

Study on the Division of Mountain Flood Disaster Risk Zone in Hubei Province

Qiong Li^{1,2}, Jianzhong Zhou², Jian Zhou²

¹Hubei Polytechnic University, Huangshi Hubei

²Institute of Hydropower and Digital Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan Hubei
Email: liqiong070108@163.com

Received: Nov. 20th, 2018; accepted: Dec. 5th, 2018; published: Dec. 12th, 2018

Abstract

In this paper, the factors influencing the occurrence of mountain torrent disasters, such as rainfall, average slope, river network density and relative height difference, are selected and weighted to get the map of mountain torrent disaster risk degree in Hubei Province. The vulnerability analysis was carried out with population density and economic exposure as indicators. The hazard degree map and vulnerability map were superimposed to obtain the risk zoning map of mountain torrents in Hubei Province. On the basis of traditional research methods, remote sensing images combined with mountain torrent disaster census information are used to take full account of land use types, vegetation conditions, soil utilization and other information affecting flood discharge process, which makes the zoning results more reasonable and reliable. Comparing the data of historical torrential flood, it is found that the risk zoning of mountain flood has certain accuracy. Based on these results, the risk areas of mountain torrents can be planned, so as to mitigate the impact of mountain torrents, and provide disaster risk information for local residents.

Keywords

Risk Analysis, Grey Evaluation, Mountain Flood Disaster, Risk Zoning

湖北省山洪灾害风险区的划分研究

李琼^{1,2}, 周建中², 周健²

¹湖北理工学院, 湖北 黄石

²华中科技大学, 水电与数字化工程学院, 湖北 武汉
Email: liqiong070108@163.com

收稿日期: 2018年11月20日; 录用日期: 2018年12月5日; 发布日期: 2018年12月12日

摘要

本文选取影响山洪灾害发生的降雨量、平均坡度、河网密度、相对高差等因子进行权重叠加,得到湖北省山洪灾害危险性程度图。以人口密度和人口经济暴露性为指标进行易损性分析,将危险性程度图与易损性图进行叠加,得到湖北省山洪灾害风险区划图。在传统的研究办法的基础上,采用遥感图像结合山洪灾害普查信息,较充分的考虑了影响行洪过程的土地使用类型、植被情况、土壤利用率等信息,使得区划结果更加合理、可靠。对比历史山洪灾害资料发现,此次山洪灾害风险区划具有一定的精度。据此结果可对山洪灾害危险区进行规划,从而减轻山洪灾害的影响,同时也为当地居民提供了灾害的风险信息。

关键词

风险分析, 灰色评价, 山洪灾害, 风险区划

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

山洪灾害频繁对人类社会及其生存环境造成极大的危害和不利影响[1]。山洪灾害风险区划是指根据研究区山洪危险性特征,并参考区域承灾能力及人口分布状况,把山洪灾害划分为不同风险等级的区域。灾害的“风险”包含有三方面的含义:即灾害造成的损失、事件发生的概率和可能产生的后果,山洪灾害风险区划涉及到研究区的山洪危险性评价和易损性评价。在山洪灾害风险区划中,危险度是前提,易损度是基础,风险则是结果。要研究山洪灾害风险区划,就要确定影响山洪灾害风险区划的主要因素。由于山洪灾害的形成与发展受约于多种自然与社会因素,具有自然和社会的双重属性,因此可以根据成灾的形成条件将影响洪灾风险区划的因子归结为自然因素和社会要素,并结合已有资料实际情况,建立湖北省山洪灾害风险分析指标体系。

传统的洪灾风险分析方法主要体现在工程风险的概率分析上,即通过研究风险概率分析和不确定性分析,将年均洪水超目标概率记作风险,对防洪工程进行长期风险概率估算,并提供风险概率的计算结果,但是大都没有从本身所具有的自然属性和社会属性两方面深入揭示洪水的自然特性、灾害特性和社会特性,因此难以在实际规划中运用。随着计算机技术、遥感与GIS技术的迅猛发展,目前洪水风险分析已经开始采用较为先进的技术手段,针对洪水灾害的自然属性和社会属性,深入研究洪水本身的自然特性和灾害特征等防洪减灾中的一些关键性问题,并对洪水风险分析的理论与方法进行了更为深入的探讨[2][3][4]。

