

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2026.02.009

佛山市城北污水处理厂地埋式改建工程设计

石紫龙, 芦汉超, 刘彦华, 边靖, 王阳
(中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300381)

摘要: 为提高佛山市原城北污水处理厂出水标准,满足水环境保护要求,结合沿河景观带打造市民休闲娱乐场所,减少“邻避”效应,将城北污水处理厂改建为全地埋式污水处理厂,处理规模为 $10.0 \text{万 m}^3/\text{d}$,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、广东省《水污染物排放限值》(DB44/26—2001)、《汾江河流域水污染物排放标准》(DB44/1366—2014)中较严值,其中氨氮按 1.5mg/L 执行,处理工艺为预处理+复合A/A/O泥膜混合工艺+矩形周进周出二沉池+磁絮凝高效沉淀池,出水各项指标稳定达标。作为佛山市首座全地埋式污水处理厂,地上部分除用于污水处理厂综合办公外,其余已成为对外开放的景观公园。

关键词: 地埋式污水处理厂; 复合A/A/O泥膜混合工艺; 磁絮凝高效沉淀池

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2026)02-0058-05

Design of Chengbei Wastewater Treatment Plant Underground Reconstruction Project in Foshan

SHI Zilong, LU Hanchao, LIU Yanhua, BIAN Jing, WANG Yang
(North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300381, China)

Abstract: In order to improve the effluent standard of the former Chengbei wastewater treatment plant (WWTP) in Foshan, meet the requirements of water environmental protection, build a public leisure and entertainment place in combination with the scenic belt along the river, and reduce the NIMBY effect, Chengbei WWTP is rebuilt into an underground WWTP with treatment capacity of $10.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$. The effluent quality should comply with the stricter values of the first level A limit specified in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002), *Discharge Limits of Water Pollutants* (DB44/26-2001) of Guangdong Province, and *Discharge Standard of Water Pollutants in Watershed of Fenjiang River* (DB44/1366-2014). Among them, the ammonia nitrogen is executed at 1.5 mg/L . The process adopts pretreatment, composite A/A/O sludge film mixing process, rectangular peripheral-feed peripheral-overflow secondary sedimentation tank and magnetic flocculation high-efficiency sedimentation tank process, and all effluent indicators stably reached standards. As the first underground WWTP in Foshan, the above-ground area is used as an open landscape park except for the integrated office area of the WWTP.

Keywords: underground wastewater treatment plant; composite A/A/O sludge film mixing process; magnetic flocculation high-efficiency sedimentation tank

1 工程概况

佛山市城北污水处理厂分两期建设,首期工程于 2008 年建成,规模为 5.0 万 m³/d;二期工程于 2009 年建成,规模为 5.0 万 m³/d。一、二期均采用 UNITANK 处理工艺,设计排放标准为《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 B 标准,处理出水排放至佛山水道(汾江河)。由于现状城北污水处理厂设计建设时间较早,设计排放标准已无法满足目前较严格的排放要求,不能适应现今的水环境保护标准,因此需要对城北污水处理厂进行提标改造。同时,城北污水处理厂位于佛山市中轴线最北段,处于北门户片区的起始端,其周边为在建住宅楼和规划住宅用地,现有和在建居民楼与城北污水处理厂仅一墙之隔。为配合佛山市中轴线北门户中枢建设,提升北部门户片区的品质,拟将城北污水处理厂改建为地理式污水处理厂,改建工程完成后将废除现状建(构)筑物,以减少对周边环境的影响。

佛山市城北污水处理厂地理式改建工程设计规模仍为 10.0 万 m³/d,服务范围与原城北污水处理厂相同,收水管网和服务区域横跨禅城、南海两区。根据区域最新规划,厂址附近无法新征土地,且根据佛山市相关部门指示及要求,改建工程建设期间仍需保留现状污水处理厂主要处理构筑物,并维持正常运行,因此通过多种方案研究,最终决定利用厂区现有征地范围,对部分建(构)筑物进行临时迁建,腾出空间进行地理厂建设,即原位改建。

由于新建工程建设用地上有现有综合楼及预处理设施,其他现状建(构)筑物位于建设用地的北侧,考虑新建工程建设周期为 2~3 年,城北污水处理厂主体工艺为 UNITANK,悬浮物过多将对生化池造成不利影响,因此在满足生产工艺的前提下尽量减少投资,决定在非建设用地上新建临时预处理设施(粗格栅及进水提升泵房、细格栅及平流沉砂池);新建临时办公用房、门卫室、进水检测间,配套迁改厂内工艺给水、污水及雨水等管线,拆除现有粗格栅及进水泵房、细格栅和曝气沉砂池、综合楼。

