

城市雨水管理

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.15.016

# 基于水力模型的排水系统防涝应急调度预案制定

时珍宝<sup>1</sup>, 谭琼<sup>2</sup>

(1. 上海碧波水务设计研发中心, 上海 200092; 2. 上海市水务规划设计研究院, 上海 200092)

**摘要:** 为提高排水系统遭遇暴雨灾害时的应急调度处置能力,同时尽量减少降雨放江带来的面源污染,以上海市中心城区肇嘉浜和鲁班排水系统为例,针对气象暴雨蓝、黄、橙、红四色预警等级,以排水管网水力模型为研究工具,在分析污水干线系统外排能力、排水系统管道调蓄能力、系统预降水位、开泵水位等关键因素的基础上,研究制定了排水系统防涝应急调度预案。结果表明,在蓝色预警情况下,按照建议的调度方式可完全保障地区防汛安全,并减少泵站放江;在黄色和橙色预警情况下,鲁班排水系统没有积水风险,肇嘉浜排水系统低洼地区(低于2.5 m)存在一定的积水风险;在红色预警情况下,两个排水系统的低洼地带(低于2.9 m)都存在一定的积水风险,需要提前做好抢险避险等应急处置措施。

**关键词:** 排水系统; 防涝; 应急调度; 水力模型; 排水泵站

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)15-0093-07

## Formulation of Emergency Dispatching Plan for Waterlogging Prevention of Drainage System Based on Hydraulic Model

SHI Zhen-bao<sup>1</sup>, TAN Qiong<sup>2</sup>

(1. Shanghai Bibo Water Design and Research Center, Shanghai 200092, China; 2. Shanghai Water Planning and Design Research Institute, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** In order to improve emergency dispatching and disposal capacity of the drainage system suffering from rainstorm and minimize non-point source pollution to rivers caused by rainfall, an emergency dispatching plan for waterlogging prevention of drainage system was formulated in Zhaojiabang and Luban drainage systems of the central urban area of Shanghai. Aimed at four-color early warning levels (blue, yellow, orange and red) of meteorological storms, the hydraulic model of drainage pipe network was used to analyze the key factors such as discharge capacity of sewage trunk system, regulation and storage capacity of the drainage pipe system, pre-falling water level of the system and water level of pumping station. In the case of blue warning, the proposed dispatching mode could fully guarantee the regional flood control safety and reduce the discharge of pump stations to rivers. In the case of yellow and orange warning, there was no waterlogging risk in Luban drainage system, and there were certain risks in low-lying areas (below 2.5 m) of Zhaojiabang drainage system. In the case of red warning, there was a

**基金项目:** 上海市水务局科研项目(沪水科 2017-06、沪水科 2019-11); 上海市科学技术委员会资助项目(19DZ1204501); 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2013ZX07304-003-06)

**通信作者:** 谭琼 E-mail: tanq20@163.com

certain waterlogging risk in low-lying areas (below 2.9 m) of the two systems, and it was necessary to take emergency measures such as rescue and avoidance in advance.

**Key words:** drainage system; waterlogging prevention; emergency dispatching; hydraulic model; drainage pumping station

上海地处长江流域和太湖流域下游,易遭受上游洪水、台风暴雨、高潮位等多重自然灾害侵袭。为有效应对暴雨灾害,上海市气象局发布了蓝、黄、橙、红四色暴雨预警信号,规定了预警等级和降雨量标准,为该市各级水行政主管部门和设施管理运行部门提前做好“预排、预降”工作提供了依据。近年来,在进一步提高水环境质量的背景下,市政排水泵站面临更加严格的放江监管要求,在保障防汛安全的同时,最大程度发挥合流制系统污水治理潜能是考验泵站精细化运行的新课题。笔者以四色暴雨预警等级为划分依据,从优化泵站运行角度制定了响应四色预警的排水泵站应急调度预案,以期管理部门制定应急处置预案及排水泵站优化运行调度方案提供依据。

