综合研究

低山丘陵区暴雨洪水特征与洪灾风险评估
——以赣江上游为例

刘光旭[1], 王小军[1,2], 徐新创[1,3], 相爱存[1], 邱世藩[1], 黄 萍[1]

(1. 赣南师范大学 地理与环境工程学院, 江西 赣州 341000; 2. 华南师范大学 地理科学学院, 广州 510631; 3. 湖北科技学院 资源环境科学与工程学院, 湖北 咸宁 4371000)

摘 要: [目的] 评估赣江上游洪灾风险,为区域减灾及社会经济发展提供参考。[方法] 从气候和地形等自然条件出发,结合实测资料分析暴雨洪水时空特征;采用层次分析法确定致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾体的易损性和防洪救灾能力 4 个因子的 14 个指标的权重,借助 GIS 平台进行风险因子分析和综合风险评估。[结果] 暴雨洪水多集中在 3—7 月,春夏季暴雨频次占全年的 80.4%,洪水频次占 95.9%,空间上主要分布在东北大部;致灾因子危险性风险等级东北部高,西部较低;孕灾环境敏感性风险呈带状,总体上中间高四周低;承灾体易损性风险中西,中北部高,四周低;防洪救灾能力西高东低,南高北低,从西南向东北递减;综合风险为中北部、中东部高风险,东南部、西部低风险;各风险等级面积比例存在差异,高风险和较高风险面积占比达 37.3%。[结论] 研究区暴雨洪水特征兼具丘陵与平原型特征,暴雨和洪水存在较明显的正相关关系;洪灾风险评估结果与赣江上游区实际基本符合,验证了指标体系及评估模型合理性。

关键词: 暴雨洪水; 风险评估; 层次分析法; 赣江上游

文献标识码: A **文章编号**: 1000-288X(2019)05-0236-06 **中图分类号**: P333.2, X43, P954

文献参数: 刘光旭, 王小军, 徐新创, 等. 低山丘陵区暴雨洪水特征与洪灾风险评估[J]. 水土保持通报, 2019,39(5):236-241. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2019.05.033; Liu Guangxu, Wang Xiaojun, Xu Xinchuang, et al. Characteristics of rainstorm flood and risk assessment in a low mountainous and hilly area [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019,39(5):236-241.

Characteristics of Rainstorm Flood and Risk Assessment in a Low Mountainous and Hilly Area
—A Case Study at Upstream Areas of Ganjiang River

Liu Guangxu[1], Wang Xiaojun[1,2], Xu Xinchuang[1,3], Xiang Aicun[1], Qiu Shifan[1], Huang Ping[1]

(1. *School of Geography and Environmental Engineering, Gannan Normal University, Ganzhou, Jiangxi* 341000, *China*; 2. *School of Geographical Science, South China Normal University, Guangzhou, Guangdong* 510631, *China*; 3. *School of Resources Environment Science and Engineering, Hubei University of Science and Technology, Xianning, Hubei* 437100, *China*)

Abstract: [Objective] This study seeks to assess flood risk to provide reference for regional disaster reduction and socio-economic development in upstream areas of the Ganjiang River. [Methods] The temporal and spatial features data of a rainstorm flood occurring under natural conditions were collected and analyzed. The weights of 14 indicators of 4 factors among risk of disaster-causing factors, sensitivity of disaster-bearing environments, vulnerability of disaster-bearing bodies and the capacity of disaster controls were determined using the analytic hierarchy process (AHP), and then risk factor analysis and comprehensive risk assessment were carried out in GIS. [Results] The floods were mostly concentrated from March to July in the study area. The rainstorms in spring and summer account for 80.4% of the whole year, while the floods accounted

收稿日期:2019-03-22 **修回日期**:2019-05-01

资助项目:国家自然科学基金项目"气候变化下南方丘陵区洪水灾害测度及其脆弱性研究"(41561020);国家自然科学基金项目(41662012);国家级大学生创新创业训练计划项目(201710418003)

第一作者:刘光旭(1977—),男(汉族),河南省南阳市人,博士,主要从事灾害风险与资源环境等研究。E-mail: lg760411@126.com。

通讯作者:徐新创(1976—),男(汉族),湖北省咸宁市人,博士,教授,主要进行全球变化与环境风险方面的研究。E-mail: xuxc.08b@igsnrr.ac.cn。

for 95.9%. The floods mainly occurred in the northeast. The hazard levels appear higher in the northeast and lower in the west. The sensitivity of the flood inducing environments bands from the northwest to the northeast. The sensitivity in the middle was a little higher than in surrounding areas. The vulnerability levels were higher in the central and western regions but lower in the surrounding areas. The anti-disaster capacity was decreasing from the southwest to the northeast, higher in the west and the south, lower in the east and the north. The comprehensive risk levels were higher in the north central and eastern regions, but lower in the southeast and west. Areas of each risk level was very different in the proportion. The extremely high and high risk accounted for 37.3%. [Conclusion] Floods in the upstream areas of the Ganjiang River are characterized by floods occurring in both the hilly and plain areas. There is a significant positive correlation between rainstorms and floods. These risk assessment results are consistent with the actual situations observed in the study area in most cases, which verifies indirectly the rationality of the indicators selected and the evaluation model.

