

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2026.12.022

装配式生化沉淀一体技术在城镇污水处理厂的应用

廖凤珍^{1,2}, 陈嘉祺^{1,2}, 阳重阳^{1,2}, 邓根明^{1,2}, 吴乾元³, 王文龙³

(1. 广东北控石犀科技股份有限公司, 广东 广州 511340; 2. 广东省未来水务智慧装备
工程技术研究中心, 广东 广州 510000; 3. 清华大学 深圳国际研究生院, 广东 深圳
518055)

摘 要: 装配式污水处理设施,因其模块化、标准化的系统设计与结构特性,为水处理工程“投、技、建、运”全生命周期解决方案提供了装备化建设、产品化交付的新路径。江西某设计规模为3万m³/d的新建污水处理厂工程,通过集约化设计,以生化沉淀一体池为核心工艺,二级处理采用装配式钢结构一体化装备,克服了传统工艺设计冗长、占地大、建设周期长等局限。该项目设计总停留时间为16.21 h(设计水量下为10.67 h),优化约12%的厂站建设用地,其中生化系统(含沉淀段)占地指标0.15 m²/(m³/d),约占厂区总用地的16%;装配式设施从设备进场、建设安装至通水总耗时约45 d;在快速响应工程建设需求的同时满足高品质水质要求、突破了用地限制,实际出水水质稳定达到且优于综合排放标准限值。

关键词: 装配式; 生化沉淀一体池; 一体化装备; 城镇污水处理厂

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2026)12-0144-08

Application of Prefabricated Biochemical Sedimentation Integrated Technology in a Municipal Wastewater Treatment Plant

LIAO Fengzhen^{1,2}, CHEN Jiaqi^{1,2}, YANG Chongyang^{1,2}, DENG Genming^{1,2},
WU Qianyuan³, WANG Wenlong³

(1. Guangdong Beijing Enterprises Shixi Technology Co. Ltd., Guangzhou 511340, China;
2. Guangdong Engineering Research Center for Future Water Intelligent Equipment,
Guangzhou 510000, China; 3. Tsinghua Shenzhen International Graduate School,
Tsinghua University, Shenzhen 518055, China)

Abstract: Prefabricated wastewater treatment facilities, characterized by modular and standardized structural design, provide a new pathway for water treatment engineering—enabling equipment-based construction and productized delivery solutions throughout the whole-life cycle of investment, technology, construction, and operation. A newly constructed 3×10⁴ m³/d municipal wastewater treatment plant in Jiangxi Province serves as a demonstrative case. Through intensive design and the pioneering application of biochemical sedimentation integrated technology, the project employs prefabricated steel-structured units for secondary treatment, effectively overcoming conventional limitations such as protracted design cycles, excessive land occupation, and prolonged construction durations. The project was designed with a total hydraulic retention time of 16.21 h (10.67 h under design flow), optimizing approximately 12% of the

通信作者: 廖凤珍 E-mail: fzliao0504@163.com

plant's land use, with the biological treatment zone (including sedimentation) occupying $0.15 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ of treated wastewater, representing only 16% of the total site area. Remarkably, the prefabricated facilities achieved full commissioning within 45 days from equipment mobilization, successfully balancing rapid project delivery with stringent effluent quality requirements. This approach not only rapidly meets engineering demands but also achieves high-quality effluent standards while overcoming land use constraints. The actual effluent quality of the project has stably complied with the comprehensive discharge standards, with key pollutant concentrations maintained below the specified limits.

Keywords: prefabricated; biochemical sedimentation integrated tank; integrated equipment; municipal wastewater treatment plant

装配式技术^[1]以其模块化设计建造的核心优势,为破解传统污水处理厂“土建占地大、建设周期长、设计施工复杂”等问题提供了装备化交付的创新路径。环保技术装备化,尤其水处理工艺的装备化已取得显著成效。早期,以工业废水处理为目标,应用利浦罐、搪瓷拼装罐等^[2-3]装配式钢结构的先进装备制造形式,推动了上流式厌氧污泥床(UASB)技术规模化、装备化;随着膜技术产业化发展,膜生物反应器(MBR)等^[4]集约工艺装备单元成为污水处理提标改造的有力支撑;近年来,以溢流污染控制为核心的快速过滤沉降(RPIR)工艺等^[5-7]集中式、模块化污水处理设施在流域治理和农村环境整治中应用广泛。然而,因环保需求不连续和碎片化,行业技术积累与装备化经验也呈现“断裂式进化”,使其在传统市政场景的应用受到限制。①规模瓶颈:当前装备化污水处理设施多用于中小规模,在大规模工程场景鲜少应用。②系统装备化不足:模块化的装备单元(如膜组件)依赖与土建池体的耦合应用,在大型污水处理工程未能实现独立系统的装备化。③技术与工程经验断层:例如,厌氧

