

· 综合研究 ·

# 塔北隆起牙哈地区第三系储层特征

时晓章\*<sup>①</sup> 金振奎<sup>①</sup> 朱斗银<sup>②</sup> 徐颖晶<sup>③</sup> 杨雨<sup>②</sup>

(<sup>①</sup>中国石油大学资源与信息学院,北京 102249; <sup>②</sup>东方地球物理公司研究院,河北涿州 072751; <sup>③</sup>中海石油深圳分公司研究院,广东广州 510240)

时晓章,金振奎,朱斗银,徐颖晶,杨雨. 塔北隆起牙哈地区第三系储层特征. 石油地球物理勘探, 2009, 44(增刊1): 138~144

**摘要** 用地震振幅属性分析、频谱分解和三维可视化等技术手段,对牙哈地区康村组和库车组河道砂体的展布进行刻画,用波阻抗反演技术对第三系砂体进行储层预测。结合油气成藏条件分析认为:下第三系油气成藏条件最有利,建议加深 YH 16 井探测岩性体的含油气性;吉迪克组上砂岩段和下第三系内幕砂岩段是现实的勘探目标;康村组和库车组底部的河道砂体是良好的前景勘探目标。

**关键词** 牙哈地区 第三系 辫状河三角洲 曲河流 砂体展布 储层

## 1 地质背景

在大地构造位置上,牙哈工区位于塔北隆起轮台凸起中段北侧,北邻库车拗陷,西邻英买力低凸

起,南为哈拉哈塘凹陷。到目前为止,牙哈大部分地区已有三维地震资料覆盖,新三维工区西起 QM1 井,东至 YH 302 井以东,南至 DH24 井,整个工区东西长约 58km,南北宽约 19km,有资料面积 1106.28km<sup>2</sup>(图 1)。

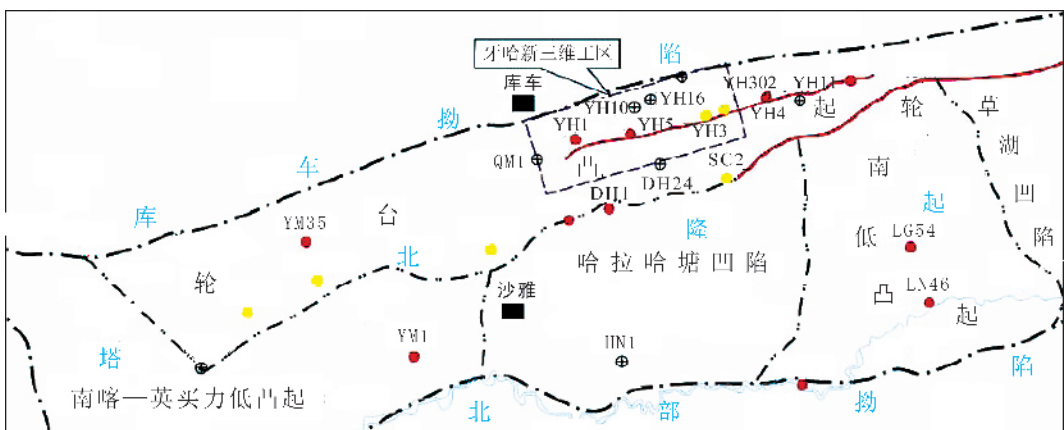


图 1 牙哈工区位置图

牙哈地区现有各类钻井 49 口,其中有 8 口探井和 10 口评价井获工业油气流,探明天然气 402.08×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>,油 3851.6×10<sup>4</sup>t。另外, YH7 井、YH7X-1 井、YH 701 井、YH2 井和 YH302 井在下第三系内幕砂岩中见油气显示; YH5 井、YH2 井、YH3 井、YH302 井、YH303 井、YH7 井、YH 7X-1 井和 YH 701 井在吉迪克组上砂岩段见油气显示(图 2)。

