

吴博, 赵法锁, 段钊, 等. 基于熵权的属性识别模型在陕西土质滑坡危险度评价中的应用[J]. 灾害学, 2018, 33(1): 140–145. [WU Bo, ZHAO Fasuo, DUAN Zhao, et al. Application of Attribute Recognition Model Based on Coefficient of Entropy To Hazard Degree Evaluation of Soil Landslide in Shaanxi[J]. Journal of Catastrophology, 2018, 33(1): 140–145. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2018.01.025.]

基于熵权的属性识别模型在陕西土质滑坡危险度评价中的应用*

吴 博¹, 赵法锁¹, 段 钊², 唐 皓²

(1. 长安大学 地质工程与测绘学院, 陕西 西安 710054; 2. 西安科技大学 地质与环境学院, 陕西 西安 710054)

摘 要: 根据陕西省三大区域土质滑坡的特点, 选取9个影响因素, 建立滑坡危险度评价分级标准, 利用熵权理论客观地确定出各影响因素的权重, 计算多指标综合属性测度, 结合属性识别理论和置信度判别准则, 对10个典型滑坡进行危险度评价。通过实地调查, 评价结果与实际情况基本一致。

关键词: 危险度评价; 滑坡; 熵权; 属性识别; 陕西

中图分类号: X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2018)01-0140-06

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2018.01.025

近年来, 随着经济的发展和工程活动的强烈, 地质灾害频发, 给社会和人民生命财产造成了巨大的损失。如何对滑坡的危险程度进行客观地定量地评价, 越来越得到关注。樊晓一等^[1]给出了滑坡危险度评价的定义: 滑坡危险度评价是将产生滑坡的基础条件, 引起滑坡发生的外界因素, 以及滑坡的综合特征进行数学模型分析, 定量或半定量地评价区域内或某个典型滑坡的危险度等级。杨宗佶等^[2]基于信息熵建立了评价模型。朱吉祥等^[3]通过引入信息熵理论, 对传统的灰色模型进行修正, 建立了基于信息熵的灰色模型, 对四川青山县的地质灾害危险性进行了评价。铁永波等^[4]建立了基于信息熵理论的泥石流危险度评价模型, 对昆明市东川城区后山深沟、石羊沟和尼姑拉沟进行评价, 计算结果与当地实际情况有较好的一致性。齐识等^[5]兼顾评价因子的主客观权重, 分别从客观权重、主观权重及综合权重三个角度对白龙江流域21个典型滑坡进行危险度区划。刘文方等^[6]运用熵权理论对斜坡地质灾害链源致灾因素进行探讨, 找出链式灾变规律的主要源头因素。

陕西省由于自然地理条件差异, 加之降雨量不均匀, 使得境内地质灾害形成条件复杂, 各种影响因素相互叠加, 导致灾害分布广、密度大、

灾害重^[7], 典型的土质滑坡类型主要包括: 黄土——基岩滑坡(主要发育在陕北黄土高原区)、黄土滑坡(主要发育在关中黄土塬区)、浅表层坡残积土滑坡(主要发育在陕南低山丘陵区)。采用熵权法对10个典型土质滑坡进行主、客观分析, 得到其主要影响因素的影响权重, 运用属性识别原理建立典型土质滑坡危险度定量评价模型, 通过实地调查进行对比验证, 以为陕西土质滑坡的预防与治理工程提供科学依据。

1 属性识别模型

为了很好的解决有序分割问题, 我国著名学者程乾生教授提出属性识别模型^[6], 并且在环境质量评价中得到了广泛使用。

1.1 属性空间矩阵的建立^[8-9]

在评价对象空间 X 中取得 n 个样本 x_1, x_2, \dots, x_n , 对于每一个样本有 m 个评价指标 I_1, I_2, \dots, I_m , 第 i 个样本的第 j 个指标的测度值为 x_{ij} , 因此, 每一个样本可以表示为一个向量 $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im})$, $i = 1, 2, \dots, n$, n 个样本构成了 $n \times m$ 的样本空间矩阵:

* 收稿日期: 2017-05-16

修回日期: 2017-07-17

基金项目: 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开放基金(SKLGP2017K010)

