

doi:10.11835/j.issn.1000-582X.2018.12.004

山前复杂岩性地区低频模型的构建方法

黄 诚, 李鹏飞, 陈元勇, 杨宪彰, 张 玮

(中国石油天然气股份有限公司塔里木油田分公司, 新疆 库尔勒 841000)

摘 要:山前地带复杂油气藏的准确勘探一直是地球物理勘探中的难题, 由于山前地带的地质构造复杂、地层岩性变化大, 分析和预测其储层砂体的展布规律很困难。笔者以均匀介质背景下的楔状体模型为例, 研究了低频模型对反演结果影响的重要性, 并针对塔里木盆地神木地区白垩系舒善河组砂岩的勘探难点, 提出利用速度体及反映沉积趋势的属性体补充 3 Hz 以下甚低频成分以及利用构造层位控制下的井插值模型补充 3~10 Hz 频率成分, 来构建山前地带复杂地质体低频模型的新方法。该方法在库车前陆深层油气勘探目标评价中取得了良好的应用效果。

关键词:山前复杂油气藏; 地震反演; 楔状体模型; 属性体; 甚低频

中图分类号: TE132

文献标志码: A

文章编号: 1000-582X(2018)12-030-06

The establishment of the low frequency mode in piedmont complex lithology area

HUANG Cheng, LI Pengfei, CHEN Yuanyong, YANG Xianzhang, ZHANG Wei

(PetroChina Tarim Oilfield Company, Korla 841000, Xinjiang, P.R.China)

Abstract: The accurate exploration of piedmont complex reservoir is a major problem in geophysical exploration. It's difficult to analyze and predict the distribution law of reservoir sand bodies in piedmont zone because of its complex structural features, rapid formation of lithology and unclear geological structure. In this paper, the importance of low frequency model to the inversion results is studied by taking wedge model in homogeneous medium as an example. And to solve the exploration problems in Shenmu area of Tarim basin of Cretaceous Shushanhe Formation sandstone, we proposed a new method for constructing low frequency model of piedmont complex geological body by using velocity body and attribute body which reflects the sedimentary tendency to supplement the very low frequency (0 to 3 Hz) components, and by using well interpolation model which is controlled by tectonic horizon to supplement 3 Hz to 10 Hz frequency. The method has achieved good results in the evaluation of the target oil and gas exploration in the Kuche foreland basin.

Keywords: piedmont complex hydrocarbon reservoir; seismic inversion; wedge model; attribute body; very low frequency

受野外地震资料采集条件的限制, 常规地震数据中 10 Hz 以下的信号受到压制, 会缺失低频信息^[1]。然而地震反演中使用的地震资料必须是全频带的, 缺失的低频信息会影响地层的趋势结构, 因此, 如何获取准

收稿日期: 2018-07-04

基金项目: 国家科技重大专项资助项目(2016ZX05003-004)。

Supported by National Science and Technology Major Project(2016ZX05003-004).

作者简介: 黄诚(1990—), 硕士, 工程师, 主要研究方向为地震资料综合解释及碎屑岩储层预测, (E-mail)1445066891@qq.com。

确的低频信息是解决储层反演问题的关键所在^[2]。

现行的基于褶积模型的反演技术中,低频阻抗模型的构建主要包括信号重构拓展低频^[3-4]和测井资料补偿低频^[5-6]两种技术方法。信号重构技术是基于采样和恢复原理,通过数学计算来拓展地震频带,其重构方法过度依赖地震资料,并且受地震资料带限性质的影响,很难从地震资料中拓展得到准确的低频分量^[7]。相对于信号重构技术而言,利用其他数据源信息来补偿低频分量的方法具有一定的优势。常规的低频补偿技术是测井资料补偿方法,主要通过测井曲线内插外推得到低频模型,这种方法受到井的数量、平面分布情况及插值算法的限制,结果带有很大的不确定性^[8],如果适当地引入速度谱资料,一定程度上可以增加低频模型的可靠性,减少预测误差^[9]。但是面对更为复杂的山前地带,需要考虑岩性及流体变化信息,其低频模型的构建难度就要大得多,如何构建符合实际地质情况的低频模型仍然是地球物理工作者面临的一个巨大挑战。基于此,笔者研究了低频模型对反演结果影响的重要性,在反演建立低频模型时充分考虑地质构造特征、地层岩性及沉积变化趋势,提出了一套针对山前复杂岩性组合的低频模型构建的新方法。

