

工程实例

印染工业废水脱氮在绍兴污水处理厂的设计与应用

蔡芝斌

(绍兴水处理发展有限公司, 浙江 绍兴 312074)

摘要: 针对绍兴水处理发展有限公司印染废水总氮高,生化处理总氮去除率低和出水总氮指标不稳定等主要问题,开展源头管控,对现有处理系统进行优化调整,新建反硝化滤池脱氮系统,使处理后总氮指标达到《纺织染整工业水污染物排放标准》(GB 4287—2012)中 $TN \leq 15 \text{ mg/L}$ 要求,实现了达标稳定运行。

关键词: 印染废水; 反硝化滤池; 总氮; 源头管控; 碳源

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)14-0076-05

Design and Application of Nitrogen Removal Project for Printing and Dyeing Wastewater in Shaoxing WWTP

CAI Zhi-bin

(Shaoxing Water Treatment Development Co. Ltd., Shaoxing 312074, China)

Abstract: Aiming at the problems such as high influent total nitrogen (TN) concentration, low TN biochemical removal rate and unstable effluent TN concentration in Shaoxing WWTP, source control was carried out and the existing process was optimized. A new denitrifying filter system was constructed. As a result, the effluent TN was no more than 15 mg/L , which could meet *Discharge Standards of Water Pollutants for Dyeing and Finishing of Textile Industry* (GB 4287-2012) to achieve stable operation.

Key words: printing and dyeing wastewater; denitrifying filter; total nitrogen; source control; carbon source

绍兴水处理发展有限公司的污水处理能力为 $90 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,其中一期工程于 2001 年建成投运,设计规模为 $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$;二期工程于 2003 年建成投运,设计规模为 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$;三期工程于 2008 年建成投运,设计规模为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}^{[1-3]}$ 。从 2013 年起,开始实施污水分质提标和印染废水集中预处理工程,对印染废水和生活污水分开处理。生活污水的出厂水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准;印染废水集中预处理出水水质执行《纺织染整工业水污染物排放标准》(GB 4287—2012)的间接排放标准($COD \leq 200 \text{ mg/L}$, $TN \leq 30 \text{ mg/L}$);印染废水深度处

理后的出水水质执行《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)的一级标准,其中 $COD \leq 80 \text{ mg/L}$ 、 $TN \leq 15 \text{ mg/L}$ 。

根据近年监测统计资料,2015 年二、三期集中预处理工程进水总氮大多为 $80 \sim 100 \text{ mg/L}$,2016 年平均在 80 mg/L ,出水总氮基本为 $45 \sim 55 \text{ mg/L}$ 。与《纺织染整工业水污染物排放标准》(GB 4287—2012)的 30 mg/L 存在较大差距,为此开展了印染工业废水脱氮工程设计。该工程投资总计约为 3.9 亿元。

1 总体设计思路

该工程进水总氮平均高达 80 mg/L ,要满足出

水总氮达标排放,必须以源头控制为主,同时辅以污水处理厂内部优化改造,以及增加脱氮工艺等措施加以解决。

1.1 源头控制

根据最新的《纺织染整工业水污染物排放标准》(GB 4287—2012)中企业间接排放的要求,总氮的排放标准为 30 mg/L。要控制集中预处理工程出水总氮,就必须控制污水厂进水总氮的浓度,严格控制企业总氮的排放。

1.2 主要工艺

反硝化滤池是近年在国内应用较多的去除总氮比较有效的工艺^[4-7]。从 2015 年起,绍兴水处理发展有限公司就针对去除 TN 的问题进行了中试。向二沉池的出水投加乙酸钠,经过反硝化深床滤池处理后,出水 TN 能够从进水的 45 mg/L 降到 25 mg/L 左右。根据工程实际应用经验,一般反硝化滤池的总氮去除能力为 5~20 mg/L。为了确保集中预处理出水总氮的达标,一方面需要对自身处理系统进行挖潜改造,对生化系统投加碳源,提高对总氮的去除率;另一方面需要加强源头控制,限制企业总氮的

