

文章编号: 0253- 9985(2001) 03- 0273- 04

宽带约束反演在江陵凹陷谢凤桥油田 储层预测中的应用

朱 伟¹, 朱 玲², 吴新民¹

(1. 中南石油局第五物探大队, 湖南湘潭 411104; 2. 中南石油局研究院, 湖南长沙 410014)

摘要: 宽带约束反演是利用测井信息的纵向高分辨率和地震资料的横向连续性得到高分辨率的宽带波阻抗和速度模型, 进行油气藏横向预测的一种方法。通过对声波测井的综合校正和制作合成记录先进行层位标定, 继而对剖面精细解释, 按解释剖面形成宏观模型, 完成地层层位的数字化; 然后采用井旁三道平均振幅值作为井旁模型地震道提取长度为 100 ms 的子波和 1 ms 的采样率进行随机地震反演, 在此基础上便可对储层进行预测。预测认为, 新沟咀组下段—沙市组有 O₃ 和 O₄ 两层主力含油砂层, 经横向追踪, 圈定了 O₃ 和 O₄ 含油砂层的平面展布范围, 通过与构造圈闭叠合, 确定 O₄ 砂层面积为 7 km², 经钻井获得自喷油流, 证明预测结果具较高的准确性。

关键词: 宽带约束反演; 波阻抗; 层位标定; 宏观地质模型; 地震反演, 储层预测

第一作者简介: 朱伟, 男, 33 岁, 工程师(硕士), 油气田开发工程

中图分类号: P631. 8⁺ 15

文献标识码: A

随着油气勘探程度深入, 勘探对象越来越多的将是寻找、发现隐蔽油藏, 其中对储层的识别和预测是关键技术。宽带约束反演方法充分利用了测井信息的高分辨率和地震资料的横向连续性, 运用地质知识作为约束, 有效减少了反演多解性, 弥补了地震资料带限的缺陷, 从而使常规地震资料的分辨率能达到解决精细地质问题的要求。

1 方法原理及流程

宽带约束反演是一种基于模型的反演技术^[1]。它采用综合地震资料、测井得到的波阻抗曲线、层位解释结果来确定一个初始波阻抗模型, 通过非线性反演的噪声、模型协方差和测井约束下改造模型, 最终得到高分辨率的反演结果。方法流程如图 1 所示。

地震道反演的基础方程为

$$S(t) = W(t) * R(t) \quad (1)$$

式中 $S(t)$ 为地震记录; $W(t)$ 为地震子波; $R(t)$ 为测井反射系数。由于实际情况存在噪音, (1) 式应表示为

$$S(t) - W(t) * R(t) = e \quad (2)$$

式中 e 为误差矢量。

在最小二乘意义下求解 (2) 式使 $e^T e$ 趋向最小, 可得非线性约束反演方程

$$M^{i+1} = M^i + (G^T G + \lambda I)^{-1} G^T (S - S^i) \quad (3)$$

$$\Delta M = (G^T G + \lambda I)^{-1} G^T (S - S^i) \quad (4)$$

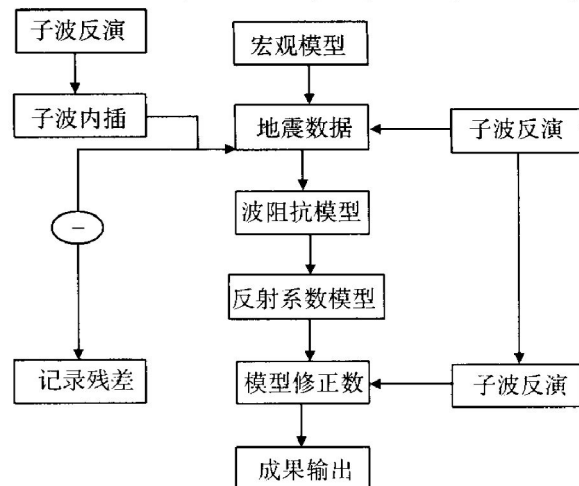


图 1 宽带约束反演流程图

Fig. 1 Flow chart of wide-band constrained inversion

式中 M^i 为第 i 次迭代的解矢量; G 为灵敏矩阵; S 为实际数据矢量; S^i 为第 i 次迭代结果; ΔM 为解修正量; I 为单位矩阵; λ 为阻尼因子; G^T 为 G 的转置矩阵。

