

铅锌矿采空区隐患治理与微震监测技术研究

Study on hidden danger control and microseismic monitoring technology of goaf in the lead-zinc mine

张 君^{1,3}, 王李管^{1,2,3}, 张建国^{1,3}

(1. 中南大学数字矿山研究中心, 湖南 长沙 410083; 2. 中南大学资源与安全工程学院, 湖南 长沙 410083; 3. 长沙迪迈数码科技股份有限公司, 湖南 长沙 410083)

摘 要:随着矿石资源大量的开采, 遗留下大量的采空区。本文通过对湘西花垣县境内的铅锌矿采空区隐患处理技术研究, 并结合当地的实际情况, 提出“封堵+监测”联合治理方式处理复杂采空区, 采用先进的微震监测技术实时监控采空区顶板稳定性, 依据监测结果合理优化采空区封堵措施, 实践表明该方案能够有效监测地压灾害, 保障人员的安全。

关键词:采空区; 地压灾害; 封堵; 微震监测

Abstract: With the massive exploitation of domestic ore resources, a large number of goafs had been left behind. In this paper, the hidden danger control technology of the lead-zinc mine goaf in Huayuan County, Western Hunan, was studied, and a combination harnessing method of ‘plugging + monitoring’ was put forward to deal with complex goafs combining with the local actual situation, and advanced microseismic monitoring technology was used to monitor the stability of the goaf roof in real time, and plugging measures of the goaf were reasonably optimized based on the monitoring results. Practice showed that the scheme could effectively monitor ground pressure disasters and ensure the personnel safety.

Key words: goaf; ground pressure disaster; plugging; microseismic monitoring

DOI:10.19607/j.cnki.cn11-5068/tf.2018.05.007

1 前言

花垣县位于湖南省西部, 湘、黔、渝交界处, 锰、铅锌资源丰富, 已探明的矿产有 20 余种, 其中锰矿储量居全国第二位, 铅锌矿储量 1 300 万 t, 有“东方锰都”和“有色金属之乡”之称。由于历史原因花垣县境内的铅锌矿主要由民采为主, 随着 21 世纪初前 10 年有色金属价格持续上涨, 花垣县铅锌矿历史高峰期铅锌矿硐数量达 1 064 个, 经过 2010 年整合后共保留了 41 个矿权和 43 个采区。2015 年国家安监总局展开了金属非金属地下矿山采空区专项普查工作, 调查结果显示花垣铅锌矿 5 个矿区 30 家铅锌矿共形成 2 303 万 m³ 采空区^[1], 暴露面积约 218 万 m²。由于无秩序开采导致形成了非常复杂的采空区群, 大大小小采空区相互贯通, 而且矿区岩溶地段发育, 存在溶洞、地下径流和暗河, 岩石以灰岩、泥质灰岩、白云岩为主, 岩石强度中等, 存在较为发育的断层和节理, 易形成冒顶片帮、突泥突水、局部整体垮塌等地压灾害, 并伴随着空气冲击波、地表塌陷和山体滑坡等次生灾害。2016 年湖南省安监局将花垣县铅锌矿列为省重点隐患治理工程, 企业通过立项并借助国内研究机构和科研单位的技术力量, 采用封堵采空区和采空区微震监测联合治理方法。本文通过研究花垣县铅锌矿采空区重点隐患区域和治理方案^[2-3], 并通过微震监测技术^[4-6]实

文章编号:

1672-609X(2018)05-0022-04

中图分类号: TD325⁺.3

文献标志码: A

收稿日期: 2018-07-30

作者简介: 张 君(1987-), 男, 湖北黄梅人, 工程师, 从事岩土工程方面的安全监测技术研究工作。

时监测采空区地压活动变化趋势,依据对微震事件活动分析,优化指导采空区封堵工程实施,保障采空区的有效安全治理。

2 采空区治理方案

以花垣县铅锌矿采空区一期治理工程长凳坡铅锌矿采空区治理工程为例阐述采空区治理方案。地下矿山采空区处理方法主要分为崩落顶板、充填采空区、封堵采空区和加固围岩等4种^[7-8],结合花垣县铅锌矿的实际情况,对以上4种方案进行经济和技术对比分析。

2.1 方案对比

(1)充填采空区。废石充填料不足、尾砂充填运输和系统建设成本太高,当地企业缺乏配套的技术队伍,无法维护充填系统,且治理周期较长。

(2)崩落采空区。由于空区形态不一、多层重叠、相互贯通,矿体不连续呈鸡窝状分布,崩落采空区不可控的因素较多,易诱发采空区大规模坍塌,施工难度大。

(3)加固围岩。部分可通行的区域可实现矿柱加固措施,但很难实现全部采空区的加固,而采空区现状是大部分区域已经无法进入。

(4)封堵采空区。施工难度较低,周期短,虽不能完全消除采空区隐患,但是可以隔离危险源。

2.2 封堵方案

依据花垣县铅锌矿山开采现状和企业特点,充填采空区和崩落采空区已不太现实,因此通过采空区普查和采空区稳定性论证分析,对铅锌矿区采空区安全隐患程度进行分级,并结合资源开发利用方案,采用分区隔离方案,通过构筑人工隔离带,消除采空区之间的相互影响,具体通过以下几种方案进行采空区封堵。