## 1 研究区域概况

### 1.1 排水系统概况

肇嘉浜和鲁班排水系统均为合流制强排系统,位于上海市徐汇区中心区域,两个系统的服务面积分别约为 7.38、3.58 km<sup>2</sup>,现状设计暴雨重现期均为 1 年一遇,合流制溢流雨污水经泵提升后排入黄浦江。泵站均配置了 SCADA 系统,可实时采集传输泵站降雨、水位和水泵状态等运行调度数据。

### 1.2 模型建模范围

上海市老城区大多数排水系统与周边系统是连通的<sup>[1]</sup>,为减小模型空间范围边界的不确定性给模拟精度带来的不利影响,将研究区域周边的小木桥、新宛平、蒲汇塘、新昌平、江苏、成都、蒙自排水系统纳入管网模型建模范围,建模总面积约为 31.0 km<sup>2</sup>,涵盖 9 个排水系统所有市政管道和相关泵站、闸门等排水设施,建模范围足以反映研究区域所受到的水力影响,保证了研究结果的可靠性。

## 2 研究方法

### 2.1 水力模型选择

本研究采用 InfoWorks CS 模型软件平台。根据管网现状勘测数据和 CCTV 检测数据等,建立了包含支管、干管、泵站在内的排水管网水力模型。在以泵站实际运行的 SCADA 数据率定模型的基础上,

开展应急预案制定研究。采用的水文水力模型如下:①产流模型。非渗透表面采用固定径流系数模型,渗透表面采用 Green-Ampt 模型<sup>[2]</sup>。②汇流模型。选用 SWMM 的汇流方法,用运动波方程和非线性水库方法计算流入节点的流量过程线<sup>[3]</sup>。③管道水力模型按圣·维南方程组完全求解。

### 2.2 模型构建与率定验证

利用管网 GIS 及高清航拍图获得管道和用地性质数据,研究区域下垫面被划分为市政路面、建筑屋面、绿化用地和其他铺装共 4 类,以进行分布式模型模拟,研究范围内部无河道水系。根据地形和管道分布,划分子集水区共计 3 051 个,涉及检查井 12 319 个,管段 13 181 段,管道总长度约为 350 km,水泵总计 92 台,每台泵分别设置上下游节点、排放量、启闭水位等基础属性,开关泵水位根据上海市城市排水有限公司生产运行管理方案设定。利用模型工具进行管道连接性检查和纵断面检查,确保正确反映管网竖向高程和拓扑关系。

研究范围内排水系统皆为合流制,且主要位于商业和居住区,晴天污水主要来自生活污水和少量地下水,工业废水很少。根据最新的上海市污水处理专业规划,设置各排水系统的旱流污水排放系数。模型的上游边界反映系统所有水量来源,包括生活污水、地下水渗入、降雨径流。模型的下游边界反映影响系统水力特性的边界水力条件,实际水泵和拍门在模型中以模拟水泵和拍门处理。

参考谭琼<sup>[2,4]</sup>、赵冬泉<sup>[5]</sup>等人对模型参数灵敏度的分析,选择灵敏度较高参数的初始值,提高模型率定效率,不同用地的产汇流等参数的初始值参照前述相关研究确定。分别以泵站的总体排放量和前池水位作为水量、水位率定指标。选择 2010 年—2016 年的 4 场历时和强度不同的降雨,以实际降雨过程、基础旱流为输入条件进行模型率定与验证,水量和水位的率定结果均符合模型应用要求,Nash-Sutcliffe 效率系数平均值分别为 0.75、0.71。

### 2.3 设计雨型

短历时设计暴雨常用于管网水力模拟,辅助排

水系统设计。本研究采用芝加哥设计暴雨雨型,雨峰系数为0.406,根据不同研究目标按照上海市暴雨强度公式推得各时段暴雨强度,得到不同暴雨重现期设计雨型,以此作为模型的降雨输入边界。

