

柿竹园矿地下特大爆破的微震监测技术研究*

陈际经¹, 胡静云², 李庶林^{2,3}

(1 湖南柿竹园有色金属有限责任公司, 湖南 郴州市 423037; 2 长沙矿山研究院 采矿工程技术研究中心, 湖南 长沙 410012; 3 厦门大学 建筑与土木工程学院, 福建 厦门市 361005)

摘 要: 柿竹园多金属矿采用中深孔大规模崩落工艺回采矿柱, 特大爆破回采过程中, 对岩石微震事件进行了监测, 介绍了微震监测系统。通过微震监测, 了解到群矿柱与垂悬顶板余震的时空变化特点, 对群矿柱中的应力集中区域进行了较好的定位, 进而对群矿柱与垂悬顶板进行了基于微震监测结果的稳定性评价, 为井下安全生产和下一步回采矿柱的顺序提供了依据。

关键词: 微震监测; 矿柱回采; 特大爆破

中图分类号: TD76 文献标识码: A

文章编号: 1005-2763(2011)02-0059-04

M icroseism M onitoring for the Underground Extra Large-scale Blasting in Shizhuyuan Mine

CHEN Jijing¹, HU Jingyun², LI Shulin^{2,3}

(1. Hunan Shizhuyuan Nonferrous Metals Co. Ltd., Chenzhou, Hunan 423037, China; 2. Changsha Institute of Mining Research, Changsha Hunan 410012, China; 3. School of Architectural and Civil Engineering, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361005, China)

Abstract: In Shizhuyuan polymetallic mine, large-scale carving with medium-length hole blasting is adopted to mine ore pillar. In the course of extra large-scale underground blasting, the microseismic events of rock was monitored. This paper describes the microseismic monitoring system. By microseismic monitoring, the temporal and spatial changes of aftershocks in the hanging roof and the pillar group were found out, and the areas of stress concentration in the pillar group were located. The stability evaluation of the hanging roof and the pillar group was made based on the results of microseismic monitoring. It provided a basis for the safety of underground mining and the design of mining order of remained ore pillars.

Key Words: Microseismic monitoring; Pillar mining; Extra great-scale blasting

0 前 言

柿竹园钨锡钼铋多金属矿床自 1987 年采用分

段凿岩阶段矿房法开采以来, 因种种原因对井下的采空区(矿房)未进行处理, 截止 2002 年, 井下留下的矿量占矿块矿量约 60% 的矿柱和近 300 万 m³ 的巨大采空区群, 累计空区顶板暴露面积达 3 万 m², 连续暴露面积近 1 万 m², 15 m 厚的连续条带矿柱多处垮塌。为了实现矿山持续生产, 有效处理采空区和回采矿柱, 矿山自 2002 年起与长沙矿山研究院协作研究, 确定采用中深孔大爆破的方式回采矿柱和顶板富矿, 并处理采空区安全隐患。

井下中深孔回采矿柱的特大爆破是井下群矿柱与顶板岩层应力状态扰动的最主要因素。特大爆破后将引起周围群矿柱和顶板覆岩层中应力的重新分布, 通过微震监测技术实时地了解应力转移与集中的区域和应力集中的程度, 对群矿柱和顶板的稳定性进行评价是保证生产安全的重要工作, 同时可为可靠安全的回采矿柱的顺序和规模提供科学依据。

1 特大爆破背景

柿竹园矿于 2009 年 6 月 26 日进行了一次井下中深孔特大型爆破, 特大爆破回采区域为 514~603 分段一盘区 C₄ 房间柱、586~603 分段一盘区 C₅ 房间柱、558~603 分段 P₂ 巷道 C₅ 以北部分和 558~610 分段矿房 K₁₋₄ 顶板, 如图 1 所示。爆破装药量约 230 t 采用毫秒差爆破, 最大段别的药量为 15 t。

2 微震监测系统简介

柿竹园矿采用全数字型 30 通道微震监测系统, 该系统由井下传感器、井下微震数据采集仪、地表数

* 收稿日期: 2010-09-08

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAB02B05-1)。

作者简介: 陈际经(1958-), 男, 广西全州人, 高级工程师, 国家注册高级爆破工程师, 安全工程师, 主要从事工程爆破技术和采矿安全研究, Email: cjj630103@qq.com。

据处理站 3 大部分组成。30 个传感器布置在 300 m × 300 m 富矿段区域内的 514、558 和 630 中段, 相应中段的通道数分别为 12 个、12 个和 6 个。5 台微震数据采集仪 (paladin) 分别安装在上述 3 个中段, 分别为 2 台、2 台和 1 台。地表数据处理站建在坑口办公楼内。每个传感器与 paladin 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。系统组成见参考文献 [2]。



