

文章编号: 1009-3850(2009)01-0096-06

约束稀疏脉冲波阻抗反演在精细油藏描述中的应用

朱金富, 于炳松, 姚纪明, 聂保锋

(中国地质大学 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083)

摘要: 综合研究区地质、地震、测井、录井等各类信息, 从测井约束稀疏脉冲波阻抗的反演技术的基本原理出发, 探讨反演过程中测井资料的标准化处理、地震子波的提取、时深关系的转化, 以及初始波阻抗模型的建立等主要的技术环节。综合分析了研究区双阳组二段重点圈闭区块砂体的发育和分布情况, 并探讨在同一构造圈闭上不同井位失利的原因, 为精细的油气储层研究提供了可靠的信息。

关键词: 稀疏脉冲; 波阻抗反演; 波阻抗模型; 油气储层

中图分类号: P618.130.2

文献标识码: A

随着油气田勘探开发难度的不断增大, 油藏描述中的精细油气储层预测显得越来越重要。在此背景下, 精细油气储层的预测方法得到了不断的发展和完善。储层预测是综合运用地震、地质、测井等基础资料, 以地震技术为主, 定量预测储层的空间几何形态及物性参数在空间的分布特征。目前油气储层预测常用的方法有波形振幅法、波阻抗反演法、频谱分析法等^[1-4]。约束稀疏脉冲波阻抗反演法是从反射地震资料导出的一项储层预测反演技术^[3], 它把测井和地震资料结合起来进行综合分析, 充分利用了测井资料纵向分辨率高、地震剖面横向分辨率高这两大优点, 因此反演出的波阻抗剖面集地震剖面的横向连续可追踪性、测井资料垂向高分辨率性以及地质剖面的直观性于一体, 为精细的油气储层研究提供可靠的信息, 为勘探开发指出有利方向。

1 约束稀疏脉冲波阻抗反演的基本原理

约束稀疏脉冲波阻抗反演是基于稀疏脉冲反褶积的递推反演方法, 其基本假设是地层的强反射系数是稀疏的, 即地层反射系数由一系列叠加于高斯

背景上的强轴组成。该方法的主要优点是能获得宽频带的反射系数, 能较好地解决地震记录的欠定问题, 从而使波阻抗反演得到的数据更趋于真实^[4,5]。从算法上, 约束稀疏脉冲波阻抗反演的计算流程可分为三步:

(1) 反射系数反演。采用最大似然反褶积进行反射系数的反演, 最大似然反褶积对地层的假设认为: 地层的反射系数是由较大的反射界面的反射和具有高斯背景的小反射叠加组合而成, 导出一个最小目标函数:

$$J = \frac{1}{R} \sum_{k=1}^L \hat{r}(K) + \frac{1}{N} \sum_{k=1}^L \hat{n}(K) - 2ML\alpha(\lambda) - 2(L-M)L\alpha(1-\lambda) \quad (1)$$

式中, R 和 N 分别为反射系数和噪声的均方值; $\hat{r}(K)$ 和 $\hat{n}(K)$ 表示第 K 个采样点的反射系数和噪声; M 表示反射层数; L 表示采样总数; λ 表示给定反射系数的似然值。通过多次叠代, 求取反射系数^[9]。

(2) 根据反射系数的反演结果, 结合阻抗趋势计算一个初始的波阻抗。根据最大似然反褶积计算得到的反射系数, 结合初始阻抗模型, 采用递推算

法,反演得到初始的波阻抗模型:

$$Z(i) = Z(i-1) \frac{1+R(i)}{1-R(i)} \quad (2)$$

式中, $Z(i)$ 为第 i 层的波阻抗值; $R(i)$ 为第 i 层的反射系数。

(3) 结合井的约束条件进行波阻抗反演。约束稀疏脉冲反演对每一道依据目标函数对计算出的初始波阻抗进行调整, 包括对反射系数的调整。目标优化函数为:

$$F = \sum |R(i) - \lambda| + \alpha^{-1} \sum |Z(i) - d| \quad (3)$$

式中, R 为反射系数序列; ΔZ 为与阻抗趋势的差序列; d 为地震道序列; ϕ 为合成地震道序列; λ 为残差权重因子; α 为趋势权重因子; R^q 为 L 模因子。方程(3)第一项反映了反射系数的绝对值和, 第二项反映了合成声波记录与原始地震数据的差值, 第三项为趋势约束项。

