共中心点叠加视深度剖面法

楼 锡 吉

摘 要

通常，由多次覆盖地震观测资料可以得到共中心点叠加剖面、偏移归位时间剖面和归位深度剖面。然而，这种方法存在许多问题，为此，本文提出了一种共中心点叠加视深度剖面法。该法是以共中心点到界面的视深度对于共中心点道集内各地震道是一个不变量为基础的。从而可以利用这个特性进行共中心点道集的动校正、叠加和偏移归位。这种方法克服了共中心点叠加时间剖面法难以解决的速度问题。

ABSTRACT

CDP seismic data can be used to produce CMP stacked time section, migrated time section and migrated depth section; however, there are some inherent problems in the process. A new method, CMP stacking apparent depth section method, is put forward. It is based on the assumption that in a CMP gather all the CMP apparent depths for a given reflector are same. We can therefore use this property in accomplishing dynamic correction, stacking and migration of CMP gather. This new method helps to solve the velocity problem which can hardly be settled by CMP stacking section method.

前 言

长时期以来，人们对多次观测的地震勘探资料都是按地面共中心点进行动校正、叠加，得到共中心点叠加时间剖面（亦称水平叠加时间剖面），然后进行偏移归位的。这种处理方法是以地面共中心点到界面的法向距离对于共中心点道集内各地震道来说是个不变量为基础的，即以共中心点到界面的法向距离为基准对共中心点道集内各地震道进行动校正处理，并把地震波信息置于共中心点正下方的相同距离的深度点上（因为这时共中心点在界面上的射影点并不知道）。但由于不知道真实速度，因此又以双程法向旅行时间为自变量，叠加后就构成共中心点叠加时间剖面。而偏移归位则是把地震波信息以双程法向时间的形式置于共中心点在界面的影射点（这是一个唯一的空间点）上。

但是，我们发现共中心点还有一个不变量，即它到界面的视深度对于共中心点道集内各地震道来说也是一个不变量。我们利用这个不变量也可以进行共中心点道集的动校正、叠加和偏移归位。用这种处理方法得到的叠加剖面，由于它的纵向自变量是视深度，我们称之为共中心点叠加视深度剖面，把这种处理方法叫做共中心点叠加视深度剖面法。而把前述的得到时间剖面的处理方法称为共中心点叠加时间剖面法。

我们将会发现，共中心点叠加视深度剖面法与共中心点叠加时间剖面法相比较，前者将具有许多优点，甚至克服了共中心点叠加时间剖面法中不可克服的困难问题。为便于对比，我们在说明共中心点叠加视深度剖面法之前，先对共中心点叠加时间剖面法作一简要叙述，并指出其中存在的主要问题。

共中心点叠加时间剖面法

动校正公式

由图 1 得反射波旅行时间

$$t=\frac{SP+PR}{V}=\sqrt{\left(\frac{2h}{V}\right)^2+\left(\frac{l\cos\varphi}{V}\right)^2} \tag{1}$$

式中：h 为地面公共中点到界面的（法向）距离；l 为炮检距；φ 为界面的视倾角；V 为界面上方地层的平均速度。

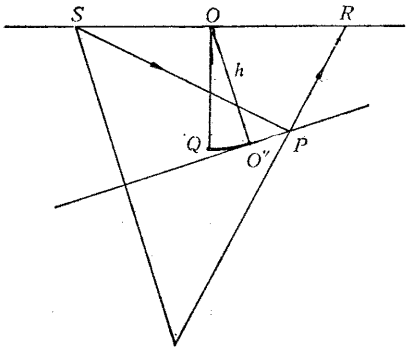

图 1 反射波行程

公式（1）中有平均速度 V 和视倾角 φ 两个未知量。我们知道，若以 h 为纵向自变量，由共中心点多次观测的地面资料，在消除掉炮检距 l 的影响后，利用地震波的相似性，在一个关系式（1）的情况下，是不能同时确定两个未知量 V 和 φ 的。因此，需令

$$t_0=2h/V \tag{2}$$

$$V_a=V/\cos\varphi \tag{3}$$

则式（1）变为

$$t=\sqrt{t_0^2+l^2/V_a^2} \tag{4}$$

这就是我们常用的共中心点道集的动校正公式（人们常称为时距方程），式中 t_0 为双程法向旅行时，V_a 为叠加速度（亦称等效速度）。

当我们以 t_0 为纵向自变量时，在式（4）中则只有未知量 V_a，它可由地面共中心点多次观测资料通过式（4）反算求得。

共中心点叠加时间剖面

我们以 t_0 为自变量，应用式（4）可把共中心点道集中各地震道的炮检距 l 的影响消除掉，即达到动动校正的目的。然后把各道叠加在一起，并把叠加结果置于共中心点正下方 t_0 处。沿着测线对各个共中心点道集都进行动校正、叠加，就可以得到时间剖面 $F(x, t_0)$。

