

上海市强排区域水环境系统治理方案研究

母冬青

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要: 在高度城市化的上海市中心城区,合流制与强排模式下的泵站雨天放江污染已成为制约河道水质稳定达标的突出瓶颈。以上海市杨浦区虬江流域为典型案例,系统诊断了其“源头雨污混接、管网高水位运行、泵站集中放江、河道自净能力不足”的链式问题。提出“源—网—站—河”全链条系统治理方案,涵盖雨污混接精细化整治、排水管网修复与低水位优化运行、泵站截流与智能联动调度、河道疏浚与生态修复等关键措施。通过实施以虬江为代表的“一河一策”治理方案,验证了该体系在削减入河污染负荷、提升水体自净能力、改善雨季水质波动等方面的显著成效。总结的系统治理范式,为我国同类高密度建成区的水环境治理提供可复制、可推广的技术与管理参考。

关键词: 强排区域;泵站放江;水环境系统治理

中图分类号: TU992.03

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2026)09-0278-05

Research on Water Environment System Governance Scheme for Forced Drainage Areas in Shanghai

MU Dongqing

[Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: In the highly urbanized central areas in Shanghai, the pollution caused by pumping stations discharging water into rivers during rainy days under the combined sewer system and forced drainage mode has become a prominent bottleneck restricting the stable up-to-standard quality of river water. Taking the Qiujiang River basin in Yangpu District of Shanghai as a typical case, a chain of problems including “mixed rainwater and sewage connection at the source, high water level operation of the pipeline network, centralized discharge of pumping stations into the river, and insufficient self-purification capacity of the river” is systematically diagnosed. A full-chain systematic governance scheme of “source - network - station - river” is proposed to cover the key measures such as the refined renovation of rainwater and sewage mixed connections, the repair of drainage networks and the optimized operation at low water levels, the interception of pumping stations and intelligent linkage dispatching, and the dredging of rivers and ecological restoration. Through the implementation of the “one river, one policy” governance scheme represented by Qiujiang River, the remarkable achievements of this system in reducing the pollution load entering the river, enhancing the self-purification capacity of water bodies, and improving the water quality fluctuations during the rainy season are verified. The summarized systematic governance paradigm provides replicable and scalable technical and management references for water environment governance in similar high-density built-up areas in China.

Keywords: forced discharge area; pumping station discharge into river; management of water environment system

0 引言

杨浦区虬江作为上海市管河道,贯穿杨浦核心区域,沿线人口密集、商业繁荣,其水系(杨树浦港—东走马塘—虬江)是典型的城市骨干内河。该区域排水系统以合流制为主,泵站放江污染负荷高,加之虬江存在 2.1 km 暗涵段形成“肠梗阻”,水动力条件差,

自净能力弱,水质在雨季反复波动。因此,针对虬江开展“一河一策”的精准治理,不仅对改善杨浦区水环境至关重要,也为探索上海乃至全国强排区域水系统治理路径提供了绝佳的研究范本^[2]。

本文结合上海市相关规划与政策,系统剖析强排区域水环境问题的根源,构建“源头减量、过程控制、末端治理、系统调度”的综合治理技术体系,以期同类区域的系统性、精细化治水提供理论依据与工程实践参考^[3]。

收稿日期: 2026-06-09

作者简介: 母冬青(1984—),女,硕士,高级工程师,从事水工结构、水环境治理设计工作。

1 研究区域概况

上海地区中心城区河道担负着城市小区排水的承接和水资源调度的任务,水系两岸人口密集、经济发达。

经多轮的消黑臭、消劣的治理,水质得到很大提升。但由于水系位于城市建成区,具有河道数量少、河道规模小、河湖水面率低的特征,沿线多为合流制区域,雨水经泵站、地表径流快速入河,入流量大、强度高,且水系易受到外河顶托极易受涝,水动力不足,河道自净能力削弱,导致雨季河道水质不稳定,存在间歇性反复的情况出现^[4]。

在新时代和新形势下,精细化管理河道的要求主要聚焦于解决泵站放江过程中的“两水平衡”问题,同时结合重点问题区域雨污混接普查和整治^[5]、“清管行动”、管网低水位运行等专项行动^[6],重点针对“防汛泵站雨天排水”的问题开展水环境系统治理方案的研究。

