

科研成果

文章编号: 1671-251X(2011)04-0001-05

DOI: CNKI: 32-1627/TP.20110329.0851.002

新型矿井多波多分量地震反射法 观测系统关键技术研究

李云波^{1,2}

(1. 中南大学地球科学与信息物理学院, 湖南 长沙 410083; 2. 中煤科工集团重庆研究院, 重庆 400037)

摘要: 针对 DTC-150 防爆地质超前检测仪在工程应用中存在的解释成果误差较大的问题, 提出了研制一种新型矿井多波多分量地震反射法观测系统的必要性; 分析了煤岩有效地震波频率特性, 提出新型矿井多波多分量地震反射法观测系统的有效布设方式为震源置于掘进面远端, 采用一炮多收制; 介绍了该系统中高速高精度多通道数据采集模块的电路设计; 给出了该系统为消除掘进面绕射回波干扰和放炮形成的巷道声波干扰的处理方法。该系统已研制成功, 实验结果表明, 其本底噪声小, 且具有较高的可靠性和稳定性。

关键词: 矿井物探; 超前探测; 地震反射法; 多波多分量; 一炮多收制; 绕射回收干扰; 声波干扰

中图分类号: TD166 **文献标识码:** B **网络出版时间:** 2011-03-29 08:51

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20110329.0851.002.html>

Research of Key Technologies of a Novel Multi-wave and Multi-component Exploration System with Seismic Reflection Method of Mine

LI Yunbo^{1,2}

(1. School of Geosciences and Info-physics of Central South University,
Changsha 410083, China. 2. Chongqing Research Institute of China Coal Technology and
Engineering Group Corporation, Chongqing 400037, China)

Abstract: In order to solve the problem of big error existed in interpreting result of engineering application of DTC-150 explosion-proof advanced geology detector, the paper put forward necessity of developing a novel multi-wave and multi-component exploration system with seismic reflection method of mine. It analyzed characteristics of frequency of effective seismic wave in coal-rock, and put forward that effective distributing way of the system is laying seismic source in distal area of heading face and adopting once stimulate multi-channel receiving method. It also introduced circuit design of multi-channel data acquisition module with high speed and high precision of the system, and gave treating methods for eliminating interferences of diffraction wave of heading face and sound wave in tunnel caused by blasting. The system has been developed. The experiment result showed that the system has a little background noise and high reliability and stability.

Key words: mine geologic exploration, advanced detection, seismic reflection method, multi-wave and multi-component, once stimulate multi-channel receiving method, interference of diffraction wave, interference of sound wave

收稿日期: 2011-01-12

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAK03B01)

作者简介: 李云波(1982-), 男, 四川广安人, 博士研究生, 现主要从事矿山物探及其仪器的设计与研发工作。联系电话: 023-65239361; E-mail: lyb0112@163.com

0 引言

目前井下物探的超前探测方法主要有探地雷达、电法超前、地震反射法等。其中地震反射法能够解决井下长距离的超前预测预报问题, 得到了广泛

的应用。地震反射法主要有 TVSP 法、HSP 法、TSP 法、TRT 法、TST 法、陆地声纳法、TGP 法^[1]。中煤科工集团重庆研究院针对煤矿特殊环境,于 2007 年研制出了 DTC-150 防爆地质超前探测仪,成功解决了不少煤矿地质超前预测预报问题。但是在近几年的工程应用过程中发现该探测仪的一些问题:(1) 煤岩有效地震波信号的频率范围不清;(2) 多炮单收存在安全隐患及无法校准采样触发时差;(3) 数据采集系统本底噪声较大;(4) 采集数据中存在干扰波等。这些问题导致解释成果存在较大的误差,从而影响了它的井下大面积推广应用。因此,有必要研制新型矿井多波多分量地震反射法观测系统。

1 煤岩有效地震波信号频率特性

新型矿井多波多分量地震反射法观测系统将采集到的人工激发小药量震源产生的地震纵波和横波的三分量数据作为计算煤岩力学参数的依据,根据不良地质体与围岩的物性差异定位出其具体位置^[2]。但是由于小药量震源的复杂性及煤岩的各异

向性,使得地震波信号具有随时间作随机变化的特性^[3];又因为对煤岩有效地震波信号频率范围没有清醒的认识,在后期利用带通滤波器进行数据处理时无法有效抑制噪声信号,导致解释成果存在一定的误差。

