

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.08.010

江西省首座花园式全地下水质净化厂工程设计

卫佳, 方帅, 许怀奥, 孙未, 邱栋, 王阳
(中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300381)

摘要: 在长江大保护的背景下,江西省九江市两河全地下水质净化厂应运而生。作为江西省首座花园式概念全地下污水处理设施,设计规模 $3\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,负责收集处理九江市濂溪区约 10 km^2 范围内的生活生产污水,出水水质需达到地表水Ⅳ类标准,尾水最终排入长江。该净化厂污水处理构筑物均位于地下,地上设计运行管理用房及构思巧妙的景观公园。污水处理采用预处理+Bardenpho活性污泥法+高密度沉淀+反硝化深床滤池工艺,通水后各项出水指标均稳定达标。

关键词: 全地下污水厂; 准Ⅳ类标准; Bardenpho

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)08-0068-05

Design of the First Garden-type Full Underground Wastewater Treatment Plant in Jiangxi Province

WEI Jia, FANG Shuai, XU Huai-ao, SUN Wei, QIU Dong, WANG Yang
(North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300381, China)

Abstract: The Lianghe underground wastewater treatment plant in Jiujiang City, Jiangxi Province emerges in the context of the great protection of the Yangtze River. As the first garden-type conceptual full underground wastewater treatment plant in Jiangxi Province, the designed scale is $3\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$, the domestic sewage and production wastewater collection area is approximately 10 km^2 covering Lianxi District of Jiujiang City, and the effluent is discharged into the Yangtze River after meeting the surface water quasi class IV standard. The treatment structures of the wastewater treatment plant are located underground, while the operation and management rooms and a well-conceived landscape park are on the ground. The treatment process consists of pretreatment process, Bardenpho activated sludge process, high density sedimentation tank and denitrification deep bed filter. After commissioning, all the indexes of the effluent have stably reached the discharge standard.

Key words: full underground WWTP; quasi class IV standard; Bardenpho

1 项目背景

九江市为江西省唯一拥有长江岸线的城市,成为全面参与“长江大保护”的首批试点城市之一。九江市两河全地下水质净化厂工程作为九江水环境治理一期项目中的示范项目,设计规模 $3\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,是江西省首座花园式概念的全地下水质净化厂,位于九江市濂溪区,负责处理中心城区昌九高速以南

约 10 km^2 范围内的生活生产污水。工程内容包括一座占地约 2.2 hm^2 的地下水质净化厂、约 2 km 的河道补水管线及一座占地约 3.1 hm^2 的地上景观公园(双溪公园)。净化厂生物处理采用Bardenpho活性污泥法^[1]。设计出水水质为地表水Ⅳ类标准。

2 设计水质及工艺流程

本工程出水COD、BOD₅、氨氮、TP执行《地表水

环境质量标准》(GB 3838—2002)中的Ⅳ类水标准,要求出水 $TN \leq 10 \text{ mg/L}$,其余指标执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的一级A标准。具体设计水质见表1。

本工程部分尾水直接作为地上景观公园用水,部分作为河道补水排入九江市十里河。

表 1 设计水质指标

Tab.1 Design water quality mg·L⁻¹						
项目	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
进水水质	250	120	200	30	35	3.5
出水水质	30	6	10	1.5	10	0.3

