

改良 AAO/MBR/RO 工艺用于半地下式污水厂工程设计

秦桂海

(烟台市城市排水管理处, 山东 烟台 264000)

摘要: 山东省某污水处理厂处理规模为 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 再生水产水规模为 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。设计采用半地下式的布置方式。污水处理采用节省占地的改良 AAO + MBR 工艺, 部分 MBR 出水经 RO 处理后回用。工程建成后出水水质良好。污水厂出水完全达到一级 A 排放标准, 再生水出水完全达到发电厂循环冷却用水要求。半地下式的设计高度集约、用地节省, 设计标高合理选取, 满足周边的环境要求。在地下污水厂的设计中应加强除湿设计, 并对 MBR 的全流程节能采取全方位的有效措施。

关键词: 地下式污水厂; AAO; MBR; 反渗透

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)12-0046-04

Project Design of Improved AAO/MBR/RO Process in Semi-underground Wastewater Treatment Plant

QIN Gui-hai

(Yantai City Urban Drainage Management Office, Yantai 264000, China)

Abstract: A wastewater and reclaimed water treatment plant in Shandong Province had a treatment capacity of $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ and a reclaimed water capacity of $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$. The plant adopted a semi-underground layout and the improved AAO + MBR process so as to save occupied area. Part of the MBR effluent was continually treated in the RO treatment stage for reuse purpose. After the completion of the project, the effluent quality was excellent. The WWTP effluent reached the first level Class A standard of GB 18918-2002, and the effluent of the reclaimed water met the requirement of circulating cooling water for the power plant. The semi-underground design had many advantages such as highly intensity, land saving, and reasonable selection of design elevation, meeting the surrounding environmental requirements. However, we should pay more attention to the dehumidification of underground wastewater treatment plants and take effective measures for energy conservation in the whole process of MBR.

Key words: underground wastewater treatment plant; AAO; MBR; RO

1 项目概况

山东省某污水处理厂位于美丽的海滨城市, 其一期工程处理规模为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 出水执行一级 B 排放标准。本项目二期工程污水处理设计规模为 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 再生水处理设计规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ (其中设备安装规模为 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)。出水需达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—

2002)中的一级 A 标准。处理后部分出水进入再生水工段处理回用, 另一部分通过排海管道进行深海排放。设计进、出水水质如表 1 所示。再生水进水为污水厂出水, 设计进水氯化物为 500 mg/L 、溶解性固体为 $2\,000 \text{ mg/L}$ 。出水执行《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T 18920—2002) 标准并满足发电厂循环冷却用水要求: 溶解性固体 $\leq 1\,000$

mg/L、氯化物 ≤ 250 mg/L。

表 1 设计进、出水水质

Tab. 1 Design influent and effluent quality

mg · L ⁻¹						
项目	BOD ₅	COD	SS	TN	氨氮	TP
进水	380	860	650	76	53	11
出水	10	50	10	15	5(8)	0.5

2 项目布置方式及工艺选择

2.1 项目布置方式

近年来,污水厂周边建设了大量的高档住宅,对污水厂的环境提出了更高的要求,且该区域的主要发展方向为依托海滨优势发展旅游度假产业,因此本项目确定采用半地下式,工程布置剖面如图 1 所示。

