

利用正交多项式对三维地震资料拟合算法的研究

李 浩, 张燕梅

(中国地质大学(北京)信息工程学院, 北京 100083)

摘要:目前在地震勘探中经常采用的拟合方法多是二维的, 本文利用正交多项式的性质以及地震资料的相干性对地震资料进行三维拟合。该方法充分利用了三维地震资料, 提高了处理效率。

关键词: 三维地震资料; 正交多项式; 多项式拟合; 相干性

中图分类号: P631.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2009)02-0148-04

Research on Fitting Method of 3-D Seismic Data Using Orthogonal Polynomial

LI Hao, ZHANG Yan-mei

(Information Engineering College, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: Up to now the fitting method used in seismic exploration technology is still 2-D method. In this paper, the 3-D seismic data are fitted by using the orthogonal polynomials and corehences of seismic data, with the method we can make full use of 3-D seismic data and improve the data processing efficiency.

Key words: 3-D seismic data; Orthogonal polynomial; Polynomial fitting; Corehence

0 引言

在地震资料处理过程中, 常常采用拟合的方法来达到增强有效信号, 提高信噪比的目的。目前比较常用的拟合方法大多是在二维上进行处理操作的, 如二次多项式拟合。其中正交多项式拟合方法在实际项目中得到广泛应用。对于叠加剖面来说, 二维拟合的方法只能在纵测线方向或者是横测线方向单独进行处理, 而并不能对地震资料数据实现整体的拟合。这样往往会产生一些问题, 当地震资料的一个方向上进行拟合时, 可以使该方向的同相轴更加平滑, 但是会引起垂直于该方向的叠加剖面产生突跳现象, 也就是某些地震道的能量会突然上移或者下移, 形成一个垂直的断点, 这样就影响了剖面的效果。

基于上面提到的二维拟合产生的问题, 以及三维地震资料在地震勘探中的普遍使用, 全三维的处理方法就显得尤为重要。本文提出一种三维拟合的方法, 该方法基于地震道数据具有横向相干性的原理, 可以用波形相似性准则假设地震记录相位时间

横向变化可用一个二次多项式表示, 沿着相位时间变化的各道振幅变化也可用一个待定系数多项式表示, 通过多项式拟合求出地震信号相位时间, 标准波形和振幅加权系数, 然后将它们组合成拟合地震道, 拟合地震道与原始道混波后得到最终结果。

1 方法原理

1.1 时间多项式拟合

在三维地震资料上任取一个区域, 对该区域按照时间轴划分一系列的时窗。设某一时窗 D 内横测线方向有个 $2N+1$ 地震道, 纵测线方向有 $2M+1$ 个地震道, 对该时窗建立离散坐标系如下:

$$D = \{(x, y) \mid x \in [-M, M], y \in [-N, N], \\ x, y \text{ 为整数}\}$$

分别取 $[M, M]$ 与 $[-N, N]$ 上二次正交多项式

$$p_0(x) = 1, p_1(x) = x, p_2(x) = x^2 - \frac{1}{3}M(M+1) \\ x \in [-M, M];$$

收稿日期: 2008-12-17

基金项目: 国家 973 项目 (2006CB202302)

作者简介: 李 浩 (1983-), 男 (汉族), 山东烟台人, 研究生, 研究方向: 计算机应用技术, 地震资料数据处理。

$$q_0(y) = 1, q_1(y) = y, q_2(y) = y^2 - \frac{1}{3}N(N+1)$$

$$y \in [-N, N].$$

容易证明对于任意 $0 \leq i, j \leq 2$ 有

$$\sum_{x=-M}^M p_i(x)p_j(x) = \begin{cases} 0, & i \neq j \\ a_i > 0, & i = j \end{cases}$$

$$\sum_{y=-N}^N q_i(y)q_j(y) = \begin{cases} 0, & i \neq j \\ b_i > 0, & i = j \end{cases}$$

