

基于信息量模型与层次分析法的地质灾害易发性评价

——以宣汉县为例

陈思尧^{1,2}, 游水生^{1,2}, 杨剑红^{1,2}, 刘虹强^{1,2}

(1. 四川省地质矿产勘查开发局区域地质调查队, 成都 610213; 2. 四川省容大矿业集团有限公司, 成都 610213)

摘要:为了全面评估宣汉县地质灾害的易发性,选取坡度、工程地质岩组、斜坡结构等7个与地质灾害密切相关的因子构建了评价指标体系。通过信息量模型结合层次分析法,利用GIS平台的空间分析与栅格计算功能,辅以一定的数学模型,将研究区地质灾害易发性划分为高、中、低3个易发等级。其中,高易发区较为分散,面积为372.98 km²,占比为8.71%;中、低易发区面积与占比分别为2 278.18 km²、1 629.48 km²与53.22%、38.07%。通过与野外调查情况验证,认为评价结果较为合理,可为研究区的地灾防治和国土空间规划提供理论指导和技术支撑。

关键词:地质灾害;易发性评价;信息量模型;层次分析法;宣汉县

中图分类号:P694 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2023)22-0221-09

宣汉县位于达州市中东部,四川盆地与大巴山南麓结合地带,河流切割较深、地形起伏较大,属于四川省地质灾害多发区之一^[1]。据统计,截至2021年10月,宣汉县境内共发生造成直接经济损失或人员伤亡的地质灾害297处,造成30人死亡、48人受伤、直接经济损失28 832.03万元。近年来,通过避让搬迁、工程治理、排危除险、专业核查等累计核销地质灾害点792处,但现存140处地质灾害仍威胁1 974户7 658人,威胁财产38 420万元。因此,开展地质灾害易发性评价对宣汉县的地灾防治工作与国土空间规划等有着十分重要的经济价值和社会意义^[2-3]。

当前,诸多学者对不同地区地质灾害易发性进行了研究,采用的评价方法主要有层次分析法^[4-6]、信息量模型^[7-11]、证据权法^[12-13]、逻辑回归模型^[14-15]、随机森林^[16-18]、神经网络^[19-20]及决策树^[21]等。同时,赵银兵等^[22]、谢明礼等^[23]、连志鹏等^[24]、通过对同一研究区采用多种方法分别进行地质灾害易发性评价,认为每种方法均有其优缺点,评价精度差异不大。其中,信息量模型与层次分析法具有较强的适用性与可操作性,且方法简便、评价效

果较好,在地质灾害易发性评价中被广泛使用。作为一种定量方法,信息量模型缺乏对不同评价因子的重要程度与相互影响情况等的考虑;层次分析法作为一种定性方法,主观随意性较大^[25]。故采用信息量模型与层次分析法相结合的方法,选取宣汉县为研究区,在现有文献资料与野外调查的基础上,结合遥感学、地质学等学科理论,以地理信息科学(geographic information science, GIS)技术为平台,开展地质灾害易发性评价,为该县地质灾害防治与国土空间规划等提供有力支撑与理论参考。

1 研究区概况

宣汉县位于四川省达州市中东部,地处大巴山南麓与四川盆地北东的结合地带,面积为4 280.64 km²。该区属亚热带湿润季风气候,具有冬干少雨、夏热多雨的气候特点。区内以低山地貌为主,总体呈北东高、南西低,海拔为277~2 349 m。

区内出露地层以中生界侏罗纪与白垩纪地层为主,其岩性为一套紫红色碎屑岩。在研究区北东角分布少量古生界碳酸盐岩。第四系零星分布,主要为冲积、冲洪积、残坡积与少量崩坡积。研究区

收稿日期:2023-07-09

基金项目:达州市地质灾害风险调查评价项目(511701202100125)。

作者简介:陈思尧(1987—),男,四川双流人,四川省地质矿产勘查开发局区域地质调查队,高级工程师,硕士,研究方向为工程地质勘察、基础地质调查;游水生(1988—),男,福建柘荣人,四川省地质矿产勘查开发局区域地质调查队,高级工程师,研究方向为地质调查、矿产勘查;杨剑红(1988—),男,云南楚雄人,四川省地质矿产勘查开发局区域地质调查队,高级工程师,研究方向为工程地质勘察;刘虹强(1983—),男,河南洛阳人,四川省地质矿产勘查开发局区域地质调查队,高级工程师,研究方向为工程地质勘察。

可划分为 5 个工程地质岩组:①黏性土、粉土、砂砾质土岩组(A1),主要分布在前河、中河、后河、州河宽谷及山坡坡麓地带;②软弱层状泥页岩岩组(A2),主要分布于前河中下游、中河、州河河谷两侧地区;③半坚硬层状砂泥岩互层岩组(A3),主要分布于峰城镇、红峰镇等高台地地区;④坚硬层块状砂岩岩组(B1),主要分布于县域南部分水岭地带;⑤坚硬的层状碳酸盐岩夹碎屑岩岩组(B2),主要分布于东北部地区。

研究区内构造主要表现为褶皱,次为压性或压扭性断层^[26-27]。研究区水系属嘉陵江水系,前河、中河、后河总体呈北东-南西向纵穿全境,并在县城以东汇为州河。多年平均年降雨量 1 213.5 mm,降雨多集中发生于 5—10 月,占年降水量的 79%。截至 2021 年 10 月,研究区内共发育地质灾害隐患点 928 处,其中滑坡地质灾害 833 处、崩塌 95 处(图 1)。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

