

文章编号:0253-9985(2012)04-0520-06

松辽盆地北部徐家围子断陷丰乐地区深层营城组 有利火山岩储集体预测

曹鉴华¹,姜传金²,赵福海²,李乃高³,曹宏明¹

(1. 中国地质大学 地球科学与资源学院,北京 100083; 2. 中国石油 大庆油田公司 勘探开发研究院,黑龙江 大庆 163712;
3. 中国石油 新疆油田公司 采油二厂,新疆 克拉玛依 834008)

摘要:火山岩储集体分布受火山机构、岩性、岩相等控制,复杂多变,准确预测和刻画十分困难。火山口-近火山口微相沉积体是最有利的火山岩储集体,该类相储集体通常具有高频杂乱无序、反射断续无规律、相变快、穹窿状或丘状外形等地震响应特征,地震解释手段易受地震资料品质的影响而无法精确描述储集体特征。针对此问题,基于三维成像分析技术,提出了一套有利火山岩储集体地震识别刻画的技术流程。首先采用构造方位约束滤波技术对叠后振幅数据去噪处理,然后利用包括混沌属性、方位约束不连续性属性等三维地震属性识别储集体,进而采用三维属性聚类成像、像素体检测技术及三维可视化技术对目标储集体进行三维成像分析,获取该类储集体空间分布认识。将该流程应用到松辽盆地北部徐家围子断陷丰乐地区,对营城组火山岩储层进行识别预测。结果表明,营城组火山岩有利储集体得到了良好成像,储集体平面分布趋势和三维影像都很清晰,为储层物性预测提供了宏观依据。

关键词:构造方位约束滤波技术;三维地震;三维成像;火山口-近火山口沉积微相;营城组;徐家围子断陷;松辽盆地北部
中图分类号:TE122.1 **文献标识码:**A

Volcanic reservoir prediction of Yingcheng Formation in Fengle area, Xujiaweizi fault depression, northern Songliao Basin

Cao Jianhua¹, Jiang Chuanjin², Zhao Fuhai², Li Naigao³ and Cao Hongming¹

(1. School of the Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;
2. Exploration and Development Research Institute, PetroChina Daqing Oilfield Company, Daqing, Heilongjiang 163712, China;
3. The Second Oil Production Plant, PetroChina Xinjiang Oilfield Company, Karamay, Xinjiang 834008, China)

Abstract: Distribution of volcanic reservoirs is controlled by various factors such as volcanic edifice, lithology and lithofacies and is difficult to be precisely predicted because of their complexity and heterogeneity. Volcanic reservoirs of crater-near crater sedimentary microfacies are the most favorable reservoirs and their seismic responses are characterized by chaotic high-frequency, discontinuous and irregular reflection configuration, rapid facies change and dome reflections. It is difficult to precisely characterize the volcanic reservoirs through seismic interpretation due to the limitation of seismic data quality. In the paper, we present a new seismic interpretation workflow based on the technique of three-dimensional seismic voxel and imaging analysis. First, structurally-oriented noise filter technique is used to improve the signal/noise ratio of post-stack amplitude data. Then, volumetric seismic attributes including chaos and structurally-oriented discontinuity are used to identify volcanic reservoirs. Finally, three-dimensional imaging techniques with high resolution including attribute classification automatic geobody detection and 3D visualization are applied to predict the spatial distribution of the volcanic reservoirs. This workflow is applied in Yingcheng Formation volcanic reservoir characterization in Fengle area, Xujiaweizi fault depression, northern Songliao basin. The reservoirs are clearly imaged and mapped, providing instructive

收稿日期:2012-01-06;修订日期:2012-05-11。

第一作者简介:曹鉴华(1979—),男,博士研究生,地震地质综合研究。

constraints for further physical properties prediction of the volcanic reservoirs.