煤岩有效地震波信号分为直达波和掘进面前方的反射波,通过对 DTC-150 防爆地质超前探测仪大量预报资料(基本包含了沉积岩、岩浆岩、变质岩及第三系岩体的岩性)的分析可知,在震源距离不同的情况下,震源越近,有效波含有的高频成分越多,反之则高频成分少;在炸药量不同的情况下,地震波的振幅与炸药量成正比,主频与炸药量成反比;在介质不同的情况下,土层中地震波的主频为 100~300 Hz,松软煤岩中地震波的主频为 200~800 Hz,破碎硬岩中地震波的主频为 700~1 100 Hz,完整坚固的硬岩中地震波的主频为 1 000~1 600 Hz。

图 1 为霍州煤电集团干河矿粉砂岩夹煤层的纵、横波主频,其中纵波主频为 780 Hz,横波主频为 247 Hz。

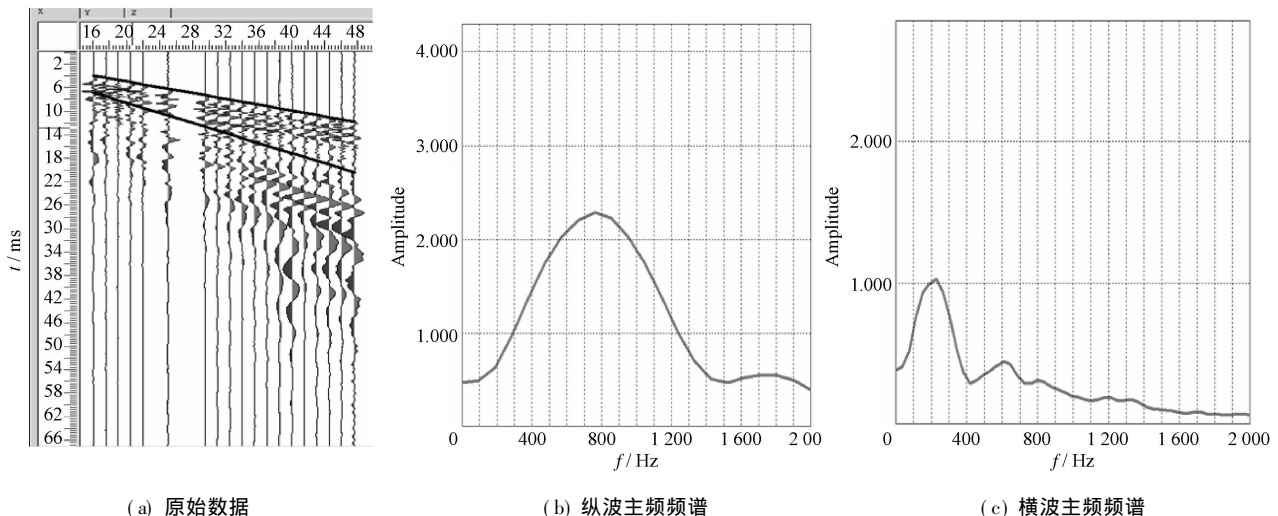


图 1 霍州煤电集团干河矿粉砂岩夹煤层的纵、横波主频

2 新型多波多分量地震反射法观测系统布设方式

由于掘进面前方的地质体性质体现在反射波信号中,但是在接收到的信号中不但包含掘进面前方的反射波,还包含直达波、掘进面后方和侧壁的反射波以及其它噪声信号;另外,DTC-150 防爆地质超前探测仪采用多炮单收体制,采用电脉冲触发方式采集地震数据,由于瞬发雷管存在不同延迟,所以无法校准采样时差,而且根据《煤炭安全规程》规定,瓦斯矿井中的爆破作业必须遵循“一炮三检制”,故采

用 DTC-150 防爆地质超前探测仪探测一个工作面不仅时间较长,且存在安全隐患。因此,必须设计一种能够将有效反射信号从混有其它干扰信号的波场中分离出来,且能够大幅减少放炮次数和校准采样时差的系统或仪器^[4]。

新型多波多分量地震反射法观测系统采用一炮多收制,采集一个工作面的地震数据只需要两炮,大幅减少了放炮次数和工作量,降低了安全隐患;同时其采用炸断回路触发方式,使采样时差能够得到校准。

一般地震反射波勘探布设方式可分为两种:
(1) 震源置于掘进面近端, 采用一炮多收制, 如图 2 所示;
(2) 震源置于掘进面远端, 采用一炮多收制, 如图 3 所示^[5-7]。

