

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.16.014

# 改良AAO+微絮凝工艺用于高集约半地下式污水厂

夏沛青

(同济大学建筑设计研究院<集团>有限公司, 上海 200092)

**摘要:** 广东省某污水处理厂规模为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,采用改良AAO+微絮凝+纤维转盘滤池工艺,建设型式为半地下式。景观上盖的外观,综合楼、变配电间与主厂房的合理分置以及内部构筑物的高集约化组合设计解决了项目紧邻居住区、用地分散且面积严重不足的工程难点。运行结果表明,出水水质稳定优于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准和广东省地方标准《水污染物排放限值》(DB 44/26—2001)第二时段一级标准中的较严值。该项目厂界环境与周边协调,污水单位投资3 334元/ $\text{m}^3$ ,吨水运行可变成本0.57元/ $\text{m}^3$ ,经济性良好。

**关键词:** 污水处理厂; 半地下式; 改良AAO; 微絮凝; 纤维转盘滤池

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)16-0083-06

## Application of Modified AAO and Micro-flocculation Process in Highly Intensive Semi-underground Wastewater Treatment Plant

XIA Pei-qing

(Tongji Architectural Design <Group> Co. Ltd., Shanghai 200092, China)

**Abstract:** The process of a semi-underground wastewater treatment plant (WWTP) with scale of  $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  in Guangdong Province consists of modified AAO, micro-flocculation and fiber turntable filter. The setting of landscape cover, the reasonable distribution of comprehensive building, electric distribution room and the main factory building, and the highly intensive combined design of the internal structures solved the difficulties in adjacent to the residential area, scattered land and serious shortage of footprint area. The operational results show that the effluent quality is better than the stricter values of the first level A limit specified in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002) and the first level limit during the second period specified in the Guangdong local standard of *Discharge Limits of Water Pollutants* (DB 44/26-2001). The boundary environment of the plant is coordinated with the surrounding area. The wastewater unit investment is 3 334 yuan/ $\text{m}^3$ , and the variable cost is 0.57 yuan/ $\text{m}^3$ , indicating that good economic benefit is obtained.

**Key words:** wastewater treatment plant; semi-underground; modified AAO; micro-flocculation; fiber turntable filter

随着国内城镇化率的快速攀升、城区边界的持续拓延,一些原来地处城郊的污水厂被不断扩张的

城市版图所包围,传统的地上式全开放格局对周边地块的开发利用以及土地价值造成了一定程度的

基金项目: 国家重点研发计划重点专项(2017YFC0403403)

通信作者: 夏沛青 E-mail: xpq\_9800@qq.com

影响。基于邻避效应,核心区域的污水厂往往面临着原址改造、异地搬迁等一系列现状发展瓶颈。为突破污水厂本身特性与人居环境相悖、城市项目用地限制等诸多困境,自“十二五”之后,逐步出现了地下式/半地下式建设型式的污水厂<sup>[1]</sup>,而体育公园、湿地公园、生态停车场等多种复合形式的融入,更使污水处理厂的单一功能得以扩展,从而实现与城市环境的和谐共生。

### 1 项目背景

广东省某市老城区存在大面积的居民自建住宅群和零散分布的家禽养殖业,因建设年代久远,片区的污水收集与处理系统严重滞后,雨污合流、管道漏损、污水直排等现象加剧了城市河道的水体水质恶化,因此,需新建污水处理厂,其选址位于城市中心区域,厂界周围民居环绕,总用地面积为 2.07 hm<sup>2</sup>,设计处理规模 5×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d( $K_z=1.38$ )。远期规划道路从用地地块间横穿而过,将其划分为南北两块(见图 1)。根据《城市生活垃圾处理和给水与污水处理工程项目建设用地指标》(建标[2005]157号)中的相关规定,此规模对应的 IV 类二级处理污水厂用地控制面积为 4.25 hm<sup>2</sup>,而深度处理部分对应的用地控制面积需再增加 1.75 hm<sup>2</sup>。可见,该工程具有地块分散不规则、单位规模用地指标严重不足的特点。在严苛的用地条件下,同时实现污水厂的污水处理功能及对城市环境的零干扰即为该工程的重点与难点。



