

混凝沉淀/转盘过滤/臭氧氧化用于污水深度处理

栗文明¹, 张耀辉¹, 唐敏¹, 陈亚松², 顾东平²

(1. 江苏省环境科学研究院 江苏省环境工程重点实验室, 江苏 南京 210036; 2. 宜兴市建邦环境投资有限责任公司, 江苏 宜兴 214200)

摘要: 某污水处理厂设计规模为 5 000 m³/d, 深度处理采用混凝沉淀/转盘过滤/臭氧氧化工艺, 混凝沉淀/转盘过滤工艺对 COD 的去除率稳定在 20%, 但单独臭氧氧化对 COD 去除效果不佳, 出水色度升高。当辅以投加 H₂O₂ 时, 通过羟基自由基(·OH)的高级氧化可确保对 COD 的稳定去除, 使出水水质达标。改造工程总投资为 538.68 万元, 新增总水处理成本为 1.03 元/m³。

关键词: 工业废水; 生活污水; 混凝; 转盘过滤; 臭氧; H₂O₂

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)02-0102-03

Application and Improvement of Coagulation-Sedimentation/Disc Filtration/Ozone Oxidation in Advanced Treatment of Wastewater

LI Wen-ming¹, ZHANG Yao-hui¹, TANG Min¹, CHEN Ya-song², GU Dong-ping²

(1. Jiangsu Key Laboratory of Environmental Engineering, Jiangsu Provincial Academy of Environmental Science, Nanjing 210036, China; 2. Yixing Jianbang Environment Investment Co. Ltd., Yixing 214200, China)

Abstract: The design capacity of a WWTP was 5 000 m³/d. The advanced treatment adopted the coagulation-sedimentation/disc filtration/ozone oxidation process. The removal rate of COD by coagulation-sedimentation and disc filtration was 20%, but the ozone oxidation process was ineffective in COD removal, and the color of effluent was high. When the H₂O₂ was added into the ozone oxidation process, the stable removal of COD could be achieved by the oxidation of hydroxyl radical, and the effluent quality could meet the standards. The total investment of the renovation project was 5.386 8 million yuan, and the cost of water treatment increased by 1.03 yuan/m³.

Key words: industrial wastewater; domestic sewage; coagulation; disc filtration; ozone; hydrogen peroxide

1 工程背景

江苏宜兴某污水厂设计规模为 5 000 m³/d, 主要处理镇区的生活污水及工业废水, 工业废水占比 >90%, 工业类型涵盖精细化工、印染、医药、金属制品、高分子材料、乳化剂等行业。该污水厂于 2008 年实施了提标改造工程, 改造工艺为“调节池 + 泥

水分离池 + CASS + 气浮 + 活性砂过滤”, 2013 年—2014 年的实际处理水量平均为 4 339 m³/d, 实际运行数据见表 1。由于进水中工业废水类型较多、水质复杂, 出水水质无法达到一级 A 排放标准, 且“气浮 + 活性砂”工艺实际运行效果较差, 活性砂滤池经常出现跑砂、板结等情况, 出水 COD、色度指标严

重超标。因此该厂于 2014 年启动了改造工程,进一步提升现有设施处理效果,并新建深度处理设施,以满足一级 A 排放标准。

表 1 2013 年 1 月—2014 年 4 月污水厂进、出水水质平均值

Tab. 1 Influent and effluent average quality from Jan. 2013

to Apr. 2014

| 项目 | COD/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | SS/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | $\text{NH}_3 - \text{N}/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | TN/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | TP/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | 色度/ 倍 |
|----|---|--|--|--|--|----------|
| 进水 | 298 | 89 | 15 | 20 | 3.0 | 479 |
| 出水 | 75 | 15 | 3 | 6 | 0.4 | 41 |

2 改造工程设计

改造工程设计进、出水水质见表 2。由污水厂进水的色谱-质谱联用(GC-MS)分析图得知,进水中含有二氯甲烷、醚类、酮类、醇类、丙烯酸酯类、

喹啉类、杂环烷类等物质。有机物构成复杂,种类繁多,生物降解性差。

表 2 改造工程设计进、出水水质

Tab. 2 Design influent and effluent quality of the renovation project

| 项目 | COD/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | BOD ₅ / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | SS/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | $\text{NH}_3 - \text{N}/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | TN/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | TP/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | 色度/ 倍 |
|----|---|---|--|--|--|--|----------|
| 进水 | 500 | 100 | 300 | 20 | 30 | 4.0 | 550 |
| 出水 | 50 | 10 | 10 | 5(8) | 15 | 0.5 | 30 |

