

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.22.010

# 济南华山全地下水水质净化厂 AAO + MBR 工艺设计

杨曦凯<sup>1</sup>, 田海成<sup>1</sup>, 王冠<sup>1</sup>, 张元元<sup>1</sup>, 张秀红<sup>2</sup>

(1. 济南市市政工程设计研究院<集团>有限责任公司, 山东 济南 250003; 2. 济南市生态环境分局 商河分局, 山东 济南 251600)

**摘要:** 华山水质净化厂为济南市首座全地下污水处理厂,该厂位于华山湖景区内,面积 1.96 hm<sup>2</sup>,设计处理规模 3 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,总投资 1.76 亿元。污水、污泥处理单元以及加药间、鼓风机房等附属单元合建于地下箱体内,箱体分为负一检修层和负二池体层,顶部为景观绿化层。污水采用预处理 + AAO + MBR + 紫外线消毒处理工艺,出水 COD、BOD<sub>5</sub>、NH<sub>3</sub>-N、TP 满足《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) IV 类水质标准,其余指标满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 A 标准,出水作为景观用水回补景区湖水。

**关键词:** 全地下污水处理厂; AAO 工艺; MBR 工艺

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)22-0059-04

## Design of AAO and MBR Process of Huashan Underground Wastewater Purification Plant in Jinan

YANG Xi-kai<sup>1</sup>, TIAN Hai-cheng<sup>1</sup>, WANG Guan<sup>1</sup>, ZHANG Yuan-yuan<sup>1</sup>, ZHANG Xiu-hong<sup>2</sup>

(1. Jinan Municipal Engineering Design & Research Institute <Group> Co. Ltd., Jinan 250003, China;  
2. Shanghe Branch, Jinan Municipal Bureau of Ecology and Environment, Jinan 251600, China)

**Abstract:** Huashan Wastewater Purification Plant is the first underground wastewater treatment plant in Jinan. The plant is located in Huashan Lake scenic area with a footprint area of 1.96 hm<sup>2</sup>. The designed treatment capacity was 3 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d, and the total investment was 176 million yuan. Sewage and sludge treatment unit, dosing room, blower room and other auxiliary units are built in the underground box. The underground box is divided into two layers, namely the first floor underground (maintenance layer) and the second floor underground (structure layer). The ground area is planned to be a green landscape. The treatment process consists of pre-treatment, AAO, MBR and UV disinfection. The COD, BOD<sub>5</sub>, NH<sub>3</sub>-N and TP in the effluent meet the class IV criteria specified in *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838 - 2002), and other indices meet the first level A criteria specified in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918 - 2002). The effluent is discharged as landscape water to supplement the lake water in the scenic area.

**Key words:** underground wastewater treatment plant; AAO process; MBR process

### 1 工程概况

济南市华山水质净化厂位于华山湖景区内,占地面积 1.96 hm<sup>2</sup>;设计规模为 3 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,服务人口 15 万人。水质净化厂毗邻卧牛山地质公园、华山湖和小清河沿岸公园,为减少常规建设形式对周边

景观环境的影响,结合国内外污水处理厂工程案例<sup>[1]</sup>,本工程采用全地下式双层加盖布局,污水、污泥处理单元设置于地下箱体内,地上进行景观绿化,是济南市首座全地下污水处理厂。出水 COD、BOD<sub>5</sub>、NH<sub>3</sub>-N、TP 需满足《地表水环境质量标准》

(GB 3838—2002) IV 类水质标准要求,其他指标执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准,出水作为小清河或华山湖景观补水。污泥处理采用离心脱水机,出泥含水率 ≤ 80%。设计进、出水水质见表 1。污水处理采用 AAO + MBR 工艺<sup>[2-3]</sup>,工艺流程见图 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	220	450	300	80	70	7
出水	6	30	10	15	1.5	0.3

