

模式识别在预探井钻前储层预测中的应用

刘震 张万选 张厚福

(石油大学, 北京 102200)

在开钻之前, 预探构造上除了地震测网和地震剖面外, 几乎再没有其它能够揭示地下储层性质的探测资料。鉴于钻前储层预测的巨大意义, 本文将模式识别引入到这个领域, 力图通过“由已知到未知”这一途径来预测预探井内的岩性分布。实际资料证实, 这种方法具有明显的使用价值。

关键词 储层 模式识别 匹配 相对速度

第一作者简介 刘震 男 30岁 副教授 石油地质

一、引言

模式识别和油气勘探一样, 已经有很长的发展历史; 但在油气勘探中应用模式识别却是不久前才开始的^[1]。由于近年来计算机的运算速度、存贮能力和逻辑性能的飞速发展, 使得在地震资料处理和解释不断自动化的同时, 反射波形的细微变化所暗示的地层岩性差异, 引起勘探者的广泛兴趣。依靠计算机帮助解释大量而繁琐的地震资料, 尤其是作出关于岩性变化的自动精细解释, 这已不再是梦想。

模式识别就是要把一种研究对象, 根据其某些特征进行识别并分类^[2]。但由于所研究的对象千差万别, 它们都蕴含有本身固有的特征, 因此, 要把它们加以区别或分类, 首先就要获知大量相关的对象, 同时采用一定的识别方法和手段。

实际上, 从地震解释的第一天起, 人们就已经开始运用“模式识别”方法了, 只不过是人工实现的——人工资料类比、人工地层判别。目前, 在包括脉冲识别、层位对比、油藏边界判定和地震相、海平面升降分析方面, 模式识别较为常见, 但在储层识别方面, 尤其是钻前储层预测方面, 模式识别的实际应用还比较少。

由于地震资料本身已经数字化了, 而且岩性特征又可用数字化的速度曲线来表示, 故在地震-岩性领域中应用模式识别十分方便。

二、地震反射与岩性匹配的模式空间与特征空间

本文建立的模式空间和特征空间是一种匹配型空间, 即将研究对象中的地震反射和地层速度匹配成对, 并以匹配形式形成特征空间。

1. 地震反射与地层速度匹配的模式空间

每一个地震道在 n 维空间内可以表示为地震反射模式空间 S

$$S = (S_1, S_2, \dots, S_i, \dots, S_n)^T \quad (0 \leq i \leq n) \quad (1)$$

$[0, n]$ 为地震反射波形的时窗, S_i 为双程时间 i 点的反射波幅度值。

另外, 与岩性对应的地层速度曲线亦可在 n 维空间表示为速度模式空间 V 。

$$V_i = (V_{i1}, V_{i2}, \dots, V_{in}, \dots, V_{in})^T \quad (0 \leq i \leq n) \quad (2)$$

V_{in} 是双程时间 i 点的地层速度值。

一般地, 人们可以借助于由速度资料制作的合成记录与地震道的对比, 并利用 VSP 提供的高精度时-深关系对声波测井进行校正。最终能使合成记录与地震道达到良好的对应关系时的速度曲线就是标定好的速度。这个速度与井旁道一起就形成一个地震反射-地层速度对。图 1 就是某井中一个地震反射-地层速度匹配的模式空间。但是这种匹配模式空间的一一对应性受到地震反射机理的挑战, 它也正是许多实际预测失败的原因之一。因此需要在提取特征时进一步清除匹配的不唯一性。

