控制设备在钢包冶金过程期间的排放 (现存) | 颗粒物 | 0.01颗粒/dscf (23毫克/dscm) | 40 CFR 63, Subpart FFFFF |

表格 9.3-3 (续)

| 排放源 | 有关参数 | 排放限值/实践方案 | 参考源法规 |
|-------------------------------|------|--------------------------|--------------------------|
| 碱性氧气转炉排放控制设备在钢包冶金过程期间的排放 (新建) | 颗粒物 | 0.004颗粒/dscf (9毫克/dscm) | 40 CFR 63, Subpart FFFFF |
| 碱性氧气转炉 (现存) | 不透明度 | 20% | 40 CFR 63, Subpart FFFFF |
| 碱性氧气转炉 (底吹) (新建) | 不透明度 | 10% (每个周期可以有6分钟的例外, 20%) | 40 CFR 63, Subpart FFFFF |
| 碱性氧气转炉 (顶吹) (新建) | 不透明度 | 10% (每个周期可以有3分钟的例外, 20%) | 40 CFR 63, Subpart FFFFF |
| 副产品高焦炉组 (现存) | 炉门泄漏 | 4% | 40 CFR 63, Subpart L |
| 副产品低焦炉组 (现存) | 炉门泄漏 | 3.3% | 40 CFR 63, Subpart L |
| 副产品焦炉组 (现存) | 炉盖泄露 | 0.4% | 40 CFR 63, Subpart L |
| 副产品焦炉组 (现存) | 管道泄漏 | 2.5% | 40 CFR 63, Subpart L |
| 副产品焦炉组 (现存) | 可见排放 | 每次排放不超过12秒 | 40 CFR 63, Subpart L |
| 副产品焦炉组 (新建) | 炉门泄漏 | 0% | 40 CFR 63, Subpart L |
| 副产品焦炉组 (新建) | 炉盖泄露 | 0% | 40 CFR 63, Subpart L |
| 副产品焦炉组 (新建) | 管道泄漏 | 0% | 40 CFR 63, Subpart L |
| 副产品焦炉组 (新建) | 可见排放 | 每次排放不超过34秒 | 40 CFR 63, Subpart L |
| 非回收焦炉组 | 炉门泄漏 | 0% | 40 CFR 63, Subpart L |
| 非回收焦炉组 (新建) | 炉盖泄露 | 0% | 40 CFR 63, Subpart L |
| 非回收焦炉组 (新建) | 管道泄漏 | 0% | 40 CFR 63, Subpart L |

9.3.4 温室气体排放控制

二氧化碳是钢铁制造过程中产生的主要温室气体。其减排可以通过将能源效率最大化加以实现。提升能源效率的主要步骤包括：

- 将焦炉气和高炉气的能源回收最大化（并将通过火炬燃尽的剩余燃料气降至最低）：将焦炉气和高炉气作为燃料，用于烧结厂的生产运行、炼焦炉中煤炭的干燥或在锅炉中燃烧产生能量；
- 通过使用焦炉气和高炉气替代部分粉煤和天然气，降低高炉中焦炭的使用；
- 回收碱性氧气转炉气中的能量，并用于生产蒸汽；
- 保持电弧炉的连续运行（例如Consteel电弧炉）；
- 在钢屑投入电弧炉之前对其进行预热；

- 使用直流电电弧炉；
- 提高机械效率（例如采用速度可变的风扇和能源效率较高的马达等）。

还可根据各钢铁制造企业的具体情况采用许多其它措施进行热力回收，提高能源效率。

9.3.5 建议

美国钢铁制造行业近期发展较为缓慢，并且在过去的一段时间内没有新增任何产能。美国国内的焦炭需求持续走低，现存钢厂的容量也不存在提高的空间。在这样的情况下，电弧炉炼钢（次级钢）的重要性日渐提升。表格9.3-4总结了美国及其它国家的钢铁制造行业目前广泛采用的、具有减排潜能的多种新建及改建污染防治技术。

表格 9.3-4 美国和其它国家在钢铁制造行业大气污染防治方面的经验和建议

| 污染防治措施 | | 为江苏省提供的建议 |
|--------------|--------------------|-----------------------------------|
| 过去 | 现在 | |
| 交流电电弧炉炼钢 | 直流电电弧炉炼钢 | 在新建电弧炉上使用直流电技术，以改善能源效率并降低大气排放。 |
| 电弧炉分批炼钢 | 电弧炉连续炼钢 | 保持炼钢过程连续进行可降低能源消耗，并提高控制设备的排放捕获效果。 |
| 副产品炼焦炉 | 热回收炼焦炉（也被称为非回收炼焦炉） | 热回收过程可以带来更好的排放捕获效果。 |
| 湿法熄焦 | 干法熄焦（日本） | 干法熄焦可以带来更好的排放捕获效果。 |
| 碱性氧气转炉的燃烧热回收 | 碱性氧气转炉的抑制性燃烧热回收 | 抑制性燃烧可以回收更多的热量，并降低颗粒物排放。 |
| 开放式烧结过程 | 将烧结气循环使用（荷兰） | 将烧结气循环使用可以回收更多的热量，并降低颗粒物排放。 |

9.4 水泥制造

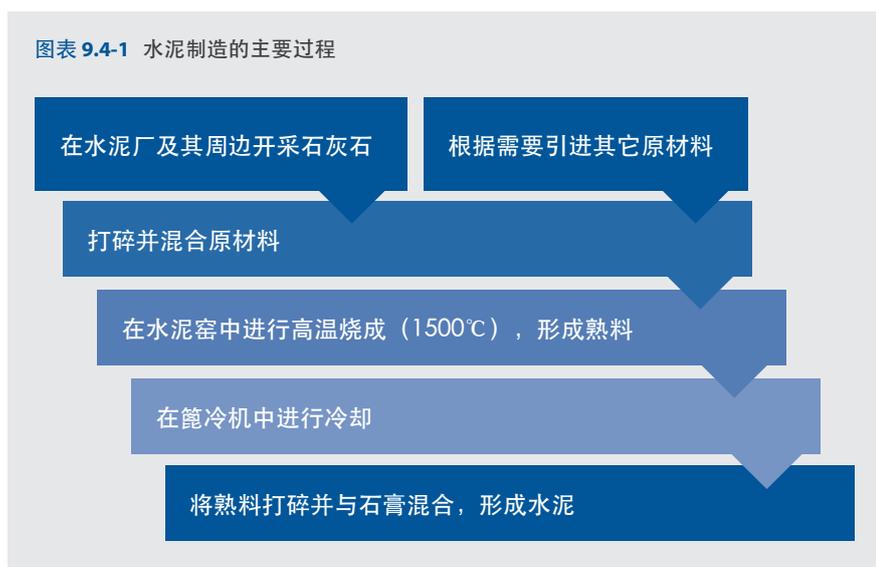
9.4.1 背景信息

水泥以及水和其它集料（沙土和岩石）是生产混凝土的主要材料。波特兰水泥是最常见的水泥产品之一。在制造水泥时，需要将含有钙、硅、铝、铁及其它成分的原材料通过化学方法进行融合。这些原材料包括石灰石（最主要的原材料，提供制造水泥所需成分的89-90%）以及少量的页岩、黏土、沙土、铁矿石、飞灰和其它物质。

9.4.2 制造过程

水泥制造的一般过程主要是：首先通过爆破或机械开采等方式，从水泥厂及其周边的采石场采集石灰石和其它原材料。无法由采石场获得的原材料则需要由外部引进。之后，原材料经过多个处理过程进行粉碎并研磨为较细的粉末，再混合至同质状态并进行干燥。由此产生的混合物即为生料。生料经过高温烧成处理及一系列化学变化，形成熟料。水泥烧成系统的核心是水泥窑。在水泥窑中的高温环境下，生料被转化为石头状的熟料，研磨后与石膏混合，最终形成水泥。水泥制造过程的简化流程如图表9.4-1所示。

图表 9.4-1 水泥制造的主要过程



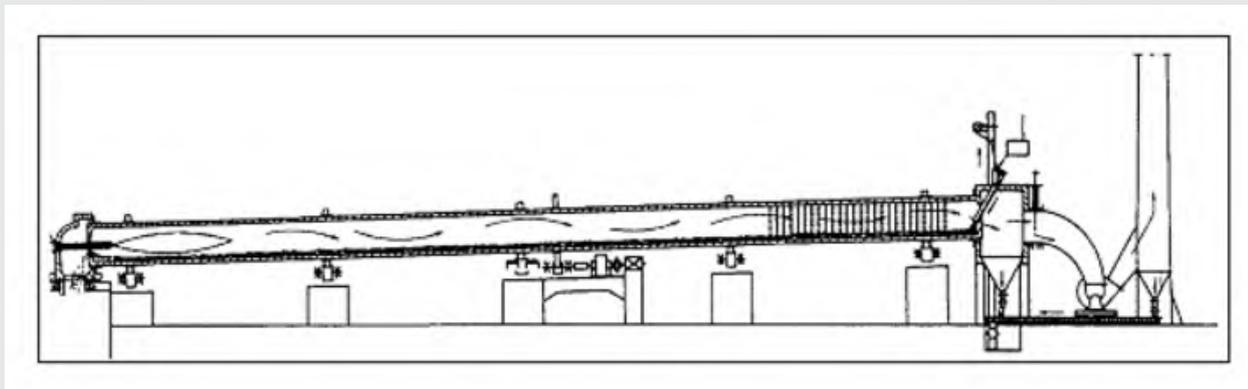
形式最简单的水泥窑，即回转窑，是一个内部经过耐火处理的倾斜钢管。在回转窑缓慢旋转的同时，生料由较高的一端投入水泥窑，而用于燃烧的燃料则由较低的一端导入。生料在回转窑内部自上而下移动，与热气的流动方向相反。在移动的过程中，生料经过干燥和煅烧（去除其中的二氧化碳）形成熟料。采用这种设计的水泥窑一般为湿法长窑或干法长窑。在湿法长窑中，生料以生料浆的形式投入水泥窑，因此在产生熟料的过程中需要更多的能量。在干法长窑中，生料在投入水泥窑之前会首先通过一部单独的干燥机进行干燥。图表9.4-2是一幅长窑的示意图。目前，这些陈旧的湿法长窑和干法长窑正逐步被效率更高的预热器窑或预分解窑取代。

在预热器窑（PH）系统中，预热塔由旋风筒和一组管道组成。原材料由预热塔顶部导入，在旋风筒中自上而下移动，与水泥窑中热气的流动方向相反。这样，原材料在投入水泥窑之前已经经过充分的干燥和预热，因此可以采用长度较短的回转窑进行生产。在预分解窑（PH/PC）系统中，原材料在通过旋风筒后还需经过预热塔底部的另一个装置进行处理。这个装置称为分解炉，是一种特殊的锅炉，用于将原材料进行煅烧并去除其中的二氧化碳。原材料经分解炉处理之后再投入回转窑进行生产，最终形成熟料。预分解窑需要在分解炉和回转窑的低端同时燃烧燃料。图表9.4-3是一幅预分解窑系统的示意图。

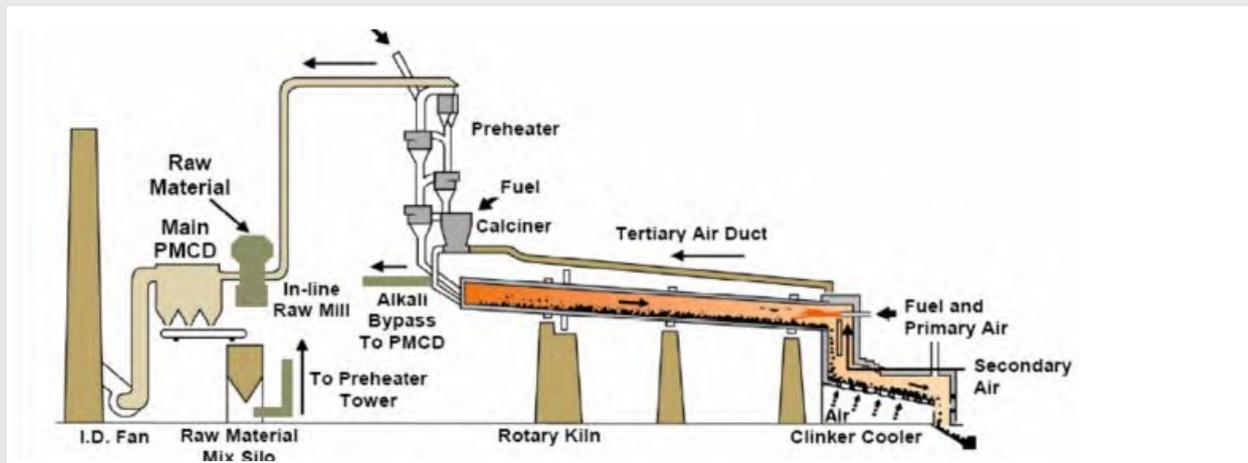
预分解窑的设计特点使其在各种类型的水泥窑中热效率最高，如表格9.4-1所示。从大气污染防治的角度来说，能源效率更高的水泥窑排放的污染物种类较少，而效率较低的水泥窑则会产生更多的排放。

9.4.3 排放源及相应的污染防治方案

水泥制造过程中的每个环节都被看作一个大气的污染排放源，通常产生无组织排放或工艺排放。如表格9.4-2所示，水泥制造的全过程都会产生颗粒物排放。除此之外，水泥窑在燃烧燃料并对生料进行高温烧成处理的过程中也会释放其它多种污染物。

图表 9.4-2 干法长回转窑³⁸

图表 9.4-3 预分解窑系统

表格 9.4-1 不同类型水泥窑的输入热量³⁸

| 水泥窑类型 | 输入热量 (MMBTU/吨熟料) | 输入热量高于预分解窑的百分比 |
|-------|------------------|----------------|
| 湿法长窑 | 6.0 | 45 |
| 干法长窑 | 4.5 | 36 |
| 预热炉窑 | 3.8 | 15 |
| 预分解窑 | 3.3 | — |

由于水泥窑一般被认为是水泥厂最主要的排放源，因此美国的有关法规特别侧重于降低该类别排放源的大气污染排放水平。美国的排放标准对指标污染物（颗粒物、氮氧化物和二氧化硫等）与有害大气污染物（汞、氯化氢和重金属等）进行了区分。表格9.4-3总结了美国有关的水泥窑排放限值。

为降低这些大气污染物的排放水平并达到排放限值的要求，水泥厂需要为其生产设施安装排放控制设备。在控制某些污染物的排放时，可能有多种控制设备选项可供选择。有些时候，一种排放控制设备也可能会同时去除多种污染物。例如，活性炭加注系统可同时降低汞和总烃的排放水平。出于回收水泥窑灰的

表格 9.4-2 水泥制造过程的大气排放

| 水泥制造过程 | 污染物 |
|---|-----------------------------------|
| 原材料处理过程 研磨 干燥 混合 储存 传输和转运 | 颗粒物 |
| 水泥窑 | 颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、氯化氢、挥发性有机物、汞、二恶英/呋喃 |
| 篦冷机 | 颗粒物 |
| 出品过程 研磨 传输和转运 水泥筒仓 装载 包装 | 颗粒物 |
| 无组织排放 开采过程 道路运输/机动车 露天堆放 原料溢出 | 颗粒物 |

表格 9.4-3 美国的水泥窑排放限值^{39, 40}

| 污染物 | 现存水泥窑 | 新建水泥窑 |
|---------------------|-------------------|-------------------|
| 颗粒物（也是有害金属排放的替代项目） | 0.07磅/吨熟料 | 0.02磅/吨熟料 |
| 氮氧化物 | 不适用 | 1.50磅/吨熟料 |
| 二氧化硫 | 不适用 | 0.40磅/吨熟料 |
| 汞 | 55磅/兆吨熟料 | 21磅/兆吨熟料 |
| 氯化氢 | 3 ppm | 3 ppm |
| 总烃（有机类有害大气污染物的替代项目） | 24 ppmvd | 24 ppmvd |
| 二恶英/呋喃 | 0.2 ng/dscm (TEQ) | 0.2 ng/dscm (TEQ) |

考量，活性炭加注系统通常安装在水泥窑的主要袋式过滤器之后，因此一般需要在活性炭加注系统后面另外单独安装一部辅助袋式过滤器，以进一步降低颗粒物排放水平。湿式洗涤器也可在降低汞排放水平的同时对氯化氢和二氧化硫进行控制。每座水泥厂应根据自身的实际情况选择适当的大气污染防治系统。表格 9.4-3总结了常见污染物排放进行处理的大气污染排放控制设备及其污染物去除效率。值得注意的是，在这些现存的大气污染防治技术之外，各个制造商还在

积极开发其它新型排放控制设备，以帮助美国的水泥厂更好地达到美国联邦环保署波特兰水泥制造业有害大气污染物国家排放标准和污染源绩效标准的要求。例如，美国水泥协会近期发布的报告提到，Tri-Mer公司已经成功研发了一种陶瓷滤膜技术，可有效控制水泥窑的颗粒物、二氧化硫、氯化氢、汞及重金属排放，并有效破坏氮氧化物、有机类有害大气污染物和二恶英分子。⁴¹

表格 9.4-4 美国有关法规涉及的污染物种类、排放控制设备及其污染物去除效率⁴²

| 污染物 | 排放控制设备 | 正常去除效率 |
|---------------------|------------------------------------|--------|
| 汞 | 湿式洗涤器 | 80% |
| | 活性炭加注系统 ⁴³ 与辅助袋式过滤器 | 90% |
| 总烃（有机类有害大气污染物的替代物） | 活性炭加注系统与辅助袋式过滤器 | 50% |
| | 蓄热式热力焚化炉 ⁴⁴ （位于湿式洗涤器之后） | 98% |
| 有机类有害大气污染物 | 活性炭加注系统与辅助袋式过滤器 | 80% |
| | 蓄热式热力焚化炉（位于湿式洗涤器之后） | 98% |
| 氯化氢 | 湿式洗涤器 | 99.9% |
| | 生石灰加注 | 75% |
| 颗粒物（金属类有害大气污染物的替代物） | 袋式过滤器 | 99.9% |
| 氮氧化物 | 选择性非催化还原技术 ⁴⁵ | 50% |
| 二氧化硫 | 湿式洗涤器 | 95% |
| | 生石灰加注 | 70% |

表格9.4-5总结了部分美国制造商、或在美国占据较大市场份额的外国制造商的基本信息。这些制造商可提供以上列举的各种大气污染防治设备。

表格 9.4-5 水泥制造行业大气污染防治设备制造商（部分）

| 制造商 | 污染物及控制设备 |
|-------------------------|--|
| Alstom | 颗粒物（静电除尘器和织物过滤器）、二氧化硫（洗涤器）、氮氧化物（选择性非催化还原技术）、汞排放控制设备 |
| Clarcor Industrial Air | 颗粒物（织物过滤器） |
| Ducon | 颗粒物、二氧化硫、氯化氢、二恶英/呋喃、汞、挥发性有机物和氮氧化物的排放控制设备 |
| Durr | 有机类大气污染物（蓄热式热力焚化炉） |
| FL Smidth | 颗粒物（织物过滤器）、氮氧化物（选择性非催化还原技术）、汞和有机类大气污染物（活性炭加注系统）、多重污染物协同控制设备、工艺排放控制设备 |
| Hamon Research Cottrell | 颗粒物（静电除尘器和织物过滤器）、二氧化硫（洗涤器）、氮氧化物（选择性非催化还原技术）、颗粒物和汞（COHPAC™、TOXECON™） |

美国现行大气污染排放限值的影响分析基于一座熟料年产量为120万吨的预分解窑。影响分析的基准水平为美国水泥制造行业执行该限值之前的排放水平。基准

排放水平是使用各种渠道收集的排放因子进行估算得到的，详情如表格9.4-6所示。

表格 9.4-6 基准排放因子⁴²

| 污染物 | 基准排放因子 | 单位 | 排放因子的来源 |
|------|--------|--------|----------------|
| 氮氧化物 | 2.5 | 磅/吨熟料 | 预分解窑的烟道测试 |
| 二氧化硫 | 0.3 | 磅/吨熟料 | 烟道测试 |
| 颗粒物 | 0.34 | 磅/吨熟料 | 美国联邦环保署的国家排放清单 |
| 氯化氢 | 12 | ppmv | 烟道测试 |
| 总烃 | 21.4 | ppmv | 烟道测试 |
| 汞 | 111 | 磅/兆吨熟料 | 物料平衡方法 |

表格9.4-7总结了这座熟料年产量为120万吨的预分解窑的基准排放情况和减排估算。在基准排放的基础上实现减排的估算基于美国联邦环保署在建立波特兰水泥制造业有害大气污染物国家排放标准和新源绩效标准时美国国内最先进的排放控制技术的预期控制效率和应用情况。

虽然下表中列举的排放控制技术可代表美国水泥制造行业的最高排放控制水平，但是由于新技术的快速研发以及水泥厂和水泥窑实际运行情况的差异，我们仍然无法准确了解各水泥制造企业如何采取具体措施以达到美国有关排放限值的要求。水泥制造行业有关

法规的合规执行期限是2015年9月，但是有关部门没有收集到可用来证明企业合规执行的信息和数据。举例来说，一些水泥厂可能会安装选择性非催化还原技术以满足氮氧化物排放限值的要求，但其它的水泥厂可能会借助低氮燃烧器、分阶段燃烧、调整进料配合比、调整水泥窑燃料类别和其它工作流程等工艺排放控制方案取得相同的效益。在通常情况下，很难找到一座在各个方面都采用最先进技术的水泥厂，但是却可以通过各个采用不同附加控制设备和各种监测与控制系统的工厂总结出一套能够在生产绩效和合规执行之间取得最佳平衡的排放控制方案。

表格 9.4-7 熟料年产量为120万吨的预分解窑的基准排放情况和减排估算⁴²

| 污染物 | 基准排放情况 | 控制设备 | 去除效率 | 减排估算（吨/年） |
|------------|---------|---------------------------------------|---------|-----------|
| 颗粒物 | 204吨/年 | 使用聚四氟乙烯 ⁴⁶ 膜袋过滤器取代传统的织物过滤器 | ≥ 99.9% | 198吨/年 |
| 氮氧化物 | 1500吨/年 | 选择性非催化还原技术 | 50% | 750吨/年 |
| 二氧化硫 | 200吨/年 | 湿式洗涤器 | 95% | 190吨/年 |
| 汞 | 130磅/年 | 活性炭加注系统 | 90% | 120磅/年 |
| 氯化氢 | 68吨/年 | 湿式洗涤器 | 99.9% | 67.9吨/年 |
| 总烃 | 185吨/年 | 活性炭加注系统 | 50% | 90吨/年 |
| 有机类有害大气污染物 | 50吨/年 | 活性炭加注系统 | 80% | 40吨/年 |

美国联邦环保署在建立波特兰水泥制造业的排放标准时，还对水泥厂排放控制设备的成本进行了估算。表格9.4-8总结了这座熟料年产量为120万吨的预分解窑的排放控制设备建设成本和年运行成本，使用持续性排放监测系统连续合规监测的成本也计算在内。如果多种污染物可以通过同一部设备进行协同控制，那么水泥厂在估算成本时只需计算这种设备的单一成本即可。例如，一座水泥厂安装了一部建设成本为2510万美元、年运行成本为360万美元的湿式洗涤器对氯化氢排放进行处理，而这部湿式洗涤器同时也可对二氧化硫排放进行控制。因此，需要考虑的额外开支只剩下二氧化硫的排放监测成本。

- 仪器电子化与升级
- 使用更清洁的替代原料或替代燃料
- 降低熟料与水泥的产量比

波特兰水泥协会在其2009年发布的一份报告中对这些二氧化碳减排策略进行了详细讨论（《二氧化碳减排技术的有效性评估报告——初步评估》，A. Hollingshead and G. J. Venta, PCA R&D Serial No. SN3125, 2009）。

表格 9.4-8 熟料年产量为120万吨的预分解窑的排放控制设备建设成本与年运行成本⁴²

| 污染物 | 控制设备 | 建设成本 | 年运行成本 |
|-------|------------|---------|--------|
| 年运行成本 | 湿式洗涤器 | 2510万美元 | 360万美元 |
| 总烃 | 活性炭加注系统 | 320万美元 | 110万美元 |
| 汞 | 活性炭加注系统 | 320万美元 | 110万美元 |
| 颗粒物 | 聚四氟乙烯膜袋过滤器 | 180万美元 | 35万美元 |
| 氮氧化物 | 选择性非催化还原技术 | 230万美元 | 130万美元 |
| 二氧化硫 | 湿式洗涤器 | 2510万美元 | 360万美元 |

9.4.4 温室气体排放控制

二氧化碳是水泥制造过程中产生的主要温室气体。与其它工业生产过程不同的是，水泥制造过程产生的大部分二氧化碳并不来自燃料的燃烧，而是来自生产熟料的主要成分——石灰石（碳酸钙）的分解。世界各国的水泥制造企业一直致力于降低二氧化碳排放。二氧化碳减排的主要策略包括以下几点：

- 通过设备转化和升级提高燃料的能源效率
- 提高生产过程中的冲击强度

9.4.5 建议

美国联邦环保署于2013年发布了波特兰水泥制造行业有关法规的终稿，并确定2015年9月为合规执行的截止日期。美国联邦环保署在为多种污染物同时制定排放标准的过程中遇到了一些问题，而这些问题在为单一种类的污染物制定排放标准的过程中并不常见。这样的方法也会在各个企业试图采用成本有效的方法落实合规执行的过程中为它们带来一些挑战。表格9.4-9根据美国在该领域的经验总结了一些具有减排潜力的方案和建议。

表格 9.4-9 美国在水泥制造行业大气污染防治方面的经验和建议

| 美国的经验 | | 为江苏省提供的建议 |
|-----------------|---|--|
| 类别 | 详情 | |
| 排放限值的严格程度 | 基于美国《清洁空气法案》中不同部分的规定。例如： 第111部分—最佳可获得控制技术 第112部分—最大可达到控制技术 第129部分—燃烧固体及有害废弃物的商业/工业固体废物焚化炉必须采用更加严格的排放限值 | 排放标准应采用该行业的最佳可获得控制技术 |
| | 美国联邦环保署排放限值的设定允许排放源的实际排放情况产生波动 | 在设定排放限值时，应将排放源实际排放情况的波动考虑在内，排放限值应根据运行良好和控制妥当的排放源在一段时间内的排放情况进行综合计算，例如24小时或30天 |
| 确定适当的大气污染排放附加设备 | 由于原材料和燃料种类的不同，许多污染物（例如二氧化硫、有机类大气污染物和汞等）的排放水平也会有很大不同 | 每座水泥厂需要使用的控制设备和达到的控制水平是不同的，因此需要根据实际情况进行分析 |
| | 多重污染物协同控制比较复杂，并且一种方法无法同时适用于所有情况 | 需要根据每座水泥厂的实际情况分别选取污染防治方案 |
| | 部分排放控制技术具有不良环境影响（例如用于有机类大气污染物排放控制的蓄热式热力焚化炉需要消耗更多的燃料，并释放更多的温室气体；用于有机类大气污染物和汞排放控制的活性炭加注系统会使颗粒物排放升高） | 在采用可获得的控制选项时需对其潜在的不良环境影响进行全面考虑 |
| 湿法长窑和干法长窑 | 预分解窑 | 预分解窑的能源效率更高，且释放更少的氮氧化物 |
| 定期合规阐释 | 连续合规验证 | 应要求进行持续性合规监测（例如每15分钟、每小时或每天） |

9.5 表面涂装

9.5.1 背景信息

表面涂装是出于装饰或保护等考量将油漆或涂料施用于金属、木材或塑料等底物上的过程。在美国和许多其它国家，进行表面涂装作业的企业在大气、污水和固体废弃物排放等方面受到一系列联邦和州级环保法规的管制。在许多情况下，表面涂装企业可以通过污染防治策略代行部分法规要求。

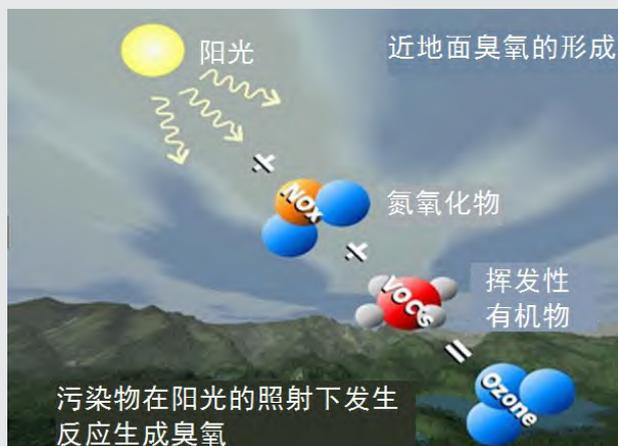
本节将对表面涂装作业的一般过程、排放类别以及不同的排放控制方法进行介绍。本节的最后还将使用一个重要行业——汽车和轻型卡机组装业表面涂装作业的相关图表进行具体的案例分析。表面涂装企业在进行喷涂准备、涂料施用、设备清理及油漆与溶剂混合和储存等过程中向大气释放挥发性有机物、有害大气污染物和颗粒物等物质。许多国家的有关法规对挥发性有机物、有害大气污染物和颗粒物的排放进行严格管制。

挥发性有机物（VOC）指的是除一氧化碳、二氧化碳、碳酸、金属碳化物或碳酸盐、以及在大气光化学反应中形成的碳酸铵之外的含碳化合物。挥发性有机物具有光化学反应性，可在阳光下与氮氧化物发生反应生成臭氧。大约40种反应性极低的含碳化合物也不属于挥发性有机物，其中大部分为氟氯烃，但最重要的则是甲烷和乙烷。

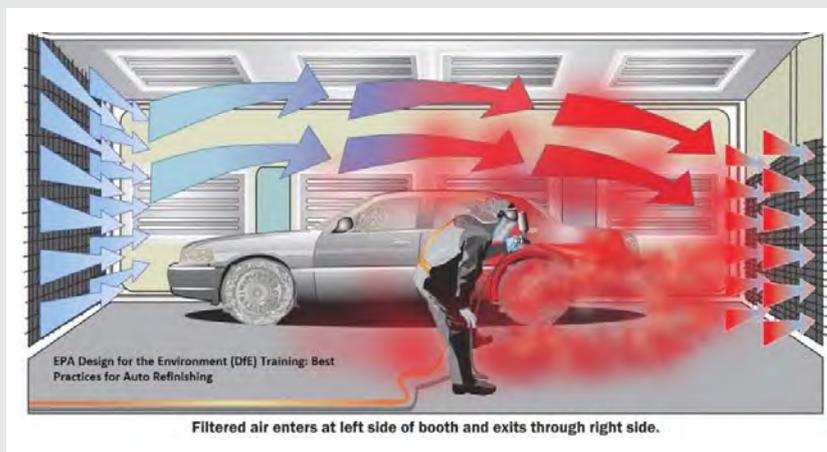
9.5.2 表面涂装作业的流程和排放点

为了提升物体表面的美观程度、耐用性或总体性能，表面涂装企业需要向多种底物或产品的表面施用涂料。图表9.5-2和9.5-3分别展示了在喷漆室内和室外进行的常见喷涂作业。表面涂装作业排放的挥发性有机物主要包括涂料中的溶剂、稀溶剂和清洁剂等。涂料中的溶剂会在向底物或产品施用以及干燥或固化的

图表 9.5-1 近地面臭氧的形成⁴⁷



图表 9.5-2 侧风通风喷漆室⁴⁸



过程中释放。在表面涂装作业中往往需要使用多种溶剂，每种溶剂都有其特殊的用途。一些溶剂挥发速度较快，而另一些则挥发较慢并能够在干燥的过程中产生更好的涂装效果。有时，在固化（例如对一些酚醛树脂中的甲醛进行固化）的过程中也会产生挥发性有机物或有害大气污染物排放。

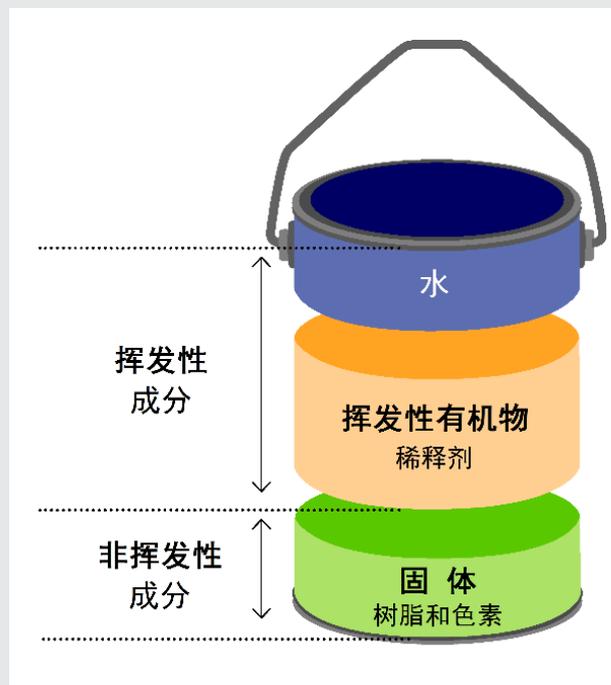
图表 9.5-3 喷涂作业⁴⁹

稀释剂和清洁剂通常含有挥发性有机物，并会对总体排放产生影响。稀释剂用于调整涂料的粘稠度。温度和湿度也会对涂料的施用情况产生影响。清洁剂用来对涂装设备和喷漆室进行机械或人工清洁。

假设涂料中100%的溶剂最终都会挥发到大气中，那么对喷涂作业来说，60-90%的溶剂在施用涂料的过程中挥发，剩余的部分则会在干燥和固化过程中挥发。对于浸涂和帘式淋涂等其它类型的作业来说，在施用涂料的过程中挥发的溶剂较少，但在干燥环节挥发的更多。

9.5.3 涂料成分

如图表9.5-4所示，大部分涂料由挥发性有机物溶剂、水和固体（非挥发性成分，主要包括树脂和色素）组成。不同类型的涂料性质差异较大，例如着色剂的固体含量很低，但溶剂含量很高；底漆的固体含量通常很高，但溶剂含量较低。水则通常是一种豁免溶剂。

图表 9.5-4 涂料成分⁵⁰

油漆和涂料的挥发性有机物成分可以通过不同的单位进行表述：

1. $\frac{\text{克挥发性有机物 (减去豁免溶剂)}}{\text{升涂料}}$
2. $\frac{\text{克挥发性有机物 (减去豁免溶剂)}}{\text{克固体}}$
3. $\frac{\text{克挥发性有机物 (减去豁免溶剂)}}{\text{升固体}}$

在对挥发性有机物的成分进行比较时，应注意使用相同的单位。通常来说，在法规制定和合规执行时通常使用基于固体的单位。在美国，美国联邦环保署倾向使用第2种单位；但加利福尼亚州则倾向使用第3种单位。

涂料中的成分信息可通过材料安全数据表 (MSDS)、认证产品数据表 (CPDS)、产品数据表 (PDS) 及环境数据表 (EDS) 获取。在美国, 涂料制造商必须为其生产的每一种产品建立材料安全数据表。材料安全数据表的内容包括: 涂料的成分及其物理、化学性质; 如何安全使用及处理; 以及如何应对暴露或泄漏事故等。

认证产品数据表是涂料制造商或外部实验室为涂料产品制定的一份文件, 记录了: 使用美国联邦环保署311号测试方法或其它经过美国联邦环保署批准的替代测试方法测量的有害大气污染物成分的质量百分比; 使用美国联邦环保署24号测试方法或其它替代测试方法测量的挥发性有机物和固体成分的质量百分比; 以及使用美国联邦环保署24号测试方法或其它替代测试方法测量的涂料密度。

产品数据表没有强制要求, 但通常可向涂料制造企业索取。产品数据表涉及的信息一般较为基础, 与材料安全数据表相似, 但不包括材料安全数据表中的所有内容。大型涂料制造企业目前正在为其涂料产品建立配套的产品数据表。

环境数据表记录了涂料或溶剂的挥发性有机物成分。涂料制造企业必须将其挥发性有机物成分的计算方法和合规信息记录在环境数据表中。涂料制造企业在建立此类表格时也根据认证指导方针的规定自行进行认证。环境数据表有时也同样被称为认证产品数据表。

许多工业涂料可能含有2种或3种不同的组分, 需要在施用之前进行混合。在这种情况下, 表面涂装企业需要了解各组分重量或体积的混合比。与此类似的是, 许多企业在使用涂料时会对其进行稀释。稀释剂可能由100%溶剂组成(无固体成分), 并可能释放挥发性有机物或有害大气污染物。因此, 在使用各种材料时对质量或体积信息进行完整的记录至关重要。

