

沈林亚. 淮南市石姚湾净水厂总体设计方案及运行效果分析[J]. 净水技术, 2026, 45(4): 174-180.

Shen L Y. Overall design and operational performance analysis of Shiyaoan WWTP in Huainan City[J]. Water Purification Technology, 2026, 45(4): 174-180.

淮南市石姚湾净水厂总体设计方案及运行效果分析

沈林亚*

(同济大学建筑设计研究院<集团>有限公司, 上海 200092)

摘要 【目的】 为了有效缓解淮南市东部片区第一污水厂满负荷运行压力,降低污水主管运行负荷,避免城区内污水长距离输送,考虑新建一座石姚湾净水厂,设计规模为5万 m³/d,主要处理对象为城区居民生活污水。【方法】 经过工艺比选,石姚湾净水厂一级处理采用粗格栅+细格栅+曝气沉砂池工艺;二级生物处理采用巴顿甫(AAOAO)+二沉池工艺;污水深度处理采用高效沉淀池+反硝化深床滤池;污泥处理采用带式压滤系统;消毒工艺采用次氯酸钠消毒;厂区除臭采用全过程除臭技术。设计出水化学需氧量(COD)、五日生化需氧量(BOD₅)、总磷(TP)、氨氮执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中IV类标准,总氮(TN)质量浓度≤10 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)的一级A标准。出水一部分排入排洪沟,一部分用作龙湖公园景观补水。污泥处理至含水率不高于80%后,运送至厂区内的淮南市污泥处置中心进行干化处置。臭气排放达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的大气污染物排放二级标准。【结果】 石姚湾净水厂自运行以来效果良好,近一年水质监测数据显示,平均出水COD质量浓度为11.43 mg/L,去除率约为93%;平均出水BOD₅质量浓度为3.00 mg/L,去除率约为96%;平均出水氨氮质量浓度为0.16 mg/L,去除率约为99%;平均出水TN质量浓度为7.26 mg/L,去除率约为70%;平均出水TP质量浓度为0.05 mg/L,去除率约为97%;平均出水悬浮物(SS)质量浓度为2.66 mg/L,去除率约为97%。【结论】 石姚湾净水厂出水水质稳定,可达设计要求,平均处理成本为2.5元/m³,平均可变成本为0.53元/m³,可为同类型污水处理厂的设计提供借鉴。

关键词 污水处理厂 比选 Bardenpho 工艺 全过程除臭 处理效果

中图分类号: TU992 **文献标志码:** B **文章编号:** 1009-0177(2026)04-0174-07

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2026.04.020

Overall Design and Operational Performance Analysis of Shiyaoan WWTP in Huainan City

Shen Linya*

(Tongji Architectural Design <Group> Co., Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract [Objective] To effectively alleviate the operational pressure on the Huainan Eastern District No. 1 wastewater treatment plant (WWTP) due to its full capacity, reduce the load on the main sewage pipelines, and avoid long-distance sewage transmission within the urban area, the Shiyaoan WWTP has been newly constructed with a design capacity of 50 000 m³/d, the WWTP primarily treats domestic wastewater. [Methods] Through process comparison and selection, primary treatment utilizing the combination of coarse screen, fine screen, and aerated grit chamber; secondary biological treatment using the Bardenpho (AAOAO) process followed by secondary sedimentation tanks; advanced wastewater treatment comprising high-efficiency sedimentation tanks and denitrifying deep-bed filters; sludge treatment employing a belt filter press system; disinfection using sodium hypochlorite; and plant-wide odor control implementing whole-process odor control technology. The effluent chemical oxygen demand (COD), five-day biochemical oxygen demand (BOD₅), total phosphorus (TP), and ammonia nitrogen shall comply with the class IV standards specified in the *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838—2002), with total nitrogen (TN) mass concentration ≤10 mg/L. The remaining indices shall comply with the grade A standards specified in the *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plants* (GB 18918—2002). A portion of the effluent is discharged into a flood drainage ditch, while another portion is used as supplementary water for the landscape of Longhu Park. Sludge is treated to a moisture content not exceeding 80% and then

