

岩体质量模糊分类方法

丁向东, 吴继敏

(河海大学土木工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 将模糊数学的综合评判原理引入岩体稳定性分类中, 介绍了模糊综合评判的基本原理, 分析了反映岩体质量的各种影响因素, 考虑了地应力的影响, 在考虑多种因素的影响下对岩体质量作出综合决断。根据选取指标的特征, 选取正态函数作为隶属函数, 介绍了评定因子参数的计算方法。通过实例分析, 表明岩体分类的模糊综合评价方法避免了某些参数测定的不精确所带来的片面性, 也避免了人为划定分类界限和人为评分的主观性, 有良好的工程应用前景。

关键词: 岩体质量分级; 模糊分类法; 综合评判; 隶属函数

中图分类号: TU521.2

文献标识码: A

文章编号: 1006-7647(2006)03-0018-03

Fuzzy classification of rock mass//DING Xiang-dong, WU Ji-min (College of Civil Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: The fuzzy comprehensive evaluation principle was introduced into stability classification of rock mass, and the fuzzy comprehensive evaluation of rock mass was made by consideration of geo-stress and other affecting factors. According to the characteristics of the index, the normal function was chosen as the membership function, and the calculation method for evaluating the factor parameter was given. Case study shows that the present method avoids the one-sidedness induced by inaccuracy in parameter measurement and subjectivity of the conventional method. Therefore, the method is of wide scope of application.

Key words: rock mass classification; fuzzy classification method; comprehensive evaluation; membership function

在水利水电工程中, 岩体质量的好坏直接关系到岩体的工程特性和稳定性, 因此, 需要对岩体质量作出准确而合理的评价, 对可利用岩体做出判别。这是正确指导设计、合理制定施工方案的重要保证, 更是工程投资预算的主要依据, 尤其是在大型水利工程建设中的边坡、地下洞室、坝基岩体稳定性研究中。岩体质量评价也是一种分类, 它是按岩体质量的好坏进行分类。目前, 国内外已提出的岩体分类方法有数 10 种之多, 有一般性分类, 也有专门性分类; 有定性的, 也有定量的; 有单一因素分类, 也有考虑多种因素的综合分类。

岩体本身的不确定性和随机性因素太多, 所以试图用一种静态的模式和标准去衡量每一个工程范围的岩体稳定性, 可能有一定困难。按照定量指标划分岩体质量类别, 虽然在工程应用中很方便, 但有其不合理的地方, 如在边界处指标相差一点, 岩体类别就相差一类。这就是把模糊边界人为改为明确边界所带来的问题, 而把模糊数学的综合评判原理引入岩体稳定性分类中, 不失为一种有效的方法。

1 模糊综合评判原理

首先给定两个集合:

$$\begin{aligned} U &= \{u_1, u_2, \dots, u_m\} \\ V &= \{v_1, v_2, \dots, v_n\} \end{aligned} \quad (1)$$

式中: U 为综合评判因素所组成的集合, 称为因素集; V 为决策评语所组成的集合, 称为评判集。

设第 i 个因素 u_i 对该事物决策评语 v_j 的隶属度为 r_{ij} , 则因素 u_i 的单因素评判集为 $r_{ij} = \{r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in}\}$, 它是决策评语 V 上的模糊子集。由 m 个考虑因素的评判就构成了总的评判矩阵 R 。 R 是考虑因素集 U 到评判集 V 的一个模糊关系, 可表示为 $R = (r_{ij})_{m \times n}$ 。

隶属函数的确定, 本质上说是客观的, 但又容许融入一定的人为技巧。在许多场合下, 常常是初步确定粗略的隶属函数, 然后通过“学习”和“实践”检验逐步修改和完善, 实际效果是检验和调整隶属函数的依据。隶属函数的确定方法不是唯一的, 主要有模糊统计法、推理确定法、模糊分布法及专家调查

法等^[1]。

在所考虑的因素 $u_i (i = 1, 2, \dots, m)$ 之中, 各因素在决策中所起的作用大小不同, 于是定义一个权重 W' , W' 称为 U 的因素重要度模糊子集矩阵, 可表示为^[2]

$$W' = (w'_1, w'_2, \dots, w'_m) \quad (2)$$

式中: $w'_1 + w'_2 + \dots + w'_m = 1$ 。当模糊子集矩阵 W' 和模糊评判矩阵 R 为已知时, 即可作模糊变换进行综合评判:

$$B = W'R = (b_1, b_2, \dots, b_n) \quad (3)$$

式中: $b_i = \bigvee_{j=1}^m (w'_j \wedge r_{ij})$, 即取大取小运算。 B 成为决策评语集 V 上的等级模糊子集矩阵, 得到 B 后即可根据最大隶属原则进行分类。

