

周轶, 陈柳彤, 黄靖玲, 等. 典型降雨情景下北京市十渡镇山洪灾害风险评估 [J]. 灾害学, 2021, 36(2): 97–102.
[ZHOU Yi, CHEN Liutong, HUANG Jingling, et al. Flash Flood Risk Assessment in Shidu, Beijing under the Typical Rainfall Scenario [J]. Journal of Catastrophology, 2021, 36(2): 97–102. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2021.02.018.]

典型降雨情景下北京市十渡镇山洪灾害风险评估^{*}

周 轶¹, 陈柳彤^{2,3}, 黄靖玲^{2,3}, 张 鹏¹, 吴爱枝¹, 许映军^{2,3,4}

(1. 北京市应急管理科学技术研究院, 102617; 2. 环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875; 3. 北京师范大学地理科学学部减灾与应急管理研究院, 北京 100875; 4. 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875)

摘要: 基于北京市十渡镇“7.21”特大暴雨山洪事件淹没特征展开模拟, 获得了适用于研究区的水文水动力模型参数, 进而模拟了研究区 20 a、50 a、100 a 一遇降雨情景下的山洪危险性特征, 并根据灾损模型计算了相应情景下的山洪灾害经济损失。结果显示 50 a 一遇降雨情景下的淹没范围比 20 a 一遇增加了 2.2 km², 并且由于受河道排水能力影响, 100 a 一遇与 50 a 一遇淹没范围相似, 主要增加的淹没深度区间为 0.5~1.5 m。经济损失主要位于河道两侧, 20 a、50 a、100 a 一遇情景下经济损失分别为 14.69 亿元、18.16 亿元以及 20.40 亿元。淹没特征模拟值与历史实际值具有较强相关性。情景风险评估结果可为类似十渡镇的山地旅游小镇防洪减灾提供参考依据。

关键词: 山洪灾害; 水文水动力模型; 重现期; 经济损失; 北京市十渡镇

中图分类号: X43; X915.5; TV877 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2021)03-0097-06

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2021.03.018

山洪灾害风险评估主要基于流域内地形地势、气候、植被等自然要素分析, 在灾前评估灾害危险程度, 以及研究区内社会经济环境、人类生产生活以及自然资源等方面的风险表达方式。降雨是引发山洪最直接的外动力^[3], 气候变化背景下, 中国由于特殊的地形地势等特征极端降雨事件不断增加, 山洪灾害危险性也随之增加。据国家防洪抗旱总指挥部山洪灾害评价调查成果显示新中国成立以来共发生山洪灾害事件 53 235 起, 累计死亡人数 3 970 万人, 直接经济损失 172 633.59 亿元。近几十年来山洪灾害风险评估已逐渐成为中国自然灾害研究的重点和热点之一^[4-8]。随着新时代社会主要矛盾的转变, 中国旅游人次逐年增长, 更多山水景区被开发, 导致景区山洪灾害风险也在不断上升^[9-12]。

数值模型模拟是当前山洪灾害危险性研究的重要手段之一。根据降水、下垫面、土壤特征等山洪灾害发生的机理背景条件, 在水文水动力模型中优化设定流域适用参数从而获取研究区内山洪淹没特征。原文林等^[13]将裴河流域自然和人为

因素通过 GPD 分布进行耦合, 构建了基于极端降水概率分布的山洪灾害预警模型, 并用于预报。刘晓冉等^[14]结合重庆市气象、生态和社会经济数据, 构建了山洪灾害风险评估模型, 并运用 GIS 完成山洪灾害风险区划。吴秀兰等^[15]利用 FloodArea 模型动态模拟新疆依格孜牙河流域暴雨洪灾淹没情况, 并结合研究区人口分布、GDP、土地利用类型完成了该流域暴雨洪涝风险区划。胡国华等^[16]基于 HEC-HMS 开展了湘江流域的山洪预报研究, 获得的洪峰流量和洪量相对误差均小于 20%。周小军等^[14]运用 FLO-2D 模拟对不同暴雨重现周期下核桃沟支沟和主沟泥石流发生过程。初祁等^[17]应用 MIKE 11 和 MIKE 21 分别构建了北京市大兴区天堂河下游地区一维和二维水动力学模型, 采用 DHI MIKE FLOOD 耦合模拟了不同暴雨重现期下该地区的淹没特性。

在国民经济水平不断提高的前提下, 京郊地区的短线旅游成为国民消费理念的一部分^[18]。拒马河是北京市五大水系之一, 该流域由于特殊的地形地势易爆发山洪灾害。拒马河流域内的十渡镇自然环境良好, 交通便利, 旅游设施完善, 是

