

文章编号: 1004-4353(2019)04-0370-05

基于 GIS 的图们江流域洪水灾害危险性分析

邹嘉琪, 权赫春*

(延边大学 工学院, 吉林 延吉 133002)

摘要: 为了研究延边朝鲜族自治州内图们江流域洪水灾害的危险性, 基于 GIS 平台, 以延边州境内图们江流域所在的 7 个县市为研究对象, 采用层次分析法和 GIS 空间分析方法, 通过选取与洪灾危险性相关较大的 5 个因子(地形、降雨、河流、土壤类型和水库分布), 建立了洪水灾害危险性评价模型; 根据模型, 将图们江流域洪水灾害危险性划分为 5 个等级, 并得到了该研究区的危险等级分布图。结果表明: 研究区内容易受洪水灾害的分布范围较广, 其中汪清县东北部及和龙市南部地区灾害危险性最低; 安图县东部、龙井市北部和图们市危险性最高, 其中安图县二道白河水系和图们市图们江水系两岸附近最为危险。

关键词: 洪水灾害危险性; GIS; 层次分析法; 图们江流域

中图分类号: S422

文献标志码: A

Analysis of flood disaster risk of Tumen River Basin based on GIS

ZOU Jiaqi, QUAN Hechun*

(College of Engineering, Yanbian University, Yanji 133002, China)

Abstract: In order to study the risk of flood disaster in the Tumen River Basin of Yanbian Korea Autonomous Prefecture, based on the GIS platform, taking 7 counties and cities where the Tumen River Basin is located in Yanbian Prefecture as the research object, using the analytic hierarchy process and GIS spatial analysis method, by selecting 5 factors (topography, rainfall, river, soil type and reservoir distribution) that are more related to the risk of flood disaster, the flood disaster is established. According to the model, the flood risk of Tumen River Basin is divided into five levels, and the risk distribution map of the study area is obtained. The results show that the distribution of flood disaster in the study area is wide, among which the northeast of Wangqing County and the south of Helong City are the lowest; the east of Antu County, the north of Longjing City and Tumen City are the highest, among which the Erdaobai River System in Antu County and the two banks of Tumen River System in Tumen City are the most dangerous.

Keywords: flood disaster risk; GIS; analytic hierarchy process; Tumen River Basin

0 引言

随着地球气候的变化和人类活动的影响, 洪水灾害日益频发, 给人类社会带来了严重威胁。延边朝鲜族自治州因区内河网密布、地形复杂、降雨集中, 近年来也频遭洪水侵害, 造成了重大经济损失。例如 2016 年延边州因台风“狮子山”遭受重大

洪灾, 经济损失高达 20 亿元, 受灾人口约 10 万人。

近年来, 3S(RS、GIS、GPS 的统称) 技术因其具有强大的空间分析功能和众多的数据管理工具, 以及直观的表现手段, 逐渐被利用在洪水灾害的研究中, 并取得了较好的研究成果^[1]。例如: Shanker 等将导致洪灾的降水和气象因子以及人

类活动等归纳为洪水风险影响因子,利用 GIS 和 HEC-6 水力模型,对 Pari 河流域的洪水灾害进行了评价^[2];傅春梅以重庆市沙坪坝区陈家桥为例,利用 GIS 空间分析和遥感技术制作出该地区洪水灾害危险性和易损性分布图,并将两图加权叠加得到研究区的洪水灾害风险性成果图^[3];何报寅等以湖北省为例,通过对构成洪水灾害危险性的 4 个因子(降水、地形、河网以和历史上洪灾发生的频次)进行分析,得到了湖北省洪涝灾害危险性评价图^[4].图们江流域作为延边州最大的水系,目前学者利用 3S 技术对其洪水灾害研究的还相对较少,如冯恒栋等通过模拟洪水水位条件,得出了不同水位下的洪水淹没范围^[5].基于此,本文利用层次分析法和 GIS 空间分析方法,考虑降雨、地形、水系、水库分布和土壤类型 5 个因素,对延边州图们江流域洪水灾害危险性进行分析,以此为图们江流域的防灾减灾提供参考.

