

文章编号: 1671-8585(2006)06-0419-05

分频技术在储层预测中的应用

余 鹏^{1,2}, 李振春¹

(1. 中国石油大学(华东)地球资源与信息学院, 山东东营 257061; 2. 中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司物探研究院, 山东东营 257022)

摘要: 由于多个波阻抗界面产生的子波叠加效应和鸣振效应, 使得地震道不能直观反映界面位置和地层组合特点, 而且不同的地质目标对地震资料的不同频率成分的敏感程度也不同。因此, 利用地震信号的特定频率或频带信息来突出地质目标的成像效果, 一直是石油物探技术研究的重要内容。利用分频反演、小波分频成像和时频三原色等分频技术, 对 N9 井区的三维地震资料进行了综合研究, 得到了比较清晰和合理的储层解释结果, 证实了分频技术在储层预测中的有效性和实用性。

关键词: 分频反演; 小波分频成像; 时频三原色; 储层预测

中图分类号: P631.4

文献标识码: A

在地震资料信噪比较低, 常规处理效果不理想的情况下, 地震资料的处理可考虑采用分频处理。首先根据频谱分析, 确定频带范围, 再按反射波在频带内的能量分布, 确定分频频带; 然后充分利用各个频带的反射能量, 选择能够充分揭示地质目标的响应特征明显的分频数据体。特别是在互层状沉积韵律情况下, 分频处理的数据可以在有效的地震频带内, 降低子波叠加和鸣振效应造成的成像模糊, 最大限度地突出薄层响应, 使薄层成像清晰。由此不仅可以提高纵向分辨率, 而且突出了地层的横向变化和边界点, 有利于对储层的识别和追踪, 有利于认识储层展布的规律。

1998 年, 韩申庭等人在长庆气田采取了分频处理等特色技术, 创立了一套山西组砂岩储层厚度解释及天然气检测技术^[1]。朱红涛等在 2002 年利用分频吸收系数技术, 大大地提高了储层横向预测解释的精度, 并以莺歌海盆地莺东地区的乐东 15-1 构造和乐东 8-1 构造为例, 说明了该技术的应用及效果^[2]。王云高等在 2004 年采用多目标储层分时频处理技术, 获得了高分辨率、高信噪比剖面, 能够满足后续各目标储层的地震反演及储层预测的需要^[3]。姜秀清等人给出了地震分频技术在不同油气藏类型中的应用效果。该技术能够对地震资料中的信息进行优化处理, 可以明显地提高储层预测的精度和钻井成功率^[4]。胡光义等于 2005 年采用分频处理技术研究储层分布特征, 处理结果清晰地显示出了河道砂岩体的走向和相互关系^[5]。

分频反演技术将地震资料分成几个一定频宽的频段数据进行反演, 与测井约束反演相比, 可以更好地保留地层接触关系, 跟井具有更高的吻合

度, 能更合理地解释砂体厚度变化及展布。小波分频成像是 在一定带宽下, 通过某一最佳频带对储层进行成像。因反射波同相轴在各尺度的剖面上强弱不同, 不同尺度的小波分频成像剖面能够突出地震信号的时频特性, 因此, 可以根据地质任务和解释目标, 选择合适的小波分频尺度成像剖面。时频三原色技术用三原色表示低、中、高频, 用小波变换作时频分析, 将一维时域信号转换成时间和频率的二维信号, 通过时空变化揭示地质现象, 提高纵向分辨率和频率计算的精度及稳定性, 并且此技术能很好地反映层序界面形态和沉积韵律特征, 对解释有现实意义。

1 方法原理

设地震信号为 $S(t)$, 用褶积模型表示为

$$S(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \omega(\tau) R(t-\tau) d\tau \quad (1)$$

式中: $R(t-\tau)$ 为反射系数; $\omega(\tau)$ 为地震子波。式 (1) 的小波变换表示为

$$S(b, a) = \frac{1}{a} \int_{-\infty}^{+\infty} S(t) g\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (2)$$

