

文章编号:1000-0550(2017)02-0371-12

doi: 10.14027/j.cnki.cjxb.2017.02.014

# 地震多属性拟合技术在粗粒扇体沉积相图编制中的应用 ——以玛131井区百口泉组二段为例

姚宗全<sup>1</sup>,于兴河<sup>1</sup>,高阳<sup>1</sup>,马聪<sup>2</sup>,王进<sup>1</sup>,黄丁杰<sup>1</sup>,孙乐<sup>1</sup>,瞿建华<sup>3</sup>

1.中国地质大学能源学院,北京 100083

2.中国石油新疆油田分公司实验检测研究院,新疆克拉玛依 834000

3.中国石油新疆油田分公司勘探开发研究院,新疆克拉玛依 834000

**摘要** 由于砾岩岩石类型复杂,储层非均质性强,难以建立地震属性与储层之间的一一对应关系,导致应用地震属性常常具有不确定性和多解性。为了克服单一属性反映粗粒沉积展布的片面性,同类属性间相关信息的彼此干扰性,地震相预测扇体分布的盲目性,针对性的提出了基于地震多属性拟合技术编制粗粒扇体沉积相图的方法:1)建立岩性识别图版;2)属性优化与线性逐步回归拟合含砂砾率;3)均方根振幅属性正态分布约束砂体边界;4)应用拟合含砂砾率等值线图,结合岩相和测井相编制粗粒扇体沉积相图。并将该方法用于玛131井区百口泉组二段的沉积研究中,为研究粗粒扇体沉积提供了新的思路,为玛湖滚动勘探及井位论证提供了可靠地质依据。

**关键词** 聚类分析;属性优化;正态分布;多属性拟合;百口泉组

**第一作者简介** 姚宗全,男,1989年出生,博士研究生,沉积储层,E-mail: 407465819@qq.com

**通讯作者** 于兴河,男,教授,储层沉积学,E-mail: billyu@cugb.edu.cn

**中图分类号** 文献标识码 A

## 0 引言

大量的研究与实践表明,地震属性的频率、振幅、传播速度等参数可以表征岩性、物性和相的变化<sup>[1]</sup>。20世纪60年代,Ben Rummerfeld<sup>[2]</sup>首次将地震属性应用于油气勘探中,准确预测了裂缝区域的相关断层;70年代,Balch<sup>[3]</sup>以彩色显示地震属性为代表性,分离出了对油气解释非常重要的地震属性;80年代,以Justice<sup>[4]</sup>为首将地震多属性应用于储层预测中;90年代以后,以Taner(1994)、Brown(1996)和Quincey Chen(1997)为主的地震属性方案分类,将地震属性技术在油气勘探开发的各个环节中迈上了新的台阶<sup>[5]</sup>。直到1997年,Quincey Chen在其发表的论文“用于储层预测和监测的地震属性技术”和“地震属性技术的进展”以后,国内外学者才开始统一使用地震属性一词<sup>[6]</sup>。至此,地震属性分析技术被越来越多的国内外地质工作者应用到岩性解释<sup>[7]</sup>、构造解释<sup>[8-9]</sup>、储层描述与预测<sup>[10]</sup>等油气勘探开发中。Thierry Coléou<sup>[11]</sup>主要对振幅类和能量类的单个属性进行利弊分析,应用K均值聚类、主成分分析、目标追踪对属性进行聚类分析,有效的扩大了信息容量,

揭示了潜在的地质内涵;师政等<sup>[12]</sup>选取振幅扭曲度、平均波峰振幅、最小振幅、均方根振幅、平均瞬时频率5种属性进行FCM聚类分析研究南堡石灰岩、泥灰岩和白云岩岩相展布特征;于建国等<sup>[13]</sup>选取均方根振幅、反射强度斜率、能量半衰时、有效带宽和波峰数对CB331井区进行了砂岩储层预测。Kalkomey<sup>[14]</sup>在同时使用多种属性时,强调为了避免错误的正相关性,应该采用能够与甜点区物理特征有联系的属性组合。一般地,不同研究区、不同深度,甚至同一研究区、同一套储层,由于所预测对象不同,相应的敏感属性也存在差异,致使应用单属性预测储层时常会产生多解性和不确定性<sup>[15]</sup>。将多种属性融合进行属性优化,不仅减少人为因素影响,而且提高储层预测精度。

地震多属性分析首次是由Justice<sup>[4]</sup>在预测商业油藏中提出,其核心思想是:将研究区地震资料中能够反映地质现象的多种单一属性建立数学关系,反映储层物性、含油气性等综合信息,解决地震多属性选取面临的问题(局限性和多解性)。目前,众多国内外学者主要将地震多属性技术应用于储层物性相对较好,地震品质资料较好的砂岩和碳酸盐岩储层<sup>[16-21]</sup>。由于砾岩具有结构复杂,组分多样,沉积物

颗粒粗,泥质含量高,物性差异大,横向变化快,测井响应差,平面预测难等特征,并受到区域地质的影响,相关研究多以岩性为主,且多为宏观的区域性研究<sup>[22-28]</sup>,而将地震多属性拟合技术应用于粗粒扇体研究相对较少。本文在建立岩性识别图版、层位标定及属性提取基础上,对均方根振幅属性做正态分布,给出均方根振幅属性权重的确定值,从而约束砂砾岩体的展布边界,采用层次聚类、步聪算法、线性逐步回归分析等方法,再结合岩相和岩相组合及测井相,建立了玛131井区百口泉组二段粗粒扇体沉积体系。此方法的应用比传统的利用单属性或地震相确定沉积相,人为性降低,且更为可靠。同时,也为他人在研究新的领域,尤其是粗粒扇体沉积,提供了很好的借鉴。

## 1 研究区概况

准噶尔盆地是欧亚大陆的重要组成部分,中、新生代期受挤压作用发生了复杂的时空迁移演化,发育粗碎屑扇三角洲、三角洲、河流相砂体<sup>[29]</sup>。玛湖凹陷位于准噶尔盆地西北部,是准噶尔盆地六大生烃凹陷之一,凹陷周缘发育三大凸起、两大断裂带等构造单元。晚石炭世,盆地周缘海槽收缩闭合,进入盆—山构造运动,发育火山岩<sup>[30]</sup>。早二叠世晚期,盆地处于后造山伸展背景,并向盆地方向发生逆冲推覆形成玛湖凹陷雏形,此时仍以发育火山岩为主<sup>[31]</sup>。二叠世末,盆地遭受抬升剥蚀,物源供给充足,形成以砂砾岩为主的粗碎屑沉积岩<sup>[32]</sup>。到了三叠世,构造强度减

弱,发生高角度冲断作用,为玛湖凹陷提供以砂砾岩为主的粗碎屑岩<sup>[33]</sup>。

玛北斜坡区域构造位置处于准噶尔盆地西北缘断阶带下盘,构造格局呈南倾的平缓单斜,局部发育鼻状构造与低幅度背斜<sup>[34]</sup>。玛131井区位于玛北斜坡带上,研究区面积1800 km<sup>2</sup>(图1红色虚线区域)。该区三叠系地层从底至顶依次划分为百口泉组( $T_1b$ )、克拉玛依组( $T_2k$ )、白碱滩组( $T_3b$ )。研究层位为三叠系百口泉组,其与下伏二叠系地层呈不整合接触,从下至上可进一步划分为百一段( $T_{1b_1}$ )、百二段( $T_{1b_2}$ )、百三段( $T_{1b_3}$ )。百二段属于低孔低渗储层,岩性以中粗砾及细砾岩为主,埋深在3100~3200 m,储层厚度约为20~50 m,是百口泉组主要含油层段,亦是本次研究的目的层段。

