

泵闸断流调水预演在防汛中的应用探讨

尤琦

[上海市水利管理事务中心(上海市河湖管理事务中心),上海市 200002]

摘要: 目前,吴淞江工程(上海段)新川沙泵闸因更新改造建设尚未正式投入使用,改建期间断流施工影响了闸内河道与长江口的正常联通。为摸清新川沙泵闸改建期间所在区域河网实际防汛能力,以2021年新川沙泵闸改建区域调水预演为研究对象,通过计算该区域河网在不同时段最大的闸门排水预降库容,分析预降库容可承载的降雨量范围,从而给是否需要加泵排水降低河网水位的行动决策提供数据支撑,将降雨量范围计算数据应用于不同工况下的调水方案,结果证实了调水预演研究内容具有一定参考价值。

关键词: 断流施工;防汛能力;调水预演;预降库容;调水方案

中图分类号: TV66

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)02-0235-06

Discussion on Application of Pump and Gate Cut-off Water Diversion Rehearsal in Flood Control

YOU Qi

[Shanghai Water Resources Management Affairs Center (Shanghai River and Lake Management Affairs Center), Shanghai 200002, China]

Abstract: Currently, the Xinchuansha Pump and Sluice Project (Shanghai Section) of the Wusong River Project has not yet been officially put into operation due to its upgrading reconstruction. The cut-off flow construction during the reconstruction has affected the normal connectivity between the river within the sluice and the Yangtze River estuary. In order to understand the actual flood control capacity of the river network in the area where the Xinchuansha Pump and Gate are reconstructed during the reconstruction period, and taking the 2021 water diversion rehearsal in the reconstruction area of the Xinchuansha Pumping and Sluice Project as the research subject, by calculating the maximum gate drainage pre-lowering reservoir capacity of the river network in this area at different time periods, the range of rainfall that the pre-lowering reservoir capacity can carry is analyzed, thereby providing data support for the action decision on whether to add pumps for drainage to lower the water level of the river network. The rainfall range calculation data is applied to water diversion schemes under different working conditions. The results confirm that the research contents of water diversion rehearsal have certain reference values.

Keywords: cut-off water construction; flood control capability; water diversion rehearsal; pre-lowering reservoir capacity; water diversion scheme

0 引言

随着上海城市建设快速发展,城镇居民对于水环境与水安全的关注度日益增高,水闸调水用于改善水质,确保区域防汛安全。利用调水预演^[1]可按实际数据推断河道防汛能力,以及水质改善目标是否实现。

2005年,李珍明^[2]对上海市水闸泵站计算机智控系统进行初步探索,结合重要泵闸的调水预演实时数据提炼调水预案;2006年,顾正华^[3]借助人工神

经网络和河网非恒定流数学模型,构建调度辅助决策模型,应用于河网水闸调水预演;2008年,张加强等^[4]从德州引黄河水实际入手,分析调水预演前后河床冲淤变化情况,提出满足引水需求的调度方案;2014年,Ngo Dang Phong等^[5]使用水质模型作为分析工具,探讨水闸调水预演对湄公河三角洲内河减少酸性污染的影响;2018年,许兴武等^[6]通过不同时期秦淮河的调水预演结果得出,通过合理控制泵闸调度可对秦淮河水水质产生积极影响;2022年,Jayadi R等^[7]通过调水预演方式重新评估印尼沃诺吉里水库的洪水控制安全水位以及水坝安全性能;2022年,位文涛^[8]以闸群实时调控为主要研究目标,构建了基于历史监测数据的调水预演预测模型,实现常规工

收稿日期: 2025-09-01

作者简介: 尤琦(1993—),男,硕士,工程师,从事水闸管理及水资源调度相关工作。

况下的闸群自动控制。

综上,当前国内外学者利用智能化平台以及实地调水预演对水质影响效果进行了大量研究,但是根据现场调水预演获得的河道水位变化数据,应用于防汛方面的研究工作还较少。该文正是基于前人研究基础上,以新川沙泵闸断流施工期间的调水预演为例,通过现场调水测试新川沙泵闸所在河网最大的闸排预降能力,推算河网预降库容所能承载的雨量范围,以期为新川沙泵闸周边地区的防汛调度工作提供技术参考。该文技术路线见图1。

