

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2018.01.16

基于 GIS 的山区村镇多灾种耦合风险评估

王嘉君,何亚伯,杨琳,陈瑶

(武汉大学土木建筑工程学院,湖北 武汉 430072)

摘要:为解决在山区村镇多灾种综合风险评估中忽略灾害间相互作用、对村镇防灾减灾规划指导缺乏的问题,提出基于 GIS 的多灾种耦合风险评估模型。本文以神农架林区为研究对象,选取山洪、泥石流和滑坡 3 种主要自然灾害为评价对象,从危险性、易损性两个方面,致灾因子、孕灾环境、承载体暴露性与敏感性、防灾减灾能力四个角度建立评价体系,基于 ArcGIS 10.1 空间分析技术进行多灾种风险耦合分析,利用风险矩阵完成综合评估。结果显示:神农架自然灾害风险高值区主要分布在林区西部和南部大部分地区、东北部局部地区。该模型提高了多灾种耦合风险评估的准确度、角度精度,改进后的模型具有较高的实用价值。

关键词:多灾种风险;空间分析;触发耦合;云模型

中图分类号:P694

文献标识码:A

文章编号:1003-8035(2018)01-0102-11

Comprehensive multi-hazard risk assessment of villages and towns in mountain areas based on GIS

WANG Jiajun, HE Yabo, YANG Lin, CHEN Yao

(Wuhan University Civil Engineering School, Wuhan, Hubei 430072, China)

Abstract: A comprehensive multi-hazard risk assessment model, based on GIS, was developed in order to deal with the interactions of multiple hazards of mountain area and give effective guidance on country disaster prevention and mitigation planning. In this paper, the Shennongjia Forestry District was selected as the research area. Three main natural disasters (mountain torrent, debris flow and landslide) were selected as evaluation object. Evaluation framework was established from the two aspects, risk and vulnerability, and four angles which are disaster factors, disaster environment, bearing exposure and sensitivity, disaster prevention and mitigation capacity. Comprehensive assessment was performed by risk matrix and multi-hazard coupling based on ArcGIS geographic analysis technique. The result shows that the high risk area mainly distributed in the western and southern part of the forest. This model enhances the accuracy and the angle accuracy of the comprehensive multi-hazard risk assessment model, the improved model has high practical value.

Keywords: multi-hazard risk; space superimposition; trigger-coupling events; cloud model

人类生产活动的破坏性开发致使自然环境日益恶化,我国中西部山区丘陵地区气象、地质耦合灾害频发。我国山区村镇地域广阔,受制于低下的经济、教育、医疗发展水平以及落后的防灾减灾布置能力,村镇

“因灾致贫、因灾返贫”现象时有发生。山洪、滑坡、泥石流等多种自然灾害不断演化,造成的影响远比单灾种大而深远,因而对山区村镇进行单灾种评估已无法满足村镇综合风险管理的需求,开展多灾种综合风险

收稿日期:2017-07-24; 修订日期:2017-12-08

基金项目:国家科技支撑计划课题“村镇区域综合防灾减灾信息系统研究及示范”(2014BAL05B00)

第一作者:王嘉君(1993-),女,山西长治人,工程管理专业,硕士研究生,主要研究方向为防灾减灾、可持续城市与区域发展。

E-mail:wangjiajun93@whu.edu.cn

评估意义重大^[1]。

作为灾害风险研究的重要发展方向,多灾种风险评估得到越来越多研究者的关注^[2]。国外的自然灾害风险研究机构相继提出 JRC 多致灾因子评估方法、多灾种风险评估软件包(HAZUS-MH),全面考虑自然灾害和技术灾害的多灾种综合风险评估^[3-4]。国内众多学者关于自然灾害风险评估多侧重于单灾种包括泥石流^[5]、洪涝^[6-7]等,从致灾因子、孕灾环境、承灾体、防灾能力等角度出发^[8],以指标为核心建立风险评估体系。在对多灾种之间相互作用关系描述中,常见的有灾害链^[9-10]、多米诺效应^[11]、级联效应^[12]、耦合关系^[13]等,评估理论和方法趋于量化,如基于历史灾情的数理统计^[14]、人工神经网络^[15]、模糊信息粒化^[16]、GIS 提取栅格技术^[17-18]等。上述方法在一定程度上对多灾种综合风险进行评估,但各灾种动力来源不同、特征各异、致灾机理复杂不明,特定的承灾体和孕灾环境对灾害损失程度具有较大影响,缺乏对一个区域多角度、高精度的评估^[19]。

神农架林区是湖北长江和汉江的分水岭,区内四大水系河谷深切,横断面多呈“V”形,人口密布、村镇分散,是中国灾害多发区。近年来神农架林区村镇受到关注,主要涵盖山洪损失预测^[20]、泥石流及崩滑流风险评价^[21-22]、村镇规划防灾能力^[23-24]、山区脆弱性研究^[25],缺乏多灾种耦合、多角度评价方面的研究。本文首先对单灾种危险性进行评价,进而对单灾种进行耦合后获得多灾种危险性图件;然后从林区承载力、区域抗灾能力入手评价,获得区域脆弱性评价;最后通过风险矩阵叠加分析,绘制综合风险分布图。

1 研究区域概述

1.1 研究区概况

神农架地处湖北省西部边陲,地跨东经 109°56′~110°58′,北纬 31°15′~31°75′,总面积 3 253 km²,全区位于第二第三级阶梯交界处,为震旦纪浅变质岩系为主的柔性结晶岩层所组成的亚高山。山脉呈东西方向延伸、由南向北逐渐降低,区内山峰 1 500 m 以上居多,相对高差 2 707.4 m。林区南坡属长江流域,北坡属汉水流域,呈扇形放射状向外奔流,河流下切强烈,属于典型的山地河流。林区地处北亚热带季风气候区,气温偏凉且多雨,年降水量 900~1 000 mm。特定的地质背景、地理位置和气候条件使得林区成为气象地质灾害频发地段;山区交通条件不便,村镇房屋结构薄弱,民众受教育程度偏低使林区在面对自然灾害时