污水厂鸟瞰图见图1。工艺流程^[2]见图2。



图 1 污水厂鸟瞰

Fig.1 Aerial view of the WWTP

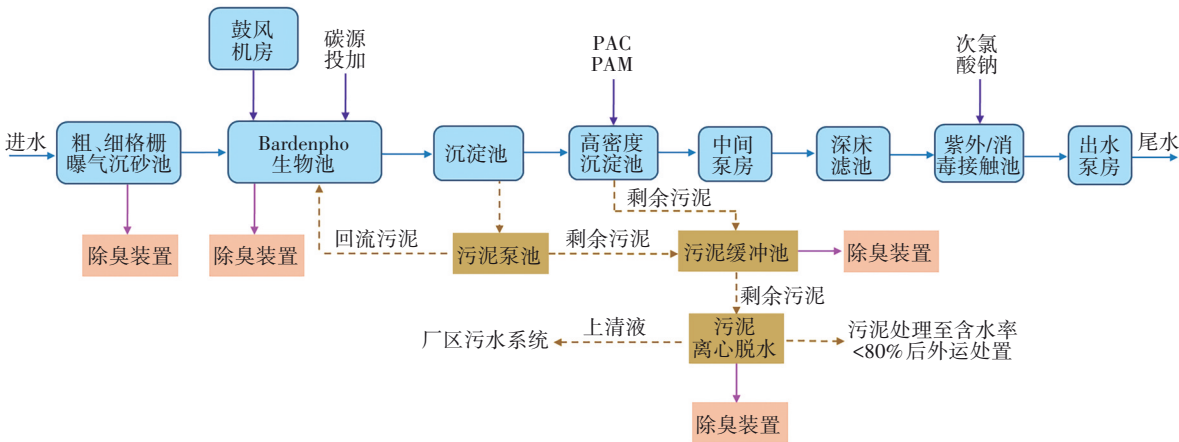


图 2 污水处理厂工艺流程

Fig.2 Process flow chart of the WWTP

3 工程设计

3.1 总体布局

该工程位于九江市濂溪区九柴社区,仪表厂西侧拆迁地块,现状标高为 30.9~36.9 m,总征地面积约 2.2 hm²,地下箱体实际占地面积为 1.06 hm²。

净化厂总体由两部分组成:地下水水质净化厂(地下箱体)及地上管理用房。整个地下箱体考虑顶板、底板及墙壁厚度,总尺寸为 133.3 m×78.2 m×17.0 m。其结构分为两层,其中负一层为操作层,主要包括鼓风机房、加药设备、除臭设备、脱水机房、变配电间以及污水设备检修平台等空间;负二层主要为厂区污水处理设施及综合管线廊道等。

管理用房为地上二层、地下二层。地上二层包括九江三峡智慧水务展示中心和数据监控中心,及办公室、中控室等;地上一层及地下一层为九江市双溪公园科普体验馆,通过介绍九江与水的故事反映九江治水的新篇章;地上一层除科普馆外,还包

括了会议室、控制室、厨房餐厅以及值班室等;地下一层除科普馆外,还包括了实验室、化验室操作间、药品库房等;地下二层主要为消防控制中心,包括消防水泵房、消防水池、配电间以及储藏室。地下箱体内主干道宽 6.0 m,主干道转弯内半径为 6.0 m。

3.2 竖向设计

该净化厂坐落于城市中心,采用全地下式布置形式的箱体结构。其操作层位于地下一层,底部绝对标高为 28.5 m,为方便运行人员操作,设计层高约 6.6 m;地下二层主要功能为污水处理,其底部绝对标高为 21.5 m,设计层高约 7.0 m。

3.3 工艺设计

① 预处理工段(格栅及沉砂池)

速闭闸门 3 台, $B \times H = 1\,000 \text{ mm} \times 1\,000 \text{ mm}$, $N = 3 \text{ kW}$;链条回转式粗格栅 3 台, $B = 1\,000 \text{ mm}$, $b = 10 \text{ mm}$;网板细格栅 2 台, $B = 900 \text{ mm}$, $b = 3 \text{ mm}$;潜水轴流泵(大) 3 台, $Q = 630 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 40 \text{ kPa}$, $N = 15 \text{ kW}$;潜水轴

流泵(小)2台, $Q=438 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=40 \text{ kPa}$, $N=11 \text{ kW}$; 链板式刮砂机2套, $B=1\,000 \text{ mm}$, $N=0.75 \text{ kW}$ 。

② 生物处理工段(生物池)

Bardenpho活性污泥法生物池^[3], 共分为2组, 单组平面尺寸为 $68.5 \text{ m} \times 21.8 \text{ m}$, 设计水深 7.0 m (见图3)。总水力停留时间 14.5 h , 其中厌氧区 2 h 、缺氧区 5 h 、好氧区 7.5 h 。MLSS为 $3.5 \sim 4 \text{ g/L}$ 。内回流泵(好氧池至缺氧池)6台(4用2备), $Q=936 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=10 \text{ kPa}$, $N=5 \text{ kW}$; 微孔曝气盘 $1\,950$ 套, 规格为 $\phi 330 \text{ mm}$, $4 \text{ m}^3/\text{h}$; 精确曝气设备: 热式气体流量计(一体式)3套, 规格 DN300。

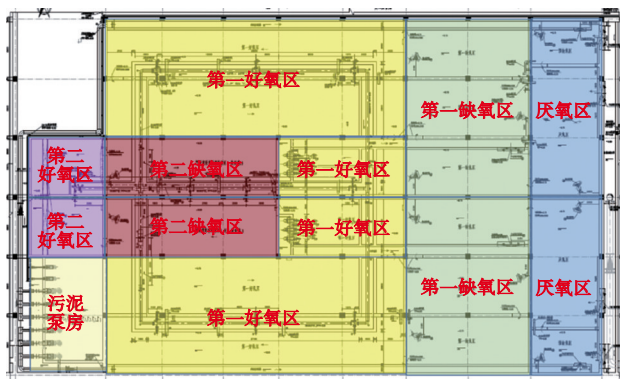


图3 Bardenpho生物池

Fig.3 Bardenpho biological tank

③ 沉淀处理工段(沉淀池)