注: 括号外数值为水温 $> 12^\circ\text{C}$ 时控制指标, 括号内数值为水温 $\leq 12^\circ\text{C}$ 时控制指标。

本次工程重点去除 COD、色度等污染物,考虑到进水水质特性,“气浮+活性砂”工艺已停运及实际用地情况,改造工程的工艺流程见图 1。

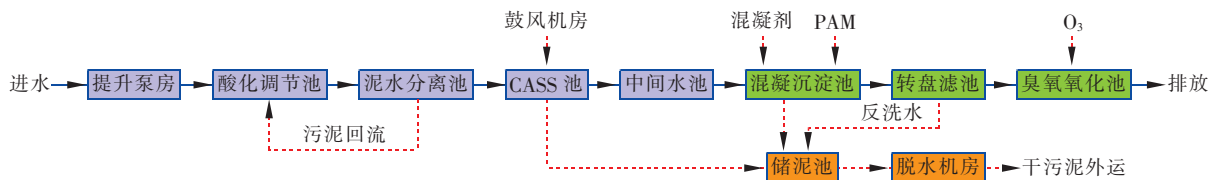


图 1 改造工艺流程

Fig. 1 Flow chart of wastewater treatment process

本次工程设计规模仍为 $5\,000\text{ m}^3/\text{d}$, 仅在现状调节池内增加填料, 将活性砂滤池改造为臭氧氧化池。其余构筑物维持现状。

① 酸化调节池

在现状调节池内悬挂填料, 有效拦截较轻的游离厌氧污泥, 使得微生物在填料表面附着、固定, 增加池内微生物量, 改善现状酸化调节池的水解酸化功能, 提高进水的可生化性。另外, 将推流器更换为大桨叶推流器, 保证池内水流流态, 避免污泥堆积。填料装填容积为 30%。设推流器 6 台, 单台直径为 1.8 m , $N=5.5\text{ kW}$ 。

② 混凝沉淀池

新建一座混凝沉淀池。平面尺寸为 $19.4\text{ m} \times 8.8\text{ m}$ 。混合区反应时间: 2.0 min , 搅拌器功率: 7.5 kW ; 絮凝反应时间: 20 min , 搅拌器功率: 4.0 kW 。分离区共 2 组, 单组平面尺寸: $8.0\text{ m} \times 8.0\text{ m}$, 表面负荷: $1.6\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 刮泥机直径为 8 m , 出水区安装蜂窝斜管, 其内切圆直径为 80 mm , 斜长为 1.0 m , 60° 倾斜安装。

③ 转盘滤池

新建, 平面尺寸为 $7.0\text{ m} \times 3.0\text{ m}$, 有效水深为 1.8 m , 配套转盘过滤器一台, 电机 $N=1.1\text{ kW}$, 排泥泵 1 台, $Q=30\text{ m}^3/\text{h}$, $H=90\text{ kPa}$, $N=2.2\text{ kW}$ 。

④ 臭氧氧化池

臭氧氧化池由现状活性砂滤池改造而成。采用微孔布气盘布气, 池顶设有压力释放阀、尾气吸收破坏装置。平面尺寸为 $5.6\text{ m} \times 6.3\text{ m}$, 有效水深为 5.7 m , 总反应时间为 50 min 。臭氧投加量: 50 mg/L , 两点投加, 第一点投加量为 $60\% \sim 70\%$, 第二点投加量为 $30\% \sim 40\%$ 。

⑤ 臭氧制备间及加药间

设臭氧发生器 2 台, 单台臭氧发生能力为 5 kg/h 。臭氧制备间内设置机械通风, 安装臭氧泄漏探测及报警装置。设内循环水泵 2 台, 单台 $Q=10.0\text{ m}^3/\text{h}$, $H=200\text{ kPa}$, $N=2.2\text{ kW}$ 。外循环水由冷却塔系统提供, 配套水箱及外循环水泵一套。

加药间与臭氧制备间合建, 加药间内设置混凝剂、PAM 投加系统各一套。混凝沉淀池的排泥泵也放置在加药间内, 共 3 台, 单台 $Q=35\text{ m}^3/\text{h}$, $H=80\text{ kPa}$, $N=11\text{ kW}$ 。

