

文章编号: 2096-1618(2025)02-0251-06

基于信息量模型的雅安市地质灾害危险性评价

吴亚平¹, 周学云¹, 孙英耀¹, 曾 普²

(1. 四川省雅安市气象局, 四川 雅安 625000; 2. 雅安市自然资源和规划局, 四川 雅安 625000)

摘要: 基于 ArcGIS 空间分析, 对四川省雅安市进行地质灾害危险性评价, 选取高程、坡度、坡向、年均降雨量、土地利用类型、断层距离、道路距离和水系距离作为地质灾害危险性区划因子, 应用信息量模型分别对滑坡、崩塌和泥石流进行危险性评价, 进而采用栅格最大值法实现综合地质灾害风险评价, 将雅安市的地质灾害危险区划分为极低、低、中、高和极高危险区。结果表明: 研究区内极高危险区主要分布在道路和水系两侧沿线, 极低危险区主要位于人类工程活动少的区域; 极高危险区和高危险区面积占比 14.9%, 灾害率为 69.1%, 灾害点空间分布与危险等级呈正相关性, 表明雅安市灾害危险性区划较为合理, 研究成果将为该地区地质灾害风险评价提供良好的依据。

关键词: 信息量模型; 危险性评价; 地质灾害; 雅安市

中图分类号: P694

文献标志码: A

doi: 10.16836/j.cnki.jcui.2025.02.018

0 引言

地质灾害是指在地质因素或人为影响的作用下形成的, 具有突发性、广泛性和破坏性的自然灾害。主要包括崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷等, 对人类生命、财产和环境造成损害或威胁。地质灾害危险性评价旨在对潜在的地质灾害风险进行可靠的识别和量化, 并为决策者提供依据, 以制定有效的风险管理策略和灾害应对措施。

地质灾害危险性是指在特定地区内, 地质灾害对人类、财产和环境造成潜在风险和威胁的程度。它反映了地质灾害发生的可能性以及可能造成的损害程度, 是对地质灾害风险的度量和评估。常用的地质灾害危险性评价模型有信息量模型^[1-4]、层次分析法^[5]、逻辑回归模型^[6]、神经网络^[7]以及随机森林^[8]等模型。通过研究显示, 不同模型对同一研究区的评价精度相差不大, 但每种模型都有其优点和局限性。信息量模型是将选定的评定因子在已有的历史结果上通过计算转化成对目标的信息量, 信息量值越高则其贡献量越高, 可以客观地反映评选因子与目标之间的关系, 一定程度上避免人为主观的信息赋予。因此, 在地质灾害危险性评价研究中, 信息量模型被广泛应用, 并取得良好的效果。如温鑫等^[9]运用基于信息量模型在区域地灾易发性评价中有较高的预测精度; 高克昌等^[10]基于地理信息系统和信息量模型, 完成了重庆万州的滑坡危险性评价; 赵帅等^[11]将信息量模型与 GIS 空间信息结合, 完成了区域地质灾害易发性评价; 李光辉等^[12]等基于信息量模型, 完成了综合地质灾害易发

性方法对比研究。

本文以雅安市为研究区, 运用 ArcGIS 提取高程、坡度、坡向、年均降雨量等 8 个因子。采用信息量模型分别建立滑坡-崩塌-泥石流危险性评价模型, 进而利用栅格最大值法绘制研究区综合地质灾害危险性图, 得出地质灾害的综合危险性评价结果。其研究成果可为雅安市灾害管理、规划和决策提供科学依据。

1 研究区概况

研究区位于四川省雅安市, 地理坐标为北纬 29°59' ~ 31°43', 东经 101°56' ~ 103°08'。雅安位于四川盆地西缘、邛崃山东麓, 东靠成都市, 南接宜宾市, 西连甘孜藏族自治州, 北界阿坝藏族羌族自治州, 全市总面积 15046 km²。地势西高东低, 地势起伏较大, 山地和丘陵地形占据了大部分区域。研究区属于亚热带季风性湿润气候, 夏季相对较热, 冬季相对较冷。年降水量较多, 气候湿润。地质灾害发育与地质构造条件、地形条件、气候条件、人为活动影响等有关, 研究区内共查明 865 个历史灾害点。其中, 滑坡灾害点有 551 处, 泥石流灾害点有 202 处, 崩塌和地面塌陷共计 112 处。由于暴雨或连续降雨的情况, 地质灾害发生主要威胁人口聚集区、靠山靠崖的农村住房、在建公路、铁路、水利等各类重要工程建设作业区、生活区。

