

# 煤和岩性的多级模糊综合评判识别<sup>①</sup>

刘国强 (北京石油勘探开发科学研究院 北京 100083)

黄智辉 (中国地质大学 北京 100083)

张景考 (山东煤田地质局测井站 泰安 271000)

**摘要** 在多级模糊综合评判的数学基础上,提出利用测井资料识别煤田钻孔剖面上煤和岩性的方法。采用频数统计方法,建立第一级评价矩阵及权数向量,以正态分布型隶属函数形成第二级评价矩阵,对评价矩阵与权数矩阵作模糊运算获得评判结果。处理实例证明了这种方法的可靠性。

**关键词** 地球物理测井;模糊数学;判别分析;岩性

**中国图书资料分类法分类号** P631.84

准确地识别煤和岩性,是煤田测井资料解释的主要任务之一。煤田钻孔剖面上,主要的煤和岩性是粉砂岩、细砂岩、中砂岩、粗砂岩、天然焦、烟煤、无烟煤、砂质泥岩、泥岩及灰岩等。由于物性曲线对它们反映的灵敏性不同,因而在计算机自动解释时,需要对不同物性曲线赋以不同的权数。对反映灵敏的物性曲线,可以给其大些的权系数,反之亦然。但是,在岩性划分时,如果同时考虑所有的煤和岩性,权数则难以细致分配,即使一一定出,由于要保证所有的权数之和为 1,使得每种岩性所分到的权数却不太大,它们在物性上的相对重要性就不突出。此外,在评判时,若评语集中的因子太多,各种判决可能性的度量值组成的向量经归一化后,各分量间的数值差异便不大(甚至相等),从而引起评

判的失误。为此,本文提出对煤和岩性划分的问题分两步进行:首先,将所有的煤和岩性归为几大类,判断待识别层段所属的大类;其后,在该大类中再准确地定出煤和岩性。这就是多级模糊综合评判识别煤和岩性的基本思想。

## 1 数学模型

设因素集为

$$\tilde{U} = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$$

$u_i (i=1, 2, \dots, n)$  是被考虑的因素。评语集为

$$\tilde{V} = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$$

$v_j (j=1, 2, \dots, m)$  是第  $j$  种评判的结果。 $\tilde{U}$  上的 Fuzzy 集

$$\tilde{M} = \{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n\}$$

<sup>①</sup> 国家自然科学基金资助项目

liquid. We run several borehole coal logging in Shandong Province. The comparison between logging and chemical analysis show better results than PGT's, Schlumberger's and GLT's of U. S. A. The article also introduces the specturums from continuing measuring, which provide lots of geological informations and logging curves, such as  $S_{511}$ ,  $S_B$  and  $S_H/S_B$  (that never have be been before )after processing.

**Keywords** energy spectrum log; neutron - gamma methods; high - resolution methods; principles; data handling

为权数分配向量,  $\mu_i (i=1, 2, \dots, n)$  是对因素  $u_i$  所赋予的权数。

### 1.1 第一级模型

定义从  $U$  到  $V$  的一个 Fuzzy 映射  $R$ , 叫做单因素评判, 任给  $u_i \in U$  有

$$R(u_i) = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im})$$

$r_{ij} (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m)$  是因素  $u_i$  在评语的映射。将  $R$  的全体向量并列起来, 组成一个模糊矩阵

