

• 煤田物探 •

利用 τ_p 变换技术实现多波波场分离

戚敬华 李萍 (煤炭科学研究院西安分院 710054)

摘要 通过研究多波地震资料空间三个分量的波场特征及在 τ_p 域的特性,采用 τ_p 变换技术,编制了波场分离程序;选取适当的空间和时间 τ_p 参数,对模型和实际多波地震资料进行波场分离,取得了满意的效果。

关键词 多波地震勘探 τ_p 变换 波场分离

中国图书资料分类法分类号 P631.443

作者简介 戚敬华 男 58岁 研究员 地球物理勘探

1 引言

多波地震勘探可利用几种波型和多种参数进行综合解释,是一种减少多解性、提高探测精度和进行岩性勘探的具有广阔前景的物探方法,近年来已获得重视和发展。

在多波地震勘探中,采用三分量检波器接收地震波。理论上,垂直分量(Z)主要接收纵波,水平分量(X 或 Y)主要接收横波或转换波;实际上,由于波的出射角关系,三个分量接收的波型都分别含有其它分量接收到的波型,只是强度有差异而已。另外面波、声波和随机干扰波在各个分量上也有一定的能量,因此从应用出发, Z 分量接收的波,除纵波外,其它波都视作干扰,应分离出去;同理 X 或 Y 分量应只保留横波或转换波,其它波应被分离出去。这种“净化”过程称为波场分离。只有经过波场分离的三个分量信号,才能作进一步处理和综合地质解释。

我们通过对 τ_p 变换原理方法的研究,根据纵波、横波、转换波和面波的出射角、传播速度及各种波的特征,编制了适合波场分离的处理程序;采用与波场分离相适应的 τ_p 参数和 τ_p 域中的处理方法,对三分量地震记录进行波场分离,达到了分离纵波、横波、转换波和压制面波等干扰的目的,取得了很好的效果。

2 τ_p 变换原理

设 S_i 为沿某一直线等间隔(Δ_x)顺序排列的炮点, R 为某一接收点。若在各炮点 S_i ($i=1, 2, \dots, n$)

上同时激发,则每一炮点将产生一个球面波向下传播,其波场值为 $A(x_i, t)$, t 为地震波传播时间, x_i 为炮点位置。若令接收点 R 的空间坐标为零,则 x_i 可视为炮检距。将这些球面波的波前叠加,就得到向下传播的一个平面波波场。设 t 为在 R 点接收到的反射波旅行时间, $A(t)$ 为其波场值,则有

$$A(t) = \sum_{i=1}^n A(x_i, t). \quad (1)$$

假设我们以某一时间间隔 Δ_t ,依次在 S_i 点上激发,并令 τ 为零炮检距上的反射波旅行时,那么式(1)就改写为

$$A(\tau) = \sum_{i=1}^n A(x_i, (\tau + (i-1)\Delta_t)). \quad (2)$$

这是一个平面波波场公式。

若波的传播速度为 v ,炮点间隔为 Δ_x ,则有如下关系:

$$\begin{aligned} v \cdot \Delta_t &= \Delta_x \cdot \sin \theta \\ \text{即 } \Delta_t &= \frac{\sin \theta}{v} \Delta_x, \end{aligned} \quad (3)$$

式中 θ —出射角。

根据斯奈尔定律,引入一个参量射线参数 p ,它在数值上等于视速度的倒数(称为慢度),在 (t, x) 域上是某一直线的斜率,于是式(2)可写为:

$$A(\tau_p) = \sum_{i=1}^n A[x_i, (\tau + p \cdot x_i)]. \quad (4)$$

式(4)就是 τ_p 变换公式。它表明在 (t, x) 域沿直线 $t = \tau_p x$ 将数据叠加,就可将数据从 (t, x) 转换到 (τ_p) 域。 τ_p 正变换的物理意义是将球面波分解成不同射线参数 p 的平面波的过程。 τ_p 反变换是在 (τ_p) 域沿其直线 $\tau = t - \tau_p x$ 进行叠加,就得

到 (t, x) 域数据,因此 $\tau-p$ 反变换的公式为:

$$A(x, t) = \sum_{i=1}^n A[\tau_p, (t + p_i x)]。 \quad (5)$$

为了防止假频等干扰,反变换之前首先要用滤波因子 $h(n)$ 对 $(\tau-p)$ 域数据进行滤波,滤波因子由下式给出。

$$h(n) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} |\omega| e^{-i\omega n} d\omega = \begin{cases} \frac{1}{4\pi} & n = 0 \\ 0 & n \text{ 为偶数} \\ -\frac{1}{\pi(n)} & n \text{ 为奇数} \end{cases} \quad (6)$$