采用的数据主要有:①数字高程数据(DEM),比例尺为 1:50 000;②宣汉县地质图,用于获取地层岩性分布、断层位置、岩层产状等信息,比例尺为 1:50 000;③遥感影像,用于获取植被数据,比例尺为 1:50 000;④宣汉县基础地理数据,用于获取县域道路数据;⑤宣汉县历史地质灾害隐患点数据(表 1)。

2.2 信息量模型

信息量模型以贝叶斯法则为理论基础,早期多应用于地质找矿领域,此后逐渐运用于地质灾害易发性评价中,并取得了较好的成果^[9-11,28-29]。

基于信息量模型预测地质灾害易发性的流程主要为因子分级与信息量值计算:①分析查明研究区内影响地质灾害发育的主控因子,如坡度、工程地质岩组等,并根据实际情况对其进行区间划分;

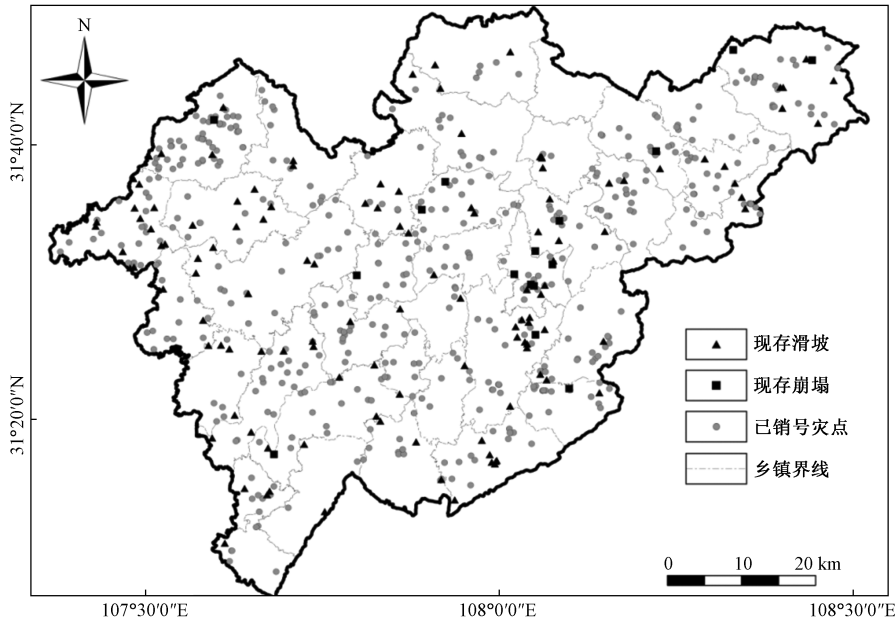


图 1 宣汉县地质灾害分布

表 1 研究区基本数据一览

类型	名称	参数	资料来源
基础地质数据	四川省岩石地层		中国地质大学出版社
	宣汉县地质图	1:50 000	宣汉县自然资源局
	宣汉县地貌分区图		
	宣汉县地质灾害数据		四川省地质环境管理信息系统、本次研究
	宣汉县遥感数据	GF-1、GF-6,空间分辨率 2 m	
地理数据	宣汉县地形数据	1:50 000	四川省测绘局
	DEM 数据	1:50 000	本次研究
	宣汉县基础地理数据	矢量	宣汉县自然资源局
	植被覆盖度		
统计数据	宣汉县国民经济和社会发展统计公报	2016—2020 年	宣汉县统计局
	宣汉县县志	1918—1994 年版、1986—2005 年版	

②通过数学公式分别计算并叠加各因子分级的信息量值,得到总信息量值。该值可代表地质灾害发生的概率(易发性)高低。信息量值计算公式为

$$l(x_i,Y)=\ln \frac{N_i/N}{S_i/S} \tag{1}$$

$$I_{\text{总}}=\sum_{i=1}^n I(x_i,Y)=\sum_{i=1}^n \ln \frac{N_i/N}{S_i/S} \tag{2}$$

式中: I 为各因子分级的信息量值, $I_{\text{总}}$ 为总信息量值; x_i 为因子(即坡度、工程地质岩组等)的第*i*个分级; N 为灾害总数, N_i 为分布于第*i*个因子分级的灾害数量; S 为总面积, S_i 为第*i*个因子分级的面积; n 为因子总数。

2.3 层次分析法

层次分析法(analytic hierarchy process,AHP)是一种多目标决策分析方法,其工作流程主要为:①对分析目标各组成要素进行分组建立递阶层次结构模型;②采用1~9标度法^[30]分别对同一层次下的各要素进行两两相对重要性打分(表2);③通过式(3)和式(4)检验矩阵的一致性。

$$CI=\frac{\lambda_{\text{max}}-n}{n-1} \tag{3}$$

$$CR=\frac{CI}{RI} \tag{4}$$

式中: λ_{max} 为矩阵最大特征根; n 为矩阵阶数。CI值由式(3)计算得到,RI值如表3所示。

当CR值小于0.1时,认为是有效矩阵。计算得到各因子权重值(表4)。可以看出,滑坡各因子权重(ω)大小依次为坡度(0.280 3)、工程地质岩组(0.168 8)、斜坡结构(0.147 5)、距断层距离(0.117 5)、距道路距离(0.097 6)及植被覆盖度(0.081 2);崩塌各因子权重(ω)大小依次为坡度(0.223 9)、工程地质岩组(0.203 5)、距断层距离(0.137 6)、坡向(0.121 8)、植被覆盖度(0.121 5)、距道路距离(0.099 5)及斜坡结构(0.092 2)。其中,坡度、工程

