

城镇给排水工程设计案例专栏

曾思雨,李甜,万剑梅,等. 三级AO+深度处理组合工艺在中小型城镇污水厂中的应用[J]. 净水技术, 2024, 43(7): 183-189,205.

ZENG S Y, LI T, WAN J M, et al. Application of combined process of three stage AO+advanced treatment in small and medium sized urban WWTPs [J]. Water Purification Technology, 2024, 43(7): 183-189,205.

三级AO+深度处理组合工艺在中小型城镇污水厂中的应用

曾思雨^{1,2},李甜^{1,*},万剑梅²,曾荣辉²

(1. 同济大学环境科学与工程学院,上海 200092;2. 中国市政工程西南设计研究总院有限公司,四川成都 610081)

摘要 由于排放标准的提高和进水水质的变化,成都市某污水厂需提标改造。改造后,处理规模为2500 m³/d不变,出水水质需达到《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》(DB 51/2311—2016)。本工程采用充分利用原有的生化池,改建为三级AO池并新建深度处理设施的改造方式,该改造方式节省投资、不新征用土地、抗冲击负荷强,仅需约30 min短时间碰管停水,改造后工艺运行稳定可靠,达到DB 51/2311—2016的要求(COD_{Cr}≤30 mg/L,氨氮≤1.5 mg/L,总氮≤10 mg/L,总磷≤0.3 mg/L)。项目可为中小型城镇污水厂提标改造提供借鉴经验。

关键词 多级AO 高密度沉淀池 反硝化深床滤池 提标改造 短时停水改造

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-0177(2024)07-0183-08

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2024.07.022

Application of Combined Process of Three Stage AO + Advanced Treatment in Small and Medium Sized Urban WWTPs

ZENG Siyu^{1,2}, LI Tian^{1,*}, WAN Jianmei², ZENG Ronghui²

(1. College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. Southwest Municipal Engineering Design & Research Institute of China, Chengdu 610081, China)

Abstract Due to the improvement of discharge standards and changes in inflow water quality, a wastewater treatment plant (WWTP) in Chengdu City needs to be upgraded and renovated. After renovation, the processing scale is 2500 m³/d remains unchanged, and the effluent quality needs to meet the *Water Pollutant Discharge Standards for the Minjiang and Tuojiang River Basins in Sichuan Province* (DB 51/2311—2016). In response to unfavorable factors such as unstable inflow and water quality, severe limitations on investment and land use, and a concentration of inflow water that far exceeds that of ordinary urban domestic sewage, this project adopts a non-stop water transformation method that fully utilizes the original biochemical tank, transforms it into a tertiary AO tank, and builds a new advanced treatment facility. This transformation method which can investment, not require new land acquisition, has strong impact resistance, and only needs a short period of pipe collision to stop water. After the transformation, the process operation is stable and reliable, meeting the requirements of DB 51/2311—2016 (COD_{Cr} ≤ 30 mg/L, ammonia nitrogen ≤ 1.5 mg/L, total nitrogen ≤ 10 mg/L, total phosphorus ≤ 0.3 mg/L). This can provide reference experience for the upgrading and renovation of small and medium-sized urban sewage plants.

Keywords multi-stage AO high density sedimentation tank denitrification deep bed filter (DDBF) upgrading and reconstruction continuous water supply reconstruction

[收稿日期] 2023-07-28

[基金项目] 国家自然科学基金青年项目(52100012);中央高校基本科研业务费专项资金资助(22120240285)

[作者简介] 曾思雨(1992—),女,硕士,工程师,研究方向为污水处理理论与技术,E-mail:842871954@qq.com。

[通信作者] 李甜(1985—),女,博士,副教授,研究方向为饮用水处理、污水深度处理,E-mail:litian001@tongji.edu.cn。

我国多地陆续发布了严于国标一级 A 标准的地方水污染物排放标准,按照《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》(DB 51/2311—2016)要求,自 2020 年 1 月 1 日起,现有处理规模 $\geq 1\ 000\ \text{m}^3/\text{d}$ 的场镇污水处理厂的排放主要水污染物需按该标准规定执行。四川成都随着天府新区、高新区的建设和大量居民、企业的迁入,污水水质指标(COD_{Cr}、TN、氨氮、TP 等)和水量都呈现明显的上升趋势,原有的部分中小型污水厂已无法满足处理水量和出水水质的要求。为保障城市接纳水体的水环境质量和新区的平稳发展,成都市某污水处理厂出水必须保障稳定达到 DB 51/2311—2016 标准。

