

上海市泵站放江污染控制策略与建议

王磊¹, 朱五星², 张莹²

[1. 上海市排水管理事务中心, 上海市 200001; 2. 上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要: 防汛泵站雨天放江污染是制约上海市城区河道水质改善的瓶颈问题。基于90座典型泵站放江水质水量数据识别了泵站放江污染特征, 分析了放江污染成因, 提出放江污染控制思路。针对合流制和分流制排水系统, 建立了涵盖精准管控、陆域污染控制和水陆协同控制3个方面的污染控制策略, 建议根据泵站放江污染特性和排水系统现状问题, 制定污染管控目标, 采取源头削减、过程控制、末端治理等放江污染综合控制措施。研究成果可为上海市放江污染的长效治理提供借鉴。

关键词: 防汛泵站; 放江污染控制; 合流制溢流; 雨污混接

中图分类号: S276.3; TU992

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)12-0150-06

Strategies and Suggestions for Discharge-into-River Pollution Control of Pumping Stations in Shanghai

WANG Lei¹, ZHU Wuxing², ZHANG Ying²

[1. Shanghai Drainage Affairs Management Center, Shanghai 200001, China; 2. Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: The pollution caused by the discharge of flood control pumping stations into rivers during rainy days is a bottleneck problem restricting the improvement of water quality in urban rivers of Shanghai. Based on the water quality and quantity data of discharge into rivers from 90 typical pumping stations, the causes of pollution into rivers are analyzed and the control ideas of pollution into rivers are proposed. Aiming at the combined sewage system and separated sewage system, a pollution control strategy covering three aspects of precise control, land-based pollution control and water-land cooperative control has been formulated. It is recommended that the pollution control targets be set based on the characteristics of discharge-into-river pollution from pumping station and the current problems of the drainage system. The comprehensive control measures for pollution from the discharge into the river, including source reduction, process control and end-of-pipe treatment should be taken. The research findings can provide a references for the long-term management of discharge-into-river pollution in Shanghai.

Keywords: flood control pumping station; control of discharge-into-river pollution; combined sewage overflow; mixed connections of rainwater and sewage pipes

0 引言

随着我国城市排水基础设施建设的发展,城市排水管网和污水处理设施日趋完善,传统点源污染得到有效控制,合流制溢流和分流制系统雨水排放污染问题已逐渐成为我国许多城市水环境治理中亟待解决的重大难题。上海市作为我国滨江临海的超大城市,其独特的自然历史条件和超大城市的特点决定了城市防汛排水和河道水环境保护问题十分复

杂。近年来,上海市河道水环境质量明显提升,然而,受防汛泵站放江影响,部分河道时常出现雨天短时黑臭现象。防汛泵站雨天放江污染问题已凸显成为制约上海市城区河道水质持续稳定改善的关键因素。

防汛泵站雨天放江污染的成因错综复杂,是一个系统问题,其污染来源包括合流制管网污水溢流、分流制混接污水、雨水径流污染和管网沉积物等多个方面^[1]。因此,其治理也要从排水系统全过程着手,涉及源头削减、过程控制和末端治理等多个环节。同时,应在查明不同类型系统污染成因的基础上,分类施策,从而取得良好的污染治理成效。

收稿日期: 2025-05-30

基金项目: 上海市科委2023年度“科技创新行动计划”社会发展科技攻关项目(23DZ1202805)

作者简介: 王磊(1984—),男,硕士,高级工程师,从事内涝防治、放江污染管控、污水污泥处理等方面管理工作。

1 泵站放江污染特征

为进一步明晰泵站放江污染特征,本研究调研并统计了2020—2022年间上海市90座典型泵站(含60座分流制雨水泵站及30座合流泵站)的5600余站次放江水质水量数据,放江水质指标包括COD、SS、TP、NH₃-N。

90座泵站5600余站次放江总水量为23012.3万m³,场次放江量变化很大,统计单站次放江量在112~798744m³之间,各泵站放江量均值在5065~177458m³之间。如图1所示,全年不同月份放江量和放江频次差异较大,主要集中在汛期6—9月,汛期放江量占统计总量的88.1%。其中,7月份放江总量最大,三年统计总量达到7532.6万m³,放江频次为1412次;12月份最小,统计放江总量仅为65.1万m³,放江频次为29次。

