

应用灰色过程模式方法进行储层参数的识别与预测

隋少强^{1,2)} 曹思远¹⁾ 王允诚³⁾ 胡远来³⁾

(1)石油大学资源与信息学院,北京,102200 (2)新疆石油勘探开发研究院,新疆 克拉玛依,834000;
3)成都理工大学能源学院,四川 成都,610059)

摘要 应用灰色过程模式识别与预测方法的目的是为了进行储层参数的识别与预测,识别储层的特征参数,预测有利含油气区块。灰色过程模式储层横向识别技术与以往的点模式识别有很大的不同,它是在点模式的基础上引入动态滑动提取法发展起来的,是在一定时间窗内,对时间序列求取多个子序列,通过求取这些子序列的特征参数来组成母时间序列的特征参数向量,在某一地震道提取特征参数时提取一系列的参数集,它比仅取一个平均值具有更好的三维地震特征表征能力。该方法还引进模糊理论与分形理论,使得对于裂缝等具有分形特征的储层物性参数描述更具有实际意义。并基于过井处的已知井建立预测模型进行井间外推预测,与已有钻井的实际地质情况吻合程度高,保证了预测的高精度。本文首次运用该方法对胜利油田义和庄区块碳酸盐岩古潜山储层进行裂缝、溶蚀孔洞发育带等预测,针对碳酸盐岩储层溶蚀和裂缝复杂的特点,通过提取灰色参数、模糊参数和分形维数等对非线性地质体具有较强表现能力的参数来作为预测的控制参数,是预测方面的尝试性进展。

关键词 义和庄区块 灰色系统 模式识别 地震特征参数

The Application of Grey Procedure Pattern Recognition to Recognizing and Predicting Reservoirs

SUI Shaoqiang^{1,2)} CAO Siyuan¹⁾ WANG Yuncheng³⁾ HU Yuanlai³⁾

(1)Institute of Resources and Information, University of Petroleum, Beijing, 102200;
2)Exploration and Development Research Institute, Xinjiang Oil Field Company, Karamay, Xinjiang, 834000;
3)Energy Resources Institute, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan, 610059)

Abstract The application of grey procedure pattern aims at recognition and prediction of reservoirs. Grey procedure pattern recognition is quite different from point pattern in that it has been developed by introducing the dynamic slide extracting technique. A series of parameter collections are extracted. The method has stronger displaying ability than the technique of only extracting the average value of 3D seismic parameter. The theory of fuzzy and fractal is introduced into the method, which causes it to possess better describing ability for fracture parameter that has fractal characteristics. Therefore, the method has greater practical significance. The method can ensure the predicting precision, because it is in accord with the condition of drilled well and it can be used to predict the interwell condition based on model building. It is for the first time that the method is used in Yihezhuang district of Shengli oilfield to predict the fracture distribution and karst distribution of the carbonate reservoir, which can be regarded as a tentative progress.

Key words Yihezhuang district grey system seismic characteristic parameter pattern recognition

广义地讲,存在于时间与空间中可观察的事物,区别它们是否相同或相似,可称之为模式识别(边肇祺等,2000)。但模式所指的并不是事物本身,而是从事物中获得的信息。从20世纪80年代以来,将模糊理论应用于模式识别就产生了模糊模式识别技术(Fang等,1997)。模式识别从一开始就是模糊技术

应用研究的一个活跃领域,一方面,人们针对一些模糊的模式识别问题设计了相应的模糊模式识别系统;另一方面,对传统模式识别中的一些方法,人们用模糊理论对它们进行了很多改进。

该项研究是一个以已知评价井附近的地震道信息为约束建立评价的数学模型,再外推评估整个测

线的产油气可能性的一个模式识别问题。模式识别的方法很多,本次研究采用的是灰色过程模式识别方法,该方法是一个以多参数特征向量为输入的、多模式、多方案识别推断的灰色过程评价体系。