$$R = (r_{ij})$$

$$(i=1, 2, \dots, n, j=1, 2, \dots, m)$$

称为综合评判的评价矩阵。

给出权数分配的模糊向量

$$M = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n)$$

其中  $\mu_i \geq 0, i=1, 2, \dots, n$

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

从而, 第一级模糊评判模型为

$$M \circ R = B = (b_1, b_2, \dots, b_m)$$

模糊运算算子“ $\circ$ ”可根据具体问题的具体要求按表1选用。

若  $b_i = \max_{j=1}^m \{b_{ij}\}$

则所考虑的对象属为第  $i$  类。

### 1.2 第二级模型

给定集合  $V$ ,  $p$  是把  $V$  分成  $m$  个子集的一种方法, 且满足

$$\bigcup_{i=1}^m v_i = V$$

$$v_i \cap v_j = \Phi \quad (i \neq j)$$

则称  $p$  是  $V$  的一个划分。  $V$  在  $p$  划分之下得

表1 模糊运算算子表

| 算子                 | 说                         | 明                           |
|--------------------|---------------------------|-----------------------------|
| $(\wedge, \vee)$   | $a \wedge b = \min(a, b)$ | $a \vee b = \max(a, b)$     |
| $(\wedge, \oplus)$ | $a \wedge b = \min(a, b)$ | $a \oplus b = \min(a+b, 1)$ |
| $(\circ, \vee)$    | $a \circ b = ab$          | $a \vee b = \max(a, b)$     |
| $(\circ, \oplus)$  | $a \circ b = ab$          | $a \oplus b = \min(a+b, 1)$ |

到集合记为

$$V/p = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$$

其中,  $v_i = \{v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{ik_i}\} i=1, 2, \dots, m$ 。

因此,  $v_i$  有  $k_i$  个评语,  $V$  有  $\sum_{i=1}^m k_i$  个评语。

在第一级模型评判的基础上, 知评判对象属第  $l$  类, 则第二级模型的综合评判就是对所考虑对象在因素集  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$  条件下,  $v_l$  内的  $k_l$  个子类的评判情况。

设  $v_l$  的权数向量为  $A_l$ , 评价矩阵为  $R_l$ , 则  $A_l \circ R_l = B_l = (b_{l1}, b_{l2}, \dots, b_{lk_l})$

运算算子的选取见表1。若

$$b_{li} = \max_{j=1}^{k_l} \{b_{lij}\}$$

则所考虑的对象为第  $l$  类中第  $i$  种。

依次类推, 可以建立更高级的模型。

## 2 研究方法

### 2.1 因素集及评语集的选取

在煤田测井解释中, 最常用的测井参数有视电阻率(RA)、自然伽马(GR)、密度(DE)和声波(AC), 分别令这些物性参数为  $u_1, u_2, u_3$  和  $u_4$ , 由此组成因素集

$$U = \{u_1, u_2, u_3, u_4\}$$

根据煤田钻孔剖面地质特征, 可将煤和岩性分成4大类: 砂岩、煤、泥岩和灰岩, 设其分别为  $v_1, v_2, v_3$  和  $v_4$ , 这样第一级模型的评语集为

$$V = \{v_1, v_2, v_3, v_4\}$$

而砂岩又可分为粉砂岩、细砂岩、中砂岩、粗砂岩; 煤类型有天然焦、烟煤和无烟煤; 泥岩主要有砂质泥岩及泥岩, 因此第二级模型的评语集有

$$v_1 = \{v_{11}, v_{12}, v_{13}, v_{14}\}$$

$$v_2 = \{v_{21}, v_{22}, v_{23}\}$$

$$v_3 = \{v_{31}, v_{32}\}$$

### 2.2 第一级评价矩阵及权数向量的建立

第一级模型是对各大类进行评判, 而同

类中的各元素间的物性差异较大,难以以统一的隶属函数对其进行描述,所以采用下述的频数统计方法来建立模糊评价矩阵及权数向量。

在砂岩、煤层、泥岩和灰岩层段上读取 RA、GR、DE 和 AC 的值,根据值的分布特征将其分为数个区间,统计各类煤和岩性落在每种物性参数各区间内的频率,从而求取评价矩阵及权数向量。

如图 1 所示,设第  $k$  种测井参数在第  $j$  个区间上第  $i$  类岩性的频数为  $n_{ijk}$ ,则该岩类在此区间上所具有的权数为

$$w_{ijk} = \begin{cases} 0 & \text{如 } n_{jk} = 0 \\ n_{ijk}/n_{jk} & \text{如 } n_{jk} \neq 0 \end{cases} \quad (1)$$