该污水厂现状采用 AAO 工艺,该工艺因其技术的成熟性和运行的稳定性而成为我国城镇污水厂的主流工艺^[1]。改造后为多级 AO+深度处理组合工艺。多级 AO 工艺因其碳源利用率高、脱氮除磷效果好、抗冲击负荷强、节省投资和用地等优势在我国逐步推广应用^[2-3],但多级 AO+深度处理组合工艺目前在国内应用不多,且大多应用于中大规模污水厂^[4],如龙泉驿区陡沟河污水处理厂二厂(近期为 5 万 m^3/d ,远期为 10 万 m^3/d)、西安邓家村污水处理厂改造工程(4 万 m^3/d)、天津纪庄子污水处理厂改造工程(10 万 m^3/d)、云南曲靖污水处理厂二期改

造工程(8 万 m^3/d)等。本次以成都某污水厂改造工程为例,在用地和投资受限、无法长时间停产的条件下将污水厂现状 AAO 生化池改造为三级 AO 生化池,新建深度处理设施,完成提标改造目标,可为存在类似问题的中小规模污水厂提供改造技术参考。

1 工程背景

某污水厂设计规模为 2 500 m^3/d ,2016 年投入运行,污水厂现状进水存在旱季、雨季水质差异大的特点,当进水水质在原设计进水指标范围内时,污水厂可以稳定达到一级 B 标准;当进水水质超出原设计进水指标时(TN、氨氮浓度较高),出水情况不稳定。由于该污水厂无法达到 DB 51/2311—2016 要求,且有持续的污水处理需求,需要进行短时停水提标改造。

2 污水厂现状分析

2.1 现状工艺流程

某污水厂现状工艺污水处理流程为粗格栅+污水提升泵井+调节池+AAO 生化池+二沉池+消毒接触池。污泥处理采用叠螺脱水,处理后污泥含水率 $\leq 80\%$,外运填埋。

2.2 设计进出水水质

该污水厂的原设计进水值、出水值及实际进出水值(按 2017 年—2019 年实测数据计)如表 1 所示。现状进水 SS、TN、氨氮、TP 部分时段明显偏高。

表 1 原设计及实际进出水水质

Tab. 1 Original Design and Existing Influent and Effluent Quality of WWTP

项目	COD _{Cr} /(mg·L ⁻¹)	BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	SS/(mg·L ⁻¹)	TN/(mg·L ⁻¹)	氨氮/(mg·L ⁻¹)	TP/(mg·L ⁻¹)
设计进水值	400	200	180	35	25	4
设计出水值	≤ 60	≤ 20	≤ 20	≤ 20	$\leq 8(15)$	≤ 1.0
实际进水值 90%保证率	328	157	226	61	52	6.8
实际平均进水值	211	87	145	43	34	3.8

注:氨氮括号外数值为水温 $>12\ ^\circ\text{C}$ 时控制指标,括号内为水温 $\leq 12\ ^\circ\text{C}$ 的控制指标,下同。

2.3 现状处理效果分析

由于天府新区各场镇污水管网建设不完善、雨污分流不彻底、管网长度较短(不能有效削减污染物)、局部地区不定时排放工业废水等现象客观存在,造成该乡镇污水处理厂进水水质浓度(主要是氨氮、SS、TN、TP)远超一般城市生活污水水质浓度^[5],且水质水量波动较大。一般在雨季呈现出水量大、浓度相对较低的特点,在旱季水量小、浓度极高的特点。随着新区管网建设和排污管理工作的推进,2019 年后进水水质有所好转,但实测

进水水质中的 TN、氨氮、TP 仍然偏高,原生化池设计停留时间仅为 7.5 h,出水水质仅为一级 B 标准,不能满足 DB 51/2311—2016 的要求。在提标改造工程中,TN、氨氮、TP 是重点关注的水质指标项目,需要在二级处理后设置强化脱氮除磷的深度处理工艺。

按 90% 保证率计算进水水质, $\text{BOD}_5/\text{COD}_{\text{Cr}} = 0.48 > 0.45$,可生化性良好; $\text{BOD}_5/\text{TN} = 2.57 < 3.00$,碳源不足,需要外加碳源才能满足生物脱氮要求; $\text{BOD}_5/\text{TP} = 23.09 > 20.00$,可采用生物除磷工艺。

3 提标改造方案设计

3.1 提标改造工程设计进出水水质

考虑到某污水厂服务场镇及附近多个场镇均存在进水 TN、氨氮、TP 较高的情况,某污水厂设计进

水在满足现状保证率为 90% 的情况下,结合新区管网建设和排污管理工作的现状情况和推进趋势,再考虑适当富余,最终确定水质如表 2 所示,出水水质满足 DB 51/2311—2016。

表 2 提标改造设计进出水水质

Tab. 2 Designed Water Quality of Influent and Effluent after Upgrading and Reconstruction

项目	COD _{Cr} /(mg·L ⁻¹)	BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	SS/(mg·L ⁻¹)	TN/(mg·L ⁻¹)	氨氮/(mg·L ⁻¹)	TP/(mg·L ⁻¹)
设计进水值	330	160	230	65	55	7
设计出水值	30	6	10	10	1.5(3)	0.3

