

基于 FFT 的南昌台爆破干扰谱分析及滤除应用

鲍志诚¹ 查小惠¹ 赵 影¹

¹ 江西省地震局,南昌市洪都北大道 865 号,330000

摘 要: 选取南昌台附近爆破信号和 2011 年 3 月 11 日 15 时 10 分发生在日本本州东海岸远海的 $M_s 6.3$ 地震作为研究对象。基于 Matlab 快速 Fourier 变换(FFT)对爆破及地震事件进行频谱特征分析,结果显示爆破信号单一、频域窄,以 4~15 Hz 的高频信号为主;地震原始信号以低于 1 Hz 的低频信号为主。根据爆破信号的频谱特性设计了低通滤波器,将地震事件中垂直向(UP)叠加的爆破干扰信号成功滤除并最大限度地保留了原始地震信号,为认识和滤除南昌台附近的爆破信号提供了科学依据。

关键词: 南昌台;爆破;FFT 变换;功率谱;滤除

中图分类号: P315 **文献标识码:** A

地震波形作为重要的地震数据产品之一,与之有关的基础性研究工作正日益受到重视^[1-2],因为地震波形既是地震学及地球物理学发展的基础资料,也是地震反演、震源机制研究等一系列分析工作的重要基石^[1,3]。但是,现实观测环境中地震计会受到各种各样的因素影响,如矿山、采石场等场所产生的爆破就是常见的干扰因素之一。其实,爆破的本质是爆炸应力在岩土介质中能量逐渐衰减的一种扰动,它的频谱特性也常与爆源条件、传播介质的物理性质、地形及构造特征等密切相关^[4]。近年来国内外学者利用场地观测数据分析推算出了爆破强度的经验公式^[5-6],也在露天矿山和采石场等场地爆破衰减规律的研究方面取得重要进展^[7-8],同时还就不同爆破源、地形及高程等对爆破传播规律的影响做了一定研究^[9]。但是,对于采石场爆破干扰致使地震震相淹没的研究工作尚还不够深入,虽然杨柳等^[10]对地震波形中爆破成分识别做了一定的研究。距离南昌台直线约 1 km 的采石场因采石爆破频繁,爆破信号叠加在地震波形中对地震 P 波及后续震相的识别造成严重干扰。爆破干扰信号的滤除方法不一,目前利用 Matlab 快速 Fourier 变换(FFT)和最优滤波器相结合是重要方法之一^[11]。本文基于 Matlab 快速 Fourier 变换(FFT)程序对南昌台附近采石场爆破源进行频谱特性分析用于识别爆破信号,并利用低通滤波器滤除叠加在 2011-03-11 15:10 日本本州东海岸远海 $M_s 6.3$ 地震的

爆破信号,为认识台站附近采石场爆破信号特征及其干扰滤除工作提供技术参考。

1 台站观测环境概况

南昌中心地震台始建于 1972 年,坐落于南昌市经开区梅岭风景区内,为 I 类基本台,地理坐标:28.8°N,115.8°E,海拔 78 m。台站附近有鄱庐断裂带和九江-靖安断裂带(图 1)。构造上属梅岭隆起,基性岩浆岩多沿断裂侵入,形成辉长岩、辉绿岩墙,断裂深度大,辉长岩和辉绿岩墙属于新生代喜山期的产物,地质时期地壳构造运动显著。台址地层岩性属于元古代雪峰晚期花岗片麻岩,附近大量出露花岗岩和片麻岩,台基为闪长花岗岩。台站地震计洞室观测条件良好,是梅岭余脉,山体相对高度约为 75 m,走向近 EW,整体呈

