

## 地脉动在大震前的异常变化研究<sup>\*</sup>

王梅德<sup>1</sup>, 韩艳杰<sup>2</sup>, 郭祥云<sup>3</sup>, 于仁宝<sup>1</sup>, 贾炯<sup>4</sup>, 赵祖虎<sup>2</sup>, 鞠勇<sup>4</sup>

(1. 许昌市地震局, 河南 许昌 461000; 2. 河南省地震局, 河南 郑州 450000;  
3. 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081; 4. 河北省地震局, 河北 石家庄 050000)

**摘要:** 利用2008年4月28日0时至5月12日13时许昌地震台地震连续波形资料, 对安德列亚诺夫群岛7.0级、日本东海岸近海7.1级和汶川8.0级地震3次 $M \geq 7.0$ 地震前地脉动变化情况进行了频域、振幅的量化分析, 得出如下结论: 3次地震前三分向都记录到了地脉动异常, 水平向较垂直向明显; 傅立叶谱0.2~0.3 Hz谱振幅值出现较大变化, 进程上具有快速增大—达到最大值—下降—下降过程中发震的特征; 地脉动异常分别在3次地震前2.3、3.3、2.9 d出现, 属临震异常。

**关键词:** 地脉动; 地震前兆异常; 傅立叶谱; 许昌地震台

**中图分类号:** P315.3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2014)01-0073-06

### 0 引言

地脉动是地球表面的微小振动产生的体波和面波以及它们在传播过程中多重反射、折射等相互叠加的复杂集合, 一般由海浪、风等天然波源所引起(朱传镇等, 1997; 赵根模等, 2001)。它是一种不受所监视地区有无弱震发生限制的连续信号, 这种连续性以及数字地震观测的广泛应用, 为从测震角度捕捉地震异常, 特别是短期或临震异常提供了可能(牛志仁, 朱传镇, 1978)。

近年来, 我国地震工作者对大震前地脉动的变化情况进行了研究。杨又陵等(2003)研究发现, 2001年昆仑山口西 $M_s 8.1$ 地震前发生了缓慢地震事件, 在震前87小时出现, 持续47小时至地震前1天结束。汶川地震后, 杨立明等(2009)研究发现震前临震阶段在0.1~0.3 Hz频段幅值出现快速、持续增大现象, 且该现象具有重现性。王梅德和于仁宝(2011)曾用河南省测震台网资料对近几年国内外5次大震前地脉动变化情况进行了研究, 发现地脉动在5个震例前31~103 h内出现异常, 表现为较为规则的正弦波列形态, 具有较好的视周期性, 周期在2~8 s之间, 随着地震的临近幅值逐步增大, 频率优势分布于0.15~0.35 Hz<sup>①</sup>。本文选取汶川地震前15天许昌台的地震连续波形资料, 对地脉动变化进行了频域和时间进程的跟踪分析, 以探求地脉动在大震前的异常变化。

### 1 资料与方法

基于汶川地震前地震活动情况和对大震前地脉动异常长期跟踪, 本文选用2012年4月28日至5月12日河南地震台网许昌地震台波形资料, 对这一时段地脉动异常变化进行了频域分析计算。许昌台使用FSS~3DBH短周期地震仪, 频带宽度2 s~40 Hz, 采用井下观测, 资料可靠完整, 采样率100, Nyquist频率50 Hz。通过计算发现, 汶川地震前傅立叶谱水平向0.2~0.4 Hz、垂直向0.2~0.5 Hz频段谱振幅值存在较大变化。因此, 本文取0~0.6 Hz(UD向0~0.7 Hz, 下同)范围进行快速傅立叶变化分析(万永革, 2012)。

由于短周期地震仪频带较窄, 本文对其能否记录此频率范围内的信息进行研究。根据许昌台地震仪三分向幅频曲线(图1), 这一频段虽不在0 dB平坦段响应范围, 但亦为可记录的范围, 只是灵敏度相对较低(哈夫斯科夫, 2007)。这也与实际跟踪中许昌台地脉动在大震前出现异常的情况相吻合。为了更好的反映结果的科学性, 港震公司刘明辉也对数据进行了分析, 结果与笔者一致。

研究时段内发生的7级以上地震有2008年5月2日安德列亚诺夫群岛7.0级地震、2008年5月8日本州东海岸近海7.1级地震和2008年5月12日汶川8.0级地震(表1)。

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2013-03-29.

