

5·12 汶川地震灾区茂县地质灾害危险性评价

丁军, 朱静, 王磊, 王玉夜

(成都理工大学 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 成都 610059)

摘 要: 该文讨论了模糊综合评价模型和地理信息系统 (GIS) 相结合进行地质灾害危险性评价的方法。选取研究区内的地形坡度、海拔高程、地层岩性、河流缓冲区、断层缓冲区的灾害点分布频率作为评价指标, 利用模糊综合评价模型进行地质灾害危险性评价; 基于 GIS 系统强大的空间分析功能, 实现对地理数据进行运算处理及评价结果图的输出。最后, 以 5·12 汶川地震后的四川省茂县为例, 实现研究区地质灾害危险性评价, 研究表明: 高危险区面积 25.0%, 地质灾害点占 60.7%; 中危险区面积 33.1%, 地质灾害点占 24.4%; 低危险区面积 41.9%, 地质灾害点占 14.9%。地质灾害危险性评价结果可为政府部门的灾后重建及规划提供科学依据。

关键词: 汶川地震; 地质灾害; 危险性评价; 模糊综合评价; 茂县

中图分类号: P315; P694

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)05-0012-05

Hazard Assessment of Geohazards in 5·12 Wenchuan Earthquake Hazard Area of Maoxian County

DING Jun, ZHU Jing, WANG Lei, WANG Yu-ye

(State Key Lab of Geo-hazard Prevention and Geo-environment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: This article discussed the hazard assessment of geohazards triggered method using the model of fuzzy comprehensive evaluation and GIS system. Selecting the Geohazards frequency of the terrain gradient, altitude, stratigraphic lithology, rivers buffer, fault buffer in the study area as evaluation index, fuzzy comprehensive evaluation method is used for geological hazard assessment, based on the powerful spatial analysis functions system of GIS, to achieve geographical data processing operations. Finally, A case study in Maoxian County of Sichuan Province after the 5·12 Wenchuan earthquake, complete the hazard assessment of geohazards of study area. The results show that high-hazard area accounts for 25.0 percent and the numbers of geohazards in the study area accounts for 60.7 percent; moderate-hazard area accounts for 33.1 percent and the numbers of geohazards in this area accounts for 24.4 percent; low-hazard area accounts for 41.9 percent and the numbers of geohazards in this area accounts for 14.9 percent, Geohazards hazard assessment in earthquake areas can provide scientific suggestions for reconstruction and government decisions making.

Key words: Wenchuan earthquake; geohazards; hazard assessment; fuzzy comprehensive evaluation; Maoxian County

汶川 5·12 大地震给整个灾区带来巨大损失,除了地震震动直接造成大量房屋倒塌和人员伤亡外,地震过程中大量的滑坡崩塌发生也扩大了灾难的程度。同时,地震活动还使区域斜坡稳定性减弱,形成众多的威胁性次生山地灾害,给灾区的灾后重建和生产生活带来了巨大的困难。震后地质灾害危险性评价是全面宏观地反映灾情,确定减灾目标,优化防治措施,提高减灾效益,进行防灾减灾决策的重要依据^[1]。本

文以汶川地震重灾区茂县为例探讨地震灾区地质灾害危险性评价的方法和实施步骤。根据基础地理和地质资料,并运用相应数学模型方法进行计算确定相应危险级别。由于评价涉及的数据量较大以及需要进行空间运算和分析,为了提高评价的速度和精度,运用 GIS 对研究区进行栅格化处理,通过空间分析和图层运算,实现地质灾害危险性的评价。该方法可以实现危险性评价从定性到定量,再由定量到定性的

收稿日期: 2010-04-22

资助项目: 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室自主研究基金 (SKLGP2009Z004)

作者简介: 丁军 (1983-), 男, 安徽阜阳市人, 硕士, 研究方向: 地质灾害评价与防治、遥感与 GIS 应用。E-mail: jun_dj11@163.com