1 低频模型的基本原理与构建方法

地震反演的原理是求取式(1)的极小化。

$$\left[\sum (r_i)^p + \lambda^q \sum (d_i - s_i)^q + \alpha^2 \sum (t_i - z_i)^2 \right] \rightarrow \min, \quad (1)$$

式中: r_i 为反射系数,可以表示为 $r = \frac{z_{i+1} - z_i}{z_{i+1} + z_i}$; z_i 代表声波阻抗值; d_i 为地震道数据; s_i 为合成记录道数据; t_i 为用户提供的波阻抗趋势模型; λ 为残差权重因子; α 为趋势权重因子; p, q 为 L 模因子; i 为采样点编号^[10]。

式(1)的值由 3 部分组成, $\sum (r_i)^p$ 代表反射系数序列的 L_p 模和, $\lambda^q \sum (d_i - s_i)^q$ 为残差加权和, $\alpha^2 \sum (t_i - z_i)^2$ 代表极低频的趋势。从式(1)中可以看出,低频信息是地震反演中极为重要的环节。

笔者提出利用测井曲线、地震叠加速度以及地震属性联合建立低频的方法,即 t_i 所代表的波阻抗趋势模型充分利用了测井、地震叠加速度以及地震属性等 3 个数据源信息,其中地震叠加速度由地震处理环节得到,能够反映地层的变化趋势;地震属性则可以根据地震资料属性提取得到,可以建立地震属性与储层物性之间的相关关系,反映储层参数变化。如图 1 所示,地震资料有效频带一般为 10~60 Hz,直接利用地震资料反演势必造成反演结果的不准确性。测井曲线、地震叠加速度以及地震属性可以作为补偿低频数据的 3 个主要来源;测井曲线为全频带信息,并能提供所需要的弹性信息(纵横波和密度),取其 3~10 Hz 信息进行低频补偿。对于 0~3 Hz 的甚低频部分,一部分来自地震叠加速度资料,提供地层区域上的整体变化趋势;一部分则来自地震属性,主要弥补由井间插值带来的不确定性。

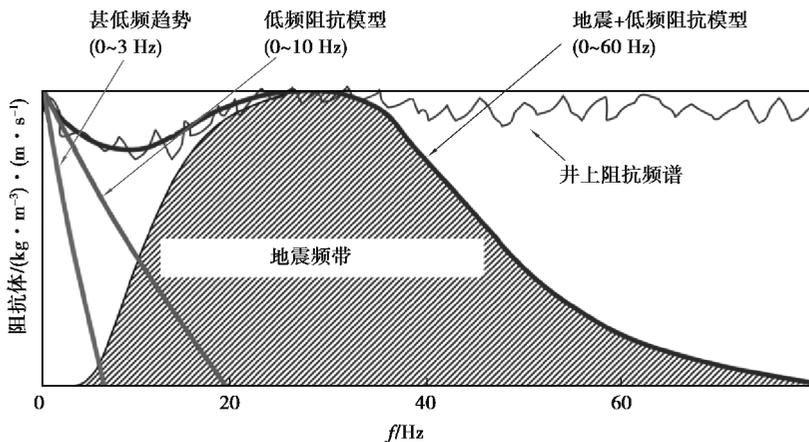


图 1 不同数据体低频补偿的频谱示意图

Fig.1 The spectrum schematic diagram of compensated low frequency by different data bodies

该方法的具体实施步骤如下:

1) 利用测井曲线建立 3~10 Hz 模型。在地质框架模型的约束下,通过内插外推得到井差值阻抗模型,取其 3~10 Hz 的低频成分进行补偿。

2) 利用地震叠加速度建立甚低频模型。地震叠加速度包含一个非常窄的可靠频率范围,通常为 0~3 Hz,可以反映地层在区域上的整体变化趋势。

3) 地震属性能够反映储层参数的变化,因此,可以建立地震属性与储层物性的相关关系,将能反映沉积规律的属性体融入到反演低频模型中,弥补井间插值方法带来的不确定性。通过提取能反映研究区沉积规律的属性体,优选出与测井曲线相关系数高的属性,建立属性低频体。

4) 将测井、地震速度以及地震属性等 3 个不同数据源建立的低频模型进行合并,得到最终的低频模型,合并后的低频模型则包含了多个数据源的信息。

2 数值模拟与分析

为了研究低频模型对反演结果的影响,通过理论的楔状体模型进行论证分析。这里选取零偏移距的地震正演道集作为模型数据,该理论模型的频带宽度为 10~80 Hz,如图 2(a)所示,楔形体阻抗高于围岩的阻抗值,剖面上表现为顶界面强波峰,底界面强波谷的反射特征。

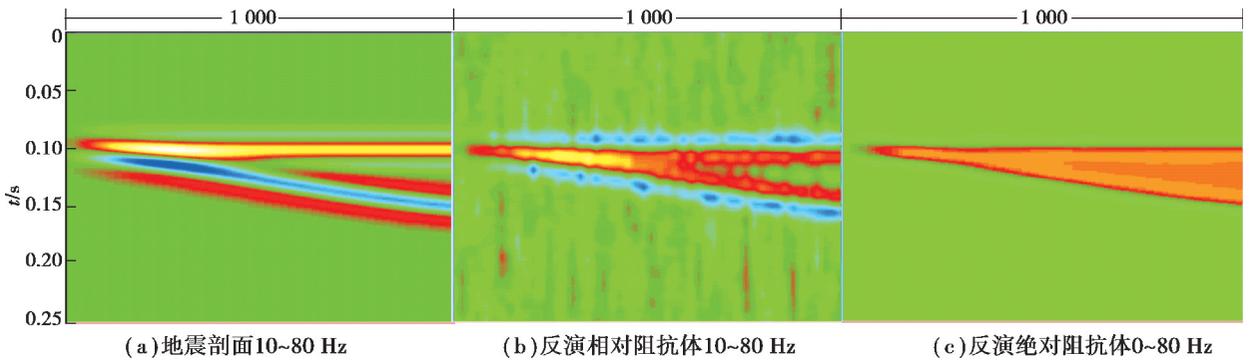


图 2 楔状体数值模拟结果

Fig.2 The numerical simulation results of wedge-shaped bodies

对图 2(a)的地震道集直接进行反演得到相对阻抗体(图 2(b))。相对阻抗体的频带范围与地震频带范围一致,均是 10~80 Hz。相对阻抗反演结果能反映楔状体的大致形态,但是地层界面附近存在明显的“晕圈”现象,要精细解释楔状体界面还存在一定的难度。为了得到含低频成分的绝对阻抗体,对地震数据缺少的 0~10 Hz 低频分量进行信息补偿,将反演频带拓展为 0~80 Hz,如图 2(c)所示,含低频成分的绝对阻抗结果更加接近楔形体的真实形态,地层界面和内部形态更清楚,可以直接和理论模型对比。

该实验结果表明,相对阻抗体能反映反演目标的大致形态,达到一定的解释效果,但解释结果不一定精确,为了提高反演的成像精度,改善反演质量,地震数据低频能量补偿的研究就显得尤为重要^[11]。

3 实例应用与分析

神木地区位于塔里木盆地库车坳陷乌什凹陷东部,主力勘探目的层为白垩系舒善河组,其沉积的宏观地貌为温宿凸起与萨瓦普齐凸起两大古凸起控制的长条形山间小盆地。白垩系岩性序列为洪泛冲积平原与辫状河道砂组合,以大套洪泛泥岩与砾岩为主,中部夹薄层河道砂岩^[12-13]。2003 年以来,针对该区目的层共钻探 9 口井,其中 3 口井获得成功,显示该区巨大的勘探潜力,但 6 口失利井也显示了该区油气藏的复杂性。如图 3 神木地区舒善河组地层对比图所示,神木 3 井舒善河组不发育优质砂岩,而邻井神木 2C 井发育巨厚砂岩,该区地质构造复杂、地层岩性变化快。

