

可拓层次分析法在河北省元氏县佃户营 泥石流危险性评价中的应用

王维早^{1,2,3}, 李方红^{1,2}, 郑海君³

(1. 石家庄经济学院, 河北 石家庄 050031; 2. 河北省水资源可持续利用与开发重点实验室, 河北 石家庄 050031; 3. 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, 四川 成都 610059)

摘要: 在深入分析河北省元氏县佃户营泥石流灾害的基础上, 采用可拓层次分析法(EAHP), 选取 12 个指标作为评价泥石流危险性的因子, 建立了佃户营泥石流危险性评价模型。利用该模型对佃户营泥石流沟进行危险性评价, 其结果与实际情况具有较好的一致性。研究表明, 运用可拓层次分析法(EAHP)进行泥石流危险性评价实用且有效。

关键词: 泥石流; 危险性评价; 可拓层次分析法; 河北省元氏县佃户营村

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2014)05-0181-06

中图分类号: P694

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.05.041

Applicability of EAHP on Debris Flow Risk Assessment in Dianhuying Village of Yuanshi County of Hebei Province

WANG Wei-zao^{1,2,3}, LI Fang-hong^{1,2}, ZHENG Hai-jun³

(1. Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang, Hebei 050031, China; 2. Key Laboratory of Water Resources Sustainable Utilization and Exploit of Hebei Province, Shijiazhuang, Hebei 050031, China; 3. State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China)

Abstract: Based on analyzing of debris flows in Dianhuying village of Yuanshi County, Hebei Province, by using of extenics analytic hierarchy process(EAHP) method, 12 indicators were seleted as the assessment factors to evaluate debris flow risk degree. The debris flow risk assessment model was established for Dianhuying village. Then the model was applied to assess the risk degree of local debris gullies. The result has good consistency with the actual situation. It is practical and effective to evaluate the debris flow risk in Dianhuying village of Yuanshi County, Hebei Province, by using EAHP method.

Keywords: debris flow; risk assessment; extenics analytic hierarchy process (EAHP); Dianhuying village of Yuanshi County of Hebei Province

泥石流危险性评价是对某个地区或某个隐患点的历史灾害活动情况、自然条件、地质环境条件、人类工程活动状况等因素进行综合分析, 从而确定其发生危及人类生命财产安全的泥石流灾害事件的概率大小。

泥石流危险性评价是泥石流风险管理和泥石流灾害管理的基础, 也是泥石流灾害防治工作中的重要环节, 其评价质量对于保障人民生命财产安全至关重要。国际上对泥石流危险性评价的研究相对较早^[1], 应用较广的方法主要有神经网络法、熵理论、灰色关联分析法以及数值模拟等方法, 但采用可拓层次分析法对泥石流危险性研究甚少^[2-6]。

本文拟采用可拓层次分析法对河北省元氏县佃户营泥石流危险性进行研究。

1 泥石流危险性评价模型的建立

1.1 确定经典域物元 R_{0i} ^[7-8]

设有 m 条泥石流沟, 影响泥石流危险性的因素有 n 个, 泥石流危险性用 n 维物元描述为:

$$R_{0i} = (N_{0i}, C_j, V_{0i}) = \begin{bmatrix} N_{0i} & C_1 & V_{0i1} \\ & C_2 & V_{0i2} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & V_{0in} \end{bmatrix}$$

收稿日期: 2014-01-07

修回日期: 2014-03-05

资助项目: 河北省科学技术研究与发展计划项目“河北省太行山区泥石流灾变的动力学特征及风险评估研究”(07276772)

作者简介: 王维早(1976—), 男(汉族), 山东省沂水县人, 博士研究生, 副教授, 研究方向为灾害地质学。E-mail: wangvz2005@126.com。

$$= \begin{bmatrix} N_{0i} & C_1 & \langle a_{0i1}, b_{0i1} \rangle \\ & C_2 & \langle a_{0i2}, b_{0i2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & \langle a_{0in}, b_{0in} \rangle \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中： N_{0i} ——泥石流危险性第 i 个等级； C_j ——泥石流危险性等级 N_{0i} 的评价指标； V_{0i} —— N_{0i} 关于 C_j 所规定的量值范围； a_{0i} ——经典物元特征量值的上限值； b_{0i} ——经典物元特征量值的下限值。

