



## 岩体稳定性分级模式建立和评判

李强

林韵梅

(成都地质学院 610059)

(东北工学院 110006)

### 提 要

分级模式概念,认为自然界存在一系列稳定性不等的标准岩体样本,可作为评判其它岩体对象的标准。

本文从普通集合和模糊集合的基本观点出发,介绍了岩体稳定性分级模式建立的基本原理,并对岩体稳定性评判问题进行了论述。

文中举了二个应用例子:顶板稳定性分级模式建立和围岩稳定性的评判问题。结果表明,本文论述的分级理论和方法,形式简单,便于工程实用。

### 一、前 言

岩体不同于其它工程体,它是由岩石材料组成的地质环境系统。在这个地质环境系统的开掘过程中,岩体所表现出来的物理现象和过程是极为复杂和多变的。为满足地下工程建设的需要,人们企图用单一指标或综合指标将岩体序列划分为具有不同稳定程度的有限级别,这就是岩体的稳定性分级。

岩体稳定性分级最初在十八世纪是以定性描述的面目出现的,后随资料与经验的积累,又出现了单指标、多指标、综合指标的半定量与定量分级。大多数分级总是以表格或公式的形式表示,表格中的分类因素各项定量指标的划分,带有较大的经验性,受人为主观因素的影响很大,对具体岩体对象进行稳定性评判时,多数是采用对号入座的办法。近几年,新兴起的“数值分类学”及“模糊数学”等学科的逐渐引入,岩体稳定性的分级理论得到一定程度上的发展。但就目前研究状况来说,还未形成一套系统的理论,分级模式的建立还没摆脱传统的经验法,评判也局限于回归和单层结构综合评判的研究。基于这种情况,本文总结了5年来的有关研究工作,探讨了岩体稳定性分级模式建立和评判的理论和方法,并介绍了该理论和方法的应用成果。



## 二、分级模式建立的基本原理和过程

岩体稳定性分级模式建立包括三方面的内容, 一是分级档数的确定, 二是分级判据的选择, 最后是分级模式的标准样本的建立。

分级档数是视工程需要而确定的, 少至三级, 多达廿级。分级判据的选择则需要掌握大量的岩体工程观察资料和测试数据, 对研究的岩体对象进行抽样调查、试验, 通过对资料、数据的整理和相关分析, 选定影响工程岩体稳定性的关键定量指标。这二方面的研究工作是任何岩体稳定性分级方法所不可缺少的环节。分级模式的标准样本的概念是从传统的分级界线概念中抽象出来的, 认为自然界存在一系列稳定性不等的岩体样本, 它们相当于不同类别的标本, 可作为评判其它岩体对象的标准。

稳定性不等的标准岩体样本的建立方法是多种多样的, 从普通集合与模糊集合的基本观点出发, 可分成两大类, 一类是常规的硬划分法, 另一类是模糊软划分法。

### 1. 硬划分法

对于岩体样本集  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , 若将其稳定性的分级档数定为  $k$ , 则它的分级结果对应一个  $k \times n$  阶矩阵  $U$ , 矩阵  $U$  的元素  $u_{ij}$  由下式确定:

$$u_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{岩体样本 } x_j \text{ 不属于第 } i \text{ 级稳定;} \\ 1 & \text{岩体样本 } x_j \text{ 属于第 } i \text{ 级稳定.} \end{cases}$$

显然, 矩阵  $U$  有如下性质:

(1)  $u_{ij} \in \{0, 1\}$ , 即  $U$  是一个 0, 1 矩阵;

(2)  $\sum_{i=1}^k u_{ij} = 1, j=1, 2, \dots, n$ ; 这一性质保证每一岩体样本只能属于某一级稳定;

(3)  $\sum_{j=1}^n u_{ij} \geq 1, i=1, 2, \dots, k$ ; 这一性质说明了每一级稳定至少含有一个岩体样本。

几个岩体样本分到  $k$  级去只有有限种分法, 因而对应有限个分级矩阵。全体分级矩阵所构成的集合称为岩体稳定性的硬划分空间。为了求得最佳分级, 需要从划分空间中挑出最佳的分级矩阵来, 对于硬划分, 可采用如下判据

$$J(U, V) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^k u_{ij} \|x_j - v_i\|^2 \quad (1)$$

