

基于分形维数权重的泥石流危险度评价

王 威^{1,2}, 田 杰², 马东辉¹, 刘晓然¹

(1. 北京工业大学 抗震减灾研究所, 北京 100124; 2. 北京工业大学 建筑工程学院, 北京 100124)

摘 要: 泥石流危险度评价是一个复杂的不确定系统问题, 为了准确评价泥石流所处的危险度状态, 进而为泥石流的防治提供科学依据, 提出了基于分形维数权重的泥石流危险度评价方法。该方法首先选取影响泥石流危险度评价的 10 个主要因素, 根据分类标准, 采用在每级标准中随机内插的方法, 得到 40 个标准样本, 用于构建泥石流危险度评价的分形—插值模型; 其次根据最大似然分类原则确定每个泥石流指标的评价分维数; 然后利用加权求和法计算样本的综合评价价值, 并根据样本综合评价价值与经验等级之间的关系建立分形插值评价模型; 最后, 通过实例分析表明: 该方法的评价结果是准确和可靠的, 与采用其他分类方法所得结论一致。此外, 该模型可以得出每个样本的具体得分值, 即使对属于同一级的样本也可以排出它们的优劣顺序, 因而具有较高的分类精度, 为泥石流危险度评价提供了一种较好的新方法。

关键词: 分形理论; 插值模型; 分维数; 泥石流危险度; 评价

中图分类号: P642.23

文献标识码: A

泥石流危险度评价受诸多因素的控制与影响, 且由于各因素具有多样性、可变性、不确定性等特点, 使泥石流危险度评价问题成为一个复杂的不确定系统问题。考虑到影响泥石流危险度等级的各单项指标的评价结果常常不相容, 直接利用泥石流危险度分类标准进行等级评价缺乏实用性, 学者们相继提出了模糊综合评价法^[1]、灰关联分析方法^[2]、可拓物元方法^[3]、神经网络方法^[4]、支持向量机^[5]、投影寻踪^[6]、距离判别方法^[7]、粗糙集方法^[8]等多种泥石流危险度评价方法在工程中的应用, 使得泥石流危险度评价更科学化、合理化。但上述方法大多存在缺陷, 例如, 模糊综合评价法对相邻两类的差异难以区分; 物元可拓方法在计算关联度时容易遗漏重要的约束条件, 导致计算结果与实际情况差异较大; 神经网络方法是基于大样本的学习算法, 对学习样本的要求过高, 收敛速度慢的缺点; 距离判别法受原始数据代表性、准确性的影响较大; 支持向量机在

应用中受知识瓶颈的限制, 参数的选择有很大盲目性, 很难保证最优解; 粗糙集理论虽在权重确定问题上收到了一定效果, 但应用时也存在一些困难。首先对样本数据进行离散化处理, 然后对样本数据进行相容性检验和重复性检验, 删除其中不相容的和重复的样本数据, 以免对数据处理带来不良影响。泥石流及各评价指标的变化是一个渐变的过程, 它们实际上都是连续变量。这导致实际存在的 2 个样本数据离散化后可能不相容, 而这正是粗糙集所不容许的。此外, 粗糙集所得权重的精度还与样本数据的多少有关^[9]。

泥石流危险度评价问题实质是对泥石流状态与各影响因素间的函数关系的逼近问题, 是一种非常复杂的非线性关系。因此, 采用有效的处理方法就显得非常重要。基于此, 本文利用分形理论在揭示复杂现象与规律上的突出优势^[10], 建立了基于分形维数权重的泥石流危险度评价模型, 试图从新的角

收稿日期 (Received date): 2011 - 06 - 15; **改回日期** (Accepted): 2011 - 08 - 17。

基金项目 (Foundation item): 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX2 - YW - Q03 - 5 - 2), 国家重点基础研究发展计划 (973 计划) 项目 (2011CB409902)。[This research is supported by the Knowledge Innovation Program of the Chinese Academy of Sciences (Grant No. KZCX2 - YWQ03 - 5 - 2) and the National Program on Key Basic Research Project (973 Program) (2011CB409902).]

