

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.12.018

青岛某全地下 MBR 污水处理厂的设计

孟涛, 于小强, 宋永健

(青岛市市政工程设计研究院有限责任公司, 山东 青岛 266000)

摘要: 青岛某全地下污水处理厂设计规模为 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 厂区占地为 1.31 hm^2 , 采用曝气除油沉砂池+精细格栅+生物池+MBR工艺。进水以生活污水为主, 设计出水水质同时满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准、《城市污水再生利用 景观环境用水水质》(GB/T 18921—2002)中的娱乐性景观环境用水标准、《青岛市环境保护局关于明确2015年省控河流断面水质改善目标的函》中相关要求。厂区用地面积较小且呈不规则状, 为保证生物池水力停留时间满足处理要求, 本次设计生物池有效水深为8.5 m。实际运行表明, 出水水质完全达到了设计目标, 其设计经验可供其他类似工程参考。

关键词: 全地下污水处理厂; MBR; 工艺设计

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)12-0096-05

Design of an Underground MBR Wastewater Treatment Plant in Qingdao

MENG Tao, YU Xiao-qiang, SONG Yong-jian

(Qingdao Municipal Engineering Design and Research Institute Co. Ltd., Qingdao 266000, China)

Abstract: The design scale of an underground MBR wastewater treatment plant in Qingdao was $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ with the area coverage of 1.31 hm^2 . The combination treatment process of aeration oil removal sedimentation tank + fine grille + biological treatment tank + MBR was adopted. Domestic sewage was the main part of influent. The design effluent quality was required to meet the relevant requirements of the first class A standard of *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918 - 2002), the recreational landscape environment water standard in the *Reuse of Urban Recycling Water—Water Quality Standard for Scenic Environment Use* (GB/T 18921 - 2002), and the *Letter of Qingdao Environmental Protection Bureau on Clarifying the Water Quality Improvement Target of Provincial River Section in 2015*. The land of the plant was small and irregular. In order to ensure the sufficient hydraulic retention time of the biological tank for the treatment requirements, the effective depth of the biological tank in this design was 8.5 m. The actual operation showed that the effluent quality had completely reached the design goal. Its design experience could be used as a reference for other similar projects.

Key words: underground wastewater treatment plant; MBR; process design

1 工程概况

随着青岛市经济迅速发展,产业布局调整,城市用地性质变化,区域内污水量快速增长,由此引起的流域内污水量增长超过了现有污水处理能力,不能满足青岛市的城市发展需求,故建设某污水处理厂以有效提高整个流域的污水处理能力,对改善水系生态具有重要意义。

该厂于 2016 年 10 月开始设计,2018 年 5 月投产运行。

2 设计水质及设计规模、工艺流程

2.1 设计水质及设计规模

青岛某全地下污水处理厂设计进水水量为 $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,变化系数为 1.41,进水中生活污水及工业废水各占 50%,设计水质结合指标法计算和实测水质分析而确定。

出水水质需同时满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准、《城市污水再生利用 景观环境用水水质》(GB/T 18921—2002)中的娱乐性景观环境用水标准、《青岛市环境保护局关于明确 2015 年省控河流断面水质改善目标的函》中相关要求。最终出水用于河道补水、中水回用等。

