



青神县工业开发区污水处理厂设计与调试运行

戴红¹,王飞¹,秦川¹,刘杰²

(1.中国市政工程西南设计研究总院有限公司,四川成都 610081;

2.武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验,湖北武汉 430064)

[摘要] 青神县工业开发区污水处理厂进水水质复杂,难降解有机物含量较高且可生化性低,出水执行《四川省岷江、沱江流域污染物排放标准》(DB 51/2311—2016)。为使出水达到高标准排放,设计采用“水解酸化池+A²O/A-MBR+Fenton 流化床氧化系统+紫外消毒”处理工艺,设计规模为 3×10⁴ m³/d。介绍了该工程设计进出水水质指标、主要构筑物参数、工艺设计特点等。经过调试运行后,出水 COD 为 32~39 mg/L,出水 NH₃-N 为 0.11~0.19 mg/L,出水 TN 为 10.4~14.4 mg/L,出水 TP 为 0.11~0.18 mg/L。Fenton 氧化系统对 NH₃-N 去除效果显著,但对污水中 TN 基本无影响,Fenton 流化床系统的应用实现了化学降解有机物以及化学除磷。稳定运行 5 个月的出水水质可稳定达标排放。经测算,该工程合计运行成本(药剂费、电费、人工费)为 1.491 元/m³。

[关键词] 水解酸化;工业污水处理厂;A²O/A-MBR 工艺;Fenton 流化床系统

[中图分类号] X703 **[文献标识码]** B **[文章编号]** 1005-829X(2023)02-0172-06

Design and commissioning operation of WWTP in industrial development zone of Qingshen

DAI Hong¹, WANG Fei¹, QIN Chuan¹, LIU Jie²

(1. Southwest Municipal Engineering Design and Research Institute of China, Chengdu 610081, China; 2. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430064, China)

Abstract: The influent water quality of the WWTP in industrial development zone of Qingshen is complex, with high content of refractory organic matter and low biodegradability. The effluent implemented the Pollutant Discharge Standard in Minjiang and Tuojiang River Basins of Sichuan Province (DB 51/2311—2016). In order to make the effluent of the project reach a high standard of discharge, the WWTP with a design capacity of 3×10⁴ m³/d adopted the wastewater treatment process of hydrolysis acidification, A²O/A-MBR system, Fenton fluidized bed reactor and ultraviolet disinfection. The design influent and effluent quality, main structure parameters and process characteristics were introduced. After commissioning and operation, the effluent COD was 32–39 mg/L, the effluent NH₃-N was 0.11–0.19 mg/L, the effluent TN was 10.4–14.4 mg/L, and the effluent TP was 0.11–0.18 mg/L. The results showed that the Fenton fluidized bed reactor had a significant removal effect of NH₃-N, but basically had no effect on the change of TN. And the application of Fenton fluidized bed reactor realized chemical degradation of organic matter and chemical phosphorus removal. The effluent water quality of stable operation for 5 months could be discharged to the standard. After calculation, the total operating cost of pharmaceutical fee, electricity fee and labor fee was 1.491 yuan/m³.

Key words: hydrolysis acidification; industrial sewage treatment plant; A²O/A-MBR system; Fenton fluidized bed reactor

青神县开发区地处成都至乐山产业带,是四川省高新技术产业化基地、四川省小企业创业基地和四川省知识产权试点园区。园区现有 2 个工业污水

处理厂,其中核心区污水处理厂处理规模为 1 500 m³/d,西龙组团斑布产业园污水处理厂处理规模为 15 000 m³/d。现有污水处理设施存在处理规模

不足、处理标准亟待提高、处理设施散乱等问题,为适应产业布局及环保要求,开发区管委会决定新建青神县工业开发区污水处理厂。

1 项目概况

青神县工业开发区污水处理厂项目位于开发区斑布产业园,该项目主要接纳和处理工业开发区核心区机械产业园、西龙组团斑布产业园及黑龙组团丹甫科技公司、立白实业集团的工业废水及生活污水。根据青神县工业开发区用水、污水收集处理现状和发展规划,该工程远期设计规模为 $3\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,除部分构筑物($\text{A}^2/\text{O}/\text{A}$ 、MBR生化池、膜池及膜设备间、Fenton系统流化床氧化塔、二沉池)外,土建工程均一次性建成,近期按进水 $2\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 运行。

