

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.20.009

# 无锡市基于“新概念”的某污水处理厂工艺设计

靖丹枫, 胡 邦, 张万里

(华昕设计集团有限公司, 江苏 无锡 214072)

**摘 要:** 为解决无锡惠山工业转型集聚区进驻企业的排水问题,同时接纳部分街道生活污水、工业废水及农村纳管新增污水,建设某污水处理厂,其设计规模为 $2.0\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。针对传统污水处理厂存在的高能耗、资源回收不足、新污染物处理能力欠缺等弊端,按照“水质永续、能量自给、资源回收、环境友好”的建设理念(“新概念”),采用“预处理+预缺氧AAOAO生化组合池+硫自养反硝化池/反硝化深床滤池+炭加载多效澄清池+臭氧接触氧化”工艺,设计出水主要指标执行地表水准Ⅳ类标准,同时强化深度处理工艺以满足未来水环境变化和水资源可持续利用的需要。通过构筑物的高度组合克服用地紧张的限制,并通过池顶加盖设置光伏板践行“双碳”理念。实践证明,硫自养反硝化池出水TN稳定在 $3\text{ mg/L}$ 以下,总出水COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN、TP分别稳定在 $30$ 、 $0.1$ 、 $7$ 、 $0.1\text{ mg/L}$ 以下,优于设计标准。

**关键词:** 污水处理厂; 新概念; 预缺氧AAOAO生化组合池; 硫自养反硝化池; 炭加载多效澄清池

中图分类号: TU992 文献标识码: B 文章编号: 1000-4602(2025)20-0060-06

## Process Design of a Sewage Treatment Plant Based on the “New Concept” Approach in Wuxi

JING Dan-feng, HU Bang, ZHANG Wan-li

(Huaxin Design Group Co. Ltd., Wuxi 214072, China)

**Abstract:** A sewage treatment plant with a designed capacity of  $2.0\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$  was constructed in Wuxi to address the drainage challenges faced by enterprises in the Huishan Industrial Transformation Agglomeration Area, and to collect domestic sewage as well as industrial wastewater from local streets, and additional sewage from rural areas connected to the sewer system. The project adopted the “new concept” design philosophy emphasizing sustainable water quality, energy self-sufficiency, resource recovery, and environmental compatibility in response to the limitations of conventional wastewater treatment plants, including high energy consumption, limited resource recovery, and inadequate capacity to address emerging contaminants. The treatment process integrated pretreatment, a pre-anoxic AAOAO biochemical combined tank, a sulfur autotrophic denitrification tank/denitrification deep bed filter, a carbon-loaded multi-effect clarifier, and ozonation. The effluent was designed to meet surface water quality quasi-class Ⅳ limit. Furthermore, the advanced treatment process was enhanced to accommodate future changes in aquatic environments and support the sustainable use of water resources. The high-level integration of the structures addressed the constraints associated with limited land availability, while the “dual carbon” objective was implemented through the installation of photovoltaic panels on the rooftop of the facility. Practical operational data demonstrated that the effluent TN from the sulfur

autotrophic denitrification tank remained stably below 3 mg/L, while the COD, NH<sub>3</sub>-N, TN, and TP in the effluent consistently maintained below 30 mg/L, 0.1 mg/L, 7 mg/L, and 0.1 mg/L, respectively, which was lower than the design limit specified in the standard.

**Key words:** sewage treatment plant; new concept; pre-anoxic AAOAO biochemical combined tank; sulfur autotrophic denitrification tank; carbon-loaded multi-effect clarifier

1 工程概况

无锡惠山工业转型集聚区东区规划面积 9.69 km<sup>2</sup>,主要打造汽车制造、电子信息、新材料和节能环保四大主导产业,目前进驻企业 9 家。为顺应园区招商引资的需求并解决进驻企业的排水问题,同时接纳前洲街道部分安置小区生活污水、玉祁街道部分企业工业废水及部分农村纳管新增污水,按照集约化用地以及结合远期规划发展的原则建设某污水处理厂。该厂主体工艺构筑物设计规模为 2.0×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,部分配套建(构)筑物按照 4.0×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d 规模一次建成土建,设备分期安装。