反应器的模块化基因、MBR的集约化优势未在当代技术中持续迭代。

本研究将装配式结构、工艺集约化及模块化系统设计理念有机融合,以江西某新建污水处理厂工程为例,探讨装配式生化污水处理装备在大型城镇污水处理厂的设计应用。本文将介绍工程设计思路、装配式生化系统及其配套的主要构筑物设计情况,并对该工程的运行效果进行分析,可为系列装配式水处理技术装备的应用以及同类工程提供案例与技术参考。

1 工程概况

为解决排水系统污水溢流的问题,江西某地新建1座污水处理厂,服务面积为 24.26 km^2 ;工程设计规模为 $3 \text{ 万 m}^3/\text{d}$,考虑尚无工业废水资料,经计算,旱季设计流量取 $1\,900 \text{ m}^3/\text{h}$,雨季设计流量取 $2\,400 \text{ m}^3/\text{h}$ 。污水来源主要为生活污水,在服务范围内已有污水处理一期、二期工程及溢流口应急处理项目。参考周边实测水质、相关设计标准要求,并考虑设计水质的远期覆盖率,确定新建污水处理厂设计进、出水水质(见表1)。

表1 设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality

项目	COD/(mg/L)	BOD ₅ /(mg/L)	氨氮/(mg/L)	总氮/(mg/L)	总磷/(mg/L)	SS/(mg/L)	pH
已有一期、二期工程	≤220	≤120	≤20	≤25	≤1.5	≤200	6~9
溢流口应急处理*	≤140	≤60	≤14	≤17	≤1.5	≤100	6~9
设计进水	250	135	25	30	4	200	6~9
设计出水	30	6	1.5	10	0.3	10	6~9

注:*为解决现存量污水处理厂溢流口污水长期溢流问题,2019年1月底在厂外提升泵站旁建成溢流口应急处理项目,设计处理规模为 $4 \text{ 万 m}^3/\text{d}$,出水总磷、总氮达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准,其他指标均达到GB 18918—2002一级B标准。

根据该项目环评批复相关要求,该污水处理厂尾水最终排入河道,部分排入湖泊作为景观用水,其余用于市政道路及园林绿化。综合各类受纳水

体及用水要求,新建污水处理厂出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准,其中COD、氨氮、总磷执行《地表水

环境质量标准》(GB 3838—2002)准Ⅳ类标准,作为景观用水还需满足《城市污水再生利用 景观环境用水水质》(GB/T 18921—2019)湖泊类标准,即总氮 $\leq 10\text{ mg/L}$ 。

2 设计思路

2.1 技术可行性

本工程污水可生化性良好,基于水质处理目标,需采用具备生物脱氮除磷功能的二级污水处理工艺;鉴于严格的出水指标要求,需在二级处理后增设深度处理单元。

2.2 重难点问题分析

结合项目背景与实施条件,本工程面临以下关键问题:

- ① 不良地质条件限制用地效率。厂址工程地质性能差,存在厚薄不均(2~17 m)的素填土,承载力低且边坡稳定性差。虽规划用地满足规范要求[总面积 $28\,780\text{ m}^2$,用地指标 $0.96\text{ m}^2/(\text{m}^3/\text{d})$],但需进行大规模地基处理与边坡支护。为预留此空间,厂区主体工艺布局需高度集约化。
- ② 投资控制压力大。出水标准提高(环评批复由原一级A标准提升至地表水准Ⅳ类标准)及强化地基处理的工程需求,导致项目投资较前期估算显著增加,存在超投风险。

- ③ 建设工期极短。作为中央环保督察限期整改项目,工期远低于常规同类项目(<12 个月),亟须通过创新建设模式与高效管理压缩设计、采购、施工、调试全周期时间。

为满足项目需求,本工程设计遵循3项原则。
a. 空间高度集约化:通过工艺创新与结构集成,最大化压缩单元占地,为不良地质处理预留空间;
b. 全周期成本优化:优选节能降耗工艺,优化配置,平衡初始投资与长期运行成本;
c. 模块化快速建造:采用工厂预制、现场装配模式,严格管控工期与质量,确保快速交付。