图 4 为采用常规的井差值方法建立的低频模型,由于没有考虑研究区的沉积变化趋势以及岩性变化特征,直接利用测井曲线内插外推的方法,建立的低频模型受井点控制的影响较大,井上低频成分的过多加入造成反演结果横向细节的缺失,模型化加重,出现所谓的“牛眼效应”,显然不能为地震反演提供正确的低频分量。

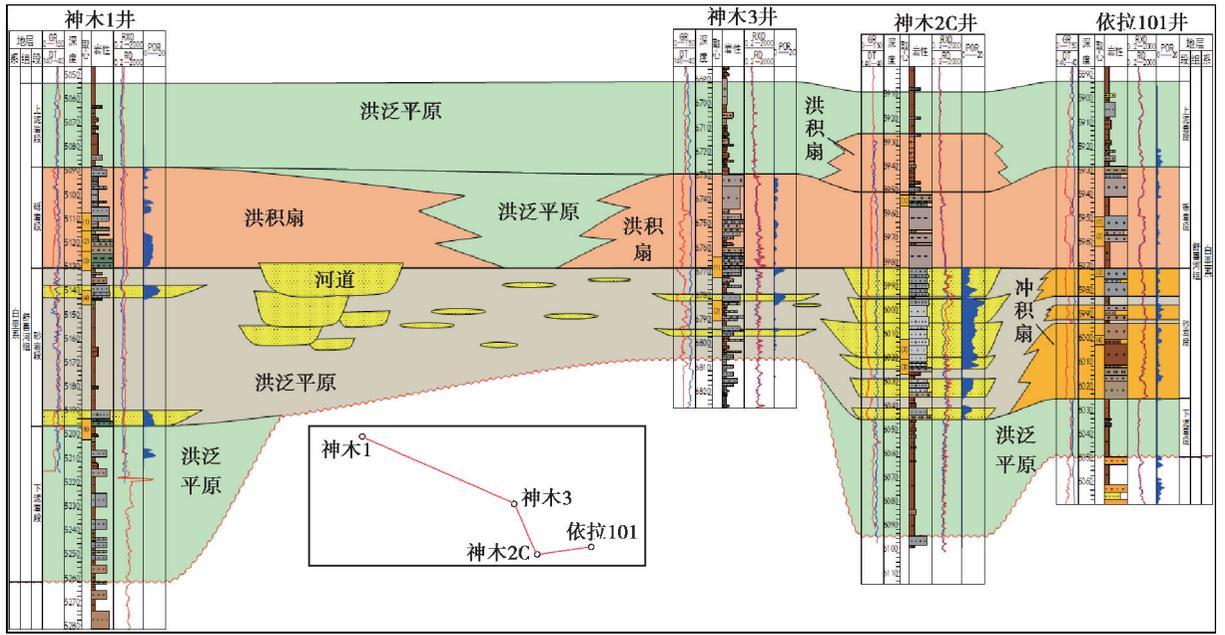


图 3 舒善河组地层对比图

Fig.3 The stratigraphic correlation diagram of Shushanhe Formation

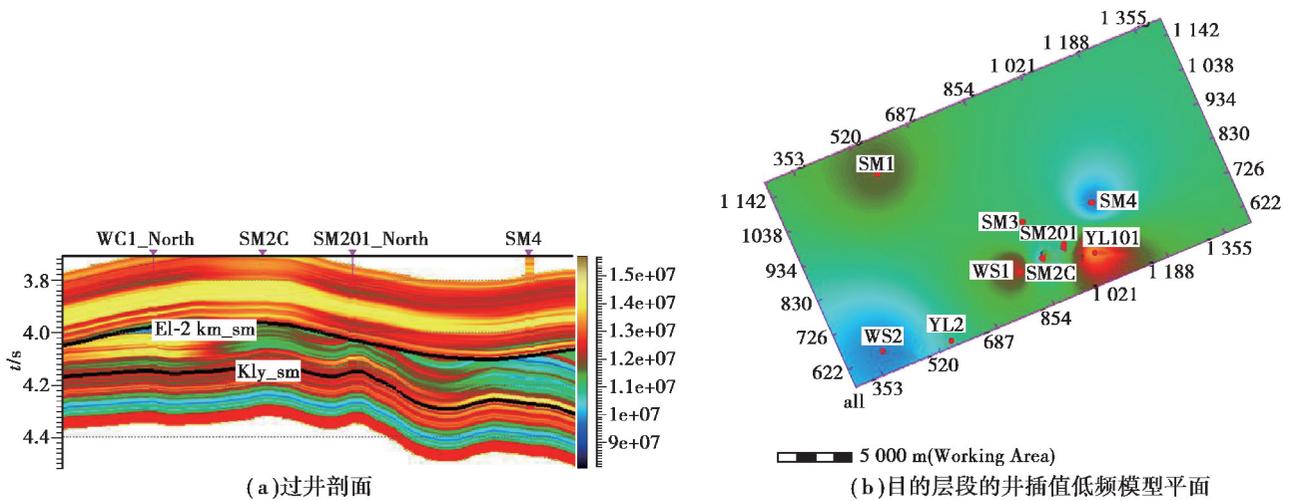


图 4 井插值低频模型

Fig.4 The low frequency model by well interpolation

图 5 为目的层段地震叠加速度模型和地震属性的平面示意图。地震叠加速度的可靠频率范围是 0~3 Hz,可以反映地层横向上的变化趋势,对地震叠加速度进行优化处理,建立 0~3 Hz 的甚低频模型,该模型在横向趋势上具有一定的代表性。但是速度信息仍然不能有效表征研究区复杂地层的弹性属性变化趋势,因此将研究区的岩石物理特性考虑在内,进一步引入地震属性参数。对神木地区振幅属性进行研究发现,地震振幅属性与测井曲线具有较高的相关性,并且能反映该区的沉积特征,总体表现为高孔砂岩为中振幅值,低纵横波速度比;泥岩为低振幅值,高纵横波速度比。将高切滤波后的振幅信息转换为弹性模型信息,建立以地震振幅为基础模型。

将测井、地震叠加速度以及地震属性 3 个数据源信息建立的模型进行频率域合并,得到最终反演所需的低频模型。

图 6 为神木地区最终模型剖面及平面图,从图 6 中可以看出该低频模型融合了测井、地震叠加速度以及振幅属性等多方面的信息,一方面有效继承了速度及属性信息的横向连续性特点,丰富了岩性变化细节,另

