

虬江水系防汛泵站放江污染河道水质响应与 削减情景分析

时珍宝

(上海碧波水务设计研发中心有限公司, 上海市 201206)

摘要: 防汛泵站强降雨放江会向受纳河道输入较高污染负荷。以上海市虬江水系为对象, 基于2025年6月8日典型大雨(43.0 mm)期间五角场、四平泵站放江水质取样及政本路桥、政修路桥、国定路桥、军工路桥断面的加密监测数据, 构建河网水动力—水质模型, 比选截流、清管与活水畅流等情景。结果表明: 放江初期冲刷显著, 氨氮、总磷等峰值远超V类限值; 上游冲击最快, 下游恢复偏慢; 汛期劣V类天数可由现状25 d经近期截流降至15 d, 叠加活水畅流可进一步降至8 d。成果可为虬江水系泵站放江污染削减措施比选与防洪—水环境协同调度提供参考。

关键词: 防汛泵站; 放江; 城市河网; 水质响应; 情景模拟; 虬江

中图分类号:

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)09-0262-06

Response to Pollution of River Water Quality Caused by Flood Control Pumping Stations Discharging into Qiujiang River System and Analysis on Reduction Scenarios

SHI Zhenbao

(Shanghai Bibo Water Design and Research Center Co., Ltd., Shanghai 201206, China)

Abstract: Heavy rainfall discharged into rivers by flood control pumping stations will input a relatively high pollution load into the receiving river channels. Taking the Qiujiang River System in Shanghai as an object, based on the water quality sampling from Wujiaochang and Siping Pumping Stations during the typical heavy rainfall (43.0 mm) on June 8, 2025, as well as the encrypted monitoring data from the sections of Zhengben Road and Bridge, Zhengxiu Road and Bridge, Guoding Road and Bridge, and Gongjun Road and Bridge, a hydrodynamic and water quality model of the river network is built to compare the scenarios such as interception, sewer cleaning and smooth running water. Results show that at the initial stage of the river discharge, the scouring is significant, and the peak values of ammonia nitrogen and total phosphorus far exceed the Class V limit values. The upstream sector is hit the fastest, while the downstream sector recovers relatively slowly. During the flood season, the number of days with with Grade V or worse can be reduced from the current 25 d to 15 d through recent interception, and further reduced to 8 d with the smooth running water. The results can provide a reference for the comparison and selection of pollution reduction measures for pumping stations discharging into the Qiujiang River system and the coordinated scheduling of flood control and water environment.

Keywords: flood control pumping station; discharge into river; urban river network; water quality response; scenario simulation; Qiujiang River

0 引言

上海市中心城以防汛泵站强排为主, 强降雨期间泵站放江在保障区域排涝安全的同时, 也通过径流冲刷、管网沉积物再悬浮及合流制溢流等过程, 向

受纳河道输入较高污染负荷, 形成短时高强度外源冲击, 导致河道水质脉冲式恶化^[1-4]。

针对上海市泵站放江污染, 现有研究已从全市管控策略^[1-2]、放江特征识别^[3]、河道水质影响^[4]及泵闸联合调度^[5]等层面分别展开, 为问题识别与对策提出奠定了基础。但对具体河网而言, 典型降雨条件下泵站放江水质的时间演变及其入河冲击、受纳河道的沿程水质响应与高风险河段, 以及截流、清

收稿日期: 2026-08-13

作者简介: 时珍宝(1978—), 男, 硕士, 正高级工程师, 总经理, 从事水务规划与研究工作。

管、活水畅流等措施对市控断面劣Ⅴ类过程的削减效果,仍缺乏可相互印证的定量认识,难以充分支撑泵站放江污染的精细化管控。此外,在平原感潮河网中,上述过程还可能叠加潮汐顶托与水体交换,宏观策略难以直接指导河段与泵站层面的措施安排。因此,有必要结合具体河网的典型降雨场次,厘清泵站放江污染过程与河道水质沿程变化,并比较不同削减措施的效果,为防汛安全与水环境目标协同提供依据^[6]。