表2 判断矩阵的标度及其含义

标度	含义
1	元素 <i>i</i> 与元素 <i>j</i> 相同重要
3	元素 <i>i</i> 比元素 <i>j</i> 稍微重要
5	元素 <i>i</i> 与元素 <i>j</i> 明显重要
7	元素 <i>i</i> 与元素 <i>j</i> 强烈重要
9	元素 <i>i</i> 与元素 <i>j</i> 极端重要
2、4、6、8	相邻标度的中间值
倒数	若元素 <i>i</i> 与元素 <i>j</i> 的重要性之比为 B_{ij} ,则元素 <i>j</i> 与元素 <i>i</i> 的重要性之比为 $1/B_{ij}$

表3 平均随机一致性指标值

矩阵阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

表4 滑坡、崩塌各评价因子权重

评价因子	滑坡权重	崩塌权重	
坡度	0.280 3	0.223 9	
植被覆盖度	0.081 2	0.121 5	
工程地质岩组	0.168 8	0.203 5	
距道路的距离	0.097 6	0.099 5	
斜坡结构	0.147 5	0.092 2	
距断层的距离	0.117 5	距断层的距离	0.137 6
		坡向	0.121 8

地质岩组因素的影响较大。

最后,将各因子分级的信息量值与权重值采用加权求和,得到因子综合信息量值。

3 结果与分析

3.1 评价单元选取

选取适当的评价单元,直接影响评价的精度与结果的可靠性^[31]。当前,使用最为广泛的是栅格单元,因其相较于其他评价单元如子流域单元、斜坡单元等,具有获取简单、便于计算的优点^[5,9]。本文将作为基础评价单元。利用GIS软件将研究区数据栅格化,并根据《四川省地质灾害风险调查评价技术要求细则(1:50 000)(试行)》相关要求,最小评价单元设定为25 m×25 m。研究区共划分为6 849 024个栅格单元。

3.2 评价因子选取及分析

地质灾害的成因复杂,与地形地貌、植被、地质构造、斜坡结构等影响因素密切相关。此外,各影响因素对不同类型地质灾害的影响程度也不尽相同。因此,不同类型的地质灾害在因子的选取上应有所不同。宣汉县境内发育的地质灾害主要为滑坡、崩塌,故主要考虑以上两种地质灾害。此外,考虑到研究区地貌分区较为粗略,且分析中已纳入了地形起伏度、坡度等因子,故因子选取时将地貌类型去掉;而地形起伏度与坡度具有很强的相关性,若同时作为易发性因子分析,将对结果造成叠加影响,坡度能更好地反映地形变化对灾害体的影响,因此选择坡度作为评价因子。综上,本次滑坡易发性评价共选取坡度、工程地质岩组、距断层距离、斜坡结构、植被覆盖度及距道路距离等6个评价因子(图2);崩塌则在此基础上,增加坡向因子(图3),共7个评价因子。

3.2.1 坡度

将区内斜坡坡度划分为6个等级,由图2(a)中可知,在10°~30°的坡度范围内,集中发育了72.87%的滑坡,共607处;20°~40°的坡度范围内,集中发育了69.47%的崩塌,共66处。此外,当坡度>30°后,随坡度的增大,地质灾害数量和点密度呈现较为明显降低的趋势。

