

深圳市重点行业清洁生产技术汇编
2022年

深圳市重点行业
清洁生产技术汇编

2022年



深圳市重点行业清洁生产
技术汇编 (2022年)



索引一



索引二

深圳市生态环境局
深圳市源清环境技术服务有限公司
二〇二三年二月

深圳市重点行业清洁生产技术汇编

2022年

◎主 编：曾 婷

◎副主编：朱 珠 王 明

◎编写者：谢 威 张 萍 刘潮阳

林杰华 郭奕灿 甘 萍

李忠杰 吴焕圳 周小舟

Contents 目录



深圳市重点行业清洁生产
技术汇编（2022年）

总 则.....	1
一、原辅材料和能源替代	4
（一）低挥发性有机物原辅材料替代高挥发性有机物原辅材料	5
方案一：涂层整理工序 水性聚丙烯酸类整理剂替代聚氨酯树脂类整理剂	5
方案二：喷涂工序 水性漆替代油性漆	7
方案三：涂布工序 环保压敏胶替代高 VOCs 压敏胶	11
方案四：印刷工序 环保油墨替代油性油墨	13
方案五：洗网工序 环保锡膏清洗溶剂替代有机锡膏清洗剂	14
方案六：过油工序 水性吸塑油替代油性吸塑油	15
（二）无毒无害/低毒低害原辅材料替代有毒有害原辅材料	17
方案七：钝化工序 有机保护膜代替铬保护膜	17
方案八：中和工序 环保除灰剂替代硝酸	18
方案九：封孔工序 无镍封孔剂替代含镍高温封孔剂	19
方案十：贯孔工序 铜光剂更换提升镀孔铜贯率	19
（三）可降解材料替代难降解材料	20
方案十一：塑料制品业 全生物降解塑料替代聚乙烯原料	20
（四）清洁能源	21
方案十二：清洁能源 光伏发电	21
二、技术工艺改进.....	23
方案十三：涂布工序 改变涂布方式减少稀释剂用量	23
方案十四：喷涂工序 减少涂装层数减少 VOCs 产生	24
方案十五：制版工序 免冲洗版替代传统热敏版	25
三、设备升级改造.....	28
（一）设备自动化升级改造	29
方案十六：喷涂工序 喷漆自动化改造	29
方案十七：印花打样工序 引进自动滴定打样机	30
方案十八：进料工序 自动配料系统替代人工配料	31
方案十九：印刷设备清洗工序 橡皮布自动清洗装置替代人工清洗	31
方案二十：电镀生产线 自动化升级改造	32
（二）设备节能升级改造	33
方案二十一：废水处理曝气工序 磁悬浮离心鼓风机替代空气悬浮离心鼓风机	34
方案二十二：空压机节能改造 永磁变频双极压缩螺杆式空压机替代传统空压机	35
方案二十三：无功补偿 新增有源电力滤波器提高用电设备功率因数	36
方案二十四：余热回收 空压机余热回收	37
方案二十五：余热回收 高温冷凝水余热回收	38
方案二十六：电机节能改造 电机增加变频器	39
方案二十七：工件保温 增设保温炉车避免热量损失	40
方案二十八：制冷机节能改造 添加极性制冷剂油提高制冷效率	41
方案二十九：冷冻机节能改造 高效磁悬浮冷冻机替代螺杆冷冻机	42
（三）其他	43
方案三十：锅炉改造 锅炉低氮改造	43

方案三十一：印染工序 染色工艺低浴比改造	45
方案三十二：印花工序 数码喷墨印花代替圆网印花	46
四、过程控制.....	48
方案三十三：废水处理设施 精确曝气系统替代传统曝气方式	48
方案三十四：真空镀工序 真空镀膜低温工艺	50
五、废弃物的处置.....	51
(一) 废弃物的回收与利用	52
方案三十五：冷凝水回用 洗水车间冷凝水回用	52
方案三十六：铜粉回收 磨板清洗工序加装铜粉回收机	52
方案三十七：印刷工序 润版液过滤循环回用	53
(二) 废气的收集与治理	54
方案三十八：有机废气收集 提高废气收集效率	54
方案三十九：有机废气治理 冷凝法处理有机废气	59
方案四十：有机废气治理 沸石转轮+蓄热式燃烧法（RTO）/蓄热式催化燃烧法（RCO） 装置处理有机废气	61
方案四十一：污水站废气治理 污水处理系统废气收集与治理	65
(三) 废水治理	68
方案四十二：含重金属废水治理 电絮凝处理重金属废水	68
(四) 危废减量	69
方案四十三：渗滤液浓缩液处理	69
方案四十四：增设膜渣减重机	70
方案四十五：蒸馏浓缩分离技术处理工业废液	71
蒸汽机械再压缩技术（MVR）	71
扩容蒸发/闪蒸技术	72
真空蒸馏技术	74
索 引 一.....	76
索 引 二.....	78

总 则

当前，我国已经进入全面巩固污染治理成果，深入打好污染防治攻坚战，以降碳为重点战略方向，推动减污降碳协同增效的重要阶段。推行清洁生产是贯彻落实节约资源和保护环境基本国策的重要举措，而深入推进重点行业清洁生产审核是践行绿色发展理念的重要途径，是实现减污降碳协同增效的重要手段。

根据《“十四五”全国清洁生产推行方案》、《生态环境部办公厅 发展改革委办公厅 关于深入推进重点行业清洁生产审核工作的通知》（环办科财[2020]27号）等文件的精神和要求，以节约资源、降低能耗、减污降碳、提质增效为目标，突出抓好工业清洁生产，大力推进重点行业清洁低碳改造，同时，有条件的地区可根据需要制定地方行业清洁生产评价指标体系、技术导向目录、审核指南和案例汇编等。鼓励各地区结合自身管理工作需求，可制定地方技术导向目录、案例汇编等，用于进一步推进重点行业企业清洁生产审核工作。

由于深圳市企业所属行业类别、生产工艺、生产规模等具有一定的地区特性，国家各部委发布的推荐先进清洁生产工艺和技术在深圳市的适用性相对较低，缺乏针对性，难以全面满足深圳市清洁生产审核工作推进的需求。为了能更好指导和引导深圳市重点行业开展清洁生产审核、采用先进适用的清洁生产工艺和技术，2021年度深圳市生态环境局牵头开展了以金属表面处理及热处理加工业、电子电路制造业为对象的清洁生产技术筛选评估工作，并编制印发了《深圳市重点行业清洁生产技术汇编（2021年）》。

2022年，为了进一步引导深圳市重点行业深入实施清洁生产改造，深圳市生态环境局持续组织开展清洁生产技术筛选评估工作，从2019-2021年实施强制性清洁生产审核的189家企业（不包含2019-2020年开展强制性清洁生产审核的金属表面处理及热处理加工业、电子电路制造业企业）所实施的4000余个清洁生产方案进行筛选评估。

为了保证筛选评估过程的高效以及成果的实用性，借鉴了清洁生产审核过程中对清洁生产方案的筛选模式，制定了筛选评估原则：

- 1.政策合规性：符合国家、省、市相关政策要求，不属于落后、淘汰生产技术、工艺、设备；
- 2.技术方面：具有一定的适用性及推广性等，具备初步产业化规模，有成功的实施案例；
- 3.环境效益：具有较明显的污染减排潜力或成效；
- 4.经济效益：具有一定的经济效益。

通过对4000余个已实施的清洁生产方案进行初筛、现场走访调研、专家座谈等，深入了解各技术方案的实施过程，核算各技术方案实际运行的环境效益及经济效益等，依据筛选评估原则对各技术方案的技术性、环境效益、经济效益进行综合评估，最终确定了45个清洁生产方案58个案例，形成了本技术汇编。

本技术汇编按照清洁生产的8个方面对这45个清洁生产方案进行分类介绍。通过筛选评估发现，企业在开展清洁生产审核的过程中，产品改进、管理、员工这3个方面实施的方案以无/低费方案为主且具有一定的企业专属性，推广适用性不强，故本技术汇编所筛选的方案仅包括原辅材料和能源替代、技术工艺改进、设备升级改造、过程控制、废弃物处置5方面，其中原辅材料和能源替代方案12个，涉及低挥发性有机物原辅材料替代高挥发性有机物原辅材料、低毒低害/无毒无害原辅材料替代有毒有害原辅材料、可降解材料替代难降解材料和清洁能源；技术工艺改进方案3个；设备升级改造方案17个，涉及设备自动化升级改造、设备节能升级改造、其他；过程控制2个；废弃物处置11个，涉及废弃物的回收与利用、废气的收集与治理、废水治理、危废减重。

本技术汇编中的各技术方案按照技术原理、适用范围、应用案例的实施情况及实施效果进行介

绍。

为了便于企业查找适用的技术方案，本技术汇编在文末增加了两类索引，索引一按照挥发性有机物全过程防治、节能改造与热能回收、废弃物处置、其他进行分类排序；索引二按照纺织业，印刷和记录媒介复制业，金属制品业，计算机、通信和其他电子设备制造业，塑料制品业，通用工序，通用设备，清洁能源，废弃物的处置进行分类排序。

表 1 方案汇总表

序号	方案类型		方案名称
1	原辅材料和能源替代	低挥发性有机物原辅材料替代高挥发性有机物原辅材料	方案一：涂层整理工序 水性聚丙烯酸类整理剂替代聚氨酯树脂类整理剂
2			方案二：喷涂工序 水性漆替代油性漆
3			方案三：涂布工序 环保压敏胶替代高 VOCs 压敏胶
4			方案四：印刷工序 环保油墨替代油性油墨
5			方案五：洗网工序 环保锡膏清洗溶剂替代有机锡膏清洗剂
6			方案六：过油工序 水性吸塑油替代油性吸塑油
7		低毒低害原辅材料替代有毒有害原辅材料	方案七：钝化工序 有机保护膜代替铬保护膜
8			方案八：中和工序 环保除灰剂替代硝酸
9			方案九：封孔工序 无镍封孔剂替代含镍高温封孔剂
10			方案十：贯孔工序 铜光剂更换提升镀孔铜贯率
11		可降解材料替代难降解材料	方案十一：塑料制品业 全生物降解塑料替代聚乙烯原料
12		清洁能源	方案十二：清洁能源 光伏发电
13	技术工艺改进		方案十三：涂布工序 改变涂布方式降低稀释剂用量
14			方案十四：喷涂工序 减少涂装层数减少 VOCs 产生
15			方案十五：制版工序 免冲洗版替代传统热敏版
16	设备升级改造	设备自动化升级改造	方案十六：喷涂工序 喷漆自动化改造
17			方案十七：印花打样工序 引进自动滴定打样机
18			方案十八：进料工序 自动配料系统替代人工配料
19			方案十九：印刷设备清洗工序 橡皮布自动清洗装置替代人工清洗
20			方案二十：电镀生产线 自动化升级改造
21		设备节能升级改造	方案二十一：废水处理曝气工序 磁悬浮离心鼓风机替代空气悬浮离心鼓风机
22			方案二十二：空压机节能改造 永磁变频双极压缩螺杆式空压机替代传统空压机
23			方案二十三：无功补偿 新增有源电力滤波器提高用电设备功率因数
24			方案二十四：余热回收 空压机余热回收
25			方案二十五：余热回收 高温冷凝水余热回收
26			方案二十六：电机节能改造 电机增加变频器
27			方案二十七：工件保温 增设保温炉车避免热量损失

序号	方案类型	方案名称
28		方案二十八：制冷机节能改造 添加极性制冷剂油提高制冷效率
29		方案二十九：冷冻机节能改造 高效磁悬浮冷冻机替代螺杆冷冻机
30		方案三十：锅炉改造 锅炉低氮改造
31		方案三十一：印染工序 染色工艺低浴比改造
32		方案三十二：印花工序 数码喷墨印花代替圆网印花
33	过程控制	方案三十三：废水处理设施 精确曝气系统替代传统曝气方式
34		方案三十四：真空镀工序 真空镀膜低温工艺
35	废弃物的处置	方案三十五：冷凝水回用 洗水车间冷凝水回用
36		方案三十六：铜粉回收 磨板清洗工序加装铜粉回收机
37		方案三十七：印刷工序 润版液过滤循环回用
38		方案三十八：有机废气收集 提高废气收集效率
39		方案三十九：有机废气治理 冷凝法处理有机废气
40		方案四十：有机废气治理 沸石转轮+蓄热式燃烧法（RTO）/蓄热式催化燃烧法（RCO）装置处理有机废气
41		方案四十一：污水站废气治理 污水处理系统废气收集与治理
42		方案四十二：含重金属废水治理 电絮凝处理重金属废水
43		方案四十三：渗滤液浓缩液处理
44		方案四十四：增设膜渣减重机
45		方案四十五：蒸馏浓缩分离技术处理工业废液
46		蒸汽机械再压缩技术（MVR）
47		扩容蒸发/闪蒸技术
		真空蒸馏技术

一、原辅材料和能源替代

原辅材料是指生产过程中需要的原料和辅助用料的总称。原辅材料本身的性质（例如挥发性、可降解性、毒性等）在一定程度上决定了产品及其生产过程对环境的危害程度和产生的废弃物的毒性，选择对人类、环境低毒、无毒的原辅材料是清洁生产的重要方面。

能源是生产过程的动力来源，包括电力、天然气、柴油等，在使用过程中直接或者间接产生温室气体，通过提高能源利用效率、使用清洁能源等将有利于减少温室气体的排放。

由原辅材料和能源而导致产生废弃物的主要原因有：

- 1.原辅材料纯度不高；
- 2.原辅材料的毒性及危害性较大；
- 3.原辅材料运输、贮存的损失；
- 4.原辅材料的投入量、配比不合理；
- 5.原辅材料超定额标准；
- 6.使用非清洁能源。

根据对已实施的清洁生产技术方案的汇总及筛选，原辅材料和能源替代方面的技术方案主要为：低挥发性有机物原辅材料替代高挥发性有机物原辅材料、无毒无害或低毒低害原辅材料替代有毒有害原辅材料、可降解材料替代不可降解材料、使用清洁能源等。

结合各技术方案的现场调研情况，本技术汇编对其中技术上具有一定的适用性及推广性，且环境效益及经济效益较为明显的技术方案进行汇总介绍。各清洁生产方案如下表所示：

表 1.1 方案类型与方案名称一览表

序号	方案类型	方案名称
1	低挥发性有机物原辅材料替代高挥发性有机物原辅材料	方案一：涂层整理工序 水性聚丙烯酸类整理剂替代聚氨酯树脂类整理剂
2		方案二：喷涂工序 水性漆替代油性漆
3		方案三：涂布工序 环保压敏胶替代高 VOCs 压敏胶
4		方案四：印刷工序 环保油墨替代油性油墨
5		方案五：洗网工序 环保锡膏清洗溶剂替代有机锡膏清洗剂
6		方案六：过油工序 水性吸塑油替代油性吸塑油
7	无毒无害/低毒低害原辅材料替代有毒有害原辅材料	方案七：钝化工序 有机保护膜代替铬保护膜
8		方案八：中和工序 环保除灰剂替代硝酸
9		方案九：封孔工序 无镍封孔剂替代含镍高温封孔剂
10		方案十：贯孔工序 铜光剂更换提升镀孔铜贯率
11	可降解材料替代难降解材料	方案十一：塑料制品业 全生物降解塑料替代聚乙烯原料
12	清洁能源	方案十二：清洁能源 光伏发电

（一）低挥发性有机物原辅材料替代高挥发性有机物原辅材料

挥发性有机物（VOCs）是指在 101.3kPa 标准压力下，任何初沸点低于或等于 250℃ 的有机化合物，包括：烷类、芳烃类、烯类、卤烃类、酯类、醛类、酮类等。VOCs 是形成细颗粒物（PM_{2.5}）和臭氧（O₃）的重要前体物，不但对环境有重大危害，也对人体健康有严重的影响。

VOCs 的挥发性强，涉及行业广，产排污环节多，如：

（1）纺织印染业 VOCs 主要产生自溶剂、助剂、整理剂、涂层剂、感光胶等含 VOCs 的原辅材料的使用，涉及的 VOCs 排放环节主要是上述含 VOCs 原辅材料的贮存、配料、印花、定型、涂层整理等；

（2）家具制造业 VOCs 主要产生自涂料、胶粘剂、固化剂、稀释剂、清洗剂等含 VOCs 的原辅材料的使用，涉及的 VOCs 排放环节主要是上述含 VOCs 原辅材料的贮存、调漆、喷漆、擦色、施胶、干燥、喷枪清洗等；

（3）印刷业 VOCs 主要产生自油墨、胶粘剂、润版液、光油、清洗剂等含 VOCs 的原辅材料的使用，涉及的 VOCs 排放环节主要是上述含 VOCs 原辅材料的贮存、调色、印刷、烘干、覆膜、清洗等；

（4）电子元件制造业 VOCs 主要产生自油墨、胶粘剂、固化剂开油水、洗网水、清洗剂等含 VOCs 的原辅材料的使用，涉及的 VOCs 排放环节主要是上述含 VOCs 原辅材料的贮存、线路印刷、防焊印刷、文字印刷、丝印、烤版、洗网等。

有机溶剂等高 VOCs 原辅材料的使用是 VOCs 的重要排放来源，为了减少 VOCs 的排放、减轻对环境及人体健康的危害，可使用水性、粉末、高固体分、无溶剂、辐射固化等低 VOCs 含量的涂料，水性、辐射固化、植物基等低 VOCs 含量的油墨，水基、热熔、无溶剂、辐射固化、改性、生物降解等低 VOCs 含量的胶粘剂，以及低 VOCs 含量、低反应活性的清洗剂等，替代溶剂型涂料、油墨、胶粘剂、清洗剂等。

方案一：涂层整理工序 水性聚丙烯酸类整理剂替代聚氨酯树脂类整理剂

1. 技术原理

涂层整理是在织物表面单面或双面均匀地涂布一层或多层高分子化合物等涂层剂，使织物正反面能具有不同功能的一种表面整理技术。涂层整理不仅能改善织物的外观和风格，而且能增加织物的功能，使织物具有防水、耐水压、通气透湿、阻燃防污以及遮光反射等特殊功能。

涂层整理剂按化学结构分类，可分为：①聚丙烯酸酯类（PA）；②聚氨酯类（PU）；③聚氯乙烯类（PVC）；④有机硅类；⑤合成橡胶类等。其中，聚丙烯酸酯类（PA）和聚氨酯类（PU）使用最为广泛。

PA 类涂层整理剂可分为溶剂型、水基型两类。溶剂型 PA 类涂层整理剂具有良好的粘着性和耐水性，但是其中含有甲苯、醋酸乙酯等有机溶剂，在使用过程中会产生较多的 VOCs；水基型 PA 类涂层整理剂由丙烯酸酯、丙烯酸、自交联单体和其他不饱和单体共聚组成，涂层整理后的织物能具有较好的机械性能和良好的防水效果。

PU 类涂层整理剂可分为溶剂型、水基型两类。溶剂型 PU 类涂层整理剂为混合物，可分为含 N,N-二甲基甲酰胺（DMF）和不含 DMF 两类：含 DMF 的一般为 DMF、丁酮、甲苯的混合物，不含 DMF 的常为甲苯、异丙醇和乙二醇甲醚（或乙二醇乙醚）的混合物，在使用过程中会产生较多的 VOCs；水基型 PU 类涂层整理剂是以含双异氰酸酯基的化合物与多元醇或其它含活泼氢的化合物进行加聚而成，具有良好的成膜性，并有较好的防水性。

2.适用范围

适用于各类织物的透气性拒水涂层整理。

3.应用案例

某从事织物面料织染、印花及后整理加工的企业，主要生产工艺包括：退浆、染色、印花、上胶、定型、压光、卷布等。

(1) 实施情况

方案实施前，该公司在涂层整理工序中所使用的是溶剂型 PA 类涂层整理剂，其中含有甲苯、醋酸乙酯等有机溶剂，在生产的过程中会产生大量的 VOCs，对周边环境及员工身体健康产生一定影响。为了从源头减少 VOCs 的产生，该公司选择水基型 PA 类涂层整理剂替代溶剂型 PA 类涂层整理剂，替代后对产品无明显影响。

(2) 实施效果

①环境效益

根据涂层整理剂 MSDS 和该公司物料进出统计，涂层整理剂替代前后的年使用情况如下表所示：

表 1.2 涂层整理剂替代前后使用情况统计表

物料名称	替代前				物料名称	替代后			
	用量 (t/a)	成分	成分占比	用量 (t/a)		用量 (t/a)	成分	成分占比	用量 (t/a)
甲苯	25	甲苯	100%	25	S-683	60	丙烯酸聚合物	38%	22.8
醋酸乙酯	18	醋酸乙酯	100%	18			阴非离子表面活性剂	2%	1.2
RA-560PG2	32	N,N-二甲基甲酰胺	45%	14.4	PA-3	14	丙烯酸聚合物	38%	5.32
		甲基苯	25%	8			阴离子表面活性剂	2%	0.28
合计	75	/	/	65.4	合计	74	/	/	29.6

由上表替代前后成分分析可知，替代前使用溶剂型 PA 类涂层整理剂的 VOCs 产生量： $25+18+14.4+8=65.4\text{t/a}$ ；替代后使用水基型 PA 类涂层整理剂，主要成分为丙烯酸聚合物及阴非离子表面活性剂，为低（无）VOCs 材料。因此，每年可减少 65.4t VOCs 的产生。

②经济效益

根据该公司物料进出统计，涂层整理剂替代前后经济效益情况表如下所示：

表 1.3 涂层整理剂替代前后经济效益情况统计表

序号	替代前				替代后			
	物料名称	单价 (元/kg)	用量 (t/a)	总价 (万元/a)	物料名称	单价 (元/kg)	用量 (t/a)	总价 (万元/a)
1	甲苯	11.3	25	28.25	S-683	7.7	60	46.2
2	醋酸乙酯	12.5	18	22.5	PA-3	10	14	14
3	RA-560PG2	16.3	32	52.16	/	/	/	/
合计				102.91	合计			60.2

由上表分析可知，替代后可节省原辅料购置费用： $102.91-60.2=42.71$ 万元/a。

方案二：喷涂工序 水性漆替代油性漆

1.技术原理

漆，是一种可流动的液体涂料，可牢固覆盖在物体表面，经缩合反应、聚合反应或与空气反应，液态组分挥发后形成一层粘附牢固、具有一定强度、连续的固态薄膜，该薄膜具有良好的保护功能（防腐、防水、耐化学品、耐温等）、装饰功能（颜色、光泽、图案等）和特殊性能（绝缘、标记、防污等），广泛应用于制造业。漆一般由成膜物质、颜料、溶剂、助剂等四部分组成，按照溶剂介质分类，可分为油性漆和水性漆。

油性漆的主要原料为硝基漆、聚酯漆，成膜物质主要为油性树脂。油性漆在使用过程中需要加入大量的有机溶剂（如：甲苯、二甲苯和乙醇等），这些有机溶剂不但有剧毒、易燃的特性，且挥发性和污染性也较大。

水性漆的主要成分是扩散性聚合物，主要成膜物质为水性树脂，溶剂为水。水性漆中挥发性物质含量较低，对生产和环境的负面影响较小。

从油性漆和水性漆的原料成分上分析，油性漆较水性漆挥发性有机物含量高，属于高 VOCs 含量原料。油漆中 VOCs 含量根据产品类别其限量值有所不同，以木器漆为例，油性漆 VOCs 含量限值 $\leq 420\text{g/L}$ ，水性漆 VOCs 含量限值 $\leq 270\text{g/L}$ 。

在保证产品质量和性能的前提下，企业可根据产品特点和客户需求，使用低 VOCs 含量的水性漆替代高 VOCs 含量的油性漆，从源头减少 VOCs 的产生，降低对操作人员和周边环境的影响。

2.适用范围

适用于喷涂工序。由于喷涂基材不同，水性漆的组成成分也各不相同，企业可根据实际情况进行选择。

3.应用案例

案例 1

某大型汽车零部件制造企业，主要生产保险杠、座椅、车用 CD、模具、内饰件等，年产量可达 20 万套。主要生产工序为冲压、焊装、涂装、总装等。

（1）实施情况

企业生产过程需要使用中涂漆、面漆和色漆对工件表面进行处理。由于企业规模较大，喷涂及固化过程中产生的有机废气总量较大。为响应《关于印发〈广东省环境保护厅关于重点行业挥发性有机化合物综合整治的实施方案（2014-2017 年）〉的通知》（粤环【2014】130 号）文件要求，从源头减少 VOCs 的产生，企业对涂装车间进行水性化改造，将中涂漆和面漆更换为水性漆。

方案实施前，企业使用中涂漆和面漆均采用固含量 $>60\%$ 的高温固化溶剂型漆，挥发性有机物含量较高，使用过程会产生大量的 VOCs；方案实施后，企业中涂漆和面漆均采用水性漆，水性漆占总漆使用量从 47.5%上调至 81.8%，从源头上降低了原料中 VOCs 含量的比例，减少了 VOCs 的产生。

该企业方案实施前后所使用的水性漆与油性漆对比详见下表：

表 1.4 水性漆与油性漆对比一览表

油漆种类		水性漆	油性漆
中涂漆	主要成分	1-甲氧基-2-丙醇 2.5%-3% C5-C20 1%-2% 聚氨基甲酸酯树脂 5%-7%	二甲苯 10%-20% 丙二醇甲醚乙酸酯<1% 甲醇<5%
	VOCs 含量	5%	26%
面漆	主要成分	正丁醇 1%-2% 2-乙基己醇 1%-2% 2-(二甲氨基)乙醇 0.5%-1% 2-丁氧基乙醇 10%-12.5% 2,4,7,9-四甲基-5-癸炔-4,7-二醇 0.5%-1% 一缩二丙二醇一甲醚 2.5%-3% 聚丙烯甘油 1%-2%	乙酸丁酯 10%-15% 甲基异丁基酮 5%-10% 二价酸酯 1%-5% 异丁醇 2%-5% 丙烯酸树脂 25%-35% 聚酯树脂 5%-10% 氨基树脂 6%-15% 铝粉 0%-10% 颜料 0%-25% 紫外线吸收剂 0%-2%
	VOCs 含量	22.5%	35%
稀释剂	名称	水	天那水
	主要成分	水	乙酸正丁酯 乙酸乙酯 丙酮 正丁醇
	VOCs 含量	0	100%
环保性		VOCs 含量低。	VOCs 含量高。
贮存		不易燃，没有特殊贮存要求。	极易燃，必须按照消防要求单独贮存。

注：表中的主要成分数据来自于原辅材料的 MSDS

根据现场调研情况，水性漆替代油性漆后，其产品质量可满足客户需求。

(2) 实施效果

由于企业产品类型和产量随客户需求进行不断调整，油漆类型及用量也随之浮动，企业统计数据不具有明显代表性，故环境效益和经济效益核算假设替代前后喷涂面积相同的情况下，中涂漆和面漆使用量相同，具体实施效果如下：

①环境效益

方案实施前，企业使用中涂漆 82890kg/a，面漆使用量 85650kg/a，稀释剂 25000kg/a，则 VOCs 产生量为：

$$82890\text{kg/a} \times 26\% + 85650\text{kg/a} \times 35\% + 25000\text{kg/a} \times 100\% = 76.53\text{t/a};$$

方案实施后，中涂漆和面漆用量不变，使用水作为稀释剂，则 VOCs 产生量为：

$$82890\text{kg/a} \times 5\% + 85650\text{kg/a} \times 22.5\% = 23.42\text{t/a}。$$

综上，水性漆替代油性漆后，企业减少 VOCs 产生量为 53.11t/a。

②经济效益

鉴于企业成本信息保密原则，未获得原料采购单价，综合行业特点，水性漆替代油性漆后成本将有所增加，但可从源头减少 VOCs 的产生，进一步节约了废气处置成本，降低对操作人员和周边环境的影响。

