

文章编号: 0451-0712(2005)10-0174-04

中图分类号: U456.3

文献标识码: B

# 模糊数学在岩爆预测中的应用

邓群峰

(路桥集团第一公路工程局江浙工程处 苏州市 215151)

**摘要:** 岩爆是高应力区硬岩处地下工程的一种常见地质灾害。岩爆的产生受到许多因素的影响,如地应力、埋深、岩石脆性指数等,采用模糊综合评判的方法可以预测岩爆可能发生的等级。

**关键词:** 岩爆; 模糊综合评判; 权重计算

埋藏较深的隧道工程,在高应力、脆性岩体中,由于施工爆破扰动原岩,岩体受到破坏,使掌子面附近的岩体突然释放出潜能,产生脆性破坏,这时围岩表面发生爆裂声,随之有大小不等的片状岩块弹射剥落出来。这种现象称之为岩爆。岩爆有时频繁出现,有时甚至会延续一段时间后才逐渐消失。岩爆不仅直接威胁作业人员与施工设备的安全,而且严重影响施工进度,增加工程造价。

工程岩体的变形破坏特征是极为复杂的,且多半是高度非线性的。岩体力学问题多半具有不确定性,研究的对象也在不停地变化,有时很难找到一种精确的算法求解。模糊综合评判法正是考虑到影响岩爆的因素具有模糊的特征,弥补了以往仅用一个定性指标来评判岩爆可能发生的缺陷,使得评判结果更接近客观实际。因此,在岩体力学的研究中,模糊数学的应用越来越体现出它的优越性。笔者拟采取这种方法,对木西岙隧道岩爆可能发生的等级作一个预测。

## 1 地质概况

木西岙隧道位于温州市木西村北侧,属剥蚀丘陵亚区。该区内最高处海拔为111.9 m,最大相对高差约107 m,地势总体呈西高东低趋势。隧道轴线通过区域的最高海拔约91 m。隧道区围岩为晶屑熔结凝灰岩,属极硬岩,抗风化能力强,岩石脆性较大。

## 2 模糊综合评判

岩体是地质体,经历过多次反复的地质作用,经

受过变形,遭受过破坏,形成了一定的岩石成分和结构,赋存于一定的地质环境中。在研究这个复杂的体系时,会遇到许多不确定的因素,人们往往会用精确的数学概念来描述这个本质上具有不确定性的复杂体系,反而很难得到一个精确的解。因此,在研究岩爆预测时,模糊数学越来越体现出它的优越性。所谓模糊综合评判,就是根据给出的评判标准和实测值,经过模糊变换对事物做出评判的一种方法。

### 2.1 模糊综合评判的数学模型

设 $U$ 为评判因素的集合, $V$ 为评语集合,均为有限集。

$$U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\}$$
$$V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$$

设 $R$ 是从 $U$ 到 $V$ 的模糊集合,即:

$$R = (r_{ij}) = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & \cdots & r_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{m1} & r_{m2} & r_{m3} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (0 \leq r_{ij} \leq 1)$$

$r_{mn}$ 表示从 $m$ 个因素着眼,对评价对象做出第 $n$ 种评语的可能程度。再根据矩阵的复合运算,由 $R$ 确定一个变换,任给出 $U$ 上一个模糊子集 $A$ ,便可确定 $V$ 上的模糊子集。

$$B = A \cdot R$$

此即为模糊综合评判数学模型。

### 2.2 权值的确定方法

目前通用的确定权值的方法,仍带有很重的主观性。本文采用评判因子超标加权法求解权数分配,其原理如下。

$$P_i=C_i/C_{0i}$$

式中: $C_i$  为第  $i$  种因子在岩爆评判中的实测值; $C_{0i}$  为第  $i$  种因子作为某种用途时的允许值; $P_i$  为因子超标数。

