

· 综合研究 ·

# 缝洞型碳酸盐岩储层地震属性优化方法及应用

刘立峰\*<sup>①②</sup> 孙赞东<sup>①②</sup> 杨海军<sup>③</sup> 韩剑发<sup>③</sup> 敬兵<sup>③</sup>

(<sup>①</sup>中国石油大学地质地球物理综合研究中心,北京 102249; <sup>②</sup>中国石油大学油气资源与探测国家重点实验室,北京 102249; <sup>③</sup>中国石油塔里木油田分公司勘探开发研究院,新疆库尔勒 841000)

刘立峰,孙赞东,杨海军,韩剑发,敬兵. 缝洞型碳酸盐岩储层地震属性优化方法及应用. 石油地球物理勘探, 2009,44(6):747~754

**摘要** 针对塔里木盆地缝洞型碳酸盐岩储层各向异性特征显著、纵横向非均质性强的特点,本文在分析多元逐步判别法和核主成分分析法的基础上,将两种算法有机结合起来用于地震属性的优化,并以塔中45井区为试验区,建立了该区缝洞型碳酸盐岩储层的预测模型。实际应用中,剔除模型中对判别结果不敏感的属性,使各属性变量互不相关,很好地处理了地震属性之间的非线性问题,确保计算结果的稳定性;对模型进行回判检验,总符合率达到90.57%,表明所建模型的可靠性,可为地震属性优化与缝洞型碳酸盐岩储层预测研究提供一种有效的方法。

**关键词** 储层预测 地震属性优化 碳酸盐岩 多元逐步判别 核主成分分析 缝洞型储层

## 1 缝洞型碳酸盐岩储层基本特征

塔中45井区位于塔中I号断裂带的西北端,中上奥陶统良里塔格组是主要的勘探目的层位,从上至下可分为泥质条带灰岩段、颗粒灰岩段和含泥灰岩段,其中颗粒灰岩段由于质纯,本身可能存在粒间孔隙,并且有利于后期的改造,是该区最主要的储集层段。奥陶系碳酸盐岩基质孔隙度低、渗透性差,有效储集空间类型主要是经过多期多旋回构造、溶蚀等作用改造后形成的次生溶蚀孔洞和裂缝,及其交互耦合而成的网状裂缝等,常常表现为缝—缝交错、缝—洞相连、缝—洞叠合。因此该区油气勘探的关键是圈定并描述裂缝和溶蚀孔洞发育带<sup>[1~3]</sup>。

塔中地区经历了多期构造运动,形成了多期地层不整合,并伴生大量的断裂和裂缝,裂缝不仅可以作为储集空间,而且对沟通孔隙、提高储层的渗透率有明显控制作用。钻井证实,塔中地区的高产稳产井与断裂的关系密切,断裂附近以及断裂发育带高效井的比例最大。断裂发育带,尤其是多组断裂的交会处,往往是裂缝十分发育的部位。深部热液流体或是

地表大气淡水可以沿断裂等通道侵入到中上奥陶统灰岩地层中,最后在适当的部位沿裂缝发生强烈的溶蚀作用和交代作用,形成了大量的溶孔、溶洞和溶缝,极大地改善了碳酸盐岩储层的储集性能。桑塔木组数百米厚的泥岩是优质区域盖层,覆盖于良里塔格组碳酸盐岩之上,二者构成良好的储盖组合。此外紧靠塔中I号断裂带的满加尔凹陷寒武—奥陶系烃源岩提供了充足的油气来源,塔中I号断裂及其后期形成的小断裂和裂缝发育带形成了良好的断裂输导体系。因此,该区油气成藏条件十分优越。

但是缝洞型碳酸盐岩储层的非均质性极强,其外部形态和内部结构极不规则,纵向上和横向上变化快,缝洞储集体与致密碳酸盐岩基质相互交错,难以圈定其范围,且规模大小不一,地球物理特性十分复杂,储层分布规律难以把握。同时奥陶系碳酸盐岩地层埋藏深(一般大于6000m),地震反射信号弱,地震资料主频和信噪比都较低,运用单因素的地质或地球物理方法难以准确预测碳酸盐岩储层的分布,因此该区奥陶系碳酸盐岩勘探开发难度很大,而其中缝洞型碳酸盐岩储层预测自然成为该区油气勘探的重点。

\*北京市昌平区中国石油大学(北京)地质地球物理综合研究中心,102249

本文于2008年12月9日收到。

本研究为国家重点基础研究发展规划“973”项目“中国西部典型叠合盆地有效储集体形成演化与主控因素”(2006CB202304)课题,并得到中国石油大学(北京)油气资源与探测国家重点实验室资助。