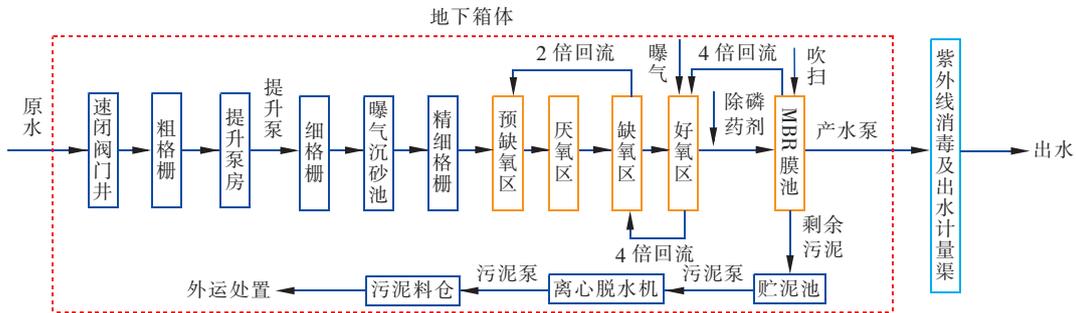


图 1 污水处理工艺流程

Fig. 1 Flow chart of wastewater treatment process

## 2 厂区平面及地下箱体布置

### 2.1 厂区平面

按照合理用地、人流物流避免交叉、厂区绿化与城市景观环境相协调的原则,将厂区分为办公区及生产区。办公区位于厂区西北侧,包括管理用房、变配电室以及消防泵房。生产区位于厂区东南侧,包括地下箱体、紫外线消毒及出水计量渠,地下箱体沿市政道路布置,地上为景观绿化,覆土厚度为 1.50 m,满足地面景观水系及乔木种植要求。污水厂总平面布置见图 2。

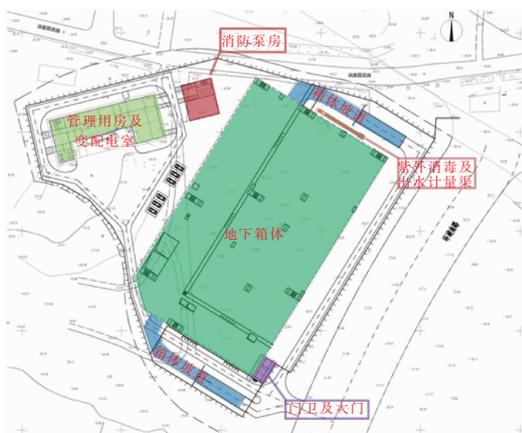


图 2 污水厂平面布置

Fig. 2 Plane layout of the WWTP

### 2.2 地下箱体布置

污水、污泥处理单元以及辅助生产单元全部合建于地下箱体内。箱体尺寸为 129.25 m × 77.20

m,最大埋深约 14.5 m。地下箱体车行道南侧主要为污水处理单元,包括预处理、AAO 生物反应池、MBR 膜池以及设备间,地下两层布置,负一层为检修层,负二层为池体层。车行道北侧为污泥处理及辅助生产单元,包括机修间、污泥脱水间及料仓间、鼓风机房以及加药间,布置于地下一层。车行道下部空间为管廊。地下箱体布置见图 3。

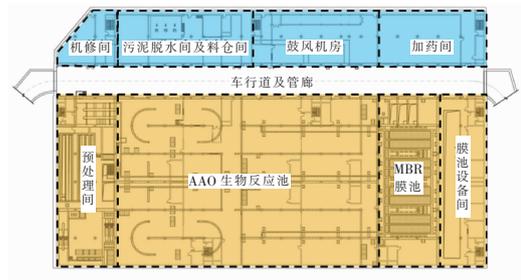


图 3 地下箱体布置

Fig. 3 Layout of the underground box

## 3 主要构筑物及设计参数

### 3.1 预处理间

预处理间包括速闭阀门井、粗格栅、进水泵房、细格栅、曝气沉砂池及精细格栅。

速闭阀门井内设 1 台液动速闭偏心半球阀和 1 台电动偏心半球阀;粗格栅渠 2 条,单渠宽 1 m;提升泵房设 4 台潜水泵(3 用 1 备);细格栅渠 2 条,单渠宽 1.2 m;曝气沉砂池长 20 m,共 2 格,单格宽度 2 m,有效水深 2 m,总停留时间 5.4 min;精细格栅渠

