

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2018.04.023

基于信息量模型的神农架林区滑坡风险评价

唐绪波

(武汉大学 土木建筑工程学院, 湖北 武汉 430072)

摘要: 在地理信息系统的支持下,以滑坡灾害频发的湖北省神农架林区为研究对象;首先,选取地层年代、与断层距离、高程、坡度、与水系距离、与公路距离以及土地利用作为滑坡危险性评价指标,运用信息量模型得到研究区滑坡危险性区划图;然后,选取人口、建筑物、交通线路以及土地资源作为承灾体,根据承灾体不同类别的抗灾能力进行易损性赋值,空间叠加后得到研究区承灾体易损性区划图;最后,通过风险等级矩阵的两两比较对研究区进行滑坡风险区划。研究结果表明:神农架林区的极高风险区和高风险区主要分布在神农架林区的东部,风险区划结果基本符合神农架灾区的实际情况。

关键词: 神农架林区;滑坡;信息量模型;风险评价

中图分类号: P64

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2018)04—0115—05

Landslide Risk Assessment Based on Weighted Information Value Model for Shennongjia Forest Region

TANG Xubo

(School of Civil and Architectural Engineering, Wuhan University, Wuhan, Hubei 430072, China)

Abstract: With the support of GIS, taking Shennongjia Forest Region of the Hubei Province as an example study on the landslide risk assessment, where landslide disasters take place frequently. Firstly, seven factors including stratigraphic age, distance from the faults, elevation, gradient, distance from the streams, distance from the highways, and land utilization were chosen to be the hazard factors of landslide. And zoning map of landslide hazard for the study region was obtained by using the information value model. Secondly, population, buildings, traffic lines and land resources were selected as the disaster bearing bodies. Vulnerability values of the disaster bearing bodies were assigned based on their ability to resist disasters. And vulnerability factors were spatially superimposed to obtain the zoning map of the disaster bearing bodies vulnerability for the study region. Finally, zoning map of landslide risk was obtained through the risk grade matrix. The result showed that the region with extremely high risk and the region mainly located in the east of the Shennongjia Forest Region, which was basically in line with the actual situation of Shennongjia disaster region.

Keywords: Shennongjia forest region; landslide; the information value model; risk assessment

根据我国国土资源部公布的数据^[1],2016年全国发生9 710起地质灾害,造成370人死亡,直接经济损失高达31.7亿元,其中滑坡的比例高达76.24%。而区域滑坡风险评价是滑坡灾害管理的重要工作,可为研究区防灾减灾与土地利用规划提供依据^[2-4]。

区域滑坡风险是指在特定的区域内,特定时期发生的滑坡对人类生命财产、经济活动等造成的损

害。国内外学者以地理信息系统(Geographic Information System, GIS)为平台,对区域滑坡灾害的研究主要是在危险性评价方面,而对风险评价的研究较少^[5-10]。地理信息系统以其强大的空间分析功能,结合专家系统预测法、信息量模型、证据权法、逻辑回归模型、神经网络、支持向量机等,对区域滑坡进行危险性评价。其中,信息量模型物理意义明确、操作简单,在区域滑坡灾害危险性分析中应用较多。

因此,本文在地理信息系统的支持下,以滑坡灾害频发的湖北省神农架林区为研究区域,运用信息量模型开展滑坡危险性评价,在此基础上开展承灾体易损性评价与滑坡风险评价。

1 信息量模型原理

对历史滑坡数据进行统计分析,可推算出滑坡危险性影响因素不同类别对滑坡孕育和产生的作用程度^[11],即“信息量”,其公式如下:

$$I(y, x_1, x_2 \cdots x_n) = \log_2 \frac{P(y|x_1 x_2 \cdots x_n)}{P(y)} \quad (1)$$

式(1)可写成:

$$I(y, x_1, x_2 \cdots x_n) = I(y, x_1) + I_{x_1}(y, x_2) + \cdots + I_{x_1 x_2 \cdots x_{n-1}}(y, x_n) \quad (2)$$

