

城镇给排水工程设计案例专栏

陈旺源^{1,*}, 应松枝², 严国奇³. 杭州之江全地下式污水处理厂工艺设计要点及特点[J]. 净水技术, 2025, 44(7): 159-167.

CHEN W Y, YING S Z, YAN G Q. Key points and characteristics of process design of Zhijiang full-underground WWTP in Hangzhou [J]. Water Purification Technology, 2025, 44(7): 159-167.

杭州之江全地下式污水处理厂工艺设计要点及特点

陈旺源^{1,*}, 应松枝², 严国奇³

(1. 上海市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092; 2. 杭州市水务集团有限公司, 浙江杭州 310009; 3. 杭州市排水有限公司, 浙江杭州 310009)

摘 要 【目的】 随着之江地区发展, 近期之江地区污水量将达到 130 000 m³/d, 远期污水量将达到 160 000 m³/d, 为满足地区污水处理需求, 需新建污水处理厂近期接纳 80 000 m³/d 污水(另外 50 000 m³/d 通过现状管路输送至七格污水厂), 远期接纳 160 000 m³/d 污水。同时, 考虑工程地处之江度假区单元重要地段, 土地价值高, 环境要求高, 为最小化工程用地以及消除邻避效应, 工程采用全地下建设形式。【方法】 新建杭州之江净水厂, 总规模为 160 000 m³/d, 近期规模为 80 000 m³/d, 采用全地下的建设形式, 污水处理采用预处理+前置高效沉淀池+前置反硝化生物滤池+硝化生物滤池+后置反硝化生物滤池+后置高效沉淀池+滤布滤池+加氯接触池的工艺。出水中主要污染物 COD、BOD₅ 和 TP 排放执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅲ类水质标准。氨氮在每年 4 月—10 月执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅲ类水质标准(1.0 mg/L), 在每年 11 月—次年 3 月执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅳ类水质标准(1.5 mg/L)。出水 SS≤5 mg/L, 出水 TN≤10 mg/L, 各项出水指标均优于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准。污泥处理采用机械浓缩脱水+低温干化的工艺, 处理至含水率≤45%后外运处置。【结果】 全厂占地指标仅为 0.18 m²/(m³·d), 是我国污水厂建设用地指标的 1/5。污水处理厂已运行近 1 年时间, 出水可稳定达到设计出水标准, 出水 COD 质量浓度低于 20.0 mg/L, 去除率为 93.3%; 出水 BOD₅ 质量浓度低于 4.0 mg/L, 去除率为 97.3%; 出水 SS 质量浓度低于 5.0 mg/L, 去除率为 97.5%; 出水 TN 质量浓度低于 10.0 mg/L, 去除率为 75.0%; 出水氨氮质量浓度低于 1.5 mg/L, 去除率为 95.0%; 出水 TP 质量浓度低于 0.2 mg/L, 去除率为 95.0%。【结论】 生物滤池组合工艺用作二级处理时出水可稳定达到设计出水标准, 且占地面积积极小, 适用于处理要求高和用地紧张的工程项目。

关键词 之江污水处理厂(WWTP) 地下式 生物滤池 水质指标 低温干化

中图分类号: TU992 文献标志码: B 文章编号: 1009-0177(2025)07-0159-09

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2025.07.019

Key Points and Characteristics of Process Design of Zhijiang Full-Underground WWTP in Hangzhou

CHEN Wangyuan^{1,*}, YING Songzhi², YAN Guoqi³

(1. Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co., Ltd., Shanghai 200092, China;

2. Hangzhou Water Group Co., Ltd., Hangzhou 310009, China;

3. Hangzhou Drainage Co., Ltd., Hangzhou 310009, China)

Abstract [Objective] With the development of the Zhijiang region, the wastewater volume in the region is expected to reach 130 000 m³/d in the near future and 160 000 m³/d in the long term. To meet the demand for wastewater treatment in the region, a new wastewater treatment plant(WWTP) needs to be built to receive 80 000 m³/d of wastewater in the near future (another 50 000 m³/d

[收稿日期] 2025-02-08

[通信作者] 陈旺源(1990—), 男, 高级工程师, 主要从事给排水设计等工作, E-mail: chenwangyuan@smedi.com。

will be transported to the Qige WWTP through existing pipelines), and 160 000 m³/d of wastewater in the long term. At the same time, considering that the project is located in an important area of the Zhijiang Resort, with high land value and high environmental requirements, in order to minimize land use and eliminate the nimby effect, the project adopts a fully underground construction form.

[**Methods**] A new Hangzhou Zhijiang WWTP with a total capacity of 160 000 m³/d and a recent capacity of 80 000 m³/d will be constructed entirely underground. The wastewater treatment process adopts pre-treatment + pre-high-efficiency sedimentation tank + pre-denitrification biological filter + nitrification biological filter + post-denitrification biological filter + post-high-efficiency sedimentation tank + filter cloth filter + chlorination contact tank. The main pollutants COD, BOD₅, and TP emissions in the effluent will comply with the Class III water quality standard of the *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838—2002). Ammonia nitrogen will comply with the Class III water quality standard (1.0 mg/L) of the *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838—2002) from April to October each year, and comply with the Class IV water quality standard (1.5 mg/L) of the *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838—2002) from November to March of the next year. SS of effluent is no more than 5 mg/L, TN of effluent is no more than 10 mg/L, all effluent indices are superior to the Class A standard of the *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918—2002). The sludge treatment process includes mechanical concentration and dewatering + low temperature drying, and the sludge is transported out after the water content is no more than 45%.