[收稿日期] 2025-12-09

[通信作者] 沈林亚(1993—),女,工程师,主要从事水污染控制与资源化利用等工作,E-mail:1057566883@qq.com。

transported to the Huainan sludge disposal center located within the plant site for drying and final disposal. Odor emissions comply with the secondary standards for air pollutant emissions. [**Results**] The Shiyawan WWTP has been operating effectively since its commissioning, with the following average effluent concentrations over the past year: COD average mass concentration of 11.43 mg/L (approximately 93% removal rate), BOD₅ mass concentration of 3.00 mg/L (approximately 96% removal), ammonia nitrogen average mass concentration of 0.16 mg/L (approximately 99% removal rate), TN average mass concentration of 7.26 mg/L (approximately 70% removal rate), TP average mass concentration of 0.05 mg/L (approximately 97% removal rate), and suspend solid (SS) average mass concentration of 2.66 mg/L (approximately 97% removal rate). [**Conclusion**] The effluent quality of this WWTP can stably meet the design requirements, with an average treatment cost of 2.5 yuan/m³ and an average variable cost of 0.53 yuan/m³. It can serve as a reference for the design of similar WWTPs.

Keywords wastewater treatment plant (WWTP) comparison and selection Bardenpho process whole-process deodorization treatment performance

根据《2023年中国城市建设状况公报》，到2023年年底，全国污水处理厂处理能力已达2.27亿m³/d，近10年来全国污水处理总量呈现连续增长趋势。在污水处理技术方面，逐步升级为涵盖深度脱氮除磷、高级氧化、生态净化等多元组合技术的“三级处理”阶段。受纳水体敏感区域或水资源稀缺地区，相继推行以更高标准为核心的超低排放限值，旨在将污水处理厂功能从传统的污染削减拓展为潜在的再生水水源，服务于城市景观、生态补水及工业回用，从而缓解水资源压力。本文以皖北地区污水厂为例，分析了污水处理厂工艺流程及具体工程设计，以期为同类型污水处理厂的设计和运行提供参考和建议。

1 工程概况

淮南是国家重要新型综合能源基地、皖北新型城镇集聚区、皖北承接产业转移集聚区，常住人口城镇化率增速居全省前列，是皖北唯一人口净流入城市。淮南市现状人口主要分布于东部片区，随着区域经济快速发展，片区人口不断增长，污水排放量也逐年增加。考虑到东部片区第一污水厂已达到负荷上限，亟须对该污水处理厂主进水管进行分流。新建石姚湾净水厂一方面可以有效解决第一污水厂满负荷运行的问题，降低污水干管负荷，利于整个污水处理系统的管理运行；另一方面可以避免城区内污水长距离输送，大幅降低运行费用。

2 设计规模与标准

2.1 设计规模

根据上位污水规划划定石姚湾净水厂服务范围，服务面积共20km²。采用不同预测方法测算平均污水量为4.68万m³/d，考虑一定余量，石姚湾净水厂

设计规模为5万m³/d，污水总变化系数取1.58。

2.2 设计标准

污水厂进水水质直接关系到处理工艺流程及其参数的选择、生产构筑物和设备容量的确定、工程造价以及污水处理成本。根据城市总体规划和污水专项规划，石姚湾净水厂服务范围内用地以居住用地为主，且和第一污水处理厂服务范围内用地性质类似，因此第一污水处理厂的进水水质有相应参考意义。根据第一污水厂近2年进水水质最终确定石姚湾净水厂进水水质。石姚湾净水厂出水化学需氧量(COD)、五日生化需氧量(BOD₅)、总磷(TP)、氨氮执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中IV类标准，总氮(TN)质量浓度≤10mg/L，其余指标执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准。本案例设计进出水水质如表1所示。

表1 石姚湾净水厂设计进出水水质
Tab. 1 Designed Influent and Effluent Quality of Shiyawan WWTP

指标	设计进水/(mg·L ⁻¹)	设计出水/(mg·L ⁻¹)
COD	280	30
BOD ₅	105	6
悬浮物(SS)	130	10
氨氮	43	1.5
TN	50	10
TP	2.5	0.3

污泥处理至含水率不高于80%后，运送至厂区内的淮南市污泥处置中心进行干化处置。臭气排放达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的大气污染物排放二级标准。

