

香炉山钨矿残采区地压灾害微震监测技术应用分析

胡静云¹, 林峰¹, 彭府华¹, 沈慧明², 李庶林^{1,3}

(1. 长沙矿山研究院 采矿工程中心, 湖南 长沙 410012; 2. 江西修水香炉山钨业有限责任公司, 江西 九江 332438;
3. 厦门大学建筑与土木工程学院, 福建 厦门 361005)

摘要: 香炉山钨矿东区形成了形状复杂、体积巨大的采空区, 地压灾害问题突出。为了确保矿山生产安全, 该矿成功地建立了国内最大、最先进的 48 通道全数字型微震监测系统。本文简要介绍了多通道微震监测系统的组成、传感器的优化布置, 分析了微震监测系统对微震事件的定位误差和效果; 论文进一步对采区内微震定位事件、非定位事件进行了初步的应用研究; 论文还对西区大爆破对东区地压的影响程度进行了监测。最后, 论文对井下岩体破裂类型与释放的弹性波波形进行了辨识与频谱分析。初步的地压微震监测与分析结果表明, 微震监测技术能对香炉山钨矿残采区进行动态的地压监测, 可以预见该技术将在今后的矿山安全管理中起到更加重要的作用。

关键词: 微震监测; 残采; 应用

文章编号: 1003-8035(2010)04-0109-07

中图分类号: P631.4⁺35

文献标识码: A

0 前言

香炉山钨矿位于江西省九江市修水县城北西 35km, 矿区面积 5.3km², 矿体赋存于坡度为 25°~30°的山坡中, 为缓倾斜、厚度为中厚的矿体, 平硐开拓。矿体为白钨矿钙硅角岩矿石, 顶板围岩为含炭硅泥质灰岩, 底板为细粒黑云母花岗岩, 矿体及顶底板围岩总体稳固, 矿体分布范围广, 连续性好, 矿床水文地质条件简单。矿山 1993 年开采之初设计的生产能力为 150t/d, 后由于资金与经营困难, 修水县政府于 2000 年对香炉山钨矿整体接收后进行对外招商引资, 把主矿体东段分别承包给 10 多个民营采矿企业, 由于技术装备比较低, 采富弃贫, 采易弃难, 企业之间相互偷采, 缺乏总体规划, 导致形成的采空区面积大、相互贯通与重叠、形状复杂且没有进行处理。2003 年中国五矿有色金属股份有限公司对香炉山钨矿进行了控股, 对矿体资源开发进行了统筹规划, 加强了矿山井下生产的安全管理工作, 但是由于 2000~2003 年多家民营采矿企业的开采已经使香炉山钨矿矿体的整体性遭到了质的破坏, 目前所采用的采矿方法基本上为留点柱、条柱的空场法, 对采空区的顶板、底板和边角富矿进行残采, 无轨设备运输。截止到 2010 年井下采空区体积已经达到了 200 × 10⁴ m³, 矿柱所占体积与采空区体积之比不到 20%, 且采空区的体积以每年近 20 × 10⁴ m³ 的速度增加, 已经形成的采空区采场最大净空跨度超过 20m, 矿柱高度 5~20m, 平均采深 150m, 目前东部残采生产能力要保持

在 1800~2000t/d。

由于香炉山钨矿东部采空区体积大、相互贯通与重叠且形状复杂, 局部区域已经发生过较大面积的冒顶等地压灾害。同时由于矿山采用空场法, 人员和设备必须长时间暴露在空场下进行作业, 随着东部残采的进一步进行, 势必会使顶板连续暴露面积、矿柱高度进一步增加, 有可能产生大面积顶板冒落或由于一个矿柱垮塌导致连续多个矿柱呈“多米诺骨牌”效应垮塌与由此诱发的空气冲击波等严重的地压灾害。为了避免与降低地压灾害对人员与设备的损害, 对残采区域顶板与矿柱结构系统进行全天候实时的监测是矿山进行安全生产的必要的条件。

