

设计经验

DOI: 10. 19853/j. zgjsps. 1000-4602. 2023. 10. 009

多模式A²/O+高效沉淀+V型滤池用于地下式污水厂

刘林富

(厦门水务中环污水处理有限公司, 福建 厦门 361008)

摘要: 某污水处理厂扩建工程土建按 $30\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 规模一次性建成,设备按 $20\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 配备,针对预留用地不足、地形落差较大、周边环境敏感等制约因素,因地制宜地选择了全地下与半地下相结合的双层加盖的地下布置形式。污水处理采用“多模式A²/O+高效沉淀池+V型滤池”工艺,出水水质稳定达到并优于一级A排放标准。该工程具有环境友好、土地集约、资源高效利用、工艺运行灵活机动等优点。

关键词: 污水处理厂; 多模式A²/O; 高效沉淀池; V型滤池

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)10-0062-05

Application of Multi-mode A²/O, High Efficiency Precipitation and V-type Filter Combined Process in Underground Wastewater Treatment Plant

LIU Lin-fu

(Xiamen Water Central Sewage Treatment Co. Ltd., Xiamen 361008, China)

Abstract: For the expansion project of a wastewater treatment plant, the scale of civil construction is $30\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$, and the facilities are equipped at a scale of $20\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$. According to local constraints such as lack of reserved land, large terrain difference and sensitive surrounding environment, the combination of full underground and semi-underground double-layer covering underground arrangement form is selected. The process consists of multi-mode A²/O, high efficiency precipitation tank and V-type filter, and the effluent quality is better than the first level A limit specified in the discharge standard. The project has the advantages of environmentally friendly, intensive use of land, efficient utilization of resources and flexibility.

Key words: wastewater treatment plant; multi-mode A²/O; high efficiency precipitation tank; V-type filter

随着社会经济的快速发展及人口数量的增长和城市的扩张,早年位置偏远的污水厂逐步演变成城区,尤其是靠近城市中心区域的地方,难以规划合适的地块用于新建或改扩建污水处理厂,导致污水处理厂用地矛盾突出^[1],同时地上式污水厂的种种缺点,也倒逼传统污水厂建设模式向环境友好、土地集约、资源高效利用的方向升级。某污水处理厂工程即采用全地下式与半地下式相结合的建设

形式。

1 工程概况

该污水处理厂规划总规模为 $50\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,其中现有一、二期工程规模为 $20\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,采用多模式A²/O氧化沟为主体工艺,辅以高效沉淀+反硝化深床滤池深度处理,污泥采用重力浓缩+板框压榨工艺,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。目前平均进水量约

(24~26)×10⁴ m³/d,已超负荷运行,为了满足城市发展需要,确保污水厂的稳定运行,启动该污水厂三期扩建工程,扩建规模 20×10⁴ m³/d,同时预留 10×10⁴ m³/d 规模土建设施,采用西侧全地下到东侧半地下相结合的双层加盖的地下布置建设形式。

2 设计水质及工艺流程

2.1 设计水质

随着污水断头管打通、溯源排查、正本清源改造、晴天污水零排放等工程的实施,片区城市下水道管网日趋完善,进水水质趋于稳定,综合考虑现有一、二期工程近三年实际进水水质数据,确定该扩建工程的设计进水水质。出水水质沿用一、二期出水标准,执行一级 A 标准。相关进、出水水质指标见表 1。

表 1 设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality

项 目		COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TP	TN
设计进水水质 (现状一、二期)		400	200	250	50	6.0	60
实际 进水	范围	185~408	87~198	105~236	28~40	3.1~6.5	34~51
	平均值	296	142	170	34	4.8	43
三期设计进水		350	180	200	35	4.5	45
三期设计出水		50	10	10	5(8)	0.5	15

2.2 工艺流程

具体工艺流程见图 1。

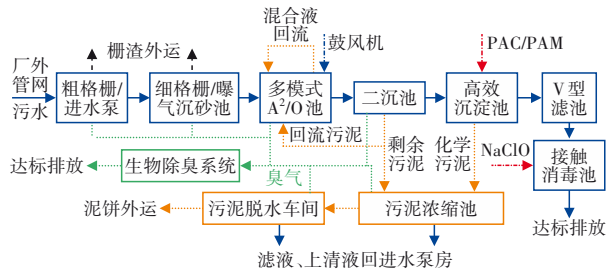


图 1 污水处理厂工艺流程

Fig.1 Process flow chart of wastewater treatment plant

结合现有工程的运行效果,三期扩建工程主体工艺沿用具有较强脱氮除磷功能的 A²/O 工艺^[2]。预处理单元采用“粗格栅+细格栅+曝气沉砂池”工艺;污水生物二级处理采用“多模式 A²/O+二沉池”工艺;深度处理单元采用“高效沉淀池+V 型滤池”工艺;污泥处理单元采用“重力浓缩+离心脱水”工艺;

