

VSP的双程无反射波动方程逆时偏移

朱金明 董敏煜 李承楚

(石油地球物理勘探局研究院) (石油大学(东营)勘探系)

摘 要

朱金明, 董敏煜, 李承楚: VSP的双程无反射波动方程逆时偏移, 《石油地球物理勘探》, 24 (3) 1989: 256~270

VSP资料通常为共炮点道集, 因所含数据量较少, 采用常规偏移方法, 难以获得良好的偏移结果。而用双程无反射波动方程作逆时偏移, 可以剔除内部界面反射波和层间多次波, 同时使用 Clayton 的吸收边界条件, 还可以消除 VSP 中的边界反射波。可见采用这种逆时偏移方法能够较好地改善偏移效果。其成像条件仍由 Claerbout 成像原理推广, 求解镜像方程得到, 此法是一种适用性很强的波动方程偏移方法, 既适用叠前 VSP 记录, 又适用常规多偏移距的炮点道集, 还可用于 VSP 和地面资料的联合偏移, 并能适应各种速度的变化。

此法用于实际 VSP 资料处理时, 要预先切除初至波, 剪接边道或设置边道阻尼, 并要作空间插值补道、频率滤波等项处理, 否则将影响 VSP 偏移剖面的质量。

关键词: 垂直地震剖面法 波动方程偏移 逆时偏移

ABSTRACT

Zhu Jinming, Dong Minyu and Li Chengchu: VSP reverse-time migration using two-way nonreflection wave equation, OGP, 24 (3) 1989: 256~270

VSP data are usually recorded in common-shot gather and contain less informations. It is difficult, therefore, for us to obtain good migration result by using conventional migration methods. Both inner interface reflections and interformational multiples can be removed by reverse-time migration with the use of two-way nonreflection wave equation; besides, boundary reflection in VSP can be eliminated using Clayton's absorption boundary condition. It is proved that reverse-time migration is able to improve migration quality. The imaging condition is still obtained by generalizing Claerbout's imaging principle and

solving eikonal equation. This is a very practical wave equation migration method. This method is applicable to prestack VSP data, conventional multiple-offset shot gather and the simultaneous migration of VSP data and surface seismic data. Besides, it is adaptable to various velocity variations.

Before applying the method to VSP data processing, we should finish the following processing work: muting the first arrivals, tailing the boundary traces (or putting a damping on boundary traces), interpolating traces, frequency filtering etc.; otherwise we'll fail to make good VSP migration.

Key words: vertical seismic profiling(VSP), wave equation migration, reverse-time migration

引 言

在垂直地震剖面法(VSP)观测中,由于检波器埋于地表之下,故既能接收来自其上的波,也可接收来自其下的波。其响应是上行波和下行波的总和。所以,VSP资料与地面地震资料相比,具有能作三分量记录,波的动力学特征更明显,更直接,地震子波更纯等独特的优点。人们正是利用这些优点来研究地震子波传播的某些基本特征,了解反射和透射机制,识别多次波,估计反射层倾角,确定断层面,预测钻前反射层,对比纵、横波,确定物性及烃类对传播子波的影响等等。

尽管VSP具有许多优点和广泛的应用价值,但它还是存在着如下问题:

第一,目前广泛使用的仍然是每一炮点激发一次只能接收一道,很难实现在地面地震勘探中成功应用多年的多次叠加技术。

第二,VSP有着特殊的噪声源——套管波。

第三,耦合问题,包括检波器与地层之间的耦合和套管与地层之间的耦合。

第四,由于VSP资料是在深度—时间域显示的,所以VSP剖面不能直接用于解释。为了改进这种情况,一是作VSPCDP变换,但是,这种处理效果受到“界面近乎水平,入射角很小”的基本假设前提的限制;二是作VSP偏移。

本文旨在寻求解决上面提到的第四个问题的新方法。

尽管偏移技术在地面地震资料处理中已成功地应用了多年,但是,地面波动方程偏移技术不能简单地用于VSP处理。因为对地面地震资料所作的假设不适合于VSP,所以,VSP偏移尚须解决一些特殊的困难。如:穿过检波器排列的速度常常剧烈变化;源检不重合,甚至根本不在同一水平面上;VSP资料同一记录分量中往往同时存在P波和SV波两种绕射波,其勘探范围很小,故其边界的影响尤为突出。这些问题有的基本解决,有的尚在研究之中。最近几年,地球物理学家们利用VSP资料在成像地下介质方面作了许多尝试。Balch and Lee(1984)在EAEG年会上发表的论文采用经典的Kirchhoff

积分偏移算法得到了与 Dillon and Thomson 相同的结果。Keho (1984) 用近似的二维格林函数实现了 VSP 资料的偏移。Kohler (1984) 用二步法实现了 VSP 偏移。这些研究结果基本上都是基于 Kirchhoff 积分算法, 因此存在着方法本身所固有的画弧现象。而 Wen-Fong Chang and McMechan, G. A. (1986) 利用激发时成像条件实现了有偏移距的 VSP 资料的偏移。基于同样的思想, Chen, K. H. (1987) 在 SPG/SEG 地震方法讨论会上发表了逆时有限元偏移的部分结果。但由于他们都是从全波波动方程出发, 因此在偏移时都存在着偏移中的内部界面反射波。而这点却是人们所不希望的。

逆时偏移用于叠前或叠后地震资料已为许多地球物理学家所研究, 其基本思想出自于全声波波动方程关于时间的对称性, 将记录下的波场值沿逆时方向延拓, 而不是一般的沿深度向下延拓。根据 Claerbout 成像原理, 对于叠加资料, 可将外推至零时刻的空间外推波场值作为偏移值。对于叠前资料, 如共炮点道集, 需要推广 Claerbout 成像原理, 将震源波场和记录波场分别外推, 而反射界面恰好位于信号源、检波场同相位的时刻上。

双程无反射波动方程及其对内部界面反射波的压制

常规地震偏移处理中所用的单程波动方程 (如 15° 上行波方程) 只允许能量向单一方向传播, 这在处理对称的波动传播问题——从地面震源到地下界面的传播路径和从地下界面到地面的路径相同时, 常常具有其特有的优越性。但是, 由于其假设条件的限制, 它们不能模拟速度梯度较大条件下由折射引起的回转波现象, 也不能模拟较大倾角波的传播问题。在 VSP 勘探中, 由于接收器既可接收到上行波又可接收到下行波, 因此不能用这样的单程波动方程来描述 VSP 中波的传播问题。为此需寻求一种更全面、更合理的算子或波动方程, 象全波波动方程那样既可描述上行波又可描述下行波, 同时又具有单程波动方程的一些优点, 如消除层间多次反射, 不会出现单程波动方程的限制。

