

姜仁贵, 王小杰, 解建仓, 等. 城市内涝应急预案管理研究与应用[J]. 灾害学, 2018, 33(2): 146–150. [JIANG Rengui, WANG Xiaojie, XIE Jiancang, et al. Research on the urban waterlogging emergency preplan management[J]. Journal of Catastrophology, 2018, 33(2): 146–150. doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2018.02.025.]

城市内涝应急预案管理研究与应用^{*}

姜仁贵, 王小杰, 解建仓, 张永进, 梁骥超

(西安理工大学 省部共建西北旱区生态水利国家重点实验室, 陕西 西安 710048)

摘 要: 变化环境下城市暴雨频发、广发, 内涝灾害损失严重, “去城市看海”成为居民口头禅, 该问题受到广泛关注, 是当前研究热点。针对当前城市内涝应急事件管理中存在的信息不畅和联动不足等问题, 以陕西省西安市为研究区域, 开展城市内涝应急预案管理研究。基于综合集成思想, 采用模块化和流程图方法实现城市内涝应急预案的数字化、流程化、知识化与可视化, 以城市内涝应急应对流程为主线, 基于综合集成平台绘制组件化应急预案, 基于平台进行城市内涝应急研讨和应对情景模拟。通过将城市内涝应急预案转变为可实际操作的应急应对方案, 指导城市防洪减灾与应急管理工作。应用实例表明: 基于模块化和流程图的应急预案可为城市内涝提供高效的应急管理决策支持, 具有可视可信、可重用、人机交互等优点。研究结果可为变化环境下城市内涝应急应对和防洪减灾提供技术支撑, 提升城市防洪减灾能力, 降低内涝灾害损失, 具有较好应用推广价值。

关键词: 城市内涝; 应急预案; 突发事件; 应急应对; 变化环境

中图分类号: TV122; X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2018)02–0146–05

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2018.02.025

突发事件因其突发性、难以预测性和高危害等特征给经济发展与社会和谐稳定带来严重的影响^[1], 尤其是全球气候变化和人类活动加剧大背景下, 如何对突发事件进行应急应对日益受到关注。21世纪以来, 全球范围内发生了“9.11事件”(2001年), “SARS事件”(2003年), 印度洋地震海啸灾难(2004年)等一系列重大突发事件, 掀起了应急管理研究热潮^[2–3]。我国2003年发生“SARS事件”后, 突发事件应急管理受到国家高度重视, 2007年11月1日施行《中华人民共和国突发事件应对法》, 推行“一案三制”, 即应急预案, 应急管理体制、机制和法制, 从预防与应急准备、监测与预警、应急处置与救援、事后恢复与重建等方面为突发事件应对做出要求, 为突发事件应急管理提供法律支撑, 自此, 以“一案三制”为核心的应急管理体系基本形成^[4]。应急预案是应急管理的主线, 对应急管理体系建设具有重要作用。据《百科全书》定义, 预案指预备方案, 即根据预测, 对潜在或可能发生的安全事故的类别和影响程度事先制定的应急处置方案。《礼记·中庸》中

“凡事预则立, 不预则废”的“预”即在做事情之前应该事先做好计划或准备, 可见预案对于应急事件应对具有关键性作用。我国于2004年制定了突发事件应急预案体系, 2016年1月8日实施《国家突发公共事件总体应急预案》, 建立了“纵向到底、横向到边”的全国应急预案框架体系, 并根据突发事件发生过程、性质和机理, 将突发事件划分为自然灾害、事故灾害、公共卫生事件和社会安全事件4类, 本文研究的城市内涝属于自然灾害范畴^[1]。

城市作为人口和经济发展集聚地, 受气候变化和城镇化进程加快影响, 近年来城市内涝灾害事件突发、频发、广发, 部分城市甚至每年均发生内涝事件, “逢雨就涝”成了新常态^[5]。据住房与城乡建设部统计, 2008年以来, 全国60%以上城市发生过不同程度的内涝灾害, 其中, 最大积水深度超过50 mm的城市占到近75%, 超过15 mm的占到90%以上, 积水时间超过半小时的占到约80%, 近60个城市积水超过12 h, 140多个城市一年以内发生内涝超过3次。2017年至今, 广

^{*} 收稿日期: 2017–10–02 修回日期: 2017–11–16

基金项目: 国家重点研发计划课题(2016YFC0401409); 国家自然科学基金资助项目(51509201, 51679188); 陕西省自然科学基金基础研究基金(2018JM5031)

第一作者简介: 姜仁贵(1985–), 男, 江西玉山人, 副教授, 博士, 主要从事城市防洪减灾与应急管理的研究。

E-mail: jrengui@163.com.