式中  $v_i$  表示第  $i$  级的标准岩体样本值,  $\|x_j - v_i\|^2$  表示抽样岩体样本  $x_j$  与标准岩体样本  $v_i$  的欧氏距离平方。上述判据的实际意义是各级岩体样本到该级标准岩体样本的欧氏距离平方和。一个分级如果是最合理的, 就应求得一组标准岩体样本  $v_i$  ( $i=1, 2, \dots, k$ ) 使  $J(U, V)$  达到最小值。但一般说来, 这种问题的求解很困难, 现有的算法得到的解大多数是局部最优解。动态分级法是一种常用的方法, 见图 1。

### 2. 软划分法

对于许多抽样岩体样本, 常常它们某些指标值接近于某一标准岩体标本, 而另一些指标值却接近于其它标准岩体标本。因此在分级过程中, 可以认为某一岩体样本以某一隶属程度隶属于某一标准岩体标本, 而又以另一隶属程度隶属于另外一标准岩体标本。在这种思想指



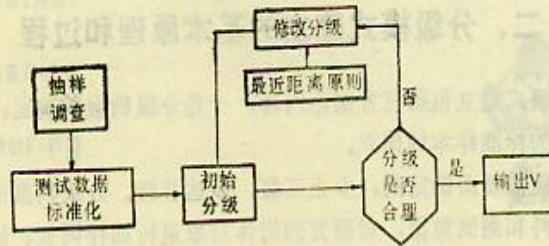


图1 动态分级法建模过程

Fig.1 Dynamic cluster process for classification pattern

导下, 就会得到与硬划分不同的软划分矩阵, 具有如下特性:

(1)  $u_{ij} \in [0, 1]$ , 矩阵元素在0与1之间取值;

(2)  $\sum_{i=1}^k u_{ij} = 1, j=1, 2, \dots, n$ ; 对于一个岩体样本而言, 它对各标准岩体样本的隶属

度之和为1;

(3)  $\sum_{j=1}^n u_{ij} > 0, i=1, 2, \dots, k$ ; 这一性质保证各级不为空集合。

显然, 软划分矩阵有无穷多个, 这种划分的全体也称之为岩体稳定性的划分空间。为获得软划分的最佳划分, 可将式(1)推广为:

$$J_{\alpha}(U, V) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^k (u_{ij})^{\alpha} \|x_j - V_i\|^2 \quad (2)$$

式中 $\alpha$ 是参数, 是为了加强 $x_j$ 属于各标准岩体样本的隶属程度的对比度。

理论上业已证明, 在 $\alpha > 1, V_i \neq x_j$ 的条件下, 可以得到利用式(3)、(4)计算出来的近似最佳软划分矩阵及标准岩体样本 $V$ 值。

$$u_{ij} = \frac{1}{\sum_{l=1}^k \left( \frac{\|x_j - V_l\|}{\|x_j - V_i\|} \right)^{\frac{2}{\alpha-1}}} \quad (3)$$

其中 $i=1, 2, \dots, k; j=1, 2, \dots, n$ 。

$$V_i = \frac{\sum_{j=1}^n (u_{ij})^{\alpha} x_j}{\sum_{j=1}^n (u_{ij})^{\alpha}} \quad (4)$$

式中,  $V_i = (V_{i1}, V_{i2}, \dots, V_{im}), i=1, 2, \dots, k$ ;

$X_j = (X_{j1}, X_{j2}, \dots, X_{jm}), j=1, 2, \dots, n$ ;