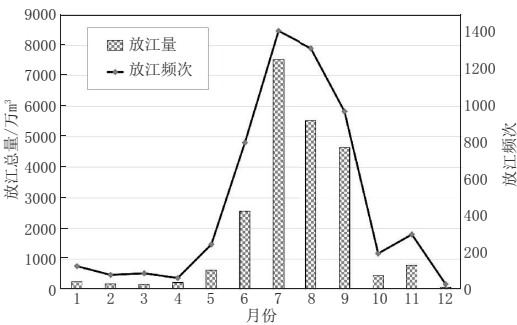


图1 不同月份放江量与放江频次变化

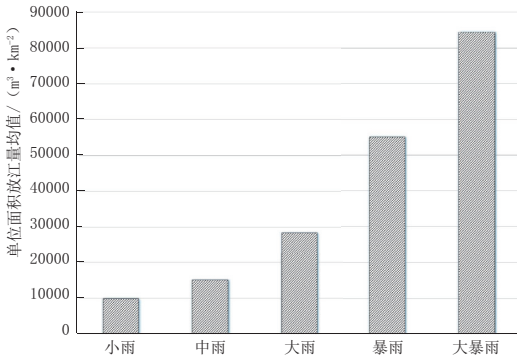
泵站放江水量受其汇水面积和降雨因素影响较大,为更好地了解泵站放江水量特性,采用单位面积放江量指标对不同场次水量进行表征,见式(1):

$$Q_a = \frac{Q}{A} \tag{1}$$

式中:Q_a为单位汇水面积产生的泵站放江水量,m³/km²;Q为泵站场次放江水量,m³;A为泵站服务范围的汇水面积,km²。

统计得到不同雨量等级下单位面积放江量均值如图2所示。Q_a随降雨量等级变化显著,小雨天气下,单位面积放江量平均为9816m³/km²,中雨天气为15041m³/km²,大雨天气为28272m³/km²,暴雨、大暴雨天气Q_a分别可达54934m³/km²和84252m³/km²。

雨水泵站和合流泵站单位面积放江量与降雨量关系如图3所示。降雨量与单位面积放江量呈较显著的正相关关系,计算得到雨水和合流泵站Q_a和降雨量的皮尔逊相关系数r分别为0.613和0.583。但受区域下垫面差异、泵站运行模式差异、汇水面积统计精度等原因影响,整体线性拟合度较差。



(按照24h降雨量分类,<10mm为小雨,10~24.9mm为中雨,25~49.9mm为大雨,50~99.9mm为暴雨,100~249.9mm为大暴雨)

图2 不同雨量等级下单位服务面积泵站放江量

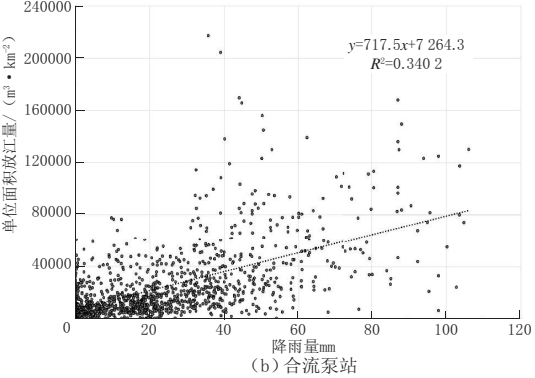
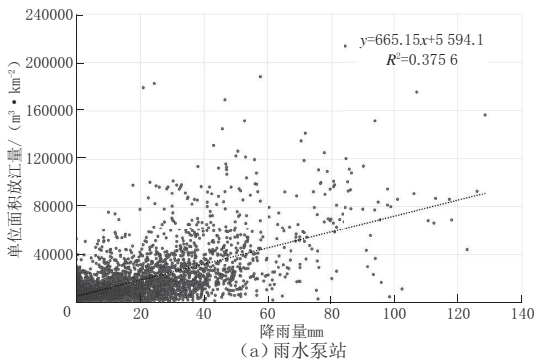