Keywords: rainstorm flood; risk assessment; analytic hierarchy process (AHP); the upstream areas of Ganjiang River

中国是世界上遭受洪灾最为严重的国家之一。据统计,2000—2014 年期间,中国洪水受灾人口年均 1.33×10^8 人,死亡人口年均 1 347 人,农作物受灾面积 11.1×10^6 hm^2,直接经济损失占当年 GDP 比重年均 0.58% [1]。暴雨洪水特征是分析洪灾风险的重要参考,研究主要从降水、水文和地理特征分析暴雨发生规律、演进特征等[2];运用 WetSpa Extension 模型等模拟区域汇流和洪水演进过程及淹没范围、深度空间分布[3];基于洪水和暴雨实测资料划分类型,统计时空特征指标,建立多元相关关系,丰富相关模型研究[4];统计分析历史典型暴雨洪水的致洪天气系统、暴雨中心落区及发生时间,探求洪水成因及发生时间[5];对比融雪洪水、融雪与降水混合洪水和暴雨洪水等不同洪水类型特点及时空分布[6];城镇化背景下,城市暴雨洪水的时空特征研究也相应深入[7]。洪灾风险研究是防灾减灾的重要依据,风险评估指标选取和评估方法是当前两个主要的研究方向:①对单个或多个指标具体细化分析,分别从降水、洪水等确定不同风险等级下临界值[8-9];以及从致灾因子危险性[10]、孕灾环境敏感性[11]、承灾体易损性[12],和防灾减灾能力等因子细化指标研究[13],得到各因子代表指标,使洪灾研究微观化。②不同评估方法各有优劣,地貌学方法主要从气候、地貌和水系等自然因子出发,分析洪灾风险[14];而运用 HEC-RAS 等水文水利模型,可以重现及模拟洪水演进与深度,得到洪水风险图[15];遥感与 GIS 方法可以将监测数据与灾情数据结合,解决洪水风险评估难以精细化、定量化评估问题[16];运用统计建模方法、风险评估等数学模型,将确定权重的各类洪灾指标加权叠加,可以得到各因子及综合风险评估[17-18];从灾情调查统计数据出发,根据受灾情况划分风险区域并提出减灾措施[19]。鉴于单一方法不够全面,结合多种方法的综合分析法,将自然、社会经济和历史洪灾数据等各因素结合,综合考虑致灾因子、孕灾环境、承灾体、防灾减灾能力,使研究结果更加准确,是灾害分析发展的方向之一[20-21]。

暴雨洪水特征和洪灾风险评估成果丰富,但洪灾本身具有系统性和复杂性等,应将这两个相互关联的过程共同分析[22]。因此,本研究从赣江上游气候、地形等自然概况出发,在流域信息提取基础上[23],分析洪灾成因;基于气候、水文资料分析暴雨洪水时空特征;在自然灾害风险理论基础上,以 4 个因子建立洪灾风险评估模型;运用层次分析法确定各指标权重,建立赣江上游洪灾风险评估数据库,以期使洪灾评估更加全面,为研究区洪灾风险分析及社会经济发展提供依据。

1　资料与方法

1.1　数据来源

①基础地理数据,包括行政边界、交通线等;社会经济数据,包括人口和 GDP(2015)等,来源于中国科学院资源环境科学数据中心(http://www.resdc.cn/),其中人口和 GDP 为公里网格数据;②DEM 数据,来源于地理空间数据云(http://www.gscloud.cn/)的 GDEMV2 30m 分辨率数字高程数据;③降水数据,来源于中国气象数据网(http://data.cma.cn/)的中国地面累年、月值数据集(1981—2010 年)和日值数据集(2005—2015 年);④土地利用数据,来源于清华大学 2015 年全球土地覆盖数据集(http://data.ess.tsinghua.edu.cn/);⑤历史洪灾数据(2005—2015)、水文数据,来源于江西统计年鉴、赣州统计年鉴、水文年鉴等。各类统计数据赋值于点,气象要素通过克里金法,其它要素通过反距离权重法,