[**Results**] The land occupation indicator per ton of water in the entire WWTP is only 0.18 m²/(m³·d), which is 1/5 of the national land occupation indicator for WWTP construction. The WWTP has been in operation for nearly a year, and the effluent can stably meet the designed standard. The effluent COD mass concentration is below 20.0 mg/L, with a removal rate of 93.3%; the effluent BOD₅ mass concentration is below 4.00 mg/L, with a removal rate of 97.3%; the effluent SS mass concentration is below 5.0 mg/L, with a removal rate of 97.5%; the effluent TN mass concentration is below 10.0 mg/L, with a removal rate of 75%; the effluent ammonia nitrogen mass concentration is below 1.00 mg/L, with a removal rate of 96.7%; the effluent TP mass concentration is below 0.20 mg/L, with a removal rate of 95%. [**Conclusion**] When the combined process of biological filter is used for secondary treatment, the effluent can stably meet the designed standards of effluent, and the occupied area is extremely small, making it suitable for engineering projects with high treatment requirements and limited land.

Keywords Zhijiang wastewater treatment plant(WWTP) underground biological filter water quality indicator low temperature drying

目前,污水处理厂的核心处理工艺多采用如厌氧-缺氧-好氧(AAO)反应池、氧化沟等传统工艺,往往占地面积大,吨水用地指标偏高。随着经济发展及人口增长,城市用地愈发紧张,可释放地上用地的地下式污水处理厂设计成为趋势。而目前地下式污水厂的核心处理工艺也多采用AAO工艺^[1-5],如何进一步提高土地利用效率,减少污水处理设施占地面积是行业发展的热点问题。本工程规划总规模为16万m³/d,而规划用地面积仅为28 781 m²,吨水用地指标极低,而本项目出水最终排入铜鉴湖,铜鉴湖与周边之江河网存在密切的水量交换,且之江河网东侧为钱塘江饮用水源保护区,本项目之江净水厂拟建位置和出水排放口所在的铜鉴湖,虽位于钱塘江饮用水源准保护区外,但距离钱塘江饮用水源保护区较近,且本项目排放点进入地表水水域均为Ⅲ类水质功能区,地表水环境较为敏感。为保护区域水质,确保饮用水安全,本工程出水中部分指标执行更加严格的Ⅲ类水标准。

为实现工程目标,本工程创新性地采用双层介质填料生物滤池作为主体污水处理工艺,生物滤池中轻质滤料+新型填料的复合应用,大大降低了项目用地面积,占地指标仅为0.18 m²/(m³·d),是国家污水厂建设用地指标的1/5。本工程的成功为降低污水厂占地、减少工程投资、实现高标准出水提供了新的思路。

1 工程概况

杭州之江净水厂设计规模为160 000 m³/d,一期规模为80 000 m³/d,远期增加80 000 m³/d,处理能力达160 000 m³/d,采用全地下的建设形式,污水处理采用预处理+前置高效沉淀池+前置反硝化生物滤池+硝化生物滤池+后置反硝化生物滤池+后置高效沉淀池+滤布滤池+加氯接触池的工艺,出水中主要污染物COD、BOD₅和TP排放执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅲ类水质标准,氨氮在每年4月—10月执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅲ类水质标准(1.0 mg/L),在每

年 11 月—次年 3 月执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅳ类水质标准(1.5 mg/L),出水 SS≤5 mg/L,出水 TN≤10 mg/L,各项出水指标均优于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准。污泥处理采用机械浓缩脱水+污泥低温干化的工艺,处理至含水率≤45%后外运处置。远景于本次厂区西侧新建 140 000 m³/d 污水处理设施,总处理能力为 300 000 m³/d。之江净水厂工程位于杭州市之江度假区单元,西邻绕城高速,东邻之江医院;北邻云河路,南邻梧桐路,总用地面积约为 28 781 m²。服务范围总面积约为 156 km²,北至杭州西湖风景名胜及留下小和山单元,南至长安沙、富阳东洲岛,东至钱塘江,西与富阳接壤。工程总投资约为 13.5 亿元,工程费约为 9.1 亿元。

2 建设标准

2.1 污水处理标准

根据之江净水厂工程及之江生态湿地及中水利用工程环境影响评价报告^[6-7],之江净水厂出水水中主要污染物 COD 和 TP 排放执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅲ类水质标准,氨氮在每年 4 月—10 月执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅲ类水质标准(1.0 mg/L),在每年 11 月—次年 3 月执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅳ类水质标准(1.5 mg/L),均优于污水处理排放一级 A 标准。达标尾水由外排管道排入铜鉴湖主湖区。之江净水厂设计进出水水质如表 1 所示。出水 COD 质量浓度低于 20.0 mg/L,去除率约为 93.3%;出水 BOD₅ 质量浓度低于 4.0 mg/L,去除率约为 97.3%;出水 SS 质量浓度低于 5.0 mg/L,

去除率约为 97.5%;出水 TN 质量浓度低于 10.0 mg/L,去除率约为 75%;出水氨氮质量浓度低于 1.5 mg/L,去除率约为 95.0%;出水 TP 质量浓度低于 0.2 mg/L,去除率约为 95.0%。