本次风险区划研究采取了基于梯形白化权函数的灰色评估方法,并结合基于专家打分的层次分析法,运用地理信息系统软件(ArcGIS)的空间数据提取、空间数据采样插值及空间数据分析计算等功能,综合考虑研究区危险性、易损性各指标的影响,最终完成湖北省山洪灾害风险区划。因此,本项目采用的风险分析指标体系大致分为以下方面。

1.1. 风险分析的自然因素

自然因素包括山洪灾害的致灾因子和孕灾环境。致灾因子包括:洪水频率、发生位置、淹没范围、

淹没水深、淹没历时、洪水流速、到达时间等。孕灾环境主要包括天气因素和下垫面因素。天气因素主要有暴雨、台风、海啸等。下垫面因素包括地形、河网、植被等。本研究主要考虑的风险分析自然因素有：降雨量、平均坡度、河网密度、相对高差。

1.2. 风险分析的社会经济要素

山洪灾害的承灾体，即社会经济要素，主要包括人口、耕地、企事业单位财产、居民房屋价值等，主要是反映区域承灾的能力和损失率。社会经济要素一般可利用各种统计资料进行描述，并具有极大的区域差异性，在时间过程上具有波动性。本研究主要考虑的风险分析社会经济要素是人口密度。

2. 风险分析指标体系建立

根据湖北省 2013~2015 年度调查评价数据，和湖北省 74 个县(市、区)的水文气象、地形地貌和社会经济特征以及历史山洪灾害情况等，结合湖北省小流域空间信息数据，从危险性和易损性两个方面来构建湖北省山洪灾害风险分析指标体系(图 1)。

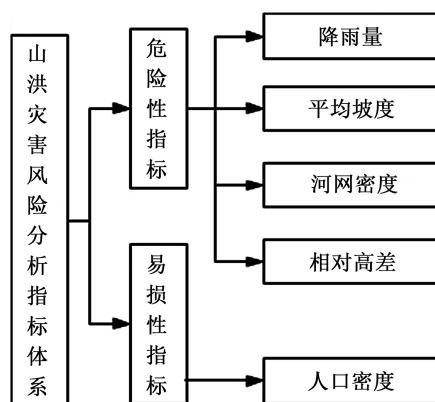


Figure 1. Map of evaluation index system of mountain torrent disaster risk in Hubei Province
图 1. 湖北省山洪灾害风险评价指标体系图

2.1. 山洪灾害危险性指标

2.1.1. 降雨因子

降雨是发生山洪灾害的决定因子，若没有降雨就不会有山洪发生，更不会带来次生灾害，降雨量的大小对山洪灾害的发生有直接影响。湖北省平均降水量在 800~1600 毫米之间。降水量分布有明显的季节变化，一般是夏季最多，冬季最少，全省夏季雨量在 300~700 毫米之间，冬季雨量在 30~190 毫米之间。6 月中旬至 7 月中旬雨最多，强度最大，是湖北的梅雨期。选取 6 h 降雨量作为降雨因子(表 1)。

Table 1. Basic characteristics of rainfall factors in Hubei Province

表 1. 湖北省降雨因子基本特征

降雨因子	最大值	平均值	最小值
6 h 降雨量(mm)	258.83	138.09	74.66

降雨的空间分布信息对于山洪灾害风险分析具有十分重要的意义。从水文气象资料中的降水量摘录表，得到全省 172 个雨量站点的多年 6 h 降雨量，经过统计分析，选择每个站点多年 6 h 降雨量的最大值作为降雨量评价因子。

降雨数据来源于雨量观测站点, 由于人力、财力等各种原因的限制, 实际观测站点的布设往往是有限的, 要从有限的雨量观测站点获取的数据来满足降雨要素在时空上的精确表达, 就需要使用一定的空间插值方法, 利用多种数学模型拟合未采样点的信息, 才能获取整个区域的降雨量。使用反距离权重插值法, 在观测站点数据的基础上获取 6 h 降雨量指标数据。结合资料分布情况, 最终以 80 mm, 110 mm, 140 mm, 170 mm 作为风险区划分标准。

2.1.2. 地形因子

地形是控制山洪灾害泛滥的重要因素, 地形相对高程越低, 地形变化越小, 越容易发生山洪灾害, 其主要表现在两个方面: 地形高程及地形变化程度。选取平均坡度和相对高差作为地形因子(表 2)。