2.3 主体工艺比选

基于项目面临的重难点问题分析及核心设计策略,对主体处理工艺进行系统比选。

- ① 预处理。因厂外泵站已设粗格栅,厂内仅需增设细格栅。除砂采用占地省、效果可靠的旋流沉砂池。
- ② 生化处理。作为污水处理厂核心且占地最大的功能单元,生化系统的选择尤为关键。选取目前业内应用成熟、集约的污水处理工艺,重点比选改良AAO、改良氧化沟、循环式活性污泥法(CASS)、移动床生物膜反应器(MBBR)及生化沉淀一体池(见表2)。

表2 二级生化处理工艺比选
Tab.2 Comparative evaluation and selection of secondary biochemical treatment processes

项目	改良AAO	改良氧化沟	CASS	MBBR	生化沉淀一体池
技术成熟度	成熟,应用广泛	成熟,应用广泛	成熟,应用广泛	较成熟,应用案例多	较成熟,国内应用增长快
工艺特点	脱氮除磷效能稳定;剩余污泥性质稳定;运维简单经济;扩建容易	效果稳定,出水水质好;耐冲击负荷能力强;污泥量少且性质稳定;配套设备较多	运行稳定,占地小;可变容积,耐冲击负荷,操作灵活;工艺简单,运行成本较低	负荷高、占地小;应用范围广、弹性大;耐冲击;运维简单;污泥量少;设备配套较复杂	高度集成生化与沉淀,占地极省;天然适配模块化装配,建造快;工艺配置简单;能量循环利用;处理效能稳定
运行管理难度	中等	复杂	复杂	中等	简单
系统效能	高	高	适中	较高	高
工程投资	适中	较高	适中	较高	较低
运行费用	适中	低	适中	较高	适中
占地需求	大	大	适中	适中	较小
适用场景	大中型污水处理厂	大中型污水处理厂	中小型污水处理厂	大中型污水处理厂新建、扩建	大中型污水处理厂新建、扩建

其中,生化沉淀一体池是近年广泛应用的高效短流程污水处理技术^[8]。该工艺本质是集成式活性污泥法,通过在好氧反应区内置三相分离模块(含导流板、集气罩及回流缝),实现生化反应区与沉淀

区高度集成。其核心运行原理为:a. 气提环流驱动,曝气产生的上升气流驱动混合液在反应区内形成稳定环流,强化污染物接触;b. 三相分离与污泥富集,混合液上升至分离区,气体被集气罩收集排

出;沉降性能良好的污泥颗粒在重力作用下沿导流板滑回好氧区,实现无泵/低能耗内回流并维持高污泥浓度(显著高于传统工艺);c. 高效沉淀出水,轻质污泥与上清液进入沉淀区进一步分离,上清液经脱气后排出,剩余污泥经排泥管控制排放。该工艺融合了氧化沟流态与 AAO 功能区理念,具有模块化集成度高、占地省(省去独立二沉池)、运行稳定且能耗节约的特点。

因此,基于空间集约、快速建造与投资经济性考虑,选择生化沉淀一体池作为核心生化处理单元,并采用装配式一体装备形式。

③ 深度处理。为确保脱氮除磷效果,深度处理采用“高效沉淀池+反硝化深床滤池”组合工艺,兼顾处理效能、运行可靠性与经济性。

3 工艺设计

3.1 工艺流程

污水处理主体工艺采用装配式生化沉淀一体池+高效沉淀池+反硝化深床滤池+紫外消毒池,污泥通过重力浓缩+机械脱水至含水率 80% 后外运处置,处理过程中考虑外加碳源(乙酸钠)及化学除磷措施。