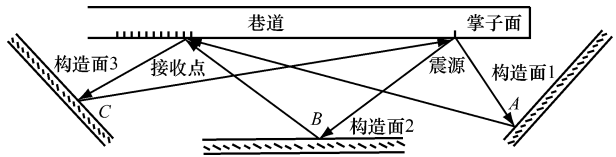


图 2 震源置于掘进面近端的布设方式

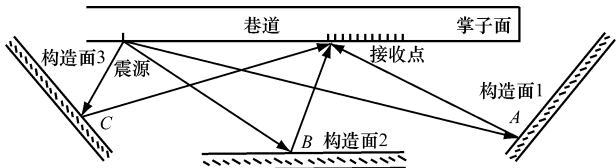


图 3 震源置于掘进面远端的布设方式

这两种布设方式的对比如表 1 所示。从表 1 可看出, 有效的布设方式是方式 2, 这是因为方式 2 中掘进面前方的反射波性质与其它干扰波的性质不同。所以新型多波多分量地震反射法观测系统的布设方式采用方式 2^[8]。

表 1 两种震源布设方式的对比

布设方式	信号视速度			
	直达波	前方反射波	侧壁反射波	后方反射波
布设方式 1	负	负	负	正
布设方式 2	正	负	正	正

通过对新型多波多分量地震反射法观测系统的优化设计, 大幅减少了放炮次数, 降低了安全隐患, 减少了工作量。

3 高速高精度多通道数据采集模块的设计

由于要分辨的地质体性质完全体现在反射波信号中, 在震源较弱的情况下, 有用的反射波信号幅度较小, 而且信号的带宽较宽, 需要同时采集 12 个传感器的数据。因此, 要求对地震信号进行高速高精度采集。