* 收稿日期: 2020-10-30 修回日期: 2020-12-29

基金项目: 北京市应急管理局安全应急关键技术项目“拒马河流域特大山洪灾害风险评估研究”; 北京市科技新星计划项目(Z191100001119029); 北京市青年骨干个人项目(2018742603767G301); 国家重点研发计划项目“山洪灾害动态预警与风险评估平台构建”(2017YFC1502505)

第一作者简介: 周轶(1986-), 女, 汉族, 山西朔州人, 博士, 高级工程师, 主要从事安全应急大数据、灾害风险评估等研究。

E-mail: zhouyi_0502@sina.com

通讯作者: 许映军(1977-), 男, 汉族, 江苏南通人, 博士, 副教授, 主要从事海岸带灾害与资源等研究. E-mail: xyj@bnu.edu.cn

周边居民短线旅游的主要目的地，这也使得旅游人口常暴露在区域山洪灾害风险中。本文将 FLO - 2D 和 HEC - HMS 水文水动力模型进行耦合模拟出三种典型降雨情景下研究区山洪淹没特征，并结合经济损失结果完成山洪灾害风险评估。研究展开十渡镇山洪灾害风险评估可为该地防洪减灾工作提供参考。

1 研究区概况

北京市房山区十渡镇地处太行山东北端、华北平原西北山区，位于 $115^{\circ}3' \sim 115^{\circ}8'E$ 、 $39^{\circ}5' \sim 39^{\circ}6'N$ 之间（图 1），东与张坊镇为邻，南与河北省涞水县接壤，北与蒲洼乡、霞云岭乡为邻，总面积约 $189.29 km^2$ ^[19-20]。其属于全山区镇，地形崎岖，以山地地貌为主，地势西北高、东南低，海拔高差大，镇域内海拔最高点为 1 210.8 m；属温带大陆性季风气候区，季节性差别较大，年平均气温 $11.2^{\circ}C$ ，年平均降水量 687.5 mm，降水年内分配不均匀，主要集中于夏季（6—9 月）^[21]。十渡镇下辖 21 个行政村，截止 2017 年辖区内总人口约 11 250 人，其中常住人口以老年人口为主。该镇自然风景独特，旅游业发展繁荣，全年可接待游客数百万人次，全镇财政收入 90% 以上来自于旅游业。

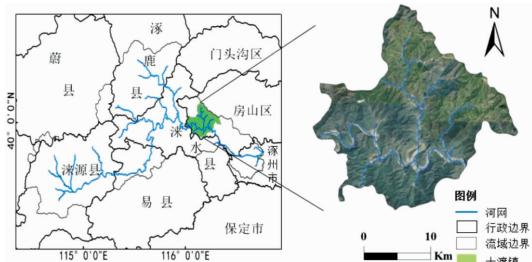


图 1 十渡镇区位

拒马河是海河流域大清河水系北支的主要支流，河道长约 59.4 km。因其属于山区性河流，源短流急，河道比降大，流域内极易发生山洪灾害^[22]。同时，该流域地处典型的喀斯特地貌区，岩石稳定性差，山洪发生时破坏力较强^[23-24]。近年来旅游景区的持续开发建设，以及非法采砂等人类活动，进一步加剧了该流域山洪灾害风险^[25]。十渡镇是北京境内拒马河主要流经地，受山洪灾害影响较严重。2012 年“7.21”特大暴雨山洪灾害事件致使十渡镇 2 300 户、8 200 人以及 $6.450 km^2$ 农作物受灾。十渡景区受灾严重，区内共转移安置被困游客、村民及职工 8 000 余人^[26]；多项服务设施被损坏，如水上娱乐项目被冲毁关闭、拒马乐园河岸两侧的房屋等设施几乎全部损毁、大型缆车电路受损停运等^[27]。“7.21”特大暴雨山洪灾害事件对十渡镇社会经济发展造成了严重影响^[26-28]。近年来，该镇凭借着得天独厚的旅游资源大力发展旅游业，已成为

北京近郊的专业旅游镇。旅游业也早已成为其主导产业，但山洪灾害严重威胁着区域可持续发展。

2 数据与方法

2.1 数据来源

(1) 气象数据。十渡镇内缺少用于观测的气象站与水文站，因此研究根据“7.21”特大暴雨特性，通过文献查询^[29-30]获得研究区附近 8 个气象站点过程降水量数据（图 2），运用反距离权重（Inverse Distance Weight, IDW）插值得到各个雨量站在流域中的空间权重。“7.21”特大暴雨为十渡镇暴雨山洪灾害爆发提供了充沛的雨量条件。降雨量作为模型总水量的输入在构建山洪危险性评价模型中作用至关重要。

