

# 微震监测评价卸压爆破效果的方法

王慧明

(徐州矿务集团 华美工程公司, 江苏 徐州 221006)

**[摘要]** 采用时-频分析技术, 研究了徐州三河尖煤矿 9202 冲击矿压高危险工作面开采过程中卸压爆破微震信号的频谱特性, 通过对微震信号的谱特性分析, 进行卸压爆破效果的评价, 从而为冲击矿压灾害动态防治效果的有效检验提供一条新方法。

**[关键词]** 微震; 卸压爆破; 时-频分析; 冲击矿压; 频谱特性

**[中图分类号]** TD324 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1006-6225 (2009) 03-0095-03

## Method of Micro-seismic Monitoring for Evaluation of Blasting for Pressure Relief

WANG Huiming

(Huanei Engineering Company Xuzhou Mining Group Xuzhou 221006, China)

**Abstract:** Time-frequency analysis technology applied this paper firstly researched spectrum characteristic of micro-seismic signal from blasting for pressure relief during mining 9202 Mining Face with high bursting danger in Sanhejian Colliery Xuzhou. Then this paper evaluated pressure relief effect of blasting by analyzing spectrum characteristic which provided a new method for examining effect of dynamically preventing rock bursting.

**Key words:** micro-seismic blasting for pressure relief time-frequency analysis rock bursting spectrum characteristic

### 1 9202工作面概况

三河尖煤矿是典型的上覆煤柱影响下层开采煤层的强冲击危险性矿井, 其主采煤层为 7 煤和 9 煤, 9 煤开采深度已接近 -850m, 上覆有 7 煤 7202 工作面残留的大煤柱区, 应力集中程度相当严重, 采用综合指数法确定 9202 工作面冲击危险指数为  $W_i=0.78$ , 属于强冲击危险。9202 工作面位于井田西部, 上部的 7 煤作为解放层大部分已回采完毕, 上方的 9112 工作面已回采结束。7 煤中的 7202 采空区内残留的护巷煤柱距 9202 工作面轨道巷 13m, 7 煤所残留的煤柱处于 9202 工作面轨道巷上部, 距 9202 工作面切眼 160m 左右。

在 9202 工作面巷道掘进期间, 曾发生过冲击矿压, 主要以底板震动冲击形式出现, 其中一次将轨道巷的轨道向巷道上帮推移了 400mm。为防止在工作面掘进和回采过程中再次发生冲击矿压灾害, 决定安装微震监测系统监测 9202 工作面开采过程中可能发生的冲击矿压。采用时-频分析技术, 研究了卸压爆破微震信号的频谱特征, 为评价卸压爆破效果提供一种新方法。

### 2 微震信号的时-频分析技术

频谱分析已成为微震研究的一种标准方

法<sup>[1-4]</sup>。采用时-频分析技术分析微震信号的功率谱和幅频特性, 以便从谱特性进行微震信号的辨识, 从而为预测预报矿井冲击矿压等动力灾害提供一条新的线索。

时间域内的地震波形模拟分析需要相当复杂的技术, 尚不能做到常规应用。地震记录或时间序列经快速傅里叶变换 (FFT) 变为频率域, 便可得到所需的振幅谱和相位谱, 不但容易求得大部分震源参数 (部分参数在时间域内), 亦可确定信号的频率特征, 掌握信号的构成及性质。

傅里叶变换的基本形式如下:

$$S_f(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S(t) e^{-i\omega t} dt \quad (1)$$

$S(t)$  是一连续时间信号函数;  $e^{-i\omega t}$  是傅里叶变换的基函数。由积分变换式, 可发现任何时间信号的突变都会影响到整个函数频率域上。基于这种认识, Gabor 引入了短时傅里叶变换的概念, 短时傅里叶变换称之为窗口傅里叶变换, 其基本形式是:

$$S_{WF}(\omega, \tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-i\omega(t-\tau)} S(t) dt \quad (2)$$

其中,  $\omega(t-\tau)$  称之为窗口函数, 在信号分析和处理中, 人们常采用高斯窗口函数。这种窗口变换或短时傅里叶变换的优点在于, 在给定的时间和频率域范围内, 具有最大能量信号的傅里叶变换有良

