

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

杨从杰, 冯志生, 宋德伟, 张秀霞, 梅卫萍, 张晓勇

(江苏省地震局, 江苏 南京 210014)

摘 要: 运用小波分析方法对 1990 年常熟、1995 年苍山和 1996 年南黄海三个中强地震前江苏地区井水位固体潮的变化特征进行了研究, 发现井水位 M_2 波潮汐因子在地震前几个月几乎都出现一个幅度较大、周期为半月或一个月左右的异常信号, 表明小波分析方法在处理和分析井水位潮汐资料方面可能是一种有效的方法。

关键词: 小波分析; 井水位; M_2 波潮汐因子; 异常信号

中图分类号: P315.72+3

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2005)02-0163-05

Preliminary Application of Wavelet Analysis Method to Extract the Characters of Tidal Factor in Well Water Level before Earthquakes

YANG Cong-jie, FENG Zhi-sheng, SONG De-wei,

ZHANG Xiu-xia, MEI Wei-ping, ZHANG Xiao-yong

(Earthquake Administration of Jiangsu Province, Nanjing 210014, China)

Abstract: The wavelet analysis is used to study the change characters of solid tide in well water level before three mid-strong earthquakes, which are Changshu earthquake in 1990, Cangshan earthquake in 1995 and Huanghai earthquake in 1996. The results reveal that the M_2 tidal factor in well water level appear the abnormal signals which have a bigger amplitude, half or one months period. It indicates the wavelet analysis method may be an effective method in processing and analyzing water level tidal data for analyzing the change characters of abnormal signals.

Key words: Wavelet analysis; Well water level; M_2 wave tidal factor; Abnormal signals

0 引言

固体潮是目前唯一能够预先准确计算出理论值的地球物理现象。目前在提取井水位固体潮震前异常信息方面的主要方法有图形对比法、调和分析法和加卸载响应比方法^[1]。通过对前人研究成果的综合分析发现,前人在井水位固体潮及其潮汐因子分析等方面多侧重于对原始曲线的分析,而较少涉及对井水位潮汐因子的频率域特征的分析。

小波分析是近些年来才发展起来的现代分析学的一个分支。它比 Fourier 分析有着许多本质性的进步,提供了一种自适应的时域和频域同时局部化

的分析方法,无论分析低频或高频局部信号,都能自动调节时-频窗,以适应实际分析的需要^[2]。

本文将小波分析方法引入到井水位潮汐资料的分析中,对潮汐因子进行更细致的分类处理,从而获取潮汐因子在不同频域的震前前兆异常特征。

1 小波分析方法的基本理论

函数 $f(x) \in L^2(R)$ 的小波多尺度分解是基于小波变换的多尺度分析(Multiresolution Analysis, 简称 MRA)^[3]。 $\phi(x)$ 表示尺度函数; $\psi(x)$ 表示小波函数,且满足双尺度方程

收稿日期: 2004-12-06

基金项目: 江苏地区中强震前井水位固体潮的变化特征研究(200302)

作者简介: 杨从杰(1977-), 女(汉族), 河北无极人, 硕士, 助理研究员, 主要从事地震监测及地下流体等研究。

$$\phi(x) = \sum_n h_n \phi(2x - n) \tag{1}$$

$$\psi(x) = \sum_n g_n \psi(2x - n) \tag{2}$$

其中 h_n 和 g_n 分别为尺度函数和小波函数对应的滤波器。

对于 $f(x) \in L^2(R)$, Mallat 算法分解为

$$f(x) = \sum_{j=1}^J D_j f(x) + A_J f(x) \tag{3}$$

其中 $A_J f(x) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_{j,k} \phi_{j,k}(x) \tag{4}$

$$D_j f(x) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} d_{j,k} \psi_{j,k}(x) \tag{5}$$

$A_J f(x)$ 表示 $f(x)$ 在尺度 2^J 下的离散逼近,它是 $f(x)$ 的分辨尺度不超过 2^{-J} 成分; $D_j f(x)$ 表示 $f(x)$ 在尺度 2^j 下的离散细节信号,是 $f(x)$ 的分辨尺度介于 2^{-j} 和 $2^{-(j-1)}$ 之间的成分。函数 $f(x)$ 多尺度分解的小波系数 $c_{j,k}$, 尺度函数系数 $d_{j,k}$ 可表示为

$$c_{j+1,k} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h_{n-2k} c_{j,n} \tag{6}$$

$$d_{j+1,k} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} g_{n-2k} c_{j,n} \tag{7}$$