## 2 地震多属性拟合含砂砾率

### 2.1 层位标定和属性提取

层位标定是进行构造解释和储层预测研究的基础,也是属性分析的前提条件<sup>[35]</sup>。图2为玛131井的标定,从图中可以看出,岩性界面与地震反射界面之间有着良好的对应关系。百口泉组二段主要以砾岩为主,顶部以红褐色泥岩与百三段为界,地震反射为强振幅反射,底界面以灰色砂砾岩与百一段为界,剖面显示为一波峰,弱振幅反射。在地震层位精细标定基础上,对研究区三维地震体进行属性提取。常用的地震属性提取方式有:层间提取和沿层开窗提取。由于玛131井区地层厚度较薄,且横向变化不均

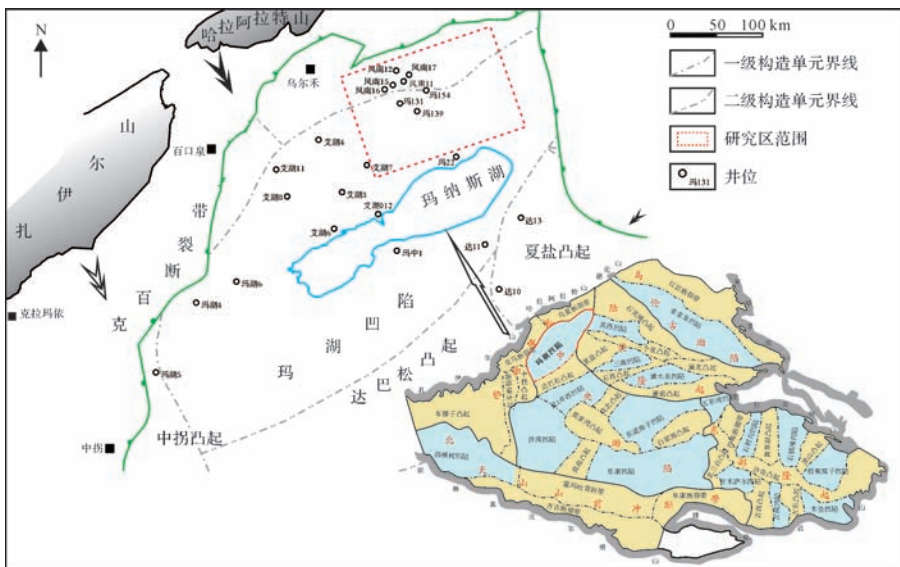


图1 研究区位置(图中虚线框为玛131井区)

Fig.1 Location map of the study area(the red dotted box marked Ma 131 region)

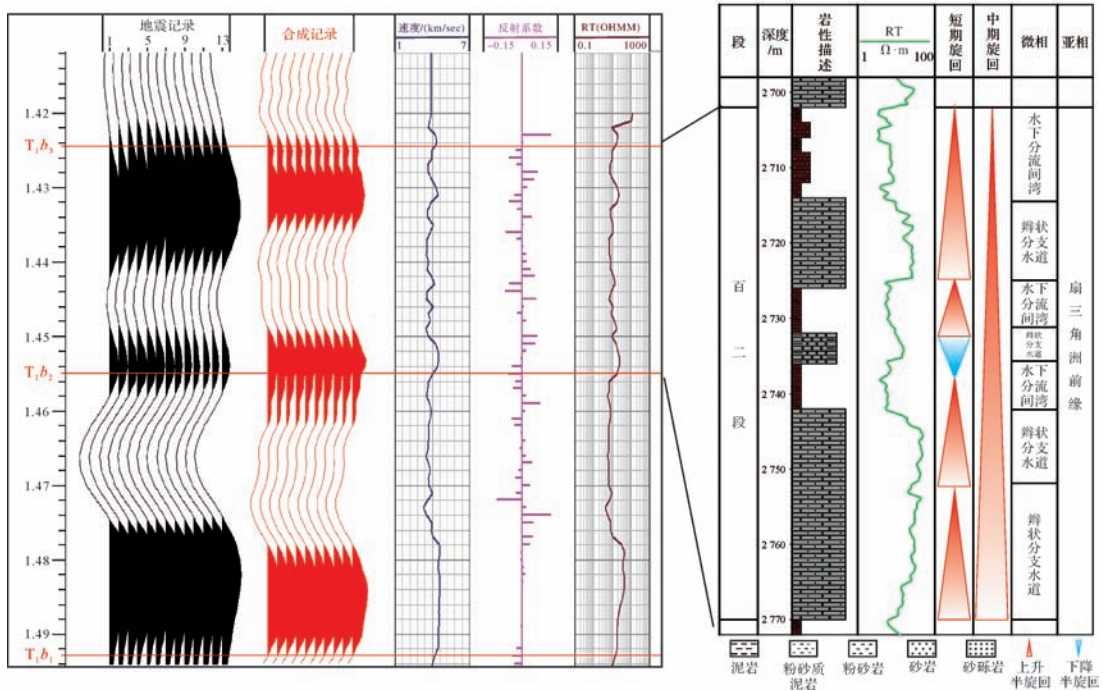


图 2 玛 131 井区百口泉组二段地震地质层位标定及地质分层

Fig.2 Seismic and geologic horizon calibration and its geological stratification of the Baikouquan Formation Member 2 in Ma131 area

匀,为了免于受到上下邻层的干扰,本文采用层间属性提取了研究区 20 种属性。

### 2.2 基于聚类分析的地震属性优化

数据量过多和冗余是应用地震属性预测分析中存在的一个突出问题。如何针对性地提取具有明确地质物理意义的属性,是地震属性优化的首要目的。目前地震属性优化的方法可分为两类:地震属性降维映射和属性优选。通过地震属性降维映射可以有效地将高维变量系统综合简化成一个低维变量系统,构造出少数更有效的新地震属性,而属性优选是从地震属性集中优选出最有利于地震储层预测的属性子集的过程<sup>[1]</sup>。由于本文不需要构造出新的地震属性,因此弃地震属性降维映射选属性优选进行研究区属性优化。属性优选流程为数据标准化处理、聚类分析、属性拟合。

首先需对研究区的岩性进行校正,以此获得井点处真实有效的含砂砾率值。百口泉组砾岩为多成分砾岩,其沉积母岩主要为发育于石炭系的火山岩<sup>[22]</sup>,含有大量的放射性元素,致使自然伽马测井曲线不能与火山岩建立很好的响应关系。因此本文选用电阻率测井(RT)和中子测井曲线(CNL)构建了 RT-CNL 的交会图版<sup>[36]</sup>(图 3),然后利用图版进行研究区的

岩性识别(表 1),接着对提取的 20 种属性与井点处含砂砾率进行相关性分析。

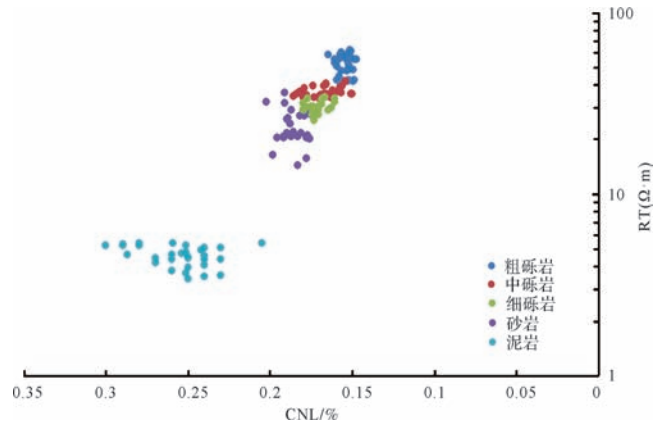


图 3 玛 131 井区百口泉组二段自然电阻率(RT)与中子测井(CNL)交会图

Fig.3 The crossplot of RT and CNL of the Baikouquan Formation Member 2 in Ma 131 area

由于地震属性的计算方法和提取方式各异,导致其量纲,数量变化范围不同,因此,有必要在地震属性聚类分析之前对其进行标准化处理,以此消除系统误差。针对砂砾岩地震属性参数量纲和数量级变化范围大的特点,采用极差归一化的标准化处理方法,公