## 2 地震属性优化原理

地震属性技术是储层预测的重要手段,它可通过提取隐藏在地震数据中与物性、岩性及流体特性相关的信息,并结合钻井资料,揭示出原始地震剖面中不易被发现的地质异常现象及含油气性。但是每一种地震属性都是从不同角度分析各种地震信息在纵向和横向上的变化,它们与岩性、物性及孔隙流体性质之间的关系非常复杂,往往是多种复杂地质因素或参数的综合反映。此外,每种地震属性都有其本身的特殊性、与局限性,存在预测的多解性和精度问题。但是采用地震属性优化技术可以从众多地震属性中挑选出与研究目标关系最密切、反应最敏感的少数优势属性,再利用优化后的地震属性预测储层,可以减少多解性,明显地提高预测精度<sup>[4,5]</sup>。目前地震属性优化方法很多,但都存在优化结果稳定性或准确性较差的缺点,特别是针对塔里木盆地这样复杂的缝洞型碳酸盐岩储层,盲目的应用还可能导致错误的预测结果。因此,有必要建立适合碳酸盐岩储层预测的高效、准确的地震属性优化方法。

判别分析方法是一种地震属性优化方法,它从定量的角度出发,可以同时考虑多种地震属性,建立地震属性与储层信息的某种线性或非线性函数关系,并进行标定及实现地震属性到地质参数的转换,从而对井间未知区域的储层信息进行综合判别。就判别分析而言,当样本数固定时,属性过多会造成判别效果的恶化,而多元逐步判别可以将其中判别能力最差的地震属性剔除,最终在判别函数中只保留数量不多而判别能力强的属性参数。核主成分分析是主成分分析的非线性扩展,它可以将彼此相关的一组指标变量转化为彼此独立的一组新指标变量,能有效地避免由于多地震属性之间具有的相关性造成的信息重复和冗余,减少地震属性的个数又尽量不损失原地震属性所包含的信息,同时能有效地处理多个地震属性之间的非线性关系,相对于经典主成分分析而言,具有更好的分类能力。本文将多元逐步判别和核主成分分析方法结合起来对地震属性进行优化。应用表明,该方法是优化地震属性与储层预测复杂关系的有效途径,能明显提高地震储层预测精度,从而有效地提高钻井成功率。

### 2.1 判别分析

判别分析是数学地质中广泛应用的一种多元统计方法,其基本原理是从定量角度出发研究不同总体的性质和特征,按照一定的判别准则建立判别函数,再通过已知分类的样本数据来确定判别函数中的待定系数,并计算判别指标,以此作为依据来判别未知样本类型的归属问题<sup>[6,7]</sup>。

设对已知的  $A_1, A_2, \dots, A_g$  个总体,分别提取了  $m$  个特征变量  $X_1, X_2, \dots, X_m$ ; 然后对  $A_1, A_2, \dots, A_g$  个总体分别做了  $n_1, n_2, \dots, n_g$  次实验,则其观测数据矩阵可记为  $\mathbf{X} = (x_{kij})$ 。其中:  $k=1, 2, \dots, g$ , 为总体编号;  $i=1, 2, \dots, n_k$ , 为样品号;  $j=1, 2, \dots, m$ , 为变量号。要把待判样品  $X$  划归  $g$  个总体中某个总体  $A_t (t=1, 2, \dots, g)$ , 判别方法是采用应用广泛的 Bayes 准则,根据先验概率分布求出后验概率分布,并根据后验概率分布做出统计推断,使采用的分类法所产生的错误分类的平均损失最小<sup>[8]</sup>。

由 Bayes 准则计算待判样品  $X$  来自  $t$  个总体的条件概率(也称后验概率)为

$$P(t/X) = \frac{q_t f_t(X)}{\sum_{i=1}^g q_i f_i(X)} \quad (1)$$

式中:  $q_i$  为归入第  $i$  个总体的先验概率,  $i=t$  时为  $q_t$ , 实际计算常用其频率估计  $q_i$ ;  $f_i(X)$  为第  $i$  个总体的多元正态密度函数;  $f_t(X)$  为第  $t$  个总体的多元正态密度函数。

对于诸总体,先判断条件概率的大小,进而对待判样品作出归类。

### 2.2 多元逐步判别分析

上面介绍的只是对定量资料进行的一般判别分析,不涉及变量筛选。但在实际应用中,如果使用的变量很多,建立的判别方程组的阶数就太高,导致计算结果的精度下降。此外,由于对判别结果不敏感变量的引入还可能干扰判别效果,因此有必要在判别分析中引进逐步判别的思想,这样可以提高判别分析的质量<sup>[9]</sup>。

多元逐步判别法就是根据有进有出的思路,即每一步都通过检验把判别能力最强的一个变量引入判别式。同时也考虑到较早进入判别式的某些变量,其判别能力因其他变量的引入而下降,应当及时把判别能力最差的变量从判别式中剔除。最终在判别式中只保留数量不太多而判别能力又较强的变

量<sup>[7,10]</sup>。

首先计算各组中变量的均值和总均值  $\bar{x}_{ig}$ 、 $\bar{x}$ 、组内离差阵  $\mathbf{W}$  和总的离差阵  $\mathbf{T}$ 。

