

# $A^2/O + MBR$ 工艺用于集约化高排放标准半地下式污水厂

王 雪, 戴仲怡, 张晓临, 徐彦飞, 刘 可, 陈颖童  
(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:** 坂雪岗水质净化厂二期工程位于深圳市龙岗区华为科技城, 设计规模为  $12 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。工程用地紧张, 出水水质标准高, 常规的生物处理工艺很难稳定达标, 故生化处理采用  $A^2/O + MBR$  膜工艺。全厂污水处理构筑物区域采用半地下式组合式布置, 顶部加盖覆土建设市政公园, 综合了传统地面式污水厂及全地下式污水厂的优点, 环境优美, 运行管理方便。生产运行以来, 出水水质稳定优于《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) 的Ⅳ类标准(总氮  $\leq 10 \text{ mg/L}$ )。

**关键词:** 大型组合式污水厂;  $A^2/O + MBR$  膜工艺; 半地下式; 地表Ⅳ类出水水质

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)04-0047-04

## Application of $A^2/O + MBR$ Process in Intensive High Discharge Standard Semi-underground Wastewater Treatment Plant

WANG Xue, DAI Zhong-yi, ZHANG Xiao-lin, XU Yan-fei, LIU Ke, CHEN Ying-tong  
(Central and Southern China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd.,  
Wuhan 430010, China)

**Abstract:** The second-phase project of Banxuegang wastewater treatment plant is located in Huawei Science and Technology City, Longgang District, Shenzhen. The treatment capacity is  $12 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ . Because of the land shortage and the high level of effluent quality, conventional biological treatment process was difficult to meet the requirements. So the combination  $A^2/O + MBR$  process was adopted. The area of the wastewater treatment structure of the whole plant adopted a semi-underground combined arrangement, and the top of the wastewater treatment structure was covered with soil to build the municipal park, and the advantages of the traditional ground type wastewater treatment plant and the whole underground wastewater treatment plant were integrated, the environment was beautiful, and the operation management was convenient. Since the production and operation, the effluent quality had been stable and superior to the Ⅳ level standard ( $\text{TN} \leq 10 \text{ mg/L}$ ) specified in *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838 - 2002).

**Key words:** large combined wastewater treatment plant;  $A^2/O + MBR$  process; semi-underground; Ⅳ level standard of surface water quality

### 1 工程概况

深圳市坂雪岗水质净化厂二期工程属于观澜河流域综合治理的一部分, 是河道断面水质达标的重要保障。项目规模为  $12 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 全厂污水处理构筑物区域采用组合式布置<sup>[1]</sup>, 顶部加盖覆土建设

市政公园, 公园面积为  $1.76 \times 10^4 \text{ m}^2$ 。

### 2 设计进、出水水质

水质净化厂出水水质执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) Ⅳ类标准(总氮  $\leq 10 \text{ mg/L}$ )。设计进、出水水质见表1。

表1 污水处理厂设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality

| 项目 | BOD <sub>5</sub> | COD | SS  | TN | NH <sub>3</sub> -N | TP  |
|----|------------------|-----|-----|----|--------------------|-----|
| 进水 | 220              | 400 | 300 | 40 | 35                 | 6.5 |
| 出水 | 6                | 30  | 5   | 10 | 1.5                | 0.3 |

mg · L<sup>-1</sup>

### 3 污水处理工艺及流程

污水厂采用 A<sup>2</sup>/O + MBR 工艺, 流程见图 1。

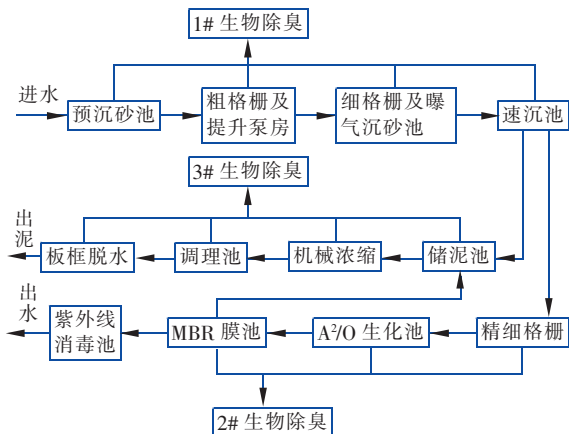
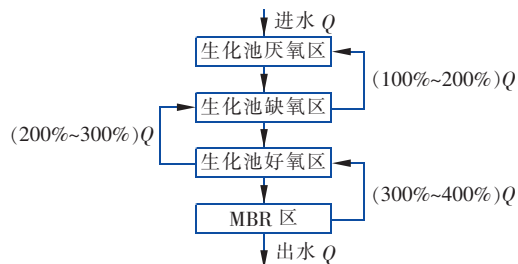