式中: a 是小波函数的尺度因子; b 是时间因子; $g\left(\frac{t-b}{a}\right)$ 是 $g\left(\frac{t-b}{a}\right)$ 的共轭。式 (2) 是时频分析方法的基础, 由小波反变换公式, 进一步得到地震信号分频处理的离散褶积表达式

收稿日期: 2006-04-03; 改回日期: 2006-04-25。

第一作者简介: 余鹏 (1979—), 男, 助理工程师, 中国石油大学 (华东) 硕士在读, 主要从事地震资料解释、测井约束反演和油藏描述工作。

$$S_i^*(b) = \omega^*(b) \sum_{j=1}^M \frac{Z_{j+1} - Z_j}{Z_{j+1} + Z_j} \delta(b - T_j) \quad (3)$$

式中: $S_i^*(b)$ 为小波分频处理后的地震记录; $\omega^*(b)$ 为小波域分频构造的新子波; Z_j 为波阻抗序列; $\delta(b - T_j)$ 为狄拉克函数。最终, 地震道分频反演波阻抗的迭代公式为

$$Z_{i,k} = Z_{i,k-1} + \mu (A_{k-1}^T A_{k-1} + \epsilon I)^{-1} A_{k-1}^T (S_i^* - S_{k-1}) \quad (4)$$

式中: 下标 i 表示波阻抗的分频反演区间为 (a_{i-1}, a_i) ; 下标 k 为迭代次数; S_i^* 为小波域分频 (a_{i-1}, a_i) 处理的地震记录; S_{k-1} 为由 $Z_{i,k-1}$ 按式(3)合成的地震记录; ϵ 为正则化因子; μ 为控制迭代速度的加速收敛因子。式(1)至式(4)刻画了小波域的波阻抗反演方法^[6]。

2 分频反演

2.1 分频反演的特点

在少井区, 常规反演都采用稀疏脉冲反演方法, 在多井区则采用模型反演。稀疏脉冲反演是在地震主频控制下得到反演结果, 地震资料有效频带中相对高频和相对低频的潜力不能充分利用, 且提取的子波形态对反演结果影响很大, 这必然影响该方法的反演分辨率和储层预测的精度。模型反演的纵向分辨率虽比较高, 但依赖于由解释的层位、测井曲线和沉积模式建立的初始模型。而层位解释因人而异, 沉积模式先入为主, 且无法建立复杂的地层接触关系, 所以容易抹杀上倾尖灭和地层超覆等地质现象, 对隐蔽油气藏的识别非常不利。对任一地震剖面来说, 不同的频率成分有不同的信噪比, 为了保持尽可能高的分辨率, 需要分别对待不同的频率成分。因此, 我们开始考虑应用分频反演方法。与目前的谱分解不同的是, 分频反演依靠测井和地震资料, 研究不同探测频率下的振幅响应 (AVF), 将 AVF 作为独立信息引入反演, 合理利用地震低、中、高频带信息, 从而减少了薄层反演的不确定性, 可以得到一个高分辨率的反演结果。同时, 它也是一种无子波提取、无初始模型的高分辨率非线性反演, 可以更真实地反映地层接触关系、砂体厚度变化及空间展布特征。

2.2 分频反演步骤

1) 对地震资料进行频谱分析, 了解野外地震记录频带范围及噪声分布;

2) 对地震资料进行带通滤波, 将地震资料分

为几个不同频带范围的记录;

3) 分别对每个频带的记录进行反演, 得到各个频段的反演结果剖面;