通讯作者: 解建仓(1963–), 男, 陕西眉县人, 教授, 博导, 主要从事水文水资源和水利信息化的研究。

E-mail: jcxie@xaut.edu.cn.

西柳州市(5·8)、云南昆明市(7·20)、陕西榆林市(7·23)、湖北咸宁市(8·13)等多地发生强降雨和内涝事件,城市居民人身财产安全受到严重威胁。以榆林市为例,橙色预警暴雨造成榆阳区等多地出现严重内涝。城市饱受内涝之苦,加强城市内涝应急管理迫在眉睫。城市内涝应急预案是城市内涝应急管理的计划性文件,通过完善不同地区和不同部门的内涝应急预案体系,对内涝事件形成、扩散和过程演化等进行监测、预警、响应和处置,强化预测和预警,加强预案演练,提高政府对城市内涝事件监测预警、应急响应与处置能力,最大限度减少城市内涝事件损失及其衍生灾害^[6-7]。

针对应急预案管理问题,国内外诸多学者开展研究,并取得一系列成果^[7-9],吴晓涛^[10]系统分析了美国突发事件应急行动预案基本特征,可为我国修订和完善应急预案体系提供借鉴。邓婕等^[11]提出一种基于有向图相似方法的应急响应程序模块化方法,通过将应急预案响应过程规范化,并固化为不同的模块,为应急预案的快速调整和应急响应提供途径,案例计算结果表明:该方法可快速实现应急响应程序的重构与功能组合。余昇等^[12]提出一种基于在线方法的突发事件应急预案启动策略,并以太湖蓝藻危机事件为例进行实例计算,结果表明:采用在线和竞争分析方法可为确定应急预案启动时间提供参考。目前针对城市内涝预案管理相关研究相对较少。本文以城市内涝事件为研究对象,开展城市内涝应急预案管理研究。分析城市内涝应急预案现状及其特征,构建城市内涝应急预案模型,对应急预案进行数字化描述和流程图绘制,基于综合集成平台开展城市内涝应急预案研讨和情景模拟,为城市内涝应急管理快速提供可供实际操作的应对方案,快速响应,提升城市防洪减灾能力,降低内涝损失。将构建的模型应用到陕西省西安市,验证文中提出的城市内涝应急预案管理模型的有效性和可推广性。

1 模型构建

1.1 城市内涝应急预案模型

采用综合集成思想,将知识管理应用到城市内涝应急预案管理过程中,建立基于情景重构的城市内涝应急预案模型,对应急预案管理过程中涉及到的知识进行系统化的梳理、整合、共享、应用,采用图的方式将知识进行关联,通过研讨和学习,实现应急事件应对知识整合、动态调整与持续改进,提升城市内涝应急管理能力和^[13-14]。采用情景分析和综合集成方法,针对城市内涝特征,提出城市内涝应急预案模型,如图1所示,模型结构包括:①预案数字化处理。在国家制定的标准化预案模板之上以城市内涝为情景主题,收集与之相关的历史数据,实时监测数据和成果数

