



矿区钻探难易程度综合评判的

模糊数学方法

王少豪 高森

为了加强矿区勘探工作的科学管理、正确地选用设备和器材、合理地制订生产及材料消耗定额、正确地估算矿区勘探的投资,对一个勘探矿区进行岩芯钻探难易程度的综合评判是十分必要的。

以往国内外地质勘探部门在对岩石分级的研究中,多只限于岩石可钻性的研究,即提出各种岩石按可钻性分级的方案。这种分级仅考虑岩石机械破碎的难易程度,而未考虑地质复杂、孔壁稳定、孔斜情况、采芯难易等因素对钻探工艺全过程的影响。所以,这种分级虽然可以反映岩石的可钻性,却总不能全面反映矿区岩芯钻探的难易程度。特别是要对矿区勘探投资进行估算时,光从可钻性考虑,显然不全面。

我们认为:不仅要有可钻性分级,而且还要有地层复杂性(稳定性和漏失性)、孔斜性和采芯性的分级(下面简称为四性分级),这样就全面地评价矿区钻探难易程度奠定了可靠的基础。本文拟根据这种四性分级的提法,探讨采用一些定量的指标,应用模糊数学的方法对岩芯钻探的难易程度进行综合评判,以便为矿区勘探投资估计提供一种计算模式。

模糊数学知识简介

为了使读者更好地了解所述计算方法,先将模糊数学的基本概念及所涉及的运算法则作一简介。

1. 普通集合与模糊集合 在数学中,把具有某种属性的东西的全体叫做集合,把集合里的每一个成员叫做这个集合的元素。通常用大写字母表示集合,用小写字母表示元素。如元素 a 属于集合 A ,记为 $a \in A$ 。如元素 a 不属于集合 A ,则记为 $a \notin A$ 。

一般,把集合所包含的元素,逐一写在一个花括弧里,来表示集合。如10以内的正偶数集合

可记为

$$A = \{2, 4, 6, 8\}$$

影响钻探难易程度的诸因素(五性)构成的集合为

$B = \{ \text{可钻性, 稳定性, 漏失性, 采芯性, 孔斜性} \}$

由于漏失性在岩芯钻中尚无漏失系数等定量指标衡量,在下文中暂未考虑

当讨论集合一般形式时,可以表示为 $E = \{x\}$

若集合 B 的每一个元素,也都是集合 A 的元素,则集合 A 包含集合 B , B 是 A 的子集,记为 $A \supseteq B$ 。一个集合的子集,可以用这个集合上的一个特征函数来表示。如集合为 $E = \{x\}$, E 中某子集 A 的特征函数用 $A(x)$ 来表示

$$A(x) = \begin{cases} 1 & (x \in A) \\ 0 & (x \notin A) \end{cases}$$

所以在普通集合论中,元素 x 与集合 A 之间只有“属于”与“不属于”两种关系。如讨论运动场上的人(E),男人构成一个子集(A),对于每一个具体的人(元素),就可判别是否是男人。但是,要划分青、壮、老、弱的界限,就不清晰了。这是因为这些概念都是一些模糊(弗晰)的概念,它们所构成的只能是一个模糊的子集。

模糊集合是普通集合概念的推广,一般记为 \underline{A} 。模糊集合论打破了普通集合论中元素对集合的绝对隶属关系,而在 $x \in A$ 和 $x \notin A$ 之间考虑其中间过渡状况,提出了“隶属度”(权重)。如对于“青年人”这一模糊子集,25岁的人隶属度为1,肯定是青年;30岁的人隶属度为0.2,很难说是属于青年;50岁的老人隶属度为0,肯定不是青年。“青年人”的模糊集为

$$\underline{A} = 1 \cdot a + 0.5 \cdot b + 0.2 \cdot c + 0 \cdot d$$

该式不是分数求和,而是表示: a 、 b 、 c 、 d 、元素对模糊集 \underline{A} 的隶属度相应为1、0.5、0.2、0。

2. 模糊关系及其运算 对于由有限元素构成的两个有限集 $U = \{u\}$ 和 $V = \{v\}$, 其中任意搭配的元素对 (u, v) 形成的模糊子集称为乘积集 $U \times V$ 中的模糊关系。模糊关系的隶属函数一般用矩阵表示为

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{n1} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (0 \leq r_{ij} \leq 1)$$

