

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.12.024

两级上向流生物滤池模块化装备用于污水厂提标改造

陈红继, 叶昌明, 戴文权, 王小林, 伍波
(深圳市清水业股份有限公司, 广东 深圳 518172)

摘要: 部分城市生活污水处理厂的进、出水水质随季节性波动较大。以山西省平定县县城污水处理厂为例,按《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)准 V 类($TN \leq 10 \text{ mg/L}$)标准考核,该污水厂夏季出水 TN 不能达标,冬季 $NH_3 - N$ 不能达标,通过新增两级生物滤池的深度处理工艺,采用上向流生物滤池及专有的布水布气系统,可根据水质处理需求实现硝化与反硝化模式的切换,保证 TN 及 $NH_3 - N$ 全年稳定达标。该项目采用智能模块化装备的建造模式,具有安装便捷、占地面积小、不受施工场地限制等优势。

关键词: 污水处理厂; 提标改造; 上向流生物滤池; 模块化装备

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)12-0132-04

Application of Two-stage Upflow Biofilter Modular Equipment in Upgrading of a WWTP

CHEN Hong-ji, YE Chang-ming, DAI Wen-quan, WANG Xiao-lin, WU Bo
(Shenzhen Qingquan Water Industry Co. Ltd., Shenzhen 518172, China)

Abstract: For some municipal wastewater treatment plants (WWTP), the influent and effluent quality fluctuates greatly with seasons. Taking the WWTP in Pingding County of Shanxi Province as an example, the effluent TN cannot meet the criteria ($TN \leq 10 \text{ mg/L}$) in summer and $NH_3 - N$ cannot meet the criteria in winter according to the quasi-V level criteria in *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838 - 2002). Nitrification and denitrification can be switched according to water quality treatment requirements by adding the advanced treatment process of two-stage upflow biofilter with special water and air distribution system, so as to ensure TN and $NH_3 - N$ to reach the standard stably throughout the year. This project adopts the construction mode of intelligent modular equipments, which has the advantages of convenient installation, small occupation area and no restriction of construction site.

Key words: WWTP; upgrading and reconstruction; upflow biofilter; modular equipment

1 工程概述

为了保护和改善水环境,国家加大了水污染防治力度。近几年,随着国家“水十条”和地方标准的相继出台,许多污水处理厂面临提标改造的问题。

山西省水污染防治行动计划及水污染防治条例要求城镇生活污水厂出水 COD、 $NH_3 - N$ 及 TP 等指标参照地表水 V 类及以上标准。以平定县县城污水处理厂为例,其水质随季节波动较大,且碳氮比较低,亟

基金项目: 深圳市可持续发展专项(KCXFZ202002011006555)
通信作者: 叶昌明 E-mail: 2850996726@qq.com

需寻求一种灵活的污水提标改造工艺^[1],既能适应进水水质的变化,又能保障出水稳定达标排放。

该污水处理厂设计处理规模为 $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,于2007年9月建成通水,2016年4月完成第一次提标改造,处理工艺为改良型 A^2O + 网格絮凝沉淀 + 过滤,设计出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准。根据最新政策要求,需将出水标准提高至《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)地表准V类(其中 $\text{TN} \leq 10 \text{ mg/L}$)。从该厂2018年的运行水质数据分析,出水水质超标且随季节波动较大,夏季 TN 不达标,冬季 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 不达标。原生生化池曝气系统在2016年已进行优化改造,通过在冬季采用最大曝气量、进一步提高污泥浓度等工艺优化措施,出水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 仍不能达标。当夏季进水 TN 指标升高时,在原生生化处理系统缺氧池内投加碳源,实际运行碳源利用率较低,药剂成本高,前置反硝化脱氮能力有限。在保证出水水质稳定达标且运行成本合理的前提下,该污水处理厂需新建处理设施进行提标改造。由于用地紧张,且周边征地困难,根据业主要求,仅能在厂内剩余很小的空地上新建深度处理设施。深度处理设计进、出水水质见表1。

表1 深度处理设计进、出水水质

Tab. 1 Design influent and effluent quality for advanced treatment $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	COD	$\text{NH}_3 - \text{N}$	TN	SS
进水	50	8	18	20
出水	40	2	10	

2 处理工艺

根据主要超标的污染物因子随季节波动的情况,提标改造的深度处理新增两级生物滤池,二沉池出水提升至新增生物滤池,经两级生物滤池处理后出水进入原网格絮凝沉淀池,经沉淀及过滤,最后在清水池消毒后达标排放。工艺流程见图1。

