



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdqk.2017.05.016

强跃, 李莉, 李绍红, 等. 基于改进组合赋权物元可拓模型的泥石流危险性评价[J]. 南水北调与水利科技, 2017, 15(5): 104-109. QIANG Yue, LI Li, LI Shaohong, et al. Debris flow hazard assessment based on improved matter element extension model[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2017, 15(5): 104-109. (in Chinese)

基于改进组合赋权物元可拓模型的泥石流危险性评价

强跃^{1,2}, 李莉¹, 李绍红³, 何建¹

(1. 重庆三峡学院 土木工程学院, 重庆 404100; 2. 长江水利委员会 长江科学院, 武汉 430010;
3. 成都理工大学 环境与土木工程学院, 成都 610059)

摘要: 针对泥石流危险性评价中权重和危险度, 基于改进的组合赋权物元可拓评价模型, 提出确定权重的优化算法。首先, 根据文献分析泥石流危险度的分级标准, 建立危险度评价指标, 然后结合可拓物元评价理论, 针对可拓法各指标权重确定的问题, 将层次分析法计算得到的主观权重结合投影寻踪法所得到的客观权重通过距离函数进行耦合, 从而获取各指标最终的综合权重, 结合投影寻踪法优化蝙蝠算法进行求解, 形成泥石流评价的组合赋权物元可拓模型。最后, 借助 Mat lab 语言, 调用内嵌工具箱和相应数学函数, 编制程序得以实现。结合已有工程实例验证表明: 危险性评价与实际工程相符合, 评价结果相对合理, 具有一定的工程应用价值。

关键词: 泥石流; 危险性评价; 物元可拓模型; 组合赋权

中图分类号: P642 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2017)05-0104-06

Debris flow hazard assessment based on improved matter element extension model

QIANG Yue^{1,2}, LI Li¹, LI Shaohong³, HE Jian¹

(1. School of Civil Engineering, Chongqing Three Gorges University, Chongqing 404100, China;
2. Changjiang River Scientific Research Institute of Changjiang Water Resources Commission, Wuhan 430010, China;
3. College of Environment and Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: As weight is an important issue in hazard assessment of debris flow, an optimized algorithm to determine weight reasonably was proposed in this paper based on an improved combination weighting matter element extension model. Firstly, we suggested a classification standard for debris flow hazards based on literature, and established indices for hazard assessment. Then, based on the matter element extension evaluation theory, in order to determine the weight of each index of this method, we coupled the subjective weight calculated by analytical hierarchy process and the objective weight calculated by projection pursuit method using a distance function, and obtained the final comprehensive weight of each index. We used the bat algorithm optimized by projection pursuit method to solve the problem, and established a combination weighting matter element extension model for debris flow assessment. Finally, we composed a program to realize this algorithm in the Mat lab language using the built in toolbox and related mathematical functions. We compared the results from this algorithm with existing projects, and found that the assessment conclusion was reasonable, proving the method to be of certain application value.

Key words: debris flow; hazard assessment; matter element extension model; combination weighting

收稿日期: 2016-04-20 修回日期: 2016-08-08 网络出版时间: 2017-08-29

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20170829.1921.008.html>

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(51279219); 长江科学院开放研究基金资助项目(CKWV2016393/KY); 重庆市教委科学技术研究项目(KJ1601005); 重庆三峡学院校级重大培育项目(15ZP04); 重庆三峡学院三峡库区工程结构防灾减灾与安全科研创新团队

Funds: National Natural Science Foundation of China(51279219); Changjiang River Scientific Research Institute of Changjiang Water Resources Commission open research program(CKWV2016393/KY); Science and Technology Research Project of Chongqing Municipal Education Commission(KJ1601005); Major cultivation project of Chongqing Three Gorges University(15ZP04); Safety of Engineering Structure in Three Gorges Reservoir Area Innovation Team of Chongqing Three Gorges University

作者简介: 强跃(1981-), 男, 四川巴中人, 副教授, 博士, 主要从事岩土工程研究。E-mail: qiangyue320@163.com

泥石流是一种危害甚大的地质灾害,通常暴发在中高山沟谷侵蚀地区,一般具有爆发突然、运动快速、历时短暂等^[1]特点。由于泥石流形成机制复杂、影响因素众多,很难对具体发育过程进行量化和监测^[2]。从防灾减灾的角度出发,针对不同的危险区域,根据泥石流危险性评价结果采取相应的防治措施,对保障人民生命财产安全有着重要的意义。