可以看出, 约束稀疏脉冲反演是基于道的反演, 它的实质就是在阻抗趋势的约束下, 用最少数目的反射系数脉冲达到合成记录与地震道的最佳匹配。

2 主要技术环节

约束稀疏脉冲波阻抗反演实质上是地震测井联合反演, 是以测井资料丰富的高频信息和完整的低频成分来补充地震有限带宽的不足, 是用已知地质信息和测井资料作为约束条件反演得到高分辨率

的地层波阻抗资料。因此, 在对目标储层进行测井约束地震反演之前, 对其基础资料进行综合分析和测井资料的校正是必要的, 也是必需的。只有根据研究区域实际资料情况和地质特点选择合适的反演方法, 建立尽可能接近实际地层情况的波阻抗模型, 这样才能提高反演结果的精度, 使反演结果真实可靠^[7]。约束稀疏脉冲波阻抗反演主要有 4 个技术环节。

2.1 测井资料标准化处理

由于测井资料是在不同的时间和条件下利用不同的仪器进行测量的^[8], 因此存在随机误差和系统误差。为了减少或消除这些误差, 必须对测井资料进行标准化处理, 主要包括环境校正、深度校正和刻度校正等。测井资料的标准化实际上是刻度标准化, 其过程就是选择分布稳定的岩性, 作为测井刻度的两个点。其依据是具有相同沉积环境的沉积物, 其岩性、电性大致相同。因此同一研究区不同井的同类测井曲线对同一标准层段的测井响应是相似的。实际操作是选取研究区内分布稳定的泥岩段作为标准层段进行测井资料的标准化。

