

DOI: 10.19797/j.cnki.1000-0852.20220157

洪涝灾害风险评估与分区研究进展

李国一¹, 刘家宏^{1,2,3}, 邵薇薇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;

3. 水利部数字孪生流域重点实验室, 北京 100038)

摘要: 风险评估作为一种非工程性防洪措施, 是城市洪涝风险管理的首要工作, 精确、高效地把握洪灾过程等特征可以为防灾减灾工作提供科学依据。对城市洪涝风险评估与分区的概念和内容进行系统梳理, 常用的风险评估方法有数理统计法、不确定性分析法、遥感影像评估法、指标体系评估法、情景模拟评估法; 风险分区常用方法有阈值法、经验公式法和物理机制法。论述城市洪涝风险评估与分区常用方法的应用范围、优缺点及其发展前景。

关键词: 城市洪涝灾害; 风险分析; 风险评估; 城市化

中图分类号: TU992; TV12; P33

文献标识码: A

文章编号: 1000-0852(2023)04-0015-06

1 中国典型城市洪涝灾害事件

中国幅员辽阔, 地处欧亚大陆最东侧, 常年多受大陆性季风气候影响, 年内降雨分布不均, 暴雨洪涝灾害事件时有发生, 大约2/3的国土面积有着不同类型和不同危害程度的洪水灾害^[1]。我国降雨空间分布上为南多北少, 东多西少, 时间分布上呈现夏季多, 冬季少的特点, 同时, 我国洪涝灾害的分布与降雨的时空分布高度一致^[2]。根据中国水旱灾害公报发布的洪涝灾害数据, 如图1所示, 因洪灾造成的受灾人口和死亡人数有递减趋势, 直接经济损失有逐步增高的趋势, 一方面说明我国的防灾减灾体系不断完善, 预警预报系统更趋合理, 使得受灾人口和死亡人数呈下降趋势; 另一方面, 随着我国经济不断发展, 城市化进程不断加快, 财产密度增大, 一旦遭遇洪涝灾害, 其经济损失巨大。

我国城市洪涝灾害发生范围广泛, 全国各地均有所报道。例如, 2021年7月17—22日, 在西太平洋副热带高压和台风“烟花”共同作用下, 河南省遭遇历史罕见的强降雨事件, 河南多地出现特大暴雨,

此次降雨主要集中于西部、北部和中部地区。其中郑州市降水量最大, 7月20日16—17时的1 h内, 郑州市降水量高达201.9 mm, 创历史之最^[3-4]。2012年7月21日—22日, 中国中部地区普降暴雨, 其中北京遭遇特大暴雨袭击, 全市平均日降雨量190 mm, 城区平均215 mm^[5]。2007年7月18日17时—20时, 济南市遭遇历史上罕见的特大暴雨袭击, 造成重大人员伤亡和财产损失^[6]市内交通一度处于瘫痪状态。这些洪涝事件说明, 当前我国城市洪涝灾害具有复杂性、严重性和多发性等特征。通过分析中国典型城市洪涝灾害情况可知, 我国极易遭受暴雨洪涝袭击。改革开放后, 城市化快速发展, 城市洪涝灾害更为严重, “城市看海”现象在中国各大城市屡次发生^[7]。城市人口与社会经济财产密集, 城市洪涝灾害已成为威胁我国公共安全的突出问题, 是制约我国经济发展的瓶颈。

本文主要目标是系统梳理当前城市洪涝风险评估与分区的主要方法、适用范围和优缺点, 建立完善的城市洪涝风险评估框架图, 以为城市洪涝防灾减灾工作提供科学参考。

收稿日期: 2022-04-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(51739011, 51979285); 流域水循环模拟与调控国家重点实验室基金资助项目(SK12022TS11)

