

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.08.011

“花园式”大型半地下智慧水质净化厂设计

王雪, 陈颖童, 戴仲怡

(中国市政工程中南设计研究总院有限公司, 湖北 武汉 430010)

摘要: 广东省深圳市固戍水质净化厂二期工程规模为 $32 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,采用三层加盖半地下式结构形式,上层为停车场,顶层为市政公园。该工程充分利用土地空间,全密封加盖除臭,对周边环境友好,厂内通风、采光、操作环境好,运行管理方便,相对于全地下式可节约30%~40%的投资。建筑景观通过层层退台将污水厂上盖逐级削减,形成“退台式”多层级的立体建筑景观,结合西湾沿海景观带的特点,以“绣海碧滩”为主题,打造“花园式”水质净化厂。工程采用全流程的BIM平台管理,智慧化的运行管理系统,赋予了水质净化厂和人类一样的全面感知能力、数据储存能力和分析、解决问题的能力。针对高标准的出水水质,污水处理采用成熟、稳定、先进的多段AO生物池+矩形周进周出二沉池+高密度沉淀池+滤布滤池工艺。工程投产运行以来,出水水质全面优于地表水Ⅳ类标准($\text{TN} \leq 10 \text{ mg/L}$ 、 $\text{SS} \leq 6 \text{ mg/L}$ 除外)。

关键词: 花园式; 半地下式; 大型水质净化厂; 智慧化; BIM

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)08-0073-05

Design of “Garden Style” Large-scale Semi-underground Intelligent Wastewater Treatment Plant

WANG Xue, CHEN Ying-tong, DAI Zhong-yi

(Central & Southern China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Wuhan 430010, China)

Abstract: The scale of Shenzhen Gushu wastewater treatment plant phase II project in Guangdong Province is $32 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$. The structure is three-storey semi-underground with cover, the upper storey is a parking lot, and the top storey is a municipal park. The project makes full use of land space. The facilities are fully sealed and covered for deodorization, which are friendly to the surrounding environment. The plant has good ventilation, lighting and operating environment and easy to manage. The investment is saved by 30%~40% compared with full-underground wastewater treatment plant. The architectural landscape adopts terrace structure to curtail the upper cover of the wastewater treatment plant step by step, forming a multi-level stereoscopic architectural landscape. Combined with the characteristics of Xiwan coastal landscape belt, a “garden style” wastewater treatment plant is created with the theme of “blossom sea and clear beach”. All procedures of the project are managed by BIM platform. The intelligent operation and management system bestows the wastewater treatment plant the same comprehensive perception ability, data storage ability, analysis and problem solving ability as human beings. To obtain high standard effluent quality, a mature, stable and advanced process consisting of multi-stage A/O biological tank, rectangular peripheral-feed peripheral-overflow secondary sedimentation tank, high-density sedimentation tank and cloth media filter is adopted for wastewater

treatment. Since the project is commissioned, the effluent quality is superior to the surface water class IV standard (except for $TN \leq 10 \text{ mg/L}$, $SS \leq 6 \text{ mg/L}$).

Key words: garden style; semi-underground; large-scale WWTP; intellectualization; BIM

1 工程概况

固戍水质净化厂位于广东省深圳市大空港流域核心区域前海自贸区内,一期工程规模为 $24 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,服务范围主要包括宝安区新安街道、西乡街道、福永南片区(机场路以南)以及石岩街道的料坑片区,随着片区污水量的日益增长,一期规模逐渐不能满足片区发展需求,市政府决定建设固戍水质净化厂二期工程。

固戍水质净化厂二期工程规模为 $32 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,于 2020 年 1 月 3 日开始建设,2021 年 11 月 1 日正式投入商业运营。厂区被高压电线分成东、西地块。东侧地块为预处理、污泥及综合楼区域;西侧地块为水处理区域。水处理构筑物采用三层加盖半地下式结构形式,水处理构筑物位于下层,操作层位于中层,上层为公园配套停车场,顶层为对外开放的市政公园,公园出入口与厂区独立,人车分流,游客可直接进入停车库及上盖公园。

项目出水主要指标执行地表水 IV 类标准;出泥含水率低于 40%;除臭处理执行天津市地方标准《恶臭污染物排放标准》(DB 12/059—2018)和上海市地方标准《恶臭(异味)污染物排放标准》(DB 31/1025—2016)中的最严值。