4) 将各个频段的反演结果叠加, 得到全区的反演剖面。

分频反演过程中只能取有限(3~5)个频带, 频带宽度不能太窄, 以免降低分辨率^[7]。

2.3 分频反演实现方法

1) 分频层位标定。利用波阻抗曲线的波组特征, 与不同频段道积分剖面对比和微调, 必要时进行合理的拉伸和压缩进行层位标定。

2) 地震分频属性提取。首先在地震剖面上追踪目的层段的顶底界面; 然后随机抽取多个地震道进行频谱分析, 掌握地震频宽、低频、主频和高截频等情况, 设计分频参数; 最后利用设计好的分频参数对地震数据进行分频, 产生不同频段的数据体。

3) 建立地震分频属性与测井资料的非线性映射关系。利用井的波阻抗曲线和解释层位得到低频模型; 利用支持向量机方法建立分频属性和目标之间的非线性关系, 可进行多次学习, 直到对反演结果满意为止。

4) 在小波域内用分频反演法进行去噪处理。利用小波变换将原始地震剖面分解成和小波分量有相同数目的频带, 在不同频带中针对不同的信噪比分别选择不同的参数进行反演处理, 然后将处理过的各个频带的数据叠加起来。

该方法比普通的反演法具有更好的去噪效果, 并且处理结果更接近于实际, 它在去噪的同时保持了地震剖面中的有效信息^[8]。

2.4 分频反演结果

通过分频反演, 在波阻抗剖面(图 1)和 N9 井出油砂体处的泥质含量地层切片(图 2)上可以清楚地看到, N9-1 和 N9 之间存在明显的油层边界。

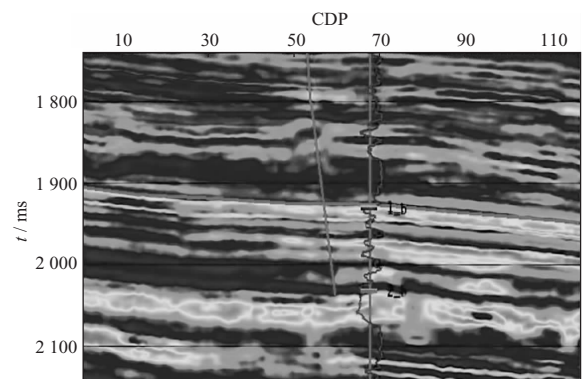


图 1 N9 至 N9-1 井分频反演剖面

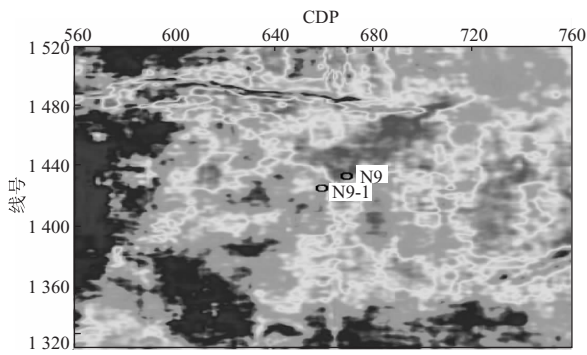


图 2 研究区泥质含量地层切片

3 小波分频成像

三维构造解释中,最常规的技术是三维可视化解释技术和相干技术,最难的环节是断层识别和断层组合。实际上,许多处理解释技术都是围绕获得清晰断点展开的。每一个地质体,包括断层,都有一个最佳的成像频带,如果我们能找出这个频带,

断点就会在这个频带剖面上呈现得最清楚。常规地震只对应一个主要频带,对应一个横向分辨率,只有一部分断层成像最佳。我们用一种分频的技术,做出不同频带的子波剖面,用不同的地震横向分辨率对不同级别的断层取得最佳成像。小波分频成像技术和目前流行的谱分解技术不同。谱分解是用短时傅氏变换,寻找对薄层敏感的单一频率体;分频成像是用小波变换技术,寻找一个对断层或薄层成像最有利的窄带地震。我们在选择小波基时,特意选择和雷克子波频谱最相似的小波,用这样的小波做的分频剖面,就有了物理意义,实际上相当于将一个常规剖面分解成不同主频的子波剖面。

