

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.18.017

南宁市明月湖水环境生态修复案例及分析

寇殿良¹, 刘存莉², 位菁³

(1. 广西交通设计集团有限公司, 广西 南宁 530029; 2. 广西交科集团有限公司, 广西 南宁 530007; 3. 广西南宁北投心圩江环境治理有限公司, 广西 南宁 530007)

摘要: 由于长期受到合流制排水系统和周边地块初期雨水径流引起的面源污染影响,南宁市明月湖河道严重淤积、水生态系统脆弱、水体自净能力差,水质长期处于地表水劣V类且伴有黑臭现象。为改善这一状况,采用“控源截污、内源治理、生态修复”的技术路线,系统性推进明月湖水环境治理工作。在确保河道行洪功能的前提下,通过降低水体常水位标高以增强水体流动性,提升水体自净能力;同时,通过排口上游错混接改造、末端截污及河道清淤等措施,有效控制污染源。在治理过程中融入海绵城市理念,利用人工湿地对污水处理厂尾水进行深度处理后作为生态补水回注明月湖;对湖中裸露岛屿进行加固改造,将其转变为生态岛,促进区域生态系统的恢复;此外,在滩涂湿地成功培育淡水红树林,进一步增强区域生态功能。经过综合治理,除总氮外,明月湖水质稳定达到地表水IV类标准,具有显著的生态效益和社会效益。

关键词: 海绵城市; 水环境治理; 人工湿地; 生态修复

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2025)18-0106-06

Case Study and Analysis of Water Environment Ecological Restoration of Mingyue Lake in Nanning

KOU Dian-liang¹, LIU Cun-li², WEI Jing³

(1. Guangxi Communications Design Group Co. Ltd., Nanning 530029, China; 2. Guangxi Transportation Science and Technology Group Co. Ltd., Nanning 530007, China; 3. Guangxi Nanning Beitou Xinxu River Environmental Governance Co. Ltd., Nanning 530007, China)

Abstract: Mingyue Lake in Nanning experienced severely silted up and had fragile aquatic ecosystem, poor self-purification capacity, and persistent black and odorous water conditions, with the water quality consistently categorized as worse than level V standard, due to long-term impact of non-point source caused by combined drainage system and initial runoff from surrounding plots. To address these challenges, the Mingyue Lake water environment governance project adopted a comprehensive technical strategy integrating “source control and pollution interception, internal pollution management, and ecological restoration” to systematically advance the restoration process. While ensuring the water body’s flood conveyance function, the lake’s self-purification capacity is improved by reducing the normal water level to enhance water circulation. Additionally, pollution source control is achieved through upstream intercepting and mixed connection transformation of discharge outlets, end-of-pipe interception, and riverbed dredging. The project also integrated the sponge city concept, utilizing constructed wetlands to further treat effluent from the wastewater treatment plant, which was then reused as ecological

replenishment water for Mingyue Lake. Exposed islands were reinforced and transformed into ecological islands to promote the recovery of the regional ecosystem. Furthermore, the successful cultivation of mangrove forests in the intertidal wetlands further enhanced the ecological functionality of the area. Through the implementation of these integrated measures, the water quality of Mingyue Lake has been stabilized at the level IV of surface water standard, yielding significant ecological and social benefits.

Key words: sponge city; water environmental management; constructed wetland; ecological restoration

1 项目概况

心圩江发源于南宁市六怀山,经安吉、西津于明月湖汇入邕江,流域集水面积为132 km²,天然河道长29.25 km,是邕江在南宁市内重要的内河支流,不通航。明月湖位于心圩江水系下游,衔接邕江,是心圩江下游的滞蓄洪区,承担重要的调蓄作用。根据南宁市2017年环境状况公报,明月湖水质为地表水劣V类,属于重度污染。同年,南宁市政府启动了明月湖水环境综合治理项目,目标是通过综合治理,提高行洪能力,改善水质,使其成为具有防洪、生态韧性、景观功能的健康水体。明月湖区域位置见图1。



图1 明月湖区域位置

Fig.1 Location of Mingyue Lake area

2 问题分析

明月湖治理前的水域面积约92 hm²,河道长约4.2 km,湖底标高61.99~69.00 m,常水位70.8 m,50年一遇洪水位73.39~73.45 m,下游入邕江处有滚水坝,坝顶标高70.8 m。明月湖现状水质:COD为26~48 mg/L,氨氮为7.7~13.6 mg/L,总氮为