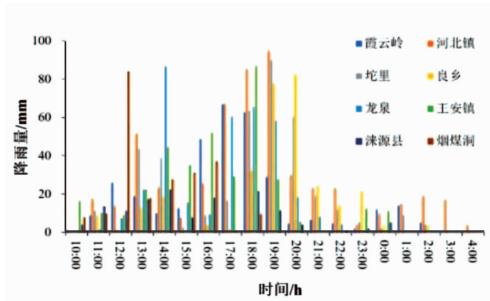


图 2 “7.21”特大暴雨事件过程降雨量

(2) 地理信息数据。数字高程数据源于中国科学院 (<http://www.gscloud.cn>) 基于校正偏压 ASTER GDEM 的数字高程模型 (DEM)，空间分辨率为 30 m。用于模型构建的土壤类型数据，来源于美国粮农组织发布的世界土壤数据库 (HWSD)。区域土地利用类型则通过 Landsat 8 卫星遥感影像（空间分辨率为 30 m）解译获取。

(3) 历史灾情数据。历史灾情数据主要通过文献查阅和实地调研获得。

2.2 研究方法

2.2.1 不同重现期暴雨量设计

研究根据北京市暴雨公式^[31]计算不同重现期下的暴雨量：

$$H_p = K_p \times \bar{H} \quad (1)$$

式中： \bar{H} 为多年平均最大 24 h 暴雨量 (mm)， K_p 为模比系数， H_p 为某一频率 24 h 设计暴雨量 (mm)。

2.2.2 山洪灾害危险性评价

综合考虑地形、水系、土壤、植被、人类活动对山洪灾害孕灾环境的综合影响，基于 HEC - HMS^[32] (Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System) 与 FLO - 2D^[33] 水文水动力模型耦合，对比“7.21”特大暴雨山洪灾害事件的淹没特征模拟结果与实际结果，得到适用于十渡镇的模型参数，进而开展不同降雨情景下十渡镇山洪灾害危险性评价。

HEC-HMS 水文模型被广泛运用于模拟降雨径流过程^[32], 它是基于流域划分结果可以计算各子流域的产流量, 从而推算出整个流域流量值。研究将地形高程数据、土壤分类、土地利用类型数据输入 ArcGIS 水文分析模块对十渡镇流域进行划分, 并将已知站点数据运用 IDW 进行插值获取区域降雨数据。将流域划分、降雨数据等结果导入 HEC-HMS 模型中, 进而获得十渡镇“7.21”特大暴雨山洪灾害事件洪水流量过程。

FLO-2D 可用于模拟平原、小溪、冲积扇、河道或其他人工河道等表面洪水和泥石流动力模型^[33]。将十渡镇洪水流量过程导入 FLO-2D 中进行河道洪水演算, 就可以输出“7.21”特大暴雨山洪灾害事件中十渡镇淹没特征。结合实际灾情数据对“7.21”特大暴雨山洪灾害事件模拟结果进行验证, 评价山洪危险性。

2.2.3 不同山洪灾害情景下的经济损失评估

山洪灾害脆弱性评价中常以建筑物和财产损失作为衡量指标^[34]。中国 2 058 个山洪灾害防治县中, 房屋结构主要为钢混结构、砖混结构和砖木结构, 全国房屋脆弱性的取值范围为 0.42 ~ 0.87, 平均值为 0.66^[35]。对于特定流域山洪灾害, 常选用淹没深度来建立脆弱性模型^[36~45], 从而量化山洪对房屋的影响(图 3)。

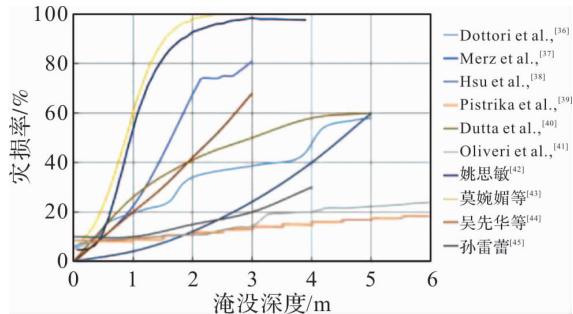


图 3 淹没深度与房屋受损率关系图

2000 年加拿大学者基于 1997 年洪水事件所涉及 186 个索赔案例, 通过房屋价值评估而构建脆弱性曲线^[46], 可见房屋价值也是评价洪水灾害承灾体损失的重要依据, 但是房屋实际受损数据缺失导致房屋损失率难以计算。研究采用通过检验的脆弱性曲线对十渡镇不同情景下的经济损失进行评估, 具体基于房屋室内财产损失建立适用于京津冀地区的房屋灾损模型^[36]:

$$L = \frac{D^{3.31}}{D^{3.31} + 0.8463} \quad (2)$$

式中: D 为水深, $0 < D$; L 为灾损率, $0 \leq L \leq 1$ 。

3 结果

3.1 不同重现期降水量设计

“7.21”特大暴雨事件 1 h 雨量普遍达到 40 ~ 80 mm, 降水量中心自西南向东北移动^[26]。利用暴雨公式分别计算得到十渡镇 20 a 一遇($P=5\%$)、