( $i, k=1, 2, 3, 4, j=1, 2, \dots, l_k$ )

式中:  $l_k$  为第  $k$  种参数所应划分的区间数。

$$n_{jk} = \sum_{i=1}^4 n_{ijk} \quad (k=1, 2, 3, 4) \\ j=1, 2, \dots, l_k$$

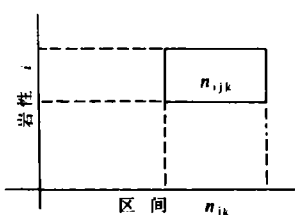


图 1 频率分布示意图

第  $i$  个区间内各类总样点组成的样本占第  $k$  种参数上所有观察点形成的样本的权数为  $tw_{jk} = n_{jk}/n_k$

$$(k=1, 2, 3, 4 \quad j=1, 2, \dots, l_k)$$

式中:  $n_k = \sum_{j=1}^{l_k} n_{jk}$ , 为第  $k$  种测井参数的样本维数。

通过式(1)与式(2),就可分别得到第一级模型的评价矩阵  $\tilde{R}$  及权数分配向量  $\tilde{M}$ 。

### 2.3 确定待识别层的煤和岩类

为了确定待识别层的岩类,先要判断其

值所落的区间,采用的方法为比较均值法。待识别层第  $k$  种参数的均值为

$$a_{ok} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{ik} \quad (3)$$

( $k=1, 2, 3, 4$ )

式中:  $x_{ik}$  是待识别层上第  $i$  个采样点在第  $k$  种参数的测井值,  $N$  为待识别层的采样点数目。

设  $X_{jk}$  为第  $k$  种参数的第  $j$  个节点值(见表 2),若满足

$$X_{(j-1)k} \leq a_{ok} < X_{jk} \\ (k=1, 2, 3, 4, j=1, 2, \dots, l_k)$$

则该待识别层落在第  $k$  种参数的第  $j$  个区间,记为  $j(k)$ 。

表 2 各种参数的节点值

| 参 数                        | 节 点   |        |        |        |          |
|----------------------------|-------|--------|--------|--------|----------|
|                            | $X_0$ | $X_1$  | $X_2$  | $X_3$  | $X_4$    |
| RA<br>( $\Omega \cdot m$ ) | 0.00  | 100.00 | 200.00 | 300.00 | 3 000.00 |
| GR<br>( $r$ )              | 0.00  | 50.00  | 100.00 | 120.00 | 3 000.00 |
| DE<br>( $g/cm^3$ )         | 0.00  | 2.00   | 2.30   | 2.60   | 3 000.00 |
| AC<br>( $m/s$ )            | 0.00  | 2.00   | 2.50   | 4.00   | 3 000.00 |

因此有

$$\tilde{B} = \tilde{M} \cdot \tilde{R} = (tw_{j(1)1} \ tw_{j(2)2} \ tw_{j(3)3} \ tw_{j(4)4}) \\ \cdot \begin{pmatrix} w_{1j(1)1} & w_{2j(1)1} & w_{3j(1)1} & w_{4j(1)1} \\ w_{1j(2)2} & w_{2j(2)2} & w_{3j(2)2} & w_{4j(2)2} \\ w_{1j(3)3} & w_{2j(3)3} & w_{3j(3)3} & w_{4j(3)3} \\ w_{1j(4)4} & w_{2j(4)4} & w_{3j(4)4} & w_{4j(4)4} \end{pmatrix} \\ = (b_1, b_2, b_3, b_4) \quad (4)$$