3 工艺比选及流程

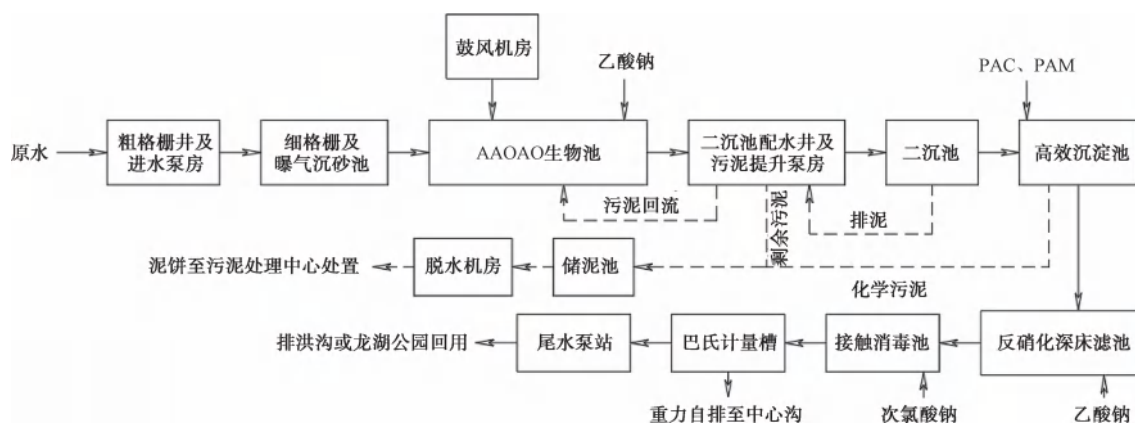
国内常见的生化处理单元有厌氧-缺氧-好氧(AAO)、膜生物反应器(MBR)和氧化沟等及其衍生工艺。MBR工艺具有节省占地面积、排泥量少等优点^[1],但其对进水水质要求高,通常需要前置精细格栅工艺,膜清洗及日常损耗更换成本较高^[2]。氧化沟工艺占地面积大,脱氮除磷效果有限,近年来为实现污水厂提标改造,将氧化沟改造为AAO等工艺的工程实践案例也多有报道^[3-4]。结合当地水务公司运营习惯和经验,本案例污水厂生物处理采用Bardenpho(AAO)工艺,相较于传统AAO工艺增加了二级缺氧池和二级好氧池,具有较高的抗冲击负荷,脱氮除磷效果好^[5]。

深度处理采用混凝沉淀+过滤+消毒的工艺组合形式。考虑到本案例TP去除率要求较高(去除率为88%),沉淀池选用高效沉淀池形式,二沉池出

水投加除磷药剂后进入高效沉淀池进行化学除磷,确保高效沉淀池出水TP浓度达标。出水TN质量浓度要求不高于10 mg/L,高效沉淀池后设置反硝化深床滤池,根据进水情况灵活投加碳源,进一步提高反硝化能力^[6-7]。

传统污水厂除臭工艺可归纳为生化法和物化法2种^[8]。近年来全过程除臭在污水厂的应用逐渐广泛,其原理是利用培养箱内的填料对污水中的脱氮、除磷及脱硫等优势微生物进行富集与驯化,这些经强化的微生物随回流污泥进入系统全流程,并不断增殖,最终实现对氨气(NH₃)和硫化氢(H₂S)等恶臭物质的全流程高效去除。全过程除臭装置安装便利,相较于传统除臭方式成本较低^[9],在我国较多地区已成功应用。本案例污水厂除臭方式设计为全过程除臭。

本案例污水厂工艺流程如图1所示。



注:PAC为聚合氯化铝,PAM为聚丙烯酰胺。

图1 工艺流程

Fig. 1 Process Flow

4 工程设计

4.1 设计内容

包括场地平整工程、厂区平面布置、土石方工程、深基坑支护,污水处理厂工程内的构筑物、建筑物、管线、工艺安装、设备购置、仪表、电气、自动化控制、厂外配套(进厂道路及桥梁)等工程。

