

张庆, 黄俊生. 三氯蔗糖生产废水处理工艺优化及效果评估[J]. 净水技术, 2026, 45(6): 99-105.

Zhang Q, Huang J S. Optimization and performance evaluation of process for sucralose production wastewater treatment [J]. Water Purification Technology, 2026, 45(6): 99-105.

三氯蔗糖生产废水处理工艺优化及效果评估

张庆^{1,*}, 黄俊生²

(1. 江苏农林职业技术学院, 江苏镇江 212400; 2. 江苏朴厚环境工程有限公司, 江苏南京 210014)

摘要 【目的】三氯蔗糖(SUC)生产废水是精细化工领域典型的“三高一难”废水之一,成分复杂、难处理,若处理不当将对水体生态环境及人体健康构成潜在威胁,研究高效、稳定且经济的SUC生产废水处理工艺对企业可持续发展和环境保护具有重要意义。【方法】文章分析SUC生产过程中产生的高浓度母液废水和综合调节池废水的水质特性差异,通过技术经济比选,在原有工艺的基础上分别构建了针对性处理工艺:针对高浓度母液废水[化学需氧量(COD)质量浓度超过 1×10^5 mg/L],采用碱性水解-氨吹脱物化预处理工艺;针对综合调节池废水,虽COD含量相对较低,但有机氮比例较高,直接采用复合菌种强化型厌氧折流板反应器(LBQ-ABR),在无需物化预处理条件下实现同步水解与氨化。【结果】高浓度废水经预处理后,COD、氨氮、凯氏氮(TKN)的去除率分别达31.6%、96.0%、93.5%,极大减轻了后续生物处理氮负荷;综合调节池废水经LBQ-ABR处理后,出水氨氮质量浓度提升174.8%,占TKN比例由16.4%升至60.6%。系统整体削减TKN负荷为635 kg/d,主要污染物指标均满足排放标准。【结论】该工艺可高效、稳定处理SUC生产废水,实现污染物的有效削减,为同类废水处理提供了可靠的技术方案参考。

关键词 三氯蔗糖; 碱性水解; 强化厌氧; 工艺优化; 达标排放

中图分类号: X703 文献标志码: A 文章编号: 1009-0177(2026)06-0099-07

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2026.06.011

Optimization and Performance Evaluation of Process for Sucralose Production Wastewater Treatment

Zhang Qing^{1,*}, Huang Junsheng²

(1. Jiangsu Vocational College of Agriculture and Forestry, Zhenjiang 212400, China;

2. Jiangsu Puhou Environmental Engineering Co., Ltd., Nanjing 210014, China)

Abstract [Objective] Sucralose (SUC) production wastewater is a typical example of the “three highs and one difficulty” wastewater in the fine chemical industry, characterized by complex and challenging treatment. If improperly treated, this type of wastewater poses potential threats to aquatic ecosystems and human health. Therefore, developing efficient, stable and economical treatment processes is of significant importance for both corporate sustainable development and environmental protection. [Methods] Based on the analysis of the distinct water quality characteristics between the high-concentration mother liquor wastewater and the comprehensive regulating tank wastewater from the SUC production process, and through technical-economic comparison, targeted treatment processes were constructed on the basis of the original system: For the high-concentration wastewater [with mass concentration of chemical oxygen demand (COD) exceeding 1×10^5 mg/L], which was difficult to treat biologically directly, an alkaline hydrolysis-ammonia stripping physicochemical pretreatment process was adopted; For the comprehensive regulating tank wastewater, which had a relatively lower COD but a high proportion of organic nitrogen, a lab-cultured bacteria-enhanced anaerobic baffled reactor (LBQ-ABR) process was directly employed without physicochemical pretreatment, achieving simultaneous hydrolysis and ammonification. [Results] After pretreatment, the high-concentration wastewater achieved removal efficiencies of COD, ammonia nitrogen, and total Kjeldahl nitrogen (TKN) reached 31.6%, 96.0%, and 93.5%, respectively, significantly reducing the nitrogen

[收稿日期] 2025-08-06

[基金项目] 江苏农林职业技术学院基金培育一般项目(2023kj22)

[通信作者] 张庆(1990—),男,讲师,研究方向为废水处理,E-mail:zhangqing@jsafc.edu.cn。

load for subsequent biological treatment. For the comprehensive regulating tank wastewater treated by the LBQ-ABR process, the effluent ammonia nitrogen mass concentration increased by 174.8%, and its proportion in TKN rose from 16.4% to 60.6%. The full-scale system demonstrated a TKN removal load of 635 kg/d, with all major pollutant indices meeting the relevant discharge standards.