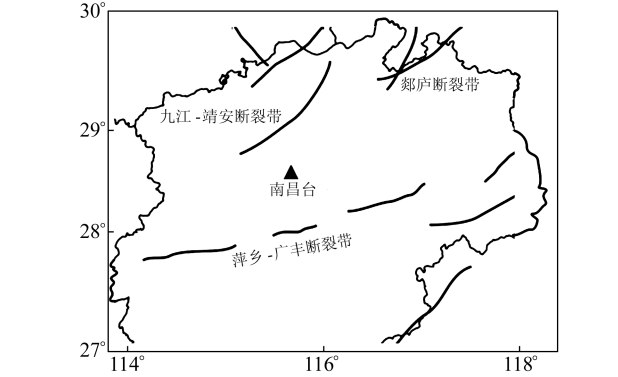


图 1 南昌地震台区位
Fig. 1 Nanchang seismic station location

EW陡、NS缓的半椭球型。洞室进深约为75 m,洞室覆盖层约为45 m,年温度变化小于1.0℃,日温度变化小于0.1℃(图2)。台洞室地震计观测墩位基底为花岗闪长岩,上层为近0.5 m的水泥层,具体位置如图2标注所示。2010年3月在测墩位上安装CTS-1E型甚宽频地震计,该地震计带宽50 Hz~120 s,速度输出平坦,灵敏度1 000 V/m/s,具有高灵敏度、大动态范围、自身噪声低及良好的抗干扰能力特性,是目前常用的观测仪器。

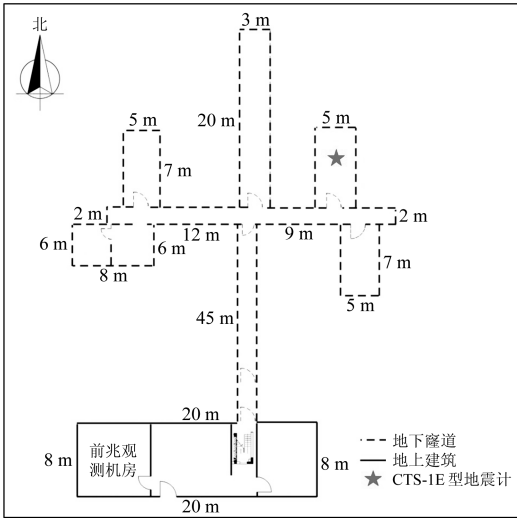


图2 地震计观测洞室

2 资料及研究方法

2.1 资料选取

本文选取南昌台地震计记录到的2011年3月11日15点10分日本M_s6.3地震(201103111502.seed)及18日10时18分记录到的爆破信号作为研究资料。在记录到日本M_s6.3地震P波初动后50 s左右,距离台站约1 km处的采石场发生采石爆破,产生的干扰成分叠加于该地震中,该地震中国地震台网中心公布地理位置为本州东海岸远海,经纬度为:37.6°N,142.8°E。先从MSDP中将选取的seed文件资料读取出来,再根据时间域及需要在edps中截取垂直向(UP)上相应波形文件,并以TXT(nctqb1)文件形式保存备用。

2.2 研究方法

频谱特征分析^[5-7]可以明确地震波形中的频率成分,有助于辨别爆破与地震成分。为获取地震事件及爆破的频谱特性,采用离散序列的Fourier变换(FFT)来实现,该方法已被广泛应用于数字信号频谱分析处理中。离散序列的Fourier快速变换(Discrete Fourier Transform,DFT)数

学定义为:

$$X(n)=\sum_{k=0}^{N-1}x_0(k)e^{-j\frac{2\pi nk}{N}}(n=0,1,2\cdots,N-1)$$

(1)

基于Matlab软件本身的考虑,系列元素下标, $n=1,2,\cdots,N$ 。离散Fourier变换(DFT)是利用计算机对数字信号分析为理论依据,但是随着数据点数的增多,运算速度越来越慢。鉴于此,在实际应用中常使用1965年由Cooley等提出的DFT快速算法,即快速离散傅里叶变换(FFT)替代DFT。在Matlab中,对数字信号实现快速Fourier变换(FFT)的公式如下:

$$X_f=\text{FFT}(X_t,N)$$

(2)

式中, X_t 为输入信号序列, N 为序列长度, X_f 为频率域的输出,即 X_t 的频谱特征。利用快速Fourier变换得到爆破的频谱特性,在此基础上设计符合要求的低通滤波器,通过滤波器来实现地震事件爆破干扰成分的滤除。