式中: $I(y, x_1 x_2 \cdots x_n)$ 为因素组合 $x_1 x_2 \cdots x_n$ 对滑坡所提供的信息量; $P(y|x_1 x_2 \cdots x_n)$ 为因素 $x_1 x_2 \cdots x_n$ 组合条件下滑坡发生的概率; $P(y)$ 是滑坡发生的概率; $I_{x_1}(y, x_2)$ 为因素 x_1 存在条件下,因素 x_2 对滑坡提供的信息量。 $P(y|x_1 x_2 \cdots x_n)$ 和 $P(y)$ 可用统计概率来表示。 $I(y, x_1 x_2 \cdots x_n)$ 越大,表明越有利于发生滑坡。

区域滑坡危险性评价是在历史滑坡空间分布图层与滑坡危险性影响因素图层关联分析的基础上,一般采用个数比来计算影响因素不同类别的信息量,即

$$I(x_i, H) = \log_2 \frac{N_i/N}{S_i/S} \quad (3)$$

式中: $I(x_i, H)$ 为因素 x_i 对滑坡发生事件(H)提供的信息量; N_i 为分布在因素 x_i 内特定类别的滑坡单元数; N 为有滑坡分布的单元总数; S_i 为因素 x_i 内特定类别的单元数; S 为研究区单元总数。

在应用中常采用单因素叠加公式计算滑坡危险性影响因素不同类别的信息量,即

$$I = \sum_{i=1}^n I(x_i, H) \quad (4)$$

式中: I 为某栅格单元总的信息量值; n 为因素的个数。

2 研究区概况

神农架林区位于湖北省的西部,面积约 3 253 km²,拥有国家级的自然保护区。区域内山势高峻,公路分布较多,断层及水系发育,林地占神农架林区国土面积的比例高达 85%。近年来,在林区内开展的人类工程活动破坏了斜坡的自然平衡,导致滑坡灾害频发。由林区国土资源局提供的资料,从 2005

年至 2015 年期间,区内发生了 117 处滑坡,其空间分布情况如图 1 所示。

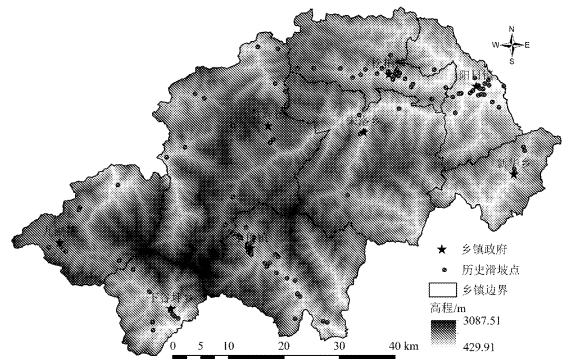


图 1 神农架林区历史滑坡空间分布图

3 滑坡危险性评价

3.1 影响因素的信息量

滑坡的发育受到多方面因素的影响,主要包括地质、地形、水文以及人类工程活动。在既有的研究成果基础之上^[12-16],本文采用 25 m × 25 m 分辨率的栅格单元作为研究区基本的评价单元,选取地层年代、与断层距离、高程、坡度、与水系距离、与公路距离以及土地利用作为滑坡危险性评价指标。其中,地层年代、与断层距离因素属于地质条件,高程、坡度因素属于地形条件,与水系距离因素属于水文条件,与公路距离、土地利用因素属于人类工程活动条件。

在确定研究区的滑坡危险性评价指标后,可基于 ArcGIS10.2 软件,将 117 处历史滑坡灾害点图层与上述 7 个滑坡危险性影响因素图层进行空间关联分析,利用式(3)中的信息量计算公式对滑坡危险性影响因素不同类别的信息量进行计算,结果如表 1 所示。

3.2 滑坡危险性区划

基于 GIS 平台,先是在滑坡危险性影响因素图层属性表中添加“信息量”字段;其次,将计算出的信息量值赋给各图层;然后,利用式(4),基于空间叠加分析模块中的加权总和工具对 7 个图层的“信息量”字段进行空间叠加,得到神农架林区滑坡危险性指数图层,该指数图层的的信息量范围为[-15.695 8, 10.983 6];最后,由于自然间断点分级法可以保持类别的一致性,因此采用重分类模块中的自然间断点分级法将神农架林区划分为极高危险区[1.089 4, 10.983 6]、高危险区[-3.321 5, 1.089 4]、中危险区[-7.420 7, -3.321 5]、低危险区[-15.695 8,