水质净化厂原水为片区污水及初雨水,设计进水水质以现状一期工程进水 90% 保证率为依据,同时考虑片区远期发展的不确定性,设计进水指标考虑 10% 富余度。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

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

| 项目 | BOD ₅ | COD | SS | TN | NH ₃ -N | TP |
|----|------------------|-----|-----|----|--------------------|-----|
| 进水 | 207 | 540 | 340 | 55 | 35 | 6 |
| 出水 | 6 | 30 | 6 | 10 | 1.5 | 0.3 |

2 污水处理工艺及流程

工程进水中有机物、SS、TN 指标较高,且出水水质要求高,针对于此,选择强化脱氮的多段 AO 生物池^[1]。预处理工艺采用粗格栅及进水泵房+细格栅及曝气沉砂池;污水处理工艺采用多段 AO 生物池+

矩形周进周出二沉池;深度处理工艺采用高密度沉淀池+滤布滤池;消毒工艺采用紫外+次氯酸钠联合消毒;污泥处理采用重力浓缩+机械浓缩+板框脱水+低温干化工艺。具体工艺流程见图 1。

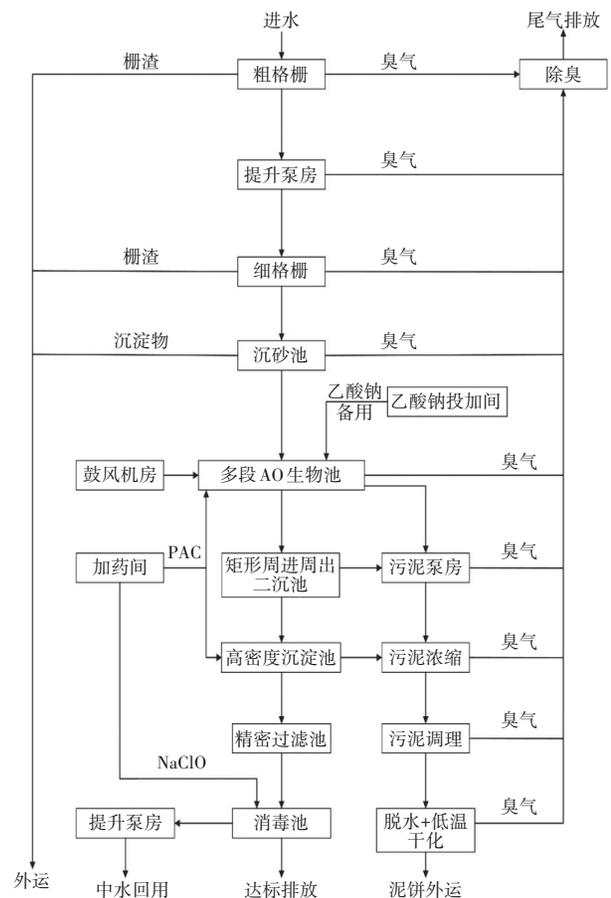


图 1 污水处理厂工艺流程

Fig.1 Flow chart of WWTP process

3 设计内容

3.1 建设形式选择

固戍一期水质净化厂采用地面式建设形式,景观效果及与周边环境协调性较差,臭气及机械设备噪声较大,对周围环境影响较大^[2]。本次固戍二期建设形式采用半地下式。

相对于全地下污水处理厂,半地下形式亦可充分利用土地空间,上盖可得到充分利用,全密封加盖除臭,对周边环境友好。此外,半地下式污水处

理厂基坑深度浅、工程造价低,相对于全地下式可节约30%~40%的投资;厂内通风、采光良好,操作环境好,运行管理方便。本次采用半地下建设形式,通过层层退台将污水厂上盖逐级削减,打造“退台式”多层级的立体建筑景观。建设形式竖向示意图2。

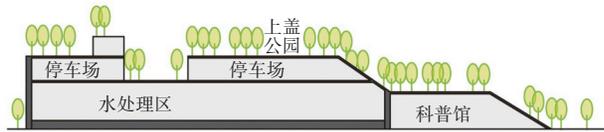


图2 建设形式竖向示意

Fig.2 Vertical diagram of construction form

3.2 水处理构筑物

① 预沉砂池、粗格栅及进水泵房

为应对流域雨季污水含沙量较高的情况,避免影响后续处理设备的运行(如磨损机泵、堵塞管网、干扰甚至破坏生化系统),设预沉砂池一座,与进水泵房合建。预沉砂池设计平均时停留时间4 min。设抓砂斗一台,功率6.0 kW。