对于具有可变密度 $\rho(x, z)$ 和可变速度 $v(x, z)$ 的二维全波波动方程, 表示为

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} \right] = \frac{1}{\rho v^2} \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} \quad (1)$$

其中, P 为波场值。

假定波阻抗 ρv 为常数, 则式 (1) 变为

$$v \frac{\partial}{\partial x} \left[v \frac{\partial P}{\partial x} \right] + v \frac{\partial}{\partial z} \left[v \frac{\partial P}{\partial z} \right] = \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} \quad (2)$$

对于入射到平面上的波的反射, 从下列两图可以看出, 在一定的入射角范围内, 其反射系数都很小。图 1 给出的是波从高速介质 v_1 入射到低速介质 v_2 ($v_1 = 2v_2$) 时反射系数与入射角的关系图。显然, 在入射角很宽的范围内, 反射系数都保持着较小的值。

而图2则是由低速介质 v_1 入射到高速介质 v_2 ($v_1 = v_2/2$) 的反射系数图。此时的入射角范围为 $0 \sim$ 临界入射角。由图中可以看到, 角度较小的入射波, 其反射系数也很小, 但当入射角接近临界角时则迅速增大。两图表明, 垂直入射时, 反射系数均为零。故称式(2)为双程无反射波动方程。

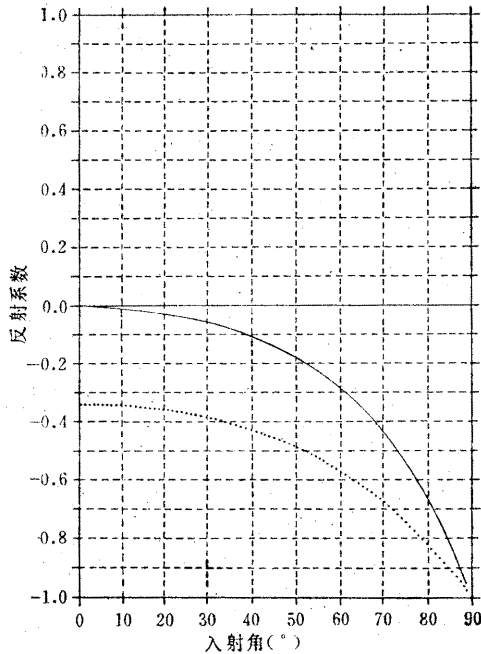


图1 $v_1 = 2v_2$ 时的反射系数—入射角关系图

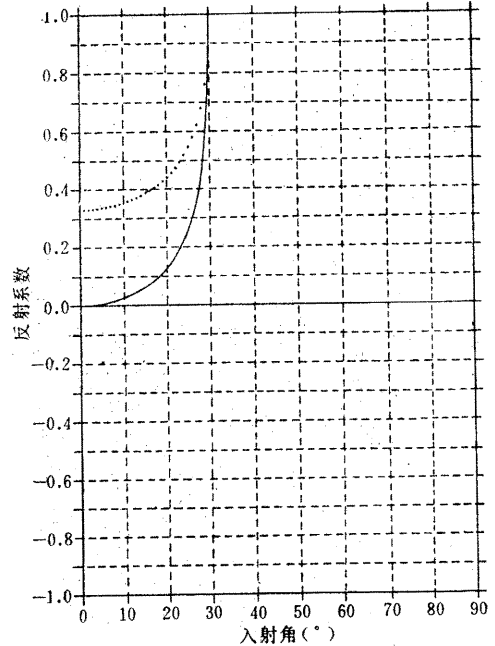


图2 $v_1 = v_2/2$ 时的反射系数—入射角关系图

点线对应全波波动方程, 实线对应双程无反射波动方程

一般地说, 用式(2)描述波的传播, 如其入射角为 θ_1 , 折射角为 θ_2 , 则其反射系数为

$$R = \frac{\frac{\rho_2 v_2}{\cos \theta_2} - \frac{\rho_1 v_1}{\cos \theta_1}}{\frac{\rho_2 v_2}{\cos \theta_2} + \frac{\rho_1 v_1}{\cos \theta_1}} = \frac{\cos \theta_1 - \cos \theta_2}{\cos \theta_1 + \cos \theta_2} \quad (3)$$

而在常密度、变速介质中, 二维声波波动方程为

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} \quad (4)$$

用式(2)或式(4)作偏移的差别可从图3中看出。图3a描述的是一个三层介质模型, 图3b是爆炸反射界面模型的响应。用式(4)的二阶差分作逆时偏移的结果示于图3c, 在图3c的上部可以看到有一假同相轴, 这是由全波波动方程所引起的内部界面反射。而用式(2)作控制方程的逆时偏移结果如图3d所示, 这里假同相轴消失了。由此可见, 为了消除偏移中产生的内部界面反射波, 使用式(2)作控制方程较好。

