

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2022.05.007

以事件为中心的城市洪涝调度模式研究

梅超¹, 刘家宏^{1,2}, 王浩^{1,2}, 杨志勇¹, 燕文昌¹, 张东杰¹

(1. 中国水利水电科学研究院流域水循环模拟与调控国家重点实验室, 北京 100038;
2. 水利部水资源与水生态工程技术研究中心, 北京 100044)

摘要:为提升我国城市防汛排涝调度信息化水平, 创新城市洪涝调度模式, 提出了以事件为中心的城市洪涝调度模式, 阐述了其基本思路, 设计了事件生成与分类分级、调度方案和事件处置的基本流程。以D市为例, 分析了以事件为中心的城市洪涝调度模式实施案例, 结果表明, 该模式能够较好地适应城市洪涝调度的实际情况, 有效提升了城市防汛排涝调度管理水平。

关键词:城市洪涝; 以事件为中心; 调度模式; 智慧水利

中图分类号:TV122 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2022)05-0046-05

Study on an event-centered urban flood regulation mode//MEI Chao¹, LIU Jiahong^{1,2}, WANG Hao^{1,2}, YANG Zhiyong¹, YAN Wenchang¹, ZHANG Dongjie¹ (1. State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China; 2. Water Resources and Water Ecological Engineering Technology Research Center of Ministry of Water Resources, Beijing 100044, China)

Abstract: In order to improve the informatization level of urban flood control and drainage dispatching and innovate flood regulation mode in China, an event-centered urban flood regulation mode was proposed, the basic idea was expounded, and the processes of event generation and classification, regulation plan, and event handling were analyzed and designed. With city D as an example, the implementation of the event-centered urban flood regulation mode was discussed. The preliminary application shows that the mode can adapt to the actual situation of urban flood regulation and effectively improve the urban flood management.

Key words: urban flood; event-centered; regulation mode; intelligent water regulation

在气候变化和快速城市化背景下, 城市局地极端暴雨有增加趋势, 与流域性洪水、潮汐等叠加易形成城市洪涝灾害^[1-2], 严重影响城市正常运转, 造成巨大经济损失^[3-4]。2012年7月21日, 北京遭遇严重城市内涝, 城市交通几近瘫痪; 2021年7月20日, 河南郑州等城市因极端强降雨造成严重内涝积水, 导致重大人员伤亡。我国城市洪涝灾害发生范围遍及全国, 已成为威胁城市安全、制约城市发展的一种严重且频发的自然灾害^[5-6]。

城市排涝泵站、闸坝、管网和调蓄池等工程是应对城市洪涝灾害的重要基础设施, 在防治城市洪涝中发挥着重要作用^[7-8]。大量工程设施组成了复杂工程网络, 如何有效运用工程设施成为应对城市洪涝灾害的关键之一^[9]。随着水利信息化和智慧水

利建设, 许多地方建立了防汛调度和会商系统, 其中, 面向流域和水库的调度较多^[10-12], 如辽宁省建立了省级防汛指挥调度系统, 主要面向水库调度^[13]; 山东省水利防汛调度会商系统则主要面向防汛值班调度、调度监管和防汛会商^[14]; 淮河洪水预报调度系统主要面向预报调度一体化、调度决策智能化和过程可视化等^[15]; 深圳市在特大城市洪涝预警调度系统方面开展了先行试验^[8]。

城市洪涝应对中工程设施的调度依赖自动化硬件基础^[16], 推进城市洪涝调度信息化, 需要充分考虑硬件设施现状^[17], 主动进行调度模式创新, 使新建设的信息化系统能够发挥最大效能。在这方面, 张红萍等^[18]较早提出了事件驱动的防汛应急管理模式, 在北京市防汛应急管理平台上提出“由事及

基金项目: 国家自然科学基金(51739011, 52009139); 流域水循环模拟与调控国家重点实验室资助团队重点项目(SKL2020ZY03)

