

变速介质条件下 三维叠前深度偏移成像及应用效果

任文福^{1,2} 张建伟³ 刘江平¹

(1.中国地质大学·武汉 2.中国石化华北石油局第四物探大队 3.中国石油勘探开发研究院西北分院)

任文福等.变速介质条件下三维叠前深度偏移成像及应用效果.天然气工业,2005;25(10):41~43

摘要 对于复杂变速介质成像,常用的时间域成像方法已不能满足实际需要,必须借助于深度域成像方法,特别是三维地震叠前深度偏移方法。选择合适的深度偏移方法很重要,但其速度模型建立更为关键。叠前深度偏移与速度建模均需要巨大的计算机资源,为有效地实现三维叠前深度偏移,合理的处理流程与方法选择也十分重要。文章从叠前深度偏移方法原理比较分析入手,深入探讨了相关深度偏移方法的特点,并对速度模型建立方法进行了研究。在此基础上,结合一个横向变速的三维地震工区实例,详细论述了横向变速条件下三维叠前深度偏移的建模思路与实现方法,提出了先进、实用的有关叠前深度偏移与速度建模实用方法。实际偏移结果与井资料的一致性证明了上述方法的有效性和实用性,这对推进三维叠前深度偏移的应用与发展并取得良好的成像效果具有较大的实际意义。

主题词 三维 叠前偏移 速度 模型 介质

一、成像原理

三维叠前深度偏移技术目前已成为地震资料处理中的一项关键技术,其偏移方法的选择将直接决定偏移效率及成像精度。从三维叠前深度偏移的实现过程来考虑,首选方法应满足如下条件:①首先它能解决横向变速条件下倾斜同相轴的偏移归位问题;②它能适应三维非规则观测数据;③正如做叠前时间偏移时我们估计均方根速度一样,所选方法应能成为一种速度估算工具,它能按所选的线方向和点位置进行速度估算,而不必对全三维数据体进行偏移成像。在上述各偏移方法中,克希霍夫求和法可以按选择线方向和选择点的位置成像,且计算效率较高,但缺乏精确解决振幅问题的能力;频率波数域法能提供精确的振幅运算,但它与有限差分法相类似,均是全局计算方法,它们不能按选择线进行偏移成像来求取速度,必须是对全三维数据体进行偏移,且要求输入数据是规则观测。综合多种优势,人们常常选择克希霍夫积分求和法进行三维叠前深度偏移。

克希霍夫积分分解基于标量波动方程:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} = \frac{1}{v^2(x, y, z)} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad (1)$$

式中: $p(x, y, z; t)$ 代表了压力波场在某一 t 时刻、在 (x, y, z) 位置的传播规律; $v(x, y, z)$ 代表了波在介质中的传播速度。

克希霍夫积分分解是惠更斯波动原理的一种数学表达,它阐述了点波源在一定时间传播后位于某一球面位置的分布规律。它的实际表达式为:

$$p(x, y, z; r) = \frac{1}{4\pi} \int_A \left\{ \frac{1}{r} \left[\frac{\partial p}{\partial z} \right] + \frac{\cos \theta}{r^2} [p] + \frac{\cos \theta}{vr} \left[\frac{\partial p}{\partial t} \right] \right\} dA \quad (2)$$

式中: $[p]$ 表明在延迟时 $\tau = t - r/v$ 时刻,波场 p 在区域 A 上的积分。

式(2)中的第一项依赖于波场 $\frac{\partial p}{\partial z}$ 的垂向梯度;第二项被称作近场项,因为它随 $1/r^2$ 衰变,这两项在地震偏移中被忽略;剩余的第三项被称作远场项,它才是克希霍夫积分偏移的基础。

将(2)式写成实际偏移中使用的离散形式有:

$$p_{\text{out}} = \frac{\Delta x \Delta y}{4\pi} \sum \frac{\cos \theta}{vr} \frac{\partial p}{\partial t} p_{\text{in}} \quad (3)$$

式中: Δx 、 Δy 分别代表 inline 方向和 cross-line 方

作者简介:任文福,1964年生,高级工程师,硕士研究生;1986年毕业于成都理工大学应用地球物理专业;长期从事地震资料采集、处理方法研究与项目管理工作。地址:(453700)河南省新乡市洪门第四物探大队。电话:(0373)5798431。E-mail:swzgh@vip.sina.com

向的道距; $p_{in}=p(x_{in},y_{in},z=0;\tau=t-r/v)$ 代表输入波场; $p_{out}=p(x_{out},y_{out},z;\tau=2z/v)$ 代表利用输入波场 p_{in} 在一个实际面积 A (孔径) 上所做的偏移输出。