虬江位于上海市杨浦区中部,为市管河道,西接东走马塘(暗涵连接),东经新虬江泵闸排入黄浦江。河道全长 5.9 km(含暗涵 2.1 km),河口宽 6~37 m,沿线涉及五角场、长海路、长白新村三个街道。流域内排水系统复杂,包括复旦大学、五角场、国和、营口、嫩江等 8 个排水系统,服务总面积约 34 km²,其中合流制系统服务面积占比约 55%。区域内管网年代差异大,地表硬化率高,水文条件受黄浦江潮汐顶托影响显著。

2 问题诊断

通过现状调研与数据分析,虬江水系的主要问题可归结为以下 4 个相互关联的层面:

2.1 源头:雨污混接问题顽固且动态变化

尽管已开展多轮混接改造,但受城市更新、商铺业态变化、管道私接等因素影响,雨污混接现象依然严重。以嫩江排水系统为例,最新“回头看”调查仍发现多处新增混接点,商铺和小区污水接入雨水管是主要类型。这导致旱天有污水进入雨水系统,雨天则随径流放大入河^[7]。

2.2 过程:管网运行水位高,沉积与冲刷并存

合流制管网长期处于高水位运行状态,导致流速低、沉积物堆积,成为内源污染“储存库”。雨天流量激增时,沉积物被冲刷并输送至泵站,加剧了放江污染^[8]。此外,管网结构性缺陷普遍,存在外水入渗

和污水外渗风险。

2.3 节点:泵站集中放江,污染冲击负荷大

虬江沿线泵站 2023 年放江总量超过 600 万 m³,同比大幅增长。放江水中污染物浓度高(如 COD 平均约 60 mg/L,氨氮约 8.6 mg/L),在短时间内形成巨大的污染冲击,远超河道环境容量。结合现有研究对放江污染特征与荷载的定量化分析^[9],尤其是五角场、国和等合流泵站,成为最主要的污染排放节点^[10]。沿线泵站放江量详见表 1。

表 1 虬江水系沿线泵站放江量

泵站	2022 年 放江量/m ³	2023 年 放江量/m ³	放江量 增长比/%
五角场泵站	1 183 074	1 585 758	34.04
国和泵站	1 020 096	1 281 672	25.64
嫩江泵站	1 627 920	2 230 704	37.03
国顺东泵站	909 384	1 031 520	13.43
合计	4 740 474	6 129 654	29.30

2.4 受体:河道自净能力严重不足

虬江暗涵段过水断面仅为规划河口的 30%,严重阻碍水流,导致上游来水与泵站放江水在此淤积、滞流。全河道底泥淤积总量约 9.1 万 m³(其中暗涵段 2.5 万 m³),底泥释放的内源污染占总污染负荷的 65% 以上。加之水动力调度不精准,水体置换周期长(疏浚前虬江换水周期达 16.6 d),自净能力被极大削弱^[11]。

杨树浦港—东走马塘~虬江水系为一个整体的水系,因此,污染负荷分析按照整个系统进行研究。污染主要来自泵站放江、内源污染和来水污染。以地表 V 类水计算水环境容量,全年需削减 COD 284 t/年,氨氮 605 t/年,总磷 69 t/年。污染物负荷及削减量分析详如表 2 所示。

表 2 污染负荷和削减量分析

单位:t/年

项目	COD	氨氮	总磷
污染负荷	1 674	675	83
水环境容量	1 390	70	14
削减量	284	605	69

3 “河—泵—网—户”系统治理方案构建

针对上述链式问题,以“系统治理”为抓手,通过水环境系统量化分析,根据污染类型及所属系统,提出“靶向”治理,进行综合施策,并给出近远期实施措施。

以“河—泵—网—户”排查整治为技术路径详如图 1 所示,并形成路线图、排出项目表,系统考虑、逐级治理、远近结合。

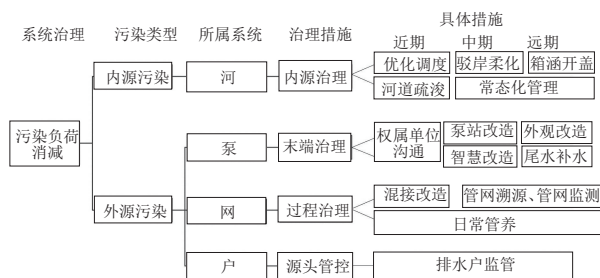


图1 “河—泵—网—户”技术路线

3.1 源头减污:雨污混接精细化整治与长效管控

精准普查与动态更新:运用 CCTV 检测、水质流量同步监测等技术,结合 GIS 系统,建立覆盖“用户—支管—干管”的混接点动态数据库。

分类施策与工程改造:对住宅小区,结合“美丽家园”改造推进阳台立管、地下车库等彻底分流;对商业街区,强制推行餐饮隔油、理发店毛发拦截等预处理措施,核发排水许可证;对企事业单位,要求开展内部管网自查整改。

