

# 应用地震数据体结构属性 预测玉北1井区油气分布规律

林耀庭\*<sup>①②</sup> 桂志先<sup>①②</sup> 许辉群<sup>①②</sup>

(<sup>①</sup>油气资源与勘探技术教育部重点实验室,湖北武汉 430100; <sup>②</sup>长江大学地球物理与石油资源学院,湖北武汉 430100)

林耀庭,桂志先,许辉群.应用地震数据体结构属性预测玉北1井区油气分布规律.石油地球物理勘探,2014,49(6):1184-1190.

**摘要** 塔里木盆地玉北地区油藏具有埋藏深、油层薄且分散、相带变化快、油水关系复杂、分割性强、井与井之间可比性较差等特点,应用常规地震储层预测方法很难满足该区块油藏开发的需要。为落实玉北地区玉北1井油田海相碳酸盐岩含油性富集区的评价,指明有利储油层分布规律,通过提取地震数据体结构属性,达到预测油气的目的。该属性基于地下岩层层序结构、岩性和含油气等发生纵横向变化引起地震反射波的变化。实际钻井资料验证了该方法有较好的效果。

**关键词** 储层预测 地震数据体结构属性 碳酸盐岩 油气预测

中图分类号:P631 文献标识码:A

## 1 引言

地震属性是指由叠前或叠后地震数据经过数学变换而导出的表征地震波几何形态、运动学特征、动力学特征以及统计特征等的一些参数。地震属性分析的目的就是试图从大量丰富的三维地震数据中,拾取隐藏在数据中的有关地层岩性、储层物性和流体信息,定性预测岩相、岩性和含油气性,或定量估算油藏参数,并利用少量的井孔资料揭示的储层特征,建立井点处地震属性与储层参数的关系,再利用这种关系将地震属性转换为相应的储层参数,揭示储层分布特征<sup>[1~6]</sup>。目前主要应用的地震属性分析方法有统计模式识别、神经网络、频谱分解等<sup>[7~10]</sup>,而这些地震属性分析方法都需对地质、井等信息进行综合分析,且大部分的地震属性不能提供较理想的预测结果。同时在属性类型的选择和数值上具有不稳定性,从而导致预测结果的不确定性。因此,选择一种直接的、定量的准确油气预测方法是必要的<sup>[11]</sup>。

地震数据体结构属性是基于地下岩层层序结构、岩性和含油气特征等发生纵横向变化时引起地震反射波的变化而提取的一种属性,故根据地震数据体结构属性的变化可以达到预测油气的目的<sup>[12,13]</sup>。

## 2 基本原理

地震数据体结构属性是指地震数据体中每一地震道特性相同的离散数据元素按时间顺序排列所显示的波形特征属性,分为纵向上时间顺序排列和横向上空间组合变化。本文利用灰色模型(grey models)研究每一地震道的振幅、速度或频率与灰色异常时段的关系,通过灰色关联最终预测出可能含油气的地区。

### 2.1 灰色模型

首先建立一个振幅数列  $X_{amp}^{(0)}$  的 GM(1,1) (灰色数列预测模型),令

$$X(0) = X_{amp}^{(0)} \quad (1)$$

式中  $X_{amp}^{(0)}$  为一个原始地震道振幅数值的绝对值。定义  $X(0)$  的任一子数列为

\* 湖北省武汉市蔡甸区大学路特1号长江大学武汉校区地物学院,430100。Email:linyaoqing0213@163.com

本文于2013年8月25日收到,最终修改稿于2014年9月5日收到。

本研究受国家“973”计划项目“深部油气储层综合地球物理探测与评价方法(2013CB228605)”资助。

$$\mathbf{X}^{(0)} = \{X_{(1)}^{(0)}, X_{(2)}^{(0)}, \dots, X_{(N-4)}^{(0)}\} \quad (2)$$

式中  $N$  为数据个数。

对子数列  $\mathbf{X}^{(0)}$  作一次累加,得到

$$\mathbf{X}^{(1)} = \{X_{(1)}^{(1)}, X_{(2)}^{(1)}, \dots, X_{(N-4)}^{(1)}\} \quad (3)$$