作者简介: 李国一(1992—), 男, 山东潍坊人, 博士研究生, 主要研究方向为城市水文。E-mail: 1969687116@qq.com

通信作者: 刘家宏(1977—), 男, 湖北钟祥人, 正高级工程师, 博士, 主要研究方向为水文与水资源。E-mail: liujh@iwhr.com

2 城市洪涝风险评估的内涵

风险,指某种特定危险事件发生的可能性与其后果的组合。风险由危险发生的可能性和该危险事件产生的后果两大因素组成。不同学科对风险一词的解释都赋予本学科的含义,使得其内涵不断丰富,主要分为以下几类:①一定概率条件下的损失;②该灾害风险的致灾因子出现的概率;③通过对致灾因子的研究,同时重视人类在其中产生的作用,将灾害风险定义为致灾因子和脆弱性的组合^[8]。现阶段对城市洪涝风险的评估多是基于系统理论的定义来进行的,如风险三角形理论^[9],包括危险性、暴露性和脆弱性的综合表征。危险性,洪水灾害的规模主要由自然因素和物理因素决定,包括降雨强度、地表形态、地下水位、坡度、土壤入渗率、不透水覆盖面积和涨潮(沿海地区)等因素;暴露性,指洪涝灾害发生时,可能受影响的资产、人口和服务等的分布情况;脆弱性,这一概念起源于对自然灾害的研究^[10],在洪涝风险评估中则是指洪涝灾害发生时,承载体可能损坏的程度,脆弱性程度是由一系列自然、社会、文化、经济和制度因素决定^[11],可利用灾损曲线或历史灾情数据来确定。同时,有研究者认为防灾减灾能力也是城市洪涝风险评估的重要组成部分,在其研究工作中考虑了城市防灾减灾能力的影响^[12-14],其中防灾减灾能力通常考虑消防救援、医疗救援和应急庇护场所等因素的影响。国内外部分城市洪涝风险评估研究成果如表1所示。

表1 城市洪涝风险评估研究成果(部分)

Table1 Urban flood risk assessment research results (Partial)

作者	研究区	方法/模型	年度
黄国如 ^[14]	广州东濠涌流域	InfoWorks ICM	2019
朱呈浩 ^[15]	西安沣西新城	SWMM	2018
李智 ^[16]	徐家营沟流域	SWMM	2019
刘家宏 ^[17]	厦门岛	TELEMAC-2D	2019
王兆礼 ^[18]	广州市长湴地铁站附近	TELEMAC2D和SWMM	2021
Zihui Li ^[19]	武汉市	GIS空间分析技术	2021
柴苑苑 ^[20]	深圳市	GIS空间分析技术	2020
王成坤 ^[21]	东莞中心城区	GIS和MIKE FLOOD	2019
吴海春 ^[22]	海南海甸岛	PCSWMM	2016
Xinxiang Lei ^[23]	韩国首尔	NNETc和NNETr	2021

3 城市洪涝风险评估及分区方法

洪涝风险评估是城市防洪减灾的一种非工程性措施,可以及时、准确地把握洪涝灾害的多方面特征。在进行风险评估时一般按风险识别-风险分析-风险评估三个步骤进行^[24]。风险识别:发现、描述洪涝风险的过程,包括风险因子、风险原因及潜在后果的识别;风险分析:在风险识别的基础上确定洪涝灾害风险的分布和大小,包括致灾因子分析、易损性分析和暴露性分析^[2,25],通过风险分析,可为城市风险评估和防洪减灾提供科学参考;风险评估:即量化测评风险事件带来的影响或损失的可能程度。城市洪涝风险评估框架如图1所示。

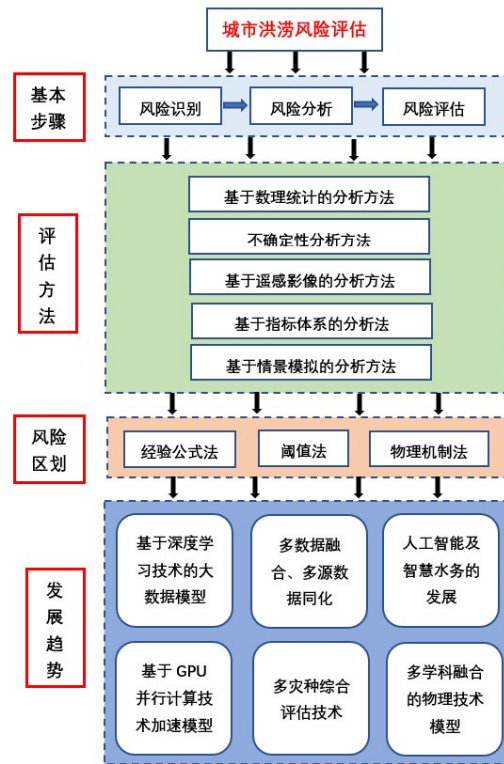


图1 城市洪涝风险评估框架

Fig.1 Urban flood risk assessment framework

3.1 城市洪涝风险评估方法

关于城市洪涝风险评估的研究,国内外较常用的评估方法主要有数理统计法、不确定性分析方法、基于遥感影像的分析方法、指标体系法和基于情景模拟的方法。根据研究区基础数据资料质量和评估结果的准确性选择其中一种或综合几种评估方法进行综合评估。