我们知道，在法向深度剖面上，反射点的信息已置于共中心点正下方与法向深度相等的深度点上。如图 2 中的平界面 AB，在法向深度剖面上已位于 $A'B'$。显然，$A'B'$ 的位置、长度、倾角都和 AB 的不相同。这表明在法向深度剖面中平界面的位置和产状都已发生变化。但仍然是平界面，只是倾角变缓。

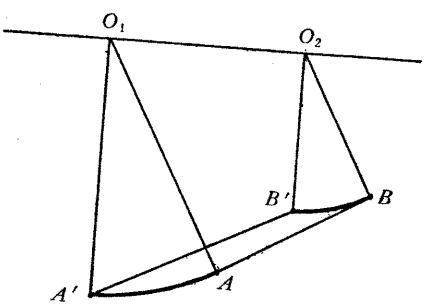

图 2　法向深度与垂向深度的关系

在时间剖面中自变量是 t_0 而不是法向深度 h，由法向深度剖面转化为时间剖面时，是由式（2）确定这种转换关系的。因此，界面在时间剖面上的形态还跟速度有关。如果速度是深度的线性函数

$$V = V_0(1+\beta h) \tag{5}$$

将式（5）代入式（2），则得

$$t_0 = \frac{2h}{V_0(1+\beta h)} \tag{6}$$

当 $h \longrightarrow \infty$ 时，得

$$t_0 \rightarrow \frac{2}{V_0\beta} \tag{7}$$

这说明，当深度足够深时，平界面在时间剖面上呈水平状。

偏移归位

众所周知，在共中心点叠加时间剖面的基础上进行偏移归位时是利用圆法校正公式，得到的偏移归位公式为

$$t_0 = \sqrt{T_0^2 + \left(\frac{2X}{V(t_0)}\right)^2} \tag{8}$$

式中：t_0——共中心点叠加时间剖面上的时间；

X——归位点到所取信息道的横向距离；

T_0——偏移归位剖面上的时间。

$$T_0 = 2Z/V(T_0) \tag{9}$$

式中 Z 为归位点深度。

这样，我们就得到一个偏移归位的时间剖面 $F(X, T_0)$。但这并不是我们的目的。我们需要的却是深度剖面 $G(X, Z)$。因此，还需作一次时深转换

$$Z = \frac{1}{2}V(T_0)T_0 \tag{10}$$

才能使 $F(X, T_0)$ 转换成 $G(X, Z)$。

在波动方程偏移中，波动方程

$$\Delta P = \frac{1}{C^2}\frac{\partial^2 P}{\partial t^2} \tag{11}$$

中还含有一个速度 C。

照理，时深转换速度应和偏移速度相同。然而，实际上很少有人利用偏移速度来进行时深转换。这是因为在偏移归位时要涉及许多地震道，而时深转换只与单道有关。因此我们还应另有一个时深转换速度$V_h(T_0)$才能正确地把$F(X, T_0)$转换为$G(X,Z)$。

这样一来，在全部计算中就要涉及到叠加速度$V_a(t_0)$，偏移速度$V(T_0)$，波动方程偏移速度$C(z)$或$C(T_0)$，时深转换速度$V_h(T_0)$等四种速度，而且它们都是横向坐标X的函数。

可是，我们由地震记录利用速度谱方法只能获得叠加速度$V_a(t_0)$。那么如何来确定$V(T_0)$，$C(z)$和$V_h(T_0)$呢？为此，许多专家都进行了速度分析工作。但是，迄今为止都还没有得到一个令人满意的结果。

共中心点叠加时间剖面法的问题

如上所述，我们利用共中心点多次观测资料和单层均质地质模型中地震波的传播规律可以以双程法向旅行时间为纵向自变量求得叠加速度$V_a(t_0)$和叠加时间剖面$F(x, t_0)$。这在资料处理过程中是唯一没有人为因素的地方。但是得到的偏移归位时间剖面和归位深度剖面，除偏移速度和时深转换速度难以确定外，还由于选择这些速度时加入了人为因素，必将会导致地下地层情况解释的多解性。

