

戴勇华. 市政泵站与河道泵闸稳定河道水质的联合优化调度[J]. 净水技术, 2024, 43(7): 167-176, 195.

DAI Y H. Joint optimized controlling of municipal pumping stations and river sluice gates for stable river water quality [J]. Water Purification Technology, 2024, 43(7): 167-176, 195.

## 市政泵站与河道泵闸稳定河道水质的联合优化调度

戴勇华\*

(上海市城市排水有限公司, 上海 200233)

**摘要** 市政泵站雨天放江污染已成为影响上海市中心城区河道水质持续稳定改善的主要因素之一。为推进河道水质持续稳定改善提供技术支撑, 同时为泵闸联合调度精细化管理提供精准化决策, 以上海市某重点河道及其服务范围内市政泵站为研究对象, 建立区域排水系统泵闸联调一体化模型, 根据区域防汛安全保障和河道水环境保护的需求, 基于多种降雨工况下, 模拟河流监测断面水动力和水质结果, 分析市政泵站放江对受纳水体的水质影响情况, 提出市政泵站和河道泵闸在各种降雨类型中联动运行优化调度的建议, 为上海市中心城区其他河道水环境质量持续改善提供引领示范, 同时为国内其他城市内涝和河道泵闸优化调控提供参考和借鉴。

**关键词** 泵闸联合 一体化模型 优化调度 水环境 河道水质

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-0177(2024)07-0167-10

**DOI:** 10.15890/j.cnki.jsjs.2024.07.020

## Joint Optimized Controlling of Municipal Pumping Stations and River Sluice Gates for Stable Riverwater Quality

DAI Yonghua\*

(Shanghai Municipal Drainage Co., Ltd., Shanghai 200233, China)

**Abstract** The pollution from municipal pumping station in rainy days has become one of the main factors affecting the continuous and stable improvement of river water quality in the central urban area of Shanghai. In order to provide technical support for the continuous and stable improvement of river water quality, and provide precise decision-making for the fine management of joint pump and sluice joint operation, the integrated model of dynamic coupling of regional drainage pipe network and river network was established with the key river channels in Shanghai and the municipal pump stations within their service scope as the research object. According to requirements of regional flood control security and river water environment protection, the model simulates the hydrodynamic and water quality results of river monitoring section under various rainfall conditions. Based on the forecast results, this study puts forward suggestions for the linkage operation and optimal scheduling of municipal pumping stations and river pump gates in various rainfall types, providing a leading demonstration for the continuous improvement of water environment quality of other river channels in downtown Shanghai. At the same time, it provides reference for the optimization control of waterlogging and river pump sluice in other cities in China.

**Keywords** combination of pump and sluice gate integrated model optimized controlling water environment riverwater quality

上海市中心城区的管网建设和污染源纳管工作渐趋完善, 管理手段上消除了旱天放江的现象。为

尽可能减少雨天放江, 现状采用管道高水位运行模式, 导致放江时管道积存水、径流面源污染、管道沉积物等通过防汛泵站集中大量排入河道, 对河道水体造成冲击性污染, 加之雨天河道底泥上翻原因, 易引起部分河道短时黑臭现象。市政泵站雨天放江污染已成为影响上海市中心城区河道水质持续稳定改善的主要因素之一。

[收稿日期] 2023-11-24

[基金项目] 上海城投科技创新项目: 城市排水系统韧性治理与泵闸联调提质增效技术与示范(CTKY-ZDZX-2022-008)

[通信作者] 戴勇华(1978—), 男, 硕士, 从事排水生产运行管理, E-mail: daiyh@smc.sh.cn。

上海市相关部门开展泵闸联动调度探索,但面临问题如下:①河道水质自动监测站点刚实施,监测点位和累计历史数据较少,同时受河道断面水质采样频率限制,泵站放江对河道水质的影响主要以感官评价为主;②市政泵站放江过程水量通过铭牌流量估算,放江水质数据主要来源于自动采样与实验室化验,放江水质监测数据时空覆盖不全;③现有泵闸联动调度方案多以经验为主,缺少基于河网水量水质数值模拟的不同雨量等级下泵闸联调与放江污染负荷衰减规律分析,对排水系统泵站及河道泵闸联动调度运行管理缺乏支撑依据。桃浦河是上海市226条骨干河道中的主干河道之一,是水利分片嘉宝北片与蕴南片的片界河道,如图1(a)所示,南端由木渎港通苏州河、北端由桃浦河接蕴藻浜,全长约为15.56 km。河口宽为10~58 m,除涝最高控制水位为4.74 m,常水位为2.50~2.80 m,河道两岸的设计堤防高程为5.0 m。桃浦河作为中心城区环保考核重点河道,在暴雨期间受市政泵站放江影响,河道水质不稳定,部分监测断面出现短时劣V类现象。

为此,笔者以桃浦河及沿线市政泵站为研究对象,结合泵闸联调一体化模型,分析了市政泵站放江

对桃浦河水质的影响情况,通过一体化模型的计算,对计算成果从引排水量、水位等水动力条件和河道氨氮水质指标改善等多方面进行了方案间的比选分析,提出了桃浦河水利泵闸应对市政泵站放江的优化调度方案,推进桃浦河水质稳定改善,推动泵闸联合调度精细化管理精准化。

## 1 研究区域概括

### 1.1 河网水系及泵闸概况

桃浦河是全市226条骨干河道中的主干河道之一,是水利分片嘉宝北片与蕴南片的片界河道,如图1(a)所示,南端由木渎港通苏州河、北端由桃浦河接蕴藻浜,全长约为15.56 km。河口宽为10~58 m,除涝最高控制水位为4.74 m,常水位为2.50~2.80 m,河道两岸的设计堤防高程为5.0 m。桃浦河作为中心城区环保考核重点河道,在暴雨期间受市政泵站放江影响,河道水质不稳定。