Table 2. Basic characteristics of topographic factors

表 2. 地形因子基本特征

地形因子	最大值	平均值	最小值
平均坡度(°)	37.09	15.31	0.77
相对高差(m)	2644	947.15	65

2.1.3. 平均坡度

坡度的大小决定了汇流时间的长短, 坡度越大, 汇流时间越短, 形成洪峰的时间越短, 引发的山洪灾害也就越大。坡度是地表单元陡缓的程度, 表现了地形的变化情况, 是控制山洪泛滥的重要因素。对于某一小流域来说, 坡度小则降水不易集中, 不会造成大的危害, 地形起伏大的小流域, 由于坡度变化大, 地形的汇流作用明显, 比较容易发生山洪灾害。利用 ArcGIS 工具, 以 1:25 万地形图为基础生成 TIN, 按 500×500 进行栅格化得到研究区数字高程模型, 并进行坡度分类。将平均坡度以 8.03° , 15.3° , 22.56° , 29.83° 为界划分为五个等级。

2.1.4. 相对高差

地形的高差决定了势能的大小, 高差越大, 势能越大, 形成的山洪冲击力越大, 危害就越大。数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)作为地理数据库中最为重要的空间信息资料和赖以进行地形分析的核心数据系统, 可以从中提取相对高差, 作为定量分析地形因素的基础。使用 30 米分辨率的湖北省数字高程模型 DEM 和湖北省县边界图层在 ArcGIS 中进行叠加分析, 计算每一个县高程的最大值和最小值, 得到地形高差(图 2), 按照高差结果以 400 m, 800 m, 1200 m, 1600 m 将研究区划分为 5 个等级。

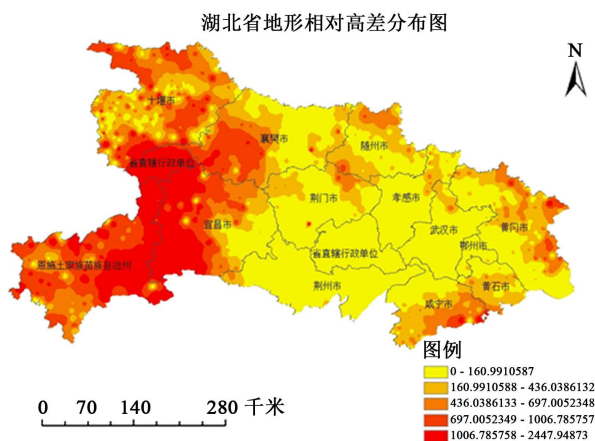


Figure 2. Distribution of relative height difference of topography in Hubei Province

图 2. 湖北省地形相对高差分布图

2.1.5. 水系因子

距离河流、湖泊、水库等越近，山洪灾害危险程度就越高，不同级别河流的影响力不同，级别越高，其影响范围越大。同一条河流对其上下游的影响程度也不同。

借助地理信息系统软件 ArcGIS 中的 Hydrotools 模块，从数字高程模型 DEM 自动提取水系特征。通过对 DEM 数据进行预处理，即洼地的确定、填充和平地的抬升，然后确定 DEM 中每一个栅格单元的水流方向。根据水流方向数据，计算每一个栅格单元的上游集水面积，再根据给定的阈值，得出河流栅格网络图，生成需要的水系，作为水系因子(表 3)。

Table 3. Basic characteristics of water system factors

表 3. 水系因子基本特征

水系因子	最大值	平均值	最小值
河网密度(km/km ²)	1.81	0.68	0.11

2.1.6. 河网密度

距离河道、湖泊、水库等越近，山洪危险程度越高，不同级别的河流其影响力的大小不同，级别越高，其影响范围越大。由于同一条河流上下游的影响程度不同，加之湖北省河网密布，情况较为复杂，故选择河网密度来确定河流对山洪灾害的影响，通常河网密度越大，危险性越大，反之越小。利用 ArcGIS 的 ArcToolbox 提供的功能，统计研究区内河流长度和区域面积，计算各乡镇的河网密度，按照河网密度分布特征，以 0.3, 0.6, 1, 1.3 为界将研究区划分为 5 个等级。

2.2. 山洪灾害易损性指标

2.2.1. 人口及经济暴露性

将人口和经济暴露在山洪灾害影响范围内的分布作为易损性指标的评价因子，反映了社会经济承灾体在遭受山洪灾害时的潜在损失，选择人口密度综合代表人口及经济暴露性，作为人口及经济暴露性因子(表 4)。

