

重庆市环境保护局办公室

渝环办〔2017〕665号

重庆市环境保护局办公室 关于印发《电镀废水治理适宜技术选择 指南（2017版）》的通知

各区县（自治县）、各经开区环保局，两江新区环保分局，各有关单位：

为促进电镀工艺和污染治理技术的进步，进一步改善环境质量，市环保局组织编制了《电镀废水治理适宜技术选择指南（2017版）》，现予以印发，供参考。

重庆市环境保护局办公室

2017年12月29日

电镀废水治理适宜技术选择指南

(2017 版)

重庆市环境保护局

2017 年 12 月

目 录

前 言.....	III
第 1 章 总则.....	1
1.1 适用范围.....	1
1.2 电镀废水处理基本要求	1
1.3 重庆市电镀废水的排放要求	1
第 2 章 电镀废水污染物处理工艺选择	3
2.1 重庆市电镀废水污染处理工艺选择原则	3
2.2 重庆市电镀废水污染处理工艺选择基本方法	3
第 3 章 电镀废水污染物处理适宜技术及工艺	5
3.1 混凝分离组合工艺.....	5
3.1.1 适用范围.....	5
3.1.2 工艺技术.....	6
3.1.3 经济指标.....	9
3.1.4 处理效果.....	9
3.1.5 工艺优缺点.....	10
3.2 复极感应电化学+生物流动床活性焦吸附处理工艺	10
3.2.1 适用范围.....	10
3.2.2 工艺技术.....	11
3.2.3 经济指标.....	14
3.2.4 处理效果.....	14
3.2.5 工艺优缺点.....	15
3.3 ACOS 催化氧化+A303 强化生化工艺	16
3.3.1 适用范围.....	16
3.3.2 工艺技术.....	16
3.3.3 经济指标.....	18
3.3.4 处理效果.....	18

3.3.5 技术的优缺点	18
3.4 TFS+RO 以及混凝-沉淀-生化-膜分离-RO 工艺	19
3.4.1 适用范围.....	19
3.4.2 工艺技术.....	21
3.4.3 经济指标.....	30
3.4.4 处理效果.....	30
3.4.5 技术优缺点.....	31
3.5 金属涂装前处理——高分子处理工艺	32
3.5.1 适用范围.....	32
3.5.2 工艺技术.....	32
3.5.3 经济指标.....	33
3.5.4 技术优缺点.....	33
附表.....	35

前 言

为促进电镀工艺和污染治理技术的进步，改善环境质量，引导电镀企业采用先进的电镀工艺和污染治理技术，为环保“领跑者”制度提供技术支撑，特制订本技术选择指南。

本技术选择指南以当前国内及重庆市电镀废水污染物处理技术发展和应用状况为依据编制而成，可作为环境保护行政主管部门、环保技术服务企业和其他相关单位开展重庆市电镀废水污染物处理技术选择与应用的参考技术资料。

本技术选择指南由重庆市环境保护局组织编制，将结合电镀废水污染物处理技术发展情况适时修订。

本技术选择指南编制单位：重庆市环境科学学会、重庆市电镀行业协会。

第1章 总则

1.1 适用范围

本技术选择指南适用于制定重庆市辖区内电镀废水污染物处理技术方案时参考。

1.2 电镀废水处理基本要求

(1) 电镀企业应推行清洁生产，提高清洗效率，尽可能提高废水回用率，减少废水产生量。有条件的企业，。

(2) 电镀废水应分类收集、分质处理。其中，规定在车间或生产设施排放口监控的污染物，应在车间或生产设施排放口收集和处理；规定在总排放口监控的污染物，应在废水总排放口收集和处理；含氰废水和含铬废水应单独收集与处理；电镀溶液过滤后产生的滤渣和报废的电镀溶液不得进入废水收集和处理设施。

(3) 废水总排放口应安装在线监测系统，并符合HJ/T 353、HJ/T 355和HJ/T 212的要求。

(4) 电镀污泥属于危险废物，应按规定送交有资质的单位回收处理或处置。电镀污泥在企业内的临时贮存应符合GB18597的规定。

(5) 电镀废水处理站应设置应急事故水池，应急事故水池的容积应能容纳12~24 h的废水量。

1.3 重庆市电镀废水的排放要求

鉴于重庆市地处三峡库区水环境敏感区域以及重金属总量减排压力大等实际情况，重庆市新建（包括改、扩建）电镀企业执行《电镀污染物排放标准》（GB 21900-2008）中表3规定的水污染物排放限值（见表1-1）。

表1-1 GB21900-2008 表3水污染物特别排放限值

序号	污染物	排放限值	污染物排放监控位置
1	总铬 (mg/L)	0.5	车间或生产设施废水排放口
2	六价铬 (mg/L)	0.1	车间或生产设施废水排放口
3	总镍 (mg/L)	0.1	车间或生产设施废水排放口
4	总镉 (mg/L)	0.01	车间或生产设施废水排放口
5	总银 (mg/L)	0.1	车间或生产设施废水排放口
6	总铅 (mg/L)	0.1	车间或生产设施废水排放口
7	总汞 (mg/L)	0.005	车间或生产设施废水排放口
8	总铜 (mg/L)	0.3	企业废水总排放口
9	总锌 (mg/L)	1.0	企业废水总排放口
10	总铁 (mg/L)	2.0	企业废水总排放口
11	总铝 (mg/L)	2.0	企业废水总排放口
12	pH	6~9	企业废水总排放口
13	悬浮物 (mg/L)	30	企业废水总排放口
14	化学需氧量 (COD _{Cr} , mg/L)	50	企业废水总排放口
15	氨氮 (mg/L)	8	企业废水总排放口
16	总氮 (mg/L)	15	企业废水总排放口
17	总磷 (mg/L)	0.5	企业废水总排放口
18	石油类 (mg/L)	2.0	企业废水总排放口
19	氟化物 (mg/L)	10	企业废水总排放口
20	总氰化物 (以 CN ⁻ 计, mg/L)	0.2	企业废水总排放口
单位产品基准排水量 L/m ² (镀件 镀层)	多层镀	250	排水量计量位置与污染物排放监控位置一致
	单层镀	100	

注：单位产品基准排水量仅适用于专业电镀企业，其他含电镀工序企业单位产品基准排水量可参照相关行业标准 and 环境影响评价批复执行。

第 2 章 电镀废水污染物处理工艺选择

2.1 重庆市电镀废水污染处理工艺选择原则

(1) 稳定达标排放

由于电镀废水中通常含有多种重金属及有毒有害物质第一类污染物，对环境及人群健康危害极大，环境隐患突出。因此确保能稳定达标排放是电镀废水处理工艺选择的基本原则。

(2) 因地制宜

根据镀种、生产工艺、生产条件以及废水水质水量等实际情况，科学合理、因地制宜地选择适宜的处理工艺或组合工艺，切忌照抄照搬。

(3) 经济合理

工艺选择充分考虑应用技术与经济承受能力相适应。在保证一定处理效果的基础上，选择与电镀企业经济承受能力相适应，建设成本和运行成本较低、经济合理的技术工艺。

(4) 清洁生产

电镀废水中含有的重金属既是污染物，也是重要资源。应从原辅材料、技术工艺、过程控制等全周分析，选择能实现清洁生产、实现“节能、降耗、减污、增效”目标的技术工艺，实现可持续发展。

2.2 重庆市电镀废水污染处理工艺选择基本方法

(1) 根据待处理电镀废水的特征，包括电镀废水水质、镀种、排放方式、车间布置情况、排水量大小等，针对不同特征选择几项备选技术：

1) 按照水质选择：水质差的，不宜用普通的膜法分离技术等，宜采用完善的废水处理系统及深度处理组合工艺。

2) 按照不同镀种选择：含氰、含铬、含镉、含汞等废水宜进行深度处理，最好进行多次循环处理，以达到排放要求；含贵金属，如金、银等废水宜考虑回收，可适当选用化学法处理组合工艺。

3) 按照不同排放方式选择：分流排放废水水质成份较简单，可以选择为离

子法，活性炭法和膜式法等处理工艺；混合排放废水的水质成份复杂，可以选用组合工艺。

4) 按照车间布置情况选择：工房及周围用地比较紧张的宜选用膜式法、槽内处理法、流动车等；工房较为宽敞，可以建立完善的废水处理系统和深度处理组合工艺。

5) 按照工厂规模选择：对于规模小，排放量小的工厂，可以优先采用反渗透法、表面活性剂法，槽内处理法等处理单一镀种废水；多种镀种、排放量大的混合废水采用建立完善的废水处理系统和深度处理组合工艺。

(2) 结合各项工艺的经济指标估算出废水处理项目的总建设成本、占地面积及运行成本，按照经济合理原则吗，综合安全要求、清洁生产等因素对备选工艺进行分析，确定最终选用技术。

第3章 电镀废水污染物处理适宜技术及工艺

3.1 混凝分离组合工艺

3.1.1 适用范围

混凝分离组合工艺为混凝分离和兼氧 FMBR 相结合工艺,适用于电子电镀废水以及线路板废水等重金属废水处理。混凝分离组合工艺分水要求少,部分可以混合收集进行处理,可大幅减少收集管道的投资。在不加入 PAC、PAM(高分子絮凝剂)的情况下能做到重金属和水资源资源化,具有产泥量少、污泥中重金属纯度高,出水更易回用等特点。

混凝分离组合工艺一般分水要求及进水水质如下表所示。实际项目可能存在特殊情况,导致分水及水质情况存在差异。

表 3-1 线路板废水进水水质要求

分类	平均水质 (mg/L, pH 无量纲)					水量占比
	pH	Cu ²⁺	Ni ²⁺	COD _{cr}	NH ₃ -N	
综合废水	3~4	≤300	—	≤200	≤10	≈83%
有机废水	4~10	—	—	≤10000	—	≈10%
酸性废液	1~2	≤100	—	≤1000	—	≈5%
含镍废水	5~7	—	≤100	≤50	—	≈2%