作者简介: 梅超(1991—), 男, 高级工程师, 博士, 主要从事城市水文与智慧水利研究。E-mail: meichao@iwhr.com

通信作者: 刘家宏(1977—), 男, 正高级工程师, 博士, 主要从事水文学及水资源研究。E-mail: liujh@iwhr.com

人”的防汛应急模式;许珂等^[19]构建了基于事件驱动的太湖流域会商与决策系统。在城市洪涝调度中,如何系统实现以事件为中心的城市洪涝调度模式,从而较好地适应当前城市洪涝灾害综合应对的迫切需求,尚需进一步探索,为此本文对以事件为中心的城市洪涝调度模式开展研究,以期为城市洪涝调度信息化系统建设和城市洪涝灾害防治提供参考。

1 以事件为中心的城市洪涝调度模式

针对我国城市防汛排涝调度现状,借鉴应急管理中的抢险模式,提出以事件为中心的城市洪涝调度模式,该模式的基本逻辑是改变以工程为中心的调度模式和“由人及事”的调度思路^[18],面向洪涝灾害事件发生直至解决的全过程,围绕城市洪涝事件这一中心,“由事及人”,进行人员、物资、工程和相关资源的综合调度,以调度方案为产出,以相关人员为执行节点,进行城市洪涝灾害事件的全过程管控。

本模式中所指的事件是与城市洪涝相关且可能产生不利影响的故障、事故或险情,主要包括水位超警戒值、城市内涝积水、设备故障和人员伤亡等。

1.1 事件生成与分类分级

事件生成是以事件为中心的城市洪涝调度模式运用的首要前提,一旦确认事件正式生成,所有调度将围绕事件的处置而进行,直到事件完全解决并解除。事件的来源是多样化的,主要可以分为自动监测、人工上报、洪涝预报、预警信息、上级下达等5种,所有事件将根据其来源被赋予数字化的属性信息并进入初始事件池,然后基于属性信息判断事件是否为有效事件。对于无效事件,可进行记录并予以终止,只有认定为有效事件的数据才会进入下一流程,即事件分类。

事件分类是对事件进一步针对性处理的依据,

根据事件的基本属性对事件分类后,基于事件分级判定标准,结合事件属性信息对事件进行自动分级。事件的分级直接关系到后续对该事件的响应程度,因此需要进行人工确认,在分级确认后,由系统对事件进行分类分级推送与处置。图1为事件生成与分类分级流程。

1.2 调度方案与事件处置

与以工程为中心的调度不同,以事件为中心的调度主要面向城市洪涝事件,结合事件的分类和分级,进行相应调度方案制定,经过会商决策后由系统分发给相应人员执行,所有资源将围绕事件进行有效配置。因此,重点是针对事件的特点,调度各种可能的资源进行事件处置,自动生成工程、人员、物资、信息共享的综合调度方案,以供决策会商参考,并下发执行,直到事件解除。

调度方案的制定需根据事件类型和等级提取事件属性信息,并获取相应调度要求。对于工程调度,主要根据事件类型,获取历史情景库中的工程调度情况,结合城市暴雨洪涝预报与推演,提出适当的调度方案;对于人员调度,主要根据事件类型及其严重程度,明确各类相关人员(如防汛抢险队伍、防汛专家、值班人员等)应对方式,形成综合的人员调度方案;对于物资调度,主要结合事件类型及其严重程度,对抢险、救灾和应急物资设备进行合并推送,形成物资调度方案。

城市洪涝应对是一项综合性任务,涉及多部门及广大公众,需要协同应对,因此信息共享显得十分重要。在综合应对时,需要根据城市洪涝事件分类与分级,对相关部门区域信息共享提出方案。在工程调度、人员调度、物资调度和信息共享等方案生成之后形成城市洪涝事件调度综合方案,提交给决策会商部门参考,根据决策会商结果决定修正或发布方案。图2为城市洪涝事件调度方案生成流程。

