

文章编号: 1004- 4574(2011) 02- 0008- 06

贡献权重叠加法的滑坡危险度区划研究

乔建平, 王 萌

(中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 中国科学院地表过程与山地灾害重点实验室, 四川 成都 610041)

摘 要: 介绍的贡献权重叠加的滑坡危险度区划方法, 是基于 GIS 技术将环境本底因子对滑坡发育的贡献作用进行量化统计后, 通过贡献率与权重的转换, 分别计算这些因子的自权重和互权重, 再与每一个因子叠加。该方法的特点是评价模型简单, 选取的因子指标可以直接从数值图件和野外调查中获得, 定量化效果明显。

关键词: 权重; 叠加; 滑坡; 区划

中图分类号: P642.22

文献标志码: A

Study on landslide hazard zonation using contributing weight overlay method

QIAO Jian-ping WANG Meng

(Key Laboratory of Geosurface Process and Mountain Hazards Institute of Mountain
Hazards and Environment Chinese Academy of Sciences Chengdu 610041, China)

Abstract Contributing weight overlay model can be used as a kind of landslide hazard zonation methods. It is a GIS-based pixel-by-pixel analysis. Firstly, the method determines the event-controlling parameters and divides them into subtypes, then calculates statistical correlations between the subtypes and landslide inventory, compares the number, area and volume of landslides occupied by the factors subtypes with the number, area and volume of landslides in the factors. Contribution ratios of subtypes of different factors will be got. By using equalization and normalizing processes to the contribution ratio, it is possible to calculate every factor's selfweight and mutualweight. Finally, through making an overlay by multiplying contribution ratios, selfweights and mutualweights, the level of regional scale landslide hazard can be determined. This method is simple and easy to use. Event-controlling factors can be obtained from digital maps or field survey directly. Quantitative effect is satisfied.

Key words weight; overlay; landslide; zonation

滑坡危险度区划的基本定义是: 将区域内产生滑坡的基本环境条件, 引发滑坡发生的诱发因素, 以及滑坡灾害现状进行综合统计分析, 定量或半定量评价区域内滑坡危险性程度。区划内容包括: (1) 选择评价指标; (2) 建立区划模型; (3) 确定危险度划分等级; (4) 区划结果的可靠性检验; (5) 每一级危险度的定性描述。国内外学者已对滑坡危险度区划有不少论述, 但是都没有形成一种统一的标准和方法^[1-12]。作者在多年研究的基础上总结了一种新的区划方法, 即贡献权重叠加法, 并在实际应用中得到较好结果^[11-19]。贡献

收稿日期: 2009-06-13 修回日期: 2010-08-16

基金项目: 科技部国际合作项目 (2007DFA2115Q 2009DFB20190); 国家“十一五”重点科技支撑计划项目 (2008BAK50B04); “973”计划项目 (2010B731504)

作者简介: 乔建平 (1953-), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事滑坡规律、滑坡机理、滑坡危险度区划研究。E-mail: jqiao@imde.ac.cn

权重迭加法的基本结构如图 1 所示。

1 滑坡环境本底因子贡献率

贡献率是分析滑坡发育环境本底因子作用程度的一种指标。滑坡环境本底因子 (此处不考虑滑坡的触发因素) 指产生滑坡的基本环境因素, 如斜坡的地层岩性、坡度、高差、坡向、坡形等, 组成一个因子集:

$$U_i = f(U_1, U_2, \dots, U_n). \quad (1)$$

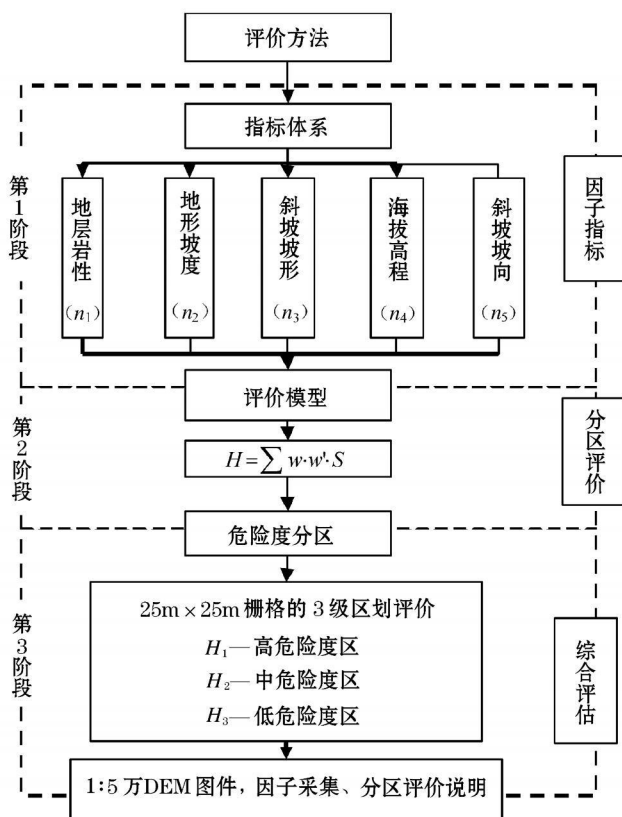


图 1 贡献权重迭加法的滑坡危险度区划框图

Fig 1 Block diagram of landslide hazard zonation by use of contributing weight overlay method

式中: U_i 为本底因子集 ($i = 1 \dots n$), f 为关系式, U_n 为本底因子。

本底因子是决定能否发生的基本内部条件。这些因子能够通过地表调查和 ArcGIS 软件系统从 DEM, DRG 和数字地形图经过栅格化处理, 建立各因子图层后提取信息。缺少这些本底因子提供的内部条件, 仅有外界因素是难以触发滑坡发生的。每一种环境本底因子都对滑坡发育产生不同的贡献, 贡献率的大小代表了对滑坡发育的作用程度。

1.1 贡献指数

首先, 选用滑坡相关评价指标 Y_j 建立环境本底因子 U_i 与滑坡发育的贡献关系式

$$U_i \hat{=} U_i(Y_j). \quad (2)$$

式中: U_i 为本底因子贡献关系式 ($i = 1 \dots n$), Y_j 为滑坡评价指标 ($j = 1 \sim 3$), 其中, 量密度 $Y_1 = n/m$, n 为单因子中滑坡数, m 为区域滑坡总数; 面密度 $Y_2 = d/S$, d 为单因子中滑坡面积, S 为评价区域总面积; 体密度 $Y_3 = u/V$, u 为单因子中滑坡体积, V 为区域滑坡总体积。

其次, 均值化处理, 计算环境本底因子的滑坡贡献指数:

$$\bar{U}_i \hat{=} U_i' M. \quad (3)$$

式中, M 为评价指标总数 (Y_1, Y_2, Y_3 数量和)。将式 (2) 代入式 (3), 得到贡献指数关系式:

$$U_i \hat{=} U_i' M = U_i'(Y_j) M. \quad (4)$$

利用式 (4), 可以分别对选用的滑坡本底因子进行贡献统计。

1.2 贡献率

贡献率是评价作用程度的一种指标, 环境本底因子对滑坡发育的作用大小也可以采用贡献率进行评价。评价方法是求出环境本底因子分别对滑坡发育做出的贡献, 即滑坡环境本底因子贡献率:

$$U_{0i} = \bar{U}_i / \sum \bar{U}_i \times 100\% . \tag{5}$$

将式 (4)代入式 (5), 得到

$$U_{0i} = \frac{U_i(Y_j) M}{\sum U_i(Y_j) M} \times 100\% . \tag{6}$$

式中: U_{0i} 为贡献率, U_i 为贡献指数, $\sum U_i$ 为贡献指数总和。

2 贡献权重

在确定了贡献率基础上, 可以对贡献率进行归一化、均值化、因子出现概率处理, 建立贡献率转化为权重关系。贡献率与权重转换求解在经济学中应用广泛, 也是国际通用方法, 是一种成熟的指标统计方法, 如主成分分析法、因子方差贡献率法等, 并已开发出成熟的计算软件 (SPSS)。在滑坡因子权重研究中可以借鉴。采用贡献率法求权重可以避免人为主观因素的影响, 其模型简单, 计算方法简易, 应用方便。该方法称为滑坡环境本底因子贡献权重法 (图 2), 作者在参考文献 [20] 已作介绍。