具体进、出水水质指标见表 1。

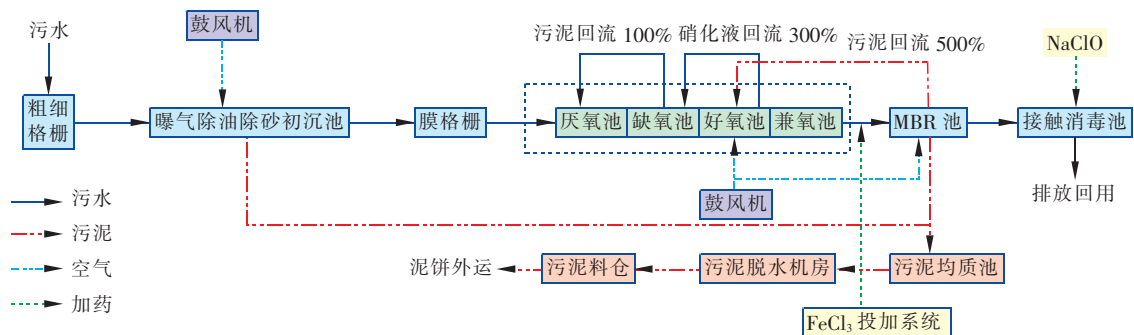


图 1 工艺流程

Fig. 1 Flow chart of wastewater treatment process

3 工程设计

3.1 总图布局

本工程位于现代商业休闲景群,周边规划有居住小区、商业区等,对景观要求较高,且周边用地紧张,因此本厂采用全地下建设形式。

地上区域除设置生产办公用房、35 kV 变电室、除臭高空排放塔以及消防疏散口以外,其余均设计为景观水系绿化。整个地下箱体占地面积为 9 050

表 1 设计进、出水水质

Tab. 1 Design influent and effluent quality

项目	BOD ₅	COD	SS	TN	NH ₃ -N	TP
进水	360	800	650	65	50	8
出水	6	40	10	15	2	0.5

mg · L⁻¹

2.2 工艺的选择

本厂因周边用地紧张,故采用全地下建设形式,结合其出水水质要求,工艺不仅需具有较好的脱氮能力,还要有一定的抗冲击能力。预处理工艺采用兼具沉砂、除油及沉淀功能的曝气除油除砂沉淀池代替传统的沉砂池与初沉池,节省占地面积^[1]。生物处理采用 MBR、MBBR、传统 A²O 工艺均能满足脱氮除磷要求,但相对而言,MBR 工艺对 COD、SS 及大肠杆菌等水质指标处理效果更优,更适用于周边中水回用的需求,且 MBR 工艺可实现水力停留时间与活性污泥泥龄的彻底分离,通过提高污泥浓度来提高污水厂的处理能力及抗冲击能力;考虑将来污水厂提标的可能性,生物池采用 AAO 工艺,设置第二段缺氧可通过投加外碳源来提高脱氮率,MBR 池作为第二段好氧区用于去除多余碳源,防止碳源穿透。综上,最终选择 AAO + MBR 处理工艺^[2]。

2.3 工艺流程

污水厂工艺流程如图 1 所示。

m²,高度为 15.7 ~ 17.2 m。设计为两层,地下一层主要为运行操作区域,地下二层主要为水池以及管廊。目前为青岛市埋深最深的污水处理厂。

由于建设用地不规则,因此地下箱体平面近似三角形,为合理进行平面布置,本次设计中将占地面积较小的粗细格栅构筑物置于箱体的北侧区域,核心处理工艺生物池及 MBR 池因占地面积较大,要求用地规则,因此布置在箱体南侧区域。考虑到污水

厂运行产生的污泥、栅渣、砂的运输问题及大型设备的检修问题,格栅渠、沉砂池、脱水机房、鼓风机房等构筑物尽可能靠近运输通道布置,通道宽7 m,满足车辆双向通行。

地下区域具体布置见图2。

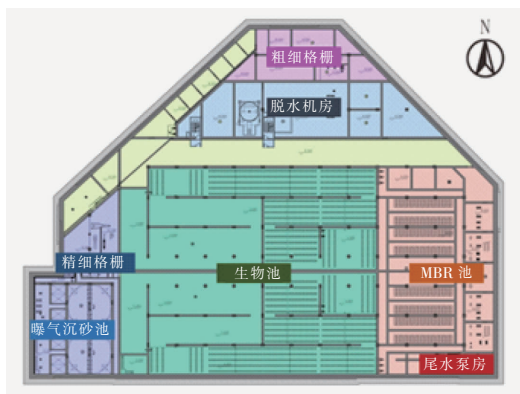


图2 工艺布置

Fig. 2 Layout of wastewater treatment process

3.2 竖向设计

由于厂区面积较小,且用地呈不规则状,为保证生物池水力停留时间满足处理要求,本次设计生物池有效水深为8.5 m。地下一层设备区消防管、风管、除臭管等管线布置较为复杂,为满足设备布置及工作人员通行,也对净空的设计提出了要求。正是因为这些条件的限制,导致污水厂埋深较深。

全厂采用整体设计,各主要构筑物之间采用渠道连接,不仅降低了管道、阀门投资,而且有效减少了水头损失^[3]。水力高程上充分利用原水水头,不需设置中间提升泵房,降低了运行费用。

厂区也存在地坪南北高差较大的问题,北侧地面标高较高南侧高2.6 m。针对该地势特点,设计中将负一层净高要求较高的格栅、脱水机房区域布置在地形标高较高的区域,从而减少地下箱体顶板覆土厚度。污水厂箱体顶板覆土1.5~2 m,地下一层净空为4~5.6 m,满足设备维护高度要求。具体竖向布置如图3所示。

