

基于GIS和贡献权重迭加方法的区域滑坡灾害易损性评价^{*}

石莉莉^{1,2}, 乔建平¹

(1. 中国科学院·水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川成都 610041; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 区域滑坡易损性是指特定区域对滑坡灾害的破坏和损害的敏感性。根据易损性指标的科学性、可操作性以及可量化等基本选取依据和研究区的区域特点, 选择了人口密度、道路密度、建筑密度、林地密度、耕地密度、滑坡灾害密度6个指标。探讨了贡献率方法评价区域滑坡易损性的建模过程和数学表达。区域滑坡易损性定量表达为各指标的自权重与互权重以及指标的归一化值的乘积。以四川米易县为研究实例, 对此评价方法进行了应用, 在GIS系统中运用自然断点法进行了易损度区划和区划制图, 结果显示, 高易损度区、中易损度区、低易损度区分别占研究区域的7.13%、21.19%、71.68%, 易损性分布基本上与人口密度、建筑密度和道路密度分布相一致, 反应了基于贡献率的区域滑坡灾害易损性区划的合理性。

关键词: 区域滑坡灾害; 易损性; 贡献权重迭加法; 评价指标体系; 四川米易

中图分类号: P642.22; P208 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2009)03-0046-05

0 引言

随着国际社会和灾害学术界对自然灾害的深入研究和重新理解, 易损性逐渐成为灾害研究的重点和热点问题。许多研究者都对易损性进行了定义, 并且运用了不同的方法进行易损性评价^[1-3], 但是由于认识角度和实践应用角度的差异造成易损性的理解和评价方法各有不同。有鉴于此, 笔者认为区域滑坡易损性是区域滑坡灾害易损性是指特定区域对滑坡灾害的敏感性。它受自然、社会经济和生态环境的驱动, 是自然过程和社会过程相互作用的结果。并且试图运用贡献率迭加方法探讨区域滑坡灾害易损性评价的指标体系和定量评价模型。贡献率法可以定量分析区域对滑坡灾害的敏感性, 该方法在危险性区划中取得了较理想的结果^[4-7]。贡献权重迭加法是分别计算区域指标的贡献作用, 经过贡献率与权重的相互转换处理后, 获取各因素内部的贡献自权重和众因素相互之间的贡献互权重, 再将这两种权重与指标值相乘迭加, 得出滑坡易损度和滑坡易损度区划结果。并且以四川省米易县为研究实例。

1 研究区概况

米易县地处青藏高原东南缘, 四川省西南角, 攀枝花市东北部, 安宁河与雅砻江交汇区。位于26°42'~27°10'N, 101°44'~102°15'E之间。东连会理县, 南接盐边县, 西以雅砻江为界, 北邻德昌县。总体地势中部和西部的安宁河谷和雅砻江河谷地段相对较低, 河谷之间及东部皆为中高山区。区内出露地层较齐全。构造主要为南北向构造所控制, 主要表现为雅砻江构造带和安宁河构造带, 区内次生有东西向构造带。面积2 113 km², 总人口21万, 少数民族人口占17%。米易县位于川西高原南段, 属高中山区。属南亚热带干热河谷立体气候区, 干雨季分明而四季不分明, 气温日较差大而年较差小, 降水集中, 雨量充沛, 日照充足, 垂直气候分带明显, 各地小气候复杂多样。

农业为米易县国民经济的重要组成部分, 农业总产值占米易县国内生产总值的45%以上。米易县一共调查地质灾害169个, 其中滑坡127个, 是米易县最主要的地质灾害类型, 占地质灾害总数的74.27%。滑坡造成直接经济损失830.41万

^{*} 收稿日期: 2009-02-24

基金项目: 国家科技部“十一五”重点科技支撑计划(2008BAK50B04, 2006BAC04B05); 国家科技部国际合作(2007DFA21150); 科技部(气象)科研专项(GYHY(QX)2007-6-37); 中科院三期重要方向创新项目 KJXC3-SW-L1-6

作者简介: 石莉莉(1980-), 女, 甘肃嘉峪关人, 博士研究生, 主要从事滑坡风险区划研究. E-mail: shill1127@yahoo.com.cn

元, 目前滑坡的危害仍较严重。

2 易损性评价指标的选取

影响易损性的因素很多, 总结各种文献^[4-9], 基本上将易损性归结为以下几类:

(1) 物质易损性 指的是基础设施和建筑物对灾害事件的敏感性, 由于灾害对其的影响是直接的, 因此物质易损性相对容易量化, 指标的提取也相对容易。

(2) 经济易损性 主要指一个地区的经济系统对灾害损伤的敏感性, 它包括社会的生产、分配和消费环节, 一般研究者都用国内生产总值来代表经济易损性。在工业发达的地区, 经济系统是最容易遭受灾害损伤的。

(3) 社会易损性 主要是指人类的易损性, 强调的是人类或者组织应对灾害的能力, 一般与特定区域的人口结构和分布有关。

(4) 生态环境易损性 生态环境的脆弱性, 其重点在于不同的生态环境对易损性的抵御能力, 一般的评价中土地资源是主要的指标类型。

(5) 制度易损性 制度的易损性主要是由于处理风险的制度和法律的不完善, 或者缺乏减小灾害风险, 灾害预警的资金投入造成的。相对于其他指标而言, 这个指标比较难以量化。

从区域的角度上看, 选择即代表易损性的主要内容又反应区域特征的易损性评价指标并不容易, 因为指标受统计资源数据的不完备性的限制, 大多数情况下还需要依赖经验判断。本文根据研究区本身自然和社会经济特点, 结合米易县县志, 和米易县国土局提供的米易县 2005 年相关数据, 以及利用 GIS 技术获取区域易损因子时功能约束等条件, 选取的研究区易损性指标如下:

(1) 人口密度 Z_1 (人/ km^2) 由于仅由人口密度来评估区域易损性不够完全, 不能体现人口质量, 故本文根据研究成果^[10]对人口密度分别从人口质量、年龄结构、文化程度和城乡分布这几方面对人口密度进行修正

$$dr = (1/3)(a + b + c) \times Dr, \quad (1)$$

式中: dr 为修正后的人口密度; a 为 65 岁以上老人和 7 岁以下儿童比例; b 为只接受初等教育的人口比例; c 为农业人口比例; Dr 为实际人口密度值 (人/ km^2)。

(2) 道路密度 Z_2 (km/ km^2) Z_2 = 道路里程/ 区域总面积, 反映了当地的交通通达度, 灾害发

生后抢险救灾的能力。

(3) 建筑密度 Z_3 (km^2/km^2) Z_3 = 区域内建筑总面积/ 区域总面积。

(4) 林地密度 Z_4 (km^2/km^2) Z_4 = 区域内林地总面积/ 区域总面积。

(5) 耕地密度 Z_5 (km^2/km^2) Z_5 = 区域内耕地总面积/ 区域总面积。

(6) 滑坡灾害密度 Z_6 根据米易县国土局提供的 127 个资料相对详细的滑坡灾害点的, 通过对区域内滑坡点个数, 滑坡体积和以及滑坡面积和通过贡献率迭加方法求出它们对滑坡灾害的贡献指数, 以及自权重和互权重而得到的滑坡灾害密度, 以此来全面反映区域内的滑坡特点。

以上指标中, 除了人口密度与滑坡灾害密度由米易县国土局提供之外, 道路里程、建筑总面积、林地总面积和耕地总面积均通过研究区 1:5 万地形图在 GIS 软件中直接提取。所有指标均用密度的形式表达, 选择密度的原因是由于密度是单位面积上的某要素的数量, 密度可以看作一个连续的变量, 它与研究区的大小和区域位置相关, 是空间数据的类型, 因此易损因子的密度表达有利于其区域化。

在分别获得各指标数据之后, 在运用贡献率进行易损性评价时, 指标数据首先需要进行无量纲化处理。数据无量纲化处理主要解决数据的可比性, 在此我们采用归一化化处理方法。具体计算公式如下:

$$z_i = x_i / \sum x_i, \quad (2)$$

式中: z_i 为指标的归一化值; x_i 为某类指标的指标值; $\sum x_i$ 为指标值总和。经过上述处理后, 原始数据均转换为无量纲化指标测评值 (表 1)。

表 1 评价指标的无量纲结果

乡镇	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5	z_6
宁华乡	0.058	0.030	0.090	0.041	0.032	0.000
观音乡	0.041	0.050	0.030	0.033	0.036	0.000
柳贤乡	0.044	0.026	0.028	0.033	0.026	0.000
新山彝族乡	0.030	0.019	0.017	0.031	0.103	0.000
坪山乡	0.039	0.013	0.019	0.023	0.112	0.000
头碾乡	0.026	0.010	0.009	0.041	0.078	0.007
新河乡	0.021	0.012	0.017	0.034	0.092	0.066
丙谷镇	0.104	0.059	0.048	0.033	0.121	0.081
米易县	0.141	0.055	0.058	0.025	0.027	0.000
草场乡	0.048	0.069	0.027	0.036	0.043	0.000
沙坝乡	0.035	0.041	0.034	0.031	0.017	0.000
挂榜镇	0.080	0.059	0.144	0.011	0.086	0.007
昔街乡	0.060	0.037	0.091	0.026	0.034	0.004