虬江为黄浦江支流,与东走马塘、杨树浦港构成相对独立水系,属蕰南水利控制片,沿线市政雨水及合流泵站密集,汛期放江对翔殷路桥等市控断面水质影响突出。针对上述问题,本文以虬江水系为对象,选取2025年6月8日典型大雨(43.0 mm),同步开展五角场、四平泵站前池放江水质人工取样与政本路桥、政修路桥、国定路桥及军工路桥断面加密监测,揭示同场次下泵站放江水质过程与河道断面沿程响应规律;在此基础上构建河网水动力—水质模型,比选截流、清管与活水畅流等情景,定量评价翔殷路桥断面水质改善效果,以期为虬江沿线泵站放江污染削减提供依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于上海市中心城区东北部,由虬江、杨树浦港与东走马塘等组成,属平原感潮河网。虬江为市管河道,总体呈东西走向,河道长度约8.1 km(含复旦大学箱涵段),河口宽度6~37 m,东段经新虬江泵闸与黄浦江连通;杨树浦港长约4.5 km,东走马塘长约4.7 km。水系泵闸共4座,闸宽合计52 m,泵站装机流量60.2 m³/s,其中新虬江泵闸装机6×6.7 m³/s,杨树浦港泵闸装机4×5 m³/s(双向)。

排入该水系的强排系统共18个(末端民星南系统排入虬江闸外段),其中15个为市管、3个为自管,服务面积为27.72 km²。水系沿线市政泵站合计18个,防汛能力158.72 m³/s,其中虬江沿线市管泵站4座,分别为五角场、国和(合流制)及嫩江、国顺东(分流制)泵站。2023—2024年水系综合水质以Ⅱ~Ⅴ类为主(翔殷路桥市控断面),汛期优Ⅲ类占比明显低于非汛期。水系分布及沿线排水系统、市政泵站如图1所示。

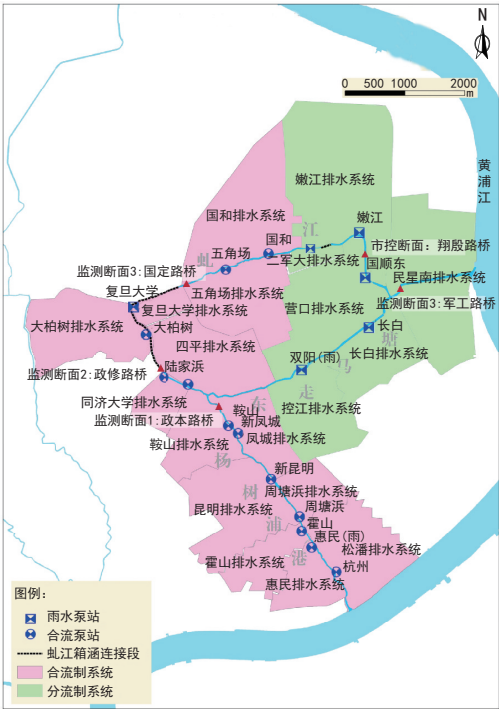


图1 虬江水系沿线排水系统、泵站及水质监测断面分布示意图

1.2 数据来源与典型降雨监测方案

1.2.1 泵站放江水质人工取样

针对2025年6月8日典型大雨过程,在五角场泵站、四平泵站前池采集放江水体水样。取样频次按放江历时分段设置:放江开始后约0~1 h按5 min间隔取样,约1~2 h按10 min间隔取样,其后按约30 min间隔取样,直至放江过程基本结束;测定指标包括悬浮物、氨氮、高锰酸盐指数及总磷^[4]。

1.2.2 河道断面加密监测

市政泵站放江期间同步于虬江水系河道断面进行采样,包括:政本路桥、政修路桥、国定路桥和军工路桥断面(见图1)。采样原则为:放江开始前30 min内按15 min/次;放江开始后30 min至结束后12 h按1 h/次;结束后1~3 d按1 d/次,以捕捉初期冲击与恢复过程。

1.3 河网水动力—水质模型与情景设置

为评价削减措施效果,构建覆盖蕰南片等控制片的河网水动力—水质模型^[5]。水动力模块基于一维圣维南方程组描述河网水流运动,水质模块采用对流—扩散方程模拟氨氮、高锰酸盐指数、总磷等指标输运转化。模型共概化河道1 407条段、实测断面1 543个、控制泵闸202座;水质点源重点概化虬江水系沿线市管泵站。泵闸调度按所在水利片调度规则执行^[7]。因2025年6月26日—7月12日水位资料缺失,采用扣除该时段后的2025年汛期资料进行率定