2 技术方案

2.1 设计进、出水水质

该工程的收水范围包括无锡惠山工业转型集聚区东区、前洲街道部分安置小区和玉祁街道 3 部分,近期废水总量约 1.852×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,其中工业废水

占比约 52%,主要为集聚区硅芯切割废水等,污染物以粒径极小且不易沉降的稳定悬浮颗粒为主,呈弱碱性<sup>[1]</sup>。

根据现状工业企业出水水质并结合类型园区污水处理厂进水水质确定设计进水水质。设计出水主要指标执行地表水准Ⅳ类标准,同时应满足未来水环境变化和水资源可持续利用的需要。设计进、出水水质见表 1。

表 1 设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality mg·L<sup>-1</sup>

| 项目 | COD | BOD <sub>5</sub> | SS  | NH <sub>3</sub> -N | TN  | TP   |
|----|-----|------------------|-----|--------------------|-----|------|
| 进水 | 450 | 150              | 350 | 40                 | 50  | 8    |
| 出水 | ≤30 | ≤6               | ≤10 | ≤1.5(3.0)          | ≤10 | ≤0.3 |

注: 括号外数值为水温>12℃时的控制指标,括号内数值为水温≤12℃时的控制指标。

2.2 工艺流程

该工程具体工艺流程见图 1。

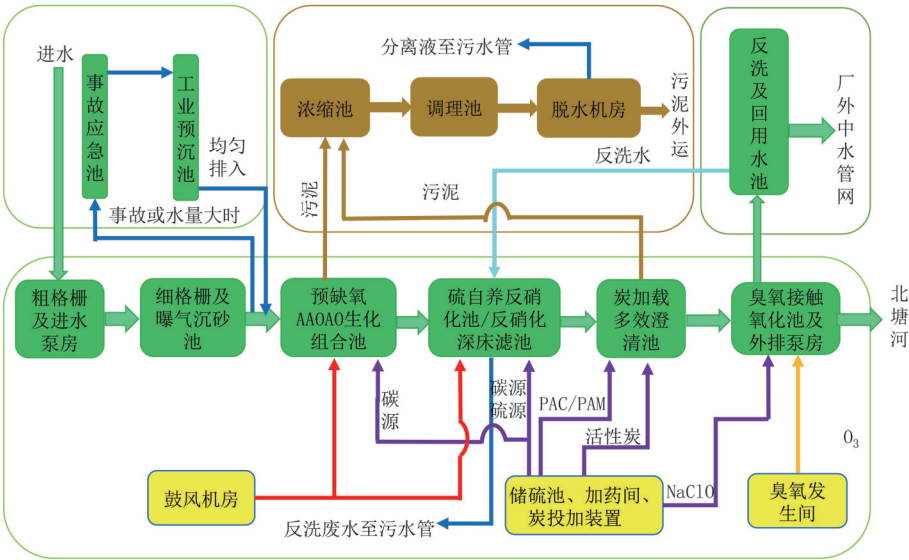


图 1 污水、污泥处理工艺流程

Fig.1 Process flow chart of sewage and sludge treatment

结合设计进、出水水质及建设理念,经工艺比选,该工程污水处理采用“预处理(粗、细格栅+曝气沉砂池)+预缺氧 AAOAO 生化组合池+硫自养反硝

化池/反硝化深床滤池+炭加载多效澄清池+臭氧接触氧化”工艺,同时设置事故应急池及工业预沉池,以应对突发超标工业废水,保障污水处理厂安全稳

定运行,出水经人工湿地后排入北塘河。污泥处理采用“重力浓缩+加药调理+板框压滤”工艺,脱水后污泥含水率低于60%,外运进行干化焚烧处置。臭气处理采用“化学洗涤预处理+生物滤池”工艺。