2000 年,在 YH301 区块康村—库车组提交原油控制储量 151×10<sup>4</sup>t。以上数据充分说明牙哈地区第三系有着巨大的勘探潜力。鉴于牙哈地区大部分井缺少康村组及其上部地层的录井资料,本文充分利用仅有的录井资料,以地震振幅属性分析、频谱分解和可视化等为主要手段对第三系河道砂体进行刻画,并结合区域地质条件对砂体进行储层预测。

\*北京市昌平区中国石油大学资源与信息学院,102249

本文于 2009 年 3 月 4 日收到,修改稿于 2009 年 5 月 6 日收到。



## 2 关键技术的应用

牙哈地区第三系主要为三角洲相和河流相沉积,根据塔北地区的勘探经验,主要采用了如下关键技术。

### 2.1 地震地质层位及储层精细标定

层位标定是地震属性分析的基础,通过提取井旁地震道目的层段地震子波,制作高精度合成记录用于标定。在此基础上对标定好的剖面进行精细解释,为储层预测和属性分析奠定基础<sup>[1]</sup>。本次研究对  $T_{2-2'}$ 、 $T_{2-3}$ 、 $T_3$ 、 $T_3'$ 、 $T_4$ 、 $T_5$ 、 $T_5'$ 、 $T_6$  和  $T_8$  等 9 个反射层进行了标定,以确保储层标定的准确性。

### 2.2 地震属性分析

地震属性包括振幅类、相位类、频率类和相关类等十余种<sup>[2]</sup>。其中振幅类属性在塔里木盆地轮南、英买力和东河塘等地区的应用效果最好。振幅属性能反映目的层地层厚度、岩石成分、孔隙度及含流体成分的变化,可用于识别振幅异常或用于层序特征分析;也可用来追踪地层学特征,如三角洲、河道、各种扇体或特殊岩性体;还可用于识别岩性变化、不整合、气体以及流体的聚集等<sup>[2~6]</sup>。

### 2.3 频谱分解分析

首先将时间域地震数据通过傅里叶变换转换为频率域地震数据,然后进行分频显示;再根据薄层调谐原理,在  $1/4$  地震波长处振幅谱会出现最大值,显示为强振幅谱值。由于不同频率的地震信号对不同厚度地质体的敏感度不同,振幅谱主要用于刻画地质体储层厚度变化,而相位谱则用于描述特定几何形态的地质体(如河道和扇体)横向上的不连续性。结合沉积环境分析,可以进行沉积相解释,进而预测砂体的分布。频谱分解方法能细致地刻画砂体的平面分布形态,半定量和定量地预测砂岩的厚度变化,在薄互层储层预测方面较振幅属性有更大的优势<sup>[2~6]</sup>。

### 2.4 波阻抗反演

影响波阻抗的主要因素有岩石的成岩作用、碎屑成分和孔隙度。该技术利用地震、测井信息把振幅剖面反演为岩性剖面,能够提高剖面的视分辨率,识别地层尖灭等各种地质现象<sup>[6]</sup>。一般来说,对于砂泥岩互层的陆相地层,波阻抗由小到大的顺序为:砂岩→泥质砂岩→泥岩→砂质泥岩。

## 3 下第三系储层特征

下第三系厚 111.5~182.5m,具有西北厚、东南薄的特点。区域上分为上下两段:膏泥岩段和底砂岩段。

底砂岩段厚 25~59m,主要为一套灰、灰褐色、棕色细砂岩、中砂岩、砾岩和含砾不等粒砂岩夹膏岩沉积。砂岩成分以石英为主,长石次之,分选中等,次棱角一次圆状,层理不太发育,只是在工区西部 YH 1 井发育水平层理和交错层理,工区东部 YH 3 井偶见波状层理和黄铁矿,为一套辫状河三角洲沉积<sup>[7]</sup>(图 2)。这套砂岩横向上分布广泛,厚度较稳定,物性较好,孔隙度一般在 13%~17%,平均为 15.4%,最高可达 29%,渗透率一般在 300mD 左右,平均为 228.6mD,最高达 3390mD,属于中孔、高渗储层,储层均质程度好,连通性好<sup>[8]</sup>。

