

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.22.009

改良 AAO + 双层沉淀池在半地埋污水处理厂的应用

李银波, 王广华, 周建华

(广州市市政工程设计研究总院有限公司, 广东 广州 510060)

摘要: 温州市中心片污水处理厂迁建工程为了节省用地,设计采用半地埋集约化建设模式,污水处理采用曝气沉砂+改良 AAO+双层沉淀池+高效沉淀池+滤布滤池+紫外线消毒组合工艺,处理出水水质达到一级 A 排放标准。该污水厂规模 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,用地面积 $66\,372 \text{ m}^2$,采用双层平流沉淀池、构筑物共壁及用渠道连接等集约化设计,用地指标仅为 $0.166 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$,远低于常规污水厂建设用地指标。项目工程费 6.26 亿元,总投资 6.81 亿元,吨水造价仅为 1 700 元,远低于地埋污水处理厂造价,甚至低于地面污水厂。

关键词: 集约化设计; 改良 AAO; 双层沉淀池

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)22-0054-05

Application of Modified AAO Process and Double-deck Sedimentation Tank in a Semi-buried Sewage Treatment Plant

LI Yin-bo, WANG Guang-hua, ZHOU Jian-hua

(Guangzhou Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Guangzhou 510060, China)

Abstract: To save footprint area of a sewage treatment plant migration project in downtown Wenzhou, the intensive semi-buried scheme is designed and applied in the project. The sewage treatment process consists of aerated grit chamber, modified AAO, double-deck sedimentation tank, high-efficient sedimentation tank, cloth media filter and ultraviolet disinfection, and the effluent quality reaches the first level A discharge standard. The treatment capacity and footprint area of the sewage treatment plant are $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ and $66\,372 \text{ m}^2$, respectively. The intensive design, such as double-deck horizontal sedimentation tank and co-wall and channel connection of the structures, is adopted in the project. The land use index is only $0.166 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$ and is far lower than that of the conventional sewage treatment plant. The construction cost of the project is 626 million yuan, the total investment is 681 million yuan, and the cost per ton of water is only 1 700 yuan. The construction cost is far lower than that of the underground sewage treatment plant, even lower than that of the ground sewage treatment plant.

Key words: intensive design; modified AAO; double-deck sedimentation tank

1 工程概况

随着城市规模的不断扩大和城市对水环境质量要求的提高,温州市实施了一系列污水收集、处理系统工程,污水收集量急剧增加,现状污水处理系统已

不能满足处理需求。现状中心片污水处理厂位于规划滨江商务区 CBD 核心区域,按照城市规划,亟需迁建扩容。

为有效缓解区域污水量增加给现状中心片污水

处理厂造成的巨大压力,更好地保护环境,综合考虑项目的可行性、经济性和环境风险等因素,将现中心片污水处理厂迁往东北方向至瓯江路西侧,新建一座半地下全覆盖污水处理厂,处理规模 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。厂区服务范围主要是龙湾西片区、鹿城中片区和梧埭片区的梧埭系统,服务面积为 63.70 km^2 。污水厂可用地面积仅 $66\,372 \text{ m}^2$,用地十分紧张。该工程于 2016 年 2 月开始建设,2019 年 1 月完成竣工验收,现已正常运行。

2 设计水质

设计进水指标根据现状中心片污水处理厂实际进水水质统计值保证率选定。出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的一级 A 标准。具体设计进、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	NH ₄ ⁺ - N	TN	TP
进水	150	330	300	30	40	5.0
出水	10	50	10	5(8)	15	0.5

3 主要工艺选择

本工程用地指标仅为 $0.166 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$,用地十分紧张,因此,设计时应考虑选用工艺流程短、节省用地的处理工艺,并采用集约化组团式布置方式;同时还要兼顾本工程 BOT 项目建设成本低、处理效果好、运行费用低的要求。

3.1 二级生物处理工艺选择

对多个常用工艺进行了比选,曝气生物滤池(BAF)在节约用地及 TN 去除方面有一定优势,但设备多,运行管理复杂,且在大规模污水厂的应用案例较少;膜生物反应器(MBR)工艺出水水质最优,占地也较省,但运行电耗高且膜材料需要定期更换,运行费用高;MBBR 通过在 AAO 工艺的基础上添加填料来提高容积负荷^[1],减少池容,处理效果稳定,耐冲击负荷,但填料需定期更换,运行管理较为复杂,且因为已经利用了池容放置填料,日后提标改造的空间较小;MSBR 是 AAO 工艺和 SBR 工艺的组合^[2],运行管理复杂。综合考虑经济、技术及运行管理等因素,本项目采用改良 AAO 生化处理工艺^[3-4]。

