

弹性阻抗反演及应用研究

王保丽, 印兴耀, 张繁昌

(石油大学(华东)地球资源与信息学院, 东营257061)

摘要 利用常规叠后波阻抗反演方法不能得到可靠的波阻抗和其它岩性信息. 本文运用弹性阻抗反演理论对某地区的地震资料进行了分析研究, 应用实例表明, 用弹性阻抗反演方法可得到较理想的反演结果, 且从反演所得到的波阻抗剖面中能提取出许多岩性参数, 这些岩性参数能反映岩性和流体特征. 与传统的波阻抗反演相比, 弹性阻抗反演具有信息量丰富、分辨率高的特点; 与定性的AVO反演相比, 该方法达到了定量的程度, 而且速度快.

关键词 弹性阻抗反演, 角道集, 岩性参数

中图分类号 P631

文献标识码 A

文章编号 1004-2903(2005)01-0089-04

Elastic impedance inversion and its application

WANG Bao-li, YIN Xing-yao, ZHANG Fan-chang

(Globe Resources and Information Department, University of Petroleum(East China), Dongying 257061, China)

Abstract The post-stack inversion can't obtain reliable impedance and other lithologic information. This paper does analysis on an area seismic data using elastic impedance inversion theory. The case indicates that elastic impedance inversion can obtain ideal inversion result and from the inverted impedance section we can extract lithologic parameters which can reflect lithology and fluid character. More information and higher resolution than traditional inversion are obtained through the elastic impedance inversion, and it is more quantitative and fast than AVO inversion.

Keywords elastic impedance inversion, angle gather, lithologic parameter

0 引言

常规叠后波阻抗反演技术建立在地震波垂直入射假设的基础上, 而实际的地震资料并非自激自收的地震记录, 反射振幅是共中心点道集叠加平均的结果, 它不能反映地震反射振幅随偏移距不同或入射角不同而变化的特点. 因此, 利用常规叠后波阻抗反演不能得到可靠的波阻抗和其它岩性信息^[1].

为了克服叠后反演的缺点, 我们要采用能反映地震反射振幅随偏移距变化的叠前资料进行叠前反演. 弹性阻抗反演属于叠前反演技术, 由于地震角道集资料能够保留和突出识别地层流体和岩性方面的AVO(或AVA)特征, 因此弹性阻抗反演可反映振幅随偏移距变化的信息, 具有良好的保真性和多信息性.

由弹性阻抗反演数据体可获得纵、横波阻抗,

纵、横波速度, 纵、横波速度比, 密度, 和泊松比等多种参数体, 比叠后反演具有明显的优越性, 能更可靠地揭示地下储层的展布情况和孔、渗物性及含油气性^[2]. 现在弹性阻抗反演已经成为波阻抗反演进一步发展的方向之一, 地震反演的发展正在走向AI和EI相结合、AI和AVO相结合的道路.

1 弹性阻抗反演基本原理

弹性阻抗(EI)函数是对声阻抗的推广, 是入射角的函数. 声阻抗是入射角为0度时的情况, 它是弹性阻抗的一个特例. 就像声阻抗(AI)标定和反演零偏移距数据体一样, EI提供了一个连续的、绝对的框架来标定和反演非零偏移距数据体. EI是对线性化的Zoeppritz方程的一个近似推导, 它在广泛的应用中, 具有足够的精确度.

Connolly 定义含有P波速度, S波速度和密度

的弹性阻抗如下

$$EI(\theta) = V_P^{(1+\tan^2\theta)} V_S^{-8\cos^2\theta} (1-4\cos^2\theta), \quad (1)$$

其中 K 是 V_S^2/V_P^2 的平均值, θ 是入射角. 通过这些定义可以知道 EI 是 AI 的一个扩展, 也就是在零角度入射时, EI 便可表示为 AI , 即

$$AI = EI(0).$$

AI 对 $R(\theta)$ 的求解, 可以仿照写出 EI 与 $R(\theta)$ 的关系为

$$R(\theta) = \frac{EI_2 - EI_1}{EI_2 + EI_1}. \quad (2)$$

众所周知, 地震波垂直入射时的褶积模型(地震道 S 是反射系数 R 和子波 W 的褶积) 为

$$S(t) = R(t) * W(t). \quad (3)$$

为了将弹性阻抗与地震资料联系起来, 也可借助于褶积模型来建立二者之间的关系(假设没有噪音), 对于与角度相关的数据, 褶积模型变成

$$S(\theta) = R(\theta) * W(\theta), \quad (4)$$

其中, $S(\theta)$ 为角度地震道; $R(\theta)$ 是角度反射系数, 它可以通过测井的 P -波速度、 S -波速度和密度, 由 Zoeppritz 方程的近似公式计算得到; $W(\theta)$ 是角度子波, 它是通过反射系数和角道集地震资料而得到的. 就像对反射系数 R 进行积分而得到声阻抗(Acoustic Impedance)一样, 角度反射系数可用来计算弹性阻抗(Elastic Impedance).