研究区地质灾害点的规模以小型为主, 在全市各县(区)均有分布。灾害点主要分布在北部区、东部区、西部区和西南部区。北部区包括宝兴县和芦山县北部, 这里地质构造复杂, 褶皱和断层发育, 地形地貌以高山为主, 有大幅度的高差和纵横交错的溪沟, 形成异常发达的 V 字形沟谷。当发生区域性强降雨或局部暴雨时, 容易在沟谷形成山洪灾害。东部包括雨城

区、名山区、天全县东部和芦山县南部,地形主要由丘陵和低山组成,地势较为平缓。该区域水系发达,降雨量充沛,容易引发中小型滑坡和崩塌地质灾害。西部主要包括汉源县北部、天全县和荣经县大部分区域,该区域的地形特点以中山为主,地势较为险峻,山脊为长垣状。水系呈树枝状发育,纵坡降大,冲沟切割较深,这些地貌特征为地质灾害的发生创造了良好的条件。西南部的高山区,包括汉源县西南部和石棉县,该区域的地形特征以高山和宽脊沟谷为主,地表受切割作用强烈,地势高陡,为地质灾害的发生创造了较好的基础条件。研究区地质灾害概况见图 1。

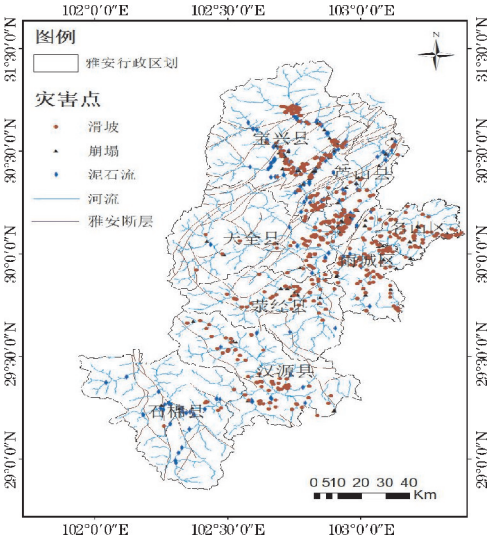


图 1 雅安市地质灾害概况

2 研究方法

2.1 信息量模型

信息量模型利用概率的表现形式来对相关贡献因子所占的贡献大小进行计算,评价过程很好地结合了主观经验和客观要素,能反映地质灾害发生的基本规律,包括其在时间、空间上的分布以及周围环境的变化。信息量模型的构建与所获得的影响因子质量以及数量有极大关系,信息量也是反映事件在该因素下发生概率的一个概念。

计算单因素 x_n 对地质灾害所提供的信息量 $I(L, x_n)$:

$$I(L, x_n) = \ln \frac{N_i/N}{S_i/S} \tag{1}$$

式中: N_i 为分布在因子 x_n 内每个等级的灾害点数量; N 为研究区发生地质灾害总的灾害点数量; S_i 为研究区内评价因子 x_n 各等级的面积; S 为研究区总面积。

计算某个评价单元里面 n 种因素对地质灾害发生所提供的总信息量 I_j :

$$I_j = \sum_{i=1}^n I(L, x_n) = \sum_{i=1}^n \ln \frac{N_i/N}{S_i/S} \tag{2}$$

式中: I_j 为评价单元的总信息量值; n 为参评因子的数

量。 I_j 越大,表明地质灾害发生的概率越大。

基于 ArcGIS 分区汇总统计功能分区计算几何,分别统计出研究区内评价因子各等级的灾害点个数以及各等级的面积,通过式(1)由栅格计算器计算出评价因子所对应得各等级的分区信息量。

2.2 地质灾害危险性评价流程

本文基于信息量模型分别对滑坡、崩塌和泥石流进行建模,对各个评价因子进行信息量计算,将信息量值赋予图层并进行信息量栅格叠加后,实现危险性分级评价,最后采用 ArcGIS 单元统计工具实现基于栅格最大值的综合危险性评价。具体流程见图 2。