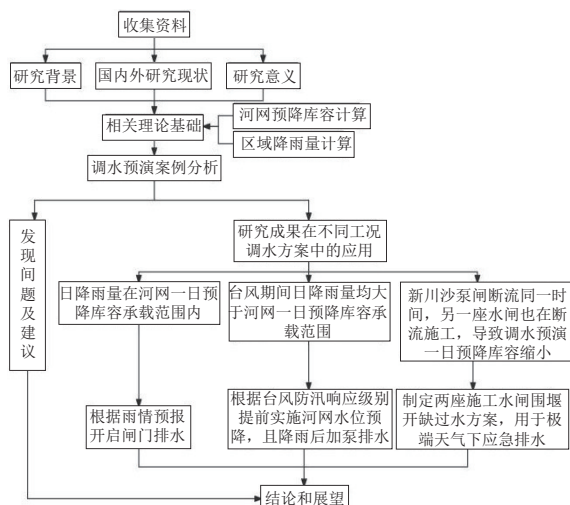


图1 技术路线图

1 调水预演背景

1.1 河网水系概况

按照统一规划、洪涝分开、高低分治的原则,上海市水务部门将全市分为14个水利控制片^[9]实行分片综合治理,各片区骨干河道片边位置配套建设了相应的水闸调控设施,在防洪、挡潮、排涝、航运、灌溉、改善水环境和保护水资源^[10]等方面发挥了重要作用。其中新川沙泵闸所属的嘉宝北片水利控制片,囊括了嘉定区和宝山区北部的大片区域。它北临江苏省太仓市浏河,南依蕴藻浜及苏州河(吴淞江),西与江苏省昆山市为邻,东以长江和桃浦河为界^[11]。控制片总面积698.77 km²,片内河湖面积57.91 km²。

1.2 水利控制片调度现状

嘉宝北片总体引排方式为“东北引,东南排”,即沿长江口南岸的水闸北引、东引长江水,苏州河北岸沿线水闸以引苏州河水为主;片内南侧蕴藻浜东水利枢纽^[12]及蕴藻浜下游北岸沿线的水闸排水;片内西北侧浏河南岸沿线和东南侧桃浦河西岸沿线水闸

可引可排。因处在感潮河网^[13],片内基本维持引水水闸每日引一潮、排水水闸每日排一潮的运行方式,个别排水水闸因全市总体调度要求需要排两潮水。嘉宝北片汛期面平均控制水位:宝山区2.40~2.80 m(吴淞高程,下同),嘉定区2.50~2.80 m。

2 调水预演方案

2.1 预演目标及任务

围绕新川沙泵闸建设,为确保新川沙河道断流期间区域防汛安全,结合区域河道防汛水位预降^[14]要求,开展调水预演,进一步测试嘉宝北片区域在晴天连续1潮、2潮情况下,内河水位最大预降能力。根据调水预演获得的相关数据,对调水预演效果进行分析评价,为区域防汛排水^[15]调度提供参考意见。

2.2 预演过程

2.2.1 预演时间

沿海地区的大潮汛^[16]通常出现在农历初一至农历初六、农历十五至农历二十,此时段月球、太阳和地球近乎在一条直线上,引潮力^[17]叠加,导致高低潮潮差最大,水闸趁潮引排(趁涨潮引水、趁落潮排水)效果皆最好。趁落潮时间段排水后再关闭闸门,可使水闸内河水位明显降低;小潮汛通常出现在农历初八至农历十一,此时段高低潮潮差^[18]最小,趁潮引排则效果不佳。

为了分别测试区域河道大潮汛和小潮汛的预降能力,调水预演分两个阶段:第一阶段为2021年5月14日至5月15日,此时段为农历初三至初四,正值大潮汛;第二阶段为2021年6月16日至6月17日,农历初七至初八,为中潮至小潮汛。因两次调水预演期间均为晴天,调水预演前一天5月16日和6月18日都下雨,需排除降雨因素对河道水位变化的影响;另该片主要河道蕴藻浜有通航要求,需保证最低通航水位,为减少对通航影响,调水预演周期都仅设置为1 d。

