

· 勘探技术 ·

三维速度场建立方法

韩宏伟, 崔红庄, 赵海华, 潘兴祥

(中国石化股份胜利油田分公司 物探研究院, 山东 东营 257022)

摘要: 三维速度场在油气勘探中具有广泛的应用前景,但由于多种技术限制一直未能成功实现。在对比分析现有各种平均速度(场)建立方法原理及优缺点的基础上,优选模型层析法,通过技术攻关,解决了数据体层位自动追踪法和层位解释法相结合的空间倾角场建立技术、速度谱排列影响消除技术、射线追踪层速度求取技术、最小张力法离散数据空间网格化平滑技术等多项长期以来阻碍三维速度场建立的技术难题,建立了胜利油区首个三维速度场——东营凹陷三维速度场,实现了模型层析法建立三维速度场由理论到应用的跨越。模型层析法建立的三维速度场精度高、适用范围广、效果好,具有广阔的应用前景。

关键词: 速度场;模型层析法;倾角场;射线追踪;最小张力法;东营凹陷

中图分类号: P631.443

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2010)01-0054-03

速度是油气勘探中最重要的参数之一,是进行构造、储层研究以及油藏描述、油气检测、压力预测等最重要且常用的信息。特别是在横向速度变化较大的地区落实精细构造形态、寻找低(微)幅度构造、消除速度陷阱以及勘探隐蔽油气藏等情况下,按照常规应用综合速度或平均速度量版等进行时深转换的思路已经不能满足勘探开发的精度要求。

目前,对变速成图和速度场的建立,很多人做过研究^[1-9],传统的速度场建立和变速构造成图方法存在很多的缺陷:在常规的变速成图过程中偏移时间域反射层等时图准确性较低,偏移时间与叠加速度跨域错误配对,叠加速度精度较低,可靠性较差以及二维偏移无法使反射界面在三维空间准确偏移归位等^[10]。

1 传统平均速度(场)的实现方法

1.1 合成记录法

首先利用声波测井或 VSP 测井数据制作合成地震记录,反求相应地层的平均速度曲线;然后根据地震反射层截取平均速度曲线,求出目的层在井点位置的平均速度;最后利用井点约束和平面插值方法绘制目的层平均速度的平面变化图。该方法适用于勘探开发程度较高、研究目的层井控密度较大的地区,其结果仅能反映速度沿目的层面的分布,未形

成三维速度场或三维平均速度数据体。

1.2 Dix 公式法

在水平层状介质情况下,叠加速度就是均方根速度,因此,可利用 Dix 公式直接将叠加速度转换为层速度;对空间各数据点位置处目的层的层速度进行空间网络平滑处理,便可得到三维空间层速度场。由于利用 Dix 公式直接进行速度转换,因此,这种方法仅适用于地层产状比较平缓的地区。

1.3 层位控制法

在构造复杂、断层发育的地区,利用 Dix 公式得到的速度谱数值一般跳动大、能量团收敛性差、精度低,地层速度的拾取难度较大。为解决这一问题,提出了层位控制法,其原理是:在求取速度谱资料品质较差部位的层速度时,先解释多个反射层位,通过层位数据内插,将目的层段划分为多套薄层,然后计算叠加速度资料品质较好区域内各薄层的沿层速度,最后通过层速度平滑处理,得到品质较差区域内各薄层的沿层速度。

1.4 斜率法

对于水平层状介质,同一射线的不同界面的反射,其接收点对应的时距曲线斜率相等,由于斜率法同时考虑了炮检距的影响,因此水平层状介质层速度的计算精度普遍得到提高。在求得各层的层速度后,可根据平均速度与层速度的换算关系得到各地层界面以下地层的平均速度。该方法主要适用于地

层倾角较小条件下层速度及平均速度的求取。

通过以上分析可知,这 4 种方法在应用中未考虑到以下 4 个问题:①时间偏移剖面的偏移量;②常规变速成图中的曲射线偏移;③速度谱数据与层位数据的不匹配;④倾斜基准面效应。另外,这 4 种方法仅适用于地层倾角较小地区的速度分析。

2 三维速度场的建立

模型层析法^[11-12]汲取了层位控制、射线追踪和波动方程等多种理论精髓,可以在三维空间内计算层速度及反射点的偏移量,并能实现反射层的偏移归位。应用该方法理论上可以得到精度较高的三维速度数据体。根据建立三维速度场技术流程(图 1),通过技术攻关建立了胜利油田首个三维速度场——东营凹陷三维速度场,实现了模型层析法建立三维速度场从理论到实践的跨越。

