

震前次声波信号特征研究

夏雅琴, 胡争杰, 郑 菲

(北京工业大学 机械工程与应用电子技术学院, 北京 100022)

摘 要:地震波在地球内部四处传播,向大气辐射次声波,称为地震次声波。次声波频率在 20 Hz 以下,振幅衰减减小,传播距离远,在大气声道中(从地面到 50 km 的高空)可以传播上千 km,有的绕地球数周后仍能被探测到。因此次声波与地震有很好的对应关系,一般情况下世界范围内 7 级以上地震在震前能观测到次声波异常信号。利用高性能电子计算机和日益完善的信号分析处理技术,找出震前次声波异常信号的内在特征,为以后的地震预报提供重要的参考价值。对地震前接收到的次声波异常信号数字离散化,运用傅里叶变换和小波分析理论对信号进行处理,发现震前接收到的次声波异常信号频率主要集中在 $0 \sim 4 \times 10^{-3}$ Hz 频段,该信号在高尺度段表现出对称有序性,在低尺度段突变明显。

关键词:次声波;信号分析处理;地震预报

中图分类号:P 315

文献标识码:A

文章编号:0254-0037(2005)05-0461-05

1 探索来源

次声波异常信号是临震预报的重要方法。要世界范围内 7 级以上的地震前能收到次声波异常信号。利用异常信号可以预测发震时间及震级,前者误差小于 4 d,后者误差小于 0.8 级^[1,2]。十多年来,北京工业大学地震研究所积累了大量地震前次声波信号异常的宝贵资料,对该资料进行系统和科学的分析与处理,找出震前次声波异常信号的特征,为以后的地震预报提供重要的参考依据。

2 思路与方法

把以前记录下的震前次声波异常信号图通过地震波图数字化及数据库管理系统软件进行分析,在对次声波信号处理不失真的情况下,将模拟图纸离散化和数据化,这些输出的数据是下面对次声波信号处理和核心。主要操作步骤包括:

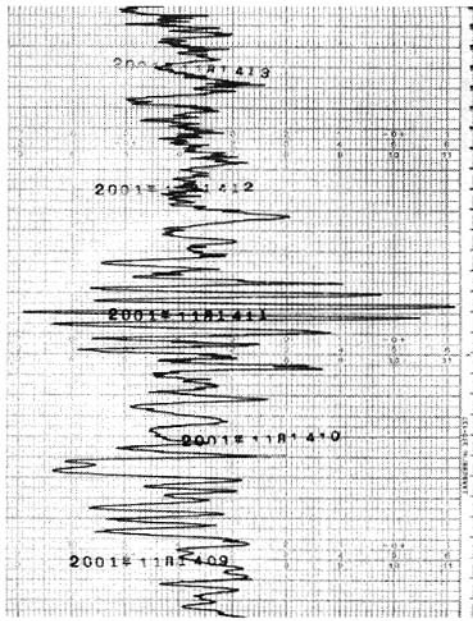
1) 图纸输入。首先通过 Photoshop 软件对原始图形进行色彩调整和处理,以便地震波图数字化及数据库管理系统软件能清楚地识别信号的图像,把图纸输入到地震波图数字化及数据库管理系统中,进行后处理;

2) 波形跟踪。通过对波形的跟踪从而实现对波形的提取;

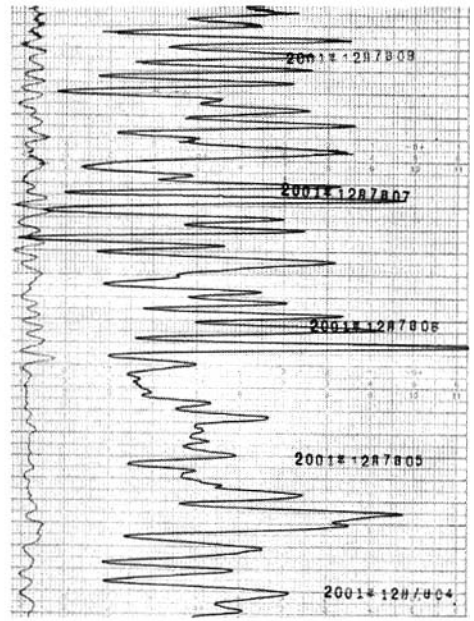
3) 波形入库。在波形提取结束后,系统进入波形数据库管理系统的管理界面。系统先将提取的波形入库,同时实现对提取的波形进行存储;