### 3 防汛应急调度预案的制定与效果论证

#### 3.1 泵站概况与截流污水外排条件分析

肇嘉浜泵站总规模为 $34.23 \text{ m}^3/\text{s}$ ,其中雨水配泵流量为 $29.43 \text{ m}^3/\text{s}$ ( $3.27 \text{ m}^3/\text{s} \times 9$ 台),污水配泵流量为 $4.8 \text{ m}^3/\text{s}$ ( $1.2 \text{ m}^3/\text{s} \times 4$ 台,折合截流能力为 $3.3 \text{ mm/h}$ )。鲁班泵站总规模为 $31 \text{ m}^3/\text{s}$ ,其中雨水配泵流量为 $25.6 \text{ m}^3/\text{s}$ ( $2.56 \text{ m}^3/\text{s} \times 10$ 台),污水配泵流量为 $5.44 \text{ m}^3/\text{s}$ (大泵 $1.7 \text{ m}^3/\text{s} \times 2$ 台+小泵 $1.02 \text{ m}^3/\text{s} \times 2$ 台,折合截流能力为 $7.8 \text{ mm/h}$ )。肇嘉浜泵站和鲁班泵站属于白龙港污水片区服务范围,肇嘉浜泵站截流的雨污水经污水二期浦西支线接入SA泵站再转输至白龙港污水厂处理排放;鲁班泵站截流的雨污水出路有两个,可经南干线1#泵站进入南干线,或者经污水二期浦西支线接入SA泵站后由二期干线输入白龙港污水厂处理后排放。

同肇嘉浜和鲁班排水泵站具有较大关联的干线主要为污水二期干线和南干线(见图1),可能制约系统运行能力的污水干线泵站主要有SA泵站、SB泵站、吴闵1#泵站、M1泵站、M2泵站和南干线1#泵站。通过建立包含肇嘉浜、鲁班等合流泵站以及相关污水输送干线及中途泵站的水力模型,研究旱天和雨天工况下系统污水的外排条件,为四色预警指令下发后管网系统预抽空和确定不同雨强降雨时截污泵的开启台数提供依据。

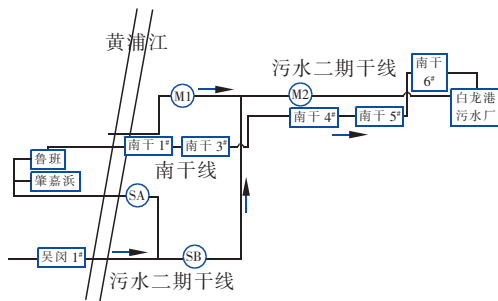


图1 排水泵站与污水输送干线的运行关系示意

Fig.1 Relationship between drainage pump stations and main sewage transportation lines

根据运行情况统计和旱天工况模拟分析可知,肇嘉浜、鲁班排水系统在旱天具有较大的截流富余能力,目前截流泵开泵率为25%即可完成服务范围

旱季污水量的输送任务。由于污水二期干线设计规模中考虑了合流制系统雨天截流倍数,污水外排干线在旱天时输送能力较为充足,这为降雨前系统预抽空及雨天混合污水截流提供了有利的外部条件。

根据雨天工况模型模拟,当雨强超过 $10 \text{ mm/h}$ 时,由于合流制系统截流雨水的增加及分流制地区雨污混接污水,污水二期干线逐步达到满负荷运行。SA泵站和污水二期上游吴闵干线吴闵1#泵站为并联泵站,SA泵站和吴闵1#泵站的雨季输送存在一定制约关系。模拟结果表明,当SA泵站开3台泵、吴闵1#泵站开3台泵时,将造成吴闵1#泵站出水井过高(节点水压标高为 $8.5 \text{ m}$ )而发生溢流。因为吴闵1#泵站主要输送分流制地区旱季污水及雨污混接污水,当其来水量较大时,根据优先输送污水的原则,先保障吴闵1#泵站来水输送,对负责合流制混合污水输送的SA泵站需限流。通过测算,限制鲁班、肇嘉浜和其他两座合流制泵站各开1台污水截流泵,同时适当优化调整吴闵1#、SA、SB及干线上相关输送泵站的水位,基本可实现SA泵站雨天开2台泵、吴闵1#泵站开3台泵的较优工况,保证污水二期南线和中线运行符合设计能力而不发生溢流。