Table 4. Basic characteristics of population and economic exposure

表 4. 人口及经济暴露性基本特征

人口及经济暴露性指标	最大值	平均值	最小值
人口密度(人/km ²)	5756.86	2056.13	89

2.2.2. 人口密度

人口密度是山洪灾害易损性评价的重要指标，将区域人口除以区域面积得到。山洪灾害除了给国民经济造成巨大的损失，往往会造成人员伤亡，对受灾区域人民的生命安全造成威胁。湖北省山地丘陵面积广大，自然条件复杂，降雨时段集中，同时山丘区人多地少，生产生活空间狭小，不少城镇或居民点坐落在泥石流沟口、河谷沿岸甚至滑坡体上，造成了山洪灾害多发、易发、频发、重发的特点。山洪灾害破坏性强，一旦发生往往给山丘区造成毁灭性的灾难，山洪灾害导致大量群死群伤事件，直接影响广大人民群众的生命安全。将人口密度作为山洪灾害易损性的评价的重要依据，保证人民群众的生命安全，是山洪灾害风险区划最重要的目的。从社会经济情况汇总表获取各县人口数，并导入湖北省县级区划

数据到 ArcGIS 中, 利用几何计算功能统计各县面积, 与各县人口数综合计算出各县人口密度, 最终根据人口密度分布特征, 以 500 人/km², 1000 人/km², 2000 人/km², 3000 人/km² 为分级标准, 将研究区划分为 5 个等级。

3. 山洪灾害风险评价方法及计算

目前, 水文学界和灾害学界都对洪灾风险分析进行了研究, 虽然两者至今的研究内容有重复, 但各自的取向不同。而这种相对隔离的研究现状有碍研究的纵深发展, 因此对洪灾风险分析进行系统化研究成为必然趋势。随着科学技术的不断发展, 有关的新技术与新方法不断地开拓与应用于洪灾风险分析和防治对策研究中, 已呈现出明显的研究趋势。如 RS 技术、GIS 技术、数据库技术、计算机网络技术、洪水仿真技术、情景分析技术等的应用, 运用模糊数学理论与方法、随机数学理论与方法、灰色系统理论与方法、混沌理论与方法、遗传算法、神经网络方法、投影寻踪方法[5]等进行洪灾风险分析。本项目在湖北省水文气候及历史山洪资料审核汇集的基础上, 综合运用 GIS 技术、数据库技术、计算机网络技术、灰色系统理论等方法对湖北省 764 个乡镇的山洪灾害进行综合风险分析。

3.1. 研究方法和技术路线

山洪灾害是自然界的洪水作用于人类社会的产物, 是人与自然关系的一种特殊表现。准确来说, 形成山洪灾害必须具备以下条件: 存在诱发洪水的因子和形成山洪灾害的环境(危险性); 山洪爆发区有人类居住或分布有社会财产(易损性)。从系统论的观点来看, 两者相互作用、相互影响、相互联系, 形成了一个具有一定结构、功能、特征的复杂体系, 这就是山洪灾害系统。山洪灾害危险性分析是对研究区山洪灾害的孕灾环境或致灾因子的各种自然属性特征的概率分布作出评价; 山洪灾害易损性分析是对研究区人类居住或社会财产受到山洪灾害的损失作出评价, 是指承灾体易于受到致灾洪水的破坏, 伤害或损伤的特性。

根据综合后的山洪灾害危险性和易损性两个指标, 做出两个指标的影响度图, 并根据这两个指标对山洪灾害风险的影响程度不同, 对山洪灾害危险性和易损性两个指标进行了权重赋值。其中, 危险性综合因子的权重为 0.8, 社会经济易损性综合因子的权重为 0.2。然后用灰色聚类方法, 计算各因子影响下的综合风险值, 并根据每个斑块最后运算后的综合影响度值进行区域划分。