**[收稿日期]** 2009-03-20

**[作者简介]** 王慧明 (1962-), 男, 江苏邳州人, 高级工程师, 工学博士, 现任江苏华美工程建设集团有限公司董事长, 总经理。

好的局部化特征；在其他时频段能量较小信号的傅里叶变换系数则接近于零。但这种变换的局限性就在于窗口的形状无法做到随频率和时间的变化而任意缩放。

把原来在时域内以时间  $t$  为变量的函数  $B_H(t)$  变换为频域内以频率  $f$  为变量的函数  $B(f)$ ，也就是将原来的函数分解为一系列振幅不同的频率变化的正弦函数，得出频域内振幅随频率变化的函数  $B(f)$ ：

$$B(f) = \int_0^T B_H(t) e^{-2\pi i f t} dt \quad (3)$$

这里的  $t$  是  $B_H(t)$  在时域内延伸的区间。由于振幅的平方正比于功率，定义单位时间内功率谱密度  $S(f)$  为：

$$S(f) = B(f)^2 / T \quad (4)$$

微震信号的分析处理过程通过 Matlab7.0 软件完成。

### 3 卸压爆破微震信号的频谱特征分析

#### 3.1 微震监测系统简介

三河尖煤矿微震监测系统由监测主控中心、中心观测站、煤气站观测站、南风井观测站和路新庄观测站组成。中心观测站：三分量探头，方向为正 EW 向、正 SN 向和垂直方向；煤气站观测站：垂直方向；南风井观测站：垂直方向；路新庄观测站：垂直方向。其中中心站和南风井安装在井下现有的硐室，其他 2 个测站采用地面钻孔布置，避免采动影响，减少数据误差，各测站间距 3km 左右。测站布置见图 1。拾震器带通频带 5~500 Hz，数据采样率均为 1000SPS，记录方式为事件触发记录。GPS 时钟绝对时间误差小于 1 ms，系统具有检测该台网 0.0~4.5 级冲击矿压事件的能力。

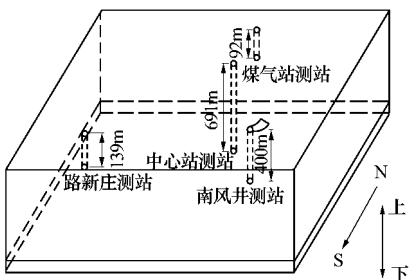


图 1 微震监测系统布置

#### 3.2 卸压爆破的微震机理

在进行卸压爆破时，炸药堆积比较规则，且体积小，可以将其视为一个“点源”更为合理。一

般认为爆破是在一个理想的球形腔内形成汽化区、液化区、塑性区。在这个过程中，煤岩体直接受到的力是正压力，没有剪切力，所以爆破直接产生压缩波（P波），而没有剪切波（S波）。但由于煤岩体的不均匀性，使得破裂过程不能沿着初始力的方向进行，从而派生出 S 波，即爆破产生的 S 波是次生波。由于爆破直接生成 P 波，因此 P 波初动的四象限分布均为正方向。另爆轰气体的直接作用引起煤岩体产生强烈振动，其波形振幅以及衰减速率主要取决于装药量，一般衰减时间较长。因此，对卸压爆破矿震信号而言，其波形可以分成两部分，分别是爆轰气体和煤岩体产生的震动波。

#### 3.3 卸压爆破微震信号的频谱特性

顶板与煤体的（超）深孔卸压爆破是治理冲击矿压的有效手段之一。其机理是通过爆炸冲击波气体使得炸药的爆炸能激发煤岩介质中存储的弹性能释放，以达到降低应力集中的目的。同时煤岩体将产生强烈震动，通过微震系统捕捉该震动信号，分析波形以及频谱特征，评价卸压爆破效果。

9202 工作面从开始回采到采过 7202 区段煤柱区（推进 361m），累计进行了 428 次卸压爆破。

图 2 所示为微震监测系统采集的一起坚硬顶板强制放顶的卸压爆破微震信号波形及频谱特征。

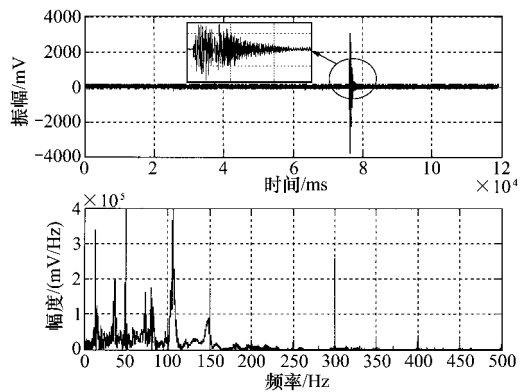


图 2 强制放顶卸压爆破矿震信号

从图 2 可知，强制放顶卸压爆破信号的波形明显分成两部分。第 1 部分是爆轰气体产生的震动，持续时间较短；第 2 部分是围岩体产生微裂纹，并扩展汇合形成强烈震动，持续时间较长。从频谱分布来看，信号主频在 0~200 Hz 左右，其中高频成分（50~200 Hz）占绝大多数，图 3 所示为卸压爆破之后监测的电磁辐射幅值变化。

