DOI:10.13810/j.cnki.issn.1000-7210.1994.05.012

储层模式识别技术

庄成三*　王培强
（成都科技大学）

肖婉莉　彭　勇　王　兵
（四川石油管理局勘探开发研究院）

摘　要

庄成三，王培强，肖婉莉，彭勇，王兵．储层模式识别技术．石油地球物理勘探，1994，29(5)：630～636

在一个剖面段上，先作预处理、压制噪声、各类校正、去掉与目的层无关的影响；然后进行特征拾取，计算出能反映其含油气性的 n 个特征量，组成 n 维特征矢量；最后由分类器计算出对这个 n 维特征矢量进行分类的判别函数的值。若值大于零为 I 类（与油气层有关），若值小于零为 II 类（与非含油气层有关）。本文介绍了分类器的设计和特征拾取方法，并给出了模型正演记录和两个实例。

主题词　模式识别　储层预测　特征矢量　训练样本

ABSTRACT

Zhuang Chengsan, Wang Peiqiang, Xiao Chali, Peng Yong and Wang Bing. Technique for reservoir pattern recognition. *OGP*, 1994, 29(5): 630～636

The technique for reservoir pattern recognition involves the following procedure:

• Data processing, including preprocessing, noise elimination, various corrections, and the removal of influence factors which are not related to objective interval.

• Characteristic pickup, followed by the computation of n hydrocarbon characteristic indicators, which are used to form n—dimensional characteristic vector.

• Computing, from classificator, the discriminant function value for classifying the n—dimensional characteristic vector.

The function value higher than zero belongs in classification I, relating to hydrocarbon reservoir; and the value less than zero belongs in classification II, correlating to the formations which bear no hydrocarbon. We also detail how to design the classificator and how to pick up the characteristics. Forward modeling data and two examples are given in the paper.

Subject heading: pattern recognition, reservoir prediction, characteristic vector, training sample

---

* *Zhuang Chengsan*, Chengdu University of Science and Technology, Chengdu City, Sichuan Province, Postcode: 610000

本文于 1993 年 9 月 20 日收到。

前　言

储层横向预测是油气勘探和油气田开发中不能回避的重要问题,特别是当储层横向变化比较大,而厚度又较薄时,其含油气性的变化在地震记录上反映很弱,用常规方法进行储层横向预测十分困难。但是,必需承认,穿过目的层的地震记录,其波形或频谱等特征,总会携带着目的层含油气的信息。基于上述认识,我们有可能应用模式识别技术提取反映含油气的信息,实现储层横向预测的目的。

模式识别技术在地球物理勘探中的应用始于 80 年代初期,特别是美国普渡大学付京孙教授等作了大量的研究。与此同时,复旦大学、清华大学、成都科技大学等也开始了这个领域的研究[1],[2]。文献 2 中针对测井资料采用统计模式识别技术识别油气层。最近,钱绍新等人在储层横向预测中也采用了统计模式识别技术[3]。在此基础上,我们直接依据地震反射资料进行储层横向预测。在对四川地区海相和陆相储层进行了深入的理论研究和大量实际试验的基础上,提出了一套有效的储层横向预测的新方法。为了实现区域即面上的预测,我们着重研究了特征的识别和拾取的方法,并要求这些特征尽可能多地携带储层含油气性的信息,尽可能少受别的干扰因素的影响,如岩性、深度、施工条件等。这样,在一个区域内,只要有若干位于地震测线旁的已知含油气井,便可利用井旁地震道目的层的已知含油气段的地震反射资料作训练和检验样本,对该区所有其它测线进行横向预测,而不管这些测线旁是否有已知含油气的井存在。我们称这种预测为区域预测,而称类似文献 3 的预测叫单测线预测。显然,进行区域预测,对特征的选择提出了高得多的要求。本文提出的方法已编程在 GeoQuest 地震解释工作站上实现。结果表明,用此法进行含油气层段的预测是十分有效的。