用式(3)建立灰色模型 GM(1,1),且

$$\frac{d\mathbf{X}}{dt} + a\mathbf{X}^{(1)} = u \quad (4)$$

式中:  $a$  为待辨识参数;  $t$  为时间;  $u$  为待辨识内生变量。它们可用最小二乘法求得,即

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix} \quad (5)$$

则

$$\mathbf{A} = (\mathbf{B}^T \mathbf{B})^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{Y}_N \quad (6)$$

式中:  $\mathbf{B}$  为累加矩阵;  $\mathbf{Y}_N$  为常数向量。这时可用式(6)及最小二乘法求解  $a, \mathbf{A}$ 。同时将灰色参数代入时间函数

$$X_{(k+1)}^{(1)} = \left[ X_{(1)}^{(0)} - \frac{u}{a} \right] e^{-a} + \frac{u}{a} \quad (7)$$

此后,对  $\mathbf{X}^{(1)}$  求导还原得到

$$x_{(1)}^{(0)} = -a \left[ X_{(1)}^{(0)} - \frac{u}{a} \right] e^{-a} \quad (8)$$

也可以表达为

$$x_{(t+1)}^{(0)} = x_{(t+1)}^{(1)} - x_{(t)}^{(1)} \quad (9)$$

最后计算  $X_{(t)}^{(0)}$  与  $x_{(t)}^{(0)}$  之差

$$e_{(t)}^{(1)} = X_{(t)}^{(0)} - x_{(t)}^{(0)} \quad (10)$$

和相对误差

$$q^{(0)} = \frac{e_{(t)}^{(0)}}{X_{(1)}^{(0)}} \quad (11)$$

### 2.2 利用灰色模型识别油气

地震资料包含油气和非油气两方面信息。当地震波穿过油气层时不仅地震参数发生了变化,同时也出现不同的地震数据体结构属性特征<sup>[12~14]</sup>。其结构属性特征表现为外部的波形及振幅等的变化,有时这些变化可以用肉眼辨认,但大部分微小变化肉眼不可辨认,所以要用灰色模型来描述。而灰色模型就是通过少量的、不完全的过井油气信息,建立灰色微分预测模型。通过上述灰色模型进行关联分析(及灰色关联),将地震道斜率、夹角、波峰及波谷等数值与已知井油气信息联系,最终经灰色计算模型计算统计出地震数据体结构属性值来识别油气。

地震数据体结构属性特征预测油气的基本依据是地震反射震幅数据与目的层油气之间的关系(与

油气有关的地震参数还有相位和频率等),虽然振幅数据能提供地层和储层的有关信息,但这种关系无法用确定的模型描述,或由数学物理推导说明地震振幅数据特征与油气的变化规律,而且不同地区具有不同的规律,因此对于这样的情况十分适合采用灰色系统理论有关预测模型的分析方法来预测和识别油气。

地震数据结构属性分为单道和多道两种表现形式。单道地震数据体结构属性是指每一地震道离散数据点按时间顺序排列所显示的单道波形特征;而多道地震数据体结构属性是指道与道之间离散数据点按时间顺序排列所显示的众多波形组相邻数据点集的结构属性。地震数据结构属性研究是把相互独立的地震道斜率、夹角等信息与少量的过井油气信息通过灰色生成数据变为连续的可预测数据,最后达到预测油气的目的。

### 2.3 实现过程

图 1 为地震数据结构属性油气预测流程。首先从研究一个地震道开始,通过提取地震振幅数据序列建立一个一维 GM 模型;然后通过灰色模型确定异常值段;再对 GM 模型利用地震数据上的数值和空间结构进行二维灰色关联(Grey Relation, GR),即系统一时间系列的二维关联,并计算出相应的地震数据体结构属性及一个三维矢量关联;最终完成全区数据体三维空间油气识别的连续性动态预测过程。

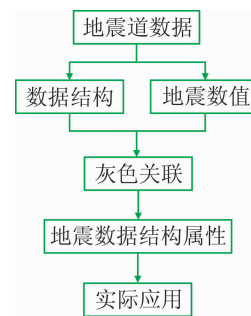


图 1 地震数据体结构属性油气预测研究流程

## 3 应用实例

### 3.1 工区概况

塔里木盆地麦盖提斜坡玉北地区玉北 1 井区(YB1)油气的发现,实现了麦盖提斜坡奥陶系碳酸盐岩油气零的突破,YB1-2X 井测试出油进一步证

实了该区奥陶系碳酸盐岩具有较好的油气勘探开发潜力。但玉北地区油藏埋深较大,且油层薄、分散,相带变化快、油水关系复杂,分割性强,井与井之间可对比性较差。针对此特点,以玉北 1 井区奥陶系