### 2.3 设计理念

针对传统污水处理厂存在的高能耗、资源回收不足、新污染物处理能力欠缺等问题,设计以“水质永续、能量自给、资源回收、环境友好”的“新概念”为引领,以示范生态文明建设为目标,采用新技术、新工艺和新设备,建设一项可靠的高品质污水资源化工程。该工程位于长江与太湖两大水环境高度敏感区域,在设计过程中系统融入了“碳达峰”与“碳中和”示范性理念,具体体现在以下4个方面:

① 水质永续。出水水质内控标准优于现行国家及地方标准,同时满足水环境变化和水资源可持续发展的需要。

② 能量自给。生化工艺尽量利用原水中的碳源,在后续深度处理工艺中减少碳源投加。

③ 资源回收。出水水质达到再生水回用要求,满足区域内再生水需求。

④ 环境友好。在厂区布置上充分考虑景观建筑,追求人与自然、生态和谐共生,建成新型基础设施。

### 3 设计特点

① 分段进水多级AO,充分利用碳源

生化处理单元采用多点进水预缺氧AAOAO工艺,充分利用原水中碳源,并在两级好氧池设置在线溶解氧测定仪,在各级曝气支管前设置空气调节阀和气体流量计,精确控制曝气量,降低能耗。

② 自养、异养反硝化并行,灵活控制出水总氮

相比传统异养反硝化脱氮技术,硫自养反硝化技术无需另加有机碳源,避免了外加碳源导致脱氮效率较低或出水COD升高的弊端<sup>[2-4]</sup>。该工程共设置6组反硝化池并联,其中1组为硫自养反硝化池,5组为反硝化深床滤池(近期运行3组),根据出水水质及远期碳减排的要求,采用灵活脱氮方式。

③ 炭加载多效澄清池,应对多种情景

多效澄清池具有抗冲击负荷能力强、出水水质优、运行费用低、占地面积小等优势<sup>[5]</sup>,尤其在难降解COD、重金属、色度、微污染物等难处理污染物的去除上具有良好的应用前景和竞争优势。该工程采用炭加载多效澄清池进一步降低二沉池出水中

的难降解COD及TP,满足出水要求的同时,可应对未来水环境变化和水资源可持续发展的需要。

④ 次氯酸钠消毒与臭氧氧化助力“水质永续”

该工程近期采用次氯酸钠消毒。考虑“水质永续”理念,同步设置臭氧接触氧化工艺,减少远期出水中内分泌干扰物(EDCs)、持久性有机污染物(POPs)、药物及个人护理品(PPCPs)等难降解有害物质,此时次氯酸钠仅作为臭氧消毒的补充措施,以应对尾水回用时对余氯浓度有要求的用户需求。

⑤ 负压收集除臭,光伏发电助力碳减排

该工程的预处理和生化池处理构筑物均采用混凝土加盖形式,深度处理构筑物顶部采用顶棚形式。通过负压收集的臭气采用“化学洗涤预处理+生物滤池”处理,运行时可根据具体情况进行调整,如夏季生物法效果较好时可直接超越化学洗涤预处理段,仅采用生物法除臭;冬季低温时则采用“化学洗涤预处理+生物滤池”工艺<sup>[6]</sup>。混凝土池顶、顶棚及管理用房均设置光伏设施,通过“水光融合”实现“地尽其用”,低碳运行,践行“双碳”理念。该工程光伏项目总装机容量360 kW,发电量约36.75×10<sup>4</sup> kW·h/a,减少二氧化碳排放量约880 t/a。