基金项目: 中国地震局地球物理研究所基本业务专项(DQJB11C11)。

① 王梅德, 于仁宝等. 2011. 地脉动异常在大震前预测应用研究.

表 1 研究时段内地震参数  
Tab. 1 Seismic parameters in the study period

| 序号 | 发震时间<br>(年-月-日 时:分) | 震中位置     |                        |                        | 震级<br>$M_s$ | 震中距<br>/km |
|----|---------------------|----------|------------------------|------------------------|-------------|------------|
|    |                     | 地点       | $\varphi_N/(^{\circ})$ | $\lambda_E/(^{\circ})$ |             |            |
| 1  | 2008-05-02 09:33    | 安德烈亚诺夫群岛 | 51.95                  | 177.55                 | 7.0         | 5 700      |
| 2  | 2008-05-08 00:45    | 日本本州东海岸  | 36.10                  | 141.60                 | 7.1         | 2 520      |
| 3  | 2008-05-12 14:28    | 四川汶川     | 30.95                  | 103.40                 | 8.0         | 1 050      |

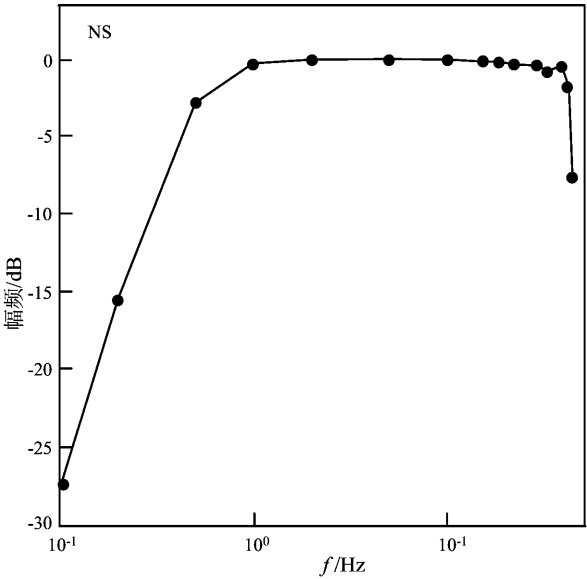


图 1 NS 向短周期地震仪幅频曲线  
Fig. 1 Amplitude-frequency curve of NS short-period seismometer

2 地脉动异常计算与分析

以许昌台连续地震波形记录时间为序列, 以一个小时数据为研究对象, 利用快速傅立叶变换进行频谱计算和分析。3 次地震前随着地震的临近, 只有 0.2 ~ 0.3 Hz 频段范围谱振幅值显示快速增大, 临近震前又开始下降的现象, 其它频段振幅变化不明显, 本文通过快速傅立叶变换读取 4 月 28 日 0 时至 5 月 12 日 13 时 0.2 ~ 0.3 Hz 谱振幅值, 并对地脉动异常变化时间进程进行了计算分析和统计 (图 2、表 2)。

为了对地脉动是否显示异常有更好的判断, 本文根据地震活动情况, 选取地震活动比较平静的两个时段: 2007 年 12 月 25 日至 2008 年 1 月 2 日、2008 年 2 月 28 日至 2008 年 3 月 1 日, 用相同方法计算这两时段地脉动傅立叶谱在 0.2 ~ 0.3 Hz 幅值的变化, 分析认为正常情况下许昌台这一频段 NS 向谱振幅值在 5 ~ 8 count, EW 向在 4 ~