鹰山组(图 2)以下风化壳 0~70m 为重点研究对象(图中红线为研究目标层),70~180m 的碳酸盐岩储层为次要目的层,确定有利含油层段,优选出有利结构特征异常含油发育带。

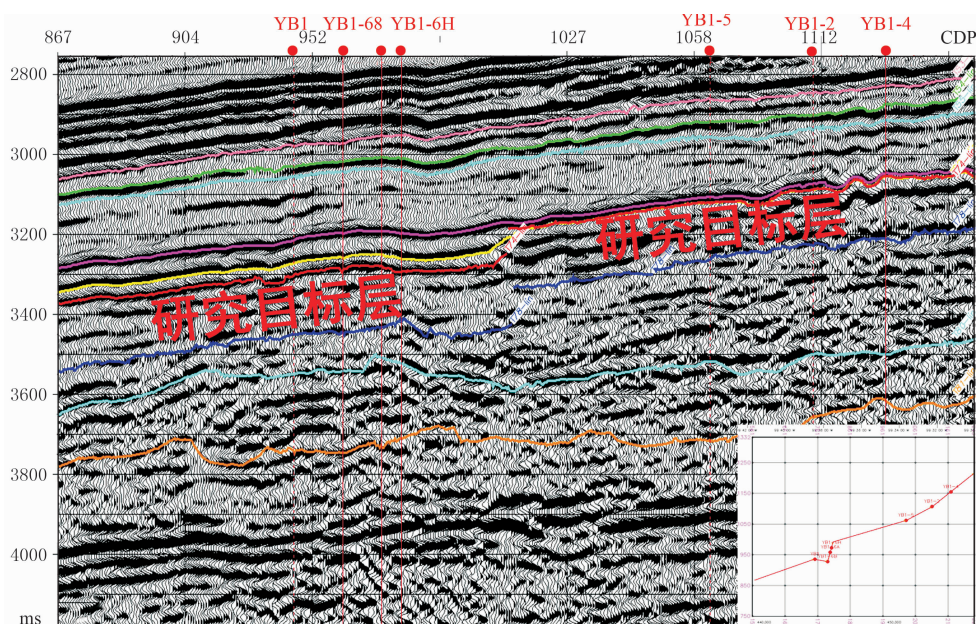


图 2 研究工区过井地震剖面图(右下角框内为剖面位置)

### 3.2 工区地震数据体结构预测模型的数值特征

为了准确地预测玉北 1 井区油田储层发育情况及含油气范围,采用地震数据体结构特征法对玉北 1 井区的地震数据进行处理。通过模型特征研究,更加准确地建立起研究区含油层地震数据体结构特征异常的量化识别标志。

表 1、表 2 分别为玉北 1 井区油田过不同井不同层段的地震数据体结构特征局部异常值(均过奥陶系鹰山组风化壳地层)。表中实测值为直接读取

的地震振幅的实际数值;模型值为通过灰色模型的建立,利用灰色指数函数累加形成的一个振幅数列后读取的值;还原值为通过模型值  $i+1-i$  后得出的数值。其中 YB1-2 井奥陶系鹰山组(主要目的层时间段为 3078~3220ms)的井旁地震道地震数据体结构特征异常数值分布范围为 9.632~18.269(无量纲)(表 1);YB1-8 井的井旁地震道的地震数据体结构特征异常数值分布范围为 2.05~5.77(无量纲)(表 2)。

表 1 玉北 1 井区过 YB1-YB2 井奥陶系鹰山组目的层段结构特征异常

采样序列( $i$ )	1	2	3	4	5
实测值/ms	3227.112	2886.520	3530.750	3243.070	2650.956
模型值/ms	6013.120	9044.290	12208.80	15225.000	17875.580
还原值/ms	3031.165	3164.550	3016.160	2650.600	2776.831
误差/ms	195.947	-278.030	514.596	592.477	-125.875
相对误差/(%)	6.072	9.632	14.575	18.269	4.748
采样序列( $i$ )	6	7	8	9	10
实测值/ms	2587.515	2460.633	2242.678	2939.832	
模型值/ms	20324.780	22694.170	25143.180	27824.650	
还原值/ms	2369.395	2449.005	2681.470	3058.202	
误差/ms	218.120	11.628	-238.792	-118.370	
相对误差/(%)	8.430	0.447	9.776	4.026	