设粗格栅4台,栅条间隙20 mm,设计过栅流速0.8 m/s,格栅槽宽度2.4 mm,格栅电机功率4 kW;栅渣输送机2台,单台功率3 kW。

设进水提升泵7台(6用1备),均变频,单台流量3 550 m³/h,扬程125 kPa,功率220 kW。

② 细格栅间及曝气沉砂池

设内进流非金属板式格栅8台,单台功率1.1 kW,配套冲洗装置,栅渣压榨机2台,设计过栅流速0.9 m/s,栅条间隙5 mm,栅前水深1.75 m。

曝气沉砂池为8格,平均时停留时间10 min,曝气量为0.2 m³/m³,采用链板刮砂机,单台功率7.1 kW。设置三叶罗茨鼓风机6台(4用2备);砂泵12台;砂水分离器2台;浮渣压榨机2台。

③ 多段AO生物池及污泥泵房

生物池共4条生产线,单条规模8×10⁴ m³/d,有效水深8.2 m,厌氧区采用1.0 h停留时间以保证磷的释放;缺氧Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ区停留时间分别为2、2.5、3 h;最大内回流比200%,必要时补充乙酸钠,确保出水TN稳定达标;好氧Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ区停留时间分别为2、2.5、3 h,充分进行好氧反应和硝化反应,确保出水COD、BOD₅、NH₃-N稳定达标;碳源分配控制:本工程有辅助化学除磷措施,在保证总氮去除的条件下,应尽可能合理地给厌氧阶段多分配碳源以保证

生物除磷的效果。生物池最大气水比为6:1,厌氧区设置潜水搅拌器18套,单套功率5 kW,缺氧区设置潜水推流器52套,单套功率7.5 kW。

污泥泵房2座,与生物池合建,单座规模16×10⁴ m³/d。设外回流泵12台(8用4备),均变频,单台流量1 667 m³/h,扬程45 kPa,功率30 kW;剩余污泥泵8台(4用4备),单台流量160 m³/h,扬程120 kPa,功率9 kW。

④ 鼓风机房

采用单级离心高速式鼓风机,共设置6台,单台风量340 m³/min,出口压力196.3 Pa,配套电机功率660 kW。

⑤ 矩形周进周出二沉池

矩形周进周出二沉池2座,每座12格,有效水深4.2 m,沉淀时间4.29 h,平均时表面负荷0.98 m³/(m²·h)。设置链条式刮泥机24台,单台功率0.55 kW。

⑥ 高密度沉淀池

高密度沉淀池6格,设计混合时间80 min,絮凝时间12 min,沉淀池平均时表面负荷17.6 m³/(m²·h)。设计PAC最大投加量80 mg/L,设计磁粉最大投加量5 mg/L。

⑦ 滤布滤池

滤布滤池8格,进一步降低出水的SS及浊度,保证出水SS在6 mg/L以下。单格过滤面积311 m²,滤盘过滤速度为9.26 m³/(h·m²)。配置32台反冲洗水泵,单台流量50 m³/h,扬程120 kPa,功率4 kW。

⑧ 紫外线消毒池、尾水提升泵房及中水泵房

紫外线消毒池共设置4条渠道,设备总功率为206.9 kW,以保证出水粪大肠菌群小于1 000个/L。有效水深0.8 m,紫外线剂量28 MJ/cm²,设置自动水位控制器4台。

为保证尾水排入固戍涌,在紫外线消毒池后设置1座尾水提升泵房,与紫外线消毒池合建。设尾水提升泵6台(4用2备),均变频,单台流量3 550 m³/h,扬程25 kPa,功率55 kW。

