

# 基于 GIS 的河南省洪灾风险评价

刘德林<sup>1,2</sup>

(1. 河南理工大学 安全与应急管理研究中心, 河南 焦作 454000; 2. 河南理工大学 应急管理学院, 河南 焦作 454000)

**摘要:** 区域洪灾风险评价是洪水灾害管理的基础。以洪灾频发的河南省为研究区, 在综合分析洪水致灾主要影响因素的基础上, 从洪灾的危险性和承灾体的易损性两个角度出发, 选取绝对高程、坡度、年均降水量、河网分布、人口密度和 GDP 密度 6 个指标构建了河南省洪灾风险评价体系。借助 ArcGIS 平台空间分析和叠加功能, 获得了河南省洪灾风险评价图。结果表明: (1) 河南省洪灾风险呈现明显地带性, 总体来说从南到北逐渐降低; (2) 从行政区划上来看, 信阳市大部分地区和驻马店中南部处于洪灾高风险区, 三门峡、焦作、新乡、鹤壁和濮阳处于低风险区, 其他地区皆处于中度风险区。

**关键词:** 洪水灾害; 风险评价; 河南省; 暴雨

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)03-0126-04

中图分类号: P954

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.03.024

## Risk Evaluation of Flood Disasters in Henan Province Based on GIS

LIU De-lin<sup>1,2</sup>

(1. Safety and Emergency Management Research Center, Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan 454000, China; 2. Emergency Management School, Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan 454000, China)

**Abstract:** Risk assessment of regional floods is the basis of flood disaster management. This paper takes Henan Province as the study area, where has suffered from frequent flood disasters. The main factors of flood disasters were first analyzed, and six indexes were chosen to build the assessment system of flood disaster risk from the aspects of dangerousness and vulnerability of flood disasters. The six indexes were absolute elevation, slope, average annual precipitation, river distribution, population density and the GDP density. The risk distribution map of flood disasters was obtained by using the functions of spatial analysis and overlay of ArcGIS software. Results showed that: (1) The risk of flood disaster decreased gradually from the south to north. (2) From administrative divisions, most areas of Xinyang City and some of the southern areas of Zhumadian City were in the high risk zone, Sanmenxia, Jiaozuo, Xinxiang, Hebi and Puyang Cities were in the low risk zone, and other areas were in the middle risk zone

**Keywords:** flood disaster; risk assessment; Henan Province; rainstorm

洪水灾害是中国最为严重的自然灾害之一。据民政及水利部门统计, 1991—2012 年, 中国洪水灾害的直接经济损失约为  $2.95 \times 10^{12}$  元, 年均直接经济损失约  $1.34 \times 10^{11}$  元, 占自然灾害经济总损失的 49.44%, 若不考虑发生特大地震的 2008 年, 洪水灾害损失占自然灾害总损失的 60% 以上<sup>[1]</sup>。河南省地跨长江、黄河、海河和淮河 4 大流域, 流域面积广, 水系密度大, 加之气候、环境和土壤条件的影响, 境内水旱灾害频繁, 为全国洪水重灾区之一。近几十年来, 由于降水持续增多且时空分布不均, 河南省洪水灾害

几乎每年发生。据不完全统计, 从 1950—2004 年, 河南省共发生洪水灾害 1 152 次, 平均每年 20 多次, 累计死亡人数 21 200 人, 直接经济损失  $2.27 \times 10^{10}$  元<sup>[2]</sup>。频繁发生的洪水灾害给河南人民的生命和财产安全带来了严重的威胁, 给当地国民经济特别是农业生产及生态环境带来众多不利的影响。为了对洪水灾害进行有效的管理, 预防洪水灾害的发生和减少灾害发生时的影响, 有必要对区域洪水灾害风险进行评价和区划研究。

因此, 本文的目的是在分析河南省洪灾成因的基

收稿日期: 2013-07-19

修回日期: 2013-08-03

资助项目: 河南省政府决策研究招标课题“河南省防洪减灾应急管理体系创新研究”(2011B231); 河南省教育厅科学技术研究重点项目“河南郑东新区 LUCC 对区域水质的影响”(12A610005); 河南理工大学博士基金项目“河南省洪水灾害的人口暴露及对策研究”(B2011-033); 河南省教育厅人文社会科学研究项目(2014-gh-060)