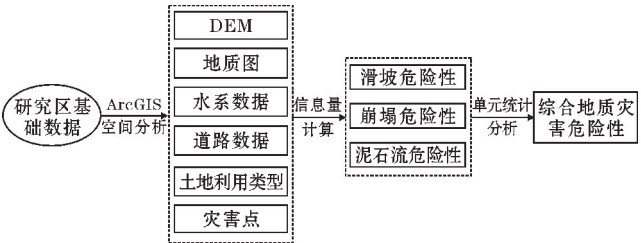


图 2 综合地质灾害危险性评价流程图

首先,准备研究区基础数据,包括雅安市历史灾害点、雅安市 DEM、原始站点年均降雨量数据、土地利用类型以及地质图。

然后,根据研究区实际灾害形成条件与孕灾环境,选取与灾害点分布密切相关的评价因子。本文确定出高程、坡度、坡向、年均降雨量、土地利用类型、距断层距离、距道路距离和距水系距离 8 个评价因子。

在此基础上,运用 ArcGIS 空间分析功能对各个评价因子通过式(2)进行计算,将信息量值赋予图层。最后利用单元统计功能选取最大值作为该栅格的最终信息量值,将其重分类后按自然断点法将其分为 5 类,分别是极低、低、中、高和极高危险区,生成研究区的危险性分区图。

3 数据及评价因子

3.1 数据源

研究主要数据有:30 m×30 m 分辨率 DEM 数据,用以提取地形地貌;雅安市断层矢量数据;原始站点年均降雨量数据;雅安市土地利用类型数据;雅安市历史灾害点矢量数据。

3.2 评价因子

地质灾害的发生与地形地貌、地质构造、气候降水、人为影响等条件相关。本文选择这几类孕灾条件作为地质灾害发生评价研究的大类指标,根据以往研究者^[13-15]经验结合雅安市特定的条件来进行地质灾害因子的选取和分级(图 3)。