[**Conclusion**] The integrated process can effectively and stably treat SUC production wastewater, achieving significant pollutant removal. It provides a reliable technical reference for the treatment of similar types of wastewater.

Keywords sucralose (SUC); alkaline hydrolysis; enhanced anaerobic process; process optimization; standardized discharge

三氯蔗糖(SUC)是一种高效、稳定的人工甜味剂,广泛应用于食品和饮料等行业,伴随着市场规模的持续增长,其生产过程产生的各类废水(洗辛液、萃取水和洗涤废水等)污染问题也日益凸显^[1-2]。SUC生产废水因具有高化学需氧量(COD)、高盐分、高毒性、难生物降解(“三高一难”)等特点,尤其是存在高质量浓度的N,N-二甲基乙酰胺(DMF)等有机氮,已成为精细化工废水处理领域的重要难题^[3]。某SUC生产企业现有废水处理设施,在实际运行中有机氮的氨化效果不佳,出水水质波动大,关键指标如COD及氨氮经常超出园区污水厂接管标准。因此,系统性优化该企业废水处理工艺,显著提升处理效率和水质达标率已迫在眉睫。本文聚焦于全面剖析该厂现有

废水处理工艺流程存在的关键问题,提出具有针对性的工艺改进方案,并开展必要的验证性试验,进行技术可行性与经济合理性评估比选,为同类企业的废水处理提供可借鉴的实践经验。

1 项目现状

1.1 废水来源与水量水质

本工程中生产废水来源分为两段,分别为高浓度生产废水和其他生产废水,其日产生水量分别达20 m³和200 m³,两股废水具体污染指标如表1所示。其中,高浓度废水氨回收后的出水,是指在生产车间进行氨氮吹脱后排出车间的废水。厂区设置雨水收集池,收集雨水、生活污水等低浓度废水,由于生化系统对盐分耐受有限,低浓度废水与小部分循环净化水用于降低生产废水盐分后,再进入生化。

表1 两股废水主要污染指标及浓度

Tab. 1 Main Pollution Indices and Concentrations of Two Wastewater Sources

指标	调节池收集水	高浓度废水	高浓度废水氨回收后出水	低浓度废水
COD/(mg·L ⁻¹)	11 000~13 000	180 000~200 000	150 000~160 000	350
氨氮/(mg·L ⁻¹)	160~200	30 000	5 000~7 000	15
凯氏氮/(mg·L ⁻¹)	1 000~1 200	80 000~90 000	32 000~34 000	15
盐分	0.5%~1.0%	11%~13%	14%~16%	0.06%
水量/(m ³ ·d ⁻¹)	200	20	—	1 700~2 200

污水处理站排水需达到《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)表4中的三级标准并满足下游工业园区污水处理厂接管标准,具体水质指标如表2所示。

表2 下游工业园区污水处理厂接管标准

Tab. 2 Acceptance Standard for Downstream Industrial Park WWTP

指标	接管标准
pH值	6~9
COD/(mg·L ⁻¹)	500
总氮(TN)/(mg·L ⁻¹)	40
总磷(TP)/(mg·L ⁻¹)	5

1.2 原有水处理工艺与运行情况

原有废水处理系统采用分质处理工艺,其工艺流程如图1所示。经长期运行监测发现,原有工艺主要存在以下问题:高浓度废水尽管在车间已经过吹脱预处理,凯氏氮指标仍维持在较高水平(表1),致使好氧段大部分区域优先发生氨化作用,基本未发生硝化反应,导致曝气生物滤池(BAF)反硝化脱氮作用受限,出水COD与氨氮指标超出园区接管标准。为有效缓解生化段的运行负荷,亟需对高浓度废水进行更为高效的物化预处理。