工艺流程见图 1。

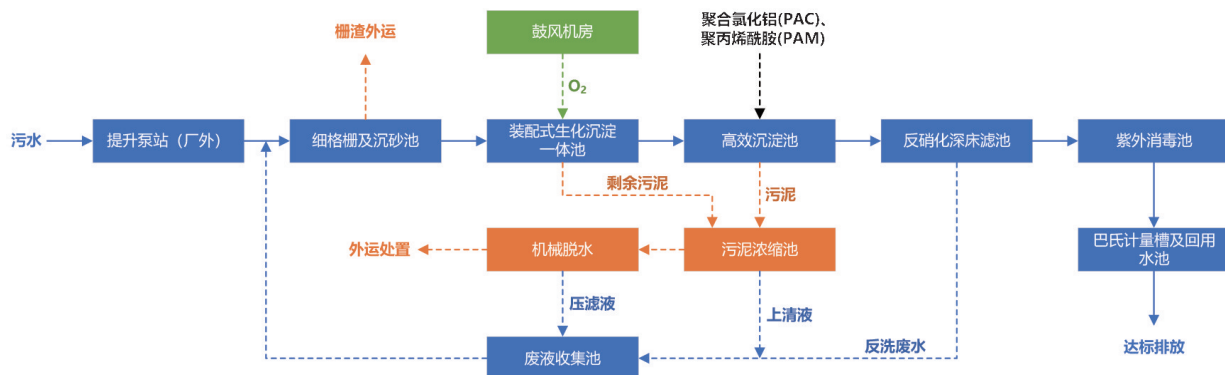


图 1 污水处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of wastewater treatment process

3.2 平面布置

该污水处理厂可用地约 43.17 亩(约 2.878 hm^2),其中,装配式生化沉淀一体池用地指标 $\leq 0.15 \text{ m}^2/(\text{m}^3/\text{d})$,远低于《城市排水工程规划规范》(GB 50318—2017)中用地指标 $[1.20\sim 1.50 \text{ m}^2/(\text{m}^3/\text{d})]$,该构筑物用地(4 230 m^2)仅占污水处理厂总用地的 16% 左右。通过高效优化厂内布局,节省边坡支护用地 5.27 亩(约 0.351 hm^2 , 占总平面面积的 12%),用于地基处理,可降低部分土建工程投资。

3.3 主要构筑物及设计参数

① 细格栅与旋流沉砂池

细格栅与旋流沉砂池合建,格栅渠 1 座,设 2 格,地上式土建结构,尺寸 $L\times B\times H=8.55 \text{ m}\times 2.80 \text{ m}\times 1.70 \text{ m}$,设计流量 2 400 m^3/h ,过栅流速 0.8 m/s ,栅前流速 0.7 m/s ;设置回转式格栅 2 套($b=5 \text{ mm}$),螺旋输送压榨机 1 套;设置旋流沉砂池 1 座,直径 3.65 m ,停留时间 34.19 s ,沉砂量 0.3 L/m^3 ,表面水力负荷 150 $\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$;设置气提式旋流除砂器 2 套、砂水分离器 2 套、回转式风机 3 台(2 用 1 备)。

② 装配式生化沉淀一体池

装配式生化沉淀一体池 2 座,单座 $D\times H=44.0 \text{ m}\times 8.5 \text{ m}$,有效水深 8.0 m ,旱季设计水量 4.56 万 m^3/d (1 900 m^3/h);装配式钢结构池体,整装成一体化装备,材质 SS304;设计气水比为 4:1。单座生化沉淀一体池面积为 667 m^2 ,设计表面水力负荷为 0.95 $\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。生化池分区、池容及水力停留时间(HRT)见表 3。

表 3 生化池设计参数

Tab.3 Design parameters of biochemical tank

生化池分区	有效池容/ m^3	HRT/h	
		设计规模	旱季设计水量
预缺氧区	216.10	0.35	0.23
厌氧区	1 576.10	2.52	1.66
缺氧区	3 400.00	5.44	3.58
好氧区	4 937.00	7.90	5.20
合计	10 129.20	16.21	10.67

主要配套设备:潜水搅拌机,10 台大功率($N=7.5 \text{ kW}$,每池 5 台),4 台小功率($N=3.0 \text{ kW}$,每池 2 台)。生化池平面布局见图 2。

