



改进型底曝氧化沟技术研究

张琦, 周远涛, 郭佳伟, 马杰, 赵梁, 杨勇

(西安创业水务有限公司, 陕西西安 710086)

[摘要] 为研究西安市北石桥污水厂的 3 组(6 道)表曝 DE 氧化沟出水水质进一步提标改造的可行方案, 以现有构筑物土建结构改动最小为出发点, 表曝改底曝为前提, 引申出维持现有双沟交替运行, 以及将 3 组沟改为 2 组、三沟交替运行 2 种改造思路。在此基础上制作实验模型, 模拟将表曝 DE 氧化沟改为底曝, 并对改底曝后的氧化沟分别进行双沟和三沟交替运行的小试实验。研究发现, 改为底曝后, 双沟、三沟交替模式下系统均能稳定运行, 同等条件下出水各项指标均小于改造前。之后再加装 MBBR 填料, 整体改造后的 2 种运行模式生物沉淀池出水中的氨氮和 COD 均能稳定满足《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) IV 类出水水质要求(即氨氮 ≤ 1.5 mg/L, COD ≤ 30 mg/L), 总氮能达到 12 mg/L 以下, 总磷能达到 1 mg/L 以下。双沟和三沟交替运行 2 种模式均可以作为 DE 氧化沟提标改造的备选工艺。

[关键词] DE 型氧化沟; 双沟、三沟交替运行; 底曝

[中图分类号] X703.1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-829X(2022)02-0163-05

Research on modified bottom exposure oxidation ditch technology

ZHANG Qi, ZHOU Yuantao, GUO Jiawei, MA Jie, ZHAO Liang, YANG Yong

(Xi'an Capital Water Company Limited, Xi'an 710086, China)

Abstract: In order to study the feasible solution for further upgrading the effluent quality of three groups (six channels) surface exposure DE oxidation ditch of Xi'an Beishiqiao Sewage Treatment Plant, based on the minimum change of the existing civil structure, and on the premise of changing the surface exposure to bottom exposure, two renovation ideas were put forward. One idea maintained the existing double-ditch alternating operating, the other changed three groups of ditches into two groups, triple-ditch alternating operating. On this basis, an experimental model was made to simulate the change of DE oxidation ditch from surface exposure to bottom exposure, and the pilot experiment of alternating operation of double-ditch and triple-ditch was carried out. It was found that after changing to bottom exposure, the system could run stably under double-ditch and triple-ditch alternating mode, and the effluent indicators under the same conditions were less than that before transformation. After installing MBBR packing, the ammonia nitrogen and COD in the effluent of the biological sedimentation tank of the two operation modes after the overall transformation could stably meet the quality requirements of class IV effluent of the Environmental Quality Standard for Surface Water (GB 3838—2002) (ammonia nitrogen ≤ 1.5 mg/L and COD ≤ 30 mg/L), while total nitrogen could reach less than 12 mg/L and total phosphorus could reach less than 1 mg/L. The oxidation ditch with double-ditch or triple-ditch alternating operation both could be used as an alternative process for DE oxidation ditch upgrading.

Key words: DE oxidation ditch; alternate operation of double-ditch and triple-ditch; bottom exposure

DE 氧化沟工艺起源于 20 世纪末, 采用表面曝气, 2 个沟相互连通, 通过半交替运行的方式使双沟处于厌氧和好氧的循环状态, 从而达到脱氮的目的。

西安创业水务有限公司北石桥污水厂的 10 万 t/d 处理单元正是采用表曝 DE 氧化沟的运行工艺, 项

目始建于 20 世纪 90 年代, 设计规模为 15 万 m³/d, 设计出水水质为《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 B 类。后于 2014 年进行提标改造, 前端增加厌氧池, 将 15 万 m³/d 的处理规模减容降负荷为 10 万 m³/d, 后端增加混凝过滤设施。