此外,调节池废水成分复杂,且内循环(IC)厌氧塔在长期运行过程中,经历过硫酸盐中毒,pH调控失效等问题,导致其水解与氨化效能显著衰退。

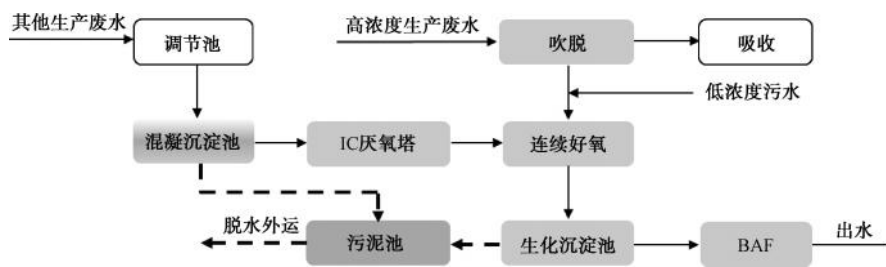


图1 项目原有工艺流程

Fig. 1 Original Process Flow of the Project

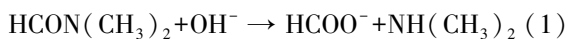
当前,IC厌氧塔出水污染物平均质量浓度居高不下,具体为:COD质量浓度为10 000 mg/L、氨氮质量浓度为230 mg/L、凯氏氮质量浓度为1 000 mg/L,对COD的降解率不足20%,有机氮氨化率仅为5%左右。这加重了后续好氧生化处理单元的运行负荷,严重制约了系统脱氮效能。因此,IC厌氧塔的工艺替换已迫在眉睫。

2 工艺优化与分析

为解决原有系统整体处理功能下降的问题,进行以下工艺优化或更新:(1)针对原有高浓度废水吹脱后有机氮负荷高的问题,拟在吹脱前增设“碱性水解”工艺,降低预处理出水有机氮负荷^[4];(2)针对IC厌氧塔水解酸化效能下降的问题,主要从物化预处理提高废水可生化性与强化厌氧生化2个方向进行比选,其中物化预处理拟增加“铁碳微电解+Fenton”耦合技术^[5-6],强化厌氧的方式主要为IC厌氧塔更换为抗冲击负荷能力更强、运行稳定性更好的折流式厌氧反应器(ABR)^[7-8],通过实验室小试研究确定最佳改造方案。

2.1 高浓度生产废水的碱性水解预处理效果及可行性

高浓度SUC生产废水中含有DMF等大分子有机氮化合物,在碱性条件下容易发生水解反应,生成甲酸盐与二甲胺^[9],反应式如式(1)。



生成产物二甲胺为挥发性有机胺,其气态逸出特性有助于COD和氮的去除。基于该特性,本文采用碱性水解-吹脱组合工艺对高浓度生产废水进行预处理,以降低后续生化单元负荷。具体操作方法为:各取高浓度废水500 mL,向废水中投加质量分数为1.0%、2.5%、5.0%、7.5%、10.0%的片状NaOH,在35~50℃的温度下水解15~30 min,随后

常温吹脱4~5 h。如图2所示,随着NaOH投加量的增加,COD的去除率基本呈线性上升,氨氮、凯氏氮的去除率呈现先升高后趋于稳定的趋势。当投加质量分数为5.0%时,COD、氨氮、凯氏氮的去除率分别为31.6%、96.0%、93.5%,继续增加NaOH至质量分数为7.5%、10.0%时,去除率未显著提升。综合考虑去除率、药剂成本和盐分增加对后续生化系统的影响,确定最优的NaOH投加量为5.0%。

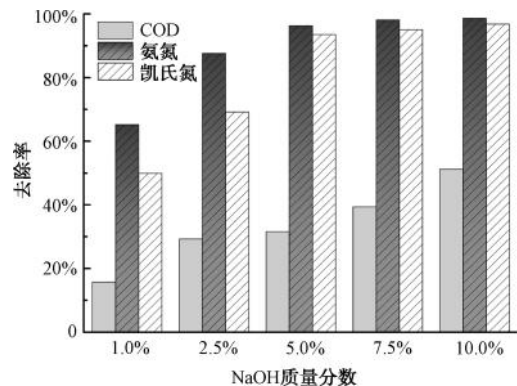


图2 高浓度吹脱废水中碱投加量对污染物去除率影响

Fig. 2 Effect of Alkali Dosage in High-Concentration Stripping Wastewater on Pollutants Removal Rates