4) 波形数字离散化输出。通过对波形的时间截取和采样,实现对波形的幅值离散化输出。

图 1(a) 以下称之为信号一)是 2001 年 11 月 14 日发生在青海的 Ms 8.1 级地震前接收到的次声波信号。图 1(b) 以下称之为信号二)是 2001 年 12 月 18 日发生在台湾的 Ms 7.5 级地震,通过地震波图数字化及数据库管理系统软件对信号一和信号二分别进行处理(包括波形提取、波形跟踪、波形比较、波形入库、离散数据的文本输出)。



(a)青海8.1级地震

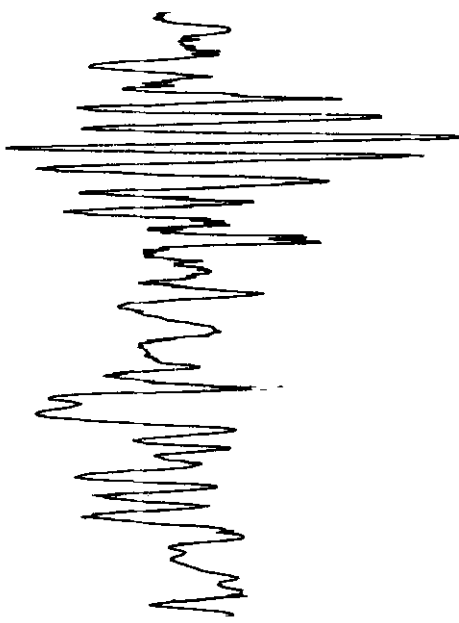


(b)台湾7.5级地震

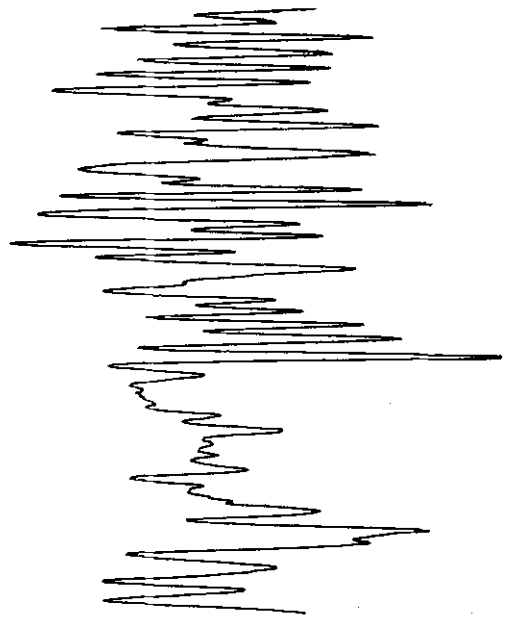
图1 地震前次声波异常信号

Fig.1 The abnormal signal before earthquake of magnitude

2)对信号一进行截取,时间段为2001年11月14日[09:45:00—12:10:00]得到图2(a),同时以 $T_s = 5s$ 为采样周期进行数据采样.对信号二进行截取,时间段为2001年12月7日[04:00:00—08:15:00]得到图2(b),同样以 $T_s = 5s$ 为采样周期.



(a)信号一



(b)信号二

图2 截取后的信号

Fig.2 The signal after cutting

3 数据分析

数据分析是通过 Matlab 软件实现的,运用 Matlab 处理信号的理论基础是离散傅里叶变换.