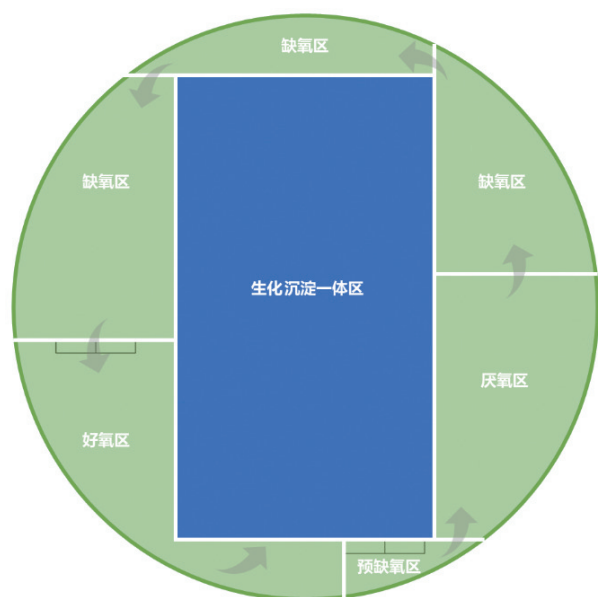


图2 装配式生化沉淀一体池平面布局

Fig.2 Plane layout of prefabricated biochemical sedimentation integrated tank

③ 高效沉淀池

高效沉淀池1座2组,钢筋混凝土结构,尺寸 $L \times B \times H = 34.10 \text{ m} \times 28.30 \text{ m} \times 8.40 \text{ m}$,旱季设计水量为 $1\,900 \text{ m}^3/\text{h}$;混合池停留时间为 1.33 min ,絮凝池停留时间为 12.68 min ,沉淀池单池直径为 13 m ,表面水力负荷为 $8.45 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。主要设备:2台快速搅拌器($N=5.0 \text{ kW}$),2台慢速搅拌器($N=7.50 \text{ kW}$),6台潜污泵(单台 $Q=62.50 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=14 \text{ m}$ 、 $N=7.50 \text{ kW}$,干式安装,4用2备),2套中心转动浓缩刮泥机($D=13 \text{ m}$ 、 $H=7 \text{ m}$ 、 $N=1.10 \text{ kW}$)。

④ 反硝化深床滤池

反硝化深床滤池1座,半地下式钢筋混凝土结构,旱季设计水量为 $1\,900 \text{ m}^3/\text{h}$,分5格;石英砂滤料有效粒径为 $2 \sim 3 \text{ mm}$,高度为 2.44 m 。单格滤池滤速为 5.95 m/h ,雨季为 7.55 m/h ;单格滤池反洗时,其他滤池强制滤速为 9.40 m/h ;容积负荷为 $0.5 \text{ kgNO}_3^- - \text{N}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$;空气冲洗强度为 $30.5 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,气洗 $3 \sim 5 \text{ min}$,水冲洗强度为 $4.1 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,气水联合冲洗 $10 \sim 15 \text{ min}$,单独水洗 $5 \sim 10 \text{ min}$ 。主要配套设备:风机, $Q=58.45 \text{ m}^3/\text{min}$ 、 $H=8 \text{ m}$ 、 $N=110 \text{ kW}$,3台(2用1备);反冲洗水泵, $Q=942 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=17 \text{ m}$ 、 $N=75 \text{ kW}$,2台(1用1备)。

⑤ 紫外消毒渠

紫外消毒渠1座2格,土建结构,平面尺寸为

$12.25 \text{ m} \times 5.80 \text{ m}$;紫外消毒装置1套,共计64根灯管,350 W/根;每根紫外灯管水力负荷为 $450 \text{ m}^3/\text{d}$,紫外线消毒有效剂量为 $30 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ 。

⑥ 污泥脱水机房

污泥脱水机房为地上一层框架结构,尺寸 $L \times B = 30.00 \text{ m} \times 12.00 \text{ m}$;设计绝干污泥量为 4.55 t/d ;配置3台带式浓缩脱水一体机(带宽 2 m 、 $N=5.20 \text{ kW}$,2用1备)、3台移动空压机($0.48 \text{ m}^3/\text{min}$ 、 $N=3 \text{ kW}$,2用1备)、2套污泥料仓进泥螺杆泵($Q=5 \text{ t/h}$ 、 $N=11 \text{ kW}$,1用1冷备)、1座污泥料仓($V=20 \text{ m}^3$ 、 $N=7.50 \text{ kW}$)。

4 装配化建造

为保证装配式生化沉淀一体池的高效建设与长效运行,采用4个方面的专项设计。

① 材质与耐久性设计

装配式池体为100%模块化钢结构,主体均采用304不锈钢(材质选取综合水质论证,屈服强度 $\geq 206.8 \text{ MPa}$),依据《建筑结构可靠性设计统一标准》(GB 50068—2018),设计使用年限为50年;壁板设计厚度取 8 mm (理论值 $7 \text{ mm} + 14\%$ 裕量),参考《海港工程钢结构防腐蚀技术规范》(JTS 153—3—2007),可防范污水环境中Cl⁻腐蚀风险。