12.9~19.6 mg/L,总磷为0.24~0.82 mg/L。

改造前明月湖存在的主要问题有:

① 大量外部污染物入湖。沿岸合流制排口较多,大量污水未经处理直排水体,造成严重污染;两岸城中村较多,仍未实现污水管道覆盖收集,村内部分生活污水和养殖废水直排水体,实测直排污水量约 1.15×10^4 m³/d。

② 水动力学条件不足。整个水体循环不畅,底泥内源污染严重。现状水体较深,流速低缓,导致水体复氧效果差,透明度低,自净能力差,水体透明度30~35 cm、溶解氧2.6~3.2 mg/L、氧化还原电位85~108 mV。湖水的整体流动性差,导致底泥淤积。底泥是城市水体的主要污染源,由于入湖的污染物无法有效降解,吸附在底泥上的污染物释放回水体,同时底泥上浮,造成水体黑臭。根据底泥检测报告,全氮、全磷、重金属(汞)指标偏高,全磷最高值27 600 mg/kg,全氮最高值27 600 mg/kg,汞最大含量4.51 mg/kg,超过《农用污泥污染物控制标准》(GB 4284—2018)中A标准,但尚满足B标准。

③ 滨水生态系统脆弱。陆地生态缓冲带范围较小且萎缩严重,沿岸开发建设造成植被破坏、岸坡裸露、水土流失,初期雨水径流污染严重;部分湖岸水土保持效果差,洪水期间冲刷严重;水体中几乎无沉水植物、底栖动物及鱼类的存在,生态系统不完善,部分水域甚至出现蓝藻。

④ 水体防洪效果差。河道两岸均未设防,沿岸部分高程不满足50年一遇防洪标准。河底淤积严重,影响湖体调蓄和行洪能力。根据地质勘察报告,表层0~30 cm范围含水率为95%~90%,30~50 cm范围含水率为75%,50~100 cm范围泥质较干,含水率为65%~70%。上述数据表明,水体淤积深度约0.5 m。同时,明月湖常年高水位运行,造成的影响主要有:a.暴雨期间水位上涨,两岸地块经常性被

淹;b.入湖的排水口大多数为淹没出流,导致上游管道排水能力不畅,产生城市内涝点,给居民生活带来严重不便。

⑤ 沿岸景观效果差。杂草杂树丛生,沿河的道路没有贯通,缺乏娱乐和亲水性设施,无法体现公园的价值。

3 改造思路

改造思路如图2所示。

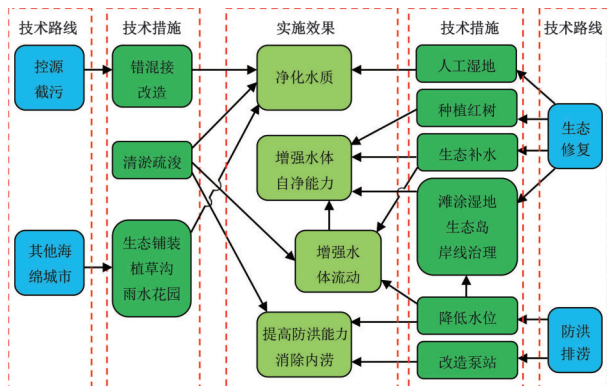


图2 技术改造路线示意

Fig.2 Technical renovation route demonstration

综合分析明月湖现状问题,结合国内相关成功的水体治理案例经验,在满足行洪功能的前提下,加强对其外部、内部污染源控制。降低常水位运行标高,不仅可以增强水体流动性和复氧能力,而且可以降低两岸洪涝灾害的发生几率,同时两岸裸露出大片土地,为生态修复和亲水娱乐设施的布置提供了场所。明月湖沿岸改造因地制宜,在现有地形地貌的基础上,进行局部微地形调整,避免大填大挖,保证土石方零外运,结合生态韧性恢复需求构建多样的湿地公园环境,展示浅水湖泊景观^[1]。