表 3-2 电镀废水进水水质要求

分类	平均水质 (mg/L, pH 无量纲)							水量占比
	pH	Cu ²⁺	Ni ²⁺	COD _{cr}	氰化物	Zn ²⁺	Cr ⁶⁺	
综合废水	4~9	≤200	—	≤300	—	30	—	≈60%
含氰废水	7~9	≤200	—	≤150	≤100	—	—	≈20%
含铬废水	2~3	—	—	≤50	—	—	≤150	≈10%
含镍废水	5~7	—	≤200	≤50	—	—	—	≈10%

3.1.2 工艺技术

(1) 技术原理

混凝分离组合工艺由两大工艺组成：一是混凝分离工艺，二是兼氧 FMBR 工艺。分别介绍如下：

1) 混凝分离工艺

混凝分离工艺主要采用混凝分离处理器代替普通沉淀工艺，同时达到固液分离和污泥浓缩的目的。

2) 兼氧 FMBR 工艺

兼氧 FMBR 工艺是将膜分离技术与兼氧生物处理单元相结合的污水处理工艺，实现菌体共生，同步处理不同污染物，大幅提高系统适应能力、处理效率。具有有机污泥近零排放、同步脱氮、突破好氧 MBR 工艺（能耗高、易堵膜）的特点。

(2) 工艺流程

工艺流程分线路板废水和电镀废水两种情况介绍（以下工艺流程根据实际项目情况不同会有不同），如图 3-1 及 3-2 所示。

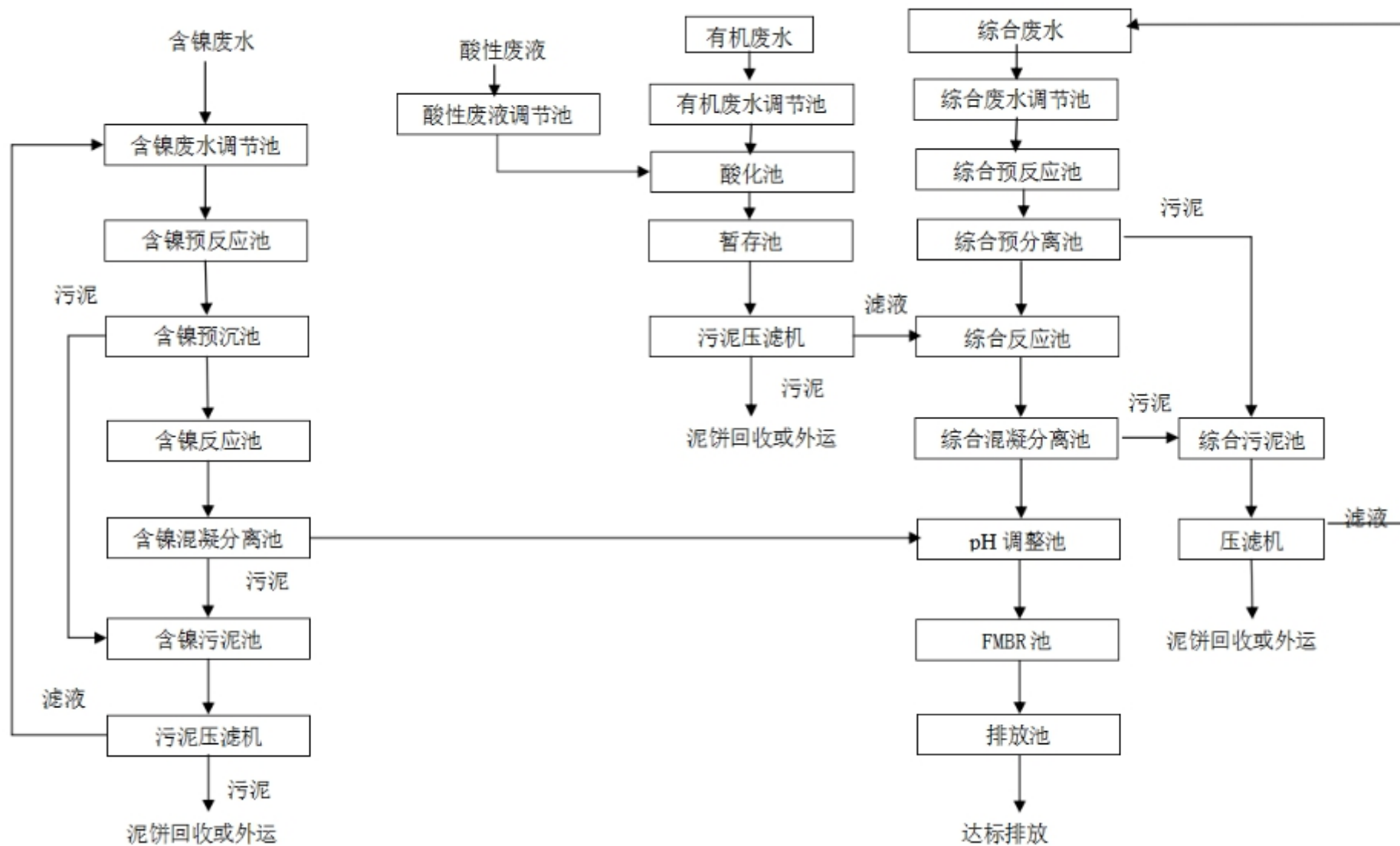


图 3-1 线路板废水工艺流程

(3) 主要设备

提升泵、流量计、液位计、加药泵、搅拌机、pH计、ORP计、风机、重金属分离系统、生化处理系统、产水泵、污泥泵、污泥压滤机、空压机、清洗系统等。

3.1.3 经济指标

混凝分离组合工艺的主要经济指标如表 3-3 和 3-4 所示。

表 3-3 线路板废水主要经济指标

建设成本 (元/m ³)	直接运行成本 (元/m ³)	定员 (人)	备注
3000~7000	6.5~10	6~10	无
1、计算取值均以一般进水水质平均值计，根据实际进水水质不同经济指标存在差异。 2、建设成本为构建筑物及工艺设备投资，不含三通一平和土石方工程、特殊地基处理。 3、直接运行成本为电费、药剂费、人工费。			

表 3-4 电镀废水主要经济指标

建设成本 (元/m ³)	直接运行成本 (元/m ³)	定员 (人)	备注
4000~8000	8.5~12	8~12	无
1、计算取值均以一般进水水质平均值计，根据实际进水水质不同经济指标存在差异。 2、建设成本为构建筑物及工艺设备投资，不含三通一平和土石方工程、特殊地基处理。 3、直接运行成本为电费、药剂费、人工费。			

3.1.4 处理效果

混凝分离组合工艺的处理效果如表 3-5 及 3-6 所示。

表 3-5 线路板废水工艺处理效果

项目	总铜 (mg/L)	总镍 (mg/L)	COD (mg/L)
处理效率(%)	≥99.7	≥99.9	≥75
达到的排放标准	《电镀污染物排放标准》(GB21900-2008)表 3		
出水实测值	0.116	0.057	45.17
标准排放限值	0.3	0.1	50

表 3-6 电镀废水工艺处理效果

项目	总铜(mg/L)	总镍(mg/L)	总铬(mg/L)	氰化物(mg/L)	COD(mg/L)
处理效率(%)	≥99.9	≥99.9	≥99.7	≥99.9	≥75
达到的排放标准	《电镀污染物排放标准》(GB21900-2008)表 3				
出水实测值	0.05	0.05	—	0.004	—
标准排放限值	0.3	0.1	0.5	0.8	50

3.1.5 工艺优缺点

(1) 优点

- 1) 废水分类简单，甚至无需分水，企业容易做到，可操作性高；出水水质真正稳定达标，实现污水有效处理；
- 2) 不加入混凝剂，污泥产量远远低于传统工艺，大大降低危废处理成本，提高了物化污泥资源化利用的价值；
- 3) 有机污泥近零排放，减少有机污泥处置成本；
- 4) 不加入 PAM，减少对 RO 膜的堵塞问题，减少运行费用；
- 5) 大幅减少占地；
- 6) 工艺流程简单，设备数量少，维护管理方便简单。

(2) 缺点

需要定期清洗膜组件。

3.2 复极感应电化学+生物流动床活性焦吸附处理工艺

3.2.1 适用范围

(1) 复极感应电化学水处理技术

复极感应电化学水处理技术适用于混合重金属废水深度处理，当传统化学方式处理重金属达到极限时，复极感应电化学水处理技术通过电氧化、电还原、电絮凝、磁吸附共沉等功能同步，可一次性将总铜、总镍、总铬、六价铬、总锌、

石油类、总磷、有机物、总氰等污染物去除，出水各污染物指标优于《电镀污染物排放标准》（GB 21900-2008）表 3 排放限值。

复极感应电化学处理段进水水质要求如表 3-7 所示：

表 3-7 系统进水水质要求一览表

水质指标	pH	总铁 (mg/L)	悬浮物 (mg/L)	六价铬 (mg/L)	总铜 (mg/L)	总镍 (mg/L)	总锌 (mg/L)
测量值	3~10	≤200	≤200	≤50	≤300	≤50	≤150
水质指标	总铬 (mg/L)	总氰 (mg/L)	COD (mg/L)	总磷 (mg/L)	石油类 (mg/L)	电导率 (μ s/cm)	
测量值	≤80	≤5	≤300	≤50	≤30	≤15000	