$m$ 是判据定量指标数目。

软划分建模过程见图2。

本文推崇用软划分来建立标准岩体样本, 因为岩体的复杂性和分级的经验性, 必定带来



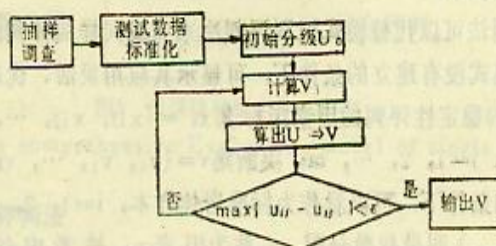


图2 软划分建模过程

Fig.2 Fuzzy cluster process for classification pattern

认识上的一定模糊性。因此,应用模糊数学来给出人们所积累经验的数学模型,并进行模糊推理,也就是很自然的事。应用结果也曾表明软划分优越于硬划分。

综上所述介绍的分级建模方法,相比传统的经验法,有二个突出特点,首先由于抽象出标准岩体样本的概念,使得凭经验来确定分级界限的方法可以由易于计算的分级建模方法代替,从而减少分级过程中人为主观因素的影响,计算过程实现计算机化;其次,在建立数据库的条件下,随岩体样本的数目增加,可以不断调整标准岩体样本,从而使分级具有动态调整功能。这里应指出,建模的精确度有赖于岩体样本的数目,因而要求进行计算的样本达到一定数量。

### 三、岩体稳定性的评判方法

分级模式的建立为评判有关岩体对象的稳定性提供了标准,而评判所讨论的问题是,在已知评判决断集的条件下,要求正确评判出某一具体岩体对象的稳定性。实际上,评判的方法是多种多样的,在分级模式建立的情况下,可以用模式识别法或综合评判法进行评判。在分级模式没有建立情况下,如专家评分、统计评分等来评判某些岩体对象的稳定性时,模式识别法是不适用的,而综合评判法却可以很容易地解决这类评判问题,尤其是可以解决因素间还分有不同层次的岩体稳定性评判问题。

#### 1. 模式识别评判法

已知分级表中的k个稳定性不等的标准岩体样本 $V_1, V_2, \dots, V_k$ ,要评判某一岩体样本 $X_0$ 属于哪一级稳定,采用下列最优隶属原则:

$$\theta = \max[\mu_{V_1}(x_0), \mu_{V_2}(x_0), \dots, \mu_{V_k}(x_0)] \quad (5)$$

若 $\mu_{V_i}(x_0) = \theta$ ,则认为样本 $x_0$ 归属于标本 $V_i$ 级稳定。

隶属函数的确定,需要对被识别评判的分级模式特征有足够的了解。考虑到隶属函数应该是一个无量纲的,又能反映岩体样本隶属于不同稳定性的标准样本有着不同隶属程度的函数,提出下式作为识别评判的隶属函数:

$$\mu_{V_i}(x_0) = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m a_j \frac{\min[X_{0j}, V_{ij}]}{\max[X_{0j}, V_{ij}]} \quad (6)$$

式中 $\mu_{V_i}(x_0)$ 表示样本 $x_0$ 隶属于标本 $V_i$ 的程度; $x_{0j}$ 、 $V_{ij}$ 分别为样本 $x_0$ 和标本 $V_i$ 第j个指标值; $a_j$ 为第j个指标被考虑的权数; $m$ 为指标总数。



## 2. 单层结构综合评判法

单层结构综合评判法可以代替模式识别评判法来完成同样的评判问题, 只是计算工作量较大许多, 然而在分级模式没有建立的条件下, 可显示其应用灵活、优越性。

设: 岩体样本 $x_i$ 的稳定性评判的因素指标集 $x_i = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}\}$ ,  $x_{ij}$ 表示样本 $x_i$ 被考虑的第 $j$ 个因素,  $j=1, 2, \dots, m$ ; 决断集 $v = \{v_1, v_2, \dots, v_k\}$ ,  $v_i$ 表示评判的结果, 在分级模式建立的条件下, 可以看作标准岩体样本,  $i=1, 2, \dots, k$ ;  $x_i$ 上的Fuzzy集 $\underline{A} = (a_1, a_2, \dots, a_m)$ 叫做权数分配,  $a_j$ 称为因素 $x_{ij}$ 被考虑的权数, 其中 $a_j \geq 0$ 并

$$\sum_{j=1}^m a_j = 1.$$

设第 $j$ 个因素的单因素评价的 $R_j = (r_{j1}, r_{j2}, \dots, r_{jk})$ , 它也可看作是 $x_i$ 上的Fuzzy子集, 因而可得到 $m$ 个因素的总评判矩阵:

$$R = \begin{pmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1k} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mk} \end{pmatrix} \quad (7)$$

