

# 岩体质量分级的模糊识别

王延平<sup>1</sup>, 许 强<sup>1</sup>, 高 霞<sup>2</sup>

(1. 成都理工大学环境与土木工程学院, 成都 610059; 2. 胶州市职业中等专业学校, 胶州 266300)

摘 要: 工程岩体质量的好坏, 其概念的外延是不明确的, 存在着很多模糊性现象, 这正是模糊数学所要研究的。研究用模糊识别的方法确定岩体质量, 为定量评价岩体质量提供了一条新的途径。

关键词: 岩体质量分级; 模糊数学; 模糊识别

中图分类号: TU452

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2005) 01-0108-02

## Fuzzy Identification of the Quality Grading of Rock Body

WANG Yan-ping<sup>1</sup>, XU Qiang<sup>1</sup>, GAO Xia<sup>2</sup>

(1. College of Environment and Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

2. The Middle Specialized Vocational School of Jiaozhou City, Jiaozhou, Shandong 266300, China)

**Abstract:** The extension of conception is ambiguous that the quality of engineering rock body is good or bad, it contains many fuzzy phenomena, this is what fuzzy math to study. A new way is supplied for the quantitative appreciation of the quality of engineering rock body, which uses the method of the fuzzy identify to identify the quality of rock body.

**Key words:** quality grading of rock body; fuzzy math; fuzzy identification

岩体质量分级是水电等工程设计和施工的重要地质依据, 对工程区岩体质量做出合理而准确的分级, 不仅对其岩体结构特征及其强度特性做出评价, 而且对可利用岩体做出判别, 确定合理建基面等具有重要的理论和经济意义。

岩体质量主要受控于岩石性质、岩体结构、岩体的赋存环境, 在这些控制因素中, 大多可通过现场调查予以查清, 如岩石的强度, 岩体的结构类型, 岩体卸荷作用的范围、风化程度, 地下水对岩体质量的影响等, 如声波测试, 点荷载实验, 室内单轴抗压强度实验等, 可以较好的获得反映岩体质量的定量或半定量数据。

### 1 目前常用岩体质量分级标准

就目前已有的岩体质量分级方法而言, 种类较多。概括起来可以分为两大类, 其一为能够用于各类工程的通用分类, 一般采用单一指标作为划分标志, 比较简单, 但针对性差, 只能起到原则指导的作用, 如 Deer 的 RQD 分级法、弹性波速  $V_p$  法等。另一种类型是为某一类工程制定的专门性分类, 所采用的划分依据一般为多指标的组合, 如水利水电勘察规范 (GB 50267—99) 的地下工程围岩分级法、挪威岩土工程研究所 Barton 等人提出的岩体质量指标  $Q$  系统围岩分类等。

各分类方案中, 岩体质量指标的综合因素尽管有差异, 但都从不同的角度反映了岩体的结构特征 (岩石材料强度、构造和表生改造程度等); 岩体所处的环境特征 (如地应力、

地下水等) 和岩石力学特征 (如裂隙分布及其力学性能的统计特征等)。

另外, 国内外岩体工程界还经常采用岩体质量的简易分级方法。其中通过点荷载实验野外定性判断对岩石 (体) 质量是其常采用的方法之一, 它多以单轴饱和 (湿) 抗压强度表征岩石的基本强度。岩石单轴饱和 (湿) 抗压强度为指标, 可通过在野外进行简易的点荷载实验或回弹测试获取。反映岩体完整程度的指标是 RQD 和节理裂隙间距  $d$ 。上述指标比较容易在现场获取, 再结合野外定性判断即可对现场岩体质量进行简易分级。

