

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.06.015

# 前置调蓄池的改良型 $A^2/O$ 工艺半地下式大型污水厂设计

王 雪, 黎柳记, 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:** 为有效改善深圳市茅洲河流域水环境,沙井污水处理厂二期工程( $35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ )选用前置调蓄池( $4 \times 10^4 \text{ m}^3$ )的多段强化脱氮改良型  $A^2/O$  + 矩形平流沉淀池处理工艺。项目建成投产以来,处理效果良好,出水水质全面优于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准。调蓄池与污水处理厂合建可以集约用地、节省投资,且有效解决了雨季合流污水污染问题。同时,该污水厂采用半地下式设计,上盖建成供周边居民休憩、健身的体育公园,经济、社会效益双丰收。

**关键词:** 多段强化脱氮改良型  $A^2/O$ ; 半地下式; 大型污水厂; 调蓄池; 矩形二沉池

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)06-0086-05

## Design of Semi-underground Large-scale Sewage Treatment Plant with Improved $A^2/O$ Process with Pre-storage Tank

WANG Xue, LI Liu-ji, DAI Zhong-yi

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

**Abstract:** In order to effectively improve the water environment of Maozhou River basin in Shenzhen City, the second phase of Shajing sewage treatment plant was designed using the multi-stage enhanced denitrification improved  $A^2/O$  + rectangular horizontal sedimentation tank process with a pre-storage tank ( $4 \times 10^4 \text{ m}^3$ ). Since the project was completed and put into operation, the treatment effect was good. The effluent quality was superior to the first level A standard of *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918 - 2002). The joint construction of the storage tank and the sewage treatment plant could save land and investment, and effectively solve the problem of confluent sewage pollution in the rainy season. At the same time, the sewage treatment plant adopts the semi-underground design scheme, and a sports park was built on the top for the surrounding residents to rest and keep fit, which obtain both economic and social benefits.

**Key words:** multi-stage enhanced denitrification improved  $A^2/O$ ; semi-underground; large sewage treatment plant; storage tank; rectangular horizontal sedimentation tank

沙井污水处理厂位于深圳市宝安区沙井街道帝堂路与锦程路交叉口的西南角,现状一期工程规模为  $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。随着沙井、松岗街道经济的高速发展,片区用水量和污水排放量日益增加,深圳市决定建设沙井污水处理厂二期工程。

### 1 工程概况

沙井污水处理厂二期工程设计规模为  $35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。厂区分分为厂前管理区、预处理区、生化区、深度处理及回用区、辅助生产区、污泥厂区。除厂前管理区外整体加盖,共分为三层,最下层为水处理构筑

物;中层为操作层,高度满足运行维护需求;最上层为顶盖层,作为体育公园,公园总面积约10.55 hm<sup>2</sup>,顶盖层高出现状地面约10 m。

污水处理厂进水水质以现状一期为依据,适当考虑远期,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。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<sup>-1</sup>

项目	BOD <sub>5</sub>	COD	SS	TN	NH <sub>3</sub> -N	TP
进水	150	280	200	45	35	6
出水	10	50	10	15	5(8)	0.5