2.2 子波的提取

子波的提取是反演的关键步骤^[9]。首先利用地震资料和测井资料提取子波的振幅谱和相位谱(图 1), 然后利用振幅谱和相位谱的信息合成一个

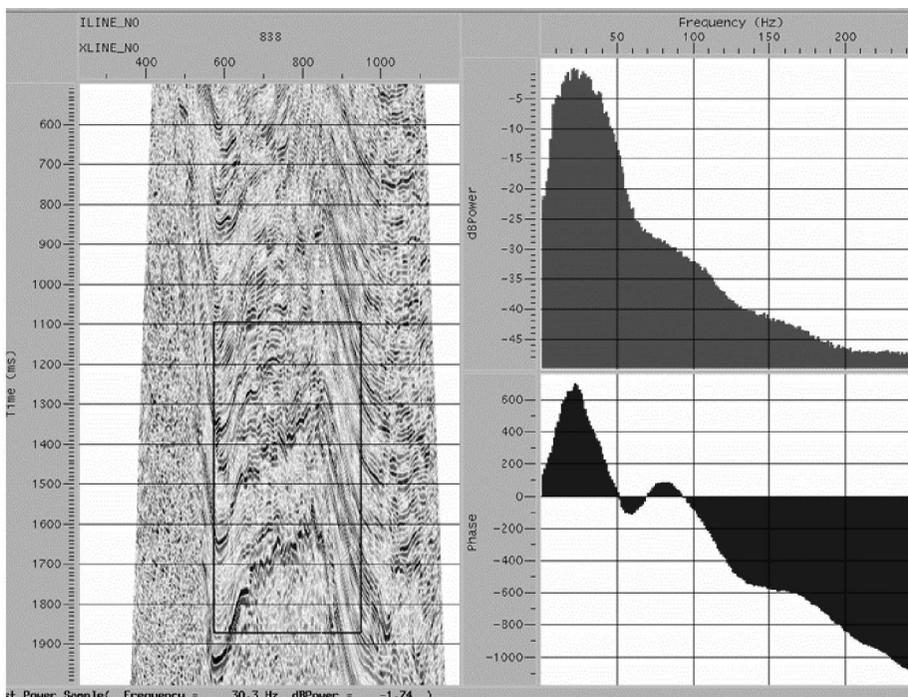


图 1 研究区地震波频谱特征

Fig 1 Frequency spectrum of seismic wavelets in the study area

理论雷克子波。用理论子波合成的记录进行层位标定。若标定不符时,需重新修改时深关系和提取子波,用新的子波制作合成记录,重新修正井的时深关系。如此反复,直至得到相位振幅谱变化稳定的子波,同时得到与井旁道相关性最好的合成记录。

由于是多井反演,同一个工区地震资料的相位在时间和空间上的变化是不会太大的。根据此原则,如果子波的变化太大,则认为所提取的子波不合理。子波长度根据资料的信噪比、频率特征等因素,通过反复试验来确定。

2.3 时间域 深度域关系的确定

地震地质层位标定是地震解释和反演的基

础^[10]。合成地震记录是把地震资料和测井资料联系起来的桥梁,其目的是利用测井资料的高分辨率精确标定各岩性界面在地震剖面上的反射位置。层位标定的准确与否将直接影响到反演的结果。

根据钻井地质分层,利用测井井旁地震子波并参考研究区速度,制作井的合成地震记录(图2)。在标定的过程中,要充分利用测井曲线和地质认识,对个别井进行改造,以达到最大限度的对应;同时对目的层的对应关系进行分析,使相关系数大于70%。按标定后的时间-深度关系进行时深转换,同时对各井的时深关系曲线进行了交汇对比,以便取得研究区正确的时深转换关系。

