

# 储层地震反演在辽河油田大民屯凹陷的应用

段云卿, 王彦春, 覃天, 杨文军, 高海燕

中国地质大学地下信息探测技术与仪器教育部重点实验室, 北京 100083

**摘要:** 针对大民屯凹陷构造复杂、薄互层储层横向变化快等特殊地质条件, 在叠前时间偏移和叠后高分辨处理的地震资料基础上, 利用以已知地质规律和测井资料为约束的储层地震反演新技术, 对地下岩层空间结构和物理性质进行反演、综合性解释、定量预测和描述储层空间分布及变化规律。通过叠前高分辨地震资料波阻抗反演、测井多属性反演方法的研究和应用, 提高了该区储层预测的纵向分辨率, 加强了对薄互层砂体的识别能力, 提高了储层预测的可靠性, 落实了有利的岩性圈闭, 获得了较好的地质效果, 为该区隐蔽油气藏的勘探做了有意义的探索。

**关键词:** 储层反演; 波阻抗; 测井约束。

中图分类号: P631.4

文章编号: 1000-2383(2007)04-0554-05

收稿日期: 2007-04-12

## Application of Reservoir Seismic Inversion at Damintun Sag in Liaohe Oilfield

DUAN Yun-qing, WANG Yan-chun, QIN Tian, YANG Wen-jun, GAO Hai-yan

*Geo-detection Laboratory of the Ministry of Education, China University of Geosciences, Beijing 100083, China*

**Abstract** According to the special geological conditions at Damintun sag in Liaohe basin, such as complex structures and rapid lateral change of thin and interbedded reservoirs, the technique of logging constrained seismic inversion based on pre-stack high-resolution seismic data was used to describe oil-gas reservoirs. In combination with lithologic interpretation, reservoir seismic inversion can effectively identify underground complex geologic structures and seismic anomalous reflection volume and quantitatively predict the distribution of sandstones in space and the law of their variation. The paper studies the method for reservoir prediction by using logging-restrained inversion technique based on the restriction of geological conditions and log to find out the rule of reservoir distribution in this region and fix prospective lithologic traps. And we have obtained satisfactory results in the exploration and development of the oilfield.

**Key words:** reservoir inversion; wave impedance; log restriction.

大民屯凹陷是辽河盆地东北部中的一个一级构造单元, 其四周为边界断层所阻(周晶等, 2006)。由于其构造复杂、薄互层储层横向变化大等特殊的地质条件, 给储层横向预测带来了较大的困难。

储层地震预测是利用地表观测的地震资料, 以已知地质规律和测井为约束, 对地下岩层空间结构和物理性质进行成像(或求解)的过程, 是利用地震资料反演地层波阻抗的地震特殊处理技术(俞寿朋, 1993; 刘雯林, 1996; 沈平等, 2003)。波阻抗是重要的岩石物理参数, 它可直接与钻井资料对比, 进行储

层岩性解释和物性分析(Dai, *et al.*, 2005; 崔凤林等, 2006)。实际测井中得到的声波时差曲线是反映储层特征的最重要和常规的资料, 利用声波时差曲线开展储层波阻抗反演在实际应用中取得了显著的地质效果(范祯祥等, 1998), 在现今储层预测研究技术中占有突出重要的地位, 因此地震反演通常被称为波阻抗反演。李庆忠院士曾指出:“波阻抗反演是高分辨率地震资料处理的最终表达形式”(李庆忠, 1994)。本文利用叠前高分辨率处理后的地震资料, 通过测井约束的多属性反演等地震预测手段, 达到

提高储层横向预测精度、增强薄互层砂体的识别能力的目的。

## 1 储层波阻抗反演

一般说的储层反演,按原始地震资料处理通常分为叠前反演和叠后反演两大类。叠后反演在近20年中取得了巨大进展,已形成多种成熟技术。叠后反演按测井资料在反演中所起作用的大小又可分为6类:地震直接反演(道积分处理)、测井约束地震反演、地震-测井联合反演、地震约束测井反演、模型约束随机岩性反演和神经网络训练下的波阻抗反演等。按实现方法主要分为递推反演、基于模型地震反演等。

