

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.20.016

城镇污水处理厂以液位为核心的跌水复氧工程改造

徐熊鲲^{1,2}, 陈扬宇³, 戚阳军¹, 蒋沛廷¹, 王勇¹, 伍刚²

(1. 海天水务集团股份公司, 四川 成都 610299; 2. 眉山市彭山海天水务有限公司, 四川 眉山 620860; 3. 德阳科贸职业学院 应急管理学院, 四川 德阳 618300)

摘要: 我国城镇污水处理厂普遍存在跌水复氧现象, 导致碳源无效损耗, 造成脱氮成本居高不下, 因此减少和消除跌水复氧备受关注。针对四川省岷江流域某城镇污水处理厂高效脱氮与节省运行成本的综合需求, 在调研二沉池、中间提升泵房和高效沉淀池跌水复氧特征的基础上, 开展了以液位控制为核心的跌水复氧控制工程改造。运行结果表明, 反硝化深床滤池进水DO降低约4.4 mg/L, 外加碳源利用率提升26%, 碳源投加成本降低0.078元/m³, 全年节约28万余元, 对同类城镇污水处理厂降本增效、高效经济脱氮具有一定的参考价值。

关键词: 脱氮; 跌水复氧; 反硝化深床滤池; 复合碳源; 碳源利用

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)20-0095-05

Waterfall Reoxygenation Engineering Reconstruction with Liquid Level as the Core in a Municipal WWTP

XU Xiong-kun^{1,2}, CHEN Yang-yu³, QI Yang-jun¹, JIANG Pei-ting¹, WANG Yong¹,
WU Gang²

(1. Haitian Water Group Co. Ltd., Chengdu 610299, China; 2. Meishan Pengshan Haitian Water Co. Ltd., Meishan 620860, China; 3. Department of Emergency Management, Deyang Vocational College of Technology and Trade, Deyang 618300, China)

Abstract: The phenomenon of waterfall reoxygenation is common in Chinese wastewater treatment plants (WWTPs), which leads to ineffective loss of carbon source and high nitrogen removal cost. Thus reducing and eliminating waterfall reoxygenation is concerned. According to the needs of efficient nitrogen removal and operation cost saving in a WWTP of Minjiang River basin in Sichuan Province, the waterfall reoxygenation control project with liquid-level as the core was carried out based on the investigating the characteristics of the secondary sedimentation tank, the intermediate pump station and the high-efficiency sedimentation tank. The results showed that the influent DO concentration of the deep denitrification bed filter process was decreased by about 4.4 mg/L, the utilization rate of added carbon source was decreased by 26%, the cost of carbon was reduced by about 0.078 yuan/m³, and the annual saving was over 280 000 yuan. The renovation can provide guiding significance for the similar municipal WWTPs in reducing cost as well as efficient and economic nitrogen removal.

Key words: nitrogen removal; waterfall reoxygenation; deep denitrification bed filter; composite carbon source; utilization of carbon source

为达到《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》(DB 51/2311—2016)对COD、BOD₅、氨氮、总氮和总磷排放浓度的严格要求,四川省岷江、沱江流域城镇生活污水处理厂进行了提标改造,但尚未发现适用于大规模工业运行需求的物化脱氮技术^[1],而传统低成本的生物技术仍是当前污水脱氮的首选^[2]。因反硝化深床滤池具有较好的脱氮效果和过滤性能,已在提标改造中广泛应用^[3-4]。但在实际运行中,因部分构筑物跌水复氧导致进入反硝化深床滤池的污水中溶解氧浓度较高从而影响脱氮效率^[5-6],为确保总氮达标排放,污水处理厂往往加大了碳源的使用量,从而使污水处理成本居高不下^[7],因此对总氮排放的经济化控制,备受污水处理运营单位重视。

以四川省岷江流域某城镇污水处理厂为例,分析污水处理系统跌水复氧区域,并进行针对性改造,以降低DO对反硝化深床滤池脱氮效能的影响。

1 工程概况

1.1 主体工艺

该城镇污水处理厂设计处理规模为 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,提标后工艺流程见图1。其中反硝化深床滤池1座,采用DE NORA TETRA® Denite®系统,平面尺寸为 $23.0 \text{ m} \times 18.0 \text{ m}$, $H=7.0 \text{ m}$,按照 $1.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 设计修建,分4格,单格过滤面积为 20.0 m^2 ,滤池恒液位运行,定时进行驱氮和反冲洗。