桃浦河沿线支流的泵闸分布如图1(b)和表1所示。

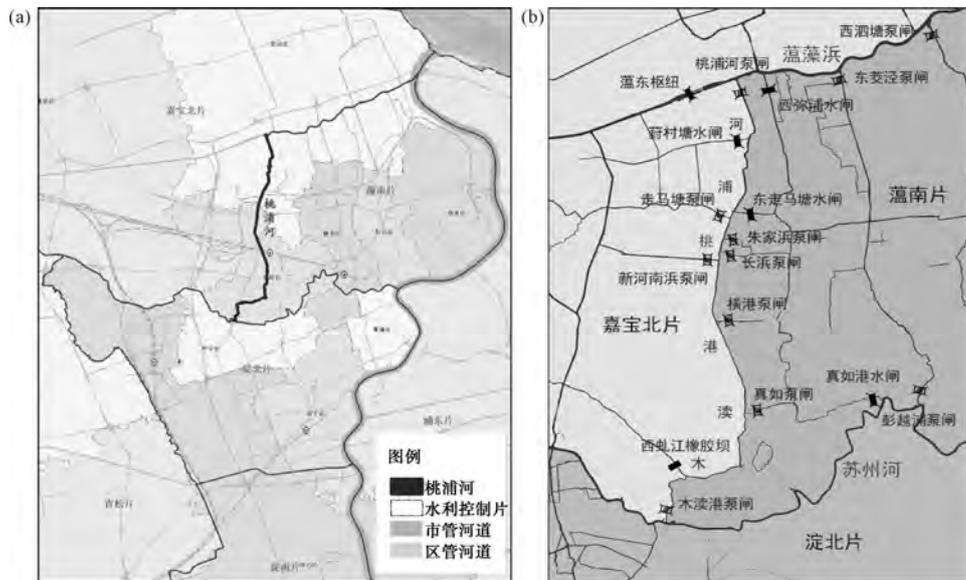


图1 (a)桃浦河位置和(b)沿线支流泵闸分布

Fig. 1 (a) Location of Taopu River and (b) Distribution of Sluice Gates along the River

### 1.2 排水系统及市政泵站概况

桃浦河沿线防汛市政泵站共有11个,雨水排放流量共计 $151.44 \text{ m}^3/\text{s}$ ,截流能力为 $1.27 \text{ m}^3/\text{s}$ ,防汛市政泵站对应的排水系统共有9个,排水模式皆为强排,排水体制皆为分流制,现状排水系统设计标准除乾溪新村为5年一遇外,其他均为1年一遇,服务面积合计约 $28.37 \text{ km}^2$ 。泵站详细信息如表2所示,

位置示意如图2所示。

### 1.3 泵站放江对河道水质影响情况

近几年,上海市全面推进实施泵站截流设施新建、改造,雨污混接改造、优化调度等工程性和管理性措施,不断推进泵站旱天、雨天减排工作,除了个别区域水管爆裂、防汛要求以及道路抢修等原因配合少量放江外,旱天已经基本不存在放江现象。

表 1 桃浦河及其沿线支河泵闸规模  
Tab. 1 Capacity of Pump Gates in Taopu River and the Branches

泵闸名称	水闸宽度/m	泵站流量/ ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )	所在河道
木淞港泵闸	12	30	木淞港至桃浦河
桃浦河泵闸	12	40	木淞港至桃浦河
真如泵闸	5	2.4	真如港
横港泵闸	3.5	2.8	横港河
长浜泵闸	4	1.3	长浜
朱家浜泵闸	4	1.3	朱家浜
东走马塘水闸	6	-	走马塘
西虬江橡胶坝	-	2.4	西虬江
新河南浜泵闸	5	4	新河南浜
走马塘泵闸	6	5	西走马塘
葑村塘水闸	12	-	葑村塘

表 2 桃浦河沿线排水系统及市政泵站  
Tab. 2 Capacity of Drainage System and Pumping Stations along Taopu River

序号	泵站名称	类别	排水系统	服务面积/ $km^2$	雨水设计流量/ ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )	截流设计流量/ ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )
1	曹杨(雨)	分流制	曹杨	1.35	6.90	0.232
2	铜川(雨)	分流制	铜川	3.95	19.50	0.080
3	真西	分流制	真如	3.57	16.80	0.058
4	桃浦	分流制	桃浦工业区	3.85	14.00	0.031
5	交通南	分流制	交通南	1.71	10.72	0.702
6	上大	分流制	上海大学	2.02	12.90	0.010
7	真南北	分流制	真南北	1.55	9.32	0.053
8	乾溪新村	分流制	乾溪新村	2.38	26.60	0.034
9	乾溪新村南	分流制	乾溪新村	2.38	12.50	0.020
10	曹安线	分流制	曹杨	1.53	1.20	-
11	真南	分流制	真南	4.08	21.00	0.045

注:服务面积合计 28.37  $km^2$ ,雨水设计流量合计 151.44  $m^3/s$ ,截留设计流量合计 1.265  $m^3/s$ 。

## 2 研究方法

### 2.1 桃浦河水质增设监测点位布局

为了全周期反映泵站放江以及调度方式对河道水文水质的影响,在桃浦河沿线共布设桃浦泵闸内、乾溪新村上游、真南泵站下游、真西泵站下游、铜川泵站下游、西虬江南侧、木淞港泵闸内 7 个水质在线监测点,位置如图 4 所示。监测指标共 9 项,包括温度、 $COD_{Cr}$ 、浑浊度、溶解氧、pH、电导率、总有机碳(TOC)、总悬浮物(TSS)、 $COD_{Mn}$ 。安装方式为浮筒

为掌握研究区域内市政泵站放江对河道的现状水质影响情况,本次分析了 2020 年和 2021 年汛期位于桃浦河、新泾港、蒲汇塘-龙华港以及苏州河 4 条河道上的在线水质监测站点,共计 6 个(图 3),实时监测数据间隔为 6 h/次。水质监测指标主要包括:温度、pH、溶解氧、氨氮、高锰酸盐指数( $COD_{Mn}$ )。同时分析桃浦河沿线市管泵站的数据采集与监视控制系统(SCADA)运行记录、河道水利泵闸同步运行情况、与在线水质监测站点相关联的几座市政泵站的 SCADA 运行记录。