牙哈地区气藏为典型的凝析气藏<sup>[8]</sup>,在油气藏区地震反射表现为中—低频、高连续、强振幅反射特征(图 3a、图 3b),这种强振幅反射在平面上除了分布在 YH7X-1 井区和 YH2-31 井区外,在 YH16 井区也广泛分布,异常反射分布面积为 44km<sup>2</sup>。钻井证实,YH7X-1 井钻遇的是一套分布稳定、物性较好的河道砂。通过波阻抗反演和振幅谱分解分析认为,YH16 井强振幅异常区与 YH7X-1 井具有相同的波阻抗特征,是一套储集物性较好的砂体响应(图 3c、图 3d)。

膏泥岩段厚 109~149.5m,其上部主要为一套中厚—厚层棕红色、棕色泥岩、膏泥岩夹泥质粉砂岩;下部为中厚层褐色、棕褐色泥岩与膏泥岩互层;中间夹一层 5~20m 厚灰色粉砂岩、泥质粉砂岩,这套砂岩又称为下第三系内幕砂岩,砂岩横向分布不稳定,多夹于泥岩或膏泥岩中(图 2)。砂岩的孔隙度相对较低,一般为 8%~10%,最大可达 17%,渗透率较低,一般在 5mD 左右。这种砂岩在一定条件下易形成上倾尖灭岩性圈闭,如 YH2 井和 YH302 井。