从微震信号的频谱特征以及电磁辐射幅值整体水平，可知卸压爆破导致顶板岩体内部形成大量的

微裂纹，并汇合、贯通，应力集中程度得到降低，即卸压爆破取得了较好的治理效果。

图4所示为微震监测系统采集的一起煤体深孔卸压爆破产生的微震信号。

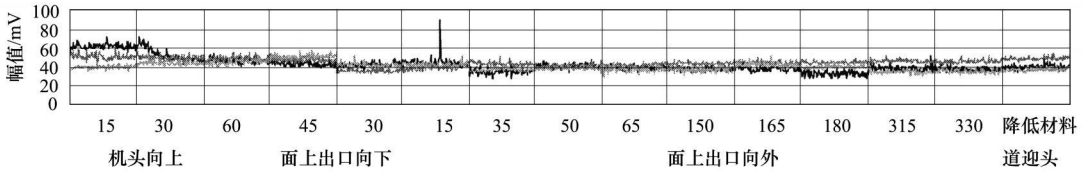


图3 卸压爆破后电磁辐射幅值变化

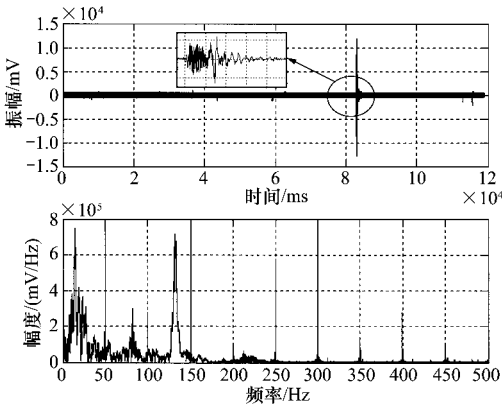


图4 煤体深孔卸压爆破矿震信号

此次微震振幅较高，震级达到  $M_L 1.8$ 。爆破范围为工作面上出口向下 25m 范围，装药 160 卷，平均装药密度较高。图5所示为卸压爆破之后监测的电磁辐射脉冲数变化。

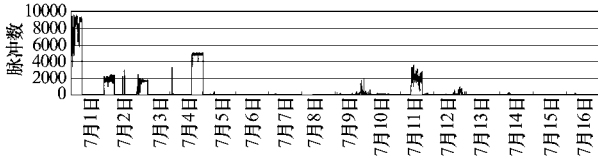


图5 电磁辐射脉冲数变化

从微震波形和频谱以及电磁辐射脉冲数变化来看，爆破后造成煤体产生强烈震动，并在煤体内部形成大量微裂隙，对煤体起到了很好的松动作用，降低了应力集中程度，卸压爆破效果良好。

9202工作面累计推进 361m，共进行卸压爆破

428次，其中卸压爆破诱发冲击矿压 72次，诱发率达到 16.8%。2003年 12月 10日工作面实施的一起卸压爆破诱发最大冲击矿压震级达到  $M_L 2.2$ 。通过微震信号的频谱特征分析，可以有效检验卸压爆破的效果。

#### 4 主要结论

- (1) 卸压爆破微震信号呈现出宽频谱、多峰值型的高频特征。
- (2) 卸压爆破微震信号主频分布在  $0 \sim 200\text{Hz}$  左右，其中高频成分 ( $50 \sim 200\text{Hz}$ ) 占绝大多数。高频成分主要反映了煤岩体内部形成的微裂纹的数量和扩展速率。
- (3) 通过分析卸压爆破微震信号的频谱特性，可以有效评价卸压爆破的效果。

#### [参考文献]

[1] 窦林名, 田京城, 陆菜平, 等. 组合煤岩冲击破坏电磁辐射规律研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24 (19): 3541-3544.

[2] 林盛, 刘业新, 李衍达. 基于时-频分解技术的全波列声波测井信号处理 [J]. 清华大学学报 (自然科学版), 1997, 37 (3): 63-66.

[3] 陆菜平, 窦林名, 吴兴荣, 等. 岩体微震监测的频谱分析与信号识别 [J]. 岩土工程学报, 2005, 27 (7): 772-775.

[4] 陆菜平, 窦林名, 曹安业, 等. 深部高应力集中区域矿震活动规律研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27 (11): 2302-2308.

[责任编辑: 邹正立]

(上接 41页)

已先后在 3个地点推广使用了这一技术，工作面单产由 150kt/月提高到 250kt/月，实现了一井一面一条运输线年产 3.0Mt 的目标。

(2) 通过在地表设岩移观测站，获得了珍贵的岩移参数，为地表治理提供了依据。

(3) 开展了地面对  $\text{II}_{2a}$  煤层顶板 2、3、5 含水层的水位观测工作。

(4) 确定出最佳放煤方法，提出了综放设备的更新改造方向。

#### [参考文献]

[1] 闫少宏, 富强. 综放开采顶煤顶板活动规律的研究与应用 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2003.

[责任编辑: 邹正立]