ISSN 1005 - 2763
CN 43 - 1215/TD

矿业研究与开发 第30卷 第6期
MINING R & D, Vol. 30, No. 6

2010年12月
Dec. 2010

柿竹园多通道微震监测系统的建立及其应用*

袁节平[1],胡静云[2],周爱民[2],林 峰[2],陈际经[1],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: 在柿竹园多金属矿床,由于大量集中采空区群的存在,采矿生产过程中地压现象显现严重,安全生产受到严重威胁。为此,公司与长沙矿山研究院合作,在优化采矿工艺的基础上,先后建立了多种常规地压监测系统,并从加拿大ESG公司引进地压监测设备,于2008年11月建立了国内矿山最大通道的全数字型微震监测系统。详细介绍了微震监测系统的建立、优化及其现场应用情况,论述了多通道微震监测技术在矿山地压灾害防治方面所展示的优势和效果。

关键词: 地压; 多通道微震监测系统; 系统结构; 应用效果

中图分类号: TD76 **文献标识码:** A

文章编号: 1005 - 2763(2010)06 - 0012 - 04

Implementation and Application of Multi - Chiannel Microseismic Monitoring System in Shizhuyuan Mine

Yuan Jieping[1], *Hu Jingyun*[2], *Zhou Aimin*[2], *Lin Feng*[2], *Chen Jijin*[1], *Li Shulin*[2,3]

(1. Hunan Shizhuyuan Nonferrous Metals Co. Ltd, Chenzhou, Hunan 423037, China; 2. Center of Mining Engineering, 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 poly - metallic mine, because of the intensive existence of a large number of mined - out areas, the phenomenon of pressure appeared is serious in mining process, the safety in mining production was seriously threatened. Therefore, cooperation with Changsha Institute of Mining Research, based on the optimization of mining technology, the mine has established several conventional ground pressure monitoring system. By introducing pressure monitoring devices from ESG company of Canada, mine has established a all - digital type multi - channel micro - seismic monitoring system which is one with most channels in China's mines. This paper describes the system's implementation, optimization and field applications, discusses the advantages and effects of multi - channel micro - seismic monitoring technology in the prevention and control of mine pressure disasters.

Key Words: Ground pressure, Multi - channel micro - seismic monitoring system, Structure of system, Application effects

0 引 言

多通道微震监测技术以岩体破裂释放出的弹性波作为监测对象,可对所监测区域的岩体进行实时、全天候的自动监测,并实现波形数据的实时处理和永久保存;通过传感器阵列对岩体破裂事件进行拾取与处理,能计算出岩体破裂源的空间位置,同时系统配置的GPS时间源发生器可以确定岩体破裂源的发生时间,获得岩体破裂源的时空变化过程。

目前,微震监测技术在国内外发展迅速,其应用范围已经扩展到矿山、水电大坝、隧道、石油钻井等领域。国内许多矿山有大量采空区需要处理,大面积连续顶板、采空区和高大矿柱的稳定性成为了制约矿山安全生产的瓶颈,迫切需要新的、适应矿山需要的监测技术对大尺度岩体的稳定性进行实时、全天候监测。另外,随着采矿生产逐渐向深部转移,所面临的高地应力和坚硬岩石条件下岩爆等冲击性地压灾害将更为突出,急需要先进的监测技术手段对岩爆的前兆信息进行监测与预警。代表当今世界地压监测装备先进水平的多通道微震监测技术在矿山中的应用,将为矿山的安全生产提供技术支撑。

1 柿竹园地压特征

柿竹园钨多金属矿床矿体集中厚大,有用矿物

* 收稿日期: 2010 - 07 - 29

作者简介: 袁节平(1965 -),男,湖南资兴人,高级工程师,主要从事非煤矿山采矿、爆破和安全技术研究及管理工作,Email: yuanjiep@163.com。

种类繁多,是国家重要的矿产资源基地。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,井下留下占矿段约 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段矿柱,矿山自 2002 年起与长沙矿山研究院协作研究,最终确定采用崩落法方式回采矿柱和顶板富矿,并处理采空区。由于采空区量大集中、暴露时间长、大爆破振动影响频繁,采矿地压向矿柱转移、集中,矿柱的开裂、下沉、错位、垮塌等地压现象多处显现,采准井巷被堵、已施工炮孔错位等,矿山安全生产面临着重大威胁。对此,矿山自 2004 年 9 月起先后在井下建立了地表及井下岩移观测、声发射监测、矿柱压力监测、巷道收敛计变形观测等地压监测系统,促进了矿山的安全生产。