续表 1

白马彝族乡	0.049	0.028	0.044	0.043	0.016	0.002
黄草乡	0.028	0.008	0.070	0.032	0.032	0.000
横山乡	0.057	0.104	0.032	0.043	0.026	0.000
撒莲镇	0.037	0.035	0.037	0.040	0.022	0.000
垭口镇	0.024	0.007	0.017	0.040	0.011	0.000
坊田乡	0.003	0.041	0.006	0.052	0.003	0.000
云峰彝族乡	0.009	0.026	0.012	0.030	0.021	0.000
普威镇	0.025	0.053	0.065	0.043	0.021	0.000
麻陇彝族乡	0.008	0.032	0.012	0.044	0.004	0.000
团结镇	0.002	0.025	0.008	0.038	0.001	0.000
胜利彝族乡	0.002	0.016	0.008	0.052	0.003	0.000
南坝乡	0.009	0.067	0.030	0.043	0.013	0.020
联合彝族乡	0.004	0.014	0.014	0.034	0.006	0.000
得石镇	0.002	0.057	0.003	0.030	0.003	0.144

3 区域滑坡易损性评价

3.1 贡献权重模型

贡献率是评价作用程度的一种指标,通过量化处理,建立贡献率转化权重关系。在经济学中是一种成熟的指标统计方法,该方法称为因子贡献权重法^[11-13]。运用该方法不仅可以得到因子对易损性的贡献因素的作用,贡献作用越大,则此类因子将是该区防灾减灾重点的因素,同时它还可以得到因子自身对易损性高、中、低区划的贡献。

基于贡献权重法的具体实施步骤为:

(1) 划分方法 首先按照三级划分方法将各因子分为高、中、低三个级别,即区间等比数列,划分方法为:

$$d = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{3}, \quad (3)$$

式中, d 为等比中值; D_{\max} 为列中的最大值; D_{\min} 为列中的最小值。

由此得出三级划分区间:

$$\begin{cases} x_1 = (a_1 \sim a_2), \\ x_2 = (a_2 \sim a_3), \\ x_3 = (a_3 \sim a_4), \end{cases} \quad (4)$$

式中: x_1 为低贡献率区; x_2 为中贡献率区; x_3 为高贡献率区; a 为区间取值范围,其中 $a_1 = D_{\min}$ 、 $a_2 = D_{\min} + d$ 、 $a_3 = D_{\max} - d$ 、 $a_4 = D_{\max}$ 。

(2) 贡献率均值化 对每一个指标的贡献率按三级划分后求出贡献率均值,即:

$$\begin{cases} \overline{UD} = \sum UD_i / U, \\ \overline{MD} = \sum MD_i / M, \\ \overline{LD} = \sum LD_i / L, \end{cases} \quad (5)$$

式中: \overline{UD} 为高贡献率均值; \overline{MD} 为中贡献率均值; \overline{LD} 为低贡献率均值; $\sum UD_i$ 为高贡献率指数和; $\sum MD_i$ 为中贡献率指数和; $\sum LD_i$ 为低贡献率指数和; U 为高贡献率指数个数; M 为中贡献率指数个数; L 为低贡献率指数个数。

(3) 自权重分配 易损度自权重表示了指标内部的贡献关系,通过自权重的分析计算可以清楚表现不同区域内指标自身的权重分配关系,其计算方法为:

$$\begin{cases} W'_{U_i} = \overline{UD} / \sum \overline{D}, \\ W'_{M_i} = \overline{MD} / \sum \overline{D}, \\ W'_{L_i} = \overline{LD} / \sum \overline{D}, \end{cases} \quad (6)$$

式中: W'_{U_i} 、 W'_{M_i} 、 W'_{L_i} 分别为各因子的自权重; \overline{UD} 为高贡献率均值; \overline{MD} 为中贡献率均值; \overline{LD} 为低贡献率均值, $\sum \overline{D} = \sum \overline{UD} + \overline{MD} + \overline{LD}$ 。表 2 为易损度自权重分配表。

	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6
高	0.100	0.124	0.091	0.179	0.094	0.009
中	0.294	0.292	0.311	0.358	0.339	0.333
低	0.607	0.584	0.598	0.463	0.567	0.658