图 3 是提高分辨率以后所做的 15 Hz 的分频剖面,从图上可以看到砂体所在地层的倾向和走向,但不能分辨砂体的展布。

图 4 是提高分辨率以后所做的 30 Hz 的分频剖面,可见 N9 井向右砂体展布出现了一些变化。

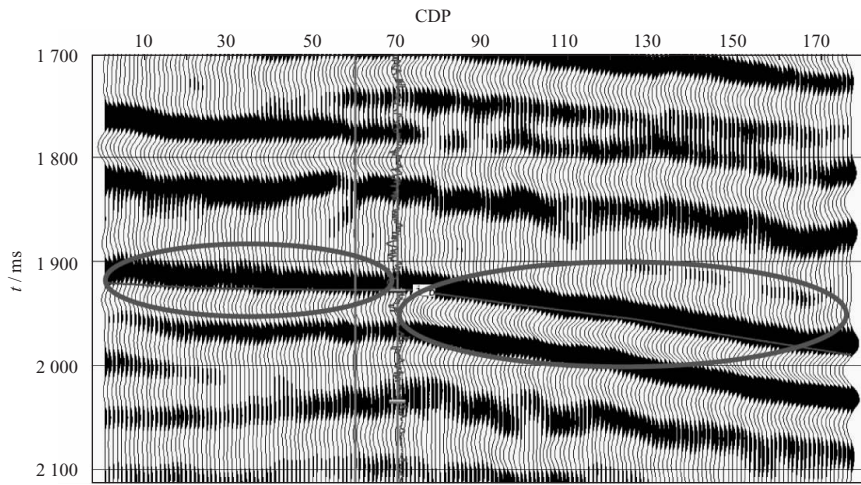


图 3 提高分辨率后地震体 15 Hz 的分频剖面

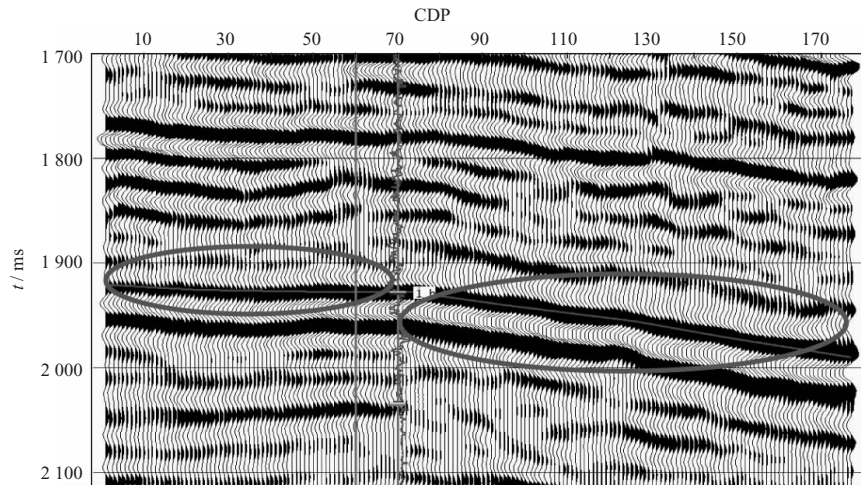


图 4 提高分辨率后地震体 30 Hz 的分频剖面

图 5 是提高分辨率以后所做的 50 Hz 的分频剖面,可见 N9 和 N9-1 之间的差别已经可以在视觉上初步观测到,N9 井向右砂体展布呈现一种叠瓦状排列。

图 6 是提高分辨率以后所做的 60 Hz 的分频

波形聚类,可以清楚地看到 N9 和 N9-1 位于不同的地震微相上。

综上所述,小波分频成像剖面较清晰地反映了 N9 井与 N9-1 井之间的储层变化,同时对地层沉积特点也有明显的反应。

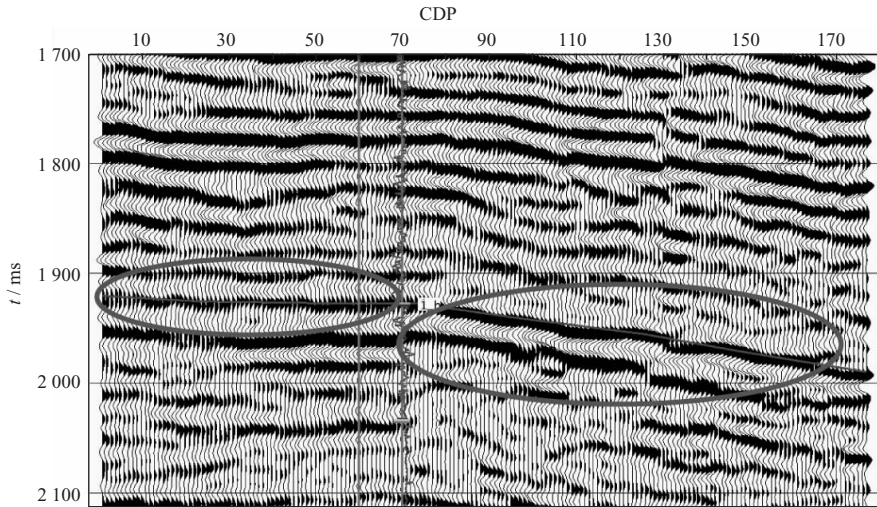