假设已计算到  $l$  步(包括  $l=0$ )，且判别函数中已引入了  $L$  个变量，则进入下列步骤：

(1)算出全部变量的判别能力，若  $x_i$  是未选入变量，就有

$$U_{k|L} = \frac{\omega_{kk}^{(l)}}{t_{kk}^{(l)}} \quad k \in L \quad (2)$$

$U$  为威氏准则统计量。若  $x_i$  是已选入的变量，便有

$$U_{k|(L-1)} = \frac{t_{kk}^{(l)}}{\omega_{kk}} \quad k \in L \quad (3)$$

(2)首先观察已选入的变量中是否有应被剔除的变量。为此应从已选入变量中选最大，设

$$U_{k|(L-1)} = \max_{k \in L} \{U_{k|(L-1)}\} \quad (4)$$

做  $F$  检验

$$F_{2r(G-1, N-G-(L-1))} = \frac{1 - U_{r|(L-1)}}{U_{r|(L-1)}} \frac{N - G - (L - 1)}{G - 1} \quad (5)$$

若  $F \leq F_a$ ，则把  $x_r$  从判别函数中剔除，并对  $\mathbf{W}$  和  $\mathbf{T}$  的  $r$  列进行消去运算。若  $F > F_a$ ，则考虑从未选入的变量中，寻找  $U_{k|L}$ ，设  $U_{k|L} = \min_{k \in L} \{U_{k|L}\}$ ；如果  $F > F_a$ ，则把  $x_r$  引入判别函数，再对  $\mathbf{W}$  和  $\mathbf{T}$  阵的  $r$  列进行消去运算。

重复步骤(1)、步骤(2)，直至既不能剔除变量又不能引入变量时，结束计算。

### 2.3 核主成分分析(KPCA)

在判别分析中要求所有的变量是相互独立的，否则就会影响到判别结果的稳定性。在实际应用中，许多地震属性之间往往存在一定程度的相关性，如果仅选用其中的几个独立的地震属性来预测储层，就会失去很多有用信息，得出片面结论。主成分分析法(PCA)即是用来解决这类问题的一种统计处理手段，它是从一定数量的属性参数中，找出数目较少、彼此独立的综合变量，并将原来的属性参数用这些综合变量表示出来<sup>[11]</sup>，以有效避免因多变量间具有的相关性而导致的计算结果不稳定。

但主成分分析法是一种线性算法，只能提取各变量间的线性关系，而地震属性之间却往往包含着非线性关系，可见使用经典的 PCA 方法很难全面提取各属性间的相关性，而且使用该方法也将导致各主成分的贡献率过于分散，从而不能确定具有全面

综合能力的属性。已有理论研究成果表明，通过与核方法的有机融合而形成的核主成分分析法(Kernel Principal Component Analysis, KPCA)不仅特别适合于处理非线性问题，而且能提供更多的信息<sup>[12~15]</sup>，它是主成分分析的非线性扩展，相对于经典主成分分析而言，具有更好的分类能力。

核主成分分析(KPCA)的基本思路是将多个样本向量  $\mathbf{x}_k (k=1, \dots, N)$  通过非线性变换  $\Phi$  映射到高维特征空间  $\mathbf{F}$  中<sup>[16]</sup>，在高维特征空间中利用协方差矩阵计算特征值与特征向量，也就是进行经典的线性主成分分析，选择其中  $m$  个主要分量替代原始  $n$  维地震属性用于分类，即

$$\Phi: \begin{matrix} R^N \rightarrow \mathbf{F} \\ x \rightarrow \mathbf{X} \end{matrix}$$

其中特征空间  $\mathbf{F}$  的维数可以是任意的。这种非线性变换  $\Phi$  可用核函数  $k$  来实现。与一个简单核函数对应的映射  $\Phi$  可能具有复杂的表达式和很高的维数。而核函数并不要求知道具体的  $\Phi$ ，仅要求已知核函数的具体形式，如  $(x_i, x_j)$ 。在映射  $\Phi$  的作用下，相当于特征空间中的点积运算  $(\Phi(x_i) \cdot \Phi(x_j))$ ，即输入空间中的  $\mathbf{K}(x_i, x_j)$  <sup>[10]</sup>。

目前应用较广的核函数主要包括以下几种：

多项式核函数

$$\mathbf{K}(x, x_i) = [a(x_i \cdot x_j) + c]^d \quad c \geq 0, d \in N$$

Gauss 径向基核函数

$$\mathbf{K}(x_i, x_j) = \exp\left[-\frac{\|x_i - x_j\|^2}{2\sigma^2}\right]$$

神经网络核函数

$$\mathbf{K}(x_i, x_j) = \text{th}[s(x_i \cdot x_j) + c]$$

核主成分分析(PCA)法是在确保系统原有数据信息量丢失最小的原则下，在各变量相关关系研究的基础上，将多个变量的信息压缩为几个能反映原问题特征的综合变量指标，并据此特征信息指标对系统进行综合分析，可以有效地处理变量间的非线性关系，为解决多指标的综合评价提供了一种很好的手段。