(2) 生物流动床活性焦吸附技术

生物流动床活性焦吸附技术特别适用于因生化系统无法降解的大分子有机物，有特别的吸附效果，可解决工业废水深度处理及初级回用的问题。

生物流动床活性焦吸附系统进水水质要求如表 3-8 所示：

表 3-8 系统进水水质要求一览表

水质指标	pH	COD (mg/L)	悬浮物 (mg/L)	色度 (倍)
测量值	6~10	≤300	≤100	≤100

3.2.2 工艺技术

(1) 技术原理

1) 复极感应电化学法原理

复极感应电化学法是利用物理学及化学原理，借助外加高频脉冲电源产生电化学反应，把电能转化为化学能，经单一电化学设备即可对废水中的有机或无机物进行氧化还原反应，进而凝聚、浮除，将污染物从水体中分离，可有效地去除电镀综合废水中的 Cr^{6+} 、 Zn^{2+} 、 Ni^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Ag^{2+} 、油、磷酸盐、COD 等各种有害污染物。该方法采用高频脉冲的电解方式，突破了传统的低电压、大电流的电解模式，主要通过四种作用及两种现象来达到去除水中污染物的结果。

2) 活性焦吸附原理

活性焦是一种由褐煤为原料生产的具有大量功能基团的中孔丰富（2nm~50nm）的碳吸附材料，正是这种孔隙结构和功能基团特点，使活性焦在污水处理领域有广泛的应用空间，主要作用有去除 COD、色度、胶体、重金属等污染物。

活性焦作为一种多孔煤基吸附材料，在生产过程中材料本身有大量的功能基团包括羟基、酚羟基、碱性含氧功能基团，这些吸附是靠化学键的作用使吸附质与吸附材料发生化学反应，从而去除污染物，同时活性焦与污染物之间会产生范德华力为主的物理吸附，物理吸附与化学吸附共同构成了活性焦优异的吸附性能。

3) 流动床的结构及原理

流动床活性焦吸附塔主体是由罐体和内部构件组成。吸附塔罐体采用标准的建筑用不锈钢、碳钢或玻璃钢制造，通过法兰连接进水、出水和清洗用水。内部构件包括进水管、布水器、空气提升泵、气控箱和洗焦装置。活性焦吸附塔可以根据过滤水量的需求选择单台运行或多台并联运行。

吸附时，流动床活性焦吸附塔基于逆流原理，待处理的原水经进水管，通过位于吸附塔底部的布水器进入吸附塔。水流由下向上逆流通过滤床，经过滤后的过滤液在吸附塔顶部聚集，经溢流口流出；从而污水中的 COD、色度、浊度都得到非常理想的去除效果。

(2) 工艺流程

复极感应电化学+生物流动床活性焦吸附处理工艺的流程图如图 3-3 所示。

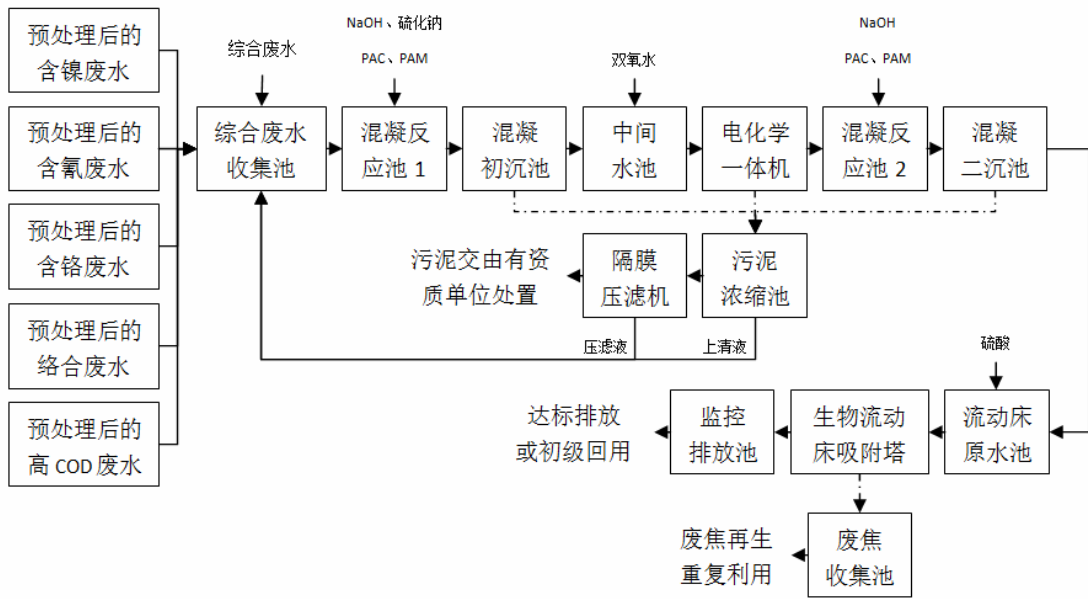


图 3-3 复极感应电化学+生物流动床活性焦吸附处理工艺流程图

(3) 主要设备

该工艺所需的主要设备见表 3-9。

表 3-9 设备配置一览表

序号	设备名称	数量	材质	备注
1	综合废水提升泵	2 台	氟塑料	一备一用
2	氢氧化钠加药泵	2 台	气动隔膜泵	PP
3	硫化钠加药泵	1 台	计量泵	
4	PAC 加药泵	2 台	气动隔膜泵	PP
5	PAM 加药泵	2 台	气动隔膜泵	PP
6	双氧水加药泵	1 台	计量泵	
7	电化学提升泵	2 台	不锈钢 316L	一备一用
8	电化学一体机	—	玻璃钢槽体 Q235 钢板	200m ³ /d/台 400m ³ /d/台 600m ³ /d/台
9	活性焦原水泵	2 台	不锈钢 316L	一备一用
10	生物流动床吸附塔	1 套	钢结构+防腐漆	—
11	硫酸加药泵	1 台	气动隔膜泵	PP

序号	设备名称	数量	材质	备注
12	曝气风机	2 台	—	一备一用
13	空压机	2 台	—	一备一用
14	PH 测定仪	3 台	电极式	—

3.2.3 经济指标

该工艺涉及的经济指标见表 3-10。

表3-10 主要经济指标一览表

序号	指标名称	指标内容	备注
1	综合建设成本 (以 1000m ³ /d 处理规模计)	350 万元	仅含设施设备成本
2	电化学直接运行成本	1.5 元/吨	含电费、极板损耗
3	活性焦吸附直接运行成本	2.4 元/吨	含电费、活性焦再生
4	综合运行成本	10 元/吨	含电费、人工、药剂、电化学及粉焦直接运行成本
5	废水站人员数量 (以 1000m ³ /d 处理规模计)	每班 5 人	中控操作人员一名, 现场巡查人员一名, 溶药人员一名, 化验员二名
6	电化学一体机占地面积 (以 1000m ³ /d 处理规模计)	80m ²	已包含两套电化学之间的检修通道

3.2.4 处理效果

该工艺处理效果见表 3-11。

表3-11 处理效果一览表

项目对照	pH	总铜 (mg/L)	六价铬 (mg/L)	总镍 (mg/L)	COD (mg/L)	总铬 (mg/L)	总锌 (mg/L)	总氰 (mg/L)	总磷 (mg/L)
原水数据	5~7	≤300	≤50	≤50	≤300	≤80	≤150	≤2	≤50
出水果效	6-9	≤0.3	≤0.1	≤0.1	≤50	≤0.5	≤1.0	≤0.2	≤0.5
去除率	/	99.9%	99.8%	99.8%	84%	99.4%	99.4%	90%	99%

注：以上数据完全符合《电镀污染物排放标准》（GB21900-2008）表 3 排放限值要求。

3.2.5 工艺优缺点

(1) 优点

- 1) 可抗原水水质波动，抗波动范围在基数的 10 倍以内；
- 2) 利用废水中的污染物通过阳极氧化、间接氧化产生双氧水、次氯酸根、羟基自由基、臭氧等中间产物可充分打断络合态金属链接，同时去除氰化物、COD、偏磷酸根、次磷酸根和重金属，真正确保重金属稳定达标；自产氧化剂、还原剂、絮凝剂、铁盐，可节省药剂成本；
- 3) 极板采用 Q235 钢板，极板溶出量为 100 ~150mg/L(根据进水水质变化)，定时倒极，防止极板钝化；
- 4) 因活性焦中孔发达，比表面积大，针对难降解的大分子有机污染物有强效的吸附效果，出水稳定性好；
- 5) 采用高电压、低电流脉冲电源，吨水运行电耗在 0.4~0.8 度；
- 6) 氧化、还原、絮凝、磁吸附共沉同步，可大幅减少土建设施，简化处理流程，提高处理效率，保障出水效果，降低运行成本。

(2) 缺点

复极感应电化学水处理技术缺点

- 1) 污染物浓度 >500mg/L 的废水直接进入电化学一体机，会导致污泥堵在极板之间，反应效率下降，出水水质不稳定；
- 2) 当氰化物、络合物浓度 >5mg/L 时，出水总镍不能稳定达到 0.1mg/L 的要求；
- 3) 废水中钙离子浓度 >30mg/L 并且间歇性进入电化学一体机处理，容易造成极板结垢；
- 4) 废水中铝离子浓度 >50mg/L 时容易造成极板钝化。

生物流动床活性焦吸附技术缺点

应用在浓度大于 1000mg/L 以上的有机废水处理中，吸附效率较低，饱和速度快，和其它处理工艺相对，没有经济性优势。

3.3 ACOS催化氧化+A3O3强化生化工艺

3.3.1 适用范围

适用于电镀单厂或集中控制区的废水处理站，主要应用于经过分质分流预处理后的综合废水，需要进行深度处理，稳定达到《电镀污染物排放标准》（GB 21900-2008）表 3 排放限值要求。适用于综合废水处理，允许氰化物和六价铬出现部分浓度不高的混排现象。

进水水质最高限制如表 3-12 所示。

表3-12 ACOS催化氧化+A3O3强化生化工艺进水水质要求

项目	BOD ₅ (mg/L)	COD (mg/L)	悬浮物 (mg/L)	氨氮 (mg/L)	总氮 (mg/L)	总磷 (mg/L)
进水水质	150	600	200	60	80	8.0
项目	总镍 (mg/L)	总铜 (mg/L)	总铬 (mg/L)	六价铬 (mg/L)	总氰化物 (mg/L)	总锌 (mg/L)
进水水质	500	500	500	10	10	500