(1)数理统计法。在洪涝风险评估中,主要以在研究区收集到的洪涝灾害强度和损失数据为基础,构

建相应的数学模型,实现洪涝灾害风险评估。此方法原理清晰明了,结构简单,在获得研究区域充足翔实的灾情数据后,即可建立数理统计模型进行洪涝分析评估;数理统计方法只有保证历史灾情数据的准确性,才能得到科学可信的洪涝分析结果。基于数理统计方法进行城市洪涝分析的流程如图2所示;王兆卫^[26]通过构建城市洪涝灾害风险模型评估了衢州市洪涝风险水平,为衢州市城市防洪减灾提供科学参考;王静静等^[27]将东南沿海经济发达的四省作为研究对象,统计1951—2000共计50年暴雨洪涝资料,对受灾分布图进行叠加分析。

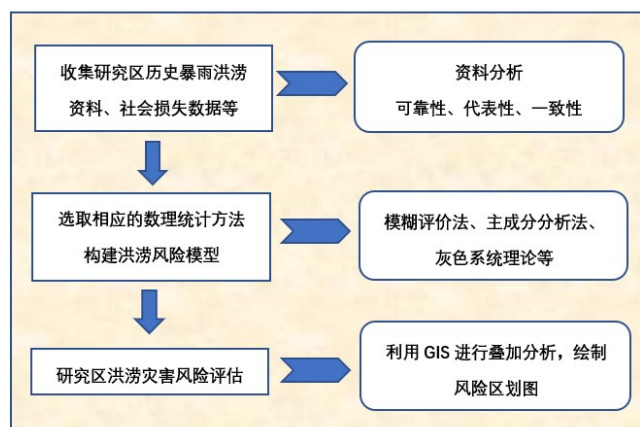


图2 基于数理统计方法的洪涝风险评估框架

Fig.2 Flood risk assessment framework based on mathematical and statistics approach

(2)不确定性分析方法。不确定性分析方法有灰色系统方法、模糊数学方法、人工神经网络方法等。王高丹等^[28]基于BP神经网络进行训练,对大湾区典型城市进行洪涝风险评估,其结果表明BP神经网络等机器学习方法在洪涝灾害风险评估方面应用效果较好;黄国如等^[29]利用ArcGIS技术和模糊综合评价法,对深圳市进行城市暴雨洪涝灾害风险评估;胡波等^[30]利用模糊综合评价法、AHP熵权法和GIS技术建立宁波市暴雨洪涝灾害风险区划模型;罗培等^[31]基于GIS和模糊评价法对重庆市洪涝灾害风险进行评估;冯文强等^[32]基于PCSWMM构建水文水动力耦合模型,对海甸岛进行城市洪涝仿真模拟,采用TOPSIS和模糊C聚类统计分析方法进行内涝风险区划。

(3)基于遥感影像的分析方法。卫星遥感监测技术始于20世纪60年代^[33]。基于遥感监测的分析方法可获取到灾害发生时的动态信息,在时效性和动态性方面有很大的优势;该方法对遥感监测技术的分辨率要求高,提高洪涝监测的精度和时效性是此方法的迫

切需求。李加林等^[34]从洪涝灾害遥感监测的数据与方法、基于遥感的洪涝灾害分析与评估两方面对已有研究进行分析和总结;徐宗学等^[35]对基于遥感监测技术的洪涝灾害分析与评估进行梳理综述,并将该方法在实际案例中进行应用和总结;范一大等^[36]总结了灾害遥感理论研究进展,阐述了中国灾害遥感系统的发展历程;汪权方等^[37]基于视觉注意机制的遥感识别方法对长江中游2016年夏季洪灾进行遥感监测,并对洪涝灾害进行分析评估。基于遥感影像分析的城市洪涝风险评估方法如图3所示。