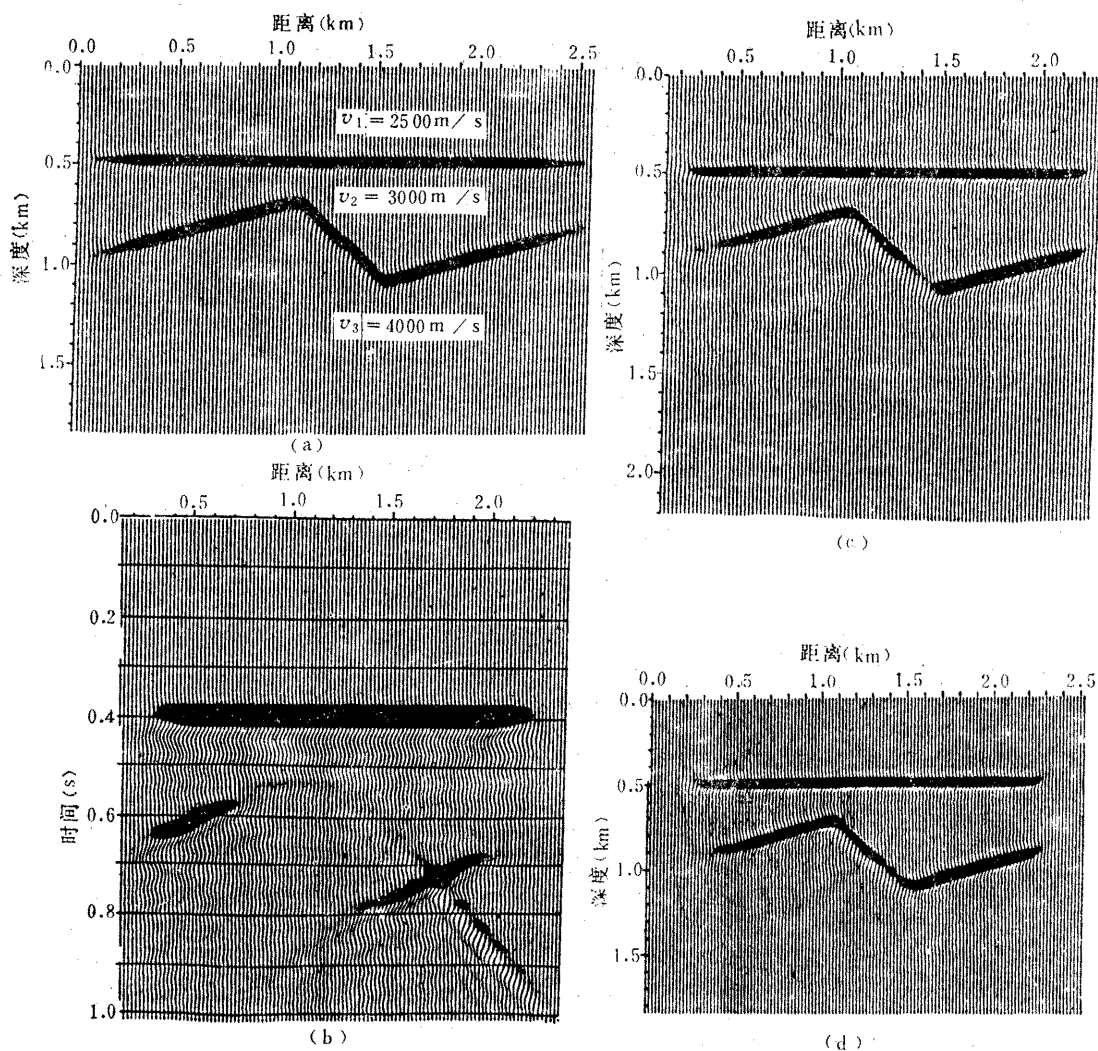


图 3 偏移中内部界面反射波的消除

(a) 速度模型; (b) 爆炸反射模型记录; (c) 式 (4) 偏移结果; (d) 式 (2) 偏移结果

成像条件的推广

为了实现叠前 VSP 资料的偏移, 首先要确定出地震记录上的反射能量或绕射能量的成像条件, 而 Claerbout 成像原理指出, 反射界面存在于入射波场和反射波场同相位处。所以必须计算出地下各点的成像时间。这里通过求解镜像方程确定出成像条件。

在推导所需的方程时, 需要对非均匀各向同性介质中的速度场作以下两点假设:

- 速度场是稳定的, 不随时间变化;
- 速度场具有连续的一阶偏导数, 至少一阶偏导数存在且绝对可积。

显然, 这两点假设在一般的勘探地球物理问题中都是满足的。

设波从空间点 A 至空间点 B 的旅行时 t 为

$$t = \int_A^B v^{-1}(\vec{r}) ds \quad (5)$$

其中, $\vec{r}$ 为位置矢量, ds 为射线元。

由费马原理, t 应取稳定值, 即变分 δt 满足

$$\delta t = 0$$

这样就可得到式 (5) 极值曲线的欧拉方程

$$\frac{d}{ds} \left[v^{-1}(\vec{r}) \frac{d\vec{r}}{ds} \right] - \text{grad} [v^{-1}(\vec{r})] = 0 \quad (6)$$

式 (6) 是镜像方程的另一形式。由式 (6) 可得如下一阶常微分方程组

$$\frac{d}{ds} \begin{bmatrix} W \\ W_p \end{bmatrix} = \mathbf{B} \begin{bmatrix} W \\ W_p \end{bmatrix} + C \quad (7)$$

此方程组的详细推导及各量的物理意义见附录。

令 $W_1 = t$, 则由式 (5) 得

$$\frac{dW_1}{ds} = \frac{1}{v} \quad (8)$$

对于式 (7) 和式 (8) 组成的线性常微分方程组, 以弧长 s 作为自变量, 很易用数值积分法求解其初值问题, 最后确定出各地下点的空间位置、波至时间、传播距离和传播方向。然后按逆时次序存放于磁盘上, 以便在用式 (2) 作逆时外推时依次读取。

图 4 以实例说明了成像条件的确定过程。图 4a 是一个由两个水平界面组成的三层介质模型, 速度如图上所示, 图中 S 表示震源所在位置。图 4b 表示的是射线图, 用于确定成像条件。为了清晰起见, 图中只画出了所用射线的三分之一。而图 4c 则表示有代表性的一些波前面, 各面之间时差为 20ms。