消毒采用次氯酸钠消毒;除臭采用生物滤池除臭工艺。

3 主要构筑物及设计参数

该工程除了进水总管、进水闸门井、粗格栅及进水泵房、进水出水流量计井外,所有污水处理构筑物均采用全地下与半地下相结合的一体化箱体集约化设计。

3.1 箱体外工程

① 进水闸门井、进水流量计井、出水流量计井各 1 座,设计规模 30×10⁴ m³/d。

② 粗格栅及进水泵房合建,设计土建规模 30×10⁴ m³/d,设备规模 20×10⁴ m³/d。1 座,尺寸为 24.5 m×26.0 m×10.0 m,有效水深 3.60 m,格栅渠宽 2.3 m。

3.2 一体化处理箱体工程

一体化箱体设计土建规模 30×10⁴ m³/d,设备按 20×10⁴ m³/d 规模配备,箱体总尺寸为 264.0 m×245.0 m×16.0 m,顶部覆土约 1.0 m。

箱体内主要包括细格栅及曝气沉砂池、多模式生化反应池、二沉池及污泥泵房、高效沉淀池、V 型滤池及接触消毒池、加药间、鼓风机房、进出水仪表小屋、消防水池及泵房、废水泵房、变配电所及控制室等。

一体化箱体污水处理功能分区及附属构筑物分区分别见图 2、3。

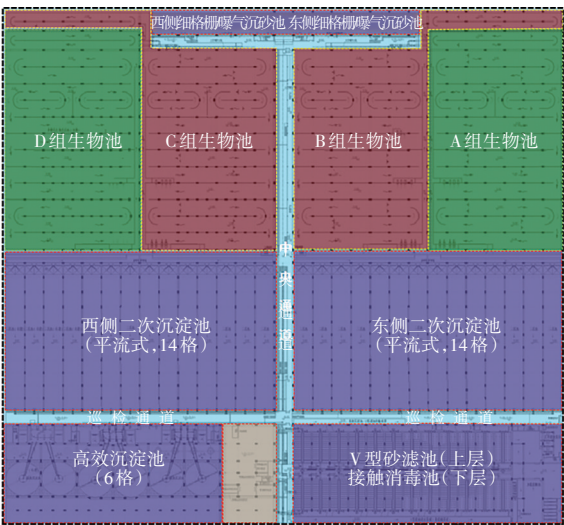


图 2 一体化箱体污水处理功能分区

Fig.2 Wastewater treatment function zoning of integrated box

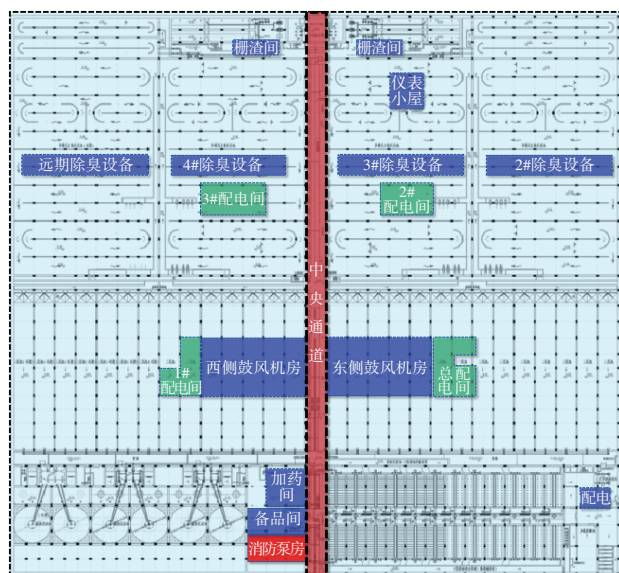


图3 一体化箱体附属构筑物分区

Fig.3 Zoning of subsidiary structures of integrated box

3.2.1 细格栅及曝气沉砂池

细格栅及曝气沉砂池2座,单座处理规模 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,每座分2组,单组尺寸 $36.0 \text{ m} \times 3.5 \text{ m} \times 8.8 \text{ m}$,有效水深 3.0 m 。其中细格栅渠每组分2格,渠宽 1.6 m ;曝气沉砂池设计停留时间 5 min ,曝气量 $0.2 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 。

