

灰色聚类自动识别岩性及微相

郭少斌¹ 董清水¹ 刘忠群²

¹ (长春地质学院, 长春 130061)

² (华北石油地质局)

提 要 在前人沉积大相及亚相研究的基础上, 作者采用灰色聚类方法, 即灰色决策矩阵、白化函数、标定聚类权、聚类系数等的求取方法, 以松辽盆地英台地区青山口组三段第二砂层组为例, 进行岩性及微相自动识别, 其识别结果与常规方法定相结果基本吻合。

关键词 灰色聚类 青山口组 岩性及微相识别

第一作者简介 郭少斌 男 31 岁 副教授 石油地质

以往测井曲线在判断沉积相方面的应用主要限于大相和亚相, 所采用的测井曲线大都侧重于自然电位, 而且多停留在对曲线各种形态特征的定性描述、分析和总结上^{〔1〕}。随着油气勘探和开发的深入, 对盆地沉积相的研究提出了更高的要求, 即在大相和亚相研究的基础上, 沉积微相的研究已势在必行, 另外, 由于影响测井曲线的因素较多, 各条曲线在定相时都有多解性, 因此, 也需要利用多条测井曲线进行综合判断。这无疑会增加研究人员很大工作量, 所以探索一条计算机自动识别岩性及微相的方法, 不仅具有理论意义, 更具实际意义。

1 灰色聚类法识别岩性及微相的原理

灰色聚类法识别岩性及微相, 其基本思路就是应用数学里面聚类分析的方法把岩性、岩相的特征定量化, 从而根据它的定量特征(聚类系数的大小)来差别它的岩性及微相来。我们说一个完全确定的数称白数, 完全不确定的数称黑数, 而某个只知道大概范围而不知道确切值的数(也就是说部分确定、部分不确定的数)就称为灰数, 对一个系统来说也是如此, 部分确定, 部分不确定的系统就称为灰色系统。就要识别某一层的岩性或微相而言也是如此, 只知道它大概范围而不知道确切的值, 即不同岩性与测井响应值、不同微相与各类岩性厚度参数的界限值是一个灰数, 而由这些界限值组成的信息系统便是一个灰色系统。正由于岩性、微相的界限值是一个灰色系统的特点, 才可能利用灰色理论来识别岩性及微相。

2 灰色聚类识别岩性及微相方法

2.1 建立灰色决策矩阵^{〔4〕}

为了利用测井参数值判断岩性及微相, 必须建立已知岩芯层(段)与多参数测井值的对应关系。由于青山口组几乎都是砂泥岩沉积, 很少或者没有灰岩等其它岩类的沉积, 所以本

次工作只识别砂岩、过渡岩(泥质砂岩、砂质泥岩)、泥岩。选取对岩性反映敏感的深三侧向(Rt)、声波时差(Ac)及自然伽玛(GR)三个参数。经前人研究英台地区处于扇三角洲前缘亚相(图 1)^(2,3),可划分出水下辫状河道、河道间、河口坝和席状砂四个微相,选取对微相反映敏感的砂岩厚度、过渡岩厚度、泥岩厚度及砂地比四个参数。通过对英台地区有代表性且能够反映全区相变的 9 口取芯井建立了各岩性与深三侧向(Rt)、声波时差(Ac)及自然伽玛(GR)曲线的测井响应值的变化范围(表 1),同时统计得到各沉积微相的砂岩、过渡岩、泥岩的厚度及砂地比的变化范围(表 2)。