作者简介 (Biography): 王威 (1981 -), 男, 博士, 助理研究员。主要从事灾害风险评价。[Wang Wei (1981 -), male, Dr, assistant research fellow, majoring in the risk evaluation of disaster.] E-mail: ieeeww@bjut.edu.cn

度探索泥石流危险度评价方法。

1 计算单指标分维数权重

分形理论是描述自然界中许多不规则事物的规律性科学,它使人们以新的概念来处理非线性领域中的问题,揭示复杂现象背后的规律、局部和整体之间的本质的内在关联性。分形特征的度量用分形维数(Fractal dimension)来表示,常用的分维类型主要有相似维数、Hausdorff 维数、盒子维数、信息维数和关联维数等^[11]。具体步骤如下:

设研究泥石流危险度评价影响因素中第 i 个指标 X_i^* 的数据向量为

$$X_i^* = (x_{i1}^*, x_{i2}^*, \dots, x_{in}^*), i=1, 2, \dots, m \quad (1)$$

式中 n 为待评价因素的样本个数; m 为待评价对象的指标个数。

1. 数据预处理

对于正向指标,可采用

$$X_i = (X_i^* - \min(X_i^*)) / (\max(X_i^*) - \min(X_i^*))$$

对于负向指标,采用

$$X_i = (\max(X_i^*) - X_i^*) / (\max(X_i^*) - \min(X_i^*))$$

将指标值变换到 $[0, 1]$ 区间,即得到数据规划后的指标数据向量为

$$X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}) \quad (2)$$

2. 建立 1~9 维相空间(需要时可更大些)

$$\begin{bmatrix} x_{i1} \\ x_{i2} \\ \dots \\ x_{in} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{i1} & x_{i2} \\ x_{i2} & x_{i3} \\ \dots & \dots \\ x_{in-1} & x_{in} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{i1} & x_{i2} & x_{i3} & \dots & x_{i8} & x_{i9} \\ x_{i2} & x_{i3} & x_{i4} & \dots & x_{i9} & x_{i10} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{in-8} & x_{in-7} & x_{in-6} & \dots & x_{in-1} & x_{in} \end{bmatrix}$$

一维相空间 二维相空间 九维相空间

3. 分别计算每维相空间两点之间的距离 $r_{pq}(s)$ 与平均距离 Δx_s , 计算公式为^[10-11]

$$r_{pq}(s) = \sqrt{\sum_{k=1}^s (x_{pk} - x_{qk})^2} \quad (3)$$

式中 $p, q = 1, 2, \dots, n-s+1$ (不同相空间的点数——列数); $s = 1, 2, \dots, \omega$ (相空间维数), 其中 ω 为最大相空间维数

$$\Delta x_s = \sum_{p=1}^{n-s+1} \sum_{q=1}^{n-s+1} \frac{r_{pq}(s)}{(n-s+1)^2} \quad (4)$$

4. 分别计算每维相空间两点之间距离小于 r_{sk} 的概率 $C_k(s)$

$$C_k(s) = \frac{1}{(n-x+1)^2} \sum_p \sum_q H(r_{sk} - r_{pq}(s)) \quad (5)$$

式中 r_{sk} 为指定的距离上限, H 为 Heaviside 函数,

其值分别由下式确定^[11]:

1) 距离上限

$$r_{sk} = \frac{k}{10} \Delta x_s \text{ 或 } r_{sk} = \frac{2^{k-1}}{b} \Delta x_s \quad (6)$$

式中 b 为指定常数; $k = 1, 2, \dots, 14$; 本例用前者。

2) Heaviside 函数:

$$H(r_{sk} - r_{pq}(s)) = \begin{cases} 1, & r_{sk} - r_{pq}(s) \geq 0 \\ 0, & r_{sk} - r_{pq}(s) < 0 \end{cases} \quad (7)$$

5. 如果存在分形, 则每维相空间有

$$C_k(s) \propto r_{sk}^D \quad (8)$$

根据每维相空间求出的一组 ($k = 14$) $C_k(s)$ 值, 在 $C_k(s)$ 和 r_{sk} 双对数图上若为直线, 则分形存在, 其斜率为分维数, 即

$$D_i = \lim_{r_{sk} \rightarrow 0} \frac{\ln C_k(s)}{\ln r_{sk}} \quad (9)$$

6. 若分维数随着相空间维数的升高趋向极限, 则此极限值为空间的分维数。在实际选择时, 若分维数没有严格地趋向某一极限, 则采取比较不同相空间的分维数, 选择其趋于稳定的最大者或相邻空间分维数之差满足一定精度者, 作为该泥石流危险度评价单个指标的分维数。根据上述原理可求出泥石流危险度评价指标的分维数向量 D_i 。