50 a 一遇($P=2\%$)和 100 a 一遇($P=1\%$)情景下的暴雨量(表 1)。为得到不同重现期下过程降雨量数据, 研究根据“7.21”特大暴雨事件特征对十渡镇 20 a, 50 a, 100 a 一遇情景降雨量进行过程分配, 降雨集中在 13:00 ~ 20:00, 7 月 22 日 00:00 开始逐步停止。

表 1 不同重现期降雨量

重现期/a	20	50	100
降雨量/mm	250	320	370

3.2 山洪淹没特征模拟

图 4 为数值模型模拟十渡镇“7.21”特大暴雨山洪事件的淹没特征结果。通过将实地调研获取的淹没数据与模拟结果进行对比(表 2), 两组数据相关系数 $R = 0.98$, $RMSE = 0.81$ 。据此确认模型模拟所选参数值可用于十渡镇不同降雨情景下的淹没特征模拟。

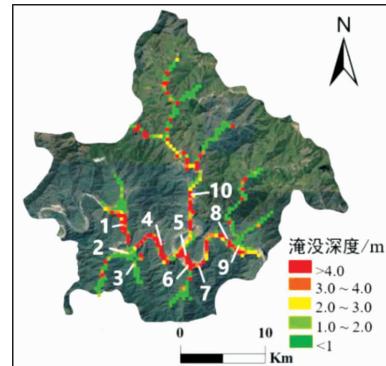


图 4 “7.21”山洪事件淹没深度及验证点分布

表 2 模拟值和实际值对比

序号	地点	模拟值/m	实际值/m
1	平峪村	7.38	5.80
2	西石门村	1.89	1.50
3	前头港村	3.73	3.40
4	西河村	5.97	4.87
5	十渡一号桥	7.37	6.50
6	九渡村	6.82	6.05
7	八渡村	5.37	4.77
8	七渡村	5.82	4.94
9	六渡村	2.75	2.30
10	马安村	1.44	1.41

模拟淹没结果(图 5)表明, 不同重现期情景下的淹没范围多位于河道两侧; 较大水深位于村落以及人口分布密集区, 洪水淹没深度多为 0.5 m; 水深大于 4 m 区域分布较广, 最大模拟水深 7.7 m 位于十渡一号桥附近。随着重现期的增大, 部分区域山洪灾害危险性相应增加(表 3)。淹没深度大于 4 m 的区域, 50 a 较 20 a 增加了 2.2 km²; 与此同时, 淹没区间为 0.5 ~ 1 m 的区域也在增加, 增加区域位于五合村、平峪村附近。50 a 和 100 a 的淹没范围相似, 淹没深度增加区间为 0.5 ~ 1.5 m。100 a 一遇降雨状态下河道排水能力达到饱和^[18], 原本地势较低洼地区已积累了大量暴雨, 在河道

洪水的影响下淹没深度有所增加, 100 a 一遇情景下总体淹没范围增加了约 2.0 km^2 , 淹没水深较小的区域范围虽然有所减少, 但仍有 7.94 km^2 的范围淹没深度在增加。

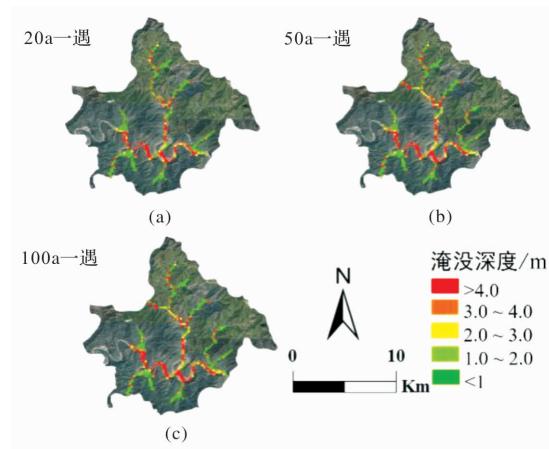


图 5 三种降雨情景下模拟淹没结果

表 3 三种降雨情景下淹没面积及淹没深度的变化

淹没深度/m	淹没面积/ km^2		
	20 a	50 a	100 a
0~0.5	7.40	8.06	↑ 6.15 ↓
0.5~1	0.63	0.88	↑ 2.61 ↑
1~2	0.78	1.17	↑ 1.10 ↓
2~4	1.17	1.11	↓ 1.26 ↑
>4	2.97	3.91	↑ 4.07 ↑
总面积	12.95	15.13	15.19