3.2.2 多模式生化反应池

多模式生化反应池采用 A^2/O 工艺(土建预留Bardenpho模式),2座,每座分2格。单格处理规模 $7.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,单格尺寸 $103.0 \text{ m} \times 63.0 \text{ m} \times 10.0 \text{ m}$,有效水深 8.5 m ,有效容积约 $54\,000 \text{ m}^3$,总停留时间 17.0 h ,其中厌氧区 1.2 h 、缺氧区 5.2 h 、好氧区 10.6 h ,混合液回流比 $100\% \sim 200\%$,污泥负荷 $0.04 \sim 0.13 \text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$,污泥浓度 $3\,000 \sim 4\,500 \text{ mg/L}$,污泥龄 $15 \sim 20 \text{ d}$,控制厌氧区 $\text{DO} \leq 0.2 \text{ mg/L}$ 、缺氧区 DO 为 $0.2 \sim 0.5 \text{ mg/L}$ 、好氧区 $\text{DO} \geq 2.0 \text{ mg/L}$ 。

A^2/O 模式转Bardenpho模式整体布置及控制方式如下:①厌氧段保持不变。②在缺氧段末端(约占缺氧段面积的 $1/4$)布置底部曝气装置,在Bardenpho模式下开启曝气,形成好氧区。③好氧段分为8个廊道,每条廊道宽 7.5 m ,在第4个廊道进水端土建预留混合液回流泵安装位置,在Bardenpho模式下将设置在好氧池末端的混合液回流泵移装到此处;同时将第6~7个廊道的底部曝气装置停止曝气,开启推流器,形成缺氧区;第8个廊道保持好氧区不变。Bardenpho模式生化反应池整体停留时间 17.0 h ,其中厌氧区 1.2 h 、缺氧Ⅰ区 3.9 h 、好氧Ⅰ区 8.0 h 、缺氧Ⅱ区 2.6 h 、好氧Ⅱ区 1.3 h 。通过移动混合液回流泵和控制曝气模式,可将原有 A^2/O 池功能分区调整为“厌氧-缺氧-好氧-缺氧-好氧”五段Bardenpho模式,以强化脱氮除磷性能。

h,其中厌氧区 1.2 h 、缺氧Ⅰ区 3.9 h 、好氧Ⅰ区 8.0 h 、缺氧Ⅱ区 2.6 h 、好氧Ⅱ区 1.3 h 。通过移动混合液回流泵和控制曝气模式,可将原有 A^2/O 池功能分区调整为“厌氧-缺氧-好氧-缺氧-好氧”五段Bardenpho模式,以强化脱氮除磷性能。

3.2.3 二沉池及污泥泵房

采用平流式二沉池,2座,单座处理规模 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,每座分14格,单格尺寸 $70.0 \text{ m} \times 8.0 \text{ m} \times 6.0 \text{ m}$,有效水深 3.6 m ,最大表面负荷 $1.16 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$;外回流污泥泵房和剩余污泥泵房与二沉池合建,每座二沉池设2座污泥泵房,污泥回流比为 100% 。

3.2.4 高效沉淀池

高效沉淀池3组,每组2座,单座处理规模为 $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, $D=16.0 \text{ m}$, $H=11.0 \text{ m}$,有效水深 6.8 m ,混合时间 2.0 min ,絮凝时间 20.0 min ,最大表面负荷 $16 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,内设斜板,斜板长 1.5 m 。

3.2.5 V型滤池及接触消毒池

V型滤池1座,土建规模 $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,分24格,设备按 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 配备,安装16格,单格尺寸 $6.85 \text{ m} \times 14.0 \text{ m}$,过滤面积 96.0 m^2 ,设计滤速 $7 \sim 9 \text{ m/h}$,滤料粒径 1.35 mm ,滤料厚度 1.5 m 。

出水采用次氯酸钠消毒,接触消毒池设在V型滤池下方,设计规模 $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,有效容积 $9\,500 \text{ m}^3$,实际停留时间 45 min 。