2 岩体质量分级的模糊综合评价

影响岩体稳定性的因素很多, 在模糊分析时应选取主要的、独立的影响因素。最基本的因素有岩体结构面、岩石质量、水的作用和应力作用及其他综合因素。另外, 还要充分考虑应用工程中已有的和易于取得的资料^[3]。

表征岩体结构面特征的参数有结构面的间距、岩石质量指标、岩体完整性系数等, 考虑到参数获得的难易性及各种不同参数之间的可转化性, 选用岩石质量指标 Q_{RQD} 和岩体完整性系数 K_V 来反映岩体结构的影响。

反映岩石性质的因素主要有岩石单轴抗压强度、岩石纵波波速、岩石的弹性模量、岩石的变形模量等, 考虑到国内外各种常用的分类方法^[4]中采用的频率及工程中参数取得的难易程度, 选取岩石单轴抗压强度 R_C 来反映岩石的质量。

水对岩体质量的影响也比较明显, 透水率、软化系数等指标都可以在一定程度上反映水对岩体的影响。本文选用岩石的软化系数 K_W 来反映水的影响。

此外, 地应力也是影响岩体稳定的一个重要方面, 但许多分类方法中都没有考虑地应力的影响因素, 笔者认为这是不妥的, 所以引进一个地应力影响因素 S ^[5]。

因此, 因素集可表示为

$$U = \{Q_{RQD}, R_C, K_V, K_W, S\} \quad (4)$$

稳定性分类等级与大多数分类方法相同, 分为 5 级: I (极稳定), II (稳定), III (中等稳定), IV (不稳定), V (极不稳定)。则评判集为

$$V = \{I, II, III, IV, V\} \quad (5)$$

岩体分类指标划分如表 1 所示。当某指标处于某一区间时, 岩体质量大多属于该区间所对应的等级, 只

有一小部分属于其他等级, 因此隶属函数选为正态型, 即

$$\mu_x = \exp\left[-\frac{(x-a)^2}{b}\right] \quad (6)$$

式中: x 可以是任何一个评定因子; 系数 a, b 可以根据“当评定因子等于平均值时, 其隶属函数等于 1”及“当物理量范围的边界介于二者之间时, 隶属度相等”的原则, 由表 1 中的数值经过计算得到, 具体数值见表 2。

表 1 岩体分类指标划分

岩体质量分级	R_C/MPa	$Q_{RQD}/\%$	K_V	K_W	S
I	> 200	90 ~ 100	> 0.9	> 0.8	0.5 ~ 2
II	100 ~ 200	75 ~ 90	0.75 ~ 0.9	0.675 ~ 0.8	2 ~ 3
III	50 ~ 100	50 ~ 75	0.45 ~ 0.75	0.55 ~ 0.675	3 ~ 8
IV	25 ~ 50	25 ~ 50	0.2 ~ 0.45	0.4 ~ 0.55	8 ~ 10
V	< 25	0 ~ 25	0 ~ 0.2	0 ~ 0.4	10 ~ 20

表 2 各评定因子的隶属函数参数

岩体质量分级	R_C		Q_{RQD}		K_V		K_W		S	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
I	300.0	25.90	95	6.00	0.95	0.06	0.90	0.12	1.25	0.9
II	150.0	60.24	88	9.04	0.88	0.09	0.74	0.08	2.50	0.6
III	75.0	30.12	63	15.06	0.60	0.18	0.61	0.08	5.50	3.0
IV	37.5	15.06	38	15.06	0.33	0.15	0.48	0.09	9.00	1.2
V	12.5	15.06	13	15.06	0.10	0.12	0.20	0.24	15.00	6.0

各影响因素权重的选取方法主要是根据专家评议法或按统计资料确定。文献[6]运用二元相对比较计算方法计算权重, 文献[7]运用简单关联函数计算权重, 另外, 还有多决策者的层次分析法等。具体操作时应综合了解各种文献中的方法及其取值, 对比分析后选取适合的权函数。在实际应用中, 可以编制相应的计算程序, 将测得的各参数输入程序, 可以得到各因素的隶属函数值及评价矩阵, 这样在应用时极为便利。

3 岩体模糊分类法应用实例

某水电工程坝基围岩为石英岩, 其力学参数如下: $R_C = 160 \text{ MPa}$, $Q_{RQD} = 65\%$, $K_V = 0.68$, $K_W = 0.92$, $S = 6$, 根据表 1、表 2 和式(4)计算各因素的隶属度并作归一化处理, 得到石英岩的评判矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} 0 & 0.97 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.98 & 0.04 & 0 \\ 0 & 0.01 & 0.82 & 0 & 0 \\ 0.97 & 0.01 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.97 & 0 & 0.11 \end{bmatrix}$$