3.3.2 工艺技术

(1) 技术原理

污水经分质分流预处理后，进入此综合废水处理系统，经提升进入 ACOS 催化氧化系统，ACOS 催化氧化系统可以破坏重金属络合性，并且提高废水的 B/C 比，鉴于不用的废水中重金属氢氧化物沉淀的 pH 值不同，经过催化氧化系统后，废水进入双级高密度沉淀系统，可去除绝大部分包括锌、铬两性氢氧化物在内的重金属离子。

双级高密度沉淀池出水进入 A3O3 生化处理系统进行生化及深度处理，A3O3 特别针对 COD、总氮和总磷进行加强去除，其主要由高效厌氧系统+四段增强型脱氮系统+臭氧生物滤池系统组成。

高效厌氧生物技术是在传统水解酸化的基础上进行优化设计的一项技术，由于电镀废水系低浓度低 B/C 难降解废水，该系统可提高废水的可生化性及去除部分 COD，并且与后续四段增强型脱氮除磷系统配合，起到了厌氧释磷的作用。

四段增强型脱氮除磷系统是在 Bardenpho 基础上进行优化改良的，其类似由

两个 A/O 组成，在第一级 A/O 工艺中，回流混合液中的硝酸盐氮在反硝化菌的作用下利用原污水中的含碳有机物作为碳源在第一缺氧池中进行反硝化反应，反硝化后的出水进入第一好氧池后，含碳有机物被氧化，含氮有机物实现氨化和氨氮的硝化作用，同时第一缺氧池反硝化产生的 N_2 在第一好氧池经曝气吹脱释放出去。

在第二级 A/O 工艺中，由第一好氧池而来的混合液进入第二缺氧池后，反硝化菌利用混合液中的内源代谢物质进一步进行反硝化，反硝化产生的 N_2 在第二好氧池经曝气吹脱释放出去，改善污泥的沉淀性能，同时内源代谢产生的氨氮也可以在第二好氧池得到硝化。该流程具有两次反硝化过程，脱氮效率可以高达 90%~95%。

同时在保持脱氮效果基础上，对其进行优化改良，其前置一个厌氧池，并在第二段兼氧池进行排泥，从而解决了除磷效果的问题。

四段增强型脱氮除磷系统后废水进入臭氧生物炭滤池进行处理，该系统利用吸附及活化协同作用，一方面，用催化剂将水中有机污染物吸附于表面，另一方面，催化活化臭氧分子，产生高氧化性的自由基。通过有机污染物的吸附和氧化剂的活化协同作用，可以取得更好的催化臭氧氧化效果。臭氧氧化后污水中的可生化性得到提高，然后利用生物活性炭滤池去除有机物，进一步达到降解难降解 COD、氨氮、总氮等有机污染物的目的。

(2) 工艺流程

工艺流程见图 3-4 所示。

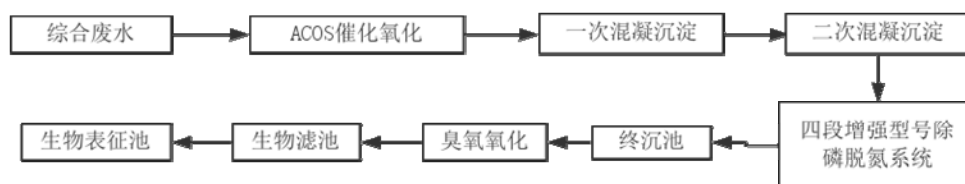


图 3-4 ACOS 催化氧化+A3O3 强化生化工艺流程图

(3) 主要设备

ACOS 催化氧化设备、风机、水泵、曝气器、刮泥机、臭氧发生器、BAC

填料等。

3.3.3 经济指标

该工艺涉及的经济指标见表 3-13。

表3-13 ACOS催化氧化+A3O3强化生化工艺主要经济指标

建设规模 (m ³ /d)	建设成本 (元/m ³ 水)	直接运行成本 (元/m ³ 水)	总处理费用 (元/m ³ 水)	定员 (人)	回用率
10000 以上	3000~4000	7.5~10.5	8.0~11.0	15	≥60%
5000~10000	3500~4500	8.5~12.5	9.0~13.5	10	
1000~5000	4000~4500	9.5~14.0	10.0~15.0	10	
500~1000	5000~6500	11.5~16.5	12.5~17.5	6	
500 以下	5500~7000	13.5~18.5	14.5~19.5	3	

注：1、计算取值均以一般进水水质平均值计，根据实际进水水质不同经济指标存在差异；2、建设成本为构建筑物及工艺设备投资，不含三通一平和土石方工程、特殊地基处理；3、直接运行成本为电费、药剂费、人工费；4、回用率最高时，建设成本及运行成本取上限值，最低时取下限值。

3.3.4 处理效果

该工艺处理效果见表 3-14。

表3-14 ACOS催化氧化+A3O3强化生化工艺处理效率

项目	COD (mg/L)	悬浮物 (mg/L)	氨氮 (mg/L)	总氮 (mg/L)	总磷 (mg/L)	总银 (mg/L)
处理结果	≤50	≤30	≤3	≤15	≤0.5	≤0.1
表 3 标准限值	50	30	8	15	0.5	0.05
项目	总镍 (mg/L)	总铜 (mg/L)	总铬 (mg/L)	六价铬 (mg/L)	总氰化物 (mg/L)	总锌 (mg/L)
处理结果	≤0.1	≤0.05	≤0.2	≤0.05	≤0.1	≤0.5
表 3 标准限值	0.1	0.3	0.5	0.1	0.2	1.0

3.3.5 技术的优缺点

(1) 优点

1) 建设费用适中，处理效果好，对废水中的强络合重金属离子（如氰化物、

柠檬酸络合、次亚磷酸络合、EDTA 络合) 具有超强的破除能力;

2) 污水处理系统的组合具有多样性和针对性等优点, 对废水的非重金属指标的去除可以达到表 3 要求, COD 和氨氮甚至可以优于地表水四类水标准;

3) 污泥产量低, ACOS 对芬顿和电化学技术进行升级改造, 泥量仅为芬顿法的 30%, 而后续生化系统采用 MBR 膜技术, 可以维持较高的污泥浓度, 排泥量极少。

4) 运行管理简单, 工作量小。

(2) 缺点

1) 运行成本较高;

2) 占地面积相对较大, 对严重混排的电镀废水不太适宜。

3.4 TFS+RO以及混凝-沉淀-生化-膜分离-RO工艺

3.4.1 适用范围

TFS+RO 以及混凝-沉淀-生化-膜分离-RO 工艺可针对不同类别的电镀废水, 进行分类处理, 减少不同类废水之间的影响, 同时满足排放或回用标准。

废水进水水质范围如表 3-15 所示。

表3-15 各类废水进水水质范围

废水种类	总镍 (mg/L)	总银 (mg/L)	总铬 (mg/L)	总镉 (mg/L)	总铅 (mg/L)	总铜 (mg/L)	总锌 (mg/L)	总氮 (mg/L)	总磷 (mg/L)	CN ⁻ (mg/L)	COD (mg/L)	石油类 (mg/L)	pH
含镍废水	≤300		—			≤50	—	≤100	≤200	—	≤300	—	2~6
含银废水		≤200									≤200		2~5
含铬废水	≤0.1		≤100			—	—	—	—	—	≤700	—	2~6
含镉废水				≤50		—				10~50	≤200		8~11
含铅废水					≤50						≤200		2~5
含氰废水	—		—			—	—	≤60	—	≤100	≤100	—	8~11
含铜废水	—		—			≤100	≤50	—	—	—	≤100	—	2~9
含锌废水	—		—			—	≤100	≤50	—	—	≤100	—	6~9
磷化废水	—		—			—	≤50	≤50	≤100	—	≤200	—	5~9
酸、碱废水	—		—			≤200	≤200	≤100	—	—	≤1500	≤400	4~11
混合废水	≤0.1	≤0.1	≤0.1	≤0.1	≤0.1	≤100	≤50	≤50	≤10	≤0.5	≤1000	≤100	5~12

3.4.2 工艺技术

(1) 技术原理

TFS 系统是一种利用膜过滤原理发展起来的新型的废水处理技术。膜的孔径范围为 $0.1\sim 0.01\mu\text{m}$ 之间，适合对悬浮液和乳液进行截留或浓缩以及低浊度液体除菌，针对不同性质的废水可选用不同孔径的滤膜。

RO 系统是反渗透分离技术，采用反渗透膜对溶质和水进行分离，去除杂质范围广，不仅可去除溶解的无机盐类，还可去除各类有机物杂质，并具有较高的除盐率和水的回用率，可截留粒径纳米级溶质。