## 3 应用实例

本文选取塔中 45 井区的良里塔格组颗粒灰岩段为目的层，利用多元逐步判别和核主成分分析相结合的方法优化地震属性，进而对该区碳酸盐岩储

层进行定量预测。其具体优化方案如下。

(1)地震属性初选 首先对目的层段提取多达几十种的地震属性(包括振幅、频率、相位、能量、波形、相关、衰减和比率等),然后结合井资料选择多个对缝洞储层反映敏感且具有明确地质意义和物理意义的属性。在此基础上进行属性间的相关分析,选择彼此间相关性小的属性集,最终确定了10种优势地震属性,包括均方根振幅(RMS)、平均瞬时频率(AIF)、反射强度斜率(SRS)、能量半衰时(EHT)、分频调谐能量(GSE)、振幅变化率(GA)、相干(COH)、频率衰减梯度(FAG)、波阻抗反演(WII)、波形分类(CSW)等属性(图1)。

(2)地震属性预处理 对选取的10种地震属性进行中心标准化(零均值化)处理,使各种属性的数值变换到某种相同的尺度之下,处理后每种地震属性的均值为零,标准差为1。

(3)多元逐步判别 根据研究区储层实际情况,将该区碳酸盐岩储层分为油气层(I类,可获工业产

将该区碳酸盐岩储层分为油气层(I类,可获工业产

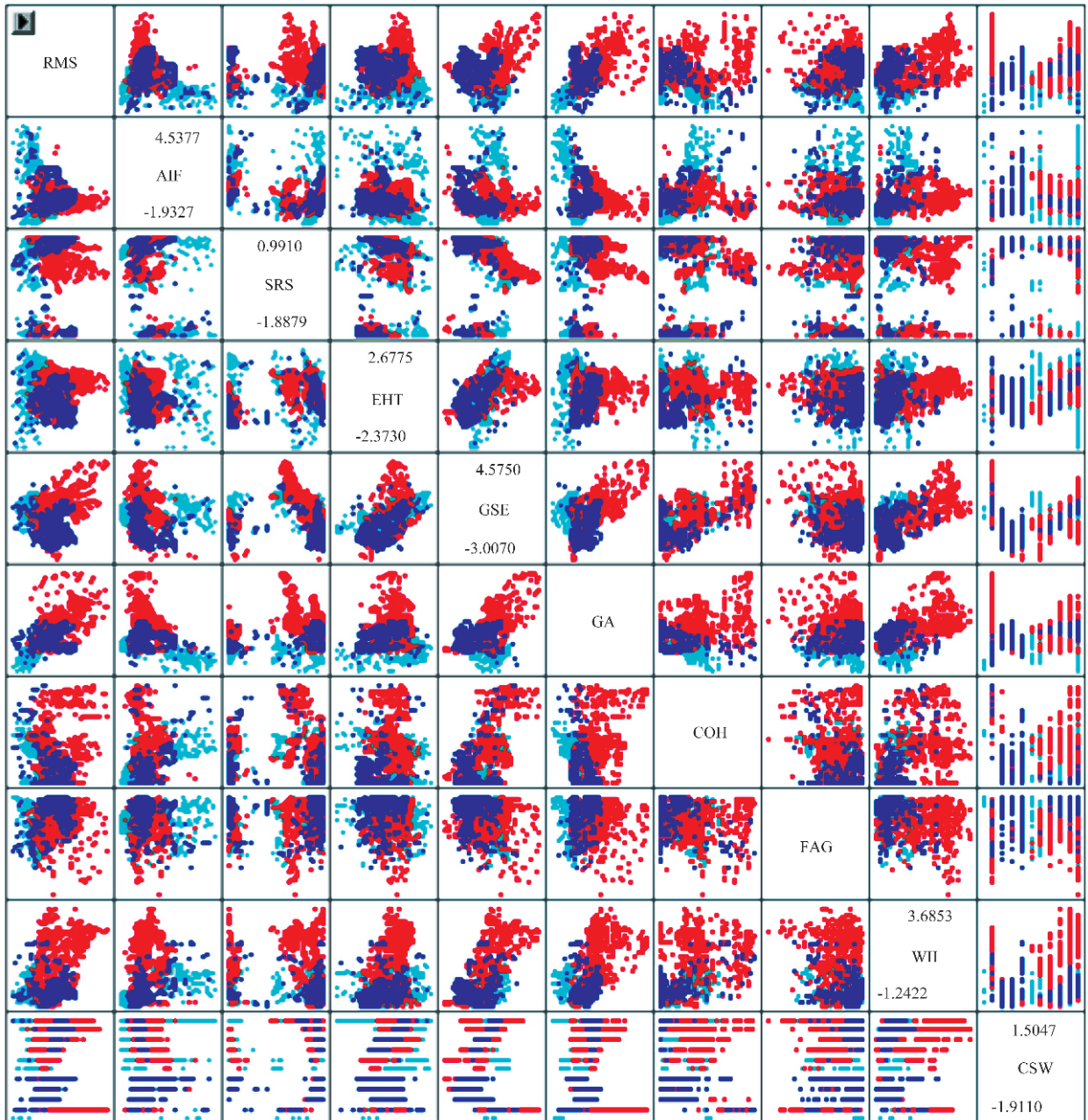


图1 塔中45井区良里塔格组颗粒灰岩段初选地震属性交会图

能)、油气显示层(Ⅱ类,有油气显示或产量达不到商业产能)和非储层(Ⅲ类)三种类型,以此作为建立判别模型的分类依据。将选定的 10 种优势地震属性作为判别分析模型的输入变量进行逐步判别。根据岩心描述、测试及测井解释等资料的油气显示情况,选取井旁 100m 范围内 509 个属性点作为训练样本,其中油气层 270 个、油气显示层 100 个、非储层 139 个。通过多元逐步判别分析,各地震属性对判别模型的贡献大小是不一样的,其中分频调谐能量属性对模型的贡献最大,其次为能量半衰时、频率衰减梯度、波阻抗反演、均方根振幅、相干、波形分类等。用上述 7 种地震属性建立判别函数具有非常显著的判别效果,而振幅变化率、平均瞬时频率和反射强度斜率等三种属性对模型的贡献率很小,通过逐步判别将其剔除。

(4)核主成分分析 选取 Gauss 径向基核函数对经过多元逐步判别所引入的 7 种地震属性进行核主成分分析,并将其转变为彼此独立的新变量  $Y_1, Y_2, \dots, Y_7$ ,再计算特征空间  $F$  中协方差矩阵的特征值和累计贡献率。

从表 1 中的数据比较可以看出,采用 KPCA 的降维效果比 PCA 好得多,第一核主成分的贡献率已达到 90%以上,前 3 个核主成分的累计贡献率可达到 95%,集中了原始地震属性的绝大部分信息,并能很好地概括各储层类型之间的差异,而 PCA 则需要 6 个主成分的累计贡献率才能达到 95%。

表 1 PCA 与 KPCA 分析地震属性优化结果对比

主成分	PCA			KPCA		
	特征值	贡献率	累计贡献率	特征值	贡献率	累计贡献率