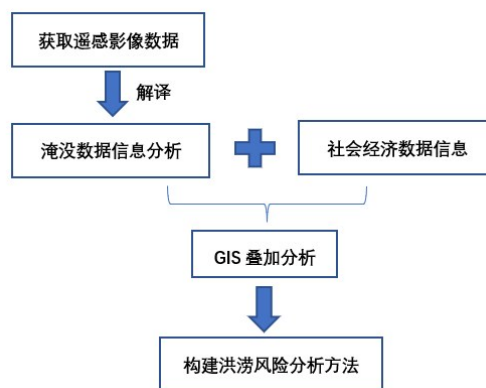


图3 基于遥感影像的洪涝风险评估框架

Fig.3 Framework for flood risk assessment based on remote sensing imagery

(4)指标体系法。基于指标体系的城市洪涝风险评估方法指从危险性、暴露性和易损性等方面构建研究区域洪涝损失指标体系,其中指标是该评估方法的核心,应着重于灾害风险指标的选取、优化和权重的计算^[38]。指标体系法是灾害风险分析中应用最广泛的方法,其优点是数据获取简便易得,建模结构简单易懂;缺点是不能模拟灾害风险的动态性和不确定性,评估过程缺乏灵活性,不能调整评估结果,从而导致分析结果不准确。黄国如等^[39]选取降雨、高程、坡度、土壤类型、人口密度和土地利用类型等洪涝风险评价指标体系,对清远市瑶安小流域山洪灾害进行风险评价;张骞^[40]利用GIS技术,选取降水、地形、高程、坡度、河网密度、交通路网、水系、人口、耕地等因子,建立北京地区山洪灾害风险指标体系,最终得到研究区域风险分布图。基于指标体系法的城市洪涝风险评估流程如图4所示。

(5)基于情景模拟的方法。基于情景模拟的方法是指通过构建模对研究区洪涝过程进行模拟,分析未来可能发生的城市洪涝灾害。进行城市洪涝仿真模拟,可获取到研究区淹没水深、流速、淹没面积、淹没

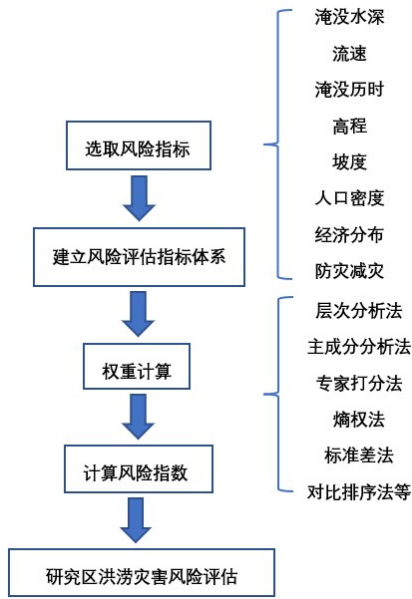


图4 基于指标体系的洪涝风险评估框架

Fig.4 Framework for flood risk assessment based on an indicator system

历时等信息,能够动态显示整个洪涝风险过程,在城市洪涝风险分析中应用广泛^[41]。该方法能直观显示整个洪涝灾害的空间分布和随时间的演变过程,实现洪涝灾害动态评估;缺点是需要研究区高精度的地理空间信息资料,否则会出现模拟偏差;同时在大尺度空间上进行模拟,建模工作量大,对计算要求较高。基于情景模拟方法的城市洪涝风险评估流程如图5所示。