离散傅里叶变换(discrete fourier transform, 简称 DFT)对信号进行傅里叶变换或傅里叶逆变换运算时无论在时域或频域都需要进行包括 $(-\infty, \infty)$ 区间的积分运算,而若在计算机上实现这一运算,则必须满足

- 1) 把连续信号(包括时域、频域)转换为离散数据;
- 2) 将计算范围收缩到一个有限区间;
- 3) 实现正、逆 Fourier 变换运算.在这种条件下所构的变换对称称为离散傅里叶变换对.在时域和频域中都只取有限个离散数据,这些数据分别构成周期性的离散时间函数或频率函数.

对连续时间信号进行离散 Fourier 变换,一般可概括为时域采样、时域截断、频域采样 3 个步骤,最终导出离散傅里叶变换对为:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)W^{kn} \quad k=0, 1, 2, \dots, N-1; \tag{1}$$

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k)W^{-kn} \quad n=0, 1, 2, \dots, N-1 \tag{2}$$

通过傅里叶变换,将 N 个时域采样点与 N 个频域采样点联系起来^[3].

功率谱密度函数

$$S_x(k) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} |X(k)|^2 \tag{3}$$

其估计值为

$$\hat{S}_x(k) = \frac{1}{N} |X(k)|^2 \tag{4}$$

式中 $k=0, 1, 2, \dots, N-1$;

通过式(1)和式(4)计算信号一和信号二的功率谱,如图 3 所示.

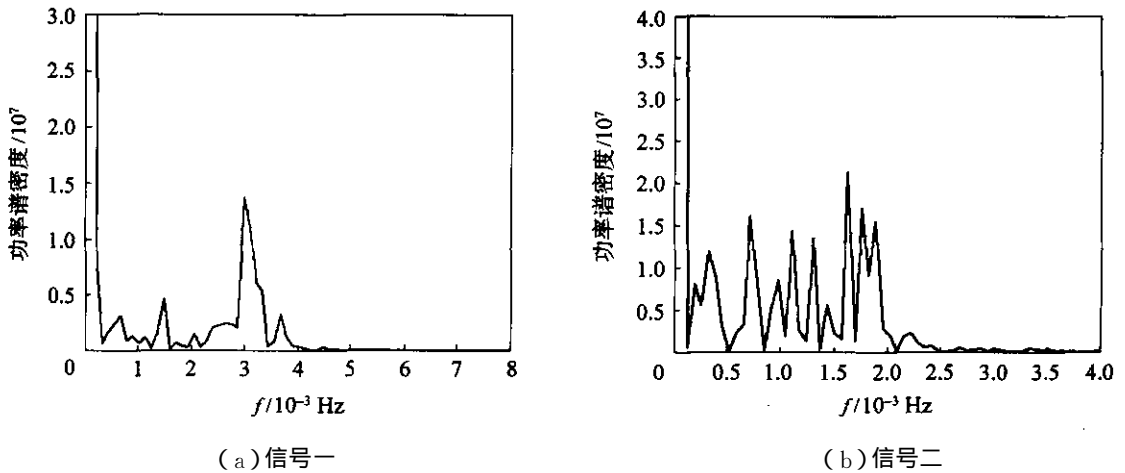


图 3 信号功率谱图

Fig. 3 The power analysis figure of signal

4 小波分析

根据傅里叶变换分析的信号,频谱 $f(\omega)$ 的任一频点值是由时间过程 $f(t)$ 在整个时间域上的贡献,反之,过程 $f(t)$ 在某一时刻的状态也是由频谱 $f(\omega)$ 在整个频率域上的贡献来决定. $f(t)$ 与 $f(\omega)$ 彼此是整体刻画,不能反映各自在局部区域上的特征,不能用于局部分析.只能从整体上把握信号的频率特征^[4].小波分析是用一族频率不同的振荡函数 $\Psi_{(a, \tau)}(t)$ 作为窗口函数对信号 $f(t)$ 进行扫描和平移,其中 a 为改变振荡频率的伸缩参数, τ 为平移参数.

