

试论柿竹园多通道微震监测技术研究的必要性*

袁节平

(湖南柿竹园有色金属有限责任公司, 湖南 郴州市 423037)

摘要:简要介绍了多通道微震技术的特点,分析了柿竹园多金属矿床开采的历史背景、地压特征、可能形成的地压灾害,论述了建立微震监测系统的必要性和拟建立的30通道全数字型微震监测系统的整体布局,以及对柿竹园安全技术发展的促进作用。

关键词:复杂开采;微震系统;地压监测;灾害预警

我国微震监测技术研究,始于20世纪80年代的煤矿冲击地压监测,后因种种原因没有得到很好的延续^[1]。

自2004年3月李庶林教授在凡口铅锌矿建立我国第一套地下矿山多通道全数字型微震监测系统以来,迄今为止,国内矿山已有数套多通道微震监测系统投入使用,这大大促进了我国地下矿山地压监测安全技术的发展^[2]。微震监测技术作为一种先进的实时监测技术,在地下工程安全监测和防灾减灾监测方面越来越受到学术界的关注,展现出良好的工程应用价值和前景。

1 多通道微震监测技术的特点^[3]

与常规的地压监测技术手段相比,多通道微震监测技术具有以下主要特点。

1.1 实时监测

多通道微震监测系统,一般是通过以阵列的形式把传感器固定安装在监测区域内,实现对区域内岩体因受应力作用而产生的微破裂信息的有效采集。该技术的一个重要特点是它可实现对微震(微破裂)事件的全天候实时监测。

1.2 全范围立体监测

该技术突破了传统监测方法力(应力)、位移(应变)中的“点”或“线”意义上的监测模式,通过系统优化布局,实现对设计监测范围内的岩体破坏(裂)过程在空间概念上的时间过程监测,并可实现常规方法人不可达到地点的监测。

1.3 空间定位

多通道微震监测技术的另一重要特点:通过多传感器在不同位置对同一微震(微破裂)信息的有

效采集和处理,实现对微震事件的高精度空间定位(即反映出微震事件发生的具体空间位置)。这种空间定位功能可为井下地压的防治指明方向。

1.4 全数字化数据采集和存储及处理

微震监测采用全数字化技术,克服了模拟信号系统的缺点,对数据的采集、存储和处理更加方便,使得计算机监控成为可能。系统的高速采样以及P波和S波的全波形显示,使得对微震信号的频谱分析和事件的判别直观方便。

1.5 远程监测和信息的远传输送

微震监测技术可以避免监测人员直接进入危险监测区域,改善了监测人员的监测环境。同时基于数字技术和光纤通讯技术的远程监测和信息远传输送,使得监测的劳动强度大大降低。

1.6 多用户计算机可视化监控与分析

由于与终端监控计算机实现了数据的实时传输,可以通过编制对实时监测数据进行空间定位分析的三维软件,借助于可视化编程技术,实现对实时监测数据的可视化三维显示,并利用网络技术(局域网)实现多用户可视化监测,为多专家实时、远程分析与评价创造了条件。

2 柿竹园采矿地压现状

柿竹园钨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,留下占矿段约60%的矿柱矿量和300多万m³的巨大采空区

* 基金项目:国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAB02B05);湖南省2007年度安全生产科技发展计划项目(07-24)。

群,累计顶板暴露面积达4万 m^2 ,连续顶板暴露面积超过1万 m^2 ,15 m厚的连续条带矿柱多处垮塌。由于采空区量大集中(见图1、图2)、暴露时间长、大爆破振动影响频繁和受破碎带与岩体结构面的影响等,应力集中和采矿地压活动明显^[4]。为了实现矿山的持续采矿生产,有效处理采空区和回采矿段矿柱,矿山自2003年起与长沙矿山研究院合作研究,确定采用“连续阶段崩落法”方式回采矿柱和顶板富矿,并处理采空区。