$Y_1$	2.8831	34.56	34.56	7.8416	90.21	90.21
$Y_2$	2.1952	26.31	60.87	0.2930	3.37	93.58
$Y_3$	1.2102	14.51	75.38	0.2380	2.74	96.32
$Y_4$	0.8734	10.47	85.84	0.1250	1.44	97.75
$Y_5$	0.6589	7.90	93.74	0.0824	0.95	98.70
$Y_6$	0.3650	4.38	98.12	0.0692	0.80	99.50
$Y_7$	0.1569	1.88	100.00	0.0436	0.50	100.00

(5)综合判别分析 最后对核主成分分析得到的前 3 个核主成分进行基于贝叶斯准则的判别分析,建立该地区储层的判别模型。

(6)判别效果检验 在建立多个总体的判别函数后,将已知样本各项指标回代到所建立的判别函

数中,作出类别判断,并与样本的原类别进行比较,计算回代符合率,以考察所建立函数的判别效果。如果符合率很高,则判别函数的效果就好,即认为判别函数是有效的;否则认为模型是无效的。所建判别模型对油气层和油气显示层的判识有效率都超过 90%,对非储层也达到 89.93%,即判识效果均相当显著。从总体上看,在将已知样本代入判别函数进行回判时,其总符合率达 90.57%,进一步说明所建判别模型是可靠的(表 2)。

表 2 判别结果统计表

实际分类	预测分类			符合率 %	总符合率 %
	油气层	油气显示层	非储层		
油气层	244	16	10	90.37	90.57
油气显示层	0	92	8	92.00	
非储层	6	8	125	89.93	

(7)储层综合预测 将研究区内各属性点代入所建判别模型,可得到该区储层类型的分布情况,并对各储层类型进行归一化处理,即含油气区用高值,无油气区用低值表示,输出储层综合预测属性,进而对该区碳酸盐岩缝洞储层进行定量预测。

## 4 效果分析

鉴于研究区内由含油气储层和非储层得到的同一地震参数有时差别并不是很大,甚至是比较相近,因此就很难利用提取的单一地震属性来判别储层是否含油气;而使用多属性共同解释又往往产生相互矛盾的结果。因此在属性优化之前进行储层预测时存在较强的多解性,其风险也较大。

图 2 是利用多种属性进行判别分析所得储层分类预测散点图,在未进行属性优化前,各种属性间的结论有时互相矛盾,难以归纳出一致性的结论。

而综合应用多元逐步判别分析法和核主成分分析法则能很好地解决这个问题。该方法运用数理统计学原理对选取的属性集进行多次运算、多次优化,利用多元逐步分析剔除判别能力差的属性,用少量彼此相互独立的主分量代替原始地震属性,它们包含了原始属性的绝大部分信息,再进行多元综合判别分析,得到描述目的储层信息的综合预测属性,即可将储层评价详情直观地表现出来,且具有较高可信度。图 3a 是初选 10 种属性直接进行的一般判别分析,图 3b 是经过多元逐步判别后遴选了 7 种属性