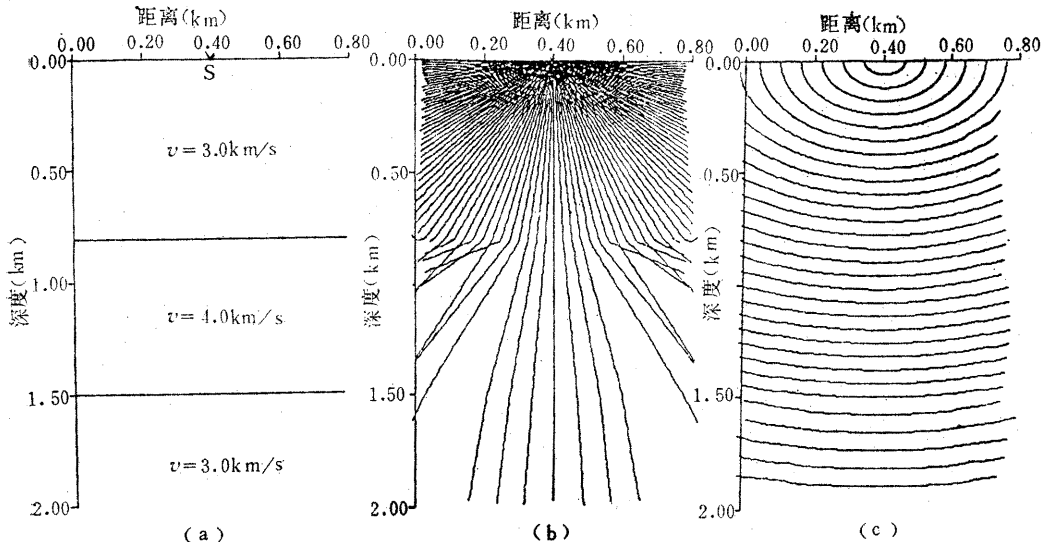


图 4 成像条件的确定

(a) 速度模型; (b) 射线图; (c) 波前图

数值例子

首先以一个点绕射体模型的偏移来说明本方法的一般工作原理。图 5a 是给出的点绕射体速度模型, 图 5b 是用有限差分正演模型得到的 VSP 记录。图 6a 表示的是用控制方程式 (2) 作有限差分离散按逆时次序递推到 $t_k = 400\Delta t$ 时刻的空间波场值, 其中 Δt 为时间采样率, 图 6b~图 6h 分别表示外推时间 $t_k = 350\Delta t, 300\Delta t, 250\Delta t, 200\Delta t, 150\Delta t, 111\Delta t, 100\Delta t$ 时的空间波场值, 也即相当于波传播过程中不同时刻的镜像。从图中可以看出, 由于波动方程的可逆性, 外推算子能把记录能量传到整个网格空间。随着外推的进行, 在绕射源 D 处产生的绕射波和多次波逐渐向它聚焦, 继而发生散焦现象。从图中发现, 本来应该在 $t_k = t_D = 111\Delta t$ 时聚焦成一点, 结果在图 6g 中却是一条短小弧, 这是由离散化所固有的频散现象造成的。尽管如此, 图 6i 仍然表明该偏移方法能获得良好的聚焦结果。

从图 5、6 可以看到, 对于点绕射体的成像, 其逆时间外推的过程就如同波的正向传播过程一样, 而这正是把记录波场作为震源项逆时延拓的结果。

下面看一下该算法对倾斜界面的偏移能力。

图 7a 是均匀介质中倾角为 15° 的双层介质模型, 介质速度如图中所示。图 7b 是用射线方法得到的 VSP 记录。偏移结果示于图 7c。比较图 7c 与图 7a 可以看到, 记录下的能量已偏移到了正确的位置。

图 8a~图 8c 则是均匀半无限空间中倾角为 60° 的双程介质模型, 射线模型记录及用本方法所作的偏移结果。结果同样表明记录下的能量获得了正确的偏移。在所给的偏移剖面中都可以看到, 由于偏移时使用了双程无反射波动方程, 在内部界面上就不再出