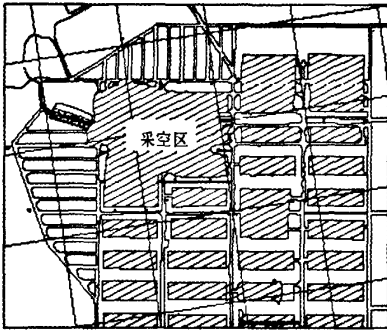


图1 采空区平面分布示意

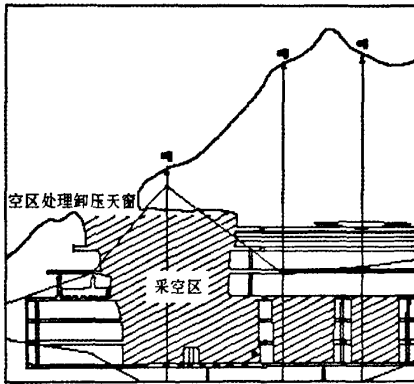


图2 采空区立面分布示意

针对井下大量采空区条件下的矿柱回采和空区处理难题,通过采矿整体方案布局调整和工艺优化,先后组织实施了“天窗及其610 m水平以上富矿回采”和“天窗隐患处理”二次大规模地下中深孔大爆破^[5],形成了卸压天窗、及时处理了天窗周边的安全隐患,为多金属采矿工艺的完善积累了大量群采空区处理和大规模爆破方面的技术数据和现场施工经验,为柿竹园采矿生产的可持续发展迈出了关键的一步。但同时由于采矿地压向天窗周边矿柱转移,集中,地压活动更为活跃,即使在松散矿碴临时充填空区的情况下,矿柱的开裂(见图3)、下沉(见

图4)、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,给采矿生产带来了极大安全威胁。对矿柱及其空区顶板地压进行有效的监测预报,为井下开采可能引起的地质灾害预防和治理提供基础依据,促进安全生产,是矿山井下生产安全、持续、稳定发展的迫切需要。



图3 630C4巷三角矿柱
(因受压而裂、剥落变小)

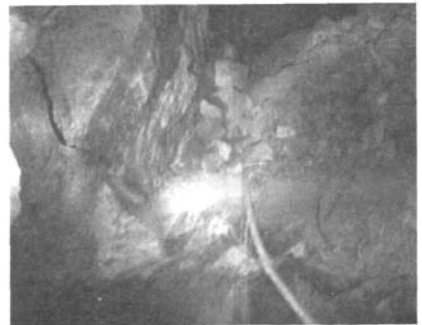


图4 紧邻空区的P2盘区巷道
(横向开裂、北端下沉约1.2 m)

3 柿竹园微震监测技术研究

3.1 常规地压监测网及局限性

针对“连续阶段崩落法”回采矿柱和顶板富矿并处理采空区的工艺需要,为了促进大空区条件下的安全开采,经地压控制技术研究,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4套地压监测预报系统,收集了大量基础地压监测资料和数据,并数次较准确地预报了空区周边围岩和矿柱的大规模冒落活动,为矿山的安全生产提供了良好的技术支持。

现有地压监测手段基于其技术装备水平的局限性,相对于柿竹园复杂的采矿生产系统而言,在采矿

地压的监测预报方面存在以下不足:一是只能反映某一监测点接收的岩体声发射现象,不能反映地压活动的具体位置;二是人工操作,只能反映监测某一时刻所接收到的岩体声发射,不能实时连续地反映其变化过程;三是人工操作效率低、劳动强度大;四是各个监测点所接收的资料是相互孤立的,技术上无法将相关地压现象联系起来分析;五是技术人员直接到空区周边监测,人员安全没有保障。

3.2 微震监测系统构建的必要性和紧迫性分析

(1) 鉴于矿山开采方法的转变以及历史遗留下的大量空区群影响,490 中段以上采矿过程中的地压管理难度将日益增大。为了弥补常规监测方法在实际监测中的不足,掌握地压显现特征,了解地压重新分布特点,监测开采过程中的强制和诱导崩落的范围及其发展趋势,监测和预防采空区上部顶板大规模冒落,以及待采矿柱稳定性等,构建多通道微震监测系统对于柿竹园多金属矿在复杂开采条件下的安全生产意义重大,是矿山井下生产安全、持续、稳定发展的迫切需要。

