

文章编号:0253-9985(2013)01-0085-10

准噶尔盆地湖底扇沉积特征及地球物理响应 ——以克拉玛依油田五八区二叠系下乌尔禾组为例

吴涛^{1,2,3}, 赵长永^{3,4}, 吴采西³, 苏艳丽⁵, 周作铭³, 张顺存¹, 史基安¹

(1. 中国科学院 油气资源研究重点实验室, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;

3. 中国石油 新疆油田公司 勘探开发研究院, 新疆 克拉玛依 834000; 4. 中国石油 新疆油田公司 勘探处, 新疆 克拉玛依 834000; 5. 中国石油 新疆油田公司 风城油田作业区, 新疆 克拉玛依 834000)

摘要:以准噶尔盆地克拉玛依油田五八区为例,综合利用岩心分析、薄片鉴定、分析化验和测井等资料,通过对二叠系下乌尔禾组湖底扇砂岩体岩石学、结构特征等方面的研究,认为下乌尔禾组湖底扇较发育,具有典型浊流沉积所形成的鲍马序列,沉积结构上也具有典型浊流沉积的粒度分布特征。地震正演模拟结果证实湖底扇具有敏感的地震响应。通过平均瞬时相位属性、相位调谐体频率切片、层拉平切片等地震多属性的刻画与储层反演,精细刻画砂体空间分布特征。湖底扇砂岩体地震剖面上具有典型的楔状杂乱反射、斜交反射以及透镜状反射特征。平面上南北向成群展布,分布范围广,砂泥岩配置关系良好,空间上呈透镜状展布。湖底扇砂岩体毗邻烃源岩,储盖组合良好,易形成岩性圈闭,油气成藏条件优越,对岩性油气勘探具有重要意义。

关键词:鲍马序列;浊流沉积;地球物理响应;湖底扇;下乌尔禾组;二叠系;克拉玛依油田;准噶尔盆地

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

Sedimentary characteristics and geophysical responses of sublacustrine fan in the Junggar Basin: a case study on the Lower Urho Formation of the Permian in the Wuba block, Karamay oilfield

Wu Tao^{1,2,3}, Zhao Changyong^{3,4}, Wu Caixi³, Su Yanli⁵, Zhou Zuoming³, Zhang Shuncun¹ and Shi Jian¹

(1. Key Laboratory of Petroleum Resources Research, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730000, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

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

4. Exploration Department, PetroChina Xinjiang Oilfield Company, Karamay, Xinjiang 834000, China;

5. Fengcheng Field Operation District, PetroChina Xinjiang Oilfield Company, Karamay, Xinjiang 834000, China)

Abstract: Sublacustrine fans were identified firstly in the Junggar Basin through integrated methodology of geology and geophysics. Data gathered from core sampling, testing, logging, and 3D seismic analysis of the Wuba block in Karamay Oilfield of Junggar Basin, show that the fans develop well in the lower Urho Formation of the Permian in the area. Study on the sedimentary facies, petrology and texture reveals that the fans have Bouma sequence and grain size distribution typical of turbidite deposits. Forward seismic modeling confirms the sensitive responses of the fans. The spatial distribution of fans was finely described with several seismic technologies including seismic multi-attributes, spectrum decomposition and seismic slices. The sandbodies in the fans occur as chaotic reflection, oblique reflection and lenticular reflection on seismic profiles. On plane view, they are widely distributed in clusters with good sandstone and mudstone combinations, while in space, they show lens shapes. These sandstone reservoirs and source rocks are close and in good combination, favorable for forming lithologic traps. These

收稿日期:2012-05-21;修订日期:2012-12-30。

第一作者简介:吴涛(1981—),男,博士研究生、工程师,油气储层地质学。

基金项目:国家重点基础研究发展计划(“973”计划)项目(2011CB201104);国家科技重大专项(2011ZX05000-01-06)。

fans bear great significance to the exploration of lithologic reservoirs in the region.

Key words: Bouma sequence, turbidite deposits, geophysical response, sublacustrine fan, Lower Urho Formation, Permian, Karamay oilfield, Junggar Basin

湖底扇与深湖相泥岩共生,直接与烃源岩接触,易接受油源供给成为油气储层^[1]。因此,湖底扇作为油气聚集的有利储集体,是形成岩性油气藏的重要领域。在我国湖底扇最早发现于东部渤海湾盆地,赵澍林等建立了湖底扇相模式并逐渐完善^[2-3]。随后,在松辽盆地、海拉尔盆地、二连盆地,以及塔里木盆地陆续发现了大量的湖底扇^[4-9]。准噶尔盆地克拉玛依油田五八区首次发现了多个二叠系下乌尔禾组湖底扇,极大地开辟了新疆油田岩性油气藏勘探的新局面。

1 地质背景

研究区位于准噶尔盆地西部隆起中拐凸起的

东北翼,西与克拉玛依断裂、北与南白碱滩断裂相邻(图1)。中拐凸起处于克百断裂带和红车断裂带的转换部位,走向大致北西-南北,为石炭纪—二叠纪的宽缓鼻状古隆起。它经历了海西、印支、燕山、喜马拉雅等多期构造运动,其中,晚石炭世初具规模,二叠纪构造运动较为强烈,白垩纪最终定型,形成了南翼陡、北翼缓的不对称凸起。

该区地层较全,自下而上发育有二叠系佳木河组、风城组、夏子街组、下乌尔禾组、上乌尔禾组,三叠系,侏罗系和白垩系。向东倾斜的单斜型古隆起围斜部位形成了多套不整合面,二叠系各组地层依次超覆沉积在石炭系之上,并向玛湖凹陷逐渐过渡。凸起披覆的沉积盖层顶部较薄或遭受剥蚀,翼部地层较厚^[10]。