(4) 互权重分配 互权重表示了各指标对易损度的贡献关系,用贡献关系来代表易损度各指标的权重:

$$W_i = \sum D_i / \sum \sum D_i, \quad (7)$$

式中: W 为互权重; $\sum D_i = \sum UD + MD + LD$; UD 、 MD 、 LD 分别为各因子的高、中、低指数。表 3 为易损度互权重分配表。

	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6
互权重	0.180	0.160	0.216	0.085	0.162	0.197

通过表 3 可以看出,建筑密度对区域性易损性的影响最大,其次为灾害点密度。这也从一定程度上说明,对建筑而言,滑坡灾害对其的影响是最明显的,而且对建筑的影响往往具有不可恢复性。

3.2 易损度区划

利用 GIS 空间分析模块中叠加功能对滑坡危险度进行区划,区划模型如下:

$$WVD = \sum_{i=1}^5 W_i W'_i U_i, \quad (8)$$

式中: W_i 为互权重; W'_i 为自权重; U_i 为因子子类。应用 GIS 技术^[14], 并按照式(8), 对栅格图进行空间叠加分析计算, 再对分析计算得到的结果进行重分类计算, 并且运用 GIS 软件中的自然断点法按照三级划分米易县区域性滑坡灾害易损性进行分区(图 1), 最后, 得到米易县区域性滑坡灾害易损性区划图(图 2)。

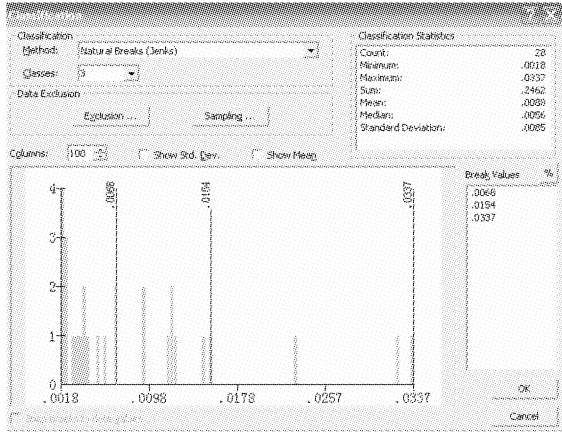


图 1 连续空间上的滑坡易损度区划直方图及其自然断点

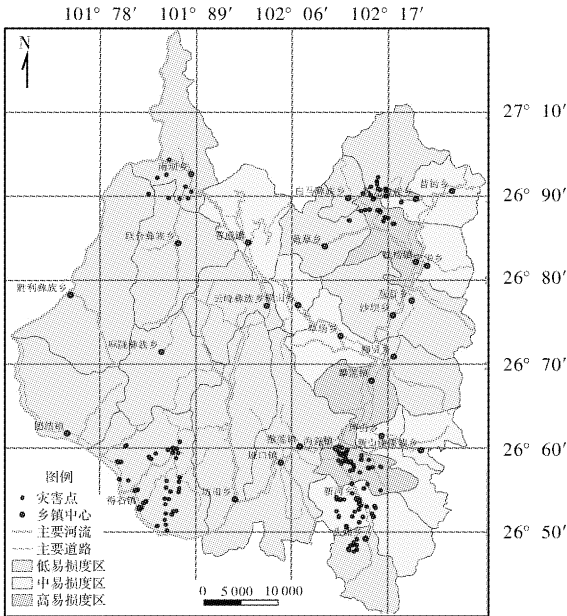


图 2 米易县区域滑坡灾害易损度区划图

3.3 易损度结果

运用式(8)得出米易县滑坡灾害易损度结果(表 4)。全县区域易损度介于 0.018 ~ 0.034 之间, 易损度最高的为挂榜镇, 最低为联合彝族乡。全县各乡镇的易损性表现出明显的区域性, 且差异较大, 易损性分布基本上与人口密度、建筑密度和道路密度分布相一致, 滑坡密度高的地区, 比如得石镇, 由于经济落后, 故而易损性相对较低, 这样的分布反应了基于贡献率的区域滑坡灾害易

损性区划的合理性。

表 4 易损度级别空间分布范围比例结果

易损度级别及值域区间	总面积/km ² 乡、镇数/个	百分比/%
低易损度区(Ⅰ) (0.018 ~ 0.068)	1 514.1 17 个	71.68 60.7
中易损度区(Ⅱ) (0.069 ~ 0.015)	447.5 8 个	21.19 28.6
高易损度区(Ⅲ) (0.016 ~ 0.034)	150.7 3 个	7.13 10.7