2.2 调节池废水处理工艺与比选

2.2.1 微电解+Fenton耦合氧化处理效果

“微电解+Fenton”氧化耦合是一种高级氧化技术组合,对于处理成分复杂、浓度高、可生化性差的难降解有机废水具有显著的作用^[5-6]。

调节池废水采用“铁碳微电解+Fenton”氧化耦合工艺以改善废水的可生化性并强化厌氧水解酸化效率,前期研究方法如下:取水样500 mL置于1 000 mL烧杯中,水样温度为20~25℃,采用工程上回收盐酸调节pH,为限制反应后期pH值升高超过4,反应初始pH值调至2~3;考虑到成本和资源的综合利用,就地采用现场碳钢余料切割成大小合适的细

块,作为微电解填料,曝气量为 4 L/min,反应 1.5 h,取 100 mL 水样,回调 pH 值至 7~8 进行絮凝沉淀,取上清液检测;剩余水样接着加入 1.25 mg/L 的 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 和 0.5% (质量分数) H_2O_2 ,继续曝气反应,1.5 h 后回调 pH 值至 7~8 进行絮凝沉淀,取上清液测定各污染指标。试验重复 5 次。

如图 3 所示,铁碳微电解氧化后测得 COD 平均去除率为 22.6%,氨氮平均升高 57.0%,凯氏氮平均去除率为 15.0%,氨氮占凯氏氮的平均比例只有 33.3%。“微电解+Fenton”氧化耦合技术整体的 COD 平均去除率为 39.5%,氨氮平均升高 174.8%,凯氏氮平均去除率为 29.9%,而氨氮占凯氏氮的平均比例升高至 70.6%。可见,微电解并未将所氧化的大分子有机氮全部氧化成氨氮,但是,通过与 Fenton 耦合,可进一步将更多的大分子有机氮与小分子胺氧化成氨氮,使得氨氮占凯氏氮的平均比例升高,为后续好氧硝化以及 BAF 脱氮提供良好条件。

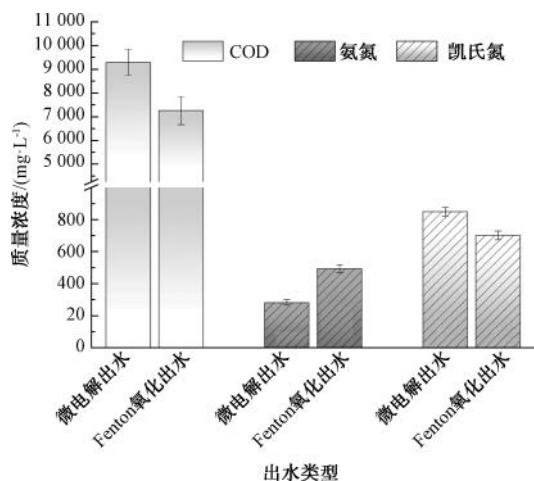


图 3 调节池废水经“微电解+Fenton”处理后各污染指标质量浓度变化

Fig. 3 Mass Concentration Changes of Various Pollutants in Regulating Tank Wastewater after “Micro-Electrolysis + Fenton” Treatment

2.2.2 强化厌氧生化处理效果

ABR 的核心结构是通过垂直挡板将反应器分隔成多个串联的反应室(图 4)。废水在反应器内上下折流依次通过各个反应室,每个反应室具有相对独立的微生物群落,从而实现废水分相多级处理,可改变废水的碳氮比(C/N)^[10],有效提升处理效率。为强化厌氧生化处理效果,本装置选用了复配的蓝