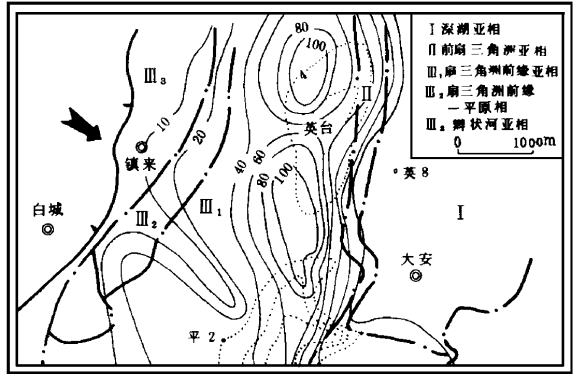


图 1 松辽盆地南部早白垩世青山口组晚时岩相图
Fig.1 Sedimentary facies for the upper Qingshankou of the early cretaceous, souther Songliao Basin

表 1 岩性与测井值关系表

Talie 1 Lithology and logging results

测井曲线 岩性	深三侧向 ($\Omega \cdot m$)	声波时差 ($\mu s/m$)	自然伽玛 (吉林伽玛)
砂岩	8.5—20.3	235—280	9.5—13.6
过渡岩	5.1—9.4	260—295	12.7—16.5
泥岩	3.2—7.3	270—340	15.3—18.2

表 2 相型与岩性厚度关系表

Talie 2 Faeies Patterns and the thickness of lithological layers

值域 相型	砂岩厚度 H_1	过渡岩厚度 H_2	泥岩厚度 H_3	砂地比 H_4
水下河道	12—19.5	2.5—10.5	0.5—5.5	0.55—0.75
河道间	4—10.2	4.5—15.5	1.5—7.5	0.38—0.56
河口坝	13—20	2.5—7.5	1.5—8.0	0.52—0.40
席状砂	3—8.5	1.5—12.5	5.5—10.5	0.25—0.40

表 1 中设 i 为岩性序号, j 为测井响应序号, 则岩性的灰色决策矩阵 $A(\otimes)$ 为

$$A(\otimes) = \begin{bmatrix} \otimes_{11} & \otimes_{12} & \otimes_{13} \\ \otimes_{21} & \otimes_{22} & \otimes_{23} \\ \otimes_{31} & \otimes_{32} & \otimes_{33} \end{bmatrix} = \{\otimes_{ij}\} \begin{matrix} (i=1,2,3) \\ (j=1,2,3) \end{matrix}$$

式中 \otimes 为灰数,表示表1中的值,它是一个变化范围,而不是一个数值,如 $i=3, j=3$ 即 $\otimes_{33}=15.3-18.2$ 。

同理设 L 为微相类型的序号, K 为各岩性厚度及砂地比的序号,则微相的灰色决策矩阵 $B(\otimes)$ 为:

$$B(\otimes) = \begin{bmatrix} \otimes_{11} & \otimes_{12} & \otimes_{13} & \otimes_{14} \\ \otimes_{21} & \otimes_{22} & \otimes_{23} & \otimes_{24} \\ \otimes_{31} & \otimes_{32} & \otimes_{33} & \otimes_{34} \\ \otimes_{41} & \otimes_{42} & \otimes_{43} & \otimes_{44} \end{bmatrix} = \{\otimes_{LK}\} \begin{matrix} (K=1,2,3,4) \\ (L=1,2,3,4) \end{matrix}$$

2.2 灰色决策矩阵的白化函数

灰色决策矩阵的每一个灰数都有一个中值,一般来说,待识别的信息落在中值附近时,则属于该类物质的可能性就大,否则就小,这种可能性在灰色理论中称偏爱程度,如砂岩的自然伽玛(GR)值变化范围为 $\otimes_{13}=9.5-13.6$,中值为11.55,当待识别层的GR值落在此中值上时,偏爱程度为1,落在中值附近时,偏爱程度就大,否则就小,偏爱程度用 F 表示, F 值的变化范围是0—1。灰色决策矩阵中的每一灰数都可用偏爱程度函数来表示,该函数也称白化函数,由表1得中值矩阵C、表2得中值矩阵D,分别为:

$$C = \begin{bmatrix} 14.4 & 257.5 & 11.55 \\ 7.25 & 277.5 & 14.6 \\ 5.25 & 305 & 16.75 \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} 15.75 & 6.5 & 3.0 & 0.65 \\ 7.25 & 10.0 & 4.5 & 0.47 \\ 16.5 & 5.0 & 4.75 & 0.69 \\ 5.75 & 7.0 & 8.0 & 0.33 \end{bmatrix}$$

