

设计经验

AAO + MBR 组合工艺用于造纸、制药类工业废水的处理

宋田翼

(山东省城建设计院, 山东 济南 250000)

摘 要: 辽宁省新民市污水处理厂二期工程处理对象为新民市经济开发区范围内的工业废水(以造纸废水和制药废水为主),工程规模为 $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。工程采用芬顿氧化池/水解酸化池/AAO/MBR 膜组合工艺。造纸废水含有较高浓度的木质素、纤维素和树脂酸盐等较难生物降解的成分,且色度比较深。制药废水具有有机物浓度高、色度高、可生化性差、含难降解和对微生物有毒性的物质等特点。根据中试结果,确定采用芬顿氧化工艺,并对芬顿氧化放在生化处理之前、放在生化处理之后进行了试验对比,结果显示,芬顿氧化作为预处理放在生化处理之前,对 COD 的去除及提高后续可生化性更有贡献。该工程自 2017 年 12 月正式通水以来,最终出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准,运行稳定,效果良好。

关键词: 造纸废水; 制药废水; 芬顿氧化; AAO 工艺; MBR 工艺

中图分类号: TU993 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)18-0042-04

“AAO + MBR” Combination Process for the Treatment of Industrial Wastewater from Papermaking and Pharmaceutical Industry

SONG Tian-yi

(Shandong Urban Construction Design Institute, Jinan 250000, China)

Abstract: The influent of the second phase of Xinmin wastewater treatment plant in Liaoning Province was industrial wastewater (mainly papermaking wastewater and pharmaceutical wastewater) within the economic development zone. The project capacity was $30\,000 \text{ m}^3/\text{d}$. The main process of the project was Fenton oxidation/hydrolysis acidification/AAO/MBR film combination process. Papermaking wastewater contained relatively high concentration of lignin, cellulose and resin salts, which were more difficult to be biodegraded, and had a deep chroma. Pharmaceutical wastewater was characterized by high concentration organics, high chromaticity, poor biochemical properties, and contained substances that were difficult to be degraded and toxic to microorganisms. According to the results of the pilot test, Fenton oxidation was adopted. The comparison of Fenton oxidation before and after biochemical treatment was carried out. According to the experimental results, Fenton oxidation before biochemical treatment had better performance on the removal of COD and the improvement of subsequent bioavailability. Since the project was officially operated in December 2017, the final effluent had been meeting the first level A standard of *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918 - 2002), the performance of the process was stable and effective.

Key words: papermaking wastewater; pharmaceutical wastewater; Fenton oxidation; AAO process; MBR process

1 工程概况

辽宁省新民市污水处理厂一期工程(2009 年运行)处理对象为老城区的生活污水,规模为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

本次新设计的二期工程位于一期工程的南侧预留空地,占地约 3.5 hm^2 。二期工程规模为 $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,处理对象为经济开发区产生的工业废水,主要为造纸废水、化工制药废水。经济开发区内各企业废水先经过厂内预处理并达到市环保局规定的水质标准后,排入厂外市政污水管网。

造纸废水含有较高浓度的木质素、纤维素和树脂酸盐等较难生物降解的成分,且色度比较深。制药废水中难降解的有机物浓度高、色度高、可生化性差、含有对微生物有毒性的物质。对于这类工业废水,用于处理生活污水的一些常规、简单工艺几乎不起作用。故本工程通过以下途径解决:

① 在生化处理之前增加了芬顿高级氧化和水解酸化工艺,以提高污水可生化性。开展了中试对芬顿氧化放在生化处理之前、放在生化处理之后进

行对比,结果显示,芬顿氧化作为预处理放在生化处理之前,对 COD 的去除及提高后续可生化性更有贡献。

② 由于一期工程进水为生活污水,其生化性较好(B/C 值约为 0.45),设计时考虑将二期工程的进水(预处理后)和一期工程的进水进行部分互换,以提高二期工程污水的可生化性。

二期工程出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准,具体设计进、出水水质见表 1。

表 1 设计进、出水水质

Tab. 1 Design influent and effluent quality

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

| 项目 | COD | BOD ₅ | SS | NH ₃ -N | TN | TP |
|----|-----|------------------|-----|--------------------|-----|------|
| 进水 | 350 | 100 | 150 | 20 | 40 | 5 |
| 出水 | ≤50 | ≤10 | ≤10 | ≤5(8) | ≤15 | ≤0.5 |

