

# 基于微震监测的大范围破裂矿柱稳定性评价

郭远发<sup>1</sup>, 刘宏发<sup>1</sup>, 袁节平<sup>1</sup>, 陈际经<sup>1</sup>, 胡静云<sup>2</sup>, 李庶林<sup>2,3</sup>

(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 国家金属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:** 柿竹园矿大范围破裂矿柱回采进行大爆破施工前, 对装药区域的稳定性的监测与评价是确保大爆破施工安全与顺利实施的重要工作。基于柿竹园矿大范围破裂矿柱微震监测实例, 详细分析了大范围破裂矿柱产生的原因, 根据出矿对破裂矿柱稳定性的影响及微震监测结果, 对破裂矿柱稳定性状态进行了评价。说明了微震监测能较准确地对破裂矿柱的活动状态进行监测, 根据监测结果可以对破裂矿柱的稳定性状态进行较准确的评价与预警, 为大爆破的施工与顺利实施提供了保障。

**关键词:** 破裂矿柱; 微震监测; 稳定性评价

## 1 概述

### 1.1 矿山开采历史

柿竹园钨锡钼多金属矿床矿体集中厚大, 有用矿物种类繁多, 是国家重要的矿产资源基地。矿床自1987年采用分段凿岩阶段矿房法开采以来, 因种种原因井下的采空区(矿房)未能进行处理, 截止2002年, 井下留下占矿块约60%的矿柱矿量和近300万 $m^3$ 的巨大采空区群, 累计顶板暴露面积达3万 $m^2$ , 连续顶板暴露面积近1万 $m^2$ , 15 m厚的连续条带矿柱多处垮塌。为了实现矿山采矿的持续生产, 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, 最终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。在确定了上述连续回采采矿方法后, 柿竹园矿先后进行了多次井下中深孔大爆破。截止到2011年年初, 已经实现了对约一半的矿柱的崩矿, 回采现状如图1与图2所示。

### 1.2 大爆破前微震监测的重要性

柿竹园多金属采场矿柱回采采用集中大爆破方式回采, 一般每年进行一次或两次大爆破崩矿。由于矿柱回采过程的应力重分布和应力集中作用, 以及每次大爆破的影响, 都会在采空区其他待采矿柱内产生较为严重的破裂或开裂现象, 在一些区域或范围中形成不同程度的矿柱岩体开裂区。这些开裂区域的矿柱是后续开采的目标区域, 但其承载能力差、稳定性差。在下次大爆破前, 由于待采破裂矿

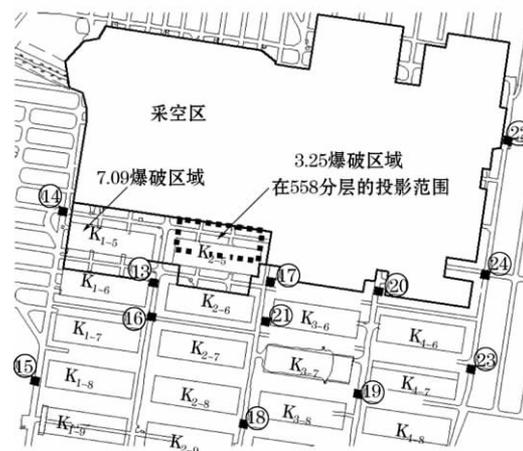


图1 回采现状及大爆破区域558分层平面

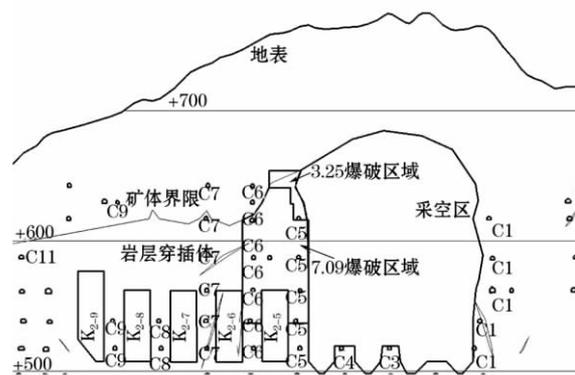


图2 回采现状及大爆破区域2盘区纵剖面

柱范围大, 凿岩时间长, 装药区域范围广和装药量大, 人员需要长时间在破裂矿柱区域进行施工。同时由于一部分炸药装入炮孔内, 装药区域的稳定性监测与评价直接关系到人员的安全和大爆破的顺利

