

天然气勘探

# 地震属性分析技术在断层地层圈闭识别中的应用 ——以车排子地区清水河组为例

周路<sup>1</sup>, 李新豫<sup>1,2</sup>, 吾许克<sup>3</sup>, 陆鹏<sup>4</sup>, 付立<sup>1</sup>, 李先艳<sup>1</sup>

(1. 西南石油大学, “油气藏地质及开发工程”国家重点实验室, 四川 成都 610500;

2. 中国石油勘探开发研究院廊坊分院, 河北 廊坊 065007;

3. 新疆油田公司勘探开发研究院, 新疆 克拉玛依 834000; 4. 川庆钻探工程公司测井公司, 重庆 400021)

**摘要:**白垩系清水河组在车排子凸起东斜坡区由沙湾凹陷向隆起高部位层层超覆尖灭, 北西—南东向断裂成排成带分布, 易形成断层与地层超覆型复合圈闭。地震相干分析技术对识别小断距断层有较大的帮助, 分频和振幅类地震属性的结合可有效识别薄砂层组超覆尖灭线, 沿层振幅类属性特征可识别研究区各期砂层发育期三角洲前缘沉积体的分布, 进一步预测砂体的发育区。构造解释与地震属性的结合可评价圈闭储层发育特征, 指出研究区第二期砂层组发育5个断层地层圈闭, 圈闭内砂体发育, 具有重要勘探价值, 其中A圈闭、C圈闭是下一步首选勘探目标。

**关键词:**准噶尔盆地; 车排子地区; 清水河组; 地震属性; 断层地层圈闭

**中图分类号:** TE132.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-1926(2011)05-0894-07

**引用格式:**周路, 李新豫, 吾许克, 等. 地震属性分析技术在断层地层圈闭识别中的应用——以车排子地区清水河组为例[J]. 天然气地球科学, 2011, 22(5): 894-900.

## 0 引言

车排子凸起位于准噶尔盆地西南部, 分别与沙湾凹陷和四颗树凹陷相邻(图1), 是中海西期以来形成的继承性古隆起, 经历了初始形成阶段(C<sub>3</sub>)、强烈隆升阶段(P—J)、缓慢沉降阶段(K—E)和伸展反转阶段(N—Q)4个演化阶段, 凸起主体部位白垩系清水河组整体上是一个东南倾、西北抬升的单斜构造<sup>[1-2]</sup>。由于冲断推覆作用, 车排子隆起长期处于隆升状态, 造成清水河组从沙湾凹陷向隆起高部位层层超覆尖灭, 并围绕车排子凸起形成多期清水河组砂层超覆尖灭线。受车排子深层由西向东的冲断隆升构造作用, 在车排子凸起东斜坡区发育一系列平行分布的东西向断裂, 这些东西向断裂与各期地层超覆尖灭线和构造线有效匹配可形成一系列断层

地层型复合圈闭, 该类圈闭处于沙湾凹陷烃源岩所生成油气向车排子凸起运移的有利路径方向<sup>[3]</sup>, 具备非常有利的成藏条件, 具有较高的勘探潜力。近期钻探SM1井在该类圈闭白垩系清水河组发现了多套油气层, 并获得了高产工业油气流, 该井钻探成功指明了该地区清水河组油气勘探方向。但是该地区清水河组砂层厚度较薄, 断裂断距较小, 这给利用地震资料识别断层地层圈闭带来了极大的困难。多种分析技术的综合应用是克服这一难题的有效方法, 其中地震属性分析技术在该地区断层地层圈闭的识别过程中发挥了比较重要的作用。

## 1 储层井震响应特征

### 1.1 井下岩性特征

车排子凸起东斜坡清水河组岩性特征主要为褐

收稿日期: 2010-06-29; 修回日期: 2011-04-17.

基金项目: 国家科技重大专项课题(编号: 2008ZX05001-006)资助.

作者简介: 周路(1962-), 男, 四川武胜人, 教授, 博士, 主要从事地震资料解释, 地震岩性与储层预测等方面的科研与教学.

E-mail: zhoulu9@126.com.