式中:  $w_{ij(k)k}$  为第  $i$  类岩性在第  $k$  种参数第  $j$  ( $k$ ) 个区间的权数。

$$\text{若 } b_l = \max_{i=1}^l \{b_i\} \quad (5)$$

成立,则待识别层属于第  $l$  类。

### 2.4 第二级模型的建立及最终确定岩性

在同一地区、同种岩性地层的同一种物

性参数的数学期望可以认为是保持不变,若测井值中没有系统误差和过失误差,测量条件又基本相同,那么测井值的误差仅是由随机因素引起的。因此,由概率论可知:同种岩性地层的同一物性参数的测井值将服从正态分布,即可建立以下的隶属函数

$$\mu_{ik} = e^{-\frac{1}{2}(\frac{a_{ok} - a_{ik}}{S_{ik}})^2} \quad (6)$$

( $i=1,2,\dots,10, k=1,2,3,4$ )

式中:  $a_{ok}$  为待识层第  $k$  种参数均值,  $a_{ik}$  和  $S_{ik}$  分别为第  $i$  种岩性第  $k$  种参数的数学期望及均方差。当统计的层数  $m$  很大时,按大数定律知它们依概率分别收敛于算术平均值和离差平方和的开平方,即

$$a_{ik} = \sum_{p=1}^m x_{ikp} / m \quad (7)$$

$$S_{ik} = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{p=1}^m (\bar{x}_{ikp} - a_{ik})^2} \quad (8)$$

( $i=1,2,\dots,10, k=1,2,3,4$ )

式中:  $m$  为同种岩性参与统计的层数,  $\bar{x}_{ikp}$  为第  $i$  种岩性第  $k$  种参数第  $p$  个层的均值。  $a_{ik}$  和  $S_{ik}$  的统计值见表 3。

由(6)式可以算得,对第  $k$  种参数待识别

层属于第  $l$  类中第  $i$  种岩性的隶属度  $U_{li}^{(l)}$ , ( $k=1,2,3,4, i=1,2,\dots,n_l, n_l$  为第  $l$  类中煤岩性的数目),从而有以下的模糊矩阵

$$R^{(l)} = \begin{pmatrix} \mu_{11}^{(l)} & \mu_{12}^{(l)} & \dots & \mu_{1n_l}^{(l)} \\ \mu_{21}^{(l)} & \mu_{22}^{(l)} & \dots & \mu_{2n_l}^{(l)} \\ \mu_{31}^{(l)} & \mu_{32}^{(l)} & \dots & \mu_{3n_l}^{(l)} \\ \mu_{41}^{(l)} & \mu_{42}^{(l)} & \dots & \mu_{4n_l}^{(l)} \end{pmatrix}$$

为了提高评判的准确率,考虑权系数。由于同一类中各种岩性在每一种测井参数上反应的灵敏性不尽相同,因此应对每种岩性场赋以相应的权数向量,形成的权数矩阵如下所示。

$$W^{(l)} = \begin{pmatrix} w_{11}^{(l)} & w_{12}^{(l)} & w_{13}^{(l)} & w_{14}^{(l)} \\ w_{21}^{(l)} & w_{22}^{(l)} & w_{23}^{(l)} & w_{24}^{(l)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_{n_l1}^{(l)} & w_{n_l2}^{(l)} & w_{n_l3}^{(l)} & w_{n_l4}^{(l)} \end{pmatrix}$$

