

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.22.012

某混合废水处理厂提标改造为生活污水处理厂设计

杨 登

(广东省环境保护工程研究设计院有限公司, 广东 广州 510080)

摘 要: 汕头市某混合废水处理厂设计规模为 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 进水为印染废水和生活污水(比例7:3), 出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准和广东省《水污染物排放限值》(DB44/26—2001)中城镇二级污水处理厂第二时段一级标准的较严值。因辖区内印染工业废水处理厂的建设, 该混合废水处理厂升级改造为生活污水处理厂, 出水执行原标准与《练江流域水污染物排放标准》(DB44/2051—2017)的更严值。通过分割原水解酸化池为厌氧池或缺氧池进行生化系统改造, 并增加内回流功能, 将原水解酸化池+A/O工艺改造为A/A/O微曝氧化沟工艺; 通过管线迁改及配套设备更换进行深度处理改造, 利旧原高效沉淀池+回转精密滤池工艺。改造完成后, COD、BOD₅、SS、NH₃-N、TN与TP去除率分别提高约6%、1%、5%、3%、30%和8%, 出水指标均稳定优于设计出水标准。工程在不增加污水处理设施的情况下对污水处理厂进行原位提标改造, 可为类似项目提供参考。

关键词: 混合废水处理厂; 生活污水处理厂; 原位提标改造; A/A/O微曝氧化沟; 高效沉淀池

中图分类号: TU992 文献标识码: B 文章编号: 1000-4602(2025)22-0072-06

Design for Upgrading and Transformation of a Mixed Wastewater Treatment Plant into a Domestic Sewage Treatment Plant

YANG Deng

(GDEP Engineering Research & Design Institute Co. Ltd., Guangzhou 510080, China)

Abstract: The designed treatment capacity of a mixed wastewater treatment plant in Shantou is $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, with influent consisting of printing and dyeing wastewater and domestic sewage in a ratio of 7:3. The effluent quality must meet the stricter values of the first level A limit specified in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002) and the first level limit during the second phase of urban secondary wastewater treatment plants specified in *Discharge Limits of Water Pollutants* (DB44/26-2001) of Guangdong Province. Due to the construction of a dedicated dyeing and printing industrial wastewater treatment facility within the jurisdiction, the previously mixed wastewater treatment plant was upgraded and transformed into a domestic sewage treatment plant. The treated effluent quality is required to meet the stricter values of the original discharge standard as well as those stipulated in *Discharge Standard of Water Pollutants for LianJiang River* (DB44/2051-2017). The biochemical treatment system was upgraded by converting the original hydrolysis acidification tank into an anaerobic tank or an anoxic tank, and integrating an internal recirculation function. This modification transformed the initial hydrolysis acidification tank combined with an A/O process into an A/A/O micro-aeration oxidation ditch system. Additionally, advanced treatment was achieved through pipeline

reconfiguration and replacement of auxiliary equipment, enabling the continued utilization of the existing high-efficiency sedimentation tank coupled with a rotary precision filter. Following the completion of the renovation, the removal efficiencies of COD, BOD₅, SS, NH₃-N, TN and TP increased by approximately 6%, 1%, 5%, 3%, 30% and 8%, respectively, with all effluent parameters consistently meeting and being superior to the designed discharge standards. This project demonstrates the feasibility of in-situ upgrading and renovation of the wastewater treatment plant without expanding treatment infrastructure, offering a replicable model for similar projects.

Key words: mixed wastewater treatment plant; domestic sewage treatment plant; in-situ upgrading and renovation; A/A/O micro-aeration oxidation ditch; high-efficiency sedimentation tank

2015年广东省环境保护厅印发的《练江流域水环境综合整治方案(2014—2020年)》提出综合整治流域水环境,集聚工业产业,建设环保基础设施,对流域内工业废水治理及城镇污水处理厂排放限值分别提出新的要求。由于治理效果欠佳,广东省环境保护厅于2017年8月30日发布《练江流域水污染物排放标准》(DB44/2051—2017),要求流域范围内城镇污水处理厂出水自2020年12月31日起执行此标准。汕头市某混合废水处理厂原进水为印染废水和生活污水(比例7:3),出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准和广东省《水污染物排放限值》(DB44/26—2001)中城镇二级污水处理厂第二时段一级标准的较严值,为响应地区水污染防治政策,势必对其进行提标改造。