1.2 确定节域物元 R_p

由集合 P ，它的 n 个特征 C_i 以及 $v_{pi} = \langle a_{pi}, b_{pi} \rangle$ 组成的节域物元，可表示为：

$$R_p = (P, C_j, V_{pj}) = \begin{bmatrix} P & C_1 & V_{p1} \\ & C_2 & V_{p2} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & V_{pn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P & C_1 & \langle a_{p1}, b_{p1} \rangle \\ & C_2 & \langle a_{p2}, b_{p2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & \langle a_{pn}, b_{pn} \rangle \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中： P ——泥石流危险性等级的全体； C_j ——泥石流危险性等级 N_{0i} 的评价指标； V_{pi} —— P 关于 C_j 所取的量值范围； a_{pi} ——节域物元特征量值的上限值； b_{pi} ——节域物元特征量值的下限值。

1.3 确定待评物元 R

$$R = \begin{bmatrix} P & C_1 & v_1 \\ & C_2 & v_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & v_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中： P ——泥石流危险性评价单元； C_j ——泥石流危险性等级 N_{0i} 的评价指标； v_j —— P 关于评价指标 C_j 的量值。

1.4 计算关联度及级别变量特征值

待评泥石流沟 P 关于泥石流危险性等级 i 的关联度按式(4)——(8)计算：

$$K_j(P) = \sum_{i=1}^n \lambda_i K_j(v_i) \quad (4)$$

$$K_j(v_i) = \begin{cases} \frac{\rho(v_i, V_{0ij})}{\rho(v_i, V_{pj}) - \rho(v_i, V_{0ij})} & (v_i \notin V_{0ij}) \\ \frac{-\rho(v_i, V_{0ij})}{V_{0ij}} & (v_i \in V_{0ij}) \end{cases} \quad (5)$$

$$\rho(v_j, V_{0ij}) = \left| v_j - \frac{a_{0ji} + b_{0ji}}{2} \right| - \frac{b_{0ji} - a_{0ji}}{2} \quad (6)$$

$$V_{0ij} = |b_{ij} - a_{ij}| \quad (7)$$

$$\rho(v_j, V_{pj}) = \left| v_j - \frac{a_{pj} + b_{pj}}{2} \right| - \frac{b_{pj} - a_{pj}}{2} \quad (8)$$

式中： λ_i ——各特征指标的权重值； V_{0ij} ——有界区间的模； $\rho(v_j, V_{pj})$ ——点到区间的距离。

级别变量特征值可按式(9)——(10)计算求得

$$j^* = \frac{\sum_{j=1}^m j \cdot \bar{K}_j(P)}{\sum_{j=1}^m \bar{K}_j(P)} \quad (9)$$

$$\bar{K}_j(P) = \frac{K_j(p) - \min K_j(P)}{\max K_j(p) - \min K_j(P)} \quad (10)$$

式中： j^* ——待评物元 P 的等级变量特征值。

1.5 构造判断矩阵

利用层次分析法确定评价因子的权值，把各因子按相互之间的内在支配关系，建立层次结构模型，采用 1—9 标度法(表 1)，通过两两比较，构造判断矩阵，进行层次排序，确定各因子的相对重要性。

表 1 判断矩阵中因子标度及含义

标度	说明
1	表示两个因素 C_i 和 C_j 相等，具有同样重要性， $C_i = C_j$
3	表示两个因素 C_i 和 C_j 相比， C_i 比 C_j 影响稍强
5	表示两个因素 C_i 和 C_j 相比， C_i 比 C_j 影响强
7	表示两个因素 C_i 和 C_j 相比， C_i 比 C_j 影响明显的强
9	表示两个因素 C_i 和 C_j 相比， C_i 比 C_j 影响绝对的强
2, 4, 6, 8	表示两个因素 C_i 和 C_j 相比，认为上述 5 级不足以描述清楚时，用此方法内插
倒数	C_i 和 C_j 的影响之比与上面结果相反，因素 j 与 i 比较的判断 $b_{ij} = 1/b_{ji}$

1.6 求特征向量和特征根

其步骤为：(1) 将矩阵每一列归一化；(2) 按行加总各归一化后的列；(3) 加总后的向量再归一化，所得的结果 W 即为所求特征向量；(4) 计算判断矩阵的最大特征根 λ_{max} 。