图3 防汛泵站单位面积放江量与降雨量关系图

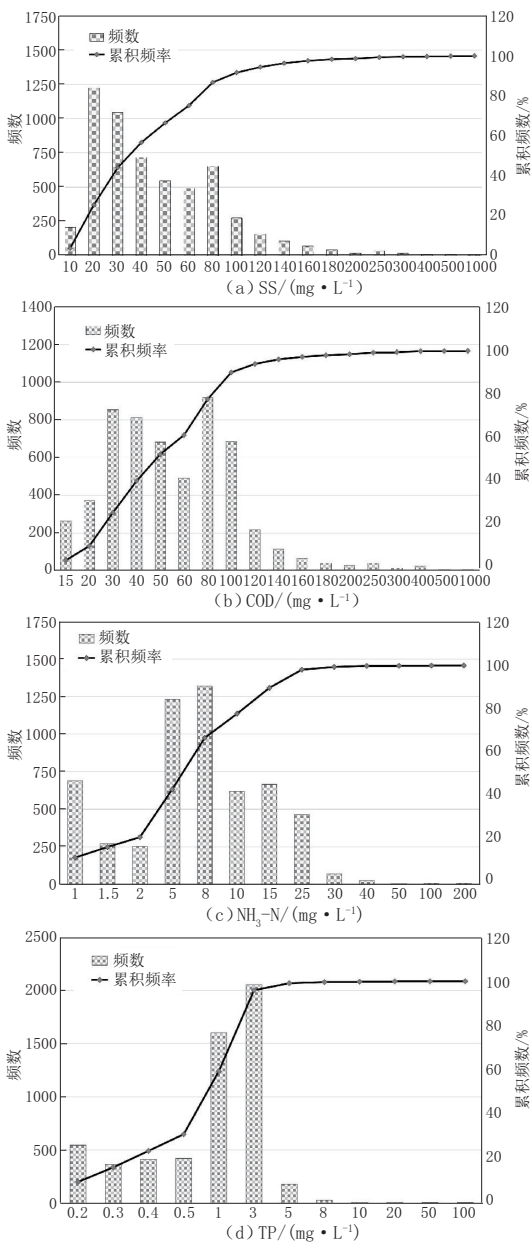
统计放江站次水质指标均值及分布情况如表1和图4所示。统计平均浓度分别为47.6、58.4、7.12、1.07mg/L(见表1)。各项污染物浓度均值均高于城镇污水处理厂排放标准一级A标准及地表V类水水质标准,其中合流泵站各项污染物指标均略高于雨水泵站。

由图4可知,放江水质SS、COD、NH₃-N、TP浓度分别在10~100、15~100、0~15、0~3mg/L范围分布最多,参照我国城镇污水厂污染物排放一级A标准(SS、COD、NH₃-N和TP浓度限值分别为10、50、8、0.5mg/L),发现大多数排水水质无法满足标准要求,5600余次排水水质数据中,SS、COD、NH₃-N和TP浓度分别仅有3.70%、52.9%、43.5%和31.1%的水质满足一级A排放限值。对照地表水环境质量标准中IV类水标准(COD为30mg/L,NH₃-N为1.5mg/L,TP为

0.3 mg/L), 仅有 26.4% 的统计 COD 值, 17.1% 的统计 $\text{NH}_3\text{-N}$ 值和 16.2% 的 TP 值满足地表水 IV 类水标准。然而, 上海市地表水考核断面水质大多能达到或优于 IV 类水, 雨天泵站放江排水将会对水体造成较大污染负荷。

表 1 不同类型泵站放江水质指标平均浓度 单位: mg/L

泵站类型	SS	COD	$\text{NH}_3\text{-N}$	TP
合流泵站	60.6	65.6	8.91	1.43
雨水泵站	43.5	56.1	6.55	0.98
总体平均	47.6	58.4	7.12	1.09



(图中横坐标的值代表两个数之间的一个范围, 例如 SS=20 mg/L 代表实际浓度在 0~20 mg/L 之间, 以此类推。)

图 4 统计放江水质 SS(a)、COD(b)、 $\text{NH}_3\text{-N}$ (c)、TP(d) 分布

2 泵站放江污染成因分析

放江污染的来源通常包括合流制管网污水溢

流、分流制混接污水、雨水径流污染和管网沉积物等^[2-3]。受历史原因影响, 上海市中心城区局部区域仍保留截流式合流制排水体制, 在雨量过大时, 合流制系统将超出系统截流处理能力的混合雨污水排放至水体, 产生溢流。有研究表明, 合流制溢流污染负荷(以 SS 计)中, 地表径流和管道沉积物贡献率分别可达 30% 和 60% 左右^[4]。通常情况下, 雨量较大时, 雨水的稀释作用可有效降低污染物浓度; 然而, 由于合流制的管道管径大、流速慢, 旱天污水输送容易发生大量沉积, 在雨天会随着大流量雨水排入河道, 造成短时黑臭现象。