超标数越大,对岩爆的贡献就越大,加权就是依据这个原理。其权重为:

$$W_i=P_i$$

岩爆可分为若干等级,因此允许值就有若干数值,求  $W_i$  时, $C_{0i}$  可取平均值。

另外,对于所求的权值,为了进行模糊变换的需要, $W_i$  值应满足归一化的要求,即:

$$\sum_{i=1}^n W_i=1$$

归一化公式为:

$$W_i=\frac{W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

把  $W_i$  值用向量形式写,得:

$$A=(W_1,W_2,W_3,\cdots,W_n)$$

此向量  $A$  表明了各项因子在岩爆预测中的贡献, $A$  即为综合评判中的“输入”。

2.3 评判因子的选择

影响岩爆的因素很多,从一些国家的规定和研究成果来看,主要有岩石单轴抗压强度  $\sigma_c$ 、岩石的脆性、地应力场的应力值。根据《木西岙隧道地质勘察报告》,再结合实地考察的情况,木西岙隧道各项指标整理后见表 1。

表 1 木西岙隧道围岩力学性能指标汇总

序号	桩号	$\sigma_c/\text{MPa}$	埋深 $H/\text{m}$	岩石脆性指数 $K_u$	$\sigma_{\max}/\sigma_c$
1	K216+250	70.3	17	3.2	0.06
2	K216+300	92.5	49	4.6	0.138
3	K216+350	115.1	78	5.1	0.183
4	K216+400	121.8	80	5.2	0.177
5	K216+450	112.3	76	5.3	0.183
6	K216+500	103.1	64	5.2	0.168
7	K216+550	94.5	48	5.7	0.137
8	K216+600	80.7	37	4.8	0.124
9	K216+650	65.1	36	5.2	0.149
10	K216+700	91.5	40	5.8	0.118

岩石脆性指数  $K_u$  为岩石峰值强度的总变形与永久变形之比。最大地应力  $\sigma_{\max}$  直接采用围岩自重应力场中的垂直应力分量,即:

$$\sigma_{\max}=\gamma H$$

式中: $\gamma$  为围岩容重; $H$  为埋深。

2.4 岩爆等级划分

岩爆分级或分类是进行岩爆等级预测的评判依据。根据评判模式的需要,将岩爆分为 4 级:无岩爆(Ⅰ)、微弱岩爆(Ⅱ)、中等岩爆(Ⅲ)、强烈岩爆(Ⅳ)。参照铁道部门的岩爆划分标准,岩爆强度的等级划分见表 2。

表 2 岩爆强度的综合分级

分级	$\sigma_c/\text{MPa}$	埋深 $H/\text{m}$	岩石脆性指数 $K_u$	$\sigma_{\max}/\sigma_c$
无岩爆(Ⅰ)	80	50	4	0.15
微弱岩爆(Ⅱ)	100	125	4.5	0.20
中等岩爆(Ⅲ)	150	450	6.25	0.275
强烈岩爆(Ⅳ)	180	700	7.5	0.3
平均	127.5	662.5	5.563	0.231

2.5 隶属函数

根据分级系统的各级标准,分别建立每种评判因子相适应不同级别的隶属函数。本文采用降半阶梯分布函数,以确定隶属度。

(1)单轴抗压强度  $\sigma_c$  的隶属函数。

Ⅰ级:

$$r_{11}=\begin{cases} 1 & x\leqslant 80 \\ -0.05(x-100) & 80<x<100 \\ 0 & x\geqslant 100 \end{cases}$$

Ⅱ级:

$$r_{12}=\begin{cases} 0.05(x-80) & 80<x<100 \\ -0.02(x-150) & 100\leqslant x<150 \\ 0 & x\leqslant 80 \text{ 或 } \geqslant 150 \end{cases}$$

Ⅲ级:

$$r_{13}=\begin{cases} 0.02(x-100) & 100<x<150 \\ -0.033(x-180) & 150\leqslant x<180 \\ 0 & x\leqslant 100 \text{ 或 } \geqslant 180 \end{cases}$$

Ⅳ级:

$$r_{14}=\begin{cases} 0 & x\leqslant 150 \\ 0.033(x-150) & 150<x<180 \\ 1 & x\geqslant 180 \end{cases}$$

(2)埋深  $H$  的隶属函数。

Ⅰ级:

$$r_{21}=\begin{cases} 1 & x\leqslant 50 \\ -0.013(x-125) & 50<x<125 \\ 0 & x\geqslant 125 \end{cases}$$

Ⅱ级:

$$r_{22}=\begin{cases} 0.013(x-50) & 50<x<125 \\ -0.003(x-450) & 125\leqslant x<450 \\ 0 & x\leqslant 50 \text{ 或 } \geqslant 450 \end{cases}$$

