

# 基于三维地震资料连片处理的多井约束反演技术的应用

江春明<sup>①</sup> 刘 晓<sup>①</sup> 刘哲生<sup>②</sup> 陶宗普<sup>①</sup> 陈春强<sup>①</sup> 温志新<sup>①</sup>

(<sup>①</sup> 中国地质大学(北京)能源地质系; <sup>②</sup> 东方地球物理公司)

## 摘 要

江春明, 刘晓, 刘哲生, 陶宗普, 陈春强, 温志新. 基于三维地震资料连片处理的多井约束反演技术的应用. 石油地球物理勘探, 2004, 39(增刊): 165~168

本次研究是在华北油田 TS 和 SQ 地区三维地震资料连片处理的基础上, 对下第三系东三段( $Ed_3$ )潜力区储层展开储层预测工作, 提取了一套有效的地震属性和敏感性参数, 结合三维可视化技术、地震属性相互验证, 从而确保了储层预测的精度。通过本项目的研究工作指明了该区的物源方向、储层分布规律, 找出重点井区储层尖灭位置, 解决了一些过去一直无法解释的问题, 并在新发现的岩性圈闭中提供了两口勘探开发井位, 均见到良好的油气显示, 证明此次反演工作相当成功。

**关键词** 多井约束反演 连片处理 反演模型 储层预测

## 引 言

近年来, 应用反演方法进行储层预测及含油性预测技术日趋成熟, 波阻抗反演是储层反演的主要手段之一。由于普通高分辨率地震剖面不能分辨薄储层, 而多井约束波阻抗反演技术以测井资料丰富的高频信息和完整的低频成分可以补充地震有限带宽的不足, 因此将地质、测井信息作为约束条件, 可得到高精度的波阻抗数据体, 从而得到反演模型, 进而可有效地指导油田勘探开发<sup>[1,2]</sup>。

本次研究的工区位于冀中拗陷文安斜坡东北部, 工区东临大城凸起, 西与霸县洼槽相邻, 具体范围包括 TS 地区 2000 年整个三维地震工区(面积约 136km<sup>2</sup>), 拼接 SQ 地区部分三维资料, 实际工作面积约 200km<sup>2</sup>。由于该工区位于 TS 和 SQ 两块三维地震资料的交界处, 过去的三维连片处理并没有取得预期的效果, 但是从沉积相研究来看, 该区东三段( $Ed_3$ )为河流相沉积, 不过人们对该地区东三段物源及储层分布规律的整体认识一直存在分歧; 另外, 经钻井结果可知, 苏 7 井东三段在与其相邻的苏 20

井、苏 3 井中物性变差, 甚至消失, 从构造角度看, 其间并没有断层分隔, 估计这是由东三段储层变薄或尖灭所致, 但当时缺少合理可靠的证据。因此本次反演的目的是针对下第三系东三段( $Ed_3$ )潜力区储层开展储层预测工作, 研究储层分布规律, 找出储层尖灭位置, 为发现有利的岩性圈闭提供勘探开发井位。

## 多井约束反演的实现

由于 TS 三维和 SQ 三维两块地震资料的采集方法、处理时间、处理手段和参数不同, 因而在波组、频率和反射能量方面差异明显。TS 三维地震资料品质好, 中浅层信噪比高, 同相轴连续性好; 深层资料品质相对较差, 虽然主要反射层清楚, 但潜山内幕模糊。SQ 三维地震资料总体上看噪声大, 信噪比低, 处理时修饰过度, 断层模糊, 断层分辨不清晰、断点不干脆, 给连片解释带来极大困难。本着面向全区的原则, 收集了苏 42、苏 7、苏 31、苏 32、苏 33、苏 61、苏 62 等 15 口井的声波和自然伽马等测井曲线。总的看来, 工区测井资料的质量较高, 但少数井的声波曲线存在奇异值, 需校正后才能使用。

### 资料处理及储层测井响应分析

针对上述资料现状,对SQ地区三维资料做叠后处理,采用频谱分析、滤波及反褶积等手段,提高其分辨率,并将SQ地震资料与TS三维拼接,重新进行了三维地震资料连片处理,得到了处理后的高保真地震资料,满足了对储层预测和油藏描述的要求(图1)。利用Jason软件对声波曲线进行了奇异值处理,为多井约束反演和储层预测奠定了基础。通过对工区内下第三系东三段砂泥岩的速度和波阻抗特征进行统计分析可知,砂岩速度高于泥岩速度,其波阻抗大致可分成两个区域(图2),这些特征正是做好反演和储层预测的基础。