易受威胁。神农架林区地势图见图 1。

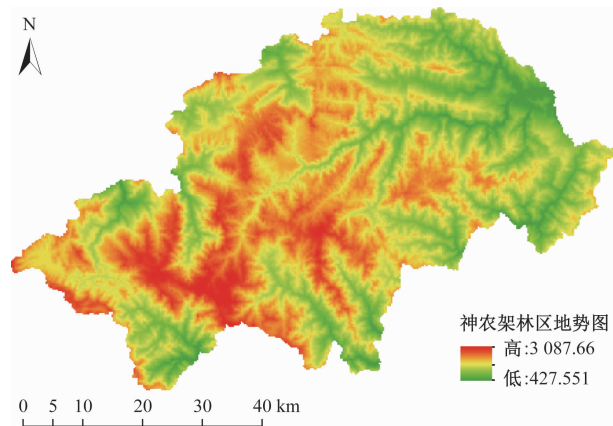


图1 神农架林区地势图

Fig. 1 Terrain map of the study area

1.2 数据来源

(1)致灾因子的气象资料,包括 31 个气象自动站及 5 个水文站分布图,年降雨量、月降雨量、日降雨量、对应的水位值,历史灾情数据;

(2)孕灾环境的自然地理状况的资料,其中覆盖神农架林区的 1:30 000 DEM,神农架林区遥感影像资料(2015)、全区地貌分区图、城镇植被分布图、全区工程地质岩组图、林区剥夷面分级图等,河流水系面图等及盆域分布图、洼地分布图;

(3)承载体的社会经济发展资料,其中行政区划图、道路交通体系图,镇区用地现状、基础设施建设现状、林区产业发展现状、土地利用现状居民点建设现状、人口分布资料、产业经济类数据;

(4)反映村镇防灾抗灾能力的资料,如镇区防灾现状图、统计年鉴、《重大地质灾害防治规划(2013~2017)》、灾害防御工事建设数据、预警预案数据。

对部分明显不合理数据进行剔除、插补,以确保综合评估的可信度。

1.3 研究对象界定

相对于单灾种而言,多灾种是一定时间一定区域范围内,多种危险性因子并存从而导致多个灾种在时间和空间上形成并发的现象^[26]。神农架林区因降雨引起的山洪灾害发生频率高、强降雨集中、影响范围广,在具备泥石流、滑坡等灾害发生的地质地貌条件下,往往能引发次生灾害,形成山洪-滑坡、山洪-泥石流、山洪-滑坡-泥石流现象。针对神农架特定本文基于神农架地区山洪对地质灾害泥石流、滑坡的触发关系展开多灾种评估,研究区危险性因子见表 1。

表 1 神农架林区单灾种危险性指标

Table 1 Hazard indicators for each single hazard in Shennongjia

灾种	危险性因子	
	指标	选取数据描述
山洪 H_1	极限降雨水平 H_{11}	洪灾发生时的日最大降雨量。
	汛期降雨水平 H_{12}	汛期(5~9月)降雨量历史均值。
	降雨高程分布 H_{13}	同一区域同一高程降雨水平基本一致,以等高线表征降雨分布。
	河网密度 H_{14}	包括林区内不同等级的河流、湖泊、水库、沟渠等。
	坡度 H_{15}	坡度是指过该点的切平面与水平地面的夹角,衡量地形危险度。
泥石流 H_2	规模 H_{21}	一次泥石流最大可能冲出量,用于估量泥石流的能量大小。
	泥石流发生频率 H_{22}	分类采用模糊性指标,即泥石流 100 年发生的次数。
	流域面积 H_{23}	为河口以上分水线所包围的面积,反映泥石流沟谷发育程度的重要参数,流域面积随着泥石流沟谷的发育逐渐增。
	主沟长度 H_{24}	影响泥石流沟谷发育程度快慢的一个指标,二者间成正比的关系。
	流域最大相对高差 H_{25}	代表泥石流的潜在势能,反映泥石流的切割程度和速度。
滑坡 H_3	主沟平均比降 H_{26}	反映主沟内流体动能的情况,为主沟内高差与主沟的长度比。
	相对高程 H_{31}	采用相对高程衡量小区域内的势能。
	坡度 H_{32}	坡度是指过该点的切平面与水平地面的夹角,衡量地形危险度。
	地层岩性 H_{33}	软硬等级,地层岩性组合对滑坡的影响主要是其节理的发育程度和岩石硬度,易于亲水软化的土层和节理发育较多的脆性岩类发生滑坡的可能性大于其他岩类。
	与断层距离 H_{34}	与断层的距离越近,岩石受地质构造的作用越强烈,挤压变形,越易发生滑坡。
	与水系距离 H_{35}	河岸的冲刷、掏蚀对斜坡的稳定有极大的危害。
	与道路距离 H_{36}	道路开挖破脚、爆破削弱坡体前部支撑作用,破坏了原有平衡。

多灾种的危险性综合评估是建立灾害初始危险性评估指标体系、判定各灾种危险性,进而设定灾害之间基于触发关系的耦合规则,对被触发灾害的初始危险性指数进行修正,最后绘出多灾种耦合综合危险性区划图。

2 研究方法

2.1 多灾种耦合危险性评估

2.1.1 确定初始危险性指数

设区域内共有 m 种灾害,对于每一评价单元,灾害 i 的初始危险性指数用 H_i 表示,计算公式如下:

$$H_i = \sum_{j=1}^n w_{ij} \times H_{ij}; i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$$

式中: w_{ij} ——第 j 个指标对应的权重, $\sum_{j=1}^n w_{ij} = 1$;

H_{ij} ——第 j 个指标对应的危险性大小;

m ——灾种总数,灾种用 i 标记, $i = 1, 2, \dots, m$;

n ——灾害 i 的指标个数,指标用 j 标记, $j = 1, 2, \dots, n$ 。

确定单灾种初始危险性指数并进行危险性分级,是多灾种耦合分析的基础^[27]。采用指标权重法计算各灾种初始危险性指数,并依据表 2 进行分级。

2.1.2 危险性指数修正

在单灾种危险性分级的基础上进行触发关系分析,若灾害之间存在触发关系,则表明被触发灾害的初始危险性指数 H ,不能完全反映其危险性,需要依据触

发关系进行调整,在此引入变量 ΔH ,来表征初始危险性指数的改变量。

表 2 危险性指数与危险性等级的对应关系

Table 2 Corresponding relationship between hazard index and hazard level

H	危险性等级	H	危险性等级
$(0 \leq H_{ij} < 1)$	非常低	$(1 \leq H_{ij} < 2)$	低
$(2 \leq H_{ij} < 3)$	高	$(3 \leq H_{ij} < 4)$	非常高