综上可得:旱天工况下,污水二期和南干线具有一定余量,为管网系统内存留污水的预抽空提供了有利条件,可按最大截流能力开启截流泵,使市政管网迅速排空,保证降雨时用足管网的调蓄能力;雨天工况下,按照污水干线优先输送分流制污水的原则,考虑到外排干线的实际服务能力,肇嘉浜和鲁班合流制泵站的截流泵各限开1台。

#### 3.2 排水系统管道调蓄能力分析

肇嘉浜、鲁班排水系统的市政管网在不同绝对高程下对应的调蓄容积(库容曲线)如图2所示。

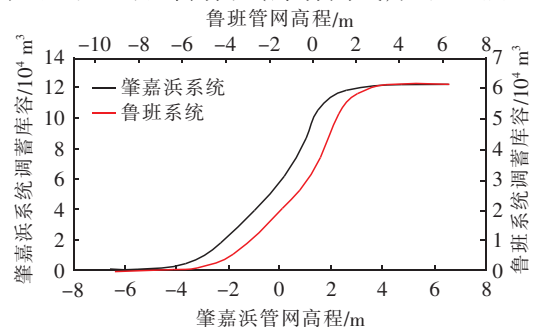


图2 管网系统的高程-库容曲线

Fig.2 Elevation-storage capacity curve of pipe network

在4.0 m高程时,肇嘉浜系统的管道调蓄容积约为 $12.2 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,鲁班系统的管道调蓄容积约为 $6.2 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,折合降雨量均约为24 mm。表1列出了排水系统调蓄量与输送能力的对应关系,两个系统的截流输送能力为3.3~7.8 mm/h,防汛输送能力为20.5~36.8 mm/h。两个系统均按1年一遇标准设计,肇嘉浜与鲁班系统的管道调蓄容积量值相

当,但鲁班系统的截流和防汛配泵能力均比肇嘉浜系统要高。系统内市政检查井最低地面高程为2.3 m,根据管道库容曲线可知,在2.3 m高程时,肇嘉浜系统的管道调蓄容积约为 $11.7 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,鲁班系统的管道调蓄容积约为 $5.9 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,折合降雨量均约为23 mm。这为后续研究中管网水位控制提供了边界条件。

表1 肇嘉浜、鲁班排水系统的调蓄输送能力

Tab.1 Storage and transportation capacity of Zhaojiabang and Luban systems

项 目	面积/ $\text{hm}^2$	径流 系数	管道调蓄容积		截流配泵能力		防汛配泵能力	
			数值/ $\text{m}^3$	折合降雨量/ $\text{mm}$	数值/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	折合雨强/ $(\text{mm} \cdot \text{h}^{-1})$	数值/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	折合雨强/ $(\text{mm} \cdot \text{h}^{-1})$
肇嘉浜	738	0.7	122 518	23.7	4.80	3.3	29.43	20.5
鲁班	358	0.7	61 715	24.6	5.44	7.8	25.60	36.8

### 3.3 系统放江临界雨强模拟分析

由于合流制排水系统管网的调蓄能力和截流输送规模,当降雨强度不超过一定水平时,系统可不开启放江泵,同时保证系统服务范围不发生污水冒溢地面,从而实现减少泵站放江污染、保护河道水环境质量的目。本研究通过对1~10 mm/h的各级暴雨强度降雨进行模拟,推求保证研究区域排水系统不放江的临界雨强。

在模型中设置雨水泵停用,仅开启截流泵,模拟分析各典型雨强下的系统积水情况。结果表明,肇嘉浜排水系统和鲁班排水系统的放江临界雨强分别约为7.0、8.0 mm/h。因此,若下游污水输送干线能力不受限制(旱天时),在雨强为7~8 mm/h的小雨条件下可不开启放江泵,在保证防汛安全的同时避免雨污水放江对河道水环境造成污染。