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

研究,对于探讨地震灾区地质灾害危险性评价的新模式提供参考。

1 研究区概况

茂县地处青藏高原向川西平原过渡地带,行政区划属于四川省阿坝藏族羌族自治州,处于岷江上游中段,地理坐标东经 $102^{\circ}56'26''$ — $104^{\circ}10'32''$,北纬 $31^{\circ}25'06''$ — $32^{\circ}15'43''$,东与北川、安县、绵竹相连,南与汶川、什邡、彭县接壤,西与理县、黑水交界,北与松潘相邻。茂县幅员面积 $4\,064.4\text{ km}^2$,全县总人口 10.2 万人。区内大部分属邛崃山系岷山山脉,东南边境属龙门山系尾段,县境山峰多在海拔 $4\,000\text{ m}$ 左右,相对高度在 $1\,500\sim 2\,500\text{ m}$,地势上西北高、东南低,地形以高山峡谷地带为主。该区气候具有干燥多风,冬冷夏凉、昼夜温差大、地区差异大的特点,多年平均降水量 490.7 mm ,降雨多集中在 5—10 月,占全年降水量的 80% 以上,最大日降水量 75.2 mm ,瞬时雨强较大,容易诱发山体滑坡和泥石流等地质灾害;岷江为茂县境内的主要河流,自北向南纵贯全境,该河流平均年径流量已由 20 世纪 50 年代的 148 亿 m^3 ,下降至 90 年代的 91 亿 m^3 ,县境内水土流失面积达占 533 km^2 。

茂县境内地层主要为马尔康分区地层和龙门山分区地层。马尔康分区地层分布在县境内的绝大部分地区,占全县面积的 90% 以上。主要有千枚岩、砂岩、板岩、白云岩、碳酸盐岩、泥页岩分布;研究区内新构造运动比较强烈,其主要特征是:晚近时期以来,区内地表大面积抬升,高山林立,河流深切。通过区内的茂汶断裂、龙门山断裂,近代仍在活动,而且活动也较频繁,断裂活动导致历史上和现代地震的多次发生。由于茂县多高山峡谷,新构造运动强烈,滑坡、崩塌和泥石流等不良地质现象较普遍。

2 地质灾害危险评价方法

近几十年,随着地质灾害造成的损失日益严重和国内外相关学术的迅速发展,特别是地理信息系统(GIS)技术与遥感(RS)技术的引入,使地质灾害危险性评价迅速兴起并得到飞速发展。国内外的学者对地质灾害评价已经进行了大量的研究。例如美国联邦地质调查局 Keefe 教授通过对 40 次大地震滑坡与地震参数定量关系统计,开展地震滑坡分类和区域规律的研究^[2];ITC 成员 Derya OZISIK 2004 年研究地震发生后利用卫星和航空遥感影像图获取资料,能够在第一时间完成对地震诱发地质灾害造成损失的评估;E. C. Evik、T. Topal 利用敏感性因子作为量化指标对天然气管道两侧的地质灾害进行危险性

研究区划^[3];国内研究较早的是 1979 年中国科学院成都山地所李天池探讨了地震与滑坡关系及地震滑坡预测,将地震滑坡划分为同发型和后发型两大类,并分析了其形成机制,建立了地震诱发滑坡的区域范围的统计关系^[4];唐川、朱静等学者 2001 年 GIS 支持下的地震诱发滑坡危险区预测研究^[5-6],探讨运用 GIS 识别和定量计算不同地震滑坡危险区的技术方法,完成云南省地震诱发滑坡危险区预测图,推动国内地震诱发地质灾害的研究。GIS 主要用于数据处理,空间分析和图像处理。利用 GIS 进行空间检索与分析、属性数据的调用、图表计算、数学模拟,及对多个图层的复合、分解、叠加等运算,同时结合评价模型,实现对地质灾害危险性评价的目的^[7]。

本文借助遥感(RS)和地理信息系统(GIS)强大的技术支持,再结合比较前人研究成果,通过对研究区地质灾害的类型及威胁特性分析,利用模糊综合评价模型,实现评价结果。具体的评价步骤如下:

- (1) 数据收集。数据收集包括基础地理数据(地形图、水系),地质图,断裂分布,灾害点分布;
- (2) 评价因子的选取。根据基础数据和野外调查结果,分析地质灾害发生的基本因素和诱发因素,选取评价因子。
- (3) 危险性评价。利用 GIS 技术,对各个评价因子建立评价因子图层,进行栅格图层运算,最后结合相关模型,完成对研究区的危险性评价分区图。

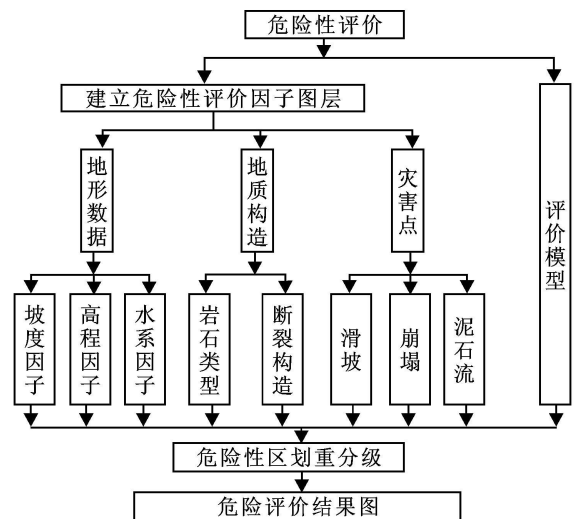


图 1 地质灾害危险性评价技术路线图

3 地质灾害危险性评价

3.1 地质灾害分布现状

茂县地处青藏高原向川西平原过渡地带,山高谷深,新构造运动强烈,不良地质现象较普遍。根据国土资源系统在震前的调查,地质灾害点有 115 处;5·12 汶川大地震中又诱发新增了大量的地质灾害,给当地居民的生命财产安全带来了极大的威胁,根据

国土资源系统开展的震后地质灾害调查结果,地震新增灾害点 287 处,包括崩塌、滑坡、泥石流和不稳定斜坡等灾害类型。茂县地质灾害分布及类型见表 1、附图 3A。由附图 3A 可以看出地质灾害点大多呈现出沿河流和断裂带分布的规律。

表 1 灾害点统计表

时 段	崩塌/ 处	滑坡/ 个	泥石流/ 条	不稳定 斜坡/ 个	合计
地震前	8	91	16		115
地震后新增	67	91	29	100	287
合 计	75	182	45	100	402

3.2 评价数据及预处理

(1) 数据收集。基础地理资料来源于国家测绘局 1: 5 万、1: 25 万电子地图; 0.5 m 分辨率的航空影像图由国土资源部门提供; 地层岩性源于四川省 1: 20 万地质图; 地质灾害点资料来源于国土资源系统的震前灾害点数据和震后地质灾害野外排查资料以及成都理工大学利用遥感解译所得到的灾害点数据的汇总。断裂分布图来源于四川省地震局。

(2) 数据预处理。由于原始数据的载体、储存方

式、格式可能不统一,为满足后期的研究需要,要对基础数据进行统一化、规范化的预处理,首先将扫描的栅格数据进行几何矫正,提高数据配准精度,以提高栅格叠加的精度,投影变换,保证坐标的统一,利用 GIS 的矢量化功能,将栅格数据转变成矢量数据。

3.3 评价指标体系的建立

评价指标体系是由若干单项因子构成,它既要达到地质灾害危险性评价的目标与要求,又要全面、合理、客观、科学。本着以上原则,危险性评价因子,可分为两类:一类是基础因素;另一类是诱发因素。基础性因素包括地形地貌、地质构造、灾害点分布;诱发因素包括降雨、地震、风化剥蚀、开挖与堆填等。从影响和控制地质灾害危险性的地形和地质因子入手,最终确定本研究区危险性评价的评价因子有:坡度因子、海拔高程因子、河流因子(距河流距离)、地层岩性因子、断裂构造因子这 5 个评价因子,将灾害点在每个评价因子的分布频率作为分级指标,每个评价因子分成 4 个等级,借鉴前人对于指标分级的研究^[8],将 5 个评价因子指标进行分级,结果如表 2。