弹性阻抗 EI 并不是一个可以进行物理测量的参量, 它是一个通过推导而得出的用来解释地震数据的参量, 它的获取目前只能通过计算得到.

2 弹性阻抗反演流程

弹性阻抗反演需要综合地质、测井和地震的资料, 它以包含丰富地下信息的地震反射资料为主要资料, 以地质和测井资料作为约束, 来揭示地下地层特别是地下储层的属性及其含流体特征. 测井资料的特点是纵向精细、横向稀疏, 地震资料的特点是纵向上比测井资料分辨率低、但横向密集, 弹性阻抗反演技术把二者的优势有机地结合了起来. 弹性阻抗反演流程一般包括以下几部分.

2.1 地震资料处理

因 EI 是纵波速度、横波速度、密度和入射角的函数, 为了把 EI 与地震数据联系起来, 叠加数据体必须是角叠加的一些形式, 即要求地震资料具有 AVA 特征, 而不是一个常偏移距的叠加形式, 所以在进行弹性阻抗反演之前必须通过建立角度道而将地震数据的偏移距数据体转化为角度数据(炮检距

部分叠加).

角道集部分叠加资料是基于目的层估算出来的, 因此角度的确定既要考虑足够的振幅信息还要考虑提取的资料是否包含全部的目的层段. 与传统的叠后资料相比, 角道集部分叠加资料只是一定角度范围内的地震资料的部分叠加, 从而避免了弱相位以及相位反转等异常因为相互叠加而抵消的缺陷, 具有信息量足和分辨率高的特点.

2.2 测井资料处理

由公式(1)可知, EI 是 (θ 入射角)、纵、横波速度和密度的函数. 为了约束角道集的反演, 可用已有的声波、剪切波、密度曲线和储层地震数据所能提供的角度根据方程(1)计算出井旁道弹性阻抗(EI) 伪测井曲线. 在弹性阻抗反演处理过程中, 弹性阻抗伪测井曲线除用来作为约束外, 还可以弥补地震波传播过程中损失的频率成分.

2.3 角度子波提取

做 AVO 反演时隐含一个假设, 即子波不随偏移距而改变(无论是振幅、相位还是带宽). 然而实际上子波随偏移距是变化的, 子波的改变使得各种 AVO 属性产生“泄漏”. 在通常的入射角范围内, 这种泄漏压制了真实的非噪音属性. 考虑到子波随炮检距的变化, 做弹性阻抗反演时, 对每个角度道都用它自身的子波来转化.

在弹性阻抗反演过程中子波的提取与层位标定是叠代进行的, 子波提取的条件为

$$E = (s_i - d)^2, \quad (5)$$

式中 E 为误差能量, $s = r * w$ 为合成记录, r 是反射系数, w 为提取的子波, d 为井旁地震记录. 选择的最佳子波就是使 E 最小的子波.

在提取子波之前首先要对多口井的测井曲线进行层位标定, 根据时深关系使解释的层位和测井曲线的层位对齐, 其原则是要使制作的合成地震记录与井旁地震道较好地吻合, 然后在此基础上提取子波.

地震子波提取是地震反演的关键问题之一, 它会直接影响反演的精度, 只有在子波提取较精确的情况下, 才能获得高精确度的反演结果. 层位标定的好坏直接影响到子波提取结果, 而子波的正确性对层位的准确标定具有影响, 它们之间相互制约, 相互影响, 只有通过子波提取和层位标定的交互迭代来获取最佳子波. 测井曲线的噪声或畸变, 也会直接影响某些部位的反演, 使反演结果不合理, 所以对测井曲线进行适当处理和校正, 剔除噪声和畸变点是非

常必要的^[4-6]。

我们用与角度有关的褶积模型

$$S(\theta) = R(\theta) * W(\theta),$$

来提取角度子波 $W(\theta)$, $R(\theta)$ 用井旁道的 $EI(\theta)$ 来计算; $S(\theta)$ 为角度地震数据体. 每个角度的地震数据体 $S(\theta)$, 对应一个角度子波 $W(\theta)$ 。

采用的子波的频率不同, 得到的相对阻抗数据体的频谱也是不同的, 高频子波的相对阻抗数据频率宽, 低频子波的相对阻抗数据频率窄. 最佳的反演效果是采用与地震数据频率最匹配的子波作反演.

