

数字滤波器在高台地震台地震记录 日常分析中的应用

陈建军¹, 许玉红¹, 李兴坚¹, 陈 军², 李东生¹

(1. 甘肃省地震局高台基准地震台, 甘肃 高台 734300; 2. 甘肃省地震局, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 简要介绍了滤波器的一般原理与 Butterworth 低通滤波器、高通滤波器和带通滤波器在高台地震台日常工作中的应用。

关键词: Fourier 变换; 数字滤波器; 数字地震信号

中图分类号: P631.4⁺4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2007)04-0385-03

Application of the Digital Filters on Routine Analysis of Seismic Records in Gaotai Station

CHEN Jian-jun¹, XU Yu-hong¹, LI Xing-jian¹, CHEN Jun², LI Dong-sheng¹

(1. Gaotai Standard Seismic Station, Gansu Earthquake Administration, Gansu Gaotai 734300, China;

2. Earthquake Administration of Gansu Province, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The general principles of digital filters, and the application of Butterworth low-pass filter, high-pass filter and band-pass filter on routine work at Gaotai seismic station are introduced in this paper.

Key words: Fourier conversion; Digital filter; Digital earthquake signal

0 引言

震相分析是地震台站日常工作的重要内容。台站记录的地震信号常常叠加在高频或低频的背景信号上, 这些背景信号就是噪声^[1]。高台基准地震台使用的仪器是武汉地震研究所研制的 JCZ-1 型甚宽频数字地震仪, 其频率范围为 20~1/360 Hz, 可以记录到各种信号, 如地脉动、海浪、爆破、汽车干扰等。通常在较长周期的远震记录上叠加有高频振动; 在近震信号上叠加有远震面波或由于天气的变化造成的长周期的信号; 有时既有长周期噪声又有高频噪声。为了消除噪声, 提高震相分析的准确性, 需要针对不同的情况设计或使用不同的滤波器。

随着计算机的普及与数字信号处理技术的发展, 在地震台站对地震记录进行简单处理已成为可能^[2]。Matlab 是 1970 年代发展起来的一种新的计算机高级语言, 由于其强有力的算功能和绘图功能,

近年来深受科技人员的喜爱^[3]。万永革总结了各种数字信号处理技术, 用 Matlab 语言编写了很多实用的程序单元, 为台站工作人员提供了非常便捷的工具体^[4]。本文将重点介绍几种典型的滤波器在高台地震台资料分析中的应用。

1 滤波的原理与方法

关于数字信号处理方法已有专门的教材做了比较全面的介绍^[4], 这里仅对本文涉及的滤波器的原理做一简单介绍。

一般地讲, 滤波的过程在时间域里相当于给定信号与滤波函数的褶积过程, 即

$$y(t) = h(t) \cdot x(t) \quad (1)$$

式中 $y(t)$ 为滤波后的时间序列; $x(t)$ 为滤波前的时间序列; $h(t)$ 为滤波函数。在频率域里, 式(1)变为

收稿日期: 2007-03-23

中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC20070069

作者简介: 陈建军(1970-), 男(汉), 甘肃酒泉人, 工程师, 主要从事地震台站监测工作。

$$Y(\omega) = H(\omega)X(\omega) \quad (2)$$

式中 $Y(\omega)$ 、 $H(\omega)$ 和 $X(\omega)$ 分别为 $y(t)$ 、 $h(t)$ 和 $x(t)$ 的傅立叶变换。

滤波器的设计实质上相当于滤波函数 $h(t)$ 或 $H(\omega)$ 的构建。滤波函数通常称为滤波器的传递函数。常用的传递函数有两种表示形式,一种是多项式形式,即

$$H(s) = \frac{b_1 + b_2 s^{-1} + \dots + b_n s^{-(n-1)}}{a_1 + a_2 s^{-1} + \dots + a_n s^{-(n-1)}} \quad (3)$$

另一种是零极点增益形式,即

$$H(s) = k \frac{(s-s_1)(s-s_2)\dots(s-s_n)}{(s-p_1)(s-p_2)\dots(s-p_n)} \quad (4)$$