Key words: structurally-oriented noise filter, three-dimension seismic, three-dimensional imaging, crater-near crater sedimentary microfacies, Yingcheng Formation, Xujiaweizi fault depression, northern Songliao Basin

近年来,火山岩储集层已经成为了油气勘探的新领域,如在新疆准噶尔盆地、渤海湾盆地、松辽盆地的火山岩储层中发现了成规模的火山岩油气藏^[1-2],取得了巨大的经济效益。在松辽盆地徐家围子断陷丰乐地区,目前针对深层营城组火山岩储层已经形成了一系列的岩相描述、地震储层预测、流体性质识别等预测技术^[3-7]。但研究发现,由于火山岩储层非均质性强、横向相变快、地震特征表现各异,传统的地震属性技术用于火山岩储层描述效果并不十分理想,且易受地震资料品质的影响。

为了对火山岩储层进行更好的地震成像和解释,提出如下预测技术流程:首先对叠后地震数据开展去噪处理,提高地震数据的信噪比,突出目标储集体的成像质量;然后开展三维地震属性技术研究,利用高精度三维可视化分析及处理技术对目标储集体进行三维影像呈现,分析其立体分布特征。以松辽盆地北部徐家围子断陷丰乐地区营城组为例,尝试应用该方法对火山岩地层段有利储集体开展三维地震成像分析,以获取储集体的精确三维空间形态及有利勘探区域。

1 地质概况

丰乐地区位于松辽盆地北部徐家围子断陷中部,是一个受徐西断裂控制的北西向延伸的构造带^[8]。徐西断裂贯穿全区,与该区火山岩发育、火山岩隆起带形成关系密切,同时也是深部烃源岩气源向上运移成藏的主要通道。火山岩主要发育于深层火石岭组、沙河子组和营城组中,其中营城组沉积期火山喷发规模大、分布面广,特别是营一段时期火山岩厚度大,在断陷全区广泛分布,钻井揭示火山岩厚度为77~989 m。

研究区内多口井在营城组一段火山岩储层测试获得了天然气流,如西北部构造区域XS9井、XS901井分别获得了日产 24.5×10^4 、 38×10^4 m³工业气流,目前该气藏已经正式进入了开发阶段^[9]。南部XS10井、XS15井及东部XS11井均为低产气流井,而西侧XS16井则测试产水。火山岩储层的物性变化大,非均质性强。据统计,营一段火山岩孔隙度为1.8%~

18.8%,平均为5.3%,渗透率为 $0.01 \times 10^{-3} \sim 13 \times 10^{-3}$ μm²,平均为 0.35×10^{-3} μm²^[9]。

2 火山岩相与有利储层分布

勘探实践表明,寻找火山喷发中心相带,钻探成功率较高。唐华风等^[9]根据火山岩地震反射形态及内部结构将火山机构相带划分为火山口-近火山口相组、近源相组和远源相组。在相组分布位置上以距火山喷发中心远近为原则,这三种相组与火山中心位置距离依次增大。考虑到地震资料在火山岩段的纵横向分辨能力,这种划分方案实用性强,能突出储层的整体宏观分布特征,如图1为研究区三类相组的典型地震响应特征。同时这三类相组在空间位置、岩性岩相组合、宏观和微观特征上都存在较大的差异,储集能力差异也明显,从实际钻探效果对比来看,火山口-近火山口相组是最有利的储集体分布区域,而且主要分布在局部构造高点,易形成构造-岩性圈闭。

2.1 火山口-近火山口相组

该相组岩性上以角砾熔岩、珍珠岩、集块熔岩、凝灰熔岩、流纹岩为主,地层具有厚度大、倾向陡、延伸距离小的特征;地震剖面上表现为穹窿、丘状外形,内部反射非常杂乱、不成层、断续现象明显。该类相组的储层属于中孔高渗储层,具有大孔隙、宽-长裂缝、小孔喉、孔喉分选好的特征。如图1a中XS9井即钻遇了该类特征相带,获得了高产工业气流。

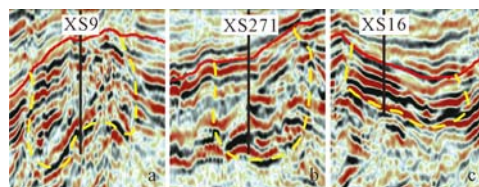


图1 3种火山机构相组地震剖面典型特征

Fig. 1 Characteristics of seismic sections for the three types of volcanic edifice facies

a. 火山口-近火山口相组; b. 近源相组; c. 远源相组

2.2 近源相组

该相组距离岩浆喷发源较近,岩性上以晶屑、岩屑、浆屑凝灰熔岩为主,地层具有厚度中等、倾角较陡、延伸距离较远的特征;地震特征上具有一定的成层性,振幅较强。该类相组的储层物性较好,具有中孔中渗、小孔喉、孔喉分选较好的特征。图1b中XS271井钻遇了该类特征相组,测试获低产。