$f(x)$ 的离散值表示为 $\{c_{0,k}\}_{k \in Z}$ 。

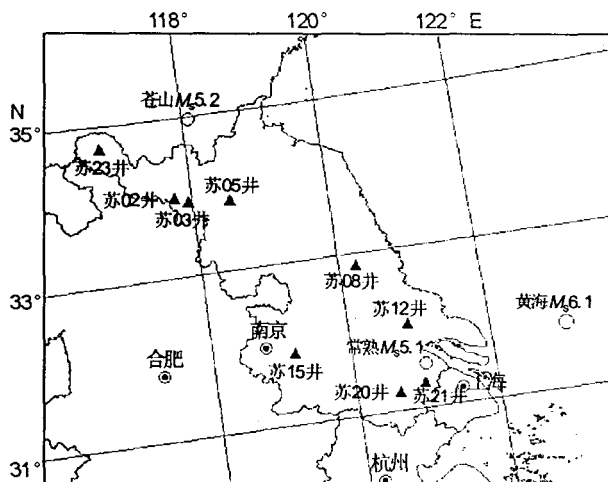


图 1 流体井及地震分布图

Fig. 1 Distribution of wells and earthquake epicenters.

资料的处理过程为:

(1) 对井孔水位利用高阶差分法进行气压改正^[4]。(2) 对预处理后的地下水位固体潮整点值观测数据采用两日(48 小时) Venidicov 调和分析和两日滑动的月调和分析方法进行数据处理,求取潮汐因子随时间的变化^[5]。(3) 利用 db4 小波对各井水位 M_2 波潮汐因子进行 5 层分解,将潮汐因子进行近似部分(低频)与细节部分(高频)的信息分离,根据

Mallat 重建公式为

$$c_{j,k} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h_{k-2n} c_{j+1,n} + \sum_{n=-\infty}^{\infty} g_{k-2n} d_{j+1,n}$$

本研究初步采用了 db4 小波对数据进行处理。首先考虑到 db4 小波在地球物理学研究范围被广泛采用;其次考虑到 db4 小波是紧支撑正交小波,这可以使 Mallat 算法更快捷,它的光滑性也可以更高精度的模拟和分析信号;另外也考虑到 db4 小波在时域和频域局部化方面的强动性。这些特性对本文的研究都是非常有利的。

2 资料选取与处理

本文以发生在 1990 年 2 月 10 日的常熟 5.1 级地震、1995 年 9 月 20 日的苍山 5.2 级地震及 1996 年 11 月 9 日的黄海 6.1 级地震为研究对象,选取周围流体井水位的整点值资料进行分析研究。有关流体井及地震的分布图见图 1,各地震选取的流体井见表 1。

所选资料时段:常熟地震为 1989—1990 年数据,苍山地震为 1994—1995 年,黄海地震为 1995—1996 年数据。

表 1 地震及其对应的流体井

地震	时间	地点		震级/M	台站	地点		震中距/km
		纬度	经度			纬度	经度	
常熟地震	1990-02-10	31.60°	121.00°	5.1	苏 21 井	31.38°	120.95°	25
					苏 20 井	31.30°	120.58°	52
					苏 12 井	32.13°	120.83°	61
					苏 15 井	31.95°	119.17°	177
苍山地震	1995-09-20	34.97°	118.10°	5.2	苏 02 井	34.03°	117.75°	109
					苏 03 井	33.97°	117.95°	112
					苏 05 井	33.93°	118.55°	122
					苏 23 井	34.73°	116.73°	128
黄海地震	1996-11-09	31.83°	123.10°	6.1	苏 08 井	32.93°	120.22°	299
					苏 12 井	32.13°	120.83°	217
					苏 20 井	31.30°	120.58°	246
					苏 08 井	32.93°	120.22°	297
					苏 05 井	33.93°	118.55°	485