(2) 在 490 水平的 315 m × 313 m 范围内,矿柱与采空区共存,爆破规模大,爆破地震效应和冲击波危害大,工艺复杂,技术要求高;覆盖层厚度对于缓冲爆破落矿时底部结构的影响有重要作用;采矿方法的成功转型、卸压天窗的形成以及覆盖层和崩落区的最终构成导致地压监测管理范围广,难度大,技术要求高。在我国这样的采矿工艺转变尚缺乏实践经验,同时用连续阶段崩落法回收矿柱和处理空区,也无系统的成功经验可借鉴,其采矿过程需要良好的地压安全技术作支撑。

(3) 针对大范围采区地压进行全面的监测,掌握地压显现特征,并开展以多通道微震监测技术为核心的极复杂开采综合地压监测预警与控制技术研究,进行全天候的高精度空间定位的微震监测,建立基于微震参数的、与常规地压监测和采矿过程密切结合的地压管理体系,对于柿竹园多金属矿在复杂开采条件下的生产管理、地压管理、防灾减灾、确保矿山安全生产具有重要的意义。

3.3 柿竹园微震监测系统布局

针对柿竹园多金属矿床开采的范围、特点等,通过国内外微震监测技术方案的比较分析,确定采用多台分布式组合监测系统,即系统由 5 台 Paladin 系统组合组成,每台 Paladin 系统配置 6 个通道,共形成 30 个通道的微震监测系统,携带 30 个单轴传感

器。该系统的特点是可以根据开采的动态特点,可以方便地实现对系统监测范围的调整。Paladin 系统安设在井下,监控计算机建在地表采矿车间办公楼内。30 个传感器分别布设在 514、558 和 630 m 3 个中段内,其中 514、558 m 中段分别布置 12 个、630 m 水平布置 6 个传感器。整个系统在空间上形成一个大范围的立体监测区域,其基本组成见图 5。

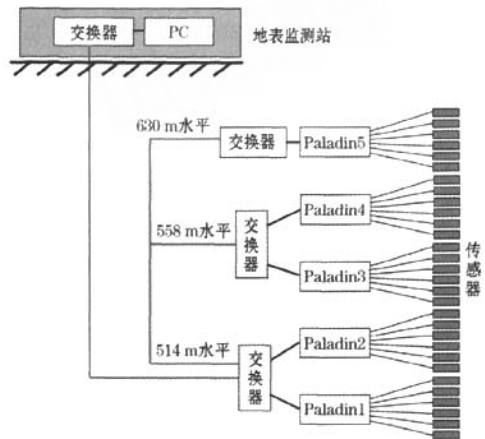


图 5 微震监测系统组成

3.4 微震监测与柿竹园的安全技术发展

微震监测技术在地下工程中的作用是多方面的,概括起来包括监测岩爆和矿震,应力集中与重新分配,岩体大冒落,边坡破坏,灾害定位监测、预报和灾害预警,地下灾害安全救助等^[6]。对于柿竹园多金属矿床开采来说,微震监测系统将在以下几个方面促进柿竹园的安全技术发展。

3.4.1 高应力区与应力重分布监测

地下工程开挖会在开挖区周边所扰动的围岩体内产生应力重分布,形成高应力区,岩体在高应力作用下会微破裂,通过微震监测这些微破裂并对其进行高精度定位,就可以判断扰动区内哪些部位产生高应力集中及其应力转移情况,并由此反映动态采矿过程的应力重分布的动态特性。

3.4.2 崩落范围监测

在地下采矿中,采用崩落采矿方法的开采方式时,了解、掌握开采的崩落范围和采区的岩移规律是一项非常重要的地压与安全管理内容。由于微震监测技术对岩体的破裂源有较高的定位精度,采用该技术对崩落区内岩体的崩落破裂进行监测,并通过监测确定崩落范围是一种非常好的技术手段。

3.4.3 爆破及其余震监测

地下采矿爆破,会在围岩体中产生瞬间应力波,

这种应力波传递到临界状态的临空面或结构面时会产生反射拉伸应力波,易使岩体受拉而发生脆性破坏;或应力波作为一种动荷,直接作用于处于高应力平衡状态的岩体上,使这些岩体的平衡破坏被打破而超过强度极限,诱发导致冒顶、片帮和岩爆的发生^[7]。通过微震监测连续收集爆破前后的相关数据,可分析爆破及其余震对周边岩体的影响。