根据矿井巷道的实际工作环境和新型多波多分量地震反射法勘探的需求, 设计了高速高精度多通道数据采集模块, 其电路如图 4 所示。

从图 4 可看出, 该数据采集模块由 CPU 主控模

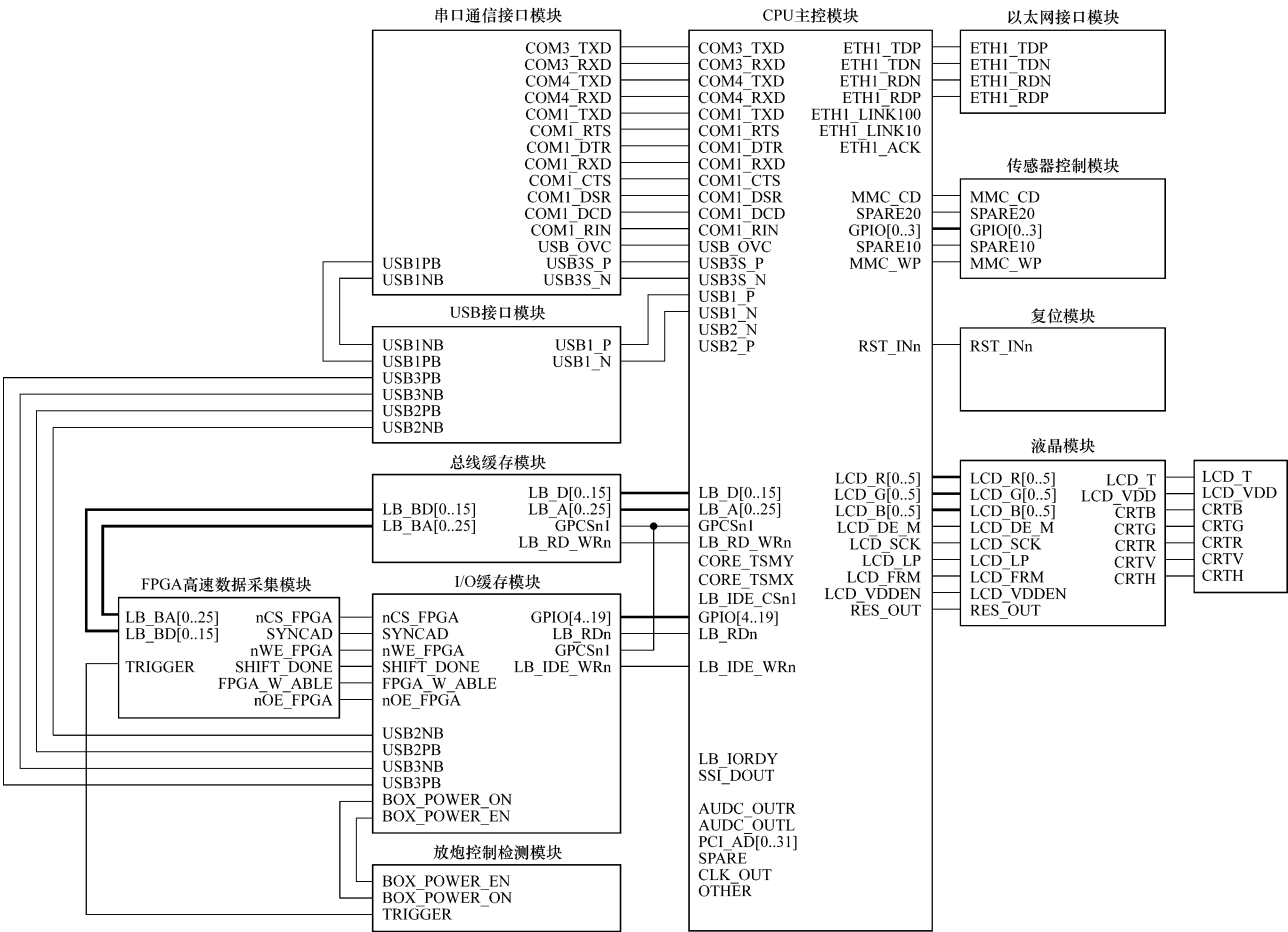


图 4 高速高精度多通道数据采集模块电路

块、FPGA 高速数据采集模块(包含高精度信号调理及 AD 模块)、液晶模块等组成。

通过选用超低噪声的 AD 元件、电源芯片和更加精确的电路设计,高速高精度多通道数据采集模块的本底噪声指标小于 $1\ \mu\text{V}$,与 DTC-150 防爆地质超前探测仪 $1\ \text{mV}$ 的本底噪声相比,该数据采集模块的信噪比得到了极大提高。

4 地震勘探中干扰波分析及处理

采集到的地震波数据中存在的干扰波严重影响数据质量,最终造成成果解释困难。在地震反射法勘探中,除直达波和掘进面前方的反射波是有效波之外,折射波、面波等都是干扰波。通过对 DTC-150 防爆地质超前探测仪工程实例的大量数据分析可知,在采集到的地震波数据中对后期成果解释影响较大的是掘进面绕射回波和放炮形成的声波^[9-12]。

4.1 掘进面绕射回波干扰

在如图 5 所示的多炮单收地震反射法勘探中,存在掘进面绕射回波与另外两种波的重叠:(1)掘进面绕射回波和直达波在一定时间范围内存在重叠;(2)掘进面绕射回波和其前方的反射波在一定时间范围内存在重叠^[13]。

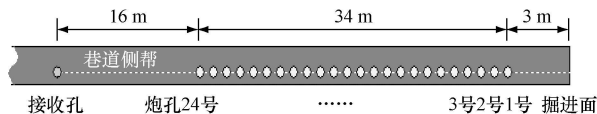


图 5 多炮单收地震反射波勘探

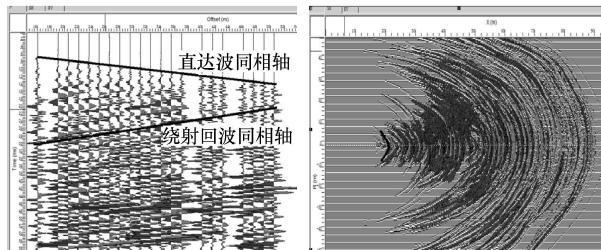
在多炮单收反射法地震勘探中,假设纵波波速为 v_p ,横波波速为 v_s , $v_p/v_s = 1.73$,第一炮与接收传感器的距离为 $50\ \text{m}$ 。要使绕射回波与直达波不重叠,第一炮与掘进面的距离 x 必须满足式(1):

$$\frac{50 + 2x}{v_p} = \frac{50}{v_s} \Rightarrow x|_{\text{m}} \approx 18 \quad (1)$$

根据 DTC-150 防爆地质超前探测仪的现场工艺,第一炮与掘进面的距离为 $3\ \text{m}$ 。图 6 为塔山矿某掘进面绕射回波在地震波记录中的形态及其偏移。