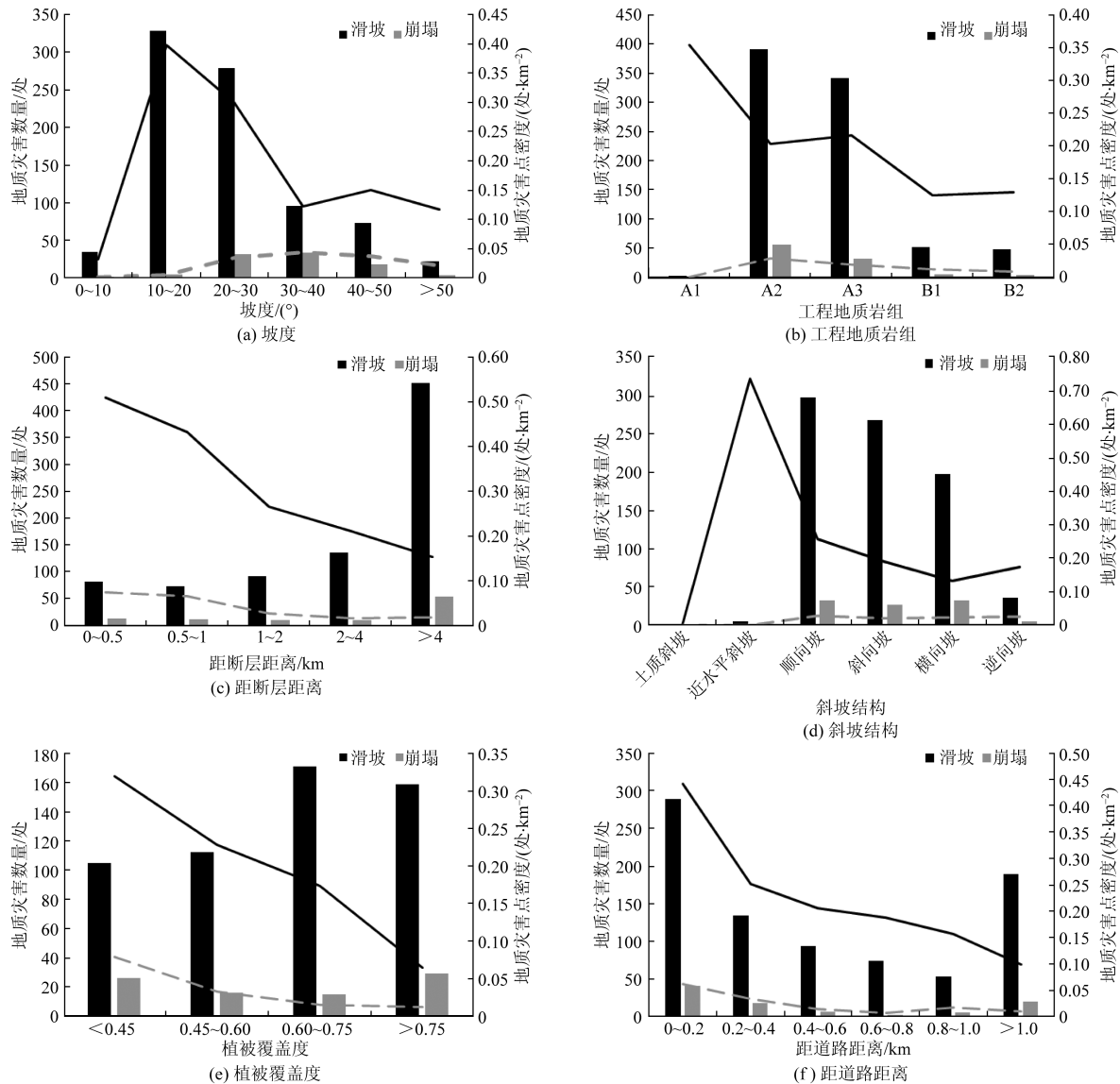


图2 评价因子与地质灾害数量、点密度相关性统计

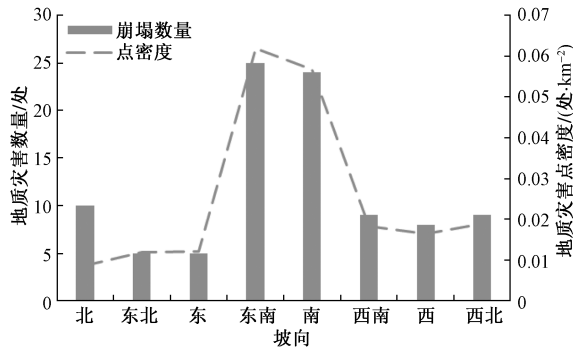


图3 坡向与崩塌地质灾害数量、点密度相关性统计

3.2.2 工程地质岩组

岩土体作为斜坡的物质组成,与斜坡稳定性息息相关。由于不同岩土的物理性质、力学性质不尽相同,造成了不同岩土体发生地质灾害的难易程度与类型也有所区别。

由图2(b)可知,滑坡、崩塌地质灾害在A2、A3工程地质岩组中最为发育,这与A2、A3岩组在研究区内广泛分布有关。其中有391处滑坡、56处崩塌发育于A2岩组中,分别占滑坡、崩塌总数的46.94%、58.95%;有341处滑坡、31处崩塌发育于A3岩组中,分别占滑坡、崩塌总数的40.94%、32.63%。此外,A1岩组主要分布于河漫滩、一级阶地平坦地区,滑坡灾害弱发育,而崩塌在A1岩组中点密度高的原因主要是其分布面积小,对灾害数量的敏感度。

3.2.3 距断层距离

断层及其影响范围内岩石通常破碎,不仅破坏了岩土体结构、降低了岩土体抗剪强度,同时影响了水文条件,为地表水下渗及地下水流动提供了通道,是引发地质灾害的重要因素,且距断层越近,影响程度越大。

利用 GIS,以断层为中心线向外划分 5 个缓冲区。由图 2(c)可知,滑坡、崩塌灾害点点密度在距断层 0~0.5 km 最大,分别为 0.51 处/km²、0.07 处/km²,且灾害点密度曲线呈现明显的右倾趋势,表明地质灾害发育密度随距断层的距离增大逐渐减小。当然,距断层距离越远因子分级面积越大,灾害发育数量相对更多。

3.2.4 斜坡结构

斜坡结构与地质灾害关系密切,根据坡向与地层产状的空间关系,研究区内斜坡结构可划分为 6 类,由图 2(d)可知,94.89%的地质灾害发育于顺向坡、斜向坡及横向坡中,共 855 处。其中,298 处滑坡、28 处崩塌发育于顺向坡中;269 处滑坡与 26 处崩塌发育于斜向坡中。从点密度曲线来看,近水平斜坡中灾点点密度最高,是因为该类斜坡结构分布面积小,仅占研究区面积的 0.16%,多一处灾害点发育,点密度即会明显增大,除此之外,点密度在顺向坡中最大,为 0.26 处/km²;其次为斜向坡,为 0.19 处/km²。

3.2.5 植被覆盖度

植被具保土保水、增强边坡稳定性作用。植被覆盖度常作为一种表征植被发育程度的指数,植被覆盖度指数越小则植被发育状况越差、覆盖程度越低,发生地质灾害的可能越高,反之亦然^[5,32]。由图 2(e)可知,研究区内滑坡、崩塌地质灾害点密度随植被覆盖度的升高而明显降低,说明植被越发育越有利于坡体稳定、越不利于滑坡、崩塌的发生。