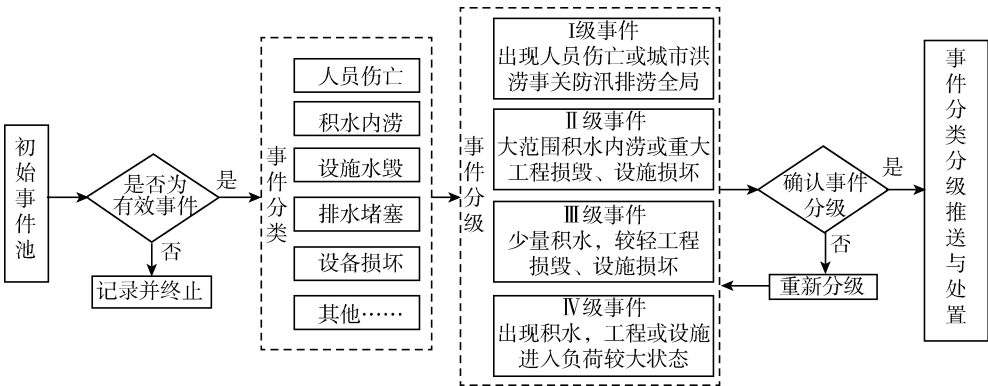


图1 城市洪涝事件生成与分类分级流程

Fig.1 Generation, classification, and grading procedure of urban flood events

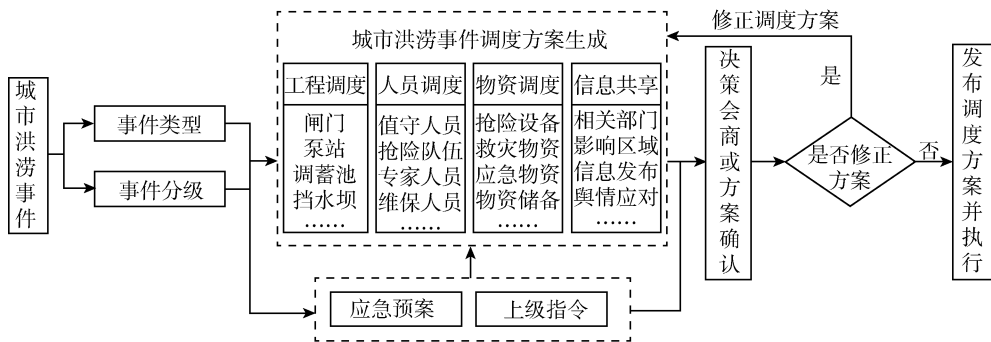


图2 城市洪涝事件调度方案生成流程

Fig.2 Generation procedure of urban flood event regulation scheme

城市洪涝事件处置的目的是使险情消除,从而使事件得以解除,处置的核心是城市洪涝调度方案的执行和反馈。在调度过程中,工程、人员、物资调度和信息共享方案通过系统调度中心下发至相应人员,由相应人员对方案进行执行,通过 App 确认方案是否执行完毕。在方案执行完毕后确认事件是否已解除,当险情消除、事件解除后,即可在事件中心结束事件;当调度方案执行完毕险情仍未消除时,说明事件还需要进一步处置,应将调度方案执行结果反馈到调度中心,修改调度方案并继续执行,直至险情得到有效处置,方可解除事件。

2 实例应用

D 市地势平坦,水系发达,多年平均降水量约 600 mm。自 2018 年以来,D 市从两方面开展城市防汛排涝能力提升。在工程措施方面,对中心城区易涝积水区和排水管网、泵站等进行了改造,实施了水系贯通工程,并拓展了蓄滞洪空间,城区排涝能力得到较大提升;在非工程措施方面,开展了 D 市智慧水务系统(I 期工程)建设,其中,在重点业务平台方面,建设了防汛排涝调度系统,初步构建了防汛排涝应对措施体系。在 D 市防汛排涝调度系统构建中,以事件为中心的城市洪涝调度模式得到了初步应用。

2.1 城市防汛排涝调度系统架构

D 市防汛排涝调度系统主要包括数据监测、预报预警和决策支持等功能模块。数据监测模块主要包括降雨、水位和流量等水情数据的监测、融合和展示;预报预警模块主要通过构建城市洪涝模型,结合历史情景方案库建设,实现对洪涝的 24 h 滚动预报和预警;决策支持模块基于以事件为中心的城市洪涝调度模式,以洪涝数据监测和预报预警为数据支撑,依托线上平台和 App 构建调度决策支持体系。D 市防汛排涝调度系统架构如图 3 所示。

