

# 路堑边坡岩体强度参数的模糊折减方法研究

李育枢<sup>1,2</sup> 丰 甦<sup>1</sup>

(1. 四川建筑职业技术学院,四川德阳 618000;

2. 成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室,四川成都 610059)

**【摘要】** 岩体强度是岩体工程设计中一项非常重要的参数。通过岩块获得相应岩体强度参数的经验折减方法往往具体指标难以确定,且与实际出入较大。引入现代模糊数学理论,首先对基于岩块获得岩体强度参数的模糊折减理论方法进行介绍,然后以一处深挖路堑高边坡岩体为例,利用原位岩体质量特征信息,对其强度参数进行了模糊折减实例分析,并与原位试验结果进行了对比验证。

**【关键词】** 路堑边坡;岩体;强度参数;模糊折减;岩体质量特征

**【中图分类号】** TU 452

**【文献标识码】** A

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2014.02.006

## Fuzzy Evaluation Method on Rockmass Strength Parameters of Cut Slope

Li Yushu<sup>1,2</sup> Feng Su<sup>1</sup>

(1. Sichuan College of Architectural Technology, Deyang 618000, Sichuan, China;

2. National Laboratory of Geological Hazard Prevention & Geological Environment Protection of CDUT, Chengdu 610059, Sichuan, China)

**【Abstract】** Rockmass strength parameter is an important mechanics index in major engineering. Now many empirical relationships for this parameter based on that of rock often occurs index determination difficulty and inaccurate estimating results. Fuzzy discount method for rockmass strength parameter getting from corresponding rock is introduced in this paper, and then, a deep cut slope is selected as a case, basing on rock mass quality characteristic data from in situ investigation, the rockmass strength parameter is predicted by fuzzy evaluation and verified by in field test results.

**【Key words】** cut slope; rockmass; strength parameter; fuzzy discount; rock mass quality characteristic

### 0 引言

岩体强度是大型岩体工程设计中的一项重要参数。目前有不少基于岩块强度参数获得岩体强度的经验折减关系,这类方法简洁、方便,但往往折减公式中具体指标难以确定,且与实际出入较大,其根本原因在于:岩体是一种模糊聚合体,岩石、岩体间的这种关系是同时包含随机不确定性和模糊不确定性的一种随机-模糊变量,若用确定性的数学关系来表达,必然有其局限性<sup>[1]</sup>。基于上述情形,可把两者间的这种关系进行科学的模糊化处理分析,来获得比较理想的结果。

文中首先介绍从室内岩石强度参数进行模糊折减获得岩体强度的基本思路和科学模糊处理方法;然后以两处深挖路堑高边坡为实例,在室内岩石强度试验结果基础上,基于原位岩体质量特征信息,对

该处岩体强度参数进行模糊折减分析,并与原位大剪试验结果进行了对比验证。

### 1 模糊折减的基本思路与方法

#### 1) 模糊折减的基本思路

可利用现代模糊数学方法,把这些定性的经验关系进行一定的模糊化处理,从而获得更为科学、可靠的模糊定量折减关系。具体而言,可把这个折减关系当作一个模糊子集:

$$\varphi = \tilde{B} = b_1/\varphi_1 + b_2/\varphi_2 + \dots + b_n/\varphi_n \quad (1)$$

这里  $\varphi_i$  为两者间折减系数的各种可能取值(通常在经验范围内等步长选取),  $b_i$  为可能折减系数  $\varphi_i$  对综合评判集  $\tilde{B}$  的隶属度;各可能折减系数的全体就是备择论域,即综合评判结果<sup>[1]</sup>。依据既有经验进行模糊综合评判,最终确定出最佳综合折减系数  $\bar{\varphi}$ 。

**基金项目:**国家重点实验室人才培养基金项目(SKLGP2010Z010);德阳市重点科技计划项目(2013ZZ074-02);四川建筑职业技术学院科技研究项目(SCJY/RC-KY-201301)

**作者简介:**李育枢,1976年生,男,湖南娄底人,博士,副教授,主要从事边坡工程、地下工程的教学与研究工作。

E-mail:30726262@qq.com

$$S_m = \bar{\varphi} \cdot S_r \quad (2)$$

式中:  $S_m$ 和  $S_r$ 分别为岩体和岩石的强度参数指标。

因此岩体强度参数模糊化处理的实质是一个模糊综合评判的问题。

## 2) 模糊综合评判过程与方法

影响岩体强度参数的因素复杂多变,在评价折减系数  $\bar{\varphi}$  时,究竟考虑哪些因素要视工程实际情况和可获得资料而定。在论域上,可将影响因素模糊集记为:

$$\tilde{A} = A_1/u_1 + A_2/u_2 + \dots + A_m/u_m \quad (3)$$

式中  $0 \leq A_i \leq 1 (i=1, 2, \dots, m)$  为影响因素  $u_i$

对  $\tilde{A}$  的隶属度,该隶属度是  $u_i$  在评定折减系数  $\bar{\varphi}$  时所起作用大小的量度,也就是影响因素评定折减因素的能力。