2 分形插值评价模型的构建

1. 对泥石流危险度评价指标进行数据预处理, 从而消除指标的量纲和统一指标的变化方向;

2. 在上述各评价标准等级范围内按均匀分布随机产生 l 个样本, 对于每个指标采用同一组随机数值, 若有 T 个评价标准等级, 则可形成 $l \times T$ 个评价样本, 每个评价样本对应的经验等级为 $y(j)$;

3. 根据公式(1)~(9)计算指标分维数 D_i , 利用公式(10)可求得第 j 个样本的评价值

$$z(j) = \sum_{i=1}^m D_i \times x_{ij} \quad (10)$$

4. 对于 T 个评价等级, 设第 t 个评价等级对应的评价值 $z(j) \in [S_t, S^t]$, 根据第 j 个样本的计算机的评价值 $z(j)$ 与经验等级 $y(j)$, 建立 $z(j)$ — $y(j)$ 的散点图, 根据散点图可建立相应的分形插值评价模型。

$$y(j)=\left\{\begin{array}{ll}1 & , \quad z(j) \leq S^1 \\ 1+(z(j)-S^1)/(S_2-S^1) & , \quad S^1 < z(j) < S_2 \\ 2 & , \quad S_2 \leq z(j) \leq S^2 \\ 2+(z(j)-S^2)/(S_3-S^2) & , \quad S^2 < z(j) < S_3 \\ \dots & \dots \quad \dots \\ T-1 & , \quad S_{i-1} \leq z(j) \leq S^{i-1} \\ T-1+(z(j)-S^{i-1})/(S_i-S^{i-1}) & , \quad S^{i-1} < z(j) < S_i \\ T & , \quad S_i \leq z(j)\end{array}\right.$$

(11)

3 泥石流危险度评价模型

3.1 评价指标的选取及分类标准的确定

根据有关研究^[1-9,13]的泥石流危险度评价指标体系,综合考虑各项影响因素,对泥石流危险度的评判选用泥石流规模 x_1 、泥石流发生频率 x_2 、流域面积 x_3 、主沟长度 x_4 、流域最大相对高差 x_5 、流域切割密度 x_6 、主沟床弯曲系数 x_7 、泥砂补给段长度比 x_8 、24 h 最大降雨量 x_9 、人口密度 x_{10} 等 10 个指标作为泥石流危险度的评价指标,将泥石流危险度划分为 4 个等级:轻度危险Ⅰ、中度危险Ⅱ、高度危险Ⅲ和极度危险Ⅳ。泥石流危险度等级与各评价指标的关系见表 1~表 2 所示。

3.2 分形—插值模型构建

1. 数据预处理。为消除指标的量纲和统一指标的变化方向,进行了数据预处理(见表 3)。在上述各评价标准等级范围内按均匀分布随机产生 10 个样本,对于每个指标采用同一组随机数值,共形成 40 个评价样本,将轻度危险Ⅰ、中度危险Ⅱ、高度危险Ⅲ和极度危险Ⅳ分别赋予经验等级 1、2、3、4 共 4 个等级,见表 3 所示。

2. 指标分维数的确定。根据公式(1)~(9)计算泥石流危险度评价指标(x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 、 x_5 、 x_6 、 x_7 、 x_8 、 x_9 、 x_{10})的分维数 $D=(0.515\ 6, 0.953\ 1, 0.723\ 1, 0.990\ 8, 0.741\ 2, 0.909\ 9, 0.909\ 4, 0.920\ 0, 0.933\ 3, 0.835\ 5)$,图 1 为利用表 3 数据建立 9 维各指标的相空间,拟合出的 x_1 的指标 $\ln C_k(s)-\ln r_{sk}$ 曲线,曲线的斜率就是所要求的关联维数。