预测评价的地区是胜利油田济阳拗陷的义和庄区块。目的是利用该区块的三维地震迭后资料的一部分已知评价井资料,对潜山碳酸盐岩储层的溶蚀发育程度、裂缝强弱及产能高低进行预测评价。运用灰色三维地震识别新技术,预测计算出该区块的溶蚀、裂缝和产能的空间变化情况,从而勾画出其油气富集的有利区块,为进一步的勘探决策提供定量依据。

1 灰色过程模式预测的数学原理

所谓过程模式,是指模式特征是一个多维(随时间变化)的随机向量,而不是一个高维的点。该方法以地震资料为对象,用灰色系统(易德生等,1989)、模糊理论(赵振宇等,1992)、分形技术(王域辉等,1994;Pang等,1996)等新理论和新方法描述储层的内在特征,以灰色识别等新技术来综合识别裂缝发育有利地段,为进一步布置开发井位服务。

1.1 预测评估的基本原则

灰色过程模式识别系统是集地质、地震、数学、计算机、人工智能等多学科知识于一体的综合型智能识别体系,但是,碳酸盐岩古潜山储层是高度非均质性的地质体,因此,无论在模式建立、特征提取或识别推断上都遵循4条原则:

(1) 变异性原则:在特征提取时,采用时窗滑动的方法,对每一个CDP道可以提取出若干个特征向量,用以描述动态过程特征。

(2) 随机性原则:可以将一个地震数据序列看成一个随机变量,同样可以作统计处理、求取子样特征参数,如均值、方差、极差等。该原则恰好与灰色理论的基本观点相符合。

(3) 相似类比原则:从地质背景出发,选取适当的评估范围(绝不可太长)。针对目的层,其上、下界应根据地震剖面及地质分层等成果进行标定和拾取。

(4) 延续性原则:相邻CDP位置间必然存在一定程度的延续成份。

据此,一方面,模式井道的选取可以按照就近原则选取离井位置最近的CDP道,也可以选取相邻的

几道组合而构成模式;另一方面,模式识别结果也可以相应地作一定长度内的平滑处理,剔除部分随机干扰。

1.2 地震特征参数的提取

所谓特征提取就是通过数学变换将地震时间序列中能反映储集特征及含油(气)可能性的信息提取出来。由于每个地震道时间序列,实际上是一个随时间而变化的动态过程,因此把它看作一个灰色过程是合理的。因而其特征生成结果,也应是一个随时间而变化的过程,即过程特征更为全面、更为合理。

设有一个地震道的时间序列为 X :

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$$

x 不仅能清楚地反映层位、构造、断层等地下地质信息,而且还包含了岩性、孔隙度、渗透率等油储特性。可见特征参数提取的关键在于:如何从地震时间序列中提取出能反映储层及含油气性的特征参数。

地震数据体的特征提取一般有三大类,即:①基于振幅的统计特征;②基于功率谱、自相关、自回归的频率特征;③基于分维、模糊数学、灰色理论的非线性特征参数。这三类参数可达几十个,但是并非所有的特征参数对所要求解决的地质问题都有效,实践证明,必须要针对不同地区、不同储层和解决不同问题,筛选出有明显反映的特征参数。本次研究的目的是直接预测溶蚀、裂缝带的分布,因此选择了反映振幅变化的统计特征、反映频率变化的自相关特征、反映更复杂组合的非线性特征(如灰色参数、模糊分维数)等19个特征参数向量。