案例 2

某塑料加工专用设备制造企业，主要生产注塑机、液压比例阀及零配件、伺服阀及零配件等。主要生产工序为机加工、前处理、喷涂和装配测试等。

(1) 实施情况

该企业设置了 2 条喷涂线对铸件等零配件进行喷涂处理，工艺流程为：擦拭清洁—喷底漆—固化—喷面漆—固化。为从源头减少 VOCs 的产生，该企业将底漆和面漆均用水性漆替代油性漆。

根据现场调研情况，该企业生产的产品类型较多，客户对设备的防腐、防水、耐温等要求不同，所使用的漆的成分也各不相同，本次仅选取该企业使用频率较高的水性漆和油性漆做代表性介绍。

方案实施前，企业使用的底漆为双组份聚氨酯油漆，面漆为 NC 硝基油性漆；方案实施后，企业使用底漆为水性环氧底漆，面漆为水性聚氨酯面漆。

该企业方案实施前后所使用的水性漆与油性漆对比详见下表：

表 1.5 水性漆与油性漆对比一览表

油漆种类		水性漆	油性漆
底漆	名称	水性环氧底漆	双组份聚氨酯油漆
	主要成分	水性环氧树脂分散体 40%~50% 分散剂 1%~2% 润湿剂 0.2%~0.5% 其他助剂 1%~3% 去离子水 5%~7%	混合溶剂 20% 丙烯酸树脂 58% 色浆 20% 助剂 2%
	VOCs 含量	1%~3%	20%
面漆	名称	水性聚氨酯面漆	NC 硝基油漆
	主要成分	水性丙烯酸分散体 40%~60% 润湿剂 0.2%~0.5% 消泡剂 0.2%~0.5% 分散剂 1%~2% 其他颜填料 1%~5% 去离子水 1%~5%	硝基纤维素 20% 合成脂肪酸树脂 25% 乙酸乙酯 35% 乙酸丁酯 10% 环己酮 10%
	VOCs 含量	1%~5%	55%
稀释剂	名称	水	稀释剂
	主要成分	水	乙酸正丁酯 45% 乙二醇甲醚 5% 环己酮 20% 正丁醇 20%
	VOCs 含量	0	100%
环保性		VOCs 含量低。	VOCs 含量高。
可燃性		不易燃。	硝基漆和聚酯漆中含有的苯、二甲苯、丙酮、溶剂汽油、天那水等，都属于高度易燃的物品，存在安全隐患。

油漆种类	水性漆	油性漆
漆膜质量	漆膜表面坚硬、耐磨、柔韧。	漆膜存在易变质/变色等问题，无法持久保持效果。
贮存	不易燃，没有特殊贮存要求。	极易燃，必须按照消防要求单独贮存。

注：表中的主要成分数据来自于原辅材料的 MSDS

根据现场调研情况，水性漆替代油性漆后，其产品质量完全可满足客户需求。

(2) 实施效果

由于企业产品类型和产量随客户需求进行不断调整，油漆类型及用量也随之变化，企业统计数据不具有明显代表性，故环境效益和经济效益核算假设替代前后喷涂面积相同，底漆和面漆使用量相同，具体实施效果如下：

① 环境效益

方案实施前，企业使用底漆 3696kg/a，面漆使用量 6699kg/a，稀释剂 7319kg/a，则 VOCs 产生量为：

$$3696\text{kg/a} \times 20\% + 6699\text{kg/a} \times 55\% + 7319\text{kg/a} \times 100\% = 11742.65\text{kg/a};$$

方案实施后，底漆和面漆用量不变，需要使用水 10395kg 作为稀释剂，则 VOCs 产生量为：

$$3696\text{kg/a} \times 2\% + 6699\text{kg/a} \times 2.5\% + 10395\text{kg/a} \times 0 = 241.4\text{kg/a}.$$

综上，水性漆替代油性漆后，企业减少 VOCs 产生量为 11467.76kg/a。

② 经济效益

根据现场调研，方案实施前后，油性漆和水性漆采购成本如下：

表 1.6 油性漆和水性漆采购成本对比表

类别	单位	油性漆	水性漆
底漆	用量	kg	3696
	单价	元/kg	33.5
	采购成本	万元	12.38
面漆	用量	kg	6699
	单价	元/kg	38.0
	采购成本	万元	25.46
稀释剂	用量	kg	7319
	单价	元/kg	11.47
	采购成本	万元	8.39
总采购成本		万元	46.23
			48.19

注：水性漆所使用的稀释剂为水。

结合上表，水性漆替代油性漆后，企业原辅材料的采购成本略有增加，但通过替代高 VOCs 含量油性漆，从源头减少 VOCs 的产生，节约了废气处置成本，降低对操作人员和周边环境的影响。

方案三：涂布工序 环保压敏胶替代高 VOCs 压敏胶

1. 技术原理

压敏胶（PSA），一种柔软的高分子材料，在室温下具有持久的黏着性。压敏胶按其主体材料可分为橡胶和树脂两大类，还可进一步细分为橡胶型压敏胶、热塑性弹性体类压敏胶、丙烯酸酯类压敏胶、有机硅类压敏胶及聚氨酯类压敏胶等。

压敏胶与基材之间的粘结力主要是通过胶的高分子与基材之间的分子间作用力（即范德华力）来实现，并不发生任何化学反应。

丙烯酸酯类压敏胶具有耐光性好、耐老化性佳、粘接性好等优点，是目前应用最为广泛的压敏胶之一。丙烯酸酯类压敏胶可分为乳液型和溶剂型等，其中乳液型使用安全、成本低、VOCs 含量较低，产量高且应用广；溶剂型主要由软/硬单体、功能性单体和溶剂构成，VOCs 含量较高。

通过低 VOCs 含量原料替代高 VOCs 含量原料，可从源头减少 VOCs 的产生，降低对操作人员和周边环境的大气影响。本方案实施前后粘结力仍可满足产品质量需求。

2. 适用范围

适用于电子元器件制造业、包装装潢及其他印刷业等的涂布工序。

3. 应用案例

案例 1

某包装装潢及其他印刷企业，主要生产不干胶系列、纸票系列、磁卡系列及塑料薄膜系列产品等，主要生产工艺有镀膜、涂胶、印刷等。

（1）实施情况

根据客户需求，该企业需要在合成纸表面涂覆一层压敏胶水，用于粘附镀铝 PVC、PET 或 PVC 膜。

该企业在涂覆过程中使用的罗门哈斯/油性不干胶水主要成分为丙烯酸酯共聚物、乙酸乙酯、甲苯、乙酸甲酯、增粘树脂和乙酸乙烯酯，其 VOCs 含量为 55%，生产过程中产生的 VOCs 对周边环境影响较大；经企业多方测试，在保证产品质量的前提下，企业使用罗邦/水性粘合剂（VOCs 含量为 0.1%）替代罗门哈斯/油性不干胶水，从源头有效地减少了 VOCs 的产生。

（2）实施效果

部分产品因客户要求，无法使用罗邦/水性粘合剂进行替代，故该企业 80% 的高 VOCs 胶水已被低 VOCs 压敏胶水替代。

① 环境效益

方案实施前，罗门哈斯/油性不干胶水年使用 75t/a，VOCs 含量为 55%，则 VOCs 产生量为： $75\text{t/a} \times 55\% = 41.25\text{t/a}$ ；

方案实施后，罗邦/水性粘合剂年消耗量为 60t/a，VOCs 含量为 0.1%；罗门哈斯/油性不干胶水年消耗量为 15t/a，则 VOCs 产生量为： $60\text{t/a} \times 0.1\% + 15\text{t/a} \times 55\% = 8.31\text{t/a}$ 。

综上，方案实施后，可减少 VOCs 产生量为 32.94t/a。

② 经济效益

方案实施前，罗门哈斯/油性不干胶水购买单价 7000 元/t，则涂布胶水采购费用为： $75\text{t/a} \times 7000\text{元/t} = 52.5\text{万元/a}$ 。

方案实施后，罗邦/水性粘合剂购买单价 10000 元/t，则涂布胶水采购费用为：60t/a×10000 元/t+15t/a×7000 元/t=70.5 万元/a。

综上，方案实施后企业采购成本增加 18 万元/a，但通过替代高 VOCs 含量不干胶水，可从源头减少 VOCs 的产生和排放，降低对操作人员和周边环境的影响。

案例 2

某电子元件制造企业，主要生产偏光片，其主要工艺流程为 TAC 膜处理、染色拉伸复合、涂布烘干和后处理等。

(1) 实施情况

该企业在生产偏光片的过程中，需在离型膜表面均匀的涂布一层压敏胶。该企业使用的压敏胶属于丙烯酸酯类胶黏剂，经自行检测，其 VOCs 含量较高，故企业积极寻找低 VOCs 含量压敏胶进行替代。

根据市场调研情况，该企业结合自身产品特性与供应商合作调配低 VOCs 的压敏胶水，最终调配出环保压敏胶（低 VOCs3A12 胶水和低 VOCs3A28 胶水）替代原压敏胶（A8 胶水和 A12 胶水）。

表 1.7 压敏胶替换前后组成成分一览表

压敏胶名称	替换前压敏胶		替换后环保压敏胶	
	A8 胶水	A12 胶水	低 VOCs3A12 胶水	低 VOCs3A28 胶水
共聚物	√	√	√	√
乙酸乙酯	√	√	√	√
甲苯	√	√	×	×
叔丁醇	√	×	×	×
丙烯酸正丁酯	√	√	√	√
丙烯酸甲酯	×	√	√	×
乙酸甲酯	×	×	×	√
丙酮	√	√	√	×

注：1.低 VOCs3A12 胶水和低 VOCs3A28 胶水配方涉及保密信息，故仅罗列其主要组分名称；

2.本产品属于特殊光学胶黏制品，根据中国胶黏剂和胶粘带工业协会发布的《关于国家标准 GB33372-2020 适用范围的情况说明》，不适用于《胶黏剂挥发性有机化合物限量》（GB33372-2020），同时由于产品特性限制，无法进行超低 VOCs 原辅料替代。

(2) 实施效果

①环境效益

方案实施前，2020 年压敏胶总用量为 1718252kg/a，VOCs 含量均值为 85.5%；方案实施后，压敏胶总用量不变，VOCs 含量均值为 81.5%。

方案实施前后，VOCs 含量平均减少 4%，则企业减少 VOCs 产生量为：1718252kg/a×4%=68730.08kg/a。

②经济效益

根据现场调研了解，压敏胶替换前后原料采购成本增加 20%，但通过替代高 VOCs 含量压敏胶，可从源头减少 VOCs 的产生和排放，降低对操作人员和周边环境的影响。

方案四：印刷工序 环保油墨替代油性油墨

1.技术原理

油墨是由着色剂、连结料、辅助剂等成分组成的分散体系，在印刷过程中被转移到承印物上的着色的物质。

按照油墨分散介质分类，可分为油性油墨、水性油墨和 UV 油墨等。油性油墨以有机溶剂作为分散介质，VOCs 含量较高，使用过程中产生大量的有机废气；水性油墨以水作为分散介质，VOCs 含量较低；UV 油墨以光固化树脂为分散介质，利用不同波长的紫外光能量使墨膜迅速干燥固化，VOCs 含量较低。

企业根据产品特点和客户需求，在保证产品质量的前提下，可使用水性油墨或 UV 油墨替代油性油墨，从源头减少 VOCs 的产生，降低对操作人员和周边环境的影响。

2.适用范围

适用于书刊、包装装潢、建筑装饰及电子线路板材等各种印刷。

3.应用案例

案例 1

某包装装潢及其他印刷企业，主要生产不干胶系列、纸票系列、磁卡系列及塑料薄膜系列产品等。

该企业采用的印刷工艺分为凹版印刷、凸版印刷和柔板印刷。其中：①凹版印刷，用于塑料软包装的塑胶薄膜印刷，需要在 PVC 或 PET 膜基材上印出有凸感图文，使用凹版油性油墨；②凸版印刷，用于商标标签的不干胶印刷，使用 UV 油墨；③柔板印刷，用于门票、登机牌、快递贴标等 PP 合成纸印刷，使用凹版油性油墨。

（1）实施情况

该企业使用的凹版油性油墨为凹版丙烯酸型 PVC 热收缩薄膜油墨，其主要成分为丙烯酸树脂、醋酸丁酸纤维素树脂、醋酸正丙酯、异丙醇、乙酸乙酯、乙酸正丁酯、丁酮、碳黑、钛白粉等，VOCs 含量较高，生产过程中产生的有机废气对周边环境的影响较大；在保证产品质量的前提下，企业使用水性柔版油墨替代凹版油性油墨，水性柔版油墨主要成分为水性丙烯酸树脂、聚乙烯蜡、去离子净水、颜料和消泡剂等。

替代前，凹版油性油墨的 VOCs 含量为 60%，稀释剂 VOCs 含量为 100%；替代后，水性柔版油墨 VOCs 含量仅为 4%。

（2）实施效果

①环境效益

方案实施前，凹版油性油墨用量为 6.5t/a，稀释剂用量为 10.5t/a，则 VOCs 产生量为： $6.5\text{t/a} \times 60\% + 10.5\text{t/a} \times 100\% = 14.4\text{t/a}$ ；

方案实施后，在生产等量产品的条件下，水性柔版油墨使用量为 3t/a，则 VOCs 产生量为： $3\text{t/a} \times 4\% = 0.12\text{t/a}$ 。

综上，方案实施前后，企业减少 VOCs 产生量为 14.28t/a。

②经济效益

方案实施前，凹版油性油墨采购单价 1000 元/t，稀释剂采购单价 8000 元/t，则采购费用为

$6.5t/a \times 1000 \text{ 元}/t + 10.5t/a \times 8000 \text{ 元}/t = 9.05 \text{ 万元}/a$ 。

方案实施后，水性柔版油墨采购单价 30000 元/t，则购买费用为 $3t/a \times 30000 \text{ 元}/t = 9 \text{ 万元}/a$ 。

综上，方案实施后企业采购成本略微减少，本方案通过替代高 VOCs 含量的油性油墨，从源头减少 VOCs 的产生，降低对操作人员和周边环境的影响。

案例 2

某包装装潢及其他印刷企业，主要生产印制电子业所需要的不干胶贴纸、铭版、纸质包装等产品，且多项产品获得 UL/CSA 认证，是一家集商标、轮转、网版卷印、网版张印及平版印刷等于一体的大型印刷公司。主要生产工序为制版、印刷、加工和包装等。

(1) 实施情况

该公司在印刷过程中使用的油性油墨主要成分为环己酮、二乙二醇单乙醚、二甲苯、芳香烃等，VOCs 含量较高，生产过程中产生的 VOCs 对周边环境有较大影响；该公司结合所生产的产品性能，使用 UV 油墨替代油性油墨，UV 油墨主要成分为颜料、预聚物、丙烯酸单体、光引发剂和助剂等，VOCs 含量低。

替代前，该公司使用的油性油墨 VOCs 含量为 42%，稀释剂 VOCs 含量为 100%；替代后，UV 油墨 VOCs 含量仅为 5%。

(2) 实施效果

① 环境效益

方案实施前，油性油墨用量为 16.39t/a，稀释剂用量为 3.75t/a，则 VOCs 产生量为： $16.39t/a \times 42\% + 3.75t/a \times 100\% = 10.63t/a$ ；

方案实施后，在生产等量产品的条件下，UV 油墨使用量为 8.9t/a，则 VOCs 产生量为： $8.9t/a \times 5\% = 0.45t/a$ 。

综上，方案实施前后，减少 VOCs 产生量 10.18t/a。

② 经济效益

鉴于企业成本信息保密原则，未获得原料采购单价，但 UV 油墨替代油性油墨后可从源头减少 VOCs 的产生，进一步节约了废气处置成本，降低对操作人员和周边环境的影响。

方案五：洗网工序 环保锡膏清洗溶剂替代有机锡膏清洗剂

1. 技术原理

锡膏印刷过程中，在钢网等特定媒介的表面会有锡膏和助焊剂的残留混合物。由于助焊剂的主要成分为有机物，根据相似相溶原理，部分企业使用异丙醇（IPA）作为清洗剂。IPA 的挥发性较强且消耗量大，在使用过程中会产生较多的 VOCs，对员工及周边环境有较大的影响。为减少 VOCs 的产生，同时提高清洗效率，减少清洗剂用量，可使用半水基清洗剂替代 IPA 有机清洗剂对钢网进行清洗。半水基清洗剂是向有机溶剂中加入少量水和表面活性剂形成的，其清洗机理结合了表面活性剂的水基清洗剂与溶剂清洗剂的清洗机理，既保持了溶剂型清洗剂对油污清洗力强，又提高了对水性污垢的去除能力。

2. 适用范围

适用于锡膏印刷后洗网工序。

3. 应用案例

某集成电路制造和其他电子元件制造企业，主要生产新型电子元器件及相关产品，主要包括各

种精密电源组件、表面波滤波器、射频二极管开关、隔离器、调谐器、传感器、混合集成电路等。

(1) 实施情况

该企业有多条混合集成电路生产线，锡膏印刷工序中使用的钢网会根据使用时间及产品批次定期进行清洗。

方案实施前，该企业使用 IPA 有机清洗剂，采用人工手动洗网的方式对钢网进行清洗，效率较低，IPA 有机清洗剂消耗量大，同时会产生大量的 VOCs。为了减少 VOCs 的产生及提高清洗效率，该企业对洗网工序进行升级改造，用全封闭的自动洗网机替代人工手动洗网，用半水基清洗剂替代 IPA 有机清洗剂。半水基环保型清洗剂主要成分为二丙二醇甲醚和去离子水等，VOCs 含量 20%，且可通过蒸馏等方式回用。

(2) 实施效果

①环境效益

方案实施前，IPA 有机清洗剂的使用量为 2.715t/a，VOCs 含量 100%，则 VOCs 产生量为： $2.715\text{t/a} \times 100\% = 2.715\text{t/a}$ ；

方案实施后，在清洗同等数量的钢网条件下，半水基环保清洗剂的使用量为 2.355t/a，VOCs 含量 20%，则 VOCs 产生量为： $2.355\text{t/a} \times 20\% = 0.471\text{t/a}$ 。

综上，半水基环保型清洗剂替代 IPA 有机清洗剂后，可减少 VOCs 产生量为 2.244/a。

②经济效益

购置自动洗网机费用：19.952 万元。

节省人工费用：一台自动洗网机可代替 2 个员工进行清洗，按照 7.2 万元/人计算，则可节约人工成本 14.4 万元/a。

清洗剂购置费用：半水基清洗剂比 IPA 有机清洗剂略贵。

综上，半水基清洗剂替代 IPA 有机清洗剂后，可从源头减少 VOCs 的产生，降低对操作人员和周边环境的影响。

方案六：过油工序 水性吸塑油替代油性吸塑油

1.技术原理

包装印刷的主要工艺流程为制版、印刷、过油等。过油也叫上光或过面油，过油的目的一是为了提升印刷品的光泽度，在日光的照射下，油墨不易退化；二是提高印刷品的耐摩擦性和防水性，从而起到保护印刷品的作用。

过油工序使用的各种油类大多由高级树脂、溶剂、辅料等合成。根据溶剂种类，可分为油性油和水性油。油性油需要有机溶剂作为稀释剂，VOCs 含量较高，使用过程中产生大量的有机废气；水性油溶剂为水，VOCs 含量较低。

企业可根据产品特点和客户需求，在保证产品质量的前提下，使用水性油替代油性油，从源头减少 VOCs 的产生，降低对操作人员和周边环境的影响。

2.适用范围

适用于印刷业的过油工序。

3.应用案例

某生产纸和纸板容器企业，主要生产各类出口彩盒、儿童图画、说明书、宣传品、拼图和贺卡

等，主要生产工艺为镀锌版、制版、印刷、过油/丝印/磨光/过胶、啤机、粘盒。

(1) 实施情况

根据客户要求，部分印刷品需要进行过油处理，过油工序使用的是吸塑油。该企业原使用的油性吸塑油 VOCs 含量较高，为了满足现行环保相关要求及客户对产品的环保性要求，在保证产品质量的前提下，经多方测试，企业用水性吸塑油替代油性吸塑油。

企业所使用的水性吸塑油与油性吸塑油的主要成分对比见下表：

表 1.8 水性吸塑油与油性吸塑油主要成分对比一览表

项目		水性吸塑油	油性吸塑油
吸塑油	名称	WV989 水性吸塑油	AM-802A
	主要成分	PU 乳液 60%~80% 异丙醇 2%~3% 去离子水 20%~30% 乳化剂 1%~3%	粗甲苯 61% 石油树脂 10% 热塑性橡胶 19% 松香树脂 10%
	VOCs 含量	2%-3%	61%
稀释剂	名称	水	天那水
	主要成分	水	甲缩醛 30%~50% 甲苯 50%~70%
	VOCs 含量	0	100%

根据调研情况，水性吸塑油替代油性吸塑油后，对产品质量影响较小，可满足市场需求。

(2) 实施效果

① 环境效益

根据企业所提供材料，方案实施前后吸塑油用量及 VOCs 产生量如下：

表 1.9 吸塑油用量及 VOCs 产生量一览表

项目		单位	油性吸塑油过油工艺	水性吸塑油过油工艺
产品产量		kg/a	12600	12600
		千色令/a	0.99	0.99
吸塑油	用量	kg/a	30	72
	VOCs 含量	%	61	2-3（取平均值 2.5）
	VOCs 产生量	kg/a	18.3	1.8
稀释剂	用量	kg/a	30	0
	VOCs 含量	%	100	0
	VOCs 产生量	kg/a	30	0
VOCs 总产生量		kg/a	48.3	1.8
单位产品 VOCs 产生量		kg/千色令	48.79	1.82

根据上述表格，方案实施后，可减少 VOCs 产生量为 46.5kg/a。

②经济效益

方案实施前，油性吸塑油单价为 30 元/kg，天那水单价为 20 元/kg，则采购成本为：30kg/a×30 元/kg+30kg/a×20 元/kg=1500 元/a；

方案实施后，水性吸塑油单价为 39 元/kg，则采购成本为：72kg/a×39 元/kg=2800 元/a。

综上，方案实施后企业采购成本略有上升，但通过替代高 VOCs 含量的油性吸塑油，可从源头减少 VOCs 的产生，降低对操作人员和周边环境的影响。

（二）无毒无害/低毒低害原辅材料替代有毒有害原辅材料

部分企业使用有毒有害原料进行生产，如电镀企业使用六价铬、镍等一类污染物，对环境和人体健康都有严重的危害，可使用无毒无害/低毒低害原辅材料替代有毒有害原辅材料，避免或者减轻对环境和人体健康的危害。

根据《清洁生产审核办法》，有毒有害原料或物质包括以下几类：

第一类，危险废物。包括列入《国家危险废物名录》的危险废物，以及根据国家规定的危险废物鉴别标准和鉴别方法认定的具有危险特性的废物。

第二类，剧毒化学品、列入《重点环境管理危险化学品目录》的化学品，以及含有上述化学品的物质。

第三类，含有铅、汞、镉、铬等重金属和类金属砷的物质。

第四类，《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》附件所列物质。

第五类，其他具有毒性、可能污染环境的物质。

方案七：钝化工序 有机保护膜代替铬保护膜

1.技术原理

为防止金属氧化和腐蚀，通常需要在金属表面增加一层保护膜。目前，国内外应用最广泛的是铬酸盐钝化，其作用于金属表面可形成一层结构致密、防腐性能好的膜结构。但是，铬酸盐的铬为六价铬，六价铬为吞入性毒物和吸入性极毒物，对人体和环境均具有持久危险性。

成膜剂中的亲水基和亲油基附着在金属表面形成一层薄膜，亲水基一般吸附在金属表面，亲油基（一般为烷基）朝外。该保护膜可以阻止水、氯离子和氧等腐蚀性物质和金属接触，起到防止金属腐蚀的作用，可以替代铬保护膜。采用有机保护膜代替铬保护膜，可减少有毒有害物质的使用，降低环境污染风险。

2.适用范围

适用于金属表面钝化处理工序。企业可结合所生产产品及废水处理情况，选取合适的成膜剂。

3.应用案例

某珠宝首饰及有关物品制造企业，主要从事金银首饰成品加工、各种钟表装配、木首饰、合金首饰、电镀金银首饰、电镀钟表等生产活动。企业生产工艺主要为括倒模、执模、镶石、打磨、电镀、粘石及包装。

（1）实施情况

方案实施前，该企业使用 328 电解保护粉（铬酸钾 90%、氢氧化钠 10%）对产品进行钝化处理，在生产过程中会产生铬酸雾及含铬废水；该企业为了减少有毒有害物质的使用量，用 AQ-10 水溶性金银保护剂（十二烷基磺酸钠 80%、甘油 20%）代替 328 电解保护粉，十二烷基磺酸钠中的亲水基为 $-\text{SO}_3\text{Na}$ ，亲油基为 $-\text{C}_{12}\text{H}_{25}$ 。

方案实施后，该企业在生产过程中不再产生铬酸雾及含铬废水，但使用 AQ-10 水溶性金银保护剂会产生一定量的有机废水。根据现场调研情况，该企业已有的有机废水处理设施能满足处理需求。

（2）实施效果

①环境效益

根据企业 2019 年原辅材料用量，328 电解保护粉使用量 3kg/a，铬酸钾中含铬量为 $52 \div (39 \times 2 + 52 + 16 \times 4) = 26.8\%$ ，则企业铬用量为 $3000\text{g/a} \times 90\% \times 26.8\% = 723.6\text{g/a}$ 。根据企业生产过程的铬元素平衡，铬酸钾的产品附着率为 21%，则铬的排放量为 $723.6\text{g/a} \times (1 - 21\%) = 571.6\text{g/a}$ 。

方案实施后，企业不再使用 328 电解保护粉，生产过程中不再产生铬酸雾和含铬废水，但会产生一定量的有机废水。

②经济效益

方案实施后，AQ-10 水溶性金银保护剂的采购单价较 328 电解保护粉低，但无铬酸雾及含铬废水产生，减少了废弃物处置费用，降低生产成本。

方案八：中和工序 环保除灰剂替代硝酸

1.技术原理

环保除灰剂主要由有机酸、单宁酸、分散剂及其它助剂组成。其中有机酸形成的多数金属盐在水中的溶解度较高，不会在清洗液中产生沉淀，且对金属的腐蚀性较小，无毒，操作安全。有机酸的酸性较弱，除灰过程中除了利用电离产生的氢离子作用外，凭借酸根离子有络合和螯合金属离子的作用，使除灰能力加强。单宁酸能与多数金属离子螯合，与表面层中的各类金属离子发生络合，使之成为络合物，进而除去杂质金属离子。

2.适用范围

适用于铝合金中和工序。

3.应用案例

某五金产品表面处理企业，主要生产电脑机壳及五金配件、电子面板及散热器等，生产工艺包括裁切、CNC 加工（含冲压、钻孔等）、喷砂、阳极氧化等。

（1）实施情况

方案实施前，该企业阳极氧化车间的中和工序采用硝酸除灰，导致废水中总氮浓度较高，鉴于总氮去除难度较大，且未来环保管控日趋严格，因此企业通过市场调查和行业交流发现，可采用环保除灰剂替代硝酸除灰，从而降低废水中总氮产生量。

（2）实施效果

①环境效益

本方案实施后，每年可减少硝酸用量 2160kg，同时可减少废水中总氮产生量，从而确保废水总氮稳定达标排放。此外，由于减少了硝酸用量，还可以减少硝酸雾的产生。

②经济效益

方案实施前，中和工序硝酸月均用量为 180kg，实施后环保除灰剂月均用量为 175kg，但环保除灰剂价格约为 18 元/kg，硝酸价格约为 3 元/kg，因此本方案主要为环境效益，无经济效益。