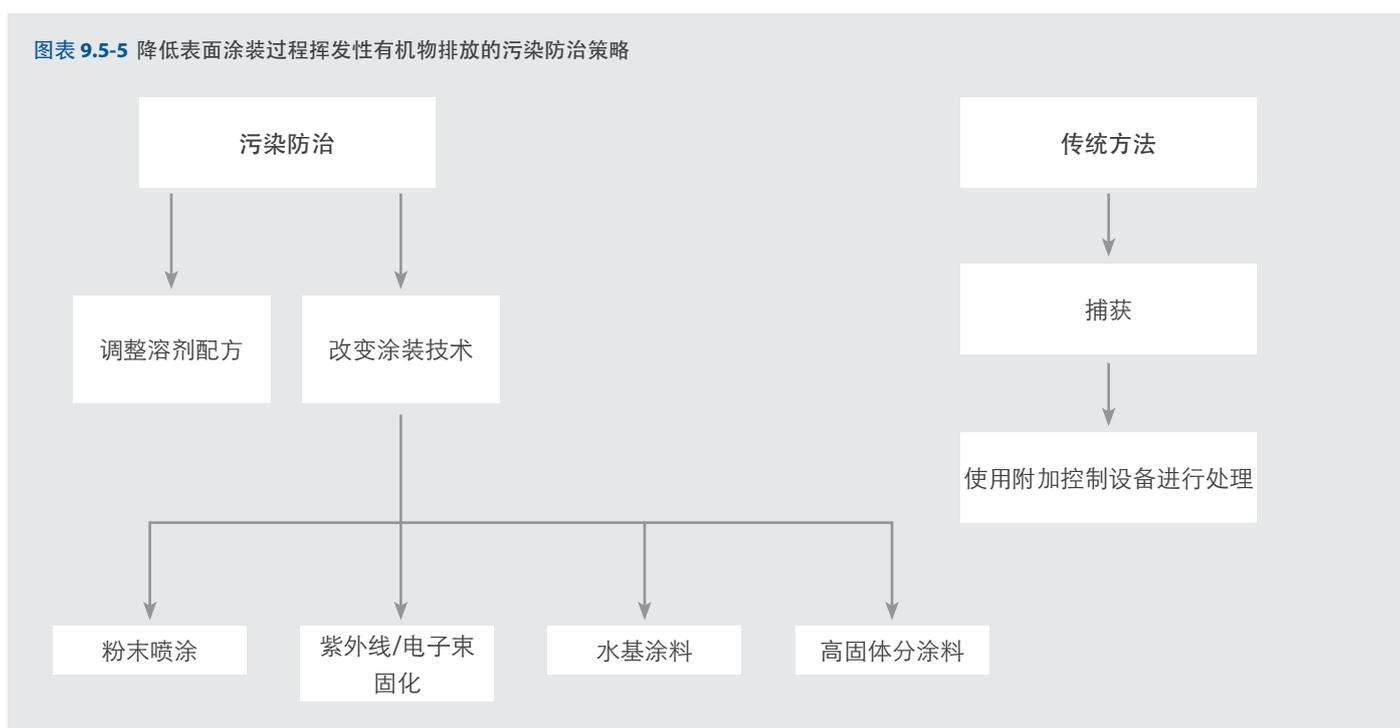
9.5.4 挥发性有机物污染防治方案

如图表9.5-5所示, 降低表面涂装作业的挥发性有机物排放通常可采用两种污染防治方案: (1) 污染防治, 以及 (2) 通过大气污染防治附加设备对污染物进行捕获和处理的传统方法。

9.5.4 (A) 污染防治和废物最少化

污染防治可以降低或去除表面涂装作业中使用的挥发性有机物。采用该策略可以降低涂装过程本身的排放, 同时也可降低稀释剂和清洁剂产生的排放。污染防治的具体措施包括调整溶剂配方或改变涂装技术等。涂装技术的替代方案包括采用粉末喷涂、使用紫外线或电子束进行固化、以及使用水基涂料和高固体分涂料等。美国一直侧重于加强喷涂过程中的挥发性有机物污染防治, 而非使用传统方法对污染物排放进行捕获和处理。

图表 9.5-5 降低表面涂装过程挥发性有机物排放的污染防治策略



表格9.5-1对污染防治和废物最少化策略进行了介绍。涂装技术的变化可改善涂料在产品或底物上的施用效果，或减少涂料的使用量并进而降低挥发性有机物的排放。表格中也涉及一种将现有的涂装技术转变为不对涂料进行雾化（喷涂）的技术，这样可以提高涂料的转移效率，进而节省涂料的使用量并降低挥发性有机物排放。浸涂和帘式淋涂等技术的运行方式是将产品或底物浸入或穿过涂料，因此在较小的底物（如小型器具、砖块、车体或车架部件等）上使用效果更好。美国已经创建了一系列污染防治和废物最少化项目，包括“为环境而设计”（DfE）以及另一项叫做“通过设计进行污染防治”（PtD）的新项目。如需了解更多有关污染防治和废物最少化的信息，请参阅美国联邦环保署的“为环境而设计”项目（<http://www2.epa.gov/saferchoice/design-environment-dfe-workplace-best-practices>）和美国国家职业安全与健康研究院（<http://www.cdc.gov/niosh/topics/ptd/pubs.html>）网站。

可通过污染防治策略实现的减排主要包括：1）改用水基涂料，可实现最高100%的减排；2）改用低汽压清洁剂，可实现50%以上的减排；3）将涂装技术改为粉末喷涂，可实现将近100%的减排。对表面涂装企业尤

其是新建企业来说，污染减排策略通常更为可取，因为污染防治也可同时减少设备清洁和废物处理等诸多问题。

在改用低VOC、无VOC或VOC豁免涂料时，企业必须考虑这项变化对生产过程和产品造成的影响，例如是否需要使用不同的储存、涂装和干燥设备；新涂料需要多长的干燥时间和多少干燥空气；以及新涂料用于产品上的性能、施用简易程度和持久性等因素。有的时候，企业可以在部分产品上改用其它种类的涂料，但是在一些特定的产品上却无法做到。这样一来，企业便需要同时配备施用及干燥溶剂型涂料和水基涂料的设备。另外，将溶剂型涂料改为水基涂料会产生一定的成本。水分会使金属设备生锈并引起许多其它问题，因此现有设备在改用水基涂料的时候可能也需要升级为不锈钢设备，并且需要同时对干燥和空气加热设备进行改造和升级。

美国和全世界范围内的大型涂料制造企业主要包括PPG Industries、Sherwin Williams、DuPont和Valspar等。

表格 9.5-1 污染防治和废物最少化

| 可应用于： | 减排方案 |
|----------|--|
| 涂料 | 使用低VOC或无VOC材料；水基材料；使用粉末喷涂和紫外线固化技术 |
| 稀释材料 | 使用VOC含量较低的稀释材料或水 |
| 清洁材料 | 在进行喷漆室清洁和人工设备清洁时使用低VOC或无VOC材料；使用低汽压清洁剂；只执行必要的工作程序 |
| 涂装技术 | 采取以下方式对设备和喷嘴进行改造，以降低过量喷涂： <ul style="list-style-type: none"> • 提高涂料的转移效率 • 改用低流速喷嘴 • 采用涂料电解法 • 改用帘式淋涂或浸涂 |
| 涂装、稀释和清洁 | 应制定涂装作业标准程序，限制涂料、稀释剂和清洁剂的用量；尽可能保持容器密封；将溶剂加载机构放置在密封容器内 |

9.5.4 (B) 大气污染防治附加设备

传统型大气污染防治附加设备可捕获挥发性有机物排放废气，并将其导入排放控制设备。表格9.5-2列举了常见的挥发性有机物大气污染防治附加设备。尽管目前具备多种排放捕获系统和附加控制设备供表面涂装企业采用，但在选择具体设备时仍应妥善考虑涂料成分和最终产品等相关因素。挥发性有机物排放通常发生在喷漆室中，一般会产生大量挥发性有机物浓度较低的废气。在这种情况下，排放控制设备的成本可能较高。

1. 表面涂装企业可向其涂料或溶剂的供应商索取挥发性有机物或有害大气污染物的数据（或报告），并根据这些信息确定年度大气排放的总体情况。挥发性有机物或有害大气污染物的报告可以用来验证大气排放限值的合规执行情况，因为这些报告中记载了各企业使用涂料或溶剂的数量和类别，以及企业每年排放的挥发性有机物和有害大气污染物的总量。

表格 9.5-2 挥发性有机物大气污染防治附加设备⁵¹

| 大气污染防治设备 | 预期的污染物去除效率 |
|------------------|---|
| 热力焚化炉、热力氧化炉、后燃烧器 | 98% |
| 催化氧化炉 | 95% |
| 浓缩器 | 约90%（浓缩器 + 热力焚化炉） |
| 蒸汽焚化炉、补燃器、火炬 | 98%（运行良好的火炬、热含量 > 11 MJ/sm ³ ） |
| 碳吸附器 | 95-98% |
| 冷凝器 | 50-99% |
| 水帘 | 随特定挥发性有机物的溶解性变化 |
| 水洗涤器 | 随特定挥发性有机物的溶解性变化 |

9.5.5 挥发性有机物排放计算（无大气污染防治附加设备的企业）

表面涂装企业必须采用以下三种方法中的任何一种对大气排放情况进行计算和追踪，以验证其大气排放限值的合规执行情况。

2. 表面涂装企业可以选择（或必须）每月或每天自行对大气排放进行计算。这些企业经常使用电子表格对涂料或溶剂的采购信息和化学成分信息（记录在材料安全数据表和认证产品数据表中）进行记录和追踪，并用于大气排放的计算。
3. 涉及金属零件和产品的修车厂与表面涂装企业可采用简化程序进行大气排放计算、追踪和申报。

9.5.6 表面涂装作业挥发性有机物排放的相关法规

如表格9.5-3所示，美国联邦环保署为多个不同行业的表面涂装作业制定了大气排放法规。一些法规适用于新排放源，一些适用于现存排放源，而另一些只适用于位于臭氧未达标区域的企业。部分大气排放法规要求指定企业采用合理可获得控制技术（RACT）降低其挥发性有机物排放水平。具体的要求可能包括：使用低VOC或高性能涂料、HVLV喷枪或其它可实现有效排放控制的技术。美国联邦环保署为一些工业排放源制定了排放控制技术指导方针，帮助各州为其境内的挥发性有机物排放源确定适当的合理可获得控制技术。表格9.5-3还列举了具备排放控制技术指导方针的行业。

如需了解各行业的详细信息，请参阅：www.epa.gov/ttn/atw/coat/common/coatingsdisc.html以及<http://www3.epa.gov/ozonepollution/SIPTool-kit/>。

9.5.7 表面涂装作业大气排放合规执行方案

在美国，表面涂装企业一般可以采取三种方案满足挥发性有机物大气排放限值的要求，并进行合规阐释：

1. 使用合规材料*——不要求申报
 - 在采购时验证
 - 在使用时验证
2. 达到一定的排放速率——无附加控制设备
 - 例如： $200\text{克VOC/升} \times 5000\text{升/年} = 1000\text{千克VOC/年}$
3. 达到一定的排放速率——通过附加控制设备实现

*以 $\frac{\text{克VOC (减去豁免溶剂)}}{\text{克 (或升) 施用固体}}$ 的形式表达

企业如采用第2种或第3种方案，则必须保留排放计算过程的记录，并向有关部门进行申报。

表格 9.5-3 受美国联邦环保署表面涂装大气排放法规约束的行业

| 受有害大气污染物国家排放标准（NESHAP）和新源绩效标准（NSPS）约束的行业 | 具备排放控制技术指导方针（CTGS）的行业 |
|--|-----------------------|
| 建筑和工业维护 | 压力敏感胶带和标签 |
| 机动车和轻型卡车 | 平板胶印 |
| 纺织印染 | 纸张、薄膜和金箔涂装 |
| 大型机械 | 大型机械 |
| 金属罐 | 金属罐 |
| 金属家具 | 金属线圈 |
| 纸张和其它编织网 | 金属家具 |
| 木质建材 | 工业黏合剂 |
| 航空航天 | 木质建材 |
| 造船 | 航空航天 |
| 金属线圈 | 造船 |
| 其它金属零件 | 汽车修补 |
| 塑料零件 | 玻璃纤维船只制造 |
| 木制家具 | 塑料零件 |
| | 木制家具 |
| | 平板木材镶嵌 |

9.5.8 汽车涂装

很多行业的生产过程均涉及表面涂装作业。在这里，本节选取了汽车和轻型卡车组装业作为示例来介绍挥发性有机物排放控制以及与表面涂装作业相关的其它事项。

2004年修订的美国汽车和轻型卡车组装业表面涂装有害大气污染物国家排放标准为现存排放源制定了有机类有害大气污染物的月排放限值。该行业的现存和新建排放源适用的大气排放限值如表格9.5-4所示。

表格 9.5-4 美国汽车和轻型卡车组装业表面涂装的大气排放限值⁵²

| 喷涂过程 | 现存排放源 | 新建或改建排放源 |
|---|-------------------------|-------------------------|
| 在表面涂装作业中联合使用头二道混合底漆、涂面漆、修补漆、玻璃粘合底漆、玻璃粘合作业及所有的涂料和稀释剂，防声胶和不属于玻璃粘合系统的黏合剂及密封剂除外 | 0.132千克有机类有害大气污染物/升沉积固体 | 0.060千克有机类有害大气污染物/升沉积固体 |
| 在表面涂装作业中联合使用电沉积底漆、头二道混合底漆、涂面漆、修补漆、玻璃粘合底漆、玻璃粘合作业及所有的涂料和稀释剂，防声胶和不属于玻璃粘合系统的黏合剂及密封剂除外 | 0.072千克有机类有害大气污染物/升沉积固体 | 0.036千克有机类有害大气污染物/升沉积固体 |

江苏省目前已经为汽车制造业制定了省级表面涂装挥发性有机物排放标准，⁵³以单位涂装面积的挥发性有机物排放量进行评价。对包括驾驶员座位在内、座位数不超过9座的乘用车，其单位涂装面积的挥发性有机物排放限值为35 g/m²。根据有关规定，每月单位涂装面积的挥发性有机物排放量应基于车体底涂的总面积进

行计算。由于头二道混合底漆和涂面漆只施用于车体的外表面，因此表格9.5-5还提供了部分基于单位体积沉积固体的挥发性有机物排放标准作为参考。汽车和轻型卡车组装业其它常用表面涂装材料的挥发性有机物排放建议限值如表格9.5-6所示。

表格 9.5-5 美国汽车和轻型卡车组装业表面涂装的大气排放建议限值⁵⁴

| 组装涂装过程 | 挥发性有机物排放建议限值 | | |
|-------------------------------|---------------------------|---|-----------------|
| | 固体转化率 (R_f) > 0.160 时 | 0.040 < R_f < 0.160 时 | R_f < 0.040 时 |
| 电沉积底漆涂装作业（包括涂装区域、喷涂/漂洗站和固化炉等） | 0.084千克VOC/升施用的涂料固体 | 0.084×350 ^{0.160-R_f} 千克VOC/升施用的涂料固体 | 无VOC排放限值 |
| 头二道混合底漆涂装作业（包括涂装区域、晾干区域和固化炉等） | 1.44千克VOC/升沉积固体（日称重平均值） | | |
| 涂面漆涂装作业（包括涂装区域、晾干区域和固化炉等） | 1.44千克VOC/升沉积固体（日称重平均值） | | |
| 修补漆涂装作业 | 0.58千克VOC/升沉积固体（日称重平均值） | | |
| 联合使用头二道混合底漆和涂面漆的涂装作业 | 1.44千克VOC/升沉积固体（日称重平均值） | | |

表格 9.5-6 汽车和轻型卡车载装表面涂装使用的其它材料的大气排放建议限值⁵⁴

| 材料 | 挥发性有机物排放建议限值* |
|--------------------|---------------|
| 玻璃粘合底漆 | 900克VOC/升 |
| 黏合剂 | 250克VOC/升 |
| 空腔蜡 | 650克VOC/升 |
| 密封剂 | 650克VOC/升 |
| 防声胶 | 650克VOC/升 |
| 垫圈/垫圈密封材料 | 200克VOC/升 |
| 底涂层 | 650克VOC/升 |
| 卡车内部涂层 | 650克VOC/升 |
| 衬里涂层 | 200克VOC/升 |
| 防水条黏合剂 | 750克VOC/升 |
| 润滑蜡 | 750克VOC/升 |
| * 克VOC/升涂料减去水和豁免物质 | |

表格 9.5-7 常见溶剂的MIR值⁵⁵

| 挥发性有机物 | MIR值 (克臭氧/克VOC) |
|---------|-----------------|
| 乙烷 | 0.28 |
| 甲醇 | 0.67 |
| 苯 | 0.72 |
| 异丁烷 | 1.23 |
| 正丁烷 | 1.15 |
| 苯乙烯 | 1.73 |
| 乙基苯 | 3.04 |
| 甲苯 | 4.00 |
| 间二甲苯 | 9.75 |
| 邻二甲苯 | 7.64 |
| 对二甲苯 | 5.84 |
| 异丁烯 | 6.29 |
| 乙烯 | 9.00 |
| 甲醛 | 9.46 |
| 甲基丙烯酸甲酯 | 15.61 |
| 甲基丙烯酸 | 18.78 |

9.5.9 最大增量反应活性

尽管所有的挥发性有机物都具有光化学反应性，但是不同物质的反应性强弱有所差异。加利福尼亚州空气资源管理局根据各种挥发性有机物对近地面臭氧的相对影响制定了一系列法规，通过最大增量反应活性（MIR）对其进行量化。每种挥发性有机物都具有一个MIR值，该值反映了这种挥发性有机物在大气中发生反应并生成臭氧的潜力。MIR值以每克挥发性有机物生成的臭氧的量进行衡量（单位为克生成臭氧/克挥发性有机物）。MIR值小于或等于乙烷MIR值（0.28）的物质被认为几乎不具有光化学反应性。到目前为止，有关部门总共为1140余种物质和混合物制定了MIR值。表格9.5-7列举了部分挥发性有机物的MIR值。溶剂的MIR值越高，其释放到大气之后产生的臭氧越多。

最大增量反应活性方法的优点主要包括：

- 不提倡使用反应性较强的溶剂，鼓励使用反应性较弱的溶剂；
- 建议使用反应性较弱的溶剂对涂料配方进行调整；
- 明确各种挥发性有机物对近地面臭氧形成的影响

最大增量反应活性方法的缺点主要包括：

- 为油漆和溶剂制造商带来了更多数据记录和申报方面的工作负担；
- 可能会泄露一些制造商认定为商业机密的涂料配方；
- 由于不同物质的溶解力差异，使用MIR值较低的溶剂取代MIR值较高的溶剂可能会对涂装过程、涂装设备、干燥过程和产品质量造成影响

9.5.10 基准排放情况和减排

表格9.5-8总结了美国联邦环保署在实施有害大气污染物国家排放标准之后对全国表面涂装作业的有害大气污染物和挥发性有机物减排情况所做的估算。

表格 9.5-8 美国全国范围内汽车和轻型卡车载装业表面涂装大气污染减排情况⁵⁶

| 污染物 | 基准排放 | 大气污染防治方案 | 污染物去除效率 | 减排情况 |
|---------|----------|----------------------------------|---------|----------|
| 有害大气污染物 | 10000吨/年 | 使用排放附加控制设备对废气流进行处理，并使用新型涂料替换原有涂料 | 60% | 4000吨/年 |
| 挥发性有机物 | 25000吨/年 | | 50% | 12500吨/年 |

9.5.11 防治成本

汽车和轻型卡车载装业的表面涂装包含许多步骤。为了满足美国联邦环保署制定的大气排放限值的要求，表面涂装企业一般需要对一些特定的步骤做出改进。表格9.5-9列举了表面涂装作业各个步骤的有害大气污染防治成本。

表格 9.5-9 美国汽车和轻型卡车载装业表面涂装的大气污染防治成本⁵⁶

| 表面涂装过程 | 污染防治方案 | 防治成本 |
|---------------|------------------------------|---------------------|
| 电沉积底漆涂层与固化炉固化 | 将固化炉废气导入热力氧化炉 | 8200美元/处理每吨有害大气污染物 |
| 头二道混合底漆和涂面漆涂层 | 调整涂料的配方（降低有害大气污染物与挥发性有机物的比例） | 540美元/处理每吨有害大气污染物 |
| 头二道混合底漆和涂面漆涂层 | 将喷漆室废气导入热力氧化炉 | 40000美元/处理每吨有害大气污染物 |
| 所有步骤（平均成本） | - | 25000美元/处理每吨有害大气污染物 |

美国联邦环保署在为美国汽车制造业建立大气排放标准的过程中，对汽车和轻型卡车载装业表面涂装的排放控制成本进行了估算。美国汽车涂装业整体的排放控制技术建设成本和年运行成本的估算也将使用持续性排放监测系统合规监测的成本计算在内。估算的总建设成本约为6.7亿美元，而额外的年建设成本约为7500万美元。包括投资回收、运行成本、监测成本及数据记录和申报成本在内的年度总成本约为1.54亿美元。⁵⁶

9.5.12 美国最先进的表面涂装企业

美国的许多表面涂装企业都代表着目前生产技术的最高水平。例如，尼桑公司的田纳西州生产设施目前采用的是一套最先进的表面涂装作业系统。该系统采用的是一种“三重湿法涂装”技术，即同时向产品施用全部三种涂料，期间不进行任何干燥处理。实践证明，该技术能够将挥发性有机物排放降低70%左右。由于该技术的干燥步骤较少、整体运行过程较短，因此也能够同时降低30%左右的能耗，并具备更高的运行效率。⁵⁷

9.5.13 温室气体排放控制

二氧化碳是表面涂装过程中产生的最主要的温室气体。二氧化碳减排一般通过提高效率和降低能耗两种方法加以实现。具体措施主要包括：

- 在施用多层涂料时可采用湿法涂装技术，即在前一层涂料未完全干燥之前继续施用下一层涂料。这样便可有效减少各涂装过程的单独运行，并尽量避免使用传统型涂装作业中必须使用的干燥炉或固化炉；
- 减少鼓气泵的使用，进而降低用于对空气和干燥炉进行加热的天然气消耗；
- 使用热泵技术对喷漆室烟道内的热量进行回收

9.5.14 建议

表格9.5-10根据美国在表面涂装大气污染防治方面的经验为江苏省提出了一些具有减排潜力的方案和建议。

表格 9.5-10 美国在表面涂装大气污染防治方面的经验和建议

| 美国的经验 | | 为江苏省提供的建议 |
|--|--|-------------------------|
| 过去 | 现在 | |
| 对各种挥发性有机物采取相同的污染防治措施，未考虑其光化学反应性和生成臭氧能力的区别 | 一些州份现在要求使用MIR值对不同的挥发性有机物进行评估，对MIR值较高和较低的物质采取不同的污染防治措施 | 评估最大增量反应活性方法的有效性 |
| 采用污染捕获和控制的传统方法，例如将表面涂装挥发气体中的挥发性有机物捕获并导入大气污染防治附加设备中进行处理 | 通过调整溶剂配方或涂装技术，减少或去除涂料、稀释剂和清洁剂中含有的挥发性有机物 | 建立污染防治项目 |
| 在选择挥发性有机物溶剂时只考虑其对涂装工艺的技术影响和涂层性能（例如存储、喷涂和干燥设备；干燥时间和能量要求；以及涂层性能、喷涂的简易程度和成品的持久性等） | 在选择挥发性有机物溶剂时，除考虑其对涂装工艺的技术影响和涂层性能外，还需重点考虑其环境影响和挥发性有机物排放情况 | 采用替代材料—对涂料配方进行调整 |
| 传统型空气雾化喷涂 | HVLP喷涂技术和静电辅助，加强对有关人员的培训，推广使用自动化喷涂设备 | 改善转移效率—喷涂设备升级/自动化 |
| 基于排放控制的百分比设定排放限值 | 基于排放VOC质量与施用固体质量的比例，或排放VOC质量与涂层面积的比例制定排放限值 | 提倡使用水基材料 |
| 溶剂型涂料 | 水基和粉状涂料，紫外固化 | 减少挥发性有机物排放并尽量避免涂装作业中的浪费 |

9.6 移动源和燃料

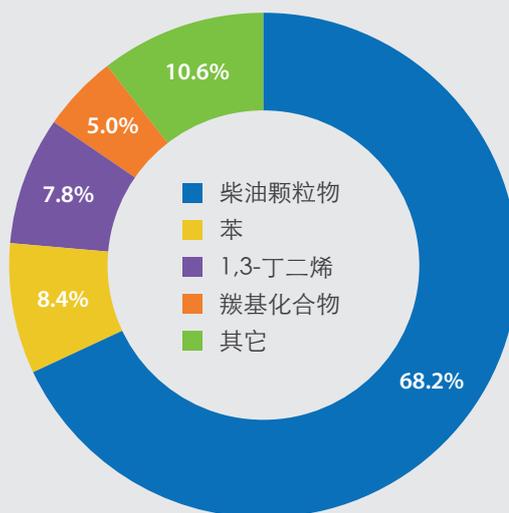
9.6.1 背景信息

移动源向大气中排放一氧化碳、二氧化碳、氮氧化物、挥发性有机物、颗粒物（包括黑碳）和有毒大气污染物等物质，是城市和区域大气排放清单中非常重要的组成部分。在发达国家，造成城市整体大气质量问题的一半以上的污染物通常是由移动源排放的，尤其是一氧化碳和有毒大气污染物。例如，在美国加利福尼亚州的洛杉矶地区，含有柴油颗粒物、苯和1,3-丁二烯的移动源排放造成的患癌风险占整个区域大气污染致癌总风险的80%以上（如图表9.6-1所示）。另外，移动源会在车流量较大的道路附近形成“污染热点”（大气污染物浓度较高的区域）。有关研究表明，这些污染热点为主要道路周边的居民带来的不良健康影响非常严重。

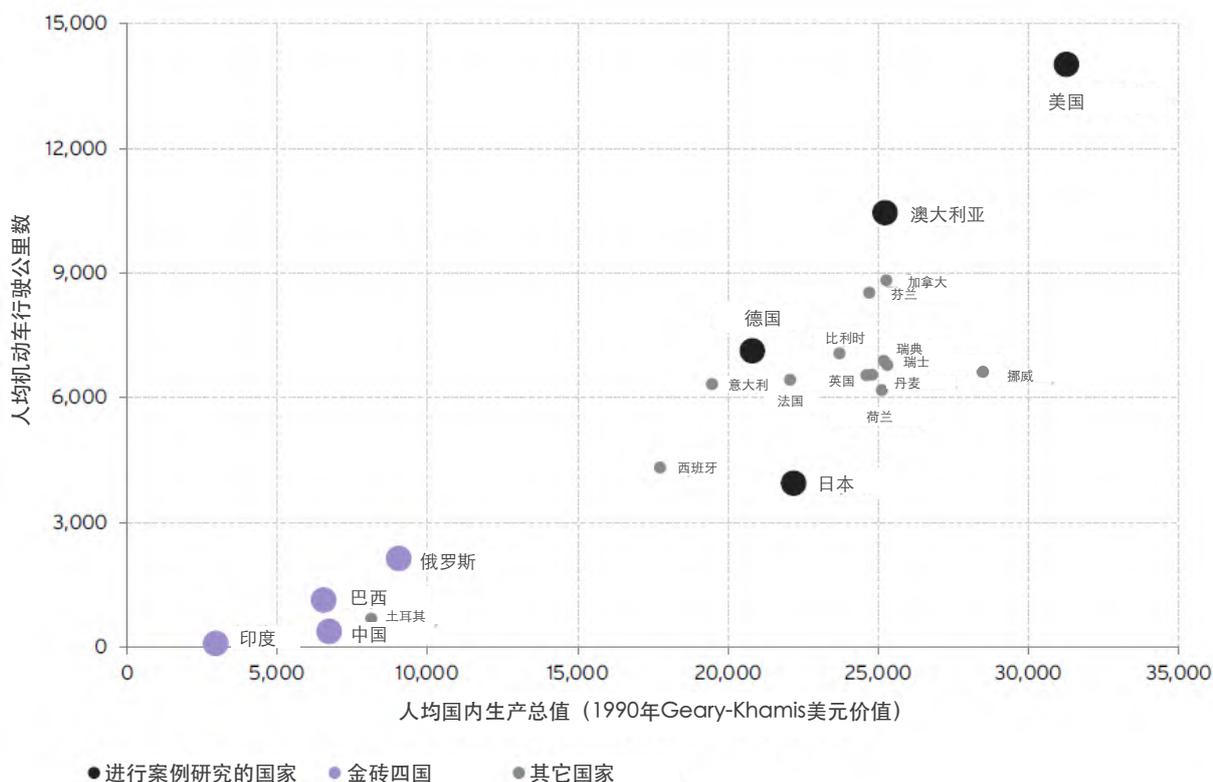
如图表9.6-2所示，与西方发达国家相比，目前中国的人均机动车使用水平仍然较低。

图表 9.6-1 洛杉矶地区有毒大气污染物的致癌风险⁵⁸

基于10座固定监测站点平均监测情况计算的该区域患癌风险值：每一百万人中有418人可能患上癌症



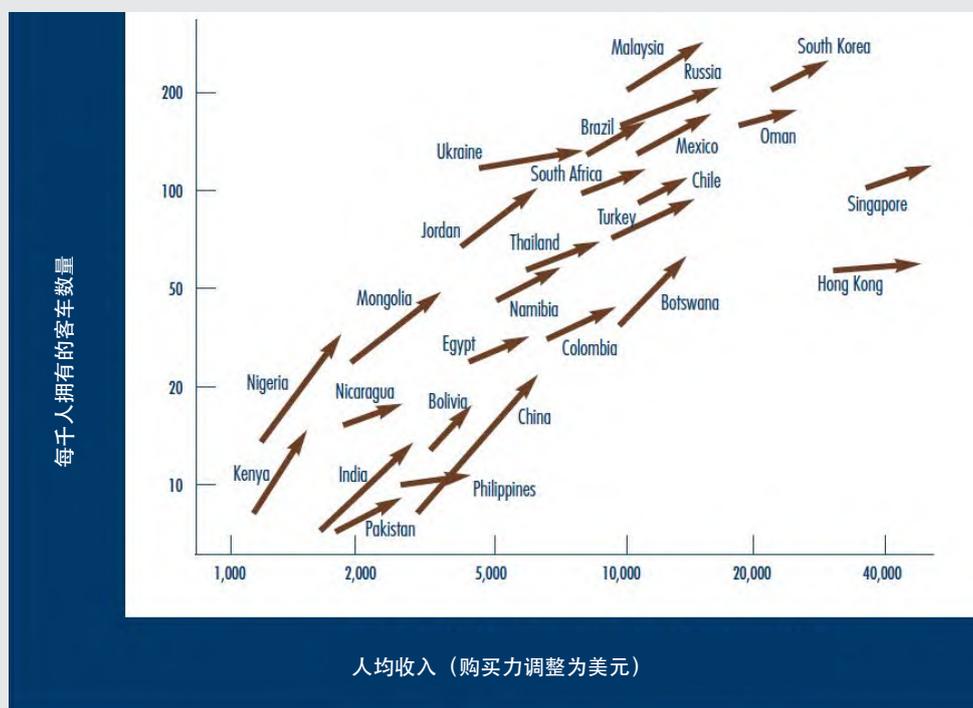
图表 9.6-2 2008年各国人均机动车活动水平（机动车行驶公里数）与国内生产总值（GDP）的比较⁵⁹



由于中国现阶段的人均机动车使用水平相对较低，因此许多城市当前的大气污染问题主要仍由重工业污染引起。例如，有关研究表明，江苏省的固定排放源在很长时间以来一直是该省大气污染的主要原因之一。^{60, 61} 但是，根据目前的预期，在人口快速增长、人均收入提高、人均机动车起始使用水平较低的情况下，中国快速增长的机动车保有量将会对城市大气污

染产生越来越显著的影响，并将成为一个非常重要的排放源类别。研究表明，随着收入的提高，人均机动车保有量和使用水平也会相应提高，中国的相关数据也证实了这一点（如图表9.6-3所示）。目前，中国的机动车使用水平正在快速增长。根据预测，在未来的几年间，中国机动车使用水平的年增长率可能会达到13-17%（如图表9.6-4所示）。

图表 9.6-3 2002至2007年发展中国家的机动车普及和经济增长情况⁶²



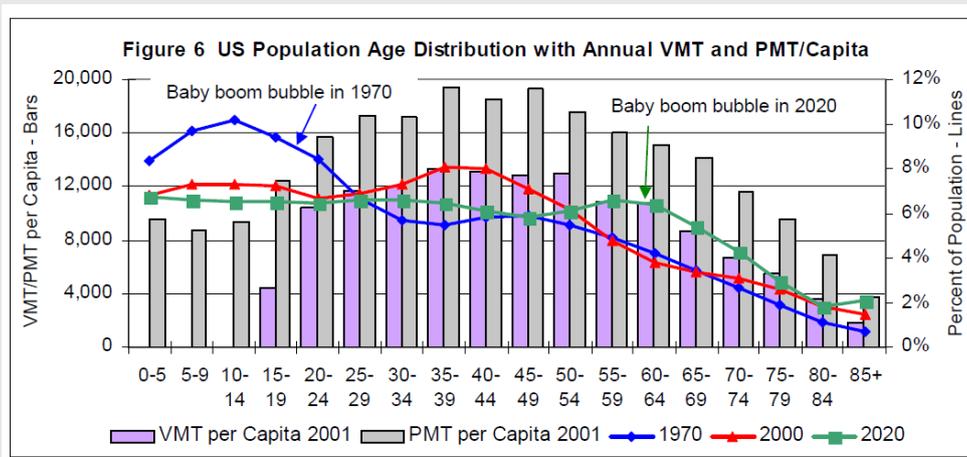
图表 9.6-4 根据预测，中国的机动车保有量在未来将大幅增长⁶³



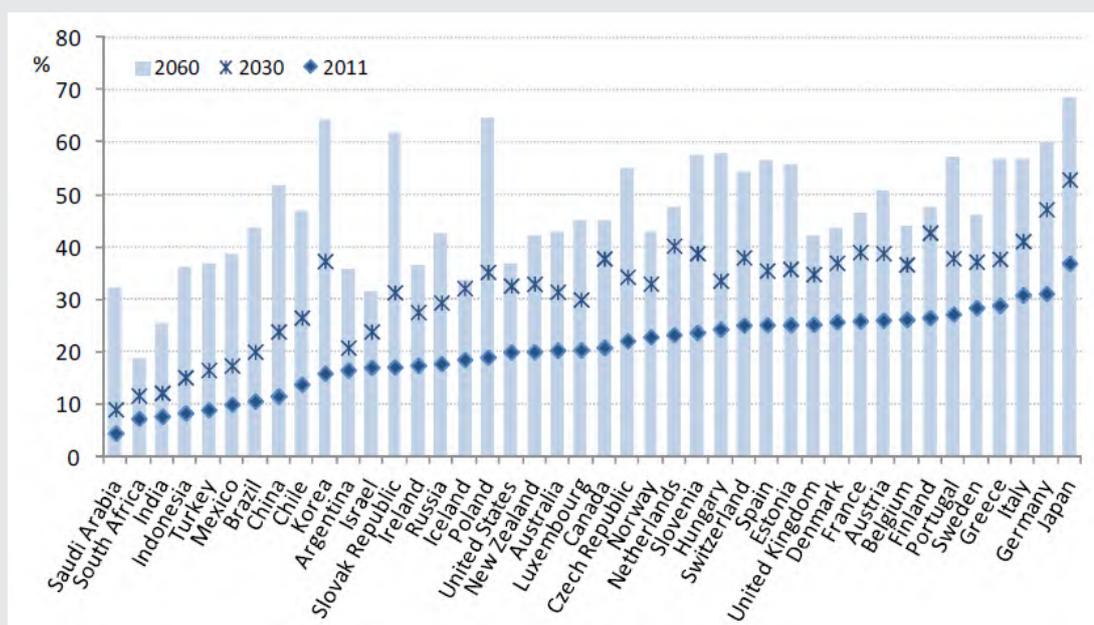
可能对未来的机动车使用水平增长率产生影响的因素之一是中国和其它许多国家都需要面对的人口年龄变化。研究数据表明：(a) 随着年龄的增长，开车出行的人口比例也会相应降低（如图表9.6-5所示）；(b) 中国65岁以上年龄段的人口正在逐步增加（如

图表9.6-6所示）。然而，如图表9.6-3所示，目前对不同年龄段人口变化做出的预测将会从本世纪中期开始逐步显现，而中国的机动车在现阶段仍将保持非常强劲的增长势头。