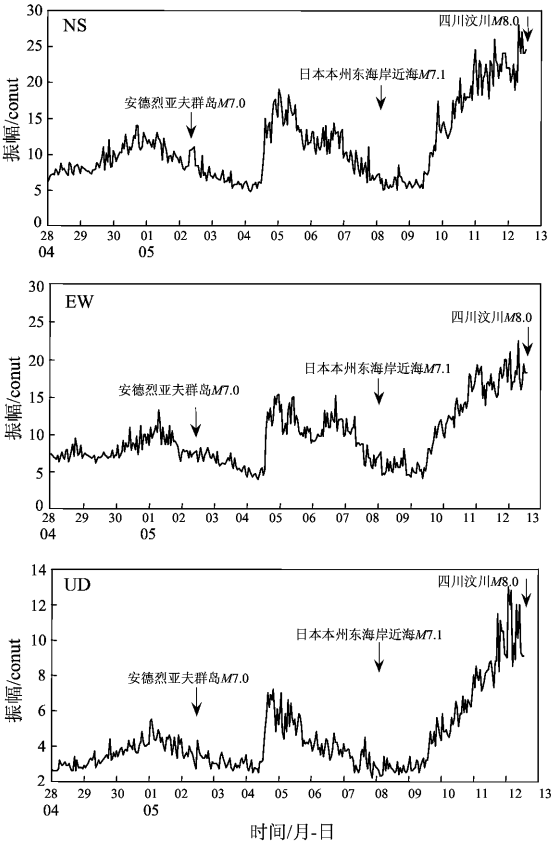


图 2 许昌台地脉动傅立叶谱 0.2 ~ 0.3 Hz 幅值变化曲线  
(a) NS 向; (b) EW 向; (c) UD 向

Fig. 2 Amplitude variation curve in 0.2 ~ 0.3 Hz of Fourier spectrum of microtremor at Xuchang Station  
(a) NS; (b) EW; (c) UD

7 count, UD 向在 2.0 ~ 3.5 count。

2.1 安德烈亚诺夫群岛地震前地脉动变化

笔者分析 2008 年 5 月 2 日 9 时安德烈亚诺夫群岛 M7.0 地震前, 三分向一小时观测序列 0.005 ~ 0.6 Hz 傅立叶谱发现 (图 3), NS 向 4 月 28 日 0 时至 4 月 29 日 15 时, 谱振幅值在 6 ~ 8 count 间波动, 29 日 16 时 (震前 62 h) 幅值不断增大, 且增大振幅对应的优势频段集中分布在 0.2 ~ 0.3 Hz;

4 月 30 日 18 时（震前 36 h）达到最高值 14.1 count，并开始下降至 10.5 count 时发震。值在 7 count 左右，频率分布较宽，振幅值  $\geq 6$  count，优势频率分布在 0.25 ~ 0.38 Hz，随着地震的临近集中分布在 0.25 ~ 0.3 Hz，谱振幅 4 月 30 日 EW 向 4 月 28 日 0 时至 4 月 30 日 5 时谱振幅

表 2 研究时段 3 次地震前地脉动整点傅立叶谱 0.2 ~ 0.3 Hz 振幅随时间变化  
Tab. 2 Fourier spectrum amplitude in 0.2 ~ 0.3 Hz of microtremor whole point value variation with time before three earthquakes in the study period

| 地震             | 分向 | 振幅变化时间      |       |             |       | 振幅值/count |      |      |        |
|----------------|----|-------------|-------|-------------|-------|-----------|------|------|--------|
|                |    | 增大时间        | 距发震时间 | 最大值时间       | 距发震时间 | 增大前       | 最大振幅 | 临震前  | 振幅比    |
|                |    | 月 - 日 - 时   | /h    | 月 - 日 - 时   | /h    |           |      |      |        |
| 安德烈亚诺夫群岛 M7.0  | NS | 4 - 29 - 16 | 62    | 4 - 30 - 19 | 36    | 6 ~ 8     | 14.2 | 10.5 | 1/3.8  |
|                | EW | 4 - 30 - 05 | 50    | 5 - 1 - 07  | 25    | 6 ~ 8     | 13.3 | 7.3  | 1/3.5  |
|                | UD | 4 - 29 - 20 | 58    | 5 - 1 - 01  | 31    | 2.5 ~ 3.5 | 5.4  | 3.6  | 1/3.3  |
| 日本本州东海岸近海 M7.1 | NS | 5 - 4 - 15  | 80    | 5 - 5 - 01  | 70    | 5 ~ 8     | 19.1 | 6.6  | 1/9.4  |
|                | EW | 5 - 4 - 14  | 79    | 5 - 4 - 23  | 71    | 4 ~ 6     | 15.4 | 6.8  | 1/9.6  |
|                | UD | 5 - 4 - 14  | 79    | 5 - 4 - 20  | 73    | 2.5 ~ 3.5 | 7.2  | 2.9  | 1/10   |
| 四川汶川 M8.0      | NS | 5 - 9 - 11  | 73    | 5 - 12 - 08 | 5     | 5 ~ 6     | 28.0 | 24.0 | 1/2000 |
|                | EW | 5 - 9 - 13  | 71    | 5 - 12 - 07 | 6     | 4.5 ~ 6.5 | 22.5 | 18.2 | 1/2000 |
|                | UD | 5 - 9 - 16  | 68    | 5 - 12 - 02 | 11    | 2.5 ~ 3.5 | 13.0 | 9.0  | 1/2000 |