总之, 当反演子波的极性、频率、相位与地震相一致时, 得到的反演效果最好. 由于地震子波一般随深度的变化而变化, 稀疏脉冲反演目前还不能进行时变子波的反演, 所以, 在反演工区的选择上应避免大时窗的反演.

2.4 弹性阻抗体 $EI(\theta)$ 反演

2.4.1 建立低频模型

和传统的波阻抗反演一样, 弹性阻抗反演也需要进行低频成分的补充, 只不过不同的是: 弹性阻抗反演所用的低频模型不是用波阻抗测井曲线与传统叠后资料建立的, 而使用的是角道集部分叠加资料与井旁道相应入射角的弹性阻抗得到的. 井与井之间的低频分量可以按距离加权计算, 并利用解释的地震层位作为控制进行外推, 从而建立某角度的整个数据体的低频模型.

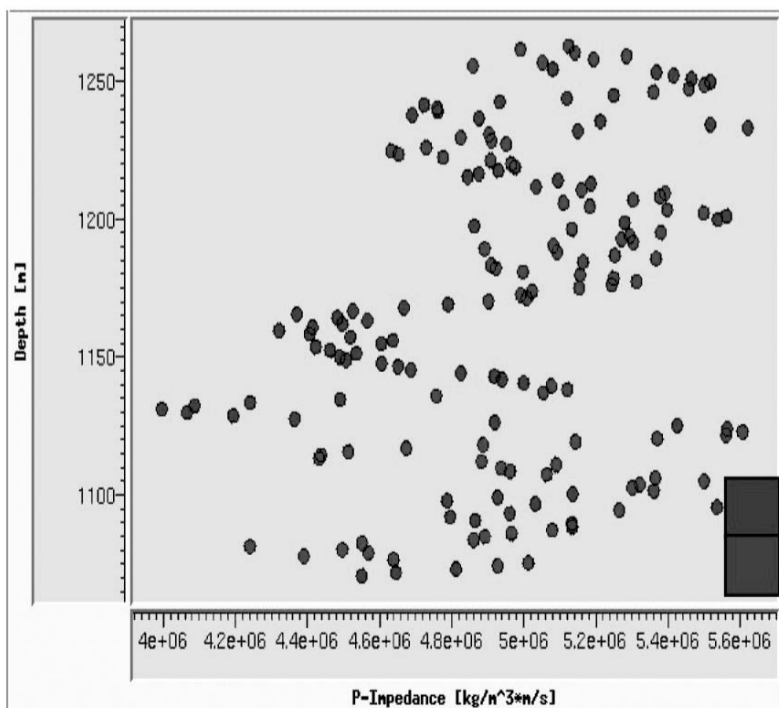


图1 声阻抗分布图

Fig.1 Impedance distribution

2.4.2 弹性阻抗反演

与传统的波阻抗反演一样, 弹性阻抗反演也是

基于褶积模型

$$S(\theta) = R(\theta) * W(\theta).$$

用弹性阻抗曲线与角度子波相对应的角道集部分叠加数据体进行约束, 这样可以获得相对弹性阻抗. 与实际的绝对波阻抗相比, 相对弹性阻抗还缺少低频成分, 因此需将前面得到的低频成分加入到相对弹性阻抗中.

3 应用实例及效果分析

从弹性阻抗体剖面中可提取出丰富的岩性参数, 下面几幅属性交会图和剖面图是对实际工区经过相应处理得到的.

从图1 可看出: 单从声阻抗上不能区分出砂泥岩.

