

深圳市重点行业清洁生产技术汇编  
2025年

深圳市重点行业  
清洁生产技术汇编

2025年



深圳市重点行业清洁生产  
技术汇编（2025年）

深圳市生态环境局  
深圳淇蓝环境科技有限公司  
二〇二六年四月

# 目 录

前 言 .....	1
第一部分 深圳市技术汇编 .....	2
一、原辅材料替代 .....	3
(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：涂布工序 环保压敏胶替代高 VOCs 压敏胶 .....	5
方案二：印刷工序 环保油墨替代油性油墨 .....	7
方案三：过油工序 水性吸塑油替代油性吸塑油 .....	9
方案四：喷涂工序 水性漆替代油性漆 .....	11
方案五：清洗工序 碳氢清洗剂替代卤代烃清洗剂 .....	16
方案六：洗网工序 环保锡膏清洗溶剂替代有机锡膏清洗溶剂 .....	17
方案七：图形制造工序 干膜替代湿膜 .....	19
方案八：丝印工序 碳酸钠替代洗网水 .....	20
方案九：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 .....	22
(二) 无/低氮原料替代高氮物料 .....	24
方案十：磷化工序 无氮磷化液替代含氮磷化液 .....	24
方案十一：抛光工序 无氮抛光液 .....	25
方案十二：中和工序 环保除灰剂替代硝酸 .....	27
(三) 无毒无害/低毒低害原辅材料替代有毒有害原辅材料 .....	28
方案十三：活化工序 活化酸盐替代硫酸 .....	28
方案十四：钝化工序 有机保护膜代替铬保护膜 .....	29
方案十五：镀铜层钝化工序 苯并三氮唑钝化代替铬钝化 .....	30
方案十六：封孔工序 无镍封孔剂替代含镍高温封孔剂 .....	32
方案十七：电镀工序 无氰镀金 .....	33
方案十八：镀金后清洗工序 碱性金面清洁剂替代氨水 .....	34
方案十九：贯孔工序 铜光剂更换提升镀孔铜贯率 .....	36
(四) 其他 .....	37
方案二十：塑料制品业 全生物降解塑料替代聚乙烯原料 .....	37
方案二十一：清洁能源 光伏发电 .....	38
二、技术工艺改进 .....	40
方案二十二：退镀工序 电解退镀替代化学退镀 .....	41
方案二十三：涂装预处理工序 无磷工艺替代磷化工艺 .....	42



方案二十四：涂布工序 正极涂布停机开裂改善 .....	44
方案二十五：注液工序 锂电池注液工艺优化 .....	45
方案二十六：分容工序 电芯分容工艺优化 .....	46
方案二十七：制版工序 免冲洗版替代传统热敏版 .....	47
方案二十八：印刷工序 印刷行业工艺改进 .....	48
方案二十九：前处理工序 喷砂工序片对片工艺改为卷对卷工艺 .....	50
方案三十：涂布工序 改变涂布方式减少稀释剂用量 .....	51
方案三十一：喷涂工序 减少涂装层数减少 VOCs 产生 .....	52
方案三十二：漆膜工序 滴漆工艺替代浸漆工艺 .....	54
方案三十三：清洗工序 等离子清洗替代传统清洗 .....	56
<b>三、设备升级改造 .....</b>	<b>59</b>
<b>(一) 生产设备 .....</b>	<b>61</b>
方案三十四：磨板工序 磨板喷砂线替代原磨板清洗线 .....	61
方案三十五：曝光工序 全自动 LDI 曝光机替代人工曝光 .....	63
方案三十六：显影、蚀刻、去膜工序 新型 DES 生产线代替传统的显影、蚀刻、去膜生产线 .....	64
方案三十七：蚀刻工序 真空蚀刻代替普通蚀刻 .....	65
方案三十八：退膜、蚀刻、退锡工序 SES 线升级改造 .....	66
方案三十九：黑孔工序 黑孔线升级改造 .....	70
方案四十：贴膜工序 自动贴膜机代替人工贴膜 .....	71
方案四十一：层压工序 加装自动机械手臂 .....	73
方案四十二：字符打印工序 自动字符打印机替代丝网印刷 .....	74
方案四十三：微蚀工序 硫酸铜结晶体设备更新升级 .....	75
方案四十四：电镀工序 VCP 垂直连续电镀线代替传统电镀线 .....	77
方案四十五：电镀工序 上下分体式滚镀线替代传统滚镀线 .....	78
方案四十六：电镀工序 自动化升级改造 .....	80
方案四十七：电镀工序 智能过滤清洗机代替常规过滤器 .....	81
方案四十八：电镀工序 水源热泵集中供热替代电热器末端加热 .....	83
方案四十九：印花打样工序 引进自动滴定打样机 .....	85
方案五十：印染工序 染色工艺低浴比改造 .....	86
方案五十一：印花工序 数码喷墨印花代替圆网印花 .....	87
方案五十二：印刷设备清洗工序 橡皮布自动清洗装置替代人工清洗 .....	88
方案五十三：印刷工序 胶印机升级替代 .....	89
方案五十四：注塑工序 注塑机节能改造 .....	91



方案五十五：进料工序 自动配料系统替代人工配料 .....	93
方案五十六：喷涂工序 喷漆自动化改造 .....	94
方案五十七：喷涂工序 静电喷涂设备替代普通喷枪 .....	95
方案五十八：清洗工序 碳氢清洗机替代溶剂清洗机 .....	96
方案五十九：切割工序 光纤激光切割机替代传统切割机 .....	97
方案六十：工件保温 增设保温炉车避免热量损失 .....	99
<b>(二) 辅助生产设备 .....</b>	<b>100</b>
方案六十一：余热回收 空压机余热回收 .....	100
方案六十二：余热回收 高温冷凝水余热回收 .....	102
方案六十三：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 .....	103
方案六十四：电机节能改造 电机增加变频器 .....	104
方案六十五：无功补偿 新增有源电力滤波器提高用电设备功率因数 .....	105
方案六十六：制冷机节能改造 添加极性制冷剂油提高制冷效率 .....	106
方案六十七：冷冻机节能改造 高效磁悬浮冷冻机替代螺杆冷冻机 .....	107
方案六十八：锅炉改造 锅炉低氮改造 .....	108
方案六十九：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 .....	111
<b>四、过程控制 .....</b>	<b>113</b>
方案七十：真空镀工序 真空镀膜低温工艺 .....	114
方案七十一：原辅料输送工序 NMP 储存输送系统 .....	115
方案七十二：卷材纠正 光电探测器纠偏 .....	116
方案七十三：生产设备 加装感应装置 .....	117
方案七十四：废水处理设施 精确曝气系统替代传统曝气方式 .....	118
<b>五、废弃物处置 .....</b>	<b>121</b>
<b>(一) 废水(液)的收集与处理 .....</b>	<b>123</b>
方案七十五：高浓度废水分类收集处理 .....	123
方案七十六：含重金属废水治理 电絮凝处理重金属废水 .....	127
方案七十七：脱硫废水治理 脱硫废水综合利用改造 .....	128
方案七十八：废水处理 增设硝化液回流装置 .....	130
方案七十九：废水处理 废水资源化利用 .....	132
方案八十：废水深度处理零排放处理系统 .....	133
方案八十一：废水处理 废水处理站智能化改造 .....	135
<b>(二) 废气的收集与处理 .....</b>	<b>137</b>
方案八十二：有机废气收集 提高废气收集效率 .....	137



方案八十三：废气收集与治理 废气收集及处理设施增加延时控制装置 .....	142
方案八十四：废气治理 抑雾剂 .....	143
方案八十五：废气处理 TVOC 吸收剂 .....	144
方案八十六：有机废气治理 冷凝法处理有机废气 .....	146
方案八十七：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 .....	148
方案八十八：废气处理 含氨废气处理 .....	152
方案八十九：废气处理 氯化氢处理 .....	154
方案九十：污水站废气治理 污水处理系统废气收集与治理 .....	155
<b>(三) 危废减重 .....</b>	<b>159</b>
方案九十一：污泥压滤机改造 .....	159
方案九十二：渗滤液浓缩液处理 .....	160
方案九十三：增设膜渣减重机 .....	161
方案九十四：高浓度废液低温蒸馏浓缩减量 .....	162
方案九十五：蒸馏浓缩分离技术处理工业废液 .....	165
方案九十六：废清洗液蒸馏回收与循环利用 .....	170
<b>(四) 废弃物回用 .....</b>	<b>171</b>
方案九十七：膜分离法回收利用除蜡液 .....	171
方案九十八：切削工序 废切削液在线回用 .....	172
方案九十九：显影工序 显影液循环过滤回用 .....	174
方案一百：微蚀工序 微蚀液循环再生 .....	175
方案一百零一：退锡工序 退锡水循环利用 .....	178
方案一百零二：镀镍工序 电镀镍回收系统 .....	180
方案一百零三：电镀含银废水回收金属银 .....	183
方案一百零四：危废处理 活性炭脱附再生系统 .....	185
方案一百零五：冷凝水回用 洗车车间冷凝水回用 .....	186
方案一百零六：铜粉回收 磨板清洗工序加装铜粉回收机 .....	187
方案一百零七：印刷工序 润版液过滤循环回用 .....	188
<b>(五) 碳捕集、利用与封存 .....</b>	<b>189</b>
1. 碳捕集 .....	189
2. 碳运输 .....	190
3. 碳利用 .....	190
4. 碳封存 .....	190

方案一百零八：碳捕集、利用与封存 二氧化碳转化干冰 .....	190
方案一百零九：碳捕集、利用与封存 微藻固碳项目 .....	191
<b>第二部分 国家先进适用技术推荐目录 .....</b>	<b>194</b>

# 前 言

当前，我国正处于巩固污染治理成果、深化污染防治攻坚、推动减污降碳协同增效的关键攻坚期。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抓手，而深入推进重点行业清洁生产审核，不仅是践行绿色发展理念的必然要求，更是实现减污降碳协同增效、推动高质量发展的关键举措。

为了更好地引导深圳市重点行业企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，深圳市生态环境局自 2021 年起，牵头开展重点行业清洁生产技术方案筛选评估工作，逐年将优秀技术和案例编制成册，已先后印发了 2021 年、2022 年、2023 年和 2024 年四个年度《深圳市重点行业清洁生产技术汇编》（以下简称“《技术汇编》”）。

为进一步整合及优化内容体系，提升汇编的科学性、实用性和指导性，2025 年，我们在总结前四年工作经验的基础上，对 2021-2024 年四年度《技术汇编》的技术方案进行全面合并、优化调整，同时为了拓展内容维度，一方面通过对 2024 年实施强制性清洁生产审核的 81 家企业所推行的 1700 余个技术方案，开展初筛、现场走访、专家座谈等多环节严格遴选，最终确定将 7 个具有代表性、可复制、可推广的优秀清洁生产技术方案纳入《技术汇编》；另一方面对标国家政策导向，系统梳理国家各部委印发的清洁生产技术目录、污染治理技术目录和节能低碳技术推广目录等，结合深圳市重点行业发展特点与环保需求，筛选出适合本地产业应用的技术方案，推动国家先进技术与深圳产业实际深度融合，助力传统产业绿色转型、新兴产业绿色赋能。

历经系统梳理、严格筛选与反复优化，最终形成《深圳市重点行业清洁生产技术汇编（2025 年）》。本汇编共收录 190 个清洁生产技术方案，分为两大部分：第一部分为 2021-2024 年优秀技术方案汇总，结合 2024 年企业清洁生产审核筛选出的优秀方案，共计 109 个，涵盖过往五年深圳市重点行业清洁生产的实践成果，体现了技术的连续性与实用性；第二部分为从国家各部委印发的各类推荐技术目录中筛选的适合深圳市重点行业的技术方案，共计 81 个，为企业提供了更广阔的技术选择空间，助力重点行业整体清洁生产水平提升。

# 第一部分

## 深圳市技术汇编

## 一、原辅材料替代

原辅材料是指生产过程中需要的原料和辅助用料的总称。原辅材料自身性质（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，选择对人类和环境低毒或无毒的原辅材料，是实施清洁生产的重要途径。

原辅材料使用导致废弃物产生的主要原因包括：

- 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。

针对初步筛选的企业开展现场调研，实施原辅材料替代的重点在于减少有毒有害污染物的产生与排放。

结合各技术方案的现场调研情况，本技术汇编汇总介绍了技术上具备适用性与推广性，且环境效益和经济效益显著的技术方案。各清洁生产方案如下表所示：

表 1 方案基础情况一览表

序号	类型	方案编号	方案名称
1	(一) 低 VOC 物料 替代高 VOC 物料	方案一	涂布工序 环保压敏胶替代高 VOCs 压敏胶
2		方案二	印刷工序 环保油墨替代油性油墨
3		方案三	过油工序 水性吸塑油替代油性吸塑油
4		方案四	喷涂工序 水性漆替代油性漆
5		方案五	清洗工序 碳氢清洗剂替代卤代烃清洗剂
6		方案六	洗网工序 环保锡膏清洗溶剂替代有机锡膏清洗剂
7		方案七	图形制造工序 干膜替代湿膜
8		方案八	丝印工序 碳酸钠替代洗网水
9		方案九	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
10	(二) 无/低氮原料 替代高氮物料	方案十	磷化工序 无氮磷化液替代含氮磷化液
11		方案十一	抛光工序 无氮抛光液
12		方案十二	中和工序 环保除灰剂替代硝酸
13	(三) 无毒无害/低 毒低害原辅材料替 代有毒有害原辅材	方案十三	活化工序 活化酸盐替代硫酸
14		方案十四	钝化工序 有机保护膜代替铬保护膜
15		方案十五	镀铜层钝化工序 苯并三氮唑钝化代替铬钝化

序号	类型	方案编号	方案名称
16	料	方案十六	封孔工序 无镍封孔剂替代含镍高温封孔剂
17		方案十七	电镀工序 无氰镀金
18		方案十八	镀金后清洗工序 碱性金面清洁剂替代氨水
19		方案十九	贯孔工序 铜光剂更换提升镀孔铜贯率
20	(四) 其他	方案二十	塑料制品业 全生物降解塑料替代聚乙烯原料
21		方案二十一	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

### 方案一：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) 是一类质地柔软的高分子材料, 在室温环境下即能表现出持久的黏附性能。根据主体材料的不同, 压敏胶分为橡胶型和树脂型两大类。橡胶型进一步细分为天然橡胶和合成橡胶, 而树脂型则主要包括丙烯酸类、有机硅类以及聚氨酯类。

压敏胶与基材之间的粘结力主要依靠胶粘剂中高分子链与基材表面形成的分子间作用力 (即范德华力) 来实现, 过程中不发生化学反应。

丙烯酸酯类压敏胶因其优异的耐光性、突出的耐老化性能以及良好的粘接效果, 成为目前应用最广泛的压敏胶类型之一。该类压敏胶可分为乳液型与溶剂型等, 其中乳液型压敏胶具有使用安全、成本低廉、VOCs 含量低、产量大且应用范围广等特点; 而溶剂型压敏胶主要由软/硬单体、功能性单体及溶剂组成, 其 VOCs 含量相对较高。

采用低 VOCs 含量原料替代高 VOCs 含量原料, 可从源头减少 VOCs 的产生, 降低对操作人员健康及周边大气环境的影响。方案实施前后对比表明, 产品的粘结力仍能满足质量要求。

#### 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。企业更换原辅材料时, 应确保符合相关环境管理要求。

#### 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, 生产工艺包括镀膜、涂胶、印刷等。

##### (1) 实施情况

根据客户需求, 企业需在合成纸表面涂覆一层压敏胶水, 用于对镀铝 PVC 膜、PET 膜或普通 PVC 膜等材料的粘接。

企业原涂覆工序使用的罗门哈斯/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、增粘树脂及乙酸乙烯酯, VOCs 含量高达 55%, 生产过程中排放的 VOCs 对周边环境造

成显著影响。经多轮工艺测试验证,在确保产品质量达标的前提下,企业采用罗邦/水性粘合剂(VOCs含量仅0.1%)替代原胶水,从源头大幅削减了VOCs的产生量。

## (2) 实施效果

目前,除部分产品因客户特定要求暂无法替代外,企业已有80%的高VOCs胶水替换为低VOCs压敏胶水。

### ① 环境效益

方案实施前,罗门哈斯/油性不干胶水(VOCs含量55%)用量为75t/a,VOCs产生量为 $75t/a \times 55\% = 41.25t/a$ ;

方案实施后,罗邦/水性粘合剂(VOCs含量0.1%)用量为60t/a,罗门哈斯/油性不干胶水用量减少至15t/a,VOCs产生量为 $60t/a \times 0.1\% + 15t/a \times 55\% = 8.31t/a$ 。

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/油性不干胶水采购单价为7000元/t,则采购费用为: $75t/a \times 7000 \text{元}/t = 52.5 \text{万元}/\text{年}$ ;

方案实施后,罗邦/水性粘合剂采购单价为10000元/吨,则采购费用为 $60t/a \times 10000 \text{元}/t + 15t/a \times 7000 \text{元}/t = 70.5 \text{万元}/\text{a}$ 。

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,可从源头减少了VOCs的产生与排放,有效降低了对操作人员健康及周边环境的影响。

## 案例 2

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

### (1) 实施情况

企业在偏光片生产过程中,需在离型膜表面涂布压敏胶。原使用的丙烯酸酯类胶黏剂,经自行检测发现其VOCs含量偏高。为此,企业主动寻求低VOCs含量的压敏胶替代品。在深入市场调研结果的基础上,结合自身产品特性与供应商合作,成功调配出环保型压敏胶(低VOCs3A12胶水、低VOCs3A28胶水),并用以替代原有的A8胶水和A12胶水。

表 1.1 压敏胶替换前后组成成分一览表

成分名称	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		√	√	×	×

成分名称	压敏胶名称		替换后环保压敏胶	
	替换前压敏胶			
	A8 胶水	A12 胶水	低 VOCs3A12 胶水	低 VOCs3A28 胶水
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粘制品，根据中国胶黏剂和胶粘带工作协会发布的《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，压敏胶用量为 1718252kg/a，VOCs 含量均值为 85.5%；方案实施后，压敏胶用量维持不变，VOCs 含量均值降至 81.5%。两者相比，VOCs 含量平均降低 4%，据此计算，VOCs 产生量减少了： $1718252\text{kg/a} \times 4\% = 68730.08\text{kg/a}$ 。

### ②经济效益

经现场调研，实施低 VOCs 压敏胶替换高 VOCs 压敏胶，原料采购成本增加 20%；但实现了 VOCs 的源头削减，从而减轻对员工健康及周边大气环境的影响。

## 方案二：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、连结料和辅助剂等成分组成的均匀分散体系，在印刷过程中被转移到承印物上的着色物质。

按照分散介质不同，油墨可分为油性油墨、水性油墨和 UV 油墨等。油性油墨以有机溶剂为分散介质，VOCs 含量较高，使用过程中产生大量有机废气；水性油墨以水为分散介质，VOCs 含量较低；UV 油墨以光固化树脂为分散介质，在紫外光照射下迅速干燥固化，VOCs 含量较低。

企业可根据产品特点和客户需求，在确保产品质量的前提下，采用水性油墨或 UV 油墨替代油性油墨，从源头减少 VOCs 的产生，降低对员工健康和周边大气环境的影响。

### 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。企业更换原辅材料时，应确保符合相关环境管理要求。

### 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。

##### (1) 实施情况

该企业采用凹版、凸版和柔版三种印刷工艺分为凹版印刷、凸版印刷和柔版印刷。其中：①凹版印刷，用于塑料软包装的塑胶薄膜，需印制凸感图文，采用凹版油性油墨；②凸版印刷，用于商标标签等不干胶材料，采用 UV 油墨；③柔版印刷，用于门票、登机牌、快递贴标等 PP 合成纸，采用凹版油性油墨。

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，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。该油墨 VOCs 含量较高，生产过程中产生的有机废气对周边环境影响较大。为此，企业在保证产品质量的前提下，引入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。

方案实施前，凹版油性油墨的 VOCs 含量为 60%，稀释剂 VOCs 含量为 100%；方案实施后，水性柔版油墨 VOCs 含量仅为 4%，不需要稀释剂。

##### (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： $6.5t/a \times 60\% + 10.5t/a \times 100\% = 14.4t/a$ ；

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： $3t/a \times 4\% = 0.12t/a$ 。

综上，方案实施前后，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，则采购费用为  $3t/a \times 30000 \text{ 元/t} = 9 \text{ 万元/a}$ 。

综上，本方案通过替代高 VOCs 油性油墨，从源头减少 VOCs 的产生，降低对员工健康和周边大气环境的影响。与此同时，企业的采购成本也略微降低。

## 案例 2

某包装装潢及其他印刷企业，主要生产不干胶贴纸、铭版、纸质包装等产品，主要生产工序为制版、印刷、加工和包装等。

### (1) 实施情况

企业原使用的油性油墨主要成分为环己酮、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 对周边大气环境影响较大。结合产品性能要求，企业采用 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。

方案实施前，企业使用的油性油墨 VOCs 含量为 42%，稀释剂 VOCs 含量为 100%；方案实施后，UV 油墨 VOCs 含量仅为 5%，不需要稀释剂。

### (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： $16.39\text{t/a} \times 42\% + 3.75\text{t/a} \times 100\% = 10.63\text{t/a}$ ；

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： $8.9\text{t/a} \times 5\% = 0.45\text{t/a}$ 。

综上，方案实施前后，减少 VOCs 产生量为 10.18t/a。

#### ②经济效益

基于企业成本信息保密原则，未获得原料采购单价，但采用 UV 油墨替代油性油墨，可从源头减少 VOCs 的产生，降低有机废气末端处置成本，同时也降低对员工健康和周边大气环境的影响。

## 方案三：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，也称上光或过面油，不仅能够提升印刷品的光泽度，避免油墨因光照而退化，还能提高印刷品的耐摩擦性和防水性，从而对印刷品起到保护作用。

过油工序使用的各种油类，通常由高级树脂、溶剂、辅料等合成。根据溶剂类型，可分为油性油和水性油。其中，油性油需以有机溶剂作为稀释剂，VOCs 含量较高，使用过程中会产生大量有机废气；而水性油以水为溶剂，VOCs 含量较低。

企业可依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 产生，降低对员工健康和周边大气环境的影响。

## 2.适用范围

适用于印刷业的过油工序。企业更换原辅材料时，应确保符合相关环境管理要求。

## 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，生产工艺包括镀锌版、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，部分印刷品需进行过油处理，使用吸塑油。该企业原使用的是油性吸塑油，VOCs 含量较高。为同时满足现行环保相关要求及客户对产品的环保性要求，企业在保证产品质量的前提下，经多方测试，采用水性吸塑油替代油性吸塑油。

水性吸塑油与油性吸塑油的主要成分对比见下表：

表 1.2 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%

调研结果显示，采用水性吸塑油替代油性吸塑油后，对产品质量无明显影响，能够满足市场需求。

### (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 1.3 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

项目		单位	油性吸塑油过油工艺	水性吸塑油过油工艺
		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，则采购费用为：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，则采购费用为：72kg/a×39 元/kg=2800 元/a。

综上，本方案通过替代高 VOCs 含量的油性吸塑油，尽快采购成本略有上升，但从源头减少 VOCs 的产生，降低对员工健康和周边大气环境的影响。

## 方案四：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，涂覆于物体表面后，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附着牢固、具有一定强度的连续固态薄膜。该薄膜兼具保护（如防腐、防水、耐化学品、耐高温等）、装饰（如颜色、光泽、图案等）和特殊功能（如绝缘、标记、防污等），广泛应用于制造业。漆通常由成膜物质、颜料、溶剂和助剂四部分组成，按溶剂介质不同，可分为油性漆和水性漆。

油性漆主要原料为硝基漆、聚酯漆，成膜物质主要为油性树脂，在使用过程中需要添加大量的有机溶剂（如：甲苯、二甲苯和乙醇等）。这类有机溶剂不仅具有剧毒、易燃的特性，而且挥发性和污染性也较大，对员工健康和周边大气环境影响较大。

水性漆以水性树脂为主要成膜物质，以水为溶剂，挥发性物质含量较低，对员工和环境的负面影响较小。

从原料成分分析，油性漆的挥发性物质含量高于水性漆，属于高 VOCs 含量原料。根据产品类别不同，油漆 VOCs 含量限量值也有所不同，以木器漆为例，油性漆 VOCs 含量限值≤420g/L，水性漆 VOCs 含量限值≤270g/L。

在保证产品质量和性能的前提下，企业可结合产品特点和客户需求，采用低 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，降低对员工健康和周边大气环境的影响。

## 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，生产工序主要包括冲压、焊装、涂装、总装等。

#### (1) 实施情况

企业在生产过程中需要使用中涂漆、面漆和色漆对工件进行表面处理。由于企业生产规模较大，喷涂及固化环节产生的有机废气总量较大。为贯彻落实《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）要求，从源头减少 VOCs 的产生，企业对涂装车间实施水性化改造，将中涂漆和面漆更换为水性漆。

方案实施前，企业使用的中涂漆和面漆均为高温固化溶剂型漆固（含量>60%），VOCs 含量较高，使用过程产生较大量的 VOCs；方案实施后，企业将原高 VOCs 含量的中涂漆和面漆均更换为水性漆。水性漆占比从 47.5%提升至 81.8%，从源头上降低原料中 VOCs 含量，减少 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%

油漆种类		水性漆	油性漆
项目			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原辅材料的 MSDS

调研结果显示，企业采用水性漆替代油性漆后，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动态调整，油漆类型及用量相应浮动，企业统计数据不具有明显代表性，故在环境效益和经济效益核算中，假设替代前后喷涂面积相同，且中涂漆和面漆使用量不变。具体实施效果如下：

### ①环境效益

方案实施前，企业中涂漆用量 82890kg/a，面漆用量 85650kg/a，稀释剂用量 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，方案实施前后，减少 VOCs 产生量为 53.11t/a。

### ②经济效益

基于企业成本信息保密原则，虽未获得原料采购单价，但结合行业情况，采用水性漆替代油性漆后，原来购置成本将有所增加，但可从源头减少 VOCs 的产生，有效降低后续废气处置成本，并降低对员工健康和周边大气环境的影响。

## 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。生产工序主要包括机加工、前处理、喷涂和装配测试等。

## (1) 实施情况

企业设置 2 条喷涂线，用于铸件等零配件的喷涂处理，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 产生，该企业将底漆和面漆均用水性漆替代油性漆。

经现场调研，由于该企业生产产品类型较多，且客户对设备防腐、防水、耐高温等性能指标的要求不同，所用漆的成分也各不相同。因此，本次选取该企业最具代表性且使用频率较高的水性漆和油性漆进行介绍。

方案实施前，企业使用双组份聚氨酯底漆、NC 硝基油性面漆；方案实施后，企业使用水性环氧底漆、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原辅材料的 MSDS

调研结果显示，企业采用水性漆替代油性漆后，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动态调整，油漆类型及用量相应浮动，企业统计数据不具有明显代表性，故在环境效益和经济效益核算中，假设替代前后喷涂面积相同，且底漆和面漆使用量不变。具体实施效果如下：

### ① 环境效益

方案实施前，企业底漆用量 3696kg/a，面漆用量 6699kg/a，稀释剂用量 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，使用水作为稀释剂，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，方案实施后，减少 VOCs 产生量为 11467.76kg/a。

### ② 经济效益

经现场调研，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。

由上表可知，采用水性漆替代油性漆后，企业原辅材料的采购成本虽略有上升，但由于从源头减少了 VOCs 的产生，有效降低了末端废气处置成本，并降低对员工健康和周边大气环境的影响。

## 方案五：清洗工序 碳氢清洗剂替代卤代烃清洗剂

卤代烃清洗剂在使用过程中造成部分卤代物释放，在紫外线照射下与臭氧发生光化学反应，对臭氧层造成破坏。目前，随着环保要求的日益严格，卤代烃清洗剂面临淘汰的巨大压力，采用碳氢清洗剂替代卤代烃清洗剂已经成为发展趋势。

### 1. 技术原理

碳氢清洗剂是由碳、氢两种元素组成，具有优异的溶解性和渗透性，其清洗原理主要是相似相溶，利用溶剂对污垢的溶解作用进行清洗。碳氢清洗剂具有以下特点：对金属加工油清洗力强；表面张力小、渗透力强，可深入工件细微缝隙及盲孔，彻底清除油污杂质；对液晶污物，特别是联苯系污物的相容性好；不腐蚀金属；对树脂影响小。

随着碳氢清洗剂研发的不断深入，其应用领域不断扩展，功能型碳氢清洗剂应市场需求而推出，在保留原有除油脱脂功能的基础上，可根据清洗对象的不同进行调整适配。按清洗污渍的不同，主要分为以下几类：

脱水型碳氢清洗剂：主要用于清洗脱除工件表面的水分、切削液及水性清洗剂等污渍。

防锈型碳氢清洗剂：具备清洗和防锈功能。主要用于铁件、碳钢等易生锈金属的清洗，防锈期可达 15~90 天。

除助焊剂型碳氢清洗剂：主要用于清洗电子仪器、PCB 线路板等零件上的助焊剂、油污及灰尘等污渍。

除炭灰型碳氢清洗剂：主要用于清洗电池、电容等筒状冲压拉伸后工件上的炭黑、粉末及油污等污渍。

除腊型碳氢清洗剂：主要用于清洗五金卫浴、钟表电镀、首饰加工及灯饰制造等领域工件上的抛光蜡。

除树脂型碳氢清洗剂：主要用于清洗部件及设备上的油污、天然树脂和合成树脂等污渍。

碳氢清洗剂大多可通过蒸馏实现再生循环利用，可有效降低清洗剂的使用量，减少 VOCs 的产生与排放。

### 2. 适用范围

适用于清洗工序。碳氢清洗剂在使用过程中会产生一定量有机废气，需收集并经有机废气处理设施处理达标后排放。如需更换清洗剂，应评估原清洗设备及污染治理设施的适用性。

不适用于清洗以橡胶、塑料、部分金属材料（镁、铝、锌等）、涂层（油漆、涂料）、聚氨酯树脂和聚乙烯、聚丙烯等为表面材料的工件，碳氢清洗剂直接接触或浸泡上述材料，可能导致工件表面出现老化、硬化、溶胀、变形、开裂等现象，影响工件质量。

对于内部结构复杂（如多孔、狭窄、深孔等）的工件，应谨慎使用，以避免清洗不到位或清洗剂残留，影响工件后续的加工使用。

### 3.应用案例

某五金零部件、塑胶零部件生产企业，主要生产橡胶滚轴和办公设备刮板等，生产工艺包括混炼、押出、涂布、烧成、嵌入、涂装、清洗等。

#### (1) 实施情况

方案实施前，企业铁芯脱脂清洗工序采用溴丙烷作为清洗剂，VOCs 含量 100%，有机废气产生量较大。

方案实施后，企业采用碳氢清洗剂替代溴丙烷清洗剂，VOCs 含量降低至 72.6%，减少了有机废气的产生量。

#### (2) 实施效果

##### ①环境效益

方案实施前，企业溴丙烷用量 8.36t/a；方案实施后，在产能相同的情况下，碳氢清洗剂用量 4.8t/a。

溴丙烷 VOCs 含量为 100%，碳氢清洗剂 VOCs 含量为 72.6%，则本方案实施后，可节省清洗剂  $8.36t/a - 4.8t/a = 3.56t/a$ ，减少 VOCs 产生量约  $8.36t/a \times 100\% - 4.8t/a \times 72.6\% = 4.88t/a$ 。

##### ②经济效益

溴丙烷购买单价为 125 元/kg，碳氢清洗剂购买单价为 31 元/kg，则节省原料采购费用  $8.36t/a \times 1000kg/t \times 125 \text{元/kg} - 4.8t/a \times 1000kg/t \times 31 \text{元/kg} = 89.62 \text{万元/a}$ 。

## 方案六：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残留锡膏与助焊剂的混合物。由于助焊剂主要成分为有机物，根据相似相溶原理，部分企业采用异丙醇（IPA）作为清洗剂。但是，IPA 的挥发性较强且消耗量大，使用过程会释放大量 VOCs，对员工健康及周边大气环境均造成较大影响。

为减少 VOCs 排放、提升清洗效率并降低清洗剂用量，可采用半水基清洗剂替代 IPA 清洗钢网。半水基清洗剂由有机溶剂添加少量水及表面活性剂配制而成，其清洗机理融合了水基清洗剂的表面活性剂作用与溶剂清洗剂的特性，既保留了溶剂型清洗剂对油污的强劲清洗力，又增强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。企业更换原辅材料时，应确保符合相关环境管理要求。

## 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。生产工艺包括点胶、贴片、回流焊、锡膏印刷、清洗锡膏、树脂涂布、真空镀膜、树脂研磨、激光印字等。

### (1) 实施情况

企业设有多条混合集成电路生产线，其锡膏印刷工序所用钢网需根据使用时长及产品批次进行定期清洗。

方案实施前，企业采用人工手动方式清洗钢网，使用的是 IPA 有机清洗剂，不仅清洗效率偏低、消耗量较大，且会产生大量 VOCs。为减少 VOCs 产生量并提升清洗效率，企业对洗网工序进行升级改造：以全封闭自动洗网机取代人工手动洗网，同时用半水基清洗剂替代 IPA 有机清洗剂。该半水基环保清洗剂主要成分包括二丙二醇甲醚与去离子水等，VOCs 含量仅 20%，且可通过蒸馏等工艺实现回收再用。

### (2) 实施效果

#### ①环境效益

方案实施前，IPA 有机清洗剂用量 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，半水基环保清洗剂用量 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 2.244t/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：一台自动洗网机可替代 2 个员工进行清洗，人工费用按 5000 元/人·月计，节省人工成本  $2 \text{人} \times 5000 \text{元/人} \cdot \text{月} \times 12 \text{月/a} = 12 \text{万元/a}$ 。

清洗剂采购费用：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，从源头减少 VOCs 的产生，降低对员工健康和周边大气环境的影响。

## 方案七：图形制造工序 干膜替代湿膜

干膜和湿膜是制作线路板的原材料。其中，干膜是一种高分子的化合物，在紫外线照射下发生聚合反应，生成稳定的保护层附着于板面，起到阻挡电镀和蚀刻的作用。湿膜则是一种感光油墨，对紫外线较为敏感，照射后可发生固化。

### 1. 技术原理

干膜是由聚酯薄膜、感光胶膜及聚烯烃薄膜组成的三层夹芯结构。其中，聚酯薄膜层具有一定硬度，既作为感光胶膜的载体，又起保护作用；感光胶膜是干膜的核心部分，主要作用是抗蚀刻、耐电镀和掩孔；聚烯烃薄膜主要起保护膜的作用，可隔绝尘土、防止机械划伤或卷膜等导致感光胶膜损伤。



图 1.1 干膜结构示意图

根据显影和去膜工艺的差异，可将干膜分为溶剂型、水溶性和剥离型三种，具体特性见下表：

表 1.7 干膜分类与特性一览表

分类		特性
溶剂型干膜		1) 需要消耗大量的有机溶剂； 2) 需要配套价格昂贵的显影和去膜设备及辅助装置，生产成本高，溶剂毒性高，对环境 影响大，所以日趋被水溶性干膜所取代，一般仅在特殊要求时才使用。
水溶性干膜	半水溶性	1) 显影剂和去膜剂以水为主，含有 15%有机溶剂； 2) 成本较低。
	全水溶性	1) 显影剂和去膜剂是高锰酸钾碱性溶液； 2) 成本最低，毒性较小。
剥离型干膜		1) 不需用任何显影溶剂； 2) 利用干膜的感光与未感光部分对聚酯薄膜表面和工件表面附着力的差别，曝光后撕下 聚酯薄膜，未曝光部分随薄膜剥离，已曝光部分留在工件表面，形成所需的干膜图像。

由上表可知，推荐使用较为环保的水溶性干膜和剥离型干膜。干膜工艺通过将干膜压贴在覆铜板表面，经曝光显影形成线路图案，具有易操作、精度高、速度快且污染小等优点。湿膜工艺需将曝光油墨涂布于覆铜板上，干燥后进行曝光显影，不仅生产效率较低，且操作过程中还会产生有机废气。

采用干膜替代湿膜，可使用自动贴膜机进行贴膜，可避免出现夹膜，提升生产效率；同时，干膜还可根据电路特点进行盖孔，污染较小。

## 2.适用范围

适用于线路与阻焊图形制造。企业需结合自身条件，在满足环境管理要求的前提下，根据产品特性与功能要求，合理选择干膜。

## 3.应用案例

某电子电路制造企业，主要生产单双面、多层 FPC、RFPCB 及 FPCBA 等，生产工艺包括钻孔、沉铜、镀铜、贴膜、曝光显影、蚀刻退膜、丝印、层压等工序。

### (1) 实施情况

方案实施前，企业采用湿膜工艺，将感光油墨涂布于覆铜板上，经干燥后进行曝光显影，该工艺生产效率较低，且油墨使用过程中会产生 VOCs。同时，涂布工序需要 2 名操作人员。

方案实施后，企业采用干膜高分子材料替代感光油墨制作电路图形。生产中使用自动贴膜机将干膜贴附在覆铜板上，生产效率显著提升，且无 VOCs 产生；同时，该工序只需要 1 名操作人员。

### (2) 实施效果

#### ①环境效益

方案实施前，企业使用感光油墨，在涂布过程中产生 VOCs，且油墨使用过程中产生危险废物。

方案实施后，企业使用干膜进行电路图形制作，生产过程中无废气产生；同时，干膜包装物不属于危险废物，从源头减少了危险废物的产生。

#### ②经济效益

企业采用干膜替代湿膜，减少了 1 名操作人员，人工费用按 5000 元/人·月计，节省人工费用  $1 \text{ 人} \times 5000 \text{ 元/人} \cdot \text{月} \times 12 \text{ 月/a} = 6 \text{ 万元/a}$ 。

方案实施后，每年可节省危险废物处置费用 2 万元。

虽然干膜的购买成本较湿膜增加了 7 倍，但生产效率大幅度提升，成品率显著提高。

## 方案八：丝印工序 碳酸钠替代洗网水

丝印工序是 PCB 生产中实现阻焊、文字标识等表面图形制作的关键工序，网版清洗为其必要配套环节。目前行业内主要采用洗网水进行清洗。洗网水为表面活性剂、有机溶剂及添加剂配制而成的无色透明液体，主要成分是异佛尔酮、二甲苯、醋酸丁酯、丙酮等。使用过程中会挥发产生大量 VOCs，对员工健康及周围大气环境造成污染。

## 1. 技术原理

碳酸钠 ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) 为白色结晶粉末, 易溶于水, 水溶液呈弱碱性, 其替代传统洗网水的清洁机制基于皂化反应与溶胀作用两个核心原理, 辅以硬水软化的辅助效果, 无需依赖有机溶剂的溶解特性, 从根源上避免 VOCs 产生。

(1) 皂化反应: 碳酸钠溶于水后电离, 产生  $\text{CO}_3^{2-}$ , 并与水分子结合生成  $\text{OH}^-$ , 使水溶液 pH 值维持在 9-11 的弱碱性范围。该碱性环境可与印刷油墨、胶黏剂中含有的脂肪酸、树脂等酸性成分发生中和反应, 将难溶于水的酸性污渍分解为水溶性盐类, 实现污渍的快速剥离。对于含油脂成分的油墨污渍, 碳酸钠可引发皂化反应, 将油脂分解为水溶性的脂肪酸钠 (软皂), 同时借助其乳化特性, 使分解后的污渍颗粒均匀分散于水溶液中, 可有效避免二次附着于网版表面。

(2) 溶胀作用: 碳酸钠溶液能够渗透进入油墨膜内部, 使高分子聚合物吸水溶胀。油膜体积膨胀后, 其与网纱的附着力急剧下降, 膜层结构变得松软易碎, 从而便于后续物理擦拭与压力冲洗去除。

(3) 硬水软化: 碳酸钠具有优异的软化硬水性能, 其溶于水后可与水中的钙、镁离子反应, 生成难溶性的碳酸钙、碳酸镁沉淀, 从而有效去除水中钙镁离子, 实现硬水软化。实验表明, 添加 3%~10% 浓度的碳酸钠溶液, 其清洗效果可媲美传统洗网水, 且清洗后网版表面无溶剂残留, 不会对后续印刷质量造成影响。

碳酸钠替代传统洗网水, 主要优势如下: 一方面, 清洗过程中无 VOCs 产生, 废水仅需简单中和处理后即可达标排放, 环境效益明显; 另一方面, 碳酸钠不易燃且毒性较低, 彻底消除仓储及操作环节的燃爆隐患, 提升企业职业安全水平。

采用碳酸钠替代传统洗网水时, 需注意以下事项: 该方案适用于水性油墨及丙烯酸类油墨网版的清洗, 其酸性成分与碳酸钠反应剧烈, 清洁效率可达 95% 以上。低浓度碳酸钠溶液 (3%~5%) 无挥发特性, 可在网版表面保持稳定浓度, 适合精细图案网版清洗, 可避免传统洗网水快速挥发导致的清洗不彻底及网版腐蚀问题。但对于以甲苯、二甲苯为主的溶剂型油墨, 碳酸钠难以彻底分解污渍, 需搭配少量环保型表面活性剂辅助清洗, 或仅用于油墨残留量较少的网版预处理。此外, 碳酸钠虽低温溶解度较好, 但如果冲洗不彻底, 水分蒸发后会在析出结晶可能堵塞网孔, 影响印刷质量。同时, 对部分不耐碱的特种网版 (如某些尼龙复合材料网版) 可能造成损伤, 使用前应进行材质相容性测试。

## 2. 适用范围

适用于采用水性油墨、丙烯酸类油墨的网版清洗工序, 同时还需考虑网版材质的适配性。企业更换原辅材料时, 应确保符合相关环境管理要求。

## 3. 应用案例

某电子电路制造企业, 主要生产多层线路板、电脑整机和主板加工等, 生产工艺包括开料、内层涂布、贴干膜、曝光、显影、蚀刻、退膜、沉铜、镀铜、防焊、防焊曝光、防焊显影、印文字、抗氧化等。

## (1) 实施情况

在图形制作、阻焊及丝印工序中，涉及网板清洗、晒版等作业环节，原工艺需使用洗网水对网版进行清洗，会产生大量 VOCs。经企业测试验证，在特定条件下，可采用碳酸钠溶液替代洗网水进行阻焊网版清洗，具体操作流程如下：将网框浸泡于碳酸钠溶液中，根据清洗需求调控溶液浓度，常规清洗用 3%~5%碳酸钠溶液，顽固油墨清洗则用 8%~10%碳酸钠溶液，温度控制在 50~70℃，浸泡 15~30 分钟；取出网框后，用硬毛刷或百洁布对网版表面及网孔进行强力刷洗，再用高压水枪冲洗干净；最后，用气枪吹除网版表面大水滴，放入烤箱烘干或自然晾干即可。

## (2) 实施效果

### ①环境效益

方案实施后，企业可减少洗网水用量 6t/a，若按洗网水 100%挥发核算，可减少 VOCs 产生量 6t/a，降低对员工健康和周边大气环境的影响。

### ②经济效益

本方案主要考虑环境效益，且方案实施后碳酸钠使用成本略低于洗网水。

## 方案九：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

涂层整理是在织物表层（单面或双面）均匀地涂布一层或多层高分子化合物类涂层剂的表面整理技术。通过该工艺，织物正反面可获得不同功能，既能改善织物的外观和风格，也能赋予织物防水、耐水压、通气透湿、阻燃防污和遮光反射等特殊功能。

### 1.技术原理

涂层整理剂按化学结构分为聚丙烯酸酯类（PA）、聚氨酯类（PU）、聚氯乙烯类（PVC）、有机硅类和合成橡胶类等，其中 PA 类和 PU 类应用最为广泛。

PA 类涂层整理剂分为溶剂型和水基型两类。溶剂型具有良好的粘着性和耐水性，但含有甲苯、醋酸乙酯等有机溶剂，使用中 VOCs 产生量较多；水基型由丙烯酸酯、丙烯酸、自交联单体以及其他不饱和单体共聚而成，整理后的织物具有良好的机械性能和防水效果。

PU 类涂层整理剂分为溶剂型和水基型两类。溶剂型为混合物，可分为含 N,N-二甲基甲酰胺（DMF）和不含 DMF 两类，前者多为 DMF、丁酮、甲苯的混合物，后者常为甲苯、异丙醇和乙二醇甲醚（或乙二醇乙醚）的混合物，使用过程中均产生 VOCs；水基型由含双异氰酸酯基的化合物与多元醇或其他含活泼氢的化合物进行加聚而成，具有良好的成膜性和防水性。

### 2.适用范围

适用于各类织物的透气性拒水涂层整理。企业更换原辅材料时，应确保符合相关环境管理要求。

### 3.应用案例

某化纤染整精加工企业，主要从事织物面料织染、印花及后整理加工，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，企业在涂层整理工序中所使用溶剂型 PA 类涂层整理剂，该整理剂含有甲苯、醋酸乙酯等有机溶剂，生产过程中会产生大量 VOCs，对周边环境及员工身体健康造成一定影响。为从源头减少 VOCs 产生，企业选用水基型 PA 类涂层整理剂替代溶剂型 PA 类涂层整理剂，替代后对产品品质无明显影响。

#### (2) 实施效果

##### ①环境效益

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

表 1.8 涂层整理剂替代前后使用情况统计表

替代前					替代后				
物料名称	用量 (t/a)	成分	成分占比	用量(t/a)	物料名称	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

根据上表红替代前后成分分析，替代前使用的溶剂型 PA 类涂层整理剂，VOCs 产生量为 25+18+14.4+8=65.4t/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和表面活性剂，属于低（无）VOCs 材料。因此，可减少 VOCs 产生量 65.4t/a。

##### ②经济效益

根据企业物料进出统计，涂层整理剂替代前后经济效益情况如下表所示：

表 1.9 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。

## (二) 无/低氮原料替代高氮物料

### 方案十：磷化工序 无氮磷化液替代含氮磷化液

#### 1. 技术原理

传统含氮磷化液以硝酸盐（10%）为氧化剂，另含磷酸锌盐（30%）、助剂（8%）、水（52%），其中硝酸盐是废水中氨氮与总氮的主要来源。新型磷化液不含硝酸盐，由磷酸一氢锌（15%）、磷酸二氢锌（5%）、柠檬酸（25%）、助剂（5%）、水（50%）组成。从源头解决了因硝酸盐引发的氨氮、总氮类污染物问题；其磷酸氢盐总含量低于传统磷化液中的磷酸盐含量，并利用柠檬酸的大分子特性通过网捕络合作用成膜，可有效减少磷化渣生成，实现污染物源头减量。

#### 2. 适用范围

适用于磷化/皮膜工序，但替换后废水 COD 略有增加，企业需结合实际酌情选用。企业更换原辅材料时，应确保符合相关环境管理要求。

#### 3. 应用案例

某金属表面处理及热处理加工企业，主要生产新一代移动通讯设备、无线宽带接入设备、信息网络终端设备及物联网设备的配套机箱机柜等，生产工艺包括酸洗、磷化、喷粉等。

##### (1) 实施情况

方案实施前，企业磷化工序使用含氮磷化液，导致废水中氨氮与总氮浓度偏高，并产生大量磷化渣。根据《国家危险废物名录》（2025 年），磷化渣属危险废物，需委托有资质的单位处置。方案实施后，企业改用无氮磷化液，有效降低了废水中氨氮和总氮浓度，同时减少了磷化渣产生量，降低污染物治理成本。

## (2) 实施效果

### ①环境效益

方案实施前，含氮磷化液的用量为 9t/a，含氮磷化液中硝酸盐（锌）含量为 10%，硝酸盐（锌）中氮元素的质量占比约为 15%。据此计算，则总氮产生量为： $9t/a \times 1000kg/t \times 10\% \times 15\% = 135kg/a$ ；磷化渣产生量约为 5t/a。

方案实施后，废水中总氮排放量减少 135kg/a；磷化渣产生量降至约 2t/a，较实施前减少了 60% 左右。

### ②经济效益

方案实施前：含氮磷化液购置费用为 2300 元/t $\times$ 9t/a=2.07 万元/a，磷化渣处置费用为 5t/a $\times$ 4500 元/t=2.25 万元/a，合计费用 2.07 万元/a+2.25 万元/a=4.32 万元/a。

方案实施后：无氮磷化液购置费用为 4100 元/t $\times$ 9t/a=3.69 万元/a，磷化渣处置费用为 2t/a $\times$ 4500 元/t=0.9 万元/a，合计费用 3.69 万元/a+0.9 万元/a=4.59 万元/a。

综上，采用无氮磷化液替代含氮磷化液后，尽管原料采购成本略有上升，但有效减少了磷化渣的产生量，同时降低了废水总氮超标的风险。

## 方案十一：抛光工序 无氮抛光液

不锈钢材料切割后，表面会附着一层灰色的氧化膜或毛刺，需进行抛光处理。抛光液是常用的表面处理剂，可去除工件表面的污垢、氧化物及微小凸起，使工件表面光滑亮丽，提升美观度和质感。根据反应原理，抛光工序分为物理抛光、化学抛光和电化学抛光，三者的基础原理详见下表：

表 1.10 三种抛光技术原理一览表

抛光类型	技术原理	作用机理
物理抛光	利用抛光粉与工件表面的机械摩擦作用，去除工件表面微小凸起及氧化层，实现表面光洁。	物理摩擦
化学抛光	利用化学抛光液与工件表面杂质发生化学反应，通过溶解作用实现工件表面整平与抛光。	化学反应
电化学抛光	利用金属表面微观凸点在化学抛光液与适当电流密度条件下发生电解化学反应，溶解表面微凸部分，从而去除污垢与杂质，实现表面整平与抛光。	电解化学反应

由上表可知，涉及化学反应的抛光工序均需使用抛光液。抛光液组分复杂，其中部分含氮抛光液会增加废水中的氨氮、总氮等污染因子的量，进而增加企业的废水处理成本。

### 1.技术原理

抛光液中的化学成分可与物体表面的氧化物、污垢等发生化学反应，将其分解或转化为易清除的物质。其常见成分包括硝酸、盐酸、磷酸、硫酸等酸类，以及增溶剂、缓蚀剂、络合剂和光亮剂。

硝酸具有较强的氧化性，可有效减缓腐蚀速度、加速金属表面氧化膜生成以避免过度腐蚀，因此多数抛光液中均含有硝酸成分。然而，硝酸型含氮抛光液在使用时会产生氮氧化物废气以及废水中的氨氮、总氮等污染物，既污染环境又危害人体健康。

实际生产中，可根据产品要求，通过提高其他组分占比或优化工艺条件，减少甚至完全取消硝酸组分的使用。

## 2.适用范围

适用于化学抛光和电化学抛光工序。从环保角度考虑，优化抛光液的化学成分可有效降低污染物产生。企业应结合实际生产情况，在满足环境管理要求的前提下，综合考虑自身废水处理站的处理能力，合理选用符合产品要求的抛光液。

## 3.应用案例

某金属制造企业，主要生产 SMT 模板，生产工艺包括激光切割、电解抛光与清洗、丝网粘贴、检验和包装等。

### （1）实施情况

企业在生产不锈钢工件时，工件经激光切割后工件表面会产生细小的毛刺。为此，企业采用低电压、高电流产生的瞬间放电方式溶解毛刺，再借助抛光液对已去除毛刺的工件进行电解抛光，以获得光洁的表面效果。

方案实施前，企业使用含氮抛光液，导致抛光后清洗废水中含有氨氮、总氮等污染物。企业在处理这类废水时，面临总氮超标的问题。

方案实施后，企业通过调整抛光液配比，将原有含氮抛光液替换为无氮型抛光液，从源头削减总氮产生量，确保废水总氮稳定达标排放。

方案实施前后抛光液的主要成分见下表：

表 1.11 方案实施前后抛光液的主要成分对比一览表

主要成分	方案实施前：含氮型抛光液	方案实施后：无氮型抛光液
硫酸	25%	25%
硝酸	18%	/
磷酸	15%	15%
水	42%	60%

### （2）实施效果

#### ①环境效益

方案实施前，企业使用含硝酸的抛光液；方案实施后，企业通过调整抛光液配方，不再使用硝酸并提高了水的占比，从源头避免抛光清洗废水中氨氮、总氮等污染物的产生，有效降低了废水总氮超标风险。

### ②经济效益

本方案前期在抛光药水研发环节投入约 2.5 万元。方案实施后，企业氨氮、总氮产生浓度显著降低，既削减了废水处理运行成本，又避免了因废水超标导致的行政处罚支出。

## 方案十二：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、分散剂及其他助剂复配而成。其中，有机酸所形成的多数金属盐在水中的溶解度较高，不易在清洗液中产生沉淀；同时，对金属腐蚀性小、无毒无害，操作安全可靠。在除灰过程中，有机酸不仅依靠电离产生的氢离子发挥作用，更通过酸根离子对金属离子的络合与螯合效应，显著增强除灰能力。单宁酸则能与工件表面层中的各类金属离子发生络合反应，将其转化为可溶性络合物，从而有效去除杂质金属离子。

### 2. 适用范围

适用于铝合金中和工序。企业更换原辅材料时，应确保符合相关环境管理要求。

### 3. 应用案例

某金属表面处理及热处理加工企业，主要生产电脑机壳及五金配件、电子面板及散热器等配件，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，企业阳极氧化车间的中和工序使用硝酸除灰，导致废水中总氮浓度居高不下。鉴于总氮去除难度较大且未来环保要求日趋严格，企业通过市场调研与行业交流，采用环保除灰剂替代硝酸，从源头降低废水中总氮的产生量。

#### (2) 实施效果

##### ①环境效益

方案实施后，可减少硝酸用量达 2160kg/a，同时降低废水中总氮的产生量，确保废水总氮稳定达标排放。此外，硝酸用量的减少也有助于减少废气氮氧化物的产生量。

##### ②经济效益

方案实施前，中和工序硝酸用量为 180kg/月，单价约 3 元/kg；方案实施后，环保除灰剂用量为 175kg/月，单价约 18 元/kg。由此导致中和工序原料采购费用上升，故本方案的效益主要为环境效益，无明显经济效益。

### (三) 无毒无害/低毒低害原辅材料替代有毒有害原辅材料

#### 方案十三：活化工序 活化酸盐替代硫酸

##### 1. 技术原理

活化又称为浸蚀或酸洗，是将金属工件浸入酸、酸性盐（或碱）溶液中，以去除表面氧化膜、氧化皮及锈蚀的工艺过程。活化过程中常用的酸包括盐酸、硫酸、硝酸、磷酸、铬酐及氢氟酸等。其中，硫酸在室温下对金属氧化物的溶解能力较弱，即使提高浓度也难以增强其活化效果，因此通常需加热操作；但温度过高易导致工件基体溶解，引发过腐蚀与氢脆问题。此外，硫酸属于危险化学品，使用中存在安全隐患。

活化酸盐由 90%硫酸氢钠和 10%十二烷基磺酸钠组成，是一种酸式盐，可用于替代硫酸进行活化，尤其适用于锌合金电镀工艺。硫酸氢钠溶于水后呈弱酸性，能有效去除镀件表面氧化膜，同时避免对工件基体造成腐蚀损伤；十二烷基磺酸钠作为表面活性剂，可增强表面活化性能。

##### 2. 适用范围

适用于活化工序。企业更换原辅材料时，应确保符合相关环境管理要求。

##### 3. 应用案例

某金属表面处理及热处理加工企业，主要生产五金件复合膜、金属陶瓷复合膜等，生产工艺包括：超声除油/除蜡、活化、预镀镍、酸铜、白铜锡、黄铜锡、镀金、真空镀膜等。

###### (1) 实施情况

方案实施前，企业活化工序使用硫酸，对部分镀件表面腐蚀性较强；同时硫酸属于危险化学品，环境风险等级较高，员工操作存在一定安全隐患。方案实施后，采用活化酸盐替代硫酸，有效解决产品过腐蚀问题，产品合格率显著提升。此外，药剂用量基本不变，且活化酸盐不属于危化品，安全风险大幅降低，贮存与管理成本也随之降低。

###### (2) 实施效果

###### ① 环境效益

采用活化酸盐替代硫酸后，不仅有效降低了硫酸的使用量，也相应减少了硫酸雾的排放量。经企业实际运行数据核算，可减少硫酸用量 5.6t/a。

## ②经济效益

方案实施前，硫酸购置单价为 4.5 元/kg；方案实施后，活化酸盐购置单价为 40 元/kg，活化工序药品成本因此增加 35.5 元/kg。尽管该方案无直接经济效益，但更易于把控活化进度，避免镀件表面腐蚀，保障产品品质，同时降低污染物处理成本。

# 方案十四：钝化工序 有机保护膜代替铬保护膜

## 1.技术原理

为防止金属氧化腐蚀，常需在其表面覆盖一层保护膜。铬酸盐钝化是目前国内外应用最广泛的技术，能在金属表面形成结构致密、防腐性能优异的保护膜。然而，铬酸盐中的六价铬，兼具吞入性毒物和，吸入性毒物，对人体健康和环境具有持久危害。

有机保护膜由成膜剂在金属表面形成：成膜剂中的亲水基吸附于金属表面，亲油基（多为烷基）朝向外侧，构成一层致密薄膜，有效阻隔水、氯离子、氧气等腐蚀性介质与金属接触，从而发挥防腐作用，可替代传统铬系保护膜。采用有机保护膜不仅能减少了有毒有害物质的使用量，也显著降低了环境污染风险。

## 2.适用范围

适用于金属表面钝化处理工序。企业需结合实际生产情况及废水处理情况，在满足环境管理要求的前提下，合理选用符合产品要求的成膜剂。

## 3.应用案例

某金属表面处理及热处理加工、珠宝首饰制造企业，主要生产各类金银首饰成品、各类钟表装配，以及木首饰、合金首饰、电镀金银首饰、电镀钟表等产品，生产工艺包括倒模、执模、镶石、打磨、电镀、粘石及包装等环节。

### （1）实施情况

方案实施前，企业使用 328 电解保护粉（含 90%铬酸钾和 10%氢氧化钠）进行钝化处理，生产过程中会产生铬酸雾及含铬废水。为减少有毒有害物质使用量，企业选用 AQ-10 水溶性金银保护剂（含 80%十二烷基磺酸钠和 20%甘油）替代 328 电解保护粉。

方案实施后，企业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有机废水。根据现场调研，企业现有的有机废水处理设施可满足处理需求。

### （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，该保护粉含 90% 铬酸钾。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低于 328 电解保护粉，且不再产生铬酸雾及含铬废水，减少了废弃物处置费用，从而降低了生产成本。

## 方案十五：镀铜层钝化工序 苯并三氮唑钝化代替铬钝化

铜及其合金因优异的物理与化学性能，被广泛应用于各行各业。然而，在高温、潮湿或存在氧化性介质的环境中，其极易发生化学或电化学腐蚀，从而影响使用性能与使用寿命。

为保护镀件性能，通常采用铬酸盐钝化处理，形成一层极薄的铬酸盐膜以阻隔氧化。然而，六价铬属于致癌物质，总铬被列为一类污染物，环境危害性较大。目前，多数企业已使用三价铬替代六价铬进行钝化，但废水中仍会含有一类污染物总铬。因此，建议企业结合自身实际情况，选用苯并三氮唑钝化剂对镀铜层进行处理。

### 1. 技术原理

苯并三氮唑（BTA）在水溶液中的反应机理随 pH 值不同而有所差异：

(1) 在强酸性条件下，铜层表面的  $\text{Cu}_2\text{O}$  易溶解，BTA 可直接与  $\text{Cu}_2\text{O}$  反应生成稳定的 Cu (I) BTA 复合膜，也可与溶解后的  $\text{Cu}^+$  反应生成相同产物。

(2) 在弱酸、中性及弱碱性等近中性条件下，BTA 通过置换铜表面的水分子实现吸附，随后铜被氧化成  $\text{Cu}^+$ ，二者相互作用生成 Cu (I) BTA 复合膜。

(3) 在碱性条件下，铜表面覆盖一层氧化物，BTA 先经化学吸附附着于铜表面，再与铜氧化物形成 Cu (I) BTA 复合膜。

综上所述，BTA 能与铜材表面的氧化膜或基体重的  $\text{Cu}^+$  反应，在其表面形成聚合状 Cu (I) BTA 复合膜（分子式见下图），并构成 Cu-Cu<sub>2</sub>O-Cu (I) BTA 多层膜结构，从而有效保护铜材基体。

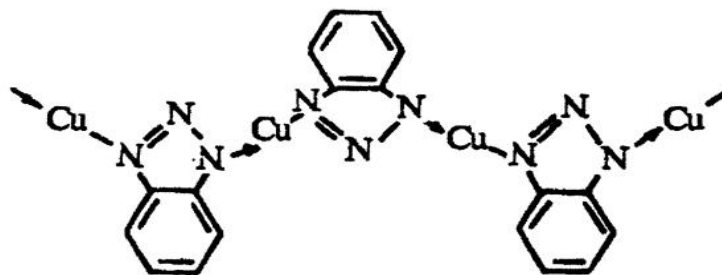


图 1.2 Cu (I) BTA 分子式结构

## 2.适用范围

适用于镀铜层的钝化与缓蚀处理。企业需结合产品特点与工艺要求，在满足环境管理要求的前提下，合理地选用钝化剂。

## 3.应用案例

某金属表面处理及热处理加工企业，主要生产徽章、胸针、领带夹、袖扣、钥匙扣等，生产工艺包括冲压、压铸、抛光、电解除油、镀碱铜、镀焦铜、镀酸铜、镀镍、镀金、镀银、钝化、电泳、烘干、印刷、喷漆等。

### (1) 实施情况

方案实施前，企业使用铬酸盐对镀铜件进行钝化；方案实施后，对无需电泳的镀铜件钝化替换为 BTA 钝化，以减少铬酸酐的使用量。方案实施前后钝化剂 MSDS 中的主要成分详见下表：

表 1.12 方案实施前后钝化剂主要成分一览表

钝化原料成分	方案实施前含铬酸盐钝化剂	方案实施后 BTA 钝化剂
铬酸盐	≤20%	/
表面活性剂	/	5%~10%
乳化剂	/	10%~15%
苯并三氮唑	/	0.5%~5%

### (2) 实施效果

#### ①环境效益

方案实施前，企业使用铬酸盐对镀铜件进行钝化，钝化后的清洗废水均为含铬废水，需单独开展预处理。方案实施后，企业使用以苯并三氮唑为主要成分的钝化剂对不需要电泳的镀铜件进行钝化。

据企业核算，方案实施后可减少铬酸盐钝化液用量 200kg/a，从源头降低含铬废水的产生量。

#### ②经济效益

方案实施后，企业含铬废水产生量减少，从而节省了废水处理成本。但从采购费用来看，单位面积产品所用钝化剂用量基本不变，而苯并三氮唑钝化剂的采购成本为铬酸盐钝化剂的 1~2 倍，因此本方案经济效益不明显。