第一作者简介: 吴博(1986-), 男, 陕西延安人, 博士研究生, 从事岩土体稳定研究. E-mail: 41389839@qq.com

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} I_1 & x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1k} \\ I_2 & x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ I_m & x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mk} \end{bmatrix} \quad (1)$$

设 F 为 x 上某类属性空间 C_1, C_2, \dots, C_k 为属性空间的有序分割类, 且满足 $C_1 > C_2 > \dots > C_k$ 。每一个评价指标的属性分类已知, 写成属性分类标准矩阵如下:

$$A = \begin{bmatrix} I_1 & a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1k} \\ I_2 & a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ I_m & a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mk} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: a 为在属性分割类 C_k 下的属性值, $a_{j1} < a_{j2} < \dots < a_{jk}$ 或 $a_{j1} > a_{j2} > \dots > a_{jk}$ 。

1.2 熵值法确定权重系数^[10-14]

在本次评价模型建立中, 为避免人为主观因素的干扰, 充分利用自身的信息数据, 从实测指标值入手, 选用 Shannon 熵的方法客观地确定出各指标的权重系数。其具体步骤如下:

$$\begin{cases} x'_{ij} = x_{ij} / \max x'_{ij}, & \text{递增型指标;} \\ x'_{ij} = \max x'_{ij} / x_{ij}, & \text{递减型指标。} \end{cases} \quad (3)$$

从而得到新的评价样本矩阵:

$$x'_{ij} = \begin{bmatrix} x'_{11} & x'_{12} & \cdots & x'_{1n} \\ x'_{21} & x'_{22} & \cdots & x'_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x'_{m1} & x'_{m2} & \cdots & x'_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

再设第 i 个评价指标下第 j 个样本评价指标值比重为:

$$P_{ij} = x'_{ij} / \sum_{j=1}^n x'_{ij} \quad (4)$$

第 i 个评价指标的 Shannon 熵为:

$$e_i = -\frac{1}{mn} \sum_{j=1}^n P_{ij} \ln P_{ij} \quad (5)$$

则第 i 个评价指标的权重为:

$$\omega_i = (1 - e_i) / \sum_{j=1}^n (1 - e_i) \quad (6)$$

且满足: $\sum_{j=1}^m \omega_i = 1$ 。

1.3 单指标属性测度

对于单指标 I_j 的测量值 t_j , 具有属性 C_k 的属性测度 $\mu_{ijk} = \mu(t_j \in C_k)$ 的确定方法, 是建立其属性测度函数, 以表示 I_j 的测量值 t_j 变化时属性测度 $\mu_{ijk} = \mu(t_j \in C_k)$ 的变化情况。现以表 1 的单指标等级划分为例, 建立属性测度函数。

表 1 中的 $a_{jk} (j=1, 2, \dots, m; k=1, 2, \dots, n-1)$ 满足 $a_{j0} < a_{j1} < \dots < a_{jk}$ 或 $a_{j0} > a_{j1} > \dots > a_{jk}$, 本文假定 $a_{j0} < a_{j1} < \dots < a_{jk}$ 。令:

表 1 单指标等级划分表

指标	等级				
	C_1	C_2	\dots	C_{n-1}	C_n
I_1	$a_{10} \sim a_{11}$	$a_{11} \sim a_{12}$	\dots	$a_{1n-2} \sim a_{1n-1}$	$> \text{或} < a_{1n-1}$
I_2	$a_{20} \sim a_{21}$	$a_{21} \sim a_{22}$	\dots	$a_{2n-2} \sim a_{2n-1}$	$> \text{或} < a_{2n-1}$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
I_m	$a_{m0} \sim a_{m1}$	$a_{m1} \sim a_{m2}$	\dots	$a_{mn-2} \sim a_{mn-1}$	$> \text{或} < a_{mn-1}$

$$b_{jk} = (a_{jk-1} + a_{jk}) / 2, \quad (7)$$

$$d_j = a_{jk0} - b_{jk0} = \min \{ a_{jk} - b_{jk} \} \quad (8)$$

式中: $k=1, 2, \dots, n-1$ 。

确定单指标测度函数 $\mu_{ijk}(t)$ 为:

$$\mu_{ij1}(t) = \begin{cases} 1, & t < a_{j1} - d_j; \\ \frac{a_{j1} + d_j - t}{2d_j}, & a_{j1} - d_j \leq t \leq a_{j1} + d_j; \\ 0, & a_{j1} + d_j < t \end{cases} \quad (9)$$

$$\mu_{ijj}(t) = \begin{cases} 0, & t < a_{j(k-1)} - d_j; \\ \frac{t - a_{j(k-1)} + d_j}{2d_j}, & a_{j(k-1)} - d_j \leq t \leq a_{j(k-1)} + d_j; \\ 1, & a_{j(k-1)} + d_j < t < a_{jk} - d_j; \\ \frac{a_{jk} + d_j - t}{2d_j}, & a_{jk} - d_j \leq t \leq a_{jk} + d_j; \\ 0, & t > a_{jk} + d_j \end{cases} \quad (10)$$

式中: $j=1, 2, \dots, m$ 。若 $d_j = a_{jk0} - b_{jk0}$, $k_0 > 1$ 则有:

$$\mu_{ijk_0}(t) = \begin{cases} 0, & t < a_{jk_0-1} - d_j; \\ \frac{t - a_{jk_0-1} + d_j}{2d_j}, & a_{jk_0-1} - d_j \leq t \leq a_{jk_0-1} + d_j; \\ \frac{a_{jk_0} + d_j - t}{2d_j}, & a_{jk_0-1} + d_j \leq t \leq a_{jk_0} + d_j; \\ 1, & t > a_{jk_0} + d_j \end{cases} \quad (11)$$

$$\mu_{ijk}(t) = \begin{cases} 0, & t > a_{jk_0} + d_j; \\ 0, & t < a_{j(K-1)} - d_j; \\ \frac{t - a_{j(K-1)} + d_j}{2d_j}, & a_{j(K-1)} - d_j \leq t \leq a_{j(K-1)} + d_j; \\ 1, & t > a_{j(K-1)} + d_j \end{cases} \quad (12)$$

1.4 多指标综合属性测度

将单指标属性测度经加权求和后, 得到综合属性测度:

$$\mu_{ik} = \sum_{j=1}^m \omega_j \mu_{ijk} \quad (13)$$

式中: ω_j 为第 j 个指标权重。

1.5 属性识别模型

通过上述方法计算得出各指标综合属性测度, 按照置信度准则, 对置信度 λ (取 $\lambda=0.6$), 识别模型为:

$$k_i = \min \left[k: \sum_{i=1}^k \mu_{ik}(C_i) \geq \lambda, 1 \leq k \leq K \right] \quad (14)$$

当满足式(14)时,则认为 x_i 属于 C_i 类,即对样本作出了评价。

2 应用实例

根据陕西省土质滑坡分类,分别取陕北地区延安市四个典型滑坡、关中地区三个典型滑坡、陕南地区三个典型滑坡作为评价样本(表2),应用属性识别理论模型进行危险度评价。

2.1 属性评价指标分析

根据陕西土质滑坡形成机理、诱发因素等特

征,选取了前后缘相对高差、坡面平均坡度、体积、天然重度、粘聚力、内摩擦角、降雨量、裂缝发育情况、人类工程活动等9个因素,选取的10个典型土质滑坡指标特征值见表3所示。