排放,降低污水厂集中预处理进厂总氮的浓度。同时考虑集中预处理工程对总氮的去除率,可适当放宽进厂管总氮的指标,建议集中预处理进厂管总氮控制在 45 mg/L 以内,从而保证集中预处理工程出水总氮达标(≤ 30 mg/L),最后满足工业废水脱氮工程总氮的提标要求(≤ 15 mg/L)。

1.3 设计规模

二期工程现有最大处理规模为 40×10^4 m³/d,三期工程现有设计规模为 20×10^4 m³/d,因此总的进水规模为 60×10^4 m³/d。

本方案最终按污水处理规模为 60×10^4 m³/d 进行设计。

1.4 脱氮工艺路线

工业废水脱氮工程总体工艺路线为厂外企业排放废水经过集中预处理二期、三期工程(调节池、生物氧化池、沉淀池)处理后,进入新建反硝化脱氮系统(中间提升泵站、反硝化滤池),脱氮后进入气浮池,由泵输送到钱塘江。

该工业废水脱氮工程的总体工艺流程具体如图 1 所示。

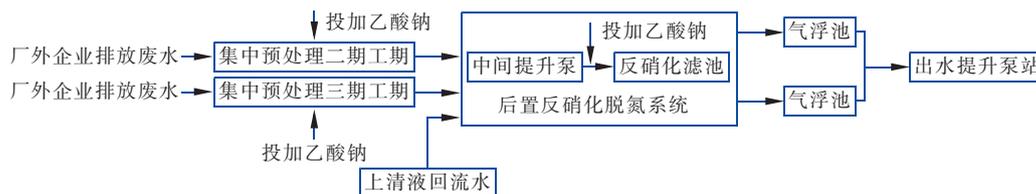


图1 工业废水脱氮工程总体工艺流程

Fig.1 Flow chart of nitrogen removal process for industrial wastewater treatment

工业废水脱氮工程设计源头 TN 控制在 45 mg/L 以下,二、三期集中预处理工程出水总氮 ≤ 30 mg/L,调整生化池的运行方式,按接近 A/O 的方式运行,同时对生化系统补充碳源,将进水的总氮由不高于 45 mg/L 降至 30 mg/L 以下。二、三期深度处理工程出水总氮 ≤ 15 mg/L,采用后置反硝化工艺,将进水的总氮由不高于 30 mg/L 降至 15 mg/L 以下,最终达到下一步总氮提标的目标。

2 反硝化滤池设计

2.1 脱氮工艺流程

新增的反硝化滤池系统由混合池、提升泵站、反硝化滤池、清水池、鼓风机房、废水池、碳源投加系统等组成。

反硝化滤池系统工艺流程如图 2 所示。

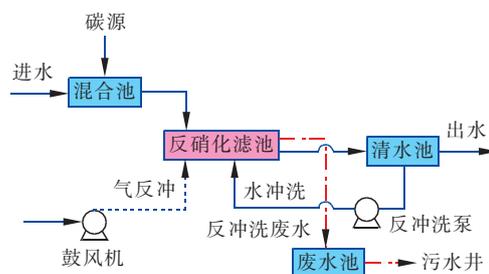


图2 反硝化滤池系统工艺流程

Fig.2 Flow chart of denitrification filter system

2.2 主要构筑物及设备

① 反硝化滤池提升泵站

反硝化深床滤池提升泵站负责将二期二沉池的出水提升送入后续的反硝化处理系统。二期设计规模为 40×10^4 m³/d,三期设计规模为 20×10^4 m³/d。

以 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 为一组,泵房尺寸为 $26.4 \text{ m} \times 20.2 \text{ m} \times 6.0 \text{ m}$,设置6台潜污泵,4用2备,全部变频。单泵: $Q=2750 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=60 \text{ kPa}$, $N=75 \text{ kW}$ 。为方便检修水泵,设置一台单梁悬挂起重机,起质量为5 t,起升高度为10 m,跨度为6.0 m。配电所及值班控制室等附属房间面积约 300 m^2 。

