



可拓理论在地质工程领域应用中的改进

许冲, 陈剑, 许领, 李维朝, 曹琰波

中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029

摘要 从可拓理论在工程地质领域应用出发, 首先分析了工程地质领域问题的特点——“等级对关联度的影响效果相同, 但等级的取值区间长度可以不同; 等级内关联值随取值呈一阶线性变化”; 其次根据一个应用可拓理论中物元模型进行工程地质建模的简单特例, 将物元模型展开, 绘制出关于所有等级的“关联度-等级(影响因素值)”关系曲线, 根据曲线与实际现象的不符之处分析模型存在的问题; 提出一个新的关联函数计算方程, 改进了原关联函数方程与实际的不符之处; 最后通过分析改进后的方程曲线, 论证改进后方程较符合工程地质领域问题的实际情况。总之, 本文分析了可拓理论中的物元模型在工程地质领域中应用存在的问题, 改进了物元模型中的关联度计算函数, 对可拓模型在工程地质领域中的广泛和正确应用起到了推动作用。

关键词 工程地质; 可拓学; 可拓物元评判模型; 关联函数值; 模型改进

中图分类号 O213.9

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2009)03-0035-05

Improvements of Extension Theory in Its Applications in Geological Engineering

XU Chong, CHEN Jian, XU Ling, LI Weichao, CAO Yanbo

Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

Abstract This paper focuses on the applications of extension theory in geological engineering. The characteristics of geological engineering are first discussed, and it is shown that the effect of different grades on the correlation degree is equivalent but interval lengths may be different; and correlation degree is linearly related with effect factor. With a special and simple geological engineering example, the extension matter-element theory is applied and then expanded, and related curves of all grades between correlation degrees and grades (effect factor values) are plotted. The problems are analyzed based on differences between curves and actual situations. A new correlation function is then proposed to improve the differences between the original function and actual situations. Finally, the improved function is shown in agreement with actual situations by analyzing its curves in geological engineering.

Keywords geological engineering; extension science; extension matter-element model; correlation function value; model improvements

0 引言

可拓方法^[1-3]始于研究不相容问题的转化规律及其解决方法, 是一种新的人工智能工具。基于可拓学理论的可拓物元模型可应用于事物的综合评价, 将描述或评价的对象、各特征和对象关于特征的量值组成一个整体——物元来研究, 用可拓集合的关联函数值——关联度大小描述各种特征参数与所研究对象的从属关系, 从而把属于或不属于的定性描述扩展为定量描述。

地质工程领域的很多问题如工程地质评价、地质灾害评价和地质灾害减灾预报等都受多个因素的影响, 是十分复杂的多因素综合评价过程, 可拓学为其提供了很好的解决方法, 可拓物元模型已被应用于地质工程领域的多个方面, 如工程地质评价^[4-5]、边坡工程^[6-8]、泥石流工程^[9-11]、围岩分类^[12-16]和稳定性^[17]、环境评价^[18]、减灾^[19]和地下水^[20]等。本文在充分考虑地质工程领域各研究问题特点的基础上, 改进了可拓物元模型中的关联度计算函数方程, 对可拓模型在地质工程领域中的广泛、正确应用起推动作用, 同时也提供了解决地质工程领域中类似问题的新方法。

1 经典可拓物元模型

1.1 确定经典域

经典域可表示为^[1-3]

$$R_0 = (N_0, C, V_0) = \begin{bmatrix} N_0 & C_1 & V_{01} \\ & C_2 & V_{02} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & V_{0n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_0 & C_1 & \langle a_{01}, b_{01} \rangle \\ & C_2 & \langle a_{02}, b_{02} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & \langle a_{0n}, b_{0n} \rangle \end{bmatrix} \quad (1)$$

收稿日期: 2008-12-01

作者简介: 许冲, 博士研究生, 研究方向为 GIS 在地质工程中的应用, 电子信箱: 401784656@qq.com



式中, $N_{0j}(j=1, 2, \dots, m)$ 为边坡稳定性的分级; $C_i(i=1, 2, \dots, n)$ 为第 i 个评价指标; V_{0ji} 为 N_{0j} 关于 C_i 所规定的量值范围, 即经典域 $\langle a_{0ji}, b_{0ji} \rangle$ 。