4 结语

(1) 采用因子贡献权重法和 GIS 技术, 能够定量求解区域滑坡灾害易损度, 弥补定性评价的不足, 使研究成果的可靠性、量化程度得以提高。该方法简单、统计方便、结果直观、具有应用价值。

(2) 人口、道路、耕地、建筑是主要的承灾体, 其分布状况一方面改变了易损性, 另一方面, 易损性的结果又反映了各指标对灾害的敏感程度, 通过计算可以看出在米易县建筑对滑坡灾害的敏感性最强。

(3) 研究中受资料的限制, 所选择的指标不能完全反映米易县易损性, 其中道路和建筑密度是通过 1:5 万的地形图得到的, 使其精度受到影响, 在条件允许的情况下, 选择能够准确反映承灾体分布状况的数据有利于提高评价精度。

(4) 易损性是动态的, 它是时间和空间的函数^[9], 在区域易损性评价中, 评价因子是随着社会发展变化而变化的, 因此区域易损性的评价结果只是特别时间段内的, 如何在区域易损性的评价中表现出其动态变化是需要继续研究的问题。

参考文献:

[1] Juergen Weichselgartner. "Disaster Mitigation: the concept of vulnerability. revisited" [J]. disaster prevention and management, 2001, 10(2): 85-94.

[2] Mirco Galli and Fausto Guzzetti. Landslide Vulnerability Criteria: A Case Study from Umbria, Central Italy [J]. Environ Manage, 2007, (40): 649-664.

[3] S. L. Cutter. vulnerability to environmental hazards [J]. P rogress in Human Geography, 1996, 20 (4): 529-539.

[4] 唐川, 张军, 周春花, 等. 城市泥石流易损性评价[J]. 灾害学, 2005, 20(2): 11-17.

- [5] 罗元华, 张梁, 张业成. 地质灾害风险评估方法[M]. 北京: 地质出版社, 1998: 53-68.
- [6] 姜彤, 许朋柱. 自然灾害研究的新趋势—社会易损性分析[J]. 大自然探索, 1996, 15(56): 45-50.
- [7] 赵卫权, 郭跃. 基于主成份分析法和 GIS 技术的重庆市自然灾害社会易损性分析[J]. 水土保持研究, 2007, 14(6): 319-325.
- [8] 李辉霞, 陈国阶. 可拓方法在区域易损性评判中的应用——以四川省为例[J]. 地理科学, 2003, 23(3): 79-85.
- [9] 刘希林, 莫多闻, 王小丹. 区域泥石流易损性评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2001, 12(2): 7-12.
- [10] 李闽. 地质灾害人口安全易损性区划研究[J]. 中国地质矿产经济, 2002, (8): 24-27.
- [11] 乔建平, 吴彩燕, 田宏岭. 三峡库区云阳—巫山段地层因素对滑坡发育的贡献率研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(17): 2920-2924.
- [12] 乔建平, 吴彩燕. 滑坡本底因子贡献率与权重转换研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2008, 19(3): 13-16.
- [13] 乔建平. 三峡库区云阳—巫山段斜坡高差因素对滑坡发育的贡献率研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2005, 16(4): 16-19.
- [14] 胡金, 李波, 杨艳锋. GIS 在云南鲁甸县地质灾害易发性分区中的应用[J]. 灾害学, 2008, 23(1): 73-75.

Vulnerability Evaluation on Regional Landslides Based on GIS and Contribution Weight Superposition Approach

Shi Lili^{1,2} and Qiao Jianping¹

(1. *Institute of Mountain Disaster and Environment, Chinese Academy of Science, Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China*; 2. *Graduated University of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China*)

Abstract: Regional landslide vulnerability refers to the sensitivity of a specific area to landslide destruction and damage. On the basis of the scientificity, maneuverability, quantification etc. of vulnerability indexes choosing and the region characteristics, six indexes as densities of population, road, building, woodlands, plowland and landslides are selected. Modeling process and mathematical expression of vulnerability evaluation on regional landslides by contribution rate method are discussed. The quantity of regional landslide vulnerability is represented as the final product of self-weight and mutual-weight of each index and index normalized value. The evaluation method is applied to Miyi county of Sichuan Province experimentally, and vulnerability zoning and mapping are done in GIS system by natural breakpoint method. It is showed that areas of high, middle and low vulnerabilities are respective 7.13%, 21.19% and 71.68% of the research area. The vulnerability distribution is basically consistent to the distribution for densities of population, building and road, and the rationality of regional landslide vulnerability zoning, based on contribution rate, is demonstrated then.

Key words: regional landslide; vulnerability; contribution weight superposition approach; evaluation index system; Miyi county of Sichuan Province