海绵设施源头减排:项目中落实海绵城市建设要求,通过透水铺装、绿色屋顶、生物滞留设施等,延缓、削减、净化地表径流,从源头降低进入管网的污染负荷^[12]。

3.2 管网控污:低水位运行与修复改造

推行管网低水位运行:优化泵站运行策略,通过降低开泵水位、延长运行时间,将合流干管水位控制在设计充满度的 50% 以下。可提高管网流速、减少沉积,并利用管网空间临时调蓄部分雨水,实现“增库容、减沉积、降污染”三重目标^[6]。

实施“清管行动”与修复:建立管道周期性机械化清洗制度,重点清理沉积严重的管段。对检测出的结构性缺陷管道,优先采用非开挖修复技术进行整治,保障管网健康度^[10]。

3.3 泵站调污:优化截流与泵河智慧联动

提升截流设施效能:对合流泵站,评估并优化截流设施规模,确保旱流污水和部分初期雨水有效截流至污水厂^[13]。对雨水泵站,探索设置旱流截污设施。

建立泵站放江预警与河道保洁联动机制:基于气象预报与管网液位,建立泵站放江预报模型。一旦触发放江预警,自动通知下游河道养护单位,增派保洁船只与人员在排口下游备勤,实现“放江即清捞”,快速消除视觉污染。

优化区域水资源调度模型:利用水动力水质模型,模拟不同雨情、潮情下的河道水流与污染物扩散。优化闸泵联合调度方案,如在放江后,通过杨树浦港

泵闸引清、新虬江泵闸强排,缩短污染团滞留时间^[2]。

采用 mike11 模型进行各调度工况的模拟。

3.3.1 水量模型基本方程

水量计算的微分方程是建立在质量和动量守恒定律基础上的圣维南方程组,以流量 $Q(x, t)$ 和水位 $Z(x, t)$ 为未知变量,并补充考虑了漫滩和旁侧流入的完全形式圣维南方程组为:

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial x} + B_w \frac{\partial Z}{\partial t} = q \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + 2u \frac{\partial Q}{\partial x} + (gA - Bu^2) \frac{\partial A}{\partial x} + g \frac{n^2 |u| Q}{R^{4/3}} = 0 \end{cases}$$

式中: Q 为流量; x 为沿水流方向空间坐标; B_w 为调蓄宽度; Z 为水位; t 为时间坐标; q 为旁侧入流流量,入流为正,出流为负; u 为断面平均流速; g 为重力加速度; A 为主槽过水断面面积; B 为主流断面宽度; n 为糙率; R 为水力半径。

3.3.2 水质模型基本方程

河网对流传输移动问题基本方程表达如下:

河道方程:

$$\frac{\partial(AC)}{\partial t} + \frac{\partial(QC)}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} (AEx \frac{\partial C}{\partial x}) + Sc - S = 0 \quad (1)$$

河道叉点方程:

$$\sum_{l=1}^M (QC)_{l,j} = (C\Omega)_j \left(\frac{dZ}{dt} \right)_j \quad (2)$$

式中: Q 为流量; Z 为水位; A 为河道面积; Ex 为纵向分散系数; C 为水流输送的物质浓度; Ω 为河道叉点—节点的水面面积; j 为节点编号; l 为与节点 j 相联接的河道编号; Sc 为与输送物质浓度有关的衰减项,例如可写为 $Sc = K_d AC$, 其中 K_d 是衰减因子; S 是外部的源或汇项。

结合调度工况分析,虬江下游会出现反向流,影响虬江的换水效率,优化调度方向为减少虬江反向流动的情况,将界泓浜水闸、虬江水闸参与调度。现有调度下的水系往复流情况如图 2 所示。