## 4 上第三系吉迪克组储层特征

上第三系吉迪克组厚为 693~866m,自上而下分为蓝灰色泥岩段、褐色泥岩段和底砂岩段。

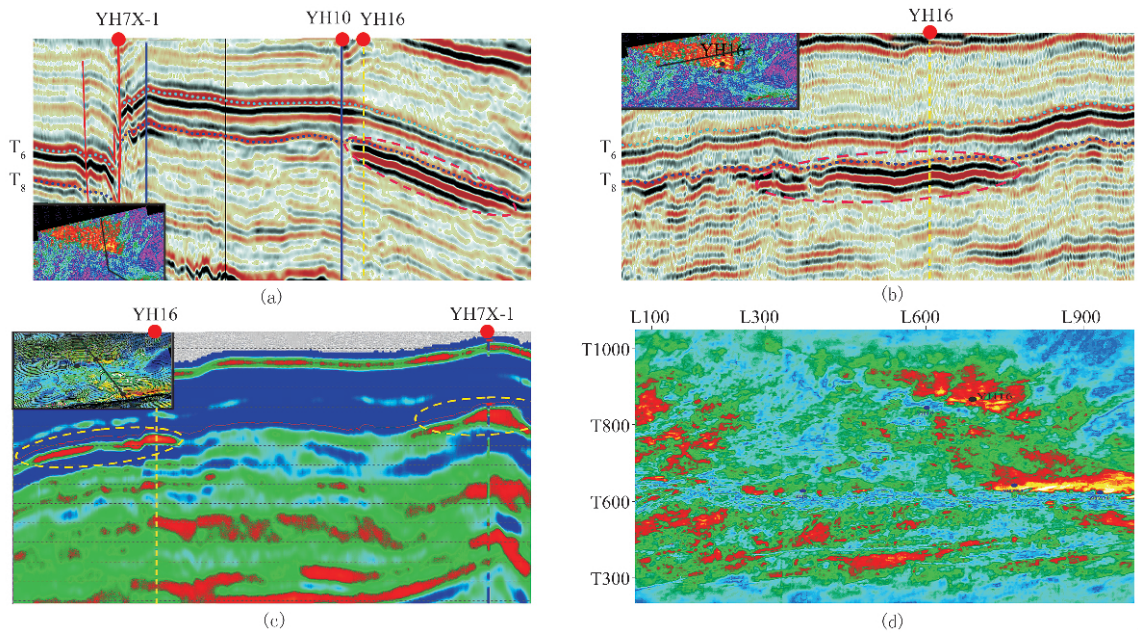


图 3 YH16 井区异常岩性体在地球物理上的响应特征

(a) 下第三系岩性体在地震剖面上的响应特征(南北向); (b) 下第三系岩性体在地震剖面上的响应特征(东西向); (c)  $T_8$  反射层顶面波阻抗反演信息剖面图; (d)  $T_8$  反射层频谱信息平面图(沿层向下时窗 30ms)

底砂岩段厚为 29.5~44.5m,上部为 10m 左右的浅灰色粉砂岩(上砂岩段);中部为 10m 左右的棕褐色泥岩和粉砂质泥岩;下部为 20m 左右的灰色粉砂岩和粉细砂岩(下砂岩段);三个岩性段厚度比约为 1:1:2。砂岩中水平层理、斜层理和波状层理极为发育,偶见黄铁矿和泥裂,为一套河流相沉积<sup>[7]</sup>。其中下砂岩段的储集物性好于上砂岩段,下砂岩段砂岩平均孔隙度为 16.2%,最大为 28.3%,平均渗透率为 69.2mD,最大达 1054mD(YH303 井),属于中—低孔、中渗储层,储层均质程度好,连通性好;上砂岩段砂岩平均孔隙度为 15.1%左右,最大为 21.22%,平均渗透率为 51.1mD,属于低孔、中渗储层,储层均质程度好,连通性好<sup>[8]</sup>。

吉迪克组上部泥岩厚 657.5~888m,其下部为巨厚—厚层褐色泥岩夹薄层灰色、灰白色泥质粉砂岩,底部含石膏;上部为巨厚—厚层深灰色、棕褐色泥岩、粉砂质泥岩夹蓝灰色泥岩、灰色、浅灰色薄层粉砂岩、泥质粉砂岩。YH 7 井以东、以北的广大地区砂岩中发育水平层理、斜层理和波状层理,偶见黄铁矿和植物根痕,YH 7 井以西的地区层理不太发育,为一套河流—滨、浅湖相沉积<sup>[7]</sup>。

YH 302 井和 YH 303 井吉迪克组上砂岩段见到较好的油气显示。

## 5 上第三系康村组和库车组储层特征

上第三系康村组厚为 600~1100m,主要为一套灰色、黄色、棕褐色、褐色、浅灰色、褐灰色砂岩、粉砂岩与泥岩,见少量灰质粉砂岩和石膏;砂岩中水平层理和波状层理较发育,为一套河流相沉积<sup>[7]</sup>;砂岩物性较好,平均孔隙度为 13%,最高可达 24%,渗透率一般在 30mD 左右,最高达 79mD,是一套较好的储集层。库车组厚为 2272~2948m,主要为一套浅灰、灰色粉—细粒砂岩与浅黄色泥岩、粉砂质泥岩,局部含石膏,为一套河流相和冲积平原相沉积<sup>[7]</sup>;砂岩横向上分布不稳定,物性较差,孔隙度一般在 10%左右,最高可达 23%,渗透率一般在 2mD 左右,最高达 104mD,为一套低孔、低渗型储层。

河道砂在测井曲线上具有低自然伽马、低自然电位和低电阻率的特征(图 4a);河道砂体在过横切河道的地震剖面上为短轴强反射或透镜状反射,而泥岩则为低连续弱反射(图 4b);在过顺切河道的地震剖面上为高连续强振幅反射,这反映了主河道砂体是连续分布的(图 4c)。YH14 井钻遇的河道砂最具有代表性,岩性和电性上均具有曲流河沉积的“二元结构”特征,测井解释该套砂岩平均孔隙度