对于已经建立起分级模式的评判问题, 可以用式(8)确定式(7)中的隶属度。

$$r_{ij} = \frac{\min\{X_{0j}, V_{1j}\}}{\max\{X_{0j}, V_{1j}\}} \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^k \frac{\min\{X_{0j}, V_{1j}\}}{\max\{X_{0j}, V_{1j}\}}$$

式中 $r_{ij}$ 表示岩体样本 $x_0$ 第 $j$ 个因素隶属于标本 $v_i$ 第 $j$ 个指标的隶属度;  $x_{0j}$ 、 $v_{1j}$ 分别为样本 $x_0$ 和标本 $v_i$ 第 $j$ 个指标值;  $k$ 为评判总数。

当然, 对于其它评判问题, 式(7)隶属度可以通过专家评分或统计评分等办法获得。

应用Fuzzy矩阵复合运算, 得到综合评判,

$$B = A \cdot R = (b_1, b_2, \dots, b_k) \quad (9)$$

其中 $b_j = V^*(\alpha_j \Lambda^* r_{ij})$ ,  $j=1, 2, \dots, k$ .  $V^*$ 、 $\Lambda^*$ 是 $V$ 、 $\Lambda$ 运算的一种推广, 下面是常用的四种运算方法列表, 见表1。

表1 模糊运算方法

Tab.1 Fuzzy calculating methods

	运算符号	运算法则		备注
$(V^*, \Lambda^*)$	$(V, \wedge)$	$a \vee b = \max\{a, b\}$	$a \wedge b = \min\{a, b\}$	主因素决定型
	$(V, \cdot)$	$a \vee b = \max\{a, b\}$	$a \cdot b = a \times b$	主因素突出型
	$(\oplus, \wedge)$	$a \oplus b = \min\{a+b, 1\}$	$a \wedge b = \min\{a, b\}$	主因素突出型
	$(\oplus, \cdot)$	$a \oplus b = \min\{a+b, 1\}$	$a \cdot b = a \times b$	加权平均值

上述单层结构综合评判模型, 可以画成图3所示框图。



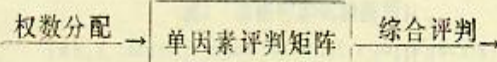


图3 单层结构综合评判模型

Fig.3 The comprehensive Evaluation model of single structure

3. 多层结构综合评判法

在复杂的地质系统中，对有些工程岩体稳定性进行评判所考虑的因素往往很多，因素间还分有不同的层次，如斜坡稳定性空间预测的综合评判问题，见图4。遇到这类问题时，往往把因素集合按某种属性分成几类，先对每一类综合评判，再对评判结构进行类之间的高层次的综合。

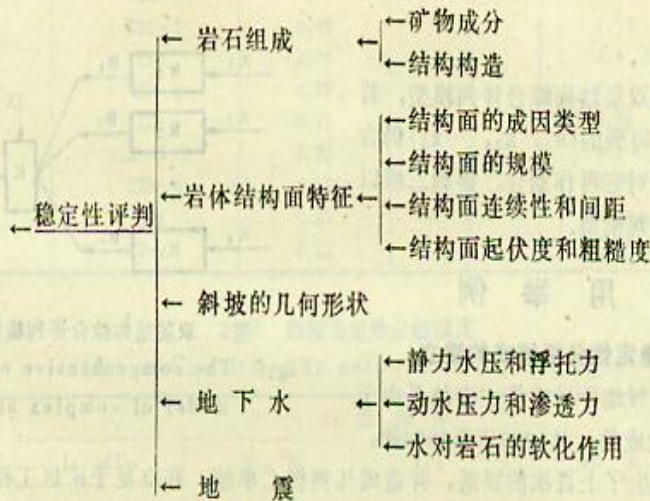


图4 斜坡稳定性主因素关系图

Fig.4 The relationship of main factors about slide stability

多层结构的综合评判可按下面步骤进行。

第一步：将因素集  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  按某种属性分成  $S$  个子集，记作：  $x_1, x_2, \dots, x_s$ ；

$$\text{满足 } \bigcup_{i=1}^s x_i = X, x_i \cap x_j = \phi (i \neq j)$$

设每个子集  $x_i = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im_i}\}$ ,  $i=1, 2, \dots, S$ ；则有  $\sum_{i=1}^s m_i = m$ ；