此外,研究表明,截流泵开启台数对于临界雨强的敏感性不大,这说明决定系统临界雨强的主要因素为排水管网容积而非泵站截流能力。因为同管网调蓄容积相比,截流泵所能应对的降雨强度相对很小。因此,前文分析中指出,受吴闵1<sup>#</sup>泵站制约,肇嘉浜和鲁班泵站需限制截污泵的开启台数,对临界雨强及防汛安全的影响不大,但对水环境的影响较大。根据模拟计算,当受干线输送能力制约、截流泵限开1台泵时,初雨放江量增加44%~70%(8 mm/h雨强标准雨型)。

### 3.4 排水系统预抽空时间分析

根据3.1节的研究成果,旱天时污水干线外排能力充足,可以实现雨天前管道系统预抽空。由于

当前水环境治理的需要,系统旱天往往处于高水位运行,据此,分别模拟了采取1~4台截污泵(鲁班泵站包括大小截污泵组合开启工况)以及1~2台雨水泵,将系统水位从泵站进水管管顶降低到最低技术水位(鲁班: -7.1 m,肇嘉浜: -7.3 m)所需时间,为预降水位进行基础条件分析。模拟结果见图3,其中W代表污水截流泵,Y代表雨水排江泵,“1W小”表示鲁班系统开1台小截污泵,以此类推。

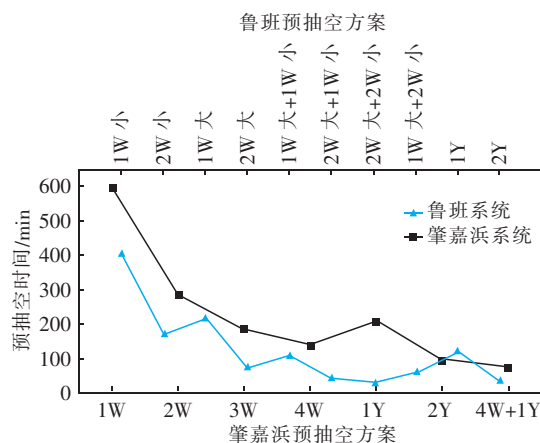


图3 组合工况下系统预抽空时间分析

Fig.3 Analysis of pre-evacuation time under combined working conditions

由于肇嘉浜排水系统的面积很大,单开1台污水泵达到预降水位需近10 h,随着开泵数量的增加,所需时间减少,开启所有4台污水泵的预降时间约为2.3 h,开启1台雨水泵的预降时间约为3.5 h,开启2台雨水泵的预降时间约为1.7 h。鲁班泵站污水泵有大泵(单泵流量为 $1.7 \text{ m}^3/\text{s}$ )和小泵(单泵流

量为  $1.02 \text{ m}^3/\text{s}$  各 2 台,若要达到预降水位,开启 1 台污水小泵的预抽空时间约为 6.7 h,开启 2 台污水大泵时约需 1 h,开启所有 4 台污水泵时约需 0.5 h,与开启 2 台雨水泵的效果相当。由于鲁班排水系统的面积相对较小,且配泵系数较大,因此水位预降效率较高。以上研究结果可为应急预案中系统预抽空时间的制定提供依据,需要预抽空时,开泵台数和时间可根据图 3 直接读取。

### 3.5 运行调度因素与防汛效果敏感性分析

一般而言,在管网和泵站设施固定不变的条件下,系统预抽空和降低防汛泵开泵水位有利于保证防汛安全。为研究这两个调度因素与防汛效果的关系,模拟计算了不同的预降水位和防汛开泵水位对系统防汛效果的影响。

用不同的预降水位作为降雨来临时的初始水位条件,高水位对应泵站前池水位达到进水管管顶(肇嘉浜:  $-1.8 \text{ m}$ ,鲁班:  $-3.1 \text{ m}$ )的初始状态,预降水位对应泵站前池水位达到技术水位(肇嘉浜:  $-7.3 \text{ m}$ ,鲁班:  $-7.1 \text{ m}$ )的初始状态,预降水位相当于系统已经排空。用不同的雨水泵开泵水位作为降雨过程中控制雨水泵开启的启动水位,对开泵水位对防汛效果影响的敏感性进行分析,将开泵水位从  $-3.0 \text{ m}$  逐级增高到  $2.8 \text{ m}$ ,每级增幅为  $0.4 \text{ m}$ 。