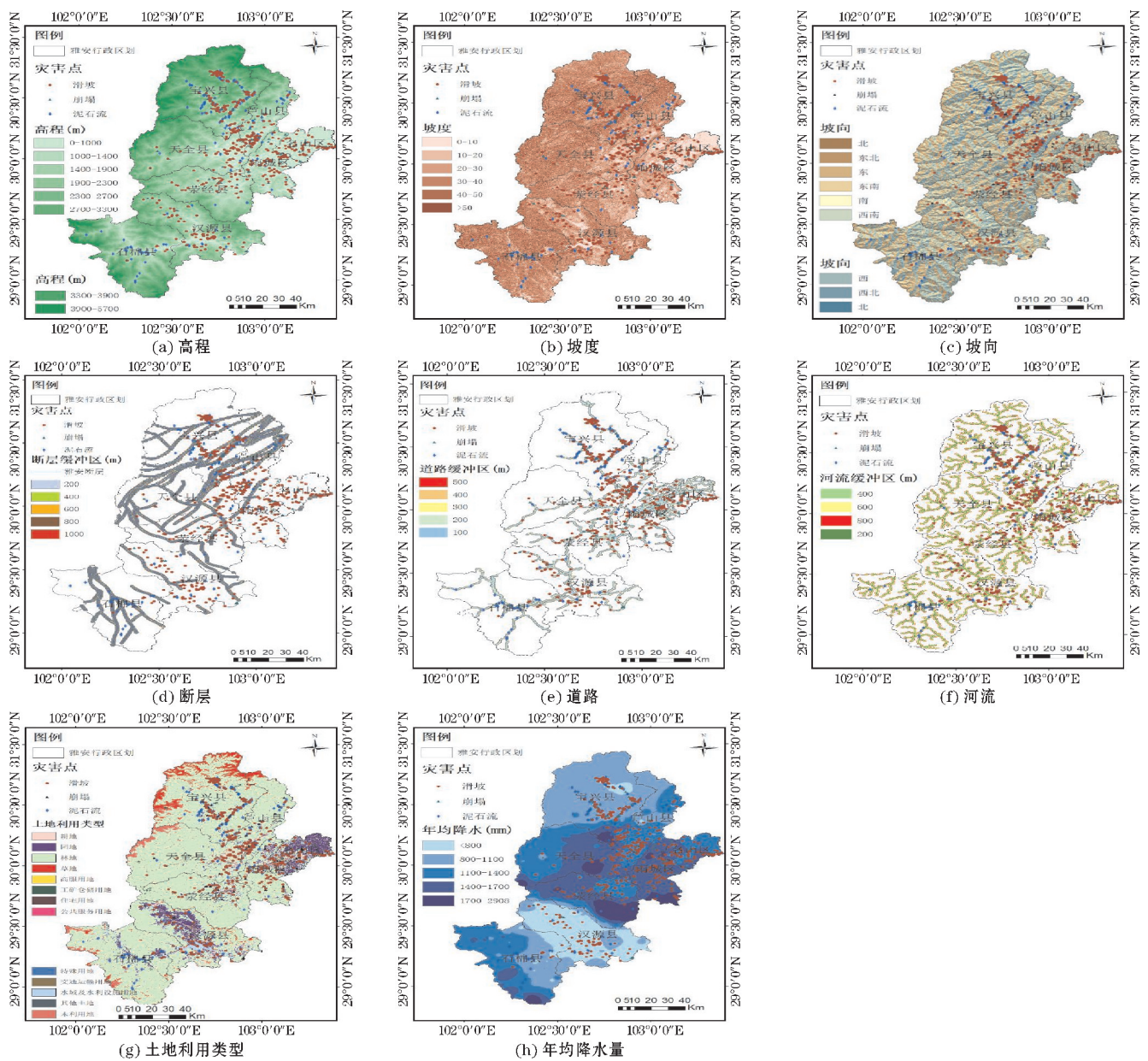


图3 地质灾害危险性评价因子

3.2.1 高程

高程对地质灾害的发生具有重要的影响,地质灾害的类型和规模往往与地形的高低、陡缓密切相关。在中海拔地区,由于山地地形陡峭,土壤和岩石稳定性较差,容易发生地质灾害。研究区高程为 489 ~ 5705 m,按照自然断点法将高程分为 5 类,其对应的信息量值见表 1。

表 1 高程分级及信息量值

高程/m	信息量值		
	泥石流	滑坡	崩塌
<1000	0.841	1.365	1.416
1000 ~ 1400	0.780	0.453	0.500
1400 ~ 1900	0.335	-0.308	-0.101
1900 ~ 2300	-0.528	-1.090	0
2300 ~ 2700	-3.283	-1.984	0
2700 ~ 3300	0	-3.593	0
3300 ~ 3900	0	0	0
3900 ~ 5700	0	0	0

3.2.2 坡度

坡度是滑坡、崩塌和泥石流发生的重要控制因素之一。坡度在一定程度上决定土壤和岩石的下滑、崩塌的倾向。较陡坡度可以促使降雨径流加速并增强侵蚀力,进而导致泥石流的发生。从表 2 可知,雅安地质灾害多发生在<20°区间内。

表 2 坡度分级及信息量值

坡度/(°)	信息量值		
	泥石流	滑坡	崩塌
0 ~ 10	0.823	0.392	0.573
10 ~ 20	0.598	0.889	0.635
20 ~ 30	-0.176	0.027	-0.325
30 ~ 40	-0.547	-0.768	-0.427
40 ~ 50	-0.729	-1.973	-0.380
>50	-1.571	-1.881	-0.576

3.2.3 坡向

坡向影响斜坡表面不同的光照强度,从而影响水分的分布和土壤的稳定性。南坡在阳光照射下往往更暖和干燥,土壤含水量较低,稳定性相对较好;而北坡则相对阴湿,土壤含水量较高,稳定性较差。从表 3 可知,南坡相对于北坡更容易发生滑坡和崩塌。

表 3 坡向分级及信息量值			
坡度	信息量值		
	泥石流	滑坡	崩塌
北	0.021	-0.184	-0.631
东北	0.263	-0.047	0.005
东	-0.194	-0.186	0.619
东南	-0.103	0.020	-0.052
南	-0.601	0.267	0.143
西南	-0.412	-0.123	-0.515
西	0.274	-0.037	0.458
西北	0.377	0.326	-0.302

3.2.4 年均降雨量

地质灾害的发生主要受连续降水和暴雨的激发,持续性的降水会导致土质松软从而增大地质灾害发生的概率。年均降雨量分级及信息量值见表 4。

表 4 年均降雨量分级及信息量值			
年均降雨量/mm	信息量值		
	泥石流	滑坡	崩塌
<800	-0.046	0.170	-0.317
800~1100	0.442	-0.346	0.023
1100~1400	-0.061	0.083	0.114
1400~1700	-0.833	0.279	0.195
1700~2908	-0.425	-0.977	0