2 设计进出水水质与工艺流程

2.1 设计进出水水质

该工程收纳的污水类型包括竹浆造纸污水、洗涤剂生产废水以及机械加工废水等,各类污水水量各不相同且水质复杂。污水处理厂最大污水来源为西龙组团斑布产业园,根据现有污水处理厂运行数据,其进水COD为 $1\ 100\sim 1\ 200\text{ mg/L}$,进水 BOD_5 为 $320\sim 380\text{ mg/L}$,进水COD及悬浮物含量较高且 BOD_5/COD 较低。为使污水处理厂的出水水质达标

排放,需保证进水水质稳定且具有适当的可生化性,经环保主管部门批准,该污水处理厂进水COD设定为 700 mg/L 。

近年来岷江流域水体污染严重,总磷超标显著,青神县属于重点控制区域,该工程执行《四川省岷江、沱江流域污染物排放标准》(DB 51/2311—2016),设计污水处理厂出水氨氮执行地表水Ⅳ类水质质量标准($\leq 1.5\text{ mg/L}$),出水总磷执行地表水Ⅲ类水质质量标准($\leq 0.2\text{ mg/L}$)。工业废水中常规污染物质,如pH、 BOD_5 、SS、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、总磷、总氮等,需同时达到《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015)、《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)三级排放标准后方可外排。

本工程设计进出水水质见表1。

表1 设计进出水水质

Table 1 Design of influent and effluent quality

指标	进水	出水
$\text{COD}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	700	≤ 40
$\text{BOD}_5/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	300	≤ 10
$\text{SS}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	400	≤ 10
$\text{NH}_3\text{-N}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	20	≤ 1.5
$\text{TN}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	35	≤ 15
$\text{TP}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	5	0.2

2.2 工艺流程

本工程设计工艺流程见图1。

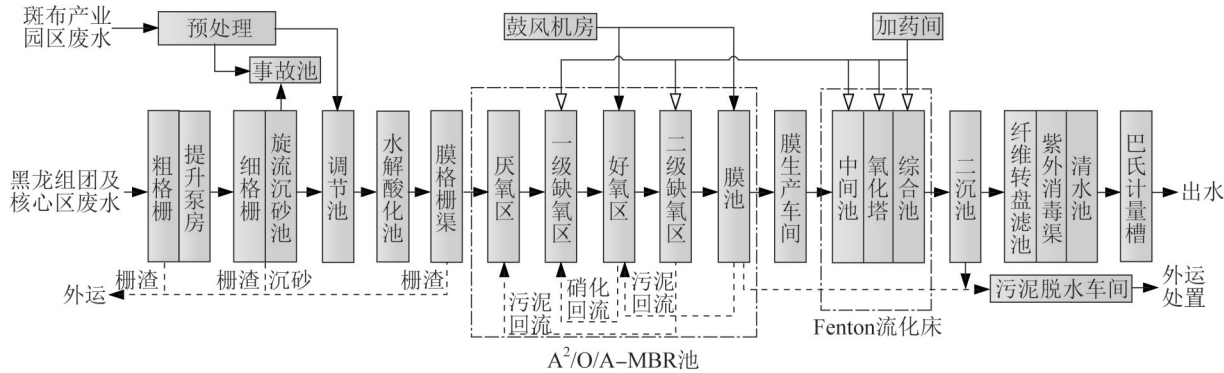


图1 工艺流程

Fig. 1 Process flow

由于该工程处理的工业污水水质复杂、进水COD较高且难降解有机物含量高,同时考虑到企业废水预处理实际可生化性较低,为提高废水可生化性,一方面通过设置调节池均衡进水的水质水量,另一方面采用水解酸化工艺进行预处理,且水解酸化工艺和其他工艺的组合可以显著降低处理成本、提