1.2 确定节域

节域可表示为

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

式中, P 为边坡稳定性评价等级的全体; $V_{pi}(i=1, 2, \dots, n)$ 为 P 关于 C_i 所取的量值范围, 即 P 的节域 $\langle a_{pi}, b_{pi} \rangle$ 。

1.3 确定待评物元

令待评事物用 P 表示, 把收集到的数据用物元 R_x 表示, 称为待评物元, 可表示为

$$R_x = (P_x, C_i, V_i) = \begin{bmatrix} P_x & C_1 & V_1 \\ & C_2 & V_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & V_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中 V_i 为 P_x 关于 C_i 的量值, 即待评事物的所有数据。

1.4 确定关联函数值

计算待评物元与各个等级 j 的单指标关联函数值, 各单项评价指标关于各类别的关联度为

$$K_j(V_i) = \begin{cases} \frac{-\rho(V_i, V_{ji})}{|V_{ji}|} & V_i \in V_{ji} \\ \frac{\rho(V_i, V_{ji})}{\rho(V_i, V_{pi}) - \rho(V_i, V_{ji})} & V_i \notin V_{ji} \end{cases} \quad (4)$$

其中, $\rho(V_i, V_{ji}) = \left| V_i - \frac{a_{ji} + b_{ji}}{2} \right| - \frac{b_{ji} - a_{ji}}{2}$, $|V_{ji}| = |b_{ji} - a_{ji}|$, $\rho(V_i, V_{pi}) = \left| V_i - \frac{a_{pi} + b_{pi}}{2} \right| - \frac{b_{pi} - a_{pi}}{2}$, V_{ji} 为 N_{0j} 关于影响因子 C_i 所确定的量值范围。

1.5 确定待评物元关于等级 j 的关联度

待评物元 P 关于等级 j 的关联度为

$$K_j(P) = \sum_{i=1}^n \lambda_i K_j(V_i) \quad (5)$$

式中, λ_i 为各评价因子 i 的权重系数, 且 $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$ 。若 $K_{j_0}(P) = \max_{j_0 \in \{1, 2, \dots, m\}} K_j(P)$, 则待评物元属于等级 j_0 。

2 地质工程领域问题的特点

可拓物元模型可较好地解决地质工程领域中的很多问题, 但同时受地质工程模型的限制。地质工程模型中的专业特点可概括为: 等级对关联度的影响效果相同, 但等级的取值区间长度可不同; 等级内关联值随影响因素取值呈一阶线性变化, 具体特点描述如下。

1) 地质工程模型中的量值可取端点值, 如岩层倾角的变化范围是 $[0^\circ, 90^\circ]$, 则节域 $\langle a_{pi}, b_{pi} \rangle$ 和经典域 $\langle a_{0ji}, b_{0ji} \rangle$ 可存在共

同端点, 待评事物关于此影响因素的取值也可取端点的值, 而可拓物元模型不能。

2) 同一等级中量值的取值范围是连续的, 关联度也是连续的, 关联度随量值的趋势分为两部分, 以影响因素范围的中点为中心, 两端对称, 均呈一次线性关系, 任意点的关联度可通过差值法求得。相邻等级的关联度差值是相等的, 但是量值可有较大差异, 如边坡坡角的变化范围是 $[0^\circ, 90^\circ]$, 则节域为 $\langle 0, 90 \rangle$, 将其分为 5 级, 经典域划分时并不是等分节域 $\langle 0, 90 \rangle$, 而是根据坡角对坡体的影响程度划分 (如按 $\langle 0, 15 \rangle$, $\langle 15, 30 \rangle$, $\langle 30, 45 \rangle$, $\langle 45, 60 \rangle$ 和 $\langle 60, 90 \rangle$ 划分)。

3) 不同要素的量化值范围差异较大, 变化趋势也不尽相同, 所以不能也不必将所有参数都量化在同一个范围内。

4) 当要素的实际取值属于待评等级时, 关联度取值以待评等级的中点为中心两端对称, 中点处的关联度最大。

5) 当要素的实际取值不属于待评等级时, 针对某个经典域, 关联度值按因子等级的变化呈阶梯变化, 每个因子等级范围内按因子取值线性变化。如某评价对象的标准物元模型分为 5 级, 则 3 级的关联度值在 1 级和 5 级中的关联度值是对称的, 在 2 级和 4 级的关联度值也是对称的。根据各级别间的效果差相同原理, 第 1 级和第 5 级相对于第 3 级的隶属度是第 2 级和第 4 级相对于第 3 级的隶属度的 2 倍。