建立基于触发关系的空间耦合规则(表 3)。在触发灾害的初始危险性等级为非常高、高和中的区域,相应被触发灾害的 ΔH_i 分别为 1.0、0.6 和 0.3;在危险性等级为低,认为其等级过低而不足以触发次生灾害,即相应 $\Delta H_i = 0$ 。若某种灾害可被多种灾害触发,则对其 ΔH_i 进行累加。

表 3 基于触发关系的多灾种耦合规则

Table 3 Assumption for triggering-triggered relations

触发灾害的初始危险性等级	ΔH_i
非常高	1.0
高	0.6
中	0.3
低	0.0

按照上述耦合规则,可以得到修正的危险指数 H'_i ,表达式如下:

$$H'_i = H_i + \Delta H_i$$

依据 H'_i 按照表 2 中对应关系进行危险性分级,当

$H'_i > 4$ 时认为其等级为非常高。

2.1.3 多灾种危险性综合评估

一是“最大值原则”,直接以各灾种危险性的最大者作为综合危险性代表,即

$$H = \max\{H'_i\}; i = 1, 2, \dots, m$$

另一种是用赋权法得到多灾种综合危险性 H , 每一类灾害在多灾种危险性中都占一定权重, 即:

$$H = \sum H'_i W_i; i = 1, 2, \dots, m$$

考虑到神农架地区山洪和地质灾害的耦合现象, 多种灾害往往同时发生, 在空间上具有损害叠加的效果, 本文采取赋权法对多灾种危险性进行综合评价。

2.2 区域易损性评估

区域脆弱性 V 是指在一个目标区域内潜在的受灾因素受到影响或破坏的难易度和抗拒灾害的能力, 环境和社会驱动力相互作用决定了暴露度和敏感性, 不同的社会、文化、政治和经济条件改变着暴露单元的适应能力^[28], 因此, 脆弱性是关于承载体暴露性、灾损敏感性、区域抗灾能力的函数, 即

$$V = f(E, S, AC)$$

式中: V ——脆弱性;

E ——暴露性;

S ——敏感性;

AC ——区域应灾能力。

2.3 综合风险性评估

在灾种评估中, 灾害风险 R (risk) 一般由危险性 H (hazard) 和脆弱性 V (vulnerability) 所确定^[29], 即 $R = f(H, V)$ 。

区域多灾种综合风险分级参考澳大利亚和新西兰风险管理标准 (Risk Management, AS/NZS 4360:1999), 将自然灾害风险的两大要素, 即多灾种危险性和区域脆弱性按照各自的特性, 分别作为横纵轴, 形成风险评价矩阵。风险矩阵的形式可以采用分段函数来表示:

$$R = f(H, V) = [R_{ij}], \text{ 当 } \begin{cases} H_i \leq H < H_{i+1} \\ V_j \leq V < V_{j+1} \end{cases} \text{ 时,}$$

式中: R_{ij} ——表示在风险矩阵中, 危险性为 i 且脆弱性为 j 的评价单元对应的风险等级;

H_i 和 H_{i+1} 、 V_j 和 V_{j+1} ——分别表示危险性等级 i 、脆弱性等级为 j 的下限和上限。

2.4 指标权重确定

云模型^[30]既可挖掘出数值的范围和分布规律, 也能将精确数值抽象描述, 可以实现定性定量相互转化, 因此可较好地解决指标权重确定过程中存在的模糊性

与不确定性问题。

①专家咨询

假定评价对象的指标论域 U 中有 a 个指标, 表示为 $U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_a\}$, 各指标对应的权重为 $W = \{w_1, w_2, w_3, \dots, w_a\}$ 。请 L 位专家对 w_i 的最大值、最小值以及最可能值在 $[0, 100]$ 内赋值 (分值越大表示越重要), 分别对应 lw_{imax} , lw_{imin} 和 lw_{ip} , 其中 $l = 1, 2, 3, \dots, L$, $i = 1, 2, 3, \dots, a$ 。

②运用逆向云发生器处理专家打分得到权重云

对第 l 位专家的赋值 lw_{imax} , lw_{imin} , lw_{ip} 进行归一化处理, 得到新数据 lw'_{imax} , lw'_{imin} , lw'_{ip} , $i = 1, 2, 3, \dots, m$, $l = 1, 2, 3, \dots, L$; 对第 i 个指标 lw'_{imax} , lw'_{imin} , lw'_{ip} 用一种改进的无确定度逆向云发生器得到各组的权重云 $Y_{imax}\{Ex_{imax}, En_{imax}, He_{imax}\}$, $Y_{imin}\{Ex_{imin}, En_{imin}, He_{imin}\}$, $Y_{ip}\{Ex_{ip}, En_{ip}, He_{ip}\}$ 。

根据权重云的数字特征, 通过 Matlab 基于正向云发生器生成云图, 云图凝聚性越优, 专家认识越统一。将凝聚性差的指标反馈给专家, 重复步骤①、②, 直至获得凝聚性优良的云。

③依据综合云算法计算权重

依据综合云算法求得最大值云、最小值云、综合云, 即 $Y_{imax}\{Ex_{imax}, En_{imax}, He_{imax}\}$ 、 $Y_{imin}\{Ex_{imin}, En_{imin}, He_{imin}\}$ 、 Y_{ip} , 再求得 Y_{im} 与最可能值云 $Y_{ip}\{Ex_{ip}, En_{ip}, He_{ip}\}$ 的综合云 $Y_i\{Ex_i, En_i, He_i\}$, 综合云 Y_i 的期望 Y_{xi} 即为第 i 个指标的权重值期望。将各指标的权重值期望 Ex_i ($i = 1, 2, 3, \dots, a$) 归一化计算得到后续步骤中使用的权重, 即 $W = \{w_1, w_2, \dots, w_a\}$ 。

本研究中三个云较为接近且均存在部分交点, 根据云模型的几何特征, 以 $Y_1\{Ex_1, En_1, He_1\}$ 、 $Y_2\{Ex_2, En_2, He_2\}$ 为例, 获得两者综合云 $Y\{Ex, En, He\}$ 的算法如下:

$$\begin{cases} Ex = \frac{Ex_1 En_1 + Ex_2 En_2}{En_1 + En_2} \\ En = (\max\{Ex_1 + 3En_1, Ex_2 + 3En_2\} - \min\{Ex_1 - 3En_1, Ex_2 - 3En_2\}) / 6 \\ He = \frac{He_1 En_1 + He_2 En_2}{En_1 + En_2} \end{cases}$$