通过 ΔM 的变化, 反复迭代直至得到最佳结果为止。

2 应用

谢凤桥构造为一受断层遮挡的 NE 向背斜构造, 新沟咀—沙市组是主要储层, 以粉细砂岩为主, 储层的孔、渗条件差异性较大, 孔隙度变化范围为

3%~15%, 渗透率为 $1.34 \times 10^{-3} \sim 28.4 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 总体上为低孔、低渗型储层。油藏受构造、岩性双重因素影响, 因此, 有必要应用宽带约束反演法来预测和描述储层的发育特征。

2.1 层位标定

层位标定主要通过以下步骤进行。

(1) 对声波测井进行综合校正, 主要对井径扩大引起的时差增高、起测遇阻及泥浆等因素引起的误差进行校正。

(2) 制作合成记录, 依据区域地震层位解释成

果参考鄂深6井的垂直地震剖面法勘探资料实现标定。新沟咀组下段顶界(t_{z8}) 钻井深度3 047 m, 标定 t_0 为1 832 ms。新沟咀组底界(t_9) 钻井深度3 511 m, 标定 t_0 为2 002 ms。

2.2 宏观地质模型的建立

通过准确标定地质层位后, 进行剖面精细解释追踪, 按解释方案形成宏观模型, 完成地质层位数字化。通过建立模型, 确定了目的层空间展布形态, 就可以为反演提供了地质约束条件。图2是115线波阻抗反演制作的宏观模型。