② 模块化拼接技术

池体外壁由弧形不锈钢板通过高强度螺栓连接,接缝采用三元乙丙橡胶(EPDM)密封垫防渗,确保水密性。内部骨架、内立柱、走道桁架等核心承力构件采用工厂全预制+现场全焊接,焊缝等级为二级(20%无损检测),焊后打磨酸洗钝化处理。

③ 快速安装工艺

装配式池体分单元预制,单池拆分为6个功能单元(预缺氧/厌氧/缺氧等),工厂同步预制并预埋设备接口。现场吊装序列,按“底板→外壁板→内骨架→设备”顺序安装,壁板螺栓拼接耗时 $\leq 72 \text{ h}$ 。安装工艺融合数字化调控辅助,基于建筑信息模型(BIM)预演拼装路径,吊装定位误差 $\leq 5 \text{ mm}$,满足《装配式钢结构住宅建筑技术标准》(JGJ/T 469—2019)。

④ 调试与性能优化

池体安装完成后进行试运行:密封性测试验证采用煤油渗透法,注水后100%焊缝检测,局部渗漏点采用不锈钢补焊膏快速修复;水力负荷调试,通过可调堰门($\pm 50 \text{ mm}$ 行程)动态控制沉淀区液位,优

化污泥沉降速度;气提环流校准,监测好氧区溶解氧,调节曝气强度,保障无动力污泥回流效率。

5 运行效果及技术经济分析

5.1 运行效果

该工程于2023年11月中旬启动生化系统设备进场安装、12月底池体完工通水(建设周期约为45 d),调试投产后稳定运行至今。该厂近半年运行监测数据见表4。

由表4可知:

- ① 系统处于低负荷高效运行
尽管实际进水水质显著低于设计值(关键指标

如COD、氨氮、总氮仅为设计负荷的55%~75%),系统仍展现出良好的处理效能。

② 抗冲击与稳定性强

系统脱氮性能优异,在进水总氮为7.17~26.14 mg/L时,实际95%水质保障率总氮去除率达78.11%;针对SS异常高负荷(均值>250 mg/L,超过设计值),仍实现99.85%的高去除率,证明固液分离效能佳;总磷去除表现优异,平均去除率为98.13%,95%水质保障率去除率为96.54%,远优于设计值;系统能较好地应对近远期城市排水系统的综合纳污需求。

表4 污水处理厂实际进、出水水质

Tab.4 Actual influent and effluent quality of the municipal wastewater treatment plant

水质指标	项目	进水/(mg/L)	出水/(mg/L)	去除率/%
COD	设计值	250.00	30.00	88.00
	最大值	216.37	8.40	96.12
	最小值	44.15	5.17	88.29
	平均值	133.82	6.60	95.07
	95%水质保障率	204.50	8.33	95.92
氨氮	设计值	25.00	1.50	94.00
	最大值	24.95	0.29	98.83
	最小值	1.49	0.01	99.47
	平均值	15.28	0.06	99.64
	95%水质保障率	24.75	0.26	98.93
总氮	设计值	30.00	10.00	66.67
	最大值	26.14	5.79	77.84
	最小值	7.17	0.76	89.42
	平均值	17.98	4.35	75.79
	95%水质保障率	26.14	5.72	78.11
总磷	设计值	4.00	0.30	92.50
	最大值	4.68	0.16	96.55
	最小值	1.28	0.02	98.56
	平均值	3.15	0.06	98.13
	95%水质保障率	4.54	0.16	96.54
SS	设计值	200.00	10.00	95.00
	最大值	955.80	1.48	99.84
	最小值	30.91	0.27	99.13
	平均值	253.65	0.57	99.78
	95%水质保障率	931.37	1.35	99.85

5.2 工程投资

本工程新建污水处理厂的主要构筑物工程造价初设概算:一类工程费用(含建筑工程、设备购置、安装工程)约为1.67亿元,建设成本约5566.67元/m³;旱季设计水量下直接运行成本为1.06元/m³,其中,电费为0.38元/m³,药剂费为0.18元/m³,污泥