1.2.1 统计特征的提取 统计特征共为9项。

(1) 绝对均值:

$$x_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i|$$

(2) 最大峰值:

$$x_{\max} = \max_{1 < i < l} \{x_i\}$$

(3) 最大谷值:

$$x_{\min} = - \min_{1 < i < n} \{x_i\}$$

最大峰值、最大谷值分别表示地震序列的最大振幅和最小振幅,它们界定了总体的取值范围。

(4) 正均值:

$$x_+ = \frac{1}{n'} \sum_{x_i > 0} x_i$$

其中 n' 为地震序列中取值大于0的点数。

(5) 负均值:

$$x_- = \frac{1}{m'} \sum_{x_i < 0} x_i$$

其中 m' 为地震序列中取值小于 0 的点数; x_+ 、 x_- 反映了地震序列正、负振幅的平均位置。

(6) 二分之一能量时间: 设 $S = \sum_{i=1}^n x_i^2$ 称为地震波的总能量, 则存在一个适当的 $t, 1 < t < n$, 使得

$$S_t = \sum_{i=1}^t x_i \approx \frac{S}{2}$$

则 t 称地震波的二分之一能量时间。

(7) 正负样点比: 设 n_+ 为地震序列中取值为正的点数, n_- 为地震序列中取值为负的点数, 则

$$a = \frac{n_-}{n_+}$$

称为正负样点比。

(8) 标准差:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

用于描述时间序列相对平均值位置的离散程度。 δ 值越小, 表明序列的离散程度越小, 序列的取值密度越大, 各取值点越靠近其平均位置。

(9) 周波跳跃系数:

$$a = \frac{n_1 + n_2}{n}$$

其中: n_1 代表 2 个相邻取值 x_i 和 x_{i+1} 由正到负的突变次数; n_2 代表 2 个相邻取值 x_i 和 x_{i+1} 由负到正的突变次数 ($i = 1, 2, \dots, m-1$)。

a 用以描述时间序列的周期变化频率, a 越大, 则表明时间序列变化频率越高, 因此, 该特征在地震时间序列中可以反映地层变化的复杂程度。

1.2.2 自相关特征的提取 自相关特征即地震反射波的自相关函数的一些特征参数, 实践证明, 它们对地震反射波的波形微细变化有较敏感的反映, 能反映地震记录沿时间方向的重复性状态。设地震波时间序列为 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, 则 X 的自相关函数 r 为:

$$r(k) = \sum_{i=1}^n x_i \cdot x_{i+k} \quad (k = 0, 1, 2, \dots, n)$$

自相关函数 r 不仅是一个随时间而变化的函数, 而且是一个振幅随时间增长而衰减的周期函数, 其中周期为 $A_0 = r(0)$ 为最大峰值, A_1, A_2, A_3 分别为 3 个过零点时间, 则可以取得如下 6 个自相关特征参数:

(1) 第二峰值与最大峰值比: $S_1 = A_1/A_0$ 。

(2) 第三峰值与最大峰值比: $S_2 = A_2/A_0$ 。

(3) 第四峰值与最大峰值比: $S_3 = A_3/A_0$ 。

(4) 主瓣宽度: $S_4 = 2t_1$ 。

(5) 二瓣宽度: $S_5 = t_2 - t_1$ 。

(6) 三瓣宽度: $S_6 = t_3 - t_2$ 。

1.2.3 灰色特征的提取 通过预测模型 $GM(1, 1)$ 的建立, 确定辨识参数 $\bar{\alpha}$ 和 $\bar{\mu}$ 。在灰色理论中, 称 $\bar{\alpha}$ 为发展系数, $\bar{\mu}/\bar{\alpha}$ 为调节项。二者刻划了模型的系统结构, 反映了系统的总体变化趋势, 进而, 可以用来描述储层特征模式, 或含油气与否的地震道序列, 继而从模式识别的角度出发, 使得总体特征对于不同的模式而言, 表现出来的差异应越大越好, 对于相同或相似的模式而言, 表现出来的差异应越大越好; 对 $\bar{\alpha}$ 、 $\bar{\mu}$ 进行组合构造, 提取灰色特征。

研究发现 $\bar{\alpha}$ 数值虽小, 但较灵敏, 序列的微小变化则会引起 $\bar{\alpha}$ 的剧烈波动, 而调节项 $\bar{\mu}/\bar{\alpha}$ 的变化则比较平缓。

为此, 针对 $\bar{\alpha}$ 和 $\bar{\mu}$ 提出灰色特征向量的构造方法如下:

