

②

190-192

小波变换地震反演方法

P631.4

周彤 冯宏伟

(西北大学计算机科学系, 710069, 西安; 第一作者 27岁, 男, 硕士)

A 摘要 提出了一种利用小波变换方法提高地震剖面的分辨率, 进而更有效地进行波阻抗反演的新思路。根据小波变换的特点, 对测井资料进行小波分解, 对分解结果的各个频段进行组合, 寻找与井旁道接近的组合方案, 从而得到大地滤波因子, 将此滤波因子作用于其他各道, 得到对应于该道的反射系数, 进而求得波阻抗的值。

关键词 小波变换; 地震反演; 声波测井

分类号 TN911.6

地震勘探

在地震勘探领域, 目前常用的地震道反演方法有合成声波测井、线性规划反演、广义反演、层析成像、散射反演及波动方程反演等。其中合成声波测井方法运用最广, 目前最为实用。

合成声波测井技术实质上是一种波阻抗或速度转换技术, 基本手段是子波反褶积, 但由于子波估计不精确, 最后获得的波阻抗或层速度带有较大的不稳定性, 与测井波阻抗或层速度的相关性更差。另外, 由于子波恢复不精确, 子波反褶积结果难以得到期望的反射系数脉冲序列 r_i , 而只能是它的估计 \hat{r}_i , 这种估计也就不可能是宽带的, 只能是限带的, 而这种带限本身就反映了地震道本身的限带性质。提高合成声波测井技术效果的关键是得到高分辨率和高质量的反射系数序列。

1 小波变换地震反演方法

1.1 概述

小波变换是一种能同时在时间和频率域内进行局部化分析的新的信号分析方法。能对高频成分采用逐渐精细的时域采样步长, 从而可以聚焦到信号的任意细节。因此, 小波变换被称为“数学显微镜”。采用小波变换对地震资料进行处理, 有可能更有效地提高信号的分辨率, 进而更有效地进行反演处理。

1.2 小波变换理论

小波分析的基本思想是用一族函数去表示或逼近一信号或函数, 这一族函数被称为小波函数系。它是通过一个基本小波函数的不同尺度的平移和伸缩构成。

二进小波变换是由单一函数 $\psi(x)$ 经伸缩与平移而产生的一组函数

$$\psi_{j,n} = 2^{jn} \psi(2^j t - n), \quad (j, n \in \mathbb{Z}),$$

对任意平方可积函数 $f(t)$, 其小波变换 $D_{j,n}(f)$ 定义为:

$$D_{j,n}(f) = \langle f(t), \psi_{j,n}(t) \rangle_{L^2} = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi_{j,n}(t) dt.$$

相反, 信号 $f(t)$ 也可以由所有尺度下的小波信号经线性叠加而恢复, 这一逆过程表示为:

$$f(t) = \sum_j D_{j,n}(f) \psi_{j,n}(t),$$

要从分解信号中完全重建原始信号,小波函数应满足条件:

$$\sum_{-\infty}^{+\infty} |\hat{\psi}(2^j \omega)|^2 = 1,$$

式中, $\hat{\psi}(\omega)$ 是 $\psi(t)$ 的傅里叶变换。

实际应用中,经常使用离散正交二进小波变换,这种变换存在快速算法,即 Mallat 塔式分解、重构算法,它在小波分析中的地位相当于 FFT 在经典傅里叶分析中的地位,该算法用一个低通滤波器 H 和带通滤波器 G 对原始数据进行逐步分层分解。计算公式如下:

(1) 分解算法: $S_j^2 f = S_{j-1}^2 f * H_{j-1}$; $S_j^2 f = S_{j-1}^2 f * G_{j-1}$, 其中 $S_j^2 f = \{f * \varphi(2^j n)\}_{n \in Z} = \{d_n\}_{n \in Z}$,

(2) 重构算法: $S_j^2 S_{j-1}^{-2} f = S_j^2 f * \tilde{H}_{j-1} + W_j^2 f * \tilde{G}_{j-1}$,

其中, j 代表尺度, W 代表对应于不同尺度的小波分量序号, S 代表对应于不同尺度的“模糊”分量序列(也称为剩余分量序列), $S_j^2 f$ 为原始信号经离散化后的结果, H 为尺度分解算子, G 为小波分解算子, \tilde{H} , \tilde{G} 分别为 H, G 的共轭算子。

1.3 小波变换地震反演方法

小波变换用于地震反演,具有傅里叶变换所不具备的优越性。

1.3.1 物理意义 小波变换相当于带通滤波器,把信号分解成很多频带,这样,一方面我们可以更方便地对信号进行分频带处理,而分频处理对于提高信号的分辨率具有较好的效果;另一方面,我们可以自由地选择滤波档以便对地震信号的某些细节进行精细处理。

1.3.2 地震道的褶积模型 大地滤波器也相当于一个带通滤波器。因此,小波分解并比较相似的过程实际上是以一系列带通滤波器来模拟大地滤波器的过程。小波重构的过程也就相当于消除带通滤波器的影响即反褶积的过程。通过小波变换,可能得到高分辨率的反射系数剖面。

1.3.3 低频速度模型 在通过对测井层速度进行滤波,进而求取层速度的低频成分的过程中,采用小波变换方法进行滤波,用户可以灵活地选择滤波档,并且没有边界效应和截断效应,因而可得精确的低频速度模型。小波变换反演方法的实现思路如下:

(1) 对测井反射系数进行小波分解。

(2) 对分解后的各个频段进行组合重构,分别判断重构结果与井旁地震道的相似性,循环此工作,直至找到一组组合,使其重构结果与井旁道的差别足够小为止。这时,该组合即为所求的大地滤波因子(如图 1)。

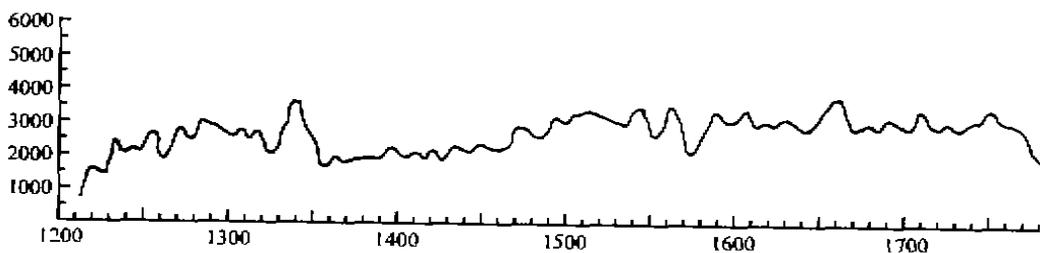


图 1 井旁道反演结果

Fig1. Inversion Interval Velocity

(3) 将所求的大地滤波因子作用于各个地震道,求得对应于该道的反射系数序列。

(4) 对该反射系数序列通过递推公式计算可得波阻抗,进而求得层速度、密度以及其他有关参数。

2 效果分析

根据本文所提出的方法,对井旁地震道进行了反演,小波函数采用了文献 1 中的函数,将反演结果同声波测井层速度进行比较,如图 1,图 2 所示。从图中可以看出,二者非常相似,证明该方法能够较准确地对地震记录进行的反演。

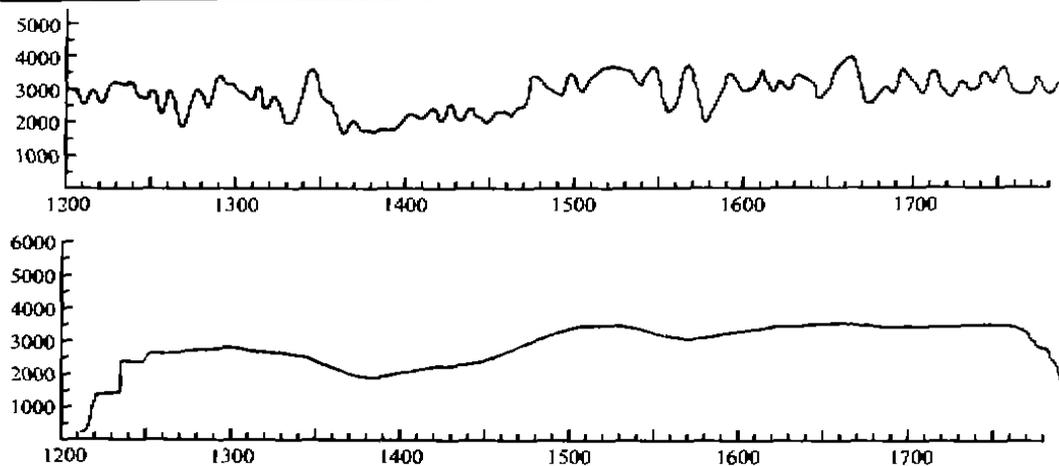


图 2 测井层速度及其经小波分解得到的层速度的低频成分

Fig. 2 Log Interval Velocity and it's Low-freq Velocity

3 结束语

本文对小波分析在地震勘探中的应用作了初步探讨,并提出了一种利用小波变换解决地震反演问题的新思路。该方法具有以下优点:

(1) 通过该方法产生的反射系数序列是宽频带的,分辨率很高,因而有可能得到较精确的反演结果。

(2) 算法简单,整个算法完全是基于小波分解与合成,而小波分解合成的运算又与输入数据量成线性关系,因而运算简单、高效。

目前,该方法是基于离散正交二进小波变换,若使用小波包算法,可望得到更精确的反射系数序列,从而进一步提高反演效果。

参 考 文 献

- 1 秦前清,杨宗凯. 实用小波分析. 西安:西安电子科技大学出版社,1994
- 2 焦李成. 神经网络应用与实现. 西安:西安电子科技大学出版社,1993
- 3 黄绪德. 反褶积与地震道反演. 北京:石油工业出版社,1992

责任编辑 张素敏

Wavelet Transform Seismic Inversion Method

Zhou Tong Feng Hongwei

(Department of Computer Science, Northwest University, 710069, Xi'an)

Abstract A new method of using wavelet transform to improve resolution of seismic data is presented, and thus the seismic inversion is performed more effectively. According to the useful characteristics of wavelet transform, the log data is first decomposed, then every spectrum of the result of decomposition is reconstructed and one group that is most similar to the seismic trace corresponding to the log is looked for. After that this group of spectrum is used to reconstruct reflection coefficients combine with seismic data and compute impedance finally.

Key words wavelet transform; seismic inverison; sound wave log