3.2.6 距道路距离

道路建设往往伴随边坡开挖、弃方堆积等,

打破了斜坡原始应力平衡,形成大量不稳定斜坡,同时产生高陡临空面,直接或间接诱发地质灾害^[3]。

将研究区距主要道路距离划分 6 个等级,由图 2(f)可知,0~0.2 km 区间内地质灾害最多,滑坡 289 处、崩塌 41 处,点密度均最大,分别为 0.44 个/km²、0.06 处/km²。与道路距离越近,地质灾害点密度和面密度越大。

3.2.7 坡向

将研究区斜坡坡向按 45°划分为 8 类,由图 3 可知,区内崩塌灾害数量在东南(202.5°~247.5°)和南(157.5°~202.5°)分布最多,分别为 25、24 处,其余方向分布较均衡,从面密度来看,东南和南最大,分别为 284.38 m²/km²、247.49 m²/km²,点密度与面密度分布规律相似。综合以上分析,南、东南崩塌灾害更发育,这与南、东南方向属于阳坡,日照时间较长,有利于岩体风化相关。

3.3 评价因子信息量计算

分别计算滑坡、崩塌各评价因子在不同分级下的信息量值和综合信息量值,如表 5 和表 6 所示。对滑坡的 6 个评价因子共 32 个因子分级、崩塌的 7 个评价因子共 40 个因子分级按综合信息量大小排序,滑坡排序依次是坡度 10°~20°、坡度 20°~30°、植被覆盖度<0.45、A3 工程岩组、A2 工程岩组、植被覆盖度 0.45~0.6、顺向坡、斜向坡。崩塌排序依次是植被覆盖率<0.45、坡向南、距断层距离为 0~0.5 km、距道路距离为 0~0.2 km、距断层距离为 0.5~1 km、坡向东南、坡度为 30°~40°、坡度为 40°~50°。

表 5 滑坡各评价因子分级信息量值

评价因子	因子分级	信息量值	权重值	综合信息量	排序	评价因子	因子分级	信息量值	权重值	综合信息量	排序
距道路 的距离/ km	0~0.2	0.187 8	0.097 6	0.018	10	工程 岩组	A1	-0.313 5	0.168 8	-0.053	25
	0.2~0.4	0.055 2		0.005	17		A2	0.188 4		0.032	5
	0.4~0.6	-0.342 8		-0.033	22		A3	0.198 4		0.033	4
	0.6~0.8	-0.106 8		-0.010	19		B1	-0.064 6		-0.011	20
	0.8~1.0	-0.204 2		-0.020	21		B2	-0.786 0		-0.133	29
	>1.0	0.064 6		0.006	16	距断层 的距离 /km	0~0.5	0.121 5	0.117 5	0.014	12
坡度/ (°)	0~10	-0.279 8	0.280 3	-0.078	26		0.5~1	0.087 2		0.010	13
	10~20	0.374 0		0.105	1		1~2	0.061 6		0.007	15
	20~30	0.275 6		0.077	2		2~4	0.032 5		0.004	18
	30~40	-0.371 2		-0.104	27		>4	0.080 7		0.009	14
	40~50	-1.239 5		-0.347	30	斜坡 结构	顺向坡	0.198 4	0.147 5	0.029	7
植被覆 盖度	>50	-1.847 4	0.081 2	-0.518	31		斜向坡	0.188 4		0.028	8
	<0.45	0.505 1		0.041	3		横向坡	0.114 6		0.017	11
	0.45~0.6	0.378 7		0.031	6		近水平斜坡	-0.313 5		-0.046	24
	0.6~0.75	0.303 9		0.025	9		逆向坡	-0.786 0		-0.116	28
	>0.75	-0.451 1		-0.037	23		土质斜坡	—		—	—

表 6 崩塌各评价因子分级信息量值

评价因子	因子分级	信息量值	因子权重	综合信息量	排序	评价因子	因子分级	信息量值	因子权重	综合信息量	排序
距道路的距离/ km	0~0.2	0.850 7	0.099 5	0.084 6	4	工程岩组	A1	—	0.203 5	—	—
	0.2~0.4	0.294 8		0.029 3	9		A2	0.080 3		0.016 3	13
	0.4~0.6	-1.098 1		-0.109 3	35		A3	0.134 4		0.027 4	10
	0.6~0.8	-0.307 6		-0.030 6	26		B1	-1.007 8		-0.205 1	37
	0.8~1.0	-0.051 6		-0.005 1	22		B2	-0.423 5		-0.086 2	33
	>1.0	-0.406 8		-0.040 5	27	距断层的距离/ km	0~0.5	0.656 6	0.137 6	0.090 3	3
坡度/ (°)	0~10	-0.342 4	0.223 9	-0.076 7	32		0.5~1	0.393 6		0.054 2	5
	10~20	-0.023 1		-0.005 2	23		1~2	-0.552 2		-0.076 0	31
	20~30	0.097 8		0.021 9	11		2~4	-0.652 5		-0.089 8	34
	30~40	0.161 5		0.036 2	7		>4	0.140 9		0.019 4	12
	40~50	0.136 7		0.030 6	8	斜坡结构	斜向坡	0.134 4	0.092 2	0.012 4	16
坡向	>50	0.057 5		0.012 9	15		顺向坡	0.110 3		0.010 2	18
	南	0.849 0	0.121 8	0.103 4	2		横向坡	0.090 8		0.008 4	19
	东南	0.420 5		0.051 2	6		逆向坡	-0.042 3		-0.003 9	21
	西南	0.117 8		0.014 3	14		土质斜坡	—		—	—
	东北	-0.007 0		-0.000 9	20		近水平斜坡	—		—	—
	北	-0.352 2		-0.042 9	28	植被覆盖度	<0.45	0.879 6	0.121 5	0.106 9	1
	东	-0.438 6		-0.053 4	29		0.45~0.6	0.093 7		0.011 4	17
	西北	-0.442 8		-0.053 9	30		0.6~0.75	-0.119 3		-0.014 5	24
	西	-0.938 1		-0.114 3	36		>0.75	-0.176 3		-0.021 4	25