根据《四川省成都天府新区总体规划(2010—2030年)(2015年版)》《天府新区直管区分区详细规划(2017—2035年)》《天府新区成都直管区排水工程专项规划(2017—2035年)》等规划中的场镇人口数据,按 150 L/(人·d) 当量和 0.85 污水排放系数测算,规划污水量为 2 550 m³/d。根据实测数据,2018 年某污水厂处理水量如表 3 所示。

表 3 2018 年实测进水量

Tab. 3 Measured Influent Quantity in 2018

时间	进水量/(m ³ ·d ⁻¹)
1 月	847
2 月	988
3 月	987
4 月	454
5 月	1 665
6 月	1 927
7 月	1 824
8 月	2 173
9 月	1 956
10 月	2 060
11 月	1 348

由表 3 可知,污水厂的设计规模应对 2018 年进

水量还有一定富余。考虑到该场镇远期规划的不确定性以及场镇发展的不确定性,本次污水厂提标改造不对污水厂规模进行调整,只针对现有污水厂出水标准进行提标改造。

3.2 提标改造工艺流程

本工程污水厂现状用地面积为 10.21 亩(1 亩≈666.67 m²),拟新增用地面积为 10.19 亩,受四周河道和基本农田限制难以增加用地,投资有限。现状生化池停留时间(7.5 h)已经确定,在既定限制条件下进行了包括生化处理方案和深度处理方案的多方案技术经济比选。

3.2.1 生化处理方案比

针对本工程进水水质不稳定,TN、氨氮、TP 含量偏高,出水水质需稳定达到 DB 51/2311—2016 的处理需求,常规二级生化处理无法满足,需采用常规生化处理+深度处理或膜生物反应器(MBR)工艺。相较于传统的活性污泥法或 AAO 工艺,多级 AO 工艺停留时间长,脱氮效率更高,能源利用率高^[6],且运营中通过调整回流比和部分超越等手段,对进水水质波动有较好的适应性。本项目方案一选择三级 AO+深度处理与方案二 MBR 工艺进行进一步对比(表 4)。

表 4 生化处理方案比较

Tab. 4 Comparison of Biochemical Treatment Schemes

比选方案	方案一	方案二
方案名称	三级 AO+深度处理组合工艺	MBR 工艺
除有机物原理	活性污泥法生物处理,沉淀	活性污泥法生物处理,超滤
除磷原理	生物除磷为主,辅以化学除磷	生物除磷及超滤为主,辅以化学除磷
除氨氮及 TN 原理	生物脱氮	生物脱氮,超滤
曝气方式	鼓风曝气(一套曝气系统)	鼓风曝气(两套曝气系统)
工艺特点	采用悬浮生长活性污泥法工艺,处理单元占地面积较大,全厂的水头损失较小,氧利用率较高,工艺流程较长,管理较简单,运行稳定,出水可靠	MBR 工艺是近期发展的一种新型工艺,将膜置于生物反应器内其通过膜分离来取代二次沉淀池

(续表4)

比选方案	方案一	方案二
运行管理	处理构筑物数量较多,设备数量相对较少,运行管理较成熟	处理构筑物较少,设备投资大,运行费用较高,管理难度较大
占地	较大	较小
污泥产量	较多	较少
能耗	较低	较高
处理成本	较低	较高
对水质水量的适应性	通过调节进水比例,多级 AO 对进水水质和水量变化的适应性较强	该工艺对进水水质变化的适应性强
处理效果	处理效果较好,运行稳定	处理效果好,运行较稳定
工程投资分析	土建投资高,设备投资低,综合投资略低	土建投资低,设备投资高,综合投资略高

由表 4 可知,三级 AO 在设备投资、处理成本、运营管理上均有显著优势,且可改造利用原有生化池,进一步节省土建投资,故选用多级 AO+深度处理组合工艺为本工程改造方向。

3.2.2 深度处理方案比选

受厂区用地限制,深度处理采用高效沉淀池,

深度处理方案主要是对过滤方案进行比选。常用的过滤形式为活性砂过滤器、反硝化深床滤池和纤维滤池。其中,活性过滤器单组处理能力有限,通常仅适用于小型污水厂,难以满足本工程处理水量的要求,反硝化深床滤池与纤维滤池对比如表 5 所示。