色泥岩、粉砂质泥岩夹薄一中厚层灰色粉砂岩、细砂岩,其中从下向上可划分出8期砂层组,第二期、第五期、第六期、第七期砂层组砂岩总厚度较厚,岩性较粗,以细砂岩为主,其他几套砂层组以薄砂岩、粉砂岩为主。SM1井钻穿了白垩系清水河组,厚度达489 m,钻遇了清水河组7套砂层组(图2),缺失清水河组底部第

一套砂层组。该井清水河组各期砂层均有油气显示,其中第五期、第六期、第七期砂层组测试获油气。

1.2 标定特征

利用合成地震记录对清水河组各砂层组进行地震地质层位标定,以建立各砂层组的井—震响应关系。图3为选取接近井旁地震资料频率为28Hz制作的SM1井白垩系清水河组合成地震记录标定图。图中清水河组各砂层组合成地震记录波形特征与井旁实际地震反射特征具有良好的对应关系,砂层与相邻泥岩相比都具有高波阻抗特征。因此,在正极性合成记录和井旁地震剖面上砂层组都具有波峰反射特征,且反射波振幅的强弱与砂岩的粗细和厚度有密切联系:砂层组厚度越大、岩性越粗,其对应反射波振幅就越强;砂层组厚度越小,岩性越细,其反射波振幅就越弱。其中第二期、第五期、第六期、第七期砂层组厚度较大,岩性较粗,分别对应强振幅反射波,特别是第二期砂层组岩性最粗,其反射波振幅最强。而第三期、第四期、第八期砂层组砂层厚度较薄,岩性较细,分别对应弱振幅反射。

2 断裂特征

由于车排子凸起东斜坡区清水河组断裂断距较小,地震剖面上断层位置处同相轴错断不明显,但通过仔细观察,这类断层断点位置处反射波波形特征和反射波属性特征有一定程度的变化,捕捉这些细微的变化可为这类断层的解释提供依据。地震相干技术是以相邻地震道相互之间的相干性出发,给出一定量描述,它能突出断层位置处地震波波形相似程度的变化情况。当地下存在断层时,相邻道之间的反射波在旅行时、振幅、频率和相位等方面将产生不同程度的变化,表现为相干程度低、相干值小的特征;而横向均匀或连续的地层,表现为相干值大<sup>[4-6]</sup>、反射波波形特征稳定分布的特征。通过对车排子凸起东斜坡区三维地震资料分别选取不同的参数进行沿层相干体提取实验,最终得出沿白垩系底上、下10 ms提取的沿层相干体属性效果较好,断层平面分布特征较清楚(图4)。从沿层相干切片上可以看出白垩系底部断裂发育,主要断裂沿北西—南东方向延伸(图4)。将常规地震剖面上解释的断裂投影到相干体属性平面图上,发现断距较大的断裂与相干体断裂特征相复合(图4),而小断距断裂常规地震剖面常常难以解释,但断裂位置处相干体属性还具有一定程度的异常特征。