2.3 远源相组

该相组距离岩浆喷发源较远,岩性以层状火山碎屑岩、凝灰岩为主,岩石构造上具有平行层理、交错层理,在地震剖面上也表现为层状反射特征,振幅能量强。远源相组的储层物性差,属于中、低孔低渗储层。图1c中XS16井钻遇了该类特征相组,储层测试含水特征明显。

3 有利储集体三维地震预测

为获取有利储集体精确的三维成像,在明确其基本地震地质特征基础上,首先对叠后地震数据开展去噪处理,改善目标储集体成像质量,然后进行地震属性技术研究,选择合适的三维地震属性来刻画有利储集体分布特征,结合先进的成像分析手段、三维可视化技术呈现有利储集体三维影像。

3.1 叠后地震数据去噪

为提高地层与构造反射特征的清晰度,改善地震资料品质,对叠后地震资料进行去噪处理是一种有效的手段。常用的叠后去噪方法为滤波

平滑处理,如中值滤波,但在处理时不考虑实际反射形态,对地层倾角较陡时去噪效果不理想^[10]。构造方位约束去噪处理技术(structurally oriented noise filter)可以沿着反射轴的局部倾向进行平滑而去除噪背景噪音^[11]。在应用时利用地层倾角和方位角信息作为约束条件,对平缓地层和倾角较陡地层去噪效果都比较理想。经过去噪处理后,剖面反射品质得到了有效改善,在目标层营成组一段地层成像更为清晰(图2)。

3.2 三维地震属性研究

通常很容易观察到地震数据上反射轴的断续、空白、杂乱等特征,但这种观察是比较模糊的,不是很清晰。通过引入数学计算方法,将地震反射轴之间的信息(如差异性、不连续性等)进行定量化处理,并在此基础上进行解释,这就是地震属性技术^[12]。与传统的地质解释相比,属性体解释更为客观,运用各种三维地震成像技术生成可视化的地震反射数据体和属性体,能更好的刻画特殊地质体、目标体的几何特征及目标储层体系的非均质性结构^[13]。

火山口-近火山口相组储集体地震特征以高频杂乱反射为主,振幅较强呈断续分布。混沌属性(chaos)和方位约束不连续性属性(structurally oriented discontinuity,简称SOD)适合于定性评价该类储集体。基于梯度构造向量算法的混沌属性^[14]可以用来表征混沌无序的状态程度,突出杂乱区域。某样点区域混沌属性数值越大,表明该处杂乱无序状态越明显。方位约束不连续性属性^[15]可用于表征由于断裂、裂缝或者其他原因导致的反射轴不连续分布特征。

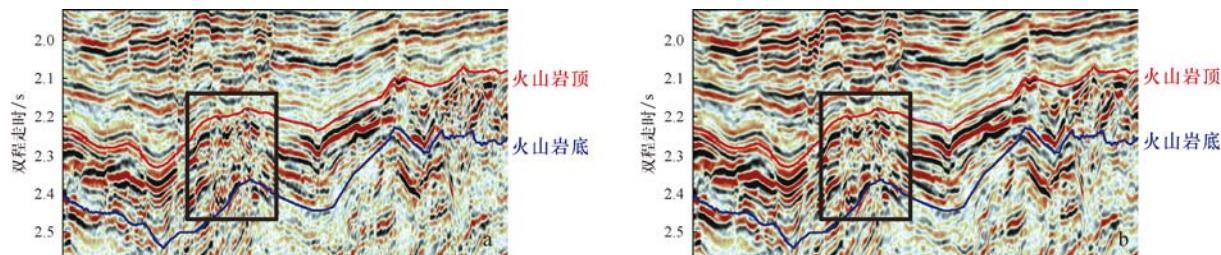


图2 Inline1009主测线去噪前、后地震剖面效果对比

Fig. 2 Comparison between seismic sections before and after noise reduction at inline1009

