

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.16.021

生物增效技术在工业园区污水处理厂的应用

丁来保^{1,2}, 田庆文^{1,2}, 盘爱享^{1,2}, 杨然^{1,2}, 郭奇^{1,2}, 朱津苇^{1,2},
房桂干^{1,2}

(1. 中国林业科学研究院 林产化学工业研究所, 江苏 南京 210042; 2. 江苏省生物质能源与材料重点实验室, 江苏 南京 210042)

摘要: 针对工业园区废水经上游企业处理后,可降解有机物含量低,活性污泥系统处理效果差、运行困难和深度处理成本高等问题,采用生物增效技术构建新的生物降解体系。实际运行结果表明,好氧出水COD较普通生化出水COD下降明显,平均出水COD从114 mg/L降至77.3 mg/L,平均COD去除率从24.40%升至50.90%;平均氨氮去除率从31.89%提高至76.07%;深度处理聚铁用量为1.35 kg/m³,出水COD基本稳定在30~40 mg/L,平均出水COD为37.4 mg/L、色度为4倍,运行成本较之前可节省1.45元/m³,两条处理线均采用增效技术后,按处理水量为3×10⁴ m³/d计算,可节约成本1522.50万元/a,实现了园区污水处理厂运行成本下降、出水水质提升的目标。

关键词: 工业园区; 污水处理; 生物增效技术; 氨氮

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)16-0121-05

Application of a Bioaugmentation Technology in Industrial Park Wastewater Treatment

DING Lai-bao^{1,2}, TIAN Qing-wen^{1,2}, PAN Ai-xiang^{1,2}, YANG Ran^{1,2}, GUO Qi^{1,2},
ZHU Jin-wei^{1,2}, FANG Gui-gan^{1,2}

(1. Institute of Chemical Industry of Forest Products, CAF, Nanjing 210042, China; 2. Jiangsu Key Lab of Biomass Energy and Material, Nanjing 210042, China)

Abstract: In view of the problems of low biodegradable organic matter content, poor treatment effect of activated sludge system, difficult operation and high cost of advanced treatment after treatment by upstream enterprises in the industrial park, a new biodegradation system was constructed by bioaugmentation technology. The actual operation results show that the COD of aerobic effluent decreased significantly compared with that of ordinary biochemical effluent. The average effluent COD decreased from 114 mg/L to 77.3 mg/L, and the average COD removal rate increased from 24.40% to 50.90%. The average ammonia nitrogen removal rate increased from 31.89% to 76.07%. The dosage of poly iron in advanced treatment is 1.35 kg/m³, the effluent COD is basically stable at 30 mg/L to 40 mg/L, the average effluent COD is 37.4 mg/L, the chroma is 4 times, and the operation cost can be saved by 1.45 yuan/m³ compared with before. After the two lines adopted the bioaugmentation technology, the annual cost is saved by 15.225 million yuan according to the daily treatment of 3×10⁴ m³, so as to realize the goal of

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFC2105505); 江苏省生物质能源与材料重点实验室重点项目(JSBEM-S-202207)
通信作者: 房桂干 E-mail: ppfangguigan@163.com

reducing the operation cost of sewage treatment plant and improving the effluent quality in the industrial park.

Key words: industrial park; wastewater treatment; bioaugmentation technology; ammonia nitrogen

随着我国经济的快速发展,为优化工业资源,建设了大量经济技术开发区、特色工业园区及技术示范区等多种形式的工业园区。相对于城镇污水处理厂的污水,工业园区因其产业结构复杂,水量往往波动大^[1],水质具有成分复杂、污染物浓度高和可生化性较差等特性^[2-3],因此,应根据园区水质特点选择适宜的处理工艺,确定最佳的运行操作条件,从而提高污水处理效果。江苏某工业园区污水处理厂采用生物增效技术处理难降解工业废水,降低了处理成本,同时实现了水质提升,可为其他类似水质的园区污水处理厂升级改造提供参考。

1 工程概况

该工业园区内主要企业为造纸厂、木薯酒精厂和化工厂,配套建有处理规模为 $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的污水处理厂,共两条处理线,采用相同处理工艺,其中A线处理能力 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,B线处理能力 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。废水分别经上游企业处理到纳管水质标准B级标准($\text{COD} \leq 350 \text{ mg/L}$)排入园区污水处理厂进行后续处理,出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准。园区污水处理厂工艺流程如图1所示。