验证:以6月数据率定,7月中旬至9月数据验证。水动力方面,虬江水系代表站取国和泵站、长白泵站、抚顺路桥;当糙率取0.022 5~0.032 0时,代表断面水位模拟与实测吻合较好,平均相对误差小于10%。水质方面,以翔殷路桥氨氮、高锰酸盐指数、总磷为率定指标,并结合泵站放江人工监测拟合各站场次入河浓度;模拟趋势与实测基本一致(7月底—9月底部分总磷监测异常已剔除)。总体表明模型可反映河网水量水质变化规律,可用于后续削减情景分析。代表断面水位验证结果如图2所示;翔殷路桥氨氮、高锰酸盐指数、总磷验证结果如图3所示。

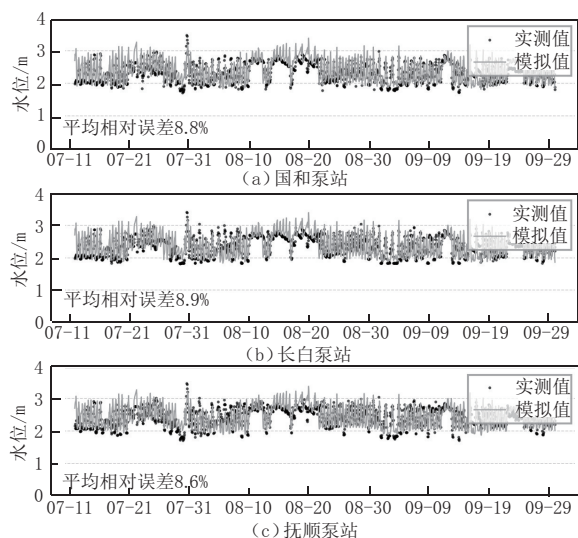


图2 虬江水系代表断面水位验证结果

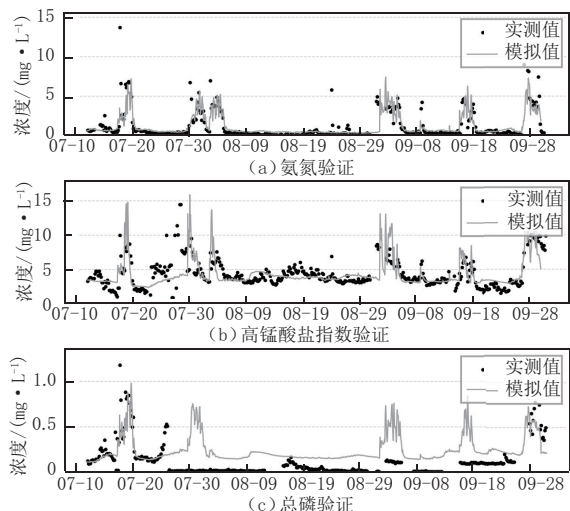


图3 翔殷路桥断面水质指标验证结果

在典型大雨及汛期长系列条件下设置5类情景:方案0为现状;方案1为近期工程(沿线10座市管泵站按初期雨水截流标准提升截流能力,含合流一期复线等);方案2为近远期措施(在方案1基础上再对6座较远泵站实施截流提升);方案3为在方案2基础

上强化清管^[8](首次/二次清淤,按管道沉积约60%、径流污染约40%核算负荷削减);方案4为在方案3基础上增加活水畅流调度(降雨放江期以排水为主、无放江时引水为主;放江结束后启用杨树浦港20 m³/s引水、新虬江40.2 m³/s排水)。以翔殷路桥断面日均氨氮、总磷、高锰酸盐指数及劣V类/优Ⅲ类天数评价效果。