1 研究区概况

延边朝鲜族自治州位于吉林省东部的长白山区,北纬 $41^{\circ}59' \sim 44^{\circ}30'$,东经 $127^{\circ}27' \sim 131^{\circ}18'$.图们江流域主要位于延边朝鲜族自治州内,地处中、俄、朝 3 国交界,东临日本海^[6].本文选取延边州境内图们江流域所在的 7 个县市(安图县、汪清县、和龙市、龙井市、延吉市、图们市、珲春市)作为研究区.图们江流域的主要支流包括嘎呀河、布尔哈通河、海兰河、珲春河、二道白河、三道白河等.

2 研究方法

层次分析法(AHP)是由美国学者 T.L.Saaty 于 20 世纪 70 年代提出的一种多准则决策方法^[7],因该方法计算简单、可靠,所以被广泛应用于地质灾害预测中.在运用层次分析法解决问题

时,首先需根据问题设定总目标,然后构造层次判断矩阵,最后通过计算判断矩阵的特征值和相应特征向量来获得各因子的权重系数.获得权重系数后,还需利用随机一致性指标和随机一致性比率进行一致性检验,以此判断权重是否合理^[8].

3 洪水灾害危险评价

洪水的形成主要取决于天气因素和下垫面因素,其中下垫面因素包括地形、植被、土壤、地质、土地利用类型、湖泊及水库的分布等^[9].考虑到与洪水灾害危险性的相关性大小和数据的可获取性,选取地形、降雨、河流、土壤类型和水库分布 5 个因素对洪水灾害危险性进行评价.

3.1 地形对洪灾危险性的影响

根据图们江流域等高线图生成 TIN(不规则三角网的简称),然后按 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ 分辨率将 TIN 转为栅格图,并进行重分类,得到高程重分类后的图层.地形变化利用坡度来表示,用高程相对标准差表示坡度.高程相对标准差用 Arcmap 中 Spatial Analyst 模块中的邻域分析计算获得^[10],并将地形标准差分为 3 级:1 级(小于 12.5 m),2 级($12.5 \sim 37.6\text{ m}$),3 级(大于 37.6 m).由表 1 可以看出,绝对高程 $h(\text{m})$ 和高程标准差越小,其因子影响度越大.按照该原则对不同的地形条件进行影响度赋值,得到研究区综合地形影响因子图(图 1).

3.2 降雨量对洪灾危险性的影响

降雨的多少直接影响洪灾的严重程度.根据 2005—2015 年图们江流域境内各县市的平均降雨量进行分级.分级的原则是:降雨量越大,对洪水灾害的影响度越高,见表 2.根据该原则对不同地区赋予不同的影响度值,得到研究区的降雨影响因子图(图 2).

表 1 综合地形因子影响度

高程标准差	因子影响度				
	$h \leq 314$	$314 < h \leq 569$	$569 < h \leq 802$	$802 < h \leq 1\,123$	$h > 1\,123$
1 级($<12.5\text{ m}$)	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5
2 级($12.5 \sim 37.6\text{ m}$)	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4
3 级($>37.6\text{ m}$)	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3

表 2 降雨因子影响度

县市	降雨量/mm	影响度
延吉市	820	0.5
汪清县	847	0.6
和龙市	863	0.7
龙井市	865	0.7
图们市	866	0.7
珲春市	965	0.8
安图县	1 011	0.9

3.3 河流对洪灾危险性的影响

图们江流域内水系众多,因此利用 Arcmap 中的筛选功能选取研究区内一级支流进行分析.经综合考虑河流级别及其所处的地形,对一级河

流建立两级缓冲区,并确定不同缓冲区对应的宽度(表 3).河流所处的地形越平坦,洪灾危险性越大.根据文献[4],对非缓冲区赋 0.5,一级缓冲区赋 0.9,二级缓冲区赋 0.8,从而得到研究区综合河流影响因子图(图 3).

3.4 土壤类型对洪灾危险性的影响

当土壤中黏粒含量多时,透水性差,易产生地面径流;沙粒含量多时,透水性好,不易产生径流^[7].将图们江流域的土壤要素图转为栅格图后,对土壤类型进行划分.划分原则是土壤黏粒含量越多,洪水灾害发生的概率越大.依据该原则对不同土壤类型赋予不同的影响度值,如图 4 所示.