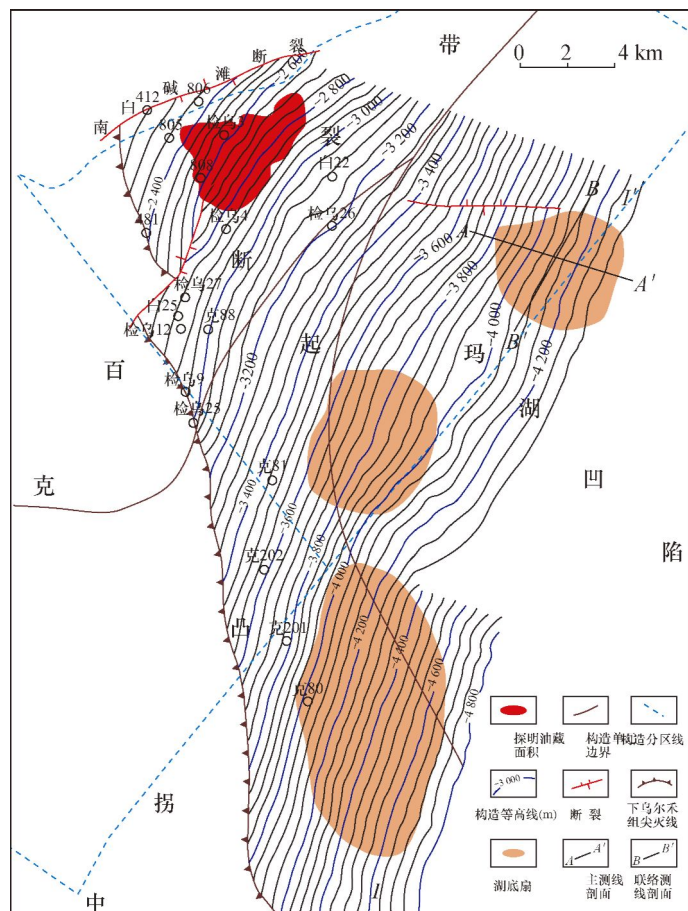


图1 研究区构造位置

Fig. 1 Location of the study area

研究区处于中拐凸起北翼与玛湖凹陷西斜坡的构造转换带,二叠系下乌尔禾组湖底扇具备重力流成因机制。由于受挤压抬升,乌尔禾组沉积时为一大型平缓的单斜构造,地层倾角 $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$ ^[10],具备形成重力流、进行滑塌搬运的坡度背景。湖底扇来源于中拐凸起扇三角洲前缘相带的水下分流河道砂体,物源充足,整体滑塌搬运并沉积于深水环境。局部层段发育浊流沉积,具鲍马序列特征。

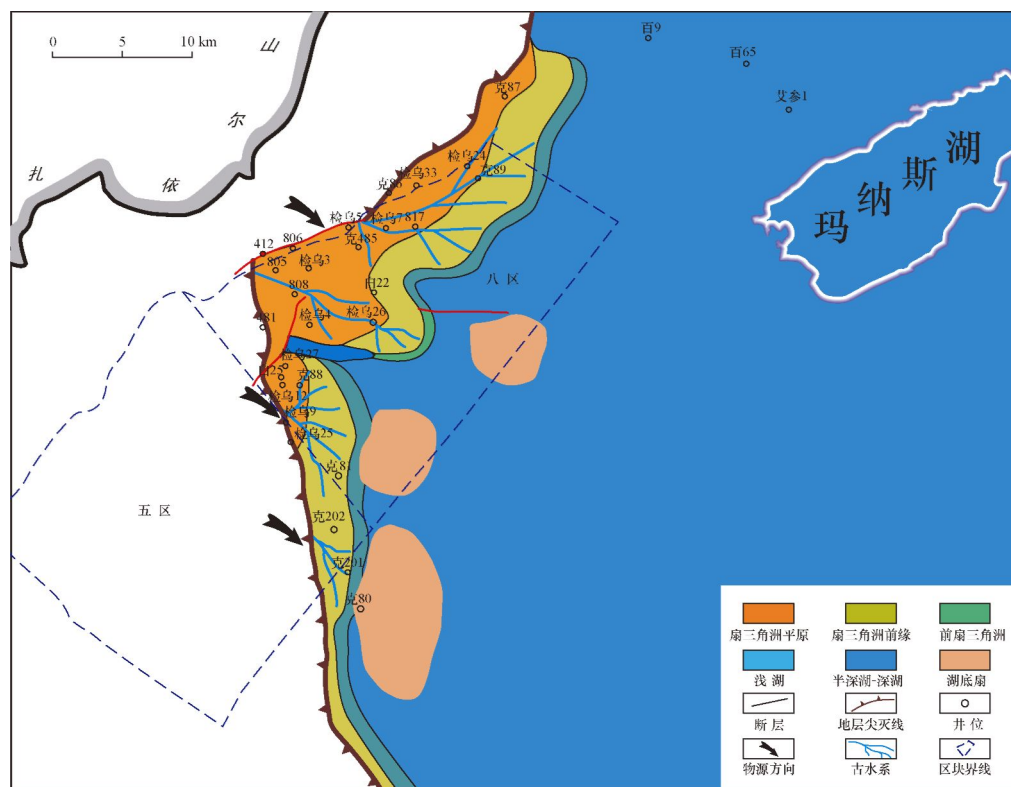
2 湖底扇沉积特征

湖底扇指湖盆中以沉积物重力流搬运方式堆积在深水区的粗碎屑扇形体^[11]。因此,深水环境和沉积物重力流为主的搬运方式是最基本、最简单的识别标志^[12-13]。在分析地质资料和众多前人研究成果的基础上^[14-16],通过对研究区20余口钻井岩心、录井和测井资料的描述和对比,认为该区二叠系下乌尔禾组沉积时具有水体较深、快速堆积、快速埋藏、源近流短、相带分布狭窄的沉积背景。

2.1 沉积相特征

二叠系下乌尔禾组是一套冲积扇-扇三角洲沉积,可以进一步划分为扇三角洲平原、前缘及前扇三角洲亚相。其中,扇三角洲平原亚相中辫状河道微相发育,主要由砾岩、砂砾岩组成、少数为含砾砂岩,沉积厚度占平原亚相的近80%。扇三角洲前缘主要发育碎屑流沉积、水下分流河道、支流间湾、河口砂坝和远砂坝等沉积微相。前扇三角洲由深灰色、灰黑色泥岩及粉砂质泥岩组成,富含植物茎干与植物叶片化石。研究区西缘构造带的冲断作用使该区具有充足的物源供应,而且扇三角洲前缘斜坡为形成浊流提供了有利场所(图2)。半深湖-深湖区的底形坡度提供了浊积岩的运移动力,加之自身沿斜坡的重力为沉积物滑塌提供了动力,导致扇三角洲前缘砂体再次搬运形成湖底扇^[17-20]。

钻井岩心可见湖底扇砂岩体较为典型的浊积岩特征,具有不同段数的鲍马序列。克80井二叠系下乌尔禾组4 154.80~4 159.95 m取心井段见到了较为完整的鲍马序列(图3)。鲍马序列段共



