

大巴山区顺层岩质滑坡发育影响因素的 贡献率及易发性评价

易靖松, 张勇, 程英建, 苗朝

(中国地质科学院探矿工艺研究所/中国地质调查局地质灾害防治技术中心, 四川 成都 611734)

摘要: [目的] 顺层岩质滑坡是大巴山区极其发育的一类灾害, 通过对其发育影响因素的贡献率及易发性评价研究, 构建预测评价模型, 为该区防灾预灾工作提供科学支撑。[方法] 基于 GIS 和数量化理论 II, 选取 21 个研究区基岩顺层滑坡的样本, 利用 GIS 技术提取高程、坡度、斜坡结构等 9 个影响因素的基础数据, 通过数量化理论计算方法对学习样本进行学习, 确定各因子类目得分, 得到各项基础数据的易发性评价系数, 然后通过 GIS 将各图层叠加, 进行全范围的易发性预测。[结果] 对滑坡贡献率较高的影响因素有: 斜坡坡度约 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$, 顺向坡斜坡结构、砂质硬岩夹软岩的岩体结构、汇流面积, 水流冲蚀; 基于数量化理论 II 建立的易发性预测方法可以较准确地划分区域易发性的高低。[结论] 位于大巴山区的南江县南部、巴州区北部、苍溪县东南部、宣汉县西南侧地等区域为顺层岩质滑坡的高易发区, 这也与调查结果相符, GIS 和数量化理论 II 相结合的滑坡易发性预测方法适用于该地区滑坡易发性、危险性等相关领域的研究。

关键词: 数理理论 II; 预测评价; 基岩顺层滑坡; 易发性

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2019)04-0275-06

中图分类号: P642.22

文献参数: 易靖松, 张勇, 程英建, 等. 大巴山区顺层岩质滑坡发育影响因素的贡献率及易发性评价[J]. 水土保持通报, 2019, 39(4): 275-280. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2019.04.043; Yi Jingsong, Zhang Yong, Cheng Yingjian, et al. Contribution rate and susceptibility evaluation of influencing factors of consequent bedding rock landslides development in Daba Mountain area[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(4): 275-280.

Contribution Rate and Susceptibility Evaluation of Influencing Factors of Consequent Bedding Rock Landslides Development in Daba Mountain Area

Yi Jingsong, Zhang Yong, Cheng Yingjian, Miao Zhao

(Exploration Technology Research Institute, Technical Center for

Geological Hazard Prevention and Control, CGS, Chengdu, Sichuan 611734, China)

Abstract: [Objective] Bedding rock landslide is one of the most developed disasters in daba mountain areas. A prediction evaluation model is constructed to provide scientific support for disaster prevention and pre-disaster work in this area, by studying the contribution rate and vulnerability of its development factors. [Methods] This paper selects the sample of 21 bedrock bedding landslides in the study area, and the basic data of nine influencing factors such as elevation, slope and slope structure were extracted by GIS technology. The samples were calculated by quantitative theoretical calculation methods to determine the category score of the factors, and then evaluates the whole range. [Results] The factors affecting the high contribution rate of landslide are: slope around $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$, bedding slope structure, rock mass structure of sandy hard rock with soft rock, confluence area, water erosion; The susceptibility prediction method established by quantitative theory II can accurately divide the regional susceptibility. [Conclusion] The landslide susceptibility prediction method combined with GIS and quantitative theory II is suitable for the study of landslide susceptibility and risk in this area.