洪水风险理论认为洪水灾害风险是洪水危险性和社会经济易损性的综合函数, 对山洪灾害风险分析应正视山洪灾害本身所固有的复杂性和不确定性, 从最基本的元素着手分析, 对其进行组合, 进行不确定性意义下的量化分析。因此, 湖北省山洪灾害危险性分析主要是基于洪灾理论及山洪的形成机制, 综合考虑山洪危险性和社会易损性两个因素, 应用基于梯形白化权函数的灰色评估以及层次分析法, 将湖北省山洪灾害划分为五个等级: 低风险、较低风险、中等风险、较高风险和高风险, 并借助地理信息系统软件 ArcGis 的图层分析和计算功能, 在地图上以不同颜色表示山洪灾害的不同等级。大致分为以下三个步骤: ① 应用层次分析法, 分别确定山洪灾害危险性和社会易损性指标的权重; ② 建立梯形白化权函数进行灰色聚类分析, 利用层次分析法得到的指标权重, 计算出每个区域的聚类结果, 即该地区的风险等级; ③ 将研究区域分为山洪灾害高风险、较高风险、中等风险、较低风险和低风险五个类别, 得到全省 764 个乡镇风险区划结果并运用地理信息系统软件(ArcGIS)的空间数据提取、空间数据采样插值及空间数据分析计算等功能, 绘制湖北省山洪灾害风险区划图。

3.2. 湖北省山洪灾害风险评价流程

如图 3 所示。

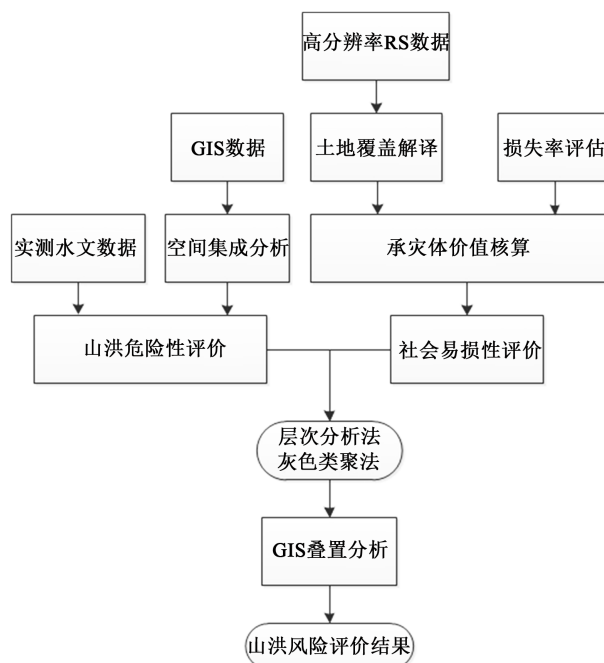


Figure 3. Flow chart of flood risk zoning
图 3. 山洪灾害风险区划流程图

4. 湖北省山洪灾害风险评价

山洪灾害是自然界的洪水作用于人类社会的产物，是人与自然关系的一种特殊表现。准确来说，形成山洪灾害必须具备以下条件：存在诱发山洪的因子和形成山洪灾害的环境(危险性)；山洪暴发区有类居住或分布有社会财产(易损性)。从系统论的观点来看，两者相互作用、相互影响、相互联系，形成了一个具有一定结构、功能、特征的复杂体系，这就是山洪灾害系统。

4.1. 应用层次分析法确定因子权重

层次分析法(Analytical Hierarchy Process)最早由美国运筹学家 T. L. Saaty 提出，其方法是按约定对两因子之间进行比较并赋值，构造多因子比较判断矩阵，从层次结构模型的第 1 级子因素开始，对同属于上一层因素的各子因素，用 1~9 比较尺度构造判断矩阵，直到最下层，然后对每一个判断矩阵计算最大特征值和对应特征向量，即可获得因子的权重系数；并利用一致性、随机一致性指标和一致性比率作一致性检验。根据危险性各个指标的重要程度，得到判断矩阵 A (见表 5)。

由表 5 用方根法求得山洪灾害危险因子：降雨量(X1)、平均坡度(X4)、相对高差(X5)、河网密度(X6) 的权重系数分别为 0.5308、0.0456、0.35、0.0736，并通过一致性检验[6]。

Table 5. Judgment matrix of risk factors of mountain flood disasters
表 5. 山洪灾害危险性因子判断矩阵

	6 小时降雨量(X1)	平均坡度(X4)	相对高差(X5)	河网密度(X6)
降雨量(X1)	1	9	2	7
平均坡度(X4)	1/9	1	1/8	1/2
相对高差(X5)	1/2	8	1	6
河网密度(X6)	1/7	2	1/6	1

