

新型水处理工艺在电泳废水处理中的应用与研究

王天广*, 尚宁

(苏州诚天下环保科技有限公司, 江苏 苏州 215004)

摘要:电泳废水是一种具有生物毒性大、磷含量高、成分复杂的工业废水,使用常规的物化法、生化法或其组合的方式很难达到理想的处理效果。以某电泳涂装厂废水处理为例,分析其原有工艺的缺陷,结合实验小试,提出新的水处理工艺思路,将新的工艺应用于该废水处理工程中。结果表明,新工艺不但实现了运行成本的降低,而且 COD_{Cr} 的去除率达到了 90% 以上、TN 和 TP 去除率达到了 95% 以上。

关键词:表面处理;电泳废水;水处理工艺;分类收集均质处理

中图分类号:X703

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2026)08-0229-06

DOI:10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2026.08.037

Application and research of novel water treatment processes in electrophoresis wastewater treatment

WANG Tian-guang*, SHANG Ning

(Suzhou Chengtianxia Environmental Protection Technology Co., Ltd., Suzhou 215004, China)

Abstract: Electrophoresis wastewater is a type of industrial wastewater characterized by high biotoxicity, high phosphorus content, and complex composition. It is difficult to achieve the ideal treatment effect using conventional physicochemical methods, biochemical methods or their combinations. In the text, it takes the wastewater from a certain electrophoretic coating factory as an example to analyze the defects of original process. Combined with small-scale experiments, a novel water treatment process concept is proposed and the new process is applied to this wastewater treatment project. The results show that the new process not only reduces the operating cost, but also achieves a removal rate of COD_{Cr} about over 90%, TN and TP removal rates of over 95%.

Key words: surface treatment; electrophoresis wastewater; water treatment process; classify and collect for homogenization treatment

电泳涂装是利用电沉积涂漆的方法在构件表面形成涂层的一种涂漆技术,自 20 世纪 60 年代应用于汽车底漆以来,已广泛应用于汽车零部件、家电、五金件等行业,该技术在表面处理行业中被广泛使用^[1]。通过电泳法对构件表面进行涂漆,不仅实现了构件表面颜色的多样性,还提高了涂层的牢固度^[2]。与传统表面处理技术相比,电泳涂装技术具有诸多优点,特别在小部件涂装中被广泛应用^[3],已逐步取代低效能、高污染、高能耗的表面处理技术^[4]。

使用电泳法进行表面涂装主要分为 4 个步骤:清洁和预处理、电泳上漆、清洗、烘干^[1]。在该过程中第一步和第三步会产生大量的废水,清洁主要是去除金属表面的油性保护膜及锈迹,会有碱性废水和酸性废水产生;为提高漆膜附着力与防腐蚀性,预处理时基本会使用磷化工艺,该过程会产生含磷废

水;金属表面通过电泳法上漆后,需要使用纯水对其进行清洗,除去未沉积的油漆,在此过程中会有油漆废水产生^[1]。在整个电泳工艺过程中,槽液会定期更换,在更换槽液时会有高浓度的酸碱废水、含磷废水、油漆废水产生。在清洁和预处理过程中使用无机酸碱(如 H₂SO₄、HCl、H₃PO₄、NaOH),清洗过程中会有油脂产生,在该过程中的主要污染物为油脂、磷、无机盐。在电泳上漆和清洗过程中主要污染物为油漆,油漆中 95% 的成分为树脂、颜料、其他添加剂^[5],树脂和颜料中含有大量的苯系物和杂环类化合物,在水处理中对此类化合物的去除具有一定的难度。

本文中以某电泳涂装厂废水处理工程为例,在分析其废水特性、原有工艺缺陷和小试的基础上,采用新型工艺组合应用于该废水处理工程中,该案例

收稿日期:2025-10-16;修回日期:2026-06-02

作者简介:王天广(1983-),男,硕士,高级工程师,研究方向为工业污水处理及废物资源化技术研究与工程应用,通讯联系人,ctxhbgc@163.com。

工艺已稳定运行 2 a, 为电泳废水处理工艺应用提供参考依据。

1 资料与方法

1.1 废水特性

经过为期 1 个月的现场调查研究, 该电泳厂共 3 条产线, 其中 2 条自动生产线, 1 条手动生产线。废水种类分别为除油槽液、含油清洗水、酸洗槽液、含酸清洗水、磷化槽液、含磷清洗水、电泳清洗水, 废水产生工艺段及量如图 1 所示。所有废水均收集于调节池, 调节池内废水有大量漆渣, 悬浮物较多, 调研期具体水质如表 1 所示。