多通道微(地)震监测技术是目前全球最先进的岩体稳定性状态监测技术, 它包括声发射与地震学理论, 涵盖了声发射与微地震监测频率段, 是以岩体微破裂时由岩体弹性应变能释放转化的地震波为监测对象的。多通道微(地)震监测技术集合了计算机、通信等技术, 实现了对覆盖区域的实时全天候自动化监测和对监测数据的自动收集与预处理。多通道微(地)震监测技术能对岩体破裂源进行定位, 同时通过对能反映岩体破裂源物理力学状态的声发射/微震

收稿日期: 2010-10-12; 修订日期: 2010-11-18

作者简介: 胡静云(1985-)男, 在读研究生, 助理工程师, 采矿工程及岩石力学专业, 主要从事有关于微震地压监测的工作与研究。

E-mail: hujingyun007@163.com

参数进行分析来评价岩体的稳定性状态。本文将结合香炉山钨矿残采区已建立投入使用的多通道微(地)震监测系统来进行微震监测技术在香炉山钨矿残采区的应用技术的研究。

1 多通道微震监测系统简介

1.1 系统组成^[1,2]

香炉山钨矿多通道微震监测系统为全数字型 48 通道微震监测系统,为目前国际上最先进、国内通道数最大的全数字型微震监测系统。该系统由井下传感器、井下微震数据采集仪、地表数据处理站三大部分组成。48 个传感器分布在矿区东部的 700m × 800m 的残采区域,主要监测东部残采区的地压活动,同时对西部采区的地压也有较好的监测效果。8 台微震数据采集仪 (paladin) 分别安装在两个坑口,一坑口和五坑口各安装 4 台 paladin。地表数据处理站建在地表公司办公楼内。在每个传感器与 Paladin 系统之间为模拟信号传送,采用信号电缆线相连,Paladin 与地表处理站之间数据先从数字信号转换成光信号,经光缆传输至地表,再由光信号转换成数字信号到达处理器。系统组成如下图 1 所示。

系统硬件主要包括传感器、数据采集仪、数据处理仪和时间同步源发生器。传感器为加速度型传感器,输出信号为电压值,灵敏度平均为 30V/g,响应频率范围为 50 ~ 5000Hz。一个数据采集仪可以同时采

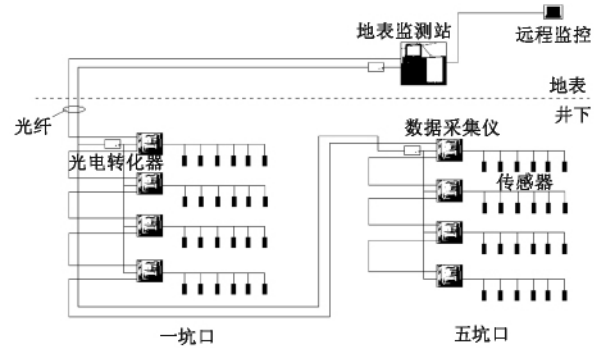


图 1 多通道微(地)震监测系统组成图

Fig. 1 Layout of multi-channel microseismic monitoring system

集 6 个通道(传感器)的模拟信号,并采用 10kHz 的采样频率,数字信号的精度为 24bit。该系统采用了 GPS 授时的时间同步源发生器,同步授时精度为 1×10^{-6} 秒。光电转换器把数据采集仪处理得到的数字信号转化为光信号,光信号通过光纤传送到数据处理仪。系统软件包括数据网络采集软件 (Hnas),事件三维可视化软件 (SeisVis),波形可视化软件 (WaveVis)、Paladin 诊断软件 (Paladin Diagnostics) 和事件处理器软件 (SeisProcTree) 等。运用这些软件使该系统具有“全天候实时监测、全数字化数据采集、对事件进行定位处理和地震学参数计算、对定位事件进行三维可视化显示、对事件波形进行可视化显示与分析处理和远程故障自检测”等功能。