图 5 提高分辨率后地震体 50 Hz 的分频剖面

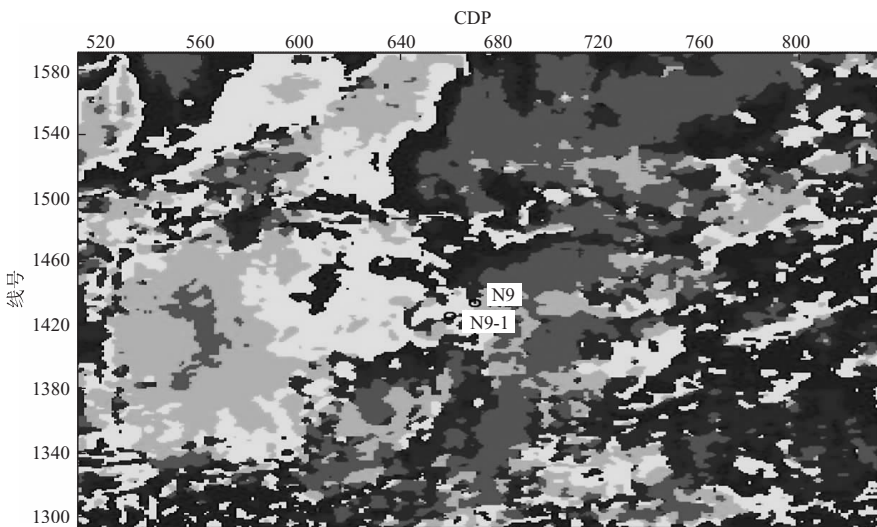


图 6 提高分辨率后地震体 60 Hz 分频波形聚类

4 时频三原色

用地震资料作岩性岩相预测时,用的多是能量信息,如振幅和波阻抗等。单一地震信息的多解性较强,减少多解性的做法是多种信息综合分析。频率是地震资料中的另一重要信息,以往因其数学定义不太严格或物理意义不太明确而没有得到广泛应用。

我们运用的时频三原色技术不是单一频率属

性,而是一种时间-频率属性。它用小波变换作时频分析,将一维时域信号转换成时间和频率的二维信号,通过时空变化揭示地质现象,提高纵向分辨率。将低、中、高频用红绿蓝表示,每一样点表现的优势频率用三色叠合显示。这种方法能大大提高频率计算的精度和稳定性,并且能很好地反映层序体界面形态和沉积韵律特征,对相带解释有现实意义。由于是时间和频率的二维信号,具有较高的纵横向分辨能力,可明显地看出 N9 与 N9-1 井之间的频率差别,反映出了两井之间存在物性差别(图 7)。