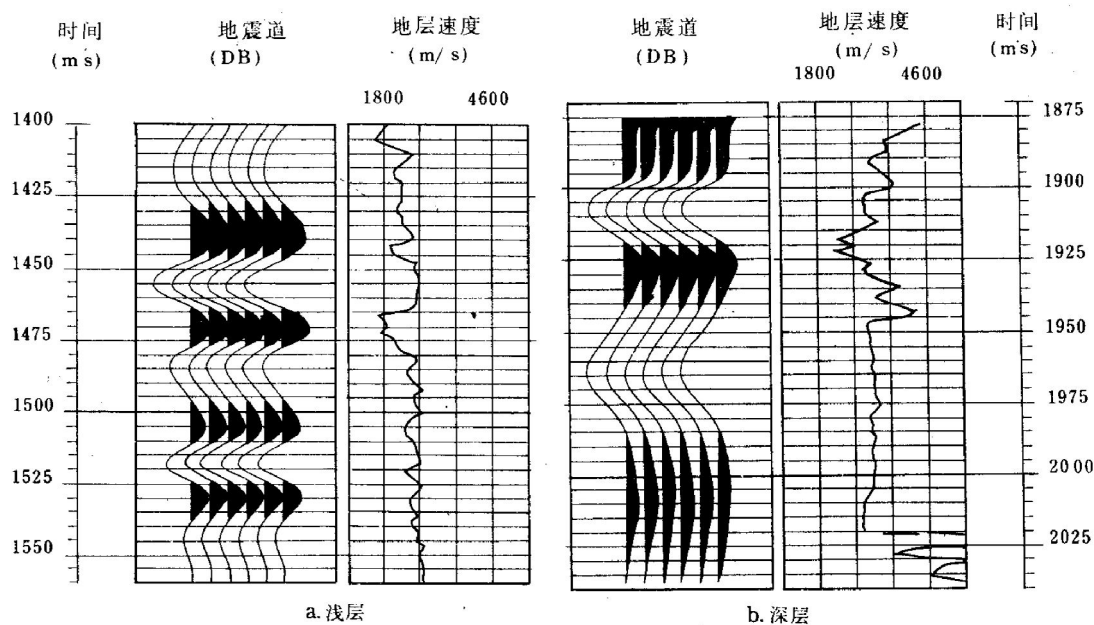


图 1 地震反射-地层速度的匹配模式

2. 地震反射与地层速度匹配的特征空间

在实际中, 反映一类图象 (即模式) 的特性是很多的, 但总有某一些特征最能概括图象的实质。因此必须找到这些具有实质性的特征, 即建立特征空间。

在地震反射波的模式空间内, 因为波形的细微差异就有可能反映地层岩性的变化, 而人们又总是力求提取更详细的岩性信息, 故不再对地震反射图象进行特征压缩, 令其模式空间 S 等于特征空间 X :

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)^T = (S_1, S_2, \dots, S_n)^T \quad (3)$$

x_i 为双程时间 i 点的反射波幅度值。

在地层速度的模式空间中, 也不难看出, 它的全部信息都是最特征的岩性反映, 不需要作特征压缩。但是, 在地震图象的解释过程中, 存在反射波形与地层速度匹配的唯一性问题,

即相同的反射波形有可能对应不同的速度曲线（由薄层效应造成）；但不同的反射波形一定与速度曲线的不同有关。

进一步分析可以得出，在不考虑小目标即薄层的条件下，相似的反射波形将对应相似的相对速度曲线。这是因为，相对速度曲线是直接由地震波形反演而来，它们之间关系密切。另外，从正演方向看，在子波确定后，地震反射波形只与反射系数序列有关，即与地层界面上下的速度差有关^[3]，而这种速度差正是相对速度曲线。图2亦说明，对于给点的一条相对速度曲线，虽然用不同的低频速度分量与其合成不同的绝对速度，但由这些绝对速度制作的合成记录却惊人地相似。

