

多井约束反演技术在东濮文东地区储层预测中的应用

罗凤芝¹ 滕春鸣² 李治¹ 张春林²

(1. 中原油田分公司物探研究院 2. 中原油田分公司信息中心)

摘要 多井约束反演技术 Interwell-3D 是一种基于三维模型的交互式地震地层反演,具有层位标定、构造解释、快速建模等功能。引入三维地质模型约束机制,以钻井、测井资料为约束,采用网格反演的算法,反演出高精度波阻抗数据体,为进一步研究储层的空间分布、物性特征等提供可靠基础资料。应用该技术对文东地区目标区 $E_{s3}^3 - E_{s3}^4$ 地层进行了储层预测,对砂体的空间分布、厚度变化、物性特征做了精确描述,与钻井符合较好,为圈定有利储层提供了可靠依据。

关键词 多井约束反演 三维地质模型 储层预测 波阻抗

多井约束反演技术可为储层预测提供可靠的基础资料,是进一步研究储层的空间分布、岩性对比追踪、物性特征等的重要手段。由于 Interwell-3D 充分地利用地震、地质、测井资料综合约束反演过程,特别是引入三维地质模型约束机制,显著提高了反演结果的唯一性,具有较高的反演精度,在油气储层预测中是一种高效实用的技术。

1 反演原理及实现步骤

1.1 基本原理

Interwell-3D 多井约束反演是一种基于三维地质模型的反演。它充分利用测井资料的高频和低频信息,地质、地震信息综合约束,多次迭代内插外推得到高精度的波阻抗剖面^[1]。它首先建立一个初始波阻抗模型,用来约束反演过程。初始波阻抗模型是在对层位进行精细标定及地质体的岩性解释基础上,采用地质统计学的方法计算形成的。然后,Interwell 在模型上采用基于网格的反演算法进行反演,使下列目标函数最小: $J(Z) = J_s(Z) + J_z(Z)$ 其中, $J_s(Z)$ 项为关于地震的, $J_z(Z)$ 项是关于地质的。

$$\text{地震项: } \frac{1}{2\sigma_s^2} \| S_{\text{sobs}} - S_{\text{synt}} \|^2$$

地质项:由岩性分量及岩石几何特征分量构成。

$$\frac{1}{2\pi\sigma_i^2} \left[\frac{1}{\lambda^2} \right] \int \| I - I_0 \|^2 + \int \| P_s \nabla (I - I_0) \|^2$$

其中, S_{sobs} 实际地震资料; S_{synt} 迭代过程中的合成数据; I_0 初始模型; I 迭代过程中的波阻抗; $P_s \nabla (I - I_0)_s$ 局部等时切平面(tangent plane)的投影; σ_s 地震数据的不确定性,它直接与子波信噪比有关; σ_i 表示初始模型的不确定性; λ 表示波阻抗沿相关层面的相关长度。

上述目标函数为一个准二次方程目标函数,它只有一个最小值;它同时考虑多道的波阻抗数值优化,以保证横向与纵向反演精度;它不仅考虑了模型道与实际地震数据的差异,而且还把大量的地质信息加入到最终声阻抗数据体中,显著提高了反演结果的唯一性。

1.2 实现步骤

1.2.1 标定

标定是反演处理的基础工作,除了通过利用合成记录与井旁地震道进行储层标定外,还需结合测井资料的自然伽马、自然电位等电性特征、钻井地质分层及 VSP 资料等进行综合标定,以获得精细的标定结果。

收稿日期 2002-01-16

第一作者简介 罗凤芝,女,1966年生,工程师,1988年毕业于长春地质学院物探专业,现从事地震地质综合研究工作,地址(457001):河南省濮阳市,电话:(0393)4824455。

合成记录标定包括:

(1)子波估算及分析。在多井约束反演时,如何求得每口井的最佳子波及在多口井的最佳子波中优选一个适合三维数据体反演的最佳子波是多井约束反演面临的难题,在此采用了多道自相关统计方法、道迭加线性相位扫描分析及子波归一化处理的方法求得最终子波。具体做法是:①在地震资料的目的层段信噪比较好的、合适的时窗内,用多道自相关统计方法求得一个多道相关子波。②线性相位扫描分析。用多道相关子波与井的声阻抗褶积,用道迭加线性相位扫描的方法,得到每口井的合成记录,再对每口井作时差分析、子波相位调整、计算相关曲线等,直到合成记录与井旁道达到最佳拟和,便得到每口井的最佳子波。

(2)子波归一化处理:根据线性相位分析结果,选择对多数井效果比较好的几个相位,对所需井做试验,分析试验结果,得到一个适合各井的子波相位,用该相位对各井进行标定(见图1)。