表 3 河流缓冲区等级与宽度值划分标准

缓冲区级别	宽度				
	$h \leq 314$	$314 < h \leq 569$	$569 < h \leq 802$	$802 < h \leq 1123$	$h > 1123$
一级缓冲区	3 000	2 500	2 000	1 500	1 000
二级缓冲区	6 000	5 000	4 000	3 000	2 000



图 1 综合地形影响因子图



图 2 降雨影响因子图

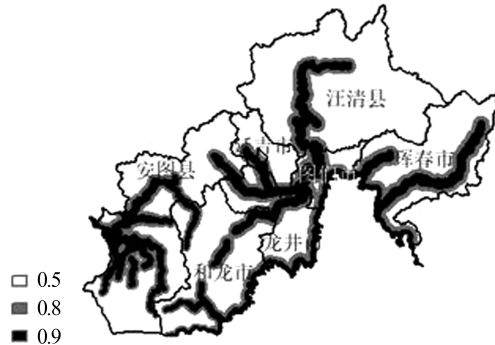


图 3 综合河流影响因子图



图 4 土壤影响因子图

3.5 水库分布对洪灾危险性的影响

水库属于防护工程.但是,当水库蓄水至一定

程度需要开闸泄洪时,离水库越近的地区越危险.因处在不同高程的水库其影响范围不同,故将图

们江流域中水库的分布点划分为 5 个高程等级,并分别建立二级缓冲区.缓冲区的高程划分和缓冲区宽度的选择与河流因子一致.根据水库所在地形越平坦,洪灾危险性越大的原则,对一级、二级与非缓冲区赋 0.9、0.8 和 0.5,如图 5 所示.



图 5 水库影响因子图

3.6 分析与评价

采用层次分析法计算各影响因子的权重值.根据文献[4-10]的相关研究,并结合研究区内情况,利用地形、降雨、河流、土壤类型和水库分布 5 个因子来构造判断矩阵(表 4).经计算,各影响因子构造的判断矩阵的最大特征向量 $\lambda_{\max} = 5.0850$,一致性指标 $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = 0.02124$,平均随机一致性指标 $RI = 1.12$.判断矩阵的随机一致性比例 $CR = CI / RI = 0.0189 \leq 0.1$,这表明本文的判断矩阵满足一致性需求.故将地形(I_1)、降雨(I_2)、河流(I_3)、土壤类型(I_4)和水库分布(I_5)的权重分别确定为 0.373 6、0.248 6、0.175 5、0.122 5 和 0.079 8,由此得洪水灾害危险性 H 的计算公式为

$$H = 0.373\ 6I_1 + 0.248\ 6I_2 + 0.175\ 5I_3 + 0.122\ 5I_4 + 0.079\ 8I_5. \tag{1}$$

表 4 构造判断矩阵

因子	地形	降雨	河流	土壤类型	水库分布
地形	1	2	2	3	4
降雨	1/2	1	2	2	3
河流	1/2	1/2	1	2	2
土壤类型	1/3	1/2	1/2	1	2
水库分布	1/4	1/3	1/2	1/2	1

根据公式(1)和地形、降雨、河流、土壤类型和水库分布影响度的栅格图,利用 ACRGIS 中栅格计算器对各图层进行代数叠加,得到图们江流域的洪水灾害的危险性分布图.采用自然断点法,将危险性分为极低、较低、中等、较高和极高 5 类,由此得到图们江流域洪水灾害危险性的等级分布图,如图 6 所示.

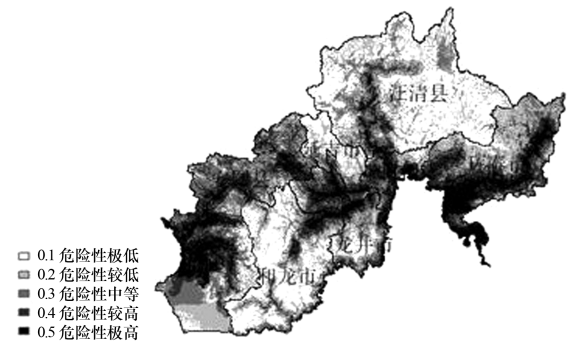


图 6 洪水灾害危险等级分布图

图 6 中,数值越高的区域越危险,即受洪水灾害的可能性越大.从整体上看,受灾可能性最大的区域位于安图县的二道白河水系和图们市的图们江水系.