方案九：封孔工序 无镍封孔剂替代含镍高温封孔剂

1.技术原理

无镍封孔剂主要成分为表面活性剂、抑灰剂、固色剂等，不含任何重金属，封闭效果接近或与含镍封孔剂相当。对着浅色材料的固色效果与传统含镍封孔剂无明显区别，对着深色材料存在一定的褪色影响。

2.适用范围

适用于封孔工序。

3.应用案例

某五金产品表面处理企业，主要生产电脑机壳及五金配件、电子面板及散热器等，生产工艺包括裁切、CNC 加工（含冲压、钻孔等）、喷砂、阳极氧化等。

（1）实施情况

方案实施前，该企业的封孔工序使用的高温封孔剂为含镍封孔剂，会产生一定量的含镍废水，导致综合废水收集池存在总镍超标的风险，因此企业逐步使用无镍封孔剂，并淘汰含镍高温封孔剂。无镍封孔剂主要成分为表面活性剂，避免封孔工序产生高浓度含镍废水。

该企业采用的封孔剂不含镍、不含氟，工艺温度为 70-80℃，对着浅色的材料与含镍高温封孔剂固色效果无明显区别。

（2）实施效果

①环境效益

方案实施后采用的封孔剂不含镍、不含氟，减少了废水中总镍的产生量，降低了封孔工序对环境造成的影响。

②经济效益

方案实施前后封孔剂的用量变化不大，含镍封孔剂的价格为 70 元/kg，无镍封孔剂的价格为 85 元/kg，材料购买成本略为上升，无明显经济效益。但可避免含镍废水的产生，从而减少了废水处理成本，同时避免了因总镍超标而造成的环保处罚。

方案十：贯孔工序 铜光剂更换提升镀孔铜贯率

1.技术原理

双面、多层线路板制造过程中，需要将线路板两面或多层之间电路导通，电镀填孔工艺便是其中具有代表性的一种导通方式。填孔电镀铜常采用酸性镀铜，为了使铜更多的沉积在孔内，减少面铜的厚度，则需要在镀液中添加改变电流分布的物质。

镀液的添加剂一般由三种类型的有机物组成，分别为光亮剂（或加速剂），具有细化晶粒、去极化与加速沉积的作用；抑制剂（润湿剂），具有提高极化、细化晶粒的作用；整平剂，具有对流依赖吸附特性，提高极化以及重整阴极表面电流分布的作用。为满足填孔工序要求，需要在三种添加剂的综合作用下才能实现。铜光亮剂的质量会影响填孔电镀效果，企业可通过调整铜光亮剂，控制面铜厚度，降低铜消耗量，节省镀铜成本。

2.适用范围

适用于填孔电镀。

3.应用案例

某印刷线路板企业，产品主要用于计算机、汽车、家电、网络设备等各个领域，主要生产工序包含：开料、图形转移、内层蚀刻、钻孔、沉铜、外层蚀刻、阻焊、印刷等。

(1) 实施情况

方案实施前，该公司孔铜镀铜贯孔率只有 67%（标准要求为 85%）；该公司采用加大电流（18ASF）作业来弥补孔内镀铜不够，但这造成面铜镀铜厚度偏厚，面铜厚度=电流密度 $18 \times$ 电镀系数 $0.022 \times 60 \text{min} = 23.76 \mu\text{m}$ 。为降低镀铜成本和提高镀铜贯孔率，该公司更换铜光剂，以提升镀孔铜贯率，减小电流密度，增加碳处理。

方案实施后，该公司更换铜光剂只需使用 15ASF 电流作业，减少了面铜镀铜厚度，面铜厚度=电流密度 $15 \times$ 电镀系数 $0.022 \times 60 \text{min} = 19.8 \mu\text{m}$ 。

(2) 实施效果

①环境效益

根据该公司对镀铜利用率测算及成本核算，方案实施前铜的利用率为 $3.7 \text{m}^2/\text{kg}$ ；方案实施后铜的利用率为 $3.9 \text{m}^2/\text{kg}$ ，利用率提高 5%。该公司每月产量 85000m^2 ，则实施前后年节省铜用量 $= [(85000 \times 12 \div 3.7) - (85000 \times 12 \div 3.9)] \times 10^{-3} = 14.14 \text{t}$ 。

②经济效益

方案实施前后，铜光剂采购价格不变，铜的价格按 60 元/kg 计，则年节约成本 $= 14.14 \times 60 \times 10^3 \times 10^{-4} = 84.84$ 万元。

(三) 可降解材料替代难降解材料

塑料袋的主要成分为聚乙烯（PE）、聚氯乙烯（PV）、聚丙烯（PP）、聚苯乙烯树脂（PS），废弃塑料袋处理难度大，降解周期长，燃烧处置污染大。随着“禁塑令”的实施，生物降解塑料在塑料包装薄膜、农用薄膜、一次性塑料袋和一次性塑料餐具等市场领域下替代聚乙烯等原料势在必行。

方案十一：塑料制品业 全生物降解塑料替代聚乙烯原料

1.技术原理

全生物降解塑料由天然高分子的众多原子或原子团以共价键等形式结合而成，可通过自然界存在的微生物如细菌、霉菌（真菌）和藻类的作用下而降解，并最终完全降解成二氧化碳（ CO_2 ）或甲烷（ CH_4 ）、水（ H_2O ）及其所含元素的矿化无机盐等，属于环境友好型原材料。

2.适用范围

适用于塑料制品业。

3.应用案例

某塑料包装箱及容器制造企业，主要生产环保购物袋、复合食品袋、牛皮纸复合袋、时装袋、洗衣袋、收缩膜袋、防静电袋等包装印刷胶袋等，其生产工艺为吹膜、分条、折贴、印刷和制袋等。

（1）实施情况

方案实施前，该公司全部采用聚乙烯塑料粒子进行生产，其塑料产品在自然状态下降解时间长达几十年甚至上百年。为适应绿色发展理念，该公司采用全生物降解塑料（PBAT+PLA）替代聚乙烯原料，其在正常条件下降解时间为 180 天。其中，PBAT（聚己二酸/对苯二甲酸丁二醇酯）属石化基生物降解塑料，其可降解性和生物安全性得到了全球性认证，同时，具有较好的延展性、耐热性、冲击性能；PLA（聚乳酸）是一种天然有机酸，降解产物为二氧化碳和水，能够通过植物光合作用在自然界中实现绿色循环，是一种具有完全可降解性、高生物相容性和优异机械性能的热塑性材料。

根据企业提供的检测报告，该企业采用的全生物降解塑料（PBAT+PLA）的生物分解率为 90.5%（标准≥60%）、相对生物分解类别 100%（标准≥90%）、有机成分（挥发性固体含量）77.21%（标准≥51%）。

（2）实施效果

①环境效益

该公司使用全生物降解塑料替代聚乙烯原料用于生产各类塑料袋，其使用完后可降解，对环境影响小，环境效益明显。

②经济效益

企业使用全生物降解塑料替代聚乙烯原料，其原料采购单价增加约 2 倍，无明显直接经济效益。但方案实施后，可提高产品的市场竞争力，预计每年可增长订单 7.5t，产生约 3.5 万元/a 的经济效益。

（四）清洁能源

清洁能源是指其开发和使用对环境无污染的能源，其中包括可再生能源和其它新能源。可再生能源，是指原材料可以再生的能源，如水电、风电、太阳能、生物质能、地热能、海潮等。

在“碳中和”的时代大背景下，我国能源结构将进一步进行调整，逐步向清洁低碳模式的能源结构转变，加快非化石能源的发展，太阳能、风能、水能、核能、生物质能等清洁能源日益成为我国重点支持发展的能源类型。

方案十二：清洁能源 光伏发电

1.技术原理

太阳能光伏发电系统是利用太阳能电池半导体材料的光伏效应，将太阳光辐射能直接转换为电能的发电系统，主要分为独立光伏发电系统、并网光伏发电系统及分布式光伏发电系统。

独立光伏发电系统也叫离网光伏发电系统，主要由太阳能电池组件、控制器、蓄电池组成，若主要为交流负载供电，还需要配置交流逆变器。

并网光伏发电系统就是太阳能组件产生的直流电经过并网逆变器转换成符合市电网要求的交流电之后直接接入公共电网。并网光伏发电系统有集中式大型并网光伏电站，一般都是国家级电站，主要特点是将所发电能直接输送到电网，由电网统一调配向用户供电。但这种电站投资大、建设周期长、占地面积大，发展难度较大；而分散式小型并网光伏系统，特别是光伏建筑一体化发电系统，由于投资小、建设快、占地面积小、政策支持力度大等优点，是并网光伏发电的主流。

分布式光伏发电系统，又称分散式发电或分布式供能，是指在用户现场或靠近用电现场配置较小的光伏发电供电系统，以满足特定用户的需求，同时也可支持现存配电网的经济运行。分布式光伏发电系统的基本设备包括光伏电池组件、光伏方阵支架、直流汇流箱、直流配电柜、并网逆变器、

交流配电柜等设备，另外还有供电系统监控装置和环境监测装置。其运行模式是在有太阳辐射的条件下，光伏发电系统的太阳能电池组件阵列将太阳能转换输出的电能，经过直流汇流箱集中送入直流配电柜，由并网逆变器逆变成交流电供给建筑自身负载，多余或不足的电力通过联接电网来调节。同时，企业可根据电价峰谷调整并网时间，实现更高的经济效益。

2.适用范围

光伏发电系统占地面积较大，要求企业有空旷的厂房楼顶或闲置空地。

3.应用案例

某生产印刷品、彩盒、包装盒企业，其厂区占地面积较大，包括 A 栋、B 栋、C 栋及综合宿舍楼，各建筑物楼顶较为空旷。该公司使用的能源主要为电，且需求较大。

(1) 实施情况

该公司近三年的用电量均在 1 千万度以上，耗电量极大，主要是生产用电，为避免电量临时供应不足，该公司还设置了备用发电机，燃料为柴油，使用过程中会产生发电机燃烧废气，对环境造成一定的污染。为解决用电费用成本高的问题及发电机废气问题，该公司开展了屋顶分布式光伏发电项目，采用普通多晶硅组件，轻钢支架混凝土配重安装方式在厂房 A 栋和 C 栋屋顶建设光伏电站，额定总功率为 453.75kW。

(2) 实施效果

①环境效益

根据该公司光伏发电系统单独电表统计，光伏发电系统每月发电量为 3.954 万 kW·h，则光伏电站每年可发电 47.448 万 kW·h，折算标煤 58.31tce。光伏发电系统的使用寿命约为 25 年，综合考虑光伏发电系统发电衰减，预计 25 年间的发电量约为 1126.43 万 kW·h，折算标煤 1384.47tce，年减少二氧化碳排放量=1126.43 万 kW·h×9.489tCO₂e/万 kW·h=10688.69tCO₂e。

②经济效益

光伏电站设有电表，根据抄表记录统计分析，光伏电站每月可发电 3.954 万 kW·h，则光伏电站每年可发电 47.448 万 kW·h，可节约电费：47.448 万 kW·h×0.76 元/kW·h=36.06 万元。该方案投资 220 万元建设光伏电站，投资回本期约 6.1 年。

根据设计方案可知光伏电站的使用寿命为 25 年，则光伏电站 25 年可发电 1186.2 万 kW·h，节约电费：1186.2 万 kW·h×0.76 元/kW·h=901.512 万元。

二、技术工艺改进

技术工艺水平决定了原辅材料消耗量、能耗、水耗、产品产量和质量、废弃物产生量和性质。先进适用的技术工艺可以提高原辅材料和能源的利用效率，减少废弃物的产生，是实现清洁生产的一条重要途径。

因技术工艺落后而导致产生废弃物的主要原因有：

- 1. 技术工艺落后，原辅材料利用率不高；
- 2. 反应及转化步骤过长；
- 3. 连续生产能力差；
- 4. 生产稳定性差；
- 5. 需使用有毒有害的原辅材料。

针对初步筛选出的企业进行现场调研，在技术工艺改进方面的已实施方案主要集中在改进优化技术工艺、减少原辅材料消耗、减少污染物的产生与排放等方面上。

结合各技术方案的现场调研情况，本技术汇编对其中技术上具有一定的适用性及推广性，且环境效益及经济效益较为明显的技术方案进行汇总介绍。各清洁生产方案如下表所示：

表 2.1 方案类型与方案名称一览表

序号	方案类型	方案名称
1	技术工艺改进	方案十三：涂布工序 改变涂布方式降低稀释剂用量
2		方案十四：喷涂工序 减少涂装层数减少 VOCs 产生
3		方案十五：制版工序 免冲洗版替代传统热敏版

方案十三：涂布工序 改变涂布方式减少稀释剂用量

1. 技术原理

辊涂是一种涂料涂覆工艺，即通过一组胶辊或钢辊之间的组合，采取不同的转移方式使涂料得到流平和排列，并最终均匀地转移到运动中的带钢上再进行固化，从而在带钢表面形成一层固体保护膜。由于其具有生产过程稳定、效率高、涂层质量好等一系列优点，被广泛应用于涂层带钢的生产。根据带钢与涂覆滚轮的运动方向的不同，可分为同向辊涂与逆向辊涂，也称为顺涂与逆涂。一般情况下，顺涂的漆膜厚度较小，涂装速度慢，逆涂反之。

涂料一般有四种基本成分：成膜物质（树脂、乳液）、颜料（包括体质颜料）、溶剂和添加剂（助剂）。其中，稀释剂作为溶剂的一种，它的主要作用是降低胶粘剂黏度。在使用涂料时，企业一般会根据工艺要求，使用稀释剂去调整涂料黏度。

2. 适用范围

适用于辊涂工艺。

3.应用案例

某生产涂镀板（卷）企业，主要产品包括：酸洗板、冷轧钢板（全硬）、热浸锌板、彩涂板。主要生产工序包含：开卷、酸洗、除油、冷轧、退火、热浸锌、钝化、碱洗、涂装、固化等。

（1）实施情况

方案实施前，该公司涂布工序为逆涂方式，为保障涂层质量，需要配比大量稀释剂降低涂料黏度。为减少稀释剂用量，将涂布工序改为顺涂方式，可使涂料粘度由 25~30S 提高至 50~60S。

方案实施前，单位产品稀释剂用量平均为 3.23kg/t 钢材，方案实施后可降低至 2.91kg/t 钢材。

（2）实施效果

①环境效益

根据该公司 2019 年彩涂钢板产量为 65978t 计算，则每年可减少稀释剂用量 $65978t \times (3.23kg/t - 2.91kg/t) / 1000 = 21.11t$ 。稀释剂按全部挥发计，即可减少 VOCs 产生量 21.11t，以 2019 年废气收集和处理效率分析，可减少 VOCs 排放量 0.8t/a。

②经济效益

该方案投资 6.6 万元，对生产设备进行改造及更换。

每年可节省稀释剂用量 21.11t，稀释剂价格按 2.327 万元计，每年可减少生产成本约 49.12 万元。

方案十四：喷涂工序 减少涂装层数减少 VOCs 产生

1.技术原理

涂装是指对金属和非金属表面覆盖保护层或装饰层，是现代的产品制造工艺中的一个重要环节，广泛应用于家电、机床、机械、家具、建筑等行业。涂层的作用主要分为保护作用、装饰作用、特种功能。涂装过程中会使用涂料、稀释剂等原辅料，涂料涂覆在物件表面后，涂料中的成膜物质会形成粘附牢固、具有一定强度、连续的固态薄膜，其余具有挥发性的物质则会挥发至周围环境。为满足产品要求，通常需要进行多层涂装，涂层总厚度以及涂料用量也随之增加，产生的挥发性有机物也会增加。因此，在满足产品要求的情况下，企业可以适当减少涂层数量，从而减少 VOCs 的产生。

2.适用范围

适用于喷涂工序。

3.应用案例

案例 1

某生产涂镀板（卷）企业，主要产品包括：酸洗板、冷轧钢板（全硬）、热浸锌板、彩涂板。主要生产工序包含：开卷、酸洗、除油、冷轧、退火、热浸锌、钝化、碱洗、涂装、固化等。

（1）实施情况

方案实施前，该公司家电彩涂钢板产品采用双层涂布工艺，涂料和稀释剂消耗量较大，导致 VOCs 产生量大。此外，双层涂布生产成本较高，造成出售单价高，客户订购成本高。因此，该公司对家电彩涂钢板彩涂生产工艺进行技术升级研究与开发，将双层涂布生产工艺升级改造为单层涂布，拆除并更新了涂布辊。同时，为了应对调整后钢板涂层厚度和性能的变化，采购了质量更好的涂料。

(2) 实施效果

①环境效益

根据该公司涂料的使用量、涂料 VOCs 含量占比、VOCs 收集率、处理效率，可减少 VOCs 产生量 15.64t/a，减少 VOCs 排放量 1.92t/a。

②经济效益

本方案投资金额 45.97 万元，用于相关生产设备的升级更换及生产工艺研发试验。根据试验结果，单层涂布产品只适用于部分彩涂生产线，共计 21 种低端家电钢板产品可实现单层涂布，约占总产量的 20%左右。

根据试验结果：双层涂布家电钢板的单位产品涂料消耗量约 23kg/t 钢，单层涂布家电钢板的单位产品涂料消耗量约 14kg/t 钢，单层涂布产品月均产量为 1000t，则每年可减少涂料消耗量为： $1000t/月 \times (23kg/t - 14kg/t) \times 12 = 10.8t$ 。按照涂料单价平均为 32 元/kg 计算，则可实现经济效益 34.56 万元，投资回收期为 $45.97 \text{ 万元} \div 34.56 \text{ 万元/a} = 1.33a$ 。

案例 2

某生产美容美发家用小电器企业，主要产品包括电吹风、剪发器、电风梳、美甲机等，主要生产工序包含注塑、切割、冲压、清洗、研磨、喷油、烘烤、丝印、焊锡等。

(1) 实施情况

方案实施前，该公司生产的产品塑料外壳需要多次多层喷涂，多一层喷漆，则意味着需要消耗更多的原辅料及产生更多的 VOCs。为此，该公司通过对油漆性能进行分析，经过一系列测试，将 3 层喷涂工艺改成 2 层。方案实施后，共完成了 61 个类型的塑料件喷涂工艺的改造。

(2) 实施效果

①环境效益

方案实施后，可减少油漆用量 50kg/月、天那水用量 35kg/月，则一年可减少油漆用量 0.6t、天那水用量 0.42t。

根据油漆的挥发性组分占比 40%，天那水为 100%挥发，喷漆废气的收集效率按 60%计，处理效率按 80%计，则可减少 VOCs 的排放量： $(0.6 \times 40\% + 0.42 \times 100\%) \times 60\% \times 20\% + (0.6 \times 40\% + 0.42 \times 100\%) \times 40\% = 0.3432t/a$ 。

②经济效益

方案实施后，一年可减少油漆用量 0.6t、天那水用量 0.42t，油漆价格按 70 元/kg、天那水价格按 20 元/kg 计，则每年可节省原材料采购成本 $= 0.6 \times 1000 \times 70 + 0.42 \times 1000 \times 20 = 50400$ 元。

根据该公司对用电量的统计分析，改造后一个月可减少用电量 4500kW·h，则一年可减少用电量 5.4 万 kW·h；按电费 1 元/kW·h 计算，则可减少电费 5.4 万元。

方案十五：制版工序 免冲洗版替代传统热敏版

1. 技术原理

冲版，又称显影，主要是指用还原剂把软片或印版上经过曝光形成的潜影显现出来的过程。

传统的冲版工艺使用热敏版材，生产过程中需要使用显影液和清洗剂，产生显影废液和清洗废水；采用免冲洗版替代传统的热敏版，无需显影，经过曝光后的版材可直接上机印刷，减少了废弃物的产生。

免冲洗板材的结构如下图所示：

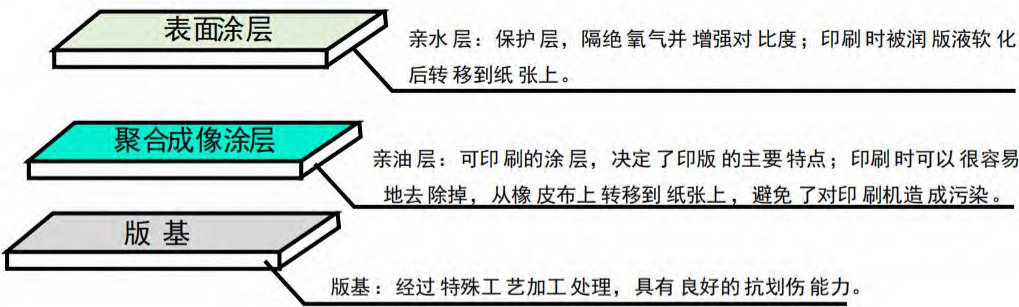


图 2.1 免冲洗版结构图

免冲洗板材的显影机理分为两类，一是曝光过程中，通过光化学反应直接成像，不需要进行冲洗（显影）；二是借助印刷机的润版液，对印版进行浸润冲洗。结合案例，以润版液冲洗为例：免冲洗板材经曝光工序后，激光能量使聚合成像涂层变色并形成图像，成像后的板材在印刷机上进行装版，然后利用润版液充分浸润版材中的亲水表面涂层，然后在滚筒合压作用下利用过版纸带走软化后的表面涂层。

2.适用范围

适用于印刷过程中的制版工序。

3.应用案例

某生产纸和纸板容器企业，主要生产各类出口彩盒、儿童图画、说明书、宣传品、拼图和贺卡等，主要生产工艺为制版、印刷、过油/丝印/磨光/过胶、啤机、粘盒。

(1) 实施情况

制版工序是通过制版机对网版进行曝光、显影，再使用自来水清洗掉网版上多余的显影液，此过程会产生一定量的洗版废水、废显影液和有机废气。在不影响产品质量的前提下，企业使用免冲洗板材替代传统的热敏版材料，免冲洗板材使用过程中不需要使用显影液和清洗剂等，减少了废弃物的产生。

(2) 实施效果

①环境效益

方案实施前，该公司使用显影液 2.1t/a、清洗剂 0.41t/a、新鲜水 3t/a，产生的废显影液 1.8t/a、清洗废水 3t/a；方案实施后，该公司使用免冲洗版，不需要进行显影清洗，润版液更换频次与实施前保持一致。

综上，方案实施前后，该公司减少了原辅材料的使用，避免了废显影液和清洗废水的产生，同时减少了 VOCs 的产生量。

②经济效益

根据现场调研情况，该公司原辅材料采购单价及废弃物处置费用见下表：

表 2.2 原辅材料购买及污染物处置费用一览表

名称		单位	方案实施前
显影液	用量	kg/a	2100
	采购单价	元/kg	50
	采购费用	元/a	105000
清洗剂	用量	kg/a	410
	采购单价	元/kg	10
	采购费用	元/a	4100
新鲜水	用量	m ³ /a	3
	采购单价	元/m ³	3.2
	采购费用	元/a	9.6
废显影液	产生量	kg/a	1800
	处置单价	元/kg	5
	处置费用	元/a	9000
清洗废水	产生量	kg/a	3000
	处置单价	元/kg	5.5
	处置费用	元/a	16500
合计		万元/a	13.46

综上，原辅材料购买及废弃物处置费用可减少 13.46 万元/a。

三、设备升级改造

设备作为技术工艺的具体体现，在生产过程中也具有重要作用，设备的适用性、自动化水平、电能消耗情况、维护保养情况等均会影响产品质量、废弃物的产生与排放情况。

因设备而导致产生废弃物的主要原因有：

- 1.设备老旧，存在跑冒滴漏情况；
- 2.设备自动化控制水平低；
- 3.相关设备之间配置不合理；
- 4.设备缺乏有效的维护和保养；
- 5.设备的功能不满足技术工艺的要求。

针对初步筛选出的企业进行现场调研，在设备升级改造方面的已实施方案主要集中在设备自动化及节能等方面上。

结合各技术方案的现场调研情况，本技术汇编对其中技术上具有一定的适用性及推广性，且环境效益及经济效益较为明显的技术方案进行汇总介绍。各清洁生产方案如下表所示：

表 3.1 方案类型与方案名称一览表

序号	方案类型	方案名称
1	设备自动化升级改造	方案十六：喷涂工序 喷漆自动化改造
2		方案十七：印花打样工序 引进自动滴定打样机
3		方案十八：进料工序 自动配料系统替代人工配料
4		方案十九：印刷设备清洗工序 橡皮布自动清洗装置替代人工清洗
5		方案二十：电镀生产线 自动化升级改造
6	设备节能升级改造	方案二十一：废水处理曝气工序 磁悬浮离心鼓风机替代空气悬浮离心鼓风机
7		方案二十二：空压机节能改造 永磁变频双极压缩螺杆式空压机替代传统空压机
8		方案二十三：无功补偿 新增有源电力滤波器提高用电设备功率因数
9		方案二十四：余热回收 空压机余热回收
10		方案二十五：余热回收 高温冷凝水余热回收
11		方案二十六：电机节能改造 电机增加变频器
12		方案二十七：工件保温 增设保温炉车避免热量损失
13		方案二十八：制冷机节能改造 添加极性制冷剂油提高制冷效率
14		方案二十九：冷冻机节能改造 高效磁悬浮冷冻机替代螺杆冷冻机
15	其他	方案三十：锅炉改造 锅炉低氮改造
16		方案三十一：印染工序 染色工艺低浴比改造
17		方案三十二：印花工序 数码喷墨印花代替圆网印花

（一）设备自动化升级改造

设备自动化是指生产设备或是装置在无人干预的情况下按照规定的程序或指令自动地进行操作或运行。

随着“工业 4.0”及“中国制造 2025”战略的提出，企业进行设备自动化升级改造已经成为了必然的选择，同时也是企业实现清洁生产，提升企业竞争力的有效措施之一。

通过设备自动化升级改造可实现：

- （1）提高设备自动化程度，降低人工成本；
- （2）提高生产效率和产品质量；
- （3）提高原辅材料及能源的利用效率；
- （4）减少污染物的产生与排放。

方案十六：喷涂工序 喷漆自动化改造

1.技术原理

自动喷漆系统是代替人工手持喷漆枪将涂料分散成雾状喷涂于被涂物表面的一种自动化涂装设备，主要由机架、结构、设备、电气及控制系统组成。采用 PLC 集中控制，根据 XYZ 轴定位，控制喷枪横向、纵向、喷枪旋转的方向，实现精准喷涂，减少喷漆过程中漆料浪费，提高漆料利用率，改善喷漆工艺工作环境。

2.适用范围

适用于喷涂工序。

3.应用案例

某生产纽扣企业，主要生产铜纽扣、锌合金纽扣、塑料纽扣等；其中，铜合金纽扣生产工序包括：冲压、喷叻架、组装、包装；锌合金纽扣生产工序包括：压铸、磨光、喷叻架、组装、包装；塑料纽扣生产工序包括：注塑、喷漆、包装。

（1）实施情况

该公司现有 2 台手动喷漆水帘柜，漆料利用率较低，上漆率只有 55%左右。为提高漆料利用率，该公司将其中 1 台改为自动喷漆设备，用于常规纽扣的喷涂。该方案主要是在现有喷漆柜基础上进行改造，增加自动喷漆装置，废气收集处理装置仍然依托原有的水帘柜。

（2）实施效果

①环境效益

方案实施后，可大大提高漆料利用率，从而减少漆料及天那水的用量，减少生产过程中 VOCs 的产生，环境效益明显。

②经济效益

方案总投入约 5.5 万元，包括设计、施工等费用。

方案实施后，节约天那水约 400L/a，节约漆料约 420L/a，天那水价格 10 元/L，漆料价格 20 元/L，则节约物料采购成本 1.24 万元/a。

方案十七：印花打样工序 引进自动滴定打样机

1.技术原理

印花打样是指对客户来样（或花样设计）进行分色描稿（或电脑分色系统分色），也就是把花样中的每种颜色分别制成黑门稿，然后感光制版；同时对来样的花纹颜色进行单色打样并调制成色浆再进行印花打样，最后蒸化水洗、烘干整理，样品送客户确认。