设有地震时间序列 $X = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$, 确定特征提取的滑动时窗长度 $l, l \ll n$, 对于任意一个滑动时窗 $i (i = 1, 2, \dots, m-l)$;

(1) 求取时窗 i 下的 $GM(1, 1)$ 的辨识参数 $\bar{\alpha}_i$ 和 $\bar{\mu}_i$ 。

(2) 将二者作归一化处理, 使之成为 $[0, 1]$ 之间的灰数。

(3) 构造 $\alpha_i = f(\bar{\alpha}_i, \bar{\mu}_i)$, 使得 $\alpha_i \in [0, 1]$ 。

则有 $a_i (a_1, a_2, \dots, a_{n-1})$ 称 a_i 为灰色特征向量。

1.2.4 模糊特征的提取 模糊特征是指由分维特征拓广引伸出来的模糊分维及模糊自相似从属度特征。分维是分形特征的一个定量描述参数, 是刻划复杂的、不规则几何图形的一个有力工具。可以提取 3 种特征参数。

(1) 关联维数:

$$D = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\log C(r)}{\log r}$$

其中 $C(r) = \frac{1}{N^2} \sum_{s \neq t} H(r - d_{st})$

是相对空间中 s, t 两点之间的距离 d_{st} 小于 r 的概率; r 为指定距离的上限; H 为一个 Heaviside 函数, 即

$$H(r - d_{st}) = \begin{cases} 1 & (r - d_{st} > 0) \\ 0 & (r - d_{st} \leq 0) \end{cases}$$

(2) 模糊分维: 模糊分维是分维的一种拓广, 认

为只存在模糊自相似,是指许多复杂结构,实际上只是某种程度上的自相似,这种现象可以用一个模糊集来表示,从这种观点出发计算的分维数称 F ——分维。

若定义相似程度(隶属度)为 u_{st} ,则 $C(r)$ 可修正为

$$C(r) = \frac{1}{N^2} \sum_{s \neq t} \mu_{st} H(r - d_{st})$$

(3)模糊自相似从属度:冯德益教授(1985)从模糊数学的观点出发,采用模糊分维的定义思路,给出了模糊自相似从属度的概念。若原标度为 1,新标度 L_j ,则称 $r_j = 1/L_j$ 为模糊自相似比。倘若在自相似比 r_j 下,第 i 个图象与原图象的相似度为 u_i ,则整个结构的模糊自相似从属度(以下简称 F ——自相似从属度)可定义为:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n \ln r_j \cdot \ln c_j - (\sum_{i=1}^n \ln r_j \cdot \sum_{j=1}^n \ln c_j) / n}{\sqrt{[\sum_{j=1}^n (\ln r_j)^2 - (\sum_{j=1}^n \ln r_j)^2 / n] [\sum_{j=1}^n (\ln c_j)^2 - (\sum_{j=1}^n \ln c_j)^2 / n]}}$$

其中 $\ln c_j = \ln(\sum \mu_i / \mu_a)$; m_a 为相似性测定的次数; n 为选取的 F ——自相似个数。

因为地震序列从上到下的变化与地下地质的变化特征是密切相关的,因此,在这里应把它看作一个有序的灰色自相似结构来计算。

1.3 灰色模式识别

1.3.1 灰色关联识别 灰色模式识别是将一个模式 X 看作一个灰色过程,其数字特征是一个灰数序列:

$$X = \{x(1), x(2), \dots, x(n)\}$$

那么,标准模式 i :

$$X_i = \{x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)\}$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

与待评估模式 j :

$$X_j = \{x_j(1), x_j(2), \dots, x_j(n)\}$$

之间的相似性度量则用灰关联 r_{ij} 来表征。倘若已知标准模式 $X_i = 1, 2, \dots, m$,与未知待辨识模式 X_j 的灰关联度为 r_{ij} 时,则其识别准则如下:

若

$$r_{kj} = \max_{1 < i < m} r_{ij}$$

则模式应划归第 k 类。

灰关联强调的是系统过程的动态发展变化,它是根据模式特征因素间发展变化趋势的相似或相异来衡量模式间的相似程度。这种系统分析方法对样本量大小没有特殊的要求,也不像统计识别那样需

要以某种统计分布为前提,因此,适用范围广。

1.3.2 灰关联度 灰关联度计算是灰色模式识别的关键之一。关联度是度量待识别模式(向量)曲线 (X_j)与标准模式曲线 ($X_i, i = 1, 2, \dots, m$) 的相似程度的一个定量值,其定义可以有多种,现采用 4 种。

(1)经典关联度:其定义如下:

$$r_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_{ij}(k), i = 1, 2, \dots, m$$

式中:

$$\xi_{ij}(k) = \frac{\Delta \min + \alpha \Delta \max}{\Delta_{ij}(k) + \alpha \Delta \max}$$

$\Delta_{ij}(k) = |x_i(k) - x_j(k)|$,称为 k 时刻 X_j 对 X_i 的绝对差;

$\Delta \min = \min_{1 \leq i \leq m} \min_{1 \leq k \leq n} \{\Delta_{ij}(k)\}$;称为两级最小绝对差;
 $\Delta \max = \max_{1 < i < m} \max_{1 < k < n} \{\Delta_{ij}(k)\}$;称为两级最大绝对差。

$0 \leq \alpha \leq 1$ 称为分辨系数,其值越小分辨率越高,一般取 $\alpha = 0.5$,显然, $0 \leq r_{ij} \leq 1$; r_{ij} 越大,表明 j 模式与 i 模式的相似程度越高,其几何意义是 2 条曲线越相似。

(2)模糊关联度:为了顺应模式变化,增强系统的适应能力,引入了模糊数学的观点,不难看出,“灰”与“模糊”只是“不确定”的 2 种形式。

这里选用模糊算子 极大 \vee 和极小 \wedge ,便得出模糊关联度,记作 f_{ij} 。

设:

$$G_{ij}(k) = \frac{x_i(k) \wedge x_j(k)}{x_i(k) \vee x_j(k)}$$

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

则有:

$$f_{ij} = \frac{1}{n-1} [G_{ij}(1) + G_{ij}(n) + \sum_{k=2}^{n-1} G_{ij}(k)]$$

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

这样一来模糊关联度的灵敏度较之经典灵敏度降低了,也就是说,反映模式间变化的灵敏度降低了,相似性度量有一定的模糊性。

(3)组合关联度 经典关联度着重描述模式曲线间的几何形态,即变化趋势越接近,关联度值越大。但针对某些过程(如地震道时间序列),不仅要考虑它的位置变化,而且还应考虑其变化速率、速度差和加速度差。由此,该方法引入了一种新的关联度——组合关联度,记作 Z_{ij} 。

设:

$$d_{ij}^{(0)} = \sum_{k=1}^n |x_i(k) - x_j(k)|$$

为绝对差和；

$$d_{ij}^{(1)} = \sum_{k=1}^n |x_i'(k) - x_j'(k)|$$

为一阶差分(速度差)绝对值和；

$$d_{ij}^{(2)} = \sum_{k=1}^n |x_i''(k) - x_j''(k)|$$

为二阶差分(加速度差)绝对值和。

则有：

$$z_{ij} = 1 / [1 + \frac{1}{n} d_{ij}^{(0)} + \frac{1}{n-1} d_{ij}^{(1)} + \frac{1}{n-2} d_{ij}^{(2)}]$$

组合关联度是灰模式(曲线)变化过程中的位移差、速度差和加速度差的合成,增强了模式形态外变差的相似性,将更有利于模式对比。

(4)距离关联度:在经典关联度的计算中,使用了全局最小、最大作归一化处理,使其结果在0~1之间,在多模式情况下, r_{ij} 不能满足对称性,因此不可以用于模式的聚类分析。然而,在建模之前,又往往需要模式的聚类分析。那么,为了给建模提供依据,便引入了距离关联度的概念。

$$d_{ij} = 1 - \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n [x_i(k) - x_j(k)]^2} / d_0$$