3.2.5 土地利用类型

雅安土地利用主要包括林地、园地、住宅用地、建筑物以及未利用地,反映了人类工程活动程度,人类的频繁活动在一定程度上造成下垫面改变破坏地表土层结构,对地质灾害的发生产生影响。从表 5 可知,地质灾害主要发生在住宅用地、交通运输用地、公共服务用地等与人为影响有关的地方。

表 5 土地利用类型分级及信息量值			
土地利用类型	信息量值		
	泥石流	滑坡	崩塌
耕地	0.886	1.801	1.268
园地	0.369	0.640	0.094
林地	-0.546	-0.687	-0.335
草地	0.000	-2.466	0.000
商服用地	0.000	1.191	2.784
工矿仓储用地	1.688	0.000	0.668
住宅用地	2.729	2.689	2.193
公共服务用地	1.179	1.562	2.462
特殊用地	0.000	0.000	3.202
交通运输用地	1.558	1.791	2.030
水域及水利设施用地	0	-0.475	0.019
其他土地	3.210	2.494	0
未利用地	1.028	-0.332	-0.684

3.2.6 距断层距离

断层是地壳中存在的地质构造断裂带,是地震活动的主要来源。断层滑动改变地质构造和地貌情况时,可能导致坡体失稳,引发地质灾害的发生。从表 6 可知,距离断层越近,地质灾害越容易发生。

表 6 距断层距离分级及信息量值			
距断层距离/m	信息量		
	泥石流	滑坡	崩塌
0~200	0.624	0.227	0.270
200~400	0.321	-0.029	-0.556
400~600	0.791	-0.318	0.177
600~800	1.186	0.108	-0.863
800~1000	0.121	-0.135	1.510
>1000	-0.322	0.002	-0.003

3.2.7 距道路距离

道路是提供各种人类通行设备以及无轨车辆的基础设施,同时道路也是人为改造环境的典型事件,一定程度会改变地质结构或者土地利用类型,为地质灾害的发生创造条件。根据表 7 可知,地质灾害的危险性随着距离道路的增大而减小。

表 7 距道路距离分级及信息量值			
距道路距离/m	信息量		
	泥石流	滑坡	崩塌
0~100	2.191	1.743	2.375
100~200	1.706	1.068	1.254
200~300	1.504	1.194	1.360
300~400	0.445	0.945	-1.045
400~500	0.627	0.422	0.629
>500	-1.059	-0.518	-0.926

3.2.8 距水系距离

河流的运动会使两岸的泥土等受到侵蚀,同时它是路面水文循环的重要环节,能够提供充分的水汽以及充足的湿气,离河流越近发生地质灾害的频率越高。根据表 8 的数据显示,地质灾害的易发性随着距离水系的增大而减小。

表 8 距水系距离分级及信息量值			
距水系距离/m	信息量		
	泥石流	滑坡	崩塌
0~200	1.657	1.533	1.449
200~400	0.606	0.027	0.613
400~600	0.031	-0.013	-0.072
600~800	0.016	0.483	-0.148
>800	-1.373	-0.953	-0.845

4 地质灾害危险性评价结果

对各因子分级信息量进行信息量叠加,得到总信息量,采用重分类工具,分别使用自然断点法对总信息量进行分级,得到研究区滑坡危险性分区图、崩塌危险性分区图和泥石流危险性分区图(图 4)。