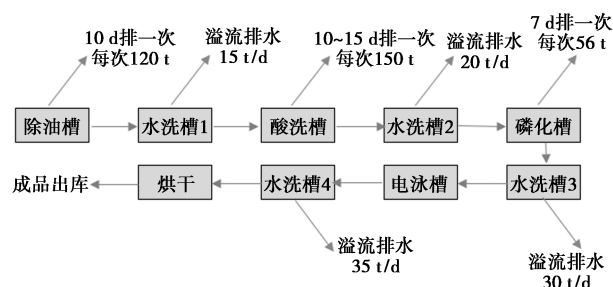


图 1 废水产生工艺段及废水量

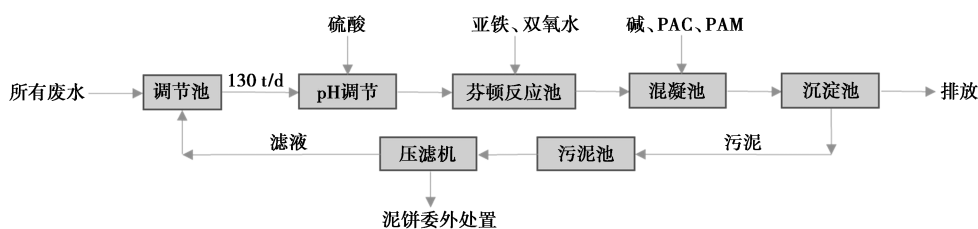


图 2 原有废水处理工艺

利用以上工艺处理该电泳废水, 出水未达到污水厂接管标准。原工艺在调研期最终出水数据区间如表 2, 污水厂要求接管标准如表 3。

表 2 调研期内原工艺出水数据

污染物	浓度范围/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	污染物	浓度范围/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)
pH	7~8(无量纲)	TP	10~15
COD_{Cr}	2500~3000	SS	50~100
$\text{NH}_3\text{-N}$	80~110	TDS	6000~7000
TN	200~350		

表 3 污水厂接管标准

污染物	浓度范围/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	污染物	浓度范围/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)
pH	6~9(无量纲)	TN	≤ 20
COD_{Cr}	≤ 200	TP	≤ 3
$\text{NH}_3\text{-N}$	≤ 12	SS	≤ 200

在调研期内, 还对原处理工艺的运营成本(按

表 1 调节池内废水污染物浓度

污染物	浓度范围/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	污染物	浓度范围/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)
pH	2.5~6.5(无量纲)	TP	138~300
COD_{Cr}	3650~7000	SS	600~1200
$\text{NH}_3\text{-N}$	120~250	TDS	4000~7000
TN	200~400		

图 1 中列出了该电泳废水产生的工艺段及排污规律, 槽液属于高浓度废水, 周期性排放; 该厂水洗工艺采用的是逆流法, 水洗槽的清洗水采用溢流方式排放, 24 h 稳定排放。由图 1 加权计算水量, 该电泳厂产污量为 130 t/d, 属于中等水量的工业废水。

槽液属于高浓度废水, 具有高 COD_{Cr} 、高盐的特性, 而水洗段的清洗废水中污染物的浓度相对较低, 因此在分析该废水性质时充分考虑分类收集、分类处置的工艺思路。

1.2 原有工艺存在的问题

经现场调研发现, 该厂所有废水均流入调节池内, 在调节池内调节水质后采用 Fenton+混凝的主体工艺, 原有废水处理工艺如图 2 所示。

130 t/d 处理量计算)进行了统计, 如表 4 所示。为工艺改造提供运行成本的比对, 为企业节约运行成本。

表 4 原处理工艺运行成本

项目	运行成本/($\text{元}\cdot\text{t}^{-1}$)	项目	运行成本/($\text{元}\cdot\text{t}^{-1}$)
电费	25.0	水费	0.3
药剂费	25.0	维修费(含易损件费用)	0.5
人工费	15.0	排污费	8.0
污泥处置费	12.5		