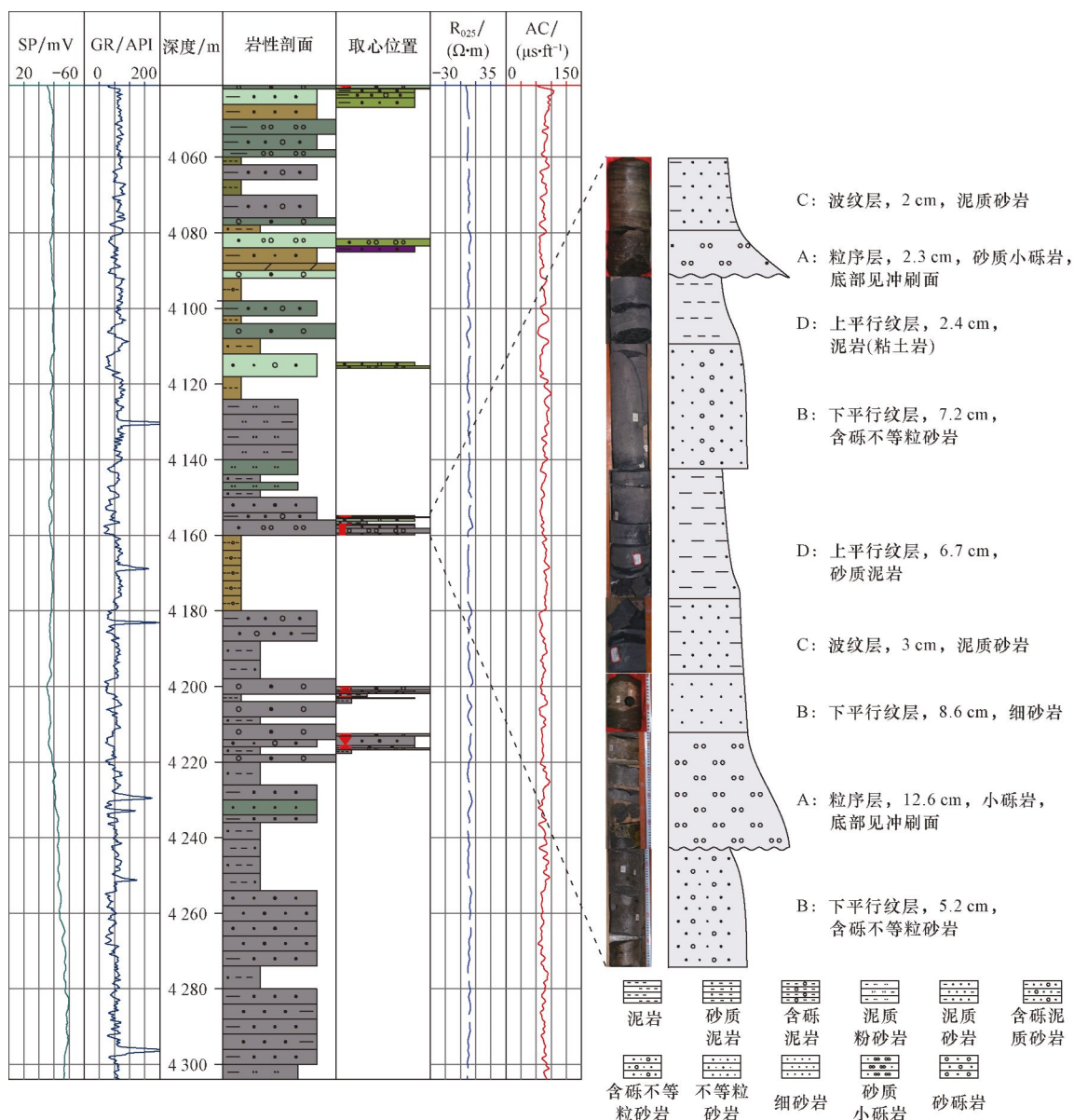


图3 五八地区下乌尔禾组地层综合柱状图与鲍玛层序特征

Fig. 3 Columnar section and characteristics of Bouma sequences in the Lower Urho Formation in the Wuba block

发育4期浊流沉积,厚度5.15 m。由于多期浊流沉积物的相互叠加,构成了不完整的鲍马序列,但A,B,C,D段在不同期次的浊流沉积中均有所反映。其中第二期浊流沉积的鲍马序列较完整,发育A,B,C,D四段,沉积结构及构造具有明显特征。A段(底部粒序层),粒径一般为2~5 mm,半棱角状,分选中等~好,岩性单一,局部含砂质,下部粒度略粗,与下段岩性呈渐变接触。B段(下平行纹层),与A段呈渐变接触关系,粒径一般为0.10~0.25 mm,半棱角~半圆状,分选好,岩性单一,下部粒度略粗,底见1 cm厚浅灰绿色泥质条

带,隐见斜层理,倾角15°。C段(波纹层),与B段呈渐变接触关系,粒径一般为0.01~0.25 mm,半棱角状,分选差,泥质分布不均,多富集呈条带状,自上而下泥质减少,见多条微细斜裂缝和直裂缝。D段(上平行纹层),与C段呈渐变接触关系,砂质分布不均,自上而下逐渐增多,粒径一般为0.01~0.25 mm,半棱角状。