2 工艺流程

本工程采用芬顿氧化池/水解酸化池/AAO/MBR 膜组合工艺,具体流程见图 1。

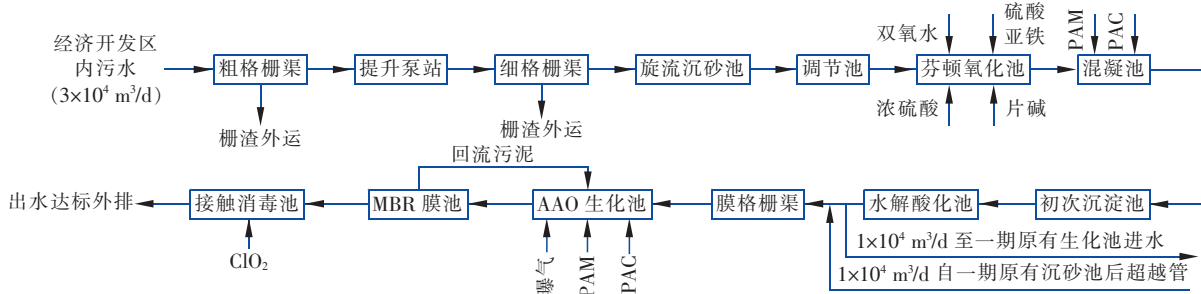


图 1 污水处理工艺流程

Fig. 1 Flow chart of wastewater treatment process

污泥处理具体工艺流程如图 2 所示。

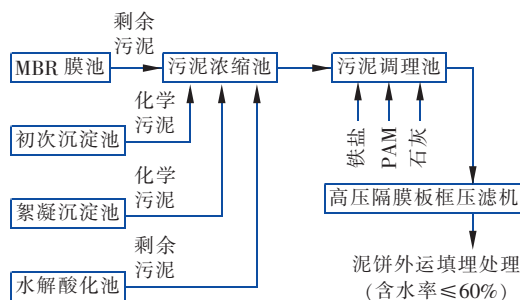


图 2 污泥处理工艺流程

Fig. 2 Flow chart of sludge treatment process

臭气处理采用生物滤池除臭系统,具体工艺流程如图 3 所示。

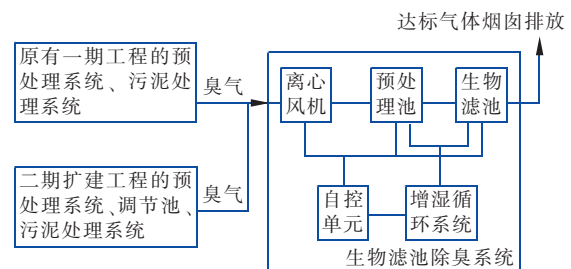


图 3 臭气处理工艺流程

Fig. 3 Flow chart of odor treatment process

3 主要构筑物设计参数

① 芬顿氧化池 1 座。前段为调酸池,中段为反应池(停留时间为 30 min),后段为调碱中和池。

根据中试结果,设计芬顿反应前、后的最佳 pH 值分别为 2.5~3 和 7~8,对应条件下 98% 浓硫酸和 NaOH 固体的投加量分别为 0.25 g/L 和 0.75 g/L。考虑去除效果和经济因素,设计双氧水及硫酸亚铁最适宜投加量分别为 1 mL/L 和 2 g/L。为防止沉淀积泥,池底采用穿孔管曝气搅拌,搅拌风量设计为 $6 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

② 混凝池 1 座 2 格。混合池混合时间为 60 s,设置 $N=3.0 \text{ kW}$ 桨式搅拌机 2 台。絮凝池反应时间为 11.5 min,设置 $N=0.75 \text{ kW}$ 、 $N=0.55 \text{ kW}$ 、 $N=0.37 \text{ kW}$ 的三级搅拌机各 2 台。混合池内投加助凝剂 PAM 和絮凝剂 PAC,投加量分别为 1 mg/L 和 10 mg/L。

③ 初次沉淀池 2 座。采用辐流式沉淀池,中心进水,周边出水。单池直径为 20 m,设计表面负荷为 $2.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。设置周边传动半桥刮泥机 2 台。

④ 水解酸化池 1 座 8 格,单格设计流量为 $156 \text{ m}^3/\text{h}$ 。有效水深为 6.0 m,上升流速为 1.5 m/h,污泥浓度为 15~20 g/L,停留时间为 8.0 h。设置脉冲布水器 8 套,单套布水量为 $160 \text{ m}^3/\text{h}$ 。为提高微生物浓度,池内悬挂立体弹性填料 $5\,040 \text{ m}^3$ 。

⑤ 二次提升泵池。本次二期工程水头不需要二次提升。由于一期工程进水为生活污水,其可生化性较好(B/C 值约为 0.45),设计时考虑将本次二期工程的进水(预处理后)和一期工程的进水进行部分互换,以提高二期工程污水的可生化性。本次设计二次提升泵池提升水量为 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,提升至一期生化池。