Keywords: quantitative theory II; prediction and evaluation; consequent bedding rock landslides; susceptibility

收稿日期: 2018-12-18

修回日期: 2019-03-11

资助项目: 中国地质调查局地质调查项目“大巴山区城镇地质灾害调查”(DD20160278)

第一作者: 易靖松(1991—), 男(汉族), 四川省武胜县人, 硕士, 工程师, 主要从事地质灾害调查与防治技术研究等方面的工作。E-mail: 991591136@qq.com。

大巴山区位于中国西部,人口密集,地质环境条件复杂,为国家集中连片贫困区,历来就是地质灾害的多发地。21 世纪以来就发生了多处大型、特大型的灾难性滑坡,造成了大量的人员伤亡和财产损失,严重制约着当地的政治经济发展(表 1)。本文基于大巴山区城镇地质灾害调查项目,对这些典型滑坡灾害的进行了调查研究,发现这些滑坡几乎都是以顺层基岩滑坡类型为主,该类滑坡具有隐蔽性好、突发性强、破坏性大、难以提前识别的特点,因此,针对区域内的该类滑坡,基于数量化理论 II 和 GIS 平台技术,采用定性分析与定量分析相结合的方法,研究该类滑坡在研究区的易发性。21 世纪 70 年代董文泉等^[1]将数量化理论引入我国,用于对内部信息进行合理选取,构建用于数据统计和分析、模型预测与评价。克服了指标权重计算上的主观性,并且可以考虑指标相互间的制约和作用关系。随着这么多年发展,目前,已有许多学者将数量化理论运用到地质灾害研究领域内,汪茜和李广杰^[2]应用数量化理论 I 进行泥石流灾害预测预报;周国云和陈光齐^[3]利用 GIS 和数量化理论 II 研究预测滑坡危险性;王卫红和张文君^[4]采用遥感与数量化 II 研究滑坡危险度划分;李军霞^[5]等将数量化理论 III 应用到了滑坡主要影响因素的分析

中,实例验证取得了良好的效果;程英建^[6]等基于数理理论 I 建立泥石流易发性预测模型,并进行了验证。在滑坡易发性预测研究方面,唐亚明^[7]对滑坡易发性评价要素的选取进行了阐明;范林峰^[8]研究了加权信息量模型在滑坡易发性预测的应用;牛瑞卿^[9]研究了基于粗糙集的支持向量机模型在滑坡易发性预测中的应用;张俊,殷坤龙^[10]等对比了信息量模型和逻辑回归模型对易发性评价的效果,结果显示信息量模型优于逻辑回归模型;王森^[11]基于分形理论对南江县滑坡进行了易发性评价。从上述研究中可以看出,众多学者运用了各种各样的方法跟模型对地质灾害的易发性进行了研究,但没有单独针对某一类灾害的易发性进行过相关预测和研究。由于不同类型滑坡泥石流灾害的形成条件、影响因素、成灾模式是不同的,相比于基于统计模型而未考虑灾种类型区分的易发性评价而言,针对某一类滑坡的特点来开展易发性预测是更为准确的。本文选取大量样本调查获取基础数据,基于数理理论 II,通过各种影响因子(定性和定量)与出现的结果进行学习找到规律(线性或非线性),根据新的影响因子组合对可能出现的结果进行预测,建立预测评价模型,最后利用 GIS 技术得到预测评价结果。

表 1 大巴山区近年来发生的部分灾难性滑坡统计

滑坡名称	位置	发生年份	方量/(10 ⁴ m ³)	损失情况
天台乡滑坡	达州宣汉	2004	2 500	滑坡形成堰塞湖,2 万人受灾
窑厂坪滑坡	巴中南江	2011	300	摧毁县道,堵塞明江河,百人搬迁
牛马场滑坡	巴中南江	2010	600	掩埋两个村庄,造成两百多人搬迁
将营村滑坡	巴中南江	2011	400	搬迁近百人,死亡 11 人
千邱垆滑坡	巴中南江	2008	9 000	搬迁 1 255 人,近千人受灾
梅家梁滑坡	巴中南江	2010	270	摧毁数十间房屋,1 人死亡