2.2 岩石学特征

岩心观察及岩石薄片鉴定表明,岩性以岩屑砂岩、砂质砾岩主(图4),其次为砾岩。其中,岩

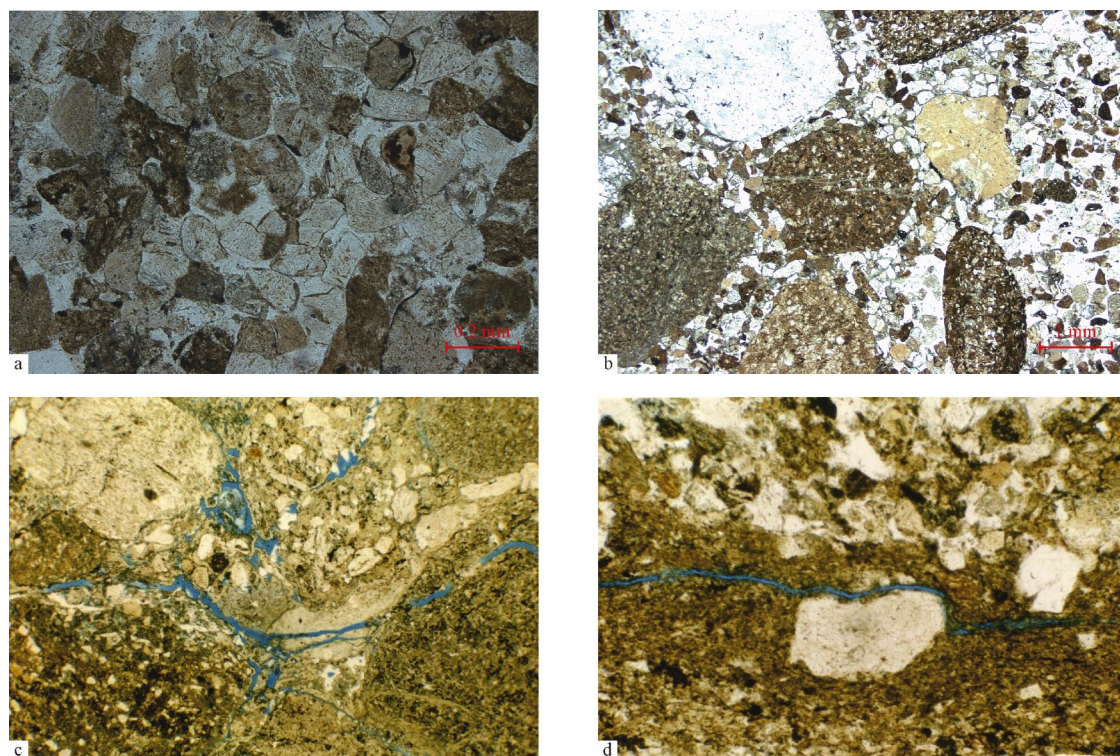


图4 五八地区下乌尔禾组岩石类型与孔隙结构特征

Fig. 4 Rock types and characteristics of pore structure in the Lower Urho Formation in the Wuba block

- a. 克80井, 4 156.77 m, 细粒长石岩屑砂岩; b. 克80井, 4 156.21 m, 含巨砂细砂质砾岩;
c. 克80井, 4 155.69 m, 砾状巨砂粒岩屑砂岩, 粒间由绿泥石、浊沸石充填, 局部粒缘见钠长石;
d. 克80井, 4 211.60 m, 含砾不等粒岩屑砂岩, 粒间由硅质、浊沸石充填, 见少量绿泥石化泥质

屑砂岩中石英含量占2.8%, 长石含量占9.5%, 岩屑占76.4%, 填隙物占11.2%。胶结类型主要为接触—孔隙式, 致密, 胶结物以浊沸石和硅质为主(图4)。碎屑颗粒磨圆度为次棱角状, 分选中等—差, 粒度中值0.15~1.20 mm, 平均0.66 mm, 标准偏差平均为2.0。岩石成分成熟度和结构成熟度总体较低。

岩屑中火成岩占69.3%, 变质岩占14.9%, 反映了母岩构成为火成岩的特征。另外, 反映酸性岩浆岩母岩重矿物组合的锆石、榍石含量为21.3%, 反映基性岩浆岩母岩的钛铁矿含量为16.8%, 而反映变质岩母岩的石榴石矿物含量仅为2.2%, 也指示物源母岩以岩浆岩为主^[21]。

2.3 测井曲线形态

除了钻井岩心具有明显的岩性、结构、构造等特征, 湖底扇砂体测井曲线特征也很明显。自然电位(SP)和视电阻(R_{025})曲线较为平直, 局部呈微凸起, 反映了湖底扇砂岩体泥质含量较高、孔渗

物性较差的特征(图3)。而自然伽玛(GR)曲线呈低幅细锯齿状和低幅箱型, 反映一定规模的湖底扇主水道, 以正粒序为主, 具有向深湖相过渡的特征。其中, 自然电位和自然伽玛曲线特征明显区别于扇三角洲前缘砂体幅度明显增大的漏斗型^[22]。

2.4 结构特征

湖底扇浊积岩体的粒度概率曲线和C-M图均反映了典型的高密度重力流特征。浊积岩分选中等, 磨圆度为次棱角状, 粒径差别较大, 粒度区间跨度大(Φ 值为-4~6), 粒度概率曲线以两段式为主(图5a)。缺少滚动组分, 跳跃总体较发育, 悬浮总体占绝对优势, 表现为浊流沉积的典型特征^[21, 23-24]。C-M图中, C为400.53~18 379.17 μm , 平均为7 845.90 μm ; M为90.87~4 287.09 μm , 平均为2 117.90 μm , 为平行 $C=M$ 基线的直线段(图5b), 表现为浊积流沉积特征^[21]。其萨胡函数判别值为 $5.856 < Y < 9.794$, 平均值为7.743, 小于临界

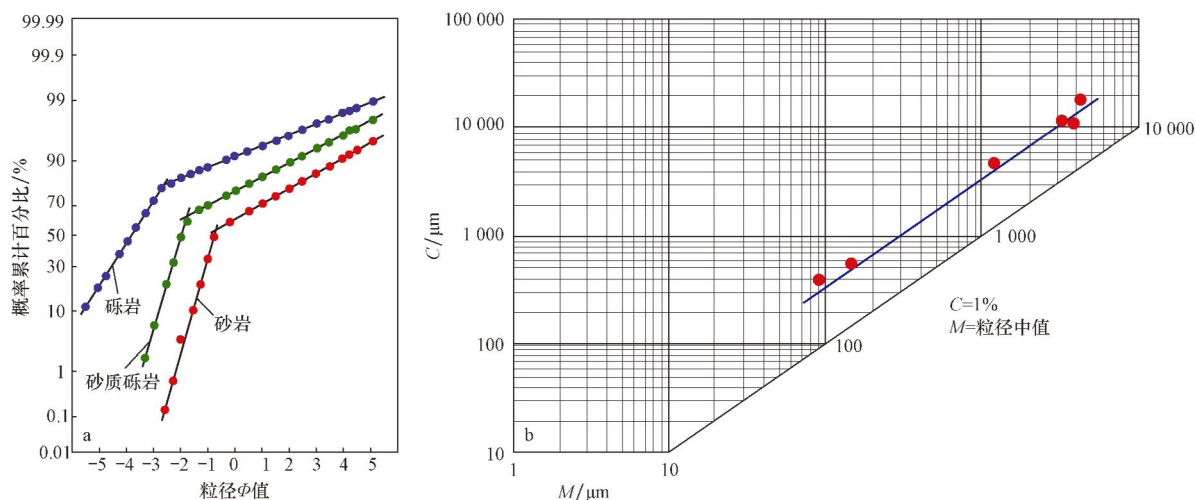


图5 五八地区下乌尔禾组浊积岩粒度概率曲线 a) 与 C-M 图 b)