若有两个模糊关系 $\tilde{R} = (r_{ij})$ 和 $\tilde{S} = (s_{ik})$ 分别是 $n \times m$ 和 $m \times l$ 阶矩阵, 则用 $\tilde{R} \tilde{S}$ 表示其复合运算关系

$$T = (t_{ik}) = \bigvee_{j=1}^m [r_{ij} \wedge s_{jk}] \quad \begin{matrix} (i = 1, \dots, n) \\ (k = 1, \dots, l) \end{matrix}$$

\bigvee 表示取最大值, \wedge 表示取最小值。所以模糊关系的运算与矩阵乘法类似, 只不过将各元素相乘改为取最小, 相加改为取最大。

如 $\tilde{R} = [r_1 \ r_2 \ r_3 \ r_4]$

$$\tilde{S} = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} \\ s_{21} & s_{22} \\ s_{31} & s_{32} \\ s_{41} & s_{42} \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \text{则 } T &= \tilde{R} \tilde{S} \\ &= [(r_1 \wedge s_{11}) \vee (r_2 \wedge s_{21}) \vee (r_3 \wedge s_{31}) \vee (r_4 \wedge s_{41}), \\ &\quad (r_1 \wedge s_{12}) \vee (r_2 \wedge s_{22}) \vee (r_3 \wedge s_{32}) \vee (r_4 \wedge s_{42})] \\ &= [t_1, t_2] \end{aligned}$$

矿区岩层分类的单因素评判

本文所考虑的对矿区勘探难易程度的分类, 是属于岩芯钻探中的总分级, 也就是说既反映“破碎”, 又反映“维护”、“孔斜”、“采芯”诸方面的粗线条分类, 其直接目的应是为矿区勘探投资概算服务。所以, 我们只初步将矿区岩层按钻探难易程度情况划分为五大类: I 类极易, II 类易, III 类中难, IV 类难, V 类极难。自然, 这五大类岩层的四性必然有各种不同的组合, 如某矿区难钻、中等复杂、易采芯、孔斜严重; 另一矿区易钻、复杂、难采芯、孔斜中等

四性各按其难易程度划分成 5 级 (原来只有 3、4 级者再分为亚级), 见表 1。对于四性中每一种单因素的定量评判, 本来也可以是多指标的, 如可钻性分级, 原就有按钻速的, 按压入硬度的, 按肖氏硬度的, 或几种指标的综合指标等等。究竟采用哪种指标, 目前国内外尚无定论

表 1

指 标 \ 级 别		1	2	3	4	5
		软	中硬 (1)	中硬 (2)	硬	坚硬
可钻性	程度 12级分级	1~3	4~5	6~7	8~9	10~12
	机械钻速 v (米/小时)	3.30	2.15~1.55	1.15~0.84	0.58~0.39	0.25
稳定性	程度	长期稳定	稳定	中等稳定	不稳定	极不稳定
	纵波声速 v_p (千米/秒)	5	5~4	(掉块) 4~3	(坍塌) 3~2	(严重坍塌) 2
采芯性	程度	极易采芯	易采芯	中等	难采芯	极难采芯
	采芯率 B (%)	90	90~75	75~60	60~45	45
孔斜性	程度	难斜	不易斜	中等	易斜	极易斜
	轴偏角变化率 γ (度/百米)	1.5	2 ± 0.5	3 ± 0.5	4 ± 0.5	1.5

稳定性分级, 除了测定岩芯声速外, 应当测定孔壁岩体声速, 还应有抗压 (拉) 强度、裂隙性指数等指标才较完全。但是, 为了说明问题和使计算简化, 就只采用了野外常用指标和容易到手的数据。

根据矿区所钻钻孔的生产记录和岩样测试结果获得的资料, 首先应评定矿区的四性级别, 然后再评定整个矿区的钻探难易程度类别。

一个矿区内具有不同性质的各种岩层, 所以不能笼统地判明矿区的可钻性是绝对地属于何级。“矿区可钻性”只能是一个模糊概念, 它必然只能用一个模糊集来表示

$$\underline{A}(x) = a_1 \cdot 1 + a_2 \cdot 2 + a_3 \cdot 3 + a_4 \cdot 4 + a_5 \cdot 5$$