泵池与水解酸化池合建,设置轴流泵 2 台(1 用 1 备),1 台变频。单台轴流泵 $Q=520 \text{ m}^3/\text{h}$, $N=7.5 \text{ kW}$, $H=28 \text{ kPa}$ 。

⑥ 膜格栅渠 1 座 2 格,与 AAO 生化池合建。设置 2 台渠宽为 1 400 mm、栅缝为 2 mm 的膜格栅。

⑦ AAO 生化池 1 座 2 格,分为预缺氧厌氧池、缺氧池、好氧池。

a. 预缺氧厌氧池

前端设置预缺氧池,以强化系统脱氮功能并促进后面厌氧池的厌氧释磷。后端厌氧池内充分释放磷,为下一步除磷创造条件。采用完全混合式,设计水量为 $1\,250 \text{ m}^3/\text{h}$,有效容积为 $1\,868 \text{ m}^3/\text{座}$,有效水深为 5.60 m,MLSS 为 6 000 mg/L,停留时间为

3.0 h。池内设置 4 台低速潜水搅拌机,搅拌功率为 $5 \text{ W}/\text{m}^3$ 。

b. 缺氧池^[1]

缺氧池采用完全混合式,设计水量为 $1\,250 \text{ m}^3/\text{h}$,有效容积为 $1\,868 \text{ m}^3/\text{座}$,有效水深为 5.60 m,MLSS 为 6 000 mg/L,停留时间为 3.0 h。池内设置 4 台低速潜水搅拌机,搅拌功率为 $6.5 \text{ W}/\text{m}^3$ 。

c. 好氧池

好氧池采用推流式,设计水量为 $1\,250 \text{ m}^3/\text{h}$,有效容积为 $10\,176 \text{ m}^3/\text{座}$,有效水深为 5.50 m,MLSS 为 6 000 mg/L,停留时间为 8.1 h,污泥负荷为 $0.07 \text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLVSS} \cdot \text{d})$,污泥龄为 25 d。池内设微孔曝气管 1 676 根,曝气量为 $150 \text{ m}^3/\text{min}$,气水比为 7.2:1。

d. 污泥(混合液)回流系统设计

由于本工程生化池后为 MBR 膜池,回流混合液中溶解氧浓度较高,不能直接回流至厌氧池。根据生化池与膜组合工艺的经验,本次设计三级回流。一级回流为 MBR 膜池回流至好氧池,最大回流比 $R_1=350\%$,于 MBR 膜设备间内设置 $N=22 \text{ kW}$ 的轴流泵 3 台(2 用 1 备)。二级回流为好氧池回流至缺氧池,最大回流比 $R_2=150\%$,于好氧池内设置 $N=22 \text{ kW}$ 的轴流泵 2 台(1 用 1 备)。三级回流为缺氧池回流至厌氧池,最大回流比 $R_3=100\%$,于缺氧池内设置 $N=4 \text{ kW}$ 的 PP 穿墙泵 1 台。

⑧ MBR 膜池 1 座 5 格,设计 MLSS = 8 000 ~ 10 000 mg/L。设置 MBR 膜组件 80 套,单套 $Q=20 \text{ m}^3/\text{h}$,孔径 = 0.1 μm ,材质为 PVDF。

⑨ 接触消毒池 1 座,投加二氧化氯进行消毒,水力停留时间为 30 min。设计有效氯投加量为 15 mg/L。

⑩ 生物除臭系统 1 座,最大处理风量为 $16\,000 \text{ m}^3/\text{h}$,兼顾原一期工程。生物滤池滤料厚为 1.5 m,气体空床停留时间为 25 s。设置功率为 33 kW 的离心风机 1 台;配套设置循环泵、加湿泵、控制仪表。

4 运行效果及技术经济分析

① 运行效果

该工程于 2016 年 8 月开工,2017 年 12 月开始试运行和调试,2018 年 1 月—12 月的运行数据如表 2 所示。由表 2 可见,出水水质均达到了一级 A 排放标准。