插值于2 000 m×2 000 m栅格单位，统一坐标系为Xian_1980_3_Degree_GK_CM_114E。

1.2 暴雨洪水特征

暴雨洪水简称雨洪，是短时间内较大强降雨引起江河水位急剧上涨现象，是形成洪灾的必要条件，可分为雷暴雨洪水、台风暴雨洪水和锋面暴雨洪水等类型，暴雨洪水特征主要决定于暴雨，也受流域下垫面条件的约束，与暴雨成因，降落点，面、时分布等亦有关联。分析暴雨洪水特征主要可以从时间与空间分布两个角度，主要有：①年代际变化：以年为单位，统计各年内发生的暴雨、洪水频次。②月季变化：以月为单位，统计各月内发生的暴雨、洪水频次；从平均暴雨量、最大暴雨量、暴雨级别等分析各季节暴雨特征。③空间分布：以各地统计的暴雨、洪水频次，借助GIS平台，将数据在空间中显示并分析空间分布特征。

1.3 洪灾风险评估模型与指标

自然灾害是地球表层变异系统及其子系统相互作用的产物，是致灾因子、孕灾环境与承灾体相互作用的动力学过程，在区域灾害测量的基础上分析灾害规律，揭示形成机制，必须从系统论的观点理解灾害形成过程，建立灾害研究的理论体系[24]。自然灾害风险评估是对风险区遭受不同程度自然灾害的可能性及其造成的后果进行定量分析和评估，洪灾风险分析的基本模式由气象因子和社会因子合成[25]。国内外相关研究中，不少学者采用1991年联合国提出的通用表达式[26]进行风险计算：

$$风险=f(危险性,易损性)=危险性\times易损性 \quad (1)$$

洪灾风险分析，除了灾害因子特征，承灾因子损失，也应考虑抵抗和救灾减灾的能力，更加全面的评估洪灾风险，因此本研究采用改进表达式：

$$R=f(H,S,V,P)=\alpha H+\beta S+\gamma V-\mu P \quad (2)$$

式中：R——洪灾风险综合指数(risk of flood)；H——致灾因子的危险性(hazard)；S——孕灾环境的敏感性(susceptibility)；V——承灾体的易损性(vulnerability)；P——防洪救灾能力(disaster prevention)；α,β,γ,μ——各评价因素的权重[27]。本研究中各指标因子权重由层次分析法确定。

依据灾害风险评估模型，从致灾因子、孕灾环境、承灾体和防洪救灾能力4个评估因子进行分析；从自然、社会等多角度多因子选取指标，便于准确、定量的进行洪灾风险分析。指标选取参照文献，并结合研究区情况。

(1) 致灾因子危险性。洪灾致灾因子主要是对区域形成的灾害的暴雨、洪水其自身变化特征[10]，研究选取暴雨频次、降水变率和汛期月最多降水3个指标。暴雨频次反映区域极端降水情况，汛期月均最多降水和降水变率相对于平均降水、赣江上游所在季风气候区降水变率大等实际情况更能反映降水要素。

(2) 孕灾环境敏感性。孕灾环境敏感性主要是受暴雨、洪水威胁的外部环境对灾害的敏感程度，主要是地形、水系、植被等[11]，研究选取高程标准差、河网密度和林地草地比重3个指标。高程标准差相对于坡度更能反映较大区域地表陡缓的程度，地形起伏影响排水速度，河网密度影响流域水体汇集，林地草地反映了地区植被主要状况，评估因子体现了研究区丘陵山地地形、树枝状水系及区域地带特征。

(3) 承灾体易损性。洪灾易损性主要是特定时空范围内，致灾因子作用对象，及其导致的人口、经济、社会及环境损害[12]。研究选取人口分布、GDP分布、耕地比重和建设用地比重4个指标。研究区素有“世界钨都”之称，是有色金属开采、生产地，也是发展潜力较高、人口相对集中的区域；同时农业活动亦占有重要比重，脐橙、茶叶和油茶等产业发展迅速，是重要的农业生产基地，受丘陵山地地形影响，农业经济活动呈现河谷平坦处耕作，缓坡处发展林果业的状态，指标选择体现研究区特征。

(4) 防洪救灾能力。防洪救灾能力主要考虑个人、社会的防洪及监测能力、抢险救灾能力和社会基础支撑能力等[13]，研究选取交通密度、人均财政支出、医护人员服务比和水域湿地比重4个指标。研究区经济水平中等且发展潜力大，交通便利，是区域交通枢纽，财政是重要的经济能力指标，水域湿地具有重要的蓄水、调节水文特征的功能，医护人员反映医疗水平，指标选取反映研究区防洪救灾能力。