4.2 总平面布置

净水厂厂址现状基本为鱼塘及农田,西侧为空地,南侧为现状河道,东侧为规划淮河大道,北侧为现状河道。污水进水管位于污水处理厂东南侧,处理后尾水向北侧排入排洪沟或龙湖公园,故确定污水处理构筑物的布置宜顺流程自南向北排列,总平

面布置如图2所示。

污水处理单元布置结合工艺设计总体布局,合理功能分区,整个厂区划分成污水处理区、污泥处理区、办公生活区3个区域。污水处理区生产构筑物从南至北、由东向西顺流程布置,依次为粗格栅及进水泵房、细格栅及曝气沉砂池、AAOAO生物反应池、配水井及污泥泵房、二沉池、高效沉淀池、反硝化深床滤池、消毒池、巴氏计量槽及出水泵房。鼓风机房靠近AAOAO生物反应池,变配电间紧邻鼓风机房,靠近用电负荷中心。

厂区西南侧地块为污泥处理区。储泥池、污泥脱水机房位于厂区的南端,紧挨污泥处理中心,处于



图2 总平面布置及分区

Fig. 2 General Layout and Zoning of the WWTTP

常年主导风向的下风向。

厂区主干道宽为 6.0 m, 次干道宽为 4.0 m, 环绕污水处理厂各处理设施, 厂区道路结合功能平面入口与交通流线, 形成完整的交通组织, 且符合消防与交通的规范要求。

4.3 竖向设计

结合防洪水位要求, 本案例污水厂设计地面标高为 20 m, 污水处理厂污水经进水泵房一次提升后经重力流经各处理构筑物, 尾水经提升后排入北侧排洪沟或用于龙湖公园再生水补水。

4.4 工艺设计

4.4.1 预处理单元设计

进水采用粗细 2 道格栅+沉砂池的形式。粗格栅栅隙取 20 mm, 细格栅栅隙取 5 mm。常见沉砂池类型有旋流沉砂池和曝气沉砂池, 刘梁等^[10]研究了不同沉砂池的除砂率, 发现砂粒去除率与其粒径大小直接相关, 对于大于目标截留粒径的颗粒, 去除率随粒径增大而提高, 而对于小于该粒径的颗粒, 其去除率趋近于零, 适当延长曝气沉砂池停留时间可以有效提升除砂率。考虑到本案例进水主要来自生活污水, 无机砂粒粒径均较小, 设计采用曝气沉砂池, 停留时间取 7 min。

4.4.2 生物处理单元设计

生化池采用 Bardenpho(AAO)工艺, 1 座分 2

池, 冬季设计水温按 10 ℃计, 设计混合液悬浮固体 (MLSS) 质量浓度为 3.5 g/L, 总停留时间取 18 h, 其中预缺氧区停留时间为 0.5 h, 厌氧区停留时间为 1.5 h, 第一缺氧区停留时间为 6.0 h, 第一好氧区停留时间为 8.0 h, 第二缺氧区停留时间为 1.5 h, 第二好氧区停留时间为 0.5 h。气水比设计为 7 : 1, 曝气采用微孔曝气的形式。混合液回流比为 300%, 污泥回流比为 100%, 污泥龄为 15.8 d。

生化池出水经配水井配水后, 均匀分配至 2 座二沉池。二沉池采用周进周出的形式, 峰值表面负荷为 1.08 m³/(m²·h), 单池池径为 44 m。结合近一年运行水量数据, 平均表面负荷为 0.75 m³/(m²·h), 改变孔距及宽度的配水渠的设计确保了进水均匀性。

4.4.3 深度处理单元设计

设计高效沉淀池 1 座, 分 2 格运行。混合时间为 1.55 min, 设置 2 台混合搅拌机。絮凝时间为 14.23 min, 设置 4 台絮凝搅拌机。沉淀池斜管区峰值上升流速为 11.7 m/h, 平均上升流速为 7.4 m/h。设置反硝化深床滤池 1 座, 分 7 格运行, 单池过滤面积为 64.4 m², 强制滤速为 8.52 m/h, 按一格反冲洗校核强制滤速为 8.52 m/h。设接触消毒池 1 座, 接触时间为 33 min。