设置1座厂区回用中水泵房,设中水泵3台(2用1备),均变频,单台流量250 m³/h,扬程350 kPa,功率30 kW。

⑨ 综合加药间

综合加药间设置PAC、PAM、乙酸钠、次氯酸钠投加装置。PAC最大投加量为80 mg/L(10%),设生

化池投加泵6台(4用2备),单台流量320 L/h,扬程300 kPa,功率0.37 kW;高密度沉淀池投加泵8台(6用2备),单台流量320 L/h,扬程300 kPa,功率0.37 kW。PAM最大投加量为0.8 mg/L,设投加泵8台(6用2备),单台流量1 800 L/h,扬程400 kPa,功率0.75 kW。乙酸钠最大投加量48 mg/L(25%),设置投加泵6台(4用2备),单台流量320 L/h,扬程300 kPa,功率0.37 kW。次氯酸钠最大投加量2 mg/L,设置投加泵2台(1用1备),单台流量300 L/h,扬程300 kPa,功率0.45 kW。

3.3 污泥脱水系统

污泥脱水系统设计干泥量为64 t/d,污泥处理采用“浓缩→板框脱水机→平衡湿料仓→切条机→污泥低温干化机→干料输送→干料仓”工艺流程。

污泥浓缩池2座,单座直径13 m,有效水深4 m,水力停留时间3 h,设计进泥含水率99.2%,浓缩后含水率98.5%。设置中心传动浓缩机2台,单台功率1.5 kW。

脱水车间设置机械浓缩机5台(4用1备),单台处理能力90 m³/h,24 h连续工作,设计出泥含水率95%;配置板框压滤机5套,过滤面积为800 m²,单台功率28.5 kW,压滤机配置进料泵10台(8用2备),低压进料泵5台,单台流量70 m³/h,扬程600 kPa,功率30 kW;高压进料泵5台,单台流量30 m³/h,扬程1.2 MPa,功率22 kW,设计出泥含水率65%;低温干化机5台,单台去水量为24 t/d,功率316 kW,设计出泥含水率为40%。经处理后的污泥经刮板提升至干污泥料仓。单套料仓容积为100 m³。

3.4 除臭系统

本工程除臭采用预喷淋+生物除臭工艺。预处理区总除臭风量为50 000 m³/h,设25 000 m³/h规模的生物除臭装置2套;生化处理区总除臭风量为120 000 m³/h,设30 000 m³/h规模的生物除臭装置4套;低温干化机运行维护频率较高且臭气浓度高^[3],污泥处理区总除臭风量为100 000 m³/h,设25 000 m³/h规模的生物除臭装置4套。为减少对上盖公园环境影响,除臭排放口高出上盖公园地面15 m,采用有组织排放^[4]。

4 设计特色

① 处理标准高。项目出水主要指标执行地表水Ⅳ类标准;出泥含水率低于40%;除臭处理标

准执行天津市地方标准《恶臭污染物排放标准》(DB 12/059—2018)和上海市地方标准《恶臭(异味)污染物排放标准》(DB 31/1025—2016)中的最严值。污水、污泥及除臭处理标准均处于全国领先。

② 处理工艺成熟、稳定、先进。工程污水处理工艺选用多段AO生物池+矩形周进周出二沉池+高密度沉淀池+滤布滤池,污泥处理工艺选用重力浓缩+机械浓缩+板框脱水+低温干化。工艺技术路线成熟、节地效果好、处理效率高、运行管理方便。

③ 工程结构复杂多变。厂区存在大面积淤泥层,局部存在强透水性砂层,地质条件差,基坑面积大,基坑深度1.5~6.8 m,设计采用水泥土格栅墙进行支护,支护格栅墙作为厂区道路地基处理,充分节省工程造价。上盖采用超长结构设计,合理设置变形缝和加强带,框架结构与水池构筑物上下对应,上盖采用主次梁结构体系,整体性强、刚度大、结构受力清楚、传力途径简单明确。

④ 外观造型去工业化。设计按照同环境共生、与城市相融的原则,将水质净化厂藏匿于沿海景观带中。采用对生产建筑层叠加盖的手法,在减少对周边视觉影响的同时丰富建筑的外立面层次。顶层作为对外公园、上层建设停车场,打造复合型多功能建筑,不仅充分利用了土地资源,而且厂区环境也有了明显提升。水质净化厂效果图见图3。



图3 水质净化厂效果图

Fig.3 Rendering of wastewater treatment plant

⑤ 厂区景观简洁现代。景观设计简洁现代,以“运动·休闲·绿色·生态”为设计理念,配以廊、架、亭、步道、植物景观等元素,形成疏密有序、层次错落、空间多样的景观效果,提升厂区生态质量,打造花园式景观。