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

其中: d_0 是一个适当选取的常量,但要满足

$$d_0 \geq \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n [x_i(k) - x_j(k)]^2}$$

2 灰色过程模式预测

预测评估是以地震剖面及其变换剖面,如岩性剖面、速度剖面和VSP剖面等数据资料为基础,通过各种方法提取特征参数,用不同的方法进行多参数模式识别,评价目的层的横向变化及含油气的可能性,进而推断含油气区段。

2.1 预测评估的步骤

(1)确定目的层:截取目的层的剖面数据,建立评估算法的基本数据体。

(2)确定模式井道:组构评估模式数据体。

(3)特征提取:由于原始地震道是一个包括沉积、地层、构造、岩性等多种地质信息的综合响应系统,从中提取能够反映模式间特征差异的信息则是关键。

该方法从动态过程的观点出发,提出了 Jacklife 统计、灰色参数、模糊自相似从属度、模糊分维、几何

分维等多种特征向量提取方法及计算方法。

(4)多参数多方法模式识别:特征提取之后,要合理地“分类”和“比较”,根据各CDP位置数据的量化结果评估储层的变化和油(气)存在的可能性,这是关键性的一步。

2.2 数据预处理

在获得评价数据体后,第一件工作就是数据预处理,它包括数据校验、储层标定、储层拾取、全局规一、井坐标转换等处理过程。

所谓储层拾取就是将评价目的层顶层、底界时窗范围内的采样数据截取出来,构成储层计算数据体。

对于义和庄区块的储层拾取是将计算数据体中潜山TG储层段的信息截取出来,以构成特征提取计算的目的层数据体。

2.3 特征提取

特征提取是识别成功与否的关键之一,前面已经阐述了地震资料的特征提取方法,这里就对每条测线、每个CDP道的目的层分别按前述方法提取19个特征参数向量,以形成识别推断计算输入数据集。但对义和庄区块储层而言,究竟哪些参数对产能预测有效?哪些参数对裂缝评价贡献突出?现在还不得而知,只有提取出来以后,通过下一步的试算、试验才能表现出来。

2.4 识别推断

识别推断是系统的核心,它的成功与否,不仅与计算方法有关,而且也与计算方案设计、模型建立、参数选取等有关。通常都需要进行多模型、多参数组合、多方案的反复试验、对照分析、评价解释和择优录取等手段的综合运用,才能获得满意的效果,这是由于地下地质情况的多变性、复杂性所决定的。

经过试验,结果为产能以非线性和统计特征类的组合为好,溶蚀以统计和自相关特征类组合为宜;而裂缝则是非线性和自相关组合最佳。其具体贡献系数如表1。

3 预测结果

通过高密度的抽取地震道剖面进行预测,将所有剖面的预测结果在平面上作图,就得到溶蚀和裂缝发育程度预测平面图(图1、图2)。从预测的平面分布图来看,预测结果与井上地质情况吻合程度很高,即回判率很高。

表 1 特征变量贡献相关系数表
Table 1 Correlation coefficient characteristic variable

特征类	特征变量名	溶蚀	裂缝
非线性	灰色系数	0.00	0.44
	关联维	0.00	0.39
	模糊自相似系数	0.00	0.62
	模糊分维数	0.00	0.69
统计	绝对均值	0.87	0.00
	最大峰值	0.85	0.00
	最大谷值	0.85	0.00
	正均值	0.80	0.00
	负均值	0.59	0.00
	跳变系数	0.81	0.00
	0.5 能量时间	0.01	0.00
	正负样点比	0.76	0.00
	标准差	0.30	0.00
	自相关	第二振幅比	0.10
第三振幅比		0.05	0.02
第四振幅比		0.54	0.44
主瓣宽度		0.35	0.78
次瓣宽度		0.70	1.00
三瓣宽度		0.49	0.34