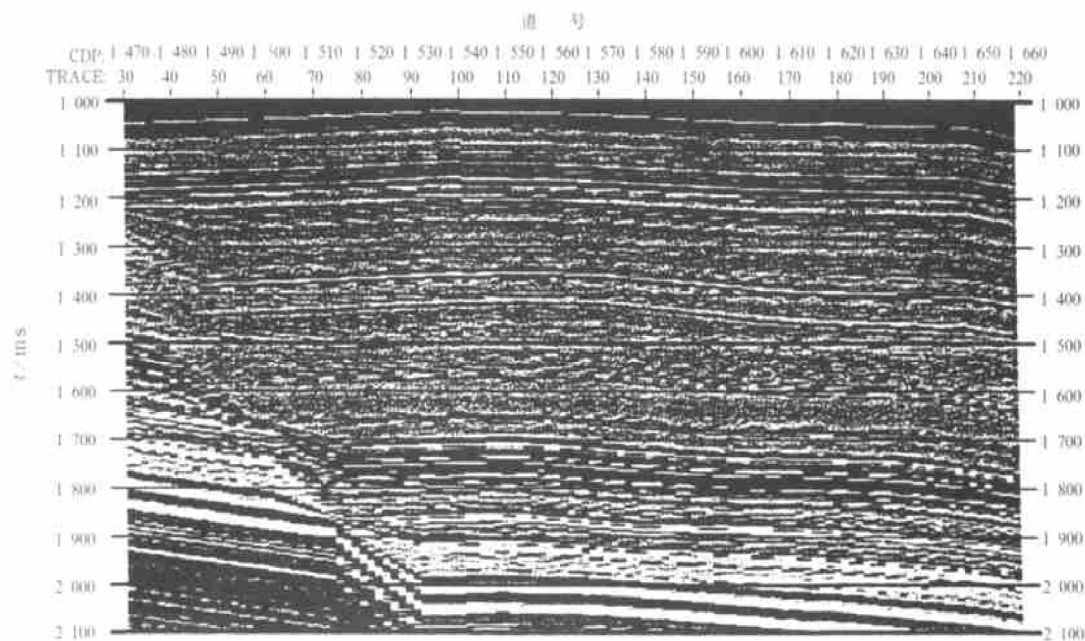


图2 115线宏观地质模型

Fig. 2 Macrogeological model of 115 Line

2.3 地震反演

为了提高子波精度, 采用井旁三道平均振幅值作为井旁模型地震道的振幅值, 提取子波, 子波长度100 ms。

通过试验, 统一采用1 ms的采样率进行反演。反演模式为随机反演。

图3上为124线反演的层速度曲线, 下为测井声速曲线。从图中可看出, $t_0 = 2\ 002$ ms处为一低速尖峰, 速度值为5 050 m/s, 其底部半幅点对应地质层位为新沟咀组底界, 深度3 511 m, $t_0 = 2\ 007$ ms处为一高速尖峰, 速度值为5 400 m/s, 对应 O_4 砂层, 在地震剖面上对应波谷。图中两曲线无论从时间、幅度、变化趋势上, 均能一一对应, 形态上基本一致并有很强的相关性, 相关系数达0.999 845。

图4从左至右为原始地震剖面, 反演拟合剖面和反演波阻抗剖面。图中可见, 拟合剖面与原始地震剖面面貌一致; 而反演波阻抗剖面比原始地震剖

面具有更高的信噪比和分辨率。

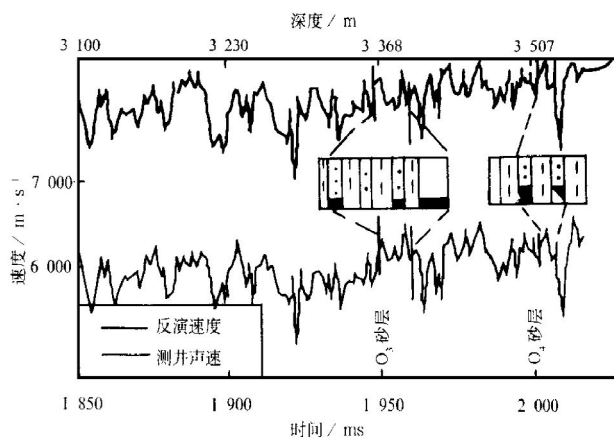


图3 124线反演的层速度曲线图

Fig. 3 Inversion of interval velocity curve of 124 Line

2.4 储层预测

2.4.1 储层标定

根据鄂4井录井测试综合分析可知, 新沟咀组下

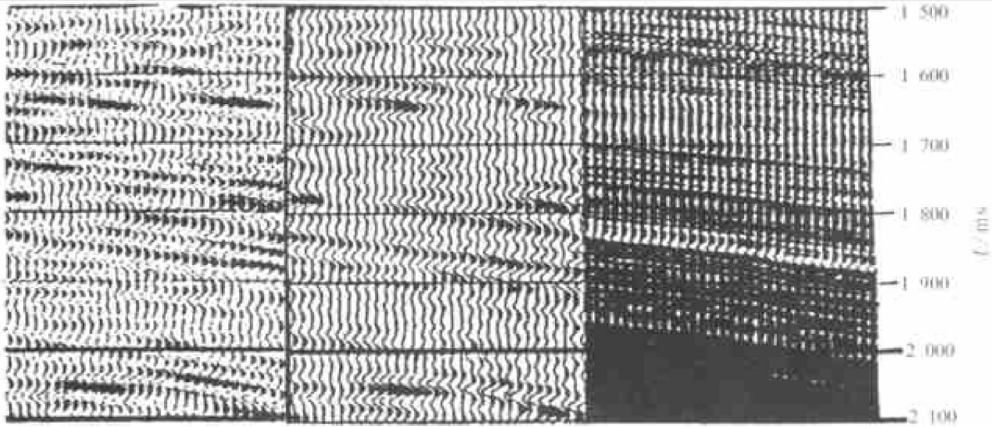


图 4 地震剖面、拟合剖面 and 波阻抗剖面对比图

Fig. 4 Comparison between seismic profile, fitted profile and wave impedance profile