2.2.2 预演说明

由1.2章节可知,嘉宝北片排水主要依赖宝山境内的蕴藻浜东水利枢纽及蕴藻浜下游北岸沿线的水闸排水,而嘉定区与宝山区边界河道水系沟通不畅,因此嘉定北部地区排水主要依靠蕴藻浜东水利枢纽和江苏境内墅沟水闸。宝山地区排水口门较多,除蕴藻浜东水利枢纽、荻泾水闸等口门正常排水之外,调水预演期间,老石洞水闸、练祁河水闸等原本引水水闸也可参与排水。蕴藻浜、练祁河以及老石洞水闸所在的河道顾泾均属于黄浦江内河,趁潮排水时,

内河支流末梢^[19]感潮反应时间较长,故嘉宝北片各水位站点水位的下降速度从距离黄浦江河口较近测站开始,到片内深处末梢位置呈梯度放缓,各站点最低水位出现时间逐渐延迟。

因调水预演期间,预演区域外苏州河河口闸^[20]和江苏浏河河口节制闸^[21]引排水,会对预演区域内调水有影响,故预演期间关闭嘉宝北片区域内苏州河沿线与浏河南岸沿线水闸,为嘉宝北片调水预演提供理想的封闭环境。

因新川沙泵闸施工断流影响区域主要在嘉宝北片中部,所以选取水位控制代表站点^[22]为嘉宝北片中部区域的嘉定南门、宝山罗店和蕴藻浜东水利枢纽、荻泾水闸和新川沙老闸站点。

嘉宝北片骨干河道分布、引排水方向以及本次调水预演水位控制代表站点位置见图 2。

2.2.3 预演阶段

蕴藻浜东水利枢纽、荻泾水闸、杨盛河水闸、黄泥塘水闸、北泗塘水闸、练祁河水闸、老石洞水闸和墅沟水闸等主要 8 座排水水闸连续两潮排足,其他水闸关闭。排水从白天开始连续两潮,把预降内河最低水位放在夜间,这样能最小程度地减少对航运和内河水环境的影响,调水预演排水水闸运行控制要求见表 1。

2.3 预演情况

调水预演基本按照预演方案要求进行,预演阶



图 2 嘉宝北片水位控制代表站点及骨干河道分布示意图

表 1 嘉宝北片调水预演排水水闸运行要求表(2021 年)

序号	水闸名称	所在河道	第一阶段运行要求	第二阶段运行要求
1	墅沟水闸	蒲华塘		
2	老石洞水闸	顾泾		
3	练祁河水闸	练祁河	5 月 14 日 08:00 开始能排则排,连续两潮。	6 月 16 日 08:00 开始能排则排,连续两潮。
4	北泗塘水闸	北泗塘		
5	黄泥塘水闸	沈师浜		
6	杨盛河水闸	杨盛河		
7	荻泾水闸	荻泾	5 月 14 日 08:00 开始能排则排,连续两潮,白天控制内河水位不低于 2.2 m,夜间不低于 2 m。	6 月 16 日 08:00 开始能排则排,连续两潮,白天控制内河水位不低于 2.2 m,夜间不低于 2 m。
8	蕴藻浜东水利枢纽	蕴藻浜		

段代表站点水位变化情况见表 2、表 3。

表 2 第一阶段预演各站点水位变化情况表

代表站点水位及时间	蕴藻浜东水利枢纽	荻泾水闸	宝山罗店	新川沙老闸	嘉定南门
初始水位/m	2.67	2.72	2.73	2.75	2.72
一潮最低水位出现时间	14 日 09:05	14 日 10:45	14 日 11:45	14 日 12:20	14 日 13:40
一潮最低水位/m	2.24	1.94	2.36	2.28	2.58
二潮最低水位出现时间	14 日 22:10	14 日 22:30	14 日 23:40	14 日 23:40	15 日 00:30
二潮最低水位/m	2.10	1.87	2.19	2.11	2.45

表 3 第二阶段预演各站点水位变化情况表

代表站点水位及时间	蕴藻浜东水利枢纽	荻泾水闸	宝山罗店	新川沙老闸	嘉定南门
初始水位/m	2.66	2.69	2.66	2.70	2.67
一潮最低水位出现时间	16 日 12:20	16 日 13:30	16 日 15:05	16 日 14:30	16 日 14:35
一潮最低水位/m	2.28	2.44	2.52	2.52	2.56
二潮最低水位出现时间	16 日 23:55	16 日 22:50	17 日 00:00	17 日 01:15	17 日 02:00
二潮最低水位/m	2.21	2.41	2.47	2.41	2.50