将任意 $L^2(R)$ 空间中的函数 $f(t)$ 在小波基下进行展开,称这种展开为函数 $f(t)$ 的连续小波变换

(continue wavelet transform, 简记为 CWT), 其表达式为

$$WT_f(a, \tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \overline{\Psi_{a, \tau}(t)} dt \quad (5)$$

由 CWT 的定义可知, 小波变换同傅里叶变换一样, 都是一种积分变换, 同傅里叶变换相似, 我们称 $WT_f(a, \tau)$ 为小波变换系数^[5]. 小波基具有尺度 a 、平移 τ 2 个参数, 因此, 将函数在小波基下展开, 就意味着将一个时间函数投影到时间-尺度相平面上, 并且, 由于小波基本身所具有的特点, 将函数投影到小波变换域后, 有利于提取函数的某些本质特征. 尺度参数 a 的作用既改变窗口的大小与形状, 也改变子波频谱 $\hat{\Psi}_{(a, \tau)}(\omega)$ 的谱图, 其中的关键是在引入子波函数 $\Psi_{(a, \tau)}(t)$ 时, 充分利用了傅里叶变换中的相似性质.

$$\text{若 } f(t) \rightarrow \hat{f}(\omega) \text{ 则 } f(at) \rightarrow \frac{1}{|a|} \hat{f}\left(\frac{\omega}{a}\right)$$

随着参数 a 的减小, $\Psi_{(a, \tau)}(t)$ 的支撑区也随之变窄, 而 $\hat{\Psi}_{(a, \tau)}(\omega)$ 的频谱则随之向高频端展宽, 反之亦然. 这就实现了窗口大小自适应变化, 当信号频率增高时, 时窗变窄, 而频窗高度增大, 以利于检验快变信号, 提高时域的分辨率, 反之亦然^[6]. 由公式 (5) 计算信号一和信号二的小波系数, 得到图 4.