考虑工程中的实际问题, 建立正确的地质工程分析模型, 进而根据可拓理论方法原理, 构建符合实际的隶属度公式和标准物元模型。

3 实例应用

3.1 考虑一个影响因素的可拓模型

为方便探讨可拓物元模型的计算原理, 取特定值进行模型的展开。考虑其中一个影响因素, 节域为 $\langle 0, 100 \rangle$, 5 等级均分: $0 \sim 20$, $20 \sim 40$, $40 \sim 60$, $60 \sim 80$ 和 $80 \sim 100$, 经典域分别为 $\langle 0, 20 \rangle$, $\langle 20, 40 \rangle$, $\langle 40, 60 \rangle$, $\langle 60, 80 \rangle$ 和 $\langle 80, 100 \rangle$ 。根据式 (4) 得出 5 个级别的关联度函数图形 (图 1)。

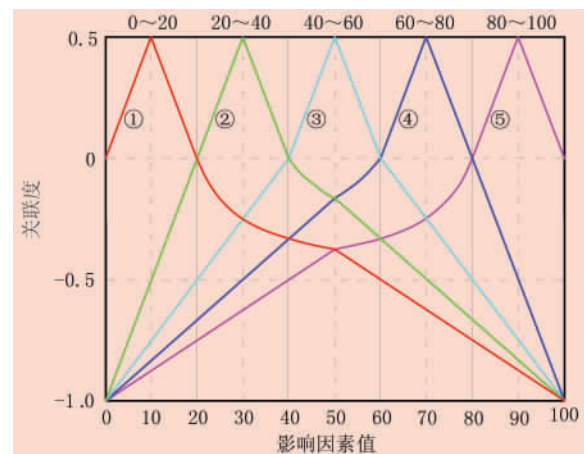


图 1 特例关联曲线

Fig. 1 Related curves of the special case

曲线分 5 种类型:类型 A,倒“V”字形;类型 B,直线,单调递增;类型 C,直线,单调递减;类型 D,下凹的曲线,单调递增;类型 E,下凹的曲线,单调递减。5 个等级的关联曲线分段类型如表 1 所示。

表 1 关联曲线分段类型表					
Table 1 Sectional types of related curves					
区间	曲线				
	①	②	③	④	⑤
0~20	A	B	B	B	B
20~40	E	A	B	B	B
40~50	E	E	A	B	B
50~60	C	C	A	D	D
60~80	C	C	C	A	D
80~100	C	C	C	C	A

由图 1 和表 1 可以得出如下结果。

1) 5 条曲线的特征具有相似性:都是连续函数;具有相同的极大值 0.5 和极小值-1;当 $V_i \in V_{ji}$ 时,5 条曲线形状和关联函数值相同,都是倒“V”字形;曲线的极大值取值点均为评价等级的中点,极大值两端的函数都是单调的,左边函数单调递增,右边函数单调递减。

2) 当 $V_i \in V_{ji}$ 时,关联函数值介于 0~0.5 之间,当 V_i 取量值范围中点时,关联值最大为 0.5,当 V_i 取量值范围两个端点时,关联度值都为 0,介于两个状态之间,属于量变到质变转化的临界点。这段曲线可分为对称的两部分,从第 1 个端点到中点隶属度值由 0 到 0.5 线性递增,从中点到第 2 个端点隶属度值从 0.5 到 0 线性递减。

3) 当 $V_i \notin V_{ji}$ 时,关联函数值介于-1~0 之间,关于最低等级的关联度曲线(曲线①)和关于最高等级的关联度曲线(曲线⑤)是连续的,关于其他等级的关联度曲线(曲线②、③和④)是不连续的。曲线①在此段范围可分为两部分,当 V_i 介于 20~50 时,关联曲线为一条下凹的递减曲线,当 V_i 介于 50~100 时关联曲线变为一条递减直线;曲线②在此段范围内分为 3 部分,当 V_i 介于 0~20 时,关联曲线为递增的直线,当 V_i 介于 40~50 时,关联曲线为一条下凹的递减曲线,当 V_i 介于 50~100 时关联曲线变为一条递减直线;曲线③在此段范围可分为两部分,当 V_i 介于 0~40 时,关联曲线为一条递增直线,当 V_i 介于 60~100 时关联曲线变为一条递减直线;曲线④和⑤分别关于曲线①和②呈镜面对称。