预演结果显示,在新川沙河道断流影响区域内,因水位测站所在河道断面不同,故降水幅度出现差值;前文提到的河网不同位置感潮时间不一,所以各站点最低水位出现的时间逐渐延迟。第一阶段大潮汛期间,蕴藻浜东水利枢纽测站水位连续两潮最大

降幅 0.57 m,荻泾水闸测站水位连续两潮最大降幅 0.85 m,宝山罗店测站水位连续两潮最大降幅 0.54 m,新川沙老闸内河水位连续两潮最大降幅 0.64 m,嘉定南门测站水位连续两潮最大降幅 0.27 m。

第二阶段小潮汛期间,蕴藻浜东水利枢纽测站

水位连续两潮最大降幅 0.45 m,荻泾水闸测站水位连续两潮最大降幅 0.28 m,宝山罗店测站水位连续两潮最大降幅 0.19 m,新川沙老闸内河水位连续两潮最大降幅 0.29 m,嘉定南门测站水位连续两潮最大降幅 0.17 m。

3 调水预演结果分析

根据预演结果进行分析,大潮汛期间 5 个水位控制站点的两潮排水最大降幅分别为 0.57、0.85、0.54、0.64、0.27 m,取预演结果 5 个数字的均值 0.57 m 代表新川沙泵闸施工期间嘉宝北片大潮汛期间面平均最大降水幅度。小潮汛期间 5 个水位控制站点的两潮排水最大降幅分别为 0.45、0.28、0.19、0.29、0.17 m,取预演结果 5 个数字的均值 0.28 m 代表新川沙泵闸施工期间嘉宝北片小潮汛期间面平均最大降水幅度。

嘉宝北片属平原感潮河网,河床近乎视为平面,故本次预演预降河网库容估值可参照式(1)^[23]确定:

$$V = A_{\text{河道}} \times H \tag{1}$$

式中:V 为河道预降库容,万 m³;A_{河道} 是河道面积,km²;H 表示河道降水幅度,m。

根据《2025 上海市河道(湖泊)报告》得知宝山区河道面积 17.48 km²,嘉定区河道面积 38.76 km²,可分别得出宝山和嘉定区在本次预演大潮汛和小潮汛期间的预降库容。

为检验预降库容所能承受的区域雨量,反映该片区水闸排水能力,理论上可将预降库容等同于区域降雨转化为河道增水的实际体积,即区域径流总量。已知宝山区行政区划面积为 270.99 km²,嘉定区行政区划面积为 464.20 km²。根据《嘉定区城镇雨水排水规划(2022—2035)》和《宝山区城镇雨水排水规划(2021—2035)》^[24],按不同地面种类的汇水面积和径流系数的加权平均计算,宝山区区域综合径流系

数为 0.55,嘉定区区域综合径流系数为 0.56。区域降雨量计算公式^[25]如下:

$$P = \frac{W}{A_{\text{区域}} \times \Psi} \tag{2}$$

式中:P 为降雨量,mm;W 为区域径流总量,万 m³;A_{区域} 是行政区域面积,km²;Ψ 表示综合径流系数,无量纲,在 0 到 1 之间取值。

再由上述综合条件可分别计算大潮汛和小潮汛期间嘉宝北片预降库容可承载的区域雨量。本次预演预降库容和区域雨量计算数据见表 4。

表 4 嘉宝北片调水预演预降库容和区域雨量计算成果表				
区域和时段 计算数据	宝山 大潮	嘉定 大潮	宝山 小潮	嘉定 小潮
最大预降库容/万 m ³	996.36	2 209.32	489.44	1 085.28
最大承载雨量/mm	66.85	84.99	32.84	41.75