实施。因此,每一次大爆破后、下一次大爆破前,必须对破裂待采矿柱的稳定性进行安全监测和评价,确保矿柱回采的安全,微震监测技术在这种监测与评价中起到了重要的作用。

自微震监测技术在该矿应用以来的4年时间内,在每次大爆破回采前微震监测都取得了较好的效果,为大爆破前的凿岩与装药施工和大爆破的正常实施提供了安全的保障。本文将就微震监测技术在这方面的应用给出一个实例分析。

## 2 大范围破裂矿柱产生的背景

柿竹园矿回采对象是群矿柱与巨厚顶板结构,爆破区域的选择和回采顺序直接影响到这一框架式结构的受力状态的合理性。本文将结合一个典型实例来具体分析巨厚顶板与群矿柱结构发生大范围开裂的过程。

### 2.1 爆破背景

2011年3月25日17时30分在2盘区610水平到630水平的 $K_{2-5}$ 进行了装药量约为40t的大爆破,爆破区域见图1与图2。这次爆破装药量与装药区域都不是很大,但是装药区域的选择却没有考虑充分,致使爆破后因为爆破冲击作用与受力状态恶化造成相邻矿柱与顶板产生了大范围的开裂。下面对岩体破裂的力学原因进行了较详细的分析。

### 2.2 岩体破裂的力学分析

在“3.25”大爆破前,C5矿柱从558分层往下已经发生垮塌,破损不堪,丧失了较大程度的承载能力。因此,从图2可以看出,当“3.25”爆破区域回采后,558分层以上的 $K_{2-5}$ 及C5矿柱形成了一个巨厚悬臂梁结构,受力状态发生了恶化。特别是在558分层以上的C6矿柱中,形成了张拉力的应力状态。由于岩石抗张拉强度低,同时由图3可以看出,岩体原生节理裂隙所在平面与张拉力的方向近似垂直,所以在570分层至630分层产生了不同程度的近似东西走向的张拉裂缝,如图4所示,其中以603与610分层开裂情况最为严重。

图3是对630分层进行岩体原生节理裂隙调查后所得到的原生节理裂隙赤平极射极点密度图,由图3可知,原生节理裂隙的产状主要为 $245^{\circ} \angle 70^{\circ}$ 。图4是爆破后产生的开裂面的赤平极射极点密度图,由图4可知,开裂面的产状主要为 $200^{\circ} \angle 85^{\circ}$ 。由上述分析可知开裂面与岩体原生节理裂隙面十分相近与吻合,开裂面大致是沿着岩体原生节理裂隙