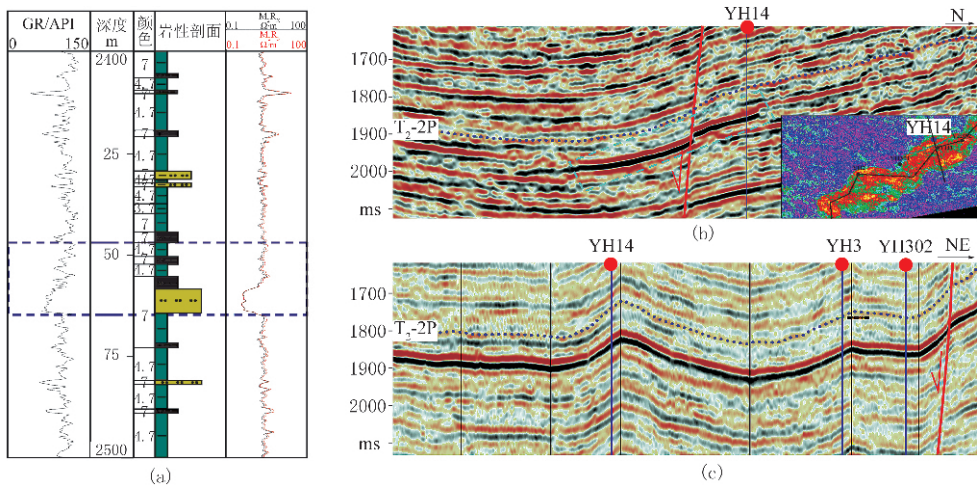


图4 过YH14井南北向地震剖面(示河道砂体在地震上的响应特征)

(a) YH14井综合录井图; (b) 横切河道地震剖面(line3499); (c) 顺切河道地震剖面(Arbitrary line)

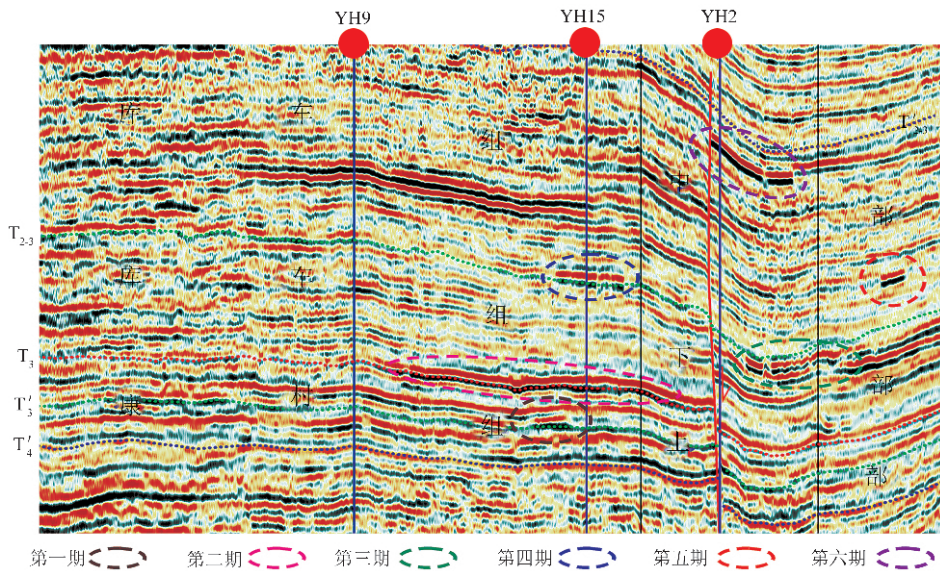


图5 过YH9井—YH15井—YH2井地震剖面(示6期河道的垂向分布)