同时,可将备择模糊子集(评判集)记为如式(1)所示。

要建立因素集与评判集之间的关系必须进行单因素评判。单因素评判的实质是如何根据某一因素评价折减系数对备择论域的隶属度。在这里确定隶属度时采用评估法,这样可充分利用人们对岩体力学特性认识已获得的经验积累。

单因素评判可采用层次分析理论中的 1-9 标度法<sup>[2]</sup>,通过因素集中某两个因素的相对重要性对比,即可进行量化判断。依据单因素评判的结果,即可组成综合评价矩阵  $R$  如下:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{m1} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中  $r_{ij} = u_R(u_i, \varphi_j) (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n; \text{且 } 0 \leq r_{ij} \leq 1)$  表示从因素  $u_i$  着眼,折减系数被评为  $\varphi_j$  的隶属程度,式(4)中的第  $i$  行就是第  $i$  个影响因素的单因素评判结果。

将影响因素模糊子集和备择模糊子集写成模糊向量:

$$\tilde{A} = (a_1 \ a_2 \ \dots \ a_m)$$

$$\tilde{B} = (b_1 \ b_2 \ \dots \ b_n)$$

此时,模糊子集  $\tilde{A}$  和备择模糊子集  $\tilde{B}$  之间的关系为:

$$(b_1 b_2 \dots b_n) = (a_1 a_2 \dots a_m) \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{m1} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

其中  $b_j = \sum_{i=1}^m a_i r_{ij} (j=1, 2, \dots, n)$  即为模糊综合评判结果,按通常矩阵乘法法则运算。综合评判结果得到一个备择模糊子集式,利用隶属度为权,取加权平均值即获得折减系数的模糊综合评定值  $\bar{\varphi}$ ,即:

$$\bar{\varphi} = \sum_{j=1}^n b_j \varphi_j / \sum_{j=1}^n b_j \quad (6)$$

## 2 岩体强度参数的模糊折减实例分析

以崇遵线董公寺立交匝道边坡 C 区石英砂岩的技术资料为基础,运用前述模糊折减评判方法,预测石英砂岩岩体的粘聚力  $c_R$ ,并用相应原位大剪试验结果进行验证和检验。

该工点的石英砂岩岩体的相关岩体质量信息见表 1、表 2。

表 1 影响岩体质量、完整性因素指标

标高 /m	岩体纵波波速均值 $v_p / (m \cdot s^{-1})$	岩体完整性系数 $K_v$	岩体变形模量均值 $E_0 / \text{MPa}$	岩体质量指标 RQD / %	节理间距 $h_i$ /m
0	2751	0.31	2500	50.0	0.20
0~1.5	3419	0.47	4700	50.5	0.25
1.5~3.0	3708	0.55	5500	32.3	0.40
3.0~4.5	3448	0.48	4700	14.7	0.50
4.5~6.0	3679	0.54	5400	36.7	0.30
6.0~7.5	3677	0.54	5100	28.3	0.30
7.5~9.0	3626	0.53	5600	35.0	0.50

表2 完整性等级划分标准

因素	完整岩体	较完整岩体	完整性一般岩体	完整性差岩体	破碎岩体
岩体纵波波速 $v_p/(m \cdot s^{-1})$	>5000	5000~4300	4300~3500	3500~2000	<2000
岩体完整性系数 $K_v$	>0.74	0.74~0.55	0.55~0.36	0.36~0.12	<0.12
岩体变形模量均值 $E_s/MPa$	>20	20~10	10~5	5~2	2~0.2
岩体质量指标岩 RQD/%	>90	90~75	75~55	55~25	<25
岩体节理间距 $h_i/m$	>1.0	1.0~0.6	0.6~0.4	0.4~0.2	<0.2

根据现有资料,选取以下5个因素——作为因素集:  $u_1$  岩体声波速度、 $u_2$  岩体完整性系数、 $u_3$  岩体变形模量、 $u_4$  岩体质量指标、 $u_5$  岩体节理间距,即  $U = (u_1 \ u_2 \ u_3 \ u_4 \ u_5)$