目前, 国内外对分类标准量化问题, 仍在进行探讨。通过模糊数学的方法定量的评价岩体质量的方法, 在工程地质界已经做了大量的研究, 特别是综合评判方法广泛应用于岩体质量的评价, 但是它不是完全用定量的方法来评价岩体质量, 由于地质问题的复杂性, 这种非量化的因素, 会造成评判的误差, 这种误差是很难控制的。模糊识别是综合影响岩体质量的主要因素: 岩体的完整程度、岩体的力学性质、平均节理裂隙间距、风化程度以及地下水状况, 通过计算贴近度来评判岩石的归类, 它完全定量的评价岩体的质量, 杜绝了由于地质因素认识的偏差带来的评判上的误差。

### 2 岩体质量分级的模糊识别

#### 2.1 数学模型的建立

根据 RMR 系统的等级划分, 这里我们把岩体质量分级

<sup>1</sup> 收稿日期: 2004-06-25

作者简介: 王延平 (1975—), 男, 硕士研究生, 研究方向为工程地质与信息技术。

的论域定义为  $U = \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5\}$ ,  $U$  上的五个模糊子集  $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5$  构成了标准模型库:  $\{A_1(\text{很好}), A_2(\text{好}), A_3(\text{中等}), A_4(\text{差}), A_5(\text{很差})\}$ 。

每个岩体性状特征由 5 个因素刻画, 即:

$$x = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = (RQD, \sigma, d, f, \omega)$$

式中:  $RQD$ ——岩体的完整程度;  $\sigma$ ——岩体的力学性质;  $d$ ——平均节理裂隙间距;  $f$ ——风化程度;  $\omega$ ——地下水状况。

对于每一个标准模型, 岩石的每一个特性都是  $U$  上的一个模糊子集, 因此, 对 5 个等级, 考察它们的 5 个性状, 共有 25 个类型模糊子集。如下表所示:

表 4 类型模糊子集表

类型	特征指标				
	岩体的完整程度	岩体的力学性质	平均节理裂隙间距	风化程度	地下水状况
(很好)	$R_{11}$	$R_{12}$	$R_{13}$	$R_{14}$	$R_{15}$
(好)	$R_{21}$	$R_{22}$	$R_{23}$	$R_{24}$	$R_{25}$
(中等)	$R_{31}$	$R_{32}$	$R_{33}$	$R_{34}$	$R_{35}$
(差)	$R_{41}$	$R_{42}$	$R_{43}$	$R_{44}$	$R_{45}$
(很差)	$R_{51}$	$R_{52}$	$R_{53}$	$R_{54}$	$R_{55}$

其中  $R_j$  表示第  $i$  个类型的第  $j$  个特性所对应的模糊子集。

对于任意一个待识别的样本  $x = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$ , 根据两个模糊向量集合族之间的贴近度和多个特征向量指标的择近原则。得贴近度列表:

表 5 贴近度表

类型	特征指标				
	$R_{i1}$	$R_{i2}$	$R_{i3}$	$R_{i4}$	$R_{i5}$
	$\sigma(R_{11}, x_1)$	$\sigma(R_{12}, x_2)$	$\sigma(R_{13}, x_3)$	$\sigma(R_{14}, x_4)$	$\sigma(R_{15}, x_5)$
	$\sigma(R_{22}, x_1)$	$\sigma(R_{22}, x_2)$	$\sigma(R_{23}, x_3)$	$\sigma(R_{24}, x_4)$	$\sigma(R_{25}, x_5)$
	$\sigma(R_{33}, x_1)$	$\sigma(R_{32}, x_2)$	$\sigma(R_{33}, x_3)$	$\sigma(R_{34}, x_4)$	$\sigma(R_{35}, x_5)$
	$\sigma(R_{44}, x_1)$	$\sigma(R_{42}, x_2)$	$\sigma(R_{43}, x_3)$	$\sigma(R_{44}, x_4)$	$\sigma(R_{45}, x_5)$
	$\sigma(R_{51}, x_1)$	$\sigma(R_{52}, x_2)$	$\sigma(R_{53}, x_3)$	$\sigma(R_{54}, x_4)$	$\sigma(R_{55}, x_5)$
待识别 $x$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$

