

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.10.011

韶关市某污水处理厂氧化沟工艺高出水标准提标改造

朱红青, 伍波, 叶昌明, 彭金城, 戴文权
(深圳市清泉水业股份有限公司, 广东 深圳 518172)

摘要: 韶关市某市政污水处理厂提标改造项目规模 $10.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,出水标准由《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)二级标准提升至一级A标准和广东省地方标准《水污染物排放限值》(DB 44/26—2001)第二时段一级标准中的较严值。针对现状氧化沟因采用表面曝气而氧气利用率低、污泥大量沉积在池底的问题,对氧化沟进行了技术改造,改用底部微孔曝气器,并增设曝气生物滤池+上向流反硝化滤池深度处理单元,实际出水水质稳定达到了《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅲ类标准(TN除外)。

关键词: 氧化沟; 提标改造; 上向流反硝化深床滤池

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)10-0075-05

Upgrading and Reconstruction of Oxidation Ditch Process with High Effluent Standard in a Wastewater Treatment Plant in Shaoguan City

ZHU Hong-qing, WU Bo, YE Chang-ming, PENG Jin-cheng, DAI Wen-quan
(Shenzhen Qingquan Water Industry Co. Ltd., Shenzhen 518172, China)

Abstract: The scale of a municipal wastewater treatment plant upgrading project in Shaoguan City is $10.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, and the effluent standard is upgraded from the second level limit specified in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002) to the stricter of the first level A limit and the first level limit in the second period specified in the Guangdong Provincial local standard *Discharge Limits of Water Pollutants* (DB 44/26-2001). To solve the problems of low oxygen utilization rate and large amount of sludge deposition at the bottom of the oxidation ditch due to surface aeration, the oxidation ditch was reconstructed as follows: the microporous aerator was adopted at the bottom of the tank, and the advanced treatment units including biological aeration filter and upflow denitrification filter were added. The actual effluent quality stably reached the class III limit specified in *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838-2002) (except TN).

Key words: oxidation ditch; upgrading and reconstruction; upflow denitrification deep bed filter

1 项目概况

韶关市某市政污水处理厂分为两期建设,一期工程主体工艺采用AO表曝氧化沟工艺,处理规模

$5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。二期主体工艺采用AO微曝氧化沟工艺,处理规模 $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,总处理规模 $10.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB

基金项目: 深圳市可持续发展专项(KCXFZ202002011006555)

通信作者: 叶昌明 E-mail: 390928402@qq.com

18918—2002)二级标准。随着国家对污水处理厂排放标准越来越严格,以及《城镇污水处理提质增效三年行动方案(2019—2021年)》的发布,该市政污水处理厂亟需进行提标改造。

1.1 设计水质

污水厂原设计及现状实际进、出水水质见表 1。

表 1 原设计及实际进、出水水质

Tab.1 Original design and actual influent and effluent quality $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

| 项目 | COD | BOD ₅ | TN | TP | NH ₃ -N | SS |
|-----------|------------|------------------|------------|-----------|--------------------|--------|
| 设计进水 | 250 | 130 | 40 | 4 | 30 | 150 |
| 2018年实际进水 | 51.9~168.7 | 19.5~105 | 2.91~33.2 | 0.33~1.99 | 1.88~21.8 | 15~135 |
| 2018年实际出水 | 11.0~24.8 | 2.0~13.0 | 2.85~19.88 | 0.13~0.95 | 0.04~8.56 | 6~18 |
| 设计出水 | 100 | 30 | | 3 | 25 | 30 |

本次改造将出水标准由《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)二级标准提升至一级 A 标准和广东省地方标准《水污染物排放限值》(DB 44/26—2001)第二时段一级标准中的较严值。