通过两年 30 余场降雨及放江事件统计分析,桃浦河监测点附近的水质受泵站放江影响的时长基本保持在 5 d 以内,超标因子主要为氨氮、溶解氧和总磷,其中大部分场次超标是氨氮,溶解氧和总磷偶尔超标;在中雨、大雨下,河道水质受影响的时间相对最长,为 3~5 d;在暴雨情况下,由于雨水的冲刷稀释作用,影响时长有所削弱,为 2~3 d。

式或泊锚式。

### 2.2 泵闸联调一体化模型

本研究采用上海市水务规划设计研究院研发的数字河网水动力水质模型<sup>[1-2]</sup>,构建了泵闸联调一体化模型。该模型经过多年不断改进和完善,能够真实客观地反映感潮河网在多因素影响下的水流运动和水质变化规律,已被广泛应用于上海的防洪排涝、引水灌溉、水环境综合整治、水资源利用与保护等方面的课题研究、规划设计以及调度管理工作。

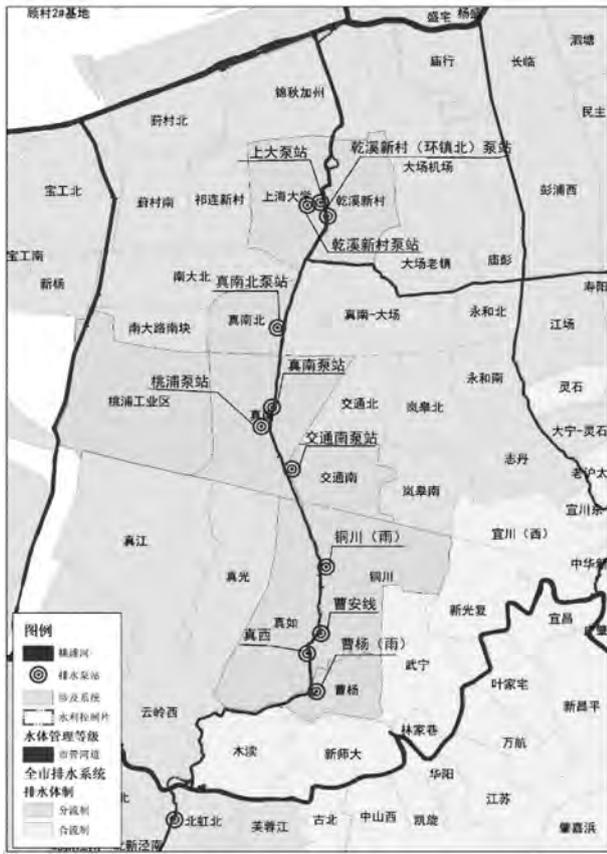


图2 桃浦河沿线防汛市政泵站分布

Fig. 2 Layout of Municipal Pumping Stations for Flood Control along Taopu River

为准确模拟蕴南片水动力水质变化规律,本次将河网模型的构建范围扩展到整个苏州河水系及黄浦江上游地区,含上海市水利控制片中的嘉宝北片、蕴南片、青松片、淀北片、淀南片、太北片、太南片和浦南西片,重点聚焦桃浦河,如图5所示。

泵闸调度按照其所在水利片的调度规则和方案确定,最终模型共概化河道 1 404 条段,实测断面 1 543 个,概化控制泵闸 202 座。结合苏州河下游和桃浦河沿线泵站放江的情况,共概化污染源 25 个。

### 2.3 模型率定验证

#### (1) 水力模型率定验证

选用 2019 年 7 月、8 月的实测水位分别对模型进行率定和验证,主要包括黄浦江及主要支流、苏州河、蕴南片等区域 12 个站点。黄浦江及主要支流上 7 个站点,分别为吴淞(蕴)、黄浦公园、沙港、米市渡、柳甸、练塘、三角渡;苏州河上 3 个站点,分别为黄渡、曹家渡和温州路;蕴南片 2 个站点,分别为江湾和志丹泵站。

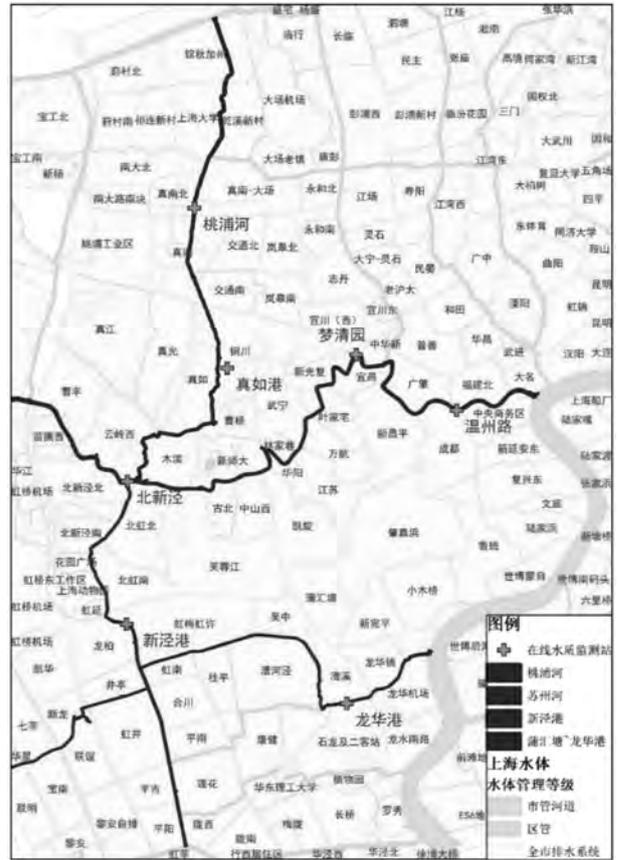


图3 在线水质监测站点分布

Fig. 3 Layout of Online Water Quality Monitoring Site

经率定验证,黄浦江及其主要支流糙率系数为 0.015~0.035,苏州河糙率系数为 0.025~0.035,其他河道糙率系数为 0.022 5~0.032 0 时,各代表断面水位的计算值与实测值吻合较好,平均误差小于 10%。以黄浦公园断面潮位为例,率定结果如图 6(a)和验证结果如图 6(b)所示。