3. 分类模型的建立。根据公式(10)可计算上述 40 个样本的综合评价价值分别如下:0.090 9、0.273 3、0.389 7、0.460 4、0.557 1、0.808 8、0.868 3、0.940 3、1.009 0、1.080 4、1.133 9、1.216 8、1.422 3、1.546 5、1.722 3、1.974 4、2.101 8、2.217 7、2.354 0、2.531 7、2.637 0、2.995 2、3.143 8、3.438 9、3.662 3、3.935 1、4.107 0、4.466 2、4.643 2、4.860 9、4.987 6、5.380 8、5.668 3、6.022 4、6.371 7、6.764 3、6.965 0、7.435 0、7.742 6、8.092 5。以经验等级值

表 1 泥石流为限度评价等级评判标准
Table 1 Indices of degree for judging expansive soils

等级	$x_1/10^4\text{ m}^3$	$x_2/\%$	x_3/km^2	x_4/km	x_5/km	$x_6/(\text{km}\cdot\text{km}^{-2})$	x_7	x_8	x_9/mm	$x_{10}/(\text{人}\cdot\text{km}^{-2})$
Ⅰ	0~1	0~10	0~0.5	0~1	0~0.2	0~5	0~1.1	0~0.1	0~25	0~50
Ⅱ	1~10	10~50	0.5~10	1~5	0.2~0.5	5~10	1.1~1.25	0.1~0.3	25~50	50~150
Ⅲ	10~100	50~100	10~35	5~10	0.5~1.0	10~20	1.25~1.4	0.3~0.6	50~100	150~250
Ⅳ	100~200	100~160	35~55	10~25	1.0~3.5	20~30	1.4~2.0	0.6~1.0	100~150	250~350

表 2 单因素指标评价标准(量纲一的量)
Table 2 Expansive soils classification with single parameters(dimensionless)

等级	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	等级	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
x_1	0.000~0.005	0.005~0.050	0.050~0.500	0.500~1.000	x_6	0.000~0.167	0.167~0.333	0.333~0.667	0.667~1.000
x_2	0.000~0.063	0.063~0.313	0.313~0.625	0.625~1.000	x_7	0.000~0.550	0.550~0.625	0.625~0.700	0.700~1.000
x_3	0.000~0.009	0.009~0.182	0.182~0.636	0.636~1.000	x_8	0.000~0.100	0.100~0.300	0.300~0.600	0.600~1.000
x_4	0.000~0.040	0.040~0.200	0.200~0.400	0.400~1.000	x_9	0.000~0.167	0.167~0.333	0.333~0.667	0.667~1.000
x_5	0.000~0.057	0.057~0.143	0.143~0.286	0.286~1.000	x_{10}	0.000~0.071	0.071~0.429	0.429~0.714	0.714~1.000

表 3 预处理后的标准样本
Table 3 Preprocessed standard samples

序号	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	等级
1	0.0013	0.0034	0.0011	0.0159	0.0103	0.0279	0.0205	0.0086	0.0068	0.0054	1
2	0.0014	0.0072	0.0015	0.0175	0.0150	0.0739	0.1403	0.0157	0.0181	0.0120	1
3	0.0014	0.0102	0.0015	0.0192	0.0194	0.0884	0.2108	0.0391	0.0194	0.0222	1
4	0.0018	0.0221	0.0034	0.0196	0.0255	0.1046	0.2192	0.0531	0.0349	0.0259	1
5	0.0024	0.0303	0.0035	0.0209	0.0293	0.1057	0.2873	0.0625	0.0415	0.0339	1
...
11	0.0053	0.0714	0.0118	0.0408	0.0580	0.1692	0.5539	0.1056	0.1671	0.0723	2
12	0.0159	0.0780	0.0134	0.0413	0.0581	0.1726	0.5585	0.1331	0.1682	0.1151	2
13	0.0175	0.0870	0.0349	0.1083	0.0584	0.2217	0.5717	0.1457	0.1958	0.1390	2
14	0.0181	0.1119	0.0378	0.1264	0.0623	0.2319	0.5754	0.1670	0.2142	0.1723	2
15	0.0189	0.2272	0.0441	0.1329	0.0641	0.2344	0.5782	0.1696	0.2498	0.1875	2
...
21	0.0508	0.3135	0.1830	0.2069	0.1436	0.3453	0.6270	0.3262	0.3482	0.4294	3
22	0.1355	0.3944	0.2083	0.2225	0.1888	0.3824	0.6366	0.3551	0.3491	0.5494	3
23	0.1412	0.4063	0.2392	0.2282	0.2114	0.3824	0.6396	0.3709	0.4154	0.5619	3
24	0.1473	0.4381	0.3183	0.2970	0.2161	0.4192	0.6437	0.3802	0.4387	0.6400	3
25	0.1870	0.4787	0.3803	0.2978	0.2239	0.4603	0.6461	0.3900	0.5030	0.6451	3
...
31	0.5038	0.6388	0.6443	0.4170	0.2862	0.6686	0.7081	0.6004	0.6696	0.7160	4
32	0.5195	0.7193	0.7046	0.4691	0.3927	0.6924	0.7105	0.6722	0.7013	0.7336	4
33	0.5592	0.7296	0.7247	0.4894	0.4815	0.7146	0.7280	0.6780	0.7865	0.7764	4
...
39	0.9339	0.9039	0.9687	0.8777	0.8223	0.9478	0.9394	0.9626	0.8935	0.9381	4
40	0.9730	0.9696	0.9905	0.9054	0.9089	0.9768	0.9476	0.9701	0.9990	0.9627	4