高处理效率。生化处理工艺采用 $\text{A}^2/\text{O}/\text{A}$ +MBR工艺, $\text{A}^2/\text{O}/\text{A}$ 工艺可有效提高TN、TP的去除率,具有节省能耗、运行费用低、适应水质变化、耐冲击负荷能力强的优点,易实现自动化控制;MBR工艺装置占地面积小、产泥量小、土地利用率高,与 $\text{A}^2/\text{O}/\text{A}$ 工艺联用能保证出水水质优且稳定,降低后续处理工

艺的处理负荷。为进一步去除难降解的BOD、COD及TP,经技术经济比较后,采用Fenton流化床深度处理工艺,其具有氧化能力强、适应水质能力强、投资少、工程设计简单、技术比较成熟等特点。Fenton流化床可去除废水中的难降解有机物,但不能去除TN,若将Fenton流化床作为前段工艺将导致后续脱氮需要投加大量碳源,药剂耗量较大;而作为深度处理工艺,可通过调节加药量控制出水水质,提高污水处理厂抗冲击负荷能力。同时Fenton流化床作为深度处理工艺,反应过程中已经发生了化学氧化和絮凝,不需要再采用混凝沉淀和高效沉淀工艺,因此可采用辐流式沉淀池(二沉池)作为Fenton系统的固液分离构筑物。由于本项目采用了膜处理工艺,出水悬浮物浓度很低,Fenton流化床氧化工艺可有效去除废水中的色度,纤维转盘滤池可进一步去除出水悬浮物。出水消毒采用紫外消毒法。

本工程采用了MBR工艺,同时污水处理规模较小,污泥主要来自膜池及二沉池,污泥量较少。为简化管理,污泥处理采用浓缩脱水一体机进行浓缩脱水,并经危废检测后进行资源化利用。

3 主要构筑物

3.1 旋流沉砂池、调节池

旋流沉砂池可有效去除污水中的砂及浮渣,使无机砂粒与有机物分离,便于后续生物处理。单池设计最大流量为 $208.33 \text{ m}^3/\text{h}$,尺寸为 $D 2.13 \text{ m} \times 2.80 \text{ m}$,共2池。设旋流除砂器2套, $N=1.1 \text{ kW}$;配套风机 $Q=1.7 \text{ m}^3/\text{min}$, $P=39.2 \text{ kPa}$, $N=2.2 \text{ kW}$ 。设螺旋砂水分离机2套, $Q=5\sim 12 \text{ L/s}$, $N=0.37 \text{ kW}$ 。

调节池设计规模为 $3.0 \text{ 万 m}^3/\text{d}$,尺寸为 $39.9 \text{ m} \times 32.9 \text{ m} \times 8.4 \text{ m}$,设计总停留时间为8 h。设有搅拌器和潜污泵,以防止污泥沉降板结以及发生厌氧消化,均衡污水水质水量并提升污水。设潜水混流泵3台(2用1冷备),单泵 $Q=907 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=9.5 \text{ m}$, $N=37 \text{ kW}$;设双曲面搅拌机14台(12用2冷备),叶轮 $D=2.0 \text{ m}$, $N=3.0 \text{ kW}$ 。

3.2 水解酸化池、膜格栅渠

水解酸化法适用于COD较高的工业废水的预处理,可将难降解大分子有机物转变为小分子有机物、悬浮性有机物转变为可溶性有机物。为有效降低MBR池膜阻塞及膜污染、提高膜组件的寿命及利用率,考虑新建膜格栅渠并与水解酸化池合建,设计

规模为 $3.0 \text{ 万 m}^3/\text{d}$,总尺寸为 $28.3 \text{ m} \times 46.6 \text{ m} \times 9.3 \text{ m}$ 。设排泥泵2台, $Q=40 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=10 \text{ m}$, $N=2.2 \text{ kW}$ 。设转鼓膜格栅3套,栅筒 $D=1400 \text{ mm}$,栅隙 $w=1 \text{ mm}$, $N=2.5 \text{ kW}$ 。