图1 污水处理厂工艺流程

Fig.1 Flow chart of WWTTP process

A<sup>2</sup>/O + MBR 膜工艺 (见图 2) 以 MBR 膜池代替传统二沉池, 减少池容, 节约用地<sup>[2]</sup>, 同时增强抗冲击负荷能力, 减少剩余污泥排放<sup>[3]</sup>。出水采用负

压抽吸式, 污水经超滤膜过滤后, 出水效果好。

图2 A<sup>2</sup>/O + MBR 膜工艺流程Fig.2 Flow chart of A<sup>2</sup>/O + MBR process

### 4 主要构筑物设计

#### 4.1 污水处理构筑物(组合体构筑物)

组合体<sup>[1]</sup>采用半地下式结构, 顶部加盖建设市政公园, 中间层为操作层, 下部为水池。分为预处理区、生化处理区、附属区。预处理区位于组合体东南侧, 包括预沉砂池、粗格栅、进水提升泵房、细格栅、曝气沉砂池、速沉池。生化处理区位于西南侧, 包括精细格栅、A<sup>2</sup>/O 生化池、MBR 膜池及膜池配套设备间、紫外线消毒池。附属区位于北侧, 包括机修仓库、展厅、加药间、鼓风机房、配电间。

组合体总面积约为 1.76 hm<sup>2</sup>, 长度为 218 m, 宽度为 62.2 ~ 90 m, 总体积约为 29.7 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>, 组合体上盖公园距地面高度为 15.7 ~ 16.5 m, 覆土厚度为 1.5 m。水力高程见图 3。

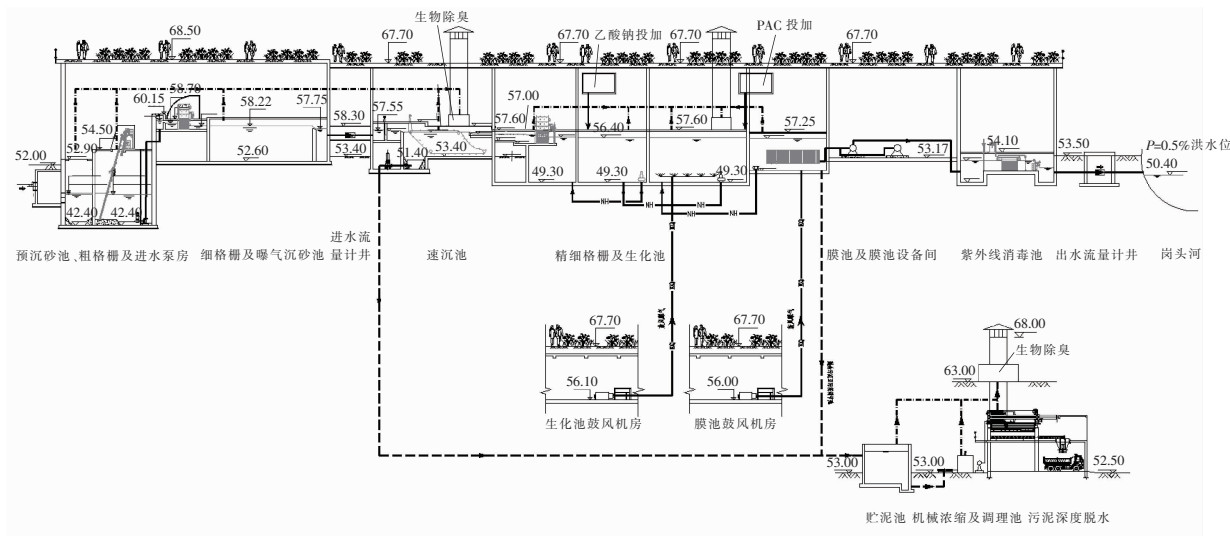


图3 水力高程

Fig.3 Schematic diagram of hydraulic elevation

#### ① 预沉砂池

预沉砂池设计水深为 4.50 m, 设计停留时间为 10 min。设移动抓斗式除砂机一台, 定期去除底部

泥砂, 功率为 6.05 kW。

#### ② 粗格栅及提升泵房

设置钢丝绳牵引格栅清污机粗格栅 2 台, 栅条

间距为20 mm,过栅流速为0.8 m/s,栅宽为2 m,电机功率为2.6 kW;配套设置皮带输送机2套,宽度为500 mm,电机功率为3.0 kW。提升泵房设置潜水提升泵4台(3用1备),单台流量为2 170 m<sup>3</sup>/h,扬程为13.50 m,电机功率为125 kW。