形成的。

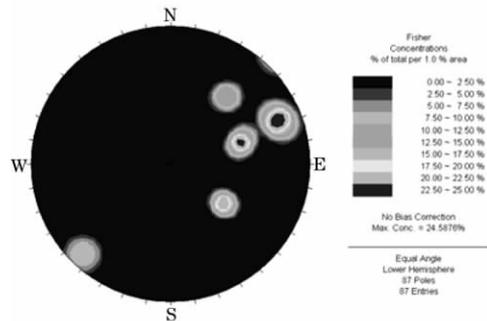


图3 岩体原生节理裂隙赤平极射极点密度

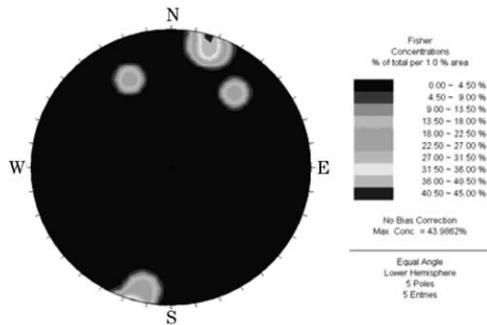


图4 现场开裂面赤平极射极点密度

## 3 基于微震监测的破裂矿柱的稳定性评价

### 3.1 微震监测系统简介

柿竹园矿微震监测系统为全数字型多通道微震监测系统,共有36个通道,该系统的结构组成参见参考文献[2]~[4]。该微震系统携带36个单轴加速度传感器,这些传感器分别布置在514、558与630分层,每个水平各12个,其中558分层传感器布置图见图1,图中实心方块为传感器。该系统实现了对矿山地压的全天候实时监测、微震事件源的三维空间定位、三维可视化显示、监测数据的远距离传输,并能提供多参数实时分析。

### 3.2 出矿对破裂矿柱稳定性影响的微震监测

“3.25”大爆破后,由于受周围崩落矿石一定的包裹支撑作用,已破裂岩体暂时处于一个相对的平衡状态,开裂缝扩展趋于平缓。然而随着破裂矿柱附近 $K_{2-4}$ 、 $K_{3-4}$ 与 $K_{3-5}$ 矿房持续的出矿,使得崩落矿石对破裂矿柱的包裹支撑作用力减小,破裂矿柱开始向东与向下滑移,裂缝扩展活动起来。图5中点连线是 $K_{2-4}$ 、 $K_{3-4}$ 与 $K_{3-5}$ 矿房从“3.25”大爆破后到“7.09”大爆破前的累积出矿量图,柱状图是破裂矿柱附近传感器的累计微震事件率时间序列图。由图5可以看出,从“3.25”大爆破到5月24日,该

区域保持着近似匀速的出矿速度,出矿对破裂矿柱稳定性的影响在5月初开始显现出来。由于矿柱破裂的持续活动,5月24日之后便停止了该区域的出矿,由图5可以看出,停止出矿后破裂矿柱的微震活动便减弱,处于一种较低的活动水平。

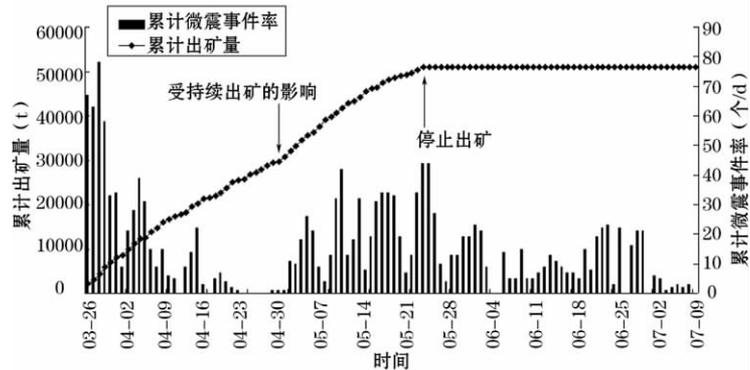


图5 累计出矿量随时间的变化

(1) 610 分层 P3C6 往北 21 m 巷道东墙裂缝。该裂缝位于 17<sup>#</sup> 传感器上方区域。图 6 是 17<sup>#</sup> 传感器从“3.25”大爆破前到“7.09”大爆破前的微震事件率时间序列。由图 6 可以看出,微震事件率在“3.25”大爆破后有一个活跃期;从 4 月 8 日开始到 5 月 2 日由于受矿柱破裂应力释放和崩落矿石包裹支撑力的作用,破裂矿柱经历了约一个月的相对平静期;从 5 月 3 日开始,放矿对破裂矿柱稳定性的影响作用开始显现,微震事件率开始明显增加;从 5 月 26 日开始到“7.09”大爆破前,由于在 5 月 24 日下达了停止出矿指令,微震事件率便开始有所降低,但在井下整体范围内仍属于较高水平,这与该区域紧