早期取液和滴液是以人工重复操作实现的，滴定精度难以保证，既造成了染料的浪费，又制约了企业的生产效率。随着电子计算机以及自动滴定技术的应用和发展，采用小型（或微型）电子计算机或微处理机控制的自动滴定系统日益增多，数字滴定管得到了广泛应用。数字滴定管以电机驱动注射器的结构原理构成，易实现无级调节，由计算机控制每一次的输送剂量，保证滴定精度。自动滴定系统通过自动实时采集数据、平衡电位滴定、自动滴液和补液、滴定剂增量动态调整和滴定终点自动检测与判别等技术，有效地解决了硬件控制自动滴定仪所存在的问题，并且显著提高了滴定精度及速度。

2.适用范围

适用于纺织印染行业的印花打样工序。

3.应用案例

某织物面料织染、印花及后整理加工企业，主要生产工艺包括：退浆、染色、印花、上胶、定型、压光、卷布等。

（1）实施情况

该公司实验室采用人工打样，需要 6 名员工进行人工打样调色，且打样周期长、精度低。因此，该公司引进了一台自动滴定打样机。自动滴定打样机具有滴液精准稳定、滴定速度快、可记录实际滴液量、自动侦测错误动作及警示等特点。通过引入自动打样机，减少人力成本，减少打样时间，提高打样精度。

（2）实施效果

①环境效益

引进自动滴定打样机后，提高了滴定精度和速度，每年可节省染料量约 0.5t，同时减少了有机废水的产生，削减了 COD 的排放量。

②经济效益

方案总投资 30.8 万元，用于购买一台自动滴定打样机。

方案实施前，该公司打样需要 6 名员工进行人工打样调色；方案实施后只需要 2 名操作人员，按每名员工月薪 5000 元计算，则可节省人工成本： $4 \times 5000 \times 12 = 24$ 万元/a；染料按均价 8.5 万元/t 计算，则可节省染料费用： $8.5 \times 0.5 = 4.25$ 万元/a。

综合经济效益： $24 + 4.25 = 28.25$ 万元/a，投资回本期： $30.8 \div 28.25 = 1.1$ 年。

方案十八：进料工序 自动配料系统替代人工配料

1.技术原理

现代工业生产过程中，很多生产工序都是需要使用多种原辅材料进行复配，若使用人工配料，其配料精度和效率都不高，而且会存在一定程度的波动，从而导致产品质量受到影响。采用自动配料控制系统，可以提高原料配比精度和生产效率，避免因人工误差造成的产品返工。

自动配料系统是根据设定参数，利用控制器或控制装置来控制机器或设备，将不同原料自动按照预定顺序和比例抽取配制。

2.适用范围

适用于原辅材料配置和添加。

3.应用案例

某床单、毛巾等洗涤企业，其生产工艺为分拣、水洗、脱干、烘干、烫平等。

（1）实施情况

该公司在水洗工序中使用的原辅料包括洗衣粉、水、消毒液、彩漂粉、柔顺剂等，各种辅料需要按照一定的顺序及比例进行添加。

方案实施前，该公司使用人工配置及添加各类原辅料，配料效率低且比例不精确，造成原辅料的浪费。为提升清洗效率及提高清洗效果、节约原辅料，该公司决定安装自动配料设备。自动配料设备主要通过智能控制系统，按照预设的参数，将各种原辅料按照一定的顺序和量加入洗衣设备中。

（2）实施效果

①环境效益

方案实施前后，可节省辅料的使用，减少污染物的产生，环境效益明显。

②经济效益

方案总投资 13 万元，用于购买两套自动配料系统。自动配料的精准化，可节约辅料采购成本 5.47 万元/a；洗涤品质的提高，可提升产值 4.8 万元/a。

综合经济效益： $5.47+4.8=10.27$ 万元，投资回本期 1.27 年。

方案十九：印刷设备清洗工序 橡皮布自动清洗装置替代人工清洗

1.技术原理

印刷过程中，由于一些油墨及纸毛会堆积在橡皮滚筒上，为保证印刷质量需要定时清洗橡皮滚筒。人工清洗费时耗力，需要消耗大量的清洗剂，且清洗剂为有机溶剂，在清洗的过程中会产生一定量的 VOCs 及清洗废水，对人体及周边环境造成一定的影响。加装橡皮布自动清洗装置，可节省人工，减少清洗剂的使用及清洗废水的产生，提高效率，改善车间工作环境。

橡皮布自动清洗装置通过印刷过程中油墨的覆盖率、承印物基本特性和印刷数量设置清洗程序、清洗时间、喷水量等参数，使装置中的清洗剂按照特定的频次对无纺布进行浸湿和清洗，浸湿后无纺布或毛刷辊充分的与橡皮滚筒表面接触，并高速摩擦，达到清洗橡皮布的目的。

橡皮布清洗干净后可为印刷产品的颜色、网点饱和、网点还原和真实性提供一个稳定的数据，该方案的实施可提高印刷品的品质，提高企业的生产效率，延长橡皮布的使用寿命，减少废弃物的

产生等。

2.适用范围

适用于印刷设备中橡皮布清洗工序。

3.应用案例

某包装装潢及其他印刷企业，主要生产消费类电子产品、化妆品、食品、高档烟酒和奢侈品纸质包装，生产工艺为制版、印刷、表面处理、裱纸、模切等。

(1) 实施情况

方案实施前，该公司采用人工清洗橡皮布，4个色组平均清洗时间4min，清洗效率较低，擦机布使用损耗量较大，人工清洗过程中清洗剂的使用量较大，会产生较多的VOCs和废擦机布，废擦机布交由有资质单位进行处置。

方案实施后，企业在印刷机内加装橡皮布自动清洗装置，橡皮布自动清洗装置按照设定程序工作，且在相对密闭的环境中工作，4个色组可同时进行清洗，耗时约1.5min，提高清洗效率，减少VOCs的无组织排放，改善车间环境；使用无纺布替代擦机布，擦拭橡皮布前无纺布会使用清洗剂进行提前浸湿，擦拭后会有单独的清洗装置对无纺布表面脏污进行清洗，清洗后的无纺布可循环使用。废弃的无纺布作为危废交由有资质单位进行处置。

(2) 实施效果

①环境效益

清洗剂节约量：方案实施前，采用人工擦拭，清洗剂消耗量较大，存在浪费现象，使用量为18522kg/a；方案实施后，清洗剂的用量减少30%，则可节约清洗剂用量： $18522\text{kg/a} \times 30\% = 5556.6\text{kg/a}$ 。

VOCs减少量：清洗剂中挥发性组分占比74%，则可减少VOCs产生量为： $5556.6\text{kg/a} \times 74\% = 4111.9\text{kg/a}$ 。

危废减少量：方案实施前，企业使用擦机布进行擦拭清洗，产生废擦机布（含油墨）3559kg/a；方案实施后，采用无纺布代替擦机布，可减少废擦机布约90%，即 $3559\text{kg/a} \times 90\% = 3203\text{kg/a}$ 。

②经济效益

安装橡皮布清洗装置投资48.6万元。

按照清洗剂采购单价12元/kg，废擦机布危废处理费用7元/kg计算，方案实施后可节约采购原料成本： $5556.6\text{kg/a} \times 12\text{元/kg} = 6.67\text{万元/a}$ ；危废处置成本： $3203\text{kg/a} \times 7\text{元/kg} = 2.24\text{万元/a}$ 。

该方案实施后可减少原辅材料的消耗、减少污染物的产生与排放，同时提升产品质量，提高生产效率。

方案二十：电镀生产线 自动化升级改造

1.技术原理

全自动生产线是采用计算机控制的生产线，主要由输送装置、操作装置、检测系统和控制系统组成。电镀自动生产线是按照一定的工艺流程将电镀槽体、镀件提升转运装置、电气控制装置、电源设备、过滤设备、检测仪器、加热与冷却装置、滚筒驱动装置、空气搅拌设备及线上污染控制设备等组合为一体的总称。通过在控制系统中输入设定程序，生产线将按照设定程序实现生产的自动化，同时可自动检测槽液浓度并自动定量添加药剂，整个生产过程均通过机械设备来完成。

电镀自动生产线按结构特征可分为环形自动线和直线式自动线；按镀件装挂特征可分为挂镀自

动线、滚镀自动线和连续自动线；按镀层种类可分为镀锌、铜-镍-铬、铝氧化等自动线。按照自动化程度可分为全自动线、半自动线。

电镀自动生产线的使用可提高原辅材料的利用率，减少废弃物的产生与排放，降低人工劳动强度，提高生产效率和产品质量，确保生产的稳定。但是，电镀自动生产线也存在以下的缺点：灵活性较差，不能随意更改生产工艺流程；一次性投资较高；设备维护要求高。

2.适用范围

环形（U形）垂直升降电镀自动线适用于中小型五金件、塑料件等大批量零件的电镀加工；

直线式龙门挂镀自动线适用于小零件的电镀加工；

连续电镀自动线适用于线材、带材以及简单、粗大型零件的电镀加工。

企业可根据实际生产产品及生产工艺选取适宜的自动线进行升级改造。

3.应用案例

某端子、电子元器件、各类金属部件等表面处理企业，其主要生产工艺包括前处理、镀铜/镀镍/镀铬/镀锌、烘干等。

（1）实施情况

方案实施前，企业生产采用手动生产线，生产设备老旧、布局杂乱，工艺较为落后，人为操作粗矿，导致镀液损失量较大，资源能源利用率低。

方案实施后，企业根据生产工艺流程对车间进行重新布局，更换生产设备，配置行车、整流机、电镀槽等组成全自动生产线，实现产线的升级换代。

（2）实施效果

①环境效益

方案实施前，企业采用手动线进行生产；方案实施后，企业采用全自动电镀生产线代替手动线，根据企业提供的生产数据核算，各类重金属的利用率均有显著提升：铜利用率提升 5.02%、镍利用率提升 1.39%、铬利用率提升 0.63%、锌利用率提升 4.9%，单位产品用水量降低 87.63%。

②经济效益

本方案投资 268.53 万元。用于购置设备及设备安装调试，为一次性投入，除必要的设备维护保养，后续不需要再进行投入。

电镀自动生产线的应用，减少了操作员工数量，降低了人工成本。由于市场经济变动，方案实施前后产品种类、原辅材料消耗、生产工艺均有变动，故无法对节约成本进一步核算。

（二）设备节能升级改造

设备节能升级改造，就是利用各种先进节能技术对现有设备的部分或者全部结构进行升级改造，以降低其在使用过程中对能源的消耗，降低生产成本，可通过对现有设备零部件进行更新、安装新设备、添加新的配套设备及附件等措施完成。

方案二十一：废水处理曝气工序 磁悬浮离心鼓风机替代空气悬浮离心鼓风机

1.技术原理

目前，城市污水处理厂采用的处理工艺大多是活性污泥法。为保证活性污泥中微生物的活性，需进行鼓风曝气，将压缩空气通过管道送入曝气池中的扩散设备，以气泡形式使氧迅速扩散转移到污水中，供给活性污泥中的微生物。曝气过程中常用的鼓风机主要分为以下几类：

- (1) 容积式，如罗茨风机、螺杆风机；
- (2) 离心式（低速），如多级离心风机；
- (3) 单级离心式（高速），如齿轮增速、空气悬浮、磁悬浮。

空气悬浮离心鼓风机和磁悬浮离心鼓风机都属于高速单级离心鼓风机，采用叶轮与电机主轴直接连接，省去了传统单级高速鼓风机的增速齿轮箱，并且可以通过调节转速灵活调节风量。这两种鼓风机对比传统鼓风机都具有较好的节能效果。

空气悬浮径向轴承原理是通过高速旋转电机主轴带动周边空气产生离心力，迫使电机主轴与轴承箔片分开实现悬浮。由于空气悬浮轴承是靠空气支撑的，但空气支撑力是有限的并且空气悬浮轴承在承受外变化负荷时，抗冲击负荷能力差，这严重影响了径向轴承的寿命，甚至直接损坏。空气悬浮鼓风机只能在达到一定转速情况下才能悬浮，在风机启停过程中，转速较低，主轴与轴承存在接触。

磁悬浮轴承的原理：磁悬浮轴承通过位移传感器检测轴心位移，同时发送位移信号给控制器，控制器经过运算将位移信号转化成相应的电流信号，磁悬浮轴承因为电流产生一定的电磁力，将偏移主轴调整回轴心位置。

磁悬浮离心鼓风机与空气悬浮离心鼓风机相比，具有以下几点区别：

- (1) 磁悬浮离心鼓风机轴心轨迹可主动调整，保持在轴心附近；
- (2) 磁悬浮离心鼓风机在整个运行过程中均能保持轴承悬浮；
- (3) 磁悬浮轴承支撑力大，可支撑大负载；
- (4) 磁悬浮离心鼓风机结构较复杂，制造成本较高。

2.适用范围

适用于废水处理曝气工序。

3.应用案例

某污水处理厂，设计处理规模为5万吨/天，采用“沉淀池+生物滤池+混凝沉淀深度处理+紫外消毒”工艺，出厂水质全面达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级A标准，出厂水就地排入河流作为生态补充水。

(1) 实施情况

方案实施前，该污水处理厂有2台空气悬浮鼓风机，功率为110kW；方案实施后，该污水处理厂更换2台空气悬浮鼓风机为1台磁悬浮鼓风机，功率为200kW。

方案实施后，磁悬浮鼓风机的功率介于1台空气悬浮鼓风机和2台空气悬浮鼓风机之间，填补了气量间断区间，解决了生物滤池长期过曝气的问题。磁悬浮鼓风机选型压力低于原空气悬浮鼓风机选型压力，磁悬浮鼓风机更接近于高效区间运行，且磁悬浮鼓风机本身的运行效率也稍高于空气悬浮鼓风机。

（2）实施效果

①环境效益

方案实施后，该公司使用的磁悬浮鼓风机采用三元流叶轮和磁悬浮高速电机直接耦合驱动，不仅可消除传动损失和多余能耗，还可降低设备运行噪音。此外，该磁悬浮鼓风机自带变频控制装置，运行时可通过设备自带的触摸屏，进行就地控制，为远程监控提供数据端口。

方案实施前，使用 2 台鼓风机，每台鼓风机功率为 110kW，2 台合计功率 220kW；

方案实施后，磁悬浮鼓风机功率为 200kW，仅需使用 1 台，满负荷运行，按每天运行 24 小时，年运行 365 天计，则可节省用电： $[(110 \times 2) - 200] \text{ kW} \times 24 \text{ h/d} \times 365 \text{ d/a} = 17.52 \text{ 万 kW} \cdot \text{h/a}$ ，年减少二氧化碳排放量 $= 17.52 \text{ 万 kW} \cdot \text{h} \times 9.489 \text{ tCO}_2\text{e/万 kW} \cdot \text{h} = 166.25 \text{ tCO}_2\text{e}$ 。

②经济效益

该方案总投资为 69 万元，电费按 0.75 元/kW·h 计，则可节省电费： $17.52 \text{ 万 kW} \cdot \text{h/a} \times 0.75 \text{ 元/kW} \cdot \text{h} = 13.14 \text{ 万元/a}$ 。

投资回收期： $69 \text{ 万元} \div 13.14 \text{ 万元/a} = 5.25 \text{ a}$ 。

方案二十二：空压机节能改造 永磁变频双极压缩螺杆式空压机替代传统空压机

1.技术原理

压缩空气是国内各行业企业的主要动力源之一，空压机的耗电量约占工业设备总用电量的 10% 以上，对空压机的节能势在必行。普通螺杆压缩机采用异步电机，只有在接近额定功率工作时，电机才可处于较高的效率。在负荷较低的情况，无功功率较高，电机效率下降明显。

永磁变频双极压缩螺杆式空压机对比普通螺杆压缩机，有以下几点技术升级：

①电机为永磁同步电机，转子的直流励磁绕组被永磁体取代，消除了励磁铜耗，转子的惯性更低、结构更加牢固。永磁同步电机的电机效率和运行功率因数随负载率变化不大，几乎保持在 0.9 以上，无效功率较低。

②使用变频器驱动电机，使气体产生量与能量消耗呈线性关系，降低了负荷时的能耗。同时，降低了空压机启动电流，减少了启动能耗以及对电网的冲击，进而提高了空压机的可靠性和稳定性。

③采用了两级压缩。根据工程热力学理论，空气压缩机在压缩过程中定温压缩最省功。两级压缩对比一级压缩，其压缩过程更接近定温压缩，所消耗的功率更低。

2.适用范围

适用于空压机节能改造。

3.应用案例

某皮鞋制造企业，主要生产各类皮鞋，生产工序包含切割、铲皮、定型、刷胶、贴合、车缝、打磨、清洁等。

（1）实施情况

该公司的空压机已使用多年，存在故障率高、供气不稳定等问题，已影响日常生产。因此，该公司决定采用 2 台永磁变频双级压缩螺杆式空压机替代原有的空压机，提高生产效率，同时可减少能耗，降低维修成本。

（2）实施效果

①环境效益

经企业实际测算，方案实施后，永磁变频双级压缩螺杆式空压机比普通螺杆空压机节电约 30%。空压机运行时间按每天 10 小时，每年 300 天，负荷率 85% 计算，则节电量为：

$$250\text{kW} \times 10\text{h/d} \times 300\text{d/a} \times 85\% \times 30\% \times 2 \text{ 台} = 38.25 \text{ 万 kW} \cdot \text{h/a}$$

$$\text{折算成综合能耗为：} 38.25 \text{ 万 kW} \cdot \text{h} \times 1.229\text{tce/万 kW} \cdot \text{h} = 47.01\text{tce}$$

$$\text{年减少二氧化碳排放量} = 38.25 \text{ 万 kW} \cdot \text{h} \times 9.489\text{tCO}_2\text{e/万 kW} \cdot \text{h} = 362.95\text{tCO}_2\text{e}。$$

②经济效益

本方案总投资 100.93 万元，按电费 0.8 元/kW·h 计算，则可节省电费：38.25 万 kW·h/a × 0.8 元/kW·h = 30.6 万元/a。

$$\text{投资回收期：} 100.93 \text{ 万元} \div 30.6 \text{ 万元/a} = 3.3\text{a}。$$

此外，方案实施后每年维护成本也随之降低，投资回收期可进一步缩短。

方案二十三：无功补偿 新增有源电力滤波器提高用电设备功率因数

1.技术原理

有源电力滤波器（APF）是一种用于动态抑制谐波、补偿无功的新型电力电子装置，它能够对大小和频率都变化的谐波以及变化的无功进行补偿。即从补偿对象中检测出谐波电流，利用可控的功率半导体器件向电网注入与原有谐波幅度相等、相位相反的电流，使电源的总谐波电流为零，达到实时补偿谐波电流的目的。

APF 系统由两大部分组成，即指令运算电路和补偿电流发生电路（由电流跟踪控制电路、驱动电路和主电路 3 部分构成）。指令运算电路是检测出补偿对象中的谐波和无功等电流分量。补偿电流发生电路则是根据指令运算电路得出的补偿指令信号产生实际的补偿电流。

2.适用范围

并联有源滤波器主要用于治理电流谐波，串联有源滤波器主要用于治理电压谐波等引起的问题。

3.应用案例

某电子元器件研发、生产和销售的企业，产品主要为新型片式电感、敏感器件、微波器件、新型变压器、无线充电线圈等，主要生产工序包括流延、印银浆、排胶、烧结、超声波清洗、浸锡、涂胶等。

（1）实施情况

该公司通过测试发现，排胶炉功率因数为 0.74，电流畸变率为 42.05%。因功率因数过低导致电流过大，会增大线路导线截面，增加线路电压损失，降低电压质量；降低供电设备的利用率；电流畸变率过大，降低设备、设施使用寿命，易引起设备、设施损坏；增加企业电费开支，加大生产成本。

因此，该公司引进 1 台有源电力滤波器，以降低排胶炉的无功损耗，提升电能的利用效率，达到节能的目的。

(2) 实施效果

①环境效益

方案实施后，功率因数达到 0.994，谐波畸变率降低至 6.63%，排胶炉用电量减少 15%。排胶炉运行功率为 170kW，按照年度来计算，可节电： $170\text{kW} \times 15\% \times 24\text{h/d} \times 330\text{d/a} \approx 20.2 \text{ 万 kW} \cdot \text{h/a}$ ，年减少二氧化碳排放量= $20.2 \text{ 万 kW} \cdot \text{h} \times 9.489\text{tCO}_2\text{e/万 kW} \cdot \text{h} = 191.68\text{tCO}_2\text{e}$ 。

②经济效益

方案共投入 12.4 万元，用于采购一台有源电力滤波器。方案实施后，可节电约 20.2 万 kW·h/a，电费按 1 元/kW·h 计，可节省电费 20.2 万元/a。则投资回收期： $12.4 \text{ 万元} \div 20.2 \text{ 万元/a} = 0.61\text{a}$ 。

方案二十四：余热回收 空压机余热回收

1.技术原理

空气压缩机是通过螺杆转子高速旋转，将吸进来的空气在压缩腔里压缩后排出，用于增加空气势能。压缩过程中，真正用于增加空气势能所消耗的电能仅占 1/4 左右，其余能量转化为气体压缩时的热量，以及螺杆高速旋转时产生的热量，这些高温热量与空压机润滑油混合成油气、蒸汽排出，再经过油气分离器，分离出的压缩空气通过冷却器冷却后由管道输送到各用气点，油经冷却过滤后回用到压缩机内。压缩机排气温度有时能达到 80 至 100℃，这个温度通过风冷或水冷的方式排放到外部环境中，既会造成周边环境升温，又白白浪费了能源。

空压机余热回收系统将高温的润滑油（和高温的压缩气）接入，通过内设的热交换器，将原有的排放至外部环境的热能，利用热交换器使常温水温度升高，冬季水温可加热至 50℃ 以上，夏季可加热至 65℃ 以上，通常可作为工业用热水的预热或者是生活用热水。

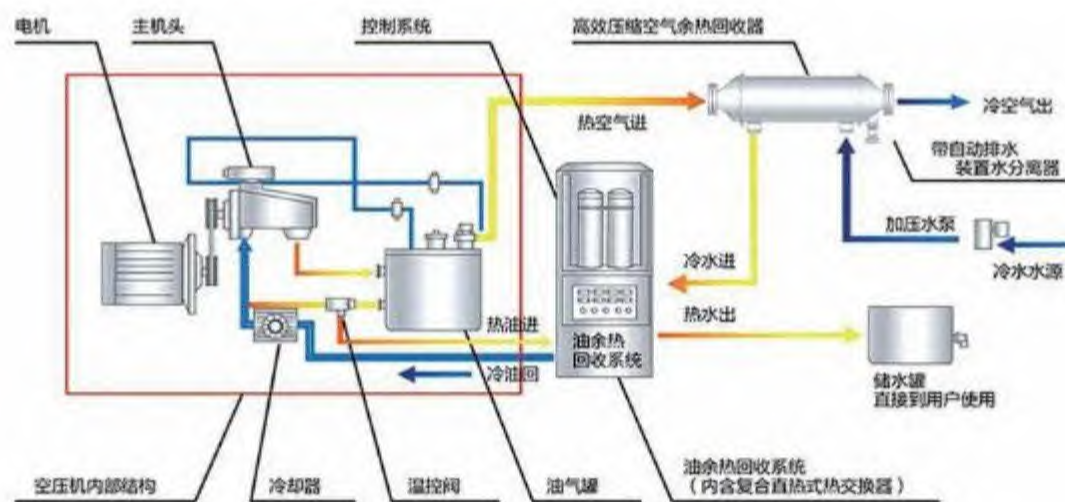


图 3.1 空压机余热回收工作原理示意图

2.适用范围

适用于螺杆式空压机、压缩机工作时间较长、有供热需求的企业。

3.应用案例

某生产液晶显示屏企业，主要生产工序有蚀刻、清洗、印胶、贴合、消泡、开孔、测试等工序。

(1) 实施情况

该公司压缩空气系统主要由 2 台 75kW 的空压机、1 台 75kW 备用空压机组成。2 台 75kW 的空压机每天运行至少 16 小时, 压缩机工作时产生大量热量, 该部分热量未能有效利用, 造成能源浪费。为此, 该企业决定实施空压机余热回收利用方案, 安装 2 台余热回收机, 将压缩机工作时的热能回收代替其他热能, 以解决供暖和热水问题。

(2) 实施效益

① 环境效益

按照理论计算, 1 吨水温度升高 1 度, 消耗 1000kcal 的热量, 2 台 75kW 的空压机可回收的热能为:

$$75\text{kW}/\text{台} \times 2 \text{ 台} \times 860\text{kcal}/\text{kW} \cdot \text{h} \times 80\% \times 16\text{h}/\text{d} \times 0.7 = 1155840\text{kcal}/\text{d}.$$

其中: 80%为可转化比例、0.7 为热回收效率。

按照夏秋季节进水温度 20℃、温升 45℃, 春冬季节进水温度 5℃、温升 60℃计算, 则

$$\text{夏秋季节可产 } 65^\circ\text{C} \text{ 热水量: } 1155840\text{kcal}/\text{d} \div 45000\text{t}/\text{kcal} = 25\text{t}/\text{d}$$

$$\text{春冬季节可产 } 65^\circ\text{C} \text{ 热水量: } 1155840\text{kcal}/\text{d} \div 60000\text{t}/\text{kcal} = 19.26\text{t}/\text{d}$$

将 1t 水升温 1℃大概需要 1kW·h, 则

$$\text{夏秋季节节省电量: } 150\text{d} \times 25\text{t}/\text{d} \times 45\text{kW} \cdot \text{h}/\text{t} = 16.875 \text{ 万 kW} \cdot \text{h}$$

$$\text{春冬季节节省电量: } 150\text{d} \times 19.26\text{t}/\text{d} \times 60\text{kW} \cdot \text{h}/\text{t} = 17.334 \text{ 万 kW} \cdot \text{h}$$

$$\text{年节省电量: } 16.875 \text{ 万 kW} \cdot \text{h} + 17.334 \text{ 万 kW} \cdot \text{h} = 34.21 \text{ 万 kW} \cdot \text{h}$$

$$\text{折算标煤: } 42.04\text{tce}$$

$$\text{年减少二氧化碳排放量: } 34.21 \text{ 万 kW} \cdot \text{h} \times 9.489\text{tCO}_2\text{e}/\text{万 kW} \cdot \text{h} = 324.62\text{tCO}_2\text{e}.$$

综上, 方案实施后, 每年可节省电量 34.21 万 kW·h, 折算标煤为 42.04tce, 间接减少 324.62tCO₂e 排放。

② 经济效益

方案投资 15.8 万, 用于购置余热回收设备。方案实施后, 可节约电量 34.21 万 kW·h/a, 电费按 0.85 元/kW·h 计, 则可产生经济效益为: 34.21 万 kW·h/a × 0.85 元/kW·h = 29.08 万元/a。

方案二十五: 余热回收 高温冷凝水余热回收

1. 技术原理

该技术主要是通过将生产过程中产生的废热水及余汽统一收集后通过 HY-Z 自洁式水/水热交换器进行热能回收, 将该部分热能通过换热器换热, 对工艺用水进行预加热, 可节省大量蒸汽的使用, 而且缩短了加热时间, 提高了工作效率。

HY-Z 自洁式水/水热交换器主要是采用了特殊的净水水道转动体, 浸在一个隔热保温的废热水柜中, 废热水按“低进高出”逆流提高与净水的温度梯度, 延长热交换时间。该设备为了免受废热水中多种杂质的影响, 提高热能的利用效率, 配备了具有自洁功能的转动体, 该转动体由一台小电动机驱动, 使水槽里没有纤维及染料料淤积物, 热能效率高达 90%以上。