(1)前后缘相对高差

前后缘高差对滑坡的影响较为显著,它直接决定了滑坡的势能大小,而且还影响着滑坡的运动特征。高差越大,滑坡的势能越大,危险度就越大。

(2)坡度

坡度是滑坡发生的重要因素之一,是衡量滑坡地形的重要指标,也同时一定程度上促进滑坡的

表2 陕西典型滑坡选取样本

滑坡所在区域	滑坡编号	滑坡名称	灾情
陕北地区	1	延安市二庄科武警中队滑坡	威胁坡脚在建二庄科安置小区4栋住宅楼
	2	延安市小砭沟移民安置小区滑坡	威胁坡脚在建移民安置小区及施工人员
	3	延安市丁家沟滑坡	已造成40间房屋破损,并威胁44户居民生命财产安全
	4	延安市市场沟小学滑坡	已造成4间房屋破坏,并威胁坡脚小学及拟建幼儿园安全
关中地区	5	西安市灞桥“9·17”滑坡	造成10人死亡,5人受伤,部分厂房被埋
	6	西安市户县牛角沟滑坡	威胁坡脚46户162人生命财产安全
	7	渭南市合阳县全兴寨滑坡	威胁坡脚312户1342人生命财产安全
陕南地区	8	安康市环城干道滑坡	造成道路破坏50m,中断数日,并威胁坡顶在建一栋住宅楼安全
	9	汉中市略阳县男山滑坡	威胁坡脚26户、105人生命财产安全
	10	安康市紫阳想红椿镇老街滑坡	威胁坡体上4户7间房屋,坡脚拟建锆刚玉厂厂房

表3 典型滑坡指标特征值

滑坡编号	指标特征值								
	前后缘高差/m	坡度/(°)	体积/ 10^5m^3	天然重度/ $(\text{kN}\cdot\text{m}^3)$	粘聚力/kPa	内摩擦角/(°)	降雨量/100mm	裂缝发育情况	人类工程活动
1	190	16	13.2	19.5	15	21	5.5	1	2
2	90	45	6.5	16.3	18	16	5.5	2	3
3	70	22	10.5	17.2	20	18	5.5	4	3
4	65	50	0.24	18.9	33	22	5.5	1	3
5	80	35	2.5	18.5	7	18	6	4	4
6	100	15	5	19.9	16.3	22	6.3	3	4
7	40	43	10	18	39	20	5	2	2
8	40	35	0.8	19.5	12	18	7.8	4	4
9	55	27	4.05	18	40	25	8.3	3	1
10	106	40	3	19	20	40	10.5	3	3

表4 滑坡危险度评价指标及分级标准

评价级别	指标特征值								
	前后缘高差/m	坡度/(°)	体积/ 105m^3	天然重度/ $(\text{kN}\cdot\text{m}^3)$	粘聚力/kPa	内摩擦角/(°)	降雨量/100mm	裂缝发育情况	人类工程活动
C_1	<30	<20	<1	<16	>40	>35	<5	裂缝不发育(1)	弱(1)
C_2	30~60	20~30	1~10	16~18	30~40	25~35	5~7	裂缝较不发育,偶见长、宽裂缝(2)	一般(2)
C_3	60~90	30~40	10~100	18~20	20~30	15~25	7~9	裂缝发育较多,但均未贯通(3)	较强烈(3)
C_4	>90	>40	>100	>20	<20	<15	>9	裂缝发育多,宽,且贯通(4)	强烈(4)