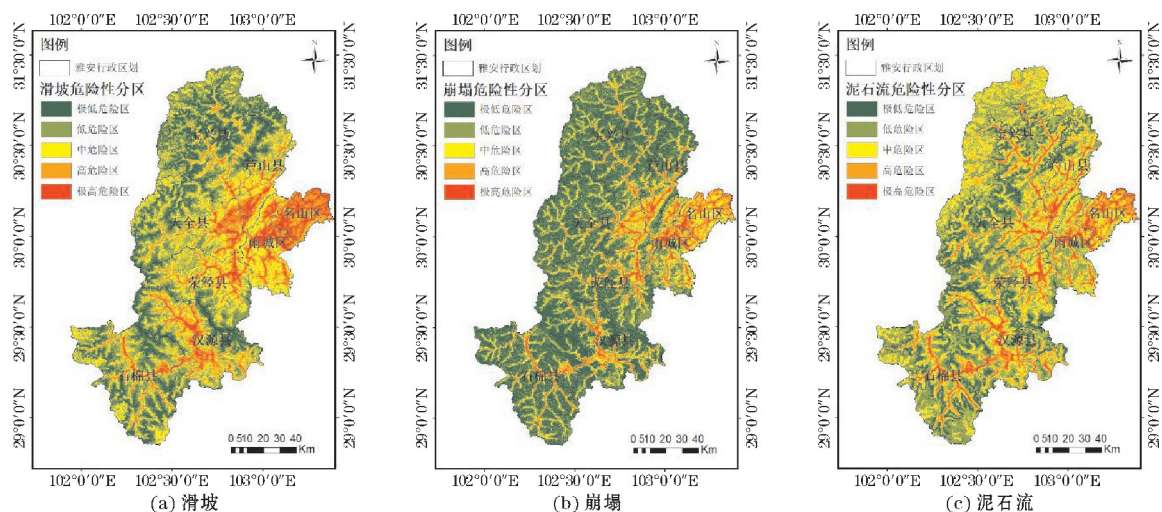


图 4 雅安市滑坡、崩塌与泥石流灾害危险性分区图

最后,基于 ArcGIS 单元统计功能,采用栅格最大值法对各个栅格单元取滑坡、崩塌和泥石流灾害信息量值的最大值作为该栅格的最终信息量值,并绘制雅安地质灾害危险性评价图(图 5),将研究区内地质灾害危险区划重分类后按自然断点法将其分为 5 个等级,其对应信息量值区间分别为 $[-7.691,-2.016)$, $[-2.016,-0.555)$, $[-0.555,1.476)$, $[1.476,4.109)$, $[4.109,10.563)$,即极低危险区、低危险区、中危险区、高危险区和极高危险区。

雅安地质灾害高和极高危险区主要分布在名山区、雨城区和人类工程活动强的区域、道路沿线和河流附近;中危险区沿高危险区外围分布和部分河流附近,低和较低危险区主要分布在远离河流与道路、人为影响低的区域。

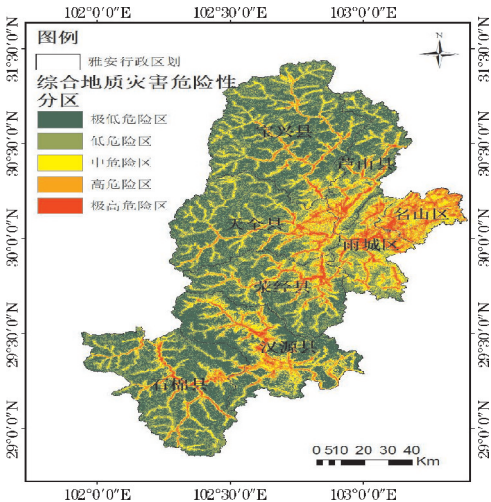


图 5 雅安综合地质灾害危险性分区图

表 9 各危险等级区地质灾害点数目分布

分区类型	面积/km ²	占研究区面积比例/%	灾害点个数/个	占灾害点总数比例/%
极低危险区	5444.15	36.2	25	2.9
低危险区	4838.53	32.2	68	7.9
中危险区	2502.42	16.6	175	20.2
高危险区	1509.93	10.0	305	35.3
极高危险区	731.24	4.9	292	33.8

根据对雅安综合地质灾害危险性分区进行统计(表 9),研究区内高和极高危险区总面积为 2241.17 km²,占全市总面积的 14.9%,分布在高危险区和极高危险区的灾害点共 597 个,占总数 69.1%;极低和低危险区总面积为 10282.68 km²,占比 68.4%,分布灾害点 83 个,占总数 10.8%。分区结果表明:地质灾害点分布个数随着危险等级增加而增加,与危险性分区类型呈正相关;分区结果与实际情况比较符合。

5 结论

以雅安地区为研究对象,结合信息量模型与 GIS 平

台,对雅安展开地质灾害危险性评价,得出以下结论:
(1)从雅安选取与地质灾害点分布密切相关的 8 个致灾因子,分别为高程、坡度、坡向、年均降雨量、土地利用类型、距断层距离、距道路距离和距水系距离。采用信息量模型对该地区的滑坡、崩塌和泥石流地质灾害进行危险性评价。通过对各区域进行统计分析,利用 GIS 空间技术实现综合地质灾害危险性的评估,并绘制危险性分区图。与研究区实际情况进行比较后发现,危险性分区图与实际情况相一致,可见信息量模型在该研究区的地质灾害危险性评价中取得很好的效果。研究结果为雅安的地质灾害管理、规划和决策提供有价值的科学依据。