式中,  $w_{ik}^{(l)}$  为待识别层对第  $k$  种参数属于第  $l$  类中第  $i$  种岩性的权数

$$\sum_{k=1}^4 w_{ik}^{(l)} = 1, \quad i=1,2,\dots,n_l$$

权数的选取如表 3 所示。

表 3 各种煤岩性的均值、均方差和权数

| 岩性  | RA       |          |          | GR       |          |          | DE       |          |          | AC       |          |          |
|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|     | $a_{i1}$ | $s_{i1}$ | $w_{i1}$ | $a_{i2}$ | $s_{i2}$ | $w_{i2}$ | $a_{i3}$ | $s_{i3}$ | $w_{i3}$ | $a_{i4}$ | $s_{i4}$ | $w_{i4}$ |
| 粗砂  | 318      | 30.47    | 0.311    | 46.75    | 2.79     | 0.111    | 2.68     | 0.04     | 0.278    | 4.222 5  | 0.311 2  | 0.300    |
| 中砂  | 285      | 29.13    | 0.300    | 56.25    | 2.81     | 0.122    | 2.66     | 0.05     | 0.278    | 3.937 5  | 0.297 3  | 0.300    |
| 细砂  | 210      | 22.85    | 0.275    | 90.00    | 6.92     | 0.250    | 2.58     | 0.03     | 0.200    | 2.906 3  | 0.544 9  | 0.275    |
| 粉砂  | 145      | 26.77    | 0.200    | 123.75   | 13.17    | 0.400    | 2.49     | 0.04     | 0.200    | 2.437 5  | 0.665 7  | 0.200    |
| 烟煤  | 365      | 38.16    | 0.650    | 75.50    | 2.85     | 0.100    | 1.45     | 0.19     | 0.125    | 1.875 0  | 0.024 2  | 0.125    |
| 无烟煤 | 3        | 0.78     | 0.050    | 81.00    | 4.19     | 0.300    | 1.84     | 0.07     | 0.400    | 1.917 4  | 0.100 6  | 0.250    |
| 天然焦 | 15       | 1.59     | 0.100    | 88.25    | 9.55     | 0.350    | 2.10     | 0.11     | 0.300    | 2.250 0  | 0.191 8  | 0.250    |
| 砂泥岩 | 138      | 10.39    | 0.100    | 147.25   | 17.89    | 0.650    | 2.48     | 0.05     | 0.100    | 2.237 5  | 0.731 4  | 0.150    |
| 泥岩  | 110      | 11.24    | 0.100    | 180.00   | 6.42     | 0.700    | 2.44     | 0.16     | 0.100    | 2.162 5  | 0.778 9  | 0.100    |
| 灰岩  | 623      | 12.11    | 0.450    | 41.25    | 1.43     | 0.050    | 2.74     | 0.08     | 0.050    | 5.812 5  | 0.092 3  | 0.450    |

因此有

$$\tilde{W}^{(l)} \circ \tilde{R}^{(l)} = \tilde{B}^{(l)} = (b_1^{(l)}, b_2^{(l)}, \dots, b_{nl}^{(l)}) \quad (9)$$

式中：“ $\circ$ ”的算法是这样规定的： $\tilde{W}^{(l)}$ 的某一行与 $\tilde{R}^{(l)}$ 中同该行行号相同的列作对应元素乘法运算，再取这四个值的最小值，即

$$b_i^{(l)} = \min_{k=1}^4 \{w_{ik}^{(l)} \cdot U_{ki}^{(l)}\}$$

$$\text{若 } b_j^{(l)} = \max_{i=1}^{nl} \{b_i^{(l)}\} \quad (10)$$

成立，则最终判定待识别层的岩性为第 $l$ 类中第 $j$ 种岩性。

### 3 处理实例及其分析

在每种参数上部选取 200 个样点，每类煤岩 50 个样点，统计得到第一级模型的权数（表 4）和处理成果如表 5。

由表 5 的判断结果可以看出，以多级模糊综合评判法识别煤岩层的效果好，可靠性高。在所判别的 20 个层中，只是在一处把砂质泥岩判为粉砂，引起这种误判的原因可能是：

- 这两种岩性的物性差异不大，测井资料的较小误差，就有可能使得它们难以准确的识别；
- 地质人员岩性鉴定的失误；
- $a_{ik}$ 、 $s_{ik}$ 不准确，稳定性差，等。

### 4 几点认识

a. 在第一级模型中，各种参数的节点值的选取很关键。要求节点值的选取使得每个区间内的点不要过多也不要过少，以便计算的权重具有代表性。

b. 第一、二级模型的建立都是在已知煤类及岩性的基础上形成的，因此所选取的样本要真正地反映本区煤和岩性的物性分布。在评判前，所采用的测井值应作环境校正和层厚校正，从而降低评判的失误率。