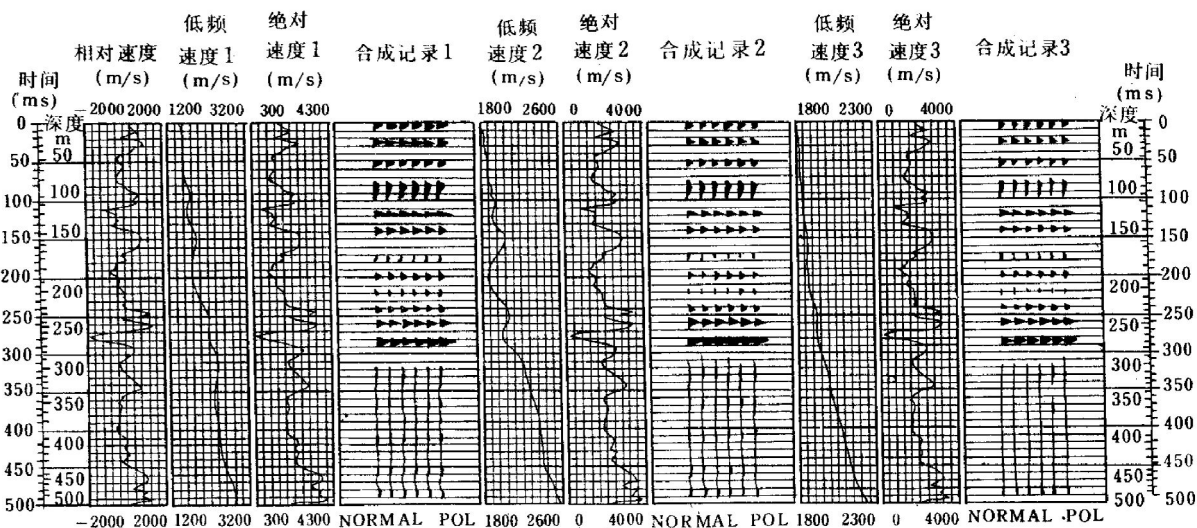


图2 等相对速度的合成地震记录

由于上述规律，可以不压缩地层速度（绝对速度）模式空间，但需要将其变换成相对速度模式空间，即求绝对速度 V_a 和映射——相对速度 V_r ：

$$V_r = V_a * F_d \quad (4)$$

* 为褶积运算符， F_d 是相应地震资料的显示滤波器，一般为梯形滤波器。

最后将地震反射 X 与地层相对速度 V_r 配对，便形成了地震反射-地层速度匹配的特征空间。

三、地震波形-地层速度的判别函数

将每一段地震波形和地层相对速度配对之后，顺序地放入模式库中。模式库（即模式集合）的格式见图3。

当面对任何一段新的地震反射时，就可通过计算机分析，将这一种对象的特征与整个模式集合中的每一种图象进行比较判别，得到一个以某种数值为标准的判别结果，这个结果就是研究对象的本质特性，即地层相对速度曲线。本文的对比判别只针对反射波形，地层相对速度曲线并未参加判决运算。判决运算中的判别函

模式码	匹配特征空间				
	$X_{1,1}$	$X_{1,2}$	$X_{1,3}$	...	$X_{1,n}$
P_1	$V_{r1,1}$	$V_{r1,2}$	$V_{r1,3}$	...	$V_{r1,n}$
P_2	$X_{2,1}$	$X_{2,2}$	$X_{2,3}$	...	$X_{2,n}$
	$V_{r2,1}$	$V_{r2,2}$	$V_{r2,3}$	...	$V_{r2,n}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
P_m	$X_{m,1}$	$X_{m,2}$	$X_{m,3}$	...	$X_{m,n}$
	$V_{rm,1}$	$V_{rm,2}$	$V_{rm,3}$	...	$V_{rm,n}$

图3 模式库内部格式示意图

数选用了距离函数。距离是刻画两个向量接近程度的数值^[2]。若两个向量分别为 $(g_1, g_2, \dots, g_n)$ 和 $(h_1, h_2, \dots, h_n)$, 则其间距离 d 定义为:

$$d = \sqrt{\sum_{i=1}^n (g_i - h_i)^2} \quad (5)$$

当 d 较小时, 说明这两个向量比较接近; 而当 d 较大时, 表明这两个向量差别较大, 不相似。

因此, 把地层速度未知的一段地震反射输入计算机后, 分别计算它与模式库里每一匹配特征空间的地震反射的距离, 并搜索出其中距离最小的那一个匹配对。这个匹配对中的相对速度曲线就是要研究的岩性目标。

四、地震-岩性认识的应用步骤

在预探构造钻前储层预测中, 应用模式识别的分析主要分两步进行。第一步是建立已知井的地震反射与地层速度匹配的特征空间集合即模式库; 第二步才是根据距离判别函数确定研究对象的相对速度目标(图4)。

在建立特征空间集合时, 选择和确定已知井地震-速度模式的工作, 决定了最终识别的可靠性。由于预探构造上无井, 已知的模式只能从邻近的其它已钻构造上选取。从地质和地震两方面考虑, 模式选取必须遵循以下原则:

第一, 所选的已知井与预探井的目的层

应具有相同或相似的构造发育背景和地层年代。

第二, 已知井与预探井的目的层应具有大体相同的深度, 这是地震分辨率和信噪比的要求。

第三, 所选全部已知井中的速度-岩性对应关系稳定, 以便于岩性转换。

第四, 已知井与预探井的地震资料应具有相同或相似的采集手段、处理流程和显示参数, 使已知井和预探井的地震资料中的非地层岩性影响达到同等水平。

当已知井的地震-速度匹配模式空间转换成匹配特征空间后, 就可以进行实际目标的判别。

然而, 任意预探井的目的层都具有一定的时窗长度。可以想象, 在直接输入整个目的层进行地层速度识别时, 时窗越大, 识别结果会越不精确。因此在识别之前要对目的层反射波形进行分段。分段的长度以子波波长为基准, 并考虑子波干涉条件下波形的完整性。将目的层划分为若干个小段后, 便可逐一向计算机输入, 并分别对其进行判别运算。最后, 把判别输出的结果(相对速度曲线)再按顺序连接, 就形成了预探井目的层的地层相对速度曲线。由这条速度曲线可以直接解释地层的岩性变化。