图 1 558 中段的特大爆破回采区域

3 大爆破过程微震监测效果分析

3.1 大爆破震源监测

由于本次特大爆破采用毫秒微差爆破技术, 微震监测系统只能给出第一段别的爆破震源空间位置。系统于 2009 年 6 月 26 日 5 时 30 分定位到了该特大爆破, 接收到了大爆破波形。

系统定位了大爆破的位置与接收到了大爆破在岩体中产生的地震波波后, 就可以由这 2 个基础数据, 通过系统内部自带的软件计算出大爆破的强度等微震参数, 如: 近震震级、矩震级、地震矩、动态应力降与静态应力降等。本次特大爆破计算得到的相关微震参数见表 1。

表 1 特大爆破微震参数

坐标 (m)	近震震级	矩震级	地震矩 (N·m)	静态应力降 (MPa)	动态应力降 (MPa)
N8695					
E6497	1.3	1.0	4.39×10^0	4.88	16.3
D642					

3.2 大爆破余震监测

大爆破完成之后, 为了监测应力在群矿柱中的转移过程, 进行了大爆破后一个星期不间断的微震监测。由图 1 可知, 当爆破回采区域的矿柱回采后, 垂悬顶板覆岩的自重将会转移到其他承重矿柱上, 实时监测并了解应力转移的方向与矿柱应力集中的程度是微震监测的工作重点。同时由于矿柱回采的扰动, 垂悬顶板覆岩层的应力状态会改变, 对可能产生的滑移、崩落与大规模冒落进行实时的微震监测也是我们工作的重点。

3.2.1 群矿柱余震监测

经过大爆破后一周的连续监测, 发现余震事件主要集中在 558 中段的 P₃ 盘间柱的 C₄ 至 C₅ 段, 图 2 是该区域余震源空间变化过程, 表明该区域矿柱在应力转移过程中破裂事件显现, 是主要的应力集中区域。图 3 是余震与应力集中区域微震定位事件率的时间序列变化情况, 表明了爆破后微震定位事件率随时间逐步降低, 矿柱破裂事件逐渐减少甚至没有, 表明矿柱受应力集中影响破裂释放应变能逐步趋向稳定。

3.2.2 垂悬顶板余震监测

随着大爆破回采工作的持续进行, 610 水平以上的垂悬顶板的跨度和连续暴露面积将日趋扩大, 垂悬顶板的应力不断集中, 这将导致更加频繁与更大规模的滑移、崩塌与冒落地压灾害。微震监测技术能有效地对这些地压灾害进行监测, 通过不断对获取的相关数据的整理分析, 找出矿山地压显现的规律性, 以便实现灾害性地压活动来临时的预警。

本次特大爆破之后, 微震监测系统分别于当日 5 点 41 分和 5 点 52 分在垂悬顶板监测到 2 次滑坡事件, 距离大爆破发生事件分别只隔 11 min 和 22 min。滑坡事件和产生的地震波波后见图 4。

图 4 所示的波形明显的显示出 P (压缩波) 波在前, S (剪切波) 波在后的特征, 可以初步判断为岩体剪切滑移产生的地震波。表 2 列出了 2 次滑坡的微震参数。