3.2 考虑多个影响因素的可拓模型

当 $V_i \in V_{ji}$ 时,有

$$K_f(V_i) = \frac{-\rho(V_i, V_{ji})}{|V_j|} = \frac{-\left|V_i - \frac{a_{ji}+b_{ji}}{2}\right| + \frac{b_{ji}-a_{ji}}{2}}{|b_{ji}-a_{ji}|} \quad (6)$$

$$= \begin{cases} \frac{V_{ji}-a_{ji}}{b_{ji}-a_{ji}} & a_{ji} < V_i < \frac{a_{ji}+b_{ji}}{2} \\ \frac{-V_{ji}+b_{ji}}{b_{ji}-a_{ji}} & \frac{a_{ji}+b_{ji}}{2} < V_i < a_{ji} \end{cases}$$

即函数由两段一次函数组成,和特例中的情况一致,对应曲线类型 A,因此,当 $V_i \in V_{ji}$ 时,3.1 节中的特例可以推广到一般条件。

当 $V_i \notin V_{ji}$ 时,有

$$K_f(V_i) = \frac{\rho(V_i, V_{ji})}{\rho(V_i, V_{pi}) - \rho(V_i, V_{ji})}$$

$$= \frac{\left|V_i - \frac{a_{ji}+b_{ji}}{2}\right| - \frac{b_{ji}-a_{ji}}{2}}{\left|V_i - \frac{a_{pi}+b_{pi}}{2}\right| - \frac{b_{pi}-a_{pi}}{2} - \left(\left|V_i - \frac{a_{ji}+b_{ji}}{2}\right| - \frac{b_{ji}-a_{ji}}{2}\right)}$$

$$= \begin{cases} \frac{V_i-a_{ji}}{a_{ji}-a_{pi}} & V_{ji} < \frac{a_{ji}+b_{ji}}{2} \text{ 且 } V_{ji} < \frac{a_{pi}+b_{pi}}{2} \\ \frac{V_i-b_{ji}}{a_{pi}+b_{ji}-2V_i} & V_{ji} > \frac{a_{ji}+b_{ji}}{2} \text{ 且 } V_{ji} < \frac{a_{pi}+b_{pi}}{2} \\ \frac{-V_i+a_{ji}}{2V_i-b_{pi}-a_{ji}} & V_{ji} < \frac{a_{ji}+b_{ji}}{2} \text{ 且 } V_{ji} > \frac{a_{pi}+b_{pi}}{2} \\ \frac{-V_i+b_{ji}}{b_{pi}-b_{ji}} & V_{ji} > \frac{a_{ji}+b_{ji}}{2} \text{ 且 } V_{ji} > \frac{a_{pi}+b_{pi}}{2} \end{cases} \quad (7)$$

当 $V_{ji} < \frac{a_{ji}+b_{ji}}{2}$ 且 $V_{ji} < \frac{a_{pi}+b_{pi}}{2}$ 时,函数对应曲线类型 B。

当 $V_{ji} > \frac{a_{ji}+b_{ji}}{2}$ 且 $V_{ji} < \frac{a_{pi}+b_{pi}}{2}$ 时,函数对应曲线类型 E。

当 $V_{ji} < \frac{a_{ji}+b_{ji}}{2}$ 且 $V_{ji} > \frac{a_{pi}+b_{pi}}{2}$ 时,函数对应曲线类型 D。

当 $V_{ji} > \frac{a_{ji}+b_{ji}}{2}$ 且 $V_{ji} > \frac{a_{pi}+b_{pi}}{2}$ 时,函数对应曲线类型 C。

因此,当 $V_i \notin V_{ji}$ 时,特例中曲线类型 B、C、D 和 E 均有一定的代表性,可以推广到一般情况中去。

通过上述 $V_i \in V_{ji}$ 和 $V_i \notin V_{ji}$ 的分析,可知 3.1 节中的隶属度曲线具有代表性,和模型的取值没有关系,此曲线可推广到任意级别和任意取值的情况中去,曲线的特点同样是一般条件下关联曲线的特点。

3.3 模型存在的问题

上述模型与工程的实际情况并不完全一致,主要原因如下。

1) 模型中,同一级别内的影响要素,对任一级别的关联度变化值不同,这与地质工程中的实际情况是不相符合的。关联度取值和级别应该是线性的关系,并且“关联度-级别”曲线的倾角相同,应该是一条直线,出现下凹的曲线是不合适的。