受施工质量和建设管理水平等因素影响, 城市分流制排水系统普遍存在不完全的分流、大比例雨污混接等问题^[5], 导致污水混入雨水管道排放。雨污混接问题使分流制系统名不副实, 一方面, 雨水管道成为了末端没有截流处理设施的合流管道, 旱天污水在雨水管道中发生沉积, 雨天未经处理的污水和沉积物随泵站放江排入河道; 另一方面, 雨水管道错接入污水管道, 大量占用污水管道的传输能力, 当雨天水量超出下游污水厂处理能力时可能造成污水溢流而污染河道^[6]。

3 泵站放江污染控制策略

3.1 总体思路

泵站放江污染控制应根据现状排水系统建设情况, 区分合流制和分流制, 因地制宜采取管控方法和技术措施。总体而言, 污染控制思路可从以下几个方面考虑。

3.1.1 遵循现行国家标准, 形成完全的分流制雨水系统和完善的合流制系统

根据《室外排水设计标准》(GB 50014—2002) 规定, 分流制排水系统禁止污水接入雨水管网, 并采取截流、调蓄和处理等措施控制径流污染; 现有合流制排水系统应通过截流、调蓄和处理等措施控制溢流污染, 经方案比较后可实施雨污分流改造^[7]。

建设符合设计标准的完全的分流制雨水系统, 可有效减少放江污染, 通常应满足以下条件^[8]: (1) 排水分区服务面积、排水模式合理; (2) 边界清晰, 与周边系统特别是合流制无连接; (3) 雨水管渠旱天见底, 无污水; (4) 设置源头减排等设施控制径流污染。

对于现有合流制系统, 应科学分析现状标准、存在问题、改造难度和改造的经济性, 结合城市更新, 采取源头减排、截流管网改造、调蓄、溢流堰(门)改

造等措施,提高截流标准,形成完善的合流制系统。当合流制系统汇水范围内不具备建造雨水调蓄池的条件时,可通过提高干管截流倍数的方法,避免溢流污染。按照城镇排水规划要求需要实施分流制改造的合流制系统,经过方案比较后实施分流制改造。

3.1.2 基于泵站放江特性和现状问题,采取源头-过程-末端等综合措施,系统施策

泵站放江污染是一个系统性问题,其成因复杂,很难通过单一措施实现有效治理。因此,应基于排水系统放江污染特性研究和现状分析,通过排水系统溯源排查,探明系统存在的根本性问题(雨污混接、高水位运行等)及其症结所在。结合排水系统问题诊断、现状污染特征、排水设施建设和用地特征等,针对性制定排水系统整治方案和放江污染管控策略,综合考虑陆域和水域技术措施,选择适宜的源头削减、过程控制、末端治理等技术,实现放江污染的有效控制。

3.1.3 建管并重,注重管道运维维护和缺陷修复,实现放江污染长效治理

放江污染管控并非一蹴而就,而是一项中长期工程,长期的管养维护对放江污染的长效整治至关重要。在技术措施层面,通过污染溯源排查诊断和雨污混接整治^[9],消除雨污混接,让雨水和污水各行其道;通过建立排水用户在线监管或周期性巡查机制,及时发现排水用户混接等问题,实现源头混接长效治理;通过管道周期性检测、清淤和修复,及时发现和修复管道结构和功能缺陷,减轻外水入侵,降低系统水位,保障下游污水厂浓度,增强管网雨天调蓄能力。

基于以上思路,分别针对合流制和分流制排水系统,提出如下泵站放江污染控制策略。

3.2 合流制系统泵站放江污染控制策略

图5所示为合流制系统泵站放江污染控制策略,主要包括精准管控、陆域污染控制和水陆协同控制三个方面。

3.2.1 精准管控

通过开展放江污染特性的分析、排水系统特征及问题分析,结合受纳水体水质和环境容量分析,提出适用于特定系统的泵站放江精准管控目标,作为后续一系列措施的实施依据。管控目标通常可采用具有可操作性的溢流场次控制率、放江污染物排放限值、年污染负荷削减率等指标^[10-12]。