1)危险性极高的区域面积约为 3 950.69 km²,占研究区总面积的 12.29%,主要分布在:安图县的两江镇、二道白河镇和永庆乡(其中以白河村、永红村、西江村等尤为危险),珲春市的敬信镇、板石镇,龙井市的龙江村、老头沟镇,图们市的安山村、农安村、向阳村等.这些地区离水系很近,水库分布集中,而且地势平坦,土壤中黏粒含量多,所以最容易发生洪水灾害.

2)危险性较高的区域面积约为 5 066.14 km²,占研究区总面积的 15.76%,主要分布在:安图县中北部,如清山村、江源村、金化村、江北村等村镇;龙井市的东平村、铜南村;和龙市的八家子镇、东城镇;图们市的河口村、曲水村;汪清县的东明村、吉祥村;珲春市的马川子乡等.这些地区离水系比较近,绝对高程较低,地势相对平坦,所以发生洪水灾害的可能性也较高.

3)危险性中等的区域面积约为 6 297.32 km²,占研究区总面积的 19.59%,主要分布在:安图县的环山村、东安村、长白村,延吉市的山根村、三峰

村,龙井市的兴南村,汪清县的百草沟镇,珲春市的杨泡乡等地区. 这些地区离水系较远,高程标准差相对较大,土壤中沙粒和黏粒含量相当,因此发生洪水灾害的可能性相对较低.

4)危险性较低的区域面积约为 $8\,126.40\text{ km}^2$,占研究区总面积的 25.28% ,主要分布在安图县南部的奶头村和汪清县西南部的鸡冠乡等. 这些地区因远离主干河流,地势相对起伏较大,水库较少,因此洪水灾害性较低.

5)危险性极低的区域面积约为 $8\,705.02\text{ km}^2$,占研究区总面积的 27.08% ,主要分布在:和龙市的南部和东部,汪清县的中部和东部,延吉市的北部. 这些地区因地形起伏大,远离水系,水库较少,土壤中沙粒含量多,因此洪水灾害危险性极低.

4 结论

本文选取地形、降雨、河流、水库分布和土壤类型 5 个因子,根据层次分析法计算各因子的加权后,利用 GIS 空间分析方法得到了图们江流域洪水灾害危险性的等级分布图. 研究结果表明,图们江流域洪水灾害的高发区位于安图县的二道白河水系和图们市的图们江水系. 该结论与近年来延边州洪水灾害的实际情况基本一致,该结果可为政府相关部门制定防洪减灾方案提供一定参考. 洪水灾害危险性分析所涉及的因素众多,本文在研究中仅选取了 5 个影响因子,因此在今后的

研究中,我们将选取更多的影响因子,如防洪工程建设、防洪政策等,以得出更加准确的分析结构.

参考文献:

- [1] 张东方. GIS 技术在洪灾风险评估中的应用[J]. 天津科技, 2006(2): 41-43.
- [2] SINNAKAUDAN S K, Ab GHANI A, AHMAD M S S, et al. Flood risk mapping for Pari River incorporating sediment transport[J]. Environmental Modelling & Software, 2003, 18: 119-130.
- [3] 傅春梅. 基于 GIS 的城镇洪水灾害风险评价研究[D]. 重庆: 西南大学, 2011.
- [4] 何报寅, 张海林, 张穗, 等. 基于 GIS 的湖北省洪水灾害危险性评价[J]. 自然灾害学报, 2002(4): 84-89.
- [5] 冯恒栋, 鲜富刚. 基于 DEM 的洪水淹没分析研究[J]. 黑龙江科技信息, 2012(33): 59.
- [6] 延边朝鲜族自治州地方志编纂委员会. 延边年鉴 2015[M]. 延吉: 延边人民出版社, 2015.
- [7] 汪应洛. 系统工程[M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2003: 130-140.
- [8] 祁靓雯. 基于 GIS 技术的紫阳县山洪灾害风险评价[D]. 西安: 长安大学, 2017.
- [9] 程先富. 安徽沿江地区洪水灾害危险性分析[C]//风险分析和危机反应的创新理论和方法: 中国灾害防御协会风险分析专业委员会第五届年会论文集. 南京: 中国灾害防御协会风险分析专业委员会, 2012.
- [10] 廖丹霞, 杨波, 王慧彦, 等. 基于 GIS 的河北省滦县洪水灾害风险评价[J]. 自然灾害学报, 2014, 23(3): 93-100.