3 $\tau-p$ 变换波场分离和干扰压制

$\tau-p$ 变换实际上是按波的到达方向对波场进行分离的,不同的 p 值代表不同方向的波,而 p 值的大小又和炮检距 x 、时间 t 及速度 v 有关。我们知道,在地震记录上,纵波、转换波、横波、面波的速度是不同的,出现和延续的炮检距和时间也是有区别的。据此通过选择 p 值的大小和范围,即可达到分离波场的目的。

在实际应用中, p 值主要通过地震记录上同相轴的视速度 v^* 来确定,即

$$\begin{aligned} p_{\min} &= \frac{\sin \theta}{v_{\max}} = \frac{1}{v_{\max}^*}, \\ p_{\max} &= \frac{\sin \theta}{v_{\min}} = \frac{1}{v_{\min}^*}. \end{aligned} \quad (7)$$

由于纵波、转换波、面波等的传播速度有较大差异,因而在地震记录上它们的视速度也存在较大差别。通过估算其视速度差异,选择 p 值范围,在原理上是可以将它们很好的分离的。实际上当地震记录的信噪比很低,这些规则波与随机噪音相比能量很弱时,则不容易很好分离。为此在波场分离之前,首先要做增强信噪比的工作。

p 值范围确定后,还要确定 p 的采样间隔 Δp 。 Δp 大小决定 $\tau-p$ 变换输出的道数,并影响假频的产生和信号的恢复。 Δp 的选择可参考如下表达式:

$$\Delta p = \frac{t_0^2}{2f_N(t_0^2 + x^2/v^2)^{3/2} \cdot \sin \theta} \quad (8)$$

式中 f_N ——奈奎斯特频率。

实际使用时, Δp 值要比式(8)计算出的 Δp 值要小,以尽量减小假频的产生,保证信号不失真的恢复。当然另一方面, Δp 值选得小, $\tau-p$ 变换输出道数增加,计算量也相应增加。因此 Δp 的选择,首先

要保证信号不失真,其次要考虑计算量的大小。

在用 $\tau-p$ 变换分离波场时,若有效波(如纵波)与规则干扰波(如转换波)速度差较小时,则要求 $\tau-p$ 变换有高的分辨率。因此 $\tau-p$ 变换也存在一个分辨率的问题。设在时空域中,同一时刻有两个方向不同的同相轴,它们的 p 值分别为 p_1 和 p_2 ,其差值为 $\Delta p_{12} = |p_1 - p_2|$,要在 $(\tau-p)$ 域中将这两个同相轴分辨出来所需要的最小 Δp_{12} 值,就称为 $\tau-p$ 变换的方向分辨率。借用光学仪器中的分辨率定义和瑞雷分辨率判据, $\tau-p$ 变换方向分辨率可由下式定义:

$$\Delta p_{12} = |p_1 - p_2| = \frac{1}{f \cdot N}, \quad (9)$$

式中 f ——地震信号分辨率;

N —— $\tau-p$ 变换求和道数。

4 $\tau-p$ 变换波场分离的效果

图 1 是 $\tau-p$ 变换波场分离的 Z 分量模型地震记录。比较图 1a 和 b 可见,面波和转换波已被分离出去。

图 2 是 $\tau-p$ 变换波场分离的 X 分量模型地震记录。比较图 2a 和 b 可见,面波和纵波已被分离出去。

图 3 是安徽某测线经分量分离的三个分量炮集记录,图 4 是用 $\tau-p$ 变换进行波场分离后炮集记录。比较这些记录,同样可以看出,经 $\tau-p$ 变换后, Z 分量记录保存了纵波,分离出去了其它干扰波; X 分量记录和 Y 分量记录则保留了转换波和横波,而压制了其它干扰波。另外对比三个分量的 $\tau-p$ 变换处理前后的记录还可以看出信噪比也得到了进一步提高。

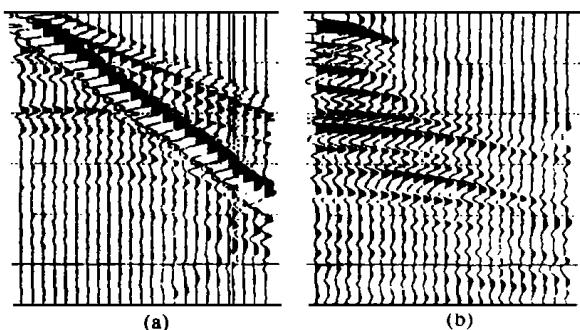
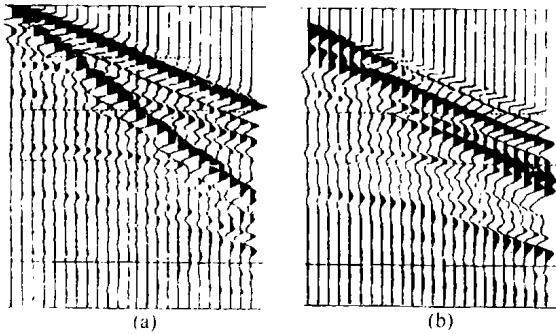