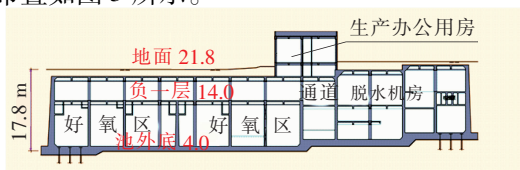


图3 竖向布置

Fig. 3 Vertical layout of wastewater treatment plant

3.3 工艺设计

① 预处理区

自动回转式粗格栅2台, $B=1\,000\text{ mm}$, $b=20\text{ mm}$ 。内进流网板细格栅2台, $B=1\,500\text{ mm}$, $b=6\text{ mm}$ 。刮泥机2套, $D=11.5\text{ m}$ 。精细格栅3台, $B=1\,500\text{ mm}$, $b=1\text{ mm}$ 。螺旋渣水分离器, $Q=70\text{ m}^3/\text{h}$;砂水分离器, $Q=97\sim126\text{ m}^3/\text{h}$ 。

② 生物池

生物池分两组,单组尺寸为 $68.4\text{ m}\times26.7\text{ m}$,有效水深为8.5 m。总停留时间为17.2 h,其中厌氧区1.5 h、缺氧区5.8 h、前兼氧区1.1 h、好氧区7.2 h、后兼氧区1.6 h。生物池溶解氧浓度为2 mg/L。混合液回流比膜池→好氧区为500%,好氧区→缺氧区为300%,缺氧区→厌氧区为100%。生物池设计总泥龄为21 d,好氧池、后置缺氧段设计污泥浓度为6 670 mg/L,缺氧池设计污泥浓度为5 000 mg/L,厌氧池设计污泥浓度为2 500 mg/L,总污泥负荷为 $0.059\text{ kgBOD}_5/(\text{kgSS}\cdot\text{d})$ 。池内配置立式涡轮搅拌器16台,内回流泵(缺氧区至厌氧区)3台, $Q=834\text{ m}^3/\text{h}$, $H=10\text{ kPa}$, $N=6.0\text{ kW}$;内回流泵(好氧区至缺氧区)5台, $Q=1\,250\text{ m}^3/\text{h}$, $H=10\text{ kPa}$, $N=8.0\text{ kW}$;内回流泵(膜池至好氧区)7台, $Q=1\,389\text{ m}^3/\text{h}$, $H=18\text{ kPa}$, $N=20\text{ kW}$;板式曝气器2 032套,单个气量为 $(10\pm4)\text{ m}^3/\text{h}$ 。

③ 膜池

膜池分为10个廊道,预留2个廊道,单个廊道尺寸为 $17.5\text{ m}\times2.95\text{ m}$ 。MBR膜组件88套,单个组件平均通量 $\leq15.9\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ^[4],总膜面积 $\geq105\,000\text{ m}^2$,PVDF材质。每个膜组件配套产水管快速接头、吹扫管快速接头及大气泡吹扫系统。膜池设计污泥浓度为6 000~8 000 mg/L,混合液回流比为300%~500%。产水泵9台(全变频,8用1备), $Q=330\text{ m}^3/\text{h}$, $H=100\text{ kPa}$, $N=15\text{ kW}$;循环泵2台(1用1备), $Q=50\text{ m}^3/\text{h}$, $H=220\text{ kPa}$, $N=5.5\text{ kW}$;膜池排空泵3台(2用1备), $Q=500\text{ m}^3/\text{h}$, $H=90\text{ kPa}$, $N=18.5\text{ kW}$ 。剩余污泥泵2台, $Q=80\text{ m}^3/\text{h}$, $H=150\text{ kPa}$, $N=7.5\text{ kW}$ 。

④ 加药系统

NaClO 、 FeCl_3 、乙酸钠、柠檬酸加药系统各一套,主要用于膜清洗。

⑤ 紫外消毒区域

区域平面尺寸为 $11.18\text{ m}\times1.42\text{ m}$ 。紫外消毒

设备1套,紫外穿透率 $\geq 70\%$,紫外剂量为 25 mJ/cm^2 。

⑥ 鼓风机房

鼓风机房平面尺寸为 $27.5 \text{ m} \times 12 \text{ m}$,曝气单级离心鼓风机3台(2用1备), $Q=111 \text{ m}^3/\text{min}$, $H=97 \text{ kPa}$, $N=220 \text{ kW}$;膜吹扫单级离心鼓风机3台(2用1备), $Q=110 \text{ m}^3/\text{min}$, $H=37 \text{ kPa}$, $N=110 \text{ kW}$ 。