4 改造方案

4.1 行洪改造措施

① 低水位运行,增强水体流动性

作为心圩江流入邕江的重要调蓄水体,其行洪安全放在首位,防洪标准为50年一遇。明月湖流入邕江处滚水坝顶标高70.8 m,影响范围约6 km,在此高程下,其库区面积约92 hm²,库容约223×10⁴ m³。明月湖常年处于高水位运行状态,导致其水体流动性较差、复氧能力差,不利于水生动植物生存。为提高水体的自净能力,将滚水坝顶标高降至68.5 m,邕江该段常水位约67.20 m,保证滚水坝平时可正常运行,同时对明月湖流入邕江口处的排涝泵站

进行改造,满足20年一遇最大24 h暴雨洪水抽排标准。滚水坝标高降低后,其库区面积降至约63.2 hm²,库容降至约178×10⁴ m³,但沿岸大部分雨水排放口从淹没出流变为自由出流,约22处雨水排放管涵从淹没或半淹没状态变为自由出流状态,增加约35%的排水断面,大大提升了其上游雨水管道的排水能力;常水位降低后,沿岸会裸露出约145 m陆地,增加约157 hm²的土地,也为生态修复和亲水性设施的布置提供了场地。

② 河道清淤疏浚

河道清淤疏浚引起的环境变化虽然会对原水生生物造成直接影响,导致部分水生生物死亡,尤其是底栖动物,从而对整个水生态系统产生影响,但是该方法有利于河道行洪,也是消除水体内源污染最便捷的方式。根据底泥检测报告,确定清淤深度约0.5 m,在河道较宽且机械可到达的位置采用机械清淤,在水体较深处采用吸泥船水上清淤,清淤量约43.63×10⁴ m³。淤泥指标(含重金属汞)符合《农用污泥污染物控制标准》(GB 4284—2018)中B标准,满足园地、牧草地、不种植食用农作物的耕地使用标准。淤泥经自然晾晒与机械脱水安全处理后,作为园林景观用土和低洼地段填土,均在项目内部进行消化,不外运。

4.2 沿岸改造

① 经普查,明月湖沿岸排口共28个。对合流制排口上游管网进行雨污水分流和错混接改造,对于无法将污水剥离的排口,在排口末端进行截污,截流倍数取3。由于明月湖常水位降至68.5 m,大部分排口由淹没出流变成自由出流,排口位于常水位之上,为减少初雨携带的泥沙以及排口对湖底的水力冲刷,在排口末端设置沉淀塘,塘内满铺鹅卵石,并设置消能块石。

② 维持常水位降低后自然湖岸线样貌,考虑到洪水期对水生植物的影响,主河道内不种植沉水植物和浮水植物,裸露的土地改造成滩涂湿地,在沿岸和浅滩部分种植芦苇、黄菖蒲、美人蕉、睡莲、狐尾藻等水生植物,配合景观效果,加强水体和陆地生态联系,同时保留原滩涂湿地生态构造,补种杉树等原亲水树种。

③ 红树林是生长在热带、亚热带海岸潮间带的特有植物群落,被称为“海岸卫士”。红树林生长在海洋和陆地交界的浅滩地区,抗污性极强,能够

吸收水体中的氮、磷等营养物,降解有机污染物,净化水质。同时,红树林根系独特,可有效抵御潮汐的冲击,防风消浪,为众多动植物提供栖息地,有效地维持近海生物多样性,在滨海生态系统中扮演重要角色。由于红树林具有良好的耐污性,生态价值极高,因此红树林在淡水中的种植一直是国内外许多学者研究的课题。蓝亦琦等^[2]研究了红树植物在淡水环境中的适应性,为红树林在淡水区域种植提供了理论基础。刁俊明等^[3]在广东梅州实验基地用淡水成功地培养了红树植物桐花树幼苗。栾建国等^[4]在深圳进行了红树植物淡水种植及品种筛选试验,育苗和种植都取得了一定的效果。潘德胜等^[5]在南宁市也成功培育出淡水红树植物。利用明月湖的滩涂湿地进行红树植物的小规模试验性种植,种植面积约3 000 m²,成活率约95%,成功营造了独特的红树林生态系统,可为红树林淡水种植提供第一手的数据。