当求取多个云的综合云时, 可以按要求顺序, 重复使用上述规则求取综合云数值特征^[31]。

3 结果分析

3.1 多灾种耦合危险性评估

3.1.1 确定初始危险性指数

对于神农架的单灾种危险性进行评估, 遵循简明

性、独立性的指标确立原则,共选取最具各灾害代表性的 17 项指标分别对山洪、泥石流、滑坡等单灾种危险评估。基于综合云确定指标权重(表 4)。以 ArcGIS

为平台通过叠加分析,生成各灾种初始危险性图(图 2)。

表 4 神农架林区单灾种危险性指标、权重分级及方案

Table 4 Hazard indicators, weights and classification scenarios for each single hazard in Shennongjia

灾种	危险性因子	危险性等级指数				权重
	指标	1	2	3	4	
气象灾害						
山洪	极限降雨水平	[0,87.65)	[87.65,95.12)	[95.12,101.50)	[101.50,113.05)	0.204
	汛期降雨水平	[616.68,690.89)	[690.89,776.81)	[776.81,858.83)	[858.83,948.66)	0.154
	降雨高程分布	[0,500)	[500,100)	[1 500,2 000)	[2 000,3 000)	0.163
	河网密度	[0,1.814)	[1.815,3.629)	[3.630,5.445)	[5.446,7.529)	0.252
	坡度	[0,15)	[15,35)	[35,50)	≥50	0.227
地质灾害						
泥石流	规模	≤1	[1,10)	[10,100)	≥100	0.219
	泥石流发生频率	≤10	[10,50)	[50,100)	≥100	0.219
	流域面积	≤0.5	[0.5,10)	[10,35)	≥35	0.187
	主沟长度	≤1	[1,5)	[5,10)	≥10	0.156
	流域最大相对高差	≤0.2	[0.2,0.5)	[0.5,1.0)	≥1.0	0.125
	主沟平均比降	≤0.1	[0.1,0.3)	[0.3,0.5)	≥0.5	0.094
	相对高程	[0,500)	[500,100)	[1 500,2 000)	[2 000,3 000)	0.125
	坡度	≤15	[15,35)	[35,50)	≥50	0.250
滑坡	地层岩性	辉绿岩、辉绿玢岩,灰岩、白云岩,神农架群上亚群	粗面岩、碱性玄武岩,粉砂岩,神农架群下亚群	砂砾岩、碳酸盐岩	灰岩、泥灰岩、页岩/板岩	0.321
	与断层距离	[1 300,2 100)	[1 000,1 300)	[750,1 000)	≤750	0.107
	与水系距离	[200,320)	[150,200)	[100,150)	≤100	0.107
	与道路距离	[320,540)	[250,320)	[175,250)	≤175	0.089

3.1.2 修正危险性指数

对研究区内存在触发关系的灾种进行识别和统计,考虑到神农架汛期是泥石流、滑坡等突发性地质灾害易发期,山洪与地质灾害在时间和地点上具备相关性。山洪主要通过改变土体的水动力条件和稳定性、提供汇水面积和水源等诱发滑坡、泥石流灾害。触发关系见表 5。表中 1 表示存在触发关系,0 表示不存在。

表 5 灾害之间的触发关系统计

Table 5 Statistics for triggering-triggered relations among multi-hazards

被触发灾害	触发灾害		
	山洪	泥石流	滑坡
山洪	×	0	0
泥石流	1	×	0
滑坡	1	1	×

结果表明山洪灾害的发生改变了地质灾害的孕灾因子和致灾因子,突破防御系统的阈值,耦合达到最大阈值,触发次生灾害的发生,影响该灾种的实际危险性。基于触发关系耦合规则,进行神农架林区灾害风

险空间耦合,形成修正危险性等级分布图(图 3)。

3.1.3 多灾种危险性综合评估

考虑到神农架地区山洪和地质灾害的耦合现象,多种灾害往往同时发生,在空间上具有损害叠加的效果^[32]。本文采取云模型确定权重,计算结果见表 6。

表 6 自然灾害危险性平均权重

Table 6 Average weights of natural disaster harms

指标	山洪	滑坡	泥石流
权重	0.439	0.384	0.377

根据灾种危险性权重可得神农架林区多灾种耦合风险分布图(图 4)。由图可知,神农架林区西部、南部的危险性高。西南部、中部的危险性中等,北部、东南部的危险性较低。

3.2 区域易损性评估

3.2.1 建立评价指标

山洪和泥石流、滑坡的承灾体涵盖范围广,区域易损性与暴露在危险性中的价值、承载体抵抗灾害的敏感性有关,鉴于数据的可获取性和可对比性,选取 19 个指标,采用自然裂点法进行指标等级划分,结合云模型确立指标权重值(表 7)。