为20%，为一套好的储集体。

以地震振幅属性分析为主要手段,对康村组和库车组的河道进行了刻画,共发现了6期大型河道。这6期河道主要发育在康村组顶部—库车组中、下部(图5)。各期河道的平面展布特征如图6。第1期河道发育在康村组中部,平面上位于工区中、西部,河道面积为 $177\text{km}^2$ (图6a); YH301井和YH701井钻遇了这期河道的地层,主要为一套深灰色、灰色粉砂岩、灰色泥质粉砂岩和同色泥岩互层沉积,砂岩见饱含油、油斑、荧光等不同级别显示。第2期河道发育在康村组上部,平面上位于工区中、西部的河道交织成网状,而中部YH5-7井区以北有一大面积振幅异常区,通过小时窗可视化分析认为,该

异常区是多条近北向和北东—南西向曲流河道相互叠置的结果,河道面积为 $139\text{km}^2$ (图6b); YH15井钻遇了这期河道,为23m厚浅灰色粉砂岩。第3期河道发育在库车组下部,平面上位于工区东南部,河道相互交织,并可识别出决口扇和后期河道切割早期河道的现象,河道面积为 $138\text{km}^2$ (图6c); YH301井和YH303井钻遇了该期地层,主要为一套灰色、深灰色饱含油粉砂岩、荧光泥质粉砂岩夹薄层泥岩。第4期河道发育在库车组下部,平面上分布于工区中部,向工区西南部相变为三角洲。河道宽为 $0.5\sim 2\text{km}$ ,河道面积为 $29\text{km}^2$ (图6d); YH15井钻遇的这期河道为4m厚浅灰色粉砂岩, YH301井钻遇的该期地层主要为一套灰色、深灰色饱含油

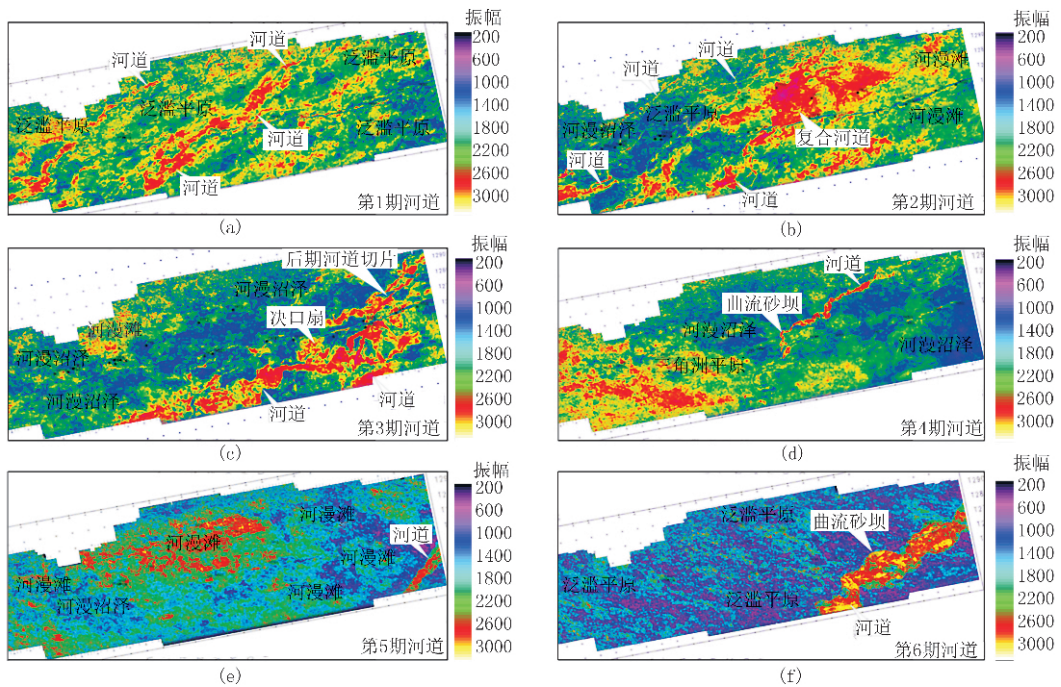


图6 康村组和库车组河道平面展布图

(a)  $T_{3'}$  反射层沿层-10~10ms 均方根振幅信息平面图; (b)  $T_{3'}$  反射层沿层向下 0~20ms 均方根振幅信息平面图; (c)  $T_{2-3}$  反射层沿层向下 10~25ms 均方根振幅信息平面图; (d)  $T_{2-3}$  反射层沿层向上 10~25ms 均方根振幅信息平面图; (e)  $T_{2-3}$  反射层沿层向上 80~130ms 均方根振幅信息平面图; (f)  $T_{2-2'}$  反射层沿层向上 50~80ms 均方根振幅信息平面图

