

(19)

439-442

模式识别在测井相分析中的应用<sup>†</sup>

P618, 130.8

TE 19

张小莉<sup>1)</sup> 沈英<sup>2)</sup>

(1)西北大学地质学系, 710069, 西安;

2)新疆石油管理局勘探开发研究院, 834000, 新疆克拉玛依; 第一作者 30岁, 女, 讲师)

**摘要** 在测井相分析过程中, 提取了与岩相有关的测井响应特征, 进行了模糊聚类分析, 形成其测井相模式。该模式通过岩—电关系库, 应用模式识别技术, 实现向岩相的转化, 形成岩性的系统剖面。

**关键词** 模式识别; 测井相分析; 岩相; 岩—电关系库  
**分类号** TE12

石油

模式识别是数学与计算机科学紧密相联的一门科学, 其实质是对一组过程或事物的判别和分类, 被分类的事物即模式<sup>[1]</sup>。至今, 该技术在地质、石油领域取得了一定效果。

测井相又名电相, 是用以反映沉积特征, 并能把不同岩性区分开的一组测井响应值。其分析原理是从测井资料中提取与岩相有关的信息, 将地层剖面划分成若干测井相。即从统计分析结合的角度出发, 把测井相与地质资料进行详细对比, 以确定测井相的岩性类型及沉积环境。在整个过程中, 首先对测井曲线中与岩相有关的响应特征进行提取, 应用模糊聚类分析法形成测井相模式。该模式通过岩—电关系库, 应用模式识别技术, 实现测井相向岩相的转化。

## 1 测井相建立

测井相分析的基础资料是与岩相有关的各项测井响应特征。测井曲线中包含岩性、沉积环境等信息。如自然电位测井曲线幅值高或低反映粒度的粗细, 进而反映沉积环境中能量的强弱; 自然伽玛曲线幅值在很大程度上反映出岩层中泥质含量; 声波测井反映声波传播时间快慢进而反映岩性等。因而, 工作中提取与岩性有关的特征测井曲线如自然电位、自然伽玛、井径、深感应、中感应、声波、密度、中子、铀、钍、钾、岩性—密度测井等曲线, 作为原始资料用于建立测井相。

### 1.1 测井曲线有序量最优分割

在取得测井资料后, 为了减少统计起伏和测量误差的影响, 同时也减少采样样品的个数, 需对测井曲线进行分层处理。测井工作中应用最多的为有序量的最优分割法。该方法考虑地层序列不变的约束条件, 采用层段直径, 即变差这一统计特征信息, 对设有  $n$  个样品空间进行分割, 使分割后各段之间的差异尽可能大, 而段内样品之间的差异尽可能小。

以分割的总变差最小作为最优分割的标准, 总变差对应一种分法变差的总和。设有  $n$  个样品  $p$  项指标的原始资料矩阵经标准化后为  $X = [x_{ij}]_{p \times n}$ 。若以  $S$  表示总变差,  $D(i, j)$  表示样品  $\{x_i, x_{i+1}, \dots, x_j\}$  的变差, 那么:

$$D(i, j) = \sum_{\alpha=i}^j \sum_{\beta=1}^p (x_{\alpha\beta} - \bar{x}_\beta)^2, \quad (i, j = 1, 2, \dots, n), \quad (1)$$

其中:  $\bar{x}_\beta = \sum_{\alpha=i}^j \frac{x_{\alpha\beta}}{j-i+1}, (1 \leq i \leq j \leq n, \beta = 1, 2, \dots, p)$ 。

† 收稿日期: 1998-03-19

最优分割即总变差应达到最小,其过程为:

(1) 设最优二分分割:

$$S_n(2, \alpha_1) = \min_{2 \leq i \leq n} \{D(1, i-1) + D(i, n)\}, \quad (2)$$

$\alpha_1$  为分割点的位置。

(2) 最优三分分割:

$$S_n(3, \alpha(q), q) = S_q(2, \alpha(q)) + D(q+1, n), \quad (3)$$

$\alpha(q), q$  为两个分割点位置,  $2 \leq q \leq n-1, 1 \leq \alpha(q) \leq q-1$ 。

(3) 最优  $k$  分割:

$$S_n(k, \alpha_1(q), \alpha_2(q), \dots, \alpha_{k-2}(q), q) = S_q(k-1, \alpha_1(q), \dots, \alpha_{k-2}(q)) + D(q+1, n). \quad (4)$$

选择一个  $q$ , 使式(4)达到最优  $k$  分割, 若使  $n$  个样品最优  $k$  分割, 必须先求出  $n$  个样品的  $k-1$  分割。所以从二分分割着手, 逐步下去, 便可求  $k$  分割。工作中, 可首先选择分层灵敏的曲线来分层, 把分层的結果应用到其他曲线上。分层的精度由参数控制, 以便调整参数, 对测井曲线进行粗或细的分层处理, 满足工作的需要。

## 1.2 模糊聚类分析

在实际工作中, 常要按照一批研究对象在性质上的亲疏关系进行分类, 但地质岩相之间并没有一个截然区分界限, 分类时所依据的数据指标变化也大都具有连续性。为了做出更符合实际的分类方法, 采用模糊聚类法中的 ISODATA 法<sup>[2]</sup>, 通过对层段特征进行分析, 求解其模糊矩阵, 求取各类聚类中心并计算其距离参数, 然后构造其泛函, 使泛函达到最小, 遵循此原则对原始数据进行分类。

应用 ISODATA 法, 对于有序量分割出的各个层段进行聚类分类。首先把各个层段聚合成较多的小群集, 形成局部模式。再在此基础上, 采取模糊聚类的方法, 使相距较近的小群集聚合成较大群集, 最终形成若干个群集, 即最终模式。每个最终模式代表一个测井相。

## 2 岩—电关系库建立

通过 ISODATA 法可形成测井相, 测井相需要与岩心等地质资料进行详细对比, 才能赋予它地质含义。由于单井剖面在钻遇地层及取心方面具有局限性, 为了保证统计结果的可靠性, 需在大样本空间基础上建立区域性岩—电关系库。首先把地区关键井测井相分析的最终模式以及与之对应的岩相内容对应放入库中, 再把各井岩性相同的样本点分离出来, 与其他井进行合并, 以形成该类的总样本空间; 应用聚类分析法把该样品空间合并成几个细类, 直至把所有岩相的所有细类合并起来, 以构成该地区的总样本空间。其流程如图 1。

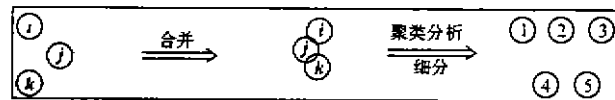


图 1 岩—电关系建立流程示意图

Fig. 1 Sketch of Flow Diagram in Forming Log-lithofacies Data-base

通过先分后合再分, 合并了单井的分析结果, 在多维空间中包含了更多的群集, 又增大了原来群的范围, 便可以建立起其相应的岩—电关系库。

## 3 模式识别

一旦某地区岩—电关系库建立后, 便可对该区未取心井或井段岩相进行判别, 识别其地质特征。

下面介绍基于最小错误率的 Bayes 模式判别分析方法及其计算步骤<sup>[3]</sup>。设有  $n$  个样品  $m$  个总体, 第  $g$  个总体样品个数为  $n_g (g = 1, 2, \dots, m)$ , 每个样品均观测  $p$  项指标, 因此对于每个已知观测数据可记

为:  $\{x_{gjk}\}, (g = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n_g; k = 1, 2, \dots, p),$  (5)

其中  $x_{gjk}$  表示第  $g$  组第  $j$  个样品的第  $k$  项指标。

设有一新样品  $y$  来自上述几个总体中的某一总体,  $y$  的  $p$  次观测指标为  $y_1, y_2, \dots, y_p$ , 判断  $y$  属于哪一种总体的方法步骤如下:

(1) 计算每一组各个变量的平均值

$$x_{g.k} = \frac{1}{n_g} \sum_{j=1}^{n_g} x_{gjk}, (g = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, p). \quad (6)$$

(2) 计算各组的协方差矩阵

$$S = (S_{kt}) = \frac{1}{N - m} \sum_{g=1}^m \sum_{j=1}^{n_g} (x_{gjk} - x_{g.k})(x_{gjt} - x_{g.t}), (k, t = 1, 2, \dots, p). \quad (7)$$

(3) 求  $S^{-1}$ 。

(4) 计算各组的判别函数  $F_g(y)$ , 并作判别归类

$$C_{kg} = \sum_{j=1}^p S_{kj}^{-1} x_{g.j}, \quad C_{og} = -\frac{1}{2} \sum_{k=1}^p C_{kg} x_{g.k}, \quad q_g = n_g / N, \\ \therefore F_g(y) = \ln q_g + C_{og} + \sum_{k=1}^p C_{kg} y_k. \quad (8)$$

比较  $F$  值的大小, 求最大值  $F_G(g)$ 。若  $F_G(y) = \max(F_g(y))$ , 则样品归于第  $g$  组 ( $1 \leq g \leq m$ )。

(5) 计算样品  $y$  归于第  $g$  组的概率

$$P(g/y) = \frac{e^{F_g(y)}}{\sum_{i=1}^m e^{F_i(y)}}. \quad (9)$$

$P(g/y)$  应为最大。

### 4 实例分析

根据中原油田济源凹陷 10 口关键井的取心资料, 及统计岩性样本空间, 并对照其测井特征进行分析。首先根据测井资料, 应用有序量最优分割分层和模糊聚类分析法形成该区测井相模式, 该模式中依据已取心井段的岩性—电性对应关系, 形成该区的岩—电关系库, 在建立岩—电关系库基础上, 应用模式识别分析技术, 实现由电相向岩相的转化。如对邓 1—邓 5 井未取心井段地层进行分析, 结果与岩屑录井剖面符合情况如表 1 所示。其中邓 5 井 2 800 m~3 010 m 井段测井相分析结果与录井剖面、常规处理剖面对比如图 2 所示。从其中可以看出, 应用

表 1 济源凹陷邓 1—邓 5 井测井相分析结果  
Tab. 1 The Results of Logfacies Analysis from Well Deng 1 to Deng 5 in Jiuyuan Depression

井名	邓 1 井	邓 2 井	邓 3 井	邓 4 井	邓 5 井
处理井段/m	1 000	890	1 380	1 850	3 130
符合率/%	81.2	84.2	80.7	80.1	79.5

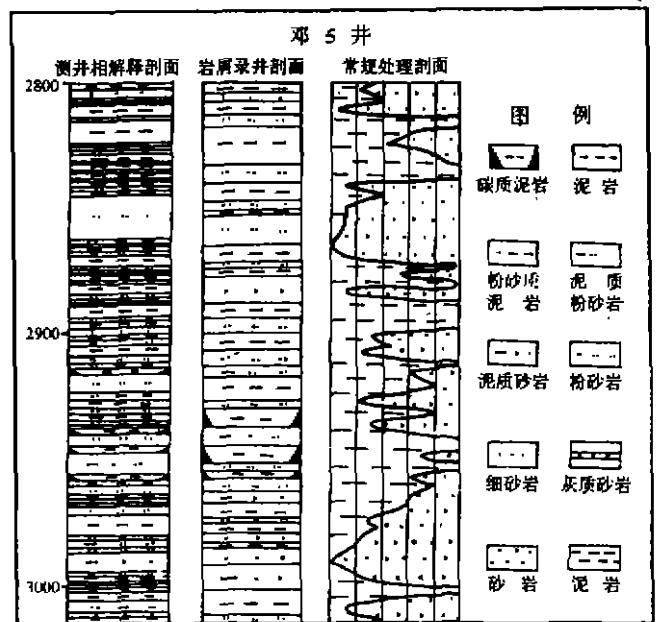


图 2 测井相分析剖面与地质录井剖面对比  
Fig. 2 Comparison between Logfacies Analysis Column and Geologic Series Residue Log-column