-7.420 7]四个等级,区划结果如图 2 所示。

表 1 信息量计算结果

影响因素	数值	滑坡 /个	滑坡比例 /%	栅格 /个	栅格比例 /%	信息量	影响因素	数值	滑坡 /个	滑坡比例 /%	栅格 /个	栅格比例 /%	信息量
高程	430 ~ 1000	42	35.90	426568	8.25	2.1220	坡度	0 ~ 10	10	8.55	358099	6.92	0.3041
	1000 ~ 1500	47	40.17	1417490	27.40	0.5518		10 ~ 20	40	34.19	1140372	22.05	0.6330
	1500 ~ 2000	25	21.37	2013495	38.93	-0.8653		20 ~ 30	37	31.62	1708214	33.02	-0.0625
	2000 ~ 2500	3	2.56	1124107	21.73	-3.0833		30 ~ 40	26	22.22	1375533	26.59	-0.2590
	> 2500	0	0.00	191050	3.69	0.0000		40 ~ 50	2	1.71	491778	9.51	-2.4755
与断层距离	0 ~ 2	66	56.41	2509165	48.51	0.2177	> 50	2	1.71	98714	1.91	-0.1588	
	2 ~ 4	34	29.06	1470751	28.43	0.0315	T, P, Q_b	0	0.00	80714	1.56	0.0000	
	4 ~ 6	9	7.69	777615	15.03	-0.9666	\in	26	22.22	1044721	20.20	0.1379	
	6 ~ 8	6	5.13	303597	5.87	-0.1947	S	24	20.51	281410	5.44	1.9148	
	> 8	2	1.71	111582	2.16	-0.3356	O	19	16.24	266749	5.16	1.6550	
与水系距离	0 ~ 200	63	53.85	1846359	35.69	0.5932	P_i	6	5.13	2182840	42.20	-3.0407	
	200 ~ 400	30	25.64	1254782	24.26	0.0800	Z	42	35.90	1316398	25.45	0.4963	
	400 ~ 600	14	11.97	799586	15.46	-0.3694	与公路距离	0 ~ 100	67	57.26	882220	17.06	1.7474
	600 ~ 800	5	4.27	493612	9.54	-1.1590		100 ~ 200	23	19.66	542760	10.49	0.9057
	> 800	5	4.27	778371	15.05	-1.8160		200 ~ 300	15	12.82	421970	8.16	0.6522
土地利用	农业用地	21	17.95	174115	3.37	2.4148		300 ~ 400	6	5.13	368290	7.12	-0.4734
	建设用地	9	7.69	29463	0.57	3.7555		400 ~ 500	2	1.71	318208	6.15	-1.8475
	林牧业用地	84	71.79	4948408	95.66	-0.4141	> 500	4	3.42	2639262	51.02	-3.8996	
	其他用地	3	2.56	20828	0.40	2.6709							

注:高程单位 m;与断层距离单位 km;与水系距离单位 m;坡度单位($^{\circ}$);与公路距离单位 m。

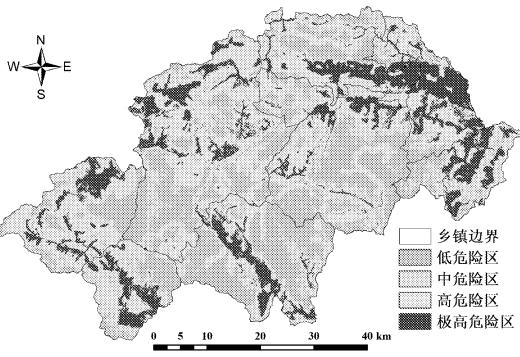


图 2 神农架林区滑坡危险性区划图

3.3 危险性区划结果分析

在 GIS 平台的支持下,将神农架林区的危险性区划图层与历史滑坡点图层进行空间关联分析,可统计出极高、高、中、低四个危险性等级的区域面积、发生的滑坡数量、滑坡密度等信息,如表 2 所示。极高危险区、高危险区、中危险区、低危险区的预测面积分别为 546.61 km²、810.06 km²、947.84 km²、927.52 km²,发生的滑坡分别为 77.78%、14.53%、5.98%、1.71%,滑坡密度分别为 0.1665 个/km²、0.0210 个/km²、0.0074 个/km²、0.0022 个/km²。在 16.90%的极高危险区较小范围内分布着 77.78%