根据“风险性 = 0.8 * 危险性 + 0.2 * 易损性”的原则,将山洪危险性指标权重和社会易损性指标权重进行组合确定各风险指标因子的综合权重(表 6)。

Table 6. Weights of risk assessment factors for mountain torrents
表 6. 山洪灾害风险评价因子权重

风险评价因子	因子权重
6 h 降雨量(mm)	0.2654
平均坡度	0.0228
相对高差(m)	0.175
河网密度(km/km ²)	0.0368
人口密度(人/km ²)	0.5

4.2. 用灰色聚类评估方法确定风险等级

灰色聚类分析法是以灰色系统的关联分析法确定的关联系数为基础进行聚类的方法,目前比较广泛的应用于水质分析、大气污染评价,尤其在地质灾害评价领域得到广泛发展与运用[7]。灰色白化权函数聚类主要用于检查观测对象是否属于事先设定的不同类别,以区别对待。基于梯形白化权函数的灰色评估,其核心方法是先按照评估要求所需,将各个指标的取值范围划分为多个灰类,然后通过梯形白化权函数计算每个指标值对于每个灰类的隶属度,再利用隶属度值计算每个对象对于灰类的综合聚类系数,最后根据综合聚类系数,确定每个对象归属的灰类,以达到聚类的目的。

4.2.1. 建立梯形白化权函数进行综合评价确定评价对象灰类

根据指标的数据情况并参考已有的分级标准,确定危险性指标和社会易损性指标评价灰类为 I 类、II 类、III 类、IV 类和 V 类 5 个等级,对应高风险、较高风险、中等风险、较低风险、低风险 5 个风险等级。确定灰类的灰数(表 7)、以及灰数的梯形白化权函数。

Table 7. Risk assessment classification criteria
表 7. 风险性评价分级标准

评价指标	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
降雨量(mm)	<80	80~110	110~140	140~170	>170
平均坡度(°)	<8.033	8.033~15.297	15.297~22.562	22.562~29.826	>29.826
相对高差(m)	<400	400~800	800~1200	1200~1600	>1600
河网密度(km/km ²)	<0.3	0.3~0.6	0.6~1	1~1.3	>1.3
人口密度(人/km ²)	0~500	500~1000	1000~2000	2000~3000	>3000

建立的梯形白化权函数以降雨量为例:

$$f_1 = \begin{cases} 1 & x \in [0, 80] \\ \frac{x-95}{-15} & x \in [80, 95] \end{cases} \quad (1)$$

$$f_2 = \begin{cases} \frac{x-40}{40} & x \in [40, 80] \\ 1 & x \in [80, 110] \\ \frac{x-125}{-15} & x \in [110, 125] \end{cases} \quad (2)$$

$$f_3 = \begin{cases} \frac{x-95}{15} & x \in [95,110] \\ 1 & x \in [110,140] \\ \frac{x-155}{-15} & x \in [140,155] \end{cases} \quad (3)$$

$$f_4 = \begin{cases} \frac{x-125}{15} & x \in [125,140] \\ 1 & x \in [140,170] \\ \frac{x-185}{-15} & x \in [170,185] \end{cases} \quad (4)$$

$$f_5 = \begin{cases} 1 & x \in [170,\infty] \\ \frac{x-155}{15} & x \in [155,170] \end{cases} \quad (5)$$

4.2.2. 计算灰色评价权矩阵

对评价指标 $x_i (i=1,2,3,\dots,15)$ ，第 s 个数据属于第 e 个评价灰类的灰色评价系数记为： $x_{ie}^{(s)} (e=1,2,3,4,5)$ ，则 $x_{ie}^{(s)} = f_{ie}(x_i)$ ， x_i 表示第 i 个指标值。