2) 模型中影响要素的最大量值和最小量值,对多个级别的关联度是相同的,这与实际也是不相符合的,例如曲线②、③、④在极小值和极大值处汇聚一点,关联度为-1,这个显然是不合适的。因为当实际坡角取 90°的时候,关于<0, 15>, <15, 30>, <30, 45>和<45, 60>这 4 个经典域的关联度是明显不同的,而根据经典的物元模型,它们的关联度都应该为-1。

3) 可拓物元模型不允许取节域的端点值,而地质工程领域中影响因素的取值可以取节域的端点,此情况下关联度的值为 0。

4 模型改进

4.1 特例改进

首先考虑 3.1 节中的特例。当 $V_i \in V_{ji}$ 时,经典可拓理论中的关联度计算是符合实际的;当 $V_i \notin V_{ji}$ 时,根据 $V_i \in V_{ji}$ 的关联度函数关系式构造 $V_i \notin V_{ji}$ 时的关系式。根据等级间隶属度的差值相同,当 $V_i \in V_{ji}$ 时,关联度值从 0 到 0.5,再从 0.5 到 0,可知当 $V_i \in V_{ji}$ 影响因素从等级的最大值到最小值引起的变化应该为 1。

改进后的关联曲线见图 2。当 $V_i \notin V_{ji}$ 时,假定要计算 j 等级关联度,而因素取值落在 k 等级之内,则关联度计算公式为

$$K_j(V_i) = \begin{cases} -\frac{V_i - a_{ki}}{b_{ki} - a_{ki}} + j - k + 1 & j < k \\ -\frac{-V_i + b_{ki}}{b_{ki} - a_{ki}} - j + k + 1 & j > k \end{cases} \quad (8)$$

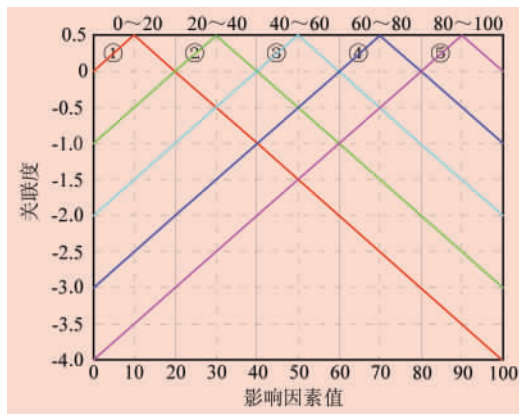


图 2 改进后特例关联曲线

Fig. 2 Improved related curves of the special case

4.2 改进后的一般模型

分别考虑 $V_i \in V_{ji}$ 和 $V_i \notin V_{ji}$ 时的情况,一般模型改进后的关联度为

$$K_j(V_i) = \begin{cases} \frac{V_i - a_{ji}}{b_{ji} - a_{ji}} & V_i \in V_{ji}, a_{ji} < V_i < \frac{a_{ji} + b_{ji}}{2} \\ \frac{-V_i + b_{ji}}{b_{ji} - a_{ji}} & V_i \in V_{ji}, \frac{a_{ji} + b_{ji}}{2} < V_i < a_{ji} \\ -\frac{V_i - a_{ki}}{b_{ki} - a_{ki}} + j - k + 1 & V_i \notin V_{ji}, j < k \\ -\frac{-V_i + b_{ki}}{b_{ki} - a_{ki}} - j + k + 1 & V_i \notin V_{ji}, j > k \end{cases} \quad (9)$$

式中, V_{ji} 为 N_j 关于影响因子 C_i 所确定的量值范围, V_i 表示影响因素的取值, j 表示要计算关联度的等级, k 表示 V_i 所在的等级。

当跟等级的因素取值不等的时候,如物元模型分 5 个等级,各个等级的取值分别为 0~35, 35~50, 50~75, 75~90, 90~100, 关联曲线中每个等级的关联度在等级内部线性变化,变化的幅度为 1,图 3 为一般条件下的关联度曲线。