改造工程设计进、出水水质见表 2。

表 2 改造工程设计进、出水水质

Tab.2 Design influent and effluent quality of reconstruction project $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

| 项目 | COD | BOD ₅ | TN | TP | NH ₃ -N | SS |
|----|-----|------------------|----|-----|--------------------|-----|
| 进水 | 250 | 130 | 34 | 4 | 30 | 150 |
| 出水 | 40 | 10 | 15 | 0.5 | 5 | 10 |

1.2 现状主要构筑物

现状主要构筑物规格及主要工艺参数如表 3

表 4 改造工艺分析

Tab.4 Transformation processes analysis

| 项目 | | 方案一:MBBR+反硝化深床滤池 | 方案二:扩容 AAO+高效沉淀池+转盘滤池 | 方案三:增加曝气生物滤池+反硝化深床滤池深度处理 |
|---------------------|-------|--|---|--|
| 特点 | 适用场景 | COD、BOD ₅ 去除率好,具有较好的脱氮效果,一般应用于用地无法解决的场合 | 适于不同的规模,COD、BOD ₅ 去除率好,具有较好的除磷效果 | 国内外运行经验丰富,适用于不同的规模,COD、BOD ₅ 去除率好,具有较好的脱氮效果 |
| 工艺效果 | 出水水质 | 稳定达标 | 稳定达标 | 稳定达标 |
| | 工艺可靠性 | 水质浓度对 MBBR 挂膜的影响比较大,对外界条件变化的适应性一般 | 出水水质稳定,对外界条件变化的适应性好 | 出水水质稳定,对外界条件变化的适应性好 |
| 运行管理 | | MBBR 维护工作量较多 | 维修量一般 | 维修量一般 |
| 污泥量 | | 一般 | 较多 | 一般 |
| 电耗及药耗 | | 一般 | 较少 | 一般 |
| 填料更换费用 | | MBBR 填料每年有损耗 | 无 | 无 |
| 占地面积/m ² | | 约 2 300,用地足够 | 约 5 350,用地紧张 | 约 3 800,用地足够 |
| 总投资/万元 | | 7 738.07 | 8 209.22 | 7 950.32 |

所示。

表 3 现状主要构筑物及其工艺参数

Tab.3 Current main structures and their process parameters

| 项目 | 规格 | 主要工艺参数 | 结构型式 | 数量/座 |
|-------|----------------------|---|------|------|
| 一期氧化沟 | 69.35 m×36.6 m×4.8 m | HRT:7.5 h | 钢混 | 2 |
| 二期二沉池 | ∅42 m×4.4 m | 表面负荷 0.75 m ³ /(m ² ·h) | 钢混 | 2 |
| 二期氧化沟 | 68.6 m×25.8 m×6.0 m | HRT:7.6 h | 钢混 | 2 |
| 二期二沉池 | ∅38.8 m×5 m | 表面负荷 0.9 m ³ /(m ² ·h) | 钢混 | 2 |

1.3 现状问题分析

① 现状出水水质指标中 BOD₅、SS、TP、NH₃-N、TN 达不到提标改造后的排放标准。

② 一期氧化沟转盘曝气效率低,能耗高,曝气不均匀,池底严重积泥,导致氧化沟有效容积大幅减少,影响污染物去除效率。

③ 现有紫外消毒设备杀菌效果不稳定,出水粪大肠菌群达不到提标改造后的排放标准。

1.4 改造工艺分析

根据实际运行情况,需要提高污水厂去除 BOD₅、SS、TP、NH₃-N、TN 的能力。同时,考虑到以后城市管网的不断完善,污水厂进水浓度将逐步提高,污水深度处理需选择具备脱氮除磷功能的工艺。

综合考虑后提出三种提标改造主体工艺路线,分析结果见表 4。

由表4可知,三种方案都可以达到排放要求,但是基于现有污水厂的工艺流程,方案二占地面积较大,厂区预留的用地较少,采用AAO微曝氧化沟,整体流程不顺畅,改造难度大;而方案一投加MBBR填料易在池内形成流动死区,造成有效池容减少,影响处理效果,南方生活污水处理厂进水浓度较低,应用较少,且一期生化池有效水深4 m,氧转化效率较低;而方案三工艺可行,用地面积可满足,改造后整体流程更为顺畅,改造难度小,运行费用较低。因此,深度处理系统采用方案三:增加曝气生物滤池+反硝化深床滤池深度处理工艺路线。

