

柏义生,侯东瑞,孔德芳,等. 产业集聚区污水处理厂尾水水质净化提升工程案例[J]. 净水技术, 2026, 45(8): 199–204.

Bo Y S, Hou D R, Kong D F, et al. Case of tail water quality purification and upgrading project in WWTP of industrial cluster district[J]. Water Purification Technology, 2026, 45(8): 199–204.

产业集聚区污水处理厂尾水水质净化提升工程案例

柏义生^{1,*}, 侯东瑞¹, 孔德芳¹, 陈 涛¹

(郑州大学环境技术咨询工程有限公司, 河南郑州 450002)

摘 要 【目的】 河南省某县产业集聚区污水处理厂主要承担园区工业废水和生活污水的处理任务,在地表水环境管控标准日趋严格的背景下,该污水处理厂的尾水存在出水水质不稳定、处理效果难以匹配水环境质量目标等问题。针对上述短板,本文实施尾水净化提升工程,以保障尾水稳定达标排放。【方法】 该提升工程总占地面积为 297.7 亩(约为 19.85 hm²),设计处理规模为 6 万 m³/d。工程结合厂区分现状水质与技术难点,设计采用“生物曝气池+垂直流人工湿地+表面流人工湿地+稳定塘”组合工艺,确定构筑物核心参数,制定配套运行维护管理方案,并对工程实施后的处理效果和运行成本开展评估分析和测算。【结果】 工程实施后,系统对化学需氧量(COD)、氨氮和总磷(TP)的去除率分别达到 24.85%、29.34%、39.13%,尾水各项主要指标可稳定达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅳ类水标准。经测算,该工程单位运维成本为 0.064 元/m³。【结论】 该尾水提升工程有效改善了产业集聚区污水处理厂的尾水水质,提升了区域河流水环境质量,为周边居民提供了良好生活环境,可为同类型项目提供工程参考和技术借鉴。

关键词 产业集聚区; 污水处理厂尾水; 水质净化提升; 人工湿地; 深度处理

中图分类号: TU992 文献标志码: A 文章编号: 1009-0177(2026)08-0199-06

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2026.08.021

Case of Tail Water Quality Purification and Upgrading Project in WWTP of Industrial Cluster District

Bo Yisheng^{1,*}, Hou Dongrui¹, Kong Defang¹, Chen Tao¹

(Zhengzhou University Environmental Technology and Consulting Co., Ltd., Zhengzhou 450002, China)

Abstract [Objective] A wastewater treatment plant (WWTP) in an industrial cluster zone of a certain county in Henan Province is primarily responsible for treating industrial and domestic wastewater from the park. Against the backdrop of increasingly stringent surface water environmental control standards, the WWTP faces issues such as unstable effluent quality and treatment performance failing to meet water quality targets. To address the aforementioned shortcomings, this project implements a tail water purification enhancement initiative to ensure stable and compliant discharge of tail water. [Methods] The total area of this improvement project was 297.7 mu (approximately 19.85 hm²) and the designed processing capacity was 60 000 m³/d. Considering the existing water quality conditions and technical challenges at the WWTP site, the project adopted a combined process comprising "biological aeration tank + vertical flow constructed wetland + surface flow constructed wetland + stabilization pond." Core parameters of the facilities were determined, a comprehensive operation and maintenance management plan was developed, and both the treatment efficacy and operational costs post-implementation were evaluated, analyzed, and calculated. [Results] After the project was implemented, the removal rates of chemical oxygen demand (COD), ammonia nitrogen and total phosphorus (TP) reached 24.85%, 29.34% and 39.13% respectively, and the main effluent water quality indicators met the standard of Class IV surface water in the *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838—2002); The operation and maintenance cost of the project was calculated to be 0.064 yuan/m³. [Conclusion] This wastewater lift project has significantly improved the quality of effluent from the sewage treatment plant

[收稿日期] 2025-07-15

[基金项目] 中央生态环境基金项目(2023411623S1-10001)

[通信作者] 柏义生(1983—),男,高级工程师,主要从事水污染防治及生态修复、环境规划与管理等工作, E-mail: boyisheng2015@126.com。

in the industrial cluster, enhanced the water environment of regional rivers, provided a better living environment for local residents, and serves as a valuable reference for similar projects.