Ⅲ 级:

$$r_{23} = \begin{cases} 0.003(x-125) & 125 < x < 450 \\ -0.004(x-700) & 450 \leq x < 700 \\ 0 & x \leq 125 \text{ 或 } \geq 700 \end{cases}$$

Ⅳ 级:

$$r_{24} = \begin{cases} 0 & x \leq 450 \\ 0.004(x-450) & 450 < x < 700 \\ 1 & x \geq 700 \end{cases}$$

(3) 岩石脆性指数  $K_u$  的隶属函数。

I 级:

$$r_{31} = \begin{cases} 1 & x \leq 4 \\ -2(x-4.5) & 4 < x < 4.5 \\ 0 & x \geq 4.5 \end{cases}$$

Ⅱ 级:

$$r_{32} = \begin{cases} 2(x-4) & 4 < x < 4.5 \\ -0.571(x-6.25) & 4.5 \leq x < 6.25 \\ 0 & x \leq 4 \text{ 或 } \geq 6.25 \end{cases}$$

Ⅲ 级:

$$r_{33} = \begin{cases} 0.571(x-4.5) & 4.5 < x < 6.25 \\ -0.8(x-7.5) & 6.25 \leq x < 7.5 \\ 0 & x \leq 4.5 \text{ 或 } \geq 7.5 \end{cases}$$

Ⅳ 级:

$$r_{34} = \begin{cases} 0 & x \leq 6.25 \\ 0.8(x-6.25) & 6.25 < x < 7.5 \\ 1 & x \geq 7.5 \end{cases}$$

(4)  $\sigma_{\max}/\sigma_c$  的隶属函数。

I 级:

$$r_{41} = \begin{cases} 1 & x \leq 0.15 \\ -20(x-0.20) & 0.15 < x < 0.20 \\ 0 & x \geq 0.20 \end{cases}$$

Ⅱ 级:

$$r_{42} = \begin{cases} 20(x-0.15) & 0.15 < x < 0.20 \\ -13.333(x-0.275) & 0.20 \leq x < 0.275 \\ 0 & x \leq 0.15 \text{ 或 } \geq 0.275 \end{cases}$$

Ⅲ 级:

$$r_{43} = \begin{cases} 13.333(x-0.20) & 0.20 < x < 0.275 \\ -40(x-0.3) & 0.275 \leq x < 0.3 \\ 0 & x \leq 0.20 \text{ 或 } \geq 0.3 \end{cases}$$

Ⅳ 级:

$$r_{44} = \begin{cases} 0 & x \leq 0.275 \\ 40(x-0.275) & 0.275 < x < 0.3 \\ 1 & x \geq 0.3 \end{cases}$$

以测点 1(K216+250)为例求模糊关系矩阵, 见表 3。

表 3

测点 1(K216+250)的模糊关系矩阵

因子	隶属度			
	$\mu_I(x)$	$\mu_{II}(x)$	$\mu_{III}(x)$	$\mu_{IV}(x)$
$\sigma_c(70.3 \text{ MPa})$	1	0	0	0
$H(50 \text{ m})$	1	0	0	0
$K_u(3.2)$	1	0	0	0
$\sigma_{\max}/\sigma_c(0.06)$	1	0	0	0

于是, 可以得到测点 1 的模糊关系矩阵:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

同理, 可以得到其他各点的模糊关系矩阵:

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.38 & 0.62 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.94 & 0.06 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0.70 & 0.30 & 0 \\ 0.62 & 0.38 & 0 & 0 \\ 0 & 0.66 & 0.34 & 0 \\ 0.34 & 0.66 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0.56 & 0.44 & 0 \\ 0.60 & 0.40 & 0 & 0 \\ 0 & 0.60 & 0.40 & 0 \\ 0.46 & 0.54 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_5 = \begin{bmatrix} 0 & 0.75 & 0.25 & 0 \\ 0.65 & 0.35 & 0 & 0 \\ 0 & 0.54 & 0.46 & 0 \\ 0.34 & 0.66 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_6 = \begin{bmatrix} 0 & 0.94 & 0.06 & 0 \\ 0.81 & 0.19 & 0 & 0 \\ 0 & 0.60 & 0.40 & 0 \\ 0.64 & 0.36 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_7 = \begin{bmatrix} 0.28 & 0.72 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.31 & 0.69 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_8 = \begin{bmatrix} 0.97 & 0.03 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.83 & 0.17 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_9 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.60 & 0.40 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$
$$R_{10} = \begin{bmatrix} 0.43 & 0.57 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.26 & 0.74 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