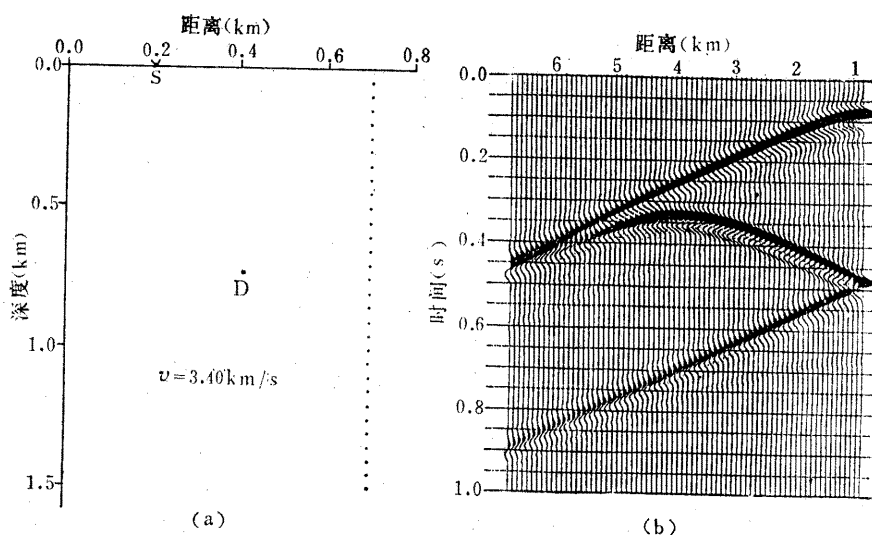


图 5 点绕射体模型及其 VSP 记录

(a) 点绕射体速度模型; (b) 用有限差分正演模型得到的 VSP 记录

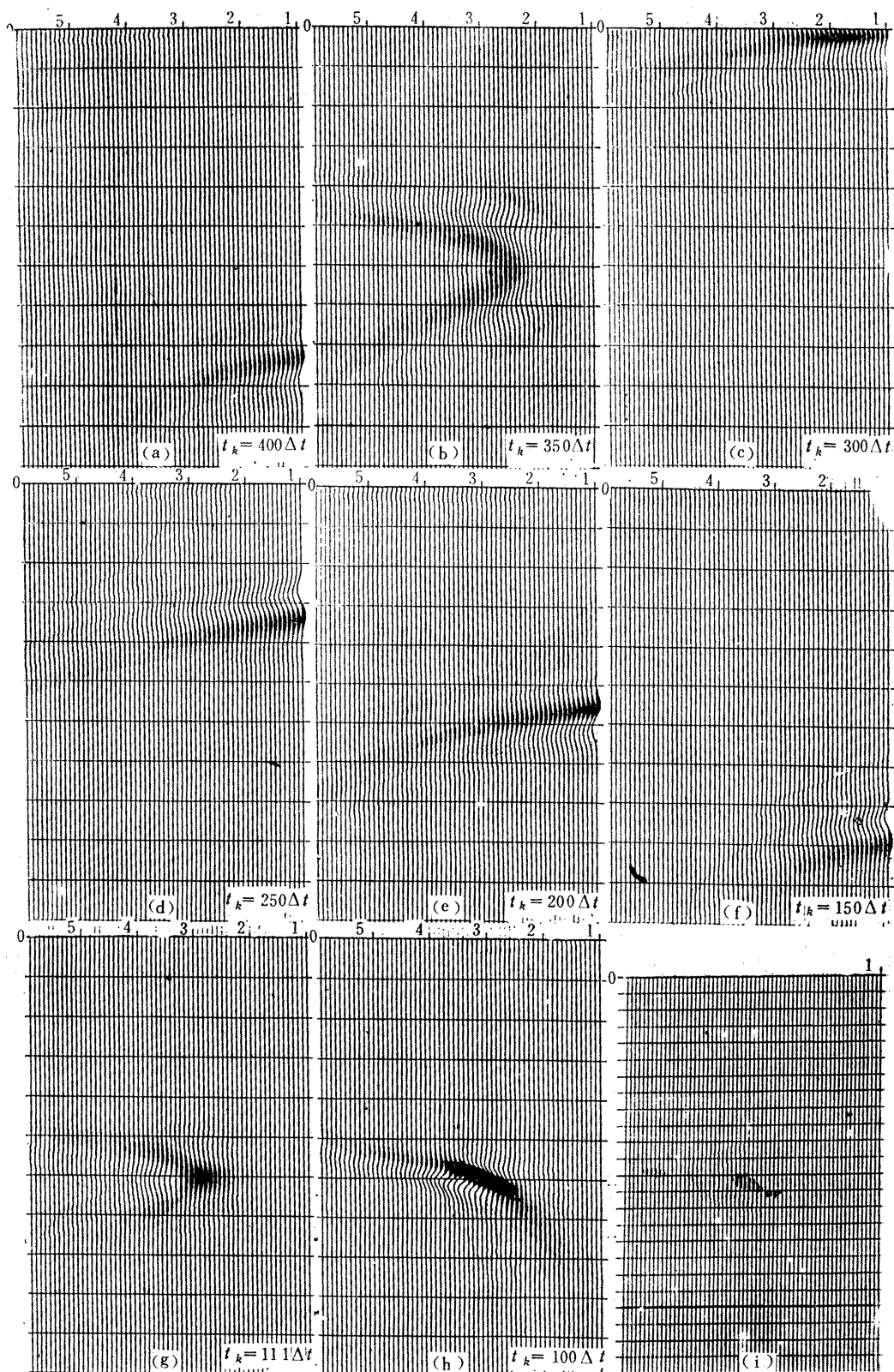


图 6 图5中波传播过程的逆时偏移过程

每一图的右下角标为外推时间

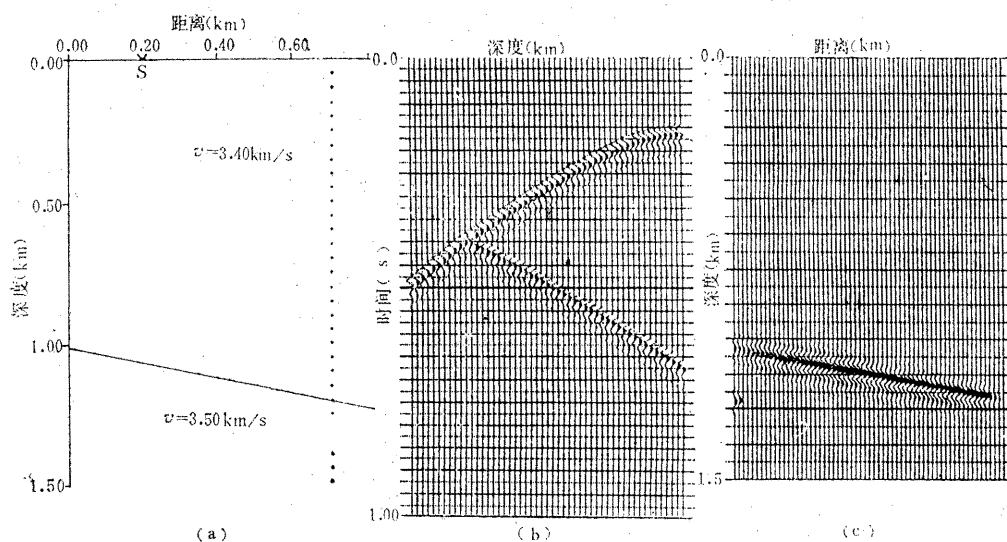


图 7 15° 倾斜界面偏移结果

(a) 速度模型; (b) VSP记录; (c) 偏移结果

现如图 3c 那样的内部界面反射波。而且, 由于引入了 Clayton 的吸收边界条件, 在偏移剖面中几乎不出现边界反射波。从这两个例子可以看到, 本偏移方法能对足够大倾角的反射界面偏移归位, 可以满足勘探地球物理的要求。

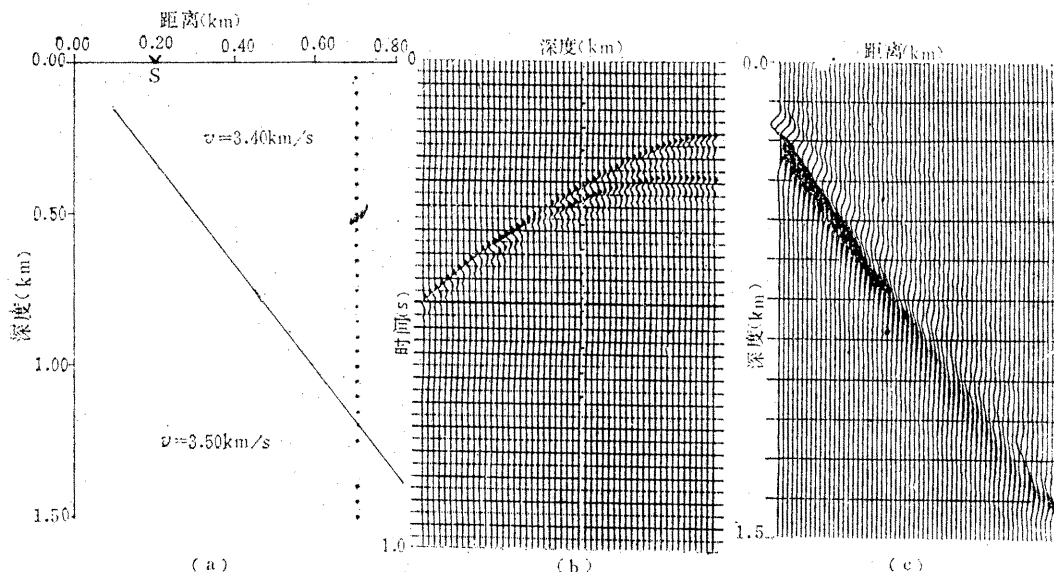


图 8 60° 倾斜界面偏移结果

(a) 速度模型; (b) VSP记录; (c) 偏移结果

最后一个例子是一半无限介质中的断层。图 9a 为其模型, 其中井 1 和井 2 分别表示两口 VSP 测井, S 表示地面震源位置。图 9b 为井 1 中的 VSP 记录, 这是用全波波动方程的四阶有限差分法实现的, 所对应的逆时偏移结果如图 9d 所示。而图 9c 为井 2 中的 VSP 记录, 相应的偏移结果如图 9e 所示。从图 9d 和图 9e 可以看到, 由于震源和接