邻采空区是有关系的。但由于微震事件率水平不是很高,不超过 35 个/d,远低于柿竹园矿的经验预警值 15 个/min,说明破裂矿柱尽管受出矿影响产生了活动,但是破裂矿柱仍处于一种相对平衡的状态中,暂无异常情况支持矿柱发生垮塌。该裂缝扩展速度随时间的变化如图 7 所示。由图 7 可以看出,在 5 月 9 日之前,出矿对裂缝扩展的影响还不大。但是从 5 月 9 日开始到 5 月 17 日,裂缝扩展速度大大增加。5 月 24 日停止出矿后,裂缝扩展速度便又有所降低。图 7 所示的裂缝扩展速度与图 6 中微震监测结果具有很好的对照性,充分反映了微震监测对破裂矿柱裂缝扩展具有较好的监测效果。

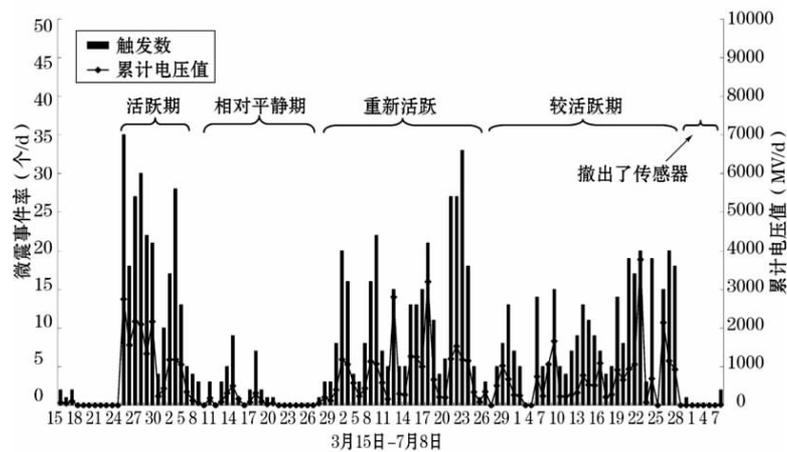


图6 17<sup>#</sup>传感器微震事件率时间序列

(2) 586 分层与 610 分层的 2 盘区 C6 巷顶板裂缝。2 盘区的 C6 房间柱在“3.25”大爆破后在 570 分层到 630 中段产生了较多沿东西走向的张拉

性裂缝。图 8 是该开裂缝区域正上方传感器监测到的微震事件率时间序列。由图 8 可知在经历了 4 月 8 日至 5 月 4 日一段时间的相对平衡后,由于受该

区域周围放矿的影响,微震事件率从5月5日开始重新增加。同时现场也观测到开裂缝活动加剧。图9是5月18日顶板裂缝的照片,这些裂缝从5月8日开始扩展的较为厉害。5月24日经过会商后决定停止该区域周围的放矿作业,从图8可知,微震事件率从5月26日起重新趋于平静,这些裂缝的扩展速度明显放缓。6月20日去现场查看时,这些顶板裂缝几乎没有继续扩展的现象,说明该地压活动区域整体上处于相对平衡的状态。

### 3.3 大范围破裂矿柱的稳定性评价

由于受持续出矿的影响,破裂矿柱在保持相对稳定一段时间后又重新开始活动,微震监测系统对这一过程进行了较准确的监测。由微震监测结果可知,尽管破裂矿柱整体上产生了一定的滑移量,甚至在局部区域产生了较大的滑移量,但是微震事件率始终远小于柿竹园矿经验预警值,从而评价破裂矿柱在“7.09”大爆破前不会发生失稳垮塌现象。这一评价与实际相吻合。