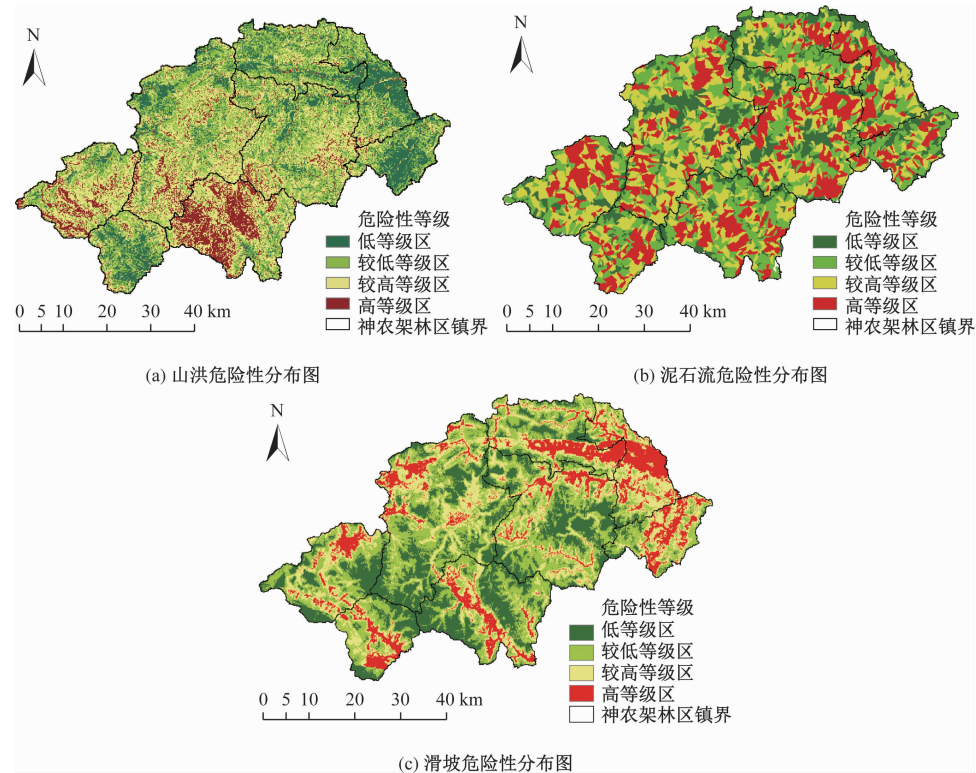


图 2 神农架林区初始危险性分布图

Fig. 2 Integrated zoning map of hazard factors in Shennongjia

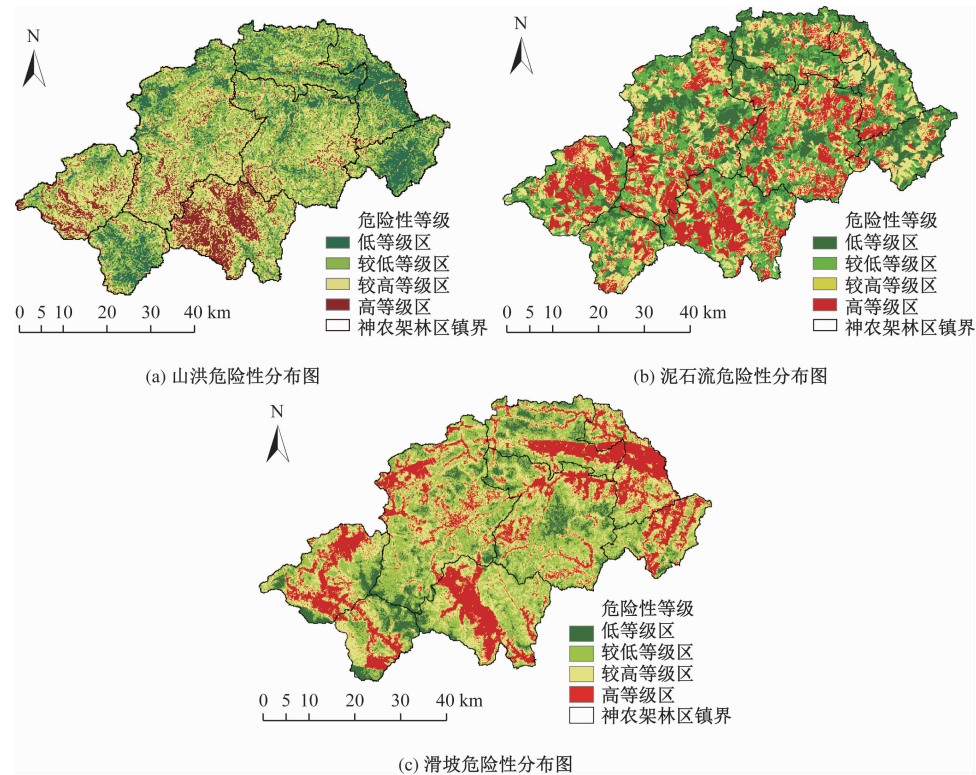


图 3 神农架林区修正危险性分布图

Fig. 3 Integrated zoning map of correction hazard factors caused hazard in Shennongjia

表 7 神农架林区承灾体易损性指标、权重及分级方案

Table 7 Vulnerability index, weights and classification scenarios for disaster-bearing body in Shennongjia

指标			等级指数				权重
			1	2	3	4	
暴露性因子							
社会因素	人口密度	人口密度影响人员撤离效率	[0,1 074)	[1 074,5 505)	[5 505,13 695)	[13 695,34 233)	0.067
	建筑物价值	建造成本不同,损毁修复价值不同	土结构破旧及简易建筑	砖结构、水泥结构	木结构、铁结构	混凝土结构、钢结构	0.069
经济因素	道路价值	建造成本不同,损毁修复价值不同	乡道、村道	县道	省道	国道	0.072
	产业产值	产业不同,单位面积财富值不同	林地、牧草地	果园等园地、工业用地	旱地、水田、渔业	旅游、商业用地	0.052
敏感性因子							
社会因素	人口体能指数	应急能力,表现为个体转移避难速度	[18,35)	[35,59)	[0,18)	≥60	0.055
	人口受教育程度	自救能力,表现为掌握应急自救技术熟练度	本科及以上	高中	初中	小学及以下	0.053
经济因素	房屋建筑物类型	类型影响其破损程度	混凝土结构、钢结构	木结构、铁结构	砖结构、水泥结构	土结构破旧及简易建筑	0.054
	道路等级	道路等级不同,灾损程度不同	国道	省道	县道	乡道、村道	0.057
	产业敏感性	历史灾情损失数据衡量不同产业灾损敏感性	林地、牧草地	旅游、商业用地	果园等园地、工业用地	旱地、水田、渔(渔业)	0.041
应灾能力指标							
基础应灾能力	政府抗灾指挥人数	反映政府的应急管理能力	[0,0.14)	[0.14,0.60)	[0.60,1.18)	[1.18,2.00)	0.045
	消防人员数	反映抗灾人员配置水平/每百人	[0,1.86)	[1.86,3.50)	[3.50,6.66)	[6.66,11.17)	0.050
	执业医师助理数	反映医疗方面人员配置水平/每千人	[0,0.33)	[0.33,0.70)	[0.70,1.48)	≥1.48	0.039
	地区人均收入水平	反映居民个体的经济实力	[0,1 500)	[1 500,4 740)	[4 740,5 554)	[5 554,7 000)	0.056
	卫生床位数	反映医疗方面物资配置水平/每千人	[0,2.1)	[2.1,4.1)	[4.1,5.4)	≥5.4	0.047
	道路密度	反映交通运输能力	[0,0.03)	[0.03,0.10)	[0.10,0.20)	[0.20,1.00)	0.056
	人均堤防长度	衡量防洪建设工事水平	[0,1.14)	[1.14,4.77)	[4.77,16.82)	[16.82,57.97)	0.046
	气象监测站等级	衡量灾害预报能力水平	[0,0.74)	[0.74,0.82)	[0.82,0.92)	[0.92,1.00)	0.039
专项应灾能力	信号发送人数	衡量洪灾预警响应速度/每百人	[0,0.19)	[0.19,0.37)	[0.37,0.62)	[0.62,1.93)	0.051
	转移安置负责人数	衡量洪灾救援专项水平/每百人	[0,0.32)	[0.32,0.66)	[0.66,1.17)	[1.17,2.23)	0.051