4.3 人工湿地和生态补水

对明月湖进行生态补水,水源来自上游同期建设的心圩江下游污水处理厂,该污水处理厂处理尾水排放执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准。尾水(2×10⁴ m³/d)经泵站提升后,进入明月湖两岸的垂直潜流人工湿地和表面流人工湿地,出水经滩涂湿地最终排入明月湖。湿地系统与景观相结合,并设置栈桥、人行步道等打造湿地示范区,以科教展示为主要目的,形成集科教、生态、景观、亲水等公共休闲活动为一体的生态功能区。垂直潜流人工湿地总占地面积1.22 hm²,有效水深1.25 m,水力负荷0.52 m³/(m²·d),水力停留时间0.96 d,主体填料采用陶粒,水生植物采用千屈菜和美人蕉;表面流人工湿地总占地面积1.5 hm²,有效水深0.6 m,采用挺水、浮叶、沉水等不同类型的湿地植物组合,通过植物吸收以及微生物的截留、吸附与分解,进一步净化水质,同时构建层次丰富的水生植物体系,打造树叶状塘泡形式湿地景观。

4.4 生态岛

昆山市望山河水体治理项目^[6]建设了多个湿地型生态岛,其生态系统由挺水植物、沉水植物及水生动物组成,水陆交错联系,增强了水体的生物多样性,强化了水体的自净能力,明显改善了河道水质,对COD、TP、TN、NH₃-N等指标的去除率分别为

55.01%、40.00%、40.96%、47.54%,效果显著,实践证明生态岛用于改善城市河道水质技术可行。由于明月湖常水位降低,湖中裸露出多个湖心小岛,面积30~200 m²不等,清除这些小岛对明月湖的行洪调蓄显然更有利,但考虑到这些岛屿的存在对明月湖水体的生态恢复有更大的帮助,因此将其改造成生态岛。改造过程中充分考虑常水位、洪涝冲刷、行洪影响和景观等因素,与水利部门对接后,在20年一遇水位线以下未种植乔木。在生态岛周边采用双排直径Ø150 mm、长度1 500 mm松木桩呈“品”字型密打进行加固处理,不露出水面,同时在松木桩外缘铺砌块石防止冲刷,避免水土流失。在岛上种植芦苇、旱伞草等水生植物,为不同的鸟类、爬行类动物等提供良好的栖息地。

4.5 其他海绵城市措施

结合雨水花园的植物多样性、雨水功能性、景观观赏性等属性,将现状地势低洼处改造成雨水花园,底部设置0.3 m厚砾石层并设置穿孔排水管,上部设置0.6 m厚土壤层,主要成分为细沙、细粒土和有机质。雨水花园种植芦苇、美人蕉、黄菖蒲、再力花等水生植物,采用开放式,坡度较缓并种植草皮环绕,与周边景观融为一体。沿湖两岸停车场内采用生态透水砖铺砌,停车场内的雨水径流经下游绿地流入水体,减少了初期雨水径流污染。设置植草沟,对沿湖两岸地块和人行步道的初期雨水进行截留、过滤。

5 运行效果分析

明月湖公园于2022年4月正式投入使用,该项目的考核标准为:截至2025年底,明月湖的水质指标达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅳ类标准(总氮除外)。2023年南宁市河道断面水质监测结果(明月湖水体):透明度41~48 cm、溶解氧7.02~7.16 mg/L、氨氮0.50~1.45 mg/L、氧化还原电位179~197 mV,可见治理效果明显,彻底消除了水体黑臭现象。2024年底,连续3个月对明月湖水体考核断面的主要水质指标进行检测,数据表明,除总氮外的其他主要水质指标均符合地表水Ⅳ类水标准,但总氮指标与地表Ⅳ类水标准(1.5 mg/L)差距仍较大,后续需对污水处理厂进行提标改造,强化脱氮。