2.适用范围

适用于生产过程中使用蒸汽的企业。

3.应用案例

某织物染色、印花、砂洗企业，主要生产工序包括坯检、前处理、染色、漂洗、后整理、包装等。

(1) 实施情况

该公司在生产过程中，有多个设备产生的高温冷凝水均排入污水池，包括用于烘干的烘筒、高温定型机、拉幅机、磨毛机、预缩机疏水阀、蒸汽疏水阀等，排出的热水及余汽温度高达 100℃ 以上，若直接排放可能造成两种不良后果：其一，排入废水处理池，可使池中废水温度上升至 46℃ 以上，严重影响废水处理效果；其二，造成能源浪费，大量热能浪费，增加生产成本。本方案主要是通过增加废水热能回收系统，回收废水中流失的大量热能，将原来 22℃ 的自来水经过该热交换器后温度升高至 65-75℃，然后再加热至工艺所需温度 95-105℃，从而减少热能的损失，节约能源，降低生产成本。

(2) 实施效益

①环境效益：方案实施后，经统计，每天可以节约蒸汽用量约 18t，生产时间按照一年 280 天计算，则可节约蒸汽 5040t/a，间接减少了二氧化碳排放量。

②经济效益：方案实施后，每年约可以节约蒸汽 5040t，按照蒸汽单价 170 元/t 计，可节约生产成本 85.68 万元/年。项目投资约 25 万元，投资回收期约 4 个月。该余热回收系统较为简单，仅需小功率电机提供动力，运行费用较低，因此未核算运行成本。

方案二十六：电机节能改造 电机增加变频器

1.技术原理

变频器主要由整流（交流变直流）、滤波、逆变（直流变交流）、制动单元、驱动单元、检测单元、微处理单元 CPU 等组成。其原理是三相交流电经桥式整流变为直流电，通过限流电阻给电容充电饱和时，接触器吸合，电阻被短接，然后直接充电到变频器的额定电压。变频器的 CPU 当接到启动信号时，发出触发信号，使驱动电路工作触发 IGBT，将直流电压变成频率可调的三相交流电，根据电机的实际需要来提供其所需要的电源电压，进而达到节能、调速的目的。

变频器按使用功能分类，可分为恒转矩变频器和平方转矩变频器。恒转矩变频器控制的对象具有恒转矩特性，在转速精度及动态性能等方面要求一般不高，当用变频器实现恒转矩调速时，必须加大电动机和变频器的容量，以提高低速转矩。恒转矩变频器主要应用于挤压机、搅拌机、传送带、提升机等。平方转矩变频器控制的对象，在过载能力方面要求较低，由于负载转矩与转速的平方成正比，所以低速运行时负载较轻，并有节能的效果。平方转矩变频器主要应用于风机、泵类。

2.适用范围

适用于交流电动机节能改造。

3.应用案例

某生产铝盘基片企业，生产工序主要包括：酸洗、研磨、清洗、浸锌、化学镀镍等。

（1）实施情况

方案实施前，在冬季时，研磨风柜通过关闭冷冻水阀门来调节车间温度，但电机仍一直在工频状态下运行，能耗较高。方案实施后，在现有运行控制系统中增加了变频器调频，在冬季时，既可以通过关闭冷冻水阀门也可以通过变频器调频来调节车间温度，降低了研磨风柜能耗。

（2）实施效果

①环境效益

方案实施前，冬季研磨风柜用电： $90\text{d} \times 24\text{h/d} \times (1.732 \times 380 \times 24.2 \times 0.85/1000)\text{kW/台} \times 2\text{台} = 58485.68\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

方案实施后，冬季的研磨风柜用电： $90\text{d} \times 24\text{h/d} \times (1.732 \times 380 \times 15.3 \times 0.85/1000)\text{kW/台} \times 2\text{台} = 36976.48\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

冬季研磨风柜节约用电量为： $58485.68 - 36976.48 = 21509.2\text{kW} \cdot \text{h/a}$ 。

年减少二氧化碳排放量： $21509.2\text{kW} \cdot \text{h} \times 9.489\text{tCO}_2\text{e/万 kW} \cdot \text{h} = 20.4\text{tCO}_2\text{e}$ 。

②经济效益

方案总投入 0.8 万元，用于购置变频器。

方案实施后冬季年节省电费为： $21509.2\text{kW} \cdot \text{h} \times 0.75\text{元/kW} \cdot \text{h} = 1.61\text{万元}$ 。则投资回收期 $= 0.8/1.61 = 0.5\text{年}$ 。

方案二十七：工件保温 增设保温炉车避免热量损失

1.技术原理

企业在生产过程中需要对工件进行清洗烘干，烘干后的工件表面会有余热。若烘干后的工件需要进行加温处理，但工件不能立即进入下一工序，将会导致热量损失。

本方案通过增设保温炉车，对烘干后的工件进行保温暂存和短距离运输。保温炉车可减少工件与室内空气的接触，避免工件热量的损失。同时，保温炉车内设置了加热管，使得工件可以维持一定的温度。

2.适用范围

适用于工件保温暂存及短距离运输。

3.应用案例

某金属制品制造企业，主要生产电脑或者手机配件类产品，其主要生产工艺为除油/除蜡清洗、中和、冲洗、烘干、真空镀膜、镭雕等。

（1）实施情况

方案实施前，烘干后的工件在车间内进行常温保存，待需要进行后续加工时，再将工件运输至真空镀膜工序，此时真空镀膜机需要对室温的工件进行加热升温至设定温度。

方案实施后，在烘干工序后增设保温炉车，用于工件的保温暂存和短距离运输，工件进入真空镀膜机的温度可达 80°C ，真空镀膜机只需对工件升温 120°C 左右即可达到设定温度，可减少电能的消耗。

(2) 实施效果

①环境效益

根据企业的统计,方案实施后,真空镀膜机每炉可节约电能 $4.17\text{kW}\cdot\text{h}$,该企业共设置 110 台炉车,每台每年运送 1100 炉,其中约 50%可以实现即时进炉,则年节省费用: $4.17\text{kW}\cdot\text{h}/\text{炉}\times 110\text{台}\times 1100\text{炉}/\text{台}\times 50\%=25.22\text{万kW}\cdot\text{h}$,年减少二氧化碳排放量= $25.22\text{万kW}\cdot\text{h}\times 9.489\text{tCO}_2\text{e}/\text{万kW}\cdot\text{h}=239.31\text{tCO}_2\text{e}$ 。

②经济效益

方案实施后,真空镀膜机减少了 $25.22\text{万kW}\cdot\text{h}$ 的能耗,按电费 $0.67\text{元}/\text{kW}\cdot\text{h}$ 计算,则方案实施后可省电费: $25.22\text{万kW}\cdot\text{h}/\text{a}\times 0.67\text{元}/\text{kW}\cdot\text{h}=16.89\text{万元}/\text{a}$ 。

保温炉车内设 2 根加热管,每根加热管的功率为 800W ,达到设定温度需要加热 10min ,则增设保温炉车年使用电量约 $800\text{W}\times 2\text{根}\times 0.17\text{h}\times 110\text{台}\times 1100\text{炉}/\text{台}\times 50\%=1.65\text{万kW}\cdot\text{h}$,按电费 $0.67\text{元}/\text{kW}\cdot\text{h}$ 计算,方案实施后增加电费: $1.65\text{万kW}\cdot\text{h}/\text{a}\times 0.67\text{元}/\text{kW}\cdot\text{h}=1.1\text{万元}/\text{a}$ 。

综上,企业可节约电费成本 15.79万元 。

方案二十八：制冷机节能改造 添加极性制冷剂油提高制冷效率

制冷机是将具有较低温度的被冷却物体的热量转移给环境介质从而获得冷量的机器,由冷凝器、蒸发器、压缩机等部件组成。冷媒是在制冷机系统中用以传递热能,产生冷冻效果的工作流体。

在制冷机的使用过程中,压缩机中的冷冻油在流经制冷机相关部件时,会与部件上的物质形成绝缘层,使冷凝器和蒸发器换热管壁上形成油膜,该油膜具有极高的热阻,大大降低了换热器的传热效果,从而增加制冷机能耗。

1.技术原理

为了减少在制冷机部件中形成油膜,提高热传导效率,提高系统 COP(制冷效率)和 EER(能效比),美国阿拉巴马大学机械工程系著名学者利·汤姆森博士发明了一种节能添加剂——极性制冷剂油(Frigaid)。

Frigaid 是利用纳米科技产生 0.5nm 的极化电磁分子,通过极化合成技术,将 6 个氯原子连接在末端 3 个碳原子上,形成强大负电荷中心。Frigaid 随同制冷剂添加到系统中,由于换热器为金属材质,而金属带正电,Frigaid 分子与金属表面结合为一体且永久固定,不会发生脱附现象,从而在换热器的表面形成一层致密的保护膜。该添加剂添加一次后便能形成保护膜,即使更新制冷剂后,也不必再次添加。

2.适用范围

适用于空调、热泵、制冷和冷冻(氨水吸收式制冷除外)等任何一个运行温度范围在 $-53.9\sim 204.4^{\circ}\text{C}$ 的设备系统。

3.应用案例

某显示器件制造企业,主要从事触控显示器、触控系统、触控组件、触控屏幕、触控技术、应用软件、硬件、触控相关周边配件的研发、生产。生产工艺主要包括贴片、高压清洗、贴标签、清洗、ACF、PCBA、COF、涂胶及组装等工序。

(1) 实施情况

该公司在生产过程中,需要使用中央冰水主机对生产车间进行降温。由于冰水主机使用年限较久,其管道内壁附着藻类、微生物和水垢等,管道外壁会积聚积碳、污染物和冷冻油,这些物质的

附着会降低管道的热传导效率，导致冰水主机的 COP 值严重下降，致使冰水主机处于高耗能状态。经市场调研，该公司决定向冰水主机添加 Frigaid，以提高热传导效率及系统的 COP 值。

方案实施前后，该公司对冰水主机的 COP 值进行了测算，方案实施前，冰水主机 COP 值为 5.31；方案实施后，冰水主机 COP 值为 5.61，提高了 5.65%。

（2）实施效果

①环境效益

冰水主机额定功率为 538kW，平均负荷为 90%，每日运行时间 24h。方案实施前后，其节能率为 5.65%，故节电量为： $538\text{kW} \times 90\% \times 24\text{h}/\text{天} \times 30\text{天}/\text{月} \times 12\text{月}/\text{a} \times 5.65\% = 236367\text{kW} \cdot \text{h}/\text{a}$ ，年减少二氧化碳排放量 $= 236367\text{kW} \cdot \text{h} \times 9.489\text{tCO}_2\text{e}/\text{万 kW} \cdot \text{h} = 239.31\text{tCO}_2\text{e}$ 。

②经济效益

方案实施过程中，产生的费用主要为前期的试验测试费、Frigaid 药剂采购和人工费，均为一次性投入，后续无需再投入，根据企业提供资料，该方案共投入 7.2 万元。

方案实施后，冰水机提高了 COP，节约了电能，按电费 0.67 元/kW·h 计算，则方案实施后节省电费： $236367\text{kW} \cdot \text{h}/\text{a} \times 0.67\text{元}/\text{kW} \cdot \text{h} = 15.84\text{万元}/\text{a}$ 。

综上所述，可产生经济效益 15.84 万元/a，其投资回收期小于一年，经济效益显著。

方案二十九：冷冻机节能改造 高效磁悬浮冷冻机替代螺杆冷冻机

1.技术原理

中央空调系统的能耗是企业能耗占比中的重要组成部分，尤其是对生产车间要求高，需要恒温恒湿的无尘室的电子行业企业。因此，选用高效中央空调机组成为了企业实现节能减排的重要途径。

在传统的制冷压缩机中，机械轴承是必需的部件，并且需要有润滑油以及润滑油循环系统来保证机械轴承的工作。机械轴承不仅产生磨擦损失，润滑油随制冷循环而进入到热交换器中，在传热表面形成的油膜成为热阻，影响换热器的效率，并且过多的润滑油存在于系统中对制冷效率带来很大的影响。数据显示：超 90%被烧毁的压缩机都是由于润滑的失效引起的。

磁悬浮变频离心式冷水机组的核心是磁悬浮离心压缩机，其主要由叶轮、电机、磁悬浮轴承、位移传感器、轴承控制器、电机驱动器等部件组成。磁悬浮轴承是一种利用磁场使转子悬浮起来，从而在旋转时不会产生机械接触、机械磨擦，不需要机械轴承以及机械轴承所必需的润滑系统。在制冷压缩机中使用磁悬浮轴承，所有因为润滑油而带来的问题将不复存在。此外，磁悬浮冷水机组采用永磁高速电机直接驱动，同时集成了变频技术，可使压缩机在部分负荷下仍处于高效运作状态，其 COP 值在低负荷下也几乎不发生衰减。对比传统冷水机组，磁悬浮变频离心式冷水机组具有无摩擦、无油、变频等特点，在低负荷区有明显的节能优势。

2.适用范围

适用于冷冻机节能改造。

3.应用案例

某电子设备制造企业，主要生产有机感光鼓、IGBT 半导体、硬币识别器、打印组合、打印组合耗材配件、激光打印机硒鼓、碳粉盒等，大部分生产工序需要在恒温恒湿的无尘室内进行，空调系统能耗占比较高。

（1）实施情况

方案实施前，该公司的制冷机组均为螺杆冷水机组，使用年限基本在 10 年以上，耗电量较大。此外，螺杆冷水机组使用的冷媒为 R22，属于限时淘汰的制冷剂，如果改造为环保制冷剂，改造费用比较昂贵（接近购买新机费用），且制冷效果不佳。因此，该公司决定将 7 台螺杆冷冻机替换为高效磁悬浮冷冻机。

（2）实施效果

①环境效益

根据该公司方案实施前后冷冻机电耗数据：2020 年 6 月冷冻机组耗电量为 790694kW·h，2022 年冷冻机组耗电量为 365120kW·h，则年节约电量： $(790694-365120) \text{ kW} \cdot \text{h} / \text{月} \times 12 \text{ 月} / \text{年} = 510.69 \text{ 万 kW} \cdot \text{h}$ ，年减少二氧化碳排放量 $=510.69 \text{ 万 kW} \cdot \text{h} \times 9.489 \text{ tCO}_2\text{e} / \text{万 kW} \cdot \text{h} = 4845.94 \text{ tCO}_2\text{e}$ 。

②经济效益

方案实施后，每年可节省电量 510.69 万 kW·h，按电费 0.64 元/kW·h 算，年节约电费 $510.69 \times 0.64 = 326.84$ 万元。

（三）其他

方案三十：锅炉改造 锅炉低氮改造

1.技术原理

燃烧过程中，NO_x 的产生途径主要有三种：

（1）热力型 NO_x，是空气中的氮在高温（1400℃以上）下氧化产生。当温度低于 1500℃时，热力 NO_x 的生成量很少，高于 1500℃时，温度每升高 100℃，反应速度将增大 6-7 倍。在实际燃烧过程中，由于燃烧室内的温度分布是不均匀的，如果有局部高温区，则在这些区域会生成较多的 NO_x。

（2）快速型 NO_x，是在碳氢燃料燃烧且富燃料的情况下，由于燃料挥发物中碳氢化合物高温分解生成的 CH 自由基和空气中氮气反应生成 HCN 和 N，再进一步与氧气作用以极快的速度生成 NO_x；

（3）燃料型 NO_x，是燃料中含氮化合物在燃烧中氧化生成的 NO_x，由于天然气中含氮量较低，因此，燃料型 NO_x 不是主要控制类型。

根据 NO_x 的产生途径分析可知，降低 NO_x 的方式主要有：

- （1）通过电子比例调节和氧含量控制来精确控制氧含量；
- （2）通过烟气再循环技术，降低火焰温度和氧含量；
- （3）通过全预混的表面燃烧技术，降低火焰温度和实现充分燃烧。

2.适用范围

适用于蒸汽锅炉、热水锅炉、导热油锅炉等各类锅炉的低氮改造。

3.应用案例

案例 1

某化纤制造及印染精加工企业，主要生产涤纶工程/工业用线、尼龙类工程/工业用线，主要生产工序包括染色、烘干、邦机、捻线、打线等。

(1) 实施情况

该公司有 1 台 6 蒸吨燃油锅炉、2 台 8 蒸吨燃气锅炉，使用年限均接近 15 年，在正常的运行情况下，NO_x 排放浓度在 130~150mg/Nm³，不符合有关锅炉氮氧化物排放低于 30mg/m³ 的要求。因此，该公司将 6 蒸吨的燃油锅炉改为燃气锅炉，并将 3 台锅炉的燃烧器均更换为超低氮燃烧器。超低氮燃烧器安装到原锅炉本体上，并对锅炉控制系统进行改造，锅炉本体及锅炉房的水处理设备、分汽缸等辅助设备、管道仍沿用原有的。

超低氮燃烧器采用全预混表面式燃烧器，利用金属纤维燃烧表面，燃烧强度可以达到 3000kW/m²。这种燃烧方式火焰短小，发热均匀，基本杜绝局部高温，控制了热力型 NO_x 和快速型 NO_x 的生成。因此，氮氧化物的排放非常低。

(2) 实施效果

①环境效益

本项目实施后可以有效减少锅炉燃烧过程中产生的 NO_x，方案实施前，锅炉废气中 NO_x 排放浓度约 136mg/Nm³；方案实施后，锅炉废气中 NO_x 排放浓度约 25mg/Nm³，则 NO_x 减排量为：

$$(136\text{mg}/\text{Nm}^3 - 25\text{mg}/\text{Nm}^3) \times 3200\text{m}^3/\text{h} \times 24\text{h}/\text{d} \times 300\text{d}/\text{a} = 2557\text{kg}/\text{a}。$$

②经济效益

该方案投资 166.78 万元，由于锅炉燃烧低氮改造属于环保要求项目，所以产生的经济效益较低，主要是减少锅炉风机用电量，通过变频器控制风机预计可节约 15% 的用电量，根据往年锅炉风机用电统计计算，年节约电量为：12.9 万 kW·h × 15% = 1.94 万 kW·h，年节约费用为：1.94 万 kW·h × 0.75 元/kW·h = 1.45 万元。

案例 2

某织物面料的织染、印花及后整理加工企业，主要生产工艺包括：退浆、染色、印花、上胶、压光、卷布等。

(1) 实施情况

方案实施前，该公司旧燃气锅炉已使用近 18 年，在正常的运行情况下，NO_x 排放浓度在 130~150mg/Nm³，达不到有关锅炉氮氧化物低于 30mg/m³ 的要求，须进行改造。

本方案将原来的旧锅炉更换为新的低氮燃气锅炉，锅炉房的水处理设备、分汽缸等锅炉辅机、配套设备等仍采用锅炉系统原有，新锅炉接驳回原锅炉系统。

(2) 实施效果

①环境效益

方案实施前，锅炉每月消耗天然气量为 64545m³；方案实施后，在相同工况下，新型锅炉每月消耗天然气量约为 50000m³，每月可节约天然气 64545-50000 = 14545m³，节气率：(64545-50000)m³/64545m³ × 100% = 22.53%。

此外，炉膛出口烟气将能达到氮氧化物小于 30mg/m³、二氧化硫小于 10mg/m³、颗粒物小于 5mg/m³、烟尘小于 20mg/m³、烟气黑度 I 级以下，减少了污染物的排放。

②经济效益

天然气价格按 3.5 元/m³ 计算，可产生经济效益 14545m³/月 × 12 月/年 × 3.5 元/m³ = 610890 元/年。方案共投入资金 110 万元，则投资回收期为 110 万元 ÷ 610890 元/年 = 1.8 年。

案例3

某化纤织物及印染精加工企业，主要产品为拉链带，生产工艺包含织带、成型、缝合、染色、清洗、整烫等。

(1) 实施情况

该公司有一台4蒸吨的旧锅炉，锅炉燃烧废气中烟尘、二氧化硫、氮氧化物等污染物排放浓度较高，且旧锅炉不能保证燃料完全燃烧，造成资源的浪费。因此，该公司将原有的4蒸吨的旧锅炉改为4蒸吨的低氮天然气锅炉。

方案实施后，锅炉采用了低氮燃烧器，运用了烟气再循环技术，通过降低火焰温度和氧含量，抑制氮氧化物的生成，氮氧化物排放浓度低于 $30\text{mg}/\text{m}^3$ 。此外，还增加一套锅炉冷凝水回用系统，将冷凝水回用于锅炉，既减少了水资源消耗，又节约了成本。

(2) 实施效果

① 环境效益

方案实施前，旧锅炉的氮氧化物、二氧化硫及烟尘等排放浓度较高，且年排放量大。方案实施后，使用新型低氮燃气锅炉后可减少污染物的排放。此外，将冷凝水回用于锅炉，节省了新鲜水消耗。

② 经济效益

本方案为旧锅炉更换为低氮燃气锅炉，主要体现在可减少污染物排放的环境效益上。经济效益主要来源于冷凝水回用，减少新鲜水消耗。该公司锅炉冷凝水日排水量约为 $4.05\text{t}/\text{d}$ ，则节约锅炉用水量 $4.05\text{t}/\text{d} \times 330\text{d}/\text{a} = 1336.5\text{t}/\text{a}$ ，折算水费约 $1336.5\text{t}/\text{a} \times 4.5\text{元}/\text{t} = 6014.25\text{元}/\text{a}$ 。

方案三十一：印染工序 染色工艺低浴比改造

1. 技术原理

筒子纱染色机主要由圆筒形染槽、筒子架、贮液槽以及循环泵等组成，属于间歇式染色设备，是纱线染色机常见的一种染色机。为了保证纱层内中外的染料上染和固色达到均匀一致，染液循环通常都是采用内向外和外向内交替进行。双向循环染色需要染液浸没筒子架顶端的筒子纱，导致双向循环染色的浴比较高，通常在1:8以上。单向循环染色是通过染缸内主泵的转速变化驱动染液从筒子纱的内部向外部单向循环，允许顶端筒子架露出液面，能降低染槽中的液面，意味着更低的浴比。但采用染液单向循环时，必须保证筒子纱之间、顶锁等接口的密封性，同时，对染色工艺、筒子纱的密度、比流量以及主循环泵特性等方面都有一定要求。

2. 适用范围

适用于纺织印染业的印染工序。

3. 应用案例

某化纤制造及印染精加工企业，主要生产涤纶工程/工业用线、尼龙类工程/工业用线，主要生产工序包括染色、烘干、邦机、捻线、打线等。

(1) 实施情况

方案实施前，成衣线车间染色机浴比为1:6左右，高的浴比意味着高耗能。同时，染色浴比大，染色周期长，升温、冷却、漂白和水洗的时间占整个染色周期的一半以上，消耗大量的水，增加了生产及污水处理的负担。为了节约能源和水资源，减少染料助剂用量，提高生产效率，该公司定制了5台低浴比机型，设备采用染液单向循环，浴比最低达到1:4.5，平均浴比设置在1:5.5左右。

(2) 实施效果

①环境效益

方案实施后，减少了染料助剂、水、能源、其它化学品等的消耗，节约了生产成本，其中年废水减排量： $\text{产量} \times (\text{改前浴比} - \text{改后浴比}) \times \text{平均染色次数} \div 1000 = 2780694 \times (6 - 5.5) \times 4 \div 1000 = 5561 \text{m}^3$ 。

②经济效益

购置 5 台低浴比染色机投入 986.31 万元。

方案实施后效益：

年节约新鲜水成本： $\text{产量} \times (\text{改前浴比} - \text{改后浴比}) \times \text{平均染色次数} \times \text{水单价} \div 1000 = 2780694 \text{kg} \times (6 - 5.5) \times 4 \text{次} \times 4.86 \text{元/m}^3 \div 1000 = 2.7 \text{万元}$ ；

年节约能源费用： $\text{产量} \times \text{能源消耗量} \times \text{能源单价} \times (1 - \text{改后浴比} / \text{改前浴比}) = 2780694 \text{kg} \times 243 \text{kW} \cdot \text{h/kg} \times 0.56 \text{元/kW} \cdot \text{h} \times (1 - 5.5/6) = 31.28 \text{万元}$ ；

年节约化学品费用： $\text{产量} \times (1 - \text{改后化学品单耗} / \text{改前化学品单耗}) \times \text{平均化学品单价} = 2780694 \text{kg} \times (1 - 6.64/8) \times 1.36 \text{元/kg} = 64.29 \text{万元}$ ；

年节约废水处理成本： $\text{产量} \times (\text{改前浴比} - \text{改后浴比}) \times \text{平均染色次数} \times \text{单位废水处理成本} \div 1000 = 2780694 \text{kg} \times (6 - 5.5) \times 4 \text{次} \times 6.09 \text{元/m}^3 \div 1000 = 3.39 \text{万元}$ ；

合计年节约费用： $2.7 \text{万元} + 31.28 \text{万元} + 64.29 \text{万元} + 3.39 \text{万元} = 101.66 \text{万元}$ 。

方案三十二：印花工序 数码喷墨印花代替圆网印花

1.技术原理

印花是指根据预设好的图案将染料或涂料喷射到织物表面的一个过程。目前常用的印花工艺为：平网印花、圆网印花和喷墨印花。从环境友好性方面进行分析，喷墨印花较平网印花和圆网印花的污染小、消耗低、附加值高，同时也具有小批量、多品种、短交期的优点。

数码喷墨印花机是将花样图案以数字形式输入到计算机，通过计算机印花分色描稿系统(CAD)编辑处理，再由计算机控制微压电式喷墨嘴把水性墨水直接喷射到布匹上，形成所需图案。其优点是印花过程不需要制作网版，且不需要用水。

2.适用范围

适用于纺织印染业的印花工序。

3.应用案例

某化纤织造及印染精加工企业，主要从事尼龙布、涤纶布的生产加工，其产品主要用于雨伞类、帐篷类、箱包类、婴儿车类、成衣类等，主要生产工艺为精炼/退浆、染色/印花、定型整理、上胶、整理等。

(1) 实施情况

方案实施前，该公司使用圆网印花机。圆网印花机在使用的过程中为避免影响不同批次产品的质量，需要不间断的用水清洗工作台上残留的染料，这就产生一定量的清洗废水。为减少污染物的产生，该公司决定购买数码喷墨印花机替代圆网印花机。

方案实施后，该公司使用数码喷墨印花机对胚布进行加工，该设备不需要进行网版的制作，且印花过程中不需要用水对机台进行清洗。

（2）实施效果

①环境效益

油墨使用量：根据该公司提供的统计数据，数码喷墨印花机的油墨使用量为圆网印刷的 10%。

新鲜水用量：方案实施前，该公司使用圆网印刷机，需要不间断的使用清水对台板进行清洗，根据统计数据，清洗水用量为 40t/d，按每年生产时间为 300 天计算，年耗水量为 12000t。方案实施后，印花过程不需要用水，但数码印花机导带需要定期用清水清洗，清洗水用量为 0.2t/d，则年耗水量为 60t。

根据上述计算，节省新鲜水用量： $12000\text{t/a}-60\text{t/a}=11940\text{t/a}$ 。

②经济效益

油墨采购成本：根据企业的统计数据，数码喷墨印花机使用的油墨单价成本为圆网印刷油墨的 2~3 倍，则油墨购入成本可减少 70%~80%。

污水处理费：企业的废水处理成本 20 元/t，企业可节约废水处理费用 $11940\text{t/a}\times 20\text{元/t}=23.88\text{万元/a}$ 。

电费：方案实施前，圆网印花机的电机运行功率为 3kW，年运行时间 2800h，则年用电量为 $3\text{kW}\times 2800\text{h}=8400\text{kW}\cdot\text{h}$ ；方案实施后，数码喷墨印花机运行功率为 19kW，则年用电量为 $19\text{kW}\times 2800\text{h}=53200\text{kW}\cdot\text{h}$ 。按电费 0.67 元/kW·h 计算，则方案实施后年增加电费 $44800\text{kW}\cdot\text{h}\times 0.67\text{元/kW}\cdot\text{h}=30016\text{元}$ 。