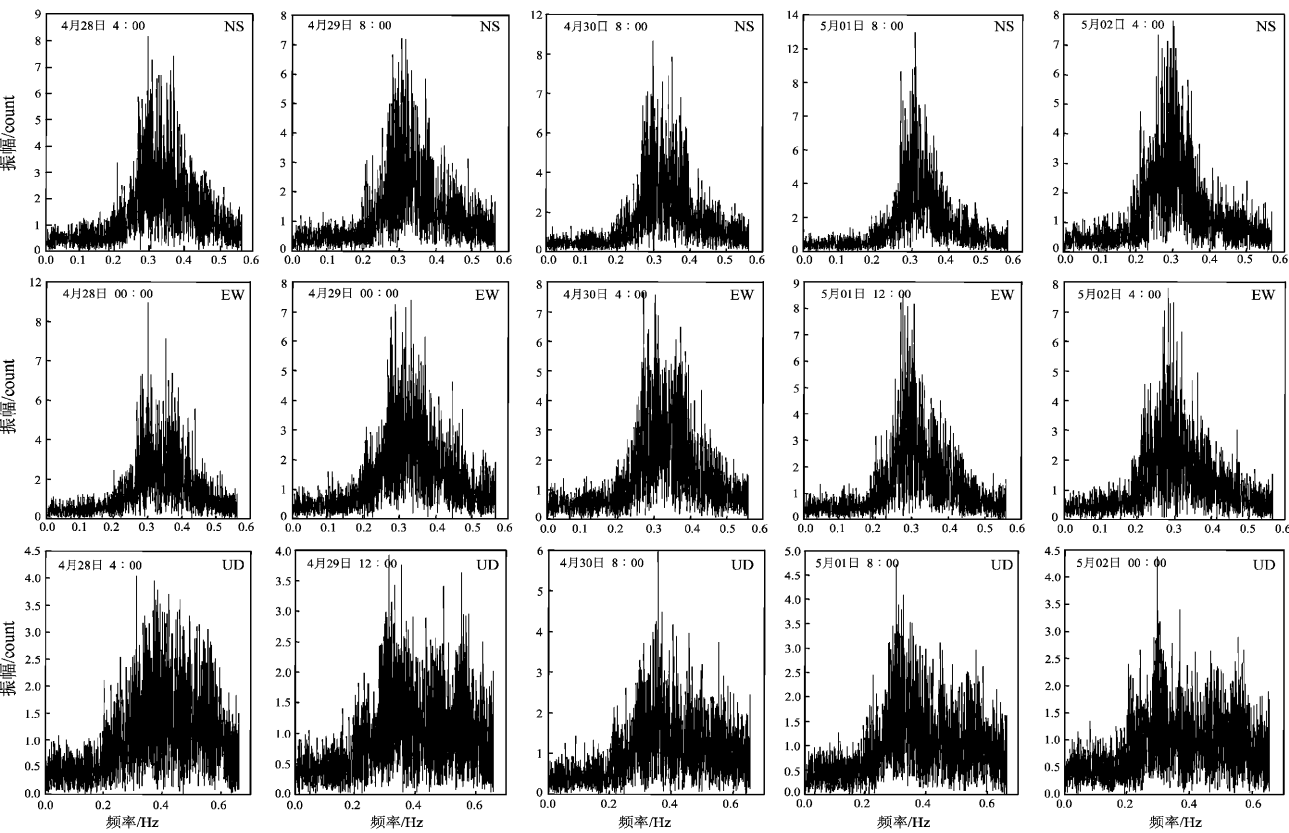


图 3 安德烈亚诺夫群岛地震前 0.005 ~ 0.6 Hz 一小时地脉动部分频谱（UD 向：0.005 ~ 0.7 Hz）  
Fig. 3 Part of 0.005 ~ 0.6 Hz microtremor spectrum in one hour before Andrea Ivanov Islands M7.0 earthquake (UD direction: 0.005 ~ 0.7 Hz)