3.4 评价结果与验证

利用 GIS 软件的空间分析与栅格计算功能,对各单因子图层(图 4)进行重分类与赋值,并对其信息量叠加,再通过自然间断法结合实地调查验证情况以及四川省地质灾害风险评价技术细则,并按照“就高不就低”的原则,得到研究区易发性评价栅格图(图 5)。

结果显示,研究区可划分为高、中、低 3 个易发性等级(表 7 和图 5)。其中,高易发区分布较为分散,面积为 372.98 km²,占比为 8.71%,主要集中于红峰镇北部石堡村-垭口村一带、毛坝镇北部天坪村-五马林场一带、马渡关镇长滩村-双庙村一带、南坝镇五龙村-丰乐村-尖包社区-董坪村一带、龙泉土家族乡老场村-罗盘村-平溪社区及鸡坪村一带、茶河镇岭岗社区-武胜村-净瓶村一带。中易发区面积为 2 278.18 km²,占比为 53.22%,分布广泛,县域内除高易发区和低易发区以外的其他区域。低易发区面积为 1 629.48 km²,占比为 38.07%,主要分布于新华镇——石铁乡—樊吟镇西部一带、茶河镇北部—华景镇东部—土黄镇南部一带、毛坝镇南部—胡家镇东部—普光镇中西部—大成镇一带。

由表 7 可知,高、中、低易发区的地质灾害点密度分别为 0.641 处/km²、0.291 处/km²、0.016 处/km²;灾害数量占比与面积占比之比分别为 2.957、1.342、0.074,表明地质灾害点发育程度与地质灾害易发性评价结果相符,评价结果较合理。

表 7 地质灾害易发分区统计

易发性分区	分区面积/ km ²	面积占比/ %	灾害数量	灾害数量占比/ %	地质灾害点密度/ (处·km ⁻²)	灾害数量占比与面积占比之比
低易发区	1 629.48	38.07	26	2.802	0.016	0.074
中易发区	2 278.18	53.22	663	71.444	0.291	1.342
高易发区	372.98	8.71	239	25.754	0.641	2.957
合计	4 280.64	100.00	928	100.00	0.217	—

4 结论

1)以宣汉县为研究对象,选取坡度、工程地质岩组等 7 个与地质灾害密切相关的因子构建评价指标体系,并运用信息量模型,开展了地质灾害易发性评价。

2)研究区坡度为 10°~30°、植被覆盖率小于 0.6、A3 与 A2 工程岩组以及顺向坡与斜向坡区域内滑坡地质灾害最为发育;植被覆盖率小于 0.45、坡向南及东南、距断层距离为 0~1 km、距道路距离为 0~0.2 km 及坡度为 30°~50°区域内崩塌地质灾害最为发育。

3)研究区可划分为高、中、低 3 个易发性等级。其面积分别为 372.98 km²、2 278.18 km²、1 629.48 km²,分别占研究区总面积的 8.71%、53.22%和 38.07%。