近年来,随着一些现代数学方法和交叉学科的发展,泥石流危险性评价的研究也步入一个多学科交叉阶段。曹洪洋、金星等^[3,4]将改进灰色关联分析用于泥石流危险评价研究;宁娜等^[5]基于信息熵和模糊数学方法,建立了泥石流危险性评价的熵权模糊评判模型;曹水合等对大渡河色斯满沟泥石流形成条件及风险性进行了评价^[6];刘海、任光明等^[7,8]基于层次分析法,建立了泥石流危险性评价的层次识别模型;安玉华等^[2]将突变模型用于对泥石流危险性的划分;曹禄来^[9]等将模糊神经网络用于泥石流的危险性评价中;同时,根据不同区域泥石流应用地质调查、特征分析及不同尺度建立了危险性评价基础体系^[10,12]。上述探讨或研究,都取得了一定的成果,但也存在的一些不足。例如灰色关联和神经网络技术需要大量的先验样本,而且网络的泛化性能难以保证导致在某些情况下产生误判,模糊评判的主观影响因素较多,未知测度理论中的置信水平确定缺乏一定的标准,突变理论的指标排列顺序过

于主观。
可拓学^[13]借助形式化的工具研究非相容和对立的矛盾,从定性和定量两个方面去解决矛盾中的规律和方法,目前主要用于岩爆等级^[14]和隧道瓦斯突出的识别^[15]。然而,可拓评价的权重确定往往采用单一的方法,如层次分析法^[16]、熵权法^[17]、简单关联函数法^[18]等,导致不能有效的考虑主客观因素。基于现状,本文将层次分析法所计算而得的主观权重和由投影寻踪法^[19]所得的客观权重通过距离函数^[20]进行耦合,提出泥石流危险性评价的改进组合赋权可拓评价模型,并通过工程实例验证所提出方法的有效性。

1 泥石流危险性评价体系构建

涉及到评价问题时,首先需选择合适的评价指标,对泥石流危险性评价也是如此。待评区域的地形地貌特征、地质构造和地层岩性特征、自然气候区域人口分布等都可能对评价结果造成影响。为了对泥石流危险性进行评价,需要从影响特征方面提取出具体的危险因子。根据有关文献^[18,19,21],结合研究现状,建立表1所示泥石流危险度评价因子。确定待选定具体有关危险因子后,需要对具体指标的区间进行划分,具体分级标准见表2,将泥石流危险性分为4级,从 \tilde{N} 级到 $\hat{0}$ 级,等级越高表示该待评区域泥石流危险程度越高,应予以重点关注。

表1 泥石流危险性评价影响因子

Tab. 1 Impact factors of debris flow hazard assessment

评价因子	测区流域面积	主沟床长度	流域最大相对高差	切割密度	主沟床弯曲系数	泥沙补给段长度比	24 h 最大降水量	流域内人口密度	一次最大冲出量	发生频率
表示符号	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10

表2 泥石流危险度分级标准

Tab. 2 Debris flow hazard classification standard

分级	S1/km ²	S2/km	S3/km	S4/(km·km ²)	S5	S6	S7/mm	S8/(人·km ²)	S9/万m ³	S10(%)
\tilde{N}	[0.5, 10]	≤1	≤0.2	≤5	≤1.10	≤0.1	≤25	≤50	≤1.0	≤10
$\hat{0}$	(0.5, 10]	(1, 5]	(0.2, 0.5]	(5, 10]	(1.10, 1.25]	(0.1, 0.3]	(25, 50]	(50, 150]	(1, 10]	(10, 50]
$\hat{0}$	(10, 35]	(5, 10]	(0.5, 1.0]	(10, 20]	(1.25, 1.40]	(0.3, 0.6]	(50, 100]	(150, 250]	(10, 100]	(50, 100]
$\hat{0}$	> 35	> 10	> 1.0	> 20	> 1.40	> 0.6	> 100	> 250	> 100	> 100