据等,对数据进行预处理形成构建城市内涝预案的初始数据,通过数字化处理形成数字预案。②预案组件化开发。将构建预案的所有数据、信息、模型与方法视为组件,对预案进行组件化开发,使得数字预案形成松散耦合的结构,并将开发的组件存储到组件库中,用于同类预案的开发。③预案情景重构。根据城市内涝特征从历史情景库中选择相似的情景进行重构,在最短时间内重构出与当前事件最为相近的应对预案,采用知识可视化方式对其进行组件化开发,形成不同内涝情景组合下情景预案。④情景预案评价。根据内涝特征将历史情景应对策略融入到情景预案中,对情景预案进行综合集成研讨,从数据、信息到知识和决策,定性研讨与定量分析相结合,结合专家的思维和经验对情景预案进行修正和优化,循环执行直到生成较优直至最优的方案,以此作为城市内涝应急应对实施预案。与此同时,城市内涝特征情景主题和实施预案分别存入到情景集和预案库中,为类似城市内涝的情景重构和应急预案的快速组织提供基础的情景和预案资源。

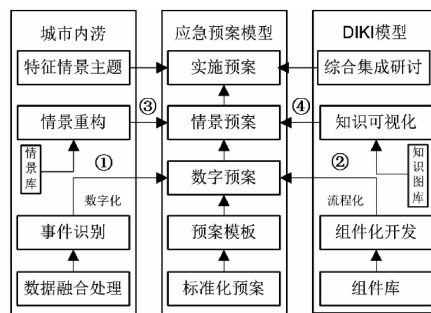


图1 城市内涝应急预案模型

1.2 城市内涝应急预案处理

对城市内涝应急预案进行结构化、信息化和智能化处理,实现应急预案的可操作、可视化、可量化,提高城市内涝应急预案管理效率和效能^[15]。处理流程包括:①文本预案的结构化处理。对城市内涝事件信息、分级,组织机构、职责,监测预警,应急响应、资源等数据资源进行结构化处理,采用组件方式开发相对独立和关联的程序模块,通过Web Service进行封装,实现程序模块的可重用。②分析城市内涝应急预案流程,绘制应急预案流程图。根据事件特征与演化过程,将数字化预案进行流程化描述,将信息接收、信息传达、预案启动、预警级别判断、响应级别确定等视为关键节点,不同节点间的信息流向用箭线进行关联,绘制应急预案流程图,采用知识管理方法开发可自动分析执行和动态修正的预案流程模块。③实现城市内涝事件信息资源和流程图的关联。将内涝预案结构要素模块,事件基础信息、演化信息、应急资源、预测预警和监测监控等信息资源与内涝预案流程图程序模块进行关联,形成高度仿真的城市内涝应急预案。④开发城市内涝应急预案管理平台。综合集成同类

内涝事件典型案例和应急知识,开发城市内涝应急预案知识库和案例库,根据内涝事件演化机制制定应急策略和处置方案的推理规则,对应急响应过程中关键节点应急处置方案进行智能化分析和评估。

1.3 城市内涝应急管理流程化

在对城市内涝应急预案处理基础上,按照城市内涝应急流程,将应急管理过程进行流程化描述。按照流程组织数据、信息、模型和方法,形成可视化的逻辑编排,实现具有组件化、可视化、松散耦合等特征,流程化的内涝应急应对流程。采用知识管理理论和方法,基于综合集成平台,通过知识图关联与城市内涝管理相关信息,对与内涝应急应对相关的数据、信息、模型与方法进行组织管理,通过对情景主题和数据之间关系的描述形成信息,采用“焦点”(方框)定制组件,通过“链接”(箭头)数据流描述不同信息源之间的层次逻辑关系,结合历史情景应对预案,在知识层和决策过程中形成不同情景下的应对方案,根据预警信息确定是否进入到应对状态,针对不同的城市内涝级别确定应急响应级别。基于综合集成平台协同工作环境,不同应急管理主体根据城市内涝情景主题个性化定制若干情景预案,从自身理解和需求出发,形成不同情景组合下的情景预案,并以知识图的方式存储到知识图库中,通过对不同情景预案的研讨,最终形成特定情景主题(暴雨内涝等级)下的实施方案,供决策者针对特定暴雨内涝等级进行快速响应,制定城市防洪减灾防御方案,最大限度降低洪灾损失。