图表 9.6-5 美国的研究数据显示，随着年龄的增长，开车出行的人口比例也会相应降低⁶⁴



图表 9.6-6 中国与其它国家的人口正在逐步老龄化⁶⁵



9.6.2 机动车污染防治方面的挑战

在对机动车的大气污染排放进行控制时，经常需要面对以下挑战：

1. 大部分城市的机动车使用水平正在持续增长。由于先进的机动车和燃油技术的开发和应用，大多数国家的机动车个体排放速率正保持下降的趋势；然而，持续增长的机动车保有量和总行驶里程抵消了这样的效果。
2. 为改善当前和近期的大气质量，污染防治方案应重点对当前上路行驶的机动车以及施工机械、船舶、火车和飞行器等非道路移动源进行整治和管控。在上路行驶的移动源方面需注意以下两点：
 - a. 行驶年数处于中期（10-20年）的机动车的排放量最大。就车辆个体的排放来说，最老旧的机动车一般会产生最多的排放。然而，当机动车行驶年数逐渐增高时，行驶中的老旧车辆将被逐步淘汰，数量将大幅减少，剩下的则是一些较新的车辆或者年行驶里程较低的中期车辆。新车辆必须达到更加严格的排放标准，性能没有严重损坏并处于保修期内，因此这些车辆的大气排放水平较为适中；相比较之下，中期车辆已经超出保修期，车辆性能可能有所受损，但是其总体数量仍然较多，并且年行驶里程较老旧车辆更多。因此，中期车辆是进行污染防治时最应重点关注的部分。
 - b. 许多关于汽车、卡车、船舶和其它移动源的研究显示，无论机动车的年份和款式如何，其中一部分（约10%）产生的排放占移动源总排放的比例很高（50%以上）。因此，在进行排放控制时面临的一项重大挑战便是筛选这些排放量最高的机动车（通常称为总排污车辆），并对其进行管制。由于总排污车辆包含各个款式和年份，因此要具体预估某个特定款式或年份的总排污车辆便十分困难。这时就需要根据车辆的年检情况或采用遥感装置等道路排放测量设备进行分析。
3. 有关实验表明，为确保未来的大气质量改善按期实现，污染防治方案需要对新车辆进行重点考虑，因为这些车辆随着时间的推移将陆续取代目前上路行驶的车辆。

对这些挑战进行分析和应对的方法通常可归纳为两类：基于技术的方法，以降低机动车排放速率（或者是降低汽车尾气中释放的污染物）；以及基于行为的方法，以改变机动车的使用情况。从过去的经验来看，基于技术的方法比基于行为的方法更加有效，因为改变人们的行为方式往往是非常困难的。

9.6.3 如何面对这些挑战

机动车的排放水平与多个因素有关，包括车辆类型和行驶年数、油品性质、车流量、车辆维护、行驶速度和拥堵程度、以及正在行驶中的车辆数量和行驶里程等。机动车污染防治方案可以按照具体措施的需求在全市、全省、全国和国际范围内实施。通常来说，具体措施可分为六个类别：

1. 新机动车排放标准——主要在国家层面上实施的新机动车排放标准（例如欧五或美国第三级排放标准等）。随着时间的推移，将更多的低排放车辆引入市场，并降低机动车的总体排放水平。作为一个不太常见的案例，美国加利福尼亚州在州级层面上对新机动车的排放进行了严格的管制。加利福尼亚州严重的大气质量问题、密集的人口及其在美国汽车市场中占据的主导地位促使其运用州政府的职权对新机动车的大气排放采取了诸多监管措施。新机动车排放标准通常以改善发达国家城市大气质量的最有效单一长期措施的形式加以体现。这是一种基于技术的排放控制方法。由于受到管制的排放源企业一般是规模较大的制造商，因此相关措施在执行时也相对比较容易。该措施的整体实施进度通常较为缓慢，符合排放标准的新机动车一般需要10-15年的时间对高排放老旧车辆进行置换。长期来看，该方法的机动车个体减排效果通常可达到90%以上。
2. 燃料质量的改变——燃料质量标准可以在全国或全省范围内实施，以降低移动源的大气污染物排放水平。例如，江苏省目前正在加快推广实施低硫燃料，以降低移动源的颗粒物排放。其它基于燃料的排放控制方法还包括：向汽油中充氧以降低一氧化碳和挥发性有机物排放；对汽油中的苯含量进行限定以降低有毒大气污染物排放；以及采用雷德蒸汽压标准以降低挥发性有机物蒸汽的排放。这是一种基于技术的排放控制方法，执行时也相对比较容易。该措施的整体实施进度相对较快（例如3-5年），且燃料质量的变化将会对所

有的移动源（路上行驶的车辆和新车辆）产生影响。一些燃料在配方调整时可能会产生预期之外的气味变化，并引起燃料价格升高。在这种情况下，如果不能事先就相关问题进行充分的沟通，可能会在社会上产生强烈的负面反应。因此对社会大众进行知识普及并增强沟通必不可少。该方法的机动车个体减排效果通常可以达到10%以上。

3. 对高排放机动车进行改造或置换——对于现存机动车来说，柴油颗粒物滤网等附加控制设备可以用来降低污染物的排放水平。有关部门还可以创建一系列刺激和补助项目，促使车主使用清洁的新型机动车对老旧机动车进行置换。这是一种基于技术的排放控制方法，但实际效果也依赖于机动车车主的参与（自主参与或强制参与）。自主性项目实施起来相对容易，但是涉及面较广的强制性项目则比较困难。该措施的整体实施进度可能相对较快（例如3-5年），但也可能受制于用来进行车辆改造和置换的社会资金的可用程度。美国主要港口近期实施的卡车置换项目表明，推动老旧卡车的淘汰与报废可以加快车辆更新换代的整体进度。例如，加州奥克兰港的卡车报废项目提前十余年完成了港区卡车的更新换代工作，并将车辆个体排放水平降低了50-75%。⁶⁶然而，区域性污染减排措施取得的成效一般不太明显。例如，在1999至2003年期间，加州的卡车自主改造和置换项目（又称“卡尔莫耶尔项目”）总共投入了2500万美元的资金，但实现的道路卡车氮氧化物减排仅为2%左右。⁶⁷
4. 通过机动车年检和维护项目鉴别高排放车辆并对其进行整修——定期对上路行驶的机动车进行检修可帮助鉴别高排放车辆，促使其进行整修或退役。这是一种基于技术的方法，但在很大程度上也依赖于机动车车主、年检部门和修车厂职员的良好参与。设计一项理想的年检和维护项目在程序和技术上来说都是比较困难的。项目的设计必须与机动车技术紧密联系。美国目前最先进的年检和维护项目摒弃了原先的尾气测试程序，而完全依赖于在线诊断系统（手持式电子读数设备）。然而，当采用旧技术的机动车数量仍然较多时，尾气测试程序仍然是年检和维护项目中必不可少的组成部分。将尾气测试与保修作业分开的集中测试程序已经证明比非集中测试程序更加有效，但是在社会上推广实行较为不易。由于许多年检和维护项目反馈的减排情况低于预期，因此执法行动也随着时间的推移变得更加困难。美国的经验表明，如果年检和维护项目设计得当，可能达到10%-15%的减排效果。⁶⁸该措施的实施速度可能相对较快（例如3-5年）；然而，要想成功实施，还需要对社会大众和修车行业的有关人员进行一定程度的知识普及和技能培訓。
5. 落实交通系统管理——各城市可以采取多项行动对交通进行疏导，降低由拥堵和低速行驶产生的机动车尾气排放。具体措施包括：信号灯周期同步、建立港湾式公交车站和转向车道、以及通过电子屏幕通报事故信息并组织交通调流等。在区域层面上，许多措施被融合至区域智能交通系统中，并配合道路的修整和拓宽对该区域的交通状况进行改善。这是一种基于技术的方法，但不一定需要执行。由于交通系统管理的主要目的是对现状道路基础设施进行优化，因此在区域层面上实施的效果一般不太明显（例如整个区域内的减排效果低于1-3%）。该措施的实施进度相对较快（1-3年）。
6. 出行需求管理——在省级和市级层面上，有关部门可采取一系列措施降低机动车行驶里程，并通过增设自行车道、步行道和高速公路合用汽车车道，建立合用汽车支持项目以及扩展公交系统与其它公共服务，进一步提倡和鼓励采用低污染出行方式。这些措施的设计目的是通过自主性或强制性项目对大众的行为模式进行影响。自主性项目的例子包括：建立一项大气质量公共信息项目，在大气质量较差的时候鼓励大众拼车或使用公交系统出行；强制性项目包括机动车限行措施（例如北京在2008年奥运会期间采取的限行方案），以及英国伦敦和瑞典斯德哥尔摩对进入市中心行驶的车辆征收的通行费等。另外，土地规划也可包含“智能增长策略”，鼓励市郊和乡村等区域采用密集混合的土地开发使用模式，以降低这些区域的机动车使用水平。许多研究都证实，在人口密集的城市中，完善的公共交通系统有效降低了人均机动车使用水平。⁶⁹中国和亚洲其它区域许多城市的人口密集程度远超欧美，长期以来一直使用公共交通系统作为私家车的替代方案。总的来说，是否强制执行交通限行措施（例如在北京奥运会期间，机动车排放降低了30-50%

），是否征收强制性费用（例如在伦敦和斯德哥尔摩，市中心区域强制征收的通行费将车流量降低了20-30%），以及城镇布局是否更加紧凑和综合，都会对出行方式的改变产生不同的影响。⁷⁰ 美国的研究估计，鼓励采用密集混合的土地开发使用模式可能会使区域层面上的机动车排放平均降低5%左右（1%-11%）。⁷¹ 希腊雅典等地的实例证明，强制性限行措施可能难以长期落实，并可能会带来一些预期之外的结果。在雅典，一些车主购买了高污染二手车来规避车辆限行规定。⁷²

9.7 其它行业

江苏省和南京市、常州市、苏州市等三试点城市目前应重点关注的其它大气污染排放源主要包括：

- 工业锅炉
- 生物质燃烧
- 电子产品制造
- 生物制药
- 扬尘（包括建筑工地等场所产生的扬尘）
- 餐饮企业/日常烹饪
- 化肥施用

虽然本次报告没有直接涉及这些排放源的大气污染防治工作，但是为这些排放源进行排放估算也将有效提高排放清单的整体质量。另外，对这些排放源的大气污染进行有效防治也将有助于江苏省和三试点城市深化落实其大气质量目标，并将大气质量有效维持在达标范围之内。

美国联邦环保署的技术传输网络（TTN）及排放清单和排放因子数据交换网络（CHIEF）⁷³可以为这些排放源的排放估算工作提供很多资源和指导。CHIEF网络提供的资源主要包括培训模块、排放清单资源以及与排放清单有关的软件和工具的连接等。

专门用于进行PM_{2.5}排放估算的工具可以从美国联邦环保署的PM_{2.5}排放清单资源中心⁷⁴获取。该中心提供的资源主要包括PM_{2.5}排放清单准备工作指导、排放估算工具、质量控制方案以及PM_{2.5}持续性研究项目的有关信息等。

参考文献与注释

- From International comparison of fossil power efficiency and CO₂ intensity -Update 2014. Charlotte Hussy, Erik Klaassen, Joris Koornneef and Fabian Wigand. Downloaded from the following website on 10/20/2015: <http://www.ecofys.com/files/files/ecofys-2014-international-comparison-fossil-powerefficiency.pdf>.
- 排放限值的单位为标准状态下 (273K、101.325 kPa) 的立方米。
- 中国环境保护部于2011年12月颁布了GB13223-2011《火电厂大气污染物排放标准》。之后, 环保部又与国家发改委和财政部联合颁布了《重点区域大气污染防治“十二五”规划》, 并于2012年9月由国务院批准实施。 <http://en.cleairchina.org/product/6285.html>.
- 行动计划于2014年11月10日发布。
- 省煤器是位于锅炉烟气出口处的热交换装置, 用于将烟气中的热量转移到导入锅炉的水中。当锅炉以低容量运行时, 烟气排放的速率大幅降低, 导致烟气通过省煤器的时间变长, 因此省煤器会从烟气中吸收更多的热量。在这种情况下, 烟气的温度将低于选择性催化还原系统中化学反应正常进行所需的最低温度, 使得氮氧化物无法被还原为氮气和水。
- 这幅图表反映的是一部没有安装省煤器绕路装置或其它在低容量运行时维持烟气温度的设备的发电机组。
- 相关措施可以包括: 在系统中安装省煤器半绕路管道, 将烟气温度保持在适合催化剂有效还原氮氧化物的必要范围内。
- 《中华人民共和国环境保护法》第十五条授权省级政府制定比国家有关标准更加严格的环境标准。 <http://www.china.org.cn/english/government/207462.htm>.
- 后燃烧分类的依据是在安装最先进的低氮燃烧器和燃烧空气系统之后, 由锅炉释放的氮氧化物的浓度预期值。
- Yuan Xu, R.H. Williams, and R. Socolow, “China’s rapid deployment of SO₂ scrubbers.” *Energy & Environmental Sciences*, vol. 2, pp. 459-465, 2009.
- 脱硫装置烟气旁路。
- 根据国务院《大气污染防治行动计划》的要求, 上海市周边的长三角城市群范围内将不再新建燃煤电厂。 http://www.gov.cn/zwgc/2013-09/12/content_2486773.htm.
- 新建发电机组中配备的干式洗涤器可以用来降低现存机组湿式洗涤器产生废水的环境影响。更多内容请参阅 <https://www.duke-energy.com/pdfs/NG-Cliffside-Modernization-Brochure.pdf>.
- 容量在100兆瓦及以上的燃煤发电机组的二氧化硫排放标准是35 mg/m³, 基准氧含量为6%。
- 冷侧静电除尘器安装在燃烧空气预热器之前, 运行温度通常低于150℃。
- 热侧静电除尘器安装在燃烧空气预热器之后, 运行温度通常高于350℃。
- 美国北卡罗来纳州夏洛特市的Cliffside燃煤电厂使用一部干式洗涤器蒸发处理厂区内另外两座湿式洗涤器产生的废水。
- 必须严格监控湿式洗涤器除雾器的绩效, 以避免含有大量溶解性固体的液滴随着烟气释放到大气中, 产生大量的PM_{2.5}排放。
- <http://cornerstonemag.net/water-saving-fgd-technologies/>
- 容量在100兆瓦以下的燃煤发电机组的二氧化硫排放标准是50 mg/m³, 基准氧含量为6%。
- Shubert Ciencia, CC-BY-2.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by/2.0>), via Wikimedia Commons.
- 对于湿式洗涤器, 应使用美国联邦环保署参考方法5B量化可过滤颗粒物, 并使用美国联邦环保署参考方法202量化可凝结颗粒物 (CPM)。
- 湿式洗涤器可用于去除氧化态的汞。如果湿式洗涤器溶液中的氯含量过高, 则可能将氧化态的汞转化为单质汞, 并随着烟气释放到大气中。
- 排放速率的单位是: 磅汞/兆Btu煤炭热输入。
- 为确认相关排放限值的合规执行情况, 应使用以下公式将实际的浓度测量值由烟气中测得的氧含量转化为6%的基准氧含量:

$$C_{adj} = C_{measured} \frac{20.9 - 6}{20.9 - O_{2\text{ measured}}};$$
 详情请参阅40 CFR Part 60附录A-7的第7部分。
- http://www.degremont-technologies.com/cms_medias/pdf/tech_infilco_FGD-Experience.pdf.
- http://www.mcilvainecompany.com/Decision_Tree/subscriber/Tree/DescriptionTextLinks/Mill%20Creek%20FGD%20Upgrade.pdf.
- <http://www.koch-gliitsch.com/Document%20Library/FG-Doverview.pdf>.
- <http://www.duke-energy.com/pdfs/NG-Cliffside-Modernization-Brochure.pdf>.
- http://www.eia.gov/energyexplained/index.cfm?page=oil_refining#tab2. Retrieved in 2008.
- 2011美国国家排放清单 (NEI)。
- <http://www.dupont.co.uk/products-and-services/consulting-services-process-technologies/brands/sustainable-solutions/sub-brands/clean-technologies/products/belco-clean-air.html>.
- 2012温室气体申报项目 (GHGRP)。
- 40 CFR Part 60, Subparts J/Ja, Db, GGGa and Kb.
- 40 CFR Part 61, Subpart FF.
- 40 CFR Part 63, Subparts CC, R and Y.
- 40 CFR Part 63, Subparts L, CCCCC, FFFFF and YYYYY.
- U.S. EPA. Alternative Control Techniques Document Update – NO_x Emissions from New Cement Kilns. November 2007. EPA-453/R-07-006.
- 40 CFR Part 60, Subpart F.
- 40 CFR Part 63, Subpart LLL.
- Cement Americas News, Ceramic Filter System, Cement Americas, April 7, 2014, <http://www.cementamericas.com/>

- cement-products/729-ceramic-filter-system.html.
42. U.S.EPA. Summary of Environmental and Cost Impacts for Final Portland Cement NESHAP and NSPS, August 6, 2010. Docket EPA-HQ-OAR-2002-0051-3438, www.regulations.gov.
 43. 活性炭加注, 即Activated Carbon Injection。
 44. 蓄热式热力焚化炉, 即Regenerative Thermal Oxidizer。
 45. 选择性非催化还原, 即Selective Non-Catalytic Reduction。
 46. 聚四氟乙烯, 即Polytetrafluoroethylene。
 47. Photo from Calculating Emissions of Volatile Organic Compounds (VOC), Hazardous Air Pollutants (HAP), and Toxic Air Contaminants (TAC) for Air Pollution General Permits, Ohio EPA, December 2013.
 48. EPA Design for the Environment (DfE) Training: Best Practices for Auto Refinishing, <http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0CElQFjACahUKewiS0aq-s9TI-AhUEHR4KHbYB1Y&url=http%3A%2F%2Fdca.y.gov-%2FDCA%2520Resource%2520Document%2520Library%2FEPABestPracticesforAutoRefinishing.ppt&usg=AFQjCNGv1lqduOtC3X5edoSNbI9rJ3k-lQ&bvm=bv.105814755,d.dmo>.
 49. <http://www.graco.com/content/dam/graco/ced/images/application/xforce-hd-20927.tif.imagep.png>.
 50. Photo from Calculating Emissions of Volatile Organic Compounds (VOC), Hazardous Air Pollutants (HAP), and Toxic Air Contaminants (TAC) for Air Pollution General Permits, Ohio EPA, December 2013.
 51. U.S. Environmental Protection Agency. Technology Transfer Network, U.S.-Mexico Border Information Center on Air Pollution (CICA). Technical Resources webpage. Accessed 10/21/2015. http://www3.epa.gov/ttn/catc/cica/atech_e.html.
 52. 40 CFR Part 63, Subpart IIII, National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants: Surface Coating of Automobiles and Light-Duty Trucks.
 53. 江苏省表面涂装(汽车制造业)挥发性有机物排放标准(DB32/2862-2016), 2016年1月1日发布。
 54. U.S. EPA. Control Techniques Guidelines for Automobile and Light-Duty Truck Assembly Coatings. EPA-453/R-08-006, September 2008.
 55. California Environmental Protection Agency, Air Resources Board. Consumer Products Regulations, Article 3, Tables of Maximum Incremental Reactivity Values, Subchapter 8.6, Section 94700. http://www.arb.ca.gov/consprod/reg/2015/mir_tables_final_1-22-15.pdf.
 56. National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants: Surface Coating of Automobiles and Light-Duty Trucks: Final Rule, Volume 69, Federal Register 22602, April 26, 2004.
 57. <http://nissannews.com/en-US/nissan/usa/releases/nissan-debuts-efficient-new-smyrna-paint-plant>.
 58. Reproduced from SCAQMD, 2015. Figure ES-2 (<http://www.aqmd.gov/home/library/air-quality-datastudies/health-studies/mates-iv>).
 59. Reproduced from the RAND Corporation 2014, "The Future of Driving in Developing Countries" (http://www.rand.org/pubs/research_reports/RR636.html).
 60. See, for example, a presentation on Jiangsu Province air quality from the December 2015 AGU conference (<https://fallmeeting.agu.org/2015/abstract/establishment-of-a-highresolution-emission-inventory-and-its-impact-assessment-on-air-quality-modeling-in-jiangsu-province-china/>).
 61. Also see Zhao et al. 2015, "Advantages of city-scale emission inventory for urban air quality research and policy: the case of Nanjing, a typical industrial city in the Yangtze River Delta, China."
 62. Kutzbach, 2010. Source: Megacities and Megatraffic, by Mark Kutzbach, Fall 2010 ACCESS #37. http://www.uctc.net/access/37/access37_megacities_traffic.shtml.
 63. Reproduced from Wang, Teter, Sperling, 2012, University of California at Davis (UC Davis) (<https://escholarship.org/uc/item/1ct459b7#page-1>).
 64. Reproduced from S.E. Polzin, 2006. The Case for Moderate Growth in Vehicle Miles of Travel: A Critical Juncture in U.S. Travel Behavior Trends. Center for Urban Transportation Research University of South Florida.
 65. Reproduced from Johansson et al., 2012: OECD Economic Policy Paper Series. ISSN 2226583X. November 2012 OECD report: Looking to 2060: Long-term global growth prospects.
 66. See: Robert Harley, "On-Road Measurement of Emissions From Heavy-Duty Diesel Trucks: Impacts of Fleet Turnover and ARB's Drayage Truck Regulation;" June 18, 2015, California Air Resources Board (CARB) seminar.
 67. See: <http://www.arb.ca.gov/research/apr/reports/l3002.pdf>. The program yielded 14 tpd reductions out of an estimated 711 tpd on-road truck NO_x inventory.
 68. See: Eisinger, D. S. (2010). Smog check: science, federalism, and the politics of clean air. Washington, D.C., Resources for the Future Press; and, National Research Council (2001). Evaluating vehicle emissions inspection and maintenance programs. Washington, D.C., The National Academies Press.
 69. See: Newman and Kenworthy, 1996. The land use-transport connection. Land Use Policy, Vol. 13, No. 1, pp. 1-22.
 70. See, for example: <http://international.fhwa.dot.gov/traveldemand/>.
 71. See: Transportation Research Board (2009). Driving and the built environment: the effects of compact development on motorized travel, energy use, and CO₂ emission.
 72. See: Elsom, D. (1996). Smog alert, managing urban air quality. London, England, Earthscan Publications, Ltd.
 73. <http://www3.epa.gov/ttn/chief/>.
 74. <http://www3.epa.gov/ttn/chief/eiip/pm25inventory/index.html>.

10

对未来的污染防治方案进行大气质量改善效果、成本和效益评估

概述

美国用于评估一项减排策略的大气质量改善效果、成本和公共卫生效益的最佳实践方案包括使用大气效益成本及达标评估系统（ABaCAS）等平台对基准排放清单和未来排放清单进行比较。由于没有完整的大气排放清单和排放模型作为依据，本次报告无法对特定排放控制技术的大气质量改善效果进行预测。因此，本章将基于这些排放控制技术在美国应用的情况介绍其可实现的减排程度和大气质量改善潜力。

下面，本章将介绍美国企业层面和国家层面大气污染防治方案实现的减排程度、大气质量改善情况、排放控制成本、公共卫生和经济效益及其它有关事项。在未来，江苏省可借助第九章列举及本章总结的美国企业层面的减排效果和成本估算，并配合本省的基准排放清单，建立一份包含江苏省工业企业潜在污染防治方案在内的未来年份排放清单。江苏省可以通过ABaCAS模型对特定污染防治方案可能造成的大气质量变化情况进行估算。如果这些污染防治方案无法有效改善大气质量，则需要使用模型对更加严格的方案进行分析，直到其大气质量效益满足实际需求。ABaCAS模型同时也可对成本和公共卫生效益进行估算，在进行决策时也必须对这些信息加以考虑。我们认为，江苏省将需要审阅一系列不同力度的污染防治方案，然后根据未来年份排放清单的分析数据选取能够在大气质量改善情况、成本和健康效益之间取得最佳平衡的方案。

排放模型对大气质量水平的预测依赖于基准排放清单和未来年份排放清单的质量。周边省市的大气污染也将对实际的大气质量水平造成影响，且很难估算。如前所述，江苏省为保障2014年南京青奥会期间的大气质量进行了一项研究，对特定工业生产活动暂停时大气监测站测量的数据进行了分析。这项研究涉及的实时监测数据证明，大气质量在这些工业企业关停期间得到了显著改善。因此，本次报告在编写时主要侧重于工业部门。这项研究的结果在建立未来模拟情境和推断周边省市大气污染对江苏省造成影响的背景水平时都将提供很大帮助。

10.1 减排

第九章中涉及的主要工业部门的减排情况如表格 10-1 所示。炼油厂的减排情况以 1990 年至 2010 年期间指标污染物和有害大气污染物减排百分比的形式呈现。钢铁制造部门织物过滤器和其它颗粒物排放控制设备的应用大约可使颗粒物与金属类有害大气污染物的排放分别降低 1500 吨/年和 13 吨/年。所有现存水泥窑的颗粒物和二氧化硫减排总量总结如下。在第九章中，我们介绍了一座年产能为 120 万吨熟料的典型现代化水泥窑有害大气污染物和非有害大气污染物减排情况的估算。二氧化硫的减排同时取决于有害大气污染物和二氧化硫排放的控制。由于氮氧化物排放标准只适用于新排放源，因此氮氧化物的减排情况将在波特兰水泥窑排放标准颁布 5 年后得到体现。作为表面涂装行业减排的案例，机动车和轻型卡车表面涂装企业的有害大气污染物和挥发性有机物减排效果总结如下。如需了解更多详情，请参阅第九章。

表格 10-1 各工业部门的减排情况

| 工业部门 | 减排效果 |
|---------------------------------------|--|
| 石油精炼 ¹ 指标污染物 有害大气污染物 | 80% (1990年—2010年) 70% (1990年—2010年) |
| 钢铁制造 金属类有害大气污染物 颗粒物 | 13 吨/年 1500 吨/年 |
| 水泥制造 颗粒物 氮氧化物 二氧化硫 | 9500 吨/年 6600 吨/年 95500 吨/年 |
| 表面涂装 有害大气污染物 挥发性有机物 | 6000 吨/年 12000 吨/年 |

10.2 大气质量改善

如果江苏省能有效落实并合理维护其选择的大气排放控制方案，那么在周边省市大气污染对本省影响不变的情况下，江苏省的大气质量应该会在一定程度上得到改善。在此过程中，使用模型对大气质量改善情况做出的预测应持续与大气监测站提供的数据进行比较，并按照实际目标及时对大气质量管理规划作出合理的调整。美国联邦环保署使用遍布全美的大气质量监测站的测量数据对美国大气质量趋势进行追踪。表格 10-2 中的数据以常见的大气污染物作为参考依据，证实美国的大气质量自 1980 年至今得到了非常明显的改善。

表格 10-2 美国常见大气污染物的浓度变化（百分比）²

| 污染物 | 1980年与2014年的比较 | 1990年与2014年的比较 | 2000年与2014年的比较 |
|-----------------------------|----------------|----------------|----------------|
| 一氧化碳 | -85% | -77% | -60% |
| 臭氧（8小时平均值） | -33% | -23% | -18% |
| 铅 | -98% | -97% | -87% |
| 二氧化氮（全年平均值） | -60% | -52% | -43% |
| 二氧化氮（1小时平均值） | -57% | -45% | -29% |
| PM ₁₀ （24小时平均值） | — | -36% | -30% |
| PM _{2.5} （全年平均值） | — | — | -35% |
| PM _{2.5} （24小时平均值） | — | — | -36% |
| 二氧化硫（1小时平均值） | -80% | -76% | -62% |

美国联邦环保署也持续追踪全美大气污染物及其前体物的排放情况。这些估算基于实际的监测数据，或者对工厂、机动车和其它排放源产生的污染物数量和种类进行的工程学计算。表格10-3显示，常见大气污染物及其前体物的排放自1980年以来显著降低。

表格 10-3 美国常见大气污染物的排放变化（百分比）³

| 污染物 | 1980年与2014年的比较 | 1990年与2014年的比较 | 2000年与2014年的比较 |
|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| 一氧化碳 | -69% | -62% | -46% |
| 铅 | -99% | -80% | -50% |
| 氮氧化物 | -55% | -51% | -45% |
| 挥发性有机物 | -53% | -38% | -16% |
| 一次PM ₁₀ | -58% | -19% | -16% |
| 一次PM _{2.5} | — | -25% | -33% |
| 二氧化硫 | -81% | -79% | -70% |

面涂装工艺步骤与控制方法的不同由去除每吨有害大气污染物540美元至40000美元不等，其平均值约为去除每吨有害大气污染物25000美元。由于炼油厂结构复杂，以及该部门排放源的数量和类型繁多，炼油厂的污染防治成本在表格10-5中单独进行总结。

表格 10-4 主要工业部门大气污染防治成本

| 工业部门 | 污染防治设备 | 年度成本 |
|-------------------|----------------------------|---------------------|
| 钢铁制造 ⁴ | 织物过滤器 | 100-600美元/acm/分钟 |
| 水泥制造 ⁵ | 洗涤器、选择性非催化还原系统、聚四氟乙烯膜袋式除尘器 | 35万-360万美元 |
| 表面涂装 ⁶ | 热力氧化炉、重组器 | 25000美元/去除每吨有害大气污染物 |

10.3 污染防治成本

表格10-4对第九章中涉及的钢铁制造、水泥制造及表面涂装等重点行业的污染防治技术成本进行了总结。钢铁制造部门的附加控制主要是颗粒物污染防治技术。对大部分排放源来说，织物过滤器是最为经济实用的污染防治设备。水泥制造部门的年度成本基于一座年产能为120吨熟料的典型现代化水泥窑进行估算。该水泥窑配备去除二氧化硫和氯化氢的湿式洗涤器（360万美元），去除氮氧化物的选择性非催化还原系统（130万美元），以及由普通除尘袋升级而来、用来去除颗粒物的聚四氟乙烯膜袋式除尘器（35万美元）。对汽车表面涂装行业来说，污染防治成本可根据表

表格 10-5 炼油厂大气污染防治成本^{7,8,9}

| 排放源 | 污染物 | 污染防治设备 | 年度成本估算 (美元/年) | 备注 |
|--------------|---------------|---------------------------|---|---|
| 流化催化裂化装置 | 颗粒物 | 静电除尘器 | 每年170万-400万美元 | 生产能力为每天4万-10万桶的改建项目 |
| | 二氧化硫 | 催化添加剂 | 700美元/去除每吨二氧化硫。根据设备规模和控制前的二氧化硫浓度由100万美元至1000万美元不等 | 生产能力为每天4-10万桶的改建项目；控制前的二氧化硫浓度为200-1000 ppmv |
| | 氮氧化物 | 选择性催化还原系统 | 每年100万-300万美元 | 生产能力为每天4万-10万桶的改建项目 |
| | 颗粒物、二氧化硫及氮氧化物 | 通过湿式洗涤器和低温氧化技术协同控制 | 每年300万-1000万美元 | 生产能力为每天4万-10万桶的改建项目 |
| 过程加热器和(燃气)锅炉 | 氮氧化物 | 超低氮燃烧器和/或其它先进控制技术 | 每个过程加热器每年5万-14万美元 | 供热能力为40-400 MMBtu/小时的过程加热器, 改建 |
| 火炬 | 挥发性有机物 | 火炬气回收系统 | 回收补贴额度为60-400万美元时, 成本为每年50万-200万美元(如使用回收火炬气代替天然气采购, 可净节省10万-200万美元成本) | 回收能力为4500-80000 scf/小时的火炬气回收系统 |
| 冷却塔 | 挥发性有机物 | 设备泄漏探测和修复 | 每季度监测成本约为每个冷却塔4000美元; 回收补贴为每年1000-20000美元; 每个冷却塔每年平均净节省1000美元 | 冷却水循环率为5000-100000 gpm |
| 硫磺回收设备 | 二氧化硫 | 克劳斯法脱硫过程与尾气处理设备 | 在考虑回收补贴的情况下约为每年150-500万美元 | 克劳斯法硫磺回收设备与尾气处理设备, 硫磺回收能力为每天5-100长吨 |
| 设备泄漏 | 挥发性有机物 | 设备泄漏探测和修复 | 400美元/去除每吨挥发性有机物 | 美国联邦法律40 CFR 63 Part CC 平均值 |
| 储油罐 | 挥发性有机物 | 双层密封罐顶、导柱、为罐口安装垫圈、对梯子进行擦拭 | 380美元/去除每吨挥发性有机物 | 美国联邦法律40 CFR 63 Part CC 平均值 |

10.4 公共卫生及经济效益

据世界卫生组织估算，2012年全世界共有约700万人因大气污染暴露过早死亡。¹⁰ 由中国环境保护部和中国科学院进行的其它多项研究也表明，当采用不同的方法进行分析时，中国自然环境恶化（不仅是大气污染）带来的经济影响占国内生产总值的比例可达3%至13.5%不等。¹¹

表格10-6总结了多种指标污染物和有害大气污染物对人体健康的影响。其中部分污染物对人体健康造成的影响会根据吸入剂量的不同有所变化，这通常与暴露时间的长短有关（急性或慢性）。二恶英、呋喃和铅等部分有害大气污染物也已经被美国联邦环保署鉴定为可致癌物质。

表格 10-6 多种指标污染物和有害大气污染物对人体健康的影响

| 污染物 | 工业部门 | 健康影响 | 非健康影响 |
|----------------------------|------------------|---|------------------|
| 二恶英、呋喃 | 波特兰水泥、钢铁 | 氯痤疮（一种与严重痤疮相似的皮肤病，由接触含氯化学品引起） 困倦、眩晕、头痛、以及急性吸入性接触对眼睛、皮肤、呼吸系统造成的刺激 血液紊乱、生殖系统损害 被美国联邦环保署鉴定为B2组别的可能致癌物质 | 对鱼类和其它野生动物造成不良影响 |
| 氯化氢、氯 | 波特兰水泥、炼油 | 对鼻粘膜、咽喉和呼吸系统造成刺激 大量接触可导致咽喉肿胀、痉挛或窒息 也可导致反应性气道病综合征，一种由化学品或刺激物导致的哮喘 儿童更容易受到伤害 | 腐蚀性 |
| 铅 | 钢铁、炼油 | 脑、肾损伤，胃肠道疼痛 中枢神经系统损伤 对血压、肾功能、生育能力造成不良影响 认知能力退化、儿童生长迟缓 母体接触铅可造成胎儿出生体重降低及产后神经行为发展迟缓 被美国联邦环保署鉴定为B2组别的可能致癌物质 | 对鱼类和其它野生动物造成不良影响 |
| 金属类有害大气污染物（颗粒物通常是其替代物，汞除外） | 波特兰水泥、钢铁、炼油、表面涂装 | 中枢神经系统疾病（视觉反应时间、双手稳定度、眼手协调、神经衰弱、嗜睡、震颤、假面状容貌、心理障碍、阳痿、性欲低下等） | 对鱼类和其它野生动物造成不良影响 |

表格 10-6 续

| 污染物 | 工业部门 | 健康影响 | 非健康影响 |
|----------------------------------|--------------------------|---|---------------------------|
| 汞 | 波特兰水泥 | 通过饮食从鱼类摄取的甲基汞可能导致一系列神经发育问题，如儿童的学习能力等 可能对心血管系统造成不良影响 国际癌症研究机构和美国联邦环保署将甲基汞鉴定为可能致癌物质 | 随食物链积聚 |
| 氮氧化物 | 波特兰水泥、 炼油 | 对呼吸系统有害，特别是患有哮喘的人群 肺气肿和支气管炎 使心脏疾病进一步恶化 | 在阳光下与挥发性有机物反应形成地表臭氧 |
| 有机有害大气 污染物（总烃 通常是其替代 物） | 波特兰水泥、钢 铁、炼油、表面 涂装 | 中枢神经系统疾病（疲倦、恶心、震颤、身体协调失衡） 对肝、肾、血液、呼吸系统、生殖系统和生长发育造成不良影响 在接触苯的人群中造成白血病。苯被美国联邦环保署鉴定为A组 别的已知致癌物质 | 可导致地表臭氧 的形成 |
| 颗粒物 | 波特兰水泥、钢 铁、炼油、表面 涂装 | 使呼吸系统和心血管疾病加重，并使过早死亡风险升高 | 削减光照（影响 能见度） |
| PM _{2.5} | 波特兰水泥、钢 铁、炼油 | 心血管疾病（心脏病） 呼吸疾病（哮喘、急性和慢性支气管炎以及其它症状） 对出生体重、早产、肺功能和其它心血管及呼吸机能造成不良 影响 使成人和婴儿的过早死亡率升高 | 削减光照（影响 能见度） |
| 二氧化硫 | 波特兰水泥、钢 铁、炼油 | 对呼吸系统造成不良影响，包括支气管狭窄和哮喘症状频发等 肺气肿和支气管炎 使心脏疾病加重 | 导致酸雨形成 |
| 挥发性有机物 | 波特兰水泥、钢 铁、炼油、表面 涂装 | 对呼吸系统有害，特别是患有哮喘的人群 肺气肿和支气管炎 使心脏疾病进一步恶化 | 在阳光下与氮氧 化物反应形成地 表臭氧 |