2 改造后工艺流程

改造后具体工艺流程见图1。

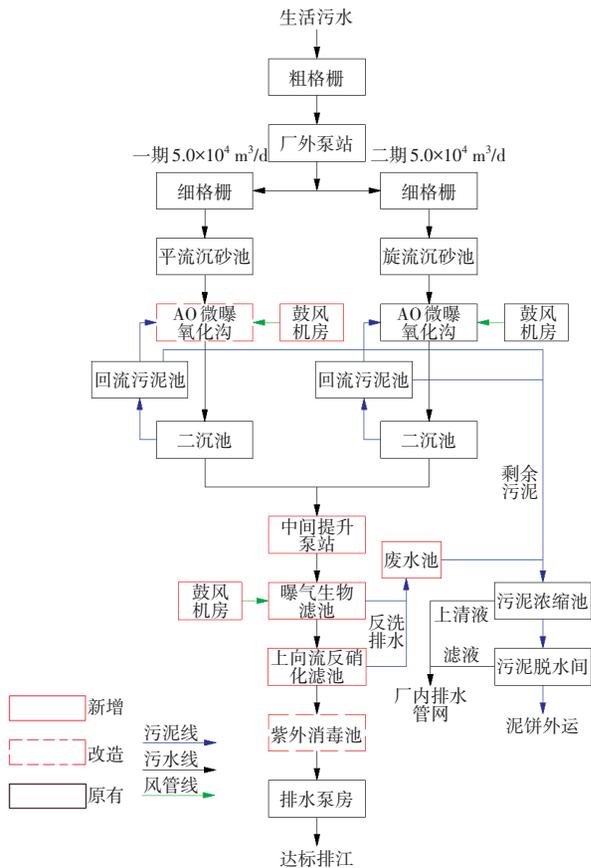


图1 改造后工艺流程

Fig.1 Process flow chart after reconstruction

针对项目存在的问题,本次提标改造主要设计思路^[1-2]如下:

① 改造部分二级生化处理单元,清除一期氧化沟底部沉积淤泥,并对一期好氧段表曝系统进行改造,将表面曝气机改为底部微孔曝气器,改善曝气效果,增加氧化沟有效池容,改善一期氧化沟处

理效果。

② 因污水处理厂占地面积受限,在一、二期生化段后增加曝气生物滤池+上向流反硝化滤池深度处理系统,用于强化BOD₅、SS、TP、NH₃-N、TN的去除,保障出水水质稳定达标。

③ 对原有的紫外消毒设备进行更换,并增加次氯酸钠投加装置用于辅助消毒,确保粪大肠菌群达到提标改造后的排放标准。

3 主要工艺设计参数

3.1 各处理段预计出水水质

各工艺处理段预计出水水质见表5。

表5 各处理段预计出水水质

Tab.5 Supposed effluent quality of each section

| 项目 | COD | BOD ₅ | NH ₃ -N | TN | TP | SS |
|--------------------------------|-------|------------------|--------------------|-------|-------|-------|
| 设计进水水质/(mg·L ⁻¹) | 250 | 130 | 30 | 34 | 4 | 150 |
| 预处理单元出水/(mg·L ⁻¹) | 200 | 120 | 30 | 34 | 3 | 100 |
| 二级生化单元出水/(mg·L ⁻¹) | 60 | 30 | 15 | 20 | 1 | 30 |
| 深度处理单元出水/(mg·L ⁻¹) | 30 | 10 | 5 | 15 | 0.4 | 9 |
| 总去除率/% | 88.00 | 92.31 | 83.33 | 55.88 | 90.00 | 94.00 |