的滑坡,表明危险性区划效果较好;滑坡密度随着危险性等级的降低而降低,表明区划的危险性等级与实际滑坡分布情况一致。因此,信息量模型应用于区域滑坡危险性评价比较有效。

表 2 滑坡危险性评价结果

危险性等级	面积 /km ²	面积比例 /%	滑坡 /个	滑坡比例 /%	滑坡密度 / (个·km ⁻²)
极高危险区	546.61	16.91	91	77.78	0.1665
高危险区	810.06	25.06	17	14.53	0.0210
中危险区	947.84	29.33	7	5.98	0.0074
低危险区	927.52	28.70	2	1.71	0.0022

4 承灾体易损性评价

4.1 承灾体的易损性

承灾体的易损性为 0 ~ 1 之间的数值,其值越大,则在地质灾害作用下遭受损失的可能性也就越大。在既有的研究成果基础之上^[17],结合本课题组成员多次赴神农架林区现场踏勘收集到的资料情况,本文选取人口、建筑物、交通线路以及土地资源作为承灾体。其中,建筑物、交通线路、土地资源属于社会经济属性类承灾体。

人口易损性的评价指标主要包括人口密度、人口年龄结构、防灾意识 3 类。鉴于人口资料获取有限,本文以人口密度来表征全区人口分布情况,将人口密度相近的乡镇概化为同一个等级,研究区人口易损性赋值结果如表 3 所示。

表 3 人口易损性

乡镇	人口密度 /(人·km ⁻²)	易损 性值	乡镇	人口密度 /(人·km ⁻²)	易损 性值
红坪镇	7.92	0.1	木鱼镇	23.58	0.3
宋洛乡	11.04	0.1	下谷坪乡	29.73	0.5
九湖镇	12.45	0.1	阳日镇	42.24	0.7
新华乡	18.09	0.3	松柏镇	91.03	0.9

注:数据来源于神农架林区 2012 年—2014 年的统计年鉴。

对于社会经济属性类承灾体,依据不同类别的抗灾能力进行易损性赋值。显然,钢结构、混凝土结构、砌体结构、简易结构的建材性能依次降低,因此其易损性值依次增大。同理,考虑到交通线路的等级越高,其抗灾能力越强,所以交通线路易损性值由小到大的顺序为:城市公路、国道、省道、县道、乡村公路。对于土地资源来说,显而易见,建设用地的易损性值明显高于其它的土地利用类型。综上所述,社会经济属性类承灾体的易损性赋值结果如表 4 所示。

4.2 承灾体易损性区划

首先,在人口、建筑物、交通线路以及土地资源 4 个承灾体图层的属性表中添加“易损性”字段;其次,将承灾体不同类别的易损性值赋给 4 个承灾体图层;然后,利用叠加分析模块中的加权总和工具对 4 个承灾体图层的“易损性”字段进行空间叠加,得到神农架林区承灾体易损性指数图层;最后,为了避免承灾体易损性区划的随意性,采用重分类模块中的自然间断点分级法将神农架林区划分为极高易损区、高易损区、中易损区、低易损区四个等级,如图 3 所示。

表 4 社会经济属性类承灾体易损性

承灾体	类别	易损性	承灾体	类别	易损性
建筑物	钢结构	0.1	交通 线路	城市公路	0.1
	混凝土结构	0.3		国道	0.3
	砌体结构	0.5		省道	0.5
	简易结构	0.7		县道	0.7
	其他建筑	0.9		乡村公路	0.9
土地 资源	其他用地	0.2			
	林牧业用地	0.4			
	农业用地	0.6			
	建设用地	0.8			