第二步：对于第一个子集  $x_i$  按单层结构分别进行综合评判，设  $x_i$  的诸因素权重分配为  $A_i$ ， $x_i$  的单因素评价矩阵为  $R_i$ ，则得到：

$$B_i = A_i \cdot R_i = (b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{ik}), i=1, 2, \dots, s$$

第三步：将每个子集  $x_i$  作为一个元素看待，用  $B_i$  作为它的单因素评判，这样



$$R = \begin{pmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_s \end{pmatrix} = (b_{ij})_{s \times k}$$

是 $\{x_1, x_2, \dots, x_s\}$ 的单因素评判矩阵, 每个 $x_i$ 作为 $x$ 中的一部, 反映了 $x$ 的某种属性, 按它们的重要性给出权重分配 $A$ , 于是有

$$B = A \cdot R = A \cdot \begin{pmatrix} A_1 \cdot R_1 \\ A_2 \cdot R_2 \\ \dots \\ A_s \cdot R_s \end{pmatrix} \quad (10)$$

它的框图见图5。

上面给出的是双层结构综合评判模型, 若在单层次划分中, 得到的 $\{x_1, x_2, \dots, x_s\}$ 仍含有较多的因素, 可对它再作划分, 得到三级以至更多级的综合评判模型。

#### 四、应用举例

##### 1. 采场顶板稳定性分级模式的建立

在我国, 约25%地下采矿伤亡事故是由于顶板岩体失稳而造成的。从1980年至1984年, 某金矿顶板先后发生了上百次的冒落, 并造成几例伤亡事故。在立足于矿区工程地质论证的前提下, 建立起顶板稳定性分级模式, 并对顶板稳定性进行了评判。

采场顶板稳定性的影响因素是多方面的, 根据现场调查, 查明该矿顶板稳定性主要取决于岩体内结构面特征和岩石的性状特征, 即取决于控制结构面的组数、条数和结构面的力学性质以及岩石的强度和岩体的风化程度。确定下面四个判据指标来进行分级。

- (1) 点荷载强度 $I_s$  用不规则试样测定, 采样广泛, 试验及时, 能定量评价岩石的性状;
- (2) 控制结构面组数 $N_m$  指延伸长度大于3m的I级、II级和III级结构面的组数, 它反映岩体被切割的组合特点;
- (3) 控制结构面质量指数 $I_{jz}$  通过控制结构面的条数换算出来的一个加权综合指标, 从总体上反映岩体的不连续性和质量;
- (4) 结构面的综合内摩擦角 $\phi$ 。结构面力学成因、粗糙度和充填物成分、性状的综合反映。

整理出的18个抽样样本试验数据见表2。

根据实际调查结果和顶板冒落监测预报的需要, 确定分级档数为4。由软划分建模方法, 得到该金矿顶板稳定性的分级模式, 见表3。运算是由计算机完成的, 输入表2的数据。