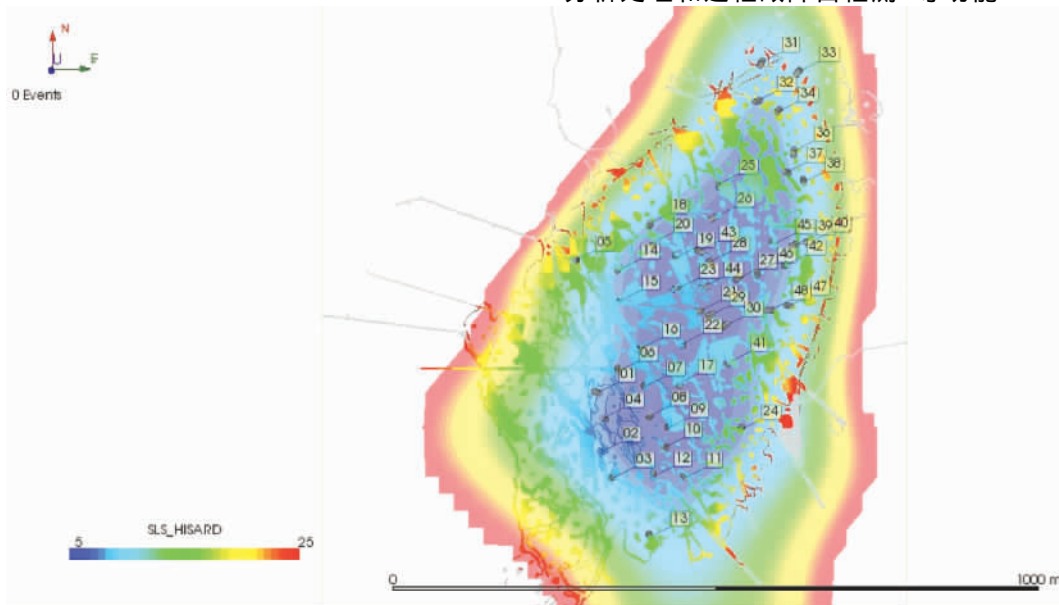


图 2 定位误差等值云图

Fig. 2 The contour diagram of location error

1.2 传感器布置与优化

传感器空间布置有两个重要指标:对重点监测区域的定位误差较小和对较小震级事件具有较高的灵敏度。同时传感器的布置还应考虑到现场布置条件的限制。通过对传感器布置方案的不断调整与优化,综合考虑而得到最恰当的传感器布置方案。图2是传感器最终布置方案的定位误差等值线图,从该图上可以看出传感器阵列具有较大的监测覆盖范围,并且在采区目标监测范围内具有较高的定位精度。

1.3 定位效果分析^[3]

系统自2010年8月15日开始投入运行以来,共监测到包括生产爆破和放矿在内的15558个定位事件,图3是定位事件在事件三维可视化软件里的水平位置图。通过对所有定位事件定位误差的统计得到了如图4的定位误差分布图。图4表明超过68%定位事件的定位误差在10m以内,表明系统对目标监测区域内的微震事件有较高的定位精度,满足工程要求。

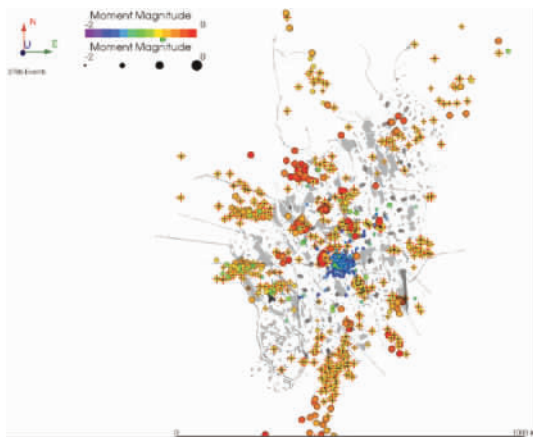


图3 事件三维可视化图

Fig.3 The 3-D visual of seismic event

2 地压微震监测初步应用

2.1 残采区地压监测分析^[4]