在常规地震剖面L1上A1号、A3号、C1号、D1

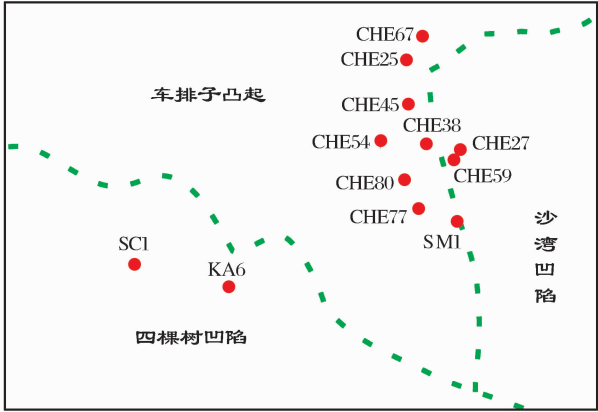


图1 车排子凸起位置

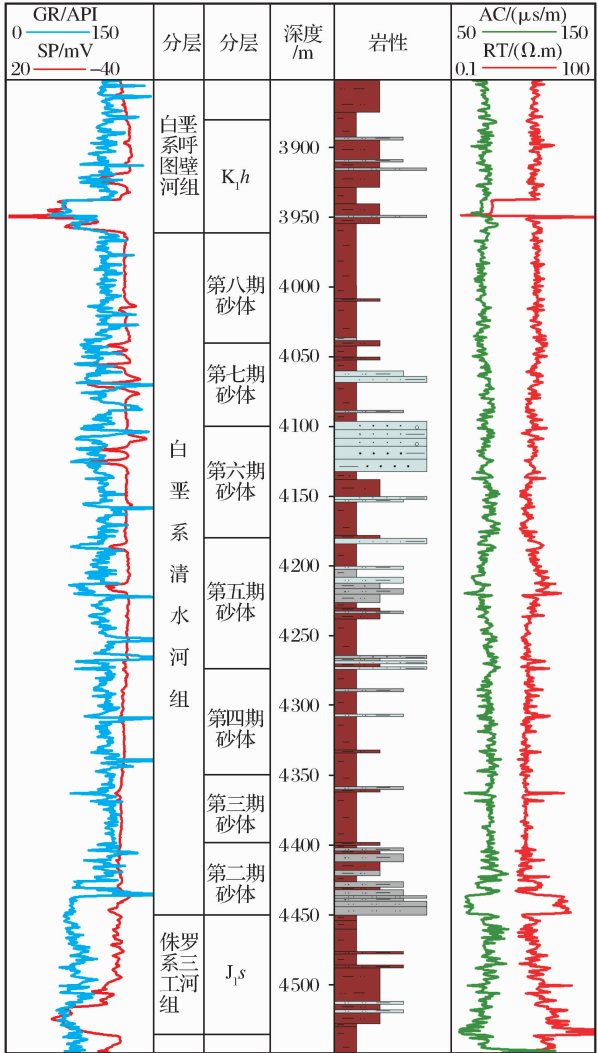


图2 SM1井白垩系清水河组岩性柱状特征





定程度相干系数异常特征,并在平面上有一定距离的延伸范围(图 4b),根据此特征,可识别此类断距较小的断裂并确定其延伸方向和延伸长度,并帮助

在常规地震剖面中解释出该类小断层<sup>[7-8]</sup>。根据沿层相干属性特征并结合实际地震资料指明了车排子东斜坡区白垩系底部断裂分布特征(图 4)。

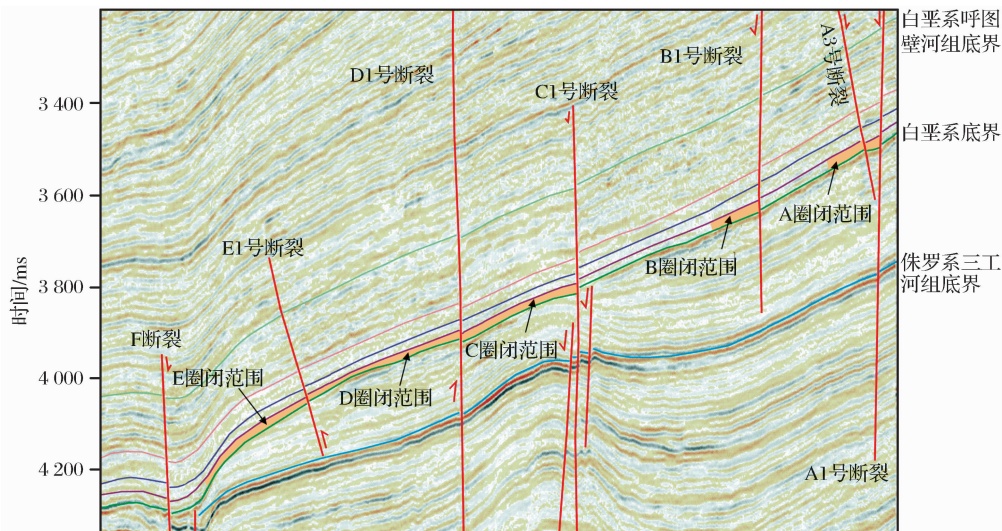


图 5 L1 线地震解释剖面

### 3 地层尖灭线分布特征

地震属性是指叠前或叠后地震数据经过数学变换导出的有关地震波的几何形态、运动学、动力学和统计学特征<sup>[9-11]</sup>。目前,从地震数据体中提取的地震属性有近百种,国内外学者有着不同的分类,但是综合地震属性的数学、物理及地质意义,可以将其分为 2 类:第一类是基本属性,包括反射时间、振幅频率及相位;第二类是延伸属性,如对多种属性进行处理(叠合、求差、相关等)得到的复合属性以及根据单一地震属性再提取出的新的级联属性<sup>[12-15]</sup>。