收器相对位置的变化,两口井的资料所反映的构造部位也有很大不同。图 9d 表明井 1 的 VSP 记录可以很好地反映断层下盘的信息,而所含的有关上盘的信息较少,因为它只是根据上盘断点的绕射波来反映上盘的。而井 2 的资料恰好相反,其反映的是上盘,因此,各个不同的野外观测系统可以获取不同部位的地质信息。所以,在野外设计 VSP 观测系统时,就必须首先弄清楚目的层的位置,要了解地质层位大致情况,唯有在这样的条件下进行观测,才有可能获取期望的信息,充分发挥 VSP 的优越性。

把井 1 和井 2 的偏移结果按普通偏移叠加那样进行叠加,就可得到图 9f 所示的合成偏移图。在叠加后的偏移剖面上,断层上盘和下盘都较两单井偏移图中显示的清晰、全面。

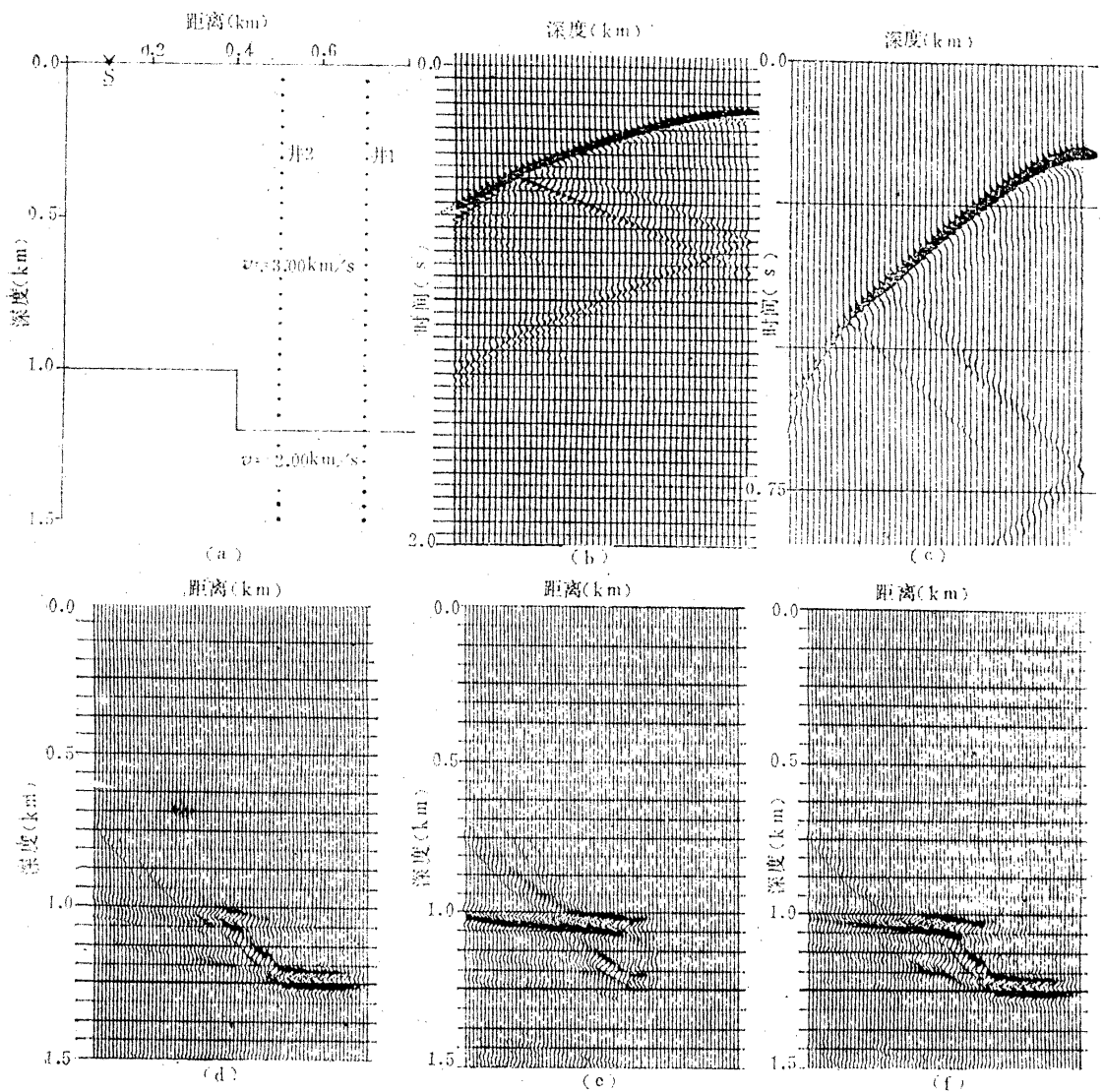


图 9 断层模型偏移结果

(a) 速度模型; (b) 1井VSP记录; (c) 2井VSP记录; (d) (b) 的偏移结果; (e) (c) 的偏移结果; (f) (d) 和 (e) 的叠加结果

从各偏移图中可以看到,垂直断棱没有得到应有的归位,这是双程无反射波动方程本身的限制。从图 1 可以看到,当入射角接近 90° 时,反射系数陡增,到极限情况反射系数为 -1 。因此,在这里存在着偏移中的内部界面反射波。

由图 9 可知,尽管只有 2 口井的 VSP 记录,但它们的组合却可以提供比较详细的信息。因此,如果能象地面地震中那样实现诸如 12 次或 24 次那样的多次叠加,那么可以肯定,从多井 VSP 中是完全可以获取极其详细的地质信息的。

讨 论

本方法用于实际资料时,必需对输入 VSP 资料作一定的加工处理,如初至波切除,边道剪接或边道阻尼的设置等。由于实际 VSP 记录不一定是按处理要求进行的,因此,还需要对记录资料作空间插值补道,频率滤波等预处理。由于这种 VSP 波动方程偏移是一种叠前偏移方法,而处理中的直达波又处处满足成像条件,因此必须预先切除,否则它将影响 VSP 偏移剖面的质量。图 10a 是一个双层介质模型,图 10b 是其 VSP 记录,直接用图 10b 作偏移的结果如图 10c 所示。可以看到,由于直达波的影响,在井轴和震源点所组成的一个三角区域内留下了一片阴影,而这部分往往是最可靠的。图 10b 作初至切除后的偏移结果如图 10d 所示,这里就不再存在阴影区。当然,在作初至切除时,必然会同时切掉一些与初至混叠在一起的有效信号。本文是采用经上、下行波分离后的 VSP 记录作偏移的。