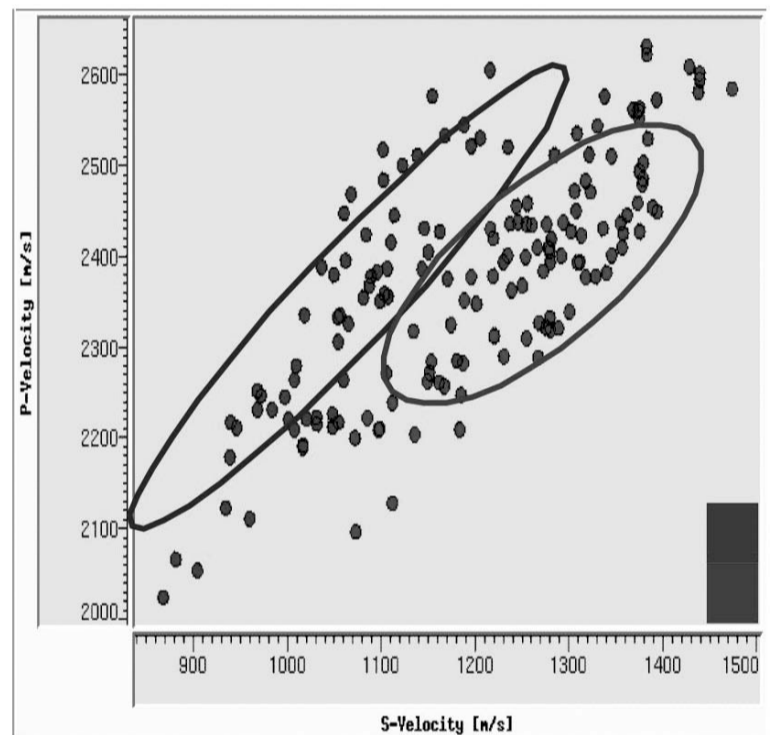


图2 属性交会图 ($V_P - V_S$)

Fig.2 Attribute crossplot ($V_P - V_S$)

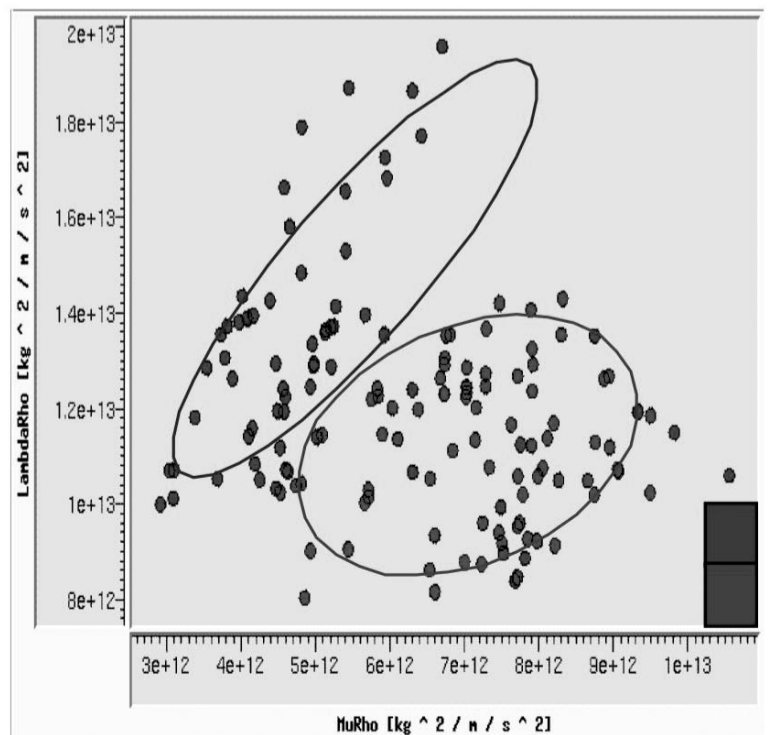


图3 属性交会图 ($\lambda - \mu$)

Fig.3 Attribute crossplot($\lambda - \mu$)

从纵、横波交会图中可以看出:在该区某井,纵横波速度比大于1处为砂岩,在纵横波速度比小于1处为泥岩。

从 ρ 与 μ 的交会图中可以看出:在该区某井处,低的 ρ 高的 μ 表示的是砂岩,相对高的 ρ 低的 μ 表示的是泥岩。

总之,从以上交会图可以得知,单靠波阻抗无法区分砂泥岩,而从由弹性阻抗剖面中提取的岩性参数组成的交会图($\rho - \mu$)和($V_P - V_S$)中可以区分砂泥岩。