6 时(震前 50 h)起不断增大,持续增大 25 个小时后于 5 月 1 日 7 时达到最大振幅 13.3 count 后下降,下降过程中发震,震前 1 小时幅值降至 7.3 count。

UD 向 4 月 28 日 0 时至 4 月 29 日 19 时,谱振幅值分布在 2.5 ~ 3.5 count 之间,优势频段处于 0.2 ~ 0.6 Hz。4 月 29 日 20 时(震前 58 h)谱振幅值开始快速上升,5 月 1 日 1 时达到最大值 5.4 count 后下降,震前 1 小时幅值降至 3.6 count。优势频率与水平向同步,相对集中分布在 0.2 ~ 0.4 Hz。

## 2.2 日本本州东海岸近海地震前地脉动变化

2008 年 5 月 8 日 0 时日本本州东海岸近海  $M7.1$  地震前也出现了与上述震例类似的情况(图 4)。NS 向 5 月 4 日 15 时(震前 80 h) 0.2 ~ 0.3 Hz 谱振幅值开始不断增大,于 5 月 5 日 1 时(震前 70 h) 达到最大值 19.1 count 后下降至 7.0 count 左右发震,而之前的 5 月 3 日 0 时至 4 日 14 时此频段振幅值在 5 ~ 8 count 徘徊。

EW 向 5 月 3 日 0 时至 5 月 4 日 13 时谱振幅值在 4 ~ 6 count,5 月 4 日 15 时(震前 79 h)起快速增大,5 月 4 日 23 时(震前 70 h) 达到最大值 15.4 count,后下降至 6 ~ 7 count 时发震。谱振幅值增大部分频率集中分布于 0.2 ~ 0.3 Hz。

UD 向 5 月 3 日 0 时至 5 月 4 日 13 时,谱振幅值分布在 2.5 ~ 3.5 count,于 5 月 4 日 14 时(震前 79 h)快速上升,4 日 20 时(震前 73 h)升到最大值 7.2 count 后下降,震前降至 3 count 左右。优势频段分布较为宽泛,位于 0.2 ~ 0.6 Hz,随着异常的出现逐步集中分布到 0.2 ~ 0.4 Hz。

## 2.3 汶川地震前地脉动变化

2008 年 5 月 8 ~ 13 日 Rammasun 台风在西太平洋上空产生,风力达 14 级,郝晓光和胡小刚(2012)分析认为,该台风行动路径与中国海岸最近距离约 1 000 ~ 1 300 km,对中国内陆的地脉动变化影响不明显。笔者对许昌台三分向整点观测序列傅立叶谱计算分析发现(图 5),汶川地震前