从图 1、图 2 中可知,溶蚀和裂缝发育带分布具有规律性,即溶蚀和裂缝分布总体上沿着 NW 至 SE 向分布,与该区块的正断层走向基本一致,反映了溶

蚀和裂缝沿着断裂带比较发育的特点。如高产井 YG78、YG87、YG86 等井,基本上沿着 NW—SE 一线分布。从图 1、图 2 中可知, YG48 井储层的溶蚀和裂缝也比较发育,但是,因为构造位置较低,结果是水层。总体上,距离断层越远,构造位置越低,溶蚀和裂缝越不发育,如 YG33、YG40 等井。

从图 1、图 2 中还可以看到,溶蚀和裂缝发育无规律性的一面,如距离断层较远的区块也有溶蚀和裂缝较发育区,距离断层较近的区块也溶蚀和裂缝不发育区,这一点恰恰反映了碳酸盐岩储层非均质性较强的特点。

把溶蚀和裂缝预测图与构造图、储层横向剖面图综合叠加在一起,就可勾划出该区产油气的有利前景区块。

4 小结

运用灰色过程模式识别方法,以单井建模评价的储层溶蚀和裂缝发育程度为过井控制模式,以提取的井间地震道的各项特征参数为评价参数,进行井间溶蚀和裂缝分布预测。该方法与以往的模式识别方法的不同点在于提取参数过程中不再采用点模式,而是在一定时间窗间隔内,对时间序列求取多个子序列,通过求取这些子序列的特征参数来组成母时间序列的特征参数向量,即在一个地震道位置求取一系列的参数,多个特征参数所包含的信息当然远多于一个参数的信息;同时针对碳酸盐岩储层溶蚀和裂缝复杂的特点,通过提取灰色参数、模糊参数和