综上，企业可节约原料购入成本 70~80%，减少污水处理成本 23.88 万元/a，增加电费 30016 元/a。

四、过程控制

过程控制对生产过程起到至关重要的作用，反应参数是否处于受控状态并达到优化水平或工艺要求，对产品的生产效率和次品率都有直接的影响，同时也直接关系到废弃物的产生量。

因过程控制而导致产生废弃物的主要原因有：

1. 计量表、检测分析仪器或监测精度达不到要求；
2. 某些工艺参数（如温度、浓度、压力等）未处于最优状态；
3. 过程控制的水平未能满足技术工艺要求。

针对初步筛选出的企业进行现场调研，在过程控制方面的已实施方案主要集中在工艺参数优化、过程控制水平等方面上。

结合各技术方案的现场调研情况，本技术汇编对其中技术上具有一定的适用性及推广性，且环境效益及经济效益较为明显的技术方案进行汇总介绍。各清洁生产方案如下表所示：

表 4.1 方案类型与方案名称一览表

序号	方案类型	方案名称
1	过程控制	方案三十三：废水处理设施 精确曝气系统替代传统曝气方式
2		方案三十四：真空镀工序 真空镀膜低温工艺

方案三十三：废水处理设施 精确曝气系统替代传统曝气方式

1. 技术原理

目前，国内大多数污水处理厂对于曝气的控制还停留在手动控制，即操作人员根据经验通过开启和关闭一定数量的鼓风机和曝气器来调节溶解氧 DO，这要求操作人员具有丰富的运行经验，如果调整不及时不仅增加曝气电耗而且还会影响处理效果。

“精确曝气系统”就是将计算机和仪表控制统一集成到一个自动化的污水处理系统当中，通过动态地优化与调整曝气、回流等主要运行参数，达到使污水厂稳定运行的目的，不仅极大地节省运行电耗和人工，而且还保证了处理效果。

传统的鼓风机曝气存在以下不足：

- （1）时间具有延迟性，即从开始曝气到池内 DO 变化需要一段时间，造成 DO 值的波动很大；
- （2）为了保证安全运行，生物池 DO 值只能保持在较高的数值上，造成曝气量的浪费，导致曝气系统能耗偏高。

与传统曝气方式相比，精确曝气具有以下特点：

- （1）能稳定地控制生物池中的 DO 浓度，控制精度可优化在工艺要求的 DO 设定值的 $\pm 0.5\text{mg/L}$ ，提高生化处理效率，确保出水稳定达标；

(2) 解决生物池曝气不均衡的问题，合理分配气量，大大减少了阀门及鼓风机的调节频率，控制鼓风机在稳定的功率下供气，保障曝气系统的安全稳定运行；

(3) 提高污水厂的自动化水平，实现污水厂重要过程参数 DO 浓度的可控；

(4) 缩短污水处理厂的工艺运行调节时间；

(5) 显著提高污水处理厂的抗负荷冲击能力；

(6) 降低污水厂工作人员的劳动强度，提高污水厂的运行效率。

2.适用范围

适用于污水处理曝气系统。

3.应用案例

某水质净化厂，近期处理规模 40 万 m^3/d ，占地 16.32 公顷；远期处理规模 80 万 m^3/d ，总占地 25.57 公顷。污水二级处理工艺采用多段强化脱氮改良型 A^2/O 工艺，深度处理采用纤维转盘滤池+紫外消毒工艺，出水水质执行国家《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)一级 A 标准，尾水排入河流。

(1) 实施情况

该厂原采用传统曝气方式，需要操作人员根据经验，通过开启和关闭一定数量的鼓风机和曝气器来调节曝气池 DO 浓度，容易造成过曝气，同时增加了能耗。此外，由于该厂人员极为精简，所以对厂内各项设备的自动化要求也相对较高，提升工艺装备的自动化水平可有效提高工作效率。

该方案主要是对传统的曝气方式进行改造，引入精确曝气氨氮控制系统，开发通过现场 DO 实际值与设定值的比较，自动调节相应的风量调节阀开度，从而通过控制风量来调控 DO 浓度的控制系统，实现曝气自动化控制。

(2) 实施效果

①环境效益

与传统曝气方式相比，采用精确曝气后的出水水质有所提高，各项指标均能稳定达标。生物池氨氮稳定控制在 2mg/L 内，出水氨氮稳定控制在 1.5mg/L 内。这主要是由于采用精确曝气可使水中 DO 浓度保持在设定的范围内，故可避免因 DO 值波动而对处理效果产生不利影响。

②经济效益

该方案总投资额为 120 万元，用于引入精确曝气氨氮控制系统，开发自控控制系统。方案实施后，在处理水量及工况近满负荷并且出水达到准四类水的情况下，鼓风机用电占比为 36%，同比下降 16%；千吨水电单耗为 $202.2\text{kW}\cdot\text{h}/\text{km}^3$ ，同比下降 12%；千吨水气电耗为 $72.88\text{kW}\cdot\text{h}/\text{km}^3$ ，同比下降 26%，能耗方面都有较大幅度的降低。年节省电量 280 万 $\text{kW}\cdot\text{h}$ ，按电费 0.73 元/ $\text{kW}\cdot\text{h}$ 算，每年可节省电费约 200 万元。

同时，采用精确曝气系统后，可实时控制池内 DO 浓度，避免因时间的延迟而造成 DO 值的波动，使得池内的生物环境稳定。此外，采用自动化控制，减少了人力成本。

方案三十四：真空镀工序 真空镀膜低温工艺

1.技术原理

真空镀膜的原理是高真空反应炉内在一定温度下利用气体放电方式使蒸发的金属与通入的气体（如氮气、氩气、乙炔等）离子化，反应生成高硬度、强附着力的氮化物或碳化物薄膜，附着在工件表面。

镀膜温度会影响膜层与基体的结合力、膜层组织结构和颜色。根据产品基体性质、膜层质量要求和产品颜色的不同，镀膜温度均应随时进行调整。建议企业根据自身产品情况和生产经验进行调整，在满足产品质量需求的前提下，降低镀膜温度，降低企业能耗。

2.适用范围

适用于真空镀膜工序。

3.应用案例

某金属制品制造企业，主要生产电脑或者手机配件类产品。其主要生产工艺为除油/除蜡清洗、中和、冲洗、烘干、真空镀膜、镭雕等。该公司采用的镀膜方式是 PVD 真空蒸镀，镀膜靶材为钛、铝、铬及钛铝合金。

（1）实施情况

真空镀膜温度除影响基体成膜的速度、晶体形状等，还影响其成膜颜色。方案实施前，该公司真空镀膜温度为 250℃；经公司研发部门的不断试验和调整参数，最终在保证产品质量的前提下，将真空镀膜温度调整至 200℃。方案实施后，在生产相同产品的条件下，真空镀膜机能耗得到了有效的降低。

（2）实施效果

①环境效益

该公司真空镀膜机加热的额定功率为 1682kW，平均负荷为 80%。方案实施后，真空镀膜机能耗可节省 0.5%。

该公司年生产时间为 300d，真空镀膜机每日运行时间 24h，则方案实施后可节约电量： $1682\text{kW} \times 80\% \times 24\text{h/天} \times 300\text{天/a} \times 0.5\% = 4.84\text{万 kW}\cdot\text{h/a}$ ，年减少二氧化碳排放量 $= 4.84\text{万 kW}\cdot\text{h} \times 9.489\text{tCO}_2\text{e/万 kW}\cdot\text{h} = 45.93\text{tCO}_2\text{e}$ 。

②经济效益

方案实施过程中，投入的费用主要为试验测试费、产品报废费等，由于涉及企业保密信息，故不便于在此详述。

方案实施后，真空镀膜机降低了能耗，节约了用电量，按电费 0.67 元/kW·h 计算，则方案实施后可节省电费：

$4.84\text{万 kW}\cdot\text{h/a} \times 0.67\text{元/kW}\cdot\text{h} = 32428\text{元/a}$

综上所述，企业试验投资为一次性投资，后续无需再投入，可节约电费 32428 元/a。

五、废弃物的处置

废弃物本身所具有的性质直接关系到它是否可以被利用和循环使用，也决定了废弃物的处理与处置方式的选择。

因废弃物而导致产生废弃物的主要原因有：

- 1.对可利用废弃物没有进行循环使用；
- 2.废弃物的理化性质不利于后续处理和处置；
- 3.单位产品废弃物产生量高于国内外先进水平。

针对初步筛选出的企业进行现场调研，在废弃物的处置方面的已实施方案主要集中在废弃物的回收与利用、废气的收集与治理、废水治理、危废减量等方面上。

结合各方案的实施情况及实施效果，本技术汇编对废弃物的回收与利用、废气的收集与治理、废水治理、危废减量等中环境效益和经济效益较为明显的技术方案进行汇总介绍。各清洁生产方案如下表所示：

表 5.1 方案类型与方案名称一览表

序号	方案类型	方案名称	
1	废弃物的回收与利用	方案三十五：冷凝水回用 洗水车间冷凝水回用	
2		方案三十六：铜粉回收 磨板清洗工序加装铜粉回收机	
3		方案三十七：印刷工序 润版液过滤循环回用	
4	废气的收集与治理	方案三十八：有机废气收集 提高废气收集效率	
5		方案三十九：有机废气治理 冷凝法处理有机废气	
6		方案四十：有机废气治理 沸石转轮+蓄热式燃烧法（RTO）/蓄热式催化燃烧法（RCO）装置处理有机废气	
7		方案四十一：污水站废气治理 污水处理系统废气收集与治理	
8	废水治理	方案四十二：含重金属废水治理 电絮凝处理重金属废水	
9	危废减重	方案四十三：渗滤液浓缩液处理	
10		方案四十四：增设膜渣减重机	
11		方案四十五：蒸馏浓缩分离技术处理工业废液	蒸汽机械再压缩技术（MVR） 扩容蒸发/闪蒸技术 真空蒸馏技术

（一）废弃物的回收与利用

方案三十五：冷凝水回用 洗水车间冷凝水回用

1.技术原理

纺织品经过纺纱、染整、制衣多道工序的加工处理后一般都要经过洗水处理，以达到去污、防缩、加柔、去毛或某些特殊的视觉效果，使成衣的综合性能更接近于常态，颜色更为自然。

洗水过程要对织物进行烘干，目前企业一般采用蒸汽烘干机。蒸汽烘干机是根据热交换的原理，利用蒸汽散热器散发的热量，通过抽风机不断的吸风而产生的一个热循环过程，使转筒内的物料在旋转的转筒内不断正反翻动，而逐渐烘干。蒸汽换热后，温度下降，产生大量冷凝水，该部分冷凝水可根据企业实际情况进行回用。

2.适用范围

适用于蒸汽加热。

3.应用案例

某织物染色、印花、砂洗企业，主要生产工序包括坯检、前处理、染色、漂洗、后整理，包装等。

（1）实施情况

该公司洗水车间烘干机采用蒸汽加热，蒸汽经过热能转换后，产生大量冷凝水。方案实施前，冷凝水作为清净下水直接排放。经公司技术人员分析测试，该部分冷凝水水质满足工艺要求，可直接回用于生产。因此，安装了一套冷凝水回用系统，将冷凝水收集至集水池，再回用至生产。

（2）实施效果

①环境效益

方案实施后，每天可以回收约 8.5m^3 水，一年生产时间按 300 天计算，共可以节水 $2550\text{m}^3/\text{a}$ 。

②经济效益

按水费 $5.3\text{元}/\text{m}^3$ 计，可节约生产成本 $2550\text{m}^3/\text{a} \times 5.3\text{元}/\text{m}^3 = 1.35\text{万元}/\text{a}$ 。增设冷凝水回用系统总投入 6 万元，则投资回收期为 4.4 年。

方案三十六：铜粉回收 磨板清洗工序加装铜粉回收机

1.技术原理

磨板工序是为了去除 PCB 板制造过程中板材周围的小纤维粒，防止生产中掉落粉尘，造成开路短路现象。钻孔后磨板，是去除工件表面因钻孔产生的粉尘和磨去铜面的氧化膜；沉铜后印浆前磨板，是去掉工件表面轻微的氧化膜；其余还有显影后磨板、电镀后磨板、出货前磨板等。

由于磨板是采用物理方式去除板材的毛边及其余杂质，所以磨板清洗线产生的废水中，含有板材上磨刷出的铜粉及其余杂质。此外，磨板清洗线对水质要求不高，将铜粉及其余杂质滤出后，清洗水可回用于生产。

2.适用范围

适用于 PCB 磨板工序。

3.应用案例

某印制电路板制造企业，主要生产双面板、多层线路板，产品应用于电脑周边、通讯设备、医疗器械、汽车等。主要生产工序包括：开料、磨板、曝光、显影、蚀刻、去膜、钻孔、沉铜、电镀铜锡、阻焊、印刷等。

(1) 实施情况

该公司磨板清洗线原未加装铜粉回收机，产生的清洗废水直接进入综合水池。为节约成本，该公司在磨板清洗线上加装了 1 台铜粉回收机，实现磨板清洗工序的清洗水及铜粉回收利用，减少环境的污染和污水处理的压力。

(2) 实施效果

①环境效益

方案实施后，可减少磨板工序清洗废水产生量 $2260\text{m}^3/\text{a}$ ，按照该公司 2019 年单位废水污泥产生量 $3.5\text{kg}/\text{m}^3$ 计算，则可减少污泥产生量 $8.57\text{t}/\text{a}$ 。

②经济效益

该公司废水处理成本约 36.5 元/t，则每年可减少废水处理成本 8.249 万元。污泥处置费用按 3500 元/t 计，则可减少污泥处置成本约 3 万元。铜粉回收机设备结构简单，仅需要低功率传动设备输送清洗废水，因此运行费用较低，可忽略不计。

本方案总投入 2 万元用于购买铜粉回收机及相关的辅助材料，投资回收期： $2 \div (8.249 + 3) = 0.18$ 年 ≈ 2 个月。

方案三十七：印刷工序 润版液过滤循环回用

1.技术原理

胶印过程中，由于受到纸张、油墨及外界因素的影响，润版液将逐渐老化至失效，造成油墨和润版液比例失调，油墨过度乳化，为保证印刷质量，需要频繁地停机进行清洗水箱和换水。加装润版液过滤循环装置，可提高工作效率，减少废润版液的产生。

润版液过滤循环装置主要是对印刷过程中润版液中掺杂的污染物（如油墨、亲水性树脂、纸粉等）进行分离、过滤，保证印刷机水箱内的水质清洁、干净，进一步保持胶印机最佳的水墨控制条件，减少油墨的过度乳化。润版液过滤循环系统的应用可延长润版液使用周期，过滤后的润版液将继续保持印刷表面张力、提高印刷品质，彻底解决管道堵塞问题。

2.适用范围

适用于平板印刷中润版液的处理。

3.应用案例

某包装装潢及其他印刷企业，主要生产消费类电子产品、化妆品、食品、高档烟酒和奢侈品纸质包装。生产工艺为制版、印刷、表面处理、裱纸、模切等。

(1) 实施情况

该公司印刷工序使用罗兰 706 印刷机。

方案实施前，印刷过程中润版液中会夹杂油墨、亲水性树脂、纸粉等污染物，长时间积蓄后会破坏润版液性能，为了保证印刷质量，平均每十天就须更换一次润版液，清洗印刷机水箱，产生大

量的废润版液和清洗废水。为解决该问题，该公司决定增设一套润版液过滤循环系统对润版液中的杂质进行分离并回用，维持水墨平衡，减少油墨的过度乳化，稳定印刷水的水质，延长其使用寿命，提高润版性能，减少废水排放，提高生产效率。

（2）实施效果

①环境效益

润版液节约量：方案实施前，企业润版液单次使用量为 10kg，更换频率为 10 天，年生产时间按照 300 天计算，则需要使用润版液 0.3t；方案实施后，企业更换频率为 60 天，则可节约润版液使用量 0.25t。

VOCs 减排量：根据企业润版液相关数据，其 VOCs 排放系数为 10%，则 VOCs 减排量为 25kg。

危废减少量：方案实施后，每年可减少废润版液 225kg。

②经济效益

安装润版液过滤循环装置投资 2.5 万元。

按照润版液采购单价 30 元/kg 计算，方案实施后可节约原料成本： $250\text{kg/a} \times 30 \text{ 元/kg} = 0.75 \text{ 万元/a}$ 。

危废处置成本： $225\text{kg/a} \times 8 \text{ 元/kg} = 0.18 \text{ 万元/a}$ 。

该方案实施后可减少原辅材料的消耗、减少污染物的产生与排放，提高生产效率。

（二）废气的收集与治理

方案三十八：有机废气收集 提高废气收集效率

挥发性有机物是一大类含碳元素化合物的总称，室温下以蒸汽的形式存在，饱和蒸气压大于 133.32Pa，且沸点在 50~250℃之间的一类有机化合物。实际情况下，通常将半挥发性有机物和易挥发性有机物统称为 VOCs。

1.技术原理

通过对 VOCs 物料存储、投加及加工过程进行控制，可减少有机废气的无组织扩散，如：

- （1）液态 VOCs 物料投加时，可采用密闭管道输送或采用高位槽（罐、桶泵）等给料方式密闭投加；粉状、粒状 VOCs 物料投加可采用气力输送或密闭固体投料器等给料方式密闭投加；
- （2）喷漆、发泡、印刷等涉 VOCs 工序可采用密闭设备或在密闭空间内操作；
- （3）塑炼/塑化/融化、挤出、注塑、吹膜等成型工序可采取局部气体收集措施。

参照《排风罩的分类及技术条件》（GB/T16758-2008），废气收集罩包括密闭罩、半密闭罩（含排风柜）、外部排风罩、接受式排风罩，也包括具有同等收集功能的生产设备（如烘干隧道、涂布设备）和房间（如喷漆室、烘干室等）。

废气收集罩的设置既要满足正常生产时的废气的收集，又要满足生产加料、出料和维修等辅助操作。设置移动集气罩的工位，移动频次不超过 5 次/h。

废气收集的重点包括确定控制点（指有害物放散直到耗尽最初能量，放散速度降低到环境中无规则气流速度大小的位置）及控制风速（将控制点处有害废气吸入罩内所需要的最小风速）。具体

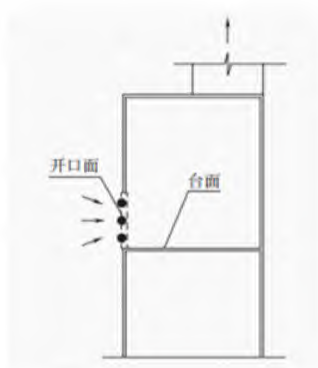
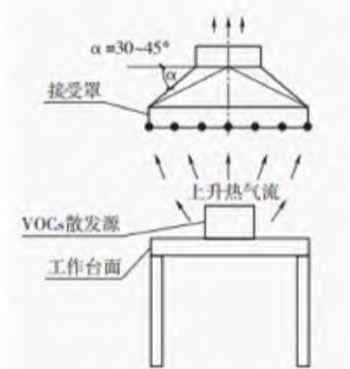
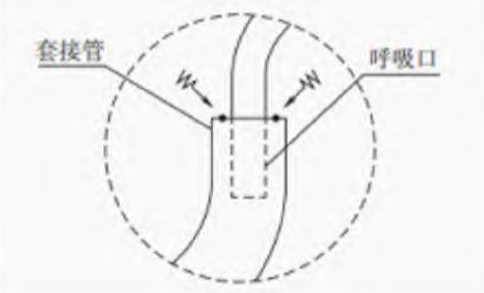
集气罩与控制点的位置关系见表 5.2；根据《挥发性有机物治理实用手册（第二版）》，以 VOCs 收集为例，各种形式及集气罩控制风速要求见表 5.3。

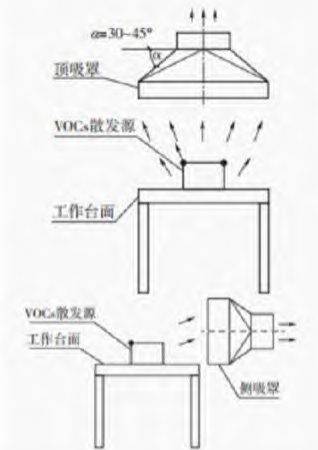
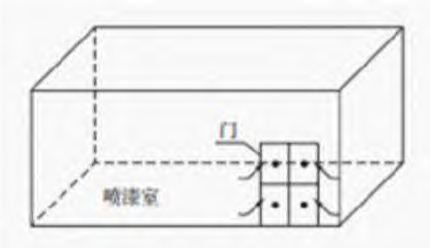
表 5.2 不同类型集气罩与控制点位置关系示意图

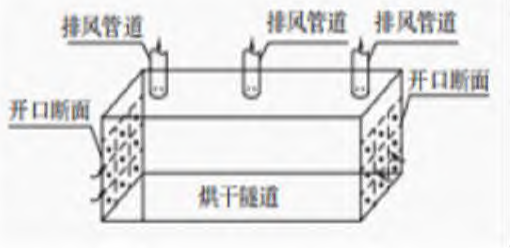
集气罩类型	示意图
顶吸罩	
侧吸罩	

表 5.3 各类集气罩风速要求

VOCs 收集形式	控制要素	建议风速	检测位置示意图（说明：圆点处为风速监控点处）
密闭罩	开口、缝隙的断面风速	0.4-0.6m/s	

VOCs 收集形式	控制要素		建议风速	检测位置示意图（说明：圆点处为风速监控点处）
半密闭罩（含排风柜）	开口断面风速	平均风速 取值：半密闭罩开口没外部气流干扰的	0.4-0.6m/s	
		有外部气流干扰的（放在室外）	1.2m/s	
接受式排风罩	罩口断面风速		大于 0.5m/s，且大于 VOCs 的散逸速度	
套接管	断面风速		$\geq 2.0\text{m/s}$	

VOCs 收集形式	控制要素		建议风速	检测位置示意图 (说明: 圆点处为风速监控点处)
外部排风罩	控制点 (距排风罩开口面最远处的 VOCs 无组织排放位置) 的控制风速		0.3-0.5m/s	
整体通风	门、窗、外墙百叶、进出口、补风口等常用开口断面风速有门朝向外界	开口处采用双重门+门斗	0.4-0.6m/s	
		/	1.2m/s	
喷漆室	喷漆室开口断面风速	机器人喷漆	0.4-0.6m/s	
	喷漆室开口断面风速	手工喷漆	0.4-0.6m/s	

VOCs 收集形式	控制要素	建议风速	检测位置示意图（说明：圆点处为风速监控点处）
通过式烘干室	进出口的断面风速	0.5-1.0m/s	

2.适用范围

适用于涉 VOCs 物料的储存、投加及生产等。

3.应用案例

案例 1

某塑料加工专用设备制造企业，主要生产注塑机、液压比例阀及零配件、伺服阀及零配件等。生产工艺主要为机加工、前处理、喷粉/喷漆、整机装配、测试实验等。

(1) 实施情况

该公司设置油漆储存室储存生产所需的各类油漆，储存室内设置集气罩且为负压状态。油漆储存期间逸散的有机废气均通过集气罩收集通过管道至废气处理设施。

该公司喷漆工序也设置在密闭的可移动的喷漆房内。喷漆前，将工件送到喷漆房所在的区域范围内，通过电机将移动式伸缩室体滑动至工件放置区域后，室体前方卷帘门下降，形成密闭空间，此时室内内部呈现负压，喷漆过程产生的废气经集气罩收集后，经管道排入废气处理设施。

(2) 实施效果

①环境效益

油漆储存室及移动式喷漆房的建设，可提高有机废气的收集效率，有效减少有机废气的无组织逸散，降低对操作人员和周边环境的影响。

②经济效益

该方案不产生直接经济效益，但可以避免因有机废气的超标超量排放而引起的环保处罚。

案例 2

某包装装潢及其他印刷企业，主要生产食品的塑料包装制品等。生产工艺主要为吹膜、印刷、复合、制袋等。

(1) 实施情况

方案实施前，该公司印刷机工位有机废气收集口设置于印刷机左侧，有机废气收集效果一般。为提高车间有机废气收集效果，企业在印刷机工位加装胶帘，形成一个密闭式的负压空间。

(2) 实施效果

①环境效益

印刷机周边加装胶帘可提高有机废气的收集效率，有效减少有机废气的无组织逸散。

②经济效益

该公司加装胶帘约投入 1.2 万元，该方案不产生直接经济效益，但可以避免因有机废气的超标超量排放而引起的环保处罚。

方案三十九：有机废气治理 冷凝法处理有机废气

根据污染物在大气中的物理状态，可分为颗粒性污染物和气态污染物两大类。颗粒性污染物一般通过质量力、势差力等进行分离净化，但气态污染物呈均相分散，作用在两类分子上的外力差异很小，气态污染的净化只能利用污染物的物理化学性质的差异（沸点、溶解度、吸附性、反应性等）实现分离或者转化。常用的方法有吸收法、吸附法、催化法、燃烧法、冷凝法、膜分离法和生物净化法。根据污染物的特性，不同污染物采用的治理措施各不相同，以 VOCs 为例，不同特征的污染物适宜的工艺见下表：

表 5.4 不同特征污染物适宜工艺一览表

项目	污染物特征	适宜工艺
高浓度	质量浓度 > 5000mg/m ³ ，体积分数 > 0.5%	冷凝法
较高浓度	质量浓度 1000-5000 mg/m ³ ，体积分数 0.1%-0.5%	膜分离法、吸收法、燃烧法
低浓度	质量浓度 < 1000mg/m ³ ，体积分数 < 0.1%	吸附法、生物法

1. 技术原理

冷凝法处理有机废气是利用物质在不同温度下具有不同饱和蒸汽压的性质，通过降低系统温度或提高系统压力的方法，使处于蒸汽状态的污染物冷凝液化并从废气中分离出来的过程。

常用的冷凝法分为表面冷凝和接触冷凝。表面冷凝也称间接冷却，是指 VOCs 蒸汽与冷凝管的外壁进行接触冷凝，形成的 VOCs 液体进入收集槽储存或处理；由于冷凝液不与废气直接接触，故可以直接回收利用。接触冷凝是指 VOCs 蒸汽与冷凝液直接接触，蒸汽被冷凝为液体后与冷凝液一同以废液的形式排出，接触冷凝有利与强化传热，常用的接触冷凝液为冷水。

冷凝法除了能去除混合气体中的挥发性有机物，还能将吸附浓缩的高浓度的挥发性有机物进行分离，得到其中有回收利用价值的物质。该方法是对具有可回收利用价值的物质进行回收的有效手段，可实现资源再利用，降低和减少对人体和自然环境的污染。

2. 适用范围

适用于处理高沸点、高浓度（> 5000ppm，体积分数 > 0.5%）、低温度的有机废气处理。当废气中具有中挥发性或者高挥发性成分时，会对冷凝处理效果造成影响，对于沸点在 60℃ 左右的挥发性有机物可保证去除率达到 80%。

企业使用过程中应确保有机废气的沸点和体积分数等达到冷凝技术的标准，若浓度不达标，则会导致设备能耗和运行成本增大。一般情况下，单独采用冷凝法处理有机废气无法一次性达到排放标准，会有部分有机废气残留，因此需要结合其他处理方法进行组合使用。

3. 应用案例

某感光鼓类产品制造企业，主要产品包括有机感光鼓、IGBT 半导体、硬币识别器等。主要生产工艺包括切削、拉拔、阳极氧化、清洗、涂布、烘烤、组装等。

(1) 实施情况

该公司涂布工序使用多种有机溶剂，该有机溶剂在使用过程及后续的烘干工序将全部挥发，产生大量的 VOCs。该公司在涂布生产线上安装了废气收集装置，通过风管将有机废气引至处理设施，处理工艺为：活性炭吸附+蒸汽脱附+冷凝回收。该公司有两条涂布生产线，每条涂布生产线配套 3 套废气处置装置，每套废气处理装置重复吸附、脱附、冷却三个阶段，废气处理过程中，至少有 2 个吸附塔处于吸附状态。有机废气经过活性炭吸附后浓缩后，采用高温蒸汽进行脱附，脱附后的高浓度有机废气进入冷凝装置进行处置。处理工艺流程图如下：