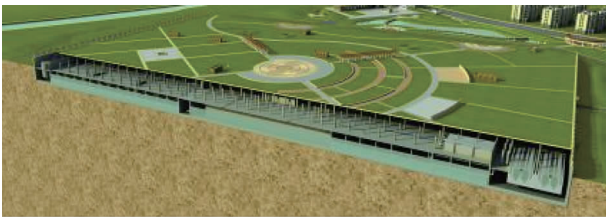


图 1 工程布置剖面图

Fig. 1 Project layout section

2.2 工艺流程的选择

2.2.1 工艺选择

① 生物处理工艺

因 MBR 工艺占地面积小且出水效果好,尤其是对 SS 等具有很好的去除效果,可缩短再生水处理工艺的工艺流程并从整体上降低工程费用^[1]。故该工

程主处理工艺采用 MBR 工艺。根据 MBR 的工艺特点,生物池的设计及回流采用 UCT 形式^[2,3]。

② 预处理工艺

由于污水处理厂进水中 SS 浓度较高,且具有较好的沉降性能,本项目 SS/BOD₅ 比值达到 1.71,如此高的悬浮物大量进入后续生物处理反应池,势必影响混合液悬浮固体(活性污泥)的活性,使所需的反应池容积增大。初沉池可除去废水中的可沉物和漂浮物。废水经初沉后,约可去除 50% 的可沉物、油脂和漂浮物及 20% ~ 50% 的 BOD₅,按去除单位质量 BOD₅ 或固体物计算,初沉池是经济上最为节省的净化步骤。故本项目预处理采用粗格栅/细格栅/曝气沉砂池/初沉池/膜格栅组合工艺。

③ 消毒、除臭、污泥处理工艺

考虑地下厂的运行方便灵活并减少占地,选择紫外线消毒工艺。

污水及污泥处理构筑物全部进行加盖密封并通过管道抽取臭气。除臭工艺采用除臭生物滤池和离子除臭相结合的方式。

污泥处理至 80% 含水率后外运处置。采用离心浓缩脱水工艺。

④ 再生水处理工艺

再生水处理主要考虑氯化物和溶解性固体的去除。选择反渗透工艺作为再生水主处理工艺。由于反渗透脱盐率较高,按照项目出水要求,可采用反渗透出水与污水处理厂出水掺混的形式。

2.2.2 工艺流程

工艺流程如图 2 所示。

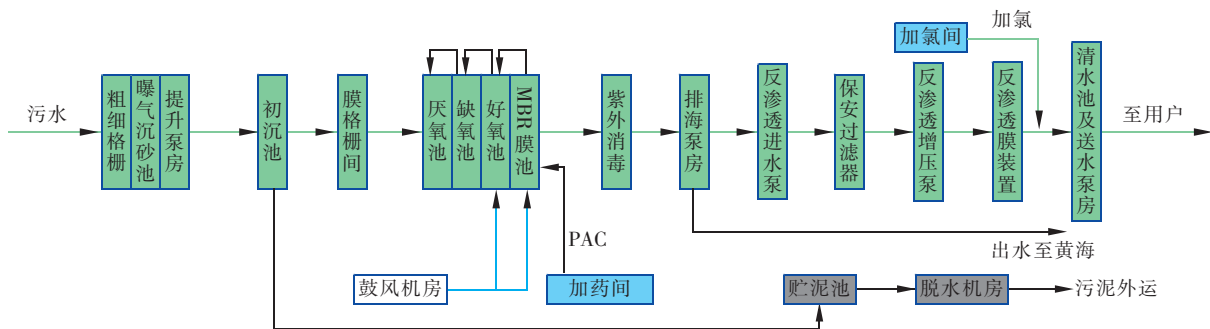


图 2 工艺流程

Fig. 2 Flow chart of wastewater treatment process

3 工程设计

3.1 主要处理单元设计参数

① MBR 系统。设计水温:最低 12 ℃,最高 25

℃;单池平面尺寸为 166 m × 47 m(包括厌氧段)。有效水深为 7 m,超高为 1.5 m;污泥负荷为 0.088 kgBOD₅/(kgMLSS · d),泥龄为 15 d(总泥龄);产泥

率为 $0.76 \text{ kgDS/kgBOD}_5$; 厌氧池设计停留时间为 1.435 h , 生物反应池停留时间为 13.75 h , 其中好氧池为 8.21 h , 缺氧池为 5.54 h , 膜分离区为 1.09 h 。设置可提升式大叶片潜水推进器 24 台, 单台功率为 5 kW ; 管式曝气器 9 000 套; 混合液内回流泵 22 台 (20 用 2 冷备), $Q = 2\,500 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 9 \text{ kPa}$, $N = 11 \text{ kW}$; MBR 膜组件 200 套, 过滤孔径为 $0.1 \mu\text{m}$, 单套流量为 $40.63 \text{ m}^3/\text{h}$; 出水离心泵 (变频) 22 台 (20 用 2 冷备), $Q = 450 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 120 \text{ kPa}$, $N = 30 \text{ kW}$; 混合液回流泵 10 台 (8 用 2 备), $Q = 2\,345 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 30 \text{ kPa}$, $N = 26.5 \text{ kW}$; 剩余污泥泵 4 台 (2 用 2 备), $Q = 50 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 150 \text{ kPa}$, $N = 5.5 \text{ kW}$ 。