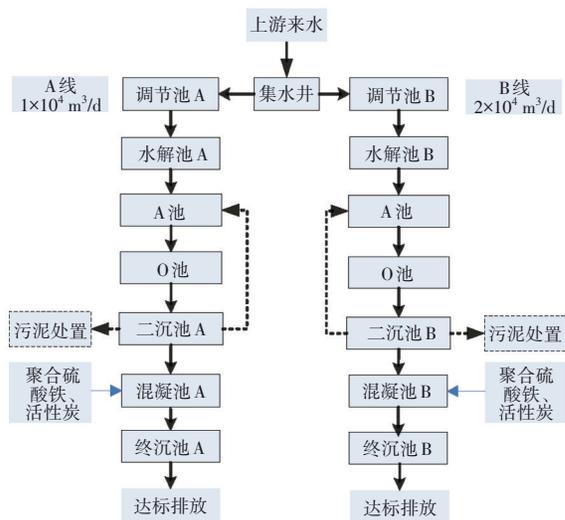


图1 污水处理厂工艺流程

Fig.1 Flow chart of wastewater treatment process

来水首先进入调节池单元(分成A线和B线两条线处理),可对水质水量进行均化和调节,降低系统冲击负荷,防止对后续生化处理单元形成冲击负荷;调节池出水进入水解池,废水中的复杂或难降解大分子有机物水解为小分子有机物,可生化性提高,水力停留时间(HRT)为6 h;之后废水进行AO脱氮工艺处理,缺氧池(A池)HRT为3 h,在缺氧池进行反硝化处理,实现总氮去除,再进入好氧池(O池)进行有机物和氨氮的生物降解,HRT为15 h;二沉池出水进入深度处理单元,以聚合硫酸铁和活性炭吸附为核心工艺,进一步降解剩余有机物,最终实现达标排放。

AO工艺主要设计参数见表1。

表1 AO工艺主要设计参数

Tab.1 Main design parameters of AO process

设计参数	缺氧池	好氧池
有效容积/ m^3	1 250(A线), 2 500(B线)	6 250(A线), 12 500(B线)
容积负荷/ $(\text{kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1})$	0.8	0.32
MLSS/ $(\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	3.5	3.5
HRT/h	3.0	15.0

2 运行现状及存在的问题

2.1 运行现状

根据园区污水处理厂3个月(2023年7月1日—9月30日)运行数据统计整理,各主要处理单元的运行情况见表2。从表2可以看出,该工程主要污染物指标是COD、氨氮和总氮,除COD外的其他指标均可以实现达标排放。主要的污染物降解在AO生物处理和深度处理单元完成。系统进水COD波动较大($110 \sim 190 \text{ mg/L}$),水解池对COD基本没有去除效果,好氧处理出水COD基本为 $90 \sim 150 \text{ mg/L}$,其中A线平均处理水量为 $9 820 \text{ m}^3/\text{d}$,好氧出水平均COD为 128 mg/L ,B线平均处理水量为 $19 645 \text{ m}^3/\text{d}$,好氧出水平均COD为 124 mg/L ,两条线COD去除率均保持在 $15\% \sim 25\%$,经生化处理后COD仍不能达标,需进行后续深度处理,即聚合硫酸铁混凝和活性炭

吸附后才能实现达标;系统进水氨氮为1.5~7.0 mg/L,通过好氧生物处理氨氮降至4.5 mg/L以下;系统进水总氮为10.0~30.0 mg/L,通过AO工艺补加碳源,能够实现出水总氮达标。

表2 各处理单元运行主要指标

Tab.2 Main operation indicators of each processing unit

项目	进水	各段出水						排放标准
		水解池		二沉池		终沉池		
		A线	B线	A线	B线	A线	B线	
COD/(mg·L ⁻¹)	110~190	110~170	110~170	96~152	90~146	40.0~50.0	37.0~50.0	50.0
NH ₃ -N/(mg·L ⁻¹)	1.5~7.0	1.5~7.5	1.5~7.5	1.0~4.5	1.0~4.5	1.0~4.5	1.0~4.5	5.00
TN/(mg·L ⁻¹)	10.0~30.0	10.0~30.0	10.0~30.0	10.0~15.0	10.0~15.0	10.0~15.0	10.0~15.0	15.0
pH	7.50~8.00	7.50~8.00	7.50~8.00	7.80~8.20	7.80~8.20	6.50~7.00	6.50~7.00	6.0~9.0