#### (2) 水质模型率定验证

选用 2020 年 2 月 8 日 00:00—2 月 22 日 23:00 一个完整的潮汐周期作为计算方案的代表时段。水位边界条件采用同步实测整点潮(水)位过程;同时根据相应的污染源调查结果,通过模型的反复叠代试错,优化调整水质模型关键技术参数,直到各主要断面的水质计算结果基本稳定且基本吻合现状水质状况。再利用非汛期无降雨条件下的另外一个月水文水质同步监测资料,完成水质模型率定验证。当水质和底质参数取值在表 3 范围内,水质浓度计算月均值,模拟计算值与实测值变化趋势基本一致,平均误差小于 15%。桃浦河的水质监测断面点的计算值与实测值对比情况如图 7 所示。



图4 增设水质在线监测点位布局

Fig. 4 Layout of Additional Online Water Quality Monitoring Site

结果表明模型的水力平均误差小于10%，水质指标误差小于15%，能较真实地反映桃浦河水流量水质变化规律，可以应用于沿线市政泵站放江模拟研究。

### 3 泵闸联合调度优化方案研究

#### 3.1 降雨等级划分

根据中国气象局标准，制定了以mm为单位的上海地区降水量级标准，规定了短期预报降雨(24 h)的小雨(0~10 mm)、中雨(10.1~25.0 mm)、大雨(25.1~50.0 mm)、暴雨(50.1~100.0 mm)、大暴雨(100.1~200.0 mm)和特大暴雨(>200.0 mm)标准。

#### 3.2 以中雨为例调度优化方案研究

选2021年6月18日—19日一场降雨，降雨量为13.0 mm，无应急响应，研究调度优化方案<sup>[3-5]</sup>。

##### (1) 方案设计

桃浦河水系所在水利片是蕰南片，调度常规方

式为“南引北排”，即苏州河北岸沿线水闸只引不排、蕰藻浜东水利枢纽下段南岸沿线水闸只排不引，调度方式如图8所示。

本次计算的时间段为6月17日—6月29日。考虑在市政泵站放江过程中以及放江结束后河道泵闸采取不同的调度方式，设置2个优化调度方案，控制指标如表4所示。方案0为现状实际调度方案；方案1为现状规则调度方案；方案2主要考虑在泵站放江结束后，增加桃浦河的引水动力，每日启用木淞港泵站(2台共10 m<sup>3</sup>/s)进行引水，桃浦泵闸能排则排；方案3是在方案2基础上，增加泵站放江调水方案，即每日启用木淞港泵闸(10 m<sup>3</sup>/s)进行引水，桃浦泵闸(单台13.3 m<sup>3</sup>/s)进行排水。

##### (2) 方案比选分析

###### ① 引排水量和平均水位变化分析

泵站放江期间和结束后，泵闸引水量和排水量如表5所示。

泵站放江期间，方案0桃浦河引水量为57万m<sup>3</sup>，排水量为78万m<sup>3</sup>；方案1排水量为44万m<sup>3</sup>；方案2和方案3桃浦河排水量为52万~53万m<sup>3</sup>；方案1~3由于桃浦河两端口门均在排水，平均水位相对较低为2.46~2.51 m。

泵站放江结束后，方案0和方案1的引排水量最小为526万m<sup>3</sup>，排水量为716万~718万m<sup>3</sup>，平均水位最低为2.76 m；方案3桃浦河的引排水量最大为861万m<sup>3</sup>，排水量为1 058万m<sup>3</sup>，平均水位为2.85 m；两端引排水量较为平衡，平均水位为2.76~2.85 m。

泵站放江结束后至计算结束的时段为10 d，方案0和方案1桃浦河换水时间为1.0~1.4 d；方案2换水时间为1.0~1.2 d；方案3换水时间最短，为0.7~0.9 d。

###### ② 水质改善效果分析

由表6可知，除方案0和方案1外，方案2和方案3均在放江结束后第2 d消除劣V类。与方案0相比，方案1由于桃浦河两端口门均排水，水位相对较低，云岭东路桥和古浪路桥在泵站放江当天和放江后第1 d水质均呈现变差的趋势，恢复正常调度后与方案0的改善效果相差不大；方案2和方案3即在泵站放江结束后，增加引水时长或同时增加引排动力，桃浦河水质均可提前1 d消除劣V类，具体如表6和图9所示。



图5 模型概化范围

Fig. 5 Scope of Model Generalization

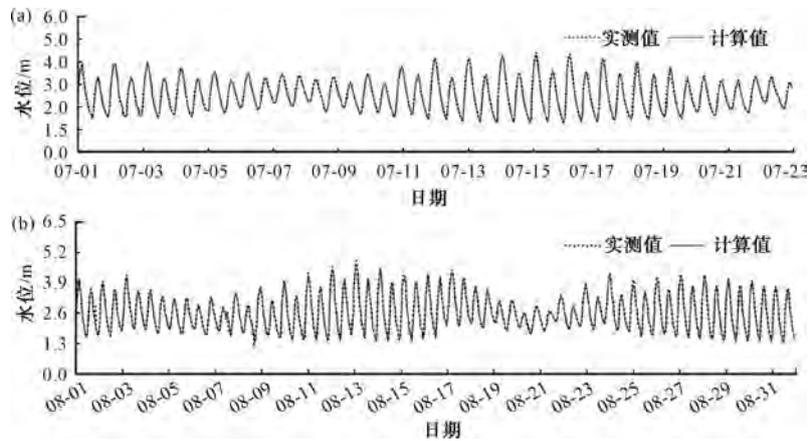


图6 2019年7月黄浦公园断面潮位率定结果和2019年8月黄浦江黄浦公园断面潮位验证结果

Fig. 6 Verification Result of Tidal Level of Huangpu Park Section in July 2019 and Verification Result of Tidal Level of Huangpu Park Section in August 2019