一方面改善了常规井插值模型中出现的井点“画圈”、模型化严重的问题,建立的模型更接近地下岩层的真实情况。

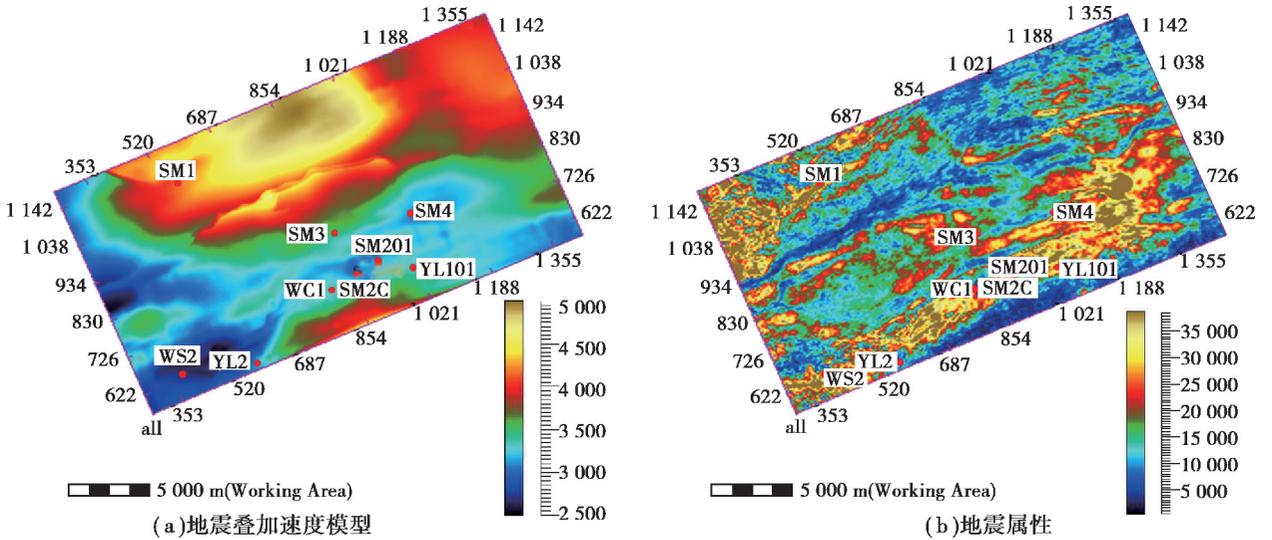


图 5 目的层段地震叠加速度模型和地震属性的平面图

Fig.5 The planar distribution map of seismic superposition velocity model and seismic attributes for target segment

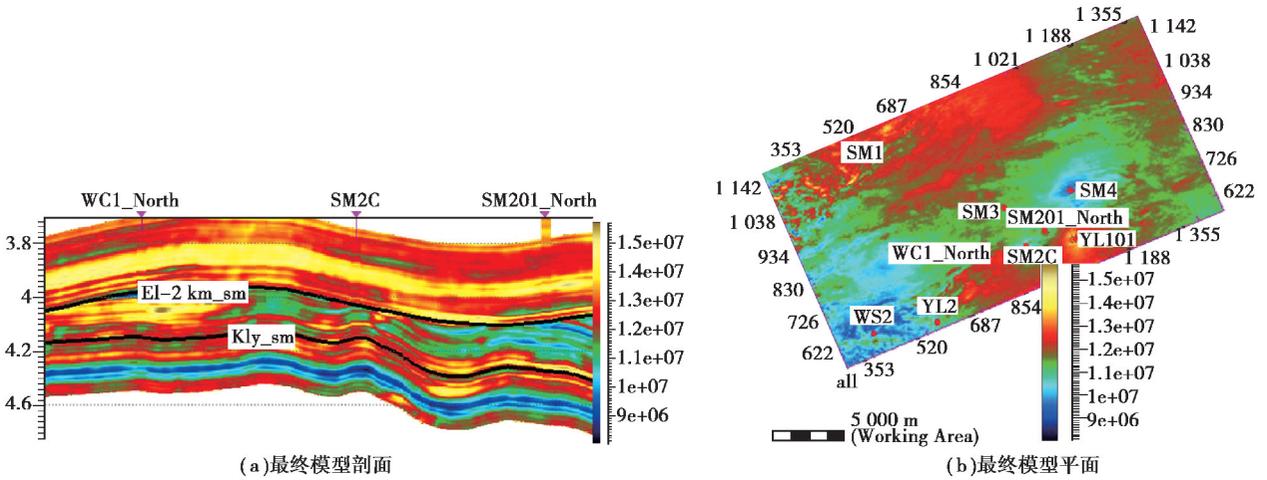


图 6 最终模型剖面及平面图

Fig.6 The profile and the planar distribution map of final low frequency model

4 结 论

实际项目研究中,许多反演目标可以通过相对阻抗体达到一定的解释效果,但相对阻抗解释结果不一定精确。为了提高反演的成像精度,改善反演质量,必须进行地震数据低频能量补偿的研究,构建准确的低频分量。

山前复杂岩性地区的地质构造条件复杂、岩性变化较快,如何构建符合实际地质情况的低频模型仍然是地球物理工作者面临的一个巨大挑战。通过塔里木油田乌什凹陷神木区块的研究实例证实,充分利用测井、叠加速度以及地震属性等 3 个数据源信息建立的低频模型可以有效地继承速度及属性信息的横向连续性特点,丰富岩性变化细节,能更准确地反映地下岩层的真实情况,为地震储层反演提供有利的支持条件。

参考文献:

[1] Baganini C. Low-frequency vibroseis data with maximum displacement sweeps[J]. The Leading Edge, 2008, 27(5):

582-591.