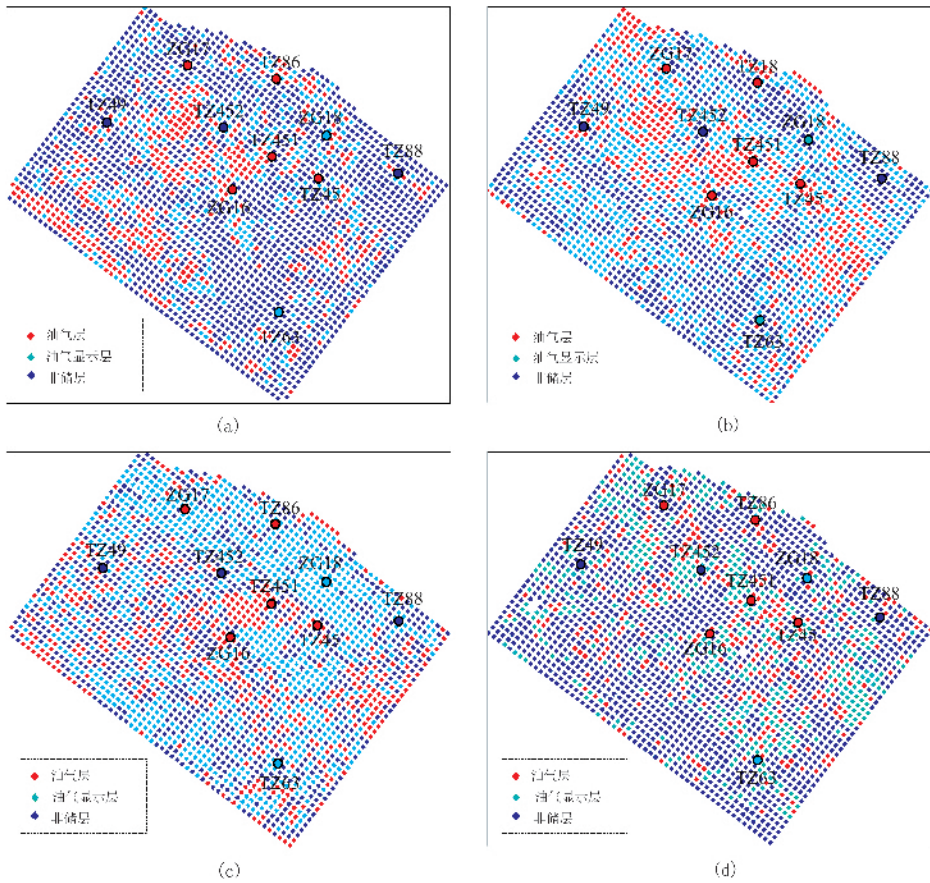


图2 利用属性优化前单一属性判别分析得到的储层分类预测散点图  
 (a)均方根振幅; (b)分频调谐能量; (c)频率衰减梯度; (d)能量半衰减

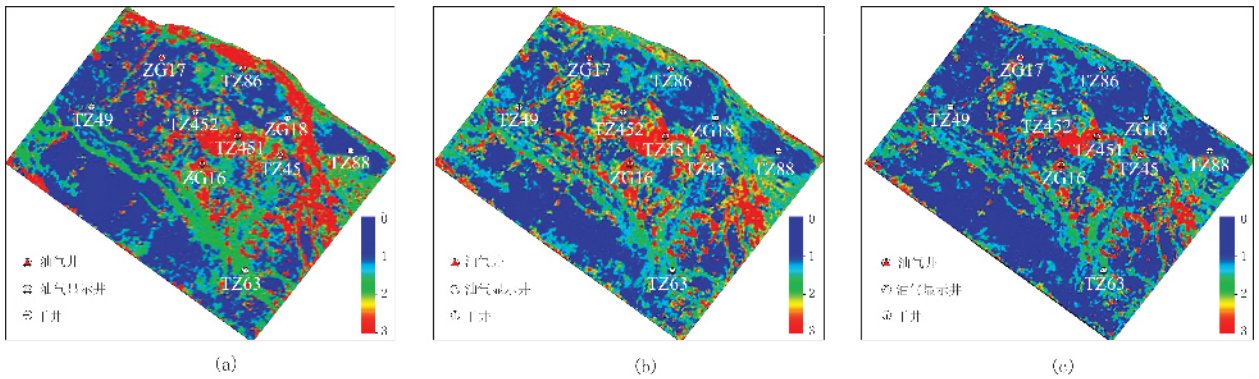


图3 塔中45井区良里塔格组颗粒灰岩段缝洞储层综合属性预测图  
 (a)初选10种属性一般判别; (b)遴选7种属性多元逐步判别; (c)多元逐步判别和核主成分分析所得综合判别  
 色标数值示意:油气层(3~2),油气显示层(2~1),非储层(1~0)

所做的判别分析,图3c为经过多元逐步判别和核主成分分析后的综合判别分析结果。可见经过一系列优化处理后,对判别结果不敏感或起干扰作用的属性信息已被剔除,并利用相对独立的核主成分进行综合判别分析,保证了运算结果的稳定性,同时考虑了各属性间的非线性关系,提高了可信度。除了油

