

一种有效的速度分析方法

王立明¹, 刘保华^{1,2}, 李庆春¹

(1 长安大学 地质工程与测绘学院, 陕西 西安 710054; 2 国家海洋局 第一海洋研究所, 山东 青岛 266061)

摘要: 如何得到高分辨率的叠加速度谱是高分辨率地震资料处理的关键。在常规速度分析基础上, 介绍了自助速度分析法, 它可以很大程度地提高叠加速度谱分辨率。理论及实例证明, 该方法具有分辨率高、稳定性强的特点, 提高了速度估算精度, 特别在中浅层、大偏移距或薄层的情况下, 也有很高的分辨率。得到的速度为后续步骤的工作顺利进行提供了保障。

关键词: 高分辨率; 自助法; 统计分布; 地震数据处理

中图分类号: P631.44 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2008)01-0080-03

An Effective Method of Velocity Analysis

WANG Li-ming¹, LIU Bao-hua^{1,2}, LI Qing-chun¹

(1 School of Geological Engineering and Surveying, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

2 First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration of China, Qingdao 266061, Shandong, China)

Abstract How to obtain high resolution P-wave velocities is a key in the seismic data processing. Based on conventional velocity analysis, the bootstrap procedure introduced is a computer-intensive technique for assigning measures of accuracy to statistical estimates. The method can greatly improve resolution of the velocity spectra. The tests of synthetic model and processing of real data show that this method has high resolution and robust stability, which may increase the calculating accuracy of the velocity spectra. Therefore, the picking velocities can ensure the latter processing.

Key words: high resolution; bootstrap procedure; statistical estimates; seismic data enhancement

0 引言

速度分析是地震资料处理和解释中非常重要的关键技术, 拾取的速度参数提供了关于构造和岩性有价值的信息, 因此, 获取准确的速度参数是正确处理 and 解释地震资料的中心问题。

常规的速度分析^[1]是基于 CDP 道集上沿双曲线所取得时窗内的多道互相关, 反映窗口内信号叠加能量的变化, 没有考虑相近或干涉同相轴、剩余静校正、非双曲线型时差等有关的噪声及非随机噪声的影响。自助法能较好地解决这些问题。

最初应用自助法^[2]是在统计学中对所给数据进行统计估计的精确分布方法。该法是对实际数

据重新进行随机抽样, 得到多组数据集, 通过这些数据的单独误差, 可计算出标准误差, 从而找到最优的数据^[3-4]。自助法速度分析的相关技术是源于数据协方差本征值^[5]。利用自助法, 根据相关的标准误差, 就可精确地拾取到速度。

1 原理方法

在均方根速度概念下, CMP 道集的 P-P 反射波时距曲线方程为

$$t_p = \sqrt{t_0^2 + \frac{4h^2}{v_p^2}} \quad (1)$$

式中: t_p 为纵波走时; t_0 为零炮检距 P-P 波双程走时; h 为半炮检距; v_p 为同一反射深度上的纵波速度。

收稿日期: 2007-03-26

作者简介: 王立明(1978-), 男, 浙江文成人, 博士研究生, 从事地震勘探资料处理研究。E-mail: wlming78@163.com

©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

假设任给一试速度 v , 根据式(1)的时距曲线, 可得到以截距时间 t_0 和速度 v 为中心的数据时窗长度 $2m+1$, 表达形式为

$$Y(t_0, v) = (X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_N)^T \quad (2)$$
式中: $X_i = (x_{i, t_0-m\Delta t}, \dots, x_{i, t_0}, \dots, x_{i, t_0+m\Delta t})$, ($i=1, 2, \dots, N$); N 表示总共的行数; $x_{j, t_0+k\Delta t}$ 表示时间样点 $t_0+k\Delta t$ 时 j 道地震道的振幅值。

由此, 可得到协方差矩阵

$$R(t_0, v) = \frac{1}{2m+1} X(t_0, v) X^T(t_0, v) = (R_1, R_2, \dots, R_i, \dots, R_N)^T \quad (3)$$

式中: $R_i = (r_{i, t_0-m\Delta t}, \dots, r_{i, t_0+j\Delta t}, \dots, r_{i, t_0+m\Delta t})$, ($i=1, 2, \dots, N$; $j=-m, -m+1, \dots, m$)。