由计算结果可知,嘉宝北片在新川沙泵闸断流施工情况下,大潮汛期间一日预降库容大致可承载 66.85~84.99 mm 的日降雨量,小潮汛期间一日预降库容大致可承载 32.84~41.75 mm 的日降雨量。因此推测,日降雨量在此范围内,嘉定区和宝山区水闸管理部门可通过闸门排水保障嘉宝北片河网水位控制在安全范围内。若日降雨量超出该范围,例如出现持续性强降雨或台风等极端天气,则需要加泵排水,以降低城市内涝出现的概率。

4 其它调水方案应用

为验证在不同雨量、潮汛以及排水口门运行状况变化条件下,预演研究成果在河网泵闸调水方案中的应用情况,列举如下几种工况的应对案例加以说明。不同工况案例应用简要情况见表 5。

工况 1:嘉宝北片小潮汛期间某日全天降雨量为 35.20 mm,该雨量处于河网一日预降库容的承载雨量范围内。

河网水闸管理部门根据雨情预报,下雨前一天

表 5 不同工况下调水预演研究成果应用情况表

工况 序号	工况设置意图	潮汛	平均日 降雨量	调水预演中河网预降 库容可承载日降雨量	泵闸运行状况	验证结论
1	验证小潮汛下河网预降库容可承载的日降雨量	小潮汛	35.2 mm	32.84~41.75 mm	闸门排水	河网水位稳定证明小潮汛预降库容可承载的日降雨量数值范围正确
2	验证大潮汛下河网预降库容可承载的日降雨量	大潮汛	94.2 mm	66.85~84.99 mm	提前两日预降河网水位,降雨后加泵排水	河网水位稳定证明大潮汛预降库容可承载的日降雨量数值范围正确
3	再次利用调水预演验证两座泵闸同时断流施工对河网预降库容可承载雨量的影响	小潮汛	/	26.83~34.62 mm	再次调水预演过程中闸门排水	该工况下河网预降库容可承载的日降雨量数值下降,说明河网防汛能力下降,需采取其它措施提升河网排水能力
		大潮汛	/	52.72~75.78 mm		

预降河网水位,下雨当日片区水闸仅开闸门排水,片区水位稳定在平均控制范围 2.50~2.80 m,验证了日降雨量大小与是否启用水泵排水的关联性。

工况 2:台风期间嘉宝北片平均日降雨量为 94.20 mm,影响时段处于大潮汛且持续 3 d,大于河网一日预降库容的承载雨量极值 84.99 mm。

已知台风期间 3 d 降雨量比调水预演假设持续 3 d 的最大预降库容承载雨量多出 27.63 mm,根据式(1)和式(2)反推计算得出嘉宝北片河网还需额外预降 0.24 m 才可保证防汛安全。由第 3 章可知嘉宝北片大潮汛调水预演期间河网水位 1 d 平均可预降 0.57 m,故按照时间换取空间的工作方法,水闸管理部门制定预案:在台风到来前两日就开始实施河网水位全面预降,平均每日预降 0.5 m,可腾出充足河网库容承载台风降水。后台风登陆期间持续开泵排水,嘉宝北片河网水位逐步恢复到平均控制水位 2.50~2.80 m,防汛响应解除。

工况 3:嘉宝北片范围内,新川沙泵闸断流施工期间,宝山区另有一座中型水闸也在实施除险加固工程,无法排水。

此工况下水闸管理部门再次进行了片区调水预演,发现大小潮期间河网 1 d 预降库容缩减,导致预降库容对应承载的日降雨量数值范围,相比于河网只有一座新川沙泵闸断流施工时有所下降,河网防汛能力被削弱。工况 1、2 与工况 3 调水预演河网预降库容可承载的日降雨量数值范围见表 5。

根据防汛安全要求,在两座水闸施工期间水闸管理部门及时调整了嘉宝北片河网整体控制水位(2.40~2.70 m),相比于原调度方案对该片汛期标准下调 10 cm,以不影响区域水环境为前提,尽可能为应对极端天气的防汛响应调度抢得先机。针对两座断流施工的水闸制定围堰应急开缺过水方案,若片区防汛压力巨大,片内水位达到危急程度,在市防汛部门的指令下,执行泵闸围堰应急开缺过水方案,以减轻河网防汛压力。