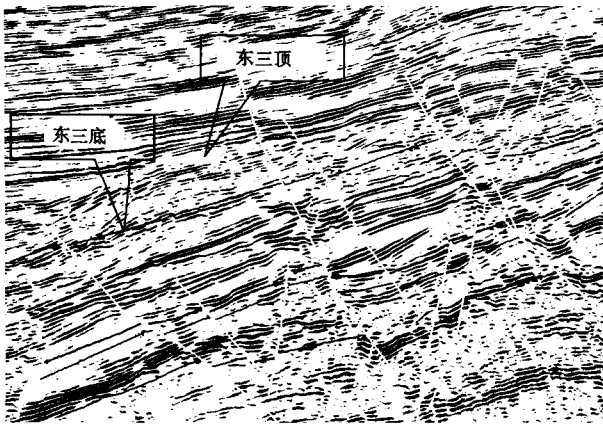


图1 INLINE512地震解释剖面图

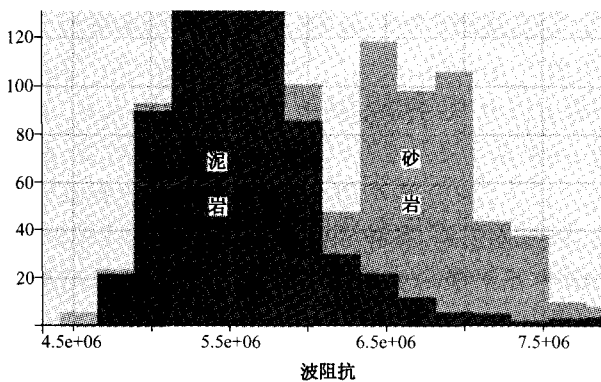


图2 研究区东三段波阻抗值

### 多井约束反演方法原理

测井资料特征分析表明,工区砂岩的主要表现为低自然伽马和中高波阻抗特征,因此在反演方法上选择了波阻抗反演和自然伽马反演为主的反演方法。

#### 多井约束稀疏脉冲反演

此法以地震数据为主体,用测井数据作为约束条件(也可做无井反演),从地震道中根据稀疏的原

则抽取反射系数,与子波褶积生成合成地震记录道,再利用合成地震记录与原始地震道的残差修改反射系数,得到新的反射系数序列,此过程反复迭代,直到误差达到最小为止。然后求得相对波阻抗,再与各井绝对波阻抗曲线拟合的阻抗图趋势(低频背景)相加,得到了绝对波阻抗。可见此种反演过程充分依赖地震反射资料的特征,所以反演结果的分辨率比地震分辨率有所提高。

#### 基于模型的储层参数反演

此法以测井数据为主体,井间的空间变化由三维地震数据变化体来约束,进行多种属性的反演,可以同时得到时间域与深度域的多种属性反演数据体。其核心思想认为地震道之间是彼此相关的,任何一道地震数据都可以由有限的已知井的声波、密度测井曲线经过合适的插值、外推之后,运用褶积模型通过正演进行模拟;也可以直接由井旁地震道的特征成分通过适当的插值、外推进行逼近。与其他地震反演方法相比,这种反演结果突破了传统地震资料分辨率的限制,能够达到或接近于测井曲线的分辨率。

通过上述两种反演方法原理的分析及反演工区的特点,利用稀疏脉冲反演可以宏观地了解空间储层分布情况,同时对层位标定、子波及其他一些后续的测井曲线反演相关参数进行试验,然后运用模型储层参数反演,得到各目的层的储层分布范围。两者互相补充、相互验证,确保反演结果及储层预测结果的可靠性。

### 多井约束反演步骤

#### 子波提取

通过提取理论的雷克子波确定出本区地震频带为10~50Hz,进而确定子波最大的频率为50Hz,经过实际井测试提取出本区最小相位子波,子波长度为80ms,子波起跳时间为-40ms。每口井的子波时窗基本都不同。子波时窗选取的基本原则有两点:①要在目的层附近,且时窗长度至少应是子波长度的三倍以上,以降低子波的抖动程度,提高稳定性;②时窗的顶底位置不要选在测井曲线变化剧烈的地方。

#### 层位标定

在三维地震连片处理后,预测的可信度提高了。通过对比合成地震记录与井旁地震道,找出两者主要波组的对应关系,精确标定出岩性界面在地震剖面的反射位置,从而可以消除速度误差,进而获得高精度的时深关系。在制作合成记录的过程中,还需参