令

$$F = \{F_{ij} \mid F_{ij} = p_i q_j, 0 \leq i, j \leq 2\}$$

则 F 为 D 上的正交多项式集。

证:对于任意 $0 \leq i, j, k, l \leq 2$ 有

$$\sum_{x=-M}^M \sum_{y=-N}^N F_{ij}(x, y)F_{kl}(x, y) =$$

$$\sum_{x=-M}^M p_i(x)p_k(x) \sum_{y=-N}^N q_j(y)q_l(y) =$$

$$\begin{cases} 0, & i \neq k \text{ 或 } j \neq l \\ a_i b_j > 0, & i = k \text{ 且 } j = l \end{cases}$$

故 F 为 D 上的正交多项式集。

令 $G = \{G_i \mid 0 \leq i \leq 8\} = F$, 易知 G 为 D 上最高次为四次的正交多项式集。将 G 中元素展开如下:

$$G_0 = 1, G_1 = x, G_2 = y, G_3 = xy,$$

$$G_4 = x^2 - \frac{1}{3}M(M+1), G_5 = x^2 - \frac{1}{3}N(N+1),$$

$$G_6 = x^2 y - \frac{M(M+1)}{3}y, G_7 = xy^2 - \frac{N(N+1)}{3}x,$$

$$G_8 = x^2 y^2 - \frac{1}{3}(N(N+1)x^2 + M(M+1)y^2) +$$

$$\frac{1}{9}MN(M+1)(N+1),$$

设时窗 D 上的多项式拟合如下:

$$t = \sum_{i=0}^8 c_i G_i = c_0 + \sum_{i=1}^8 c_i G_i$$

由于 G 为正交函数集,故可用独立扫描的方法求得拟合系数 c_i ,从而大大简化了计算。按照一定步长滑动时窗便可求出各个时窗内的多项式系数。

1.2 振幅的求取

在每个时窗内各点的输出振幅通过对原始振幅的加权叠加得到,具体公式如下:

$$A_{ij} = \sum_{k=-M}^M \sum_{l=-N}^N W_{ijkl} B_{kl}$$

其中 A_{ij} 表示坐标为 (i, j) 点的输出振幅; W_{ijkl} 为点 (k, l) 对点 (i, j) 的加权系数,一般为两点距离 $d((k, l), (i, j))$ 的函数; B_{kl} 表示点 (k, l) 的原始振幅。

1.3 初始扫描范围的确定

初始扫描范围和扫描步长决定扫描的速度。我

们根据拟合数据的变化趋势来给定初始扫描的范围。具体实现过程为首先采用人工交互的方法沿所要拟合数据信号同相轴或相干干扰的变化方向进行倾角拾取,建立信号或相干干扰的倾角变化场,即建立初始扫描范围的初始中心值,然后向中心值两边扩大一个小范围,形成整个处理数据的初始扫描范围。

此外也可采取根据地震数据变化最急剧区的视速度或所要拟合的相邻道时差给出最大可能的初始范围。

1.4 最佳拟合系数确定方法

和二维拟合类似,最佳拟合系数的确定采用相似性最大原则。设相关时窗长度为 $2L$, 采样时间间隔为 t_0 , 则相关样点所在的空间为

$$H = \{(x, y, t) \mid x \in [-M, M], y \in [-N, N],$$

$$t \in [-L, L]; x, y, \frac{t}{t_0} \text{ 为整数}\}$$

我们以 c_0 扫描为例来讨论最佳扫描值的确定方法。设 G_0 系数 c_0 的扫描范围为 $[N_1, N_2]$, 扫描步长为 Δc_0 , 则扫描范围为

$$c_0(i) = N_1 + i \times \Delta c_0 (i = 0, 1, \dots, (N_2 - N_1)/\Delta c_0)$$

由相似准则有

$$R(i) =$$

$$\sum_{j,k=-M}^M \sum_{m=-N}^N \frac{\sum_{t=-L}^L s(j, l, c_0(i) + t) \times s(k, m, c_0(i) + t)}{[\sum_{t=-L}^L s^2(j, l, c_0(i) + t) \times s^2(k, m, c_0(i) + t)]^{1/2}}$$