原理及方法

本文采用有监督学习的统计模式识别技术,该技术的原理可用图 1 来说明。

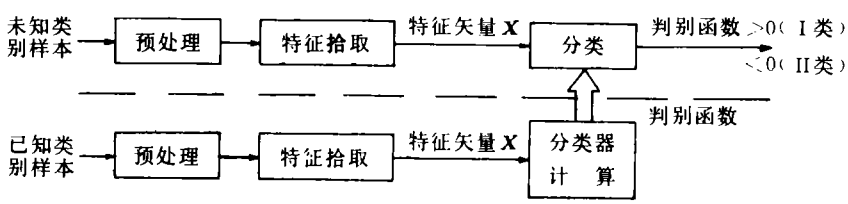


图 1　模式识别方法原理图

图中虚线以上为分类过程。在作油气横向预测时,每个未知类别的样本,就是每个地震道。对这些样本经过预处理、压制噪声、完成各类校正、去掉与目的层无关的影响后,进行特征拾取,计算出能反映其含油气性的 n 个特征,组成 n 维特征矢量,最后由分类器计算出对这个 n 维特征矢量进行分类的判别函数值。如果其值大于零为 I 类,小于零为 II 类。这里我们建立了两类问题的模式识别模型;I 类是与含油气目的层有关的反射记录;II 类是与非含油气目的层有关的反射记录。分类器是通过虚线下面的学习过程,由计算机对已知类别的样本进行分析后

自动设计出来的。在我们用地震资料预测油气模式识别技术的模型中，采用已知的油气井及干井或水井的井旁地震反射记录作为已知样本。将这些样本输入给分类器设计模块作为训练样本，而把其它已知样本输入给分类器作为检验分类器的效果，这样的样本叫做检验样本。每个地震道在分类部分作为一个未知样本分类，可得到一个判别函数值。此判别值大于零者为Ⅰ类，小于零者为Ⅱ类。但在预测油气时，并不是对剖面上单个点进行预测，而是研究一个剖面段，一个区域所有点的判别数值，正值越多越大，越倾向Ⅰ类。所以，系统的输出不是每个道的类别，而是它的判别函数值。

通过特征拾取，从每个样本得到一个 n 维特征矢量，于是可把每个样本看成 n 维空间的一个点。如果此特征值确实能反映油气是否存在，则反映油气类的点和不反映油气类的点在 n 维空间中应分布在不同的位置上。设计分类器就是要找到一个超平(曲)面，使绝大多数油气类的点和非油气类的点分别在该面的两侧。对未知样本分类也就是计算其特征矢量相对这个分界面的位置。我们采用广义线性分类器，分类器设计采用 MSE 法。当训练样本数量充分大时，且两类样本的特征矢量均服从 n 维正态分布，可证明该方法是最优的贝叶斯分类器的线性近似。只要作训练用的已知样本代表性好，特征拾取方法恰当，这个要求基本能够达到。

MSE 法设计分类器的数学原理

设从每个样本(每个地震道)中提出 n 个特征，记为 $x_1, x_2, \cdots, x_n$，它们组成一个 n 维特征矢量。对应于 n 维空间中一个点，第 i 个样本记为

$$\boldsymbol{X}_i = \begin{bmatrix} x_{1i} \\ x_{2i} \\ \vdots \\ x_{ni} \end{bmatrix} \tag{1}$$

一种简单的广义线性判别函数采用各特征的 1 次项及 0 次项(即 1)的线性组合，其形式为

$$g(\boldsymbol{X}_i) = w_0 + w_1 x_{1i} + w_2 x_{2i} + \cdots + w_n x_{ni} \tag{2}$$

式中，$w_j (j=0,1,\cdots,n)$ 为每个项的权系数。这样，设计分类器也就是确定这些权系数。我们把特征矢量用 $n+1$ 维空间的矢量表示为

$$\boldsymbol{X}_i = \begin{bmatrix} 1 \\ x_{1i} \\ x_{2i} \\ \vdots \\ x_{ni} \end{bmatrix} \tag{3}$$