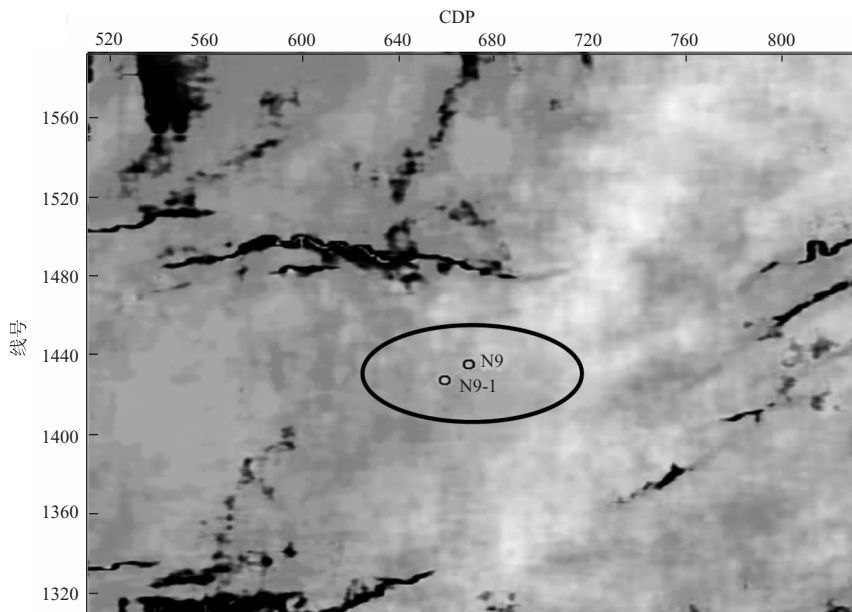


图7 N9至N9-1井时频三原色剖面

5 结论

1) 在高分辨率地震体上应用分频反演、小波分频成像和时频三原色等技术,可识别储层之间的差异。

2) 分频反演技术较直观地反映了两井之间的波阻抗差异;小波分频成像的低频体反映了构造的总体趋势,而其高频体能区分两井之间存在的波形差异;时频三原色从频率的角度反映了储层的纵横向变化。

3) 综合利用上述地震分频技术,从地震体的不同侧面,对储层岩性进行地质、测井和地震综合分析,可有效地降低油气预测风险。

参 考 文 献

1 韩申庭,杨华,王大兴等. 鄂尔多斯盆地榆林区山西组

砂岩气藏岩性地震勘探[J]. 天然气工业,1998,18(5): 10~13

2 朱红涛,冉崎. 分频吸收系数技术在莺歌海盆地乐东地区储层横向预测中的应用[J]. 天然气勘探与开发, 2002,25(4): 62~67

3 王云高,周夏丽,于湘海等. 多目标储层地震分时频处理技术[J]. 勘探地球物理进展,2004,27(4): 274~279

4 姜秀清,江洁,高平等. 地震属性分析技术在不同油气藏中的应用[J]. 石油物探,2004,43(增刊): 70~72

5 胡光义,王加瑞,武士尧. 利用地震分频处理技术预测河流相储层[J]. 中国海上油气,2005,17(4): 237~241

6 王西文,刘全新,赵应成等. 小波域的波阻抗反演方法[J]. 石油地球物理勘探,2000,35(1): 89~96

7 宿淑春,王晓华. 分频波阻抗反演方法及其应用[J]. 石油大学学报(自然科学版),2000,24(1): 85~87

8 张波,印兴耀,吴国忱等. 用小波分析和反演方法联合去除随机噪声的研究[J]. 石油地球物理勘探,1999, 34(6): 635~641