② 紫外消毒系统。当水流达到峰值流量、紫外线透射率 $> 65\%$ 时, 所需紫外剂量为 $16 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ 。设置低压高输出汞合金灯 3 套, 单套功率为 40 kW 。

③ 污泥浓缩脱水机房。污泥干固体量为 $83\,672 \text{ kg}/\text{d}$ (最大日), 污泥含水率为 98.7% , 进泥量为 $6\,437 \text{ m}^3/\text{d}$, 出泥量为 $373 \text{ m}^3/\text{d}$, 出泥含水率为 79% 。离心浓缩脱水一体机 6 套 (5 用 1 备), $Q = 60 \text{ m}^3/\text{h}$, $N = 75 \text{ kW}$ 。

④ 再生水系统。总平均流量为 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, MBR 超滤出水量为 $17\,500 \text{ m}^3/\text{d}$; RO 反渗透出水量为 $22\,500 \text{ m}^3/\text{d}$, 两种出水进行混合。设置反渗透供水泵 6 套 (5 用 1 冷备, 变频), $Q = 300 \text{ m}^3/\text{h}$, 扬程为 300 kPa ; 设反渗透高压泵 5 台, 流量为 $300 \text{ m}^3/\text{h}$, 扬程为 1.3 MPa ; 设反渗透主机 5 套, 产水能力为 $230 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

3.2 半地下式布置设计

3.2.1 水力标高设计

全厂水力流程的设计综合考虑半地下式污水处理厂的特点和水泵的节能要求, 进水端按照进水水位和进水管道的实际情况确定设计标高, 出水端综合考虑排海和回用两种情况。

内部建(构)筑物的水面标高以生物池为基准, 由于地下式污水处理厂的土建费用所占比例较大, 且其特点为整个箱体地板为一个整体, 故优化设计箱体的高度确定整个箱体的埋地部分高度, 考虑到生物池是全厂体量最大的建筑物, 故采用生物池的水面标高作为控制点标高, 其余构筑物的标高根据水力条件计算求得。

箱体的标高设计应综合参考水力高程的需求、设备安装检修的需求和消防规范的相关要求。室外

地坪采用 3.00 m , 箱体操作层标高取 $1.50 \sim 1.90 \text{ m}$, 顶板标高取 7.20 m , 顶板覆土 $1 \sim 1.5 \text{ m}$ 。箱体底标高视不同构筑物处理单元而不同^[4]。生物处理段标高取 -7.00 m 。其竖向标高关系见图 3。

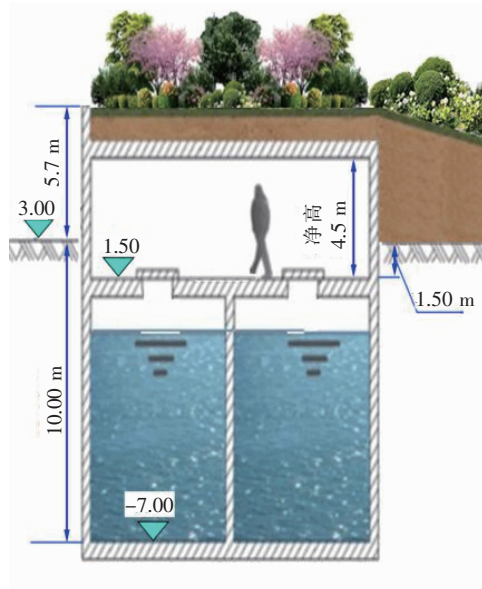


图3 工程竖向标高关系

Fig.3 Vertical elevation of project

3.2.2 箱体平面布置

本项目采用地下式的布置方式, 将所有建(构)筑物集成布置。项目平面布置能较好地满足周边的景观要求。箱体内部交通流畅, 运行方便。箱体内部实景图见图 4。



图4 箱体内部实景图

Fig.4 Picture in the box

箱体分为两层, 其中下层主要为水处理构筑物, 包含粗格栅及进水泵房、细格栅及曝气沉砂池、初沉池、生物池、MBR 膜池、再生水泵房、清水池、排海泵房等。此外, 底层处理单元之间设置管廊间, 各个构筑物的连接管道和放空溢流管道等均设置在管