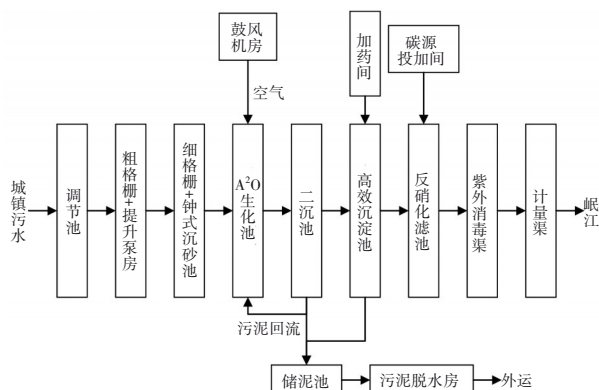


图1 污水处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of wastewater treatment process

1.2 设计进、出水水质

出水排放标准执行《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》(DB 51/2311—2016)中城镇污水处理厂标准和《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准两者之严者。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

mg·L ⁻¹				
项目	COD	BOD ₅	NH ₃ -N	TN
进水	350	180	37	50
出水	30	6	1.5	10

2 存在的问题及原因分析

2.1 碳源不足

A²/O+反硝化深床滤池工艺管理的核心是脱氮除磷,对氨氮、总氮指标而言,只能通过生物降解,BOD₅/TN指标是判断能否进行生物脱氮或脱氮程度的主要指标。A²/O对碳、氮的去除效果见表2。运行期间A²/O进水实际平均BOD₅/TN=2.7,远低于BOD₅/TN≥5即污水有足够的碳源供生物脱氮的条件,因此欲满足出水水质要求,必须通过人工投加碳源来保证反硝化效果,从而强化生物脱氮。

表2 A²/O对碳、氮的去除效果

Tab.2 Removal effect of carbon and nitrogen by

A²/O process

项目	COD	BOD ₅	NH ₃ -N	TN
进水/(mg·L ⁻¹)	184.2	84.3	28.4	31.2
出水/(mg·L ⁻¹)	10.4	0.5	0.1	12.2
去除率/%	94.4	99.4	99.6	60.9

2.2 高溶解氧消耗反硝化深床滤池外加碳源

改造前各处溶解氧的变化如图2所示。

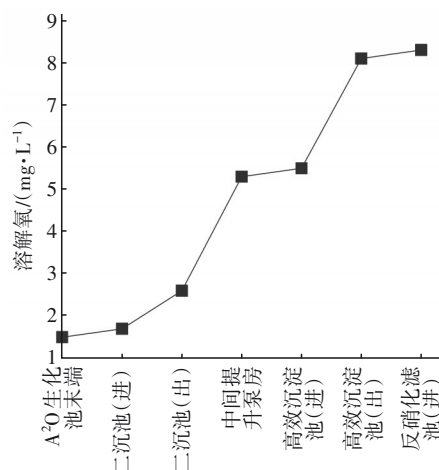


图2 改造前各处溶解氧的变化

Fig.2 Change of dissolved oxygen at various places before reconstruction

经A²/O处理后污水中绝大部分COD、BOD₅、NH₃-N已被去除,进入二沉池的污水中耗氧类物质

消耗殆尽,污水从二沉池经中间提升泵房到反硝化深床滤池的过程中存在多次跌水,通过跌水区域底部的空气交换和水珠表面张力的变化,将氧气带入水中,使污水中溶解氧不断升高。由图2可知,跌水复氧影响较大的区域为二沉池至中间提升泵房、高效沉淀池进水至高效沉淀池出水。高溶解氧的污水进入反硝化深床滤池,反硝化细菌优先以氧作为电子受体,利用碳源进行有氧呼吸,影响脱氮效率^[8],造成外加碳源的浪费,这与某些研究^[9-11]相近,可见控制系统前端溶解氧是降低运行成本的关键。

3 跌水复氧改造

3.1 二沉池至中间提升泵房

该段存在两次跌水复氧,第一次为污水自二沉池三角堰跌落至二沉池出水槽(I~II),跌水高度为35 cm;第二次为污水自二沉池出水槽跌落至与中间提升泵房相连接的出水管(II~III),跌水高度为5~365 cm。改造方案将现有中间提升泵1变频+3定频配置改造为2变频+2定频配置,人工调节中间提升泵的运行流量,实现中间提升泵房液位长期稳定在430~431 m(海拔高度,下同)运行。改造前后水位如图3所示。