经过提标后,出水水质稳定达到 GB 18918—2002 一级 A 类标准。2019 年黄河流域各污水厂推行准Ⅳ类水提标政策,对 DE 氧化沟能否稳定达到新的水质标准带来了新的挑战。原有的池容已经无法满足准Ⅳ类水质指标的要求,在无法增加池容的条件下,只能通过投加 MBBR 填料提升池中污泥浓度上限来弥补池容不足的缺陷^[1-4]。但 MBBR 填料只能在底曝模式下在池中悬浮运行,因此,表曝改底曝后能否继续保持该工艺高效稳定运行是本研究的重点^[5-8]。

本研究以污水厂现有构筑物土建结构(3组双沟)改动最小为出发点,以表曝改底曝为前提,提出维持现有双沟交替运行,以及将原有3组沟改为2组、三沟交替运行2种改造思路。通过制作小试实验模型,模拟交替运行的流态^[9-10],研究 DE 表曝氧化沟改底曝的可行性以及最佳工艺方案,确保改为底曝后的出水水质优于表曝,在加装 MBBR 填料后,部分指标能达到地表准Ⅳ类出水水质要求。

1 材料与方法

1.1 实验用水与接种污泥

实验用水取自北石桥厂曝气沉砂池出水,接种污泥为 DE 氧化沟中污泥。

1.2 实验装置

实验装置为根据 DE 氧化沟双沟以及三沟流态制作的有机玻璃模型,配有进水泵、回流泵、推流器、进出水电动阀、液位计、流量计、鼓风机、MBBR 填料、PLC 控制柜,曝气采用底曝形式。

1.3 实验方法

进水为北石桥污水厂曝气沉砂池出水,进水流量通过装置前端的流量计计量,进水和各组沟的进气端均设置电磁阀,通过 PLC 模块控制风机、推流器、电磁阀等设备的启停。实验装置有效容积为 1.5 m³,模拟实际停留时间 14 h,实验进水量设置为 107 L/h,污泥质量浓度控制为 5 000~6 000 mg/L。

进水启动前直接将北石桥氧化沟 5 000~6 000 mg/L 的混合污泥直接加满至实验装置,按照 DE 氧化沟运行工况在 PLC 运行界面上设置好启动风机、推流器、电磁阀的运行参数。双沟模式初次启动的参数设置模拟北石桥现有表曝氧化沟的运行参数,即 1 个运行周期为 4 h,一三阶段与二四阶段的时间比为 1:5。三沟模式因为没有现实参考数据,启动

周期设置为 3 h,每个阶段时间为 1 h。

在设置相同进水水质、水量、曝气风量、水力停留时间、活性污泥等参数的情况下,对底曝双沟交替运行和底曝三沟交替运行模式下出水水质进行监测,观察 2 种运行模式下出水水质的变化。

再投加 MBBR 填料,待挂膜运行稳定后观察 2 种运行模式下出水水质的变化。保持进水水质不变,出水水质若能达到污染物控制标准以下,则认为改造方案可行。

表 1 为进出水水质主要污染物控制标准。

表 1 进出水水质主要污染物控制标准

Table 1 Water quality control standards for the main pollutants of influent and effluent

工艺阶段	COD/ (mg·L ⁻¹)	氨氮/ (mg·L ⁻¹)	总氮/ (mg·L ⁻¹)	总磷/ (mg·L ⁻¹)
进水	450	50	65	8
原表曝出水	50	5	15	1
双沟底曝出水	50	5	15	1
三沟底曝出水	50	5	15	1
双沟底曝出水 (加 MBBR 填料)	30	1.5	12	1
三沟底曝出水 (加 MBBR 填料)	30	1.5	12	1

1.4 实验指标分析

根据《水和废水监测分析方法》(第 4 版)中标准方法测量水质参数:COD 采用重铬酸钾法;BOD₅采用稀释接种法;TN 采用碱性过硫酸钾消减-紫外分光光度计法;NH₄⁺-N 采用纳氏试剂分光光度计法。混合液悬浮固体(MLSS)和污泥容积指数(SVI)使用标准方法测试。使用光学显微镜观察污泥的形态^[11]。