克希霍夫积分偏移通过 3D 空变速度场计算非零偏旅行时,再沿计算的旅行时轨迹对振幅进行标定与求和。在求和前的振幅标定分别应用了倾角因子($\cos\theta$)、球面散射因子($1/vr$)、振幅与相位校正。此外,无论做任何方法偏移,对输入数据在 x 和 y 方向的重采样均需要通过一个适当的反假频滤波进行补偿。尽管如此,在实现 3D 克希霍夫积分偏移中,影响精度和效率的最大挑战仍然是旅行时计算。

计算旅行时的直接方法就是在指定的速度场中进行射线追踪,一般使用基于射线理论的 Eikonal 程函方程来计算,在介质速度变化不太剧烈的情况下,能得到一个较好的结果。随着速度变化的增强,射线追踪方法要改用波前重建方法,因它不仅是考虑一条射线,而是考虑一组射线。

旅行时计算遵循费马原理(Fermat)。同时我们还必须进行求和路径选择,常用方法包括:最小时间求和路径;最大能量求和路径;最小距离求和路径;整个多值射线路径等。

为了提高偏移精度和计算效率,我们必须仔细选择偏移孔径与考虑反假频补偿。

二、层速度模型的建立

深度偏移采用的是层速度场,即为地下地质模型,其所用的层速度是实际地球速度的平均,这就使得深度偏移比时间偏移能更精确地模拟地下的地震波特性,特别是我们可将叠前深度偏移用作为一种速度估算工具。

常用的建模方法是针对扰动的速度场迭代直到得到一个在“地质上看起来合理的”模型并产生理想的偏移成像,即叠前偏移共成像点道集的同相轴要尽量水平。速度优化方法可采用简单的速度谱扫描与较复杂的层析成像速度分析方法、或以所有这些方法某种组合来进行。实际中应该用地质信息来指导速度估算,以确保最终结果在“地质上看起来是合理的”。正如深度偏移是一种处理过程一样,同时它也是一种解释性的处理。

目前使用的层速度建模方法较多,但较实用和高效的建立模型方法首推基于模型的相干速度反演法。其关键技术是速度反演、地质模型建立与优化、深度成像和三维可视化等。

它的复杂构造模型建立从解释模型开始。地质

体不需要延伸到模型的边缘,所以零厚度的层是不必要的。在三维建模中,它可以表示多值界面,如盐丘、逆掩断层或礁体等。多值模型与它的射线追踪系统完全结合在一起。模型建立方法的主要步骤如下。

1. CMP 道集相干反演层速度

相干反演由叠前道集直接估计层速度,没有用任何双曲线假设。它依次扫描用户定义范围内的层速度。对于每一个速度执行以下运算:①对叠加剖面上解释的时间层位做局部射线偏移,把时间线段偏移 to 深度界面;②根据斜率、深度和扫描速度计算非双曲线旅行时作为理论走时曲线;③计算理论走时曲线与实际走时曲线之间的相似性即相干值的大小。相干值最大者对应的速度就是欲求的层速度。逐层下推,通过层层反演求出速度—深度模型。

2. 模型优化与迭代处理

各步处理都是基于模型而进行的。因此,如果模型建立得不够准确,就不能得到好的处理结果。这时应对模型进行优化,使模型与地下地质状况尽可能吻合、并做相应的迭代处理,使处理结果不断改善。

该方法提供了三种模型优化和处理迭代的途径:第一种是时间模型不变(假定它是可靠的),只改变模型的速度,并进行相应的迭代处理。其过程是只在各种道集(包括常规动校后的 CMP 道集、叠前时间偏移后的偏移时间域 CRP 道集以及叠前深度偏移后的深度域 CRP 道集)上做剩余速度或剩余动校量分析,然后再在这些道集上实施剩余动校和叠加,得到相应的地震剖面。第二个途径是层析成像反演,就是以叠前深度偏移所产生的深度域 CRP 道集作为输入,通过不断调整模型的速度和界面深度,求得一个与输入 CRP 道集完全相似的理论 CRP 道集,从而得到调整后的速度和界面深度。这看上去与通过剩余速度分析来优化模型似乎一样,但是,第一、它是用射线追踪产生的非双曲线动校量调整速度和深度的,因而精确性高;第二、它考虑了整个模型的整体情况,是对模型的整体调整,即全局优化,因而避免了剩余速度分析产生的横向野值突变。第三种途径是重新拾取层位,就是在改进后的地震剖面上重新拾取层位,并执行上述有关的后续步骤重建地质模型,然后再执行有关的迭代处理,直到获得最终的层速度模型。