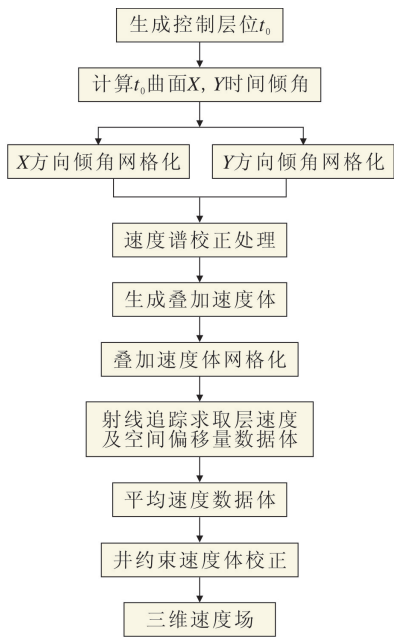


图 1 模型层析法建立三维速度场技术流程

2.1 空间倾角场的建立

利用整个东营凹陷连片的三维地震数据体,给定一个相位能量阈值,自动拾取追踪同相轴,得到一系列无明确地质意义的层位数据。考虑层位控制密度,可以通过调整相位能量阈值来控制生成层位的多少。理论上讲,设定的相位能量阈值越小,生成的控制层位越多、倾角场精度越高;但如果设定的相位能量阈值过小,会将剖面中能量极弱、连续性极差的反射相位追踪出来,此时追踪结果的可信度会降低。鉴于区域标准层的控制作用,在具体应

用中应将标准反射层作为倾角场建立的主要控制层位,另外由于层位自动追踪的局限性,也应该将层位自动追踪与人工解释结合起来。

在得到多个地震控制层位之后,需要对地震控制层位进行平面网格化平滑处理,然后通过曲面求导,得到各个层位曲面上任意点在 X 和 Y 方向上的倾角,最后通过数学变换求取任意点的自激自收射线入射角,从而获得空间倾角场。

2.2 速度谱校正

由地震成果资料得到的原始叠加速度谱,须经过一系列校正处理才能投入应用。

速度谱数据格式标准化 不同处理流程、方法以及人员等给出的速度谱格式均有差异,常用到的就有几十种。因此,首先要将速度谱转换成统一格式。

速度谱排列影响校正 同一速度模型,如果排列长度不同,获得的时距曲线将会不同,得到的叠加速度也不同,即排列长度对叠加速度影响较大,因此应用前需要消除排列长度不同对叠加速度造成的影响。可以通过模拟叠加速度的获得过程将非零排列的叠加速度转换为零排列时的叠加速度,从而消除排列长度对叠加速度谱的影响。

异常值的剔除及编辑 主要包括:①排序法消除明显异常值。将多块三维原始速度谱转换为统一格式后,提取平均速度散点,再经排序后删除异常数据。②曲线编辑。速度谱是采用多个共深度点道集资料制作而成,某一点的速度谱并非是该点地层变化规律的真实反映,而是该点与周围介质特性的平均反映。因此,在地层组合相同、沉积环境相似的一条测线上,相邻的速度谱应具有一定的相似性或渐变性。将相邻速度谱的解释结果进行对比分析,结合实际地质情况对曲线的异常部分进行编辑。③等值线编辑。将同一测线不同速度谱点的速度绘制成剖面等值线图进行分析,结合地质情况对异常区域进行编辑。④速度谱平面分析。通过对叠加速度场做等时间速度切片或沿层叠加速度切片,观察速度谱数据是否符合速度的平面变化规律,把异常数据从叠加速度场中去除。通过这 4 个步骤,可基本消除速度谱异常值,获得较为真实的叠加速度谱资料。

2.3 层速度和平均速度的求取

常规的直线法偏移没有考虑射线的传播路径,只能沿测线方向进行偏移,存在偏移不足或偏移过量的问题。要解决地层倾角较大地区的构造准确落实及构造高点准确定位问题,必须进行三维空间

偏移归位。射线追踪法使用水平叠加剖面进行层位解释,并使用对应的速度谱资料,考虑了反射层数据与速度谱的匹配性和一致性。射线追踪是在三维空间进行的,在计算层速度的同时求出反射点偏离入射点的空间偏移量,从而建立起三维速度场及空间地质模型,并从空间上进行偏移归位。

