

测井约束反演技术在老河口油田老 163 井区的应用

滕宝刚¹, 米乃哲², 邓 涛¹, 徐 永¹, 刘 明¹

(1 胜利油田桩西采油厂 地质研究所, 山东 东营 257237; 2 长安大学 地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 针对老河口油田老 163 井区新近系河流相油气藏储层纵横向变化大、油气聚集复杂、常规地震解释精度低的问题, 利用 Jason 测井约束反演技术对该地区馆上段储层进行了地震处理及砂体描述。通过地震资料反演前预处理、测井资料标准化校正、合成记录标定层位, GOCAD 建模弥补 Jason 建立初始模型功能的不足, 提高了该地区地震解释的精度。结果显示, 反演可以识别 3~6 m 的储集层, 解决了砂体薄互层识别难的问题, 获得了比较好的勘探及开发效果。

关键词: 测井约束反演; Jason; 波阻抗; 分辨率

中图分类号: P631.4⁺43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2008)04-0420-05

Application of Jason Logging Constrained Inversion in the Old 163 Well Field of Laohekou Oilfield

TENG Bao-gang¹, MI Nai-zhe², DENG Tao¹, XU Yong¹, LIU Ming¹

(1 *Institute of Geology, Zhuangxi Petroleum Production Plant of Shengli Oilfield, Dongying 257237, Shandong, China;*

2 *School of Earth Sciences and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054 Shaanxi, China*)

Abstract In view of great vertical and horizontal changes of oil-gas reservoir of Tertiary fluvial facies in old 163 well field of Laohekou oilfield, complex and aggregated oil-gas reservoir and the characteristics of low precision interpretation of common seismicity, Jason logging constrained inversion is used in the seismic processing and sandbody description in the upper reservoir of this region. This technology can improve the seismic interpretation precision in this area by pre-processing of seismic reservoir, standardized adjustment of bore log and demarcation position overcome the shortcomings of Jason's initial model by GOCAD. The results show that it can recognize reservoirs within 3 to 6 m, solve the difficult problem of the thin-bedded alternation sandbody identification and receive better exploration and development efficiency.

Key words: logging constrained inversion; Jason; wave impedance; resolution

0 引言

胜利油田老河口油田老 163 井区位于渤海湾盆地济阳拗陷沾化凹陷埕东凸起北部缓坡带(图 1), 储层构造整体呈宽缓的鼻状构造。主力含油层为馆陶组上段, 储层厚 4~14.5 m, 地层倾角 0.5°~2.0°, 埋深 1 200~1 500 m, 由下而上砂岩含量逐渐减少, 为典型的河流相砂泥岩组合^[1]。该岩石组合有利于油气封堵成藏, 易形成岩性油藏。

该区馆上段古河流的改道、下切、叠置、穿插等因素导致砂体之间连通关系复杂, 以往利用三维地震资料的振幅能量信息来描述砂岩储层, 但地震反射特征同时受沉积相、砂层厚度、含油性及孔渗饱和等多种因素影响, 致使对古河道砂体平面展布形态及含油性预测无法准确刻画。通过大量已钻井资料综合分析, 地震资料的振幅能量强弱都不能准确反映储层物性特征, 说明用地震振幅能量追踪砂体厚度存在局限性。针对以上问题, 应用 Jason 测