进行敏感性分析的降雨过程分别为 1 年一遇、2 年一遇和 5 年一遇上海市短历时设计暴雨,与气象预警中黄色、橙色、红色暴雨预警相对应。用设计暴雨模拟产生的管网节点平均最高水位值衡量防汛效果,平均最高水位定义为本次模拟所有节点水位峰值的平均值。

肇嘉浜系统各降雨条件下调度因素与防汛效果敏感性分析结果如图 4 所示。可以看出,预降水位可在一定程度上提高防汛效果,在 1 年一遇降雨重现期条件下(相当于气象黄色预警等级),预降水位工况相比高水位工况最大可降低系统最高水位  $0.2 \text{ m}$ ,但随着降雨重现期的增大(相当于预警等级提升),预降水位工况的防汛能力提高效果不明显。同时,降低雨水泵开启水位有利于提高防汛效果,雨水泵开启水位与管网最高水位呈正相关关系,随着降雨重现期的增大,两者相关系数逐渐变小,雨水泵开启水位预降的防汛效果提升效应逐渐削弱,但通过截流泵预抽空仍有利于减少初期雨水放江,保护了水环境。

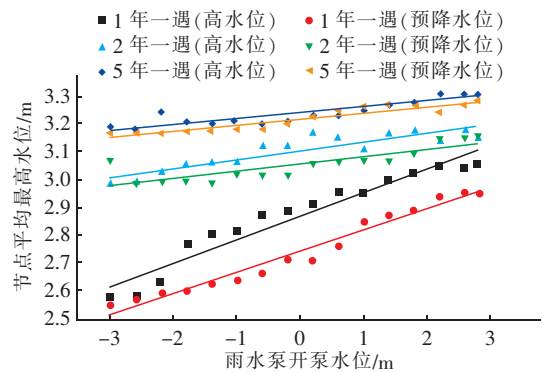


图4 肇嘉浜系统调度因素敏感性分析

Fig. 4 Sensitivity analysis of scheduling factors in Zhaojiabang system

鲁班系统调度因素敏感性分析结果如图 5 所示,其总体趋势与肇嘉浜系统相似,但其敏感度更高,1 年一遇降雨条件下,预降水位工况相比高水位工况最大可降低系统最高水位  $0.39 \text{ m}$ 。此外,若雨水泵开启水位同等降低,鲁班泵站防汛提升效果较肇嘉浜泵站更加显著。鲁班系统和肇嘉浜系统的面积、配泵系数的差别是此结果的主要原因。

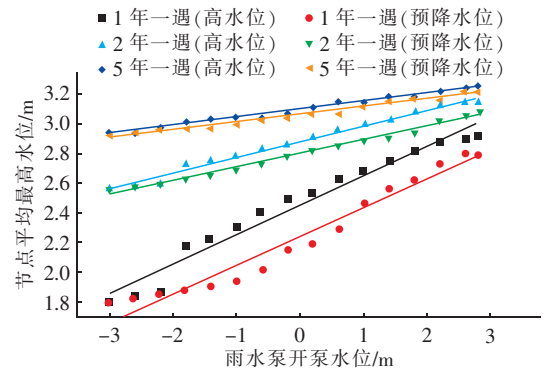


图5 鲁班系统调度因素敏感性分析

Fig. 5 Sensitivity analysis of scheduling factors in Luban system

系统地面最低高程为  $2.3 \text{ m}$ ,因此管网最高水位标高应以不超过  $2.3 \text{ m}$  为安全标高。可从上述研究结果中得出保证管网最高水位低于系统地面高程最低点所需开泵的临界水位值,从而为泵站各防汛泵的开启水位制定提供依据。

