

深井矿山微震事件波形研究

杨志国¹, 于润沧², 郭然³

(1. 北京科技大学土木与环境工程学院, 北京 100083; 2. 中国有色工程设计研究总院, 北京 100038; 3. 中国有色矿业集团有限公司, 北京 100055)

[摘要] 介绍了冬瓜山铜矿引进的南非 ISSI 公司微震监测系统的软硬件组成;对记录地震事件波形的处理方法开展了深入研究,并对比了手动处理与系统自动处理的区别,提高了事件定位的精度,为震源参数的精确计算奠定了基础;基于波形与生产活动的对应关系,对波形所做的分类研究可确保能够快速识别各类事件;通过对测试爆破和矿山发生的地压活动事件的分析,验证了波形分析方法的可行性;为圈定岩体稳定性危险区并判断其发展趋势,及保证生产安全提供了依据。

[关键词] 深井开采;岩爆;微震监测;地震波形分析

[中图分类号] TD823.84 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2008)08-0069-04

1 前言

根据微震监测系统多个传感器拾取某一地震事件 P 波和 S 波到达的时刻,可以计算并确定该事件发生的位置;通过对多个地震波形的分析,可以求解该事件的震源参数;借助可视化软件,可以对某个区域的应力、应变状态的时空变化规律进行定量分析,实现对研究区域内不稳定岩体的预测,掌握岩爆活动规律和评估矿区潜在岩爆的危险性。

冬瓜山铜矿矿体赋存于 -690 ~ -1 007 m,最大主应力值范围为 30 ~ 38 MPa,是目前国内开采最深的金属矿山之一,多组岩石具有岩爆倾向,矿山在基建期间已经发生过多次弱岩爆事件^[1]。为了掌握岩爆发生规律,评估其危险性,2005 年 8 月冬瓜山矿安装了南非 ISS 国际公司生产的微震监测系统,对首采区(50[#] ~ 58[#] 勘探线)采矿活动进行实时监测。到目前每天记录的各类事件约 300 个,其中首采区内岩体活动的事件几十个。对地震事件波形的分析与聚类研究,直接影响着对岩体应力、应变状态的时空变化规律定量分析的准确性和可靠

性^[2-4]。笔者结合国家“十五”科技攻关课题“复杂难采深部铜矿床安全高效开采关键技术研究”子课题“冬瓜山深井岩爆与地压监测及控制技术研究”的研究成果,比较系统地阐释了微震波形的分析方法,并对各种事件进行了聚类研究,从而为探索岩爆等地质灾害活动规律与控制理论,改善深部高应力区采矿技术,保证矿山安全生产奠定了基础。

2 冬瓜山铜矿微震监测系统的构成

冬瓜山铜矿首采区微震监测系统共设 16 个传感器,4 个微震仪(QS)、1 个转发器(QS Repeater)、1 个井下控制室、1 个地面主控制室及光缆等,(见图 1)所示。软件部分包括时间运行系统(RTS)、地震波形分析处理系统(JMTS)和地震事件活动性可视化分析系统(JDI)。

3 地震波形分析与聚类研究

3.1 地震波形分析

微震事件发生后,传感器接收到地震波,微震仪将地震波的模拟信号转换为数字信号,并通过传输

[收稿日期] 2007-03-21

[基金项目] 国家“十五”科技攻关课题(2004BA615A-04);国家自然科学基金重大项目(50490274)

[作者简介] 杨志国(1978-),男,黑龙江依安县人,北京科技大学土木与环境工程学院博士研究生,主要从事矿山开采方面的研究, E-mail: zgyang2008@163.com

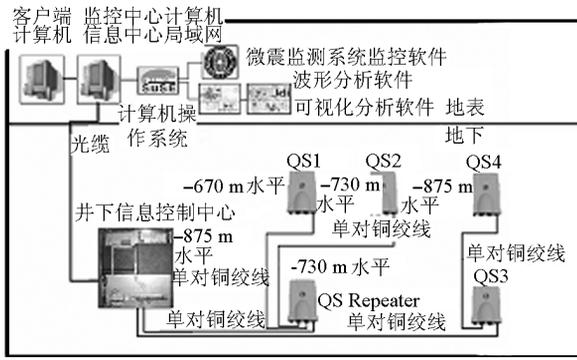


图1 冬瓜山铜矿微震监测网络的构成
Fig.1 Seismic monitoring system layout in Dongguashan Copper Mine