收稿日期: 2008-01-30

作者简介: 滕宝刚(1979-), 男, 内蒙古通辽人, 从事地质勘探研究。E-mail: mike5584@sohu.com

©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

井约束反演技术描述该区馆上段砂体展布, 取得了良好的勘探开发效果。

该区地震数据体频宽为 10 ~ 50 Hz, 采样率为 2 ms, GDP 面元为 25 m × 25 m。

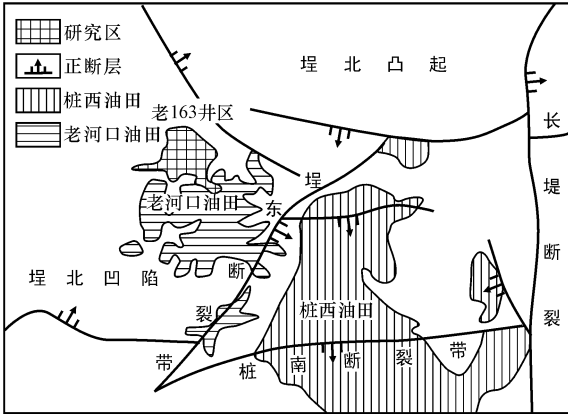


图 1 老 163 井区区域地质图

Fig. 1 Geological Setting of Old 163 Oilfield

1 测井约束反演原理

该区主要采用了 Jason 反演软件进行稀疏脉冲反演方法, 在加强质量控制的前提下完成了全区的反演处理。波阻抗反演的优劣取决于关键环节的质量把关和方法正确的应用及参数的正确选择。所谓关键环节应该是低频地质模型的建立和相对波阻抗反演^[3]。

稀疏脉冲反演认为, 地震反射系数是由一系列大的反射系数叠加在高斯分布的小反射系数的背景上构成的, 大的反射系数相当于不整合界面或主要的岩性界面。它的目的是寻找一个使目标函数最小的脉冲数目, 然后得到波阻抗数据。其目标函数可以表示为

$$Y_{\text{OBJ}} = \sum |R_i|^p + \lambda^q (d_i - s_i)^q + a^2 \sum (t_i - z_i)$$

式中: Y_{OBJ} 为目标函数; R_i 为反射系数; d_i 为地震数据; s_i 为合成地震数据; a 为趋势匹配系数; t_i 为用户定义的趋势; z_i 为用户定义的控制范围内阻抗值; 缺省值 $p=1$; $q=2$ 。

这里第 1 项为反射系数绝对值的和, 第 2 项为地震数据道与合成道之差, 第 3 项为阻抗趋势之差的平方总和。

在迭代运算过程中, 先使用较少的脉冲个数, 产生一个初始模型, 然后修改模型, 使目标函数达到最小。之后, 再不断增加脉冲个数, 重复进行迭代, 直到反演结果没有更大改进时停止迭代, 输出

反演结果。其过程在数学上可表述为求解带约束条件的优化问题, 即

$$\min [S(r_i)^2 + \lambda^2 S(d_i - s_i)^2]$$

其中 $r_i = (Z_{i+1} - Z_i) / (Z_{i+1} + Z_i)$

$$Z_{\text{imin}} < Z_i < Z_{\text{imax}}$$

式中: r_i 为反射系数; λ 为权系数; Z_{imin} 为样点处的波阻抗下限值; Z_i 为波阻抗值; Z_{imax} 为样点处的波阻抗上限值; d_i 为实际地震数据道。式中, 权系数 λ 对输出阻抗 (或反射系数) 和数据的匹配性起重要的调节作用, 即 λ 值小, 则合成记录与实际地震数据之间的匹配性差, 输出的阻抗 (或反射系数) 比较粗糙; 而 λ 值大, 则合成记录与实际地震数据之间的匹配性好, 输出阻抗 (或反射系数) 反映的细节比较细致。另外, 阻抗的约束条件和反演用的地震子波与权系数 λ 一样对反演效果起到关键的控制作用。