新建工程选址利用现有厂区征地范围,距离南侧扶西公寓和东南侧在建住宅项目仅约 15 m;紧邻汾江河,地下水位较高,地质条件差。方案实施前,需对原厂综合楼、预处理设施以及总图管道等实施

临时迁移;由于用地不规则,地下箱体也不规则,箱体结构实施难度大,同时面临基坑支护、地基处理、现场实施等难题,还要降低对现状厂区正常生产及周边环境的影响,因此工程设计、建设难度急剧增加。

2 设计水质及工艺流程

2.1 设计水质

根据现状污水处理厂实测进水水质及原 BOT 合同协议综合确定改建工程设计进水水质。出水水质应执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 标准、广东省《水污染物排放限值》(DB44/26—2001),以及《汾江河流域水污染物排放标准》(DB44/1366—2014)中较严者。此外,氨氮指标应严格按 1.5 mg/L 控制执行。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

mg/L						
项目	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
进水	380	180	320	30	38	8
出水	40	10	10	1.5	15	0.5

2.2 工艺流程

污水处理工艺流程见图 1。

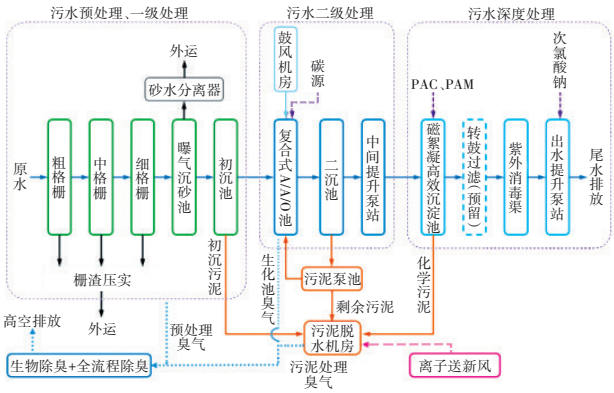


图 1 污水处理厂总体工艺流程

Fig.1 Overall flow chart of wastewater treatment process of wastewater treatment plant

污水经三级格栅、曝气沉砂池和初沉池后进入二级生化系统,生化系统采用改良 A/A/O 和 MBBR 的复合泥膜混合工艺,丰富了微生物的种类及丰度^[1],可高效去除水中有机物及氮、磷等污染物。生化混合液经过泥水分离后进入磁絮凝高效沉淀池,进一步去除 SS 及 TP 等污染物,尾水经紫外消毒后

提升外排至佛山水道。经过两年的运行,取得了较好的处理效果^[2]。

污泥处理采用带式浓缩+离心脱水工艺,污泥含水率 $\leq 80\%$ 后外运处置。再生水回用处理采用超滤膜系统,回用水量 $5\,000\text{ m}^3/\text{d}$ 。深度处理段预留转鼓精密过滤器土建,供后续提标使用。

3 工程设计

3.1 厂区总平面布置

该项目总用地约 7.50 hm^2 ,由于厂区为原厂内新建,又位于佛山市中轴线上,对厂区景观效果要求较高。为提升地块整体价值,减少对周边的影响,地上设施需尽量减少,因现状建(构)筑物位于地下箱体北侧,故将新建工程用房尽可能集中于西北角,厂区地上仅保留综合楼、变电房、疏散楼梯间等,将用地尽可能地让给开放式景观公园。最终地上厂区面积仅约 1.1 hm^2 ,其余作为开放式景观公园,由政府结合周边景观带打造进行统一规划、设计、实施。

3.2 箱体平面布局及竖向设计

该工程的建(构)筑物平面布置结合工艺流程、建(构)筑物外形尺寸、进出水方向,并综合考虑地上风向、厂内外交通等因素,进行总体布局。竖向设计根据生产、防洪、运输、排水、管线敷设、地上景观及土石方等因素的要求,综合比较后确定,力求经济合理。

该工程地下箱体尺寸为 $140.2\text{ m}\times 94.8\text{ m}\times 123.4\text{ m}\times 74.1\text{ m}$,顶部覆土 0.9 m 。负一层的层高为 6.3 m ,负二层的层高为 8.2 m 。