1 滑坡发育影响因素的选取

1.1 研究区概况

大巴山区域位于四川东部,包括巴中市、达州市以及广元市东部等区域,地貌形态可大致分为中深切侵蚀—构造中山地形和浅、中切割剥蚀(侵蚀)—构造中低山地形两个大类,其中前者主要表现为块状山、断块山、褶皱山及单斜山,后者表现为单面山、似单面山、桌状山等。区内出露地层以侏罗纪、白垩纪地层为主。地质构造上属于川东弧形褶皱带,主要是由印支—燕山主造山期形成,位于扬子板块与秦岭造山带过渡位置,坡度多在 10°~30°之间为缓倾岩层。受地貌、岩性、地质构造等条件的影响,区内地质灾害十分发育。在调查的 312 个样本点中,基岩顺层岩质

滑坡有 28 个,约占 9%,其他类滑坡占 91%;而其造成的财产人员损失约占 87%,其他类滑坡仅占 13%。所以对大巴山区构成严重威胁的灾害类型也是该类基岩顺层类滑坡。

1.2 滑坡发育的影响因素

由于区内出露地层以砂泥岩软硬互层的岩体结构为主,这就为滑坡发生提供必要的物质基础;缓倾单斜的地貌形态为滑坡形成提供了良好的温室环境(坡度、坡向、坡体结构等);河流水系及人类活动的后期改造也加速了滑坡形成的过程;最终在持续强降雨的诱发下形成。因此,根据滑坡形成的过程及条件,选取滑坡发生的高程、坡度、岩体结构、斜坡结构、剖面曲率、距水系距离、汇流面积、土地利用、外营力作用及年平均降雨量为影响因子开展评价研究。

2 GIS 支持下基于数理化理论 II 的滑坡易发性预测

2.1 预测模型的基本原理

数量化理论 II 是一种可以同时对待定性变量和定量进行处理的分析方法,其基本思想是以反应矩阵为基础,对各类目或各样品赋予适当的得分,根据已知的若干个母体中的 n 个样品对于 m 个项目的观测结果寻求线性判别函数,进而对未知母体的样品进行判别分类。

在数量化理论中,定性变量叫做项目,每个定性变量的各种不同的取“值”叫做类目。假设反应项目有 g 个母体,每个母体具有 m 个定性的变量(已下称为 t 个项目)和 q 个定量的变量,共计 n 个变量,第 j 个项目有 $r_j (j=1, 2, \dots, m)$ 个类目, $n = \sum_{j=1}^m r_j$ 。如果从第 m 个母体中取 $n_t (t=1, 2, \dots, g)$ 个样品,共有 $n = \sum_{t=1}^g n_t$ 个样品,可以得到 $n \times (p+q)$ 阶原始数据矩阵;

$$X = \begin{bmatrix} \delta_{1(1,1)} & \delta_{1(1,n)} & \delta_{1(m,1)} & \delta_{1(m,r_m)} & u_{11} \\ \delta_{2(1,1)} & \delta_{2(1,n)} & \delta_{2(m,1)} & \delta_{2(m,r_m)} & u_{21} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \delta_{n(1,1)} & \delta_{n(1,n)} & \delta_{n(m,1)} & \delta_{n(m,r_m)} & u_{n1} \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中:

$$\delta_{i(r_j)} = \begin{cases} 1 & \text{(当第 } i \text{ 样品中 } j \text{ 项目的定性数据为 } r_j \text{ 类目时)} \\ 0 & \text{(当第 } i \text{ 样品中 } j \text{ 项目的定性数据不为 } r_j \text{ 类目时)} \end{cases}$$