必清(LBQ)菌种,该复配菌种由酵母菌属、片球菌属、假单胞菌属、芽孢杆菌属等微生物组成,具有耐盐、耐高负荷及适应性广的特点,在废水处理过程中形成完整的污染物代谢链,针对相应水质特性可定制菌群配比,以强化特征污染指标的去除。如图 4 所示,ABR 的每个反应室下部由孔板承载颗粒状活性炭填料,填料体积占比达 60%~70%,为避免温度变化对菌种生化反应影响,反应器置于方形槽,水浴保温在 20~25 °C。相邻反应室之间设有过流孔(或过流通道)。废水流动路径为:从前一格反应室上部流入,经由过流孔进入下一格反应室下部,然后自下而上流经填料层,废水与附着于填料上的 LBQ 菌充分接触并发生反应。

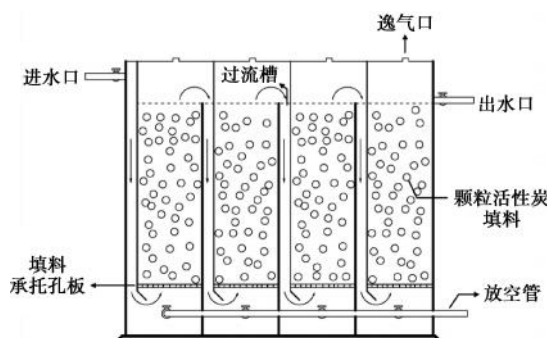


图 4 强化氧化生化处理装置

Fig. 4 Experiment Setup for Enhanced Oxidation-Biochemical Treatment

厌氧生化研究主要分 3 个阶段:激活培养阶段、废水驯化阶段与负荷提升阶段。控制整个装置的水力停留时间为 24 h。

激活培养阶段:将不规则颗粒活性炭放入装置,置于调节池废水浸泡 48 h,使其对污染物达到吸附饱和状态,以排除吸附作用对污染物去除效果的影响。同时将液体菌或者固体菌与液体菌混合激活,待活性炭吸附饱和后,平均投加到 4 个格中,利用活性炭大比表面积,菌种快速大量地附着挂膜。挂膜完成后,分别使用 COD 质量浓度为 1 000、2 000、3 000 mg/L 的葡萄糖营养液对菌种进行梯度增殖培养一周,期间适量补充磷酸二氢钾与氯化铵营养盐。增殖培养后,菌种挂膜量达到处理废水的要求,进入废水驯化阶段。

废水驯化阶段:稀释调节池废水,配制 COD 质量浓度分别为 3 500、6 500、9 500 mg/L 3 个梯度的废水,每个梯度持续运行驯化 5 d。

负荷提升阶段:按 500 mg/L COD 质量浓度增幅逐步提高进水负荷,每个负荷水平运行 2~4 d,密切观察出水水质变化,最终目标负荷为直接处理未经稀释的调节池废水,系统应在此负荷下稳定运行,并具备耐受一定冲击负荷的能力。

全程监测各阶段进出水污染物指标,作为评估处理效果和优化运行参数的依据。强化厌氧生化处理结果分析如下。

表 3 为 LBQ-ABR 系统废水驯化阶段的指标数据。驯化分为 3 个梯度,进水污染物浓度逐级升高,驯化阶段结果表明:三梯度菌种对 COD 的去除率分别为 24.7%、33.9%、30.3%,反应器对 COD 有稳定的去除能力;凯氏氮去除率与氨氮占凯氏氮比例均呈现上升趋势,至第三梯度末,凯氏氮平均去除率为 25.5%,氨氮占凯氏氮比例由 16.4% 升高至 60.6%,说明 LBQ-ABR 的强化厌氧生化处理对废水的有机氮有较好的氨化能力。

表 3 LBQ-ABR 系统废水驯化阶段各污染指标
进出水质量浓度变化

Tab. 3 Mass Concentration Changes of Pollutants in
Influent and Effluent during LBQ-ABR Acclimation