矩形周进周出沉淀池, 分为2组, 峰值表面负荷为 $1.5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。沉淀设备为成套设备, 采用非金属链条式刮泥机3台, 运行速度 0.6 m/min ; 排泥系统3套, 包括液压穿孔排泥板、污泥控制阀等设施; 配水系统3套, 包括进水渠配水孔管、反射挡板及导水裙板等设施; 撇渣管3套, 规格为 $\phi 219 \text{ mm}$ 。

④ 曝气工段(鼓风机房)

配备空气悬浮鼓风机4套(3用1备), 单机 $Q=54 \text{ m}^3/\text{min}$, $H=80 \text{ kPa}$, $N=110 \text{ kW}$ 。

⑤ 深度处理工段(高密度沉淀池、深床滤池)

高密度沉淀池平面尺寸为 $22.2 \text{ m} \times 24.6 \text{ m}$ 。絮凝池4座, 有效总容积约 300 m^3 , 总停留时间 12.4 min 。斜管沉淀池共2座, 直径 12 m , 总水深 6.0 m , 总有效斜管面积 206 m^2 , 斜管区上升流速为 0.6 mm/s , PAC计算投加量 $20 \sim 50 \text{ mg/L}$, PAM计算投加量 1.0 mg/L 。设混合搅拌器2台, $N=5.5 \text{ kW}$; 絮凝搅拌器2台, $N=5.5 \text{ kW}$; 中心传动浓缩刮泥机共2套, 直径 12 m , $N=0.55 \text{ kW}$; 污泥螺杆泵6台, $Q=22$

m^3/h , $H=0.6 \text{ MPa}$, $N=5.5 \text{ kW}$, 负责回流及剩余污泥的输送; 斜管设备 225 m^2 , 材质为 PP, 规格 $\phi 80 \text{ mm}$, 斜长 1 m , 安装角度 60° 。

深床滤池4组, 总平面尺寸 $22.5 \text{ m} \times 33.8 \text{ m}$, 总过滤面积 290 m^2 , 滤池滤速为 4.40 m/h 。设布气布水装置(滤砖)4套, 单格尺寸 $14.88 \text{ m} \times 4.88 \text{ m}$, HDPE材质; 滤料约 530 m^3 , 有效粒径约 $2 \sim 3 \text{ mm}$; 卵石垫层约 110 m^3 ; 反冲洗泵2台(1用1备), $Q=1\,090 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=0.1 \text{ MPa}$, $N=0.37 \text{ kW}$; 罗茨鼓风机3台(2用1备), $Q=56 \text{ m}^3/\text{min}$, $H=78 \text{ kPa}$, $N=110 \text{ kW}$ 。

⑥ 消毒工段(紫外及消毒接触池)

总平面尺寸 $21.7 \text{ m} \times 26.4 \text{ m}$; 紫外线消毒模块组2个, 每个模块组6个模块, 每模块10根灯管, 共120根灯管; 消毒接触池1座, 渠道长度约 140 m ; 巴氏计量槽1座, 喉宽 450 mm 。

⑦ 尾水排放工段

净化厂尾水由水泵提升后排出, 部分尾水直接排至十里河补水, 部分排至箱体上部景观公园, 最终进入十里河。尾水泵房采用湿式泵房, 平面尺寸 $13.0 \text{ m} \times 7.8 \text{ m}$ 。设潜水泵3台(2用1备), $Q=425 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=200 \text{ kPa}$, $N=45 \text{ kW}$, 变频控制; 潜水泵3台(2用1备), $Q=638 \text{ m}^3/\text{h}$, $H=260 \text{ kPa}$, $N=65 \text{ kW}$, 1台变频。

⑧ 加药工段(加氯加药间)

包括 PAC、PAM、乙酸钠、次氯酸钠投加系统各1套。

⑨ 污泥处理工段(污泥脱水机房)

设计污泥量约 4 t/d , 进泥含水率约 99.3% , 脱水后污泥含水率达 80% 。设离心脱水机2台(1用1备), $Q=55 \text{ m}^3/\text{h}$, $N=90 \text{ kW}$; 进泥螺杆泵2台(1用1备), 变频控制, $Q=40 \sim 60 \text{ m}^3/\text{h}$, $N=11 \text{ kW}$; 电动污泥斗2套, $V=15 \text{ m}^3$; 泥饼泵2台, $Q=4 \sim 7 \text{ m}^3/\text{h}$, $N=18.5 \text{ kW}$, 输送含水率为 80% 的脱水污泥。

