

# 小波分析在永安地震台前兆观测资料处理中的应用

刘水莲<sup>1</sup>, 刘礼诚<sup>1</sup>, 黄跃进<sup>1</sup>, 许书元<sup>1</sup>, 廖丽霞<sup>2</sup>

(1. 福建省地震局永安地震台, 永安 366000)

2. 福建省地震局分析预报中心, 福州 350003)

摘要: 利用小波分析方法对永安台前兆观测资料进行处理, 结果表明该方法能够有效地将数据波动、脉冲干扰和地震同震波从原数据中分离出去, 并且能够得到清晰的前兆数据原始变化趋势, 可以使今后各种长短期震前异常的识别变得更加容易。

关键词: 小波分析; 前兆观测资料; 数据处理

中图分类号: P315.3 文献标识码: A

## 0 引言

前兆资料数据处理的方法和软件很多, 效果各异<sup>[1-6]</sup>。目前, 国内前兆观测数据日常预处理的专业软件, 如 EPCC、Deformation、地下流体软件等, 只能对数据进行基本预处理, 如单点突跳、台阶等, 而对于一些天气变化引起的数据波动、不明原因的脉冲干扰和地震同震记录, 软件没有处理功能, 同时也是规定不予处理的, 但这些大量信息的存在却能够影响数据的各种分析结果; 数据长期累积, 加上零漂等仪器自身引起的趋势变化, 使得震前的一些短临趋势不易识别。

小波(wavelet)分析是傅里叶(Fourier)分析思想方法的发展, 是一种信号的时间-尺度(时间-频率)分析方法, 具有多分辨率分析的特点。小波变换理论在地球物理与勘探等方面得到广泛应用, 近年来国内同行越来越多地将它应用到地震资料的分析中, 朱海生等、邹立晔等利用小波分析地震信号, 为研究地震序列的周期结构与合成地震波提供了新方法; 宋志平、张平、杨从杰、胡永钧等也都将小波理论用于分析前兆观测资料<sup>[7-12]</sup>, 为我们提供了前兆资料高、低频信息分离与识别的一种有效方法。本文收集了永安台的钻孔体应变和地下水位资料, 利用小波分析方法进行处理, 以验证该方法对去除永安台前兆观测数据中的噪声信号是否有效。

## 1 小波变换的基础与资料处理方法

小波变换概念是法国地球物理学家 Morlet 与 Grossmann 在分析处理地球物理勘探资料时提出的<sup>[13]</sup>。对于离散序列信号  $f(x)$ , 在小波函数  $\psi(t) \in L^2(R)$  中, 尺度因子(伸缩因子)  $a$  和平移因子  $b$  ( $a, b \in R$ ) 也需要离散化, 则应用小波变换  $DWT$  (Discrete Wavelet Transform) 作为不同频率的信息识别基础, 即:

$$DWT_{a,b} = \int_R f(x) \psi_{m,n}(x) dx \quad (1)$$

在计算中, 采用  $a = 2^k$ 。随着  $k$  的增加, 信号从最高频向低频分解。当  $k = 0$  时, 信号为采样频率;  $k = 1$  时将频率二等分, 依此类推<sup>[13]</sup>。

对于数字信号  $f(x)$ , 可以近似地表示为<sup>[14]</sup>:

$$f(x) \cong A_j f(x) = a_j^i f(x) + d_j^i f(x), \quad (2)$$

式中:  $a_j^i f(x)$  与  $d_j^i f(x)$  分别为信号  $f(x)$  在分辨率为  $j$  时的近似部分与分解(或细节)部分; 正交展开系数  $a_j^i$  与  $d_j^i$  分别为离散近似与离散细节。

多分辨分析就是将待处理的信息用正交变换在不同分辨级上进行分解, 分解得到低一级上的频率分辨率, 如图 1 所示的一个信号的 3 层多分辨分析, 其中  $A_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) 表示低频部分,  $D_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) 表示高频部分<sup>[11]</sup>。对于大多数信号来说, 低频部分往往是最重要的, 它不易受到环境的干扰, 而高频部分则与噪音及扰动联系在一起, 因此经常分析地

收稿日期: 2009-09-16

基金项目: 福建省地震局科研项目基金

作者简介: 刘水莲(1983-), 女(汉族), 福建省永安市人, 福建省地震局永安地震台助理工程师, 主要从事地震监测工作。

E-mail: ls18312@163.com

震的低频信息。正因为如此,我们在信号分析中,经常会用到对信号的近似(趋势)与细节处理。近似主要是系统的、大的、低频成分,而细节往往是信号局部、高频的成分。地震前兆观测数据所使用的方法,就是尽可能地保持信号的低频部分,去掉那些高频的部分,得出信号的发展趋势和起伏性特征<sup>[11]</sup>。