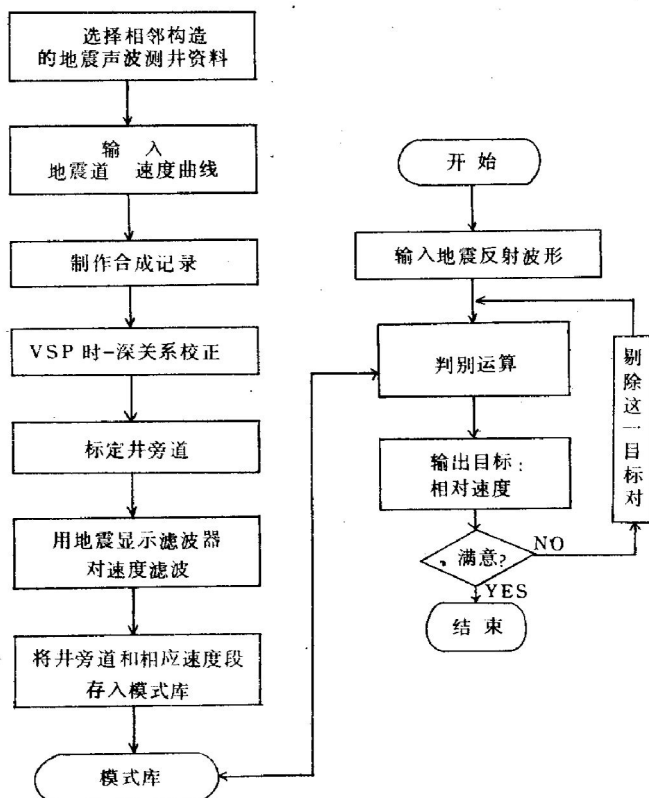


图4 地震-岩性识别简明框图

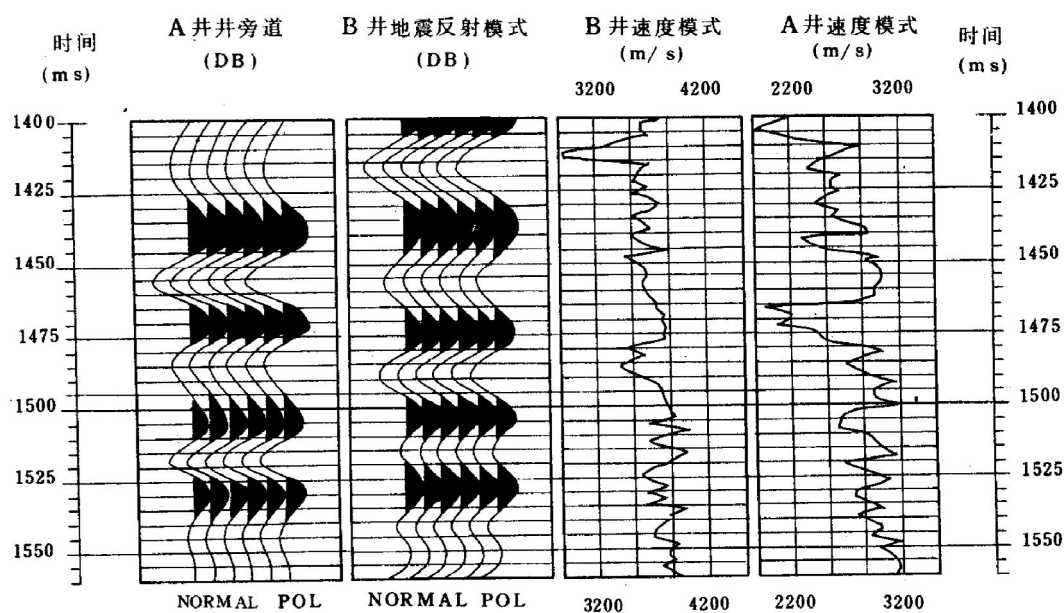


图5 已知井井间模式识别

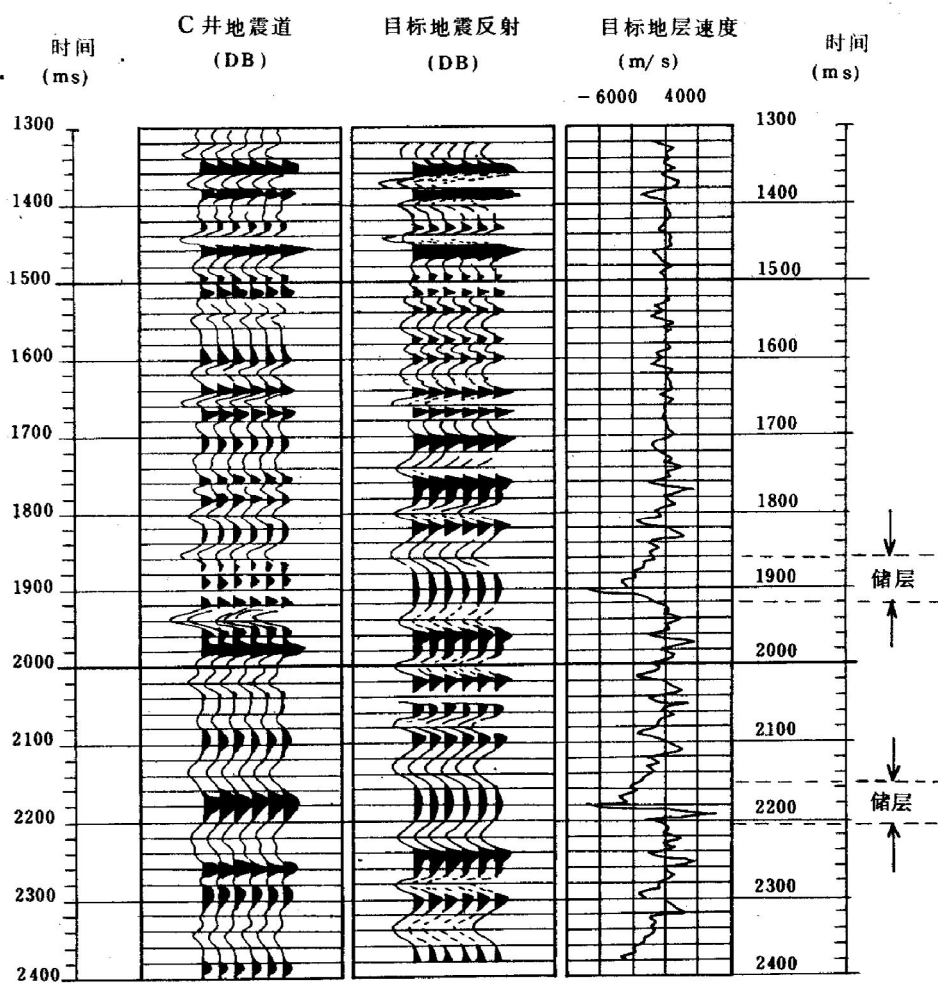


图6 预探井C的预测速度

按照这个步骤,对辽东湾地区的实际资料进行了分析。其中A井和B井是已知井,分别位于与预探构造相邻的另外两个构造上。首先利用A井和B井建立模式库。然后在已知的A井井旁道上选择“目的层”,并将其输入计算机进行识别运算。运算后输出的地层速度表明,仅在B井中就搜索到与A井实际速度非常相似的目标(图5)。图中几个速度变化层位对应十分明显,低速层为砂岩,高速层为泥岩。这说明该识别方法具有很好的可靠性。

另外,对预探井C进行了识别分析。识别结果(图6)揭示,在该井内1.9s处和2.2s附近的东下段中发育两套明显的低速层,这两套低速层有可能是砂岩储层。其它解释资料如砂泥岩百分比和反演的相对速度都得出了相似的结论。

可以想象,如果选用的已知井越多,识别的结论会越可靠。

结 语

(1) 谨慎地选择并建立相邻已知构造的地震和速度模式库,是整个识别分析的关键。

(2) 将已知井的绝对速度曲线转换(映射)成相对速度,增加了识别结果的唯一性。

(3) 已知井的数目决定了已知模式对的多少。只有不断增加而完善已知模式库的内容,才能使识别结果趋于精确。

参 考 文 献

- 1 Bois p. 模式识别在油气勘探中的某些应用. 国外石油地球物理勘探, 1985, 1 (2)
- 2 程民德等. 图象识别导论. 上海科学技术出版社, 1983
- 3 Neidell N S 等. 褶积模型. 牛毓基译. 北京: 石油工业出版社, 1986

APPLICATION OF PATTERN RECOGNITION IN RESERVOIR PREDICTION IN PRE-EXPLORATORY WELLS BEFORE DRILLING

Liu Zhen Zhang Wanxuan Zhang Houfu

(University of Petroleum Beijing)

Abstract

There is almost nothing but data of seismic network and seismic profiles to reveal the feature of subsurface reservoirs on a pre-exploratory structures before drilling. Since reservoir prediction before drilling is very important, a new method "pattern recognition" is introduced in this paper so as to predict the lithological distribution in pre-exploratory wells. It has been proved by practice that this method is evidently valuable in application.