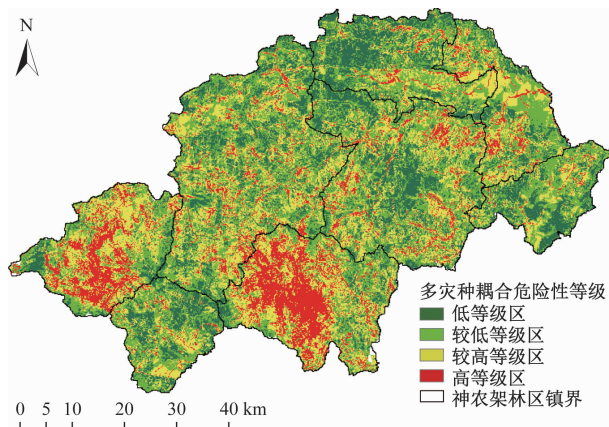


图 4 神农架林区多灾种耦合风险分布图

Fig. 4 Integrated zoning map of multi-hazard coupling risk in Shennongjia

3.2.2 区域易损性综合评价

承载体物理暴露性与灾损敏感性与区域易损性成正相关,区域应灾能力与区域脆弱性成反相关。基于 ArcGIS 的加权叠加分析,绘制林区易损性分布图(图 5)。从图中可以看出,易损性等级分布总体呈现成片连区的模式,相同易损性等级的村镇呈聚集状,符合区域社会经济的发展特征。

3.3 多灾种耦合综合风险评估

3.3.1 全区多灾种风险综合评价结果

根据风险矩阵分级标准(表 8),对林区多灾种耦合危险性和脆弱性评价图进行叠加运算,可得神农架地区自然灾害综合风险评价图和农架林区多灾种综合风险各风险等级区域面积分布情况表(表 9)。

神农架林区的主要自然灾害有山洪、滑坡、泥石流

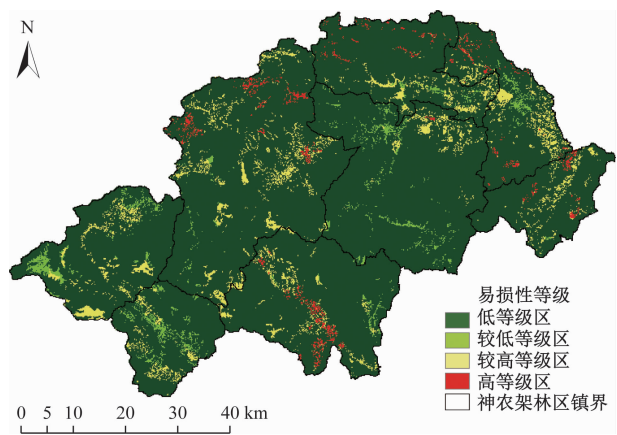


图 5 神农架林区易损性分布图
Fig.5 Integrated zoning map of vulnerability in Shennongjia

3 种,林区共发现地质灾害隐患点 200 余处;超过一半村镇属于综合风险等级高及以上,主要分布在神农架的西部和南部绝大部分地区、东北部局部地区;低风险区主要位于林区东南部(图 6)。

表 9 神农架林区多灾种综合风险各风险等级区域面积分布情况表
Table 9 The area distribution of comprehensive multi-hazard risk levels in Shennongjia

综合风险	低等级区		较低等级区		较高等级区		高等级区	
危险等级值	1	2	3	4	5	6	7	8
面积	0	269.60	947.03	914.93	675.49	316.46	90.84	38.64
比例	0	0.082 9	0.291 1	0.281 3	0.207 7	0.097 3	0.027 9	0.011 8

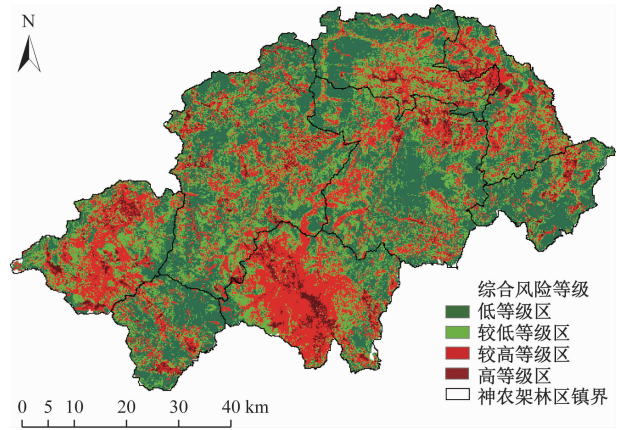


图 6 神农架林区综合风险评估图
Fig.6 Integrated zoning map of comprehensive risk ssessment map in Shennongjia

木鱼镇现状灾害类型主要为地质灾害包括滑坡、泥石流。其中,滑坡体量较大的灾害点是镇区西侧的香溪源滑坡点。现状灾害点大致分布在镇区的西侧,对镇区的发展有较大影响(图 7)。

表 8 综合风险等级值

Table 8 Risk matrix of potential multi-hazard with respect to urban land-use types

元素	易损性的程度			
危险性的程度	1	2	3	4
1	2	3	4	5
2	3	4	5	6
3	4	5	6	7
4	5	6	7	8

3.3.2 重点区域多灾种评价结果

木鱼镇地处大巴山东端的神农架山脉南麓,位于神农架南部,属高山地貌区,镇域平均海拔 1 600 m,沟壑纵横河谷深切,地形条件复杂。属北亚热带,降水季度分配不均,矿产资源丰富,部分已处于开发利用状态。

4 结论与总结

本文从危险性和易损性两部分进行分析,采用云模型赋权重,构建村镇多灾种耦合综合指标体系和基于 ArcGIS 的综合风险评估模型,以神农架林区为例形成 10 m × 10 m 的多灾种耦合风险区划图。结果表明:

(1)多灾种危险性、承载体易损性评价体系中指标选取完善度优、针对性强、可靠性高,风险评价预测准确性高;采用云模型赋权重可提高权重准确性与科学性。

(2)建立基于触发关系的多灾种耦合危险性修正模型,对存在关联的相应被触发灾种进行危险性指数调整,得出修正的各灾种危险性等级,拟合多灾种之间的触发关系。

(3)基于 ArcGIS 10.1 进行数据处理和运算,使用图形拓扑、叠加功能得到研究区综合风险分布图,提高研究区域精确度,可视化的成果便于政府部门科学布

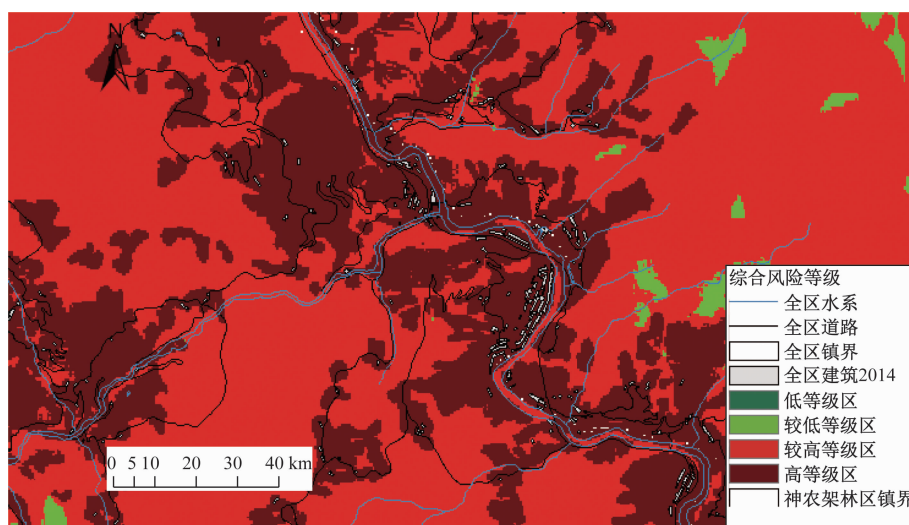


图7 木鱼镇镇区综合风险评估图

Fig.7 Integrated zoning map of comprehensive risk assessment map in Muyu

置防灾减灾工作、调配救灾人员和物资。

进一步需要提出的是本文的待完善之处:指标分级方法选取需完善;对于非气象、地质灾害间的作用方式与耦合效果需进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 葛全胜,邹铭,郑景云,等. 中国自然灾害风险综合评估初步研究[M]. 北京:科学出版社,2008:67-80.
GE Quansheng, ZOU Ming, ZHENG Jingyun, et al. Integrated assessment of natural disaster risks in China [M]. Beijing: Science Press, 2008:67-80.
- [2] 黄崇福. 自然灾害风险评价理论与实践[M]. 北京:科学出版社,2004:67-80.
HUANG Chongfu. Risk assessment of natural disaster theory & practice[M]. Beijing: Science Press, 2004:67-80.
- [3] 陈报章,仲崇庆. 自然灾害风险损失等级评估的初步研究[J]. 灾害学,2010,25(3):1-5.
CHEN Baozhang, ZHONG Chongqing. A preliminary study on risk loss degree assessment of natural hazards [J]. Journal of Catastrophology, 2010, 25(3):1-5.
- [4] 田亚平,向清成,王鹏. 区域人地耦合系统脆弱性及其评价指标体系[J]. 地理研究,2013,32(1):55-63.
TIAN Yaping, XIANG Qingcheng, WANG Peng. Regional coupled human-natural systems vulnerability

and its evaluation indexes [J]. Geographical Research, 2013; 32(1):55-63.

- [5] 崔鹏,邹强. 山洪泥石流风险评估与风险管理理论与方法[J]. 地理科学进展, 2016,35(2):137-147.
CUI Peng, ZOU Qiang. Theory and method of risk assessment and risk management of debris flows and flash floods[J]. Progress in Geography, 2016,35(2):137-147.
- [6] 缪启龙,陈鑫,俞布,等. 杭州市暴雨洪涝灾害风险区划[J]. 长江流域资源与环境,2012,21(S2):163-168.
MIAO Qilong, CHEN Xin, YU Bu, et al. Risk division of rainstorm flooding disasters in Hangzhou City[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2012,21(S2):163-168.
- [7] 赵士鹏. 中国山洪灾害系统的整体特征及其危险度区划的初步研究[J]. 自然灾害学报. 1996,5(3):95-101.
ZHAO Shipeng. An elementary study on whole characteristics of mountain torrents disaster system in china and its hazard regionalization [J]. Journal of Natural Disasters, 1996,5(3):93-99.
- [8] 盖程程,翁文国,袁宏永. 基于GIS的多灾种耦合综合风险评估[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2011,51,(5):627-631.
GAI Chengcheng, WENG Wenguo, YUAN Hongyong. Multi-hazard risk assessment using GIS in urban areas