$R(i)$ 为拟合道互相关之和; $s(j, l, c_0(i) + t)$ 表示空间坐标为 $(j, l, c_0(i) + t)$ 样点值。

对于不同的 $c_0(i)$, 使 $R(i)$ 最大的 $c_0(i)$ 即是 G_0 的最佳拟合系数。

对于 G_p 的系数 c_p , 令 $F(x, y) = \sum_{q=0}^{p-1} c_q G_q(x, y) + c_p(i) G_p(x, y)$, $c_p(i)$ 同上定义。则 c_p 拟合道互相关之和为

$$R(i) =$$

$$\sum_{j,k=-M}^M \sum_{m=-N}^N \frac{\sum_{t=-L}^L s(j, l, F(j, l) + t) \times s(k, m, F(k, m) + t)}{[\sum_{t=-L}^L s^2(j, l, F(j, l) + t) \times s^2(k, m, F(k, m) + t)]^{1/2}}$$

对于不同的 $c_p(i)$, 使 $R(i)$ 最大的 $c_p(i)$ 即是 G_p 的最佳拟合系数。

1.5 扫描的细化

我们仍以 c_0 扫描为例。在初始范围内可能会出现串相位从而导致 $R(i)$ 多极值的问题, 但由连续

性理论知存在足够小的邻域使 $R(i)$ 单极值。设 $c_0(i)$ 使 $R(i)$ 最大,且在 $(c_0(i)-a, c_0(i)+a)$ 中 $R(i)$ 取单极值,我们需要对扫描进行细化从而求得更好的结果,具体方法为二分法。设扫描范围为 $[c_0(i)-d, c_0(i)+d]$, 扫描步长为 Δc_0 , 则有以下公式:

$$d = \Delta c_0^{-1} \quad (1)$$

$$\Delta c_0 = \frac{d}{2} \quad (2)$$

Δc_0^{-1} 为前次扫描步长。易知区间为 $[c_0(i)-d, c_0(i)+d]$ 上有5个取值点, $R(i)$ 对应应有5个值。取使 $R(i)$ 取最大值的点作为新的 $c_0(i)$, 按式(1)、(2)确定扫描范围与扫描步长继续扫描。

具体实现过程如下:

(1) 以初始扫描区间 $[N_1, N_2]$ 扫描 c_0 , 确定使 $R(i)$ 为单极值的区间。

(2) 在新的扫描区间, 应用式(1)、(2) 计算扫描范围和扫描步长。

(3) 若在某一扫描区间, $R(i)$ 各扫描值相同扫描达到极限精度, 扫描终止。也可以初始设定一个初值 δ , 若 $R(i)$ 在该区间的最大最小值之差小于 δ , 扫描终止。其余的 $c_i (1 \leq i \leq 8)$ 的细化扫描与 c_0 相似, 不过为保证精度扫描步长取得短些。

1.6 拟合中心不变算法

由于多项式集 G 中的 G_4, G_5, G_8 含有常数项, 所以在拟合过程中拟合中心随多项式系数变化而变化, 当地震数据的时空变化很剧烈的时候误差将会比较大。因此我们可以对原算法进行改进: 取正交多项式集 $G' = \{G_0, G_1, G_2, G_3, G_6, G_7\}$, 其时间拟合

为

$$t = \sum_{i=0}^4 c_i G'_i = c_0 + \sum_{i=1}^4 c_i G'_i$$

由于 G_1, G_2, G_3, G_6, G_7 均不含常数项, 故 c_0 作为拟合中心是不变的, 可以有效地降低 G 作为拟合多项式拟合中心不定而产生的误差。和 G 相似, 我们可以给出 G' 的具体拟合算法。但是我们注意到由于 G' 精度不如 G 的高, 这也会降低 G' 的拟合效果。所以在实际过程中应该根据情况选择合适的拟合多项式。

2 应用实例效果分析

为了检验上述方法的有效性, 我们在华北油田某区块的三维叠后资料上做了实验。首先对该区块的原始资料做纵测线方向的常规二维拟合, 然后再运用本方法做纵测线方向的三维拟合。最后分别截取横测线方向的剖面进行对比。

图1是原始资料的横测线方向的叠加剖面, 图2是在纵测线方向做了常规二维拟合后横测线方向的叠加剖面, 图3是在纵测线方向做了三维拟合后横测线方向的叠加剖面。

以上三张图片的纵向表示地震剖面的时间深度, 单位是毫秒, 横向表示对该地区地震资料数据进行处理时规定的共中心点的线号。

对这三张叠加剖面图进行分析: 与图1相比, 图2和图3中同相轴的连续性都有比较明显的改善, 但是图2中的同相轴有明显的突跳出现, 这种突跳现象破坏了整张剖面的效果, 降低了剖面的质量, 这