## 方案十六：封孔工序 无镍封孔剂替代含镍高温封孔剂

### 1. 技术原理

无镍封孔剂主要由表面活性剂、抑灰剂、固色剂等复配而成，不含重金属，其封闭效果接近甚至与含镍封孔剂相当。对于浅色材料，固色效果与含镍封孔剂无明显差异；而对于深色材料，则存在一定的褪色现象。

### 2. 适用范围

适用于封孔工序。企业需结合产品特点与工艺要求，在满足环境管理要求的前提下，合理地选用封孔剂。

### 3. 应用案例

某金属表面处理及热处理加工企业，主要生产电脑机壳及五金配件、电子面板及散热器等配件，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，企业封孔工序使用高温封孔剂，产生含镍废水，存在总镍超标风险。为此，企业逐步改用无镍封孔剂替代含镍高温封孔剂。无镍封孔剂主要成分为表面活性剂，可有效避免含镍废水的产生。

该企业使用的封孔剂无镍无氟，工艺温度控制在 70~80℃，对浅色材料的固色效果与含镍高温封孔剂相比无明显差异。

#### （2）实施效果

##### ① 环境效益

方案实施后，企业使用无镍无氟封孔剂，从源头减少了废水中总镍的产生量，降低了对环境造成的影响。

##### ② 经济效益

方案实施前后封孔剂用量基本持平，含镍封孔剂单价为 70 元/kg，无镍封孔剂单价为 85 元/kg，原料采购费用略有上升，无明显经济效益。但可从源头避免含镍废水的产生，降低废水处理成本，并有效防范因总镍超标引发的环保处罚风险。

## 方案十七：电镀工序 无氰镀金

传统镀金工艺多采用氰化镀金，主要是利用氰化物与金离子可形成极其稳定的络合物。氰化物属剧毒物质，生产过程中存在较大的环保与安全风险，且含氰废气处理难度大、成本高。为降低环境风险并提升工艺安全性，近年来无氰镀金技术逐步成为电镀行业研究与应用的重点方向。

### 1. 技术原理

根据配位剂使用的类型，无氰镀金可分为亚硫酸盐、硫代硫酸盐、柠檬酸盐及乙内酰脲等多种体系，主要作用原理为利用非氰配体替代氰离子与金离子形成稳定络合物，各体系的优缺点如下：

表 1.13 各无氰镀金体系优缺点对比汇总表

无氰镀金体系	优点	缺点
亚硫酸盐	镀液无毒，可生成较厚的镀金层； 弱碱性电镀与光刻胶相容性好	镀液为弱酸性或中性，稳定性较差， 需添加稳定剂
硫代硫酸盐	稳定常数高(1026.1)，镀液为弱碱性，电流效率可达 100%	在酸性环境中，易生成硫单质
柠檬酸盐	镀层光亮致密	环境要求高，镀液易分解，维护成本 高
乙内酰脲	镀液无毒、稳定性较好，电流效率较高，镀层平整且晶粒细小	镀层中存在 C、N 元素掺杂

亚硫酸盐作为无氰镀金体系中应用广泛的氰化物替代配位剂，所获镀层具有平整度好、延展性佳、光泽度好及内应力小等优点。但是，该体系的镀液稳定性欠佳，在使用过程中，亚硫酸盐易被氧化，络合离子也易发生歧化分解，导致镀液中产生金颗粒沉淀或硫化金等杂质。因此，需添加含氮（N）、氧（O）、硫（S）等原子的稳定剂，与金属配位离子在电极表面形成配合物，以减缓配位离子的还原反应速率，使沉积的金层具备更优异的性能。

无氰镀金技术的应用，从源头降低使用氰化物带来的安全隐患与环境风险。

### 2. 适用范围

无氰镀金目前主要应用于首饰电镀中；PCB 和晶圆表面处理的电镀金建议进一步结合镀层性能指标等要求选用。企业更换原辅材料时需注意满足环境管理要求。

### 3. 应用案例

某首饰加工企业，主要生产金首饰，生产工艺包括融金、电镀、煮酸等。

#### (1) 实施情况

方案实施前，企业采用含氰镀金工艺，该工艺不仅使用剧毒且管控要求极为严苛的氰化物，而且所得镀金层硬度一般，需通过增加镀层厚度来提升硬度，导致生产成本较高。方案实施后，企业

采用亚硫酸盐体系的无氰镀金工艺，镀液主要成分为亚硫酸金钠、亚硫酸钠、硫酸钠及含氮有机物等，镀液可实现过滤循环使用。新工艺下，产品仅需较薄镀层即可满足硬度要求，且加工时间缩短，生产效率有效提升；镀层质量较含氰工艺产品显著改善，针孔、起皮、变色等缺陷的出现频次大幅降低，产品合格率可提升 40%。

## (2) 实施效果

### ①环境效益

方案实施前，企业采用含氰镀金工艺，常规镀层厚度为 0.25mm，电镀时长为 20-22 小时。方案实施后，采用无氰电镀工艺，在镀层厚度为 0.15mm 的条件下，即可达到原含氰电镀 0.25mm 镀层厚度同等的性能要求，且电镀时长仅需 12 小时。该方案的实施可有效降低生产用电量，但因企业未留存用电量数据，无法进行定量核算，仅能开展定性分析。

无氰电镀替代含氰电镀，可避免氰化物等有毒物质的使用，从而降低生产过程中的安全防护与环保治理成本，降低废水、废气处理难度及减少处置费用，同时规避剧毒化学品在储存和使用环节的监管风险。

### ②经济效益

企业的电镀药水均为外部采购，因涉及具体生产成本细节，故相关数据暂无法统计。

根据目前市场需求，无氰电镀产品在硬度、光亮度及平整性等核心性能上均优于含氰电镀产品，因此在实际销售中，无氰电镀产品的加工单价约为含氰电镀产品的三倍，加之其市场前景广阔，间接为企业创造了可观的经济效益。

## 方案十八：镀金后清洗工序 碱性金面清洁剂替代氨水

线路板镀金工艺是一种应用广泛的表面处理技术，主要用于提高线路板导电性与可焊性、增强耐磨性、降低接触电阻、控制应力以便于邦定加工，从而有效延长线路板的使用寿命。

### 1.技术原理

线路板镀金后，通常使用氨水清洗表面脏污。但氨水腐蚀性强、气味刺激，不仅造成环境污染，还可能损伤镀金层。

碱性金面清洁剂可替代氨水用于线路板镀金后的表面清洗，其主要成分为低浓度碱、表面活性剂及缓蚀剂，清洗原理如下：

(1) 酸碱中和：清洁剂中的碱性成分可与板面残留的酸性物质及氧化层等反应生成盐和水，从而去除污垢与氧化层，恢复板面金属光亮洁净的外观。

(2) 界面优化与防护：表面活性剂降低溶液表面张力，在金属表面形成薄而均匀的液膜，增大接触面积，加速污垢与氧化层的剥离；同时，能在金属表面形成保护性薄膜，防止二次污染。表面活性剂兼具提升清洗效果与护理金属表面的双重作用。

(3) 乳化和分散：清洁剂中的特定成分将污垢及氧化层乳化并分散于溶液中，使其从金属表面分离并悬浮于溶液中，随后通过水洗等方式轻松去除；同时，防止溶液中的污垢重新沉积在金属表面，避免二次污染。

(4) 缓蚀防护：清洁剂中的缓蚀剂能减缓金属与清洗剂之间的反应速率，在金属表面形成保护性缓蚀膜，避免过度侵蚀，保障金属表面的完整性与品质。同时，有助于降低清洁剂对环境的影响，减少对人体及设备的损害。

碱性金面清洁剂不含硅、铬、磷酸盐及螯合剂，碱当量低，产生的废液易于处理，可按普通碱性清洗废水排入废水处理站。与传统人工擦拭或使用氨水、柠檬酸水清洗相比，使用碱性金面清洁剂操作更简便快捷，兼具清洁环保与节约成本优势。

## 2.适用范围

在满足环境管理的要求下，碱性金面清洁剂适用于金饰及金制工艺品、电子元件以及其他金面金属制品的金面清洗。其他金属表面清洁也可参考碱性金面清洁剂，选用更为环保的产品。

## 3.应用案例

某电子电路制造企业，主要生产 PCB 多层板、HDI、软硬结合板等，生产工艺包括开料、内层图形制作、压膜、涂布、曝光、显影、蚀刻、层压、沉铜、图形电镀、印阻焊、字符、表面处理和成型等过程。

### (1) 实施情况

方案实施前，企业在线路板成品清洗工序中使用氨水清洗线路板金面，产生的氨洗废液属于危险废物，需委托有资质的单位进行拉运处置。

方案实施后，企业使用碱性金面清洁剂（SB-585）替代氨水清洗线路板金面，清洗废水经企业废水处理站处理达标后排放。

### (2) 实施效果

#### ①环境效益

方案实施后，每月减少氨水使用量 180L，削减危险废物（氨洗废液）约 6t/月，有效降低危险废物产生总量；同时，减少碱性废气的产生与排放，进一步减轻环境污染。

#### ②经济效益

方案仅需将氨水替换为碱性金面清洁剂，无需对现有清洗设施进行改造。

废弃物处置成本：氨洗废液处置单价约 1300 元/t，方案实施后，每月削减废液 6t，可减少处置成本  $6\text{t}/\text{月} \times 1300\text{元}/\text{t} = 7800\text{元}/\text{月}$ ；清洗金面产生的废水接入废水处理站处理，处理费用约 180 元/月。

原辅材料购置成本：氨水购置成本约 100 元/月，碱性金面清洁剂购置成本约 4200 元/月，原辅材料购置成本增加  $4200\text{元}/\text{月} - 100\text{元}/\text{月} = 4100\text{元}/\text{月}$ 。

综上，每月可节约成本： $7800\text{元}/\text{月} - 4100 - 180\text{元}/\text{月} = 3520\text{元}/\text{月}$ ，折合年节约成本约 4.2 万元。

## 方案十九：贯孔工序 铜光剂更换提升镀孔铜贯率

### 1. 技术原理

在双面及多层线路板生产过程中，需实现层间电路导通，电镀填孔是代表性工艺之一。填孔电镀铜通常采用酸性镀铜体系，为促进铜优先沉积于孔内并降低面铜厚度，需要在镀液中添加改变电流分布的物质。

镀液添加剂通常包含三类有机物：光亮剂（加速剂），可细化晶粒、去极化并加速沉积；抑制剂（润湿剂），可提高极化、细化晶粒；整平剂，具有对流依赖吸附特性，可提高极化并重整阴极表面电流分布。填孔工序需三者协同作用，其中，铜光亮剂的质量直接影响填孔效果，企业可通过调整铜光亮剂控制面铜厚度，降低铜消耗与镀铜成本。

### 2. 适用范围

适用于线路板孔金属化工序。企业需结合产品特点与工艺要求，在满足环境管理要求的前提下，合理地选用铜光剂。

### 3. 应用案例

某电子电路制造企业，主要生产 PCB 板，生产工艺包括开料、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，企业孔铜镀铜贯孔率只有 67%（标准要求为 85%）。为补孔内镀铜不足，企业采用加大电流（18ASF）作业，但这导致面铜镀铜厚度偏厚， $\text{面铜厚度} = 18\text{ASF} \times 0.022 \times 60\text{min} = 23.76\mu\text{m}$ 。为降低镀铜成本并提高镀铜贯孔率，企业更换铜光剂、减小电流密度、增加碳处理等措施。

方案实施后，企业更换铜光剂，采用 15ASF 电流作业，面铜镀铜厚度降至： $15\text{ASF} \times 0.022 \times 60\text{min} = 19.8\mu\text{m}$ 。

#### (2) 实施效果

##### ① 环境效益

根据该企业测算，方案实施前，铜利用率为  $3.7\text{m}^2/\text{kg}$ ；方案实施后，铜利用率为  $3.9\text{m}^2/\text{kg}$ ，利用率提高 5%。按月产量  $85000\text{m}^2$ ，则年节省铜用量  $[(85000 \times 12 \div 3.7) - (85000 \times 12 \div 3.9)] \times 10^{-3} = 14.14\text{t}$ 。

##### ② 经济效益

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

## （四）其他

### 方案二十：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以共价键等方式结合而成，可在微生物如细菌、霉菌（真菌）和藻类的作用下完全降解，最终生成二氧化碳（或甲烷）、水及矿化无机盐等，属于环境友好型材料。

#### 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，生产工艺包括吹膜、分条、折贴、印刷和制袋等。

##### （1）实施情况

方案实施前，企业全部采用聚乙烯塑料粒子生产，其产品在自然状态下需数十年至上百年方可讲解。为贯彻绿色发展理念，企业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 180 天即可降解。其中，PBAT（聚己二酸/对苯二甲酸丁二醇酯）为石化基生物降解塑料，具有良好延展性、耐热性及冲击性能，其可降解性与生物安全性已获全球性认证；PLA（聚乳酸）为天然有机酸，降解产物为二氧化碳和水，可通过植物光合作用实现自然界绿色循环，是一种兼具有完全可降解性、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，企业所采用的全生物降解塑料（PBAT+PLA）生物分解率为 90.5%（标准 $\geq 60\%$ ），相对生物分解类别 100%（标准 $\geq 90\%$ ），有机成分（挥发性固体含量）77.21%（标准 $\geq 51\%$ ）。

##### （2）实施效果

###### ①环境效益

企业使用全生物降解塑料替代聚乙烯原料生产各类塑料袋，产排使用后可完全降解，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，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，可提升产品市场竞争力，预计年增订单 7.5t，产生经济效益约 3.5 万元/a。

## 方案二十一：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；为交流负载供电时，需配置交流逆变器。

并网光伏发电系统将太阳能组件产生的直流电经过并网逆变器转换为符合市电要求的交流电后直接接入公共电网。集中式大型并网光伏电站（通常为国家级电站）将电能统一输配电网，但投资大、建设周期长、占地面积大，发展难度较高；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，因投资小、建设快、占地面积小、政策支持力度大等优势，已成为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配置较小型光伏发电供电系统，满足特定用户需求并支撑配电网经济运行。基本设备包括光伏电池组件、方阵支架、直流汇流箱、直流配电柜、并网逆变器、交流配电柜及监控、环境监测等装置。其运行模式是在有太阳辐射条件下，组件将太阳能转换为电能，经直流汇流箱和配电柜送入并网逆变器，逆变成交流电供给建筑自身负载，多余或不足电力通过连接电网调节。企业可根据电价峰谷调整并网时间，提升经济效益。

### 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。企业使用的能源主要为电，且需求较大。

#### （1）实施情况

企业年均用电量超过 1000 万度，以生产用电为主。为避免电量临时供电不足，企业设有备用发电机，燃料为柴油，运行中产生发电机燃烧废气，对环境造成一定的污染。为降低用电费用成本并解决发电机废气问题，企业实施屋顶分布式光伏发电项目，在厂房 A 栋和 C 栋屋顶采用普通多晶硅组件、轻钢支架混凝土配重安装方式，建设额定总功率为 453.75kW 的光伏电站。

#### （2）实施效果

##### ①环境效益

根据光伏发电系统单独电表统计，月均发电量为 3.954 万 kWh，则年发电量为 47.448 万 kWh，按照排放因子  $0.4403\text{tCO}_2\text{e/MWh}$  计算，年减少二氧化碳排放量  $47.448\text{MW}\cdot\text{h}\times 10\times 0.4403\text{tCO}_2\text{e/MWh}=208.91\text{tCO}_2\text{e}$ 。

光伏发电系统的使用寿命约 25 年，考虑发电衰减，预计总发电量约为 1126.43 万 kWh，按照排放因子  $0.4403\text{tCO}_2\text{e/MWh}$  计算，减少二氧化碳排放量为  $1126.43\text{MW}\cdot\text{h}\times 10\times 0.4403\text{tCO}_2\text{e/MWh}=4959.67\text{tCO}_2\text{e}$ 。

## ②经济效益

该案投资 220 万元建设光伏电站。

按用电单价 1 元/kWh 计算，可节约电费： $47.448\text{万 kWh/a}\times 1\text{元/kWh}=47.448\text{万元/a}$ 。按 25 年使用寿命计算，则全生命周期可节约电费： $1126.43\text{万 kWh}\times 1\text{元/kWh}=1126.43\text{万元}$ 。

## 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，实施技术工艺改进的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。

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适用性及推广性，且环境效益及经济效益较为明显的方案进行汇总介绍。各清洁生产方案如下表所示：

表 2 方案基础情况一览表

序号	方案编号	方案名称
1	方案二十二	退镀工序 电解退镀替代化学退镀
2	方案二十三	涂装预处理工序 无磷工艺替代磷化工艺
3	方案二十四	涂布工序 正极涂布停机开裂改善
4	方案二十五	注液工序 锂电池注液工艺优化
5	方案二十六	分容工序 电芯分容工艺优化
6	方案二十七	制版工序 免冲洗版替代传统热敏版
7	方案二十八	印刷工序 印刷行业工艺改进
8	方案二十九	前处理工序 喷砂工序片对片工艺改为卷对卷工艺
9	方案三十	涂布工序 改变涂布方式减少稀释剂用量
10	方案三十一	喷涂工序 减少涂装层数减少 VOCs 产生
11	方案三十二	漆膜工序 滴漆工艺替代浸漆工艺
12	方案三十三	清洗工序 等离子清洗替代传统清洗

## 方案二十二：退镀工序 电解退镀替代化学退镀

### 1. 技术原理

化学退镀是指将待退镀工件作为阳极，置于电学退镀液中进行电解处理。硝酸钠型退镀剂配方：硝酸钠 50%、硝酸 3%、水 47%。硝酸钠兼具主盐与氧化剂作用，利用硝酸根的氧化性溶解铜、镍、铬等不合格金属镀层。

与化学退镀相比，电解退镀使用硝酸根含量较低的药剂，可减少废气氮氧化物及废水总氮、氨氮的产生；同时，通过电能驱动氧化溶解，可降低退镀剂用量。

### 2. 适用范围

适用于退镀工序。在满足环境管理的要求下，企业可根据产品质量要求，选择合适的退镀方式。

### 3. 应用案例

某金属表面处理及热处理加工企业，主要生产五金件复合膜、金属陶瓷复合膜等，生产工艺包括：超声除油/除蜡、预镀镍、酸铜、白铜锡、黄铜锡、镀金、真空镀膜等。

#### (1) 实施情况

企业原使用化学退镀法对挂具及不良品进行退镀，在退镀的过程中产生大量氮氧化物废气，处理难度大且处理成本高，对环境污染大，且易造成工件过腐蚀。为此，企业采用电解退镀替代化学退镀，有效减少了氮氧化物废气的产生。

#### (2) 实施效果

##### ① 环境效益

方案实施后，可有效减少氮氧化物产生量。根据方案实施前后原辅材料的 MSDS 分析，减少硝酸用量 0.2t/a，具体情况见下表：

表 2.1 方案实施前后环境效益分析表

方案实施前		方案实施后		减少量
物料名称	MSDS 成分	物料名称	MSDS 成分	
硝酸	硝酸 HNO <sub>3</sub> : 65%, 水: 35%	退镀剂	硝酸钠 NaNO <sub>3</sub> :50%, 硝酸: 3%, 水: 47%	按照年使用 0.8t 硝酸计算, 可减少硝酸用量 0.2t/a

##### ② 经济效益

方案实施前，硝酸单价为 2.4 元/kg；方案实施后，退镀剂单价为 27 元/kg，采购单价提高 24.6 元/kg。电解退镀虽使用电成本略有上升，但硝酸使用量显著减少，从而降低退镀废水中总氮、氨氮的产生量及氮氧化物废气的排放量，降低了废水与废气处理成本，并降低超标排放带来的环保处罚。

## 方案二十三：涂装预处理工序 无磷工艺替代磷化工艺

### 1. 技术原理

基材涂装前需要经预处理以获得良好基面，这是决定涂层质量的关键因素之一。当前涂装预处理工艺分为磷化工艺及无磷预处理工艺（包括陶化、硅烷化、硅-陶复合等）。

**磷化工艺：**磷化工艺应用历史悠久，是大规模涂装生产不可缺少的工序。其原理是将基材浸泡于含磷酸及磷酸二氢盐的高温溶液中，基材表面形成以磷酸盐沉淀物组成的晶粒状磷化膜，同时产生磷酸盐沉渣和氢气。

**陶化工艺：**利用无机锆酸盐钝化金属表面，形成耐蚀氧化锆膜。陶化液呈酸性，成膜过程中酸溶蚀基材的铁，使界面  $H^+$  浓度降低，促使锆酸根离解平衡右移生成  $ZrF_6^{6-}$ ；当  $ZrF_6^{6-}$  与溶出的  $Fe^{2+}$  达到溶度积时，形成锆酸盐沉淀，并与水分子堆积生成以  $[Zr]$  为晶核的转化膜。陶化剂不含重金属、磷酸盐及有机挥发组分，成膜过程几乎无沉渣，适用于处理铁、锌、铝、镁等多种金属。

**硅烷化工艺：**水解后的复合硅烷聚合物中 Si-OH 基因与金属表面氧化层中的氢氧化物 (Me-OH) 通过氢键快速吸附；在晾干或烘干过程中，Si-OH 与 Me-OH 发生缩聚反应，形成牢固的共价键 (Si-O-Me)。同时，剩余硅烷分子通过 Si-OH 基团间的缩聚反应生成 Si-O-Si，在金属表面形成具有三维网状结构的硅烷膜。该硅烷膜进一步与涂层交联结合，使电泳漆/粉膜与金属基材牢固结合。

**硅-陶复合工艺：**硅烷膜虽具有较强的吸附力和耐蚀性，但膜层较薄且存在孔隙，腐蚀介质侵入可能诱发局部腐蚀，其抗腐蚀性远不及磷化膜。为此，在硅烷体系中添加氟锆酸，形成纳米复合膜。该复合膜含有 Si-O-Me 键及漆膜反应特有的官能团，使漆膜牢固吸附于金属表层；同时，硅烷-锆盐键合获得较厚复合膜，氧化锆颗粒可填充硅烷二维网格的孔隙，进一步提升膜层厚度与基体抗腐蚀性。因此，该复合膜兼具有机硅烷膜与无机锆盐膜特质。

综上所述，各类无磷涂装前预处理技术克服了传统磷化工艺的弊端，具有无磷、无渣、不含重金属离子等特点，在保证产品性能的同时解决了环境污染问题，实现节能减排目的。但采用无磷预处理工艺形成的转化膜对电泳涂装的导电性有一定影响，通常需对预处理药剂与电泳涂料进行匹配性实验。

表 2.2 涂装预处理工艺对比表

工艺类型	磷化工艺	陶化工艺	硅烷化工艺	硅-陶复合工艺
工位数	9 个	7 个	酸性硅烷 7 个 碱性硅烷 5 个	7 个
操作难易程度	工艺操作较复杂	易出现返锈或附着力差	操作简单，硅烷液只需检测 pH、电导率等	操作简单
连续生产	每周至少一次停线清理磷化渣	基本可 24 小时连续生产	基本可 24 小时连续生产	基本可 24 小时连续生产
沉渣量	多	少	少	少
膜厚	2~3 $\mu$ m	0.3~0.5 $\mu$ m	0.3~0.5 $\mu$ m	0.3~0.5 $\mu$ m
物料单耗	50~80m <sup>2</sup> /公斤	150~200m <sup>2</sup> /公斤	200~400m <sup>2</sup> /公斤	150~200m <sup>2</sup> /公斤
药液成本	较低	较高	较高	较高

工艺类型	磷化工艺	陶化工艺	硅烷化工艺	硅-陶复合工艺
废水处理成本	较高	较高	较低	较低
综合成本	较高	较高	较低	较低
限制应用	1.含磷和重金属; 2.磷化渣产生量大。	1.裸陶化膜抗腐蚀能力差于裸硅烷膜,易返锈; 2.适用范围窄; 3.含氟,引入新污染因子。	裸硅烷膜在室内放置超过24h易返锈。	含氟,引入新污染因子。

## 2.适用范围

适用于涂装前预处理工序,企业需结合实际生产,在满足环境管理要求的前提下,合理选用适合产品要求的预处理工艺。

## 3.应用案例

某家用美容、保健护理电器具制造、金属表面处理及热处理加工类企业,主要生产电发热钳、电热发夹、卷发器、热风梳等各类小型家电产品,生产工艺包括注塑、喷漆前处理、喷漆、移印等工序。

### (1) 实施情况

方案实施前,企业喷漆前预处理采用磷化工艺,生产过程中产生含磷废水。为减少含磷废水产生,企业将磷化工艺改为硅-陶复合工艺。

### (2) 实施效果

#### ① 环境效益

a.硅-陶复合处理剂技术已较为成熟,可直接将磷化槽替换为硅-陶处理槽,无需表调,从而减少表调工序的物耗、水耗及能耗。

b.硅-陶复合处理剂用量约为磷化剂的三分之一,且不含磷,在同等产能下,可减少磷酸盐排放量 0.082kg/a。

c.硅-陶复合处理剂用水可循环使用,节约新鲜水约 30%。

#### ② 经济效益

方案总投资为 6.2 万元,主要为环境效益,无明显经济效益。

## 方案二十四：涂布工序 正极涂布停机开裂改善

### 1. 技术原理

涂布机收尾停机时，部分产品滞留烤箱内，造成额外报废，引发磷酸铁锂、箔材、NMP 等原材料的非正常消耗。通过在涂布产品尾部增设一段铝箔，并采用拉空铝箔的方式进行收尾，可有效减少产品报废，降低原材料浪费。

### 2. 适用范围

适用于锂电池制造的涂布工序。

### 3. 应用案例

某锂电池制造企业，主要产品为磷酸铁锂电池，生产工艺包括正负极配料、涂布、辊压、烘烤、分条、卷绕、极耳焊接、注液、化成、在线擦拭、老化、分容、检测、配组、出货等。

#### (1) 实施情况

涂布机收尾停机时，若烤箱内留有产品，将造成产品额外报废。为此，企业通过改进涂布机收尾方式，减少不良品的产生。

#### (2) 实施效果

##### ① 环境效益

NMP 是企业 VOCs 的主要来源之一，根据日常生产数据核算，因报废产品每年消耗的 NMP 量为：极片长度 27m×极片宽度 0.5285m×极片面密度 410g/m<sup>2</sup>×浆料 NMP 含量 40%×每天拉空箔次数 25×300 天=17.55t/a。在涂布工艺条件下，NMP 按 100%挥发计，则可减少 VOCs 生量 17.55t/a。

##### ② 经济效益

方案共投资 38.7 万元。

方案实施前，因停机收尾导致产品报废而造成的经济损失为：13722kg/a（磷酸铁）×160 元/kg+1584kg/a（箔材）×60 元/kg=229.056 万元/a。

方案实施后，增加铝箔用量为 21.5kg(箔材)×300=6450kg/a，按铝箔单价 60 元/kg 计算，年增加费用 6450kg/a×60 元/kg=38.7 万元/a。则节约费用：229.056 万元/a -38.7 万元/a=190.356 万元/a。

## 方案二十五：注液工序 锂电池注液工艺优化

### 1. 技术原理

电解液是锂电池的关键组成材料之一，其吸收量直接决定电池的容量与循环寿命，若吸收不足，将导致电池容量下降、内阻增大，循环寿命迅速衰减。

锂电池在一次注液后，需经高温老化，促使电解液充分浸润极片并参与化学反应，实现化学能与电能的转化。为确保电解液浸润彻底，并补充老化及化成过程中的电解液损耗，需进行二次注液与封口操作。为防止粉尘污染并强化浸润效果，注液后由人工用胶塞临时封口，化成前拔除胶塞，待化成完成后再次封口；二次注液前需再次拔掉胶塞。该方式要求配备化成后的抽真空设备，原因在于化成过程中产生的气体需及时排出，若封口后再处理则会阻碍气体排放。

锂离子电池自动注液机的工作原理如下：首先，将注液孔与注液箱连接形成密封空间，并对注液箱抽真空。当电池内部形成负压后，打开注液阀，电解液在气压差驱动下自动由中转箱流入注液箱。注液完成后，关闭注液阀。

### 2. 适用范围

适用锂电池注液工序，其他类似工艺可参考。

### 3. 应用案例

某锂电池制造企业，主要产品为磷酸铁锂电池，生产工艺包括正负极配料、涂布、辊压、烘烤、分条、卷绕、极耳焊接、注液、化成、在线擦拭、老化、分容、检测、配组、出货等。

#### (1) 实施情况

方案实施前，采用闭口注液方式。由于单次注液量偏大，抽真空过程中电解液带出量较多，因此需分两次完成注液操作。

方案实施后，改为开口注液模式，并加装电解液带出滞留杯。该滞留杯可将抽真空时带出的电解液暂存；待抽真空结束后再将其回流至电芯内部。同时，结合注液量的精准控制，注液工序得以简化，实现单次注液即可完成全部流程。

#### (2) 实施效果

##### ① 环境效益

方案实施前，锂电池注液工序中每只电池需分两次注入电解液；经工艺优化后，如只电池仅需一次注液即可完成。注液次数的减少，有效降低了注液过程中 VOCs 的排放量。

方案实施后，因减少一次注液工序，注液设备相应减少了一次运行。注液设备总功率为 7.5kW，运行时间为 24h/d，年运行天数为 300 天，功率因数为 0.725，则可节约用电  $(7.5\text{kW} \times 24\text{h/d} \times 0.725 \times 300\text{d/年}) \div 2 = 1.96$  万 kWh/a，可减少二氧化碳排放量  $1.96\text{MW} \cdot \text{h/年} \times 10 \times 0.4403\text{tCO}_2\text{e/MW} \cdot \text{h} = 8.63\text{tCO}_2\text{e/a}$ 。

##### ② 经济效益

方案总投资为 0.5 万元，效益如下：

节约电费：电费按 1 元/kWh 计，则可节省电费  $1.96 \text{ 万 kWh/年} \times 1 \text{ 元/kWh} = 1.96 \text{ 万元/a}$ 。

节约人力：方案实施后可节约 2 人，人工费用按 5000 元/人·月计，节省人工成本  $2 \text{ 人} \times 5000 \text{ 元/人} \cdot \text{月} \times 12 \text{ 月/a} = 12 \text{ 万元/年}$ 。

提升生产效率： $(4 \times 2 / 6 - 1) \times 100\% = 33.33\%$ 。

## 方案二十六：分容工序 电芯分容工艺优化

电池分容是指通过容量测试对电池进行筛选的过程：测试容量达到或超过设计容量的电池判定为合格，反之则为不合格。

分容的目的主要有二：其一，淘汰不合格电池。首次分容后静置至少 15 天，使自放电过大、内阻增高等质量问题充分显现，随后再次检测分容，剔除不合格品。其二，筛选一致性电池。将内阻与容量一致的单体电池进行组合。只有性能相近的单体，才能组成稳定的电池组。

### 1. 技术原理

同批次电池因质量差异，充电完成时间不尽相同。若等待所有电池全部完成充电，将造成能源浪费并降低工作效率。为此，可将分容充电的终止条件设定为：当一定比例的电池完成充电后即停止批次充电，剩余未完成电池标记为暂不合格品。将多批次暂不合格品集中后混合进行再次分容，可有效节省能源并提高分容效率。

### 2. 适用范围

适用于锂电池的分容工序。

### 3. 应用案例

某锂电池制造企业，主要产品为磷酸铁锂电池，主要生产工艺包括正负极配料、涂布、辊压、烘烤、分条、卷绕、极耳焊接、注液、化成、在线擦拭、老化、分容、检测、配组、出货等。

#### (1) 实施情况

对铝壳电芯分容工艺的结束条件进行优化，由全部电池充电结束调整为容量满足 95% 的电池充电结束。优化后，0.4C 充电时间由 120min 缩短至 100min，0.5C 充电时间由 190min 缩短至 150min。该改进在降低能耗同时提高了分容效率。

#### (2) 实施效果

##### ① 环境效益

节约电量： $5000 \text{ (支/天)} \times [3.65 \text{ (V)} \times 50 \text{ (A)} \times 1/1000] / \text{支} \times 300 \text{ 天/a} = 27.38 \text{ 万 kWh/a}$ 。

减少二氧化碳排放量： $27.38 \text{ MW} \cdot \text{h/a} \times 10 \times 0.4403 \text{ tCO}_2\text{e/MW} \cdot \text{h} = 120.55 \text{ t CO}_2\text{e/a}$ 。

##### ② 经济效益

节约电费：27.38 万 kWh/a×1 元/kWh=27.38 万元/a；同时分容效率由 7.75h/轮提升至 6.75h/轮，提升 13%。

## 方案二十七：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，是指通过还原剂将软片或印版经曝光后形成的潜影显现出来的工艺过程。

传统冲版工艺采用热敏版材，生产过程中需使用显影液与清洗剂，由此产生显影废液及清洗废水。若采用免冲洗版替代传统热敏版，则无需进行显影工序，经曝光后的版材可直接上机印刷，从而有效减少废弃物产生。

免冲洗版材的结构如下图所示：

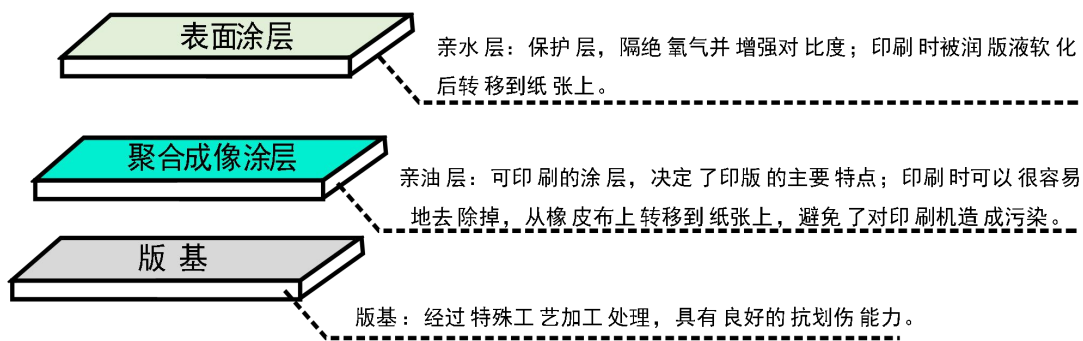


图 2.1 免冲洗版结构图

免冲洗版材的显影机理主要分为两类：一是，通过曝光过程中光化学反应直接成像，无需额外冲洗（显影）工序；二是，借助印刷机的润版液对印版进行浸润冲洗。以润版液冲洗为例，其具体过程如下：免冲洗版材经曝光工序后，激光能量促使聚合成像涂层变色并形成图像；成像后的版材装版至印刷机，随后利用润版液充分浸润版材的亲水表面涂层；最后通过滚筒合压，借助过版纸将软化后的表面涂层带走。

### 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，生产工艺包括制版、印刷、过油/丝印/磨光/过胶、啤机、粘盒。

## (1) 实施情况

原制版工序中，网版需经制版机对曝光、显影，并采用自来水冲洗以去除残留显影液，该过程中产生洗版废水、废显影液及有机废气。在确保产品质量不受影响的前提下，企业使用免冲洗版材替代传统热敏版材，该版材无需显影液与清洗剂，从而有效减少了废弃物的。

## (2) 实施效果

### ①环境效益

方案实施前，该企业使用显影液 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，采用免冲洗版材，无需显影与清洗工序，且润版液更换频次维持原有水平。该方案减少了原辅材料消耗，彻底消除了废显影液与清洗废水的产生，同时降低了 VOCs 排放量。

### ②经济效益

根据现场调研，企业原辅材料采购单价及废弃物处置费用详见下表：

表 2.3 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 <sup>3</sup> /a	3
	采购单价	元/m <sup>3</sup>	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。

## 方案二十八：印刷工序 印刷行业工艺改进

印刷是将文字、图画、照片、防伪标识等原稿，通过制版、施墨、加压等工序，将油墨转移至纸张、纺织品、塑料制品、皮革、PVC、PC 等材料表面，实现原稿内容批量复制的技术。

## 1. 技术原理

印刷过程中使用的油墨、光油等种类较多。可结合实际生产场景，综合考量原辅材料特性与工序流程进行优化，从而减少原辅材料消耗及污染物排放，并提升产品合格率。

## 2. 适用范围

适用于各类纸制品的印刷工序，企业需结合自身实际，在满足环境管理要求的前提下，从原辅材料替代与调整、技术工艺优化等方面合理推进改进。

## 3. 应用案例

### 案例 1：丝印改胶印

某包装装潢及其他印刷企业，主要生产印刷烟标、酒盒、电子消费产品和药品包装品，生产工艺包括印前处理、CTP 制版、显影、定影、冲版、涂胶、烤版、印刷、表面处理（上光、覆膜、烫金、丝印）、裱纸、模切、粘盒、手工制作和包装等。

#### （1）实施情况

方案实施前，企业采用丝网印刷工艺印制文字与图案。印刷过程中，油墨附着于印版之上，借助刮印刮刀的作用，丝印镭射油通过印版网眼被挤压成型于纸盒表面。该工艺不仅丝印镭射油用量较大，且洁版液使用频繁，导致生产效率与成品率均处于较低水平。

方案实施后，企业结合产品特性，采用逆向胶印工艺替代原有丝网印刷工艺。逆向胶印工艺通过橡皮布将印版上的图文转印至纸盒，生产过程中使用 UV 油墨，有效提升了生产效率。

#### （2）实施效果

##### ①环境效益

方案实施前，丝网印刷使用丝印镭射油，印版清洗需频繁使用洗版液；方案实施后，改用 UV 油墨。两者用量基本持平，根据企业运行数据统计，该方案可从源头削减 VOCs 产生量约 3.6%。

##### ②经济效益

胶印 UV 油墨的采购成本较丝印镭射油高出约 13%，无明显经济效益。

### 案例 2：增设印刷表面处理工序

某包装装潢及其他印刷企业，主要生产印刷烟标、酒盒、电子消费产品和药品包装品，生产工艺包括印前处理、CTP 制版、显影、定影、冲版、涂胶、烤版、印刷、表面处理（上光、覆膜、烫金、丝印）、裱纸、模切、粘盒、手工制作和包装等。

## （1）实施情况

方案实施前，企业未对纸张表面进行预处理即开展后续加工，导致纸盒折叠处频繁出现严重爆色问题，成品率偏低。

方案实施后，企业在纸张表面加印替塑水油。经处理后，纸盒表面具备较高的张力和拉力，整体耐磨、耐折防爆、耐老化性能显著提升，从而提高了成品率。

## （2）实施效果

### ①环境效益

方案实施后，企业产品报废率降低，不合格品减少，从而降低了固废产生量。

### ②经济效益

本方案提升了产品成品率，间接提高了企业利润率。

## 方案二十九：前处理工序 喷砂工序片对片工艺改为卷对卷工艺

喷砂是一种工件表面处理工艺。其原理为：以压缩空气为动力，形成高速喷射束，将喷料（如铜矿砂、石英砂、金刚砂、铁砂、海砂等）高速喷射至工件表面，以改变其外表形态或形状。利用喷料对工件的冲击与切削作用，可使工件表面获得一定清洁度与粗糙度，进而改善机械性能、提高抗疲劳性、增强与涂层/膜材料的附着力。

### 1.技术原理

柔性线路板生产中，贴干膜前需进行靶孔、喷砂等前处理工序。目前，多数中小企业采用片对片工艺进行贴干膜，因此需先对柔性覆铜板进行分条。然而，分条后的柔性覆铜板刚性与厚度不足，喷砂滚轴无法驱动其正常行进，需额外用胶带粘贴刚性引导板方可生产。该引导板需人工粘贴，无法实现自动化，导致生产效率低下，同时造成胶带、引导板等原辅材料的浪费，此外，片与片之间的间隔也导致了能源的浪费。

将喷砂工序置于分条之前，可实现卷对卷全自动化生产，从而提升生产效率、节省人工及原辅材料消耗。

### 2.适用范围

适用于生产柔性线路板的前处理工序。

### 3.应用案例

某电子电路制造企业，主要生产柔性线路板（FPC），生产工艺包括贴干膜、DES、靶冲、表面处理、文字、补强、冲裁等。

## (1) 实施情况

方案实施前，企业前处理生产流程为：卷对卷（RTR）靶冲→分条→人工贴引导板→喷砂→印油墨。

方案实施后，前处理生产流程变更为：卷对卷（RTR）靶冲→卷对卷（RTR）喷砂→分条→印油墨。

通过将喷砂工序前置，满足了卷对卷喷砂自动化的工艺要求，省去人工贴/撕引导板的流程，从而提升了生产效率并减少了固废的产生。

## (2) 实施效果

### ①环境效益

方案实施后，可减少胶带使用量，从而减少一般工业固废的产生，按方案实施前每平方米卷材使用 0.5m 胶带计算，在相同产能条件下，每年可减少胶带使用量约 20000m。以胶带单位重量 2g/m 计，则每年可减少废胶带产生量约 40kg。

此外，采用卷对卷连续操作后，避免了片对片工艺中间隔造成的能源消耗，从而间接减少了碳排放。

### ②经济效益

本方案无需投资与设备改造。

方案实施前，每条线每班需 4 人（含 2 名贴引导板工人）；方案实施后，每班仅需 2 人。按每天两班计算，每天可减少 4 名工人，以每人平均工资 5000 元/月计，则可节省人力成本： $4 \text{ 人} \times 5000 \text{ 元/月} \times 12 \text{ 月/a} = 24 \text{ 万元/a}$ 。此外，还避免了片对片间隔造成的能源，节省了用电成本。

## 方案三十：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，通过一组胶辊或钢辊的组合，以不同转移方式使涂料流平排列，最终均匀转移至运动中的带钢表面并固化，形成一层固体保护膜。该工艺因生产过程稳定、效率高、涂层质量优异等优势，被广泛应用于涂层带钢的生产领域。根据带钢与涂覆滚轮的运动方向差异，辊涂可分为同向辊涂（顺涂）与逆向辊涂（逆涂）。通常情况下，顺涂所得漆膜厚度较薄、涂装速度较慢，逆涂则相反。

涂料通常包含四种基本成分：成膜物质（树脂、乳液）、颜料（含体质颜料）、溶剂及添加剂（助剂）。其中，稀释剂作为溶剂的一类，其核心作用是降低胶粘剂黏度。企业在使用涂料时，会根据工艺要求添加稀释剂调整涂料黏度。

### 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，主要生产酸洗板、冷轧钢板（全硬）、热浸锌板、彩涂板，生产工序主要包含：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，该企业涂布工序采用逆涂工艺。为保障涂层质量，需添加大量稀释剂以降低涂料黏度，此时单位产品稀释剂平均用量为 3.23kg/t 钢材，涂料黏度维持在 25~30S。为削减稀释剂用量，企业将工序优化为顺涂工艺。方案实施后，单位产品稀释剂用量降至 2.91kg/t 钢材，涂料黏度则提升至 50~60S。

#### (2) 实施效果

##### ①环境效益

按企业年生产彩涂钢板 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，则可减少 VOCs 产生量 21.11t/a，结合企业废气收集与处理效率，最终可减少 VOCs 排放量 0.8t/a。

##### ②经济效益

本方案投资 6.6 万元，主要对生产设备进行改造及更换。

稀释剂价格按 2.327 万元/t 计算，则每年可减少生产成本约  $21.11t \times 2.327 \text{ 万元/t} = 49.12 \text{ 万元}$ 。

## 方案三十一：喷涂工序 减少涂装层数减少 VOCs 产生

涂装是对金属与非金属表面施加保护层或装饰层的工艺，是现代产品制造流程中不可或缺的重要环节，广泛应用于家电、机床、机械、家具、建筑等众多行业。涂层的作用主要包括三大类：保护、装饰以及特种功能。

### 1.技术原理

涂装过程需使用涂料、稀释剂等原辅材料。涂料涂覆于物件表面后，其中的成膜物质会形成黏附牢固、强度适宜且连续的固态薄膜，而其余挥发性成分则会释放到周围环境中。为满足产品性能要求，通常需采用多层涂装工艺，导致涂层总厚度与涂料用量相应增加，进而使挥发性有机物（VOCs）排放量随之上升。

因此，在确保满足产品要求的前提下，企业可适当减少涂层层数，以降低 VOCs 的产生量。

### 2.适用范围

适用于喷涂工序。

### 3.应用案例

#### 案例 1

某黑色金属冶炼和压延加工企业，主要生产涂酸洗板、冷轧钢板（全硬）、热浸锌板、彩涂板等，生产工序主要包含：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，企业的家电彩涂钢板产品采用双层涂布工艺，涂料与稀释剂的消耗量较大，导致 VOCs 产生量偏高。同时，双层涂布工艺的生产成本较高，不仅推高了产品售价，也增加了客户的订购成本。为此，企业针对家电彩涂钢板生产工艺开展技术升级研发，将双层涂布工艺改造为单层涂布，并拆除更换了涂布辊。同时，为应对工艺调整后钢板涂层厚度与性能的变化，企业采购了质量更优的涂料。

##### （2）实施效果

###### ①环境效益

根据企业涂料使用量、VOCs 含量占比、废气收集率及处理效率等关键指标测算，可减少 VOCs 产生量 15.64t/a，减少排放量 1.92t/a。

###### ②经济效益

本方案总投资 45.97 万元，主要用于生产设备的升级更换及生产工艺的研发试验。根据试验结果，单层涂布工艺仅适用于部分彩涂生产线。目前，共有 21 种低端家电钢板产品可采用该工艺生产，约占总产量的 20%。

试验数据显示：双层涂布家电钢板的单位涂料消耗量约为 23kg/t 钢，单层涂布则约 14kg/t 钢。按单层涂布产品月均产量为 1000t 计算，则可减少涂料消耗量为： $1000\text{t}/\text{月} \times (23\text{kg}/\text{t} - 14\text{kg}/\text{t}) \times 12\text{月}/\text{a} = 10.8\text{t}/\text{a}$ 。按照涂料平均单价为 32 元/kg 计算，则可实现经济效益  $10.8\text{t}/\text{a} \times 1000 \times 32\text{元}/\text{kg} = 34.56\text{万元}/\text{a}$ ，投资回收期为  $45.97\text{万元} \div 34.56\text{万元}/\text{a} = 1.33\text{a}$ 。

#### 案例 2

某生产美容美发家用小电器企业，主要生产电吹风、剪发器、电风梳、美甲机等，生产工序主要包含注塑、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，企业生产的产品塑料外壳需经过多次多层喷涂工序，每增加一层喷涂，不仅消耗更多原辅材料，还会产生更多挥发性有机物（VOCs）。为此，企业通过深入分析油漆性能并开展一系列测试，将原有的三层喷涂工艺优化为两层。方案实施后，企业已完成 61 种类型塑料件喷涂工艺的改造工作。

## (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。

结合油漆挥发性组分占比 40%、天那水 100%挥发的特性，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： $(0.6 \times 40\% + 0.42 \times 100\%) \times 60\% \times 20\% + (0.6 \times 40\% + 0.42 \times 100\%) \times 40\% = 0.3432\text{t/a}$ 。

方案实施后一个月可减少用电量 4500kWh，则一年可减少用电量 5.4 万 kWh；年减少二氧化碳排放量  $5.4\text{MW} \cdot \text{h} \times 10 \times 0.4403\text{tCO}_2\text{e/MWh} = 27.78\text{tCO}_2\text{e}$ 。

### ②经济效益

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。

电费按 1 元/kWh 计算，则可减少电费 5.4 万元。

## 方案三十二：漆膜工序 滴漆工艺替代浸漆工艺

定子绕组通常由若干线圈或线圈组构成，在电机运行过程中，线圈或线圈组承担电磁能量转换的核心作用，进而产生较高的电压与电流。为保障电机整体性能，通常会在绕组各线圈周边浸覆一层致密漆膜，将各线圈固化为一个整体，避免绕组受到潮气、霉菌及污物的侵蚀，提升其机械强度与耐热性，优化电机散热能力，强化绕组绝缘性能。

### 1.技术原理

浸漆工艺使用油性绝缘漆，需将定子完全浸入绝缘漆缸，在真空环境下完成浸漆操作；待绕组匝间被漆料完全填充后，取出移入烘箱，经高温固化成型。该工艺的绝缘漆损耗率较高，且 VOCs 排放量较大。

滴漆工艺使用水性绝缘漆，滴漆工艺采用水性绝缘漆，操作时先将定子固定于滴漆机中，对绕组进行预热处理，此举可降低后续滴入绝缘漆的黏度，提升其流动性；预热完成后工件开始旋转，绝缘漆从滴漆机滴嘴持续滴落至绕组端部，借助重力与线匝间的毛细渗透作用，漆料逐步渗透并填满所有绕组匝间，最终经高温胶化与固化成型。

滴漆工艺凭借精密点涂技术，将漆料精准滴落于目标表面，确保涂层均匀、漆膜平整，实现精细化涂装效果；在保障表面质量的同时，大幅减少了绝缘漆的用量。

采用滴漆工艺替代浸漆工艺，不仅能有效减少漆料消耗、避免浪费，还可提升产品质量，显著降低有机废气排放量。

### 2.适用范围

适用于小组件、高精度及结构复杂产品的漆膜加工工序，如绕组绝缘处理、电子元器件涂装等。需注意根据产品具体要求选择适配的漆料类型。

### 3.应用案例

某整车制造类企业，主要生产新能源整车，生产工艺包括冲压、焊接、涂装、电泳、烘烤、喷漆、三防漆涂覆、浸漆等工艺。

#### (1) 实施情况

方案实施前，该企业采用浸漆工艺处理定子绕组，所用绝缘漆为太湖 ET-90 环保型改性耐热不饱和聚酯树脂，搭配太湖 TX-222 绝缘漆专用稀释剂。因原辅材料消耗量及 VOCs 排放量均较大，企业经调研后决定引入滴漆工艺替代浸漆工艺，滴漆工艺采用不饱和聚酯亚胺绝缘漆。企业所用绝缘漆的基础参数对比详见下表：

表 2.4 绝缘漆基础情况对比表

方案实施前				方案实施后			
名称	年用量 (t/a)	VOCs 含量 (%)	主要成分	名称	年用量 (t/a)	VOCs 含量 (%)	主要成分
太湖 ET-90 环保型改性耐热不饱和聚酯树脂	72	25	精制改性耐热不饱和聚酯树脂 (50%~60%)、环氧树脂 (20%~30%)、潜伏性固化 (5%~8%)、稀释剂 (15%~25%)	不饱和聚酯亚胺	28.8	1	三乙二醇二甲基丙烯酸酯 (25%~50%)、不饱和聚酯亚胺 (40%~60%)、过氧化叔丁基异丙苯 (0.5%~1%)
太湖 TX-222 绝缘漆专用稀释剂	9	25	苯乙烯 (99%~99.9%)、阻聚剂 (0.1-1.0%)	/	/	/	/

#### (2) 实施效果

##### ①环境效益

**原辅材料：**企业每年可节约绝缘漆及相关辅助原料  $72t+9t-28.8t=52.2t$ 。

**用电量：**方案实施前，企业浸漆工艺包含抽真空、输漆、加压、烘烤等设备运行，按照一个周期生产约 60 个产品，用电量约 69kWh 计算，折合单个产品用电 1.15kWh。企业年产量约 23 万个产品，则方案实施前企业年用电量为  $23 \text{万个} \times 1.15\text{kWh/个} = 264500\text{kWh}$ 。

方案实施后，企业滴漆工艺采用滴漆烘烤一体化作业，一个周期生产约 19 个产品，用电量约 11.5kWh，则单个产品用电 0.605kWh，同样生产 23 万个产品，方案实施后企业年用电量为： $23 \text{万个} \times 0.605\text{kWh/个} = 139150\text{kWh}$ 。

工艺改善后，可节约用电  $264500\text{kWh}-139150\text{kWh}=125350\text{ kWh}$ ，年减少二氧化碳排放量  $125350\text{kWh}\times 0.001\times 0.4403\text{tCO}_2/\text{MW}\cdot\text{h}=55.19\text{tCO}_2\text{e}$ 。

**有机废气：**企业每年可减少有机废气产生  $72\text{t}\times 25\%+9\text{t}\times 25\%-28.8\text{t}\times 1\%=19.962\text{t}$ 。

## ②经济效益

购买设备等共投资 542.4 万元。

**原辅材料成本：**油性漆及稀释剂购买单价为 1800 元/t，水性漆单价为 2530 元/t，则原辅材料购买成本可节约  $(72+9)\text{t}\times 1800\text{元/t}-28.8\text{t}\times 2530\text{元/t}=72936\text{元}$ 。

**电费成本：**按照用电单价 1 元/kWh 计算，则可节约电费  $125350\text{kWh}\times 1\text{元/kWh}=125350\text{元}$ 。

则每年可节约成本： $72936\text{元}+125350\text{元}=198286\text{元}$ 。

方案实施后，有机废气产生量明显减少，并节省了原辅料使用和用电成本，具有较好的环境和经济效益。

## 方案三十三：清洗工序 等离子清洗替代传统清洗

传统的清洗工序往往需根据待清洗工件的种类与具体清洗要求，采用自来水、纯水清洗，或在水中添加清洗剂辅助清洗；清洗用水需定期更换，且会产生一定量的清洗废水。相比之下，等离子清洗无需添加任何清洗剂，也不会产生清洗废水，是一种真正绿色环保的清洁方式。

### 1.技术原理

等离子清洗是一种利用等离子体对物件表面进行干式处理的清洗技术，全程无需使用任何化学清洗剂，也不会产生清洗废水。

等离子体是指在真空环境中，射频电源在特定压力等条件下，通过向气体施加足够能量使其发生电离，最终形成由离子、电子、原子等活性组分构成的高能量无序活性物质。利用等离子体中的活性物质与工件表面的污染物、杂质发生物理及化学反应，能够实现对工件表面的清洗、活化与蚀刻效果——不仅可显著提升工件表面的洁净度，还能有效提高其表面能。

等离子清洗具有多重显著优势：其一，全程不使用化学药剂，绿色环保；其二，清洗效果显著且处理速度快；其三，可精准控制清洗的范围与深度；其四，除清洁表面外，还能同步实现活化、蚀刻等多功能处理。

根据等离子产生原理，等离子清洗技术可分为：

(1) 射频等离子清洗技术：通过射频电源产生高频电场，激发气体分子电离形成等离子体。该技术清洗效果优异、适用范围广，是目前应用最为广泛的等离子清洗技术之一。

(2) 微波等离子清洗技术：利用微波电源产生的微波能量激发气体分子电离形成等离子体，清洗速度快、效率高，但设备购置成本相对较高。

(3) 低温等离子清洗技术：在低温环境下生成等离子体，对材料表面损伤小，清洗效果良好、适用范围较广，但设备购置成本相对较高。

(4) 大气压等离子清洗技术：在大气压条件下直接生成等离子体，无需配备真空设备，操作简便，设备购置成本低、清洗效率高，但清洗效果相对有限。

等离子清洗技术目前已广泛应用于多个行业领域：在半导体制造领域，可用于去除光刻胶、清洁晶圆表面等；在光学器件制造领域，可用于清洁各类光学元件；在生物医学领域，可用于处理医疗器械表面；在电子行业，则用于线路板的清洁处理等。

## 2.适用范围

适用于平面、曲面、棱角、孔洞等各类形状工件表面的油污去除与改性处理，需搭配等离子清洗机协同使用；不适用于直接清洗污染严重的工件（如表面附着大量切削粉末、积有较厚油垢）。对于表面带有特殊涂层或有特殊要求的材料，应先进行测试，以确保清洗过程不会损坏涂层或影响材料性能。

## 3.应用案例

### 案例 1

某电子电路制造企业，主要生产柔性线路板，生产工艺包括开料、钻孔、整孔、微蚀、预浸、活化、还原、黑孔、酸浸、镀铜、贴干膜、曝光、显影、蚀刻、退膜、压合、印绿油、化镍、化金、丝印字符、补强贴合等。

#### (1) 实施情况

在正常生产过程中，为有效去除线路板表面脏污、改善板面活性与平整度，多数工序完成后均需进行清洗处理方可进入下一工段。由于柔性板质地柔软，清洗时刷板力度需严格控制，因此其清洗次数更多，新鲜水消耗量也相应增加。

方案实施前，企业所有清洗工序均采用水洗工艺。随着产品精度持续提升，为保障产品质量不得不增加清洗频次，致使废水排放量逼近环评批复的总量限值。为避免废水超量排放，企业经过多次市场调研与技术评估，发现钻孔后清洗、丝印字符前清洗、镀铜前清洗及活化处理等工序可采用等离子清洗替代水洗，从而减少废水产生量。

#### (2) 实施效果

##### ①环境效益

方案实施前，企业清洗工序使用新鲜水或纯水对产品进行清洗，年新鲜水用量约  $7500\text{m}^3/\text{a}$ ，清洗废水产生量约  $6000\text{m}^3/\text{a}$ ，污泥产生量约  $60\text{t}/\text{a}$ ；

方案实施后，企业部分清洗工序采用等离子清洗替代水洗，在相同产能的情况下，年使用新鲜水约  $2100\text{m}^3/\text{a}$ ，清洗废水产生量  $1800\text{m}^3/\text{a}$ ，污泥产生量约  $18\text{t}/\text{a}$ 。则节约新鲜水用量  $7500\text{m}^3/\text{a}-2100\text{m}^3/\text{a}=5400\text{m}^3/\text{a}$ ；废水产生量减少  $6000\text{m}^3/\text{a}-1800\text{m}^3/\text{a}=4200\text{m}^3/\text{a}$ ；污泥产生量减少  $60\text{t}/\text{a}-18\text{t}/\text{a}=42\text{t}/\text{a}$ 。

企业采用等离子清洗，不需要使用相关药剂，由于企业无相关原辅材料使用工序划分台账，因此本案例不对原材料节约用量进行具体核算。

##### ②经济效益

本方案企业购买 2 台等离子清洗机，共计投资 55 万元。

新鲜水单价按照 5 元/m<sup>3</sup>计算，则年节约水费 5400m<sup>3</sup>×5 元/m<sup>3</sup>=27000 元；废水处理费用按照 10.6 元/m<sup>3</sup>计算，则年节约废水处理费用 4200m<sup>3</sup>×10.6 元/m<sup>3</sup>=44520 元；污泥处理费用按照 3000 元/t 计算，则年节约污泥处理费用 42t×3000 元/t=126000 元。

综合企业年节约费用 27000+44520+126000=197520 元，投资回收期约 500000÷197520=2.53a。

## 案例 2

某电子电路制造企业，主要生产挠性双面板，生产工艺包括激光打孔、黑影、镀铜、压膜、曝光、DES、切断、脱脂、印刷、烘烤、曝光、显影、硬化、UV、微蚀、贴合、热压、镀金、冲裁、钻孔、贴合、热压、补强贴合、真空快压、外周冲裁、包装；SMT 生产工艺流程主要为：烘烤、锡膏印刷、贴装、回流、树脂涂布、硬化、贴合、预压、冲裁、折弯、电检。

### (1) 实施情况

企业清洗过程中产生的清洗废水主要为酸碱废水，约占厂区生产废水产生量的 76%，为减少酸碱废水的产生，降低废水处理成本，企业将钻孔后的水洗工序更改为等离子清洗，并配套购买一台水平式等离子清洗机，设备功率 15kW，腔体容积 1000L。

方案实施前，企业钻孔后的清洗工序需要使用纯水并添加药剂对孔壁残留的污渍和残留物进行清洗，确保线路板的清洁度和质量。方案实施后，企业采用等离子清洗技术替代原来的清洗工序，清洗过程无需添加药剂，且不产生清洗废水。

### (2) 实施效果

#### ①环境效益

方案实施前，企业钻孔后的清洗工序产生的清洗废水为 2m<sup>3</sup>/d；方案实施后，无需使用纯水进行清洗。生产时间按照一年 300 天计算，则可减少生产废水 2m<sup>3</sup>/d×300d/a=600m<sup>3</sup>/a；结合企业生产实际，污泥产生量按照废水产生量的 1%计算，则可减少 600t/a×1%=6t/a。

由于企业内部未统计原水洗工序相关设备功率和药剂使用量，故本案例不对节电效益和原辅料节约用量进行具体核算。

#### ②经济效益

企业购买 1 台等离子清洗机，共计投资 66 万元。

企业废水处理费用按照 10.6 元/m<sup>3</sup>计算，则年节约废水处理费用 600m<sup>3</sup>×10.6 元/m<sup>3</sup>=6360 元；企业污泥属于含铜污泥，无偿交由有资质的危险废物单位拉运处置。

本方案经济效益不明显，主要为环境效益。

### 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方案主要集中在设备自动化及节能等方面。

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 方案基础情况一览表

序号	类型	方案编号	方案名称
1	(一) 生产设备	方案三十四	磨板工序 磨板喷砂线替代原磨板清洗线
2		方案三十五	曝光工序 全自动 LDI 曝光机替代人工曝光
3		方案三十六	显影、蚀刻、去膜工序 新型 DES 生产线代替传统显影、蚀刻、去膜生产线
4		方案三十七	蚀刻工序 真空蚀刻代替普通蚀刻
5		方案三十八	退膜、蚀刻、退锡工序 SES 线升级改造
6		方案三十九	黑孔工序 黑孔线升级改造
7		方案四十	贴膜工序 自动贴膜机代替人工贴膜
8		方案四十一	层压工序 加装自动机械手臂
9		方案四十二	字符打印工序 自动字符打印机替代丝网印刷
10		方案四十三	微蚀工序 硫酸铜结晶体设备更新升级
11		方案四十四	电镀工序 VCP 垂直连续电镀线代替传统电镀线
12		方案四十五	电镀工序 上下分体式滚镀线替代传统滚镀线
13		方案四十六	电镀工序 自动化升级改造
14		方案四十七	电镀工序 智能过滤清洗机代替常规过滤器
15		方案四十八	电镀工序 水源热泵集中供热替代电热器末端加热
16		方案四十九	印花打样工序 引进自动滴定打样机
17		方案五十	印染工序 染色工艺低浴比改造
18		方案五十一	印花工序 数码喷墨印花代替圆网印花
19		方案五十二	印刷设备清洗工序 橡皮布自动清洗装置替代人工清洗

序号	类型	方案编号	方案名称	
20		方案五十三	印刷工序 胶印机升级替代	
21		方案五十四	注塑工序 注塑机节能改造	
22		方案五十五	进料工序 自动配料系统替代人工配料	
23		方案五十六	喷涂工序 喷漆自动化改造	
24		方案五十七	喷涂工序 静电喷涂设备替代普通喷枪	
25		方案五十八	清洗工序 碳氢清洗机替代溶剂清洗机	
26		方案五十九	切割工序 光纤激光切割机替代传统切割机	
27		方案六十	工件保温 增设保温炉车避免热量损失	
28		(二) 辅助生产设备	方案六十一	余热回收 空压机余热回收
29			方案六十二	余热回收 高温冷凝水余热回收
30	方案六十三		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	
31	方案六十四		电机节能改造 电机增加变频器	
32	方案六十五		无功补偿 新增有源电力滤波器提高用电设备功率因数	
33	方案六十六		制冷机节能改造 添加极性制冷剂油提高制冷效率	
34	方案六十七		冷冻机节能改造 高效磁悬浮冷冻机替代螺杆冷冻机	
35	方案六十八		锅炉改造 锅炉低氮改造	
36	方案六十九		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	