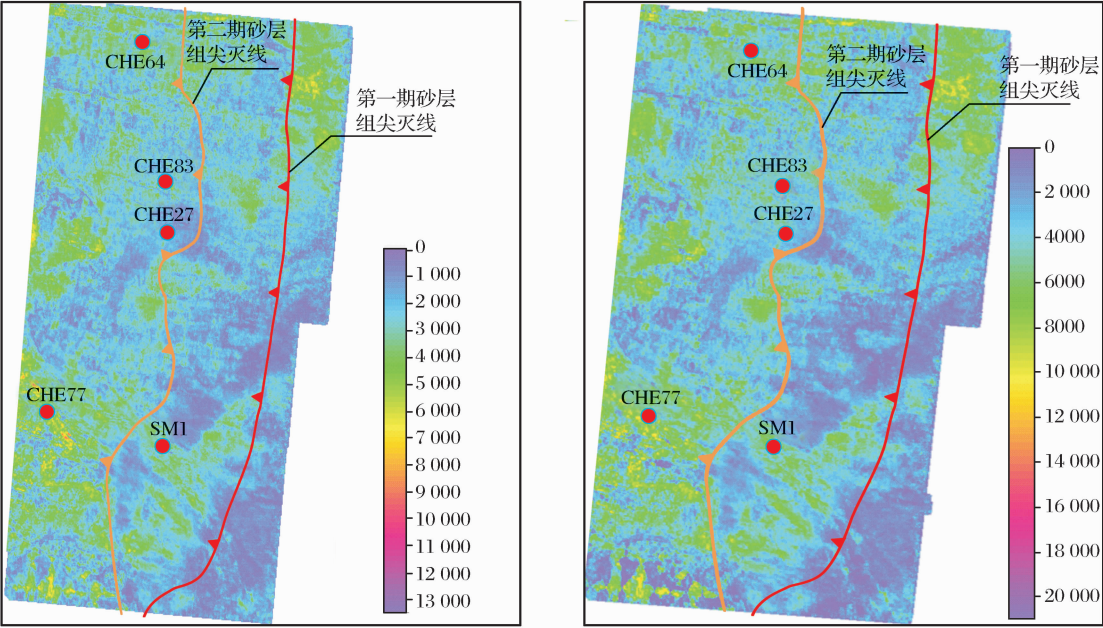
在这些地震属性中振幅属性和分频属性可以有效地识别地层尖灭线。分频属性原理是沿着目的储层或固定时窗对地震反射成分中各种频率成分对应的调谐能量进行识别成像,并以此来识别不同厚度砂体的空间展布形态、相对沉积厚度及薄互层叠置关系<sup>[13]</sup>。均方根振幅和最大波峰振幅属性分别是通过计算给定时窗内各采样点的振幅均方根值和振幅波峰最大值,这 2 种振幅属性都可以较好的突出具有强振幅反射的地层特征,而从 SM1 井合成记录看出,不同厚度砂层组在地震剖面上都具有振幅强弱不同的反射波,因此,分频属性与振幅属性特征相结合可以帮助识别地层尖灭线的位置。

沿层不同时窗提取地震属性效果分析表明,车排子凸起东斜坡沿白垩系底界面以上 10 ms 提取均方根振幅属性、最大波峰振幅属性和分频属性具有较明

显的规律性,2 种振幅属性总体上反映了振幅由东向西振幅逐渐增强特征(图 6),但振幅属性上对砂层尖灭线的位置不是十分敏感,而分频属性上第一期砂层尖灭线位置在高频属性平面图上具有明显特征(图 7)。沿白垩系底界面以上 10 ms 做分频处理,将原始的地震数据体由时间域转到频率域,并在纵向上生成 10,20,……,120 等一系列的离散频率的振幅体。通过浏览各个频率的振幅特性,发现 70 Hz 分频属性图中第一期砂层组尖灭线形态最为清楚,该砂层组尖灭线两侧频率振幅属性强弱特征明显不同,而在 30 Hz 分频属性图中该期砂层组尖灭线位置特征不明显(图 7)。通过 L2 线地震解释剖面图(图 8)可以看出,白垩系清水河组从东南方向向西北方向逐层超覆,该剖面自下而上依次分布有第一期、第二期、第三期、第四期砂层组尖灭点,并且该条剖面中的尖灭点位置和分频属性平面图中预测的地层尖灭点位置完全对应。过 SM1 井 L3 线(图 9)地震解释剖面中也可见清水河组 4 期砂层组逐层超覆特征。