图 1 $\tau-p$ 变换波场分离 Z 分量模型记录
(a) — 分离前;(b) — 分离后

图 2 $\tau-p$ 变换波场分离 X 分量模型记录

(a) —— 分离前; (b) —— 分离后

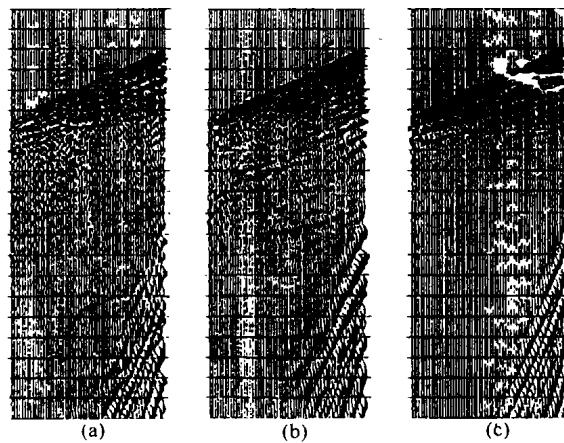
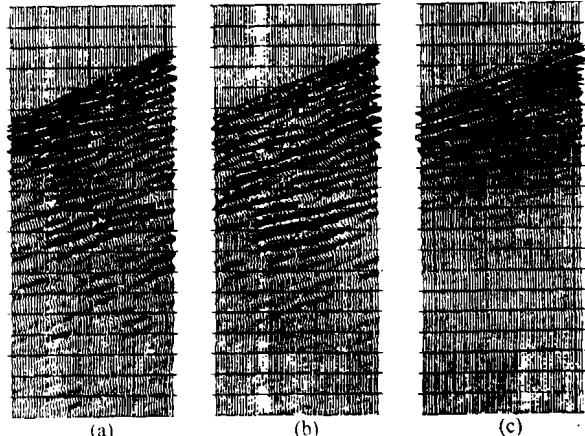


图 3 安徽某线单炮三分量地震记录

(a) —— X 分量; (b) —— Y 分量; (c) —— Z 分量

另外在多波地震勘探中,为了充分利用多种波的信息进行地质解释,有时需要从地震记录中单独提取出面波,而把纵波、横波等作为干扰分离出去。

图 4 图 3 经 $\tau-p$ 变换波场分离后的地震记录

(a) —— X 分量; (b) —— Y 分量; (c) —— Z 分量

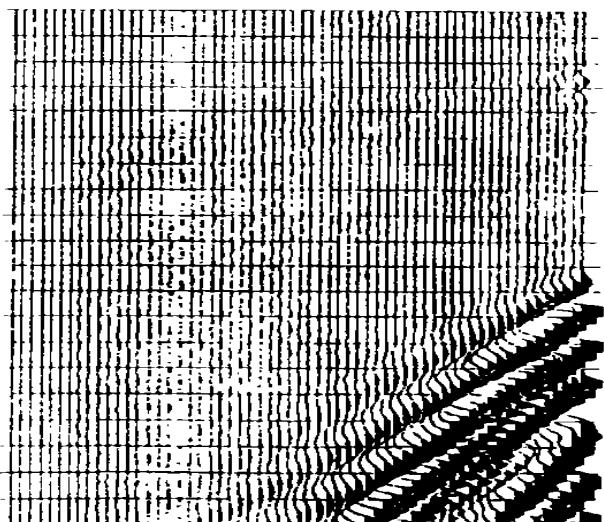
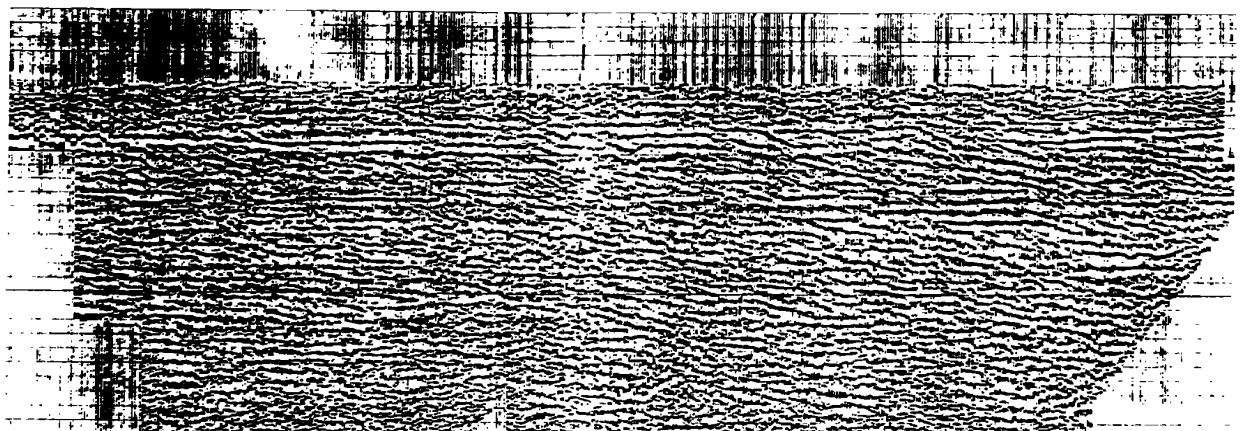
图 5 $\tau-p$ 变换波场分离对实际地震资料的瑞利波提取