Keywords industrial cluster district; tail water of WWTP; water quality purification and upgrading; constructed wetland; advanced treatment

目前我国工业企业大部分已集中到产业集聚区,园区内通过集中式污水处理厂对企业污水进行收集处理,而园区现有污水处理厂出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准,该标准出水水质与受纳水体对应的地表水环境质量管控限值存在较大差距。当区域水环境管控标准收紧、断面水质目标提升且水环境容量趋于饱和时,需要对集中式污水处理厂实施尾水提升改造工程^[1-4]。产业集聚区污水处理厂尾水深度处理难度较大、出水水质不稳定、运行成本高^[5-7]。如何选择高效、运行成本低、技术成熟的深度处理技术是该污水处理厂所面临的难题。人工湿地是一种针对产业集聚区污水处理厂尾水深度处理的生态净化技术,水质净化效果好、生态景观价值高、运行成本低以及社会环境效益明显,因此得到了业界广泛应用^[8-10]。多项研究^[11-12]表明,产业集聚区污水处理厂尾水采用人工湿地技术净化后,可进一步降低尾水污染物含量和排放量,也会改善区域地表水环境质量。本工程是对河南省某县产业集聚区污水处理厂尾水进行深度净化,设计处理规模为 60 000 m³/d,设计出水水质需达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) IV 类水标准,即化学需氧量(COD) ≤ 30 mg/L、氨氮 ≤ 1.5 mg/L、总磷(TP) ≤ 0.3 mg/L。

1 工程概况

该产业集聚区位于河南省某县汤庄乡,目前以印染加工业和豆制品加工业为主。该产业集聚区污水处理厂位于汤庄乡隆达电厂铁路专用线北侧、西干渠西侧,主要收集印染加工废水、豆制品加工废水及生活污水,实际收水量约为 6 万 m³/d,现状污水处理厂采用工艺为“调节池+多级 AO 生化池+二沉池+高效沉淀+氧化池+V 型滤池+二氧化氯消毒池”,出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 A 标准(其中:COD ≤ 40 mg/L,氨氮 ≤ 2 mg/L),处理后的出水由厂区东侧总排水口排入该县境内南干渠,再汇入清水河。本次是对该污水处理厂尾水进行水质净化提升,项

目位于城郊外的废弃坑塘,占地面积为 297.7 亩(约为 19.85 hm²),处理规模为 6 万 m³/d,采用人工湿地技术进行尾水生态净化,设计出水水质需达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) IV 类水标准,即 COD ≤ 30 mg/L,氨氮 ≤ 1.5 mg/L,TP ≤ 0.3 mg/L。

本次污水处理厂尾水水质净化提升工程建设的主要原因:①随着国家和地方环保标准不断加严,产业集聚区污水处理厂设计排水要求难以符合水环境质量要求,如果进行厂区内提升改造,运行成本较高;②产业集聚区内企业排水水质不稳定,使得污水处理厂进水指标不符合要求,易造成产业集聚区污水处理厂排水不能达标排放;③产业集聚区污水处理厂尾水排入南干渠,为保障下游河段考核断面的水质稳定达标,亟须进一步降低尾水中的污染物含量。



图 1 项目总平面布置图

Fig. 1 General Layout of the Project

2 进、出水水质及工艺流程

2.1 设计进、出水水质

为确定产业集聚区污水处理厂尾水水质净化提升工程进水水质,结合产业集聚区污水处理厂排口的实测数据,通过数理分析,分类统计水质情况,最终确定本次工程进水水质。同时根据河流断面的“十四五”规划考核目标,清水河项城齐坡断面要求为 IV 类,结合本次人工湿地设计进水水质情况,为使清水河项城齐坡断面稳定达标,核算人工湿地设计