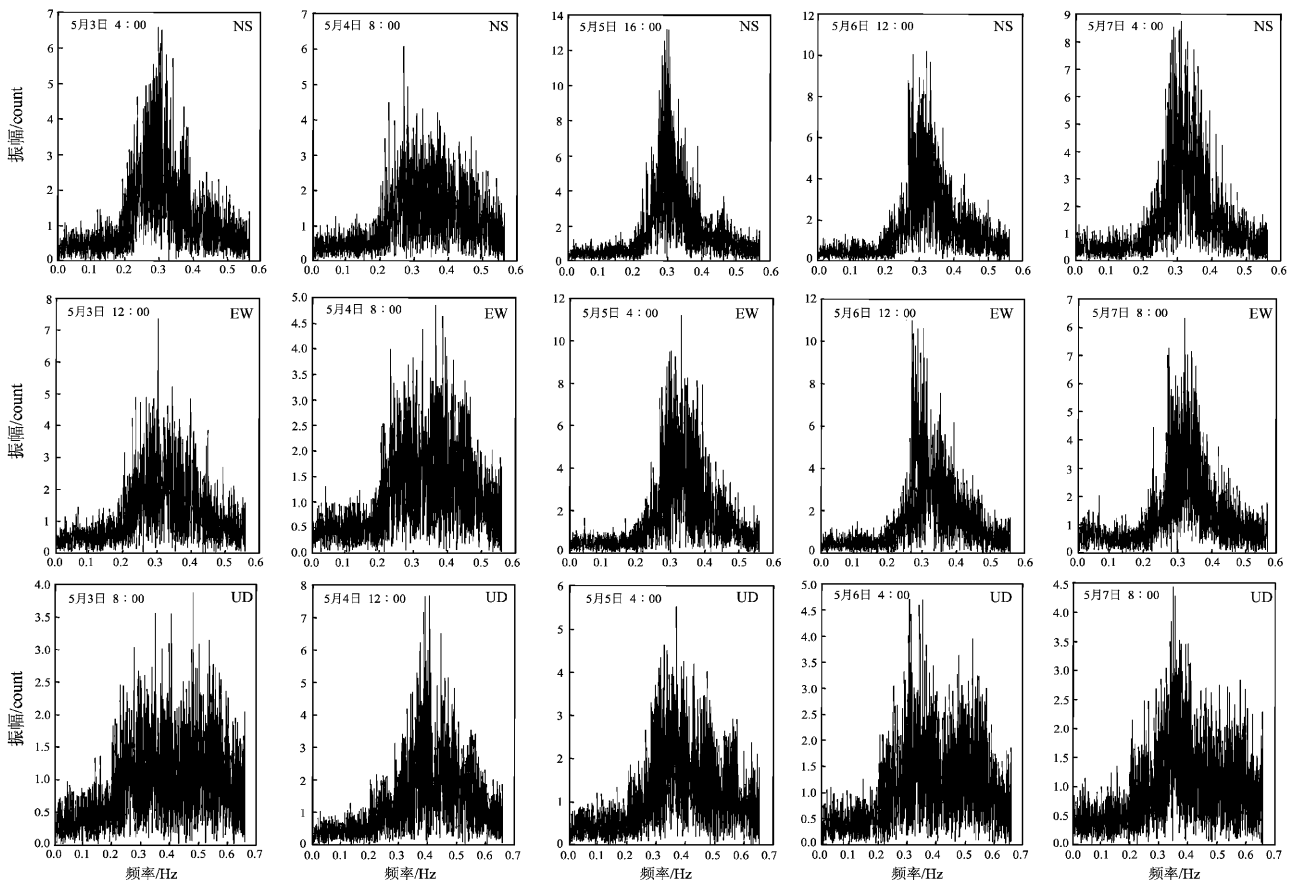


图 4 日本本州东海岸近海地震前 0.005 ~ 0.6 Hz 一小时地脉动部分频谱(UD 向: 0.005 ~ 0.7 Hz)

Fig. 4 Part of 0.005 ~ 0.6 Hz microtremor spectrum in one hour before East coast of Honshu offshore  $M7.1$  earthquake in Japan (UD direction: 0.005 ~ 0.7 Hz)

NS向5月9日11时(震前73 h)谱振幅值开始快速增大,5月12日8时(震前5 h)达到最大值28.0 count后下降,震前1小时降至24.0 count,之前的5月8日4时至5月9日10时谱振幅值在5~6 count。优势频率分布与振幅变化进程比较吻合,5月9日11时开始更明显的集中分布在0.2~0.3 Hz,临震前几小时分布较宽。

EW向5月8日4时至5月9日12时谱振幅值在4.5~6.5 count,5月9日13时(震前71 h)起快速增大,5月12日7时(震前6 h)达到最大值

22.5 count后下降至18.2 count发震。优势频率分布较为宽泛,9日至临震前几小时集中分布于0.2~0.3 Hz,临震前分布又相对较宽。

UD向5月8日4时至5月9日15时,谱振幅值分布在2.5~3.5 count,于5月9日16时(震前68小时)开始快速上升,持续上升至5月12日2时(震前11 h)13.0 count后下降,震前1小时降至9 count。优势频率开始分布较为宽泛,位于0.2~0.6 Hz,10日起集中分布到0.2~0.3 Hz,一直持续到震前。