从各方案对比来看,泵站放江结束后,当苏州河西引东排至少一至二潮进行调水时,桃浦河从苏州河引水,可改善桃浦河沿线由于泵站放江带来的污染,在放江结束后第2 d,水质基本可维持在V类。

### ③ 推荐方案

推荐方案原则主要是考虑水质的改善效果相对最好,可提前消除泵站放江带来污染的时间相对最短,同时兼顾经济效益,即河道泵站的启用个数和时间,启用个数越少,费用越低,其引排水量相对较少。

表3 水质模型参数的率定结果

Tab. 3 Calibration Results of Water Quality Model Parameters

水质和底质参数	数值	单位
纵向分散系数	5~30	m <sup>2</sup> /s
COD <sub>Cr</sub> 一阶衰减系数	0.02~0.08	d <sup>-1</sup>
氨氮的一阶硝化系数(20℃时)	0.05~0.15	d <sup>-1</sup>
底泥耗氧(SOD)系数	0.25~2.00	g/m <sup>2</sup> /d
底泥释放 COD <sub>Cr</sub> 速率系数	0.08~0.50	g/m <sup>2</sup> /d
大气复氧系数	0.25~0.40	d <sup>-1</sup>

与现状方案0相比,方案2和方案3均可提前1d消除劣V类,水质改善效果相差不大,但方案3增加了桃浦泵闸排水动力,其引排水量相对最大,但在同样水质改善效果情况下,经济效益相对最低。

从综合效益来看,尽快消除由泵站放江带来的污染,推荐采用方案2,方案2水质变化过程如图10所示。

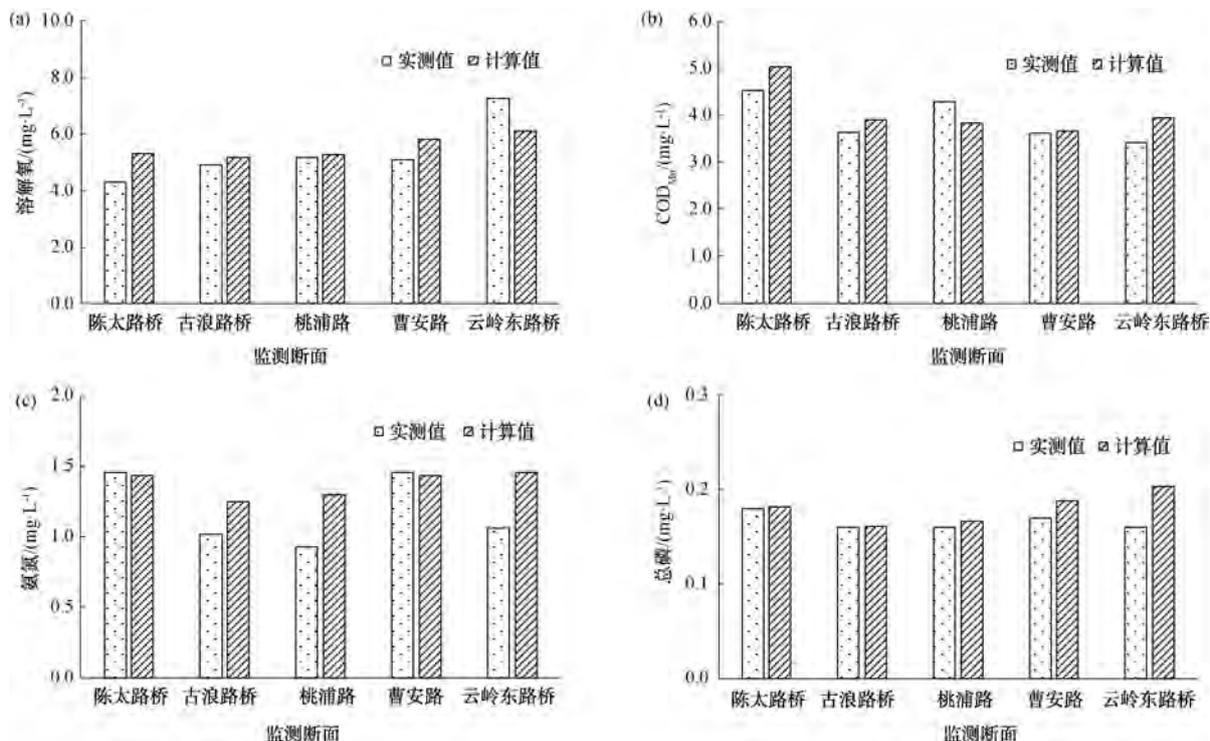


图7 桃浦河水水质监测断面验证结果

Fig. 7 Verification Results of Water Quality Monitoring Section of Taopu River

表4 桃浦河水水质改善调度方案设计

Tab. 4 Design of Water Quality Improvement Controlling Scheme of Taopu River

方案号	方案类型	泵站放江期间			泵站放江结束后			备注
		木淞港泵闸	桃浦泵闸	苏州河河口闸	木淞港泵闸	桃浦泵闸	苏州河河口闸	
0	现状实际调度	启用泵站(5 m <sup>3</sup> /s)引水 16 h	能排则排	能排则排	启用泵站(5 m <sup>3</sup> /s)引水 16 h	能排则排	大潮汛东引南北排,小潮汛西引东排	2021年实际泵闸调度运行情况
1	现状规则调度	暂停引水,闸内水位超过2.5 m时排水	能排则排(闸外水位低于2.4 m时暂停排水)	能排则排	排水二至三潮		西引东排调水一至二潮后,恢复日常调度	《中心城区“两水平衡”控制运行实施方案》
2	增加桃浦河引水动力	能排则排	能排则排	能排则排	启用木淞港泵站(10 m <sup>3</sup> /s)进行引水	能排则排	西引东排调水四至五潮后,恢复日常调度	
3	增加桃浦河引排水动力	能排则排	能排则排	能排则排	启用木淞港泵站(10 m <sup>3</sup> /s)引水	启用桃浦泵站(13.3 m <sup>3</sup> /s)排水	西引东排调水四至五潮后,恢复日常调度	