2 结果与讨论

2.1 2 种运行模式原理

2.1.1 双沟式氧化沟

双沟式氧化沟为周期连续运行,一个周期分为 4 个阶段,好氧和缺氧交替运行,一、三阶段实现反硝化,二、四阶段实现硝化。具体控制过程如表 2 和图 1 所示。

不同于 A²O 工艺中污染物随空间的变化而降解,DE 氧化沟在 4 个运行阶段中,通过控制各阶段的时间来控制污染物浓度限值,即在某一污染物浓度即将达到表 1 中控制指标临界点时切换到下一阶段,其中,以二、四阶段的污染物浓度为主要控制参数,一、三阶段为二、四阶段的参数指标作铺垫。因

表2 双沟式氧化沟的运行控制

运转阶段	一阶段	二阶段	三阶段	四阶段
进水	1 [#] 沟	2 [#] 沟	2 [#] 沟	1 [#] 沟
出水	2 [#] 沟	2 [#] 沟	1 [#] 沟	1 [#] 沟
连通方向	1 [#] 沟—2 [#] 沟	两沟独立	2 [#] 沟—1 [#] 沟	两沟独立
曝气	2 [#] 沟	1 [#] 沟和2 [#] 沟	1 [#] 沟	1 [#] 沟和2 [#] 沟

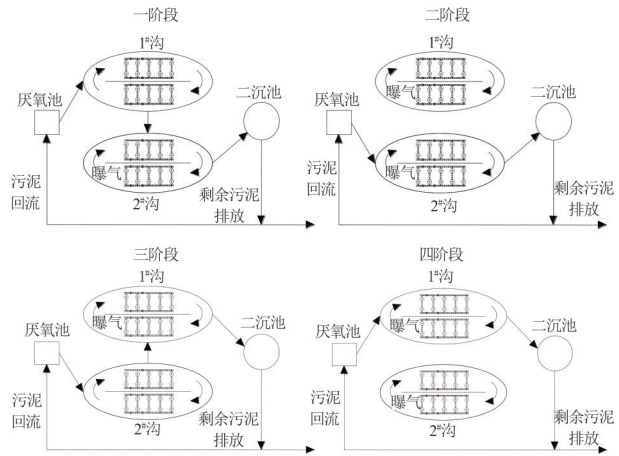


Fig. 1 Operation schematic of DE oxidation ditch

此,在运行过程中氨氮、总氮等指标多表现为近似等波式的曲线波动。

2.1.2 三沟式氧化沟

三沟式氧化沟为周期性连续运行,一个周期分为3个阶段,每个阶段都同时有2道沟发生硝化反应,1道沟发生反硝化反应,3道沟两两交替运行,具体控制过程如表3和图2所示。

表3 三沟式氧化沟的运行控制

运转阶段	一阶段	二阶段	三阶段
进水	1 [#] 沟	2 [#] 沟	3 [#] 沟
出水	2 [#] 沟	3 [#] 沟	1 [#] 沟
连通方向	1 [#] —2 [#]	2 [#] —3 [#]	3 [#] —1 [#]
曝气	2 [#] 沟和3 [#] 沟	1 [#] 沟和3 [#] 沟	1 [#] 沟和2 [#] 沟

三沟交替的运行模式始终保证当前出水沟不进水,首先可避免双沟式氧化沟运行时在二、四阶段发生的进水污染物指标对出水的影响。其次,无论哪个阶段,当前出水沟都经过充分的硝化反应。最后,三个阶段等时间循环运行,由曝气量控制氨氮排放限值,曝气量和运行周期综合控制总氮排放限值。