1 原混合废水处理厂概况

1.1 工程概况

该混合废水处理厂原设计总规模 6×10⁴ m³/d,分两期建设,其中一期工程于2010年竣工验收,设计规模 3×10⁴ m³/d,2017年对一期工程进行了出水水质提升为一级A的升级改造和二期工程的扩建。一期改造后主体工艺为“水解酸化池+中沉池+A/O池+斜管沉淀池+回转精密滤池”,二期扩建工程主体工艺采用“初沉池+水解酸化池+A/O氧化沟+高效沉淀池+回转精密滤池”,扩建规模 3×10⁴ m³/d。原设计进、出水水质见表1。

表1 原设计进、出水水质

Tab.1 Original design influent and effluent quality

mg·L⁻¹

项目	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
进水	600	250	200	20	30	4
出水	≤40	≤10	≤10	≤5	≤15	≤0.5

1.2 运行现状及存在问题

因2019年产业集聚计划的实施,辖区范围内所有印染企业均迁移至当地印染园,工业废水统一由园区新建的工业污水处理厂处理,该污水处理厂进水由以印染废水为主的混合废水转变为生活污水,故现状实际进水水质与原设计水质差异较大。

改造前,该污水处理厂2020年1月—10月平均进水量为 4.15×10⁴ m³/d,实际进、出水水质见表2。对比表1可知,现状实际进水除SS、TN和TP浓度在设计值范围内,COD和BOD₅浓度远低于设计值,而NH₃-N浓度超出设计值。现状实际出水指标均优于原设计出水标准,并已达到DB44/2051—2017要求,但参考近几年污水处理厂的运行数据发现,出水TP偶有超标。

表2 提标前实际进、出水水质

Tab.2 Actual influent and effluent quality before

upgrading

mg·L⁻¹

水质指标	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
进水区间	64~116	27~54	56~151	10.67~21.79	13.00~23.70	1.30~2.72
进水均值	87.8	39.4	85.0	16.1	18.9	2.0
出水区间	6~11	2~3	4~7	0.18~1.16	7.78~11.40	0.17~0.30
出水均值	9.1	2.2	5.8	0.6	9.5	0.2

该污水处理厂在实际进水水质与设计水质相差较大的情况下,出水水质仍能达标,原因可能是在现有进水条件下,现状实际进水量仅达设计进水量的70%,污水在工艺设施中的实际停留时间较设计停留时间长40%,污水处理厂运行优化空间大^[1]。为保证出水TN达标,现状生化池运行方式调整为降低好氧池曝气量,形成部分缺氧区域来强化反硝化作用,从而提高生化系统对TN的去除率。但随

着雨污分流的逐步推进以及污水处理厂配套管网的进一步完善,该污水处理厂进水水量和水质浓度均已呈上升趋势,由于新执行标准对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TP 提出更高的要求,届时生化池以分割好氧区域来提高反硝化作用的运行方式将难以使出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TN 同时达标,因此提标改造工程主要考虑进一步强化污水处理系统的脱氮除磷能力。根据新的排放要求,现状污水处理厂存在以下问题:

① 系统脱氮除磷能力难控制。产业集聚完成后污水处理厂进水 COD 浓度大幅下降, $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 与 TP 浓度明显上升,而一期生化池未单独设置缺氧池,好氧池曝气系统又严重老化,曝气不均匀;二期生化池缺氧时间短,硝化液回流量不足;生化池 TN 去除能力差。二期生化池无厌氧池,聚磷菌无法充分释磷,影响好氧池中生物除磷效果。此外,进水有机污染物易被一期水解酸化池、中沉池及二期初沉池截留,导致进入生化系统的碳源进一步下降,严重影响脱氮除磷效果。

② 一期工程深化处理段的斜管沉淀池已使用10年,斜管堵塞严重,排泥效果较差,出水 SS 浓度上升,导致后续回转精密滤池负荷较大。

③ 污泥脱水系统脱水能力不足。原一期污泥脱水车间的2台带式浓缩脱水一体机使用多年,损耗严重,已于2019年底报废,仅剩二期扩建时新增的1台脱水机。提标改造后污泥量增加,现状脱水机处理能力无法满足新的污泥脱水需求。且目前厂区脱水后的泥饼无法自由落到泥斗中,需通过螺杆泵输送至泥斗,污泥阻力大造成泵易堵塞、维修频繁,影响脱水系统的正常运行。此外,泥斗阀门切换需攀爬至泥斗上方人工操作,而车间无配套操作平台及相应安全设施,存在很大的安全隐患。