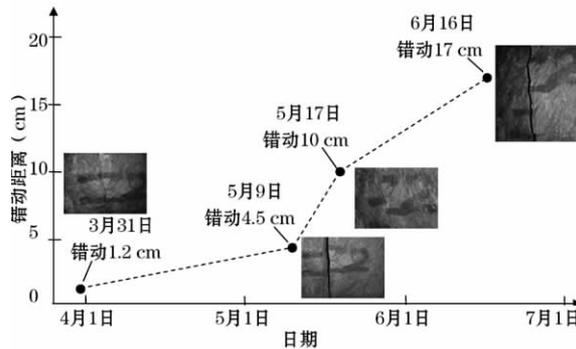


图7 7#裂缝的扩展速度

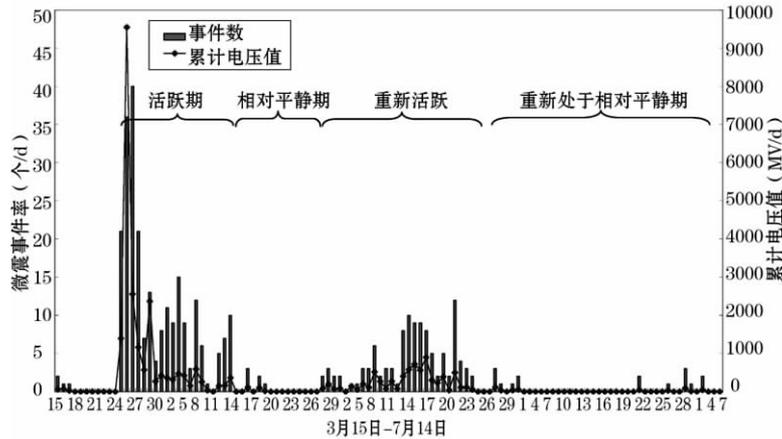


图8 31#传感器微震事件率时间序列

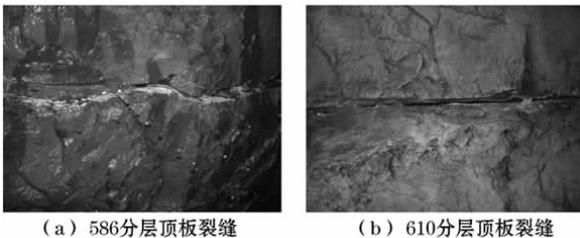


图9 2盘区C6巷顶板裂缝扩展错动情况

微震监测系统能较准确地对破裂矿柱的活动状态进行监测,对破裂矿柱的稳定性状态能进行较准确的分析与预警,为大爆破前的施工和大爆破的顺利实施提供了安全方面的建议。

## 4 结论

基于柿竹园矿一次典型的大范围破裂矿柱安全回采过程的微震监测实例,详细分析了大范围破裂矿柱产生的原因,根据出矿对破裂矿柱稳定性的影响及微震监测结果,对破裂矿柱稳定性状态进行了评价。得到了下列主要结论:

- (1) 爆破区域与回采顺序对柿竹园矿地压具有直接的影响,不好的受力状态会直接导致巨厚顶板与群矿柱这一框架式结构产生严重的破裂与损坏,严重影响下一步回采的顺利进行;
- (2) 出矿对破裂矿柱具有直接影响,微震监测

能准确地反映破裂矿柱的活动起止时间与活动程度;

(3) 微震监测的结果表明,大范围破裂矿柱处于相对稳定状态,在“7.09”大爆破前不会发生失稳垮塌现象,实际情况也证明了这一评价是正确的;

(4) 实际监测应用表明,微震监测技术能较准确地对破裂矿柱的活动状态进行监测,根据监测结果可以对破裂矿柱的稳定性状态进行较准确的评价与预警,在柿竹园多金属采场的地压监测中起到了良好的应用效果。

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] 袁节平, 胡静云, 周爱民, 等. 柿竹园多通道微震监测系统的建立及其应用[J]. 矿业研究与开发, 2010, 30(6): 12-14.