气井TZ86位于预测的油气显示层区域(绿色)外,其他各井的预测结果均吻合(表3),证明该方法能较好地确定缝洞型碳酸盐岩储层的分布范围。

将综合预测属性与三维构造图进行叠合(图4),可见其优化结果精细刻画了碳酸盐岩缝洞储集体的有利分布范围。该区碳酸盐岩储层主要是沿着断裂

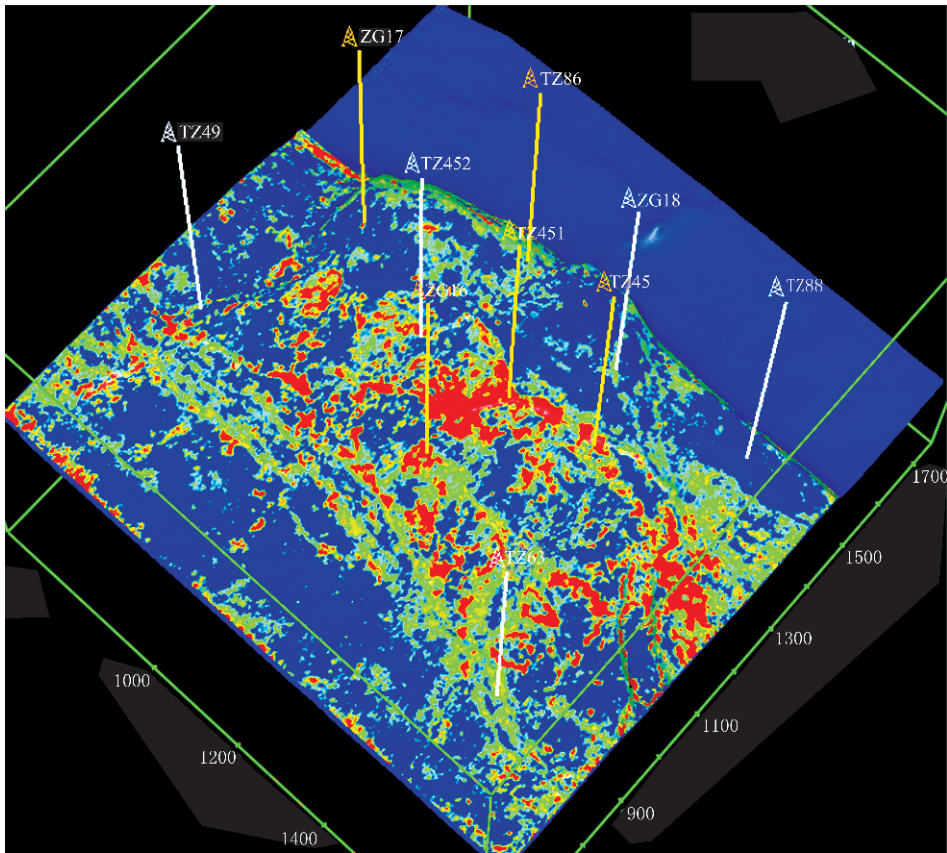


图 4 塔中 45 井区良里塔格组颗粒灰岩段缝洞储层预测三维可视化效果

表 3 塔中 45 井区良里塔格组各井地震属性优化结果统计

井名	类型	预测结果	吻合情况
TZ45	油气井	油气层	吻合
TZ451	油气井	油气层	吻合
ZG16	油气井	油气层	吻合
ZG17	油气井	油气层	吻合
TZ86	油气井	油气显示层	不吻合
TZ63	油气显示井	油气显示层	吻合
ZG18	油气显示井	油气显示层	吻合
TZ49	干井	非储层	吻合
TZ88	干井	非储层	吻合
TZ452	干井	非储层	吻合

分布的溶蚀体系,明确了储层之间的连通关系,深化认识了碳酸盐岩储层的空间分布规律,进而能有效地指导勘探开发井位的部署,提高钻探成功率。

## 5 结论

(1)判别分析法是一种数理统计方法,它从定量的角度出发并同时考虑多种地震属性,建立地震属性与储层信息的某种线性或非线性函数关系,从

而对储层进行综合判别;

(2)多元逐步判别分析可将判别函数中判别能力差的地震属性剔除,最终只保留数量不多而对判别结果敏感的属性参数;

(3)核主成分分析是利用少量彼此相互独立的主成分代替原始地震属性,而且集中了原始地震属性的绝大部分信息,同时考虑了各种属性间的非线性关系,有效地避免因多种地震属性间具有的相关性造成的信息重复和冗余;

(4)综合应用上述方法多次优化地震属性,比其他常规单一优化方法具有较大的优越性,它受人为因素影响较小,并且判别结果具有高稳定性和高可信度;

(5)应用本文方法对塔中 45 井区碳酸盐岩缝洞储层进行了预测,建立了该区缝洞储层的判别模型,并对模型进行回判检验,总符合率达到 90.57%,充分表明了所建模型的可靠性;