式中: $\delta_{i(r_j)}$ ($1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m$)——第 i 样品在 j 项目之 r_j 类目上的反应,公式(1)中后 s 列中 $u(i, k)$ ($1 \leq k \leq s$) 是 k 定量变量在 i 样品中的取值。数量化理论 III 分析中对 $r+s$ 维类目反应赋以得分,在矩阵中前 q 列中的每一列是一个定量自变量在各样品中的取值,在运算前要对数据进行正规化;后 p 列是 n 个样品在 p 个类目上的反应度。数量化理论 II 可表示为如下数学模型表达形式为:

$$\left. \begin{aligned} y &= Xb \\ Cb &= \lambda Db \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$y = \{y_1^1, y_{u_1}^1, y_1^g, y_n^g\}^T \quad (3)$$

$$b = \{a_1, a_q, b_{1,1}, b_{1,r_1}, b_{m,r_m}\}^T \quad (4)$$

$$C = (X - \bar{X})^T (\bar{X} \bar{X}) \quad (5)$$

$$D = (\bar{X} - \bar{\bar{X}})^T (X - \bar{X}) \quad (6)$$

$$\bar{X} = \begin{bmatrix} \bar{u}_1 & \bar{u}_2 \bar{\delta}(1,1) & \bar{\delta}(1,r_2) & \bar{\delta}(m,1) & \bar{\delta}(m,r_m) \\ \bar{u}_2 & \bar{u}_1 \bar{\delta}(1,1) & \bar{\delta}(1,r_2) & \bar{\delta}(m,1) & \bar{\delta}(m,r_m) \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\bar{X} = \begin{bmatrix} \bar{u}_1 & \bar{u}_q \bar{\delta}(1,1) & \bar{\delta}^1(1,r_1) & \bar{\delta}^1(m,1) & \bar{\delta}^1(m,r_m) \\ \bar{u}_1 & \bar{u} & q \bar{\delta}^1(1,1) & \bar{\delta}^1(1,r_1) & \bar{\delta}^1(m,1) \\ \bar{u}_1^g & \bar{u}_q^g \bar{\delta}^g(1,1) & \bar{\delta}^g(1,r_1) & \bar{\delta}^g(m,1) & \bar{\delta}^g(m,r_m) \\ \bar{u}_1^g & \bar{u}_q^g \bar{\delta}^g(1,1) & \bar{\delta}^g(1,r_1) & \bar{\delta}^g(m,1) & \bar{\delta}^g(m,r_m) \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\bar{u}_t = \frac{1}{n_t} \sum_{s=1}^{n_t} u_{s,t}^t \quad (t=1, 2, \dots, g) \quad (9)$$

$$\bar{\delta}^t(j, k) = \frac{1}{n_t} \sum_{i=1}^{n_t} \delta_i^t(j, k) \quad (t=1, 2, \dots, g) \quad (10)$$

$$\bar{u}_1 = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^g \sum_{s=1}^{n_t} u_{s,t}^t = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^g n_t \bar{u}_t^t \quad (11)$$

$$\bar{\delta}_{j,k} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^g \sum_{i=1}^{n_t} \delta_i^t(j, k) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^g n_t \bar{\delta}^t(j, k) \quad (12)$$

式中: y ——各样品的类目得分; λ ——特征值; b ——变量得分,即对应的特征向量,可表示为 $p+q$ 维的向量形式; $\bar{X}, \bar{\bar{X}}$ —— $n \times (p+q)$ 阶数据矩阵。

通过以上的系列运算,可以得到每个类目得分,类目得分是判定样品为什么是母体的重要依据。一般是通过已知样品的所属母体和变量组合的学习,在判错概率最小或者与某母体的距离最小的情况下对待判样品进行判定。通过公式(5)得到各个类目的得分 C 之后,类目得分越高表征该类目对滑坡形成的贡献率越高。对类目得分 C 归一化,使其成为 $0 \sim 1$ 的数据,由于数据值比较小,将其放大 50 倍作为其易发性评价系数,其计算公式为:

易发性评价系数:

$$G = 50 [(C - C_{\min}) / (C_{\max} - C_{\min})]$$

式中: C ——某个类目的得分; C_{\max}, C_{\min} ——类目的得分的最大值和最小值。

最后对各个类目的易发性评价系数合计叠加后,并用自然间断法划分成一定的等级得到区域滑坡的易发性分区图。

2.2 数据来源与准备

选取 21 个研究区基岩顺层滑坡调查样本(另外 7 个样本用于评价结果验证),利用 GIS 平台的分析提取功能,基于数量化理论,根据选取的影响因子,通过公式(1)对待定性变量的类目反应,当样品为 r_j 类目时,其该项反应值为 $\delta_{i(r_j)} = 1$,当样品不为 r_j 类目时,该项反应值 $\delta_{i(r_j)} = 0$,类目之间的反应为样品在 j 项目所占的比率, $0 \leq \delta_{i(r_j)} \leq 1$ ^[12-13]。因此,根据上述反应方法,得到滑坡个影响数据取值表(表 2—3)。需要指出的是对汇流面积采用地形湿度指数来表征^[14],地形湿度指数(TWI)计算公式为:

$$TWI = \ln(\alpha / \tan \beta)$$

式中: α ——上坡面积,为流经地表单位等高线长度上的汇流面积; β ——坡度。

表 2 各滑坡样本影响因素的基础数据

序号	滑坡样本	反映度 $\delta_{i(j,r_j)}$														
		高程/m				坡度/(°)				斜坡结构				岩体结构		
		300~ 500	500~ 1000	1000~ 1500	1500~ 2000	0~10	10~20	20~30	>30	顺向 坡	斜向 坡	横向 破	逆向 坡	砂质硬岩 为主夹软岩	泥质软岩 为主夹硬岩	砂泥岩近 等厚互层
1	断渠公园滑坡	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0
2	老河山滑坡	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1
3	窑厂坪滑坡	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0
4	学堂塆滑坡	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1
5	兴浪坡滑坡	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
6	天台乡滑坡	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
7	大河中学滑坡	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
8	兴马中学滑坡	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
9	千邱塆滑坡	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0
10	牛马场滑坡	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0
11	将营村滑坡	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0
12	杨家塆滑坡	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0
13	石板沟滑坡	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0
14	垮梁子滑坡	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
15	二潢坪滑坡	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0
16	七岭村滑坡	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0
17	青宁乡滑坡	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1
18	田家坝滑坡	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0
19	姚家湾滑坡	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0
20	梅家梁滑坡	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0
21	九房塆滑坡	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0

表 3 各滑坡样本影响因素的基础数据

序号	滑坡样本	反映度 $\delta_{i(j,r_j)}$															定量变量 年平均 雨量/ mm	
		剖面曲率			距水系距离/m				汇流面积(地形湿度指数)				土地利用			外营力作用		
		凹形 坡	平直 坡	凸形 坡	0~200	200~ 400	400~ 600	>600	2~7	7~15	15~25	25~35	田地	草地	灌木 林	水流 冲蚀		开挖 路堑
1	断渠公园滑坡	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0.75	0.15	0.1	0.2	0.8	850	
2	老河山滑坡	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0.3	0.3	0.4	0.4	0.6	850	
3	窑厂坪滑坡	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0.65	0.15	0.2	0.7	0.3	850	
4	学堂塆滑坡	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0.65	0.35	0	0.2	0.8	850	
5	兴浪坡滑坡	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0.3	0.4	0.3	0.35	0.65	850	
6	天台乡滑坡	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0.7	0.1	0.2	0.9	0.1	850	
7	大河中学滑坡	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0.9	0.1	0	1	850	
8	兴马中学滑坡	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0.2	0.6	0.2	0	1	850	
9	千邱塆滑坡	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0.65	0.15	0.2	0.8	0.2	850	
10	牛马场滑坡	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0.4	0.5	0.1	1	0	850	
11	将营村滑坡	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0.7	0.1	0.2	1	0	850	
12	杨家塆滑坡	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0.8	0.1	0.1	0.1	0.9	850	
13	石板沟滑坡	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0.7	0.1	0.2	1	0	850	
14	垮梁子滑坡	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0.7	0.3	0	0.5	0.5	850	
15	二潢坪滑坡	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0.6	0.2	0.2	1	0	850	
16	七岭村滑坡	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0.4	0.5	0.1	1	0	850	
17	青宁乡滑坡	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0.2	0.6	0.2	0.3	0.7	850	
18	田家坝滑坡	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0.3	0.4	0.3	0.35	0.65	850	
19	姚家湾滑坡	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0.9	0.1	0	1	850	
20	梅家梁滑坡	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0.5	0.5	0	0.6	0.4	850	
21	九房塆滑坡	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0.7	0.1	0.2	0.55	0.45	850	