3.2 二级沉淀工艺选择

二沉池有圆形沉淀池和矩形沉淀池,因圆形沉

淀池不便于集中布置,而本工程可用地面积小,为了更好地集约化布置,本工程选用矩形沉淀池。常规平流沉淀构造简单、池深浅、造价低、操作维护方便,在大、中型污水处理厂中有广泛应用,但其占地面积过大,在本工程用地极其紧张的条件不适用。而双层平流沉淀池可大大减少占地面积,适用于建设用地较少的污水厂^[5],因此本工程采用双层平流沉淀池工艺。

3.3 三级深度处理工艺选择

根据实际运行经验,在正常运行情况下,二级生物处理 + 二沉池出水 TP 达到 0.5 mg/L 以下、SS 值达到 10 mg/L 以下很难实现,因此,必须通过深度处理工程措施进一步去除 SS、TP 等指标,确保出水水质达标。

本工程三级深度处理采用“高效沉淀池 + 滤布滤池”组合工艺,两者的有效结合,可满足本工程深度处理要求。

3.4 工艺流程

项目工艺流程为曝气沉砂 + 改良 AAO + 双层沉淀池 + 高效沉淀池 + 滤布滤池 + 紫外线消毒,具体见图 1。

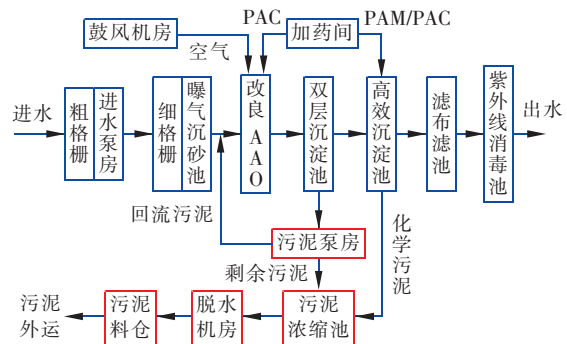


图 1 污水处理工艺流程

Fig. 1 Flow chart of sewage treatment process

3.5 总体布置

一般污水厂用地标准为 $0.60 \sim 0.70 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$,而本工程用地指标仅为 $0.166 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$,十分紧张,因此对总图布置要求非常高。设计中充分考虑进、出水方向及各构筑物之间的衔接,构筑物采取共壁及用渠道连接的方式减少占地,将整个厂区分分为 5 个功能区(见图 2),并将综合楼、鼓风机房、变配电间、发电机房、进出水仪表间、构筑物巡检道路等附属设施布置在构筑物池顶,以减少占地。

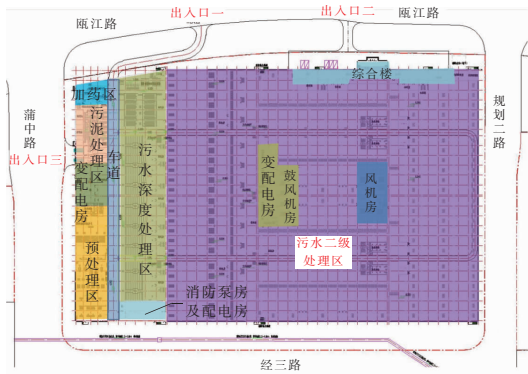


图 2 污水厂平面布置

Fig. 2 Plane layout of sewage treatment plant

① 预处理区

预处理区位于本工程用地的西部,由南至北依次布置粗格栅及进水泵房与细格栅及曝气沉砂池,此外,进水仪表间布置在细格栅渠顶,发电机房、配电室布置在进水泵房池顶。

② 污水二级处理区

污水二级处理区主要构筑物有:改良 AAO 生物反应池、双层沉淀池,两者共壁建设(见图 3)。此外,鼓风机房、变配电间、综合楼及厂区巡检道路布置在生化池、二沉池池顶。