2 可拓评价模型

2.1 确定经典域和节域

由可拓学易知经典域为:

$$R_{\alpha} = (N_i, C_i, V_i) = \begin{bmatrix} N_i & C_1 & V_{i1} \\ & C_2 & V_{i2} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & V_{in} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_i & C_1 & [a_{i1}, b_{i1}] \\ & C_2 & [a_{i2}, b_{i2}] \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & [a_{in}, b_{in}] \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: $R_{\alpha i}$ 为物元; N_i 为表示对评价对象所制定的分

级评价标准中的第 i 等级; C_i 为第 i 个评价指标 ($i = 1, 2, \dots, n$); V_{in} 为 C_i 规定的量值范围。泥石流危险性划分的经典域实质上见表1。

节域为:

$$R_p = (P, C_i, V_p) = \begin{bmatrix} P_i & C_1 & V_{p1} \\ & C_2 & V_{p2} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & V_{pn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_i & C_1 & [a_{p1}, b_{p1}] \\ & C_2 & [a_{p2}, b_{p2}] \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & [a_{pn}, b_{pn}] \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: P 为全体评价类别; V_{pi} 为 C_i 的取值范围。

同上, 待评物元见式(3):

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

式中: v_i 为待评系统的指标取值。

2.2 计算各评价指标对各个划分等级关联度

关联度为式(4):

$$K_j(v_i) = \begin{cases} \frac{\rho(v_i, V_{\bar{j}})}{|V_{\bar{j}}|} & v_i \in V_{\bar{j}} \\ \frac{\rho(v_i, V_{\bar{j}})}{\rho(v_i, V_{\bar{i}}) - \rho(v_i, V_{\bar{j}})} & v_i \notin V_{\bar{j}} \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{式中: } \rho(v_i, V_{\bar{j}}) = \left| v_i - \frac{a_{\bar{j}} + b_{\bar{j}}}{2} \right| - \frac{b_{\bar{j}} - a_{\bar{j}}}{2};$$

$$|V_{\bar{j}}| = |b_{\bar{j}} - a_{\bar{j}}|;$$

$$\rho(v_i, V_{pi}) = \left| v_i - \frac{a_{pi} + b_{pi}}{2} \right| - \frac{b_{pi} - a_{pi}}{2}; a_{ij}, b_{\bar{j}} \text{ 及}$$

a_{pi}, b_{pi} 为取值范围。

2.3 确定待评物元关于等级 j 的关联度并

判别所属等级

关联度所属等级为:

$$K_j(p) = \sum_{i=1}^n w_i K_j(v_i) \quad (5)$$

式中: w_i 为各个评价指标的权重, 本文通过组合赋权的方法获得。所属等级的判定规则如下:

若 $K_{j_0}(p) = \max K_j(p)$, 则待评系统的最终判定等级为 j_0 。

3 指标权值确定

由式(5)得, 应用可拓法对泥石流危险性进行评价时, 需要确定各个指标的权重。权值确定的方法可分为两类, 即主观和客观定权, 主观赋权方法考虑了专家主观意见, 但具有一定的随意性; 客观赋权方法没有考虑专家意见, 在某些情况下易导致误判。通过组合赋权, 将主观和客观赋权优势互补。

3.1 基于投影寻踪的客观定权

投影寻踪模型擅长运用统计技术处理高维数据, 利用某种数学组合将高维数据投影到一个相对低维子空间内, 搜寻出最优状态下投影指标函数对应的优化投影值, 使其能够在低维空间内对数据内进行挖掘, 投影寻踪模型的步骤如下^[12]。

(1) 对数据进行归一化处理。

首先对数据进行预处理, 通过归一化处理技术, 消除因量纲不同而造成的影响。对于越大越优型指标:

$$x'_{ij} = \frac{x_{\bar{j}} - x_{j, \min}}{x_{j, \max} - x_{j, \min}} \quad (6)$$

对于越小越优指标:

$$x'_{ij} = \frac{x_{j, \max} - x_{ij}}{x_{j, \max} - x_{j, \min}} \quad (7)$$

式中: x_{ij} 为第 i 个样本第 j 个指标值, $x_{j, \max}, x_{j, \min}$ 为指标最大值和最小值。

(2) 线性投影值的计算。

将原始数据多维空间投影到一维线性空间, 按式(8)计算:

$$z_i = [\sum_{j=1}^m a_j x_{ij} \quad (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m)] \quad (8)$$