2.1 自权重

自权重是指对同一种滑坡环境本底因子按不同危险程度划分后, 计算的权重值。如在地层岩性因子中, 不同时代的地层岩性对滑坡发育作用不同, 所以权重也有所不同。

$$w_i = U_{0i} / \sum U_{0i} . \tag{7}$$

式中: w_i 为滑坡本底因子自权重, U_{0i} 为本因子贡献率。

2.2 互权重

互权重指对不同的滑坡本底因子之间按不同危险程度划分后, 计算的权重值。如地层岩性、坡度、高差等本底因子相互之间的权重关系:

$$w_i \approx U_j / \sum U_j . \tag{8}$$

式中: w_i 为滑坡本底因子互权重, U_j 为各因子综合

贡献率 ($U_j \approx \sum U_{0j}, j = 1 \dots n$)。

3 滑坡危险度区划

3.1 模型

在滑坡环境本底因子权重处理的基础上, 利用式^[7-8], 将滑坡环境本底因子的自权重和互权重与贡献指数相乘迭加, 可以得到贡献权重迭加法的滑坡危险度区划的评价模型:

$$H = \sum w_i \cdot w_i \cdot \bar{U}_{ij} . \tag{9}$$

式中: H 为滑坡危险度, \bar{U}_{ij} 为本底因子贡献指数 ($_{ij}$ 表示第 i 行第 j 列栅格)。式 (9) 表明, 对区域滑坡危险度评价不仅仅需要考虑因子相互之间权重对滑坡发育产生的影响作用, 同时还考虑了因子内部自身权重对滑坡发育产生的贡献作用。两种权重值与滑坡本底因子贡献值相乘, 反映了对滑坡环境本底因子的贡献作用进行综合统计后的结果, 进一步提高了滑坡危险度区划的可靠性。

评价结果的等级区间可在 arGIS 软件支持下, 采用等距法和自然断点法划分。一般情况下, 评价统计值域分布较为均匀, 各区间分布数目大体类似, 可采用等距法分区; 评价统计值域分布范围广, 明显集中于某些区间, 可采用自

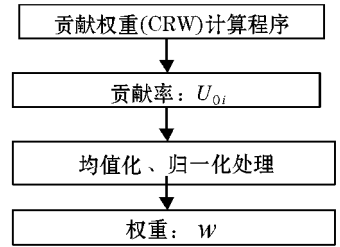


图 1 贡献权重计算框图

Fig 1 Block diagram of contributing weight calculation

然断点法。按照 3 级划分标准, 即、高危险度区、中危险度区、低危险度区。

3.2 实例

3.2.1 研究区概况

沐川县位于四川盆地西南边缘, 面积 1405 km², 地处四川盆地与青藏高原的过度地带。境内多山, 山地占总面积的 78%。大地构造位于扬子准地台四川台拗川中台拱西南缘的沐川—马边弧形褶皱带中。境内出露的地层主要为二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系及第四系的地层。岩性以砂岩、粉砂岩、泥岩、页岩, 以及砂泥岩互层为主, 层状结构发育, 差异分化明显, 物理学强度低。区内地质灾害以滑坡、崩塌为主, 共发育滑坡 118 处, 分布在全县的 19 个乡镇内。