根据指标的正负向，确定阈值内数值的增减，坡度根据国标分类，其他指标依据自然间断分级法，划分为5个等级，从低到高分别对应低风险区、较低风险区、中等风险区、较高风险区和高风险区，并赋值1～5。自然间断分级法力求减少类内差异，最大限度地增加类间差异，使数据分级变化相对平滑，应用广泛。层次分析法常用于复杂决策问题中，在确定洪灾指标权重方面运用广泛，较为成熟。洪灾指标体系中致灾因子是导致暴雨洪水的主导因子，权重最大；孕灾环境和承灾体是暴露在灾害中的自然与社会经济因素，权重次之；防洪救灾能力是预防和救助能力评价，可变因素较大，权重最小。各因子内，指标选取参考较多，故按照相对平均、社会经济比重大的原则，采用专家评分和AHP软件实现。依据层次分析法得到各因子指标的权重，结果如表1所示。

表 1　赣江上游洪灾风险评估指标与权重

目标层	决策层	权重	指标层	权重	正负向
赣江上游洪水灾害风险评估	致灾因子	0.45	暴雨频次	0.35	正
			降水变率	0.34	正
			汛期月均最多降水	0.31	正
	孕灾环境	0.19	高程标准差	0.38	负
			河网密度	0.35	正
			林地草地比重	0.27	负
	承灾体	0.23	人口分布	0.31	正
			GDP 分布	0.28	正
			耕地比重	0.22	正
			建设用地比重	0.19	正
	防洪救灾能力	0.13	交通密度	0.31	正
			人均财政支出	0.27	正
			医护人员服务比	0.24	负
			水域湿地比重	0.18	正

2　结果与分析

2.1　赣江上游暴雨洪水特征

2.1.1　*研究区概况*　赣江是江西省内主要河流之一,上游流域位于江西省南部,经纬度位置在 113°54′—116°38′E,24°29′—27°09′N 之间。流域属典型的亚热带季风气候,年平均气温 18.5～19 ℃,多年平均降水量 1 439.8～1 515.6 mm;致洪暴雨主要有三高一低型、低槽型和台风型;3 月至 4 月初主要是西南气流形成低空急流,常出现连续性降水或大暴雨,4 月后雨季降水范围与时间则与长波槽的移动和西太平洋副热带高压的进退有关[28],暴雨洪水多集中在 3—7 月份。流域内海拔高度平均在 300～500 m 之间,以丘陵、盆地为主,地形周高中低、南高北低,水系呈辐辏状,水流都向中北部汇集[23]。如附图 13 所示,各河支流上游河道纵坡陡、落差集中、水流湍急,但植被覆盖较高、人类活动较少,洪灾较少;中下游进入丘陵平原地带,纵比降较小,河道纵坡较平坦,两岸分布有宽窄不同的冲积平原,是人类生产生活的良好场所,同时也是受洪水侵害较严重的地区,其洪灾特征兼具丘陵与平原型特征,水位上涨较快,洪峰水位变异较小,滞洪期适中,淹没区主要在河流沿岸。域内有 8.50×10^6 多常住居民,经济发展迅速,但区域差异相对较大。据不完全统计,2005—2016 年研究区年均受灾人口 1.16×10^6 人次,年均直接经济损失 8.64×10^8 元人民币,尤其是中北部、东部等地势相对低平的河谷地区,频繁的洪灾给赣南人民生产生活,工农业发展造成巨大损失。

2.1.2　*暴雨洪水时间分布*　利用气候与水文资料,整理得到 2005—2015 年赣江上游暴雨和洪水频次,分别为年频次和月频次(见图 1)。由年频次可知 2005—2015 年期间,共降落 174 场暴雨,平均每年约 15 场;共发生了 49 场洪灾,平均每年约 4.5 场。暴雨与洪水频次呈现波状高低起伏的趋势,大约 3 a 为一个周期,高值与低值没有固定取值;暴雨和洪水频次存在较明显的正相关关系,但并非线性对应。