柿竹园在大量采空区群条件下崩落法方式回采矿柱所呈现的是一个与充填法采矿具有本质不同的、异常复杂的地压系统。采矿生产过程中既要满足大量空区条件下矿柱回采过程中矿柱的稳定性监测,确保作业人员的安全;同时还要满足矿柱回采后上部大顶板的稳定性监测,避免大面积冲击地压的影响。面对这样一个复杂的地压系统,仅仅依靠常规的地压监测手段,基于其技术装备方面的局限性,根本无法满足生产过程中地压监测的需要。对此,公司引进加拿大 ESG 公司的地压监测设备,于 2008 年 11 月建立了国内矿山最大通道数的全数字型微震监测系统,对井下采矿地压进行实时、全天候的自动监测。

2 多通道微震监测系统的建立

2.1 多通道微震监测系统的结构

如图 1 所示,柿竹园多通道微震监测系统采用分布式的数据采集仪结构,数据采集仪之间采用光纤连接。系统主要包括传感器、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,灵敏度为 30 V/g,响应频率范围为 50 ~ 5000 Hz。一个数据采集仪可以同时采集 6 个通道(传感器)的模拟信号,采样频率 10 kHz,数字信号的精度为 24 bit。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} s。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,光信号通过单模光纤传送到数据处理仪。

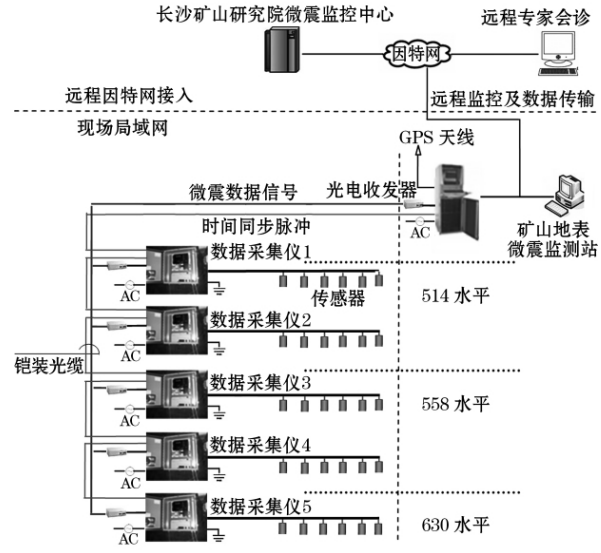

图 1 柿竹园 Paladin 微震系统网络

2.2 传感器布置优化

使重点监测区域的定位精度保持在一个较高的水平内是传感器空间布置的重要目标,同时传感器的布置还应考虑到现场布置条件的限制。对传感器布置方案进行不断调整与优化,综合考虑而得到最恰当的传感器布置方案(见图 2)。从定位误差分布云图上可以看出在采区目标监测范围内,较高的定位精度云图覆盖了监测目标范围,系统对微震事件源具有较为理想的定位效果。

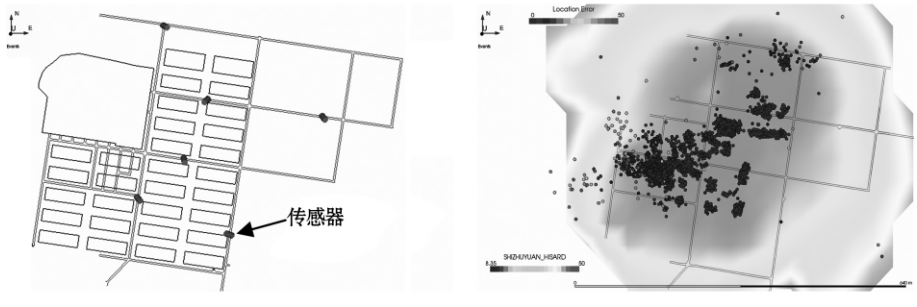

图 2 630 m 分层传感器布置和定位误差分布云图

3 多通道微震监测系统的应用及效果

3.1 系统实现的主要功能

多通道微震监测系统建好投入使用后,能够实时全天候连续地对井下围岩体的稳定性进行监测。系统对微震事件进行全波形记录,实现对波形的频谱分析和人工噪音排除。在对微震事件进行较高精度定位的基础上,获得表征微震事件强度的地球物理震源参数,更进一步获得微震事件在时空域上的变化过程。基于网络远程协助软件,实现了对系统的远程控制,实现远程专家会诊。