### 3.6 应急预案的制定

随着气象预报技术的发展,短临、短期的精细化预报产品可提供更加详细的降雨时程分布,在实际工作中,可结合气象预警等级和预报时程分布,根据不同提前量制定预抽空预案,提高泵站应急的精细化水平。

综合上述系统外排能力、管网调蓄能力、放江临界雨强、预降水位和雨水泵开启水位的研究结果,结合不同预警等级的四色暴雨预警预报进行应急调度方案设计,并通过模型验证、调试和优化。

应急方案策略制定原则如下:①小雨时,最大程度利用管网调蓄和截流能力,削减泵站溢流放江;②根据气象预报提前量,结合预降时间要求和外排干线能力,优先采用截流泵进行水位预降,适时逐台开启雨水泵,控制系统水位。

蓝色预警(12 h、50 mm 预警)时,暴雨强度小于7~8 mm/h,在干线不限流时,可不开启雨水泵,按最大截流能力模式运行;若二期干线泵站要求限流,

则系统只开启1台截流泵,当达到防汛水位时,开启雨水泵确保系统安全。

黄色预警(6 h、50 mm 预警,1 h、35 mm 预警)时,在接到预警后进入预抽空模式,根据气象预报,在时间提前量充足的情况下,肇嘉浜开启2台截流泵,在5 h内将系统降低到预降水位,鲁班开启1台截流大泵,在4 h内将系统降低到预降水位;当预报时间提前量少时,参照图4选取截流泵开启台数,适时启动1~2台雨水泵,加快预抽空,降雨期间,开启1台截流泵,达到防汛水位时,逐台开启雨水泵。

其他颜色预警参照同样原则制定。方案主要结果见表2。

表2 排水泵站防汛应急调度预案

Tab.2 Flooding control emergency plans of pump stations

暴雨预警等级	系统名称	预降水位/m	截流泵			雨水泵		
			策略	启闭水位/m		策略	启闭水位/m	
				开泵	停泵		开泵	停泵
蓝色 (12 h、50 mm)	肇嘉浜	无	干线不限流时,不开启雨水泵,按最大截流能力模式运行	-5.20	-7.3	干线不限流时,不开启放江泵	-1.0	-5.9
	鲁班	无	二期干线要求限流,开启1台截流泵	-3.95	-7.1	二期干线泵站要求限流,达到防汛水位时,适时开启雨水泵	0.6	-5.8
黄色(6 h、50 mm)	肇嘉浜	-7.3	根据降雨预报提前量和干线输送能力,雨前开启1~4台截流泵预降,降雨期间开启1台截流泵	-5.20	-7.3	根据降雨预报提前量和干线输送能力,雨前适时开启1~2台放江泵预降,雨中达到防汛开泵水位时,逐台增加雨水泵	-5.0	-7.3
	鲁班	-7.1		-3.95	-7.1		-5.0	-7.1
黄色(1 h、35 mm)	肇嘉浜	-7.3		-5.20	-7.3		-3.0	-5.9
	鲁班	-7.1		-3.95	-7.1		-1.0	-5.8
橙色(3 h、50 mm)	肇嘉浜	-7.3		-5.20	-7.3		-5.0	-7.3
	鲁班	-7.1		-3.95	-7.1		-5.0	-7.1
红色(3 h、100 mm)	肇嘉浜	-7.3		-5.20	-7.3		-5.0	-7.3
	鲁班	-7.1		-3.95	-7.1		-5.0	-7.1
红色(1 h、60 mm)	肇嘉浜	-7.3		-5.20	-7.3		-5.0	-7.3
	鲁班	-7.1		-3.95	-7.1		-5.0	-7.1

采用水力模型模拟验证上述方案的实际效果,各情景下系统模拟平均最高水位结果如下:在蓝色(12 h、50 mm)、黄色(6 h、50 mm)、黄色(1 h、35 mm)、橙色(3 h、50 mm)、红色(3 h、100 mm)、红色(1 h、60 mm)预警情况下,肇家浜系统的节点平均最高水位分别为1.74、2.46、2.57、2.63、3.23、3.08 m,鲁班系统的节点平均最高水位分别为1.18、2.01、1.87、1.87、3.10、2.89 m。按照上述调度方案控制,在蓝色预警情况下,系统最高水位较低,可完全保障地区防汛安全(干线限流与否对模拟结果无显著影响);在黄色和橙色预警情况下,鲁班系统没