图 1 污水厂用地范围及周边环境

Fig.1 Land scope and surrounding environment of the WWTP

### 2 建设型式选择

传统地上式建设型式不适用于该工程,而半地下式与地下式布局也有不同的特点(见图 2);半地下式污水厂仅处理构筑物位于地下,深度常在地下

6~9 m 左右,池体之上为提供运维空间的全覆盖建筑房体,整厂外部是融合屋顶绿化、立面绿化的生态型建筑;地下式污水厂则全部位于地下,地下结构多为二层,由下至上分别是处理构筑物、巡视检修空间与绿化面,整体开挖深度达 15 m 或以上,且绿化面的景观布置和功能有多种形式。综合对比,半地下式布局基坑开挖深度相对较浅、土建投资更经济、通风照明可充分利用自然条件、检修通道设置相对便捷,可拓展的景观可塑性虽稍逊于地下式,但其封闭结构已可隔绝环境影响因素。两种建设型式均不影响工艺处理效果,结合场地地质情况,该工程如采用半地下式,仅进水泵房局部需做基坑支护,其余构筑物均可放坡开挖且充分利用天然地基或局部少量换填作为基础持力层,经济性与项目周期控制合理;如采用地下式,则全厂均为深基坑,支护费用高昂,建设周期延长。因此,从运行管理灵活性和节约资金、时间成本的角度考虑,该工程拟选用半地下式布局。

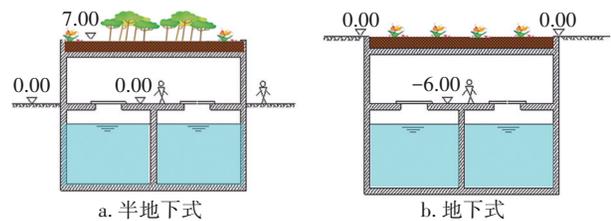


图 2 两种建设型式污水厂竖向示意

Fig.2 Vertical schematic diagram of two construction types of WWTP

### 3 设计水质及工艺流程

#### 3.1 设计进、出水水质

该工程进水主要为城镇生活污水。根据其纳污范围内的排放口污水采样结果,并结合所在地区已建污水厂的典型进水水质,确定设计进水水质;出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准和广东省地方标准《水污染物排放限值》(DB 44/26—2001)第二时段一级标准中的较严值,即 COD 按广东省地标控制,其余指标按一级 A 标准控制,具体见表 1。

表 1 设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality

项目	mg·L <sup>-1</sup>					
	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP
进水	250	130	150	25	35	3
出水	40	10	10	5(8)	15	0.5

### 3.2 工艺思路

本工程进、出水水质要求较为常规,以悬浮性活性污泥法为基础衍生的多种变体或改良型生化工艺在处理能力上基本均能满足要求,工艺对比见表2。限制最终工艺选择的三个因素为用地条件、投资以及整体稳定性。由于厂区用地受限,氧化沟工艺无法实施;而MSBR工艺为专利工艺,前期设备费用较高,系统可靠性对设备依赖程度较大,针对该项目性价比偏低;SBR工艺需通过多组别的设置及时序的有序衔接来实现总体的平稳进出水,但在进水初期对后续构筑物存在瞬时冲击负荷,其后的构筑物需有一定池容来耐受,故同样对占地提出要求。最终,本工程采用改良AAO工艺,即在传统AAO池最前端增设预缺氧区,规避回流污泥中溶解氧与硝态氮对厌氧环境的影响。