a. 原始地震数据;b. 去噪后地震数据

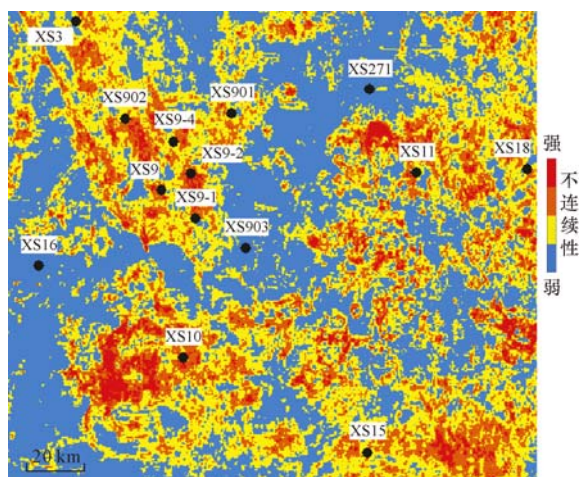


图3 火山岩段方位约束不连续性属性平面分布

Fig. 3 Plan map showing SOD attributes of the volcanic layer

图3为火山岩层段的方位约束不连续性属性平面分布图,其中黄红色指示不连续性特征强值区域,主要分布在XS3—XS9井区域,XS10井区域以及工区东部的XS11井,XS15井区域。经实际钻井岩性和测试结论标定,由属性所圈定的杂乱断续反射的地震相带区域与火山口—近火山口相组储集体分布规律基本一致,而这种特征正是由于该相组内沉积分选差、粒径大小不均匀、杂乱堆积的火山岩岩性导致的。

3.3 三维属性聚类成像

基于神经网络法的三维地震聚类成像可以将目标层段数据体自动划分成不同类别的区域,每个区域指示不同的岩性或岩相区带^[16]。首先选定能够表征目标储集体特征的属性体,在该属性体上不同范围的属性值可指示不同的岩性或者岩相类别。例如波阻抗属性,许多情况下高波阻抗数值范围往往指示砂岩,而低波阻抗数值范围与泥岩对应,然后基于解释经验和地质认识,将标准地震属性剖面上不同范围的值圈定出来,并用神经网络方法对整个属性体进行聚类相分类处理,获得目标层段的聚类相分类体。在进行聚类成像处理时,可以是一种属性体,也可以是多种属性体组合。通常会选用几种与目标储集体具关联性的属性体融合在一起以便获得更精确的聚类相分类。

选用Chaos属性体、SOD属性体以及振幅属性体组合后进行神经网络聚类成像处理,最终获得了营城组火山岩段的聚类相分类体。将营城组

火山岩段地层内部共定义3类相:A类具有高杂乱、不连续性反射、较弱振幅地震相特征,其特征与火山口—近火山口相组吻合,可以用于指示该类相组储集体分布位置;B类具有中等连续、平行或亚平行、中等或强振幅反射地震相特征,属于过渡类型;C类具有连续、平行、强振幅反射特征,其特征则与远源相组较为一致,尤其是在距离火山口较远区域。

图4为过XS16—XS9—XS11井的分类剖面,红色指示A类相,如XS9井、XS11井处均为A类相,与图5中振幅剖面上识别的火山口相组相对应;黄色指示C类相,在XS16井处即对应远源相组储集体。

图6为沿营城组火山岩段顶界面的分类切片,平面上,A类相主要分布在XS3—XS9—XS10井区、XS11井区、XS18井南、XS15井区等区域,储层经钻井证实为火山口—近火山口相组储集体,而XS16井区、XS302井区等则为C类相,即远源相组。

3.4 三维地质体像素检测

三维检测技术是在三维数据体中寻找与用户定义值或目标属性范围值相关联的像素体元^[17]。在三维可视化环境中,地震道首先被转换成像素体元,这些体元都有幅值和大小,与原始三维地震体的振幅和采样间隔对应。像素体检测先定义目