综上所述,地震属性可以指导尖灭线的识别,究其原因这是由于地层尖灭层位与上覆地层岩性存在不同程度的差异,在常规地震剖面中地层尖灭层位与上覆地层表现为振幅强弱不同。而振幅类属性对给定时窗内振幅变化更加敏感,可以更加准确地展示出振幅的平面变化特征,在有尖灭线存在的平面范围内,表现出振幅属性强弱逐渐变化特征。而分频属性中的高频振幅体可以对薄层岩性进行有效的识别。

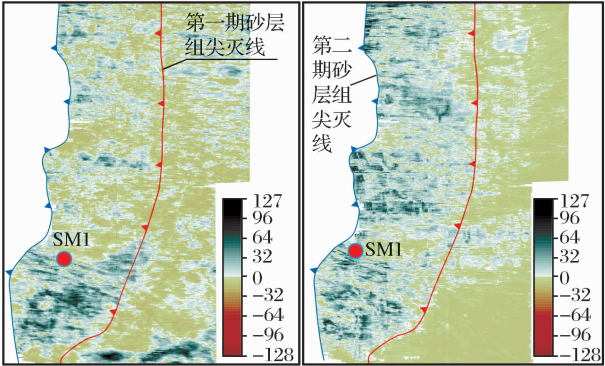




(a) 均方根振幅属性

(b) 最大波峰振幅属性

图6 车排子凸起西斜坡区清水河组底部地震属性平面



(a) 30Hz

(b) 70Hz

图7 车排子凸起东斜坡区清水河组底部分频属性特征

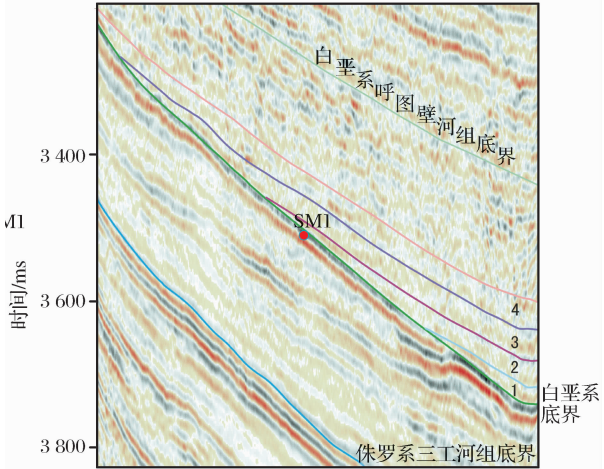


图8 L2线地震解释剖面

1为第一期砂层组;2为第二期砂层组;3为第三期砂层组;  
4为第四期砂层组

4 三角洲前缘沉积体分布特征

井下清水河组岩性特征表明,车排子凸起东斜坡区清水河组各砂层组厚度较薄,横向连续性较差,油气富集与砂层发育有密切联系,因此,砂体发育区预测具有重要意义。但是由于地震分辨率限制,常规地震资料对薄砂层横向分布预测较困难。前人<sup>[16]</sup>研究成果表明车排子地区清水河组主要发育辫状河三角洲和湖泊2种沉积体系,砂体主要发育在辫状河三角洲前缘相带。如果通过地震属性分析能识别出辫状河三角洲前缘相带的分布就可间接预测砂体的发育区。

在车排子凸起东斜坡区以沿白垩系底界面和白垩系清水河组第二期砂层组顶界面为时窗界限提取地震属性(图10),根据图中振幅属性平面强弱变化特征,可以划分出a、b、c、d、e共5个强振幅发育区(图10),

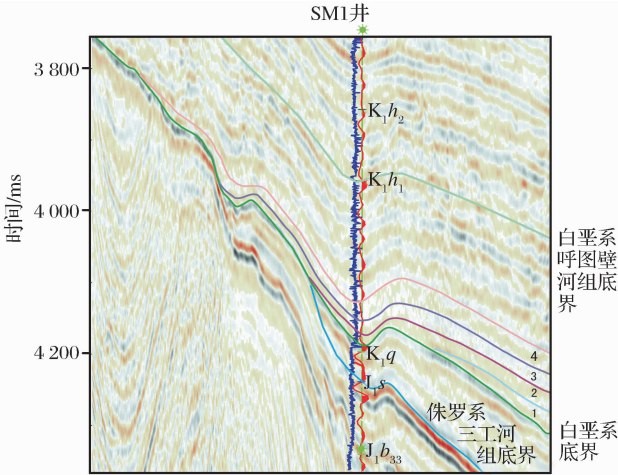


图9 过SM1井L3线地震解释剖面(图注同图8)