对评价指标 $x_i (i=1,2,3,\dots,15)$ ，第 s 个数据属于各个评价灰类的总灰色评价系数记为 $x_i^{(s)}$ ，则有：

$$x_i^{(s)} = \sum_{e=1}^5 x_{ie}^{(s)} \quad (6)$$

对所有指标值就评价指标 $x_i (i=1,2,3,\dots,15)$ ，第 s 个数据属于第 e 个灰类的灰色评价权记为 $x_{ie}^{(s)}$ ，则有：

$$r_{ie}^{(s)} = \frac{x_{ie}^{(s)}}{x_i^{(s)}} \quad (7)$$

则第 s 个数据就评价指标 $x_i (i=1,2,3,\dots,15)$ 对于各灰类的灰色评价权向量：

$$r_i^s = (r_{i1}^{(s)}, r_{i2}^{(s)}, \dots, r_{i5}^{(s)}) \quad (8)$$

将第 s 个数据的全部指标对于各评价灰类的灰色评价权向量综合后，得到第 s 个数据对于各评价灰类的评价权矩阵：

$$R^{(s)} = \begin{pmatrix} r_{1,1}^{(s)} & r_{1,2}^{(s)} & \cdots & r_{1,5}^{(s)} \\ r_{2,1}^{(s)} & r_{2,2}^{(s)} & \cdots & r_{2,5}^{(s)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{15,1}^{(s)} & r_{15,2}^{(s)} & \cdots & r_{15,5}^{(s)} \end{pmatrix} \quad (9)$$

4.3. GIS 软件的应用

由于山洪是具有空间属性的自然过程，其风险评估与地理空间信息和属性信息关系密切，而 GIS 软件又具有功能齐全的处理地理空间信息的能力和好的模型结合与处理效果，所以在山洪风险区划研究中运用 GIS 技术，可以大大提高评估的精度和速度[8]。与区划评价相关的因素包括地形因素，历史洪水以及气候因素，这些因子都具有很强的区域地理差异性，适宜用空间数据表达，而地理信息系统作为空间数据管理与分析的重要技术工具，对山洪灾害风险区划有着极大的支持与辅助作用。

5. 山洪灾害风险区划与成果检验

风险区划

将山洪灾害危险性分布与易损性分布叠加等到山洪灾害的风险分布图，其计算公式如下：

$$R = 0.8H + 0.2V$$

式(5-1)中 R 为山洪灾害的风险指数， H 为山洪灾害的危险性指数， V 为山洪灾害的易损性指数。

根据湖北省山洪灾害风险分析指标体系，在收集整理资料的基础上，综合考虑影响湖北省山洪灾害的致灾因子危险性和承灾体易损性，利用灰色评价方法结合层次分析法(AHP)建立分析模型并编写计算程序，对山洪灾害危险性和易损性按权重进行叠加分析，将湖北省山洪灾害风险性划分为五个等级：低风险性、较低风险性、中等风险性、较高风险性、高风险性(表 8)，得到湖北省山洪灾害风险性分布结果(表 9)，并编制湖北省山洪灾害风险性区划图。

Table 8. Risk classification of mountain flood disasters in Hubei Province

表 8. 湖北省山洪灾害风险等级划分

等级划分	灾害含义
低风险区	发生山洪灾害的可能性极低，即便发生其造成的损失也很小，几乎无影响。
较低风险区	发生山洪灾害的可能性较低，对建筑损坏、人员安全、农田的影响较小。
中等风险区	发生山洪灾害的可能性较高，对危险区居民点、人员安全、农田的影响不可忽视。
较高风险区	发生山洪灾害的可能性很高，对防治区企事业单位的运行、人员财产安全、农田的影响较大。
高风险区	发生山洪灾害的可能性极高，暴雨时极有可能发生山洪，造成人员伤亡、农田淹没、房屋损毁，是重点关注对象。

Table 9. The proportion of township area affected by mountain torrents

表 9. 山洪灾害乡镇面积占比

风险性等级	各等级面积(km ²)	各等级面积占比(%)
低风险区	4523.57	2.91
较低风险区	9342.62	6.01
中等风险区	32,270.96	20.75
较高风险区	35,391.44	22.76
高风险区	73,969.98	47.57

在湖北省山洪灾害风险评价的基础上，以乡镇为研究区评价单元，利用 ArcGIS 的几何计算功能，统计不同风险等级所占面积(表 9)。

湖北省山洪灾害高风险区总面积最大，为 73,969.98 km²，占研究区域总面积的 47.57%，主要分布在十堰市、恩施市和神农架省直辖市范围内，为郧西县、房县、巴东县和长阳土家族自治县等县市，其中随县高风险区分布面积最大，为 5637.33 km²，占高风险区总面积的 7.6%。

山洪灾害较高风险区面积为 35,391.44 km²，占研究区域总面积的 22.76%，主要分布在保康县、丹江口市、五峰土家族自治县、建始县、松滋市、罗田县、蕲春县和通山县等县市。