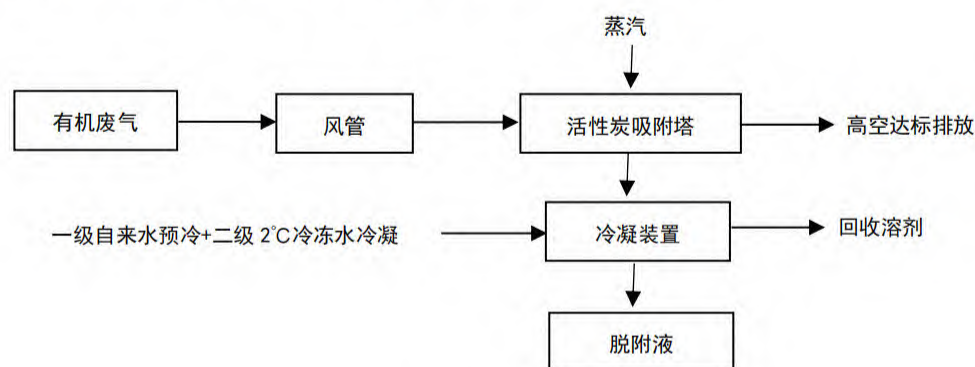


图 5.1 有机废气处理工艺流程图

该公司采用的是接触冷凝法，冷凝液为冷水。冷凝装置处理后的有机废气将与冷水混合进入回收槽内，比重较大的有机物将沉淀至回收槽下层，可直接回流到生产车间进行蒸馏提纯，提纯后的有机溶剂回用至涂布工序，蒸馏残液作为危废处置；上层的溶液则直接进入废水处理设施进行处理。

(2) 实施效果

①环境效益

a.减少原辅材料使用量

根据该公司有机溶剂回收记录，方案实施后，月平均有机溶剂回收量为 24.506t，全部回用至涂布工序，可减少涂布工序原料使用量 24.506t/月。

b.减少危废产生量

吸附饱和的活性炭经高温脱附后可循环再用，减少了废活性炭的产生量。

②经济效益

a.减少原辅材料采购成本

方案实施后，可减少有机溶剂的购买成本，按采购单价 5.5 元/kg 计，则可节省 161.74 万元/年。

b.减少危废处置成本

方案实施后，可明显降低废活性炭的处置成本。

方案四十：有机废气治理 沸石转轮+蓄热式燃烧法（RTO）/蓄热式催化燃烧法（RCO）装置处理有机废气

1.技术原理

（1）沸石转轮

沸石是沸石族矿物的总称，是一种含水的碱金属或碱土金属的铝硅酸盐矿物。由于沸石具有吸附性、离子交换性、催化和耐酸耐热等性能，被广泛用作吸附剂、离子交换剂和催化剂，应用于气体的干燥、净化和污水处理等方面。

沸石转轮充分利用沸石的吸附性能，成为高效的废气浓缩技术之一，主要用于有机废气的治理，特别适用于大风量、低浓度的废气治理。沸石转轮浓缩区可分为吸附区、再生区、冷却区，浓缩转轮在各个区内连续运转。

当含 VOCs 废气进入沸石转轮时，废气中绝大部分 VOCs 被转轮上的沸石吸附，使废气中 VOCs 的含量大幅降低，从而成为较洁净的气体，达标排放至大气中；吸附于浓缩转轮的 VOCs 经再生区热风处理而被脱附、浓缩至 5~15 倍，这有利于后续的处理。

具体工艺流程示意图如下：

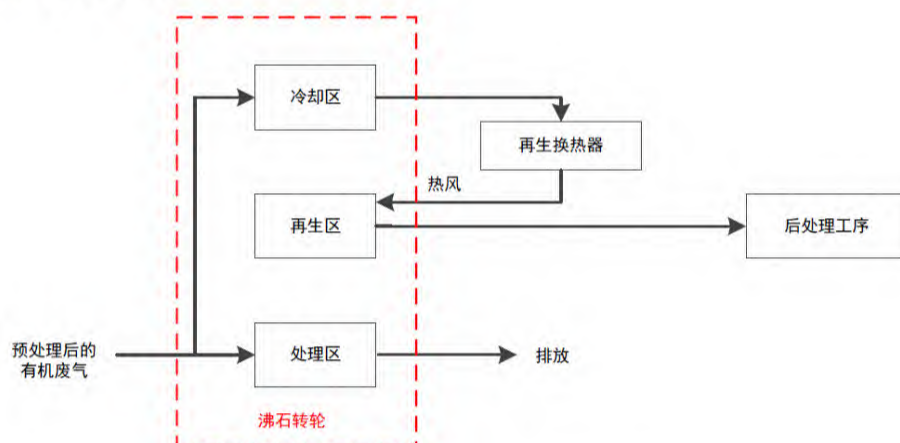


图 5.2 沸石转轮工艺流程示意图

（2）蓄热式燃烧法（RTO）

RTO 是一种具有蓄热式换热器的热力燃烧方法，由陶瓷蓄热体和燃烧室组成。其中陶瓷蓄热体承担热交换功能；燃烧室为有机废气氧化提供反应温度和场所。RTO 反应器作用原理是：把有机废气加热到 760℃ 以上，使有机废气高温氧化分解为二氧化碳和水。常见的 RTO 设备有单室旋转式、两室和三室。以下以单室和两室为例介绍其工作原理：

①单室旋转式 RTO

单室旋转式 RTO 设备的蓄热体中设置分格板，将蓄热体床层分为预热区、燃烧室、冷却区和冲洗区四个独立的扇形区域。废气从底部经进气分配器进入预热区，使气体温度预热到一定温度后进入 RTO 设备顶部的燃烧室，并完全氧化。净化后的高温气体离开氧化室，进入冷却区，将热量传给蓄热体，气体被冷却并通过气体分配器排出。冷却区的陶瓷蓄热体吸热，“贮存”了大量的热量（用于下个循环加热废气）。为防止未反应的废气随蓄热体的旋转进入净化气出口，在净化器出口区前设

有一扇形区作为冲洗区。通过蓄热体的旋转，蓄热体被周期性的冷却和加热，同时使得废气被预热和冷却，如此不断地交替进行。

②两室 RTO

有机废气进入已预热的陶瓷蓄热体 A，蓄热体 A 将热量传递给废气，该过程称为热交换；净化后的气体经陶瓷蓄热体 B，将热量传递给蓄热体，气体得到冷却，该过程称为冷交换；冷交换后的气体直接排放。当热交换和冷交换到达一定程度时，气流方向反转，未处理的低温废气进入已蓄热的蓄热体 B，如此循环操作，可实现污染物的氧化反应和热量循环，从而节省使废气升温而消耗的能源。

两室 RTO 反应器示意如下图：

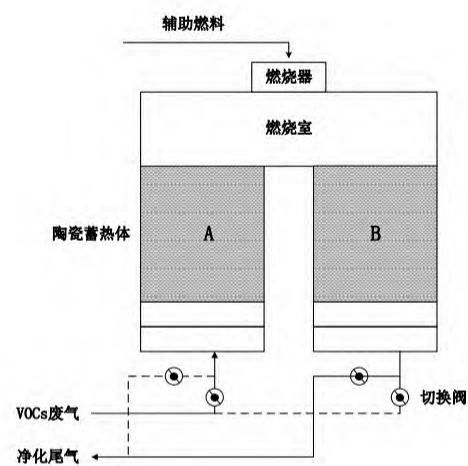


图 5.3 两室 RTO 反应器示意图

(3) 蓄热式催化燃烧法（RCO）

RCO 与 RTO 的净化原理相同，都是采用燃烧法的方式将有机废气转化为二氧化碳和水，不同之处在于 RCO 采用的是低温燃烧（燃烧温度在 300~400℃ 之间）与催化剂的组合方式。下图为两室 RCO 反应器示意图。

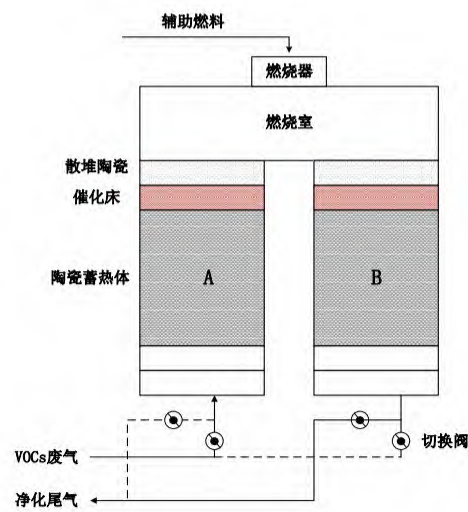


图 5.4 两室 RCO 反应器示意图

2.适用范围

- (1) RTO 适用处理连续性排放、中低浓度（100~3500mg/m³）的有机废气。
- (2) RCO 适用处理间歇性排放、中高浓度（1000~10000mg/m³）的有机废气。废气中不能有 S、P、As、卤素等使催化剂中毒的成份，且对于废气中的微量粉尘需深度过滤，否则将影响催化剂的效果。
- (3) RTO、RCO 中都不能处理含 S、Cl 等腐蚀性的废气。
- (4) 若有机废气浓度较低，可先通过沸石转轮浓缩后再运用 RTO/RCO 进行处理。

3.应用案例

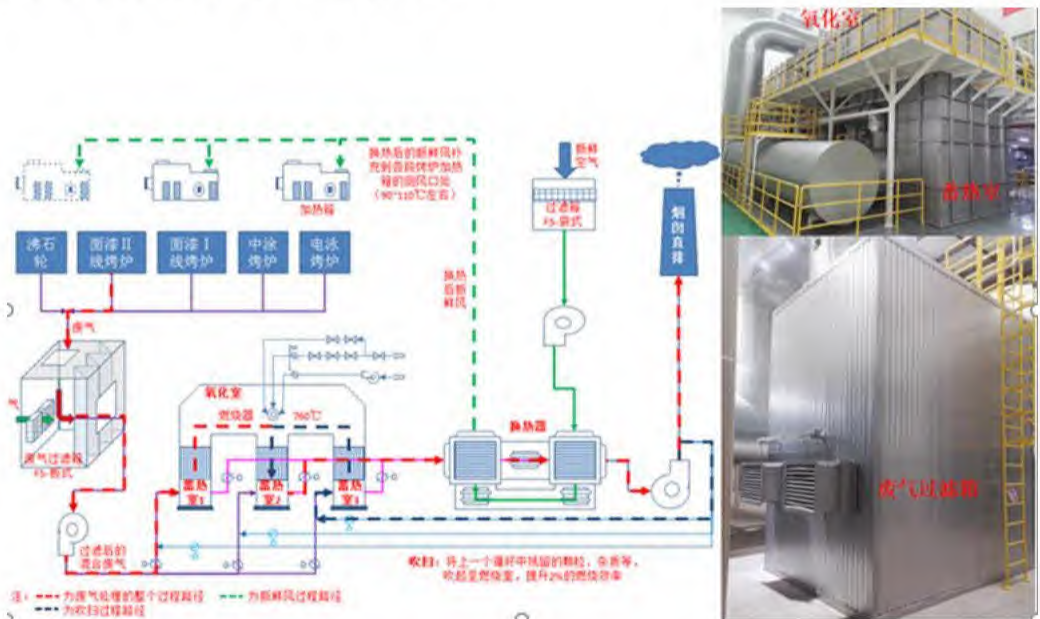
案例 1

某新能源车整车制造企业，主要产品包括保险杠、座椅、车用 CD、模具、内饰件等。生产工艺主要为冲压、焊装、涂装、总装。

(1) 实施情况

方案实施前，该公司喷涂废气采用“水喷淋+活性炭吸附”方式处理，烘烤废气采用“TO 直燃式废气处理工艺”；为进一步提高有机废气的处理效率，企业采用“沸石转轮+RTO”代替原有的处理设施。喷漆废气的浓度较低，经沸石转轮浓缩后进入 RTO；烘烤废气直接进入 RTO，处理后的废气达标排放。

方案实施后有机废气处理工艺流程如下：



(2) 实施效果

① 环境效益

该公司使用的原辅料中 VOCs 含量为 86779.35kg/a。参照《广东省工业源挥发性有机物减排量核算方法（试行）》标准，“水喷淋+活性炭吸附”处理工艺，水喷淋工艺处理效率为 10%，活性炭吸附处理效率为 70%；“TO 直燃式废气处理工艺”，处理效率为 85%；“沸石转轮+RTO 处理工艺”处理效率为 90%。喷漆过程产生的 VOCs 量按原料中 VOCs 含量的 30%计算，烘干过程中按 70%计算。

则方案实施后，有机废气年减排量为： $[86779.35 \times 30\% \times (1-10\%) \times (1-70\%) + 86779.35 \times 70\% \times (1-85\%)] - [86779.35 \times (1-90\%)] = 7463.02\text{kg}$ 。

方案实施前，该公司年产生废活性炭 30.76t；方案实施后，不再使用活性炭，因此每年可减少危险废物产生量约 30.76t。

该方案可提高有机废气的处理效率，减少 VOCs 的排放，同时还可以减少危险废物的产生，环境效益显著。

②经济效益

该方案投资 2000 万元，不直接产生经济效益，通过提高有机废气的处理效率，减少了危险废物的产生，降低了对操作人员和周边环境的影响。

案例 2

某金属船舶制造企业，主要进行船舶维修、海洋工程结构物和工程船舶的设计和制造，产品包括 VLCC、大型集装箱船、FPSO、FSO、LNG 船等各式高端船舶的修理与改装，海洋石油钻井平台的修理和改装等。

(1) 实施情况

方案实施前，该公司采用“过滤+活性炭吸附”方式处理喷漆废气，由于处理效果不佳，该公司采用“过滤+沸石转轮+RCO”替代原有处理工艺。废气经过滤预处理后，经沸石转轮吸附浓缩后进入三室 RCO 中处理达标排放。

方案实施后有机废气处理工艺流程如下：

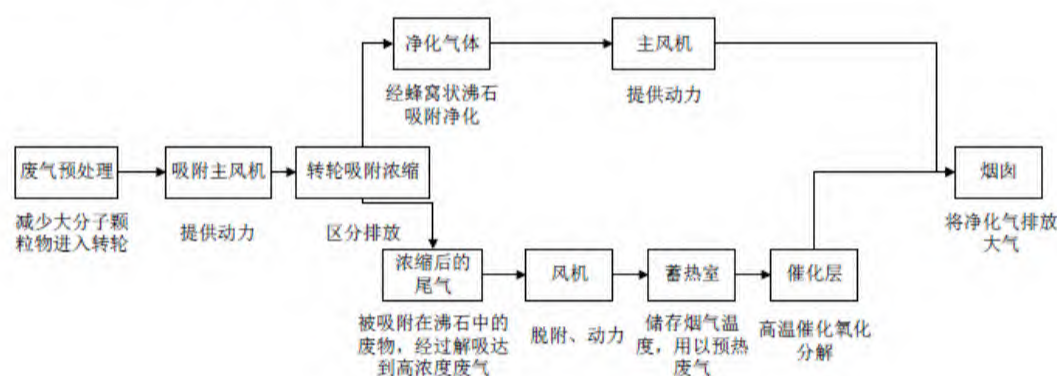


图 5.6 有机废气处理工艺流程图

(2) 实施效果

①环境效益

该公司 2018 年 VOCs 产生量 22.38t，方案实施前，VOCs 处理效率为 62%；方案实施后，处理效率可达到 90.7%。结合该公司实际生产情况，收集效率按照 90%计算，则每年可减少 VOCs 的排放量为： $22.38\text{t/a} \times 90\% \times (90.7\% - 62\%) = 5.6398\text{t/a}$ 。

方案实施前，钢板预处理车间的 VOCs 处理装置的活性炭安装量约为 1.25t，按照正常处理效率，每月需要更换 2 次，一年需要更换 24 次，废活性炭的产生量为 30t；方案实施后，不需要使用活性炭，因此每年可减少危险废物产生量 30t。

该方案可提高有机废气的处理效率，减少 VOCs 的排放，同时还可以减少危险废物的产生，环境效益显著。

②经济效益

该方案投资 243.8 万元，不直接产生经济效益，通过提高有机废气的处理效率，减少了危险废物的产生，降低了对操作人员和周边环境的大气影响，避免了因 VOCs 超标超排引起的环保处罚。

方案四十一：污水站废气治理 污水处理系统废气收集与治理

污水处理系统一般包括预处理区、生化处理区、深度处理区和污泥处理区。污水处理系统的废气主要来源于污水中有机物的发酵、分解、合成，主要包括硫化物（H₂S、硫醇、硫醚等）、氮化物（NH₃、胺类等）、芳香烃及含氧有机物等，其污染源主要为预处理区的格栅、调节池，生化处理区和污泥处理区的贮泥池、浓缩池、压缩泵房等。

1.技术原理

污水处理厂的废气收集治理技术主要是对厂区内产生恶臭气体的污染源进行封闭或加盖密闭，通过管道统一收集至废气处理设施处理后达标排放。其处理技术主要有化学氧化法、吸附法、生物法、洗涤法等。各类处理技术的工艺特点比较如下：

表 5.5 不同除臭工艺特点汇总表

工艺类型	示例	适用范围	处理效果	投资运行成本
化学氧化法	臭氧氧化法、催化氧化法	高浓度	效果好	低投资、中运行
吸附法	活性炭	低浓度	有效可靠	低投资、高运行
生物法	生物过滤法、生物滴滤法、生物洗涤法	中浓度	效果较好	中投资、低运行
洗涤法	酸碱液洗涤法、植物洗涤法、清水洗涤法	高浓度	效果较好	低投资、高运行

在实际应用中需要根据废水的处理工艺、水量及污水处理站建设的地形等，因地制宜选用一种或几种治理方法组合以提高处理效率。

2.适用范围

适用于污水处理站废气收集与治理。

3.应用案例

案例 1

某电子元件制造企业，主要从事液晶显示器（LCD）用偏光片的研发、生产、销售和技术服务。主要生产工艺：TAC 膜处理、染色拉伸复合、涂布烘干和后处理等。

（1）实施情况

该公司的废水处理系统设计处理能力为 2400t/d，废水类型主要包括有机废水、酸碱废水和染色废水，各类废水采用分类分质进行收集，处理后达标排放。

染色废水经褪色曝气预处理后进入有机废水集水池，有机废水主要采用“调节+芬顿反应+混合反应+沉淀+UASB+接触氧化+MBR”工艺进行处理，酸碱废水主要通过“调节+过滤”工艺进行处理。

该公司污水处理站的废气污染因子主要为：氨气、硫化氢等恶臭污染物。方案实施前，污水处理站各处理单元产生的废气为无组织排放。为降低污水处理站废气对厂区内及周边环境的影响，对污水处理站废气进行收集处理。

①收集设施

根据污水处理站各个构筑物的建筑面积等实际情况，对接触氧化池、有机废水池、MBR 反应池和清水池进行围闭处理，部分围闭面采用透明的亚克力板，并设置出入口/观察口，便于日常运营维护。

②处理设施

新增一套“喷淋+除雾器+UV 光解+活性炭”处理设施对污水处理站废气进行治理。污水处理站废气经收集后，通过管道进行碱液喷淋，除去废气中的硫化氢；随后进入除雾器内降低湿度；然后进入 UV 光解设施，臭气被迅速氧化成二氧化碳、水、二氧化硫和氮氧化物等小分子；最后通入活性炭吸附设施内进行吸附净化，进一步提高废气处理效率。

(2) 实施效果

①环境效益

方案实施前，该公司污水处理站废气为无组织排放；方案实施后，污水处理站废气经收集处理后达标排放。根据第三方监测数据，方案实施后，氨气减排量为 10.08kg/a，硫化氢减排量为 23.04kg/a。

②经济效益

该方案投资 48 万人民币，不直接产生经济效益，通过对污水处理站废气的收集和处理，可改善周边环境质量，提升企业形象。

案例 2

某光电器件及电子器件制造企业，主要从事平板显示上游材料及触控器件的研发和生产。主要生产工艺为涂胶、曝光、显影、蚀刻、固化、PVD 沉积等。

(1) 实施情况

该公司的废水类型主要包括有机废水和无机废水，其中无机废水包含含氟废水、含氮磷酸性废水、洁净服清洗废水和纯水设备反冲洗水等。该公司污水处理系统分为两期，主要污水处理单元均设置在地下，其中一期污水处理系统主要处理有机废水和无机废水，处理能力为 405t/d，有机废水处理工艺为：调节+水解酸化+接触氧化+沉淀+过滤，无机废水处理工艺为：调节+混凝沉淀+过滤+吸附；二期污水处理系统主要处理无机废水，处理能力为 1250t/d，其处理工艺与一期无机废水处理工艺相同。

方案实施前，该公司仅对一期生化池废气进行收集处理，废气处理工艺为单一的水喷淋。由于废气收集范围小、处理效果差，污水处理系统内部及周边的异味仍较重。为降低污水处理站废气对厂区内及周边环境的影响，对污水处理站废气收集系统进行升级改造。

①收集设施

根据污水处理站各个构筑物的建筑面积等实际情况，采用“整体+局部”的废气收集方式。一期的地下污水处理区域、动力站污水加药及操作区、动力站酸碱储存区等进行整体收集，有机沉淀池、生化池等加装密闭罩进行局部单元收集；二期的地下污水处理区域废气进行整体收集，包括污泥存放区、污水池区域、加药配药区域。

②处理设施

该公司新增一套“氧化喷淋+UV 光解+碱喷淋”处理设施对污水站废气进行治理。在风机的牵引力作用下，一期和二期收集的废气通过管道进入氧化喷淋塔，与逆流喷淋而下的吸收液接触，可溶性废气被吸收于喷淋液中，循环一段时间后的喷淋液，通过管道排入污水处理站的废水收集池。经喷淋吸收后的废气再进入 UV 光催吸收塔，在催化剂的催化作用和 UV 光照射下，废气被分解；最后进入碱液喷淋塔，进一步对废气进行处理，处理后的气体通过排气筒高空达标排放。

(2) 实施效果

① 环境效益

根据第三方监测数据，方案实施前后，污水处理站废气中各类污染物排放情况如下表所示：

表 5.6 方案实施前后污水处理站废气排放情况对比表

阶段	监测项目	排放速率 (kg/h)	年工作时间 (h)	排放量 (kg/a)
方案实施前	氨气	0.083	7200	597.6
	硫化氢	9.8×10 ⁻⁴		7.056
	甲硫醚	<9.8×10 ⁻⁶		/
方案实施后	氨气	0.054		388.8
	硫化氢	3.6×10 ⁻⁴		2.592
	甲硫醚	<9.8×10 ⁻⁶		/

方案实施后，氨气排放量减少 597.6kg/a-388.8kg/a=208.8kg/a，硫化氢排放量减少 7.056kg/a-2.592kg/a=4.464kg/a。

② 经济效益

该方案投资 129.9 万元，不产生直接的经济效益，通过对污水处理站废气的收集和处理，可改善周边环境质量，提升企业形象。

案例 3

某牲畜屠宰企业，主要从事市售生猪肉、生牛肉、生羊肉的屠宰。主要生产工艺为：击晕、刺杀放血、脱毛、挑胸剖腹、取内脏和清洗等。

(1) 实施情况

该公司的废水类型主要包括屠宰废水、肉制品加工废水、地面冲洗水和生活污水等。该公司污水处理系统设计处理能力为 2000t/d，采用“水解酸化+SBR+接触氧化”工艺。

方案实施前，该公司污水处理站废气为无组织排放，臭气气味较浓，对周边环境影响较大。为减轻污水处理站废气对厂区内及周边环境的影响，该公司对污水处理站产生废气较为集中的格栅池的废气进行收集处理。

① 收集设施

在格栅池四周设置围挡，并在围挡区域内设置集气口，利用风机的牵引力将格栅池内逸散的废气进行统一收集。

② 处理设施

该公司新增一套“洗涤+生物过滤”处理设施对格栅池废气进行处理。收集的废气进入洗涤塔内进行喷淋，与逆流喷淋而下的吸收液接触，可溶性废气被吸收于喷淋液中，循环一段时间后的喷淋水，通过管道排入污水处理站的废水收集池。经喷淋吸收后的废气再进入生物滤池，废气流经生物滤池中的活性滤层，有机物被滤料上的湿润水膜吸收，通过滤料上微生物的代谢作用而降解，处理达标后的气体通过排气筒高空排放。

（2）实施效果

①环境效益

方案实施前，格栅池废气为无组织排放；方案实施后，格栅池废气经收集处理后达标排放。根据第三方监测数据，方案实施后，臭气浓度下降约 90%，硫化氢未检出，氨气排放量减少 20.03t/a。废气减排效果较好，环境效益明显。

②经济效益

该方案不产生直接的经济效益，通过对格栅池废气的收集和处理，可有效改善周边环境质量，提升企业形象。

（三）废水治理

方案四十二：含重金属废水治理 电絮凝处理重金属废水

重金属废水中成分复杂、重金属含量高，对生化池中的微生物有抑制和毒害作用，为减少废水中的重金属对后续生化处理的影响，可 adopt 电絮凝法对重金属废水进行预处理。

1.技术原理

电絮凝是一种使用电能代替化学试剂，去除水中的重金属、悬浮固体和有机物等污染物的电化学过程。该过程集氧化还原、絮凝和气浮为一体，保证后续生化池内微生物的活性，削减生化池 COD 运行负荷。

电絮凝法主要通过控制废水 pH 值、电极间距、电流密度和电絮凝时间等因素，使电极发生水解，形成高活性的多核羟基化合物，吸附或凝集水中分散颗粒和重金属离子，使网捕作用最大化；电解产生的絮凝剂具有较强的吸附能力，比化学絮凝更容易捕获水中的有机物，电絮凝对有机物还具氧化还原作用。

2.适用范围

适用于含重金属废水的处理。

3.应用案例

某金属制品制造企业，主要从事锌合金压铸件生产，主要产品为高档手袋扣、浴室配件等，生产工艺主要为压铸成型、冲压、打磨、电镀和组装。

（1）实施情况

方案实施前，该公司对各类废水进行分类分质预处理后进入综合水池内进一步处理。其污水处理工艺为：①含氰废水：一段破氰反应罐→二段破氰反应罐→综合水池；②除油废水：混凝气浮池→综合水池；③综合废水：中和反应罐→混凝反应罐→斜管沉淀 1 池→砂滤池→pH 调整池→生物接触氧化池→混凝反应池→斜管沉淀 2 池→多介质滤池→达标排放。该过程需要使用大量的混凝剂、沉淀剂，运行成本较高、污泥产生量大。为保证废水的稳定达标排放，该公司在原有废水处理系统上新增电镀综合废水处理系统（处理能力 5m³/h），原综合废水处理系统中 50% 的废水进入新增电镀综合废水处理系统进行处理。

新增电镀综合处理系统工艺流程为原综合废水池→pH 反应箱→高频电絮凝系统→pH 调节箱→浓缩水箱→VF 膜过滤系统→进入原生化系统。由于综合废水中含有较高的有机物，需经 pH 反应箱调节至酸性然后进入高频电絮凝系统；在酸性条件下，电絮凝系统利用电化学原理，把电能转化为

化学能，对废水中的有机或无机污染物进行氧化还原反应，进而凝聚、浮除，将污染物从水中分离；废水经高频电絮凝系统处理后，再次进入 pH 调节箱，调节 pH 使部分物质由溶解态变成非溶解态，然后在浓缩水箱中进行固液分离，分离的悬浮固体可达 5%；分离后的废水进入 VF 膜过滤系统，进行低压分离。