1.7 一致性检验

由判断矩阵计算被比较元素对于该准则的相对

权重，并进行判断矩阵的一致性检验；衡量判断矩阵的不一致程度的数量指标为一致性指标为 CI ，满足： $CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$

则判断矩阵的一致性准则为：随机一致性比率 $CR = CI / RI$ ，当 $CR < 0.1$ 时，认为判断矩阵具有满意的一致性，其中 RI 为平均随机一致性指标，详见表 2。

表2 判断矩阵的平均随机一致性指标

阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
RI	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46	1.49	1.52	1.54	1.56	1.58

2 应用实例

本文以河北省元氏县佃户营泥石流为例,来说明基于可拓层次分析法(EAHP)在泥石流危险性评价中的应用。

佃户营村位于河北省元氏县西部,主要由代家沟、犬门沟、凉泉沟组成。该沟在历史上多次发生泥石流,造成人员与财产的严重损失,其中最严重的一次发生在1996年8月,3条沟在1d之内都发生了泥石流,造成26人死亡,39人受伤,其中8人受重伤,毁坏房屋950间,冲毁耕地近70 km²,佃户营村办选矿厂全部被冲毁^[9-11]。佃户营地处侵蚀构造中低山区,主沟走向总体呈15°~35°NE,主沟沟头金牛寨海拔1 111.1 m,地形相对高差620 m左右,相对高差大,坡度较陡,两侧山坡坡角38°~40°。代家沟、犬门沟、凉泉沟3条泥石流沟沟长分别约为1.710,1.360和1.310 km,3条沟相对高差都在540 m左右。代家沟的形成区为“V”型谷,沟谷纵坡坡角平均为15°,两侧山坡坡角35°~40°,流通区为“U”型谷,两侧山坡坡角28°~35°,沟谷谷底泥石流切割最大深度为4 m,平均切割深为0.7 m;犬门沟和凉泉沟的形成区及流通区均为“V”型谷,犬门沟形成区沟谷纵坡坡角平均为17°,两侧山坡坡角32°~40°,沟谷谷底泥石流最大切割深度为4 m,平均切割深度为1.2 m;凉泉沟形成区沟谷纵坡坡角平均为16°,两侧山坡坡角30°~37°,沟谷谷底切割最大深度为4 m,平均切割深度为1.0 m。3条沟中均有梯田分布,泄洪能力较差。据调查,3条沟的主要物质为沟床中的松散堆积物、坡面上的松散堆积物、坍塌体、崩塌体等。犬门沟沟床松散物平均厚度为2.1 m,其总储量约为58 900 m³;代家沟沟床松散物平均厚度为4 m,总储量约为287 900 m³;凉泉沟沟床松散物平均厚度为2.0 m,总储量约为27 200 m³。佃户营地处中朝准地台的二级构造单元——山西断隆的东部边缘,其北端与燕山台褶带相斜接。该区位于邢台—安阳深断裂的两侧,构造较发育,北北东向小断裂也十分发育,岩体较破碎,地质环境相对脆弱。该区出露地层主要有太古界片麻岩、中元古界长城系甘陶河群南寺掌组变质长石英砂岩及大红峪组石英砂岩、第四系。佃户营属暖温带大陆性季风气候,多年平均降水量532.3 mm,全年降水量的80%主要集中在6—9月,往往集中于5~7 d完成全

年70%的降雨量,像1996年8月3—4日佃户营村连降大到暴雨,24 h降雨量达到589 mm,强降雨为泥石流的发生提供了水动力条件,易引发多种地质灾害。

2.1 评价指标的选取

选择评价指标时应符合以下原则:具有明确的物理意义和代表性,各指标相互独立,容易获取和量化。根据指标选择的原则综合考虑,选择以下因素作为泥石流危险性的评价指标:

(1) 一次泥石流(可能)最大冲出量(C_1):该值越大,遭到泥石流损害的可能性就越大,它是影响泥石流危险性最直接的指标之一,属于主要危险因子。

(2) 泥石流发生频率(C_2):该值越高,遭受到累积损害就可能越大,因此它是影响泥石流危险性最直接的指标之一,属于主要危险因子。

(3) 24 h最大降雨量(C_3):该值是激发泥石流的条件,也是泥石流流体的组成部分,反映了泥石流的潜在动能,对危险性判定有较大影响。

(4) 流域面积(C_4):该值反映流域的产沙和汇流状况,对危险性判定有较大影响。

(5) 主沟长度(C_5):该值决定着泥石流的流程和沿途接纳松散固体物质的多少,对泥石流的判定有较大影响。

(6) 流域最大相对高差(C_6):该值反映流域的势能和泥石流携带固体物质的能力,对危险性判定有较大影响。

(7) 河沟纵比降(C_7):该值是激发泥石流的条件,为泥石流的发生提供潜在动能,对危险性判定有较大影响。

(8) 流域切割密度(C_8):该值综合反映泥石流流域地质构造、岩性、岩石风化程度以及产沙和汇流状况,对危险性判定有较大影响。

(9) 主沟床弯曲系数(C_9):该值反映沟道泄流的难易状况,可影响沟道堵塞系数,从而间接影响泥石流流量和规模,对危险性判定有一定影响。

(10) 泥砂补给段长度比(C_{10}):该值综合反映泥砂补给的范围和补给量,比值越大,表明泥砂补给的条件越好,对危险性判定有一定影响。

(11) 山坡平均坡度(C_{11}):该值越大,越容易引发泥石流,对泥石流的发生有影响。

(12) 流域内人口密度(C_{12}):该值过大会导致或加剧泥石流的发生。

2.2 评价指标值的获取

选择上述12个因子作为泥石流危险性评价因

子,各评价因子值根据《元氏县佃户营泥石流调查报告》所提供的基础资料获取,各评价因子取值如表 3 所示。并把泥石流危险性评价因子划分一定的等级标准如表 4 所示。

表 3 泥石流危险性评价因子取值

沟名	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂
代家沟	28.8	76	589	4.6	1.71	0.543	26.8	16.3	1.47	0.62	38	275
犬门沟	5.9	43	589	3.5	1.36	0.538	30.6	18.3	1.26	0.47	34	275
凉泉沟	2.7	25	589	3.8	1.31	0.524	28.7	17.5	1.28	0.34	33	275

表 4 泥石流危险性评价指标等级

评价 指标	评价等级				评价 指标	评价等级			
	轻度 危险	中度 危险	高度 危险	极度 危险		轻度 危险	中度 危险	高度 危险	极度 危险
C ₁ /10 ⁴ m ³	≤1	1~10	10~100	≥100	C ₇ /‰	≤100	100~150	150~250	≥250
C ₂ /%	≤10	10~50	50~100	≥100	C ₈ (km/km ²)	≤5	5~15	15~20	≥20
C ₃ /mm	≤100	100~150	150~250	≥250	C ₉	≤1.10	1.1~1.35	1.35~1.45	≥1.45
C ₄ /km ²	≤5	5~15	15~35	≥35	C ₁₀	≤0.2	0.2~0.4	0.4~0.6	≥0.6
C ₅ /km	≤2	2~8	8~15	≥15	C ₁₁ (°)	≤10	10~20	20~45	≥45
C ₆ /km	≤0.2	0.2~0.8	0.8~1.5	≥1.5	C ₁₂ (人/km ²)	≤50	50~150	150~250	≥250

2.3 构造物元

将泥石流危险性评价等级即轻度危险、中度危险、高度危险、极度危险分别记为 N₀₁, N₀₂, N₀₃, N₀₄,

则根据泥石流危险性评价指标等级(表 4)可以构造出泥石流危险性评价各等级的经典物元为:

$$R_{01} = \begin{bmatrix} N_{01} & C_1 & \langle 0, 1 \rangle \\ & C_2 & \langle 0, 10 \rangle \\ & C_3 & \langle 0, 100 \rangle \\ & C_4 & \langle 0, 5 \rangle \\ & C_5 & \langle 0, 2 \rangle \\ & C_6 & \langle 0, 0.2 \rangle \\ & C_7 & \langle 0, 100 \rangle \\ & C_8 & \langle 0, 5 \rangle \\ & C_9 & \langle 0, 1.1 \rangle \\ & C_{10} & \langle 0, 0.2 \rangle \\ & C_{11} & \langle 0, 10 \rangle \\ & C_{12} & \langle 0, 50 \rangle \end{bmatrix}$$