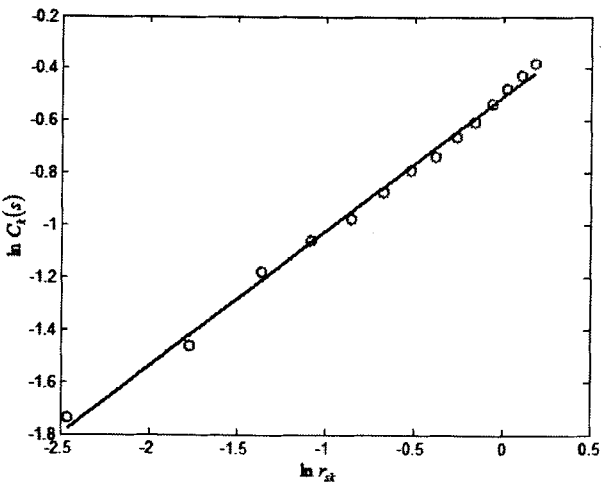


图 1 泥石流危险度评价指标 x_1 的 $\ln C_k(s) - \ln r_{sk}$ 曲线
Fig. 1 $\ln C_k(s) - \ln r_{sk}$ curves of the assessment of index x_1 of degree of debris flow

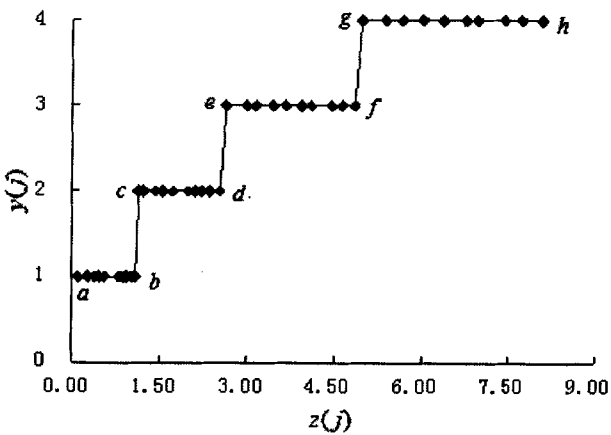


图 2 综合评价值与经验等级值的散点图
Fig. 2 Scatter dots of comprehensive evaluation value and its grade

为纵坐标,以综合评价值为横坐标,得到两者的散点

图,具体见图 2。从图 2 中可以看出, $z(j)$ 与 $y(j)$ 的图形为阶梯形、上升曲线,根据公式(11)用 $a、b、c、d、e、f、g、h$ 分段线性插值,得到泥石流危险度评价的分形一插值等级模型,见公式(12)。

表4 分形插值模型评价结果对比表

Table 4 Comparison of results obtained with different methods of fractal interpolation model