一部大气排放标准的效益通常以污染物减排量的形式呈现。除此之外，有害大气污染物的减排效益同时还包括降低与造成表格10-6中列举的急慢性疾病和不良反应的物质的接触。这些健康效益通常无法量化，只能以定性的方式进行讨论。

不过，美国联邦环保署最近对2010年颁布、2013年实施的波特兰水泥制造业大气排放标准的健康效益进行了估算。有关数据请参见表格10-7。美国联邦环保署估算了有助于降低细颗粒物（PM_{2.5}）人体暴露程度的

大气排放标准的健康效益。总体的颗粒物减排是实施颗粒物排放限值与包括有害大气污染物和指标污染物在内的其它污染物排放限值的共同结果，但美国联邦环保署没有能够量化降低有害大气污染物排放的公共卫生与生态效益。波特兰水泥制造业PM_{2.5}的减排是实施颗粒物排放标准和二氧化硫排放标准的共同结果。而二氧化硫的减排则是实施二氧化硫排放标准和氯化氢排放标准的共同结果。在能源方面造成的价值约2.1亿至4.7亿美元的不利影响没有包括在内。

表格 10-7 2010年波特兰水泥制造业有害大气污染物国家排放标准和新源绩效标准的公共卫生效益及货币化PM_{2.5}减排效益估算的总结¹²

| 因素 | 降低公共卫生事故发生的数量 | 货币化效益 (2005年百万美元, 贴现率3%) | 货币化效益 (2005年百万美元, 贴现率7%) |
|------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 避免过早死亡 | 960-2500 | \$7600-\$19000 | \$6900-\$17000 |
| 避免发病率: | | | |
| 慢性支气管炎 | 650 | \$19 | \$19 |
| 急性心肌梗塞 | 1500 | \$11 | \$11 |
| 因呼吸疾病住院 | 240 | \$0.2 | \$0.2 |
| 因心血管疾病住院 | 500 | \$0.9 | \$0.9 |
| 因呼吸疾病送往急诊室 | 1000 | \$0.03 | \$0.03 |
| 急性支气管炎 | 1500 | \$0.01 | \$0.01 |
| 因病停班天数 | 130000 | \$1.2 | \$1.2 |
| 哮喘加重 | 17000 | \$0.06 | \$0.06 |
| 儿童活动受限天数 | 750000 | \$3.0 | \$3.0 |
| 下呼吸道症状 | 18000 | \$0.02 | \$0.02 |
| 上呼吸道症状 | 14000 | \$0.03 | \$0.03 |

10.5 其它影响

在美国，美国联邦环保署制定的排放标准草案和终稿在联邦公报发布时通常都会就一些次要影响进行介绍，例如大气排放标准对固体废弃物、水资源和能源产生的影响等。在采取特定的污染防治措施时，这些次要影响可能包括额外产生的固体废弃物和废水。举例来说，加强织物过滤器的使用可能会增加其附带产生的固体废弃物，除非这些废弃物可以回收至原生产过程、或者作为另一项工业生产过程的原材料进行二次使用。加强湿式洗涤器的使用也可以增加水的消耗及洗涤器附带产生的废水和固体废弃物。这些废物必须得到妥善的处理。有些时候，例如在水泥行业中，洗涤器产生的废水可以经过脱水和干燥形成石膏，然后与熟料混合搅拌生产水泥。加强大气污染控制设备的使用也会提高其能源需求，包括需要更多的电力来维持设备的运行；对热力氧化炉来说，则是需要消耗更多的天然气或其它燃料。这样一来，二氧化碳的排放量便可能增长，并因此对污染防治设备的选择产生影响。

参考文献与注释

1. Nelson, Thomas P. An examination of historical air pollutant emissions from US petroleum refineries. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, Volume 32, Issue 2, pp. 425-432, July 2013. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ep.11713/full>.
2. (1) “—”：无可用数据；(2) 负值表示大气质量得到改善。U.S. Air Quality Trends, <http://www3.epa.gov/airtrends/aqtrends.html>.
3. (1) “—”：无可用数据；(2) 1980年的一次PM₁₀基于1985年之后的数据；(3) 负值表示排放量的减少；(4) 数据基于规模为1000吨以上的排放源的排放变化百分比。U.S. Air Quality Trends, <http://www3.epa.gov/airtrends/aqtrends.html>.
4. Air Pollution Control Technology Fact Sheets, EPA-452/F-03-024, EPA-452/F-03-025, and EPA-452/F-03-026.
5. U.S. EPA, Summary of Environmental and Cost Impacts for Final Portland Cement NESHAP and NSPS, August 6, 2010. Docket EPA-HQ-OAR-2002-0051-3438, <http://www.regulations.gov>.
6. National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants: Surface Coating of Automobiles and Light-Duty Trucks; Final Rule, Volume 69 Federal Register 22602, April 26, 2004.
7. Technical memorandum documenting impact estimates considered in the Technical Review of NSPS Subpart J included in Docket ID EPA-HQ-OAR-2007-0011.
8. Technical memorandum documenting impact estimates for cooling towers; see Docket Item Numbers EPA-HQ-OAR-2003-0146-0007 and -0230.
9. Equipment leaks and storage tanks: Impacts presented in the Table 3 of the preamble to the final rule - National Emissions Standard for Hazardous Air Pollutants: Petroleum Refineries (60 FR 43248).
10. 世界卫生组织。引用自<http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en/>。
11. <http://www.dw.com/en/how-much-is-pollution-costing-chinas-economy/a-18323476>.
12. U.S. EPA, National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants from the Portland Cement Manufacturing Industry and Standards of Performance for Portland Cement Plants, Final Rule, Vol. 75, No. 174 Federal Register, September 9, 2010.

11

规划实施和持续评估

概述

一项有效的规划实施和持续评估程序主要包括：规划实施及合规执行日程安排；特别针对固定排放源采取的措施（预建许可证；运营许可证；排放监测、记录和申报要求；合规监测；执法项目等）；特别针对移动源采取的措施（年检和维护项目；油品质量定期检测等）；应急响应制度；以及实施进度追踪等。下面，本章将对以上各主要组成部分在美国的执行情况进行介绍。

11.1 规划实施及合规执行日程安排

国务院2013年发布的《大气污染防治行动计划》为江苏省改善大气质量设定的目标是将2017年的年均PM_{2.5}浓度水平在2012年的基础上降低20%。《大气污染防治行动计划》中还包括一项长期的大气质量目标，即在2030年前达到现行的中国PM_{2.5}环境空气质量标准。省级和市级政府部门应围绕这一长期目标开展相关工作，确保为达到2017年中期目标实施的减排策略也可同时服务于2030年的长期目标。

11.2 固定排放源

在美国，固定排放源的规划实施程序主要包括：预建许可证；运营许可证；排放监测、记录和申报要求；合规监测；以及执法项目等。这些组成部分在每一项大气质量规划实施程序中都具有非常重要的作用。

11.2.1 预建许可证

在美国，新源审查项目（NSR）要求固定排放源必须在建设施工开始前取得一项排污许可证。新源审查许可证（预建许可证）可以在工厂、工业锅炉和发电机组新建或改建时发挥其对大气质量的保护作用。新源审查许可证也确保新建或改建的工业设备保持最大程度的清洁生产。另外，该项目也可确保最先进的大气污染防治技术的应用与工业发展的需求同时得到满足。¹新源审查许可证详细规定了新建或改建施工的许可范围、排放限度以及排放源的运行情况。

在美国，大部分新源审查许可证由州级或当地大气监管部门颁发。在一些特殊情况下，美国联邦环保署也会颁发新源审查许可证。美国联邦环保署在有关的联邦法规中对新源审查项目的基本要求做出了严格的规定。各州可以根据其大气质量管理的实际需求制定独特的新源审查要求和执行程序，但必须达到或超过美国联邦环保署的要求。美国联邦环保署必须对州级实施计划（SIP）中的这些程序进行审批。另外，美国联邦环保署可授权一些州代行其颁发新源审查许可证的权限，这些州通常被称为“授权州份”。

新源审查许可证共有三种。由于自身情况的不同，排放源可能需要申请其中一项或多项许可证。²

1. 在大气质量达到美国《国家环境空气质量标准》的地区，新建大型排放源或进行大规模改建的现存大型排放源必须申请“防止大气质量显著恶化（PSD）许可证”；
2. 在大气质量无法达到美国《国家环境空气质量标准》的地区，新建大型排放源或进行大规模改建的现存大型排放源必须申请“未达标区域新源审查许可证”；
3. “非重点排放源新源审查许可证”。

防止大气质量显著恶化（PSD）许可证³

在大气质量达到美国《国家环境空气质量标准》的要求或无法根据该标准对大气质量级别进行划分的地区，新建重点排放源或进行大规模改建的现存重点排放源必须申请“防止大气质量显著恶化（PSD）许可证”。

许可证”。PSD许可证不对排放源提高其排放量进行限制，而是用来：

1. 保护公共卫生和福利状况；
2. 保持、保护和改善国家公园、国家野生动植物保护区、国家历史文物保护区、国家海岸保护区及其它国家或区域自然、休闲、风景或历史保护区的大气质量；
3. 确保经济增长与现有清洁空气资源的保持共同实现；
4. 确保在新源审查项目实行的区域内，任何大气排放增加的许可都是在对各种潜在后果进行审慎评估，并在决策过程中为社会大众提供充分参与机会的基础上做出的。

PSD许可证的要求主要包括：

1. 安装最佳可获得控制技术（BACT）；
2. 进行大气质量分析；
3. 进行其它影响分析；以及
4. 公众参与。

最佳可获得控制技术（BACT）是一项基于目前可实现的最大程度排放控制的排放限定。选取最佳可获得控制技术时，需在考虑能源、环境和经济影响的基础上对每个不同的案例进行独立评估。生产过程或工艺的附加控制设备或改造方案均可作为最佳可获得控制技术，例如燃料的清洁或处理以及创新型燃烧技术等。最佳可获得控制技术还可以是一项具体的设计、设备、实践方案，或者在排放标准无法强制实施时发布的一项运行标准。

大气质量分析的基本目的是阐释一个规划的大型固定排放源或现存排放源的大规模改造产生的新增排放，及其与其它现存排放源可能出现的排放增长或降低的共同作用将不会使该区域大气质量超出《国家环境空气质量标准》的要求或产生显著恶化。

一般来说，大气质量分析应包括（1）当前大气质量的评估（可包括大气监测数据和大气质量沉降模型的分析结果）；以及（2）由规划项目及其未来发展情况导致的大气污染物浓度变化情况的沉降模型分析结果，对未来的情况进行预测。

一类区域通常指一些具有特别自然、风景、休闲或历史价值的国家或区域保护区。PSD许可证及其相关规定为这些区域提供了特殊的保护。联邦土地管理员（有些情况下也包括州级行政人员在内）负责为一个区域设定具体的大气质量相关价值（AQRV），并建立一系列用来确定排放源对大气质量相关价值造成不良影响的指标。如果联邦土地管理员认定某排放源将会对一类区域的大气质量相关价值造成不良影响，即使其PSD增量没有超出有关要求，那么还是可以建议发证机关否决该排放源的许可证申请。但发证机关仍然具有颁发许可证的最终决定权。

大气质量恶化增量（PSD增量）指的是某一区域大气污染可允许增长的量。PSD增量的相关规定可防止环境状况较好区域的大气质量发生恶化并降低至美国《国家环境空气质量标准》的门槛值以下。《国家环境空气质量标准》实际上规定了大气污染许可浓度的最高值。另一方面，PSD增量也是某种污染物的浓度在其基准浓度的基础上允许增长的最高值。一般来说，基准浓度是排放源提交第一部完整的PSD许可证申请时各种污染物的大气浓度水平。当新排放源产生的污染超出其适用的PSD增量时，大气质量便可能发生显著恶化。值得注意的是，即使新排放源没有超出其全部PSD增量的许可范围，该地区的大气质量也不应恶化至《国家环境空气质量标准》规定的门槛值以下。

其它影响分析针对处于审批阶段的新建排放源或现存排放源改建项目产生的排污增长对大气、地表、土壤、水资源、植被和能见度造成的影响进行评估。其它影响分析还评估规划项目对该地区工业、商业和生活水平造成的影响。

未达标区域新源审查许可证⁴

未达标区域新源审查许可证适用于在大气质量没有达到美国《国家环境空气质量标准》的区域内申请建设的新建大型排放源或现存排放源的大型改建项目。该许可证的新源审查要求根据各个“未达标”区域的具体情况单独制定。所有的未达标地区新源审查程序都必须：（1）要求采用最低可实现排放速率（LAER）；（2）实行排放补偿；以及（3）为社会大众提供参与机会。

最低可实现排放速率（LAER）指的是由下列任意一项规定衍生的最严格的排放限值：

- 任何州的州级实施计划中为该排放源类别指定的最严格的排放限值；或者
- 在该排放源类别的实际生产实践中达到的最严格的排放限值。

排放速率可受到一些排放控制措施的共同影响，例如（1）原材料处理过程的变化；（2）生产过程的改造；以及（3）附加控制设备的使用等。

排放补偿一般是指规划排放源周边的现存排放源的减排行为。排放补偿必须（1）能够抵消新建排放源或现存排放源改建项目造成的排放增长，以及（2）带来大气质量的净利益。实施排放补偿的主要目的是在允许工业生产保持一定规模增长的情况下持续向《国家环境空气质量标准》的要求靠拢。

非重点新源审查许可证⁵

非重点新源审查许可证适用于不受PSD或未达标区域新源审查许可证约束的固定排放源。非重点新源审查许可证的目的是防止排放源建设项目对该地区大气质量的达标和保持产生干扰，或者违反大气质量未达标区域的排放控制规定。同时，非重点新源审查许可证经常包含特定的许可条件以限制排放源的排放水平，使其不受PSD或未达标区域新源审查许可证的约束。

在满足国家最低标准的基础上，各州可以对其非重点新源审查程序的有关要求进行调整。各州许可证发证机关的非重点新源审查程序也是州级实施计划（SIP）的一部分。

11.2.2 运营许可证

运营许可证有助于确保大气排放控制要求的制定与落实。在美国，《清洁空气法案》的Title V要求大气污染物的主要排放源和一些其它的特定排放源申领运营许可证并按照其规定进行运营。同时，《清洁空气法案》还要求这些持有“Title V许可证”的排放源至少每年按照许可证规定的要求进行合规认证。⁶

运营许可证：⁷

- 是具体说明工业企业（排放源）必须采取的大气污染控制措施的法律执行文件，以提高企业的合规执行程度。
- 是由国家法律规定实施的（《清洁空气法案》Title V）。
- 适用于所有的大型（重点）排放源和一定数量的小型排放源（面源或非重点排放源等）。
- 大部分由各州或当地发证机关颁发（“Part 70许可证”，即根据《清洁空气法案》Part 70的规定颁发的许可证）；少数由美国联邦环保署颁发（“Part 71许可证”）。
- 条款涵盖适用于该排放源的联邦和州级污染控制要求。
- 可能需要与其它种类的排污许可证同时申请（例如预建许可证、PSD许可证或新源审查许可证等）。

运营许可证将联邦、州级和当地监管机构的大气污染防治方法清晰地梳理出来。在运营许可证中，各个层级的大气污染防治要求被归纳总结为一项涵盖排放源全年大气污染排放情况的综合性运营许可文件。运营许可证实行的目的是使各排放源更准确、清晰地了解和遵守其适用的排放控制要求，进而使该地区的大气质量得到改善。⁸

美国国会批准创建了美国的运营许可证项目，以确保有关法规的合规执行得到更好的落实，并更加深入地推动大气污染防治工作。根据1990年《清洁空气法案》Title V的修订，美国国会采取了一系列措施要求各州建立并实施各自的州级运营许可证项目。美国国会希望能够借此消除根据联邦层级的《清洁空气法案》及州级和当地规定制定的各种大气污染减排项目之间的重叠与冲突。根据Title V的有关要求，美国联邦环保署首先确定州级和本地运营许可证项目必须满足的基本条件，然后协助州政府和各地政府建立各自的许可证项目。

运营许可证项目的目标包括：

- 建立一套完整、综合的许可证系统，确定并落实《清洁空气法案》中为大气污染排放源制定的要求。
- 为社会大众参与许可证审阅的过程提供机会。
- 改善排放控制法规的合规执行情况。

运营许可证项目的主要规定包括：

- 排放源必须至少每半年向其许可证发证机关提交排放报告，并每年对其合规执行情况进行认证。
- 排放源必须定期更新运营许可证，一般为每五年更新一次。
- 运营许可证发证机关应向项目涉及的排放源征收许可证费，以维持项目的运转。许可证费一般按照各排放源的排污量进行征收。
- 在许可证颁发、更新或大幅修订时，发证机关必须在审批过程中为社会大众提供充分的参与和公开机会。
- 美国联邦环保署负责对各个运营许可证项目的执行情况进行监管，并可废除无法达到有关标准的许可证项目。
- 在州级或当地发证机关无法建立并维护其运营许可证项目的地区，美国联邦环保署也负责推动并落实其联邦许可证项目。

各州和地方政府可以根据本辖区内的特殊情况制定并实施一些具有针对性的特殊要求。这一点也是非常重要的。

在美国，州级和当地发证机关主要负责维持运营许可证项目的运转，例如审批许可证申请和颁发许可证等。美国联邦环保署的区域办公室对州级许可证项目负有监管责任，其监管内容主要包括：⁹

- 审核州级许可证项目提交的有关信息和修订方案；
- 定期审查各州级许可证项目；
- 审阅州级许可证草案并进行评论；
- 审阅许可证要求的监测报告或其它数据。

美国联邦环保署（一般通过其下属的各区域办公室）同时还负责以下业务：

- 审阅社会大众提交的关于申请撤销州级发证机关颁发的运营许可证的请求；
- 为运营许可证项目进行国家层级的立法和政策指导；
- 回复国会或国家行政系统的信息请求。

11.2.3 监测、记录及申报要求

政府应针对固定排放源制定排放监测要求，并且在可行的情况下要求排放源应用持续性排放监测技术。当该技术不可行时，应要求排放源根据指定的测试方法和标准定期进行排放测试。运营许可证的条款还应包括使用电子方法、标准格式和常规流程进行定期检查、数据记录和自助申报的相关要求。

监测

运营许可证记载了大气排放源应如何根据排放限值和其它适用要求定期或连续监测其合规执行情况。监测要求是运营许可证的一个非常重要的组成部分，因为：¹⁰

1. 监测可以为企业业主或运营商提供有效信息，用来：（a）自行评估本企业是否满足大气污染排放控制的要求，以及（b）在必要时帮助其确定适当的改正措施。
2. 监测为大部分持续性合规阐释提供了重要的基础，并为企业业主或运营商获得合规认证提供了必要的书面证明。

简单来说，监测的作用是确保企业正确执行其运营许可证的条款和相关的大气污染防治法规。

在美国，《清洁空气法案》Part 70规定了大气排放许可证应具备的监测要求。其中部分关于监测、记录及申报要求的条款规定：“每项大气许可证应包含以下监测要求：

- A. 在适用的监测和测试规定框架下，所有的监测和分析程序或测试方法…
- B. 当适用的规定不强制要求执行定期测试或仪器/非仪器监测（作为监测替代方案的数据记录）时，足以在一定时段内获得可靠数据、并对该排放源的合规阐释具有代表能力的定期监测…” [70.6(a)(3)(A) 和 (B)]

另外，部分关于合规执行的条款规定：“所有的运营许可证都应包含以下合规执行内容：… 足以确保排放源正确按照许可证条款执行的合规认证、测试、监测和申报要求…” [70.6(c)(1)]

1997年，美国联邦环保署颁布了一项《合规确认监测规定（CAM）》。该规定适用于必须申请Title V运营许可证的重点排放源。具体来说，该规定特别针对对依赖大气污染控制技术达到有关排放要求的主要排放设备。《合规确认监测规定》要求企业业主或运营商向监管部门汇报其排放监测的具体执行情况（有时也被称为“合规确认监测计划”），包括监测计划的适当性说明等。《合规确认监测规定》同时也确定了必要的许可证条款，主要包括：

1. 经监管部门批准的监测方法，包括监测的绩效参数等；
2. 有效的绩效参数范围。当绩效参数位于该范围以内时，便可充分反应该企业的合规执行情况；
3. 监测系统的性能和监测点的具体位置，以确保数据的代表性；
4. 质量控制及质量保证方案，以便对数据的有效性进行持续评估；以及
5. 监测的频率，以及数据的平均计算时段（如果需要）。

记录

在美国，《清洁空气法案》Part 70对每项大气排污许可证均应具备的标准数据记录要求作出了明确规定。其中，部分关于监测、记录及申报要求的条款规定：“在记录方面，许可证应归纳所有适用于排放源的数据记录要求，并且在适当时要求排放源提供以下数据：

A. 强制性监测信息的记录，包括：

1. 许可证中规定的抽样或测量的日期、时间和地点；
2. 执行分析的日期；
3. 执行分析的公司或机构；
4. 使用的分析技术或方法；
5. 分析结果；以及
6. 进行抽样或测量时企业的运行情况；...”
[70.6(a)(3)(C)(ii)(A)]

另外，记录要求还规定排污许可证在适当时应要求排放源“自监测抽样、测量、申报或应用日算起，对所有强制性监测数据和辅助信息的记录进行至少5年的存档。辅助信息包括所有校准及维护记录、所有持续性监测仪器的原始带状记录图表、以及许可证要求排放源提交的所有报告的复印件。” [70.6(a)(3)(C)(ii)(B)]

申报

运营许可证条款应包含申报的相关要求，规定持证人（排放源）至少每6个月向发证机关申报其强制性监测结果和其它进行合规验证时必不可少的数据（例如适用的实施方案的要求）等。运营许可证应对申报要求进行明确的规定，以便有关部门根据其条款和限制条件确认排放源的合规执行情况。

排放源根据运营许可证要求提交的任何报告都必须由企业负责人签字，并对报告的准确性进行核实和确认。

11.2.4 合规监测

合规监测是美国联邦环保署用来确认受监管行业良好遵守环保法规的最主要手段之一。这包括监管部门用来判断企业（或企业集团，例如在地理位置、行业部门或组织架构方面互相关联的工厂等）是否遵守其适用法规的行政手段。合规监测主要包括：¹¹

- 合规监测策略的制定和实施；
- 现场合规监测：合规检验、评估和调查（如排污许可证、数据和其它文件的审核等）；
- 非现场合规监测：数据收集、审核、申报、程序协调、监管和技术支持等；
- 检验员培训、资格认证和业务支持。

美国联邦环保署为企业提供合规奖励和审计服务，鼓励它们发现违规现象并及时上报。同时，美国联邦环保署也可从社会大众反馈的意见中发现企业的潜在违规现象。这些违规现象可能会为企业带来民事或刑事后果。

下一代合规验证

现阶段在大气污染方面遇到的种种挑战要求我们采取更加现代化的方法对企业进行合规验证，例如在加深环保法规强有力实施的同时采用多种现代化的工具和方法。下一代合规验证是美国联邦环保署在改进合规验证方面的综合性战略。美国联邦环保署在制定该战略的过程中汲取并借鉴了该署内部和社会各界提出的多项意见和建议。¹²

下一代合规验证由五个互相关联的部分组成。每个部分都致力于提高合规验证程序的有效性：

- 以改善合规执行和提升环境效益为目标，设计和建立更易于实施的法规和排污许可证制度；
- 推动大气排放及污染物探测新技术的应用，以使受监管企业、政府和社会大众可以更直观地了解污染物排放、环境现状及未合规执行等实际情况；
- 扩展电子申报的应用范围，在帮助美国联邦环保署和其它有关部门更好地管理数据、改善工作有效性和提高透明度的同时，使环境申报更加准确、完整并有效；
- 提高社会大众获取有关信息的能力，并增强信息的透明度；
- 建立并应用创新型执行方法（例如数据分析和定位），以促进企业更广泛的合规执行。

11.2.5 执法程序

大气质量管理规划中涉及的减排行动应基于有关监管部门（例如环保部、省环保厅和市环保局等）可有效执行的法规和其它要求。中国于2014年修订的《环境保护法》以及2015年发布的《大气法》都对有关部门的执法权限进行了强化。美国在此方面的经验表明，一项有效的执法程序的主要特点包括：违规处罚力度应远高于合规执行的成本；罚金的数额应高于违规取得的经济效益；执法必须公平、公正，采取前后一致的标准；以及国家和省级监管部门的强力监督可促使各地方有关部门更加认真负责地开展执法工作。如果有关部门能够为受监管的公司和企业开展有效的现场调研、技术支持和合规培训，那么也将有效提高其合规执行的水平和力度。

有效执行环保法规是美国联邦环保署保护人类健康和环境的战略计划的核心环节。美国联邦环保署致力于确保企业有效地遵守有关环保法规的要求。当获得行政或立法授权时，美国联邦环保署也将采取法律行动追究违规企业的民事或刑事责任。¹³

执法行动类别

民事行政执法行动是美国联邦环保署或各州在其既有权限范围内采取的非司法执法行动。这些执法行动不涉及法院的介入。美国联邦环保署或各州可采取的民事行政执法行动主要包括：

- 提醒企业注意其违规现象或进行现场整顿；或者
- 命令个人、企业或其它实体进行现场整顿或场地清理。

民事司法行动指的是正式的司法诉讼。一般可就以下情况对个人、企业或实体向法院提起民事诉讼：

- 未能遵守有关法律或法规要求；
- 未能执行行政命令；
- 未能向美国联邦环保署缴纳场地清理的费用或保证金。

在国家层面上一般由美国司法部代表美国联邦环保署提起此类诉讼。有些时候也可能由各州的检察长代表州政府的有关部门提起诉讼。

刑事执法行动指的是美国联邦环保署或州政府就某企业或个人违反环保法规的行为提起刑事诉讼。有关部门通常只在违法情况非常严重或被告人明知故犯等情况下采取刑事行动。如果法院判决罪名成立，则可能为被告人带来巨额罚金或重大刑期。

执法行动结果的分类

民事执法

- **和解**一般指的是双方就执法案件的解决方案达成一致。
 - 行政执法行动的和解经常以同意协定/最终行政命令的形式体现。
 - 司法行动的和解通常指的是涉案各方共同签署同意令并由相应级别的法院裁决通过。
- **民事处罚**指的是个人或受监管实体由于违反法律规定或未能达到合规要求而缴纳罚金。民事处罚通常作为一项刺激方案，以促使个人或受监管实体遵守有关环保法规并保持合规状态。罚金的数额需能够补偿违法获取的经济利益，并根据违法行为的严重性进行一定程度的额外处罚。
- **强制救济**要求受监管的实体必须采取或不得采取一些特定的行动。采取强制救济可使该实体满足环保法规的合规要求。
- **环保补充项目**可以作为执法和解的一部分。环保补充项目是违法者除了在和解协议中商定的改正行动之外，自愿进行的补充性环境改善项目。

刑事执法

- **刑事处罚**是联邦、州级和地方法院法官判决的处罚内容。除刑事处罚之外，被告方可能还必须向其违法行为的受害方进行赔偿。例如，法院可能会勒令被告方向当地消防部门赔偿其出警和处理有害废物泄露的费用。
- **监禁**指的是被告方个人的刑期。

11.3 移动源

在实施移动源污染防治方案时，年检和维护项目对于检查机动车是否达到排放标准的要求非常重要。另外，在油品通过供应链进行运输的过程中对其质量进行定期测试也是必不可少的。

11.3.1 年检和维护项目

机动车或发动机制造商对其旗下产品符合有关排放标准的要求负责。在美国境内生产的机动车和发动机的制造过程必须严格按照美国联邦环保署颁发的排放达标许可的条款执行。进口车辆和发动机则必须经过美国联邦环保署的认证，只有在极少数情况下可以例外。任何个人拆除或关闭机动车或发动机排放控制设备的行为都是法律严格禁止的。¹⁴

美国联邦环保署审批机动车和发动机制造商的排放许可申请，并对其线上生产及线下投入使用的车辆和发动机进行排放测试。美国联邦环保署与美国海关和边境保护局共同协作，确保进口至美国境内的车辆和发动机通过相关认证。另外，在大部分臭氧浓度未达标的区域，轻型车辆的排放通过各州实施的年检和维护项目进行定期检查。美国联邦环保署执行年检的对象包括：

- 机动车和发动机制造企业；
- 大气排放实验室；
- 机动车和发动机经销商；以及
- 机动车和发动机零部件的供应商与组装车间。

定期对上路行驶的机动车进行检验可以帮助鉴别排放量较高的机动车，并鼓励有关方面对这些车辆进行整修或淘汰。这项方法很大程度上基于技术方面，但同时也依赖于机动车车主、年检机构和修车厂的积极参与。设计一项最理想的年检和维护项目在程序和技术上来说都非常困难，并且必须要与机动车的生产技术密切相关。美国目前最先进的年检和维护项目摒弃

了原先的尾气测试程序，而完全依赖于在线诊断系统（手持式电子读数设备）。然而，当采用旧技术的机动车数量较多时，尾气测试程序仍然是年检和维护项目中必不可少的组成部分。将尾气测试与保修作业分开的集中测试程序已经证明比非集中测试程序更加有效，但是在社会上推广实行较为不易。由于许多年检和维护项目反馈的减排情况低于预期，因此执法行动也随着时间的推移变得更加困难。美国的经验表明，如果一项年检和维护项目设计得当，便可能实现10%-15%的减排效果。¹⁵该项目的实施速度相对可能较快（例如3-5年）；然而，要想成功实施，还需要对社会大众和修车行业的有关人员进行一定程度的知识普及和培训。

11.3.2 油品质量定期检验

炼油厂和油品进口商在遵守相关机动车油品质量标准方面负有主要责任。油品运输系统的各个环节则需要确保机动车油品在运输时不受到污染，并在适当的时间和地点进行使用。举例来说，在美国，更加严格的汽油质量标准在夏季臭氧浓度较高时实行，并适用于特定的臭氧浓度未达标区域的重整汽油。机动车和机械设备只可使用专门为其指定和登记的类别的油品。¹⁶

美国联邦环保署主要在以下地点对油品质量进行检验：

- 零售店；
- 运输终端；
- 炼油厂；
- 进口商；
- 油品检验实验室。

炼油厂和进口商必须对其所有种类的油品进行检验，并向美国联邦环保署提交报告。另外，炼油厂和进口商也必须通过独立的实验室对重整汽油进行检验。在重整汽油生产时，需对其进行质量保证测试；在重整汽油通过零售店销售时，也需对其进行质量抽查。之后再向美国联邦环保署提交检验报告。

11.3.3 美国的重要经验

美国在机动车排放控制方面的重要观察和经验总结如下。

- 一般可以通过6种方法推动机动车的减排工作。总的来说，基于技术的排放控制方法已经证明比基于行为的方法更加成功和成本有效。但是，我们通常需要很长的时间来全面了解这些方法以及机动车新排放标准的效益。因此，将基于技术和基于行为的方法进行融合，以实现短期、中期和长期的减排效果，是非常重要的。
- 虽然基于行为的排放控制方法实施难度较大，但是也必须留意：
 - 许多基于行为的方法试图通过改变上班族的通勤方式（例如提高通过公交系统出行人数的比例）进而降低私家车的的使用。然而在许多城市中，通勤出行往往只占到道路机动车使用的一小部分。例如在美国，通勤出行只占机动车行驶总量的25%左右。因此，基于行为的强调推广公共交通的方法只能对改善城市交通出行状况及其引发的大气质量问题起到局部作用。大气质量规划者需要对主要移动源的排放情况进行全面的评估，并了解各个现行排放控制方法在哪些方面对大气质量产生了影响。
 - 许多基于行为的方法已经证实在短期内更加有效，且容易被各方接受，例如中国部分城市采取的机动车单双号限行措施。但是长期来看，其效果和可行性却不如短期。不过，在针对大气质量问题建立长期解决方案的同时，针对短期问题采取一些基于行为的排放控制方法仍然相对可行。
 - 长期来看，最有效的基于行为的方法往往是通过增加出行成本达到其目的。例如在伦敦和斯德哥尔摩等城市实行的道路行驶收费项目有效达到了推广使用公交系统、减少私家车行驶的效果。这些项目能够进行自我强化，即通过项目收取的行驶费为公交系统的发展和更新提供资金支持。然而，美国由于其基本国情，在很多时候通过实行道路行驶收费项目（例如通行费、燃油税、道路行驶收费区域、高峰时段行驶费等）以大幅降低机动车的使用并不十分现实。近年来，美国的大气质量规划者在新建公路系统中实施收费政策得到了越来越多的支持。在符合实际情况和需求的前提下，在新建公路系统时应特别考虑采取行驶收费政策。
- 对社会大众进行知识普及和教育可以为基于技术和基于行为的各种排放控制方法提供有力的支撑。如果机动车车主不能很好地了解排放控制的必要性及其环境利益，由此产生的一系列问题可能会导致政策实施的延迟（最好情况）甚至取消（最坏情况）。因此，排放控制方法的实行计划需要为知识普及和教育过程预留充足的时间。
- 美国在此方面的长期经验表明，交通部门和大气规划部门在工作和协调时可能会发生冲突。美国1990年修订的《清洁空气法案》中针对这一问题确立了一项“交通一致性”政策，要求有关部门就交通规划和大气质量规划举办跨部会研讨；在规划中使用一致的前提条件；并定期对两部规划进行比较。其它国家也需要对类似的部会间冲突进行鉴别和解决，防止其影响大气质量管理规划的效果和进程。
- 由于施工机械等非道路移动源种类繁多，以及一些柴油机械使用寿命较长，因此对该类排放源进行控制难度较大。货运船舶及飞行器等非道路移动源在本地、区域甚至国家层面上都不易进行控制，因此需要针对这些排放源签署国际排放控制协议。总的来说，道路移动源在短期和中期内达到一定减排效果的可能性很大，但非道路移动源则困难许多。
- 对道路移动源和非道路移动源两方面的排放控制来说，柴油机动车一般是最重要的机动车类别。在所有的移动源中，柴油机动车会产生与其数量比例不相称的氮氧化物、可吸入颗粒物、细颗粒物以及有毒大气污染物排放，并导致能见度下降。另外，柴油机动车排放控制的实施进度可能会比汽油机动车更慢，因为柴油发动机的使用寿命通常较长，车辆置换也更加缓慢。鉴于柴油机动车的这些特殊情况，污染防治方案通常重点对其排放量最高的部分进行治理。例如，在加利福尼亚州，有关部门推进卡车淘汰或改造的工作通常侧重于短距离货运卡车，因为这些车辆是重型卡车中车况最差、排放量最高的。尽管短期内可以通过一系列措施对港口、铁路场站及物流中心等地点的货运卡车行驶活动进行控制，但是要想对该区域的柴油机动车排放进行全面治理，则需要同时施行多种排放控制方法。

- 迄今为止，为改善大气质量建立的排放控制方法经常会出现两方面的偏差：这些方法可能会低估实际的排放情况，或者高估排放控制方法的效益。通过美国、欧洲和中国的许多案例可以发现，以上两方面偏差是广泛存在的。例如，在美国，有关部门在使用排放模型工具时低估了多年的道路移动源排放情况，同时也高估了年检和维护项目的实际效益；在中国，北京市的有关部门高估了在私家汽油车辆上安装催化式排气净化器、以及在出租车上推广液化石油气燃料的实施情况；在希腊，有关部门高估了雅典机动车使用限制规定的效益。因此，有关部门需要对实际情况和实施进展进行持续追踪，并及时调整排放清单和模型数据，并改进必要的排放控制措施。另外，制定应急计划也非常重要。

最后，我们必须记住，能够对机动车排放进行迅速并有效改善的“新技术”是不存在的。过去的经验证明，将短期、中期和长期的污染防治方案进行整合，并将基于技术和基于行为的控制方法合理搭配，对取得显著的减排效果是至关重要的。这种组合式污染防治方案的设计会根据大气污染问题的严重性和地理尺度的不同有所差异。

11.4 应急响应制度

当大气污染水平超过特定的阈值时，应急响应制度便成为保护公共卫生状况的必要环节。这些紧急情况可能在不利于污染物扩散的大气条件出现时，或工业排放源和机动车密度较高的区域产生。应急响应制度的主要内容应包括：

- 用于收集和整理数据的大气质量监测网络和数据管理系统，例如AirNow-International；
- 空气质量指数，用于将污染物浓度转化为更加简明易懂的公共卫生信息；
- 根据大气质量模型工具建立的大气污染预报能力；
- 通过报纸、电视、互联网和社交媒体进行信息传播的公共预警系统（例如AirNow-International系统的信息发布、智能手机的推送警报、以及社交网络的通知等）；
- 省级和市级环境监管部门负责提供即时信息，并作出适当的回应。

一套典型的应急预案包含四个重要元素：1) 根据大气监测数据为每种污染物设置预警级别；2) 污染物浓度水平上升至不同阶段的标准和要求；3) 针对不同排放源和污染物造成的排放采取应对行动；以及4) 要求大型工业排放源提交应急响应预案，并由监管机构审查和批准该预案。有关部门可以根据一个或多个监测点测得的污染物浓度峰值来决定是否启动应急响应预案。典型的应急响应预案可包括三个阶段，且每个阶段的应对行动随着污染水平的严重性向上提升：

- 第一阶段：向社会大众、学校和医院发出通知，不强制采取应对行动
- 第二阶段：采取一定程度的强制应对行动，并减少室外体育活动
- 第三阶段：机动车限行，暂停工业生产活动，并取消室内外体育活动

有效的应急响应制度包括提早向社会大众发出通知；与其它有关部门紧密合作；以及要求工厂和业主采取减排措施等。随着大气标准依据公共卫生实际情况不断完善，应急响应制度也需要对其规定的不同污染水平及各阶段的应对行动进行调整。

11.5 追踪进展

追踪大气质量管理规划项目的进展和有效性的三种基本方法包括：a) 追踪相关规定和制度的实施情况；b) 追踪减排情况；以及c) 追踪大气质量改善情况。

相关规定和制度的实施情况可以通过多种方法进行追踪，例如追踪落实的新规定的数量；落实工艺过程改进或安装新型排放控制技术的企业的数量；或者颁发的排污许可证的数量。

减排情况的进展最容易在安装持续性排放监测技术的排放源上进行追踪，例如发电厂。然而，要想全面审阅某一特定年份中整个省份或城市的减排情况的进展，通常需要耗费一年以上的对大量排放源的排放数据进行估算和质量保证审查。

大气质量监测数据可以为追踪项目实施进度提供最及时的支撑。该数据为研究减排项目、能源规划、人口增长和其它因素的共同效应提供了一项综合性研究方法。

参考文献与注释

1. <http://www2.epa.gov/nsr>.
2. <http://www2.epa.gov/nsr/learn-about-new-source-review>.
3. <http://www2.epa.gov/nsr/prevention-significant-deterioration-basic-information>.
4. <http://www2.epa.gov/nsr/nonattainment-nsr-basic-information>.
5. <http://www2.epa.gov/nsr/minor-nsr-basic-information>.
6. <http://www2.epa.gov/title-v-operating-permits>.
7. <http://www3.epa.gov/airquality/permits/basic.html>.
8. <http://www3.epa.gov/airquality/permits/permitupdate/brochure.html#what>.
9. <http://www3.epa.gov/airquality/permits/implemen.html>.
10. <http://cfpub.epa.gov/oarweb/mkb/permits.cfm>.
11. <http://www2.epa.gov/compliance/how-we-monitor-compliance>.
12. <http://www2.epa.gov/compliance/next-generation-compliance>.
13. <http://www2.epa.gov/enforcement/enforcement-basic-information>.
14. <http://www2.epa.gov/compliance/mobile-sources-compliance-monitoring-program>.
15. See: Eisinger, D. S. (2010). *Smog check: science, federalism, and the politics of clean air*. Washington, D.C., Resources for the Future Press; and, National Research Council (2001). *Evaluating vehicle emissions inspection and maintenance programs*. Washington, D.C., The National Academies Press.
16. <http://www2.epa.gov/compliance/mobile-sources-compliance-monitoring-program>.