表 1 设计进出水水质 (单位: mg/L)
Tab. 1 Design Quality of Influent and Effluent (Unit: mg/L)

项目	COD	BOD ₅	SS	TN	氨氮	TP
进水	300	150	200	40	30	4.0
出水	≤20	≤4	≤5	≤10	≤1.0(1.5)	≤0.2

注:括号内数值为 11 月—来年 3 月的控制指标;括号外数值为 4 月—10 月的控制指标。

2.2 污泥处理标准

污泥就地干化至含水率低于 45%后外运处置。

2.3 臭气处理目标

本次工程的臭气控制拟按《恶臭污染物排放标准》(GB 14554—93)和《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的厂界一级标准执行。

2.4 其他处理标准

厂界噪声不超过《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB 12348—2008)中相应功能区的排放限值。

3 工艺路线选择及重难点分析

3.1 工艺路线选择

本项目污水处理规模为 16 万 m³/d,而规划用地面积仅为 28 781 m²,考虑到吨水占地面积小,常规生反池+二沉池工艺因占地过大,难以应用于本工程。本工程可选择的工艺较少,设计中对“预处理+曝气生物滤池(BAF)+深度处理工艺”和“预处理+生反池+膜生物反应器(MBR)+臭氧氧化处理工艺”进行了比选,具体对比如表 2 所示。

表 2 工艺路线比选
Tab. 2 Comparison and Selection of Process Routes

项目	预处理+BAF+深度处理工艺	预处理+生反池+MBR 膜池+臭氧氧化处理工艺
工艺效果、稳定性	处理效果好,各污染物指标均能稳定达标;曝气生物滤池工艺微生物浓度高,对水量水质变化适应性强;采用的前置反硝化+硝化滤池+后置反硝化工艺对氮类污染物去除效果好。深度处理能有效去除 SS、TP,同时具备应急活性炭投加措施去除难降解 COD,确保 COD 达标;各单元处理效果稳定	处理效果好,各污染物指标均能稳定达标;抗水质冲击负荷强,但抗水量冲击负荷较弱;一旦产水泵故障,存在污水直排风险;生反池采用 Bardenpho 形式对氮类污染物去除效果好。TP 通过生反池后端投加除磷药剂确保去除。臭氧氧化处理工艺去除难降解 COD,确保 COD 达标。各单元处理效果稳定。但膜产品质量参差不齐,部分产品膜通量衰减严重,使污水处理能力逐年下降 ^[8]
操作管理、运营维护	虽滤池需经常反洗,但自动化程度高,操作管理方便;运营维护简单	膜清洗频繁,操作管理不便;断丝、污堵率高,运营维护较难 ^[8-9]

(续表2)

项目	预处理+BAF+深度处理工艺	预处理+生反池+MBR 膜池+臭氧氧化处理工艺
占地面积	占地及投资省;全地下箱体尺寸为 172.4 m×124.2 m	全地下箱体尺寸为 240.0 m×124.2 m;用地范围内难以布置,如某 15 万 m ³ /d 采用 MBR 工艺全地下污水处理厂占地面积约为 3.9 hm ² (1 hm ² =10 000 m ²) ^[8]
工程造价	工程总投资为 13.5 亿	工程总投资约为 17 亿
运行成本	生物滤池缺乏生物除磷功能,需依靠化学除磷,除磷药剂投加量高于 MBR 工艺。前端预处理要求高,预处理可能消耗部分碳源,碳源投加量会高于 MBR 工艺。曝气生物滤池需气水反冲洗,采用下进水形式,无需反洗水泵,但仍需反洗曝气;运行成本为 1.83 元/m ³ ,略高于 MBR 工艺	需吹扫曝气,能耗较高,产生臭气量多 ^[4] ,回流量大,同时膜需要定期清洗,膜清洗药耗较高 ^[10] ,生反池投加除磷药剂,药剂除了与磷酸根离子发生絮凝沉淀反应外,混合液中其他 SS 也会消耗处理药剂,除磷药剂投加量高 ^[8-10] ,运行成本约为 1.5 元/m ³ ^[11] 。但膜的使用寿命较短,国内厂商的膜产品一般保用期为 3~5 年,国外厂商的膜产品一般保用期为 5~10 年,膜更换费用为 0.2~0.3 元/m ³ ^[4] 。膜的定期更换使 MBR 的整体运行成本与生物滤池工艺相差不大

综合比较可知,以上 2 种工艺路线均可满足本工程处理要求,但本工程污泥出水含水率需≤45%,需设置污泥干化设备,污泥车间占地大;本工程出水水质标准高,采用 MBR 工艺时后端需设置臭氧氧化池,采用 MBR 工艺时箱体占地面积较大,不满足用地要求,且 MBR 工艺路线在处理稳定性、投资、运营维护等方面均处于劣势,因此本工程推荐采用预处理+BAF+深度处理工艺。

3.2 工艺设计难点分析及应对措施

3.2.1 工艺设计重难点一:一体化建设,集约化程度高

本工程土建规模为 16 万 m³/d,可用地面积约占地为 2.88×10⁴ m²,用地指标约为 0.18 m²/(m³·d),远低于国家相关标准。另外,本工程采用全地下建设形式,污水污泥处理构筑物为一体化箱体,全地下水水质净化厂土建投资较大,优化地下箱体尺寸对工程投资有重大意义。