由表 2 可知, 原工艺处理后的污水除 pH 和 SS 达到污水厂的接管标准, 其他均未达标。特别是 COD_{Cr} 和 TN 的数据比较高, 针对该 2 种污染物的去除, 目前最适用且经济有效的方法为生物法^[6], 为该废水处理的改造工艺提供了指导方向。

由以上数据可知,该厂废水处理不能达标,主要存在如下问题。

(1)未对废水进行分类收集。清洗废水为常规排水,浓度相对较低,而槽液为周期性排水,浓度较大。这些废水在调节池内混合,导致废水水质波动较大,对处理工艺的负荷产生忽高忽低的影响。

(2)未对废水进行分质处理。在水处理技术中,针对不同的污染物和不同污染物浓度,需要采用不同的处理工艺,以避免因水质波动而造成对工艺负荷的冲击。

(3)原工艺不适合处理电泳废水。电泳废水属于高磷、高氮废水,且废水油漆中的苯系物和杂环类化合物具有生物毒性,可生化性较差。因此单一地使用 Fenton 工艺很难达到理想的处理效果,Fenton 法可作为提高废水可生化性的预处理工艺^[7]。

(4)原工艺运行成本较高。原处理工艺不但运行成本高,而且最终处理后的废水不能达到污水厂的接管标准。由表 4 可知,总运行成本为 63.8 元/t,其中药剂成本占比较高,在新工艺设计时可考虑运行成本较低的处理工艺。

1.3 小试工艺思路

为解决企业水处理不达标的问题,结合以上分析,在收集单元计划采用分类收集的方法,在预处理单元采用均质分类处理,有针对性地对不同废水进行预处理,提高废水整体的可生化性,最后再采用生物法工艺对预处理后的废水进行处理。

为实现分类收集与均质分类处理,对各生产工艺段废水进行了化验,化验数据如表 5 所示。

表 5 各生产工艺段废水数据

工艺段	pH	污染物浓度/(mg·L ⁻¹)							
		COD _{Cr}	BOD ₅	B/C	NH ₃ -N	TN	TP	SS	TDS
除油槽	11.50	8630	1812	0.21	85	238	35	1200	8300
酸洗槽	1.28	1672	401	0.24	126	489	62	600	7200
磷化槽	2.67	2415	531	0.22	168	392	573	860	7950
水洗槽 1	8.90	6812	2180	0.32	48	165	28	830	3600
水洗槽 2	4.38	1150	334	0.29	95	371	32	450	3816
水洗槽 3	5.10	1984	536	0.27	87	237	435	650	3725
水洗槽 4	6.75	3829	1187	0.31	327	475	65	389	2800

由数据可知,槽液污染物浓度较高,TDS 含量高,而清洗废水的污染物浓度相对较低。除油槽废水中主要污染物为油脂类,为碱性废水;酸洗槽废水有少量油脂类污染物,含有 HCl、H₂SO₄,为酸性废

水;磷化槽废水中含有磷酸,为酸性废水。依据废水可生化性的判别标准^[8],从 B/C 的数据来看,只有水洗槽 1 和水洗槽 4 的废水大于 0.3,处于可生物降解阶段,其他废水处于难生物降解阶段。

由以上分析,可将废水分为 4 类,即除油槽废水、酸洗槽废水、磷化槽废水、清洗废水,该 4 类废水可分别收集,实现分类收集。除油槽废水和酸洗槽废水可实现废水自我中和,不足部分可使用 10% NaOH 和 10% H₂SO₄ 进行 pH 的微调,然后该废水再进行混凝沉淀工艺。磷化槽废水单独处理,通过投加 Ca(OH)₂ 乳液来调节 pH 的同时去除无机磷。这 3 类废水处理后与清洗废水混合,调节 pH 后进行混凝沉淀,出水经过水解提高废水的可生化性,再通过 A-A-O 生化工艺进行处理,以期最终出水达到排放标准。确定小试工艺流程如图 3 所示。