(2) 工艺流程

电镀企业产生的各类废水的处理工艺流程如图 3-5 至图 3-14 所示。

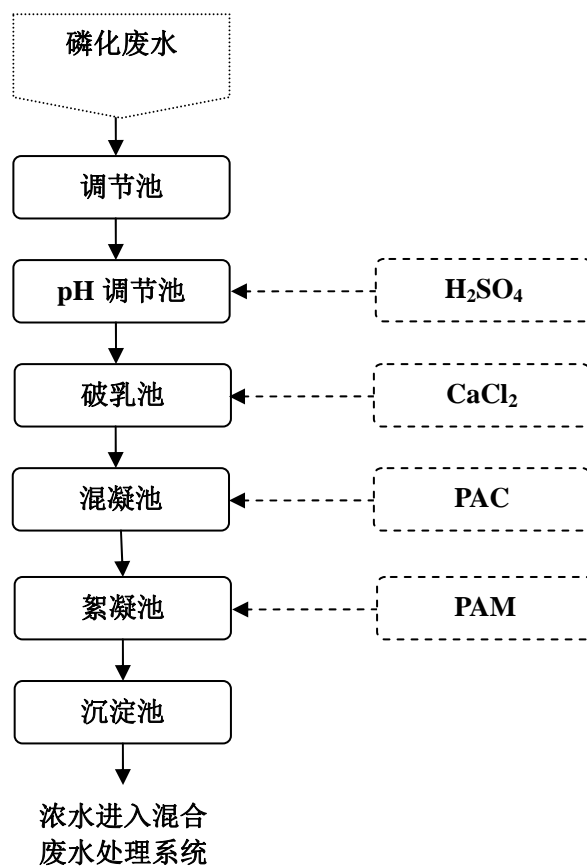


图3-5 磷化废水处理工艺流程

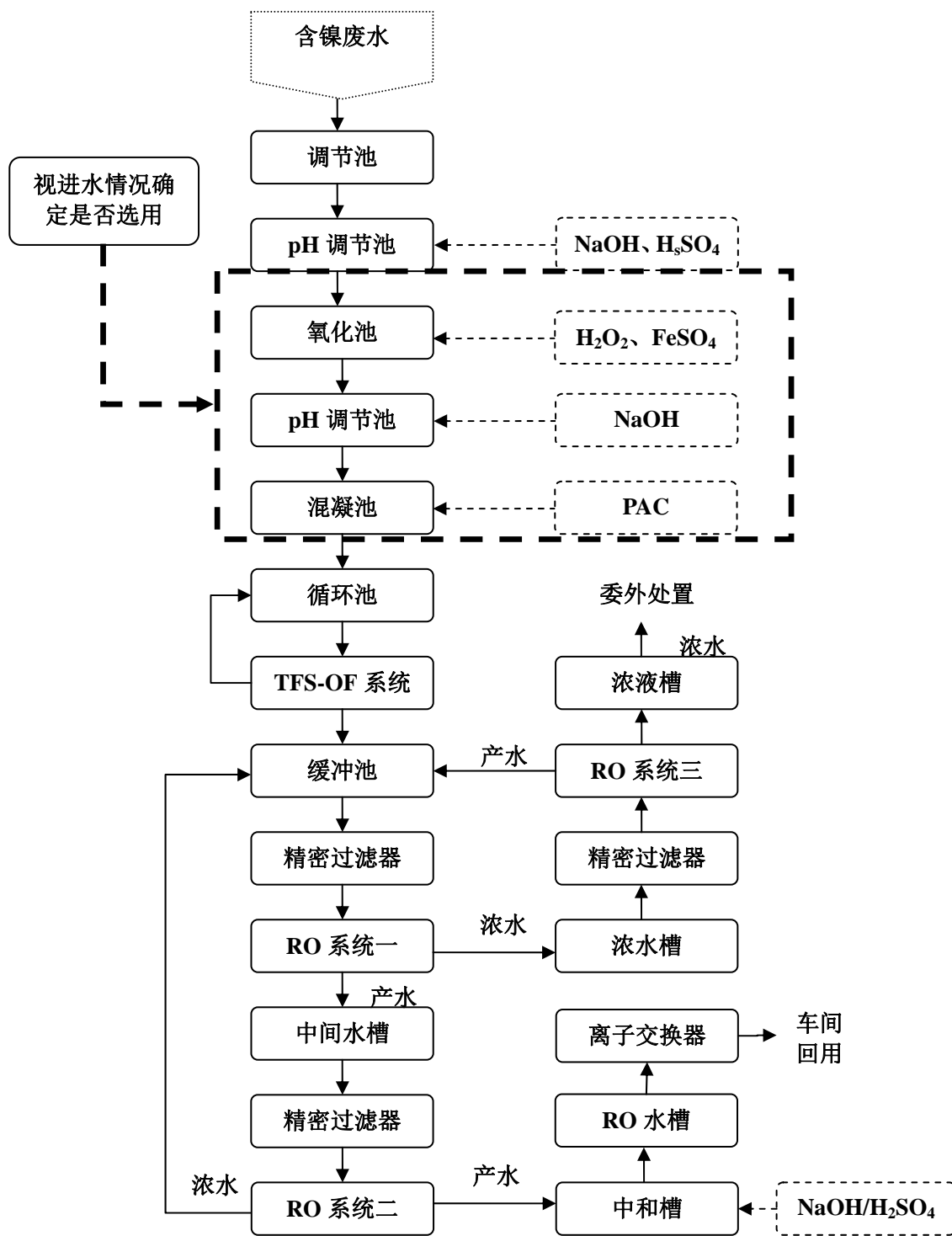


图3-6 含镍废水工艺流程图

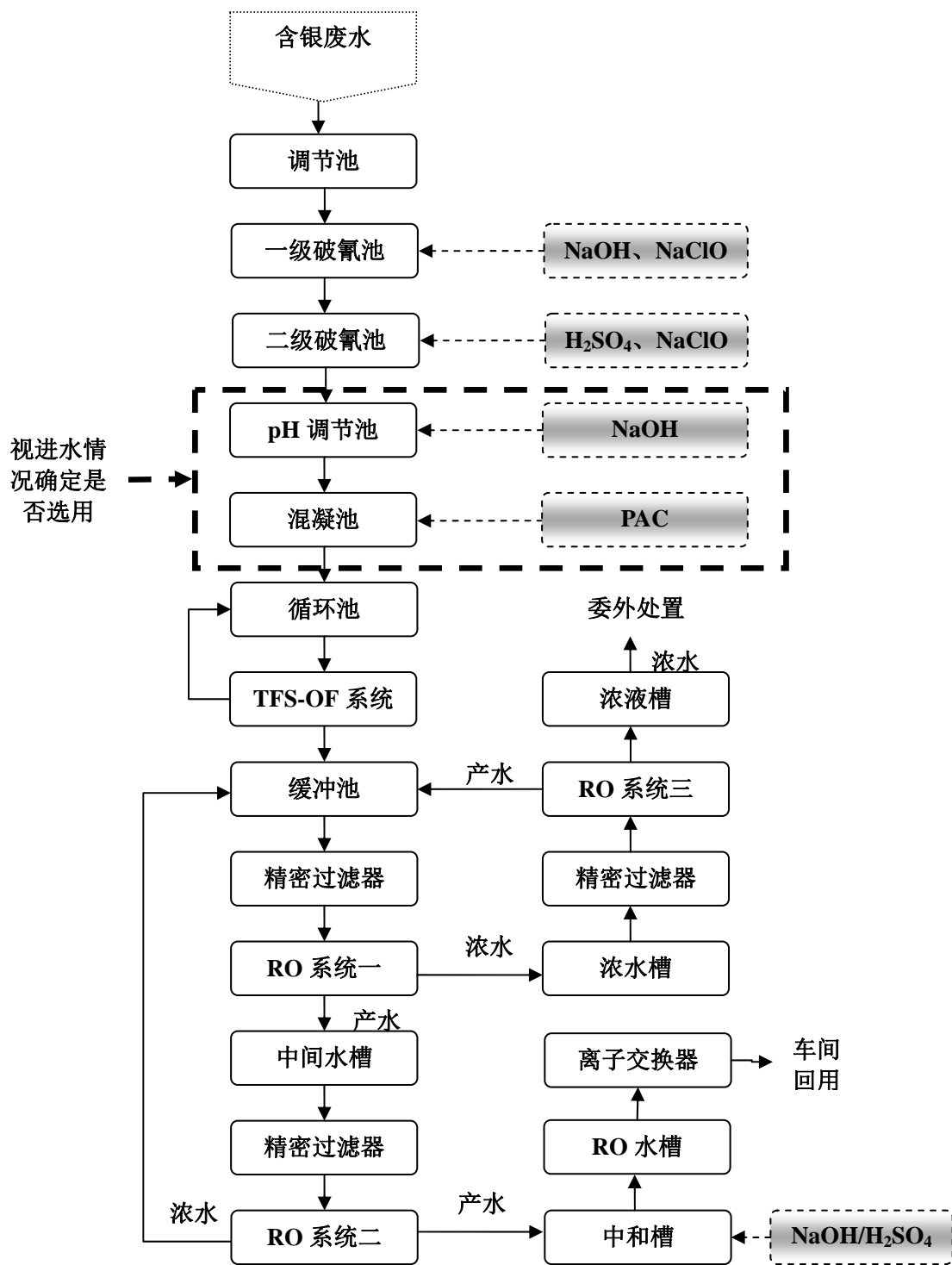


图3-7 含银废水工艺流程图

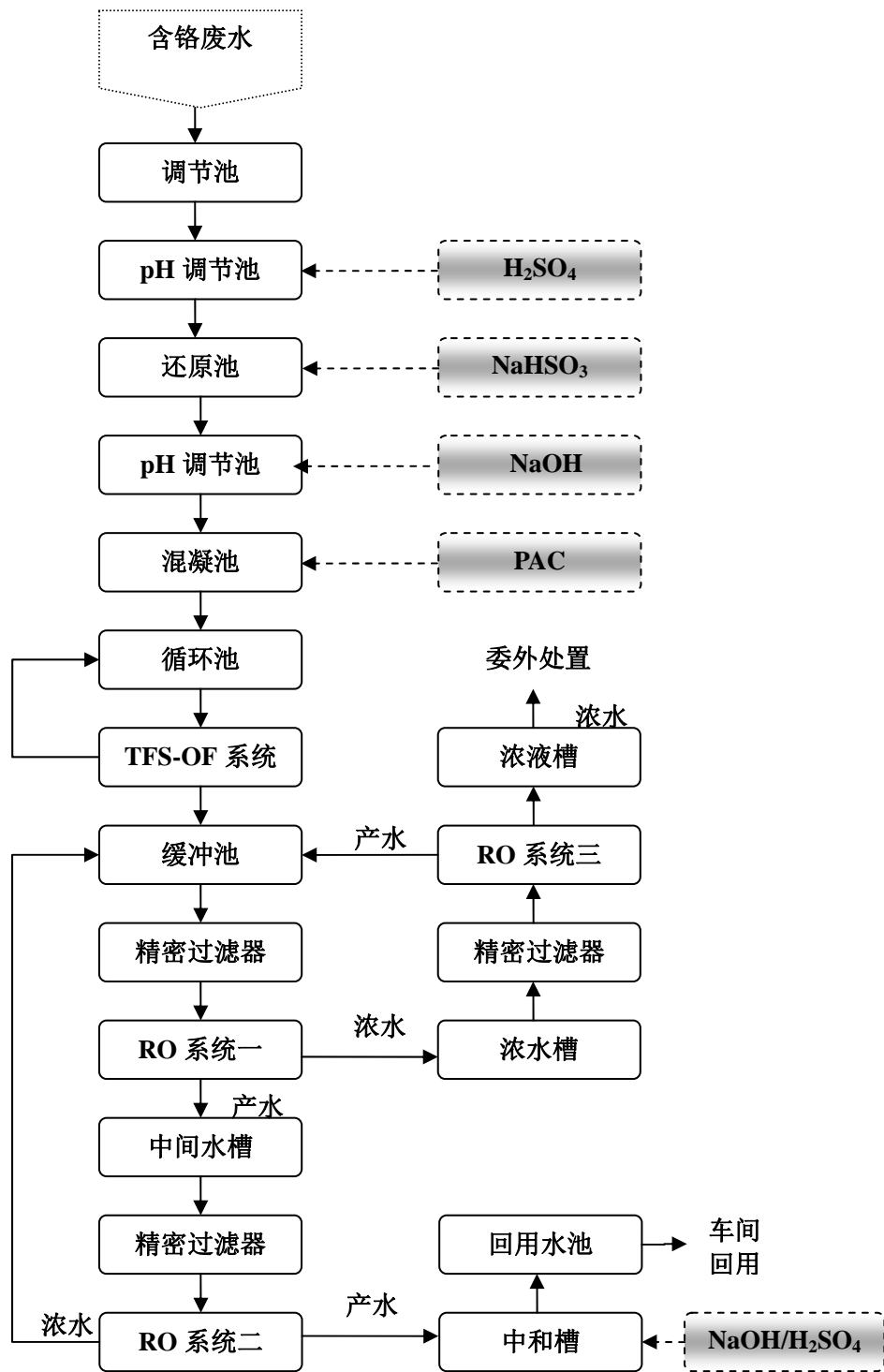