2 泵站放江及河道水质响应特征

2.1 泵站放江水质人工取样响应

为揭示泵站排放口水质变化过程,对2025年6月8日大雨期间五角场泵站、四平泵站前池进行放江水质人工取样。两站均为合流制泵站,取样覆盖放江主时段,并与降雨过程对照,结果如图4所示。结果表明,污染物浓度峰值集中出现在放江初期,随后随降雨减弱与放江持续而回落,呈现较明显的初期冲刷特征^[15];氨氮、总磷及高锰酸盐指数在峰值时段均超过地表水V类限值,表明放江水体本身即可构成河道劣V类冲击的直接外源^[3]。

五角场泵站取样显示,悬浮物在07:10前后升至约183 mg/L,随后迅速回落;氨氮最高约6.78 mg/L,并逐步下降至约2.8 mg/L;高锰酸盐指数峰值约35.6 mg/L,全过程多处于V类标准之上;总磷峰值约0.96 mg/L,初期显著劣于V类,其后回落。四平泵站放江时段相对集中,氨氮起始最高约7.58 mg/L,并总体下行,悬浮物峰值约74 mg/L,高锰酸盐指数峰值约28.1 mg/L,总磷峰值约0.76 mg/L,同样表现为明显的初期冲刷特征。对比两站可见,合流制泵站放江对氮磷与有机物的短时贡献突出^[9],强化初期雨水截流与前池/管网沉积物控制,是削减入河负荷的关键环节。高负荷峰值亦提示,排口附近可结合末端净化措施削减入河污染物^[10]。

2.2 典型大雨过程水质时间响应

河道人工加密监测覆盖政本路桥、政修路桥、国定路桥和军工路桥4个断面(见图5至图8),自放江前后起加密采样,放江结束后持续跟踪至6月11日。总体上,各断面水质均在放江当日出现明显抬升,峰值多出现于放江开始后数小时内;放江结束后各指标浓度逐步回落,但恢复历时因指标与河段而异,其中氨氮回落相对滞后^[4]。