出水主控指标(包括 COD、氨氮、TP、pH)执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅳ类水标准,具体如表 1 所示。

表 1 进水水质与设计出水水质
Tab. 1 Influent Quality and Designed Effluent Quality

项目	COD/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	氨氮/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	TP/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	pH 值
进水水质	36.76	1.68	0.33	6~9
设计出水水质	≤ 30	≤ 1.5	≤ 0.3	6~9

2.2 工艺流程

本提升工程采用“生物曝气池+垂直流人工湿地+表面流人工湿地+稳定塘”为主体处理工艺,设计规模为 6 万 m^3/d 。首先,尾水通过提升泵站进入生物曝气池进行前处理,可有效降低有机物含量,提升水体溶解氧(DO);进入人工湿地处理系统后,先进入垂直流人工湿地,通过“植物-基质-微生物”的作用去除大部分污染物后,进入表面流人工湿地,利用特定植物促淤降固进一步去除部分污染物,之后出水进入稳定塘,通过塘内水生生物和自然沉降的净化作用,保障出水水质稳定达标,最终出水一部分用于城市景观绿化用水,另一部分用于南干渠补水。

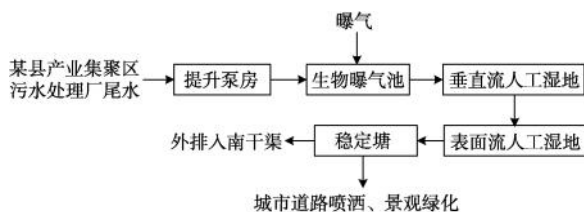


图 2 工艺流程图

Fig. 2 Diagram of Process Flow

3 工艺设计

3.1 设计思路

受环保管控政策、河流考核断面水质约束以及运行成本等多重因素制约,该产业集聚区污水处理厂亟须进行尾水提质改造。本工程的人工湿地采用“垂直潜流人工湿地+表面流人工湿地”为主、“生物曝气池和稳定塘”为辅的组合工艺。污水处理厂尾水通过输送管道进入人工湿地处理系统后,首先经过生物曝气池有效降解有机污染物、提升水体 DO,完成预处理;随后进入垂直流人工湿地,利用水生植物、微生物与基质的协同净化作用,削减大部分有机污染物;出水再汇入表面流人工湿地,利用特定水生植物实现悬浮物沉降并进一步去除部分污染物,最

后汇入稳定塘。

3.2 主要设计参数

(1)流量设计。设计规模为 6 万 m^3/d ,总变化系数 $K_z = 1.42$,平均时流量 $Q_{\text{ave}} = 2\,500\,\text{m}^3/\text{h} = 0.694\,\text{m}^3/\text{s}$,最大时流量 $Q_{\text{max}} = 3\,550\,\text{m}^3/\text{h} = 0.986\,\text{m}^3/\text{s}$ 。

(2)污水管网。管道充满度按满流计算,水量为 6 万 m^3/d ,新建压力管网长度为 3 560 m,管径为 DN900,流速为 1.09 m/s,总水头损失为 13.75 m。管线布置:产业集聚区污水处理厂尾水→提升泵站→南干渠沿线→人工湿地系统。

(3)提升泵房。包括提升泵房 1 座,框架结构;集水井 1 座,地下钢混结构;提升泵 3 台(2 用 1 备),流量为 1 300 m^3/h ;电动单梁起重机 1 套,起吊高度为 12 m。

(4)生物曝气池。生物曝气池 4 座(单体结构尺寸为 40 m×20 m×3 m),钢混结构,水力停留时间为 3.2 h,有效水深为 2.5 m,池底设置穿孔曝气管道。

(5)垂直流人工湿地。垂直流人工湿地面积为 108 000 m^2 ,共 60 格(单体结构尺寸为 60 m×30 m×1.6 m),钢混结构,水力停留时间为 24.2 h(孔隙率按 40%计),有效水深为 1.4 m,表面 COD 负荷为 8.8 $\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$,表面水力负荷为 0.55 $\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 。