Fig. 5 Grain size probability curves(a) and C-M diagram(b) of the turbidites in the Lower Urho Formation in the Wuba block

值9.843 3,判别为浊流沉积环境。

3 湖底扇地球物理响应

3.1 地震正演模拟

正演模拟是用物理模型和数学模型代替地下真实介质,用物理试验和数学计算模拟地震记录的形成过程^[25-27]。本次研究利用正演模拟结果获得的地震响应,验证湖底扇砂体的地震识别标志及地震资料对湖底扇砂体的分辨能力。图6是过克80井东、克81井东和检乌26井东二叠系下乌尔禾组湖底扇叠置砂体的正演模型。从主测线(A—A'方向)地质剖面上看,共有4个砂体尖灭点。从叠置砂体正演结果看,单砂体尖灭点的位置出现相位反转,相同的地震剖面的相同位置也出现了同样的极性反转响应。

3.2 地震反射特征

检乌26井东、克81井东和克80井东二叠系下乌尔禾组沉积砂岩体具有湖底扇席状砂地震反射特征:①顶、底均为强振幅反射,频率较低,连续性较差;②平行物源方向,湖底扇砂岩体由多个小的短轴状丘状体复合构成,纵向上呈楔状杂乱反射,具有明显的前积现象,前积层位相对于下伏地层呈小角度斜交反射(图7a);③垂直物源方向,湖底扇砂岩体呈透镜状或波状、眼球状反射特征(图7b),这些湖底扇与现今加洲海底扇、北海海底扇的地震反射非常相似^[28]。上述地震反射结构不仅具有典型的湖底扇地球物理响应特征,而且与Berg等人提出的三角洲-湖底扇沉积模式相符,明显不同于扇三角洲的“S”型前积反射特征^[21,29]。

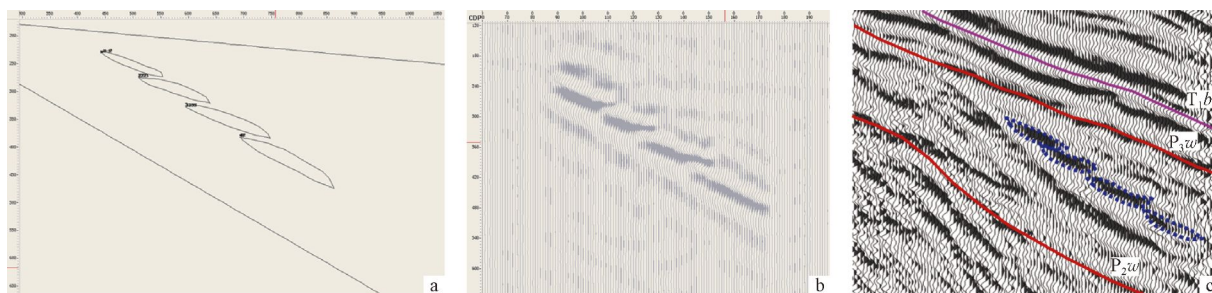


图6 五八地区下乌尔禾组湖底扇砂体正演模拟

Fig. 6 Forward modeling of sandstones of sublacustrine fan in the Lower Urho Formation in the Wuba block

a. 地质模型; b. 正演响应; c. 地震剖面

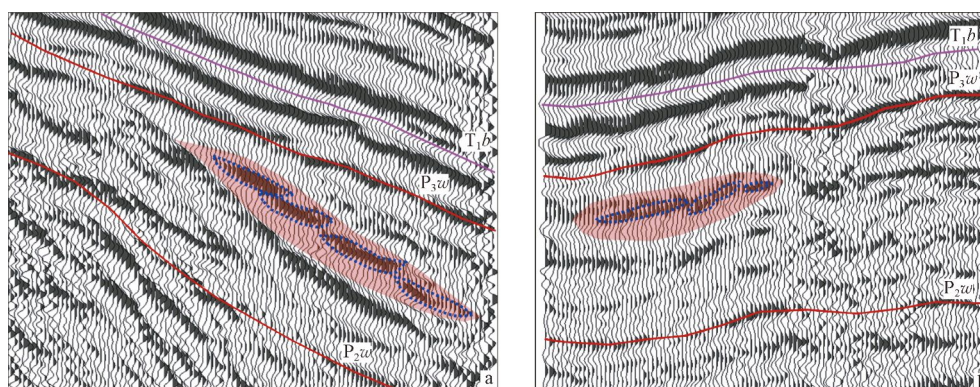


图7 五八地区湖底扇地震-地质解释剖面(波形变面积)

Fig. 7 Seismic-geological interpretation section of sublacustrine fan in the Wuba block

a. 平行物源主测线 A—A' 方向; b. 垂直物源联络测线 B—B' 方向

3.3 地震多属性特征

三维地震多属性从地震数据中提取大量的隐含信息,能够在很大程度上帮助解释人员正确分析、认识地质现象,尤其是对储层特征的认识^[30-32]。研究区二叠系下乌尔禾组地震资料品质较好、信噪比高、波阻特征清晰,而且断裂系统不发育,可利用地震属性解释湖底扇砂体的展布^[33]。

3.3.1 平均瞬时相位

应用平均瞬时相位、绝对值振幅、主振幅、瞬时频率、有效带宽及波形分类等多种地震属性,提取了克81井区东二叠系下乌尔禾组砂体多属性平面图,这类属性对冲积扇、三角洲,以及湖底扇

砂体比较敏感。其中,平均瞬时相位属性效果较好(图8a)。

3.3.2 相位调谐体频率切片

谱分解技术可以分析复杂岩性内薄层的空间变换,识别复杂储层的横向展布,具有精细检测储层横向变化的能力^[34-37]。一般低频段反映厚层砂体,高频段反映薄层砂体,但任何单一的频率都不能全面反映砂体的全貌^[38-39]。本次利用相位调谐体切片对下乌尔禾组湖底扇主砂体进行了研究,在频率范围10~70 Hz的切片中,频率为33 Hz的相位调谐体频率切片对湖底扇的展布形态反映效果最好,并与钻井资料吻合较好,证明频谱分解对于薄层的刻画能力最强(图8b)。