线路传输到地表主控计算机,利用系统的 JMIS 软件对各种事件的波形进行自动处理。对于震源机理简单的波形,自动处理的误差比较小;而对于震源机理复杂的事件而言,系统自动拾取地震波的到达时刻可能产生较大误差,有时事件的自动定位甚至超出了矿区范围,经过人工分析和处理后,事件的定位误差明显变小。图2是2006年12月17日系统检测到的一次掘进爆破的波形,自动定位结果是: $y = 86572\text{ m}, x = 21639\text{ m}, z = 2575\text{ m}$,误差为59 m (1.4%)。系统自动计算的震级 $M_L = 4.5$ 。从波形窗口看到,9号传感器拾取的S波首波是第三个冲击波,而其他传感器拾取的P波都是第一个爆破冲击波。实际上为了定位,每个传感器都应取第一个冲击波。手工重新对S波进行处理后,定位结果: $y = 84476\text{ m}, x = 22545\text{ m}, z = -730\text{ m}$,误差为6 m (2.5%),震级 $M_L = -1.1$ 。对照矿山实际,手工处理后的定位相当准确,而系统自动处理对事件的定位却得到了明显奇异的结果。矿山微震事件的震源机理一般比较复杂,为了精确定位就必须在系统自动波形处理的基础上,对各个事件的波形重新进行手工分析和处理,并总结出了如下波形分析处理方法。

3.1.1 整体观察事件波形窗口,删除异类波形,正确确定P波到达时刻

一个事件产生的地震波可能被多个传感器接收,各个窗口的波形大体的形状应该一致。如果大多传感器接收的都是单一的波形(尤其是第一个距离震源最近的传感器),个别传感器记录的波形异常可能是受噪声的影响。在事件定位时可剔除异常波形,避免其对整个事件定位的影响。井下作业环境复杂,事件的产生常伴随其他活动的噪声(如图

3),这时确定P波的起始位置就要格外仔细。图3的前一段为噪声,其振幅值几乎没有太大变化。首先,确定第一个波形上P波的起始位置,也就是振幅明显增大的地方;随后依次(按照距震源距离由小到大)确定窗口中其它波形的P波起始位置。确定的原则是保证每个P波起始位置波形的相似性;在确定每个波形的P波到达时刻时,可以借助系统工具将窗口的时间轴拉长或将表示振幅的纵轴放大,以便调节P波到达位置。在振幅突然增大区域附近进行微调,使W值尽可能的大,而误差值尽可能小,以便准确确定P波的位置。

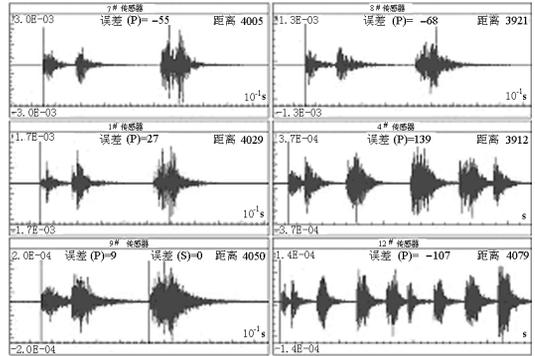


图2 系统自动处理的波形
Fig.2 Automatically processed waveforms

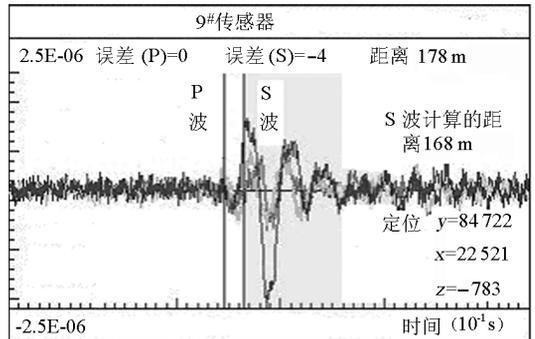


图3 伴有噪声的事件的三维波形
Fig.3 Three-dimensional waveforms of an event with background noise

3.1.2 加上S波,对事件进行更加精确的波形处理与计算

确定了P波位置后,利用振幅平方根曲线窗口(如图4所示)和能量曲线窗口(如图5所示),将振幅和能量曲线突然增大的位置定为S波出现的时刻。小范围调节S波的位置,一是使按P-S波确定的震源距离尽可能与单独用S波确定的距离一致;二是观察权重W,尽可能使其取得最大值,使误差值尽可能小。