3.3 不同山洪灾害情景下的经济损失评估

实地调研发现十渡镇主导产业为旅游业, 楼房以平房为主, 楼高约 $3.5 \sim 4 \text{ m}$, 因此研究认为当淹没深度到达 4 m 时, 房屋损失量最高。基于房屋征收补偿标准可以计算房屋的价值, 十渡镇征收补偿标准为 $2400 \text{ 元}/\text{m}^2$ ^[48]。根据已有灾损模型, 可以得到受损率与水深的关系(表4), 进而计算出不同山洪灾害情景下十渡镇经济损失值。

表 4 受损率与淹没水深的关系

水深/m	0~0.5	0.5~1	1~2	2~4	>4
受损率/%	13	54	90	99	100
损失/元	308.86	1 299.90	2 170.40	2 368.68	2 394.09

模型模拟结果显示淹没范围多属于居住区, 因此将淹没范围均赋予房屋价值。十渡镇三种典型降雨情景的直接经济损失估算结果表明(图6), 随着降雨强度的增加, 研究区直接经济损失也在增加。20 a、50 a、100 a 一遇降雨情景下经济损失总值分别为 14.69 亿元 、 18.16 亿元 、 20.40 亿元 , 经济损失量大的区域多位于河道拐弯处。实地调研结果发现, 十渡镇的旅游业发展较为成熟, 河道拐弯处的居民房屋多改为用于接待游客的农家院。

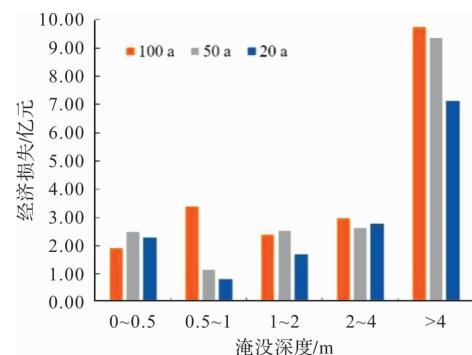


图 6 不同淹没深度直接经济损失对比

4 结论与讨论

以十渡镇“7.21”特大暴雨山洪事件为例, 通过水文水动力模型及灾损模型计算十渡镇山洪灾害经济损失状况。结果表明, 20 a、50 a、100 a 一遇典型降雨情景下的经济损失值分别为 14.69 亿元 、 18.16 亿元 、 20.40 亿元 ; 淹没区域主要位于人口聚集地区。根据研究结果展开如下讨论:

(1) 以十渡镇“7.21”特大暴雨山洪事件为例展开研究, 根据“7.21”特大暴雨事件特征进行过程分配, 先前有研究指出此次暴雨重现期为百年一遇^[47], 对于 20 a、50 a 一遇降雨情景下的雨程分配是否适用, 本文未展开具体研究。

(2) 灾损曲线的构建需要基于大量的实际损失数据, 但由于研究区灾情数据缺失, 本文运用已经检验的灾损曲线进行经济损失评估。在灾情数据库完善的情况下, 构建区域化灾损曲线可提高损失评估精度。

(3) 灾害情景构建常用于缺少灾情数据地区的灾害风险评估, 研究可为同类型地区的山洪灾害风险评估提供借鉴。本文通过数值模型模拟及灾损模型, 展开了十渡镇三种典型降雨情景下山洪灾害经济损失评估, 由于缺少实际损失数据, 因此本文未能开展对比研究。

本文对十渡镇展开了不同降雨情景下的山洪灾害危险性研究, 并评估了相应情景下直接经济损失状况。十渡镇位于北京市房山区西南部, 是北京重要的旅游资源地。2018年十渡镇政府报告^[48]指出当地旅游综合收入为 4.99 亿元 , 占当年财政收入的 42% , 旅游业是当地财政收入的主要来源。研究发现淹没区域及经济损失较大的区域多位于河道两侧, 该区域人口分布较为密集。实地调查结果发现该区域分布了大量用于接待游客的农家院, 当山洪发生时会对该区域旅游设施、游乐设施、游客安全等会造成影响。据此建议位于该区域的农家院应当重新考虑选址, 漂流等游玩设施应适量减少。研究在进行损失评估时仅对直接经济损失进行估算, 在后续研究中可进一步收集间接损失数据完善灾损模型, 以提高经济损失评估的准确性。

参考文献:

- [1] 吉中会, 吴先华. 山洪灾害风险评估的研究进展[J]. 灾害学, 2018, 33(1): 162–167, 174.
- [2] 崔鹏, 杨坤, 韦方强, 等. 泥石流灾情评估指标体系[J]. 自然灾害学报, 2001, 10(4): 36–41.
- [3] 李中平, 张明波. 全国山洪灾害防治规划降雨区划研究[J]. 水资源研究, 2005, 26(2): 32–34.
- [4] 杨佩国, 靳京, 赵东升, 等. 基于历史暴雨洪涝灾情数据的城市脆弱性定量研究——以北京市为例[J]. 地理科学, 2016, 36(5): 733–741.
- [5] 张玉婷, 张颖. 河北涞源县山洪灾害治理浅析[J]. 地下水, 2013, 35(4): 74–75.
- [6] 杜俊, 任洪玉, 张平仓, 等. 大空间尺度山洪灾害危险评估的比较研究[J]. 灾害学, 2016, 31(3): 66–72.
- [7] 葛鹏, 岳贤平. 洪涝灾害承灾体易损性的时空变异——以南京市为例[J]. 灾害学, 2013, 28(1): 107–111.
- [8] 李超超, 程晓陶, 申若竹, 等. 城市化背景下洪涝灾害新特点及其形成机理[J]. 灾害学, 2019, 34(2): 57–62.
- [9] 高展, 许剑勇, 王胜, 等. 黄山风景区暴雨山洪灾害风险区划研究[J]. 暴雨灾害, 2015, 34(3): 281–285.
- [10] 杨俊. 基于GIS和RS的庐山风景区山洪灾害调查与风险区划研究[D]. 南昌: 南昌工程学院, 2018.
- [11] 刘媛媛, 胡昌伟, 张红萍, 等. 资料匮乏山丘区山洪灾害风险区划分[J]. 水利水电技术, 2013, 44(10): 27–29.
- [12] CHEN Y, WANG Y, ZHANG Y, et al. Flash floods, land-use change, and risk dynamics in mountainous tourist areas: A case study of the Yesanpo Scenic Area, Beijing, China[J]. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2020, 50: 101873.
- [13] 原文林, 付磊, 高倩雨. 基于极端降水概率分布的山洪灾害预警指标估算模型研究[J]. 水利水电技术, 2019, 50(3): 17–24.
- [14] 刘晓冉, 康俊, 王颖, 等. 基于GIS和FloodArea水动力模型的重庆市山洪灾害风险区划[J]. 水土保持通报, 2019, 39(2): 206–211.
- [15] 吴秀兰, 江远安, 余行杰, 等. 基于FloodArea的新疆依格孜牙河流域山洪灾害风险区划[J]. 干旱气象, 2019, 37(4): 663–669.
- [16] 胡国华, 陈肖, 于泽兴, 等. 基于HEC-HMS的柳江流域山洪预报研究[J]. 自然灾害学报, 2017, 26(3): 147–155.
- [17] 周小军, 黄永威, 姜元俊. 基于FLO-2D的核桃沟泥石流数值模拟分析[J]. 现代隧道技术, 2019, 56(S1): 231–238.
- [18] 初祁, 彭定志, 徐宗学, 等. 基于MIKE 11和MIKE 21的城市暴雨洪涝灾害风险分析[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2014, 50(5): 446–451.
- [19] 戚滨安. 农家乐经济对近郊城市生活的影响[J]. 西安文理学院学报(社会科学版), 2011, 14(6): 71–74.
- [20] 耿玉环, 吕途, 邱蕾. 房山十渡景区旅游资源开发的对策[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(32): 310–313.
- [21] 高艳. 北京国家地质公园科普旅游开发研究[D]. 桂林: 桂林理工大学, 2018.
- [22] 赵兰兰, 朱冰, 唐俊龙. 不同洪水预报模型在拒马河流域的应用对比分析[J]. 水文, 2017, 37(4): 24–28.
- [23] 李博, 时慧. 北京拒马河流域水生植物资源调查及保护建议[J]. 中国水产, 2017(12): 60–61.
- [24] 姚鹏, 卢国平. 拒马河的水化学、同位素特征及其指示意义[J]. 环境化学, 2017, 36(7): 1525–1536.
- [25] 马晓龙. 在科学规划基础上实施灾后重建[N]. 中国旅游报, 2013-06-17(002).
- [26] 丁志宏, 李伟, 赵勇刚. 近20年来拒马河流域土地利用变化及其驱动力研究[J]. 海河水利, 2013(5): 27–29.
- [27] 陈桂英, 谢青, 刘勇, 等. “7·21”特大暴雨后对房山三渡至十渡桥桥位设计的思考[J]. 市政技术, 2013, 31(5): 43–46.
- [28] 中国新闻网. 实录: 北京房山区721灾后重建“奏鸣曲”[EB/OL]. [2020-10-05]. <http://www.chinanews.com/gn/2012/07-26/4061563.shtml>.
