

基于小波分析的瞬变电磁信号消噪

张书凡, 张宁, 刘鸿福

(太原理工大学, 山西 太原 030024)

摘要: 密集采样的瞬变电磁信号其中晚期信号一般较弱, 常规的滤波方法有时难以取得好的效果。应用多尺度小波分析方法进行瞬变电磁信号的去噪处理, 可有效地区分有用信号与干扰噪声, 经试算得到了比较满意的去噪效果, 是一种瞬变电磁信号去噪的可行实用的方法。

关键词: 小波分析; 瞬变电磁; 时频分析; 衰减曲线; 信号消噪

中图分类号: P631

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2007)S0-0063-03

瞬变电磁法是利用阶跃形波电磁脉冲激发, 向地下发射一次场, 在一次场断电后, 测量由地下介质产生的感应二次场随时间的变化, 来达到寻找各种地下目标体的一种地球物理勘探方法^[1]。

随着电子信息产业的快速发展, 瞬变电磁密集采样设备已经出现。密集采样的瞬变电磁信号信噪比较低, 晚期数据振荡剧烈, 这对传统的数据处理方法提出了严峻的挑战。

1 问题的提出

瞬变电磁(TEM)观测的是二次场, 信号弱, 噪声水平相对偏高, 尤其是在众多的工程物探应用中, 人文干扰更为严重。虽然这一问题可通过数据采集的多次叠加及抗干扰装置等手段得到一定的克服, 但却不可能完全解决; 再则, 在TEM观测中有时存在着非涡流因素直接引起的瞬变响应, 其“响应”的结果使异常复杂化, 甚至出现负响应, 而这些可能导致反演计算无法正常进行, 为此, 必须对其进行消噪处理^[2]。

这种情况的消噪, 用传统的傅里叶变换显得无能为力。傅里叶变换时丢掉了时间信息, 无法判断一个特定信号在什么时候发生。也就是说傅里叶变换是一种纯频域的分析方法, 它在频率域的定位是完全准确的, 而在时间域没有分辨能力。瞬变电磁测深中, 我们得到的是瞬变动态的信号, 它的频率特性是随时间变化的, 对这一类时变信号分析, 通常需要进行联合时频分析。

小波变换由于能同时在时域和频域中对信号进行分析, 有自动变焦的功能, 所以它能有效地区分

信号中的突变部分和噪声, 从而实现信号的消噪。

2 信号消噪原理与步骤

2.1 小波变换

小波变换是一种信号的时间—尺度(时间—频率)分析方法。它具有多分辨分析的特点, 而且在时、频两域中都具有表征信号局部特性的能力, 是一种窗口大小固定不变、但其形状可改变、时间窗和频率窗都可以改变的时频局部化分析方法。它在低频部分具有较高的频率分辨率和较低的时间分辨率; 在高频部分具有较高的时间分辨率和较低的频率分辨率。这很适合于探测正常信号中夹带的瞬态反常现象, 并展示其成分, 所以被誉为分析信号的显微镜。这正符合低频信号变化缓慢而高频信号变化迅速的特点, 这也正是小波变换优于经典的傅里叶变换和短时傅里叶变换的地方。适合用小波变换进行分析的信号应该具有不稳定性, 尤其是对于那些急剧变化的、高度不稳定信号的效果较好。正是基于这个特点, 小波变换在信号消噪、弱信号的提取以及信号奇异性分析方面效果显著。

$f(t) \in L^2(R)$ 的连续小波变换定义为

$$Wf(u, s) = \langle f, \varphi_{u,s} \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{s}} \varphi^*\left(\frac{t-u}{s}\right) ds,$$

其中, s 为尺度因子, $s \neq 0$; u 为平移因子。逆变换为

$$f(t) = \frac{1}{c_{\varphi}} \int_0^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} Wf(u, s) \frac{1}{\sqrt{s}} \varphi\left(\frac{t-u}{s}\right) du \frac{ds}{s^2}.$$

2.2 一维信号消噪过程

一个含噪声的一维信号的模型可以表示成

$$s(i) = f(i) + a \cdot e(i),$$

其中 $f(i)$ 为真实信号, $e(i)$ 为噪声信号, $s(i)$ 为含噪声信号。在这里, 以一个最简单的噪声模型详细加以说明, 即认为 $e(i)$ 为高斯白噪声, 满足 $N(0, 1)$, 噪声级为 1。在实际工作中, 有用信号通常表现为低频信号, 而噪声信号则通常表现为高频信号。所以信号消噪的过程可按如下方法进行处理: 首先对信号进行小波分解 (如进行三层分解, 分析过程如图 1 所示), 则噪声部分通常包含在 $cD1, cD2, cD3$ 中, 因而, 可以以门限阈值等形式对小波系数进行处理, 然后对信号进行重构以达到消噪的目的。对信号 $s(i)$ 消噪的目的就是要抑制信号中的噪声部分, 从而在 $s(i)$ 中恢复出真实信号 $f(i)$ 。

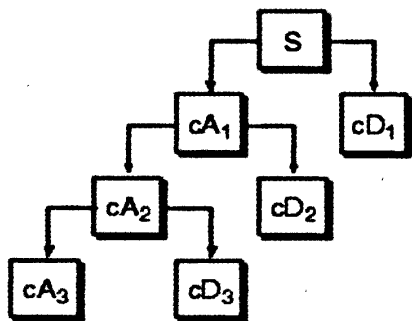


图 1 信号的小波分解示意

一般说来, 一维信号的消噪过程可以分为 3 个步骤进行:

(1) 一维信号的小波分解。选择 1 个小波并确定 1 个小波分解的层次 N , 然后对信号 s 进行 N 层小波分解。

(2) 小波分解高频系数的阈值量化。对第 1 到第 N 层的每一层高频系数, 选择 1 个阈值进行软阈值量化处理。

(3) 一维小波的重构。根据小波分解的第 N 层的低频系数和经过量化处理后的第 1 层到第 N 层的高频系数, 进行一维信号的小波重构。

3 信号消噪的应用

根据上述思路, 对山西晋城某采空区实际采集的数据进行了小波消噪处理, 得到了很好的效果 (图 2)。本次探测使用吉林大学研制、重庆地质仪器厂生产的 ATEMII 型瞬变电磁仪。实测信号在晚期振荡剧烈, 根本无法判断信号的趋势, 必须进行消噪处理。在 Matlab7.3.0 环境下调用小波函数编制了消噪程序。笔者在小波基函数的选取和阈值的设定方面, 用实测数据做了大量的实验, 结果表明用 sym6 小波消噪, 无论在对数曲线的主观视觉方面和能量误差方面都有较好的效果。

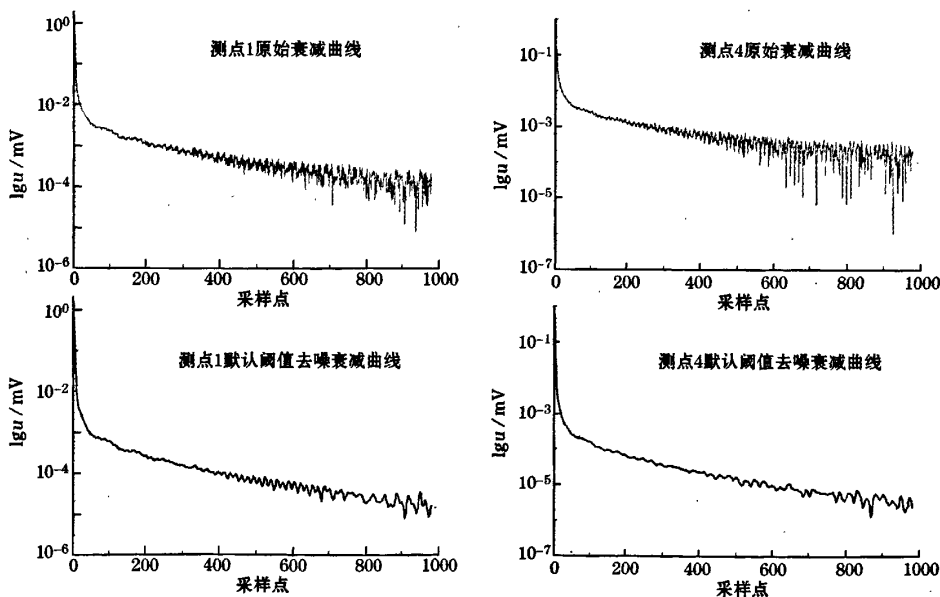


图 2 小波消噪处理前后的衰减曲线对比

4 结论

瞬变电磁信号具有非平稳特征, 小波变换作为

一种时频分析方法, 非常适合瞬变电磁信号中通常夹带瞬变反常干扰信号的消噪处理。实测资料的数据处理表明, 利用 Matlab 语言和小波工具箱, 对密

集采样的 TEM 信号进行小波消噪,能有效区分有用信号与干扰噪声。通过小波消噪处理,可为 TEM 解释工作提供更可靠的资料。

参考文献:

- [1] 朴化荣. 电磁测深法原理[M]. 北京:地质出版社,1990.
- [2] 杜庆丰,等. 瞬变电磁数据预处理方法探讨[J]. 物探与化探, 2006,30(2):67.
- [3] 葛哲学,等. Matlab 时频分析技术及其应用[M]. 北京:人民邮电出版社,2006,236.
- [4] Mallat S. 信号处理的小波导引[M]. 杨力华,等译. 北京:机械工业出版社,2002.
- [5] 成礼智,王红霞,等. 小波的理论与应用[M]. 北京:科学出版社,2004,75.
- [6] 王一平,等. 数学物理方法(第二版)[M]. 北京:电子工业出版社,2006,345.
- [7] 郭文波. 小波分析在 TEM 资料处理中的应用[J]. 矿产与地质,2006,(8):524.

NOISE ELIMINATION OF TRANSIENT ELECTROMAGNETIC (TEM) SIGNAL BASED ON WAVELET ANALYSIS

ZHANG Shu-fan, ZHANG Ning, LIU Hong-fu

(Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: The late signal of high density TEM is very weak and the traditional filtering methods often fail to obtain satisfactory results. This paper hence proposes to apply the multi-scale wavelet analysis to eliminating noise from the transient electromagnetic signal. The processing results demonstrate that the wavelet analysis can separate the useful signal from noise effectively and hence serves as a useful and feasible method for elimination of noise from the transient electromagnetic signal.

Key words: wavelet analysis; TEM; time-frequency analysis; attenuation curve; signal noise elimination

作者简介: 张书凡(1982-),男,河南新野人,在读硕士,主要从事非平稳信号处理研究。