2.7 各测点评判因子权数分配

各因子权数的集合称为“输入 A”，本文用指数超标法求各因子的权数，以测点 1 为例，说明输入 A 的计算方法，见表 4。

表 4 测点 1(K216+250)的权数分配

因子	$\sigma_c/\text{MPa}$	埋深 $H/\text{m}$	脆性指数 $K_u$	$\sigma_{\max}/\sigma_c$
实测值 $C_i$	70.3	17	3.2	0.06
平均允许值 $C_{0i}$	127.5	662.5	5.563	0.231
超标加权值 $W_i = C_i/C_{0i}$	0.55	0.03	0.58	0.26
归一化处理 $(\sum_{i=1}^n W_i = 1, W_i = \frac{W_i}{\sum_{i=1}^n W_i})$	0.39	0.02	0.41	0.18

把表 4 的权值用向量的形式写出，得：

$A_1 = (0.39, 0.02, 0.41, 0.18)$

同理，可以写出其他点的权值：

$A_2 = (0.33, 0.03, 0.37, 0.27)$

$A_3 = (0.33, 0.04, 0.34, 0.29)$

$A_4 = (0.35, 0.04, 0.33, 0.28)$

$A_5 = (0.32, 0.04, 0.35, 0.29)$

$A_6 = (0.32, 0.04, 0.36, 0.28)$

$A_7 = (0.31, 0.03, 0.42, 0.24)$

$A_8 = (0.31, 0.03, 0.40, 0.26)$

$A_9 = (0.24, 0.03, 0.43, 0.30)$

$A_{10} = (0.31, 0.03, 0.45, 0.21)$

2.8 综合评判

在建立了 R 和 A 之后，就可根据模糊变换原理求 B，以测点 1 为例。

$B_1 = A_1 \cdot R_1 = (0.39, 0.02, 0.41, 0.18) \cdot$

$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = (0.41, 0, 0, 0)$

同理，可得其他点的 B 值：

$B_2 = (0.33, 0.37, 0.06, 0)$

$B_3 = (0.29, 0.34, 0.34, 0)$

$B_4 = (0.28, 0.35, 0.35, 0)$

$B_5 = (0.29, 0.35, 0.35, 0)$

$B_6 = (0.28, 0.36, 0.36, 0)$

$B_7 = (0.28, 0.31, 0.42, 0)$

$B_8 = (0.31, 0.40, 0.17, 0)$

$B_9 = (0.30, 0.43, 0.40, 0)$

$B_{10} = (0.31, 0.31, 0.45, 0)$

按照模糊数学中的贴近度方法， $b^* = \max(b_1, b_2, b_3, b_4)$ ， $b^*$  所对应的岩爆等级即为所要判别的等级。

2.9 评判结果分析

为了更直观地表示出木西岙隧道可能发生岩爆的等级，可以把以上判别结果绘制成直方图，如图 1 所示。

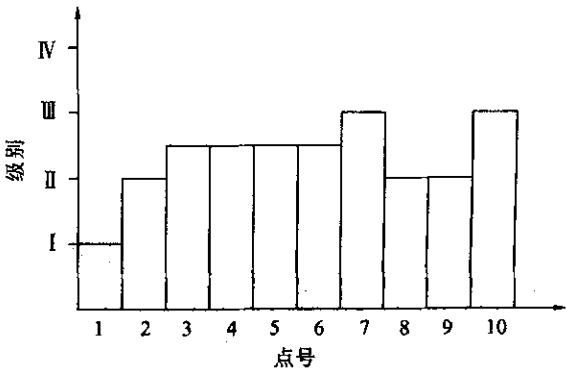


图 1 木西岙隧道岩爆等级直方图

分析图 1，不难看出木西岙隧道的岩石具有如下特点：

- (1) 进洞口围岩较差，裂隙发育，无岩爆发生的可能；
- (2) 隧道中部埋深较大，再加之岩石脆性较大，有微弱岩爆到中等岩爆发生的可能；
- (3) 影响木西岙隧道岩爆的主要因素是岩石的脆性指数，这同实际情况是一致的。