垂直流人工湿地的基质配置组成:由下至上依次铺设基底层砾石(厚度为 0.3 m,粒径为 30~80 mm)、填料层 1 沸石(厚度为 0.3 m,粒径为 20~30 mm)、填料层 2 页岩(厚度为 0.35 m,粒径为 15~20 mm)、填料层 3 火山岩(厚度为 0.35 m,粒径为 10~20 mm)、表层米石(厚度为 0.1 m,粒径为 5~10 mm);水生植物:芦苇、香蒲、西伯利亚鸢尾、黄花鸢尾,种植密度 10~25 株/ m^2 。

(6)表面流人工湿地。表面流人工湿地面积为 24 000 m^2 ,共 16 格(单体结构尺寸为 50 m×30 m×1.2 m),钢混结构,水力停留时间为 9.6 h,有效水深为 1.0 m,表面 COD 负荷为 0.6 $\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$,表面水力负荷为 2.5 $\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$,基质配置陶粒、砾石,厚度为 0.2 m;水生植物:挺水植物黄菖蒲、西伯利亚鸢尾,种植密度 10~25 株/ m^2 ;沉水植物苦草、菹草,种植密度为 9~25 丛/ m^2 ;浮叶植物睡莲,种植密度为 3~9 丛/ m^2 。

(7)稳定塘。稳定塘1座,面积为12 000 m²,土石结构,水力停留时间为4.8 h,有效水深为0.5~1.0 m,表面COD负荷为7.32 g/(m²·d),根据稳定塘驳岸及底部的高低起伏选择种植不同种类的挺水植物与沉水植物,且底部铺设厚度为10 cm、粒径为5~10 mm的砾石作为基质。

稳定塘内配置3类水生植物:挺水植物选用西伯利亚鸢尾、香蒲、水葱、芦苇,种植密度为10~25株/m²;沉水植物选用苦草、伊乐藻,种植密度为9~25丛/m²;浮叶植物选用睡莲,种植密度为3~9丛/m²。配套设置表面曝气机充氧曝气,同时投放贝类、螺类、鱼类等水生动物,通过微生物降解作用及食物链协同去除水中有机污染物。

(8)配套设施。出水井1座,钢混结构;风机房1座,砖混结构,配套单级高速离心鼓风机4台(3用1备);在线监测室1座,砖混结构,配套超声波明渠流量计、COD在线监测仪、氨氮在线监测仪、TP在线监测仪各1套;管理用房2座,砖混结构。

(9)其他设施。门卫室、监控系统、公共洗手间、湿地围墙、道路、路灯、护栏、栈道、水榭、凉亭、拱桥、人工岛屿、景观小品、给排水渠盖板、大门、湿地保护的宣传牌、警示牌等。

4 运行维护

4.1 湿地运行维护

(1)湿地植物管护:①湿地运行期间,应对湿地表面的枯枝烂叶等及时进行清理,保持湿地正常运行,防止因植物腐烂而影响系统处理效果。每年对湿地植物收割1~2次,收割时应保护表层土壤;②防止湿地内湿生和旱生杂草生长,尤其是春季杂草生长旺盛,需及时拔除。

(2)日常管护:①湿地运行过程中不宜使用药剂破坏生态系统。浮萍、水绵等影响湿地的低等水生植物可采取“调节水位+人工清除”的方式控制;②检查进、出水阀门,并校正流量,同时对湿地系统中的输水管道、配水渠、集水井的沉积物、漂浮物及其他杂物及时进行清理,保证输配水系统的通畅;③降雨强度较大时,应调节湿地水位,人工湿地短时出现的壅水高度尽量不超过0.2 m。