12

能源规划

12.1 简介

中国的决策者与大气监管部门在建立有意义、有效和成熟的电力规划与总体环境规划方面扮演着非常重要的角色。在其它很多国家，大气质量管理与电力规划之间的协调长期以来始终是一项重大的挑战；但是由于中国的电力规划和总体环境规划均处于早期发展或改革阶段，因此机遇更多，双方之间的协调也更加切实可行。在理想的情况下，这两项单独的规划应整合为一项综合性规划体系。

电力规划将在中国逐步实现其大气质量和二氧化碳减排目标的过程中变得更加重要。¹

在中国经济快速增长期间，与大气污染和其它环境问题有关的科学和公共卫生研究也取得了重大进展。与此同时，降低大气污染物有害影响的先进技术和生产工艺也得到了快速发展。这样一来，中国的大气质量管理规划工作可以同时针对多重污染物展开防治，并同时应用能源效率更高的生产工艺和技术，使成本有效性大幅提高。

2013年发布的中国《大气污染防治行动计划》已经为省级大气质量管理规划的制定和实施工作拉开了序幕。到目前为止，省级规划中涉及的措施大多侧重于末端治理和燃煤电厂运行效率的改善。能源规划则可以协助推进其它工作，包括确定成本有效的可再生能源生产及制定输电项目的区域规划等。

12.2 中国现阶段能源状况的描述

在中国，环境规划和电力规划正在逐步得到开展和改革。目前正在制定中的国家“十三五”计划（2016年-2020年）对有关工作的部署是目前关注的重点。2015年3月，中国全国人大会议再次强调了国家对大气污染进行治理的重要性和紧迫性。有关部门近期在新《环境保护法》的框架下开展了一项整治和取缔违反有关规定的大气排放源的两年行动，并就降低能源强度和提高可再生能源利用率提出了新的目标。

电力规划

中国的能源规划与世界上其它国家和地区有所不同。在过去的十年间，中国在能源规划和不同资源种类的投资协调方面遇到了许多重大挑战。^{2,3}

尽管面临着许多挑战，中国的电力行业仍然实现了规模显著的发展，并为全社会持续提供稳定的电力供应。举例来说，自2010年至2013年间，中国每年新增的发电容量达80吉瓦以上，而且目前仍在保持快速增长。

然而，电力规划和投资审批之间协调的不足也已产生了一系列重大问题，其中包括：

- 可再生能源发电的大幅缩减（也可以看作“浪费的”可再生能源，主要是风能和水电等）。导致这个问题产生的一部分原因是电力生产投资和电网的实际情况不匹配，如风力发电投资的地理分布不合理；另外一部分原因则是刚性热电联产发电机组数量的增长。
- 煤电生产能力投资过剩，以及柔性资源和高峰容量投资不足。
- 错失落实低成本减排的机会，例如通过终端利用能源效率和分布式可再生能源投资实现的减排。

与环境规划类似，中国的电力规划目前正处于重大改革阶段。2015年3月出台的《关于进一步深化电力体制改革的若干意见》指出了当前对电力规划体制进行重大重组的需要。其它一系列政府文件的出台也预示着“十三五”规划将开始逐步落实电力行业的体制改革。⁴这对中国以相对合理的成本逐渐实现电力行业改革目标（包括减排目标）至关重要。

12.3 根据美国和国际社会的经验总结的能源规划准则

12.3.1 简介

在全世界范围内，电力部门及大气监管部门的有关人员始终在思考如何有效合理地调动低排放资源，并充分保障各种可再生能源使用的灵活性。

在能源效率、环境及风险等概念被提出之前，电力规划的主要目标只是找到不同种类资源的最佳组合。今天的准则与过去相似——我们的主要目标是找到成本最低的发电资源的组合。但是资源的概念却发生了重大的改变：现在的资源包括需求侧资源以及供应侧资源。另外，成本也不仅仅是直接建设成本和燃料成本，还包括大气排放的社会成本（和其它环境成本）以及

不同种类资源的特点所带来的效益，例如资源的灵活性，这也是电力规划者需要考虑的因素之一。

正如睿博能源智库在2014年提到的⁵，美国、欧盟和巴西的电力部门都进行了某种程度的规划，以对满足可靠性、环保需求、排放要求和其它重要条件的资源进行鉴别，同时将其带来的成本和风险降到最低。但是这些国家电力规划过程的完整程度具有很大差异。目前，世界上已经有一些具有高度参考价值的电力规划案例。这些规划对所有种类的可用资源及其全部的成本和效益进行了考虑和分析，其中包括排放的社会（“外部”）成本，但很多国家和地区的规划过程仍然在这个方面有所欠缺。

这些国家以不同程度讨论的一项重要问题是终端利用能源效率的规划。能源效率是一项常见且成本有效的手段，可帮助整个电力行业实现减排目标，并大幅降低消费者的电力消耗。

国际上的电力系统规划是以不同的形式进行的。各个国家的工业结构和基本国情具有很大不同，但一些常见的“最佳实践方案”却经常被采用。总的来说，电力部门的政策应具备两个互相关联的组成部分：一、电力综合规划的制定和定期更新，以使其满足可靠性、环保等需求及其它重要条件；二、机制的设计和定期调整，用于输送规划中确定的资源。

一部完整的电力规划通常包含以下元素：

- a. 资源适当性规划，确保需求侧和供应侧的资源均能适当且可靠地满足预期的需求；
- b. 输电可靠性规划，确保输电系统对新项目的增量可靠性、经济效益和环境效益进行评估，以可靠和成本有效的方式向消费者输送电力；
- c. 环境规划，确保环境目标得到强化和实现。

在理想情况下，这三个元素应紧密结合并共同组成一项涵盖短期、中期和长期（10年以上）目标的综合规划体系。但是这些元素通常会具有一些不足，因此需要持续对其进行改进。

12.3.2 美国的电力规划

如图表12-1所示，美国电力规划的核心是“综合资源规划（IRP）”。美国的大多数州目前采用综合资源规划，

但各自实行的形式和程度有所不同。简单来说，综合资源规划通常要求电力公司参与到公共规划过程中，并受有关部门的监管和调度。在公共规划过程中，所有可获得的供应侧和需求侧资源在相同的基础上进行评估，为在社会总成本最低的情况下满足消费者的需求进行合理规划。

将需求侧资源，特别是终端使用能源效率融合到电力规划过程中，会使得终端使用能源效率的投资大幅增长。这是因为提升能源效率通常比建设新型发电厂更加便宜和清洁。

美国的一些州（例如加利福尼亚州）已经宣布能源效率为“优先战略资源”，并要求其电力规划中必须包括“所有成本有效的能源效率选项”。欧盟在2015年春天宣布了一系列政策，将提高能源效率放在首位，并成立了一个能源联盟来协调30多个国家的能源政策。欧盟已经意识到过去将改善供应侧资源置于需求侧之上所带来的问题，并强调能源效率是一项成本有效性非常高且可靠的资源供应方法。⁶

然而，即使是在能源规划方面处于领先地位的国家和州也仍然需要进行大量的工作，将排放外部性完整地与规划过程进行结合，并确定和开发各种成本有效的能源效率方法。这样一来，能源效率投资便可在能源规划的过程中得到考虑，以作为取代传统发电厂的替代投资的一项潜在可能，甚至取代输送和分配投资。能源效率投资低成本、低排放的特点已经使得这一执行策略在很多地区得到了成功实践。

美国的各个州在能源规定和碳减排政策等方面差异很大。举例来说，各个州在电力行业重组、打破原有纵向企业结构并扶持能源批发和零售市场等方面采取的行动力度各有不同。⁸但是，无论市场模型如何，良好的电力规划对各州来说都至关重要，因为决策者需要确保政策能够在社会总成本最低的情况下达到其设定的目标。

设计完善的综合资源规划一般还包括鉴定风险并使其最小化。这些风险一般指的是经济风险（例如燃油价格波动）和环境风险（例如在未来实行紧缩的环境政策可能会使许多环境投资滞留甚至作废）。

图表 12-1 美国的电力行业综合规划⁷



12.3.3 小结

总体来说，国际上常见的电力规划“最佳实践方案”包括：

- 将终端使用能源效率与电力规划进行结合：将提升能源效率作为满足能源需求的一项成本有效的方法；
- 进行详细的资源选项经济分析：对供应侧和需求侧资源进行对等分析。量化待评估资源的环境和公共健康成本及效益，并将它们融合到整体规划当中；
- 将输电和分配规划与电力规划的其它方面进行结合：使用输电规划者的分析工具对（1）成本较低但分布范围较大、需要更多输电投资的能源生产与（2）成本较高但更加靠近负荷中心、需要较少输电投资的能源生产之间的经济取舍进行计算。输电规划者也可以分析如何对输电投资进行调整，以同时满足能源可靠性要求和其它公共政策目标（例如煤炭消耗上限、地区大气质量目标或可再生能源目标等）；
- 确定经济、商业和环境风险并使其降到最低。⁹

12.4 能源规划案例和最佳实践方案

将能源和环境政策互相结合所带来的共同效益是非常直观的。加利福尼亚州自上世纪70年代起一直保持着总体平稳的人均能源消耗，并因此省去了建设更多发电厂的开支，进而在很大程度上避免了更多的排放增长。然而，虽然法律框架没有禁止能源和环境政策的结合，但是在环境和能源法规较为独立的情况下也无法直接促成其一体化。自上世纪90年代后期开始，美国各州逐步推动将环保和能源监管部门组织起来，共同开展一系列试点项目。这样的例子越来越多且不断深化，为其它部门提供了一份最佳实践技术的样板。考虑到每个州或省份都有其与众不同的特点，因此在加利福尼亚州或马里兰州实行的政策不一定适用于江苏省。本节将对前面提及的最佳实践技术的经典案例

进行介绍。下节还将介绍江苏省大气监管部门可采取哪些方法将最佳实践技术融合到省级大气质量管理规划过程中。

12.4.1 联邦层面的经验

美国联邦环保署于2015年8月3日最终完成并发布的《清洁电力计划》重点对电力行业的最佳排放绩效系统进行了分析。该计划规定减排可以通过三个主要“结构单元”实现，并授权各州可以根据实际情况的特点自行制定其州级计划。美国联邦环保署在《清洁电力计划》中指出，电力可以由任何数量的发电厂产生，减排也可通过现场或非现场的技术和过程加以实现。例如：

- 提升锅炉热效率。使用更少的燃料发电可以降低温室气体和指标大气污染物的排放及燃料成本。美国联邦环保署预估，现存锅炉可以达到6%以内的热效率提升幅度。
- 增加天然气调度。许多燃气电厂拥有提高其容量因子的潜力，并可用于取代排放量更高的燃煤电厂。
- 提高可再生能源发电的利用。美国联邦环保署根据不同区域的特点和现行政策为每个州设定了可再生能源发电利用的目标。
- 美国联邦环保署预计，许多州的合规实施计划将依靠其能源效率项目来达到强制性二氧化碳减排的目标。

尽管美国联邦环保署的《清洁电力计划》主要针对温室气体的排放进行管控，但是用来实现温室气体减排的这些方法和过程也可以帮助各州降低其氮氧化物、二氧化硫、颗粒物和汞的排放。美国联邦环保署已经发布了一项指导方针草案，以帮助各州评估、测量并验证其通过能源效率项目达到的减排绩效。¹⁰

12.4.2 美国州级层面的经验

美国的《清洁空气法案》为各州明确了建立州级大气质量管理规划的责任。能源规划也主要是一项州级层面的工作。国家清洁能源政策的要求或持续改善大气质量的需求使得很多州成功推行了一系列以能源和环境规划协调为基础的项目。

可再生能源区 (REZ)

美国中西部的一些州借助其有利的自然条件建立了可再生能源区，以推动新型太阳能及风能资源的选址和开发。德克萨斯州公共事业委员会新建了价值约50亿美元的输电管线，将该州西部区域由风能和太阳能生产的电力输送至东部人口密集的区域。德克萨斯州东部严重的大气污染已经持续了几十年（在历史上，休斯敦是和洛杉矶并列的全美大气污染最严重的城市）。德克萨斯州的可再生能源区项目将会在该州西部地区新增超过18吉瓦的非化石能源发电容量，以此作为该州东部地区新建化石燃料发电项目的替代方案，避免加重该区域的大气污染。¹¹

将能源效率和可再生能源纳入大气质量模型

作为大气污染防治措施评估工作的一部分，马里兰州进行了一系列大气质量模型分析，根据臭氧和细颗粒物（PM_{2.5}）的环境浓度变化情况评估能源效率和可再生能源的作用及影响。¹²其模型分析结果显示，即使是最保守的能源效率和可再生能源利用水平也可使臭氧浓度和PM_{2.5}浓度分别降低0.50 ppm和0.10 μg/m³以上。马里兰州还使用BenMAP对这些清洁能源项目的公共健康效益进行了估算。¹³

加利福尼亚州的输电规划

加利福尼亚州长期以来一直从其它西部州份境内的燃煤电厂进口电力，以满足其日常的大部分需要。这些燃煤电厂产生的氮氧化物、二氧化硫和颗粒物排放已经在许多州造成了严重的区域性雾霾和其它大气污染问题，其中也包括大峡谷国家公园。每年，加利福尼亚州独立系统运营商（CAISO）都会制定一项规划，确定满足加利福尼亚州电力可靠性和政策要求的新建输电项目。加利福尼亚州的可再生能源目标（到2020年前比重达到33%¹⁴）一直对该州输电规划和投资发展起到主要的推动作用。

输电规划的重要组成部分包括：

- 确定达到可再生能源目标所需的输电投资。规划者应对10年之内的发展情况提出不同假设，并准备多种新建可再生能源项目的投资组合方案（包括类别和地点等信息）。

- 为这些可能的可再生能源项目投资组合方案进行输电需求分析。
- 确定现有输电网络的升级改造计划以及维持输电网络稳定运行所需的其它附加设施。
- 为升级改造计划和其它附加设施进行经济分析，评估它们在维持输电网络稳定运行之外是否能够为纳税人带来其它效益。

加利福尼亚州独立系统运营商同时也已采取了一系列具体行动，将发电互联过程与输电规划进行结合。其目的是确保新增发电容量与系统的新增输电容量之间可以更好地进行统筹协调。

大气质量恶化与区域性雾霾现象的产生对可再生能源的发展起到推动作用

美国的大峡谷等国家公园每年吸引众多来自世界各地的游客。区域性城市大气污染与各地化石燃料电厂产生的污染结合，使这些国家公园园区内的能见度显著降低，对旅游业产生了明显的负面影响。美国联邦环保署于1999年发布了一系列应对区域性雾霾的规定；美国西部的许多州份接着又成立了西部区域大气合作组织（WRAP），共同对降低区域性雾霾、改善大气质量的环境政策进行研究和评估。WRAP的2003年度总结报告指出，如果将可再生能源占能源总量20%的目标与提升能源效率的措施相结合，可以在维持各行业正常运转的情况下为消费者节省近7亿美元的开支，并有效降低氮氧化物的排放。该报告也进一步推动了亚利桑那州和内华达州的再生能源发展。¹⁵

公共事业层面的综合资源规划

Pacificorp是一家为美国西部六个州的客户提供公共事业服务的企业。该企业根据监管部门、社会大众和利益团体的反馈每两年发布一份形式上等同于区域综合资源规划的报告。¹⁶在报告中，该单位对现行和计划实行的环境政策及规定进行评估。最后，报告的终稿会提交给这六个州的能源监管部门进行审批。

为缺乏相关经验的地区进行能源规划

美国一些州的环境法规并不强制要求有关部门执行并提交综合资源规划。即使是在对综合资源规划提出明确要求的州内，十几年前规划的准确性也远远不及近

期完成的规划。鉴于中国目前并未针对综合资源规划提出具体要求，因此威斯康星州的能源规划过程可作为一项参考。威斯康星州要求公共事业单位每两年进行一次“战略能源评估”，并提交给州级监管部门进行审批。这项评估报告必须对威斯康星州的能源供应进行评估，并对未来预期的供需情况进行描述。同时，能源效率和可再生能源项目也是该报告的重要组成部分。¹⁷

12.4.3 欧洲和其它地区的案例

欧盟的输电规划

可再生能源发电容量的增长使太阳能电力和风电力的价格持续降低，但也为输电系统运营商将这一部分电力集成至现有系统中带来了许多挑战。欧盟的能源和环境目标预计将推动其可再生能源部署持续有力地得到落实，同时降低化石燃料发电的比重。新型电池储能技术的发展也为保持发电和供需之间的平衡起到了重要作用。这些都对实现并保持大气质量与温室气体的减排目标提供了很大帮助。输电系统运营商必须对十年之内的发展情况进行规划，例如进行适当性评估，以及为各成员国家收集和审核数据建立一套协作机制。与世界上其它地区的情况相似，欧洲具有强大可再生能源潜力的区域通常远离人口聚集和能源需求最大的区域。欧盟的输电系统运营商已经开始推行一系列区域规划，以便更好地将可再生能源发电容量与电力需求进行匹配并保持平衡。即使是在横跨不同国家边境的情况下，输电基础设施的升级和改造也已逐步得到规划和实施。¹⁸

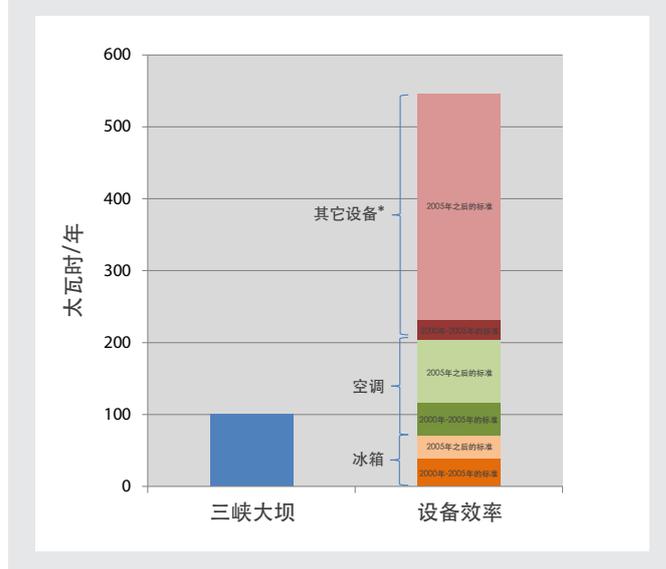
南非的可再生能源开发计划

南非在2007年至2008年期间经历了非常严重的电力短缺，并造成了工业企业的停产和关闭。南非制定了2025年、2035年和2050年的温室气体减排目标。¹⁹在2010年之前，南非主要依靠一个国有发电企业为全国供应电力，其发电容量的90%左右为燃煤发电。为了提高供电的可靠性并改善能源的多样性以达到国家环境目标的要求，南非能源部启动了一项公共事业计划，寻求社会对可再生能源进行投资。自2011年以来，该计划通过三轮竞标已经吸引了100亿美元以上的投资，新建容量为4000兆瓦的可再生能源电力系统。南非政府预计，在2028年前新增发电容量的40%以上（约20000兆瓦）将基于可再生能源。²⁰

中国能源效率设备标准

中国的能源强度和设备标准为将健全的能源政策与大气质量规划进行结合提供了很好的支持。中国实施的能源标准已经节省了上百万吨煤炭的消耗，并阻止了大气质量的进一步恶化。²¹据图表12-2显示，到2020年，中国借助实施能源标准节省的能源将达到中国最大发电机组——三峡大坝输出电力的5倍以上，或者超过10亿吨煤炭的消耗。²²

图表 12-2 中国借助实施能源标准节省的能源²³



江苏电力需求侧管理项目

江苏省在电力需求侧管理领域一直是中国各省市中的佼佼者。早在本世纪初，江苏省便已开始重点开展电力供应紧缩时期的需求侧管理工作。²⁴在接下来的几年间，国家电网公司需求侧管理指导中心开始在江苏省设计并建立一个“效率电厂”试点项目。容量为数百兆瓦的效率电厂在该项目框架下建设完成，其成本远远低于建设容量相同的传统型燃煤电厂。²⁵国家电网江苏分公司已开始在2011年国家发改委发布的“国家需求侧管理措施”框架下持续推广能源节约型需求侧管理工作。国家发改委对江苏省2013年至2014年期间进行的需求侧管理工作给予高度肯定。²⁶

12.5 能源规划对大气监管的重要性

12.5.1 简介

对中国来说，环境保护和大气质量改善，特别是有效解决自2013年以来全国大范围频发的大气重污染现象，是当前的核心任务。据世界卫生组织估算，2012年全世界共有约700万人因大气污染暴露过早死亡。²⁷根据世界银行2007年进行的计算，中国大气和水污染在公共卫生方面造成的开支大约占国内生产总值的4.3%。²⁸另外一项近期公布的研究报告则表明，中国为大气污染付出的代价可能会占到国内生产总值的13%左右。²⁹燃煤电厂排放的PM_{2.5}对各个年龄段的人群均会造成不良健康影响，并尤其会对儿童的认知能力和身体其它方面的机能产生长期伤害。解决大气污染问题需要全国上下和政府各部门的共同努力，尤其是电力行业——这涉及到中国近一半的煤炭消耗。电力规划将会在全国改善环境质量的工作中发挥重要作用。

在电力规划的过程中重点对大气排放进行考虑，将帮助中国的电力行业做出正确的决策。这将要求规划者在规划资源选项时确定并考虑可预期环境政策造成的成本。近年来，中国政府颁布了一系列重大的大气质量管理新政策，其中包括氮氧化物和二氧化硫的减排目标，以及为113个城市提出在2015年前初步建立大气质量管理规划的要求。美国和欧洲国家的经验表明，环境空气质量标准需要随着时间的推移不断修订和更新，各地大气监管部门建立的初级规划也需要根据新的大气质量与监管标准定期进行修订。

12.5.2 推动综合资源规划（IRP）

大部分综合资源规划会对未来一段时间内（一般为5至15年）需要的供应侧和需求侧资源以及它们的成本和风险进行评估。综合且完整的资源规划同时还从其它方面对各种能源选项进行评估，例如分析这些能源是否符合相关环境法规的要求。大气监管部门在大气质量管理规划中采用的模型分析与此相似，用于评估规划控制措施的效力。在公共事业单位预测其如何满足未来的电力需求时，对发电资源的数量、时间和成本

产生影响的主要能源和经济变量可能包括：

- 电力增长；
- 燃料价格的变化（天然气、煤炭等）；
- 热能和可再生能源技术的资源成本（需求侧、供应侧、电网），例如升级速度和价格平减指数等；
- 预期的容量因子（预期的发电设备每年运行小时数、负荷情况以及时段，例如高峰时段或基本负荷时段）；
- 目前及未来预期的电价；
- 输电阻塞或部分地区供电紧张（例如在高峰时段达到或超出电网容量）；以及
- 对可再生能源和能源效率进行考虑和应用。

电力规划者应定期进行未来资源需求预报，并预测其风险和不确定性带来的开支。良好的能源规划同时还对可能影响所需资源数量和成本的非能源变量进行评估。这些非能源变量主要包括：

- 用于降低氮氧化物、二氧化硫、颗粒物和汞排放的排放控制设备的建设成本和运行情况；
- 对未来温室气体排放进行管控的潜力和假定的碳排放价格；以及
- 大气污染现状的公共卫生成本，以及逐步降低公共卫生影响所带来的效益。

在分析建设成本时，应选取最佳可获得控制技术（BACT）。最佳可获得控制技术指的是降低90%以上氮氧化物排放、95-98%以上二氧化硫排放、及90%以上颗粒物和汞排放的控制技术。基于安装和运行经验的标准建设和运行成本数据可以通过设备制造商和电力企业获取。

在温室气体管控方面，中国已经在部分省市启动了温室气体排放试点项目。另外，中国国家主席习近平和美国总统奥巴马共同签署了一项限制并削减本国温室气体排放的协议。在进行任何规划时，假定的碳排放价格都不应为零。低、中和高碳排放价格一般在对电力行业温室气体减排的潜在影响进行分析时得到应用。

最后，近期的一些研究证明中国大气污染带来的公共健康影响程度很大、成本很高。²⁸美国联邦环保署和中国清华大学特别开发了一项中国版BenMAP程序。通过运行这项软件，³⁰符合中国实际情况的成本和效益数据将可以为电力规划工作提供良好的支持。

包含以上三项变量的电力规划将更准确地对需求侧和供应侧资源的能源及非能源成本和效益进行解析。这种规划方法将在增加新的发电容量和提供稳定的电力之间保持更好的平衡。然而更为重要的是，通过鼓励发电厂在建设时投资安装排放控制设备，而不是要求其在投产之后进行更加昂贵的排放控制改造，可以大幅降低发电厂的合规执行成本。

这种规划方法同时还阐释了各种能源组合的总成本和排放情况。这项信息将使得电力、环境及其它有关部门的决策者更好地权衡执行成本和大气质量的改善情况。

落实一项持续性综合资源规划过程时应注意以下几点：

- 避免中国近期煤炭产能的过剩情况；
- 包含中国西部和北部地区的风力资源。由于无法进行输送，这些地区的风力发电容量被相应削减；
- 评估用于提供稳定电力的其它需求侧资源的开发潜力；以及
- 考虑如何推广电动汽车。

一般来说，电力规划应每2-5年更新一次，以反映经济、能源和环境因素的变化，例如经济增长、人口增长、燃料和技术成本以及新的环境标准等。电力规划应当在新的空气质量标准开始实施，或者在基本情况发生重大变化并对原规划的能源或经济假设造成影响的时候进行修正。中国的初级规划在初始阶段可能需要每两年更新一次。之后随着能源、环境和经济情况的稳定，后期的规划更新频率可有所降低。

12.5.3 大气监管部门在电力规划过程中扮演的重要角色

大气质量和能源规划之间的良好协调可帮助双方实现其共同的目标，同时还可帮助避免环境损害及其成本的产生。大气监管部门在电力规划过程中扮演更大、更稳定的角色，将会起到一系列积极作用：

- 获取效益、降低损害：目前有许多低成本减排方案，但却没有得到充分的应用。这包括实施电力再调度和需求侧管理地区的低成本或负成本排放控制措施等。根据统计，由污染造成的环境损害大约占中国2007年国内生产总值的4.3%。²⁸
- 提供多重污染物协同控制效益：大气质量管理和环境规划的共同实施可对PM_{2.5}、臭氧、有毒大气污染物和温室气体进行协同控制。
- 在达到能源和环境目标的过程中，平衡考虑供应侧和需求侧资源的作用：包含能源效率、可再生能源和热电联产的综合能源政策可以更低成本达到与只包含末端治理控制的政策相同的环境目标。³¹
- 避免预料之外的后果：排除可能在接下来的几十年间对大气质量造成长期负面影响的非经济投资决策。
- 影响“十三五”及以后的五年规划中设定的目标：促进以清洁生产为首要考量的发电资源调度。鼓励电力生产的经济调度。
- 有效利用有关部门的资源：可以同时针对细颗粒物、臭氧、汞和温室气体规划进行效益分析。

12.6 大气监管部门应采取的步骤

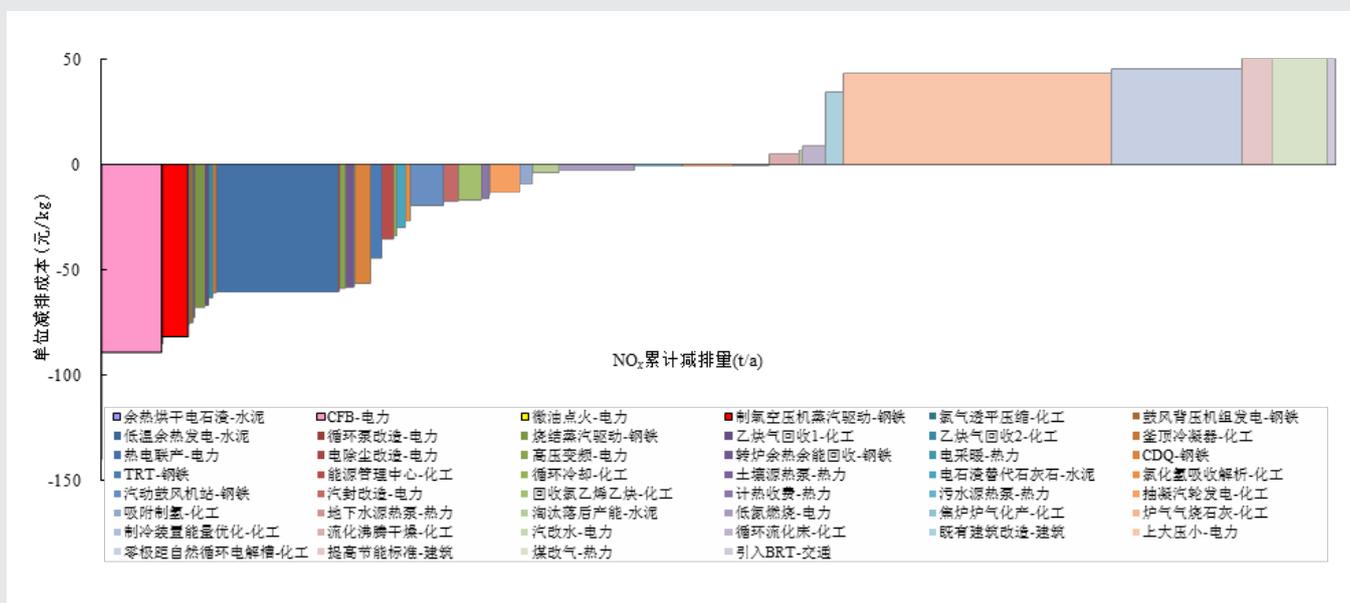
本章已经就大气监管部门在评估大气质量标准的合规执行工作时，将能源效率、可再生能源与其它措施进行对等参考与统筹规划的效益进行了重点介绍。要使效益最大化，大气质量与能源监管部门的共同合作是必不可少的。每个部门的工作重心有所不同：能源监管部门侧重于为消费者提供足够的能源，并将成本控制在相对合理的水平；大气监管部门则侧重于降低大气中的污染物，并改善公共卫生状况。如果能源规划部门无法有效意识到其在大气污染减排方面的角色，则可能会持续批准燃煤电厂的建设，并由此导致大气污染程度的进一步升高；另一方面，如果大气监管部门无法有效意识到其在维持供电稳定和成本合理方面的作用，则可能会忽略能源效率和可再生能源发电带来的大气质量效益，并由此引起发电和工业生产成本的增加。

大气监管部门如何才能准确评估清洁能源政策带来的环境价值，并确保能源监管部门认可其在能源规划过程中做出的贡献？传统的大气质量规划过程强调采用末端排放治理和有效的监测系统来确保排放标准的合规执行。这种模式对大气监管部门来说是可以接受的，但我们已经越来越认识到多重污染物协同控制方法具有更大的效益；并意识到如果无法对环境政策的能源和经济影响进行考虑，则可能会引发一系列预期之外的后果。因此，大气监管部门需要对其现有的工作模式进行调整或寻找新的方法。在过渡到多重污染物协同控制方法时，大气监管部门比较缺乏过往案例的参考，因此在确定具体工作步骤时可能会遇到困难。但幸运的是，中国近期推行的一系列项目和政策为大气监管部门更好地考虑并评估各种污染控制措施指明了方向，包括能源效率和可再生能源项目等。

这种被称为“协同控制”的工作模式是一种自上而下对大气质量进行管理的方法。通过自上而下的定量分析确定达到环境空气质量标准或公共卫生目标所需要从大气中去除的污染物的吨数，然后再根据可获得的各个污染防治方案的效力和成本对其进行评估和排序。

如图表12-3的案例所示，某市确定每年需要从大气中去除41404吨氮氧化物以达到其大气质量目标的要求。³²横轴标示的是该市评估的20多种排放控制措施及其大气质量改善潜力。纵轴标示的是每种排放控制措施对每吨污染物进行控制的成本。

图表 12-3 氮氧化物减排潜力与不同种类技术和过程成本的比较



另一个展示大气监管部门为能源系统带来影响和效益的案例来自美国。一个被称为多重污染物能源与大气质量综合规划（IMPEAQ）的流程展示了大气与能源

规划部门可以如何共同合作，在短时间内实现各自的目标。³³表格12-1总结了IMPEAQ流程的基本步骤。

表格 12-1 多重污染物能源与大气质量综合规划（IMPEAQ）流程

| 步骤 | 负责人 | 步骤描述 |
|----|---|---|
| 1 | 大气规划部门（国家、省级、区域或市级） | 通过审阅环境空气监测网络的数据，确定目前的大气质量水平（包括热点地区在内） |
| 2 | 大气规划部门负责人，但也需要从能源和交通规划部门获取信息以提出假设 | 通过大气质量模型，计算每种污染物为达到（现行或未来）环境空气浓度标准所需要降低的排放量 |
| 3 | 大气规划部门负责人，但也需要从能源和交通规划部门获取信息以提出假设 | 对减排选项的多重污染物数据库进行优化模型分析（如不可行，则可与能源监管部门合作），确定成本有效的能源效率、资源分布和可再生能源等方案可实现的节能情况（及其它共同效益） |
| 4 | 需要从能源规划部门获取节能数据。能源和大气规划部门需要对相关的排放因子（根据各州和能源市场的情况有所不同）达成共识 | 将能源效率、资源分布和可再生能源的节能情况以减排的形式进行表达 |
| 5 | 大气规划部门 | 计算通过能源效率、资源分布和可再生能源达到的减排总量；重复第3步，直到减排总量达到第2步设定的目标 |
| 6 | 大气规划部门，同时在正式的监管过程中向能源和其它规划部门以及社会大众寻求合作 | 实施必要的监管程序，采用并落实第3步确定的减排措施 |