2.3 数据计算与分析

通过样本数据,选取的基岩顺层滑坡样品 21 个,定性变量 9 个,定量变量 1 个,其中,高程变量分为 4 类,坡度变量分为 4 类,斜坡结构分为 4 类,岩体结构分为 3 类,剖面曲率分为 3 类,距水系距离分为 4 类,汇流面积分为 4 类,土地利用分为 3 类,外营力作用分为 2 类,共计 32 个类目。运用数量化理论 II 计算原理和方法,得到各类目的得分和易发性评价系数(表 4)。

表 4 各影响因素类目得分和易发性评价系数

影响因素	类目	类目得分 C	易发性评价系数 G
高程/m	300~500	1 -0.367 7	7.268 4
	500~1 000	2 0.118 4	37.363 8
	1 000~1 500	3 0.035 8	32.249 9
	1 500~2 000	4 -0.220 9	16.357 1
坡度/(°)	0~10	5 0.116 7	37.258 5
	10~20	6 0.263 7	46.359 6
	20~30	7 0.012 8	30.8259
	>30	8 -0.151 7	20.6414
斜坡结构	顺向坡	9 0.322 5	50.000 0
	斜向坡	10 0.003 4	30.243 9
	横向破	11 -0.185 9	18.524 0
	逆向坡	12 -0.485 1	0
岩体结构	砂质硬岩为主夹软岩	13 0.281 6	47.467 8
	泥质软岩为主夹硬岩	14 -0.151 7	20.641 4
	砂泥岩近等厚互层	15 -0.032 3	28.033 7
剖面曲率	凹形坡	16 -0.239 5	15.205 5
	平直坡	17 0.118 8	37.388 6
	凸形坡	18 0.127 7	37.939 6
距水系距离/m	0~200	19 0.163 7	40.168 4
	200~400	20 0.049 0	33.067 1
	400~600	21 0.040 4	32.534 7
	>600	22 -0.05 26	26.776 9
汇流面积 (地形湿度指数)	2~7	23 -0.203 9	17.409 6
	7~15	24 -0.163 7	19.898 5
	15~25	25 0.049 1	33.073 3
	25~35	26 0.314 5	49.504 7
土地利用类型	田地	27 -0.244 3	14.908 4
	草地	28 -0.281 3	12.617 6
	灌木林	29 -0.334 6	9.317 7
外营力作用	水流冲蚀	30 0.273 8	46.984 9
	开挖路堑	31 0.184 9	41.480 9
降雨量/mm	850	32 0.000 1	30.039 6

2.4 各影响因素贡献率分析

对表 3 数据进行分析,得到各影响因素得分的曲线图(图 1),由于由于滑坡发生的定量数据设定为 1,

没发生的设定为 0,那么类目得分越高,对滑坡形成的贡献率就越大。现结合对大巴山区顺层岩质滑坡形成条件的研究,将各因素的得分划分为 3 类: $-0.5 < C < -0.1$ 为贡献率低区域, $0.1 < C < 0.2$ 为贡献率中等区域, $C > 0.2$ 为贡献率高区域。可以得出:斜坡坡度 $10^\circ \sim 20^\circ$,顺向坡斜坡结构、砂质硬岩夹软岩的岩体结构、汇流面积,水流冲蚀等因素的贡献率较高;高程 500~1 000 m 和剖面曲率、距水系距离、开挖路堑等因素贡献率中等;土地利用类型等因素贡献率较低。