3.2 一、二期氧化沟

3.2.1 一期氧化沟改造

一期氧化沟共两座,处理规模5.0×10⁴ m³/d,总停留时间7.5 h,原采用转碟表面曝气方式,共设置8座转碟,表面曝气氧气利用率低,能耗较高,且转碟老化较严重,运行不平稳,噪声极大。由于进水浓度较低,日常仅开启4座转碟,导致整体沟内推流流速偏低,底部淤泥沉积较为严重,影响出水水质。因此,需要对原表曝氧化沟进行改造:清理底部沉积淤泥,将表面曝气机改为底部微孔曝气器,新增主要设备有潜水推流器8台,∅200 mm, n=42 r/min, N=4.5 kW;管式微孔曝气器1286根,∅64 mm。

3.2.2 二期氧化沟利用

二期氧化沟共两座,处理规模5.0×10⁴ m³/d,厌氧区停留时间1.6 h,好氧区停留时间6.0 h,总停留时间7.6 h,采用底部微孔曝气,每座配3台水下搅拌机,氧化沟内曝气均匀,污水流动性好,出水水质较稳定,此次改造不涉及二期氧化沟。

3.3 深度处理单元

3.3.1 中间提升泵站

新建中间提升泵站1座,用于将一、二期二沉池出水提升至后续处理单元。平面尺寸10.8 m×5.7 m,与曝气生物滤池合建。主要设备:中间提升泵4台(3用1备), $Q=1\ 806\ \text{m}^3/\text{h}$, $H=100\ \text{kPa}$, $N=75\ \text{kW}$;内流式孔板格栅2台, $N=1.1\ \text{kW}$,过滤精度 $\phi 1\ \text{mm}$,单台处理水量 $2\ 710\ \text{m}^3/\text{h}$,配套冲洗系统及不锈钢304栅渣溜槽;铸铁镶铜方闸板1套,用于超越曝气生物滤池, $B\times H=1\ 500\ \text{mm}\times 1\ 000\ \text{mm}$,配手电两用启闭机;电动葫芦1台。

3.3.2 曝气生物滤池

新建曝气生物滤池1座,用于对二级生化处理单元出水中的含碳有机物进行降解,并强化硝化效果,进一步去除 $\text{NH}_3\text{-N}$ (去除量 $10\ \text{mg/L}$)。滤池分10格,单格平面尺寸10.8 m×8.6 m,平均滤速 $4.49\ \text{m/h}$,采用3~5 mm陶粒滤料,滤料层高度3.6 m,硝化负荷 $0.299\ \text{kgNH}_3\text{-N}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$,气洗强度 $16\ \text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,水洗强度 $5\ \text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,过滤周期48~72 h,空床接触时间48.15 min。主要设备:滤板 $928\ \text{m}^2$,无堵塞上向流滤头45 000个,单孔膜曝气器33 000个,陶粒滤料 $3\ 344\ \text{m}^3$;曝气风机13台(10用3备), $Q=14.1\ \text{m}^3/\text{min}$, $P=78.4\ \text{kPa}$, $N=30\ \text{kW}$;管廊间电动葫芦1台。

3.3.3 上向流反硝化深床滤池

新建反硝化深床滤池1座,采用具有同步脱氮除磷功能的上向流反硝化滤池^[3-4],强化去除SS、TP、TN(去除量 $5\ \text{mg/L}$)。滤池分10格,单格平面尺寸 $19.5\ \text{m}\times 4.11\ \text{m}$,滤池消氧渠设有混合池,用于碳源、除磷剂的混合,平均滤速 $5.20\ \text{m/h}$,采用粒径为2~4 mm的石英砂滤料,滤料层高度2.0 m,反硝化负荷 $0.31\ \text{kgNO}_3\text{-N}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$,气洗强度 $25\ \text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,水洗强度 $6\ \text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,过滤周期24~48 h,空床水力停留时间23.1 min。主要设备:布水布气系统 $801\ \text{m}^2$ (多功能滤管布水,不锈钢304穿孔管布气),石英砂滤料 $1\ 602\ \text{m}^3$;立式混合搅拌机1台, $N=1.5\ \text{kW}$;管廊间电动葫芦1台。