## 2 污水处理工艺流程

污水厂工艺流程见图1。

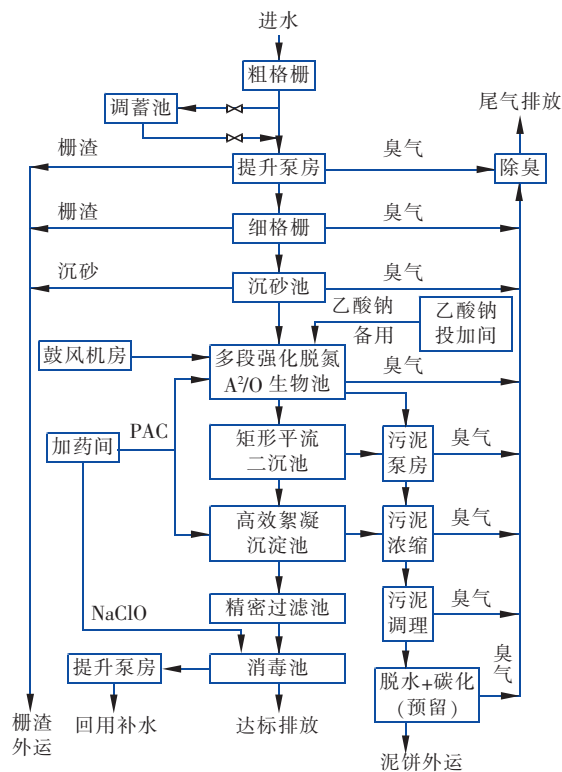


图1 污水处理厂工艺流程

Fig. 1 Process flow chart of WWTTP

本工程预处理采用粗、细格栅+曝气沉砂池工艺。根据污水处理厂现状进水水质,同时结合片区现状雨污分流不完全,远期随着管网系统的日渐完善,进水污染物浓度会有所提升的实际情况,生化处理段采用抗冲击负荷能力较强的多段强化脱氮改良型A<sup>2</sup>/O工艺。该工艺具有脱氮效率高、建设费和运行费较省、占地面积较小、设计理论成熟和规范齐

全等优点<sup>[1]</sup>,且具有不亚于传统A<sup>2</sup>/O法的生物除磷性能<sup>[2]</sup>。结合上盖公园加盖形式,沉淀池选用矩形平流二沉池。深度处理选用高效絮凝沉淀池+精密过滤工艺。

由于片区内雨污分流并不完善,雨季合流污水问题突出,对于雨季合流污水,最有效的办法是建设调蓄池,大雨时将超过污水厂处理能力的合流污水引入调蓄池临时贮存,雨后再抽送至污水处理系统进行处理,本次利用预处理区域下方用地一次性建设调蓄池。调蓄池建成后截留倍数取2,调蓄池进水时间取1 h,设计调蓄容积为4 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>。

## 3 主要构筑物设计

### 3.1 水处理构筑物

#### ① 粗格栅间及进水泵房

粗格栅间设置GSY型一体三索式格栅除污机4台,宽度2.2 m,栅条间距20 mm,过栅流速为0.6 m/s,电机功率4.5 kW,配套皮带输送机2套,单台功率4 kW。

提升泵房共设置17台提升泵,1#~8#(6用2备)提升泵常态化运行,产生足够的水头,单台流量为3 160 m<sup>3</sup>/h,扬程为230 kPa,功率为270 kW。

9#~14#提升泵雨季时将超量的混流污水抽升入调蓄池进行储存,单台流量为4 132 m<sup>3</sup>/h,扬程为1.25 MPa,功率为200 kW。

15#~17#泵(2用1备)为调蓄池污水提升泵,在本场次降雨,利用污水厂处理水量的波动,在低峰值时段将调蓄池储存的水提升,产生足够的水头,通过重力流过各级处理构筑物进行处理,单台流量为2 250 m<sup>3</sup>/h,扬程为130 kPa,功率为135 kW。

#### ② 调蓄池

调蓄池设置在预处理区地下,总占地面积约1.0 hm<sup>2</sup>,设计总调蓄容积4.0 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>。调蓄池设计地面高程为3.95 m,调蓄池池底高程-2.50 m,池内设计最高水位2.00 m。

调蓄池首端设置沉砂区,设计沉砂时间为20 min,池内设置智能冲洗设备,利用智能喷射器产生高速的气液混合物对调蓄池底部进行全面或点对点的冲洗。共设置10台智能冲洗设备,单套功率为15 kW。调蓄池内设置视频监控系统,实时掌握蓄水池内部泥砂蓄积情况,调蓄池设下车道进入池底,便于维护。

#### ③ 细格栅间及曝气沉砂池

细格栅间设置进口转鼓细格栅8台,宽度为2.0 m,栅条间距为5 mm,设计过栅流速为0.9 m/s,配套电机功率为3 kW。

曝气沉砂池共4座,每座2格,平均水力停留时间为7.5 min,气水比为0.2,设置6台(4用2备)三叶罗茨鼓风机曝气,单台风量为 $18 \text{ m}^3/\text{min}$ ,功率为18.5 kW。