3.3 A²O/A生化池+MBR膜池

组合池设计规模为 $2.0 \text{ 万 m}^3/\text{d}$,总尺寸为 $86.3 \text{ m} \times 36.5 \text{ m} \times 7.3 \text{ m}$,有效水深为 $6.5\sim 6.7 \text{ m}$,分2组。组合池总停留时间为18.1 h,其中厌氧区停留时间1.8 h、一级缺氧区停留时间3.4 h、好氧区停留时间9.1 h、二级缺氧区停留时间2.0 h、膜池停留时间1.8 h。设计泥龄16 d,单位MLSS污泥BOD₅负荷为 $0.04 \text{ kg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$,膜池至好氧区污泥回流比为400%,二级缺氧区至厌氧区污泥回流比为200%,好氧区至一级缺氧区硝化液回流比为300%。厌氧区设4套潜水搅拌机, $N=3.0 \text{ kW}$;缺氧区设4套潜水搅拌机, $N=7.5 \text{ kW}$;膜池设污泥回流泵3台(2用1备), $Q=1667 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=1.0 \text{ m}$, $N=10 \text{ kW}$;好氧区设混合液回流泵4台(2用2备), $Q=1250 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=1.0 \text{ m}$, $N=5 \text{ kW}$;二级缺氧区设污泥回流泵4台(2用2备), $Q=834 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=1 \text{ m}$, $N=4 \text{ kW}$;二级缺氧区设2台潜水推流器,2用1冷备, $N=4.0 \text{ kW}$;膜组件32套,处理水量 $Q=26 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

3.4 Fenton系统中间池、流化床氧化塔、综合池

Fenton系统可实现COD及TP的进一步去除,提高出水水质。中间池1座,分3格(近期2格运行,预留远期1格),每格设计规模 $1.0 \text{ 万 m}^3/\text{d}$,每格分4区,总尺寸为 $16.2 \text{ m} \times 18.5 \text{ m} \times 3.4 \text{ m}$,有效水深为 2.5 m 。设机械混合搅拌机1台,混合时间 $t=500 \text{ s}$,功率 $N=7.5 \text{ kW}$;设反应搅拌机2台, $N=1.1 \text{ kW}$,桨叶外缘线速度 $0.4\sim 0.5 \text{ m/s}$ 。

近期新建2座Fenton系统流化床氧化塔,每座设计规模 $1.0 \text{ 万 m}^3/\text{d}$,近期1座运行,预留远期1座,停留时间20.94 min。总尺寸为 $15.68 \text{ m} \times 27.64 \text{ m} \times 12.90 \text{ m}$,包括氧化塔主体及晶体暂存池。设循环泵4台(2用2备), $Q=300 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=18 \text{ m}$, $N=22 \text{ kW}$;设集水坑潜污泵2台(1用1备), $Q=27.5 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=10 \text{ m}$, $N=1.5 \text{ kW}$ 。

新建1座Fenton系统综合池,分3格(近期2格运行,预留远期1格),每格设计规模 $1.0 \text{ 万 m}^3/\text{d}$,每格分为中和池、脱气池及助凝池;尺寸为 $11.7 \text{ m} \times 23.1 \text{ m} \times 3.9 \text{ m}$,总停留时间为31.75 min。中和池设

机械混合搅拌器2台,每台混合时间 $t=300\text{ s}$, $N=7.5\text{ kW}$;脱气池设搅拌机2台, $N=0.37\text{ kW}$,桨叶外缘线速度 $0.1\sim 0.2\text{ m/s}$;助凝池设反应搅拌机2台,其中1台 $N=0.55\text{ kW}$,桨叶外缘线速度 $0.4\sim 0.5\text{ m/s}$,另1台 $N=0.37\text{ kW}$,桨叶外缘线速度 $0.1\sim 0.2\text{ m/s}$ 。