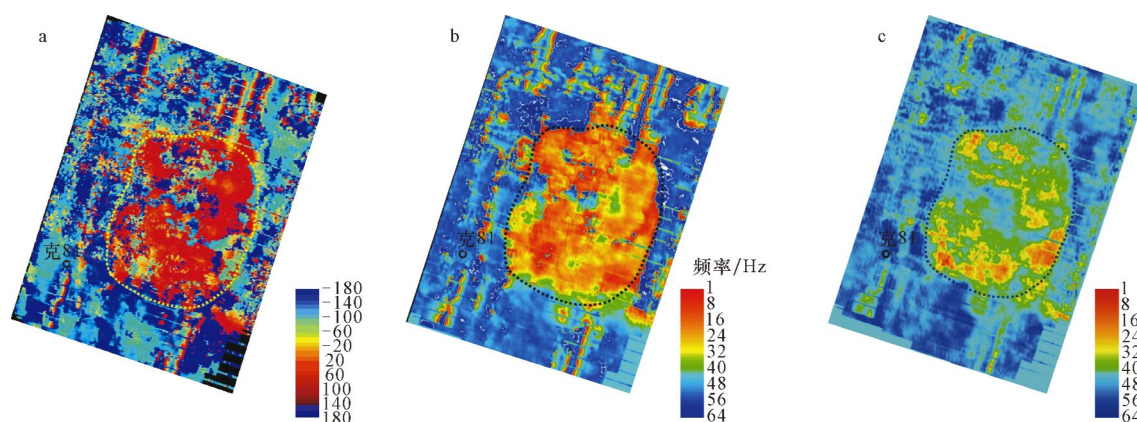


图8 五八地区下乌尔禾组湖底扇地震响应特征及分布

Fig. 8 Characteristics and distribution of geophysical response of sublacustrine fan in the Lower Urho Formation in the Wuba block

a. 平均瞬时相位属性; b. 相位调谐体频带切片; c. 层位平切片

3.3.3 层拉平切片

沿层切片是目前常用的地震属性分析手段之一^[40-43]。将目的层段拉平后再沿目的层作水平切片的方法可以获得具有等时性的切片。二叠系下乌尔禾组拉平后,沿层切片刻画出的湖底扇砂体形态效果较好(图8c)。

一般地,振幅的强弱与砂层厚薄有关,频率的高低与砂岩的发育程度有关。上述三维地震多属性、谱分解和层拉平切片技术所展示的湖底扇展布特征与在地震剖面中刻画的湖底扇形态基本一致,从振幅强弱、低频成分以及极性反转等方面均体现了湖底扇砂岩体的典型特征。

4 湖底扇油气勘探意义

研究区位于玛湖凹陷西南方向,是油气运移的有利指向区,二叠系下乌尔禾组为主要烃源岩层系之一^[44-45]。湖底扇沉积砂岩体平面上成群展布,在空间上呈透镜状展布,波阻抗反演剖面表明砂泥岩空间配置关系良好。识别出检乌26井东、克81井东和克80井东二叠系下乌尔禾组湖底扇,面积分别为21.5、26.7和59.8 km²,共计108 km²。克80井二叠系下乌尔禾组取心6筒,获油浸级岩心2.87 m,油斑级岩心6.73 m,油迹级岩心0.7 m,荧光级岩心0.45 m,展示了湖底扇砂岩体作为油气富集带的良好勘探前景。

5 结论

1) 二叠系下乌尔禾组湖底扇由中拐凸起扇三角洲前缘相带提供充足物源,表现为整体滑塌搬运特征。岩性、测井曲线形态以及结构特征均明显区别于扇三角洲前缘砂体,反映了明显的高密度重力流特征,具有典型的浊流沉积特征,鲍马序列、粒度概率曲线和C-M图为主要识别标志。

2) 根据地震正演模拟得到的敏感地震响应,证实下乌尔禾组沉积砂岩体相互叠置,具有湖底扇席状砂地震反射特征,较扇三角洲的“S”型前积反射明显不同。湖底扇砂体横向上为由多个小的丘状体复合构成的大型丘状杂乱反射;纵向上呈

楔状杂乱反射,局部见前积结构。三维地震多属性、相位调谐体频率切片,以及沿层切片均验证地震剖面上湖底扇形态刻画的正确性。

3) 克拉玛依油田五八区下乌尔禾组湖底扇主要发育在检乌26井区、克81井区和克80井区,平面上呈南北向成群展布,分布面积达108 km²。湖底扇发育区烃源岩发育,储盖组合优良,圈闭条件良好,具备有利的岩性油气藏成藏条件,勘探潜力巨大,是重要的岩性勘探目标区。

参考文献

- [1] 裴泽楠,薛叔浩,应凤祥. 中国陆相油气储集层[M]. 北京:石油工业出版社,1997:330-356.
Qiu Yi'nan, Xue Shuhao, Ying Fengxiang. Oil and gas reservoirs of terrestrial facies of China[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997:330-356.
- [2] 赵激林,刘孟慧. 湖底扇相模式及其在油气预测中的应用[J]. 华东石油学院学报,1984,4:323-332.
Zhao Zhenglin, Liu Menghui. Facies model of the sublake-fan and its application to oil and gas exploration[J]. Journal of East China Petroleum Institute, 1984,4:323-332.
- [3] 刘孟慧,赵激林. 渤海湾地区下第三系湖底扇的沉积特征[J]. 华东石油学院学报,1984,3:223-234.
Liu Menghui, Zhao Zhenglin. Sedimentary features of the sublake-fan of Eocene system in Bohai bay[J]. Journal of East China Petroleum Institute, 1984,3:223-234.
- [4] 王建功,王天琦,张顺,等. 松辽拗陷盆地水侵期湖底扇沉积特征及地球物理响应[J]. 石油学报,2009,30(3):361-365.
Wang Jiangong, Wang Tianqi, Zhang Shun, et al. Sedimentary characteristics and geophysical response of sublacustrine fan during transgress period in Songliao Basin[J]. Acta Petroli Sinica, 2009,30(3):361-365.
- [5] 柳成志,霍广君,张冬玲. 辽河盆地西部凹陷冷家油田沙三段扇三角洲-湖底扇沉积模式[J]. 大庆石油学院学报,1999,23(1):1-4.
Liu Chengzhi, Huo Guangjun, Zhang Dongling. Fan-delta-sublacustrine fan sedimentary models of S3 member in Lengjia oilfield in Liaohe Basin[J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 1999,23(1):1-4.
- [6] 陈学海,卢双舫,薛海涛,等. 海拉尔盆地呼和湖凹陷白垩系地震相[J]. 石油勘探与开发,2011,38(3):321-327.
Chen Xuehai, Lu Shuangfang, Xue Haitao, et al. Seismic facies of the Cretaceous in the Huhehu depression, Hailar Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2011,38(3):321-327.
- [7] 蔺连第,朗艳,金蕙,等. 二连盆地乌里雅斯太凹陷早白垩世湖底扇[J]. 石油勘探与开发,2005,32(3):27-32.
Lin Liandi, Lang Yan, Jin Hui, et al. Early Cretaceous sub-