(6)利用优化后的综合预测属性对研究区目的层进行储层预测,可精细刻画碳酸盐岩缝洞储集体的有利分布范围,深化认识储层的空间分布规律,为

地震多属性优化与缝洞型碳酸盐岩储层预测研究提供一种有效的方法。

#### 参考文献

- [1] 王世星,曹辉兰,靳文芳等. 碳酸盐岩缝洞系统地震响应特征分析和塔中卡1区缝洞储层预测. 石油物探,2005,44(5):421~427
- [2] 韩革华,漆立新,李宗杰等. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩缝洞型储层预测技术. 石油与天然气地质,2006,27(6):860~870
- [3] 杨子川. 塔河油田碳酸盐岩储层预测技术与应用. 勘探地球物理进展,2004,27(6):432~439
- [4] 俞寿朋. 高分辨率地震勘探. 北京:石油工业出版社,1993
- [5] 王永刚,乐友喜等. 地震属性与储层特征的相关性研究. 石油大学学报(自然科学版),2004,28(1):26~30,35
- [6] Sun Zandong. *Seismic Methods for Heavy Oil Reservoir Monitoring and Characterization*, Doctor thesis of Calgary,1999
- [7] 胥泽银,郭科. 多元统计方法及其程序设计. 四川成都:四川科学技术出版社,1999
- [8] 金新政,胡彬. SAS for Windows 统计系统教程. 湖北武汉:华中科技大学出版社,2001,217~227
- [9] 胡永章,王洪辉,段新国等. 多组逐步判别分析在鄂尔多斯某区块识别气、水层. 成都理工大学学报(自然科学版),2005,32(2):152~155
- [10] 段新国,王允诚,李忠权等. 应用多组逐步判别分析优选油气层. 大庆石油地质与开发,2007,26(1):68~71
- [11] 印兴耀,周静毅. 地震属性优化方法综述. 石油地球物理勘探,2005,40(4):482~489
- [12] Scholkopf B et al. Nonlinear component analysis as a kernel eigenvalue problem. *Neural Computation*, 1998,(10):1299~1319
- [13] 印兴耀,孔国英,张广智. 基于核主成分分析的地震属性优化方法及应用. 石油地球物理勘探,2008,43(2):179~183
- [14] 王新峰,邱静,刘冠军. 基于核最优 K-L 变换的故障特征提取方法研究. 机械科学与技术,2006,25(3):288~291
- [15] 黄国宏,邵惠鹤. 核主元分析及其在人脸识别中的应用. 计算机工程,2004,30(13):13~14
- [16] 肖建华,吴今培. 基于核的特征提取技术及应用研究. 计算机工程,2002,28(10):36~38

(本文编辑:朱汉东)

#### · 消息 ·

### “一体化精细油藏描述技术及 VSP 技术研讨培训班”圆满结束

2009年11月13日下午,历时三天的“一体化精细油藏描述技术及 VSP 技术研讨培训班”在长沟北京石油会议中心圆满结束。来自中国石油勘探开发研究院、北京吉奥特能源科技有限公司、北京旭日奥油能源技术有限责任公司、北京安久吉利科贸有限公司及东方地球物理公司多家单位的一百三十余名技术人员参加了培训、研讨。

此次培训邀请了东方地球物理公司老专家袁秉衡、吕友生、程金箴、周兴元、牛毓荃、汪廷璋、蔡为芳、刘威北和范雅琳参加。东方地球物理公司总工程师郝会民、副总工程师凌云、詹仕凡、物探总监曹孟起参加了学习班的研讨交流。

培训班由东方地球物理公司总师办公室、油藏地球物理研究中心共同承办,聘请了国内外在油藏地球物理研究方面颇有造诣的专家担任老师,采用授课与研讨相结合的方式,使与会者都得到了很大收获。通过“井中地震技术及其在油田开发中的应用”、“各向异性成像研究进展”、“地震在油藏工程中的应用”、“石油地质测井综合分析研究”、“油藏地震精细采集、处理、解释技术”、“定量地震解释——岩石物理基础与叠前反演方法”、“三维地震属性研究新进展”等课程的讲解和讨论交流,使与会人员对油藏研究技术的现状、前景有了新的、更深入的认识。整个培训期间呈现出浓厚的学术交流气氛。

东方地球物理公司老专家程金箴、吕友生、袁秉衡在讨论中纷纷发言,对“一体化精细油藏描述技术及 VSP 技术研讨培训”给与了充分肯定,对油藏研究技术的思路、团队工作给与了较高评价,并殷切希望在不远的将来,能看到东方地球物理公司油藏地球物理研究方向的专著。

东方地球物理公司副总工程师凌云在最后发言中谈到:这次培训班具有参加者为老中青结合、内容涉及专业面广、培训形式互动活泼的特点,是一次跨部门、带有国际合作意义的学习研讨活动。展望未来,我们既要认识到:油藏地球物理研究是一个复杂的、艰苦的、长期的、创新的、实践的过程,要勇于向地球物理研究的制高点攀登,也要相信:油藏地球物理研究的前景是非常美好的。

东方地球物理公司总工程师郝会民在发言中谈到,此次研讨学习班办得非常好、非常及时、很有必要。授课和研讨的内容丰富、主题明确,展示了油藏一体化研究成果,提出了问题和展望,达到了预期的目的。

东方地球物理公司油藏地球物理中心

2009年11月16日