序号	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	$z(j)/y(j)$	本文方法	集对分析 ^[13]	可拓方法 ^[3]	模糊数学方法 ^[12]
1	195.10	1500	47.10	12.00	2.19	23.80	1.45	0.80	102.0	260	6.39/4	IV	IV(+)	IV(+)	IV(+)
2	105.00	450	53.10	18.35	2.92	21.20	1.28	0.62	97.0	210	6.17/4	IV	IV(+)	IV(+)	IV(+)
3	7.80	20	10.61	4.61	1.66	12.80	1.12	0.40	100.4	290	3.40/3	III	III(+)	II	II
4	10.00	30	14.10	8.00	1.94	17.80	1.10	0.35	100.4	310	3.84/3	III	III(+)	III(+)	III(+)
5	1.80	80	4.20	2.10	1.19	12.30	1.11	0.42	100.4	318	3.52/3	III	III(+)	II	II
6	82.00	1200	18.05	18.05	1.66	22.80	1.39	0.72	100.4	0	5.08/4	IV	IV(+)	IV(+)	IV(+)
7	9.00	50	28.32	28.32	2.80	15.60	1.22	0.45	100.4	260	4.96/3.81	IV	III	III	III
8	5.00	50	3.28	3.28	1.13	22.00	1.28	0.78	98.0	276	3.96/3	III	III(+)	II	II

注:“(+)”为判别一致的样本。

$$y(j) = \begin{cases} 1 & , z(j) \leq 1.080 \\ 1 + (z(j) - 1.080) / (1.245 - 1.080) & , 1.080 < z(j) < 1.134 \\ 2 & , 1.134 \leq z(j) \leq 2.532 \\ 2 + (z(j) - 2.532) / (2.637 - 2.532) & , 2.532 < z(j) < 2.637 \\ 3 & , 2.637 \leq z(j) \leq 4.861 \\ 3 + (z(j) - 4.861) / (4.988 - 4.861) & , 4.861 < z(j) < 4.988 \\ 4 & , 4.988 \leq z(j) \end{cases} \quad (12)$$

4. 分形插值模型的验证。为了验证本文模型的有效性和可行性,选用文献[3-4,12]数据作为实例(见表4)进行分析,并将评价结果与有关文献提供的泥石流危险度情况及评判结果进行对比。

从表4可以看出,8个泥石流危险度评价样本分形插值模型的评价结果与实际情况基本吻合。下面对样本5和8的评价等级与可拓及模糊数学方法结果存在一定差别,由样本3、5和8的评价指标可知,样本3、5和8的实测评价指标值中超过中度危险等级的都存在6个,处于中度等级为4个,与集对分析方法的评价结果一致,即高度危险,但基于可拓学和模糊数学方法的评价结果为中度危险,评价方法的风险性和可靠性则有待深入探讨;样本7判断略高与实际,这在工程上偏于安全,有利于提高安全意识和加强防护措施。可见,通过本文的方法,可以精确地刻画出样本的具体综合评价值,因而本文的方法具有较好的分类精度。此外,利用本文模型不但可以预测泥石流危险度等级,而且还可以按照事先设定的强弱准则,根据评价分值对同等级泥石流危险度的等级进行排序,具体评价结果为:

1)属于III级高度危险泥石流的有3、4、5和8,

且相对危险度排序为:8号>4号>5号>3号;

2)属于IV级极度危险泥石流的有1、2、6和7,且相对危险度排序为:1号>2号>6号>7号。

3 结束语

1. 针对泥石流危险度评价中的复杂非线性关系,利用分形理论较强的非线性数据处理能力,构建了基于分形维数权重的泥石流危险度评价模型,该模型可以把多维指标综合成一维指标,解决了单项评估指标结果不相容的问题。

2. 针对标准样本量少的问题,在每级标准之间随机内插构建标准样本集,对8组实测工程泥石流危险度评价进行了研究。结果表明:基于分形插值模型的识别结果与用其他方法的分类结果基本一致,评价结果客观、可信,对泥石流危险度评价具有很好的适用性。此外,利用该模型可以得到一个具体的数值,不但能预测泥石流危险度等级,而且还能对同等级危险度强弱进行排序,因而具有较高的分类精度,为泥石流危险度评价提供了一种新的方法。但是评价的结果好坏依赖于评价指标分级的合理与否,目前,泥石流危险度评价指标分级标准还没有一个统一的标准,仍有待于进一步的研究。

参考文献(References)