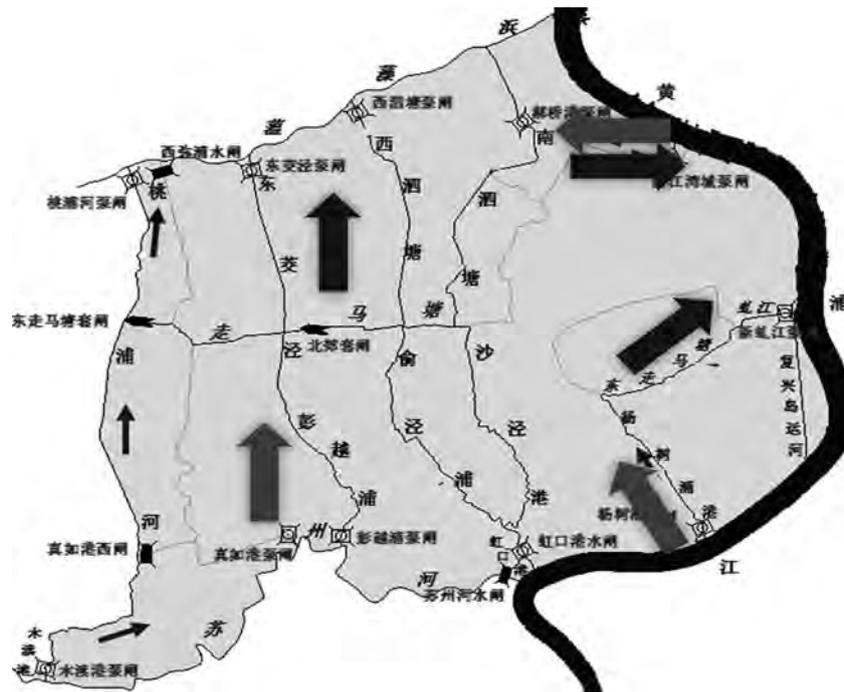


图8 溇南片“活水畅流”常规引排格局

Fig. 8 Conventional Drainage Pattern of "Living Water Flowing Smoothly" in Wennan Area

表5 不同调度方案下桃浦河平均水位和引排水量变化

Tab. 5 Changes of Average Water Level, Water Diversion and Drainage of Taopu River under Different Controlling Schemes

方案号	泵站放江期间					平均 水位/m	泵站放江结束后				
	平均 水位/m	木渎港泵闸		桃浦泵闸	苏州河河口闸		木渎港泵闸		桃浦泵闸	苏州河河口闸	
		引水/m <sup>3</sup>	排水/m <sup>3</sup>	排水/m <sup>3</sup>	排水/m <sup>3</sup>		引水/m <sup>3</sup>	排水/m <sup>3</sup>	排水/m <sup>3</sup>	引水/m <sup>3</sup>	排水/m <sup>3</sup>
方案0	2.71	57万	-	78万	311万	2.76	526万	-	718万	1 820万	1 473万
方案1	2.51	-	1万	43万	343万	2.76	526万	11万	716万	1 819万	1 473万
方案2	2.46	-	12万	41万	353万	2.85	648万	-	794万	1 792万	1 438万
方案3	2.46	-	12万	40万	353万	2.85	861万	-	1 058万	1879	1 410万

表6 桃浦河沿线泵站放江前后氨氮(日均浓度)变化

Tab. 6 Changes of Ammonia Nitrogen (Daily Average Concentration) before and after Discharge from Pumping Stations along the Taopu River

方案号	市考断面	放江当天		放江结束 1 d		放江结束 2 d		放江结束 3 d		劣 V 类 持续时间/d	整条河道水质均值	
		数值/ (mg·L <sup>-1</sup> )	劣 V 类 河长占比		放江结束 后天数/d	数值/ (mg·L <sup>-1</sup> )						
		0	陈太路桥	3.04	100%	3.55	100%	2.19	48%		1.61	0
	古浪路桥	4.83		3.53		1.87		1.45		2		
	云岭东路桥	2.63		2.01		1.24		1.05		2		
1	陈太路桥	1.62	67%	4.22	100%	2.24	48%	1.61	0	3	3	1.38
	古浪路桥	6.06		6.26		1.88		1.45		2		
	云岭东路桥	5.61		2.34		1.24		1.05		2		
2	陈太路桥	1.49	67%	3.48	88%	1.96	0	1.50	0	2	2	1.5
	古浪路桥	3.59		4.49		1.52		1.32		2		

(续表6)

方案号	市考断面	放江当天		放江结束 1 d		放江结束 2 d		放江结束 3 d		劣 V 类 持续时 间/d	整条河道水质均值	
		数值/ (mg·L <sup>-1</sup> )	劣 V 类 河长占比		放江结束 后天数/d	数值/ (mg·L <sup>-1</sup> )						
3	云岭东路桥	7.63		1.92		1.14		1.05		1		
	陈太路桥	1.49	67%	3.22	88%	1.81	0	1.46	0	2	2	1.45
	古浪路桥	3.59		4.31		1.47		1.28		2		
	云岭东路桥	7.63		1.90		1.14		1.05		1		

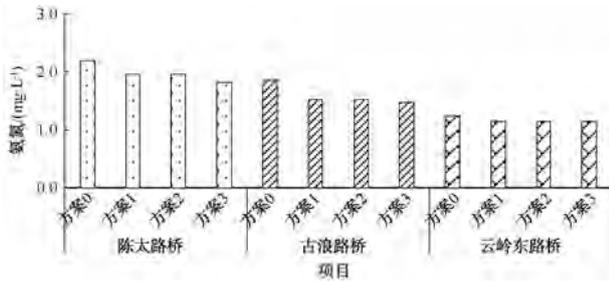


图9 桃浦河沿线泵站放江结束后第2 d各断面氨氮变化  
Fig. 9 Changes of Ammonia Nitrogen in Each Section on the Second Day after the Discharge from Pumping Stations along the Taopu River