式为:

$$X_2 = \frac{X_1 - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

式中,  $X_2$  为标准化后的地震属性值;  $X_1$  为实际地震属性值;  $X_{\max}$ 、 $X_{\min}$  分别为地震属性值的最大值和最小值。归一化处理后可使不同量纲的地震属性值转换在 0~1 范围内。

表 1 玛 131 井区百口泉组二段岩性划分标准

Table 1 The lithology criteria of the Baikouquan Formation Member 2 in Ma 131 area

岩性	RT/( $\Omega \cdot m$ )	CNL/%
泥岩	<10	>0.25
砂岩	10~27	0.17~0.19
细砾岩	27~33	0.17~0.16
中砾岩	33~40	0.16~0.15
粗砾岩	>40	<0.15

聚类分析是在数据集中寻找相似元素集合的过程,即所谓的“簇”,在同一个簇中的对象之间具有较高的相似度,而不同簇中的对象差别较大<sup>[37]</sup>。聚类重新标定距离远近反映地震属性间的相关程度,标定距离越近,则表明这两种属性间相关度越高。为了避免属性聚类时造成信息之间产生干扰,使岩性预测结果不准确,因此需从同类属性相关系数高的几种属性中选择其一。应用 Hungarian 聚类算法<sup>[38]</sup>,对提取的 20 种属性进行聚类分析,得到玛 131 井区百口泉组二段聚类分析谱系图(图 4),然后依据各类重心之间距离必须较大,分类数目应该符合使用的目的为原则,将 20 种属性分成 4 类(表 2):

为了将已知井的岩性信息有效外推于整个研究区内,需要优选出该区对砂体有物理意义的属性,即属性优选。属性优选的方法很多,如 Dennis Cooke<sup>[39]</sup>提出的经验法,赵加凡<sup>[40]</sup>提出的 K-L 变换的双重属

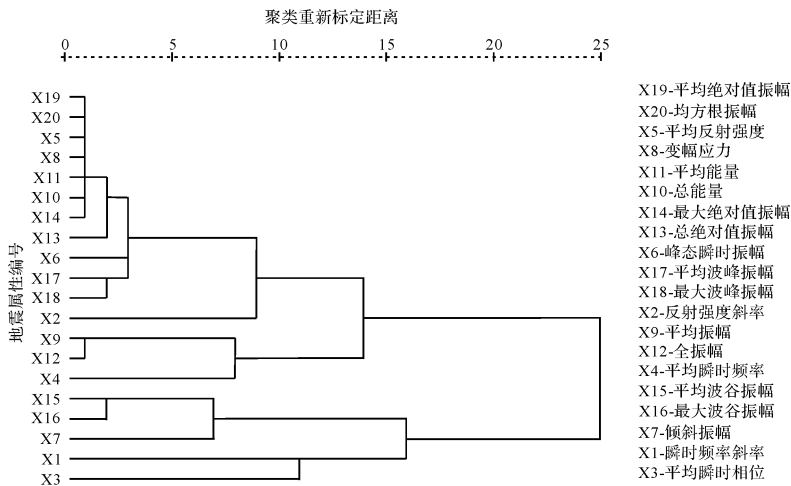


图 4 玛 131 井区百口泉组二段聚类分析谱系图

Fig.4 Cluster analysis pedigree chart of the Baikouquan Formation Member 2 in Ma131 area

表 2 玛 131 井区百口泉组二段地震属性分类表

Table 2 Category table of seismic attributes of the Baikouquan Formation Member 2 in Ma 131 area

类别	地震属性
I 类	$X_1, X_3$
II 类	$X_2, X_5, X_6, X_8, X_{10}, X_{11}, X_{18}, X_{14}, X_{13}, X_{20}, X_{17}, X_{19}$
III 类	$X_4, X_9, X_{12}$
IV 类	$X_{16}, X_{15}, X_7$

性优化法,其研究思路是将所有属性参与计算,通过各种优选算法逐步剔除与目标相关性差的属性,从而达到属性降维的目的。这类属性优选方法的弊端是效率低,人为主观因素强。为了保证属性组合的维数最优、信息容量全,本文采用步聪算法<sup>[41]</sup>。其具体步

骤如下:

(1) 首先把分成四类的属性按相关性依次从大到小排列,即 I 类>II 类>III 类>IV 类。

(2) 然后对 I 类属性列表中  $I_1, I_2, \dots, I_i$ , 分别计算单个属性在井点处的相关系数及标准误差。根据误差分析结果,选取误差最小的属性为 I 类的单个最优属性,记作  $I_1$ 。

(3) 接着将  $I_1$  与 II 类属性列表中 ( $II_1, II_2, \dots, II_i$ ) 的各个属性进行拟合,选取误差最小的属性组合为最优的 2 个属性组合,并将最优 2 个属性组合中的另一个属性称为次优属性,记作  $II_1$ , 则最优 2 个属性组合为 ( $I_1, II_1$ )。

(4) 其次将(Ⅰ<sub>1</sub>, Ⅱ<sub>1</sub>)与Ⅲ类属性列表中(Ⅲ<sub>1</sub>, Ⅲ<sub>2</sub>, …… Ⅲ<sub>i</sub>)的各个属性进行拟合,选取误差最小的属性组合为最优的3个属性组合,并将最优3个属性组合中的另一个属性称为次优属性,记作Ⅲ<sub>1</sub>,则最优3个属性组合为(Ⅰ<sub>1</sub>, Ⅱ<sub>1</sub>, Ⅲ<sub>1</sub>)。

(5) 最后重复上述步骤,依次类推,直到拟合含砂砾率相关系数达到0.7以上,即停止计算。此时得到的属性便为最优属性组合。

依据此算法,对玛131井区百口泉组二段属性进行了优选,当属性值与井点处含砂砾率相关系数R为0.7796(>0.7),得到7种最优属性组合(表3),最后用线性逐步回归法建立7种优选属性与储层砂体之间的拟合关系式(见公式1)。

$$Y = 1.177 - X_{18} \times 5.516 \times 10^{-5} - X_{15} \times 5.855 \times 10^{-5} + X_7 \times 9.882 \times 10^{-13} + X_{12} \times 6.240 \times 10^{-6} + X_{10} \times 9.858 \times 10^{-10} - X_6 \times 2.162 \times 10^{-17} - X_{13} \times 9.352 \times 10^{-6} \quad (1)$$

通过计算可知样本井点拟合含砂砾率值(Y值)与原井点含砂砾率值相关系数达0.7796(图5),保证属性拟合含砂砾率的准确性。

表3 玛131井区百口泉组二段线性回归系数

Table 3 Linear regression coefficients of the Baikouquan Formation Member 2 in Ma 131 area

属性代码	系数	标准误差
(常量)	1.177	0.167
X <sub>18</sub>	-5.516×10 <sup>-5</sup>	0.000
X <sub>15</sub>	-5.855×10 <sup>-5</sup>	0.000
X <sub>7</sub>	9.882×10 <sup>-13</sup>	0.000
X <sub>12</sub>	6.240×10 <sup>-6</sup>	0.000
X <sub>10</sub>	9.858×10 <sup>-10</sup>	0.000
X <sub>6</sub>	-2.162×10 <sup>-17</sup>	0.000
X <sub>13</sub>	-9.352×10 <sup>-6</sup>	0.000