表2 活性污泥法典型工艺对比

Tab.2 Comparison of typical activated sludge processes

项目	氧化沟系列工艺	AAO系列工艺	SBR系列工艺	MSBR工艺
碳处理效果	好	好	好	好
氮处理效果	较好	好	较好	较好
磷处理效果	好(前置厌氧段)	好	好(前置厌氧段)	好(化学辅助除磷)
运行可靠性	好	最好	好	较好
操作管理	方便	方便	较复杂	较复杂
对机械设备的要求	高	一般	较低	高
出水水质控制	好	好	较好	一般
构筑物集约化程度	较差	较高	高	高
构筑物占地	较大	较小	较小	较小
基建投资	稍大	稍小	一般	一般
运行费用	较高	一般	较高	一般

“混凝+沉淀+过滤”是目前污水深度处理最常见的组合工艺,但该工程用地受限,故需对流程进行集约化、优化。近年来出现的微絮凝工艺省去了组合段里沉淀池的设置,仅通过快速搅拌即可形成微絮体,然后污水直接进入过滤段,极大节省了深度处理流程的占地面积<sup>[2]</sup>。过滤段选用纤维转盘滤池,竖直排列的滤布可保证充足的过滤面积<sup>[3]</sup>,整体水头损失小、配套设备简单。因此,本工程深度处理采用“微絮凝+纤维转盘滤池”工艺。

### 3.3 工艺流程

本工程总体工艺流程见图3。

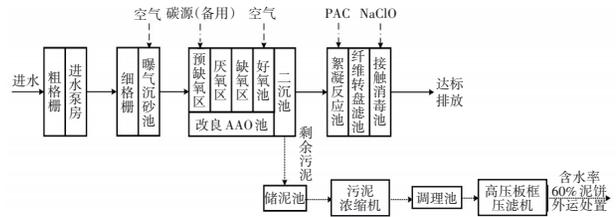


图3 污水处理工艺流程

Fig.3 Flow chart of wastewater treatment process

## 4 工程设计

### 4.1 设计要点

总平面布置上,根据规划道路对场地南北分割的情况,将厂区分为厂前区、处理区两大块。其中,综合楼坐落于占地较小的北地块;南地块则布置一座集成全处理流程的半地下式主厂房和一座独立的变配电间。半地下式主厂房内部各功能区为:预处理区、生化处理区、深度处理区、污泥区和宣教基地(见图4)。



图4 工程总平面布置

Fig.4 General plane layout of the project

生化处理区屋面覆盖大面积绿化,提升了厂区及周边环境的景观效果;深度处理区屋面安装除臭设备,并通过绿植的掩映来减弱机械设备的突兀感。预处理区、污泥区与宣教基地因设备检修与建筑功能的需要,上部房体挑高并采用硬化屋面。主

厂房外设置环形道路,各功能区均有检修通道或出入口与厂区道路相连通。

高程设计上,结合 20 年一遇洪水位(80.97 m)和规划道路标高(81.60 m),确定厂区地面标高为 81.50 m。厂区尾水在受纳河道常水位时自流排放,洪水位时提升排放。主厂房室内地坪高于厂区地面,不存在内涝风险。