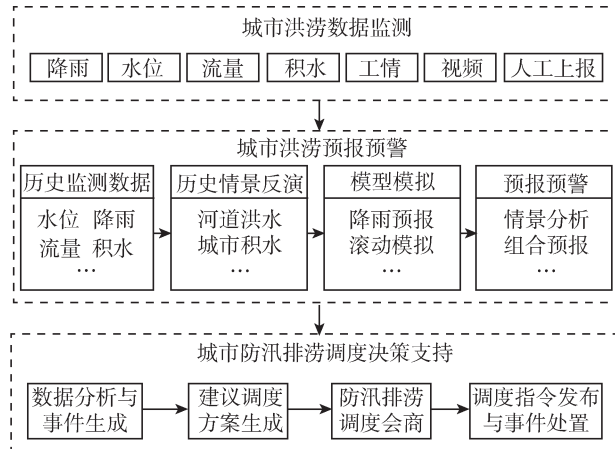


图3 D 市防汛排涝调度系统架构

Fig.3 Framework of flood regulation system of city D

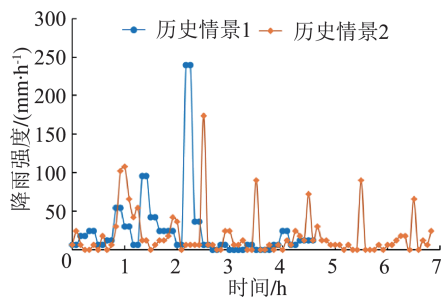
2.2 数据监测和预报预警模块建设

D 市防汛排涝调度系统中,数据监测和预报预警模块为城市洪涝事件生成提供主要数据支撑。数据监测模块主要通过接入多源动态数据,实现城市视频、降雨、积水、河流水位和流量等数据的实时监测,以及对城市防汛人员、物资等资源的统一在线展示。预报预警模块根据监测数据和预报结果进行预警^[20],结合气象预报,构建城市洪涝模型,预测未来 24 h 城市积水点和河道关键断面的水位,并以数据报表和图的形式体现预报结果。

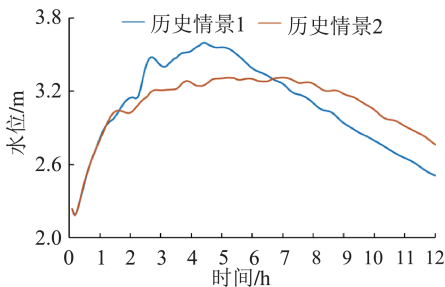
利用城市洪涝模型对 D 市历史典型暴雨洪涝事件进行模拟,构建历史情景库,如 2020 年汛期两场典型暴雨降水量分别达 117.0 mm 和 130.5 mm,给主城区防汛排涝造成较大压力,部分河段水位涨幅较大,以上两场典型降雨情景模拟结果如图 4 所示。

2.3 决策支持模块建设

决策支持模块的核心功能是对事件进行全过程调度,其功能的发挥除依赖其他功能模块的高度配合外,还需根据以事件为中心的洪涝调度模式的各环节建立调度中心,包括事件中心、事件动态、消息推送、人员调度和物资调度等子模块。防汛排涝调



(a) 降雨过程



(b) 主要河道断面水位过程

图4 典型历史暴雨洪涝情景

Fig.4 Typical historical storm and flood scenarios

度系统分为 App 端和 PC 端,App 端包含汛情查看、事件上报、指令下达和处置记录等功能,主要由现场防汛处置人员使用,负责上报汛情事件,包括事件内容、发生原因、过程跟踪和处理结果等;PC 端由防汛指挥中心负责事件管理,对从新建、复查、处理、审核到完成的事件流程进行全过程跟踪,对生成的调度方案进行会商和确认,并发布通知、下达指令,交由处置人员执行。防汛排涝调度系统 PC 端与 App 端形成了业务闭环,可实现对汛情的有效处置。

2.4 结果分析

图 5 为利用防汛排涝调度系统进行防汛演练的系统界面,根据演练预案,设置了水闸处河水无法下泄导致城市河道顶托的城市洪涝事件。该事件经上报后在事件中心进行编号,结合人工判定进行事件分类分级,分级之后生成事件调度(工程、人员、物资和信息共享)方案,决策会商确认后,方案通过消息发送交付执行。在执行过程中,对事件进行全过程追踪,并在系统中及时更新事件处置进程,直至该险情消除和事件解除。