其中 $s=i\omega$ 。式(3)中 a_i 或 b_i 是传递函数多项式系数; n 为多项式阶数,分子和分母的阶数可以不同,二者的最大值称为滤波器的阶数。式(4)中 k 为滤波器的增益; s_i 和 p_i 分别是传递函数的零点和极

点。传递函数不同,滤波特性不同。因此就有了经典的 Butterworth 滤波器、Chebyshev—I 滤波器、Chebyshev—II 滤波器等^[5]。

根据滤波器的特点,我们认为 Butterworth 滤波器更适合我们的工作。因为 Butterworth 滤波器的幅频响应在通带频段最平坦,在过渡频段单调下降,而且阶数越高,过渡带越窄。Matlab 为各种滤波器的设计提供了许多函数程序,文献[4]针对不同的目的编写了滤波器的设计程序,使得我们可以在地震台站的分析工作中利用这些函数程序设计不同的滤波器。图 1(a)是我们设计的截至频率为 3 Hz 的低通滤波器;图 1(b)为截至频率为 15 Hz 的高通滤波器;图 1(c)为通带频率为 1 Hz 至 5 Hz 的带通滤波器。

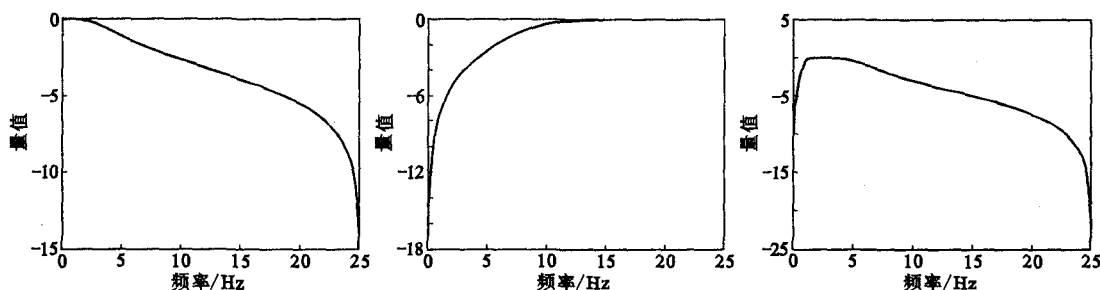


图 1 高台各种滤波器的幅频特性

Fig. 1 The amplitude-frequency responses of filters 阶 using in Gaotai station.

2 Butterworth 滤波器的设计与应用

2.1 低通滤波器

在台站资料的日常分析中经常遇到一个远震记录波列上叠加一个近场高频信号(图 2(a))。取通带波纹为 1 dB,阻带衰减为 15 dB,截至频率为 2.5 Hz。然后将此滤波器应用于原始记录。由图 2(b)可见,原始记录通过滤波后近场的高频信号被去除了。

2.2 高通滤波器

有时遇到地方震记录叠加在远震的面波上(图 3(a)),需要去除低频的面波信号。取通带波纹为 1 dB,阻带波纹为 30 dB,截至频率为 0.5 Hz,然后将滤波器应用于原始记录。由图 3(b)可见,原始记录通过滤波后低频的面波信号成分被去除了。

2.3 带通滤波器

在遇到地震信号既受长周期噪声的干扰又受高频噪声的影响时(图 4(a)),需要一个带通滤波器。设置通带边界频率分别为 1 和 5 Hz,阻带边界频率

分别为 0.2 和 22 Hz,通带波纹为 1 dB 和阻带衰减

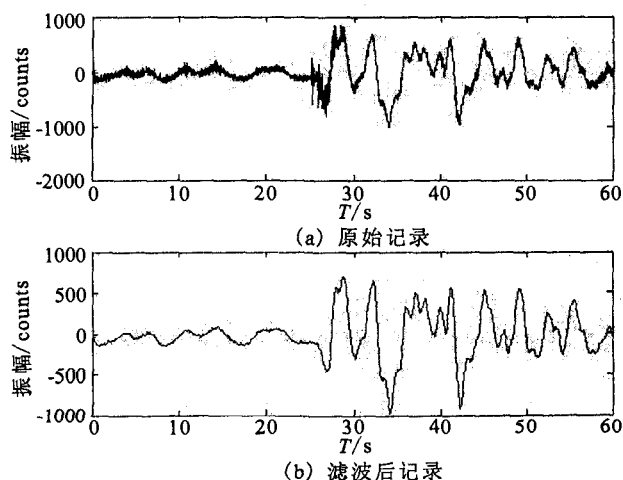


图 2 高台地震台记录的一次远震信号的原始记录与经过低通滤波器滤波后的记录

Fig. 2 The original record and the filtered record by the low-pass filter for a far-field earthquake in Gaotai station.