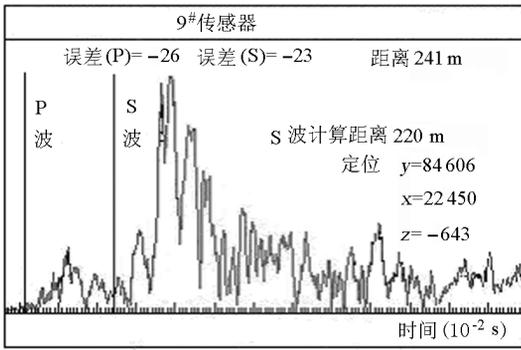


图4 振幅平方根曲线
Fig.4 SQRT amplitude curve

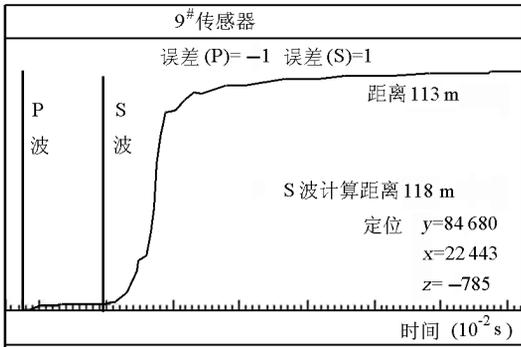


图5 能量曲线
Fig.5 Energy curve

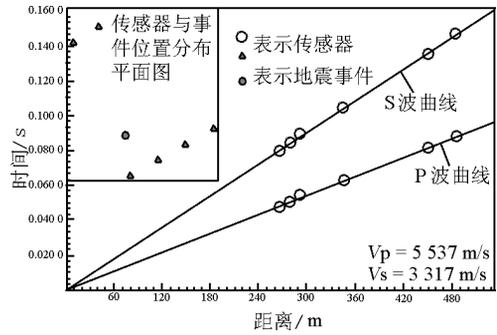


图6 到达时间与传感器至震源之间距离关系曲线

Fig.6 The curve of arrival time vs. distance from source to stations

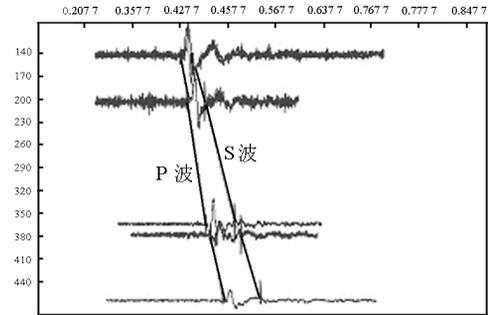


图7 距离与P波和S波传输时间关系曲线
Fig.7 The curve of distance vs. arrival time

3.1.3 利用P波和S波计算、调整定位及计算参数的准确性

根据P波和S波到达时刻、传输时间与震源和传感器之间距离的关系,可以对P波和S波到达时刻做进一步调整,以提高定位精度。图6是冬瓜山矿某一地震事件多个传感器记录的P波和S波到达时刻与距离的关系曲线。从图中可以清楚看出各个传感器对于事件波形处理的误差。如果代表某个波形的点偏离了直线,就调整相应传感器拾取到的波形,使P波、S波计算的误差尽可能的接近0。图6右下角给出了根据当前定位结果计算的P波、S波的传播速度。根据声发射试验和系统标定,冬瓜山矿岩P波和S波的平均波速分别为 $v_p=5500\text{ m/s}$, $v_s=3300\text{ m/s}$ 。如果发现图中计算值与标定值偏差太大,则需要调解至可接受的范围内,同时确保计算的传感器与震源间距离依次增大(如图7所示)。如果无法将所有点都调整到直线上,则去掉偏离直线很远的传感器,使其不参与事件的定位,但参与震源参数的计算。

3.2 事件的聚类研究

冬瓜山铜矿微震监测系统已运行两年多时间,存储了大量数据。通过观察和研究,笔者将深井矿山微震监测系统检测到的事件分为掘进和生产爆破、机械震动和噪声、岩体活动事件共3类。掘进爆破波形的特点是在一个窗口内有多个波形,波形的形状相同且衰减快。机械震动和噪声波形在图形上表现为沿着时间轴的重复震动,振幅没有明显的上下波动,沿着时间轴形成条带状。

为了实现对矿区局部不稳定岩体的预测、掌握岩爆活动规律、评估矿区潜在岩爆的危险性,最值得关注的是第3类,即岩体活动(采矿活动产生的新破裂或岩体沿地质构造面的滑动)。对这类事件的震源参数(震级 M_L 、地震矩 M 、释放出的能量 E 、拐角频率 f_0 、P波和S波的能量比 $E_{s/p}$ 等)进行分析和比较,就可以分离出对生产安全有重要意义的岩体变形活动事件。下面针对冬瓜山铜矿井下生产过程中实际发生的2个岩体活动事件进行详细分析。