驯化过程	项目	COD	* 氨氮	凯氏氮
第一梯度	进水/(mg·L ⁻¹)	3 507.8	54.7	348.5
	出水/(mg·L ⁻¹)	2 641.4	136.6	302.8
	去除率	24.70%	149.70%	13.10%
第二梯度	进水/(mg·L ⁻¹)	6 833.6	121.8	673.36
	出水/(mg·L ⁻¹)	4 517.0	306.3	548.1
	去除率	33.90%	151.50%	18.60%
第三梯度	进水/(mg·L ⁻¹)	9 507.8	157.6	958.6
	出水/(mg·L ⁻¹)	6 626.9	433.1	714.2
	去除率	30.30%	174.80%	25.50%

注:* 氨氮采用升高率表示处理效果。

3 改造工艺确定与效果评估

废水处理系统的改造应结合废水特性、工程条件及现有构筑物/设施,通过增设物化预处理和改进处理单元,在确保可行性的前提下,削减污染物负荷并最大限度降低投资与运行成本^[11-12]。

基于上述原则以及小试试验,针对本工程的两股废水确定各自改造工艺:(1)针对高浓度废水采用“碱性水解”物化预处理技术,其可行性在于可直接利用原有吹脱系统设备,除药剂成本外,新增投资

较低,有效降低后续生化系统有机氮负荷;(2)针对 IC 厌氧塔运行不稳定的问题,采用 LBQ-ABR 厌氧生化处理代替。从工艺方面分析, LBQ-ABR 厌氧生化处理与“铁炭微电解+Fenton”氧化耦合技术具有基本相同的氨化效果。尽管“铁炭微电解+Fenton”氧化耦合工艺对废水的 COD 去除效果略优于 LBQ-ABR,但添加的药剂会增加废水的盐分,对后续生化单元不利,而 LBQ-ABR 厌氧生化处理对 COD 去除率虽然低于“铁炭微电解+Fenton”氧化耦合,但可保留更多的 COD 以提高进入生化系统废水的 C/N,预留充足的碳源供 BAF 脱氮利用;也可提高氨氮占凯氏氮比例,在减轻后续好氧单元有机氮负荷的同时利于硝化反应,并为 BAF 脱氮提供良好条件。从经济性角度分析,“铁炭微电解+Fenton”氧化耦合技术除了增加设备一次性投资,还需持续性投入药剂及物化污泥处置费用^[11],而 LBQ-ABR 厌氧生化处理仅在原有生化系统分隔出 4 个廊道,一次性投加 LBQ 菌种与填料即可,无需加药,有效控制运行成本。

本项目基于以上改造后的处理工艺如图 5 所示,高浓度废水先进行碱性水解预处理,经吹脱后与低浓度废水混合进入连续好氧单元;调节池废水经絮凝沉淀后,进入 LBQ-ABR 进行水解与氨化,厌氧出水也进入连续好氧段,好氧出水经生化沉淀后,上清液进入 BAF 深度处理,达标排放。一级处理产生污泥与生化污泥经污泥池浓缩后,进行压滤脱水,外运处置。改造后,系统运行每小时节约 1.4 kW 的用电功率。因采用机械加药,人工维持原有编制。运行增加成本主要为 NaOH 药剂费,使用厂内回收盐酸回调 pH,药剂成本增加 0.42 元/t。NaOH 溶解热满足 35~50 °C 的碱解反应温度,无需另外热源消耗。总体而言,运行费用增加在可接受范围内。

经过上述工艺改造,与改造前工艺相比,进入连续好氧单元的混合废水有以下效果:氨氮占凯氏氮的比例大幅升高,由 14.0% 提高至 50.7%;凯氏氮负荷降低,碱性水解与 LBQ-ABR 工艺整体削减了 635 kg/d;C/N 升高,由 6.15 大幅增加至 16.60;减少系统排水量,减排约 330 m³/d。实施工艺改造后,对连续好氧单元、BAF 出水指标进行监测,验证改造后处理工艺的效果,工程运行稳定后,连续 15 d 的平均数据如表 4 所示,数据表明,工艺改造效果好,出水达标排放。