- [29] 段伯隆, 张文龙, 刘海文, 等. 北京“7·21”特大暴雨过程暖区降水和锋面降水的时空分布特征[J]. 暴雨灾害, 2017, 36(2): 108–117.
- [30] 刘俊灵. 2012年北京“7·21”暴雨重灾区泥石流调查研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2017.
- [31] 北京市水利勘测设计处. 北京市水文手册[Z]. 北京: 北京市水利勘测设计处, 1975.
- [32] CHANG T K, TALEI A, ALAGHMAND S, et al. Choice of rainfall inputs for event-based rainfall-runoff modeling in a catchment with multiple rainfall stations using data-driven techniques[J]. Journal of Hydrology, 2017, 545: 100–108.
- [33] O'BRIEN J S, JULIEN P Y, FULLERTON W T. Two-dimensional water flood and mudflow simulation[J]. Journal of hydraulic engineering, 1993, 119(2): 244–261.
- [34] 周瑶, 王静爱. 自然灾害脆弱性曲线研究进展[J]. 地球科学进展, 2012, 27(4): 435–442.
- [35] 王楠, 程维明, 张一驰, 等. 全国山洪灾害防治县房屋损毁风险评估及原因探究[J]. 地球信息科学学报, 2017, 19(12): 1575–1583.
- [36] DOTTORI F, FIGUEIREDO R, MARTINA M L V, et al. IN-SYDE: a synthetic, probabilistic flood damage model based on explicit cost analysis[J]. Natural Hazards and Earth System Sciences, 2016, 16(12): 2577–2591.
- [37] MERZ B, KREIBICH H, SCHWARZE R, et al. Review article ‘Assessment of economic flood damage’[J]. Natural Hazards and Earth System Sciences (NHESS), 2010, 10(8): 1697–1724.
- [38] HSU W K, HUANG P C, CHANG C C, et al. An integrated flood risk assessment model for property insurance industry in Taiwan[J]. Natural Hazards, 2011, 58(3): 1295–1309.
- [39] PISTRIKA A, TSAKIRIS G, NALBANTIS I. Flood depth-damage functions for built environment[J]. Environmental Processes, 2014, 1(4): 553–572.
- [40] DUTTA D, HERATH S, MUSIAKE K. A mathematical model for flood loss estimation[J]. Journal of hydrology, 2003, 277(1–2): 24–49.
- [41] OLIVERI E, SANTORO M. Estimation of urban structural flood damages: the case study of Palermo[J]. Urban Water, 2000, 2(3): 223–234.
- [42] 姚思敏. 城市暴雨灾害风险评估研究[D]. 北京: 清华大学, 2016.
- [43] 莫婉媚, 方伟华. 浙江省余姚市室内财产洪水脆弱性曲线——基于台风菲特(201323)灾后问卷调查[J]. 热带地理, 2016, 36(4): 633–641, 657.
- [44] 吴先华, 周蕾, 高歌, 等. 考虑防灾减灾能力的洪涝灾害灾损率曲线构建——以里下河地区的李中镇为例[J]. 地理科学进展, 2016, 35(2): 223–231.
- [45] 孙雷蕾. 对构建我国洪水保险体系的研究[D]. 天津: 天津大学, 2004.
- [46] KGS Group. Red River Basin Stage-damage Curves Update and Preparation of Flood Damage Maps[R]. Final Report, International Joint Commission, 2000.
- [47] 顾孝天, 李宁, 周扬, 等. 北京“7·21”暴雨引发的城市内涝灾害防御思考[J]. 自然灾害学报, 2013, 22(2): 1–6.
- [48] 十渡镇人民政府. 十渡镇2018年工作总结及2019年工作计划[EB/OL]. [2020-10-05]. <http://www.bjfsh.gov.cn/>.