式中: $\mathbf{a} = (a_1, a_2, \dots, a_m)$ 为一单位向量; n 表示样本的个数; m 表示评价指标的个数。

(3) 投影目标优化函数的建立。

$$Q(\mathbf{a}) = S(\mathbf{a})D(\mathbf{a}) \quad (9)$$

$$S(\mathbf{a}) = [\sum_{i=1}^n (z_i - z_i^*)^2 / n]^{1/2} \quad (10)$$

$$D(\mathbf{a}) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (R - r_{ij}) f(R - r_{ij}) \quad (11)$$

式中: $Q(\mathbf{a})$ 表示投影目标函数; $S(\mathbf{a})$ 表示类内距离; $D(\mathbf{a})$ 表示类内密度。 z_i^* 表示在投影方向上的投影特征值的平均值; R 表示局部密度的窗口半径, 建议取值为 $0.1 \times S(\mathbf{a})$; r_{ij} 为样本之间的距离; $f(R - r_{ij})$ 为单位阶跃函数, 满足:

$$f(R - r_{ij}) = \begin{cases} 1, & R - r_{ij} \\ 0, & R - r_{ij} \end{cases} \quad (12)$$

(4) 投影指标函数的优化。

由式(9)得, $Q(\mathbf{a})$ 的取值受投影单位向量 \mathbf{a} 影响, 不同的投影方向反映出数据的不同结构特征。通常认为, $Q(\mathbf{a})$ 取值最大时的投影向量 \mathbf{a} 为最佳方向向量。因此, 求解投影指标优化表述成:

$$\begin{aligned} \max Q(\mathbf{a}) &= S(\mathbf{a}) \cdot D(\mathbf{a}) \\ \text{s. t. } |\mathbf{a}| &= 1 \end{aligned} \quad (13)$$

式(13)归结为数学上的非线性约束优化问题, 传统的求解方法难以获得高效准确的求解结果。对于这类问题, 采用仿生算法往往能获得较为满意的求解。本文采用一种新型的非数值仿生算法——蝙蝠算法进行求解。蝙蝠算法的数学原理为^[20]:

在一个 d 维搜索空间里, 每一只蝙蝠由位置向量 x_i^t 、速度向量 v_i^t 、频率 f_i 、脉冲发生率 r_i^t 以及音量 A_i^t 定义, 并按以下式子对速度和位置进行更新:

$$f_i = f_{\min} + (f_{\max} - f_{\min})\beta \quad (14)$$

$$v_i^t = v_i^{t-1} + (x_i^{t-1} - x_{gbest})f \quad (15)$$

$$x_i^t = x_i^{t-1} + v_i^t \quad (16)$$

式中: $\beta \in [0, 1]$ 是一个随机变量; x_{gbest} 表示群体当前所有代中的全局最优解。

在蝙蝠算法中, 局部搜索过程采用随机游走的策略生成新解:

$$x_{new} = x_{old} + \xi A^t \quad (17)$$

式中: ξ 是一个随机数且 $\xi \in [1, 1]$ 。 A^t 表示所有蝙蝠在同一时间段的音量值。

为了进一步方便求解, 给定蝙蝠算法每次产生一组新解, 将式(13)转化为一个无约束优化问题, 数学表达式为:

$$x_1 = x^2, x = \sqrt{x_1 / \text{sum}(x_1)} \quad (18)$$

通过蝙蝠算法最终搜索得到式(9)的一组最优解 a , 即最佳投影单位向量, a 值越大, 则表示该指标越重要, 将 a 归一化后, 即可作为各个评价指标的权重。

3.2 组合定权

组合定权是将主观赋权法所得结果和客观赋权法所得结果按照一定规则进行耦合。

在本文中, 主观赋权法采用层次分析法^[5]。 设由层次分析法所得的主观权重为 w_1 , 由投影寻踪方法所得的权重为 w_2 , 最终确定的综合权重为 w , 且三者满足式(19)。

$$\begin{cases} w = \alpha w_1 + \beta w_2 \\ \alpha + \beta = 1 \end{cases} \quad (19)$$