图3-8 含铬废水工艺流程图

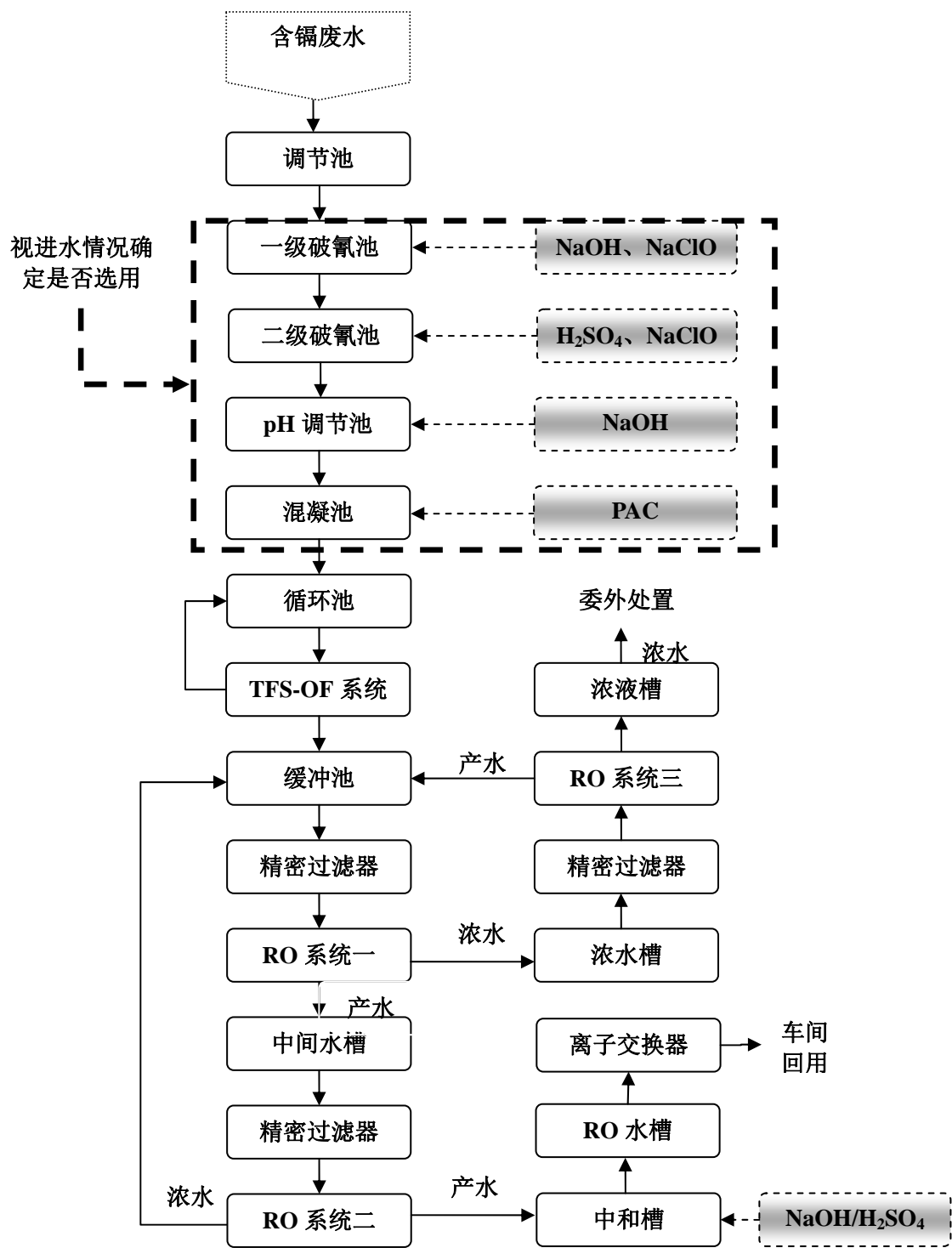


图3-9 含镉废水工艺流程图

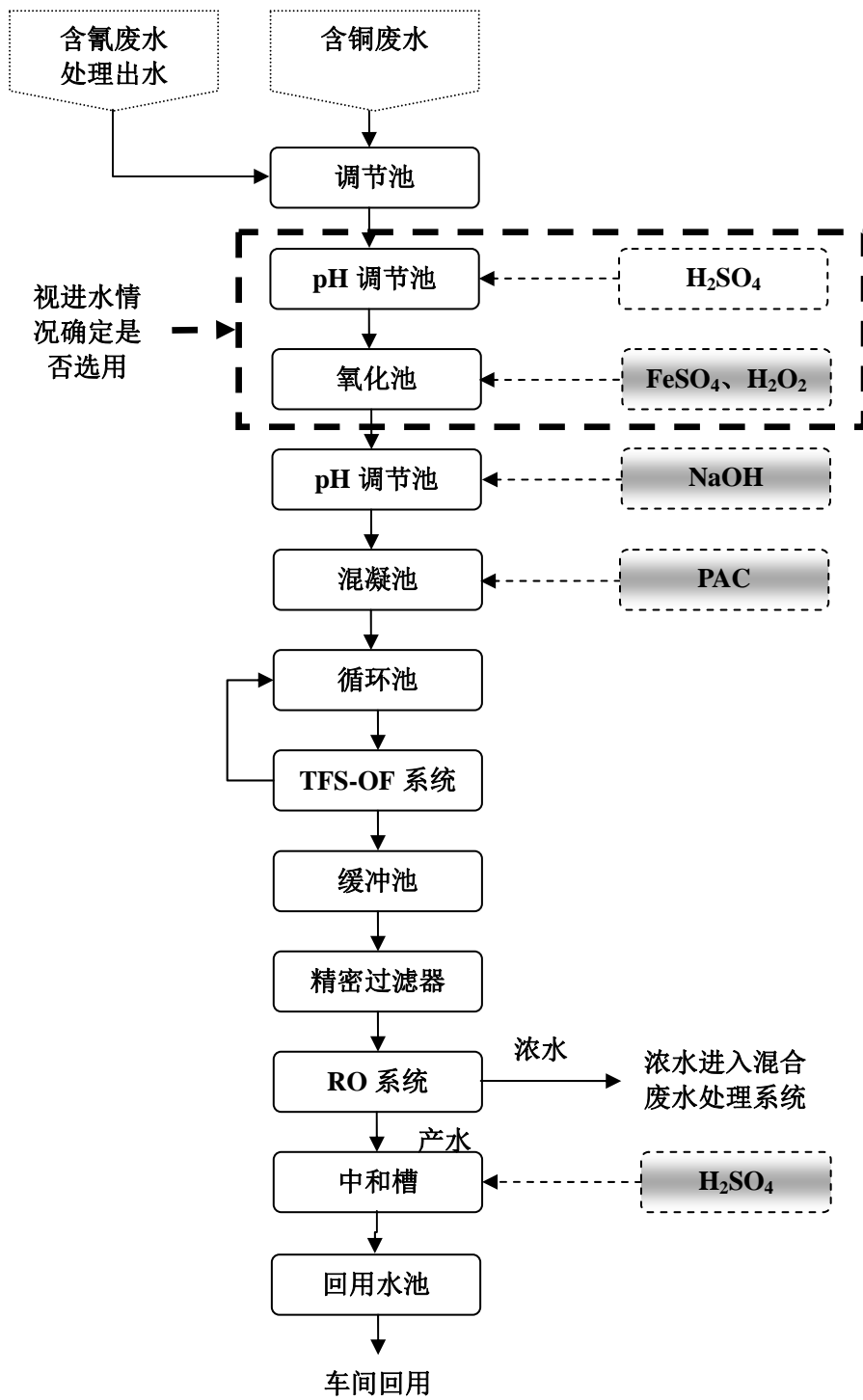


图3-10 含铜废水工艺流程图

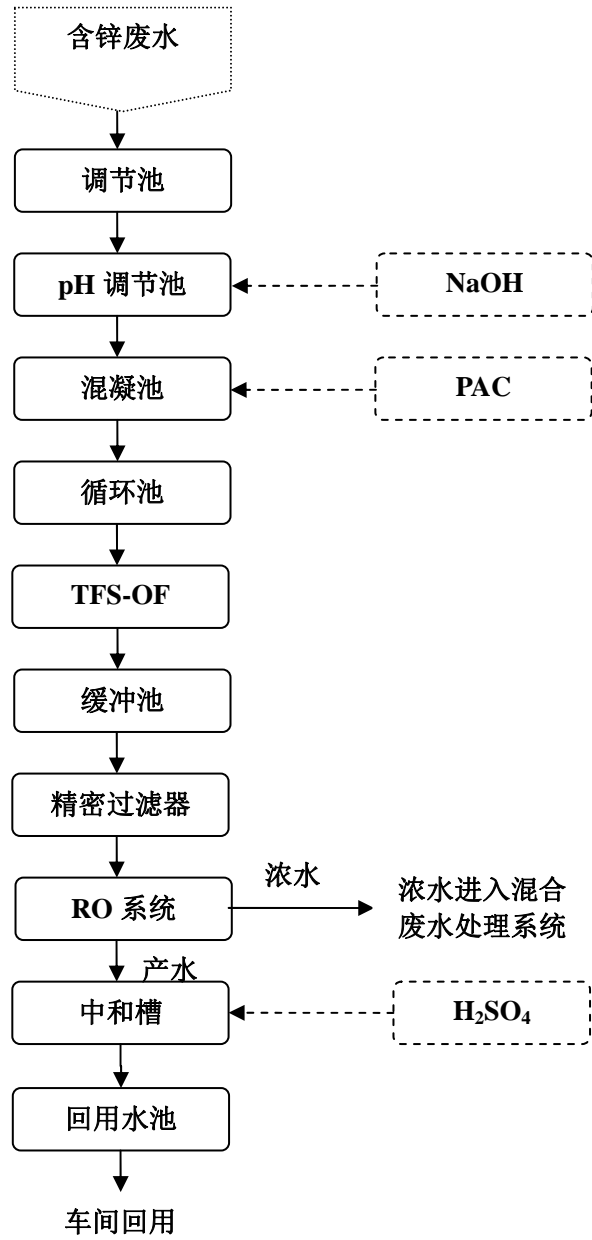


图3-11 含锌废水工艺流程图

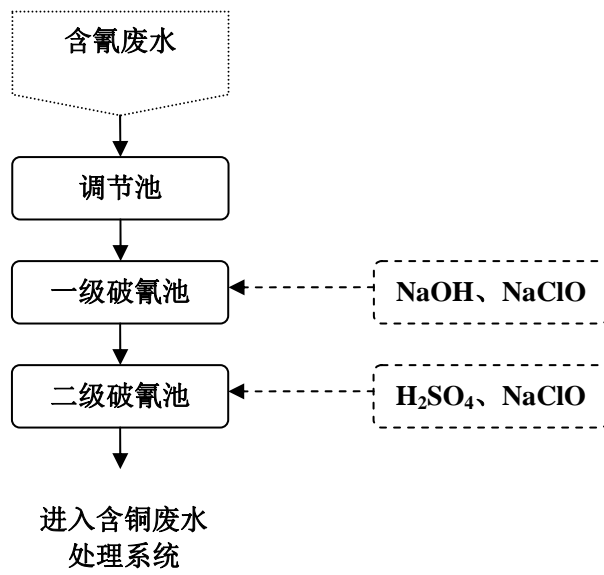