叠后地震反演是一种处理过程,通过叠后地震反演来分析地震道,并且试图重建地层的速度和声阻抗结构。反演基于的基础模型是一维褶积模型(黄绪德,2004)。

$$T(i) = \sum_j r(j)W(i-j+1) + n(i),$$

这里  $r(j)$  为地层的叠偏反射系数时间序列;  $W(i)$  为地震子波,假设为常数;  $n(i)$  为噪音。上述模型中,忽略了多次波。

反演可以看成是给定地震道  $T(i)$  时,确定反射系数  $r(j)$  的过程。由于反射系数与一系列地层的声阻抗有关,即:

$$r(j) = \frac{I(j) - I(j-1)}{I(j) + I(j-1)},$$

这里  $I(j) = \rho(j)v(j)$ 。因此,反演也可以看作已知第一层声阻抗时,确定下层声阻抗的过程。

### 1.1 测井约束反演

这是一种叠后地震记录反演方法,它将地震资料、测井资料信息和先验的地质信息有机地结合起来,以获得一个宽带阻抗模型,供地质学家们更好地描述储层特征和进行储层横向预测。测井约束反演方法比较完整地保存了地震反射的基本特征(断层和地层产状),用这种方法求解的波阻抗,在横向垂向具有较强的稳定性,并且由于容易执行约束条件,因此克服了反演的多解性,能够明显地反映岩相、岩性的空间变化,在地层岩性相对稳定的情况下能够较好地反映储层的物性变化。

反演过程是利用地震、地质和测井资料建立宏观地质模型,由测井资料导出波阻抗,再利用宏观模

型引导进行综合,产生一个初始波阻抗模型,作为严格模型约束的地震反演过程的输入。然后,再对初始模型进行迭代修改以寻找一个最佳的地球物理模型,使得该模型的响应与观察数据的残差在最小二乘意义下达到最小。反演原理是将输入的初始地质模型在地震资料的约束下转换成输出成果模型,当然,输出模型要满足下列约束条件:输出模型应与建立初始模型时所用的测井资料相匹配;不能改变初始模型的趋势;输出模型不能偏离初始模型太远;输出模型所生成的合成地震记录应与地震记录有良好的匹配关系。

**1.1.1 测井数据的预处理** 测井资料处理解释是储层研究的技术关键。在本次研究中,我们充分利用了 PetroWorks 软件,对沈 230、沈 225、沈 257、沈 267、沈 258 等 5 个目标区的 50 多口重点井测井曲线进行了标准化和环境校正等编辑工作。

由于不同年代、不同测井仪器、不同测井系列得到的数据基值不同,测井曲线之间存在较大的系统误差,即所谓的“基值漂移”。如果直接使用这些测井曲线建立反演初始模型,无疑会将测井的系统误差带入反演结果中,造成地层横向上的突变,这与地质规律是相违背的。因此,在进行反演之前,首先将所有井的测井曲线进行标准化(或归一化)处理,消除井与井之间的系统误差;其次我们通过井径曲线进行了时差曲线的环境校正,为精确建立反演初始模型奠定了基础。

地震资料反演是一个系统化的处理、解释过程,每一步工作质量的好坏都会影响反演的结果。追求高分辨率、高信噪比的资料应贯穿整个目标处理的流程中。为了保证地震储层反演结果的准确性,反演中所用的数据应该是经过保幅处理和零相位校正的地震数据体。在做好环境校正及测井资料的标准化处理之后,我们对该区进行了测井资料约束反演。

**1.1.2 地震数据的重采样** 为了能够较多地保留测井的高频信息反映工区内裂缝的变化细节,使测井数据能够以较高的分辨率约束地震反演,保证反演精度,针对太古界变质岩潜山裂缝发育非均质性的实际特点,在提取子波之前,首先对地震记录进行了加密采样,通过精细内插把采样率由原来的 4 ms 采样加密为 2 ms 采样,提高了地震资料的采样率,适当降低测井数据的分辨率,缓解了地震资料与测井资料垂向采样间隔匹配失调的矛盾,使两者相匹配。