2.1.1 定位事件分析

定位事件表示破裂源释放能量足够大,被不少于5个传感器接收到,发生定位事件反映破裂源所在岩体已经处于不平衡状态。图5a与5b分别是井下典型的一天内和一周内的定位事件分布图。由图5a可以看出井下定位事件主要集中于上午7时至10时、下午13时至15时和晚上17时至18时,这些时段是井下主要的生产作业时间,定位事件主要为生产爆破

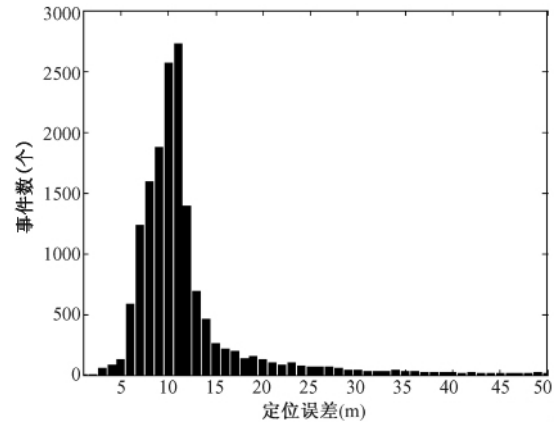


图4 定位误差分布图

Fig.4 The distribution of location error

和放矿。晚上20时至次日凌晨6时没有定位事件发生。图5b定位事件的分布也呈现同样的特点。说明在截止到定稿日期的监测时间内井下没有大的地压活动,井下岩体处于相对稳定期。

2.1.2 非定位事件分析

非定位事件是指被单个传感器接收到的微震事件,通常反映了单个传感器附近岩体的微震活动性。微震事件率是指在一段时间内发生的事件总数,是评价岩体微震活动性最重要也是最常用的一个参数。

在监测过程中,发现40#、21#、16#与15#传感器监测到的微震事件数较多,同时在这些传感器所在区域的岩体也出现了矿柱劈裂、顶板开裂与偏帮等地压显现现象。说明微震监测系统能很好地反映井下围岩体的活动状态,同时起到了对井下危险区域进行准确的预警的作用。下面将详细分析利用非定位事件预警危险区域的方法和过程。

(1) 40#传感器微震事件时间序列分析

40#传感器微震事件率在8月30日出现了突增现象,具体见图6。由图6可以看出,40#传感器微震事件率在8月29日及以前都小于10个/d,在8月30日突然增加到60个/d,并在8月31日继续增加至最高值79个/d,出现这一情况后监测技术人员向矿方发出了预警信息。随后40#传感器微震事件率便从9月1日开始持续下降。通过对40#传感器所在矿柱及附近区域的现场勘查得知,40#传感器所在矿柱于9月1日发生了劈裂地压现象,同时在该矿柱附近顶板发生了冒顶与开裂,图7为对40#传感器所在矿柱发生的劈裂地压显现绘制的素描图。

通过上述实例我们可以看到微震事件率与岩体

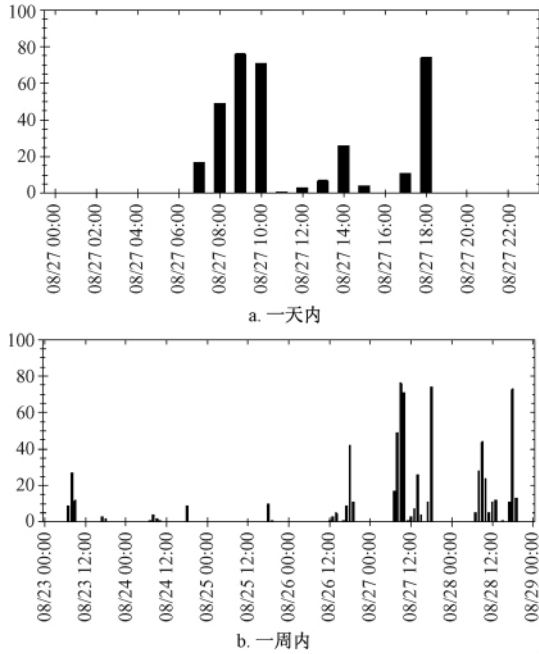


图 5 定位事件时间分布图

Fig. 5 The distribution on time of location events

破裂行为很好地吻合起来,微震事件数的突增表明岩体内部微破裂的快速增加,岩体宏观破裂的显现发生在事件率峰值之后,在上面的实例中即是微震事件率峰值发生在 8 月 31 日,岩体宏观破裂显现发生在微震事件率开始下降的 9 月 1 日,证明了岩体宏观破裂发生在微震事件率相对平静期之后。