对 R_i 中的数据进行随机抽样

$$C_{i, t_0+k\Delta t}(t_0, v) = r_{i, t_0+k\Delta t} \quad (i=1, 2, \dots, B)$$

式中: k 是随机自然数, 取值范围为 $[-m, m]$ 。

共有 B 组, 写成矩阵形式

$$Q(t_0, v) = (C_1, C_2, \dots, C_i, \dots, C_B)^T \quad (4)$$

式中: $C_i = (c_{i, t_0-m\Delta t}, \dots, c_{i, t_0+j\Delta t}, \dots, c_{i, t_0+m\Delta t})$, ($i=1, 2, \dots, B$; $j=-m, -m+1, \dots, m$)。

通过这些数据, 可以估计出 B 个速度估计值 $v^*(t_0)_1, v^*(t_0)_2, \dots, v^*(t_0)_B$, 从而求得速度平均值 $v(t_0)_{av}$ 及其速度误差 $\sigma(t_0)$ 为^[6]

$$v(t_0)_{av} = \frac{1}{B} \sum_{i=1}^B v_i(t_0) \quad (5)$$

$$\sigma(t_0) = \sqrt{\frac{1}{B-1} \sum_{i=1}^B [v_i^*(t_0) - v_{av}]^2} \quad (6)$$

自助法中的速度估计值也可以用能量平均值 $C(t_0)_{av}$ 代替, 计算式为^[6]

$$C(t_0)_{av} = \frac{1}{B} \sum_{i=1}^B C_i(t_0, v) \quad (7)$$

2 自助法的实现

- 实现求取纵波的速度分析方法如下^[7]:
- (1) 给定已知 CDP 点号数据、纵波叠加速度值 v 的范围及抽样组数 B 。
 - (2) 用不同的试速度值 v 在给定的 CDP 点上速度由小到大增量进行双曲线扫描。
 - (3) 在固定速度值 v 循环 CDP 点号上的不同道时, 根据式(1)计算出这一道上的每一点纵波的零炮检距走时 t_0 。
 - (4) 得到了与 t_0 对应的振幅值, 用时窗长度为 $2m+1$, 对其进行随机抽样组成 B 组数据 $Q(t_0, v)$ 。

- (5) 利用式(5)、(6)对矩阵 $Q(t_0, v)$ 的每行求标准误差 $\sigma(t_0)$, 共 N 行。
- (6) 在 N 个标准误差中, 找到最小标准误差 $\sigma(t_0)_{\min}$, 那么与这最小标准误差对应的值 $v^*(t_0)_{av}$, 代替原来的值 $v_i(t_0, v)$ 。
- (7) 循环(4)~(6)。
- (8) 循环(3)、(7)。
- (9) 循环(2)、(8)。
- (10) 将不同纵波叠加速度 v 和 t_0 所对应的能量值 UC_{∞} 以等值线或曲线方式进行显示, 就得到纵波速度谱。

3 理论模型试验

测试模型有 5 层水平反射层。生成参数为总炮数 140 炮, 每炮接收道数 120 道; 炮距 20 m, 道间距 20 m; 采样率 2 ms, 总采样时间长度 2 000 ms, 最大偏移距为 3 000 m。模型层厚度和速度见表 1。

表 1 理论模型参数
Tab. 1 Theoretical Modal Parameters

模型层数	地层厚度/m	层速度/(m°s ⁻¹)	叠加速度/(m°s ⁻¹)
1	400	2 000	2 000
2	310	2 600	2 243
3	90	3 000	2 318
4	110	3 400	2 428
5	290	3 800	2 705

图 1 为理论模型得到的一个 CDP 道集, 共 120 道, 模型中, 2~4 层为薄层。图 2a 中的速度谱是用传统速度分析获得的。从图中可以看出, 第 1 层和第 5 层的能量团比较大, 没能很好地汇聚, 拾取的

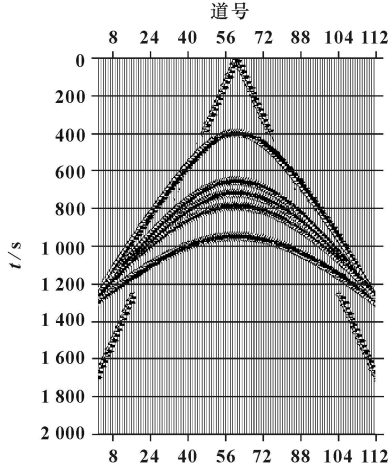


图 1 CDP 道集

Fig. 1 CDP Collection

速度精度低;第1层的能量弱,图右侧的能量曲线也反映了这点。特别是中间的3层薄层,能量团都粘在一起,很难分辨;从能量曲线上看,变成了只有一个峰值。用自助法获得的速度谱(图2b),每层能量团能很好地聚集,与传统方法相比,谱能量强,速度谱右侧的能量曲线变化作了很好地说明,保证了拾取到准确的速度。尤其在3层薄层中,传统方法得到的能量团不能分辨,用自助法后,却能很好地分开,并且每个能量团还很强;能量曲线上可以看到3个薄层对应的峰值。