表 2 玉北 1 井区过 YB1-8 井奥陶系鹰山组目的层段结构特征异常值表

采样序列( <i>i</i> )	1	2	3	4	5
实测值/ms	4048.72	4147.84	4604.80	5229.36	5880.88
模型值/ms	5486.22	9335.52	13584.42	18412.92	23899.86
还原值/ms	3849.30	4248.90	4828.50	5486.94	5560.02
误差/ms	199.42	101.06	223.70	257.58	320.86
相对误差/(%)	5.18	2.38	4.63	4.69	5.77
采样序列( <i>i</i> )	6	7	8	9	10
实测值/ms	5587.84	5295.52	4963.12	4687.12	
模型值/ms	29459.88	34837.38	40026.60	44874.72	
还原值/ms	5377.50	5189.22	4848.12	4848.12	
误差/ms	210.34	106.30	115.00	161.00	
相对误差/(%)	3.91	2.05	2.37	3.32	

从表 1、表 2 可以明显看出,在油层段上均有较高的地震数据体结构特征异常值段,无油气层则无地震数据体结构特征局部异常值段。无论是钻井已证实油层还是预测油层,均有明显的结构特征异常值段;而在无油层段上,则无明显地震数据体结构异常值段,如 YB1-8 井(表 2)(与实钻结果吻合,YB1-8 井含油性很差)。这些异常值段在地质上的含意

可能是个异常体,通过实钻井对比解释,异常体在地震剖面上普遍反映为一个较强的同相轴,有些反映在较弱相位上。

### 3.3 工区地震数据体结构属性的剖面特征

可能的有利含油区块和不利的含油区块在地震数据体结构预测模型的地震剖面上存在着很大差异(图 3)。图 3 上为采用地震数据体特征法处理前地震

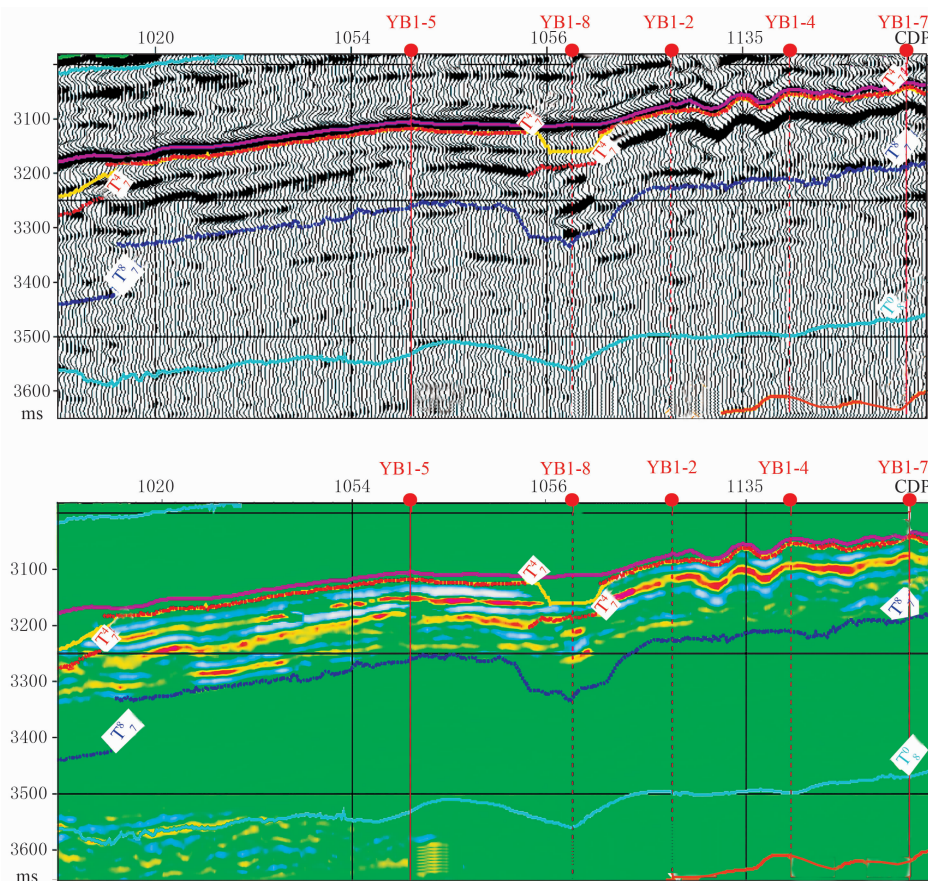


图 3 玉北 1 井区资料采用地震数据体特征法处理前(上)、后(下)地震剖面对比图(北东—南西向)