$$R_{02} = \begin{bmatrix} N_{02} & C_1 & \langle 1, 10 \rangle \\ & C_2 & \langle 10, 50 \rangle \\ & C_3 & \langle 100, 150 \rangle \\ & C_4 & \langle 5, 15 \rangle \\ & C_5 & \langle 2, 8 \rangle \\ & C_6 & \langle 0.2, 0.8 \rangle \\ & C_7 & \langle 100, 150 \rangle \\ & C_8 & \langle 5, 15 \rangle \\ & C_9 & \langle 1.1, 1.35 \rangle \\ & C_{10} & \langle 0.2, 0.4 \rangle \\ & C_{11} & \langle 10, 20 \rangle \\ & C_{12} & \langle 50, 150 \rangle \end{bmatrix}$$

$$R_{03} = \begin{bmatrix} N_{03} & C_1 & \langle 10, 100 \rangle \\ & C_2 & \langle 50, 100 \rangle \\ & C_3 & \langle 150, 250 \rangle \\ & C_4 & \langle 15, 35 \rangle \\ & C_5 & \langle 8, 15 \rangle \\ & C_6 & \langle 0.8, 1.5 \rangle \\ & C_7 & \langle 150, 250 \rangle \\ & C_8 & \langle 15, 20, \rangle \\ & C_9 & \langle 1.35, 1.45 \rangle \\ & C_{10} & \langle 0.4, 0.6 \rangle \\ & C_{11} & \langle 20, 45 \rangle \\ & C_{12} & \langle 150, 250 \rangle \end{bmatrix}$$

$$R_{04} = \begin{bmatrix} N_{04} & C_1 & \langle 100, 500 \rangle \\ & C_2 & \langle 100, 2000 \rangle \\ & C_3 & \langle 250, 600 \rangle \\ & C_4 & \langle 35, 50 \rangle \\ & C_5 & \langle 15, 30 \rangle \\ & C_6 & \langle 1.5, 5 \rangle \\ & C_7 & \langle 250, 500 \rangle \\ & C_8 & \langle 20, 50 \rangle \\ & C_9 & \langle 1.45, 2.5 \rangle \\ & C_{10} & \langle 0.6, 2.0 \rangle \\ & C_{11} & \langle 45, 60 \rangle \\ & C_{12} & \langle 250, 500 \rangle \end{bmatrix}$$

$$R_p = \begin{bmatrix} P & C_1 & \langle 0, 500 \rangle \\ & C_2 & \langle 0, 2000 \rangle \\ & C_3 & \langle 0, 600 \rangle \\ & C_4 & \langle 0, 50 \rangle \\ & C_5 & \langle 0, 30 \rangle \\ C & C_6 & \langle 0, 5 \rangle \\ & C_7 & \langle 0, 500 \rangle \\ & C_8 & \langle 0, 50 \rangle \\ & C_9 & \langle 0, 2.5 \rangle \\ & C_{10} & \langle 0, 2.0 \rangle \\ & C_{11} & \langle 0, 60 \rangle \\ & C_{12} & \langle 0, 500 \rangle \end{bmatrix}$$

$$R = \begin{bmatrix} P & C_1 & v_1 \\ & C_2 & v_2 \\ & C_3 & v_3 \\ & C_4 & v_4 \\ & C_5 & v_5 \\ & C_6 & v_6 \\ & C_7 & v_7 \\ & C_8 & v_8 \\ & C_9 & v_9 \\ & C_{10} & v_{10} \\ & C_{11} & v_{11} \\ & C_{12} & v_{12} \end{bmatrix}$$

2.4 评价指标权重的确定

(1) 根据专家打分法, 构造判断矩阵(表 5)。

(2) 采用方根法求出上述判断矩阵的最大特征

根 $\lambda_{\max} = 13.386$, 对其对应的特征向量归一化, 得到评价指标的权重:

$$W = (0.226\ 288, 0.226\ 288, 0.122\ 471, 0.122\ 471, 0.049\ 752, 0.049\ 752, 0.049\ 752, 0.049\ 752, 0.033\ 439, 0.033\ 439, 0.018\ 298, 0.018\ 298)^T$$