有积水风险,肇嘉浜系统低洼地区(低于2.5 m)存在一定的积水风险;在红色预警情况下,两个系统的低洼地带(低于2.9 m)都存在一定的积水风险,需要提前做好抢险避险等措施。上述调度方案在与排水公司调度指令充分衔接后,可应用于排水泵站运行调度,并可根据调度结果,继续应用模型手段进行优化,进一步保证方案的有效性。

#### 4 结论

对标气象蓝、黄、橙、红四色预警等级,建立排水管网水力模型,通过研究污水系统外排能力、管网调蓄能力、放江临界雨强、预降水位和雨水泵开启水位

等控制因素,经优化演算制定了排水泵站运行调度应急预案。经模型演算,应急预案能够在一定程度上提高排水系统的排水安全,同时尽量减少泵站放江带来的面源污染。本研究对影响泵站应急预案制定的主要因素进行了较为全面的考虑,并且结合水力模型进行了相应因素的定量化研究,研究思路和成果可为其他地区类似排水系统应急方案的科学制定提高参考。

需要指出的是,排水模型在应用时,对部分边界条件进行了假设,同时对相关构筑物进行了适度简化,模拟结果与实际情况接近并符合工程应用的要求,而无法完全准确地反映管网真实状况。但模型依然是研究不同方案效果对比与决策的重要技术手段,建议后续加强对实测数据的收集,实现模拟结果与实测数据的动态反馈并优化,形成实测数据与模型模拟数据相融合的综合决策模式,进一步提高排水防涝工作的决策支持水平。

#### 参考文献:

- [1] 谭琼,李田,张建频,等. 调蓄池提高已建系统排水能力的水力模拟研究[J]. 给水排水,2006,32(9):34-38.
- Tan Qiong, Li Tian, Zhang Jianpin, *et al.* Modeling of applying detention tanks to increase drainage capacity for existing sewer system [J]. Water & Wastewater Engineering, 2006, 32(9): 34-38 (in Chinese).
- [2] 谭琼,李田,周永潮,等. 城市雨水管网模型参数的率定与评价[J]. 湖南大学学报:自然科学版,2008,35(1):31-35.
- Tan Qiong, Li Tian, Zhou Yongchao, *et al.* Calibration of urban stormwater drainage model [J]. Journal of Hunan University: Natural Sciences, 2008, 35(1): 31-35 (in Chinese).
- [3] 梅超,刘家宏,王浩,等. SWMM 原理解析与应用展望[J]. 水利水电技术,2017,48(5):33-42.
- Mei Chao, Liu Jiahong, Wang Hao, *et al.* Introduction of basic principle and application prospect for SWMM [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2017, 48(5): 33-42 (in Chinese).
- [4] 谭琼,李田,张彦晶. 上海市合流一期工程雨天流入水量的模型评估[J]. 同济大学学报:自然科学版,2008,36(7):951-955.
- Tan Qiong, Li Tian, Zhang Yanjing. Modeling analysis of wet-weather inflow of Shanghai's combined sewerage treatment project phase I [J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2008, 36(7): 951-955 (in Chinese).
- [5] 赵冬泉,董鲁燕,王浩正,等. 降雨径流连续模拟参数全局灵敏性分析[J]. 环境科学学报,2011,31(4):717-723.
- Zhao Dongquan, Dong Luyan, Wang Haozheng, *et al.* Global sensitivity analysis of a rainfall-runoff model using continuous simulation [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2011, 31(4): 717-723 (in Chinese).



作者简介:时珍宝(1978-),男,安徽合肥人,硕士,高级工程师,上海碧波水务设计研发中心总经理,上海市水务局科技委委员,上海市十佳青年规划师,从事水务规划与研究工作。

E-mail: shizhenbao2@163.com

收稿日期:2020-04-19