结构设计上,因主厂房结构超长,故需合理设置变形缝来完成整体构建,具体设置位置见图 5。

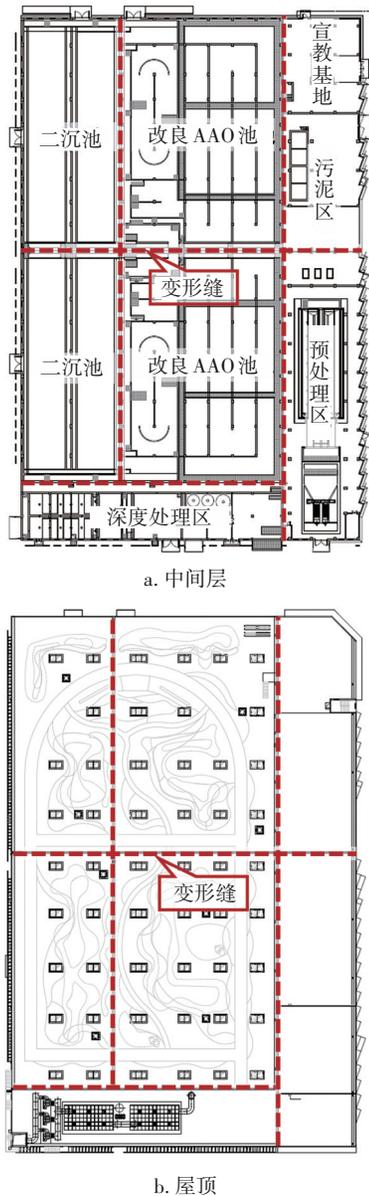


图 5 半地下式主厂房平面布置

Fig.5 Plane layout of the semi-underground main factory building

上部框架总共分为 7 块,其中:生化区 2 组 AAO

池及二沉池之间采用双池壁衔接,房体框架由池壁立柱支撑,与双池壁相吻合的“十”字形沉降缝将此位置框架分为 4 块;深度处理区、预处理区的池体因相对独立,遂各为 1 块,与相邻区域通过伸缩缝衔接;污泥区与宣教基地仅有建筑框架,不涉及与池体的合建,故两区合为 1 块。在各区域的连接处通过屋面变形缝的收口做法来保证外观的整体性。

消防设计上,因综合楼、主厂房、变配电间安置,降低了整体消防设计的难度,综合楼配备室内外临时高压消防给水系统,主厂房、变配电间分别为戊类、丁类厂房,仅需合理配置灭火器,且均采用自然排烟;通风设计上,主厂房采取自然进风、机械排风的方式,在生化处理区设置屋顶轴流风机,在预处理区、污泥区和深度处理区设置壁式轴流风机,满足了相应空间换气次数的需求;采光设计上,天窗和立面窗即保证了主厂房日照度充足。

#### 4.2 主要构筑物设计

##### ① 预处理区

设进水泵房 1 座,进水廊道安装 2 台间隙为 20 mm 的链条回转式多耙格栅除污机,泵室内设置 4 台潜水离心泵(3 用 1 备),均变频。曝气沉砂池 1 座,分 2 格,细格栅渠道宽度 1.5 m,配置 2 台孔隙为 3 mm 的内进流式网板格栅除污机,沉砂池有效水深 3 m,峰值流量时水力停留时间为 10 min。

##### ② 生化处理区

设改良 AAO 池 1 座,2 组,有效水深 7 m。反应段分为预缺氧区、厌氧区、缺氧区、好氧区,停留时间分别为 0.6、1.1、3.4、9.2 h,进水廊道在预缺氧区、厌氧区及缺氧区均留有进水点,通过闸门启闭来控制不同的进水位置与流量配比,以灵活应对污水中有机物含量的变化<sup>[4]</sup>。污泥浓度 3 500 mg/L,污泥负荷 0.058 kgBOD<sub>5</sub>/(kgMLSS·d),污泥龄 10.4 d,好氧区溶解氧含量 2 mg/L,内回流比 100%~200%,外回流比 100%。

设二沉池 1 座,采用平流式沉淀池,池内分 4 组。生化池出水通过渠道流经穿孔花墙后均匀进入池内。单组沉淀区长 53.6 m,宽 11.8 m,长宽比 4.54,沉淀区峰值流量时表面水力负荷 1.14 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h),最大水平流速 5.2 mm/s。

##### ③ 深度处理区

为节省用地,微絮凝池、滤布滤池、接触消毒池合建。二沉池出水经静态混合后进入微絮凝池。

微絮凝池设6格,单格平面净尺寸4.5 m×4.5 m,有效水深4 m,总反应时间10 min,每格均装有反应搅拌机,通过不同的外缘线速度两两成组;纤维转盘滤池分为2格,每格内装有 $D=3\ 000\text{ mm}$ 的滤布转盘1套,过滤速度4 m/h;接触消毒池反应时间30 min,廊道末端设置重力出水管和提升泵,以实现受纳水体常水位时自流排放、洪水位时提升排放;消毒池顶设加药区,放置有各类药剂储罐,如絮凝剂PAC、消毒剂NaClO和备用碳源乙酸钠。