(1)巷道隔离。为了防止采空区顶板突然垮塌造成冲击气浪危害,在通往采空区巷道中设置隔离墙,而隔离墙主要采用以下几种形式。

钢筋混凝土密闭墙内布置单层钢筋网,钢筋与密闭墙两侧的砂浆锚杆通过电焊焊接,锚杆间距为0.5m,锚杆长度大于1.5m,如图1。

对于大型采空区连接的巷道,一般在钢筋混凝土隔离墙后巷道内充填10~30m长的废石堆,以减缓冲击波对隔离墙的冲击,如图2。

通过构筑双层混凝土阻波墙,阻挡冲击波冲击,但是为了一些重要区域留有检查通道,在阻波墙内留设人行门,但是两道墙的人行门要错开布置,以进一步减缓冲击波的作用力,如图3。

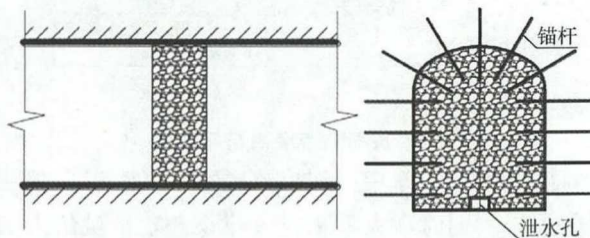


图1 巷道隔离墙示意图

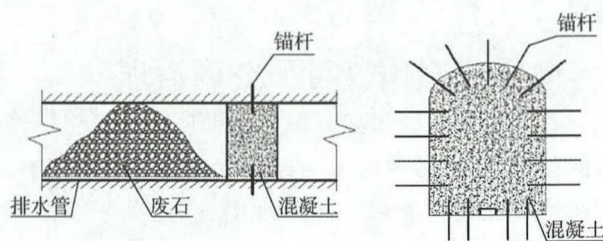


图2 带有废石充填巷道隔离墙示意图

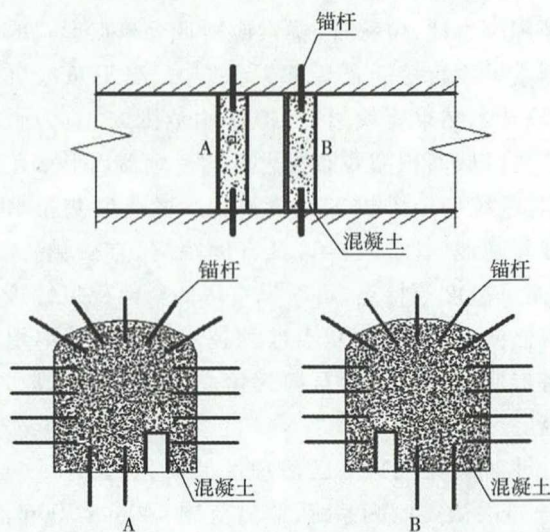


图3 带有人行通道巷道阻波墙示意图

(2)采空区隔离。采空区隔离设施主要布置在生产区和采空区,当生产区与采空区的边界相距较近、空区横跨两边时,为形成生产区与采空区之间的隔离带,必须对此类采空区进行废石充填以形成隔离带,隔离带采空区的充填要求尽可能接顶,形成的隔离带宽度不小于20m,图4为废石充填隔离带示意图。