(2) 21#等传感器微震事件时间序列分析

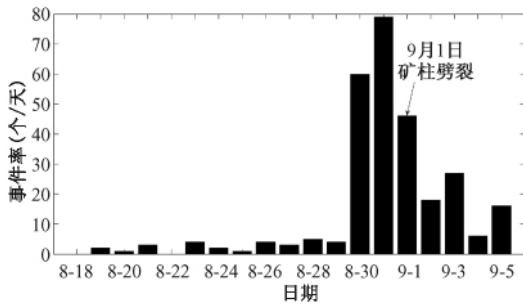


图 6 40#传感器微震事件率随时间的变化过程

Fig. 6 The process of seismic event rate of number 40 sensor

21#、16#与 15#传感器分别位于 407 北采、南 2 与南 1 采区域(图 8)。通过系统成功建立投入使用后一段时间的监测,图 8 所示区域的微震事件数较多,在井下整个监测区域范围内微震活动性是处于最高水平的。图 9 为 21#、16#与 15#传感器的微震事件率

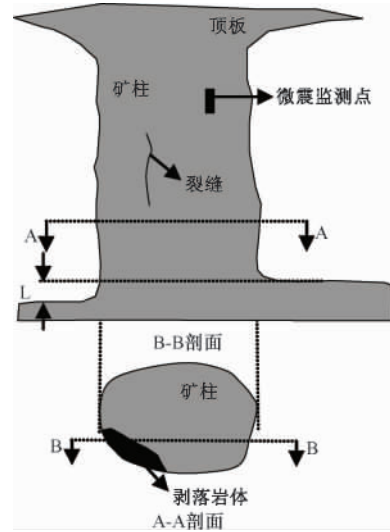


图 7 40#传感器所在矿柱地压显现素描图

Fig. 7 The sketch of fracture in pillar

随时间的变化图。由图 9 可以看出,21#传感器微震事件率变化剧烈,在 8 月 23 日达到一个峰值 59 个/d 后,又于 8 月 31 日达到一个峰值 33 个/d。在 8 月 23 日向矿方发出了 21#传感器所在的 407 北采区域可能为危险区域的预警后,矿方安全人员在 407 北区域发现了顶板开裂、采场冒落和巷道偏帮的地压显现现象,见图 10。

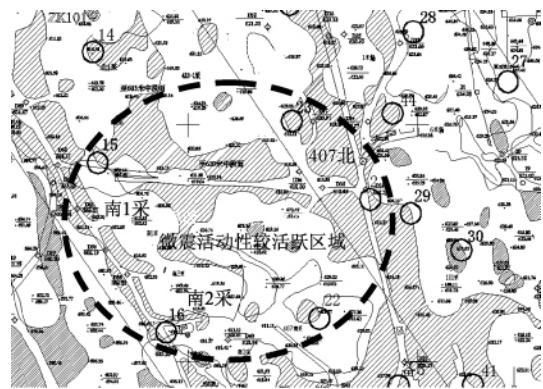


图 8 井下微震活动性较活跃区域

Fig. 8 The area with high seismic activity

图 8 所示的微震活动性较活跃区域正是该监测时期内井下进行回采的采场,16#与 15#传感器微震事件数也较多,但现场没有发现宏观破裂面等地压显现现象。由于该区域回采的进行使得围岩体的应力状态受到扰动,微震事件数增多,如 16#传感器,在 8 月 31 日微震事件率达到 82 个/d,说明该区域围岩体的稳定性状态受开采的影响是较大的,需要密切关注