应对措施:采用占地面积极小的“预处理+BAF+深度处理工艺”的工艺组合,在保证优质出水的同时,尽可能减少箱体占地。

3.2.2 项目设计重难点二:进水水质较差、出水水质要求高、泥处理要求高

本工程进水氨氮质量浓度为 30 mg/L,TN 质量浓度为 40 mg/L,BOD₅ 质量浓度为 150 mg/L,BOD₅/TN=3.75,虽属于可生物脱氮降解范畴,但生物脱氮能力较差,TN 达标难度大。本工程出水水质要求高,当进水中存在难生物降解有机物时,

出水 COD 达标难度大。出水 SS 要求高、处理难度大。污泥需处理至含水率低于 45%后外运处置,处理要求高。整体水、泥处理难度大。

应对措施:污水处理采用预处理+前置高效沉淀池+前置反硝化生物滤池+硝化生物滤池+后置反硝化生物滤池+后置高效沉淀池+滤布滤池+加氯接触池的工艺,面对进水 BOD₅/TN 不足的情况,采用前置反硝化结合后置反硝化工艺,辅助碳源投加,实现 TN 出水达标。对于进水中可能存在的难降解有机物导致出水 COD 超标的情况,于后置高效沉淀池中增加应急活性炭投加功能,确保 COD 达标。通过于后置高效沉淀池投加除磷药剂实现 TP 达标,滤布滤池通过 10 μm 孔径滤布的精密过滤作用确保出水 SS 达标。

污泥处理采用机械浓缩脱水+污泥低温干化的工艺,先通过机械离心脱水设备将污泥含水量降至 80%,然后再将湿污泥输送至冷干化设备干化至含水率 45%以下后外运处置。

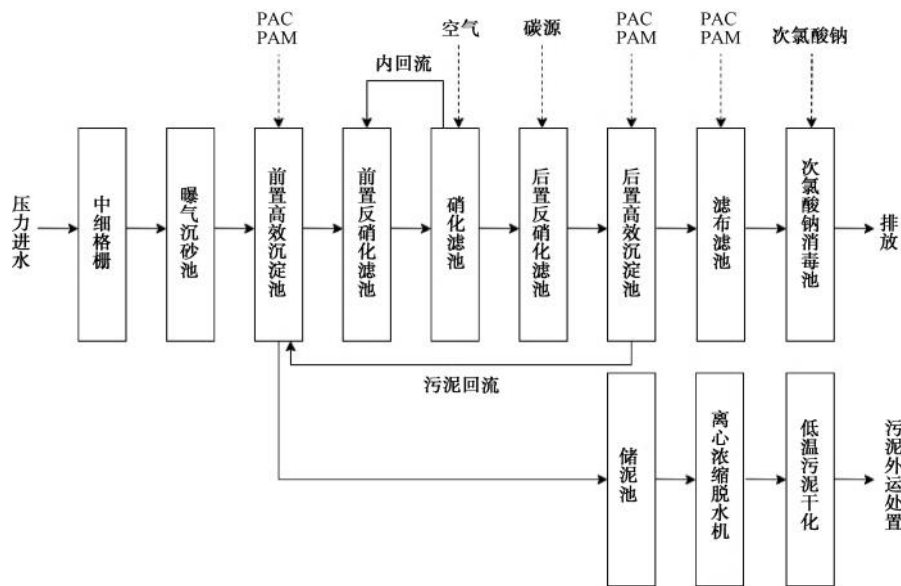
4 工艺设计要点

4.1 工艺流程

本工程污水污泥处理工艺流程如图 1 所示。

4.2 平面布置

本工程总占地面积为 28 781 m²,污水处理厂配套管理用房、门卫、垃圾房、变电所等配套辅助设施布置于地面上,位于污水处理箱体正上方,且位于西侧用地内,东侧用地作为停车场,为之江医院配套,具体如图 2 所示。



注:PAC 为聚合氯化铝;PAM 为聚丙烯酰胺。

图 1 污水污泥处理处置工艺流程

Fig. 1 Process Flow of Treatment Disposal of Wastewater and Sludge



图 2 之江污水处理厂总平面布局

Fig. 2 General Layout of Zhijiang WTP

全地下箱体内根据工艺流程分别布置了细格栅及曝气沉砂池(下层设置进水调节池)、前置高效沉淀池、曝气生物滤池(前置反硝化生物滤池+硝化生物滤池+后置反硝化生物滤池)、深度处理区(后置高效沉淀池(加砂,辅助活性炭吸附)+滤布滤池+加氯消毒池)、污泥处理区域等。土建规模为 16 万 m^3/d ,设备按一期、二期分阶段配置,本次仅安装一期处理规模为 8 万 m^3/d 的处理设备,具体如图 3 所示。