负一层平面布置见图2。

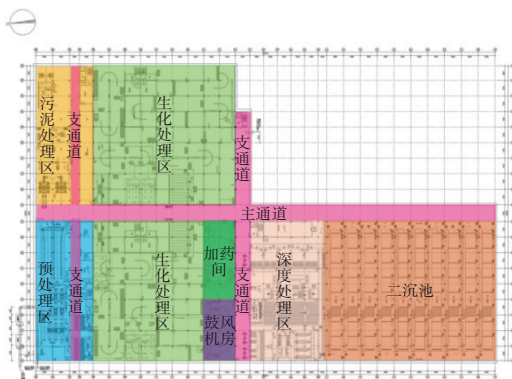


图2 负一层平面布置

Fig.2 Plane layout of the first underground floor

生化池区域局部剖面示意图图3。

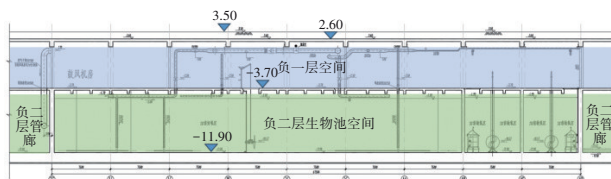


图3 生化池区域局部剖面示意

Fig.3 Local profile of the biochemical tank area

3.3 主要建(构)筑物设计

① 预处理单元

预处理单元位于地下箱体西南侧,设置三级格栅,其中粗格栅为3台钢丝绳格栅清污机,栅条间隙 20 mm ;中格栅为3台阶梯网板式机械格栅,栅条间隙 6 mm ;细格栅为3台网板式内进流格栅机,孔径 3 mm ;2组曝气沉砂池,水平流速 0.07 m/s ,停留时间 5.7 min ,曝气量 $0.2\text{ m}^3/\text{m}^3$ 。

② 初沉池

运行数据显示雨季SS较高,因此设置初沉池加强对后续工段的保护^[3]。采用矩形平流沉淀池2座,每座2格,每格设有刮泥机,一端设置泥斗,利用排泥泵将初沉污泥排放至污泥泵池。单格初沉池平面尺寸为 $40.55\text{ m}\times 6.70\text{ m}$,有效水深为 5.7 m ,表面负荷为 $4.98\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。

③ 复合A/A/O生化池

生化反应池采用A/A/O、MBBR复合泥膜混合工艺,主要由厌氧区、缺氧区、前好氧区、兼氧区、后好氧区组成,在前好氧区第一个循环廊道内投加悬浮填料,构成活性污泥-悬浮填料复合泥膜混合工艺,共分2个系列运行。单系列处理规模为 $5.0\text{ 万 m}^3/\text{d}$,有效水深 $6.75\sim 7.05\text{ m}$,污泥浓度 $4\,000\text{ mg/L}$,污泥龄 13 d ,污泥负荷 $0.06\text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS}\cdot\text{d})$,总停留时间 12.07 h ,其中厌氧区 1.43 h 、缺氧区 3.19 h 、前好氧区 6.18 h 、兼氧区 0.83 h 、后好氧区 0.44 h ,好氧区悬浮填料投加量 $4\,200\text{ m}^3$,填充率 $> 33\%$,内回流比 $100\%\sim 300\%$,污泥回流比 100% 。总曝气量 $450\text{ m}^3/\text{min}$,气水比 $6.5:1$,采用磁悬浮风机,置于生化池上。生化池进水采用分配渠配水,运行时可通过调整配水渠闸门开启程度调节厌氧区及前缺氧区的流量比。厌氧区、缺氧区为完全混合式,通过潜水推进器促使混合液形成环流;前好氧区亦采用完全混合式,除安装曝气器外,池内还设置潜水推进器,以提高污染物处理效果和用于拦截筛网擦洗;兼氧区可根据运行效果进行缺氧、好氧

切换,提高总氮处理效果。

④ 二沉池

采用矩形周进周出二沉池,1座,10格,单格尺寸 $58.0\text{ m}\times 7.3\text{ m}\times 6.4\text{ m}$,有效水深 5.0 m ,最大表面负荷 $1.28\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,固体表面负荷 $9.05\text{ kg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。