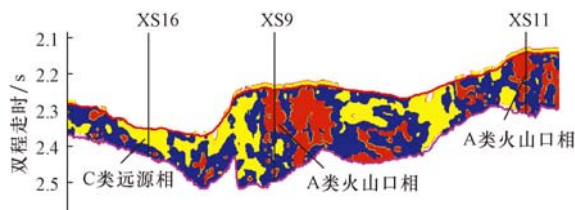


图4 过XS16—XS9—XS11井的属性相分类剖面

Fig. 4 Attribute classification section across wells of XS16, XS9 and XS11

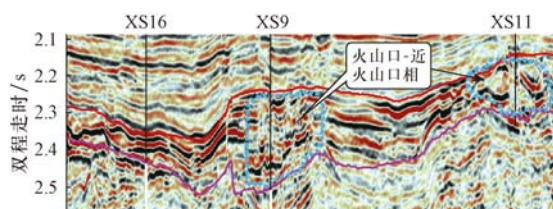


图5 过XS16—XS9—XS11井的地震振幅剖面

Fig. 5 Seismic amplitude section across wells of XS16, XS9 and XS11

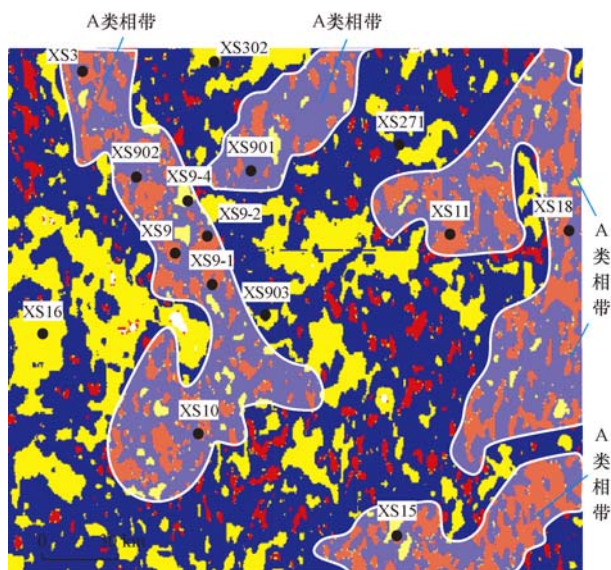


图6 沿营城组火山岩段顶界面属性分类相切片

Fig. 6 Attribute classification slices along the top horizon of the volcanic rocks in Yingcheng Formation

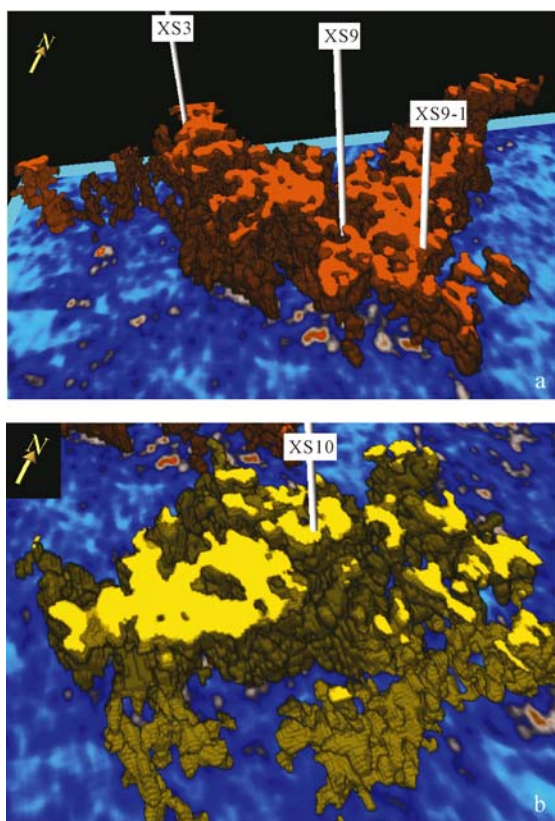


图7 火山口-近火山口相组储集体三维显示

Fig. 7 3D display of the reservoir of crater-near crater sedimentary microfacies

a. XS3井—XS9井区;b. XS10井区

标体属性幅值范围,然后搜寻类似特征的相邻体元,最终联接形成三维影像,获得目标沉积体空间

分布认识。

在分类数据体上采用体检测手段将有利相组特征值区域(红色值区域)检测出来,获得大小不等的三维像素地质体。研究工区内主要包括四个较大规模的火山口-近火山口相组储集体,即XS3—XS9井区、XS10井区、XS15井区及东部的XS11井区、XS18井东南区域。图7为研究区西北侧XS3—XS9井区、西南侧XS10井区火山口-近火山口相组储集体立体显示,空间特征非常清晰。