## （一）生产设备

### 方案三十四：磨板工序 磨板喷砂线替代原磨板清洗线

线路板磨板工序的主要目的是去除线路板表面的氧化层和杂质，磨板工序首先通过机械磨削去除线路板表面的氧化层，确保铜层表面光滑、无杂质，从而提高焊接质量和电路的导电性能；磨板过程中，还会清洁铜层表面，去除可能影响焊接和电路连接的污染物，确保线路板的稳定性和可靠性。

#### 1. 技术原理

线路板生产过程中，对板面的洁净度要求较高，目前常用的洁净方式为磨板清洗，使用的设备为磨板清洗线。

传统磨板清洗线采用毛刷清洁配合水淋洗表面；磨板喷砂线则是对原有设备的升级改进，不再依赖全水洗模式，转而以压缩空气为动力，将磨料（铜矿砂、石英砂、金刚砂、铁砂、海砂等）形成高速喷射束冲击工件表面，通过磨料的切削与冲击作用，使板面获得所需清洁度与粗糙度，之后再经快速磨板清洗工序。相比传统清洗线，喷砂线效率更高、工序更简，传统清洗线需 7~8 次清洗，喷砂线仅需 5 次即可达标，清洗用水减少 40%，生产效率提升 1 倍以上。

#### 2. 适用范围

磨板喷砂线存在以下限制，企业需根据实际生产情况选用。

① 板材厚度限制。对于厚度较薄的板材，喷砂加工时砂粒的冲击力易使板材产生变形、翘曲甚至破损。因此，若将喷砂工艺应用于薄板材加工，需开展专项可行性评估。

② 形状复杂工件处理困难。对于含深孔、盲孔、狭缝的板材，喷砂易出现死角导致处理不均；若砂砾尺寸与孔径/缝隙不匹配，还可能发生磨料卡滞，影响后续加工。

#### 3. 应用案例

某线路板制造企业，主要从事生产销售双面、多层线路板，主要生产工艺包括磨板、沉铜、电镀、蚀刻、阻焊、显影、文字等。

##### （1）实施情况

方案实施前，企业生产的产品需要双面磨板，清洗用水量较大，且设备使用年限久，磨板效果下滑，板面洁净度常不达标需返工，既降低生产效率又增加水资源消耗。

方案实施后，企业引进一条新的磨板喷砂线替代原磨板清洗线，以提升生产效率、节约水资源、降低返工率。

表 3.1 方案实施前后磨板线对比一览表

指标	原磨板清洗线	磨板喷砂线
设备功率 (kW)	33.6	27
板面输送速度 (m/min)	1.2	3 (最高可到 5m/min)
耗水量 (L/min)	21 (15L 自来水, 6L 纯水, 纯水产水率按 50% 计算, 合计自来水消耗 27L)	12.5 (自来水)
产量 (m <sup>2</sup> /h)	37	94
一次合格率 (%)	99.5	100

## (2) 实施效果

### ①环境效益

以年产 7 万 m<sup>2</sup> 产能计算, 方案实施后预计取得的效益如下:

a、节约新水量: 原磨板清洗线年运行时间为 1892h, 磨板喷砂线年运行时间为 745h, 则原磨板清洗线水量  $1892\text{h} \times 27\text{L}/\text{min} \times 60\text{min}/\text{h} \div 1000\text{L}/\text{m}^3 = 3064\text{m}^3/\text{a}$ ; 磨板喷砂线水量  $745\text{h} \times 12.5\text{L}/\text{min} \times 60\text{min}/\text{h} \div 1000\text{L}/\text{m}^3 = 559\text{m}^3/\text{a}$ , 年节约水量  $3064\text{m}^3/\text{a} - 559\text{m}^3/\text{a} = 2505\text{m}^3/\text{a}$ 。

b、减少废水产生量: 废水产生量按取水量的 90% 计算, 则废水减排量  $2505\text{m}^3/\text{a} \times 0.9 = 2255\text{m}^3/\text{a}$ 。

c、减少污泥产生量: 按照 250m<sup>3</sup> 水产生 1t 污泥计算, 年减少污泥量 9.02t/a。

d、节约用电量: 原磨板清洗线电量  $33.6\text{kW} \times 1892\text{h}/\text{a} = 63571\text{kWh}/\text{a}$ ; 磨板喷砂线电量  $27\text{kW} \times 745\text{h}/\text{a} = 20115\text{kWh}/\text{a}$ ; 节约用电量  $63571\text{kWh}/\text{a} - 20115\text{kWh}/\text{a} = 43456\text{kWh}/\text{a}$ 。

e、碳减排量: 减少二氧化碳排放量  $43456\text{MW} \cdot \text{h}/\text{a} \times 0.001 \times 0.4403\text{tCO}_2/\text{MW} \cdot \text{h} = 19.13\text{tCO}_2\text{e}/\text{a}$ 。

### ②经济效益

本方案投资约 50 万元。

按照水费 5 元/m<sup>3</sup>, 废水处理费用 15.6 元/m<sup>3</sup>, 污泥处理费 800 元/t, 电费 1 元/kWh, 则:

节省水费:  $2505\text{m}^3/\text{a} \times 5 \text{元}/\text{m}^3 = 1.25 \text{万元}/\text{a}$ ;

节省废水处理费:  $2255\text{m}^3/\text{a} \times 15.6 \text{元}/\text{m}^3 = 3.52 \text{万元}/\text{a}$ ;

节省污泥处置费:  $9.02\text{t}/\text{a} \times 800 \text{元}/\text{t} = 0.72 \text{万元}/\text{a}$ ;

节省电费:  $43456\text{kWh}/\text{a} \times 1 \text{元}/\text{kWh} = 4.35 \text{万元}/\text{a}$ ;

年运行总节省费用:  $1.25 \text{万元} + 3.52 \text{万元} + 0.72 \text{万元} + 4.35 \text{万元} = 9.84 \text{万元}$ , 投资回本期约 5.1 年。

## 方案三十五：曝光工序 全自动 LDI 曝光机替代人工曝光

### 1. 技术原理

激光直接成像技术 (LDI)，是基于计算机辅助制造 (CAM) 工作站输出的数据，直接驱动激光成像单元，在涂覆光致抗蚀剂的印制电路板 (PCB) 表面完成图形曝光成像的先进成像技术。其核心优势如下：

- ① 高分辨率、高对位精度，无需菲林作为转移媒介；
- ② 图形转移流程精简为“CAD 数据→数据后处理→印刷→曝光”，大幅缩短工序；
- ③ 定位精准，助力精细导线制作，提升产品精度与合格率。

### 2. 适用范围

适用于精密电路曝光工序，尤其适配多层线路板。多层板各层线路需精准对位以保证与金属化孔可靠连接，LDI 高精度特性可充分满足该要求。

### 3. 应用案例

某电子电路制造企业，主要生产多层线路板，生产工艺包括 PCB 基材准备、内层图形制作、层压、钻孔、沉铜、外层图形转移、图形电镀、蚀刻、退锡、印阻焊/字符、喷锡（或化镍金）、产品外形加工等，产品广泛应用于通讯、电源、安防、光电、工业控制、医疗、汽车和消费类电子等多个领域。

#### (1) 实施情况

方案实施前，电路图形转移流程冗长，需导入 CAD 数据→数据后处理→绘制底板→底板显影→检查→修整→复制工作底板→检查→修整→曝光，生产过程需利用菲林作为图形转移媒介，并通过人工进行图形对位。整个过程菲林消耗量大且次品率高。

方案实施后，直接采用 LDI 曝光机，流程精简且无需菲林，定位精度提升，产品合格率与效率显著改善。

#### (2) 实施效果

##### ① 环境效益

减少菲林使用量，降低危废产生；提高产品合格率，减少资源浪费。

##### ② 经济效益

该设备的投资额约 700 万~800 万元/台。

设备使用后，图形转移、曝光工序的工作效率明显提高，并且节省菲林等原辅材料的消耗，提高产品的合格率，减少废弃物的产生量。

一台 LDI 曝光机代替原曝光工序，可节省 2 个操作工人，人工费用按 5000 元/人·月计，节省人工成本  $2 \text{ 人} \times 5000 \text{ 元/人} \cdot \text{月} \times 12 \text{ 月/a} = 12 \text{ 万元/a}$ 。

## 方案三十六：显影、蚀刻、去膜工序 新型 DES 生产线代替传统的显影、蚀刻、去膜生产线

### 1. 技术原理

新型 DES 生产线设计科学合理，兼具高效性与高自动化水平，集显影、蚀刻、退膜三大核心工序于一体，并在各工序后增设检查环节，有效保障良品率与产品质量；每道清洗工序均采用溢流水洗工艺，全线共设 17 段溢流水洗单元，通过电磁阀精准控制，既确保优异清洗效果，又实现节水节能。

### 2. 适用范围

适用于 PCB 线路板负片线路图形制作。

### 3. 应用案例

某电子电路制造企业，主要生产单面板、双面板、多层板、软硬结合板、柔性双面板等，生产工艺包括开料、钻孔、前处理黑孔、电镀 VCP、后处理氧化、压膜、显影、蚀刻、退膜、钝化、线路检测、贴膜、电镀金、冲孔、检测、印刷等。企业产品主要应用于：手机、电脑、DVD、汽车、医疗、军工等行业。

#### (1) 实施情况

方案实施前，企业设备老旧，自动化水平低，水耗居高不下，产品精密度难以满足高端需求。实施后，将显影、蚀刻、退膜整合至同一条生产线，各工序后增设自动检查环节，通过电磁阀精准控制进水，显著提升产品品质并降低水耗；新型 DES 生产线针对产品特质定制化设计，生产效率提升 40%~50%。具体实施前后对比情况见下表：

表 3.2 实施前后设备参数对比表

比较项	实施前			实施后
	显影机	蚀刻机	剥膜机	新型 DES 生产线
工作速度	2.2m/min	2.2m/min	2.2m/min	可根据产品进行调节 (0~5.0m/min)
耗水量	30L/min	20L/min	40L/min	自来水 18~20L/min, 纯水 4~6L/min, 3 机合计 60L/min
用电功率	54kW	47kW	107kW	147kW

从上述对比可见，新旧设备性能差异显著：耗水量方面，新型 DES 生产线 60L/min 较旧设备 90L/min 减少 30L/min；功率方面，147kW 较旧设备 208kW（54+47+107=208）降低 61kW；工作速度 5m/min 较旧设备 2.2m/min 提升一倍以上。

## (2) 实施效果

### ①环境效益

a、节水效益：新型 DES 生产线通过浮子流量计与电子阀门控制用水量，正常生产时电子阀门自动补水，日均耗水量约 72m<sup>3</sup>，较原蚀刻机 108m<sup>3</sup>/d 节水 36m<sup>3</sup>，年节水量达 36m<sup>3</sup>/d×330d/a=11880m<sup>3</sup>/a。

b、节电效益：新设备用电功率 147kW 比旧设备 208kW 减少 61kW，设备用电负荷率以 0.8 计算，工作时间以 20h/d 计算，则可节约用电量 61kW×0.8×20h/d×330d/a=32.21 万 kWh/a；减少二氧化碳排放量 32.21MW·h/a×10×0.4403tCO<sub>2</sub>/MW·h=141.82tCO<sub>2</sub>e/a。

### ②经济效益

该改造方案投入新型 DES 生产线购置费用 85 万元。

方案实施后，每天节水 36m<sup>3</sup>，年节水量可达 36m<sup>3</sup>/d×330d/a=11880m<sup>3</sup>，按自来水单价 5 元/m<sup>3</sup>计算，则节约水费 11880m<sup>3</sup>/a×5 元/m<sup>3</sup>=5.94 万元/a；按废水处理成本 16.5 元/m<sup>3</sup>计算，则节约处理废水费用 11880m<sup>3</sup>/a×16.5 元/m<sup>3</sup>=19.6 万元/a；本改造方案节水效益：5.94 万元/a+19.6 万元/a=25.54 万元/a。

按照电费 1.0 元/kWh 计，可节约电费 32.21 万元/a。

综合以上经济效益，本改造方案实施后可产生经济效益 57.75 万元/a，该方案的投资回收期约 1.5 年。此外，工段生产效率提升一倍以上，总体产能增长，经济效益显著。

## 方案三十七：蚀刻工序 真空蚀刻代替普通蚀刻

蚀刻是 PCB 生产中导电图形形成的关键环节，核心是利用蚀刻液去除基材上多余铜面。

### 1.技术原理

普通蚀刻工艺在 PCB 板的上下两面均匀布设喷嘴，蚀刻液通过喷嘴喷淋至板面并与之接触。板下表面的喷淋药液反应后，会因重力回流至储药槽；而板上表面则易形成蚀刻液“滞留层”，不仅破坏蚀刻均匀性，还会导致板上表面四周蚀刻速度快于中间区域，进而引发侧蚀问题。采用真空蚀刻替代传统的普通蚀刻，可有效消除这种“滞留层”现象，提升蚀刻均匀性。

真空蚀刻的原理是：在蚀刻喷嘴之间靠近板面的位置安装负压吸管，应用过程中需精准控制真空力度、喷淋压力及铜箔厚度等关键参数。负压吸管对板面溶液的吸液量需等于或略大于喷淋量，工作时能及时吸走反应后的蚀刻液，防止其在板上表面积累，使中间区域与边缘区域接触新鲜蚀刻液的机会均等，从而确保蚀刻速率一致。

### 2.适用范围

适用于线路板蚀刻工序。

### 3.应用案例

某电子电路制造企业，主要生产单双面、多层 FPC、RFPCB 及 FPCBA 等，生产工艺包括钻孔、沉铜、镀铜、贴膜、曝光显影、蚀刻退膜、丝印、层压等工序。

#### (1) 实施情况

方案实施前，企业采用传统的蚀刻方法，蚀刻线路精度和成品率较低，易造成咬蚀过量，蚀刻液利用率低，增加了废蚀刻液的产生量。

方案实施后，企业采用真空蚀刻，显著提升了蚀刻线路的精度和成品率，减少新鲜蚀刻液消耗及废蚀刻液产生量。

#### (2) 实施效果

##### ①环境效益

方案实施前，企业采用普通蚀刻技术进行生产；方案实施后，企业采用真空蚀刻技术替代传统的普通蚀刻，在同等产能下，减少危废蚀刻液 2500kg/a。

##### ②经济效益

本方案投资 8.1 万元，主要对设备进行改造。方案实施后，企业生产效率可提高 13%，良品率提升 1%，间接带来了可观的经济效益。

## 方案三十八：退膜、蚀刻、退锡工序 SES 线升级改造

退膜、蚀刻、退锡工序是 PCB 板生产过程中的重要环节，SES 线是退膜、蚀刻、退锡等工序的组合生产线。

### 1.技术原理

退膜：借助氢氧化钠溶液去除线路板上残留的抗电镀有机膜，为后续蚀刻奠定基础。

蚀刻（碱性）：利用二价铜铵络合离子的氧化性，去除显影后板中非导体区域的铜层，形成所需图形。

退锡：通过硝酸去除用于抗蚀刻的锡层。

SES 线通常接在图形电镀工序之后，SES 线流程如下图所示。

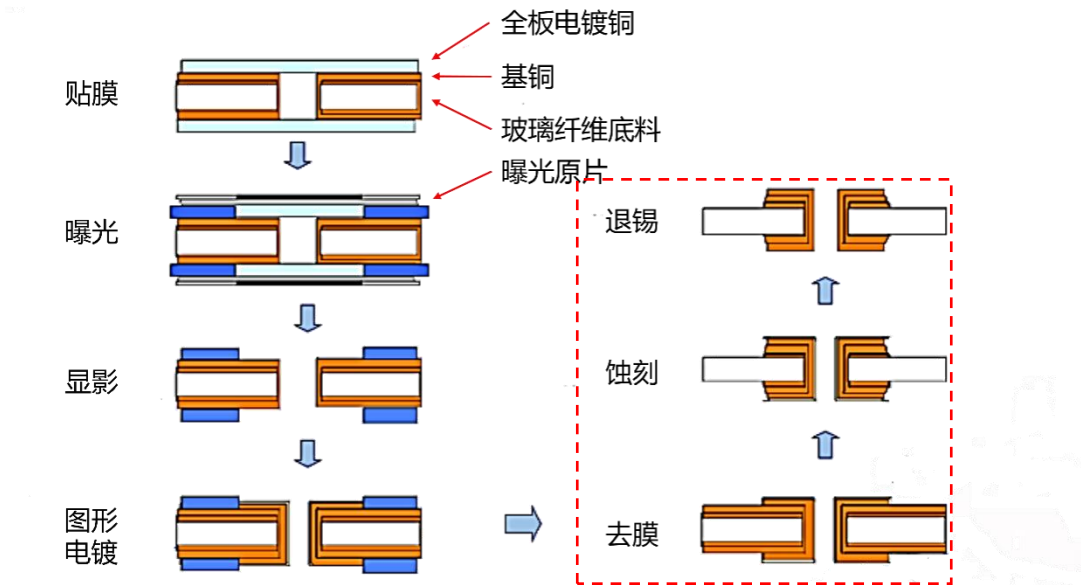
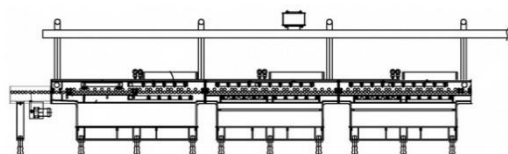
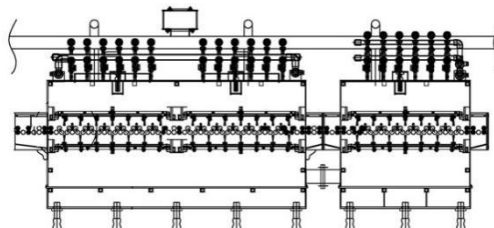


图 3.1 SES 工序一般流程

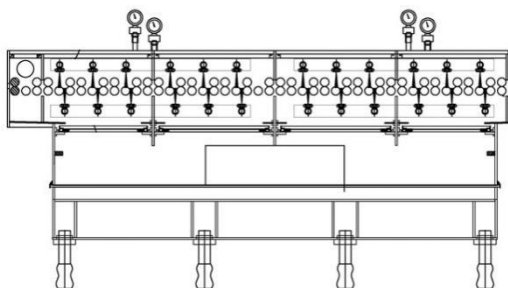
SES 生产线是实现 SES 工序的相关设备组合而成的一条连续的生产线。通常 SES 生产线包括脱膜装置、蚀刻装置、退锡装置、磨板装置、水洗装置和风干装置。各装置的结构如下图所示。



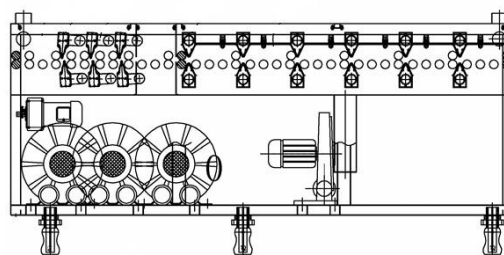
脱膜装置



蚀刻装置



退锡装置



风干装置

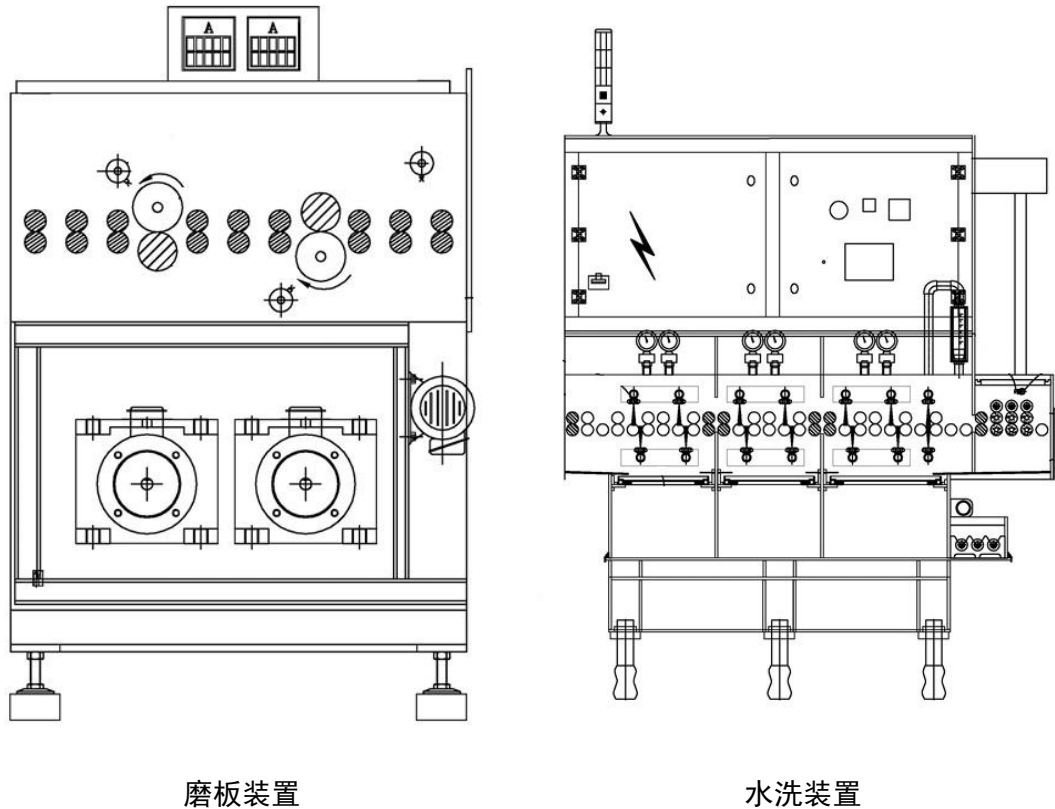


图 3.2 SES 生产线装置示意图

使用 SES 生产线较单独的退膜、蚀刻、退锡工序提升了生产的自动化程度，并通过工艺参数优化等途径有效提高成品良品率，减少蚀刻废液和退锡废液的产生。

## 2.适用范围

适用于线路板正片生产的退膜、蚀刻、退锡工序。

## 3.应用案例

某电子电路制造业企业，主要生产 PCB 多层板，生产工艺包括蚀刻、沉铜、镀铜、丝印和显影等。

### (1) 实施情况

方案实施前，企业的 SES 生产线使用年限较久，频繁出现蚀刻不净、退锡残留、线间毛边等问题，直接导致产品良品率下滑。

方案实施后，企业更换了制程更先进的 SES 生产线设备。该设备不仅在蚀刻、退膜等工艺精度上更胜一筹，在加药时效、冰水控温效果、有效槽容积、蚀刻均匀度、不同板厚传送能力、过滤效果等关键参数方面，均显著优于旧设备。更换前后生产线核心参数对比如下表所示：

表 3.3 更新前后 SES 生产线参数对比

项目	原 SES 生产线	更新后 SES 生产线
每时产量 (件/小时)	385	411
工作速度 (m/min)	3.2	3.5
正常做板时功率 (kW)	≤110	≤91
耗水量 (L/min)	32~43	26~36
冷却水 (L/min)	150~180	104~130

## (2) 实施效果

设备更换后, 不仅能提升产品合格率, 有效减少蚀刻废液、退锡液等危险废物的产生, 还因新设备具备更优的密闭收集效果, 有助于改善员工的工作环境。

### ①环境效益

降低产品报废率: 方案实施后, 产品报废率同比下降 0.67%。在良品订单量维持不变的前提下, 每年可节省覆铜板用量 1.37 吨。

节电: 按照每天生产 8 小时, 一年生产 330 天计算, 产线更换后每年可节省用电:  $(110-91) \text{ kW} \times 8 \text{ h/d} \times 330 \text{ d/a} = 5.016 \text{ 万 kWh}$ 。

碳减排: 方案实施后, 可节省用电 5.016 万 kWh/a, 则可减少碳排放:  $5.016 \text{ MW} \cdot \text{h/a} \times 10 \times 0.4403 \text{ kgCO}_2/\text{kWh} = 22.09 \text{ tCO}_2\text{e/a}$ 。

节水: 按照每天生产 8 小时, 一年生产 330 天计算, 更换后可节省用水:  $0.42 \text{ m}^3/\text{h} \times 8 \text{ h/d} \times 330 \text{ d/a} = 1108.8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

节省蚀刻液、退锡液: 方案实施后, 企业单位产品碱性蚀刻液用量和单位产品退锡液用量分别下降了 5.42%、5.52%, 每年可节省碱性蚀刻液 47.81t、退锡液 10.71t。

减少蚀刻废液、退锡废液产生: 方案实施后, 企业单位产品碱性蚀刻废液和单位产品退锡废液产生量分别下降了 10.2%、23.14%, 每年可减少产生碱性蚀刻废液 89.94t、退锡液 44.90t。

### ②经济效益

本方案投资 140 万元。

覆铜板按 7 万元/t、电费单价按 1 元/kWh、新鲜水单价按 5 元/m<sup>3</sup>、蚀刻液单价按 1100 元/t、退锡液单价按 2400 元/t 计算, 则方案实施后, 可节省运行费用:

$1.37 \text{ t/a} \times 7 \text{ 万元/t} + 5.016 \text{ 万 kWh/a} \times 1 \text{ 元/kWh} + 1108.8 \text{ m}^3/\text{a} \times 5 \text{ 元/m}^3 + 47.81 \text{ t/a} \times 1100 \text{ 元/t} + 10.71 \text{ t/a} \times 2400 \text{ 元/t} = 22.99 \text{ 万元/a}$ 。

由于蚀刻废液等危险废物含铜量较高, 具有一定回收价值, 因此本部分效益未对蚀刻废液及退锡废液的处理成本进行核算。

## 方案三十九：黑孔工序 黑孔线升级改造

### 1. 技术原理

黑孔是利用物理作用形成的导电膜可以直接转入电镀。其物理过程为：将精细的石墨和碳黑粉均匀的分散在介质内（去离子水），利用溶液内的表面活性及使溶液中均匀分布的石墨和碳黑颗粒保持稳定，同时具有良好的润湿性能，使石墨和碳黑能充分被吸附在非导体的孔壁表面上，形成均匀细致的、结合牢固的导电层。

主要工艺流程：清洁整孔处理→黑孔化处理→干燥→微蚀处理→干燥→电镀铜。

### 2. 适用范围

适用于黑孔工序。

### 3. 应用案例

某电子电路制造企业，主要生产单面板、双面板、多层板、软硬结合板、柔性双面板等，生产工艺包括开料、钻孔、前处理黑孔、电镀 VCP、后处理氧化、压膜、显影、蚀刻、退膜、钝化、线路检测、贴膜、电镀金、冲孔、检测、印刷等。公司产品主要应用于：手机、电脑、DVD、汽车、医疗、军工等行业。

#### (1) 实施情况

方案实施前，黑孔线的产能较低、工作速度较慢、水耗较高、用电量也较大。方案实施后，更换原有黑孔生产线，水耗电耗均降低，生产效率有明显提升。

具体方案改造前后的效果对比见下表：

表 3.4 实施前后设备参数对比表

比较项	实施前	实施后
工作速度	1.5m/min	2.5m/min (0~4m/min 可调)
耗水量	自来水 8~16L/min, 纯水 20~40L/min	自来水 5L/min, 纯水 15~30L/min
用电功率	98.5kW (其中加热器 38.5kW)	66kW (其中动力 54kW, 加热器 12kW)
产能	35m <sup>2</sup> /h	50m <sup>2</sup> /h

从上述对比可见，新旧设备存在比较明显的性能差异：

1) 水耗方面：新型黑孔线自来水用量 5L/min 比旧设备 10L/min（企业实际生产设置速度）减少约 50%，新型黑孔线纯水用量 20L/min 比旧设备 30L/min（企业实际生产设置速度）减少约 33%，单位产品耗水量可节省 56%；

2) 能耗方面: 新型黑孔线用电功率为 66kW 比旧设备 98.5kW 减少 32.5kW, 功率减少约 33%; 单位产品能耗可节省 53%。

3) 产能方面: 新型黑孔线产能为 50m<sup>2</sup>/h 比旧设备 35m<sup>2</sup>/h, 提升 43%。

## (2) 实施效果

### ①环境效益

新型黑孔线相比旧设备在用水、用电、产能方面都有着显著的改善。新型黑孔线废水产生量 25L/min (根据企业实际运行数据) 比旧设备 40L/min (根据企业实际运行经验数据) 减少约 38%, 按照生产工作时间 20h/d 计算, 则可减少废水产生量  $15\text{L}/\text{min} \times 60\text{min}/\text{h} \times 20\text{h}/\text{d} \times 330\text{d}/\text{a} \div 1000\text{L}/\text{m}^3 = 5940\text{m}^3/\text{a}$ 。

新型黑孔线采用空气源热泵 (含循环泵 12kW) 替代旧设备电加热 (38.5kW), 整体功率由旧设备 98.5kW 降低为新设备 65kW, 功率减少 33.5kW。设备用电负荷率以 0.8, 工作时间以 20h/d 计算, 则可减少用电  $33.5\text{kW} \times 0.8 \times 20\text{h}/\text{d} \times 330\text{d}/\text{a} = 17.69$  万 kW·h/a。

### ②经济效益

该改造方案投入新型黑孔线购置费用 80 万元。

#### a、节水效益:

新设备自来水用量 5L/min 比旧设备 10L/min (企业实际生产设置速度) 减少约 50%, 则可减少自来水  $5\text{L}/\text{min} \times 60\text{min}/\text{h} \times 20\text{h}/\text{d} \times 330\text{d}/\text{a} \div 1000\text{L}/\text{m}^3 = 1980\text{m}^3/\text{a}$ ; 按自来水单价 5 元/m<sup>3</sup> 计算, 则节约水费  $1980\text{m}^3/\text{a} \times 5$  元/m<sup>3</sup> = 0.99 万元/a;

新型黑孔线纯水用量 20L/min 比旧设备 30L/min (企业实际生产设置速度) 减少约 33%, 计算可减少纯水  $10\text{L}/\text{min} \times 60\text{min}/\text{h} \times 20\text{h}/\text{d} \times 330\text{d}/\text{a} \div 1000\text{L}/\text{m}^3 = 3960\text{m}^3/\text{a}$ ; 按纯水制备成本 12 元/m<sup>3</sup> 计算, 则节约纯水制备费用  $3960\text{m}^3/\text{a} \times 12$  元/m<sup>3</sup> = 4.75 万元/a;

由于用水量的减少, 废水的产生量也相应减少, 每年可减少废水  $1980\text{m}^3 + 3960\text{m}^3 = 5940\text{m}^3$ , 按废水处理成本 16.5 元/m<sup>3</sup> 计算, 则可节省废水处理费用  $5940\text{m}^3/\text{a} \times 16.5$  元/m<sup>3</sup> = 9.8 万元/a;

本改造方案节水效益: 0.99 万元/a + 4.75 万元/a + 9.8 万元/a = 15.54 万元/a。

#### b、节电效益:

新型黑孔线代替原生产线, 设备功率降低 33.5kW, 可节省用电 17.69 万 kW·h/a, 按照电费 1.0 元/kW·h 计, 可节约电费 17.16 万元/a。

综合以上经济效益, 本改造方案实施后可产生经济效益 33.23 万元/a, 该方案的投资回收期约 2.4 年。

## 方案四十: 贴膜工序 自动贴膜机代替人工贴膜

人工贴膜主要是指利用人工手动将干膜贴附在覆铜板上, 并根据生产需求进行裁切和收料, 生产效率较低。

自动贴膜机的核心功能为将干膜精准贴压于覆铜板表面, 该设备采用超强模块化与双组压辊设计, 内置自动追踪系统, 可由片对卷自动贴膜机及自动裁切机等设备组成自动化生产线, 根据生产需求将干膜精准贴压于铜板表面, 并实现自动裁切与收料的一体化操作。

采用自动贴膜机替代人工贴膜作业，不仅能显著提升生产效率，还可有效减少膜渣的生成量。

## 1. 技术原理

覆铜板经由自动投板装置从存板区精准投入入料段，依次完成自动拍中、等距追踪与板面清洁工序后，平稳进入压膜段。压膜装置可将干膜连续、均匀地贴覆于覆铜板的上下表面，随后由收卷轴将连续压膜后的制品收卷成型。该压膜装置配备了加压加热、上下送膜及冷却除静电系统，收卷轴则搭载边缘纠偏系统。若需将连续压膜后的覆铜板直接裁切成片，可将其从压膜段送入裁切收料段，借助传感器自动寻边，精准裁切前后两片覆铜板间多余的干膜，最后由自动收板装置整齐收纳至存板区。

采用自动贴膜机后，贴膜工序操作简便、运行高效，贴膜良品率显著提升，且全程无干膜碎产生。

## 2. 适用范围

适用于线路板贴膜工序。

## 3. 应用案例

某电子电路制造企业，主要生产单双面、多层 FPC、RFPCB 及 FPCBA 等，主要生产工艺包括钻孔、沉铜、镀铜、贴膜、曝光显影、蚀刻退膜、丝印、层压等工序。

### (1) 实施情况

方案实施前，企业依赖人工贴膜工艺完成线路图形制作，不仅生产效率偏低，后续退膜工序还会产生大量膜渣。

方案实施后，企业引入自动贴膜机替代人工进行线路图形制作。新投入的自动贴膜机运行速度可达 0.1~2.0m/min，追踪精度、贴附精度均为 $\pm 1.0\text{mm}$ ，裁切精度更是高达 $\pm 0.5\text{mm}$ ，显著提升了企业的成品率与生产效率。

### (2) 实施效果

#### ① 环境效益

方案实施前，企业依赖人工贴膜，不仅生产效率偏低，贴膜精准度也难以保证；方案实施后，通过自动贴膜机实现全程自动化、精准化作业，有效降低了干膜消耗量。

经企业核算，在产能不变的情况下，每年可减少废膜渣产生量 4.5t。

#### ② 经济效益

本方案总投资 55.3 万元，主要用于设备购置及配套附属设施建设，属于一次性投入；除必要的设备维护保养外，后续无额外投入。

方案实施后，因干膜用量减少，每年可节省干膜采购及废膜渣处置费用共计 2.6 万元。

## 方案四十一：层压工序 加装自动机械手臂

层压工序是多层线路板制造的核心步骤，需在高温高压环境下，将铜箔、半固化片与经棕化处理的内层板等多层材料黏合为一个整体结构，以此保障线路板的机械强度与电气性能。整个工序主要涵盖准备、叠层、热压与修整等环节，其中叠层是尤为关键的一步。在此环节中，需将内层板、半固化片、外层铜箔及其他辅助材料依照特定顺序精准叠放，且要严格把控各材料的对齐精度与叠放顺序，以确保层压成品的质量。

### 1. 技术原理

层压工序的叠板操作中，需在多层板外侧叠放一层用于承压的专用镜面层压钢板或铝板，这类板材具备耐腐蚀、耐高温、导热性强、光滑度高、平整度高等优异特性。操作过程中，还需确保镜面层压钢板或铝板的洁净度与对齐精度。

机械手臂能模仿人手与手臂的部分动作，通过编程即可自动完成抓取、搬运物件或操作工具的预期作业。利用机械手臂替代人工开展压合作业，不仅能减少钢板表面的异物残留，有效保障压合产品质量，降低产品表面凹点、擦花等不良现象的发生频率；同时，钢板各区域的打磨力度均匀，能降低因钢板厚度不均导致产品报废的风险，延长钢板使用寿命，还可有效控制压合产品的厚度；此外，采用机械手臂还能减少用工数量，确保多层板放置的平衡度与对齐性，且操作管理便捷，易于维护。

### 2. 适用范围

适用于工业生产的各个领域，尤其适用于操作重复性高、精度要求严苛且生产规模较大的作业环境。

### 3. 应用案例

某电子电路制造企业，主要生产高多层板、高频板，生产工艺包括来料、内层图形转移、蚀刻、压合、钻孔、沉铜、外层图形、阻焊、文字和表面处理等。

#### (1) 实施情况

方案实施前，企业层压磨钢板线采用人工取放钢板与手工打磨的作业模式，不仅生产线配置人员较多、作业劳动强度大，手工打磨的品质也难以稳定控制；根据企业提供的品质统计数据，压合产品的不良现象中，表面存在凹点、擦花等缺陷的产品占压合不良品总数的比例超 55%。

方案实施后，企业对层压磨钢板线开展自动化改造，引入机械手臂替代人工完成钢板取放与打磨作业；同时，在原清洗水中添加离型剂，并加装离型剂循环喷洗装置，有效保障产品质量。

#### (2) 实施效果

##### ① 环境效益

方案实施前，钢板凹点、擦花等不良率占压合总不良率的 55% 以上；方案实施后，该类不良率占压合总不良率控制在 25% 以内。

根据企业生产数据，方案实施后，可减少废线路板产生量 96m<sup>2</sup>/a，按平均 3kg/m<sup>2</sup> 计，可减少废线路板产生量约 96m<sup>2</sup>/a×3kg/m<sup>2</sup>=288kg/a。

此外，在清洗水中添加的离型剂主要成分为聚烯烃类，为水溶性，无挥发性气味，使用时离型剂与水按 1:5 配制，用于定期清洗槽体污垢，清洗频次不变，为循环使用，不增加废水量。

## ②经济效益

本方案共计投资 27.55 万元，离型剂装置为供应商赠送，不列入投资费用。

人工费用：方案实施前，钢板取放及打磨需要 4 人作业；方案实施后，仅由 1 人控制，减少 3 名工人，人工费用按 5000 元/人·月计，节省人工费用 (4-1) 人×5000 元/人·月×12 月/a=18 万元/a。

成品损耗费用：根据企业生产数据，可减少废线路板产生量 96m<sup>2</sup>/a，减少产品损耗成本约 5.76 万元/a。

能耗费用：加装机械手臂后，生产设施功率增加 1.75kW，以每年运行 300 天，每天运行 24 小时计算，设备总用电量为 1.75kW×80%×300d×24h/d=1.008 万 kWh，按照电费 1 元/kWh，每年能耗成本约为 1 万元。

维护成本：增加设备维护费用 0.5 万元/a。

综合经济效益 18 万元+5.76 万元-1 万元-0.5 万元=22.25 万元/a。

投资回收期 27.55 万元÷22.25 万元/a=1.24a。

## 方案四十二：字符打印工序 自动字符打印机替代丝网印刷

### 1.技术原理

全自动字符打印机集油墨打印和固化为一体，自动化程度高，可依据预设程序自动对准线路板，精准定位至指定印刷位置完成字符印刷；打印后的油墨可迅速干燥，有效保障字符的清晰质感。

### 2.适用范围

适用于线路板字符打印工序。

### 3.应用案例

某电子电路制造企业，主要生产多层线路板，生产工艺包括 PCB 基材准备、内层图形制作、层压、钻孔、沉铜、外层图形转移、图形电镀、蚀刻、退锡、印阻焊/字符、喷锡（或化镍金）、产品外形加工等，产品广泛应用于通讯、电源、安防、光电、工业控制、医疗、汽车和消费类电子等多个领域。

#### (1) 实施情况

方案实施前，原印刷工序采用人工丝网印刷方式，随后进行热固化处理，操作过程中会产生较多 VOCs，对人体健康及周边环境均造成一定影响。同时，人工操作难免存在误差，因此会产生一

定数量的次品。方案实施后，不仅能节省人力与物料成本，还能减少 VOCs 排放，同时提升产品合格率与生产效率。

## (2) 实施效果

### ①环境效益

方案实施前，使用丝印机油墨使用量 150kg/月；方案实施后，全自动字符打印机油墨使用量为 20kg/月。

根据《第二次全国污染源普查产排污核算系数手册》中电子电路制造行业的印刷工序产污系数，挥发性有机物产生量可减少  $(150\text{kg/月}-20\text{kg/月}) \times 12 \text{月/a} \times 13.26\text{g/kg} = 20.69\text{kg/a}$ 。

### ②经济效益

该设备投资额为 160 万/台。

由于印刷方式不同，油墨价格有略微差异，其中丝印机油墨成本 166.67 元/kg，全自动字符打印机油墨价格为 1000 元/kg。根据油墨使用量，可节约油墨成本  $(150\text{kg/月} \times 166.67 \text{元/kg} - 20\text{kg/月} \times 1000 \text{元/kg}) \times 12 \text{月} = 6 \text{万元/a}$ 。

每台设备可减少 2 个操作工人，按照 5000 元/人·月计算，则可节约人工费用  $2 \text{人} \times 5000 \text{元/人} \cdot \text{月} \times 12 \text{月/a} = 12 \text{万元/a}$ 。

综上合计，每年可节约费用 18 万元。

## 方案四十三：微蚀工序 硫酸铜结晶体设备更新升级

微蚀工序是线路板生产流程中的关键环节，它直接决定着线路板的最终质量。微蚀借助轻度化学蚀刻作用于铜面，去除氧化层及杂质，同时构建出便于后续工序结合的粗糙表面。微蚀量的把控必须极为精准：若微蚀量不足，易造成铜面清洁不彻底，影响结合强度；若微蚀量过量，则会损伤铜面，降低产品质量。

### 1.技术原理

在 PCB 线路板微蚀工序中，微蚀液因使用过程中的反应消耗与杂质生成需定期更换，由此产生微蚀废液；产品经微蚀处理后需通过多级逆流漂洗，进而形成清洗废水。其中，微蚀废液及微蚀后第一道清洗废水中铜离子浓度较高，具备一定回收价值。

铜离子回收方法包括结晶法、电解法、化学沉淀法、离子交换法、树脂吸附法等。其中，冷却结晶法借助硫酸铜溶解度随温度变化显著的特性，通过冷却降低其溶解度，促使硫酸铜晶体析出；析出的晶体可循环复用，剩余微蚀液经调配后亦能循环使用，且冷却结晶过程无废气排放。

传统硫酸铜结晶设备依赖冷却浓缩实现晶体析出，存在晶体产出速度慢、效率低下及设备寿命较短等问题。提取过程中，需在蒸发或浓缩后停机取晶方可继续运行，导致设备工作不连续；同时，硫酸铜晶体易粘附于设备内壁或沉淀于底部，引发管道堵塞，需频繁维护保养。

新型硫酸铜结晶设备为圆柱冰水内循环型双沉淀出料硫酸铜结晶机，采用外循环式冷却结晶器、圆柱形结晶釜及半圆形金属网架结构。设备由电机驱动，半圆形金属网架持续往复搅拌；因其直径略小于釜体，搅拌溶液的同时可刮除釜底晶体。在放出晶浆时，金属网架的反复运动能将晶体推向两端出料口，提升出料率，避免晶体滞留粘附影响后续结晶。此外，设备通过外循环冷却结晶器换

热，传热系数高，易实现连续操作；同步配套压缩挤干机，将结晶析出的硫酸铜输送至挤干机压缩降含水率后收集利用，挤出废液回流至结晶机。

新型的硫酸铜结晶机相比传统硫酸铜晶体设备，具有以下特点：

- ①经压缩挤干后硫酸铜晶体含水率可下降至 50%以内。
- ②不易出现内壁结疤现象，可减少维护保养频次。
- ③晶浆过饱和度均匀，粒度分布良好，实现了高效率。
- ④能耗低，较传统设备能耗低 10%左右。
- ⑤调控容易，适应性强，运行可靠，故障少。

## 2.适用范围

适用于内外层前处理微蚀、蚀薄铜线蚀刻、电镀微蚀、压合黑化等硫酸-双氧水类型废液的处理以及铜箔厂废料处理等。

## 3.应用案例

某计算机、通信和其他电子设备制造业企业，主要生产多层线路板、电脑主板、电脑整机以及其他电子产品等，其中线路板制造生产工艺包括压合、沉铜、电镀铜/锡、蚀刻、曝光显影、涂布、阻焊、成型等。

### (1) 实施情况

方案实施前，企业外层车间内设有 2 条微蚀生产线，均配套加装了型号为 A-68F-7500 的硫酸铜结晶设备。该设备在实际运行中取得了一定成效：不仅减少了微蚀液的消耗量与废水产生量，还能间接降低污泥生成量。然而，其使用过程中仍存在以下问题：①压滤效果欠佳，导致硫酸铜晶体含水率偏高；②依赖冷却浓缩方式析出晶体，制备效率较低；③硫酸铜晶体易粘附于设备内壁，致使设备维护保养频率增加。

方案实施后，企业引入 2 套新型硫酸铜结晶机替换原有设备，有效提升了微蚀废液的冷凝回收率，进而减少了微蚀液等原辅材料的消耗，降低了生产成本。

### (2) 实施效果

#### ①环境效益

方案实施前，原有设备硫酸铜晶体含水率较高，大约在 75~95%（取中间值 85%）。方案实施后，硫酸铜晶体含水率可下降至 50~60%（取中间值 55%）。

根据企业 2022 年硫酸铜晶体产生量为 50.125t 计算，则硫酸铜晶体可减重： $50.125t \times (85\% - 55\%) = 15.04t/a$ 。

此外，硫酸铜晶体含水率下降后，可提高微蚀废液冷凝回收利用率，从而减少微蚀液的消耗。

#### ②经济效益

本方案投资 12.5 万元。

硫酸铜晶体转移费用按 2500 元/t 计，则本方案实施后，可增加硫酸铜晶体转移收益： $15.04t/a \times 2500 \text{ 元}/t = 3.76 \text{ 万元}/a$ 。

## 方案四十四：电镀工序 VCP 垂直连续电镀线代替传统电镀线

### 1. 技术原理

VCP 垂直连续电镀线，是为垂直连续电镀设备而开发的酸性铜镀体系，可兼容沉铜、有机导电膜等直接电镀工艺，满足多种板型的电镀要求，适用于高电流密度下的通孔电镀及通盲共镀。与传统垂直电镀线相比，其核心优势如下：

- ① 阴极受镀物采用步进式工作，镀层结晶更致密，有效提升电镀品质；
- ② 镀液交换采用喷流方式替代传统打气搅拌，在保证溶液充分交换的同时，维持液面稳定，减少板件垂直摆动，尤其适用于 FPC 软板加工；
- ③ 通过加大电流密度，显著提升生产效率；
- ④ 设备占地面积更小，助力 FPC 软板实现品质与产量双提升。

### 2. 适用范围

适用于精密线路板的电镀工序。

### 3. 应用案例

某电子电路制造企业，主要生产单面板、双面板、多层板、软硬结合板、柔性双面板等，生产工艺包括：开料、钻孔、前处理黑孔、电镀 VCP、后处理氧化、压膜、显影、蚀刻、退膜、钝化、线路检测、贴膜、电镀金、冲孔、检测、印刷等。

#### (1) 实施情况

方案实施前，原电镀线工艺精密度、产品产量及能耗水耗均已无法满足市场需求。方案实施后，引进 VCP 线替代原设备，降低设备能耗，提升产品品质及生产效率。具体实施前后对比情况见下表：

表 3.5 实施前后设备运行参数对比表

比较项	实施前	实施后
工作速度	1.3m/min	2.5m/min
用电功率	87kW	57kW
电流密度	14ASF	28ASF

a. 生产效率方面：原有电镀线的生产速度为 1.3m/min，VCP 垂直连续电镀生产线的生产速度为 2.5m/min，生产效率提高 90%，产能由 0.9 万 m<sup>2</sup>/月提高至 1.5 万 m<sup>2</sup>/月。

b. 能耗方面：原有电镀线功率为 83kW，现有 VCP 垂直连续电镀生产线功率为 57kW，设备功率减少了 26kW。

c.铜球消耗：由于改进电镀电流（之前用 14ASF 电流密度，现在 28ASF 电流密度），原电镀线单位产品铜球使用量为  $116.28\text{g}/\text{m}^2$ ，VCP 垂直连续电镀生产线单位产品铜球使用量为  $108.7\text{g}/\text{m}^2$ 。

## (2) 实施效果

### ①环境效益

a、节电：VCP 垂直连续电镀线比原电镀线功率减少 26kW，设备用电负荷率 0.8，工作时间以 20h/d 计算，则可节约电量  $26\text{kW}\times 0.8\times 20\text{h}/\text{d}\times 330\text{d}/\text{a}=13.728$  万 kWh/年；

b、节省原辅材料：按照企业生产实际情况，每月可节约铜球 40kg。

c、碳减排量：减少二氧化碳排放量  $13.728\text{MW}\cdot\text{h}/\text{a}\times 10\times 0.4403\text{tCO}_2/\text{MW}\cdot\text{h}=60.44\text{tCO}_2\text{e}/\text{a}$ 。

### ②经济效益

该方案总投资额为 135 万元。

a、产能效益：产能比之前提高  $6000\text{m}^2/\text{月}$ ，按照企业所生产产品的产值计算，可增加效益 72 万元/a。

b、节电效益：电费按 1 元/kWh 计，可节约电费 13.728 万元/a。

c、节省原辅材料效益：按照企业生产实际情况，每月节约铜球 40kg，铜球按 5 万元/吨计算，可节省铜材 2.4 万元/a。

以上效益合计为  $72$  万元/a+ $13.728$  万元/a+ $2.4$  万元/a= $88.13$  万元/a，该方案投资回收期为 1.5 年。

## 方案四十五：电镀工序 上下分体式滚镀线替代传统滚镀线

滚镀是电镀行业批量处理小型和异形零部件的主要工艺。其通过将工件置于滚筒内滚动，使工件与镀液、电极均匀接触，从而沉积镀层。该工艺兼具生产效率高、适配规模化加工的优势，广泛应用于精密电子、磁性材料、五金端子等的电镀加工。

### 1.技术原理

上下分体式滚镀线将传统整体式电镀槽体拆分为上、下两部分：上槽体为电镀反应区，安装阴极与阳极，用于放置待镀工件；下槽体为镀液存储与管理区，放置主镀液与辅助系统。相较于传统滚镀槽，其技术原理与优势主要体现在电流密度精准调控、节能、重金属回收三个方面。

在电流独立精准控制方面，传统一体式滚镀线由单台整流机控制整条线路的电流密度，仅能单批次加工同规格产品。而上下分体式滚镀线中每个槽位都配置独立阴极装置与整流机，通过分路调控实现各槽位电流密度的个性化精准控制。这一设计使单条滚镀线可同时处理不同品质要求与结构类型的待镀件，提升设备有效利用率；同时避免因统一电流控制导致的镀层厚度不均，降低不良品率，兼顾生产效率与产品精度。

在节能方面，设备采用分层保温结构，实现热能高效利用。主体为上、下两层布局：上层为电镀槽，下层为专用槽液保温槽。如滚镀镍工艺需维持  $55\sim 60^\circ\text{C}$  镀液温度，生产结束后可开启槽体分隔隔板，使电镀槽内镀液自流至下层保温槽进行恒温储存。既能避免热能损耗，大幅缩短开机后槽液预热时间，从而降低电能消耗；又能因电镀线上无残留槽液，防止电极板、极杠等部件因槽液降

温而结晶结垢，减少电能消耗、设备清理成本与部件损耗。同时，上槽体镀液清空后可及时清理槽底杂质及掉落的零件，减少杂质对镀液和镀层质量的干扰。

在重金属回收方面，设备通过配套两级镀液回收槽构建闭环回用体系，提升镍资源利用率。滚镀完成后，滚筒带出的镀液先进入一级回收槽进行初步回收，随后零件转入二级回收槽进行冲洗。二级回收槽的槽液既可回流至一级回收槽，也可直接返回滚镀线；一级回收槽收集的镀液则直接回用至生产线，形成完整的镀液循环路径。相较于传统单回收槽设计，该体系能有效减少镀液随零件的带出损耗，提高重金属镍的回收利用率，同时降低废水中总镍浓度，从源头实现重金属的减量与资源化回收。

上下分体式滚镀线凭借合理的结构设计 with 功能划分，解决了传统电镀槽在维护、清洁、工艺控制等方面的痛点。

## 2.适用范围

适用于滚镀镍、铜、金、银、锡等工艺，尤其适配多品种、小批量、多规格混线生产的工况。

## 3.应用案例

某金属表面处理及热处理加工企业，主要生产 USB 接口、板材、端子等，生产工艺包括除油、清洗、电镀镍、电镀铜等。

### (1) 实施情况

方案实施前，企业有 12 条传统一体式滚镀线，每条滚镀线仅配备 1 条阴极线路和 1 台整流机，只能单批次加工同品质产品，无法同步处理不同批次、品质的待镀件，导致生产效率低，能耗与镀液损耗大。此外，下班后槽液无法保温，上班前需预热 0.5~1 小时，不仅影响效率、增加能耗，还会因槽液挥发导致性能下降。

方案实施后，企业引进 4 条上下分体式滚镀线替代原传统式滚镀线，提高生产效率和产品合格率，降低镀液与能源损耗。

### (2) 实施效果

#### ① 环境效益

**镍消耗量削减：**根据企业实际生产数据统计，方案实施后镍利用率提升 8%，单位产品镍消耗量由  $260.87\text{g}/\text{m}^2$  降低至  $239.46\text{g}/\text{m}^2$ 。按照方案实施后月均产能  $1008.5\text{m}^2$  计算，镍消耗量削减为  $(260.87-239.46)\text{g}/\text{m}^2 \times 1008.5\text{m}^2/\text{月} \times 12\text{月}/\text{年} = 259.1\text{kg}/\text{年}$ 。

**节能降碳：**方案实施后，单位产品用电量由  $45.12\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$  下降至  $37.87\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$ ，按照方案实施后月均产能  $1008.5\text{m}^2$  计算，实施后节电量为  $(45.12-37.87)\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2 \times 1008.5\text{m}^2/\text{月} \times 12\text{月}/\text{年} = 8.77\text{万kW}\cdot\text{h}/\text{年}$ ；减少二氧化碳排放量为  $8.77\text{MW}\cdot\text{h} \times 10 \times 0.4403\text{tCO}_2\text{e}/\text{MW}\cdot\text{h} = 38.61\text{tCO}_2\text{e}$ 。

**节水：**方案实施后，单位产品用水量由  $0.2906\text{m}^3/\text{m}^2$  下降至  $0.2811\text{m}^3/\text{m}^2$ ，按照方案实施后月均产能  $1008.5\text{m}^2$  计算，节水量为  $(0.2906-0.2811)\text{m}^3/\text{m}^2 \times 1008.5\text{m}^2/\text{月} \times 12\text{月}/\text{年} = 115\text{m}^3/\text{年}$ 。

污染物减排：按照生产用水废水转换率 90%计算，则可减少废水排放量约 104m<sup>3</sup>/年，废水产泥量按照 2.17kg/m<sup>3</sup>计算，则可减少污泥产生量约为 0.226t/年。

## ②经济效益

方案总投资额为 36.67 万元。

原材料节省费用：方案实施后，减少镍消耗量 259.1kg/年，按照镍价 125 元/kg 计算，则可减少镍采购费 3.24 万元/年。

电费：方案实施后，可减少用电量 8.77 万 kW·h/年，按照电价 1 元/kWh 计算，则可减少电费 8.77 万元/年。

水费：方案实施后，可减少新鲜水用量 115m<sup>3</sup>/年，按照自来水单价 5 元/m<sup>3</sup>计算，则可减少水费 0.06 万元/年。

污染物处理处置费用：按照废水处理成本 64 元/m<sup>3</sup>和污泥转移成本 1400 元/t 计算，则可减少废水处理成本 0.67 万元/年，减少污泥转移成本 0.03 万元/年。

综上，在不考虑生产效率提升的前提下，本方案实施后可取得经济效益约 12.77 万元/年，投资回收期约 2.85 年。

## 方案四十六：电镀工序 自动化升级改造

### 1.技术原理

全自动生产线是依托计算机控制技术构建的现代化生产线，主要由输送装置、操作执行装置、检测反馈系统及核心控制系统构成。电镀自动生产线则是依据特定工艺流程，将电镀槽体、镀件提升转运装置、电气控制系统、电源设备、过滤系统、检测仪器、温控系统（含加热与冷却）、滚筒驱动机构、空气搅拌装置及在线污染控制设备等集成的一体化综合系统。通过预设程序控制，生产线可自动完成全流程作业，包括实时检测槽液浓度并定量添加药剂，实现生产过程的全自动化运行。

电镀自动生产线的分类方式多样：按结构布局分类，分为环形（U 形/椭圆形/垂直升降式）自动线和直线式（龙门式、悬臂式）自动线；按镀件装挂方式分类，分为挂镀自动线、滚镀自动线（直线龙门式、环形机械/液压式）和连续镀自动线；按镀层类型分类，分为镀锌、铜-镍-铬复合镀层和铝氧化等专用自动线；按自动化程度分类，分为全自动线和半自动线。

电镀自动生产线具有显著的应用优势：可提升原辅材料利用率，减少废弃物产生与排放，降低员工劳动强度，同时大幅提高生产效率与产品质量，保障生产过程的稳定性和可控性。但是，其也存在一定局限性：工艺流程调整灵活性不足，难以适应多变需求；初始投资成本较高；设备维护对技术水平要求严苛。

### 2.适用范围

环形电镀自动线，适用于工艺稳定的中小型工件批量电镀加工；直线式电镀自动线，工艺调整灵活，适用于多镀层的大中型工件的电镀加工。

挂镀自动线，适用于大型、复杂且要求镀层均匀的工件批量电镀加工；滚动自动线，适用于小零件（如螺钉、螺母、电子元件等）大批量电镀加工；连续镀自动线，适用于线材、带材等长型或卷料的电镀加工。

企业可结合自身产品类型及工艺要求，选择合适的自动生产线开展升级改造。

### 3.应用案例

某金属表面处理及热处理加工企业，主要从事端子、电子元器件、各类金属部件的加工，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，企业采用手动生产线，存在设备老化、车间布局不合理、生产工艺落后和员工操作粗放等问题，导致镀液损耗量大，资源能源利用率偏低。

方案实施后，企业按照生产工艺流程重新规划调整车间布局，更新老旧设备，配套引入行车、整流机、电镀槽等设备，建成全自动生产线，实现生产线整体升级。

#### (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，引入全自动电镀生产线替代原有手动线。

根据企业提供的生产数据核算，方案实施后各类重金属利用率均显著提升：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%；同时，单位产品用水量降低 87.63%。

##### ②经济效益

本方案总投资 268.53 万元，全部用于设备购置及安装调试。该投资为一次性投入，后续仅产生设备日常维护保养费用，无其他额外资金投入。

全自动电镀生产线的应用，有效减少了操作人员数量，显著降低了人工成本。由于受市场波动等因素影响，方案实施前后产品结构、原辅材料消耗及生产工艺均发生变化，因此无法对节约成本进行进一步核算。

### 方案四十七：电镀工序 智能过滤清洗机代替常规过滤器

在电镀生产过程中，镀液是决定产品质量的核心要素。镀液中，阳极溶解产生的泥渣、预处理不当带入的杂质、各类反应生成的沉淀等，均会对产品质量产生不良影响。此外，镀液经长期持续使用后，还会滋生其他杂物；若不及时清除，不仅会严重影响镀液的使用寿命与稳定性，还会导致镀层粗糙。因此，电镀生产中通常会安装过滤清洗机，对槽液进行循环过滤，并自动对过滤装置进行反冲洗。过滤清洗机的应用，既能保证镀液有效成分的稳定，进一步延长其使用寿命，又能保障产品质量、降低生产成本。

## 1. 技术原理

常规过滤器以普通滤芯为过滤介质，孔径通常在 5~10 $\mu\text{m}$  之间，过滤效果不尽如人意且滤芯更换频次较高；实际使用中需人工自行判断滤芯状态，并据此进行维护、清洗或更换，但人工辨识标准不统一，易导致滤芯更换不及时或维护不到位，进而影响产品质量。滤芯清洗时无法精准判断洁净度，过度清洗现象频发，造成水资源浪费。

智能过滤清洗机的技术核心在于采用特殊滤材过滤槽液，并借助工业物联网的协同管理，自动检测内部压力，通过高差脉冲技术完成清洗。其过滤介质为 HDPE（高密度聚乙烯）与 PVDF（聚偏二氟乙烯）的复合材料，具备疏水性、耐强酸碱、耐氧化剂及耐高温等特性；过滤介质孔径仅 0.1 $\mu\text{m}$ ，可彻底滤除槽液中的悬浮杂质。同时，设备配置自动反冲洗装置，无需拆洗即可在线自动再生清洗。

智能过滤清洗机依托工业物联网技术，集成主机控制、手机 APP/微信远程监控、PC 端远程监控功能，实现一键启动、自动运行、自我监测管理、数据自动存储与可追溯等全流程智能化操作。

智能过滤清洗机的优势如下：

- ①节省人工：一键启动即可自动运行，设备能根据用户预设的时间或压力值自动停机反洗滤芯，单次清洗耗时约 10~20 分钟，清洗完毕后自动恢复运行；
- ②节省水耗：采用定量取水模式，单次清洗耗水量约 45L；
- ③节省耗材：常规工况下滤材使用寿命长达 2 年；
- ④远程通信：通过手机或电脑 APP 客户端可实现远程操作与监控，设备异常时能通过微信和短信实时报警提醒；
- ⑤多端口连接：配备 RS485/网线端口后，可对接现场上位机或主设备系统，实现运行状态的实时监控与智能化管理。

## 2. 适用范围

适用于电镀锌、电镀铜、电镀镍、化学电镀等生产过程中滤芯的清洗。

## 3. 应用案例

某金属表面处理及热处理加工企业，主要生产五金产品等，生产工艺包括前处理、镀镍、镀铜、镀金、化学镍和后处理等。

### （1）实施情况

方案实施前，企业采用常规过滤器，过滤效果欠佳，且滤芯更换更为频繁。为确保镀液稳定性，需专门安排一名员工负责关注槽液过滤状况，并定期清洗滤芯。

方案实施后，企业采购 1 台智能过滤清洗机替代原有 5 台常规过滤器，通过预设参数即可实现槽液在线自动过滤与滤芯自动反冲洗，无需人工额外干预，同时能减少新鲜水用量。该设备的应用不仅有效保障产品质量、提升生产效率，还显著节约了人力成本。

## (2) 实施效果

### ①环境效益

方案实施前，企业采用常规过滤器，滤芯年均清洗约 4 次，单台单次清洗耗水约 20L，5 台设备年清洗总用水量达 400L，年累计产生废滤芯 0.05t。

方案实施后，智能过滤清洗机可依据设备压力按需触发滤芯清洗程序，单台单次清洗耗水 45L；在产能维持不变的前提下，年均清洗次数约 5 次，年清洗总用水量降至 225L，年累计产生废滤芯 0.02t。

综上，新鲜水用量年减少量为  $400L-225L=175L/a$ ；废水产生量按新鲜水用量的 0.9 倍折算，年减少量达  $175L/a \times 0.9=157.5L/a$ ；废滤芯年减少量为  $0.05t-0.02t=0.03t/a$ 。