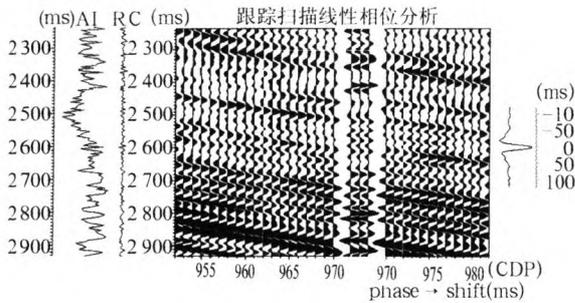


图1 文205井合成记录

1.2.2 建立模型

根据层位标定和岩性解释结果,对比追踪解释主要储层反射界面,形成储层的构造控制信息和沉积特征;通过三维数据体,直接模型建立模块,可自动确定相同的地质单元。在建模过程中,根据实际情况,人工可随时对它进行修改,结合各井的波阻抗曲线,建立初始波阻抗模型。

1.2.3 反演

根据掌握的地质先验信息的程度可以选择以模型为主和以地震资料为主的2种反演方式。强调已知地质先验信息时,模型的约束占主导地位,反演结果的分层性、储层横向连续性和稳定性更好,采用地质模型约束的方法,选择合适的迭代次数,并根据反演收敛分析图、剩余地震剖面、井的初始波阻抗反演地震道对比图分析,获得优化的

波阻抗模型。

2 应用实例与效果分析

2.1 概况

文东文88块作为反演研究区,在区域构造上属于东濮凹陷文留构造向南倾没部分,徐楼断层贯穿整个工区,对文东构造带油气的富集起控制作用。该区构造相对简单,地震资料的品质相对较好,岩性从南到北变化较大。勘探程度较高,20余口井钻遇Es₃³地层,约16口井钻遇Es₃⁴上1砂组,5口井钻遇Es₃⁴上2~3砂组,其中Es₃³亚段为该区主要产油层。反演目的层为徐楼断层上升盘的Es₃³7~8砂层组和Es₃⁴上1~3砂层组,埋深3500~4300m,岩层段厚度在200~300m,为砂泥岩薄互层。

2.2 应用效果

2.2.1 反演分辨率

由于多井约束反演技术不仅利用了测井资料的高频成分,也利用了测井资料的低频成分,所以反演剖面的分辨率大大高于地震分辨率,在深层(2700~2800ms)100ms以内可分辨20层,分辨地层厚度10m,比常规地震处理分辨率提高2~3倍。

2.2.2 剖面波阻抗特征

图2连井线波阻抗剖面,从中清楚地可看出,目的层段波阻抗界面清晰,层状特征和尖灭现象明显,砂泥岩互层变化频繁,2500ms附近的(井上所标为砂层组的钻井分层)几套强波阻抗值,结合测井综合分析为砂岩,反演结果与井资料吻合较好。

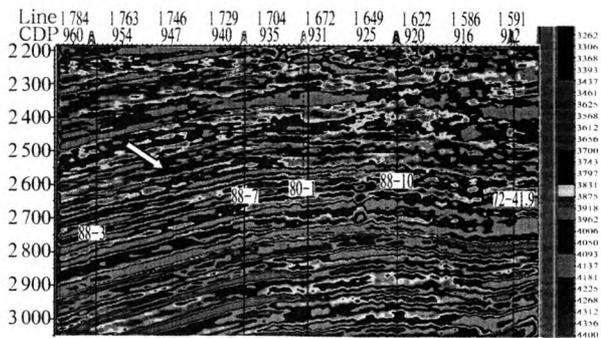


图2 波阻抗剖面(连井线)

2.2.3 储层空间分布及物性特征(以Es₃⁴上1砂组为例说明)

2.2.3.1 储层空间分布

把反演数据体加载到人机联作解释工作站上,与地震解释软件及 Stratimagic 地层解释软件相结合,综合利用三维波阻抗数据体、储层钻井厚度及其它地震信息,制定储层顶底追踪标准,通过相交剖面的闭合,进行储层顶底界面的对比追踪解释,得到储层的砂岩等厚图(见图3)。