### 4 工艺设计

该工程位于无锡市惠山区惠西大道以南、锦舟路以西,建设用地45 072 m<sup>2</sup>,总平面布置见图2。

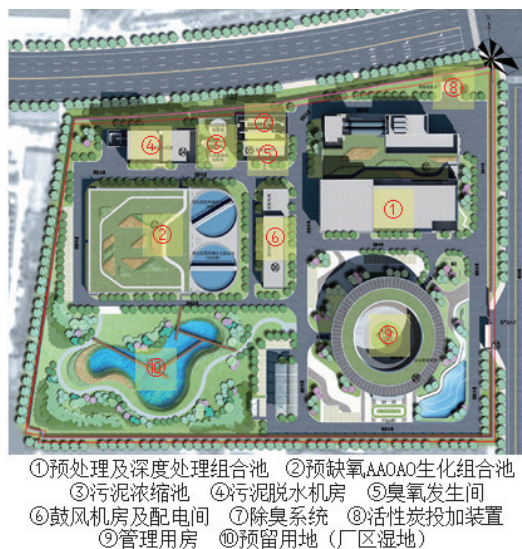


图2 项目总平面布置

Fig.2 Plan layout of the project

根据功能特点和建设计划将厂区分分为3大区域:生产功能区、管理区和远期预留区。其中,管理区位于厂区东南;远期预留区位于厂区西南;生产

功能区位于厂区北部,分为预处理及深度处理区、生化处理区和污泥及臭气处理区3部分。预处理及深度处理区位于厂区东北,主要包括预处理及深度处理组合池、活性炭投加装置等;生化处理区位于厂区中部,主要包括预缺氧AAOAO生化组合池、变配电间及鼓风机房等;污泥及臭气处理区位于厂区西北,主要包括污泥浓缩池、污泥脱水机房、除臭装置等。

#### 4.1 预处理及深度处理组合池

为集约化用地,同时减少造价,该工程将污水预处理部分及深度处理部分合建。其中,预处理部分包括粗格栅及进水泵房、细格栅及曝气沉砂池、事故应急池及工业预沉池;深度处理部分包括硫自养反硝化池/反硝化深床滤池、炭加载多效澄清池、臭氧接触氧化池、反洗/外排及中水回用泵房等,同时将进水监测室、出水监测室及加药间与之合建。组合池平面尺寸78.00 m×64.20 m,采用半地下式钢筋混凝土结构,建筑部分采用框架结构。预处理及深度处理组合池平面布置见图3。

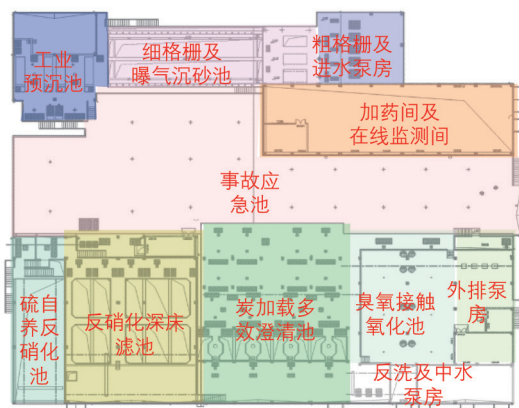


图3 预处理及深度处理组合池平面布置

Fig.3 Plan layout of pretreatment and advanced treatment combined tank

##### ① 预处理系统

粗格栅渠近期安装2台机械回转式粗格栅机,宽1200 mm,栅隙20 mm;泵房近期安装3台潜污泵,2台 $Q=1\,000\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=140\text{ kPa}$ 、 $N=55\text{ kW}$ ,1台 $Q=500\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=140\text{ kPa}$ 、 $N=30\text{ kW}$ ;细格栅渠近期安装2台内进流板式细格栅,宽2200 mm,栅隙3 mm,并配套2台中压冲洗泵及1台高压冲洗泵;曝气沉砂池分2组,峰值水力停留时间13.44 min,安装1套 $L=8.5\text{ m}$ 的桥式吸砂机和2台罗茨风机,单台 $Q=12\text{ m}^3/\text{min}$ 、 $H=49\text{ kPa}$ 、 $N=15\text{ kW}$ ,1用1备;事故应急池有效容积

为8000  $\text{m}^3$ ,按照近期设计规模的有效水力停留时间约9.6 h;工业预沉池土建及设备安装规模为 $0.8\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,采用高效澄清池形式,共设置2组,分为混合池、絮凝池、澄清池及设备间等,澄清池的设计表面水力负荷为 $3.68\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。