在时间剖面上的自变量是双程法向旅行时，这就势必使得地下界面形态与真实形态不一致，平界面可能变成为曲界面，在适当的速度分布的匹配下，曲界面有可能变成为平界面，向斜变成为背斜，背斜变成为向斜。这就容易造成解释上的失误。

总之，共中心点叠加时间剖面不能完全正确地使用地面观测的资料，地震时间剖面不是理想的解释剖面。

共中心点叠加视深度剖面法

动校正公式

由图3知，法向距离h与视深度z之间有如下关系

$$h = z\cos\varphi \tag{12}$$

代入式（1）可得

$$t = \frac{1}{V_a}\sqrt{(2z)^2 + l^2} \tag{13}$$

式中：l——炮检距；

V_a——叠加速度，它满足式（3）。

我们利用式（13）进行动校正时，就是把P点的信息置于S'点上，而S'点位于界面的下倾方向上，这一点对于共中心点O的地震道来说，是一个不变点。因此，可把视深度z取作纵向自变量。

叠加速度

也可以用速度谱的方法求取叠加速度，但应采用公式（13）进行速度扫描。所得的叠加速度是z和x（共中心点的横坐标）的函数

$$V_a = V_a(x,\ z) \tag{14}$$

共中心点叠加视深度剖面

我们利用式（13）对共中心点道集进行动校正，并把信息都置于 S' 点上，就可得到共中心点叠加视深度剖面 $F(x,\ z)$ 。

在共中心点叠加视深度剖面上，平界面 AB（图 4）就位于界面的下倾方向 $A'B'$ 处。可见，$A'B'$ 比 AB 的长度要大一些，位置也改变了，但倾角没有变化。利用这个视倾角的不变性质，可以很容易地从共中心点叠加视深度剖面上求出界面的视倾角来，而且也容易判断一些地质现象。如图 5 所示，延长 $B'A'$ 与 $C'A'$ 使之相交，其交点 A 就是构造的顶点。所以，在共中心点叠加视深度剖面上是比较容易判断构造顶部的位置的。