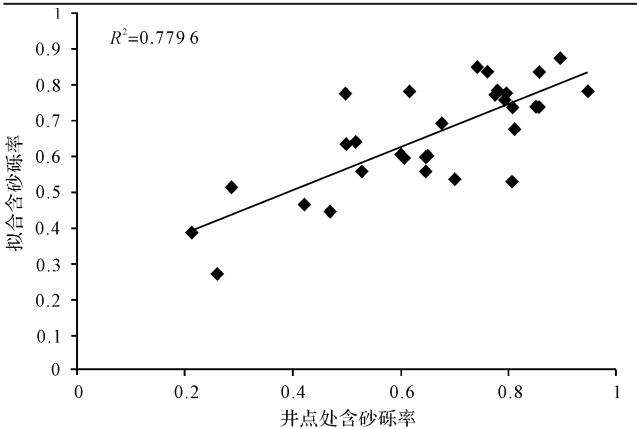


图5 玛131井区百口泉组二段拟合含砂砾率相关性图

Fig.5 Matching sand ratio correlation of the Baikouquan Formation Member 2 in Ma 131 area

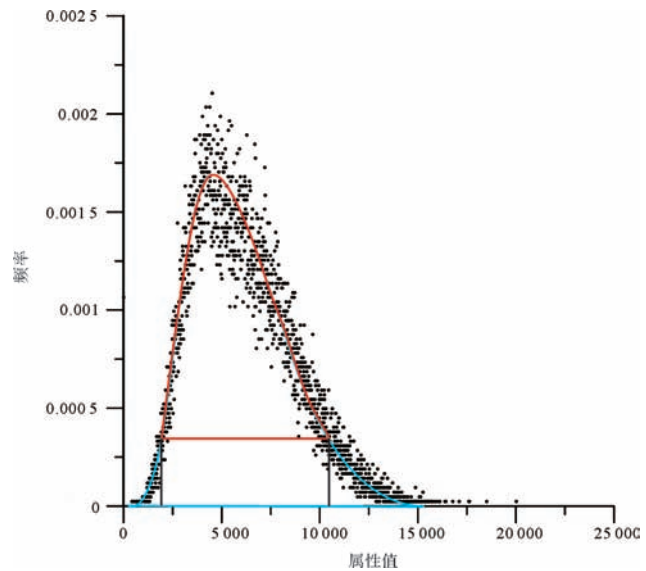


图6 玛131井区百口泉组二段均方根属性值正态分布图

Fig.6 Normal distribution of RMS attribute of the Baikouquan Formation Member 2 in Ma 131 area

### 2.3 属性约束相边界后的含砂砾率等值线图

均方根振幅属性在平面上的变化可以反映岩性、岩相的变化,结合沉积规律,根据均方根振幅的平面变化来判断某些特殊的岩性体<sup>[42-43]</sup>。为此,选用均方根属性来确定砂砾岩边界。如何将均方根振幅属性平面分布范围与砂体展布范围很好地吻合,避免随意性与任意性,这是应用均方根属性确定砂砾体边界的一个难题?本文采用的是随机变量的概率分布类型之一正态分布<sup>[44]</sup>。对提取的均方根属性值做正态分布,得到一个正态分布曲线图(图6)。设整个封闭的正态分布曲线面积为1,通过计算得出百口泉组二段平均含砂砾率为0.65,即图中红线圈定面积所占比例。这时可以得到对应的均方根振幅属性门槛值,即 $Y_{max} = 10475.3, Y_{min} = 1916.5$ 。通过约束门槛值得到的均方根振幅属性分布范围更接近真实的砂体展布范围(图7),与属性约束前的均方根属性相比(图8),砂体展布范围明显得到约束,然后将均方根振幅属性边界数值化后的值、井点处拟合含砂砾率值再进行拟合,便得到最终约束后的拟合含砂砾率等值线图(图9)。

## 3 岩相及测井相特征

由于拟合含砂砾率等值线图只反映出了研究区的砂体展布情况,缺乏与沉积微相之间的空间配置关系,因此需在岩相和测井相的指导下,对含砂砾率等

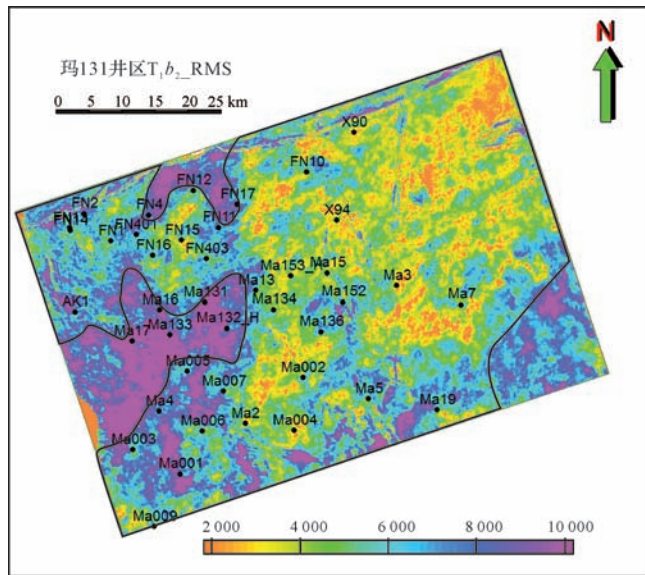


图7 玛131井区百口泉组二段均方根属性约束后的砂体边界图

Fig.7 Sandbody boundary after constraining of RMS attribute of the Baikouquan Formation Member 2 in Ma 131 area

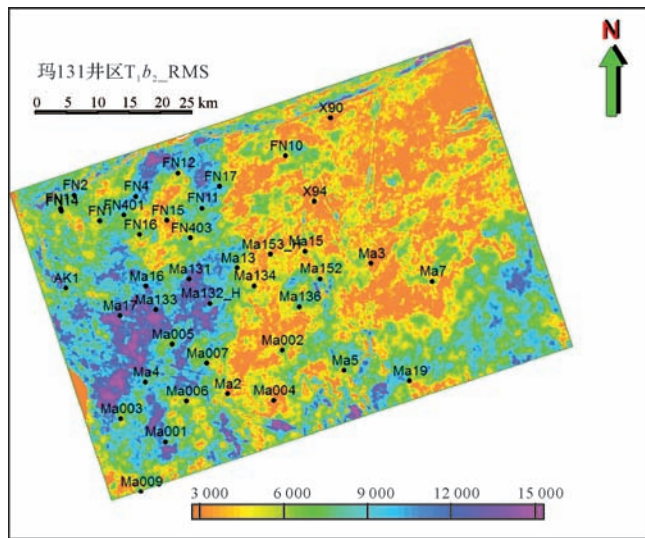


图8 玛131井区百口泉组二段均方根属性约束前的砂体边界图

Fig.8 Sandbody boundary before constraining of RMS attribute of the Baikouquan Formation Member 2 in Ma 131 area

值线图进行沉积微相解释。

### 3.1 岩相及岩相组合

岩相是代表沉积水动力条件变化的能量单元,是某种沉积环境的特定产物。本文参考前人对玛湖凹陷百口泉组的岩相划分标准<sup>[45]</sup>,依据岩相划分程序<sup>[46]</sup>:首先根据三端元法定量划分岩石相主要类别;其次用显著的沉积构造、古生物和组构特征辅助命名

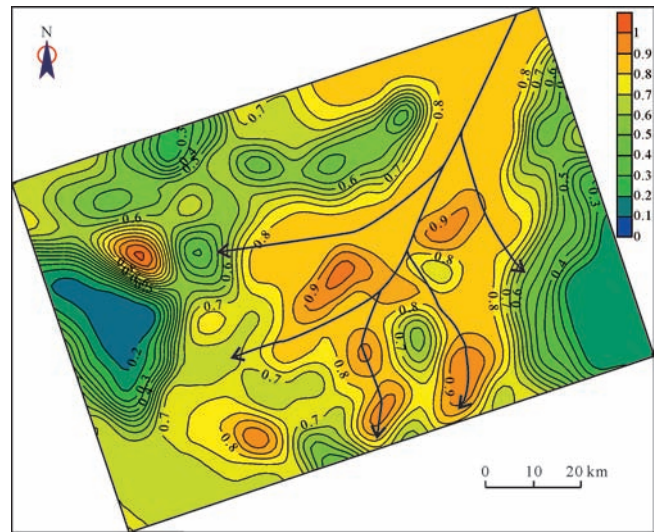


图9 玛131井区百口泉组二段拟合含砂率等值线图

Fig.9 Matching sand ratio contour of the Baikouquan Formation Member 2 in Ma 131 area