4)本次地质灾害易发性评价结果与研究区地质灾害发育程度相符,评价结果较合理,可为研究区的地灾防治和国土空间规划提供理论指导和技术支撑。

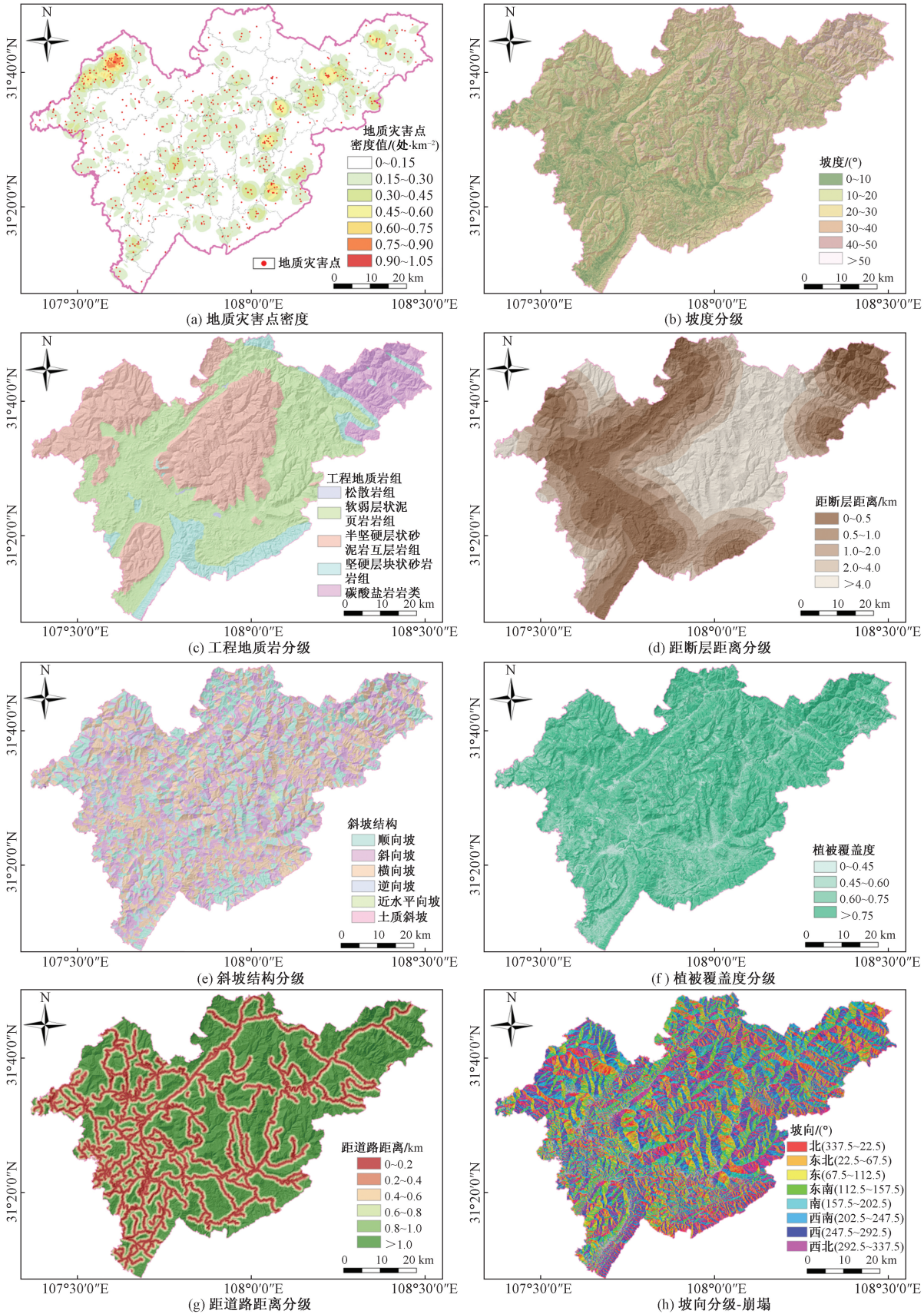


图 4 评价因子分级

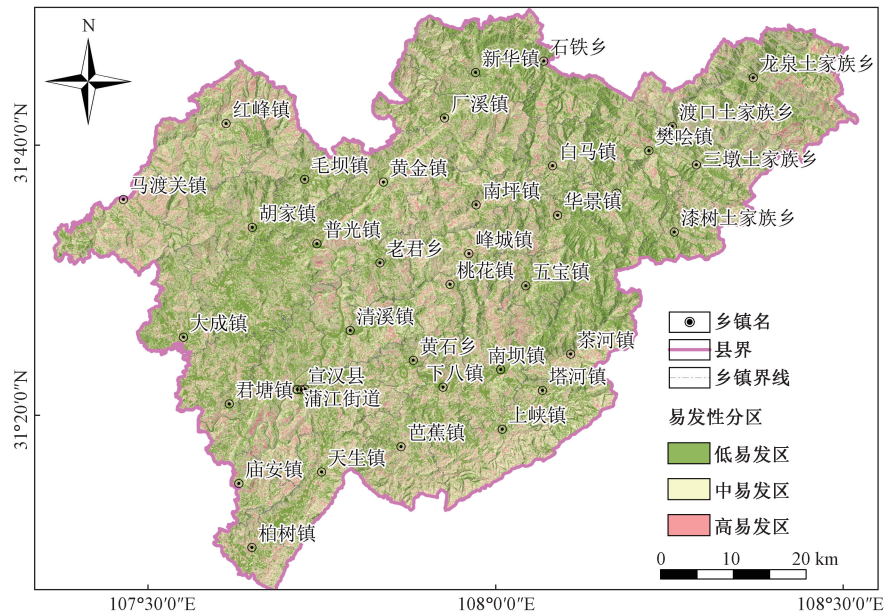


图5 地质灾害易发性分区

参考文献

- [1] 刘德兵,竺春福,田莹莹.达州市地质灾害的时空分布特征及成因分析[J].四川地质学报,2014,34(S2):31-35.
- [2] 苏凤环,崔鹏,张建强,等.芦山地震重灾区崩塌滑坡易发性评价[J].山地学报,2013,31(4):502-509.
- [3] 温鑫,范宣梅,陈兰,等.基于信息量模型的地质灾害易发性评价:以川东南古蔺县为例[J].地质科技通报,2022,41(2):290-299.
- [4] KOMAC M. A landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia[J]. Geomorphology, 2006, 74(1):17-28.
- [5] 李萍,叶辉,谈树成.基于层次分析法的永德县地质灾害易发性评价[J].水土保持研究,2021,28(5):394-406.
- [6] 许冲,戴福初,姚鑫一,等. GIS支持下基于层次分析法的汶川地震区滑坡易发性评价[J].岩石力学与工程学报,2009,28(S2):3978-3985.
- [7] 孟庆华,孙炜锋,王涛.陕西凤县地质灾害易发性评价研究[J].工程地质学报,2011,19(3):388-396.
- [8] 唐川,马国超.基于地貌单元的小区域地质灾害易发性分区方法研究[J].地理科学,2015,35(1):91-98.
- [9] 陈慧敏,杨尽,向明顺,等.基于地理信息系统和加权信息量的茂县地质灾害易发性评价[J].科学技术与工程,2021,21(29):12490-12499.
- [10] 刘乐,杨智,孙健,等.安徽黄山市徽州区地质灾害危险性评价研究[J].中国地质灾害与防治学报,2021,32(2):110-116.
- [11] 张琪,侯晓亮,马雷,等.基于GIS与II VM的桐城市地质灾害易发性评价[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2021,44(7):958-964.
- [12] 范强,巨能攀,向喜琼,等.证据权法在区域滑坡危险性评价中的应用:以贵州省为例[J].工程地质学报,2014,22(3):474-481.
- [13] 胡燕,李德营,孟颂颂,等.基于证据权法的巴东县城滑坡灾害易发性评价[J].地质科技通报,2020,39(3):187-194.
- [14] 胡涛,樊鑫,王硕,等.基于逻辑回归模型和3S技术的思南县滑坡易发性评价[J].地质科技通报,2020,39(2):113-121.
- [15] 杜谦,范文,李凯,等.二元 Logistic 回归和信息量模型在地质灾害分区中的应用[J].灾害学,2017,32(2):220-226.
- [16] 刘坚,李树林,陈涛.基于优化随机森林模型的滑坡易发性评价[J].武汉大学学报(信息科学版),2018,43(7):1085-1091.
- [17] ZHAO L, WU X, NIU R, et al. Using the rotation and random forest models of ensemble learning to predict landslide susceptibility[J]. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 2020, 11(1):1542-1564.
- [18] 支泽民,陈琼,周强,等.基于随机森林的川藏铁路沿线县域地质环境承载力评价[J].科学技术与工程,2022,22(24):10451-10460.
- [19] ZHU L, HUANG L, FAN L, et al. Landslide susceptibility prediction modeling based on remote sensing and a novel deep learning algorithm of a cascade-parallel recurrent neural network[J]. Sensors, 2020, 20(6):1576.
- [20] 刘艺梁,殷坤龙,刘斌.逻辑回归和人工神经网络模型在滑坡灾害空间预测中的应用[J].水文地质工程地质,2010,37(5):92-96.
- [21] 黄发明,曹中山,姚池,等.基于决策树和有效降雨强度的滑坡危险性预警[J].浙江大学学报:工学版,2021,55(3):472-482.
- [22] 赵银兵,陈利顶,孙然好,等.地质灾害易发性评价方法对比研究:以京津冀地区为例[J].环境生态学,2020(4):

- 27-50.
- [23] 解明礼,巨能攀,赵建军,等.区域地质灾害易发性分级方法对比分析研究[J].武汉大学学报:信息科学版,2021(7):1003-1014.
- [24] 连志鹏,徐勇,付圣,等.采用多模型融合方法评价滑坡灾害易发性:以湖北省五峰县为例[J].地质科技通报,2020,39(3):178-186.