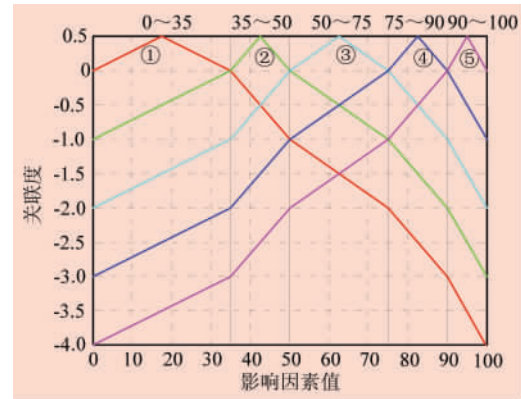


图 3 改进后一般关联曲线

Fig. 3 Improved related curves of the general case

5 结论

1) 分析了地质工程领域研究问题的特征——“等级对关联度的影响效果相同,但等级的取值区间长度可以不同;等级内关联值随因素的取值呈一阶线性变化”。

2) 将可拓物元模型展开,剖析了原可拓模型中隶属度计算的详细过程和结果,提出了在地质工程领域中应用经典可拓模型产生的一些与实际情况不一致的问题。

3) 建立了一个新的函数方程,新方程充分考虑了地质工程领域问题的特征,关联度计算结果更贴近实际,关联度随着等级的变化呈线性变化,在等级内部也随着因素的量值线性变化,符合地质工程领域现象随影响因素变化的实际过程。

4) 对可拓物元模型在地质工程领域中的应用进行了一个有益的改进,对可拓模型在地质工程领域中的广泛和正确应用起到了推动作用。

参考文献 (References)

- [1] 蔡文, 杨春燕, 林伟初. 可拓工程方法[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
Cai Wen, Yang Chunyan, Lin Weichu. Extension engineering method[M]. Beijing: Science Press, 2000.
- [2] 蔡文, 杨春燕, 王光华. 一门新的交叉学科——可拓学[J]. 中国科学基金, 2004, 18(5): 268-272.
Cai Wen, Yang Chunyan, Wang Guanghua. Bulletin of National Science Foundation of China, 2004, 18(5): 268-272.
- [3] 蔡文. 可拓论及其应用[J]. 科学通报, 1999, 44(7): 673-682.
Cai Wen. Chinese Science Bulletin, 1999, 44(7): 673-682.
- [4] 蒋小军, 严学新. 可拓学理论在工程地质评价中的应用 [J]. 上海地质, 2007, 28(1): 45-49.
Jiang Xiaojun, Yan Xuexin. Shanghai Geology, 2007, 28(1): 45-49.
- [5] 蒋小军. 可拓学理论在地基土评价中的应用 [D]. 上海: 同济大学土木工程学院, 2007.
Jiang Xiaojun. Application of the theory of extenics of evaluation of subsoil [D]. Shanghai: College of Civil Engineering, Tongji University, 2007.
- [6] 谢全敏, 夏元友. 岩体边坡稳定性的可拓聚类预测方法研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(3): 438-441.