表 5 单指标测度函数

评价 指标	单指标属性测度			
	C_1	C_2	C_3	C_4
I_1	$\mu_{i11}(t) = \begin{cases} 1, & t < 15; \\ \frac{45-t}{30}, & 15 \leq t \leq 45; \\ 0, & t > 45。 \end{cases}$	$\mu_{i12}(t) = \begin{cases} 0, & t < 15; \\ \frac{t-15}{30}, & 15 \leq t \leq 45; \\ \frac{75-t}{30}, & 45 < t \leq 75; \\ 0, & t > 75。 \end{cases}$	$\mu_{i13}(t) = \begin{cases} 0, & t < 45; \\ \frac{t-45}{30}, & 45 \leq t \leq 75; \\ \frac{105-t}{30}, & 75 < t \leq 105; \\ 0, & t > 105。 \end{cases}$	$\mu_{i14}(t) = \begin{cases} 0, & t < 75; \\ \frac{t-75}{30}, & 75 \leq t \leq 105; \\ 1, & t > 105。 \end{cases}$
I_2	$\mu_{i21}(t) = \begin{cases} 1, & t < 15; \\ \frac{25-t}{10}, & 15 \leq t \leq 25; \\ 0, & t > 25。 \end{cases}$	$\mu_{i22}(t) = \begin{cases} 0, & t < 15; \\ \frac{t-15}{10}, & 15 \leq t \leq 25; \\ \frac{35-t}{10}, & 25 < t \leq 35; \\ 0, & t > 35。 \end{cases}$	$\mu_{i23}(t) = \begin{cases} 0, & t < 25; \\ \frac{t-25}{30}, & 25 \leq t \leq 35; \\ \frac{105-t}{30}, & 35 < t \leq 45; \\ 0, & t > 45。 \end{cases}$	$\mu_{i24}(t) = \begin{cases} 0, & t < 35; \\ \frac{t-35}{30}, & 35 \leq t \leq 45; \\ 1, & t > 45。 \end{cases}$
I_3	$\mu_{i31}(t) = \begin{cases} 1, & t < 0.05; \\ \frac{15-t}{10}, & 0.05 \leq t \leq 0.15; \\ 0, & t > 0.15 \end{cases}$	$\mu_{i32}(t) = \begin{cases} 0, & t < 0.05; \\ \frac{100t-5}{10}, & 0.05 \leq t \leq 0.15; \\ 1, & 0.15 < t < 0.95; \\ \frac{105-100t}{10}, & 0.95 \leq t \leq 1.5; \\ 0, & t > 1.05。 \end{cases}$	$\mu_{i33}(t) = \begin{cases} 0, & t < 0.95; \\ \frac{100t-95}{10}, & 0.95 \leq t \leq 1.05; \\ 1, & 1.05 < t < 9.95; \\ \frac{1005-100t}{10}, & 9.95 \leq t \leq 10.05; \\ 0, & t > 10.05。 \end{cases}$	$\mu_{i34}(t) = \begin{cases} 0, & t < 9.95; \\ \frac{10t-99.5}{10}, & 9.95 \leq t \leq 10.05; \\ 1, & t > 10.05。 \end{cases}$
I_4	$\mu_{i41}(t) = \begin{cases} 1, & t < 15; \\ \frac{17-t}{2}, & 15 \leq t \leq 17; \\ 0, & t > 17。 \end{cases}$	$\mu_{i42}(t) = \begin{cases} 0, & t < 15; \\ \frac{t-15}{2}, & 15 \leq t \leq 17; \\ \frac{19-t}{2}, & 17 < t \leq 19; \\ 0, & t > 19。 \end{cases}$	$\mu_{i43}(t) = \begin{cases} 0, & t < 17; \\ \frac{t-17}{2}, & 17 \leq t \leq 19; \\ \frac{21-t}{2}, & 19 < t \leq 21; \\ 0, & t > 21。 \end{cases}$	$\mu_{i44}(t) = \begin{cases} 0, & t < 18; \\ \frac{t-18}{2}, & 18 \leq t \leq 21; \\ 1, & t > 21。 \end{cases}$