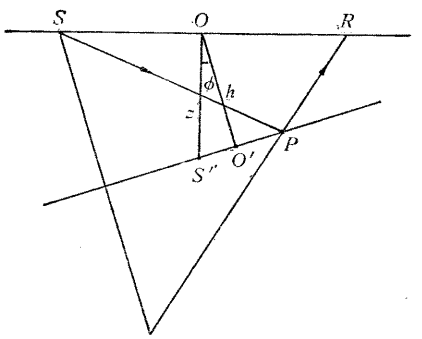

图 3　法向深度与视深度的关系

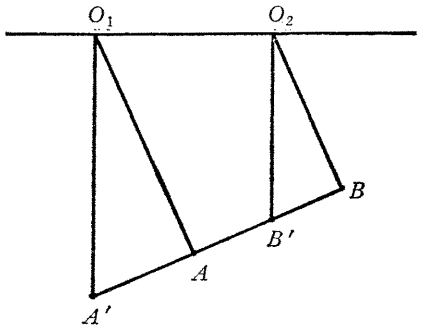

图 4　视深度剖面中的平界面

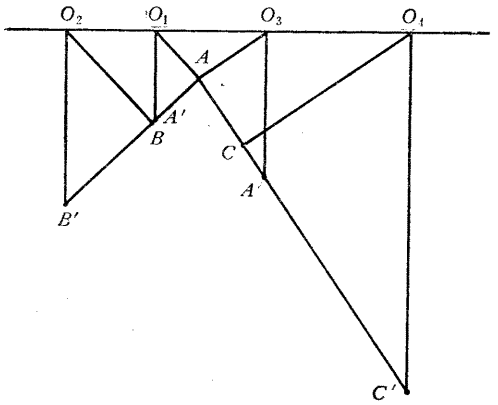

图 5　视深度剖面中的构造

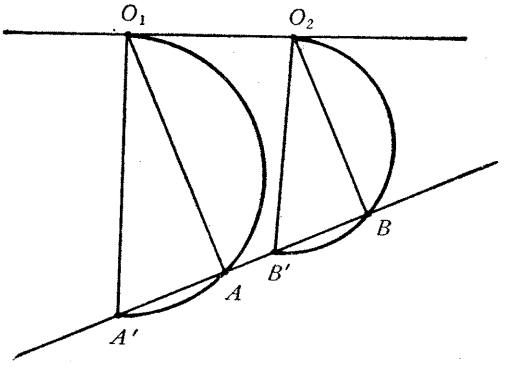

图 6　利用视深度剖面求取真界面的人工法作图原理

偏移归位

我们利用 $\Delta OO'S'$ 是一个直角三角形（图 3）这一特点，可以得到在共中心点叠加视深度剖面上的偏移归位方法。

1. 人工法

以深度 z 为直径作圆，与界面或其延长线相交，则交点就是所求的归位点，如图 6 所示，分别以 O_1A' 和 O_2B' 为直径作圆，与 $A'B'$ 所在的直线交于 A 和 B，则 AB 就

是界面 $A'B'$ 的真实位置。

2．计算法

（1）输出道观点

如图 7，点 $R(x, z)$ 上的信息可能送到以 OR 为直径的圆上各点处。圆上任一点 $P(X, Z)$ 和 $R(x, z)$ 之间满足以下关系

$$(X-x)^2+\left(Z-\frac{z}{2}\right)^2=\frac{z^2}{4} \tag{15}$$

偏移后得到归位深度剖面 $G(X, Z)$ 。

（2）输入道观点

由图 8 知，P 点的信息可能来自 $R(x, z)$ ，可得

$$z=Z+\frac{1}{Z}(x-X)^2 \tag{16}$$

这是一条抛物线。偏移后得归位深度剖面 $G(X, Z)$ 。

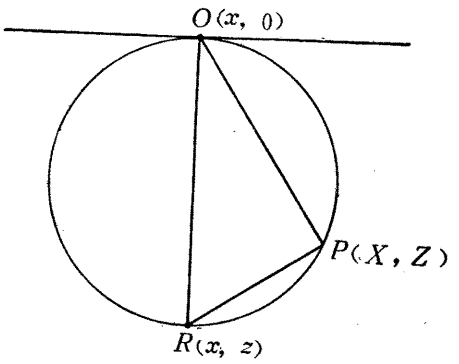

图 7 输出道观点作图原理

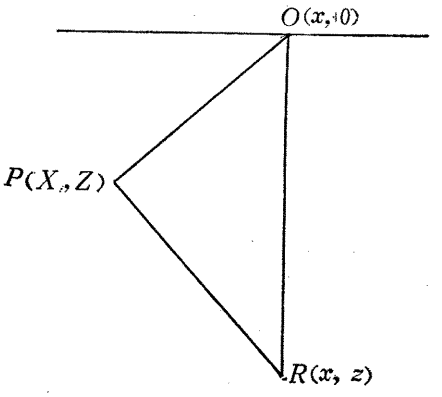

图 8 输入道观点作图原理

（3）波动方程偏移

若在式（11）中令 $z_0=Ct$，则得

$$\Delta P=\frac{\partial^2 P}{\partial z_0^2} \tag{17}$$

此处 z_0 就是共中心点叠加视深度剖面 $F(x, z)$ 中的变量 z。

于是，我们看到，在式（15）、（16）、（17）中不再含有偏移速度，而且得到的是归位深度剖面，不再需要进行时深转换。

可见，在共中心点叠加视深度剖面法中，只有一个叠加速度 V_a，它是可用速度谱法求得的。这样，我们就避免了共中心点叠加时间剖面法中求取偏移速度 $V(T_0)$、$C(z)$ 和时深转换速度 $V_h(T_0)$ 的问题。在整个处理过程中，不再有人为干预的可能性。

速度剖面

当我们求得叠加速度 $V_a(x, z)$ 和叠加剖面 $F(x, z)$ 后，在 $F(x,z)$ 上可求得视倾角 $\varphi(x, z)$ 。再利用平界面的视倾角不变性质，可得

$$\varphi(x,\ h)=\varphi(x,\ z)$$

由式（3）可得深度 h 处的平均速度剖面

$$V(x,\ h)=V_a[x,\ h/\cos\varphi(x,\ h)]\cos\varphi(x,\ h) \tag{18}$$

然后可进一步算得层速度剖面，用于岩性解释。

绘制构造图

在空间坐标系（O；x，y，z）中，平界面方程为

$$Ax+By+z-z_0=0 \tag{19}$$

在地面坐标系（O；x，y)中有两条相交的直测线

$$y_1=a_1x+b_1 \tag{20}$$

$$y_2=a_2x+b_2 \tag{21}$$

在交点处的视倾角各为 φ_1 和 φ_2，则由下面公式可算得参数 A，B

$$\frac{A+a_iB}{\sqrt{(a_i^2+1)(A^2+B^2+1)}}=\sin\varphi_i \qquad i=1,2 \tag{22}$$