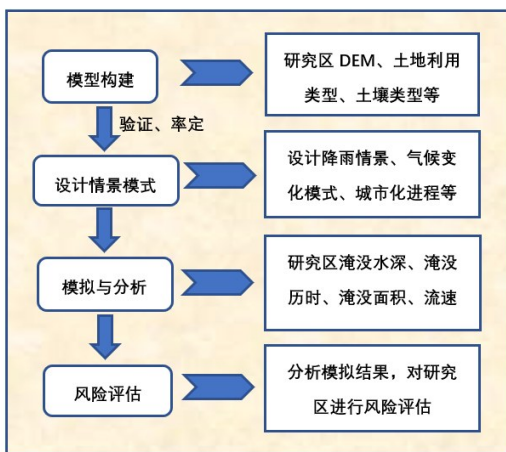


图5 基于情景模拟法的洪涝风险评估框架

Fig.5 Flood risk assessment framework based on scenario simulation method

3.2 城市洪涝风险分区

在洪涝灾害风险评估过程中,常采用风险分区的方法对洪涝灾害评估结果进行划分,用不同风险等级

来表示可能受到洪涝灾害的影响程度。

阈值法:该方法通常选取积水深度、积水历时和流速作为主要指标,通过对积水深度、积水历时和流速的不同组合水平建立判断准则。《城镇洪涝防治技术规范》中建议,当积水深<15 cm时基本不会产生危害;当15 cm<积水深<30 cm时,会对行人和交通产生影响,一般不会造成人员伤亡;当积水深>30 cm时,对交通、建筑会产生影响,人员伤亡事故发生概率增大;李智等^[16]基于SWMM对徐家沟流域进行风险评估分析,以洪水深度0.2 m为临界值,认为超过它会破坏正常的人口活动和运输能力。

经验公式法:在洪灾过程中,积水深度和流速往往会对人(车辆或建筑)产生损害,故有研究者在积水深度和流速之间建立公式方程,根据计算结果进行洪涝风险分区。宋瑞宁等^[42]借鉴英国洪水风险评价方法,对基于行人安全的评估主要考虑积水深度和流速来计算危险性指数,所采用的计算如式(1)所示。

$$R = d \cdot (v + n) + f \tag{1}$$

式中: R 为风险等级; d 为积水深度, m; v 为流速, m/s; n 为常数,通常取0.5; f 为水深危害参数, $d \leq 0.15$ m时, $f = 0.5$; $d > 0.15$ m时, $f = 1.0$ 。

物理机制法:在洪涝灾害发生时,应把人员的生命安全放在首位,在积水深和高速水流的作用下,人体的受力机制是非常复杂的(包括水深、流速的大小,行人的体重、年龄、鞋子的类型,路面状况等),基于物理机制对行人在洪水中的稳定性进行分析计算,从而对研究区进行分析评估。

4 结语

(1)基于指标体系的评估方法在城市洪涝风险评估中应用广泛。然而风险指标的选取缺乏统一的标准,目前研究者常用的风险指标有:降雨、高程、坡度、土壤类型、土地利用类型、地面糙率、人口密度、地区经济生产总值、救援(消防、医院、应急庇护点)位置、淹没水深、淹没历时、淹没范围、流速、距离河流的距离、监测预警能力、防洪排涝能力、宣传教育力度、政策制度等。

(2)城市洪涝风险评估方法有:主要有数理统计法、不确定性分析方法、基于遥感影像的分析方法、指标体系法和基于情景模拟的方法,不同学者根据研究需要均开展大量研究。选择何种风险评估框架,需要综合考虑研究区域特点、数据可获取性、模型准确性、

计算效率等因素。

(3)洪涝风险等级划分标准不统一。划分洪涝风险等级旨在反映研究区域内洪涝风险的大小,为防灾减灾提供参考依据。采用不同的分区方法,得到的风险区划等级存在差异,原因在于不同方法考虑的洪涝风险因子不同。

参考文献:

- [1] 田国珍,刘新立,王平,等.中国洪水灾害风险区划及其成因分析[J].灾害学,2006(2):1-6.
- [2] 李超超,田军仓,申若竹.洪涝灾害风险评估研究进展[J].灾害学,2020,35(3):131-136.
- [3] 刘家宏,骆卓然,张永祥,等.城市化对河南省极端降水空间分布的影响[J].水资源保护,2022,38(1):100-105.
- [4] 叶明华,陈康.城市大灾风险:气象特征、损失状况及管理对策优化:以郑州“7·20”特大暴雨和台风“烟花”为例[J].上海保险,2021(8):18-22.
- [5] 杨默远,潘兴瑶,邸苏闯.北京“7·20”特大暴雨的时空多要素分析[J].水文,2018,38(2):85-92.
- [6] 刁秀广,车军辉,张少林,等.济南7·18特大暴雨多普勒雷达回波特征分析[C]//中国气象学会2007年年会天气预报预警和影响评估技术分会场论文集,2007:2831-2837.
- [7] 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.
- [8] 殷杰,尹占娥,许世远,等.灾害风险理论与风险管理方法研究[J].灾害学,2009,24(2):7-11,15.
- [9] CRICHTON D. The risk triangle [C]//Ingleton J. (Ed.): Natural Disaster Management. London: Tudor Rose, 1999: 102-103.
- [10] 李鹤,张平宇,程叶青.脆弱性的概念及其评价方法[J].地理科学进展,2008(2):18-25.
- [11] KUMAR M D, BASSI N, KUMAR S, KAR D. Storm water management plan of Cuttack city, Odisha [R]. Institute for Resource Analysis and Policy, Hyderabad, India, 2020.
- [12] 邵蕊,邵薇薇,苏鑫等.基于TELEMAC-2D模型分析不同洪涝情景对城市应急响应时间的影响[J].清华大学学报(自然科学版),2022,62(1):60-69.
- [13] 刘家福,张柏.暴雨洪灾风险评估研究进展[J].地理科学,2015,35(3):346-351.
- [14] 黄国如,罗海婉,陈文杰,等.广州东濠涌流域城市洪涝灾害情景模拟与风险评估[J].水科学进展,2019,30(5):643-652.
- [15] 朱呈浩,夏军强,陈倩,等.基于SWMM模型的城市洪涝过程模拟及风险评估[J].灾害学,2018,33(2):224-230.
- [16] 李智,刘玉菲,任星芮男,等.基于SWMM的城市洪涝风险管理研究[J].水利水电技术,2019,50(11):35-42.
- [17] 刘家宏,李泽锦,梅超,等.基于TELEMAC-2D的不同设计暴雨下厦门岛城市内涝特征分析[J].科学通报,2019,64(19):2055-2066.
- [18] 王兆礼,陈昱宏,赖成光.基于TELEMAC-2D和SWMM模型的城市内涝数值模拟[J].水资源保护,2022,38(1):117-124.
- [19] LI Z, SONG K, PENG L. Flood risk assessment under land use and climate change in Wuhan city of the Yangtze river basin, China [J]. Land, 2021, 10(8):878-878.
- [20] 柴苑苑,何艳虎,刘嘉仪.基于链式结构的深圳市洪涝综合风险评估[J].中国农村水利水电,2020(3):155-159,165.
- [21] 王成坤,黄纪萍,曾胜,等.基于积水特征和暴露脆弱性的城市内涝风险评估[J].中国给水排水,2019,35(5):125-130.
- [22] 吴海春,黄国如.基于PCSWMM模型的城市内涝风险评估[J].水资源保护,2016,32(5):11-16.
- [23] LEI X, CHEN W, PANAH M, et al. Urban flood modeling using deep-learning approaches in Seoul, South Korea[J]. Journal of Hydrology, 2021, 601.
- [24] GB/T 27921—2011《风险管理-风险评估技术》[S].
- [25] 罗海婉.城市洪涝灾害风险评估方法及其应用研究[D].广州:华南理工大学,2020.
- [26] 王兆卫.基于模糊评价法的城市洪涝灾害评估研究[D].南京:东南大学,2017.
- [27] 王静静,刘敏,权瑞松,等.中国东南沿海地区暴雨洪涝风险分区及评价[J].华北水利水电学院学报,2010,31(1):14-16.
- [28] 王高丹,潘瑾林,彭乐文,等.基于BP神经网络的大湾区典型城市洪涝风险评估[C]//第十一届防汛抗旱信息化论坛论文集,2021:430-437.
- [29] 黄国如,李碧琦.基于模糊综合评价的深圳市暴雨洪涝风险评估[J].水资源与水工程学报,2021,32(1):1-6.
- [30] 胡波,丁焯毅,何利德,等.基于模糊综合评价的宁波暴雨洪涝灾害风险区划[J].暴雨灾害,2014,33(4):380-385.
- [31] 罗培,张天儒,杜军.基于GIS和模糊评价法的重庆洪涝灾害风险区划[J].西华师范大学学报(自然科学版),2007(2):165-171.
- [32] 冯文强,徐奎,郭祺忠,等.城市内涝风险区划集成模型及其敏感性研究[J].水力发电学报,2021,40(5):56-67.
- [33] 周成虎.洪涝灾害遥感监测研究[J].地理研究,1993(2):63-68.
- [34] 李加林,曹罗丹,浦瑞良.洪涝灾害遥感监测评估研究综述[J].水利学报,2014,45(3):253-260.
- [35] 徐宗学,程涛,洪思扬,等.遥感技术在城市洪涝模拟中的应用进展[J].科学通报,2018,63(21):2156-2166.
- [36] 范一大,吴玮,王薇,等.中国灾害遥感研究进展[J].遥感学报,2016,20(5):1170-1184.
- [37] 汪权方,张雨,汪倩倩,等.基于视觉注意机制的洪涝淹没区遥感识别方法[J].农业工程学报,2019,35(22):296-304.
- [38] 尹占娥.自然灾害风险理论与方法研究[J].上海师范大学学报(自然科学版),2012,41(1):99-103,111.
- [39] 黄国如,洗卓雁,成国栋,等.基于GIS的清远市瑶安小流域山洪灾害风险评价[J].水电能源科学,2015,33(6):43-47.
- [40] 张骞.基于GIS的北京地区山洪灾害风险区划研究[D].北京:首都师范大学,2014.
- [41] 陈军飞,丁佳敏,邓梦华.城市雨洪灾害风险评估及管理研究进展[J].灾害学,2020,35(2):154-159,166.
- [42] 宋瑞宁,任梦瑶,闫攀,等.基于行人安全的城市内涝风险等级评估[J].给水排水,2021,57(2):40-45.