充分利用水系中口门,多方案进行分析,以河道疏浚到规划断面的前提下,以联合调度界泓浜水闸为例,在次均放江量:40 万 m^3 的情况下,水系在 48 h 水质恢复,见图 3 至图 6。

模拟分析结论:利用界泓浜水闸、虬江水闸,避免虬江反向流的情况,可提高虬江分流比,增加日均引水量,一定程度上缩短虬江的水质恢复时间,其中,关闭虬江水闸效果更佳。建议结合实际情况,选择界泓浜水闸、虬江水闸的启闭,如:当需要增加虬江引换水量时,关闭虬江水闸;当需要适度增加东走

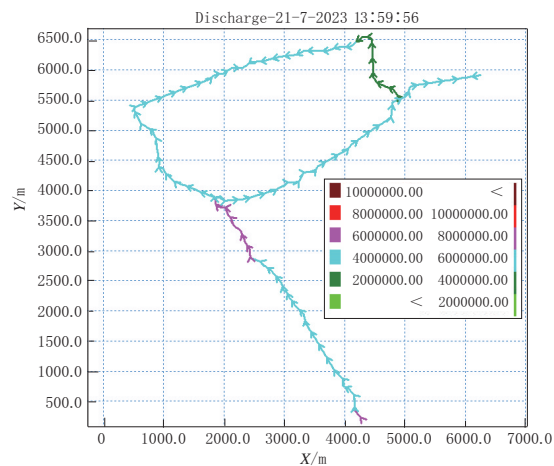


图2 现有调度工况下往复流情况图

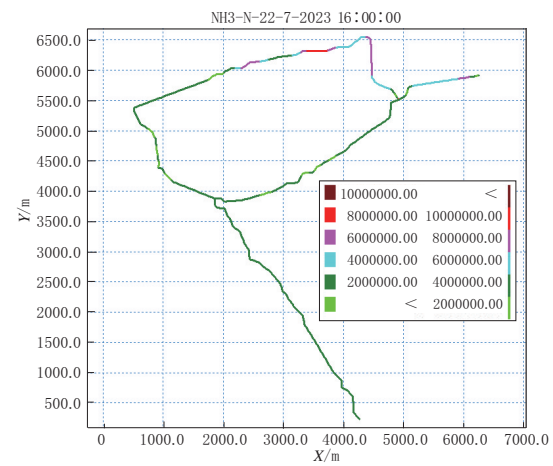


图5 放江后 24 h:东走马塘水质恢复

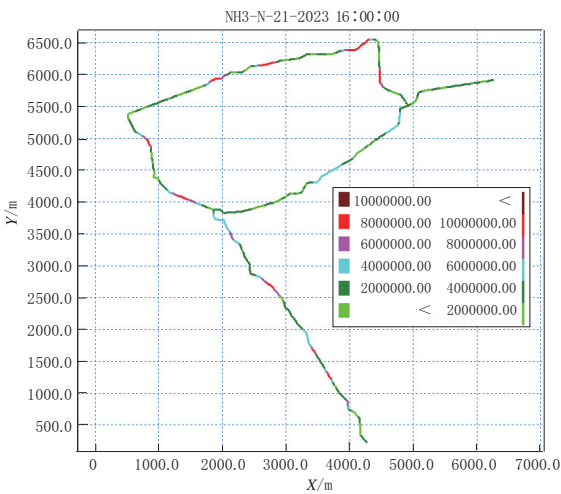