政本路桥邻近上游杨树浦港来水及四平、鞍山等泵站放江影响区,响应最为敏感且幅度最大(见图5)。放江后氨氮可由放江前不足0.5 mg/L迅速升

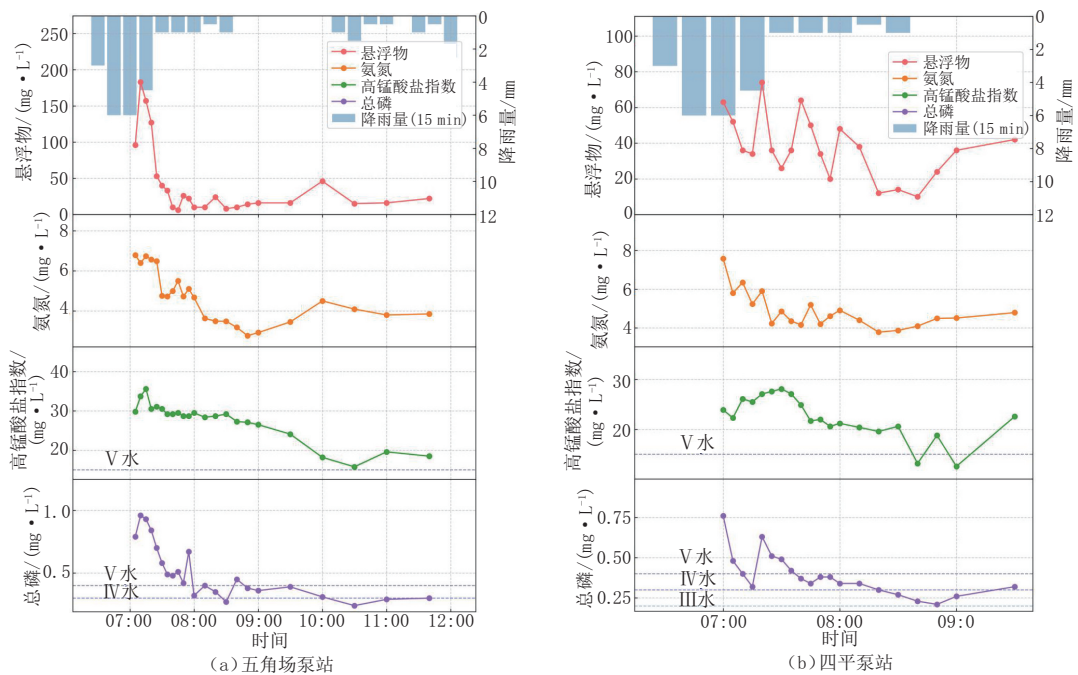


图4 2025年6月8日泵站放江水质与降雨量变化

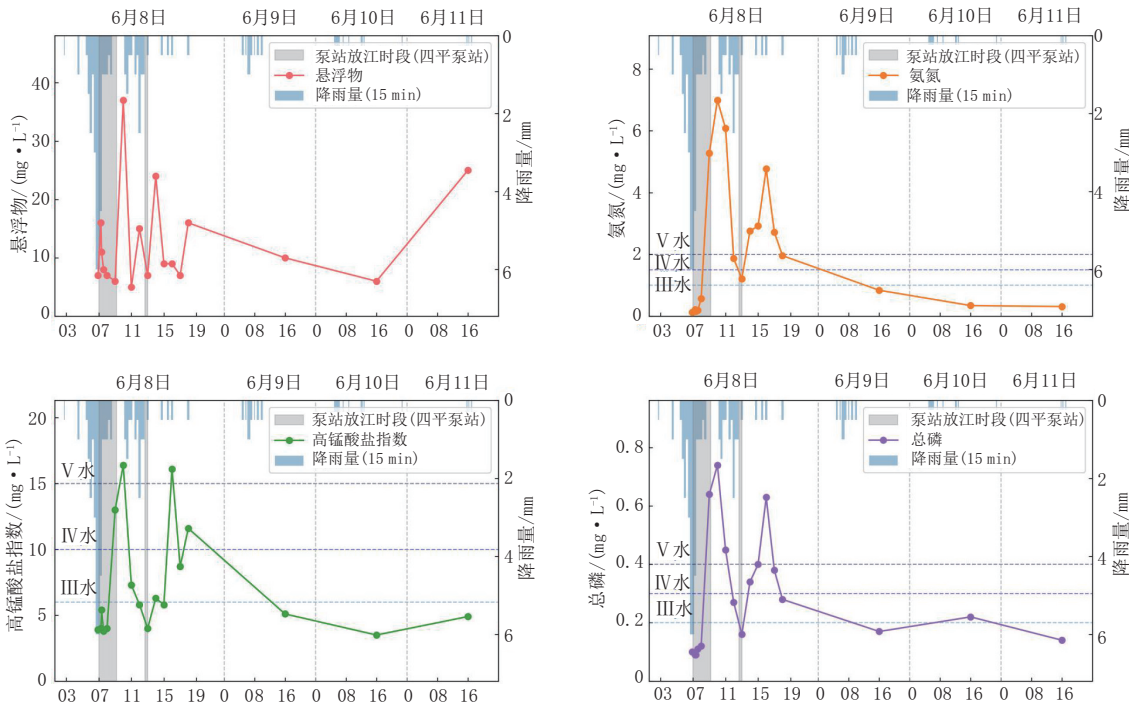


图5 政本路桥断面水质响应

至 7.0 mg/L 以上,高锰酸盐指数一度接近 17 mg/L,总磷接近 0.8 mg/L,短时均达到劣 V 类;悬浮物浓度亦随雨强与放江过程同步升高。6 月 9 日起各项指标总体回落,氨氮至 6 月 10 日方出现较明显下降,表明上游河段主要承受初期高浓度冲击,稀释与缓冲能力有限。

对于政修路桥(见图 6),氨氮约达 4.0 mg/L,高锰酸盐指数约 11.0 mg/L,总磷约 0.6 mg/L,仍多在 V 类以上,但峰值普遍低于政本路桥。此外,峰值出现时

间相对滞后,但高值持续时间延长,反映污染物沿线传输并与本底水体混合的过程。国定路桥位于复旦大学自管泵站与五角场泵站影响区间(见图 7),放江时段悬浮物峰值超过 60 mg/L,为四个断面最高;氨氮迅速升至 6.0 mg/L 以上,局部冲刷特征显著。6 月 9 日后总磷与高锰酸盐指数回落相对较快,但放江当日瞬时冲击仍较明显。