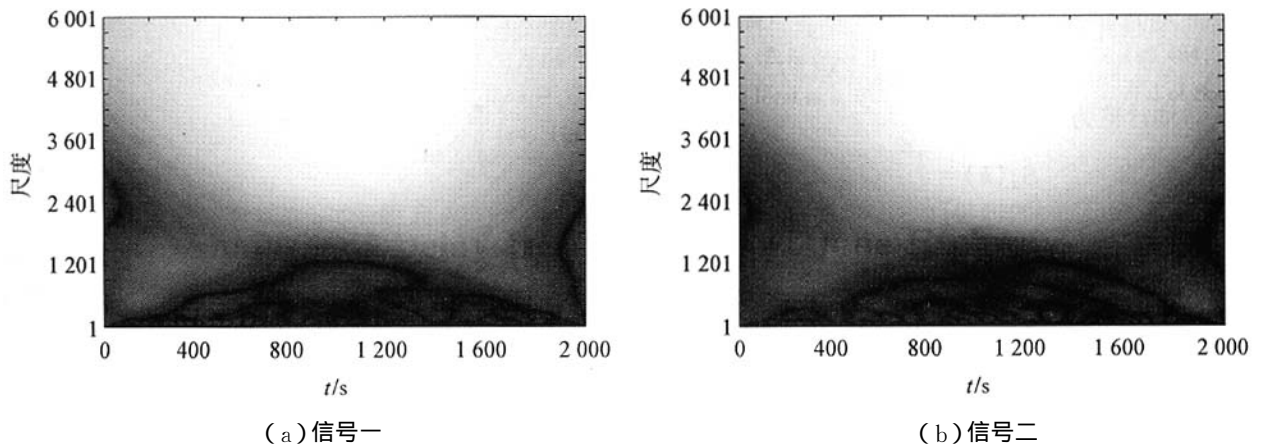


图 4 信号小波分析图

Fig. 4 The wavelet analysis figure of the signa

5 结 论

- 1) 震前接收到的次声波信号的频率很低, 主要集中在 $0 \sim 4 \times 10^{-3}$ Hz 频段;
- 2) 震前接收到的次声波异常信号的大的小波系数集中在低频部分; 是分层多尺度信号; 信号一与信号二无论在时间域还是在时频联合域都表现出相同的特征;
- 3) 震前次声波观测系统所接收到的信号是有用的震前信号, 它确实传递某种地下或地表活动的信息;
- 4) 特征研究为次声波信号的出现与地震发生有关的猜测的正确性提供了最基本的前提.

参考文献:

- [1] 李均之, 夏雅琴, 陈维升. 临震预测实验及有关机理 [A]. 香山科学会议第 133 次学术讨论会论文集 [C]. 北京: 科学出版社, 2002. 3-11.
LI Jun-zhi, XIA Ya-qin, CHEN Wei-sheng. The experiment and theory of short-term earthquake forecast [A]. The 133th Science Colloquium Collection of Xiangshan Science Session [C]. Beijing: Science Press, 2002. 3-11. (in Chinese)
- [2] 李均之, 夏雅琴, 陈维升, 等. 临震预报的一个重要方法——次声波异常 [A]. 地球物理与中国建设 [M]. 北京: 地质出版社, 1997. 295-296.
LI Jun-zhi, XIA Ya-qin, CHEN Wei-sheng, et al. An important way of short-term forecast earthquake about abnormal infra-

- sound[A]. Earth Physics and China Building[M]. Beijing : Geology Press , 1997. 295-296. (in Chinese)
- [3] 史习智. 信号处理与软件计算[M]. 北京 : 高等教育出版社 , 2003.
SHI Xi-zhi. Signal Processing and Software Calculating[M]. Beijing : High Education Press , 2003.(in Chinese)
- [4] BEYLKIN G , CLIFMAN R , ROKHLIN V. Fast wavelet transforms and numerical algorithms[J]. Comm Pure and Appl , 1991 , 44(5): 141-183.
- [5] 王建忠. 小波理论及其在物理和工程中应用[J]. 数学进展 , 1992 , 21(3): 289-316.
WAN Jian-zhong. The using of wavelet theory in the physics and engineering[J]. Maths Progress , 1992 , 21(3): 289-316.
(in Chinese)
- [6] BURT P. J. Fast filter transforms for image processing[J]. Computer Graphics and Image Processing , 1981 , 16(2): 20-51.

Research of Infrasound Signal Before Earthquake

XIA Ya-qin , HU Zheng-jie , ZHENG Fei

(College of Mechanical Engineering and Applied Electronics Technology , Beijing University of Technology ,
Beijing 100022 , China)

Abstract : When the wave of earthquake spreads out in the earth , it can radiate the infrasound. The kind of infrasound is called as earthquake infrasound. The frequency of infrasound is under the 20 Hz , it 's magnitude is declined slowly , and at the same time it spreads far. The infrasound can spread several kilometers long in the air (from the earth 's surface upper to the 50 kilometers). The infrasound can be detected after circling the earth several weeks. Because of these characters , the infrasound has the good opposite connection with the earthquake. As a rule , the abnormal infrasound signal can be detected beyond the magnitude 7 of earthquake in the world. Using the good capabilities of computer and the more and more perfect technologies of signal analysis to find out the inside qualities of infrasound abnormal signal before the earthquake , which will provide the important value for forecasting the earthquake later. Using the discrete Fourier transform and wavelet theories , the abnormal signal is found and it 's range of frequency is about from 0 Hz to 4×10^{-3} Hz after the abnormal signal is discrete , at the same time the abnormal signal is symmetrical and regular in higher scale and the abnormal signal is broken in lower scale.

Key words : infrasound ; analysis of signal ; earthquake forecast