作者简介: 刘德林(1979—), 男(汉族), 山东省潍坊市人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事安全与应急管理方面的相关研究和教学工作。E-mail: liudelina@163.com。

基础上,选取洪水致灾关键影响因子进行风险评价与区划研究。以期为该省洪灾风险管理、防洪减灾规划和洪灾应对提供依据,同时为该省农业产业结构优化、土地资源综合利用及社会经济发展规划提供参考。

## 1 研究区概况

河南省地处黄河中下游,地理坐标为东经  $110^{\circ}21'$ — $116^{\circ}39'$ ,北纬  $31^{\circ}23'$ — $36^{\circ}22'$ ,国土总面积为  $1.67 \times 10^5 \text{ km}^2$ ,其中,常用耕地面积为  $7.20 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 。2011年年末总人口  $1.05 \times 10^8$ 人,平均人口密度为  $628 \text{ 人/km}^2$ 。该区横跨黄河、淮河、海河和长江4大水系,流域面积广,水系密度大,境内密布河流1500多条。其中,流域面积在  $1.00 \times 10^6 \text{ km}^2$  以上的河流就有493条。该省属暖温带—亚热带、湿润—半湿润季风气候,雨热同期、春旱夏涝,年均降水量为  $500 \sim 900 \text{ mm}$ ,但降水时空分布不均,部分地区年均降水量可达  $1100 \text{ mm}$  以上,约有60%的降水集中在汛期<sup>[3]</sup>,河南省地貌和土壤类型复杂多样,地势起伏较大,海拔高度为  $23.2 \sim 2413.8 \text{ m}$ 。

## 2 数据源与研究方法

### 2.1 洪灾风险评价指标

洪灾的形成与发展受自然因素和社会因素的共同作用。从系统的角度来说,洪水成灾的基本条件有孕灾环境、致灾因子和承灾体,三者缺一不可。其中,孕灾环境是指形成洪灾的自然因素,如地形地貌、水文气候、土壤植被和河流湖泊等;致灾因子是指导致洪灾发生的触发因素,如降水量、降水历时和河流水情等;承灾体是指承受灾害的对象,如人口、经济、资源和环境等。孕灾环境和致灾因子反映了灾害的自然属性,承灾体则反映了灾害的社会属性。因此,洪灾风险评价应包括洪灾的危险性评价和承灾体的易损性评价两部分内容。

借鉴前人研究成果<sup>[4-5]</sup>,结合河南省洪灾的孕灾环境、成灾特点和数据资料的可获得性,从洪灾的危险性和承灾体的易损性两个角度出发,选取绝对高程、坡度、年均降水量、河网分布、人口密度和GDP密度6个指标构建河南省洪灾风险评价体系。

### 2.2 数据来源

本文所用坡度和高程数据来源于2009年的中国30 m分辨率DEM数据集;水系数据和河南省县市区行政区划数据来源于河南省1:25万基础地理信息系统;多年平均降雨量来源于全国1 km格网年均降水量空间化数据(建站到1996年);人口密度数据来源于2003年的年全国1 km格网人口空间化数据;地

均GDP来源于2003年的全国1 km格网GDP空间化数据。

### 2.3 数据处理

(1) 由于所用数据来源不一,其投影和地理坐标系有所差异,需对其进行统一,以便进行空间叠加分析。本文利用Arc/Info软件将上述指标数据统一转化成Geographic(Lat/Lan)投影、WGS 84坐标系和1 km格网空间数据格式。

(2) 由于所用数据多为全国范围数据,本文以河南省县市区行政区划图为基础,利用ERDAS Imagine 9.1软件的裁剪功能获取指标数据的研究区范围。

(3) 由于所选指标计量单位不同,取值变化范围大,因此需对数据进行标准化处理。本文将处理好的指标按因子属性对洪水危险程度进行划分,分别以数值5,4,3,2,1代表高、较高、中等、较低和低5个危险程度等级。