粉砂岩、荧光泥质粉砂岩夹薄层泥岩。第5期河道发育在库车组中部,平面上位于工区东南部,宽为1.3km左右,河道面积为 $9\text{km}^2$ (图6e)。第6期河道发育在库车组中部,平面上位于工区东南部,河道宽为2.3~5.4km,长为21km,面积为 $83\text{km}^2$ (图6f); YH14井钻遇了这期河道,为一套浅灰色粉砂岩。

通过以上分析可以看出,康村组发育的河道具有河道窄而多、迁移快、相互叠置等特点;库车组发育的河流具有河道宽、长、河道较孤立等特点<sup>[7]</sup>。

## 6 油气成藏条件分析

区域地质研究表明,牙哈地区的油气来源于库车凹陷侏罗系和三叠系,三叠系烃源岩在早第三纪时处于生烃高峰阶段;侏罗系烃源岩的生烃高峰在晚第三纪。第三系圈闭形成于燕山晚期—喜山早期,二者是匹配的。而钻井资料和测井资料表明砂体储集物性均较好,且这些砂体与其围岩都能形成良好的储盖层组合<sup>[9]</sup>。因此,油气的运聚条件是控制油气成藏的关键。

一般来说油气的运移要以不整合面、断裂和连通性砂体作为输导体系。从构造活动特征来看,牙

哈断裂带经历了早期逆冲(海西晚期—燕山早期)、晚期(燕山晚期—喜山期)上盘下掉张性正断的负反转活动过程,负反转活动期和圈闭构造形成时期一致。主断裂的负反转活动结束于中新世康村期—上新世库车期,次断裂负反转活动结束于康村期<sup>[10,11]</sup>。因此,上新统断裂不太发育,只有牙哈1号断裂断至库车组下部;而库车组中上部砂体多为孤立砂体,纵向上连通性差,因此油气难以向上运移。

## 7 结论与认识

(1) 下第三系油气成藏条件最好,建议加深 YH16 井探测下第三系底部岩性异常体的含油气性。

(2) 下第三系内幕砂岩段和吉迪克组上砂岩段具备形成岩性圈闭的有利条件,且目前已在 YH7X-1 井、YH3 井、YH302 井和 YH701 井见到油气显示,是牙哈地区现实勘探目标。

(3) 康村组和库车组底部的河道砂体在有断裂沟通油源的情况下,具有良好的勘探前景。

(4) 地震属性分析和储层反演等技术有助于分析砂体的横向展布和储层的横向变化,是寻找和落实隐蔽圈闭的有效手段。

## 参考文献

- [1] 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
- [2] 王永刚,乐友喜,张军华.地震属性分析技术.山东东营:中国石油大学出版社,2007
- [3] 曹卿荣,李佩等.应用地震属性分析技术刻画河道砂体.岩性油气藏,2007,19(2):94~95
- [4] 潘红卫,杨力,郭增虎.松辽盆地中南部中浅层岩性圈闭地震识别技术.石油地球物理勘探,2008,43(增刊1):127~131
- [5] 黄云峰,杨占龙,郭精义等.地震属性分析及其在岩性油气勘探中的应用.天然气地球科学,2006,17(5):739~742
- [6] Fred J Hilterman 著;孙夕平,赵良武等译.地震振幅解释.北京:石油工业出版社,2006
- [7] 顾家裕.塔里木盆地沉积层序特征及其演化.北京:石油工业出版社,1996
- [8] 宋文杰,江同文,冯积累等.塔里木盆地牙哈凝析气田地质特征与开发机理研究.地质科学,2005,40(2):274~283
- [9] 顾家裕,朱筱敏,贾进华等.塔里木盆地沉积与储层.北京:石油工业出版社,2003
- [10] 汤良杰,金之钧,张一伟等.塔里木盆地北部隆起负反转构造及其地质意义.现代地质,1999,13(1):93~97
- [11] 汤良杰,金之钧.塔里木盆地北部隆起牙哈断裂带负反转过程与油气聚集.沉积学报,2000,18(2):302~308
- [12] 李国会,郑多明,王超等.塔里木盆地北部隆起牙哈构造带断裂特征.天然气地球科学,2007,18(6):859~863