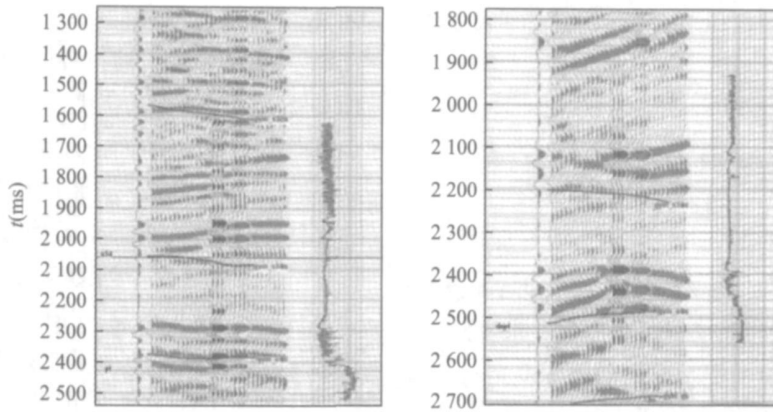


图 1 沈 229 井、沈 628 井合成记录相关对比成果图

Fig. 1 The correlation of synthetic seismogram in Wells Shen229 and Shen628

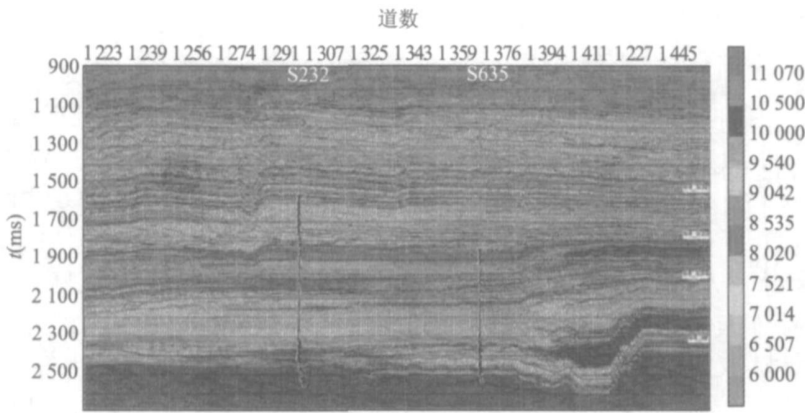


图 2 过沈 232 和沈 635 井波阻抗反演低频模型

Fig. 2 The lower frequency model of impedance inversion through Wells Shen232 and Shen635

**1.1.3 子波提取与合成记录相关** 地震子波提取的质量直接受测井曲线和地震匹配关系好坏的影响,测井曲线对地震资料标定的好坏直接影响波阻抗反演的质量。在测井资料与地震资料的匹配过程中,合成地震记录是连接地震与测井的桥梁,在合成记录与地震记录匹配以后,应该选择地震资料信噪比较高、匹配程度较好的时窗提取地震子波,使子波的波形和相位都比较合理。具体做法是从各井井旁地震道分别提取子波,等合成记录与井旁地震道调到一定相似程度后,再分别从每口井的测井曲线中提取新的子波,提取的地震子波的原则是能量比较集中,主峰旁瓣比较大。图 1 为沈 229 和沈 628 井合成记录的相关结果,相关系数分别达到 76%和 79%以上。

**1.1.4 模型估算与生成** 模型估算通过优化权重分布,微调解释层位等,使得生成的模型满足:与井曲线和解释层位基本匹配;与合成地震记录和地震

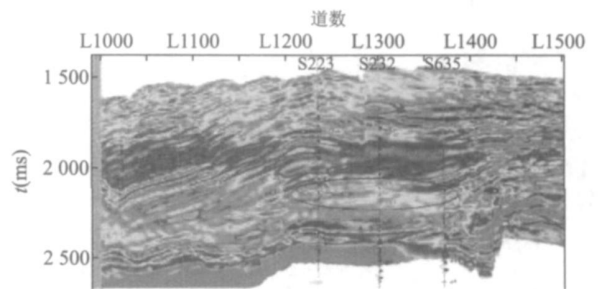


图 3 沈 223—沈 635 井连井线波阻抗反演剖面

Fig. 3 The impedance inversion profile from Wells Shen223 to Shen635

数据匹配。因此,模型估算就是通过地震约束条件,使得井间的权重分布遵从地震数据的变化,所形成的参数模型是地震信息、测井信息和地质信息的综合。如上所述,模型估算并不生成真实的地质模型,它生成一个参数模型。模型生成根据参数模型中的权重分布、层位、地层接触关系等生成真实的地质模型(图 2)。

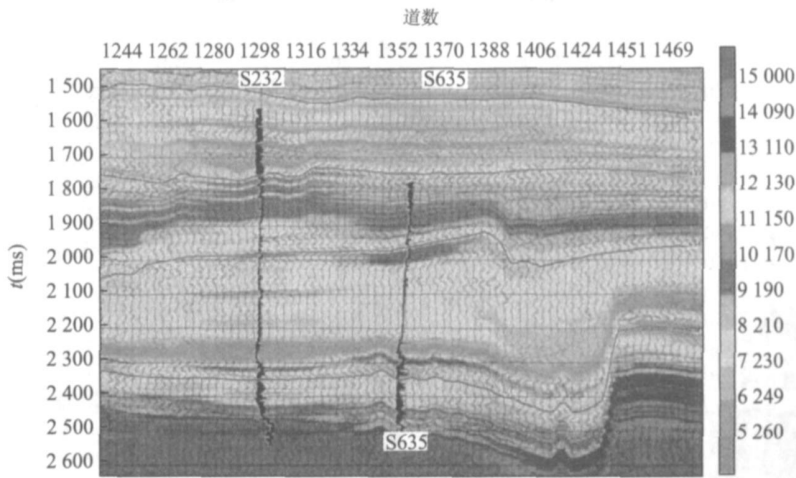


图 4 过沈 232 和沈 635 井高分辨资料波阻抗低频模型

Fig. 4 The lower frequency impedance model of high resolution data through Wells Shen232 and Shen635