- [25] 申怀飞,董雨,杨梅,等.基于AHP与信息量法的甘肃省滑坡易发性评估[J].水土保持研究,2021,28(6):412-419.
- [26] 唐大卿,陈新军,张先平.川东北宣汉-达县地区断裂系统及构造演化[J].石油试验地质,2008,30(1):58-63.
- [27] 李明全.宣汉县城地质灾害危险性评价[D].成都:成都理工大学,2019.
- [28] 孟庆华,孙伟锋,王涛.陕西凤县地质灾害易发性评价研究[J].工程地质学报,2011,19(3):388-396.
- [29] 殷坤龙,晏同珍.汉江河谷旬阳段区域滑坡规律及斜坡不稳定性预测[J].地球科学,1987(6):631-638.
- [30] THOMAS L S. A scaling method for priorities in hierarchical structures[J]. Journal of Mathematical Psychology, 1977, 15(3):234-281.
- [31] 刘任鸿,李明辉,邓英尔,等.基于GIS的华蓥市地质灾害易发性评价[J].沉积与特提斯地质,2021,41(1):129-136.
- [32] 刘洋,唐川,冯毅.基于AHP-信息量法的地质灾害危险性评价[J].地球与环境,2013,41(2):173-179.

Evaluation of Geological Hazard Susceptibility Based on Information Model and Analytic Hierarchy Process: A case study of Xuanhan County

CHEN Siyao^{1,2}, YOU Shuisheng^{1,2}, YANG Jianhong^{1,2}, LIU Hongqiang^{1,2}

(1. Sichuan Geology and Mineral Bureau Regional Geological Survey Team, Chengdu 610213, China;

2. Sichuan RongDa Mining Group Co., Ltd., Chengdu 610213, China)

Abstract: In order to comprehensively evaluation the susceptibility of geological hazards, Xuanhan County was selected as the research area, and seven factors closely related to geological hazards, such as slope, engineering geological petrofabric and slope structure, were selected to build an evaluation index system. Through the information model combined with analytic hierarchy process, using the spatial analysis and grid computing functions of ArcGIS, supplemented by a certain mathematical model, the geological hazard susceptibility of the study area is divided into three levels, such as high susceptibility zone, medium susceptibility zone and low susceptibility zone. Among them, the high susceptibility zones are relatively scattered, with an area of 372.98 km², accounting for 8.71%, and the area and proportion of medium and low susceptibility zones are 2 278.18 km², 1 629.48 km², 53.22% and 8.71% respectively. Through the verification with the field survey, it is believed that the evaluation results of the geological hazards susceptibility are relatively reasonable, which can provide theoretical guidance and technical support for the prevention and control of geological hazards and land space planning in the study area.

Keywords: geological hazard; susceptibility evaluation; information model; analytic hierarchy process; Xuanhan County