表 4 第一级模型的权数

| $w_{i,j,k}$ |        |   | 泥 岩    | 灰 岩    | 煤      | 砂 岩    | $rw_{j,k}$ |
|-------------|--------|---|--------|--------|--------|--------|------------|
| 视电阻率        | 区<br>间 | 1 | 0.3191 | 0.0000 | 0.6170 | 0.0638 | 0.2350     |
|             |        | 2 | 0.6889 | 0.0000 | 0.0444 | 0.2667 | 0.2250     |
|             |        | 3 | 0.1176 | 0.0588 | 0.0588 | 0.6765 | 0.6765     |
|             |        | 4 | 0.0000 | 0.6486 | 0.1892 | 0.1622 | 0.1622     |
| 自然伽马        | 区<br>间 | 1 | 0.0000 | 0.7105 | 0.000  | 0.2895 | 0.1900     |
|             |        | 2 | 0.0379 | 0.2532 | 0.4051 | 0.3038 | 0.3950     |
|             |        | 3 | 0.2000 | 0.0750 | 0.4000 | 0.3250 | 0.2000     |
|             |        | 4 | 0.9069 | 0.0000 | 0.0465 | 0.0465 | 0.2150     |
| 密度          | 区<br>间 | 1 | 0.0000 | 0.0000 | 1.0000 | 0.0000 | 0.1950     |
|             |        | 2 | 0.3571 | 0.0000 | 0.3929 | 0.2500 | 0.1400     |
|             |        | 3 | 0.4521 | 0.1233 | 0.1233 | 0.4247 | 0.3800     |
|             |        | 4 | 0.1167 | 0.6833 | 0.6833 | 0.2000 | 0.3000     |
| 声速          | 区<br>间 | 1 | 0.2045 | 0.0000 | 0.7727 | 0.0227 | 0.2200     |
|             |        | 2 | 0.5625 | 0.0000 | 0.2258 | 0.2097 | 0.3100     |
|             |        | 3 | 0.1935 | 0.1290 | 0.0645 | 0.6129 | 0.1550     |
|             |        | 4 | 0.0000 | 0.7302 | 0.0000 | 0.2698 | 0.3150     |

c. 算子的选择。 $M(\wedge, V)$ 是主因素决定型算子，它的评判结果只是由指标最大的因素决定，其余指标在一定范围内变化都不影响结果。该算子适用于单项最优即综合最优的情形。 $M(\circ, V)$ 与 $M(\wedge, \oplus)$ 是主因素突出型，与 $M(\wedge, V)$ 接近，但评判结果较 $M(\wedge, V)$ 细腻，多少能反映非主要指标的情况。 $M(\circ, \oplus)$ 为加权平均型算子，对所有因素依权重大小均衡兼顾，适用于整体指标的情形。因此，根据这四种算子的本质区别，参照所用物性参数的反映情况来选取模糊运算算子。