3.5 二沉池

采用周边进水、周边出水的辐流式沉淀池作为二沉池。近期新建2座,每座设计规模 $1.0\text{ 万 m}^3/\text{d}$,每座二沉池内径 28.0 m ,水深 5.04 m ,设计最大表面负荷为 $0.88\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$;每座二沉池设中心传动刮吸泥机1台。

3.6 纤维转盘滤池

纤维转盘滤池设于二沉池之后,对污水进行过滤,使出水中SS达到排放标准,并满足紫外消毒工艺要求。纤维转盘滤池设计规模 $2.0\text{ 万 m}^3/\text{d}$,总尺寸为 $8.3\text{ m}\times 8.2\text{ m}\times (4.7+4.8)\text{ m}$,分2格,设计最大固体负荷为 $5.91\text{ kg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 。设滤布转盘2套, $D=3.0\text{ m}$ 。

3.7 紫外消毒渠、巴氏计量槽

紫外消毒渠设计规模 $3.0\text{ 万 m}^3/\text{d}$,平面尺寸 $B\times L=1.0\text{ m}\times 6.3\text{ m}$,消毒设备分期安装。巴氏计量槽按远期规模设计,设1套,流量为 $3.5\sim 400\text{ L/s}$ 。

3.8 加药间

加药间土建按远期规模 $3.0\text{ 万 m}^3/\text{d}$ 设计,平面尺寸为 $25.0\text{ m}\times 15.0\text{ m}\times 9.0\text{ m}$ 。根据各工艺需求设硫酸亚铁、双氧水、碳源(乙酸钠)、PAM投加系统及浓硫酸、氢氧化钠投加系统。

(1)硫酸亚铁加药系统、双氧水投加系统。硫酸亚铁投加于Fenton流化床氧化塔,用于与双氧水反应产生羟基自由基。硫酸亚铁溶液质量分数为30%,投加量为 $1\,501\text{ L/h}$;近期安装计量泵4台(近期2用2备,远期3用3备), $Q=5\text{ m}^3/\text{h}$, $H=20\text{ m}$, $N=3.7\text{ kW}$ 。双氧水质量分数为30%,投加量为 187.69 L/h ;安装加药计量泵4台(2用2备), $Q=30\sim 1\,000\text{ L/h}$, $P=0.5\text{ MPa}$, $N=1.5\text{ kW}$ 。

(2)碳源投加系统。当进水水质 $\text{BOD}_5/\text{TP}/\text{C}/\text{N}$ 小于设计值时,易造成出水TP、TN不达标的现象,因此在进水碳源不足时,应适当投加碳源,确保出水达标。碳源采用固体乙酸钠溶解后投加,乙酸钠质量分数为20%,废水的硝态氮去除量取 $8\text{ g}/\text{m}^3$,去除单位 NO_3^--N 的碳源投加量为 $5.7\text{ mg}/\text{mg}$ 。安装一体化乙酸钠制备装置1套,制备能力为 $1\,000\text{ L/h}$, $N=1.5\text{ kW}$;近期安装

计量泵3台(近期2用1备,远期3用2备), $Q=0\sim 500\text{ L/h}$, $P=0.4\sim 1.2\text{ MPa}$, $N=1.5\text{ kW}$,变频。

(3)PAM投加系统。PAM设计投加量为 3 mg/L 。安装一体化溶解加药装置1台,干粉投药能力为 3 kg/h , $N=2.92\text{ kW}$;PAM投加螺杆泵3台(2用1备), $Q=250\text{ L/h}$, $P=0.6\text{ MPa}$, $N=0.67\text{ kW}$;在线稀释装置4套,单套设计流量为 $540\sim 5\,400\text{ L/h}$ 。