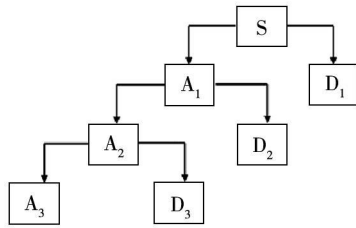


图1 小波分解示意图

## 2 应用实例

### 2.1 观测点概况

福建省地震局永安地震台建于1971年,东经 $117.36^{\circ}$ ,北纬 $25.89^{\circ}$ ,位于政和一海丰断裂带西侧。永安台数字化钻孔体应变观测采用中国地震局地壳应力研究所研制的TJ-II C型4#体积式钻孔应变仪,配套进行温度、气压辅助观测;模拟地下水观测井孔位于永安城区冷冻厂内,井孔深度为1 000.44 m,采用SW40-1型水位计观测,配套DYJ1型盒式气压计和SJ1型虹吸式雨量计辅助观测。

### 2.2 小波基的选取

不同于傅里叶分析,小波基不是唯一的,一般情况下选择合适的小波基进行信号处理需考虑小波基的正则性和消失距、所处理信号与小波基的相似性等几个因素,在这点上正交小波变换有很大优势,因为其所具有的离散特性和正交特性能够为我们的实际计算和实际应用带来方便。函数按正交小波展开的分解算法和回复算法一起称为Mallat算法<sup>[15]</sup>,这种算法为应用小波对信号分解重构提供了非常便捷的手段。而对于正交小波,我们希望它同时具备有限支集、光滑的、超强的时域和频域的局部化能力等特性,以便使Mallat算法更加快捷,在信号分析处理中发挥突出的作用。Daubechies小波正是基于这样的要求构造出来的。在张平等、胡永钧等的分析结果中,都证明了采用Daubechies小波(db5)变换,能够很好地对信号进行多分辨分析,该小波正则性随阶数的增加而增加,具有正交性,有较好的信号自适应性<sup>[10-11]</sup>。本文也尝试使用Daubechies小波进行信号处理,如图2所示,在选取dbN(N=1, 2, …, 10)小波函数进行分析后,发现当N取1~4时, Daubechies小波不够光滑;当 $N \geq 8$ 时, Daubechies小波的消失距变长,衰减性降低;而N为5~7时, Daubechies小波形态与固体潮较相似。因此,本文将选取db6小波进行数据处理。

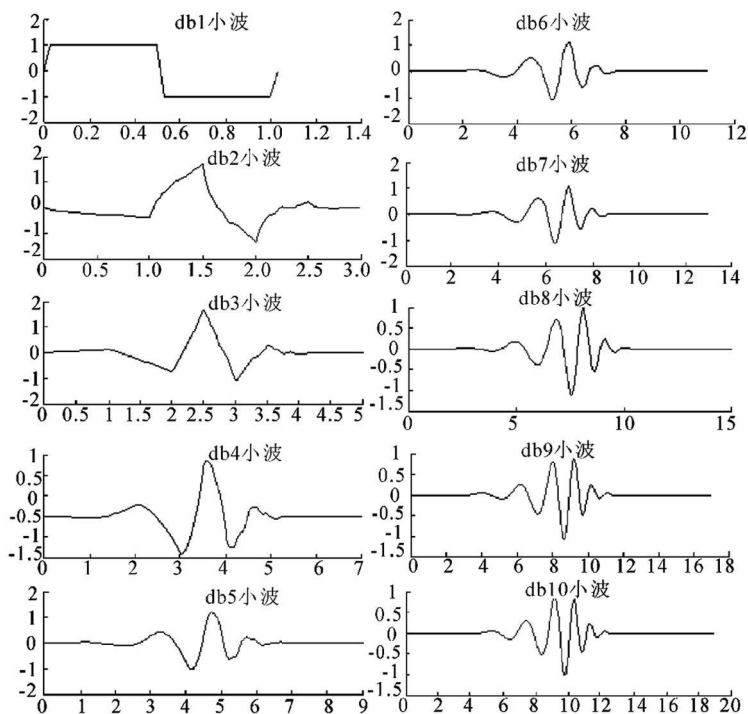


图2 db1至db10小波函数图

### 2.3 处理结果

本文分别选取了 2 种代表性数据进行处理: (1) 较典型的天气干扰、地震同震记录的日分钟值曲线, 如 2008 年 1 月 29 日刮风降雨引起的体应变数据波动, 2009 年 2 月 17 日 20 时 11 分的脉冲干扰, 2008 年 5 月 12 日汶川地震体应变同震记录。(2) 能反映年变趋势的永安台体应变与地下水位全年整点值数据曲线(2007 年)。