### 2.4 研究方法

本文主要运用了ArcGIS平台的空间分析、空间叠加和数据格式转化功能、Erdas 9.1软件的图像处理功能和专家打分等方法。

## 3 结果与分析

### 3.1 洪灾危险性分析

3.1.1 降水对洪灾的影响 降水对洪灾的影响主要表现在年降水量和降水强度两个方面,而降水强度可用多年平均暴雨日数来表示。受季风气候的影响,河南省约有60%的降水集中在汛期,降水年内分配不均成为河南省洪灾发生的主要原因<sup>[6]</sup>。有研究表明,汛期降水总量和汛期相当暴雨日数有极强的正相关性,相关系数高达0.97<sup>[7]</sup>。结合数据的可获得性和文献<sup>[7]</sup>的研究成果,本文选取河南省多年(1949—1999年)汛期(5—9月)平均降水量来研究降水对洪灾的影响。根据降水量越大,洪水危险性越高的原则,结合河南省实际降水情况,确定降水因子对洪灾形成的影响度划分标准和赋值(表1)。根据表1确定的划分标准和赋值进行重分类,可得到降水对洪灾影响度的分布情况。

3.1.2 地形特征对洪灾的影响 地形特征与洪水的危险程度紧密相关,其对洪灾的影响主要表现在海拔高度和地形变化程度两个方面,而地形变化程度通常用坡度来表示。本文所用地形高程和坡度数据来源于2009年中国30 m分辨率DEM数据集。根据绝对高程越低、坡度越小,洪水危险程度越高的原则<sup>[6]</sup>,结合河南省实际情况,确定地形因子对洪水危险程度

的划分标准<sup>[5]</sup>(表 1),通过叠加高程栅格数据层和坡度栅格数据层,并根据表 1 确定的综合地形因子影响

度划分和赋值标准进行重分类,可得到地形特征对洪灾影响度分布情况。

表 1 各因子影响度划分标准和赋值

多年汛期平均降水量/mm		绝对高程/m		坡度/(°)		人口密度/(人·km <sup>-2</sup> )		GDP 密度/(10 <sup>4</sup> 元·km <sup>-2</sup> )	
分级	赋值	分级	赋值	分级	赋值	分级	赋值	分级	赋值
>1 000	5	<100	5	<4	5	>1 500	5	>500	5
800~1 000	4	100~200	4	4~8	4	1 000~1 500	4	300~500	4
700~800	3	200~400	3	8~12	3	500~1 000	3	200~300	3
600~700	2	400~600	2	12~16	2	300~500	2	100~200	2
<600	1	>600	1	>16	1	<300	1	<100	1

3.1.3 水系分布对洪灾的影响 区域水系的分布状况在很大程度上影响区域洪水发生的概率。一般来说,区域洪水的危险程度受距离水系的远近(距离越近,危险程度越高)、水系自身的级别(级别越高,危险程度越高)和水系所处地形(地势越低、地形越平坦,危险程度越高)的综合影响。结合河南省历史水情资料和相关研究文献可知,河南省的洪水主要来源于黄河和淮河两大水系的干流和支流<sup>[6]</sup>。由于地形因素对洪灾的影响已单独研究,所以本文在分析过程中,只考虑河流级别和距离对洪灾的影响。

河流距离对洪灾的影响主要是通过建立河流缓冲区来进行研究,不同的缓冲区宽度代表不同地段洪灾发生的概率。本文对河流建立 3 级缓冲区,缓冲区的宽度主要考虑河流的级别和实际的影响,如将黄河和淮河干流视为 1 级河流,其支流与其他河流视为 2 级河流,不同级别河流缓冲区的具体宽度和赋值见表 2。通过叠加 1 级河流和 2 级河流缓冲区栅格数据层,并根据表 2 确定的河流缓冲区划分标准和赋值进行重分类,可得到河流分布对洪灾影响度的分布情况。

表 2 河流缓冲区等级和宽度值的划分标准及赋值

缓冲区/km	1 级河流	赋值	2 级河流	赋值
1 级缓冲区	5	5	3	5
2 级缓冲区	10	4	6	4
3 级缓冲区	15	3	9	3
非缓冲区	>15	2	>9	2