### ②经济效益

本方案共投资 8 万元，主要考虑节省人力成本及保障产品品质稳定，减少原辅料消耗。方案实施前，企业安排专人负责冲洗滤芯；方案实施后，无需人工清洗，每人平均工资按 5000 元/月计算，年人工成本为： $5000 \text{ 元/人} \cdot \text{月} \times 12 \text{ 月/a} = 6 \text{ 万元/a}$ 。

此外，还能减少新鲜水的消耗、废水处理以及废滤芯处置成本等。

## 方案四十八：电镀工序 水源热泵集中供热替代电热器末端加热

在电镀工艺中，温度堪称影响电镀质量的关键因素之一。不同类型的电镀液，对温度的要求各有差异，温度过高易造成镀液浓度不稳定，甚至引发化学反应，进而导致镀层质量下滑；温度过低则会影响镀层的膜厚与均匀性。电镀加热环节同样关乎生产安全：若采用生产线加热方式，设备长期运行下可能因腐蚀、受热不均等问题发生破裂，进而引发漏电、起火事故；温控系统一旦故障，还会导致镀液沸腾乃至槽体变形。因此，严格把控温度是保障电镀质量与生产安全的关键手段之一。

### 1. 技术原理

水源热泵是以外围水环境中循环流动于共用管路或地下盘管内的水作为冷（热）源，制取冷（热）水的设备；同时也是一种利用地球表面浅层水源，借助热泵原理，通过输入少量高位电能，实现低位热能向高位热能转移的技术。

水源热泵机组由使用侧换热设备、压缩机及热源侧换热设备构成，具备单制冷或制冷制热两用功能。按使用侧换热设备形式，可分为冷热风型与冷热水型水源热泵机组；按冷（热）源类型，则分为水环式、地下水式及地下环路式水源热泵机组。

水源热泵机组具有运行稳定、能效卓越的特点，制热时能效比达 3.8 以上，制冷时更超 5.0，理论峰值最高可达 7.1。相较于锅炉空气源热泵等传统供热系统，其在能耗方面优势显著；与生产线直接加热方式相比，更从根源上规避了高温、明火、有害排放等传统加热模式的高危风险。

### 2. 适用范围

适用于工厂、学校、商场等需要调节设施、室内等温度的场所。

### 3.应用案例

某电子电路制造企业，主要生产柔性线路板、刚性多层线路板、刚性双面线路板，生产工艺包括前处理、内层图形、棕化、压合、钻孔、沉铜、电镀、外层图形、沉金/锡等。

#### (1) 实施情况

企业生产过程中，如前处理、棕化、沉金、沉锡、DES 线等生产工序和空调风柜加热等辅助设施，都需要使用大量的热水。

方案实施前，企业采用的是电热器末端加热，电热器加热速度慢，电功率要求较大，加热设备不集中且不方便管理，且安全隐患大。

方案实施后，企业采用水源热泵形成中央热水集中供热，淘汰电热器末端加热方式。

#### (2) 实施效果

##### ①环境效益

方案实施前，车间生产设备的槽液加热环节采用电热器进行加热。每个槽体平均配置 2 台电热器，单台功率通常在 1.5~3kW 范围内，全厂共计 172 台；由于各电热器功率不一致，经合并统计，其总功率为 275kW。据此计算，电热器用电量为： $275\text{kW}\times 360\text{d}/\text{a}\times 10\text{h}/\text{d}=99$  万 kWh/a。

方案实施后，采用水源热泵机组替代电热器，机组总功率为 169kW，最大热功率达 620kW，按负载折合率 70%计算，其用电量为： $169\text{kW}\times 70\%\times 360\text{d}/\text{a}\times 10\text{h}/\text{d}=42.59$  万 kWh/a。

经对比，方案实施后节省用电量为： $99$  万 kWh/a $-42.59$  万 kWh/a $=56.41$  万 kWh/a；对应碳排放量减少量为： $56.41\text{MW}\cdot\text{h}/\text{a}\times 10\times 0.4403\text{kgCO}_2/\text{kWh}=248.37\text{tCO}_2\text{e}/\text{a}$ 。

##### ②经济效益

本方案投入合计 43.5 万元，包括水源热泵、循环泵以及管道等设备的采购及安装。实施后可获得效益如下：

用电费用：方案实施后可节省用电 56.41 万 kWh/a，电费按 1 元/kWh 计算，则可节省用电费用 56.41 万元/a。

运行及维护成本：方案实施前，电热器日常运行维护费用较少，每年约为 0.5 万元。方案实施后，水源热泵机组每年需要消耗 28 瓶冷冻机油，每瓶价格为 1450 元；2 个过滤器芯，每个价格为 480 元，日常运行维护费用约 0.1 万元/a，则运行成本为  $1450$  元/瓶 $\times 28$  瓶/a $+480$  元/个 $\times 2$  个/a $+1000$  元/a $=42560$  元/a。

综上所述，实施后可获得经济效益 $=56.41$  万元/a $-4.26$  万元/a $+0.5$  万元/a $=52.15$  万元/a。

## 方案四十九：印花打样工序 引进自动滴定打样机

### 1. 技术原理

印花打样是指针对客户提供的样品（或花样设计方案），通过分色描稿（或电脑分色系统分色），即将花样中的每种颜色分别制作成黑稿，再进行感光制版；同时，对来样的花纹颜色开展单色打样，调制对应色浆后进行印花打样，最后经蒸化水洗、烘干整理，将样品送交客户确认的全过程。

早期的取液与滴液操作依赖人工重复进行，滴定精度难以保障，不仅造成染料浪费，还制约了企业生产效率的提升。随着电子计算机与自动滴定技术的应用推广及发展成熟，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普及，数字滴定管也得到了广泛应用。数字滴定管基于电机驱动注射器的结构原理设计，易于实现无级调节，通过计算机精准控制每次输送剂量，有效保障滴定精度。自动滴定系统借助自动实时数据采集、平衡电位滴定、自动滴液与补液、滴定剂增量动态调整及滴定终点自动检测判别等技术，有效解决了硬件控制型自动滴定仪存在的问题，同时显著提升了滴定精度与速度。

### 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

某化纤织物染整精加工企业，主要生产高档织物面料，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，企业实验室长期依赖人工打样模式，需安排 6 名员工专门负责打样与调色工作，不仅打样周期漫长，成品精度也难以保证。

方案实施后，企业引入了一台自动滴定打样机。该设备具备滴液精准稳定、滴定速度高效、可实时记录实际滴液量、自动侦测错误动作并发出警示等优势。引入该自动设备后，不仅有效降低了人力成本，大幅缩短了打样时间，更显著提升了打样精度。

#### （2）实施效果

##### ① 环境效益

引进自动滴定打样机后，不仅显著提升了滴定的精度与速度，每年还能节省染料约 0.5 吨，同时有效减少有机废水的产生，并削减 COD 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，企业打样需要 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，则可节省人工费用： $4 \text{人} \times 5000 \text{元/月} \times 12 \text{月/a} = 24 \text{万元/a}$ ；染料按均价 8.5 万元/t 计算，则可节省染料费用： $8.5 \text{万元/t} \times 0.5 \text{t/a} = 4.25 \text{万元/a}$ 。

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

## 方案五十：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、贮液槽及循环泵等部件构成，作为间歇式染色设备的典型代表，是纱线染色领域中应用十分广泛的机型之一。为确保纱层从内到外的染料上染与固色效果均匀一致，染液循环一般采用由内向外与由外向内交替进行的双向模式。双向循环染色要求染液完全浸没筒子架顶端的筒子纱，因此浴比较高，通常维持在 1:8 以上。单向循环染色则通过调节染缸内主泵的转速，驱动染液从筒子纱内部向外部单向流动，允许筒子架顶端露出液面，从而降低染槽内的液面高度，实现更低的浴比。不过，采用单向循环时，需确保筒子纱之间及顶锁等接口的密封性，同时对染色工艺参数、筒子纱密度、比流量以及主循环泵特性等均有特定要求。

### 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，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，成衣线车间染色机的浴比约为 1:6，较高的浴比直接对应着高耗能。与此同时，大浴比还会延长染色周期，升温、冷却、漂白及水洗环节的耗时占整个染色周期的一半以上，不仅消耗大量水资源，更加重了生产与污水处理的双重负担。为有效节约能源与水资源、减少染料助剂消耗、提升生产效率，企业定制了 5 台低浴比机型。这些设备采用染液单向循环技术，浴比最低可至 1:4.5，平均设置在 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、其他化学品等的消耗，节约了生产成本，其中年度水减排量： $\text{产量} \times (\text{改前浴比} - \text{改后浴比}) \times \text{平均染色次数} \div 1000 = 2780694 \text{kg} \times (6 - 5.5) \text{L/kg} \times 4 \text{次} \div 1000 = 5561 \text{m}^3$ ；

年节约新鲜水： $\text{产量} \times (\text{改前浴比} - \text{改后浴比}) \times \text{平均染色次数} \div 1000 = 2780694 \text{kg} \times (6 - 5.5) \text{L/kg} \times 4 \text{次} \div 1000 = 5561.39 \text{m}^3$ ；

年节约能源：产量 × 能源消耗量 × (1 - 改后浴比 / 改前浴比)  
=2780694kg×2.43kWh/kg×(1-5.5/6)=56.31 万 kWh；

年节约化学品用量：产量×(1-改后化学品单耗/改前化学品单耗)=2780694kg×(1-6.64/8)=472.72t；

年减少废水量：产量×(改前浴比-改后浴比)×平均染色次数÷1000=2780694kg×(6-5.5)×4次  
÷1000=5561.39m<sup>3</sup>。

## 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：

年节约新鲜水费用：节约新鲜水量×水单价=5561.39×5 元/m<sup>3</sup>=2.78 万元；

年节约能源费用：能源消耗量×能源单价=56.31 万 kWh×1 元/kWh=56.31 万元；

年节约化学品费用：年节约化学品用量×平均化学品单价=472.72t×1000×1.36 元/kg=64.29 万元；

年节约废水处理费用：年节约废水量×单位废水处理成本=5561.39m<sup>3</sup>×6.09 元/m<sup>3</sup>÷1000=3.39 万元；

合计年节约费用：2.78 万元+56.31 万元+64.29 万元+3.39 万元=126.77 万元。

## 方案五十一：印花工序 数码喷墨印花代替圆网印花

### 1.技术原理

印花，是指按照预先设定的图案，将染料或涂料喷射至织物表面的工艺过程。当前主流的印花工艺主要包括平网印花、圆网印花与喷墨印花三种。从环境友好性角度分析，喷墨印花相比平网与圆网印花，具有污染少、消耗低、附加值高的优势，同时还具备小批量、多品种、短交期的特点。

数码喷墨印花机的工作原理是：将花样图案以数字形式输入计算机，经由计算机印花分色描稿系统（CAD）编辑处理后，再由计算机控制微压电式喷墨嘴，将水性墨水直接喷射到布匹表面，从而形成所需图案。该设备的突出优势在于，印花过程无需制作网版，且全程不消耗水资源。

### 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，主要生产尼龙布、涤纶布的生产加工，生产工艺包括为精炼/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，该企业采用圆网印花机作业。因需避免不同批次产品质量受残留染料影响，圆网印花机需不间断用水清洗工作台板，由此产生一定量清洗废水。为削减污染物排放，企业决定购置数码喷墨印花机替换原有设备。

方案实施后，企业改用数码喷墨印花机加工胚布。该设备无需制作网版，且印花过程中无需用水清洗机台。

## (2) 实施效果

### ①环境效益

油墨使用量：据企业统计数据，数码喷墨印花机的油墨用量仅为圆网印花机的 10%。

新鲜水用量：方案实施前，该企业使用圆网印刷机，需要不间断地使用清水对台板进行清洗，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： $12000t/a - 60t/a = 11940t/a$ 。

### ②经济效益

油墨采购费用：虽然数码喷墨印花机所用油墨单价为圆网印花油墨的 2~3 倍，但因用量大幅减少，油墨购入成本可降低 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  $11940t/a \times 20 \text{ 元/t} = 23.88 \text{ 万元/a}$ 。

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  $3kW \times 2800h = 8400kWh$ ；方案实施后，数码喷墨印花机运行功率为 19kW，则年用电量为  $19kW \times 2800h = 53200kWh$ 。按电费 1 元/kWh 计算，则方案实施后年增加电费  $44800kWh \times 1 \text{ 元/kWh} = 44800 \text{ 元}$ 。

综上，企业可节约原料购入费用 70~80%，减少污水处理费用 23.88 万元/a，增加电费 44800 元/a。

## 方案五十二：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

印刷作业时，油墨残渣与纸毛会逐渐堆积在橡皮滚筒表面，为确保印刷品质稳定，需定期清洗橡皮滚筒。人工清洗不仅费时费力，还需消耗大量有机溶剂型清洗剂，清洗过程中会产生 VOCs 废气与清洗废水，对操作人员健康及车间周边环境均构成一定影响。加装橡皮布自动清洗装置，则能节省人工成本，减少清洗剂用量与废水排放，提升清洗效率，同时改善车间作业环境。

橡皮布自动清洗装置可根据印刷过程中的油墨覆盖率、承印物特性及印刷数量，智能设置清洗程序、清洗时长、喷水量等参数，让装置内的清洗剂按设定频次浸湿无纺布并完成清洗步骤。浸湿后的无纺布或毛刷辊会与橡皮滚筒表面充分接触并高速摩擦，从而实现橡皮布的清洁效果。

清洁后的橡皮布能为印刷产品的色彩一致性、网点饱和度、网点还原度及图像真实性提供稳定的基础保障。该方案的实施，不仅能提升印刷品品质、提高企业生产效率、延长橡皮布使用寿命，还能有效减少废弃物排放。

## 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，生产工艺包括制版、印刷、表面处理、裱纸、模切等。

### (1) 实施情况

方案实施前，该企业采用人工清洗橡皮布，4 个色组的平均清洗时长为 4min，效率相对低下；擦机布的损耗量较大，且人工清洗过程中清洗剂用量偏高，VOCs 和废擦机布产生量大，且废擦机布属于危险废物，需交由具备资质的单位处理。

方案实施后，企业在印刷机内加装橡皮布自动清洗装置，该装置按预设程序在相对密闭环境中运行，4 个色组可同步清洗，耗时仅约 1.5min。该方案不仅提升了清洗效率，还减少了 VOCs 的无组织排放，有效改善了车间环境。此外，企业改用无纺布替代传统擦机布：擦拭前无纺布会提前用清洗剂浸湿，擦拭后通过专用清洗装置去除表面脏污，清洗后的无纺布可循环利用；废弃的无纺布则作为危险废物交由具备资质的单位处置。

### (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，清洗剂消耗量较大且存在浪费现象，年使用量达 18522kg；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，方案实施后可节约原料采购费用： $5556.6\text{kg/a} \times 12\text{元/kg} = 6.67\text{万元/a}$ ；危废处置费用： $3203\text{kg/a} \times 7\text{元/kg} = 2.24\text{万元/a}$ 。

本方案的实施，不仅能减少原辅材料消耗及污染物的产生与排放，还可提升产品质量、提高生产效率。

## 方案五十三：印刷工序 胶印机升级替代

印刷机是用于印刷文字与图像的专业设备，通常由装版、上墨、压印、输纸等结构组成，从而复制出满足特定需求的印制品。

## 1. 技术原理

海德堡速霸 CX140 胶印机运用第三代智能操作导航系统 Intellistart 3 和全新的智能状态显示 Intelliline，支持自动排单、印刷活件自动转换、油墨自动添加等智能化操作；智能控制系统集成自动装版、墨路自动清洗装置、组合式中央润版液供给系统与墨路温控系统、白墨单元专用附加水箱及增强型预置收纸功能。

该设备践行绿色印刷理念，内置着墨平衡系统既能实现快速着墨，又可维持水墨平衡稳定；连续润版系统配备 5 辊式结构，其智能预润版功能可依据不同工况自动调节，确保印版洁净，有效避免停机时的过度润版；支持减酒精或免酒精印刷，大幅减少甚至杜绝酒精使用；采用径流式涡轮风机，总体能耗降低 50%；高效主驱动系统更能实现高达 95% 的卓越能效。

设备搭载 12 个印刷单元与 2 个上光单元，幅面升级至 1040 毫米，印刷速度提升至 16500 张/小时，可实现印刷、上光、UV 及逆向上光的一次成型作业，显著提升生产效率，有效降低人工成本与油墨消耗。

## 2. 适用范围

适用于纸制品的印刷工序。

## 3. 应用案例

某包装装潢及其他印刷企业，主要生产印刷烟标、酒盒、电子消费产品和药品包装品，生产工艺包括印前处理、CTP 制版、显影、定影、冲版、涂胶、烤版、印刷、表面处理（上光、覆膜、烫金、丝印）、裱纸、模切、粘盒、手工制作和包装等。

### (1) 实施情况

方案实施前，企业使用 CP20002+L 胶印机进行印刷作业，多色印刷需要多次套印，着墨率不稳定，生产效率偏低。

方案实施后，企业将印刷设备升级至海德堡速霸 CX140 胶印机，该设备自动化与智能化水平较高，能大幅减少人工干预，有效缩短印刷周期，提升产能。

### (2) 实施效果

#### ① 环境效益

方案实施后，企业采用海德堡速霸 CX140 胶印机可实现一次印刷替代二次印刷、减酒精或免酒精和可防止过度润版等效果，进而减少油墨、乙醇及润版液的消耗量。在同等产能下，预计可节省 1% 的油墨、7% 的乙醇与 3% 的润版液。

方案实施前，企业年使用油墨 75838kg、乙醇 12556kg、润版液 1366kg。方案实施后，同等产能下，可节约油墨： $75838\text{kg}/\text{a} \times 1\% = 0.76\text{t}/\text{a}$ ；节约乙醇  $12556\text{kg}/\text{a} \times 7\% = 0.88\text{t}/\text{a}$ ；节约润版液  $1366\text{kg}/\text{a} \times 3\% = 0.04\text{t}/\text{a}$ 。结合原料成分分析，可减少 VOCs 产生量

$0.76\text{t}/\text{a} \times 1.4\% + 0.88\text{t}/\text{a} \times 100\% + 0.04\text{t}/\text{a} \times 20\% = 0.9\text{t}/\text{a}$ 。

#### ② 经济效益

本方案总投资额为 2550 万元，主要涵盖设备采购、安装及调试等相关成本。方案实施后，可节约油墨、乙醇及润版液等原辅材料的用量，减少操作人员数量，从而降低人工成本；另外，生产效率的提升也能间接创造经济效益。然而，受市场经济波动影响，方案实施前后产品种类、原辅材料消耗及生产工艺均发生了变化，因此无法对节约成本进行更深入的核算。鉴于本方案投资额较高，暂未体现出明显的经济效益。

## 方案五十四：注塑工序 注塑机节能改造

### 1. 技术原理

传统液压注塑机的能耗主要分布于液压系统、加热系统、冷却系统及其他电器操控系统，其中液压系统能耗占比约 80%，加热系统约 15%，其他电器操控系统约 5%。因此，其节能改造技术的核心方向集中在液压系统与加热系统两大领域。

#### (1) 液压系统节能技术

液压系统因控制调节参数无法匹配工艺动力需求导致能耗过高，对此可通过改进驱动泵来解决，如应用变量泵、变频器及伺服电机：变量泵可实现自适应调节，提升系统反应与调节速度；变频器通过改变电机转速调整排量，降低能耗；伺服电机驱动定量泵，输出动力与负载实时匹配，节能效果显著。

伺服注塑机的动力系统由伺服电机、伺服驱动器、编码器、齿轮泵、压力传感器及驱动控制模块组成，其中驱动控制模块是其效能优于传统注塑机的核心。其工作流程为：伺服驱动器接收驱动控制模块的流量、压力指令，转换为转速指令发送给伺服电机；电机带动齿轮泵输出流量与压力，压力传感器采集系统压力并反馈至驱动器，电机同时反馈转速信息；驱动器将实际流量、压力数据反馈给控制模块，模块通过比对指令与实际值的偏差调整输出，实现闭环控制以满足工艺要求。

伺服控制系统能按预定要求自动反馈控制注塑装置的机械运动，控制量包括位移、速度或加速度，确保输出位移精准跟踪输入；液压伺服控制系统以电机驱动液压泵，将机械运动转化为液压油压力，再通过阀门控制油流方向，推动液压缸完成各类动作。伺服电机作为执行元件，可根据电压信号控制转子转速与转矩，具备响应快、精度高、线性度好等特性，应用液压伺服控制系统能有效降低各部件运转能耗。

#### (2) 加热系统节能技术

加热系统节能技术主要包括电磁加热节能技术、红外加热技术、纳米节能环加热技术、料仓热风回收技术等。

①电磁加热技术基于电磁感应原理，先对料筒做绝热保温处理，再在其外围缠绕电磁感应线圈并通入电流，使料筒通过电磁感应产生涡流实现自发热。料筒外层的绝热保温材料不仅减少了热能损耗，还显著提升了热能利用率。

②红外加热技术利用热辐射原理，在料筒外围布置红外灯管，并以镜面隔绝灯管与外界环境；同时对镜面做隔热处理，避免反射过程中的热量流失。灯管产生的热辐射经镜面反射后均匀作用于料筒四周，确保其获得所需热量。

③纳米节能环加热技术通过覆盖高性能纳米保温层实现节能，并未改变原有加热原理与结构。其核心材料为纳米气凝粘胶，具备柔软易裁剪、低密度、无机防火、整体疏水及绿色环保等优势，可替代玻璃纤维、石棉保温毡等传统不环保、保温性能差的柔性材料。

④料仓热风回收技术通过加装热风回收装置，将料仓余热回用至下料口。传统注塑机采用外壁缠绕电阻丝的加热方式，热能仅部分传递至物料，利用率低且散发热量会升高车间温度。该技术通过集热器与隔热垫块包裹料筒外层，外层再覆保温棉，高效收集外散热量后，经风机与管道输送至下料口，用于物料干燥软化。

此外，随着节能技术发展，全电动注塑机应运而生，其以电驱动系统替代液压驱动，各动作均由电机完成，故又称全电机。该机型消除了液压系统的溢流、油管损耗、油泵低效及冷却水泵等能耗；尽管伺服电机与滚珠丝杆存在一定能耗，但远低于传统液压系统，因此其主要能耗仍来自加热系统。

## 2.适用范围

适用于注塑机节能改造。

## 3.应用案例

### 案例 1

某塑料零件及其他塑料制品制造企业，主要生产电吹风、直/卷发器、修眉刀等，生产工艺包括：混料、碎料、注塑成型、开料、拉伸、冲压、飞卷边、攻丝、打磨、除油、清洗、磷化、烘干、喷漆、烘烤、浸锡、焊接、移印、烘烤、组装、测试、包装等。

#### (1) 实施情况

注塑机作为企业主要的生产设备，能耗占比颇高。为有效压缩生产成本，企业决定推进注塑机节能改造项目，采用纳米红外节能电热圈，对现有 26 台注塑机加热系统进行升级改造。

#### (2) 实施效果

##### ①环境效益

方案实施前，单台注塑机加热系统功率为 9.75kW；方案实施后，单台节能电热圈功率为 4kW，工作温度在 200~310°C 时，实际耗用功率仅为额定功率的 22.7%，则 26 台注塑机改造后可节约用电为： $26 \text{ 台} \times (9.75-4) \text{ kW/台} \times 22.7\% \times 24\text{h/d} \times 264\text{d/a} = 36.46 \text{ 万 kWh/a}$ ，减少二氧化碳排放量= $36.46 \text{ 万 kWh} \times 4.512\text{tCO}_2\text{e/万 kWh} = 164.51\text{tCO}_2\text{e/a}$ 。

##### ②经济效益

该方案总投资为 23.14 万元。按照平均电费 1 元/kWh 计算，每年减少电费  $36.46 \text{ 万 kWh} \times 1 \text{ 元/kWh} = 36.46 \text{ 万元}$ ，投资回本期  $23.14 \text{ 万元} \div 36.46 \text{ 万元/a} = 0.63 \text{ 年}$ 。

### 案例 2

某塑料制品制造企业，主要生产塑胶制品、木制品、塑胶模具、模具等产品，生产工艺包括混料、注塑、修边、移印、烫金等。

## (1) 实施情况

方案实施前，企业注塑车间有 120 台注塑机，数量较多。其中大部分为自带伺服注塑机或已进行了伺服电机改造，但仍有 5 台使用年限近 20 年的旧注塑机未进行伺服改造，性能衰减明显且能耗居高不下。因此，企业决定逐步更换这 5 台老注塑机，升级为新型伺服注塑机。

## (2) 实施效果

### ①环境效益

本方案的实施，可有效提升原料与能源利用率，减少不良品产出及能耗。同时，新型伺服注塑机整机运行噪声低，低速运行时降噪优势尤为突出。

根据企业改装伺服注塑机的测试报告，节电率可达 75%。5 台老注塑机总功率为 196.6kW。按照年工作天数 300 天，每天运行 22 小时，实际运行负荷率取 70%，则年可节省用电量  $196.6\text{kW} \times 70\% \times 22\text{h/d} \times 300\text{d} \times 75\% = 681219\text{kWh}$ 。年减少二氧化碳排放量  $68.12\text{MW} \cdot \text{h} \times 10 \times 0.4403\text{tCO}_2\text{e/MW} \cdot \text{h} = 299.93\text{tCO}_2\text{e}$ 。

### ②经济效益

该方案总投资为 171.86 万元。按用电单价 1 元/kWh 计算，则年节省电费 68.12 万元，投资回收期约为 2.5 年。

此外，采用新型伺服注塑机有利于提升企业的市场竞争力，提高生产效率和成型精度，一次成品率可提高 0.3% 以上，从而减少了不良品的产生，减少因破碎回用而增加的生产成本，产生的经济效益难以准确计算，在此不做统计。

## 方案五十五：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，不少生产工序都需要使用多种原辅材料加以复配。若依赖人工配料，不仅精度与效率难以保证，还会出现一定的波动，进而影响产品质量。而采用自动配料控制系统，则能有效提升原料配比精度与生产效率，避免因人工误差导致的产品返工问题。

自动配料系统是依据预设参数，通过控制器或控制装置操控相关机器设备，自动按照预定顺序与比例抽取并配制各类原料的系统。

### 2. 适用范围

适用于原辅材料配置和添加。

### 3. 应用案例

某洗染服务企业，主要从事床单、毛巾等洗涤服务，生产工艺包括分拣、水洗、脱干、烘干、烫平等。

## (1) 实施情况

企业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，各种辅料需严格按照特定的顺序及比例进行添加。

方案实施前，企业依赖人工进行各类原辅料的配置与添加，不仅配料效率低下，且比例控制不够精准，导致原辅料存在一定程度的浪费。为进一步提升清洗效率、优化清洗效果并节约原辅料成本，企业决定引入自动配料设备。自动配料设备主要借助智能控制系统，依据预设参数，将各类原辅料按既定顺序与精准剂量投入洗衣设备。

## (2) 实施效果

### ①环境效益

方案实施后，不仅能减少辅料用量，还可降低污染物排放，环境效益显著。

### ②经济效益

方案总投资 13 万元，用于购置两套自动配料系统。自动配料的精准化，每年可节约辅料采购成本 5.47 万元；洗涤品质的提升，能带来年均 4.8 万元的产值增长。综合经济效益： $5.47+4.8=10.27$  万元，投资回收期为 1.27 年。

## 方案五十六：喷涂工序 喷漆自动化改造

### 1.技术原理

自动喷漆系统是一种可替代人工手持喷枪、将涂料雾化后均匀喷涂于被涂物表面的自动化涂装设备，主要由机架、主体结构、核心功能设备、电气及控制系统构成。系统采用 PLC 集中控制技术，依托 XYZ 三轴精准定位，可灵活调控喷枪的横向移动、纵向移动及旋转方向，从而实现高精度喷涂作业。自动喷漆系统不仅能有效减少漆料浪费、提升漆料利用率，还可显著改善喷漆工艺的作业环境。

### 2.适用范围

适用于喷涂工序。

### 3.应用案例

某塑胶制品、金属制品制造企业，主要生产铜纽扣、锌合金纽扣、塑料纽扣等；其中，铜合金纽扣生产工艺包括冲压、喷叻架、组装、包装；锌合金纽扣生产工艺包括压铸、磨光、喷叻架、组装、包装；塑料纽扣生产工艺包括注塑、喷漆、包装。

## (1) 实施情况

企业目前拥有两台手动喷漆水帘柜，漆料利用率相对较低，上漆率仅约 55%，为提升漆料利用率，企业将其中一台改造为自动喷漆设备，专门用于常规纽扣的喷涂作业。方案实施后，自动喷涂生产效率提高了接近一倍，上漆率提升至 67.96%。

本方案以现有喷漆柜为基础，新增自动喷漆装置，废气收集处理装置则继续依托原有的水帘柜系统。

## (2) 实施效果

### ①环境效益

方案实施后，漆料、天那水消耗量节省约 20%。按全年漆料消耗 1800kg，天那水消耗 1700kg 计算，全年节约漆料 360kg，天那水 340kg。天那水 VOCs 含量按 100%计算，每年可减少 VOCs 产生量 340kg。同时，随着漆料附着率提升，每年漆渣产生量可减少  $1800 \times (67.96\% - 55\%) = 233.28\text{kg}$ 。

### 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，节约漆料约 360L/a，节约天那水约 340L/a，漆料价格 58 元/kg，天那水价格 21 元/kg，则节约物料费用 2.8 万元/a。

## 方案五十七：喷涂工序 静电喷涂设备替代普通喷枪

### 1. 技术原理

传统的液体喷涂与人工手喷作业方式，普遍存在油漆浪费量大、环境污染严重、清理维护困难、生产效率低下、产品色差明显以及质量不稳定等弊端，静电喷漆技术则能针对性地解决这些问题。

静电喷漆的工作原理是：将被涂物作为正电极（通常接地），涂料雾化装置作为负电极并连接电源负高压，从而在两极间构建起高压静电场。负电极处发生的电晕放电，会使喷出的涂料介质带电并进一步雾化；依据“同性相斥、异性相吸”的物理原理，带电涂料介质在电场力作用下，会对被涂物形成“环抱”效果，沿电力线定向流向带正电的被涂物表面，最终堆积成一层均匀且附着牢固的薄膜。尽管静电喷漆也可采用正极性电晕放电，但负极性电晕放电的临界电压更低，运行更稳定，且不易产生火花，因此更为常用。

静电喷漆设备主要由喷枪、雾化喷嘴、静电发生器、供漆泵浦等组成，按作业方式可分为手动型与自动型两类。其中，自动静电喷漆是将设备集成安装在机器人或往复机上，从而实现自动化连续作业。

### 2. 适用范围

适用于喷涂工序。

### 3.应用案例

某自行车制造企业，主要生产自行车零配件、五金制品、铝合金制品，主要生产工艺为机加工、装配、表面处理（除油、酸洗、皮膜）、喷漆、烘干等。

#### (1) 实施情况

方案实施前，企业通过人工手持普通喷枪开展水性漆喷涂作业，造成水性漆耗用量居高不下。方案实施后，企业新增一台静电喷涂设备，替代原有的普通喷枪进行水性漆喷涂，在产能保持不变的情况下，成功节约了 5%的水性漆用量。

#### (2) 实施效果

##### ①环境效益

按照方案实施前水性漆年用量 13.673t 计算，则可节约水性漆 0.684t/a。

##### ②经济效益

方案实施后，可节约水性漆采购费用和末端治理设施运行费用 0.5 万元/a。此外，采用自动化喷涂方式，提高了生产效率。

## 方案五十八：清洗工序 碳氢清洗机替代溶剂清洗机

溶剂型清洗机通常搭配高 VOCs 含量的清洗剂使用，会产生大量有机废气。随着碳氢清洗剂（环保清洗剂）的广泛应用，与之配套的碳氢清洗机也逐步取代了溶剂型清洗机。

### 1.技术原理

碳氢清洗机借助超声波与真空环境下碳氢清洗剂的挥发性，高效去除工件表面、盲孔及狭缝内的污物。设备内置脱气超声波粗洗槽、真空超声波漂洗槽、真空蒸汽浴洗槽、真空干燥槽，全流程实现自动化操作：各槽体清洗时长可根据工件清洁度要求单独设定，清洗流程亦支持灵活调整，可跨槽体进行清洗。

脱气超声波粗洗槽与真空超声波漂洗槽的工作原理为：通过真空环境排除清洗剂、工件盲孔及缝隙中的气体，再借助超声波空穴效应剥离工件表面附着的污物。真空蒸汽浴洗则是利用抽真空降低碳氢清洗剂沸点，使其在 80°C 左右沸腾，高温蒸汽喷向工件后，通过凝华现象形成浴洗；此过程不仅能加热槽体，还可提升工件表面温度，为后续高真空度下的真空干燥奠定基础。真空干燥槽内，工件表面残留的清洗剂会因环境压力骤降瞬间沸腾、快速挥发，从而达成干燥目的。

真空干燥槽中，清洗液产生的雾气与蒸气可通过蒸馏再生装置回收复用。这一过程基于清洗剂与污垢沸点差异的原理：溶有污垢的清洗剂进入蒸馏系统后，在高真空环境下经加热快速蒸发，蒸汽冷凝后重新变为液态，即可回流至清洗机内循环使用；而污垢因沸点高于清洗剂，蒸馏时无法蒸发，会留存于蒸馏系统底部，定期排出即可。

为确保产品品质与清洗效果，实际生产中碳氢清洗机需定期停机，进行整机清洁及清洗剂补充。

## 2.适用范围

适用于清洗工序。注意搭配合适的清洗剂。

## 3.应用案例

某橡胶和塑料制品、通用设备制造企业，主要生产五金零部件、塑胶零部件，生产工艺包括混炼、押出、涂布、烧成、嵌入、涂装、清洗等。

### (1) 实施情况

方案实施前，企业使用 WXD-4048RSTGF 溶剂清洗机，设备功率 120kW，配套清洗剂为溴丙烷清洗剂（VOCs 含量 100%）。

方案实施后，企业采用 MUO-4216TSF 碳氢清洗机，设备功率 99kW，配套清洗剂为碳氢清洗剂（VOCs 含量 72.6%）。

### (2) 实施效果

#### ①环境效益

方案实施前，企业年使用溴丙烷 8.36 吨；方案实施后，在产能相同的情况下，年使用碳氢清洗剂 4.8 吨。企业每年可节省清洗剂  $8.36t-4.8t=3.56t$ ，减少 VOCs 产生量约  $8.36t \times 100\% - 4.8t \times 72.6\% = 4.88t/a$ 。

按照每年工作 300 天，每天 10 小时计算，企业每年可节约用电  $(120-99) kW \times 300d \times 10h/d = 6.3$  万 kWh，年减少二氧化碳排放量  $6.3MW \cdot h \times 10 \times 0.4403kgCO_2/kWh = 27.74tCO_2e$ 。

#### ②经济效益

本方案购置一台碳氢清洗机投资 85.8 万元。

原辅材料采购费用：溴丙烷购买单价 125 元/kg，碳氢清洗剂购买单价 31 元/kg，则年节省原料购买费用  $8.36t \times 1000kg/t \times 125 元/kg - 4.8t \times 1000kg/t \times 31 元/kg = 89.62$  万元。

用电成本：用电单价按照 1 元/kWh 计算，则企业年节约用电费用  $6.3 万 kWh \times 1 元/kWh = 6.3$  万元。

综上所述，可产生经济效益 95.92 万元，投资回收期 0.89 年。

## 方案五十九：切割工序 光纤激光切割机替代传统切割机

激光切割机利用激光光束释放的能量，对金属或非金属材料进行切割分离。

### 1.技术原理

激光加工系统是一套计算机集成系统，能够根据产品的轮廓形状灵活编排与修改加工方案，实现个性化定制加工，同时支持多工位协同操作，自动化程度较高。

光纤激光切割机借助多个二极管泵产生激光束，光束经柔性光纤电缆传输至激光切割头后，高功率高密度的激光束会照射待切割材料，使其迅速升温至汽化温度并蒸发形成孔洞；随着光束的精准移动，孔洞逐步连成连续切缝，最终完成对板材的非接触式切割。

光纤激光切割机具备多重显著优势：加工性能上，运行速度迅猛、定位及重复定位精度卓越、切割间距紧凑、边缘光滑平整、板材热影响区极小，且无刀具损耗与接触能量损失；技术参数方面，电光转换效率达 25%~30%，输出功率 500~35000W，半导体泵寿命 20 万次以上，基本实现免维护；此外，它适配柔性加工场景，运行稳定性极佳。

## 2.适用范围

适用于金属、非金属等各种材料的切割。

## 3.应用案例

某五金制品、铝制品、塑胶制品、手机壳的生产加工企业，生产工艺包括冲压、切割、镭雕、电镀等。

### (1) 实施情况

方案实施前，企业采用传统切割机，存在加工维度单一、控制精度欠佳、生产效率低下等问题。方案实施后，企业引入五轴光纤激光切割机，显著提高了产品的加工精度与生产效率；针对个性化产品需求，通过激光加工计算机系统的灵活编排与调整，能够满足多样化的产品加工要求。

传统切割机与五轴激光切割机的对比分析见下表：

表 3.6 企业切割机更换前后基础信息对比表

指标	实施前：传统切割机	实施后：五轴激光切割机
加工纬度	立柱、锥柱	多重纬度和柱状
控制精度	≤0.1mm	≤0.05mm
加工效率	≥4000~5000mm <sup>2</sup>	≥8000~10000mm <sup>2</sup>
设备功率	2.5kW	1.5kW
使用寿命	≤10 年	≥10 年
操作人员	2 人	1 人

### (2) 实施效果

#### ①环境效益

方案实施前，企业共有 3 台传统切割机，单台设备功率 2.5kW，总功率 7.5kW。方案实施后，企业将原有 3 台传统切割机全部更换为 2 台五轴激光切割机，单台设备功率 1.5kW，总功率 3kW。

切割机年运行时间按 2090h 计算，则年可节省用电量  $(7.5-2 \times 1.5) \text{ kW} \times 2090 \text{ h} = 0.94 \text{ 万 kWh}$ ，年减少二氧化碳排放量  $0.94 \text{ MW} \cdot \text{h} \times 10 \times 0.4403 \text{ tCO}_2\text{e/万 kWh} = 4.14 \text{ tCO}_2\text{e}$ 。

#### ②经济效益

本方案两台五轴激光切割机共投资 70 万元。

方案实施后，可减少员工 4 人，按照人均工资为 5000 元/月，则可节省人工费用： $4 \text{ 人} \times 5000 \text{ 元} / (\text{人} \cdot \text{月}) \times 12 \text{ 月/a} = 24 \text{ 万元/a}$ ；可节省用电 0.94 万 kWh/a，电费单价按照 1 元/kWh 计算，则可节约电费  $0.94 \text{ 万 kWh} \times 1 \text{ 元/kWh} = 0.94 \text{ 万元}$ 。

综上所述，可产生经济效益 24.94 万元/a，投资回收期约为 2.8 年。

## 方案六十：工件保温 增设保温炉车避免热量损失

### 1. 技术原理

企业生产过程中，需对工件进行清洗与烘干处理，烘干后的工件表面会留存一定余热。若后续需对工件进行加温处理，却因无法立即转入下一工序而导致热量流失。

本方案通过增设保温炉车，实现对烘干后工件的保温暂存与短距离转运。保温炉车能有效减少工件与室内空气的接触，从而避免热量流失；同时，炉车内配备加热管，可使工件维持在所需温度范围内。

### 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，生产工艺包括除油/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常温存放，待后续加工时再转运至真空镀膜工序；此时真空镀膜机需将室温工件加热至设定温度。

方案实施后，烘干工序后增设保温炉车，用于工件的保温暂存与短距离运输；工件进入真空镀膜机时温度可达 80°C，设备仅需再升温约 120°C 即可达到设定值，从而有效降低电能消耗。

#### (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 4.17kWh，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： $4.17 \text{ kWh/炉} \times 110 \text{ 台} \times 1100 \text{ 炉/台} \times 50\% = 25.22 \text{ 万 kWh}$ ，年减少二氧化碳排放量： $25.22 \text{ MW} \cdot \text{h} \times 10 \times 0.4403 \text{ tCO}_2\text{e/MW} \cdot \text{h} = 111.04 \text{ tCO}_2\text{e}$ 。

##### ② 经济效益

方案实施后，真空镀膜机减少了 25.22 万 kWh 的能耗，按电费 1 元/kWh 计算，则方案实施后可省电费：25.22 万 kWh/a×1 元/kWh=25.22 万元/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 800W×2 根×0.17h×110 台×1100 炉/台×50%=1.65 万 kWh，按电费 1 元/kWh 计算，方案实施后增加电费：1.65 万 kWh/a×1 元/kWh=1.65 万元/a。

综上，企业可节约电费成本 23.57 万元。

## (二) 辅助生产设备

### 方案六十一：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。

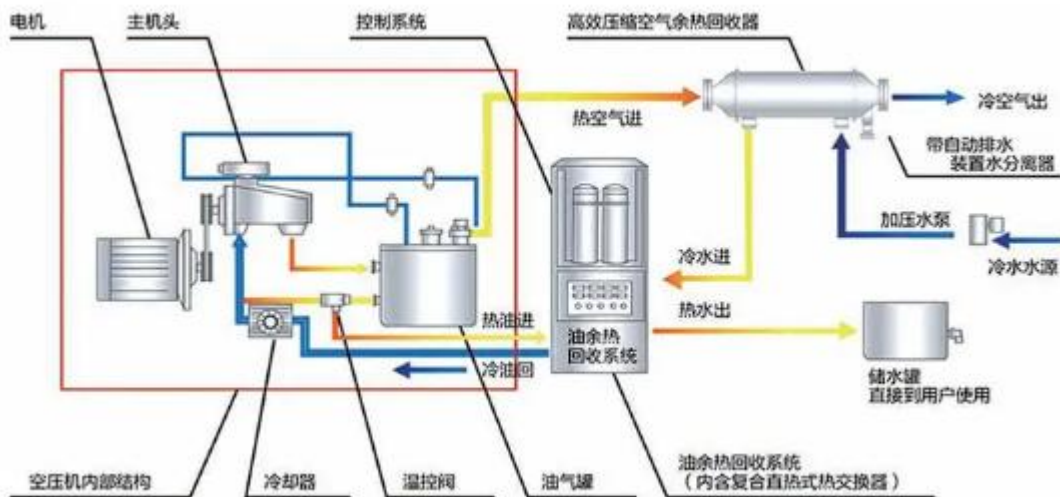


图 3.3 空压机余热回收工作原理示意图

## 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

某显示器件制造企业，主要生产液晶显示屏，生产工艺包括蚀刻、清洗、印胶、贴合、消泡、开孔、测试等工序。

### (1) 实施情况

该企业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) 实施效果

#### 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：

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

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°C、温升 45°C，春冬季节进水温度 5°C、温升 60°C 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°C 大概需要 1kWh，则

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

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

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

$$\text{年减少二氧化碳排放量: } 34.21\text{MW} \cdot \text{h} \times 10 \times 0.4403\text{tCO}_2\text{e}/\text{MW} \cdot \text{h} = 150.63\text{tCO}_2\text{e}.$$

综上，方案实施后，每年可节省电量 34.21 万 kWh，间接减少 150.63tCO<sub>2</sub>e 排放。

#### ②经济效益

方案投资 15.8 万元，用于购置余热回收设备。方案实施后，可节约电量 34.21 万 kWh/a，电费按 1 元/kWh 计，则可产生经济效益为：34.21 万 kWh/a × 1 元/kWh = 34.21 万元/a。

## 方案六十二：余热回收 高温冷凝水余热回收

### 1. 技术原理

该技术通过统一收集生产过程中产生的废热水与余汽，利用 HY-Z 自洁式水/水热交换器进行热能回收；回收的热能经换热器传递，对工艺用水预加热，不仅能大幅减少蒸汽消耗，还可缩短加热时长，提升工作效率。

HY-Z 自洁式水/水热交换器采用特殊的净水水道转动体，浸置于隔热保温的废热水柜内；废热水遵循“低进高出”的逆流原则，以增大与净水的温度梯度，延长热交换时长。为规避废热水中各类杂质的干扰、提升热能利用率，该设备配备了带自洁功能的转动体，由小型电动机驱动，可防止水槽内纤维与染化料淤积，热能效率达 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

某棉纺织印染精加工企业，主要生产线带、床上用品、布、成衣等，生产工艺包括：坯检、前处理、染色、漂洗、后整理，包装等。

#### (1) 实施情况

企业生产过程中，烘筒（用于烘干）、高温定型机、拉幅机、磨毛机、预缩机疏水阀及蒸汽疏水阀等多台设备产生的高温冷凝水均被排入污水池，排出的热水与余汽温度均超 100℃。若直接排放，将引发两大问题：其一，排入废水处理池会导致池内废水温度升至 46℃ 以上，严重削弱废水处理效果；其二，造成大量热能浪费，进而推高生产成本。

本方案拟增设废水热能回收系统，回收废水中流失的大量热能：先将初始温度 22℃ 的自来水通过热交换器升温至 65~75℃，再加热至工艺要求的 95~105℃，以此减少热能损耗、节约能源并降低生产成本。

#### (2) 实施效果

##### ① 环境效益

方案实施后，每天可以节约蒸汽用量约 18t，按照一年生产 280 天，则可节约蒸汽  $18t \times 280d/a = 5040t/a$ ，间接减少了二氧化碳排放量。

##### ② 经济效益

本方案投资约 25 万元。

按照蒸汽单价 170 元/t 计，可节约生产成本  $5040t/a \times 170 \text{ 元/t} = 85.68 \text{ 万元/a}$ ，投资回收期约 0.3 年。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。

## 方案六十三：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

压缩空气作为国内各行业企业核心动力源之一，空压机耗电量占工业设备总用电量的 10%以上，因此其节能潜力较大。传统螺杆压缩机采用异步电机，仅在接近额定功率运行时才能维持较高效率；而当负荷较低时，无功功率显著升高，电机效率则大幅下降。

永磁变频双极压缩螺杆式空压机对比传统螺杆压缩机，具有以下技术升级优势：

①电机采用永磁同步电机，转子的直流励磁绕组被永磁体替代，彻底消除励磁铜耗；转子惯性更小、结构更坚固。永磁同步电机的效率与运行功率因数受负载率影响甚微，几乎始终保持在 0.9 以上，无效功率极低。

②通过变频器驱动电机，实现气体产量与能耗的线性匹配，大幅降低低负荷工况下的能耗；同时，有效降低空压机启动电流，减少启动能耗及对电网的冲击，进一步提升设备运行的可靠性与稳定性。

③采用两级压缩技术。依据工程热力学理论，空压机压缩过程中定温压缩最节省能耗；相较于一级压缩，两级压缩的过程更趋近于定温压缩，能耗显著降低。

### 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，生产工艺包括切割、铲皮、定型、刷胶、贴合、车缝、打磨、清洁等。

#### (1) 实施情况

企业的空压机已投入使用多年，存在故障率偏高、供气稳定性不足等问题，已对日常生产造成一定影响。因此，企业决定采用两台永磁变频双级压缩螺杆式空压机替代原有设备，以提升生产效率，同时减少能耗支出、降低维修成本。

#### (2) 实施效果

##### ① 环境效益

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约 30%。按每年工作 300 天，每天工作 10 小时，负荷率 85% 计算，则节电量为： $250\text{kW} \times 10\text{h/d} \times 300\text{d/a} \times 85\% \times 30\% \times 2 \text{台} = 38.25 \text{万 kWh/a}$ ；年减少二氧化碳排放量  $38.25\text{MW} \cdot \text{h} \times 10 \times 0.4403\text{tCO}_2\text{e/MW} \cdot \text{h} = 168.41\text{tCO}_2\text{e}$ 。

## ②经济效益

本方案总投资 100.93 万元。

按电费 1 元/kWh 计算，则可节省电费：38.25 万 kWh/a×1 元/kWh=38.25 万元/a。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。

# 方案六十四：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）等部件构成。其工作原理为：三相交流电经桥式整流转化为直流电，通过限流电阻向电容充电至饱和状态时，接触器吸合短路电阻，进而充电至变频器额定电压；当 CPU 接收到启动信号后，发出触发指令驱动电路工作，触发 IGBT 将直流电压转换为频率可调的三相交流电，依据电机实际需求精准供给电源电压，最终实现节能与调速的双重目标。

变频器按功能分类，可分为恒转矩变频器与平方转矩变频器两大类。恒转矩变频器控制的负载具有恒转矩特性，对转速精度及动态性能等指标要求通常不高；若采用该类变频器实现恒转矩调速，需适当增大电动机与变频器容量，以提升低速转矩输出能力。其典型应用场景包括挤压机、搅拌机、传送带、提升机等设备。平方转矩变频器控制的负载对过载能力要求较低，因负载转矩与转速平方成正比，低速运行时负载较轻，具备显著节能效果。其核心应用领域为风机、泵类设备。

## 2.适用范围

适用于交流电动机节能改造。

## 3.应用案例

某计算机零部件制造企业，主要生产铝盘基片企业，生产工序包括酸洗、研磨、清洗、浸锌、化学镀镍等。

### (1) 实施情况

方案实施前，研磨风柜通过关闭冷冻水阀门调节车间温度，但电机却始终处于工频运行状态，能耗居高不下。方案实施后，在现有运行控制系统中增设了变频器调频功能，冬季调节车间温度时，既可以关闭冷冻水阀门，也能通过变频器调频实现，有效降低了研磨风柜的能耗。

### (2) 实施效果

#### ①环境效益

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

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

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

年减少二氧化碳排放量： $21.5092\text{MW}\cdot\text{h}\times 0.4403\text{tCO}_2\text{e}/\text{MW}\cdot\text{h}=9.47\text{tCO}_2\text{e}$ 。

## 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，按照用电单价 1 元/kWh 计算，则冬季年节省电费为： $21509.2\text{kWh}\times 1\text{元}/\text{kWh}=2.15\text{万元}$ 。则投资回收期  $0.8\div 2.15=0.37\text{a}$ 。

# 方案六十五：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、补偿无功的先进新型电力电子装置，能够针对幅值与频率均动态变化的谐波及无功功率进行精准补偿。其工作原理为：先从补偿对象中检测出谐波电流，再通过可控功率半导体器件向电网注入与原有谐波幅值相等、相位相反的补偿电流，使电网侧总谐波电流趋近于零，从而实现谐波电流的实时高效补偿。

APF 系统主要由两大核心部分构成：指令运算电路与补偿电流发生电路。其中，补偿电流发生电路进一步包含电流跟踪控制电路、驱动电路及主电路三个子模块。指令运算电路的核心功能是精准检测补偿对象中的谐波与无功电流分量；补偿电流发生电路则依据指令运算电路输出的补偿指令信号，生成并注入实际的补偿电流，完成整个补偿闭环。

## 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

某电阻电容电感元件制造企业，主要生产新型片式电感、敏感器件、微波器件、新型变压器、无线充电线圈等，生产工艺包括流延、印银浆、排胶、烧结、超声波清洗、浸锡、涂胶等。

### (1) 实施情况

经测试，企业发现排胶炉的功率因数仅为 0.74，电流畸变率高达 42.05%。功率因数过低引发电流偏大，不仅会增大线路导线截面、增加电压损失、降低供电质量，还会降低供电设备利用率；而电流畸变率过高，则会缩短设备设施使用寿命，易造成设备损坏，同时增加企业电费支出，提升生产成本。

为此，该企业引进一台有源电力滤波器，旨在降低排胶炉无功损耗，提升电能利用效率，实现节能降耗目标。

## (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： $170\text{kW}\times 15\%\times 24\text{h}/\text{d}\times 330\text{d}/\text{a}\approx 20.2$  万 kWh/a，年减少二氧化碳排放量  $20.2\text{MW}\cdot\text{h}\times 10\times 0.4403\text{tCO}_2\text{e}/\text{MW}\cdot\text{h}=88.94\text{tCO}_2\text{e}$ 。

### 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 kWh/a，电费按 1 元/kWh 计，可节省电费 20.2 万元/a。则投资回收期： $12.4$  万元 $\div 20.2$  万元/a=0.61a。

## 方案六十六：制冷机节能改造 添加极性制冷剂油提高制冷效率

制冷机是一种通过将较低温度的被冷却物体所含热量转移至环境介质来获取冷量的设备，主要由冷凝器、蒸发器、压缩机等核心部件构成。冷媒是制冷机系统内负责传递热能、实现冷冻效果的工作流体。

制冷机运行过程中，压缩机内的冷冻油流经系统相关部件时，会与部件表面物质结合形成绝缘层，进而在冷凝器与蒸发器的换热管壁上生成油膜；这种油膜热阻极高，会大大降低换热器的传热效率，导致制冷机能耗增加。

### 1.技术原理

为减少制冷机部件内油膜的形成、提升热传导效率，并进而提高系统 COP（制冷效率）与 EER（能效比），美国阿拉巴马大学机械工程系知名学者利·汤姆森博士研发出一款节能添加剂——极性制冷剂油（Frigaid）。

Frigaid 借助纳米技术生成 0.5 纳米的极化电磁分子，通过极化合成工艺，将 6 个氯原子连接于末端 3 个碳原子之上，构建出强大的负电荷中心。将 Frigaid 与制冷剂一同加入系统后，因换热器为金属材质且带正电，Frigaid 分子会与金属表面紧密结合、永久固定，不会发生脱附，进而在换热器表面形成一层致密保护膜。这款添加剂只需添加一次即可形成保护膜，即便后续更换制冷剂，也无需再次添加。

### 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-53.9~204.4℃的设备系统。

### 3.应用案例

某显示器件制造企业，主要生产触控显示器、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

企业在生产过程中，需借助中央冰水主机为生产车间降温。但因冰水主机使用年限较久，管道内壁逐渐附着藻类、微生物及水垢，外壁则积聚积碳、污染物与冷冻油；这些附着物不仅降低了管道的热传导效率，更导致主机 COP 值显著下降，使其长期处于高耗能运行状态。经市场调研后，企业决定在冰水主机中添加 Frigaid，旨在提升管道热传导效率与系统 COP 值。

方案实施前后，企业对冰水主机的 COP 值进行了精准测算：实施前 COP 值为 5.31，实施后升至 5.61，提升幅度达 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： $538\text{kW} \times 90\% \times 24\text{h}/\text{天} \times 30\text{天}/\text{月} \times 12\text{月}/\text{a} \times 5.65\% = 236367\text{kWh}/\text{a}$ ，年减少二氧化碳排放量  $236.367\text{MW} \cdot \text{h} \times 0.4403\text{tCO}_2\text{e}/\text{MW} \cdot \text{h} = 104.07\text{tCO}_2\text{e}$ 。

### ②经济效益

本方案共投资 7.2 万元。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。

按电费 1 元/kWh 计算，则节省电费： $236367\text{kWh}/\text{a} \times 1\text{元}/\text{kWh} = 23.64\text{万元}/\text{a}$ 。投资回收期： $7.2\text{万元} \div 16.44\text{万元}/\text{a} = 0.44\text{a}$ ，其投资回收期小于一年，经济效益显著。

## 方案六十七：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在企业总能耗中占比颇高，尤其对于生产车间要求严苛、需配备恒温恒湿无尘室的电子行业企业而言更是如此。因此，选用高效中央空调机组已成为企业落实节能减排目标的关键路径。

传统制冷压缩机中，机械轴承是核心必备部件，需依赖润滑油及润滑油循环系统维持运转。机械轴承不仅会产生摩擦损耗，随制冷循环进入热交换器的润滑油还会在传热表面形成油膜，成为热阻降低换热效率；更关键的是，系统内润滑油过量会严重制约制冷效率。数据表明：超 90%的压缩机烧毁事故均源于润滑失效。

磁悬浮变频离心式冷水机组的核心在于磁悬浮离心压缩机，其主要由叶轮、电机、磁悬浮轴承、位移传感器、轴承控制器、电机驱动器等组件构成。磁悬浮轴承借助磁场力使转子悬浮，旋转时无机械接触与摩擦，无需机械轴承及配套润滑系统，这意味着，制冷压缩机中采用磁悬浮轴承后，所有因润滑油引发的问题将彻底消除。此外，该机组采用永磁高速电机直接驱动，并集成变频技术，可确保压缩机在部分负荷下仍保持高效运行，其 COP 值在低负荷工况下几乎无衰减。相较于传统冷水机组，磁悬浮变频离心式冷水机组具备无摩擦、无油、变频等特性，在低负荷区域展现出显著的节能优势。

## 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，主要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，企业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。故企业决定将 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

方案实施前，企业冷冻机组耗电量为 790694kWh/月，方案实施后为 365120kWh/月，则年节约电量： $(790694-365120) \text{ kWh/月} \times 12 \text{ 月/a}=510.69 \text{ 万 kWh}$ ，年减少二氧化碳排放量  $510.69 \text{ MW} \cdot \text{h} \times 10 \times 0.4403 \text{ tCO}_2\text{e/MW} \cdot \text{h}=2248.57 \text{ tCO}_2\text{e}$ 。

#### ②经济效益

按电费 1 元/kWh 算，年节约电费  $510.69 \text{ 万 kWh} \times 1 \text{ 元/kWh}=510.69 \text{ 万元}$ 。

## 方案六十八：锅炉改造 锅炉低氮改造

### 1.技术原理

在燃烧过程中，氮氧化物（NO<sub>x</sub>）的生成主要通过以下三种途径：

（1）热力型 NO<sub>x</sub>：由空气中的氮气在高温（1400℃以上）环境下氧化生成。当温度低于 1500℃ 时，其生成量极少；一旦超过 1500℃，温度每升高 100℃，反应速率便会激增 6 至 7 倍。实际燃烧时，因燃烧室内温度分布不均，局部高温区域往往会成为热力 NO<sub>x</sub> 的主要生成源。

（2）快速型 NO<sub>x</sub>：多见于碳氢燃料的富燃料燃烧场景——燃料挥发物中的碳氢化合物经高温分解产生 CH 自由基，随即与空气中的氮气反应生成 HCN 和 N，再迅速与氧气结合，以极快速率生成 NO<sub>x</sub>；

（3）燃料型 NO<sub>x</sub>：由燃料本身含有的氮化合物在燃烧过程中氧化生成。由于天然气的含氮量通常较低，故燃料型 NO<sub>x</sub> 并非天然气燃烧时的主要控制对象。

基于上述 NO<sub>x</sub> 生成途径的分析，降低其排放的核心策略主要包括：

- (1) 借助电子比例调节与氧含量控制系统，实现对燃烧氧含量的精准调控；
- (2) 应用烟气再循环技术，同步降低火焰温度与燃烧氧含量；
- (3) 采用全预混表面燃烧技术，既能有效降低火焰温度，又可确保燃料充分燃烧。

## 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、特种用线，生产工艺包括染色、烘干、邦机、捻线、打线等。

#### (1) 实施情况

企业现有 1 台 6 蒸吨燃油锅炉与 2 台 8 蒸吨燃气锅炉，使用年限均已接近 15 年。正常运行时，氮氧化物 (NO<sub>x</sub>) 排放浓度为 130~150mg/m<sup>3</sup>，不满足锅炉氮氧化物排放需低于 30mg/m<sup>3</sup> 的标准要求。因此，企业将燃油锅炉均改造为燃气锅炉，并为全部 3 台锅炉更换了超低氮燃烧器。超低氮燃烧器直接安装于原锅炉本体，同时对锅炉控制系统进行了改造；锅炉本体及锅炉房内的水处理设备、分汽缸等辅助设施与管道则继续沿用原有配置。

此次采用的超低氮燃烧器为全预混表面式燃烧器，借助金属纤维燃烧表面，燃烧强度可达 3000kW/m<sup>2</sup>。该燃烧方式具有火焰短小、发热均匀的特点，可基本杜绝局部高温现象，有效抑制热力型与快速型 NO<sub>x</sub> 的生成，从而实现氮氧化物的超低排放。

#### (2) 实施效果

##### ①环境效益

方案实施前，锅炉废气中 NO<sub>x</sub> 排放浓度约 136mg/Nm<sup>3</sup>；方案实施后，NO<sub>x</sub> 排放浓度降至 25mg/Nm<sup>3</sup>，NO<sub>x</sub> 的处理效率提升了 81.6%，NO<sub>x</sub> 减排量为： $(136\text{mg}/\text{Nm}^3 - 25\text{mg}/\text{Nm}^3) \times 3200\text{m}^3/\text{h} \times 24\text{h}/\text{d} \times 300\text{d}/\text{a} = 2557\text{kg}/\text{a}$ 。

节电量：通过变频器控制风机预计可节约 15% 的用电量，按照企业上年度锅炉风机用电 12.9 万 kWh 计算，年节约电量为： $12.9\text{万 kWh} \times 15\% = 1.94\text{万 kWh}$ ，年减少二氧化碳排放量  $1.94\text{MW} \cdot \text{h}/\text{a} \times 10 \times 0.4403\text{tCO}_2/\text{MW} \cdot \text{h} = 8.54\text{tCO}_2\text{e}/\text{a}$ 。

##### ②经济效益

该方案投资 166.78 万元。电费按照 1 元/kWh 计算，则年节约费用为： $1.94\text{万 kWh} \times 1\text{元}/\text{kWh} = 1.94\text{万元}$ 。

## 案例 2

某化纤织物染整精加工企业，主要生产高档织物面料，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，企业旧燃气锅炉已使用近 18 年，正常运行时，NO<sub>x</sub> 排放浓度在 130~150mg/Nm<sup>3</sup>，不满足锅炉氮氧化物排放需低于 30mg/m<sup>3</sup>的标准要求。

因此企业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 64545m<sup>3</sup>；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 50000m<sup>3</sup>，每月可节约天然气 64545-50000=14545m<sup>3</sup>，节气率： $(64545-50000)m^3 \div 64545m^3 \times 100\% = 22.53\%$ 。

#### ②经济效益

本方案投资 110 万元，主要为更换锅炉。

天然气价格按 3.5 元/m<sup>3</sup>计算，则可节约天然气购买费用 14545m<sup>3</sup>/月×12 月/a×3.5 元/m<sup>3</sup>=610890 元/a，投资回收期为 110 万元÷610890 元/a=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

企业原有一台 4 蒸吨的旧锅炉，其燃烧废气中烟尘、二氧化硫、氮氧化物等污染物排放浓度偏高，且因无法确保燃料充分燃烧，造成了资源浪费。为此，企业将原有 4 蒸吨旧锅炉更换为 4 蒸吨低氮天然气锅炉。

改造方案实施后，新锅炉配备低氮燃烧器并采用烟气再循环技术，通过降低火焰温度与氧含量抑制氮氧化物生成，其排放浓度可控制在 30mg/m<sup>3</sup>以下。此外，企业还新增一套锅炉冷凝水回用系统，将冷凝水回用于锅炉运行，此举既减少了水资源消耗，又有效节约了运营成本。

### (2) 实施效果

#### ①环境效益

方案实施前，旧锅炉的氮氧化物、二氧化硫及烟尘等污染物排放浓度偏高，年排放量亦较大。方案实施后，改用新型低氮燃气锅炉可显著降低污染物排放量；同时，通过冷凝水回用锅炉系统，有效节约了新鲜水用量。