模式识别技术进行测井相分析,提供的系统剖面与岩屑录井及常规处理剖面之间吻合较好。

综上所述,测井相分析过程可用流程图表示(图 3)。

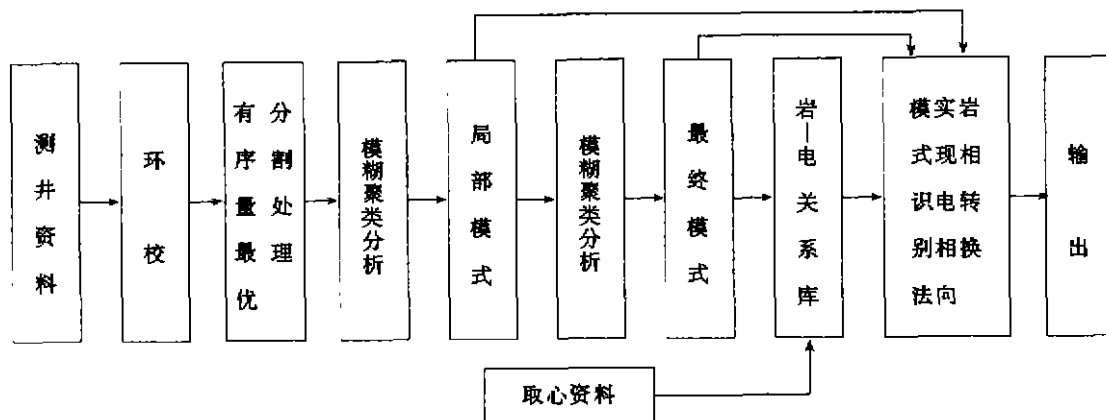


图 3 测井相分析流程图

Fig. 3 Sketch of Flow Diagram of Logfacies Analysis

### 参 考 文 献

- 1 边肇祺. 模式识别. 北京:清华大学出版社,1988. 1~12
- 2 张俊福,邓本让,朱玉仙等. 应用模糊数学. 北京:地质出版社,1988. 236~242
- 3 赵旭东. 石油数学地质概论. 北京:石油工业出版社,1992. 93~98

责任编辑 张银玲

## Application of Pattern Recognition to Logfacies Analysis

Zhang Xiaoli<sup>1)</sup> Shen Ying<sup>2)</sup>

(Department of Geology, Northwest University, 710069, Xi'an; Research Institute of Exploration and Development, Xinjiang Petroleum Administration Bureau, 834000, Karamay, Xinjiang)

**Abstract** On the base of collecting the log response characteristics relative to lithofacies, the logfacies pattern was formed through the method of doing fuzzy cluster analysis. According to log-lithofacies data-base, the pattern was transformed into lithofacies by using pattern recognition, and then the lithological series column was formed.

**Key words** pattern recognition; logfacies analysis; lithofacies; log-lithofacies data-base

### • 学术动态 •

## 我校有 8 人获国家留学基金资助

根据教育部通知,1998 年我校有 8 人被录取国家留学基金资助出国,他们是:现代物理研究所赵柳、经济管理学院刘慧霞、大英部甘适安、化工系张小里、化学系史真、城市与资源学系周德翼、计算机系葛伟、生物系邢连喜。

1998 年我校共有 15 人申报国家留学基金资助,被录取人员占申报人数的 53%,上述被录取的 8 人将在两年内与基金委签约后被陆续派往相应国家留学深造。

(薛 鲍)