资料叠偏成果剖面,可以看出部分背斜特征和断层特征,但无法辨认出可能的有利含油区。图3下为处理后的地震数据体结构特征异常图,可以看出纵向小薄层分开,且易分辨,地震数据体结构属性特征主要呈北东—南西向条带状分布,与实际钻井结果的油层分布情况一致。

图4为过YB1、YB1-2、YB1-4、YB1-5井地震结构剖面图,从图中可以看出,前3口井从 $T_2^1$ 反射层起自上而下波形变化不大(红虚线圈定的范围内),从单道相邻数据点间斜率或夹角来看,无论斜率或夹角均较为规律、一致,其地震数据体结构属性特征

没有异常或者异常比较小。而YB1-5井地震道的波形特征变化大,斜率、夹角自上而下一致性差,其地震数据体结构属性特征有差异,而且也比较大。已测试情况表明,YB1、YB1-2、YB1-4井目的层的含油气性较YB1-5差(含油性从好到差:YB1-5、YB1-4、YB1、YB1-2),这点在斜率、夹角以及波形上得到反映(均属于地震数据体结构属性范围)。这就说明地层含油气影响了地震数据体结构属性的变化,含油气不好或者较差层段的地震数据体结构属性特征变化小。因此,在该地区已知井段处,好的含油层段对应的地震数据体结构属性具有以下特点:

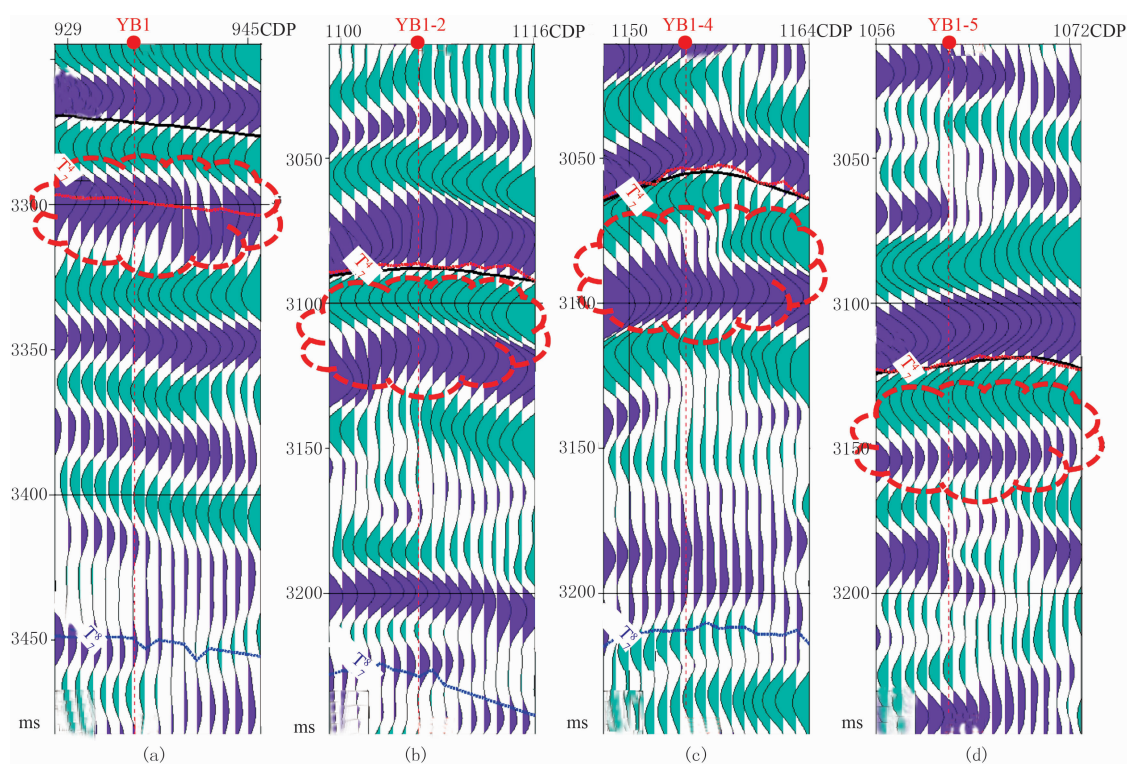


图4 玉北1井区过YB1井(a)、YB1-2井(b)、YB1-4井(c)、YB1-5(d)井地震结构模型剖面

图中红线为 $T_2^1$ 地震反射层

①地震道显示出明显灰色结构特征异常;②地震道波形为不归零的单峰或多峰;③地震反射波形从上至下斜率变化较大、振幅较强。结合图4模型,根据单道和多道数据点的斜率及夹角信息可以在一定程度上反映出含油气性特征。

### 3.4 工区地震数据体结构属性的平面特征

图5为玉北地区奥陶系鹰山组主要目的层风化壳 $T_2^1$ 以下0~70m地震数据体结构属性特征平面分布图。从图中可以看出,该层地震数据体结构属性特征明显,主要表现为分带性较强,在平面分布上

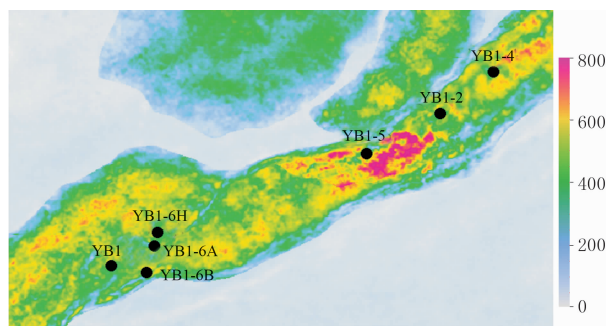


图5 玉北地区鹰山组( $T_2^1$ 以下0~70m)地震数据体结构属性特征平面分布图

可将其分为中带、北段斜坡和北部区三部分。中带包括三个结构属性特征系统单元,主要分布在南段、中段和北段、南段又可细分为两个特征单元,分别是 YB1 井和 YB1 井北侧;中段有一个特征单元,为 YB1-5 井;北段也可细分为两个特征单元,即 YB1-2 井和 YB1-4 井。其中中带的中段和北段斜坡特征最为明显,北段斜坡和北部区分别有一个结构属性特征系统单元,它们之间属性特征差异较大,且特征

也不明显。

图 6 为奥陶系鹰山组次要目的层  $T_7^1$  以下 70~180m 和蓬莱组  $T_8^0$  地震反射层以下的层段地震数据体结构属性特征系统单元平面分布图。从图中可以看出, $T_7^1$  以下 70~180m 地层的地震数据体结构属性特征比较明显,但分布范围较小; $T_8^0$  以下层段地层的地震数据体结构属性特征不明显(比较集中,只有一块),主要分布在研究区中部南段。