根据统计，企业锅炉冷凝水日排水量约为 4t/d，则节约锅炉用水量  $4\text{t/d} \times 330\text{d/a} = 1320\text{t/a}$ 。

## ②经济效益

本方案投资 60 万元，主要为更换低氮燃烧锅炉。方案主要考虑环境效益，确保污染物排放符合环保要求，经济效益不明显。

# 方案六十九：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

当前，城市污水处理厂所采用的主流处理工艺为活性污泥法。为保障活性污泥中微生物的活性，需通过鼓风曝气工艺，将压缩空气经管道输送至曝气池内的扩散装置，以气泡形态促使氧气快速扩散并溶入污水，为微生物提供充足的氧气供给。

曝气环节常用的鼓风机主要分为三类：一是容积式，如罗茨风机、螺杆风机；二是低速离心式，如多级离心风机；三是高速单级离心式，包括齿轮增速、空气悬浮及磁悬浮离心鼓风机。

空气悬浮与磁悬浮离心鼓风机均属于高速单级离心鼓风机范畴，其叶轮与电机主轴直接相连，省去了传统高速单级鼓风机的增速齿轮箱，还能通过调节转速灵活控制风量，因此相较于传统鼓风机均具备显著的节能优势。

空气悬浮径向轴承的工作原理为：电机主轴高速旋转时带动周围空气产生离心力，迫使主轴与轴承箔片分离，从而实现悬浮。不过，空气悬浮轴承依赖空气支撑，其支撑力有限，且在应对外部变化负荷时抗冲击能力较弱，这不仅会大幅缩短径向轴承的使用寿命，甚至可能直接造成损坏。此外，空气悬浮鼓风机仅能在达到特定转速时实现悬浮，在启停过程中转速偏低，主轴与轴承会存在接触摩擦。

磁悬浮轴承的工作原理为：位移传感器实时检测轴心位移，并将信号传输至控制器；控制器经运算后将位移信号转换为对应的电流信号，磁悬浮轴承则依据电流产生相应电磁力，将偏移的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，主要存在以下差异：其一，磁悬浮离心鼓风机的轴心轨迹可主动调整，始终保持在轴心附近；其二，其在整个运行周期内均能维持轴承悬浮状态；其三，磁悬浮轴承支撑力更强，可承载更大负载；其四，磁悬浮离心鼓风机结构相对复杂，制造成本也更高。

## 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，出厂水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级 A 标准，处理厂排水就地排入河流作为生态补充水。

#### (1) 实施情况

方案实施前，该污水处理厂配备 2 台功率为 110kW 的空气悬浮鼓风机；方案实施后，将这 2 台空气悬浮鼓风机更换为 1 台功率为 200kW 的磁悬浮鼓风机。

磁悬浮鼓风机运用三元流叶轮和磁悬浮高速电机直接耦合驱动，不仅能消除传动损失和多余能耗，还可降低设备运行噪声。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，并为远程监控提供数据端口。企业采购的磁悬浮鼓风机的功率介于 1 台和 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。磁悬浮鼓风机的选型压力低于原空气悬浮鼓风机，更接近高效区间运行，且其本身的运行效率也略高于空气悬浮鼓风机。

#### (2) 实施效果

##### ①环境效益

方案实施前，使用 2 台空气悬浮鼓风机功率均为 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： $[(110 \times 2) - 200] \text{kW} \times 24 \text{h/d} \times 365 \text{d/a} = 17.52 \text{万 kWh/a}$ ，年减少二氧化碳排放量  $17.52 \text{MW} \cdot \text{h} \times 10 \times 0.4403 \text{tCO}_2\text{e/MW} \cdot \text{h} = 77.14 \text{tCO}_2\text{e}$ 。

##### ②经济效益

该方案总投资为 69 万元，电费按 1 元/kWh 计，则可节省电费： $17.52 \text{万 kWh/a} \times 1 \text{元/kWh} = 17.52 \text{万元/a}$ 。

投资回收期： $69 \text{万元} \div 17.52 \text{万元/a} = 3.94 \text{a}$ 。

## 四、过程控制

过程控制对生产过程起到至关重要的作用，反映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，在过程控制方面的实施方案主要集中在工艺参数优化、过程控制水平等方面。

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 方案基础情况一览表

序号	方案编号	方案名称
1	方案七十	真空镀工序 真空镀膜低温工艺
2	方案七十一	原辅料输送工序 NMP 储存输送系统
3	方案七十二	卷材纠正 光电探测器纠偏
4	方案七十三	生产设备 加装感应装置
5	方案七十四	废水处理设施 精确曝气系统替代传统曝气方式

## 方案七十：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：在高真空反应炉内，通过气体放电方式使蒸发的金属与通入的氮气、氩气、乙炔等气体在一定温度下发生离子化反应，生成兼具高硬度与强附着力的氮化物或碳化物薄膜，并附着于工件表面。

镀膜温度对膜层与基体的结合力、膜层组织结构及颜色具有关键影响。由于产品基体性质、膜层质量要求及目标颜色存在差异，镀膜温度需根据实际情况灵活调整。建议企业根据自身产品特性和生产经验进行合理的调整，在确保产品质量要求的前提下，尽可能降低镀膜温度，从而有效减少企业能耗。

### 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。主要生产工艺包括除油/除蜡清洗、中和、冲洗、烘干、真空镀膜、镭雕等。

#### (1) 实施情况

企业采用的镀膜方式是 PVD 真空蒸镀，真空镀膜温度除了影响基体的成膜速度与晶体形态等，还会影响其成膜颜色。

方案实施前，企业的真空镀膜温度设定为 250°C；经过研发部门的反复试验与参数调试，最终在确保产品质量不受影响的前提下，将真空镀膜温度调整至 200°C。方案实施后，在生产同款产品的同等条件下，真空镀膜机的能耗得到了有效的降低。

#### (2) 实施效果

##### ① 环境效益

企业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%。

按照年生产时间为 300d，真空镀膜机每日运行时间 24h，则方案实施后可节约电量： $1682\text{kW} \times 80\% \times 24\text{h} / \text{天} \times 300 \text{天} / \text{a} \times 0.5\% = 4.84 \text{万 kWh/a}$ ，年减少二氧化碳排放量  $4.84\text{MW} \cdot \text{h} \times 10 \times 0.4403\text{tCO}_2\text{e} / \text{MW} \cdot \text{h} = 21.31\text{tCO}_2\text{e}$ 。

##### 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，故不便在此详述。

按电费 1 元/kWh 计算，则可节省电费： $4.84 \text{万 kWh/a} \times 1 \text{元/kWh} = 4.84 \text{万元/a}$ 。

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 4.84 万元/a。

## 方案七十一：原辅料输送工序 NMP 储存输送系统

### 1. 技术原理

N-甲基吡咯烷酮（NMP），分子式为  $C_5H_9NO$ ，相对分子质量 99，沸点  $203^{\circ}C$ ，呈弱碱性，略带氨味，是一种无色至淡黄色透明油状液体，属于氮杂环化合物。它具备化学稳定性佳、热稳定性高、沸点高、黏度低、无腐蚀性、毒性小、挥发性弱及可生物降解等显著优势，可溶解大多数有机与无机化合物、极性气体，以及天然和合成高分子化合物，对人体毒性较低。目前，NMP 已被广泛应用于涂料、锂电池、塑胶、化学药剂生产、农用化学品等领域。

在氧气与水同时存在的条件下，NMP 于  $120\sim 200^{\circ}C$  的低温环境中即可发生水解与氧化反应。因此，NMP 作为溶剂在各领域应用时，通常会在加入 NMP 前向容器内充入惰性气体排净空气，以避免其与空气接触，但这种方法无法杜绝 NMP 与空气及操作人员的接触。

NMP 储存输送系统采用全程密闭设计，能有效避免 NMP 与空气及操作人员接触。该系统通常由 NMP 储液罐、卸车泵、供液泵及车间缓存罐组成：储液罐顶部的进料阀通过卸车泵与罐车连接，将 NMP 从罐车输送至储液罐；底部的下料阀则通过供液泵与车间缓存罐连接，将 NMP 输送至车间缓存罐。

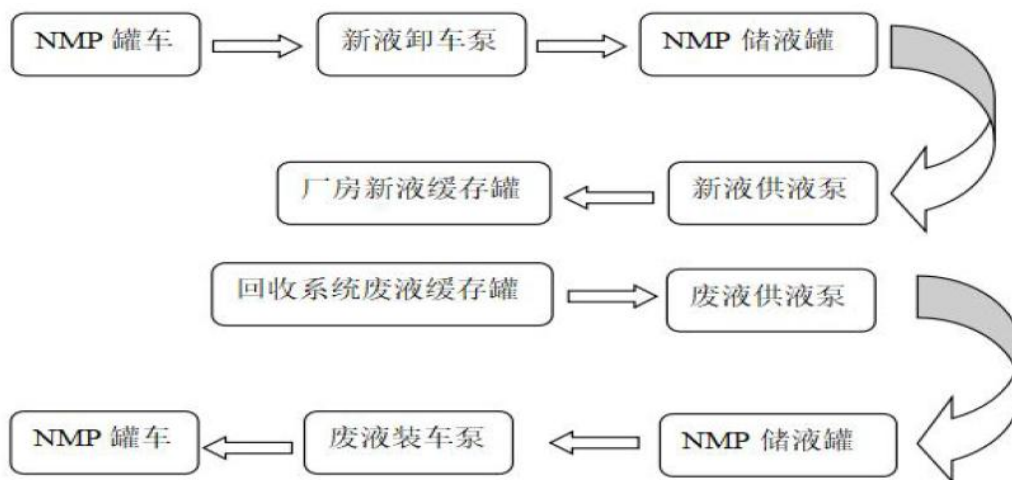


图 4.1 NMP 储存输送系统流程图

### 2. 适用范围

适用于液态/气态原辅料储存输送。

### 3. 应用案例

某锂电池制造企业，主要产品为磷酸铁锂电池，生产工艺包括正负极配料、涂布、辊压、烘烤、分条、卷绕、极耳焊接、注液、化成、在线擦拭、老化、分容、检测、配组、出货等。

## (1) 实施情况

方案实施前,企业 NMP 溶剂采用人工桶装运输方式,配料过程中通过取料管抽取 NMP 至搅拌机;冷凝回收的 NMP 废液经泵输送至 200L 桶内,这些过程均会产生少量 VOCs,同时也存在操作人员与 NMP 的直接接触风险。

配料环节产生的无组织废气可通过车间内废气收集系统导入废气处理设施;但废液池在室外,无组织废气无法得到有效收集处置。

因此,企业新增一套 NMP 储存输送系统,通过全密闭管道实现物料的输送与回收,以减少 NMP 使用及废液转存过程中 VOCs 的无组织排放,并降低操作人员与 NMP 的接触风险。

## (2) 实施效果

### ①环境效益

本方案的实施可有效减少 NMP 使用量及优化废液转存流程,有效降低了 VOCs 的无组织排放;根据核算,在产能保持不变的情况下,每年可减少 VOCs 无组织排放约 2t。

### ②经济效益

本方案总投资 300 万元,无明显直接经济效益,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。

## 方案七十二: 卷材纠正 光电探测器纠偏

卷材类产品的生产和加工过程中,平整性和一致性是至关重要的。如果发生变形或者偏移,将导致后续产品皱褶、交错等不一致的差错,影响后续加工工序。为了避免出现残次品,可使用光电探测器对加工过程进行纠偏。

### 1.技术原理

光电探测器一般由传感器、控制器及驱动装置等核心部件组成,其工作原理为:借助光电传感器实时探测被测产品的边缘或线条,读取卷材实际位置与设定位置的偏移量,并将测得的实时误差信号传送至控制器;控制器经数据逻辑运算处理后,生成与偏移量成正比的控制信号;该信号经放大、校准后输出至驱动装置,驱动装置则根据信号强度,驱动纠偏导正机构,将偏离标定位置的被测物精准纠正至设定位置。

### 2.适用范围

适用于卷筒材料的横向跑偏控制。

### 3.应用案例

某包装装潢及其他印刷企业,主要生产烟标、酒盒、电子消费产品和药品包装品,生产工艺包括印前处理、CTP 制版、显影、定影、冲版、涂胶、烤版、印刷、表面处理(上光、覆膜、烫金、丝印)、裱纸、模切、粘盒、手工制作和包装等。

## (1) 实施情况

方案实施前，企业采用超声波探测器开展卷材纠偏工作。该方式通过探测器发射超声波信号，当信号接触卷材后，借助测量信号的时间差与回声强度，判断卷材是否偏离目标位置，从而决定是否通过控制器启动纠偏动作。但超声波纠偏受环境干扰较大，精度相对有限，易产生偏差，进而影响产品质量。

方案实施后，企业改用光电探测器进行卷材纠偏。其原理是通过光电传感器捕捉光线接收位置，判断卷材是否偏离目标位置，以此决定是否启动纠偏操作。光电纠偏不仅精度显著提升，在高速运转状态下也能保持稳定，有效保障了产品质量。

## (2) 实施效果

### ①环境效益

方案实施后，通过采用光电探测器进行纠偏，精度显著提升，有效解决了超声波探测器纠偏不准的问题，不仅提高了产品定位的精准度、提升了产品质量，还减少了卷材报废量。

### ②经济效益

本方案可有效提升成品率，间接增加了企业收入并改善了企业形象。

## 方案七十三：生产设备 加装感应装置

### 1.技术原理

在连续运转的生产线上加装感应装置，该装置可利用电磁感应、温度感应或接触传感等原理，感应工件是否进入该工序区域或生产线对应工位，进而选择性地决定是否启动后续工序，实现生产线部分环节或全流程的自动启停功能，从而降低能源消耗与资源浪费。

### 2.适用范围

适用于连续进行的工序或自动线，如磨板、清洗等工序；也可用于槽液自动加热。

### 3.应用案例

某电子电路制造企业，主要生产 PCB 线路板，生产工艺包括化学镍金、电镀镍金等。

#### (1) 实施情况

企业主要在磨板工序及清洗工序安装感应装置，实现无板启停功能。

##### 1) 磨板工序加装感应探头

方案实施前，线路板生产过程中存在间断进板的情况，老式磨板机在无板状态下仍持续加热送风与进水，造成水电资源浪费。

方案实施后，在磨刷机输送带上加装感应探头，并在控制面板程序中预设自动启停参数；当输送带连续 180 秒（企业设定时长）未进板时，设备将自动停止热风加热与进水供应。

## 2) 清洗工序加装电磁阀

方案实施前，清洗槽水源与溢流水洗槽之间的阀门需人工手动开启，且一旦开启便需持续至当日生产任务结束方可关闭，导致水资源浪费。

方案实施后，将 LC 控制器安装于自动线首端，电磁气动阀装在注水管路上以控制水流通断；电磁气动阀接入 LC 控制器后，工件到达过水槽时，控制器可根据工件数量智能控制阀门开启，向过水槽精准补水；工件清洗完毕后，阀门自动停止补水。此过程有效减少了新鲜水用量与废水产生量。

## (2) 实施效果

### 1) 磨板工序

①环境效益：方案实施后，磨板机每日可节约新鲜水量约  $3\text{m}^3$ ，则节约新鲜水量  $3\text{m}^3/\text{d} \times 330\text{d}/\text{a} = 990\text{m}^3/\text{a}$ ；使用自动启停功能后，每天可节省用电量  $12\text{kWh}$ ，则节省用电量  $12\text{kWh} \times 330\text{d}/\text{a} \times 2\text{台} = 7920\text{kWh}/\text{a}$ ，年减少二氧化碳排放量  $7.92\text{MW} \cdot \text{h}/\text{a} \times 0.4403\text{tCO}_2/\text{MW} \cdot \text{h} = 3.49\text{tCO}_2\text{e}$ 。

②经济效益：该改造方案投资 0.8 万元。

按照新鲜水 5 元/ $\text{m}^3$ ，用电 1 元/ $\text{kWh}$  计算，则可节约水费  $990\text{m}^3/\text{a} \times 5\text{元}/\text{m}^3 = 4950\text{元}/\text{a}$ ，节约电费  $7920\text{kWh}/\text{a} \times 1\text{元}/\text{kWh} = 7920\text{元}/\text{a}$ 。共计经济效益 12870 元/a，投资回收期约  $0.8 \div 1.287 = 0.6\text{a}$ 。

### 2) 清洗工序

①环境效益：方案实施后，电磁气动阀可以根据生产线上线路板的数量，自动控制溢流，每月可节约新鲜水用量  $20\text{m}^3$ ，则可节约新鲜水用量  $20\text{m}^3/\text{月} \times 12\text{月}/\text{a} = 240\text{m}^3/\text{a}$ 。

②经济效益：该改造方案投资 0.3 万元。按照新鲜水 5 元/ $\text{m}^3$  计算，则可节约水费  $240\text{m}^3/\text{年} \times 5\text{元}/\text{m}^3 = 1200\text{元}/\text{a}$ ，投资回收期约  $0.3 \div 0.12 = 2.5\text{a}$ 。

## 方案七十四：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仍依赖手动模式：操作人员需凭借经验启停或调节一定数量的鼓风机与曝气器，以此调节溶解氧（DO）浓度。这对操作人员的运行经验提出了较高要求，若调整不及时，不仅会增加曝气电耗，还可能影响处理效果。

“精确曝气系统”则是将计算机与仪表控制技术统一集成于自动化污水处理系统中，通过动态优化和调整曝气、回流等核心运行参数，实现污水厂稳定运行的目标，不仅能大幅降低运行电耗与人工成本，还能确保处理效果的稳定可靠。

传统鼓风机曝气存在以下不足：

(1) 存在时间延迟性：从曝气启动到池内 DO 浓度发生变化存在一定滞后，导致 DO 值波动显著；

(2) 为保障安全运行,生物池 DO 值往往需维持在较高水平,造成曝气量浪费,进而推高曝气系统能耗。

与传统曝气方式相比,精确曝气具有以下特点:

(1) 可稳定控制生物池 DO 浓度,控制精度能优化至工艺要求设定值的 $\pm 0.5\text{mg/L}$ ,有效提升生化处理效率,保障出水稳定达标;

(2) 可解决生物池曝气不均问题,合理分配气量,显著降低阀门与鼓风机的调节频率,使鼓风机维持稳定功率供气,保障曝气系统安全稳定运行;

(3) 提升污水厂自动化水平,实现 DO 浓度这一关键过程参数的精准可控;

(4) 大幅缩短工艺运行调节时间;

(5) 显著增强污水厂抗负荷冲击能力;

(6) 减轻工作人员劳动强度,提升污水厂整体运行效率。

## 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  $\text{m}^3/\text{d}$ ,占地 16.32 公顷;远期处理规模 80 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ,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 A2/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

方案实施前,厂区原采用传统曝气方式,操作人员需凭借经验,通过启停若干鼓风机与曝气器调节曝气池 DO 浓度,不仅易导致过曝气现象,还会增加能耗。

方案实施后,厂区引入精确曝气氨氮控制系统,通过对比现场 DO 实际值与设定值,自动调节对应风量调节阀开度,以风量控制实现 DO 浓度精准调控,最终达成曝气过程的自动化控制。

### (2) 实施效果

#### ①环境效益

相较于传统曝气方式,采用精确曝气技术后,可将水中溶解氧(DO)浓度精准维持在设定区间,生物池内氨氮浓度稳定控制在  $2\text{mg/L}$  以下,出水氨氮浓度则稳定维持在  $1.5\text{mg/L}$  以内。精确曝气技术可有效避免因 DO 值波动对处理效果造成的不利影响,进一步改善出水水质,确保各项指标稳定达标排放。

方案实施后,鼓风机用电占比降至 36%,同比下降 16 个百分点;千吨水综合电单耗为  $202.2\text{kWh}/\text{km}^3$ ,同比下降 12%;千吨水电耗为  $72.88\text{kWh}/\text{km}^3$ ,同比下降 26%,各项能耗指标均实现大幅降低。根据测算,方案实施后,年节约电量为 280 万 kWh。

#### ②经济效益

本方案总投资额为 120 万元，主要用于引入精确曝气氨氮控制系统及开发自动控制系统。

按电费 1 元/kWh 计算，每年可节省电费 280 万元。此外，精确曝气系统可实时调控池内 DO 浓度，避免因时间延迟导致的 DO 值波动，确保池内生物环境持续稳定；同时，自动化控制的应用有效降低了人力成本。

## 五、废弃物处置

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。

废弃物产生量较大的主要原因有：

- 1.对可利用废弃物没有进行循环使用；
- 2.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，在废弃物处置方面已实施方案主要集中在废水、废液的处理处置及废气治理等方面。

结合各方案实施情况及实施效果，本技术汇编对废水、废液的处理处置及废气治理等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 方案基础情况一览表

序号	类型	方案编号	方案名称
1	(一) 废水(液)的收集与处理	方案七十五	高浓度废水分类收集处理
2		方案七十六	含重金属废水治理 电絮凝处理重金属废水
3		方案七十七	脱硫废水治理 脱硫废水综合利用改造
4		方案七十八	废水处理 增设硝化液回流装置
5		方案七十九	废水处理 废水资源化利用
6		方案八十	废水深度处理零排放处理系统
7		方案八十一	废水处理 废水处理站智能化改造
8	(二) 废气的收集与处理	方案八十二	有机废气收集 提高废气收集效率
9		方案八十三	废气收集与治理 废气收集及处理设施增加延时控制装置
10		方案八十四	废气治理 抑雾剂
11		方案八十五	废气处理 TVOC 吸收剂
12		方案八十六	有机废气治理 冷凝法处理有机废气
13		方案八十七	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
14		方案八十八	废气处理 含氨废气处理
15		方案八十九	废气处理 氯化氢处理
16		方案九十	污水站废气治理 污水处理系统废气收集与治理
17	(三) 危废减重	方案九十一	污泥压滤机改造
18		方案九十二	渗滤液浓缩液处理
19		方案九十三	增设膜渣减重机
20		方案九十四	高浓度废液低温蒸馏浓缩减量
21		方案九十五	蒸馏浓缩分离技术处理工业废液

序号	类型	方案编号	方案名称
22		方案九十六	废清洗液蒸馏回收与循环利用
23	(四) 废弃物回用	方案九十七	膜分离法回收利用除蜡液
24		方案九十八	切削工序 废切削液在线回用
25		方案九十九	显影工序 显影液循环过滤回用
26		方案一百	微蚀工序 微蚀液循环再生
27		方案一百零一	退锡工序 退锡水循环利用
28		方案一百零二	镀镍工序 电镀镍回收系统
29		方案一百零三	电镀含银废水回收金属银
30		方案一百零四	危废处理 活性炭脱附再生系统
31		方案一百零五	冷凝水回用 洗水车间冷凝水回用
32		方案一百零六	铜粉回收 磨板清洗工序加装铜粉回收机
33		方案一百零七	印刷工序 润版液过滤循环回用
34		(五) 碳捕集、利用与封存	方案一百零八
35	方案一百零九		碳捕集、利用与封存 微藻固碳项目

## (一) 废水(液)的收集与处理

### 方案七十五：高浓度废水分类收集处理

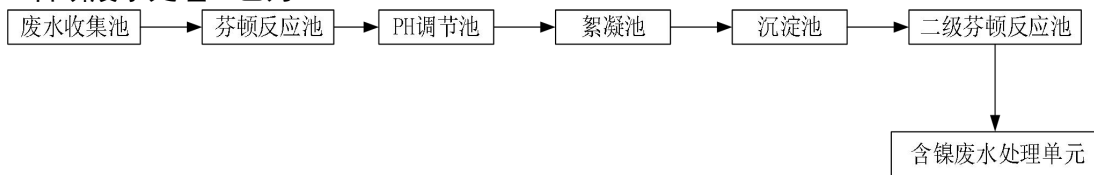
#### 1. 技术原理

电镀企业常规的废水处理工艺通常将电镀废水划分为四类：含铬废水、含镍废水、含氰废水和综合废水。对于设有化学镀镍工序的企业而言，其化学镀镍环节产生的废水中总磷浓度较高，且处理难度较大；若直接混入含镍废水预处理系统，会显著增加后续处理的难度。同理，含硝酸废水的总氮浓度较高，若直接混入综合废水处理系统，同样会加大后续处理的难度。为提升废水中总氮与总磷的处理效率，可对废水进行进一步的分类细化，将总磷浓度较高的化学镍废水及总氮浓度较高的含硝酸废水单独进行处理。

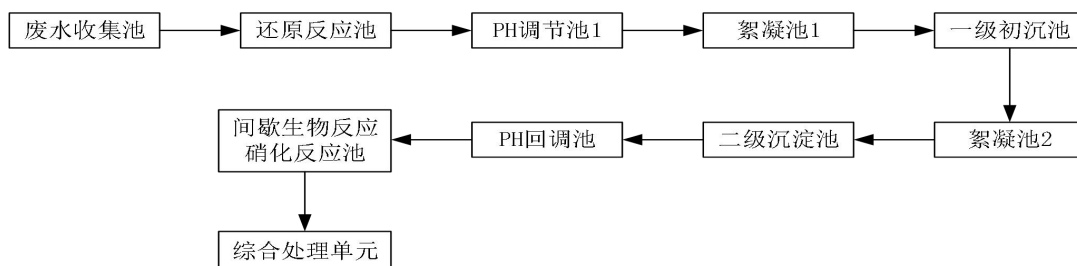
含磷废水处理单元主要采用芬顿氧化法开展预处理，随后汇入含镍废水处理单元。

含硝酸废水中含有铬、铅等重金属离子，因此采用“物化+沉淀+生物反硝化反应”相结合的处理方式：先通过还原、沉淀去除重金属离子，再利用生物反硝化工艺脱氮；预处理后的废水将进入综合废水处理系统的水解酸化单元继续处理。

含磷废水处理工艺为：



含硝酸废水处理工艺为：



对比常见的废水处理工艺，该方案的废水分类更为细化。通过将高浓度废水分类收集处理，提高了污染物去除率，减少了后续废水处理难度，降低了企业超标排放风险。

## 2.适用范围

该方案提供了一种思路，便是将高浓度废水分类收集处理，其他存在高浓度、难处理废水的企业也可以采用该思路，提高污染物去除率。

## 3.应用案例

某金属表面处理及热处理加工企业，主要生产五金制品、电子配件、饰品、汽车配件、手机外壳等，生产工艺包括：阳极氧化、连续线镀镍、化学镀镍、真空镀等。

### (1) 实施情况

该企业生产过程中产生四类废水，分别为含铬废水、含镍废水、含氰废水和综合废水，处理方式为各类废水经各自处理单元预处理后，排入综合废水池处理。原废水处理站主要根据原生产工艺及原辅材料消耗量进行设置，且当时环保部门对总氮、总磷的排放浓度限值要求不高，故未将含硝酸废水、含磷废水进行单独收集处理，造成废水总排口总氮、总磷的出水浓度略高。

原处理工艺流程如下：

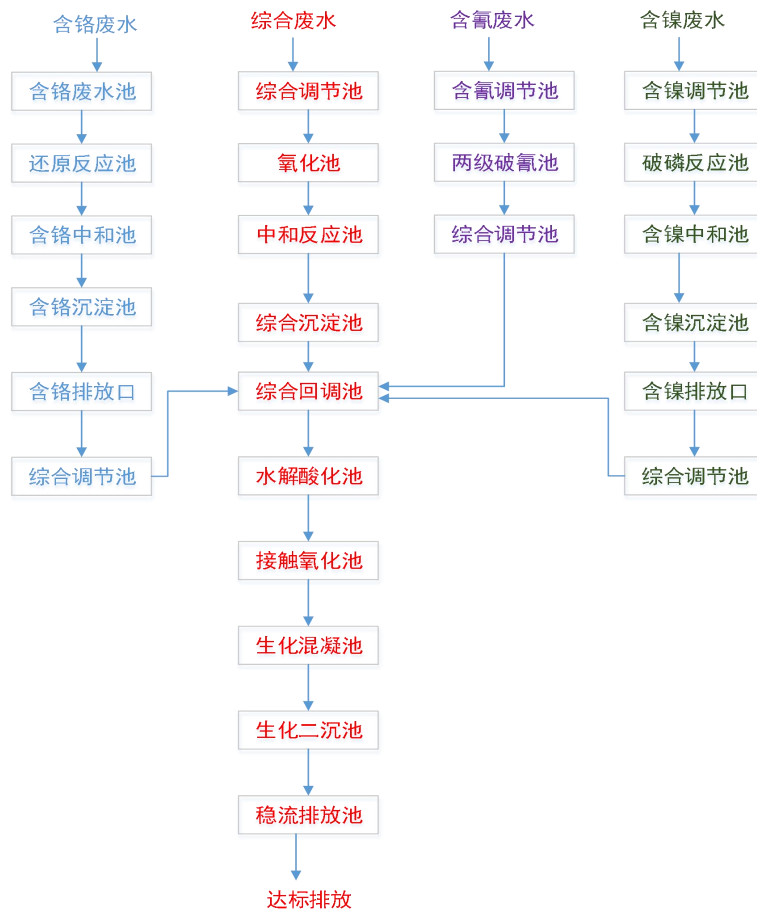


图 5.1 改造前废水处理工艺示意图

由于客户对产品品质要求逐渐升高，需要镀化学镍的产品产量增加，原辅材料也随之变化，造成废水中的总氮和总磷的含量逐渐升高，为保证总氮、总磷的稳定达标排放，企业针对阳极氧化的化抛工序和退镀等工序中产生的含硝酸废水和化学镍工序产生的含磷废水分别设置预处理系统，经过预处理后的废水分别进入综合废水处理单元和含镍废水处理单元。

改造后废水处理工艺流程图详见图 5.2。

## (2) 实施效果

### ① 环境效益

车间废水分类收集处理后排放，污染物减排效果明显，总氮、总磷能够稳定达标排放。根据企业实际运行效果分析，实施前后，总氮去除效率由 33% 提升至 62.5%，总磷去除效率由 91% 提升至 99.8%。

### ② 经济效益

企业增设预处理单元，改造原污水处理站等各类投资总计 465 万元，无明显直接的经济效益。

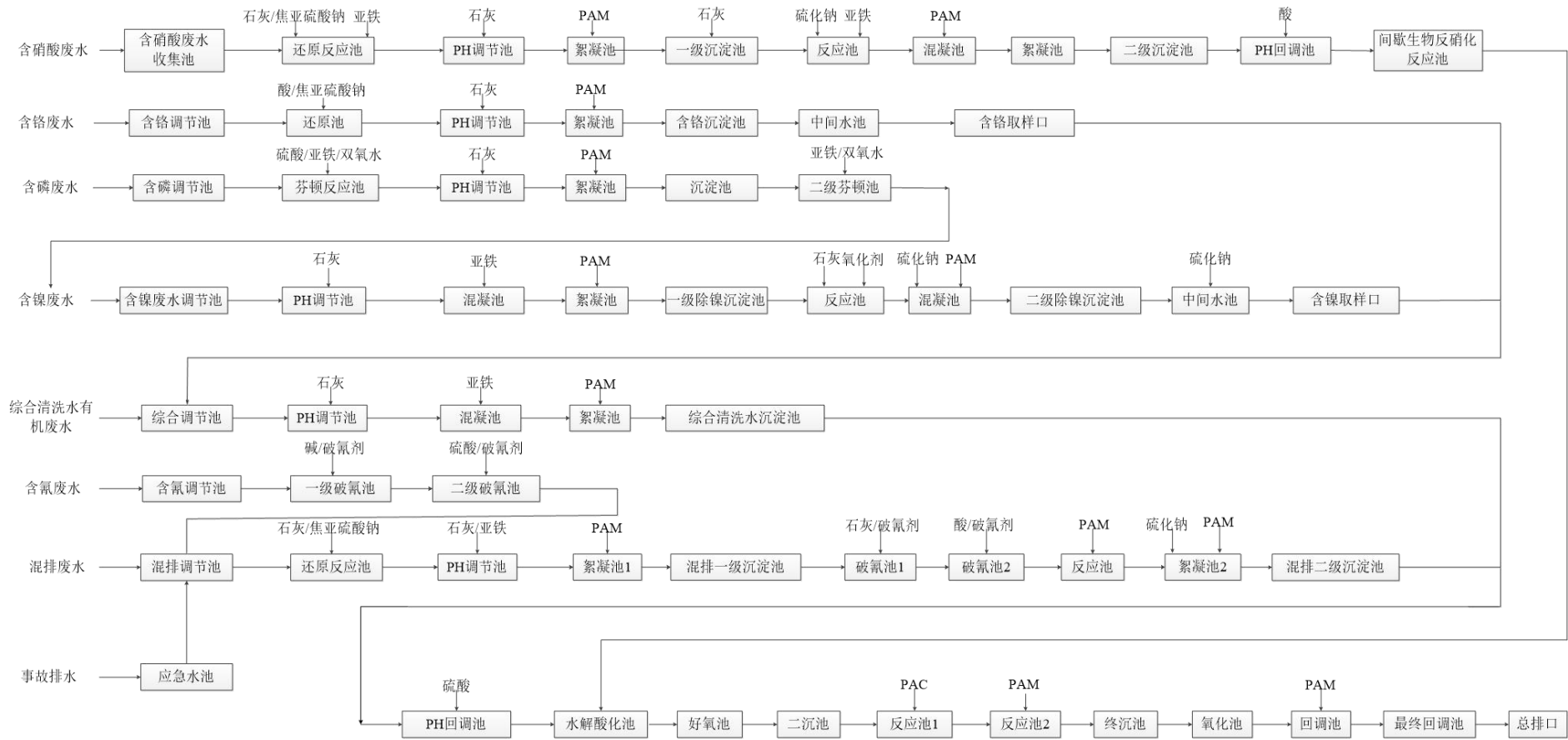


图 5.2 改造后废水处理工艺示意图

## 方案七十六：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，可采用电絮凝法对重金属废水进行预处理。

### 1. 技术原理

电絮凝是一种以电能替代化学试剂，有效去除水中重金属、悬浮固体和有机物等污染物的电化学过程。该过程可实现氧化还原、絮凝与气浮等多种处理效果，既能保障后续生化池内微生物的活性，又能显著降低生化池的 COD 运行负荷。

电絮凝法主要通过调控废水 pH 值、电极间距、电流密度及电絮凝时间等关键参数，促使电极发生水解反应，生成高活性多核羟基化合物，该化合物能高效吸附或凝结水中的分散颗粒与重金属离子，使网捕效果最大化；同时，电解过程产生的絮凝剂吸附能力更强，相比化学絮凝更易捕获水中有机物，且电絮凝本身对有机物还兼具氧化还原作用。

### 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，主要产品为高档手袋扣、浴室配件等，生产工艺包括压铸成型、冲压、打磨、电镀和组装等。

#### (1) 实施情况

方案实施前，企业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，企业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 5m<sup>3</sup>/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有明显下降，削减了生化池 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，企业年使用 PAC19.37t，PAM<sup>3</sup>.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  $19.37t/a \times 40\% = 7.75t/a$ ，PAM 减少量  $3.96t/a \times 40\% = 1.58t/a$ ；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  $7.75t/a \times 1\% = 0.08t/a$ ；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  $5.98t/a \times 20\% = 1.2t/a$ 。

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。

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。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%。

## 方案七十七：脱硫废水治理 脱硫废水综合利用改造

### 1.技术原理

燃煤电厂脱硫废水具有如下特性：①呈弱酸性，pH 值范围为 4.5~6.5；②含盐量高且浓度波动范围广，通常在 20~50g/L；③硬度（钙镁离子浓度）高，结垢风险突出；④悬浮物含量高，一般为 20~60g/L；⑤成分复杂，水质波动大；⑥氯离子含量高，腐蚀性强且回用难度大。因此，脱硫废水是燃煤电厂中成分最复杂、处理难度最大的废水类型，也是实现电厂废水零排放目标的关键。

脱硫废水的处理方式主要包括：

#### (1) 蒸发结晶

蒸发结晶技术通过使废水中的水分汽化，让杂质固化为结晶盐后外排处置，以此实现废水零排放。蒸发结晶系统通常由结晶器、强制循环泵、离心机、干燥器、打包机等设备组成。实际工程中，结晶常与蒸发联用，核心技术为 MVR（机械再压缩蒸发结晶）和 MED（多效蒸发结晶）。其中，MVR 通过机械驱动压缩机将蒸发器产生的蒸汽压缩至较高压力，即借助再压缩机为蒸汽补充能量，使二次蒸汽得以重复利用。该技术将少量电能转化的机械能注入工艺加热介质，形成连续循环，无需一次蒸汽作为加热源，避免了能源浪费，可节约 85%的能源，是目前应用广泛、工艺成熟的结晶工艺，耗电量约为 50~80kWh/m<sup>3</sup>废水。MED 的核心原理是利用前一效产生的蒸汽作为后一效的加热蒸汽，依此重复利用可进一步降低鲜蒸汽消耗。整个传热过程中，第一效的高加热温度与后一效的低沸点温度形成总温差，并分配至各效；但随着效数增加，温差逐渐减小，为保证蒸发效率需依次增大换热面积，导致投资成本显著上升。

结晶设备产出的结晶盐多为杂盐，通常难以回用。不过，可利用 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 与 NaCl 溶解度随温度变化的差异，通过控制结晶器不同效段的工况实现二者分离，为后续电解制氯提供 NaCl 原料。

#### (2) 烟道蒸发

烟道蒸发技术通过气液两相流喷嘴雾化脱硫废水，将其喷入空预器与除尘器之间的烟道；借助烟气余热，废水得以完全蒸发，其中的污染物转化为结晶物或盐类，随飞灰一同被除尘器捕集。该

技术具有无液体排放、不产生额外固体废物、无二次污染的显著优势，且建设与运行成本低、占用空间小。

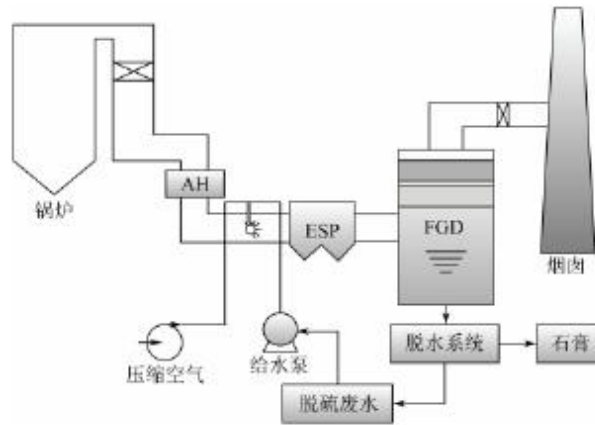


图 5.3 脱硫废水烟道蒸发工艺流程图

### (3) 电解制氯

电解制氯技术是通过整流变压器与整流器，将交流电经变压、整流转换为直流电，施加于电解槽的阴极与阳极；进样液中的  $\text{Cl}^-$  在阳极被氧化为  $\text{Cl}_2$ ， $\text{H}^+$  则在阴极被还原为  $\text{H}_2$ 。反应机理如下图所示。

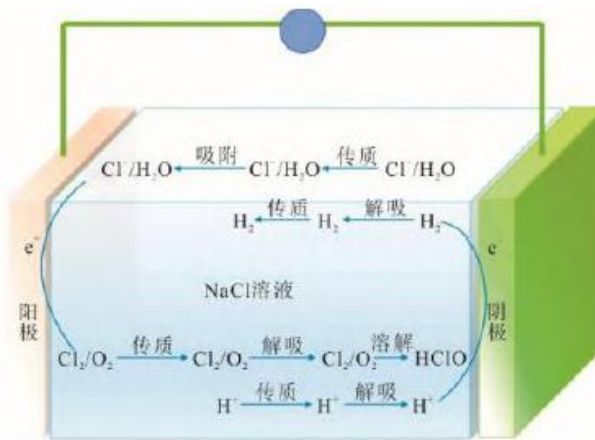


图 5.4 电解制氯工作原理图

电解制氯技术的初始投资成本相对较低，处理量大，运行成本亦较为低廉，其主产物次氯酸钠更具备多维度的应用潜力，使得该工艺拥有显著的竞争优势。

## 2. 适用范围

在满足环境管理的前提下，可用于脱硫废水处理。

### 3.应用案例

某火力发电企业，生产工艺包括：输煤、燃烧、热力、发电、除灰渣。

#### (1) 实施情况

为实现脱硫废水的科学合理利用，降低环保风险，打破大量脱硫废水回用输煤的恶性循环，同时解决脱硫废水含固量对其处理系统达标运行的影响、石灰乳加药系统吸潮板结堵塞等问题，企业决定采用蒸发结晶、烟道蒸发、电解制氯等多技术联用的方式，对脱硫废水开展综合利用与升级改造。

#### (2) 实施效果

##### ①环境效益

脱硫废水实现零外排，有效降低对土壤、水体等生态环境的污染风险，既能实现水资源的梯级循环利用，又能显著节约水资源。

##### ②经济效益

本方案总投资为 1516.6 万元。方案实施的主要是降低脱硫废水对环境的负面影响，因无明显经济效益。

## 方案七十八：废水处理 增设硝化液回流装置

从“十三五”期间开始，我国逐步加强总氮总量控制，其中深圳市属于总氮控制区。排污许可证核发初期，由于当时主要依据企业环评及批复文件开展核发工作，大量企业未被要求管控废水总氮指标，导致企业设计、建设废水处理站时未考虑废水总氮的去除，使得现阶段企业废水面临总氮超标的困境。本方案在不对原有废水处理设施大改的情况下，通过增设硝化液回流装置，有效实现废水总氮的去除。

### 1.技术原理

硝化液回流指的是将曝气池中经硝化反应生成的硝态氮回流至反硝化池，为反硝化过程提供化合态氧，从而推动反硝化反应的进行。

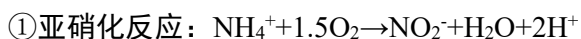
在 AO 工艺中，硝化液回流通常是将好氧池经硝化反应生成的硝态氮回流至缺氧池，供反硝化菌发挥反硝化作用，进而实现废水总氮的去除。传统生物脱氮的机理主要包含三个核心环节：氨化、硝化与反硝化。

#### (1) 氨化

废水中的含氮有机物，在生物处理过程中被好氧或厌氧异养型微生物氧化分解为氨氮的过程。

#### (2) 硝化

废水中的氨氮在硝化菌（好氧自养型微生物）的作用下被转化为  $\text{NO}_2^-$  和  $\text{NO}_3^-$  的过程。硝化反应分为两步进行：亚硝化和硝化。硝化反应过程方程式如下所示：



②硝化反应： $\text{NO}_2^- + 0.5\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^-$

③总的硝化反应： $\text{NH}_4^+ + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+$

### (3) 反硝化

废水中的  $\text{NO}_2^-$  和  $\text{NO}_3^-$  在缺氧条件下以及反硝化菌（兼性异养型细菌）的作用下被还原为  $\text{N}_2$  的过程。反硝化反应过程分三步进行，反应方程式如下所示（以甲醇为电子供体为例）：

第一步： $3\text{NO}_3^- + \text{CH}_3\text{OH} \rightarrow 3\text{NO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$

第二步： $2\text{H}^+ + 2\text{NO}_2^- + \text{CH}_3\text{OH} \rightarrow \text{N}_2 + 3\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$

第三步： $6\text{H}^+ + 6\text{NO}_3^- + 5\text{CH}_3\text{OH} \rightarrow 3\text{N}_2 + 13\text{H}_2\text{O} + 5\text{CO}_2$

由以上反应可知，好氧池中主要进行硝化反应，可针对废水中的氨氮进行去除；缺氧池中主要进行反硝化反应，可针对废水中总氮进行去除。本方案通过增设硝化液回流装置，可针对废水中的总氮进行去除。

一般来说，可通过控制硝化液的回流比来优化反硝化作用的效果。通常，当硝化液回流比控制在 100%~400%、缺氧池溶解氧控制在 0.5mg/L 以下、温度控制在 20~40°C、pH 控制在 8~8.6 时具有较好的反硝化效果。

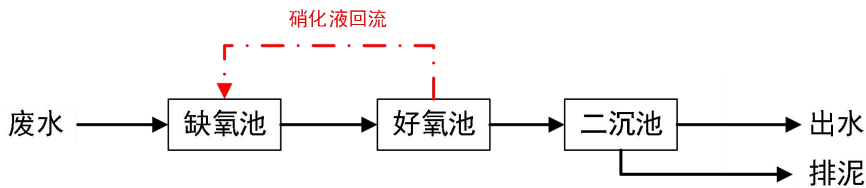


图 5.5 硝化液回流示意图

## 2.适用范围

适用于已建成运行使用 AO 等活性污泥法的废水处理工艺且未设置硝化液回流的废水站，需增设废水总氮控制指标时，可考虑本方案。

## 3.应用案例

某金属制造企业，主要生产机箱、散热片等五金产品，生产工艺包括冲压、压铆、焊接、丝印、CNC 等。

### (1) 实施情况

企业废水站的主体工艺为 A2/O，未设置硝化液回流工艺，导致企业废水总氮超标排放，受到行政处罚。为有效去除废水中总氮，企业对废水站增设硝化液回流装置。

企业在废水站外侧合适的厂房地面铺设托盘，于托盘内设置硝化液收集桶，收集桶通过管道分别连接好氧池与缺氧池，以实现好氧池末端硝化液向缺氧池入口的回流。同时需控制以下参数：流量速率为 3m<sup>3</sup>/h；定期投加硝化菌；回流比控制在 30%~40%。

## (2) 实施效果

### ①环境效益

方案实施前，废水站未设置硝化液回流装置，出水总氮浓度约为 30mg/L，面临废水超标排放的风险。

方案实施后，通过增设硝化液回流装置，对废水总氮进行去除。稳定运行后，出水总氮浓度降至 20mg/L 左右，有效提升了废水总氮去除效率。

### ②经济效益

本方案共计投入 5.38 万元。本方案通过在废水站增设硝化液回流装置，有效降低了废水站出水总氮浓度，避免了因废水总氮超标而导致的行政处罚，无直接经济效益。

## 方案七十九：废水处理 废水资源化利用

近年来，我国污水处理事业蓬勃发展。为推动废水资源化利用、降低污水处理厂运营成本，生态环境部先后发布《关于进一步规范城镇（园区）污水处理环境管理的通知》（环水体〔2020〕71号）、《啤酒工业污染物排放标准》（GB 19821-2005）修改单及《发酵酒精和白酒工业水污染物排放标准》（GB 27631-2011）修改单等文件，鼓励污水处理厂运营单位与纳管企业通过签订委托处理合同等形式，约定水污染物间接排放浓度限值，并将其作为监督执法的依据。

在此政策背景下，部分企业与污水处理厂签订纳管协议，让污水处理厂通过“喝啤酒、喝豆汁”等形象化途径获取优质碳源。这一举措不仅降低了企业生产废水的处理成本，还节省了污水处理厂购置碳源的费用，协同助力污水处理厂稳定运行。

### 1.技术原理

污水处理厂的核心处理能力，很大程度上取决于生化单元内微生物对有机物的降解效能。一般情况下，污水处理厂进水的 COD 浓度为 200~400mg/L，BOD<sub>5</sub> 浓度 100~200mg/L，总氮浓度 20~40mg/L；B/C 比介于 0.3~0.6 之间，可生化性良好；C/N 比在 5~8 范围内，基本能满足微生物脱氮需求。然而，在温度波动、雨水汇入等特殊情况下，污染物浓度被稀释，微生物对碳源的消耗加快，易导致 C/N 比降至 4 以下，引发碳源短缺。为维持微生物的代谢活性，提升有机物降解速率与脱氮除磷效率，需额外购置碳源并投加至生化单元，为微生物补充能源。

啤酒、发酵酒精、白酒、豆制品等生产企业的废水，COD 浓度达 800~5000mg/L，BOD<sub>5</sub> 浓度 500~2500mg/L，总氮浓度 30~100mg/L，总磷浓度 5~50mg/L；B/C 比 0.4~0.6，C/N 比 10~30。这类废水可生化性优异，含碳量高，氮磷浓度低且无毒无害，能为污水处理厂补充优质碳源，助力其稳定运行。

若将这类含优质碳源的企业废水直接排入污水处理厂，既能帮助企业降低污水处置成本，推动工业废水资源化、生态化利用，实现经济效益与环境效益的双赢；又能有效缓解污水处理厂碳源短缺问题，提升进水浓度，可谓一举两得、互惠互利的绿色低碳之举。

## 2.适用范围

适用于啤酒、发酵酒精、白酒、糖果、豆制品等食品行业，其产生的不含有毒有害污染物的高浓度有机废水在符合相关标准的前提下，可与周边邻近污水处理厂协商并签订相关协议，直接纳管进入污水处理厂进行资源化利用。

## 3.应用案例

某豆制品制造企业，主要生产豆腐、豆干和豆浆等，生产工艺包括脱壳碾碎、浸泡、磨浆、豆渣分离、煮浆、成型、切块、卤制、油炸和包装等。

### (1) 实施情况

企业生产废水主要产生于豆类浸泡、设备清洁等生产工序，废水中有机物浓度高，可生化性较好。方案实施前，企业采用“隔油+生化+混凝沉淀”的组合工艺处理废水，确保达标后排放。方案实施后，企业与污水处理厂积极协商，经双方共同认定，企业废水具备一定的资源回收利用价值，随即签订《生产废水委托处理协议》；企业同步梳理并改造厂区内管道系统，将废水直接通过管道输送至污水处理厂。

### (2) 实施效果

#### ①环境效益

方案实施后，企业废水可直接通过市政污水管网输送至污水处理厂实现资源化利用，无需自行处理，既减少了企业在废水处理环节的资源与能源消耗，也规避了因废水处理不达标可能引发的环境处罚风险。

#### ②经济效益

本方案共计投资 8.07 万元，主要为厂区内管道改造费用。

方案实施前，企业的生产废水进入厂区自建废水处理设施处理，处理成本约 9.5 元/t，按照日处理 112t/d，年运行 250 天计算，则运行成本为  $9.5 \text{ 元/t} \times 112 \text{ t/d} \times 250 \text{ d/a} = 26.6 \text{ 万元/a}$ 。

方案实施后，企业的生产废水不再自行处理直接经市政管网进入污水处理厂，每年可节约废水处理成本 26.6 万元。

本方案的投资回收期约 0.3 年。

## 方案八十：废水深度处理零排放处理系统

### 1.技术原理

增设深度处理系统：综合废水经物化沉淀、生化处理有效去除有机物后，进入深度处理系统。该系统工艺流程为：“砂滤+精滤+UF+二次 RO 浓缩+DTRO 浓缩+多效蒸发器”。废水经四次膜处理后直接回用于生产；膜过滤产生的浓水进入蒸发系统浓缩减量，蒸发冷凝水回用生产，蒸发后的固形物或母液委托具备资质的企业进一步处置，最终实现废水零排放。

工艺流程示意图：

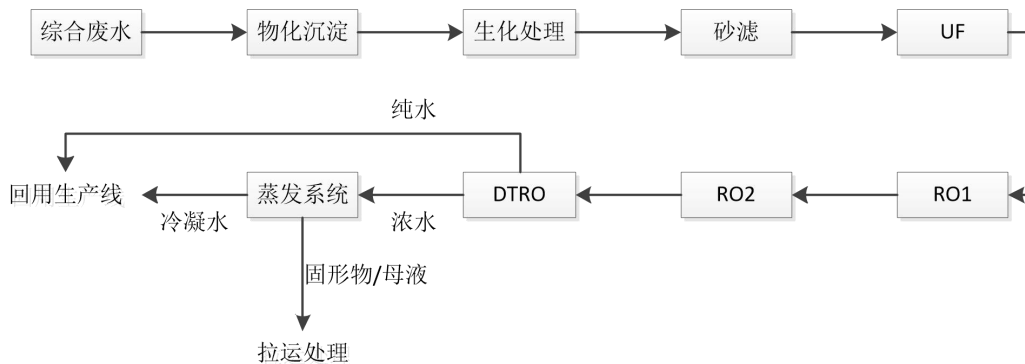


图 5.6 废水深度处理流程图

本方案针对浓水的蒸发浓缩环节，采用了多效蒸发器。其核心原理在于：蒸发过程中产生的二次蒸汽不仅产量可观，还蕴含大量潜热，具备极高的回收利用价值。若将二次蒸汽导入后续蒸发器的加热室，只要后者的操作压强与溶液沸点低于前一效蒸发器，则通入的二次蒸汽便能继续发挥加热功效。随着效数的增加，传热过程中的温度差损失会逐步增大，不仅导致蒸发器生产强度显著下降，设备投资成本也会成倍攀升。基于上述因素，工业应用中最常用的多效蒸发器为 2~3 效。

## 2.适用范围

该深度处理系统适用于废水量较小的企业，同时要求对进水的有机物浓度进行严格控制。此外，末端配备的蒸发器还适用于其他采用膜分离技术处理废水的企业，在有效控制膜处理后有机污染物浓度的前提下，可对膜处理产生的浓废液进行蒸发浓缩，项目实施后能够助力企业实现废水零排放。

## 3.应用案例

某自行车制造企业，主要生产自行车、电动自行车，生产工艺包括机加工、打磨抛光、焊接、除油、脱脂、酸洗、磷化、喷漆、烘烤等。

### （1）实施情况

企业原有废水处理系统采用“芬顿氧化+混凝沉淀+水解酸化+接触氧化+二次混凝沉淀”工艺，设计处理能力 61t/d。为应对产品产量提升带来的废水量增长问题，企业启动了废水处理站升级改造工程。

第一部分：工艺调整与原有系统升级。一是优化原有废水处理工艺，减少甚至杜绝有机药剂、氧化药剂及钙盐的投加；二是升级生化系统，提升其利用率与有机物处理能力，缓解水体发黑发臭现象；三是将喷漆废水单独收集、专项处理，降低高浓度有机物对回用水深度处理系统的冲击。

第二部分：深度处理系统构建。该系统以综合废水为水源，废水经物化沉淀、生化处理后进入系统进行深度处理，工艺路线为“砂滤+精滤+UF+二级 RO 浓缩+DTRO 浓缩+三效蒸发器”。通过三次浓缩减量处理，RO 产水与蒸发冷凝水可回用于生产，蒸发产生的固形物或母液委托具备资质的企业进一步处置，最终实现废水零排放目标。

## (2) 实施效果

### ①环境效益

该改造方案实现废水零排放，大大降低了企业对环境的影响。

### ②经济效益

方案总投资 272 万元，实施后无直接经济效益，但是可以避免因废水超标超量排放带来的环保处罚。

## 方案八十一：废水处理 废水处理站智能化改造

传统废水处理方式往往依赖于人工巡检与现场操作，不仅效率低下，且难以实现对设备运行状态的实时监测与故障预警，废水处理成本高且容易出现由于进水水质波动导致出水不达标的情况。在日益严格的环保要求下，传统废水处理方式难以满足当前需求，废水处理站智能化控制是大势所趋。随着环保要求日益严格，传统废水处理方式已难以适配当下需求，废水处理站的智能化控制成为大势所趋。

### 1.技术原理

废水处理站的智能化核心依托于污水处理远程监控系统，该系统主要由硬件层、网络传输层与管理云平台层三部分构成。

硬件层涵盖安装于污水处理厂各关键点位的传感器（如流量计、溶解氧传感器、pH 传感器等）及数据采集终端（RTU），承担着实时采集水质参数、设备运行状态等信息，并将其转换为数字信号的核心任务。

网络传输层借助有线或无线网络技术（如 4G/5G、光纤、Wi-Fi 等），实现硬件层采集数据向远程监控中心的安全、高速传输。

管理云平台层包含数据库管理系统、数据分析软件及远程监控界面等模块，负责接收、存储、处理与分析硬件层传来的数据，通过图表、报警信息等形式直观呈现污水处理厂的运行状态，同时提供远程控制、参数设置等功能支持。

### 2.适用范围

适用于城市生活污水处理、工业废水处理、农村及小城镇污水处理等。智能化废水处理站具有处理效果稳定、运行费用低、维护简单、可模块设计等特点，用户可根据实际情况设计安装。

### 3.应用案例

某电子电路制造业企业，主要生产高多层板、高频板，生产工艺包括来料、内层图形转移、蚀刻、压合、钻孔、沉铜、外层图形、阻焊、文字、表面处理等。

## (1) 实施情况

方案实施前,企业废水处理系统已运行近 20 年,经过多次改造,存在布局不合理、调节池池体容积有限、维护保养成本高等问题。此外,废水处理工艺流程受早期的布局限制,水量大的综合废水预处理后全部进入络合废水收集池,处理后又进行芬顿反应,导致废水处理成本比较高。因此,企业对废水处理系统进行新建升级改造,改造内容包括处理能力提升、分类收集、分质处理、工艺优化、智能化等。

改造后处理工艺:依据生产线及水质特性分成 9 类废水分别收集,各类废水来源、特性及收集方式如下:

①回用浓水:来源于回用水系统的浓水,其 COD 浓度较低,此类废水经收集后进入综合废水处理系统。

②高浓度有机废水:来源于除胶、除油、显影、脱膜、绿油等工序,其 COD 浓度很高,将废水提升至酸化池,通过 pH 调节酸化后捞渣,出水进入综合废水处理系统;捞起的渣经过厢式压滤机进行压榨,压榨后滤液流至络合废水调节池,泥饼委外处置。

③络合铜废水:来源于化学沉铜、酸性或碱性蚀刻等工序后的清洗废水,本方案采用“硫化物破络+混凝沉淀”的工艺去除废水中的铜离子,出水进入综合废水处理系统。

④含镍废水:来源于化学镍工序后的清洗废水。采用两级芬顿氧化工艺,第一级在酸性条件下通过氧化剂将次、亚磷酸盐氧化成正磷酸盐,第二级加入石灰,在碱性条件下正磷酸盐生成磷酸钙沉淀,重金属镍离子形成氢氧化镍沉淀物得到去除,出水进入综合废水处理系统。

⑤含氰废水:来源于氰化电镀后的清洗废水,采用碱性氯化法,即在碱性条件下,投入氧化剂将 CN<sup>-</sup>通过两级氧化反应生成 CO<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub>,从而去除 CN<sup>-</sup>。经过破氰预处理后的含氰废水(CN<sup>-</sup><0.5mg/L)再排入含镍废水调节池中。

⑥铜氨废水:来源于碱性蚀刻等工序后的清洗废水,主要是硫酸铜与氯化铵的络合物,采用“硫化物破络+混凝沉淀+折点加氯”工艺去除废水中的铜离子和氨氮,出水进入综合废水处理系统。

⑦磨板及清洗废水:来源于磨板、成品洗涤、电镀清洗等工序。本方案采用“混凝沉淀+MF 系统+两级 RO”的工艺进行处理,出水可回用至生产线,沉淀池污泥排至综合污泥池,滤液浓水及 RO 系统浓水排至综合废水处理系统。

⑧综合废水:来源于前述回用浓水、有机废水、络合废水、含镍废水、含氰废水、铜氨废水的预处理出水;磨板、水洗、电镀、洗缸等清洗程序的一般清洗废水、车间地面冲洗废水、酸碱废气洗涤塔的排水、压滤机的滤液等,废水中主要污染物为酸碱、油类、重金属离子以及少量悬浮物等。综合废水采用“混凝+沉淀”的工艺进行预处理,游离的重金属离子在碱性条件下和氢氧根离子生成稳定的氢氧化物沉淀,这些沉淀物与有机物、悬浮物等一起在混凝剂作用下形成絮凝体,经固液分离后即可去除。预处理后的废水进入生化系统,生化出水稳定达标后排入市政管网。

智能化:①工艺流程全自动控制。中控系统采用 PLC 全自动控制,可通过中控系统控制整个废水处理系统设备的启停,并设置异常情况自动报警程序;②工艺流程全过程监控。对全工艺流程的液位、流量、pH、ORP、DO 等实时监控,确保每个处理工序可控,根据进出水水质情况,动态、精准地控制加药量,达到资源能源消耗最优的目的,降低运营成本。

污泥压滤机升级:采用二次隔膜压滤机替代原有压滤机降低污泥含水率,减少污泥产生量。

## (2) 实施效果

### ①环境效益

该方案废水处理站优化升级为整体新建。方案实施后，环境效益主要体现在以下方面：

**处理能力提升：**处理能力原为 500t/d，新建废水站处理能力可达到 600t/d，在废水水质波动时可延长关键处理工段的停留时间，处理后出水水质更稳定，可确保废水稳定达标排放。

**污泥产生量降低：**污泥压滤机采用二次隔膜压功能，可将污泥含水率降低至 50~55%，而原有压滤机压滤后的污泥含水率约 70%。根据企业实际运行情况，处理同等量的废水，方案实施前企业污泥产生量为 365.73t/a，方案实施后可减少污泥量 110t，每吨废水污泥产生系数由 0.8~1%降低至 0.3~0.5%。

**能耗降低：**风机、水泵选用节能型、低噪音的设备，配备一级能效电机，在用电最大的供气系统中采用空气悬浮风机代替传统的三叶罗茨风机和空压机，可实现节能 30%左右。

**环境风险降低：**废水分类收集、分质处理，处理效果稳定，降低了因污染物超标超量排放造成的环境污染风险。

### ②经济效益

本方案共投资 1500 万元，取得经济效益如下：

**危险废物处置成本：**处理同等量的废水，实施后可减少污泥量 110t。按照危险废物处理成本 1500 元/t 计算，可减少危险废物处置费用 16.5 万元/a。

**废水处理运行成本：**废水处理药剂成本由 15 元/t 降低至 6 元/t，降低 60%。运行电费成本由 1.5 元/t 降低至 1 元/t，降低 30%。废水处理综合运行成本下降 9.5 元/t，根据企业生产运行数据，可减少运行成本 101.18 万元/a。

综上所述，实施后可获得经济效益  $16.5+101.18=117.68$  万元/a。

## (二) 废气的收集与处理

### 方案八十二：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，饱和蒸汽压大于 133.32Pa，且沸点在 50~250°C 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 5.3; 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 5.4。

表 5.1 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 5.2 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	
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	
		有外部气流干扰的 (放在室外)	
接受式排风罩	罩口断面风速	大于 0.5m/s, 且大于 VOCs 的飘逸速度	
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,生产工艺包括机加工、前处理、喷粉/喷漆、整机装配、测试实验等。

#### (1) 实施情况

企业专设油漆储存室,用于存放生产所需的各类油漆;储存室内配备集气罩,并保持负压状态。油漆储存期间逸散的有机废气均通过集气罩收集后,通过管道输送至废气处理设施。

企业的喷漆工序,同样在密闭式可移动喷漆房内进行操作。喷漆作业前,先将工件运送至喷漆房所在区域;随后通过电机驱动移动式伸缩室体滑动至工件放置处,降下室体前方的卷帘门,形成密闭空间,此时室体内部呈负压状态。喷漆过程中产生的废气,经集气罩收集后,通过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,生产工艺包括吹膜、印刷、复合、制袋等。

## （1）实施情况

方案实施前，企业印刷机工位有机废气收集口设置于印刷机左侧，VOCs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