4 结 语

柿竹园多金属矿的采矿地压问题,将是长期困扰企业生产的安全技术难题,其开采难度之大,地压管理技术之复杂,在国内外没有先例。在已有的常规地压监测基础上,建立多通道微震监测系统非常必要而迫切。本文只是对微震监测系统在矿山的应用进行了一个前瞻性的概述,系统建立起来之后,如何充分发挥该系统的作用、如何以该系统为核心来开展地压监测、灾害预警等方面的应用,还要做大量细致的研究工作,以确保矿山安全生产。

(上接第 53 页)

率: $P_3 = (14.02\% - 11.43\%) / 14.02 = 18.47\%$ 。

(2) 按地质矿量计算,470 分段 25[#]至 33[#] 5 个矿块,即高度为 12 m,宽度为 300 m 矿体的矿石回采率 $H_4 = 272411 / 278700 = 97.74\%$;矿石平均贫化率: $P_4 = (13.83\% - 11.31\%) / 13.83 = 18.22\%$ 。

从上面的分析以及表 3 和表 4 可以看出,回采结构参数改造前后,同一分段不同矿块相比,出矿截止品位相同时(7%),矿石回采率不但提高,而且矿石平均贫化率也有所降低。

2.3 采场结构参数改造前后的技术经济指标

回采结构参数改造前后的各种技术经济指标对比见表 5。

表 5 采场结构参数改造前后的技术经济指标对比

回采参数	采矿成本 (元/t)	选矿成本 (元/t)	采切比 (m/kt)	矿石回采率 (%)	矿石贫化率 (%)
改造前	51.80	41.22	6.89	93.57	18.59
改造后	52.62	41.22	7.66	96.35	18.23
回采参数	采出磷矿平均 品位(%)	采出铁矿平均 品位(%)	每个矿块平均 出矿量(t)		
改造前	11.22	10.35	58624.11		
改造后	11.13	11.50	62046.89		

2.4 回采结构参数优化后的效果

本项目自 2004 年 1 月在矾山磷矿全面推广应

参考文献:

[1] S J Gibowicz, A Kijko. 矿山地震学引论[M]. 北京:地震出版社,1998.
[2] 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.
[3] ESG CO.. ESG Solutions - User's Guide[R]. Kingston: ESG Co., Canada, 2006.
[4] 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,(2):26~29.
[5] 袁节平,宋嘉栋,欧任泽. 地下中深孔大规模爆破的研究与实践[J]. 矿业研究与开发. 2008,(1):76~80.
[6] 尹贤刚,李庶林,黄冲生,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[A]. 第九次全国岩石动力学学术会议论文集[C]. 岩石力学与工程学报,2005,24(1):4711~4714.

(收稿日期:2008-11-21)

作者简介:袁节平(1965-),男,湖南资兴人,高级工程师,主要从事地下采矿爆破技术和地压控制技术研究,Email: yuanjiep@163.com.

用,截止 2007 年底,4 a 中井下共计出矿 232.58 万 t (见表 6),回采标准矿块 37.5 个,由于每个矿块相比改造前能多回采 3423 t 矿量,4 a 中相比改造前能多回采 12.84 万 t 矿量,多回收磷精粉 36861 t,多回收铁精粉 12977 t。矿山相比改造前每年能增加利润 239.5 万元,经济效益非常可观。

表 6 回采结构参数优化后各年份多回采矿量

年份	回采矿石 量(t)	相比改造前多 回采矿量(t)	原矿品位(%)		多生产精矿产量(t)	
			P ₂ O ₅	TFe	磷精粉	铁精粉
2004	562300	31043	11.30	11.47	9221	3060
2005	574400	31712	11.23	11.65	9361	3175
2006	586700	32390	10.74	11.87	9144	3304
2007	602400	33255	10.45	12.03	9135	3438
合计	2325800	128400			36861	12977

3 结 论

通过对矾山磷矿回采结构参数的动态优化研究,以及生产实践,确定了科学合理的适合矾山磷矿矿体赋存条件的采场结构参数;选择了合适的回采进路间距,提高了矿石回采率、降低了矿石贫化率,使得矿产资源得到了充分回收和利用,并为其他类似矿山推广应用提供了依据。

(收稿日期:2008-07-28)