本文的实际资料大都取自山东省巨野煤田，在此谨向山东煤田地质公司周克成、李阁成、朱子强等同志致以衷心的感谢。

表 5 处 理 成 果

| 层<br>序 | 人工解释<br>结 果 | 第 一 级 模 型 |          |          |          |          |        |        | 第 二 级 模 型    |        |        |
|--------|-------------|-----------|----------|----------|----------|----------|--------|--------|--------------|--------|--------|
|        |             | 隶 属 度     |          |          |          |          | 岩<br>性 | 对<br>否 | 最 大<br>隶 属 度 | 岩<br>性 | 对<br>否 |
|        |             | 砂 岩       | 煤        | 泥 岩      | 灰 岩      | 最大值      |        |        |              |        |        |
| 1      | 粗 砂         | 0.051 42  | 0.002 67 | 0.025 64 | 0.036 81 | 0.054 12 | 砂岩     | ✓      | 0.062 78     | 粗砂     | ✓      |
| 2      | 中 砂         | 0.049 36  | 0.003 52 | 0.028 93 | 0.031 72 | 0.049 6  | 砂岩     | ✓      | 0.031 12     | 中砂     | ✓      |
| 3      | 细 砂         | 0.053 18  | 0.010 21 | 0.031 56 | 0.027 68 | 0.053 18 | 砂岩     | ✓      | 0.050 53     | 细砂     | ✓      |
| 4      | 细 砂         | 0.040 33  | 0.016 57 | 0.026 65 | 0.037 00 | 0.040 33 | 砂岩     | ✓      | 0.051 67     | 细砂     | ✓      |
| 5      | 细 砂         | 0.057 25  | 0.012 88 | 0.019 37 | 0.030 81 | 0.057 25 | 砂岩     | ✓      | 0.048 14     | 细砂     | ✓      |
| 6      | 粉 砂         | 0.034 51  | 0.020 64 | 0.027 53 | 0.018 55 | 0.034 51 | 砂岩     | ✓      | 0.034 76     | 粉砂     | ✓      |
| 7      | 粉 砂         | 0.048 97  | 0.015 11 | 0.027 82 | 0.010 63 | 0.048 91 | 砂岩     | ✓      | 0.042 31     | 粉砂     | ✓      |
| 8      | 烟 煤         | 0.004 61  | 0.073 54 | 0.031 42 | 0.000 00 | 0.073 54 | 煤      | ✓      | 0.067 29     | 烟煤     | ✓      |
| 9      | 烟 煤         | 0.000 00  | 0.060 02 | 0.022 33 | 0.000 00 | 0.060 02 | 煤      | ✓      | 0.061 49     | 烟煤     | ✓      |
| 10     | 烟 煤         | 0.000 0   | 0.066 78 | 0.017 41 | 0.000 00 | 0.066 78 | 煤      | ✓      | 0.057 33     | 烟煤     | ✓      |
| 11     | 烟 煤         | 0.003 82  | 0.049 36 | 0.029 00 | 0.000 00 | 0.049 36 | 煤      | ✓      | 0.070 87     | 烟煤     | ✓      |
| 12     | 无烟煤         | 0.000 00  | 0.080 15 | 0.003 46 | 0.000 00 | 0.080 15 | 煤      | ✓      | 0.039 42     | 无烟煤    | ✓      |
| 13     | 无烟煤         | 0.000 00  | 0.071 89 | 0.015 27 | 0.003 81 | 0.071 89 | 煤      | ✓      | 0.060 01     | 无烟煤    | ✓      |
| 14     | 天然焦         | 0.000 00  | 0.041 72 | 0.023 76 | 0.000 00 | 0.041 72 | 煤      | ✓      | 0.043 22     | 天然焦    | ✓      |
| 15     | 砂质泥岩        | 0.030 75  | 0.0116 8 | 0.028 82 | 0.020 39 | 0.030 75 | 砂岩     | ×      | 0.031 45     | 粉砂     | ×      |
| 16     | 砂质泥岩        | 0.026 98  | 0.010 45 | 0.039 11 | 0.018 44 | 0.039 11 | 泥岩     | ✓      | 0.040 62     | 砂质泥岩   | ✓      |
| 17     | 泥 岩         | 0.024 33  | 0.015 82 | 0.057 76 | 0.020 37 | 0.057 76 | 泥岩     | ✓      | 0.051 38     | 泥岩     | ✓      |
| 18     | 泥 岩         | 0.027 74  | 0.020 00 | 0.046 93 | 0.021 19 | 0.046 93 | 泥岩     | ✓      | 0.044 79     | 泥岩     | ✓      |
| 19     | 灰 岩         | 0.020 81  | 0.000 00 | 0.017 75 | 0.056 82 | 0.056 82 | 灰岩     | ✓      | /            | 灰岩     | ✓      |
| 20     | 灰 岩         | 0.024 79  | 0.000 00 | 0.021 02 | 0.040 36 | 0.040 36 | 灰岩     | ✓      | /            | 灰岩     | ✓      |