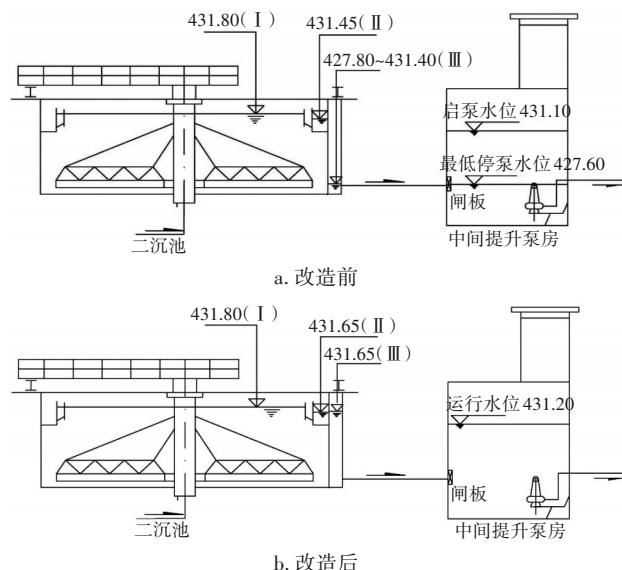


图3 改造前后二沉池至中间提升泵房的水位变化

Fig.3 Water level variation from secondary sedimentation tank to intermediate lift pump station before and after reconstruction

二沉池与中间提升泵房相连接的管道末端设有 $\varnothing 600$ mm闸板阀,调节闸板阀开度,提升二沉池出水槽的液位高度,降低跌水高度,改造后I~II跌

水高度降至15 cm,II~III消除跌水。

3.2 高效沉淀池

该段存在3次跌水复氧,第一次为污水自斜管沉淀区三角堰跌落至澄清水槽支槽(IV~V),跌落高度20 cm;第二次为污水自清水槽支槽跌落至清水槽主槽(V~VI),跌落高度20 cm;第三次为污水自高效沉淀池出水跌落至与反硝化深床滤池相连接的管道(VI~VII),跌落高度35 cm。

改造方案:将高效沉淀池出水口堰口加高,使出水水位达到433 m才能翻过堰口进入管道,降低第一次跌水高度至5 cm,消除第二次跌水高度。高效沉淀池与反硝化深床滤池相连接的管道中段设有 $\varnothing 600$ mm闸板阀,调节闸板阀开度,使出水管道内液位高度与出水堰口基本持平,降低第三次跌水高度至5 cm。改造前后水位如图4所示。

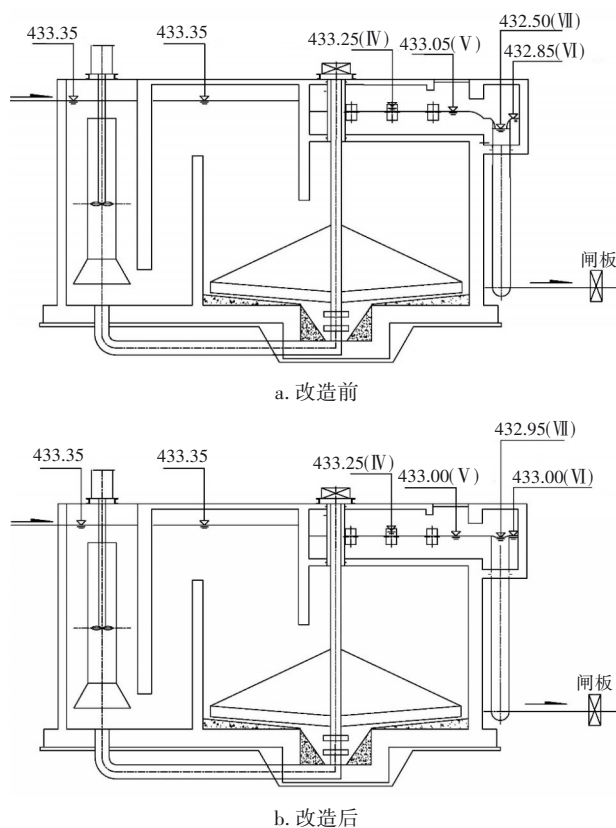


图4 改造前后高效沉淀池进、出水跌水的水位

Fig.4 Water level of the high-efficiency sedimentation tank before and after reconstruction