3.2.2 本底因子贡献率

在不考虑滑坡触发因素的情况下 (如降雨、地震人为活动、河水冲刷等), 滑坡发育与 5 个主要环境本底因子有关, 即: 地层、坡度、坡形、高差和坡向。基于 GIS 技术 Arcview 3.3 软件系统, 建立 25m × 25m 栅格样本采样, 并选择 118 个滑坡样本点的面积、体积、分布数量为 3 项评价指标, 统计本底因子对滑坡的贡献。利用式 (3)–(6) 计算 5 个因子的贡献率 (图 3–图 7)。

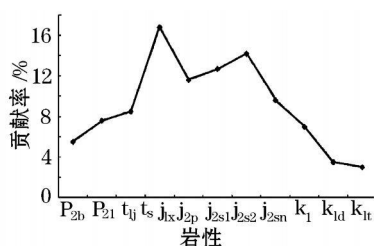


图 3 地层因子贡献率

Fig 3 Contribution rate of stratum

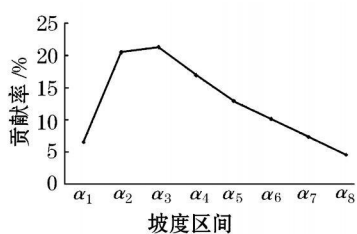


图 4 坡度因子贡献率

Fig 4 Contribution rate of slope

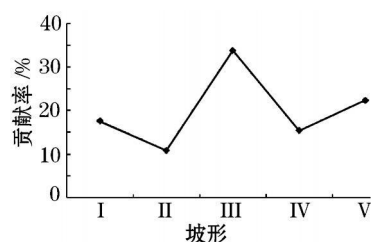


图 5 坡形因子贡献率

Fig 5 Contribution rate of slope shape

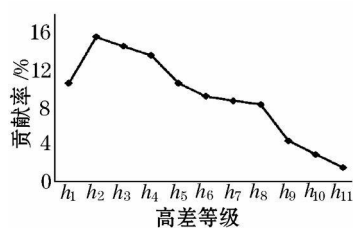


图 6 高程因子贡献率

Fig 6 Contribution rate of elevation

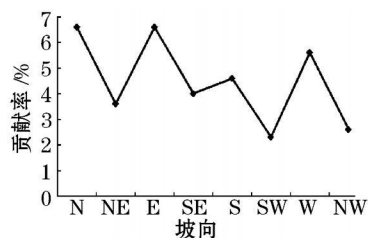


图 7 坡向因子贡献率

Fig 7 Contribution rate of slope aspect

对上述贡献率结果进行贡献程度高、中、低 3 级划分, 即:

$$d = \frac{U_{0im\max} - U_{0im\min}}{a} \quad (10)$$

式中: d 为间距系数, a 为等级数 ($a = 3$)。间距区间为:

$$\begin{aligned} x_1 &= (b_1 \sim b_2), \\ x_2 &= (b_2 \sim b_3), \\ x_3 &= (b_3 \sim b_4). \end{aligned} \quad (12)$$

式中: $b_1 = U_{0im\max}$, $b_2 = b_1 - d$, $b_3 = b_4 + d$, $b_4 = U_{0im\min}$ 。得到表 1 中 5 项因子对滑坡发育的贡献作用评价结果。因子分项统计标准见参考文献 [22–24]。

表 1 滑坡本底因子贡献率统计表

Table1 Statistics of contribution rate of landslide background factors

贡献率	地层 (U_{01})	坡度 (U_{02})	坡形 (U_{03})	高程 (U_{04})	坡向 (U_{05})
高	$T_{2s}, J_{1k}, J_{2s2}, J_{2al}$	$\alpha_3, \alpha_2, \alpha_4$	III	h_2, h_3, h_4	E, N, W
中	$J_{2p}, J_{2a}, T_{1j}, P_{2l}$	α_5, α_6	V	h_1, h_5, h_6, h_7, h	S, SE
低	$K_1, P_{2b}, K_{1d}, K_{1t}$	$\alpha_7, \alpha_1, \alpha_8$	IV, I II	h_9, h_{10}, h_{11}	NE, NW, SW