3.3 余震监测效果的验证

在本次大爆破过程与随后的半个小时, 矿方有关人员对于垂悬顶板与天窗在地表进行了全程摄影。地表摄影共观察到了 2 次滑坡事件, 与微震监测结果相一致。

大爆破一周后, 矿方技术管理人员在 558 中段 P₃ 盘间柱 C₄ 至 C₅ 段, 即大爆破一周内余震集中区域, 观察到了巷道片帮严重、矿柱内部炮孔错动严重

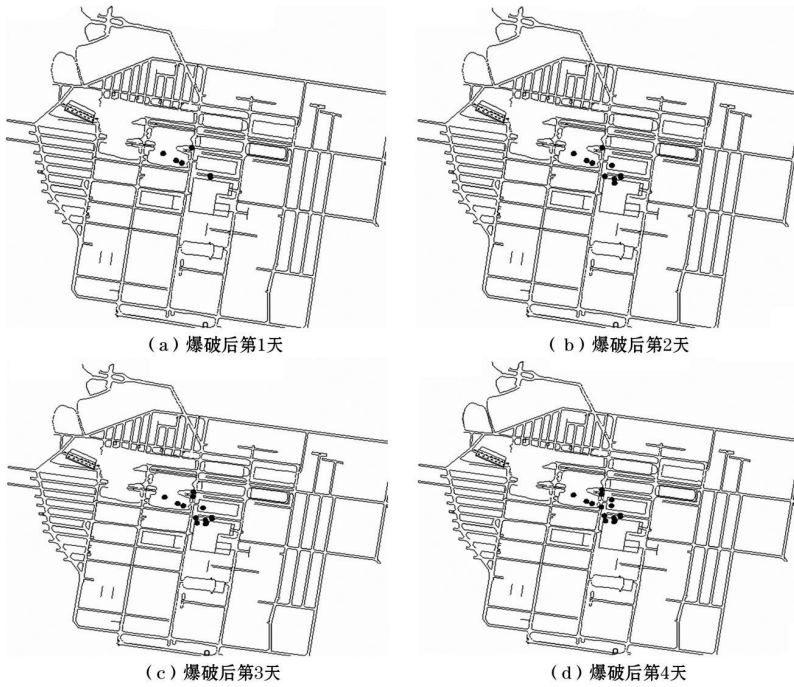


图 2 余震集中区域余震源空间变化过程

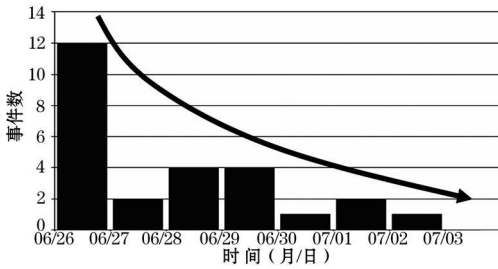


图 3 余震集中区域微震定位事件率时间序列

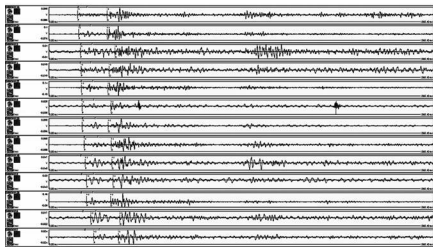


图 4 滑坡产生的地震波波形

与巷道底板开裂等情况。矿柱内炮孔错动表明该区域矿柱因应力集中发生了剪切变形, 与微震监测所显示的结果是吻合的, 表明了微震监测技术对群矿柱应力转移与集中的监测的准确性。

3.4 大体积岩体稳定性评价

特大爆破是导致柿竹园矿井下围岩体稳定性状态发生变化主要因素。根据应力状态与采矿工艺, 井下围岩体可以区分为 2 个部分: 垂悬顶板与群矿

表 2 2次滑坡的微震参数

时间	坐标	近震震级	矩震级	地震矩 (N·m)	静态应力降 (MPa)	动态应力降 (MPa)
05: 41: 11 (11 min后)	N8717. 29 E 6439. 81 D769 29	- 1. 75	- 0. 59	$3. 4 \times 10^8$	0. 132	0. 493
05: 52: 35 (22 min后)	N8692. 04 E 6533. 75 D772 40	- 2. 69	- 0. 99	$6. 69 \times 10^7$	0. 033	0. 101

柱, 针对这 2 种大体积岩体的稳定性采用微震监测技术来实时监测与评价其稳定性。

(1) 垂悬顶板稳定性分析。垂悬顶板在本次特大爆破后的半个小时内发生了 2 次较大规模的滑坡事件, 表明大规模的矿柱回采后造成垂悬顶板应力大规模的调整, 同时单个通道微震事件也时有发生与突增, 表明垂悬顶板局部区域微震活动性处于较高水平, 应力集中与调整仍在进行, 地表崩塌与顶板冒落时有发生, 因此必须把垂悬顶板作为重点监测区域, 时刻预防较大规模顶板崩塌与冒落可能造成的安全事故。

(2) 群矿柱稳定性分析。群矿柱在本次特大爆破之后承受上覆岩层转移来的自重, 通过大爆破后的余震监测确定了应力集中区域, 应力集中区域余震源时空变化特点表明矿柱具有暂时趋稳的趋势。大爆破后对群矿柱的余震监测表明, 应力主要转移与集中到 P₃盘间柱的 C₄至 C₅段, 在对应的 558 中段

产生了肉眼可见的开裂。大爆破后一周的余震事件率时间序列表明,应力集中区域微震活动性逐步降低,说明该应力集中区域经历开裂卸载作用后矿柱重新趋于稳定性状态,单个通道接收到的微震事件也处于低水平,表明群矿柱重新处于平衡稳定状态。