检测数据如图3所示。

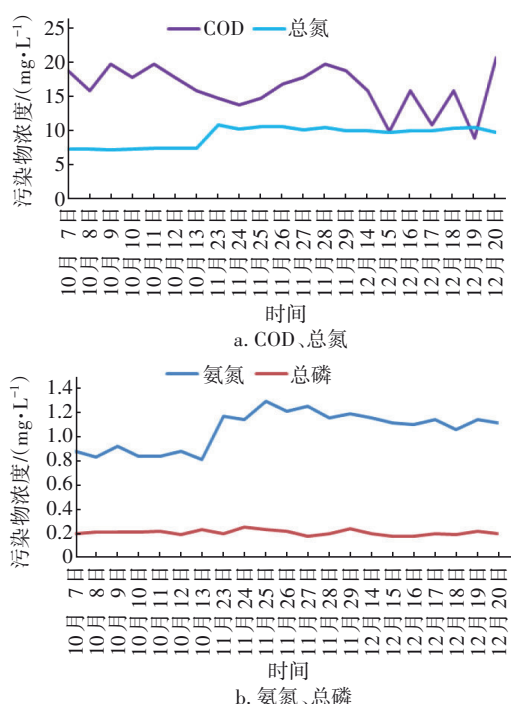


图3 主要水质指标检测结果

Fig.3 Monitoring results of main water quality indexes

夏季和冬季分别对垂直潜流人工湿地的进、出水水质进行检测,主要污染物去除效果见图4。

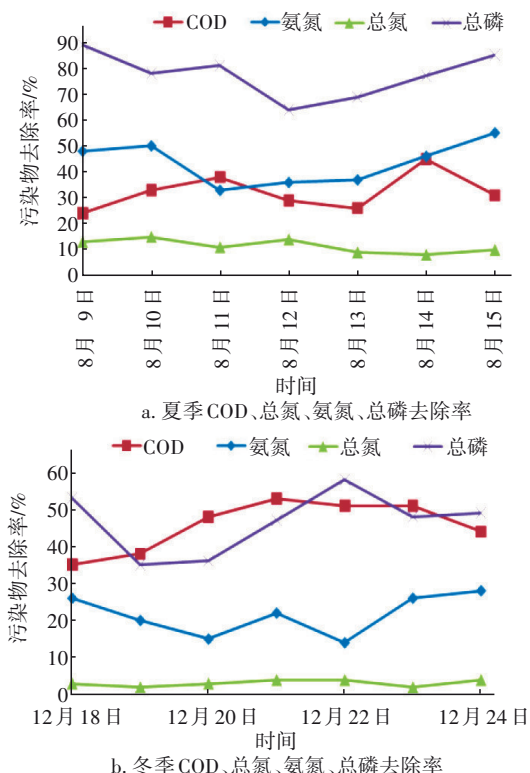


图4 夏季和冬季主要污染物指标去除效果

Fig.4 Main pollutants removal effect in summer and winter

由图4可知,夏季COD去除率为24%~45%,冬季为35%~53%;夏季氨氮去除率为33%~55%,冬季为14%~28%;夏季总氮去除率为8%~15%,冬季为2%~4%;夏季总磷去除率为64%~89%,冬季为35%~58%。其中,COD的去除率受季节影响不大,夏季略低于冬季,可能是夏季受雨水影响,出水水质波动大^[7]。夏季受植物枯萎、动物活动等季节因素影响^[8],氨氮、总氮和总磷的去除率均高于冬季,但总氮的去除率一直偏低,原因可能是污水处理厂尾水的C/N值很低,在垂直潜流人工湿地中也未投加碳源。从水质检测结果还可知,表面流人工湿地的总磷去除率高于垂直潜流人工湿地,根据相关研究,在进水总磷浓度较低的情况下,表面流人工湿地去除率高于垂直潜流人工湿地^[9-10]。

2024年,南宁市多次受台风和暴雨影响,明月湖公园所在区域更是多次迎来大暴雨,其中最大一次降雨量达194.1 mm,心圩江流域产生洪水,最高水位达73 m,接近50年一遇防洪水位标高,洪水淹没至人行步道边缘,但明月湖水体行洪功能正常。洪水过后,公园湖心中的生态岛和两岸湿地状况良好,功能快速恢复,充分展示了其生态韧性。

6 结语

明月湖水环境治理项目总投资约3.1亿元,自2022年4月正式运营至今已有3年,其水体的外部污染得到有效控制,内源污染物得到有效去除,水体自净能力显著提升,鱼类、螺类等底栖动物逐渐增多,吸引了白鹭、池鹭等20多种鸟类回归,水质稳定在地表水Ⅳ类标准(总氮除外),生态效应显著。同时,明月湖公园也成为广大市民休闲娱乐的场所和科普宣传教育基地,并获评2024年度广西生态环境宣传教育优秀案例,社会效益显著,达到预期的建设目标。

从目前来看,明月湖水环境治理项目采用的降低湖面常水位、污水处理厂尾水用于生态补水、构造生态岛等主要技术手段比较成功。同时,淡水红树林树种的培育成功,也为红树林淡水化种植提供了宝贵的科研理论和实践资料。

参考文献:

- [1] 耿显双,朱怡嘉,苏怀玉,等. 十八联圩中心湖浅水湿地生态韧性修复设计[J]. 湿地科学与管理,2024,20(4):78-81,85.