- [4] 陈际经, 胡静云, 李庶林. 柿竹园矿地下特大爆破的微震监测技术研究[J]. 矿业研究与开发, 2011, 31(2): 59-62.
- [5] 胡静云, 林峰, 彭府华, 等. 香炉山钨矿残采区地压灾害微震监测技术应用分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2010, 21(4): 109-115.
- [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] 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 Milev, 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.

(收稿日期: 2011-09-06)

作者简介: 郭远发(1972-), 男, 湖南郴州人, 双本科学历, 国家注册安全工程师, 主要从事矿山安全技术和地压监测预警预报技术研究, Email: guoxin207.520@163.com。

(上接第40页)

吊桶的容积。

(3) 混凝土输送方式。混凝土输送方式有钢管输送和底卸式吊桶输送两种。目前采用 $1.5\text{ m}^3$ 底卸式吊桶。钢管输送速度快, 建议改用。改用钢管输送的话, 搅拌站要移到井口棚边缘处。

### 3.8 压气供应

抓岩机的耗风量为 $24\text{ m}^3/\text{min}$ , 若用10台YT28型凿岩机钻眼, 耗风量约为 $35\sim 40\text{ m}^3/\text{min}$ , 所以按凿岩机计算压风量, 压气站需要的压气供应量为 $76.5\text{ m}^3/\text{min}$ , 压气管路需直径159 mm。

### 3.9 工作面风水供应方式

传统的做法是在吊盘上设集中分风器和分水器, 这种分风、分水方式在钻眼机械数量较多时容易使工作面的风水带互相干扰, 影响操作, 拟改为环形分散式分风、分水, 即在下层盘上沿吊盘四周布置两圈管路, 均布风、水接头, 使风水管路沿井帮下放与凿岩机连接。

### 3.10 通风

竖井施工采用压入式通风, 现用YBTd62-2型轴流式局扇, 28 kW, 风量为 $4.16\sim 6.5\text{ m}^3/\text{s}$ , 风压为3140~690 Pa, 井筒内敷设一趟 $\Phi 400\text{ mm}$ 硬质风筒。根据井筒情况计算需要的风量应为 $16.7\text{ m}^3/\text{s}$ 。故需换用大的风机, 如KJ5-59 No12.5D型建井风机, 风量可达 $1055\text{ m}^3/\text{min}$ , 功率100 kW, 或者用两

台28 kW的风机串联。

### 3.11 其它

采用工业电视技术, 在井口和翻矸台安装摄像头, 接收屏放在提升机司机操作台旁, 可大大提高司机的操作效率。

## 4 实施效果

虽然由于各种原因未能实现月成井100 m的目标, 但由于设备配套的合理性大大提高, 施工速度得到了稳定提高, 且保持了较高的速度。自各项设备安装到位开始, 5个月的平均进尺速度超过了70 m。在井深900 m时仍达到月进70 m, 其速度是较为理想的, 达到了预期的效果。

参考文献:

- [1] 黄跃东, 刘同海, 徐福林. 大直径深立井井筒基岩段快速施工技术[J]. 煤矿安全, 2008, 4(6): 78-79.
- [2] 李士栋, 朱学军. 深立井安全快速施工技术探讨[J]. 中国矿业, 2010, 19(9): 98-101.
- [3] 张梦彪. 深立井综合机械化快速施工技术[J]. 建井技术, 2002, 23(1): 37-39.
- [4] 贺荣仓, 戴国明. 深立井综合机械化施工技术的应用[J]. 山西建筑, 2005, 31(20): 139-140.
- [5] 江军, 吴悦光. 浅议大直径深立井施工技术[J]. 能源技术与管理, 2010, 4(6): 106-108.

(收稿日期: 2011-07-12)

作者简介: 朱学胜(1970-), 男, 安徽枞阳人, 高级工程师, 学士, 主要从事矿井建设方面的工作。