3.4 结构设计(含基坑设计)

净化厂地下箱体平面内净尺寸为 $130.5 \text{ m} \times 75.4 \text{ m}$, 高度为 $14.35 \sim 16.0 \text{ m}$, 箱体结构为地下两层, 顶层覆土厚度 1.0 m 。地下一层采用钢筋混凝土地下室外墙+框架结构, 柱距 $7.2 \sim 12.6 \text{ m}$, 地下二层采用钢筋混凝土地下室外墙+钢筋混凝土池壁+梁板结构。采用钻孔灌注桩+钢筋混凝土筏板基础。考虑到地下结构埋深和覆土厚度, 箱体外池壁厚度确定为 $0.6 \sim 1.2 \text{ m}$, 底板厚度确定为 $1.3 \sim 1.4 \text{ m}$, 顶板厚度确定为 0.25 m , 桩基直径 1 m 。地下箱

体采用设置膨胀加强带的方式以适应温度变化,在地下箱体长度方向上设置三道膨胀加强带,宽度方向上设置二道膨胀加强带。

管理用房为地上三层、地下二层建筑。抗震设防类别为乙类。采用现浇钢筋混凝土框架结构,柱距为5~8 m,主梁高度为600~800 mm。采用天然地基+钢筋混凝土筏板基础。地下箱体部分基坑开挖深度11.80~18.25 m,支护采用放坡土钉墙+灌注桩+预应力锚索形式,桩间采用高压旋喷桩止水。管理用房部分基坑开挖深度3.15~7.25 m,浅部采用放坡开挖,深部采用放坡+土钉墙结合钻孔灌注桩+内支撑的支护方式,深浅结合部位采用高压旋喷桩重力式挡墙支护。

3.5 除臭及通风设计

箱体内的臭气主要来自预处理工段、生物处理工段以及污泥处理工段^[4]。除臭标准应达到上海地标《污水综合排放标准》(DB 31/199—2009)。设置生物除臭设施2座,离子送风设施1座,每座除臭设施负责局部臭气收集。预处理及污泥处理工段设置1套生物除臭塔,尺寸为5.0 m×10.0 m×3.5 m,除臭风量为14 500 m³/h;生物处理工段设置1套生物除臭塔,尺寸为5.0 m×10.0 m×3.5 m,除臭风量为13 000 m³/h;设置离子发生器6台, $N=0.4$ kW,送风机1套, $Q=12\ 000$ m³/h, $N=7.5$ kW。

本工程采用全面排风与局部排风相结合的送排风方式。箱体地下一层操作间、地下二层处理池以及各处理工段车间,采用机械送风系统;排风采用机械排风系统;排风系统与排烟系统共用风道及风口。平时的排风及消防排烟合设1套系统。

地下楼梯间采用机械加压送风方式,加压送风量按照《建筑防烟排烟系统技术标准》(GB 51251—2017)计算。汽车隧道设置自然排烟系统。

3.6 消防设计

防火分区设计一直是地下污水厂的重点及难点。地下戊类箱体共分7个防火分区,每个防火分区面积 $\leq 2\ 000$ m²(每个防火分区设置了自动喷淋系统、火灾报警系统、紧急广播系统),而且箱体设有直通地面的防烟楼梯间。消防采用室内消火栓及灭火器相结合的方式,室内消火栓用水量按40 L/s考虑;自动喷淋灭火系统用水量按35 L/s考虑,采用临时高压消防给水系统。地下箱体内配电间、电控间等采用气体灭火系统,设置七氟丙烷气体灭火设施。

3.7 防洪设计

根据《防洪标准》(GB 50201—2014)、《九江市中心城区排水(雨水)防涝设施建设规划》中相关技术要求,综合考虑净化厂的防洪标准为50年一遇。

厂区设计双电源供电,以保证净化厂电气系统的连续、可靠运行。在地下箱体粗格栅前设置速闭闸门,当意外停电时能利用蓄电池供电,将此闸门关闭。当突发电力事故,造成污水处理设施不能正常运行时,能立即反馈信号给厂外进水闸井(带EPS电源),使其迅速关闭,同时通过消防电源自动关闭粗格栅前的进水速闭闸门,以确保地下空间不被水淹;在箱体负二层最低点亦设置了废水泵池,服务于地下空间的突发性浸水,泵后直排厂外污水管道。废水泵池内设置潜水泵(大)2台, $Q=780$ m³/h, $H=150$ kPa, $N=55$ kW;潜水泵(小)1台, $Q=50$ m³/h, $H=150$ kPa, $N=3.7$ kW,紧急时全部开启。