3 2 3 贡献转换权重

采用式 (7)、(8) 计算表 1 中滑坡环境本底因子的自权重和互权重 (表 2):

表 2 沐川县滑坡本底因子贡献权重

Table2 Contributing weight of background factors of landslide in Muchuan County

指标	地层	坡度	坡形	高差	坡向
互权重 (w_i')	0.14	0.19	0.35	0.13	0.19
自权重 (W_i)	低	0.17	0.16	0.11	0.21
	中	0.33	0.31	0.35	0.32
	高	0.50	0.53	0.48	0.54

表 2 中互权重坡形的权值为 0.35 与研究区的典型单斜地貌形成的顺向坡有关。在这种特殊地貌环境中, 顺层直线坡产生的滑坡极为发育。所以, 坡形的权值最大。受坡形因子影响, 坡向因子的权值也随之升高。

3 2 4 滑坡危险度区划

利用式 [9] 将滑坡环境本底因子的贡献自权重和互权重与贡献指数相乘迭加, 并按照高、中、低 3 级危险度等距和数据拐点法划分等级, 得出最终危险度区划和检验结果 (图 9 图 10 表 3)。



图 9 沐川县滑坡危险度区划图
Fig 9 Hazards zonation map of Landslides in Muchuan County

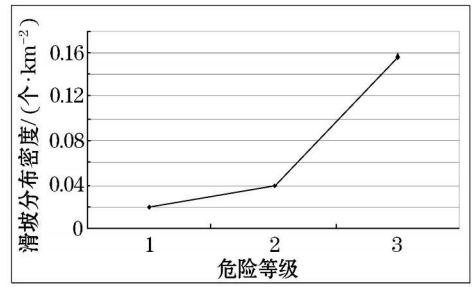


图 10 沐川滑坡危险度区划密度检验
Fig 10 Density inspection of hazards zonation of Landslide in Muchuan County

表 3 危险度区间分布及检验滑坡分布密度检验

Table3 Varification of hazard zonation and distribution density of landslide

危险度等级区域	总面积 / km^2	所占百分比 %	滑坡点 /个	所占百分比 %	滑坡密度 /($个 \cdot km^{-2}$)
低危险度区	301.4	21.4	9	7.6	0.0299
中危险度区	730.1	51.9	43	36.4	0.0589
高危险度区	374.3	26.7	66	56.0	0.1763
总计	1405.8	100	118	100	--

4 结语

作者在多年的滑坡危险度区划方法研究中^[25], 总结出一种新的贡献权重迭加法的滑坡危险度区划, 与

以往的方法相比较, 该方法的特点是:

(1) 基于 GIS 技术和野外调查结合, 量化处理了地表与滑坡相关的信息, 提高了评价数据源的可靠性;

(2) 以滑坡发育评价指标 Y_i 为检验标准, 统计滑坡内部条件对滑坡发育的贡献作用, 建立了环境本底因子与滑坡的相关关系。滑坡环境本底因子的贡献率客观反映了对滑坡发育作出的贡献作用, 为分析滑坡形成的内部条件提供了依据;

(3) 贡献率本身已有一定的权重作用, 将贡献率进行归一化、均值化处理后得到的贡献权重是一种新的滑坡权重计算方法。该方法不需要人为假设任何条件, 降低了人为因素影响;

(4) 采用多重贡献权重线性迭加的滑坡危险度区划, 充分考虑了环境本底因子(单因子、组合因子)在不同状况下对滑坡发育产生的贡献作用, 使区域空间滑坡危险性评价结果的可靠性得到进一步提高, 该方法简便, 易于使用。

参考文献:

- [1] Larsen M C, Torres- Sanchez A J The frequency and distribution of recent landslides in three montane tropical regions of Puerto Rico [J]. *Geomorphology* 1998, 24: 309- 331.
- [2] Gao J Identification of topographic settings conducive to landsliding from DEM in Nelson County, Virginia USA [J]. *Earth Surface Processes and Landforms* 1993, 18: 579- 591.
- [3] 殷坤龙, 朱良峰. 滑坡灾害空间区划及 GIS 应用研究 [J]. *地学前缘*, 2001, 8(2): 279- 284.
- [4] Wang S Q, Urwin D J Modelling landslide distribution on loess soils in China: an investigation [J]. *Int J Geographical Information Systems* 1992, 6(5): 391- 405.
- [5] 赵建华, 杨树锋, 陈汉林, 等. 浙江庆元地区滑坡灾害的多要素评价 [J]. *高校地质学报*, 2002, 8(4): 460- 465.
- [6] Carrara A, Cardinali M, Detti R, et al GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard [J]. *Earth Surface Processes and Landforms* 1991, 16: 427- 445.
- [7] Miller D J, Sias J D Deciphering large landslides: linking hydrological groundwater and slope stability models through GIS [J]. *Hydrological Processes* 1998, 12: 923- 941.
- [8] Finlay P J, Fell R, Maguire P K. The relationship between the probability of landslide occurrence and rainfall [J]. *Canadian Geotechnical Journal* 1997, 34: 811- 824.
- [9] Dai F C, Lee C F, Ngai Y Y. Landslide risk assessment and management: an overview [J]. *Engineering Geology*, 2002, 64: 65- 87.
- [10] Dai F C, Lee C F. Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS: Lantau Island, Hong Kong [J]. *Geomorphology* 2002, 42: 213- 228.
- [11] Zhu A X, Wang R X, Qiao J P, et al "Mapping landslide susceptibility in the Three Gorge Area, China using GIS, expert systems and fuzzy logic", *GIS and Remote Sensing in Hydrology* [M]. *Water Resources and Environment: IAHS Publication 289* (IAHS Red Book), International Association of Hydrological Sciences, Wallingford, UK, 2004: 385- 391.
- [12] Wu S R, Shi L, Wang R J, et al Zonation of the landslide hazards in the fore-reservoir region of the Three Gorges Project on the Yangtze River [J]. *Engineering Geology*, 2002, 59: 51- 58.
- [13] 乔建平, 张晓刚. 长江上游滑坡危险度区划 [J]. *水土保持学报*, 1994, 8(1): 39- 44.
- [14] 乔建平. 滑坡危险度区划方法研究 [J]. *国土经济*, 1995, (205): 35- 45.
- [15] 乔建平. 滑坡危险度区划 [M] // *滑坡减灾理论与实践*. 北京: 科学出版社, 1997.
- [16] 乔建平. 四川省及重庆市滑坡危险度区划研究 [J]. *自然灾害学报* 2000, 9(1): 68- 71.
- [17] 乔建平. 赵宇滑坡危险度区划研究述评 [J]. *山地学报*, 2001, 19(2): 157- 160.
- [18] Qiao Jianping, Zhu Axing, et al A 3D visible evaluation of landslide risk degree under integration of GIS and artificial intelligence [J]. *Science in China Series E: Technological Sciences* 2003, 46: 142- 147.
- [19] Qiao Jianping, Zhu Axing, Wu Caiyan, et al Bottom Factors Applied to Zoning Study of the Risk Levels of Landslides in the Three Gorges Reservoir Area [J]. *Wuhan University Journal of Natural Sciences* 2006, 11(4): 761- 766.
- [20] 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.
- [21] 乔建平, 吴彩燕. 三峡库区云阳-巫山段坡形因素对滑坡发育的贡献率研究 [J]. *工程地质学报*, 2006, 14(1): 18- 22.
- [22] 乔建平, 吴彩燕. 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.
- [23] 乔建平, 吴彩燕. 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.
- [24] 乔建平, 吴彩燕. 三峡库区云阳-巫山段斜坡坡度因素对滑坡发育的贡献率 [J]. *山地学报*, 2007, 25(1): 207- 211.
- [25] Qiao Jianping, et al Zoning Methods of Landslide Hazard Degree [C] // *Landslides and Engineered Slopes* 2008: 1959- 1964.