以深三侧向曲线各岩性灰数上、下限及岩性中值(M),砂岩厚度各相型灰数上、下限及相型中值(M),可画出岩性与测井响应、相型与砂岩厚度的白化函数图(图2、图3。图2中a、b分别为表1中的数据, M 为均值矩阵C中的数据;图3中a、b分别为表2中的数据, M 为均值矩阵D中的数据)。

图2中白化函数用公式表示为:

$$f_{11}(Rt) = \begin{cases} 0 & Rt < 8.5 \\ \frac{Rt-8.5}{14.4-8.5} & 8.5 \leq Rt \leq 14.4 \\ 1 & Rt > 14.4 \end{cases}$$

$$f_{21}(Rt) = \begin{cases} 0 & 9.4 < Rt \text{ 或 } Rt < 5.1 \\ \frac{Rt - 5.1}{7.25 - 5.1} & 5.1 \leq Rt \leq 7.25 \\ 1 - \frac{Rt - 3.2}{5.25 - 3.2} & 7.25 < Rt \leq 9.4 \end{cases}$$

$$f_{31}(Rt) = \begin{cases} 0 & 3.2 > Rt \text{ 或 } Rt > 7.3 \\ \frac{Rt - 3.2}{5.25 - 3.2} & 3.2 \leq Rt \leq 5.25 \\ 1 - \frac{Rt - 5.25}{7.3 - 5.25} & 5.25 < Rt \leq 7.3 \end{cases}$$

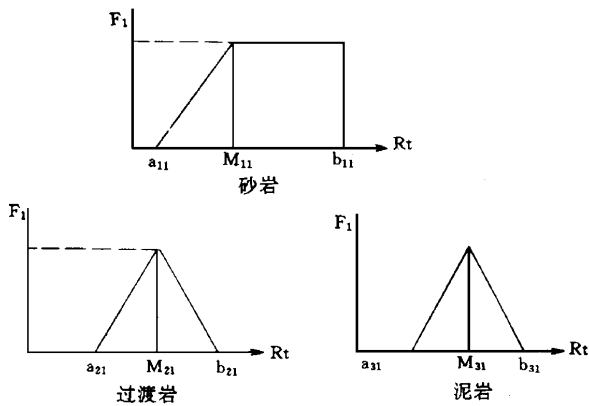


图 2 岩性与深三侧向之间关系的白化函数图

Fig. 2 Diagram showing the white functional relationship between lithology and resistivity logging

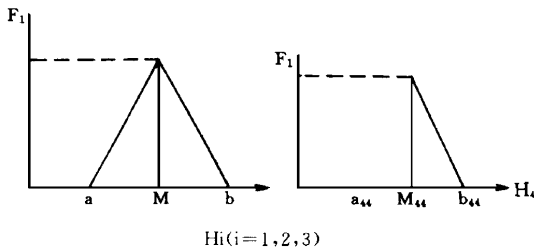


图 3 相型与砂岩厚度之间关系的白化函数图

Fig. 3 Diagram showing the white functional relationship between facies pattern and the thickness of sandstone layer