3 条,单渠宽 1.6 m,其中一条为旁通渠,采用内进流式孔板格栅,孔径 1 mm。

### 3.2 AAO 生物反应池

AAO 生物反应池 2 组,6 个廊道,总平面尺寸为 78.40 m × 50.20 m,有效水深为 6 m。预缺氧区、厌氧区、缺氧区、好氧区停留时间分别为 0.55、1.26、5.74、8.00 h,设计污泥龄为 15.00 d,污泥负荷为 0.1 kgBOD<sub>5</sub>/(kgMLSS · d),最大气水比为 7.8 : 1。混合液平均浓度为 6 g/L,采用三级回流,回流比分别为 400%、400%、200%。

### 3.3 MBR 膜池及设备间

MBR 膜池 8 格,单格平面尺寸 13.80 m × 2.40 m,有效水深 2.70 m,共设计 64 套中空纤维帘式膜组器,设计通量 16.3 L/(m<sup>2</sup> · h),峰值通量 20 L/(m<sup>2</sup> · h)。膜池污泥浓度为 8 ~ 10 g/L,膜系统吹扫气量为 9 600 m<sup>3</sup>/h。

### 3.4 污泥脱水及料仓间

设计干污泥量为 6 tDS/d。污泥脱水间平面尺寸 21.76 m × 15.12 m,内设 1 座污泥贮池;脱水机采用 2 台卧式螺旋离心机。料仓间设 1 台污泥料仓,容积为 30 m<sup>3</sup>。

### 3.5 鼓风机房

鼓风机房平面尺寸为 31.63 m × 15.12 m,设进风塔和风廊。配 7 台空气悬浮鼓风机,4 台 AAO 生物反应池曝气风机(3 用 1 备),3 台 MBR 膜池风机(2 用 1 备)。

### 3.6 加药间

加药间平面尺寸为 24.75 m × 15.12 m。混凝剂采用聚合氯化铝(PAC),投加量 30 mg/L;碳源采用乙酸钠,投加量 30 mg/L;MBR 化学清洗加药系统包括柠檬酸、次氯酸钠以及氢氧化钠加药系统。

### 3.7 紫外线消毒及出水计量渠

紫外线消毒及出水计量渠位于地下箱体东侧,平面尺寸为 1.25 m × 26.80 m。

## 4 主要经济指标及运行效果

工程总投资 1.76 亿元,其中建安费 1.52 亿元,单位总运行成本为 2.01 元/m<sup>3</sup>,单位经营成本为 1.42 元/m<sup>3</sup>。厂区单位水量占地指标为 0.65 m<sup>2</sup>/(m<sup>3</sup> · d<sup>-1</sup>)。工程于 2018 年投入运行,目前已满负荷运行,出水水质稳定达到设计要求,电耗为 0.55 kW · h/m<sup>3</sup>。2020 年 1 月—12 月实际进、出水水质平均值见表 2。

表 2 实际进、出水水质平均值

Tab. 2 Actual average 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	111.43	343.17	412.33	56.87	42.39	5.57
出水	2.14	12.26	4.17	10.64	0.18	0.13

## 5 工程特点

### ① 地下箱体组团式、集成化设计

根据各处理构筑物平面尺寸、竖向深度、设备安装等要求,按照平面组团、竖向叠加的原则,将地下箱体划分为预处理区、生化反应区、膜区、污泥处理区、辅助生产区等多个功能分区。处理构筑物在平面上共壁合建,采用洞口、渠道连接;在不同的标高垂直布置,充分利用竖向空间,如检修层设置除臭设备、监测间、控制室;膜池下部空间用作反冲洗废水池;精细格栅下部空间用作排涝泵房;生化池和膜池超高空间设置管沟。通过组团式、集成化设计,地下箱体分区明确、结构紧凑、空间利用率高、占地少、工程量和能耗少。

### ② 处理工艺先进

AAO + MBR 组合工艺流程短、容积负荷高、耐冲击负荷、有机物去除及脱氮除磷效果好、占地面积小、污泥龄长、产泥量少、自动化控制水平高。

### ③ 地下箱体安全设计可靠

本工程在地下箱体防水淹、消防、通风除臭等方面做了针对性设计,安全可靠。

#### a. 防水淹

地下污水厂水淹风险体现在:雨洪进入地下箱体引发水淹风险;污水厂发生停电、设备故障而停运,未及时切断进水导致箱体内污水外溢引发水淹风险。本工程做了针对性设计:厂区地坪高于市政道路和排放水体防洪水位 0.5 ~ 2 m;地下箱体坡道外端设置挡水坎、防水反坡及雨水沟;坡道底端和车行道一侧设雨水沟,由地漏和排水管接入排涝泵房,提升外排进入箱体的雨水;地下箱体总进水前端设置速闭阀门井,污水厂发生停运时,可迅速切断市政进水;华山片区污水系统与相邻污水系统设有连通管道,确保片区超量污水外排处理。