3.2.2 陆域污染控制

陆域污染控制措施主要包括源头削减、过程控制和末端治理三个主要环节。

3.2.2.1 源头削减

合流制系统的源头削减以径流污染削减为主,外水入侵整治、污染拦截为辅。

合流制系统的放江污染来源于雨天溢流污水,雨天水量超出泵站截流能力时,污水随防汛泵站排放至水体。因此,径流量的削减对减少溢流污水排放至关重要。源头海绵设施通过滞、净、蓄、渗等作用,减少雨水径流量、削减径流污染负荷。常见源头海绵设施包括生物滞留设施、透水铺装、绿色屋顶、植草沟、雨水湿地、源头雨水回用设施等。

雨水口污染拦截设施则主要用于拦截雨水径流携带的垃圾、漂浮物等,通常可采用雨水口截污挂篮、截污过滤式雨水口等设施。

管网外水入侵问题是导致合流制系统旱天高水位运行的原因之一,地下水、河水等外水挤占了管网调蓄空间,对雨天防汛排水造成不利影响,并导致溢流污水量增多,因此,对于存在高水位运行的合流制区域,有必要开展源头排水用户外水入侵排查诊断与整治。

3.2.2.2 过程控制

过程控制主要以管网清淤养护为主,外水入侵整治、污染拦截为辅。

管道沉积物是放江污染的重要来源,因此,管网清淤养护对放江污染控制至关重要;对于存在高水位运行的合流制区域,还需开展市政管网外水入侵诊断与整治,协同泵站运行规则优化,降低合流制管网旱天运行水位;污染拦截主要指检查井污染拦截技术措施,包括检查井垃圾拦截器和沉泥槽等。

3.2.2.3 末端治理

合流制放江污染的末端治理措施以截流调蓄为主,联合调度为支撑,污染拦截、集水池养护和就地处理为辅助。

截流和调蓄设施建设可有效减少合流制系统溢流放江量和溢流频次^[13]。同时需结合下游污水厂站运行情况,开展厂站网联合调度优化,实现截流调蓄设施运行效益最大化。

加强泵站污染拦截和集水池清淤养护可在一定程度上减少溢流污染负荷,同时,建议在有适合用地条件、溢流污染负荷较高的泵站建设高效就地处理设施^[14],旱天就地处理设施出水主要用于杂用水、景

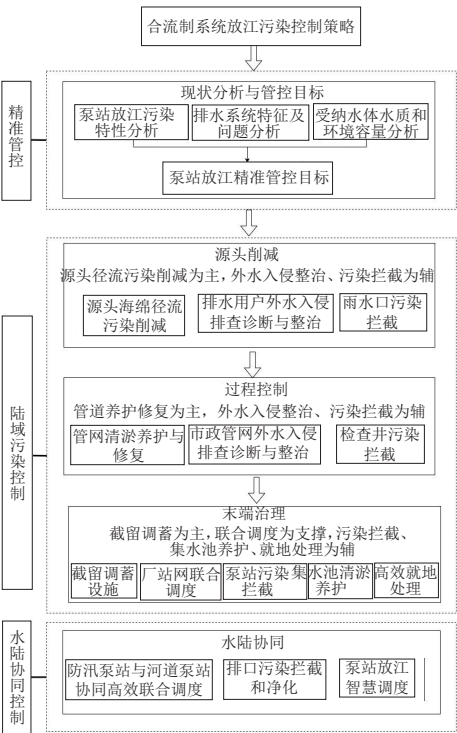


图5 合流制系统泵站放江污染控制策略

观水等回用,雨天处理后排放水体。

3.2.3 水陆协同控制

水陆协同控制主要通过加强防汛泵站和河道泵闸联合调度,在保障防汛安全的同时,减轻放江污染对河道水质的影响;同时,可通过智慧调度系统,在平台实时展示泵站放江雨情、水情和工情,实现数据集成和调度方案的展示与控制^[15]。此外,根据水域空间条件,在不通航水体的陆域水域的交接点,即泵站排口设置污染拦截和净化措施,也是一种可行的放江污染控制手段。

3.3 分流制系统泵站放江污染控制策略

图6所示为分流制系统泵站放江污染控制策略,同样地,从精准管控、陆域污染控制和水陆协同控制三个方面考虑。

3.3.1 精准管控

分流制系统泵站放江精准管控与合流制系统类似,也包括泵站放江污染特性分析、排水系统特征及问题分析、受纳水体水质和环境容量分析,以及泵站放江精准管控目标的提出。在管控目标方面,建议采用径流总量控制率、放江污染物排放限值、年污染负荷削减率等指标。