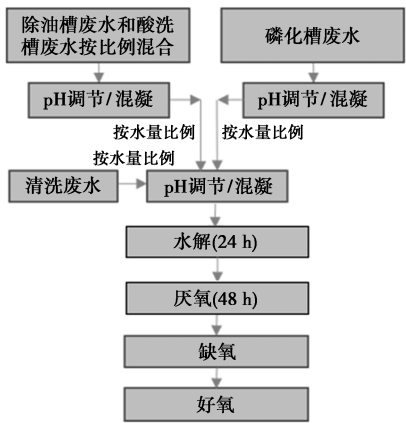


图 3 小试工艺流程

1.4 小试数据及分析

按照以上分析和确定的小试工艺流程,模拟图 1 中的水量比例进行小试,除油废水、酸洗废水、磷化废水、清洗废水水量比例为 1.2:1:0.8:10。磷化废水中和时采用 Ca(OH)₂ 乳液和少量 10% NaOH 来调节 pH,在混凝段补充部分 CaCl₂ 进一步去除无机磷。其中水解段温度控制在 25~28℃,厌氧段温度控制在 30~32℃。小试持续进行了 58 d,其中污泥驯化进行了 28 d,连续进废水持续了 30 d。从第 48 d 开始小试最终出水水质数据趋于稳定,本文中摘取小试中第 50~58 d 的区间化验数据进行分析,如表 6 所示。

表 6 中摘取了小试后期中 9 d 的运行数据。由数据可知,水解段提高了整体废水的可生物降解的能力,厌氧段 COD_{Cr} 去除率稳定在 60%左右,且可生物降解性能进一步提高,小试好氧段 COD_{Cr} 去除率达到 93%以上。NH₃-N 的去除主要体现在好氧段,

表 6 小试期间主要工艺段废水数据

工艺段	pH	污染物浓度/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)						
		COD_{Cr}	BOD_5	B/C	$\text{NH}_3\text{-N}$	TN	TP	TDS
综合混凝	6.8~8.3	4135~4851	1075~1310	0.26~0.27	110~153	295~348	4.6~7.5	4627~4830
水解	6.4~7.6	3925~4549	1256~1547	0.32~0.34	149~171	217~235	4.1~6.3	4538~4785
厌氧	6.6~7.3	1527~1880	565~714	0.37~0.38	186~206	215~229	3.8~5.5	4521~4762
缺氧	7.1~7.8	308~357	—	—	42~60	48~55	4.9~5.4	4459~4673
好氧	7.2~7.6	95~129	—	—	4~7	12~16	0.9~1.2	4428~4537

硝化细菌将氨态氮转化为硝态氮,在缺氧段通过反硝化细菌实现了最终的脱氮。由表 5 数据可知,磷化槽废水 TP 含量较高,小试通过分类处置除磷后,再通过综合混凝后废水的 TP 为 4.6~7.5 mg/L 。TDS 总体去除率不高,变化不大,表明通过生物污泥来吸附 TDS 的效果并不明显。

通过小试数据表明,该电泳废水适合采用分类收集分质处理和生物法处理的工艺,与表 2 中原工艺出水数据形成了鲜明对比。同时小试为新工艺应用于该废水处理提供了数据支撑,为工程实施提供了工艺依据。

1.5 新工艺的应用

通过前期驻厂数据调研,并结合小试数据,进行了新工艺组合设计,如图 4 主体工艺流程。工程于 2023 年 5 月开工,建设期为 3 个月,调试期 1.5 个月,项目总投资 280 万元。

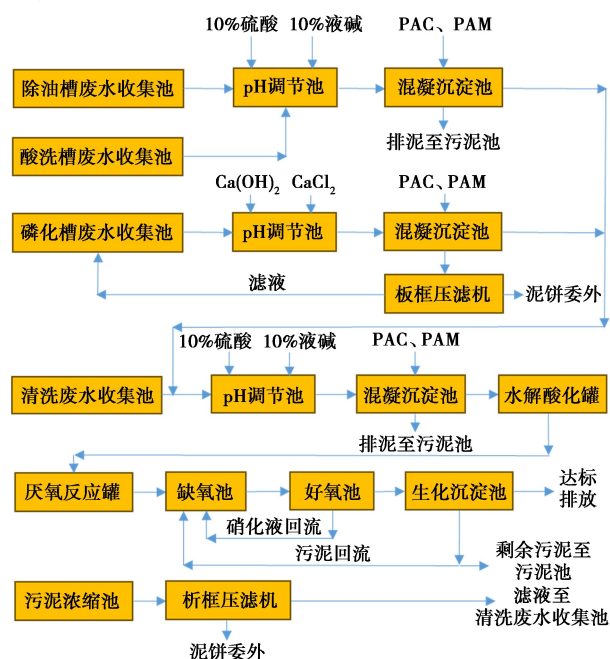


图 4 新工艺流程

在新工艺组合详细设计时,对单元工艺进行了优化设计,主要体现在以下几个方面。

(1) 废水收集做到分类收集分质处理,依据该废水的特性,将其分为 4 类。依据槽液特性,对槽液的预处理进行合理配比、分类处置。

(2) 槽液废水收集按照单次排放量进行容积设计,清洗废水按照 24 h 停留时间进行容积设计。

(3) 合理利用酸洗槽废水和除油槽废水的酸性进行中和反应,减少酸碱药剂的使用量。

(4) 磷化废水使用 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 乳液和 CaCl_2 溶液来实现高效、快速除磷。