企业加装胶帘约投入 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。

## 方案八十三：废气收集与治理 废气收集及处理设施增加延时控制装置

### 1.技术原理

废气收集、处理设施与排放废气工艺设备独立控制，当废气收集处理设施晚于排放废气的工艺设备开启时，则导致废气短期内未收集处理直接排放，使得车间内废气浓度短期急速升高，进而影响员工身体健康。通过加装延时控制装置，将废气收集与处理设施与产生废气的工艺设备进行联动绑定，实现两套设施同步启动；此外，还可根据实际生产工况及污染物排放情况，灵活设定废气收集与处理设施的延迟关闭时间，进一步提升废气收集效率。

### 2.适用范围

适用于废气收集与处理设施延时控制。

### 3.应用案例

某自行车制造企业，主要从事自行车零配件、五金制品、铝合金制品的加工生产，生产工艺包括机加工、装配、表面处理（除油、酸洗、皮膜）、喷漆、烘干等。

## （1）实施情况

为提高车间废气收集效率、改善车间工作环境，企业增设了废气收集与处理设施的延时控制装置，确保该设施在生产设备关闭后延时半小时停机。

## （2）实施效果

### ①环境效益

方案实施后，提高了废气收集率，改善了车间环境，减少了无组织废气排放。

## ②经济效益

该方案总投资为 0.05 万元，无明显直接经济效益。

# 方案八十四：废气治理 抑雾剂

电镀与退镀工序中所用的化学物质，在特定生产条件下会生成酸雾、碱雾等带有刺激性气味的气体。以碱性镀液为例：当阴极电流效率偏低，且阳极存在使用面积过小、电流密度过高导致钝化，或是采用不溶性阳极的情况时，阳极会析出氧气，形成的气泡裹挟着镀液上浮至液-气界面，最终形成雾气。为减少槽液挥发、缓解车间内的刺激性气味，可通过添加抑雾剂来降低电镀过程中雾气的产生。

## 1.技术原理

抑雾剂主要由表面活性剂、有机化合物或多种表面活性剂的复配物组成。它通常直接加入槽液中，在液-气界面形成一层兼具一定机械强度与弹性的分子膜。

表面活性剂中的憎水基团垂直指向槽液外部，亲水基团则朝向槽液内部，能有效降低槽液的表面张力。槽液中析出的含酸雾或碱雾的气泡在上升过程中，因分子膜的阻挡不会立即破裂，而是聚集于液面形成泡沫层；气泡内的液雾逐渐聚合成较大雾滴，在重力作用下回落至槽液中。

抑雾剂成分复杂，企业需结合自身工艺特点，选择耐酸碱、化学性质稳定、不易分解且不与槽液组分发生化学或电化学反应的产品，以确保其对生产过程无干扰，且不影响镀层质量。

## 2.适用范围

适用于酸洗除锈、镀碱锌、退镀等易产生酸雾、碱雾或含氰碱雾的工序。企业需结合自身实际生产，在满足环境管理的条件下，合理选择抑雾剂。

## 3.应用案例

### 案例 1

某金属表面处理及热处理企业，主要生产自行车链条垫片、连接片、皮带扣的配件加工等，生产工艺包括镀镍、镀锌镍合金、镀锌、镀酸铜、镀碱铜、镀镍、镀仿金、镀白铜锡、电泳、烘干等。

#### (1) 实施情况

方案实施前，企业镀碱锌车间内刺激性气味浓烈，作业环境恶劣。方案实施后，企业通过在镀液中添加抑雾剂，当电镀过程中产生的大量气体上升时，会促使抑雾剂在液面形成一层致密的泡沫覆盖层；气泡冲出液面进入泡沫层后，因表面张力降低及泡沫层的摩擦作用发生破裂，其带出的碱性微粒被截留在泡沫层内，最终受重力影响回流至镀槽中。

## (2) 实施效果

### ①环境效益

方案实施前，镀碱锌车间刺激性气味浓烈；实施后，通过在槽液中添加抑雾剂，有效减少了碱雾挥发，显著改善了车间作业环境。

### ②经济效益

由于企业使用抑雾剂的时间较短，且受外部大环境影响处于间断性生产状态，目前尚未对抑雾剂的具体采购成本进行统计核算。不过，抑雾剂的应用不仅提高了原辅材料的利用率，还因减少碱雾挥发而有助于降低企业后续的废气处理成本。

## 案例 2

某金属表面处理及热处理企业，主要从事五金制品的加工，生产工艺包括前处理、镀铜、镀镍、镀锌、镀铬、钝化、烘干等。

## (1) 实施情况

电镀企业生产过程中，由于生产条件控制存在不稳定因素，部分不符合产品要求的镀件需进行退镀处理。退镀需使用硝酸、盐酸等化学品，这些化学品均具有较强的挥发性。

方案实施前，企业退镀工序会产生大量酸雾。方案实施后，企业在退镀槽内添加抑雾剂，该抑雾剂兼具缓蚀与抑雾双重功效，既能确保退镀后裸露的金属层免遭过度腐蚀，又能有效抑制酸雾挥发。

## (2) 实施效果

### ①环境效益

方案实施前，企业退镀工序酸雾产生量显著偏高，车间刺激性气味较重；方案实施后，企业将抑雾剂加入槽液中，有效减少了酸雾的挥发，显著改善了车间操作环境。

### ②经济效益

抑雾剂的使用虽增加了企业原辅材料的购买费用，却能有效提高退镀液的利用效率，显著提升产品退镀合格率，进而创造间接经济效益。同时，酸雾产生量的减少还能降低企业废气收集及处理成本。

## 方案八十五：废气处理 TVOC 吸收剂

随着我国工业水平的持续提升，越来越多的挥发性有机物被排放至大气环境中。目前，有机废气的治理技术虽种类繁多，但部分废气经燃烧处理后，仍存在刺激性气味难以消除的问题，给周边大气环境带来了一定影响。为有效减轻废气对大气环境的影响，可采用 TVOC 吸收剂对有机废气加以处理。

## 1. 技术原理

TVOC 吸收剂一般由多孔材料或具有吸附能力的化学物质组成。它们主要借助特殊的分子结构、化学反应等方式，对 TVOC 分子进行吸附、包合或分解，从而有效去除异味。

环糊精是一类环状低聚糖，无毒且拥有独特的疏水性空腔结构，这种结构使其能包合并吸附氨、硫化氢、胺类等带异味的客体分子。当 TVOC 与环糊精接触时，环糊精会将其包嵌在自身的空腔结构内，形成稳定的包合物，降低空气中 TVOC 分子的浓度，进而消除异味。此外，环糊精还具备优异的水溶性与生物相容性，对有机卤化物的亲和性极强，若以其水溶液作为吸收剂，能高效去除废气中的异味。

## 2. 适用范围

适用于对有刺激性气味气体的治理。需要结合废气的分子结构、极性、大小等特征选取合适的吸收剂。

## 3. 应用案例

某整车制造类企业，主要生产新能源整车，生产工艺包括冲压、焊接、涂装、电泳、烘烤、喷漆、三防漆涂覆、浸漆等工艺。

### (1) 实施情况

企业在电泳、烘烤等生产工序中会产生有机废气。方案实施前，企业采用水喷淋+UV 光解工艺，尽管处理后的废气能达到排放标准，却仍带有刺激性气味，因此引发了周边居民的投诉。

为改善周边大气环境，企业通过市场调研，最终选定以环糊精为主要成分的 TVOC 吸收剂进行废气吸收喷淋。当环糊精溶液与废气接触时，废气中的有机分子会被环糊精独特的空腔结构稳定包裹，从而有效降低了废气排放浓度。

方案实施后，企业周边居民区的大气环境质量显著改善，居民的生活幸福感也随之有效提升。

### (2) 实施效果

#### ① 环境效益

方案的实施可有效减少废气中的刺激性气味，减少对周边大气环境的影响，改善周边的大气环境质量。

#### ② 经济效益

本方案主要投资为环糊精的采购费用，根据市场调研，环糊精的购买费用在 15~28 元/kg 之间，方案实施后，企业增加了药剂购买费用，具体用量未进行统计，故无法核算具体投入。

本方案的实施重在环境效益，不产生直接经济效益，但可以避免因异味气体引起周边居民投诉。

## 方案八十六：有机废气治理 冷凝法处理有机废气

根据大气中污染物的物理状态，可将其分为颗粒性污染物与气态污染物两大类。颗粒性污染物通常借助质量力、势差力等作用实现分离净化；而气态污染物因呈均相分散状态，作用于污染物分子与介质分子间的外力差异极小，因此其净化需借助自身物理化学性质的差异（如沸点、溶解度、吸附性、反应性等）来完成分离或转化。常用的净化方法包括吸收法、吸附法、催化法、燃烧法、冷凝法、膜分离法及生物净化法。由于不同污染物特性各异，对应的治理措施也需因地制宜。以 VOCs 为例，不同特征污染物所适用的工艺详见下表：

表 5.3 不同特征污染物适宜工艺一览表

序号	污染物特征	适宜工艺
高浓度	质量浓度 > 5000mg/m <sup>3</sup> ，体积分数 > 0.5%	冷凝法
较高浓度	质量浓度 1000~5000 mg/m <sup>3</sup> ，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 <sup>3</sup> ，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，是基于物质在不同温度下饱和蒸汽压存在差异的特性，通过降低系统温度或提高系统压力，使废气中呈蒸汽态的污染物冷凝液化并分离出来的过程。

常用的冷凝法主要分为表面冷凝与接触冷凝两类。表面冷凝又称间接冷却，其原理是让 VOCs 蒸汽与冷凝管外壁接触并发生冷凝，生成的 VOCs 液体进入收集槽储存或后续处理；因冷凝液不与废气直接接触，故可直接回收利用。接触冷凝则是让 VOCs 蒸汽与冷凝液直接接触，蒸汽冷凝成液体后与冷凝液混合，以废液形式排出；该方法有助于强化传热效果，常用的接触冷凝液为冷水。

冷凝法不仅能去除混合气体中的挥发性有机物，还可分离经吸附浓缩后的高浓度挥发性有机物，提取其中具有回收利用价值的成分。作为回收这类有价值物质的有效手段，冷凝法能实现资源再利用，从而减轻甚至减少对人体及自然环境的污染。

### 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%。

企业在使用该技术时，需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，主要生产有机感光鼓、IGBT 半导体、硬币识别器等，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

企业涂布工序使用多种有机溶剂，这些有机溶剂在使用过程及后续烘干工序中会全部挥发逸散，产生大量 VOCs。企业已在涂布生产线上方装设废气收集装置，通过风管将有机废气导入处理设施，采用的处理工艺为活性炭吸附+蒸汽脱附+冷凝回收组合工艺。

企业布设两条涂布生产线，每条生产线均配套 3 套废气处理装置；每套装置循环执行吸附、脱附、冷却三个阶段，处理过程中至少有 2 个吸附塔持续处于吸附状态。有机废气经活性炭吸附浓缩后，利用高温蒸汽脱附；脱附产生的高浓度有机废气再进入冷凝装置处理回收。处理工艺流程图如下：

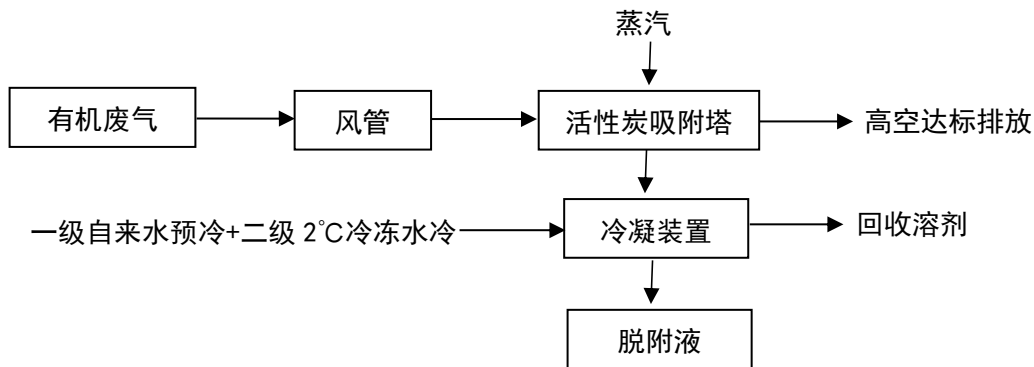


图 5.7 有机废气处理工艺流程图

该企业采用接触冷凝法，以冷水作为冷凝液。经冷凝装置处理后的有机废气与冷水混合后进入回收槽，比重较大的有机物会沉淀到回收槽下层，可直接回流至生产车间进行蒸馏提纯；提纯后的有机溶剂回用于涂布工序，蒸馏残液作为危险废物处置；上层溶液则直接送入废水处理设施处理。

## (2) 实施效果

### ① 环境效益

#### a. 减少原辅材料使用量

根据该企业有机溶剂回收记录，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  $24.506\text{t}/\text{月} \times 12 \text{月}/\text{a} = 294.072\text{t}/\text{a}$ 。

#### 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  $294.072\text{t}/\text{a} \times 5.5 \text{元}/\text{kg} \times 1000 = 161.74 \text{万元}/\text{a}$ 。

#### 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。

## 方案八十七：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矿石。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：

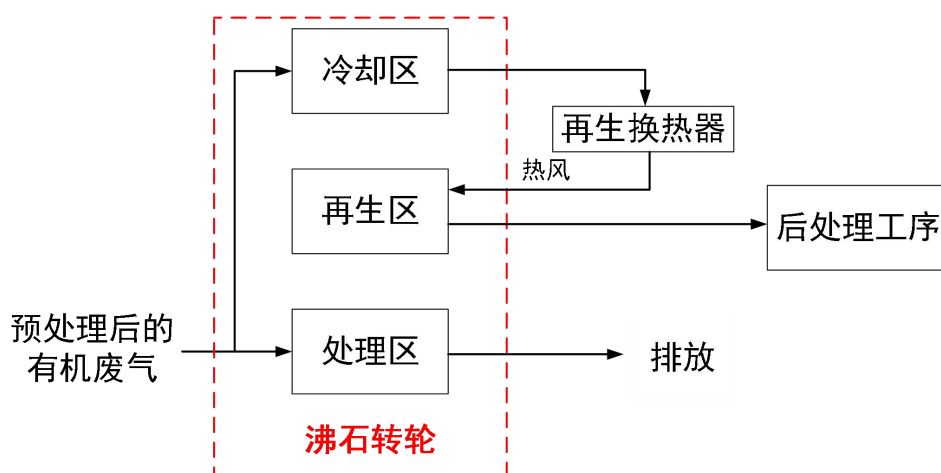


图 5.8 沸石转轮工艺流程示意图

#### (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。以单室和两室为例介绍其工作原理，具体如下：

##### ① 单室旋转式 RTO

单室旋转式 RTO 设备的蓄热体中设置分隔板，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，在净化气出口区前设有一扇形区作为冲洗区。通过蓄热体的旋转，蓄热体被周期性地冷却和加热，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：

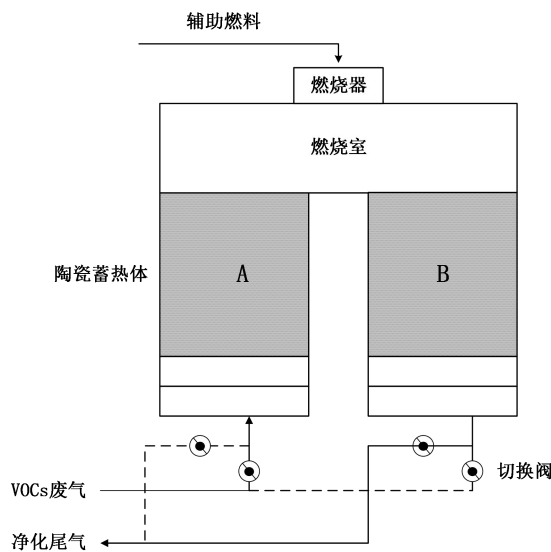


图 5.9 两室 RTO 反应器示意图

### (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°C 之间）与催化剂的组合方式。下图为两室 RCO 反应器示意图。

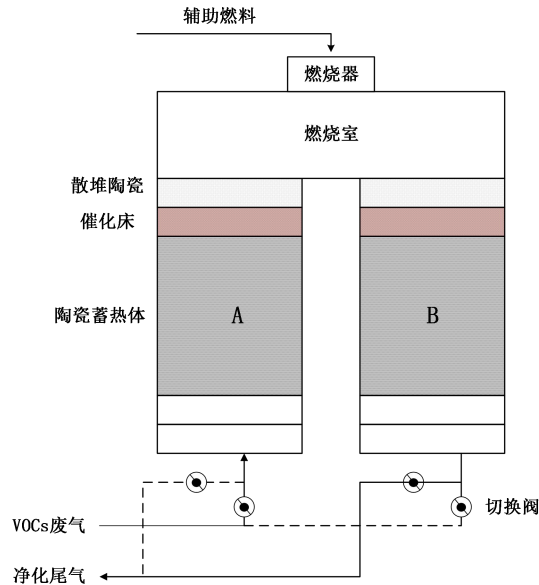


图 5.10 两室 RCO 反应器示意图

## 2.适用范围

(1) RTO 适用于处理连续性排放、中低浓度 ( $100\sim 3500\text{mg}/\text{m}^3$ ) 的有机废气。

(2) RCO 适用于处理间歇性排放、中高浓度 ( $1000\sim 10000\text{mg}/\text{m}^3$ ) 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分，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，主要生产保险杠、座椅、车用 CD、模具、内饰件等，生产工艺包括冲压、焊装、涂装、总装等。

#### (1) 实施情况

方案实施前，该企业喷涂废气采用“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：

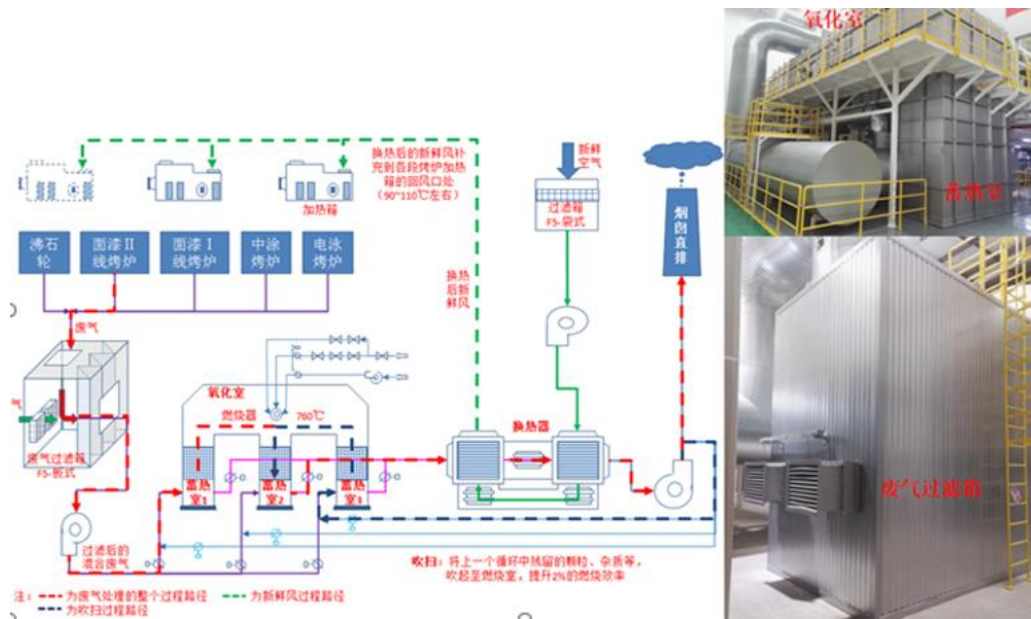


图 5.11 有机废气处理工艺流程图

## (2) 实施效果

### ① 环境效益

企业使用的原辅料中 VOCs 总量约 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： $[86779.35\text{kg/a} \times 30\% \times (1-10\%) \times (1-70\%) + 86779.35 \times 70\% \times (1-85\%)] - [86779.35\text{kg/a} \times (1-90\%)] = 7463.02\text{kg}$ 。

方案实施前，该企业年产生废活性炭 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，主要从事 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，生产工艺包括抛丸除锈、喷漆、烘干、拆解等。

## (1) 实施情况

方案实施前，企业采用“过滤+活性炭吸附”方式处理喷漆废气，由于处理效果不佳，该企业将废气处理工艺升级为“过滤+沸石转轮+RCO”。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：

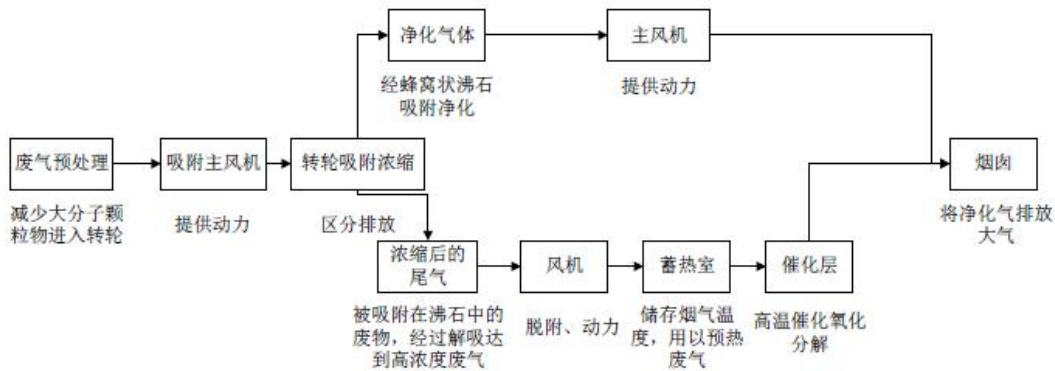


图 5.12 有机废气处理工艺流程图

## (2) 实施效果

### ①环境效益

方案实施前，企业 VOCs 产生量 22.38t，废气治理设施处理效率为 62%；方案实施后，处理效率可提升至 90.7%。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/a；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。

## 方案八十八：废气处理 含氨废气处理

氨气主要来源于工业企业氨水的使用，其刺激性气味和潜在毒性对环境与人体健康构成威胁。含氨废气中的主要污染因子为氨气，通常采用喷淋塔进行酸液吸收处理后排放。氨气与酸液反应生成铵盐，长期运行易导致填料堵塞，因此需定期排出塔内喷淋液，该液体氨氮、总氮浓度较高，若直接排入废水处理站，易对废水处理系统造成冲击。采用“酸液吸收+电解氧化”技术，可有效降低喷淋塔外派废水中氨氮和总氮浓度，减轻对废水处理系统的冲击负荷。

## 1. 技术原理

“酸液吸收+电解氧化”技术通常串联使用，含氨废气首先进入喷淋塔，与酸液进行气液逆流接触，发生中和反应生成铵盐，从而实现氨气的高效去除。反应生成的铵盐溶于吸收液中形成高氮废水，其总氮浓度可达 10000mg/L 以上。该废水随后进入电解氧化系统，在直流电场作用下，铵根离子在阳极发生氧化反应，逐步转化为氮气释放，实现废水中氨氮与总氮的高效削减。电解过程中无需投加化学药剂，副产物少，运行稳定，出水氨氮可降至 10~20mg/L 以下，有效缓解废水处理系统的氮负荷压力。

该技术具有效率高、占地面积小、自动化程度高等优点，适用于含氨废气处理过程中产生的高氮废液的深度处理，确保后续废水处理系统的稳定运行。

## 2. 适用范围

适用于含氨废气处理。在实际应用中，需严格控制电解工艺条件，确保电解氧化过程中不产生或排放超出企业排污许可证许可范围外的污染因子。

## 3. 应用案例

某电子电路制造企业，主要生产通讯背板、系统电路板、微波射频电路板、刚挠结合板等，生产工艺包括 PCB 基材准备、内层图形制作、层压、钻孔、孔金属化、外层图形转移、图形电镀、蚀刻、退锡、印阻焊/字符、OSP 等。

### (1) 实施情况

企业碱性蚀刻工序产生含氨废气。

方案实施前，采用稀硫酸溶液喷淋吸收处理，氨气与硫酸反应生成硫酸铵，吸收液循环使用至一定浓度后直接排入废水处理站，导致废水中氨氮浓度波动较大，影响生化系统稳定性。为解决该问题，企业增设电解氧化装置对喷淋塔外排废水进行预处理。喷淋塔外排废水经直流电解，铵根离子在阳极被氧化为氮气逸出，实现总氮削减。根据企业运行数据，电解后出水氨氮浓度在 10~20mg/L 之间，有效缓解了废水处理系统的氮负荷冲击，保障了生化单元的稳定运行。

该装置自投入运行以来，系统自动化控制良好，日常维护简便，未出现填料堵塞或副产物累积问题。同时，电解过程无需额外投加药剂，运行成本较低。

### (2) 实施效果

#### ① 环境效益

方案实施前，企业含氨废气喷淋塔每 2~3 天（计算取值 2.5 天）排放一次吸收液，每次排放 2~3t（计算取值 2.5t），总氮浓度 10000~12000mg/L（计算取值 11000mg/L），直接进入废水站综合废水处理系统，对生化系统造成显著冲击。

方案实施后, 喷淋塔废水经电解氧化处理后回用至喷淋塔。根据吸收液水质, 喷淋塔废水排放频次减至 1 次/月, 每次排放 2~3t (计算取值 2.5t), 总氮浓度 10~20mg/L (计算取值 15mg/L) 之间, 降低了对生化系统的冲击。

**废水减排量:**按照年生产 330 天计算, 方案实施前, 喷淋塔废水排放量为  $2.5t \times 330d/a \div 2.5d = 330t/a$ ; 方案实施后, 喷淋塔废水排放量为  $2.5t/月 \times 12 月/a = 30t/a$ , 则年减排废水  $330t/a - 30t/a = 300t/a$ 。

**总氮减排量:**方案实施前, 喷淋塔废水排放的总氮量为  $330t/a \times 11000mg/L \times 0.000001 = 3.63t/a$ ; 方案实施后, 喷淋塔废水排放的总氮量为  $30t/a \times 15mg/L \times 0.000001 = 0.00045t/a$ , 总氮削减率达 99.98%, 显著提升了废水处理系统的运行稳定性, 同时降低了末端排放中总氮超标风险。

**新鲜水使用量:**企业未对新鲜水使用量进行统计, 按照损耗 10% 计算, 则年减少新鲜水使用量  $300t/a \div (1 - 10\%) = 333t/a$ 。

## ②经济效益

本方案投资 39.45 万元购买电解氧化设备, 用于处理含氨废气喷淋塔废水。

按照新鲜水单价 4 元/t 计算, 则节约水费  $333t/a \times 4 元/t = 1332 元/a$ ; 节约废水处理费 16.28 万元/a。

电解氧化设备的额定功率为 40kW, 年运行 330 天, 日均运行 10 小时, 增加电耗为  $40kW \times 10h \times 330 天 = 132000kWh/a$ 。按照用电单价 1 元/kWh 计算, 则增加电费  $132000kWh/a \times 1 元/kWh = 132000 元/a$ 。

综上所述, 可产生经济效益  $0.1332 万元/a + 16.28 万元/a - 13.2 万元/a = 3.2 万元/a$ 。本方案经济效益不明显, 主要为环境效益。

## 方案八十九：废气处理 氯化氢处理

氯化氢是工业生产中常见的酸性废气之一, 主要来源于盐酸的生产与使用过程。企业通常采用碱液喷淋吸收法对其进行处理, 但部分企业处理后废气从排气筒排出时, 会出现明显的“白雾”现象。这类废气扩散条件不佳时, 易对周边环境质量造成不利影响。

### 1. 技术原理

碱液喷淋利用氢氧化钠溶液中和废气中的氯化氢, 生成氯化钠和水; 但实际处理时, 因喷淋塔内液气比过高、填料层分布不均及排气流速过快, 气流易夹带未充分吸收的细小液滴直接排出, 在排气筒出口形成“白雾”。

若将静电湿式除雾器与碱液喷淋塔串联使用, 可有效捕集喷淋过程中产生的微小液滴及残余酸性污染物。静电湿式除雾器借助高压电场使气流中的液滴荷电, 在电场力作用下被收集捕获, 实现气液分离。

采用“碱液喷淋+静电湿式除雾”组合处理, 可彻底消除排气筒出口的“白雾”现象, 同时进一步提升氯化氢的去除效率。

### 2. 适用范围

适用于电子电路、电镀等工业企业产生的氯化氢废气处理。

### 3.应用案例

某电子电路制造企业，主要生产通讯背板、系统电路板、微波射频电路板、刚挠结合板等，生产工艺包括 PCB 基材准备、内层图形制作、层压、钻孔、孔金属化、外层图形转移、图形电镀、蚀刻、退锡、印阻焊/字符、OSP 等。

#### (1) 实施情况

企业在蚀刻工序使用 31%盐酸对线路进行蚀刻，生产过程伴随产生氯化氢废气。方案实施前，该企业仅采用碱液喷淋法处理氯化氢废气，处理后的废气虽能达标排放，但排气筒出口常出现“白烟”，且周边存在轻微酸性废气异味；为进一步提升酸性废气处理效率，企业在原有喷淋塔后端增设湿式静电除雾设施，用于进一步捕集残余酸雾与喷淋过程夹带的细小液滴，方案实施后，排气筒出口“白雾”现象及轻微酸性废气异味均消除。

#### (2) 实施效果

##### ①环境效益

方案实施前，企业氯化氢废气排放浓度约  $1\sim 2\text{mg}/\text{m}^3$ ，虽满足排放标准要求，但排气筒出口常有“白烟”冒出，废气扩散效果不佳时，常伴有酸性异味及“视觉污染”，存在较高的环保投诉风险；方案实施后，氯化氢废气通过碱液喷淋吸收与湿式静电除雾的协同工艺处理，废气处理效率显著提升，排气筒出口的“白雾”现象基本消除，周边酸性异味明显减轻，视觉污染问题也得到了有效改善。

##### ②经济效益

企业仅单独购买了一套湿式静电除雾设备，投资 45 元。

企业采购一套湿式静电除雾设施，投资 45 元。

湿式静电除雾设施功率为 15kW，日运行 24h，按照年运行 300 天计算，则增加用电量  $15\text{kW}\times 24\text{h}/\text{d}\times 300\text{d}/\text{a}=108000\text{kWh}/\text{a}$ 。按照用电单价 1 元/kWh 计算，则增加电费  $108000\text{kWh}/\text{a}\times 1\text{元}/\text{kWh}=108000\text{元}/\text{a}$ 。

## 方案九十：污水站废气治理 污水处理系统废气收集与治理

污水处理系统通常涵盖预处理区、生化处理区、深度处理区和污泥处理区。污水处理系统产生的废气主要源自污水中有机物的发酵、分解与合成，主要包含硫化物（ $\text{H}_2\text{S}$ 、硫醇、硫醚等）、氮化物（ $\text{NH}_3$ 、胺类等）、芳香烃以及含氧有机物等。其污染源主要是预处理区的格栅、调节池，还有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 5.4 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，主要生产液晶显示器（LCD）用偏光片，生产工艺包括 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。

该企业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，企业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

方案投资 48 万元，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，主要生产平板显示上游材料及触控器件，生产工艺包括涂胶、曝光、显影、蚀刻、固化、PVD 沉积等。

## (1) 实施情况

企业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。该企业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，企业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

该企业新增一套“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 5.5 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	$9.8 \times 10^{-4}$		7.056
	甲硫醚	$<9.8 \times 10^{-6}$		/
方案实施后	氨气	0.054		388.8
	硫化氢	$3.6 \times 10^{-4}$		2.592
	甲硫醚	$<9.8 \times 10^{-6}$		/

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

### 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，主生产市售生猪肉、生牛肉、生羊肉的屠宰。生产工艺包括击晕、刺杀放血、脱毛、挑胸剖腹、取内脏和清洗等。

### (1) 实施情况

企业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。该企业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，企业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，企业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

企业新增一套洗涤+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

本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）危废减重

### 方案九十一：污泥压滤机改造

#### 1.技术原理

普通的板框式污泥压滤机，气体经由进泥管道进入设备，然而进泥管道容易发生堵塞，导致气体难以到达设备后段，后端进气压力不足，使得后段污泥的含水率较高。

在板框式污泥压滤机上增设一条进气管，将气体输送至设备后端，同时在压滤机排液孔处加装阀门。吹气时关闭阀门，提高吹气压力（工作压力范围为 0.4~0.6Mpa），如此一来，后段的污泥也能够得到充分吹扫，进而降低污泥含水率。

#### 2.适用范围

废水处理污泥压滤（调研过程中发现该方案已由“欧姆龙公司”申请专利，使用前需获取专利许可）

#### 3.应用案例

某电子元器件制造企业，主要生产继电器、专用开关和连接器等，生产工艺包括：成型、冲压、除尘、组装、焊接、捺印等。

##### （1）实施情况

企业原本采用板框式污泥压滤机对废水处理后的污泥进行压滤，待污泥装满后，再进行两天的吹扫。吹扫后的污泥整体含水率超过 70%。企业技术人员对每个板框的污泥含水率进行测试后发现，进气端的污泥含水率最低，且距离进气端越远，污泥含水率越高。

经进一步分析，主要原因在于进泥管道容易发生堵塞，气体难以到达设备后段，导致后段的进气压力不足，进而使得后段污泥的含水率较高。

因此，企业决定在板框式污泥压滤机上增设一条进气管，将气体输送至设备后端，同时在压滤机排液孔处增设阀门。吹气时关闭阀门，提高吹气压力（工作压力范围为 0.4~0.6Mpa），使后段的污泥也能得到充分吹扫，从而降低污泥含水率。

## (2) 实施效果

### ①环境效益

方案实施后，通过烘干称重法测得，吹扫后的污泥含水率由原来的 70%降低至 30%，每年可减少 2t 污泥。

### ②经济效益

该方案购买一个阀门及一根进气管道，投资金额为 0.1 万元。按照污泥转运费为 7800 元/t 计算，可节省污泥转运费：7800 元/t×2t/a=15600 元/a。

## 方案九十二：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与氧化剂，借助二者极强的协同催化氧化作用，有选择性地降解难以降解的污染物。废水中难以降解的有机物以及部分无机物会被转化为二氧化碳（CO<sub>2</sub>）、水（H<sub>2</sub>O）以及小分子量中间产物（如羧酸、醇等）。该技术能够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、泡沫和乳化液。

EM 高效脱氮生物反应器是生物膜法与 EM 菌种相结合的生物处理技术。其中，EM 菌种是一种由蜡样芽孢杆菌在浓缩液中培养出来的、无法进行 HMP 途径发酵的细菌，属于兼性细菌。这种细菌在厌氧条件下无法进行正常的糖酵解，从而迫使它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的正常繁殖。

### 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

某垃圾填埋场，1992 年投入使用，填埋量 60 万 m<sup>3</sup>，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，处理垃圾渗滤液所产生的膜浓缩液均回流至调节池，致使处理系统的负荷日益增大。为确保渗滤液处理能够稳定达标，特增设一套处理能力为 30t/d 的膜浓缩液处理设施。其主要处理工艺为：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：

浓缩液经水泵提升至初沉池进行预处理。初沉池出水进入紫外高级氧化主反应釜，将污水 pH 调节至 3~3.5。在紫外线、催化剂和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，使其转化为  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$ ，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，将 pH 调节至 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，随后进入 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  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$ 。通过控制 pH 值及溶解氧，可进一步促使 EM 菌尽可能多地还原硝酸盐，将氨氮及硝态氮转化成  $\text{N}_2$  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，通过吸附作用降低 COD，可进一步确保出水稳定达标。

## (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，该垃圾填埋场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场渗滤液处理能力，需委外处置，根据该垃圾填埋场提供的统计台账，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  $1500\text{t/a} \times 270 \text{元/t} = 40.5$  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。

## 方案九十三：增设膜渣减重机

### 1.技术原理

退膜工序是借助强碱将保护覆铜板面图形的干膜剥离，从而使线路图形显露出来的过程。此工序所产生的废膜渣呈半固体状，具有强碱性、高化学需氧量（COD）的特性，且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的方式，去除废膜渣中的水分，进而实现废膜渣减重 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

某电子电路制造企业，主要生产双面板、多层板企业，生产工艺包括开料、磨板、涂布、贴干膜、曝光显影、蚀刻、沉铜、镀铜等。

### (1) 实施情况

方案实施前，企业废膜渣产生量为 16.73t，含水率为 88%。为了减少废膜渣的产生量，企业购入膜渣减重设备，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，去除废膜渣中的水分，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

企业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。

## 方案九十四：高浓度废液低温蒸馏浓缩减量

### 1.技术原理

低温蒸馏浓缩设备采用真空负压集成系统自动控制技术，整机采用人机界面智能控制系统。

设备启动后，真空泵迅速将整个处理系统抽至高真空状态，随后借助系统负压将含镍废液吸入蒸发室。在负压真空环境下，含镍废液于 25°C~35°C 低温条件下完成蒸发过程；当蒸发室内废液浓缩至设定浓度值时，浓缩液随即排出；蒸发出的蒸汽经冷凝器冷却后形成冷凝液，冷凝液中各项污染物浓度均低于原含镍废液，最终将冷凝液回收至含镍废水处理单元做进一步处理。

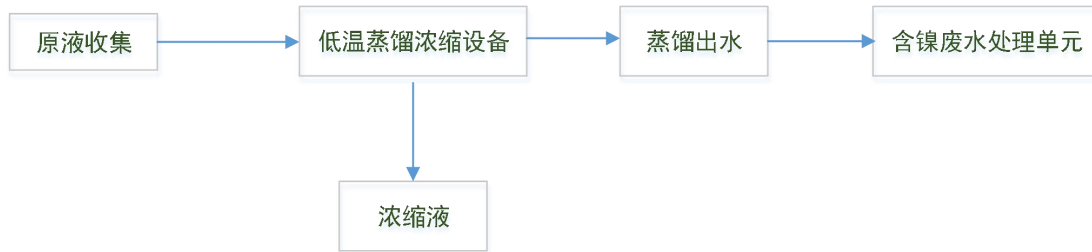


图 5.13 废液浓缩固化处理过程示意图



图 5.14 废液处理效果示意图

## 2.适用范围

适用于高浓度无机废液减量化处置。

## 3.应用案例

### 案例 1

某金属表面处理及热处理企业，主要生产五金制品、电子配件、饰品、汽车配件、手机外壳等，生产工艺包括阳极氧化、连续线镀镍、化学镀镍、真空镀等。

#### (1) 实施情况

方案实施前，企业化学镍废液全部交由有资质单位进行处置。方案实施后，企业化学镍废液全部经低温浓缩设备处理后，蒸馏出水进入含镍废水处理单元处理，浓缩液委外处置。

#### (2) 实施效果

##### ①环境效益

按照企业实际运行状况，该套设备每天能处理 1t 的含镍废液（包括含镍废槽液和高浓度含镍废水），则一年能处理 330t 含镍废液，低温蒸馏浓缩后，产生 99t 的镍泥，危废减量 70%。

### ②经济效益

该套设备投资 50 万元。

危废拉运费用按照 3500 元/t 计算，方案实施前，330t 含镍废液全部作为危废进行拉运处置，需要费用为  $330t/a \times 3500 \text{ 元/t} = 115.5 \text{ 万元/a}$ ；方案实施后，仅镍泥需要作为危废拉运处置，拉运费用为  $99t/a \times 3500 \text{ 元/t} = 34.65 \text{ 万元/a}$ ；

综上合计，每年可节约费用  $115.5 \text{ 万元} - 34.65 \text{ 万元} = 80.85 \text{ 万元}$ ，投资回收期约为  $50 \div 80.85 = 0.62a$ 。

## 案例 2

某金属表面处理及热处理企业，主要生产五金电镀零配件等，生产工艺包括除油、酸洗、镀铜、镀镍、镀铬、镀锌、镀锡、镀金等。

### （1）实施情况

方案实施前，企业化学镍废液全部交由有资质单位进行处置。方案实施后，企业含镍废液进行高效浓缩减量处理，实际浓缩率可达 85%，浓缩后的浓缩废液委托有资质单位进行处置。

### （2）实施效果

#### ①环境效益

按照企业目前运行状况，年产生含镍废液 25t，则含镍废液减少  $25t/a \times 85\% = 21.25t/a$ ，减少危废产生量。

#### ②经济效益

该套设备采用月租方式，租赁费用 1200 元/月，维修、保养由设备方进行。

该套设备处理 1t 含镍废液成本约 800 元，浓缩液拉运成本为 4000 元/t，则可节省费用  $21.25t/a \times 4000 \text{ 元/t} - 25t/a \times 800 \text{ 元/t} - 1200 \text{ 元/月} \times 12 \text{ 月/a} = 5.06 \text{ 万元/a}$ 。

综上合计，每年可节约费用 5.06 万元。

## 案例 3

某金属表面处理及热处理企业，主要生产五金电镀零配件等，生产工序主要包括化学镀镍、电镀镍、复合电镀等。

### （1）实施情况

方案实施前，企业化学镍废液全部交由有资质单位进行处置。方案实施后，主要通过一套蒸煮设备对含镍废液（废槽液）进行高效低温浓缩减量处理，温度控制在 34℃，低温蒸馏处理后的废液，浓缩率可达 80%，最终的浓缩废液委托有资质单位进行处置。

## (2) 实施效果

### ①环境效益

按照企业目前运行状况，年产生含镍废液 360t，则含镍废液减少  $360t \times 80\% = 288t/a$ ，减少危废产生量。

### ②经济效益

该套设备投资 25 万。

根据企业生产实际，蒸发浓缩后的高浓度浓缩液可利用价值高，交由第三方转运费用相对较低，约 2600 元/t，则节省的浓缩液拉运费为  $(360-288) t/a \times 2600 \text{ 元}/t = 18.72 \text{ 万元}/a$ 。

## 方案九十五：蒸馏浓缩分离技术处理工业废液

蒸馏是一种基于热力学原理的分离工艺。它借助混合液体或液-固体系中各组分沸点的差异，促使低沸点组分蒸发，随后通过冷凝的方式实现整个组分的分离，这是一个单元操作过程，本质上是蒸发与冷凝这两种单元操作的结合。

## 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)，原液经预热后进入蒸发器，通过蒸汽加热实现蒸发。汽液混合物随后进入汽液分离器，在此完成汽液分离，进而得到浓缩物料与二次蒸汽。二次蒸汽经压缩机压缩，提升为高品位蒸汽，接着进入蒸发器。此时，充分利用蒸汽潜热对原液进行加热蒸发，同时二次蒸汽会冷凝成洁净的蒸馏水，以此达成蒸汽循环利用的目的，让蒸发过程无需额外添加蒸汽，从而减少系统对外界能源的需求。该技术是一项高效的节能、减排技术。

MVR 系统的工艺流程可依据所需处理液体的理化性质，设计为单效蒸发和多效蒸发。

### 2. 适用范围

MVR-单效蒸发系统适用于水分蒸发量大、热敏物性较弱、允许大温差传热且只需蒸发一次即可达到浓缩要求的溶液。

MVR-多效蒸发系统适用于处理对热敏性较为敏感、不宜进行大温差传热的溶液蒸发，同时也可应用于蒸发量较大的工艺场景。

### 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，主要生产电脑配件、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，生产工艺包括打磨、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

企业的废乳化液主要源自压缩铝屑所产生的废乳化液、CNC 机台槽液更换时产生的废乳化液，以及车间地面清洁时产生的含有废乳化液的刮地水等。鉴于废乳化液的产生量较大，因此企业购置了 1 套运用 MVR 技术的 OWS 污水处理系统，用以处理废乳化液。

废乳化液首先通过物理错流沉淀的方式，去除其中的固体颗粒、浮油、悬浮物等，随后进入 MVR 系统进行蒸发处理。蒸发后可得到蒸馏水和浓缩的废乳化液。蒸馏水可回用于生产过程，而浓缩后的废乳化液则作为危险废弃物进行拉运处置。

## (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

企业购买的 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），方案实施后的 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 5 元/t，电费按照 1 元/kWh 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： $(135t \div 2t/d) \times 20h/d \times 11kW \times 1 \text{ 元/kWh} = 14850 \text{ 元}$ ；

节约水费： $117t \times 5 \text{ 元/t} = 585 \text{ 元}$ ；

则处置 1t 废乳化液的成本为： $(22200 \text{ 元} + 14850 \text{ 元} - 585 \text{ 元}) \div 135t = 270.1148 \text{ 元/t}$ 。

综上所述，运用 OWS 污水处理系统处理废乳化液能节省约 81.7% 的处置成本。

## 扩容蒸发/闪蒸技术

### 1. 技术原理

扩容蒸发亦称作闪蒸，是把溶液在特定压力下加热至一定温度，接着将其注入一个压力降低的容器。当注入溶液的温度高于该容器的饱和温度时，溶液中的一部分水分会散热并气化为蒸汽，从而使溶液的浓度升高，直至溶液和蒸汽均达到该压力下的饱和状态。

把扩容蒸发产生的二次蒸汽通入热交换器，一方面能够获得冷凝水，另一方面可以对进入系统的溶液进行加热。借助多次多级扩容器来提高汽水比，同时得到浓度更高的溶液，这样既能够回收热量，也可以回用溶液中的主要成分。

## 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

某棉纺织印染精加工企业，主要生产线带、床上用品、布、成衣等，生产工艺包括：坯检、前处理、染色、漂洗、后整理，包装等。

#### (1) 实施情况

企业的丝光工序主要使用烧碱来满足布面的染整工艺要求，在生产过程中会产生大量废碱液。若这些废碱液直接进入污水处理系统，将会造成较大冲击，需要消耗大量的酸来中和 pH 值。这样不仅浪费了大量液碱，还增加了污水的含盐量，进一步加大了污水处理的难度，导致生产成本大幅增加。

因此，企业采购了一套 pH 型智能化扩容蒸发器，该设备功率为 39.2kW，处理能力是 5t/d。废碱液经过滤、净化、浓缩后，回用于丝光工序中。这一举措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，废碱液全部进入污水处理系统。方案实施后，废碱液全部进入 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。

按照设备年运行 130d，每天运行 24 小时计算，则年处理废碱液  $5t/d \times 130d = 650t$ 。根据测算，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，则年节约 455t 新鲜水。

##### ②经济效益

本方案共投入 40 万元，主要用于购买一台 pH 型智能化连续扩容蒸发器。

自来水费按照 5 元/t，电费按照 1 元/kWh，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，浓废碱液回用至丝光工序，则：

电费： $130d/a \times 24h/d \times 39.2kW \times 1 \text{元/kWh} = 122304 \text{元/a}$ ；

节约水费： $455t/a \times 5 \text{元/t} = 2275 \text{元/a}$ ；

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： $390000 \text{元} + 2275 \text{元} - 122304 \text{元} - 16120 = 253851 \text{元}$ ；

投资回收期为： $400000 \text{元} \div 253851 \text{元/a} = 1.6a$ 。

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。

## 案例 2

某金属制品制造企业，主要从事真空镀膜金属件清洗和加工处理，主要工序包括清洗、喷砂、电弧、真空包装等。

### (1) 实施情况

方案实施前，企业选用硝酸作为酸洗原料，产生了大量硝酸废液。此硝酸废液属于危险废弃物，必须交由具备资质的危废处理机构回收处置，处理成本颇高。因此，企业购置了 1 套低温闪蒸蒸馏器来处理硝酸废液。

方案实施后，硝酸废液通过低温闪蒸蒸馏器进行蒸发，蒸发后得到蒸馏水和浓硝酸废液。蒸馏水进入废水站处理，达标后排放；浓硝酸废液则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险废物进行拉运处置。方案实施后，硝酸废液经过低温闪蒸蒸馏器处理，其产生量减少了约 70%~75%。

#### ② 经济效益

低温闪蒸蒸馏器的能耗为每处理 1t 废液需要 208kWh，项目实施后的 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 1 元/kWh 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： $520\text{kg} \times 7 \text{元/kg} = 3640 \text{元}$ ；电费： $1.945\text{t} \times 208\text{kWh/t} \times 1 \text{元/kWh} = 404.56 \text{元}$ 。

则处置 1t 硝酸废液的成本为： $(3640 \text{元} + 404.56 \text{元}) \div 1945\text{kg} = 2.1 \text{元/kg}$ 。

综上所述，运用低温闪蒸蒸馏器处理硝酸废液能节省约 71.3% 的处置成本。

## 真空蒸馏技术

### 1. 技术原理

真空蒸馏，亦称作减压蒸馏，是一种通过降低系统内部压力来降低液体沸点的蒸馏方式，它是分离和提纯有机化合物的常用方法之一。

液体的沸点指的是其蒸气压等于外界压力时的温度，所以液体的沸点会随外界压力的变化而改变。许多有机化合物在压力降低至 1.3~2.0kPa (10~15mmHg) 时，其沸点相较于常压下可降低 80°C~100°C。真空蒸馏能够避免液体在温度升高但尚未达到沸点时就出现分解、氧化或聚合等现象。

真空蒸馏的具体操作方法如下：首先，利用真空泵降低整个蒸馏系统内的压力，使系统内压力降至常压的十几分之一至几分之一；然后将待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

某塑料零件及其他塑料制品制造企业，主要生产特种合成布料、密封条胶带、电线组件、电线的等，生产工艺包括切割、黏合处理、涂覆、烘干等。

### (1) 实施情况

企业在粘合线洗辊过程中会消耗大量水资源，同时产生大量含有 NMP (N - 甲基吡咯烷酮，沸点 202°C) 的清洗废水，这些废水全部作为危险废弃物拉运处置。

为减少危险废弃物的产生量，企业购置了一台常温 (蒸发温度约 40°C) 热泵真空蒸发器，对粘合线洗辊过程中产生的有机清洗废水进行真空常温二次蒸发浓缩。二次蒸发产生的冷凝水被回用于冷却塔补水，而浓缩液则作为危险废弃物拉运处置。

### (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°C) 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

企业投资 103 万元购买一台常温 (蒸发温度约 40°C) 热泵真空蒸发器，处理废水的耗电量为 242kWh/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/kWh 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： $242\text{kWh/t} \times 1\text{t} \times 1\text{元/kWh} + 242\text{kWh/t} \times 0.8\text{t} \times 1\text{元/kWh} = 435.6\text{元}$ ；

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

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

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。

## 方案九十六：废清洗液蒸馏回收与循环利用

### 1. 技术原理

真空蒸馏的主要原理是依据不同物质沸点的差异，对溶剂型清洗液进行蒸馏，去除杂质后循环再利用。

真空蒸馏回收设备主要由溶剂循环系统、真空系统、加热循环系统、冷却循环系统、PLC 控制装置、机架、密封机罩和人机界面控制系统等构成，且与清洗设备相连。废清洗液通过泵被抽入回收桶内，在真空环境下，利用加热棒对回收桶夹层内的热媒油进行加热，热媒油将热量传递给回收桶内的废清洗液，使废清洗液升温，由液态转变为汽态。汽态溶剂经过冷却系统液化分离后，流入回收器皿，随后进入清洗设备循环再利用。

### 2. 适用范围

真空蒸馏可用于常见清洗溶剂的回收利用，比如醇类、酮类、除蜡水、白电油、防白水、天那水、三氯乙烷、三氯乙烯、洗网水、洗模水和稀释剂等，对单一组分清洗溶剂效果更显著。

### 3. 应用案例

某电子元器件制造企业，主要生产继电器、专用开关和连接器等，生产工艺包括：成型、冲压、除尘、组装、焊接、捺印等。

#### （1）实施情况

企业运用碳氢清洗液对各类精密元器件开展脱脂除油工作，旨在确保达成清洗效果的同时，不会对元器件造成损害。当碳氢清洗液中的杂质累积到一定程度时，便会对清洗效果产生影响。所以，碳氢清洗液在使用一段时间后需要进行更换。废碳氢清洗液全部当作危险废弃物进行拉运处置，这既提高了企业的生产成本，又对环境造成了污染。为此，该企业购置了 1 套真空蒸馏回收机，用于废碳氢清洗液的回收循环再利用。

#### （2）实施效果

##### ① 环境效益

方案实施后，碳氢清洗液的回收循环利用率可达 95%，大幅降低了碳氢清洗液的使用量。同时，回收过程中产生的杂质质量约为实施前废碳氢清洗液的 5%，有效减少了废碳氢清洗液的产生量。

##### ② 经济效益

该方案投资约 15 万元。

方案实施后, 每年可减少碳氢清洗液使用量 8160L, 节约购买碳氢清洗液的费用为:  $8160L \div 200L/\text{桶} \times 3600 \text{ 元/桶} = 14.69 \text{ 万元}$ , 节省废碳氢清洗液拉运费为:  $8160L \times 0.75\text{kg/L} \div 1000\text{t/kg} \times 6800 \text{ 元/t} = 4.67 \text{ 万元}$ , 则每年可节约费用:  $14.69 \text{ 万元} + 4.67 \text{ 万元} = 19.36 \text{ 万元}$ 。

该方案的投资回收期约为 9 个月。

## (四) 废弃物回用

### 方案九十七: 膜分离法回收利用除蜡液

#### 1. 技术原理

膜法液体分离技术按分离精度划分, 通常可分为四类: 微滤 (MF)、超滤 (UF)、纳滤 (NF) 和反渗透 (RO), 其过滤精度依次逐级提升。其中, 超滤技术以 0.1~0.5MPa 的压力差为推动力, 借助多孔膜的拦截作用, 通过物理截留的方式分离溶液中不同大小的物质颗粒, 其筛分孔径范围为 0.002~0.1 $\mu\text{m}$ , 截留分子量介于 1000~500000 道尔顿之间。

表 5.6 膜种类划分表

名称	微滤 (MF)	超滤 (UF)	纳滤 (NF)	反渗透 (RO)
膜类型	非对称膜	非对称膜	非对称膜	非对称膜, 对称膜
孔径	>1 $\mu\text{m}$	0.02~0.1 $\mu\text{m}$	1~2nm	<1nm
截留组分	颗粒、细菌	大分子物质、蛋白质、多糖、病毒	小分子物质、抗生素、多肽、氨基酸	氯化钠、无机盐
膜材质	有机膜: 聚丙烯 (PP), 聚偏二氟乙烯、聚醚砜 (PES)、聚四氟乙烯 (PTFE) 无机膜: 氧化铝、氧化锆	有机膜: 纤维素衍生物类 (醋酸纤维素、再生纤维素)、聚醚砜 (PES)、聚醚二氟乙烯 (PVDF)、聚丙烯腈 无机膜: 氧化铝、氧化锆	有机膜: 聚醚砜 (PES)、聚醚二氟乙烯 (PVDF) 无机膜: 氧化铝、氧化锆	醋酸纤维素、聚酰胺

Ceraflo 杂化膜是一种将等径微米级的无机陶瓷颗粒(例如: 二氧化钛、氧化锆、碳化硅的颗粒)与小于它 10~100 倍纳米级的 PTFE 粉料, 在几种助溶材料的帮助下, 让其以无机陶瓷颗粒为核心, 在 200~260 $^{\circ}\text{C}$ 下, 将 PTFE 颗粒包裹在无机陶瓷颗粒周围, 形成一定纳米级球状的复合材料; 并在一定的特殊加工工艺下连续挤出拉伸成孔而形成的一种新型膜材料。

根据相似相溶原理, 普通有机膜材料与多数有机溶剂、有机污染物等均具有非极性或弱极性特征, 未经改性的有机膜易被有机物质侵蚀甚至溶解, 进而影响膜的抗污染能力、分离效果、适用范围与使用寿命。Ceraflo 杂化膜属于无机膜, 与有机膜相比, 无机膜具有更强的化学稳定性和更广的适用温度范围; 由于无机物具有较强的极性, 使油类蛋白等非极性污染物对膜表面与膜孔内部的粘附功较小, 因而耐污染能力强; 无机膜孔径分布窄且拥有非对称膜结构, 可显著提高对特征污染物或特定分子量范围溶质的去除率; 无机膜还更易于实现膜再生, 具有更长的使用寿命。

## 2.适用范围

Ceraflo 杂化膜为无机超滤膜，适用于大分子物质的分离、回收利用。

## 3.应用案例

某金属表面处理及热处理加工企业，主要生产钟表、珠宝、手机、飞机零配件、工模具等产品的装饰膜和功能膜，生产工艺包括超声波清洗、烘干、真空镀膜、质检、钻孔等。

### (1) 实施情况

企业除蜡水的用量较大，除蜡废水与其他清洗废水一同进入废水处理站处理时，因其 COD 含量较高，会对废水处理站造成一定冲击。为此，企业决定对除蜡液进行回收利用。但由于除蜡水中含多种有机成分，常规有机膜系统并不适用，因此企业购置了一套 Ceraflo 杂化膜处理系统来处理除蜡液，过滤后的除蜡液可回流至除蜡工序循环利用。

### (2) 实施效果

#### ①环境效益

通过对除蜡液的回收循环利用，有效降低了除蜡液的消耗量。根据企业实际运行数据核算，方案实施前除蜡液年用量为 7.8t，实施后可减少 50%的用量，年节约除蜡液 3.9t。

此外，除蜡液回用后，除蜡废水的 COD 浓度显著下降，既缓解了对废水处理站的运行冲击，也减轻了对生态环境的不利影响。

#### ②经济效益

本方案总投资为 20.58 万元。

按照除蜡液采购费用 15 元/kg 计算，则年可节约除蜡液购买费用： $3.9t \times 1000kg/t \times 15 \text{元/kg} = 58500$  元。

此外，改造前除蜡废水因 COD 浓度较高，直接排入处理站导致废水处理成本骤升；改造后 COD 浓度显著降低，可大幅削减废水处理成本。

本方案的投资回收期约为  $20.85 \div 5.85 = 3.6a$ 。

## 方案九十八：切削工序 废切削液在线回用

机械加工是通过机械设备改变工件外形尺寸或性能的工艺过程。按加工方式的不同，可分为切削加工和压力加工两类。切削液是一种用于金属切削、磨削过程中，冷却和润滑刀具与加工件的工业液体。切削过程中，大量颗粒物（如碎屑、灰尘）与杂油（包括导轨油、主轴油、液压油）会混入切削液。这些杂质不仅可能携带大量细菌，其中的杂油更是厌氧菌滋生的温床，促使细菌快速繁殖，它们会吞噬切削液的有效成分，最终导致切削液失效、变色、发臭，沦为废液。废切削液属于危险废物，需委托具备相应资质的单位进行专业处置。

## 1. 技术原理

废切削液的在线回用，可借助切削液智能自动供液系统实现。该系统以水力空化为核心技术，融合多级过滤、共聚气浮、流体切割等多项技术手段，通过水力学切割、高低压瞬间转换等作用，推动废切削液中的水、油、颗粒物等多相结合态发生聚团相变，使颗粒物及其他杂质的去除率最高可达 90%；同时，采用物理方式杀菌除臭，有效抑制微生物导致的切削液变质问题，既延长了切削液的使用寿命，又保障了循环使用的稳定性；最后，通过实时监测切削液的关键参数，自动补充原液或水以精准调节浓度，确保切削液始终维持在最优性能状态，最终实现切削液的资源化循环再利用，显著减少危险废物的产生与排放。此外，该系统支持无人值守状态下 24 小时不间断运行，实现“自动配比、自动回液、自动供液”的全流程自动化，大幅节省人力成本。

## 2. 适用范围

在满足环境管理的要求下，可用于切削废液在线回用。

## 3. 应用案例

某磨具制造、金属制造企业，主要生产自行车零配件、五金类零配件、机车零配件等，生产工艺包括研磨除油、机加工、热熔冲压成型、铸锻、焊接、组装等。

### （1）实施情况

方案实施前，企业生产过程中产生的废切削液需委托有资质的危险废物处置单位处置，既增加了生产成本，又浪费了原辅料。

方案实施后，企业使用切削液智能自动供液系统对废切削液进行处理回用。

### （2）实施效果

#### ① 环境效益

方案实施后，提高切削液利用率，减少废切削液产生。根据企业所提供数据，一年可减少切削液用量约 960L，减少废切削液产生量约 0.92t。

#### ② 经济效益

本方案投资 11 万元。

降低人工成本：方案实施后，可减少 2 名工人，按照月薪 5000 元/人计算，则每年可节省人工成本约 12 万元；

减少原辅料成本：方案实施后，一年可减少约 960L 切削液，一桶 200L 的切削液采购成本约 1800 元，则每年可节省切削液采购成本 0.9 万元。

减少危险废物处置成本：方案实施后，一年可减少废切削液产生量约 0.92t，废切削液拉运处置成本按 2000 元/t 计，一年可减少危险废物处置成本约 0.18 万元。

综合计算，本方案实施后，综合经济效益 12 万元+0.9 万元+0.18 万元=13.08 万元，投资回收期约  $11 \div 13.08 = 0.84a$ 。

## 方案九十九：显影工序 显影液循环过滤回用

显影是借助弱碱性溶液与感光膜上未曝光区域的活性基团发生化学反应，生成可溶性物质并使其溶解脱落；而已经曝光的感光膜则会与显影液发生聚合反应得以留存，最终形成所需的线路图形。

### 1. 技术原理

在 PCB 线路板生产的显影工序中，会产生大量高浓度显影废液，其中混杂着干膜、油墨残渣与板屑等杂质，其化学需氧量（COD）浓度高达 10000~20000mg/L，悬浮物浓度为 800~1200mg/L，pH 值为 12-13。传统的处理方式是将显影废液排入废水处理站与其它有机废水混合进行生化处理，或是收集后交由有资质的单位处置，两种处置方式成本均较高。

随着行业竞争加剧以及环保要求越来越高，企业逐步对显影液进行再生回用。其中，显影液循环再生利用系统是一种有效的循环利用技术。其利用超滤膜特性，通过膜表面的微孔筛选可截留分子量为 1000~300000 的物质，当被处理溶液借助于外界压力的作用以一定的流速通过膜表面时，水分子和分子量小于 300~1000 的溶质透过膜，而大于膜孔的微粒、大分子等由于筛分作用被截留，从而使溶液得到净化。

显影液循环再生利用系统由收集回收系统、超滤过滤系统、显影液再生系统、槽体清洗系统、自动加药系统等五部分组成。其工作流程如下：首先通过收集管道将显影废液回收至中央收集池，再由泵输送至暂存槽暂存；随后经超滤过滤系统去除杂质污物，送入再生槽与浓缩原液按比例混合，通过自动加药系统将再生显影液的各项参数调配至设定值，达标后的再生液即可重新投入生产线使用。同时，过滤后的药水可用于清洗过滤系统，清洗后的显影液返回暂存槽二次过滤；暂存槽可定期打开清洗，清洗废水则排入废水处理站。

该系统具有三大特点：①回收效率高：采用超滤工艺，可完全过滤大于 0.1mm 的干膜胶体或防焊胶体，同时保证显影化学物透过且不变质；80%的显影液可回收再用，显影废水排放量减少 3/4；②运行成本低：相较于传统棉芯过滤，智能超滤的运行成本显著降低；③高度智能化：采用智能化设计，实现显影液在线循环回用，自动封闭冲洗滤芯，无需人工干预；可延长显影液使用寿命 1~2 倍，减少换药水及滤芯时间，避免停机影响生产，有效提升生产效率。