3.8 景观设计

位于箱体之上的双溪公园(见图4),与项目上游龙门公园、下游水木清华公园交相辉映,成为城市生态景观的又一个重要节点。



a. 假山瀑布(日景)

b. 假山瀑布(夜景)

图4 双溪公园一角

Fig.4 A corner of the Shuangxi Park

园区布置由假山瀑布、游园、水系景观等构成,集观赏休闲、科普教育及污水处理等功能于一体。

园区水系设置了源头出水、生态潜流、生态滞留、生态静流及生态溢流等五大功能区。共采用了74类植物,涵盖乔木、灌木、地被及水生植物等四大类。打造出了水清岸绿、鱼翔浅底的人间仙境。

4 运行效果及经济分析

该厂于2021年6月建设完成并投入试运行,通过半年多的运行调试,目前设备运行良好、稳定。近期实际进水量为 $(1.6\sim 2.0)\times 10^4$ m³/d。出水各项指标均达标,并全部补充至附近河道水体,环境效益明显。试运行实际水质情况见表2。工程概算总投资为4.3亿元,经营成本约1.4元/m³,总成本约

2.8元/m³,全厂能耗约0.50 kW·h/m³。

表2 实际进、出水水质

Tab.2 Actual influent and effluent quality mg·L⁻¹

项 目	COD	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
进水水质	188	112	175	32	38	4.2
出水水质	16	4	9	1.1	9	0.18

5 设计亮点

① 本工程采用了地下水水质净化与地上生态公园紧密结合的理念,公园结构与城市布局融为一体,利用地上空间打造了供市民休闲娱乐的绿色城市中轴线。

② 主要处理工艺选择了适应当地污水特性的Bardenpho活性污泥法^[5],在强化脱氮除磷效果的同时,可有效降低能耗,践行绿色低碳理念。

③ 生物处理采用了高效率的智能精确曝气控制系统,实现了能耗的精确控制。它是基于活性污泥数学模型+鼓风机+阀门的联合控制系统,可根据曝气池的需要合理供给、分配气量,使曝气池的溶氧量尽可能接近预设目标值,确保出水稳定,以较经济的电耗、药耗和运行成本实现出水达标。

④ 在进水水质波动的情况下,通过投加药剂、碳源等辅助手段,经Bardenpho生物池处理后的污水再经过高密度沉淀池及带有反硝化功能的深床滤池进行处理,可保证出水水质达标。

6 结语

该工程为江西省首个花园式全地下水水质净化厂,运行时周边无异味、无噪声,极大程度降低了污水处理设施对周边居民生活的不利影响,不仅惠及民生,还构筑了城市生态屏障。

参考文献:

- [1] 戴仲怡,李瑞成,王建兴. 多段强化脱氮工艺A²/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 A²/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] 陈秀成,牛天浩. 上海泰和全地下大型污水处理厂工艺设计要点及特点[J]. 中国给水排水, 2021,37(10):83-88.
- CHEN Xiucheng, NIU Tianhao. Key points and characteristics of process design of Taihe underground large sewage treatment plant in Shanghai [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37 (10) : 83-88 (in Chinese).
- [3] 孙欣,崔洪升. Bardenpho+深床滤池工艺用于半地下污水处理厂工程[J]. 中国给水排水, 2017,33(16):82-85.
- SUN Xin, CUI Hongsheng. Design of semi-underground wastewater treatment plant with Bardenpho & deep bed filter process [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33 (16):82-85(in Chinese).
- [4] 王阳,张月,郭庆英,等. 珠海前山水质净化厂全地下MBR工艺设计[J]. 中国给水排水, 2018,34(22):59-62.
- WANG Yang, ZHANG Yue, GUO Qingying, et al. Design of Qianshan wastewater treatment plant with underground MBR process in Zhuhai City [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34 (22) : 59-62 (in Chinese).
- [5] 张月,王阳,张宏伟,等. 阳泉市污水处理二期工程BARDENPHO工艺设计和运行[J]. 中国给水排水, 2020,36(16):64-68.
- ZHANG Yue, WANG Yang, ZHANG Hongwei, et al. Design and operation of BARDENPHO process in phase II project of Yangquan wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36 (16) : 64-68 (in Chinese).

作者简介:卫佳(1984-),男,山西晋城人,本科,高级工程师,主要从事市政给排水及水环境治理工程设计与规划等技术工作,曾获天津市模范集体荣誉及2021年中华全国总工会工人先锋号称号。

E-mail:86318738@qq.com

收稿日期:2022-03-17

修回日期:2022-03-31

(编辑:孔红春)