④ 消毒系统处理能力较差。该污水处理厂采用二氧化氯接触消毒法,一期的二氧化氯制备装备已损坏,无法使用,仅剩二期新增的一套设备。提标改造后进水量增加,进水污染物浓度增大,现状消毒池加氯量不足,无法达到理想的消毒效果。

2 改造工程

2.1 改造思路

综合流域内同类型污水处理厂进水水质及该污水处理厂配套管网建设进度,在现状实际进水水质基础上适当留有余量,最终确定提标改造工程的

设计进水水质,出水执行 GB 18918—2002 一级 A 标准、DB44/26—2001 城镇二级污水处理厂第二时段一级标准及 DB44/2051—2017 三者的更严值。提标改造工程设计进、出水水质见表3,其中进、出水 pH 均为6~9,出水总大肠菌群数 $\leq 1\,000$ 个/L。

表3 提标改造工程设计进、出水水质

Tab.3 Design influent and effluent quality of the upgrading and renovation project $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

项目	COD	BOD ₅	SS	$\text{NH}_3\text{-N}$	TN	TP
进水	280	120	200	25	35	3
出水	≤ 40	≤ 10	≤ 10	≤ 2	≤ 15	≤ 0.4

由表3可知, $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 与 TP 是以工业废水为主的混合废水处理厂改造为生活污水处理厂需重点关注的指标,此次提标改造工程设计思路如下:

① 考虑到进水已不含工业废水,污水可生化性提高,此次改造设计减少污水在预处理段的停留时间,保证原水优质碳源最大限度进入后续生化池。

② 针对现有一、二期生化池 A/O 系统 TN 去除率低的问题,通过池体池容重新分配、改进现有曝气系统、控制混合液回流比、调整回流点位置、优化碳源投加等措施提高生化池 TN 去除能力。

③ 由于提标改造工程要求出水 $\text{TP}\leq 0.4\text{ mg/L}$, 须采用生物除磷与化学除磷相结合的方式^[2]。生物除磷可在生化段增加厌氧池,便于聚磷菌在厌氧-好氧环境下完成释磷吸磷的完整过程;化学除磷可在深度处理段投加除磷剂进行混凝沉淀。由于改造后生化系统出水水质能满足 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TN 的达标要求,深度处理段只需进一步去除 TP,因此此次改造沿用原高效沉淀池+回转精密滤池工艺。

2.2 预处理段

① 初沉池

初沉池主要去除进水 SS,同时可去除少量 COD。现状出水 SS 稳定达标,改造工程无需强化对 SS 的去除。但考虑到进水 COD 浓度降幅大,为减少预处理段对碳源的截留,将原一期中沉池改造为初沉池,在一、二期初沉池外设置超越管,根据实际进水 SS 浓度选择进入初沉池或直接进入生化池。

② 水解酸化池

水解酸化池将污水中大分子物质与难降解有机物转化为易于生化降解的小分子物质,提高污水可生化性,为后续的好氧生物处理创造条件。提标

工程设计进水 $BOD_5/COD > 0.4$, 可生化性较好, 因此改造工程取消水解酸化池。

2.3 生化系统

将一期工程的水解酸化池分割为厌氧池和缺氧池; 将原选菌池改造为预缺氧池, 在池外设置潜水内回流泵并增加碳源投加装置, 保证较好的 TN 去除效果; 同时将好氧池曝气系统改造为可提升式微孔曝气装置, 完成曝气系统的优化, 保证池内溶解氧充足。

将二期工程的原缺氧池改造为厌氧池, 拆除 1 组水解酸化池改造为缺氧池, 并在好氧池与缺氧池间设置内回流泵, 深挖生化系统脱氮除磷潜力。改造后一、二期生化处理均采用 A/A/O 微曝氧化沟工艺。

2.4 深度处理段

一期工程采用斜管沉淀池进行深度处理, 其穿孔花墙布水的进水形式可能导致沉淀区形成局部湍流, 使原已在斜管填料上沉淀的污泥再度上浮, 混凝沉淀效果不稳定; 而高效沉淀池因絮凝区和沉淀区之间过渡衔接段的设计可避免产生这一问题, 且其沉淀区下部的污泥浓缩池可以加速污泥下沉, 提高浓缩效果。

二期高效沉淀池内径 14 m, 原处理 $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 污水的平均表面水力负荷为 $4.06 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 最高值为 $5.89 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$; 经复核, 处理 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 污水的平均表面水力负荷为 $8.12 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 最高值为 $11.04 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 基本符合《室外排水设计标准》(GB 50014—2021) 要求。考虑设备更换投资及运行管理简化, 此次改造工程将原经提升进入一期斜管沉淀池的污水改为接入二期高效沉淀池, 并同步调整除磷剂投加量并更换污泥泵。一、二期工程深度处理工艺统一为高效沉淀池+回转精密滤池。