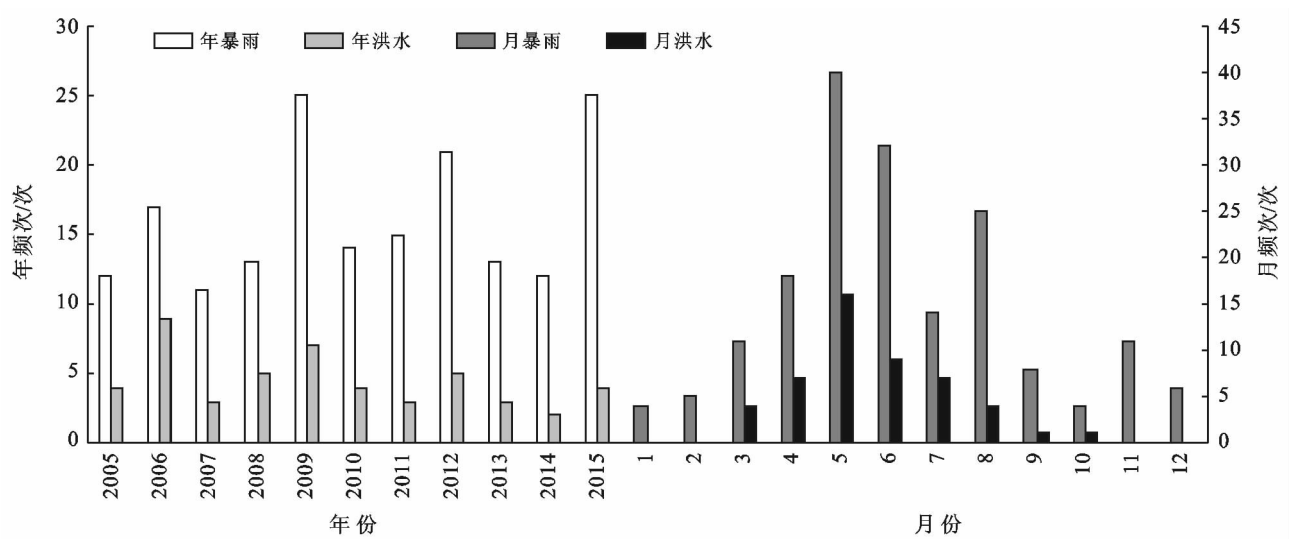


图 1　2005－2015 年赣江上游累计暴雨和洪水频次的年与月分布

由月频次可知 2005—2015 年期间,暴雨频次方面,春季发生 69 场次,夏季 71 场次,秋季、冬季分别为 19 场次、15 场次,夏季暴雨频次占统计年份总次数比重最多,达 40.8%;洪水频次方面,春季洪水共发生 27 次,发生频率为 55.1%;夏季洪水共发生 20 次,发生频率为 40.8%,可知暴雨洪水频次年内分布不均,多发季节主要为春季和夏季。

由气象资料知,暴雨量春夏多,秋冬少;平均暴雨

量春季为 114 mm，夏季为 121 mm，秋冬季较少，分别为 77，79 mm；春季和夏季最大暴雨量均超过 100 mm，达到了大暴雨的级别，平均最大暴雨量为 171，224 mm；秋季和冬季最大暴雨量较低，分别为 96 mm 和 86 mm，属于暴雨级别，明显低于春夏季；2005，2010 和 2015 年极端降水量为特大暴雨，雨量分别为 360，483，258 mm。

2.1.3 暴雨洪水空间分布 基于气候与水文资料整理得到的 2005—2015 年赣江上游暴雨和洪水频次数据，借助 ArcGIS 平台的空间分析功能，得到暴雨和洪水频次空间分布图(附图 14)。暴雨和洪水频次空间分布总体上呈现东多西少，北多南少，洪水频次在中北部亦较高。结合气候、地形等条件可知，季风和东部山地的作用下，暴雨大致呈现出自东北向西南减少的趋势，东部山地迎风坡暴雨多于西部；洪灾主要分布在地势低平赣江上游各个支流沿岸，尤其是章水和贡水汇聚的赣州盆地地区洪涝灾害较多；其次，赣江上游东部山地呈东北西南走向，虽处背风坡，但海拔较低，气团遇到山地多地形雨，年暴雨量大，故在这些地区亦洪灾多发。

2.2 赣江上游洪灾风险评估

2.2.1 赣江上游洪灾风险因子评估 赣江上游暴雨洪灾的时空分布特征，反映了研究区气候、地形等条件下，洪灾可能发生的时间分布与空间范围，但评估区域洪灾风险需要进一步合理的分析危险性、敏感性、易损性和防洪救灾能力，以及综合风险等。将致灾因子危险性 3 个指标，暴雨频次、降水变率和汛期月均最多降水；孕灾环境敏感性 3 个指标，高程标准差、河网密度和林地草地比重；承灾体易损性 4 个指标，人口分布、GDP 分布、耕地比重和建设用地比重；防洪救灾能力 4 个指标，交通密度、人均财政支出、医护人员服务比和水域湿地比重；结合指标数据划分等级和层次分析法确定权重，利用 GIS 的加权叠加分析功能，按照权重叠加各致灾因子危险性指标得到赣江上游洪灾风险因子评估图(附图 15—16)。

附图 15—16 中，颜色越深代表风险性越高及救灾能力越强。从图中可以看出，赣江上游洪灾致灾因子危险性评价方面，东北部风险等级普遍比其他地方高，西部风险等级相对较低，而中部河谷带、南部、东南部风险等级居中；分布情况与降水空间分布相联系，东北部离海洋近，虽不是迎风坡，水汽仍较多，降水是主要的致灾因子。孕灾环境敏感性评价方面，风险等级呈带状，高低相间分布，总体上中间高，四周相对较低；分布情况与地形地势、河网水系分布联系密切，高风险区既是河谷地带也是河网密集区，水体汇集区域，可见孕灾环境中水系分布对洪灾形成表现明显。承灾体易损性评价方面，风险从高到低呈现大致以中西部、中北部为中心、不规则环状分布，东北部、东部、南部和西部山区风险较低；是地形地势导致的人类活动空间差异影响下的结果，中西、中北部人口相对集中，工农业发展状况相对较好。防洪救灾能力评价方面，呈西高东低、南高北低，从西南向东北递减的状态；大致与致灾因子危险性反向分布，西部人口较少，但基础设施统一规划，中北部则经济状况较好，防洪救灾能力较强，人类活动多影响着防洪与救灾。

