

大地震前近台背景噪声的频谱分析^①

许康生, 李秋红, 李 英

(中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘 要:选取了2008年汶川地震发生前12天四川测震台网震中附近三个台和2010年玉树地震前14天青海测震台网震中附近三个台的地震仪连续记录进行功率谱密度的分析。结果表明,近台背景噪声频谱与其它台站的记录存在差异,并且两次大地震的近台记录特征具有相似性。这种特征表达了震源区的岩层活动的物理过程与其后发生的大地震是有关联的。这些信息的提取和研究有助于对构造性地震的发震机理研究以及地震预报的探索。

关键词:汶川地震;玉树地震;背景噪声;功率谱密度;地震预报

中图分类号: P315.75 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2012)02-0150-04

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2012.02.0150

Analysis on the Spectrum of Background Noise in Stations near by Epicenters of Two Great Earthquakes

XU Kang-sheng, Li Qiu-hong, Li Ying

(Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The continuous recorded broadband seismographics waveform data in 12 days before the Wenchuan M8.0 earthquake in 2008 from 3 seismic stations of Sichuan digital seismic network and one in 14 days before the Yushu M7.1 earthquake in 2010 from 3 seismic stations of Qinghai digital seismic network, which nearby the epicentres, are chosen and analyzed. The result shows that dominant frequency of background noise obvious changed before the two main rupture, and both cases have similar character. It indicated possible slight ruptures in the seismogenic zone before the great earthquake. Although it is a primary result, it is helpful to research induction mechanism of earthquake and earthquake prediction explore.

Key words: Wenchuan earthquake; Yushu earthquake; Background noise; Power spectrum density; Earthquake prediction

0 引言

地下岩层在外力作用下应力不断积累,当应力积累达到或超过岩层的破裂强度或摩擦强度时,能量突然释放,也就发生地震。在能量逐渐积累的过程中,孕震区的应力状态和岩石的一些物理性质也在发生着相应的变化,或许还有区域性的细微破裂在发生,这些变化人们直观和仪器直观也许是不易察觉的,但在仪器连续记录的背景噪声中包含了这

些信息,我们希望通过一些数学处理方法提取出这些信息。本文通过对汶川地震前12天和玉树地震前14天震中附近台站的背景噪声记录进行处理,分析其频谱变化特征,进行一些这方面的探索研究。

1 处理方法

功率谱估计可以分为经典谱估计方法与现代谱

^① 收稿日期:2010-09-13

基金项目:中国地震局地震预测研究所基本科研业务专项(2009A19);中国地震局地震行业科研专项(200708031-1);中国地震局兰州地震研究所论著编号:LC2012007

作者简介:许康生(1963-),男(汉族),甘肃武威人,高工,主要从事地震监测和地震数据处理研究。

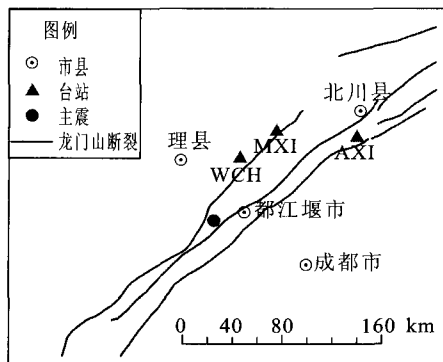
估计方法。经典谱估计中最简单的就是周期图法,但是周期图法估计出的功率谱不够精细,分辨率比较低。可以将信号序列 $x(N)$ 分为 L 个不相重叠的小段,分别用周期图法进行谱估计,然后将这 L 段数据估计的结果的平均值作为整段数据功率谱估计的结果。还可以将信号序列 $x(N)$ 重叠分段,分别计算功率谱,再计算平均值作为整段数据的功率谱估计。加窗平均周期图法是对分段平均周期图法的改进,即在数据分段后,对每段数据加一个非矩形窗进行预处理,然后再按分段平均周期图法估计功率谱。相对于分段平均周期图法,加窗平均周期图法可以减小频率泄漏,增加频峰的宽度。Welch 法就是利用改进的平均周期图法估计随机信号的功率谱,每一段的功率谱:

$$\hat{P}_{\text{PER}}^i(\omega) = \frac{1}{MU} \left| \sum_{n=0}^{M-1} x_{N(n)}^i d_{2n} e^{-j\omega n} \right|^2$$