的方法,将玛131井区百口组二段精细划分出7种岩相(图10),即砂质支撑漂浮砾岩相(Gms)、砾石质支撑漂浮砾岩相(Gmg)、多级颗粒支撑砾岩相(Gcm),粒级层理砾岩相(Gg)、槽状交错层理砾岩相(Gt)、板状交错层理砾岩相(Gp)、块状层理粉—砂岩相(Sf)。通过岩相类型在剖面上有规律的组合,在研究区识别出5种组合形式,它们分别构成了研究区碎屑水道、辫流坝、水下分流河道、河口坝、前扇三角洲等不同沉积微相环境(图11)。

### 3.2 测井相

利用测井相研究目的层段的垂向序列排列方式,由此推测侧向演变,是全面了解和掌握研究区沉积展布规律的重要环节,是砂体预测中最基本的工作<sup>[47]</sup>。本文对传统利用岩性描述来确定测井相个数的方法稍作改进,采用聚类数的确定方法<sup>[48]</sup>,对研究区34口井的取芯进行了岩性描述,通过岩性描述对测井曲线进行标定,建立了目的层段测井相—沉积微相判别模型(图11)。

1) 碎屑水道以中—高幅厚层箱形电测曲线响应为主,顶底突变接触,反映快速混杂堆积,岩石类型以中粗砾岩为主,碎屑流特征明显;2) 辫流坝、河口坝以中幅微齿状漏斗形测井曲线为主,岩性为含砾粗砂岩,分选磨圆均较好;3) 水下分流河道的电测响应曲线为中—高幅锯齿状箱形+钟形,底部突变,顶部渐变,反映以中砾岩和细砾岩为主的水动力条件较稳定的水道沉积;4) 水下分流间湾是水道之间的细粒沉



积,其岩性以灰绿色粉—细砂岩为主,测井曲线为低幅指形,反映砂泥间互沉积环境;5)前扇三角洲位于滨浅湖中,以红褐色粉砂岩、灰褐色泥岩为主,测井曲线响应为低幅平直形。

### 4 建立精细沉积相

玛131井区经地震属性拟合后的含砂砾率范围在20%~95%,高值区集中在北东方向,向南西逐渐降低。根据拟合后的含砂砾率等值线图 and 沉积背景,

结合岩相及测井相等资料,最终形成玛131井区百口泉组二段沉积相平面展布图(图12)。分析认为含砂砾率80%以上,具有多级颗粒支撑,厚层叠加的岩相组合,以中—高幅电测响应曲线为特征的区域为扇三角洲平原亚相,其中把岩相组合为反粒序厚层叠加,电测曲线为漏斗形的区域判别为辫流坝;含砂砾率为30%~80%,具有正粒序的板槽叠加或砾石叠加样式,电测响应曲线为箱型+钟形和中—低幅指形的区域判别为扇三角洲前缘,其中把具有反粒序叠加,定向

代码	Gms	Gmg	Gcm	Gg	Gt	Gp	Sf
名称	砂质支撑 漂浮砾岩相	砾石质支撑 漂浮砾岩相	多级颗粒支撑 砾岩相	粒级层理 砾岩相	槽状交错层理 砾岩相	板状交错层理 砾岩相	块状层理 粉—细砂岩相
序列							
粒径							
物性	φ6.2~13.3% K5.01~11.710 <sup>3</sup> μm <sup>2</sup>	φ6~11.8% K0.67~2.9510 <sup>3</sup> μm <sup>2</sup>	φ3.9~7.5% K0.11~0.96910 <sup>3</sup> μm <sup>2</sup>	φ9.3~13.9% K0.13~3.8710 <sup>3</sup> μm <sup>2</sup>	φ8~12.8% K1.85~3.5210 <sup>3</sup> μm <sup>2</sup>	φ8.3~12.2% K1.04~2.9710 <sup>3</sup> μm <sup>2</sup>	φ0.56~0.98% K10.4~13.710 <sup>3</sup> μm <sup>2</sup>
岩芯照片	 风南15	 玛18	 风南15	 玛137	 玛20	 玛22	 风南15
胶结类型	压实胶结	孔隙充填胶结	孔隙充填胶结	孔隙充填胶结	孔隙充填胶结	孔隙充填胶结	钙质胶结
沉积构造	块状槽状 交错层理	槽状交错层理	槽状板状 交错层理	粒级层理	槽状交错层理	槽状交错层理	块状层理 水平层理
磨圆	磨圆中等	扁平状 磨圆中等	扁平状 磨圆中等	椭圆状 磨圆较好	椭圆状 磨圆较好	椭圆状 磨圆较好	磨圆较好
分选	较差	下部较差 上部较好	下部较好 上部较差	差	较好	较好	较好
成分	岩浆岩岩屑	岩浆岩岩屑	石英岩屑	石英岩屑	石英岩屑	石英岩屑	石英岩屑
颜色	杂灰色 红褐色	杂灰色 红褐色	杂灰色 红褐色	浅灰色 灰绿色	浅灰色 灰绿色	浅灰色 灰绿色	浅灰色 灰绿色
微相	碎屑水道	碎屑水道	辫状水道	水下分流河道 辫状分支水道	水下分流河道	水下分流河道	河口坝 前扇三角洲

图10 玛131井区百口泉组二段岩相类型

Fig.10 Types of lithofacies of the Baikouquan Formation Member 2 in Ma 131 area

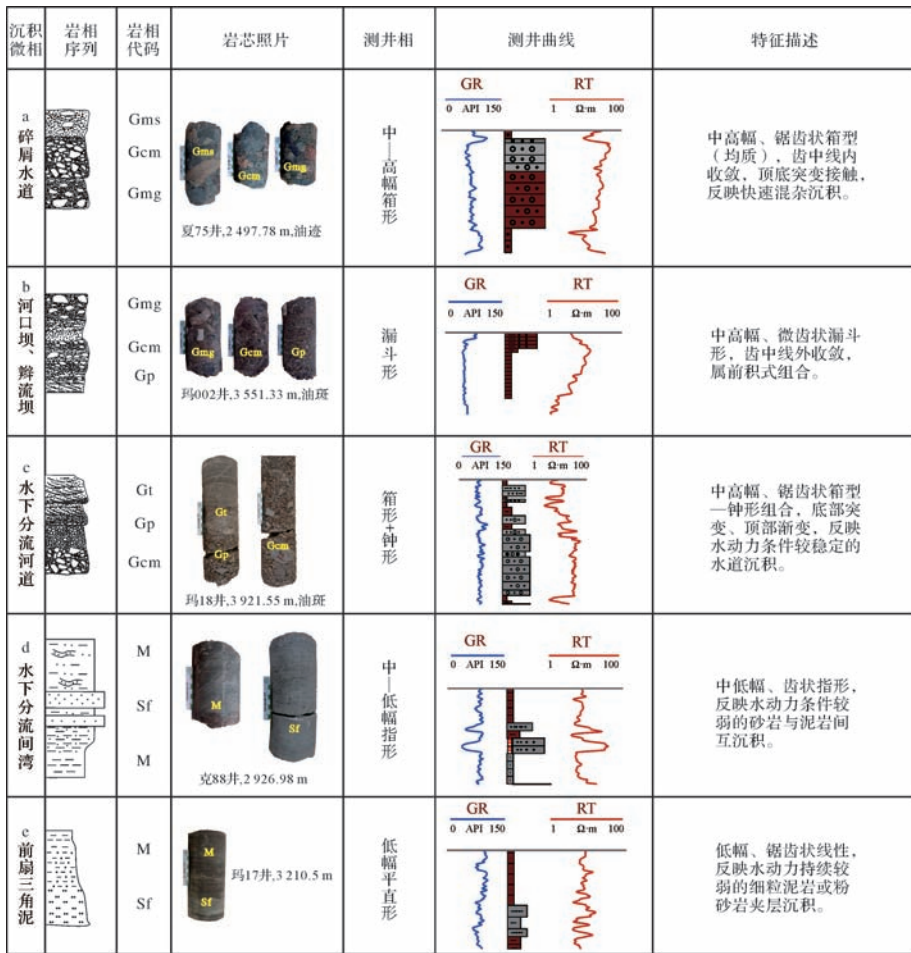


图 11 玛 131 井区百口泉组二段测井相—沉积微相判别模型

Fig.11 Recognition model of well logging facies and lithofacies of the Baikouquan Formation Member 2 in Ma 131 area