- lacustrine fan in Wuliyasitai sag, Erlian Basin [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2005, 32(3): 27–32.
- [8] 刘辰生, 郭建华, 朱锐, 等. 塔里木盆地阿克库勒地区三叠系中油组沉积相研究 [J]. *西安石油大学学报(自然科学版)*, 2007, 22(6): 36–39.
- Liu Chensheng, Guo Jianhua, Zhu Rui, et al. Study on sedimentary facies of the middle oil group of the Triassic in Akekule area of Tarim Basin [J]. *Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition)*, 2007, 22(6): 36–39.
- [9] 陆金波, 王英民, 张雷, 等. 阿克库勒地区三叠系湖底扇沉积及其主控因素 [J]. *中国石油大学学报(自然科学版)*, 2011, 35(2): 12–17.
- Lu Jinbo, Wang Yingmin, Zhang Lei, et al. Sedimentary characteristics and main controlling factors of sublacustrine fans of Triassic in Akekule area [J]. *Journal of China University of Petroleum*, 2011, 35(2): 12–17.
- [10] 刘翠敏, 向宝力, 孟皓锦, 等. 准噶尔盆地中拐凸起侏罗系油藏油气成因分析 [J]. *天然气勘探与开发*, 2008, 31(2): 26.
- Liu Cuimin, Xiang Baoli, Meng Haojin, et al. Oil/Gas origin of Jurassic reservoirs in Zhongguai bulge, Junggar Basin [J]. *Natural Gas Exploration & Development*, 2008, 31(2): 26.
- [11] Walker R G. Deep-water sandstone facies and ancient submarine fans: models for exploration for stratigraphic traps [J]. *AAPG Bulletin*, 1978, 62: 932–966.
- [12] 吴崇筠, 李纯菊, 刘国华, 等. 断陷湖盆中的浊积岩 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1988: 1–17.
- Wu Chongjun, Li Chunju, Liu Guohua, et al. Turbidite in faulted subsidence lake basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1988: 1–17.
- [13] 吴崇筠, 薛叔浩. 中国含油气盆地沉积学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1993: 65–76.
- Wu Chongjun, Xue Shuhao. *Sedimentology of oil and gas bearing basin in China* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993: 65–76.
- [14] 朱水桥, 肖春林, 饶政, 等. 新疆克拉玛依油田八区上二叠统下乌尔禾组河控型扇三角洲沉积 [J]. *古地理学报*, 2005, 7(4): 471–482.
- Zhu Shuiqiao, Xiao Chunlin, Rao Zheng, et al. Fluvial-dominated fan delta sedimentation of the Lower Urho Formation of Upper Permian in the 8th area of Karamay oilfield, Xinjiang autonomous region [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2005, 7(4): 471–482.
- [15] 施小荣, 李维锋, 赵长永, 等. 准噶尔盆地中拐凸起乌尔禾组扇三角洲沉积特征 [J]. *石油天然气学报*, 2008, 30(6): 246–247.
- Shi Xiaorong, Li Weifeng, Zhao Changyong, et al. Fan-delta sedimentary feature of Urho formation in Zhongguai bulge, Junggar Basin [J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2008, 30(6): 246–247.
- [16] 史基安, 何周, 丁超, 等. 准噶尔盆地西北缘克百地区二叠系沉积特征及沉积模式 [J]. *沉积学报*, 2010, 28(5): 962–967.
- Shi Ji-an, He Zhou, Ding Chao, et al. Sedimentary characteristics and model of Permian system in Ke-Bai Area in the north-western margin of Junggar Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2010, 28(5): 962–967.
- [17] Dorrik A V Stow, Mike Mayal. Deep water sedimentary systems: New models for the 21st century [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2000, 17(2): 125–135.
- [18] Yan Huo. The alluvial fan, fan-delta and sublacustrine fan of Paleogene age within Liaohe Rift, Liaoning Province, China [J]. *Sedimentary Geology*, 1990, 68: 75–85.
- [19] Daniel Larsen, Gary A Smith. Sublacustrine-fan deposition in the Oligocene Creede Formation, Colorado, USA [J]. *Journal of sedimentary research*, 1999, 69(3): 675–689.
- [20] Prabir Dasgupta. Architecture and facies pattern of a sublacustrine fan, Jharia Basin, India [J]. *Sedimentary Geology*, 2002, 148: 373–387.
- [21] 赵澄林, 朱筱敏. 沉积岩石学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2001: 311–324.
- Zhao Chenglin, Zhu Xiaomin. *Sedimentary petrology* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001: 311–324.
- [22] 彭勇民, 黄捍东, 罗群, 等. 泌阳凹陷毕店地区核三段湖底扇与重力流沉积 [J]. *岩石矿物学杂志*, 2008, 27(1): 32–37.
- Peng Yongmin, Huang Handong, Luo Qun, et al. Sublacustrine fans and sedimentary gravity flows within the 3rd member of Hetaoyuan formation in Bidian area of Biyang sag [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2008, 27(1): 32–37.
- [23] 袁静, 杜玉民, 李云南. 惠民凹陷古近系碎屑岩主要沉积环境粒度概率累积曲线特征 [J]. *石油勘探与开发*, 2003, 30(3): 103–106.
- Yuan Jing, Du Yumin, Li Yunnan. Probability cumulative grain size curves in terrigenous depositional environments of the Paleogene in Huimin Sag [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2003, 30(3): 103–106.
- [24] Blatt Middleton. Murray, origin of sedimentary Rocks [M]. New Jersey: Prentice-Hall, 1980: 71.
- [25] Ben F Mclean, Dai Jinxing, Luo Ping. Applied seismic forward modeling (part I): Accurate interpretation of the Donghe sandstone pinchout by poststack seismic forward modeling [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2005, 32(5): 78–81.
- [26] 李显贵, 绍吉华, 张涛. 波阻抗模型正演技术在砂岩储层预测中的应用 [J]. *石油物探*, 2004, 43(6): 584–586.
- Li Xiangui, Shao Jihua, Zhang Tao. Using forward impedance modeling to trace the sandstone reservoir [J]. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 2004, 43(6): 584–586.
- [27] 唐建明, 杨军, 张哨楠. 川西坳陷中、浅层气藏储层识别技术 [J]. *石油与天然气地质*, 2006, 27(6): 879–893.
- Tang Jianming, Yang Jun, Zhang Shaonan. Recognition of shallow-middle gas reservoirs in western Sichuan depression [J]. *Oil & Gas Geology*, 2006, 27(6): 879–893.
- [28] Payton C E. Seismic stratigraphy: Applications to hydrocarbon