则权系数组成 $n+1$ 维权矢量，即

$$\boldsymbol{W} = \begin{bmatrix} w_0 \\ w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \tag{4}$$

判别函数 $g(\boldsymbol{X}_i)$可以表示为

$$g(\boldsymbol{X}_i) = \sum_{j=0}^{n} w_j x_{ji} = \boldsymbol{W}^{\mathrm{T}} X_i \tag{5}$$

式中,T 代表矩阵的转置。

设有已知类别的 n 个样本为$\{\boldsymbol{x}_1, \boldsymbol{x}_2, \cdots, \boldsymbol{x}_m\}$,$g(\boldsymbol{X})$是期望的判别函数,则对 m 个已知样本,都有

$$g(\boldsymbol{X}_i) = \boldsymbol{W}^{\mathrm{T}} \boldsymbol{X}_i = \boldsymbol{X}_i^{\mathrm{T}} \boldsymbol{W} = g_i \qquad i = 1,2,\cdots,m \tag{6}$$

式(6)可以改写成矩阵形式

$$\boldsymbol{X}^{\mathrm{T}} \boldsymbol{W} = \begin{pmatrix} g_1 \\ g_2 \\ \vdots \\ g_m \end{pmatrix} = \boldsymbol{B} \tag{7}$$

式(7)中 $\boldsymbol{X}^{\mathrm{T}}$ 为 $m\times(n+1)$矩阵,即

$$\boldsymbol{X}^{\mathrm{T}} = \begin{pmatrix} 1 & \boldsymbol{x}_{11} & \boldsymbol{x}_{12} & \cdots & \boldsymbol{x}_{1n} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \\ 1 & x_{m1} & \mathrm{x}_{m2} & \cdots & \mathrm{x}_{mn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \boldsymbol{X}_1^{\mathrm{T}} \\ \boldsymbol{X}_2^{\mathrm{T}} \\ \vdots \\ \boldsymbol{X}_m^{\mathrm{T}} \end{pmatrix}$$

$\boldsymbol{W}$ 如式(4)所示。

组成 $\boldsymbol{B}$ 矢量的各分量是期望的已知样本的判别函数值。我们期望 I 类样本和 II 类样本在判别超平面的两侧,即有不同的符号。在我们的模型中,令

$$g_i = \begin{cases} 1 & \text{样本 } i \text{ 是 I 类} \\ -1 & \text{样本 } i \text{ 是 II 类} \end{cases}$$

MSE 法要求式(6)计算出的各样本判别函数值和期望的 g_i 值的误差平方和最小,即使

$$\sum_{i=1}^{m} (g_i - \sum_{j=0}^{n} x_{ji} w_i)^2 \to \min$$

或

$$\| \boldsymbol{X}^{\mathrm{T}} \boldsymbol{W} - \boldsymbol{B} \|^2 \to \min$$

利用矩阵微分法则可得

$$(\boldsymbol{X}\boldsymbol{X}^{\mathrm{T}})\boldsymbol{W} = \boldsymbol{X}\boldsymbol{B} \tag{8}$$

所以有

$$\boldsymbol{W} = (\boldsymbol{X}\boldsymbol{X}^{\mathrm{T}})^{+} \boldsymbol{X}\boldsymbol{B} \tag{9}$$

式中,$(\boldsymbol{X}\boldsymbol{X}^{\mathrm{T}})^{+}$代表 $\boldsymbol{X}\boldsymbol{X}^{\mathrm{T}}$ 的伪逆。

特征拾取方法

现有的各种从地震资料出发的碳氢化合物直接显示技术及用模式识别进行储层横向预测技术[3]中,通常利用的特征有反射波能量、相位特征、频率特征、自相关函数、自回归模型系数、三瞬信息等。综合分析这些特征,结合四川地区地震反射波的特点,我们选定以下六种特征进行了试验:

(1)自回归系数 $a_0, a_1, a_2, \cdots, a_n$;

(2)伯格反褶积的前向和后向预测误差;

(3)自相关函数前三个峰值及其过零点;

(4)伯格谱的主频及顺序统计量;

(5)Fortier 谱的主频及顺序统计量;

(6)群延迟及主频处相位。

特别应当指出,选择伯格反褶积预测误差作为特征是基于如下考虑:目的层的含油气性及别的特性对反射波的影响不能完全用线性模型来刻画,而自回归系统是线性模型。

处理效果分析

我们对不同地区不同层位的海、陆相地层进行试处理,试验内容包括不同参数组合试验,不同样本选择方式试验,时窗长度试验等。试验证明,该软件系统不仅能识别碳酸盐岩裂缝孔隙型储层的含油气特征,而且也能识别砂泥岩地层的含油特征。

图 2 和图 3 是一组理论模型试验记录。图 2 上部是地质模型,两个高部位是低速、低密度的含油气构造,下部是该模型用 32Hz 雷克子波作的波动方程正演记录。图 3 是对该模型正演记录作模式识别的处理结果,用一条综合特征曲线显示在剖面上方,正值表示与 I 类样本相同的地层,负值表示与 II 类样本相同的地层。图中出现两个正异常段,而且两个正异常段与两个含油气构造相对应,这充分说明该软件在储层横向预测方面的能力和效果。

图 4 为四川盆地某构造带的一条实际地震剖面的模式识别处理结果,预测的目的层为石炭系,其岩性为白云岩,储集层类型为裂缝孔隙型。该测线上的 18 井为气井,5 井为水井,处理