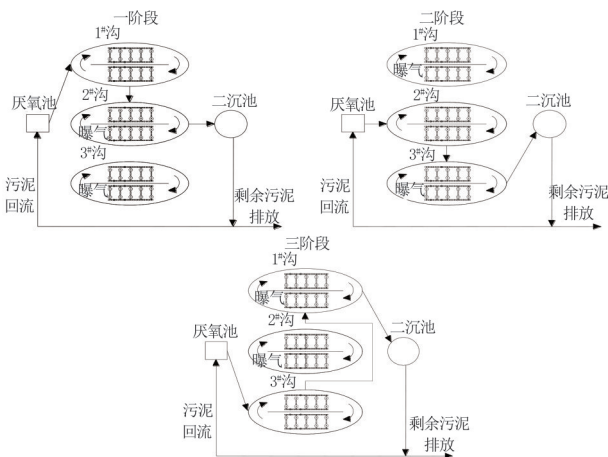


图2 三沟模式运行示意

Fig. 2 Operation schematic of triple oxidation ditch

2.2 双沟和三沟运行模式下出水水质对比

图3为双沟、三沟2种运行模式下的出水氨氮、总氮、COD、总磷的对比。

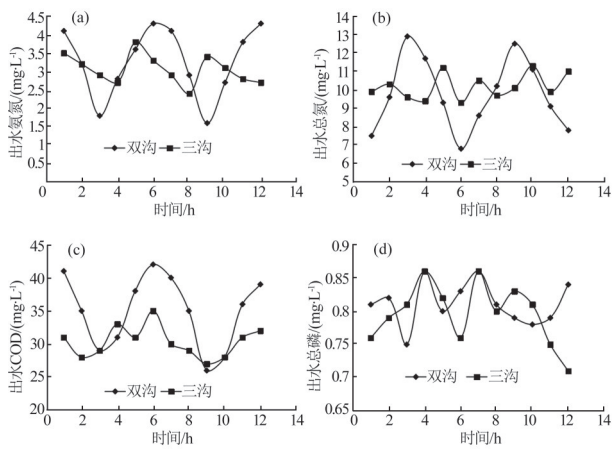


图3 2种运行模式下出水水质对比

Fig. 3 Comparison of effluent water quality under two operation modes

由图3(a)可知,双沟运行过程中出水氨氮随着阶段的变换呈近似等波式的曲线循环,且一、三阶段氨氮随时间推移逐渐降低,二、四阶段随时间推移逐渐升高,在升至临界点(5 mg/L)前进入下一阶段继续循环,整个循环过程中氨氮质量浓度最高为4.3 mg/L,最低为1.6 mg/L,平均为3.3 mg/L。而三沟运行过程中出水氨氮呈阶梯型变化,且每个阶段都是由高至低,往复循环,整个循环过程中氨氮质量浓度最高为3.8 mg/L,最低为2.4 mg/L,平均为3.1 mg/L。通过对比得出,在进水水质、水量、污泥负荷等都相同的运行条件下,双沟运行和三沟运行均能满足出

水氨氮不超过临界点的要求,双沟运行模式下氨氮最低能达到 1.6 mg/L,优于三沟模式的最低值。但三沟运行模式的水质波动较稳定,且整体氨氮平均值低于双沟运行模式。

由图 3(b)可知,双沟运行过程中出水总氮与氨氮相似,也呈近似等波式的曲线循环,一、三阶段总氮随时间推移逐渐升高,在升至临界点(15 mg/L)前进入下一阶段,二、四阶段总氮随时间推移逐渐降低。整个循环过程中总氮质量浓度最高为 12.9 mg/L,最低为 6.8 mg/L,平均为 9.8 mg/L。而三沟运行过程中出水总氮变化规律不明显,波动较小,总氮质量浓度最高为 11.6 mg/L,最低为 9.3 mg/L,平均为 10.2 mg/L。通过对比得出,在进水水质、水量、污泥负荷等都相同的运行条件下,双沟运行和三沟运行均能满足出水总氮不超过临界点的要求,双沟运行模式下总氮最低能达到 6.8 mg/L,优于三沟模式的最低值,且整体总氮平均值低于三沟运行模式。