由表3和表2, 用模式识别法就可对抽样样本或其它已完成测试的采场进行顶板稳定性评判, 有针对地对顶板不稳定和极不稳定的采场进行冒落监测预报。

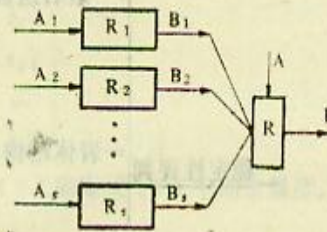


图5 双层结构综合评判模型

Fig.5 The comprehensive evaluation model of complex structure

表2 顶板样本试验数据

Tab.2 Experiment data of roof specimens

计算编号	采场编号	$I_s$ MPa	$N_m$ 组	$I_{js}$	$\varphi_c$ 度
1	7310	5.21	4	4	11.8
2	7311	4.20	4	6	10.0
3	128	1.05	4	4.25	10.8
4	322-6-2	4.17	3	3.5	14.4
5	610	1.48	4	3.75	9.7
6	322-5	3.36	3	1.75	13.0
7	72-17	3.89	4	2.5	11.75
8	72-14	4.01	3	2.5	11.75
9	738	4.82	3	2.75	16.5
10	734-4	5.10	4	4.50	12.7
11	325-1	0.98	3	1.75	15.9
12	713	2.05	4	4.5	11.9
13	323-2	4.89	4	1.5	18.0
14	120	0.75	3	3.75	11.20
15	322-6-1	3.82	2	0.5	13.0
16	233-9	6.17	3	3.25	11.6
17	104	0.37	4	2.50	9.6
18	72-7	6.23	2	2.25	12.4

表3 顶板稳定性分级模式

Tab.3 Classification patterns of roof stability

标准顶板样本	分级判据指标				顶板稳定性
	$I_s$ MPa	$N_m$ 组	$I_{js}$	$\varphi_c$ 度	
V <sub>1</sub>	4.85	2	1.75	15.0	较稳定
V <sub>2</sub>	4.57	3	2.75	13.7	中等稳定
V <sub>3</sub>	3.00	4	3.65	12.0	不稳定
V <sub>4</sub>	1.45	4	3.90	10.6	极不稳定

表4 围岩稳定性分级模式

Tab.4 Classification patterns of surrounding rock stability

标准围岩样本	分级判据指标				围岩稳定性
	$I_s$ MPa	$V_p$ m/s	T d	$d_p$ m	
V <sub>1</sub>	15.7	5690	12.0	1.295	稳定
V <sub>2</sub>	10.2	5098	15.2	1.148	稳定性较好
V <sub>3</sub>	8.8	4796	15.7	0.467	中等稳定
V <sub>4</sub>	5.2	4314	17.4	0.416	稳定性较差
V <sub>5</sub>	4.5	2697	27.8	0.294	不稳定



## 2. 围岩稳定性的评判

同样可用软划分建模方法,建立我国金属矿山巷道围岩稳定性的分级模式.表4是建立起来的分级模式.其中:  $I_s$ , 岩石点荷载强度MPa;  $V_p$ , 岩体声波纵波速度m/s;  $T$ , 巷道周边位移稳定时间d;  $d_0$ , 岩块尺寸模数m.

表4是建立在我国金属矿山35个巷道围岩抽样样本基础上的,抽样调查广,适用于我国金属矿山巷道围岩稳定性的评判.

例如:在山东莱芜铁矿0m水平测得西运输巷围岩样本点的指标值,  $I_s=10.5$ MPa;  $V_p=4654$ m/s;  $T=17$ 天;  $d_0=0.384$ m, 要求对该运输巷围岩进行稳定性评判.

首先,用模式识别评判法进行评判,由式(6)和表4,并考虑等权条件,令  $a_j=1$ ,得

$$\begin{aligned}\mu_{V_1}(X_0) &= \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m a_j \frac{\min\{X_{0j}, V_{1j}\}}{\max\{X_{0j}, V_{1j}\}} \\ &= \frac{1}{4} \left( \frac{10.5}{15.7} + \frac{4654}{5690} + \frac{12}{17} + \frac{0.384}{1.295} \right) \\ &= 0.622\end{aligned}$$

同理有:  $\mu_{V_2}(x_0) = 0.779$ ,  $\mu_{V_3}(x_0) = 0.890$ ,

$$\mu_{V_4}(x_0) = 0.831, \mu_{V_5}(x_0) = 0.596.$$

由式(5)得  $\mu_{V_3}(x_0) = 0$ , 该运输巷在金属矿山巷道围岩稳定性系列中处于中等稳定状况,

其次,可按下面的步骤对西运输巷围岩稳定性进行单层结构综合评判,由式(8)求得各单因素评价的隶属度.