D 市防汛排涝调度系统理顺了调度流程,实现了以事件为中心的城市洪涝调度。初步应用表明,以事件为中心的城市洪涝调度模式基于城市防汛排涝调度实际情况,能够较好地实现调度目标,提升防汛排涝调度能力。存在的主要问题包括:①城市洪涝事件分类分级存在偏差,需要人工辅助;②生成调度方案时缺乏科学参考,需要建立完备的历史方案库;③随着事件的处置和发展,事件处于动态变化过



图5 防汛调度系统界面

Fig.5 Interface of flood regulation system

程中,如果事件级别发生变化需根据实际情况修正事件级别。

3 结 语

针对一些城市洪涝应对中不具备工程设施自动化调度硬件基础的现状,本文提出了以事件为中心的城市洪涝调度模式。以 D 市为例,对以事件为中心的城市洪涝调度模式进行了初步实践,总结了实践经验与存在的问题。应用表明,该模式具有一定适用性,未来将根据信息化基础设施建设、新技术应用和系统更新情况等,在实践中对该模式加以创新发展,以更好地适应我国城市防汛排涝调度的实际情况。

参考文献:

- [1] 黄国如,罗海婉,卢鑫祥,等.城市洪涝灾害风险分析与区划方法综述[J].水资源保护,2020,36(6):1-6. (HUANG Guoru, LUO Haiwan, LU Xinxiang, et al. Study on risk analysis and zoning method of urban flood disaster [J]. Water Resources Protection, 2020, 36(6): 1-6. (in Chinese))
- [2] 徐宗学,任梅芳,陈浩.我国沿海城市洪潮组合风险分析[J].水资源保护,2021,37(2):10-14. (XU Zongxue, REN Meifang, CHEN Hao. Analysis on urban flooding risk caused by flood tide combination in coastal cities [J]. Water Resources Protection, 2021, 37(2): 10-14. (in Chinese))
- [3] 张建云,王银堂,刘翠善,等.中国城市洪涝及防治标准讨论[J].水力发电学报,2017,36(1):1-6. (ZHANG Jianyun, WANG Yintang, LIU Cuishan, et al. Discussion on the standards of urban flood and waterlogging prevention in China [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2017, 36(1): 1-6. (in Chinese))
- [4] 徐宗学,陈浩,任梅芳,等.中国城市洪涝致灾机理与风险评估研究进展[J].水科学进展,2020,31(5):713-724. (XU Zongxue, CHEN Hao, REN Meifang, et al. Progress on disaster mechanism and risk assessment of urban flood/waterlogging disasters in China [J]. Advances