#### ④ 多段强化脱氮改良型A<sup>2</sup>/O生物池

生化池共4座,单座规模为 $8.75 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,有效水深7.5 m,系统平均混合液浓度为4.0 g/L,水力停留时间为14.5 h,厌氧区、好(缺)氧Ⅰ区、好(缺)氧Ⅱ区、好(缺)氧Ⅲ区停留时间分别为1.0、1.8、2.2、2.75 h。污泥负荷约为 $0.062 \text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ ,容积负荷为 $0.248 \text{ kgBOD}_5/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ,最大气水比为6:1,厌氧区设置潜水搅拌机18套,单台功率为10 kW,缺氧区Ⅰ区设置推流器18套,单台功率5.5 kW,缺氧区Ⅱ区设置推流器18套,单台功率7.5 kW,缺氧区Ⅲ区设置推流器18套,单台功率7.5 kW。好氧区设置棕刚玉盘式曝气器44 000套, $\varnothing 200 \text{ mm}$ , $Q=2.0 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

#### ⑤ 污泥泵房

污泥泵房与生物池合建,共4座,每座对应一座生物池。设置外回流泵24台,单台流量为 $912 \text{ m}^3/\text{h}$ ,扬程为45 kPa,功率为18.5 kW。设置剩余污泥泵16台,单台流量为 $100 \text{ m}^3/\text{h}$ ,扬程为120 kPa,功率为5.5 kW。

#### ⑥ 鼓风机房

鼓风机房设置鼓风机6台(4用2备),单台风量为 $87 500 \text{ m}^3/\text{h}$ ,功率为650 kW。

#### ⑦ 矩形平流二沉池

二沉池共4座,每座8格,有效水深4 m,平均时表面负荷 $1.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,沉淀时间4 h,出水堰最大负荷 $1.48 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m})$ ,设置链条式刮泥机32台,单台功率2 kW,设置表面撇渣机32套。

#### ⑧ 高效絮凝沉淀池

高效絮凝沉淀池共8座,设计混合时间2 min,絮凝时间10 min,沉淀时间23 min。沉淀区平均时上升流速为 $14.5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,污泥回流比为1%~4%。

#### ⑨ 精密过滤池及废水回收池

精密过滤池2座,过滤速度为 $55 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,每座设置转鼓微过滤设备7套(6用1备),每套过

滤设备带有配套反冲洗水泵,单套装机功率为4.75 kW。

#### ⑩ 接触消毒池

接触消毒池共4座,平均时接触时间为40 min,控制出水粪大肠菌群 $\leq 1 000$ 个/L。

#### ⑪ 加药加氯间

加药加氯间用于投加除磷及消毒药剂。PAC设计最大投加量 $9 \text{ mg/L}$ (以 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 纯度计),设置PAC投加泵18台,单台流量为 $300 \text{ L/h}$ ,功率为0.25 kW。乙酸钠设计最大投加量 $40 \text{ mg/L}$ ,设置乙酸钠投加泵12台,单台流量为 $1 200 \text{ L/h}$ ,功率为1.1 kW。PAM设计投加量为 $1 \text{ mg/L}$ ,设置PAM投加泵12台,单台流量为 $800 \text{ L/h}$ ,功率为0.5 kW。次氯酸钠投加量为 $10 \text{ mg/L}$ ,设置次氯酸钠投加泵6台,单台流量 $500 \text{ L/h}$ ,功率为0.25 kW。

### 3.2 污泥脱水系统

污泥处理系统流程为:污泥撇水池+机械浓缩机+调理+板框压滤,设计干污泥量为 $63 \text{ tDS/d}$ 。污泥撇水池共4座,直径为10 m,有效水深为3 m,设计进泥含水率99.2%,出泥含水率为98%,水力停留时间3 h。

设置转鼓浓缩机3台(2用1备),单台处理能力为 $90 \text{ m}^3/\text{h}$ ,功率为1.5 kW。设置板框机5台(4用1备),设计运行时间为16 h。

### 3.3 生物除臭

生物除臭系统根据臭气浓度和区域位置分为4部分,采用密封负压抽吸方式进行臭气收集,经生物除臭装置净化后有组织排放,排放口高度大于15 m,厂界大气污染物排放达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级标准。预处理区(含粗细格栅间、提升泵房及沉砂池)生物除臭规模为 $56 200 \text{ m}^3/\text{h}$ ,调蓄池生物除臭规模为 $56 200 \text{ m}^3/\text{h}$ ,生化区(含生物池、污泥泵房)规模为 $160 000 \text{ m}^3/\text{h}$ ,污泥处理区(含调理池、污泥撇水池、脱水机、料仓、污泥输送机、浓缩机等)生物除臭规模为 $45 000 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