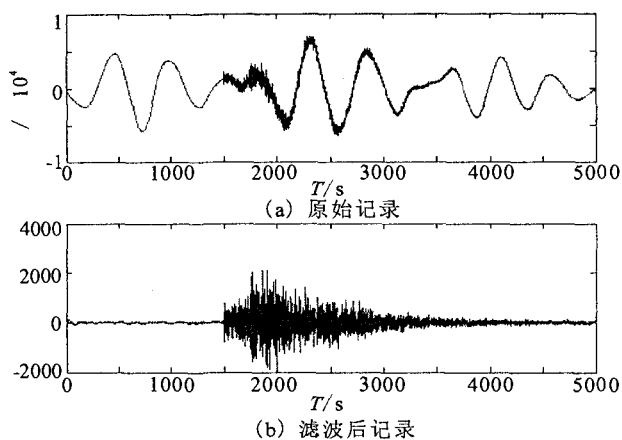


图3 高台地震台记录到的一次地方震的原始记录与经过高通滤波器滤波后的记录

Fig. 3 The original record and filtered record by high-pass filter for a local earthquake in Gaotai station.

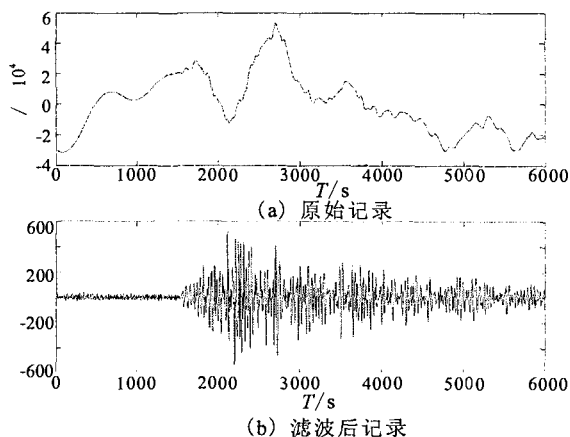


图4 经过带通滤波器滤波后的一次地方震实例

Fig. 4 The filtered record example by bandpass filter for a local earthquake.

25 dB,然后将滤波器应用于原始记录。由图4(b)可见,原始记录通过滤波后地方震的特征明显突出出来了。

3 结语

本文以 Butterworth 低通滤波器、高通滤波器和带通滤波器为例,介绍了滤波器在高台地震台资料分析中的应用。可以看出根据具体情况设计不同的滤波器,可以达到去除干扰、保留有用信息的目的。

数字信号处理技术的内容很广,Matlab 的功能也很强^[3-4]。数字信号处理技术和诸如 Matlab 这样的高级计算机语言在数字地震台将会得到越来越多的应用。台站工作人员可以充分利用台站记录的数字地震资料,借助于现代数字信号处理技术,通过 Matlab 的编程有针对性地进行数字信号的处理。

〔参考文献〕

- [1] 国家地震局科技监测司. 地震观测技术[M]. 北京:地震出版社,1995.
- [2] 程佩青. 数字信号处理教程[M]. 北京:清华大学出版社,1995.
- [3] 张志涌,等. 精通 MATLAB6.5 版教程[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2003.
- [4] 万永革. 数字信号处理的 MATLAB 实现[M]. 北京:科学出版社,2007.
- [5] 陈祥雄,江燕. 滤波原理和一般性时间不变系统[J]. 地震地磁观测与研究,1997,18(6):1-13.
- [6] 雷兴林,劭学钟,张家茹. 对地震转换波的数字滤波处理[J]. 地震学报,1990,12(1):30-37.