图 6 安徽某线 X 分量波场分离前的地震剖面

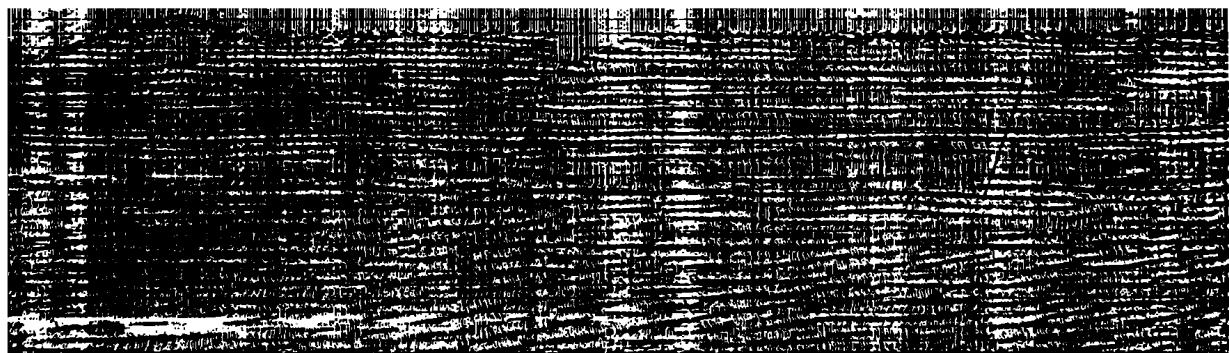


图 7 安徽某线 X 分量 $\tau-p$ 变换波场分离后的地震记录

这时提出的面波可作为瑞利波勘探的较纯瑞利波数据进行浅层地层探测;或者为深层纵波或横波勘探提供浅层速度资料和浅层深度变化资料,为静校正提供浅层数据。图 5 是用 $\tau-p$ 变换方法从实际地震资料 Z 分量数据中提取出的面波,显然图中只有扫帚状的以瑞利波为主的地滚波,其它波的能量微乎其微。

图 6 和图 7 是安徽某一多波地震测线的 X 分量经波场分离前后的叠加剖面。比较图 6 和图 7 可见,波场分离前干扰波强,同相轴不突出,不连贯,很难用于地质解释;而经波场分离后的剖面,有效波同相轴(0.4~1.0 s)突出,连续性好,背景干净,其它干扰波基本被消除。

5 结束语

通过研究和试验, $\tau-p$ 变换是实现多波地震波

场分离的一种有效技术。经模型记录和实际资料验证,其效果良好,而且运行速度快,是为多波地震勘探资料处理的关键技术,应用中应结合实际资料选择合适的 $\tau-p$ 参数,使处理效果更佳。

参考文献

- 1 Francois Glangeaud. 多分量地震中的面波识别及滤波 . 60th, SEG 年会论文集, 1990, 北京:石油工业出版社, 1992: 889~894
- 2 Robert H. Tatham. $\tau-p$ 变换在地震反射资料处理中的应用 . 横波勘探论文集, 北京:石油工业出版社, 1987: 162~183
- 3 徐志伟, 戚敬华. $\tau-p$ 变换技术及其在煤田地震资料处理中的应用前景 . 中国矿业大学学报, 1992;21(2): 82~89

(收稿日期 1998-04-16)

MULTIPLE-WAVE FIELD SEPARATION REALIZED BY $\tau-p$ TRANSFORM

Qi Jinghua Li ping (Xi'an Branch of China Coal Research Institute)

Abstract Based on the study of the wave field feature and the property in $\tau-p$ domain of space three components of multiple-wave seismic data, the wave field separation procedure using the $\tau-p$ transform technique is compiled. Selecting the suitable space and time $\tau-p$ parameters, the wave field separation is conducted for the mode and practical multiple-wave seismic data, and the satisfactory effect is obtained.

Keywords multiple-wave seismic exploration; $\tau-p$ transform; wave field separation