3.2.6 鼓风机房

鼓风机房2座,土建规模 $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,设备按 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 安装,单座尺寸 $45.0 \text{ m} \times 25.0 \text{ m} \times 6.0 \text{ m}$ 。

3.2.7 加药间

加药间1座,土建规模 $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,设备按 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 安装,单座尺寸 $15.0 \text{ m} \times 15.0 \text{ m} \times 6.0 \text{ m}$ 。配备PAM制备及投加成套设备1套;PAC储备及投加装置1套;乙酸钠储备及投加装置1套。

3.3 污泥处理工程

扩建工程新建2座污泥浓缩池, $D=25 \text{ m}$,固体负荷 $30 \text{ kgDSS}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,池边水深 4.0 m ,浓缩时间 12.0 h 。

污泥脱水机房利用现有设施,新增离心脱水机2台($Q=80 \text{ m}^3/\text{h}$)、污泥料仓2座($V=350 \text{ m}^3$),及配套进泥、加药、输送等设备。

3.4 除臭工程

针对粗格栅及进水泵房、细格栅及曝气沉砂池、多模式生物反应池、二沉池配水渠及污泥回流

渠、污泥浓缩池、储泥池、污泥脱水机房等易产生臭味的处理单元采用生物滤池除臭工艺处理臭气。考虑到厂区面积较大,为了达到更好的臭气收集及处理效果,分3个区域共设置5套除臭装置,其中粗格栅及进水泵房(含总进水井)1套,处理能力8 000 m³/h;污泥处理区1套,处理能力50 000 m³/h;一体化箱体内设3套,1套40 000 m³/h,2套50 000 m³/h,远期新增1套。

4 工程特色及亮点

① 工程建设形式优化。现状预留用地分为南北两块,南区为山地,面积小、地势高且地质以岩石为主,较难利用,因此主要考虑北区地块,可利用面积约10 hm²,北区地块的西侧为学校,地坪标高19~21 m(黄海高程),北侧为居民区,东侧地坪标高11 m,为现状污水厂一、二期用地,整体地形高差近10 m。

由于周边环境较为敏感,如采用常规地上模式,不仅用地面积不能满足要求,同时周边环境也不允许;而采用全地下模式,整体基坑开挖深度大,工程难度较高且投资大;经过经济技术比选,通过巧妙利用现状西高东低的地势特点,采用从西侧全地下到东侧半地下相结合的双层加盖的地下布置建设形式,相比全地下式,不仅降低了施工难度,还节约了工程投资。

后续还将对顶板以上覆土进行公共空间复合利用,部分建设为开放式生态环保科普基地,可提供专业学术交流、开展环保宣传教育及相关服务,其余作为内部景观绿化,使污水厂与城市绿地景观协调统一,最大限度地减轻了对周边学校、居民区的影响。

一体化箱体效果图见图4。



图4 一体化箱体效果图

Fig.4 Rendering of integrated box

② 通过对各处理单元结构型式的优化设计,最大限度地减少了占地。具体措施:加大池体有效水深,多模式A²/O池有效水深达到8.5 m,一定程度增大水深还有利于提高微孔曝气充氧性能^[3];V型滤池与接触消毒池、污泥外回流渠与内回流渠采用上下层叠建设计等。实际用地约9.85 hm²,布置了土建规模30×10⁴ m³/d的污水处理设施,占地指标仅为0.33 hm²/(10⁴ m³·d⁻¹),远低于传统地上式污水厂。

③ 考虑多模式运行。由于地下式污水处理厂土建基本按照远期规模一次性建设,后续提标改造及扩建均比较困难,随着国家对水质要求的日趋严格,考虑到远期可能涉及出水水质提升,该工程在A²/O池内预留了Bardenpho模式,后续通过移动关键设备位置和控制分区曝气模式,可将原有A²/O池在不改动土建的情况下,实现“厌氧-缺氧-好氧-缺氧-好氧”五段Bardenpho模式的转换,强化系统脱氮除磷性能,为后续提标改造提供了条件。

5 运行效果

该工程目前实际进水量约(12~16)×10⁴ m³/d,出水各项指标均稳定达到一级A标准。实际进、出水水质见表2。

表2 实际进、出水水质

Tab.2 Actual influent and effluent quality

mg·L⁻¹

项目	COD		BOD ₅		SS		NH ₃ -N		TP		TN	
	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水
平均值	338.49	19.84	119.63	2.70	158	5	28.93	0.23	4.01	0.21	36.93	10.37
标准值		50		10		10		5(8)		0.5		15