4 运行效果分析

4.1 改造前后溶解氧变化

在保证A²/O池好氧区末端溶解氧控制在约

1.5 mg/L以及反硝化深床滤池恒液位运行的前提下连续运行,改造后跌水复氧情况显著缓解,中间提升泵房溶解氧由5.3 mg/L降至3.1 mg/L,高效沉淀池出口溶解氧由8.1 mg/L降至3.8 mg/L,反硝化深床滤池进水溶解氧由8.3 mg/L降至3.9 mg/L,有利于提升反硝化脱氮效率,降低外碳源的投加量。

4.2 改造前后碳源有效利用率分析

采用液体复合碳源用于反硝化深床滤池脱氮,该碳源相关参数见表3。

表3 液体复合碳源主要参数

Tab.3 Main parameters of liquid composite carbon sources

成分含量	COD/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	pH	密度/($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	单价/($\text{元}\cdot\text{t}^{-1}$)
CH ₃ OH(质量分数31%) CH ₃ COONa(质量分数4%) C ₆ H ₁₂ O ₆ (质量分数1%)	500 000	6~8	0.9~1.2	2 000

改造前后试验结果如图5所示。

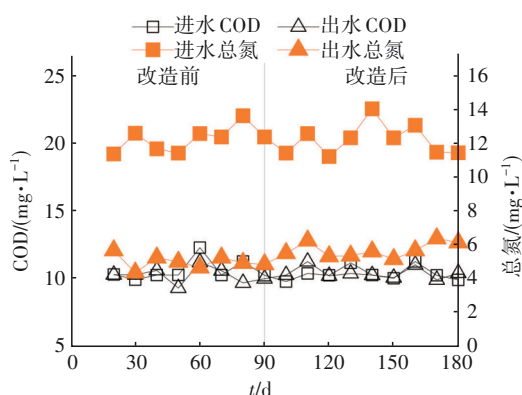


图5 改造前后反硝化深床滤池进、出水COD与总氮的变化

Fig.5 Changes of COD and TN concentration in the deep denitrification bed filter process before and after reconstruction

从图5可知,出水总氮稳定在4~7 mg/L,反硝化深床滤池进、出水COD基本保持一致,可以排除因碳源过量投加导致COD穿透引起碳源浪费的情况。

理论上去除1 mgTN需要2.86 mgBOD₅,甲醇的BOD₅当量为1.5 mgBOD₅/mg 甲醇,乙酸钠的BOD₅当量为0.52 mgBOD₅/mg 乙酸钠,葡萄糖的BOD₅当量为1.067 mgBOD₅/mg 葡萄糖,则理论上液体复合碳源BOD₅当量为0.496 mgBOD₅/mg 液体碳源。液体复合碳源的平均消耗量及BOD₅测算见表4。

从表4可知,实际去除1 mgTN所需BOD₅值高于理论值,主要原因是反硝化深床滤池进水溶解氧

消耗。经计算,跌水充氧改造前溶解氧消耗碳源占碳源总投加量的54%,即碳源有效利用率为46%,跌水充氧改造后溶解氧消耗碳源占碳源总投加量的28%,即碳源有效利用率为72%。

表4 改造前后碳源消耗量计算

Tab.4 Consumption calculation of composite carbon source before and after reconstruction

项目	TN去除量/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	碳源投加量/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	实际去除1 mgTN所需碳源/mg	实际去除1 mgTN所需BOD ₅ /mg
改造前	7.24	90.7	12.53	6.21
改造后	6.48	51.7	7.98	3.95

4.3 经济效益

跌水充氧改造后液体复合碳源投加量降低39 mg/L,按照该污水处理厂设计处理水量为365×10⁴ m³/a、液体复合碳源单价为2 000元/t计算,单位直接运营成本降低0.078元/m³,节约碳源成本超过28万元/a。

5 结论

四川省岷江流域某城镇污水处理厂通过以液位为核心的跌水复氧工程改造,克服了设计缺陷,解决了反硝化深床滤池进水溶解氧过高导致碳源利用率低的难题。反硝化深床滤池进水的溶解氧由8.3 mg/L降至3.9 mg/L,碳源有效利用率由46%提升至72%,直接运营成本降低0.078元/m³,节约碳源成本超过28万元/a,实现了降本增效的目标。建议从设计上对污水处理厂构筑物跌水高度进行精确控制,降低甚至消除非必要的系统跌水,准确测算水头损失,杜绝因保守而过度放大水头损失。

参考文献:

- [1] 王逸飞,吉芳英,许晓毅,等.重庆城镇污水处理厂生物脱氮优化调控措施[J].中国给水排水,2019,35(15):1-6.
WANG Yifei, JI Fangying, XU Xiaoyi, et al. Optimization and control measures for biological nitrogen removal in Chongqing urban wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35 (15): 1-6 (in Chinese).
- [2] 李航,董立春,吕利平.低C/N值污水强化生物脱氮性能研究[J].中国给水排水,2022,38(7):80-85.
LI Hang, DONG Lichun, LÜ Liping. Enhanced biological nitrogen removal performance of low carbon to

- nitrogen ratio wastewater[J]. *China Water & Wastewater*, 2022, 38(7): 80–85 (in Chinese).
- [3] 余琴芳, 余太平, 杜敬, 等. 污水处理反硝化滤池的应用综述[J]. *净水技术*, 2021, 40(6): 35–41, 106.
YU Qinfang, YU Taiping, DU Jing, *et al.* Application review on denitrification filter in wastewater treatment [J]. *Water Purification Technology*, 2021, 40(6): 35–41, 106 (in Chinese).
- [4] 张鹤清, 朱帅, 吴振军, 等. 城镇污水处理厂“准Ⅳ类”标准提标改造技术简析[J]. *环境工程*, 2019, 37(6): 26–30, 36.
ZHANG Heqing, ZHU Shuai, WU Zhenjun, *et al.* Analysis of quasi-category IV standard upgrading and reconstruction technology for municipal wastewater treatment plants [J]. *Environment Engineering*, 2019, 37(6): 26–30, 36 (in Chinese).
- [5] 郭玉梅, 吴毅辉, 郭昉, 等. 某污水厂A²O和倒置A²O工艺脱氮除磷性能分析[J]. *环境工程学报*, 2015, 9(5): 2185–2190.
GUO Yumei, WU Yihui, GUO Fang, *et al.* Analysis of nitrogen and phosphorus removal in A²O and inverted A²O processes in a wastewater treatment plant [J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2015, 9(5): 2185–2190 (in Chinese).
- [6] 汤芳, 蒋延梅, 荣颖慧, 等. 淄博市某城市污水处理厂运行效果分析[J]. *环境工程学报*, 2016, 10(5): 2175–2183.
TANG Fang, JIANG Yanmei, RONG Yinghui, *et al.* Assessment of performance of a municipal wastewater treatment plant in Zibo, China [J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2016, 10(5): 2175–2183 (in Chinese).
- [7] 李瑞祥, 王鑫, 李田. 低碳污水微生物氮转化工艺研究进展[J]. *工业水处理*, 2022, 42(6): 22–32.
LI Ruixiang, WANG Xin, LI Tian. Research progress on the microbial technology of nitrogen transformation from low carbon wastewater [J]. *Industrial Water Treatment*, 2022, 42(6): 22–32 (in Chinese).
- [8] 吕瑞滨, 汪喜生, 沈怡雯, 等. 反硝化深床滤池工艺在污水处理厂的应用效果[J]. *净水技术*, 2020, 39(2): 106–108.
LÜ Ruibin, WANG Xisheng, SHEN Yiwen, *et al.* Effect of process of denitrification deep bed filter on application in wastewater treatment plant [J]. *Water Purification Technology*, 2020, 39(2): 106–108 (in Chinese).
- [9] 胡香, 张辉, 许光远, 等. 反硝化深床滤池深度脱氮效果研究[J]. *中国给水排水*, 2017, 33(21): 13–17, 24.
HU Xiang, ZHANG Hui, XU Guangyuan, *et al.* Performance of advanced denitrification in deep bed denitrification filter [J]. *China Water & Wastewater*, 2017, 33(21): 13–17, 24 (in Chinese).
- [10] 鲍立新. 深床滤池在无锡市芦村污水处理厂的运行效果[J]. *中国给水排水*, 2012, 28(6): 41–43.
BAO Lixin. Operation efficiency of deep bed filter in Lucun wastewater treatment plant in Wuxi [J]. *China Water & Wastewater*, 2012, 28(6): 41–43 (in Chinese).
- [11] 丁骏, 赵那, 史昊然, 等. 两种反硝化深床滤池脱氮效果的比较与应用[J]. *净水技术*, 2020, 39(S2): 64–68, 83.
DING Jun, ZHAO Na, SHI Haoran, *et al.* Comparison and application of two deep-bed denitrification filters [J]. *Water Purification Technology*, 2020, 39(S2): 64–68, 83 (in Chinese).

作者简介:徐熊鲲(1991–),男,四川成都人,硕士,工程师,主要从事污水处理运营与管理工作。

E-mail:897668658@qq.com

收稿日期:2023-08-10

修回日期:2023-08-24

(编辑:衣春敏)