12.7 为江苏省提出的建议

大气质量和能源规划过程是环环相扣的，并需要根据未来的预期效果对必要的政策进行预判。预判未来10至15年的情况一般不太准确，因为这些预判是建立在每年都可能发生变化的变量的基础上，且这些变量的影响范围也会发生变化。因此，大气质量和能源规划应定期修改和更新。有时可能需要每年更新一次，但一般来说至少应每2-3年更新一次。

采用本章中介绍的工作准则和最佳实践方案的国家和地区已经随着时间的推移修正并改进了它们的能源规划过程。这些国家和地区均是从基础做起，慢慢地意识到最初的工作并不完善，然后在原来的基础上不断发展完善并制定了后续的规划。值得注意的是，当大气规划部门没有考虑能源政策，或大气质量管理规划没有对能源政策的效益进行分析时，由此遗漏的一些改进机会和超出预期的后果可以作为大气质量管理规划的一部分进行分析和总结。

江苏省在建立并实施大气质量改善计划时面临许多挑战。本章在提出以下建议时，也意识到江苏省不太可能在现阶段同时落实其全部内容，并可能需要将其中

一部分措施推迟到与未来的大气质量管理规划共同实施。但是对江苏省来说，启动这项促进大气质量和能源政策结合的进程是非常重要的。江苏省大气污染的主要来源与能源消耗有关。如果大气质量和能源政策可以更好地配合，双方的目标便能够更好、更快、更成本有效地实现。

启动电力规划工作。与本地发改委和能源局合作，为江苏省确立一项符合实际情况的电力规划实施进程。建议将江苏省列为电力规划和大气质量管理的试点省份。可以从包含可再生能源和能源效率在内的简单资源规划开始，逐步推进开展电力规划工作。

将新能源的开发与省级大气质量目标进行联结。江苏省目前的大气污染水平高于中国国家环境空气质量标准的要求。任何新建的化石燃料工业源（煤炭或天然气）都将使污染加重，但新的可再生能源（风能或太阳能）发电和能源效率改进项目则可避免污染的加重。如果推广力度较大，甚至可能使污染水平降低。能源规划部门在选择或审批排放源新建项目时应对这些因素进行考虑。

为燃煤电厂建立最大容量利用因子（CUF）。中国在推广风能和太阳能利用方面的投资十分巨大，但新的燃煤电厂同时仍在不断建设和投入生产。由于现存燃煤电厂的原因，某些地区的风力发电甚至不得不进行缩减。为燃煤电厂建立最大容量利用因子（CUF）可以向投资者与项目开发商发出明确的信号，指出中国的可再生能源发展是一项长久之计，而煤炭则无法满足未来的长远需要。

为大气和能源监管部门建立规划协调合作机制。可首先以非正式形式开展，之后在未来大气和能源规划建立或修订的过程中将这种协调合作机制常态化。该机制的参与者可以共同讨论的一些基本问题包括：

- i. 未来预期的电力需求增长情况如何，以及需要使用哪些资源？
- ii. 江苏省及其下辖各主要城市电力生产的可再生能源占比如何？需要从外国、省、市进口的百分比

是多少？省内自行开发的百分比是多少？

- iii. 可以在哪些领域实行其它节能项目？

确定江苏省清洁能源政策的环境效益。将能源效率、可再生能源和健全的基本能源原理纳入江苏省及其下辖各主要城市的省级和市级大气质量管理规划的排放控制措施。

利用环境影响分析鼓励大气和能源政策的结合。使用环境影响分析（以及任何未来的预建或运营许可证项目）确保新建及改建排放源具备高热效率，并通过标准流程提高煤炭质量。

12.8 总结

完成一项大气质量管理规划具有很强的挑战性，特别是在中国经济持续迅猛增长的情况下。监管部门会面临资源紧缺和社会压力，并且在如何快速并有效地实施大气污染防治措施并改善大气质量方面受制于信息数量和质量不足。江苏省当前面临的情况与洛杉矶和伦敦在20世纪50至60年代面临的情况比较相似。在那时，造成大气污染的准确原因尚未明确³⁴，因此两个城市的大气监管部门无法采取足够且有效的排放控制措施。

但是在今天，我们可以对环境空气和每个工业部门排放设备尾气中的污染水平进行持续性监测。我们同时也了解到，各种大气污染物将对地球上的人类、动植物和自然环境造成整体和共同的影响。美国和欧洲部分国家的经验表明，最快速且成本有效的大气质量改善方法是实施多重污染物协同控制的减排政策和控制措施，并有效利用清洁能源政策产生的效益。

江苏省及其下辖的各主要城市可以在建立大气质量管理规划的过程中参考本章推荐的方法和步骤。在编制初级规划时，不一定需要包含所有的方法和步骤。重点是建立一项规划过程和框架，对江苏省大气和能源监管部门目前的业务能力及采取的措施进行整理和评估。江苏省在需求侧管理试点和各城市煤炭消耗限制方面的有利经验也将是建立大气质量管理规划的重要基础。应当对这些项目的实施成果进行全面评估，并考虑如何将其进一步扩展和深化，以便在大气质量和能源方面取得更大的效益。

参考文献与注释

1. 本章的重点是能源规划为大气质量带来的效益和影响。将能源和环境政策进行良好协调和有机结合还可有效改善水质和土壤利用状况。
2. Kahrl, Fredrich. (Forthcoming). Integrating Renewable Energy into Power Systems in China: A Technical Primer: Planning. Regulatory Assistance Project.
3. Regulatory Assistance Project. (2013). Recommendations for Power Sector Policy in China. Retrieved from <http://www.raonline.org/document/download/id/6869>.
4. 2015年3月下旬, 中共中央和国务院发出了《关于进一步深化电力体制改革的若干意见》, 又称“九号文件”。详情请参阅<http://www.ne21.com/news/show-64828.html>。该文件的英译版请参阅<http://raonline.org/featured-work/anew-frame-work-for-chinas-power-sector>。2015年6月, 国家能源局颁布了国能法改[2015]199号文件, 对改进能源规划提出了指导意见。详情请参阅http://zfxgk.nea.gov.cn/auto81/201506/t20150610_1936.htm。
5. Regulatory Assistance Project. (2014). Low-Carbon Power Sector Regulation: International Experience from Brazil, Europe, and the United States. Beijing, China: Regulatory Assistance Project. English version retrieved from <http://www.raonline.org/document/download/id/7432>.
6. Coalition for Energy Savings. “Energy Efficiency First” . Retrieved from: <http://energycoalition.eu/20150507>.
7. Wilson, Rachel and Bruce Biewald. (2013). Best Practices in Electric Utility Integrated Resource Planning: Examples of State Regulations and Recent Utility Plans. Regulatory Assistance Project. Retrieved from www.raonline.org/document/download/id/6608.
8. “重组” 是美国相关行业常用的术语, 在本质上与欧洲使用的“自由化” 非常相似。
9. CERES, Practicing Risk-Aware Electricity Regulation: What Every State Regulator Needs to Know, prepared for CERES by Ron Binz, Richard Sedano, Denise Furey and Dan Mullen. Retrieved from: <http://www.ceres.org/resources/reports/practicing-risk-aware-electricity-regulation>.
10. U.S. Environmental Protection Agency. Evaluation, Measurement and Verification (EM&V) Guidance for Demand-Side Energy Efficiency (EE), draft for public input, August 2015. Retrieved from: http://www2.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/cpp_emv_guidance_for_demand-side_ee_-_080315.pdf.
11. Texas Public Utility Commission, competitive renewable energy zones project page. <http://www.texascrezprojects.com>.
12. Aburn, George (Tad), Maryland Department of the Environment. Presented at ACEEE Market Transformation Conference, Washington, DC, 2013. http://aceee.org/files/pdf/conferences/mt/2013/Tad%20Aburn_D2.pdf.
13. 美国联邦环保署已经为中国开发了一个特殊版本的BENMap系统。
14. 加利福尼亚州已经计划在2030年前将可再生能源的比重进一步提高到50%。加州现行的可再生能源标准可通过以下网址查阅: <http://www.cpuc.ca.gov/PUC/energy/Renewables/>.
15. Western Regional Air Partnership, Renewable Energy and Energy Efficiency as Pollution Prevention Strategies for Regional Haze, prepared by the Air Pollution Prevention Forum, April 2003.
16. Pacificorp, 2015 Integrated Resource Plan. Retrieved from: http://www.pacificorp.com/content/dam/pacificorp/doc/Energy_Sources/Integrated_Resource_Plan/2015IRP/Pacific-Corp_2015IRP-Vol1-MainDocument.pdf.
17. Wisconsin Public Service Commission. Final Strategic Energy Assessment: Energy 2018, November 2012. http://psc.wi.gov/apps35/ERF_view/viewdoc.aspx?docid=176432.
18. European Network of Transmission Operators for Electricity (ENTSO-E), Entso-e’s Pilot Ten-Year Network Development Plan, 2010. https://www.entsoe.eu/fileadmin/user_upload/library/SDC/TYNDP/100630_TYNDP_Executive_Summary.pdf.
19. Republic of South Africa, Department of Environmental Affairs. Climate Change Awareness Campaign. Retrieved from: <http://www.climateaction.org.za/cop17-cmp7/sa-government-position-on-climate-change>.
20. Macfarlanes, South Africa’s Renewable Energy Programme: An African Success Story. Retrieved from: http://www.macfarlanes.com/media/452954/south-africas-renewable-energy-programme-an-african-success-story-jan-2015_website.pdf
21. Rosenfeld, Arthur. Lawrence Berkeley National Laboratory, personal communication, February 2015.
22. 三峡大坝发电机组的输出容量为100太瓦时, 如果按发电每千瓦时消耗340克煤炭的平均水平计算, 则大约需要消耗3.74亿吨煤炭。
23. Fridley, David and Zheng, Nina. Lawrence Berkeley National Laboratory, China Energy End-Use Model, 2010.
24. Hu, Z., Moskovitz, D., & Zhao, J. (2005). Demand-Side Management in China’s Restructured Power Industry. Energy Sector Management Assistance Program, The World Bank.
25. Regulatory Assistance Project. (2009). Energy Efficiency Power Plants: A Policy Option for Climate-friendly Air Quality Management in China.
26. Crossley, D., and Wang, X. (Forthcoming). Case Study: China’s Grid Company Energy Efficiency Obligation. Regulatory Assistance Project.
27. 世界卫生组织。引用自<http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en/>。

- 
28. World Bank. (2007). Cost of Pollution in China: Economic Estimates of Physical Damages. Washington, DC: Author. Retrieved from: http://siteresources.worldbank.org/INTEA-PREGTOPENVIRONMENT/Resources/China_Cost_of_Pollution.pdf.
 29. The New Climate Economy, China and The New Climate Economy, 2014. Retrieved from: <http://2014.newclimateeconomy.report/china/> Full chapter and details (in Mandarin) Retrieved from: http://2014.newclimateeconomy.report/wp-content/uploads/2014/11/china_20141113_reduced1.pdf.
 30. U.S. Environmental Protection Agency. Environmental Benefits Mapping and Analysis Program-Community Edition (BenMAP-CE). Main web portal retrieved from: <http://www2.epa.gov/benmap>.
 31. Bollen, J. et al. "Local Air Pollution and Global Climate Change: A Combined Cost-Benefit Analysis". Resource and Energy Economics, v. 31, 2009, pp. 161-181.
 32. Mao, Xianqiang et al. School of Environment, Beijing Normal University, NO_x Total Emission Reduction Strategy: a multi-pollutant co-control perspective. Presented at NO_x Emissions Control Conference, Kunming, Yunnan, China, September 2012. See also Mao, X., et al. Co-control of Local Air Pollutants and CO₂ from the Chinese Power Industry, Journal of Cleaner Production, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.017>.
 33. James, Christopher and Colburn, Kenneth. The Regulatory Assistance Project. Integrated Multi-Pollutant Planning for Energy and Air Quality, March 2013.
 34. 人们最初认为洛杉矶的大气污染问题是由当地的炼油厂引起的。后来，在南岸大气质量管理区Haagen-Smit博士的主持下，有关方面建造了一处“烟雾室”进行相关研究，并最终证实有机物在阳光下反应生成的臭氧是当地大气污染的真正原因。

13

江苏省大气质量管理规划工作面临的主要挑战

概述

本章将就此次项目进行过程中发现的江苏省大气质量管理规划工作面临的主要挑战进行总结。首先是涉及到各个工作环节的综合性挑战，之后是根据不同业务领域分组细化的技术方面的挑战。

13.1 综合性挑战

- 有限的资源。与美国的州级环保部门相比，中国的省级和市级环保部门规模相对较小，因此工作人员无法专项负责大气质量管理体系的各个具体环节，而必须同时受理大气、水资源和固体废弃物等多个领域的业务。这样一来，为大气质量管理体系的各个具体环节培养专业人员极其业务能力就变得非常困难。与美国相比，中国环保部门和受监管实体的角色与分工有着显著的不同，这也使问题进一步加剧。
- 迅猛的增长。随着大量新项目的陆续上马，以及老旧、低效企业的加速关停，江苏省工业企业的总体情况始终在持续变化之中，这为建立完整的省级或市级大气排放清单等基础工作带来了困难。与快速的经济增长相关的建筑施工和工业企业的涉及面很大，也使得数据收集、检验和政策执行更加不易。江苏省的移动源数量在过去的十年间增长了406%，年度增长率达到近20%。
- 环保部门的权限。在很多时候，市级环保部门没有针对环境问题制定法律法规的权限。现阶段遇到的许多环境问题需要在全国层面上建立更多的政策加以支撑。对市环保局来说，与省环保厅进行协作，通过省环保厅向中央政府争取环保立法或者在省内建立实施新的环保法规，也是非常重要的。
- 改善大气质量的巨大压力。发展势头强劲的工业化城市始终面临着巨大的环保压力，这也是环保部门需要合理应对的一项重大挑战。

13.2 排放清单

- 需要符合中国实际情况的大气排放因子。目前亟需建立符合中国实际情况的大气排放因子，以协助改善大气排放清单。美国的最佳实践方案包括在特定组合的工艺过程和排放控制设备上执行大气排放测试，然后建立可用于情况相似的排放源的大气排放因子，而无需进行进一步的测试。工业生产运行情况相似的其它省市也可以将这些排放因子应用于本省或本市大气排放清单的编制工作中，也可将其开发的大气排放因子与其它省市共享。
- 环保部门工作人员的经验较为缺乏。建立排放清单对环保部门的很多工作人员来说是一项全新的任务，部分人员在该领域的工作经验非常有限。有关人员需要在大气质量管理系统的各个方面培养更多的经验和技能，为今后工作的开展打下良好的技术基础。
- 各行业环保工作人员的经验也较为缺乏。除政府部门的环保工作人员之外，各企业负责申报大气排放数据的人员在相关领域的工作经验也较为缺乏。这些环保工作人员也需要接受系统的培训和指导，以获取足够的知识和技能来完整、准确地完成其所属行业或企业的大气排放申报业务。
- 大气排放清单培训。本次报告中涉及的许多工作都要求有关人员在挥发性有机物排放估算和测量方法方面接受更加深入的培训。另外，对石化、水泥、发电和钢铁等行业的有关人员进行排放估算培训也是非常必要的。其它常见的培训内容还包括使用统计抽样和模型估算移动源和面源的大气排放等。美国联邦环保署和许多州的大气监管部门在大气排放清单领域有着非常丰富的资源。
- 设备使用培训。各环保部门、监测中心、实验室和高等院校通常拥有最先进的设备。现阶段需要就如何有效使用这些设备对有关人员进行培训，使其在大气质量监测项目和大气排放清单的编制及验证方面发挥更重要的作用。目前需要重点组织培训的项目包括源解析（例如正矩阵形成[PMF]）等。
- 数据质量培训。发电厂等排放源提供的数据不一定可靠，因此环保部门的工作人员必须有效应对和解决

各种数据质量问题。对没有安装持续性排放监测系统的企业提供的数据进行验证可能会非常困难。因此需要针对质量保证/质量控制及验证方法的最佳实践方案（例如统计分析）进行系统培训，以确保用于建立大气排放清单的数据真实准确。

- 其它培训。其它大气排放清单方面的培训还包括：数据收集和申报（包括持续性排放监测系统的数据申报等）；特定污染物的大气排放估算；适用于小型排放源的持续性排放监测系统大气排放测量替代方法；扬尘排放估算（例如建筑工地的扬尘）；大范围小型排放源的大气排放估算（例如餐馆、路边小吃摊、露天焚烧、烟火、修车厂和有机溶剂使用等）；以及未来可借用和参考的大气排放清单编制工作的记录（工作方法、数据源、假设条件、计算过程）等。

13.3 减排策略

- 短期减排策略。主要围绕短期减排策略开展工作可能无法全面解决大气质量的长期问题。除大气污染防治附加设备之外，其它有效的措施也应一并纳入大气质量管理规划的总体部署。
- 大气污染防治培训。需要在臭氧和挥发性有机物防治策略及其有效性等方面组织进一步培训。实行成本有效且可行的大气污染防治措施及相应的排放测量方法是非常必要的，因此这一方面的培训应侧重于多重污染物排放的协同控制，以及落实既可保护环境又可为企业节省开支的双赢策略。
- 大气污染防治成本。由于经济的波动性以及持续变化的政策框架，中国点源大气污染防治技术成本的相关信息难以总结和归纳。但是，这项信息将随着时间的推移逐渐完善，并将为未来的决策过程提供重要的支持。

13.4 大气质量模型分析

- 模型输入数据的质量保证。确保模型输入数据的质量，包括源数据、排放数据、地形数据及气象数据

等，对于获取有效的模型输出结果至关重要。当数据集不够完整时，还需要为大气质量模型应用建立空间替代数据。

- 大气排放资料。在应用CMB模型和解读PMF分析结果时使用最新、最准确的排放源资料是至关重要的，但许多类别的排放源缺乏最新的资料。例如，美国联邦环保署的Speciate是一个储存排放资料的平台，但是由于其很长时间没有更新，因此很多排放资料可能已经不再适用于各州当前的排放源。另外，排放源资料最好使用与大气测量类型相同的分析技术的测量数据。建立排放源资料的成本相对较高。
- 源解析。对二次颗粒物（如硫酸盐、硝酸盐及部分有机碳）的组分进行解析是非常重要的。不过，将这些污染物的大气浓度与其前体物排放源进行关联比直接鉴定一次污染物（黑碳、金属等）排放源的难度更大。
- 数据集的准备工作。为排放源和受体价值获取或制定真实的不确定性数据难度较大。不确定性用来衡量输入数据对模型解析的相对重要性，同时估算排放源贡献的不确定程度。
- 更加丰富的经验。为有关人员在源解析方法、数据准备和数据解读等方面组织培训是非常必要的。目前有很多文献资料可以参考，但是从有经验的前辈那里学到的第一手技能是最理想的。

13.5 大气质量监测

- 建立质量保证项目计划和标准操作程序，并确保有关人员切实执行有关计划和程序，以保证监测数据的质量。
- 定期进行监测网络评估，确认适当的大气质量和气象数据在最佳地点的测量情况。
- 定期审阅数据的质量和可用程度。可适当排除一些不必要或质量较差的仪器及其测量数据，以控制监测工作的成本。

13.6 移动源

- 大部分城市的机动车使用水平正在持续增长。由于先进的机动车和燃油技术的开发和应用，大多数国家的机动车个体排放速率正保持下降的趋势；然而，持续增长的机动车保有量和总行驶里程抵消了这样的效果。
- 行驶年数处于中期（10-20年）的机动车的排放量最大。这些车辆已经超出保修期，车辆性能可能有所受损，但是其总体数量仍然较多，并且年行驶里程较老旧车辆更多。因此，中期车辆是进行污染防治时最应重点关注的部分。
- 大量关于汽车、卡车、船舶和其它移动源的研究显示，无论机动车的年份和款式如何，其中一部分（约10%）产生的排放占移动源总排放的比例很高（50%以上）。因此，在进行排放控制时面临的一项重大挑战便是筛选这些排放量最高的机动车（通常称为总排污车辆），并对其管制。
- 为确保未来的大气质量改善按期实现，污染防治方案需要对新车辆进行重点考虑，因为这些车辆随着时间的推移将陆续取代目前上路行驶的车辆。
- 美国的长期经验表明，交通部门和大气规划部门在工作和协调时可能会发生冲突。美国1990年修订的《清洁空气法案》中针对这一问题确立了一项“交通一致性”政策，要求有关部门就交通规划和大气质量规划举办跨部会研讨；在规划中使用一致的前提条件；并定期对两部规划进行比较。

14

重点建议

概述

本章将对此次报告为江苏省大气质量管理工作各环节提出的重点建议进行总结。江苏省在强化其大气质量管理规划框架时，应依据自2016年1月1日起实施的《中华人民共和国大气污染防治法》中涉及的相关规定。这将为江苏省在未来一段时间内深化落实大气污染防治工作提供必不可少的指导方针。本次报告依据接下来即将实施的国家有关法律为江苏省提出了一系列重点建议，下面将按照不同的业务领域分别进行介绍。

14.1 总体建议

- 寻求提高环保部门人员配备及预算水平的机会，以有效应对江苏省境内由大气污染导致的公共卫生问题。目前的人员配备及预算水平无法有效满足江苏省众多大气污染防治和执法项目的需求。
- 推进多省市之间的区域大气质量管理规划工作，使有关人员获得互相学习和交流、研究制定潜在减排策略以及确定潜在政策解决方案的机会。
- 协调跨部会规划和数据共享，将大气质量、能源和交通运输规划过程进行整合。

14.2 大气质量目标

- 为确定国家大气质量改善目标的落实情况制定直观并详细的考核指标。例如，应对2017年前实现PM_{2.5}大气浓度降低20%目标的评估方式进行具体说明（使用江苏省境内所有监测点的平均监测数据进行评价）。
- 建立一项有效的沟通机制，及时向社会大众通报2017年或未来年份大气质量改善目标的落实进度。同时还应及时公开大气排放的实时情况和历史数据，并提高其透明度。

14.3 排放清单

- 为固定排放源、面源和移动源建立高质量的基准年份排放清单（例如2012年）及适当的未来年份排放清单（例如2017年）。
 - 排放清单的数据结构应按照国家排放清单编制工作指导意见的有关要求，与全国范围内的其它排放清单保持一致。这将为江苏省今后制定区域大气质量规划和温室气体减排策略带来很大帮助。
 - 排放清单应至少包括以下污染物种类的排放数据：一次PM_{2.5}（含可凝结PM_{2.5}排放）、二氧化硫、氮氧化物、挥发性有机物、氨气、一氧化碳、二氧化碳、黑碳和甲烷等。
- 依据有关指导方针采用最佳可获得数据和符合中国实际情况的排放因子。
 - 第一级：采用持续性排放监测系统数据（如有）
 - 第二级：采用各企业独特的排放源测试数据
 - 第三级：采用经有关部门批准的默认排放因子
- 根据政府部门、贸易组织、市场研究机构或其它对未来排放水平进行专项研究的机构的数据，为未来年份的排放预测建立活动水平和增长因子。应侧重于排污比重较大或预期排放变化幅度较大的排放源（类别）。
 - 要求超出“重点排放源”门槛标准的点源企业采用特定的国家（或省级）排放估算方法和申报表对其大气排放进行年度申报。申报表应包含排放源所有机组的数据，例如：
 - 各种污染物的排放量
 - 机组参数（例如位置或地理坐标、烟囱高度和直径、排放速度和温度等）
 - 机组年度运行小时数
 - 现存大气污染防治设备的类别
 - 大气污染防治设备的年度运行小时数
 - 排放源监测方法

- 审阅现有的排放因子数据，并确定最能代表江苏省境内面源（农业、露天燃烧等）实际情况的排放因子。应重点更新占排放清单总比重较大的排放源部门的排放因子。
- 通过出行需求模型、车流量统计记录和机动车注册数据等渠道收集所需信息，对道路移动源排放进行估算。
- 使用燃料消耗、船舶到港、航班起降和设备总量等数据，采用自上而下的方法对非道路移动源排放进行估算。
- 采用生物质排放清单系统（BEIS）或自然界气体和气溶胶排放模型（MEGAN）对生物质源排放进行估算。
- 在国家和省级排放清单（包括面源和移动源）制定的过程中为省级和市级有关部门的工作人员提供业务培训的机会和资源。
- 为获取受监管实体的最新排放数据建立法律机制和流程，以便各省市定期（例如每三年）对排放清单进行全面更新。
- 将大气质量监测数据、源解析结果和排放清单数据进行比对，以确定如何对排放清单进行必要的调整。

14.4 排放标准及减排策略

本节仅列举此次报告在排放标准及减排策略方面提出的主要建议。重点行业的具体减排策略请参见第九章。

- 建立能够反映最佳可获得控制技术且成本有效的排放标准。
 - 情况允许时，应当为各类排放源的量化排放标准制定具体的平均值计算时段。企业运营商可根据量化的排放限值选择最能够满足其实际需求的排放控制设备或系统。
 - 在评估适当的排放限值时，应对多重污染物跨媒介控制策略、能源使用影响及任何潜在的不良环

境影响进行全面考虑。

- 鼓励采取必要措施避免污染的产生，例如对传统燃料、生产原料或替代设备等进行更换，从而消除对附加排放控制设备的需求。
- 为油漆和涂料产品中的挥发性有机物成分制定排放标准。
- 排放标准应包含以下元素：
 - 能够代表最佳可获得控制技术的排放限值，以及具体的平均值计算时段；
 - 为排放源执行排放监测制定的要求（可行时采用持续性排放监测系统，或排放控制设备的运行参数）；
 - 采用排放控制设备运行参数时，应确保运行限值直接与绩效测试关联，且平均值计算时段足够短，以便确认持续性合规情况；
 - 用于衡量实际排放情况的排放源定期测试要求（不使用持续性排放监测系统时）；
 - 关于定期检验、数据记录和自行申报，电子申报，标准格式及常用方案的要求等。
- 在大气质量管理规划实行的早期即开始促进利益相关方的参与，提升其通过具体行动改善大气质量的责任感。
- 维护一项固定排放源“最佳可获得”大气污染防治技术及其它减排方法的数据库，并定期对其进行更新。省级和市级环保部门应当在新建或改建排放源的排污许可证批准之后向该数据库录入相关信息。在未来，江苏省之外的其它省市还可向覆盖面更大的国家数据库提供类似的信息。这种污染防治技术数据库将为大气质量未达标的省市的工作提供重要支持，强制其境内的排放源采用最佳可获得控制技术。
- 进一步扩展发电厂和其它大型工业企业采用持续性排放监测系统的要求。持续性排放监测系统数据能够提供可靠和即时的排放估算。这些数据在监管和合规认证方面具有很大作用。
- 依照《大气污染防治法》制定污染防治机制，并以此为依据定期（例如每10年）对排放标准进行审阅和更新。

14.5 能源规划

- 建立一项综合能源规划过程，促进大气、能源和经济监管部门之间的数据预报共享和规划实施合作。
- 电力规划过程可以从资源规划机制开始落实。该机制：
 - 应将集中和分配可再生能源与末端能源效率作为传统发电最成本有效的替代方案，在满足电力需求的同时降低污染排放。
 - 应将输电与配电规划与电力规划的其它方面紧密结合。
 - 应对待评估资源的环境和公共卫生成本及效益进行量化。
 - 确定资源的经济、商业和环境风险并降到最低。
- 通过环境影响评估（EIA）过程促进大气和能源政策的整合。实施环境影响评估（以及未来的预建和运营许可证项目）可确保新建或改建排放源具有较高的热效率、采用标准化过程提高煤炭质量、并根据大气质量目标的要求对本地和下风方向的大气排放进行预报。
- 考虑为燃煤电厂制定最大容量利用因子（CUF）。这将向投资者和项目开发者发出明确的信号：中国的可再生能源开发是一项长期战略，而非临时性政策。
- 在现有的良好基础上持续推进江苏省需求侧管理工作，在供应紧缺时期有效降低能源需求。
- 持续致力于改善能源效率，例如制定更加严格的机械标准、建筑标准和其它能源效率标准等。能源效率的改善已经节省了数百万吨煤炭的消耗，并避免了由此引起的大气污染增长。
- 确定江苏省现阶段和未来清洁能源政策的经济及环境效益。

14.6 大气质量模型分析

- 根据现行的国家政策、省级减排措施以及上风方向省市的预期减排情况，对省内的预期减排情况进行估算。在建立相关排放估算时应考虑能源需求预

测。执行大气质量模型分析，估算未来年份的大气质量。

- 在确定未来年份的预期减排情况时，与周边省市进行良好的区域协调是十分重要的。这将有效帮助江苏省改善其境内的大气质量。
- 如果现行措施不足以帮助实现大气质量目标，有关部门则应考虑采取其它必要的减排措施。
- 执行一项新的大气质量模型分析，确定这些额外的减排措施是否能够帮助实现指定年份的大气质量目标。
- 运用PM_{2.5}成分数据确定重点行业的排放控制措施。
- 江苏省可考虑在大气质量管理规划过程中使用ABaCAS系统确定潜在的排放控制措施，并估算有关措施的成本和公共卫生效益。

14.7 大气质量监测

- 保持江苏省现存PM_{2.5}监测网络的良好运行，并在情况允许时进行扩展。PM_{2.5}化学成分监测在通过源解析确定污染贡献源行业时具有重要作用。为有效开展源解析工作，化学成分监测的物质至少应包括：有机碳、单质碳、硫酸铵、硝酸铵，以及铝、硅、钙、铁、钾和钛等微量元素。江苏省正在对其多种物质开展每小时监测。这将为源解析工作提供良好的统计学支持。
- 修订大气质量监测、数据分析和数据申报的标准化程序，以改善数据的质量和稳定性。标准化程序应包括适当的质量保证/质量控制方案，确保大气质量监测数据的可靠性，并为政策的制定提供坚实的基础。
- 协调不同层级大气监测站（例如国控点、省控点、市控点等）的运行工作，在保证数据收集效益最大化的同时将成本降到最低。
- 促进气象站与大气质量监测站的合作，提高数据验证和解读能力。
- 提高大气监测数据审阅的频率，尽早发现监测中出现的任何问题，并提高数据的完整性。

- 定期审核大气质量监测工作的目标和程序，确保监测网络在工作的目标和重要性发生变化时能够满足最新的需求。

14.8 进度追踪

- 追踪大气质量管理规划的进度和实效，并采取以下措施：
 - 追踪环保部门和受监管企业特定法规与项目的实施进度。评估实施过程中的重要事件是否已经在合规执行截止日期之前按时完成。
 - 评估各监测站点的大气质量改善情况。
 - 量化在前序排放清单的基础上实现的减排。
 - 向社会各界公布规划的实施情况，并根据多方面的反馈对减排策略进行必要的调整。

14.9 应急响应规划

- 更新并落实应急响应程序，在大气污染等级提升至特定门槛值时采取必要的防范措施。该程序应包括：
 - 及时发布大气质量预报，向社会大众通报实时的大气质量数据。在紧急情况发生时，应及时通知社会大众采取必要的防范措施以减少污染暴露。
 - 当大气污染水平提升至特定门槛值时，政府部门和排放源应采取的不同级别的应对措施。
 - 提前就污染级别和应对措施向社会大众发出预警，以降低污染排放、减少污染暴露。
 - 要求重点行业的企业制定企业层级的风险管理计划。各企业均应制定应急响应预案，以便在高污染天气或排污事故发生时及时采取缓解和补救措施。

14.10 合规与执行

- 建立一套行之有效的执行机制，并交由国家和省级有关部门进行监管。

- 政策执行必须公正、公平、标准一致。
- 因违反规定受到的处罚必须大于合规执行的成本。
- 罚金的数额应高于违反规定取得的经济利益。违规企业缴纳的罚金可以用于支付执法人员和合规检验的开支。
- 与执法人员互相协调，以改善合规执行情况和提升环境利益为目标，制定明确且容易执行的监测及排污许可证规定与要求。
- 为受监管企业提供现场咨询、技术协助与能力培训，以改善其合规执行情况。
- 执行合规检验，以确保企业有效落实相关法规的要求。为企业提出更全面的数据记录和申报要求可能会帮助降低合规检验的需要，但定期的现场检验仍是必不可少的。
- 推动使用先进的大气排放/污染物监测技术，使受监管实体、政府部门和社会大众更加直观地了解排污情况、环境状况及任何违规现象。
- 采用电子申报系统，使环境数据申报更加准确、完整和高效，并同时帮助大气质量监管部门更好地管理有关信息，提高其工作效率。
- 将有关信息更好地向社会大众公布，提高数据的透明度。社会大众应能够直接获取即时和历史大气质量数据及排放数据。
- 建立并应用创新型执法方式（例如数据分析和目标追踪等），扩大合规执行的范围。
- 制定省级“材料安全数据表”执行规定或与之类似的项目，要求企业对特定化学品的成分进行申报。材料安全数据表包含化学品的基本信息及其理化性质，详细说明安全处置的方式，并说明在不当接触时应如何处理。
- 建立省级“社区知情权”项目，向群众公布本辖区内化工企业及其生产的化学品的有关信息，使群众有效参与应急规划和信息交流过程。

14.11 排污许可证制度

- 江苏省应根据国家《大气污染防治法》的有关规定和指导意见创建排污许可证项目。
- 该项目应适用于特定规模门槛值以上的所有污染源（在美国，潜在排放量超过100吨一般大气污染物或10吨有害大气污染物的所有排放源均须申领运营许可证）。
- 运营许可证应包含并明确以下内容：
 - 适用于该企业排放源的全部要求；
 - 适用于该企业特定排放机组的全部排放标准、排放限值和平均值计算时段；
 - 所有与排放标准相关的监测、申报、数据记录及测试方法；以及该企业适用的其它合规执行要求；
 - 适用于该企业排放源的其它运营限值、设备或实践方案要求；
 - 关于企业负责人对其年度合规情况进行认证的要求；
 - 根据排放量征收排污费的要求。应依照许可证项目的运行成本确定适当的排污费征收标准；
 - 关于企业必须向环保部门报告违规行为的要求。
- 该项目应具备特定的机制，允许：对许可证条款进行必要的修订；将许可证提交政府部门和社会大众审阅；以及在审批之前与可能受该排放源影响的下风方向相邻省市进行沟通和协调。

附录A

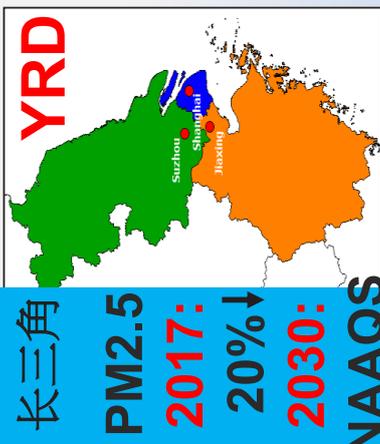
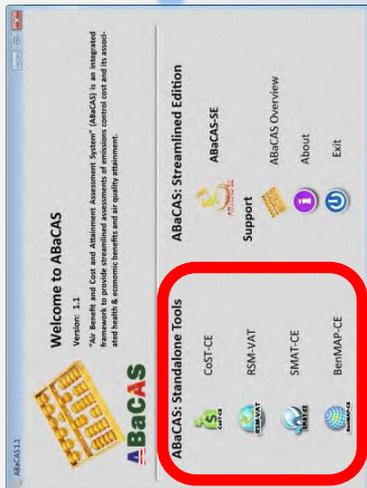
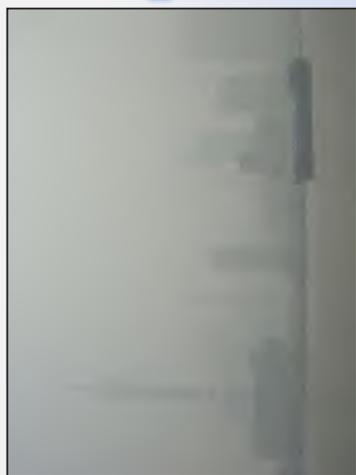
大气效益成本与达标评估系统（ABaCAS）在中国的发展和应用