表 2 危险性因子分级标准表

评价因子	分级标准			
地形坡度/ (°)	0~ 10	10~ 20	20~ 35	> 35
海拔高程/ m	0~ 500	500~ 1000	1000~ 1500	> 1500
地层岩性	千枚岩、泥页岩	砂砾岩、板岩	砂岩、碳酸岩盐	岩浆岩
河流缓冲区/ m	0~ 500	500~ 1000	1000~ 1500	> 1500
断裂缓冲区/ m	0~ 500	500~ 1000	1000~ 1500	> 1500

根据以上分类标准,利用 GIS 的 3D Analyst 模块,分别得到地形坡度因子分级图(附图 3B)、海拔高程因子分级图(附图 3C)、岩石类型因子分级图(附图 3D)、河流缓冲区分级图(附图 3E)和断裂缓冲区分级图(附图 3F)。

3.4 模糊评价模型

评价模型的构建是危险性评价中很重要的一个部分,会对评价结果有重大影响,本文在前人研究模型的基础上,通过对比其他模型发现模糊综合评判模型更精准地反映灾害的信息累计过程,本文对评价因子的构建进行了一定的优化,提出灾害频率量化模型,建立一种灾害点频率法指标量化模型,该模型能根据灾害点分布规律准确反映灾害危险程度的梯度关系;运用黄金分割定权方法是根据现有研究成果作为基础,对评价因子进行先后排序,再通过模型定量。

(1) 频率模型简述。该模型通过对研究区进行栅格分区,根据已知的灾害点数据,统计出每个栅格面积内的灾害点数量,进一步计算每个栅格区域的灾害点频率,该频率值称制之为危险度,它反映区域内以

往发生地质灾害的可能性的,与地质灾害发生的可能性有密切的关系。该模型表述为

$$I_k(N_{ij}, H_{ij}) = \frac{N_{ij}/H_{ij}}{N/H}$$

式中: I_k ——危险度; k ——评价因子(坡度因子、海拔高程因子、河流缓冲区因子、岩石类型因子、断裂缓冲区因子); N_{ij} ——该栅格内的地质灾害点个数; H_{ij} ——特定栅格面积; N ——研究区地质灾害点总数; H ——研究区的总面积。

研究区评价单元栅格大小划分根据经验公式^[7]得到

$$G_s = 7.49 + 0.0006S - 2.0 \times 10^{-9} + 2.9 \times 10^{-15} S^2$$

式中: G_s ——适合划分栅格面积; S ——原始地形图比例尺的倒数。根据以上经验公式,得到研究区栅格大小划分为 40 m × 40 m。

(2) 归一化处理。上述危险度用灾害点在单位面积内的频率大小来表示,为了满足模糊综合评判构建判别矩阵的要求,需要对危险度做归一化处理,归一化处理数据的模型有很多,结合数据本身的特点,通

过对比研究,利用以下模型进行

$$y_k = \frac{I_k}{\sum_{k=1}^n I_k}$$

式中: y_k ——归一化后的评价因子危险度。

(3) 模糊综合评价模型。模糊综合评价模型^[9]如下
假设评价因子集合,共有 n 个评价因子

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$$

评价集合,每个评价因子都有 m 个可取评价;

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$$

设评判对象按因素集合 U 中第 i 个因子 u_i 进行
评价时,对评价集合 V 中的第 j 个元素 v_j 的隶属程度为 r_{ij} , R_i 称为单因子评价集,可用矩阵表示

$$R = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ R_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