处置费为0.31元/m³,人工、大修维护综合成本为0.19元/m³。

5.3 技术经济性分析

结合本工程实际,对标同类工程规模、采用传统工艺技术建设方案的城镇污水处理工程案例,进行方案的技术经济对比,具体如表5所示。

表 5 不同工程案例的技术经济对比

Tab.5 Technical-economic comparison of different project case schemes

项目	本工程	参考文献[9]	参考文献[10]	参考文献[11]
工程规模/ (万 m ³ /d)	3	3.5	3, Kz=1.38	2.5, Kz=1.47
出水标准	GB 18918—2002 一级 A 标准、GB 3838—2002 准Ⅳ类标准	《大清河流域水污染物排放标准》(DB13/2795—2018)	《城镇污水处理厂水污染物排放标准》(DB11/890—2012) A 标准	GB 18918—2002 一级 A 标准和广东省 DB44/26—2001 第二时段一级标准中较严者
核心工艺	生化沉淀一体池	UCT	多段多级 AO	改良 AAO 氧化沟
技术路线	装配式生化沉淀一体池+高效沉淀池+反硝化深床滤池+紫外消毒池	UCT+二沉池+高密度沉淀池+活性砂滤池+接触消毒池	多段多级 AO+二沉池+高效沉淀池+V 型滤池+臭氧接触池+接触消毒池	改良 AAO 氧化沟+二沉池及配水集泥井+高效纤维滤池+紫外线消毒渠+巴氏计量槽
生化 HRT/h	16.21(设计水量下 10.54)	16.60	25.58	13.10
建设形式	(生化系统)装配式钢结构/土建	土建结构	土建结构	土建结构
工程总占地/m ²	28 780[用地指标为 0.96 m ² /(m ³ /d)]	55 289.59[用地指标为 1.56 m ² /(m ³ /d)]	31 748.23[用地指标为 1.06 m ² /(m ³ /d)]	—
生化系统占地/m ²	4 230[用地指标为 0.146 m ² /(m ³ /d)],含生化+沉淀	5 152.62[用地指标为 0.15 m ² /(m ³ /d)],仅生化池	5 157.6[用地指标为 0.15 m ² /(m ³ /d)],仅生化池	2 148[用地指标为 0.11 m ² /(m ³ /d)],仅生化池
建设工期/月	6(生化系统安装约 45 d)	约 12	8	—
工程投资	一类工程费用为 1.67 亿元,投资为 5 566.67 元/m ³ (设计水量下投资为 3 662.28 元/m ³)	一类工程费用为 11 620.76 万元,投资为 3 320.22 元/m ³	一类工程费用约 1.53 亿元,投资为 5 098.53 元/m ³	一类工程费用约 7 498.88 万元,投资约为 3 000 元/m ³

注:“—”为该参考文献未披露。

① 占地集约性:本工程规模与文献[9-11]案例处于相同量级,但得益于装配式生化沉淀一体技术的集成、工艺与结构的联合创新,工程总占地显著低于文献[9]、[10],生化沉淀段占地指标压缩至 0.14 m²/(m³/d);参考案例仅生化池单项占地指标[0.11~0.15 m²/(m³/d)],实际需额外建设二沉池[常规占地≥0.3 m²/(m³/d)],可见,本工程在用地集约方面优势明显。

② 建设周期:本工程总建设周期为 6 个月,较文献[10-11]节省 20%~50%,其关键在于装配式钢结构模块化建设交付的优势,使核心生化系统在 45 d 内实现通水,同时沉淀单元与生化段的同步调试机制可省去后期传统二沉池独立建设、验收环节,在工期集约上提效显著。

③ 经济效益:本工程一类费用、在设计规模下的投资约 5 566.67 元/m³,因系《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)实施后建设项目(以旱季流量设计、雨季流量校核),故实际在设计水量下投资为 3 662.28 元/m³;参考同等规模、高标准水质要求项目类型,该值处于行业合理投资区间。

6 结论

① 本工程基于生化沉淀一体技术,采用装配式污水处理系统集成设计,实现了装配式水处理设施、全系统装备化产品在大型市政场景[水量为(3~6)万 m³/d)]的工程应用与推广。

② 充分利用装配式技术的高效、短流程特性,该工程克服了用地受限、施工周期短及工程投资超投风险等问题,生化系统(含沉淀段)占地指标≤0.15 m²/(m³/d),优于 GB 50318—2017 中用地指标规范;45 d 内完成了装配式设施从设备进场、建设安装至通水,大幅协同缩短了工程建设周期。

③ 该污水处理厂的运行结果显示,装配式生化沉淀一体池+高效沉淀池+反硝化深床滤池组合工艺在城镇污水处理中应用效果良好,系统性能稳定,关键水质指标均能达到设计排放标准。