其中  $s_i = \sum_{j=1}^5 \{ \sigma(R_{ij}, x_j) \} \quad (i = 1, 2, 3, 4, 5),$

$$s_{i0} = \sum_{j=1}^5 S_i$$

根据择近原则,  $x$  属于第  $i_0$  类型。

2.2 模糊向量集合族的贴近度计算

2.2.1 海明贴近度公式

为了能客观的反映两个模糊集的贴近程度, 尽量避免贴近度的不足之处, 我们这里采用了目前常用的贴近度计算公式“海明贴近度公式”。

$$\sigma(R, X) = 1 - \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |R(x_k) - X(x_k)|$$

2.2.2 隶属度公式。

为了求得贴近度, 必须建立各单指标对岩石质量分级的隶属度函数。

建立合理的隶属度函数是很困难的, 需要不断的试验和总结。它也是至今尚未完全解决的问题。由隶属度的性质, 关于样本类型和样本特征我们可以取正态分布函数作为隶属度函数。

· 中间型:  $U(x) = e^{-\left(\frac{x-m}{c}\right)^2}$

· 偏小型:  $U(x) = \begin{cases} 1, & x \leq m \\ e^{-\left(\frac{x-m}{c}\right)^2}, & x > m \end{cases}$

· 偏大型:  $U(x) = \begin{cases} 1, & x \leq m \\ 1 - e^{-\left(\frac{x-m}{c}\right)^2}, & x > m \end{cases}$

这里我们选取中间型正态分布函数作为隶属度函数。

其中  $U(x)$  代表不同的模糊向量,  $m, c$  是常量。

当  $x = m$  时, 隶属度  $U(x) = 1$ , 这里我们用各指标的平均值给  $m$  赋值。根据正态分布函数的性质可知  $c$  值的大小和曲线覆盖的范围大小有关。故我们可以通过区间的宽度确定  $c$  值。

$$c = 0.5 \times 1.1 \times (x_{\text{上}} - x_{\text{下}})$$

其中  $x_{\text{上}}, x_{\text{下}}$  分别为各区间的上、下界, 由上式可求得  $c$  值。在岩体质量 RMR 分类因素及评分标准表和岩体质量简易分级表中, 各单指标的分级范围已经给出, 由此我们可以得出各范围的  $m/c$  值表。

表 6 类型模糊集各指标范围  $m/c$  值

单轴抗压强度/ MPa	岩体质量指标/ %	平均节理裂隙间距/ m	风化程度	地下水状况
27.5/ 27.5	95/ 5.5	2/ 0.55	26.5/ 1.65	13/ 1.65
17.5/ 82.5	82.5/ 8.25	1.3/ 0.77	23.5/ 1.65	9.5/ 1.65
75/ 27.5	62.5/ 8.25	0.4/ 0.22	18.5/ 3.85	6.5/ 1.65
37.5/ 13.75	37.5/ 8.25	0.13/ 0.077	11.5/ 3.85	2.5/ 2.75
12.5/ 13.75	12.5/ 13.75	0.03/ 0.033	4/ 4.4	0/

表 7 样本特征各指标范围  $m/c$  值

单轴抗压强度/ MPa	岩体质量指标/ %	平均节理裂隙间距/ m	风化程度	地下水状况
值	150/ 165	50/ 55	1/ 1.1	14/ 15.4
				7.5/ 8.25

3 工程实例

以某水电站右岸 20 号平洞 90 m 处为例, 经现场地质勘察, RQD、单轴抗压强度、平均节理裂隙间距、风化程度、地下水状况数据分别为: 0.68 467、98.75 MPa、1.67 m、中风化下段(17.5)、潮湿(7)。

先求各  $R_{ij}(x)$  的隶属函数值, 如下表所示:

表 8 隶属度函数值

类型	特征指标				
	岩体的完整程度	岩体的力学性质	平均节理裂隙间距	风化程度	地下水状况
(很好)	7.81235E- 11	1.44786E- 18	0.697676326	3.14911E- 14	1.80827E- 06
(好)	0.055393229	0.425613314	0.793819661	7.3796E- 07	0.100692485
(中等)	0.592666497	0.474322519	3.36826E- 15	0.907420243	0.912262625
(差)	7.60469E- 07	2.4116E- 09	1.9152E- 174	0.103361504	0.068721996
(很差)	6.37967E- 08	8.16147E- 18	0	0.000107623	0

$x_j(x)$  的隶属函数值:  $x = (0.908, 0.893\ 4, 0.69, 0.955\ 1, 0.996\ 3)$

由海明贴近度公式:  $\sigma(R, X) = 1 - \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |R(x_k) - X(x_k)|$

求得贴近度值表:

表 2   侵蚀泥沙的颗粒组成( % )			
小区	2 ~ 0. 02 mm	0. 02 ~ 0. 002 mm	< 0. 002mm
T 1	28. 46	42. 87	28. 67
T 2	38. 02	36. 17	25. 81
T 3	48. 80	33. 66	17. 54
T 4	22. 21	37. 03	40. 76
T 5	46. 77	32. 27	20. 96

表 3 侵蚀泥沙与雨前表土养分比较								
小区	项目	有机质/	全 N/	全 P/	全 K/	速效 N/	速效 P/	速效 K/
		( g · kg <sup>- 1</sup> )	( g · kg <sup>- 1</sup> )	( g · kg <sup>- 1</sup> )	( g · kg <sup>- 1</sup> )	( mg · kg <sup>- 1</sup> )	( mg · kg <sup>- 1</sup> )	( mg · kg <sup>- 1</sup> )
T 1	侵蚀泥沙	16. 24	0. 96	0. 82	28. 89	95. 03	28. 97	104. 53
	雨前表土	11. 51	0. 66	0. 66	22. 42	62. 59	19. 94	66. 94
	富集比	1. 41	1. 45	1. 24	1. 29	1. 52	1. 45	1. 56
T 2	侵蚀泥沙	14. 06	0. 86	0. 74	27. 31	84. 31	26. 89	97. 27
	雨前表土	10. 55	0. 63	0. 62	21. 46	57. 09	19. 01	63. 76
	富集比	1. 33	1. 37	1. 19	1. 27	1. 48	1. 41	1. 53
T 3	侵蚀泥沙	12. 14	0. 71	0. 69	26. 69	81. 30	27. 07	88. 53
	雨前表土	9. 60	0. 55	0. 59	21. 37	56. 88	17. 80	59. 17
	富集比	1. 26	1. 29	1. 17	1. 25	1. 43	1. 52	1. 50
T 4	侵蚀泥沙	15. 28	0. 94	0. 82	27. 32	87. 04	30. 12	118. 57
	雨前表土	10. 10	0. 70	0. 69	22. 00	64. 94	20. 96	72. 55
	富集比	1. 51	1. 34	1. 19	1. 24	1. 34	1. 44	1. 63
T 5	侵蚀泥沙	10. 81	0. 67	0. 69	25. 26	71. 60	24. 14	94. 72
	雨前表土	8. 43	0. 56	0. 62	19. 96	58. 22	17. 72	65. 51
	富集比	1. 28	1. 20	1. 10	1. 27	1. 23	1. 36	1. 45

参考文献:

[ 1]  陈国阶,徐琪,杜榕桓,等. 三峡工程对生态与环境的影响及对策研究[ M ]. 北京:科学出版社,1995. 15– 25.

[ 2]  席承藩,徐琪,马毅杰,等. 长江流域土壤与生态环境建设[ M ]. 北京:科学出版社,1994. 87– 107.

[ 3]  钟冰,唐治诚. 三峡库区水土流失及其防治[ J]. 水土保持研究,2001,8( 2 ): 147– 149.