由图 3(c)可知,双沟运行过程中出水 COD 也呈近似等波式的曲线循环,且一、三阶段 COD 随着时间推移逐渐降低,二、四阶段随着时间的推移逐渐升高,在升至临界点(50 mg/L)前进入下一阶段继续循环,整体循环过程中 COD 最高为 42 mg/L,最低为 26 mg/L,平均为 35 mg/L。而三沟运行过程中出水 COD 变化规律不明显,波动较小,COD 最高为 35 mg/L,最低为 27 mg/L,平均为 30.3 mg/L。通过对比得出,在进水水质、水量、污泥负荷等都相同的运行条件下,双沟运行和三沟运行均能满足出水 COD 不超过临界点的要求,三沟运行模式下 COD 最低值接近双沟模式的最低值,且整体平均值低于双沟运行模式。

由图 3(d)可知,双沟和三沟运行过程中出水总磷变化规律不明显,且波动幅度近似,平均总磷均接近 0.8 mg/L,2 种运行模式对出水总磷的影响不大。

2.3 加 MBBR 填料改造

2.3.1 添加 MBBR 填料后出水水质对比

图 4 为添加 MBBR 填料后 2 种运行模式下的出水水质的对比。

由图 4 可知,添加填料后,双沟和三沟运行过程中出水氨氮、总氮、COD、总磷的变化趋势基本接近未添加填料时的趋势,但各项污染物的指标均得到有效降低,均能达到表 1 中的控制指标要求。

表 4 为双沟、三沟 2 种模式添加 MBBR 填料前后

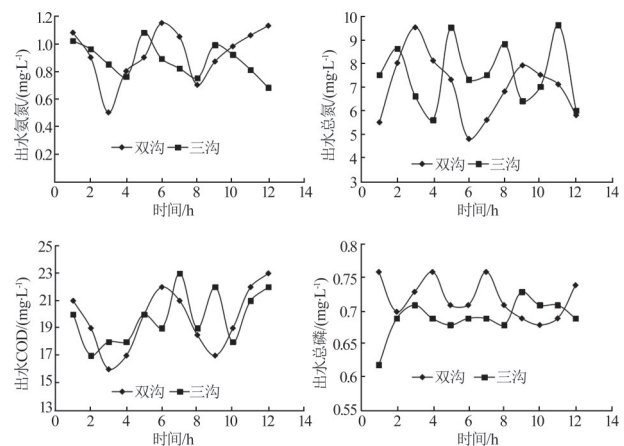


图 4 加 MBBR 后 2 种运行模式下出水水质对比

Fig. 4 Comparison of effluent water quality under two operation modes after installing MBBR

平均出水水质变化情况。

表 4 添加 MBBR 填料前后平均出水水质

Table 4 The average effluent quality before and after adding MBBR filler

工艺阶段	COD/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	氨氮/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	总氮/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	总磷/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
双沟底曝出水	35	3.3	9.8	0.8
三沟底曝出水	30.3	3.1	10.2	0.8
双沟底曝出水 (加 MBBR 填料)	19.6	0.93	7	0.72
三沟底曝出水 (加 MBBR 填料)	19.8	0.89	7.5	0.69

2.3.2 填料添加方式

双沟、三沟氧化沟不同于其他氧化沟或 A^2O 工艺,工艺提标改造时添加悬浮填料需要改变分区比例并在固定的分区加装拦截筛网。而氧化沟因其特殊的循环式流态,只需在出水口和沟之间的连通处加装拦网保证填料不会从本沟跑出,同时沟内增加推流器保证填料的流态即可,循环式的流态还能保证沟内填料均匀流动分布,避免了填料的堆积。

3 结论

(1) DE 氧化沟表曝改底曝后,虽然损失了表曝运行的特殊流态,但底曝在双沟和三沟 2 种运行模式下均能满足出水水质要求,而且双沟运行下的指标更低,三沟运行指标波动较平稳。