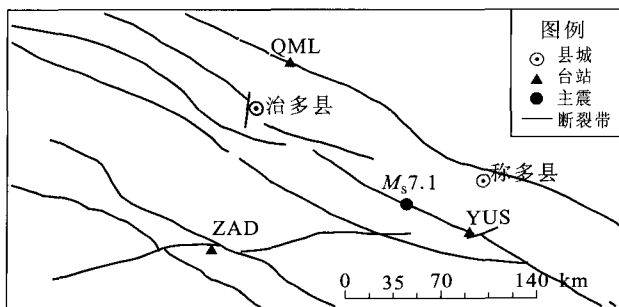
式中 M 为每段的数据长度; N 为数据总长度; $d_{2(n)}$ 为数据窗口; U 是一个归一化因子,保证了谱的无偏估计。各段平均后的功率谱:

$$\hat{P}_{\text{PER}}(\omega) = \frac{1}{MUL} \sum_{i=1}^L \left| \sum_{n=0}^{M-1} x_{N(n)}^i d_{2n} e^{-j\omega n} \right|^2$$

上式中 L 是数据长度的分段数。



(a) 汶川地震



(b) 玉树地震

图1 选用台站分布图

Fig. 1 Distribution of used station for Wenchuan earthquake ($M_s 8.0$) and Yushu earthquake ($M_s 7.1$).

2 资料处理

资料分别来自四川省地震台网和青海省地震台网的记录。对汶川地震,本文选取 2008 年 5 月 1 日至 12 日茂县台(MXI)、安县台(AXI)和汶川台(WCH)三个震中附近台的连续记录,三个台的地理分布、主震位置及龙门山断裂如图 1(a)所示,这 3 个台配置的仪器均为 CMG-3ESP-60 地震计,频带范围 60 s-50 Hz,数据采集器为 24 位,采样率 100 sps。对玉树地震,选取 2010 年 4 月 1 日至 14 日曲玛莱台(QML)、杂多台(ZAD)和玉树台(YUS)三个震中附近台的连续记录,三个台的地理分布、主震位置及断裂带如图 1(b)所示。曲玛莱台和杂多台配备 BBVS-60 地震计,频带范围 60 s-50 Hz,玉树台配置 KS2000M-60 地震计,频带范围 60 s-50 Hz,数据采集器均为 24 位,采样率 100 sps。为了减少周围环境干扰对结果的影响,我们只抽取了这些台干扰较小的垂直向的记录进行计算处理。

首先,以一个小时的连续记录为一个数据文件,采用 3 阶 Butterworth 带通滤波,带通范围为 0.5~5 Hz,这是通过经验性试算确定的,在这个频率区间表现出较好的频谱变化的敏感性。然后采用 Welch 方法进行功率谱密度估计,并得到最大功率所对应的频点(或称为卓越频点),这样,每天得到 24 个卓越频率频点值(记录缺失时段的频点和峰值以 0 填补),为了强化表达在 0.5~5 Hz 范围内高频段卓越频点出现的频次,图 2 只展示了卓越频点在 3.0~4.5 Hz 范围的时序结果。

3 结果分析

3.1 四川台站记录功率谱密度结果分析

茂县台:在 12 天中,卓越频率为 3.9 Hz 左右的成分出现 0 次,其次为频率为 3.5 Hz 左右的成分。

安县台:在 12 天中,卓越频率为 3.9 Hz 左右的成分出现 3 次,其中前 7 天出现 1 次,后 5 天出现 2 次。

汶川台:在 12 天中,卓越频率为 3.9 Hz 左右的成分出现 90 次,其中前 7 天出现 32 次,后 5 天出现 58 次。

由此可以看出,在空间分布上,茂县台和安县台卓越频率为高频的出现概率明显低于汶川台,表现出显著的差异;在时间分布上,茂县台和安县台卓越频率为高频的出现没有显示出规律性特征,而汶川台的结果表现出时序上明显的前疏后密的趋势,前