结合井下砂体沉积相特征,表明这 5 个强振幅发育区分别代表了 5 个砂体较发育的小型三角洲前缘沉积体,它们在车排子凸起东斜坡沿该期地层尖灭线附近呈串珠状分布,并控制了该期砂体的分布范围。图 10 中东北角强振幅异常分布区是第一期砂层发育区三角洲前缘沉积体发育所在位置。

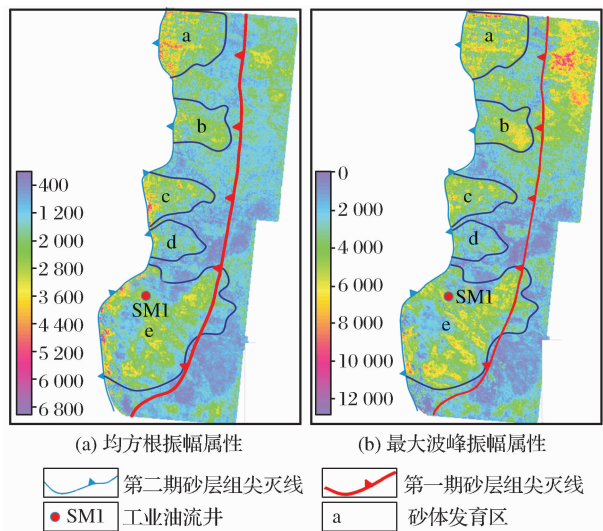


图 10 地震属性平面分布特征

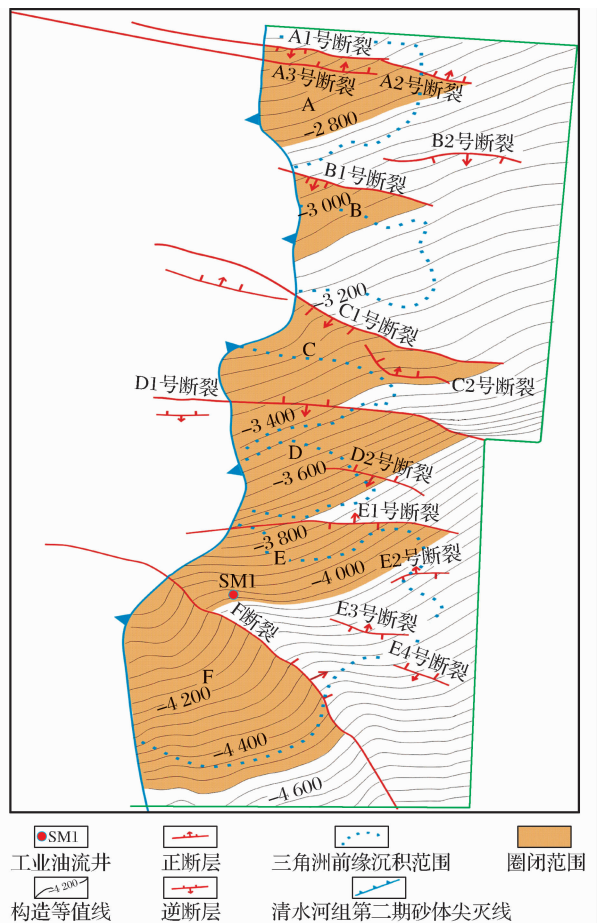


图 11 清水河组第二期砂层顶面构造特征

5 断层地层圈闭识别

从白垩系清水河组第二期砂层组顶面构造图可以看出(图 11),该地区地层总体由南向北抬升,断裂延伸方向为北西—南东方向,由于砂层厚度较薄,小断距断层也可以错断砂层,使断层具有封闭性。因此,多组相互平行的北西—南东向断裂与构造线有机组合构成圈闭北部断层遮挡条件。该区西侧分布的清水河组第二期砂层组近南北向地层超覆尖灭线构成了圈闭西部地层岩性遮挡条件,其尖灭线位置处砂体由东向西尖灭,砂体顶板、底板层均为泥岩遮挡层,从而在该地区沿地层尖灭线形成一系列断层地层圈闭。通过图 10 和图 11 对比发现 A、B、C、D 圈闭分别位于清水河组二期砂层发育期 a、b、c、d 小型三角洲前缘沉积体内,E、F 圈闭位于 e 三角洲前缘沉积体内,通过 E 圈闭范围内 SM1 井的实际钻探证实该圈闭第二砂层组砂体发育(图 2),且具有良好的油气显示。图 11 中来自地震属性的三角洲前缘沉积体范围与圈闭叠合特征表明,A、B、C、D、F 圈闭范围内地震振幅特征和三角洲前缘沉积体发育程度与 SM1 井处十分相似,特别是 A、C 圈闭内地震振幅较强,三角洲前缘砂体发育。因此,A、B、C、D、F 断层地层圈闭是十分有利的油气勘探区,A、C 圈闭是首选勘探目标。