#### ④ 污泥处理区

污泥处理区分为两层,第一层主要为储泥池、调理池及污泥脱水附属系统,第二层设置浓缩机、脱水机、辅助供气系统及控制室。日产绝干污泥量为5 746 kg/d。污泥浓缩采用2台叠螺浓缩机,污泥脱水采用2台高压隔膜板框压滤机,每天处理2个批次,单批次运行时间约4 h。单台板框机过滤面积250 m<sup>2</sup>,污泥脱水至60%含水率后储存于干污泥料仓,最终外运。

#### ⑤ 除臭设计

该工程采用生物除臭法,通过微生物降解气体中的致臭成分后,产生相应的无机无臭物质、水和其他小分子<sup>[5]</sup>。其工艺流程为:臭气收集→风管输送→排风机→生物除臭设备→排气。臭气的封闭收集是除臭效果的关键:对开放式设备和小体量开放池体,如格栅井、沉砂室等,采用不锈钢骨架组合耐力板密封罩;对检修维护量较少的区域,如进水泵室、储泥池等,采用留有检修孔的封闭混凝土顶板;对于存在大面积设备维护和更换可能的好氧段,则采用可移动玻璃钢盖板。生物除臭装置置于深度处理区屋面,配有3台除臭风机(2用1备),单台风量27 000 m<sup>3</sup>/h;生物洗涤塔和生物滴滤塔各1座,处理风量53 000 m<sup>3</sup>/h。最终确保尾气满足《恶臭污染物排放标准》(GB 14554—1993)中的有组织排放标准。主厂房西南角设置一座15 m高的中空钟楼来替代传统的尾气排放筒,实现了功能与美观的和谐统一。

### 5 工程效益

该半地下式污水厂工程投资16 671.21万元,吨水投资约3 334元,优于国内一般半地下式污水厂的吨水投资(4 500~5 500元)<sup>[6]</sup>,原因如下:

① 合理的基坑处理方式。根据外围规划道

路标高和20年一遇洪水位确定的场地设计地坪标高,比现状自然地面高约4 m,使厂区除进水泵房(基坑深度11.4 m)位置外,其余建构筑物(基坑最深3.35 m)均不存在深基坑。进水泵房深基坑采用咬合桩加2道混凝土支撑方式,其他建(构)筑物均采用放坡开挖,较大程度节省了基坑支护的费用。

② 高效的生化、深度处理工艺。生化处理选用的改良AAO法,配套设备相对经济简单,整体运行稳定可靠;深度处理的“微絮凝+纤维转盘过滤”工艺,充分利用絮凝剂与污水中残留的悬浮物形成微小絮体,通过直接过滤即可去除,省掉了传统深度处理段沉淀池的设置,从而节省了投资。

该工程年总处理成本2 701.24万元,单位处理可变成本0.57元/m<sup>3</sup>,与传统二级处理污水厂持平,优于三级处理污水厂。

### 6 运行效果

该工程于2019年12月完成设备调试,2020年4月开始正式投产运行。目前,与该工程同步实施的排污口纳管工程已经完成,但城区内的污水管网改造还在推进过程中,现状仍存在一定的雨污混接、地下水入渗等情况,厂区实际进水水质较设计水质偏低,运行时视情况辅以碳源投加。2021年全年实际平均进水COD为59~86 mg/L、BOD<sub>5</sub>为23~37 mg/L、SS为35~44 mg/L、NH<sub>3</sub>-N为7~13 mg/L、TN为15~24 mg/L、TP为1.1~1.6 mg/L;实际平均出水COD为10~17 mg/L、BOD<sub>5</sub>为4~6 mg/L、SS为1.2~8 mg/L、NH<sub>3</sub>-N为0.12~0.3 mg/L、TN为5.5~10.5 mg/L、TP为0.05~0.24 mg/L,可见出水指标稳定优于设计标准。