I_5	$\mu_{i51}(t) = \begin{cases} 0, & t < 45; \\ \frac{t-45}{10}, & 45 \leq t \leq 55; \\ 1, & t > 55。 \end{cases}$	$\mu_{i52}(t) = \begin{cases} 0, & t < 35; \\ \frac{t-35}{10}, & 35 \leq t \leq 45; \\ \frac{55-t}{10}, & 45 < t \leq 55; \\ 0, & t > 55。 \end{cases}$	$\mu_{i53}(t) = \begin{cases} 0, & t < 25; \\ \frac{t-25}{2}, & 25 \leq t \leq 35; \\ \frac{45-t}{2}, & 35 < t \leq 45; \\ 0, & t > 45。 \end{cases}$	$\mu_{i54}(t) = \begin{cases} 1, & t < 25; \\ \frac{35-t}{2}, & 25 \leq t \leq 35; \\ 0, & t > 35 \end{cases}$
I_6	$\mu_{i61}(t) = \begin{cases} 0, & t < \frac{55}{2}; \\ \frac{2t-55}{10}, & \frac{55}{2} \leq t \leq \frac{65}{2}; \\ 1, & t > \frac{65}{2}。 \end{cases}$	$\mu_{i62}(t) = \begin{cases} 0, & t < \frac{45}{2}; \\ \frac{2t-45}{10}, & \frac{45}{2} \leq t \leq \frac{55}{2}; \\ \frac{65-2t}{10}, & \frac{55}{2} < t \leq \frac{65}{2}; \\ 0, & t > \frac{65}{2}。 \end{cases}$	$\mu_{i63}(t) = \begin{cases} 0, & t < \frac{35}{2}; \\ \frac{2t-35}{10}, & \frac{35}{2} \leq t \leq \frac{45}{2}; \\ \frac{45-2t}{10}, & \frac{45}{2} < t \leq \frac{55}{2}; \\ 0, & t > \frac{55}{2}。 \end{cases}$	$\mu_{i64}(t) = \begin{cases} 1, & t < \frac{35}{2}; \\ \frac{45-2t}{10}, & \frac{35}{2} \leq t \leq \frac{45}{2}; \\ 0, & t > \frac{45}{2}。 \end{cases}$
I_7	$\mu_{i71}(t) = \begin{cases} 1, & t < 5; \\ \frac{7-t}{2}, & 5 \leq t \leq 7; \\ 0, & t > 7。 \end{cases}$	$\mu_{i72}(t) = \begin{cases} 0, & t < 5; \\ \frac{t-5}{2}, & 5 \leq t \leq 7; \\ \frac{9-t}{2}, & 7 < t \leq 9; \\ 0, & t > 9。 \end{cases}$	$\mu_{i73}(t) = \begin{cases} 0, & t < 7; \\ \frac{t-7}{2}, & 7 \leq t \leq 9; \\ \frac{11-t}{2}, & 9 < t \leq 11; \\ 0, & t > 11。 \end{cases}$	$\mu_{i74}(t) = \begin{cases} 0, & t < 9; \\ \frac{t-9}{2}, & 9 \leq t \leq 11; \\ 1, & t > 11。 \end{cases}$
I_8	$\mu_{i81}(t) = \begin{cases} 1, & t < 1; \\ 2-t, & 1 \leq t \leq 2; \\ 0, & t > 2。 \end{cases}$	$\mu_{i82}(t) = \begin{cases} 0, & t < 1; \\ t-1, & 1 \leq t < 2; \\ 3-t, & 2 \leq t \leq 3; \\ 0, & t > 3。 \end{cases}$	$\mu_{i83}(t) = \begin{cases} 0, & t < 2; \\ t-2, & 2 \leq t \leq 3; \\ 4-t, & 3 < t \leq 4; \\ 0, & t > 4。 \end{cases}$	$\mu_{i84}(t) = \begin{cases} 0, & t < 3; \\ t-3, & 3 \leq t \leq 4; \\ 1, & t > 4。 \end{cases}$
I_9	$\mu_{i91}(t) = \begin{cases} 1, & t < 1; \\ 2-t, & 1 \leq t \leq 1; \\ 0, & t > 2。 \end{cases}$	$\mu_{i92}(t) = \begin{cases} 0, & t < 1; \\ t-1, & 1 \leq t \leq 2; \\ 3-t, & 2 < t \leq 3; \\ 0, & t > 3。 \end{cases}$	$\mu_{i93}(t) = \begin{cases} 0, & t < 2; \\ t-2, & 2 \leq t \leq 3; \\ 4-t, & 3 < t \leq 4; \\ 0, & t > 4 \end{cases}$	$\mu_{i94}(t) = \begin{cases} 0, & t < 3; \\ t-3, & 3 \leq t \leq 4; \\ 1, & t > 4。 \end{cases}$