[1] Liu Zhangjun. Debris flow danger evaluation based on Fuzzy Probability Method[J]. J. of China Three Gorges Univ.: Natural Sciences, 2007,29(4):295-298[刘章军. 基于模糊概率方法的泥石流危险性评价[J]. 三峡大学学报:自然科学版, 2007,29(4):295-298]
[2] Zou Xiang, Cui Peng, Wei Fangqiang, et al. Application of Grey-

- correlation method to activity evaluation of debris flow[J]. *Journal of Mountain Science*, 2003, 24(4): 304 - 306 [邹翔, 崔鹏, 韦方强, 等. 灰色关联度法在泥石流活动性评价中的应用[J]. 山地学报, 2003, 21(2): 360 - 364]
- [3] Kuang Lehong, Xu Linrong, Liu Baochen. Debris flow hazard assessment based on extension method[J]. *China Railway Science*, 2006, 27(5): 1 - 6 [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]
- [4] Wang Mingwu. Regional classification of dangerous degree of debris flow based on Neural Network[J]. *Hydrogeology and Engineering-geology*, 2000, 27(2): 18 - 19 [汪明武. 基于神经网络的泥石流危险度区划[J]. 水文地质与工程地质, 2000, 27(2): 18 - 19]
- [5] Li Xiuzhen, Kong Jiming, Li Chaofeng. Application of Multi-classification Support Vector Machine in regionalization of debris flow hazards[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2010, 30(5): 128 - 133 [李秀珍, 孔纪名, 李朝凤. 多分类支持向量机在泥石流危险性区划中的应用[J]. 水土保持通报, 2010, 30(5): 128 - 133]
- [6] Wang Mingwu. Application of new Projection Pursuit Method to evaluation of dangerous degree of debris flow[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2002, 16(6): 79 - 81 [汪明武. 投影寻踪新方法在泥石流危险度评价中的应用[J]. 水土保持学报, 2002, 16(6): 79 - 81]
- [7] Meng Fanqi, Li Guangjie, Li Ming, *et al.* Application of stepwise discriminant analysis to screening evaluation factors of debris flow[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2010, 31(3): 2925 - 2929 [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(3): 2925 - 2929]
- [8] Liu Yongjian, Liu Yijian. Application of case-based reasoning method to assess debris flow hazard based on rRough set[J]. *Journal of Mountain Science*, 2008, 26(2): 223 - 229 [刘勇健, 刘义. 基于粗糙集的范例推理在泥石流危险性评价中的应用[J]. 山地学报, 2008, 26(2): 223 - 229]
- [9] Wang Mingwu, Li Li, Jin Juliang. An improved set pair analysis model for evaluation of dangerous degree of debris flow[J]. *Journal of Natural Disasters*, 2009, 18(6): 124 - 129 [汪明武, 李丽, 金菊良. 泥石流危险度的改进集对分析模型[J]. 自然灾害学报, 2009, 18(6): 124 - 129]
- [10] Wang Jinggui, Rao Anni. The application of fractal theory in metallogenic prognosis[J]. *Journal of East China Geological Institute*, 1994(2): 23 - 25 [王京贵, 饶安妮. 分形理论在成矿预测中的应用[J]. 华东地质学院学报, 1994(2): 23 - 25]
- [11] Liu Guangping, Du Ping, Wang Kun. Application of Fractal Theory to Evaluation of Lake Eutrophication[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2005, 27(6): 925 - 929 [刘光萍, 杜萍, 王琨. 分形理论在湖泊富营养化评价中的应用[J]. 江西农业大学学报, 2005, 27(6): 925 - 929]
- [12] Liu Xilin, Tang Chuan. Debris flow hazard degree evaluation[M]. Beijing: Science Press, 1995 [刘希林, 唐川. 泥石流危险度评价[M]. 北京: 科学出版社, 1995]

Evaluation of Dangerous Degree of Debris Flow Based on Fractal Dimension Weight

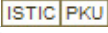
WANG Wei^{1,2}, TIAN Jie², MA Donghui¹, LIU Xiaoran¹

(1. Institute of Earthquake Resistance and Disaster Reduction, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China;