3.2 定位误差

定位误差是评价多通道微震监测系统作用大小的重要指标。系统建好投入使用后,工作人员进行了多次爆破定位实验来检验该系统的定位精度。表1是其中2次爆破定位实验的相关结果。实验结果证明了该系统在监测区域内具有高精度定位能力。

表1 定位实验结果

编号	时间	方位	真实位置(m)	系统定位位置(m)	误差(m)	总误差(m)
1	2008-11-11	N	8667.041	8669	1.959	4.2
	10:27	E	6583.534	6583	0.534	
		D	560.381	564	3.619	
2	2009-9-29	N	8739.11	8741	1.89	4.8
	8:59	E	6606.25	6610	3.75	
		D	629.29	627	2.29	

由于定位误差受岩石类型、软弱结构面和采空区等因素的影响,因此对系统运行1 a多来所有定位事件的定位误差进行了统计,定位误差分布见图3。图3明显显示大部分定位事件的定位误差在10 m以内,完全满足工程精度的要求。

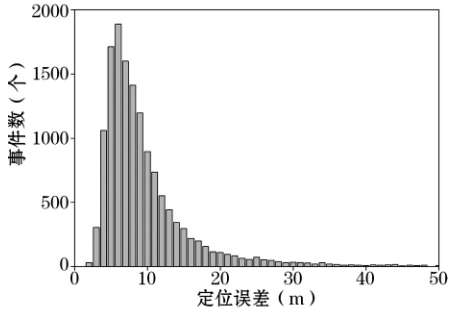

图3 微震事件定位精度分布

3.3 应用效果实例

柿竹园多通道微震监测系统于2008年11月投入使用以来,先后经历了2009年6月26日总装药量260 t矿柱回采大爆破、2010年1月16日总装药量821 t中深孔大爆破和2010年6年25日总装药量350 t中深孔大爆破,每次大爆破后井下围岩体微震活动、地应力重分布与集中、岩体稳定性预警等应用效果良好。

3.3.1 2009年6月26日矿柱回采大爆破

此次大爆破后,微震定位事件聚集区在558 m水平的P3巷的C3至C5段,其日事件率、释放能量与视应力均逐步减少,从大爆破后的第8 d开始便降为零。微震定位事件的时空演化过程表明了2点:第一,微震活动性在558m水平的P3巷的C3至C5段增强,地应力向该区域转移与集中;第二,该区域微震活动性与释放能量逐渐降低直至降为零,矿柱地应力集中趋势减缓。

待井下稳定后在558 m水平的P3巷的C3至C5段发现一条顺着P3巷长约30 m的新裂缝,向下已经延伸至547 m水平。上述地压显现与微震监测得到的信息是一致的,裂缝的产生表明了该区域是地应力转移与集中区域,在破裂释放弹性应变能之后应力集中得到释放,地应力向其他区域转移。同时建议将该区域划入下一次大爆破回采区域。

3.3.2 2010年1月16日中深孔大爆破

此次大爆破后顶板连续暴露的南北跨度近200 m,东西跨度近300 m。630 m水平的27#传感器接收到的微震不可定位事件在大爆破后突增,其日事件率随时间变化趋势见图4,日事件率在2月24日达到历史最高值10665个/d,其中事件率最高达到60个/min。2月27日安全人员在630 m水平27#传感器附近顶板区域发现了一个较大的垮塌,垮塌量约为4000 m^3。

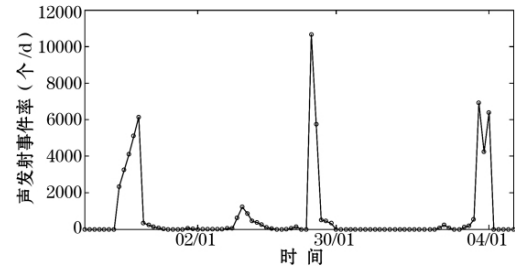

图4 27#传感器日事件率变化

3.3.3 2010年6年25日中深孔大爆破

此次大爆破后,顶板连续暴露面积进一步增加。630 m水平的26#传感器接收到的微震不可定位事件在本次大爆破后显著增加,但27#传感器接收到

(下转第63页)

功能可交互性强,操作方便,矿井疏干水量的计算及优化设计方案可行,系统的开发运行对矿井水害防治具有较强的理论与实践意义。但要研制出功能完善、系统完备的矿井防治水信息化系统,还需进一步研究并在实际应用中不断完善,逐步走向成熟。

参考文献:

[1] 陆火林,潘树仁,黄伟斌. 煤矿水害防治专家系统知识库的建立[J]. 江苏煤炭,2002,(2):55~56.