[ 4]  陈治谏,廖晓勇,刘邵权,等. 坡地植物篱农业技术生态经济效益评价[ J ]. 水土保持学报,2003,17( 4 ): 125– 127.

[ 5]  廖晓勇,陈治谏,刘邵权,等. 陡坡地皇竹草水土保持效益研究[ J ]. 水土保持学报,2002,16( 4 ): 34– 36.

[ 6]  廖晓勇,陈治谏,刘邵权,等. 三峡库区粮经果复合垄作技术效益评价[ J ]. 水土保持学报,2003,17( 2 ): 37– 40.

[ 7]  黄丽,丁树文,董舟,等. 三峡库区紫色土养分流失的试验研究[ J ]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1998,4( 1 ): 8– 13.

[ 8]  白红英. 坡地土壤侵蚀与养分流失过程的研究[ J ]. 水土保持通报,1991,11( 3 ): 14– 19.

( 上接第 109 页)

表 9   贴近度值						
类型	特征指标					
	$R_{i1}$	$R_{i2}$	$R_{i3}$	$R_{i4}$	$R_{i5}$	$s_i$
	0. 106615	0. 091968	0. 992373	0. 04488	0. 003668	0. 003668
	0. 162008	0. 517582	0. 89623	0. 044881	0. 104359	0. 044881
	0. 699281	0. 566291	0. 30995	0. 9523	0. 915929	0. 30995
	0. 106615	0. 091968	0. 30995	0. 148242	0. 931278	0. 091968
	0. 106615	0. 091968	0. 30995	0. 044988	0. 003668	0. 003668
待识别 $x$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$S_{i0}= 0. 30995$

参考文献:

[ 1]  张倬元,王士天,王兰生. 工程地质分析原理[ M ]. 北京:地质出版社,1994.

[ 2]  谢季坚,刘承平. 模糊数学方法及其应用[ M ]. 武汉:华中科技大学出版社,2000.

[ 3]  李育枢. 深挖路堑公路边坡岩体力学参数及其获取方法体系研究[ D ]. 成都:成都理工大学,2003.

坡面土壤侵蚀伴随着养分流失,比较不同利用方式侵蚀泥沙的养分含量可见(表 3),果—植物篱复合(T<sub>4</sub>)、粮经果复合垄作(T<sub>1</sub>) > 粮经果复合平作(T<sub>2</sub>) > 粮经平作(T<sub>3</sub>)、纯粮平作(T<sub>5</sub>)。这与侵蚀泥沙的颗粒组成密切相关,因为土壤养分主要吸附于< 0. 02 mm 的颗粒<sup>[7]</sup>。降雨过程中流失的泥沙养分含量均高于雨前表土,具有富集的特征。以富集比(流失泥沙与雨前表土养分含量之比)<sup>[8]</sup>来说明侵蚀导致的养分含量变化特征。果—植物篱复合(T<sub>4</sub>)、粮经果复合垄作(T<sub>1</sub>) > 粮经果复合平作(T<sub>2</sub>) > 粮经平作(T<sub>3</sub>)、纯粮平作(T<sub>5</sub>)。从不同养分的富集比来看,速效钾流失变化最大,养分富集比为 1. 45~ 1. 63,全磷的变化最小,富集比为 1. 10~ 1. 24,这与紫色土富钾缺磷的特性有关,也与磷、钾在土壤中移动的化学行为不同相关。

## 4 结 语

三峡库区紫色土坡耕地的利用,果—植物篱复合、粮经果复合垄作是水土保持效果理想的土地利用方式。坡耕地流失泥沙中< 0. 02 mm 的颗粒大量富集,是养分流失的主要载体,防止这部分颗粒的流失是减少养分流失的关键。在治理上,可采用植物篱、农林复合、垄作免耕等措施增加植被覆盖度,固持土壤,拦截泥沙颗粒,以达到减少水土流失,可持续利用坡耕地的目的。