6 结论

- (1)车排子地区白垩系清水河组断层断距较小,地震相干属性可指导小断层的解释和断裂平面组合。
- (2)车排子地区白垩系清水河组各期砂层厚度较薄,横向连续性较差,分频属性特征可指导地层尖灭线的识别,沿层振幅类属性特征可识别各期砂层发育期三角洲前缘沉积体的分布,进一步预测砂体的发育区。
- (3)构造解释与地震属性分析表明,车排子凸起东斜坡区清水河组发育断层地层圈闭,其中第二期砂层组发育 5 个断层地层圈闭,该圈闭分布区与第二期砂层组三角洲前缘沉积体重叠良好,该类圈闭发育区是车排子凸起东斜坡区清水河组油气勘探十分重要地区,其中 A、C 圈闭是下一步首选勘探目标。

参考文献(References):

[1] Zhou Lu,Zheng Jinyun,Lei Dewen,et al. Recovery of eroded thickness of the Jurassic of Chemo palaeoup lift in Junggar basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2007, 9 (3): 243-251. [周路,郑金云,雷德文,等.准噶尔盆地车莫古隆起侏罗系剥蚀厚度恢复[J].古地学报,2007,9(3):243-251.]

[2] He Dengfa,Chen Xinfu,Kuang Jun,et al. Development and genetic mechanism of Chepaizi-Mosuowan uplift in Junggar