当然,在构造形态简单的情况下,也可以利用 DIX 公式对均方根速度进行转换,得到较粗化的层

速度模型;在井数据丰富的地区,也可利用地质统计的方法建立层速度模型。

3.速度模型建立方法流程图

速度模型建立方法流程见图 1。

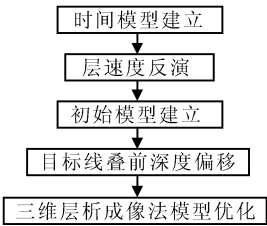


图 1 速度模型建立方法流程图

三、应用效果分析

XQ 地区地表较平坦、构造相对简单,但由于表层低速带和各向异性的影响,以及该地区深层没有足够的深井约束,速度场的建立主要依靠三维速度谱资料,造成 XQ 地区深层构造的可靠性及精度较差。因此,希望通过叠前深度偏移处理,进一步查明中深层目的层的构造细节和形态,查清断裂带特别是小断裂分布,以便降低深层气藏的勘探风险。

通过采取相干层速度反演技术和三维层析成像模型迭代优化技术,三维叠前深度偏移结果(图2)在

中深层的有效反射层位归位较好,中深层的分辨率、信噪比有较大提高。另外,还消除了由于速度变化在时间剖面上引起的构造畸变现象。

叠前深度偏移剖面提供了丰富的能量变化关系,较时间偏移保持有较多的信息;同时叠前深度偏移转换到时间域的剖面构造形态与叠后时间偏移剖面较为相似,这从另一方面也说明了所建速度—深度模型的准确性。

通过把深度偏移结果与井资料对比分析,发现其与地质分层吻合较好。

四、结 束 语

(1)叠前深度偏移、速度建模与合理应用计算机资源的一体化研究是做好三维叠前深度偏移的重要思路。

(2)地震资料处理、解释一体化研究有利于得到一个较准确的偏移结果。

(3)速度模型建立是叠前深度偏移的关键,它必须与偏移方法有机结合,否则偏移方法再先进也不可能得到一个好的偏移结果。本文提出的速度模型建立方法是一种较实用的速度模型建立方法,它具有实用、高效的特点。

(4)大型并行机是顺利实现三维叠前深度偏移的重大保证。

参 考 文 献

1 贺振华等.反射地震资料偏移处理与反演方法.重庆:重庆大学出版社,1989

2 郭建,宋玉龙主编.SEG 第 70 届年会论文摘要.北京:石油工业出版社,2002

3 Samuel H Gray 等著,方伍宝译.地震偏移问题及其解决方案.勘探地球物理进展,2002;25(2)

4 陆基孟等.地震勘探原理.北京:石油工业出版社,1994

5 张建伟等.三维叠前深度偏移在复杂断裂区的应用.天然气工业,2004;24(3)52~54

6 Side Jin,Po Zhang ,Peter Harris ,Antonio Pica .3D multi-pathing and true amplitude kirchhoff prestack depth migration .EAGE 64th Conference & Exhibition —Florence ,Italy ,2002;(5):27—30

7 Öz yilmaz .seismic data analysis Volume II .SEG ,2001

(收稿日期 2005-06-06 编辑 韩晓渝)

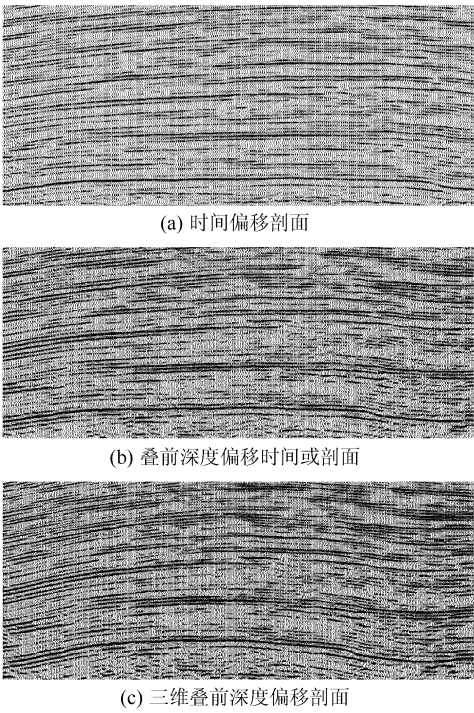


图 2 偏移剖面