(4)浓硫酸、氢氧化钠加药系统。浓硫酸及氢氧化钠分别投加于Fenton系统中间池,调节污水pH,促成反应进行。浓硫酸浓度为 18.40 mol/L ,投加量为 136.00 L/h ,目标pH为3.0;安装计量泵4台(2用2备), $Q=30\sim 1\,000\text{ L/h}$, $H=25\text{ m}$, $N=0.37\text{ kW}$ 。氢氧化钠溶液质量分数为30%,投加量为 83.53 L/h ,目标pH为7.0;安装计量泵4台(2用2备), $Q=12\sim 1\,000\text{ L/h}$, $H=25\text{ m}$, $N=1.5\text{ kW}$ 。

4 工艺特点分析

4.1 采用水解酸化池提高废水可生化性

本工程最主要的废水来源为造纸废水,污水 BOD_5/COD 较低,可生化性较差,且色度较高,纤维素、木质素等悬浮物含量较高。采用水解酸化工艺,兼性菌可实现将难降解大分子有机物转化为小分子有机物、悬浮性有机物转化为可溶性有机物,进而提高 $\text{BOD}_5/\text{COD}^{[1]}$,降低后续生化处理单元的负荷并使出水水质达标。潮阳区纺织印染环保综合处理中心污水处理厂采用水解酸化作为预处理工艺,水力停留时间为 12 h ,经水解酸化处理后,出水COD降至约进水的50%,污水可生化性明显提高,污水处理厂出水水质优于行业标准^[2]。

4.2 采用 $\text{A}^2/\text{O}/\text{A}+\text{MBR}$ 工艺脱氮除磷

(1)根据去除污水中不同污染物的要求, $\text{A}^2/\text{O}/\text{A}$ 工艺设置厌氧区、一级缺氧区、好氧区、二级缺氧区,膜池也可起到好氧池的作用。本工程共设置3段回流:第1段由膜池回流污泥至好氧区前端,以维持好氧区的污泥浓度,同时膜池污泥处于内源代谢阶段,回流可强化好氧区的脱氮除磷能力,污泥回流比为400%;第2段由好氧区末端回流硝化混合液至一级缺氧区前端,实现反硝化脱氮,混合液回流比为300%;第3段由二级缺氧池末端回流污泥至厌氧池进水端,维持厌氧池污泥浓度,该段混合液硝态氮浓度最低,降低了硝酸盐对厌氧除磷的限制,通过设置多点进水,反硝化反应可利用进水中的碳源,保证厌

氧条件下聚磷菌对碳源的需要,该段污泥浓度高,可减少回流污泥量,节省能耗,污泥回流比为200%。 $A^2/O/A$ 与MBR联用可大大提高氨氮的去除效率,同时防止污泥膨胀的发生。

(2)生化池及MBR池保持了较高的污泥浓度(6~10 g/L),污水中BOD负荷率较低,出水水质优;同时高浓度污泥生物多样性丰富,为形成各种生化反应创造了条件。

4.3 采用Fenton流化床深度处理工艺

经验表明,含造纸废水的工业污水经传统厌氧、好氧处理及投加絮凝/混凝剂处理后,出水COD仍难以降至50 mg/L以下。Fenton流化床工艺利用高反应活性、强氧化性的羟基自由基发生链式反应,同时诱导自身形成触媒晶体进行催化反应,将大分子难降解有机物氧化成小分子有机物,使得出水COD显著降低。越南某工业园区污水经二级生化处理后出

水COD为100~130 mg/L,经Fenton流化床系统处理后出水COD降至35~45 mg/L^[3]。Fenton流化床工艺可通过化学方法提高除磷率,同时Fenton流化床工艺还可有效去除废水色度,马厚悦等^[4]采用Fenton流化床深度处理制浆造纸废水,COD去除率可达90%以上,色度去除率可达99%以上。

5 运行效果分析

5.1 调试期间运行效果

该工程于2021年10月开始调试运行,经30 d调试后,出水水质、回流量、污泥龄等指标基本达到设计要求。调试运行期间,该工业污水处理厂实际进水量为16 000~18 000 m³/d。根据建设单位统计,工业废水排放量约为14 000~16 000 m³/d,园区生活污水排放量约为2 000 m³/d。由于部分相应配套公共服务设施仍在建设中,因此整个开发区生活污水量较少。调试过程最后7 d的实际进出水水质见表2。