3 频谱分析及干扰滤除

3.1 爆破及地震信号频谱分析

基于Matlab设计的程序对备用的地震波数据进行快速Fourier变换(FFT),采样率及采样间隔分别为100 Hz和0.01 s,运行后其频谱分析结果如图3所示。由图3中a框部分可知,地震波形中的能量主要集中在0~1 Hz的频段中,其次则为图3中b框部分的4~8 Hz及12~15 Hz。一般认为,爆破的频谱成分受到爆破药量、爆破方法、地形及传播介质等因素的影响。对于南昌台与爆破源而言这些因素可以认为基本是不变的。为了识别0~1 Hz、4~8 Hz及12~15 Hz这三组信号,特将南昌台记录到的与这次地震事件发生日期最接近的18日10时爆破信号进行频谱分析(图4(a)),分析结果如图4(b)方框所示,可见南昌台附近的爆破源信号具有成分单一、能量集中、频域较窄的特性,其频率集中在5~15 Hz。故此,可推断0~1 Hz是此次地震的原始信号,而4~8 Hz及12~15 Hz的高频成分则可能为爆破信号,爆破的频谱特性佐证了以上对地震信号的分析推断。

3.2 爆破干扰信号滤除

基于以上爆破及地震频谱成分对比分析,明确了地震信号中的爆破成分特征。为了有效滤除爆破成分对地震P头及后续震相识别的干扰,本次工作设计了FIR滤波器并选择哈明窗(hamming)来滤除4 Hz以上的爆破信号成分,保留1

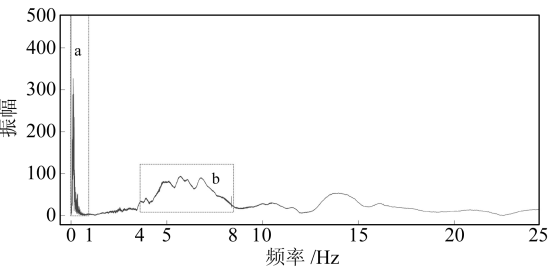


图 3 地震信号频谱
Fig. 3 The earthquake original signal and the amplitude spectrum

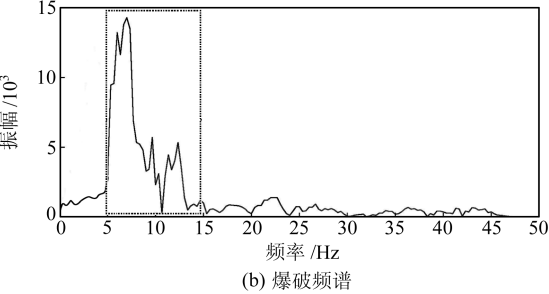
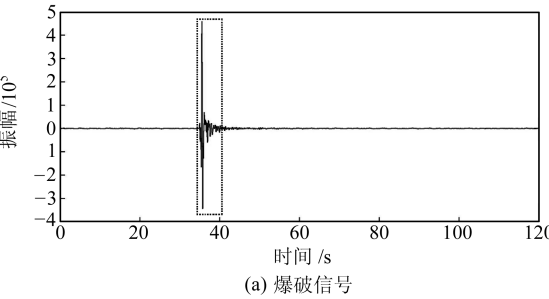


图 4 南昌台爆破信号及频谱
Fig. 4 Blasting original signal and spectrum diagram of Nanchang station

Hz 以下的地震信号成分,通过不断调试及优化后确定了滤波器的通带边界为 1/48,最小阶数为 400。设计的滤波器频率特征计算结果如图 5 所示,可见滤波器保留了 1 Hz 以下的信号成分。考虑到波形经过滤波后输出的波形可能会存在失真现象,特将滤波前后 200~600 s 的波形图做对比分析,结果显示滤波前后未发现明显的失真现象(图 6),所以认为该滤波器完全符合设计要求。根据滤波器及原始信号的频谱成分分析结果,设计了滤除爆破成分的程序,加载 nctqb1 数据文件运行后,结果如图 7 所示。可见,图 7(a)中的爆破信号成分经滤波后被完全滤除,滤除效果如图 7(b)中所示,为地震编目工作滤除了干扰,达到了预期效果。