2.2 存在的主要问题

2.2.1 好氧生物处理COD去除率低

进入污水处理厂的废水已经过上游企业的生物处理,来水COD≤200 mg/L、BOD≤50 mg/L,废水中可生物降解的有机物含量低^[4],再进行活性污泥法处理,COD去除率仅约20%,处理效果差,生化出水COD较高,增加了后续深度处理的负荷。

2.2.2 好氧池活性污泥需定期补充

同样由于进入污水处理厂的废水中可生物降解有机物含量低,碳源不足会导致活性污泥的微生物面临内源呼吸^[5-6],微生物群落多样性呈现收敛趋势^[7],若运行控制不好,就会导致活性污泥浓度越来越低,最终需定期补充活性污泥才能维持正常运行。根据实际运行数据(污泥浓度从3.5 g/L降至1 g/L以下),现场一般30~50 d就要重新补充污泥,以维持污泥浓度。

2.2.3 深度处理成本高

生化处理出水COD主要在90~150 mg/L范围内波动,采用聚合硫酸铁-活性炭联合处理工艺时,聚合硫酸铁用量为1.4~1.8 kg/m³,活性炭用量为220~250 mg/L,深度处理出水COD控制在40.0~50.0 mg/L,深度处理加药成本为2.20~2.50元/m³。由于处理成本较高,企业负担重,迫切需要一种高效低成本处理技术以解决达标排放问题。

3 生物增效技术的应用

生物增效处理技术基于吸附耦合微生物协同增效原理研发而成^[8-9],主要针对难降解工业废水常规生物系统存在的“好氧处理效果差、深度处理成本高”等问题,技术核心是在生物碳基上耦合微生物菌株和活性微量元素,改善生化系统微生物的菌群结构和数量、提高废水中难降解污染物的传质效

率和提升生化系统微生物的生存环境,加快水中各类污染物转化为易降解小分子有机物的速度,提高生化系统对难降解污染物的去除率,提升生化系统处理能力,以满足低成本达标排放的目标。

该项目使用的增效剂产品采用碘值550~600的200目粉末生物炭为载体材料,耦合的微生物菌株主要是强化木质素降解和酯类物质的白腐菌、多种芽孢杆菌和酵母菌等,有效活菌数约为100亿个/g,同时添加少量铁、钴、锰和锶等微量元素。

根据两条线的处理情况,先选择水量较小的A线进行生物增效技术处理,运行成功后,再在B线应用。10月5日按好氧池有效容积的0.1%接种增效剂6 t,在好氧池中形成1 kg/m³的增效剂接种浓度,之后每天进水量按40 g/m³补充加药,维持系统中增效剂的有效浓度。增效处理期间各项工艺参数保持稳定,以下对11月运行期间出水COD、氨氮及色度进行比较分析。

3.1 COD变化分析

A、B线的调节池COD基本保持一致,A、B线调节池出水COD均为100~190 mg/L,其中A线平均处理水量为10 050 m³/d,调节池出水月平均COD为158 mg/L;同期B线平均处理水量为19 930 m³/d,调节池出水月均COD为151 mg/L。A线二沉池出水COD为65~100 mg/L,月均COD为77.3 mg/L,好氧处理平均COD去除率50.90%;同期B线二沉池出水COD为90~140 mg/L,月均COD为114 mg/L,好氧处理平均COD去除率为24.40%。这也充分验证了该工艺对于难降解COD废水具有较好的处理效果,具体见图2。