- [J]. Tsinghua Univ (Sci& Tech), 2011, 51(5): 627-631.
- [9] 刘爱华, 吴超. 基于复杂网络的灾害链风险评估方法的研究[J]. 系统工程理论与实践, 2015, 35(2): 466-472.
- LIU Aihua, WU Chao. Research on risk assessment method of disaster chain based on complex network [J]. Systems Engineering: Theory & Practice, 2015, 35(2): 466-472.
- [10] SHI P J. On the role of government in integrated disaster risk governance-based on practices in China [J]. International Journal of Disaster Risk Science, 2012, 3(3): 139-146.
- [11] Van Westen C, Melanie S, Kappes MS. Medium-scale multi-hazard risk assessment of gravitational processes [C]//Mountain risks: from prediction to management and governance. Dordrecht: Springer Netherlands, 2014: 201-231.
- [12] Nguyen H T, Wiatr T, Fernandez-Steeger T M. Landslide hazard and cascading effects following the extreme rainfall event on Madeira Island (February 2010) [J]. Natural Hazards, 2013, 65(1): 635-652.
- [13] Kameshwar S, Padgett J E. Multi-hazard risk assessment of highway bridges subjected to earthquake and hurricane hazards [J]. Engineering Structures, 2014, 78(1): 154-166.
- [14] 黄崇福, 刘新立, 周国贤, 等. 以历史灾情资料为依据的农业自然灾害风险评估方法[J]. 自然灾害学报, 1998, 7(2): 4-12.
- HUANG Chongfu, LIU Xinli, ZHOU Guoxian, et al. Agricultural natural disaster risk assessment method according to the historic disaster data [J]. Journal of Natural Disasters, 1998, 7(2): 4-12.
- [15] Arabameri A, Kolorajan A, Karami J, et al. Zonation of Landslide Hazard Using Artificial Neural Network: A Case Study of Marbor Basin [J]. Geodynamics, 2014.
- [16] 薛晔, 陈报章, 黄崇福. 多灾种综合风险评估软层次模型[J]. 地理科学进展, 2012, 31(3): 353-360.
- XUE Ye, CHEN Baozhang, HUANG Chongfu. Soft hierarchical model of integrated risk assessment for multi-hazards [J]. Progress in Geography, 2012, 31(3): 353-360.
- [17] 李喜仓, 白美兰, 杨晶. 基于GIS技术的内蒙古地区暴雨洪涝灾害风险区划及评估研究[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(7): 71-77.
- LI Xicang, BAI Meilan, YANG Jing. Risk zonation and evaluation of rainstorm and flood disasters in Inner Mongolia based on GIS [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2012, 26(7): 71-77.
- [18] 万君, 周月华, 王迎迎. 基于GIS的湖北省区域洪涝灾害风险评估方法研究[J]. 暴雨灾害, 2007, 26(4): 328-333.
- WAN Jun, ZHOU Yuehua, WANG Yingying. Flood disaster and risk evaluation approach based on the GIS in Hubei Province [J]. Torrential Rain and Disasters, 2007, 26(4): 328-333.
- [19] 卢颖, 侯云玥, 郭良杰, 等. 沿海城市多灾种耦合危险性评估的初步研究——以福建泉州为例[J]. 灾害学, 2015, 31(1): 211-216.
- LU Ying, HOU Yunyue, GUO Liangjie, et al. Preliminary study on integrated assessment for multi-hazard of coastal city: case study of Quanzhou, Fujian Province [J]. Journal of Catastrophology, 2015, 31(1): 211-216.
- [20] 李伟琛, 何亚伯, 汪洋. 基于粗糙集RBF神经网络村镇山洪灾害损失预测研究——以神农架林区为例[J]. 灾害学, 2017, 32(2): 227-234.
- LI Yichen, HE Yabo, WANG Yang. Mountain torrent disaster loss prediction research based on RSs and RBF Neural Network: a case study on Shennongjia [J]. Journal of Catastrophology, 2017, 32(2): 227-234.
- [21] 沈简, 饶军, 傅旭东. 基于模糊综合评价法的泥石流风险评价[J]. 灾害学, 2016, 31(2): 171-175.
- SHEN Jian, RAO Jun, FU Xudong. Assessment on debris flow risk based on fuzzy comprehensive evaluation method [J]. Journal of Catastrophology, 2016, 31(2): 171-175.
- [22] 詹庆明, 张维思, 邹芳, 等. 基于GIS的神农架林区崩滑流灾害风险评价研究[J]. 地理信息世界, 2016, 23(5): 1-9.
- ZHAN Qingming, ZHANG Weisi, ZOU Fang, et al. Risk assessment of collapses, landslides, and debris flows in Shennongjia forest area based on GIS [J]. Geomatics World, 2016, 23(5): 1-9.

- [23] 何亚伯,常秀峰,徐冰. 山区村镇洪灾承灾能力评估——以神农架林区为例[J]. 中国安全生产科学技术,2016,12(6):94-99.
- HE Yabo, CHANG Xiufeng, XU Bing. Assessment on bearing capacity of flood disaster for villages and towns in mountain area a case study based on Shennongjia forest region [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2016, 12(6): 94-99.
- [24] 李军,叶勇. 我国村镇综合防灾规划的问题与对策研究[J]. 西部人居环境学刊, 2016, 31(4): 73-78.
- LI Jun, YE Yong. Exploration on problems and solutions of comprehensive disaster prevention planning for villages [J]. Journal of Human Settlements in West China, 2016, 31(4): 73-78.
- [25] 何亚伯,汪洋,李玮琛,等. 基于改进 DEA 交叉效率模型的洪水灾害区域脆弱性评价[J]. 中国安全生产科学技术,2016,12(5):86-90.
- HE Yabo, WANG Yang, LI Yichen, et al. Evaluation on regional vulnerability of flood disaster based on improved DEA overlapping efficiency model [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2016, 12(5): 86-90.
- [26] 汤奇成,程义,李秀云. 北京:中国自然灾害影响评价方法研究[M]. 北京:中国科学技术出版社,1993.
- TANG Qicheng, CHENG Yi, LI Xiuyun. China's natural disaster impact assessment method study[M]. Beijing: China Science and Technology Press, 1993.
- [27] 卢颖,郭良杰,侯云玥,等. 多灾种耦合综合风险评估方法在城市用地规划中的应用[J]. 浙江大学学报(工学版),2015,49(3):538-546.
- LU Ying, GUO Liangjie, HOU Yunyue, et al. Comprehensive multi-hazard risk assessment method applicated in urban land-use planning[J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2015, 49(3): 538-546.
- [28] Belliveau S, Smit B, Bradshaw B. 2006. Multiple exposures and dynamic vulnerability: Evidence from the grape industry in the Okanagan Ualley, Canada. Global Environ-mental Change, 16(4): 364-378.
- [29] 商彦蕊. 灾害脆弱性概念模型综述[J]. 灾害学, 2013, 28(1): 112-116.
- SHANG Yanrui. Review on concept model of disaster vulnerability [J]. Journal of Catastrophology, 2013, 28(1): 112-116.
- [30] 李德毅,杜鹃,刘常昱,等. 不确定性人工智能[M]. 北京:国防工业出版社, 2014: 67-80.
- LI Deyi, DU Yi, LIU Changyu, et al. Uncertainty in artificial intelligence [M]. National Defense Industry Press, 2014: 67-80.
- [31] 王德鲁,宋学锋. 基于云模型关联规则的企业转型战略风险预警[J]. 中国管理科学, 2009, 17(2): 152-159.
- WANG Delu, SONG Xuefeng. Study on risk alert of enterprise industry transition strategy based on Cloud Model association rules [J]. Chinese Journal of Management Science, 2009, 17(2): 152-159.
- [32] 石飞,刘峰贵,李春花,等. 基于旅游安全的川藏公路沿线自然灾害危险性分析[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(7): 121-126.
- SHI Fei, LIU Fenggui, LI Chunhua, et al. Analysis of the natural disaster harm along the Sichuan-Tibet highway based on travel security[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2014, 28(7): 121-126.