山洪灾害中等风险区面积为 32,270.96 km²，占研究区域总面积的 20.75%，主要分布在黄冈市和宜昌市等地区，其中兴山县所占面积最大，为 2331.21 km²，宜城市、当阳市和大悟县次之，依次为 2143.50 km²、2140.33 km² 和 2004.98 km²。

较低风险区分布较为分散,其中分散面积最多的县市为崇阳县,为 1912.91 km²,占较低风险区总面积的 20.48%;湖北省山洪灾害较低风险区面积较小,为 9342.62 km²,仅占研究区域总面积的 6.01%。

低风险区面积占比最小,为 4523.57 km²,占研究区域总面积的 2.91%。其空间分布较为零星,主要分布于新洲区、黄石市区、茅箭区、张湾区、点军区等地区,且多位于地级市区附近。

湖北省山洪灾害风险性空间分布具有显著的特征:总体上湖北省西部、中部地区山洪风险性较东部地区普遍要高,这主要是由于西部和中部地区山洪危险性整体偏高,社会经济易损性大,故山洪灾害风险较高。而东部区域则由于山洪危险性较低,社会经济较不发达,山洪灾害风险相对较低。低风险、较低风险区分布范围较为稀疏,其主要分布在东南和部分中部地区的低山丘陵地区,该区大部分地面高程在 500 米以内,地形起伏平缓,高差不大,即使发生强降雨也不易短时间内形成洪灾,失去了发生山洪灾害的必要条件,因此山洪风险较小。中等风险区主要分布在流域中上游水系的两侧,其分布基本与水系空间分布相一致。较高和高风险区相对集中,主要分布在北部、西南部以及中部地区。

6. 结论与展望

根据 DEM 资料及部分统计年鉴资料对山洪灾害风险性进行研究,绘制了湖北省山洪灾害风险区划图。应用 ArcGIS 的空间数据处理分析方法使复杂的灾害风险区划变得简便,也提高了风险区划的精度。研究结果显示高风险区主要集中在北部、西南部以及中部地区。

根据山洪灾害危险区划图可以有针对性的对山区的土地利用进行规划并设置一些主动避灾的防洪减灾非工程措施,这对完善湖北省的防洪减灾体系有着十分重要的意义。今后可采用遥感图像结合山洪灾害普查信息,充分考虑影响行洪过程的土地使用类型、植被情况、土壤利用率等信息,使得区划结果更加合理、可靠。

基金项目

国家自然科学基金重大研究计划重点项目(91547208);2017 年度湖北省教育厅科学研究计划资助项目(B2017255);中国博士后科学基金第 61 批面上资助(2017M612460)。

参考文献

- [1] 仇蕾,王慧敏,马树建. 极端洪水灾害损失评估方法及应用[J]. 水科学进展, 2009, 20(6): 869-875.
- [2] 魏一鸣,金菊良,杨存建,等. 洪水灾害风险管理理论[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 11-18.
- [3] Zou, Q., Zhou, J.Z., Zhou, C., et al. (2013) Comprehensive Flood Risk Assessment Based on Set Pair Analysis-Variable Fuzzy Sets Model and Fuzzy AHP. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, **27**, 525-546.
- [4] Li, Q., Zhou, J.Z., Liu, D.H., et al. (2012) Disaster Risk Assessment Based on Variable Fuzzy Sets and Improved Information Diffusion Method. *Human and Ecological Risk Assessment*, **19**, 857-872.
- [5] 汪志红,王斌会. 投影寻踪技术在突发事件风险分类评级中的应用-以广东省雷电灾害风险评价为例[J]. 灾害学, 2011, 26(3): 78-82.
- [6] 刘雨华. 基于梯形模糊数的指标权重确定方法的应用研究[J]. 南京信息工程大学学报: 自然科学版, 2009, 1(4): 369-372.
- [7] 赵昱,刘行,徐佳欣,等. 基于层次分析法—灰色聚类的 PFI 模式下公租房建设的风险评价方法[J]. 工程管理学报, 2013, 27(1): 69-72.
- [8] 丁文峰,杜俊,陈小平,等. 四川省山洪灾害风险评估与区划[J]. 长江科学院院报, 2015, 32(12): 41-45.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2334-3338，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ojswc@hanspub.org