表 5 过滤方案比较

Tab. 5 Comparison of Filtration Schemes

滤池形式	反硝化深床滤池	纤维滤池
优点	1) 同时去除 SS、TN、TP 2) 工程实践中应用广泛,运行经验丰富,稳定可靠 3) 特有的“进水流量信号+进水溶解氧浓度信号+进水硝基氮信号+出水硝基氮信号”的碳源投加控制机制,可精准控制碳源投加量	1) 过滤阻力小、节能效果好 2) 过滤精度高,截污容量大
缺点	1) 经前端工艺处理后的污水碳源浓度较低,为保障反硝化菌生物活性,需要外加碳源,增加部分药剂及精确投加控制系统建设成本 2) 反硝化深床滤池单座最小处理能力较大,约为 5 000 m ³ /d,超过本项目规模	1) 本工程进水 TN 偏高,仅依靠三级 AO+纤维滤池强化脱氮能力不足,需采用芽孢杆菌强化 AO 出水方可稳定达标 2) 芽孢杆菌生化系统仪表设备较多,运营管理复杂,需要专业人员完成,运行需投加营养液,增加 0.03~0.05 元/m ³ 运营成本 3) 纤维球芯部不易清洗干净,影响过滤效果 4) 过滤与反洗交替运行,纤维易断裂损伤

本项目针对方案一(多级 AO+高密度沉淀池+反硝化深床滤池工艺)与方案二(加芽孢杆菌强化多级 AO+高密度沉淀池+纤维滤池)做了投资效益比较,工程投资分别为 5 561、5 398 万元,污水运营成本分别为 3.66、3.71 元/m³。由于当地洪水位偏高、地质复杂、规模效应不明显,两个方案工程投资与运营成本均偏高,工程投资方案一略高于方案二,运营成本方案一略低于方案二,但差异不大。

由于反硝化深床滤池在运营稳定可靠性,管理的便捷性方面有较大优势,本项目选择反硝化深床滤池作为深度处理方案。

3.2.3 提标改造工艺流程

三级 AO 具有较好的脱氮效果,结合深度处理

后为 TP、TN、SS 达标提供了全面的保障,出水效果稳定可靠;可充分利用现状生化池及二沉池,节省投资,已有少量污水厂采用该工艺稳定运行^[7]。本次改造选择三级 AO+高效沉淀池+反硝化深床滤池作为主体工艺。改造后的工艺流程如图 1 所示。

3.3 提标改造厂平面布置

现状污水厂位于规划用地范围南侧,为了新老结合,此次新建(构)筑物主要位于厂区的北侧。由于厂区红线和投资限制,应尽量利用原有构筑物,保持生产管线水流和空气管气流顺畅,在新增用地内建设深度处理构筑物减少或避免对周边环境的不利影响。

粗格栅及污水提升泵房、调节池均利旧,更换部

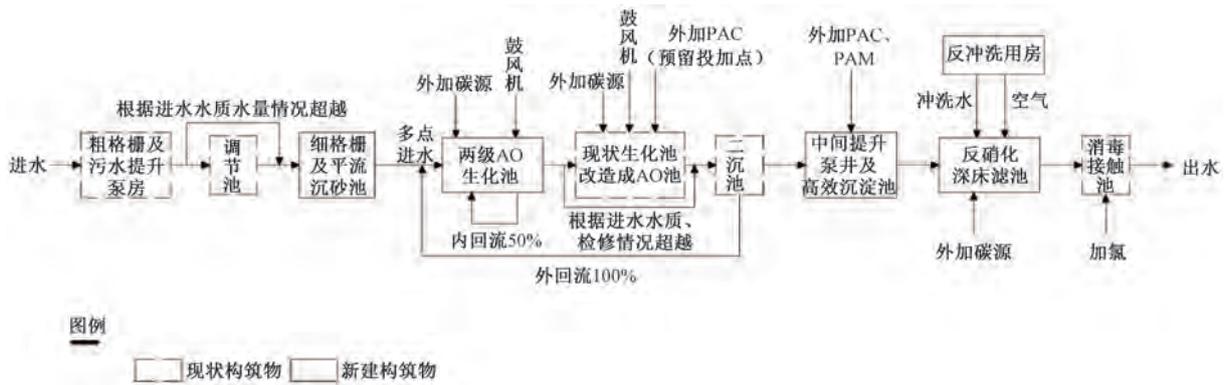


图1 改造后工艺流程

Fig. 1 Process Flow after Reconstruction

分设备。新建细格栅及平流沉砂池,新建两级AO生化池,后接改造为AO池的现状生化池。二沉池利旧,仅更换部分老旧管道和阀门。现有回流及剩余污泥泵井利旧,更换设备。新建中间提升泵井及高效沉淀池、反硝化深床滤池及反冲洗用房。消毒接触池、巴氏计量槽均利旧。新建两级AO生化池供气的鼓风机房,现状鼓风机房利旧并更换鼓风机设备。改造污泥脱水间,新建综合加药间。