图 3—7 分别给出了原始信号与 Daubechies 小波(db6)多分辨分析结果, 保留了信号的低频部分(a1, a2, …a6)。由图 3—5 可知, 对于天气波动、脉冲这类噪声, 经过 5 层的分离就基本消失了, 而对于地震同震记录这一类信号, 6 层变换结果显示曲线仍然不太平滑, 需要增加分离的层数才能够完全分离。图 6—7 则将长年观测数据的变化趋势更直观地显现出来。

总之, 可以看到干扰被处理的很好, 信号经重构后, 得到非常理想的曲线, 随着分离层数的增加, 高频的信息包括干扰都能够被剔除, 使固体潮信号随时间尺度的变化趋势更加明显、直观。

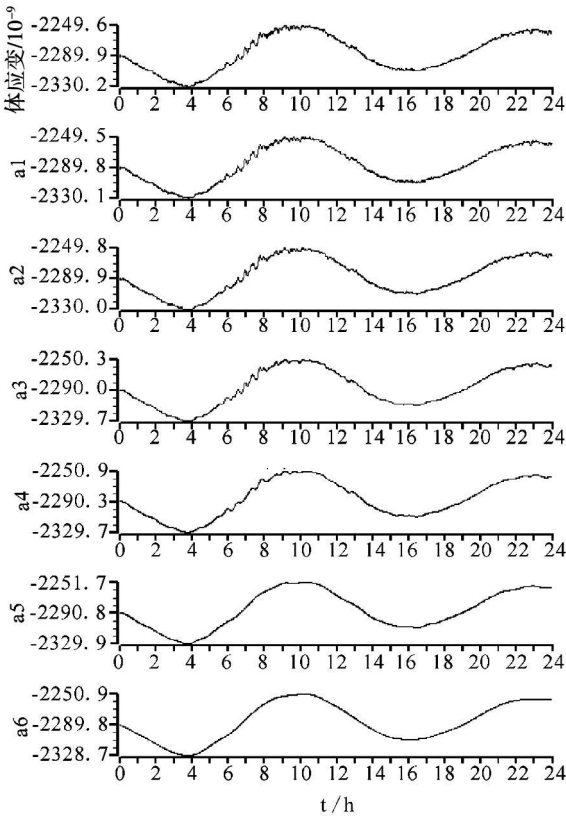


图 3 2008 年 1 月 29 日体应变数据小波变换图(降雨、刮风干扰)

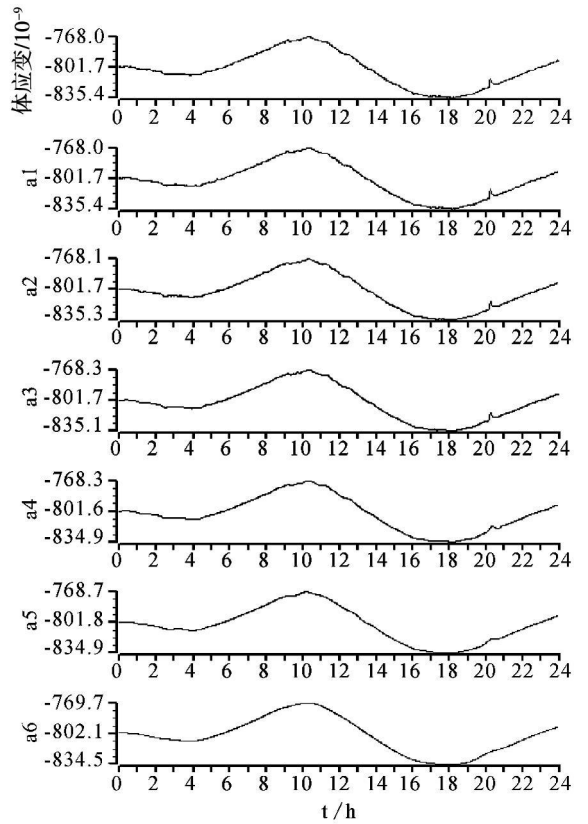


图 4 2008 年 2 月 17 日体应变数据小波变换图(脉冲干扰)