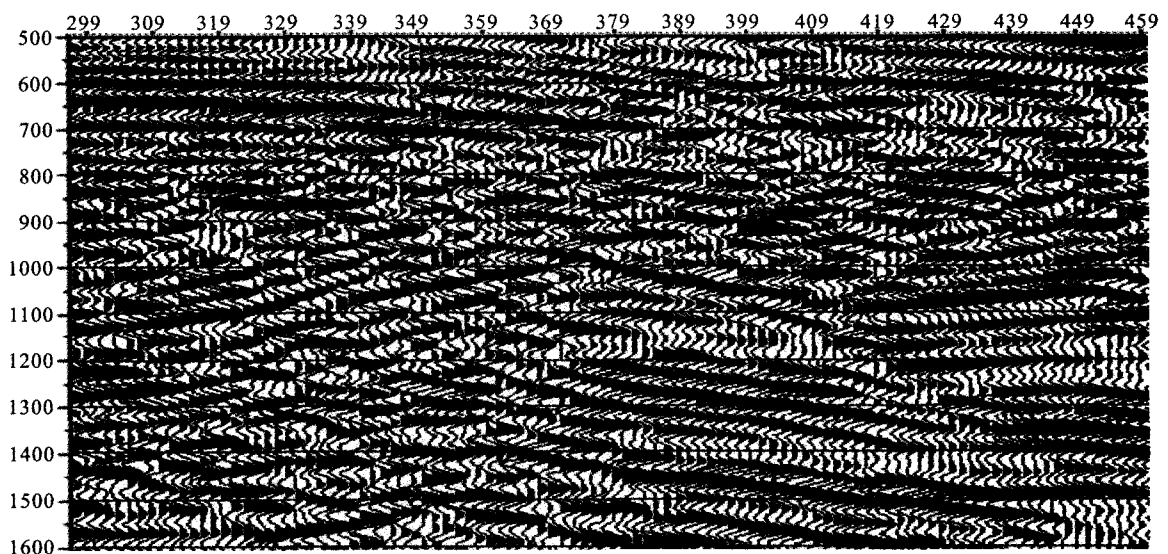


图1 原始叠加剖面

Fig. 1 The original section.

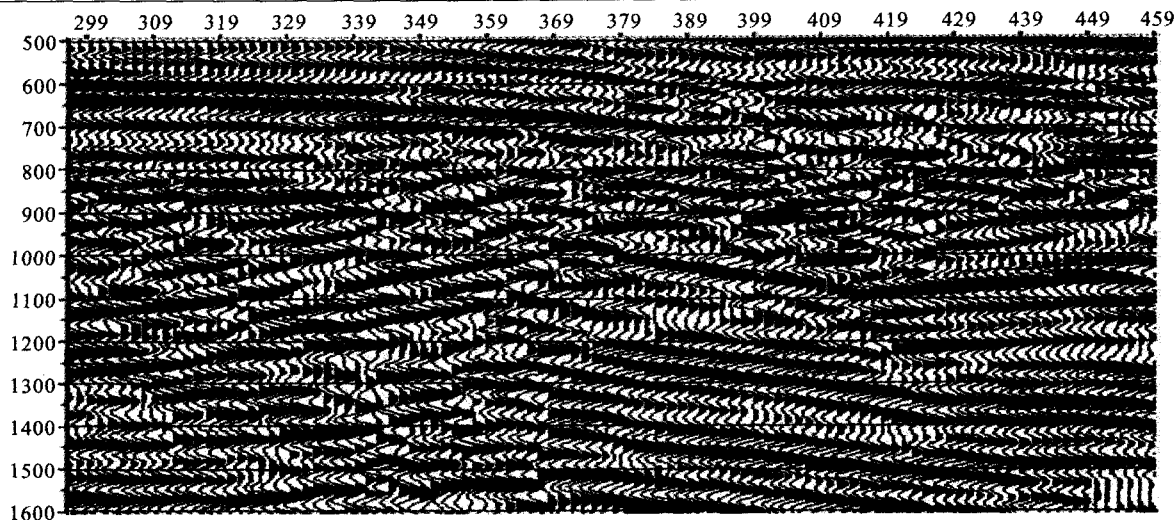


图2 常规二维拟合叠加剖面

Fig. 2 The conventional 2-D fitting section.