此外,为了达到采空区的有效治理,在大型采空区底部需要堆积一定量的废石以形成缓冲垫层,减

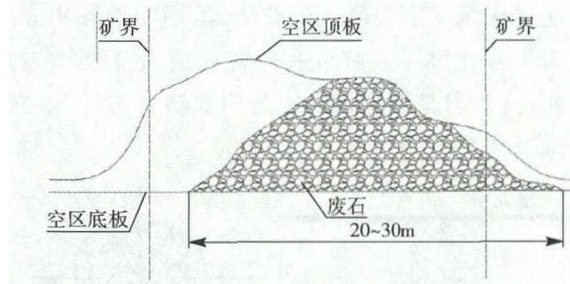


图4 废石充填隔离带示意图

轻对底板的冲击作用,吸收部分的冲击能,以保护底板的围岩。同时在大型采空区建设一定数量的人工钢筋混凝土矿柱,防止采空区顶板成片的一次性垮塌。

3 微震监测预警与采空区治理

考虑到采空区封堵方案无法彻底消除采空区垮塌隐患,因此有必要对采空区稳定性进行实时监测,进而不断优化调整采空区处理措施,避免采空区出现严重的垮塌失稳事故。随着信息技术的发展矿山地压监测技术也不断更新,传统的地压监测手段主要采用应力计、位移计、锚索应力计等单点形式的物理测量手段直接测量局部岩石应力、变形量或沉降量,该技术结果比较直观,但作用范围太小,为了增大监测区域面积需要布置大量的传感器以形成监测网,且系统后期维护工作量很大。微震监测技术是一种新型地压监测技术,具有远距离、非接触、大范围、高灵敏度等特点,可对采空区的整体稳定性进行实时监测^[9-10],相对单点监测技术可更早获取地压灾害形成前阶段的岩石破裂信息,因此预警成功率更高。

针对长凳坡采空区治理区域面积,设计了一套16通道的微震监测系统,监测范围400m×200m,采用加速度型微震传感器进行监测,监测设计如图5所示。

系统建设完毕之后进行了波速校准实验,通过定点炮的形式进行校准,校准的地震波P波波速为5130m/s,定位误差为5~8m。系统在运行过程中监测到大量岩石微破裂事件,事件诱发的原因主要为:周边爆破扰动产生岩石松动破坏、采空区顶板应力动态调整产生的微破裂事件、断层活化产生的微小震动事件。通过对微震事件进行定量地震学、微震参数时间序列特征分析,并结合Dimine三维矿山工程模型,确定地压活动危险区域。图6

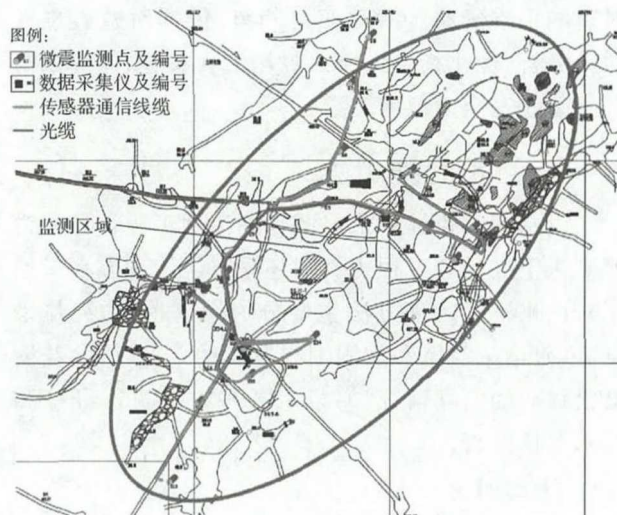


图5 微震监测设计图

为监测周期内微震事件的空间分布形态,通过事件聚集区域可直观观察到地压活动区域位于副井下方及其左右两侧,主井六叉路口下方也出现了明显的地压活动。

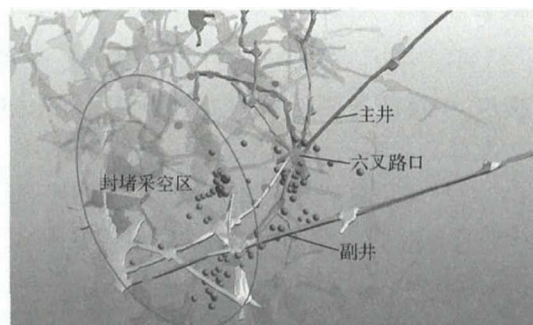


图6 微震事件空间分布形态

图7为微震事件应力云图分析,通过微震事件震源参数视应力的分析,副井与主井联络巷道及其拐弯处地应力值变化较大,表现出明显的能量释放特征。依据微震事件分析结果,矿方安排安全人员下井到微震定位的危险区域进行巡查,巡