4.4.4 加药单元设计

加氯加药间主要用于次氯酸钠、PAC、PAM 和乙酸钠 4 种药剂存放及投加。设置次氯酸钠储罐 2 台, 单台容积 V=20 m³, 次氯酸钠加药泵采用撬装系统, 单台加药泵流量 Q=0~200 L/h, 扬程 H=0.3 MPa、功率 N=0.25 kW, 2 用 1 备。设置 PAC 储罐 2 台, 单台 V=50 m³, 并配置 3 台 Q=0~350 L/h、H=0.35 MPa、N=0.55 kW 加药泵, 2 用 1 备。设置 PAM 泡药机 1 台, 干粉投加能力为 1.6 kg/h。设置 2 座乙酸钠储罐, 单座 V=50 m³, 配置 4 台加药泵, 单泵 Q=500 L/h、H=0.3 MPa、N=1.5 kW, 3 用 1 备, 目前碳源投加点位于 AAO 池第一缺氧段, 反硝化深床滤池预留加药管。

4.4.5 污泥处理单元设计

污泥处理单元含 1 座储泥池和 1 间脱水机房。储泥池 1 座分 2 格, 每格设置 1 台 N=0.75 kW 的潜水搅拌机。脱水采用带式脱水机, 设计污泥量约为 7.2 t DS/d (DS 为绝干污泥), 进泥含水率为 99.24%, 配置 3 台带式脱水机, 带宽为 2 m, 2 用 1 备。脱水污泥运送至厂区内的淮南市污泥处置中心

进行干化处置。

4.4.6 除臭单元设计

本工程除臭设计采用全过程除臭,将培养罐置于生物反应池好氧池内进行培养,除臭微生物(土壤性微生物)菌群会随着工艺的内回流及外回流充斥整个生物反应池,随后剩余污泥经过浓缩脱水,最终以脱水泥饼的形式外运处置。设计10套微生物培养系统,单套直径为1650 mm,高度为1800 mm。

4.5 结构设计

各构筑物及管理用房形式均采用现浇钢筋混凝土结构。粗格栅进水泵房埋深较大,采用沉井施工,其余构筑物均采用放坡大开挖施工,人工降水或轻型井点降水。本次设计大部分构筑物埋置深度较浅,经核算大部分构筑物满足结构自重抗浮,对自重无法满足抗浮要求时拟采用配重抗浮。污水厂厂址现状为鱼塘,污水处理厂工程地质勘察资料显示:①层为耕填土,局部水沟位置含淤泥质土,①-1层为淤泥,呈软

塑~流塑形态,不可直接作为基础持力层。在构筑物施工之前,先行对场地内①层耕填土、①-1层淤泥进行清除,然后回填至设计场坪标高20.0 m,厂区内各构筑物基础采用回填土压实地基基础。

5 技术经济分析

本工程概算总投资为2.38亿元,建安费为2.63亿元(含场地清淤及地基处理费用8000万元),平均处理成本为1.3元/m³,平均可变成本为0.46元/m³。厂区占地面积为6.39 hm²,建筑总面积为5994.34 m²,容积率为0.147,建筑系数为31.65%,绿地率为48.75%,满足控规规划指标要求。