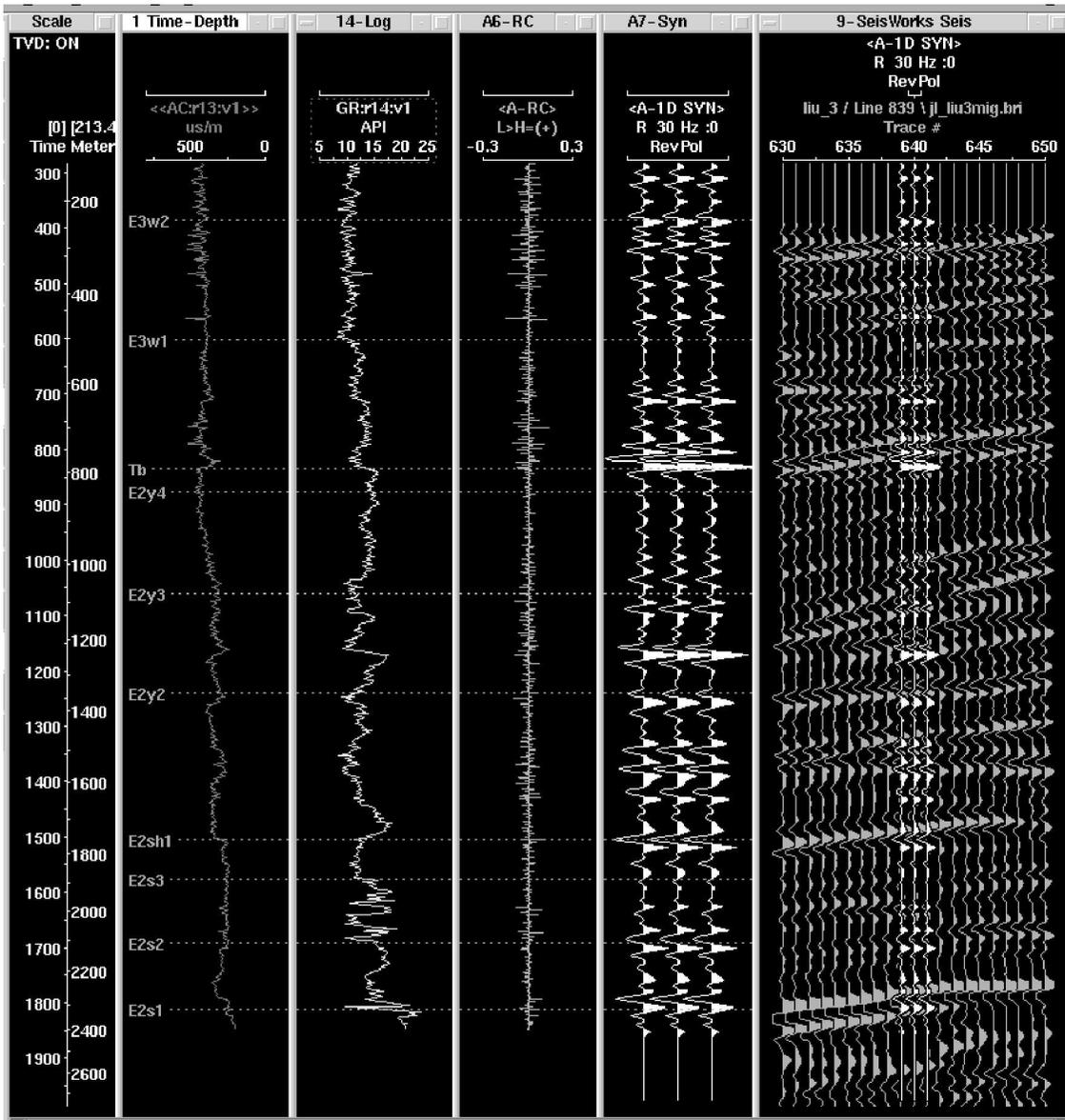


图 2 星 16井合成地震记录

Fig 2 Synthetic seismogram of the X16 well

2.4 初始波阻抗模型的建立

初始波阻抗模型建立的过程,实际上就是把横向上连片变化的地震界面信息与高分辨率的测井波阻抗信息相结合的过程,它是反演过程中相当重要的一步^[11]。测井资料在纵向上详细揭示了岩层的波阻抗变化细节,地震资料则连续记录了波阻抗界面的深度变化,二者的结合,为精确地建立空间波阻抗模型提供了必要的条件。

初始模型的横向分辨率取决于地震层位解释的精细程度,纵向分辨率受地震采样率的限制,为了能够较多地保留测井的高频信息,反映薄层的变化细节,通常要对地震数据进行加密采样。加密地震道采样率虽然没有给地震数据增加任何新的信息,却使得测井数据按地震采样率重新采样后不会失去薄层信息,为地震反演提供了一个高分辨率的约束条件。

3 应用实例

刘3井区位于伊通地堑五星构造带上,其中双阳组是研究区主要的产油层位。在对研究区进行精细储层评价之前,我们首先对研究区不同层位的各井油气显示情况作了统计,其中在双阳组二段(E_2^s),刘3井在2309.4~2336m(E_2^s)深处,获得7.51 t原油,而刘3-1井,刘4井在该层段均没有油气显示。在对整个研究区进行波阻抗反演的同时,在局部构造圈闭上,利用约束稀疏脉冲波阻抗反演

技术,分析同一有利圈闭上不同井位失利的原因。

通过精细的构造解释,利用变速成图技术,得出研究区双阳组二段顶部构造图,从构造图上可以清晰的看出:刘3井和刘3-1井,刘4井位于同一个构造圈闭上,即刘3断背斜(图3)。通过统计研究区双阳组二段各井的产油情况,虽然刘3井,刘3-1井,刘4井均在同一个有利的构造圈闭上,但是仅有刘3井在该层段有油气显示。