## 参考文献

- 1 贺仲雄编. 模糊数学及其应用. 天津:天津科学技术出版社,1983
- 2 吴望名等. 应用模糊集方法. 北京师范大学出版社, 1985

3 复旦大学编. 概率论, 第二册, 第二分册. 北京: 高等教育出版社, 1984

4 陈洪、黄金丽. 污水处理厂运行管理效果的综合评判. 模糊数学, 1983(2)

(收稿日期 1992—08—11)

## RECOGNITION OF COAL TYPES AND LITHOLOGICAL CHARACTERS BY FUZZY MULTILAYER COMPREHENSIVE EVALUTION

Liu Guoqiang (Research Institute of oil Exploration & Development Beijing)

Huang Zhihui (China University of Geosciences, Beijing)

Zhang Jingkao (Log Service Centre, Shongdong of Coal Geology Bureau)

**Abstract** Having briefly described the mathematic method of fuzzy multilayer comprchensive evalution, the paper discusses emphatically how to recognize the coal types and lithological characters on coal borehole profiles by using this method. The main content in the paper can be divided to the following parts:

## · 探矿工程 ·

## 煤系钻探岩石可钻性分级方法的研究

马植侃 刘建明 刘裕国

(中国矿业大学 徐州 221008)

**摘要** 研究了煤系中采用硬质合金钻进工艺时岩石可钻性分级的指标体系及测试方法;研制了一套能在野外流动条件下进行岩石可钻性分级测试的轻便仪器及工具。在 7 项分级指标体系中,压入强度、研磨性、塑性系数和用微型针状硬质合金钻头测试“微钻钻速”是首次应用,尤以用小试样测试“压入强度”及用微型针状硬质合金钻头测试“微钻钻进速度”两项指标能有效地反映煤系软岩石分级档次,可以弥补用微型孕镶金刚石钻头在 6 级以下较软岩石中无法钻进或达不到钻进指标的不足。

**关键词** 含煤建造;岩石可钻性;分类;新方法

**中国图书资料分类号** P634.1

岩石可钻性是一个技术经济科学概念,是制订钻探生产定额,评价钻探工具、设备和钻探技术的优劣,选择有效的破岩工具和钻进工艺参数的根据。岩石可钻性研究的对象是存在于自然界而本身又十分复杂的岩石,而影响岩石可钻性的因素很多,因此,至今国际上还没有形成一个公认的测定岩石可钻性分级的指标体系和一个统一的检测方法。我国于 50 年代在地质、煤炭、冶金三个部门钻探工作的基础上制订了一个以实测钻进效率和一次提钻长度为分级指标的《岩芯钻探 12 级分级表》。80 年代,地矿部重新制订了《金刚石岩芯钻探岩石可钻性分级表》。然而,煤炭系统钻探遇到的地层、寻找的矿种、应用的

钻探工艺方法等等,都不同于其它部门。因此,在中煤总公司批准下,我们正式立项研究“煤系钻探岩石可钻性分级方法”。本文是该项目的研究结果。

### 1 煤系钻探岩石可钻性分级指标

地矿部 1984 年颁发试行的《金刚石岩芯钻探岩石可钻性分级表》中的全部分级指标是摆球硬度、声波速度、压入硬度及微钻钻进速度(用微型孕镶金刚石标准钻头测试)。我们按照该表的要求和规定对大屯、平顶山、淮南 3 个矿区的部分岩样进行检测。试验的结果表明,坚硬岩石效果正常,即对可用金刚石钻进方法钻进的坚硬地层检测的效果好,

- a. to build the first evaluation matrix and weigh matrix adopting the frequency statistical analysis;
- b. to constitute the second evaluation matrix taking the subordinats function with the normal distribution;
- c. to obtain the evaluation results if using fit operators;
- d. to test this method with a processing example.

**Keywords** geophysical logging; fuzzy mathematics; discriminatn analysis; lithologic characcer