表2 实际进、出水水质

Tab.2 Actual influent and effluent quality

| 项目 | COD | | BOD ₅ | | SS | | NH ₃ -N | | TN | | TP | |
|-----|-----|----|------------------|----|-----|----|--------------------|------|-------|------|------|------|
| | 进水 | 出水 | 进水 | 出水 | 进水 | 出水 | 进水 | 出水 | 进水 | 出水 | 进水 | 出水 |
| 1月 | 109 | 28 | 44 | 5 | 90 | 6 | 21.10 | 6.82 | 23.56 | 9.62 | 4.30 | 0.41 |
| 2月 | 115 | 32 | 46 | 5 | 98 | 6 | 21.22 | 5.12 | 23.78 | 8.33 | 3.27 | 0.39 |
| 3月 | 129 | 29 | 43 | 3 | 109 | 5 | 25.10 | 7.52 | 27.06 | 5.43 | 3.66 | 0.45 |
| 4月 | 139 | 33 | 65 | 5 | 111 | 5 | 18.52 | 0.92 | 25.37 | 4.43 | 3.57 | 0.42 |
| 5月 | 126 | 30 | 55 | 5 | 112 | 6 | 23.91 | 9.22 | 25.57 | 1.33 | 3.89 | 0.39 |
| 6月 | 116 | 31 | 33 | 5 | 115 | 6 | 19.90 | 8.82 | 22.17 | 4.03 | 3.80 | 0.45 |
| 7月 | 97 | 26 | 26 | 4 | 100 | 6 | 17.90 | 7.62 | 20.27 | 3.30 | 3.06 | 0.44 |
| 8月 | 89 | 23 | 26 | 4 | 90 | 5 | 19.40 | 5.72 | 20.85 | 5.58 | 3.00 | 0.44 |
| 9月 | 96 | 25 | 26 | 4 | 104 | 5 | 18.30 | 6.64 | 24.28 | 6.22 | 3.85 | 0.33 |
| 10月 | 97 | 24 | 28 | 5 | 99 | 4 | 20.60 | 8.32 | 26.78 | 9.93 | 3.10 | 0.38 |
| 11月 | 98 | 20 | 27 | 4 | 85 | 6 | 24.20 | 6.83 | 30.89 | 3.36 | 3.16 | 0.25 |
| 12月 | 149 | 26 | 37 | 4 | 92 | 4 | 23.41 | 1.48 | 33.29 | 4.73 | 3.71 | 0.30 |
| 标准 | — | 50 | — | 10 | — | 10 | — | 5(8) | — | 15 | — | 0.5 |

② 工程投资及运行费用

该工程总投资为9 862.90万元。其中第一部分费用为8 843.65万元,第二部分费用为484.52万元,基本预备费为466.41万元,流动资金为68.32万元。

实际运行经营成本为2.19元/m³,总成本为2.89元/m³,电耗为0.50 kW·h/m³。

5 技术特色

① 针对造纸制药废水较难生化处理的特点,设置了芬顿高级氧化工艺,并针对芬顿放在生化处理之前还是生化处理之后进行了专门的实验室试验。

② 本次设计了均匀布水的脉冲式水解酸化池,将难降解的非溶解性有机物转化为易降解的溶解性有机物,提高了可生化性,增加了反硝化需要的碳源,利于后续的好氧及脱氮处理。

③ 生化处理采用了结合膜分离技术与生物法的多相组合膜生物反应器工艺。该技术的特点是以超、微滤膜分离过程取代传统活性污泥处理过程中的泥水重力沉降分离过程,由于采用膜分离,因此可以保持很高的生物相浓度和优异的出水效果。

④ 由于一期工程进水为生活污水,其可生化性较好(B/C值约为0.45),设计时考虑将本次二期工程的进水(预处理后)和一期工程的进水进行部

分互换,以提高二期工程污水的可生化性。互换方式:一期工程现有沉砂池超越管出水自流至二期新建生化池前端,二期工程水解酸化池后出水经轴流泵提升至一期工程现有两座生化池前端。设计互换水量按1×10⁴ m³/d考虑,具体互换水量按照一期、二期工程实际进水水质情况进行调整,通过控制轴流泵及各段调水管道上的阀门开启程度完成。

6 结论

采用芬顿氧化/水解酸化/AAO生化/MBR膜工艺处理造纸废水和制药废水,出水水质稳定达标,安全可靠,可为类似经济开发区内的污水处理工艺设计提供经验。

参考文献:

[1] 孙慧修,郝以琼,龙腾锐. 排水工程[M]. 4版. 北京: 中国建筑工业出版社,1999.
Sun Huixiu, Hao Yiqiong, Long Tengrui. Drainage Engineering[M]. 4th ed. Beijing: China Architecture & Building Press,1999(in Chinese).



作者简介:宋田翼(1986—),男,山东兖州人,本科学历,高级工程师,国家注册公用设备工程师(给水排水),国家注册咨询工程师(投资),主要从事市政给水排水工程的设计及咨询工作,曾获国家优秀勘察设计成果奖三等奖1项,山东省优秀勘察设计成果奖一等奖1项、二等奖4项、三等奖2项,山东省优秀咨询成果奖三等奖2项,济南市优秀勘察设计成果奖一等奖1项、二等奖1项、三等奖1项。

E-mail: sty860115@163.com

收稿日期:2019-03-04