界面的真倾角 ψ 由下式确定

$$\cos\psi=1/\sqrt{A^2+B^2+1} \tag{23}$$

于是由交点处的视深度、视倾角和真倾角就可求得真深度，绘制构造图。

实现

图 9 为在计算机上应用共中心点叠加视深度剖面法进行地震资料处理的流程框图。

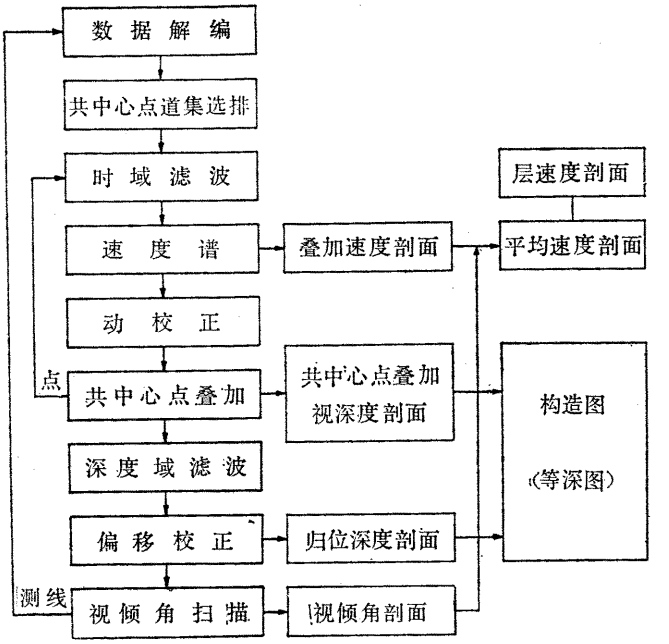

图 9　共中心点叠加视深度剖面法处理流程框图

结 束 语

共中心点叠加视深度剖面法和时间剖面法的原理是相同的，它们各自分别利用了共中心点的两个不变量，是互相平行的两种处理方法。但时间剖面法存在的问题较多，而视深度剖面法却有许多优点，可归纳如下：

1．偏移归位时不存在速度问题，也不存在时深转换问题，从而克服了时间剖面法中长期存在选择速度的难题。

2．由于平界面视倾角的不变性，因而能够利用地面资料求得真实的地层速度，可用于岩性解释。

3．地震剖面上的地质现象不再受速度分布的影响，从而便于解释。

4．由共中心点叠加视深度剖面可以直接绘制构造图，可以省去偏移归位这一步骤。这对于三维地震资料的处理具有重大的经济价值。

由上述各点足以说明，共中心点叠加视深度剖面法可能是一个正确使用多次观测地震勘探资料的方法。

参 考 文 献

陆基孟等，《地震勘探原理》，§5—1，石油工业出版社，1982

（上接第 510 页）

即为三维偏移剖面。

在快速傅氏变换中，点数要满足 2^p 的条件，因而在测网的四周进行充零道和充零测线镶边，使各条测线的道数和总测线数均满足 2^p 的条件。

由于傅氏变换是复数运算，所以将两道地震道组合成复数地震道

$$F(x,t) = A + Bi$$

其中，奇数地震道值为 A，偶数地震道值为 B，从而节省了计算量。

如果计算机的容量足够大，可以将全部测线装入磁盘，并将计算后的一条测线的二维谱全部读入内存，从而避免了与外部设备频繁地打交道，节省了计算机宝贵的时间；如果再配有褶积器作傅氏变换，则三维 F-K 偏移的速度将会更快。

参 考 文 献

[1] 清华大学计算数学专业油田科研组等，傅里叶变换滤波在地震勘探数字处理中的应用，《石油地球物理勘探》，第 5 期，1978

[2] J. Gazday, Wave equation migration with the phase shift method, 《Geophysics》, Vol. 43, No. 7, 1978

[3] 田孝坤、王秀槐，频率-波数域偏移的实现，《石油地球物理勘探》，第 3 期，1980