⑤ 深度处理区

深度处理区包括中间提升泵站、污泥泵池、磁絮凝高效沉淀池、紫外消毒渠、总出水泵站、再生水池等。a. 中间提升泵站:提升泵采用潜水轴流泵,3用1备。提升泵站进水渠上设有溢流堰,用于事故状态下将污水溢流至综合废水池。b. 污泥泵池:污泥泵包括回流污泥泵、剩余污泥泵以及除臭污泥回流泵。剩余污泥泵池与回流污泥泵池独立设置,化学污泥不进入回流污泥泵池而回到生化池。剩余污泥泵池1座,回流污泥泵池2座,每座可独立运行,除臭污泥回流泵置于回流污泥泵池内。c. 磁絮凝高效沉淀池:2组,快混区停留时间 1.8 min ,磁介质混合区停留时间 1.77 min ,絮凝反应区停留时间 3.05 min ,沉淀区直径 12 m ,有效水深 6.5 m ,平均表面负荷 $18.94\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,峰值表面负荷 $24.62\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,磁粉投加量 $2\sim 3\text{ mg/L}$,人工投加,磁剪切机、磁分离机处理量 $20\text{ m}^3/\text{h}$,磁粉回流率 $90\%\sim 95\%$ 。PAC投加量约 12.5 mg/L ,单泵 Q 为 $100\sim 400\text{ L/h}$;PAM投加量 1 mg/L ,单泵 $Q=1.3\text{ m}^3/\text{h}$ 。PAC、PAM投加泵均为3台,2用1备。d. 转鼓型精密过滤器(预留):为应对日后水质提标,远期预留4台转鼓型精密过滤器土建条件。

⑥ 污泥脱水机房

初沉污泥、剩余污泥和化学污泥进入污泥缓冲池,通过带式浓缩+离心脱水至含水率 80% ,然后进入料仓储存。总污泥量为 32.1 tDS/d ,脱水后污泥量(含水率 80%)为 161 t/d ,设置2台带式浓缩机, $Q=120\text{ m}^3/\text{h}$;3台离心脱水机, $Q=60\text{ m}^3/\text{h}$,配污泥滑架式圆柱仓2套,单个容积 80 m^3 ,配套落料螺旋和液压刀闸阀。

3.4 除臭设计

对产生臭气的区域,如:预处理、初沉池、生物池、污泥泵池、综合废水池和污泥区以及渣箱等设备进行密封、臭气收集,除臭总风量为 $14\text{ 万 m}^3/\text{h}$,经生物除臭滤池处理达标后排放。此外,生化池前缺氧段还设置了40套 $\text{Ø}1\ 200\text{ mm}\times 2\ 000\text{ mm}$ 全流程除

臭培养箱,以增强除臭效果,除臭污泥回流量为 6% ,通过污泥泵将含有除臭污泥的活性污泥回流至进水前端。对于预处理、污泥区臭气浓度较高的地方,额外设置送离子新风装置,对预处理区负一层整个空间和污泥处理区的污泥脱水间、污泥料仓间送离子新风,使箱体内部主要通道臭气浓度 ≤ 20 ,工作操作区臭气浓度 ≤ 50 ,排气塔臭气浓度 ≤ 300 。

除臭排放塔排放口高度为 15 m ,塔身和综合楼有机结合,设置于西北角,尽可能远离居住区。

3.5 消防设计

地下箱体火灾危险性类别为丁类,地上部分耐火等级为二级,地下部分耐火等级为一级。

地上综合楼划分为2个防火分区,地下箱体负一层共划分为11个防火分区,地下箱体负二层共划分为3个防火分区,每个防火分区面积均不超过 $2\ 000\text{ m}^2$,每个防火分区内均设置一部独立的直通室外疏散楼梯,同时利用通向相邻防火分区的甲级防火门作为第二安全出口,负二层每个防火分区内设置一部消防电梯。

室内、室外消防系统为临时高压给水系统^[4],水源均来自室内地下消防泵房。消防泵房和消防水池设置于地下箱体负一层,有效容积 702 m^3 。室外消火栓用水量为 30 L/s ,室内消防采用消火栓、喷淋及灭火器相结合的方式,室内消火栓用水量为 40 L/s ,火灾延续时间为 2 h ,地下箱体和综合楼共用1套喷淋系统,系统用水量 40 L/s ,火灾延续时间 1 h 。地下箱体内配电室设置七氟丙烷柜式预制灭火系统。

3.6 建筑信息模型(BIM)设计

利用BIM建模辅助设计,对管线、梁板柱等进行碰撞检查,精确定位碰撞点,有效解决了地下污水处理厂空间有限、管线复杂等问题。利用BIM成果指导施工,有效预防失误而造成的投资浪费和工作量。

3.7 智慧化设计

通过构建数字化生产运营管控平台,实现多维数据可视化、生产关键绩效指标(KPI)实时显示、设备状态在线监控、报警趋势与分布统计、各类工单进度显示、自控/安防联动、人员管理、安全管理等,提高了污水处理厂的运行管理水平和决策能力,实现了安全稳定运行和节能降耗^[5]。