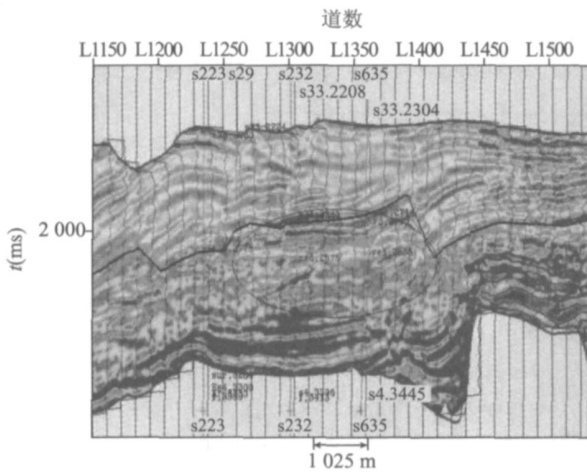


图 5 沈 223—沈 635 井连井线高分辨资料波阻抗反演剖面

Fig. 5 The impedance inversion profile of high resolution data from Wells Shen223 to Shen635

**1.1.5 测井约束地震反演** 将合成记录与井旁地震道标定好后,在整个三维数据体中,以已形成的阻抗模型为基础,在地质模型和地震特征的约束下,反演出整个三维波阻抗数据体.针对大民屯洼陷带沈 230 井区、西部斜坡带沈 225、沈 257、沈 267 井区和东部陡坡带沈 259 井区等 5 个目标区块分别开展了测井约束地震反演约 500 km<sup>2</sup>.

图 3 为过沈 223 井、沈 232 井和沈 635 井的波阻抗剖面,其中基本上反映出了沈 232、沈 635 井在沙四上解释出的两套油层.但是由于洼陷带沙四段泥岩压实和等时沉积界面同样存在较强的阻抗界面,因此使沈 232、沈 635 井沙四的两套油层在横向和纵向向上与泥岩压实产生的阻抗没有明显差别,分

辨上有一定的困难.

### 1.2 叠前高分辨地震资料波阻抗反演

为加强大民屯凹陷西部陡坡带及洼陷带沙四段隐蔽油气藏的精细评价研究,进一步利用叠前时间偏移和高分辨处理资料开展了地震反演.高分辨地震资料一方面分辨率明显提高,对沙四段的砂岩储层和潜山内幕特征有了明显的改善;另一方面所反映出的构造形态和常规处理资料存在较大的差别.因此在利用高分辨地震资料重新进行构造解释和评价的基础上,针对上述重点评价目标分别进行了高分辨波阻抗反演和储层预测研究.图 4 是以高分辨地震资料为基础建立的低频模型.图 5 为洼陷区波阻抗反演结果,过沈 223 井、沈 232 井和沈 635 井的波阻抗剖面与常规资料反演结果相比,横向和纵向上的分辨率明显提高,泥岩压实和等时沉积界面的阻抗干扰一定程度上得到压制.

### 1.3 测井多属性反演

由于洼陷带沙四段泥岩压实和等时沉积界面同样存在较强的阻抗界面,使沈 232、沈 635 井区沙四储层通过波阻抗分辨有一定的困难,因此在波阻抗反演的基础上,我们针对沙四段进一步开展了声波时差测井多属性反演.声波时差测井多属性反演在一定程度上回避了上述问题.过沈 232、沈 635 等井的声波时差反演剖面(图 6)中原始时差与预测时差具有很好的一致性,同时也反映出, I 油层组横向上比较连续,而 II 油层组三套砂体横向上不连通.通过可视化技术对反演结果进行提取和计算,得出各砂体最终预测结果.