1.4 城市内涝应急预案研讨

通过建立预警信息与人防、物防、技防相结合的城市内涝应急预案管理体系,提升强降雨天气下汛情、险情与灾情的快速响应及应对能力,最大限度避免或减少城市内涝灾害损失。结合暴雨和内涝预警信息,将城市内涝应急预案进行数字化描述和流程图绘制,建立组件化应急预案,通过综合集成研讨,优化城市内涝应对策略与后期处置方案,多部门联动最大限度减轻灾害损失。采用综合集成方法组织与城市内涝相关的数据资料、模型库和方法库等,基于综合集成平台搭建流程化且易于会商和调整反馈的组件化应急预案,为城市内涝快速响应和科学应对提供决策支持。按照预案流程组织数据、模型和方法,形成可视化的逻辑编排,建立具有组件化、可视化、松散耦合等特征的知识图。基于知识图建立流程化情景预案开展综合集成会商研讨,从数据、信息到知识和决策,定性研讨与定量分析相结合,通过会商研讨对城市内涝事件应对进行充分论证,对情景预案进行修正和优化,生成最优应对预案。研讨过程如图2所示:①首先,由应急管理会商研讨发起人(例如,城市防汛办主任)确定会商研讨情景主题,并将该情景主题下的情景预案进行知识可视化描述,专家根据以往应对经验和实际情

境,在知识图上添加或修改事先建立的数据资源和模型方法等。②围绕情景主题,专家结合自身对城市内涝应对的理解与经验,将个人知识转化为知识图可以表达的模型和方法组件,建立模型、方法与情景主题之间的链接,用以描述专家的思维和应用的组织流程。③会商研讨过程中,各专家在提出各自对不同情景组合下情景预案观点的同时与其他专家进行会商研讨,对情景预案进行优化。④根据专家针对特定情景主题的研讨意见对情景预案进行修改,并确定该情景主题最优应对预案。通过在线会商研讨与交互,获得城市内涝的实施预案,支撑城市内涝的快速应对。

2 应用实例

2.1 研究区概况

结合前期数据资源积累和调研情况,本文以陕西省西安市为研究区域开展应用实例研究。西安市位于黄河流域关中平原中部,北临渭河,南依秦岭,主城区位于渭河平原二级阶梯上,面积415 km²。西安市属大陆性季风气候,夏季多雨,年降雨量在522~719 mm之间,集中在汛期5~9月,以局地突发性暴雨和连阴雨为主,近年汛期局地短时强降雨频发,可预报时效短,极易造成城区内涝灾害。近20多年来西安城市化发展迅速,城市化水平由1990年的37%提高到2016年的近70%,城市硬化面积逐年增加,城市“热岛效应”和“雨岛效应”显现,使得西安市内涝事件进一步加剧。例如,2016年7月24日的一场暴雨,直接导致全市多处内涝,小寨十字积水严重,地铁站进水关闭,造成严重经济损失。

通过对西安市内涝事件特征和城区市政建设状况实地调研,市政部门在城市主城区筛选出55处道路低洼易涝点。城市防汛办在城区防汛关键部位布设积水点监控摄像头,设置提示牌以及绘制警戒线等方式提供警示信息,积累丰富的易涝点积水资料。2016年对二环以内26座下穿通道及立交桥积水警戒线进行重新规划,设置积水提示牌、水位标尺和电子提示牌,实时了解道路积水情况。在立交桥、人形天桥、地下通道和道路积水点安装运行电子监控设备263处,对市政设施运行、道路积水情况进行实时监控,市政设施监控指挥中心可通过“全球眼”实时收集洪涝信息,掌握积水情况,进行防汛指挥调度,多部门信息对接与共享,上述可为城区内涝监测预警以及应急响应提供数据来源和技术支撑。

2.2 模型应用

在前期开展的针对近年来西安市内涝事件特征分析基础上,采用知识管理方法,基于综合集成平台,开发西安市内涝应急预案管理平台,为西安市内涝事件应急管理提供决策支持,提升西安市防洪减灾能力,降低西安市内涝灾害损失和

次生衍生灾害事件。图 4a 为基于平台的西安城区内涝模块化应急预案, 在实现西安市城区内涝应急预案数字化基础上, 基于综合集成平台绘制西安市城区内涝应急预案知识图, 将传统的文本预案转化成模块化的组件化应急预案, 采用知识图关联和应急预案相关的数据、信息等, 用户可以根据实际情况在平台上对应急预案进行可视查询和动态调整。