### ③ 细格栅及曝气沉砂池

设置进口内进流非金属板式细格栅4台,栅条间距为5 mm,设计过栅流速为0.9 m/s,栅宽为1.6 m,电机功率为1.1 kW;配套设置栅渣输送溜槽。

曝气沉砂池分2格,水力停留时间为10 min,设置桥式吸砂机4台;气水比为0.2,设置3台(2用1备)罗茨鼓风机曝气,单台风量为12.5 m<sup>3</sup>/min,电机功率为18.5 kW。

### ④ 速沉池

速沉池分8格,可独立运行,停留时间为50 min,设计表面负荷为4.4 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h)。速沉池设置8台链条式刮泥机,长为23.6 m,宽为6 m,电机功率为0.37 kW;设置污泥泵3台(2用1备),单台流量为43.2 m<sup>3</sup>/h,扬程为20 m,功率为3.0 kW。

### ⑤ 精细格栅间

精细格栅间共设进口内进流非金属板式精细格栅6台(4用2备),孔径为1 mm,最大过水量为1 625 m<sup>3</sup>/h,电机功率为1.5 kW。

### ⑥ A<sup>2</sup>/O生化池

生化池2组,单组设计规模为6×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d。单池有效容积为27 075 m<sup>3</sup>,有效水深为7.10 m;总HRT为10.83 h,其中厌氧区1.33 h、缺氧区3.7 h、好氧区5.8 h;容积负荷为0.474 kgBOD<sub>5</sub>/(m<sup>3</sup>·d),污泥负荷为0.06 kgBOD<sub>5</sub>/(kgMLSS·d);实际运行混合液MLSS为8 g/L,泥龄为19.3 d;好氧区-缺氧区回流比为200%~300%;缺氧区-厌氧区回流比为100%~200%。厌氧区设潜水推流器4台,P=5.7 kW,D=2 500 mm;缺氧区设水推流器12台,P=5.7 kW,D=2 500 mm。好氧区设板式曝气器,并设置精确曝气系统,最大气水比为5.8:1。

### ⑦ MBR膜池及配套设备间

膜池共18格,可独立运行,MBR膜孔径为0.2 μm,采用外压式中空纤维中衬膜,平均通量为15.78 L/(h·m<sup>2</sup>),共安装MBR膜组件180套,配套产水泵19台,配套反洗泵2台(1用1备),单台功率为18.5 kW,另配套有空气压缩系统、加药系统等。

### ⑧ 紫外线消毒

紫外线消毒池采用开放渠道式,设置低压高强度灯管408根,紫外灯管与水流方向平行排列,设计进水悬浮物为10 mg/L;出水粪大肠菌群控制目标≤1 000个/L;光波最低穿透率为65%;紫外剂量为31.91 mJ/cm<sup>2</sup>。

### ⑨ 加药间

在每条MBR膜池进水渠设化学除磷PAC药剂投加点一个,设计最大投加量为90 mg/L(10% PAC原液);为确保总氮达标,在每组缺氧区入口处设置乙酸钠备用投加点,乙酸钠采用成品原液,投加量为40.0 mg/L。投加泵采用计量泵。

## 4.2 污泥脱水系统

污泥处理系统流程:贮泥+机械浓缩机+调理+板框压滤。设计干污泥量为18 tDS/d,进泥含水率为99%,深度脱水后泥饼含水率为50%。贮泥池有效水深为4.30 m,贮泥时间为1.8 h。共设置2台叠螺浓缩机,Q=150 m<sup>3</sup>/h,设计出泥含水率为94%。调理池设计泥有效水深为4.2 m,污泥调理时间为3.3 h。调理池投加石灰、PAC,其中石灰投加量为0.1 t/tDS,PAC投加量为0.05 t/tDS。板框压滤机2台,单台处理能力为9 tDS/d。

## 4.3 生物除臭

全厂采用全密封生物除臭,共设3套除臭装置,分别为预处理区1#除臭系统,设计风量为80 000 m<sup>3</sup>/h;生化区2#除臭系统,设计风量为80 000 m<sup>3</sup>/h;污泥区3#除臭系统,设计风量为80 000 m<sup>3</sup>/h。臭气经处理后,排放至地面15 m以上。

## 4.4 通风设计

本项目池体部分为半地下式,四周为开敞布置,可实现自然通风。建(构)筑物鼓风机房、加药间、配电间、仪表小屋、附属机修仓库及综合楼化验室等功能用房或辅助生产设施在布置窗自然通风的同时,布置侧墙式轴流风机进行机械通风,1 h换气8~10次。其中需散热量较大或功率较大的鼓风机房、配电间等采用12次/h换气次数。