图3-12 含氰废水处理工艺流程图

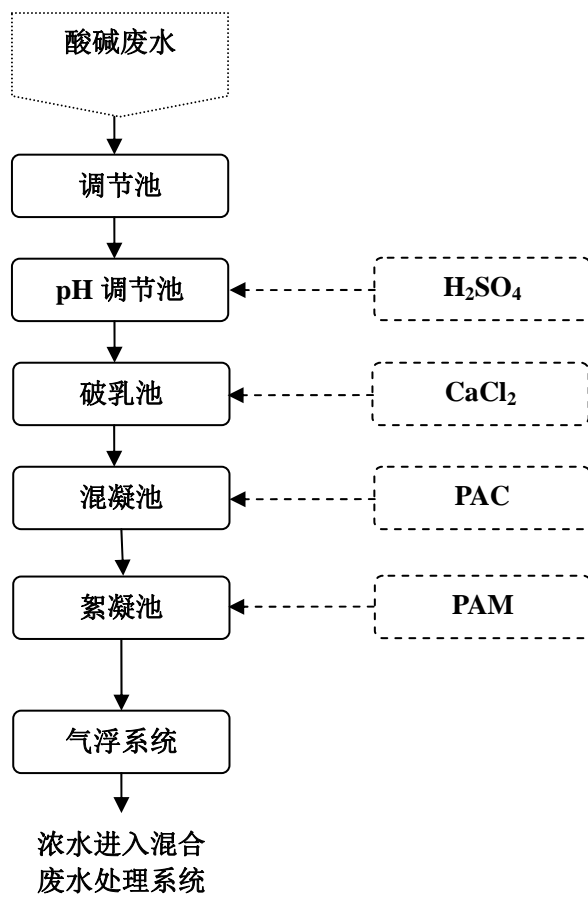


图3-13 酸碱废水处理工艺流程图

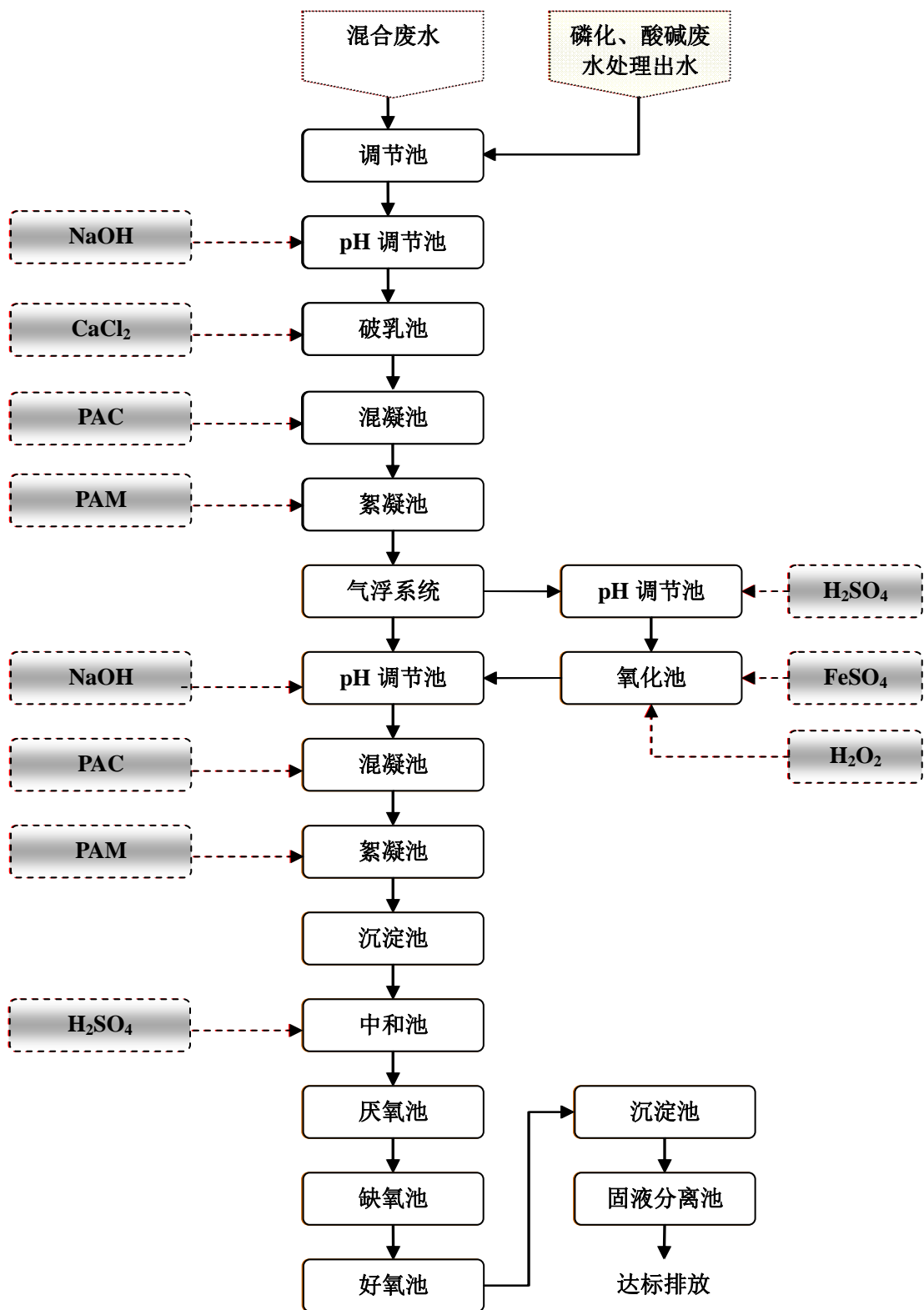


图3-14 电镀混合废水处理工艺流程图

(3) 设备组成

废水处理主要设备包含有：格栅、提升泵、计量泵、隔膜泵、鼓风机、空气压缩机、压滤机、搅拌机、潜水搅拌机、斜管、填料、液位控制器、pH计、ORP计、DO仪、气浮系统、曝气头（盘、管）等。