2.5 消毒系统

现状消毒工艺采用接触消毒法, 此次改造工程设计规模不变, 接触停留时间可满足要求, 因此, 原接触消毒池利旧, 仅增加二氧化氯发生器设备。

2.6 污泥处理系统

现状污泥处理工艺采用带式浓缩脱水一体机, 污泥处置方式为外运焚烧, 由于对污泥含水率要求不高, 因此仍沿用原处理工艺, 将污泥脱水至含水率 $\leq 80\%$ ^[3]; 因出水水质提高, 污泥量增加, 故新建 1 座贮泥池, 用于暂存及调节一、二期工程污泥。

3 主要构筑物设计参数

3.1 一期工程 A/A/O 微曝氧化沟

A/A/O 微曝氧化沟(一期工程)设计规模 $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 厌氧池和缺氧池由水解酸化池改造而来, 厌氧池、缺氧池、预缺氧池的水力停留时间分别为 2.4、3.3 和 1.1 h, 好氧池利旧, 水力停留时间 9 h; 好氧池污泥浓度 4000 mg/L , 污泥负荷 $0.071 \text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$, 曝气量 $125 \text{ m}^3/\text{min}$, 污泥龄 14 d; 在预缺氧池外设置 6 台(4 用 2 备)内回流泵, 将好氧池硝化液回流至缺氧池, 回流比 150%~300%, 单台流量 $937.5 \text{ m}^3/\text{h}$, 扬程 5 kPa。

3.2 一期工程接触消毒池

更换 2 套(1 用 1 备)二氧化氯发生器, 产量 15 kg/h , 供一期工程接触消毒池使用。

3.3 二期工程 A/A/O 微曝氧化沟

A/A/O 微曝氧化沟(二期工程)设计规模 $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 因水解酸化池与生化池合建, 将水解酸化池改造为缺氧池, 原缺氧池改造为厌氧池后, 生化池进水点也需改为原缺氧池。改造后厌氧池、缺氧池、好氧池的水力停留时间分别为 3.2、4.5 和 9.0 h; 好氧池污泥浓度 4000 mg/L , 污泥负荷 $0.073 \text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$, 曝气量 $125 \text{ m}^3/\text{min}$, 污泥龄 14 d; 硝化液内回流通过在好氧池和缺氧池中间设置的 6 台穿墙泵(4 用 2 干备)实现, 回流比 150%~300%, 单台流量 $937.5 \text{ m}^3/\text{h}$, 扬程 8 kPa。

3.4 二期工程高效沉淀池

二期已建高效沉淀池 1 座 2 组, 改造后处理规模 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 混合时间 3 min, 絮凝时间 8.2 min; 絮凝区与沉淀区之间的过渡衔接段内部设置挡板, 该区域进水流速最大 0.018 m/s ; 沉淀区池体直径 14 m, 在该部分完成布水预沉和污泥浓缩; 改造工程更换 6 台(4 用 2 备)污泥螺杆泵用于污泥沉淀区排泥及污泥回流, 单台流量 $65 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

3.5 新建贮泥池

新建 1 座贮泥池, 平面尺寸 $10.2 \text{ m} \times 6.2 \text{ m}$, 池深 4.8 m, 污泥停留时间 1.8 h。

3.6 新建污泥脱水机房

新建 1 座污泥脱水机房, 共 2 层, 二楼安装脱水设备, 一楼设碳源、PAC 和 PAM 等溶药、投加装置及脱水机配套设备。该改造工程配备带式浓缩脱水一体机 2 台, 带宽 2 m, 处理量 $180 \sim 210 \text{ kgDS}/(\text{m} \cdot \text{h})$,

进泥含水率99.0%~99.2%,出泥含水率 $\leq 80\%$,设污泥螺杆泵3台(2用1备),单台流量25~65 m³/h。

4 改造工程运行效果与分析

4.1 运行效果

该提标改造工程于2021年9月竣工,2022年1月1日正式运行,污水处理厂2023年8月—2024年7月的实际进、出水水质见表4。可知,改造后进水COD、BOD₅和TN浓度均始终低于设计值,NH₃-N和TP浓度偶有超出设计值,相较改造前进水各指标浓度均有不同程度的上升;出水各指标浓度均远低于设计排放限值,部分指标已满足《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中Ⅲ类水标准要求。