⑥ 液氧站

液氧站设置液氧储罐一台,储量为 10 m^3 ;空温式气化器1台, $Q=100 \text{ m}^3/\text{h}$, $P=1.6 \text{ MPa}$ 。液氧站与其他建筑物、构筑物的防火间距不应小于 12 m 。

3 试运行效果

该工程自2015年3月进入调试及试运行,试运行期间主要对COD进行了监测,结果见表3。

表3 试运行期间实际工程水质

Tab.3 Effluent quality during commissioning

| 项 目 | COD/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) | 去除率/% |
|---------|---|-------|
| 进水 | 412 | — |
| 酸化调节池出水 | 310 | 24.7 |
| CASS池出水 | 87 | 71.9 |
| 转盘滤池出水 | 68 | 21.8 |
| 臭氧氧化池出水 | 65 | 4.4 |
| 出水标准 | 50 | — |

试运行期间,水解、生化、混凝沉淀工段运行效果较好,而臭氧氧化效果不佳,对COD降解效率低,且出水时常出现色度升高现象。

4 工程问题分析及改进措施

臭氧单独氧化对水中有机物降解不彻底,不能将某些中间产物进一步氧化。据报道,臭氧氧化具有一定的选择性,可显著去除水中含不饱和键、酚类、醇类等有机物,但对饱和烷烃基本无降解效果^[1],因此本项目臭氧氧化工段COD去除效率低。同时混凝沉淀池的混凝剂采用聚合硫酸铁,投加量为 $150 \sim 180 \text{ mg/L}$,臭氧氧化产生的某些中间产物可能与 Fe^{3+} 发生络合反应生成有色物质,导致出水色度升高,中间产物在COD测定时也表现为污染物,影响出水水质。

而 $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ 催化氧化主要是双氧水催化 O_3 产生的羟基自由基($\cdot\text{OH}$)的链式反应过程, $\cdot\text{OH}$ 氧化电位为 2.80 V ,具有很高的活性,并且无选择性,因此 $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ 催化氧化有机物的效率将大大提高^[2]。工程通过现场小试来验证 $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ 的催化氧化效果。试验参数:进水为混凝沉淀池出水,COD在 $55 \sim 123 \text{ mg/L}$ 范围波动,臭氧投加量为 50 mg/L ,反应时间为 50 min 。

当 H_2O_2 投加量 $<0.1 \text{ mL/L}$ 时,COD去除率随 H_2O_2 投加量增大而提高,催化臭氧氧化效果比单独臭氧氧化好。当 H_2O_2 投加量为 0.2 mL/L 时,COD

去除效率反而降低。因此,当 H_2O_2 投加量在 $0.05 \sim 0.1 \text{ mL/L}$ 时,COD去除率较高。

根据试验结果并考虑安全余量,设置 H_2O_2 投加装置一套,储罐容积 $V=5.0 \text{ m}^3$,设计 H_2O_2 (H_2O_2 浓度30%)最大投加量为 0.2 mL/L (可调节)。改造后, $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ 催化氧化对COD的去除率为25%以上,可保证出水COD达标。

5 工程投资

该改造工程总投资为538.68万元。电费为 $0.39 \text{ 元}/\text{m}^3$,药剂费为 $0.15 \text{ 元}/\text{m}^3$,液氧费用为 $0.30 \text{ 元}/\text{m}^3$,人工费和固定资产折旧费等为 $0.19 \text{ 元}/\text{m}^3$,新增总水处理成本为 $1.03 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。

6 结语

将混凝沉淀+转盘过滤+臭氧氧化工艺应用于难降解工业废水深度处理是经济、可行的。应尽量避免采用铁盐混凝剂,否则易导致臭氧氧化出水色度异常。因单独臭氧氧化具有选择性,可通过 $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ 催化氧化工艺提高对有机物的降解效率。

参考文献:

- [1] 涂勇,张耀辉,徐军,等. 臭氧对化工园区废水厂二级出水的选择性氧化[J]. 环境工程学报,2015,9(11): 5295-5300.
- [2] 吴志玲,陈洪斌. $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ 工艺在水处理中的研究与应用进展[J]. 水处理技术,2013,39(9):1-4.



作者简介:栗文明(1983—),男,山西绛县人,高级工程师,研究方向为给水及废水处理技术。

E-mail:ubaf@qq.com

收稿日期:2016-09-11