依据工程实践经验:通常石英砂岩岩体的粘聚力  $c_R$  一般是对应岩块的  $1/20 \sim 1/100$ ,故等步长取备择集为:  $\varphi = (1/20 \ 1/40 \ 1/60 \ 1/80 \ 1/100)$ 。首先依据各单因素评价得到隶属度比率标度矩阵,然后按方根法得到单因素评价结果:

$$R_1 = (0.0347 \ 0.0678 \ 0.1976 \ 0.3339 \ 0.3659)$$

$$R_2 = (0.0426 \ 0.1743 \ 0.5593 \ 0.1797 \ 0.0441)$$

$$R_3 = (0.0461 \ 0.0796 \ 0.4438 \ 0.3186 \ 0.1119)$$

$$R_4 = (0.0317 \ 0.0734 \ 0.1551 \ 0.5041 \ 0.2356)$$

$$R_5 = (0.0374 \ 0.0703 \ 0.2345 \ 0.5044 \ 0.1534)$$

结合因素集权向量和单因素评判的结果,根据式(6)和式(7)可求得模糊综合评判结果:

$$\tilde{B} = (0.0422 \ 0.1014 \ 0.4091 \ 0.3040 \ 0.1432)$$

从而可相应求得综合折减系数:

$$\bar{\varphi} = \sum_{j=1}^n b_j \varphi_j / \sum_{j=1}^n b_j = 0.0167$$

根据室内试验结果<sup>[3]</sup>,该路堑高边坡石英砂岩的完整岩块粘聚力平均值为  $c=21.78$  MPa,由该综合折减系数可预测相应岩体的粘聚力:

$$c_R = 0.0167 \times 21.78 = 0.364, \text{MPa}$$

另外,根据现场原位大剪试验结果<sup>[3]</sup>:该处岩体抗剪断摩擦系数  $f'=1.02$ 、粘聚力  $c=0.39$  MPa。可见,模糊折减后的预测估算结果与原位试验结果基本接近。

采用上述同样方法预测贵新线 K50+100~K50+631 路堑高边坡段泥灰岩岩体的粘聚力  $c_R$ 。在该坡段,前述各因素值分别为:

岩体平均纵波波速  $v_p=4382$  m/s;岩体平均完整性系数  $K_v=0.58$ ;岩体平均变形模量  $E_s=22\ 000$  MPa;岩体质量指标 RQD=72%;岩体节理间距  $h_i=0.56$  m。

取与前述相同的各因素间的比率标度矩阵和因

素权向量,采用类似方法,相应获得基于各单因素评价的隶属度比率标度矩阵  $U_1、U_2、U_3、U_4、U_5$ ,得到各单因素评价结果  $R_1、R_2、R_3、R_4、R_5$ ,最后根据因素集权向量,同样获得综合模糊评判结果:

$$\tilde{B} = (0.2696 \ 0.4133 \ 0.2265 \ 0.0604 \ 0.0301)$$

求得综合折减系数:

$$\bar{\varphi} = \sum_{j=1}^n b_j \varphi_j / \sum_{j=1}^n b_j = 0.0286$$

根据室内直剪试验结果,该处泥灰岩粘聚力平均值为  $c=2.0$  MPa,由综合折减系数可得相应岩体粘聚力:

$$c_R = 0.0286 \times 2 = 0.057 \text{MPa}$$

根据该坡段典型节理化泥灰岩岩体中的原位剪切试验结果,该处岩体粘聚力为  $c=0.065$  MPa,模糊估算结果与实测接近,再一次验证了该方法的有效性。

### 3 结 语

研究表明,利用上述综合模糊评判方法,基于原位有关岩体质量特征信息,即可在室内岩块测试结果基础上有效估算相应岩体的强度参数,即获得岩体相对于对应岩块强度参数的定量模糊折减关系。经验证,该折减方法具有很好的准确性和良好的可操作性,可为路堑边坡岩体强度参数的获取提供一个方便、快捷、有效的途径,具有很好的推广应用价值。

### 参 考 文 献

- [1] 梁保松,曹殿立. 模糊数学及其应用[M]. 北京:科学出版社,2008.
- [2] 胥泽银,郭科. 多元统计方法及其程序设计[M]. 成都:四川科学技术出版社,1999.
- [3] 李育枢. 深挖路堑公路边坡岩体力学参数及获取方法研究——以贵州省公路边坡为例[D]. 成都:成都理工大学,2003.