4 主要构筑物及设备

4.1 新建细格栅及平流沉砂池

新建细格栅渠一座,与平流沉砂池合建。处理规模 $Q = 2\ 500\ \text{m}^3/\text{d}$, $K_z = 1.89$ 。细格栅渠内分2格,采用循环齿耙格栅除污机2台,过栅流速为 $0.6 \sim 1.0\ \text{m/s}$,栅条间隙为 $3\ \text{mm}$,最大过栅水头损失 $\Delta h = 0.20\ \text{m}$,单台功率为 $0.75\ \text{kW}$,安装角度为 75° ;无轴螺旋输渣机1台,螺旋直径为 $300\ \text{mm}$, $L = 4\ \text{m}$, $N = 1.5\ \text{kW}$ 。平流沉砂池峰值停留时间为 $4.75\ \text{min}$,有效水深为 $0.7 \sim 1.1\ \text{m}$, $1\ \text{m}^3$ 污水曝气量为 $0.3\ \text{m}^3$ 空气,采用螺旋砂水分离器1套, $Q = 0.7 \sim 2.0\ \text{L/s}$, $N = 0.37\ \text{kW}$ 。

4.2 新建两级AO生化池

设两级AO生化池一座,内分2格,后接现状生化池(改造为AO池)。尺寸 $L \times B \times H = 21.4\ \text{m} \times 12.0\ \text{m} \times 8.7\ \text{m}$ 。设计规模 $Q = 2\ 500\ \text{m}^3/\text{d}$,工艺计算时不考虑峰值系数。有效水深按照 $7\ \text{m}$ 考虑。两级AO池停留时间为 $15.46\ \text{h}$ 。其中,一级缺氧区为 $3.46\ \text{h}$,一级好氧区为 $3.26\ \text{h}$;二级缺氧区为 $4.51\ \text{h}$,二级好氧区为 $4.22\ \text{h}$ 。污泥浓度为第一级 $X_1 = 5.714\ \text{g/L}$,第二级 $X_2 = 4.444\ \text{g/L}$ 。内回流比为 50% ,外回流比为 100% ,气水比为 $6.2:1.0$,污泥龄

为 $22.09\ \text{d}$ 。生化系统剩余污泥排放量为 $0.45\ \text{t}$,污泥产率为 $0.18\ \text{kg}/\text{m}^3$ 污水。

好氧区安装微孔曝气器,单个服务能力为 $2.5\ \text{m}^3/\text{h}$,另配25套备用,共305套。好氧区至厌氧区内回流泵共4台,2用2备, $Q = 26\ \text{m}^3/\text{h}$, $N = 1.1\ \text{kW}$,扬程 $H = 4\ \text{m}$ 。

4.3 现状生化池改造为AO池

现状生化池进行改造,原生化池分为厌氧区、缺氧区、好氧区3个区域。现池内区域分为缺氧区及曝气区。经核算,缺氧区内停留时间为 $2.26\ \text{h}$,好氧区内停留时间为 $2.34\ \text{h}$,池内原曝气管、生产管可利旧;生化处理系统的污泥回流至新建两级AO生化池前端,本池内原污泥回流管进行拆除;生化处理系统的硝化液回流发生在新建两级AO生化池,本池内原硝化液回流管及硝化液回流泵进行拆除。原生化池内部分曝气头发生堵塞,改造过程中更换。AO池设计规模 $Q = 2\ 500\ \text{m}^3/\text{d}$,工艺计算时不考虑峰值系数。污泥质量浓度为 $4.0\ \text{g/L}$ 。设计气水比为 $2.1:1.0$ 。

好氧区安装微孔曝气器,单个服务能力为 $2.5\ \text{m}^3/\text{h}$,40套。

4.4 新建中间提升泵井及高密度沉淀池

新建高密度沉淀池1座,分2格,与中间提升泵井合建。设计规模 $Q = 2\ 500\ \text{m}^3/\text{d}$,峰值系数为 1.89 。高密池混合区停留时间为 $2.5\ \text{min}$,絮凝区停留时间为 $10\ \text{min}$,沉淀池最大表面负荷为 $5.01\ \text{m}^3/\text{h}$,斜管安装角度为 60° 。

设置中间提升泵3台,2用1备,单台 $Q = 120\ \text{m}^3/\text{h}$, $H = 8\ \text{m}$, $N = 5.5\ \text{kW}$,变频。混合区搅拌机1台, $N = 1.1\ \text{kW}$ 。絮凝区搅拌机2台,单台 $N =$

1.5 kW。斜管长度 $L=1$ m, 直径为 50 mm, 斜管区面积为 44 m^2 。沉淀区浓缩刮泥机 2 台, 直径为 5 m, 水深为 5.90 m, 中心驱动, 单台 $N=2.25$ kW。集水槽 8 根, $B \times H=200$ mm \times 170 mm, $L=5$ 000 mm, 堰板高为 195 mm。