图3 放江初期水质分布图

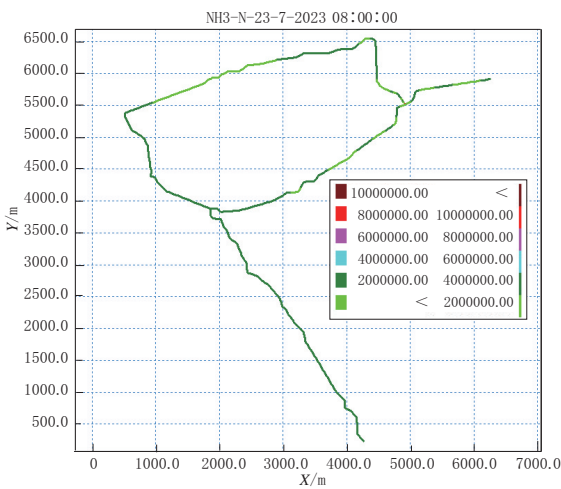


图6 放江后 48 h:全线恢复

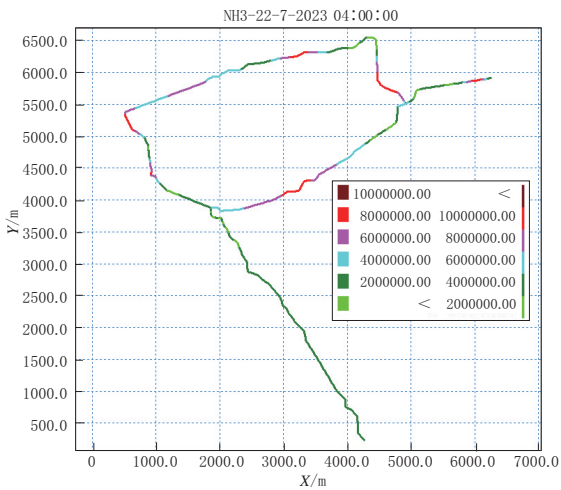


图4 放江后 12 h:杨树浦港水质恢复

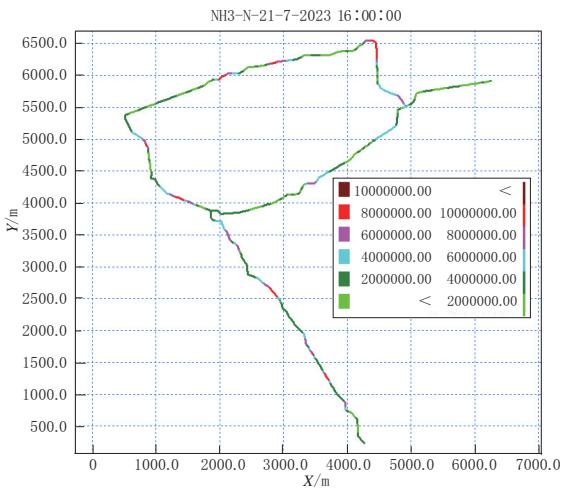


图7 远期放江初期水质分布图

马塘引换水量时,关闭界泓浜水闸。

3.4 河道净污:疏浚清障与生态修复

实施环保疏浚与暗涵整治。对虬江全河段,特别是暗涵段实施环保疏浚,清除高污染底泥。对暗涵段进行结构检测与修复,并为远期“开盖复河”做好技术储备^[11]。远期虬江开盖后边界条件相同的情况下数值模拟情况见图7至图8,水系水质24 h内基本恢复。