通过上述处理分析流程,研究工区内营城组火山口-近火山口相组储集体空间形态及结构得到了良好的成像,同时明确了该类有利储集体的分布区域为XS3—XS9井区、XS10井区、XS15井区、XS11井区以及XS18井南区域。目前XS3—XS9井的火山口-近火山口有利相组已经进入油气开发阶段,结合研究工区构造因素及其他地质成藏因素分析,可对下一步目标勘探做出决策,如XS10井西南侧相对构造高部位。

4 结论

1) 基于火山机构相带分类的火山口-近火山口相组储集体是火山岩勘探的首选目标。该类储集体在地震反射上普遍具有杂乱、断续反射特征,比较容易识别。

2) 通过对丰乐地区营城组火山岩有利储集体的地震成像分析,建立了一套以地震资料为主的目标预测流程,有效刻画了火山岩储层的宏观分布。该流程主要包括地震去噪处理、三维地震属性计算、三维属性聚类成像、像素体探测等步骤,其中去噪处理旨在提高储集体地震反射品质,地震属性技术则用来有效识别储集体,聚类成像及体检测旨在对有利储集体三维成像分析,获得三维影像特征。在丰乐地区的应用效果体现了其针对性和实用性,对类似储集体地震成像预测具有一定参考价值。

参考文献

- [1] 冯志强,刘嘉麒,王璞珺,等. 油气勘探新领域:火山岩油气藏——松辽盆地大型火山岩气田发现的启示[J]. 地球物理学报,2011,54(2):269-279.
Feng Zhiqiang, Liu Jiaqi, Wang Pujun, et al. New oil and gas