式中: α, β 表示偏好系数。 组合赋权的关键点在于

偏好系数的确定。 为使不同权重和偏好系数之间差异程度的一致, 令 α, β 的取值满足式(20)^[17]。

$$\left. \begin{aligned} d &= \sqrt{\sum (w_1 - w_2)^2} \\ d^2 &= (\alpha - \beta)^2 \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

由式(19)、(20) 可得最终的组合赋权。 根据改进组合赋权物元可拓模型, 借助 Mat lab 语言, 调用函数库, 进行编程得以实现。

4 应用实例

从已有文献^[2, 19] 收集部分泥石流沟实例数据, 应用本文的方法进行评价, 并进行对比, 按照改进模型计算权重为 $[S1, S2 \dots S9, S10] = [0.04, 0.03, 0.06, 0.07, 0.11, 0.08, 0.10, 0.14, 0.19, 0.18]$ 。 泥石流沟实例数据见表 3, 所选泥石流沟海拔高度为 1 000~ 2 000 m, 处于云贵高原乌东德地区, 断裂、抬升等构造活动显著, 且两侧物源多样化, 崩塌与滑坡现象普遍。 流区松散堆积物较为丰富, 堆积区呈现明显分层现象, 堆积物、坡积物和洪积物交替出现, 流区植被覆盖率较低, 水土流失严重, 松散堆积体不稳定, 堆积扇规模较大, 以下切型为主^[2]。 采用本文改进评价模型, 可得这些泥石流沟的危险度, 表 4 给出了与已有文献方法对比的结果, 泥石流沟(A-

表 3 待评泥石流沟指标参数

Tab. 3 Index parameters of the debris flow ditch to be assessed

编号	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	s10
A	47.1	12	2.19	23.8	1.45	0.8	102	260	195.1	1500
B	53.1	18.35	2.92	21.2	1.28	0.62	97	210	105	450
C	10.61	4.61	1.66	12.8	1.12	0.4	100.4	290	7.8	20
D	14.1	8	1.94	17.8	1.1	0.35	100.4	310	10	30
E	4.2	2.1	1.19	12.3	1.11	0.42	100.4	318	1.8	30
F	18.05	11.8	1.66	22.8	1.39	0.72	100.4	0	82	1200
G	28.32	9.05	2.8	15.6	1.22	0.45	100.4	260	9	50
H	3.28	2.3	1.13	22	1.28	0.78	98	276	5	50
I	6.5	4.98	1.34	6.24	1.15	0.5	112.5	50	4	23
J	60.5	20.16	2.25	5.08	1.23	0.24	131.2	20	18.1	34.5
K	16.78	6.02	1.06	3.6	1.23	0.44	161.2	238	6.09	0
L	8.58	2.2	1.67	6.9	1.2	0.35	181.1	5	3.5	16.7
M	37.1	10.51	1.74	6.72	1.12	0.46	114.5	10	19.3	102.56
N	3.6	3.92	1.34	9.4	1.17	0.15	161.5	0	4.4	39.34
O	1.18	2.78	1.29	15.5	1.13	0.12	118.5	0	5.74	114.88
P	4.87	4.36	1.91	9	1.35	0.3	112.5	0	3.33	18.57
Q	2.18	2.54	1.03	13.7	1.18	0.5	151.5	0	5.36	91.15
R	1.23	2.11	1.04	19.3	1.09	0.51	115.4	0	6.45	152.29
S	8.62	5.16	1.53	6.34	1.26	0.44	118.2	10	14.1	333
T	5.41	4.21	1.48	44.3	1.12	0.05	111.1	30	20.68	472.74

注: 编号 A-H 选自文献[19]; 编号 F-T 选自文献[2], 其中 I- 猪拱地; J- 阴地沟; K- 尖山包; L- 锈水河; M- 水绿箐; N- 硝水沟; O- 跨山箐; P- 盐水河; Q- 龙塘沟; R- 陆房坪; S- 胡家沟; T- 老虎坪。