4 运行效果及经济分析

该工程于2021年12月完成竣工验收,并投入

试运行。经过两年的运行,目前已进入稳定期,设备运行良好。实际平均进水量为 $8.9 \text{ m}^3/\text{d}$,出水各项指标均优于设计指标。实际运行进、出水水质见表2。该工程概算总投资为67 969.96万元,工程总承包(EPC)概算为58 364.49万元,经营成本约 $1.5 \text{ 元}/\text{m}^3$,其中综合能耗(电耗+药耗)费用约 $0.47 \text{ 元}/\text{m}^3$,总装机容量为 $4\,805 \text{ kW}\cdot\text{A}$ 。

表2 实测进、出水水质平均指标

Tab.2 Average measured indexes of influent and effluent quality

项目	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
进水/(mg/L)	182	65.0	180	18.3	21.9	6.32
出水/(mg/L)	19	3.7	4	0.1	7.2	0.14
去除率/%	89.56	94.31	97.78	99.45	67.12	97.78

5 设计亮点

① 在用地紧张、不规则的情况下,克服了基坑支护、地基处理、地下箱体构筑物布置等难题,保证了现状城北污水处理厂正常运行,成功实现了原位改建。

② 采用以复合A/A/O泥膜混合工艺+磁絮凝高效沉淀池为核心的污水处理工艺,减少占地,降低运行成本,并为远期提标预留条件。

③ 该工程采用全地理式建设,与周边环境融合,减少周边居民“邻避”效应,提升周边土地价值;利用现有狭小且不规则场地,地下箱体设计因势利导构建不规则平面,最大限度地利用现有土地,集约化设计,释放土地空间,原厂总用地面积约 7.53 hm^2 ,地理式改建后地上厂区面积仅为 1.10 hm^2 ,其余均为开放式景观公园。

④ 构建智慧污水处理厂,建立信息全面、具有良好扩展能力的智能管控平台,实现减员增效、精益化运营管理。

6 结论

佛山市城北污水处理厂地理式改建工程设计规模为 $10.0 \text{ 万 m}^3/\text{d}$,采用复合A/A/O泥膜混合工艺+磁絮凝高效沉淀池处理工艺,各项出水指标优于设计出水水质。通过集约化布置、全地理式建设,与周边环境充分融合,释放地上土地空间,提高周边景观效果和水环境标准,为周边居民提供休闲娱乐场所,践行绿色城市理念。作为佛山市首座全地理式污水处理厂,承担重要参观学习及环保教育

基地职能,已接待访客上千人次,起到了标杆示范作用。

参考文献:

- [1] 刘敏,房阔,王凯军. AAO+流态化生物载体工艺的菌群结构分析[J]. 中国给水排水,2023,39(19):11-18.
LIU M, FANG K, WANG K J. Analysis on microbial community composition of AAO+FBC/MBBR system [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(19): 11-18 (in Chinese).
- [2] 杨平,周家中,管勇杰,等. 基于MBBR的AAO和Bardenpho工艺改造效果对比[J]. 中国给水排水,2021,37(7):11-19.
YANG P, ZHOU J Z, GUAN Y J, et al. Comparison of AAO and Bardenpho processes transformation effect based on MBBR [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(7): 11-19 (in Chinese).
- [3] 王阳,张月,郭庆英,等. 珠海前山水质净化厂全地下MBR工艺设计[J]. 中国给水排水,2018,34(22):59-62.
WANG Y, ZHANG Y, GUO Q Y, et al. Design of Qianshan wastewater treatment plant with underground MBR process in Zhuhai City [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(22): 59-62 (in Chinese).
- [4] 卫佳,方帅,许怀奥,等. 江西省首座花园式全地下水质净化厂工程设计[J]. 中国给水排水,2023,39(8):68-72.
WEI J, FANG S, XU H A, et al. Design of the first garden-type full underground wastewater treatment plant in Jiangxi Province [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(8): 68-72 (in Chinese).
- [5] 初振宇,李骏飞,林英,等. MBBR+磁混凝+反硝化滤池工艺用于全地下污水厂[J]. 中国给水排水,2023,39(12):80-84.
CHU Z Y, LI J F, LIN Y, et al. Application of MBBR, magnetic coagulation and denitrification deep bed filter process in an underground wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(12): 80-84 (in Chinese).

作者简介:石紫龙(1990—),男,河南林州人,硕士,高级工程师,主要从事给排水设计工作。

E-mail:1528419943@qq.com

收稿日期:2023-11-19

修回日期:2023-12-14

(编辑:衣春敏)