从图 6 可看出绕射回波较大,所以应当增大第一炮与掘进面的距离。

由于新型多波多分量地震反射法观测系统采用如图 3 所示的一炮多收制,有效避免了掘进面绕射回波与直达波的重叠。而对于掘进面绕射回波与前方反射波的重叠,目前的技术还不能将二者分离,由此形成的解释盲区一般在掘进面前方 $20\ \text{m}$ 范围内。从图 6 可看出,该绕射回波同相轴清晰,说明该



(a) 绕射回波形态

(b) 绕射回波偏移

图 6 塔山矿某掘进面绕射回波的形态及其偏移

掘进面绕射回波较强。

针对掘进面绕射回波的干扰,新型多波多分量地震反射法观测系统采取的处理措施:根据上次预报成果确定下一次预报的测量布置,将上一次后 $20\ \text{m}$ 的预报成果与本次前 $20\ \text{m}$ 的预报成果作对比,以克服掘进面回波造成的解释盲区。

4.2 放炮形成的声波干扰

由于地震波勘探采用小药量炸药作为震源,炮孔释放到巷道中的声波被检波器接收,形成了预报记录中的巷道声波干扰,地震记录中巷道声波被当作有效波参与数据处理,形成预报成果中的假象^[14-15]。假设巷道声波到达检波器的时间为 t ,接收检波器与炮孔的距离为 x_0 ,则有

$$t = \frac{x_0}{v_0} \quad (2)$$

式中: v_0 为声波的视速度,其值约为 $340\ \text{m/s}$ 。

以现在常用的最小炮检距($15\sim 20\ \text{m}$)计算,巷道声波到达的最小时间为 $44\sim 60\ \text{ms}$,也就是说,在该时间以后的有效反射波都会受到巷道声波的干扰。

假设有效记录长度为 $44\sim 60\ \text{ms}$,围岩的纵波波速为 $5\ 000\ \text{m/s}$,横波波速为 $3\ 000\ \text{m/s}$ 。此时不同地震波有效记录长度预报距离如表 2 所示。

表 2 不同地震波有效记录长度预报距离

地震波有效 记录长度/ ms	纵波有效 预报距离/ m	横波有效 预报距离/ m	双参数有效 预报距离/ m
44	≤ 100	≤ 70	≤ 70
60	≤ 150	≤ 90	≤ 90

从表 2 可看出,增大最小炮检距可以增加地震波有效记录长度,从而提高双参数预报距离。

图 7 为淮北矿业集团青东矿巷道声波形态及其偏移,其中图 7(a)为该工作面巷道声波在地震记录中的形态,图 7(b)为未剔除巷道声波干扰的偏移,图 7(c)为剔除巷道声波干扰的偏移。