3.3.2 陆域污染控制

陆域污染控制措施同样包括源头削减、过程控制和末端治理三个主要环节。

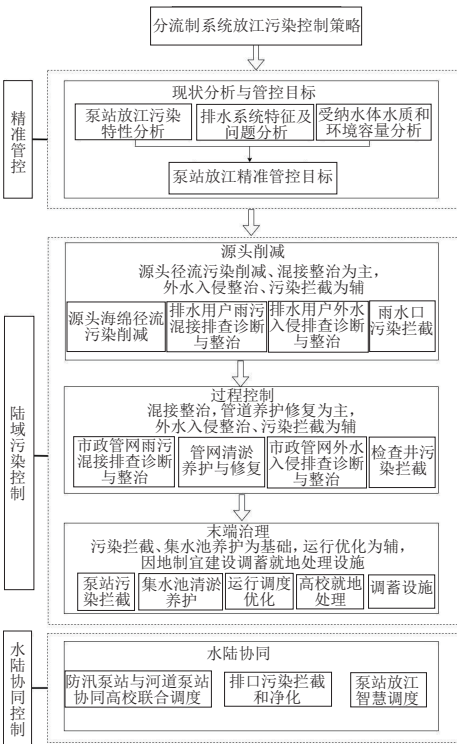


图6 分流制系统泵站放江污染控制策略

3.3.2.1 源头削减

分流制系统源头削减措施以源头径流污染削减、雨污混接整治为主,外水入侵整治和污染拦截为辅。

与合流制系统类似,源头径流污染削减主要采用源头海绵设施,减少降雨时的雨水径流量、削减径流污染负荷;通过雨水口污染拦截措施,拦截雨水径流携带的垃圾、漂浮物等。

雨污混接是造成雨水泵站放江污染的重要原因,排水用户的雨污混接排查诊断与整治是必要的污染削减措施;此外,对于存在旱天高水位运行的分流制雨水系统,也需要开展源头外水入侵排查诊断与整治。

3.3.2.2 过程控制

分流制系统过程控制以市政管道雨污混接排查诊断与整治和管网清淤养护与修复为主,污染拦截为辅。

市政管网雨污混接排查与整治,以及管网清淤养护与修复分别针对混接污水和管道沉积物两大放江污染源,对放江污染控制至关重要。

对于存在高水位运行的分流制雨水系统,还需开展市政管网外水入侵诊断与整治;污染拦截主要指检查井污染拦截技术措施。

3.3.2.3 末端治理

分流制系统末端治理在加强泵站污染拦截和集

水池清淤养护的基础上,结合防汛需求,优化泵站运行策略。在有适合用地条件、放江污染物浓度较高的泵站,可建设调蓄或高效就地处理设施^[16],旱天就地处理设施出水主要用于杂用水、景观水等回用,雨天处理后排放水体。

3.3.3 水陆协同控制

与合流制系统类似,通过加强防汛泵站和河道泵闸联合调度、排口污染拦截和净化、泵站放江智慧调度等措施开展水陆协同控制。

4 结 语

防汛泵站雨天放江污染问题已成为制约上海市城区河道水质持续稳定改善的重要因素。本文通过系统分析泵站放江污染特征和成因,提出适用于上海市排水特点的合流制和分流制系统的污染控制策略,主要结论和建议如下。

(1)基于 90 座典型泵站的 5 600 余站次放江水质水量数据分析发现,泵站放江事件主要集中在汛期 6—9 月,单位面积放江量和降雨量呈显著正相关关系;80% 以上的统计放江水质劣于地表Ⅳ类水标准,排放对水体造成较大污染负荷。

(2)泵站放江污染的成因复杂,合流制系统放江污染由超出系统截流能力的混合雨污水溢流造成,分流制系统雨污混接问题是放江污染的主要原因,管道中的沉积物和雨水径流污染也是重要污染源。

(3)形成符合现行国家标准的完全的分流制雨水系统和完善的合流制系统,是泵站放江污染控制的基本原则。

(4)建议根据泵站放江污染特性和排水系统现状问题,从精准管控、陆域污染控制和水陆协同控制

三个方面出发,制定污染管控目标,采取源头削减、过程控制、末端治理等综合措施,建管并重,实现放江污染的长效治理。

参考文献:

- [1] 孙铸宇,崔冰洁,蔡雨瑶,等.基于磁混凝的溢流污染削减工艺优化研究[J].环境工程,2025,43(1):144-154.
- [2] 韩杰,于磊,蔡辉艺,等.基于监测与模型的典型合流制排水系统溢流污染源解析[J].给水排水,2024,60(4):76-82.
- [3] 陈黄隽,李一平,周玉璇,等.分流制系统雨水管网混接雨天溢流污染特征研究[J].中国给水排水,2023,39(19):116-124.
- [4] 李田,戴梅红,张伟,等.水泵强制排水系统合流制溢流的污染源解析[J].同济大学学报(自然科学版),2013,41(10):1513-1518;1525.
- [5] 赵杨,车伍,杨正.中国城市合流制及相关排水系统的主要特征分析[J].中国给水排水,2020,36(14):18-28.
- [6] 马珍,韩梦琪.管道溢流的污染特征及水质管控技术与策略[J].给水排水,2022,58(9):147-156.
- [7] GB50014—2002,室外排水设计标准[S].
- [8] 王盼,陈嫣,吕永鹏,等.雨水系统运行回归设计状态是城市雨天污染控制的关键[J].给水排水,2024,60(4):40-45.
- [9] 王捷.某超大城市雨污混接综合治理现状分析及对策[J].城市道桥与防洪,2024(7):128-132.
- [10] 牟晋铭,耿晓洒.上海典型合流制排水系统溢流污染控制策略[J].净水技术,2024,43(10):154-159.
- [11] 贾楠,王文亮,车伍,等.美国合流制溢流控制标准分析及对我国的启示[J].中国给水排水,2019,35(7):121-127.
- [12] 戴立峰,杜遂,林雪君,等.合流制溢流污染控制标准—溢流场次控制率研究[J].中国给水排水,2020,36(12):56-59.
- [13] 史秀芳,卢亚静,潘兴瑶,等.合流制溢流污染控制技术、管理与政策研究进展[J].给水排水,2020,56(增刊1):740-747.
- [14] 徐祖信,张竞艺,徐晋,等.城市排水系统提质增效关键技术研究——以马鞍山市为例[J].环境工程技术学报,2022,12(2):348-355.
- [15] 张爱平.市政排水系统厂站网一体化调度应用[J].城市道桥与防洪,2024(6):188-191;207.
- [16] 顾建.高效组合澄清系统在某雨水泵站污染物削减中的应用[J].净水技术,2019,38(增刊2):102-105.

(上接第 149 页)

- [8] 广东海事局.广州“2·22”“良辉 688”轮触碰沥心沙大桥事故调查报告[EB/OL].(2024-06-25)[2024-08-31].<https://www.msa.gov.cn/page/article.do?articleId=98DA7024-8F02-4C50-AF37-D0ACCE57017B&channelId=459965EC-9CAD-471D-970E-7B360109F653>.
- [9] 赵少杰,唐细彪,任伟新.桥梁事故的统计特征分析及安全风险防控原则[J].铁道工程学报,2017,34(5):59-64.
- [10] 易仁彦,周瑞峰,黄茜.近 15 年国内桥梁坍塌事故的原因和风险分析[J].交通科技,2015(5):61-64.
- [11] 陈洪凯,唐红梅,鲜学福,等.泥石流冲击脉动荷载概率分布特征[J].振动与冲击,2010,29(8):124-127.
- [12] 黑沙,邹爽,周福霖,等.高速铁路梁桥减隔震研究[J].铁道工程

- 学报,2017,34(7):47-52.
- [13] 吴桐金.历次桥梁坍塌事故的教训与启示[J].四川建筑,2013(2):194-196.
- [14] 吉伯海,傅中秋.近年国内桥梁倒塌事故原因分析[J].土木工程学报,2010,43(增刊):495-498.
- [15] 叶嘉豪.高等级航道通航桥梁防船舶撞击管理措施[J].广东公路交通,2023,49(4):42-46.
- [16] 林志丹.船舶撞击桥梁事故原因与教训浅析[J].公路交通科技(应用技术版),2020,16(6):311-313.
- [17] 钟晓斌.船舶撞击桥梁事故原因分析及预防对策研究[J].交通世界,2017(26):23-24.