表 6 典型滑坡 1 综合属性测度

项目	指标特征值									综合属性测度 μ_{ik}
	前后缘高差/m	坡度/(°)	体积/ $\times 10^5 \text{ m}^3$	天然重度/($\text{kN} \cdot \text{m}^3$)	粘聚力/ kPa	内摩擦角/(°)	降雨量/ $\times 10^2 \text{ mm}$	裂缝发育情况	人类工程活动	
测量值	190	16	13.2	19.5	15.0	21.0	550.0	1.0	2.0	
评价等级	C_1	0.0	0.9	0.0	0.3	0.0	0.0	0.8	1.0	0.3428
	C_2	0.0	0.1	0.0	0.8	0.0	0.0	0.3	0.0	0.2539
	C_3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0864
	C_4	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.3	0.0	0.0	0.3168
权重	0.1188	0.1186	0.0448	0.1267	0.1162	0.1234	0.1214	0.1134	0.1167	

表 7 典型滑坡综合属性测度及评价结果

典型滑坡	评价等级				评价结果	评价分数
	C_1	C_2	C_3	C_4		
1	0.3426	0.2545	0.0863	0.3166	危险度中等	2.3769
2	0.1609	0.1738	0.4133	0.2520	危险度中等	2.7564
3	0.2043	0.2349	0.2261	0.3347	危险度中等	2.6911
4	0.0514	0.3114	0.1793	0.4578	危险度高	3.0435
5	0.0672	0.2704	0.1721	0.4903	危险度高	3.0855
6	0.0000	0.1860	0.3522	0.4618	危险度高	3.2758
7	0.1410	0.4394	0.2347	0.1849	危险度中等	2.4634
8	0.0606	0.1555	0.3060	0.4779	危险度高	3.2011
9	0.1232	0.1265	0.4255	0.3247	危险度中等	2.9518
10	0.1174	0.3994	0.4832	0.0000	危险度中等	2.3659

发生。据文献统计,滑坡坡度小于 20° 时,滑坡不易发生; $20^\circ \sim 30^\circ$ 滑坡多发; $30^\circ \sim 40^\circ$ 易发; 大于 40° 高易发,危险度也随之增大。

(3) 体积

体积代表了滑坡的规模大小以及物质的多少,反映了滑坡破坏后的危险性大小。

(4) 天然重度

滑体的天然重度越大,滑坡的下滑力越大,稳定性越差,危险度越高。

(5) 粘聚力

滑面的粘聚力越高,所产生阻滑力越大,滑坡的稳定性越好,危险度越低。

(6) 内摩擦角

滑面的内摩擦角越高,产生的阻滑力越大,滑坡的稳定性越好,危险度越低。

(7) 降雨量

降雨量是滑坡发生最多的诱发因素,尤其在陕南地区的浅表层堆积层滑坡,多数滑坡都发生在暴雨或者强降雨之后。本文采用地区多年平均降雨量作为评价指标。

(8) 裂缝发育情况

裂缝发育情况直接反映出滑坡现状的变形破坏阶段,不同阶段裂缝发育密度、长度、宽度、深度以及贯通度不同。裂缝发育越强烈,滑坡的

稳定性越差,危险度越高。

(9) 人类工程活动

人类工程活动也是导致山坡地质灾害的重要原因之一,例如坡脚开挖修路、建房、不合理的取土,改变原有坡体应力,同时前缘形成有效临空面;坡体上毁林垦田,加大了降雨、灌溉入渗,增加坡体重度,减小抗剪强度,等等。人类工程活动越强烈,滑坡的稳定性越差,危险度越高。

参考大量分级研究成果,将滑坡的危险度划分为危险度低(C_1)、危险度较低(C_2)、危险度中等(C_3)和危险度高(C_4)四个等级,并综合以上 9 个主要评价指标的分析,得到各评价指标的等级划分如表 4 所示。

2.2 单指标属性测度计算

(1) 建立单指标属性测度函数

按照表 4 和式(7)~式(12),构造单指标测度函数,详见表 5。

(2) 计算单指标属性测度值

按照表 5 函数关系及指标特征值,计算单指标属性测度值,以典型滑坡 1 为例,计算结果见表 6。同理,可得到其他典型滑坡的属性测度。

2.3 确定各指标 I_j 的权重

根据熵权理论和表 3 指标特征值,按照式(3)~(6),计算各指标 I_j 的权重,结果见表 6。

2.4 计算多指标综合属性测度和属性识别

按照式(13)和2.2的计算结果,计算各典型滑坡的多指标综合属性测度 μ_{ik} ,再识别属性。取置信度 $\lambda=0.6$,按照式(14)可得到各典型滑坡的属性综合评价结果(表7)。