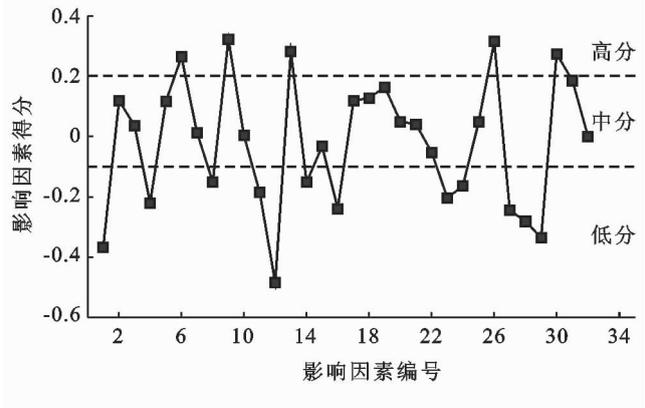


图 1 各影响因素类目得分曲线

2.5 易发性预测评价

对研究区滑坡样本数据采用数量化理论模型训练后,采用滑坡破坏的栅格个数占实际破坏的栅格个数的百分比来判定预测的准确率,通过计算,在研究区的判定准确率达到 84%。在得到各个因素易发性评价系数后,将类目栅格的易发性评价系数进行叠加合并,合计得到预测值为 85~265,采用自然间断法将预测值按大小分为 4 类,即 85~130 为较低易发区,131~175 为中等易发区,176~220 为较高易发区,221~265 为高易发区,得到研究区基岩顺层类滑坡易发性预测图(图 2)。

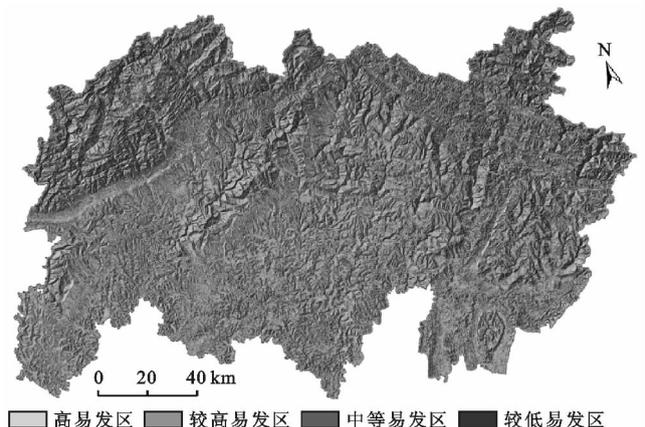


图 2 大巴山区基岩顺层类滑坡易发性评价

3 结论

(1) 采用数量化理论 II, 选取了滑坡发生的高程、坡度、岩体结构、斜坡结构、剖面曲率、距水系距离、汇流面积、土地利用、外营力作用及年平均降雨量等指标, 对各指标进行了量化处理, 建立了大巴山区基岩顺层类岩质滑坡易发性预测方法。

(2) 对大巴山区域顺层岩质类滑坡发育影响因素的贡献率分析, 得出斜坡坡度 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$, 顺向坡斜坡结构、砂质硬岩夹软岩的岩体结构、汇流面积, 水流冲蚀等因素对滑坡形成贡献率较高; 高程 500~1 000 m 和剖面曲率、距水系距离、开挖路堑等因素对滑坡形成贡献率中等; 土地利用类型等因素对滑坡形成贡献率低。

(3) 通过研究区易发性评价图可以看到, 位于大巴山区的南江县南部、巴州区北部、苍溪县南东部、宣汉县南西侧地等区域为顺层岩质滑坡的高易发区, 这也与调查结果相符。

(4) 量化理论计算方法对学习样本进行学习, 确定各因子类目得分, 然后全范围进行判别计算, 并合计判定分类的易发性预测方法能较好地适用于大巴山区基岩顺层类岩质滑坡的易发性预测。