或记为模糊向量 (五维向量)

$$\underline{A}(x) = (a_1, a_2, a_3, a_4, a_5) \quad (0 \leq a_i \leq 1)$$

这里 a_i 是 i 类地层这一元素对于矿区可钻性这一模糊概念(集合)的隶属度。最简单的办法是 a_i 的数值可用频率表示:在所统计的 m 个回次中,机械钻速属于 i 类岩层的有 n 个回次;或 m 个岩样中,力学指标属于 i 类岩层的有 n 个岩样。则

$$a_i = \frac{n}{m} \quad \text{显然} \quad \sum_{i=1}^5 a_i = 1 \text{ 是归一化的。}$$

用类似办法,可以得到单因素评判“矿区稳定性”、“矿区采芯性”、“矿区孔斜性”的另外三个模糊子集。

$$\underline{B}(x) = (b_1, b_2, b_3, b_4, b_5) \quad (0 \leq b_i \leq 1)$$

$$\underline{C}(x) = (c_1, c_2, c_3, c_4, c_5) \quad (0 \leq c_i \leq 1)$$

$$\underline{D}(x) = (d_1, d_2, d_3, d_4, d_5) \quad (0 \leq d_i \leq 1)$$

同样可求得各类岩层对于各个模糊子集的隶属度 b_i 、 c_i 和 d_i 。

最后需要指出,在评判孔斜性时,采用了二测程孔轴轴线的夹角,即轴偏角(全弯曲角)变化率 γ (度/百米),已知二测程的方位角及顶角,则可用极射赤平投影图算法得到轴偏角,也可用公式算出,轴偏角除以测程长则得 γ 值。

综合评判的模糊数学方法

设 U 为着眼因素(四性)的集合,它为一有限集

$$U = \{v, v_p, B, \gamma\}$$

设 V 为岩层钻探难易程度类别的有限集

$$V = \{I, II, III, IV, V\}$$

由上面单因素评判的结果,就可以得到从 U 到 V 的模糊关系(矩阵) \underline{R}

$$\underline{R} = \begin{bmatrix} a_1 & \dots & a_5 \\ \vdots & & \vdots \\ d_1 & \dots & d_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{15} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{41} & \dots & r_{45} \end{bmatrix}$$

式中 r_{ij} 表示从第 i 个因素着眼,评判矿区为第 j 类岩层的可能程度。

固定 i , $(r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{i5})$ 是 V 上的一个模糊集(模糊评判),表示从第 i 个因素着眼,对被评对象所作的单因素评判。因而 \underline{R} 就是单因

素评判所组成的矩阵。

但在考虑多因素综合评判时,还有一个诸因素之间不同权衡的问题,即各因素影响的主次问题。这些都因着眼点不同而异。着眼点也可表现在 U 上的一个模糊集合 \underline{M} 。因素 u ($u \in U$)对于 \underline{M} 的隶属度 $\underline{M}(u)$ 就是它被着眼的权重。

$\{\underline{M}(u_i)\}$ 叫做着眼点的权数分配。一般

$$\sum_{i=1}^n \underline{M}(u_i) = 1 \quad (\text{归一化})$$

该权数分配应由历史统计资料或经验来确定,按照各因素对总投资额的影响或所占比率,加以拟定

$$\underline{M} = (m_1, m_2, m_3, m_4) \quad (0 \leq m_i \leq 1)$$

$$\sum_{i=1}^4 m_i = 1$$

最后经过模糊矩阵的复合运算,可以得到综合评判的模糊集 \underline{T}

$$\underline{T} = \underline{M} \underline{R} = [m_1, m_2, m_3, m_4] \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{15} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{41} & \dots & r_{45} \end{bmatrix} = (t_1, t_2, t_3, t_4, t_5)$$

当 $t_k = \max_{i=1, \dots, 5} t_i$, 则评判该矿区为第 k 类矿区。

例:某矿区根据生产及测试资料,已知单因素评价为

$$\underline{R} = \begin{bmatrix} v \\ v_p \\ B \\ \gamma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.3 & 0.5 & 0.1 & 0 \\ 0.2 & 0.4 & 0.15 & 0.1 & 0.15 \\ 0.3 & 0.2 & 0.15 & 0.15 & 0.2 \\ 0 & 0.25 & 0.3 & 0.3 & 0.15 \end{bmatrix}$$