段—沙市组有以下两层主力含油砂层即 O₃ 和 O₄ 层。
O₃ 砂层井深 3 369~ 3 399 m; 为含灰粉砂岩、泥岩、灰质泥岩、碳质泥岩不等厚互层, 电性响应特征为尖峰状高阻。
O₄ 砂层深度为 3 508~ 3 528 m, 为含灰粉砂岩, 标定 t_0 时间为 2 001~ 2 007 ms, 电性响应特征为尖峰状高速、高电位。
通过对工区 60 km 测线进行波阻抗约束反演, 得到 JL113 线反演波阻抗图和 LJ46 线反演波阻抗图, 从中可以看出 O₃、O₄ 含油砂层的分布(图 5)。

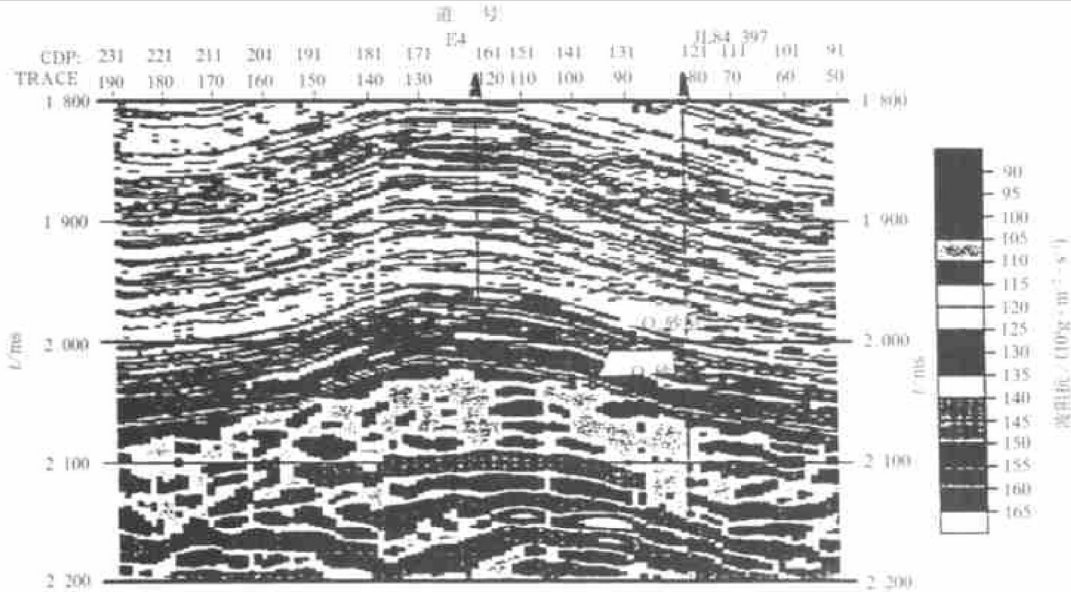


图 5 JL113 线反演波阻抗图

Fig. 5 Wave impedance inversion of JL 113 Line

2.4.2 横向追踪

经在构造范围内对主力含油砂层 O₃ 砂层、O₄ 砂层进行了横向追踪(图 5) 可看出, O₃ 砂层深度为 3 369~ 3 399 m, 标定 $t_0 = 1\,950 \sim 1\,960$ ms, 为低阻之上的一套高阻高速层, 阻抗值为 $120 \times 10^4 \sim 130 \times 10^4 \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$, 速度 $V = 5\,100 \sim 5\,400$ m/s。结合其它测线通过平面追踪, 最终可获得 O₃ 砂层的平面展布范围(图 6)。

O₄ 砂层深度为 3 508~ 3 528.7 m, 视厚为 20.7 m, 岩性为含灰粉砂岩, 标定 $t_0 = 2\,003 \sim 2\,007$ ms, 为

低阻之上的一套高阻高速层, 阻抗值为 $135 \times 10^4 \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ 。 $V = 5\,400$ m/s, 上下围岩均为高速泥岩, 背景阻抗为 $125 \times 10^4 \sim 130 \times 10^4 \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ 。高速层横向沿 LJ46 测线在 CDP 3 243~ 3 280 之间, 和 3 226 以西分布。该高速层在 JL113 线 CDP127 以东、194 以西分布。通过平面追踪最终得到 O₄ 砂层的平面展布(图 7), 图中 A 区为高阻区, 代表砂层, B 区为尖灭区。通过与构造圈闭叠合, O₄ 砂层面积为 7 km²。在此基础上确定的评价井鄂深八井落在 O₄ 砂层的 A 区。据最新消息, 该井获得自喷工业