### 7 结论

① 对于城区内用地紧张、环境友好度要求较高的污水厂新建工程,半地下式的建设型式具有推广价值。

② 微絮凝+直接过滤组合工艺可用于生活污水的深度处理,出水水质能稳定达到GB 18918—2002一级A标准,具有占地面积小、运行维护简单、处理效果良好的特点。

③ 半地下式污水厂上部框架结构的分区需与下部构筑物的功能划分充分结合,合理的变形缝设置既可维持视觉整体性,也可保障结构的经济与安全。

④ 半地下式污水厂的附属建筑,如综合楼、变配电间等,宜结合用地情况灵活布置,可与主处理厂房分建,从而在消防设计、防排烟设计上节约投资和能耗。

⑤ 针对城镇污水的收集,还需稳步推进提质增效工作,进一步落实管网的雨污分流、老旧破损修复等,方可使末端的污水处理厂发挥最大效能。

#### 参考文献:

- [ 1 ] 房阔,王凯军. 我国地下式污水处理厂的发展与生态文明建设[J]. 给水排水, 2021,47(8):49-55.  
FANG Kuo, WANG Kaijun. Development of underground wastewater treatment plant and eco-civilization in China [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021,47(8):49-55(in Chinese).
- [ 2 ] 王宏伟,张国珍,武福平,等. 两级 A/O 生物滤池与微絮凝过滤组合处理二级出水[J]. 中国给水排水, 2022,38(5):65-69.  
WANG Hongwei, ZHANG Guozhen, WU Fuping, *et al.* Two-stage A/O biofilter combined with micro-flocculation filtration for secondary effluent treatment[J]. China Water & Wastewater, 2022,38(5): 65-69(in Chinese).
- [ 3 ] 蒋柱武,杨龙斌,李妍,等. 新型生物膜-微絮凝滤池与高密度沉淀-纤维转盘过滤深度处理污水厂尾水效能对比[J]. 环境工程学报, 2021,15(9): 2963-2972.  
JIANG Zhuwu, YANG Longbin, LI Yan, *et al.* Comparative on the efficiency of novel biofilm-micro flocculation filter and high-density sedimentation-fiber carousel filtration for deep treatment of tail water from wastewater treatment plant [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2021, 15(9): 2963-2972 (in Chinese).
- [ 4 ] 吕利平,李航,张欣,等. 多点进水对前置预缺氧 A<sup>2</sup>/O 工艺脱氮除磷的影响[J]. 中国给水排水, 2021, 37(15): 8-13.  
LÜ Liping, LI Hang, ZHANG Xin, *et al.* Effect of step-feed on nitrogen and phosphorus removal of pre-anoxic A<sup>2</sup>/O process [J]. China Water & Wastewater, 2021,37(15): 8-13(in Chinese).
- [ 5 ] 贾体沛,王灿,张亮,等. 城镇污水处理厂生物除臭技术的关键影响因素及案例分析[J]. 环境工程学报, 2022,16(4): 1074-1082.  
JIA Tipei, WANG Can, ZHANG Liang, *et al.* Key influencing factors and case analysis of biological deodorization technology in urban wastewater treatment plants [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2022, 16(4):1074-1082(in Chinese).
- [ 6 ] 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).

**作者简介:**夏沛青(1990- ),女,湖南益阳人,学士,工程师,注册公用设备工程师(给水排水),主要从事污水处理工程设计、应用与研究,曾获上海市科技进步一等奖、国家优秀勘察设计三等奖。

**E-mail:** xpq\_9800@qq.com

**收稿日期:**2022-11-15

**修回日期:**2022-12-01

(编辑:孔红春)

**全面推行河长制湖长制, 维护河湖健康生命**