处理后的废水重金属离子和有机物含量具有明显下降，削减生化池 COD 运行负荷，保证了后续生化系统处理的稳定性。

（2）实施效果

①环境效益

药剂及污泥量：方案实施前，该公司年使用 PAC19.37t，PAM3.96t，污泥产生量为 5.98t/a。方案实施后，PAC 和 PAM 使用量可减少 40%，则 PAC 减少量 $19.37\text{t/a} \times 40\% = 7.75\text{t/a}$ ，PAM 减少量 $3.96\text{t/a} \times 40\% = 1.58\text{t/a}$ ；按照 PAC 药剂自身含有 1%的水不溶物会转化为污泥计算，则使用药剂造成的污泥减少量为 $7.75\text{t/a} \times 1\% = 0.08\text{t/a}$ ；不使用 PAC 时，可减少 PAC 与废水中的悬浮物及重金属污染因子反应产生的污泥量约 20%，则减少反应产生的污泥量为 $5.98\text{t/a} \times 20\% = 1.2\text{t/a}$ 。

综上所述，方案实施后可减少 PAC 使用量 7.75t/a，PAM 使用量 1.58t/a，污泥产生量 1.28t/a。

能耗：方案实施后，新增电镀废水处理段能耗为原处理工艺的 1/5~1/3。

②经济效益

新增电镀综合废水处理系统投资 59.07 万元。方案实施后，新增电镀综合废水处理系统的废水处理成本为原处理系统的 10%。根据实际运行情况，电镀综合废水处理系统运行费用为 14.2 万元/年，废水处理成本为 4.73 元/t。

（四）危废减量

方案四十三：渗滤液浓缩液处理

城市垃圾填埋场中产生的渗滤液通常采用微滤、纳滤、超滤和反渗透等膜过滤技术进行处理，该过程将产生膜浓缩液。膜浓缩液中多为渗滤液中难降解的有机物和无机物，其碳氮比、可生化性都较低，回流至调节池中进行再次处理将加大渗滤液处理系统的负荷，采用紫外高级氧化+EM 高效脱氮生物反应器组合处理工艺可有效处理膜浓缩液。

1.技术原理

紫外高级氧化技术是在氧化系统中引入紫外光和氧化剂，利用其极强的协同催化氧化作用选择性的降解难降解的污染物，废水中的难降解有机物和部分无机物被转化为 CO_2 、 H_2O 以及小分子量中间产物（如羧酸、醇等），该技术可有效降低有毒有害废水的色度，去除浓缩液中的有机物、臭气、泡沫、乳化液。

EM 高效脱氮生物反应器是生物膜法和 EM 菌种组合的生物处理技术。其中 EM 菌种是一种由蜡样芽孢杆菌在浓缩液中培养的一种无法进行 HMP 途径发酵的细菌，属于兼性细菌，其在厌氧条件下无法进行正常糖酵解，从而迫使细菌在厌氧条件下只能通过反硝化进行糖酵解同时又不影响其在好氧条件下正常繁殖。

2.适用范围

适用于难降解废水（液）处置，如 COD 浓度高、可生化性较低的废水（液）。

3.应用案例

某垃圾填埋厂，1992 年投入使用，填埋量 60 万 m^3 ，建设标准为简易填埋场，仅配套建设简易的渗滤液收集和导排气系统，2014 年底停止使用，2016 年 8 月进行封场。厂区内配套建设渗滤液处理站，主要对垃圾填埋后产生的高 COD、低 C/N 比的渗滤液进行处置，渗滤液处理工艺为：调节池+生化+MBR+纳滤+反渗透。

(1) 实施情况

方案实施前，处理垃圾渗滤液产生的膜浓缩液均回流至调节池，导致处理系统的负荷越来越大。为保证渗滤液的处理稳定达标，增设一套处理能力为 30t/d 的膜浓缩液处理设施，主要处理工艺为：紫外高级氧化+EM 高效脱氮生物反应器+吸附过滤池。具体处理工艺流程如下：浓缩液经水泵提升到初沉池进行预处理初沉池；初沉池出水进入紫外高级氧化主反应釜，调节污水 pH 至 3~3.5，在紫外光、催化剂、氧化剂的协同作用下分解膜浓缩液中的难降解有机物和无机物，将其转化为 CO_2 和 H_2O ，降低污水色度，去除臭气和泡沫；紫外高级氧化主反应釜出水进入 pH 调节池，调节 pH 至 8~9 以析出催化剂；调节池出水进入二沉池，进行泥水分离后进入中间水池调节水温，然后进入 EM 高效脱氮反应器。该反应器采用全自动化控制及监管模式，选用低价态难以歧化的有机物作为碳源，促使 EM 菌分解大部分的 COD，使其变为 CO_2 和 H_2O ；通过控制 pH 值及溶解氧，可进一步迫使 EM 菌尽可能多的还原硝酸盐，将氨氮及硝态氮转化成 N_2 溢出系统。EM 高效脱氮生物反应器出水进入吸附滤池，吸附滤池采用负载纳米银活性炭，吸附降低 COD，可进一步保证出水的稳定达标。

(2) 实施效果

①环境效益

通过增加“紫外高级氧化+EM 高效脱氮生物反应器+吸附过滤池”对膜浓缩液进行处理，该垃圾填埋厂的渗滤液已实现全量处理，不再回流至调节池，降低了渗滤液处理系统的负荷，降低浓水产生率约 3.7%，保安滤芯、NF 膜、RO 膜等危废减少量约 0.1t。

②经济效益

本方案总投资 337.32 万元。方案实施前，由于膜浓缩液回流至调节池，导致保安滤芯、NF 膜、RO 膜等各种膜设施更换频率较高，综合膜购买成本、反冲洗处理成本和废膜危废处置费用，可节约成本 6.32 万元。

每年雨季，渗滤液的产生量会增加，甚至超过该垃圾填埋厂渗滤液处理能力，须委外处置，根据该垃圾填埋厂提供的统计台账，每年渗滤液委外处理量为 1500t/a，处置费用 270 元/t，则委外费用为 $1500t/a \times 270 \text{ 元/t} = 40.5 \text{ 万元}$ 。方案实施后，膜浓缩液不再回流调节池，可为填埋场渗滤液处理系统预留余量，即使雨季也不需要再进行委外处置。

综合，方案实施后，企业可节约成本 46.82 万元。

方案四十四：增设膜渣减重机

1.技术原理

退膜工序是利用强碱将保护覆铜板面图形的干膜剥掉，露出线路图形的过程。退膜工序产生的废膜渣为半固体状，呈强碱性、高 COD，含有树脂和大量有机物，其含水率高达 60%~100%。

膜渣减重技术是通过物理挤压过滤作用，将废膜渣中水份去除，实现废膜渣减重 40%-70%。

2.适用范围

适用于处理印刷线路板蚀刻线退膜后产生的废膜渣。

3.应用案例

某生产双面板、多层板企业，主要生产工序有开料、磨板、涂布、贴干膜、曝光显影、蚀刻、沉铜、镀铜等。

(1) 实施情况

该公司 2019 年废膜渣产生量达到 16.73t，含水率为 88%。为了减少废膜渣的产生量，购入膜渣减重设备，放置于自动退膜机的出渣口处，废膜渣自动掉入接渣口后进入设备中经挤压过滤后，去除废膜渣中的水份，可减少废膜渣委外处置费用，有效降低环保风险。

(2) 实施效果

①环境效益

方案实施前：废膜渣月平均产生量为 1263kg，含水率为 88%。

方案实施后：废膜渣经膜渣减重设备处理后，在同等产能情况下，废膜渣月平均产生为 652kg，减重率为 48%。

②经济效益

该公司购买的膜渣减重设备费用为 3.5 万元。

废膜渣的转移处置费用按照 4600 元/t 计算，则方案实施前后，废膜渣转移处置费用减少：
 $(1263\text{kg}/\text{月}-652\text{kg}/\text{月}) \times 12 \text{ 月}/\text{a} \div 1000\text{kg}/\text{t} \times 4600 \text{ 元}/\text{t} = 3.37 \text{ 万元}/\text{a}$

投资回收期为： $3.5 \text{ 万元} \div 3.37 \text{ 万元}/\text{a} = 1.04\text{a}$

综上所述，使用膜渣减重设施可以有效的减少废膜渣的重量，减少废膜渣处置费用，投资回收期约为 1 年。

方案四十五：蒸馏浓缩分离技术处理工业废液

蒸馏是一种热力学的分离工艺，它利用混合液体或液-固体系中各组分沸点不同，使低沸点组分蒸发，再冷凝以分离整个组分的单元操作过程，是蒸发和冷凝两种单元操作的联合。

蒸汽机械再压缩技术（MVR）

1.技术原理

蒸汽机械再压缩技术（MVR，Mechanical Vapor Re-compression），原液经预热后进入蒸发器并被蒸汽加热而蒸发，汽液混合物进入汽液分离器，在其中将汽液分离，从而获得浓缩的物料和二次蒸汽。二次蒸汽经过压缩机进行压缩提升为高品质的蒸汽，然后进入蒸发器，充分利用蒸汽的潜热对原液进行加热蒸发，同时二次蒸汽冷凝成干净的蒸馏水，从而达到循环利用蒸汽的目的，使蒸发过程不需要外加蒸汽，从而减少对系统外界能源需求。该技术是一项高效的节能、减排技术。

MVR 系统的工艺流程可根据所需处理液体的理化性质设计成单效蒸发和多效蒸发。

2.适用范围

MVR-单效蒸发系统适合于水分蒸发量大，热敏物性较弱，允许大温差传热，只需蒸发一次就可达到浓缩要求的溶液。

MVR-多效蒸发系统适合于处理热敏较敏感，不宜进行大温差传热的溶液蒸发，同时其也可用于蒸发量较大的工艺场合。

3.应用案例

某计算机零部件制造及其他电子元件制造企业，主要产品为电脑配件、手机主板、手机零配件、智能家居产品及其配件、键盘、手机、耳机、无线电通讯产品金属零件等，主要生产工艺为打磨、清洗、喷砂、阳极氧化、贴片、分板、点胶、镭雕、焊接、打标、抛光、研磨等。

(1) 实施情况

该公司废乳化液主要来源于压缩铝屑产生的废乳化液、CNC 机台槽液更换产生的废乳化液、车间地面清洁产生的含废乳化液刮地水等。由于该公司的废乳化液产生量较大，故购入 1 套运用 MVR 技术的 OWS 污水处理系统对废乳化液进行处理。

废乳化液经过物理错流沉淀去除其中的固体颗粒、浮油、悬浮物等，然后进入 MVR 系统进行蒸发，蒸发后获得蒸馏水和浓废乳化液。蒸馏水回用至生产上，废乳化液浓液作为危废进行拉运处置。

(2) 实施效果

①环境效益

方案实施前：废乳化液全部作为危废进行拉运处置。

方案实施后：废乳化液经 OWS 污水处理系统处理后，废乳化液的量减少约 85%-90%。

②经济效益

该公司购买的 OWS 污水处理系统的功率为 11kW，处理能力是 2t/d（按照系统每天运行 20h 计），该公司实施后项目后的 3 个月，处理了约 135t 的废乳化液。

废乳化液的转移处置费用按照 1480 元/t，自来水费按照 3.77 元/t，电费按照 0.61 元/kW·h 计算，则

方案实施前，处置 1t 的废乳化液的费用为 1480 元。

方案实施后，135t 废乳化液经 OWS 污水处理系统处理后，产生 117t 的蒸馏水和 15t 的浓废乳化液，蒸馏水全部回用至生产线上，浓废乳化液交由有资质的公司拉运处置，则：

浓废乳化液的拉运处置费用为： $15t \times 1480 \text{ 元/t} = 22200 \text{ 元}$ ；

电费： $135t \div 2t/d \times 20h/d \times 11kW \times 0.61 \text{ 元/kW} \cdot h = 9058.5 \text{ 元}$ ；

节约水费： $117t \times 3.77 \text{ 元/t} = 441.09 \text{ 元}$ ；

则处置 1t 废乳化液的成本为： $(22200 \text{ 元} + 9058.5 \text{ 元} - 441.09 \text{ 元}) \div 135t = 228.3 \text{ 元/t}$ 。

综上所述，运用 OWS 污水处理系统处理废乳化液能节省约 85% 的处置成本。

扩容蒸发/闪蒸技术

1.技术原理

扩容蒸发也称为闪蒸，是将溶液在一定压力下加热到一定温度，然后将其注入一个压力降低的容器，当注入溶液的温度高于此容器饱和温度时，溶液中的一部分水份就将散热汽化为蒸汽，使得溶液的浓度增加，直到溶液和蒸汽都达到该压力下的饱和状态为止的过程。将扩容蒸发出来的二次蒸汽通入热交换器，一方面可以得到冷凝水，另一方面可以对进入系统的溶液进行加热。利用多次多级扩容器提高汽水比，同时得到更高浓度的溶液，既可回收热量，也可回用溶液中主要成分。

2.适用范围

适用于酸碱废液以及各类高浓度废水的处理。

3.应用案例

案例 1

某织物印花、染色、水洗企业，主要生产工序有坯检、前处理、染色、漂洗、后整理，包装等。

(1) 实施情况

该公司的丝光工序主要用烧碱来达到布面的染整工艺要求，在生产过程中产生大量的废碱液，但进入污水处理系统将会造成较大冲击，需要消耗大量的酸来中和 pH 值。这样既浪费了大量的液碱，又增加了污水含盐量，进一步加大污水处理的难度，造成生产成本大幅增加。

该公司采购了一套 pH 型智能化扩容蒸发器对废碱液进行过滤、净化、浓缩后回用于丝光工序中，可有效降低生产成本，减少污染物的排放。

(2) 实施效果

①环境效益

方案实施前：全部进入污水处理系统。

方案实施后：全部进入 pH 型智能化连续扩容蒸发器进行浓缩处理，浓缩后产生的浓碱回用至丝光工序，蒸馏水回用至清洗工序。

②经济效益

该公司投入 40 万元购买一台 pH 型智能化连续扩容蒸发器，其功率为 39.2kW，处理能力是 5t/d（按照系统每天运行 24h 计，共运行 130d），则每年可处理约 650t 废碱液。

自来水费按照 3.77 元/t，电费按照 0.61 元/kW·h，碱按照 2 元/kg 计算，则方案实施前，处理 650t 的废碱液的费用约为 16120 元。

方案实施后，650t 废碱液经 pH 型智能化连续扩容蒸发器处理后，产生 455t 的蒸馏水和 195t 的浓废碱液，蒸馏水全部回用至清洗工序，浓废碱液回用至丝光工序，则：

电费： $130d/a \times 24h/d \times 39.2kW \times 0.61 \text{ 元/kW} \cdot h = 74605.44 \text{ 元/a}$ ；

节约水费： $455t/a \times 3.77 \text{ 元/t} = 1715.35 \text{ 元/a}$ ；

节约购置碱的费用： $195t/a \times 1000kg/t \times 2 \text{ 元/kg} = 390000 \text{ 元/a}$ ；

则每年能节约成本为： $390000 \text{ 元} + 1715.35 \text{ 元} - 74605.44 \text{ 元} = 317109.91 \text{ 元}$ ；

投资回收期为： $400000 \text{ 元} \div 317109.91 \text{ 元/a} = 1.26a$ 。

综上所述，运用 pH 型智能化连续扩容蒸发器处理废碱液可实现废碱液的回收再用，节约生产成本，投资回收期约 15 个月。

案例 2

某金属来件清洗企业，主要工序有清洗、喷砂、电弧、真空包装等。

(1) 实施情况

该公司前处理工序需使用大量的稀硝酸进行酸洗，产生大量的硝酸废液，为危险废弃物，须交由有资质的危废处理机构进行回收处置，处理成本较高。故该公司购入 1 套低温闪蒸蒸馏器对硝酸废液进行处理。

硝酸废液低温闪蒸蒸馏器进行蒸发，蒸发后获得蒸馏水和浓硝酸废液，蒸馏水进入废水站进行处理达标后排放，浓硝酸废液作为危废作为危废进行拉运处置。

（2）实施效果

①环境效益

方案实施前：硝酸废液全部作为危废进行拉运处置。

方案实施后：硝酸废液经低温闪蒸蒸馏器处理后，硝酸废液的量减少约 70-75%。

②经济效益

该公司购买的低温闪蒸蒸馏器的能耗为每处理 1t 废液需要 208kW·h，该公司实施后项目后的 3 个月，处理了约 1945kg 的硝酸废液。

硝酸废液的转移处置费用按照 7 元/kg，电费按照 0.65 元/kW·h 计算，则方案实施前，处置 1kg 的硝酸废液的费用为 7 元。

方案实施后，1945kg 硝酸废液经低温闪蒸蒸馏器处理后，产生 1425kg 的蒸馏水和 520kg 的浓硝酸废液，浓硝酸废液交由有资质的公司拉运处置，则浓硝酸废液的拉运处置费用为：520kg×7 元/kg=3640 元；电费：1.945t×208kW·h/t×0.65 元/kW·h=263 元。

则处置 1t 硝酸废液的成本为：（3640 元+263 元）÷1945kg=2 元/kg。

综上所述，运用低温闪蒸蒸馏器处理硝酸废液能节省约 70%的处置成本。

真空蒸馏技术

1.技术原理

真空蒸馏又称减压蒸馏，指通过降低系统内的压力来降低液体的沸点的蒸馏方式，是分离和提纯有机化合物的常用方法之一。

液体的沸点是指它的蒸气压等于外界压力时的温度，因此液体的沸点是随外界压力的不同而变化的。许多有机化合物的沸点在压力降低到 1.3-2.0kPa(10-15mmHg)时，可以比其常压下沸点降低 80℃-100℃。真空蒸馏可避免液体由于温度升高，但未达到沸点时就发生分解、氧化或聚合等的现象。

真空蒸馏的具体方法是：蒸馏装置首先借助真空泵降低整个蒸馏系统内的压力，使得整个蒸馏系统内的压力降低到常压的十几分之一至几十分之一，然后再将被蒸馏的物质通入蒸馏塔中进行蒸馏。

2.适用范围

适用于分离或提纯沸点较高或性质不太稳定的废液。

3.应用案例

某生产特种合成布料、密封条胶带、电线组件、电线的企业。主要生产工艺为切割、黏合处理、涂覆、烘干等。

（1）实施情况

该公司在粘合线洗辊过程中需要消耗大量的水，产生大量的含 NMP（N-甲基吡咯烷酮，沸点 202℃）清洗废水，全部作为危废拉运处置。为了减少危废的产生量，该公司购入一台常温（蒸发温度约 40℃）热泵真空蒸发器，将粘合线洗辊过程产生的有机清洗废水进行真空常温二次蒸发浓缩，二次蒸发冷凝水回用到冷却塔补水，浓缩液作为危废拉运处置。

(2) 实施效果

①环境效益

方案实施前：粘合线洗辊过程中产生的含 NMP 清洗废水全部作为危废进行拉运处置。

方案实施后：含 NMP 清洗废水经常温（蒸发温度约 40℃）热泵真空蒸发器处理后，二次蒸发冷凝水回用到冷却塔补水，浓缩液作为危废拉运处置。

②经济效益

该公司投资 103 万元购买一台常温（蒸发温度约 40℃）热泵真空蒸发器，处理废水的耗电量为 242kW·h/t，含 NMP 清洗废水的转移处置费用按照 4000 元/t，自来水费按照 5 元/t，电费按照 1 元/kW·h 计算，则

方案实施前，处置 1t 含 NMP 清洗废水的费用为 4000 元。

方案实施后，1t 含 NMP 清洗废水经一次蒸发后产生一次蒸馏水 0.8t，经二次蒸发产生二次蒸馏水 0.6t；0.6t 二次蒸馏水全部回用自冷却塔补水，0.4t 含 NMP 清洗废水浓缩液作为危废拉运，则

需要电费： $242\text{kW}\cdot\text{h}/\text{t}\times 1\text{t}\times 1\text{元}/\text{kW}\cdot\text{h}+242\text{kW}\cdot\text{h}/\text{t}\times 0.8\text{t}\times 1\text{元}/\text{kW}\cdot\text{h}=435.6\text{元}$ ；

节约水费： $0.6\text{t}\times 5\text{元}/\text{t}=3\text{元}$ ；

拉运含 NMP 清洗废水浓缩液费用： $0.4\text{t}\times 4000\text{元}/\text{t}=1600\text{元}$ ；

则处置 1t 含 NMP 清洗废水浓缩液的成本为： $1600\text{元}+435.6\text{元}-3\text{元}=2032.6\text{元}$ 。

综上所述，运用常温（蒸发温度约 40℃）热泵真空蒸发器处理含 NMP 清洗废水能节省约 49% 的处置成本。

索引一



索引一

一、挥发性有机物全过程防治

（一）源头替代

方案一：涂层整理工序 水性聚丙烯酸类整理剂替代聚氨酯树脂类整理剂	5
方案二：喷涂工序 水性漆替代油性漆	7
方案三：涂布工序 环保压敏胶替代高 VOCs 压敏胶	11
方案四：印刷工序 环保油墨替代油性油墨	13
方案五：洗网工序 环保锡膏清洗溶剂替代有机锡膏清洗剂	14
方案六：过油工序 水性吸塑油替代油性吸塑油	15

（二）过程管理

方案十三：涂布工序 改变涂布方式降低稀释剂用量	23
方案十四：喷涂工序 减少涂装层数减少 VOCs 产生	24
方案十五：制版工序 免冲洗版替代传统热敏版	25
方案十六：喷涂工序 喷漆自动化改造	29
方案十九：印刷设备清洗工序 橡皮布自动清洗装置替代人工清洗	31
方案三十二：印花工序 数码喷墨印花代替圆网印花	46

（三）末端治理

方案三十七：印刷工序 润版液过滤循环回用	53
方案三十八：有机废气收集 提高废气收集效率	54
方案三十九：有机废气治理 冷凝法处理有机废气	59
方案四十：有机废气治理 沸石转轮+蓄热式燃烧法（RTO）/蓄热式催化燃烧法（RCO）装置处理有机废气	61

二、节能改造与热能回收

（一）节能改造

方案二十一：废水处理曝气工序 磁悬浮离心鼓风机替代空气悬浮离心鼓风机	34
方案二十二：空压机节能改造 永磁变频双极压缩螺杆式空压机替代传统空压机	35
方案二十三：无功补偿 新增有源电力滤波器提高用电设备功率因数	36
方案二十六：电机节能改造 电机增加变频器	39
方案二十七：工件保温 增设保温炉车避免热量损失	40
方案二十八：制冷机节能改造 添加极性制冷剂油提高制冷效率	41
方案二十九：冷冻机节能改造 高效磁悬浮冷冻机替代螺杆冷冻机	42
方案三十四：真空镀工序 真空镀膜低温工艺	50

（二）热能回收

方案二十四：余热回收 空压机余热回收	37
方案二十五：余热回收 高温冷凝水余热回收	38

三、废弃物处置

（一）生产过程废弃物处置

方案三十五：冷凝水回用 洗水车间冷凝水回用	52
方案三十六：铜粉回收 磨板清洗工序加装铜粉回收机	52

方案四十四：增设膜渣减重机	70
(二) 废气治理	
方案四十一：污水站废气治理 污水处理系统废气收集与治理	65
(三) 废水(液) 处置	
方案三十三：废水处理设施 精确曝气系统替代传统曝气方式	48
方案四十二：含重金属废水治理 电絮凝处理重金属废水	68
方案四十三：渗滤液浓缩液处理	69
方案四十五：蒸馏浓缩分离技术处理工业废液	71

四、其他

(一) 原辅材料替代	
方案七：钝化工序 有机保护膜代替铬保护膜	17
方案八：中和工序 环保除灰剂替代硝酸	18
方案九：封孔工序 无镍封孔剂替代含镍高温封孔剂	19
方案十：贯孔工序 铜光剂更换提升镀孔铜贯率	19
方案十一：塑料制品业 全生物降解塑料替代聚乙烯原料	20
(二) 设备自动化	
方案十七：印花打样工序 引进自动滴定打样机	30
方案十八：进料工序 自动配料系统替代人工配料	31
方案二十：电镀生产线 自动化升级改造	32
(三) 低氮锅炉改造	
方案三十：锅炉改造 锅炉低氮改造	43
(四) 清洁能源应用	
方案十二：清洁能源 光伏发电	21
(五) 节水改造	
方案三十一：印染工序 染色工艺低浴比改造	45

索引二



索引二

一、纺织业

方案一：涂层整理工序 水性聚丙烯酸类整理剂替代聚氨酯树脂类整理剂	5
方案十七：印花打样工序 引进自动滴定打样机	30
方案三十一：印染工序 染色工艺低浴比改造	45
方案三十二：印花工序 数码喷墨印花代替圆网印花	46
方案三十五：冷凝水回用 洗水车间冷凝水回用	52

二、印刷和记录媒介复制业

方案三：涂布工序 环保压敏胶替代高 VOCs 压敏胶	11
方案四：印刷工序 环保油墨替代油性油墨	13
方案六：过油工序 水性吸塑油替代油性吸塑油	15
方案十五：制版工序 免冲洗版替代传统热敏版	25
方案十九：印刷设备清洗工序 橡皮布自动清洗装置替代人工清洗	31
方案三十七：印刷工序 润版液过滤循环回用	53

三、金属制品业

方案七：钝化工序 有机保护膜代替铬保护膜	17
方案八：中和工序 环保除灰剂替代硝酸	18
方案九：封孔工序 无镍封孔剂替代含镍高温封孔剂	19
方案二十：电镀生产线 自动化升级改造	32
方案三十四：真空镀工序 真空镀膜低温工艺	50

四、计算机、通信和其他电子设备制造业

方案五：洗网工序 环保锡膏清洗溶剂替代有机锡膏清洗剂	14
方案十：贯孔工序 铜光剂更换提升镀孔铜贯率	19
方案三十六：铜粉回收 磨板清洗工序加装铜粉回收机	52

五、塑料制品业

方案十一：塑料制品业 全生物降解塑料替代聚乙烯原料	20
---------------------------------	----

六、通用工序

方案二：喷涂工序 水性漆替代油性漆	7
方案十三：涂布工序 改变涂布方式降低稀释剂用量	23
方案十四：喷涂工序 减少涂装层数减少 VOCs 产生	24
方案十六：喷涂工序 喷漆自动化改造	29
方案十八：进料工序 自动配料系统替代人工配料	31

七、通用设备

方案二十二：空压机节能改造 永磁变频双极压缩螺杆式空压机替代传统空压机	35
方案二十三：无功补偿 新增有源电力滤波器提高用电设备功率因数	36
方案二十四：余热回收 空压机余热回收	37
方案二十五：余热回收 高温冷凝水余热回收	38
方案二十六：电机节能改造 电机增加变频器	39
方案二十七：工件保温 增设保温炉车避免热量损失	40
方案二十八：制冷机节能改造 添加极性制冷剂油提高制冷效率	41

方案二十九：冷冻机节能改造 高效磁悬浮冷冻机替代螺杆冷冻机	42
方案三十：锅炉改造 锅炉低氮改造	43

八、清洁能源

方案十二：清洁能源 光伏发电	21
----------------------	----

九、废弃物的处置

（一）废气的收集与治理

方案三十八：有机废气收集 提高废气收集效率	54
方案三十九：有机废气治理 冷凝法处理有机废气	59
方案四十：有机废气治理 沸石转轮+蓄热式燃烧法（RTO）/蓄热式催化燃烧法（RCO） 装置处理有机废气	61
方案四十一：污水站废气治理 污水处理系统废气收集与治理	65

（二）废水治理

方案二十一：废水处理曝气工序 磁悬浮离心鼓风机替代空气悬浮离心鼓风机	34
方案三十三：废水处理设施 精确曝气系统替代传统曝气方式	48
方案四十二：含重金属废水治理 电絮凝处理重金属废水	68

（三）危废减量

方案四十三：渗滤液浓缩液处理	69
方案四十四：增设膜渣减重机	70
方案四十五：蒸馏浓缩分离技术处理工业废液	71