在作 VSP 波动方程差分偏移时,还要考虑记录数据体在深度方向排列在一很小的范围内引起的问题。因为地震记录中常包含着来自 VSP 井中的最深检波器之下的反射波和绕射波等。这些能量在最深的几个检波器中都以一定的振幅出现,然后在其下突然消失,这样的突变自然与差分法所要求的可微性相矛盾,这可以通过对边界几道在外推前设置阻尼来解决。

在使用显式差分格式时,必须记住条件是稳定的。因此在时间、空间采样率确定的情况下,必须检查可能出现不稳定的点,将其剔除。同时,为尽可能地减小网格频散,一般在偏移中要求地震子波主频的每一波长包含有 15 个或更多个网格点。

和所有其它偏移方法一样,该方法也需首先确定一个速度模型。该算法可以利用各种速度信息,即使对速度横向变化的情况也能适应。在前面所有例子中,所用层速度信息都是正确的。图 11 是图 10 的记录用不正确的速度模型(减小原速度场的 10% 获得)所得的结果。与图 10d 比较可知,图 11 偏移后的同相轴形态与图 10d 相同,只是发生了一定的位移。因此必须尽可能地在偏移前获取良好的速度信息。

要把本方法推广到弹性波波动方程偏移也是很方便的。如果震源只产生 P 波,那么只要用弹性波波动方程去替换式(2)作控制方程,用同样的成像条件就可作偏移处理。如震源只产生 S 波,则再用 S 波的镜像方程来确定成像条件即可。将它推广到三维介质中去也是非常方便的。本算法还可自动地把 VSP 记录剖面与过井地面地震剖面组合一起用于偏移算法中。这样既可丰富资料的信息,也可增强偏移图像的可信度,加宽

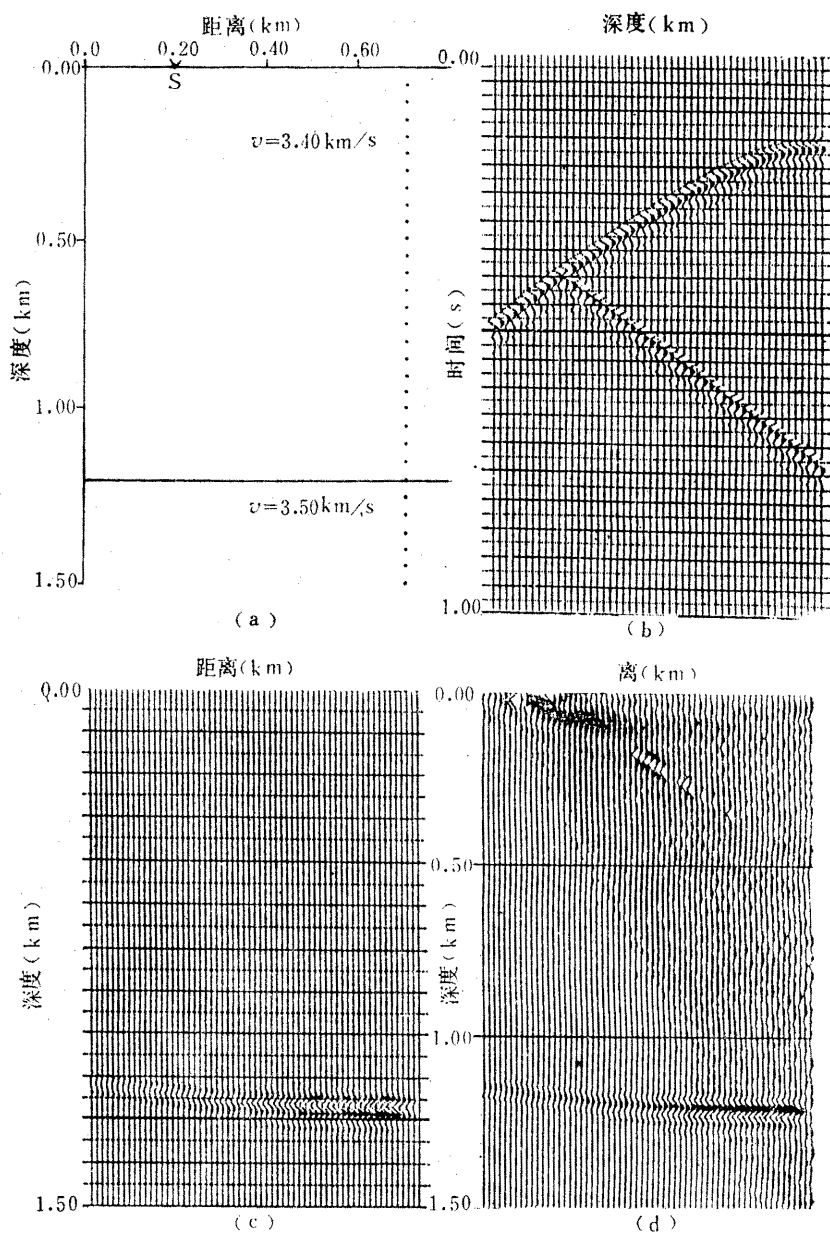


图 10 直达波的影响

(a) 速度模型; (b) VSP 记录; (c) 切除
直达波后的偏移; (d) 直接用 (b) 作偏移的结果。

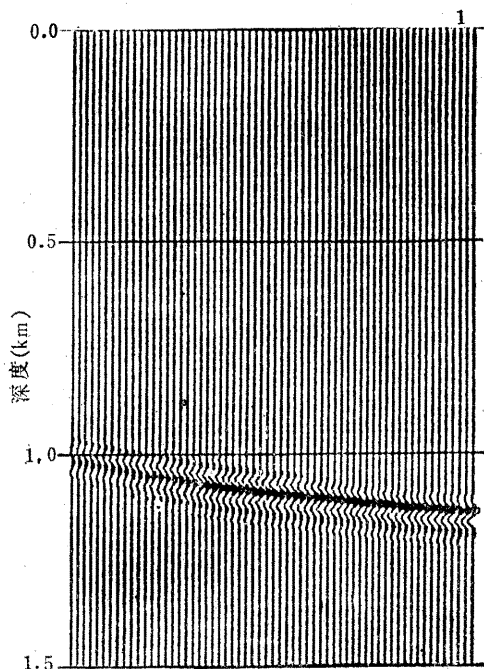


图 11 速度误差对偏移的影响
所用速度为正确速度的90%

VSP 偏移的有效孔径。

结 束 语

这是一种适用性很强的波动方程偏移方法, 它既适用于叠前 VSP 记录, 又适用于常规多偏移距的炮点道集, 还可用于地面地震和 VSP 的综合勘探。所用的控制方程既能描述波的全方向传播, 又能消除内部界面反射波。引入的边界条件很好地解决了 VSP 中的边界问题, 而且具有和内部控制方程相匹配的差分算子, 它的引入没有给计算带来额外的费用。计算速度较之其它 VSP 偏移方法, 如 Kirchhoff 积分偏移法, 要快得多, 对于 60×200 的网格, 时间延拓 800 步, 在 VAX-11/780 机上仅需 26 分钟, 且能适应各种速度变化。