- [2] 马劲风,王学军,谢言光,等. 波阻抗反演中低频分量构建的经验与技巧[J]. 石油物探,2000, 39(1): 27-34,41.
MA Jinfeng, WANG Xuejun, XIE Yanguang, et al. Experience and skill of constructing low frequency components in impedance inversion[J]. Geophysical Prospecting for Petrole,2000(1):27-34,41. (in Chinese)
- [3] Baeten G, de Maag J W, Plessix R E, et al. The use of low frequencies in a full-waveform inversion and impedance inversion land seismic case study[J]. Geophysical Prospecting, 2013, 61(4): 701-711.
- [4] 陈祖银,应明雄,贺懿,等.基于多重积分的低频补偿反演方法研究[J].科学技术与工程,2014,14(36): 1-5,16.
CHEN Zuyin, YING Mingxiong, HE Yi, et al. The study method of low-frequency compensation inversion based on multiple integral[J]. Science Technology and Engineering,2014,14(36): 1-5,16. (in Chinese)
- [5] 孙军和,张玉升,董建国,等. 低频信号接收技术现状认识[J]. 石油仪器, 2012, 26(6): 73-76, IV.
SUN Junhe, ZHANG Yusheng, DONG Jianguo, et al. Low frequency signal receiver technology [J]. Petroleum Instruments, 2012(6), 73-76, IV. (in Chinese)
- [6] Pedersen-Tatalovic R, Uldall A, Jacobsen N L, et al. Event-based low-frequency impedance modeling using well logs and seismic attributes[J]. The Leading Edge, 2010, 27(5):592-603.
- [7] 叶云飞,崔维,张益明,等.低频模型对波阻抗反演结果定量解释的影响[J].中国海上油气,2014,26(6): 32-36.
YE Yunfei, CUI Wei, ZHANG Yiming, et al. Impacts of low-frequency models on the quantitative interpretation of acoustic impedance inversion[J].China Offshore Oil and Gas,2014,26(6): 32-36. (in Chinese)
- [8] 陶知非,赵永林,马磊. 低频地震勘探与低频可控震源[J]. 物探装备, 2011, 21(2): 71-76.
TAO Zhifei, ZHAO Yonglin, MA Lei. Low frequency seismic and low frequency vibrator[J]. Equipment for Geophysical Prospecting, 2011, 21(2): 71-76. (in Chinese)
- [9] Zhang J H, Zhang B B, Zhang Z J, et al. Low frequency data analysis and expansion[J]. Applied Geophysics, 2015, 12(2): 212-220. (in Chinese)
- [10] Kalla S, White C D, Gunning J, et al. Downscaling multiple seismic inversion constraints to fine-scale flow models[J]. SPE Journal, 2009, 14(4):746-758.
- [11] 许艳秋,文晓涛,郝亚炬,等.低频信息对阻抗反演的影响分析[J].物探化探计算技术,2015,37(1):78-82.
XU Yanqiu, WEN Xiaotao, HAO Yaju, et al. Effect analysis of low frequency on acoustic impedance inversion[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2015,37(1):78-82. (in Chinese)
- [12] 赵继龙,熊冉,张先龙,等.塔北隆起英买力地区舒善河组薄储层预测[J].地球物理学进展,2014,29(6):2851-2857.
ZHAO Jilong, XIONG Ran, ZHANG Xianlong, et al. The thin reservoir prediction of Shushanhe formation in the Tarim north uplift Yengimahalla area[J]. Progress in Geophysics,2014,29(6): 2851-2857. (in Chinese)
- [13] Sømme T O, Helland-Hansen W, Martinsen O J, et al. Relationships between morphological and sedimentological parameters in source-to-sink systems: A basis for predicting semi-quantitative characteristics in subsurface systems[J]. Basin Research, 2009, 21(4):361-387.

(编辑 郑洁)