6 工程投资及运行成本

该工程总投资约16亿元,其中工程费用约13.5亿元,建设内容包括粗格栅及进水泵房,一体化污水处理箱体及设备,污泥处理设施,一、二期配套改造,厂内配套管网等。目前国内半地下式污水处理

厂单位投资约为4 500~5 500元/m³(出水为一级A标准)^[4],由于该工程处于沿海地区,且箱体紧邻学校、居民区,地基处理和支护费用较高^[5],同时还包含预留10×10⁴ m³/d土建及部分设备,一、二期配套改造及厂内配套管网工程等费用,该工程单位投资

约7 300元/m³。

地下式污水处理厂运行费用普遍高于常规地上式污水处理厂,国内半地下式污水处理厂运行费用约为0.7~1.3元/m³[6]。该工程投入运行时间较短,处理水量还未达设计负荷,各处理单元控制参数及设备运行模式还在不断调试优化,因此目前单位运行费用略高于同类项目,随着处理水量水质的稳定和运行参数的优化调整,各工序会逐渐达到最佳运行状态,运行费用可进一步降低。

7 结论

该污水处理工程采用“粗格栅及进水泵房+细格栅及曝气沉砂池+多模式A²/O+二沉池+高效沉淀池+V型滤池+次氯酸钠消毒”工艺,出水各项水质指标稳定达到甚至优于一级A标准。

该工程建设高度集约化,不仅节约了土地成本,还实现了土地资源的高效利用,整体经济效益大大提高;通过功能分区合理布局,使噪声、臭气等外部效应得到有效控制,通过公共空间的复合利用,改变了公众对污水处理厂的固有印象,有效化解了“邻避效应”,赢得了周边群众的理解和支持,实现了较好的社会效益。

参考文献:

- [1] 罗穆喜,朱宇峰.山坡半地下式污水处理厂总体设计方案[J].净水技术,2020,39(11):34-38.
LUO Muxi, ZHU Yufeng. Overall design scheme of semi-underground WWTP at hillside [J]. Water Purification Technology, 2020, 39 (11): 34-38 (in Chinese).
- [2] 上官中华,安乐,王国峰,等. A²/O工艺高效处理城镇污水的运行控制[J].工业用水与废水,2018,49(3):53-56.
SHANGGUAN Zhonghua, AN Le, WANG Guofeng, et al. Operational control of A²/O process in efficient

treatment of municipal sewage [J]. Industrial Water & Wastewater, 2018, 49(3):53-56 (in Chinese).

- [3] 尹训飞,齐鲁,张晓军,等.水深对微孔曝气充氧性能的影响研究及数值模拟[J].水处理技术,2015,41(6):75-78.
YIN Xunfei, QI Lu, ZHANG Xiaojun, et al. Effect of the water depth on oxygenation performance of fine bubble aeration and numerical simulation [J]. Technology of Water Treatment, 2015, 41 (6):75-78 (in Chinese).
- [4] 楚小龙.天津市某半地下式污水处理厂工程设计案例[J].净水技术,2020,39(1):34-37.
CHU Xiaolong. Engineering design case of a semi-underground WWTP project in Tianjin [J]. Water Purification Technology, 2020, 39 (1): 34-37 (in Chinese).
- [5] 马琳.广州市部分地下式污水处理厂工程实例及经济指标分析[J].中国资源综合利用,2019,37(8):32-35.
MA Lin. Case study and economic index analysis of some underground sewage treatment plants in Guangzhou [J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2019, 37 (8):32-35 (in Chinese).
- [6] 孔韡,王亮,汪炎,等.某城镇半地下式污水处理厂工程实例[J].工业用水与废水,2021,52(6):65-69.
KONG Wei, WANG Liang, WANG Yan, et al. A project example of municipal semi-underground sewage treatment plant [J]. Industrial Water & Wastewater, 2021, 52 (6): 65-69 (in Chinese).

作者简介:刘林富(1989-),男,福建龙岩人,本科,工程师,主要从事污水处理厂工程设计、施工及运营管理工作。

E-mail:532656741@qq.com

收稿日期:2022-03-19

修回日期:2022-04-13

(编辑:孔红春)