##### ② 深度处理系统

硫自养反硝化池平面尺寸23.85 m×7.65 m,设计规模为 $1.0\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,采用流化床形式,主要包括6台分离澄清器、1台混合搅拌器、2台潜水搅拌器及1套硫投加装置。来水首先进入混合池,通过混合搅拌器实现硫源与污水的混合,而后经潜孔流入脱氮池,通过池体下部设置的潜水搅拌器将活性污泥、污水及硫源充分流化、混合,从而完成氮的去除。池内混合液经上部设置的分离澄清系统实现污水与活性污泥的分离,污水经溢流堰进入下一个处理单元,分离的活性污泥回流至反应区。硫水剂(5%)的设计投加量为 $5\text{ m}^3/\text{d}$ 。

反硝化深床滤池总平面尺寸23.85 m×19.80 m,1座5组,近期安装3组,单组面积55.8  $\text{m}^2$ ,平均滤速5.55 m/h,反冲洗的气洗强度为 $92\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ,水洗强度为 $15\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。设反冲洗水泵3台,单台 $Q=373\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=90\text{ kPa}$ 、 $N=15\text{ kW}$ ,2用1备;反冲洗风机3台,单台 $Q=37\text{ m}^3/\text{min}$ 、 $P=73.5\text{ kPa}$ 、 $N=75\text{ kW}$ ,2用1备。

炭加载多效澄清池平面尺寸23.85 m×25.05 m,1座4组,近期设备安装2组,主要由一级活性炭反应池、二级活性炭反应池、混凝反应池、絮凝反应池、澄清池、污泥泵房和污泥储池等组成。一级活性炭和二级活性炭反应池的水力停留时间均为9.33 min,活性炭设计最大投加量50 mg/L;混凝反应池和絮凝反应池的水力停留时间分别为2.28和5.05 min;澄清池单池有效斜管面积21  $\text{m}^2$ ,平均表面水力负荷为 $20\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ;污泥储池有效容积为50.7  $\text{m}^3$ ,主要设备包括各反应池搅拌机、刮泥机、污泥泵、载体回收装置等。

臭氧接触反应池平面尺寸20.30 m×14.40 m,消毒接触时间为45 min,臭氧设计投加量为10 mg/L,有效水深6.0 m,主要设备包括120支臭氧扩散器和1台尾气破坏器。

外排及中水回用泵房平面尺寸20.85 m×8.40 m,经臭氧消毒后30%的污水进行中水回用,主要回用于城市杂用、景观环境和生态补水,其他则经人

工湿地后排入北塘河。主要设备包括2台外排水泵,单台 $Q=500\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=50\text{ kPa}$ 、 $N=18.5\text{ kW}$ ,1用1备;1台外排水泵, $Q=1\,000\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=50\text{ kPa}$ 、 $N=30\text{ kW}$ ;3台恒压供水泵,单台 $Q=50\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=500\text{ kPa}$ 、 $N=7.5\text{ kW}$ ,2用1备。