近似部分确定潮汐因子趋势变化,细节部分识别短期异常变化,并分析研究不同频段潮汐因子在震前的变化特征。

3 结果与分析

3.1 结果

图 2 是常熟地震周围各台站小波分解第 2 层结果。可以看出,震中周围的昆山苏 21 井、苏州苏 20

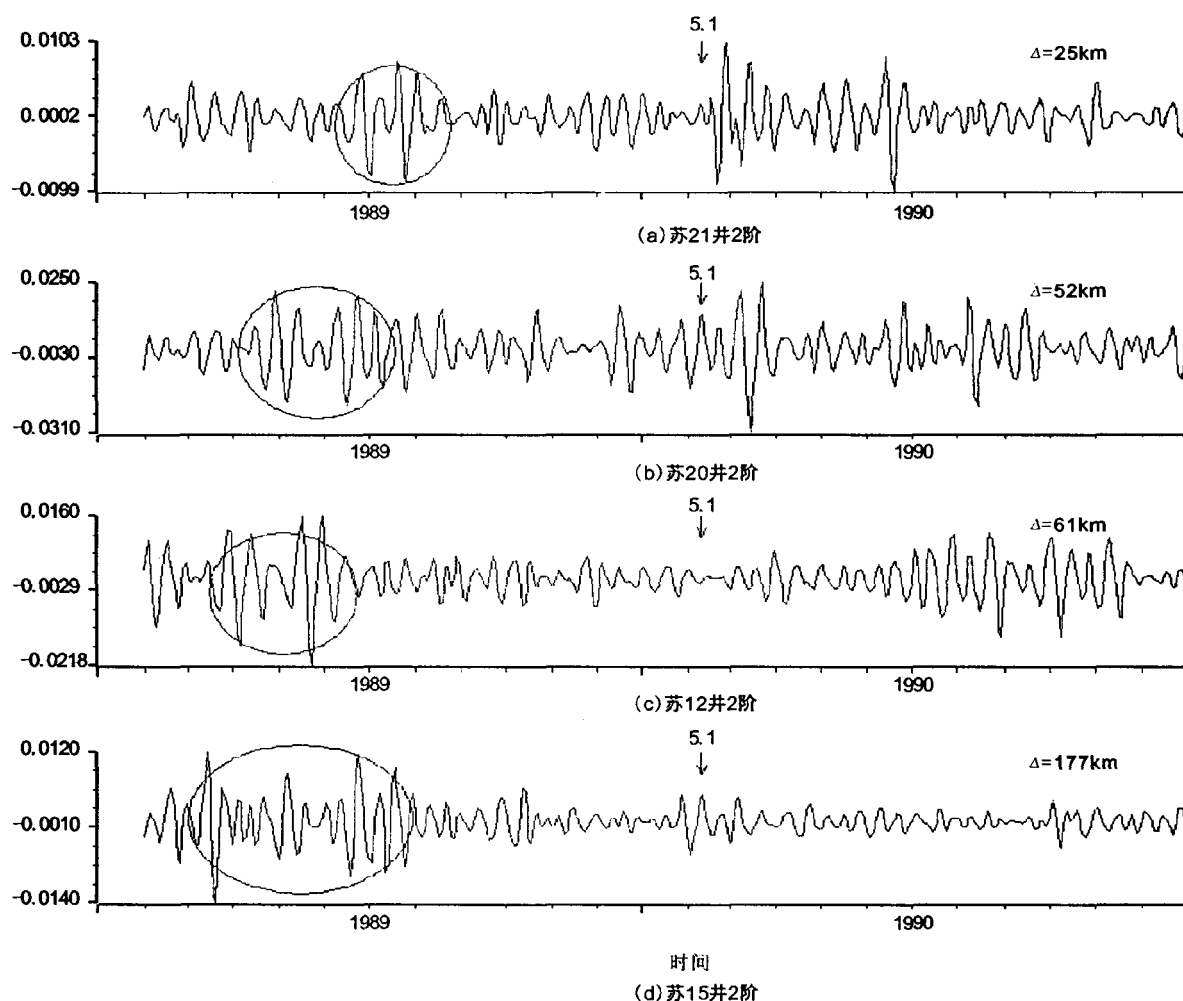


图 2 常熟地震周围各台站井水位小波分解第 2 层结果

Fig. 2 The wavelet decomposition result at 2th level of the well water level for stations nearly the Changshu earthquake epicenter.