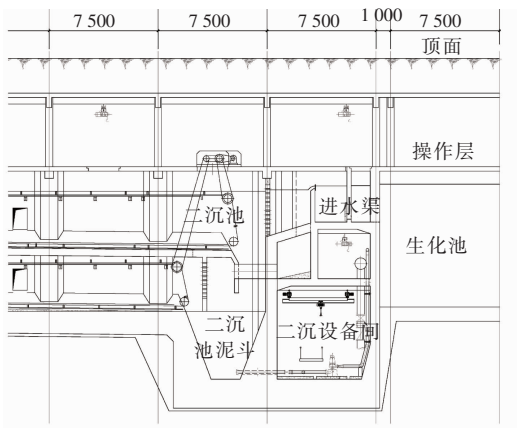


图 3 生化池与二沉池连接示意

Fig. 3 Connection diagram of biochemical tank and secondary sedimentation tank

③ 污水深度处理区

污水深度处理区主要布置高效沉淀池、滤布滤池、紫外消毒池和出水提升泵房及高位井,此外,出水仪表间及紫外配电间布置在出水泵房池顶。

④ 污泥处理区

污泥处理区主要布置有储泥池、脱水机房、料仓、变配电房及控制房。

⑤ 加药区

加药区位于本工程用地的西部,南侧为污泥处理区,东侧为污水深度处理区,主要布置有污泥脱水加药装置及高效沉淀池加药装置。

4 主要工艺设计

4.1 改良 AAO

改良 AAO 工艺^[4]可以形成以下几种运行模式。

① 模式 1——常规 AAO 法

主要用于进水 C/N 比较合适时。工艺流程如图 4 所示。

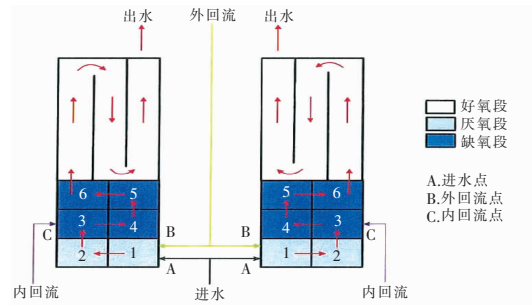


图 4 常规 AAO 工艺流程

Fig. 4 Flow chart of normal AAO process

调整污水进入点,污水入厌氧池,污泥外回流至厌氧池,混合液回流(即内回流)至缺氧区,形成了常规 AAO 工艺。

② 模式 2——改良 AAO 法

主要用于碳源较充分时,保证脱氮前提下提高除磷效果。

工艺流程见图 5。

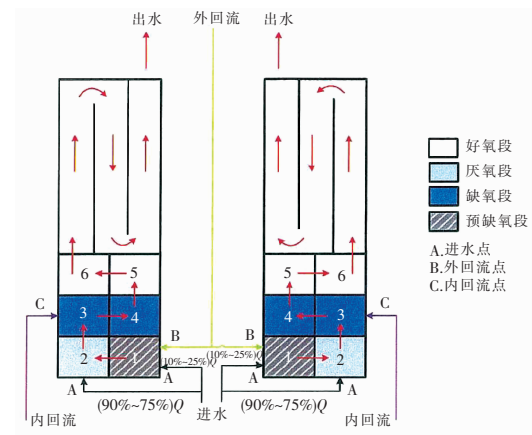


图 5 改良 AAO 工艺流程

Fig. 5 Flow chart of modified AAO process

污水按比例分别进入选择池和厌氧池,污泥外回流进入选择池进行反硝化反应,去除其中的溶解

氧及硝酸盐氮,然后再进入厌氧区。这样可以保证厌氧区的厌氧效果,提高系统的除磷能力。混合液回流进入缺氧区,形成改良 AAO 工艺。

③ 模式 3——倒置 AAO 法

用于脱氮为主时。

工艺流程见图 6。

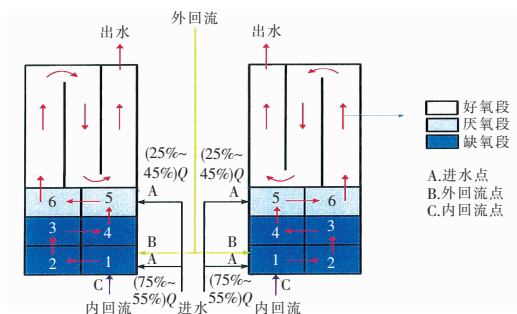


图 6 倒置 AAO 工艺流程

Fig. 6 Flow chart of inverted AAO process

常规进水水质的情况下,为提高出水效果,调整进水点,污水按比例分别进入缺氧池和厌氧池,污泥外回流进入缺氧池,形成倒置 AAO 工艺。

设置 2 座改良 AAO 池,每座分 2 格,单格尺寸为 $167\text{ m} \times 49.5\text{ m} \times 10\text{ m}$ 。系统泥龄 11 d;污泥负荷为 $0.08\text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$;MLSS 为 $3\ 500\text{ mg/L}$;水深 9 m;选择区、厌氧区、缺氧区、好氧区停留时间分别为 0.5、1.5、3.77、9.13 h,总水力停留时间为 14.9 h;气水比 5.04 : 1;污泥外回流比 50% ~ 100%;混合液回流比 200% ~ 300%;剩余污泥量 48 t/d,含水率 99.3%。