(3) 根据一致性检验可得: $CR = CI/RI = 0.126/1.52 = 0.082\ 9 < 0.1$, 符合一致性。

2.5 计算待评物元的关联度

根据式(4)计算元氏县佃户营泥石流危险性评价等级的关联度。

再根据公式(9)和评价指标权重值, 计算元氏县佃户营泥石流危险性评价等级的综合关联度, 计算结果如表 6 所示。

表 5 层次分析法判断矩阵

项目	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂
C ₁	1	1	3	3	5	5	5	5	6	6	8	8
C ₂	1	1	3	3	5	5	5	5	6	6	8	8
C ₃	1/3	1/3	1	1	3	3	3	3	5	5	6	6
C ₄	1/3	1/3	1	1	3	3	3	3	5	5	6	6
C ₅	1/5	1/5	1/3	1/3	1	1	1	1	2	2	3	3
C ₆	1/5	1/5	1/3	1/3	1	1	1	1	2	2	3	3
C ₇	1/5	1/5	1/3	1/3	1	1	1	1	2	2	3	3
C ₈	1/5	1/5	1/3	1/3	1	1	1	1	2	2	3	3
C ₉	1/6	1/6	1/5	1/5	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1	3	3
C ₁₀	1/6	1/6	1/5	1/5	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1	3	3
C ₁₁	1/8	1/8	1/6	1/6	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1
C ₁₂	1/8	1/8	1/6	1/6	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1

表 6 佃户营泥石流危险性评价指标关联度数值及级别变量

危险等级	沟名	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇
I	代家沟	-0.111 00	-0.114 88	-0.120 00	0.009 80	0.007 21	-0.019 00	0.013 33
	犬门沟	-0.032 90	-0.082 06	-0.120 00	0.036 74	0.015 92	-0.019 09	0.015 22
	凉泉沟	-0.012 61	-0.046 50	-0.120 00	0.029 39	0.017 16	-0.018 59	0.014 28
II	代家沟	-0.089 00	-0.065 37	-0.120 00	-0.010 00	-0.007 20	0.021 31	-0.036 40
	犬门沟	0.103 09	0.039 60	-0.120 00	-0.030 12	-0.013 55	0.021 73	-0.035 89
	凉泉沟	0.042 74	0.084 86	-0.120 00	-0.025 34	-0.014 30	0.022 89	-0.036 16
III	代家沟	0.047 27	0.108 62	-0.119 00	-0.084 90	-0.039 00	-0.016 00	-0.040 86
	犬门沟	-0.028 20	-0.024 37	-0.119 00	-0.087 48	-0.039 56	-0.016 19	-0.040 63
	凉泉沟	-0.045 76	-0.068 16	-0.119 00	-0.086 81	-0.039 62	-0.016 77	-0.040 75
IV	代家沟	-0.161 10	-0.061 71	0.003 85	-0.106 37	-0.044 00	-0.031 74	-0.044 42
	犬门沟	-0.173 26	-0.112 16	0.003 85	-0.106 87	-0.044 21	-0.031 80	-0.044 34
	凉泉沟	-0.174 61	-0.127 61	0.003 85	-0.106 73	-0.044 23	-0.031 97	-0.044 38
危险等级	沟名	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	合计	j* 或危险等级
I	代家沟	-0.020 37	-0.000 68	-0.013 50	-0.010 25	-0.009 15	-0.388 49	2.533
	犬门沟	-0.022 35	-0.004 15	-0.006 45	-0.009 55	-0.009 15	-0.237 82	1.910
	凉泉沟	-0.021 59	-0.004 59	-0.003 69	-0.009 35	-0.009 15	-0.185 24	1.800
II	代家沟	-0.003 67	-0.000 12	-0.039 60	-0.008 23	-0.006 54	-0.364 82	III
	犬门沟	-0.008 38	0.012 04	-0.001 95	-0.007 12	-0.006 54	-0.047 09	II
	凉泉沟	-0.006 62	0.009 36	0.010 03	-0.006 80	-0.006 54	-0.045 88	II
III	代家沟	0.012 94	-0.000 64	-0.001 04	0.005 12	-0.001 83	-0.1293 22	
	犬门沟	0.016 92	-0.002 47	0.011 70	0.008 05	-0.001 83	-0.323 06	
	凉泉沟	0.024 88	-0.001 95	-0.001 69	0.008 78	-0.001 83	-0.388 68	
IV	代家沟	-0.009 20	0.000 64	0.000 48	-0.004 42	0.001 83	-0.456 17	
	犬门沟	-0.004 70	-0.004 81	-0.003 45	-0.006 10	0.001 83	-0.526 02	
	凉泉沟	-0.006 62	-0.004 37	-0.006 25	-0.006 46	0.001 83	-0.547 55	