军工路桥邻近虬江下游汇入段,受杨树浦港、东走马塘等多源汇入叠加影响(见图 8)。放江前氨氮

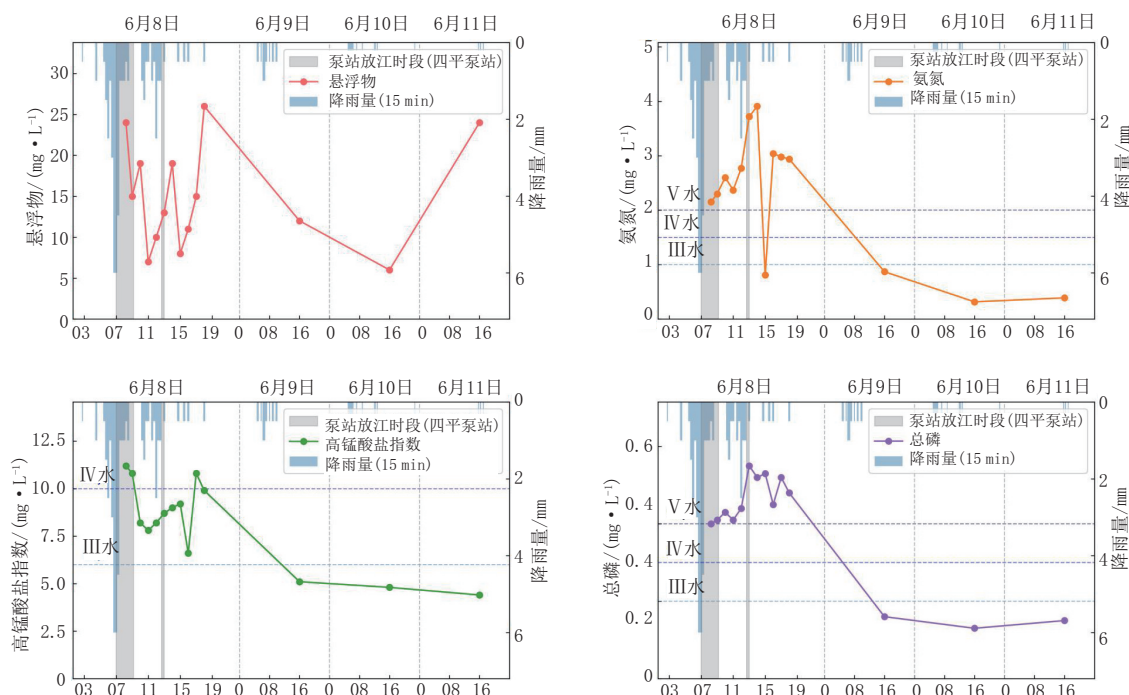


图6 政修路桥断面水质响应

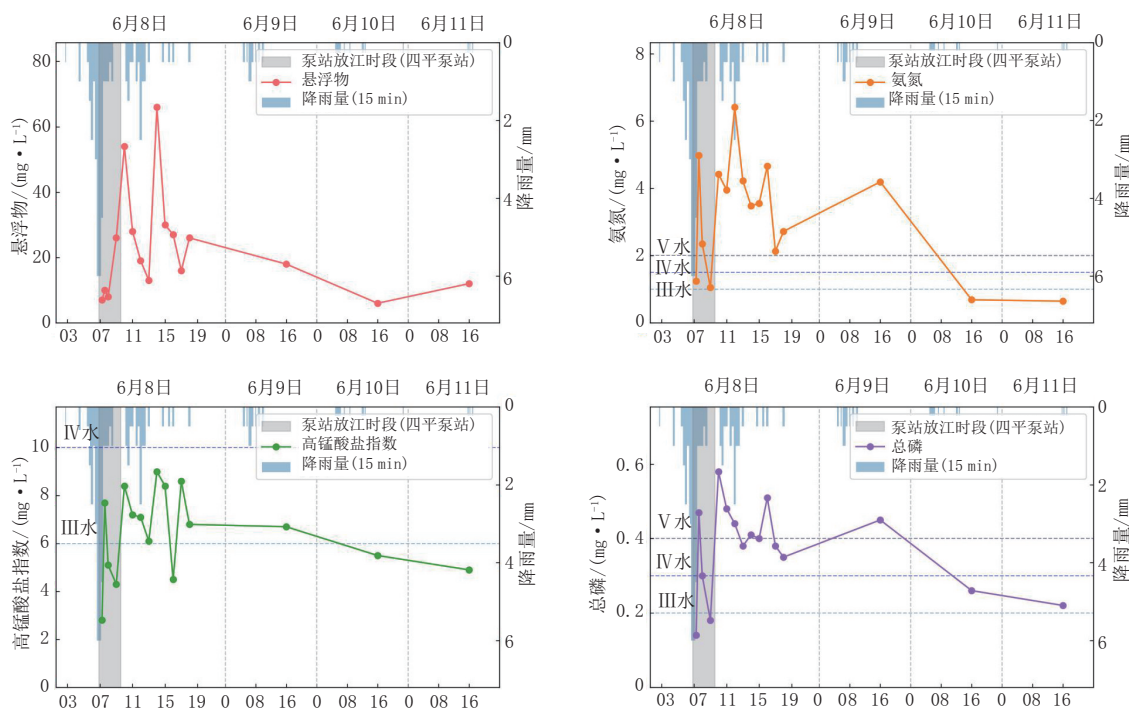


图7 国定路桥断面水质响应

本底已接近Ⅳ类上限;放江后高锰酸盐指数可超过 23 mg/L ,氨氮约达 6.5 mg/L ,有机污染负荷为 4 个断面最高。此外,军工路桥断面水质恢复亦最慢,至 6 月 9 日下午总磷、氨氮仍偏高,直到放江后第 2—3 天才恢复Ⅲ类。

综上,上游响应最早、冲击最强,中游峰值有所衰减但高值历时较长,下游多源叠加、负荷最高且恢复最慢^[11]。

3 削减情景模拟与效果分析

3.1 典型大雨情景比选

以 2025 年 6 月 8 日大雨(43.0 mm)为案例,方案 0~4 下翔殷路桥氨氮、总磷、高锰酸盐指数均在放江当天至第 3 天依次下降,其中氨氮降幅最大(约 22%~67%),是水质类别改善的关键。方案 0~3 由劣 V 类恢复至Ⅲ类约需 3 d;方案 1 可将劣 V 类持续时间由 3 d 缩减至 2 d,氨氮、总磷、高锰酸盐指数较