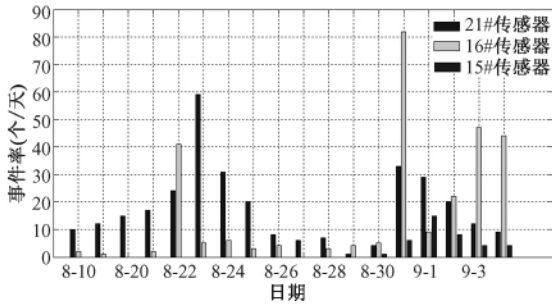


图 9 各主要传感器微震事件率随时间变化
Fig.9 The process of seismic event rate

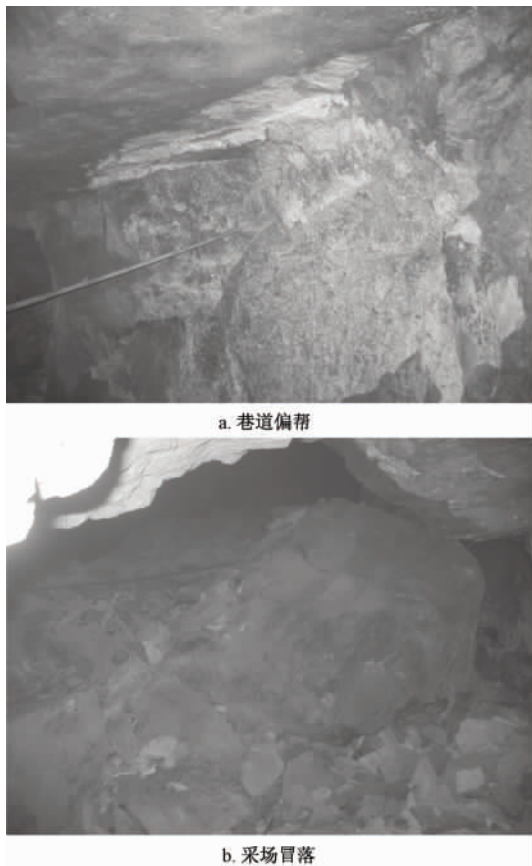


图 10 407 北采场地压显现现象
Fig.10 The appearances of ground pressure in 407 north stope

该区域的地压显现现象。

由图 6 和图 9 中 40#传感器与 16#传感器最大微震事件率所对应的不同的岩体力学行为说明利用微震事件参数预测岩体稳定性状态的复杂性和规律的多多样性与不统一性。在具有相同微震事件率水平的条件下,同一矿山不同区域的岩体的力学行为不一样^[5]。

2.2 西部采区大爆破余震监测分析^[6,7]

西部采区采用中深孔爆破,目前已投产,是香炉山钨矿以后主要的资源接替区。由于西部采区爆破作业一次装药量大、爆破频繁,因此监测西部大爆破对东部残采区域的影响范围和程度是十分重要的。