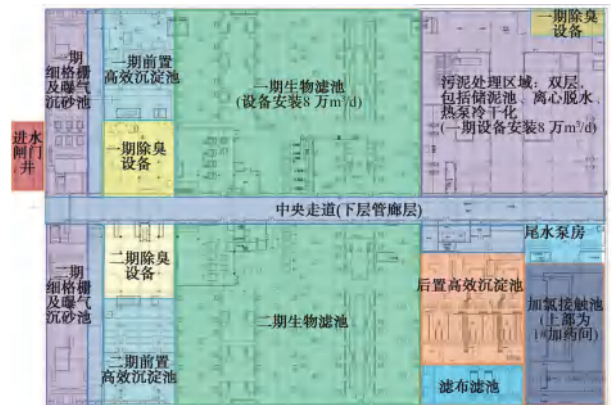


图 3 地下箱体总体布局

Fig. 3 General Layout of Underground Box

4.3 部分主要处理构筑物工艺设计

4.3.1 中细格栅及曝气沉砂池

中格栅配置 3 台转鼓式格栅除污机,栅隙为 8 mm,格栅直径为 1.8 m。细格栅配置 3 台内进流网板式格栅除污机,栅隙为 3 mm,格栅宽为 1.8 m。曝气沉砂池设置 2 条宽度为 4 m、长度为 24 m 的渠道,高峰停留时间为 7.9 min,配置 2 台非金属链板式刮砂机,3 台罗茨风机,单台风量为 480 m^3/h ,风压为 0.045 MPa。

4.3.2 前置高效沉淀池

前置高效沉淀池配置 2 座混凝池(峰值流量下停留时间为 1.36 min)、2 座絮凝池(峰值流量下停留时间为 6.25 min)、2 座沉淀池[峰值流量下表面

负荷为 $33.44 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$], 单座沉淀池直径为 10.8 m , 配置中心传动刮泥机, 功率为 1.1 kW 。配置 4 台污泥泵(2 用 2 备), 单泵流量为 $25 \text{ m}^3/\text{h}$, 扬程为 20 m , 功率为 5.5 kW 。

4.3.3 前置反硝化滤池

前置反硝化生物滤池接收来自前置高效沉淀池的出水, 以及下游硝化生物滤池的回流硝化液(回流率为 100%), 由于没有曝气, 在滤池内部形成一个缺氧、厌氧的环境, 从而达到去除总氮的目的。配置 6 组滤池, 单池面积为 113 m^2 , 滤料厚度为 3.5 m , 滤料粒径为 4.5 mm , 平均滤速为 10.8 m/h , 峰值滤速为 12.2 m/h , 冬季有效硝态氮负荷为 $0.59 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, 夏季有效硝态氮负荷为 $0.60 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, 反洗周期为 24 h , 反冲洗水强度为 $70 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 反冲洗气强度为 $15 (\text{N} \cdot \text{m})/\text{h}$ 。

4.3.4 硝化生物滤池

硝化生物滤池中, 通过不断曝气在滤池内部形成一个好氧的环境, 因此在滤料表面附着的生物膜基本是进行硝化作用的自养型细菌, 当污水由下向上通过滤床时, 氨氮被硝化菌氧化成硝酸盐。配置 6 组滤池, 单格滤池面积为 143 m^2 , 滤料厚度为 3.5 m , 滤料粒径为 3.6 mm , 平均滤速为 8.1 m/h , 峰值滤速为 10.7 m/h , 冬季有效氨氮负荷为 $0.90 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, 夏季有效氨氮负荷为 $0.91 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, 反洗周期为 $24 \sim 36 \text{ h}$, 反冲洗水强度为 $60 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 反冲洗气强度为 $12 (\text{N} \cdot \text{m})/\text{h}$ 。

4.3.5 后置反硝化滤池

由于本阶段来水中的剩余碳源已经不能满足反硝化反应的需要, 因此需要投加外加碳源, 以便将污水中定量的硝酸盐还原成氮气, 从而达到 TN 的去除。根据上游水质情况可部分超越后置反硝化滤池, 以降低后置反硝化滤池碳源投加量。后置反硝化生物滤池滤床的上部设置有补偿曝气系统, 一方面在硝化滤池反洗后的性能恢复期间承担一部分氨氮去除功能, 另外对水中的 COD 污染进行进一步的降解, 防止 COD 穿透。配置 4 组滤池, 单格滤池面积为 84 m^2 , 滤料厚度为 3.5 m , 滤料粒径为 4.0 mm , 平均滤速为 9.9 m/h , 峰值滤速为 14.6 m/h , 冬季有效氨氮负荷为 $1.27 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, 夏季有效氨氮负荷为 $1.25 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, 反洗周期为 24 h , 反冲洗水强度为 $70 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 反冲洗气强度为 $15 (\text{N} \cdot \text{m})/\text{h}$ 。

4.3.6 后置高效沉淀池

采用加砂高效沉淀池, 同时为应对可能出现的来水中溶解性不可生物降解 COD 质量浓度超过 20 mg/L 的情况, 设置有粉末活性炭投加功能。粉碳接触池峰值流量下停留时间为 11.1 min , 混凝池峰值流量下停留时间为 1.4 min , 絮凝池峰值流量下停留时间为 5.4 min , 沉淀池峰值流量下表面负荷为 $33.7 \text{ m}^3/\text{h}$, 单座沉淀池直径为 9.8 m , 配置中心传动刮泥机 2 台, 配置 6 台微砂循环泵, 单泵流量为 $100 \text{ m}^3/\text{h}$, 扬程为 18 m 。配置 2 台排泥泵, 单泵流量为 $320 \text{ m}^3/\text{h}$, 扬程为 18 m 。

4.3.7 滤布滤池

滤布滤池通过 $10 \mu\text{m}$ 孔径滤布的精密过滤作用, 对来水中剩余污染物, 主要是 SS 进一步去除。安装 2 组滤布滤池, 单体最大过滤面积为 228 m^2 , 峰值流量下表面负荷为 $10.06 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