为了分析刘3-1井和刘4井失利的原因,利用约束稀疏脉冲波阻抗反演技术对双阳组二段的砂体变化作了进一步的分析,得到 $I_3-I_3-1-I_4$ 连井波阻抗反演剖面(图4),发现 I_3 井的含油砂层在横向上变化很快。在刘3井含油砂体平面分布图上,该砂体的分布也很局限(图5)。由反演剖面可以看出,刘3-1井和刘4井均不在刘3井含油砂体上,这是造成刘3-1井和刘4井失利的原因。由此可见,约束稀疏脉冲波阻抗反演为精细的油气储层研究提供可靠的信息,为下一步的勘探开发提供了有利的方向。

4 结论

(1)测井约束稀疏脉冲波阻抗反演之前,必须对研究区的地震资料和测井资料进行处理和校正,进行子波提取是反演的关键步骤;

(2)合成地震记录的标定是联系地震资料和测

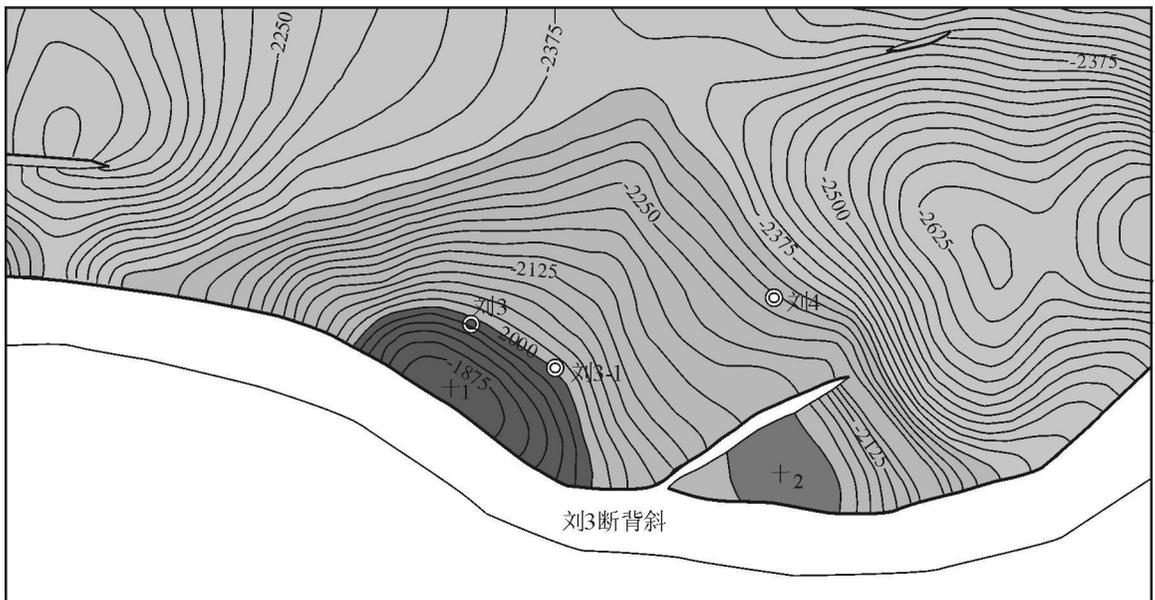


图3 刘3断背斜 E_2^s 顶部局部构造图

Fig 3 Structural map of the I_3 broken anticline at the top of the second member of the Shuangyang Formation (E_2^s)