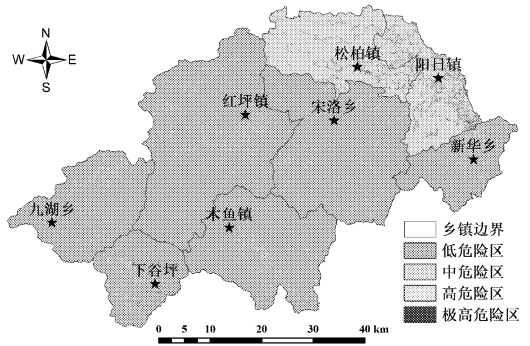


图 3 神农架林区易损性区划图

4.3 易损性区划结果分析

在 GIS 平台的支持下,对神农架林区承灾体易损性区划图层的属性表进行统计分析,结果如表 5 所示。极高易损区、高易损区、中易损区、低易损区的预测面积分别为 26.08 km²、50.64 km²、602.56 km²、2 553.13 km²,占神农架林区国土面积的比例分别为 0.81%、1.57%、18.64%、78.99%。由图 3 可以看出,松柏镇、阳日镇的承灾体易损程度总体上高于其他乡镇,这是由于松柏镇、阳日镇的人口密度较大导致的。另外,极高易损区主要分布在松柏镇区域,其次为阳日镇,而红坪镇、九湖镇、木鱼镇、宋洛乡、新华乡、下谷坪乡相对较少。

表 5 承灾体易损性评价结果

易损性等级	栅格 /个	预测面积 /km ²	预测面积比 /%
极高易损区	41724	26.08	0.81
高易损区	81021	50.64	1.57
中易损区	964098	602.56	18.64
低易损区	4085009	2553.13	78.99

5 滑坡风险评价

5.1 风险分区

滑坡风险评价是建立在滑坡危险性分析与承灾体易损性分析的基础上,从宏观上对滑坡的风险程度作出等级划分的分析计算过程,既考虑了滑坡本身的发生因素又考虑了人口、建筑物、交通线路、土地资源等承灾体因素。当滑坡的危险性越大,同时承灾体的易损性也越严重时,则滑坡的风险等级就越高。鉴于此,本文通过风险等级矩阵(见图 4)的两两比较对研究区进行滑坡风险评价,风险区划结果如图 5 所示。

危险性

极高	极高风险	极高风险	高风险	中风险
高	极高风险	高风险	中风险	低风险
中	高风险	中风险	低风险	低风险
低	中风险	低风险	低风险	低风险
	极高	高	中	低

图 4 风险等级矩阵

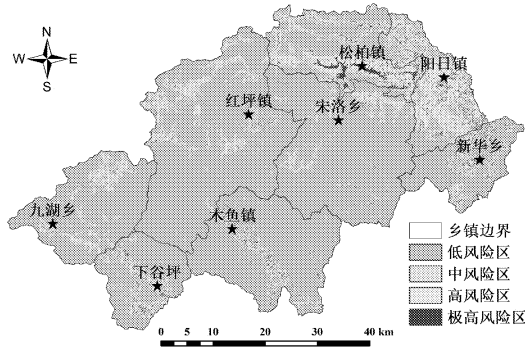


图 5 神农架林区滑坡风险区划图

5.2 风险区划结果分析

将研究区滑坡危险性区划图(见图 2)与研究区滑坡风险区划图(见图 5)进行比较分析,可以得出:滑坡危险性等级高的区域,其滑坡风险并不一定高;滑坡危险性等级低的区域,其滑坡风险肯定不会很高。这是由于滑坡风险不仅考虑了滑坡的危险性,还考虑了人口、建筑物、交通线路以及土地资源的易损性。在 GIS 平台的支持下,对神农架林区滑坡风险区划图层的属性表进行统计分析,结果如表 6 所示。极高风险区、高风险区、中风险区、低风险区的预测面积分别为 68.62 km²、171.98 km²、514.88 km²、2 476.52 km²,占神农架林区国土面积的比例分别为 2.12%、5.32%、15.93%、76.63%。极高风险区和高风险区主要分布在神农架林区的东部,风险区划结果基本符合神农架灾区的实际情况,可为神农架林区的防灾减灾与土地利用规划提供依据。