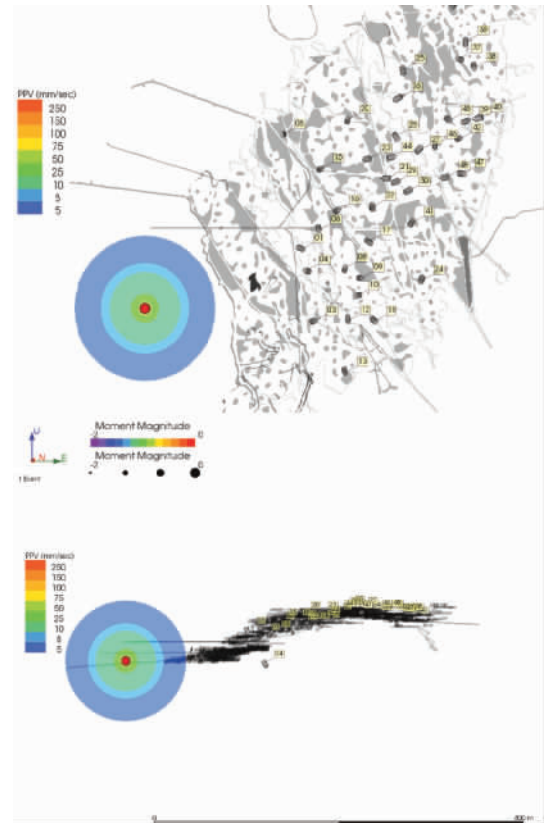


图 11 西部大爆破定位图
Fig.11 The location of great blasting in west

图 11 是微震监测系统对 8 月 31 日 18 时 51 分西部一次大爆破的监测图,图中显示了大爆破发生的空间位置和爆破在岩体中产生的质点峰值速度 (PPV) 分布图。

通过对本次西部大爆破后 14 个小时内各传感器微震事件数进行的统计,得到了图 12。由图 12 可以知道,微震事件数比较多的传感器有 16#、21#与 40#,其他传感器微震事件数很少或没有。所有传感器中与大爆破位置相距最近的是 4#传感器,距离是 309m,但在大爆破后没有监测到微震事件。16#、21#与 40#传感器与大爆破位置的距离分别是 402m、508m 和 700m。16#与 21#传感器微震事件率在大爆破后呈下降趋势,表明这两个传感器所在区域的岩体的微震活动性受西部大爆破影响较大。40#传感器微

震事件率在大爆破后保持了一个较平稳的过程,同时由本文的 3.1 节的论述可知,40#传感器在大爆破前就已经处于微震活动性活跃期,表明该传感器所在区域岩体的微震活动性受大爆破影响较小。



图 12 西部大爆破后主要受影响传感器微震事件率随时间的变化过程

Fig. 12 The process of seismic event rate of sensors which influenced by great blasting in west

通过对比各传感器所在区域岩体在大爆破后的微震活动性可知,西部大爆破对东部残采区域的地压有影响,影响程度主要与岩体本身的破裂损伤程度有关,与距离西部大爆破位置的远近程度没有明显关系。

3 岩体破裂形式分析^[8]

香炉山采区岩体破裂形式主要有压剪型与张拉型。压剪型破裂产生的弹性波具有较明显的 P 波与 S 波,见图 13a;而张拉型破裂产生的弹性波则只有 P 波,见图 13b。图 13 另外还给出了两种典型波形的频谱图,可知香炉山钨矿典型的压剪型破裂产生的弹性波的主频为 630Hz,张拉型破裂产生的弹性波的主频为 2100Hz。

4 结论

(1) 针对香炉山钨矿东区残采区地压问题成功地建立了 48 通道微震监测系统,该系统具有全天候实时监测功能,对残采区目标监测区域内的破裂源定位误差在 10m 以内。