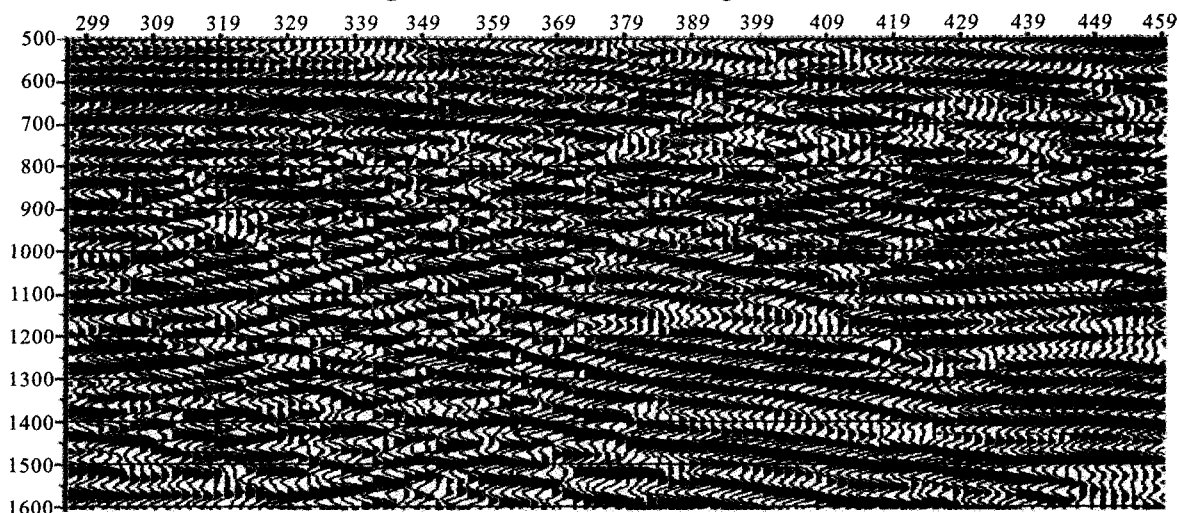


图3 三维拟合叠加剖面

Fig. 3 3-D fitting section.

也是常规二维拟合经常出现的问题。而图3却没有这种突跳现象,这说明了本文的三维拟合方法能够有效地提高地震资料剖面的质量,对地震资料的精细处理有明显的帮助。

3 结论

本文提出了一种三维地震资料拟合方法,首先通过地震资料相邻道的相关性,利用相关准则获得同相轴拟合方向,然后利用正交多项式对空间选取的离散采样点进行三维拟合。通过对某油田勘探区块进行的三维叠后数据的实验我们可以看出,三维拟合不但能够提高同相轴的连续性,而且有效地解决了传统二维拟合后叠加剖面产生突跳现象的缺陷,提高了叠加剖面的质量。

该方法只是在一个地区做了实验,取得比较好的效果,还需要在其他地区进行进一步的实验以确认是否具有普遍适用性。另外,由于拟合而产生的误差是否会对地震资料的解释工作产生影响还需要进行更加深入的研究。

【参考文献】

- [1] 李滔,马建新. 地震拟合相关系数在青海地区地震预报中的应用[J]. 西北地震学报, 2008, 30(2): 184-188.
- [2] 卢育霞,王振明,王兰民,等. 兰州盆地活断层的高分辨率浅层地震勘探技术[J]. 西北地震学报, 2008, 30(4): 344-353.
- [3] 俞寿朋,等. 拟合零炮检距剖面与分辨率[J]. 石油地球物理勘探, 1995, 30(2): 168-180.
- [4] 刘洋,李承楚. 地震资料信噪比估计的几种方法[J]. 石油地球物理勘探, 1997, 32(2): 257-262.