(2) 通过小试研究,2 种运行模式在加入悬浮填料后均能有效降低出水污染物中的氨氮、总氮、COD,在二级处理工段能达到准 IV 类水的出水指标

要求。

(3)北石桥污水厂的DE氧化沟改底曝并添加悬浮填料的工艺模式切实可行,双沟和三沟2种模式均可作为实际改造时的备选方案。

参考文献

- [1] 雒海潮,郭婉茜,樊星,等.低温条件下分流式侧流-AAO工艺污水处理及同步污泥减量效果研究[J].环境科学学报,2019,39(10):3284-3290.
LUO Haichao, GUO Wanqian, FAN Xing, et al. Performance on simultaneously nutrients removal and sludge reduction in AAO combined distributary side-stream anaerobic reactors under low-temperature[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2019, 39(10): 3284-3290.
- [2] 白润英,徐慧,胡文斌,等. CaO_2 应用于污泥减量的研究[J].工业水处理,2019,39(9):80-83.
BAI Runying, XU Hui, HU Wenbin, et al. Study on the application of CaO_2 for sludge reduction[J]. Industrial Water Treatment, 2019, 39(9): 80-83.
- [3] 周成金.生物倍增工艺处理低碳氮比城市污水脱氮效能的研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2016.
ZHOU Chengjin. Nitrogen removal efficiency of bio-doubling process for treating municipal wastewater with low carbon to nitrogen ratio[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2016.
- [4] WANG Yonglei, DU Zhenqi, LIU Baozhen, et al. Comparison of in-situ sludge reduction in a sequencing batch biofilm reactor(SBBR) under different carriers: Operation parameter optimizations[J]. Desalination and Water Treatment, 2019, 163: 6-47.
- [5] MENG Jia, LI Jiuling, LI Jianzheng, et al. Enhanced nitrogen removal from pinery wastewater with high NH_4^+ and low COD/TN ratio in a novel upflow microaerobic biofilm reactor[J]. Bioresource Technology, 2018, 249: 935-942.
- [6] SMOLDERS G J F, VAN DER MEIJ J, VAN LOOSDRECHT M C M, et al. Model of the anaerobic metabolism of the biological phosphorus removal process: Stoichiometry and pH influence[J]. Bio-technology and Bioengineering, 1994, 43(6): 461-470.
- [7] 郭玉梅,吴毅辉,郭防,等.某污水厂 A^2O 和倒置 A^2O 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 A^2O and inverted A^2O processes in a wastewater treatment plant[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2015, 9(5): 2185-2190.
- [8] 郑楠,李聪,谢慧君,等.碳源类型对反硝化除磷过程中 N_2O 产生的影响机制[J].山东大学学报:工学版,2014,44(5):72-77.
ZHENG Nan, LI Cong, XIE Huijun, et al. The mechanism of effect on N_2O production of carbon source types in denitrifying phosphorus removal process[J]. Journal of Shandong University: Engineering Science, 2014, 44(5): 72-77.
- [9] 傅海霞,杜义鹏,董志英,等.利用聚糖菌活性污泥系统处理酿酒废水的试验研究[J].工业水处理,2015,35(11):36-40.
FU Haixia, DU Yipeng, DONG Zhiying, et al. Experimental study on the treatment of brewery wastewater, using glycogen accumulating organisms activated sludge systems[J]. Industrial Water Treatment, 2015, 35(11): 36-40.
- [10] 张磊,黄悦,袁文锐,等.低湿密度竹炭悬浮生物载体在移动床生物膜反应器中的应用[J].环境污染与防治,2019,41(10):1170-1176.
ZHANG Lei, HUANG Yue, YUAN Wenrui, et al. Application of low wet density bamboo carbon suspended biological carrier in moving bed biofilm reactor[J]. Environmental Pollution and Control, 2019, 41(10): 1170-1176.
- [11] 国家环境保护总局.水和废水监测分析方法[M].4版.北京:中国环境科学出版社,2002:200-284.
State Environmental Protection Administration. Water and wastewater monitoring and analysis method[M]. 4th edition. Beijing: China Environmental Science Press, 2002: 200-284.

[作者简介] 张琦(1990—),硕士,工程师。电话:15109218581, E-mail:403081859@qq.com。

[收稿日期] 2021-12-28(修改稿)