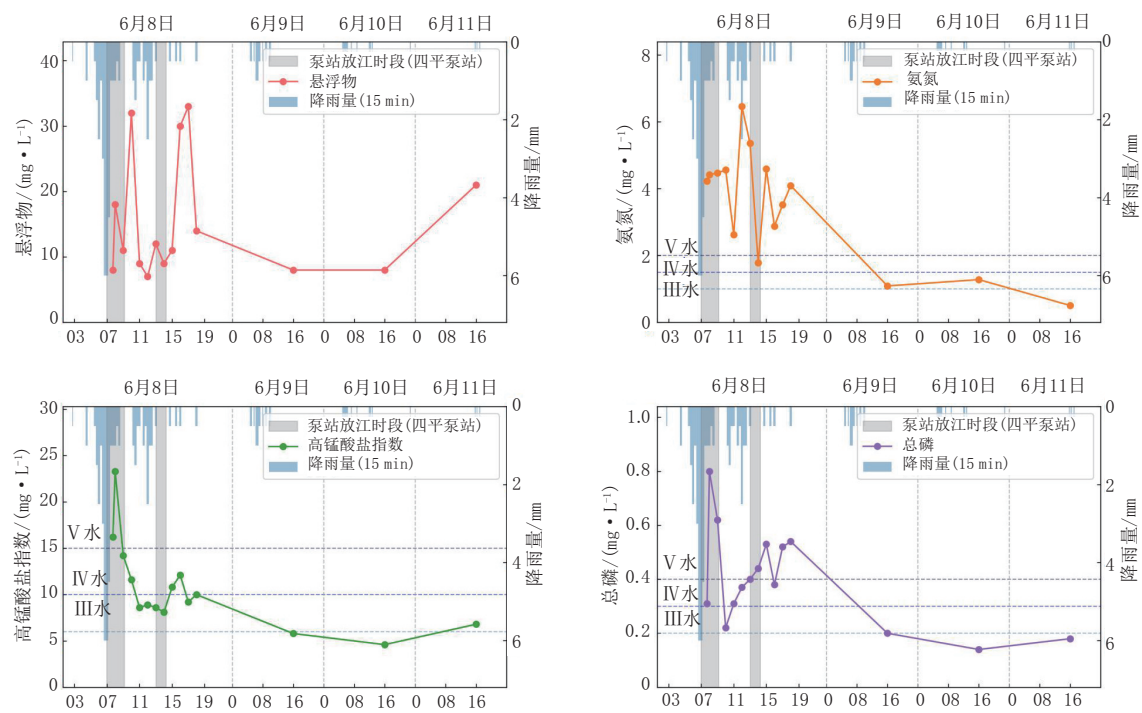


图8 军工路桥断面水质响应

现状降幅分别为19%~26%、15%~19%、4%~14%，说明近期初期雨水截流对断面改善作用明显。方案2因新增泵站多位于杨树浦港、东走马塘且距虬江相对较远，对翔殷路桥边际改善有限；方案3清管再强化的短期增益亦相对较小。方案4增加引排水动力后，劣Ⅴ类持续时间可缩至1 d，改善最为显著。综合水质效益与可实施性，大雨条件下推荐优先落实方案1，并视条件推进方案4^[12]。

表1 各情景模拟下翔殷路桥断面氨氮日均浓度及劣Ⅴ类持续时间

方案	放江当天氨氮/ (mg·L ⁻¹)	结束后第1天/ (mg·L ⁻¹)	结束后第3天/ (mg·L ⁻¹)	劣Ⅴ类持 续时间/d
0	4.68	3.80	0.86	3
1	3.93	2.81	0.70	2
2	3.77	2.78	0.67	2
3	3.08	2.32	0.65	2
4	2.77	1.46	0.67	1

3.2 汛期长系列效果与措施建议

对2025年汛期有效计算期108 d(降雨41 d)统计：方案0劣Ⅴ类25 d(占降雨天数约61%、占计算期约23%)，优Ⅲ类76 d(约70%)；方案1劣Ⅴ类降至15 d(降幅40%)；方案2劣Ⅴ类仍为15 d，优Ⅲ类略增；方案3劣Ⅴ类14 d、优Ⅲ类83 d；方案4劣Ⅴ类进一步降至8 d(占计算期约7%)，对极端劣Ⅴ过程削减更明显，但对优Ⅲ类天数的边际提升有限。

综合汛期效果，近期截流(方案1)可将劣Ⅴ类天数由25 d降至15 d，是改善市控断面的基础措施；强化清管(方案3)可进一步巩固^[16]；叠加活水畅流

(方案4)可降至8 d。工程路径上，近期应抓紧合流一期复线及截流能力提升；中长期完善全线初期雨水截流与清管维护，并视条件推进方案4；有条件时耦合杨树浦港—新虬江活水畅流，缩短污染滞留^[13]。末端净化可作为排口附近的补充手段^[10]。

表2 不同方案翔殷路桥汛期水质类别及天数统计

项目	方案0	方案1	方案2	方案3	方案4
劣Ⅴ类天数/d	25	15	15	14	8
占降雨天数比例/%	61	37	37	34	20
优Ⅲ类天数/d	76	77	79	83	83

4 结 论

(1)典型大雨条件下，五角场、四平泵站放江水质呈现显著初期冲刷特征，氨氮、总磷、高锰酸盐指数峰值远超Ⅴ类限值，是受纳河道短时劣Ⅴ类冲击的直接外源；强化初期雨水截流与沉积物控制可从源头降低入河负荷。

(2)2025年6月8日典型大雨加密监测表明，放江导致各断面由Ⅲ~Ⅳ类短时转为劣Ⅴ类；上游冲击最快最强，下游多源叠加、恢复最慢，风险河段集中在虬江与东走马塘交汇口一带。

(3)模型情景显示，近期截流(方案1)可将汛期劣Ⅴ类天数由25 d降至15 d；叠加清管与活水畅流(方案4)可降至8 d。综合效果与可实施性，建议按“近期截流—清管巩固—活水调度增效”推进措施落地。

(下转第272页)