构建水生生态修复系统。在水流条件适宜的敞开段,构建动植物微生物共生系统,提升水体自净能力。在排口下游设置生态浮岛、强化曝气等应急净化设施^[14]。

推进滨水空间生态化改造。结合岸线改造,将硬质驳岸生态化,营造滨水湿地和浅滩,为水生生物提供栖息地,增强河道的生态韧性^[15]。

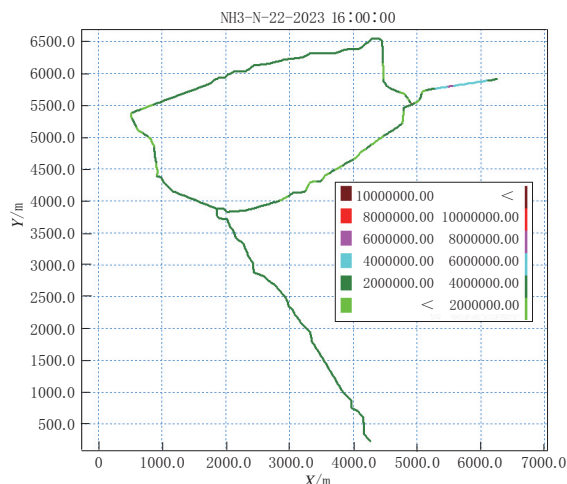


图8 放江后24 h:基本全线恢复

4 治理成效

自2024年虬江“一河一策”方案系统实施以来,已取得阶段性成效。

(1)污染物负荷有效削减:通过雨污混接整治与管网低水位运行,泵站放江污染物平均浓度(COD、氨氮)同比下降约15%~20%。

(2)河道自净能力提升:2024年汛前完成的虬江全线疏浚工程,增加槽蓄容量约9万 m^3 ,水流速度明显加快。结合优化调度,虬江换水周期缩短。

(3)水质稳定性增强:2024年汛期监测数据显示,虬江水质在雨后24 h内恢复至V类及以上标准的比例较2023年同期提高约30%,公众视觉观感投诉大幅下降。

(4)管理效能优化:“泵-河”联动机制与数字巡河平台的应用,实现了从被动应对到主动预警、快速处置的转变。

本研究表明,强排区域的水环境治理必须摒弃单一工程思维,转而采用系统性、协同性的治理策略。核心在于打破“河、泵、网、户”之间的管理壁垒,实现数据共享与措施联动。未来的深化方向如下:一是利用物联网、大数据和AI模型,构建“智慧水系统”,实现更精准的预测、调度与评估^[16];二是探索基于自然的解决方案(NbS)在中心城区的创新应用,如大型分布式调蓄设施与生态廊道的结合;三是建立健全基于水质改善效果的生态补偿与考核机制,保障治理的长效性。

5 结论

上海强排区域的水环境问题本质是城市化进程

中排水系统、水文条件与生态容量不匹配的系统性矛盾。

(1)全链条系统治理是解决泵站放江污染问题的根本路径,需统筹实施源头雨污分流、管网优化运行、泵站智慧调控和河道生态修复。

(2)“一河一策”精细化方案是实现系统治理落地的关键,必须基于详实诊断,制定针对性、可操作的工程与管理措施清单。

(3)管理创新与技术赋能同等重要。在推进工程措施的同时,必须配套以严格的执法监管、跨部门的协同机制和公众参与的社会共治模式。

本研究形成的治理框架与技术体系,不仅为上海市其他类似河道的治理提供了可直接借鉴的模板,也为我国广大面临类似“城市病”的高密度建成区,提供了系统化、可复制的水环境治理解决方案。

参考文献:

- [2] 上海市水务局.上海市水系统治理“十四五”规划[R].上海:上海市水务局,2021.
- [2] 王浩,唐莉华,张振鹏.城市水系统治理的范式转变:从灰色到绿色灰色融合[J].水利学报,2021,52(10):1157-1168.
- [3] 徐贵泉.感潮河网水功能过渡区及水环境承载能力研究[D].南京:河海大学,2005.
- [4] 陈长太,徐贵泉.市政泵站雨天排放对黄浦江、苏州河水质的影响[J].水资源保护,2014,30(6):59-62.
- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部.城镇排水管网雨污混接调查技术导则(试行)[S].北京:中华人民共和国住房和城乡建设部,2016.
- [6] 上海市人民政府办公厅.关于进一步加强本市污水系统治理的实施方案[Z].上海:上海市人民政府,2024.
- [7] 顾一鸣,马艳.防汛泵站放江污染削减对策探索[J].净水技术,2021,40(10):138-143.
- [8] 张庆民,张力元,赵庚润,等.管底沉积物冲刷模型在雨水泵站放江分析中的构建及应用[J].环境科学学报,2026,46(2):215-222.
- [9] 王静怡.泵站雨天放江污染特征及负荷量化研究[J].环境科学与管理,2022,47(3):84-87;92.
- [10] 张辰,谭学军,李春光.城镇排水系统提质增效的路径与实践[J].给水排水,2020,56(8):1-8.
- [11] 黄志金,张惠,黄少华.幸福河湖建设背景下市政排水泵站雨天出流污染治理思考[J].水利技术监督,2026(1):89-92.
- [12] 徐祖信,尹海龙,王峰.我国城市面源污染控制技术策略与展望[J].给水排水,2019,55(1):1-5.
- [13] 刘翔,李田,谢炜,等.上海中心城区合流制系统雨天溢流污染控制策略研究[J].中国给水排水,2020,36(11):1-7.
- [14] 韩璐,李青龙,曾平,等.长江流域典型城市河段黑臭水体生态整治案例分析[J].环境工程技术学报,2025,15(2):245-252.
- [15] 蒋伟,胡俊义,张健.江苏省农村生态河道治理的发展现状及对策[J].江苏水利,2025(3):45-48.
- [16] 高丽莎,韩超,陈奕.基于水闸调度的上海市苏州河泵站放江污染消除方案[J].净水技术,2025,44(7):130-138.