4.5 新建反冲洗用房及反硝化深床滤池

新建反硝化深床滤池 1 座, 分 3 格, 与反冲洗用房合建, 中间设置管廊。反硝化深床滤池前设置混合搅拌器, 混合时间为 30 s, 机械混合, 总过滤面积为 60.39 m^2 , 单格过滤面积为 20.13 m^2 , 设计滤速为 3.26 m/h, 强制滤速为 4.89 m/h, 采用恒水位控制, 最大过滤水头为 2.5 m。设置反冲洗水泵 2 台(1 用 1 备), 单台流量为 302 m^3/h , $H=12.0$ m, $N=15.0$ kW。罗茨鼓风机 2 台(1 用 1 备), 单台流量为 31 m^3/min , $P=75$ kPa, $N=75$ kW。空压机组 1 套, 单套 $Q=1.0$ m^3/min , $P=0.8$ MPa, $N=7.5$ kW。

5 污水厂短时停水改造思路

污水厂改造时在现状厂区北侧修建新构筑物, 旧厂可继续运行, 无需设置临时处理设施, 待新建的生化池建成接通后, 再对现状生化池进行改造。建设过程只需短时间碰管停水, 不会对污水厂正常运行造成影响。具体实施过程如下。

1) 保留老厂正常运行的同时, 在老厂的北侧修建细格栅及平流沉砂池、鼓风机房及变配电站、生化池、中间提升泵井及高效沉淀池、反硝化深床滤池。

2) 现状老厂有 2 座二沉池, 每座二沉池设有进、出水阀门。先关停 1 座二沉池的进水阀门, 对二沉池进行清淤后, 进行进出水阀门的更换。老厂的二沉池为单座运行, 短期造成现状二沉池表面负荷增大, 由于该二沉池为竖流式沉淀池, 深度较深, 停留时间较长, 对厂区产水量影响不大。

3) 待 1 座二沉池进出水管改造完成后, 将现状粗格栅间及污水提升泵房的出水管分水接入新修好的细格栅及平流沉砂池, 流经生化池、改造完成的二沉池(1 座)、中间提升泵井及高效沉淀池、深床滤池及消毒接触池、巴氏计量槽, 构成完整的工艺处理路线。