综上所述,生物增效技术对难降解废水COD的去除效果较好,增效处理出水COD较普通生化出水

COD 下降明显, COD 去除率提高了 50% 以上, 减轻了后续深度处理的负荷。

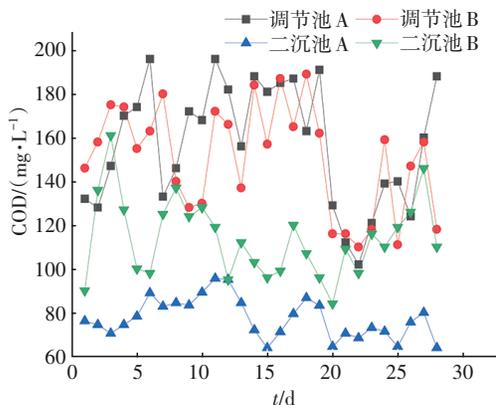


图 2 进水和二沉池出水 COD 变化

Fig.2 Variation of COD in influent and effluent of secondary sedimentation tank

3.2 氨氮变化分析

A、B 线调节池出水氨氮均在 1.5 ~ 7.0 mg/L 范围内波动, 其中 A 线调节池出水月均氨氮为 3.46 mg/L, B 线调节池出水月均氨氮为 3.36 mg/L。A 线二沉池出水氨氮为 0.6 ~ 1.20 mg/L, 月均氨氮为 0.83 mg/L, 好氧处理平均氨氮去除率为 76.07%; B 线二沉池出水氨氮为 1.0 ~ 4.3 mg/L, 月均氨氮为 2.29 mg/L, 好氧处理平均氨氮去除率为 31.89% (见图 3)。由此可见, 生物增效技术对氨氮的去除效果较好, 出水氨氮基本维持在 1.0 mg/L 以下, 可稳定控制在远优于一级 A 标准的水平。

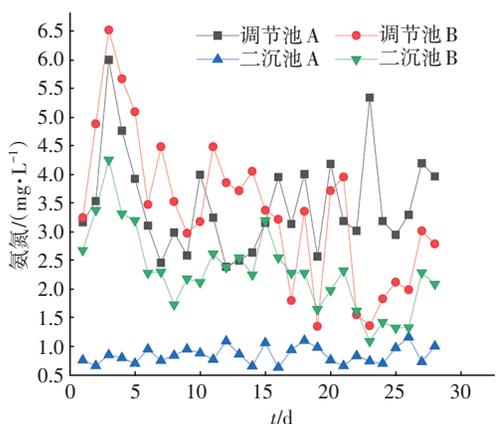


图 3 进水和二沉池出水氨氮变化情况

Fig.3 Changes of ammonia nitrogen in influent and effluent of secondary sedimentation tank

3.3 深度处理变化分析

A 线经增效处理后, 聚合硫酸铁用量为 1.35 kg/m³ 时, 混凝出水 COD 基本稳定在 30 ~ 40 mg/L, 平均出

水 COD 为 37.4 mg/L。B 线采用原有处理工艺, 聚合硫酸铁和活性炭用量分别为 1.65、0.235 kg/m³ 时, 混凝出水 COD 稳定在 40 ~ 50 mg/L, 平均出水 COD 为 47.9 mg/L。这也充分验证了生物增效处理不仅对该废水具有较好的去除效果, 出水水质也更易于深度处理, 具体处理情况见表 3。

表 3 增效处理后深度处理情况对比

Tab.3 Comparison of advanced treatment after bioaugmentation technology treatment

项目	A 线	B 线
聚合硫酸铁用量/(kg·m ⁻³)	1.35	1.65
活性炭用量/(kg·m ⁻³)	0	0.235
平均出水 COD/(mg·L ⁻¹)	37.4	47.9

3.4 色度变化分析

A 线通过聚合硫酸铁处理后出水清澈透明、色度约 4 倍, B 线通过聚合硫酸铁和活性炭吸附处理后出水透明度略劣于 A 线出水, 出水色度约 20 倍, 色度对比肉眼观察差异明显。

3.5 新增运行成本分析

运行期间, 好氧处理段主要新增了生物增效剂的投加成本, 深度处理段主要是药剂投加成本发生了变化, 以及活性炭形成的污泥处置成本, 其他运行费用基本不变, 具体分析见表 4。

表 4 两线新增运行成本分析

Tab.4 Analysis of new operation cost of two lines

指标	A 线	B 线
生物增效处理成本/(元·m ⁻³)	0.72	0.00
深度处理加药成本/(元·m ⁻³)	0.41	2.38
新增含炭污泥处置成本/(元·m ⁻³)	0.00	0.20
成本合计/(元·m ⁻³)	1.13	2.58
节省成本/(万元·a ⁻¹)	1 522.50	

从表 4 可以看出, A 线新增成本 1.13 元/m³, B 线新增成本 2.58 元/m³。可见, 采用生物增效技术处理后, 运行成本节省 1.45 元/m³, 按目前 A 线处理量为 1×10⁴ m³/d 计, 节约成本 507.50 万元/a。两条线均采用增效技术后, 按处理量为 3×10⁴ m³/d 计算, 可节约成本 1 522.50 万元/a, 经济效益相当可观, 排放水水质可进一步提升, 环境效益良好。