4.2 堵塞问题处理

湿地内部堵塞是湿地运行中常见的问题,是湿

地运行维护中较为重要的部分。当垂直流人工湿地的出水量持续降低,表面出现壅水时,可判断为堵塞,这时可调整湿地的运行方式,采用间隙式进水的方式以及保持合适的落干期。建议每个月将湿地池排干1~2次,使空气进入湿地内,促进好氧微生物的活性,加快填料中沉积的有机污染物降解速率。同时,由于系统停止进水,微生物新陈代谢需要的各种营养物质得不到持续的补充,填料中的微生物会逐渐进入内源呼吸期,消耗本身资源并逐渐老化死亡,有利于湿地的长期运行,并降低湿地填料发生堵塞的几率。

4.3 低温环境运行

做好人工湿地保温措施,湿地水温应保证不低于4℃,低于4℃时湿地系统中微生物、水生植物和基质的作用均会受到严重影响,湿地系统的水质净化能力受到抑制。为做好人工湿地保温措施,可采取植物覆盖、抬高水位形成冰雪覆盖、覆盖塑料薄膜等保温措施。

(1)植物覆盖:采用湿地收割的植物覆盖在湿地表层而起到保温作用,可使湿地系统冬季温度达到6~8℃,可以在一定程度上提高冬季处理效率,但是植物腐烂后会产生污染物,因此需要在气温回升前,及时清除。

(2)冰雪覆盖:通过调节水位的方式,结冰形成空气层而起到保温作用,可使湿地系统冬季温度达到5~6℃,但该方法实际操作有一定的困难,且受外界因素影响较大。

(3)地膜覆盖:将薄膜覆盖在湿地表面而起到保温作用,可使湿地系统冬季温度达到7~10℃,但该方法实际操作有一定的困难,且投资高,易形成二次污染。

(4)可采取强化措施,如预处理、人工曝气和延长水力停留时间等,提高冬季湿地去除效果。

5 实施效果

5.1 去除效果

本工程已于2024年4月完成试运行,统计连续运行6个月(2024年5月—10月)的水质处理效果,每月对人工湿地系统进水和出水分别进行1次取样检测水质,分析污水处理效果。人工湿地主要出水水质指标能够达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅳ类水标准。根据湿地平均进、

出水水质和水量数据,测算得到人工湿地对主要污染物指标的去除率和污染物削减量。经测算:本工程对 COD 去除率为 25%,年削减量为 219.00 t;氨氮去除率为 25%,年削减量为 10.95 t;TP 去除率为 40%,年削减量为 4.38 t。

(1) COD 的去除效果

如图 3 所示,进水 COD 质量浓度为 34.12 ~ 38.56 mg/L,进水 COD 平均质量浓度为 36.76 mg/L,经过 6 个月的运行,出水 COD 质量浓度为 26.55 ~ 29.75 mg/L,出水 COD 平均质量浓度为 27.58 mg/L,主要出水水质指标达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) IV 类水标准。由于进水 COD 质量浓度较低,COD 去除率较低,COD 平均去除率为 24.85%。

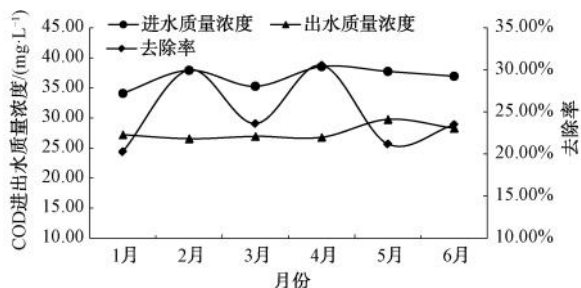


图 3 COD 去除效果图

Fig. 3 Chart of COD Removal Effect

(2) 氨氮的去除效果

如图 4 所示,经过 6 个月的运行,系统经过生物曝气池的充氧作用,垂直流人工湿地内部形成厌氧-缺氧-好氧的环境,具有硝化作用的硝化菌和反硝化作用反硝化菌不断增加,氨氮出水质量浓度为 0.96~1.37 mg/L,平均去除率为 29.34%,满足系统出水设计要求。氨氮去除率受 DO 的影响较大,较高的 DO 可提高系统中硝化作用,因此,系统在垂直流人工湿地前增加生物曝气池进行充氧,使得垂直流人工湿地系统内部环境改变,氨氮去除率基本保持稳定。