### 3.2 洪灾承灾体易损性分析

致灾因子是灾害产生的充分条件,而承灾体是放大或缩小灾害的必要条件<sup>[8]</sup>。同样级别的洪水发生的地区不同,导致的损失结果也不尽相同。因此,洪灾的风险评价必须考虑承载体的易损性。在不考虑防灾救灾水平差异的前提下,区域的人口密度和经济发展水平在一定程度上可反映研究区遭受洪灾的潜

在损失程度<sup>[9]</sup>。因此,本文选取人口密度和地均 GDP 两个指标来分析洪灾承灾体的易损性。

3.2.1 人口密度影响因子 洪灾对人类社会的影响首先表现为人员的伤亡。一般而言,对于同样的洪水,人口密度越大,受影响人口越多,影响程度也越大。利用“中国科学院地理科学与资源研究所资源环境数据中心”发布的 2003 年全国 1 km 格网人口空间化数据,确定河南省人口密度范围。由该数据计算统计知,河南省人口密度范围在 0~39 920 人/km<sup>2</sup>,而人口密度小于 300,500 和 1 500 人/km<sup>2</sup> 的面积分别占总面积的 27.4%,52.2%和 95.1%。根据人口密度越大,影响越大的原则,结合上述计算结果,在考虑均差和标准差的基础上,确定人口密度因子对洪灾影响程度划分标准和赋值(表 1)。根据划分标准和赋值进行重分类,可得到人口密度对洪灾影响度的分布情况。

3.2.2 GDP 密度影响因子 洪灾对人类社会的另一个重要影响就是经济财产的损失。由于 GDP 是评价地区经济发展的一项重要标志,因此本文选用地均 GDP 作为研究区域的社会经济因素。利用“中国科学院地理科学与资源研究所资源环境数据中心”发布的 2003 年全国 1 km 格网 GDP 空间化数据,确定河南省 GDP 密度范围。由该数据计算统计知,河南省 GDP 密度范围在 1~28 438 万元/km<sup>2</sup>,而 GDP 密度小于 200,300 和 500 万元/km<sup>2</sup> 的面积分别占总面积的 59.0%,71.9%和 83.9%。根据 GDP 密度越大,损失越大的原则,结合计算结果,在考虑均差和标准差的基础上,确定地均 GDP 因子对洪灾影响程度划分标准和赋值(表 1)。根据划分标准和赋值进行重分类,可得到 GDP 密度对洪灾影响度的分布情况。

### 3.3 洪灾危险性、易损性与风险评价

在综合分析各影响因素的基础上,利用 ArcGIS 软件强大的空间叠加和分析功能,获取河南省洪灾的危险性、易损性和风险评价结果。首先,通过叠加降

水、地形和河网因子,获取洪水的危险性评价分布情况;再次,通过叠加人口密度和地均GDP因子,得到洪灾的易损性评价分布情况;最后,通过叠加洪水危险性和洪灾易损性评价分布情况,得到河南省洪灾风险评价结果。

由于各评价因子对洪灾形成的影响有所差异,在计算过程中采用加权叠加,各因子权重的确定主要采用专家打分法,同时结合前人研究成果和研究者对洪灾的认识,最终确定各评价因子的权重如下:降水(0.4)、地形(0.2)、河网(0.2)、人口密度(0.1)和地均GDP(0.1)。

从河南省洪水危险性分布图(附图3)可以看出,河南省洪水危险呈现明显地带性,总体来说,从南到北逐渐降低,这主要是受降水的影响所致。从行政区划来看,信阳市中部地区和驻马店中南部处于洪水高危险区;驻马店大部、南阳和平顶山东南部、漯河、周口南部和安阳西部地区处于洪水较高危险区;南阳、平顶山、许昌、周口和商丘大部地区处于洪水中等危险区;三门峡、焦作、新乡、鹤壁、濮阳和安阳大部分地区处于洪水较低危险区。从不同洪水危险区所占全省总面积的比例来看,河南省所处洪水高、较高、中等、低和较低危险区的面积占全省总面积的百分比分别为:20.6%,22.7%,25.1%,24.3%和7.2%。