大体上说是中硬、稳定、极易采芯、中等至易孔斜的矿区。

又根据经济技术统计资料,拟定权数分配

$$\underline{M} = [0.5, 0.3, 0.1, 0.1]$$

就是说对可钻性、稳定性、采芯性和孔斜性评语之重要性依次降低。

$$\text{故} \quad \underline{T} = \underline{M} \underline{R}$$

$$\begin{aligned} &= [(0.5 \wedge 0.1) \vee (0.3 \wedge 0.2) \vee (0.1 \wedge 0.3) \vee (0.1 \wedge 0), \dots, (0.5 \wedge 0) \vee (0.3 \wedge 0.15) \\ &\quad \vee (0.1 \wedge 0.2) \vee (0.1 \wedge 0.15)] \\ &= [(0.1 \vee 0.2 \vee 0.1 \vee 0), \dots, (0 \vee 0.15 \vee 0.1 \vee 0.1)] \\ &= (0.2, 0.3, 0.5, 0.1, 0.15) \end{aligned}$$

由于 $0.2+0.3+0.5+0.1+0.15=1.25$ ，最好归一化

$$\tilde{T} = \begin{bmatrix} \frac{0.2}{1.25} & \frac{0.3}{1.25} & \frac{0.5}{1.25} & \frac{0.1}{1.25} & \frac{0.15}{1.25} \end{bmatrix}$$

$$= (0.16, 0.24, 0.40, 0.08, 0.12)$$

说明该矿区经过综合评判评定为Ⅲ类中难勘探类别的矿区，即中等难易程度，从数值上看，稍偏向于Ⅱ类易勘探矿区。假设五大类矿区单位工作量预算成本 (C_i) 能够确定，则本例矿区可

按 $T(t_i)$ 诸值的比率预算成本 $(\sum_{i=1}^5 C_i t_i)$

进而推广，一个矿区有多种勘探工程，每项工程及诸工程间可按照上述方法综合评判。

结束语

由于在岩芯钻探过程中影响的因素较多，而岩石物理力学性质的测定值也十分分散。所以，要对岩石进行各种分级，对矿区勘探难易程度进行分类往往不可能有清晰的界限。这正好可以引用模糊数学的方法来处理。

本文提供的计算模式属初步探讨，需要进一步丰富和发展，以期提出对矿区岩芯钻探以至其他地质勘探工程项目进行投资估算的计算方法。

巧铣六方主动钻杆

赵启伦

六方主动钻杆是钻机的附具之一，长度达6米，直线性与断面六方等分性要求较严，加工工艺性很差。为此，我们设计了一个120°V形槽胎具（图1），妥善的解决了这一技术难关。

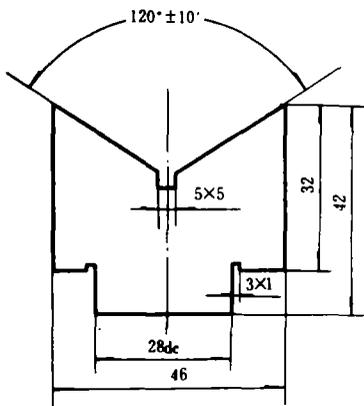


图 1

具体做法是：将120°V形槽胎具安装在X2010A龙门铣床的工作台上，靠胎具的凸台定位

（图2），用该铣床的竖导轨刀架上的硬质合金端铣刀进行铣削。主轴转数630转·分，走刀量240毫米·分。每精铣完一个平面后，松开压板，将钻杆已铣削平面和胎具的120°V槽平面贴合（即将钻杆转动60°），压紧后即可进行第二个平面的铣削。

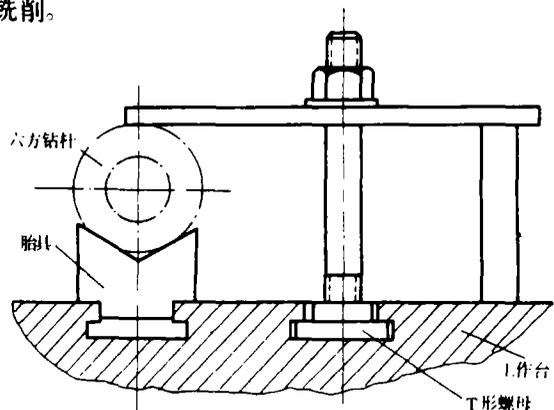


图 2

磁针测斜仪在磁性矿区的应用

西南冶金地质勘探公司三一二队 吴锡垣

近年我队在罗茨鹅头厂铁矿进行钻探施工。该区为一磁性矿区，主要矿种为磁铁矿、磁褐铁

矿、磁赤铁矿。经过对部分钻孔进行三分量磁测证明，围岩绝大部分无磁性或仅有弱磁性（500