(3) TP 的去除效果

如图 5 所示,系统 TP 出水质量浓度为 0.17 ~ 0.25 mg/L,平均去除率为 39.13%,相比 COD 和氨氮,TP 的去除率较高,出水质量浓度满足系统设计出水指标要求。主要原因是垂直流人工湿地内页岩能够产生游离态铁离子与磷酸盐形成磷酸铁沉淀,砾石、沸石等基质能够吸附除磷,同时垂直流人工湿

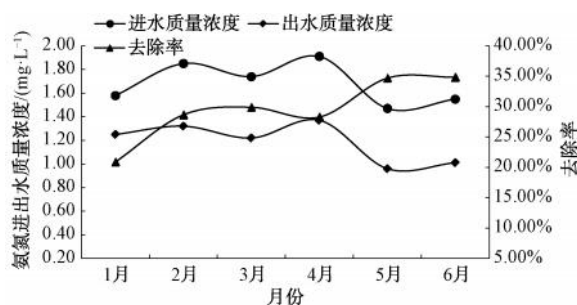


图 4 氨氮去除效果图

Fig. 4 Chart of Ammonia Nitrogen Removal Effect

地、表面流人工湿地和稳定塘中水生植物根系能够吸收除磷,最终保证出水 TP 能够稳定达标排放。

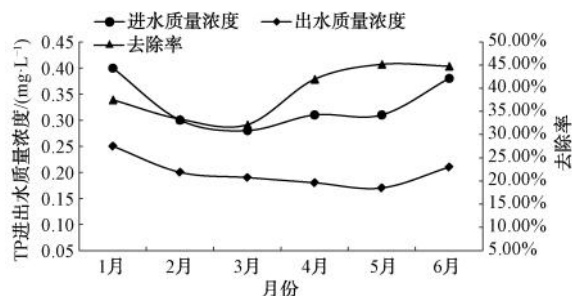


图 5 TP 去除效果图

Fig. 5 Chart of TP Removal Effect

5.2 运行成本

本工程投资为 9 881.58 万元,工程运维费用为 0.064 元/m³,其中:人员费用为 0.018 元/m³,动力运行费用为 0.028 元/m³,维护费用为 0.018 元/m³。

6 结论

(1)本工程拟采用“生物曝气池+垂直流人工湿地+表面流人工湿地+稳定塘”为主体处理工艺,处理规模为 60 000 m³/d,工程占地面积约为 297.7 亩(约为 19.85 hm²),主要出水水质指标达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) IV 类水标准,即 COD≤30 mg/L,氨氮≤1.5 mg/L,TP≤0.3 mg/L。

(2)根据工程特点,分析研究了人工湿地对产业集聚区污水处理厂尾水水质净化的工艺特点、主要单元设计参数及运行维护。根据湿地平均进、出水水质和水量数据,本工程运行后对 COD、氨氮和 TP 的去除率分别为 24.85%、29.34%、39.13%。通过技术经济分析,该工程综合运维费用为 0.064 元/m³。进一步提升了产业集聚区污水处理厂尾水水质,改善了河流水环境质量,为周边居民提供了良好生活环境。