参考各文献中确定权函数的方法及其取值, 经现场调查和访问专家, 综合考虑各种因素后选取的权函数 W' 为 (0.30, 0.15, 0.25, 0.20, 0.10)。按式

(3) 计算并作归一化处理, 经计算可得 $B = W'R = (0.19, 0.15, 0.28, 0, 0)$ 。根据最大隶属原则可知, 石英岩属于Ⅲ偏Ⅱ稳定类型, 这和其他一些常用的分类方法的分类基本一致, 并且经工程检验证明这种分类方法是符合事实的^[8]。

4 结 论

利用模糊数学综合评判原理对岩体进行分类, 可以克服使用规范法评价时出现的一些缺陷, 避免了某些参数测定的不精确所带来的片面性, 也避免了人为划定分类界限和人为评分的主观性, 可以根据工程实际情况选取对该工程有重要影响的因素进行分析, 并将岩体中的模糊因素定量化, 便于施工中掌握。该法能充分利用现有岩体工程和待开发岩体工程的参数, 通过不断给计算机补充数据, 计算机不断“学习”的过程, 使岩体分类逐步趋于合理和完善。模糊综合评判包含较多的评判信息量, 能避免偶然性因素引起的误差, 在条件比较复杂而单因素难以判断时, 用本法能获得更为明显的实用效果。

本文考虑的地应力因素选用的是 Q 分类法中的应力折减系数值, 是否合适还有待于工程实践的检验及进一步的研究。另外, 隶属函数的确定、各影

响因素权函数的取值都会影响结果的准确性, 在应用时应特别注意, 这也有待于今后进一步的研究。

参考文献:

- [1] 黄建元. 模糊集及其应用[M]. 银川: 宁夏人民教育出版社, 1999.
- [2] 周传波. 岩体可崩性分类方法的模糊综合评判[J]. 矿冶工程, 2003, 23(6): 17-19.
- [3] 王彦武. 地下采矿工程岩体质量可拓模糊评价方法[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 219(1): 18-22.
- [4] 陈昌彦, 王贵荣. 各类岩体质量评价方法的相关性探讨[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 219(12): 1894-1900.
- [5] 王思敬, 杨志法, 刘竹华. 地下工程岩体稳定分析[M]. 北京: 科学出版社, 1984.
- [6] 苏永华, 严立新, 孙颜峰, 等. 模糊综合评判法及其在岩体分类中的应用[J]. 矿冶, 2000, 9(4): 6-9.
- [7] 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.
- [8] 白明洲, 王家鼎. 地下洞室中裂隙岩体稳定性研究的模糊信息优化处理方法[J]. 成都理工学院学报, 1999, 26(3): 291-294.

(收稿日期: 2005-01-21 编辑: 骆超)

(上接第 17 页)

西海水道和东海水道在天河沟通。如表 6 所示, 20 世纪 80 年代到 90 年代末东海水道河道容积增加了 50.62%, 而西海水道仅增加 13.00%。

表 6 主要分叉口对应河道的河床演变参数变化

河 道	深泓 差值/m	平均河底 高程差值/m	河床断面宽 深比差值	容积 变化/%
东平水道	-5.78	-3.59	-2.76	81.13
西江干流太 平沙头以上	-1.27	-0.45	-0.17	5.45
东海水道	-3.74	-3.46	-1.28	50.62
西海水道	-1.58	-1.13	-0.51	13.00

注: 正值表示增大, 负值表示减小。

4 结 语

20 世纪 50 年代起人类对河道的干预增加, 50 年代末至 70 年代初珠江三角洲进行了大规模的围联筑闸, 80 年代末至 90 年代初又开始了大规模的采沙活动。经研究发现, 80 年代以前珠江三角洲河道水位总体是抬高的^[4], 三角洲的河道整体处于淤积发展期, 并且淤积程度越近河口区越严重。80 年代末至 90 年代初河床普遍下切, 河道向窄深方向发展, 并且在东江三角洲和北江三角洲的部分主要河道的形态发生了较大的变化。

参考文献:

- [1] 刘霞, 潘玉敏, 李静, 等. 珠江三角洲主要河道采砂控制规划报告[R]. 广州: 广东省水利电力勘测设计研究院, 2005.
- [2] 乔彭年. 珠江三角洲河道冲淤特性的初步分析[R]. 广州: 广州地理研究所, 1994.
- [3] 中国水利水电科学研究院泥沙研究所. 珠江三角洲网河及口门附近海域冲淤演变分析计算[R]. 北京: 中国水利水电科学研究院泥沙研究所, 2001.
- [4] 罗宪林, 杨清书, 贾良文, 等. 珠江三角洲网河河床演变[M]. 广州: 中山大学出版社, 2002.

(收稿日期: 2005-03-01 编辑: 高建群)