Flash Flood Risk Assessment in Shidu, Beijing under the Typical Rainfall Scenario

ZHOU Yi¹, CHEN Liutong^{2,3}, HUANG Jingling^{2,3}, ZHANG Peng¹, WU Aizhi¹ and XU Yingjun^{2,3,4}

(1. Beijing Academy of Emergency Management Science and Technology, Beijing 102617, China; 2. Key Laboratory of Environment Change and Natural Disaster, Ministry of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 4. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resources Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: In the context of climate change, the increase of extreme rainfall events and the frequent occurrence of flash floods will seriously affect the safety of people and property and sustainable socio-economic development. In this study, based on the inundation characteristics of the 7.21 flash flood event in Shidu, Beijing, the hydrodynamic model parameters applicable to the study area are obtained, and the flash flood hazard characteristics under the rainfall scenarios of 20 a, 50 a and 100 a are simulated in the study area. The results show that the inundation extent under the 50a rainfall scenario increased by 2.2 km² compared to the 20a rainfall scenario, and that the inundation extent under the 100a scenario is similar to that under the 50a scenario, with the main increase in depth of inundation ranging from 0.5 to 1.5 m, due to the drainage capacity of the river. Economic losses were mainly located on both sides of the river, the 20a, 50a and 100a economic losses were 14.69 billion yuan, 18.16 billion yuan, and 20.40 billion yuan. The simulated values of inundation characteristics have strong correlation with the actual historical values. The scenario risk assessment results can provide a reference basis for flood prevention and mitigation in mountain tourism towns similar to Shidu.

Key words: flash floods; hydrodynamic models; recurrence periods; economic losses

(上接第 96 页)

- [7] 胡桂胜, 陈宇生, 邓明枫, 等. 西藏林芝地区泥石流类型及形成条件分析[J]. 水土保持通报, 2011, 31(2): 193–197, 221.
- [8] 祝介旺, 苏天明, 张路青, 等. 川藏公路 102 滑坡失稳因素与治理方案研究[J]. 水文地质与工程地质, 2010, 37(3): 43–47.
- [9] 游勇, 程尊兰. 西藏波密米堆沟泥石流堵河模型试验[J]. 山地学报, 2005(3): 288–293.
- [10] 蒋清明, 邓英尔, 王军朝, 等. 天磨沟泥石流危险性综合评判及风险性分析[J]. 地质灾害与环境保护, 2017, 28(4): 7–12.
- [11] 四川地勘局一〇一地质工程队, 西藏林芝地区波密县地质灾害调查与区划报告[R]. 德阳: 四川地勘局一〇一地质工程队, 2002.
- [12] 地质灾害防治工程勘查设计院眉山分院, 西藏自治区林芝县地质灾害调查与区划报告[R]. 眉山: 地质灾害防治工程勘查设计院眉山分院, 2002.
- [13] 范文, 刘雪梅, 高德彬, 等. 主成分分析法在地质灾害危险性综合评价中的应用[J]. 西安工程学院学报, 2001(4): 53–57.
- [14] 王得楷. 建设用地地质灾害危险性评估技术探讨[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2002(4): 96–97, 100.
- [15] 王国良. 层次分析法在地质灾害危险性评估中的应用[J]. 西部探矿工程, 2006(9): 286–288.
- [16] 邓亚虹, 彭建兵, 卢全中, 等. 地铁工程地质灾害危险性综合评估定量方法——以西安地铁一号线为例[J]. 地球科学与环境学报, 2009, 31(3): 291–294, 298.
- [17] 郑师谊, 张绪教, 杨艳, 等, 陈洁. 层次分析法在滇西怒江河谷潞江盆地段崩塌与滑坡地质灾害危险性评价中的应用[J]. 地质通报, 2012, 31(S1): 356–365.
- [18] 李永红, 向茂西, 贺卫中, 等. 陕西汉中汉台区地质灾害易发性和危险性分区评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2014, 25(3): 107–113.
- [19] 王雷, 赵法锁, 白朝能, 等. 襄渝铁路(胡家营–万源段)地质灾害发育特征及危险性评价[J]. 灾害学, 2017, 32(4): 30–34.
- [20] 唐金波, 胡凯衡, 苏凤环. 黏性泥石流冲起爬高计算[J]. 山地学报, 2017, 35(6): 842–848.
- [21] 王继康. 泥石流防治工程技术[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1996.

Risk Assessment of Engineering Geological Disasters in Bomi Linzhi Section of Sichuan Tibet Railway

YANG Wenming

(China Railway First Survey & Design Institute Group CO., LTD, Xi'an 710043, China)

Abstract: Using a quantitative scoring method combining qualitative and quantitative, the current geological hazard risk assessment, prediction assessment and comprehensive assessment of the Bomi-Linzhi section of the Sichuan-Tibet Railway are carried out. The comprehensive assessment results show that the assessment area is divided into 64 sections with a total area of 310.21 square kilometre, of which 18 sections are of high risk of geological hazards, covering an area of 11.46 square kilometre, accounting for 4% of the total area; the risk of geological hazards is medium. There are 14 sections with an area of 28.85 square kilometre, accounting for 9% of the total area of the district; 32 sections with a low risk of geological disasters, with an area of 269.6 square kilometre, accounting for 87% of the total area of the district. The results of the zoning are in line with the actual situation of the assessment area.

Key words: Sichuan-Tibet Railway; engineering geological disasters; risk assessment; Bomi to Lin Zhi