4 结 语

地震数字信号中往往会携带各种干扰信号,爆破干扰信号作为常见的干扰信号之一对地震编目分析工作中 P 头识别造成困扰,特别是一些震

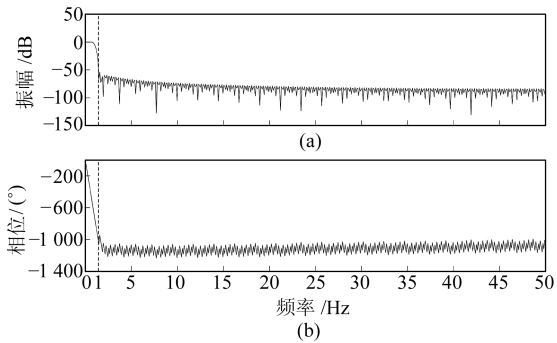


图 5 滤波器幅频特性
Fig. 5 Filter amplitude-frequency characteristic

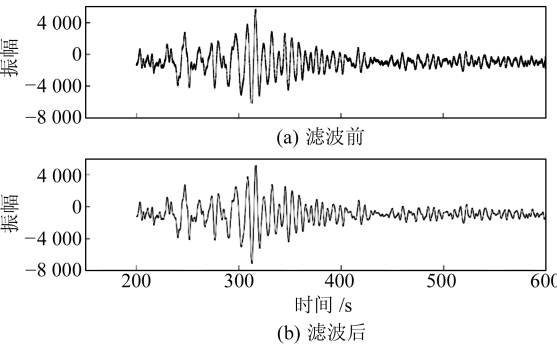


图 6 200~600 s 滤波前后对比
Fig. 6 Contrast figure before and after filtering of 200—600 s

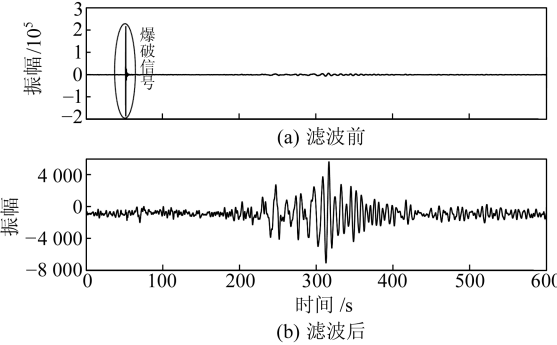


图 7 南昌台滤波前后时域波形对比
Fig. 7 The rendering figure of removed blastinin at Nanchang station

害影响大的地震事件。本次利用快速 Fourier 变换(FFT)对爆破源信号进行频谱分析明确了台站附近采石场厂爆破源的频谱特征,即以 4~15 Hz 信号成分为主,为以后的类似干扰滤除提供技术支持进而提高编目时震相分析水平。通过 Matlab 编程设计的低通滤波器程序,成功滤除了 2011-03-11 15:10 发生在日本 $M_s6.3$ 地震垂直方向中 P 波附近所叠加的爆破干扰信号。滤除干扰信号的关键在于设计滤波器时能否找出适合的参数,既要满足干扰信号滤除频率边界,又要保证原始信号不失真。

此外笔者认为,地震为远震或极远震时,因与爆破成分差异明显而具有较高的识别度,能较好

地滤除爆破干扰信号;若为地方震,则可能与爆破信号成分具有高度的相似性而难以识别滤除。目前王婷婷等^[12]利用 P/S 法取得了一些重要认识,值得深入探讨。故此,本文的滤除方法适用于地震与爆破信号频谱成分有较为明显差异的地震事件中。

参考文献

[1] 王继,陈九辉,刘启元,等.流动地震台阵观测初至震相的自动检测[J].地震学报,2006,28(1):42-51(Wang Ji,Chen Jiuhui,Liu Qiyuan,et al. Automatic Onset Phase Picking for Portable Seismic Array Observation[J]. Acta Seismologica Sinica,2006,28(1):42-51)

[2] 狄秀玲,王平,罗治国,等.陕西省地震编目发展研究[J].高原地震,2012,24(1):68-70(Di Xiuling,Wang Ping,Luo Zhiguo,et al. Earthquake Catalog Analysis of Shaanxi Province[J]. Plateau Earthquake Research,2012,24(1):68-70)