表 6 滑坡灾害风险评价结果

风险等级	栅格 /个	预测面积 /km ²	预测面积比 /%
极高风险区	109789	68.62	2.12
高风险区	275163	171.98	5.32
中风险区	823800	514.88	15.93
低风险区	3962428	2476.52	76.63

6 结 论

本文以神农架林区为研究区域,在 GIS 的支持

下开展滑坡危险性、承灾体易损性以及滑坡风险评价研究,可得出以下结论:

(1) 在 16.90%的极高危险区较小范围内分布着 77.78%的历史滑坡,表明危险性区划效果较好;滑坡密度随着危险性等级的降低而降低,表明区划的危险性等级与实际滑坡分布情况一致。因此,信息量模型应用于区域滑坡危险性评价比较有效。

(2) 松柏镇、阳日镇的承灾体易损程度总体上高于其他乡镇,这是由于松柏镇、阳日镇的人口密度较大导致的;另外,极高易损区主要分布在松柏镇区域,其次为阳日镇,而红坪镇、九湖镇、木鱼镇、宋洛乡、新华乡、下谷坪乡相对较少。

(3) 神农架林区的极高风险区和高风险区的预测面积分别为 68.62 km²、171.98 km²,主要分布在神农架林区的东部,风险区划结果基本符合神农架灾区的实际情况,可为神农架林区的防灾减灾与土地利用规划提供依据。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国土资源部.全国地质灾害通报[R].北京:国土资源部地质灾害应急技术指导中心,2016.
- [2] 唐亚明,冯卫,李政国,等.滑坡风险管理综述[J].灾害学,2015(1):141-149.
- [3] 王芳.万州区滑坡灾害风险评价与管理研究[D].北京:中国地质大学,2017.
- [4] 袁广,孙书勤,裴向军,等.白鹤滩水电站库区巧家县城整体稳定性评价[J].水资源与水工程学报,2016,27(3):205-208,212.
- [5] Steger S, Brenning A, Bell R, et al. Exploring discrepancies between quantitative validation results and the geomorphic plausibility of statistical landslide susceptibility maps[J]. Geomorphology, 2016,262:8-23.
- [6] Erener A, Mutlu A, Düzgün H S. A comparative study for landslide susceptibility mapping using GIS - based multi - criteria decision analysis (MCDA), logistic regression (LR) and association rule mining (ARM)[J]. Engineering Geology, 2016,203:45-55.
- [7] Barančoková M, Kenderessy P. Assessment of landslide risk using gis and statistical methods in kysuce region[J]. Ekologia, 2014,33(1):26-35.
- [8] 乔建平,王萌,吴彩燕.汶川地震灾区滑坡风险区划研究[J].工程地质学报,2015,23(2):187-193.
- [9] 丁明涛,庙成.基于 GIS 的芦山地震灾区滑坡灾害风险评价[J].自然灾害学报,2014(4):81-90.
- [10] 王佳佳,殷坤龙,肖莉丽.基于 GIS 和信息量的滑坡灾害易发性评价——以三峡库区万州区为例[J].岩石力学与工程学报,2014,33(4):797-808.

(下转第 169 页)

(上接第 119 页)

- [11] 戴 悦.基于信息量模型的三峡库区滑坡区域危险性评价方法研究[D].北京:清华大学,2013.
- [12] 齐 识,宁 娜,马金珠.甘肃南部武都区滑坡危险性评价[J].长江科学院院报,2015,32(4):28-34.
- [13] 刘树林,强 菲,聂守智.勉县地质灾害分布与影响因素的相关性分析[J].水利与建筑工程学报,2017,15(1):165-170.
- [14] 赵 森,黄 磊.秭归县三分田滑坡成因分析及稳定性评价[J].水利与建筑工程学报,2016,14(3):113-117.
- [15] 吕世民,吴 凯,杜光波,等.宁夏隆德县地质灾害发育特征及形成条件分析[J].水利与建筑工程学报,2015(6):42-47.
- [16] 邓 辉,何政伟,陈 晔,等.信息量模型在山地环境地质灾害危险性评价中的应用——以四川泸定县为例[J].自然灾害学报,2014,23(2):67-76.
- [17] 张 俊.三峡库区万州区滑坡灾害风险评估研究[D].北京:中国地质大学,2016.