本工程为装配式污水处理技术在中等规模及以上城镇污水处理厂的建设提供了可复制的技术工程范式,其“集约设计-快速建造-高效运行”的工程实践,对促进污水处理行业的绿色高效、装备化转型升级具有示范意义。

参考文献:

- [1] MEIRELES I, MARTÍN-GAMBOA M, SOUSA V. Comparative environmental life cycle assessment of partition walls: innovative prefabricated systems vs conventional construction [J]. Cleaner Environmental Systems, 2024, 12: 100179.
- [2] 吴虎彬, 涂勋, 郭雨婷, 等. UASB-AO-接触氧化工艺处理生物制药废水工程实例[J]. 给水排水, 2023, 49(增刊2): 694-697.
- WU H B, TU X, GUO Y T, et al. Engineering example of UASB-AO-contact oxidation process for treating biopharmaceutical wastewater [J]. Water & Wastewater Engineering, 2023, 49(S2): 694-697(in Chinese).
- [3] 盛倩. 成都某应急污水处理工程一体化、模块化设计[J]. 中国给水排水, 2019, 35(24): 52-55.
- SHENG Q. Integrated and modular design of an emergency wastewater treatment project in Chengdu [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(24): 52-55(in Chinese).
- [4] 赵凯宁, 唐升引, 邓岳鹏, 等. OAAO-MBR工艺在市政污水处理厂提标改造中的应用[J]. 工业水处理, 2025, 45(4): 176-185.
- ZHAO K N, TANG S Y, DENG Y P, et al. Application of OAAO-MBR process for upgrading and reconstruction of municipal wastewater treatment plant [J]. Industrial Water Treatment, 2025, 45(4): 176-185(in Chinese).
- [5] 曾磊, 刘畅, 阮超, 等. “A/RPIR+磁混凝沉淀”组合工艺处理城镇废水的稳定运行效能分析[J]. 水处理技术, 2024, 50(1): 138-142, 146.
- ZENG L, LIU C, RUAN C, et al. Analysis on stable operation efficiency of “A/RPIR + magnetic coagulation sedimentation” combined process for urban wastewater treatment [J]. Technology of Water Treatment, 2024, 50(1): 138-142, 146(in Chinese).
- [6] 彭冠平, 邹静, 石稳民, 等. A/RPIR+磁混凝沉淀用于临时分散式污水处理工程[J]. 中国给水排水, 2022, 38(6): 93-98.
- PENG G P, ZOU J, SHI W M, et al. Application of A/RPIR and magnetic coagulation sedimentation in a temporary decentralized sewage treatment project [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(6): 93-98(in Chinese).
- [7] 林佩斌, 李小江, 李辉, 等. 快速污水处理技术(RPIR)用于深圳水环境治理[J]. 中国给水排水, 2020, 36(12): 117-120, 137.
- LIN P B, LI X J, LI H, et al. Application of rapid wastewater treatment technology (RPIR) in water environment improvement in Shenzhen [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(12): 117-120, 137(in Chinese).
- [8] 李相继. 污水处理厂原位技术改造扩容的设计实例[J]. 环境工程, 2025, 43(11): 21-29.
- LI X J. A design case of in-situ expansion and technological transformation for sewage treatment plants [J]. Environmental Engineering, 2025, 43(11): 21-29(in Chinese).
- [9] 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 J, ZHAO W B, YUAN X, 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).
- [10] 金涛, 刘晓静, 马文明, 等. 更严格排放标准下低温条件的某新建污水处理厂工程设计与运行[J]. 净水技术, 2023, 42(9): 168-175.
- JIN T, LIU X J, MA W M, et al. Engineering design and operation of a newly-built WWTP under stricter discharge standard at low temperature [J]. Water Purification Technology, 2023, 42(9): 168-175(in Chinese).
- [11] 张青青, 胡亮, 廖妍, 等. 改良A²O氧化沟在小城镇污水处理厂中的应用研究[J]. 水处理技术, 2024, 50(6): 140-143.
- ZHANG Q Q, HU L, LIAO Y, et al. Application of improved A²O oxidation ditch in small town sewage treatment plant [J]. Technology of Water Treatment, 2024, 50(6): 140-143(in Chinese).

作者简介: 廖凤珍(1995—), 女, 福建三明人, 硕士, 工程师, 主要从事水处理创新技术装备化开发应用工作。

E-mail: fzliao0504@163.com

收稿日期: 2025-06-06

修回日期: 2025-08-12

(编辑: 衣春敏)