[参 考 文 献]

- [1] 董文泉, 周光亚, 夏立显, 等. 数量化理论及其应用[M]. 吉林 长春: 吉林人民出版社, 1979.
- [2] 汪茜, 李广杰. 数量化理论在泥石流灾害预测预报中的应用: 以吉林和龙市泥石流为例[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2006, 18(2): 85-88.
- (上接第 274 页)
- [25] 崔保山, 杨志峰. 吉林省典型湿地资源效益评价研究[J]. 资源科学, 2001, 23(3): 55-61.
- [26] 王浩. 洽川湿地生态系统服务价值评估[D]. 陕西 西安: 陕西师范大学, 2016.
- [27] 欧阳志云, 赵同谦, 王效科, 等. 水生态服务功能分析及其间接价值评价[J]. 生态学报, 2004, 24(10): 2091-2099.
- [28] 易文利. 宝鸡千和流域水质分析与评价[J]. 河南科学, 2010, 28(10): 1327-1330.
- [29] 张修峰, 刘正文, 谢贻发, 等. 城市湖泊退化过程中水生

- [3] 周国云, 陈光齐. 基于 GIS 和数量化理论 II 的滑坡危险性预测[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(12): 2494-2500.
- [4] 王卫红, 张文君. 基于遥感与数量化 II 类的滑坡危险度划分[J]. 水土保持学报, 2009, 29(2): 165-167.
- [5] 李军霞, 王常明, 王钢城, 等. 基于数量化理论 III 的滑坡发育影响因素及耦合作用强度分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(6): 1206-1212.
- [6] 程英建, 石豫川, 石胜伟, 刘富开. 数量化理论在泥石流易发性预测中的应用[J]. 水文地质工程地质, 2015, 42(1): 140-145.
- [7] 唐亚明, 张茂省, 李林. 滑坡易发性危险性风险评价例析[J]. 水文地质工程地质, 2011, 38(2): 125-129.
- [8] 范林峰, 胡瑞林, 曾逢春, 等. 加权信息量模型在滑坡易发性评价中的应用: 以湖北省恩施市为例[J]. 工程地质学报, 2012, 20(4): 508-513.
- [9] 牛瑞卿, 彭令, 叶润青. 基于粗糙集的支持向量机滑坡易发性评价[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2012, 42(2): 430-439.
- [10] 张俊, 殷坤龙, 王佳佳, 等. 三峡库区万州区滑坡灾害易发性评价研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2016, 35(2): 284-296.
- [11] 王森, 许强, 罗博宇, 等. 基于分形理论的南江县滑坡敏感性分析与易发性评价[J]. 水文地质工程地质, 2017, 44(3): 119-126.
- [12] 张许良, 张子戌, 袁崇孚, 等. 利用数量化理论预测瓦斯含量时反应度的取值方法[J]. 焦作工学院学报: 自然科学版, 2001, 20(1): 8-13.
- [13] 周光亚, 董文泉, 夏立显. 关于数量化理论 I, II 的数学模型[J]. 吉林大学自然科学报, 1979, 33(1): 11-18.
- [14] 王峰. 四川省南江县地质灾害易发性区划研究[D]. 四川 成都: 成都理工大学, 2015.

态系统服务功能价值演变评估: 以肇庆仙女湖为例[J]. 生态学报, 2007, 27(6): 2349-2354.

- [30] 郭华, 陈勇, 李高民, 等. 冯家山水库水质变化及其成因分析[J]. 水利与建筑工程学报, 2011, 9(5): 31-35.
- [31] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196.
- [32] 陈翠, 刘贤安, 闫丽丽, 等. 四川南河国家湿地公园生态系统服务价值评估[J]. 湿地科学, 2018, 16(2): 238-243.
- [33] 江波, 陈媛媛, 饶恩明, 等. 博斯腾湖生态系统最终服务价值评估[J]. 生态学报, 2015, 34(4): 1113-1120.