2.2.2 赣江上游洪灾综合风险评估 从 4 个因子分别分析了风险及救灾能力后，根据式(2)洪灾风险评估模型公式，及指标体系和权重，得到赣江上游洪灾风险评估模型：

$$R = f(H,S,V,P) = 0.45H + 0.19S + 0.23V - 0.13P \quad (3)$$

根据洪灾风险评估模型，利用 GIS 空间分析功能，将致灾因子危险性评价图、承灾体暴露评价图、孕灾环境脆弱性评价图和防洪救灾能力评价图加权叠加分析，进行赣江上游洪灾综合风险评估，得到综合风险分级图(附图 17)；根据结果在 GIS 中计算赣江上游洪灾综合风险不同等级面积、乡镇数量及其比例(表 2)。

由附图 17 可知，赣江上游洪灾风险综合评价方面，从空间分布来看，呈现中北部、中东部高风险，东南部、西部低风险，中部、南部中等风险的特点；中北部、东北部即主要是宁都、石城、瑞金、于都、兴国和章贡等县区，多是地势平坦、河流相对汇集的地方，是赣江上游东源的发源地，贡江及其支流涵盖大部分流域，树枝状水系，河网密集，人口较多，开发较早，土地资源需求较高且开发不合理，洪灾风险高于东南部、西部丘陵山地地区。由表 2 可知，面积比例方面，较低风险与低风险比例 44.1%，中等风险比例18.6%，高风险和较高风险比例达到 37.3%；乡镇数量比例方面，较低风险与低风险比例 41.6%，中等风险比例 20.8%，高风险和较高风险比例达到 37.6%。因此赣江上游洪水灾害风险总体风险较高，尤其是其东北大部，要注意提高居民防洪意识及建设各类防洪减灾工程。

表 2 赣江上游洪水灾害不同程度风险面积和乡镇数量及其比例

项 目	风险等级				
	低	较低	中等	较高	高
面积/km²	6 532	9 408	6 724	7 428	6 092
面积比例/%	18.1	26	18.6	20.5	16.8
乡镇数量/个	48	68	58	57	48
乡镇比例/%	17.2	24.4	20.8	20.4	17.2

3　讨　论

洪灾评估指标的确定是一个复杂的过程,不同尺度下的灾情评估过程中,指标体系的选取具有很大的差别性[29]。研究区赣江上游范围中等,自然与人文条件复杂,既有开发程度较低山区,也有城市发展迅速的河谷地带,因此考虑较多因素作为评估指标。为了验证综合评价结果,制作赣江上游洪灾损失图(附图 17),将其与灾害风险评估图进行相关分析得到系数为 0.71,可知评估结果总体上符合研究区实际。中北部、东北部风险较高,西部和西南部风险较低,这一结果与张兴毅[30]对江西省洪灾风险评估的结果较一致。形成本区域洪灾有自然和社会双重因素,暴雨是主要致灾因子,而研究区季风气候特征为致灾因子提供条件,丘陵山地则导致域内灾情差异显著。不同土地利用方式的风险存在差异,不合理土地利用导致灾情严重[19],中北部及东北部人口较多,土地资源需求大,丘陵地带开发不尽合理,对灾害响应程度不同。经济发展水平影响防洪减灾能力,所以即使中北部地势相对平坦、位于河流排水区,但因其发展程度高,使灾害等级比经济条件较差的东北部较低。

4　结　论

(1) 季风气候下西南气流与副高气压不同阶段控制降水过程,导致暴雨洪水多集中在 3—7 月份,地形条件及其基础上形成的水系使中北部、东部河谷地区洪灾多发,也是人类活动集中地区;暴雨洪水分布,时间上主要集中在春夏季,暴雨频次占全年的 80.4%,洪水频次占 95.9%;空间分布上,主要集中在东北大部,暴雨与洪水存在较明显的相关性特征。

(2) 致灾因子危险性评价显示,东北部风险等级普遍比其他地方高,西部风险等级相对较低,而中部河谷带、南部、东南部风险等级居中;孕灾环境敏感性评价显示,风险等级高低相间分布,呈带状,总体上中间高,四周相对较低;承灾体易损性评价显示,风险从高到低呈现大致以中西、中北部为中心、不规则环状分布,东北部、东部、南部和西部山区风险较低;防洪救灾能力评价显示,防洪救灾能力呈西高东低、南高北低,从西南向东北递减的状态。