表4 改造后实际进、出水水质

Tab.4 Actual influent and effluent quality after renovation

项目	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
进水区间/(mg·L ⁻¹)	77.0~155.0	36~74	95~157	10.8~28.3	15.6~33.6	2.3~3.9
进水均值/(mg·L ⁻¹)	114.7	54.7	133.3	22.0	26.4	3.2
95%进水保证率/(mg·L ⁻¹)	144.0	68.0	155.0	23.7	30.8	3.9
出水区间/(mg·L ⁻¹)	6.0~13.0	2.3~3.1	4~5	0.1~0.4	0.1~9.2	0~0.2
出水均值/(mg·L ⁻¹)	8.4	2.8	4.0	0.2	5.5	0.1
95%出水保证率/(mg·L ⁻¹)	7.0	3.0	4.2	0.4	8.5	0.1
平均去除率/%	93	95	97	99	80	97

4.2 改造前后处理效果对比

分别选取当地平均气温最低月(1月)和最高月(7月)进行改造前后去除率对比,具体见图1。

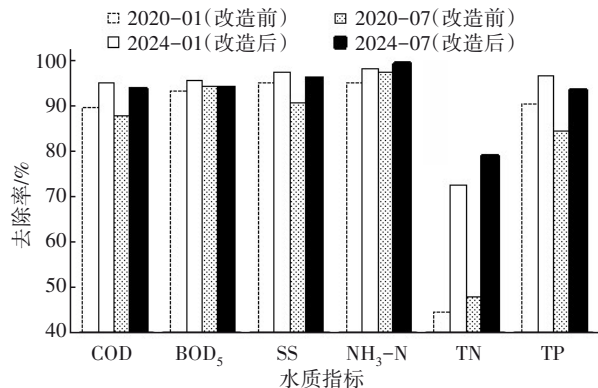


图1 提标改造前后运行效果对比

Fig.1 Comparison of the treatment effects before and after upgrading and renovation

由图1可知,改造后,TN去除率明显提高,比改造前提高约30个百分点;COD、SS和TP去除率小幅提升,分别提高约6、5和8个百分点;NH₃-N和BOD₅去除率略有提高,增幅分别约为3及1个百分点。总体来说,改造后出水指标满足新的排放标准限值,污水处理厂运行效果符合预期。

4.3 投资及运行费用

该提标改造工程总投资3 106.02万元,吨水投资为517.67元/(m³·d)。其中,工程费用1 999.40万元,工程建设其他费用832.80万元,预备费184.09万元。改造后厂区无运营人员增加,实际运行中投加药剂包含除磷剂、次氯酸钠、阳离子PAM,碳源仅需在突发情况时投加。2022年日处理水量4.45×10⁴ m³/d,单位经营成本0.409元/m³,其中电费0.194元/m³,药剂费0.082元/m³。

5 设计特点

① 初沉池作为调节工艺,可保证生化系统的稳定高效运行。一、二期初沉池作为超越工艺,当进水SS/BOD₅>1.2或SS>220 mg/L时启用^[4],以减小对生化系统污泥活性的影响,保证A/A/O微曝氧化沟的脱氮除磷效果;反之,沉砂池出水直接进入生化池,减少原水碳源在预处理段的流失。对于普通市政污水,进水一般可超越初沉池直接进入生化池,仅在工业废水进入时才可能启用。当启用初沉池时,进入好氧池的活性污泥中灰分比例降低,*f*值(MLVSS/MLSS)增大,污泥总产率系数减小,根据GB 50014—2021中生物反应池计算公式,有初沉池时所需生化池池容仅为无初沉池时的1/2以下,但仅通过超越初沉池的运行方式能否保证尾水达标,可能还需针对特定进水水质进行小试。从长远来看,当污水处理厂进水水质超出一般市政污水范畴时,有直接启用初沉池和改造初沉池以强化生物处理能力2种思路来使出水水质满足排放要求。

② 生化系统实现原位改造。为解决生化池停留时间短的问题,改变水流方向增加隔墙,将水解酸化池改造为厌氧池或缺氧池。厌氧池中聚磷菌充分利用原水中的溶解性有机物释磷,为后续好氧池中过量吸磷提供动力,提高除磷效率。缺氧池中反硝化菌将硝态氮还原成氮气逸出,内回流系统的调整可以补充部分流失的活性污泥菌落,使缺氧池污泥浓度维持在较高水平,很大程度上避免了因