- exploration field; volcanic hydrocarbon reservoirs—Enlightenment from the discovery of the large gas field in Songliao basin[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2011, 54(2): 269–279.
- [2] 金春爽, 乔德武, 谈伟宁. 渤海湾盆地中、新生代火山岩分布及油气藏特征[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(1): 19–29.
- Jin Chunshuang, Qiao Dewu, Dan Weining. Meso-Cenozoic volcanic rock distribution and reservoir characteristics in the Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(1): 19–29.
- [3] 李明, 邹才能, 刘晓, 等. 松辽盆地北部深层火山岩气藏识别与预测技术[J]. 石油地球物理勘探, 2002, 37(5): 477–484.
- Li Ming, Zou Caineng, Liuxiao, et al. Identifying and predicting technology of deep volcanics gas reservoir in north of Songliao basin[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2002, 37(5): 477–484.
- [4] 孙粉锦, 罗霞, 齐景顺, 等. 火山岩体对火山岩气藏的控制作用——以松辽盆地深层徐家围子断陷兴城和升平火山岩气藏为例[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(2): 180–186.
- Sun Fenjin, Luo Xia, Qi Jinshun, et al. Controlling effects of volcanic rocks upon gas pools—taking two volcanic gas reservoirs in the Songliao Basin as examples[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(2): 180–186.
- [5] 姜传金, 卢双舫, 张元高. 火山岩气藏三维地震描述——以徐家围子断陷营城组火山岩勘探为例[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2010, 40(1): 203–208.
- Jiang Chuanjin, Lu Shuangfang, Zhang Yuangao. Three-d seismic description of volcanic gas pool: a case study from exploration to the lower Cretaceous volcanics in Xujiaweizi fault depression, northern Songliao basin[J]. Journal of Jilin University (Earth science Edition), 2010, 40(1): 203–208.
- [6] 王洪江, 吴聿元. 松辽盆地长岭断陷火山岩天然气藏分布规律与控制因素[J]. 石油与天然气地质, 2011, 31(3): 360–367.
- Wang Hongjiang, Wu Yuyuan. Distribution patterns and controlling factors of volcanic gas pools in the Changling fault depression, the Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 31(3): 360–367.
- [7] 姜传金, 鞠林波, 张广颖, 等. 利用地震叠前数据预测火山岩裂缝的方法和效果分析——以松辽盆地北部徐家围子断陷营城组火山岩为例[J]. 地球物理学报, 2011, 54(2): 515–523.
- Jiang Chuanjin, Ju Linbo, Zhang Guangyin, et al. The method and effect analysis of volcanic fracture prediction with prestack seismic data—an example from the volcanic rocks of Yingcheng formation in Xujiaweizi fault depression, north of Songliao basin[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2011, 54(2): 515–523.
- [8] 姜传金, 冯肖宇, 詹怡捷, 等. 松辽盆地北部徐家围子断陷火山岩气藏勘探新技术[J]. 大庆石油地质与开发, 2007, 26(4): 133–137.
- Jiang Chuanjin, Feng Xiaoyu, Zhang Yijie, et al. New methodology to explore gas-bearing volcanic reservoir in Xujiaweizi Fault Depression of the northern Songliao Basin[J]. Petroleum geology & oilfield development in Daqing, 2007, 26(4): 133–137.
- [9] 唐华凤, 庞彦明, 边伟华, 等. 松辽盆地白垩系营城组火山机构储层定量分析[J]. 石油学报, 2008, 29(6): 841–845.
- Tang Huafeng, Pan Yanming, Bian Weihua, et al. Quantitative analysis on reservoirs in volcanic edifice of Early Cretaceous Yingcheng Formation in Songliao Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2008, 29(6): 841–845.
- [10] Chopra S, Marfurt K J. Emerging and future trends in seismic attributes[J]. The Leading Edge, 2008, 27(3): 298–318.
- [11] Hocker C, Fehmers G. Fast structural interpretation with structure-oriented filtering[J]. Geophysics, 2003, 68(4): 1286–1293.
- [12] 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.
- Zhang Yanling, Yang Changchun, Jia Shuguang. The application of the seismic attributes[J]. Progress in Geophysics, 2005, 20(4): 1129–1133.
- [13] 魏文, 王兴谋, 李红梅, 等. 基于地震波衰减的特征属性重构方法资料[J]. 石油物探, 2012, 51(3): 219–225.
- Wei Wen, Wang Xingmou, Li Hongmei, et al. Method of characteristics attributes reconstruction based on seismic wave attenuation[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2012, 51(3): 219–225.
- [14] 唐湘蓉, 蔡涵鹏, 贺振华. 地震波高频信息在薄层砂体预测中的应用[J]. 石油物探, 2012, 51(3): 244–250, 279.
- Tang Xiangrong, Cai Hanpeng, He Zhenhua. Thin-bed sand body prediction based on seismic wave high-frequency information[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2012, 51(3): 244–250, 279.
- [15] 张云银, 杨泽蓉, 孙淑艳, 等. 临南洼陷三角洲地震岩相解释方法[J]. 石油与天然气地质, 2011, 31(3): 404–410.
- Zhang Yunyin, Yang Zerong, Sun Shuyan, et al. Seismic lithofacies interpretation of delta deposits in the Linnan subsag[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 31(3): 404–410.
- [16] 叶泰然, 唐建明, 文雪康, 等. 三维三分量地震资料在川西深层致密砂岩气藏预测中的应用[J]. 石油物探, 2011, 50(6): 558–564.
- Ye Tairan, Tang Jianming, Wen Xuekang, et al. Application of 3D3C seismic data for predicting deep tight gas reservoir in Western Sichuan Basin[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2011, 50(6): 558–564.
- [17] 杨敏芳, 杨瑞召, 张春雷. 地震约束地质建模技术在松辽盆地古537区块储层预测中的应用[J]. 石油物探, 2010, 49(1): 58–61.
- Yang Minfang, Yang Ruizhao, Zhang Chunlei. Application of seismic constraint geologic modeling technique for reservoir prediction in Gu537 block of Songliao Basin[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2010, 49(1): 58–61.

(编辑 董立)