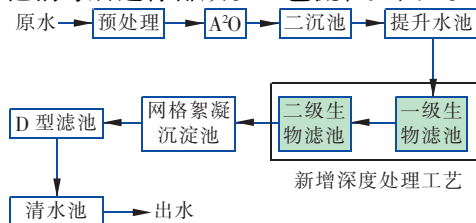


图1 提标改造工艺流程

Fig. 1 Flow chart of upgrading and reconstruction process

两级生物滤池均采用上向流形式,钢制模块化装备结构,根据水质的变化可将生物滤池的运行模式切换成以下两种:模式1,硝化滤池 + 反硝化滤池, $\text{NH}_3 - \text{N}$ 不达标, TN 不稳定达标,需去除 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 TN ;模式2,反硝化滤池 + 硝化滤池, TN 不达标, $\text{NH}_3 - \text{N}$ 不稳定达标,需去除 TN 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 。

3 主要工艺单元及设计参数

3.1 一级生物滤池

设计钢制模块化装备共6组,单组设计处理规模 $5000 \text{ m}^3/\text{d}$,单组尺寸 $10.5 \text{ m} \times 3.0 \text{ m} \times 4.5 \text{ m}$,火山岩滤料粒径 $4 \sim 6 \text{ mm}$,填装高度为 2.8 m ,鹅卵石承托层 $8 \sim 32 \text{ mm}$,填装高度 0.3 m ,滤速 6.6 m/h ,空床停留时间 25 min 。

3.2 二级生物滤池

设计钢制模块化装备共4组,单组设计处理规模 $7500 \text{ m}^3/\text{d}$,单组尺寸 $10.5 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 3.4 \text{ m}$,滤速 9.9 m/h ,空床停留时间 12 min ,火山岩滤料粒径 $3 \sim 5 \text{ mm}$,填装高度为 2.1 m 。

两级生物滤池均采用专门研发的中阻力配水、大阻力配气的多功能滤管替代传统的小阻力滤头滤板配水配气结构进行布水布气,兼具布水、曝气布气、反冲洗布水布气的功能,可实现滤池布水布气更加均匀,反冲洗更加彻底,需曝气功能时,无需单设单孔膜曝气系统,仅配备鼓风机即可实现硝化与反硝化的转化运行。

3.3 自控系统

该深度处理滤池系统在提标改造车间设有中控室,并配置有2台上位机系统,一主一副互为备用,上位机系统采用西门子 WINCC7.3 版组态软件,下位机采用分布式系统,主站1台,采用西门子300系列 PLC,子站10台,采用西门子200SMART系列 PLC。主站用于控制反洗风机、反洗水泵、曝气风机的运行。子站用于控制各组滤池的阀门。滤池控制子站负责完成每格硝化/反硝化滤池正常过滤、气洗、气水同时反洗、水洗的自动协调控制以及操作状态监视。每格硝化/反硝化滤池设置超声波液位计、水头损失仪以实现反洗条件判断。子站利用控制指令,控制进水阀开度,从而实现各格滤池进水均衡控制,同时上传反洗工况信号供上位机采集。主站与子站之间、主站与上位机之间都是通过以太网进行通信、数据交换。在主站配置有无线远程模块,实现对深度处理滤池自控系统远程监控、无人值守、全自

动化运行的要求。

3.4 提标改造系统车间

提标改造系统车间放置阀门气源系统、曝气系统、碳源加药系统、反冲洗系统、自控系统及其他辅助配套设备。

阀门气源系统:空压机 $Q = 1 \text{ m}^3/\text{min}$, $P = 0.8 \text{ MPa}$, $N = 7.5 \text{ kW}$, 1台,冷干机、储气罐各1台。曝气系统主要为曝气风机及管道,曝气风机 $Q = 5 \text{ m}^3/\text{min}$, $P = 0.06 \text{ MPa}$, $N = 11 \text{ kW}$,共11台,10用1冷备。碳源加药系统:溶药装置 10 m^3 ,PE材质,共2套,投加计量泵 $Q = 550 \text{ L/h}$, $P = 0.4 \text{ MPa}$, $N = 0.55 \text{ kW}$,共2台,1用1备。

反冲洗系统:两级生物滤池共用1套反冲洗系统,反洗风机 $Q = 13.72 \text{ m}^3/\text{min}$, $P = 0.06 \text{ MPa}$, $N = 22 \text{ kW}$,3台,2用1备,反洗水泵 $Q = 360 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 150 \text{ kPa}$, $N = 22 \text{ kW}$,3台,2用1备。水洗强度 $6 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,气洗强度 $14 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。反冲洗程序:底部排污 $5 \sim 10 \text{ min}$ →气冲 $5 \sim 6 \text{ min}$ 气水联合冲洗 $10 \sim 15 \text{ min}$ →后水冲 $5 \sim 10 \text{ min}$ 。