井、通州苏 12 井、南京苏 15 井在震前 8~11 个月均呈现出振幅较大的异常信号,信号周期为半个月左右,异常持续时间约 3~5 个月,且在异常结束后的 5~7 个月内发展。

图 3 为苍山地震周围各台站小波分解第 2、3 层结果。可以看出,震中周围的濉宁苏 02 井、濉宁苏 03 井、宿豫苏 05 井、丰县苏 23 井、兴化苏 08 井在震前 3~9 个月均出现幅度较大的异常信号,信号周期为半个月或一个月左右,异常持续时间约 3~4 个月,且在异常结束后的 0~6 个月内发展。

图 4 为黄海地震周围各台站小波分解第 2、3 层结果。可以看出,震中周围的通州苏 12 井、苏州苏 20 井、兴化苏 08 井、宿豫苏 05 井在震前 4~8 个月均出现幅度较大的异常信号。周期为半个月或一个月左右,异常持续时间约 4~7 个月,且在异常结束后的 0~3 个月内发展。

3.2 分析

考虑到台站与地震分布的不均匀性,常熟地震所用资料多为震中距在 100 km 范围内的台站;苍山地震所用资料多为震中距在 100~200 km 范围内的台站;黄海地震所用资料多为震中距在 200~300 km 范围内的台站。

由图 3、图 4 与图 5 可以看出,各台站异常开始的时间以常熟地震周围台站最早,黄海地震最迟,而苍山地震介于两者之间,说明震中距越小的台站异常起始时间越早,震中距越大的台站异常起始时间越晚。各台站异常持续时间大致相当,唯黄海地震周围台站异常持续时间稍长,可能与震级有一定关系。各台站异常结束后距离发展的时间,常熟地震周围台站时间最长,黄海地震最短,苍山地震介于两者之间,说明震中距越小的台站异常结束到发展的时间越长,震中距越大的台站异常结束到发展的时

间越短。

小波分析的最大特点是不同的尺度具有不同的时间和频率分辨率,在数据采样率一定的前提下,近似和细节信息的频段具有唯一性。若将信号的最高频率成分看作是 1,则各层小波分解便是带通或低

通滤波器。各层所占的具体频带为: $a_1:0\sim0.5$, $d_1:0.5\sim1$; $a_2:0\sim0.25$, $d_2:0.25\sim0.5$; $a_3:0\sim0.125$, $d_3:0.125\sim0.25$; $a_4:0\sim0.0625$, $d_4:0.0625\sim0.125$; $a_5:0\sim0.03125$, $d_5:0.03125\sim0.0625$; ..., ...。本研究采用的水位资料为整点值(采样率为 1 小时),经