3.3.4 反冲洗废水池

新建反冲洗废水池1座,平面尺寸 $51.2\ \text{m}\times 6.2\ \text{m}$,用于收集曝气生物滤池和上向流反硝化滤池的反冲洗废水,避免瞬时反冲洗排水量过大,对前端处理单元造成冲击。主要设备:潜水搅拌机2台,

$N=4.0\ \text{kW}$, $r=480\ \text{r/min}$;反洗废水泵2台(1用1备), $Q=200\ \text{m}^3/\text{h}$, $H=100\ \text{kPa}$, $N=7.5\ \text{kW}$ 。

3.3.5 清水池

新建清水池1座,平面尺寸 $27.5\ \text{m}\times 5.1\ \text{m}$,与反硝化深床滤池合建。主要设备:反洗水泵4台(3用1备), $Q=836\ \text{m}^3/\text{h}$, $H=100\ \text{kPa}$, $N=30\ \text{kW}$;电动葫芦1台。

3.4 鼓风机房

新建鼓风机房1座,平面尺寸 $26.0\ \text{m}\times 10.9\ \text{m}$,主要设备:一期氧化沟曝气风机,从节省能耗的角度考虑,悬浮风机具有显著的节能优势^[5],因此曝气风机采用磁悬浮鼓风机3台(2用1备), $Q=78.13\ \text{m}^3/\text{min}$, $P=49\ \text{kPa}$, $N=110\ \text{kW}$;曝气生物滤池和上向流反硝化滤池反冲洗风机,罗茨鼓风机为容积式风机,风量基本不受风压变化影响,适用于反冲洗工况^[5],因此反冲洗风机采用罗茨鼓风机4台(3用1备), $Q=43\ \text{m}^3/\text{min}$, $P=78.4\ \text{kPa}$, $N=90\ \text{kW}$;单梁桥式起重机1台。

3.5 设备间

新建设备间1座,平面尺寸 $27.5\ \text{m}\times 5.1\ \text{m}$ 。主要设备:空气压缩机2台(1用1备), $Q=1.5\ \text{m}^3/\text{min}$, $P=0.8\ \text{MPa}$, $N=11\ \text{kW}$;空气储罐1台, $1.0\ \text{m}^3$, $P=0.8\ \text{MPa}$;冷冻式干燥机2台(1用1备), $Q=2.1\ \text{m}^3/\text{min}$ 。

3.6 加药间

加药间由原有加氯间改造而成,除磷剂采用聚合氯化铝,投加点设置于一、二期氧化沟出水点及反硝化滤池进水药剂混合池,共5处投加点;碳源采用乙酸钠,投加点设置于反硝化滤池进水药剂混合池,共1处投加点。主要设备:聚合氯化铝投加计量泵3台(2用1备), $Q=200\ \text{L/h}$, $P=0.6\ \text{MPa}$, $N=0.37\ \text{kW}$,变频;乙酸钠投加计量泵2台(1用1备), $Q=600\ \text{L/h}$, $P=0.4\ \text{MPa}$, $N=0.75\ \text{kW}$,变频;次氯酸钠投加泵2台(1用1备), $Q=100\ \text{L/h}$, $P=0.6\ \text{MPa}$, $N=0.37\ \text{kW}$,变频;卸料泵3台, $Q=12.5\ \text{m}^3/\text{h}$, $H=200\ \text{kPa}$, $N=2.2\ \text{kW}$ 。