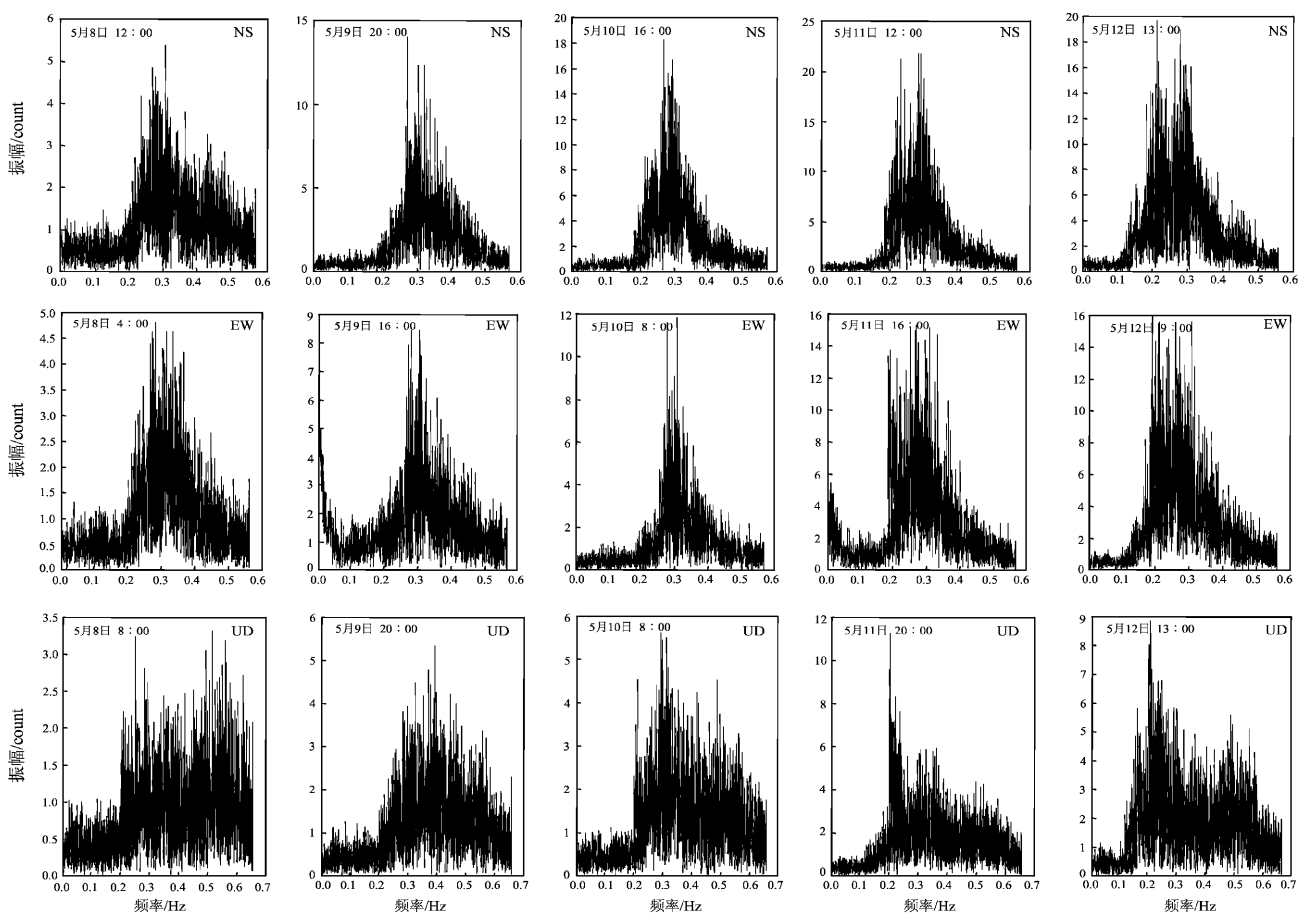


图5 四川汶川地震前0.005~0.6 Hz一小时地脉动部分频谱(UD向:0.005~0.7 Hz)

Fig. 5 Part of 0.005~0.6 Hz microtremor spectrum in one hour before Wenchuan M8.0 earthquake in Sichuan (UD direction; 0.005~0.7 Hz)

### 3 结论与探讨

(1) 地震活动平静时期,地脉动变化较平稳,虽然有某些变化,但与孕震期的异常形态明显不同。分析许昌台测震资料的傅立叶谱发现:大震前0.2~0.3 Hz频段谱振幅值变化幅值一般较小,