6 工程运行效果分析

6.1 水质效果分析

本项目自正式通水以来出水水质稳定可达设计要求,本研究选取其近1年(2024年10月—2025年9月)的进出水水质进行去除效果分析,如图3所示。

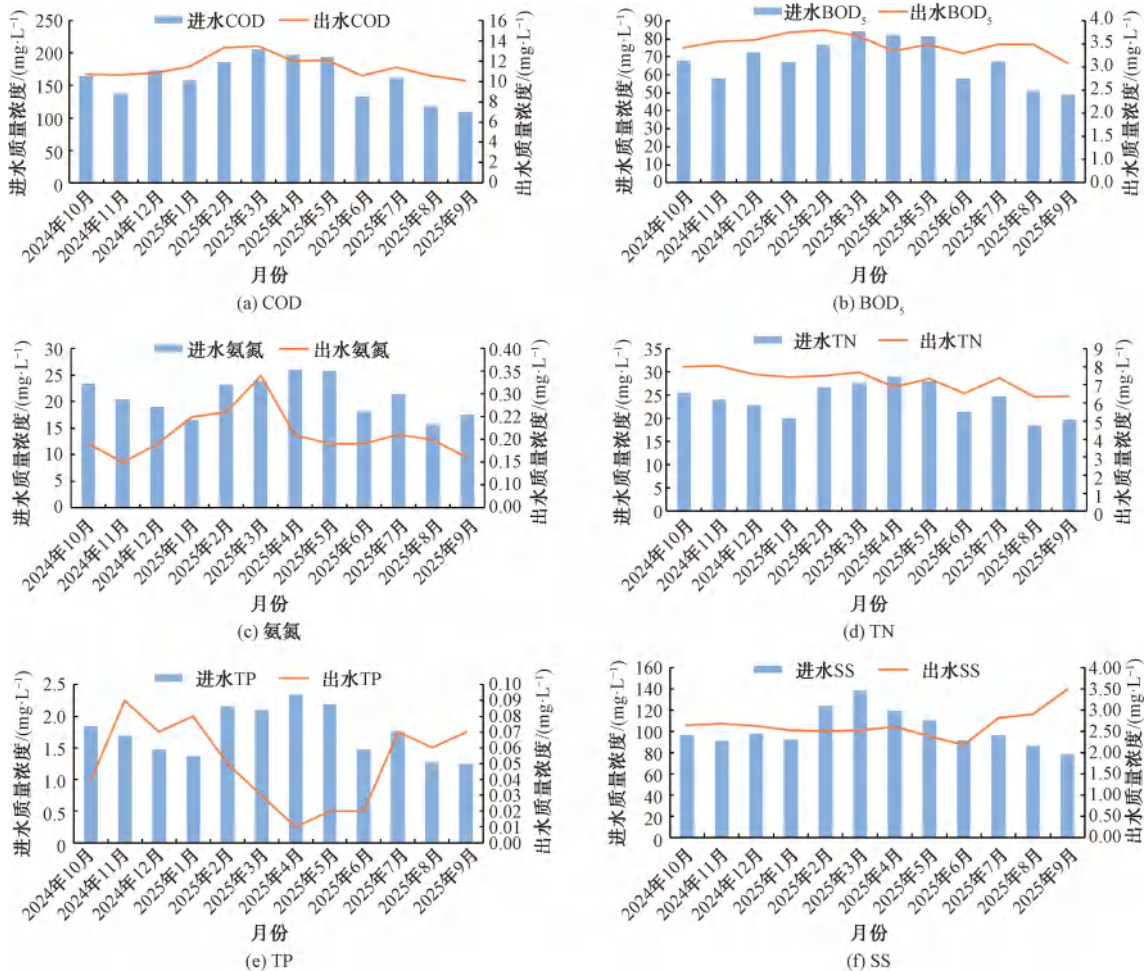


图3 进出水污染物浓度

Fig. 3 Concentrations of Influent and Effluent Pollutants

COD 平均进水质量浓度为 161.49 mg/L, 平均出水质量浓度为 11.43 mg/L, COD 去除率约为 93%。雨季进水污染物浓度明显低于旱季, 说明雨季存在一定程度雨水混入污水系统。BOD₅ 平均进水质量浓度为 67.95 mg/L, 进水 BOD₅/COD=0.42, 进水可生化性较好, BOD₅ 平均出水质量浓度为 3.00 mg/L, 去除率约为 96%。氨氮平均进水质量浓度为 20.92 mg/L, 平均出水质量浓度为 0.16 mg/L, 去除率约为 99%。TN 平均进水质量浓度为 24.03 mg/L, 平均出水质量浓度为 7.26 mg/L, 去除率约为 70%。TP 平均进水质量浓度为 1.74 mg/L, 平均出水质量浓度为 0.05 mg/L, 去除率约为 97%。SS 平均进水质量浓度为 101.75 mg/L, 平均出水质

量浓度为 2.66 mg/L, 去除率约为 97%。厂区臭气浓度稳定可达《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 的大气污染物排放二级标准。