⑦ 脱水机房

脱水机房平面为不规则形状,面积为 582.5 m^2 。污泥离心脱水机3台(2用1备), $Q=35 \text{ m}^3/\text{h}$, $N=44.5 \text{ kW}$ 。污泥进料泵3台(2用1备), $Q=45 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=300 \text{ kPa}$, $N=7.5 \text{ kW}$;泥饼输送泵3台(2用1备), $Q=5 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=2.4 \text{ MPa}$, $N=18.5 \text{ kW}$;污泥切割机3台(2用1备), $Q=45 \text{ m}^3/\text{h}$, $N=3.0 \text{ kW}$ 。

3.4 污泥处置

设置污泥均质池1座,内设搅拌器,可对污泥进行简易重力浓缩,池体上部设置上清液溢流,有利于减少污泥含水率和污泥体积,降低脱水处置负荷。

3.5 结构设计

污水厂具有平面不规则、竖向不规则、抗浮水位高、超长不设缝、顶板开洞多等特点,设计难度相对较大。通过大量的受力分析,又对箱体总体进行温度效应有限元分析,最终确定本项目结构设计方案。

污水厂东西长为 124.2 m ,南北宽为 93.7 m ,占地为 9069 m^2 。箱体为两层,局部三层,总高为 16.5 m ,局部为 17.2 m 。负一层层高为 $5.3 \sim 7.7 \text{ m}$,负二层层高为 $6 \sim 10 \text{ m}$ 。顶板覆土约 2.0 m ,并考虑消防车荷载。

外池壁为变截面(顶部 0.7 m ,底部 1.2 m),以顶板和中板为水平支撑。底板厚度为 1.5 m ,顶板厚度为 0.30 m ,中间板厚度为 $0.25 \text{ m}/0.3 \text{ m}$,框架柱柱距为 $7.2 \sim 9.0 \text{ m}$,框架柱截面尺寸为 $0.75 \text{ m} \times 0.75 \text{ m}$ (生物池内采用 $0.6 \text{ m} \times 0.9 \text{ m}$ 矩形柱及 $\varnothing 900 \text{ mm}$ 圆柱)。负一层为框架结构,顶板梁为 $500 \text{ mm} \times 1300 \text{ mm}$,次梁为 $400 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm}$;负二层以框架结构为主,部分内池壁兼作剪力墙,中板框架梁为 $300 \text{ mm} \times 950 \text{ mm}$,次梁为 $300 \text{ mm} \times 800 \text{ mm}$ 。

污水厂主体结构采用C35防水混凝土,抗渗等级P8,混凝土用普通硅酸盐水泥,浇筑耐久性高的防水混凝土。严格把控混凝土的入模坍落度和入模温度,减少温差收缩和干缩带来的不良影响。

3.6 通风及除臭设计

该厂北侧为规划居住用地,东西两侧规划为商业用地,因而对环境的要求相对较高。该厂臭气主要来源于预处理区域、生物池及脱水机房,采用生物除臭、离子除臭、全过程除臭相结合的除臭方式。

格栅区设生物洗涤过滤除臭装置1套,尺寸为 $3 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 3.3 \text{ m}$,处理风量为 $1500 \text{ m}^3/\text{h}$;离子除臭装置1套,尺寸为 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 2 \text{ m}$,处理风量为 $1500 \text{ m}^3/\text{h}$ 。脱水机房设生物洗涤过滤除臭设备1套,尺寸为 $3.5 \text{ m} \times 6.6 \text{ m} \times 3.3 \text{ m}$,处理风量为 $7100 \text{ m}^3/\text{h}$;离子除臭装置1套,尺寸为 $4 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$,处理风量为 $7100 \text{ m}^3/\text{h}$ 。曝气除油除砂沉淀池设离子除臭装置1套,尺寸为 $2 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$,处理风量为 $3100 \text{ m}^3/\text{h}$ 。生物池设离子除臭装置1套,尺寸为 $5 \text{ m} \times 3.5 \text{ m} \times 2 \text{ m}$,处理风量为 $14000 \text{ m}^3/\text{h}$ 。MBR池设离子除臭装置1套,尺寸为 $5 \text{ m} \times 3.5 \text{ m} \times 2 \text{ m}$,处理风量为 $23000 \text{ m}^3/\text{h}$ 。同时在生物池中设置微生物反应器12座,实现全过程除臭。该污水厂对曝气除油除砂沉淀池、膜池、格栅进行加盖处理,以防止污水处理中出现臭气外逸。

为保证通风系统安全可靠,本工程采用机械送风、机械排风的全面通风设计方案。地下一层四个防火分区均无自然送风条件,采用机械送补风。地下二层廊道,因条件相对恶劣,有毒有害污浊气体浓度较高,为保证正常巡检及维修人员的生命安全,采用机械送风方式^[5]。