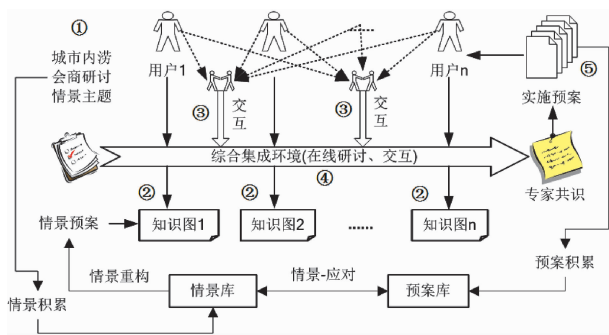


图2 城市内涝应急预案研讨

图 4b 所示为基于平台的西安市城区内涝应急响应流程, 遵循“预估-预测-预警-预案”的集合应对方法^[16], 时间尺度上, 从长期预估到中短期的预测, 再到近实时的预警和实时的预案, 逐步推进, 空间尺度上, 逐步细化。流程主要包括: ① 预估预测。通过对政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 第五次评估报告 (AR5) 发布的国际耦合模式比较计划 (CMIP5) 进行将尺度处理和全球尺度气

候异常因子的分析预估未来城市可能发生的极端降雨事件, 考虑中尺度大气环流和小尺度城市特征的影响进行中短期的城市局地降雨预测。② 监测预警。通过构建北斗卫星、遥感、地面监测站等天地空一体化的城市暴雨内涝监测体系进行全天候的城市暴雨内涝动态监测, 开展气象、水利、市政公用等多部门的信息共享。根据监测信息, 考虑不同量级降雨强度对社会生产和生活的影响程度, 划分暴雨预警等级 (红、橙、黄、蓝), 根据暴雨等级分析内涝灾害, 制定不同内涝等级对应的防御方案。③ 应急响应。根据降雨发生范围、危害程度和预警等级, 确定城市内涝应急响应等级 (I、II、III、IV), 明确各单位职责, 开展信息报送、指挥调度、群众转移和安置、抢险与救灾、安全防护和医疗救护等应急响应工作, 直至响应结束。④ 灾害重建。遵循以人为本原则, 开展灾后救助、水毁工程修复、灾后调查和总结等工作。

3 讨论与结论

(1) 突发事件因其突发性、高危害性等特征, 近年来受到高度重视, 我国提出的以“一案三制”为核心的应急管理体系为各类突发事件的应急管理和应急响应提供了科学依据和法律支撑, 然而, 纵观过去发生的一系列突发事件应对实际情况, 仍存在着体制机制和法制不够完善、预案难以有效支撑快速响应等问题。本文提出的基于综合集

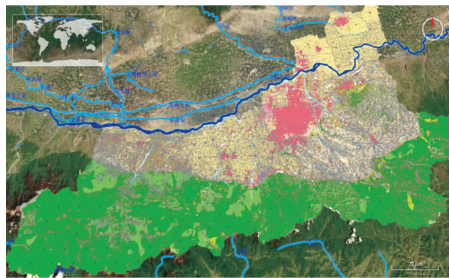


图3 研究区概况及主城区易涝点分布



(a) 西安市城区内涝应急预案



(b) 西安市城区内涝应急响应流程

图4 西安市内涝应急预案管理平台

成平台的城市内涝应急预案模型在实现传统预案数字化描述和流程图绘制基础上,提高了内涝事件的应急响应速度和应急应对效率,可为其余应急事件应对提供参考。

(2)城市内涝事件因其影响因素复杂、潜在的危害严重,在应急管理过程中,容易受外界环境变化影响,本文构建的城市内涝应急预案管理平台采用先进的信息技术,在对海量多源数据资源进行高效组织管理的基础上,以知识图的方式组织内涝应急管理流程,采用组件的方式调用数据、信息等,基于综合集成平台可视可信、可重用的优势,强调在线交互和动态调整,以此来适应外界变化环境,实现对城市内涝事件实时的应急应对,提高城市防洪减灾水平,减低城市内涝灾害损失,具有重要意义和应用推广价值。