排列为特征,电测响应曲线为漏斗形的区域判别为河口坝;含砂砾率低于 30%,以粉砂岩相为主,电测响应曲线以低幅平直状为特征的区域判别为前扇三角洲。

百口泉组二段沉积期,除艾克 1 井区和东南角发育部分前扇三角洲外,研究区主要发育扇三角洲平原亚相和扇三角洲前缘亚相沉积。前者主要分布于北东面,包括风南 10 井—夏 90 井—线以北,夏 94—玛 13—玛 002 一线以东及玛 5—玛 19—玛 7 一线以北,后者紧接着前者发育于西南侧。平原亚相发育辫流坝,前缘亚相可见零星的河口坝发育。在平原亚相中,岩性主要是中粗砾岩,砾岩的外围发育少量砂砾岩。在前缘亚相中,岩性主要是细砾岩和粗砂岩,西南部可见中粗砾岩。该时期,湖侵进一步发育,水体加深。物源来自北东方向,沉积中心位于玛 152 井周围,发育由北东—南西向的长轴持续供给型帚状粗粒扇三角洲。

## 5 结论

(1) 采用地震多属性拟合含砂砾率技术预测粗粒扇体展布,提高了研究区内地震属性与粗粒扇体展布的相关系数,预测精度明显提高。

(2) 本文通过对提取的均方根振幅属性值做正态分布,求取均方根属性的上下门槛值,使均方根振幅属性平面分布范围更能真实的反映砂体分布范围,避免了均方根属性确定砂体边界的盲目性与任意性。

(3) 应用聚类分析的方法建立了测井相—沉积微相判别模型,使其更具科学性,改进了传统的测井相—岩相识别方法。

(4) 以拟含砂砾率值等值线图为基础,以岩相和测井相为指导,厘定了玛 131 井区百口泉组二段沉积相和沉积微相的判别标准,并应用该标准绘制了研究区目的层段的沉积相图。



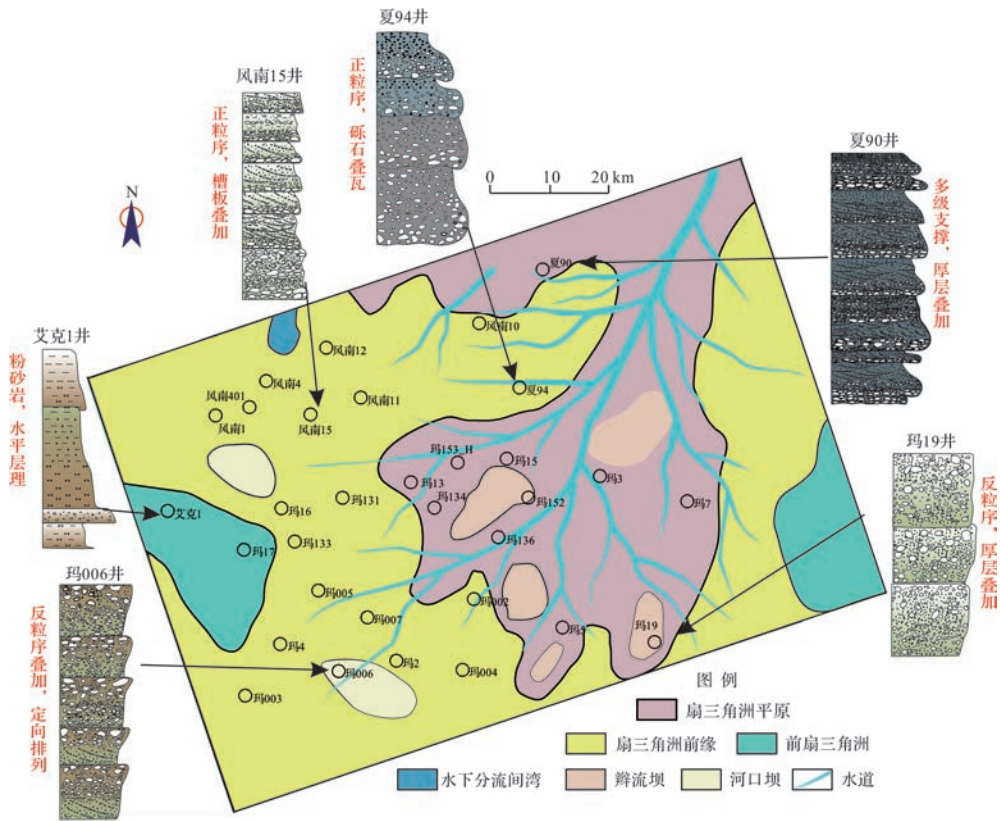


图 12 玛 131 井区百口泉组二段沉积相图

Fig.12 Sedimentary facies of the Baikouquan Formation Member 2 in Ma 131 area

参考文献 (References)

[1] 王开燕,徐清彦,张桂芳,等.地震属性分析技术综述[J].地球物理学进展,2013,28(2):815-823. [Wang Kaiyan, Xu Qingyan, Zhang Guifang, et al. Summary of seismic attribute analysis[J]. Progress in Geophysics, 2013, 28(2): 815-823.]

[2] Rummerfield B F. Reflection quality, a fourth dimension[J]. Geophysics, 1954, 19(4): 684-694.

[3] Balch A H. Color sonagrams; a new dimension in seismic data interpretation[J]. Geophysics, 1971, 36(6): 1074-1098.

[4] Justice J H, Hawkins D J, Wong G. Multidimensional attribute analysis and pattern recognition for seismic interpretation[J]. Pattern Recognition, 1985, 18(6): 391-399.

[5] Chopra S, Marfurt K J. Seismic attributes—a historical perspective [J]. Geophysics, 2005, 70(5): 3S0-28S0.

[6] 郭刚明.地震属性技术的研究与应用——以潍北凹陷灶户构造为例[D].成都:西南石油大学,2005. [Guo Gangming. The application of seismic attributes; Taking Zhaohu Structure in Weibei sag for example [D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2005.]

[7] Alao P A, Nwoke E C, Olabode S, et al. Lithology and porosity heterogeneity prediction using multiple seismic attributes on 3-d surveys: an example from Edim oil field, Niger delta[J]. International

Journal of Advanced Geosciences, 2014, 2(1): 1-7.

[8] Torabi A, Alaei B, Kolyukhin D, et al. Fault geometric and seismic attributes - an integrated study with focus on the Barents Sea[J]. First Break, 2016, 34(5): 73-80.

[9] Bueno J F, Honório B C Z, Kuroda M C, et al. Structural and stratigraphic feature delineation and facies distribution using seismic attributes and well log analysis applied to a Brazilian carbonate field [J]. Interpretation, 2014, 2(1): SA83-SA92.

[10] Volcan M H, Chahine C, TrueLove L. Enhanced delineation of reservoir compartmentalization from advanced Pre and Post-stack seismic attribute analysis [C]//ASEG Extended Abstracts, 24th International Geophysical Conference and Exhibition. Perth, Western Australia; SEG, 2015.

[11] Coléou T, Poupon M, Azbel K. Unsupervised seismic facies classification: a review and comparison of techniques and implementation[J]. The Leading Edge, 2003, 22(10): 942-953.