4.3.8 尾水泵房

配置 3 台出水泵(2 用 1 备), 单泵流量为 $2340 \text{ m}^3/\text{h}$, 扬程为 20 m , 功率为 180 kW 。

4.3.9 污泥处理区

污泥处理区包括污泥浓缩脱水车间以及污泥干化车间, 污泥浓缩脱水采用离心浓缩脱水一体机, 近期配置 4 台, 单机处理能力为 $40 \text{ m}^3/\text{h}$, 将污泥脱水至含水率 $\leq 80\%$ 。污泥干化采用低温干化工艺, 近期共配置 4 套低温干化一体机, 单机标准去水量为 27 t/d , 单机功率为 378 kW , 将脱水后污泥含水率进一步降低至 $\leq 45\%$ 。

4.3.10 除臭工艺设计要点

本工程设置 2 套除臭设备, 分别处理污水预处理单元、曝气生物滤池单元及污泥处理单元产生的臭气。1#除臭设备负责处理预处理单元、进水调节池和生物滤池产生的臭气, 单套设备除臭风量为 $80000 \text{ m}^3/\text{h}$, 采用生物洗涤+生物滴滤生物法除臭处理工艺; 2#生物除臭设备负责处理污泥处理单元产生的臭气, 单套设备除臭风量为 $40000 \text{ m}^3/\text{h}$, 采用预水洗+生物洗涤+生物滴滤+活性炭吸附组合式除臭处理工艺。臭气经除臭系统处理后, 气体浓度满足《恶臭污染物排放标准》(GB 14554—93) 和《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 中厂界(防护带边缘)废气排放最高允许浓度一级标准, 且排放口臭气浓度可控制到 200(无量纲)以下。另考虑人员操作与巡视的舒适性, 预处理区域和泥

区增设离子风送风系统,保持室内空气清新;预处理区离子送风系统负责预处理单元,设备送风量为 $62\ 000\ \text{m}^3/\text{h}$;污泥处理区离子送风系统负责泥处理单元,设备送风风量为 $39\ 000\ \text{m}^3/\text{h}$ 。

5 工艺设计特点

之江净水厂工程具有最高标准、集约节约、融合共享、绿色低碳的特点。

5.1 最高标准

是浙江省首座部分出水水质执行地表水Ⅲ类水标准的污水处理厂,也是浙江省除臭标准最高和污泥含水率最低的污水处理厂之一。

(1)主体工艺所采用的曝气生物滤池工艺将生物净化和截留 SS 2 个步骤合二为一,通过使用达到国际先进水平的生物载体以及轻质滤料+新型填料的双层滤料形式,获得更高的生物浓度及更大的滞留能力,大大提高单位滤料容积的生物量,由此提高了处理效率^[8],且主体曝气生物滤池工艺采用“前置反硝化+硝化+后置反硝化”强化脱氮的组合形式,保证了 TN、氨氮的去除,深度处理采用带活性炭应急投加功能的后置加砂高效沉淀池+滤布滤池+加氯接触池工艺,通过混凝絮凝沉淀反应以及 $10\ \mu\text{m}$ 孔径滤布的精密过滤作用,对 SS 和 TP 进行去除;活性炭应急投加对可能超标的溶解性不可生物降解 COD 进行去除,确保出水水质达到设计出水标准。

(2)全面的臭气减量收集处理技术达成高标准除臭:从源头减少臭气产生。曝气生物滤池采用下进上出的形式,水面为低臭气浓度的处理后污水,从源头减少了臭气量;对产生臭气的区域进行加盖加罩封闭,同时所有产生臭气单元均布置于地下,杜绝了臭气逸散至周边的可能,最大程度避免了邻避效应;高效的组合除臭工艺最大限度降低臭气浓度。厂区产生的臭气通过除臭管道系统实现全收集,采用生物除臭+活性炭吸附的组合式除臭工艺对臭气进行处理,将臭气浓度处理至 200(无量纲)以下后集中高空排放,实际臭气排放浓度是国家标准臭气排放浓度 $[2\ 000(\text{无量纲})]$ 的 $1/10$ 。

(3)污泥采用“离心浓缩脱水+低温干化”工艺,采用离心浓缩脱水技术将污泥含水率降低至 80% 以下,进一步采用低温干化工艺将污泥含水率降至 45% 以下后外运处置。采用的低温冷干化工艺干化

温度为 $60\sim 80\ ^\circ\text{C}$,温度较低,且采用除湿干化结构,污泥干化过程中无搅动,污泥中有机质挥发少,污泥颗粒度较高,粒径分布均匀,有利于污泥后处理,可用作制造肥料。

5.2 集约节约

占地面积极小,土地利用效率极高,是浙江省用地指标最低的污水厂之一。全厂占地指标仅为 $0.18\ \text{m}^2/(\text{m}^3\cdot\text{d})$,是国家污水厂建设用地指标的 $1/5$ 。

(1)占地面积小的工艺技术选择:生物滤池工艺作为主体处理工艺,大大降低了项目用地面积^[12]。深度处理选用沉淀效率高、表面负荷高(高峰表面负荷为 $33.7\ \text{m}^3/\text{h}$)的加砂高效沉淀池及占地面积小的滤布滤池工艺。

(2)紧凑的平面组合形式:各处理单元紧凑布置于地下一体化水处理箱体中,采用共壁技术使得各处理单元无缝衔接,各单体均采用矩形的平面布置形式,通过合理布置实现整体组合,最大限度减少占地面积。