② 反硝化滤池

反硝化滤池主要技术参数见表1。

表1 反硝化滤池主要技术参数

Tab.1 Main technical parameters of denitrification filter

项 目	单组滤池参数
单组滤池设计规模/ ($10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	20
平均设计流量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$	8 333
峰值设计流量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$	10 833
滤池数/格	20
运行控制方式	恒水位和变液位兼具
设计水温/ $^{\circ}\text{C}$	25 ~ 35
平均流量滤速/ $(\text{m} \cdot \text{h}^{-1})$	≤ 4.16 (最高 5.41)
硝态氮去除负荷/ ($\text{kgNO}_3^- - \text{N} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$)	≤ 0.613
滤池总水头损失/kPa	≤ 29
碳源投加	采用前馈+后馈形式控制,确保出水 BOD_5 、 COD 不升高
反洗水用水量/%	≤ 5
工作制/ $(\text{h} \cdot \text{d}^{-1})$	24
反冲洗过程	①气洗 3 ~ 5 min;②气水联合冲洗 15 ~ 20 min;③水漂洗 5 min
反冲洗强度	气洗 $110 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 水洗 $15 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$
反冲洗频率/ $(\text{h} \cdot \text{格}^{-1})$	24
驱氮水冲洗强度/ ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)	15
驱氮水冲洗频次/ (次·池 $^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)	4 ~ 12

反硝化滤池设计规模为 $60 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,分3组设计,单座滤池尺寸为 $67.6 \text{ m} \times 43.4 \text{ m}$ 。设计滤速为 5.0 m/h ,滤料有效高度为 2.44 m ,单组池为20格。滤砖采用内充混凝土滤砖(T型)或S型滤砖(HDPE材质)。滤料采用粒径为 $1.70 \sim 3.35 \text{ mm}$ 石英砂。

滤池采用定期反冲洗或液位控制两种模式,设计冲洗用水量为总水量的 $2\% \sim 4\%$ 。反硝化滤池的出水进入现有的气浮提升泵房。

③ 反冲洗鼓风机房及泵房

反硝化滤池反冲洗附属用房总建筑面积为 150 m^2 ,反冲洗泵房为半地下式钢筋混凝土结构,平面尺寸为 $36 \text{ m} \times 9 \text{ m}$,地下部分深度为 3.0 m ,地面以上建筑物高度为 4.5 m 。滤池反冲洗鼓风机房平面尺寸为 $21 \text{ m} \times 6 \text{ m}$,层高为 6.0 m 。反硝化滤池反冲洗采用卧式离心泵, $Q=1100 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=100 \text{ kPa}$, $N=75 \text{ kW}$,3台(2用1备)。反冲洗鼓风机采用螺杆鼓风机, $Q=5496 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=81.4 \text{ kPa}$, $N=160 \text{ kW}$,5台,4用1备。反冲洗泵房选用电动单梁悬挂起重机一台,起质量为3 t,起升高度为 9.0 m 。反冲洗鼓风机房选用电动单梁悬挂起重机一台,起质量为2 t,起升高度为 6.0 m 。

④ 反冲洗气动阀

每组滤池反冲洗阀门控制系统含有 $500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$ 带限位开关的气动控制闸门、DN500 出水调节阀气动蝶阀、DN500 反冲洗进水气动蝶阀、DN600 反冲洗出水气动蝶阀、DN450 反冲洗气动气阀、DN500 水量反冲洗调节阀气动调节阀等各20个, $Q=1 \text{ m}^3/\text{min}$ 的2台空压机及 10 m^3 储气罐。

⑤ 反冲洗废水池

反硝化滤池反冲洗废水排入反冲洗废水池,泵房尺寸为 $25 \text{ m} \times 8 \text{ m} \times 6.5 \text{ m}$,池深为 4.0 m ,有效容积为 370 m^3 ,半地下式。废水经提升后回流至厂区排水管道。废水提升泵共3台,2用1备, $Q=350 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=150 \text{ kPa}$, $N=22 \text{ kW}$ 。

⑥ 碳源投加间

在后置反硝化系统设置乙酸钠投加间,在反硝化滤池前投加碳源(乙酸钠),投加量为 120 mg/L 。乙酸钠考虑液体直接投加方式,现场设置乙酸钠储池。储池尺寸为 $36.0 \text{ m} \times 9.0 \text{ m} \times 3.8 \text{ m}$,有效水深为 3.0 m 。设6台投加泵,4用2备, $Q=2.0 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=200 \text{ kPa}$, $N=5.5 \text{ kW}$ 。碳源自动投加系统见图3。