从图 7 可看出,巷道声波的同相轴在地震记录

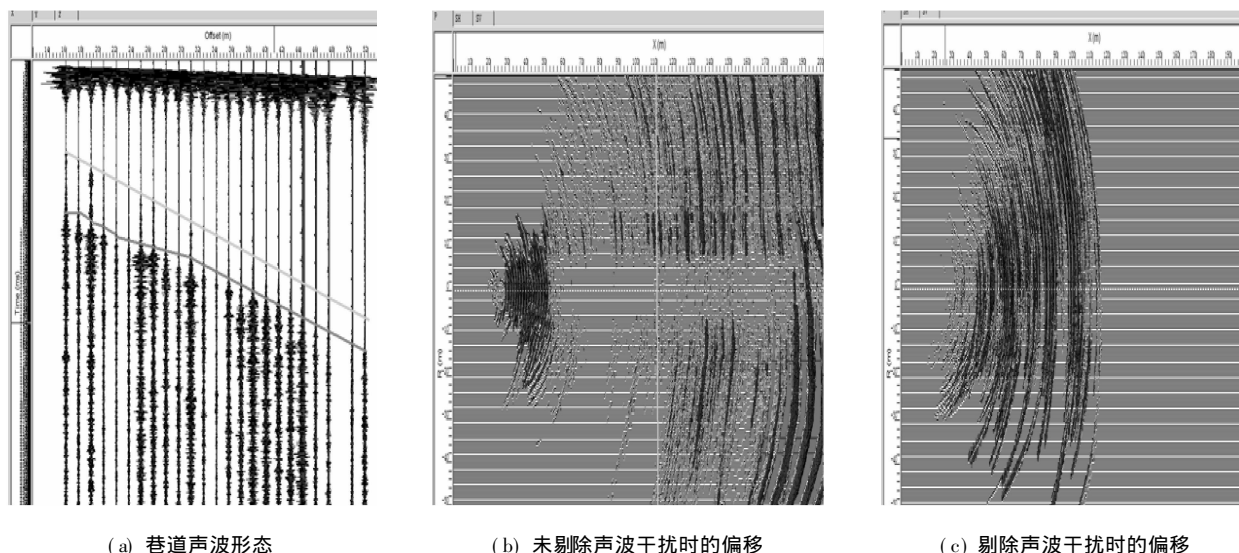


图 7 淮北矿业集团青东矿巷道声波形态及其偏移

上呈直线和曲线分布, 直线是炮孔沿巷道壁传到检波器形成的, 而曲线是炮孔声波射到对面侧壁后产生的反射声波被检波器接收形成的, 炮孔声波的传播路线长度与接收点和炮孔的距离及隧道洞径有关, 所以呈曲线形态。剔除和未剔除巷道声波的偏移成果具有明显差别, 剔除巷道声波影响以后的偏移图像在近掘进面段得到加强, 图像清晰度得到改善, 有益于地质构造面的判释; 而远离掘进面无偏移图像, 说明无地质构造面存在。

针对巷道声波干扰, 新型多波多分量地震反射法观测系统采取的处理措施: (1) 对于激发环节, 在每个炮孔中加入锚固剂, 并使炮孔充水, 尽量减少炮孔释放到巷道的声波; (2) 对于接收环节, 用高吸声材料堵住接收管后端, 以减少反射声波传入检波器; (3) 适当增大最小炮检距, 以提高有效数据记录长度; (4) 在数据处理软件中加入剔除巷道声波程序。

5 结语

针对 DTC-150 防爆地质超前探测仪在工程应用过程中存在的问题, 提出了研究新型地震反射法观测系统的必要性。通过对大量工程数据的分析及 4 个关键技术的研究, 成功研制了新型矿井多波多分量地震反射法观测系统。该系统目前已通过实验测试, 结果表明, 其本底噪声小, 具有较高的可靠性和稳定性。

参考文献:

[1] 姚姚. 地震波场与地震勘探[M]. 北京: 地质出版社, 2006: 1-9.

[2] 徐伯勋, 白旭滨, 于常青. 地震勘探信息技术: 提取、分析和预测[M]. 北京: 地质出版社, 2001: 29-31.

[3] 滕吉文. 21 世纪地球物理学的机遇与挑战[J]. 地球物理学进展, 2004, 19(2): 208-215.

[4] 芦俊, 王, 赵伟. 应用三分量地震数据反演煤系地层孔隙含水量[J]. 地球物理学报, 2010, 53(7): 1734-1740.

[5] 王齐仁. 地下地质灾害地球物理探测研究进展[J]. 地球物理学进展, 2004, 19(3): 497-503.

[6] 何刚. TSP-203 系统在隧道超前地质预报中的应用研究[D]. 长沙: 中南大学, 2005.

[8] 蔡英康, 刘秀峰, 宋恩强. TSP 地质超前预报系统在煤矿生产中的运用[J]. 西部探矿工程, 2005(4): 86-87.

[9] 王典, 刘财, 刘洋, 等. 反射法地震勘探噪声消除技术研究[J]. 地球物理学进展, 2006, 21(3): 957-970.

[10] 杨宝俊, 李月, 刘晓华, 等. 改善地震勘探记录的 4 项技术[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2006, 36(5): 856-862.

[11] 赵永贵, 刘浩, 孙宇, 等. 隧道地质超前预报研究进展[J]. 地球物理学进展, 2003, 18(3): 460-464.

[12] 金雷, 李月, 杨宝俊. 用时频峰值滤波方法消减地震勘探资料中随机噪声的初步研究[J]. 地球物理学进展, 2005, 20(3): 724-728.

[13] 李月, 杨宝俊, 赵雪平, 等. 检测地震勘探微弱同相轴的混沌振子算法[J]. 地球物理学报, 2005, 48(6): 1428-1433.

[14] 陆文凯, 骆毅, 赵波, 等. 基于独立分量分析的多次波自适应相减技术[J]. 地球物理学报, 2004, 47(5): 886-891.

[15] 李月, 杨宝俊, 唐方江, 等. 检测强不规则噪音背景中地震有效信号的混沌技术[J]. 长春科技大学学报, 2001(z): 119.