## 4 设计特色

① 本项目加盖区域将建成深圳市最大的“空中生态体育公园”,公园建设内容包括景观大道、十一人制足球场、五人制足球场、阳光草坪、停车场、体育馆、儿童乐园、中心广场等,采用低冲击开发策略,引入低碳环保理念,体育公园效果见图2。



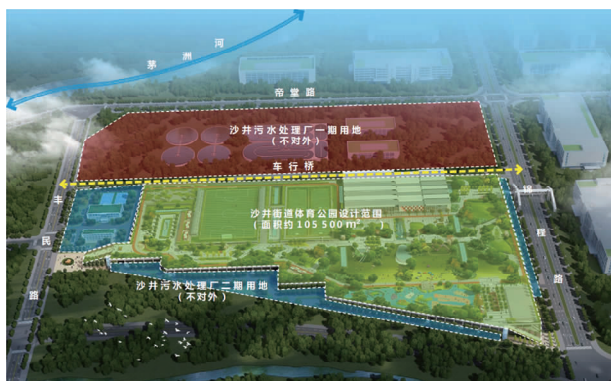


图2 体育公园效果图

Fig. 2 Design sketch of sports park

② 本项目充分利用地下空间建设调蓄池,大雨时将超过污水厂处理能力的合流污水引入调蓄池临时贮存,待雨后再抽送至污水处理系统进行处理<sup>[3]</sup>,相当于增加了1座处理规模 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的处理设施,有效削减污染物负荷,节约土地资源,具有良好的经济、社会效益。

③ 本项目选用多段强化脱氮改良型A<sup>2</sup>/O+矩形平流沉淀池+高密度沉淀池+精密过滤处理工艺,该工艺脱氮效率高,节约能耗,技术成熟、可靠,占地面积小,池型有利于组合加盖,能够满足本工程出水水质要求。

④ 为满足远期污泥减量化需求,本次污泥脱水系统预留碳化工艺,污泥碳化处理后含水率约10%,可减少污泥体积和质量,使污泥稳定无害化,便于后续多用途利用。

⑤ 工程用地面积为 $13.69 \text{ hm}^2$ ,吨水占地为 $0.39 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$ ,相比《城市污水处理工程项目建设标准》中规定的用地面积节约45%,上盖建设 $10.55 \text{ hm}^2$ 的体育公园,节地效果明显。

⑥ 本项目处理后的尾水回用作脱水机的冲洗水、厂区绿化用水、冲洗道路用水、生物除臭喷淋水等,总回用水量约 $7200 \text{ m}^3/\text{d}$ ,节约了水资源和成本。

⑦ 本项目年污水处理总能耗为 $2810.5 \times 10^4 \text{ kW} \cdot \text{h}$ ,单位耗能为 $0.22 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ ,处于《城市污水处理工程项目建设标准》要求的低水平,并且本项目在二级处理后设有三级深度处理单元,污水处理能耗水平较为先进。

## 5 运行效果及成本分析

### 5.1 运行效果

沙井污水处理厂二期工程目前已建成投产,上

盖公园主体结构已建设完成,公园设施正在建设中。运行以来,实际进水水质与原设计进水水质存在一定差异,主要体现在COD、SS指标偏高。分析其原因为:片区工程建设以及管网雨污分流、正本清源项目实施造成SS异常增高,工程完工后SS会有所下降;二期工程与一期工程进水来自不同区域,二期范围内工业企业较多,存在工业废水排入城市污水处理厂问题,待片区内工业废水处理厂建成后,COD指标会有所下降。实际出水效果良好,出水水质全面优于一级A标准。实际进、出水水质见表2。调蓄池雨季充分发挥了功能,有效解决了雨季合流污水污染问题,大大削减了污染物负荷。

表2 实际进、出水水质

Tab. 2 Actual influent and effluent quality

项 目	BOD <sub>5</sub>	COD	SS	TN	NH <sub>3</sub> -N	TP
90%保证率进水	107	404	668	46.9	34.0	5.23
平均进水	78	223	441	34.5	25.2	3.52
平均出水	4.73	18.65	3.80	12.83	0.52	0.16