2 应用方法

2.1 地震资料品质

从地区地震资料的频谱分析来看, 工区目的层段的主频为 26 ~ 28 Hz, 层速度 2 500 ~ 2 650 m/s, 调谐厚度按 1/4 波长计算, 地震相位可分辨地层厚度为 12 ~ 19 m, 而该区馆上段储层厚度 4 ~ 14.5 m, 高、低频不够丰富, 薄层分辨能力差。首先对地震资料预处理, 为了尽量满足反演对地震资料高保真、高分辨率、高信噪比的要求, 针对目的层, 通过做相干加强、零相位子波反褶积、Q 补偿、F-X 域滤波等多种方法试验, 最终采用了零相位反褶积、F-X 域滤波对该区 20 km² 资料进行了反演前预处理^[3-4]。通过压缩和最大限度地消除子波旁瓣对地震反射的影响, 使求得的反射系数序列尽可能地逼近地层反射系数序列, 并达到提高分辨率的目的。通过预处理, 补充高了低频, 频带宽度由原来的 10 ~ 50 Hz 拓宽到 10 ~ 65 Hz, 目的层段的主频提升至 28 ~ 30 Hz。由于纵向分辨率受地震采样率的限制, 为了较好地保留测井的高频信息, 对地震资料进行加密处理, 使原来的 2 ms 采样间隔提高成 0.5 ms 采样间隔, 从而可以分辨较薄较小的砂体。

2.2 测井资料标准化

由于该区内测井资料受井径变化、泥浆浸染、仪器性能以及曲线拼接等因素的影响, 使测得的时差存在较大误差, 不能真实反映地质情况, 主要

表现在低频模型上有突变点或与沉积相不符。因此需要对测井数据进行标准化校正,使测井资料能准确反映地下地质情况,进而获得较为准确的低频模型(图 2)。首先对 24 口井的曲线进行拼接及环境校正,然后做出各井标准层的测井响应

频率直方图或频率交会图,同关键井(3 口探井)同一标准层的相应图件做细致对比,并与这个时期的沉积相进行比较,如果规律性不符,就反过来再次对测井曲线进行处理,直到完全符合为止(图 3)。