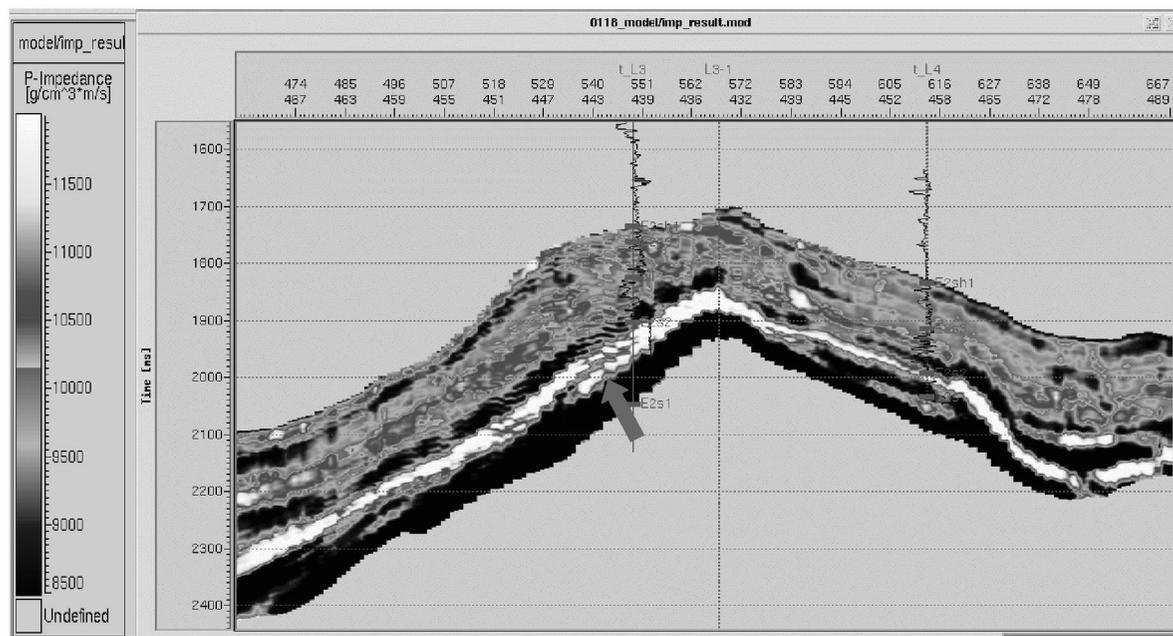


图 4 L3井-L3-1井-L4井双阳组二段波阻抗反演剖面

Fig 4 Profile showing the acoustic impedance inversion through the L3 well- L3-1 well- L4 well zone in the second member of the Shuangyang Formation