#### 4.2 预缺氧AAOAO生化组合池

预缺氧AAOAO生化组合池平面尺寸 $83.40\text{ m}\times 54.00\text{ m}$ ,1座2组,每组池体内分为预缺氧区、厌氧区、缺氧区、好氧区、二级缺氧区、二级好氧区、污泥区、二沉池和出水区。生化池采用多点进水方式,总进水由中间渠道和调节堰分配后分别进入预缺氧区、厌氧区和缺氧区,然后进入好氧区、二级缺氧区和二级好氧区,曝气反应后再进入二沉池进行固液分离,污泥回流至预缺氧区与部分进水混合进行反硝化,好氧区硝化混合液回流至缺氧区,二级缺氧区和二级好氧区不设置硝化液回流。生化池总水力停留时间为 $21.31\text{ h}$ ,其中预缺氧区、厌氧区、缺氧区、好氧区、二级缺氧区、二级好氧区分别为 $1.03$ 、 $1.45$ 、 $5.47$ 、 $10.60$ 、 $1.60$ 、 $1.16\text{ h}$ ;MLSS为 $3.5\sim 4.0\text{ g/L}$ ;预缺氧区、厌氧区和缺氧区的进水比例分别为 $10\%\sim 20\%$ 、 $40\%\sim 60\%$ 、 $20\%\sim 50\%$ ,硝化液回流比 $200\%\sim 300\%$ ,污泥回流比 $100\%\sim 150\%$ ,污泥负荷 $0.054\text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS}\cdot\text{d})$ ,供气量 $112\text{ m}^3/\text{min}$ ;二沉池峰值表面水力负荷 $1.17\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ,平均表面水力负荷 $0.78\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ,有效沉淀时间 $4.2\text{ h}$ 。好氧区设置 $1\text{ m}$ 长的管式曝气器 $1\,022$ 根,硝化液回流泵 $5$ 台,单台 $Q=630\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=10\text{ kPa}$ 、 $N=3.75\text{ kW}$ ,4用1备;污泥回流泵 $5$ 台,单台 $Q=210\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=400\text{ kPa}$ 、 $N=1.1\text{ kW}$ ,4用1备。

#### 4.3 污泥浓缩池及污泥脱水机房

污泥浓缩池主要收集工业预沉池、二沉池和炭加载高效澄清池的污泥,污泥量 $450\text{ m}^3/\text{d}$ (含水率为 $99.2\%$ ),单座污泥浓缩池直径 $12\text{ m}$ ,污泥停留时间 $24\text{ h}$ ,固体负荷为 $31.85\text{ kg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ,配备 $1$ 台直径 $12\text{ m}$ 的中心传动污泥浓缩机,功率为 $1.1\text{ kW}$ 。

污泥脱水机房平面尺寸 $26.5\text{ m}\times 18.0\text{ m}$ ,设 $2$ 台面积为 $450\text{ m}^2$ 的板框压滤机,并配套调理池搅拌器、污泥螺杆泵、清洗系统、压榨系统加药装置、输送设备及污泥料仓等,污泥含水率由 $99\%$ 降至 $60\%$ 后,外运进行干化焚烧处置。

#### 5 运行效果及经济技术分析

该污水处理厂于2023年6月建设完成,7月开

始调试、试运行。试运行期间实际负荷约为设计水量的 $55\%$ ,生化池运行 $1$ 组,反硝化深床滤池运行 $2$ 组,炭加载高效澄清池运行 $1$ 组。实际进、出水水质如表2所示。

表2 实际进、出水水质

Tab.2 Actual influent and effluent quality

| mg·L <sup>-1</sup> |                           |                        |                        |                     |
|--------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|
| 项目                 | COD                       | NH <sub>3</sub> -N     | TN                     | TP                  |
| 进水                 | 143.41~442.96<br>(224.07) | 13.20~28.07<br>(22.59) | 22.80~77.38<br>(34.01) | 1.41~9.83<br>(2.79) |
| 出水                 | 9.99~22.22<br>(16.05)     | 0.01~0.08<br>(0.02)    | 1.75~6.59<br>(4.50)    | 0.01~0.09<br>(0.03) |
| 注: 括号内数值为平均值。      |                           |                        |                        |                     |

2024年5月完成硫自养反硝化池试运行验收,系统平均进水量 $7\,700\text{ m}^3/\text{d}$ ,进水TN为 $2.94\sim 5.80\text{ mg/L}$ ,出水TN为 $0.87\sim 2.69\text{ mg/L}$ 。药剂( $5\%$ 的硫水剂)使用量为 $0.40\sim 0.44\text{ L}/\text{m}^3$ ,药剂成本为 $0.10\sim 0.11\text{ 元}/\text{m}^3$ ,低于反硝化深床滤池的碳源投加成本( $0.15\text{ 元}/\text{m}^3$ )。