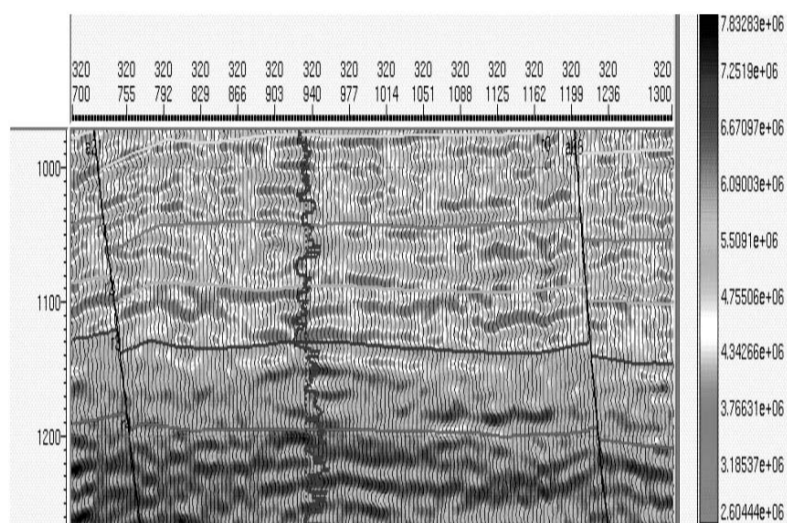


图4 P波阻抗剖面

Fig.4 Impedance section

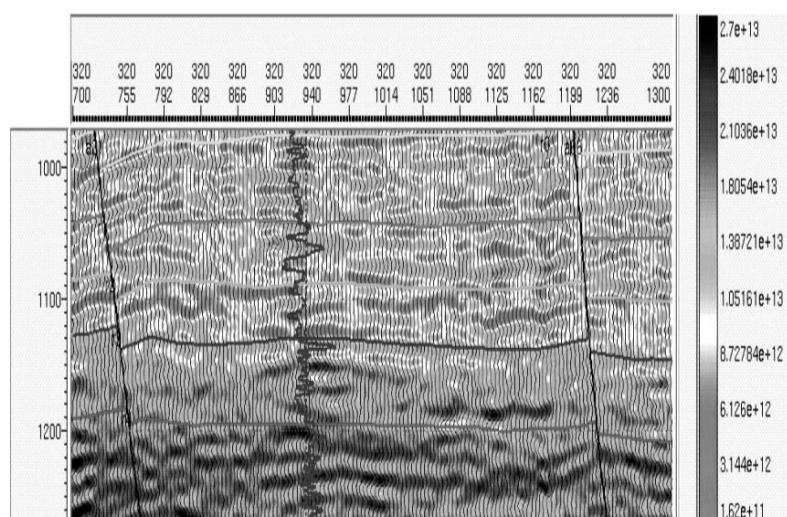


图5 剖面

Fig.5 section

图4中黑色曲线为伽马曲线,蓝色曲线为自然电位曲线.低的自然伽马异常一般对应砂岩,油气层的自然电位异常略小于水层,由图4可以看出测井曲线与P波阻抗剖面的井旁道数据对应很好。

图5中曲线为电阻率曲线,高的电阻率值对应砂岩,可以看出图5的电阻率曲线与 μ 剖面的井旁道数据吻合的也很好。

4 认识与结论

通过以上分析研究可知:弹性阻抗是对波阻抗的推广,它是入射角的函数,波阻抗是入射角为零度时的弹性阻抗的一个特例.弹性阻抗反演的引入使得波阻抗反演从叠后发展到了叠前.角度部分叠加资料保留了地震波的许多AVO特征,它弥补了从传统叠加资料里无法得到岩性参数这一缺点.弹性阻抗反演成果将给岩性参数(纵、横波速度、密度、纵、横波阻抗、泊松比等)的提取提供可能性.弹性阻抗反演得到的弹性阻抗中蕴含着丰富的AVO(或AVA)属性,它们对岩性及流体属性的变化极为敏感。

实例分析表明:从弹性阻抗数据体中提取出的AVO属性能够反映储层的岩性特征。

参 考 文 献(References):

- [1] 马劲风. 地震勘探中广义弹性阻抗的正反演[J]. 地球物理学报, 2003, 46(3): 118 ~ 124.
- [2] 印兴耀, 袁世洪, 张繁昌. 从弹性波阻抗反演中提取岩石物理参数[A]. CPS/SEG 2004, 国际地球物理会议论文集[C]. CPS/SEG 2004 国际地球物理会议, 北京, 2004, 河北: 中国石油学会物探专业委员会及美国地球物理学家学会, 2004: 538 ~ 542.
- [3] Connolly P. Elastic impedance[J]. The Leading Edge, 1999, 18(4): 438 ~ 452.
- [4] 许升辉, 马劲风. 波阻抗反演中多井条件下的子波提取方法[J]. 地球物理学进展, 2003, 18(4): 623 ~ 627.
- [5] 李宏兵. 具有剔除噪音功能的多道广义线性反演[J]. 石油物探, 1996, 35(4): 11 ~ 17.
- [6] 张玉芬, 等. 多参数约束反演及其应用[J]. 地球科学, 1997, 22(2): 219 ~ 222.