3.5 总平面布置

深度处理生物滤池采用钢制模块化装备,一级生物滤池模块分为1~6组,二级生物滤池模块分为1~4组,底部进水,穿越滤料层从上部出水。两级生物滤池模块总平面布置见图2。

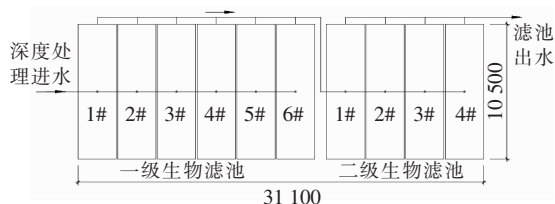


图2 滤池系统平面布置

Fig. 2 Layout of filter system

由于改造场地受限,改造系统分两层排布,上层放生物滤池模块,下层为提标改造系统车间,放置配套设施及管道系统。

4 运行模式及效果

该项目于2019年10月建设完成并投产,运行至今经历了冬季与夏季,平均处理水量为 $2.85 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。针对深度处理的水质,同时结合滤池的特点,运行时通过功能切换,发挥了滤池的硝化及反硝化功能,保证全年的出水水质达标。

① 冬季氨氮超标运行模式

温度对硝化菌的活性影响较大,2019年12月—2020年2月,冬季水温 $< 12^\circ\text{C}$ 时,污水厂原 A^2O 生化处理系统硝化速率下降,因此进入深度处理系统 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 浓度较高,在 TN 中占比也较高。针对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 超标,深度处理需强化硝化,采用模式1运行:1#~6#一级生物滤池开启曝气进行硝化,1#~4#二级生物滤池根据需要投加少量碳源,保证出水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 TN 稳定达标。硝化滤池滤速 6.3 m/h ,反洗周期 $60 \sim 72 \text{ h}$;反硝化滤池滤速 9.4 m/h ,反洗周期 $36 \sim 48 \text{ h}$ 。碳源投加采用模糊控制法,通过进水量计、进出水在线硝态氮浓度仪的反馈,建立数学模型,动态控制碳源加药量。在保证出水 COD 、 BOD_5 达标的前提下,精确控制总氮的去除。以2月的运行数据为例(见图3、4),平均水温 8°C ,深度处理系统进水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 为 $7 \sim 10 \text{ mg/L}$,进水 TN 为 $9 \sim 13 \text{ mg/L}$,出水 $\text{NH}_3 - \text{N} \leq 1.5 \text{ mg/L}$,出水 $\text{TN} \leq 10 \text{ mg/L}$ 。

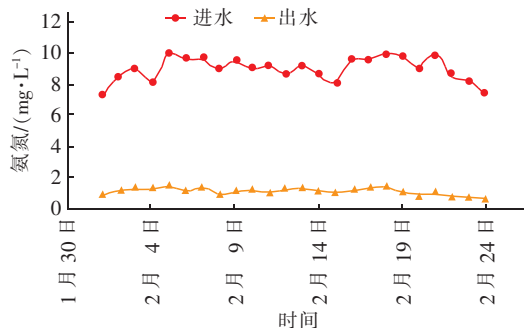


图3 2020年2月氨氮处理效果

Fig. 3 Treatment effect of $\text{NH}_3 - \text{N}$ in February, 2020

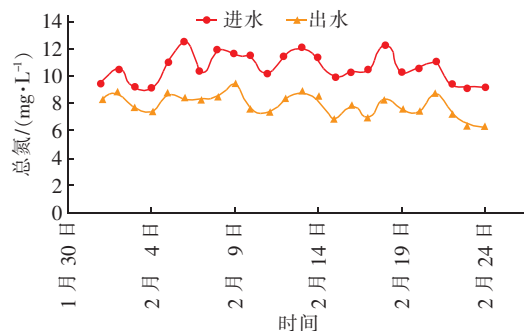


图4 2020年2月总氮处理效果

Fig. 4 Treatment effect of TN in February, 2020

② 夏季总氮超标运行模式

夏季降雨量大,集中在7月—8月,雨污合流使污水厂进水有机物浓度偏低,硝化效果较好,但碳氮比值较低限制了反硝化的脱氮效果。虽在原生化处

理部分增加了碳源,但碳源利用率较低,脱氮效果得不到明显改善,原A²O出水TN浓度偏高,大部分为硝态氮。针对TN超标,深度处理需强化反硝化,以模式2运行为主:1#~6#一级生物滤池不开启曝气并投加碳源作为反硝化滤池,去除硝态氮,1#~2#二级生物滤池根据氨氮浓度决定是否开启曝气进行硝化补充,3#~4#二级生物滤池不曝气作为过滤滤池,更好地保证出水效果。反硝化滤池滤速6.3 m/h,反洗周期36~48 h;硝化滤池滤速9.4 m/h,反洗周期60~72 h。以2020年7月的运行数据(见图5、6)为例,水温为23~25℃,深度处理系统进水NH₃-N为0.2~0.9 mg/L、TN为12~18 mg/L,出水NH₃-N≤0.5 mg/L、TN≤8 mg/L。