5 发现问题及改进建议

本次调水预演虽可一定层面反映嘉宝北片在新川沙泵闸断流施工情况下的防汛能力基本盘,但受降雨、潮汛等偶然性因素和预演过程限制条件影响,通过对预演效果分析评价可知,片区防汛风险依然存在,在新川沙泵闸正式投入使用之前仍需挖掘河网片区的防汛潜力。现将调水预演中发现的问题和

改进建议总结如下。

5.1 持续沟通嘉宝水系,适当增加排水力度

嘉定区东侧与宝山区界河沟通不畅,不能为嘉定区河道提供更好的引排水动力;嘉定区西侧与北侧的沪苏省界存在着跨省排水限制;嘉定区南侧蕴藻浜西水利枢纽、新槎浦水闸等水闸受限于苏州河西段,潮差小,排水困难。而宝山区依托长江口地理位置优势引排水口门较多,引排动力较足。可见嘉宝两区引排水动力不均衡。因此,需合理规划嘉宝两区的界河水系,进一步打通断点堵点,保护和增加必要的河湖水面,提升河网整体调蓄能力。进一步依托流域规划,结合专项工程,加快嘉宝北片东西向直通长江的骨干河道及其水闸、泵站建设,增加嘉定区涝水东排长江口能力。

5.2 强化应急响应机制,减少航运水位影响

为保证轮船航运安全,蕴藻浜等有通航安全要求的河道水位不能太低,排水期间通航船闸内河最低控制水位至少要保持 2.50 m 以上,但这会影响片区水闸整体排水能力,造成排水不足。本次调水预演也因船闸通航安全水位要求,预演周期缩短。因此,建议嘉宝北片船闸管理部门在防汛预警发布后及保障航运安全前提下,有排水条件时预降河网水位尽可能排足。待发布防汛二级橙色及以上预警时,所有水闸能排则排,船闸停止通航参与排水,以优先保障片区防汛安全。

6 结 语

该文以新川沙泵闸改建期间周边区域水闸调水预演为例,研究该区域最大河网预降库容所能承受的雨量范围,具体得出以下结论:

(1)采用现场测算河网水位最大预降幅度的方式,结合现有的报告、规划以及相关计算公式,得到雨量范围作为“闸排”与“泵排”的边界条件,可供类似有泵闸断流的河网地区参考。

(2)通过水闸管理单位指挥现场调水预演获得的基础数据,相比于水闸智能调度计算模型输入计算条件得出的理论数据,真实性和准确性更高,更有利于管理部门防汛调度决策。

(3)本次调水预演受航运水位控制、天气等因素制约影响,未能延长预演时间作进一步数据研究,且调水预演研究是在近乎平面的感潮河网上进行,研究结论仅供上海及周边地市参考。

(4)由预演过程可知河网仍有防汛潜力以待挖

掘,待新川沙泵闸等水利工程逐步建成投入使用后,河网调蓄能力得到提升,可再次进行调水预演,不断更新该方向的研究成果。

参考文献:

- [1] 郭俊杰,程鸿帅,茹兴康,等.基于事件驱动的数字孪生调水工程“四预”业务应用[J].水利信息化,2024(4):1-6;12.
- [2] 李珍明.上海市水闸泵站计算机智能控制系统初步探索[J].微型电脑应用,2005(7):9-11;38.
- [3] 顾正华.河网水闸智能调度辅助决策模型研究[J].浙江大学学报(工学版),2006(5):822-826.
- [4] 张加强,孙明英,王金虎.调水调沙对黄河下游引黄供水的影响[C]//山东黄河河务局,山东土木建筑学会黄河工作委员会.水资源管理与河流保护学术研讨会论文集,2008.
- [5] Ngo Dang Phong, *et al.* Effective management for acidic pollution in the canal network of the Mekong Delta of Vietnam: A modeling approach[J]. Journal of Environmental Management, 2014, 140: 14-25.
- [6] 许兴武,沃玉报,胡阳,等.秦淮河水质改善现场调水试验[J].河海大学学报(自然科学版),2018,46(6):492-496.
- [7] Jayadi R, *et al.* Development of A Two-storage Reservoir Operation Rules for Flood Control Case Study of Wonogiri Multipurpose Reservoir, Central Java, Indonesia[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2022, 1091(1): 56-58.
- [8] 位文涛.明渠调水工程闸群实时调控研究及应用[D].邯郸:河北工程大学,2022.
- [9] 闫毓,袁赛瑜,唐洪武,等.上海蕴南水利控制片河网水动力再造[J].河海大学学报(自然科学版),2021,49(4):329-334;365.
- [10] Tripathy S, Kar P O, Pradhan A. Challenges and Innovations in Industrial Wastewater Treatment: Safeguarding Water Resources and Promoting Sustainable Practices[J]. Water, Air, & Soil Pollution, 2025, 236(2): 92-92.
- [11] 陈红,汪大为.吴淞江工程对上海嘉宝北片防洪除涝效果研究[J].水利发展研究,2017,17(5):43-46.
- [12] 欧阳龙山.温藻浜闸外段航道疏浚工程对现有防汛墙影响分析及控制[J].中国水运,2018(17):35-37.
- [13] Zhang H, Liu J, Li T, *et al.* Evaluating impacts of hydrology and pollution loadings on low dissolved oxygen in an urbanized tidal river network using modeling and monitoring[J]. Journal of Hydrology, 2025, 661(PB): 133630-133630.
- [14] 杨红卫,陈璇,庆丹丹.南京河西地区内涝调度方案研究[J].江苏水利,2021(5):56-61.
- [15] 宋悦.天津中心城区防汛排水存在问题及解决措施浅析[J].海河水利,2020(5):19-21.
- [16] 邓倩玉,严秀俊,李海健,等.八堡船闸在钱塘江潮影响下运行特性的原型观测[J].水运工程,2024(12):132-137.
- [17] 张君波,范舟.引潮力——天体间无形的手[J].知识就是力量,2023(4):16-19.
- [18] 王巍竹.Khulna潮位站高低潮位序列年际变化趋势分析及原因探讨[J].水利科技,2023(4):22-25.
- [19] 黄付辉.南宁市内河支流对城市防洪工程的影响探索[J].城市道桥与防洪,2003(1):57-58+2.
- [20] 李志,邵春芬.苏州河河口水闸底轴密封损坏探因与修复[J].水利技术监督,2024(11):244-248.
- [21] 张中天,刘鹏,许强,等.文物闸拆除方案对河道泄洪的影响研究——以浏河闸为例[J].江苏水利,2025(4):18-22.
- [22] 孔令婷.上海市分区警戒水位计算方法研究与典型区域应用成效评估[J].中国防汛抗旱,2025,35(5):22-26.
- [23] 崔周烽,蔡来良,袁占良,等.小型水库库容精确测算方法研究[J].测绘通报,2024(增刊2):17-21+36.
- [24] 上海市宝山区人民政府.上海市宝山区人民政府关于同意《宝山区城镇雨水排水规划(2021—2035)》的批复[Z].2023.
- [25] 刘星星.秀水水库拟建坝址河道径流及洪水计算分析[J].水利技术监督,2023(2):264-267.
- [16] 章涛,陈西江.利用三维激光扫描技术监测桥梁振幅[J].激光与光电子学进展,2018(55):1-11.
- [17] 胡洋,韩扬,梁文鹏.三维激光扫描技术在桥梁变形监测中的应用[J].测绘通报,2024(3):179-182.
- [18] Soojin Cho, Seunghee Park, Gichun Cha, Taekeun Oh. Development of Image Processing for Crack Detection on Concrete Structures through Terrestrial Laser Scanning Associated with the Octree Structure[J]. Applied Sciences, 2018, 8(2373): 1-19.
- [19] Qianyun Zhang, Kaveh Barri, Saeed K, *et al.* Real-Time Detection of Cracks on Concrete Bridge Decks Using Deep Learning in the Frequency Domain[J]. Engineering, 2021, 7(12): 1786-1796.
- [20] Yunfeng G, Jenny Liu. Automated Detection and Characterization of Cracks on Concrete Using Laser Scanning[J]. Journal of Infrastructure Systems, 2023: 179-182.
- [21] 骆义,赵文举,张建.基于三维激光扫描技术的桥梁检测应用研究[J].智能建筑与智慧城市,2020(3):14-18.
- [22] 尹恒,王立娟,裴尼松,等.三维激光扫描技术在危旧桥梁健康监测中的应用研究[J].中外公路,2021,41(5):187-192.

(上接第234页)