考邻区井的 VSP 资料。

在本区标定时,首先提取雷克子波将主要地质分层标定好,然后提取井旁道子波进行目的层的标定。考虑到地震反射资料的频率、相位等特征在同一工区内变化不大,同时照顾到后续的反演处理模块对子波的要求,所以依据工区内 15 口井分别估算的井旁道子波求取一个平均子波。从本区平均子波上看,子波的波形稳定,能量主要集中在子波中央的主瓣,子波的相位谱在 0~50Hz 范围内基本是零相位;另外从振幅谱上看子波的振幅谱宽度为 10~50Hz,与地震资料的谱宽一致,说明提取的子波质量比较高。基于这种情况,利用平均子波进行目的层的精细标定是完全可信的。整个过程利用高质量的合成记录对东三段顶底进行精细标定,获得高精度的时深关系,再利用人机联作系统、全三维解释技术、可视化显示、立体化解释以及各种质量监控方法来追踪东三段顶底等层位,确保了储层形态的精细描述,为提高初始模型的精度奠定了基础(图 3)。

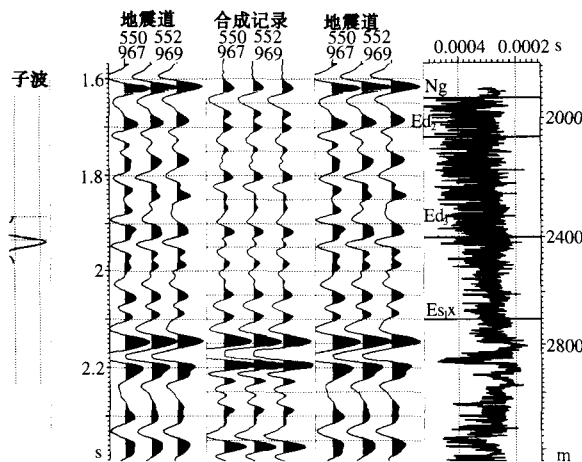


图 3 苏 7 井储层层位的精细标定

#### 地质属性模型的建立

建立尽可能接近实际地层情况的属性模型是减少结果多解性的根本途径。测井资料在纵向上详细揭示了岩层波阻抗的细节,地震资料则连续记录了波阻抗界面的横向变化,二者的结合为精确建立空间属性模型提供了必要的条件。属性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高频信息,反映薄层变化细节可对地震数据进行加密<sup>[3]</sup>,由 4ms 加密到 1ms。

本次反演是选用上第三系馆陶组(Ng)底、东三

段(Ed<sub>3</sub>)顶、东三段(Ed<sub>3</sub>)底及沙一段(Es<sub>1</sub>)底四个解释层位建立地质模型。本次研究在多井内插方法的选择上,主要选用了苏 42、苏 31、苏 32、苏 7、苏 62 井资料进行了不同插值方法的试验,试验结果表明反距离加权插值方法所得到的模型比较符合实际。为了确保反演精度,经反复对比,确定 15 次为最佳迭代次数;为保证反演结果与地震反射资料在频率、相位等特征上的一致性,选用平均子波进行三维波阻抗约束稀疏脉冲反演处理,将处理得到的相对波阻抗反演数据体与测井曲线内插得到了低频波阻抗合并,得到绝对波阻抗反演数据体。

## 应用效果

储层预测的目的是绘制储层参数平面展布图。在综合各种储层信息时应遵循以下原则:①井点以测井资料为主;②井间利用储层反演结果勾绘砂岩尖灭线;③砂体平面展布利用沉积相模式和地震反射结构来控制<sup>[4]</sup>。

在上述反演的基础上,利用波阻抗反演数据体得到了目的层的时间厚度,最后将时间厚度与工区内砂岩的速度相乘得到了储层的厚度分布图(图 4)。由图 4 看出,东三段储层厚度分布范围为 0~80m,为河流相沉积,砂体主要为河道砂体,砂体的主体部位分布在苏 42、苏 31 等井区。图中可以明显看出有 3 个高值区,分别是苏 31、苏 42 以及苏 1-8 等井区,其储层厚度约为 80m,渗透砂岩向北厚度逐渐减薄,由此可以看出本段砂体的主要物源来自东南部。

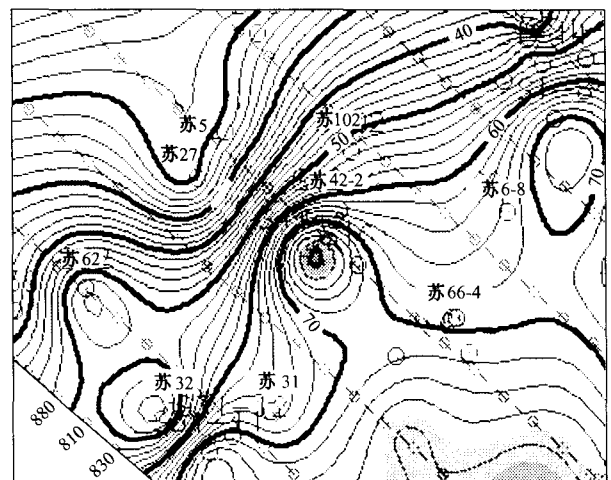


图 4 TS 和 SQ 地区下第三系东三段储层厚度分布图

图5是针对苏42东三段(2120.6~2402.2m,电测解释油层2层9.0m,油水同层4层9.8m,含油水层1层2.6m)制作的反演剖面。从图中可以看出,在纵向上,本段砂体(浅色)呈块状分布,由苏42井往苏102井方向砂体有变薄的趋势。苏42井 $Ed_3$ 出油层段往苏102井方向尖灭,纵向上分布范围很小,仅在苏42井附近分布,这与钻井资料一致。