6.2 除臭效果分析

本项目除臭效果良好, 2025 年下半年度厂区废气检测结果如图 4 所示。对厂界 4 个监测点位进行 3 次采样, NH₃ 最大排放质量浓度为 0.41 mg/m³, H₂S 最大排放质量浓度为 0.008 mg/m³, 臭气最大排放浓度为 18; 甲烷采样点位于浓度最高处(生化池厌氧段), 4 次采样结果显示最大排放体积分数为 0.000 296%。废气排放均稳定可达《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 的大气污染物排放二级标准。

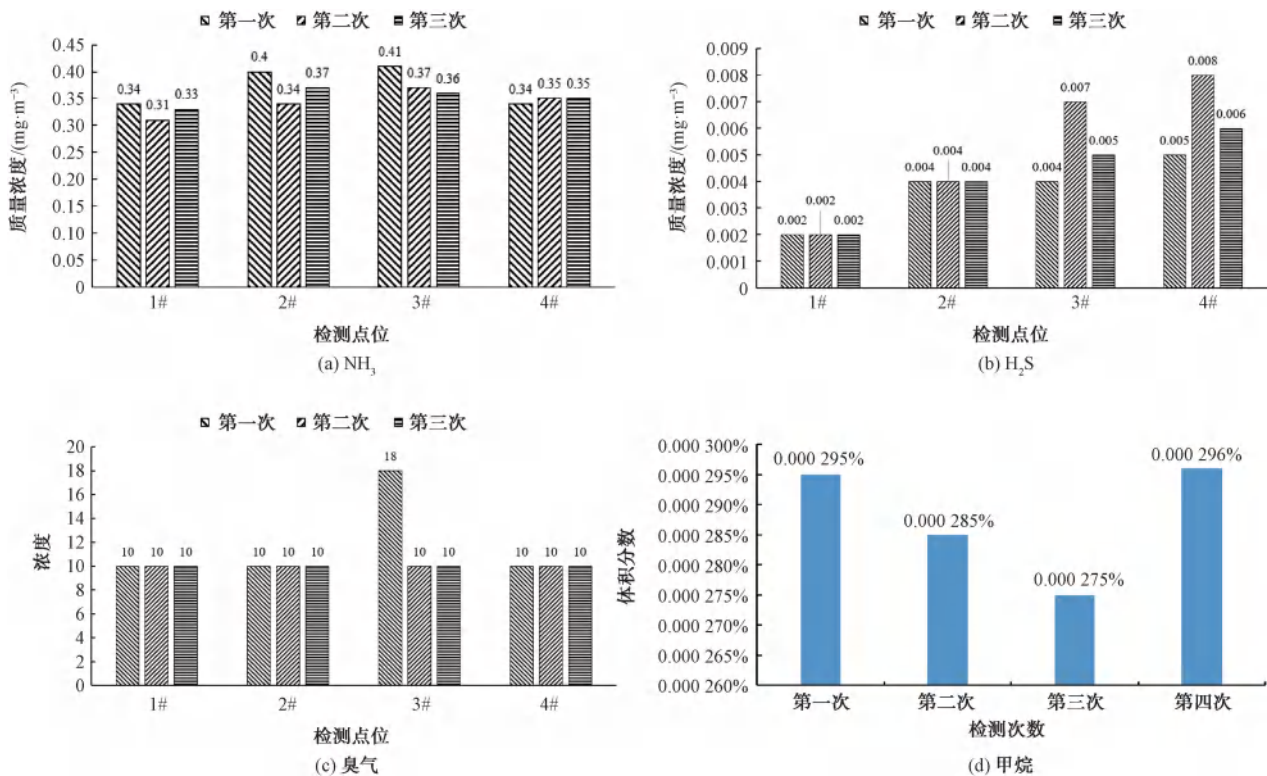


图 4 废气排放浓度

Fig. 4 Emission concentrations

7 结论

(1) 石姚湾净水厂生化处理采用 AAOAO 工艺, 具有较高的抗冲击负荷, 脱氮除磷效果好。

(2) 深度处理采用反硝化深床滤池、高效沉淀池的组合形式, 水力流程设计合理, 运行效果可稳定达标, 运营成本低, 自动化程度高, 运行管理简单。

(3) 采用全过程除臭工艺, 突破了传统污水厂

除臭“点对点”设计, 确保了从源头到末端的全过程臭气处理, 一方面大幅提升了厂区及周边的空气质量, 另一方面大大降低了建设成本及后期运维成本。

参考文献

[1] 苏武, 杨学贵, 张亚宁, 等. 昆明第四水质净化厂 MBR 工艺

- 降低运行成本的措施[J]. 中国给水排水, 2024, 40(20): 100-107.
- Su W, Yang X G, Zhang Y N, et al. Measures to reduce operation cost of MBR process in No. 4 Kunming WWTP[J]. China Water & Wastewater, 2024, 40(20): 100-107.
- [2] 黄青, 杨平, 杨忠启, 等. MBBR 和 MBR 工艺的污水处理效果与碳排放分析[J]. 中国给水排水, 2023, 39(16): 99-104.
- Huang Q, Yang P, Yang Z Q, et al. Analysis on the engineering effect and carbon emission of MBBR and MBR processes for treating sewage[J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(16): 99-104.
- [3] 乔海兵, 赵志太, 李帅军, 等. 污水厂氧化沟改造为 A²O+MBBR+O₃ 工艺提标设计[J]. 中国给水排水, 2023, 39(22): 60-65.
- Qiao H B, Zhao Z T, Li S J, et al. Design of oxidation ditch upgraded to A²O, MBBR and O₃ process in a waste water treatment plant[J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(22): 60-65.
- [4] 卢双, 翟林, 吴利军, 等. 南沙新区某污水厂 AAO 氧化沟工艺不停产提标扩容改造[J]. 水处理技术, 2025, 51(3): 152-156.
- Lu S, Zhai L, Wu L J, et al. Upgrading and expansion of an AAO oxidation ditch without shutdown for a wastewater treatment plant in Nansha new area[J]. Technology of Water Treatment, 2025, 51(3): 152-156.