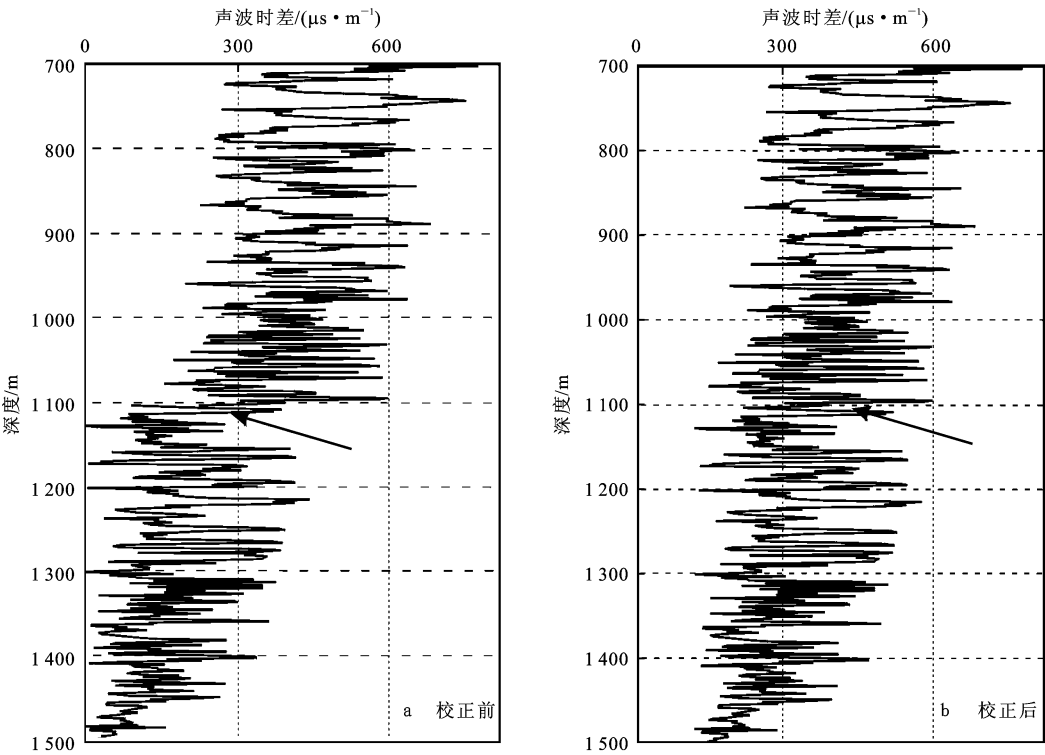


图 2 刻度校正前后的测井资料

Fig. 2 Logging Data Before and After Calibration Correction

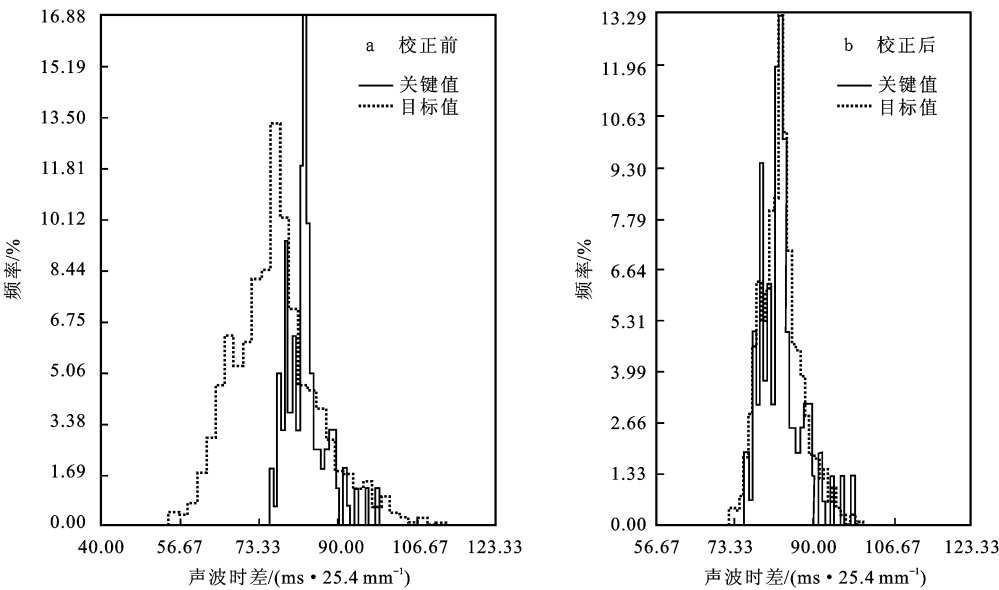


图 3 标准处理前后的测井资料响应频率直方图

Fig. 3 Logging Data Responding Frequency Histogram Before and After Standardized Processing

2.3 层位标定

层位标定是构造解释的关键,并直接关系到储层预测的成败,本次运用合成记录标定法,先后利用雷克子波、实际井旁地震道提取最小相位子波(图 4)及零相位子波分别制作合成记录^[5]。经过大量对比试验,在该区目的层段 $T_1 \sim T_g$ 提取井旁地震道零相位子波制作的合成记录与实际井旁地震道匹配较好(图 5)。在此基础上把做合成记录的井做连井剖面,检查各井在三维数据体中是否都标定到同一层位上。这样合成的子波就和地震资料及测井资料有较好的相关性和较高的频率,能够满足提高分辨率的要求。经过井对比,井旁地震道与合成地震记录也有较好的对应关系。再从井旁地震道提取子波,与微调后的测井曲线制作合成地震记录,并以此合成地震记录再进行层位标定,使各井的时深关系相对一致,各个子波的振幅、频率、相位特征也较为一致。