表2 调试过程中进出水水质

Table 2 Influent and effluent quality during commissioning

时间	进水				生化池出水				Fenton系统出水			
	COD	NH ₃ -N	TN	TP	COD	NH ₃ -N	TN	TP	COD	NH ₃ -N	TN	TP
11月2日	593	18.6	33.6	3.6	83	0.5	10.8	1.17	35	0.11	10.7	0.12
11月3日	645	20.4	34.5	4.3	92	0.7	12.8	1.29	37	0.16	12.7	0.15
11月4日	567	15.2	28.5	3.8	75	0.5	10.2	1.06	32	0.12	10.4	0.11
11月5日	622	21.3	34.6	3.9	80	0.6	11.5	1.23	37	0.14	11.4	0.16
11月6日	605	15.7	29.4	4.2	79	0.7	13.0	1.34	34	0.18	13.2	0.15
11月7日	638	17.1	32.3	3.8	87	0.8	13.2	1.38	36	0.17	13.1	0.17
11月8日	661	23.2	34.7	4.5	95	1.0	14.5	1.45	39	0.19	14.4	0.18

注:所有指标单位均为mg/L。

由表2数据可以得出,调试运行后出水主要污染物指标均能满足设计出水水质要求且出水水质稳定,出水COD为32~39 mg/L, NH₃-N为0.11~0.19 mg/L, TN为10.4~14.4 mg/L, TP为0.11~0.18 mg/L。

5.2 Fenton流化床系统效果

对进出水水质数据取平均绘制工艺整体运行效果图,结果见图2。

由图2可知,工业污水经生化工艺处理后,出水NH₃-N小于1.5 mg/L,出水TN小于15 mg/L,已达到出水标准;Fenton系统出水NH₃-N降至0.2 mg/L以下,出水TN与生化工艺处理后基本一致,分析原因,Fenton系统羟基自由基的强氧化性可将NH₃-N氧化为NO₃⁻-N,使得NH₃-N进一步降低,但对污水中TN的变化基本无影响。生化工艺处理后出水COD为

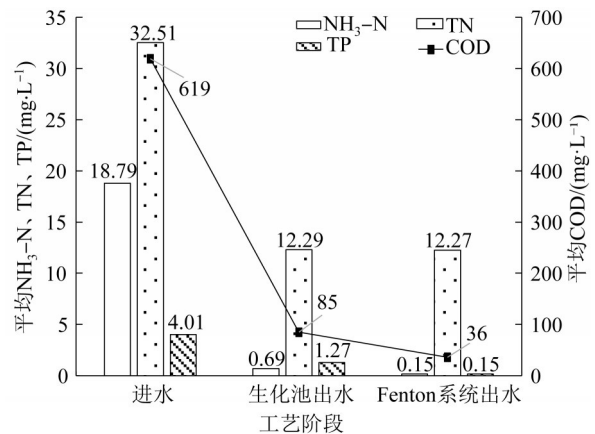


图2 调试运行期工艺运行效果

Fig. 2 System operation effect during commissioning

75~95 mg/L,出水TP为1.0~1.5 mg/L,未达到出水标准;Fenton系统出水COD降至40 mg/L以下,出水TP

降至0.2 mg/L以下。该工程接纳污水水质复杂且难降解有机物含量较高,Fenton流化床系统的应用实现了化学降解有机物以及化学除磷。

5.3 稳定运行时进出水水质、加药量及运行费用

该项目自2021年11月实现稳定运行后,月平均进出水水质见表3。稳定运行后出水水质长期稳定,可达标排放。

表3 稳定运行时平均进出水水质

Table 3 Average influent and effluent quality of the system after stable operation