显影液循环再生利用系统，改变了传统 PCB 板显影液的管理方式，实现了显影液循环使用，不仅有效提升生产效率，确保显影过程稳定可靠、PCB 板生产品质达标；还能大幅削减显影废液产生量，提高资源利用率，助力企业实现清洁生产目标。

### 2. 适用范围

在满足环境管理的要求下，可用于显影液在线回用。

### 3. 应用案例

某电子电路制造企业，主要生产多层板、HDI 板、高频板、高速板、厚铜板、金属基板、挠性板刚挠结合板等，生产工艺包括开料、内层图形制作、压膜/涂布、曝光、显影、蚀刻、层压、沉铜、图形电镀、印阻焊/字符、表面处理、成型等。

## (1) 实施情况

方案实施前，企业每班次需要清理一次显影槽，产生的显影废液排入废水处理站处理达标后排放。

方案实施后，企业购置了一套显影液循环再生利用系统，对显影废液进行再生回用处理。

## (2) 实施效果

### ①环境效益

节省原辅料消耗：方案实施前，每班次需要清理一次显影槽， $\text{Na}_2\text{CO}_3$  消耗量为 28kg/天；方案实施后，7~10 天清理一次显影槽， $\text{Na}_2\text{CO}_3$  消耗量为 28kg/周，则每年可节省  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  消耗量  $28\text{kg}/\text{天} \times 300 \text{天} - 28\text{kg}/\text{周} \times 43 \text{周} = 7196\text{kg} \approx 7.2\text{t}$ 。

减少新鲜水用量：企业每次换槽需消耗约  $2\text{m}^3$  新鲜水，实施后换槽频次减少，每周可减少新鲜水消耗量约  $12\text{m}^3$ ，则每年可减少新鲜水消耗量约  $516\text{m}^3$ 。

减少废水产生量：方案实施前，企业每次换槽产生  $2\text{m}^3$  显影废水；实施后，换槽频次减少，每周可减少显影废水产生量约  $12\text{m}^3$ ，则每年可减少显影废水产生量约  $516\text{m}^3$ 。

减少污泥产生量：按照  $250\text{m}^3$  水产生 1t 污泥计算，本方案每年可减少污泥产生量约 2t。

### ②经济效益

本方案投资 30 万元。

节省原辅料购置成本：方案实施后，每年可节省  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  消耗量约 7.2t， $\text{Na}_2\text{CO}_3$  采购费用按 2000 元/t 计算，则每年可节省  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  购置成本约 1.44 万元。

节约水费：每年可减少新鲜水消耗量约  $516\text{m}^3$ ，新鲜水成本按 5 元/ $\text{m}^3$  计算，则每年可节省水费 0.26 万元。

节约废水处理成本：每年可减少显影废水产生量约  $516\text{m}^3$ ，废水处理成本按 20 元/ $\text{m}^3$  计，则每年可节省废水处理成本  $516\text{m}^3 \times 20 \text{元}/\text{m}^3 = 1.03$  万元。

节省污泥处置费用：本方案每年可减少污泥产生量约 2t，污泥处置费用按 1800 元/t 计，则每年节省污泥处置费用约 0.36 万元。

综上，本方案每年综合效益  $1.44 \text{万元} + 0.26 \text{万元} + 1.03 \text{万元} + 0.36 \text{万元} = 3.09$  万元。

## 方案一百：微蚀工序 微蚀液循环再生

微蚀工序是印制电路板制造过程中的关键表面前处理工序，广泛应用于沉铜、电镀、贴干膜等工序前。该工序采用硫酸-双氧水、过硫酸钠-硫酸、硫酸铁-硫酸体系等主流微蚀体系，通过氧化还原反应，以喷淋或浸泡方式对铜面进行可控的微米级微观蚀刻，可精准去除铜面氧化层、油污及轻微毛刺等，同时在铜面形成均匀的微观粗糙结构，提升铜面与后续沉铜层、电镀层及干膜等的结合力。

## 1. 技术原理

目前，行业常用的微蚀液循环再生技术主要包括电解法、膜分离法、树脂吸附法、化学沉淀法四类，各类技术原理如下：

**电解法：**基于电化学原理，在微蚀废液中设置阴阳两极，通过调控电流密度、反应温度等参数，使废液中的铜离子在阴极还原沉积为金属铜；在硫酸铁-硫酸体系中，阳极可同步氧化再生微蚀液有效成分（如硫酸铁）的，实现提铜与药液再生并行。其中，离子膜在线电解工艺为行业升级方案，采用专用离子膜分隔阴阳极，引导铜离子定向迁移至阴极，避免反应干扰，实现废液零排放。该技术全程无需添加化学药剂，铜回收率高，并可通过智能监控系统动态补加损耗成分，确保再生液性能与新鲜微蚀液一样，无二次污染。

**膜分离法：**以纳滤技术为核心，配套耐强氧化性的陶瓷基或有机纳滤膜，利用膜的荷电效应及筛分效应协同作用，在压力驱动下分离微蚀废液中的铜离子与硫酸、双氧水等成分。分离后，形成的高浓度铜离子浓缩液可进一步电解回收金属铜，透过膜的清液经补充损耗成分后，可直接回用于生产。部分工艺需增设超滤预处理环节，以去除废液中的悬浮物和杂质，延长纳滤膜的使用寿命。该技术全程无相变，能耗较低。

**树脂吸附法：**利用螯合树脂对铜离子的高选择性吸附特性，使微蚀废液流经树脂柱时，铜离子与树脂表面的活性基团发生离子交换反应，被树脂吸附截留，而硫酸、双氧水等有效成分则透过树脂柱，经补充损耗成分后回用于生产。树脂吸附饱和后，可通过酸洗解析使铜离子从树脂上脱附，实现树脂再生复用；解析所得高浓度铜液可用于电解提铜或制备铜盐，实现铜的资源化利用。部分集成工艺将树脂吸附与电解结合，实现吸附、解析、提铜一体化，提升处理效率。

**化学沉淀法：**向微蚀废液中投加沉淀剂（如氢氧化钠、硫化钠等），使铜离子与沉淀剂发生化学反应，生成氢氧化铜、硫化铜等不溶性沉淀物，实现铜离子与废液中有效成分的分离。沉淀的铜渣经收集处理后，可通过酸溶、电解工艺回收金属铜；分离铜离子后的清液，补加双氧水、硫酸等成分后可部分回用生产。目前，行业多采用两步沉淀法，先以硫化钠初步沉淀，再经氢氧化钠二次沉淀，可提升处理效果，但该方法需添加大量化学药剂，易产生二次污泥。

各项技术的核心指标、优劣势及具体适用范围如下表所示：

表 5.7 常用微蚀液循环再生技术对比表

技术名称	铜回收率	微蚀液回用率	优势	劣势	适用场景
电解法	≥90%	85%~95%	1. 无需添加化学药剂、无二次污染； 2. 提铜与药液再生同步进行，实现废液零排放； 3. 回收铜纯度高； 4. 系统运行稳定。	1. 初期设备投资高； 2. 对运维人员专业技术能力要求较高； 3. 不适用于小处理量、低浓度含铜废液。	适用于处理量大、铜浓度高及精度要求高的微蚀工序。

技术名称	铜回收率	微蚀液回用率	优势	劣势	适用场景
膜分离法	≥95%	80%~90%	1.无相变过程、能耗较低； 2.可有效保留易分解的有效成分； 3.模块化设计，占地面积小。	1.纳滤膜易堵塞，需定期更换，运维成本较高； 2.适用范围较窄，适配的微蚀体系有限。	主要适用于硫酸-双氧水体系中低铜浓度的微蚀废液。
树脂吸附法	85%~90%	75%~85%	1.操作方式灵活； 2.树脂可再生； 3.适配多种微蚀液体体系； 4.模块化设计，占地面积小。	1.处理量有限； 2.树脂对废液中悬浮物敏感、需预处理，且树脂需定期解析再生。	适用于多体系微蚀液。
化学沉淀法	70%~85%	30%~50%	1.设备投资及运维成本低，操作简便； 2.适用于多种微蚀液体体系。	1.化学药剂投加大，易产生二次污染； 2.回收铜纯度较低、回用比例有限。	适用于多体系微蚀液，也可作为辅助处理手段。

## 2.适用范围

适用于电子电路制造微蚀工序。

## 3.应用案例

某电子电路制造企业，主要生产刚性单面板、双面板、多层板，柔性单面板、双面板等，生产工艺包括开料、钻孔、沉铜、图形转移、电镀、蚀刻、测试、阻焊、成型、终检、包装等。

### (1) 实施情况

企业二车间采用过硫酸钠-硫酸体系的微蚀液，生产过程中产生的微蚀废液直接排入废水处理站，不仅造成铜资源浪费，也导致废水中铜浓度升高，增加废水处理成本及污泥产生量。因此，企业引入一套微蚀液循环再生系统。该系统首先通过电解工艺回收高纯度铜，再生液通过自动添加系统，智能调控成分与浓度，确保再生液性能稳定，满足生产回用要求。其原理示意图如下：

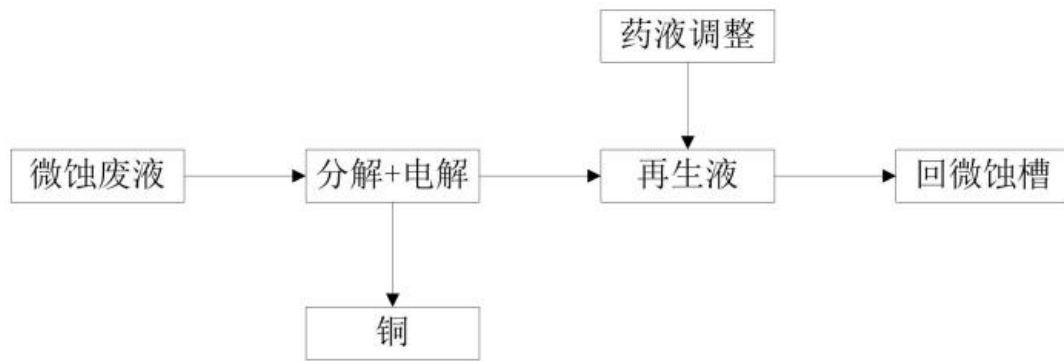


图 5.15 电解法微蚀液循环再生系统

微蚀废液经预处理后，泵入特殊垂直电解槽，并添加电解添加剂，进行循环电解，直至溶液中铜浓度降至 1g/L 以下。该技术的电解效率可达 80~85%，可产出纯度超过 99% 的致密铜板；电解后的清液经调整成分后，成为再生子液返回微蚀槽，实现回用。

## (2) 实施效果

### ① 环境效益

企业原微蚀液每月消耗量约为 0.5t，年消耗量为 6t，按再生率 85% 计算，年减少新微蚀液采购量为  $6t \times 85\% = 5.1t$ 。

方案实施后，清洗废水中铜产生量约 0.96kg/月，按电解效率 80% 计算，则微蚀液中铜含量为  $0.96kg/月 \div (1-80\%) = 4.8kg/月$ ，每年可产出铜板  $4.8kg/月 \times 12 月 \times 80\% = 46.08kg$ ，即每年可减少废水中铜产生量 46.08kg。

### ② 经济效益

该方案共计投资 20 万元。

按照铜板价格 50 元/kg 计算，铜板回收收益约为  $46.08kg/a \times 50 元/kg = 0.23 万元/a$ 。按照微蚀液价格 8000 元/t 计算，节省微蚀液采购费用  $5.1t/a \times 8000 元/t = 4.08 万元/a$ 。此外，由于废水中铜含量降低，减轻了废水处理负荷，降低了废水处理成本。

综上，在不考虑废水处理成本节省的前提下，该方案综合经济效益约 4.31 万元/a，投资回本期约 4.6 年。

## 方案一百零一：退锡工序 退锡水循环利用

当采用丝网印刷或光化学工艺在双面覆铜箔层压板上制备导电图形时，需先在导电图形上镀覆一层抗蚀金属锡，以保护电路图形免受蚀刻；随后蚀刻去除电路图形以外的区域，最后再褪去该抗蚀金属锡镀层。退锡废液即为此过程中使用退锡液去除保护图形的锡镀层时所产生的废液。

## 1. 技术原理

退锡水回收利用工艺是向退锡废液中添加沉淀剂、助沉剂及絮凝剂等药剂，促使废液中的金属离子转化为沉淀形态。通过固液分离装置对金属沉淀与上层清液进行分离，分离出的锡泥需委托有资质的单位处置；滤液则进入再生液存储与调配模块，通过成分调节使其各项指标满足生产要求，形成再生子液，再经由比重控制自动补加至退锡生产线回用，最终实现退锡水的循环利用。

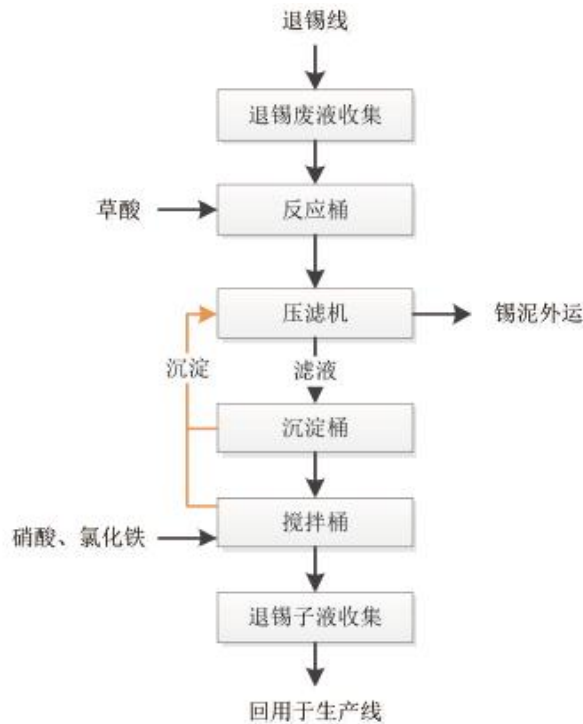
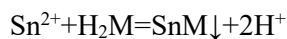
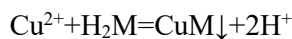


图 5.16 退锡水循环利用工艺流程图

反应桶中主要是在退锡废液中加入草酸，使退锡废液中的金属离子和沉淀剂反应生成沉淀，反应式如下：



从上式可见，加入的沉淀剂需为锡、铜的共沉淀剂，该方法可实现废液中锡、铁、铜的选择性分离，且沉淀后的上清液基本保留退锡废液中的有效退锡成分，仅需补充少量成分即可恢复退锡效能。通过比重控制自动补加回退锡生产线循环使用，进而实现退锡水的循环利用与废液零排放。在反应桶、储存桶及调配过程中，挥发出的硝酸应进行收集并经处理后达标排放。

退锡水回用技术在 PCB 制造中具备多重显著优势。在环保层面，它能显著削减含硝酸、氢氟酸及锡离子的废液排放量，降低环境危害；在经济层面，通过回收废液中的硝酸等有效成分并提取高纯度锡泥，企业既能降低新药剂采购费用，又可通过出售锡金属获得额外收益，同时大幅节约危险废物处理费用；在工艺兼容性方面，再生退锡水可稳定去除 PCB 锡层，不影响后续蚀刻与电镀质量，且回用系统可无缝融入自动化产线。

## 2.适用范围

在满足环境管理的要求下，可适用于对线路板生产过程中产生的退锡废液和镀锡废液进行回收利用。在回收过程中，需要对处理过程中产生的废水、废气等污染物进行有效处理，以避免对环境造成二次污染。

## 3.应用案例

某电子电路制造企业，主要生产多层板、HDI板、高频板、高速板、厚铜板、金属基板、挠性板刚挠结合板等，工艺流程主要包括开料、内层图形制作、压膜/涂布、曝光、显影、蚀刻、层压、沉铜、图形电镀、印阻焊/字符、表面处理、成型等过程。

### (1) 实施情况

方案实施前，退锡工序产生的退锡废液委托有资质的单位处置，既增加危险废物的处置成本，又造成退锡水的资源浪费。

方案实施后，企业对退锡缸内退锡水收集后进行沉淀过滤，再通过自动配药系统添加配制达到生产使用要求后进行重复使用。

### (2) 实施效果

#### ①环境效益

方案实施前，企业退锡废液产生量约10t/月，交由有资质的单位处置。

方案实施后，退锡废液经处理后回用，无退锡废液产生；退锡废液经沉淀过滤后产生锡泥约0.8t/月，因此每月可减少危险废物产生量 $10t-0.8t=9.2t$ ，年减少危险废物产生量约 $9.2t \times 12 \text{月}/a=110.4t$ 。

#### ②经济效益

本方案投资约20万元，包括设备采购费、设备安装费等。

方案实施后，每月可节省退锡水10t，每吨退锡水采购费用按4000元计，则每月退锡水采购费用为 $10t \times 4000 \text{元}/t=4 \text{万元}$ ，扣除退锡废液拉运收益及设备运维成本约15万元/a，折算每年节约成本约33万元，投资回收期约0.6年。

## 方案一百零二：镀镍工序 电镀镍回收系统

镍是一种具有银白色光泽的金属，兼具优良的耐腐蚀性和较高的机械强度。在电镀工业领域，镍被广泛用于提升产品表面的光泽度、硬度及防腐性能。在生产过程中，镀镍槽内的镀液易随工件表面附着而带入后续清洗工序，导致清洗废水中含有一类污染物总镍。因此，这类废水须经单独预处理达标后，方可排入综合废水处理系统。

镍盐是镀镍工序的主要原辅材料，其价格较高。通过引入镍回收系统，对含镍清洗废水进行收集，并对镍进行回收提纯，不仅能降低企业生产成本，还可减少废水中一类污染物的排放量，具有良好的经济效益与环境效益。

## 1. 技术原理

电镀镍回收有低温蒸馏和电化学回收两种方法。

### (1) 低温蒸馏法

低温蒸馏系统由沉淀、反渗透、树脂吸附、过滤、酸洗、低温蒸馏及结晶单元组成。含镍废水首先进入沉淀单元，通过投加氢氧化钠调节 pH 值，使废水中除镍之外的其他金属杂质（如  $\text{Cu}^{2+}$ ）形成沉淀去除，为后续反渗透单元创造有利条件；预处理后的废水进入反渗透（RO）单元，在高压驱动下，RO 膜选择性分离水分子和溶解盐分，由于废水呈碱性，膜表面电荷对镍离子的吸附力降低，有利于镍离子随浓水排出。经 RO 膜出来的纯水可回用至产线用作清洗，浓水则进入后续处理单元；浓水经过过滤单元去除悬浮颗粒物和有机物后，进入树脂吸附单元；树脂表面的功能基团与镍离子形成配位键，实现选择性吸附；吸附饱和后，采用硫酸对树脂进行酸洗，破坏配位键，释放镍离子，形成高浓度的硫酸镍溶液；硫酸镍溶液随后进入低温蒸馏单元内进行蒸发浓缩，最终在结晶单元中于常温下搅拌结晶，形成硫酸镍晶体。

经处理后镀镍后清洗废水，硫酸镍回收率可达 95%，硫酸镍晶体可达到电镀级别，可返回产线直接回用于镀镍工序。

### (2) 电化学法

电化学法主要针对高浓度含镍废水，对于低浓度含镍废水则需先通过反渗透+螯合树脂等方式进行浓缩富集，将其转化为高浓度含镍废水，再进入电化学回收镍系统。

电化学回收镍系统由沉淀和电解单元组成，沉淀单元与上述低温蒸馏相同，主要通过投加碱液形成氢氧化镍沉淀，再经压滤机进行固液分离；上清液排入含镍废水调节池，氢氧化镍沉淀物则加入酸溶解形成可溶性镍盐溶液；该溶液随后进入电解单元，在直流电场驱动下， $\text{Ni}^{2+}$ 在阴极发生电沉积反应，还原沉积为高纯度单质镍。

## 2. 适用范围

在满足环境管理要求的前提下，适用于电镀镍工序后的含镍清洗废水处理；不适用于化学镍工序后的含镍清洗废水处理。

采用电化学法时，需满足以下条件：

- (1) 废水中镍浓度不低于 2g/L；
- (2) 电解液 pH 值应控制在弱酸性范围，以防止  $\text{Ni}^{2+}$ 水解生产氢氧化镍沉淀；
- (3) 若电解液中含有 Cl<sup>-</sup>，需配套废气收集与处理系统，以处理电解过程中可能产生的氯气。

## 3. 应用案例

### 案例 1

某汽车零部件及配件制造、金属表面处理及热处理加工企业，主要生产汽车内外装饰件等，生产工艺包括除油、粗化、催化、电镀（镀铜、镀镍、镀铬）等。

## (1) 实施情况

方案实施前,企业将镀镍工序产生的含镍清洗废水单独收集,经预处理达标后排入综合废水处理系统。为降低硫酸镍采购成本,企业通过市场调研,引入一套电镀镍回收设备,专门处理电镀镍工序产生的含镍清洗废水。

含镍清洗废水收集后进入电镀镍回收设备,依次经沉淀、过滤、树脂吸附、酸洗、低温蒸馏及搅拌结晶等工序处理,最终得到纯度达 99.9%的硫酸镍晶体。经检测,该晶体纯度满足电镀镍槽的原料纯度要求,可直接回用至镀液配制。

根据企业提供的运行数据,该设备对含镍清洗废水中镍离子的回收率可达 95%。在产品结构及生产规模保持稳定的前提下,企业仅需采购原用量 5%的硫酸镍晶体,其余均可由该设备产出的晶体替代。此方案不仅能有效降低企业原辅材料采购成本,还可显著减少一类污染物的排放量。

## (2) 实施效果

### ①环境效益

方案实施前,企业硫酸镍用量为 29t/a;方案实施后,在同等产能的情况下,仅需购买硫酸镍 1.45t/a。电镀镍工序后的清洗废水经电镀镍回收设备处理,可减少废水站处理该部分废水的成本,同时减少含镍污泥的产生量。

由于企业未对电镀镍回收设备的实际能耗进行统计,因此无法核算运行过程中新增的电耗。

### ②经济效益

本方案购置一套电镀镍回收设备,共投资 380 万元。

硫酸镍购买单价为 46 元/kg,则可节约购买费用  $27.55\text{t/a} \times 1000\text{kg/t} \times 46\text{元/kg} = 126.73\text{万元/a}$ 。投资回收期约  $380 \div 126.73 = 3$  年。

由于企业未统计含镍清洗废水处理的药剂费用、电镀镍回收系统的能耗费用及含镍污泥的转运费用等数据,故无法核算相关成本。

## 案例 2

某金属表面处理及热处理加工企业,主要生产电子元件及组件,生产工艺包括除油、清洗、电镀镍等。

## (1) 实施情况

方案实施前,企业电镀镍工序后产生的含镍清洗废水产生量较大,导致废水站处理负荷及运行成本偏高,同时难以稳定达到《电镀水污染物排放标准》(DB 441597-2015)表 2 珠三角的排放限值要求。

方案实施后,企业对生产过程中产生的低浓度含镍废水进行浓缩处理,并与电镀镍工序后的首次清洗废水合并,采用电解工艺回收金属镍。该方案的实施可有效降低进入废水中镍浓度,并可制备出纯度达 99.9%的金属镍单质。

## (2) 实施效果

### ①环境效益

方案实施前，企业含镍废水产生量约 600t/月，含镍污泥产生量为 2.25t/日。方案实施后，低浓度含镍废水经浓缩处理，上清液回用于生产线上清洗工序；高浓度含镍废水经过滤产生的碱性废液，可用于含镍废水预处理单元的 pH 调节。同时，通过电解工艺处理后金属镍几乎全部被回收，废水中镍含量大幅减少，一类污染物排放口镍浓度满足《电镀水污染物排放标准》(DB 441597-2015) 表 2 珠三角的排放限值要求。

方案实施后，可回收金属镍 1t/月，即可实现镍减排 12t/a。因为进入废水站的含镍废水量和浓度大幅降低，含镍废水处理单元的药剂投加量也随之减少。改造后，含镍污泥的产生量约为 1t/d。按照年运行时间 330 天计算，可减少含镍污泥产生量  $(2.25\text{t/a}-1\text{t/d}) \times 330\text{d/a}=379.5\text{t/a}$ 。

### ②经济效益

企业购买 2 套电解镍回收设备，总投入 200 万元。

#### a、节省废水处理费用

方案实施前，含镍废水的处理成本为 138 元/t。方案实施后，含镍废水产生量及浓度显著降低，使得含镍废水处理成本大幅下降。在不考虑方案实施后含镍废水处理成本的情况下，方案实施后可节省含镍废水处理费用  $600\text{t/a} \times 138 \text{元/t}=8.28 \text{万元/a}$ 。

#### b、经济收益

方案实施后，可回收镍单质 12t/a。按目前市场镍单价约 90 元/kg 计算，则可实现经济收益： $12\text{t/a} \times 1000\text{kg/t} \times 90 \text{元/kg}=108 \text{万元/a}$ 。

#### c、节省污泥处置费用

方案实施后，可减少含镍污泥产生量 379.5t/a。按含镍污泥处置费用 2000 元/t 计算，则可减少含镍污泥处置费用  $379.5\text{t/a} \times 2000 \text{元/t}=75.9 \text{万元/a}$ 。

综上，方案实施后，可产生经济效益  $8.28 \text{万元/a}+108 \text{万元/a}+75.9 \text{万元/a}=192.18 \text{万元/a}$ ，投资回收期约为 1 年左右。企业未单独统计电解镍回收设备的药剂及用电费用，但据企业估算，该部分运行费用相对较低。

## 方案一百零三：电镀含银废水回收金属银

银具备优异的导电性、导热性、反光性及抑菌性，同时拥有良好的装饰效果。镀银是工业领域应用较为广泛的电镀镀种之一。目前，镀银工艺仍以氰化镀银工艺为主，属于暂缓淘汰工艺；氰化镀银工艺会产生一定量含氰、含银废水。由于银为贵金属，且为一类污染物，对废水中的银进行回收，不仅有助于降低生产成本，也能从源头减少企业废水重金属排放。

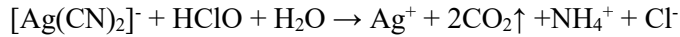
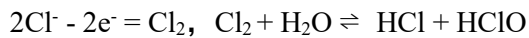
### 1. 技术原理

氰化镀银废水中银主要以游离银离子 ( $\text{Ag}^+$ ) 和络合态银  $[\text{Ag}(\text{CN})_2]$  两种形式存在。电解法回收银的原理是：游离银离子直接在阴极发生电沉积被还原析出；而络合态银则需先通过电解氧化破络，释放游离银离子后，再在阴极还原析出。

主要化学反应如下：

游离银离子阴极电沉积还原析出： $\text{Ag}^+ + \text{e}^- = \text{Ag} \downarrow$

络合态银 $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$ 破络：电解过程可同步实现破和破络。阳极产生活性氯、羟基自由基等强氧化性物质，能否破坏络合态银的配位键，并将游离出的氰根离子彻底氧化为无毒产物。



该技术银回收率达 95%~99%，回收银纯度超 99%，既实现贵金属资源化回收，又使废水稳定达标排放。

## 2. 适用范围

适用于含银废水处理及金属银回收。电解需满足以下条件：

- (1) 游离银离子阴极电沉积还原析出时，需抑制阴极副反应，防止  $\text{H}^+$  优先得到电子生成氢气；
- (2) 破氰破络阶段，pH 宜控制在 10~11；破氰破络后，pH 宜调至 3~6，防止  $\text{Ag}^+$  水解生成氧化银沉淀；
- (3) 处理氰化镀银废水须采用密闭电解槽，并配套废气收集系统。

## 3. 应用案例

某金属表面处理及热处理加工企业，主要从事五金件的电镀加工，生产工艺包括除油、活化、预镀镍、镀镍、镀铜、镀铬、氰化镀银等。

### (1) 实施情况

方案实施前，含银废水经预处理单元后进入废水站处理，废水中的银主要进入污泥中；方案实施后，企业增加电解回收工艺对含银废水进行处理，废水中银基本实现全回收，大幅削减了进入废水站的银总量。

### (2) 实施效果

#### ① 环境效益

企业产生含银废水约 2t/d，银离子浓度约为 0.1mg/L。

方案实施后，废水中的银基本被电解回收。按照年运行时间 330 天计算，则可减少银排放量： $2\text{t/d} \times 0.1\text{mg/L} \times 330\text{d/a} \div 1000 = 0.066\text{kg/a}$ 。

#### ② 经济效益

本方案投资 8 万元。

方案实施后，可回收金属银 660g/a。市场银单价约为 16 元/g，则可获得经济收益： $660\text{g/a} \times 16\text{元/g} = 10560\text{元/a}$ 。

## 方案一百零四：危废处理 活性炭脱附再生系统

活性炭作为常用的有机废气吸附材料，通常不具备原位再生的条件。吸附饱和的活性炭往往被当作危险废物处理，这不仅会对环境造成二次污染，还会造成活性炭资源的浪费，增加企业的运营成本。而活性炭脱附再生系统能够实现活性炭的“再生”，使其得以循环回用并保持稳定运行。

### 1.技术原理

活性炭吸附废气属于物理过程，具有可逆性，因此可通过热空气升温的方式进行解吸。活性炭脱附系统涵盖脱附和燃烧模块。

脱附主要借助热气流（75~110℃），将吸附饱和的活性炭中的废气吹脱出来，使活性炭得以再生并重复使用。脱附下来的废气浓度相较于吸附时的浓度提升了几十倍，此废气可输送至燃烧模块，在燃烧室中进行催化燃烧，实现废气的氧化分解。燃烧后的高温气体经过换热器进行换热，换热后的洁净气体，一部分作为活性炭脱附时的热气流送往脱附模块，另一部分则通过排气筒达标排放。

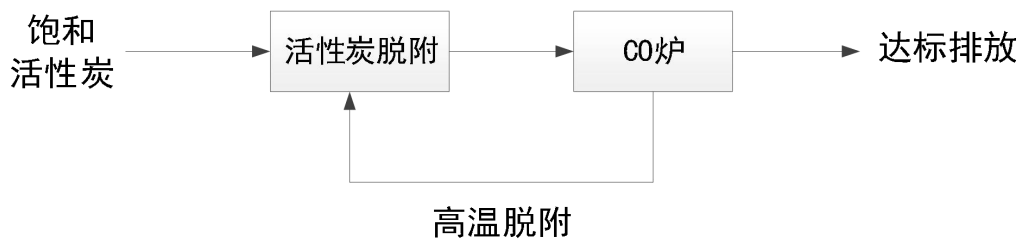


图 5.17 活性炭脱附系统示意图

活性炭脱附再生系统能够在企业内部独立设置，实现活性炭的脱附与再生。经过脱附与再生处理后的活性炭，可重新装填到废气处理设施中继续使用。该设施能够降低企业在活性炭采购和危险废物处置方面的成本，有效减轻企业的经济负担。

### 2.适用范围

在满足环境管理要求的前提下，可用于废气处理系统中废活性炭的再生，但不适用于含有会导致催化剂中毒失活物质（如铅化合物以及硫、磷、卤族元素的化合物等）的情况。

### 3.应用案例

某电子器件制造企业，主要生产控制器、LED 射灯、LED 日光灯、汽车电子等，生产工艺包括刷锡膏、贴装、回流焊、插件、波峰焊、喷胶、烘干等。

#### （1）实施情况

企业在喷胶、烘干等工序中会产生有机废气，这些有机废气经过“水喷淋+UV 光解+活性炭”处理后，可实现达标排放。

在方案实施前，企业废气处理设施中的活性炭吸附饱和后，直接交由危废处置单位进行处置，导致拉运频次较高，处理费用也相对高昂。

方案实施后，企业增设了一套活性炭脱附再生设备，其处置能力达 3000m<sup>3</sup>/h。该设备会定期对废气处理设施中的活性炭进行脱附再生，以维持活性炭的吸附能力。该设备既能确保废气处理效率，又能减少危险废物废活性炭的产生与转运。

## (2) 实施效果

### ①环境效益

方案实施前，企业将废活性炭交由具备资质的危废处理单位进行处置；方案实施后，企业运用活性炭脱附再生设备对废活性炭开展脱附再生工作。

根据企业统计核算，在同等产能的情况下，每年可节省活性炭使用量 70t，减少废活性炭产生量 90t。

### ②经济效益

本方案投资 53.8 万元，主要用于购置设备及设备安装调试。活性炭脱附设备运行过程中主要是利用电能运行及燃烧，消耗电量未进行单独统计，故无法统计其运行成本。

方案实施后，企业减少了活性炭的购买和废活性炭处理成本。活性炭购买成本按照 5000 元/t 计算，则年节省活性炭购买费用  $70t/a \times 5000 \text{ 元}/t = 35 \text{ 万元}/a$ 。废活性炭处置费用按照 3000 元/t 计算，则年节省危废处理费用  $90t/a \times 3000 \text{ 元}/t = 27 \text{ 万元}/a$ 。

综合上述，方案实施后，企业可节省活性炭购买及危废处置费用约 62 万元/a，但增加了活性炭脱附再生设备的运行成本。

## 方案一百零五：冷凝水回用 洗车车间冷凝水回用

### 1.技术原理

纺织品在历经纺纱、染整、制衣等多道工序的加工处理后，通常都需进行洗水处理，以此实现去污、防缩、加柔、去毛或达成某些特殊视觉效果的目的，让成衣的综合性能更趋近于常态，颜色更为自然。

洗水过程中需要对织物进行烘干，当前企业一般采用蒸汽烘干机。蒸汽烘干机依据热交换原理，借助蒸汽散热器散发的热量，通过抽风机持续吸风形成一个热循环过程，使转筒内的物料在旋转的转筒中不断正反翻动，进而逐渐烘干。蒸汽换热后，温度降低，会产生大量冷凝水，该冷凝水可根据企业实际状况进行回用。

### 2.适用范围

适用于蒸汽加热。

### 3.应用案例

某棉纺织印染精加工企业，主要生产线带、床上用品、布、成衣等，生产工艺包括坯检、前处理、染色、漂洗、后整理，包装等。

#### (1) 实施情况

企业洗水车间的烘干机采用蒸汽加热方式，蒸汽在经过热能转换后，会产生大量的冷凝水。方案实施之前，蒸汽冷凝水以清净下水的形式直接排放。经企业技术人员分析测试发现，该部分冷凝水的水质符合工艺要求，能够直接回用于生产。

鉴于此，企业安装了一套冷凝水回用系统，将冷凝水收集至集水池，随后再回用于生产环节。

#### (2) 实施效果

##### ①环境效益

方案实施后，每天可以回收冷凝水约 8.5m<sup>3</sup>，一年生产时间按 300 天计算，共可以节水 2550m<sup>3</sup>/a。

##### ②经济效益

按水费 5 元/m<sup>3</sup>计，可节约生产成本 2550m<sup>3</sup>/a×5 元/m<sup>3</sup>=1.28 万元/a。增设冷凝水回用系统总投入 6 万元，则投资回收期为 4.7 年。

## 方案一百零六：铜粉回收 磨板清洗工序加装铜粉回收机

### 1.技术原理

磨板工序旨在去除 PCB 板制造过程中板材周边的细小纤维颗粒，防止生产时粉尘掉落，从而避免出现开路 and 短路现象。钻孔之后进行磨板，能够去除工件表面因钻孔产生的粉尘，并磨掉铜面的氧化膜；沉铜之后、印浆之前进行磨板，则是为了去除工件表面轻微的氧化膜。此外，还有显影后磨板、电镀后磨板、出货前磨板等工序。

由于磨板采用物理方式去除板材的毛边及其他杂质，因此磨板清洗线产生的废水中，含有从板材上磨刷下来的铜粉及其他杂质。另外，磨板清洗线对水质要求不高，将铜粉及其他杂质过滤出来后，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

某电子电路制造企业，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，生产工艺包括开料、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

方案实施前，企业磨板清洗线原本未加装铜粉回收机，所产生的清洗废水直接排入综合水池。为节约成本，企业在磨板清洗线上增设了 1 台铜粉回收机，实现了磨板清洗工序的清洗水及铜粉的回收利用，减轻了环境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  $2260\text{m}^3/\text{a}$ ；根据统计，企业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

企业废水处理成本约  $36.5$  元/ $\text{t}$ ，则可减少废水处理成本  $8.249$  万元/ $\text{a}$ 。污泥处置费用按  $3500$  元/ $\text{t}$  计算，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： $2$  万元 $\div$ ( $8.249+3$ ) 万元/ $\text{a}=0.18\text{a}$ 。

## 方案一百零七：印刷工序 润版液过滤循环回用

### 1.技术原理

在胶印过程中，因受到纸张、油墨以及外界因素的作用，润版液会渐渐老化直至失效，致使油墨和润版液的比例失衡，油墨过度乳化。为确保印刷质量，需要频繁停机，对水箱进行清洗并更换水。安装润版液过滤循环装置，能够提升工作效率，减少废弃润版液的产生。

润版液过滤循环装置主要针对印刷过程中润版液里掺杂的污染物（像油墨、亲水性树脂、纸粉等）进行分离、过滤，从而保证印刷机水箱内的水质纯净，进而维持胶印机最佳的水墨控制条件，减少油墨的过度乳化现象。润版液过滤循环系统的运用可以延长润版液的使用周期，过滤后的润版液能持续维持印刷表面张力，提高印刷品质，解决管道堵塞问题。

### 2.适用范围

适用于平版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，生产工艺包括制版、印刷、表面处理、裱纸、模切等。

## (1) 实施情况

企业在印刷工序中采用罗兰 706 印刷机。

在方案实施前，印刷过程中润版液中会混入油墨、亲水性树脂、纸粉等污染物，长时间积累后会损害润版液的性能。为保障印刷质量，平均每十天就必须更换一次润版液，并清洗印刷机水箱，这会产生大量的废润版液和清洗废水。

为解决这一问题，企业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，以此维持水墨平衡，减少油墨的过度乳化，稳定印刷水的水质，延长其使用期限，提升润版性能，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。

## (五) 碳捕集、利用与封存

二氧化碳捕集、利用与封存 (CCUS) 是碳减排的重要手段之一。CCUS 技术由 CO<sub>2</sub> 捕集、运输、利用和封存这四个环节组成。

### 1. 碳捕集

捕集是指在燃烧过程的不同阶段，通过物理吸收、化学吸收、吸附法等方式捕获并分离 CO<sub>2</sub> 的过程。碳捕集是 CCUS 项目中最为关键的技术，也是成本占比最高的环节。按燃烧的不同阶段，可分为燃烧前捕集、富氧燃烧和燃烧后捕集。

燃烧前捕集技术是指在一定条件下，将化石燃料经过气化转变为合成气 H<sub>2</sub> 和 CO，再把合成气输送至水煤气转化器中，CO 与水在高温条件下生成 CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>，经过变换后产生高压气体和较高浓度的 CO<sub>2</sub>，随后实现 CO<sub>2</sub> 捕集，分离出的 H<sub>2</sub> 可作为燃料使用。该技术的气化和水煤气转化过程能耗大、成本高且流程复杂，仅适用于某些特定领域。

富氧燃烧技术是指从空气中分离出氧气，将其与燃料混合，提高燃烧过程中氧气的含量，使燃烧更加充分，减少 CO 的产生。并且，燃烧过程中产生的烟气经 CO<sub>2</sub> 捕集之后，又可以进入燃烧炉

与氧气、燃料一同燃烧。该方法能够提高燃烧效率，减少燃料消耗，但需要额外建设氧气分离系统，投入成本较高。

燃烧后捕集技术是指将化石燃料燃烧后产生的废气中的 CO<sub>2</sub> 进行分离和捕集的过程，分离捕集的方法主要包括溶液吸收法、吸附法和膜分离法等。燃烧后捕集技术操作简便，可直接在原有烟气处理系统上进行改造，是目前技术最为成熟、应用范围最广的碳捕集技术，但仍存在脱碳能耗较高、物料易损耗、设备容易腐蚀等一系列问题。同时，碳捕集成本受气源 CO<sub>2</sub> 浓度的影响，浓度越高，成本越低。

## 2. 碳运输

碳运输指的是将捕集的 CO<sub>2</sub> 运送至利用场所或封存地点的过程，通常采用管道、船舶或罐车（公路或铁路）进行运输。各种运输方式在经济性、安全性和灵活性方面各有优劣，目前较为常用的是管道运输和车载公路运输。

## 3. 碳利用

碳利用是指借助工程技术手段对捕集的 CO<sub>2</sub> 进行资源化利用的过程，涵盖地质利用、生物利用、化学利用等。碳利用技术在 CCUS 项目中占据独特地位，它能够利用废弃的碳生产出具有高附加值的化学品、高端材料等，可在短期内为高碳排放企业带来显著的降碳效益。因此，各企业和科研机构都在积极研发投入低、效益高的碳利用技术。在此推动下，碳利用技术得以快速发展，新技术不断涌现，包括重整制备合成气、制备液体燃料、合成含氧有机化合物单体（如醇类、醚类、有机酸、高分子聚合物等）、与富含钙、镁的大宗固体废弃物进行矿化利用、道路养护、微藻生物利用等。目前，各项利用技术大多处于中试阶段或工业示范阶段，还需要进一步降低成本、提高效益，以实现商业化应用。

## 4. 碳封存

碳封存是指将捕集的 CO<sub>2</sub> 注入特定地质构造中进行封存，从而实现与大气长期隔绝的技术过程，包括陆上或海上咸水层封存、枯竭油气田封存等技术。碳封存技术不具备附带经济价值，且成本较高，主要依靠碳减排政策的激励。

# 方案一百零八：碳捕集、利用与封存 二氧化碳转化干冰

## 1. 技术原理

二氧化碳气体转化为干冰的原理相对简单，它是通过改变压力和温度，将捕集到的二氧化碳气体固化成干冰。具体过程为：先把捕集的二氧化碳气体输送至压缩提纯系统，采用压缩冷却的方法使二氧化碳液化。经过液化压缩后的二氧化碳属于危险化学品，存在一定安全隐患。所以，可将液化压缩的二氧化碳进一步输送至干冰颗粒制造机，将其转化为干冰，这样既能降低安全风险，又能提升产品收益。

在干冰颗粒制造机中，当液化压缩的二氧化碳从高压环境转移至大气压环境时，一部分液体会迅速膨胀并蒸发，这使得另一部分液体冷却至 -109°F (-78.3°C) 的凝固点，进而制造出干冰颗粒。随后，将干冰颗粒通过挤压机挤压成块状，再装入干冰保温箱，运输至下游企业。

## 2. 适用范围

适用于二氧化碳减排。

### 3.应用案例

某火力发电企业，主要生产工艺包括：输煤、燃烧、热力、发电、除灰渣。企业在生产过程中会排放大量二氧化碳。

#### (1) 实施情况

企业碳捕集测试平台配套建设的压缩提纯系统仅能生产液态压缩二氧化碳。液态压缩二氧化碳属于危险化学品，存在安全隐患，而且相关的危险化学品安全生产许可证和危险化学品经营许可证办理难度较大。然而，干冰并不属于危险化学品，且干冰价格约为 2000 元/t，销售干冰的利润更为可观。

此外，在生产干冰的过程中，可以利用电厂内的压缩空气和廉价的厂用电等资源。因此，企业决定将液态二氧化碳转化为干冰进行销售。

结合碳捕集测试平台，配套建设一套生产能力 1t/h 的二氧化碳转化干冰系统。建设内容主要包括：购置一台设计出力为每小时 1 吨的干冰造粒机，购置块状压制机和柱状压制机各一台，以及一台空压机，同时建设一个面积为 50~100m<sup>2</sup> 的干冰转化车间等。

#### (2) 实施效果

##### ①环境效益

按照测试平台年运行 5500h 计算，则年产液态二氧化碳 3850t，干冰转化率取 2.75:1，即可年产干冰 1400t。

##### ②经济效益

该方案投资 210 万元。厂房建设预计投资 100 万元，折旧年限 18 年，设备购买预计 110 万元，折旧年限 10 年；生产一吨干冰的生产成本约为 300 元，则：销售干冰的利润=干冰的销售额-折旧-生产成本=2000 元/t×1400t-(1000000/18+1100000/10)-300 元/t×1400t≈222 万元；直接销售液态二氧化碳的利润 400 元/t×3850t=154 万元；销售干冰比销售液态二氧化碳多盈利约 68 万元/a，投资回报期约 3 年。

## 方案一百零九：碳捕集、利用与封存 微藻固碳项目

### 1.技术原理

微藻固碳技术是利用微生物将二氧化碳转化为生物质的过程，即海藻细胞通过利用 CO<sub>2</sub> 和光能进行光合作用合成有机物并释放氧气实现光合固碳。微藻由真核微藻（如硅藻、绿藻等）和原核微藻（如蓝藻等）组成，可以利用太阳能，通过光合作用将 CO<sub>2</sub> 转化为蛋白质、淀粉、脂类等生物质。

微藻固碳技术主要步骤包含藻种筛选、光生物反应、微藻采集、微藻利用等。在藻种筛选过程中，由于微藻种类繁多，各类微藻生长环境要求、固碳生长效率均有差异，需要对微藻进行筛选驯化，得到环境耐受性强、固碳生长效率高的微藻。筛选出的藻种将在光生物反应器中进行培育，需要为藻种提供光照、二氧化碳、营养物质等。同时，微藻对生长环境要求较高，需要严格控制影响

微藻生长的环境因素，包括光照、温度、盐度、pH、营养成分、溶氧以及金属元素等，尤其是处理含有大量酸性物质的燃煤烟气时，还需要对烟气进行预处理。

根据形态不同，光生物反应器可分为开放式和封闭式，不同形态的反应器都存在一定的优点和缺陷。光生物反应器与微藻细胞光能利用率和固碳效率有着紧密联系，需要合理设计光生物反应器形态，同时要控制光照条件、营养物质投加、二氧化碳输送等条件。

微藻培育过程为连续培育，由于微藻细胞较小、生物量较低，导致微藻采集成本占比较高，如何快速、高效地采集也是微藻固碳技术的难题之一。目前常见的采集方式有离心、絮凝、过滤、泡沫分离和浮集法等。在微藻利用方面，目前主要研究方向是用于生产生物能源产品，如生产生物柴油、提取油脂、厌氧消化制沼气等。其他研究方向包括：直接制成食品级干藻粉、藻片或胶囊等营养保健食品；提取营养成分（氨基酸、藻多糖、超氧化物歧化酶等）用于化妆及护肤品；提取多不饱和脂肪酸、生长因子等用于医药领域；直接制成营养价值高的优质饵料、饲料。

与传统的碳捕获方法相比，微藻固碳主要有以下优势：

- (1) 能直接利用太阳能，相比于物理和化学法，节省大量能源。
- (2) 微藻固碳过程环境友好，代谢物中无二次污染物。
- (3) 微藻的光合作用效率是目前地球生物中最高的，是陆生植物的 10~50 倍。
- (4) 微藻是水生生物，环境适应性强，可在沿海泥滩、盐碱地和沙漠中栽培，不与陆生植物争夺土壤。
- (5) 微藻生物质中 50%左右都是碳，其生长可消耗大量 CO<sub>2</sub>，实现固定和转化发电厂或其他工业废气中 CO<sub>2</sub> 的目的。
- (6) 微藻生物质含有丰富的脂类和碳水化合物等成分，可生产高附加值生物质产品。

## 2.适用范围

适用于二氧化碳减排。

## 3.应用案例

某火力发电企业，主要生产工艺包括：输煤、燃烧、热力、发电、除灰渣，企业生产过程中会排放大量二氧化碳。

### (1) 实施情况

为降低烟气二氧化碳浓度，企业建设了一套 200~300m<sup>3</sup>的微养殖封闭式玻璃温室，采用开放式跑道池为主、立柱封闭式管道反应器为辅的混合养殖方式。与传统跑道池微藻反应器相比，立柱式微藻光合反应器使每亩微藻产量和固定二氧化碳量提高了 5 倍，且立柱式反应器结构紧凑，光照条件优越，大大减少了微藻固碳设备的占地面积。

### (2) 实施效果

#### ①环境效益

方案实施后，根据企业的统计，每年可捕集 2 万吨二氧化碳，有利于减缓温室效应。

## ②经济效益

方案总投资为 300 万元，可通过对微藻养殖、产品开发技术研究，扩大养殖规模，开发“养殖-产品-销售”产业链，带来可观的经济效益。根据相关测算，从燃煤电厂烟气中对 15%浓度二氧化碳提纯捕集压缩成本约为 250 元/吨，但是通过微藻固碳则能实现碳利用，创造经济价值。目前市场上，1 吨食品级的藻粉可以卖到 4 万元，饲料级的价格为 1 吨 1 万~2 万元。

# 第二部分

## 国家先进适用技术推荐目录

## 国家相关部门发布的清洁生产先进适用技术推荐目录

序号	类型	技术名称	适用范围	技术主要内容	具体案例/主要效果
1	能源替代	光伏直驱变频空调技术	轻工行业 新能源供热制冷	把光伏发电技术与高效直流变频制冷设备相结合，将光伏直流电直接接入机载换流器直流母排，形成了光伏直驱空调的运行模式，以新能源电力替代常规化石能源电力，减少二氧化碳排放。	案例名称：广州国光电器厂房光伏直驱离心机项目 1、建设规模：选用 1 台光伏直驱变频离心机组，光伏发电系统总装机容量为 255kW，厂房建筑面积 1.2 万 m <sup>2</sup> ，供冷面积 0.73 万 m <sup>2</sup> 2、投资：约 199 万元，建设期为 24 个月 3、经济效益：37 万元，投资回收期约 5 年 4、碳减排量 (tCO <sub>2</sub> /a)：184 5、减排成本：300~600 元/tCO <sub>2</sub>
2	原辅材料	全生物二氧化碳基降解塑料制造技术	轻工行业新材料	通过二氧化碳和烃类在高效稀土三元催化剂的作用下产生聚合反应，生产可降解塑料。每吨可降解塑料产品可以消耗二氧化碳 420kg,不仅减少化石原料的使用，同时也有效利用了由火力发电厂、石化企业等工业排放烟气捕集提纯后的 CO <sub>2</sub> 。	1、适用条件：具有稳定的 CO <sub>2</sub> 原料供应 2、案例名称：台州邦丰塑料年产 3 万吨全生物二氧化碳基降解塑料项目 (1) 建设规模：年产 3 万 t 全生物二氧化碳基降解塑料 (2) 投资：2.3 亿元，建设期 2.5 年 (3) 经济效益：7000 万元，投资回收期为 3 年 (4) 碳减排量 (tCO <sub>2</sub> /a)：13000 (5) 减排成本：500~700 元/tCO <sub>2</sub>
3	原辅材料	利用 CO <sub>2</sub> 替代 HFCs 发泡生产挤塑板技术	建材行业 挤塑板生产	采用二氧化碳发泡挤塑板专用设备，通过恒压泵将二氧化碳稳定在超临界状态。在第一静态混合器中将二氧化碳与促进剂充分混合，用高压计量泵配合质量流量计将二氧化碳稳定注入第一阶螺杆，通过第二静态混合器、第三静态混合器与聚苯乙烯塑料 (PS) 实现分级充分混合，达到二氧化碳稳定注入和顺利发泡的目的。由于使用二氧化碳替代氟利昂作为发泡剂，避免高潜值温室气体的排放，从而实现碳减排。	案例名称：烟台德赛机械制造有限公司新增挤塑板生产线项目 1、建设规模：新建年产 5 万 m <sup>3</sup> 二氧化碳挤塑板项目 2、投资：160 万元，建设期为 6 个月 3、经济效益：300 万元，投资回收期约 7 个月 4、碳减排量 (tCO <sub>2</sub> /a)：45 万 5、减排成本：-10~0 元/tCO <sub>2</sub>
4	原辅材料	金属表面无酸除磷成套技术	普碳钢、不锈钢、钛合金、 高强钢等材质的酸洗	核心技术及工艺：采用高压水为动力，用一定压力的高压水和一定浓度的钢丸在耐磨除磷喷头内充分	相比传统酸洗等表面清理工艺，该技术可实现吨钢废酸减排 20kg、含酸废水减排 0.6t；可全面满足不同材质金属、

序号	类型	技术名称	适用范围	技术主要内容	具体案例/主要效果
				<p>混合，形成高能固液两相流，通过高速微细磨料的打击磨削与高压水楔强力冲蚀共同作用，一次性清除金属表面氧化层、油、盐、粉尘等杂质，确保待加工金属基体表面无任何附着物，过程中水与磨料可循环使用，产生的废渣作为铁精矿等可直接回收，并且无其他废水、废气排放。</p> <p>主要技术参数：除鳞效能<math>\leq 3.5\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2</math>；清理后表面清洁度 Sa3.0 级；表面粗糙度 Ra2.0-Ra16（可调）。</p>	<p>不同类型表面污染物的清理需求，生产成本较传统工艺降低 10%~70%。</p>
5	生产工艺	亚硫酸金钠法无氰镀金技术	适用于功能性软金电镀和装饰性镀金。	<p>技术主要内容：采用亚硫酸盐镀金工艺体系，使用双配体辅助络合剂及具有协同效应的组合添加剂成分，大幅提高镀金液的稳定性，改变黄金材料的晶粒构相，提升产品质量和应用范围，从源头上实现无毒、无害原料替代。镀液连续使用无金歧化析出，分散能力达 75%，电流效率<math>\geq 98\%</math>，镀金层硬度<math>\leq \text{HV}90</math>，镀金层纯度约 99.99%。</p> <p>工艺路线：对镀件进行清洗、装挂、前处理、无氰镀金（以雷酸法制备亚硫酸金钠金水作为镀液主料；使用辅助络合剂设计亚硫酸金钠镀金液骨架型配方，稳定镀液；选择添加剂，调节镀液功能性）、后处理、清洗完成电镀。</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1、节能效果：与含氰镀金工艺对比，能耗降低约 20%。</li> <li>2、节材效果：黄金材料利用率达 99.98%；无需氰化物处理设备及辅料。</li> <li>3、减污效果：相比含氰镀金技术，减少污水产排量 80%；无含氰废气及固体废弃物产生。</li> <li>4、降碳效果：相比含氰镀金技术，单位产品减少 <math>\text{CO}_2</math> 排放 20%。</li> </ol>
6	生产工艺	包装印刷无溶剂复合加工装备与应用技术	适用于不同类型的塑料薄膜镀铝膜、薄纸、铝箔和阴阳膜的高速复合。	<p>技术主要内容：采用无溶剂的聚氨酯胶粘剂，通过双组分胶精密混胶装置进行在线混配，实现胶粘剂在高速下精密涂布和不同功能基材的高精度复合，再将复合材料进行中低温固化，实现复合工艺的节能减排。最大材料宽度 500~1300 毫米，最高生产速度 200~450 米/分钟，涂胶量 0.8~2.5 克/平方米，涂胶精度<math>\pm 0.1</math> 克/平方米，混胶比精度<math>\pm 1\%</math>，成品率不低于 98%。</p> <p>工艺路线：</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1、节能效果：使用标准机型无溶剂复合设备（即最大幅宽 1300 毫米，最高机械速度 400 每分钟），以年产能 3600 万米为例，全年可节约电约 38 万度，可节标准煤约 115.9 吨。</li> <li>2、节材效果：使用标准机型无溶剂复合设备（即最大幅宽 1300 毫米，最高机械速度 400 米/分钟），以年产能 3600 万米为例，溶剂节约量约 144.5 吨/年；胶水节约量约 11 吨/年。</li> <li>3、减污效果：以年产能 3600 万米为例，在复合环节可从源头上减少挥发性有机污染物(VOCs)产生量约 149 吨/年。</li> </ol>

序号	类型	技术名称	适用范围	技术主要内容	具体案例/主要效果
				(1)放卷：在一定的张力控制下，将待复合基材平稳地展开。 (2)上胶：在一定温度下，将双组分胶粘剂按照一定比例进行均匀混合。 (3)涂胶：按照复合膜结构和使用要求，将混合胶粘剂适量地涂覆在基材上。 (4)复合：在适当均匀的压力下，将已涂胶的基材与另一基材进行粘合。 (5)收卷：将粘合的复合膜在适当张力下进行卷取。 (6)固化：在一定温度的环境中进行充分反应和固化。	4、降碳效果：以全年节电 38 万度计算,可节省约 115.9 吨标准煤，年减少 CO <sub>2</sub> 排放量约 301.34 吨。 5、工艺降碳：以 1 吨 VOCs 减少 CO <sub>2</sub> 3.7 吨计算，年减少 CO <sub>2</sub> 排放量约 551.3 吨。
7	生产工艺	“真空镀-有机涂”复合镀层技术	适用于电镀和表面处理行业。	该技术以真空镀为核心，用“有机底涂层—真空镀层—有机面涂层”取代传统电镀的“镍—铜—铬金属镀层”。	消除了六价铬离子，能耗减少 33%~50%，水耗减少约 85%，镍、铜使用量降至零，铬的使用量减少约 80%。
8	生产工艺	真空清洗干燥技术	机器零件、切削刀具、模具热处理的前后清洗	用加热的水系清洗液、清水、防锈液在负压下对零件施行喷淋、浸泡、搅动清洗，随后冲洗、防锈和干燥。在负压下，清洗液的沸点比常压低，容易冲洗干净和干燥。此方法可代替碱液和用氟氯烷溶剂清洗，能实现废液的无处理排放，不使用破坏大气臭氧层物质。	一次投资 30 万~40 万元，主要设备可使用 10~15 年，真空清洗干净，工件表面残留物少，对环境没有污染。
9	生产工艺	非氰化物镀金技术	镀金	本技术是指采用“一水合柠檬酸—钾二（丙二腈合金(I)）”等不含有氰化物的镀金材料进行镀金处理，可在镀金工艺中避免氰化物的使用。	该技术在电镀过程中不使用氰化物，采用该技术每平方米镀金层可减少氰化物排放 0.34 克。 以年产 1 万平方米镀金层示范企业为例：可减少氰化物排放 3.4 千克。该技术目前普及率为 10%，潜在普及率 60%，预计到 2015 年普及率可达 20%，可减少氰化物消耗量约 100 吨/年。
10	生产工艺	镀铬溶液净化回用	镀铬（大型镀铬企业）	本技术采用高强度、选择性高分子材料对镀铬溶液进行净化处理，清除其中的铜、锌、镍、铁等多种有害金属杂质，净化后的铬镀液可直接全部回用于镀铬槽，从而达到镀铬溶液、回收液再生、循环	采用该技术可以净化槽液，提高槽液的寿命周期，从而减少含铬污染物的产生，节约铬酐的消耗量，实现循环经济。该技术目前普及率为 6%，潜在普及率 60%，预计到 2015 年普及率可达 20%。按回收镀液 90%计算，可减少铬酸酐

序号	类型	技术名称	适用范围	技术主要内容	具体案例/主要效果
				使用的目的	消耗量约 960 吨/年。该技术也可用于镀装饰铬和铬酸钝化液净化等领域。
11	生产工艺	金属涂装前常温钝化处理节能技术	轻工行业 汽车、家电、机电、建材等金属制品行业	<p>钝化技术采用氟锆酸作为主剂，利用氟锆酸的水解反应在金属基材表面形成一种化学性质稳定的无定型氧化物转化膜；转化膜依靠锆化物与金属基材牢固结合，同时，依靠钝化液中的高分子化合物与涂层强烈结合，从而获得高性能的金属表面皮膜，从而达到优异的附着力和防腐能力。</p> <p>该技术采用钝化液替代磷化液对金属表面进行预处理，省略了磷化工艺中对槽液进行加热处理的升温环节，降低了能耗。</p>	<p>典型用户：三菱重工海尔（青岛）空调机有限公司、海尔开立冷冻设备有限公司、大连三洋冷链有限公司、一汽大连客车有限公司、步阳集团、德意电器有限公司、赛德隆国际电器（中国）有限公司、丹东曙光集团黄海客车有限责任公司、浙江索福门业等。</p> <p>建设规模：年处理防盗门 30 万樘。</p> <p>主要技改内容：原有中温磷化线改造，去除加热装置、设备清理，主要设备对原有磷化槽、喷淋设备的改造。</p> <p>节能技改投资额：38 万元，建设期 2 个月。</p> <p>经济效益：每年需要使用常温钝化液 14t，与加温磷化工艺相比可节约 319tce，年节能经济效益为 32 万元，投资回收期约 1 年。</p>
12	设备（节能）	绕组式永磁耦合调速器技术	机械行业：电机控制节电领域：适用于各行业风机、压缩机、水泵等动力源节电或控制等	<p>绕组式永磁耦合调速器是一种转差调速装置，由本体和控制器两部分组成。本体上有两个轴，分别装有永磁磁铁和线圈绕组。驱动电机与绕组永磁调速装置连在一起带动其永磁转子旋转产生旋转磁场，绕组切割旋转磁场磁力线产生感应电流，进而产生感应磁场。该感应磁场与旋转磁场相互作用传递转矩，通过控制器控制绕组转子的电流大小来控制其传递转矩的大小以适应转速要求，实现调速功能，同时将转差功率引出再利用，不仅可解决转差损耗带来的温升问题，而且可实现电机高效运行。</p>	<p>案例名称：连云港晨兴环保产业有限公司 3#炉引风机、一次风机绕组永磁节能改造项目</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1、建设规模：2 台绕组式永磁耦合调速器（1120kW、800kW 各 1 台）</li> <li>2、投资：220 万元，建设期 2 个月</li> <li>3、经济效益：120 万元，投资回收期约 22 个月</li> <li>4、碳减排量（tCO<sub>2</sub>/a）：1330</li> <li>5、减排成本：70~90 元/tCO<sub>2</sub></li> </ol>
13	设备（节能）	基于电磁平衡调节的用户侧电压质量优化技术	机械行业工业、民用及商业场所的电力配电系统	<p>电机工作时的综合能量损耗包括恒定损耗、负载损耗和杂散损耗。该技术通过采集用电设备端的电压、电流及功率因数等电气参数，并根据用电设备的自身特性进行参数计算和分析，确定用电设备的最佳工作点，即综合损耗最低时的工作点。当用电设备</p>	<p>案例名称：恒源煤电百善矿压风机节能改造项目</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1、建设规模：6kV 供电的 250kW 高压风机</li> <li>2、投资：27 万元，建设期 3 个月（含运行监测时间）</li> <li>3、经济效益：9 万元，投资回收期约 3 年</li> <li>4、碳减排量（tCO<sub>2</sub>/a）：100</li> </ol>