NS向5~8 count,EW向4~6 count,UD向2.5~3.5 count。

(2) 在本文研究时段内三次 $M \geq 7.0$ 地震前许昌台短周期地震仪三分向都记录到了地脉动异常变化,水平向更加明显。对于同一个地震,三分向变化基本同步,异常出现时间只相差几个小时。

(3) 这三次地震前连续波形一小时资料傅立

叶谱 0.2 ~ 0.3 Hz 谱振幅值出现大的变化, 进程上具有如下特征: 快速增大—达到最大值—下降—下降过程中发震。

(4) 地脉动异常一般在震前 2.3 ~ 3.3 d 出现, NS、EW、UD 三分向傅立叶谱 0.2 ~ 0.3 Hz 频段谱振幅值在安德烈亚诺夫群岛地震前 62、50、58 h、日本本州东海岸近海地震前 80、79、79 h、汶川地震前 73、71、68 h 出现异常并快速上升。

本文在研究过程中, 防灾科技学院万永革教授对本文的主要研究内容提出了宝贵意见。中国科学院测量与地球物理研究所郝晓光研究员, 胡小刚副研究员, 中国地震台网中心宋臣田研究员也给予的大力支持, 在此表示衷心感谢。

#### 参考文献:

- 哈夫斯科夫. 2007. 地震观测技术与仪器[M]. 北京: 地震出版社, 30-45.
- 郝晓光, 胡小刚. 2012. 强震短临前兆探索 ~ “震前扰动”现象研究[M]. 北京: 测绘出版社, 50-51.
- 牛志仁, 朱传镇. 1978. 脉动与地震关系的初步探讨(二)[J]. 地球物理学报, 21(4): 325-331.
- 万永革. 2012. 数字信号处理的 MATLAB 实现[M]. 北京: 科学出版社, 89-91.
- 杨立明, 王建军, 冯建刚. 2009. 汶川地震前地脉动低频波动现象及其应用的初步研究[J]. 中国地震, 25(4): 356-366.
- 杨又陵, 赵根模, 高国英. 2003. 2001 年 11 月 14 日昆仑山口西 M8.1 地震前的缓慢地震事件[J]. 国际地震动态, (9): 1-4.
- 赵根模, 杨港生, 陈化然. 2001. 寂静的前震与地震预测[J]. 地震, 21(1): 69-76.
- 朱传镇, 房明山, 安镇文, 等. 1997. 脉动与地震关系的初步探讨[J]. 地球物理学报, 40(1): 20-32.

## Research on Anomaly Changes of Microtremor before Strong Earthquake

WANG Mei-de<sup>1</sup>, HAN Yan-jie<sup>2</sup>, GUO Xiang-yun<sup>3</sup>, YU Ren-bao<sup>1</sup>, JIA Jiong<sup>4</sup>, ZHAO Zu-hu<sup>2</sup>, JU Yong<sup>4</sup>

(1. Earthquake Administration of Xuchang Municipally, Xuchang 461000, Henan, China)

(2. Earthquake Administration of Henan Province, Zhengzhou 450000, Henan, China)

(3. Institute of Geophysics, CEA, Beijing 100081, China)

(4. Earthquake Administration of Hebei Province, Shijiazhuang 050000, Hebei, China)

#### Abstract

Basing on the seismic continuous waveforms from 12: 00 am on Apr. 28 to 1: 00 pm on May. 12 in 2008 recorded by Xuchang Station, we quantitatively analyzed frequency domain and amplitude of microtremor variation before three  $M \geq 7.0$  earthquakes, including Andrea Ivanov Islands M7.0 earthquake on Apr. 2, 2008, East coast of Honshu offshore M7.1 earthquake on Apr. 8, 2008 in Japan and Wenchuan  $M_s 8.0$  earthquake on Apr. 12, 2008 in Sichuan. The conclusions was obtained as following: the microtremor anomalies were recorded by three three-component of seismometer before three earthquakes, and was obvious in the vertical component. The 0.2 ~ 0.3 Hz spectrum amplitude value of Fourier spectral changed greatly, and the process had the characteristic that the earthquake occurred in the process of rapid increase-reach to maximum-decrease-decrease. The microtremor anomaly was appeared in 2.3, 3.3, 2.9 days before three earthquakes, which were impending anomaly.

**Key words:** microtremor; earthquake precursory anomaly; Fourier spectrum; Xuchang Station