(2)雅安市内地质灾害极高、高危险区主要位于水系附近,多种有利因素使得地质灾害在该带发育,河流两岸人类活动较为强烈,进一步增加地质灾害发生的可能性;中危险区沿高危险区外围分布,此外在水系等局部较为平坦的河谷也有发育;低和极低危险区主要分布在远离河流与道路、人为影响低的区域。

致谢:感谢雅安市科技计划(22KJH0113)对本文的资助

参考文献:

- [1] 谭玉敏,郭栋,白冰心,等.基于信息量模型的涪陵区地质灾害易发性评价[J].地球信息科学学报,2015,17(12):1554-1562.
- [2] 牛全福,程维明,兰恒星,等.基于信息量模型的玉树地震次生地质灾害危险性评价[J].山地学报,2011(9):243-249.
- [3] 王佳佳,殷坤龙,肖莉丽.基于GIS和信息量的滑坡灾害危险性评价——以三峡库区万州区为例[J].岩石力学与工程学报,2014(4):797-808.
- [4] 高振记,邬伦,赵兴征.基于GIS的深圳市滑坡危险性区划研究[J].灾害学,2014,29(1):67-74.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.

- [8] 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.
- [9] 温鑫,范宣梅,陈兰,等.基于信息量模型的地质灾害危险性评价:以川东南古蔺县为例[J].地质科学通报,2022,41(2):290-299.
- [10] 高克昌,崔鹏,赵纯勇,等.基于地理信息系统和信息量模型的滑坡危险性评价——以重庆万州为例[J].岩石力学与工程学报,2006,25(5):991-996.
- [11] 赵帅,赵洲.基于信息量模型的地质灾害易发性评价[J].水力发电,2019,45(3):27-32.
- [12] 李光辉,铁永波.基于信息量模型的综合地质灾害易发性建模方法对比研究[J].灾害学,2023,38(3):212-221.
- [13] 范雅捷,范宣梅,方成勇.基于栅格最大值法的县域综合地质灾害建模[J].地质科技通报,2022,41(2):197-208.
- [14] 樊芷吟,苟晓峰,秦明月,等.基于信息量模型与Logistic回归模型耦合的地质灾害易发性评价[J].工程地质学报,2018,26(2):340-347.
- [15] 陈曦炜,裴志远,王飞.基于GIS的贫困地区降雨诱发型地质灾害风险评估——以湖北省恩施州为例[J].地球信息科学学报,2016,18(3):343-352.

Ya'an City Geological Hazard Risk Assessment based on Information Entropy Model

WU Yaping¹, ZHOU Xueyun¹, SUN Yingyao¹, ZENG Pu²

(1. Ya'an Meteorological Bureau, Ya'an 625000, China; 2. Ya'an Natural Resources and Planning Bureau, Ya'an 625000, China)

Abstract: Based on ArcGIS spatial analysis, a geological hazard risk assessment was conducted in Ya'an City, Sichuan Province. Elevation, slope, aspect, average annual rainfall, land use type, distance from faults, distance from roads, and distance from water systems were selected as the geological hazard zoning factors for Ya'an City. Information quantity models were used to evaluate the hazards of landslides, collapses, and mudslides. Furthermore, the grid maximum method is used to achieve comprehensive geological hazard risk assessment, and the geological hazard risk areas in Ya'an City are divided into extremely low, low, medium, high, and extremely high-risk areas. The research results indicate that the extremely high-risk areas in the study area are mainly distributed along both sides of roads and water systems, while the extremely low-risk areas are mainly located in areas with low human engineering activities; The area of extremely high risk areas and high-risk areas accounts for 14.9%, with a disaster rate of 69.1%. The spatial distribution of disaster points is positively correlated with the risk level, and the verification results indicate that the disaster risk zoning in Ya'an City is relatively reasonable, and the research results will provide a good basis for geological disaster risk assessment in the region.

Keywords: information quantity model; hazard assessment; geological hazards; Ya'an city