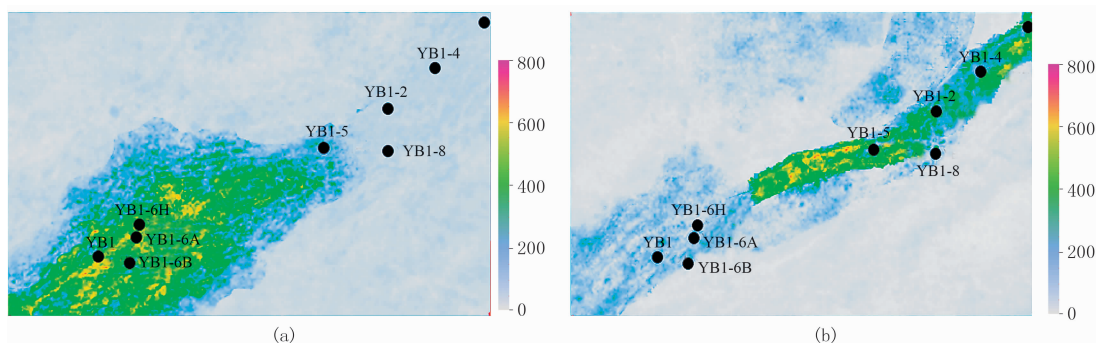


图 6 玉北地区鹰山组以下 70~180m 地层(a)和蓬莱组以下地层(b)地震数据体结构属性特征平面分布对比图

## 4 结束语

通过对玉北地区玉北 1 井区奥陶系鹰山组为主要研究目标层的地震数据体结构的特殊处理应用实例可知,该区具有地震数据体结构响应特征。尽管其储集空间类型多(裂缝型、裂缝—孔洞型和溶洞型),储层连通性较差,分割性强,但是利用目的层段地震数据体结构特征异常值,可对储层中的含油性进行识别,且效果较好。当储层含油时,该层段的地震数据体结构特征往往会出现较高异常值。与 YB1 和 YB1-2 等井资料对比得知,钻前预测与钻后效果吻合好,表明地震数据体结构特征法适用于碳酸盐岩储层的含油性预测。

### 参考文献

- [1] 何碧竹,周杰,汪功怀. 利用多元地震属性预测储层信息. 石油地球物理勘探, 2003, 38(3): 258-262.  
He Bizhu, Zhou Jie, Wang Gonghuai. Using multivariate seismic attributions to predict reservoir information. OGP, 2003, 38(3): 258-262.
- [2] 凌云研究组. 基本地震属性在沉积环境解释中的应用研究. 石油地球物理勘探, 2003, 38(6): 642-653.  
Ling Yun Research Group. Study on application of basic seismic attributes to interpretation of depositional environment. OGP, 2003, 38(6): 642-653.
- [3] 郝骞,张晶晶,李鑫等. 地震属性油气储层预测技术及

其应用. 湖北大学学报, 2010, 32(3): 339-343.

Hao Qian, Zhang Jingjing, Li Xin et al. Seismic attribute oil-gas reservoir prediction technology and its application. Journal of Hubei University(Natural Science), 2010, 32(3): 339-343.

- [4] 王开燕,徐清彦,张桂芳等. 地震属性分析技术综述. 地球物理学进展, 2013, 28(2): 815-820.  
Wang Kaiyan, Xu Qingyan, Zhang Guifang et al. Summary of seismic attribute analysis. Progress in Geophys., 2013, 28(2): 815-823.
- [5] 武丽,于文芹,杨立强等. 地震属性分析技术在波斯湾盆地中部 S 区块储层预测中的应用. 石油地球物理勘探, 2008, 43(5): 557-561.  
Wu Li, Yu Wenqin, Yang Liqiang et al. Application of seismic attributes analytic technique to reservoir prediction in Blocks of central part of Persian Gulf basin. OGP, 2008, 43(5): 557-561.
- [6] 侯伯刚,杨池银,武站国等. 地震属性及其在储层预测中的影响因素. 石油地球物理勘探, 2004, 39(5): 553-558, 574.  
Hou Bogang, Yang Chiyin, Wu Zhanguo et al. Seismic attributes and their affected factors in reservoir prediction. OGP, 2004, 39(5): 553-558, 574.
- [7] 王晓阳,桂志先,高刚等. K-L 变换地震属性优化及其在储层预测中的应用. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2008, 30(3): 96-98.  
Wang Xiaoyang, Gui Zhixian, Gao Gang et al. Seismic attribute optimization and its application in reservoir prediction by using K-L transform. Journal of Oil and Gas Technology (Journal of Jianghan Petroleum Institute), 2008, 30(3): 96-98.
- [8] 于建国,姜秀清. 地震属性优化在储层预测中的应用. 石油与天然气地质, 2003, 24(3): 291-295.