参考文献

- [1] 翟野青, 扈幸伟, 王瀚哲. 人工湿地对污水处理厂尾水水质净化提升的应用研究[J]. 水利水电工程设计, 2024, 43(3): 25-29.
Zhai Y Q, Hu X W, Wang H Z. Research on the application of constructed wetlands for enhancing the quality of tailwater from sewage treatment plants [J]. Design of Water Resources & Hydroelectric Engineering, 2024, 43(3): 25-29.
- [2] 魏俊, 赵梦飞, 刘伟荣, 等. 我国尾水型人工湿地发展现状[J]. 中国给水排水, 2019, 35(2): 29-33.
Wei J, Zhao M F, Liu W R, et al. Development status of constructed wetland (CWS) for treatment of terminal effluent of wastewater treatment plants (WWTPs) in China [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(2): 29-33.
- [3] Sehar S, Nasser H A A. Wastewater treatment of food industries through constructed wetland: A review[J]. International Journal of Environmental Science and Technology, 2019, 16(10): 6453-6472.
- [4] 孙健, 李露, 王媚, 等. 人工湿地对城镇污水处理厂尾水深度处理技术研究现状[J]. 净水技术, 2025, 44(4): 27-36.
Sun J, Li L, Wang M, et al. Current research of constructed wetlands for advanced treatment technologies of WWTPs tailwater [J]. Water Purification Technology, 2025, 44(4): 27-36.
- [5] 李美玉, 李婉, 魏佳明, 等. 人工湿地在污水处理厂尾水水质净化中的应用[J]. 环境生态学, 2022, 4(6): 54-58.
Li M Y, Li W, Wei J M, et al. Application of constructed wetland system in purification of tail water quality of sewage treatment plant [J]. Environmental Ecology, 2022, 4(6): 54-58.
- [6] 付乐, 张世元. 城镇污水处理厂尾水人工湿地处理工艺研究[J]. 工程技术研究, 2023, 8(3): 95-98.
Fu L, Zhang S Y. Research on constructed wetland treatment process for tail water from urban sewage treatment plants [J]. Engineering and Technological Research, 2023, 8(3): 95-98.
- [7] 潘成荣, 陈建, 彭书传, 等. 复合型人工湿地对污水处理厂尾水的深度处理效果[J]. 中国给水排水, 2022, 38(13): 111-116.
Pan C R, Chen J, Peng S C, et al. Advanced treatment efficiency of effluent from wastewater treatment plant by composite constructed wetland [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(13): 111-116.
- [8] 周旭东, 李其林, 罗俊, 等. 人工湿地净化技术在微污染河流生态修复中的应用研究[J]. 环境科学与管理, 2024, 49(9): 78-82.
Zhou X D, Li Q L, Luo J, et al. Application of artificial wetland water purification technology in ecological restoration of micro polluted rivers [J]. Environmental science and management, 2024, 49(9): 78-82.
- [9] 张敏. 多级多态湿地系统在明光污水处理厂尾水提标改造中的应用[J]. 环境生态学, 2022, 4(7): 83-87.
Zhang M. Application of multilevel polymorphic wetland system in tailwater upgrading of sewage treatment plant [J]. Environmental Ecology, 2022, 4(7): 83-87.
- [10] 潘亦维, 杨晶涵, 张明彦, 等. 清水沟上段(昊盛)人工湿地水质改善工程设计实施与成效评估[J]. 净水技术, 2025, 44(s1): 346-353.
Pan Y W, Yang J H, Zhang M Y, et al. Design of water quality improvement project for the upper section (Haosheng) of Qingshuigou constructed wetland [J]. Water Purification Technology, 2025, 44(s1): 346-353.
- [11] 廖梦运, 许俊, 方遥, 等. 人工湿地深度处理城市污水厂尾水的应用实例[J]. 节能, 2024, 43(1): 98-100.
Liao M Y, Xu J, Fang Y, et al. Application example of advanced treatment of urban sewage plant tail water in constructed wetland [J]. Energy Conservation, 2024, 43(1): 98-100.
- [12] 于越, 陈启聰, 朱泓帆, 等. 垂直潜流湿地对低污染污水厂尾水的净化效果[J]. 环境工程, 2023, 41(S1): 230-234.
Yu Y, Chen Q C, Zhu H F, et al. Treatment effect of vertical flow constructed wetland on low polluted tailwater from sewage treatment plants [J]. Environmental Engineering, 2023, 41(S1): 230-234.