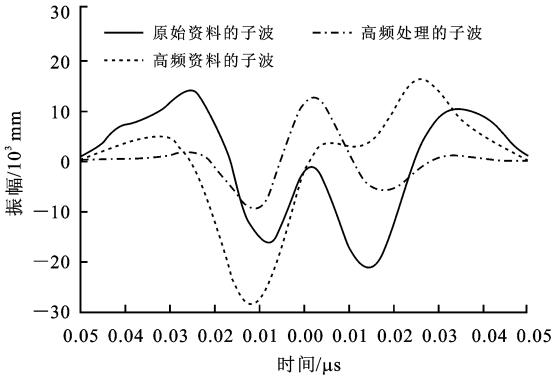


图 4 求得的不同子波
Fig. 4 Calculated Wavelets

2.4 地质模型建立

为了弥补 Jason 建模功能的不足,运用 GO-CAD 建模技术,在目标层段建立符合地质沉积规律的地质框架,根据所标定好的阻抗曲线,优化内插建立阻抗模型,获得集地震、地质、测井信息为一体并含有丰富低频和高频信息的全频带初始波阻抗模型。建立初始波阻抗模型的过程,实际上就是把横向上连续变化的地震界面信息与高分辨率测井信息相结合的过程。其方法首先将地震解释层位和断层内插,然后再根据构造框架模型中定义的地层接触关系,采取内插外推测井波阻抗,形成波阻抗数据体,为稀疏脉冲反演提供低频分量。

在测井资料的内插外推过程中,为了使内插外推结果更加合理,通过对 6 种 Jason 内插方法进行

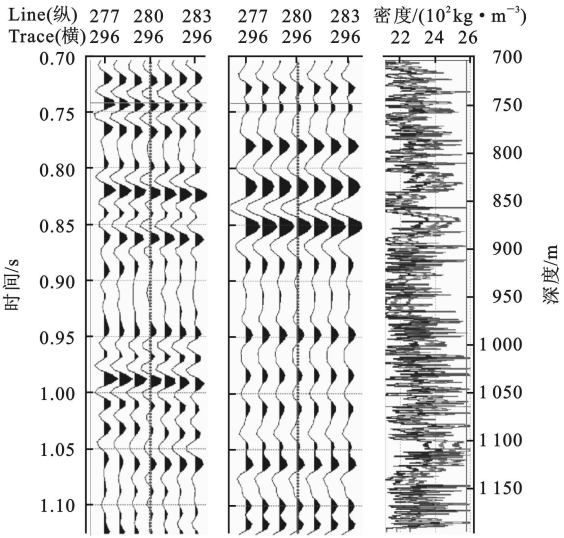


图 5 合成地震记录标定

Fig. 5 Synthetic Seismic Record Calibration

试验对比,结果表明“自然相邻法”插值效果较好。其优点是,产生的结果井之间过渡自然,克服了其他插值方法局部化严重的现象。因此,在测井资料插值建模过程中,采用这种方法建立初始波阻抗模型(图 6)。

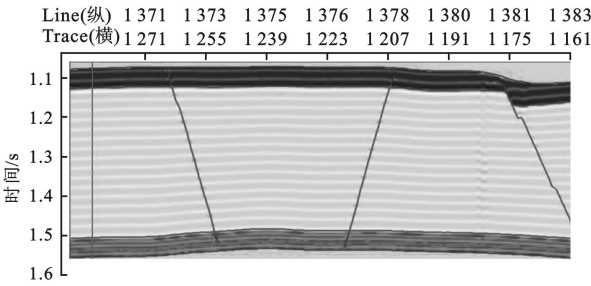


图 6 三维地质模型

Fig. 6 3D Geological Model

2.5 反演质量控制

反演参数控制反演脉冲的稀疏程度,对输出阻抗(或反射系数)和数据匹配性起重要的调节作用,即值小,则合成记录与实际地震数据之间的匹配性差,输出阻抗(或反射系数)比较粗糙;而值大,则合成记录与实际地震数据之间的匹配性好,输出阻抗(或反射系数)反映的细节比较细致^[6]。其选择是通过 λ 的 QC 分析得到的,一般选择在误差变化趋于平稳、信噪比高的位置。本次选择值为 25。另外,阻抗的约束条件和反演用的地震子波与 λ 一样对反演效果起到关键的控制作用。所以利用测井与构造框架模型建立反演垂向上的变化趋势,要保证阻抗的变化在合理范围内,满足各