该工程总投资 $2.92$ 亿元,其中工程直接费 $2.35$ 亿元。运营成本包括药剂费、电费、人员及工资福利、污泥外运处置费、大修及日常维护费等,单位运营成本为 $2.687\text{ 元}/\text{m}^3$ (不含光伏发电抵销成本)。从实际运行数据可知,在设计进水水质条件下,系统出水COD、NH<sub>3</sub>-N、TN、TP分别稳定在 $30$ 、 $0.1$ 、 $7$ 、 $0.1\text{ mg/L}$ 以下,优于设计出水水质。

#### 6 结语

无锡某污水处理厂设计规模 $2.0\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,采用“预处理+预缺氧AAOAO生化组合池+硫自养反硝化池/反硝化深床滤池+炭加载多效澄清池+臭氧接触氧化”工艺,实际运行水质优于地表水准Ⅳ类标准,满足回用水要求,可实现“资源循环”。分段进水预缺氧AAOAO生化组合池可以灵活调整缺氧/厌氧环境,尽可能在生化阶段完成污染物的去除;同时通过分段进水多级AO充分利用原水中的碳源,减少后续药剂投加量;灵活调配使用硫自养反硝化池和反硝化深床滤池,减少碳源投加;池顶设置光伏板发电,采用多项措施助力实现“碳减排”。炭加载多效澄清池可以通过投加活性炭或靶向药剂进一步去除难降解COD和TP,结合后续臭氧接触氧化工艺使出水水质满足水环境变化和水资源可持续利用的需要,践行“水质永续”理念。

## 参考文献:

- [1] 罗平,郑惠文,马启坤,等. 硅芯切割废水处理[J]. 环境工程, 2016, 34(S1): 356-357, 343.  
LUO Ping, ZHENG Huiwen, MA Qikun, *et al.* Treatment of silicon core sawing wastewater [J]. Environmental Engineering, 2016, 34(S1): 356-357, 343(in Chinese).
- [2] 刘宝峰,郭宇平. 硫自养反硝化技术用于市政污水深度处理[J]. 中国给水排水, 2022, 38(22): 91-95.  
LIU Baofeng, GUO Yuping. Application of sulfur autotrophic denitrification technology in advanced treatment of municipal sewage [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(22): 91-95(in Chinese).
- [3] 蒋严波,江晓铭,蔚阳,等. 硫铁矿自养反硝化工艺在生活污水处理中的研究进展[J]. 中国给水排水, 2024, 40(14): 29-35.  
JIANG Yanbo, JIANG Xiaoming, WEI Yang, *et al.* Research progress of pyrite autotrophic denitrification process in domestic sewage treatment [J]. China Water & Wastewater, 2024, 40(14): 29-35(in Chinese).
- [4] 赵静,付昆明,黄少伟,等. 不同电子供体的部分自养反硝化研究进展[J]. 中国给水排水, 2023, 39(14): 19-26.  
ZHAO Jing, FU Kunming, HUANG Shaowei, *et al.* Research progress of partial autotrophic denitrification with different electron donors [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(14): 19-26(in Chinese).
- [5] 郑心愿,华英豪. 磁加载多效澄清技术在城市黑臭水体治理和城市生活污水处理中的应用案例[J]. 环境工程学报, 2021, 15(9): 3136-3142.  
ZHENG Xinyuan, HUA Yinghao. Application of magnetic ballasted clarification technology in black and smelly water treatment and domestic sewage treatment [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2021, 15(9): 3136-3142(in Chinese).
- [6] 鞠庆玲. 高要求下污水处理厂臭气深度处理工艺发展方向思考[J]. 给水排水, 2022, 48(S1): 139-144.  
JU Qingling. Thoughts on the development direction of odor advanced treatment process in sewage plant under high requirements [J]. Water & Wastewater Engineering, 2022, 48(S1): 139-144(in Chinese).

作者简介:靖丹枫(1986- ),男,河南卫辉人,硕士,高级工程师,注册环保工程师、注册咨询(投资)工程师,主要研究方向为污水处理及固废资源化利用。

E-mail:823567853@qq.com

收稿日期:2024-06-14

修回日期:2024-07-30

(编辑:沈靖怡)

珍惜水、爱护水、以水促和平