主要设备:盘式曝气器约 28 552 支;潜水推流器 52 台,直径 2.5 m, $P=7.5\text{ kW}$;潜水搅拌器 8 台,直径 2.5 m, $P=7.5\text{ kW}$;混合液回流泵 24 台(16 用 8 备),单台 $Q=3\ 125\text{ m}^3/\text{h}$, $H=10\text{ kPa}$, $P=25\text{ kW}$ 。

4.2 双层沉淀池

为了节省用地,本工程采用双层矩形平流式沉淀池,前与生反池合建,后与高效沉淀池合建。

设置 2 座双层矩形沉淀池,每座池分 2 组,每组分 6 格沉淀池,每格池体上下两层。单组池尺寸为 $72.5\text{ m} \times 45.0\text{ m} \times 10.0\text{ m}$,单格长 59.5 m、宽 6.75 m。上层有效水深 4.1 m,表面负荷 $1.41\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,下层深度 3.8 m。单组设计规模 $10 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,变化系数为 1.3,高峰最大表面负荷为 $1.10\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

主要设备:链式刮泥机 24 套,宽度 5.05 m, $v=$

$0.4 \sim 0.8\text{ m/min}$, $L=57\text{ m}$, $P=1.5\text{ kW}$;电动旋转撇渣管 24 套,长度 6.95 m, $P=1.1\text{ kW}$;回流污泥泵采用潜水轴流泵,共 26 台(24 用 2 备),污泥回流比 100%, $Q=798\text{ m}^3/\text{h}$, $H=60\text{ kPa}$, $N=22.0\text{ kW}$;剩余污泥泵采用潜水泵,共 6 台(4 用 2 备), $Q=150\text{ m}^3/\text{h}$, $H=190\text{ kPa}$, $N=18.5\text{ kW}$ 。

4.3 高效沉淀池

设置 4 座高效沉淀池,每座分 2 组相对独立的混凝、絮凝、沉淀池。单座尺寸为 $36.3\text{ m} \times 30\text{ m} \times 11.4\text{ m}$,混合停留时间 1.2 min,絮凝停留时间 12.1 min。沉淀区设置斜管,斜管安装倾角为 60° ,斜板长度 1.5 m。斜管上部清水区高度 1.0 m,下布水区高度为 1.6 m,液面负荷为 $14.2\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,池底设置排泥管,管径 DN200。

主要设备:混合搅拌机 8 台,叶轮直径 1 200 mm, $N=11\text{ kW}$;絮凝搅拌机 16 台,叶轮直径 2 000 mm, $N=2.2\text{ kW}$;刮泥机 8 套,直径 14 m, $N=1.1\text{ kW}$, $n=0.04\text{ r/min}$;回流污泥泵 10 台(8 用 2 备), $Q=100\text{ m}^3/\text{h}$, $H=50\text{ kPa}$, $N=3.7\text{ kW}$;剩余污泥泵 12 台(8 用 4 备), $Q=100\text{ m}^3/\text{h}$, $H=150\text{ kPa}$, $N=11\text{ kW}$ 。

4.4 滤布滤池

滤布滤池进一步去除高效沉淀池出水中的悬浮污染物,连续运行,间歇反洗。

滤布滤池 1 座,分 8 格,钢筋混凝土结构,土建尺寸为 $27\text{ m} \times 32\text{ m} \times 5.3\text{ m}$,有效水深 3.7 m。

主要设备:每格内安装 $D=3\ 000\text{ mm}$ 滤布转盘一套,滤布孔隙小于 $10\text{ }\mu\text{m}$ 。单套过滤面积 252 m^2 ,水力负荷 $8.23\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,水头损失 0.3 m,滤盘反洗转速 2.0 r/min 。每池配反洗水泵 2 台(1 用 1 备),单台 $Q=50\text{ m}^3/\text{h}$, $H=70\text{ kPa}$, $N=2.2\text{ kW}$ 。