4 结 论

(1) 微震监测技术具有很强的实时监测与定位功能,对大爆破能给出较为准确的各种力学物理参数,是大爆破作业过程中地压安全监测的重要手段。

(2) 微震监测结果对指导下一步的矿柱回采顺序与回采规模的确定有重要的意义。

(3) 微震监测结果对于矿柱和顶板稳定性的判定的正确性,在生产实践中得到了充分的证实,说明微震监测技术对大爆破过程的监测是行之有效的先进方法。

参考文献:

[1] 袁节平. 柿竹园矿的采矿地压及其防治 [J]. 矿业研究与开发, 1997, 17(4): 26-29

[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] 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

[4] 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, 2005 24(1): 4711-4714

[5] 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

[6] 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

[7] Richard- P Varden Seismic management and seismic hazard quantification at kanowna belle mine [A]. Chun' an Tang Controlling Seismic Hazard and Sustainable Development of Deep Mines [C]. New York Rinton Press 2009 831-838.

[8] Bryan- Philip Watson, Alex Miley, Dave Roberts Unusual fracturing above intermediate to deep-level bushveld platinum workings [A]. Chun' an Tang Controlling Seismic Hazard and Sustainable Development of Deep Mines [C]. New York: Rinton Press 2009 817-830.

(上接第 20页)

更好衔接或转换到 MapGIS 地表模型的属性数据库,缩短监测数据处理分析时间,制定预警阈值,实现模型的自动分析预警和显示。由于监测区域范围较大,部分测桩距离较远,监测数据精度低,这直接影响了塌陷坑破坏圈分级划定的准确性,但这不影响矿山制定相应的对策措施。

3 结 论

从理论上分析矿山开采过程中的岩层移动破坏,阐述了矿区地表塌陷坑的形成机制,铜坑矿酸水湾的地表塌陷坑的形成完全符合这一机制,只是形成过程更加复杂。应用 MapGIS 建立了酸水湾塌陷区数字化立体模型,在模型上体现陷坑周边的标示物、道路、观测桩等,将测桩的观测分析结果较好的体现在模型上,同时将塌陷坑周边岩体的进一步破坏情况直观的进行了预测预示,为矿山制定有关安全措施提供了依据。MapGIS 在各领域的应用已经很广泛,且都取得了较好的实际应用效果,但应用在矿山地表塌陷区岩层移动的监测分析尚不多,尤其是在地表岩层移动破坏预警方面的应用尚未见到有关公开发表的学术论著,MapGIS 在矿山地表岩层移动监测分析及预警方面还存在巨大的价值,有待进

一步研究和开发应用。

参考文献:

[1] 姜晨光, 贺 勇, 梁安波, 等. 矿区地表沉陷规律的新认识 [J]. 岩石力学与工程学报, 2003 22(1): 162-165.

[2] 廉 海, 魏秀泉, 甘德清. 地下开采引起地表沉陷的数值模拟 [J]. 矿业快报, 2006, 22(1): 29-32

[3] 毛建华, 杨伟忠, 黄道钦, 等. 金属矿山岩层与地表移动研究现状及发展趋势 [J]. 采矿技术, 2009 9(6): 13-14.

[4] 李春雷, 谢谟文, 李晓璐. 基于 GIS 和概率积分法的北洛河铁矿开采沉陷预测及应用 [J]. 岩石力学与工程学报, 2007 26(6): 1243-1250

[5] 欧阳振华, 李长洪, 陈国利, 等. 利用对称理念进行地表沉陷观测 [J]. 测绘通报, 2005, (3): 32-34

[6] 张巨伟, 高 谦, 等. 金属矿山岩移与工程稳定性研究及动态预测 [J]. 地质与勘探, 2006 42(5): 98-102

[7] 杨 伦, 温吉洋, 于世全. 极不充分采动条件下地表下沉规律及计算方法研究 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2005 16(1): 81-83.

[8] 许家林, 连国明, 朱卫兵, 等. 深部开采覆岩关键层对地表沉陷的影响 [J]. 煤炭学报, 2007 32(7): 686-690.

[9] 王艳辉, 蔡嗣经, 宋卫东. 基于人工神经网络的地下矿山岩层移动研究 [J]. 北京科技大学学报, 2003 25(2): 106-109.

[10] 何万龙. 山区开采沉陷与采动损害 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2003

[11] 宋振骥. 实用矿山压力 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1988

[12] 钱鸣高, 刘昕成. 矿山压力及其控制 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1984