(本文编辑:冯小球)

(上接第137页)

处往往同时出现。可见 AVO 斜率参数较其他方法的属性能更细致地反映裂隙特征。

## 4 结论

本文利用多方位速度和 AVOA 同步分析,通过对不同方位的速度调整过程中求取对应的 AVO 参数,并将 AVO 参数用于速度分析中的相似系数计算,确定最佳的速度与 AVO 参数。这种同步反演地震速度和地震振幅信息,可以避免速度不准产生的误差传入所提取的 AVO 参数(或者 AVO 模型不正确造成速度分析的偏差),使得各向异性速度分析和 AVOA 更精确,进而更全面地了解储层单元特征和解释 P 波 AVOA 的地震特征波形特征。

## 参考文献

- [1] Qu Shouli, Ji Yuxin, Wang Xin et al. Fracture detection by using full azimuth P wave attributes. *Applied Geophysics*, 2007, 4(3): 238~243
- [2] 张虹,沈忠民.超致密裂缝性储层地震预测方法研究——以川西新场气田须二气藏勘探为例.成都理工大学学报(自然科学版),2008,35(2):149~156
- [3] 马中高. P 波资料反演裂缝方法及实例.石油地球物理勘探,2003,38(5):517~521
- [4] 乐绍东. AVA 裂缝检测技术在川西 JM 构造的应用.天然气工业,2004,24(4):22~24
- [5] 陈强,刘鸿福.应用 P 波 AVO 技术预测煤层气储层裂隙.科技情报开发与经济,2008,18(13):125~127
- [6] 付强,罗彩明.基于 VTI 介质理论的 P 波速度分析和动校正.物探化探计算技术,2008,30(1):10~16
- [7] 莫午零,吴朝东.裂缝介质中多方位 AVO 特征分析技术及应用举例.天然气地球科学,2007,18(6):814~818
- [8] 张军华,朱焕,郑旭刚等.宽方位角地震勘探技术评述.石油地球物理勘探,2007,42(5):23~25
- [9] 朱兆林,王永刚,曹丹平.裂缝性储层 AVO 检测方法综述.勘探地球物理进展,2004,27(2):87~92
- [10] 曲寿利,季玉新,王鑫等.全方位 P 波属性裂缝检测方法.石油地球物理勘探,2001,36(4):390~397
- [11] Fernando A N, Ahmed Al-Marzoug, Jung J K et al. Fracture characterization of deep tight gas sands using azimuthal velocity and AVO seismic data in Saudi Arabia. *The Leading Edge*, 2003, 22(2): 469~475
- [12] 津强.解释 P 波 AVOA 需要更多的信息.中外石油科技,2005,16:242~244
- [13] Sarkar D, Baumel B. Velocity analysis in the presence of amplitude variation. *Expanded Abstracts of SEG 70th annual meeting*, 2000, 236~238
- [14] Grechka V, Tsvankin I. 3-D description of no normal moveout in anisotropic inhomogeneous media. *Geophysics*, 1998, 63: 1079~1092
- [15] Ruger A. Variation of P-wave reflectivity with offset and azimuth in anisotropic media. *Geophysics*, 1998, 63(3): 935~947

(本文编辑:张亚中)