油气流, 证明该预测结果具有相当的准确性。

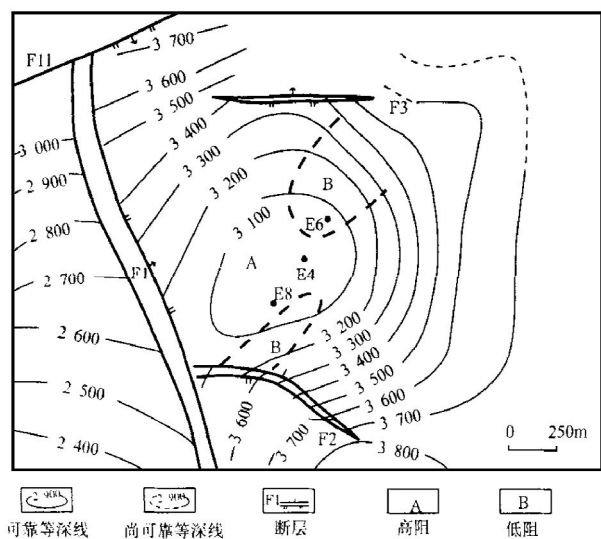


图 6 O₃ 砂层预测平面图
Fig. 6 Prediction plan of O₃ sandbody

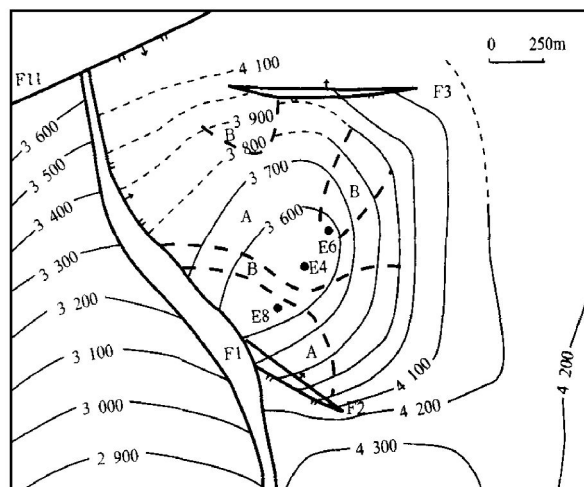


图 7 O₄ 砂层预测平面图(图例同图 6)
Fig. 7 Prediction plan of O₄ sandbody

参 考 文 献

- 1 周竹生. 宽带约束反演方法[J]. 石油地球物理勘探, 1993, 28 (5): 523~ 536

APPLICATION OF WIDE-BAND CONSTRAINED INVERSION TO PREDICTION OF XIEFENGQIAO OILFIELD RESERVOIR IN JIANGLING DEPRESSION

Zhu Wei¹ Zhu Ling² Wu Xinmin¹

(1. The 5th Geophysical Prospecting Brigade, Zhongnan Petroleum Bureau, Xiangtan, Hunan;
2. Research Institute of Zhongnan Petroleum Bureau, Changsha, Hunan)

Abstract: Wide band constrained inversion is to use the vertical high resolution of log data and the lateral continuity of seismic data to predict reservoir laterally. At first, acoustic log is used in horizontal calibration; then stratigraphic horizon should be digitized; finally, use average amplitude of three seismic traces of well site to extract 100 ms wavelet, make random seismic inversion and reservoir prediction. This method is used in the prediction of Xiefengqiao Oilfield reservoir. The result indicates that the lower part of the Xingouzui Formation-Shashi Formation contain two major oil-bearing sands — O₃ and O₄. Then stack the oil-bearing sands with structural traps, the O₄ sand covers an area of 7 km², a flowing oil well was drilled in it, indicating that the prediction result is accurate.

Key words: wide-band constrained inversion; wave impedance; horizontal calibration; macrogeological model; seismic inversion; reservoir prediction