- [5] 杨海娇, 马晓龙, 李雨航, 等. 某工业园区污水处理厂 Bardenpho 工艺设计与运行[J]. 中国给水排水, 2024, 40(18): 80-84.
- Yang H J, Ma X L, Li Y H, et al. Design and operation of bardenpho process in a wastewater treatment plant in an industrial park[J]. China Water & Wastewater, 2024, 40(18): 80-84.
- [6] 柏春荫, 张庆习, 赵帅, 等. BAF+高效沉淀池+反硝化深床滤池用于准IV类提标[J]. 中国给水排水, 2023, 39(12): 119-124.
- Bai C Y, Zhang Q X, Zhao S, et al. Application of BAF, high-efficiency sedimentation tank and DDBF in upgrading of WWTP for quasi-IV Standard[J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(12): 119-124.
- [7] 何展毅, 饶欠平. 高效沉淀池+反硝化深床滤池在污水厂的应用[J]. 环境工程, 2023, 41(S2): 166-170.
- He Z Y, Rao Q P. High efficiency sedimentation tank + ddbf application in sewage treatment plant [J]. Environmental Engineering, 2023, 41(S2): 166-170.
- [8] 郑贤正. 全地下式污水处理厂除臭系统设计探讨[J]. 城市道桥与防洪, 2024(6): 169-171.
- Zheng X Z. Discussion on design of deodorization system in full underground wastewater treatment plant [J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2024(6): 169-171.
- [9] 王婧瑶, 方皓, 吴银彪, 等. 全过程除臭工艺在北京某再生水厂的应用及其中气液两相污染物的削减过程[J]. 环境工程学报, 2023, 17(9): 2820-2826.
- Wang J Y, Fang H, Wu Y B, et al. Application of the whole process deodorization process in a reclaimed water plant in Beijing and the reduction of gas-liquid two-phase pollutants[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2023, 17(9): 2820-2826.
- [10] 刘梁, 刘伟华, 刘智晓. 城市污水含砂特征及不同沉砂池除砂效率研究[J]. 中国给水排水, 2023, 39(21): 61-66.
- Liu L, Liu W H, Liu Z X. Characteristics of grit distribution in municipal waste water and grit removal efficiency of different grit chambers[J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(21): 61-66.