- Yu Jiangguo, Jiang Xiuqing. Application of seismic attribute optimization in reservoir prediction. *Oil & Gas Geology*, 2003, 24(3): 291-295.
- [9] 郭华军, 刘庆成. 地震属性技术的历史、现状及发展趋势. *物探与化探*, 2008, 32(1): 19-22.  
Guo Huajun, Liu Qingcheng. The discussion of earthquake attribute technology's history, present situation and development tendency. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 2008, 32(1): 19-22.
- [10] 吴雨花, 桂志先等. 地震属性分析技术在西南庄—柏各庄地区储层预测中的应用. *石油天然气学报(江汉石油学院学报)*, 2007, 29(3): 391-393.  
Wu Yuhua, Gui Zhixian et al. Application of seismic attribute analysis technique for reservoir prediction in Xinanzhuan-Beigezhuan area. *Journal of Oil and Gas Technology (Journal of Jianghan Petroleum Institute)*, 2007, 29(3): 391-393.
- [11] Wang Shangxu, Lin Changrong. The analysis of seismic data structure and oil and gas prediction. *Applied Geophysics*, 2004, 1(2): 75-82.
- [12] 林昌荣, 孙立春, 崇仁杰. 地震数据结构属性与油气预测. *中国海上油气(地质)*, 2000, 14(6): 417-421.  
Lin Changrong, Sun Lichun, Chong Renjie. Numerical structure of seismic data and hydrocarbon prediction. *China offshore Oil and Gas (Geology)*, 2000, 14(6): 417-421.
- [13] 林昌荣, 王尚旭, 马在田等. 地震数据体结构特征时空关系与油气预测. *石油勘探与开发*, 2009, 36(2): 208-215.  
Lin Changrong, Wang Shangxu, Ma Zaitian et al. Space-time relationship of seismic data structure and hydrocarbon prediction. *Petroleum Exploration and Development*, 2009, 36(2): 208-215.
- [14] 孟伟. 地震结构灰色关联在塔河油田4区奥陶系储层预测中的应用. *新疆地质*, 2004, 22(3): 300-303.  
Meng Wei. Study of the Ordovician reservoir and the response of structural feature of seismic data in block 4 of Tahe oil field. *Xinjiang Geology*, 2004, 22(3): 300-303.
- [15] 刘思峰, 徐忠详. 灰色系统研究新进展. 湖北武汉: 华中理工大学出版社, 1996.
- [16] 张军良. 利用灰色控制系统模型进行预测分析研究. *计算机与网络*, 文章编号: 1008-1739(2012)11-69-3.  
Zhang Junliang. Research on forecasting analysis by using grey control system model. *Computer & Network*. Doi: 1008-1739(2012) 11-69-3.
- [17] 李凯. 灰色预测模型及其应用[M]. 湖北武汉: 长江大学, 2013.

(本文编辑: 冯杏芝)

### 作者简介



林耀庭 博士研究生, 1986年生; 2012年毕业于长江大学地球探测与信息技术专业, 获得硕士学位; 现就读于长江大学地球物理与石油资源学院博士, 研究方向为地球探测与信息技术。

(上接第1164页)

- [5] Jonathan E D and Laurence R L. Three term AVO waveform inversion. *SEG Technical Program Expanded Abstracts*, 2004, 23: 215-218.
- [6] 陈建江, 孙赞东, 朱兴卉. 动校拉伸及调谐效应对AVO反演的影响. *石油物探*, 2009, 48(5): 499-504.  
Chen Jianjiang, Sun Zandong, Zhu Xinghui. Influence of NMO stretch and tuning effect on AVO parameters inversion. *GPP*, 2009, 48(5): 499-504.
- [7] Lin T, Phair R. AVO tuning. *SEG Technical Program Expanded Abstracts*, 1993, 12: 727-730.
- [8] Claerbout J F. *Earth Soundings Analysis; Processing Versus Inversion*. Cambridge, Massachusetts, USA; Blackwell Scientific Publications, 1992.
- [9] Xu Y, Chopra S. Improving AVO fidelity by NMO stretching and offset-dependent tuning corrections. *The Leading Edge*, 2007, 26(12): 1548-1551.
- [10] 陈小宏, 田立新, 黄饶. 地震分频 AVO 方法研究现状与展望. *海相油气地质*, 2009, 54(4): 60-66.  
Chen Xiaohong, Tian Lixin, Huang Rao. Research progressing on frequency dependent AVO analysis. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2009, 54(4): 60-66.
- [11] Zong Z, Yin X, Wu G. Robust AVO inversion for elastic modulus and its application in fluid factor calculation. *SEG Technical Program Expanded Abstracts*, 2011, 30: 406-411.

(本文编辑: 刘英)

### 作者简介



吴国忱 博士, 教授, 博士生导师, 1965年生; 1987年毕业于长春地质学院应用地球物理系石油物探专业, 获学士学位; 1995年获石油大学(华东)应用地球物理专业硕士学位; 2006年获同济大学海洋与地球科学学院固体地球物理学博士学位; 现在中国石油大学(华东)主要从事地球物理方面的教学与科研工作。在国内外刊物上发表论文30多篇, 多篇论文被SCI、EI、ISTP等检索, 并出版专著一部。