2. College of Civil Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: Evaluation of dangerous degree of debris flow is a complex system problem of uncertainty. For the sake of accurate evaluation of the dangerous degree of debris flow, so as to provide scientific basis for the prevention of debris flow, this paper brings forward the prediction method for dangerous degree of debris flow based on fractal dimension weight. Firstly, ten key factors are chosen to construct the model. In addition, because of few standard samples, forty standard samples are produced by the way of stochastic interpolation on basis of classification standard; Secondly, through calculating the fractal dimension of single index of debris flow, confirming the fractal dimension exponent evaluation of the index of single debris flow with the maximum likelihood classification principle; Thirdly, adopting weighted summation value this method calculates the level of the colligate estimation of multi-index of debris flow and establishes the fractal interpolation evaluation model according to the relationship between the value of comprehensive evaluation of the samples and the experience level; Finally, eight samples are classified based on the model. The classification results are consistent with that from other method. It is shown that the model here is feasible and effective in predicting classification of evaluation of dangerous degree of debris flow. Moreover, particular score of each sample could be computed by the model; so it has more precise classification and is a rather better new method.

Key words: fractal theory; interpolation model; fractal dimension; dangerous degree of debris flow; evaluation

作者: [王威](#), [田杰](#), [马东辉](#), [刘晓然](#), [WANG Wei](#), [TIAN Jie](#), [MA Donghui](#), [LIU Xiaoran](#)
作者单位: [王威, WANG Wei \(北京工业大学抗震减灾研究所, 北京100124; 北京工业大学建筑工程学院, 北京100124\)](#),
[田杰, TIAN Jie \(北京工业大学建筑工程学院, 北京, 100124\)](#), [马东辉, 刘晓然, MA Donghui, LIU Xiaoran \(北京工业大学抗震减灾研究所, 北京, 100124\)](#)
刊名: [山地学报](#) 
英文刊名: [Journal of Mountain Science](#)
年, 卷(期): 2011, 29(6)
被引用次数: 3次

参考文献(12条)

1. 刘章军 [基于模糊概率方法的泥石流危险性评价](#)[期刊论文]-[三峡大学学报\(自然科学版\)](#) 2007(04)
2. 邹翔;崔鹏;韦方强 [灰色关联度法在泥石流活动性评价中的应用](#)[期刊论文]-[山地学报](#) 2003(02)
3. 匡乐红;徐林荣;刘宝琛 [基于可拓方法的泥石流危险性评价](#)[期刊论文]-[中国铁道科学](#) 2006(05)
4. 汪明武 [基于神经网络的泥石流危险度区划](#)[期刊论文]-[水文地质工程地质](#) 2000(02)
5. 李秀珍;纪纪名;李朝凤 [多分类支持向量机在泥石流危险性区划中的应用](#)[期刊论文]-[水土保持通报](#) 2010(05)
6. 汪明武 [投影寻踪新方法在泥石流危险度评价中的应用](#)[期刊论文]-[水土保持学报](#) 2002(06)
7. 孟凡奇;李广杰;李明 [逐步判别分析法在筛选泥石流评价因子中的应用](#)[期刊论文]-[岩土力学](#) 2010(03)
8. 刘勇健;刘义 [基于粗糙集的范例推理在泥石流危险性评价中的应用](#)[期刊论文]-[山地学报](#) 2008(02)
9. 汪明武;李丽;金菊良 [泥石流危险度的改进集对分析模型](#)[期刊论文]-[自然灾害学报](#) 2009(06)
10. 王京贵;饶安妮 [分形理论在成矿预测中的应用](#) 1994(02)
11. 刘光萍;杜萍;王琨 [分形理论在湖泊富营养化评价中的应用](#)[期刊论文]-[江西农业大学学报](#) 2005(06)
12. 刘希林;唐川 [泥石流危险度评价](#) 1995

引证文献(3条)

1. 杜俊, 侯克鹏, 杨帆 [分形理论在排土场散体力学性质研究中的应用](#)[期刊论文]-[昆明理工大学学报\(自然科学版\)](#) 2013(3)
2. 王威, 苏经宇, 马东辉, 郭小东, 王志涛 [基于SVC参数优化的地震次生地质灾害危险性评价](#)[期刊论文]-[北京工业大学学报](#) 2012(10)
3. 王威, 苏经宇, 马东辉, 韩阳 [饱和砂土地震液化判别的分形插值模型](#)[期刊论文]-[世界地震工程](#) 2012(1)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_sdx201106015.aspx