[12] 师政,邱隆伟,张阳,等.基于地震属性聚类的岩相分析方法及应用——以南堡凹陷陶系潜山储层为例[J].中国矿业大学学报,2015,44(4):688-695. [Shi Zheng, Qiu Longwei, Zhang Yang, et al. Petrographic analysis method and application based on seismic attributes cluster: Taking Ordovician buried hill reservoir in Nanpu sag for example[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2015, 44(4): 688-695.]

[13] 于建国,姜秀清.地震属性优化在储层预测中的应用[J].石油

- 与天然气地质, 2003, 24(3): 291-295. [Yu Jianguo, Jiang Xi-  
uqing. Application of seismic attribute optimization in reservoir  
prediction[J]. *Oil & Gas Geology*, 2003, 24(3): 291-295.]
- [14] Kalkomey C T. Potential risks when using seismic attributes as pre-  
dictors of reservoir properties [J]. *The Leading Edge*, 1997, 16  
(3): 247-251.
- [15] 张建新, 于建国. 地震属性应用中的不确定性分析[J]. 石油物  
探, 2006, 45(4): 373-379, 408. [Zhang Jianning, Yu Jianguo.  
The indetermination analysis on the seismic attribute application  
[J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2006, 45(4): 373-  
379, 408.]
- [16] 温书亮, 刘志斌, 何峰. 地震多属性聚类分析技术及其在渤海  
某区块油气预测中的应用[C]//中国地球物理学会, 中国石  
油学会. 中国石油学会 2007 年成都物探技术研讨会论文集.  
成都: 中国石油学会, 中国地球物理学会, 2007: 373-374. [Wen  
Shuliang, Liu Zhibin, He Feng. Multiple seismic attributes cluster  
analysis and application of oil predict in some area, Bo Hai[C]//  
*Natural Gas Industry*, 2007: 373-374.]
- [17] Strecker U, Smith M, Uden R, et al. Seismic attribute analysis in  
hydrothermal dolomite, Devonian slave point formation, Northeast  
British Columbia, Canada[C]//SEG Technical Program Expand-  
ed Abstracts. Denver, Colorado: SEG, 2004: 378-381.
- [18] 陈树民, 沈加刚, 宋永忠, 等. 基于沉积模式的地震多属性量化  
沉积微相解释方法——以松辽盆地北部高台子地区泉头组  
三—四段为例[J]. 地质科学, 2009, 44(2): 740-758. [Chen  
Shuming, Shen Jiagang, Song Yongzhong, et al. Method of inter-  
pretation by quantization of multiple seismic attributes based on  
sedimentary model: A case study from members 3-4, Quantou For-  
mation in the northern Songliao Basin[J]. *Chinese Journal of Ge-  
ology*, 2009, 44(2): 740-758.]
- [19] 于兴河, 李胜利, 李顺利. 三角洲沉积的结构——成因分类与  
编图方法[J]. 沉积学报, 2013, 31(5): 782-797. [Yu Xinghe,  
Li Shengli, Li Shunli. Texture-genetic classifications and mapping  
methods for deltaic deposits [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*,  
2013, 31(5): 782-797.]
- [20] 于兴河. 油田开发中后期储层面临的问题与基于沉积成因的  
地质表征方法[J]. 地学前缘, 2012, 19(2): 1-14. [Yu Xinghe.  
Existing problems and sedimentogenesis- based methods of reser-  
voir characterization during the middle and later periods of oilfield  
development[J]. *Earth Science Frontiers*, 2012, 19(2): 1-14.]
- [21] 刘金平, 王允清, 杨懋新, 等. 松辽盆地北部扶杨油层河道砂体  
的地震识别方法研究(英文)[J]. 应用地球物理, 2007, 4  
(2): 127-132. [Liu Jinping, Wang Yunqing, Yang Maoxin, et al.  
Seismic identification of channel sandbodies in the Fuyang oil layer  
in North Songliao Basin, China[J]. *Applied Geophysics*, 2007, 4  
(2): 127-132.]
- [22] 张顺存, 邹妞妞, 史基安, 等. 准噶尔盆地玛北地区三叠系百口  
泉组沉积模式[J]. 石油与天然气地质, 2015, 36(4): 640-650.  
[Zhang Shuncun, Zou Niuniu, Shi Ji'an, et al. Depositional mod-  
el of the Triassic Baikouquan Formation in Mabei area of Junggar  
Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2015, 36(4): 640-650.]
- [23] 匡立春, 唐勇, 雷德文, 等. 准噶尔盆地玛湖凹陷斜坡区三叠系  
百口泉组扇控大面积岩性油藏勘探实践[J]. 中国石油勘探,  
2014, 19(6): 14-23. [Kuang Lichun, Tang Yong, Lei Dewen, et  
al. Exploration of fan-controlled large-area lithologic oil reservoirs  
of Triassic Baikouquan Formation in slope zone of Mahu depression  
in Junggar Basin [J]. *China Petroleum Exploration*, 2014, 19  
(6): 14-23.]
- [24] Rogers J P. New reservoir model from an old oil field; Garfield con-  
glomerate pool, Pawnee County, Kansas [J]. *AAPG Bulletin*,  
2007, 91(10): 1349-1365.
- [25] 刘晖, 姜在兴, 张锐锋, 等. 廊固凹陷大兴砾岩体成因类型及其  
对油气的控制[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(5): 545-551.  
[Liu Hui, Jiang Zaixing, Zhang Ruifeng, et al. Genetic types of  
Daxing conglomerate bodies and their controls on hydrocarbons in  
the Langgu sag, Bohai Bay Basin, East China[J]. *Petroleum Ex-  
ploration and Development*, 2012, 39(5): 545-551.]
- [26] 朱庆忠, 李春华, 杨合义. 廊固凹陷大兴砾岩体成因与油气成  
藏[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(4): 34-36. [Zhu Qingzhong,  
Li Chunhua, Yang Heyi. The origin and hydrocarbon accumulation  
of Daxing conglomerate body in Langgu sag[J]. *Petroleum Ex-  
ploration and Development*, 2003, 30(4): 34-36.]
- [27] 李跃纲, 巩磊, 曾联波, 等. 四川盆地九龙山构造致密砾岩储层  
裂缝特征及其贡献[J]. 天然气工业, 2012, 32(1): 22-26. [Li  
Yuegang, Gong Lei, Zeng Lianbo, et al. Characteristics of frac-  
tures and their contribution to the deliverability of tight conglom-  
erate reservoirs in the Jiulongshan structure, Sichuan Basin [J].  
*Natural Gas Industry*, 2012, 32(1): 22-26.]
- [28] 于兴河, 翟建华, 谭程鹏, 等. 玛湖凹陷百口泉组扇三角洲砾岩  
岩相及成因模式[J]. 新疆石油地质, 2014, 35(6): 619-627.  
[Yu Xinghe, Qu Jianhua, Tan Chengpeng, et al. Conglomerate  
Lithofacies and origin models of fan deltas of Baikouquan For-  
mation in Mahu sag, Junggar Basin[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*,  
2014, 35(6): 619-627.]
- [29] 隋风贵. 准噶尔盆地西北缘构造演化及其与油气成藏的关系  
[J]. 地质学报, 2015, 89(4): 779-793. [Sui Fenggui. Tectonic  
evolution and its relationship with hydrocarbon accumulation in the  
northwest margin of Junggar Basin [J]. *Acta Geologica Sinica*,  
2015, 89(4): 779-793.]
- [30] He Dengfa, Li Di, Fan Chun, et al. Geochronology, geochemistry  
and tectonostratigraphy of Carboniferous strata of the deepest Well  
Moshen-1 in the Junggar Basin, northwest China: insights into the  
continental growth of Central Asia [J]. *Gondwana Research*,  
2013, 24(2): 560-577.
- [31] Liu Haiquan, Xu Yigang, He Bin. Implications from zircon-satura-  
tion temperatures and lithological assemblages for Early Permian  
thermal anomaly in northwest China[J]. *Lithos*, 2013, 182-183:  
125-133.
- [32] 匡立春, 唐勇, 雷德文, 等. 准噶尔盆地二叠系威化湖相云质岩  
致密油形成条件与勘探潜力[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39  
(6): 657-667. [Kuang Lichun, Tang Yong, Lei Dewen, et al.  
Formation conditions and exploration potential of tight oil in the