(3)上下叠合的竖向布置:为充分利用垂直空间,将配套管理用房、变电所等配套建筑布置于地下一体化箱体上方的地面层;将加药间、鼓风机房等辅助用房布置于水池上方的箱体操作层;同时将中、细格栅及曝气沉砂池及前置高效沉淀池与进水调节池上下叠建,进一步减小箱体占地面积。

5.3 融合共享

(1)邻避效应极小,与周边民用建筑零距离共存。地下污水厂通过全面的臭气减量收集处理技术将臭气浓度处理至 200(无量纲)以下后集中高空排放,实际臭气排放浓度是国家标准臭气排放浓度 $[2\ 000(\text{无量纲})]$ 的 $1/10$,对周边几乎无影响,邻避效应极小。

(2)地上空间共享。之江净水厂为地下式污水处理厂,污水处理设施均设置于地下,地上部分除必要的生产配套设施外,剩余空间均对外开放,为东侧之江医院提供了近百个停车位。

5.4 绿色低碳

(1)出水资源回用。之江净水厂不再是传统意义上的污水处理厂,而是 1 座实际意义上的再生水厂,其高标准出水除用作厂区生产杂用、绿化浇灌、景观水体的回用水外,剩余部分均作为铜鉴湖的生态补水,实现出水 100% 回用。

(2)污泥资源回用。本工程出厂污泥具有高有机质含量、低含水率的特点,是良好的制肥原料,目前被用于生产化肥。

(3)多措施节能降碳。设置绿色环保的光导照明系统,以室外自然光为光源。采用智能照明系统,降低照明能耗。采用变频驱动调速技术,降低设备能耗。采取灵活的工艺流程设计,设置必要的超越,合理调配工艺流程,降低处理成本。采用智慧加药系统,最大程度节约药剂投加。

6 技术经济指标分析

本项目箱体总规模为 16 万 m³/d,一期设备规模为 8.0 万 m³/d,按土建规模计算,占地指标为 0.18 m²/(m³·d),工程总投资约为 13.5 亿元,工程费约为 9.1 亿元,运行成本为 1.83 元/m³。

7 运行效果

之江净水厂工程已于 2023 年底建成并投入运行,目前运行状态良好,出水可稳定达到设计要求,2023 年 11 月—2024 年 10 月的出水水质情况如表 3 所示,运行期间电耗及部分药耗情况如表 4 所示。

表 4 运行期间电耗及部分药耗成本分析

Tab. 4 Analysis of Electricity Consumption and Partial Chemical Consumption Costs During Operation

项目	本工程	MBR 工艺污水厂 ^[8,10,13]	对比分析
电耗/(元·m ⁻³)	0.47	0.45~0.65	MBR 工艺回流量大、曝气量大,吨水电耗较大 ^[8-9,13]
PAC、PAM 药耗/(元·m ⁻³)	0.18	0.20~0.26	生反池投加除磷药剂,药剂除了与磷酸根离子发生絮凝沉淀反应外,混合液中其他 SS 也会消耗处理药剂,除磷药剂投加量稍高 ^[8]
碳源药耗/(元·m ⁻³)	0.50	0.12	本工程前端预处理消耗部分污水中有机物,导致碳源投加量大
合计/(元·m ⁻³)	1.15	0.77~1.03	总体运行成本略高于 MBR 工艺,但膜的定期更换使 MBR 的整体运行成本与生物滤池工艺相差不大

解决了地块开发的污水出路问题,对地区水环境改善及水源保护有着广泛的影响,使地区经济产业发展不受环境的制约,助力地区经济发展。

(3)生物滤池作为生物处理单元的运行成本虽略高于 MBR 工艺,但考虑无定期换膜费用,且占地更小、总投资更低,仍是一种可选的污水处理模式。本项目的成功为极小用地情况下高标准出水要求的污水处理厂建设提供了新的思路。

参考文献

[1] 黄文章,王子龙. 深圳沙河水质净化厂及 3#调蓄池工艺设计要点及特点[J]. 净水技术, 2024, 43(6):169-178.
HUANG W Z, WANG Z L. Key points and characteristics of process design of Shahe underground WWTP and 3# storage tank

表 3 运行期间的出水水质 (单位: mg/L)

Tab. 3 Effluent Quality During Operation (Unit: mg/L)

项目	COD	BOD ₅	SS	TN	氨氮	TP
频率统计值 (90%)	12.8	1.26	1.0	8.2	0.11	0.12
设计出水水质	20.0	4.00	5.0	10.0	1.00(1.50)	0.20
平均值	10.5	1.00	1.0	6.5	0.10	0.10
最大值	15.5	2.90	2.0	10.0	0.40	0.20
最小值	3.8	0.10	1.0	2.1	0	0

注:括号内数值为 11 月—来年 3 月的控制指标;括号外数值为 4 月—10 月的控制指标。

8 结语

(1)本项目建设内容主要为新建一座全地下式污水处理厂,其中土建按 16 万 m³/d 规模一次性建设,设备按 8 万 m³/d 规模配置。污水处理采用的“预处理+BAF+深度处理”组合工艺可以确保出水水质稳定达到设计出水标准。

(2)本工程是浙江省用地指标最低的污水处理厂之一,极小的占地面积降低了工程费用,有效地控制了投资,取得了良好的经济效益。本项目的实施

in Shenzhen[J]. Water Purification Technology, 2024, 43(6): 169-178.