Dr. Carey Jang（张志诚博士），美国联邦环保署

大气污染控制费效与达标评估系统在中国之最新发展

Recent Development of Air Benefit and Cost and Attainment Assessment System (ABaCAS) in China

Air Pollution (PM2.5) ABaCAS-China Attainment & Cost/Benefit



Science

Policy

→

Actions

Carey Jang, Ph.D. 张志诚 美国环保署

U.S. EPA / Office of AQ Planning & Standards



9th RADM & ABaCAS 2015
 The 9th Regional Air Quality Management Conference and
 Third Air Benefit and Cost and Attainment Assessment Conference
 June 23-25, 2015 Guangzhou, China

Outline

- **Overview of Air Pollution Control Cost/Benefit and Attainment System in USA and China**
- **Development of Next-Generation Integrated Air Quality Decision Support System:**
 - **“ABaCAS”**: Air Benefit and Cost and Attainment Assessment System 
 - Developed Jointly by an Elite Team of “US-China” Scientists
- **Streamlined “ABaCAS-SE” - 2017 & 2030 YRD cases and “ABaCAS” China (JJJ/YRD/PRD) Applications (2014/2015)**



“ABaCAS”: Air Benefit and Cost & Attainment Assessment System

An integrated AQ Decision Support System (developed jointly w/ Chinese scientists)



Developed for “Scientists” and “Policy Makers”

2010:

State Council's "Regional AQ Guidance"

(2012: NAQQS)

NAAQS PM2.5 (Annual) PM2.5 (Daily)

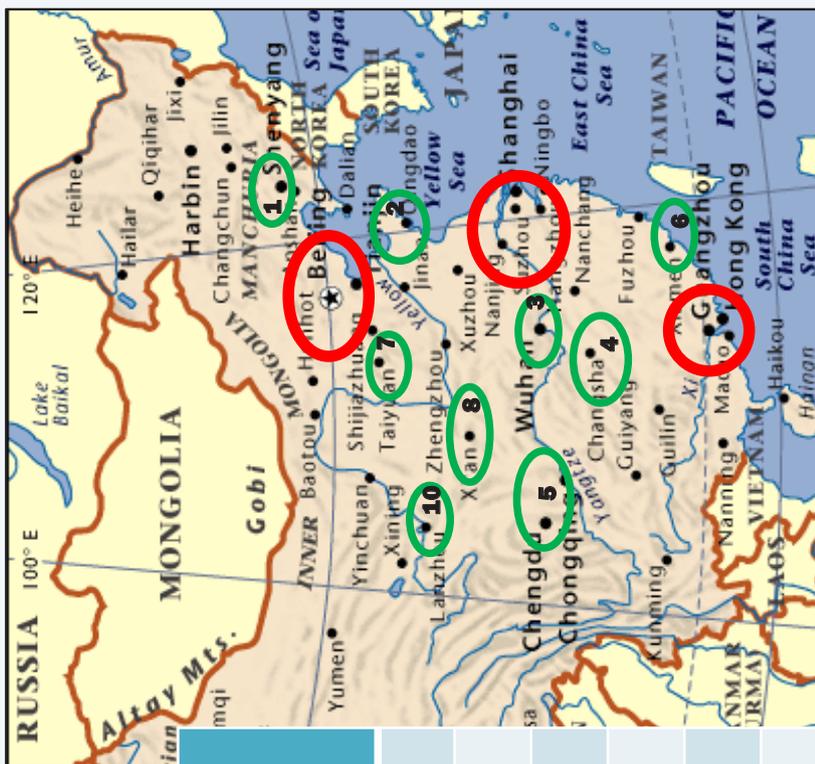
China

35

75

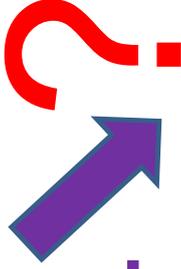
2013: AP Control Action Plan
 大气十条 (2012-2017)

| Region | Annual PM2.5 |
|--------------|--------------|
| Jing-Jin-Ji | 25% ↓ |
| YRD | 20% ↓ |
| PRD | 15% ↓ |
| Beijing | 60 ug/m3 |
| Other Cities | 10% ↓ |

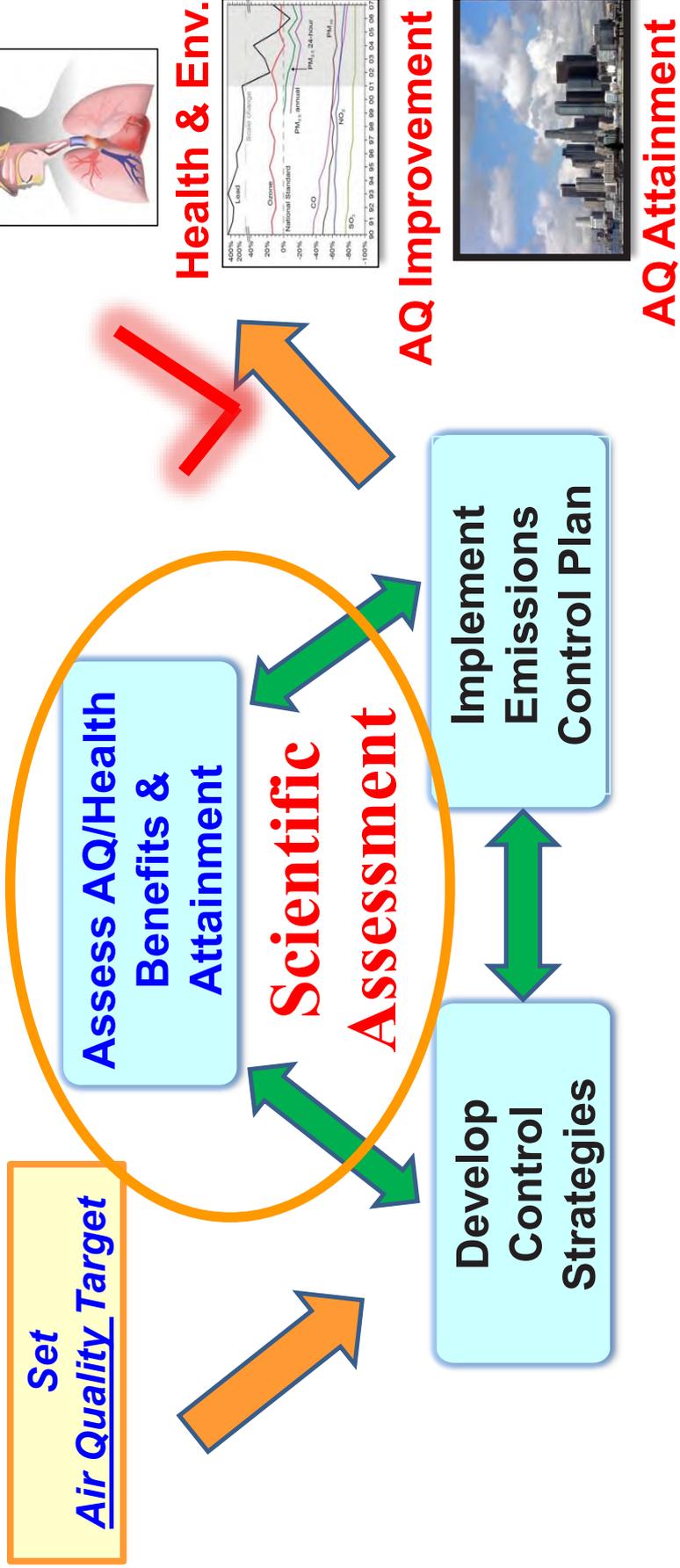


China's air pollution control policy has **shifted** from targeting "Emissions Reduction" (Technology-based) to targeting "**Air Quality**" (Risk-based)

“Technology-Based” Control Strategy



“Risk-Based” Control Strategy



Effective AQ Management Requires Scientifically Sound Assessment

Technology Transfer & Capacity Building of Key AQ Cost/Benefit Assessment Tools in China

Available USEPA Tools

AQ Modeling Assessment Tools

Emission modeling
Air quality modeling
Control/Response modeling

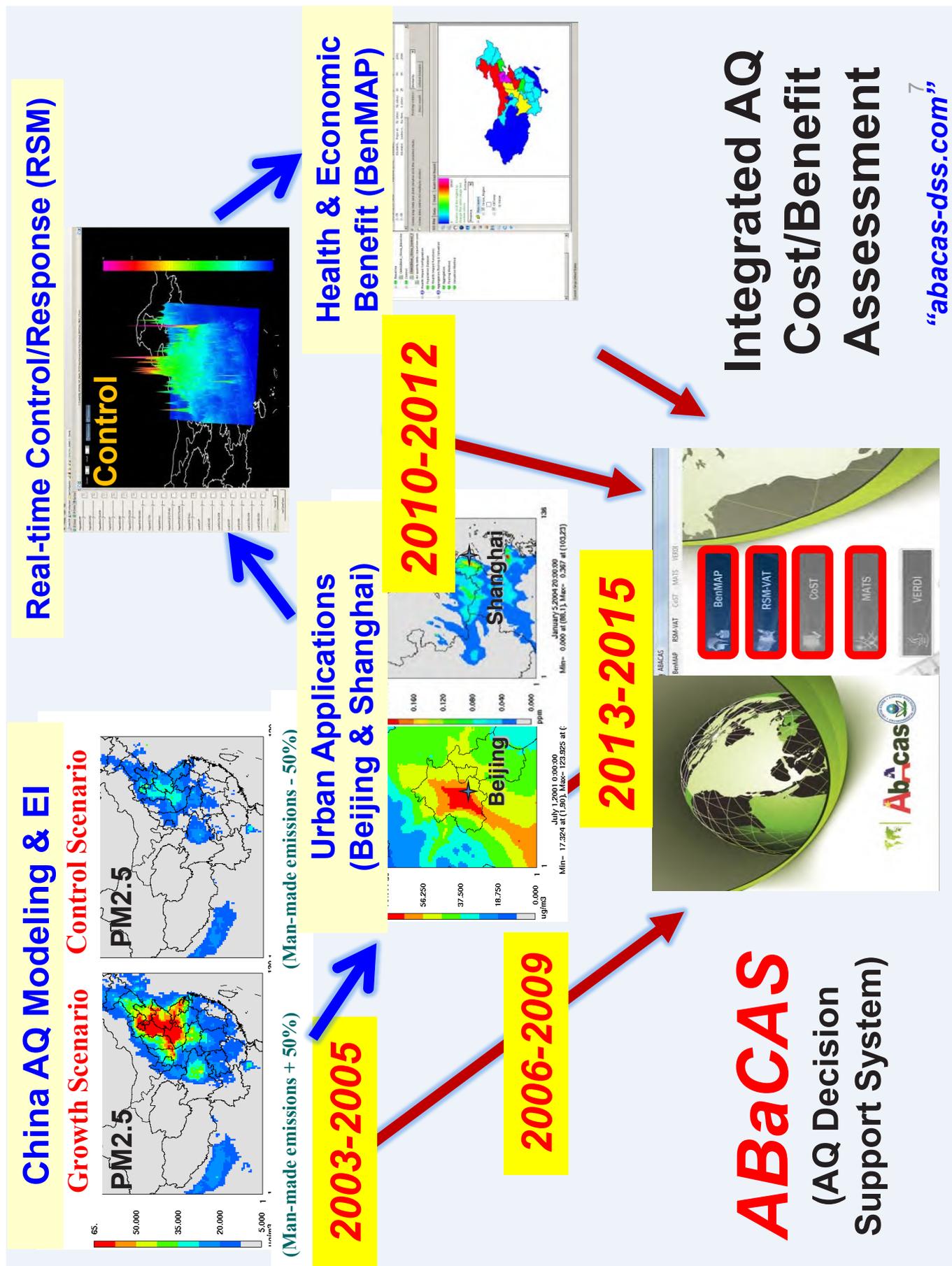
SMOKE
CMAQ **2000s**
RSM

Health/Econ & Attainment Assessment Tools

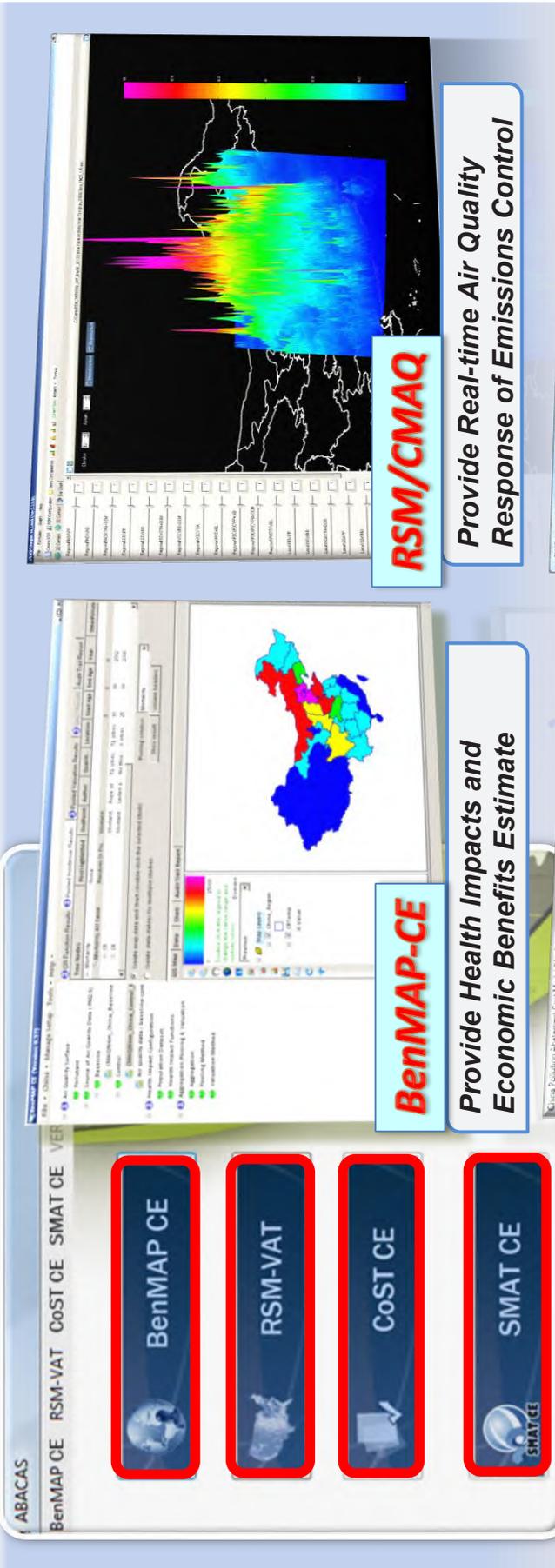
Health & environmental impact assessment tool
Control cost analysis tool
Attainment assessment tool
Air Benefit/Cost & Attainment Assessment System

BenMAP-CE
CoST-CE
SMAT-CE
ABaCAS

2010s



ABaCAS: Air Benefit and Cost & Attainment Assessment System



BenMAP-CE
Provide Health Impacts and Economic Benefits Estimate

RSM/CMAQ
Provide Real-time Air Quality Response of Emissions Control

CoST-CE
Provide Emissions Control Cost Analysis and Estimate

SMAT-CE
Provide Attainment Test/Demo for PM2.5 & O3 Non-attainment Areas

Please visit ABaCAS website for more information:
<http://www.abacas-dss.com>



“ABaCAS” : Air Benefit and Cost & Attainment Assessment System An Integrated AQ Decision Support & Assessment System



10

Developed for “Scientists” and “Policy Makers”

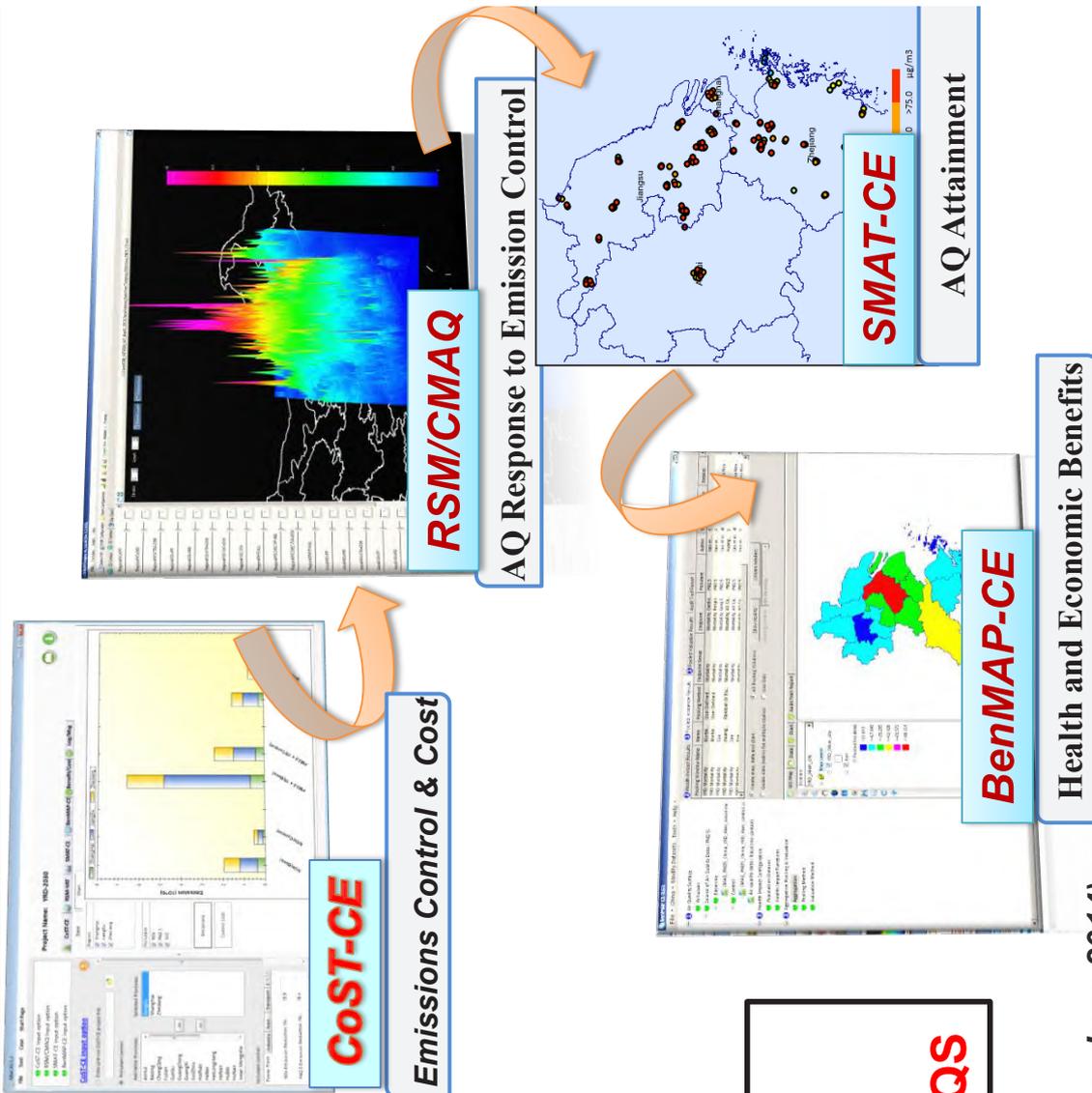
ABaCAS-SE: YRD Pilot Case Study

National AP Control Plan 大气污染防治行动计划

| 区域 | 年均PM _{2.5} |
|-------------------|------------------------------|
| 京津冀 (JLJ) | 25% ↓ |
| 长三角 (YRD) | 20% ↓ |
| 珠三角 (PRD) | 15% ↓ |
| 北京 (Beijing) | 60 ug/m ³ |
| 其他主要城市 (333 个) | 10% ↓ (PM ₁₀) |

AQ Attainment in YRD:

2017: PM_{2.5} 20% ↓
2030: Attain China NAAQS



(PI: Prof. Shuxiao WANG, Tsinghua Univ., June 2014)

“ABaCAS-SE” (Streamlined Edition, 2014-2015):: Developed for Policy-Making and Analysis

The screenshot displays the ABaCAS-SE software interface with the following components:

- Project Name:** YRD-2017_v1.2_c
- Navigation:** CoST-CE, RSM-VAT, SMAT-CE, BenMAP-CE, Log/Msg
- Top Left:** A bar chart titled "PM2.5 Reductions on all regions/cities" showing reductions for various pollutants (PM25, OC, NH3, NO3, EC, PAHOTHER, SO4) across different regions.
- Top Middle:** A map of China showing the Yangtze River Delta (YRD) region highlighted in red.
- Top Right:** A circular diagram illustrating the relationship between "Benefit/Cost=9.3 (4*13.3)" and "Cost".
- Middle Left:** A 3D topographic map of the YRD region.
- Middle Right:** A heatmap showing PM2.5 concentrations across the region.
- Bottom Left:** A bar chart titled "Base_PM25_Annual_DV vs Future_PM25_Annual_DV" comparing annual PM2.5 levels for different receptor regions (SH, JS, ZJ, OTH).
- Bottom Center:** A control panel for "Pollutant control" with "Available Provinces" (AnHui, Beijing, ChongQing, Fujian, GanSu, GuangDong, GuangXi, GuiZhou, HaiNan, HeBei, HeiLongJiang, HeNan, Hubei, HuBei, HuNan, Inner Mongolia) and "Selected Provinces" (JiangSu, ShangHai, Zhejiang).
- Bottom Right:** A control panel for "Pollutant control" with "Power Plant", "Industry", and "Transport" categories. It shows "NOx Emission Reduction (%)" at 68 and "PM2.5 Emission Reduction (%)" at 38.4. Buttons for "Save", "Back", and "Next" are present.

"CoST-CE" in "ABaCAS-SE" YRD 2017 Case Study



ABaCAS 1.2

File Tool Case Start Page

CoST-CE input option
RSM/CMAQ input option
SMAT-CE input option
BenMAP-CE input option

CoST-CE input option

Enter pre-run CoST-CE project file:

Pollutant control:

Available Provinces:
AnHui
Beijing
ChongQing
Fujian
GanSu
GuangDong
GuangXi
GuiZhou
HaiNan
HeBei
HeiLongJiang
HeNan
HuBei
HuNan
Inner Mongolia

Selected Provinces:
JiangSu
ShangHai
ZheJiang

Pollutant control:
Power Plant | Industry | Area | Transport

NOx Emission Reduction (%) 68
PM2.5 Emission Reduction (%) 38.4

Save Back Next

Project Name: YRD-2017

CoST-CE RSM-VAT SMAT-CE BenMAP-CE Benefit/Cost Log/Msg

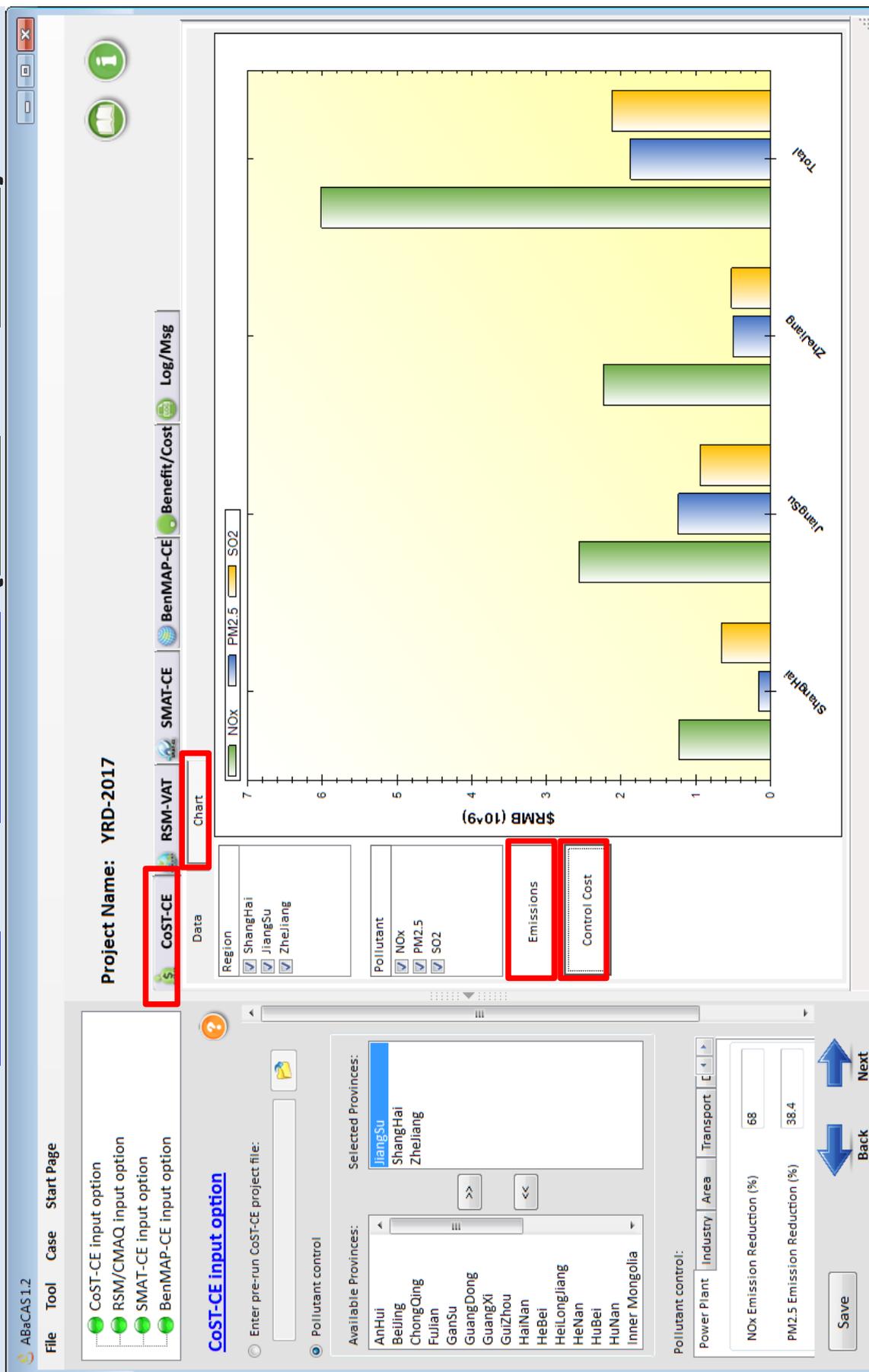
Data Chart

System Output: Province Level Unit Level Factor file

| | | | | | |
|--|---------|--|--|-------------------------------|---------|
| Total Removal Cost | | | | | |
| Total PM2.5 Removal Cost (Million RMB) | | | | | 1,873.9 |
| Total NOx Removal Cost (Million RMB) | | | | | 6,014.0 |
| Total SO2 Removal Cost (Million RMB) | | | | | 2,118.9 |
| Total VOC Removal Cost (Million RMB) | | | | | 0 |
| Total NH3 Removal Cost (Million RMB) | | | | | 0 |
| PM25 Emission | | | | | |
| Baseline PM2.5 Emission (Thousand Ton) | 660.4 | | | PM2.5 COST per TON (Yuan/Ton) | 8,458.2 |
| PM2.5 Emission Removed (Thousand Ton) | 221.5 | | | PM2.5 Emission Removed (%) | 33.5 |
| NOx Emission | | | | | |
| Baseline NOx Emission (Thousand Ton) | 1,977.6 | | | NOx COST per TON (Yuan/Ton) | 6,852.9 |
| NOx Emission Removed (Thousand Ton) | 877.6 | | | NOx Emission Removed (%) | 44.4 |
| SO2 Emission | | | | | |
| Baseline SO2 Emission (Thousand Ton) | 1,550.2 | | | SO2 COST per TON (Yuan/Ton) | 4,226.6 |
| SO2 Emission Removed (Thousand Ton) | 501.3 | | | SO2 Emission Removed (%) | 32.3 |
| VOC Emission | | | | | |
| Baseline VOC Emission (Thousand Ton) | 0 | | | VOC COST per TON (Yuan/Ton) | 0 |
| VOC Emission Removed (Thousand Ton) | 0 | | | VOC Emission Removed (%) | 0 |

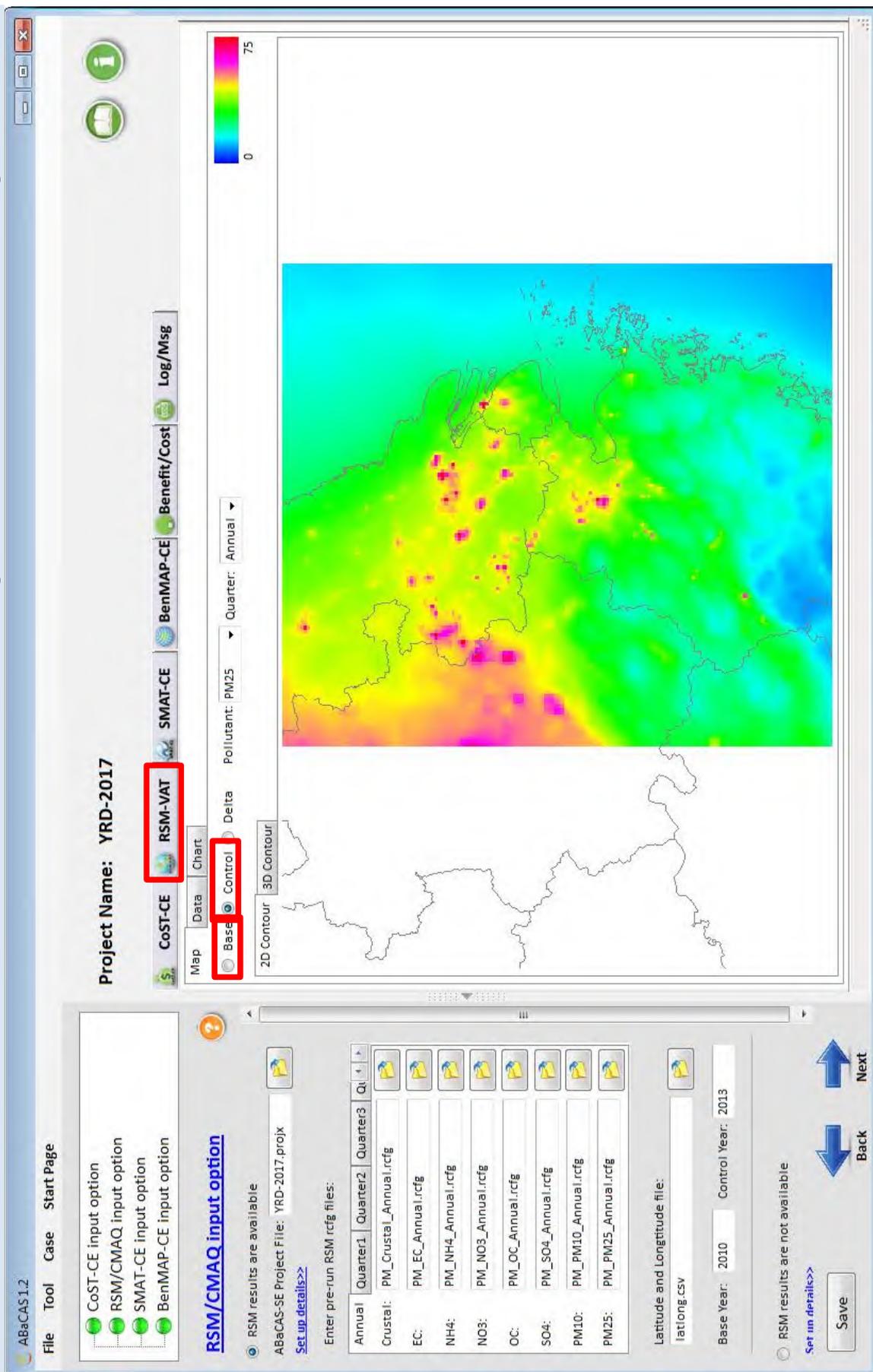
"CoST-CE" in "ABaCAS-SE": Emissions & Cost

YRD: Base vs. Control (2010 vs. 2017)



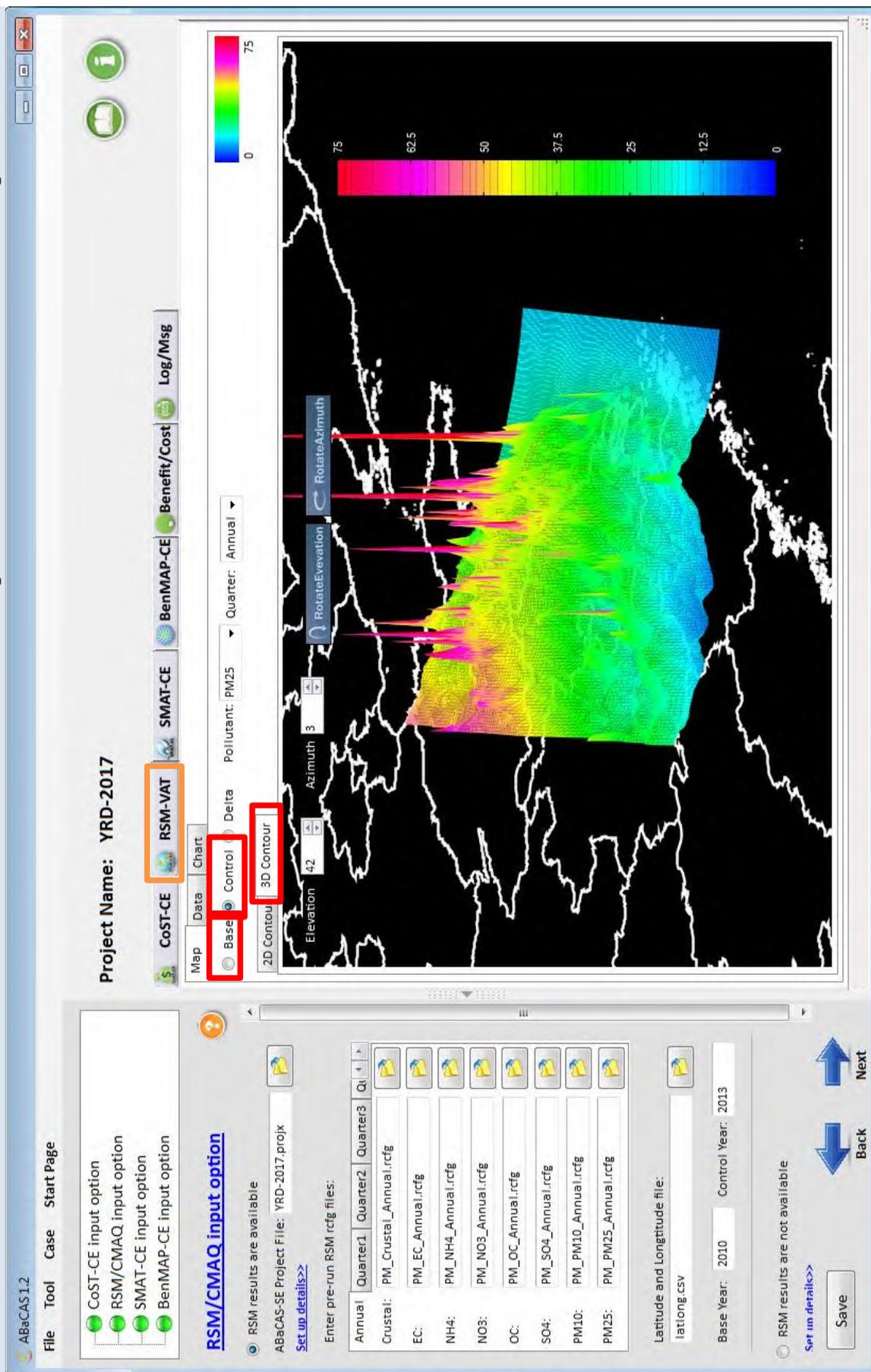
"RSM/CMAQ" in "ABaCAS-SE": PM2.5

YRD: Base vs. Control (2010 vs. 2017)



"RSM/CMAQ" in "ABaCAS-SE": PM2.5

YRD: Base vs. Control (2010 vs. 2017)