- basin[J]. *Earth Science Frontiers*, 2008, 15(4): 42-55. [何登发, 陈新发, 况军, 等. 准噶尔盆地车排子—莫索湾古隆起的形成演化与成因机制[J]. *地学前缘*, 2008, 15(4): 42-55.]
- [4] Song Chuanchun, He Lunjun, Ma Liqun, *et al.* Characteristic of hydrocarbon accumulation of Chepaizi swell in Junggar basin[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2007, 28(2): 136-138. [宋传春, 贺伦俊, 马立群, 等. 准噶尔盆地车排子凸起成藏特征[J]. *新疆石油地质*, 2007, 28(2): 136-138.]
- [5] Yang Qinyong, Xu Liping. New advances on seismic exploration technology [J]. *Progress in Exploration Geophysics*, 2002, 25(1): 5-10. [杨勤勇, 徐丽萍. 地震勘探技术新进展[J]. *勘探地球物理进展*, 2002, 25(1): 5-10.]
- [6] Yin Xingyao, Han Wengong, Li Zhenchun, *et al.* New Advances on Seismic Technology[M]. Beijing: Petroleum University Press, 2003: 58-60. [印兴耀, 韩文功, 李振春, 等. 地震技术新进展[M]. 北京: 石油大学出版社, 2003: 58-60.]
- [7] Wu Yongping, Wang Chao. Application of 3D coherence cube technique in 3D seismic fine structural interpretation [J]. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 2008, 15(2): 27-29. [吴永平, 王超. 三维相干体技术在三维精细构造解释中的应用[J]. *断块油气田*, 2008, 15(2): 27-29.]
- [8] Wang Zhenqing, Wang Hongbin, Gong Hongling. Improvement of the coherency technique and its application in carbonate fracture reservoirs[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2009, 20(6): 977-981. [王振卿, 王宏斌, 龚洪林. 地震相干技术的发展及在碳酸盐岩裂缝型储层预测中的应用[J]. *天然气地球科学*, 2009, 20(6): 977-981.]
- [9] Yang Guoquan, Gao Rongtao, Lei Ling, *et al.* Fine interpretation and description of river facies reservoir[J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2005, 40(3): 314-317. [杨国权, 高荣涛, 雷凌, 等. 河流相储集体的精细解释与描述[J]. *石油地球物理勘探*, 2005, 40(3): 314-317.]
- [10] Zhang Yanling, Yang Changchun, Jia Shuguang. The application of the seismic attributes[J]. *Progress in Geophysics*, 2005, 20(4): 1129-1133. [张延玲, 杨长春, 贾曙光. 地震属性技术的研究和应用[J]. *地球物理学进展*, 2005, 20(4): 1129-1133.]
- [11] Liu Weifang, Yu Xinghe, He Qiongying. Application of seismic attributes in SU gas field development [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2006, 17(6): 862-867. [刘伟方, 于兴河, 何琼英. 地震属性在 SU 气田开发中的应用[J]. *天然气地球科学*, 2006, 17(6): 862-867.]
- [12] Chen Q, Sidney S. Seismic attribute technology for reservoir forecasting and monitoring [J]. *The Leading Edge*, 1997, 16(5): 445-456.
- [13] Brown A R. Seismic attributes and their classification [J]. *The Leading Edge*, 1996, 15(10): 1090.
- [14] Chen Jianguang, Tang Zhihong, Liu Huaishan, *et al.* Application of coherence technique in seismic structural interpretation [J]. *Southern China Oil & Gas*, 2005, 18(4): 37-39. [陈剑光, 唐之宏, 刘怀山, 等. 相干技术在地震构造解释中的应用[J]. *南方油气*, 2005, 18(4): 37-39.]
- [15] Han Fumin, Liu Zhongliang, Wang Daoyi, *et al.* Application and research of coherent volume interpretation technique in complex fault block area [J]. *Journal of Jiangnan Petroleum Institute*, 2003, 25(2): 54-55. [韩福民, 刘忠亮, 王道义, 等. 复杂断块地区相干体解释技术的应用研究[J]. *江汉石油学院报*, 2003, 25(2): 54-55.]
- [16] Hong Taiyuan, Wang Lichi. Study on the stratigraphic and depositional features in Chepaizi uplift of western Junggar basin [J]. *West China Petroleum Geosciences*, 2006, 2(2): 164-174. [洪太元, 王离迟. 准噶尔盆地西缘车排子地区地层沉积特征[J]. *中国西部油气地质*, 2006, 2(2): 164-174.]

## Application of Seismic Attributes Analysis in Identification of Fault-stratigraphic Trap: A Case of Qingshuihe Formation in Chepaizi Region

ZHOU Lu<sup>1</sup>, LI Xin-yu<sup>1,2</sup>, WU Xu-ke<sup>3</sup>, LU Peng<sup>4</sup>, FU Li<sup>1</sup>, LI Xian-yan<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Oil & Gas Reservoir Geology and Exploitation, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China; 2. Langfang Branch of Research Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina, Langfang 065007, China; 3. Research Institute of Exploration and Development, Xinjiang Oilfield Branch, Karamay 834000, China; 4. Logging Company, Chuanqing Drilling Engineering Co. Ltd., CNPC, Chongqing 400021, China)

**Abstract:** The Cretaceous Qingshuihe Formation in the eastern slope of Chepaizi area overlap from Shawan sag to high position of the uplift, and the distribution of the northwest-southeast striking faults as a row and belt shape are profitable to the fault-stratigraphic composite trap in this area. The seismic coherence technology is a tool to identify the small faults. The combination of frequency and amplitude attributes has ability to effectively identify the thin sand pinch-out line, the delta front sand body distribution at different stages of sand formation can be identified by the amplitude characteristics of along layer attribute to predict the detailed development of sand area. The combination of structure interpretation and seismic attributes can evaluate the development of the trap reservoir. By the means of seismic attributes analysis above, we point out that five fault-stratigraphic traps existed at the second stage of sand formation, sand body as an important exploration aim is developed within each traps, and the A and C traps are the preferred target for the future exploration.

**Key words:** Junggar basin; Chepaizi area; Qingshuihe Formation; Seismic attribute; Fault-stratigraphic trap.