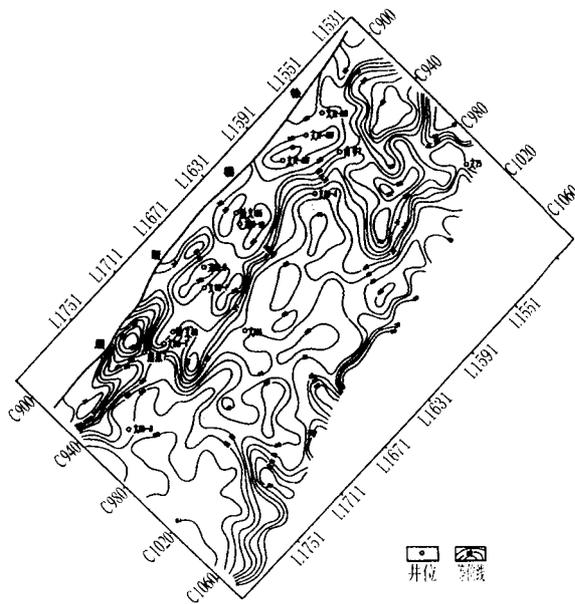


图3 Es₃上1砂组砂岩等厚图

2.2.3.2 储层物性特征

用拟合的速度值与孔隙度之间的关系式来估算孔隙度(见图4)。

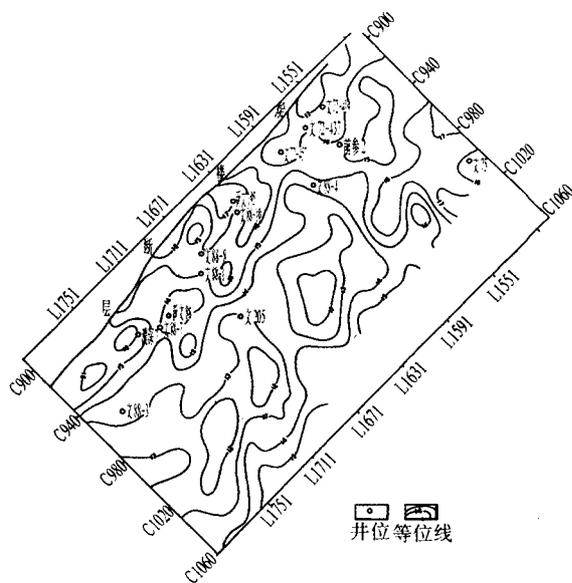


图4 Es₃上1砂组砂岩孔隙度分布图

从图中看出,Es₃上1砂组砂岩孔隙度值介于10%~18%,其孔隙度高值区(15%~18%)分布在徐楼断层文72-419以北、文88-1-新文195、濮深7附近。具有北大南小、西大东小的分布特征,与钻井结果符合。

2.2.4 预测精度分析

表1列出了Es₃7、8砂层组砂体厚度并孔值与预测值对比情况。其预测误差小于4m。从误差的分布情况看出:①砂层厚度越小,误差相对越大,这可能是由于砂层较薄,追踪砂层时人为误差所致;②砂层越厚越容易分辨;③越靠近徐楼断层误差相对越大,这是由于断层的剧烈活动,使地层破碎,致使地震资料的品质较差,影响反演结果,造成一定的误差。但误差在允许范围内,精度相对较高。

表1 Es₃7、8砂层组砂体厚度并孔值与预测值的对比

| 井名 | Es ₃ 7 | | | Es ₃ 8 | | | 备注 |
|---------|-------------------|-----|------|-------------------|-----|------|-----|
| | 并孔值 | 预测值 | 绝对误差 | 并孔值 | 预测值 | 绝对误差 | |
| 文88-3 | 62 | 61 | 1 | 46 | 43 | 3 | |
| 文88-7 | 38 | 42 | -4 | 48 | 50 | -2 | 检验井 |
| 文88-1 | 23 | 26 | -3 | 47 | 50 | -3 | |
| 文88-10 | 35 | 32 | 3 | 51 | 50 | 1 | |
| 文72-419 | 37 | 40 | -3 | 47 | 50 | -3 | |
| 濮深7 | 30 | 31 | -1 | | 54 | 50 | 反演井 |
| 新文88 | 38 | 40 | -2 | 43 | 46 | -3 | |
| 文205 | 41 | 40 | 1 | | 49 | 47 | |
| 新文195 | 31 | 28 | 3 | 49 | 47 | 2 | |

4 结束语

层位精细标定及建立正确的地质模型是确保反演结果真实可靠的关键。在文东文205井区的实际应用表明,Interwell-3D反演精度较高,反演结果既能解决储层的垂向分辨率问题,又能在横向上对比追踪及岩性识别,为落实构造,划分油水边界,圈定有利储层区等提供了可靠依据,真正实现全三维的储层预测。

参 考 文 献

- 1 刘雯林. 油气田开发地震技术. 北京:石油工业出版社,1996
- 2 李庆忠. 走向精确勘探的道路. 北京:石油工业出版社,1993

(编辑 刘新玲)