时间	平均进水水质/(mg·L ⁻¹)				平均出水水质/(mg·L ⁻¹)			
	COD	NH ₃ -N	TN	TP	COD	NH ₃ -N	TN	TP
2021年11月	623	23.4	31.5	4.2	37	0.16	13.1	0.16
2021年12月	604	21.5	30.6	4.0	36	0.14	12.8	0.15
2022年1月	562	17.6	28.7	3.7	32	0.13	12.8	0.13
2022年2月	584	18.8	29.6	3.9	34	0.13	11.2	0.14
2022年3月	657	24.5	33.2	4.3	38	0.18	13.4	0.18

本工程污水处理厂总用地面积为32 180 m²,工程总投资29 282.89万元。6种药剂总费用为0.574元/m³(表4),电费为0.748元/m³,人工费为0.169元/m³,综合运行成本合计1.491元/m³。

表4 药剂费用分析

Table 4 Analysis of pharmaceutical costs

药剂名称	乙酸钠	硫酸亚铁	30%过氧化氢	PAM	98%浓硫酸	30%氢氧化钠
废水加药量/(kg·m ⁻³)	0.041	0.186	0.118	0.002 7	0.167	0.103
单价/(元·kg ⁻¹)	4	0.45	1	22	0.4	0.8
药剂费用/(元·m ⁻³)	0.164	0.084	0.118	0.059	0.067	0.082

6 结论

(1)基于青神县工业开发区污水处理厂进水水质复杂、难降解有机物含量较高且可生化性低的特点,设计采用“水解酸化池+A²O/A-MBR+Fenton流化床氧化系统+紫外消毒”处理工艺,工程远期设计规模为3×10⁴ m³/d。

(2)经过调试运行后,出水COD为32~39 mg/L,出水NH₃-N为0.11~0.19 mg/L,出水TN为10.4~14.4 mg/L,出水TP为0.11~0.18 mg/L。稳定运行5个月的出水水质可稳定达标排放。Fenton氧化系统对NH₃-N去除效果显著,但对污水中TN基本无影响;Fenton流化床系统的应用实现了化学降解有机物以及化学除磷。

(3)本工程项目稳定运行后,合计运行成本(药剂费、电费、人工费)为1.491元/m³。

(4)该工程对控制岷江流域生态环境日趋恶化的势头、恢复和改善生态环境起到了重要作用,对促进园区建设的可持续发展具有深远意义。

参考文献

- [1] 梁汀,陆冬平,蒋岚岚.城市污水处理厂水解酸化工艺设计体会[J].中国给水排水,2009,25(20):31-33.
LIANG Ting, LU Dongping, JIANG Lanlan. Design of hydrolysis acidification process in wastewater treatment plant[J]. China Water & Wastewater, 2009, 25(20): 31-33.
- [2] 周华,夏海波,张和英.水解酸化-MBR-臭氧工艺在印染废水处理中的应用[J].给水排水,2021,57(9):81-84.
ZHOU Hua, XIA Haibo, ZHANG Heying. Treatment of dyeing wastewater by combination of hydrolysis acidification-MBR-O₃[J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 57(9): 81-84.
- [3] 郑利,郑鹏飞,郑翔,等.芬顿-流化床技术在废纸造纸废水深度处理上的应用[J].给水排水,2021,57(1):108-111.
ZHENG Li, ZHENG Pengfei, ZHENG Xiang, et al. Fenton-FBR application in wastewater advanced treatment in waste paper pulping[J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 57(1): 108-111.
- [4] 马厚悦,刘燕韶,许修祯.Fenton流化床氧化技术在制浆造纸废水深度处理中的应用[J].中国造纸,2014,33(8):35-39.
MA Houyue, LIU Yanshao, XU Xiuzhen. Application of Fenton fluidized-bed oxidation techniques in the advanced treatment of pulping and papermaking effluent[J]. China Pulp & Paper, 2014, 33(8): 35-39.

[作者简介] 戴红(1977—),高级工程师。E-mail:474491334@qq.com。通讯作者:王飞,工程师。E-mail:2304155711@qq.com。

[收稿日期] 2022-12-14(修改稿)