T) 与各个等级之间的关联度计算值见图 1。

表 4 泥石流危险性评估结果

Tab. 4 Debris flow hazard assessment results

编号	文献[19]	文献[20]	文献[7]	文献[2]	本文
A	0	0	0		0
B	0	0	0		0
C	0	0	0		0
D	0	0	0		0
E	0	0	0		0
F	0	0	0		0
G	0	0	0		0
H	0	0	0		0
I				0	0
J				0	0
K				0	0
L				0	0
M				0	0
N				0	0
O				0	0
P				0	0
Q				0	0
R				0	0
S				0	0
T				0	0

置信度水平), 避免了突变级数评价法中确定“互补型突变”和“非互补型突变”的随意性, 考虑了主观权重和客观因素, 是一种实用的方法。

5 结语

(1) 综合分析了影响泥石流危险性的关键因素, 建立了危险度评价因子指标; 利用可拓理论, 基于改进的赋权物元, 结合工程实例分析, 构建了改进的泥石流危险性评价可拓评价模型。

(2) 在泥石流危险性评价中, 确定投影寻踪方法中的单位向量是一个复杂的非线性优化问题, 基于蝙蝠算法, 利用 mat lab 语言, 编制程序模块, 对其进行了高效的求解, 其结果精度较高, 有利于精确确定组合赋权。

(3) 为了解决主观权重和客观赋权一致性问题, 利用距离函数进行耦合, 兼顾主、客观因素, 通过关联度计算和结果分析可知, 与已有研究结论一致, 与实际工程相符, 说明改进组合赋权物元可拓评价模型用于泥石流危险性评价是可行的, 能为类似工程评价提供参考, 具有一定工程实践意义。

参考文献(References):

[1] 孟凡奇, 李广杰, 李明, 等. 逐步判别分析法在筛选泥石流评价因子中的应用[J]. 岩土力学, 2010, 31(9): 2925-2929. (MENG Fanqi, LI Guangjie, LI Ming, et al. Application of stepwise discriminant analysis to screening evaluation factors of debris flow[J]. Rock & Soil Mechanics, 2010, 31(9): 2925-2929. (in Chinese)) DOI: 1000-7598(2010)09-2925-05

[2] 安玉华, 王清, 张晨, 等. 基于突变模型的泥石流危险度评价[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2012, 42(S1): 355-361. (AN Yuhua, WANG Qing, ZHANG Chen, et al. Risk degree evaluation of debris flows based on catastrophic theory[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2012, 42(S1): 355-361. (in Chinese)) DOI: 1671-5888(2012)Sup. F355-07

[3] 曹洪洋, 王禹, 满兵. 基于改进灰色关联分析的泥石流危险性评价[J]. 南水北调与水利科技, 2015, 13(1): 91-94. (CAO Hongyang, WANG Yu, MAN Bing. Risk evaluation of potential debris flow based on the improved grey correlation method. [J]. South North Water Transfers and Water Science & Technology, 2015, 13(1): 91-94. (in Chinese)) DOI: 13476/j.cnki.nsr dqk. 2015. 01. 021

[4] 金星, 刘高, 魏蒙恩, 等. 基于可拓灰色关联分析法的泥石流危险性评价[J]. 水资源与水工程学报, 2014, 25(4): 79-83. (JIN Xing, LIU Gao, WEI Meng en, et al. Assessment of debris flow hazard based on method of extension grey relational analysis [J]. Journal of Water resources & Water Engineering, 2014, 25(4): 79-83. (in Chinese)) DOI: 10.11705/j.issn.1672-643X.2014.04.017