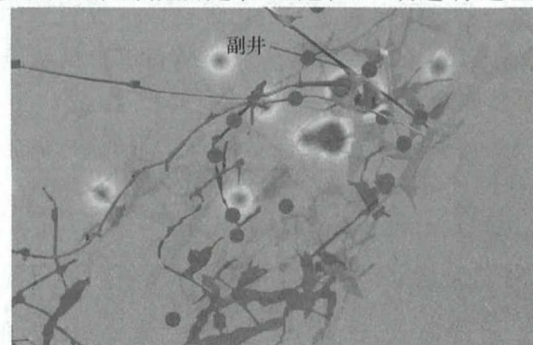


图7 微震事件应力云图分析

查结果表明副井下部延伸部分出现了岩石冒落以及人工矿柱被压裂的地压显现痕迹。综合考虑巷道工程结构布置特点和安全风险,选择将封堵墙后移,见图 8。

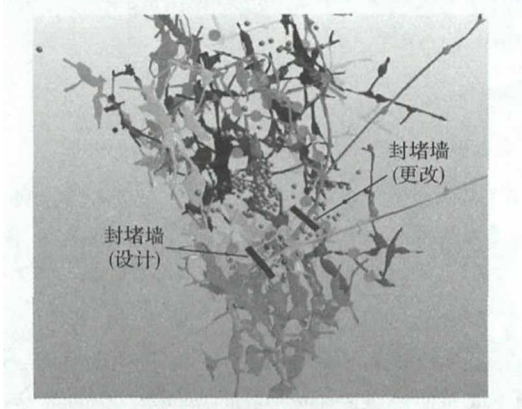


图 8 封堵墙变更位置

通过变更封堵墙位置,尽量隔离危险源,避免出现人员伤亡事故。通过本次的工程实践,表明微震监测可以提前进行灾害预警,在灾害的孕育、发展阶段就可定位出危险源位置及其危险程度。

微震事件释放能量与地震矩之间的对应关系可以定量地表征监测区域内岩体抵抗变形的能力,一般用岩体刚度值 d 值作为表征参数,如图 9 所示,将监测区域内的微震事件群的能量值和地震矩值绘制散点图,并对散点图进行线性拟合,其拟合值就是 d 值。表 1 为监测区域内 2017 年 7 月~9 月 d 值统计,从表 1 中可以看到 d 值在 8 月明显偏小,9 月有所回升,而微震预警时间在 8 月初,8 月上旬采取了隔离充填措施,之后 9 月岩体稳定性表现较好。

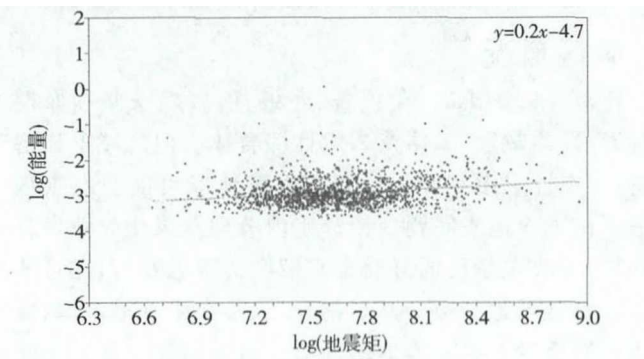


图 9 能量—地震矩关系

表 1 d 值统计表

监测区域	2017 年 7 月	2017 年 8 月	2017 年 9 月
d 值	0.7	-0.3	0.2

4 结语

通过对采空区治理手段的对比分析研究,并考虑现场生产和施工条件,采用封堵采空区的方法进行隐患处理,但考虑到封堵采空区不能完全消除地压灾害隐患,因此通过建设区域性微震监测系统对采空区顶板的稳定性进行实时监测。监测结果表明微震监测技术可以非常及时地发现地压灾害源,并能有效地进行量化评价,对于类似花垣铅锌矿复杂采空区的矿山可采用“封堵+监测”的采空区治理模式,该模式具有技术难度不大、建设周期短、成本低等优点,具有一定的推广意义。

〔参考文献〕

[1] 云 子. 活得好“悬”——聚焦矿区采空区安全[J]. 湖南安全与防灾, 2009, (9): 16-21.

[2] 陈 雷. 我国金属非金属矿山采空区现状与治理对策分析[J]. 资源信息与工程, 2015, 30(2): 12-13.

[3] 费 东, 邓代强, 姚中亮. 哈图金矿采空区充填挡墙封堵实践[J]. 矿业研究与开发, 2013, (2): 28-29.

[4] 唐礼忠, 潘长良, 杨承祥, 等. 冬瓜山铜矿微震监测系统建立及应用研究[C]. 全国采矿学术会议, 2006.

[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] 张 君. 冬瓜山铜矿围岩破坏震源机制与微震活动响应规律研究[D]. 长沙: 中南大学, 2013.

[7] 刘敦文, 赵新民. 厂坝铅锌矿群采空区处理技术[J]. 现代矿业, 2003, (9): 21-23.

[8] 张健文, 龚克兵, 曲志清. 寿王坟铜矿采空区处理技术实践[J]. 中国矿山工程, 2010, 39(5): 30-32.

[9] 程 超, 兰晓平, 吴水生, 等. 香炉山钨矿特大采空区地压微震监测技术应用研究[J]. 中国钨业, 2011, 26(5): 10-13.

[10] 陈学军, 刘 静, 赵子巍. 微震监测预警机理在复杂多层采空区中的初步应用[J]. 中国矿山工程, 2015, 44(2): 6-8.