(5) 预处理后的槽液和清洗废水按比例混合后,再使用 CaCl_2 溶液进一步除磷,辅以投加 PAC、PAM 通过混凝后沉淀实现泥水分离。

(6) 实际废水产生量为 130 t/d,本工程设计时预留一定余量,按照 150 t/d 设计。

(7) 水解单元按照 24 h 停留时间进行容积设计,同时在水解罐中纵向布置高效填料,实现生物挂膜,增加废水与水解细菌的接触面积,从而提高水解工艺段的水解效率。

(8) 厌氧工艺段,按照每天每单位容积(m^3) 2.25 $\text{kg COD}_{\text{Cr}}$ 负荷进行设计。布水采用均布式底部进水。采用双层式三相分离器,避免三相分离不彻底,提高三相分离效率。上升流速按照 0.3 m/h 设计。设计内部回流,回流水与进水混合进入厌氧底部。

(9) 缺氧段 TN 按照每天每单位容积(m^3) 0.1 $\text{kg}\cdot\text{N}$ 负荷进行设计。

(10) 污泥回流量与处理水量按照 1:1 进行设计,硝化液回流量与处理水量按照 4:1 进行设计。

(11) 好氧工艺采用两段式复合工艺,一段采用活性污泥法,形成高浓度生物菌群,加强对有机物污染物和磷的去除;二段采用接触氧化法,纵向布置高效填料,使填料挂生物膜,填料由外到内分别形成好氧区、缺氧区、厌氧区,三区相互配合实现末端进一步脱碳、脱氮、脱磷。

(12) 实际运行中,好氧污泥浓度维持在 4 000~6 000 mg/L 之间。

(13)在调试期和后期运行中,除油废水、酸洗废水、磷化废水、清洗废水的处理量配比严格按照 1.2:1:0.8:10 的比例运行。

1.6 新工艺运行数据分析

新工艺调试期进行了 1.5 个月,其中污泥驯化持续 25 d。工艺运行中各工艺单元污染物因子去除效率与小试数据基本一致,水解工艺段比小试中水解的效率要高,这与新工艺水解段加入高效填料有一定的关系。项目投入运行以来,处理水量稳定在 120~145 t/d 之间,新工艺设计满足实际处理水量,最终出水数据均比较稳定,系统出水优于表 3 中接管排放标准,表 7 中摘取了项目运行中 1 a 的出水数据区间。

表 7 新工艺投入后 1 a 内出水数据区间

污染物	浓度范围/(mg·L ⁻¹)	污染物	浓度范围/(mg·L ⁻¹)
pH	6.8~7.6(无量纲)	TN	8~12
COD _{Cr}	75~120	TP	0.2~0.6
NH ₃ -N	1~5	SS	50~80

项目投入运行后,4~11 月处理效果最佳,系统出水 COD_{Cr} 稳定在 75~88 mg/L 之间,12~3 月系统出水 COD_{Cr} 稍有波动,但均小于 120 mg/L。新工艺与原工艺比较,企业每年可减少碳排放约 112 t。由此表明,室外温度对微生物活性具有一定的影响。冬季温度低时微生物活性降低,生物系统处理效率稍有降低,但因设计时留有一定余量,对整个系统的运行未造成影响。

该项目自 2023 年 10 月投入运行以来,系统出水稳定达标,处理水量在设计范围之内。企业环保设施的投入,往往比较关注运行成本,为此调取了 1 a 的运行成本数据,如表 8 所示。

表 8 新工艺运行成本

项目	运行成本/(元·t ⁻¹)	项目	运行成本/(元·t ⁻¹)
电费	2.80	水费	0.35
药剂费	4.50	维修费(含易损件费用)	0.20
人工费	18.00	排污费	8.00
污泥处置费	8.30		