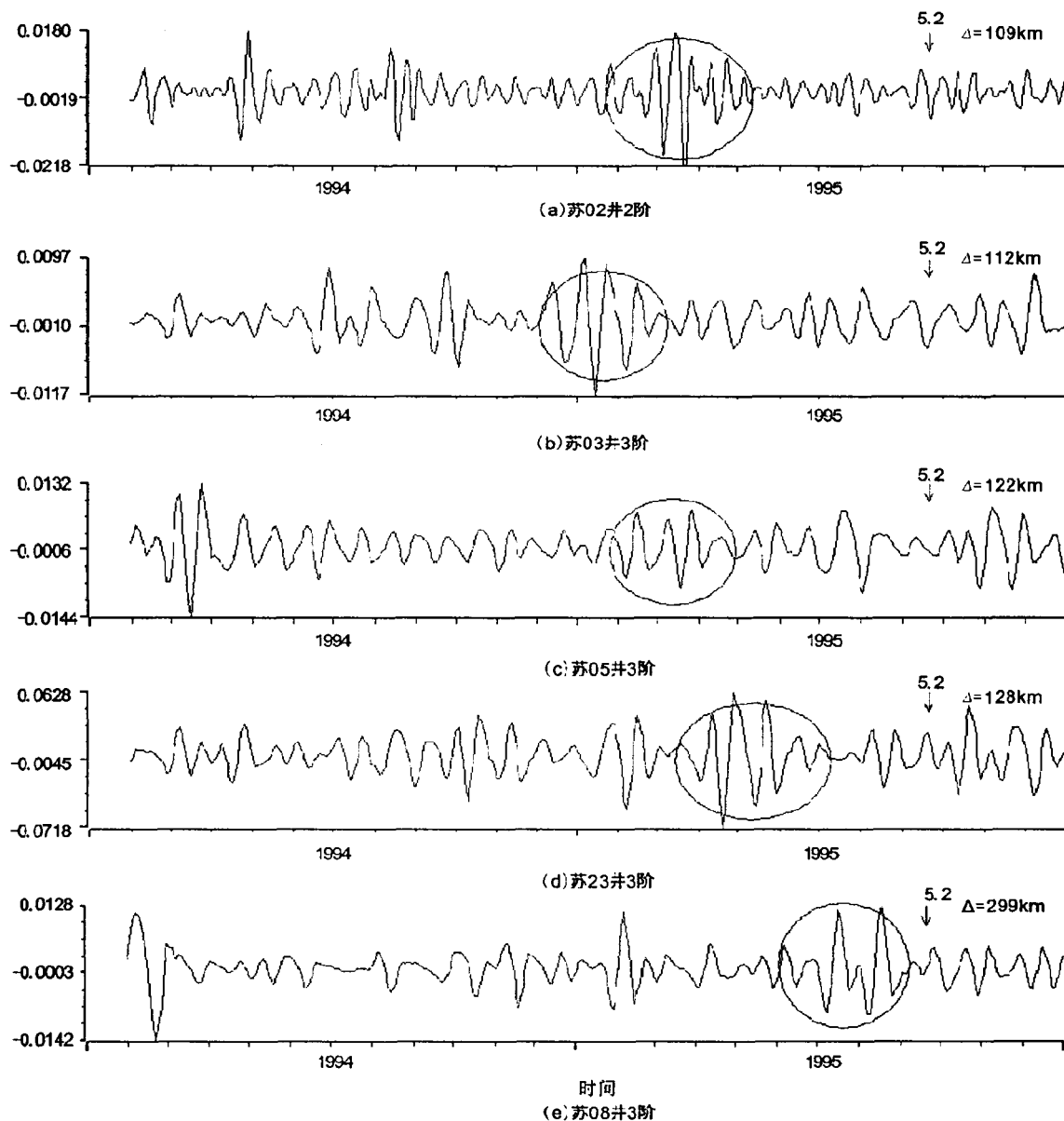


图 3 苍山地震周围各台站井水位小波分解第 2、3 层结果

Fig. 3 The wavelet decomposition result at 2th and 3th levels of the well water level for stations nearly the Cangshan earthquake epicenter.

固体潮两日滑动的月调和数据分析方法进行数据处理后所得潮汐因子采样率为 2 天。那么经 5 层小波分解后我们可以看出,小波分析细节部分的第 2 层和第 3 层所对应的分别是半个月或一个月左右周期的频率域。

由以上分析我们不难看出如下结论,在小波分

析细节部分的第 2 层或第 3 层出现的异常幅度较大,频段相同的异常信号可能就是我们所要寻找的地震前兆信息。形成上述前兆异常特征的原因可能来自两个方面:一是异常信号的频段相同说明了它们应该是由同一个源引起的,而且在震前几个月,震中附近台站都出现了一个频段相同的异常信号,不