4) 改造余下 1 座现状二沉池的进出水管路, 待改造完成后, 2 座二沉池与上述新建的主体构筑物同时运行。

5) 对现状调节池进行清淤改造。

6) 对现状生化池进行清淤改造。

7) 对粗格栅及污水提升泵房进行改造, 由于要更换潜污泵, 会造成厂区约 30 min 短时停水。

6 运行评价

改造完成后, 某污水厂稳定运行至今, 2023 年该污水厂实测进出水水质情况如图 2~图 5 及表 6 所示。

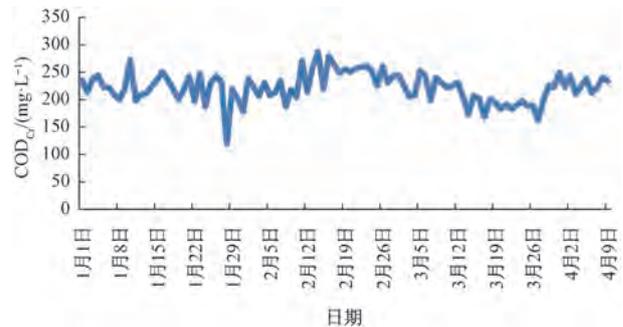


图 2 COD_{Cr} 实测进水水质

Fig. 2 Measured Influent Quality of COD_{Cr}

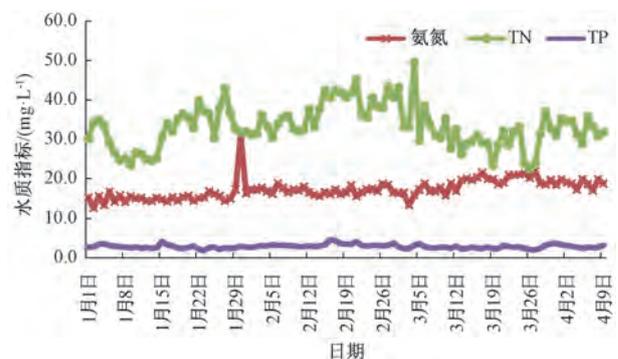


图 3 氨氮、TN、TP 实测进水水质

Fig. 3 Measured Influent Quality of Ammonia Nitrogen, TN, TP

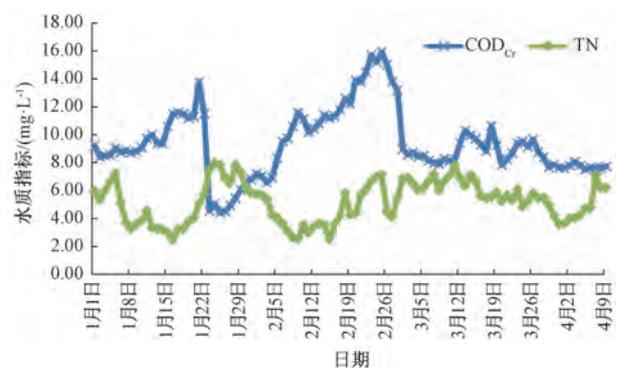


图 4 COD_{Cr}、TN 实测出水水质

Fig. 4 Measured Effluent Quality of COD_{Cr}, TN

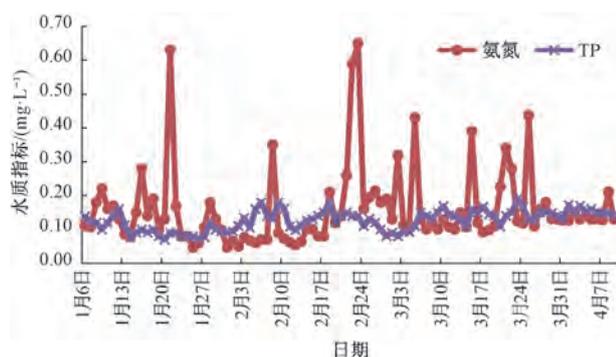


图5 氨氮、TP 实测出水水质

Fig. 5 Measured Effluent Quality of Ammonia Nitrogen, TP

表6 实测进出水水质平均值及处理率

Tab. 6 Measured Average Values and Treatment Rate of Influent and Effluent Quality

水质指标	进水平均值/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	出水平均值/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	处理率
COD _{Cr}	222.04	9.40	95.77%
氨氮	17.34	0.16	99.08%
TN	33.27	5.20	84.37%
TP	2.90	0.12	95.86%

综上,某污水厂提标改造之后,出水可以稳定地达到 DB 51/2311—2016 标准,三级 AO+高密度沉淀池+反硝化深床滤池工艺对强化脱氮除磷具有稳定良好的运行效果。本工程采用多级 AO 工艺,相较于常规 AO 活性污泥法和 AAO,在脱氮效率上有较大优势且利用了现状生化池,节省了土建投资。新建的两级 AO 生化池按内回流比为 50%,外回流比为 100%设计^[8],实际运行可根据污水厂实际进水水质、水量较不稳定的前提下仍有较好的处理效率。

7 结论

根据成都某污水处理厂提标改造工程的设计和运行情况,针对中小型城镇污水处理厂出水水质自一级 B 提升至 DB 51/2311—2016 的工程需求,总结出以下经验和结论,供类似工程参考。

1) 多级 AO+高密度沉淀池+反硝化深床滤池的主体工艺具有稳定良好的脱氮除磷效果,具有脱氮除磷效率高、占地少、投资低等优势。

2) 将原 AAO 生化池改造为 AO 池,并新建 AO 池串联成多级 AO 模式的提标改造方式,既利用了

现有生化池、节省了土建投资,又保障了脱氮效率,适用于对脱氮要求较高且现状建设有 AAO 生化池或者 AO 生化池的污水处理厂提标改造。

3) 污水厂作为市政工程配套设施,其进水水质和处理水量与城区的规划和建设高度相关。本工程在新区建设的大背景下,由于人口搬迁、建筑物新建、管网改造等多种因素,造成进水端水量水质的不稳定,多级 AO 多点进水流量分配的灵活性对此种情形有较好的适应性,相对于常规 AAO 工艺有较大优势。

4) 本工程先新建 AO 池再改造原 AAO 池,顺利实现了不减产、不降低排放标准改造,此种建设形式为短时停水改造创造了条件,未来可以在类似工程中应用。

参考文献

- [1] 吴悦颖,王洪臣,孙娟,等. 我国城镇污水处理设施脱氮除磷能力现状分析及对策建议[J]. 给水排水, 2014, 50(s1): 118-122.
WU Y Y, WANG H C, SUN J, et al. Analysis on the current situation of nitrogen and phosphorus removal capacity of urban sewage treatment facilities in China and suggestions for countermeasures[J]. Water & Wastewater Engineering, 2014, 50(s1): 118-122.
- [2] 黄潇. 多级 AO-深床滤池工艺深度处理城市污水效能及微生物特征[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2020.
HUANG X. Multistage A/O combined with deep bed filter process treating municipal wastewater: Performance and microbial characteristics[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2020.
- [3] 段凯波. 改良型多级 AO 脱氮工艺在提标改造中的应用[J]. 净水技术, 2023, 42(5): 77-83, 115.
DUAN K B. Application of denitrification for modified multi-stage AO process in upgrading and reconstruction[J]. Water Purification Technology, 2023, 42(5): 77-83, 115.
- [4] 叶宁. 多点进水多级 AO 工艺在寒冷地区大型污水处理厂的应用[J]. 净水技术, 2023, 42(4): 161-168.
YE N. Application of step-feed multi-stage AO process in large WWTPs in cold region [J]. Water Purification Technology, 2023, 42(4): 161-168.
- [5] 李丹丹. 城镇污水处理厂进水水质特征分析[J]. 资源节约与环保, 2023(4): 133-136.
LI D D. Analysis of influent water quality characteristics of urban sewage treatment plants [J]. Resources Economization & Environment Protection, 2023(4): 133-136.