### 3.3 各种雨型下泵闸联合调度方案研究

依照上述方法,选取2020年和2021年中雨、大雨、暴雨和连续降雨4场降雨为案例,设计3种优化

调度方案,通过泵闸联调一体化模型计算,从引排水量、水位等水动力条件和河道氨氮水质指标改善等方面进行了方案间的比选,得出在中雨期间,推荐方案是泵站放江结束后,苏州河继续西引东排调度至少一至二潮,木渎港泵闸每日累计2泵(10 m<sup>3</sup>/s)引水;在大雨期间,泵站放江结束后,苏州河继续西引东排调度至少四至五潮,木渎港泵闸每日累计2泵(10 m<sup>3</sup>/s)进行引水;在暴雨期间,泵站放江结束后,苏州河继续西引东排调度七至八潮,期间木渎港泵闸每日累计单泵(5 m<sup>3</sup>/s)引水不少于12 h;在连续降雨期间,泵站放江结束后,苏州河继续西引东排调度七至八潮,期间木渎港泵闸每日累计单泵(5 m<sup>3</sup>/s)引水不少于16 h,直到内河水环境基本稳定再恢复常规调度。



(a) 泵站放江当天



(b) 泵站放江结束后1 d

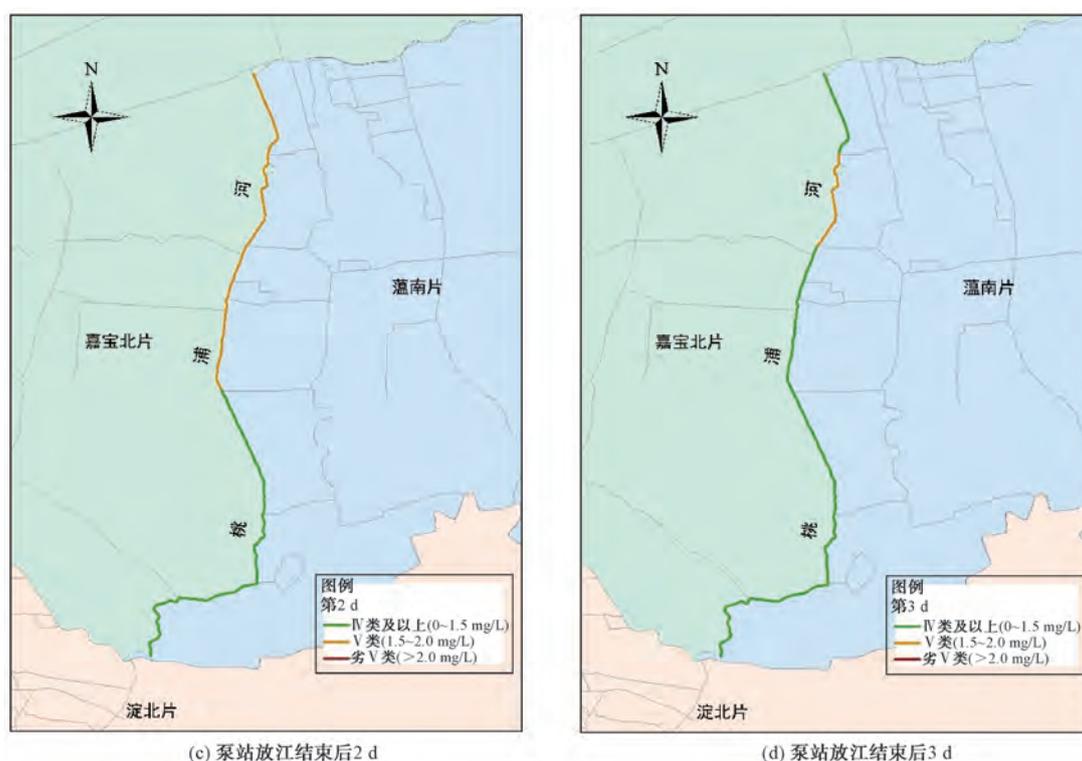


图 10 方案 2 下泵站放江结束后 3 d 河道水质变化过程

Fig. 10 Changes of River Water Quality on the 3rd Day after the Discharge from Pumping Stations under Plan 2

#### 4 结论

(1) 调研分析了近两年桃浦河沿线市政泵站的雨情、水情、工情、水质等基础资料,雨天放江对其河道水质的影响时长一般在 5 d 以内。

(2) 本次研究构建泵闸联调一体化模型,包括了全部市管、区管河道以及部分镇村级河道,温南片和浣北片河道基本全覆盖,共概化河道 1 404 条段,实测断面 1 543 个,面污染源 13 个。采用历史数据对模型进行率定验证,模型的水动力误差小于 10%,水质指标误差小于 15%,可以较真实地反映桃浦河水量水质变化规律,应用于其沿线市政泵站放江的模拟研究。

(3) 通过模型计算,从引排水量、水位等水动力条件和河道氨氮水质指标改善等多方面进行了方案间的比选,提出了中雨、大雨、暴雨和连续降雨 4 场雨型下泵闸联合调度的优化方案。

(4) 市政泵站放江的水量数据比较翔实,但放江水质的监测数据质量还需提升,模型中的水质输入数据大部分采用的是估算值,与实际存在一定出入。只有加强市政泵站放江过程水质的监测,才能为调度方案的可行研究夯实数据基础。市政泵站与

河道泵闸联合优化调度更好地应用,后续可开展泵闸联合调度的调水试验,并通过开展停闸试验等方式,用于验证河道泵闸运行对河道水质的影响,例如,支流汇入及其泵闸启闭;不同泵站的放江水质浓度差异;降雨期间河道水位抬高的稀释作用;底泥冲刷等。

#### 参考文献

- [1] 黄丽蓉. 桃浦河水系综合治理的泵闸调度优化研究[J]. 中国市政工程, 2023(6): 36-39, 98.  
HUANG L R. Optimization research of pump gate scheduling for comprehensive management of Taopu River system [J]. China Municipal Engineering, 2023(6): 36-39, 98.
- [2] 谭琼, 张建频, 徐贵泉, 等. 河道泵闸与市政泵站应对内涝的联动运行优化调度[J]. 中国给水排水, 2018, 34(19): 124-128.  
TAN Q, ZHANG J P, XU G Q, et al. Optimal combined operation of municipal pumping stations and river pump gates for flooding control [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(19): 124-128.
- [3] 张少恺. 基于模型预测控制的泵闸群联合防洪调度研究[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2022.