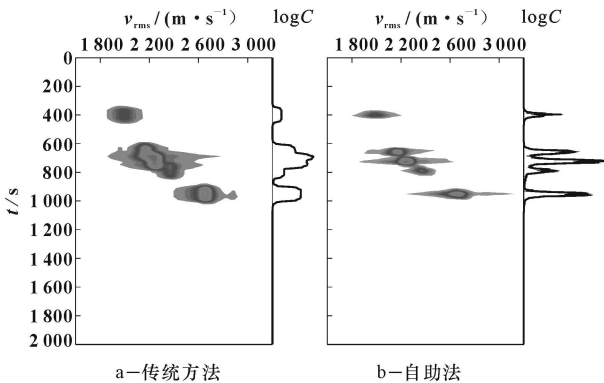


图2 速度谱和能量曲线对数

Fig.2 Velocity Spectra and Energy Curve log

4 资料处理效果

用某浅海采集的海底电缆地震纵波实际资料进行了试处理。图3是抽道集后得到的一个CDP道集,共105道。

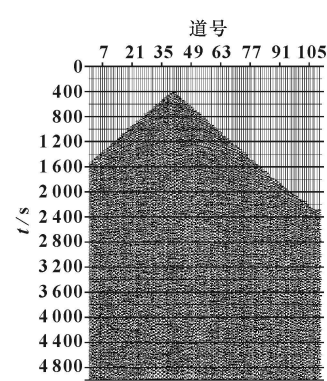


图3 CDP道集

Fig.3 CDP Collection

传统方法求得的速度谱都粘在一起,很难分辨,用自助法能很清晰的把能量团分开,分辨非常高,保

证了在薄层间也能很好地拾取到精确速度。

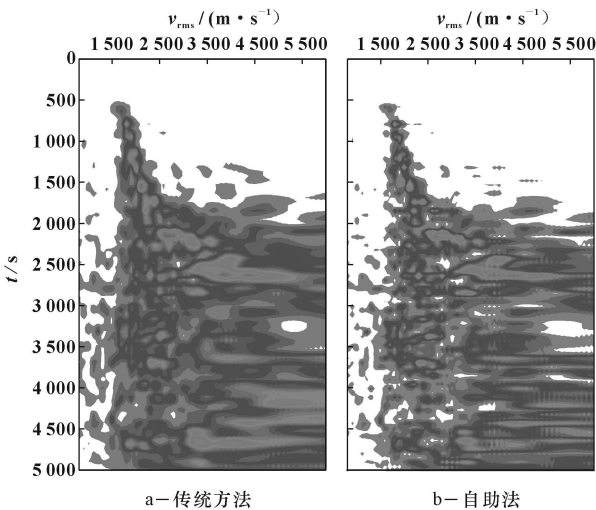


图4 速度谱

Fig.4 Velocity Spectra

5 结语

理论测试和实际资料试处理表明,自助法速度分析通过估计地震速度的误差和相关技术可以大大提高速度谱的分辨率。但由于要产生额外的自助道B,在运算上要比传统方法多花一些时间。对于叠前偏移,有针对性的目标层或是存在薄层的情况下,要获得精度高的速度,自助法速度分析是个很好地选择。

参考文献:

[1] Neidell N S, Taner M T. Semblance and Other Coherency Measures for Multichannel Data[J]. Geophysics, 1971, 36: 482-497.

[2] Efron B. Bootstrap Methods: Another Look at the Jackknife[J]. Ann Statist, 1979, 7: 1-26.

[3] Efron B, Tibshirani R. An Introduction to the Bootstrap Method[M]. New York: Chapman and Hall, 1993.

[4] Key S C, Smithson S B. New Approach to Seismic-Reflection Event Detection and Velocity Determination[J]. Geophysics, 1990, 55(10): 1057-1069.

[5] Mauricio D S. A Bootstrap Procedure for High-Resolution Velocity Analysis[J]. Geophysics, 1998, 63: 1716-1725.

[6] Silverman B W. Density Estimation for Statistics and Data Analysis[M]. New York: Chapman and Hall, 1986.

[7] 黄得济, 贺振华, 包吉山. 地震勘探资料数据处理[M]. 北京: 地质出版社, 1990.