[2] 施龙青,韩 进. 底板突水机理及预测预报[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2004.

[3] 王永红,沈 文. 中国煤矿水害预防及治理[M]. 北京:煤炭工业出版社,1996:252~253.

[4] 冯利军,郭晓山. 人工神经网络在矿井突水预报中的应用[J]. 西安科技学院学报,2003,23(4):369~372.

[5] 徐 晋. 前馈神经网络学习新算法及其仿真[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版),2004,(1):1~3.

[6] (美) Joseph Giarratano,Gary Riley. 专家系统原理与编程[M]. 印 鉴、刘星成,等. 北京:机械工业出版社,2000.

[7] 文广超,邓寅生,余永强,等. 煤矿信息管理系统的设计与实现[J]. 矿业研究与开发,2008,28(3):50~52.

(上接第14页)

的微震不可定位事件没有明显变化,可以成为应力向顶板南边转移与集中的论据。26#传感器在大爆破前后的日事件率随时间变化趋势见图5,大爆破后日事件率从500个/d一直持续增加到620个/d,事件率最高为10个/min。7月5日在630m水平26#传感器附近顶板区域发生了垮塌冒落。

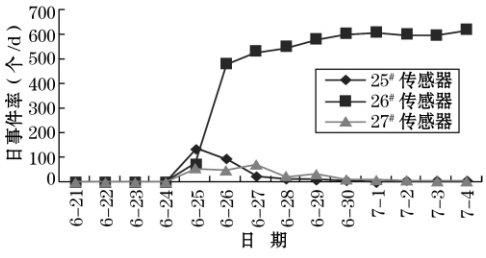

图5 26#传感器日事件率变化

3.3.4 应用效果小结

利用微震事件来评价大尺度岩体的稳定性一直以来都没有一个固定的、规律化的评价准则,这是基于大尺度岩体内在因素决定的,这些内在因素包括岩体结构的复杂无规律化、岩体所处应力状态的差异与变动性、外加载水平和速率的不确定性等。应该说岩体的失稳现象是一个非线性系统,受许多未知的因素和规律的影响,这些内在因素导致不同区域岩体,甚至是同一区域岩体不同时间的失稳过程在微震参数预警准则上所反映的规律是不同的。因此简单地想寻找一个万能的微震参数预警准则来评价岩体的稳定性是不现实的,26#与27#传感器在同样岩体垮塌与冒落下微震事件率的水平和变化规律特征大不相同就是一个论据。因此必须在大量的实践中摸索出适应某些具体问题的具体微震参数预警准则和规律,做到具体问题具体分析,理清不同岩体失稳情况下的决定因素和探索出相应的微震预警准则与规律。

4 结 论

(1) 多通道微震监测系统具有的实时、全天候自动监测和数据远距离传输功能,能够大大降低劳动强度,并且能对人员不能进入的危险区域进行实时连续监测。

(2) 多通道微震监测系统具有较高的定位精度。通过多次爆破定位试验,证明微震监测系统对重点监测区域的定位精度能达到5 m以内,同时对所有微震定位事件的定位误差统计分析显示大部分定位事件定位误差在10 m内,满足工程精度要求。

(3) 多通道微震监测系统对大爆破后井下地应力的转移与集中具有很好的监测效果,能连续地反映出围岩体失稳过程中微震参数的变化过程,为进一步的岩体失稳预警准则研究提供了完备的数据。

(4) 由于大尺度岩体失稳现象具有非线性系统特征,基于微震参数的失稳预警准则复杂多变,更多情况下需要对具体问题进行具体分析,探索出适合于某种特定条件下的岩体失稳预警准则。

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] 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.

[3] 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.

[4] 李庶林. 全数字型多通道微震监测技术及其应用研究[D]. 沈阳:东北大学,2005.

[5] 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.

[6] 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.