5 经济分析

本项目总投资 6.81 亿元,其中工程费用 6.26 元,吨水造价仅为 1 700 元,远低于地理污水处理厂造价,甚至比地面污水厂还低。污水处理成本 $0.727\text{ 元}/\text{m}^3$,单位污水处理电耗 $0.21\text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$,折算电耗为 $1.5\text{ kW} \cdot \text{h}/\text{kgBOD}_5$ 。

6 运行效果

该厂于 2019 年 1 月完成竣工验收,且一直稳定运行,出水水质均达到或优于设计标准。2019 年实际进、出水水质见表 2。

表2 2019年实际进、出水水质

Tab.2 Actual influent and effluent quality in 2019

mg · L⁻¹

月份	COD		BOD ₅		SS		NH ₃ -N		TN		TP	
	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水
1	144	8	97	2	185	6	18.18	0.06	20.47	7.95	2.11	0.14
2	103	18	55	2	89	5	16.26	0.07	17.81	7.21	1.66	0.06
3	165	11	84	9	122	3	15.53	0.07	17.05	6.31	1.63	0.05
4	129	10	65	3	128	3	16.71	0.04	19.52	6.01	1.87	0.12
5	116	21	62	5	161	3	17.41	0.04	19.62	7.19	2.04	0.12
6	107	13	69	3	161	2	15.62	0.05	16.98	5.16	1.92	0.20
7	116	16	72	4	185	3	18.41	0.13	19.90	6.43	2.30	0.27
8	116	10	73	4	181	3	19.70	0.06	20.66	7.20	2.25	0.22
9	111	15	74	4	163	2	22.16	0.26	25.58	9.62	2.13	0.24
10	99	20	63	5	118	3	20.24	0.07	23.34	9.51	2.35	0.30
11	133	12	92	4	150	3	22.35	0.03	25.81	10.56	2.88	0.30
12	102	10	94	3	124	3	19.23	0.03	22.86	9.38	2.19	0.20

7 结语

本工程用地非常紧张,设计选用工艺流程短、节省用地的曝气沉砂+改良AAO+双层沉淀池+高效沉淀池+滤布滤池+紫外线消毒组合工艺,并采用集约化组团式布置,在66 372 m²用地上建设规模为40×10⁴ m³/d的半地下全覆盖污水处理厂,吨水用地指标仅为0.166 m²/(m³·d⁻¹),远低于一般污水厂0.60~0.70 m²/(m³·d⁻¹)的用地标准。

参考文献:

- [1] 杨文焕,唐若凯,肖作义,等. 多级MBBR与A²O工艺处理低C/N生活污水对比分析[J]. 环境科学与技术,2017,40(9):131-135.
YANG Wenhuan, TANG Ruokai, XIAO Zuoyi, et al. Comparative analysis of multi-level MBBR process and A²/O process treating low C/N ratio domestic wastewater [J]. Environmental Science & Technology, 2017, 40 (9):131-135(in Chinese).
- [2] 杜英豪. MSBR工艺的运行管理实践[J]. 中国给水排水,2006,22(2):90-92.
DU Yinghao. Operation management of MSBR system [J]. China Water & Wastewater, 2006, 22(2):90-92 (in Chinese).
- [3] 王晓莲,彭永臻. A²/O法污水生物脱氮除磷处理技术

与应用[M]. 北京:科学出版社,2009.

WANG Xiaolian, PENG Yongzhen. A²/O Wastewater Biological Nitrogen and Phosphorus Removal Treatment Technology and Application[M]. Beijing:Science Press, 2009(in Chinese).

- [4] 杨祝平,郭淑琴. 改良AAO及污泥深度脱水工艺用于城镇污水厂迁建提标[J]. 中国给水排水,2019,35(2):62-66.

YANG Zhuping, GUO Shuqin. Application of improved AAO and sludge deep dewatering process in the relocation and upgrading of WWTP [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(2):62-66(in Chinese).

- [5] 王学福,齐敦哲,朱寅春,等. 双层平流沉淀池的设计与应用[J]. 净水技术,2013,32(1):83-86.

WANG Xuefu, QI Dunzhe, ZHU Yinchun, et al. Design and application of double-deck horizontal sedimentation tank[J]. Water Purification Technology, 2013, 32(1):83-86(in Chinese).

作者简介:李银波(1982-),男,土家族,湖南花垣人,硕士,高级工程师,主要从事给排水工程设计工作。

E-mail:18466175@qq.com

收稿日期:2020-04-02

修回日期:2020-11-16

(编辑:孔红春)