[5] 宁娜, 舒和平, 刘东飞, 等. 基于熵权和模糊评判的单沟泥石流

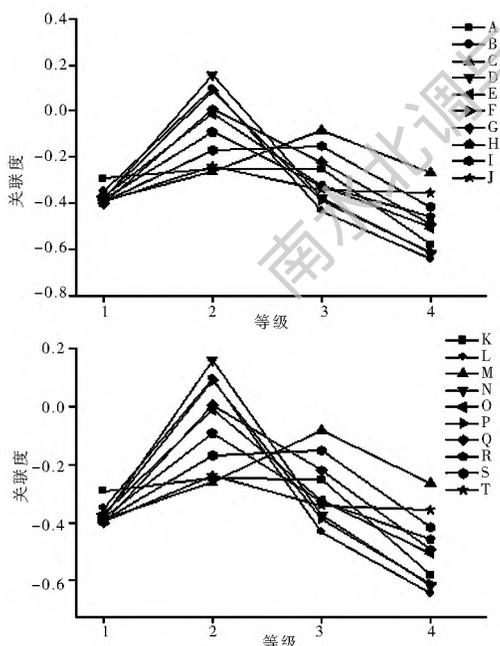


图 1 泥石流沟关联度计算值

Fig. 1 Calculated degree of association of the debris flow ditch

由表 4 可见, 本文评价方法和已有文献所得结论绝大部分一致, 说明了本文所提出的方法是可行的。与已有文献相比, 改进模型给出了具体权重确定过程, 无需在未确知测度理论中设置任何参数(如