- Permian saline lacustrine dolomitic rock, Junggar Basin, NW China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2012, 39(6): 657-667.]
- [33] 方世虎,郭召杰,贾承造,等. 准噶尔盆地南缘中—新生界沉积物重矿物分析与盆地格局演化[J]. *地质科学*, 2006, 41(4): 648-662. [Fang Shihu, Guo Zhaojie, Jia Chengzao, et al. Mesozoic heavy minerals' assemblages in the southern Junggar Basin and its implications for basin-orogen pattern[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2006, 41(4): 648-662.]
- [34] 张顺存,蒋欢,张磊,等. 准噶尔盆地玛北地区三叠系百口泉组优质储层成因分析[J]. *沉积学报*, 2014, 32(6): 1171-1180. [Zhang Shuncun, Jiang Huan, Zhang Lei, et al. Genetic analysis of the high quality reservoir of Triassic Baikouquan Formation in Mabei region, Junggar Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2014, 32(6): 1171-1180.]
- [35] 李国发,王尚旭,马彦彦. 基于叠前波场模拟的合成地震记录层位标定[J]. *中国石油大学学报:自然科学版*, 2010, 34(1): 29-33. [Li Guofa, Wang Shangxu, Ma Yanyan. Well-ties with log synthetic seismogram based on Prestack Wavefields simulation[J]. *Journal of China University of Petroleum*, 2010, 34(1): 29-33.]
- [36] 徐德龙,李涛,黄宝华,等. 利用交会图法识别国外 M 油田岩性与流体类型的研究[J]. *地球物理学进展*, 2012, 27(3): 1123-1132. [Xu Delong, Li Tao, Huang Baohua, et al. Research on the identification of the lithology and fluid type of foreign M oilfield by using the crossplot method[J]. *Progress in Geophysics*, 2012, 27(3): 1123-1132.]
- [37] 王骏,王士同,邓赵红. 聚类分析研究中的若干问题[J]. *控制与决策*, 2012, 27(3): 321-328. [Wang Jun, Wang Shitong, Deng Zhaohong. Survey on challenges in clustering analysis research[J]. *Control and Decision*, 2012, 27(3): 321-328.]
- [38] Goldberger J, Tassa T. A hierarchical clustering algorithm based on the Hungarian method[J]. *Pattern Recognition Letters*, 2008, 29(11): 1632-1638.
- [39] Cooke D, Sena A, O'Donnell G, et al. What is the best seismic attribute for quantitative seismic reservoir characterization? [C]// 1999 SEG Technical Program Expanded Abstracts. Houston, Texas: SEG, 1999.
- [40] 赵加凡,陈小宏. 基于主成分分析与 K-L 变换的双重属性优化方法[J]. *物探与化探*, 2005, 29(3): 253-256. [Zhao Jiafan, Chen Xiaohong. Dual optimization of seismic attributes based on principal component analysis and K-L transform[J]. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 2005, 29(3): 253-256.]
- [41] Chen Q, Sidney S. Seismic attribute technology for reservoir forecasting and monitoring[J]. *The Leading Edge*, 1997, 16(5): 445-448.
- [42] 张可宝,张红斌,赵玉光,等. 均方根振幅与岩性[J]. *石油地球物理勘探*, 2007, 42(增刊 1): 93-96. [Zhang Kebao, Zhang Hongbin, Zhao Yuguang, et al. Mean-Square-Root amplitude and lithology[J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2007, 42(Suppl.1): 93-96.]
- [43] 李飞,程日辉,王共生,等. 应用地震属性分析研究十屋油田下白垩统营城组沉积体系分布[J]. *吉林大学学报:地球科学版*, 2011, 41(增刊 1): 54-60. [Li Fei, Cheng Rihui, Wang Gongsheng, et al. Application of seismic attribute analysis to study sedimentary systems of the Yingcheng Formation, lower Cretaceous, Shiwu oilfield[J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2011, 41(Suppl.1): 54-60.]
- [44] 孔祥礼,卞炜. 蒙特卡洛法在油田储量计算中的应用[J]. *断块油气田*, 2001, 8(6): 15-18. [Kong Xiangli, Bian Wei. Application of the Monte-Carlo method in reserves calculation of oilfield[J]. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 2001, 8(6): 15-18.]
- [45] Tan C, Yu X, Qu J, et al. Complicated conglomerate lithofacies and their effects on hydrocarbons [J]. *Petroleum Science and Technology*, 2014, 32(22): 2746-2754.
- [46] Hemmesch N T, Harris N B, Mnich C A, et al. A sequence-stratigraphic framework for the Upper Devonian Woodford Shale, Permian Basin, west Texas[J]. *AAPG Bulletin*, 2014, 98(1): 23-47.
- [47] 杨占龙,陈启林,郭精义. “三相”联合解释技术在岩性油气藏勘探中的应用——以吐哈盆地胜北地区为例[J]. *天然气地球科学*, 2007, 18(3): 370-374. [Yang Zhanlong, Chen Qilin, Guo Jingyi. "Three Facies" integrated interpretation technique and its application in lithologic reservoir exploration in Shengbei area, Turpan- Harny Basin [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2007, 18(3): 370-374.]
- [48] 宋秋强,张占松,张冲,等. 测井相—岩相分析技术在复杂岩性中的应用[J]. *石油天然气学报(江汉石油学院学报)*, 2013, 35(7): 78-81. [Song Qiuqiang, Zhang Zhansong, Zhang Chong, et al. Application of logging facies-lithofacies analysis in complex lithology[J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2013, 35(7): 78-81.]



# Application of Multiple Seismic Attributes Matching Technology in Mapping Coarse-grain Fan Deposition: A case from Triassic Baikouquan Formation Member 2 in Ma 131 area

YAO ZongQuan<sup>1</sup>, YU XingHe<sup>1</sup>, GAO Yang<sup>1</sup>, MA Cong<sup>2</sup>, WANG Jin<sup>1</sup>, HUANG DingJie<sup>1</sup>, SUN Le<sup>1</sup>, QU JianHua<sup>3</sup>

1. School of Energy Resource, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2. Research Institute of Experimental Testing, Xinjiang Oilfield Company, PetroChina, Karamay, Xinjiang 834000, China

3. Research Institute of Exploration and Development, Xinjiang Oilfield Company, PetroChina, Karamay, Xinjiang 834000, China

**Abstract:** Due to the multiple types of conglomerate rock, strong reservoir heterogeneity, it is difficult to establish a relationship between seismic attributes and reservoir. Application of seismic attributes often leads to uncertainty and multiple solutions. In order to surmount the one sidedness of single attribute reflecting the distribution of coarse-grain sediments, mutual interference between similar attributes-related information and blindness of seismic facies predicting the distribution of the fan body, a method based on seismic multi-attributes matching technology is proposed: 1) established lithology identification scheme; 2) sandy conglomerate ratio was matched based on an attribute optimization and linear regression; 3) RMS attribute to constraining sand boundary; 4) the coarse-grain fan sedimentary facies was mapped according to matching sand ratio contour, lithofacies and logging facies. And application of this method to Baikouquan Formation Member 2 in Ma 131 area shows that it is not only providing a new way to study coarse-grain deposition, but also providing a reliable basis for rolling exploration and demonstration wells in Mahu sag.

**Key words:** cluster analysis; attribute optimization; normal distribution; multiple-attribute matching; Baikouquan