- Xie Quanmin, Xia Yuanyou. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2003, 22(3): 438-441.
- [7] 曾群华, 郭跃, 赵纯勇. 物元理论在危岩滑坡灾害社会经济易损性评价中的应用[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2004, 15(3): 111-116.
- Zeng Qunhua, Guo Yue, Zhao Chunyong. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2004, 15(3): 111-116.
- [8] 王亮. 岩体边坡稳定性的可拓学分析[J]. 河北冶金, 1999, 21(1): 21-23.
- Wang Liang. *Hebei Metallurgy*, 1999, 21(1): 21-23.
- [9] 汤家法, 姚令侃, 王沁. 泥石流防治工程规划的可拓决策技术[J]. 山地学报, 2001, 19(6): 541-545.
- Tang Jiafa, Yao Lingkan, Wang Qin. *Journal of Mountain Science*, 2001, 19(6): 541-545.
- [10] 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 Lehong, Xu Linrong, Liu Baoshen. *China Railway Science*, 2006, 27(5): 1-6.
- [11] 姚令侃. 可拓学在泥石流预报减灾决策上的应用 [J]. 系统工程理论与实践, 1998, 18(1): 139-144.
- Yao Lingkan. *Systems Engineering-theory and Practice*, 1998, 18(1): 139-144.
- [12] 黄祥志, 余成学. 基于可拓理论的围岩稳定分类方法的研究[J]. 岩土力学, 2006, 27(10): 1800-1805.
- Huang Xiangzhi, She Chengxue. *Rock and Soil Mechanics*, 2006, 27(10): 1800-1805.
- [13] 连建发, 慎乃齐, 张杰坤. 基于可拓方法的地下工程围岩评价研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(9): 1450-1453.
- Lian Jianfa, Shen Naiqi, Zhang Jiekun. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2004, 23(9): 1450-1453.
- [14] 贾超, 肖树芳, 刘宁. 可拓学理论在洞室岩体质量评价中的应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(5): 751-756.
- Jia Chao, Xiao Shufang, Liu Ning. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2003, 22(5): 751-756.
- [15] 胡宝清. 可拓评价方法在围岩稳定性分类中的应用 [J]. 水利学报, 2000, 45(2): 66-70.
- Hu Baoqing. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2000, 45(2): 66-70.
- [16] 左昌群, 陈建平. 基于可拓学理论的围岩分级方法在变质软岩隧道中的应用[J]. 地质科技情报, 2007, 26(3): 75-78.
- Zuo Changqun, Chen Jianping. *Geological Science and Technology Information*, 2007, 26(3): 75-78.
- [17] 邓丽丽. 可拓方法在采场稳定性评价中的应用[J]. 中国矿业, 1998, 7(4): 35-38.
- Deng Lili. *China Mining Magazine*, 1998, 7(4): 35-38.
- [18] 王锦国, 周志芳, 袁永生. 可拓评价方法在环境质量综合评价中的应用[J]. 河海大学学报, 2002, 30(1): 15-18.
- Wang Jinguo, Zhou Zhifang, Yuan Yongsheng. *Journal of Hohai University*, 2002, 30(1): 15-18.
- [19] 樊运晓, 罗云. 物元理论在区域减灾中的应用 [J]. 自然灾害学报, 2000, 9(4): 121-125.
- Fan Yunxiao, Luo Yun. *Journal of natural disasters*, 2000, 9(4): 121-125.
- [20] 刘卫林, 董增川, 陈南祥, 等. 基于多指标多级可拓评价的地下水环境脆弱性分析[J]. 地质灾害与环境保护, 2007, 18(1): 83-87.
- Liu Weilin, Dong Zengchuan, Chen Nanxiang, et al. *Journal of Geological Hazards and Environment Preservation*, 2007, 18(1): 83-87.

(责任编辑 代丽)

·学术动态·



“激光先进制造
技术应用学术
研讨会”征文



随着全世界范围内工业激光技术的迅猛发展, 激光先进制造技术在汽车、电子、航空航天、冶金、石油化工、能源、生物工程等领域得到越来越广泛的应用。为了加强激光先进制造领域的学术交流, 促进激光先进制造技术在国内的应用和产业发展, 中国机械工程学会和中国光学学会定于中国国际机床展览会(CIMT 2009年4月6-11日)期间在北京联合举办“激光先进制造技术应用学术研讨会”。届时将有国内外资深专家学者和著名企业代表演讲激光先进制造技术的新成果和新应用。热忱欢迎高等院校、研究机构、公司企业的研发人员、工程师、研究生提交论文。

论文提交截止时间: 2009年3月31日。

联系方式: 北京市朝阳区平乐园100号北京工业大学激光工程研究院(100124) 肖荣诗, 陈继民, 宋海英; 电话: 010-67396551, 67392526, 67391875, 13910934518, 13911468410, 13581649963; 传真: 010-67392514; 电子信箱: ile@bjut.edu.cn。

·学术动态·



“第7届国际岩爆与微震
活动性学术研讨会”征文

每4年一届的“第七届国际岩爆与微震活动性学术研讨会”将于2009年8月21-23日在大连举行, 会议由中国岩石力学与工程学会等单位组织。中国岩石力学与工程学会副理事长、国际岩石力学学会国家小组主席唐春安教授出任会议主席。

本届会议将涵盖与岩爆相关的各个岩石力学研究领域, 重点是控制岩爆灾害与深部岩土工程的可持续发展方面。围绕大会主题, 还安排有讨论会、短期课程和展览等一系列学术活动。会议特定主题为: 岩爆灾害、岩爆灾害的防治、案例研究。

大会现正广泛征集论文, 被录用的论文将由美国出版社出版, Ei、ISTP收录; 非英文文章可选择在《岩石力学与工程学报》增刊上发表。

正式论文截止日期: 2009年4月8日。

联系方式: 大会网站: www.mechsoft.cn/RaSiM7; 电话/传真: 0411-87315655; 电子信箱: rfpa@mechsoft.cn。