(下转第 205 页)

表 16 9 座污水处理厂提标改造新增运营成本
Tab. 16 New Operation Costs of 9 WWTPs after
Upgrading and Reconstruction

污水处理厂	提标改造新增运营成本/(元·m ⁻³)
1#	0.32
2#	0.32
3#	0.33
4#	0.23
5#	0.34
6#	0.32
7#	0.28
8#	1.03
9#	0.22

提标改造新增的运营成本,主要体现在新增设备的电耗、新增员工的工资、新增的投药量和污泥量^[5]上。由表 16 可知,1#、2#和 6#污水处理厂因提标改造工艺类似且规模基本相同,其新增吨水运营成本相同;4#和 7#污水处理厂因少了中间提升泵房,其新增吨水运营成本相对较低;3#和 5#污水处理厂不仅有中间提升泵房,还较其他污水处理厂提标工艺多设了过滤环节,电耗略有增加,导致新增吨水运营成本略高;8#污水处理厂提标改造工艺流程长,其投药量、电耗和人工成本均较高,导致新增吨水运营成本高;9#污水处理厂提标改造虽然有中间提升泵房,但反硝化深床滤池运行电耗低,且因碳源投加量小和规模较大,新增吨水运营成本低。

4 结论

本文对南方地区 8 座生活污水处理厂和 1 座工业污水处理厂的提标改造工艺、土建、设备及运营成本进行了对比分析和总结,可以为今后类似工程提供参考和借鉴。

(1)污水处理厂提标改造工艺的选择,需在对现状工艺和设备运行能力复核的基础上,分析需去除污染物的种类和含量,先充分挖掘现有工艺的处

理潜力,再针对性地选取相应的提标改造工艺。

(2)高效反应沉淀池不宜设置在生化池的前端,容易造成堵泥和污泥脱水难等运行问题。

(3)精密过滤池型配制 5% 质量分数的次氯酸钠溶液冲洗,能大幅度减少堵塞频率。

(4)提标改造新增的运营费用,主要分摊在二次提升的电耗、碳源投加、新增污泥量的处理和消纳方面。

参考文献

- [1] 刘扬真,刘军. 广东省地方污染物排放标准的特点[J]. 中国环境监测, 2002, 18(3): 31-33.
LIU Y Z, LIU J. Characteristics of local discharge standard of pollutants in Guangdong Province[J]. Environmental Monitoring in China, 2002, 18(3): 31-33.
- [2] 何广燕,刘辉利,黄书海,等. 城镇污水处理厂深度处理研究进展[J]. 当代化工研究, 2023, 24(3): 8-9.
HE G Y, LIU H L, HUANG S H, et al. Research progress on advanced treatment of municipal wastewater treatment plant[J]. Modern Chemical Research, 2023, 24(3): 8-9.
- [3] 包鹏,庞洪涛,曹效鑫,等. 高效沉淀池在市政污水深度处理中的应用研究进展[J]. 中国给水排水, 2023, 39(22): 17-18.
BAO P, PANG H T, CAO X X, et al. Research and application progress of high-performance sedimentation tank in domestic sewage advanced treatment[J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(22): 17-18.
- [4] 刘琪,雷培树,余琴芳,等. 工业废水难降解有机物深度处理技术与设计综述[J]. 净水技术, 2024, 43(4): 34-45.
LIU Q, LEI P S, YU Q F, et al. Review on advance treatment and design of non-degradable organic matters for industrial wastewater treatment[J]. Water Purification Technology, 2024, 43(4): 34-45.
- [5] 王印,陶梦妮,左思敏,等. 城镇污水处理厂尾水处理技术应用研究[J]. 应用化工, 2018, 47(12): 29-33.
WANG Y, TAO M N, ZUO S M, et al. Study on tail water treatment technologies for municipal wastewater plants [J]. Applied Chemical Industry, 2018, 47(12): 29-33.

(上接第 189 页)

- [6] CHEN J, LIN Y, ZHANG Z, et al. Effect of different influent flow distribution ratios on multistage A/O process for removal of carbon and nitrogen [J]. Asian Journal of Chemistry, 2014, 26(3): 709-713.
- [7] 洪达锋. 多级 A/O+高效沉淀+反硝化深床滤池工艺研究[J]. 能源与节能, 2022(2): 87-89.
HONG D F. Technology of multi-stage A/O+ high-efficiency

- sedimentation+ denitrification deep bed filter[J]. Energy and Energy Conservation, 2022(2): 87-89.
- [8] 陈浩林,彭轶,安东,等. 分段进水多级 A/O 工艺设计计算[J]. 工业用水与废水, 2021, 52(2): 39-42, 54.
CHEN H L, PENG Y, AN D, et al. Analysis on design and calculation of step-feed multistage A/O process [J]. Industrial Water & Wastewater, 2021, 52(2): 39-42, 54.