3.7 紫外消毒池改造

更换原有紫外灯组,增设紫外灯组模块,更换出水水位控制拍门,调节消毒池液位,从而满足新紫外模块的淹没水位要求。主要设备:紫外线消毒设备,配置32个排架,8支灯/模块,共256支, $N=91.8\ \text{kW}$;进水渠道闸门2套, $B\times H=1\ 400\ \text{mm}\times 1\ 200\ \text{mm}$,配手电两用启闭机;电动葫芦1台。

4 实际处理效果与经济分析

该项目于2020年12月投入运行,2020年12月—2021年5月进、出水数据见表6,可以看出,实际进水水质接近设计值,实际出水水质则优于设计值,达到了《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中Ⅲ类标准(TN除外),且总出水口溶解氧大于5 mg/L。

表6 实际运行进、出水水质

Tab.6 Actual influent and effluent quality $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

| 项目 | COD | BOD ₅ | TN | TP | NH ₃ -N | SS |
|----|----------|------------------|-----------|-----------|--------------------|---------|
| 进水 | 86~177 | 48~108 | 15.7~33.5 | 1.5~4.4 | 10.0~25.5 | 26~100 |
| 出水 | 8.2~19.5 | 3~4 | 5.0~9.8 | 0.12~0.18 | 0.1~0.4 | 1.1~2.5 |

本提标工程总投资为7 950.32万元,新增电费0.068元/m³,新增药剂费用0.06元/m³,新增污泥处理费用0.02元/m³,新增总直接运行费用0.148元/m³。

5 结语

① 韶关市某市政污水处理厂提标改造工程新增曝气生物滤池+上向流反硝化滤池深度处理工艺,能够满足高标准出水需求,实际出水水质能稳定达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中Ⅲ类标准(TN除外),处理效果好。

② 上向流反硝化滤池具有同步脱氮除磷功能,液体除磷剂与液体碳源可以投加至同一个投加点,对反硝化滤池脱氮除磷效果无影响。

参考文献:

- [1] 张万里,陈晓光,程文,等. 无锡市某工业污水处理厂准IV类提标改造工程设计[J]. 中国给水排水, 2021, 37(12):70-75.
ZHANG Wanli, CHEN Xiaoguang, CHENG Wen, *et al.* Design of an industrial wastewater treatment plant quasi-IV standard upgrading and reconstruction project in Wuxi [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(12):

70-75(in Chinese).

- [2] 常尧枫,谢嘉玮,谢军祥,等. 城镇污水处理厂提标改造技术研究进展[J]. 中国给水排水, 2022, 38(6): 20-28.
CHANG Yaofeng, XIE Jiawei, XIE Junxiang, *et al.* Research progress on upgrading and reconstruction technology of urban sewage treatment plants [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(6): 20-28 (in Chinese).
- [3] 伍波,叶昌明,王小林,等. 上向流反硝化深床滤池用于污水厂提标改造[J]. 中国给水排水, 2022, 38(4): 103-108.
WU Bo, YE Changming, WANG Xiaolin, *et al.* Application of upflow DDBF in upgrading reconstruction of a WWTP [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(4):103-108(in Chinese).
- [4] 谢益佳,戴仲怡,杨墨,等. 上向流石英砂深床滤池在污水处理厂提标中的应用[J]. 净水技术, 2022, 41(5):139-143,164.
XIE Yijia, DAI Zhongyi, YANG Mo, *et al.* Application of upflow quartz sand deep bed filter in upgrading of WWTP [J]. Water Purification Technology, 2022, 41(5): 139-143,164(in Chinese).
- [5] 赵广超. 工业园区污水处理厂鼓风机选型与配置研究[J]. 给水排水, 2021, 47(8):73-78.
ZHAO Guangchao. Study on selection and configuration of blowers of wastewater treatment plant in industrial park [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47(8): 73-78(in Chinese).

作者简介:朱红青(1994-),男,安徽六安人,本科,助理工程师,从事水处理设计与研究工作,曾获广东省环境保护科学技术二等奖。

E-mail:945344196@qq.com

收稿日期:2022-06-30

修回日期:2022-11-04

(编辑:孔红春)