- 危险性评价[J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 2014, 50(3): 369-375. (NING Na, SHU He ping, LIU Dong-fei, et al. Hazard assessment of debris flow based on the entropy weight method and fuzzy evaluation method[J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 2014, 50(3): 369-375. (in Chinese) DOI: 10.13885/j.issn.0455-2059.2014.03.012
- [6] 曹水合, 王运生, 王亚群, 等. 大渡河色斯满沟泥石流形成条件及危险性评价[J]. 南水北调与水利科技, 2014, 12(3): 152-155. (CAO Shui he, WANG Yun sheng, WANG Ya qun, et al. Formation mechanism and risk assessment of debris flow in Sesiman gully of Dadu River[J]. South North Water Transfers and Water Science & Technology, 2014, 12(3): 152-155. (in Chinese) DOI: 10.13476/j.cnki.nsbtdk.2014.03.033
- [7] 刘海, 陈华. 基于层次分析法的未确知测度理论泥石流危险性评价[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(8): 1032-1038. (LIU Hai, CHEN Hua. Hazard assessment of debris flow based on uncertainty measure theory and AHP[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2012, 21(8): 1032-1038. (in Chinese) DOI: 10048227(2012)08-1032-07
- [8] 任光明, 张涛. 基于层次分析法与可拓法的新疆某泥石流危险性评价[J]. 水电能源科学, 2013, 31(9): 144-147. (REN Guang ming, ZHANG Tao. Risk assessment of debris flow in Xinjiang based on AHP and extension method[J]. Water Resources and Power, 2013, 31(9): 144-147 (in Chinese) DOI: 1000-7709(2013)09-0144-04
- [9] 曹禄来, 徐林荣, 陈舒阳, 等. 基于模糊神经网络的泥石流危险性评价, 水文地质工程地质, 2014, 41(2): 143-147. (CAO Lu lai, XU Lin rong, CHEN Shu yang, et al. Assessment of debris flow hazard based on Fuzzy Neural Network[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2014, 41(2): 143-147. (in Chinese) DOI: 10.16030/j.cnki.issn.1000-3665.2014.02.016
- [10] 岳俊生, 王运生, 吴俊峰, 等. "超熵"评价泥石流沟发育现状及危险度——以大渡河某电站库区为例, 南水北调与水利科技, 2011, 9(6): 131-135. (YUE Jun sheng, WANG Yun sheng, WU Jun feng, et al. Evaluation of the debris flow gully development status and risk by "Super Entropy"—Example of a hydropower station in Dadu River[J]. South North Water Transfers and Water Science & Technology, 2011, 9(6): 131-135. (in Chinese) DOI: 10.3724/SP.J.1201.2011.06131
- [11] 赵学宏, 常鸣, 黄翔超, 等. 汶川震区清平乡文家沟泥石流灾害特征分析, 南水北调与水利科技, 2011, 9(6): 131-135. (ZHAO Xue hong, CHANG min, HUANG Xiang chao g, et al. Disaster feature analysis of Wenjia Gully debris flow in Qingping, Wenchuan earthquake area[J]. South North Water Transfers and Water Science & Technology, 2011, 9(6): 131-135 (in Chinese) DOI: 10.3724/SP.J.1201.2011.05107
- [12] 郭继发, 崔铁军, 崔伟宏. 适宜尺度区间上的多尺度区域泥石流危险性评价[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2012, 42(1): 150-160. (GUO Ji fa, CUI Tie jun, CUI Wei hong. Multi scale regional debris flow hazard assessment on fitting scale interval[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2012, 42(1): 150-160. (in Chinese) DOI: 10.13278/j.cnki.jjuese.2012.01.012
- [13] 蔡文, 杨春燕. 可拓学的基础理论与方法体系[J]. 科学通报, 2013, 58(13): 1190-1199. (CAI Wen, YANG Chun Yan. Basic theory and methodology on Extenics[J]. Chinese Science Bulletin, 2013, 58(13): 1190-1199. (in Chinese) DOI: 10.1360/972012-1472
- [14] 胡建华, 尚俊龙, 周科平, 等. 岩爆烈度预测的改进物元可拓模型与实例分析[J]. 中国有色金属学报, 2013, 23(2): 495-502. (HU Jian hua, SHANG Jun long, ZHOU Ke ping, et al. Improved matter element extension model and its application to prediction of rockburst intensity[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2013, 23(2): 495-502. (in Chinese) DOI: 1004-0609(2013)02-0495-08
- [15] 王维早, 李方红, 郑海君. 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[J]. 水土保持通报, 2014, 34(5): 181-186. (WANG Wei zao, LI Fang hong, ZHENG Hai jun. Applicability of EAHP on debris flow risk assessment in Dianhuaying Village Yuanshi County of Hebei Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2014, 34(5): 181-186. (in Chinese) DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2014.05.041
- [16] 沈世伟, 许君臣, 代树林, 等. 基于熵值赋权法的节理岩体隧道爆破质量可拓学评价[J]. 土木工程学报, 2013, 12(46): 118-126. (SHEN Shi wei, XU Jun chen, DAI Shi lin, et al. Extenics evaluation of joint rock tunnel blasting quality based on entropy weighting method[J]. China Civil Engineering Journal, 2013, 12(46): 118-126. (in Chinese) DOI: 10.15951/j.tmgxcb.2013.12.004
- [17] 周宣赤, 白春华, 王仲琦, 等. 粒子群投影寻踪算法在岩爆预测中的应用[J]. 上海交通大学学报, 2012, 46(12): 1956-1961. (ZHOU Xuan chi, BAI Chun hua, WANG Zhong qi, et al. Application of projection pursuit model and particle swarm optimization in rock burst prediction[J]. Shanghai Jiaotong University (Natural Sciences), 2012, 46(12): 1956-1961. (in Chinese) DOI: 1006-2467(2012)12-1956-06
- [18] 裴启涛, 李海波, 刘亚群, 等. 基于组合赋权的岩爆倾向性预测灰评估模型及应用[J]. 岩土力学, 2014, (S1): 49-56. (PEI Qi tao, LI Hai bo, LIU Ya qun, et al. A grey evaluation model for predicting rockburst proneness based on combination weight and its application[J]. Rock and Soil Mechanics, 2014, (S1): 49-56. (in Chinese) DOI: 1000-7598(2014)S1-049-08
- [19] 匡乐红, 徐林荣, 刘宝琛. 基于可拓方法的泥石流危险性评价[J]. 中国铁道科学, 2006, 27(5): 1-6. (KUANG Le hong, XU Lin rong, LIU Bao chen. Debris Flow Hazard Assessment Based on Extension Method[J]. China Railway Science, 2006, 27(5): 1-6. (in Chinese) DOI: 1001-4632(2006)05-0001-06
- [20] 李枝勇, 马良, 张惠珍. 函数优化的量子蝙蝠算法[J]. 系统管理学报, 2014, 23(5): 717-722. (LI Zhi yong, MA Liang, ZHANG Hui zhen. Quantum bat algorithm for function optimization[J]. Journal of Systems & Management, 2014, 23(5): 717-722. (in Chinese) DOI: 1005-2542(2014)05-0717-06
- [21] 杨志双, 韩玉龙, 张浩然. 基于可拓理论的西南典型山区泥石流的危险性分级[J]. 河南理工大学学报: 自然科学版, 2013, 32(1): 35-39. (YANG Zhi shuang, HAN Yu long, ZHANG Hao ran. Hazard classification of a typical southwest mountain debris flow based on extension theory[J]. Journal of Henan Polytechnic University: Natural Science, 2013, 32(1): 35-39. (in Chinese) DOI: 10.16186/j.cnki.1673-9787.2013.01.005