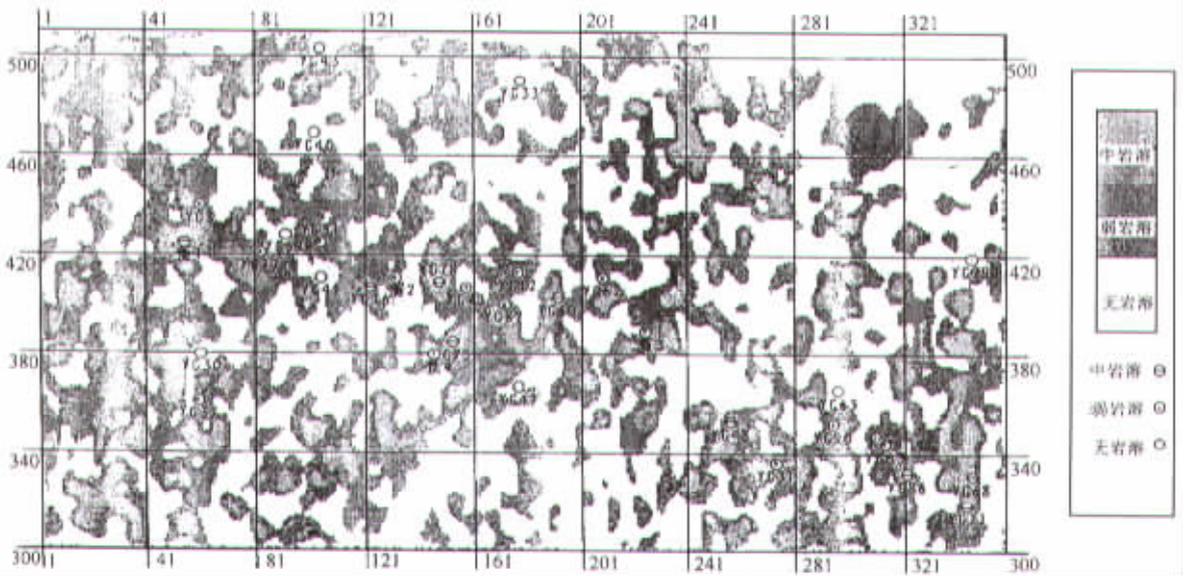


图 1 义和庄灰岩潜山储层溶蚀分布预测图

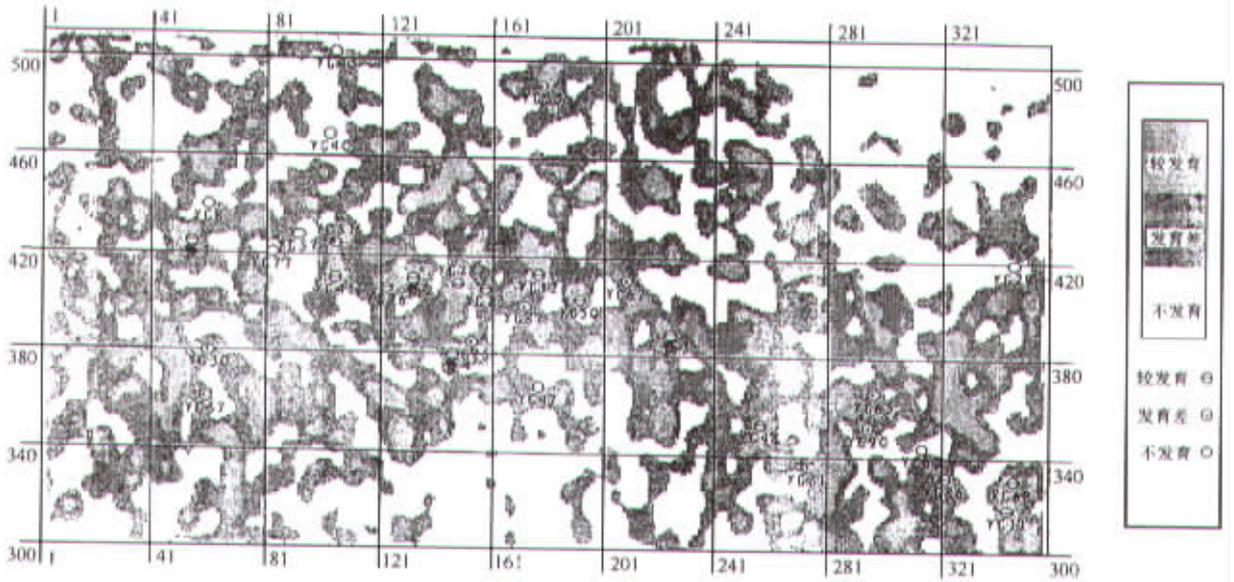


图 2 义和庄灰岩潜山储层裂缝分布预测图

Fig.2 Prognostic chart of fracture distribution of carbonate rock reservoir in Yihezhuang tract

分形维数等对非线性地质体具有较强表现能力的参数来作为预测的控制参数;该方法的另一个优点是以过井的地质模式作为预测的已知模式,预测结果既体现了地震在横向上的高覆盖能力,又反映了井上的地质实际情况。

参 考 文 献

边肇祺等. 2000. 模式识别. 北京: 清华大学出版社, 1~300.

王域辉, 廖淑华. 1994. 分形与石油. 北京: 石油工业出版社, 1~262.

易德生, 郭萍. 1989. 灰色理论与方法. 北京: 石油工业出版社, 1~240.

赵振宇, 徐用懋. 1992. 模糊理论和神经网络的基础与应用. 北京: 清华大学出版社, 82~241.

Fang J H, Chen H C. 1997. Fuzzy modelling and the prediction of porosity and permeability from the compositional and textural attributes of sandstone. *Journal of Petroleum Geology*, 20(2): 185~204.

Pang J, North C P. 1996. Fractals and their applicability in geological wireline log analysis. *Journal of Petroleum Geology*, 19(3): 339~350.