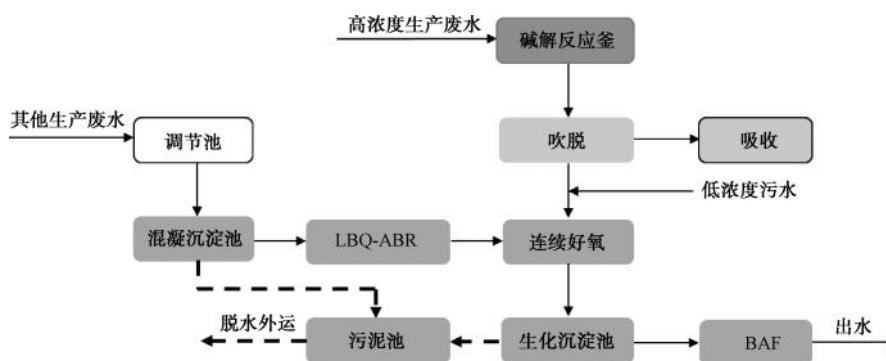


图 5 本工程优化后工艺流程

Fig. 5 Process Flow of the System after Optimization

表 4 优化后各工艺段处理效果

Tab. 4 Treatment Performance of Each Process Section after Optimization

项目	COD	氨氮	TN
进入好氧的混合废水/(mg·L ⁻¹)	2 487.0	76.0	149.8
连续好氧单元出水/(mg·L ⁻¹)	812.9	19.9	54.9
BAF 池出水/(mg·L ⁻¹)	390.1	14.3	39.3
生化段总去除率	84.3%	81.2%	73.8%

4 结论

针对本工程涉及的高浓度废水和调节池废水 2 种水质分别进行了工艺优化,主要结论如下。

(1) 针对高浓度废水,试验结果显示,投加 5.0% NaOH 进行碱性水解后,经吹脱处理对 COD、氨氮、凯氏氮的去除率分别达到 31.6%、96.0%、93.5%,显著降低氨氮负荷。在实际工程改造上,该工艺可直接利用原有吹脱设备,具备显著的经济性与实施简易性。

(2) 试验结果表明,微电解+Fenton 耦合技术可有效提高调节池废水中氨氮占凯氏氮的比例,可保证生化系统稳定,与郑诗纯等^[11]同类废水工艺改造有相似效果。然而,微电解+Fenton 技术需增加设备投入、运行成本及固废处置费用,在本项目中未被优先考虑。

(3) 试验结果中,调节池废水采用 LBQ-ABR 强化厌氧生化处理,经过三阶段培养驯化与负荷提升,证明该工艺不仅能直接处理调节池废水,省去物化预处理单元,还可将大分子有机胺有效水解氨化,印证了袁志文等^[7]对 ABR 在工业废水处理上的应用研究,氨氮升高 174.8%,占凯氏氮比值由 16.4% 升高至 60.6%。该方案能有效控制投资与运行成本,

是调节池废水处理工艺改造的优选方案。

(4) 工艺改造后,进入连续好氧单元的混合废水的凯氏氮负荷削减了 635 kg/d;C/N 由 6.15 大幅增加至 16.60;废水处理系统最终排水的 COD、氨氮、TN 的去除率分别为 84.3%、81.2%、73.8%,可达标排放。

参考文献

- [1] Kang A J, Chen H Q, Feng Q G, et al. Defective carbon encapsulating bimetallic Co-Ti for the excellent degradation of sucralose: Regulating the generation and enhancement action of singlet oxygen [J]. Separation and Purification Technology, 2025, 364: 132593. DOI: 10.1016/j.seppur.2025.132593.
- [2] Huang Y, Law J C, Wang Y L, et al. Sucralose biodegradation and enriched degrading consortia revealed by combining Illumina and Nanopore sequencing [J]. Chemical Engineering Journal, 2023, 461: 141766. DOI: 10.1016/j.cej.2023.141766.
- [3] Li J B, Li X, Li Y, et al. Artificial sweeteners in wastewater treatment plants: A systematic review of global occurrence, distribution, removal, and degradation pathways [J]. Journal of Hazardous Materials, 2025, 494: 138644. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2025.138644.
- [4] 毕皓东, 汪影, 赵旭, 等. 异双活性基染料纤维素化合物碱性水解的理论计算 [J]. 丝绸, 2024, 61(4): 9-17. Bi H D, Wang Y, Zhao X, et al. Theoretical calculation of alkaline hydrolysis of heterobifunctional reactive dye-cellulose compounds [J]. Journal of Silk, 2024, 61(4): 9-17.
- [5] 程婷, 李海松, 王敏, 等. 铁碳微电解/H₂O₂ 耦合类 Fenton 法深度处理制药废水 [J]. 环境工程学报, 2015, 9(4): 1752-1756. Cheng T, Li H S, Wang M, et al. Advanced treatment of pharmaceutical wastewater by iron-carbon micro-electrolysis combined with H₂O₂ [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2015, 9(4): 1752-1756.
- [6] 陈浩, 杨斌, 乔琪. 高级氧化工艺预处理乙腈生产废水 [J].