3 结语

隧道围岩状况的好坏以及评判等级的划分，其界限是模糊的。应用模糊数学的方法进行评判，能较准确地描述出岩爆客观存在的情况，取得了接近客观实际的评判结果。参照铁道部门的岩爆划分标准

文章编号: 0451—0712(2005)10—0178—03

中图分类号: U414. 11

文献标识码: B

# 沥青混合料原材料质量控制

王建勇

(路桥集团第一公路工程局天津工程处 天津市 300451)

**摘 要:** 通过分析近几年高速公路沥青混凝土路面出现的通病,论述了沥青混合料原材料是影响路面质量的原因之一,简要介绍了主要几种原材料的选择情况。

**关键词:** 沥青混合料; 原材料; 稳定; 均匀; 石屑

## 1 沥青混合料组成

沥青混合料主要是由矿料和有机结合料这两大部分组成,矿料又依其颗粒级配的组成称做集料,并按其粗、细分为:粗集料—主骨料的组成部分;细集料—主要由石屑、天然砂、机制砂等组成;填充料—主要指石灰石矿粉,也包括其他如水泥、消石灰粉、合成纤维等各种掺加材料。可以说在原材料方面,当前主要的困扰和麻烦,往往发生在碎石材料的生产与供应方面。

## 2 路用碎石

路用碎石是一项数量可观的大宗材料,左右着沥青混凝土路面的修建质量。所以从选料定货开始,就要严格把住这一关。地方采石加工在尚未形成正规系列化生产的状况下,从采石、破碎、加工,到产品供应,还处于分散、多变、规格杂乱而不稳定的状态,在石料场的生产中,一时一个样,一处一个样,所以路用石料,距离正规沥青混凝土路面的使用要求相差甚远。面对这样一种复杂现状,首先要求材料采购人员要懂一些基本的专业知识,对于所用碎石的质

量规格概念要清楚,到了石场,有一定的临场观察、分析能力。对于一些较为复杂且又零散的石料生产,非一般性采购员所能胜任的,就应该派出专业技术主管、试验和检测人员亲自去石场进行调研,就地采样筛分、制定生产标准,洽商具体选购事宜。

在碎石的规格尺寸上,石场的叫法也往往是不准确的、笼统的,出售的与实有的规格之间差别甚大。因为石场的加工筛分,在以往的圆孔筛试验标准时期,已经形成了习惯叫法。如今,采用新方孔筛试验标准,如果对这两种筛孔间的对应关系搞不清楚的话,是很难将工程标准中真正要求的规格执行好的。甚至为了推销产品,石场的叫法也是相当随意而无依据的。此外,主骨料的最大粒径尺寸问题,也是一个不容忽视或容易误解的环节。就以 AC—25I、AC—20I 和 AC—16I 这 3 种类型的沥青混凝土来说,其中的 25、20 和 16 只是代表术语中 90(95)%~100%通过百分率上限筛孔的尺寸,也称为最大公称尺寸,而不是其最大粒径尺寸,实际上的最大粒径尺寸,也即 100%通过百分率的筛孔尺寸,应分别是 31.5 mm、26.5 mm 和 19 mm。如果忽略了这点,就

收稿日期: 2005—09—15

建立了隧道岩爆评判标准,使用效果满意,可以为同类型评判工作提供参考意见。

## 参考文献:

[1] 蔡美峰. 岩石力学与工程[M]. 科学出版社, 2002.  
[2] 王新洲, 史文中, 王树良. 模糊空间信息处理[M]. 武汉大学出版社, 2003.

[3] 杨纶标, 高英仪. 模糊数学原理及应用(第三版)[M]. 华南理工大学出版社, 2004.  
[4] 关宝树. 隧道工程施工要点集[M]. 人民交通出版社, 2003.  
[5] 浙江省交通规划设计研究院. 木西岙隧道施工图设计阶段工程地质勘察报告[R]. 2002.