4 结论

采用生物增效技术对江苏某工业园区污水处理厂生物处理系统进行升级改造, 构建新的生物降解体系, 好氧出水 COD 较普通生化出水 COD 下降明

显,平均COD去除率从24.40%上升至50.90%;平均氨氮去除率从31.89%提高到76.07%;深度处理效果获得提升,药剂实现减量,处理成本下降,运行成本可节省1.45元/m³,按A线处理量为1×10⁴ m³/d计算,节约成本507.50万元/a,两条线均采用增效技术后,按处理量为3×10⁴ m³/d计算,节约成本1522.50万元/a,实现了污水处理厂运行成本下降、出水水质提升的目标,为排放、部分回用以及深度处理回用做好准备。同时也为全国其他类似进水水质的污水处理厂,特别是工业园区污水处理厂的提标升级改造提供了借鉴。

参考文献:

- [1] 苗文凭,刘青岩. 工业园区污水处理厂的设计特点[J]. 中国给水排水,2016,32(8): 44-46.
MIAO Wenping, LIU Qingyan. Design characteristics of wastewater treatment plant in industrial park [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(8): 44-46 (in Chinese).
- [2] 汪炎. 工业园区污水处理现状及发展方向[J]. 工业用水与废水,2022,53(2):1-4.
WANG Yan. Current situation and development direction of industrial park sewage treatment [J]. Industrial Water & Wastewater, 2022, 53(2): 1-4 (in Chinese).
- [3] 朱守超,胡新,鹿守敢,等. 江苏省某工业园区污水处理厂设计及运行实例[J]. 中国给水排水,2020,36(2):109-112.
ZHU Shouchao, HU Xin, LU Shougan, *et al.* Design and operation example of an industrial park wastewater treatment plant in Jiangsu Province [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(2): 109-112 (in Chinese).
- [4] 陈斌. 工业园区污水处理厂改良型A²O的设计与运行[J]. 水处理技术,2019,45(5):129-131.
CHEN Bin. Design and operation of improved A²O in sewage treatment plant in industrial park [J]. Technology of Water Treatment, 2019, 45(5): 129-131 (in Chinese).
- [5] 郝晓地,朱景义,曹亚莉,等. 污水生物处理系统中内源过程的研究进展[J]. 环境科学学报,2009,29(2): 231-242.
HAO Xiaodi, ZHU Jingyi, CAO Yali, *et al.* Research progress on endogenous processes in biological wastewater treatment systems [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2009, 29(2): 231-242 (in Chinese).
- [6] 李志华,白旭丽,张芹,等. 基于呼吸图谱的自养菌与异养菌内源呼吸过程分析[J]. 环境科学,2014,35(9):3492-3497.
LI Zhihua, BAI Xuli, ZHANG Qin, *et al.* Endogenous respiration process analysis of heterotrophic biomass and autotrophic biomass based on respiration map [J]. Environmental Science, 2014, 35(9): 3492-3497 (in Chinese).
- [7] 罗茜,马宏瑞,朱超,等. 外源和内源呼吸模式下好氧活性污泥的微生物群落演替及生物活性特征[J]. 生态环境学报,2013(12):1887-1892.
LUO Qian, MA Hongrui, ZHU Chao, *et al.* Bacterial community and metabolic characteristics during endogenous and exogenous periods in activated sludge [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2013(12): 1887-1892 (in Chinese).
- [8] 李青云. 载体吸附-生物降解耦合体系的构建及其强化去除氰酚污染物的研究[D]. 南宁:广西大学,2019.
LI Qingyun. Construction of Carrier Adsorption-biodegradation Coupling System and Its Enhanced Removal of Cyanophenol Pollutants [D]. Nanning: Guangxi University, 2019 (in Chinese).
- [9] 韩杰,蔡元奇,李欣,等. 碳质材料载体对微生物的固定化作用及其在环境污染控制中的应用[J]. 沈阳农业大学学报,2023,54(1):121-128.
HAN Jie, CAI Yuanqi, LI Xin, *et al.* Role of carbonaceous material carrier on microorganism immobilization and its application in environmental pollution control [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2023, 54(1): 121-128 (in Chinese).

作者简介:丁来保(1974-),男,安徽无为,人,博士,副研究员,主要从事水污染控制技术研究工作。

E-mail:dingyua2019@163.com

收稿日期:2023-12-03

修回日期:2024-01-11

(编辑:衣春敏)