岩石点荷载强度评判:

$$\begin{aligned}r_{11} &= \frac{\min\{X_{01}, V_{11}\}}{\max\{X_{01}, V_{11}\}} \\ &= \frac{\min\{X_{01}, V_{11}\}}{\sum_{i=1}^k \frac{\min\{X_{01}, V_{11}\}}{\max\{X_{01}, V_{11}\}}} \\ &= \frac{10.5}{15.7} \\ &= \frac{10.5}{15.7 + 10.2 + \frac{8.8}{10.5} + \frac{5.2}{10.5} + \frac{4.5}{10.5}} \\ &= 0.201\end{aligned}$$

同理可得  $r_{12}, r_{13}, r_{14}, r_{15}$ . 有

$$R_1 = [0.201, 0.284, 0.245, 0.145, 0.125]$$

按岩石点荷载强度单因素评判,该运输巷的围岩属于稳定性较好一档,这是因为测试的点荷载强度  $I_s=10.5$ MPa最贴近期于表4中标准围岩样本  $v_2$  的点荷载强度指标值  $10.2$ MPa.

岩体声波纵波速度评判:

$$R_2 = [0.196, 0.217, 0.232, 0.222, 0.134]$$

巷道周边位移稳定时间评判:

$$R_3 = [0.172, 0.215, 0.225, 0.238, 0.149]$$

岩块尺寸模数评判:

$$R_4 = [0.095, 0.106, 0.262, 0.294, 0.244]$$



所以, 总评判矩阵为

$$R = \begin{matrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ R_4 \end{matrix} = \begin{bmatrix} 0.201 & 0.284 & 0.245 & 0.145 & 0.125 \\ 0.196 & 0.217 & 0.232 & 0.222 & 0.134 \\ 0.172 & 0.215 & 0.225 & 0.238 & 0.149 \\ 0.095 & 0.106 & 0.262 & 0.294 & 0.244 \end{bmatrix}$$

按等权分配  $A = [0.25, 0.25, 0.25, 0.25]$ , 选择加权平均型进行综合评判运算得

$$B = A \cdot R = [0.165, 0.206, 0.241, 0.225, 0.163]$$

结果表明: 西运输巷的围岩属于中等稳定性, 与模式识别法得出的结果完全一致。

## 五、结 论

1. 分级模式建立的方法减少了人为主观因素的影响, 由于是用计算机来建模的, 可以实现模式的动态调整。
2. 文中提出的岩体稳定性的模式识别评判法具有精度高, 应用很方便的特点。
3. 综合评判法不仅可解决岩体稳定性分级模式评判问题, 而且能对条件复杂, 因素间有着不同层次的岩体进行稳定性综合评判。
4. 应用表明文中提出的分级理论和方法是行之有效的, 易于推广使用。
5. 权数的合理选择还有待进一步探讨。

## 参 考 文 献

- (1) Lin Yunmei, Li Qiang. Pattern and Distinguish on Classification of Rock Masses. International Symposium on Underground Engineering, INDIA, 1988;
- (2) 楼世博, 陈化成. Fuzzy 聚类与天气预报. 模糊数学, 1981; 1: 79—90
- (3) 陈永义, 刘云丰, 汪培庄. 综合评判的数学模型. 模糊数学, 1983; 1: 61—69

## Classification Pattern and Evaluation Method on Stability of Rock Mass

Li Qiang

Lin Yun-mei

(Chengdu College Of Geology)

(Northeast University Of Technology)

### Abstract

According to the concept of classification pattern, there are some standard specimens of rock masses with different stability in nature. These standard specimens could be used to criticize stability of other rock mass.

Based on the ideas of set or Fuzzy set, authors present the fundamental principles for classification patterns of rock mass stability. The evaluation problem of rock mass stability is also analyzed.

Two application examples are included in this paper; the construction of classification patterns about roof stability in some mines and the evaluation of surrounding rock stability. Application results show that the classification method presented in this paper is not only simple in form but also convenient for engineering problems.