(下转第 195 页)

的条件下,离心脱水机加污泥干化的10年运营费用和工程费用折现后为1.28亿元(按4%折现率),板框脱水机(按60%出泥含水率考虑)为1.56亿元。因此,长期来看,离心脱水机加污泥干化的整体费用较常规的板框脱水机工艺更为节省。分析原因如下:虽然污泥干化机一次性设备投资较大,但产生的污泥量少,污泥的运输成本和接收成本较少,板框脱水机由于加药量太大,提高了总费用。

#### 4 结 论

(1) 对于浓香型白酒废水污泥而言,离心脱水+污泥干化工艺能实现24 h连续运行,药耗较低,有利于污泥后续送往热电联产,满足污泥处理全流程的需求。

(2) 污泥干化工艺虽然耗费电能或热能,但酿酒废水的厌氧工艺段刚好产生了大量沼气,便于转化为电能或热能,是一种低碳、经济、高效的污泥处置方式,符合国家绿色低碳发展的目标,因此推荐在酿酒行业广泛采用。

(3) 在对沼气发电产生的高温烟气进行余热利用时,低温干化相较于高温干化能利用的烟气热量更多,具有更高的综合热利用率。

(4) 在不考虑高温烟气余热经济价值的条件下,长期来看,采用离心脱水+污泥干化工艺的运行成本比使用板框脱水机更低,同时也能更好地满足污泥减量化的需求。

#### 参 考 文 献

- [ 1 ] 蔡小波,黄孟阳,杨平,等. 酿酒生产废水处理工艺及其资源化利用研究进展[J]. 酿酒, 2022, 48(1): 22-28.  
CAI X B, HUANG M Y, YANG P, et al. The research progress on the treatment and resource utilization of brewing wastewater [J]. *Liquor Making*, 2022, 48(1): 22-28.
- [ 2 ] 赖建平. 白酒酿酒废水处理厂工艺改造与扩建设计分析[J]. 节能与环保, 2022(11): 53-55.

- LAI J P. Design analysis of process transformation and expansion of Baijiu wastewater treatment plant [J]. *Energy Conservation and Environmental Protection*, 2022(11): 53-55.
- [ 3 ] 秦天,袁哲. EGSB+两级 BioDopp 工艺在酿酒废水处理中的应用[J]. 净水技术, 2023, 42(7): 110-118.  
QIN T, YUAN Z. Application of EGSB + two-stage BioDopp processes in brewing wastewater treatment [J]. *Water Purification Technology*, 2023, 42(7): 110-118.
- [ 4 ] NKHENSANI N, CHRISTOPHER G, DAVID I. A review of winery wastewater treatment: A focus on UASB biotechnology optimisation and recovery strategies [J]. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2022, 10(4): 108172. DOI: 10.1016/j.jece.2022.108172.
- [ 5 ] KALRA A, GUPTA ANSHU. Microbiological treatment of distillery wastewater focusing on colorant decolorization and resource recovery: A review [J]. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 2022, 22(1): 175-204.
- [ 6 ] 胡维杰,周友飞,陈汝超,等. 上海市石洞口片区污泥干化焚烧处理工程设计总结与分析[J]. 给水排水, 2018, 44(9): 34-41.  
HU W J, ZHOU Y F, CHEN R C, et al. Summary on sludge drying and incineration treatment project design for Shanghai Shidongkou area [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2018, 44(9): 34-41.
- [ 7 ] 蓝文军. 深圳市观澜水厂污泥处理工艺升级改造工程施工实践[J]. 净水技术, 2021, 40(1): 121-128.  
LAN W J. Engineering practice of upgrading sludge treatment process in Shenzhen Guanlan WTP [J]. *Water Purification Technology*, 2021, 40(1): 121-128.
- [ 8 ] 沙书勇. 某污水厂污泥低温干化处理工艺设计及运行总结[J]. 广州化工, 2023, 51(2): 190-192.  
SHA S Y. Design and operation summary of sludge low temperature drying treatment process [J]. *Guangzhou Chemical Industry*, 2023, 51(2): 190-192.
- [ 9 ] 何进. 大型污泥干化焚烧厂除臭工程技术与设计要点[J]. 净水技术, 2023, 42(8): 172-179, 197.  
HE J. Key points of technology and design of deodorization project for large sludge drying and incineration plant [J]. *Water Purification Technology*, 2023, 42(8): 172-179, 197.

(上接第176页)

- ZHANG S K. Study on flood control operation of pumpsluice group based on model predictive control [D]. Handan: Hebei University of Engineering, 2022.
- [ 4 ] 李晓云,蔡浚,羊丹. 台风“烟花”影响期间上海市水闸泵站运行调度分析[J]. 中国水利, 2021(23): 74-76.  
LI X Y, CAI J, YANG D. Analysis of operation and dispatch of Shanghai sluice and pumping station during the impact of typhoon

- “Fireworks” [J]. *China Water Resources*, 2021(23): 74-76.
- [ 5 ] 赵靓芳. 城市河道流域的排水系统内涝模拟及河道闸泵的优化调度模型研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2020.  
ZHAO L F. Simulation of waterlogging in urban river drainage system and study of optimal control model of river sluice and pump [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2020.