以砂岩为例,当深三侧向电阻率 Rt 小于或等于最小厚度 8.5 时, f 取值为 0,当 Rt 大于或等于中值 14.4 时, f 取值为 1。

其综岩性与测井曲线及不同相型与岩性厚度的白化函数公式也可照理写出(略)。

2.3 聚类识别

聚类识别的过程就是根据得到的岩性、微相定量特征(聚类系数),研究其与岩性或岩相之间的亲疏关系,从而判断出待识别岩性或岩相的归属。

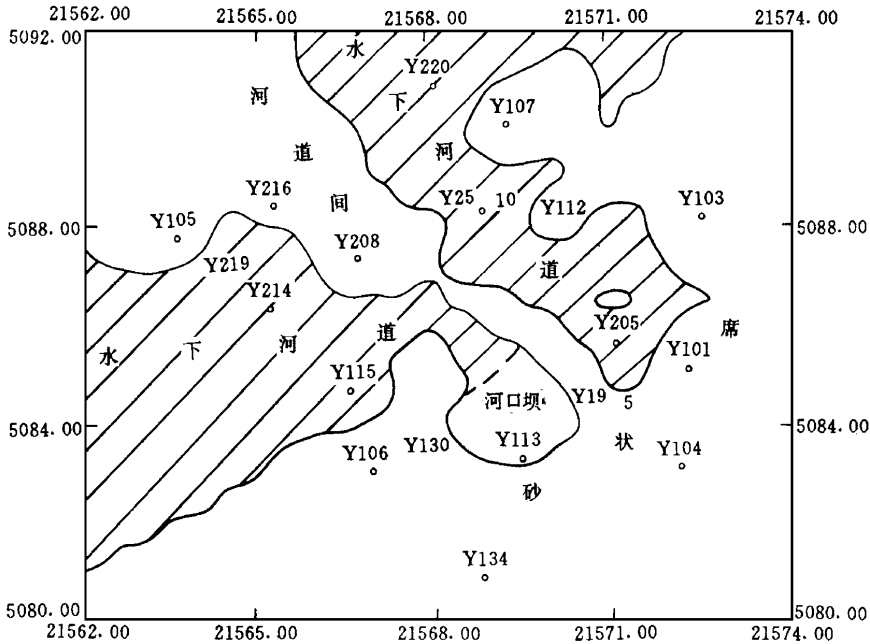


图4 英台地区青三段二砂组自动识别微相图

Fig. 4 Sedimentary microfacies distribution for the second Sand group of the upper Qingshankou Formation, in the Yingtai area, Shongliao Basin

首先需要标定聚类权,设 i, j 分别为岩性和测井响应的序号,岩性的标定聚类权为:

$$W_{Aij} = \frac{C_{ij}}{\sum_{i=1}^3 C_{ij}} \quad (i=1, 2, 3; j=1, 2, 3)$$

同理,设 L, K 为相型和岩性厚度及砂地比的序号,相型的标定聚类权为:

$$W_{ALK} = \frac{D_{LK}}{\sum_{L=1}^4 D_{LK}} \quad (L=1, 2, 3, 4; K=1, 2, 3, 4)$$

然后计算聚类系数,聚类系数指每点的函数值与标定聚类权的乘积,然后求和。设岩性或不同相型的序号为 i ,测井响应值或岩性的厚度序号为 j , P 为测井响应项数或岩性厚度项目数, \log_j 为第 j 项测井响应值或第 j 项岩性厚度值,则计算聚类系数公式为:

$$Q_i = \sum_{j=1}^p f_{ij}(\log_i) \times W_{ij} \quad \begin{matrix} i=1, 2, \dots, m \\ j=1, 2, \dots, n \end{matrix}$$

对识别岩性来说 $m=3, n=3, W_{ij}=W_{Aij}$; 对识别微相来说, $m=4, n=4, W_{ij}=W_{Bij}$ 。

最后进行聚类识别, 当计算出待识别岩性点的聚类系数或待识别层的相型的聚类系数后, 我们就可以利用它的聚类系数的大小进行岩性识别或相型识别, 其方法是择其大者而类属, 其公式为:

$$Q_L = \max_{i=1}^m (Q_i) = \max (Q_1, Q_2, \dots, Q_m)$$

式中 m 为岩性或相型的种数, 当识别岩性时 $m=3$, 当识别岩相时 $m=4, L$ 为待识别的岩性或岩相属于哪一类。

按上述步骤, 以英台地区青山口组三段二砂组为例, 选取 60 余口井的深三测向(Rt)、声波时差(AC)和自然伽玛(GR)曲线按 0.2 m 等间距进行计算机自动取样, 建立了数字化井数据库, 在自动分层的基础上, 首先识别岩性并计算各类岩性厚度, 然后建立岩性数据库, 然后识别微相, 建立微相数据库, 用计算机自动成图(图 4)。