由表 8 可知,新工艺投入后总的运行成本为 42.15 元/t,原工艺总运行成本为 63.8 元/t,新工艺比原工艺每吨废水节省了 21.65 元,每年节省约 97 万元,企业 3 年可收回投资成本。结合表 4 数据,新工艺的低运行成本主要体现在药剂成本上,原工艺使用的是 Fenton+混凝的主体工艺,由此表明生

物法处理该类废水虽然比纯物化工艺占地面积大,但药剂成本较低,使用生物法处理此类废水是较为理想的工艺选择。

2 讨论

2.1 电泳废水处理技术

随着工业化进程的推进、环保意识的增强,工业废水处理技术的革新尤为重要。不同行业、不同地区、不同生产工艺所产生的废水水质差异较大,需要采用不同的处理工艺来实现废水的达标处理^[9]。电泳废水作为工业废水的一种,具有水质复杂、废水种类多、处理难度大的特点,该废水广泛使用的处理技术有厌氧法、铁碳微电解法、Fenton 法、混凝+膜过滤法^[10]。本文中新工艺组合的确定以解决客户原有物化工艺出水不达标、运行成本高为出发点,采用驻厂调研、废水特性分析、小试、新工艺设计、施工、调试的工程流程实施。在确定小试工艺时,认为前端废水的分类收集和分类预处理尤为重要,预处理关系到后端生物处理工艺运行的稳定性。对于电泳废水,预处理主要采用中和+混凝+除磷的工艺组合^[11]。由于 Fenton 法的加药成本较高,且在反应过程中会增加废水的盐分,不利于后续生化处理,因此在本工程设计预处理时不考虑使用 Fenton 法。废水处理过程中的微生物活性以多方面的方式表现出来,生物菌群的多样性可以实现废水中不同污染因子的去除^[12],生物法应用于水处理工艺中,目前是比较经济成熟的工艺。在新工艺设计前期,优先选用低运行成本的生物法工艺,使用厌氧的水解功能来提高废水的可生物降解能力。

该电泳废水前端工艺采用常规中和、除磷、混凝的方法,这里不再论述其技术机理,着重对新型工艺组合中的生物工艺进行探讨。由前期调研和小试数据可知,该废水即使进行了常规预处理,其可生物降解能力也差,属于不易生物降解的废水,为此考虑使用生物法来提高预处理后废水的可生物降解能力。本项目中提高废水可生化性的方法采用厌氧水解法,而生物膜法是当前主流的生物处理技术^[13],在水解工艺段采用生物挂膜式水解。水解罐制作采用钢结构形式,内部纵向挂高效填料,使水解菌形成生物挂膜,从而增加废水中污染物与水解菌的接触面积、延长接触时间,提高了水解效率和废水的可生物降解能力。水解的设计为厌氧型水解,即把厌氧反应控制在水解阶段,通过水解菌将废水中大分子有机物降解为小分子有机物,减轻后端生物处理

的负荷。

通过水解,废水的可生化性由难生物降解转变为可生物降解,但其有机污染物的浓度依然较高,需要使用厌氧法将有机污染物浓度进一步降低。厌氧发酵反应是一个复杂的过程,主要分为水解、酸化、乙酸化、甲烷化4个阶段,由2类微生物群体完成^[14-15]。厌氧是在无氧的条件下,通过微生物的代谢作用将废水中的有机物转化为无机物的过程^[16],厌氧的反应可在细胞内和细胞外进行,通过细胞内酶和细胞外酶的协同来完成有机物的降解^[17],目前厌氧技术已广泛应用于工业废水处理中。本项目中,将厌氧技术应用于水解后端,通过底部点位均量布水,避免了厌氧内部因布水不均而造成负荷分布不均的现象,通过内部回流,实现厌氧的高效运行。

本工艺设计中,在好氧第二段纵向布置高效填料,使生物挂膜运行,填料由外到内分别形成好氧区、缺氧区、厌氧区,三区相互循环配合,实现末端进一步脱碳、脱氮、脱磷。

2.2 电泳废水处理工艺运行成本

在工业废水处理中,符合环保要求、出水水质达标是基本前提,在满足该前提的条件下,如何降低运行成本是企业比较关注的事项。低运行成本的工艺可以为企业节省开支,开源节流,间接减少生产成本,实现企业利润最大化。