- GENG Xianshuang, ZHU Yijia, SU Huaiyu, *et al.* Ecological resilient restoration design for central lake wetland of Shibalianwei [J]. *Wetland Science & Management*, 2024, 20(4): 78–81, 85 (in Chinese).
- [2] 蓝亦琦, 吴则焰, 陈军, 等. 淡水驯化条件下红树植物根际土壤微生物群落结构特征[J]. *福建农业学报*, 2019, 34(1): 83–94.
- LAN Yiqi, WU Zeyan, CHEN Jun, *et al.* Characteristics of microbial community in rhizosphere soil of mangrove forest under freshwater stress [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2019, 34(1): 83–94 (in Chinese).
- [3] 刁俊明, 邹嫣婷, 陈桂珠. 淡水培养对桐花树幼苗生长发育的影响[J]. *林业科学研究*, 2010, 23(3): 387–392.
- DIAO Junming, ZOU Yanping, CHEN Guizhu. Effect of fresh water cultivation on the growth and development of *Aegiceras corniculatum* seedlings [J]. *Forest Research*, 2010, 23(3): 387–392 (in Chinese).
- [4] 栾建国, 杜灿坤, 何德善. 深圳地区红树植物淡水种植试验[J]. *水生态学杂志*, 2011, 32(2): 63–68.
- LUAN Jianguo, DU Cankun, HE Deshan. Experiments on cultivation of mangrove plant in freshwater in Shenzhen [J]. *Journal of Hydroecology*, 2011, 32(2): 63–68 (in Chinese).
- [5] 潘德胜, 李晓强, 张勋, 等. 红树植物在心圩江水环境治理中的应用初探[J]. *广西城镇建设*, 2021(3): 30–31, 38.
- PAN Desheng, LI Xiaoqiang, ZHANG Xun, *et al.* Application of mangrove plants in water environment control of Xinxu River [J]. *Cities and Towns Construction in Guangxi*, 2021(3): 30–31, 38 (in Chinese).
- [6] 徐玉良, 张剑刚, 李蒙英, 等. 湿地型生态岛对城市黑臭水体修复效果分析[J]. *环境科学与技术*, 2017, 40(S1): 186–190.
- XU Yuliang, ZHANG Jiangang, LI Mengying, *et al.* Analysis on effect of application on wetland ecological island in urban river malodorous water [J]. *Environmental Science & Technology*, 2017, 40(S1): 186–190 (in Chinese).
- [7] 项学敏, 杨洪涛, 周集体, 等. 人工湿地对城市生活污水的深度净化效果研究: 冬季和夏季对比[J]. *环境科学*, 2009, 30(3): 713–719.
- XIANG Xuemin, YANG Hongtao, ZHOU Jiti, *et al.* Performance of constructed wetland for municipal wastewater tertiary treatment: winter and summer comparison [J]. *Environmental Science*, 2009, 30(3): 713–719 (in Chinese).
- [8] 陈铁柱, 周日修, 田航飞, 等. 北方大型湿地氮和磷去除的季节性规律[J]. *生态学杂志*, 2025(7): 2157–2163.
- CHEN Tiezhu, ZHOU Rixiu, TIAN Hangfei, *et al.* An investigation of the seasonal pattern of nitrogen and phosphorus removal in a large northern wetland [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2025(7): 2157–2163 (in Chinese).
- [9] KADLEC R H, PRIES J, LEE K. The Brighton treatment wetlands [J]. *Ecological Engineering*, 2012, 47: 56–70.
- [10] 肖海文, 刘馨瞳, 翟俊, 等. 人工湿地类型的选择及案例分析[J]. *中国给水排水*, 2021, 37(22): 11–17.
- XIAO Haiwen, LIU Xintong, ZHAI Jun, *et al.* Type selection of constructed wetlands and related design case analysis [J]. *China Water & Wastewater*, 2021, 37(22): 11–17 (in Chinese).

作者简介: 寇殿良(1982–), 男, 吉林安图人, 硕士, 教授级高级工程师, 主要从事市政给排水设计研究工作。

E-mail: 26482129@qq.com

收稿日期: 2025-04-28

修回日期: 2025-05-29

(编辑: 衣春敏)