Research Progress in Flood Disaster Risk Assessment and Zoning

LI Guoyi¹, LIU Jiahong^{1,2,3}, SHAO Weiwei¹

(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*; 3. *Key Laboratory of River Basin Digital Twinning of Ministry of Water Resources, Beijing 100038, China*)

Abstract: This paper has systematically introduced the flood disasters in China's typical cities in recent years, which showed that the flood disasters brought serious consequences. As a non-engineering flood control measure, risk assessment is the primary work of urban flood risk management. Accurately and efficiently grasping the characteristics of flood process can provide scientific basis for disaster prevention and mitigation. The concept and content of urban flood risk assessment and zoning were systematically sorted out. The commonly used risk assessment methods include mathematical statistics, uncertainty analysis, remote sensing image assessment, index system assessment and scenario simulation assessment. The common methods of risk partition include threshold method, empirical formula method and physical mechanism method. The application range, advantages and disadvantages of the common methods of urban flood risk assessment and zoning were discussed.

Keywords: urban flood disaster; risk analysis; risk assessment; urbanization

(上接第14页)

Review on Hydrodynamic Modelling of Flash Floods

HUANG Wei¹, YUE Zhiyuan², SUN Nan³, MA Meihong⁴

(1. *Changjiang River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China*;
2. *Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, Wuhan 430010, China*;
3. *College of Civil Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China*;
4. *College of Geography and Environment Science, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China*)

Abstract: Flash flood is sudden, destructive, and difficult to predict, and the assessment is one of the key scientific problems in the hydrology and hydrodynamics. Enhanced knowledge about generation and evolution processes of flash floods is important to accurate flash flood prediction. Flash flood commonly occurs in mountainous and hilly areas in which gauged data is often rare or simply unavailable. Full hydrodynamic modelling incorporates more physical mechanisms, which can describe the details of flows over irregular terrain and reduce the uncertainty of prediction. And thus the need for historical hydrology information is decreased. The main purpose of this article were to (1) compare the advantages and disadvantages of applying hydrological methods and hydrodynamic methods to simulate flash floods; (2) comb the key technologies related to the flash flood dynamic model, especially in combination with the characteristics of the flash flood irregular slope flow, and then summarize the processing methods of terrain source terms and resistance source terms in the discrete shallow water dynamic control equations; (3) systematically explore the flash flood key physical influencing factors (e.g., rainfall, infiltration, resistance), as well as their action laws and quantitative methods; (4) look forward to the development direction of the model's accuracy, computational efficiency, and application fields.

Keywords: flash floods; hydrodynamic modelling; physical impact factor; research advances