[3] 马强,金星,李山有,等.用于地震预警的P波震相到时自动拾取[J].地球物理学报,2013,56(7):2313-2321(Ma Qiang,Jin Xing,Li Shanyou,et al. Automatic P-Arrival Detection for Earthquake Early Warning[J]. Acta Seismologica Sinica,2013,56(7):2313-2321)

[4] 张奇,白春华,刘庆明.爆炸地震波频谱特性研究[J].北京理工大学学报,1999,19(3):306-308(Zhang Qi,Bai Chunhua,Liu Qingming. Frequency Spectrum Characteristics of Explosion Earthquake Wave[J]. Journal of Beijing Institute of Technology,1999,19(3):306-308)

[5] Singh P K, Vogt W, Singh R B, et al. Blasting Side Effects-Investigations in an Opencast Coal Mine in India[J]. International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment, 1996, 10(4): 155-159

[6] Kalab Z, Knejzlik J. Analysis of Seismic Events Induced by Blasting Operations in the Opencast Mine[C]. Mine Planning and Equipment Selection'97, Ostrava Czech Republic, September 1997

[7] 高晓初.炮孔直径、超深及起爆方案对爆破震动的影响[J].西部探矿工程,1995(1):34-39(Gao Xiaochu. Influence of Blasting Diameter, Super Deep and Initiation Program on Blasting Vibration[J]. West-China Exploration Engineering,1995(1):34-39)

[8] Mitsumasa O, Masashi N, Koji T. Vibration Control Performance of Controlled Blasting Using Electronic Delay Detonators[C]. World Tunnel Congress'99, Oslo, Norway,1999

[9] 朱瑞庚,李铮.爆炸地震波的现场测量及其安全距离[J].爆炸与冲击,1982,2(1):60-67(Zhu Ruigeng, Li Zheng. In-situ Measurements of Blasting Seismic Waves and Their Safety Distance[J]. Explosion And Shock Waves,1982,2(1):60-67)

[10] 杨柳,张可佳,杨桐,等.长春地震台网地震、爆破与矿震记录的识别[J].高原地震,2015,27(2):1-5(Yang Liu,Zhang Kejia,Yang Tong, et al. Devlopment and Application of the Gravity Data Management System Base on CMONOC[J]. Plateau Earthquake Research,2015,27(2):1-5)

[11] 万永革.数字信号处理的MATLAB实现[M].北京:科学出版社,2007:316-321(Wan Yongge. Realization of Digital Signal Processing by Matlab[M]. Beijing: Science Press, 2007:316-321)

[12] 王婷婷,边银菊,张博.地震与爆破的小波包识别判据研究[J].地震学报,2014,36(2):220-232(Wang Tingting, Bian Yinju, Zhang Bo. Recognition Criteria of Earthquakes and Explosions Based on Wavelet Packet Analysis[J]. Acta Seismologica Sinica, 2014,36(2):220-232)

Identification and Filtering of Seismic Blasting Signals
Based on Fast Fourier Transform

BAO Zhicheng¹ ZHA Xiaohui¹ ZHAO Ying¹

1 Jiangxi Earthquake Administration, 865 North-Hongdu Road, Nanchang 330000, China

Abstract: The explosion signal near the Nanchang station and the M_s6.3 earthquake in the east coast of the east coast of Japan on 15 March 2011 were selected as the research object. Based on Matlab Fast Fourier Transform (FFT), the spectral characteristics of blasting and seismic events are analyzed. The results show that the blasting signal is single and the frequency domain is mainly composed of 4~15 Hz high frequency signal. The original signal of the earthquake is lower than 1 Hz the lord. According to the spectral characteristics of the blasting signal, a low-pass filter is designed to filter out the blasting interference signal which is superimposed vertically (UP) in the earthquake event and to keep the original seismic signal to the maximum and provide a scientific reference.

Key words: Nanchang station;blasting; FFT transform; power spectrum; filtering

Foundation support: The Spark Program of Earthquake Technology of Earthquake, No. XH18023Y; A Scentific Research Project for New Century Excellent Talents of Jiangxi Earthquake Administration, No. JXDZ-YXRC20171.

About the first author:BAO Zhicheng, engineer, majors in seismic comprehensive monitoring and forecast, E-mail: bzc229@126.com.