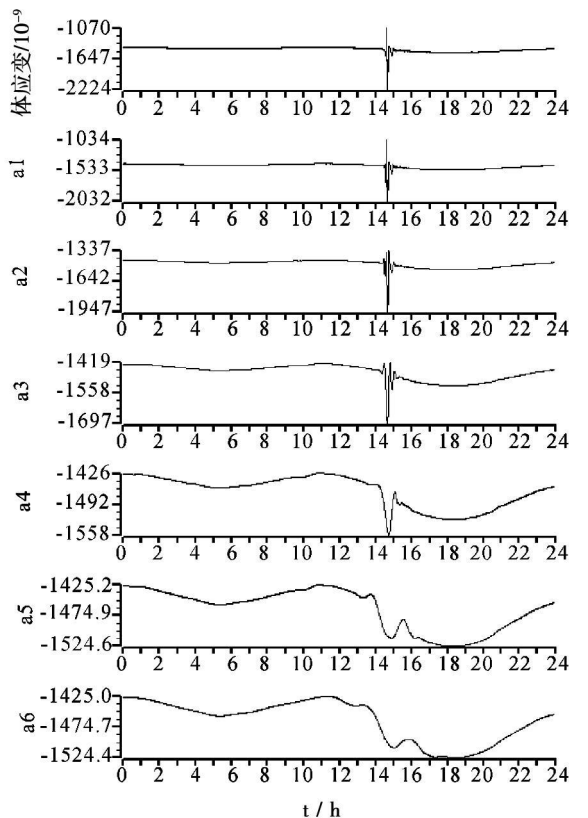


图 5 2008 年 5 月 12 日体应变数据小波变换图(汶川 8.0 级地震同震记录)