图6是专门针对苏7井东三段(2097.4~2168m,岩屑录井油斑显示12.8m/5层)制作的波阻抗反演,从中可以看出:往苏3井、苏20井该储层(深色)逐渐减薄至尖灭。

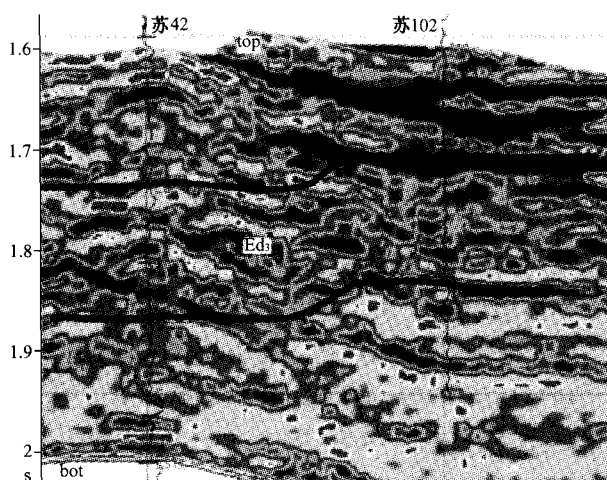


图5 苏42—苏102波阻抗反演剖面

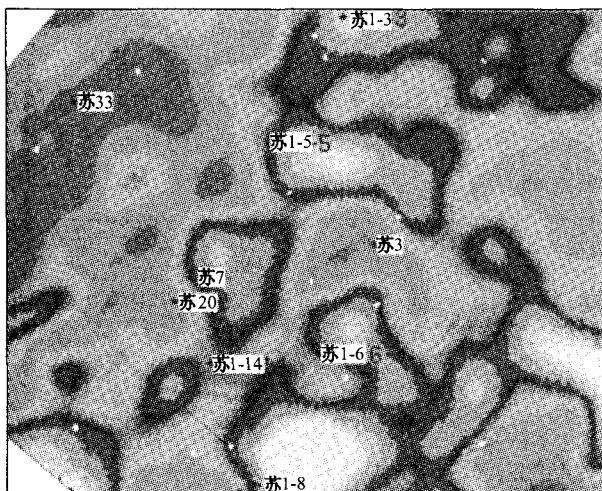


图6 苏7—苏20—苏3井波阻抗反演平面图

## 结 论

我们在华北油田TS和SQ地区三维地震资料连片处理的基础之上成功地对下第三系东三段( $Ed_3$ )进行了储层预测,得出如下结论:

(1)敏感性参数分析是成功反演的基础,高精度时深转换、层位解释以及子波提取是成功反演的关键环节,对上述每一步进行严格质量控制是反演取得成功的保证。

(2)通过本项目的研究工作摸索出了本地区的一套有效的地震属性和敏感性参数,结合三维可视化技术及地震属性技术相互验证,从而确保了储层预测的精度,这对类似地区的岩性油气藏的勘探具有一定的参考价值。

(3)通过本项目的研究工作指明了该地区的物源方向和储层分布规律,找出了重点井区储层尖灭位置,很好地解决了一些过去一直无法解释的问题,并在有利的岩性圈闭内提供了两口勘探开发井位,均见到良好的油气显示,砂体钻遇率为100%,厚度符合率为80%,孔隙率符合率为85%,证明该次反演工作相当成功。

特别感谢中国地质大学(北京)能源系2003级博士刘晓为本文写作提供资料!另对东方地球物理公司夏竹博士为本文提出的建设性意见表示衷心的感谢!

## 参 考 文 献

- [1] 刘企英. 利用地震信息进行油气预测. 北京:石油工业出版社,1994,12~14
- [2] 刘春成,赵立,王春红等. 测井约束波阻抗反演及应用. 中国海上油气(地质),2000,14(1):64~67
- [3] 王玉学,侯伯刚,牛滨华等. 地震储层特征反演技术在冀中南马庄地区的应用. 现代地质,2003,17(增刊):219~223
- [4] 沈克林. 塔里木盆地北部地震地层解释与油气检测. 武汉:中国地质大学出版社,1993,4~7

(本文编辑:张亚中)