#### b. 消防设计

厂区单独建设消防泵房,设市政给水和厂区处理尾水两路消防水源,满足消防要求。地下箱体火灾危险等级为戊类,耐火等级为 2 级,设消火栓及喷

淋系统,共划分为7个消防分区,单个分区面积不超2 000 m<sup>2</sup>;共设8个消防楼梯间,每个分区至少有一个直通室外的消防楼梯间。地下箱体单层层高大于6 m,每个防火分区不再划分防烟分区,设置机械排烟系统,机械排烟量按60 m<sup>3</sup>/(h·m<sup>2</sup>)计算,补风量不小于排烟量的50%。厂区管理用房内设消防控制室,实现对火灾自动报警及消防联动、消火栓灭火、防排烟、正压送风、防火卷帘、火灾应急广播通信、火灾应急照明疏散指示等的管理、监测及控制。

#### c. 通风除臭设计

地下箱体内采用自然通风及机械通风相结合的方式,按照消防分区共设7个通风系统,通风量按不低于6次/h计算;分别设送风和排风系统,排风与火灾排烟共用一套系统。除臭采用“活性炭+土壤生物滤池”综合除臭法<sup>[4]</sup>,共设预处理、AAO反应池、MBR膜池以及污泥脱水间4套除臭系统,除臭风量分别为8 000、20 000、17 000、11 000 m<sup>3</sup>/h。臭气经管道收集通过活性炭装置,再由除臭风机抽送至地面土壤生物滤池,土壤及填料中的微生物将其降解后自然散逸至大气中。土壤滤池与地下箱体顶部景观绿化有机结合,不会对景观产生不利影响。

#### ④ 厂区与周边景观和谐统一

污水厂位于华山湖风景区内,整个厂区绿化景观重点突出自然生态,结合厂区出水,通过水池、景亭、水系、汀步等一系列景观元素,营造自然生态景观。管理用房、门卫室、消防泵房等地上建筑为单层灰瓦白墙仿古建筑,与自然景观有机融合。厂区实景鸟瞰见图4。



图4 厂区鸟瞰图

Fig. 4 Aerial view of the plant

## 6 结语

济南市华山片区水质净化厂设计为地下污水处理厂,厂区景观与风景区和谐统一。污水处理采用AAO+MBR处理工艺,出水水质达到设计标准,作为景观补水进行回用,具有显著的环境、经济和社会效益。

## 参考文献:

- [1] 邱维. 我国地下污水处理厂建设现状及展望[J]. 中国给水排水,2017,33(6):18-26.  
QIU Wei. The current status and prospect of underground wastewater treatment plant in China[J]. China Water & Wastewater,2017,33(6):18-26(in Chinese).
- [2] 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).
- [3] 隋军,李捷,马振强,等. AAO/MBR工艺处理城市污水的试验研究[J]. 中国给水排水,2012,28(15):21-23,27.  
SUI Jun, LI Jie, MA Zhenqiang, et al. Anaerobic-anoxic-anoxic and MBR process for treatment of municipal wastewater[J]. China Water & Wastewater,2012,28(15):21-23,27(in Chinese).
- [4] 阮辰辰,马艳. 张家港市金港地下污水处理厂运行情况评估与经验分析[J]. 净水技术,2018,37(1):10-13.  
RUAN Chenchen, MA Yan. Operation evaluation and experience analysis of Jingang underground wastewater treatment plant in Zhangjiagang City [J]. Water Purification Technology, 2018, 37(1):10-13(in Chinese).

作者简介:杨曦凯(1986-),男,山东济南人,硕士,工程师,主要从事水处理研究和工程设计工作,曾获山东省优秀工程勘察设计一等奖2项、二等奖1项,济南市优秀工程勘察设计一等奖1项、二等奖1项。

E-mail:shj1syxk@jnszy.com

收稿日期:2020-05-26

修回日期:2021-02-28

(编辑:孔红春)