能说这是偶然;二是异常起始时间与震中距的对应关系也说明了异常由震源周围向外围扩散的过程。

4 结论与讨论

(1) 用小波分析法来处理和分析井水位 M_2 波潮汐因子获得了中强地震前兆信息,说明小波分析

方法在利用井水位潮汐资料进行地震异常信息提取方面有一定效果。

(2) 在小波分析细节部分的第2层或第3层所出现的幅度较大的异常信号不仅频段相同,而且在

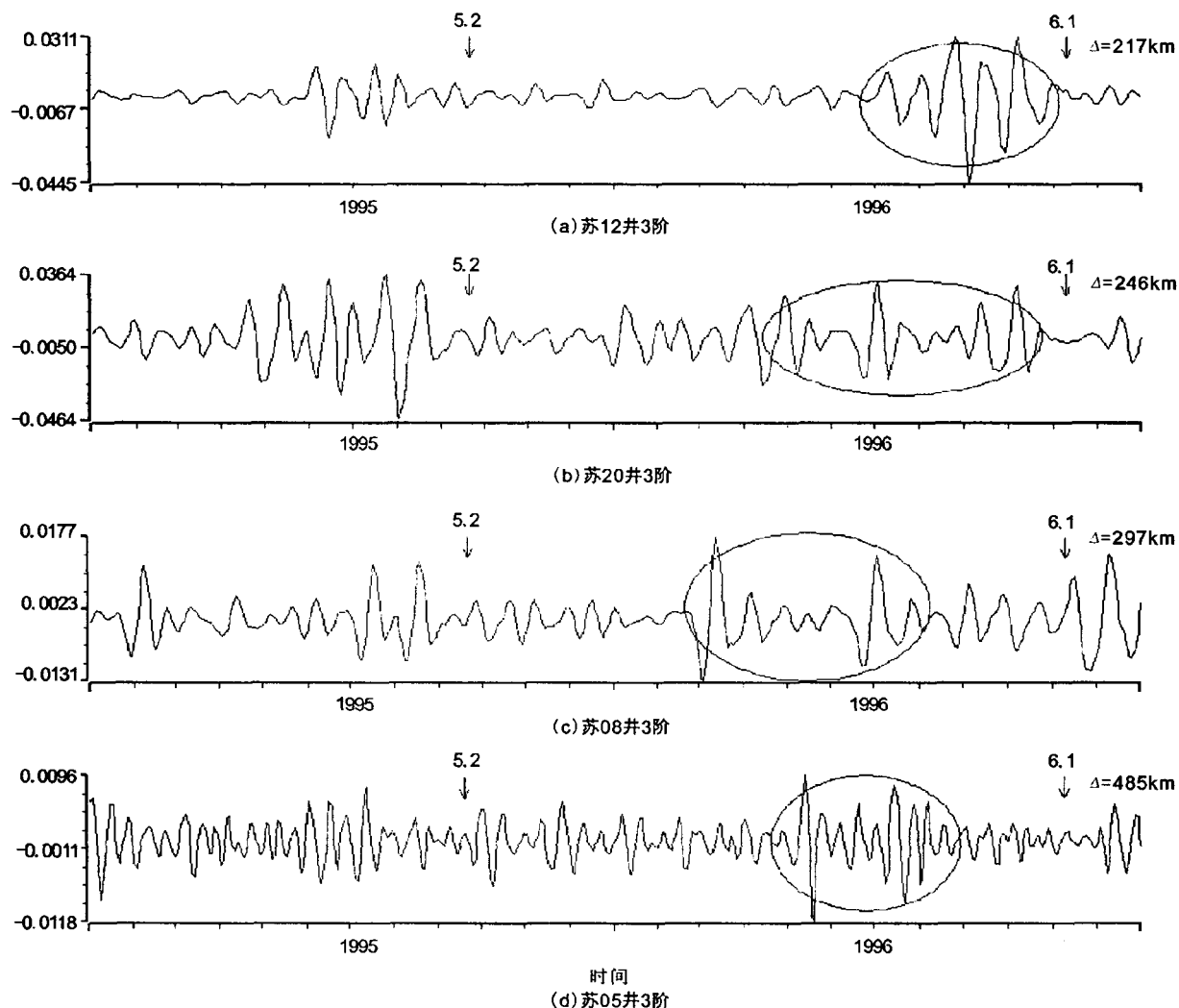


图4 黄海地震周围各台站井水位小波分解第2、3层结果

Fig. 4 The wavelet decomposition result at 2th and 3th levels of the well water level for stations nearly the Huanghai earthquake epicenter.

时间上还具有一定的同步性,且异常信号的周期与蒋骏等通过频谱分析得出的“半月左右周期的频率域,是固体潮观测中前兆响应的一个重要主频域。^[6]”这一结论具有某种一致性。

[参考文献]

- [1] 尹祥础. 地震预测新途径的探索[J]. 中国地震, 1987, 3(1): 1—7.
- [2] 徐长发, 李国宽. 实用小波方法[M]. 武汉: 华中科技大学出版

社, 2001.

- [3] Mallat S. A multiresolution signal decomposition: The wavelet representation[J]. IEEE Trans. Patt. Anl. Machine Intell., 1989, 11(7): 674—693.
- [4] 张昭栋. 高阶差分法求深井水位的气压系数[J]. 地震学刊, 1986, 6(2): 74—78.
- [5] 蒋骏, 李胜乐, 张雁滨, 等. 地震前兆信息处理与软件系统[M]. 北京: 地震出版社, 2000. 175.
- [6] 蒋骏, 张雁滨, 周翠屏. 固体潮潮汐因子的特征频谱及其应用[J]. 地壳形变与地震, 1994, 14(2): 88—95.