参 考 文 献

- [1] 牟永光:《地震资料数字处理》, 石油工业出版社, 1981
- [2] 克莱鲍特著, 陈玉译:《地球物理数据处理基础》, 石油工业出版社, 1983
- [3] 顾丽珍等:《偏微分方程差分解法》, 清华大学应用数学系, 1985
- [4] Dong, M. Y., Zhu, J. M., and Li, R. J.: Forward and reverse numerical solution of wave equation for VSP, Presented at ICCP in Beijing, 1988
- [5] Alford, R. M., Kelly, K. R., and Boore, D. M.: Accuracy of finite difference modeling of acoustic wave equation, *Geophysics*, 39 (5) 1974: 834~842
- [6] Balch, A. H., and Lee, W. W.: Vertical seismic profiling technique, application and case histories, Intern. human res. dev. corp, 1984
- [7] Baysal, E., Kosloff, D. D., Sherwood, J. W. C.: A two-way nonreflecting wave equation, *Geophysics*, 49(2)1984: 132~141
- [8] Claerbout, J. F.: Toward a unified theory of reflector mapping, *Geophysics*, 36(3)1971: 469—481
- [9] Clayton, R. W., and Engquist, B.: Absorbing boundary conditions for acoustic and elastic wave equation, *BSSA*, 67, 1977: 1529~1540
- [10] Dillon, P. B. and Thomson, R. C.: Offset source VSP surveys and their

- image reconstruction, *Geophysical Prospecting*, 32(5)1984: 790~811
- [11] G'alperin, E.I.: *Vertical seismic profiling*, SEG special publication, Tulsa, (12) 1974
- [12] Hadage, Bob A.: *Vertical Seismic Profiling*, Geophysics press limited, 1983
- [13] Keho, T. H.: Kirchhoff migration for vertical seismic profiles, Presented at the 54th Ann. SEG meet. Atlanta, 1984
- [14] Kohler, K., and Koenig, M.: Reconstruction of reflecting structures from vertical seismic profiles with a moving source, Presented at the 54th Ann. SEG meet., Atlanta, 1984.
- [15] Lee, W. H. K., and Stewart, S. W.: *Principles and application of microearthquake networks*, Academic Pre. Inc. 1981
- [16] Levin, S. A.: Principles of reverse time migration, *Geophysics*, 49(5) 1984: 581~583
- [17] Reshof, M., and Kosloff, D.: Migration of common-shot gathers, *Geophysics*, 51(2)1986: 324~331
- [18] Wen-Fong Chang and McMechan, G. A.: Reverse-time migration of off-set seismic profiling data using the exciting-time imaging condition, *Geophysics*, 51(1)1986: 67~84
- [19] Chen, K.H.: Reverse-time profile migration, Presented at SPG/SEG seismic discussion meeting in Zhuozhou, 1987
- [20] Yilmiz, O.: *Seismic data processing*, Published by SEG, 1987

附录

为了导出式 (7), 令

$$\vec{u}(\vec{r}) = \frac{1}{v(\vec{r})} \quad \text{grad } u = \left(\frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial u}{\partial y}, \frac{\partial u}{\partial z} \right)^T$$

则式 (6) 变为

$$\frac{d}{ds} \left[u \frac{d\vec{r}}{ds} \right] = \text{grad } u \quad (\text{A-1})$$

或

$$\frac{d^2 \vec{r}}{ds^2} = u^{-1} \left(\text{grad } u - \frac{d\vec{r}}{ds} \frac{du}{ds} \right) \quad (\text{A-2})$$

令

$$G = \frac{du(\vec{r})}{ds}$$

则式 (A-2) 变为

$$\frac{d^2 \vec{r}}{ds^2} = \nu \left(\text{grad } u - G \frac{d\vec{r}}{ds} \right) \quad (\text{A-3})$$

这种形式的微分方程通过变量替换很容易化成一阶常微分方程组

$$\frac{d}{ds} \begin{bmatrix} W \\ W_p \end{bmatrix} = B \begin{bmatrix} W \\ W_p \end{bmatrix} + C \quad (\text{A-4})$$

其中

$$W = \vec{r} = (x, y, z)^T \quad W_p = \frac{d\vec{r}}{ds} \quad B = \begin{bmatrix} 0 & I_3 \\ 0 & -\nu \cdot G \cdot I_3 \end{bmatrix}$$

I_3 为三阶单位阵。

· 消息 ·

现代化的翻译工具——《石油物探计算机辅助翻译系统》

翻译工作是中外交流的桥梁。随着石油物探国际技术交流的飞速发展,这座桥梁越加重要,也越加拥挤,为此向您推荐解决这一问题的强有力的工具——《石油物探计算机辅助翻译系统》(PGCATRS)。

该系统由《译星》(TRANSTAR)和“石油物探机器词典”两大部分组成。《译星》系统是一九八八年九月中国软件技术公司正式推出的英汉单向全文自动机器翻译系统,是目前国内、外第一商品化的软件产品,其基本配置包括:基础词典、编辑模块、翻译模块、词典查找模块。“英汉石油物探机器词典”由石油物探局科技情报所与中软公司语言工程实验室联合开发。共选词 25 000 余条,内容包括物探、地质、钻井、化探、计算机技术、物探装备等专业词汇,以物探为主。

系统运行的硬件环境广泛,具有良好的可移植性,可以在任何具有 COBOL 和 C 语言编译系统并且有汉字功能的机器上运行。目前的版本,可以在 IBM PC/XT、AT 及其兼容机,IBM PS/2 系列、长城系列、中华系列及王安系列等各种微机上运行。要求最小内存为 512K 和 20M 软盘空间。

本系统的所有操作采用面向用户的菜单方式,提示选择,使用方便。用户无需在其他任何辅助软件帮助下,即可方便迅速地原文输入、修改、翻译及译文的修改、润饰、打印。

路光泰