井的阻抗变化规律。

2.6 反演处理

经过前期大量的准备工作,得到了合理的时深关系曲线,运用校正过的测井数据及精细的解释层位,建立了三维地质模型及相对地质模型,通过调整模型与相对波阻抗高低频分量,使模型数据体与相对波阻抗数据体进行叠加,得到最终的绝对阻抗体。

反演处理的过程是一个反复的不断完善的过程。当反演出一次结果后,处理和解释人员根据掌握的地质、测井、生产试油等资料对反演结果进行仔细对比分析,对不合理的地方进行仔细认真的分析研究,查找原因,并对其进行修改。如此反复循环处理,直到获得符合本区地质储层变化规律的三维波阻抗数据体^[7]。

3 应用效果

反演结果在该区有较高的分辨率,能够分辨 3~6 m 的储层厚度,波阻抗反演剖面很好地反映了岩性变化特征。砂岩阻抗值明显高于围岩阻抗值,差值明显,砂体边界清晰,展布形态呈明显的河道特征(图 7),与该地区的地质沉积特征完全吻合。利用未参与反演处理的井与已钻遇砂体的井进行检验吻合较好。利用新钻井与反演的井进行检验,钻遇砂体反应明显,埋藏深度和厚度误差很小。

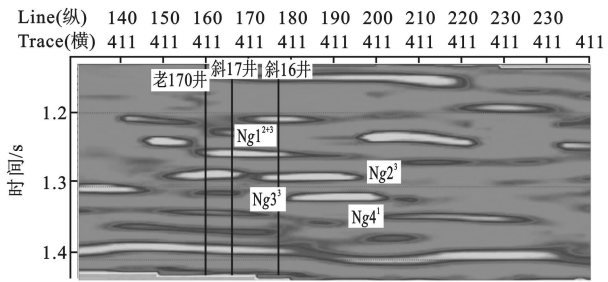


图 7 桩西埕岛 C411 线东西向三维反演剖面
Fig. 7 East West 3D Inversion Profile of Line 411 in ZXCD

对反演后完钻的 12 口新井统计储层 62 层,反演层数符合率达 92%。11 口验证老井统计储层 39 层,深度误差平均为 1.9 m,厚度误差平均为 1.6 m;其中深度误差小于等于 2.5 m(34 层)的占 87%,厚度误差小于等于 2 m(33 层)的占 85%。

实践证明,在该区应用 Jason 测井约束反演技术是成功可行的,该反演数据体波阻抗高低差异明显,地质现象清楚,且较准确地反映了地下地质情况,可用于下一步储层分析和综合研究工作。

4 结语

(1) Jason 测井约束反演技术作为定量描述河流相储层的主要手段在河流相薄储集层预测和油藏精细描述方面有其独特的优势。

(2) 建立正确的初始模型,尽可能地接近实际地层情况的波阻抗模型,是减少最终反演结果多解释性的根本途径。

(3) 地震反演结果的精度不仅取决于地震资料的分辨率和信噪比,还取决于技术人员处理方法和解释的精细程度。

(4) 应用测井约束反演技术定量描述河流相储层的同时应重视新井资料的不断补充,进行随钻跟踪反演,可进一步准确预测储层。

参考文献:

[1] 帅德福. 济阳拗陷油气勘探[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004.

[2] 张明振. 对测井约束地震波阻抗反演的理解与应用[J]. 油气地球物理, 2006, 4(3): 1-4.

[3] 陆基孟. 地震勘探原理[M]. 山东东营: 石油大学出版社, 1993.

[4] 赵淑红, 朱光明. 相位在地震勘探中的用途及研究[J]. 地球科学与环境学报, 2005, 27(4): 87-89.

[5] 吴胜和, 马晓芬. 测井约束反演在高分辨率层序地层学中的应用[J]. 地层学杂志, 2001, 25(2): 140-143.

[6] 许辉群, 桂志先. 利用测井约束地震反演预测砂体展布[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(4): 547-551.

[7] 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.