其中 $\sum_{i=1}^m r_{ij} = 1$, 设权重因子间的权重分配为 $A = \{a^1,$

$a^2, \dots, a^m\}$, $a_i \geq 0$ 且 $\sum_{i=1}^m a_i = 1$, 则模糊评价关系为

$$B = A \cdot R = R \cdot A = (b_1, b_2, \dots, b_n)$$

得到矩阵 (b_1, b_2, \dots, b_n) , 称为评价指标, 取此结果的

平均值作为判别结果, 决定归属情况, 即

$$v = \frac{\sum_{j=1}^n b_j}{n}$$

式中: v ——该区的危险性评价指标的最终值, 它表示
指定区域内的危险程度。

(4) 危险性评价因子权重确定。因子权重即贡献
率, 是指评价因子在地质灾害危险性评价中所起的作
用大小。贡献率越大, 该因子所占的权重就越大。根
据其他专家学者对权重取值的研究成果, 得到地形因
子对地质灾害的影响最大, 其次是地层岩性, 地质构
造、河流缓冲区、海拔高程等。按照此顺序, 5 个因子
顺序为地形坡度因子> 地层岩性因子> 断裂构造因
子和河流缓冲因子> 海拔高程。过去将定性判断转
化为定量判断大多用专家打分法, 这种方法是根据专
家的经验来定权的大小, 存在主观随意性, 该模型利
用统计学中的黄金分割定理^[10-11], 表示为

$$W_{i+1} = W_i \times 0.168$$

式中: W_i ——权重; 假定地形坡度的权重为 1, 地层岩
性、断裂构造和河流因子、海拔高程因子的权重依次
为 0.618, 0.382, 0.382, 0.236。

表 3 危险性因子分析和权重分级简表

评价 指标	指标 属性	面积/ km ²	地质灾害 数量/个	危险性 因子	综合 取值	危险性因子 归一化	因子 权重	权重 归一化
坡度/ (°)	0~ 10	103	7	0.068		0.183	1	0.382
	10~ 20	348	31	0.089		0.240		
	20~ 35	1687	201	0.119		0.321		
	> 35	1711	163	0.095		0.257		
岩性	千枚岩	52	8	0.154	0.148	0.401	0.618	0.236
	泥页岩	422	60	0.142				
	砂砾岩	114	14	0.123				
	砂板岩	1618	192	0.119	0.121	0.328		
	砂岩	1061	92	0.087		0.210		
	碳酸盐岩	497	34	0.068	0.078			
	岩浆岩	85	2	0.024	0.022	0.060		
距河流 距离/m	< 500	132	125	0.94		0.527	0.382	0.146
	500~ 1000	128	58	0.45		0.252		
	1000~ 1500	128	44	0.34		0.192		
	> 1500	3461	175	0.05		0.028		
距断裂 距离/m	< 500	188	35	0.19		0.333	0.382	0.146
	500~ 1000	192	29	0.15		0.270		
	1000~ 1500	192	25	0.13		0.233		
	> 1500	3285	313	0.10		0.170		
海拔 高程/m	< 1000	87	5	0.06		0.113	0.236	0.09
	1000~ 1500	354	39	0.11		0.216		
	1500~ 2000	586	159	0.27		0.532		
	> 2000	2823	199	0.07		0.138		

通过对坡度、岩性、距河流距离、距断裂距离、海拔高程 5 个评价因子危险度的分别统计,再利用黄金分割法确定每个评价因子的权重,并将危险性评价因子及权重均归一化处理,得到各危险度因子分级、权重数据统计表,详见表 3。

(5) 基于 GIS 空间分析功能实现危险性综合评价。利用 GIS 的 3D Analyst 功能,结合模糊综合评价的数学模型,计算出每个因子的危险度叠加综合值,危险度综合取值按照 0—0.4—0.7—1 的界定值分级,将研究区分为低危险区、中危险区和高危险区。利用不同灰度代表不同的危险度值进行分区,得到危险性评价结果图如图 2。危险性分区面积统计见表 4。