- exploration[J]. AAPG Special, 1977; 1-467.
- [29] 王家豪, 陈红汉, 王华, 等. 伊通地堑永一段大型湖底扇的沉积特点及其对构造事件的响应[J]. 地质学报, 2009, 83(4): 550-555.
- Wang Jiahao, Chen Honghan, Wang Hua, et al. Depositional characteristics of the large-scale sublacustrine fan at member Yong 1 of the Yitong Graben and its response to tectonic events[J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(4): 550-555.
- [30] 魏艳, 尹成, 丁峰, 等. 地震多属性综合分析的应用研究[J]. 石油勘探, 2007, 46(1): 42-47.
- Wei Yan, Yin Cheng, Ding Feng, et al. Synthetic analysis of seismic multi-attribute and its application[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2007, 46(1): 42-47.
- [31] 白宝玲, 赵洪洲. 地震多属性综合分析技术在储层预测中的应用[J]. 石油天然气学报, 2010, 32(1): 246-248.
- Bai Baoling, Zhao Hongzhou. Application of synthetic analysis of seismic attributes analytic technique to reservoir prediction[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2010, 32(1): 246-248.
- [32] Chen Q, Steve S. Seismic attribute technology for reservoir forecasting and monitoring[J]. The Leading Edge, 1997, 16(5): 445-456.
- [33] 董文波, 吴雨韩, 吴采西, 等. 应用地震解释技术识别湖底扇—以克拉玛依油田为例[J]. 新疆石油地质, 2011, 32(2): 183-184.
- Dong Wenbo, Wu Yuhang, Wu Caixi, et al. Sublacustrine fan identification by seismic interpretation technology—an example from Karamay Oilfield[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2011, 32(2): 183-184.
- [34] 袁志云, 孔令洪, 王成林. 频谱分解技术在储层预测中的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2006, 41(增刊): 11-15.
- Yuan Zhiyun, Kong Linghong, Wan Chenglin. Application of spectrum decomposition in reservoir prediction[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2006, 41(Supplement): 11-15.
- [35] 蔡刚, 吕锡敏, 苏明军, 等. 频谱分解技术在准噶尔盆地油气勘探中的应用[J]. 天然气工业, 2006, 26(4): 35-37.
- Cai Gang, Lv Ximin, Su Mingjun, et al. Application of frequency spectrum decomposition technique in exploration in the Junggar Basin[J]. Natural Gas Industry, 2006, 26(4): 35-37.
- [36] Greg Partyka, James Gridley, John Lopez. Interpretational applications of spectral decomposition in reservoir characterization[J]. The Leading Edge, 1999, 18(3): 353-360.
- [37] 边立恩, 于茜, 韩自军, 等. 基于谱分解技术的储层定量地震解释[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(5): 718-723.
- Bian Li'en, Yu Qian, Han Zijun, et al. Quantitative seismic interpretation of reservoirs based on spectral decomposition technique[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(5): 718-723.
- [38] 张延章, 尹寿鹏, 张巧玲, 等. 地震分频技术的地质内涵及其效果分析[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(1): 64-71.
- Zhang Yanzhang, Yin Shoupeng, Zhang Qiaoling, et al. Geologic significance of the seismic spectral decomposition technology and its application analysis[J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(1): 64-71.
- [39] 窦欣, 陈振岩, 李成, 等. 辽河西部凹陷齐62井区岩性油气藏储集层特征及识别技术[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(4): 412-415.
- Dou Xin, Chen Zhenyan, Li Cheng, et al. Reservoir characteristics and identification techniques of Lower Tertiary lithological reservoirs around Well Qi62, Western Liaohe Sag[J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(4): 412-415.
- [40] 张军华, 周振晓, 谭明友, 等. 地震切片解释中的几个理论问题[J]. 石油地球物理勘探, 2007, 42(3): 348-352.
- Zhang Junhua, Zhou Zhenxiao, Tan Mingyou, et al. Several theoretical issues about interpretation of seismic slices[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2007, 42(3): 348-352.
- [41] 钱荣钧. 对地震切片解释中一些问题的分析[J]. 石油地球物理勘探, 2007, 42(4): 482-487.
- Qian Rongjun. Analysis of some issues in interpretation of seismic slices[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2007, 42(4): 482-487.
- [42] 董建华, 范廷恩, 高云峰, 等. 真地层切片的拾取及应用[J]. 石油地球物理勘探, 2010, 45: 150-153.
- Dong Jianhua, Fan Ting'en, Gao Yunfeng, et al. Pickup and application of the true stratal slice[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2010, 45: 150-153.
- [43] Zeng Hongliu, Henry S C, Riola J P. Stratal slicing, Part II: Real 3-D seismic data[J]. Geophysics, 1998, 63(2): 514-522.
- [44] 李梅, 金爱民, 楼章华, 等. 准噶尔盆地地层流体特征与油气运聚成藏[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(4): 607-615.
- Li Mei, Jin Aimin, Lou Zhanghua, et al. Formation fluid characteristics and hydrocarbon migration and accumulation in Junggar Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(4): 607-615.
- [45] 胡宗全, 尹伟, 伍新和, 等. 中国中西部四大盆地碎屑岩油气成藏体系及其分布规律[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(4): 561-570.
- Hu Zongquan, Yin Wei, Wu Xinghe, et al. Petroleum accumulation systems of clastic strata and their distribution in the four large-sized basins in central-western China[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(4): 561-570.

(编辑 董立)