3 结论及说明

(1) 自动定岩性及微相结果与原始岩芯柱子对比吻合较好, 岩性准确率达 93% 以上, 微相准确率达 85% 以上。

(2) 青山口组三段二砂组的分层顶, 底界是人工给出的, 目前计算机尚不能自动进行地层对比, 只有给出上、下界限, 其内部可自动分岩性层。另外, 可识别的目的层非单一砂层(时间单元), 而是多层砂构成砂层组, 并非一次事件的产物, 也就是说不是真正意义上的微相, 而是微相相合, 同一井位点代表的是优势微相(归并不同单层相同的微相, 或不同微相造其主要微相), 故图 4 水下河道范围较宽(反映扇三角洲水下鳞状河道摆动幅度大)。

(3) 该方法只是一种探索, 实践证明, 用灰色理论自动定相还是切实可行的, 该次选择参数还比较简单, 有待今后工作中选择更多参数, 以提高精度。

该工作研究中, 得到徐开志教授帮助, 特致谢。

收修改稿日期: 1995 年 10 月 2 日

参 考 文 献

- [1] 马正, 应用自然电位测井曲线解释沉积环境, 石油与天然气地质。1982, 3(1): 25—38。
- [2] 顾家裕, 中国东部古代扇-三角洲沉积, 石油与天然气地质, 1984, 5(3): 236—243。
- [3] 王璞君等, 松辽盆地白垩系测井-沉积相类型与特征, 长春地质学院学报, 1992, 22(2): 169—172。
- [4] 邓聚龙, 灰色系统基本方法, 华中理工大学出版社, 1986。

The Automatic distinguishing of lithology and Microfacies by Grey Cluster Analysis

Guo Shaobin¹ Dong Qingshui¹ and Liu Zhongqun²

¹ (Changchun University of Earth Sciences 130061)

² (Bureau of Petroleum Geology of North China)

Abstract

Based on the study of sedimentary megafacies and subfacies made by former researchers, the authors have studied the automatic distinguishing of lithology and microfacies by grey clustering, which is the process of determining decision-making matrix, white function equations, cluster weight, and cluster coefficient. In this study, the second sandstone section in the third member of Qingshankou formation of ringtai area in Songliao Basin is taken as an example. First, parameters sensible to lithology such as lateral log(Rt), sonic moveout (Ac), and natural gamma (ER) and those sensible to microfacies, like thickness of sandstone, mudstone, and the transitional rocks of these two and the sandstone percentage, are chosen as the working variables. Second, by studying 9 core holes that are representative to the facies change in Yingtal region, the varying ranges of the logging results to different lithosomes have been obtained with respect to Rt, AC, and ER. The statistical thickness ranges of sandstone, mudstone, and the transitional rocks and the percentage of sandstone have also been made. Finally, the logs of Rt, Ac, and ER in 60 holes are changed into numerical values by computer in each depth interval of 0.2 m. And the automatic distinguishing of lithology and microfacies has been conducted by grey clustering. Three different lithosomes such as sandstone, mudstone, and the transitional rocks (argillaceous sandstone, sandy mudstone) can be recognized. The distinguishable microfacies by this method are braided river course, channel-mouth bar, river island, and sheet bar. The results made by grey clustering are basically the same as those obtained by common geologic analysis.

Key Words: Grey cluster Qingshankou formation Automatic distinguishing of lithology and microfacies