参考文献:

- [1] 丁一汇,朱定真. 中国自然灾害要览[M]. 北京:北京大学出版社,2013.
- [2] 张超,裴玉起,邱华. 国内外数字化应急预案技术发展现状与趋势[J]. 中国安全生产科学技术,2010,6(5):154-158.
- [3] Waugh WL, Streib G. Collaboration and leadership for effective emergency management[J]. Public Administration Review, 2006, 66(s1):131-140.
- [4] 钟开斌. “一案三制”:中国应急管理体系建设的基本框架[J]. 南京社会科学,2009(11):77-83.
- [5] 姜仁贵,韩浩,解建仓,等. 变化环境下城市内涝应对新模式研究[J]. 灾害学,2017,32(3):12-16.
- [6] 余纳新,韩传峰. 基于层次分析法的城市灾害应急管理指标分析[J]. 灾害学,2013,28(3):152-157.
- [7] 姜仁贵,韩浩,解建仓,等. 变化环境下城市内涝研究进展[J]. 水资源与水工程学报,2016,27(3):11-17.
- [8] Haque C E. Risk Assessment, Emergency Preparedness and Response to Hazards: The Case of the 1997 Red River Valley Flood, Canada[J]. Natural Hazards, 2000, 21(2):225-245.
- [9] Rodrigues AS, Santos MA, Santos AP, et al. Dam-break flood emergency management system[J]. Water Resources Management, 2002, 16(6):489-503.
- [10] 吴晓涛. 美国突发事件应急行动预案的基本特征分析[J]. 灾害学,2013,28(3):123-127.
- [11] 邓婕,池宏,许保光. 基于有向图相似的应急响应程序模块化问题研究[J]. 中国管理科学,2017(4):115-123.
- [12] 余昇,徐寅峰,董玉成,等. 基于在线方法的蓝藻危机应急预案启动策略[J]. 系统工程理论与实践,2011,31(5):914-919.
- [13] Rus I, Lindvall M. Knowledge management in software engineering[J]. IEEE Software, 2002, 19(3):26-38.
- [14] 王兴鹏. 基于知识管理的企业应急预案管理体系研究[J]. 情报杂志,2015,34(10):91-96.
- [15] 李尧远. 应急预案管理[M]. 北京:北京大学出版社,2015.
- [16] 姜仁贵,解建仓. 城市内涝的集合应对体系[J]. 水资源保护,2017,33(1):17-17.

Research on the Urban Waterlogging Emergency Preplan Management

JIANG Rengui, WANG Xiaojie, XIE Jiancang, ZHANG Yongjin and LIANG Jichao

(Stat Key Laboratory of Eco-hydraulics in Northwest Arid Region of China,

Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: The urban rainstorm has become more frequency and wider implication under changing environment, lead to serious disaster loss of urban waterlogging, which has attached widely attention and it is one of the currently research hot spot. To resolve the problems of inadequate information and coordination in the currently urban waterlogging emergency management, the paper investigate the urban waterlogging emergency management, taking Xi'an in Shaanxi province as a example. The urban waterlogging emergency plan was digitized, processed, knowledge and visualized using modular and flow chart methods. Taking the urban waterlogging emergency and response process as the principal line, the emergency plan was modularized and plotted using the meta synthetic platform, based on which the emergency discussion and response scenario simulation. The urban waterlogging emergency plan was then transformed to a practical emergency response plan, to provide guidance for urban waterlogging control, disaster reduction and emergency management. The case study showed that the modular and flow chart based emergency plan provide effective emergency management decision support for urban waterlogging, has advantages of visualization, reliable, reusable, and human-computer interaction. The study provides technical support for urban waterlogging emergency response, flood control and disaster mitigation under changing environment, to improve the capacity of urban flood control and mitigation, and reduce the urban waterlogging disaster losses. It thus has a good application and promotion value.

Key words: urban waterlogging; emergency preplan; emergency; emergency response; changing environment