(3) 由综合风险评价可知,中北部、中东部高风险,东南部、西部低风险,中部、南部中等风险;各风险等级面积比例存在差异,较低风险与低风险比例为 44.1%,中等风险比例达 18.6%,高风险和较高风险比例达到 37.3%;乡镇数量比例方面,较低风险与低风险比例为 41.6%,中等风险比例为 20.8%,高风险和较高风险比例达到 37.6%。

(4) 基于区域气候地形条件、暴雨洪灾资料,分析得到研究区暴雨洪水特征兼具丘陵与平原型特征,暴雨和洪水存在较明显的正相关关系;基于灾害风险评估模型,从自然要素数据和社会经济数据选取 4 个因子 14 个指标构建洪涝灾害风险评估指标体系,应用该指标体系开展赣江流域上游洪灾风险分析,验证了指标体系及洪灾风险评估模型合理性。

本研究以 4 个因子的 14 个指标综合评估洪灾风险,在指标选取过程中,限于资料获取,洪水临界指标、水库指标等未能被选取,今后应更合理的考虑指标代表性。灾害风险评估是一项涉及自然、社会各方面的工作,数据采集非常重要,但部分不易获得或者是非公开资料,如现有人工排水网络等,因此可考虑有条件的让研究人员获得;另一方面是灾害损失多是以经济价值衡量,如自然与文化遗产、地质遗迹等,较难以当前的手段准确评估,因此也应尽可能探索合理评估方法,以获得更为翔实、准确的研究结果。

[参　考　文　献]

[1] 国家防汛抗旱总指挥部, 中华人民共和国水利部. 中国水旱灾害公报-2014[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2016.

[2] 李军,张万宝. 宁夏贺兰山地区暴雨洪水及其特性分析[J]. 中国防汛抗旱,2018,28(4):60-62.

[3] 俄有浩,霍治国. 长江中下游地区暴雨特征及洪涝淹没风险分析[J]. 生态学杂志,2016,35(4):1053-1062.

[4] 林志东,陈兴伟,林木生,等. 东南沿海西溪流域暴雨洪水的时空变化特征[J]. 山地学报,2017,35(4):488-495.

[5] 姚章民,杜勇,张丽娜. 珠江流域暴雨天气系统与暴雨洪水特征分析[J]. 水文,2015,35(2):85-89.

[6] 努尔兰·哈再孜,沈永平. 新疆阿勒泰地区的洪水特性[J]. 水文,2014,34(4):74-81.

[7] 邹嘉福,刘正伟. 昆明城市暴雨洪水特性分析[J]. 水电能源科学,2013,31(1):42-45,187.

[8] 潘娅英,马得莲,张青,等. HBV 模型在富春江水库流域临界致灾面雨量确定中的应用[J]. 水土保持通报,2018,38(6):151-155.

[9] 李华威,万庆. 小流域山洪灾害危险性分析之降雨指标选取的初步研究[J]. 地球信息科学学报,2017,19(3):425-435.

[10] 李娜,袁雯. 上海洪涝灾害发生特征、致灾因子及影响机制研究[J]. 自然灾害学报,2011,20(1):37-45.

[11] 莫建飞,陆甲,李艳兰,等. 基于 GIS 的广西洪涝灾害孕灾环境敏感性评估[J]. 灾害学,2010,25(4):33-37.

[12] 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.

(下转第 289 页)