序号	类型	技术名称	适用范围	技术主要内容	具体案例/主要效果
				的实际能耗大于最佳工作点的能耗时，装置的主控单元会立即通过无扰动切换模块启动电磁式自耦调压器，调整用电设备的输入电压等电气参数。通过多级调整从而使用电设备的实际工作状态达到或接近最佳工作点，优化用电侧用电质量，降低用电设备综合损耗，最终达到节电效果。	5、减排成本：120~140 元/tCO <sub>2</sub>
14	设备（节能）	火电厂凝汽器真空保持节能系统技术	电力行业 火力发电机组，以及冶金、水泥、化工、环保等行业余热发电机组	汽轮机凝汽器真空保持节能系统（以下简称“VUES”）是利用胶球清洗。它能在不停机的情况下自动清除凝汽器污垢，长期保持 95% 以上的收球率。正常运行后凝汽器清洁度提升并长期保持在 0.85 以上，从而提高机组性能，降低汽轮机能耗。	典型案例：大唐华银株洲发电有限公司 3#、4# 机组凝汽器真空保持节能项目 方案实施情况：该企业 3#、4# 机组（2×310MW）的循环冷却水系统采用是开式系统，冷却水取自江水，水质较差，主要杂物为污泥、水草、藻类、鱼虾、贝类，机组原先安装有传统胶球清洗装置，基本能正常投运，收球率能维持在 90% 以上，凝汽器装有二次滤网，但效果很差，无法有效清除杂物，尤其是夏季洪水季节，二次滤网网面严重堵塞，压差甚至达到 10kPa 以上，需多次半边隔离人工清杂和清洗，端差 4~6℃。经过改造，拆除原有胶球清洗装置和二次滤网，安装 VUES 和 HEAF。 建设规模：3#、4# 机组（2×310MW）。 主要技改内容：3、4 号机组凝汽器胶球清洗系统改造及冷端系统优化。 投资情况：节能技改投资额 800 万元。 年节能量：6000tce，降低二氧化碳排放约 1.58 万 t/a。 经济效益：年节约费用 480 万元/年，投资回收期 2 年。
15	设备（节能）	高效放电回馈式电池化成技术	轻工行业 锂离子电池、镍氢电池、铅酸蓄电池生产过程中的电池极板化成和成品电池的化成充放电和补充电	采用最新的数字控制和高效放电回馈式电池化成技术，回馈式充放电电源，使放电的利用率有较大提高；输出平滑直流电流对电池充电，减少了电池和输出导线的发热；采用变压器的多相整理技术提高功率因数及减少谐波，减少输配电损耗。	典型用户：超威动力、浙江天能集团、南都电源、理士国际 建设规模：日产电池 2 万只。 主要技改内容：淘汰老式的可控硅化成充放电电源，采用先进的 IGBT 母线式全数字充电机 268 台。 主要技改设备：高效放电回馈式化成充放电电源及其他蓄

序号	类型	技术名称	适用范围	技术主要内容	具体案例/主要效果
					<p>电池专用设备。</p> <p>投资情况：节能技改投资额 1286 万元，建设期 7 个月。</p> <p>节能量：每年可节能 1500tce。</p> <p>经济效益：年节能经济效益 350 万元，投资回收期 4 年。</p>
16	设备（节能）	高效节能型锥形同向双螺杆挤出技术	轻工行业 塑料造粒、各类管材、型材、板/片材、木塑混炼制品挤出成型	<p>该技术结合了目前世界上两种双螺杆挤出机“锥形异向双螺杆挤出机”和“平行同向双螺杆挤出机”的功能结构优势，将“锥形螺杆”和“同向旋转”相结合，既保持了锥形异向双螺杆挤出机挤出力大的特点，又达到了平行同向双螺杆挤出机塑化性能好的特性，同时还可以满足螺杆低速旋转、低温等难度较大的加工要求，具有高产低能耗的特点。</p>	<p>典型用户：上海公元、上海心尔、福建隆盛轻工有限公司；武汉丰澜数控机械有限公司；兰溪中荅新材料有限公司、台湾汉洋、彩虹集团、紫江集团、广东泛昌、广东兴世、江苏联冠等百余家</p> <p>建设规模：10 台高效节能型锥形同向双螺杆挤出机，建成产能 47 万 t/a 的挤出造粒生产线。</p> <p>主要技改内容：针对硬质 PVC 窗帘料的特性，采用 10 台高效节能型锥形同向挤出机代替原来的 40 台能耗大、产量低的单螺杆挤出机，主要设备为 10 台高效节能型锥形同向双螺杆造粒机。</p> <p>节能技改投资额：300 万元，建设期 5 个月。</p> <p>节能量：每年可节能 1154tce。</p> <p>经济效益：年节能经济效益为 300 万元，投资回收期 1 年</p>
17	设备（节能）	高光快速注塑成型技术	轻工行业 家电、汽车、电子通讯、医疗卫生等对塑件外观要求较高的行业	<p>高光快速注塑成型技术可快速提升模温到 100~120℃（普通模具只有 30~60℃），提高熔体填充时的流动能力，减小注塑压力，从而减小注塑机的输出功率（8%左右）；同时快速加热、快速冷却的技术特点，可缩短成型周期 50%以上。采用该技术，可一次注射成型表面完全无熔痕、高光泽度的塑件，直接作为成品使用，取消喷涂等加工环节，省去再加工所需要的能耗。</p>	<p>典型案例：海信（江门）产业园高光技改项目</p> <p>建设规模：年产 300 万件的生产能力。</p> <p>建设条件：配有蒸汽管路（市政蒸汽或锅炉蒸汽），蒸汽压力为 6~8kg/cm<sup>2</sup>。</p> <p>主要建设内容：新建高光快速注塑生产线 14 条（台）及市政蒸汽接入工程等。主要设备为注塑机、高光模具、热流道控制柜、蒸汽控制柜、浇口控制柜等。</p> <p>项目投资额：9456 万元，建设期 24 个月。</p> <p>项目年节能量：3920tce，年碳减排量 10350tCO<sub>2</sub>。</p> <p>年综合经济效益为：3300 万元（节约能源费、喷涂材料费、环境处理费），投资回收期约 3 年</p>
18	设备（节能）	塑料加工双效	轻工行业	采用特殊的结构设计和高导热金属材料，同时利用	<p>典型案例：苏州泰丰注塑设备料筒加热节能技术改造项目</p>

序号	类型	技术名称	适用范围	技术主要内容	具体案例/主要效果
	能)	加热节能技术	塑料、橡胶加工设备	热传导和热辐射原理, 提高料筒加热过程的热能利用率。此外, 高导热金属超导材料增加了镜面反射装置, 可提高热能的一致性; 外层配置高效纳米隔热层, 与镜面反射装置实现双重隔热, 可进一步提高保温效果。	建设规模: 10 台注塑机节能技术改造。 建设条件: 原有注塑机料筒加热器改造。 主要建设内容: 采用双效节能加热器替换普通料筒加热器。 主要设备为注塑机和双效节能加热器。 项目总投资: 45 万元, 建设期 2 个月。 年节能量: 144tce, 碳减排量 338tCO <sub>2</sub> 。 项目直接经济效益: 45 万元, 投资回收期 1 年。
19	设备(节能)	基于低压高频电解原理的循环水系统防垢提效节能技术	机械行业通用机械行业水冷中央空调机组、工业各类型循环水冷设备(换热器)	低压高频、变频的电解, 使循环水(大分子团水)电解成具有强溶解性和渗透性的小分子还原水。小分子还原水具有溶解水垢的能力, 能起到代替化学药剂的作用。浸在水中的负极水垢收集器, 使溶解后带正电的钙镁离子在收集器上结晶析出, 达到去除循环水中钙镁离子的目的, 使水体硬度大大降低, 减少了换热器表面发生结垢的机会, 从而起到防垢、除垢的作用, 提高了换热效率, 实现换热器的节能运行。	典型用户: 中国电信、中国石化、松下电工电子材料(广州)有限公司、广州白天鹅宾馆等。 建设规模: 7 台空压机, 8 台冰水机冷却系统, 总冷量需求为 6500 冷 t。 主要技改内容: 低压高频电解节能设备 15 台。 技改投资额: 130 万元, 建设期 15 天。 年节能量: 370tce, 年节能经济效益: 95 万元, 投资回收期约 1.3 年。
20	设备(节能)	高效翼型轴流风机技术	适用于各工序通风换气、温湿度送风调节、回风系统、回风再利用环节、车间风量平衡补充、温湿度自控调节等	采用独特的高升阻比先进翼型技术, 气体由一个攻角进入叶轮, 在翼背上产生一个升力, 同时在翼腹上产生一个大小相等方向相反的作用力使气体排出; 叶片与叶柄采用过度扭曲矩形连接方式, 有效降低风机叶轮旋转时的流动阻力; 叶片长度比传统叶片增长, 过风面积增大, 可增强叶片做功能力, 减少无用功耗, 降低同等工况下的轴功率损失; 采用航空特殊铝镁合金材质, 比重轻, 可减小叶轮自重耗能。通过上述手段, 实现空调风机综合节电的效果。	案例名称: 邓州市永泰棉纺股份有限公司纺织空调风机改造项目 1、建设规模: 对 120 台轴流风机实施改造 2、投资: 231 万元, 建设期 2 个月 3、经济效益: 387 万元, 投资回收期约 9 个月 4、碳减排量 (tCO <sub>2</sub> /a): 3630 5、减排成本: 30~50 元/tCO <sub>2</sub>
21	设备(节能)	数据中心高效节能喷淋液冷技术	信息行业 数据中心、5G 通信边缘计算工作站	采用特定的液体工质, 直接喷淋于发热电子器件, 实现液体与电子器件直接接触。利用液体比热容与密度的优势, 大幅提高散热效率, 进而提高服务器	案例名称: 国家大数据训练场项目 1、建设规模: 占地面积 80m <sup>2</sup> , 所装机的 IT 容量为 360kW 2、投资: 375 万元, 建设期为 12 个月

序号	类型	技术名称	适用范围	技术主要内容	具体案例/主要效果
				功率密度。喷淋液冷系统为液体单相循环提供动力，并在系统冷端（冷却单元）排放掉液冷工质吸收的热量。与此同时，由于液体具有传热温差低的特性，可更大范围利用自然环境冷却工质，进一步降低数据中心能耗。	3、经济效益：520 万，投资回收周期约 1 年 4、碳减排量（tCO <sub>2</sub> /a）：480 5、减排成本：510~530 元/tCO <sub>2</sub>
22	设备(节能)	双系统互备机柜热管背板空调末端节能技术	信息产业 数据中心空调系统	双系统互备机柜热管背板空调末端节能技术是一种利用工质相变（气/液态转变）实现热量快速传递的新型制冷技术。该技术通过温差及自然重力驱动制冷工质在热管系统内实现封闭的相变循环，将机柜内 IT 设备的热量排出机房，并根据散热需求在外部配备空冷或冷水系统。该技术可实现机柜级精确按需制冷，综合能效比为 6~10，末端能效比最高达 100，可实现机房 PUE 值 1.30 以下。与精密空调制冷技术相比，具有高换热效率、高可靠性、高空间利用率和低能耗等特点。	案例名称：中国电信云计算重庆基地项目 1、建设规模：应用 302 台热管背板空调 2、投资：550 万元，建设期为 2 个月 3、经济效益：133 万元，投资回收期约 4 年 4、碳减排量（tCO <sub>2</sub> /a）：810 5、减排成本：440~460 元/tCO <sub>2</sub>
23	设备(节能)	磁悬浮真空泵节能技术	适用于工业领域传统真空泵机替换	该技术研发的磁悬浮真空泵，利用可控电磁力将电机转子悬浮支撑，由高速永磁同步电机直接驱动高效三元流叶轮，省去传统齿轮箱及皮带传动机构，机械传动无油润滑、无接触磨损。技术主要包括高动态响应磁悬浮轴承系统、高稳定磁力电机系统及其控制技术、高效磁悬浮真空脱水系统、远程智慧运维体系等磁悬浮综合节能关键技术。	案例名称：潍坊恒联特种纸有限公司造纸机成形部真空系统改造项目 1、建设规模：将 1 台原水环式真空泵替换为 1 台磁悬浮真空泵 2、减碳效益：相较于原设备，通过节电实现年碳减排量 451.7tCO <sub>2</sub>
24	设备(节能)	电除尘用高频高压智能控制技术	较为有针对性地应用于电力、冶金、水泥、造纸、化工等行业的粉尘治理行业节能减排方向	该技术把三相工频电源通过整流形成直流电，通过逆变电路形成高频交流电，再经过整流变压器升压整流后，形成高频脉动电流送至除尘器，其工作频率可达到 20kHz~50kHz，除尘效率可达到 99.99%。	案例名称：鑫达原料厂 4#、5#、6#、7#电除尘智能节能改造项目 1、项目规模：4#、5#、6#、7#电除尘高频脉冲电源智能节能改造。 2、减碳效益：与原设备相比，改造后项目实现年碳减排量 1445.54tCO <sub>2</sub>
25	设备(节	永磁涡流柔性	适用于冶金、电力、石	该技术是利用稀土永磁的磁场作用驱动负载工作，	案例名称：鞍钢炼铁新 1# 高炉热风炉助燃风机永磁调速

序号	类型	技术名称	适用范围	技术主要内容	具体案例/主要效果
	能)	传动节能技术	化、矿山、水泥、造纸、水处理等行业的各类电机传动系统,尤其适用于风机、水泵等高耗能场合以及皮带机、破碎机、提升机、抽烟机等现场运行振动较大的冲击性负载	实现电机与负载之间无接触的扭力传递,实现能量的空中转移,具有低碳节能、安全可靠、绿色环保等优势。具体产品为“永磁联轴器”“永磁调速器”,可以提高电机系统整体能效,降低电机系统的维护成本,延长电机系统的使用寿命。	节能改造项目 1、建设规模:一台 1# 高炉热风炉助燃风机实施永磁调速节能改造(离心式电动风机,适配电机功率为 1120kW,转速 1483r/min) 2、减碳效益:与节能改造前相比,项目实现年碳减排量 701.23tCO <sub>2</sub>
26	设备(节能)	一种离网智慧工业照明技术	适用于工业、商业、体育、道路等照明领域。	该技术结合 N-LED 技术在电路基板上设置 150 颗以串联方式连接 LED 灯珠,解决单颗 LED 灯珠之间 Vf 差异引起的电流一致性问题。采用增压技术将驱动电源改为 Boost 拓扑结构,实现高电压低电流输出,驱动输出电压 >400VDC。利用驱动模块以增压电路方式保证每颗灯珠激发后色温寿命一致、发光效率最高。	案例名称:湖北达能食品饮料有限公司车间智能照明改造项目 1、建设规模:对车间合计 8500 盏 84W 灯具进行改造,改造为 40W 的 N-LED 具有离网技术的照明灯具 2、减碳效益:与原照明方案相比,项目实现年碳减排量为 4576tCO <sub>2</sub>
27	设备(节能)	多孔介质燃烧技术	适用于工业燃烧产热用热场景	该技术将气体燃料和氧化剂预混后在多孔介质空隙内或表面进行燃烧,气体在介质空隙内部产生旋涡、分流与汇合等剧烈扰动,燃烧更加充分、均匀,燃烧产生的热量通过介质本身的导热和辐射效应不断地向上游传递并预热新鲜燃气,同时通过多孔介质本身的蓄热能力回收燃烧产生的高温烟气余热,热量产生和利用率更高。	案例名称:某集团重庆某汽车钢化玻璃炉产线新建项目 1、建设规模:为 8 条钢化玻璃生产线配套安装 8 台燃气玻璃钢化加热炉设备,年用气量 1500 万 m <sup>3</sup> 2、减碳效益:相较于电加热炉技术,年碳减排量 2.62 万 tCO <sub>2</sub>
28	设备(节能)	高效热泵空调系统关键技术	适用于热泵空调领域	该技术提出两相流体相分离技术,在热泵空调低温制热时,通过两相流体相分离技术,蒸发后的气相直接分离回到压缩机吸气,液相继续在后半程换热器中蒸发,实现制冷剂高效低阻换热,提升低温制热量;优化流路设计,实现室外换热器兼顾高效蒸发和高效冷凝,同时提升制冷制热能效比。在热泵空调制热时,通过两相流体相分离技术,实现制冷剂高效低阻换热,提升制热量及性能系数;制冷时,	案例名称:12kW 热泵空调系统产品 1、建设规模:年产销量 15 万套 2、年碳减排量:对比同数量无相分离技术的常规二级能效产品,本产品应用后年碳减排量 2.6 万 tCO <sub>2</sub>

序号	类型	技术名称	适用范围	技术主要内容	具体案例/主要效果
				随着制冷剂流动方向流路数逐渐减少，实现最佳过冷度，提升制冷量及能效比。	
29	设备(节能)	轨道交通场站磁悬浮制冷空调技术	已应用于轨道交通场景，未来可推广至工业厂房、数据中心、交通枢纽等大空间使用场景	该技术以磁悬浮压缩技术和直接蒸发制冷技术相结合的一体化空调机组，集成直流变频技术、自清洁过滤技术、可变风道的蒸发旁通技术等多种节能方式，实现制冷剂与新风直接换热。	案例名称：北京市轨道交通 19 号线一期工程磁悬浮式净化空调 1、建设规模：地铁牡丹园站空调系统，制冷面积约 10000m <sup>2</sup> 2、减碳效益：与同等规模地铁站空调系统相比，项目实际产生年节电量 25 万 kWh，年碳减排量 145tCO <sub>2</sub>
30	设备(节能)	纳米远红外节能电热技术	适用于橡塑行业料筒加热、其它行业管道加热等领域。	利用纳米级合金电热丝产生热能，通过石英管转化为远红外线，远红外线绝大部分渗透到料筒，小部分被反射的红外线经过裹敷纳米保温材料的反射层镜面多次往复反射，绝大部分能量都被辐射进料筒加热，实现单向辐射，降低了热损失。	节能能力 2.56 万 tce/a
31	设备(节能)	绕线转子无刷双馈电机及变频控制系统	适用于电机节能技术改造项目。	无刷双馈电机是一种新型交流感应电机，由两套不同极对数定子绕组和一套闭合、无电刷、无滑环装置的转子构成。两套定子绕组产生不同极对数的旋转磁场间接相互作用，转子对其相互作用进行控制来实现能量传递；既能作为电动机运行，也能作为发电机运行，兼有异步电机和同步电机的特点。	节能能力 6.02 万 tce/a
32	设备(节能)	冷却塔竹格淋水填料技术	电力、化工、冶金等行业小型循环水冷却塔	采用竹基材料替换水泥网格填料和 PVC 填料。与水泥网格填料相比，竹基填料的物理性能质量更轻、换热效率更高；与 PVC 填料相比，竹质的亲油性、耐酸碱及高强的抗温度交变应力性能可以克服 PVC 填料易破损、易堵塞、阻力大、寿命短、换热效率低下等难题，从而提高能源利用率。	案例名称：东风汽车公司热电厂自然通风冷却塔淋水填料替代项目 1、建设规模：单台淋水面积 2000m <sup>2</sup> 的自然通风双曲线冷却塔 2 座 2、投资：254 万元，建设期为 2 个月 3、经济效益：88 万元，投资回收期约 3 年 4、碳减排量 (tCO <sub>2</sub> /a)：223 5、减排成本：200~300 元/tCO <sub>2</sub>
33	设备(节能)	基于水力空化的汽车涂装车间低温脱脂除	适用于制造业企业清洗或涂装前处理工艺环节	该技术以纯物理的水力空化技术为核心，通过纯物理手段水力空化发生器处理水体产生的机械、热、生物效应等多种效应，实现低温破乳除油、延长槽	案例名称：一汽-大众汽车有限公司佛山分公司一期涂装车间新增低温物理除油系统 1、建设规模：10 条涂装前处理线，每条线 3 个脱脂区

序号	类型	技术名称	适用范围	技术主要内容	具体案例/主要效果
		油节能减碳技术		液使用周期、减少废液排放、提升脱脂液清洗性能,降低涂装前处理环节能耗。	2、减碳效益:与原涂装工艺相比,项目年碳减排量为1540tCO <sub>2</sub> /产线
34	设备	超低浴比高温高压全模式纱线染色机技术	纺织行业 适用于各类纤维的纱线、织带染色	采用离心泵和轴流泵的三级叶轮泵和短流程冲击式脉流染色技术,实现超低浴比(1:3)高效率染色。采用带导流系统的多出口对流泵和全模式换向机构,通过最佳的流道切换,实现超低浴比及多模式染色,满足快速水洗和压力脱水两种工艺,实现超宽的适用纱线范围。冲击式脉流染色可在超低浴比下进行,染液不浸泡纱锭,减少染料助剂用量。纱锭与染液由于不浸泡在水中,减少了纱锭渗透阻力,加快染色交换速度,并且有利于均匀染色和缩短染纱时间。同时,由于该技术大幅降低浴比,减少了循环水泵的电耗和加热蒸汽的使用量,从而达到降低耗电量、蒸汽消耗量和耗水量的目的。	案例名称:佛山金丰漂染有限公司31台超低浴比高温高压纱线染色机节能改造项目 1、建设规模:31台超低浴比高温高压纱线染色机,年产1.2万t纱线 2、投资:1550万元,建设期1年 3、经济效益:年节约水、电、蒸汽等能源成本2220万元,每生产1t纱线降低成本1500~2527元,项目投资回收期9个月 4、碳减排量(tCO <sub>2</sub> /a):24100 5、减排成本:30~50元/tCO <sub>2</sub>
35	设备	汽液分流微负压蒸汽冷凝水回收技术	适用于钢铁、化工、电力、烟草、食品、医药、石化、电子、印染、电镀等工业行业的未被污染的蒸汽冷凝水的回收循环利用,可直接用于锅炉的补充用水。	技术主要内容:蒸汽经加热设备工艺换热后产生不同压力的冷凝水,冷凝水通过疏水阀后流至汽液分离缓冲罐(微负压)内,进行汽液分离;分离后的冷凝水通过疏水阀泵加压输送至冷凝水回收设备,闪蒸汽则引射至闪蒸吸收装置,吸收后进入冷凝水回收罐内,再经冷凝水回收设备加压泵送至锅炉房回用或其他用水用能点。 工艺路线:系统工作时,蒸汽通过用汽设备换热后变成冷凝水,进入冷凝水收集装置,该收集装置采用汽液分流方式将冷凝水和闪蒸汽分别输送至冷凝水回收设备,实现全封闭回收。为防止收集装置和回收设备的压力过高而导致系统背压过高影响设备疏水换热,采用自动调压装置对收集装置和回收设备进行压力恒定调节。	1、节能效果:以40t/h蒸汽锅炉为例,按每天运行24小时、年运行300天计,需回收冷凝水85%计算,节能率10.2%,冷凝水及闪蒸汽回收率95%,全年常温软化水平均温度按15°C计算,可回收的冷凝水32.3吨,冷凝水回收温度100°C,节能量为1.15×10 <sup>10</sup> 焦/小时,换算标准煤392.2千克/小时,年节约标准煤2820吨。相比传统技术设备,节能效果提高约37%。 2、节水效果:以40t/h蒸汽锅炉为例,冷凝水及闪蒸汽回收率95%计,每小时可回收冷凝水32.3吨,每年可回收冷凝水23256吨。相比传统技术设备,冷凝水节水量提高11%。 3、节材效果:以40t/h蒸汽锅炉为例,每年可减少软化水处理量232560吨,按每产1吨软化水消耗再生盐0.35千克计,每年可减少再生盐使用量100.8吨。 4、减污效果:以40t/h蒸汽锅炉为例,年减少SO <sub>2</sub> 产排量

序号	类型	技术名称	适用范围	技术主要内容	具体案例/主要效果
					68 吨，年减少 NOx 产排量 21 吨，年减少粉尘产排量 564 吨。 降碳效果：以 40t/h 蒸汽锅炉为例，年节约标准煤 2820 吨，减少 CO <sub>2</sub> 排放量约 7332 吨。
36	设备	全模式染色机 高效节能染整 装备技术	适用于纺织印染行业的 针织、梭织印染领域。	通过多模式喷嘴系统和超低浴比染液动力及循环系统，采用喷嘴与提布系统内置于主缸的超低张力织物运行技术，使主泵在气流雾化染色模式时高扬程低流量，在气液分流及溢流染色模式时低扬程高流量，保持高效率运行，并提升主泵汽蚀余量，有效降低了染色机的浴比，实现了低耗水量、耗电量和耗蒸汽量。	节能能力 8.2 万 tce/a
37	设备	冷却塔用离心 式高效喷溅装 置技术	适用于工业循环水的冷 却塔配水系统，尤其适用 于火力发电厂循环水系 统的逆流式双曲线自然 通风冷却塔	将传统喷头改造为离心式高效喷溅装置，利用切圆离心旋转原理，将水细化均匀喷洒并扩大范围，增加水气接触面积，提高换热效率。	典型案例：中电投江西贵溪发电有限责任公司 建设规模：中电投江西贵溪发电有限责任公司#3、#4 机均为 300MW 燃煤发电机组，循环水系统各配置一台 5500m <sup>2</sup> 的逆流式自然通风冷却塔，管式直配式配水，原装喷溅装置为多层流型喷头，该喷头特别容易堵塞，因此而失去多层流 的意义，喷溅效果较差，循环水温度升高，尤其在夏季比较突出，经常超过 33℃，发电煤耗增高。 主要技改内容：全部拆除原有冷却塔喷溅装置，更新改造全部更换为 GX 型式离心式高效喷溅装置。改造前发电煤耗指标是标准煤 326g/kWh，改造后发电煤耗指标是标准煤 324.9g/kWh。节能技改投资额 82.8 万元，建设期 20 天。 年节能量：每年可节能 1906tce 经济效益：年节能经济效益为 213.36 万元，投资回收期约 4 个月。
38	设备	塑料动态成型 加工节能技术	轻工行业 主要应用于塑料制品加 工领域	由于塑料导热性差，塑料熔体又具有高粘度、高弹性等特点，一般情况下在进行成型加工时需要较长的热机械历程。塑料动态成型加工技术与装备，是	典型案例：东莞市正新包装制品有限公司 节能改造情况：对东莞市正新包装制品有限公司 5 条多层共挤吹膜机组的 21 台挤出机进行了动态挤出节能改造通

序号	类型	技术名称	适用范围	技术主要内容	具体案例/主要效果
				将振动力场引入到塑料塑化成型加工全过程, 使成型加工过程中的各种物理量发生周期性变化, 变传统的塑料纯剪切稳态塑化运输机理为振动剪切动态塑化运输机理, 达到缩短热机械历程、降低成型加工能耗、提高加工制品质量的目的。塑料动态塑化成型加工技术与装备包括塑料动态塑化挤出设备和动态注射成型设备。	<p>过在原挤出机上增加轴向振动装置, 变传统的“稳态”螺杆塑化挤出为周期性的动态塑化挤出, 有效降低了成型温度与电机负载。</p> <p>节能效果: 改造后设备投入运行稳定, 现场测试各挤出机的单耗为 0.35~0.42kWh/kg, 节能降耗 38%~46%。</p> <p>该项目节能量: 158.4tce/a; 二氧化碳减排量: 418.2tCO<sub>2</sub>/a。</p> <p>经济效益: 该项目共投资 35 万元。改造后每月节约 5 万 kWh, 节约电费开支 4 万多元, 投资回收期 1 年。</p> <p>单位节能量投资额: 每吨标煤 2210 元。</p>
39	技术工艺	大弹性位移非接触同步永磁传动技术	机械行业 用于电力、化工、钢铁、煤炭等行业	主动轴(驱动轴)和从动轴(负载轴)各安装一组永磁体, 使得两组永磁体之间的磁力相互耦合, 进而实现扭矩的传递。同步永磁联轴器内外转子均是(对称分布)永磁转子, 气隙(间隙)在装配前已预留。在装配时内外转子分别与负载轴和主动轴连接好后, 沿轴向向外移入锥套, 这样即可保证内外转子靠永磁场隔空传动动力, 又没有剩余磁场, 使得传动效率几乎达到 100%。同步永磁联轴器不仅具有较高的传递效能、免维护等特征, 而且不需要使用液压油, 节材、降耗效益显著。	<p>案例名称: 攀钢提钒炼钢厂 160t 钢水车行走传动装置高速端联轴器改造项目</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1、建设规模: 2 套高速端联轴器改造</li> <li>2、投资: 1.8 万元, 建设期为 1 个月</li> <li>3、经济效益: 2.94 万元, 投资回收期约 7 个月</li> <li>4、碳减排量 (tCO<sub>2</sub>/a): 0.73</li> <li>5、减排成本: 800~1000 元/tCO<sub>2</sub></li> </ol>
40	技术工艺(光伏)	光伏玻璃自清洁纳米涂层技术	适用于光伏电站升级改造项目	采用纳米二氧化硅分形组合技术, 经过常温涂覆, 在光伏玻璃表面形成 100nm 左右微细的凹凸防护涂层, 在组件表面形成 107Ω~109Ω电阻值, 具有抗静电性不易吸附空气中浮游的灰尘、微粒等污染源, 实现保持光伏组件玻璃表面自清洁功能, 达到光伏玻璃的高效自清洁和光催化效果。	<p>案例名称: 广州市时代宝湾国际物流园分布式光伏电站项目</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1、建设规模: 3.76MW</li> <li>2、减碳效益: 相较于技术改造前, 该电站实现了发电效率提升。碳减排量 507tCO<sub>2</sub></li> </ol>
41	技术工艺(光伏)	钙钛矿太阳能电池规模化应用技术	适用于新建光伏电站项目	该技术应用的钙钛矿太阳能电池通过光吸收层吸收光能, 通过电荷分离将电子和空穴分离, 并通过电极收集电子和空穴产生电流, 实现光能向电能的转换。	<p>案例名称: 蒙西基地库布其 200 万 kW 光伏治沙项目 1MWp 钙钛矿光伏组件应用项目</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1、建设规模: 1MWp 钙钛矿光伏项目</li> <li>2、减碳效益: 按项目年光伏发电量测算, 项目年碳减排量</li> </ol>

序号	类型	技术名称	适用范围	技术主要内容	具体案例/主要效果
					为 987.61tCO <sub>2</sub>
42	技术工艺 (光伏)	新能源光伏气膜一体化应用技术	适用于体育场馆、仓储、工业厂房、环保处理、农业展览馆等领域	该技术将柔性光伏组件与气膜进行集成结合应用的“光伏+气膜”的产品，克服了太阳能光伏板轻质化、柔性化、封装工艺、套组设计等问题，能良好应对气膜在外部荷载作用下产生位移时的形变所带来的影响，打造光伏气膜 BAPV 一体化，实现气膜“自发自用、余电上网”。	案例名称：湖南中成空间智能技术有限公司气膜光伏发电项目 1、建设规模：总气膜建筑面积 2500m <sup>2</sup> ，光伏装机容量 300kW 2、减碳效益：相较于市政用电，年碳减排量 123.32tCO <sub>2</sub>
43	技术工艺	低充灌量 R290 空调压缩机技术	制冷行业，适用于房间空调器、热泵热水器、干衣机等领域	在满足压缩机的性能及可靠性要求的前提下，降低压缩机中 R290 制冷剂的含量，使其匹配 R290 房间空调器时，能使整机更好地满足安全标准中对制冷剂充灌量的严格要求。	案例名称：GODREJ&BOYCE 公司 R290 空调器生产 1、建设规模：10000 台 R290 空调器 2、投资：410 万元 3、经济效益：600 万元，投资回收期约 1 年
44	过程控制	分布式光热蒸汽供热系统	适用于建筑供暖、用热或轻工业生产所需 120°C~200°C 供热需求	该技术以工业级太阳能真空管集热器为集热载体，生成 120°C~200°C 的蒸汽。可以辅助配置太阳光跟踪装置增加集热效率，或通过加热系统输出导热油等其他高温介质，满足工业或建筑用热需求。	案例名称：海南通用康力制药有限公司太阳能改造项目 1、建设规模：太阳能蒸汽集热器 348 组，蒸汽额定产量 1t/h 2、减碳效益：较燃煤锅炉系统，年碳减排量 737tCO <sub>2</sub>
45	过程控制 (节能)	基于智能化控制的蒸汽高效利用技术	纺织行业染整加工生产企业	采用高精度电磁流量计、压力变送器、温度综合检测和比例阀控制等形式，对蒸汽压力进行智能化控制，在汽压变化、车速变化、品种更换或停车时，压力自动跟随控制。在机台蒸汽总管路和各用汽点上安装气动比例阀调节用汽流量，同时安装反馈传感器 (压力、流量、温度) 构成全闭环控制系统，各用汽点压力可单独设定并调节。该技术可实现蒸汽压力由人工模糊控制到定量控制的转变，将蒸汽压力控制在合理范围内，提高蒸汽使用效率，有效降低能耗，实现二氧化碳减排。	案例名称：四川南充嘉美印染有限公司蒸汽高效利用技术改造项目 建设规模：印染布年产量 1 亿 m。 建设条件：棉、涤棉连续平幅印染加工企业。 主要建设内容：蒸汽供气系统智能化改造。主要设备为智能蒸汽控制系统、网络化管控软件。 项目总投资：500 万元，建设期为 3 个月。 年节能量：3944tce。 碳减排量：约 10400tCO <sub>2</sub> 。 经济效益：720 万元，投资回收期约 8 个月。
46	过程控制 (节能)	中央空调全自动清洗节能技术	建筑行业建筑楼宇及工业厂房的水冷式中央空调热交换器	将软质特殊球送入冷凝器，每天全自动清洗中央空调冷凝器 36 次，使中央空调冷凝器始终处于清洁状态。系统全自动运行，自身不耗电，节能减排效果好。	典型用户：北京国贸中心大厦 主要技改内容：2 台 450 冷 t、2 台 500 冷 t、2 台 1100 冷 t 中央空调节能技术改造 主要技改设备：中央空调全自动清洗系统

序号	类型	技术名称	适用范围	技术主要内容	具体案例/主要效果
					节能技改投资额：100 万元，建设期 10 天 年节能量：546tce 经济效益：（累计开机 5000 小时）250 万元投资回收期 5 个月
47	过程控制	污水处理厂智慧化低碳平台构建及低碳运营技术	适用于污水处理厂、净水厂低碳化运行	建立基于工艺参数调控和排放因子协同的全流程碳排放和碳减排核算方法，构建基于污水处理工艺全过程的多目标、多层次、多参数的数字化碳管理平台和基于活性污泥法的工艺仿真模型，模拟分析各环节控制情况，确定全局最优的运行条件。结合再生水利用、污水源热泵、光伏发电等途径，从资源回收利用方面探索碳补偿能源利用技术。	案例名称：沥滘三期智慧化低碳平台构建及低碳运营 1、建设规模：25 万 m <sup>3</sup> /t 2、减碳效益：相较于使用系统前，年碳减排量约 414.9tCO <sub>2</sub>
48	过程控制	火电企业碳排放全流程数智“监测-评估-控制”技术	适用于各类型火力发电企业的碳排放监测、碳排放核算以及碳排放数智化管理。	该技术为火电企业温室气体的排放智能化管理技术，针对不同火电机组的现场条件，针对性地开展 CO <sub>2</sub> 监测系统集成改造与应用，结合物联网技术，对火电企业碳排放数据及生产运行数据进行在线采集、自动核算与统计，并基于多源数据融合的数据智能分析与校验技术和火电机组碳排放强度影响因素贡献度分析模型，搭建碳排放“监测-评估-控制”低碳数智化信息平台，实现对机组碳排放监测、数据智能诊断校验、异常数据预警、低碳优化决策等一体化智慧管控。	案例名称：江苏华电句容发电有限公司超超临界 1000MW 燃煤机组二氧化碳排放在线监测研究与示范 1、建设规模：1 台超超临界 1000MW 机组碳排放全流程数智“监测-评估-控制” 2、减碳效益：相较于技术改造前，该项目实现年碳减排量 10.5 万 tCO <sub>2</sub>
49	过程控制	印刷行业氮气保护全 UV 固化技术	烟草、食品、药品等包装材料的印刷	凹印工艺中使用 UV 油墨的承印材料在进入干燥区前，先采用不含氧的气体对承印材料表面进行吹扫处理，使其在充有保护气体 N <sub>2</sub> 的紫外线干燥箱中进行干燥，防止干燥过程中油墨与空气接触反应，避免添加抗氧剂，从源头减少 VOCs 的使用与排放。	采用紫外固化技术解决了 UV 油墨在凹印机上无法完全干燥的难题；不仅可以减少 VOCs 排放，还可以降低干燥过程的能耗。
50	过程控制	工业污染源-污水管网-污水集中处理设施	工业污染源、污水管网、污水集中处理设施协同管控	基于工业污染源基础信息，在管网节点布设在线监测传感器，实现管网中水质异常时污染排放快速溯源定位和下游实时预警；基于工业污染源、污水管	通过外来水接入管网位置快速确定、管网漏损智能探测、外来水接入水质水量优化分析、污染源排放异常快速预警和溯源追踪等系统性措施，提高了溯源预警和管网调度的

序号	类型	技术名称	适用范围	技术主要内容	具体案例/主要效果
		施综合管理技术		网 GIS 系统、管网运行监测数据及污水处理厂运行数据,建立污染源-污水管网-污水集中处理设施耦合的联合调控模型,实现多目标优化的水质水量实时预测、自动校正和反馈控制;基于光纤测温、VR 智能探测、管网 GIS 系统分析等实现管网系统输送效能(管道破损、地下水入渗)的诊断。	科学性。工业污染源排放溯源预警的准确度 $\geq 92.5\%$ 。
51	过程控制	介孔绝热材料节能技术	适用于工业绝热领域	本技术是以介孔材料为核心绝热组分,辅以各种无机纤维以及添加剂制备的介孔复合技术原理制造绝热材料,可实现对纳米孔气凝胶绝热材料的升级替代。	案例名称:宁波中金石化有限公司供 PTA 蒸汽管线保温升级改造项目 1、建设规模:改造管径 DN400~DN500 管道,长度 5306m 2、减碳效益:相较于原保温方式,改造后热损失降低 30% 以上,年碳减排量 2528.2tCO <sub>2</sub>
52	过程控制	风送系统	畜禽屠宰企业	该设备是将屠宰过程中产生的猪毛、肠胃内容物、牛皮等物质在密封管道内运送至污物储存处的输送系统,该设备可将上述污染物质在常规输送过程中的遗洒降低为零,有效解决污物对肉品的二次污染,减少进入冲洗水中的污染物质,使猪毛回收率达到 95% 以上,肠胃内容物回收率达到 80% 以上。	该设备的应用,可减少屠宰过程中污染物的排放量,单位减排 COD7.5kg/t(活屠重)、氨氮 0.4kg/t(活屠重),降低企业污水处理费用,为屠宰企业节约生产成本,有效提高企业的市场竞争力,具有良好的环境、社会、经济效益。
53	管理	数据中心垂直制冷能效控制技术	信息行业 数据中心	数据中心垂直制冷能效控制系统是实现数据中心制冷系统能耗管理与运行控制于一体的制冷设施整体管控、数据分析平台技术。该技术改变了传统数据中心制冷系统动环加群控系统的割裂监测方式,将冷冻站数据、末端精密空调数据、机房环境数据及能耗计量数据全部打通,利用人工智能实现垂直数据融合、模型仿真和全局控制。该系统采用最佳供水温度控制、冷机高效区控制、冷冻水最优阻抗控制等核心算法,实现数据中心制冷系统高效运行。	案例名称:北京中金云网亦庄数据中心制冷系统节能改造项目 1、建设规模:数据中心空调系统冷冻站额定制冷量 8000 冷吨,精密空调数量 400 台。对 400 台精密空调增加精密空调能效控制器,对精密空调风机和表冷水阀进行优化控制;对机房气流组织进行优化调试,解决机房热点或气流短路问题 2、投资:628 万元,建设期为 3 个月 3、经济效益:320 万元,投资回收期约 2 年 4、碳减排量 (tCO <sub>2</sub> /a): 4270 5、减排成本:90~110 元/tCO <sub>2</sub>
54	管理	智慧能源管理	生产智能管理	核心技术及工艺:综合通讯技术通过具有对等通信	能效提升率 10%~40%;提高能源保障与安全管理水平,减

序号	类型	技术名称	适用范围	技术主要内容	具体案例/主要效果
		系统技术		技术的工业物联网与工业以太网无缝连接，并通过网络变量捆绑实现去中心化的设备互联互动。采用数据采集与处理模型、调控模型及策略，实现自适应智能控制、能效提升、能源平衡与调度、动态柔性调峰。在统一平台上解决了信息孤岛问题，实现了供用能系统的监控管一体化。 主要技术参数：工业物联网传输速率 $\geq 1\text{Mbps}$ ；子网在线率 100%；传输误码率 $\leq 10^{-6}$ （光纤模式）；系统响应时间 $\leq 1\text{s}$ 。	少运维人员 1/3 以上。
55	废弃物处置（噪声）	集成吸声、隔声、抗压功能的珍珠岩尖劈吸声砖制造技术	适用于需要降噪的企业	核心技术及工艺：将珍珠岩颗粒、合成纤维和水泥等混合搅拌成不同材质的半干料，分别放入特制模具中的不同位置，利用压缩机压制形成上下结构的半成品砖，通过胶粘制成成品砖。珍珠岩尖劈共振吸声砖面向声波入射方向的表面采取尖劈式形状，可以降低声波反射，提高吸声效果；在内部构筑球形共振腔和 U 型槽结构，实现吸声、隔声和抗压综合功能。 主要技术参数：降噪系数达 0.90，隔声性能为 43dB，抗压强度达 7.5MPa。	铁路声屏障降噪效果 7.4~11dBA，成本降低 1%~3%。
56	废弃物处置（固废）	退役锂电池全过程清洁循环利用关键技术与应用	适用于废旧动力电池一体化回收和资源化利用新技术	该技术基于化学原理捕集热解废气，耦合浸锂液制备锂盐；通过镍钴锰短程共萃，实现稳态结晶与晶种可控，制备高端前驱体；设计废气废热及氧循环利用系统，研制辊道窑低碳烧成系统；基于高盐废水汽提脱氨与复合除杂，实现循环再造元明粉。技术工艺从电池预处理延伸至正极材料合成，实现全过程资源化回收。	案例名称：湖南邦普循环科技有限公司新能源汽车用动力电池高镍正极材料产业项目 1、建设规模：年产正极材料 3.5 万 t。 2、减碳效益：与正极材料生产流程相比，该项目年碳减排量 3.6 万 tCO <sub>2</sub>
57	废弃物处置（固废）	建筑垃圾中微细粉再生利用技术	建筑行业 建筑垃圾再生利用	以建筑垃圾为原料，利用固体物料在机械力作用下发生晶格畸变、表面断键等特征，使粉体表面具有较高的表面能；利用碱性化学激发剂对处于介稳状	案例名称：武汉天意成有限公司建筑垃圾资源化项目 1、建设规模：建成年处理 200 万 t 建筑垃圾 100 万 t 工业废渣的再生高活性矿物掺合料粉磨站

序号	类型	技术名称	适用范围	技术主要内容	具体案例/主要效果
				态的玻璃体起到解离和促进水化作用，在化学激发剂形成的化学力与机械力协同作用下，显著提高再生胶凝材料的水化活性和粉磨效率，以此制得高活性矿物掺合料。利用该技术生产的高活性矿物掺合料可以替代部分水泥，不仅使建筑垃圾得到资源化利用，而且使生产过程中的电耗降低 10%~15%，从而实现碳减排。	2、投资：4000 万元，建设期为 6 个月 3、经济效益：3000 万，投资回收期约 1.3 年 4、碳减排量 (tCO <sub>2</sub> /a)：30 万 5、减排成本：10~15 元/tCO <sub>2</sub>
58	废弃物处置(固废)	餐厨废弃物资源化利用生产生物腐植酸技术	废弃物资源化利用领域循环农业及耕地质量提升	通过二氧化碳和烃类在高效稀土三元催化剂的作用下产生聚合反应，生产可降解塑料。每吨可降解塑料产品可以消耗二氧化碳 420kg,不仅减少化石原料的使用，同时也有效利用了由火力发电厂、石化企业等工业排放烟气捕集提纯后的 CO <sub>2</sub> 。	1、适用条件：具有稳定的 CO <sub>2</sub> 原料供应 2、案例名称：台州邦丰塑料年产 3 万吨全生物二氧化碳基降解塑料项目 (1) 建设规模：年产 3 万 t 全生物二氧化碳基降解塑料 (2) 投资：2.3 亿元，建设期 2.5 年 (3) 经济效益：7000 万元，投资回收期为 3 年 (4) 碳减排量 (tCO <sub>2</sub> /a)：13000 (5) 减排成本：500~700 元/tCO <sub>2</sub>
59	废弃物处置(废液)	制冷剂回收与循环利用技术	轻工行业家电产品制冷剂的回收与再利用	根据不同的回收现场制定不同的回收工艺，可采用“压缩冷凝法”或“推拉法”，利用专用制冷剂回收机组，将制冷剂进行回收和再处理，将其中的冷冻机油和污染物去除，使其成为合格的再生制冷剂重新利用，避免制冷剂直接排放到大气造成的大量温室气体排放。 1、压缩冷凝法制冷剂回收技术： 利用专用的制冷剂压缩机组将制冷剂的气体压缩后进行冷凝，将气态制冷剂转变为液态制冷剂，适用于制冷剂气相回收，回收比较彻底，安全可靠，实用性强。 2、液态“推拉法”制冷剂回收技术：气态制冷剂被回收设备吸入，经压缩后打入空调系统，把空调系统内的液态制冷剂推进储存罐；同时，利用回收机的	案例名称：广东美的暖通设备有限公司制冷剂回收项目 1、建设规模：制冷剂回收装置 4 台套，单台回收量 0.35m <sup>3</sup> /min 2、投资：40 万元，建设期为 3 个月 3、经济效益：10 万元，投资回收期约 4 年 4、碳减排量 (tCO <sub>2</sub> /a)：3.4 万 5、减排成本：1~10 元/tCO <sub>2</sub>

序号	类型	技术名称	适用范围	技术主要内容	具体案例/主要效果
				<p>吸气作用将空调系统内的液态制冷剂吸进储存罐。适用于制冷剂液相回收，回收速度快，但一同吸出的压缩机油需要使用压缩冷凝法将其与制冷剂分离，多用于拆废过程中的回收处理，可以缩短生产线滞留时间。</p> <p>3、点多多级并联回收处理技术：用于空调或冰箱等多条生产线的同种制冷剂多点不定时回收需求。采用多点并联管线收集（可调式时间控制回收），一条管线集中回收，一个缓冲罐实现油气分离，一台固定位置回收机，可回收多点位的同种制冷剂，进行集中处理，现场实现脱油。</p>	
60	废弃物处置（废液）	垃圾渗滤液处理技术	适用于垃圾填埋场和焚烧厂渗滤液处理	该技术采用“厌氧预处理+膜生物反应器+膜深度处理（NF 或 RO）”工艺，利用厌氧反应器去除渗滤液中的高浓度有机物，采用膜生物反应器强化氨氮和可生化有机物的去除，最后利用反渗透或纳滤分离无法生物降解的污染物。少量浓液返回系统。	出水达到 GB16889-2008 中表 2 或表 3 的限值，连续运行一年后反渗透回收率仍大于 75%。
61	废弃物处置（废水）	难降解有机废水弱电介入强化水解酸化处理技术	难降解有机废水处理	难降解有机废水通过物化预处理后进入施加有外电场的生物水解处理单元提高水解酸化出水可生化性。	通过施加外电场，提高了水解酸化处理效率，降低了废水毒性，改善了难降解有机废水的可生化性。废水可生化性提高 30%以上。
62	废弃物处置（废水）	制药废水复配功能菌强化生物处理技术	化学合成类制药废水处理	制药废水与厂区生活污水混合后，采用水解-好氧-水解-好氧两级复合串联工艺处理，好氧反应池投加复配功能菌，出水经固液分离后达标排放，污泥经脱水后外运处置。	以制药废水中有毒有害物质为目标培养筛选功能菌，在去除污染物的同时实现有毒有害物质脱除。复合微生物菌剂中微生物量不低于 $1 \times 10^7$ cfu/mL，菌种投配率 2%~3%，苯酚、对甲苯酚和邻苯二甲酸酯等污染物去除率 > 90%，出水达到相关排放标准要求。
63	废弃物处置（废水）	新型城市污水深度处理-电厂回用成套技术	适用于电力、石化等用水大户	该技术采用生化和膜处理技术相结合的方法，深度处理城市污水处理厂二级达标排放出水。利用高效生物氧化塔技术进行预处理，实现了用组合过滤替代超滤作反渗透的前处理单元，完成了“两级过滤+	<p>方案实施企业：大连热电股份有限公司北海热电厂再生水厂</p> <p>1、方案实施情况：以大连春柳河污水厂二级出水为原水，处理后用于北海热电厂循环冷却水和锅炉补水，处理规模</p>

序号	类型	技术名称	适用范围	技术主要内容	具体案例/主要效果
				反渗透”单膜法工艺污水深度处理后回用的过程。利用高效生物氧化塔，有效去除污水中有机物和氨氮；利用反渗透技术，使出水满足电厂等行业循环冷却水和锅炉补给水水质要求。	14400t/d，已运行两年。 2、经济效益：每年为大连热电股份有限公司节省经费总额约 900 万元；年回用 480 万吨城市污水，为市政新增经济效益 230 万元。 3、社会效益：减少使用约 320 万吨自来水，相当于大连市减少 4000 万引水工程投资，新增工业产值潜力 13.3 亿元； 4、环境效益：年可削减 COD 排放约 380 吨，SS 排放约 140 吨，总氮排放量约 160 吨，氨氮量约 140 吨。
64	废弃物处置（废水）	印染废水生化尾水深度处理与回用技术	可广泛应用于化工、印染废水及城市综合污水生化处理尾水的深度处理及回用工程，适用于现有污水处理系统的升级改造	印染综合废水经生化处理的尾水仍然含有部分的染料、有机物及重金属，对其进一步深度处理后可作为回用水使用。利用人工合成的复合功能树脂，其具有比表面积较大、有特定活性基团，具有离子交换和吸附双重功能，浓缩比可达 1/1000，树脂脱附性能良好。	方案实施企业：吴江市永前印染有限公司 1、方案实施情况：化纤织物的印染量占生产总量的 65%。在其印染过程中主要使用分散染料、活性染料及酸性染料。其中分散染料、活性染料及酸性染料分别占染料总使用量的 50%、35%、15%。该废水深度处理及回用设施采用以复合功能树脂吸附为主体的工艺，设计处理总量为 1200~1800 吨/天，总投资 500 万元，运行成本小于 0.9 元/吨废水。项目在改造后排放出水水质符合企业印染用水水质要求，同时可达到江苏省地方标准 DB32/T1072-2007 的规定。
65	废弃物处置（废水）	重金属废水生物制剂法深度处理与资源化技术	有色重金属废水、印刷和线路板废水等含有重金属的各种工业废水。	利用氧化铁硫杆菌、氧化硫硫杆菌等复合功能菌群培养产生的代谢产物和某些无机化合物通过组分设计，制备成生物制剂。生物制剂中含有-OH、-COOH、-SH、-NH <sub>2</sub> 等大量功能基团，与重金属离子进行配合反应，通过调节 pH 值使重金属离子高效沉淀，实现废水的深度处理。	实际应用案例：株洲冶炼集团高钙、高酸、高浓度重金属废水，经生物制剂配合后，加入碱液中和水解，再进行斜板沉淀分离。经现场连续监测，处理后出水中铜、铅、镉、锌、砷、汞等金属离子均达到《生活饮用水水源水质标准》，钙离子浓度可控，可循环使用。新工艺产渣量比传统中和法少，渣中锌等重金属含量高达 30%，可返回锌系统；净化水在循环使用过程中 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 和 Na <sup>+</sup> 离子保持在某一平衡浓度，保障了净化水的循环利用。
66	废弃物处置（废水）	印刷废水废液固化分离及处理技术	废水处理	核心技术及工艺：在线收集印前制版过程中产生的废冲版水和废显影液。废显影液由新型加热辊筒旋转成膜，经纳米涂层刮刀刮落后收集到固废收集箱，	可减少 95%的冲版用水以及 90%-95%的危险废弃物；设备用电 4kWh/h。 以用版量 10000 张计算，可节水约 180t。

序号	类型	技术名称	适用范围	技术主要内容	具体案例/主要效果
				热蒸汽冷凝后过滤回用；废水经过以有机酸为主的复合药剂絮凝中和脱色，多级沉降后固液分离，过滤回用，实现废液废水零排放。	
67	废弃物处置（废水）	三维过电位电解-高效复合微生物处理难降解工业废水技术	适用于制药行业和储罐行业难降解废水处理，规模通常在 10000m <sup>3</sup> /d 以下。	该技术采用“三维过电位电解+固定化微生物”的 A/O 生物处理工艺。三维过电位电解在保证良好的电催化活性的前提下具有较好的稳定性和耐腐蚀性。	单位污染物去除能耗 0.8kWh/kgCOD，电极材料的年腐蚀率约为 0.04%，COD 平均去除率 35%；再经高效生物处理，出水 COD 浓度可低于 100mg/L，凯氏氮去除率 30%~50%，CN- 的去除率 40%~60%。
68	废弃物处置（废水）	改进型高效折板厌氧反应技术	适用于屠宰、制药废水的处理。	该技术是在折流厌氧反应器（ABR）的基础上，根据屠宰、制药废水的特性，对 ABR 的配水、隔室宽度、填料筛选和安装位置进行改良和优化，增设中间池，在中间池进行沉淀和预曝气，将沉淀污泥回流。	容积负荷在处理屠宰废水时为 6.0kgCOD/（m <sup>3</sup> ·d），在处理中药制药废水时为 4.5 kgCOD/（m <sup>3</sup> ·d），HRT 在 18~24h 之间，COD 去除率 85%~87%，与 UASB 相比，投资节省 30%。
69	废弃物处置（废水）	双膜法浓水循环中水回用技术	适用于印染、电镀、皮革、钢铁等工业废水深度处理及回用。	该技术是中空纤维多孔膜和反渗透膜的组合膜处理技术，原水先经中空纤维多孔膜过滤掉部分污染物，再进入具有浓水在线增压回流和双向进水功能的反渗透膜，其中浓水在线增压回流功能利用了回流浓水的余压，双向进水功能使膜组件的两端可换用，进一步提高膜的抗污染能力。	反渗透系统脱盐率大于 95%。
70	废弃物处置（废水）	MBR+反渗透印染废水回用技术	适用于印染废水深度处理及回用	该技术采用膜生物反应器（MBR）及反渗透（RO）组合技术处理印染废水，回用率可达到 60%左右。MBR 系统采用了第四代中空纤维膜—砵式复合膜，具有强度高、通量大、抗污染性强、寿命长等特点。	回用率可达到 60%左右。
71	废弃物处置（废水）	印染废水膜处理回用技术	适用于印染、电镀废水处理回用	该技术采用超滤和反渗透双膜法，有效降低废水中有机物浓度，去除微米级、亚微米级颗粒；同时，高抗污染反渗透系统利用浓水内循环、膜管两侧分时进水、大流量错流冲洗膜侧污染物等方式，大幅度降低了反渗透膜表面污染程度。保证系统长期高效稳定运行，实现印染、电镀废水处理回用。	有效降低废水中有机物浓度，大幅度降低了反渗透膜表面污染程度。保证系统长期高效稳定运行，实现印染、电镀废水处理回用。

序号	类型	技术名称	适用范围	技术主要内容	具体案例/主要效果
72	废弃物处置(废水)	Fe/C 微电解含铜黄连素废水处理与铜回收技术	高浓度含 Cu <sup>2+</sup> 工业废水	Fe-C 微电解预处理单元处理含铜黄连素制药废水, 该技术集活性炭吸附、Fe/C 微电解及 Fe 的氧化还原作用等作用于一体。废水经 Fe-C 微电解技术预处理后, 具有生物毒性的黄连素结构被破坏, 通过活性炭的吸附以及絮凝沉淀作用去除大量 COD, 提高废水的可生化性, 降低了其对后续生化处理单元的冲击。高浓度的 Cu <sup>2+</sup> 经铁还原转化为单质铜。残渣中含有剩余活性炭与铜, 经过压缩过滤、焚烧等处理后以 CuCl <sub>2</sub> 形态回收再利用。	典型案例: 东北制药集团股份有限公司 环境效益: 对黄连素的去除率达 70.0%以上, 废水中残余 Cu <sup>2+</sup> 低于 20mg/L, 出水满足东药生化处理工艺的要求, 回收得到的 CuCl <sub>2</sub> 作为催化剂再次应用于黄连素的生产。
73	废弃物处置(废气)	有机废气吸附回收技术	石油、化工、印刷、机械等行业有机废气处理	采用吸附、解析性能优异的颗粒活性炭、活性炭纤维、蜂窝状活性炭作为吸附剂, 吸附工业企业生产过程中产生的有机废气, 并将有机溶剂回收再利用, 实现了清洁生产和有机废气的资源化回收利用, 减少温室气体 CO <sub>2</sub> 的排放。 有机废气经预处理、增压, 进入活性炭吸附器。吸附一定量有机溶剂后, 进行解吸; 解吸出的溶剂气体、水蒸汽混合物进入冷凝器; 冷凝后经气液分离器, 使溶媒不凝气重新回到风机前吸附, 冷凝下来的混合液经过冷凝器流入重力分层槽; 下层较重液体不溶于水, 溢流至溶剂储槽由磁力泵打至生产企业指定位置。解吸后, 由干燥风机进行箱体降温、除水工作, 进入下一个工作循环。	案例名称: 云南玉溪水松纸厂活性炭纤维印刷溶剂乙醇回收项目 1、建设规模: 乙醇尾气流量 1.54m <sup>3</sup> /h 的有机废气回收装置, 该项目对 4 条生产线设计安装了有机废气吸附回收装置 3 套, 分别为 3 厢 8 芯吸附设备 2 套、4 厢 12 芯吸附设备 1 套 2、投资: 403 万元, 建设期 90 天 3、经济效益: 约 621 万元, 投资回收期 8 个月 4、碳减排量 (tCO <sub>2</sub> /a): 2240 5、减排成本: 200~500 元/tCO <sub>2</sub>
74	废弃物处置(废气)	活性炭吸附-氮气脱附冷凝溶剂回收技术	包装印刷、石油化工、涂布、制药等行业	利用颗粒活性炭吸附有机废气, 活性炭吸附饱和后采用高温氮气脱附再生, 脱附产生的溶剂经冷凝分离后回收。	采用惰性气体氮气作为脱附载气, 有效解决了传统回收工艺安全性问题; 与水蒸气再生相比, 回收溶剂含水率低, 易于提纯。
75	废弃物处置(废气)	低浓度有机废气生物净化技术	低浓度有机废气处理	低浓度有机废气导入生物过滤器后, 经由采用生物繁育技术研制的高效生物膜将废气中挥发性有机物降解成 CO <sub>2</sub> 和 H <sub>2</sub> O。生物过滤器设一层或多层生物膜填料; 废气停留时间 > 10s; 适宜运行温度 15°C~	采用高效生物膜填料, 接触面积大, 净化效率高, 非甲烷总烃去除率 > 90%; 运行费用低。

序号	类型	技术名称	适用范围	技术主要内容	具体案例/主要效果
				35°C。	
76	废弃物处置(废气)	电除尘器用脉冲高压电源	电除尘器	将脉冲宽度 100 $\mu$ S 及以下的窄脉冲电压波形叠加到基础直流高压上,在电场电极上施加快速上升的脉冲电压,使电晕线上产生均匀的电晕分布和强烈的电晕放电,显著提高电场内部击穿电压,使粉尘更多荷电。同时,在不降低或提高峰值电压的情况下,通过改变脉冲重复频率调节电晕电流,实现在较低的电流密度下收尘。	改善粉尘尤其是细微粉尘的荷电效率,可大幅提高除尘效率、降低运行能耗。
77	废弃物处置(废气)	包装印刷行业节能优化及废气收集处理一体化技术	包装印刷等行业 VOCs 治理	将印刷车间进行区域划分,使车间内无组织废气流入节能型热风输出及废气预处理设备(ESO);ESO 采用平衡式送排风方式,使各个干燥烘箱的排风可以多级利用,减风增浓;经 ESO 浓缩后的废气送入 VOCs 氧化设备净化处理。	提高包装印刷行业 VOCs 废气浓度,有利于后续氧化燃烧及余热回收。排风量减少 70%以上,VOCs 浓度可提高 3 倍以上,减风增浓后可直接进入氧化设备净化。
78	废弃物处置(废气)	窄脉冲放电除臭技术	低浓度恶臭废气治理	低浓度恶臭气体经预处理后,进入纳秒脉冲电晕等离子体装置的放电区和反应区净化后排放。	利用窄脉冲放电技术产生高密度、高粒子能量等离子体,提高臭气处理效率。治理后臭气浓度(无量纲) $\leq 1000$ 。
79	碳捕集、利用与封存	低成本高效碳捕集与利用技术	适用于各类工业生产领域二氧化碳捕集利用,在硅铝酸盐固废产生量大、碳捕集需求迫切的行业和企业运用该技术可降低运营成本	该技术提出工业固废合成固废源固态胺材料、原位用于工业源 CO <sub>2</sub> 捕集的技术路线,并开发了固态胺 CO <sub>2</sub> 捕集材料应用的关键装备;形成了基于固废协同利用的 CO <sub>2</sub> 矿化固碳混凝土技术,在消纳工业固废的同时降低碳排放 20%以上,且生产成本低于普通硅酸盐水泥混凝土 30%以上。	案例名称:深圳能源环保股份有限公司低成本高效碳捕集与利用技术集成与应用示范 1、建设规模:项目建设和 1000t/a 固废源固态胺碳捕集示范工程及 3 万方/年碱激发地质聚合物固碳混凝土制品的示范生产线 2、减碳效益:项目运行后,年捕集处置二氧化碳 3840tCO <sub>2</sub>
80	碳捕集、利用与封存	先进低能耗二氧化碳捕集技术	适用于电厂烟气或工业尾气的 CO <sub>2</sub> 捕集	该技术基于实现自驱动萃取浓缩的低能耗相变型 CO <sub>2</sub> 吸收剂的研发,在低温条件下 CO <sub>2</sub> 与该吸收剂发生化学反应,形成不稳定的盐类,在高温条件下经加热,重新释放出 CO <sub>2</sub> 。	案例名称:上海石洞口二厂 12 万 t/a 相变型碳捕集工业示范项目 1、建设规模:碳捕集规模 12 万 t/a 2、减碳效益:项目运行后,年捕集二氧化碳 12 万 tCO <sub>2</sub> 。
81	碳捕集、利用与	低能耗燃煤燃机烟气碳捕集	适用于工业领域二氧化碳捕集	该技术研发了先进低能耗复合胺基吸收剂,优化了化学吸收法的工艺流程,使碳捕集系统的再生热耗	案例名称:上海长兴岛热电有限责任公司 10 万 t 级燃煤燃机全周期二氧化碳捕集与利用创新示范项目

序号	类型	技术名称	适用范围	技术主要内容	具体案例/主要效果
	封存	成套技术		及综合电耗在原有优化工艺基础上进一步降低，同时在末端开发了综合智能化供气控制系统。	1、建设规模：依托长兴热电厂，建设碳捕集能力 10 万 t/a 规模级装置 2、减碳效益：项目运营后，年捕集二氧化碳 10 万 t。