从河南省洪灾易损性计算与统计数据来看,河南省洪灾易损性高的区域为郑州、许昌、漯河、焦作大部地区以及南阳、洛阳和新乡部分地区;而三门峡、洛阳、济源、南阳的大部分地区和信阳市南部地区洪灾的易损性非常低,其他地区处于中间。从洪灾不同易损性所占面积来看,河南省所处洪灾易损性为高、较高、中等、低和较低的面积占全省总面积的百分比分别为:24.9%,23.7%,27.0%,11.3%和13.1%。

从河南省洪灾风险分布图(附图4)可以看出,河南省洪水风险也呈现明显地带性,其变化趋势与洪水风险变化趋势基本相同。从行政区划上来看,信阳市大部分和驻马店中南部发生洪灾的风险非常大;驻马店、漯河和南阳大部分地区、洛阳、平顶山和周口南部小部分地区也有发生洪水形成洪灾的可能;其他地区不太可能发生洪灾,特别是三门峡、焦作、新乡、鹤壁和濮阳,发生洪灾的概率非常小。从不同洪水风险区所占面积比例来看,河南省所处洪水高、较高、中等、低和较低风险的面积占全省总面积的百分比分别为:20.6%,18.8%,20.7%,27.5%和12.4%。

## 4 结论

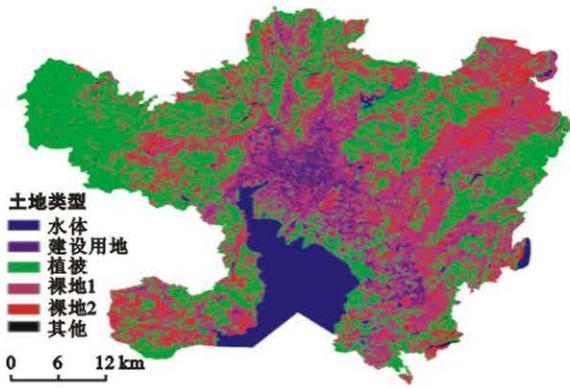
在综合分析河南省洪水致灾主要影响因素的基

础上,通过选取绝对高程、坡度、年均降水量、河网分布、人口密度和GDP密度6个指标构建了河南省洪灾风险评价指标体系。借助ArcGIS平台空间分析和叠加功能,对河南省洪灾风险进行了评价与制图。该评价结果与区域洪灾实际发生情况基本吻合,具有一定的实际应用价值,可为该区域的洪灾风险管理、防洪减灾规划和洪灾应对提供依据。

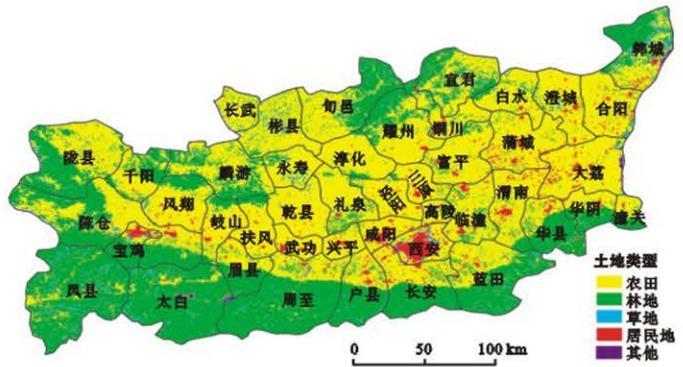
本文评价结果的准确性受所用数据的完备性和评价模型的有效性两个方面的影响。从数据方面来说,以往关于洪灾风险评价或区划的研究多以行政区划为基本分析单元,采用数据多来源于统计数据,其特点是更新快、现时性强,但空间分辨率相对较低;本文所用数据多为公里网格数据,虽然空间分辨率有所提高,但多为2003年左右的数据,时效性不强,精度也有待进一步提高。因此,国家应建立并完善基础数据共享平台、加快基础数据的更新周期、扩大基础数据的共享范围、提高基础数据的共享效率。从评价模型来看,主要涉及两个因素:一是评价指标的选取,二是指标权重的确定。由于洪灾形成过程复杂、影响因素众多,加之一些影响因素的数据资料缺乏或无法量化等原因,要进行完全、准确的量化研究还有一定困难。因此,如何根据研究区的特点,建立健全合理的评价指标体系,有待进一步研究与完善。此外,由于各影响因素对洪灾形成的贡献有所差异,而不同的权重赋值又会产生不同的评价结果。因此,如何确定合理的相对权重是洪灾风险评价乃至是各种评价中亟待解决的问题之一。