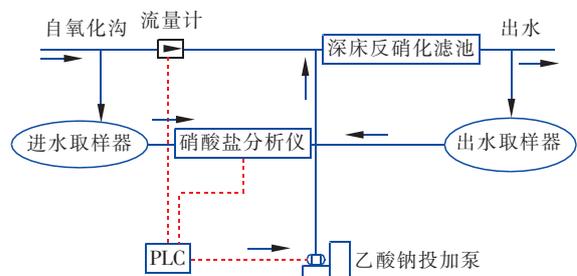


图3 碳源自动投加系统

Fig.3 Automatic adding system for carbon source

系统设置精确可靠的硝酸盐分析仪表和校正算法,确保碳源投加恰好满足设计要求。

系统中含进、出水 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 分析仪以及自控系统,保证出水 $\text{NO}_3^- - \text{N} < 1 \text{ mg/L}$ 且碳源投加不过量,出水 BOD_5 、 COD 小于进水浓度,保证在碳源投加量最低的情况下,出水 TN 达标,不产生 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 的积累,也不会使碳源投加过量。

3 主要设备选型及应用效果

3.1 核心设备

对原鼓风机系统进行分析,提出此次采用罗茨鼓风机或螺杆鼓风机^[8-9],两者均属高效节能的风机,螺杆鼓风机的优势更为突出。在初步设计前期选择罗茨风机,功率为 200 kW;通过调研,重新确定了鼓风机的技术要求。采用螺杆鼓风机,功率下降为 160 kW,通过实际运行发现螺杆鼓风机噪声小,能耗低,效果好,节约电费约 70 万元/a。

3.2 核心工艺

通过招标,二期 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 部分的脱氮工程采用迪诺拉核心工艺,其滤砖采用内充混凝土滤砖(T型),混凝土材质,单块 23 kg,强度 C35,开孔率为 4%。三期 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 部分的脱氮工程采用赛莱默的核心工艺,其滤砖采用 S 型原装进口滤砖(HDPE 材质),开孔率为 4%。滤池自动反冲洗,采用定时和滤位控制反冲两种模式^[10-11]。

3.3 脱氮工程运行分析

该工程于 2018 年 9 月建成投入运行,经过反硝化滤池处理后,各项指标均有所下降。2019 年 1 月—3 月进水总氮平均为 20.1 mg/L,出水总氮平均为 9.9 mg/L,平均去除量达到 10.2 mg/L(见图 4)。



图4 滤池进、出水总氮运行数据

Fig. 4 Total nitrogen of influent and effluent of the filter

为确保脱氮工程运行的经济性,适当提高了出

水总氮的控制值,出水总氮 $< 15 \text{ mg/L}$,使出水总氮在脱氮工艺后经一道气浮处理后确保达标运行。

4 结论

绍兴水处理发展有限公司在短短的一年时间内完成了 $60 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 脱氮工程的建设,根据几个月的实际运行结果来看,出水水质优于设计标准,工程采用了目前较先进的两种核心工艺设备,实现了加药系统自动反馈、滤池全自动反冲,自动化运行水平高,运行能耗较低,工艺可靠。

参考文献:

- [1] 蔡芝斌,张卫峰. 绍兴污水处理厂污泥脱水设备选型分析[J]. 给水排水,2010,36(10):100-104.
Cai Zhibin, Zhang Weifeng. Discussion on the sludge dewatering equipment selection in the Shaoxing Wastewater Treatment Plant [J]. Water & Wastewater Engineering, 2010, 36(10): 100-104 (in Chinese).
- [2] 蔡芝斌,尤会春,谢超群. 阴极保护系统在绍兴污水处理厂排海管线上的应用[J]. 中国给水排水,2014,30(4):73-76.
Cai Zhibin, You Huichun, Xie Chaoqun. Application of cathodic protection system in marine outfall pipeline of Shaoxing Sewage Treatment Plant [J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(4): 73-76 (in Chinese).
- [3] 蔡芝斌. 绍兴污水处理厂离心机系统存在的问题及解决对策[J]. 中国给水排水,2014,30(8):92-95.
Cai Zhibin. Problems and solutions to centrifuge system in Shaoxing Sewage Treatment Plant [J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(8): 92-95 (in Chinese).
- [4] 刘金瀚,白宇,林海,等. 反硝化生物滤池用于污水深度脱氮研究[J]. 中国给水排水,2008,24(21):26-29.
Liu Jinhan, Bai Yu, Lin Hai, et al. Study on denitrifying biofilter for advanced wastewater treatment [J]. China Water & Wastewater, 2008, 24(21): 26-29 (in Chinese).
- [5] 马秋莹,李东,封莉,等. 前置反硝化生物滤池深度脱氮效能及影响因素[J]. 环境工程学报,2017,11(9):4932-4936.
Ma Qiuying, Li Dong, Feng Li, et al. Nitrogen removal efficiency and influencing factors in a pre-denitrification biofilter system [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2017, 11(9): 4932-4936 (in Chinese).
- [6] 杜创,李栋. 反硝化滤池在某工业园区污水处理厂的 中试研究[J]. 中国给水排水,2017,33(9):73-76.

- Du Chuang, Li Dong. Pilot scale test of denitrification filter in an industrial zone wastewater treatment plant [J]. *China Water & Wastewater*, 2017, 33(9): 73 - 76 (in Chinese).
- [7] 李鑫玮, 阜崑, 魏威, 等. 反硝化滤池深度脱氮效能分析[J]. *中国给水排水*, 2016, 32(21): 132 - 136.
Li Xinwei, Fu Wei, Wei Wei, *et al.* Efficiency analysis and engineering application for advanced nitrogen removal in denitrification biofilter [J]. *China Water & Wastewater*, 2016, 32(21): 132 - 136 (in Chinese).
- [8] 蔡芝斌, 张志峰, 黄春. 绍兴污水处理厂曝气系统的改造[J]. *中国给水排水*, 2006, 22(2): 23 - 25.
Cai Zhibin, Zhang Zhifeng, Huang Chun. Technical renovation of aeration system in Shaoxing Wastewater Treatment Plant [J]. *China Water & Wastewater*, 2006, 22(2): 23 - 25 (in Chinese).
- [9] 姚斌, 杨立峰, 蔡芝斌, 等. 基于节能的精确曝气系统在绍兴污水厂的应用[J]. *中国给水排水*, 2013, 29(23): 146 - 149.
Yao Bin, Yang Lifeng, Cai Zhibin, *et al.* Application of air distribution and control system based on energy-saving in Shaoxing Sewage Treatment Plant [J]. *China Water & Wastewater*, 2013, 29(23): 146 - 149 (in Chinese).
- [10] 蔡芝斌, 沈尧忠, 边海燕. 绍兴污水处理厂(一期)自动化系统的优化改造[J]. *中国给水排水*, 2006, 22(6): 29 - 31.
Cai Zhibin, Shen Yaoshong, Bian Haiyan. Maintenance and reconstruction for the cooling system of centrifugal blower [J]. *China Water & Wastewater*, 2006, 22(6): 29 - 31 (in Chinese).
- [11] 姚斌, 蔡芝斌, 丁媛媛, 等. 绍兴污水厂三期自控系统的优化和改造[J]. *中国给水排水*, 2012, 28(24): 95 - 98.
Yao Bin, Cai Zhibin, Ding Yuanyuan, *et al.* Optimization and treatment of automatic control system in third-stage project of Shaoxing Sewage Treatment Plant [J]. *China Water & Wastewater*, 2012, 28(24): 95 - 98 (in Chinese).



作者简介: 蔡芝斌(1972 -), 男, 湖南益阳人, 本科, 高级工程师、高级技师, 绍兴市柯桥区杰出工匠、柯桥区十大科技明星、绍兴市拔尖人才、绍兴市突出贡献高技能人才、绍兴市十大杰出职工、浙江省首席技师, 研究方向为污水处理工艺设备等。

E-mail: czbscl@163.com

收稿日期: 2019-04-06

强化水资源监管,

落实最严格水资源管理制度