回用水处理主要设备包含有：高压泵、精密过滤器、保安过滤器、微滤膜系统、超滤膜系统、RO系统等。

3.4.3 经济指标

使用 TFS+RO 以及混凝-沉淀-生化-膜分离-RO-蒸发工艺处理电镀废水，电费 7~13/m³水，药剂费用 3~5 元/m³水，人工成本 1.0~2.0 元/m³水，耗材费用 1.5~2.5/m³水。其他经济指标如表 3-16 所示。

表3-16 工艺主要经济指标

建设规模 (m ³ /d)	建设成本 (元/m ³ 水)	运行成本 (元/m ³ 水)	定员 (人)	回用率
10000 以上	2500~5500	16.5~24.0	14~18	60%~90%
5000~10000	3500~6500	18.5~26.0	11~14	
1000~5000	5000~8000	21.0~27.5	9~12	
500~1000	6000~9500	22.0~28.0	7~9	
100~500	7500~11000	24.5~31.0	4~6	

注：1、计算取值均以一般进水水质平均值计，根据实际进水水质不同经济指标存在差异；2、建设成本为构建筑物及工艺设备投资，不含三通一平和土石方工程、特殊地基处理；3、直接运行成本为电费、药剂费、人工费；4、回用率最高时，建设成本及运行成本取上限值，最低时取下限值。

3.4.4 处理效果

(1) 排水效果

TFS+RO 以及混凝-沉淀-生化-膜分离-RO 工艺排水，基本满足《电镀污染物排放标准》（GB 21900-2008）表 3 标准，如表 3-17 所示。

表3-17 TFS+RO以及混凝-沉淀-生化-膜分离-RO工艺处理效果

项目	COD (mg/L)	悬浮物 (mg/L)	氨氮 (mg/L)	总氮 (mg/L)	总磷 (mg/L)	石油类 (mg/L)
处理结果	≤50	≤30	≤8	≤15	≤0.5	≤2.0
表 3 标准限值	50	30	8	15	0.5	2.0
项目	总镍 (mg/L)	总铜 (mg/L)	总锌 (mg/L)	总铬 (mg/L)	六价铬 (mg/L)	pH
处理结果	≤0.1	≤0.3	≤1.0	低于检出 限值	低于检出限 值	6~9
表 3 标准限值	0.1	0.3	1.0	0.5	0.1	6~9

(2) 回用水效果

TFS+RO 以及混凝-沉淀-生化-膜分离-RO 所产回用水，基本满足《城市供水水质标准》（CJ/T 206-2005）标准，如表 3-18 所示。

表3-18 回用水水质

序号	污染物	CJ/T 206-2005 标准	回用水水质
1	pH	6.5~8.5	6.5~8.5
2	电导率 (μS/cm) *	—	≤200
3	COD (以 O ₂ 计, mg/L)	≤3	≤3
4	总镍 (mg/L) *	—	≤0.1
5	铝 (mg/L)	0.2	≤0.2
6	铁 (mg/L)	0.3	≤0.3
7	氨氮 (mg/L)	0.5	≤0.5
8	总磷 (mg/L)	0.5	≤0.5

3.4.5 技术优缺点

(1) 优点

1)节约了絮凝池，去掉了絮凝剂的使用，完全杜绝了 PAM 对 RO 的致命堵塞，有效的保证了 RO 膜的使用效果，延长了膜的使用寿命；

2)省却了沉淀池，大大缩小了废水处理系统的占地面积；

- 3)不需要砂滤系统，减少了砂滤系统的反冲配置；
- 4)比之传统回用工艺要简单，节省投资；
- 5)综合运行成本低；
- 6)清洗周期长，减少运行费用。

(2) 缺点

- 1) TFS+RO 工艺所需提升动力较大，除 RO 系统必须使用高能耗增压泵、高压泵外，TFS 系统也需要使用的功率较大的循环泵。
- 2) TFS 系统、RO 系统、MBR 系统均存在长时间运行后通量下降的问题。
- 3) 相对于传统工艺，蒸发系统能耗较大，对进料水质有一定要求，蒸发产水仍需通过一定处理。
- 4) TFS 系统、RO 系统对于进水的 COD、石油类指标有一定限制。

3.5 金属涂装前处理——高分子处理工艺

3.5.1 适用范围

高分子处理工艺是一项涂装前处理清洁生产工艺，适用于需涂装处理的冷轧钢、热轧钢、铝合金、压铸铝铜材、镀锌件、不锈钢等各种金属材质，经高分子工艺处理后的金属材料可用于静电粉末喷涂、静电油漆喷涂、电泳处理、无气喷涂、有气喷涂、人工涂刷等所有喷涂工艺。

3.5.2 工艺技术

(1) 技术原理

高分子处理工艺原理是藉由分子键链接原理，将作为无机物的金属基材和有机物的涂料链接起来。

(2) 工艺流程

高分子处理工艺流程图如图 3-15 所示。

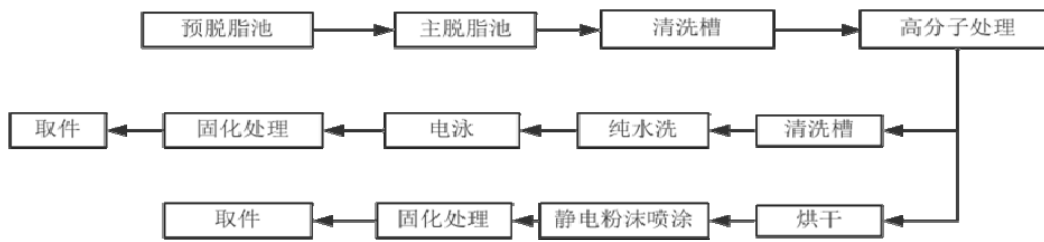


图3-15 高分子处理工艺流程图

(3) 主要设备

浸泡池（浸泡槽）、循环水泵、喷淋设备、静电粉末喷涂设备、（电泳设备），（静电喷漆设备），燃烧机；热固化线，自动链条。

3.5.3 经济指标

高分子处理工艺与传统磷化处理工艺的成本对比如表 3-19 所示。

表3-19 高分子处理工艺与传统磷化处理工艺的成本对比

工艺名称	传统磷化工艺	高分子处理工艺
处理成本	3.5~4.0 元/m ²	1.0~1.5 元/m ²
成本所含	包含脱脂、酸洗、表调、磷化、多道清洗水和废水处理费用	包含脱脂、酸洗（若有必要）、高分子处理、清洗水和废水处理费用

3.5.4 技术优缺点

(1) 优点

1) 相较磷化、钝化是利用无机金属膜的粗糙多孔来系留漆膜属于无机链接，高分子处理工艺则是利用化学键原理，用高分子将无机金属底材和有机涂料膜通过化学键链接，因化学键作用力远高于物理连接力，所以经高分子处理后产品的漆膜附着力、漆膜的剥离强度优于传统的磷化、钝化和陶化处理工艺产品。

2) 高分子处理工艺的工艺流程只需要 3~5 道，相较传统磷化 10 道以上流程，节约了时间，提高了处理效率。

3) 高分子处理工艺除去脱脂和酸洗环节，而且高分子是非酸碱的中性处理剂，处理后续工艺若是静电粉末（静电喷漆）喷涂可不用水洗，高分子处理剂的耗水量为 1L/m²，相较于传统工艺的 3~4L/m²，节水效益较明显。

4) 高分子处理剂无需加热，节约能源。

5) 高分子处理工艺可利用原有的磷化、钝化工艺生产线进行简单改造后进行生产，从源头解决了 1 类污染物镍和磷酸盐的排放。

6) 高分子处理剂处理单价约 1.0~1.5 元/m² (包含脱脂、酸洗 (若有必要)、高分子处理、清洗水和废水处理费用)，较磷化工艺的 3.5~4.0 元/m² (包含脱脂、酸洗、表调、磷化、多道清洗水和废水处理费用)成本更低。

(2) 缺点

相较于传统磷化，经高分子工艺处理后的涂装产品的耐盐雾性略有差距（汽车厂商对车身及部件的电泳底漆要求 800~200 小时，相当于平常 40~50 年自然条件下的大气腐蚀），高分子处理工艺耐盐雾时间 500~600 小时（标准条件下），能耐相当于大气腐蚀 20~30 年。可结合其它技术方案同高分子处理工艺配合使用，能达到和传统磷化一样的效果。

附表

电镀废水处理适宜技术应用实例

序号	电镀 废水类型	处理规模 (吨/天)	应用的技术工艺	单位运行成本 (元/m ³)	综合运行成本 (元/m ³)	处理效果	案例名称
1	综合废水	33000	混凝分离组合工艺	6.70	—	稳定达到 GB21900-2008 表 3 标准	大丰电子信息产业园污水处理工程
2	综合废水	3600	混凝分离组合工艺	8.90	—	稳定达到 GB21900-2008 表 3 标准	中山木林森股份有限公司废水处理站污水处理及回用工程
3	含镍、含铬废水	2500	复极感应电化学+生物流动床 活性焦吸附处理工艺	10	13.8	稳定达到 GB21900-2008 表 3 标准	临海伟星电镀污水处理及回用工程
4	含镍、含铬废水	3000	复极感应电化学+生物流动床 活性焦吸附处理工艺	10.5	21	稳定达到 GB21900-2008 表 3 标准	青田温溪电镀污水处理及回用工程
5	综合废水	6000	ACOS 催化氧化+A3O3 强化生化工艺	11.5	23	稳定达到 GB21900-2008 表 3 标准	靖江市华晟重金属防控有限公司
6	含镍、含铬废水	516.5	TFS+RO 以及混凝-沉淀-生化- 膜分离-RO 工艺	18.72	22.96	稳定达到 GB21900-2008 表 3 标准	中山日信工业有限公司废水处理工程
7	喷涂前处理	—	金属涂装前处理—高分子处理 工艺	—	—	—	银河试验设备有限公司喷涂前处理生产线
8	金属表面电泳前处理	—	金属涂装前处理—高分子处理 工艺	—	—	—	重庆巴炫涂装有限公司电泳前处理生产线