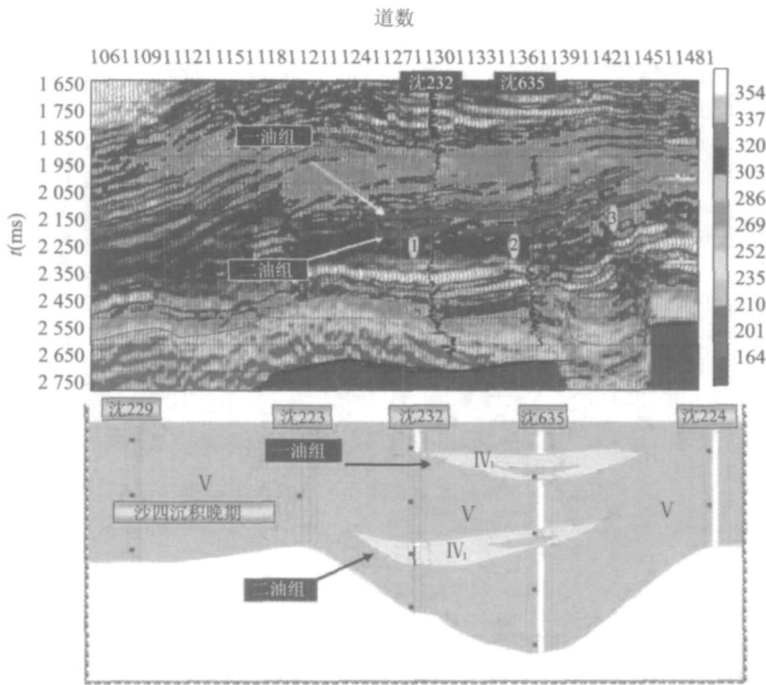


图 6 沈 232—沈 635 井声波时差反演剖面、沉积相剖面对比

Fig. 6 The acoustic of inversion and sedimentary facies profile from Wells Shen232 to Shen635

## 2 结论

我们在辽河大民屯凹陷开展了测井约束反演、叠前高分辨地震资料波阻抗反演、测井多属性反演研究,提高了该区储层预测的纵向分辨率,加强了对薄互层砂体的识别能力,提高了储层预测的可靠性,落实了有利的岩性圈闭,获得了较好的地质效果,为该区隐蔽油气藏的勘探做了有意义的探索。

## References

- Cui, F. L., Zhang, X. J., Wang, S. Q., 2005. Meticulous depiction methodology and application of complicated structures of reciprocal thin layers in northern Songliao basin. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 30(4): 503–508(in Chinese with English abstract).
- Dai, X. F., Gan, L. D., Du, W. H., 2006. Application of joint elastic impedance inversion in the GD oilfield. *Applied Geophysics*, 3(1): 37–41.
- Fan, Z. X., Zheng, X. Z., Fan, S. R., et al., 1998. Reservoir parameter inversion using seismic and log data. *Oil Geophysical Prospecting*, 33(1): 38–53(in Chinese with English abstract).
- Li, Q. Z., 1994. The way to precise exploration. *Petroleum*

Industry Press Beijing(in Chinese).

- Liu, W. L., 1996. Development seismic technique in oilfield. Petroleum Industry Press, Beijing(in Chinese).
- Shen, P. P., Song, X. M., Cao, H., 2003. A new way of the modern reservoir description technique. Petroleum Industry Press Beijing(in Chinese).
- Yu, S. P., 1993. High resolution seismic exploration petroleum. Petroleum Industry Press, Beijing(in Chinese).
- Zhou, J., Cao, L. S., Cui, Q. Z., et al., 2006. Integral analysis of  $E_{s4}$  lithologic oil/gas reservoir in west slope of Damintun sag. *Oil Geophysical Prospecting*, 41 (Suppl. ): 75–79.

## 附中文参考文献

- 崔凤林, 张向君, 王世清, 2005. 松辽盆地北部薄互层复杂构造的精细刻画方法与应用. *地球科学——中国地质大学学报*, 30(4): 503–508.
- 范祯祥, 郑仙种, 范书蕊, 等, 1998. 利用地震、测井资料联合反演储层物性参数. *石油地球物理勘探*, 33(1): 38–53.
- 李庆忠, 1994. 走向精确勘探的道路. 北京: 石油工业出版社.
- 刘雯林, 1996. 油气田开发地震技术. 北京: 石油工业出版社.
- 沈平平, 宋新民, 曹宏, 2003. 现代油藏描述新方法. 北京: 石油工业出版社.
- 俞寿朋, 1993. 高分辨率地震勘探. 北京: 石油工业出版社.
- 周晶, 曹来圣, 崔全章, 等, 2006. 大民屯凹陷西斜坡  $E_{s4}$  段岩性油气藏整体解剖. *石油地球物理勘探*, 41(增刊): 75–79.