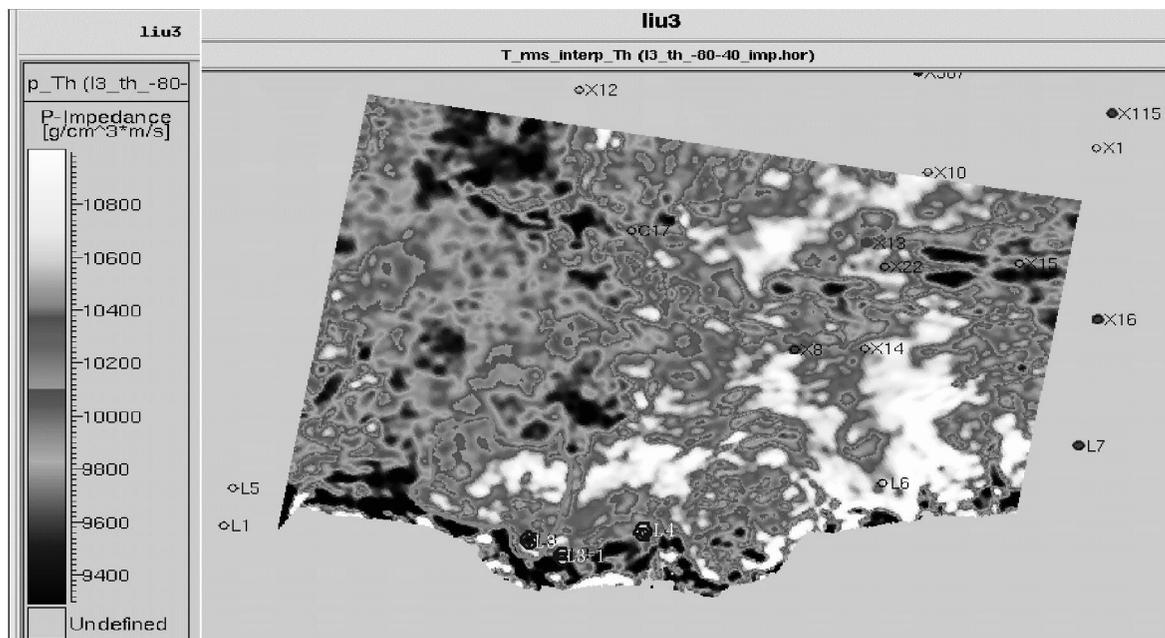


图 5 L3井含油砂体平面分布

Fig 5 Planar distribution of reservoir sandstones in the L3 well

井数据的纽带, 是进行时间域-深度域相互转换的关键;

(3)测井约束稀疏脉冲波阻抗反演, 结合了测井资料纵向分辨率高和地震剖面横向分辨率高的信

息, 不仅能反映横向上砂体的变化, 也能反映砂体在平面上的分布范围;

(4)在沉积相研究和构造圈闭研究的指导下开展测井约束稀疏脉冲波阻抗反演, 将使精细的储层

预测结果更加符合地质规律,为研究区的勘探开发提供有利方向。

参考文献:

- [1] 潘元林. 油气地质地球物理综合勘探技术[M]. 北京:地震出版社, 1998.
- [2] MITCHUM R M JR, VAIL P R, THOMPSON S. Seismic stratigraphy and global changes of sea level: The depositional sequence as a basic unit for stratigraphic analysis [A]. Payton C E. Seismic Stratigraphy: Applications to Hydrocarbon Exploration [C]. AAPG Memoir 26, Tulsa: The American Association of Petroleum Geologists, 1977. 53-62.
- [3] 刘雯. 林场油气田开发地震技术[M]. 北京:石油工业出版社, 1992.
- [4] 安鸿伟, 李仁甫, 李正文, 等. 稀疏脉冲波阻抗反演在 YX 油田开发中的应用[J]. 石油物探, 2002, 41(1): 56-60.
- [5] PEBECCA B L, RICK D, PAUL V R. An interpreter's guide to understanding and working with seismic-derived acoustic impedance data [J]. The Leading Edge, 2000, 19(3): 242-256.
- [6] 黄绪德. 反褶积与地震道反演[M]. 北京:石油工业出版社, 1992.
- [7] 李庆忠. 走向精确勘探的道路[M]. 北京:石油工业出版社, 1993.
- [8] 鲁红, 李建民, 刘情山, 等. 进行声波测井资料校正的一种方法[J]. 大庆石油地质与开发, 1996, 15(1): 71-73.
- [9] 梁光河. 地震子波提取方法研究[J]. 石油物探, 1998, 37(1): 31-39.
- [10] 郝银全, 潘懋, 李忠权, 等. Jason 多井约束反演技术在油气储层预测中的应用[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2004, 31(3): 297-300.
- [11] 王波. 测井约束地震反演技术分析及其在应用[J]. 断块油气田, 2006, 31(5): 23-24.

Applications of the restricted sparse spike inversion to reservoir assessment

ZHU Jin fu, YU Bing song, YAO Jiming, NIE Bao feng

(State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: The emphasis in this paper includes acoustic four pivotal techniques such as the standardization of logging data in the processes of inversion, extraction of seismic wavelets, transition of the relations between time and depth, and construction of the models for the initial acoustic impedance with the aid of the principles of Jason software and geological seismic and logging data, the development and distribution of sandstones in the key trap sections in the second member of the Shuangyang Formation, and the cause of the disadvantages of various wells in the same tectonic traps. These results of research may provide reliable information for the future study of hydrocarbon reservoirs.

Key words: sparse spike, acoustic impedance inversion, acoustic impedance model, hydrocarbon reservoir