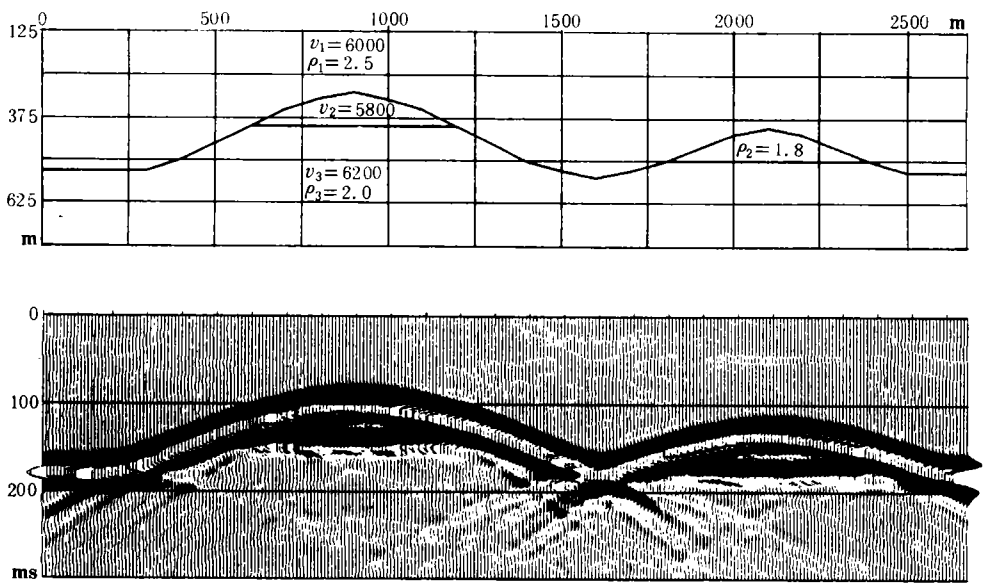


图 2 地质模型及正演记录

图中:v 的单位为 m/s;ρ 的单位为 g/cm^3

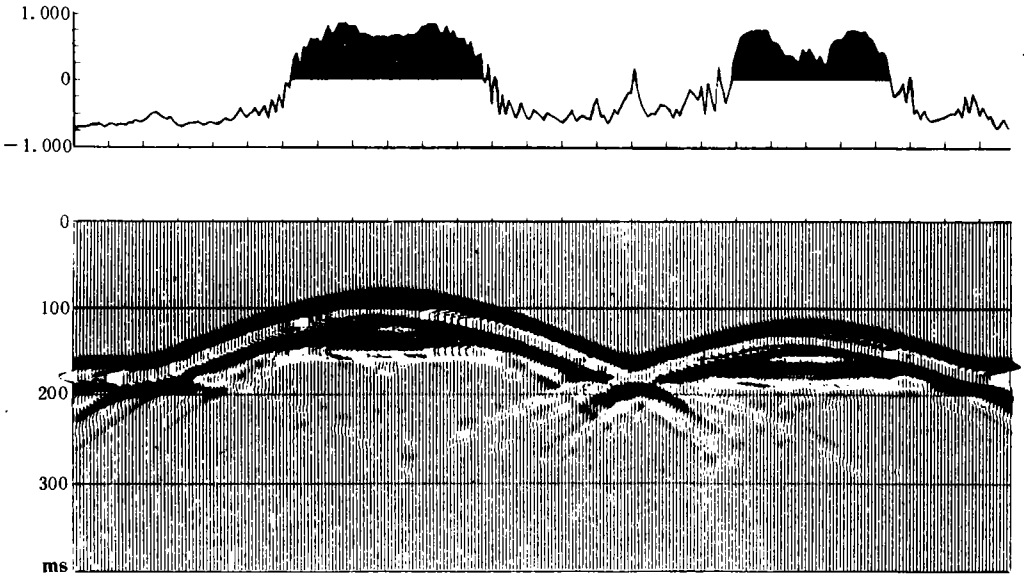


图 3　模型正演记录的模式识别

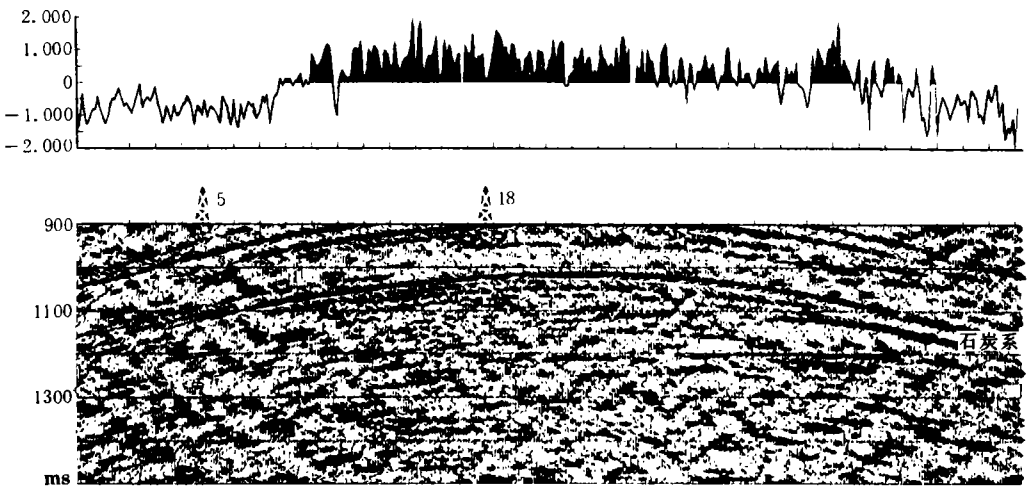


图 4　四川 84-D422 测线储层模式识别剖面

结果不仅揭示了含气层的范围，而且它明确地显示了该气田的气水边界位于剖面上正负异常特征值的分界处。该结果与气田开发资料揭示的气水边界完全一致。

图 5 为四川盆地另一个构造加岩性的复合型圈闭上的实际地震剖面模式识别处理结果。在剖面上的 16 井为该构造带中的评价井，目的层仍为石炭系，根据模式识别处理结果，我们对该井作了产大气的预报。实钻结果，该井每天稳产气约 10 万 m^3。同时，模式识别处理剖面还明确地揭示出该气田为构造加岩性的复合型气藏。在图 5 剖面中，比 16 井高的部位，模式识别特征值正异常并不十分密集连续，表明其储层发育程度比低部位的 16 井区差。这些认识已为后来的钻井资料所证实。