3.2.1 实例1

图8表示的是发生在2006年5月1日16点46

分 6 秒 9[#] 传感器检测到的一个地震事件的波形。这次事件发生在 52[#] 勘探线 2[#] 采场束状孔爆破之后 (爆破位置: $y = 84\ 372\text{ m}$, $x = 22\ 400\text{ m}$, $z = -712\text{ m}$, 药量 $6\ 100\text{ kg}$), 地表有明显的震感。经过分析处理确定这次事件的位置为: $y = 84\ 373\text{ m}$, $x = 22\ 408\text{ m}$, $z = -684\text{ m}$, 震级 $M_L = 1.9$, 拐角频率 f_0 为 16.5 Hz 。震源内岩体最大的滑动速度达到 $5.6 \times 10^{-2}\text{ m/s}$ 。根据震源参数判断, 这样一次大的事件几乎肯定会导较大的破坏。但现场调查的结果却表明, 在爆破采场附近的岩体并没有发生明显破坏。事件发生的时间和定位结果表明, 本次事件是由于采场爆破引起的, 位置恰好在采场内, 所以未发现岩体的大规模破坏 (冬瓜山铜矿井下采用大孔采矿嗣后充填, 生产期间人员无法进入采场察看)。

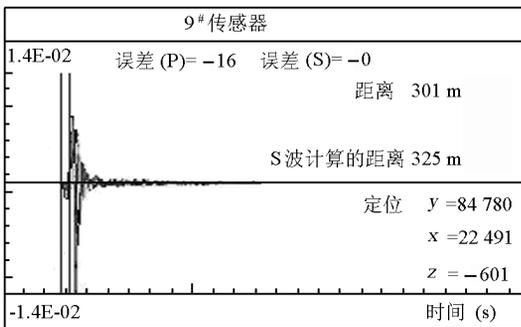


图 8 岩体活动事件的三维波形
Fig. 8 Three - dimensional waveform of a seismic event

3.2.2 实例 2

图 9 为 54[#] 勘探线隔离矿柱在 9、10 月份的地震事件活动情况。选定分析区域多边形的中心点坐标为: $y = 84\ 320\text{ m}$, $x = 22\ 575\text{ m}$, $z = -760\text{ m}$, 走向 143° , 倾向 90° , 走向长 550 m , 倾向长 300 m , 顶底板高均为 40 m 。从图中曲线明显可以看出, 在 10 月末, 地震事件的数目明显增多, 而从实际矿山的开采来看, 10 月份 54[#] 勘探线隔离矿柱地压活动频繁, 在 10 月 24 日 54[#] 勘探线 6[#] 采场爆破之后, -775 m 水平隔离矿柱底部多处发生了破裂、片落和跨塌, 局部跨塌厚度可达到 0.5 m 以上, 部分的锚喷支护被破坏。

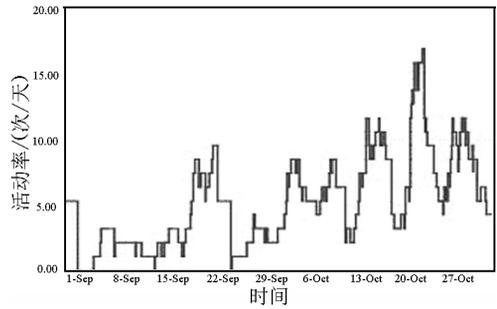


图 9 地震事件活动率与时间关系曲线
Fig. 9 Curve of activity rate vs. time

4 结语

通过对冬瓜山微震系统检测到事件波形的分析研究, 制订出了快速、准确处理深井矿山微震波形的方法和步骤。这不仅明显提高了事件定位精度, 而且加快了手工处理数据的速度, 实现对当天井下事件的统计分析。这为今后深入研究岩爆的发生机理、快速确定岩体潜在危险区域、掌握岩体稳定性变化趋势、制定合理的回采顺序和采矿强度、实现有岩爆危险的深井矿山的安全生产奠定了坚实的基础。

参考文献

- [1] 唐礼忠, 潘长良, 谢学斌, 等. 冬瓜山铜矿深井开采岩爆危险区分析与预测[J]. 中南工业大学学报, 2002, 33(4): 335 - 338
- [2] Mendecki A J. Principles of monitoring seismic rockmass to mining [A]. Gibowicz and Lasocki eds. Rockbursts and Seismicity in Mines [C]. Rotterdam: Balkema, 1997, 69 - 80
- [3] Malovichko D A. Study of "low - frequency" seismic events sources in the mines of the verkhnekamskoye potash deposit [A]. Yves Potvin and Martin Hudyma eds. Rockbursts and Seismicity in Mines - RaSiM6 [C]. Nedlands: Australian Center for Geomechanics, 2005, 373 - 377
- [4] Mendecki A J. Data - driven understanding of seismic rock mass response to mining [A]. van Aswegen G, Durrheim R J, Ortlepp W D eds. Rockbursts and Seismicity in Mines - RaSiM5 [C]. Johannesburg: South African Institute of Mining and Metallurgy, 2001, 1 - 9

(下转 80 页)