- 净水技术, 2023, 42(S1): 194-199.
- Chen H, Yang B, Qiao Q. Pretreatment of acetonitrile production wastewater by AOPs [J]. *Water Purification Technology*, 2023, 42(S1): 194-199.
- [7] 袁志文, 熊斌. 厌氧折流板反应器(ABR)在工业废水处理上的应用[J]. *净水技术*, 2012, 31(2): 15-18.
- Yuan Z W, Xiong J. Application of anaerobic baffled reactor (ABR) processes for industrial wastewater treatment[J]. *Water Purification Technology*, 2012, 31(2): 15-18.
- [8] Wang X, Wang T, Meng H, et al. Anammox process in anaerobic baffled biofilm reactors with columnar packings: Characteristics of flow field and microbial community [J]. *Chemosphere*, 2024, 355: 141774. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2024.141774.
- [9] 曹鹏飞, 任学昌, 陈作雁, 等. AO工艺高效处理N, N-二甲基甲酰胺废水的研究[J]. *兰州交通大学学报*, 2024, 43(4): 134-144.
- Cao P F, Ren X C, Chen Z Y, et al. Study on the efficient treatment of N, N-dimethylformamide wastewater by AO process [J]. *Journal of Lanzhou Jiaotong University*, 2024, 43(4): 134-144.
- [10] 王万鑫, 王建芳, 钱飞跃, 等. 厌氧折流板反应器处理N, N-二甲基乙酰胺效能及其微生物群落特征[J]. *环境污染与防治*, 2021, 43(9): 1094-1100.
- Wang W X, Wang J F, Qian F Y, et al. The efficiency of ABR on treating DMAC wastewater and the characteristics of microbial community[J]. *Environmental Pollution & Control*, 2021, 43(9): 1094-1100.
- [11] 郑诗纯, 梅凯. 精细化工氯化蔗糖废水站处理工艺改造[J]. *中国给水排水*, 2013, 29(16): 68-70.
- Zheng S C, Mei K. Process reconstruction in chlorinated sucrose wastewater treatment station in a fine chemical plant[J]. *China Water & Wastewater*, 2013, 29(16): 68-70.
- [12] 张晶瑶. 某污水处理厂进水水质分析与扩建升级改造工艺方案[J]. *净水技术*, 2024, 43(6): 135-144.
- Zhang J Y. Analysis of influent water quality and process scheme of expansion, upgrading and reconstruction project of a WWTP [J]. *Water Purification Technology*, 2024, 43(6): 135-144.

(上接第54页)

- [18] Wastensson G, Eriksson K. Inorganic chloramines: A critical review of the toxicological and epidemiological evidence as a basis for occupational exposure limit setting[J]. *Critical Reviews in Toxicology*, 2020, 50(3): 219-271.
- [19] 尹文选, 孙文俊, 张道义, 等. 溶解性有机物在UV/H₂O₂工艺中的去除、化学转化及副产物控制研究[J]. *给水排水*, 2025, 51(7): 15-22.
- Yin W X, Sun W J, Zhang D Y, et al. Research on the removal, chemical conversion, and by-product control of dissolved organic matter in the UV/H₂O₂ process[J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2025, 51(7): 15-22.
- [20] Douterelo I, Husband S, Boxall J B. The bacteriological composition of biomass recovered by flushing an operational drinking water distribution system[J]. *Water Research*, 2014, 54: 100-114. DOI: 10.1016/j.watres.2014.01.049.