SS的异常增高,导致实际污泥产量比设计值增加20%,板框机实际按24 h运行,高峰时段5台同时运行。

### 5.2 成本分析

工程总投资为15.44亿元,其中第一部分工程费用为13.45亿元,其他费用为1.99亿元。工程建设成本为 $4411 \text{ 元}/\text{m}^3$ ,上盖部分建设成本为 $1049 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。单位污水处理电耗为 $0.22 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ 。污水处理经营成本为 $0.61 \text{ 元}/\text{m}^3$ ,其中电费为 $0.19 \text{ 元}/\text{m}^3$ ,药剂费为 $0.15 \text{ 元}/\text{m}^3$ ,维修、人工以及其他成本为 $0.27 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。

## 6 结语

① 对于雨季合流污水,最有效的办法是建设调蓄池,调蓄池与污水处理厂合建可以集约用地,减少总体投资,具有良好的经济效益,调蓄池设计中需根据池型几何形状及水体流态考虑防淤积、机械清淤等措施。

② 多段强化脱氮改良型A<sup>2</sup>/O工艺高效节能,脱氮效率高,并且具有不亚于传统A<sup>2</sup>/O工艺的除磷效果,尤其适用于进水碳源不足的污水处理厂,本工程设计的改良型A<sup>2</sup>/O工艺要求运营管理精细化,辅以精确曝气系统使得系统更加节能,出水效果好。

③ 矩形平流二沉池构造简单、沉淀效果稳定、

水头损失小、运行管理方便、池型有利于加盖,但表面负荷较低、配水不易均匀、抗冲击负荷能力较弱,实际安装过程中需注意出水堰标高的一致性,运行过程中需严格控制生化池污泥浓度,并及时排泥,否则容易出现跑泥现象。

④ 高效絮凝沉淀池以抗冲击负荷能力强、絮凝能力强、沉淀效果好著称,其可形成 500 mg/L 以上的高浓度混合液,出水水质稳定,但该池型对调试能力要求较高,需合理选择絮凝剂、助凝剂,结合进水情况选择活性污泥回流比等,若高效絮凝沉淀池絮凝区污泥浓度低,且并未形成高浓度混合絮凝体,会影响后续沉淀区的沉淀效果。

⑤ 精密过滤池占地小、池深浅、施工方便、过滤速度快,但对前端出水 SS 要求较高,且前端不能投加除磷药剂,一般当高效絮凝沉淀池单格冲洗或检修时,作为末端保障过滤设施,运行管理过程中要控制好前端进水水质,若存在 SS 超标情况,膜片堵塞后更换成本较高。

⑥ 污水处理厂能否正常运行与污泥脱水系统运行情况有很大关系,沙井污水处理厂二期工程自运行以来,进水 SS 指标异常增高,主要是由片区工程建设以及管网雨污分流、正本清源项目实施造成的。鉴于一些不确定性因素,建议污水处理厂污泥处理系统留有一定富余,设置备用机器。

⑦ 半地下式污水处理厂上盖公园建设内容需根据周边服务对象进行合理定位,在注重人性化的同时需做好与污水厂生产环境的有效分隔,保障污

水厂的安全生产。

#### 参考文献:

- [1] 温翔. 地下式污水处理厂的设计研究[D]. 重庆:重庆交通大学,2014.  
WEN Xiang. Design and Research of Underground Sewage Treatment Plant [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2014 (in Chinese).
- [2] 王晓莲,彭永臻.  $A^2/O$  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. Technology and Application of Biological Nitrogen and Phosphorus Removal by  $A^2/O$  Process [M]. Beijing: Science Press, 2009 (in Chinese).
- [3] 王斌,陈祥瑞,李铭洋,等. 利用现有地下空间进行调蓄改造雨水泵站的设计探讨[J]. 中国给水排水, 2019, 35(18): 64-67.  
WANG Bin, CHEN Xiangrui, LI Mingyang, et al. Discussion on reconstruction design of rainwater pumping station by using existing underground space for regulation and storage [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(18): 64-67 (in Chinese).

作者简介:王雪(1988-),女,黑龙江五常人,硕士,工程师,注册公用设备工程师(给水排水),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:2020-04-05

修回日期:2020-04-28

(编辑:孔红春)

贯彻《中华人民共和国水土保持法》,  
建设生态文明