⑥ 全流程BIM平台管理。通过BIM平台进行

设计-施工全流程管理,从投资、进度、质量、安全等方面全方位多角度提升项目信息化管控水平,极大提升了管理效率。将现场数据与BIM模型挂接,后续数据流转至运维阶段,保证运维阶段数据的可追溯性。

⑦ 智慧化运行管理系统。建设运行可靠、少人/无人值守和支持区域集中管理的污水处理厂自动化生产体系,全生命周期的设备管理和维修保养体系,反应敏捷的集中管控体系,以及节能降耗、高效运行的智慧应用体系,保障污水处理厂运行的安全体系,赋予了水质净化厂和人类一样的全面感知能力、数据储存能力和分析、解决问题的能力。

5 运行效果及成本分析

固戍水质净化厂二期工程商业运营以来,运行效果良好,实际进、出水水质见表2。可见,出水水质全面优于设计值。实际运行外回流比为100%,平均碳源投加量为23 mg/L。

表2 实际进、出水水质

Tab.2 Actual influent and effluent quality

mg·L⁻¹

| 项 目 | BOD ₅ | COD | SS | TN | NH ₃ -N | TP |
|----------|------------------|------|-----|------|--------------------|------|
| 90%保证率进水 | 195 | 505 | 305 | 49.3 | 27.7 | 8 |
| 平均进水 | 163 | 397 | 215 | 42.1 | 24.5 | 6.51 |
| 平均出水 | 2.15 | 13.1 | 2 | 6.17 | 0.14 | 0.10 |

本项目工程总投资160 614.29万元,其中第一部分工程费用137 026.78万元,第二部分其他费用15 939.21万元,预备费7 648.30万元。单位经营成本为0.66元/m³,单位总成本为1.35元/m³。

6 结语与讨论

① 本项目厂区构筑物、巡检通道均隐匿于上盖公园下方,工程结构复杂,地梁众多,厂区管线设计需重点考虑与结构相互避让,提前做好标高规划。

② 为满足加盖要求,二沉池选用矩形沉淀池,矩形周进周出二沉池比矩形平流沉淀池表面负荷高,抗冲击负荷能力强,更加节约用地。缺点是投资较高,对运行管理要求更高。

③ 深度处理采用高密度沉淀池+滤布滤池组合工艺可以有效控制出水总磷及SS,当高密度沉淀

池进水污泥浓度较高或冲洗斜管时,总磷及SS会产生一定的波动。因此,高密度沉淀池后端增加滤布滤池对出水水质更有保障。

④ 建议污泥区除臭采用整体密封+单台密封,以改善维护检修操作环境,密封后应复核操作空间。

参考文献:

- [1] 刘建明. 多点进水倒置A²/O+浸没式超滤用于某半地下污水厂[J]. 中国给水排水, 2021, 37(18): 111-115.
LIU Jianming. Application of multi-point influent reversed A²/O and submerged ultrafiltration process in a semi-underground WWTP [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(18): 111-115(in Chinese).
- [2] 贺阳, 袁绍春, 蒋彬. 新地方标准背景下污水处理项目的设计变更与实践[J]. 中国给水排水, 2021, 37(8): 78-82.
HE Yang, YUAN Shaochun, JIANG Bin. Design change and practice of sewage treatment project under the background of new local standards [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(8): 78-82(in Chinese).
- [3] 杨真乐. 中低温下污泥挥发分析出及硫的迁移与分布特性实验研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2012.
YANG Zhenle. Emission Characteristics of Volatiles and Sulfur Transformation and Distribution during Low-moderate Temperature Devolatilization of Sewage Sludge [D]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology, 2012(in Chinese).
- [4] 郑斯宇, 杨延梅. 污水处理厂恶臭气体控制综述[J]. 给水排水, 2015, 41(S1): 109-114.
ZHENG Siyu, YANG Yanmei. Control overview on malodorous gas from sewage treatment plant [J]. Water & Wastewater Engineering, 2015, 41(S1): 109-114(in Chinese).

作者简介:王雪(1988-),女,黑龙江五常人,硕士,高级工程师,注册公用设备(给水排水)工程师,主要从事市政给排水工程、环卫工程设计及研究工作。

E-mail: 306519650@qq.com

收稿日期: 2021-11-29

修回日期: 2022-05-20

(编辑:孔红春)