廊间中。水处理构筑物顶部加盖形成上层,上层为箱体操作层。操作层主要为检修、巡视和操作空间。操作层内设置一条贯穿箱体的车道,车道可作为消防通道、加药运泥通道。同时,操作层内设置鼓风机房、加药间、配电室、除臭生物滤池、水源热泵等。

4 运行效果

本项目目前已稳定运行约 3 年,实际进水量约为 $12 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,各项指标均能很好地达到设计要求,具体出水指标如表 2 所示。

表 2 实际出水水质

Tab. 2 Actual effluent quality $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	BOD ₅	COD	SS	TN	氨氮	TP
数值	1.8 ~ 6.5	32 ~ 45	4 ~ 6	7.6 ~ 10.4	0.9 ~ 2.6	0.16 ~ 0.32

再生水已经实现稳定供水,日出水规模约 $(2.5 \sim 3) \times 10^4 \text{ m}^3$ 。出水 TDS 为 500 ~ 850 mg/L,氯化物为 150 ~ 220 mg/L,能很好地满足发电厂循环冷却水的供水要求。

5 项目主要特点及存在问题分析

项目设计采用半地下式的布置方式,兼顾了污水、再生水处理和景观的多方要求,实现了保护环境、资源利用和服务周边的多项功能。采用 MBR 主体工艺并将污水与再生水工艺充分结合,满足污水和再生水处理的水质要求且总体投资大大降低。

同时,项目在运行过程中也存在以下问题:

① 相对传统地上污水厂而言,地下污水厂通风、采光等方面耗能较大。

② 地下式污水厂设计过程中应更加重视湿度问题,由于污水温度较高,散发出来的水汽容易结露导致室内操作环境不佳。设计中应加强曝气部位的盖板密封,抑制水汽逸出,加强池体内通风量,保持微负压并在关键部位增加除湿措施等。

③ 地下式污水厂通风条件相对较差,设备腐蚀速度更快,设备的选择应加强其防腐性能。

④ MBR 工艺的运行能耗较高,工程中除了对膜擦洗的方式、频率及其他控制膜污染的措施进一步优化之外,还应应对 MBR 工艺前段的预处理方式、AAO 工艺单元的布置及回流方式、精确曝气等采取针对性措施,实现 MBR 全流程节能降耗。

参考文献:

[1] 陈莉,雷睿,刘洋,等. 反硝化深床滤池/电磁催化臭氧

氧化用于污水厂升级改造[J]. 中国给水排水,2016,32(20):44-47.

Chen Li, Lei Rui, Liu Yang, et al. Application of denitrification deep bed filter and electromagnetic catalytic ozonation to upgrading and reconstruction of wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(20):44-47 (in Chinese).

[2] 陈小燕. MBBR 及 A²O 五段法用于污水处理厂提标扩建[J]. 中国给水排水,2017,33(12):59-62.

Chen Xiaoyan. Application of MBBR and five-stage A²/O in the upgrading and reconstruction of urban wastewater treatment [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(12):59-62 (in Chinese).

[3] 杨宇星,吴迪,宋美芹,等. 新型 MBBR 用于类地表 IV 类水排放标准升级改造[J]. 中国给水排水,2017,33(14):93-98.

Yang Yuxing, Wu Di, Song Meiqin, et al. Application of new MBBR in WWTP upgrading to meet class IV surface water standard [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(14):93-98 (in Chinese).

[4] 刘世德,崔洪升,尹兴蕾,等. 全地下污水处理厂消防设计分析及建议[J]. 中国给水排水,2016,32(16):46-49.

Liu Shide, Cui Hongsheng, Yin Xinglei, et al. Analysis and suggestions for fire protection design of underground sewage treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(16):46-49 (in Chinese).



作者简介:秦桂海(1963-),男,山东烟台人,本科,高级工程师,主要从事水污染控制技术的应用、污水处理系统的运行及管理工作。

E-mail: ytwtp1963@163.com

收稿日期:2018-02-26