厂界地下一层防火分区一、二、三分别设置两个排风、排烟竖井,地下一层防火分区四、地下二层廊道分别设置一个排风、排烟竖井。每个排风排烟竖井的有效百叶排风面积应不小于 60 m^2 ,排风排烟口外形尺寸决定于相邻的楼梯间、生产办公用房等建筑,并与其有机结合。

3.7 消防设计

厂内地上及地下道路连通,采用环形布置,确保消防通道通畅,厂内主干道宽为 7 m ,道路净空高度 $\geq 5.0 \text{ m}$,厂区道路呈环形布置,满足消防车对道路的要求。

污水厂地下箱体负一层分为四个防火分区,面积分别为 1536.89 、 1512.53 、 1928.83 、 1435.47 m^2 ,在地下厂区单个防火分区设置不少于2个安全出入口,可以使用防火墙上通向相邻防火分区的甲级防火门作为第二安全出口,但各个防火分区都设

有一个可直达室外的安全出口。

4 运行效果

该污水厂目前已经运行 10 个月,实际平均进水量为 $3.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,夏季基本满负荷运行,出水水质优于设计标准,达到类Ⅳ类标准,具体进水、出水平均值指标见表 2。 BOD_5 、 COD 、 SS 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 TN 、 TP 削减排放量分别为 1 855、4 405、3 653、187.8、310.4、65.4 t/a,污水厂尾水用于河道补水,对提高区域内水环境质量、保护城市人居环境具有重要作用。随着流域内的建设开发不断完善,进水中的污染物浓度有增长趋势,后续污水厂处理效果需继续关注。

表 2 实际运行进、出水水质

Tab. 2 Actual influent and effluent quality

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$						
项目	BOD_5	COD	SS	TN	$\text{NH}_3 - \text{N}$	TP
进水	210	550	500	51	23	9
出水	2.5	19.0	2.5	10	0.5	0.15

该工程总投资为 33 002 万元,经营成本为 2.16 元/ m^3 ,总成本为 3.73 元/ m^3 。

5 结论

① 该污水处理厂采用 AAOA + MBR 工艺,出水水质达到类Ⅳ类标准,处理效果较好。污水厂尾水用于河道补水,对提高区域内水环境质量、保护城市人居环境具有重要作用。

② 污水厂采用全地下的建设形式,用地指标仅为 $0.33 \text{ m}^2/\text{m}^3$,可以有效节约土地资源,充分利用了城市空间,同时可以更好地解决臭气、噪声等带来的二次污染。

参考文献:

- [1] 邓仁健,张金松,吕伟,等. 曝气沉砂除油池对污水厂脱氮除磷的影响[J]. 哈尔滨工业大学学报,2014,46(2):49-54.
Deng Renjian, Zhang Jinsong, Lü Wei, et al. The effect of aerated grit and degreasing tank on full-scale WWTP nutrient and phosphorous removal performance [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2014, 46(2): 49-54 (in Chinese).
- [2] 邱维. 昆明市第九、第十地下污水处理厂设计实例分

析[J]. 中国给水排水,2017,33(10):22-27.

Qiu Wei. Design principle of the ninth and the tenth underground wastewater treatment plants in Kunming City [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(10): 22-27 (in Chinese).

- [3] 刘绪为,徐洁,林蔓,等. 正定新区全地下污水处理厂工程设计[J]. 中国给水排水,2017,33(4):48-50.
Liu Xuwei, Xu Jie, Lin Man, et al. Design of underground sewage treatment plant in Zhengding new district [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(4): 48-50 (in Chinese).
- [4] 刘绪为,尤颖,王利剑,等. MBR 工艺应用于全地下污水处理厂的设计特点[J]. 中国给水排水,2015,31(2):62-65.
Liu Xuwei, You Ying, Wang Lijian, et al. Design characteristics of underground sewage treatment plant with MBR process [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(2): 62-65 (in Chinese).
- [5] 马刚,张琦,张飞. 大型埋地式地表水类Ⅳ类出水标准污水厂工艺设计[J]. 中国给水排水,2018,34(8):45-50.
Ma Gang, Zhang Qi, Zhang Fei. Design of large-scale underground wastewater treatment plant with effluent standard as surface water class IV [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(8): 45-50 (in Chinese).



作者简介:孟涛(1981-),男,山东泗水人,本科,高级工程师,分院总工,主要从事市政管线及给排水设计工作,曾获国家、省、市设计及咨询优秀奖。

E-mail: qdmengtao@163.com

收稿日期:2019-08-29