[15] 陈永毕.贵州喀斯特石漠化综合治理技术集成与模式研究[D].贵阳:贵州师范大学,2008.
[16] 罗为群,蒋忠诚,赵草著,等.亚硫酸法糖厂滤泥改良石灰土试验研究[J].农业现代化研究,2009,30(2):248-252.
[17] 顾永忠,黄国斌,谭廷甫,等.旱地聚垄耕作及粮肥轮(间)配套技术的改土培肥作用研究[J].耕作与栽培,2002(2):3-5.
[18] 臧亚君.重庆市岩溶地区石漠化综合治理规划研究[J].安徽农业科学,2018,46(6):66-68.
[19] 苏维词,张中可,滕建珍,等.发展生态农业是贵州喀斯特(石漠化)山区退耕还林的基本途径[J].贵州科学,2003,21(1/2):123-127.
[20] 肖华,熊康宁,张浩,等.喀斯特石漠化治理模式研究进展[J].中国人口·资源与环境,2014,24(3):330-334.
[21] 王宇,张华,张贵,等.云南省石漠化调查及治理综述[J].中国岩溶,2016,35(5):486-496.
[22] 熊康宁,黎平,周忠发,等.喀斯特石漠化的遥感 GIS 典型研究:以贵州省为例[M].北京:地质出版社,2002.
[23] 颜萍,熊康宁,檀迪,等.喀斯特石漠化治理不同水土保持模式的生态效应研究[J].贵州师范大学学报:自然科学版,2016,34(1):1-7.
[24] 滕建珍,苏维词,廖风林.贵州北盘江镇喀斯特峡谷石漠化地区生态经济治理模式及效益分析[J].中国水土保持科学,2004,2(3):70-74.
[25] 王世杰,李阳兵.喀斯特石漠化研究存在的问题与发展趋势[J].地球科学进展,2007,22(6):573-582.
[26] 苏维词,朱文考.贵州喀斯特地区生态农业发展模式与对策[J].农业系统科学与综合研究,2000,16(1):40-44.
[27] 张凤太,苏维词.重庆三峡库区岩溶山区乡村生态农业发展模式与对策[J].农业现代化研究,2007,28(2):214-217.
[28] 张浩,熊康宁,苏孝良,等.贵州晴隆县种草养畜治理石漠化的效果、存在问题及对策[J].中国草地学报,2012,34(5):107-113.
[29] 赵斌.石漠化治理核桃模式的形成与实践[J].农业开发与装备,2018(2):27,30.
[30] 王存鑫,廖相伟,詹磊.丹江口市石漠化治理问题研究[J].农村经济与科技,2018(1):262-263.
[31] 陈俊松,赵磊磊,朱仕荣,等.云南石林县石漠化综合治理分区及治理方向[J].亚热带水土保持,2018,30(1):20-23.
[32] 苏维词.喀斯特土地石漠化类型划分及其生态治理模式探讨[J].中国土地科学,2008,22(4):32-37.

(上接第 241 页)

[13] 胡俊锋,杨佩国,杨月巧,等.防洪减灾能力评价指标体系和评价方法研究[J].自然灾害学报,2010,19(3):82-87.
[14] de Risi R, Jalayer F, de Paola F. Meso-scale hazard zoning of potentially flood prone areas[J]. Journal of Hydrology, 2015,527:316-325.
[15] Motevalli A, Vafakhah M. Flood hazard mapping using synthesis hydraulic and geomorphic properties at watershed scale[J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2016,30(7):1889-1900.
[16] 石涛,谢五三,张丽,等.暴雨洪涝风险评估的 GIS 和空间化应用:以芜湖市为例[J].自然灾害学报,2015,24(5):169-176.
[17] Nandi A, Mandal A, Wilson M, et al. Flood hazard mapping in Jamaica using principal component analysis and logistic regression[J]. Environmental Earth Sciences, 2016,75(6):1-16.
[18] 朱卫浩,陈霞,邵丽芳,等.基于格网的河北省精细化暴雨洪涝灾害风险区划[J].中国农学通报,2016,32(23):142-147.
[19] 万金红,张葆蔚,马建明,等.浙江省钱塘江流域"201106"洪涝灾害调查分析[J].自然灾害学报,2015,24(4):183-189.
[20] 曹罗丹,李加林.基于遥感与 GIS 的浙江省洪涝灾害综合风险评估研究[J].自然灾害学报,2015,24(4):111-119.
[21] 刘德林.基于 GIS 的河南省洪灾风险评价[J].水土保持通报,2014,34(3):126-129.
[22] 裴惠娟,陈晋,李雯,等.甘肃省暴雨洪水时空分布及风险评估[J].自然灾害学报,2017,26(3):167-175.
[23] 王小军,刘光旭.南方丘陵区流域提取及洪水淹没模拟:以赣江上游为例[J].中国农村水利水电,2017(5):161-165,169.
[24] 史培军.再论灾害研究的理论与实践[J].自然灾害学报,1996,5(4):6-17.
[25] 黄崇福,郭君,艾福利,等.洪涝灾害风险分析的基本范式及其应用[J].自然灾害学报,2013,22(4):11-23.
[26] Wisner B, Blaikie P, Cannon T, et al. At risk: Natural hazards, people's vulnerability and disasters[M]. (2nd) London: Routledge, 2004.
[27] Davidson R A, Lambert K B. Comparing the hurricane disaster risk of US coastal counties[J]. Natural Hazards Review, 2001,2(3):132-142.
[28] 单九生,尹洁,张延亭,等.江西致洪暴雨天气特征分析与流域洪涝预报研究[J].暴雨灾害,2007,26(4):311-315.
[29] 万金红,陈必真.洪涝灾情评估研究综述[J].防灾科技学院学报,2015,17(4):56-60.
[30] 张兴毅,王国梁.基于 GIS 的江西省洪涝灾害风险区划[J].山西师范大学学报:自然科学版,2014,28(4):68-72.