(2) 40#、21#、16#与 15#等传感器单通道微震事件较多,说明这些传感器相对应所在采场微震活动性相对突出。传感器微震事件率时间序列能与岩体破

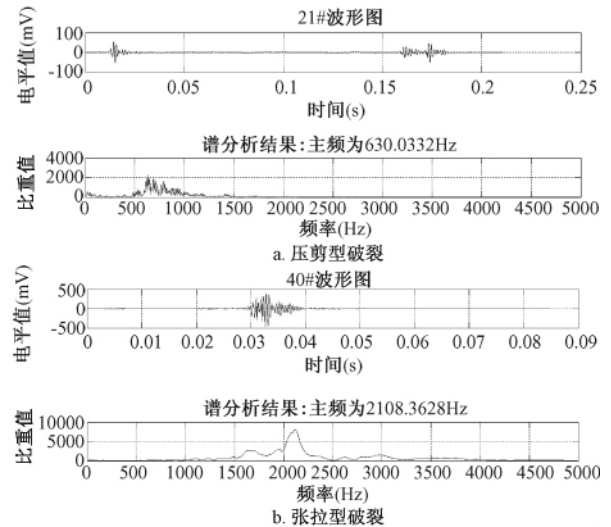


图 13 香炉山钨矿岩体主要破裂形式及其波形

Fig. 13 The main fracture type and waveform in Xianglushan mine

裂过程很好地吻合起来,能实现对井下危险区域进行预警的作用。

(3) 西区大爆破对东区地压有影响,影响程度主要与岩体本身破损程度有关,与距离西区大爆破位置的远近程度关系不大。

(4) 通过对监测到的岩体破裂波形分析可知,香炉山钨矿东区残采区岩体破裂形式主要有压剪型和张拉型,破裂产生的弹性波所处的频率段分别为 630Hz 与 2100Hz。

(5) 初步的地压微震监测与分析结果表明,微震监测技术在香炉山钨矿残采区的地压监测中显现出较好的应用效果,可以预见该技术将在今后的应用中起到更加重要的作用。

参考文献:

- [1] 李庶林,尹贤刚,郑文达,等. 凡口铅锌矿多通道微震监测系统及其应用研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(12): 2048 - 2053.
- [2] 袁节平. 试论柿竹园多通道微震监测技术研究的必要性[J]. 采矿技术, 2009, 9(1): 66 - 69.
- [3] 林峰,李庶林,薛云亮,等. 基于不同初值的微震源定位方法研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(5): 996 - 1002.
- [4] Richard-P Varden. Seismic management and seismic hazard quantification at kanowna belle mine [M]// CHUN' AN Tang ed. Controlling Seismic Hazard and Sustainable Development of Deep Mines [C]. New York:

- Rinton Press 2009:831-838.
- [5] 杨承祥,罗周全,唐礼忠. 基于微震监测技术的深井开采地压活动规律研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(4):818-824.
- [6] 尹贤刚,李庶林,黄沛生,等. 微震监测系统在矿山安全管理中的应用研究[J]. 矿业研究与开发, 2006, 26(1):65-68.
- [7] 李庶林,尹贤刚,李爱兵. 多通道微震监测技术在大爆破余震监测中的应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 24(1):4711-4714.
- [8] Bryan-Philip Watson, Alex Milev, Dave Roberts. Unusual fracturing above intermediate to deep-level bushveld platinum workings [M]//CHUN'AN Tang ed. Controlling Seismic Hazard and Sustainable Development of Deep Mines [C]. New York:Rinton Press, 2009:817-830.

Research on application of Microseismic monitoring technology on ground pressure hazard of residual are in Xianglushan tungsten mine

HU Jing-yun¹, LIN Feng¹, PENG Fu-hua¹, SHEN Hui-ming², LI Shu-lin^{1,3}

(1. Centre of Mining Engineering, Changsha Institute of Mining Research, Changsha 410012, China;

2. Xiushui Xianglushan Jiangxi Tungsten Industry Co. Ltd, Jiujiang, Jiangxi 332438, China;

3. School of Architecture and Civil Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: Xianglushan tungsten mine formed complex shape and large size vacant area, ground pressure disasters is prominent. In order to ensure safety of mining, mine successfully established the largest and most advanced 48-channel digital-based microseismic monitoring system. This paper introduces the components of multi-channel microseismic monitoring system and optimization of sensor layout, analyses positioning error and effect of seismic events; paper further has a preliminary research on application of located and non-located seismic events; paper also analyses the affection on Eastern area caused by large explosion on the Western area; Finally, the paper identifies types of underground rock mass fracture and spectrum analysis of elastic waveform. Results and analysis showed that the microseismic monitoring technology had a good application effect in Xianglushan tungsten mine and it is foreseeable that the technology will in future play a more important role in management of mine safety.

Key words: microseismic monitoring; residual; application

敬告作者和读者

为适应我国科技信息化建设的需要,扩大作者、读者学术交流渠道,本刊已加入《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》及《中文科技期刊数据库》。今后,本刊将作者著作权使用费与本刊稿酬一次性付给。如果作者不同意将文章编入上述数据库,请在投稿时声明,本刊将作适当处理。谢谢!

《中国地质灾害与防治学报》编辑部