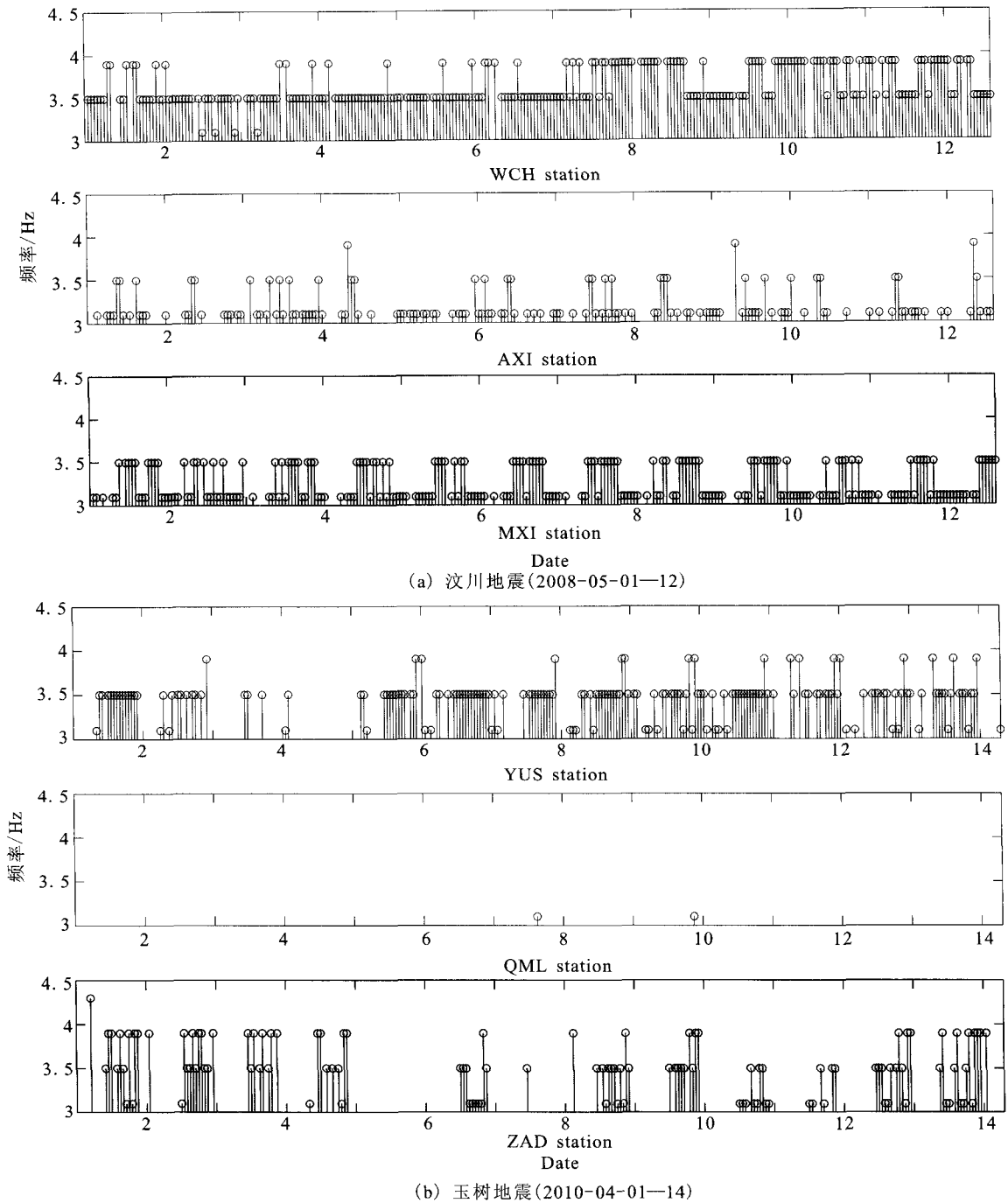


图 2 选用台的背景噪声功率谱密度峰值频率

Fig. 2 The peak frequency of power spectrum density from chosen stations.