- in Water Science,2020,31(5):713-724. (in Chinese))
- [5] 张建云,王银堂,贺瑞敏,等. 中国城市洪涝问题及成因分析[J]. 水科学进展,2016,27(4):485-491. (ZHANG Jianyun,WANG Yintang,HE Ruimin,et al. Discussion on the urban flood and waterlogging and causes analysis in China[J]. Advances in Water Science,2016,27(4):485-491. (in Chinese))
- [6] 王浩. 新形势下我国城市洪涝防治的几点认识[J]. 中国防汛抗旱,2019,29(8):1-2. (WANG Hao. Thoughts on urban flood prevention and control in China under the new situation [J]. China Flood & Drought Management,2019,29(8):1-2. (in Chinese))
- [7] 郝晓丽,穆杰,喻海军,等. 城市洪涝试验研究进展[J]. 水利水电科技进展,2021,41(1):80-86. (HAO Xiaoli, MU Jie, YU Haijun, et al. Advances in experimental research of urban flooding[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources,2021,41(1):80-86. (in Chinese))
- [8] 韩刚,王常效,刘业森,等. 深圳市洪涝预警调度系统建设方案及实现[J]. 中国防汛抗旱,2020,30(11):14-19. (HAN Gang,WANG Changxiao,LIU Yesen,et al. Construction and realization of warning and operation system of flood and waterlogging in Shenzhen City [J]. China Flood & Drought Management,2020,30(11):14-19. (in Chinese))
- [9] 张念强,李娜,王艳艳,等. 我国城市洪涝灾害应急管理框架探讨[J]. 中国防汛抗旱,2020,30(7):5-9. (ZHANG Nianqiang, LI Na, WANG Yanyan, et al. Discussion on the framework of urban flood hazard emergency management in China [J]. China Flood & Drought Management,2020,30(7):5-9. (in Chinese))
- [10] 丁斌,姚保顺,杜文. 黄河防洪调度综合决策会商支持系统建设[J]. 水资源保护,2017,33(6):55-59. (DING Bin, YAO Baoshun, DU Wen. Construction of comprehensive decision and consultation support system for flood control operation in Yellow River [J]. Water Resources Protection,2017,33(6):55-59. (in Chinese))
- [11] 朱跃龙,郭学俊,王志坚,等. 省级防汛指挥系统模型研究[J]. 河海大学学报(自然科学版),2000,28(6):70-73. (ZHU Yuelong, GUO Xuejun, WANG Zhijian, et al. Study on flood control command system model for a province [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences),2000,28(6):70-73. (in Chinese))
- [12] 顾巍巍,张卫国,张焱,等. 台风实时信息防汛服务云平台设计与应用[J]. 水资源保护,2019,35(2):85-89. (GU Weiwei,ZHANG Weiguang,ZHANG Yan,et al. Design and application of cloud platform for real time flood control information of typhoon [J]. Water Resources Protection,2019,35(2):85-89. (in Chinese))
- [13] 李禄. 辽宁省防汛指挥调度系统技术研究及实现[J]. 水利规划与设计,2020(3):1-6. (LI Lu. Research and implementation of technology of flood control command and dispatching system in Liaoning Province [J]. Water Resources Planning and Design,2020(3):1-6. (in Chinese))
- [14] 庄磊,葛召华. 山东省水利防汛调度会商系统构建及应用[J]. 水利信息化,2021(3):91-94. (ZHUANG Lei, GE Zhaohua. Construction and application of water conservancy flood control dispatching and consultation system in Shandong Province [J]. Water Resources Informatization,2021(3):91-94. (in Chinese))
- [15] 王凯,钱名开,徐时进,等. 淮河洪水预报调度系统建设及在抗流域大洪水的应用[J]. 水利信息化,2021(2):1-5. (WANG Kai, QIAN Mingkai, XU Shijin, et al. Construction and application of flood forecasting and dispatching system in resisting large flood in Huai River Basin [J]. Water Resources Informatization,2021(2):1-5. (in Chinese))
- [16] 田雨,蒋云钟,杨明祥. 智慧水务建设的基础及发展战略研究[J]. 中国水利,2014(20):14-17. (TIAN Yu, JIANG Yunzhong, YANG Mingxiang. Foundation and development strategy for wise water affair management [J]. China Water Resources,2014(20):14-17. (in Chinese))
- [17] 王建华,赵红莉,冶运涛. 城市智能水网系统解析与关键支撑技术[J]. 水利水电技术,2019,50(8):37-44. (WANG Jianhua, ZHAO Hongli, YE Yuntao. Systematic analysis and key supporting technologies of urban smart water grid [J]. Water Resources and Hydropower Engineering,2019,50(8):37-44. (in Chinese))
- [18] 张红萍,刘舒,刘洪伟. 事件驱动的防汛应急管理模式研究[J]. 中国水利水电科学研究院学报,2010,8(4):271-274. (ZHANG Hongping, LIU Shu, LIU Hongwei. Event-driven flood emergency management [J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research,2010,8(4):271-274. (in Chinese))
- [19] 许珂,马媛,王超,等. 基于事件驱动的太湖流域会商与决策系统设计与实现[J]. 中国农村水利水电,2021(5):165-169. (XU Ke, MA Yuan, WANG Chao, et al. Design and implementation of event-driven decision consultation system for Taihu Basin [J]. China Rural Water and Hydropower,2021(5):165-169. (in Chinese))
- [20] 燕文昌,刘家宏,梅超. 典型台风暴雨情景下洪涝过程模拟分析[J]. 水利水电技术,2021,52(10):12-23. (YAN Wenchang, LIU Jiahong, MEI Chao, et al. Simulation and analysis of flood process under typical typhoon rainstorm scenarios [J]. Water Resources and Hydropower Engineering,2021,52(10):12-23. (in Chinese))

(收稿日期:2021-05-27 编辑:施业)