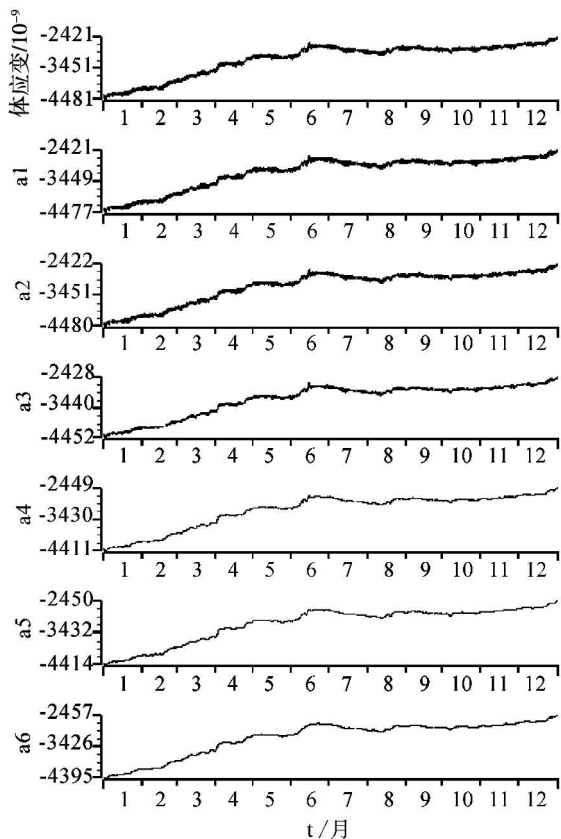


图6 2007年体应变整点值数据小波变换图

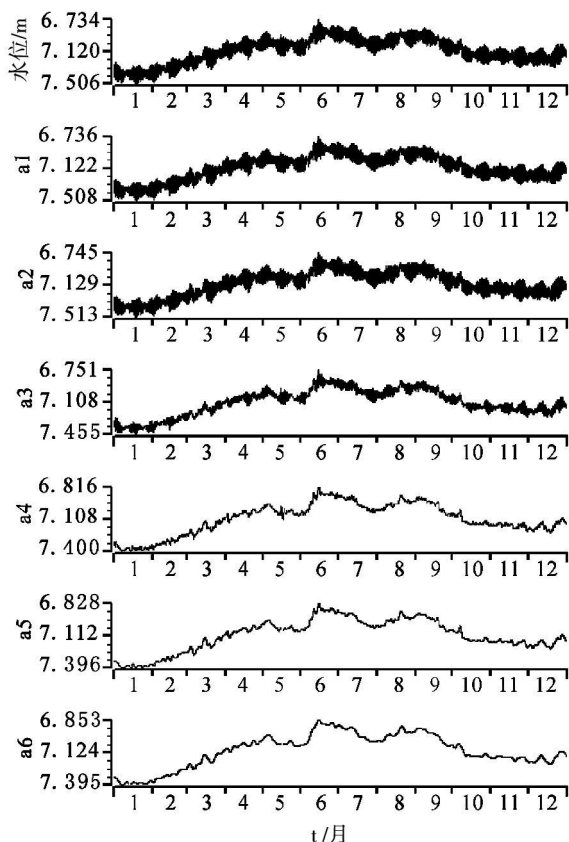


图7 2007年永安冷冻厂井水位整点值数据小波变换图

### 3 结论

(1) 本文验证了小波变换这一新的信号处理方法在前兆观测数据处理上的应用,对于数据波动、脉冲干扰、同震效应的处理都有很好的效果,而且该方法使我们能够更直观地看清长年观测数据的变化趋势,一些短临的变化也能更清晰地突显,使各种长短期震前异常的识别变得更加容易,更有利于利用前

兆数据进行地震预测。

(2) 由计算结果可以看到,随分离层数的增加,数据曲线越来越清晰,高频信息分离得越多。那么到底该如何确定小波变换的分离层数?对于长时间的、包含各种频率的噪声信息和有用的地震信息的前兆数据,在消噪的过程中,该如何选取正确的小波参数,避免地震信息被一并处理掉?这个问题笔者将会在今后的工作中继续深入研究。

### 参考文献:

- [1] 李圣强,杜建国,康春丽.信息熵在地下流体资料处理中的应用[J].华北地震科学,2001,19(2):1-7.
- [2] 武安绪,林向东,穆会泳,等.EMD新技术在数字波形预处理中的初步应用[J].华南地震,2006,26(1):133-138.
- [3] 杨颖,刘水莲,肖武军,等.十三陵地震中心台电磁扰动数据分析处理讨论[J].华北地震科学,2009,27(2):11-16.
- [4] 张绍治,刘苏.岩体体应变连续观测数据的干扰周期分析[J].华北地震科学,1987,5(8):52-57.
- [5] 李占录,杨雅琼,王晓山.易县地震台体应变受降雨干扰的异常变化[J].地震地磁观测与研究,2005,26(增刊):173-177.
- [6] 杨婕,占惠,凌学才.强降水对厦门地震台伸缩仪的影响[J].大地测量与地球动力学,2009,29(supper):76-78,102.
- [7] 朱海生,薛志芳,李薇.用小波变换分析张家口地区地震活动的周期结构[J].华北地震科学,2007,25(1):37-39.
- [8] 邹立晔,刘爱平,杨宏,等.利用小波重构合成地震波方法及特性研究[J].地震学报,2007,29(6):635-642.
- [9] 杨从杰,冯志生,宋德伟,等.小波分析方法在提取井水位潮汐因子震前变化特征的初步应用[J].西北地震学报,2005,27(6):163-167.
- [10] 张平,山秀明,毛玉平,等.数字地磁信号的小波消噪处理[J].地震研究,2004,27(2):199-202.
- [11] 胡永钧,屠泓为,吴进.小波分析在青藏高原东北缘地区地震前兆观测资料处理中的应用[J].高原地震,2008,20(1):14-21.
- [12] 宋治平,武安绪,王梅,等.小波变换在前兆观测资料分析中的应用[J].中国地震,2004,20(3):31-38.
- [13] Grossmann, A. & J. Morlet. Decomposition of hardy function into square integrable Wavelets of constant shape[J]. SIAM J. Math. Anal.,

1984, 15: 723-726.

[14] 郑治真, 沈萍, 杨选辉, 等. 小波变换及其 MATLAB 工具的应用[M]. 北京: 地震出版社, 2001: 1-156.

[15] 徐长发, 李国宽. 实用小波方法[M]. 华中科技大学出版社, 2004: 1-191.

## Application of Wavelet Analysis to Precursor Observation at Yongán Seismic Station

LIU Shui-lian<sup>1</sup>, LIU Li-cheng<sup>1</sup>, HUANG Yue-jin<sup>1</sup>, XU Shu-yuan<sup>1</sup>, LIAO Li-xia<sup>2</sup>

(1. Yongán Seismic Station, Yongán 366000, Fujian Province, China;

2. Earthquake Administration of Fujian Province, Fuzhou 350003, China)

**Abstract:** The precursor observation data at Yongan seismic station are analyzed using wavelet analysis methods. The results show that the wavelet analysis method is effective in rejecting pulse interference, data fluctuation and co-seismic deformation waves from observation data and getting clear original trend of precursory data and make it easier to identify short and long term pre-earthquake anomaly in the future.

**Key words:** wavelet analysis; precursory observation data; data processing