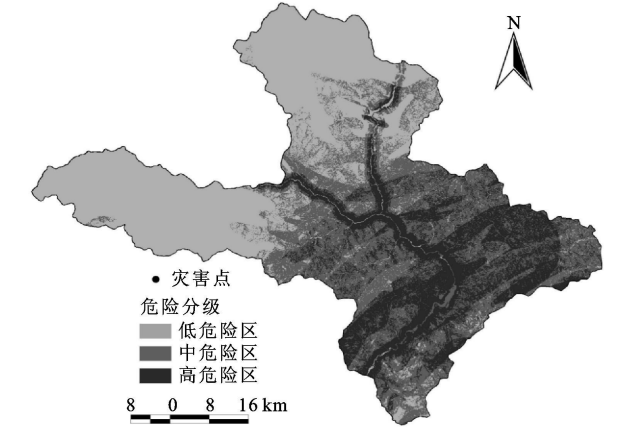


图 2 茂县危险性分区图
表 4 地质灾害危险性评价结果

危险性分级	分级区域 面积/ km ²	面积百 分比/ %	灾害点 百分比/ %
低危险区	1614	41.9	14.9
中危险区	1273	33.1	24.4
高危险区	962	25.0	60.7

4 结 论

利用基于 GIS 与模糊综合评判相结合的方法,把研究区域分成低危险区、中危险区和高危险区,通过统计分析灾害点分布与危险分区的关系,得到以下结论:

(1) 采用模糊综合评判和黄金分割定权的方法,基于 GIS 系统实现了 5·12 汶川大地震后重灾区茂县的地质灾害危险性评价,模型能充分反映各个评价因子的贡献率,准确体现危险程度的差异,将研究区分成低危险区 1 614 km²;占研究区面积的 41.9%,该区内灾害点数占总体灾害点的 14.9%;中危险区 1 273 km²,占研究区面积的 33.1%,该区内灾害点数

占总体灾害点的 24.4%;高危险区 962 km²,该区内灾害点数占总体灾害点的 25.0%,占总体灾害点的 60.7%。

(2) 全县范围内的危险分区由南往北呈减弱趋势,北部高山地区主要是低危险度区,南部在茂汶断裂附近,主要是中危险度区和高危险度区。这一特性与茂县境内的地质岩性、断裂分布、海拔高程与危险性区域分布相吻合。但是由于本次调查的灾害点数据主要是以影响人类生命财产的区域为主,北部山区调查的数据量较少,也会对评价结果造成一定影响。

(3) 利用模糊综合评判对茂县的危险性综合评价分区,高危险度区域灾害点比较发育,低危险区则灾害点分布较少,能够综合反映研究区的区域危险性,能为汶川地震灾区灾后重建居民点的选取提供依据,为防灾减灾提供依据,具有较高的实用价值。

参考文献:

[1] 阮沈勇,黄润秋. 基于 GIS 信息量法模型在地质灾害危险性区划中的应用[J]. 成都理工学院学报,2001,28(1): 89-92.

[2] Keefer D K. Landslides caused by earthquakes[J]. Geol. Soc. Am.,1984,9(5): 406-421.

[3] Evik E C, Topal T. GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek, Turkey[J]. Environmental Geology, 2003,44:949-962.

[4] 李天池. 地震与滑坡的关系及地震滑坡预测的探讨[M]//滑坡文集(第2集). 北京:人民铁道出版社,1979: 127-132.

[5] 唐川,朱静. GIS 支持下的地震诱发滑坡危险区预测研究[J]. 地震研究,2001,24(1): 73-81.

[6] 唐川,朱大奎. 基于 GIS 技术的泥石流风险评价研究[J]. 地理科学,2002,22(3): 300-304.

[7] 吴柏清,何政伟. GIS 技术在四川省九龙县地质灾害危险性评价中的应用[J]. 测绘科学,2008,33(4): 146-151.

[8] 唐川,朱静. 基于 GIS 的山洪灾害风险区划[J]. 地理学报,2005,60(1): 87-94.

[9] 宋小秋. 模糊数学原理与方法[M]. 江苏徐州:中国矿业大学出版社,2004.

[10] 马平均,龙万学,孔纪名. 基于模糊综合评价的地质灾害危险性分区[J]. 贵州工业大学学报:自然科学版,2007,36(6): 70-74.

[11] Thananchai L. A fuzzy linguistic interpretation of the golden section[J]. Fuzzy Sets and Systems,2006,157(17): 2412-2415.