## 5 设计特色

① 厂区整体加盖作为市政公园,上盖覆土厚度约为1.5 m。上盖结构采用钢筋混凝土框架结构,其柱网的布置既不能影响下部污水处理构筑物正常使用,又能满足上盖结构体系的经济性和安全性的要求。综合传统地面式污水厂及全地下式污水厂的优点,环境优美,运行管理方便。

② 工程整体用地仅为  $3.74 \text{ hm}^2$ , 吨水占地  $0.31 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , 采用组合式污水处理工艺, 水处理构筑物组合成一体, 采用渠道配水, 水头损失小, 厂区生产管线少, 节约了投资及运营成本。

③ 采用了进口高效节能型水泵及风机、好氧段精确曝气、大叶轮水下推进器代替潜水搅拌器等多项节能措施, 单位电耗为  $0.27 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ , 国内同行平均能耗指标为  $0.28 \sim 0.32 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ 。

④ 本项目脱水设备的冲洗水、厂区绿化用水、冲洗道路用水、生物除臭喷淋等用水均采用厂区处理后的尾水, 单位水耗仅为  $0.00007 \text{ m}^3/\text{m}^3$ , 处于节水领先水平。

## 6 运行效果及成本分析

### 6.1 运行效果

二期工程自调试运行以来出水水质稳定, 全面优于目标要求。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

| 项 目             | BOD <sub>5</sub> | COD    | SS  | TN    | NH <sub>3</sub> -N | TP   |
|-----------------|------------------|--------|-----|-------|--------------------|------|
| 90% 保证率<br>进水指标 | 209              | 545    | 690 | 39.3  | 27.9               | 8.71 |
| 平均进水指标          | 163              | 306.36 | 365 | 32.82 | 23.47              | 5.62 |
| 出水指标            | <6               | <30    | <5  | <10   | <1.5               | <0.3 |

### 6.2 成本分析

工程总投资为4.43亿元, 其中第一部分工程费用为3.81亿元, 工程建设成本为3692元/ $\text{m}^3$ 。污水处理经营成本为0.73元/ $\text{m}^3$ , 其中电费为0.27元/ $\text{m}^3$  (电耗为  $0.27 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ ), 药剂费为0.098元/ $\text{m}^3$ , 维修、人工以及其他成本为0.362元/ $\text{m}^3$ 。

## 7 问题与讨论

① MBR工艺具有占地省、出水水质好等优点, 但其运行成本比相同条件下常规处理工艺高。

② 膜污染速度与MBR膜池污泥浓度、曝气量、出水方式、清洗方式等密切相关, 经过一段时间的运行调试, MBR膜池污泥MLSS稳定在10g/L, 出水采用出9min、停1min的运行方式, 气水比为7:1, 运行稳定, 出水优良。

③ 本项目要求粪大肠菌群数 $\leq 1000$ 个/L, 消毒工艺采用紫外线消毒+次氯酸钠消毒工艺。实际运行结果表明, 由于MBR工艺出水水质优良, 不投加次氯酸钠仅采用紫外线消毒即可满足要求。

④ 运行以来, MBR膜池溶解氧浓度可以达到7~8mg/L, 出水NH<sub>3</sub>-N稳定在0.025mg/L以下, 对NH<sub>3</sub>-N的去除率高是该工艺的优势。

⑤ 出水TN约为9mg/L, 并随进水水质变化有所波动, MBR工艺好氧区污泥回流对缺氧段存在一定的冲击, TN指标的控制是该工艺的关键。

## 参考文献:

- [1] 戴仲怡, 李瑞成, 王建兴. 多段强化脱氮A<sup>2</sup>/O工艺用于大型半地下式污水处理厂[J]. 中国给水排水, 2017, 33(16): 75-78.  
Dai Zhongyi, Li Ruicheng, Wang Jianxing. Application of multi-stage A<sup>2</sup>/O process for enhanced nitrogen removal in large semi-underground wastewater treatment plant[J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(16): 75-78 (in Chinese).
- [2] 徐晓妮, 马小蕾, 吴亚萍, 等. A<sup>2</sup>/O与MBR工艺在同规模城镇污水厂中的设计与应用[J]. 中国给水排水, 2017, 33(24): 21-26.  
Xu Xiaoni, Ma Xiaolei, Wu Yaping, et al. Design and application of A<sup>2</sup>/O process and MBR process in the same scale wastewater treatment plants[J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(24): 21-26 (in Chinese).
- [3] Hao X D, Li J, van Loosdrecht M C M, et al. A sustainability-based evaluation of membrane bioreactors over conventional activated sludge processes[J]. J Environ Chem Eng, 2018, 6(2): 2597-2605.



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: 2019-05-05