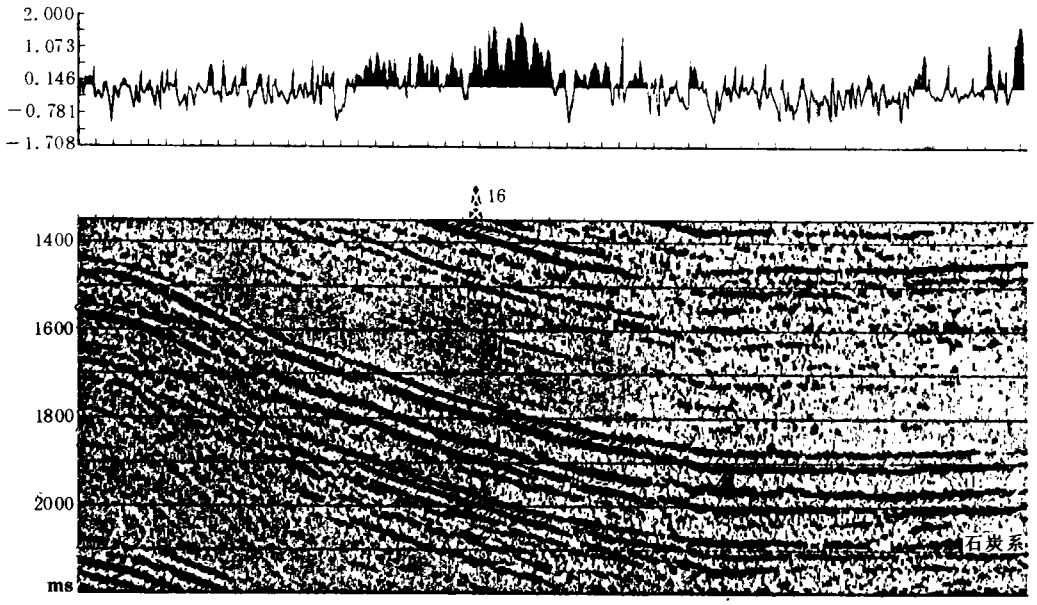


图 5 四川 86-D466 测线储层模式识别剖面

至今为止，我们已采用本文提出的技术，对川中、川东数个区域进行了区域横向预测，已处理了上百条测线。还为新疆、南海等油田处理了一批资料，均取得了很好的效果。表明这个方法是进行储层横向预测强有力的工具，尤其对低孔隙率、低渗透率的储层，目前还没有别的成熟的预测技术，而本文提出的模式识别技术在这方面展示了巨大的潜力。

参 考 文 献

1 汪凯仁，庄成三．模式识别方法及其在地球物理勘探中的应用．石油物探，1982，21(3)：49～59

2 庄成三，王景熙．模式识别划分碳酸盐岩油气水层方法研究．国家'六五'重点科技攻关项目成果报告，成都科技大学，1985

3 钱绍新．应用模式识别方法进行储集层的横向预测，石油地震勘探技术交流会论文集，石油工业出版社，1993

4 Kou Yuan Huang，Ring Sun Fu. Syntactic pattern Recognition for the Recognition of Bright spots. *Pattern Recognition*，1985，18(6)：421～428

5 Kubichek R F and Quincy E A. Statistical Modeling and Feature selection for seismic pattern Recognition. *Pattern Recognition*，1985，18(6)：442～448