计算步骤如下:①由叠加时间建立时间层位模型。②由时间层位模型计算时间倾角场。③由于第 1 层的层速度已知(由均方根速度替代),由叠加时间及时间倾角和第 1 层层速度可以计算射线的初始入射角和第 1 层的初始深度。④由第②步得到的入射角和斯奈尔定律,修改第 2 层的层速度,由于时间已知(可由叠加时间模型获得),利用射线追踪可以得到一条时距曲线,然后进行非双曲线曲线拟合,得到第 2 层的叠加速度及反射时间。⑤计算拟合求得的叠加速度与已知叠加速度相对误差。如果两者误差大于设定的误差范围,再不断修改第 2 层的层速度,然后再进行非双曲线曲线拟合,直到拟合的叠加速度与已知叠加速度小于误差范围时停止迭代,即求出第 2 层的层速度。⑥求出第 2 层层速度后,由于时间是已知的,因此在第 2 层中的传播路径已知,由传播路径和倾角就可以求出第 2 层底界面的深度和每个点的入射点和反射点位置,也就是偏移量。⑦以此类推,逐层计算,直到最后一层,从而完成射线追踪迭代过程。最终得到的追踪结果就是深度—速度模型和空间各点的偏移量,由此可得到初始的三维空间各点层速度及三维空间各点平均速度。

2.4 离散数据空间网格化内插平滑

最小张力法从力学角度探讨平滑的数学过程,把平滑问题与最优化等成熟的数学理论联系起来。具体实现过程中通过控制数据影响力因子来获得满意的数据变化趋势,打破了以往按半径搜索的局限。

已知 n 个无规律数据点 $x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2, \dots, x_i, y_i, z_i, \dots, x_n, y_n, z_n$ 。确定一个曲面 $f(x, y)$ (用等间隔的网格点表示)使之满足:①曲面能量(或张力)最小;②已知点对该曲面有一定控制。这是数据趋势的力学描述,也是数学上的最优化问题和泛函问题,选取的目标函数为

$$A = \int E d\Omega + \sum_{i=1}^n \{\lambda_i [f(x_i, y_i) - z_i]\}^2 \quad (1)$$

确定一曲面使 A 最小,其中 λ_i 为平滑系数,通过控制该参数可以获得从插值到数据趋势面的各个中间过程。

通过推导,由式(1)得到

$$F\left(x, y, \frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial u}{\partial y}, \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}, \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y}, k\right) = 0 \quad (2)$$

式中: k 为梯度方向的曲率。

式(2)为非线性偏微分方程,其解析解非常难获得,通过计算机反复迭代,最终得到

$$u = f(x, y) \quad (3)$$

对于三维空间已知的 n 个无规律数据点 $x_1, y_1, z_1, u_1, x_2, y_2, z_2, u_2, \dots, x_i, y_i, z_i, u_i, \dots, x_n, y_n, z_n, u_n$, 选取如下的目标函数

$$A = \int E d\Omega + \sum_{i=1}^n \{\lambda_i [f(x_i, y_i, z_i) - u_i]\}^2 \quad (4)$$

通过数学推导及计算机迭代,同样可以得到

$$u = f(x, y, z) \quad (5)$$

采用最小张力法进行趋势分析打破了过去按半径搜索的平滑方法的局限,并使平滑的过程得以用数学过程描述,考虑了数据变化的整体一致性,使平滑结果更加合理。

2.5 速度场误差校正

从东营凹陷已钻井中选取一定数量的井点,通过声波测井或 VSP 制作其合成地震记录,得到各井点的时深关系,然后通过这些井点的时深关系数据对速度场进行校正,以提高速度场精度。井点的选取应按照平面分布均匀、井深大、钻遇层系多、VSP 资料全等原则来进行。

2.6 速度场(数据体)的浏览

通过以上各道工序,得到了精度较高的东营凹陷三维速度场,可将速度数据体输出为 segy 格式加载到 Geoframe 等地震数据库对该速度数据体进行各种方式的浏览,如椅状显示、时间切片或层位切片等(图 2),如发现局部异常点,重复上面的步骤。

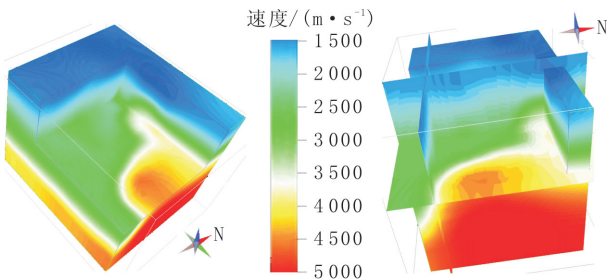


图 2 不同角度展示的东营凹陷三维速度场数据体

3 结束语

层位 segy 数据体自动追踪法和层位地震解释法相结合的空间倾角场建立技术、速度谱排列影响

(下转第 61 页)