原水碳源不足对反硝化反应产生的负面影响^[5];缺氧池停留时间增加,使混合液中硝态氮充分反硝化,提高除氮效率,有效强化了生化系统的脱氮除磷能力,同时解决了进水由混合废水变为生活污水形成的有机物含量差异给生化系统带来的冲击,以及进而造成的水质不达标问题。

③ 深度处理段高效沉淀池在水量倍增的情况下实现利旧。一期深度处理段斜管沉淀池进水改为接入二期高效沉淀池,高效沉淀池进水区过渡衔接段使絮凝后的水流以层流状态过渡后均匀稳定地进入沉淀区。斜管下部沉淀区中大部分污泥絮体先进行深层拥挤沉淀,而后剩余的污泥絮体绒粒进入斜管进行浅层沉淀,减少通过斜板的污泥量,相较斜板沉淀池可减少斜板堵塞的发生,沉淀池出水浊度更低,后续过滤设备负荷更小,同时斜板装置可大幅提高水力负荷,提高对水质水量的适应性^[6]。仅需更换排泥泵调整污泥回流量,原高效沉淀池即可满足改造工程的运行要求。

6 结语

依据污水处理厂现状进水水质与配套管网改造进度,确定改造工程设计进水水质,完成了污水处理厂出水从 GB 18918—2002 一级 A 标准、DB44/26—2001 中城镇二级污水处理厂第二时段一级标准较严值到叠加执行 DB44/2051—2017 三者更严值的提标。充分利用原有设施,通过重新分配池容、调整管线走向,合理高效地利用现有资源,实现混合废水处理厂向生活污水处理厂的原位提标改造。采用 A/A/O 微曝氧化沟+高效沉淀池+回转精密滤池工艺,补齐了原工艺设施反硝化能力弱的短板,保证出水指标稳定达标。后期可根据实际运行效果,科学调控加药量与曝气量,实现污水处理厂的降本增效。

参考文献:

- [1] 李婧,赵卫兵,袁玺,等. UCT/高密度沉淀池/活性砂滤池工艺用于城镇污水厂[J]. 中国给水排水, 2023, 39(14): 71-74.
- LI Jing, ZHAO Weibing, YUAN Xi, *et al.* Application of UCT/high density sedimentation tank/active sand filter combined process in wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(14): 71-74 (in Chinese).

Chinese).

- [2] 沈浩,杨忠启,汪凡,等. MBBR+磁混凝沉淀工艺用于用地受限污水厂改造[J]. 中国给水排水, 2023, 39(8): 112-119.
- SHEN Hao, YANG Zhongqi, WANG Fan, *et al.* Application of MBBR and magnetic coagulation precipitation process in retrofitting of a WWTP with limited construction land [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(8): 112-119 (in Chinese).
- [3] 冯仕训,张万里,蒋岚岚,等. 太湖流域 8 座污水处理厂新地标提标改造设计总结[J]. 中国给水排水, 2023, 39(8): 61-67.
- FENG Shixun, ZHANG Wanli, JIANG Lanlan, *et al.* Summary of upgrading and reconstruction design of eight wastewater treatment plants to meet new local discharge standard in Taihu Lake basin [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(8): 61-67 (in Chinese).
- [4] 郑梅. 污水处理工程设计从入门到精通[M]. 北京:化学工业出版社, 2017: 99.
- ZHENG Mei. Sewage Treatment Engineering Process Design from Beginner to Master[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2017: 99 (in Chinese).
- [5] 周呈,周宇翔,叶阳阳,等. 南通某化工园区污水处理厂降本增效分阶段改造[J]. 中国给水排水, 2024, 40(12): 114-119.
- ZHOU Cheng, ZHOU Yuxiang, YE Yangyang, *et al.* Phased upgrading and reconstruction of a chemical industry park WWTP in Nantong to reduce cost and increase efficiency [J]. China Water & Wastewater, 2024, 40(12): 114-119 (in Chinese).
- [6] 关永年. BAF+高效沉淀池+V 型滤池用于污水厂高标准提标改造[J]. 中国给水排水, 2023, 39(14): 66-70.
- GUAN Yongnian. Biological aerated filter, high efficiency sedimentation tank and V-type filter for upgrading and reconstruction of a high discharge standard wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(14): 66-70 (in Chinese).

作者简介:杨登(1992—),女,湖南邵阳人,硕士,工程师,主要从事市政污水处理设计工作。

E-mail:1823810946@qq.com

收稿日期:2024-08-21

修回日期:2024-09-14

(编辑:沈靖怡)