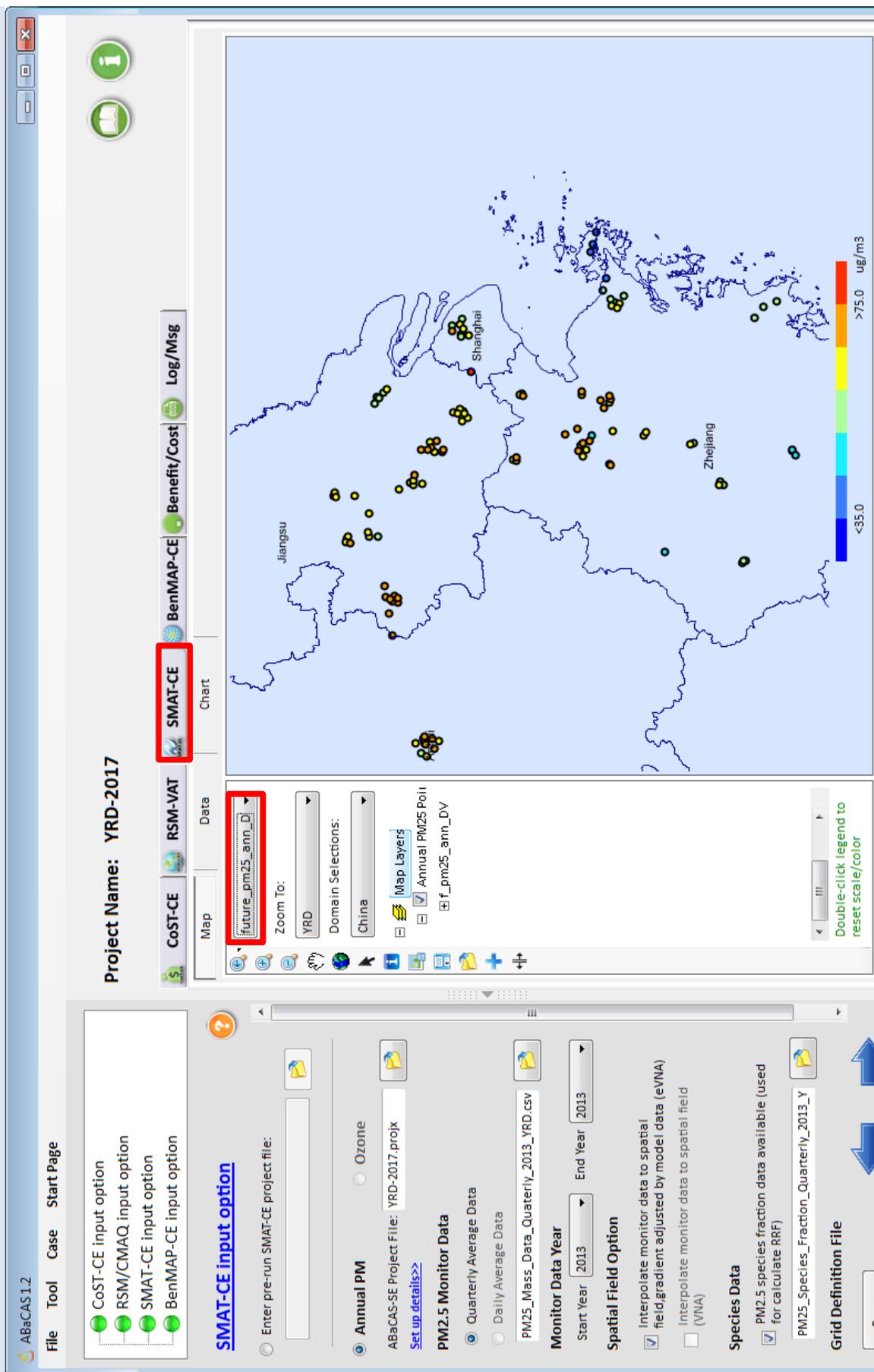


"RSM/CMAQ" in "ABaCAS-SE"

YRD 2017 case: PM2.5 Source Contribution



"SMAT-CE" in "ABaCAS-SE": PM2.5 Attainment YRD Base vs. Control (2013 vs. 2017)



"SMAT-CE" in "ABaCAS-SE": PM2.5 Attainment YRD Base vs. Control (2013 vs. 2017)



"SMAT-CE" in "ABaCAS-SE"

YRD 2017 case: PM2.5 Attainment (Reduction)

The screenshot displays the ABaCAS 1.2 software interface. The top navigation bar includes 'File', 'Tool', 'Case', and 'Start Page'. The main menu contains several options: CoST-CE, RSM-VAT, SMAT-CE (highlighted with a red box), BenMAP-CE, Benefit/Cost, and Log/Msg. The 'Project Name' is set to 'YRD-2017'. Below the menu, there are tabs for 'Map', 'Data', and 'Chart'. The 'Data' tab is active, showing a 'Detail' section with 'Reduction' selected (highlighted with a red box) and 'Concentration' also selected (highlighted with a red box). The 'Chart' section displays a bar chart titled 'PM2.5 Reductions on all regions/cities'. The chart shows the reduction in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for three receptor regions: Shanghai, Jiangsu, and Zhejiang. The y-axis ranges from 0 to 16. The legend includes PM25, OC, NO3, NH4, SO4, EC, NO, NH4, PM OTHER, and SO4. The data points are as follows:

| Region | PM25 | OC | NO3 | NH4 | SO4 | EC | NO | NH4 | PM OTHER | SO4 |
|----------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|-----|
| Shanghai | 11.2 | 0.9 | 0.8 | 1.5 | 2.5 | 0.8 | 3.5 | 0.6 | 0.5 | 0.9 |
| Jiangsu | 12.7 | 0.6 | 0.5 | 0.9 | 3.7 | 0.9 | 4.8 | 0.8 | 0.6 | 0.8 |
| Zhejiang | 10.7 | 0.8 | 0.6 | 0.9 | 2.4 | 0.8 | 4.2 | 0.8 | 0.6 | 0.8 |

The bottom panel of the interface shows the 'SMAT-CE input option' configuration. It includes fields for 'ABaCAS-SE Project File' (YRD-2017.proj), 'Monitor Data Year' (2013), and 'Spatial Field Option' (Interpolate monitor data to spatial field, gradient adjusted by model data (eVNA)). There are also checkboxes for 'Species Data' and 'Grid Definition File'.

"BenMAP-CE" in "ABaCAS-SE" YRD 2017 Case: Valuation (\$\$ Saved)

ABaCAS 1.2

File Tool Case Start Page

CoST-CE input option
RSM/CMAQ input option
SMAT-CE input option
BenMAP-CE input option

BenMAP-CE input option

ABaCAS-SE Project File: YRD-2017.proj
[Set up details>>](#)

Pooled Grid Definition: YRD_04km_city.shp

CFG configuration file or result file (*.cfgx)
ABaCAS_SE_YRD.cfgx

APV configuration file or result file (*.apvx or *.apvnx)
ABaCAS_SE_YRD.apvx

Audit Trail Report:

Name
benmap

Save Back Next

Project Name: YRD-2017

CoST-CE RSM-VAT SMAT-CE **BenMAP-CE** Benefit/Cost Log/Msg

Map Data Chart

Domain: YRD
Value: Valuation

Map Layers
Valuation
Valuation

Double click the legend to change the value range and custom colors.

<2747069586.3 >16482417517.7

"BenMAP-CE" in "ABaCAS-SE"

YRD 2017 Case: Valuation (\$\$ Saved)



"Benefit/Cost" in "ABaCAS-SE"

YRD 2017 Case: Benefit/Cost Analysis (Ratio= \sim 11)



YRD 2030 Case Study

("CoST-CE" in ABaCAS-SE)



YRD 2030 Case Study (ABaCAS-SE)

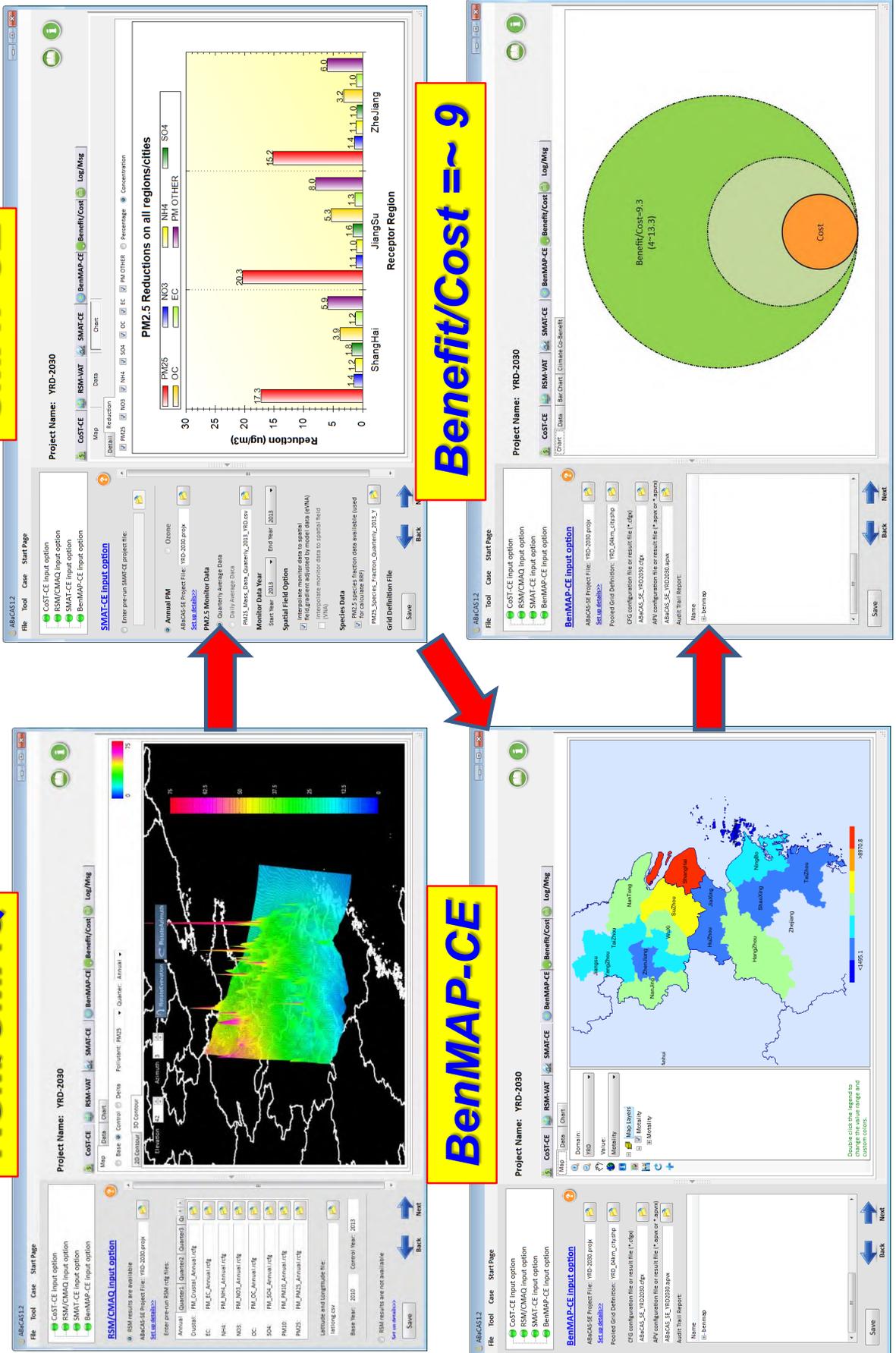
(5~10 minutes to run)

SMAT-CE

RSM/CMAQ

BenMAP-CE

Benefit/Cost ≈ 9

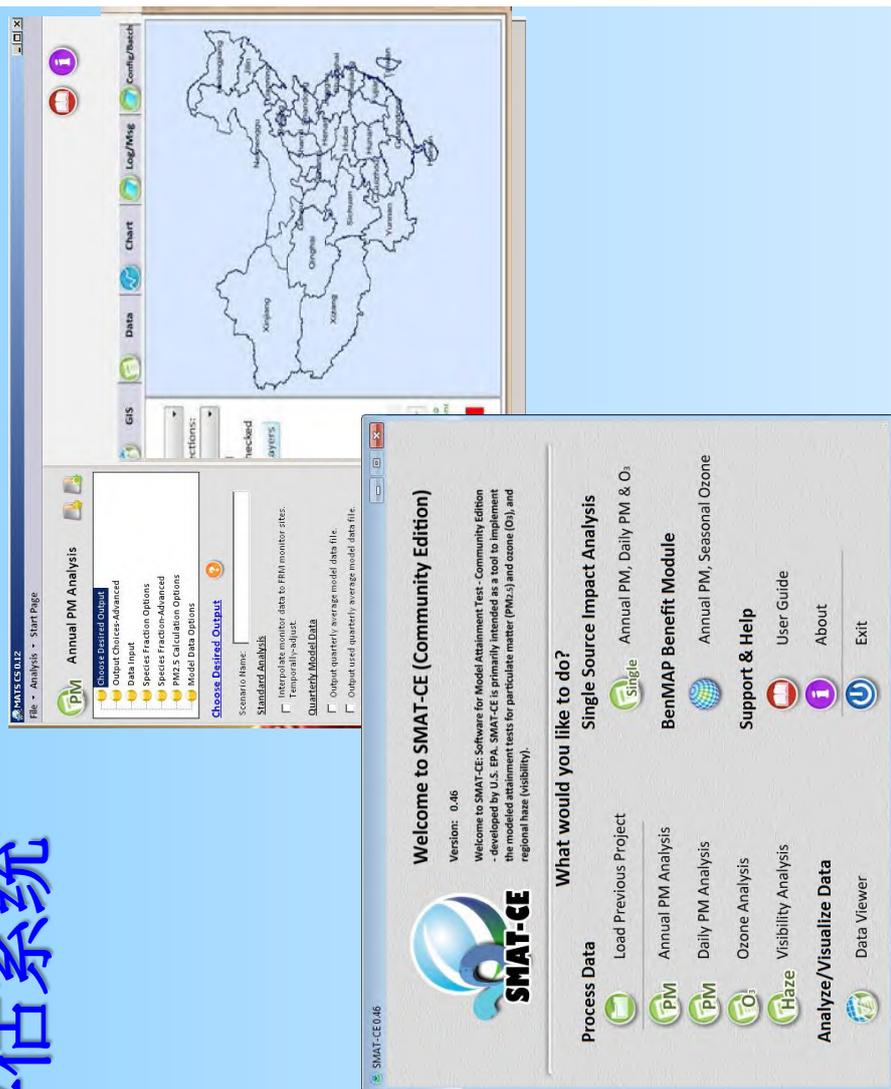


SMAT-CE: Software for Model Attainment Test

空气质量达标评估系统



SMAT-CE (Community Edition) (2012-2014)



- Developed by “ABaCAS” team to perform attainment assessment for EPA’s national rules or SIPs on PM2.5 & O3
- Good timing to serve as an attainment strategy & assessment tool for China’s new PM2.5 standards & national control plans

“SMAT-China” Prototype Development

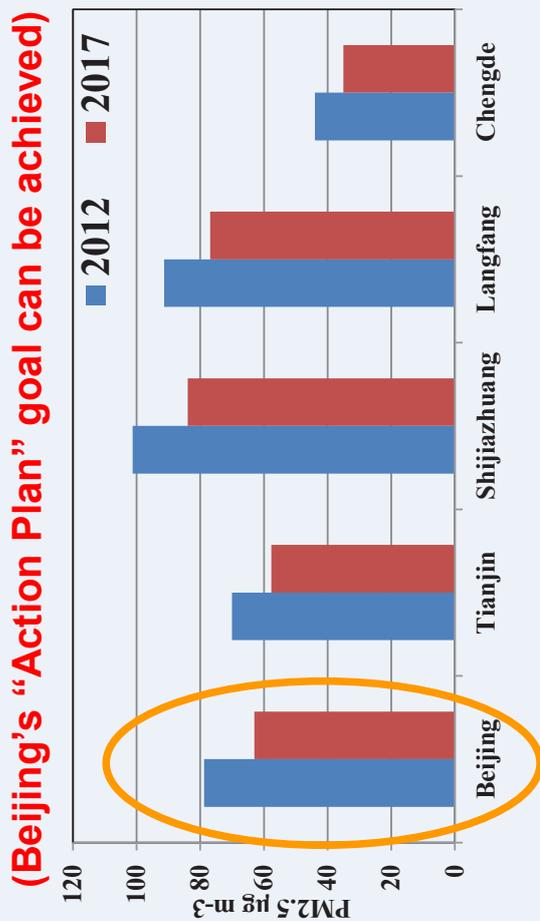
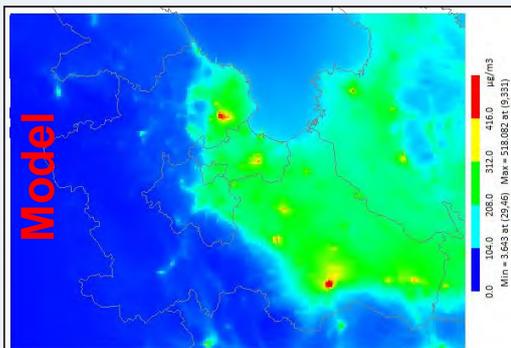
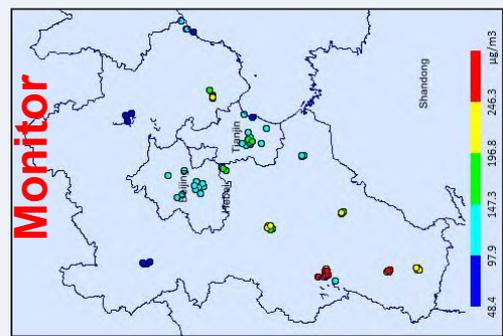
- “SMAT-China”: a customized version for China based on “SMAT-CE”
- Modified functions/GUI & data inputs to accommodate different monitor data structure & technologies in China (e.g., optional PM2.5 species)

YRD/Shanghai Pilot Case

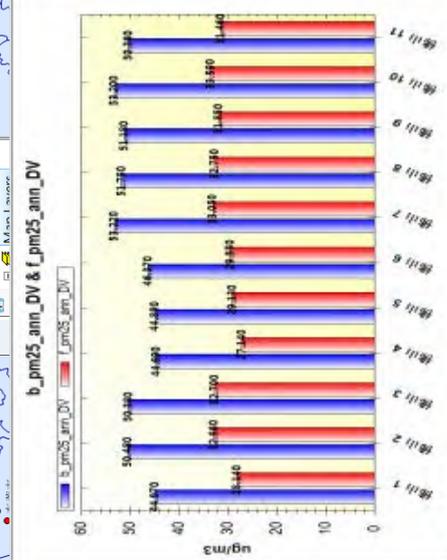
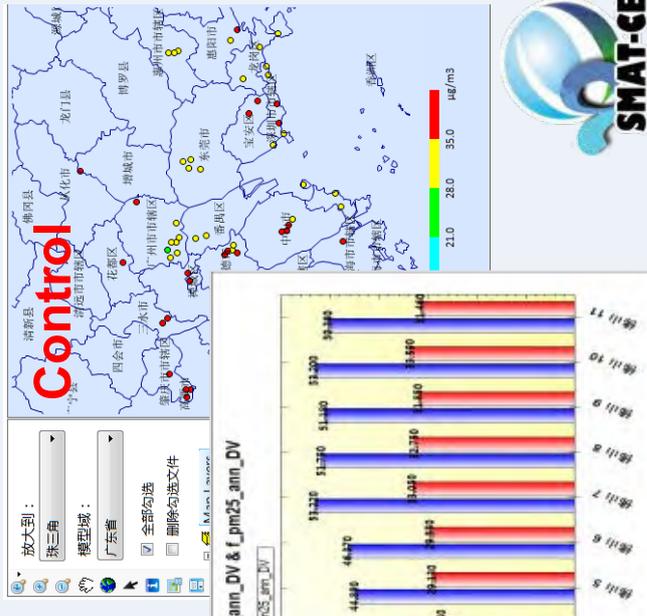
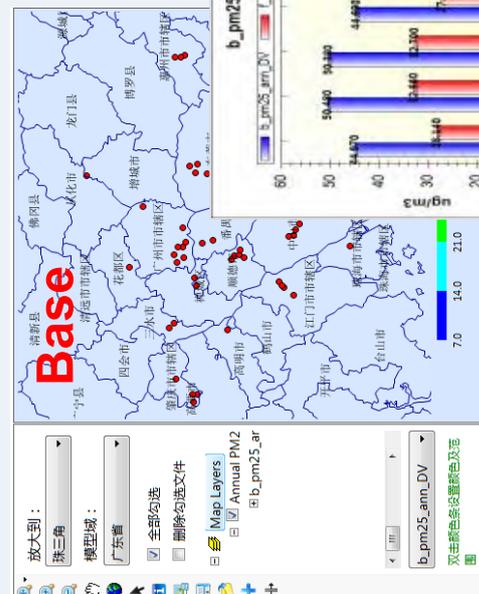
The figure displays four screenshots from the SMAT-China software interface, illustrating its development and application in the YRD/Shanghai pilot case.

- Top Left: PM2.5 Analysis Window** - Shows the software's main interface with a map of China. A yellow box highlights the 'China' region in the legend, with 'USA' and 'China' also listed below it.
- Top Right: Attainment Test** - A bar chart showing 'Results' for 'Regions'. The chart compares 'b_pm25_ann_DV' (blue bars) and 'f_pm25_ann_DV' (red bars) across various regions. Values range from 76.000 to 80.740.
- Bottom Left: Monitor Data** - A map of China with 'Shanghai' highlighted. The map displays various data points representing monitoring stations.
- Bottom Right: Model Data** - A heatmap of China with 'Shanghai' highlighted. The map shows the spatial distribution of model results, with a color scale from blue (low) to red (high).

SMAT-CE: Jing-Jin-Ji PM2.5 Application (by Tsinghua Univ.)



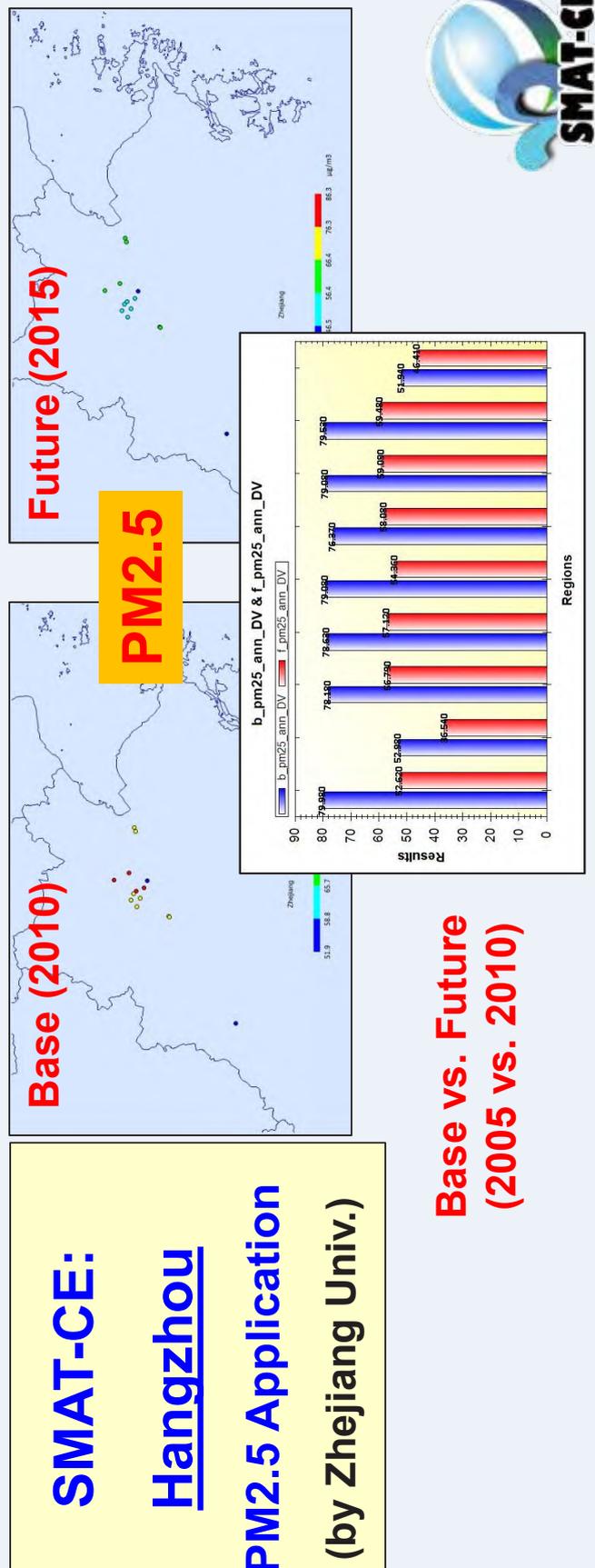
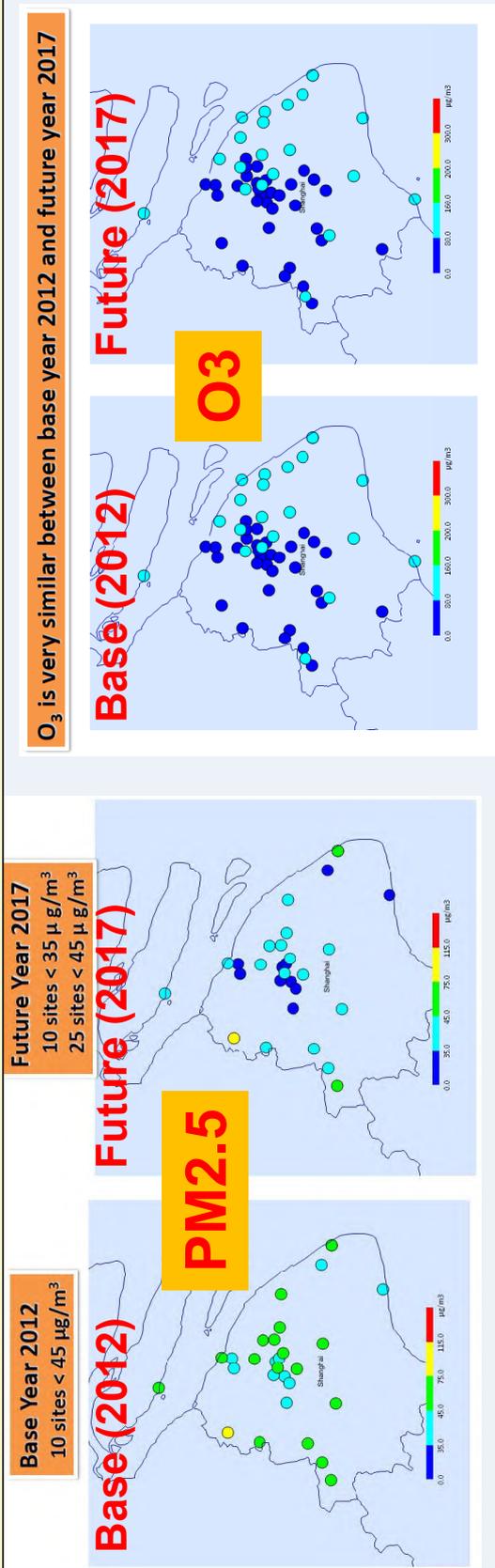
SMAT-CE: Guangdong (Shunde & Shenzhen) PM2.5 Application (by SCUT & Tsinghua Univ.)



Base vs. Control



SMAT-CE: Shanghai PM2.5 & O3 Application (by Shanghai EMC)



SMAT-CE: Hangzhou PM2.5 Application (by Zhejiang Univ.)

“ABaCAS” Website
[\(abacas-dss.com\)](http://abacas-dss.com)

Home Page | **ABaCAS System** | Conference & Workshop | ABaCAS Download | About Us

Home Page | ABaCAS System | Conference & Workshop | ABaCAS Download | About Us

“Air Benefit and Cost and Attainment Assessment System” (ABaCAS, 空气污染控制费效及达标评估系统) is under development by a team of US-China scientists aimed at providing scientists and policy makers in China with a user-friendly system framework for conducting integrated assessments of air pollution emissions control cost and their associated economic benefits and air quality attainment. The “ABaCAS” system

ABaCAS System

- ABaCAS-SE
- SMAT-CE
- BenMAP-CE
- RSM-VAT
- CoST-CE

ABaCAS-SE: Air Benefit and Cost

Introduction 系统简介

ABaCAS-SE (Air Benefit/Cost and Assessment) is a user-friendly system framework for conducting integrated assessment of air pollution emissions control costs, economic benefits and air quality attainment.

Functional Design 流程框架

ABaCAS-SE will call and run the four modules to estimate the emission costs associated with a reduction from CoST-CE to provide a real-time assessment of the economic benefits and air quality data. The CoST-CE, RSM-VAT, BenMAP-CE use modules to provide assessments of emission costs, economic benefits, and air quality data. The CoST-CE, RSM-VAT, BenMAP-CE use modules to provide assessments of emission costs, economic benefits, and air quality data.

“ABaCAS” System Overview

“ABaCAS” (Proof of Concept) Standalone ABaCAS (Scientists)

CoST-CE, RSM-VAT, BenMAP-CE, ABaCAS-SE

ABaCAS 2015 Training Workshop (6/25/2015) please download below:

“ABaCAS” System Package (free download)

1. ABaCAS Software Package: [ABaCAS 1.4 Setup.exe](#) (972M)
 (Note: un-install previous version of ABaCAS system if any)
2. ABaCAS Input Data Files: [ABaCAS Data.zip](#) (1.27G)
 (Note: after unzipping, please move “ABaCASData\Data” to replace the old \Data folder)
3. Training workshop agenda and Presentation files (pdf):
[2015 ABaCAS Training Agenda.pdf](#)
[ABaCAS 2015 Training Workshop Presentation Files.zip](#)
4. Quick Start Guide for CoST-CE, RSM-VAT, SMAT-CE and BenMAP-CE : [Quick-Guide.zip](#)
 (Note: download and read Quick Start guides if interested)

* Note: Please download .ZIP to unzip the zip files above.

* Important Note: Your “Project” files and output results will be saved under: \My Document\My ABaCAS-SE Files(Result (likewise for My Document\My CoST-CE Files, \My RSM-VAT Files, \My SMAT-CE Files, and \My BenMAP-CE Files)

Individual Component Download (included in ABaCAS software package already)

RSM-VAT – Response Surface Model – Visualization & Analysis Tool -

30

RSM-VAT is a user-friendly tool developed to support the visualization and analysis functions of Response Surface Model for estimating air quality responses to emission changes.

“ABaCAS-China” Project Team

China:

- *Tsinghua Univ.:* HAO Jiming, WANG Shuxiao, WU Yue, etc.
- *South China Univ. of Technology:* YE Daiqi, ZHU Yun, XIE Junping, etc.
- *Zhejiang Univ.:* CEN Kefa, GAO Xiang, LUO Kun, CHEN Linghong, etc.
- *Chinese Academy of Environmental Sciences:* CHAI Fahe, GAO Jian, etc.
- *Chinese Academy of Environ. Planning:* LEI Yu, XUE Wenbo, etc.
- *Shanghai Academy of Sciences:* CHEN Changhong, Li Li, etc.
- *Shanghai EMC:* FU Qingyan, WANG Qian, etc.
- *Sponsors/Partners:* Energy Foundation, Clean Air Alliance of China, Clean Air Asia, etc.

USA:

- *EPA:* Carey JANG, Dale Everts, Jeremy Schreifels, Scott Voorhees, etc.
- *Univ. of Tennessee:* Joshua FU, Xinyi DONG, Jian SUN, etc.



附录B

本附录介绍了美国联邦环保署长期以来用于确保各项排放限值切实可行的一项指导方针¹。一般来说，如果某排放限值能够对表格B-1中列举的7项参数进行具体的规定和说明，便可充分保证该排放限值的实际可行性。表格B-2中还列举了一些其它的参数示例。

表格B-1 确保大气排放限值切实可行的各项基本参数

| 为确保实际可行性制定的要求 | 示例 |
|---------------------------|--|
| 技术上非常精确的排放限值 | 10 mg颗粒物/m ³ ，基准氧含量为6% |
| 企业中受该排放限值约束的部分 | 为进行发电生产蒸汽的燃煤锅炉 |
| 在计算排放限值的合规执行情况时采用的平均值计算时段 | 计算之前12个运行小时的滚动平均值。锅炉没有燃烧煤炭进行生产的时段不参与12小时滚动平均值的计算 |
| 必须用于合规认证的参考方法和测试要求 | 选项1. 排放限值的合规执行应根据月度测试期间的平均排放速率确定。每项月度测试应由三组独立的测试组成。每组测试必须使用美国联邦环保署参考方法5B收集至少4小时的排放数据 选项2. 排放限值的合规执行应通过持续性排放监测系统进行认证。该系统须能够测量可过滤颗粒物（单位为mg颗粒物/m ³ ）以及烟气中氧气的浓度。颗粒物持续性排放监测系统必须采用江苏省环保厅批准的方案进行初始校准和定期维护 |
| 连续监测 | 未安装颗粒物持续性排放监测系统的排放源必须对静电除尘器的总电量和次级电流进行连续监测，确保这些参数的12小时平均值始终保持在最近一次合规测试观测到的范围内 |
| 数据记录 | 运营商必须对以下参数进行记录并存档： <ol style="list-style-type: none"> 1. 采用选项1时所有颗粒物排放合规测试的结果，或者在采用选项2时对颗粒物持续性排放监测系统进行校正的数据 2. 采用选项2时必须为以下参数及其记录时间建立一个数据库： <ol style="list-style-type: none"> a. 运行过程中的每小时平均颗粒物浓度（mg/m³） b. 每小时平均氧气浓度 c. 平均发电容量（MW） |
| 数据申报 | 运营商必须在每月15日之前向江苏省环保厅提交一份月度报告。报告中必须包括以下信息： <ol style="list-style-type: none"> 1. 前一个月内结束的每个12小时运行时段的平均排放速率，单位为mg/m³，基准氧含量为6% 2. 每个12小时合规认证时段内机组的平均发电容量，单位为MWh |

表格 B-2 美国采用的排放限值与平均值计算时段的示例

| 行业 | 生产设备 | 污染物 | 排放限值 | 平均值计算时段 | 监测技术或测试方法 |
|-----|---------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|--|
| 发电厂 | 燃煤发电锅炉 | 氮氧化物 (NO _x) | 100 mg/m ³ , 基准氧含量为6% | 30天滚动平均值 | 氮氧化物CEMS – 稀释抽取、化学发光 |
| | | 颗粒物 (PM) | 30 mg/m ³ , 基准氧含量为6% | 24小时平均值 | 颗粒物CEMS – 前散射, 仪器必须满足美国联邦环保署PS-11标准及美国联邦法案40 CFR Part 60附录F操作方法2或相似的质量保证要求 |
| | | 二氧化硫 (SO ₂) | 100 mg/m ³ , 基准氧含量为6% | 30天滚动平均值 | 二氧化硫CEMS – 稀释抽取、紫外荧光 |
| | | 硫酸雾 (H ₂ SO ₄) | 5 mg/m ³ , 基准氧含量为6% | 6小时平均值 | 每半年采用烟道测试方法CTM-013A或相似的测试方法进行烟道测试 |
| | | 汞 (Hg) | 0.002 mg/m ³ , 基准氧含量为6% | 12月滚动平均值 | 汞CEMS – 冷蒸气原子荧光或吸附剂捕获监测系统 |
| 炼油厂 | 通过静电除尘器进行排放控制的流化催化裂化装置催化剂再生设备 | 颗粒物 (PM) | 现存流化催化裂化装置: 1.0 g/kg 燃烧焦炭 | 总电量和次级电流3小时滚动平均值 | 连续监测并记录静电除尘器的总电量和次级电流 |
| | | | 新建流化催化裂化装置: 0.5 g/kg 燃烧焦炭 | | |
| | 通过湿式洗涤器进行排放控制的新建流化催化裂化装置催化剂再生设备 | 颗粒物 (PM) | 现存流化催化裂化装置: 1.0 g/kg 燃烧焦炭 | 压降和液气比 3小时滚动平均值 | 连续监测并记录湿式洗涤器的压降和液气比 |
| | | | 新建流化催化裂化装置: 0.5 g/kg 燃烧焦炭 | | |
| | 新建和现存流化催化裂化装置催化剂再生设备 | 二氧化硫 (SO ₂) | 50 ppmv, 过量空气为0% | 7天滚动平均值 | 在废气烟道中安装二氧化硫CEMS, 或在中央燃气管线中安装持续性硫化氢监测仪 |
| | | | 25 ppmv, 过量空气为0% | 365天滚动平均值 | |
| | 新建流化催化裂化装置催化剂再生设备 | 氮氧化物 (NO _x) | 80 ppmv, 过量空气为0% | 7天滚动平均值 | 氮氧化物CEMS |
| | 新建和现存流化催化裂化装置催化剂再生设备 | 挥发性有机物 (VOC) | ≤ 500 ppmv – 氧化碳 | 1小时平均值 | 采用一氧化碳CEMS或制定温度及氧气浓度水平的运行限值 |

参考文献与注释

1. <http://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/potoem.pdf>.



大气质量管理规划框架

二〇一六年八月