2.5 结果分析

(1)结合典型滑坡的地质勘察报告,表7的评价结果与实际勘察结论一致。说明将属性识别模型可以应用于滑坡危险度评价,且结果可信度高。

(2)对于危险度评价相同的滑坡,可通过进行属性识别的评分准则,计算 q_{xi} :

$$q_{xi} = \sum_{t=1}^k n_t \mu_{ik} \quad (15)$$

式中: n_t 为分数,其值与 t 取值一致($t=1, 2, \dots, k$)。

根据 q_{xi} 的大小对滑坡危险度进行比较和排序,从而可知滑坡的危险度顺序依次为:滑坡6>滑坡8>滑坡5>滑坡4>滑坡9>滑坡2>滑坡3>滑坡7>滑坡1>滑坡10。

3 结语

(1)滑坡的危险度的评价受多种因素影响,针对陕西三大地区典型土质滑坡的特点,选取了滑坡前后缘高差、坡度、体积、滑体重度、滑面粘聚力、滑面内摩擦角、降雨量、坡体变形迹象和人类工程活动,根据熵权理论和属性识别理论建立评价模型,充分利用指标特征值来判别滑坡的危险度,减少人为的主观因素对结果的影响,提高评价精度。

(2)影响滑坡危险度的因素诸多,且指标测量值有很多不确定性,造成评价的客观性有限,如

何将指标的不确定性造成的评价结果误差消除,有待于进一步的研究。

参考文献:

- [1] 樊晓一,乔建平,陈永波.层次分析法在典型滑坡危险度评价中的应用[J].自然灾害学报,2004,13(1):72-77.
- [2] 杨宗佑,乔建平,陈晓林.三峡库区典型滑坡危险度评价方法探讨[J].世界科技研究与发展,2009,31(1):116-119.
- [3] 朱吉祥,张礼中,周小元,等.基于信息熵的灰色模型在地质灾害评价中的应用——以四川青川县为例[J].灾害学,2012,27(1):78-82+97.
- [4] 铁永波,唐川,周春花.基于信息熵理论的泥石流沟谷危险度评价[J].灾害学,2005,20(4):43-46.
- [5] 齐识,刘东飞,马金珠,等.白龙江流域典型单体滑坡危险度[J].兰州大学学报(自然科学版),2014,50(3):356-362.
- [6] 刘文方,李红梅.基于熵权理论的斜坡地质灾害链综合评判[J].灾害学,2014,29(1):8-11.
- [7] 杨喜成.陕西地质灾害特点[J].陕西地质,2016,19(2):75-81.
- [8] 程乾生.属性识别理论模型及其应用[J].北京大学学报(自然科学版),1997,33(1):12-20.
- [9] 程乾生.属性数学—属性测度和属性统计[J].数学的实践与认识,1998,28(2):97-107.
- [10] 文畅平.黄土边坡稳定性的属性识别模型[J].水利水电工程学报,2007(2):10-16.
- [11] 吴毅江.基于改进属性识别模型的塔基山坡稳定性评价方法[J].岩石力学与工程学报,2016,35(s1):3139-3145.
- [12] 文畅平.隧道瓦斯突出危险性评价的属性识别模型与实例[J].煤炭学报,2011,36(8):1322-1327.
- [13] 薛剑光.基于熵权属性识别模型的岩体可爆性分级评价[J].中南大学学报(自然科学版),2010,41(1):251-256.
- [14] 赵志峰,杨帆.基于属性识别理论的岩质边坡安全综合评价[J].防灾减灾工程学报,2008,28(2):256-260.

Application of Attribute Recognition Model Based on Coefficient of Entropy to Hazard Degree Evaluation of Soil Landslide in Shaanxi

WU Bo¹, ZHAO Fasuo¹, DUAN Zhao² and TANG Hao²

(1. School of Geology Engineering and Geomatics, Chang'an University, Xi'an 710054, China;

2. College of Geology and Environment, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: According to the characteristics of the three regions of Shaanxi province soil landslide, we select 9 factors to establish the risk assessment standard, use entropy theory to determine objectively the weight of each factor, calculate of multi index synthetic attribute, and combine the attribute recognition theory and the confidence criterion and risk evaluation of 10 typical landslides. Through the field investigation, the evaluation results are basically consistent with the actual situation.

Key words: hazard degree; landslide; coefficient of Entropy; attribute recognition model; Shaanxi