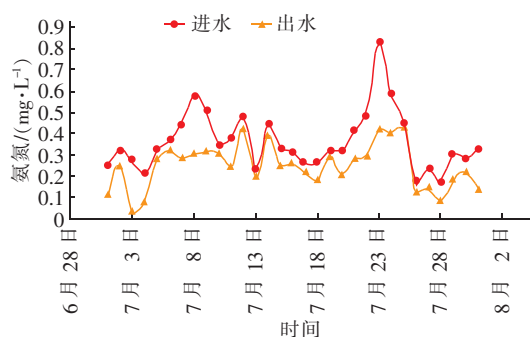


图5 2020年7月氨氮处理效果

Fig. 5 Treatment effect of NH₃-N in July, 2020

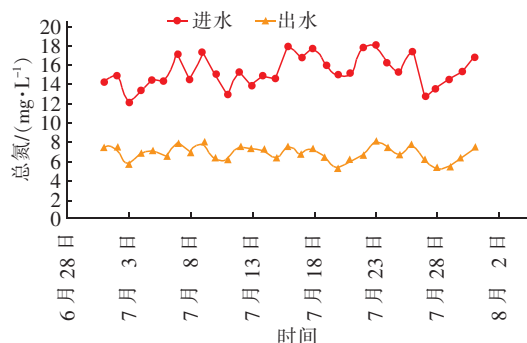


图6 2020年7月总氮处理效果

Fig. 6 Treatment effect of TN in July, 2020

③ 其他时段主要运行模式

根据深度处理部分的进水情况,除上述集中水质指标较高的月份,其他时段NH₃-N及TN只有少许超标,NH₃-N相对超标频率较高,主要按模式1运行,根据NH₃-N浓度开启1#~6#一级生物滤池的几组进行曝气,1#~4#二级生物滤池根据需要投加少许碳源作为水质保障。

综合上述运行模式,两级滤池全年大部分为硝化+反硝化模式,其中7、8月份切换为反硝化+硝化模式。根据水质情况提前分组进行切换,调节进水阀门开度,反硝化切换为硝化时,停止投加碳源,强制反冲洗两次后开启曝气,培菌期间反洗周期为72~96 h,再逐渐调整至60~72 h;硝化切换为反硝化时,停止曝气,调整碳源加药泵冲程,培菌期间反洗周期设置为96 h,一周后恢复反洗周期至36~48 h。

5 技术经济分析

此次改造总投资约1500万元,深度处理系统装机功率348.5 kW,最大运行功率为170 kW,电费为0.07元/m³,年平均碳源投加费为0.08元/m³,人工费0.01元/m³,年平均直接运行成本约0.16元/m³。深度处理系统占地面积400 m²,建设周期仅为1个月。

6 结论

对于进、出水水质呈现季节性波动较大的污水处理厂,深度处理采用两级上向流生物滤池的组合工艺及其专有的布水布气系统,可实现硝化与反硝化的切换,根据水质需求启用硝化或反硝化功能,分别针对性地去除NH₃-N或TN,出水可满足TN≤10 mg/L、NH₃-N≤1.5 mg/L,并能根据温度变化灵活运行,确保全年水质稳定达标。上向流生物滤池采用钢制标准模块化结构,与传统钢混建设模式相比,占地及工期优势明显。

参考文献:

- [1] 邓时海,李德生,卢阳阳,等. 集成模块系统同步硝化反硝化处理低碳氮比污水的试验[J]. 中国环境科学, 2014, 34(9): 2259-2265.
DENG Shihai, LI Desheng, LU Yangyang, et al. Performance characteristics of simultaneous nitrification and denitrification (SND) for low carbon to nitrogen (C/N) ratio wastewater in an integrated device [J]. China Environmental Science, 2014, 34(9): 2259-2265 (in Chinese).

作者简介:陈红继(1985-),女,湖北荆州人,本科,工程师,从事水处理设计及研究工作。

E-mail: 2850996732@qq.com

收稿日期:2020-12-16

修回日期:2020-12-29

(编辑:衣春敏)