7 天(168 小时)卓越频率为 3.9 Hz 每小时出现的概率为 19%,后 5 天(109 小时)的概率为 53%。这意味着,在 5 月 1—12 日这段时间,汶川台记录到了一些富含高频成分的波,而且随时间推移,出现的频次在不断加密,而茂县台和安县台的结果没有显示出这一特征;我们估算了这 3 个台的震中距,茂县台、安县台和汶川台的震中距分别是 86 km、121 km 和 56 km,假如汶川台接收到的这些高频波来自汶川

主震初始破裂点附近,而茂县台和安县台并没有记录到类似汶川台的一些高频成分,可见这些波在传播过程中被急剧衰减,这与波在介质中传播衰减的物理规律是相吻合的。

3.2 青海台站记录功率谱密度分析

曲玛莱台:在 14 天中,没有出现在我们研究频段内的高频成分。

杂多台:同时间段中,频率为 3.9 Hz 的成分出

现38次,其中1—7日时段22次,8—14日时段出现16次。

玉树台:同时间段中,频率为3.9 Hz的成分出现17次,其中,1—7日时段4次,8—14日时段出现13次。

可见,曲玛莱台没有记录到高频波,杂多台记录的高频成分在时间分布上较为均匀,而玉树台在前7天(168小时)每小时记录到的3.9 Hz出现的概率为2%,后7天(150)概率为11%。可见,随时间推移,出现的频次也在不断加密。杂多台、曲玛莱台和玉树台的震中距分别是122 km、125 km和43 km。由此认为,只有玉树台记录到了与玉树地震初始破裂相关联的一些高频信息。

文献[3]给出了花岗岩岩石压力实验的一些结果,指出在压力达到一定值时(主破裂应力的51.8%~72.2%),仪器记录到“前破—主破—余破”型破裂。这也从实验角度佐证了岩石受力破裂的力学过程,震前记录到一些微破裂的信息也是可能的。

4 结论

根据对这两次大地震一些附近台站记录的处理,以及对处理结果从空间分布和时间序列上的分析,给出以下几点初步结论:

(1) 在大地震发生前的一段时间内,地震的初始破裂点附近有一些岩层的细小破裂发生,近台会记录到一些富含高频成分的波,这是孕震区内应力积累接近岩石破裂强度的临界状态,且在主破裂发生前,发生的细微破裂的结果,当然也包含了孕震区岩层在应力作用下裂纹贯通、扩容和进水等物理过程引起的介质不均匀性、各向异性和粘滞性的有关信息。

(2) 这类细微破裂的发生频次在时间表现出前

疏后密的特征,反映岩层内应力不断积累的动态变化过程。

(3) 细微破裂释放的能量较小,富含高频成分在地层介质中传播衰减很快,如果在传播过程中穿越断层会衰减更快,所以只有极近台站才可能记录,当然与台站位置及本地区断裂带的展布状况也有关系。根据这两次大地震及周围台站记录的分析,初步认为在现有仪器配置下,震中距小于60 km的台站记录中才有可能提取出这些信息。

(4) 限于震例及资料,以上仅是一个初步研究结果。随着震例、资料的积累和研究方法的改进,将进一步研究这一问题。

【参考文献】

- [1] 胡广书. 数字信号处理[M]. 北京:清华大学出版社:1997:335-337.
- [2] 马博琳,李勇,董顺利,等. 汶川地震震中映秀地区地表破裂特征[J]. 西北地震学报,2009,31(4):339-343.
- [3] 冯德益,陈化然,郭瑞芝,等. 青藏高原北缘地区地震波动力学特征量变化与前震关系的研究[J]. 内陆地震,1979,11(1):2-8.
- [4] 李正光,杨融海,赵晋明,等. 地震序列类型的岩石破裂实验研究[J]. 地震研究,2005,28(4):388-392.
- [5] 嵇少丞. 地震与中国大陆形影相随[M]. 北京:科学出版社,2009:1-160.
- [6] 胡小刚,郝晓光. 汶川大地震宽频带地震仪短临异常及成因初探[J]. 地球物理学报,2008,51(6):1726-1734.
- [7] 卿新林,宋锦良,冯德益,等. 双轴压缩下组合裂纹的动态扩张实验研究[J]. 西北地震学报,1994,16(1):27-32.
- [8] 冯德益,陈化然,丁伟国. 大震前地震波频谱异常特征的研究[J]. 地震研究,1994,17(4):319-329.
- [9] 乔宝成,李勇,董顺利,等. 汶川 $M_s8.0$ 地震中央断裂北端震中映秀地区地表破裂特征[J]. 西北地震学报,2009,31(4):333-338.