[2] 朱嘉祺,朱宇峰,徐文征. 奎河污水处理厂不停水节地全地下提标及扩建工程方案设计[J]. 净水技术, 2021, 40(s1): 164-169.

ZHU J Q, ZHU Y F, XU W Z. Project design for upgrading and expansion of Kuihe wastewater treatment plant with non-stop water, land saving and underground [J]. Water Purification Technology, 2021, 40(s1): 164-169.

[3] 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 X C, NIU T H. 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.

[4] 侯锋,高靖伟,韩磊,等. 下沉式污水处理厂集约化设

- 计——以贵阳龙洞堡再生水厂为例[J]. 净水技术, 2021, 40(7): 133-140.
- HOU F, GAO J W, HAN L, et al. Integrated design of underground WWTP——Case study of Longdongbao WWTP in Guiyang[J]. Water Purification Technology, 2021, 40(7): 133-140.
- [5] 胡翔. 大型城市污水处理厂全地下式改建思路与方案[J]. 净水技术, 2023, 42(11): 182-190.
- HU X. Ideas and schemes for fully underground reconstruction of large-scale urban WWTP[J]. Water Purification Technology, 2023, 42(11): 182-190.
- [6] 杭州之江城市建设投资集团有限公司. 之江净水厂工程环境影响报告书[EB/OL]. (2022-03-23) [2025-02-07]. <https://www.doc88.com/p-48939679152714.html>.
- Hangzhou Zhijiang City Construction Investment Group Co., Ltd. Announcement of environmental impact assessment information for zhijiang water treatment plant project[EB/OL]. (2022-03-23) [2025-02-07]. http://sthjt.zj.gov.cn/art/2022/3/23/art_1229731954_21383.html.
- [7] 杭州之江城市建设投资集团有限公司. 之江生态湿地及中水利用工程环境影响报告表[EB/OL]. (2022-11-29) [2025-02-07]. <https://www.doc88.com/p-90629777604404.html>.
- Hangzhou Zhijiang City Construction Investment Group Co., Ltd. Environmental impact assessment report for Zhijiang ecological wetland and reclaimed water utilization project[EB/OL]. (2022-11-29) [2025-02-07]. http://sthjt.zj.gov.cn/art/2022/11/29/art_1229735941_12211.html.
- [8] 常云红, 刘然, 周榆程. 地下式污水处理厂 3AMBR 工艺运行特征分析[J]. 给水排水, 2017, 43(8): 60-62.
- CHANG Y H, LIU R, ZHOU Y C. Analysis on operation characteristics of 3AMBR process in underground sewage treatment plant[J]. Water & Wastewater Engineering, 2017, 43(8): 60-62.
- [9] 谢晓旺, 李露泽. AAO-MBR 工艺在某城镇污水处理厂中的应用[J]. 净水技术, 2020, 39(8): 23-27.
- XIE X W, LI L Z. Application of AAO-MBR process in a urban wastewater treatment plant[J]. Water Purification Technology, 2020, 39(8): 23-27.
- [10] 应林荣, 党勇杰, 姚云波, 等. 污水厂 AAO-MBR 处理工艺沿程运行效果分析[J]. 净水技术, 2021, 40(7): 71-74, 153.
- YING L R, DANG Y J, YAO Y B, et al. Analysis of effectiveness along the operation process of AAO-MBR in WWTP[J]. Water Purification Technology, 2021, 40(7): 71-74, 153.
- [11] 张超, 刘成军, 陈力子, 等. 西安某地下式污水处理厂的设计特点与应用[J]. 净水技术, 2024, 43(4): 161-168.
- ZHANG C, LIU C J, CHEN L Z, et al. Design characteristics and application of an underground WWTP in Xi'an[J]. Water Purification Technology, 2024, 43(4): 161-168.
- [12] 陈旺源, 杨炯男, 张一倩. 生物滤池工艺应用于地下式污水厂的优缺点[J]. 城市道桥与防洪, 2024(6): 172-177.
- CHEN W Y, YANG J N, ZHANG Y Q. Advantages and disadvantages of biological aerated filter in the underground wastewater treatment plant[J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2024(6): 172-177.
- [13] 高术波. 多级 AO+MBR 工艺在污水厂提标改造中的应用——以北京某污水厂为例[J]. 净水技术, 2020, 39(8): 28-31.
- GAO S B. Application of multilevel AO+MBR process in upgrading and reconstruction project——Case study of a WWTP in Beijing[J]. Water Purification Technology, 2020, 39(8): 28-31.

(上接第 108 页)

- [29] DESJARDINS C, KOUDJONOU B, DESJARDINS R. Laboratory study of ballasted flocculation[J]. Water Research, 2002, 36(3): 744-754.
- [30] GHANEM A V, YOUNG J C, EDWARDS F G. Mechanisms of ballasted floc formation[J]. Journal of Environmental Engineering, 2007, 133(3): 271-277.
- [31] 夏莉, 彭建国, 刘文彬. ACTIFLO 高密度沉淀池应用于污水厂升级改造[J]. 水处理技术, 2021, 47(2): 137-140.
- XIA L, PENG J G, LIU W B. Application of ACTIFLO high-density sedimentation tank in upgrading of sewage treatment plant[J]. Technology of Water Treatment, 2021, 47(2): 137-140.