注: I 为轻度危险; II 为中度危险; III 为高度危险; IV 为极度危险。下同。

2.6 评价结果分析

由表 6 可知,代家沟、犬门沟、凉泉沟 3 条沟的 和危险等级分别为 2.53(Ⅲ),1.91(Ⅱ)和 1.80(Ⅱ),采用可拓方法评价的结果和实际勘察的结果基本一致,说明可拓层次分析法在泥石流危险性评价中是切实可行的。

3 结论

运用可拓层次分析法(EAHP)对佃户营泥石流危险性指标进行定量化分析,根据当地实际情况,选取佃户营代家沟、犬门沟、凉泉沟泥石流沟的实测数据代入模型,进行泥石流危险性评价,评价结果与实际情况相吻合。研究表明,可拓层次分析法(EAHP)所建立的评价模型能较好地应用于泥石流危险性评价中,该评价方法实用且有效。

[参 考 文 献]

- [1] 孙绍骋. 灾害评估研究内容与方法探讨[J]. 地理科学进展, 2001, 20(2): 122-130.
- [2] 刘厚成, 谷秀芝. 基于可拓层次分析法的泥石流危险性评价研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2010, 21(3):

61-66.

- [3] 淡小龙, 徐卫亚, 梁桂兰. 可拓方法在泥石流危险性评价中的应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(12): 28-35.
- [4] Bai Liping, Wang Yeyao, Sun Jiali. Application of extension theory in risk zoning of debris flow in Beijing[J]. Global Geology, 2009, 12(1): 40-45.
- [5] 诸克军, 张新兰, 肖荔瑾. Fuzzy AHP 方法及应用[J]. 系统工程理论与实践, 1997, 17(12): 64-69.
- [6] 许若宁, 翟晓燕. 层次分析法中 Fuzzy 判断矩阵的建立及其排序[J]. 系统工程, 1988, 6(5): 52-61.
- [7] 蔡文, 杨春燕, 林伟初. 可拓工程方法[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [8] 高洁. 可拓聚类预测方法及其在邮电业务总量预测中的应用[J]. 系统工程, 2000, 18(3): 73-77.
- [9] 王维早, 杨涛, 许强. 河北省元氏县佃户营泥石流灾害形成机理及预报方法的研究[J]. 地球与环境, 2011, 39(1): 63-68.
- [10] 王欣宝, 王昕洲, 王艳. 河北元氏县佃户营泥石流危险性评价与防治[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2000, 11(3): 93-97.
- [11] 袁俊廷. 元氏县佃户营“96·8”泥石流灾害调查[J]. 河北水利水电技术, 1998(3): 160-161.

(上接第 180 页)

- [13] 张春华, 王宗明, 宋开山, 等. 基于马尔可夫过程的三江平原土地利用动态变化预测[J]. 遥感技术与应用, 2009, 24(2): 210-216.
- [14] 王剑, 徐美. 基于马尔柯夫模型的漾濞江流域土地利用变化预测[J]. 水土保持研究, 2011, 18(5): 91-95.
- [15] 全斌, 朱鹤健, 晏路明, 等. 厦门岛土地利用变化趋势预测[J]. 资源科学, 2004, 26(5): 98-104.
- [16] 陈鹏, 许燕红. 厦门市集美区土地利用变化的时空特征分析[J]. 水土保持研究, 2012, 19(3): 94-97.
- [17] 朱晓铃. 厦门市土地利用/覆被遥感动态监测[J]. 厦门理工学院学报, 2012, 20(1): 66-70.

- [18] 陈本清, 徐涵秋. 城市扩展及其驱动力遥感分析: 以厦门市为例[J]. 经济地理, 2005, 25(1): 79-83.
- [19] 黄静, 崔胜辉, 李方一, 等. 厦门市土地利用变化下的生态敏感性[J]. 生态学报, 2011, 31(24): 7441-7449.
- [20] 李二珠, 谭琨, 杜培军, 等. 基于多时相遥感数据的徐州市植被净初级生产力估算及相关性分析[J]. 遥感技术与应用, 2013, 28(4): 689-696.
- [21] 陈本清, 徐涵秋. 厦门市土地利用年际变化遥感分析[J]. 地球信息科学, 2004, 6(3): 99-104.
- [22] 陈芸芝, 陈崇成, 汪小钦, 等. 多源数据在森林资源动态变化监测中的应用[J]. 资源科学, 2004, 26(4): 146-152.