新型工艺组合应用于该水处理项目后,每年可节省运行成本97万元,经济效益比较明显。同时,化学药剂的减量化投入,减少了化学药剂进入自然水体的量。新工艺投入后,污泥产生量大大减少,实现了污泥减量化,避免了污泥转运、处置过程中的二次污染。从新工艺的运行情况和运行成本分析,本项目实现了环境保护和经济效益的双赢。

3 结论

新型工艺组合成功应用于该电泳废水处理项目,经过项目前期调研分析、小试数据和后期项目运行数据,得出以下结论。

(1)在电泳废水处理中,前端实现“分类收集分质处理”的预处理工艺思路尤为重要,这关系到工艺运行出水水质长期达标的稳定性和工艺运行成本的高低。

(2)工业废水中往往涉及不同浓度、不同污染物的多种废水,在把控“分类收集分质处理”的同时,废水的配比尤为重要,要从工艺运行的整体性出发,考虑多种因素对每个工艺段的影响,从废水分类

和配比上规避不良影响。

(3)对于高有机浓度的工业废水,尽量选用低运行成本的生物工艺。

(4)难生物降解的工业废水,可优先采用生物水解法。若废水生物毒性较大,通过水解法无法提高可生物降解的能力,可考虑使用化学法来提高可生化性,后端再使用生物工艺进一步去除废水中污染物。

(5)有机污染物达到中等浓度以上的工业废水,考虑使用厌氧工艺,降低后续工艺运行的负荷。

(6)采用生物法处理工业废水,各生物工艺段进行优化设计,提高生物处理的效率。本项目中在水解、厌氧、好氧二段均进行了优化设计,从运行效果看,运行比较稳定,达到了预期设计效果,为电泳废水处理工程应用提供了成功案例。

参考文献

- [1] Merlo L E. Application methods electrocoating[J]. Metal Finishing, 2009, 12(A): 171-175.
- [2] Kline S R. The many dimensions of electrocoating[J]. Products Finishing, 1999, 11: 24-30.
- [3] Kelly R. Electrocoating trends; Bulk electrocoating of fasteners and other small parts[J]. Products Finishing, 1999, 11: 16-23.
- [4] 王伟平. 电泳涂装应用和展望[J]. 电镀与环保, 2002, 22(3): 25-27.
- [5] Johnson G S. Wastewater treatment for electrocoating[J]. Metal Finishing, 2006, 12(A): 335-336.
- [6] 王加领, 邓宏宝. 微生物技术在污水处理的应用现状和前景[J]. 工业微生物, 2023, 53(6): 92-94.
- [7] Scott J P, Ollis D F. Integration of chemical and biological oxidation processes for water treatment; Review and recommendations[J]. Environmental Progress, 1995, 14(2): 88-103.
- [8] 徐美倩. 废水可生化性评价技术探讨[J]. 工业水处理, 2008, 28(5): 17-20.
- [9] 金福才. 工业水处理技术的发展趋势[J]. 工程研究与实用, 2024, 5(6): 130-132.
- [10] 王蓓蕾, 何磊. 电泳废水处理技术探讨[J]. 资源节约与环保, 2020, (12): 91-92.
- [11] 章志青, 夏文明, 周祯领. 某机械公司前处理和电泳废水处理工程实例[J]. 电镀与涂饰, 2021, 40(2): 189-193.
- [12] Lukyanova E, Golodov M, Kirilenko V. Wastewater quality and microbiology[J]. E3S Web of Conferences, 2024, 583: 1-6.
- [13] 张婷, 张亮, 张璐晶, 等. 短程反硝化厌氧氨氧化生物膜技术在分散式污水处理的应用研究[J]. 给水排水, 2025, 51(5): 49-60.
- [14] 吴晓磊. 人工湿地废水处理机理[J]. 环境科学, 1995, 16(3): 83-86.
- [15] 程国锋, 李顺鹏. 厌氧生物处理在印染废水处理中的应用[J]. 中国沼气, 1997, (1): 3-6.
- [16] 王晓杰, 冷雪, 杜浩升, 等. 厌氧生物技术在工业废水处理中的应用分析[J]. 工业微生物, 2025, 55(2): 62-64.
- [17] Kaspar H F, Wuhrmann K. Kinetic parameters and relative turnover of some important catabolic reactions in digesting sludge[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1978, 36(1): 1-7. ■