### [参考文献]

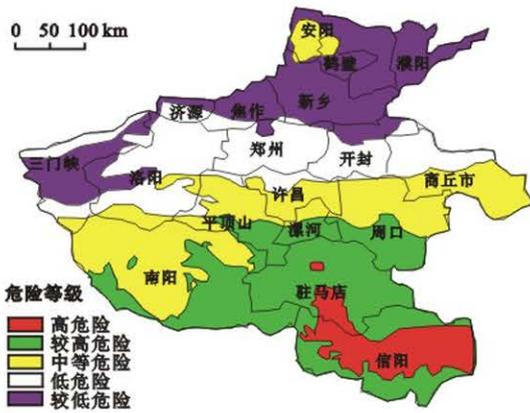
- [1] 万新宇,王光谦.近60年中国典型洪水灾害与防洪减灾对策[J].人民黄河,2011,33(8):1-4.
- [2] 周存旭,金世海.河南省山洪灾害的危害、成因及防治对策[J].自然灾害学报,2008,17(3):148-151.
- [3] 王纪军,裴铁璠,苏爱芳,等.河南省降水集中程度研究[J].人民黄河,2010,32(10):84-86.
- [4] 李林涛,徐宗学,庞博,等.中国洪灾风险区划研究[J].水利学报,2012,43(1):22-30.
- [5] 杜鹃,何飞,史培军.湘江流域洪水灾害综合风险评价[J].自然灾害学报,2006,15(6):38-44.
- [6] 李谢辉,王磊.河南省洪灾风险危险性区划研究[J].人民黄河,2013,35(1):10-13.
- [7] 吴正华,李海盛,储锁龙.汛期相当暴雨日数与总降水量的定量关系[J].气象,1998,24(12):13-17.
- [8] 史培军.三论灾害研究的理论与实践[J].自然灾害学报,2002,11(3):1-9.
- [9] 丁燕,史培军.台风灾害的模糊风险评估模型[J].自然灾害学报,2002,11(1):34-43.



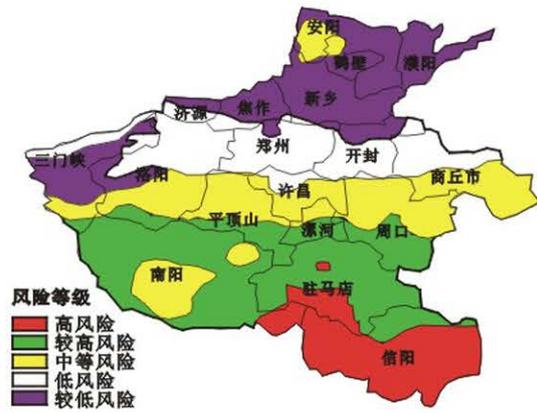
附图1 云南省土地覆被类型



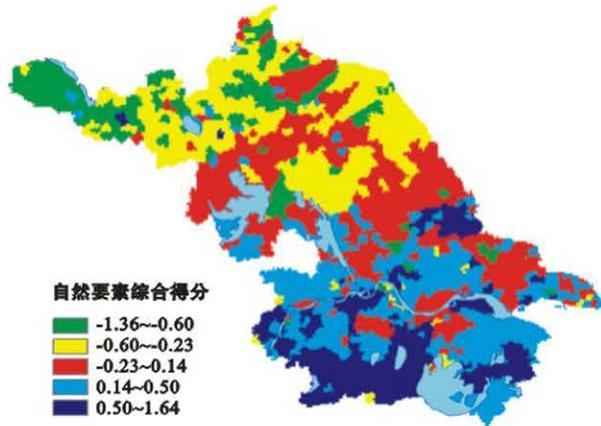
附图2 陕西省关中地区土地覆被类型



附图3 河南省洪水危险等级分布



附图4 河南省洪灾风险等级分布



附图5 江苏省水土保持指标体系中的自然要素、社会经济要素、土地利用要素、水土流失要素空间分布

