

# 中色非矿微震活动与爆破扰动的 相关性研究

Research on Correlation Between Micro-Seismic Activities of NFC Africa  
Mining and Blasting Disturbance

张金钟<sup>1</sup>, 刘芳芳<sup>2,3</sup>, 杨清平<sup>1</sup>, 赵承佑<sup>1</sup>, 王京伟<sup>1</sup>, 崔志华<sup>1</sup>, 张君<sup>2,3</sup>

(1. 中色非洲矿业有限责任公司, 北京 100089; 2. 长沙迪迈数码科技股份有限公司, 湖南长沙 410012; 3. 长沙施玛特迈科技有限公司, 湖南长沙 410083)

**摘要:** 矿山地震是由开采活动诱导产生的, 二者之间的相关性是矿山地震研究的重要内容, 因此对矿山地震活动时空强活动规律与矿山开采活动的相关性进行研究, 既是矿山实践的需要, 也是进一步对地震灾害进行预测预报的重要手段。中色非矿微震监测是国内矿山微震监测系统首次在海外应用, 是我国在非洲的示范性矿山, 同时也是规模化深部开采的矿山, 其微震活动与爆破扰动间的相关性研究具有重要意义。基于中色非矿东南矿体微震监测系统检测到的微震事件信号与爆破事件信号, 本文从时间、空间、强度三个方面对两者之间的相关性展开研究, 可以为深部开采地压控制技术研究提供有力支撑, 同时能够指导矿山安全生产、保障人员及设备安全。

**关键词:** 微震监测; 爆破扰动; 地压控制; 安全生产

中图分类号: TD235

文献标志码: A

文章编号: 1672-609X(2022)02-0072-07

**Abstract:** The earthquake in mine is induced by mining activities, the correlation between the two is the important content in mine earthquake study; therefore, the research on the correlation between the temporal-spatial strong activity law during mine earthquake activities and the mining activities in the mine is not only the need of mine practice, but also an important means to further predict earthquake disasters. The micro-seismic monitoring system of NFC Africa Mining is the first overseas use of Chinese micro-seismic monitoring system, NFC Africa Mining is a demonstration mine of China in Africa, and also a large scale mine doing deep mining, so the research on the correlation between the micro-seismic activities and the blasting disturbance is of great significance. Based on the micro-seismic event signal and the blasting disturbance event signal detected by the micro-seismic monitoring system in the southeast orebody of NFC Africa Ming, in this article, the research on the correlation between the two events is carried out in terms of time, space and strength, which can provide powerful support for the study on technology of ground pressure control in deep mining, and can also provide guidance for the safe production of the mine and ensure the safety of personnel and equipment.

**Key words:** micro-seismic monitoring; blasting disturbance; ground pressure control; safe production

## 1 前言

根据国内深部矿山的开采经验, 深部开采阶段地压活动剧烈, 容易出现较多的地压灾害, 如冲击地压、岩爆、地表塌陷、采空区冒顶等。自 20 世纪 90 年代以来, 微震监测技术<sup>[1-3]</sup>在矿山地压监测中得到普遍应用, 一般用微震活动用来评价岩

体的稳定性情况。国外专家对矿山开采扰动与微震活动之间的响应关系进行了大量研究, 如针对波兰煤矿、南非金矿、加拿大镍矿和澳大利亚铜等的研究显示矿山地震活动与开采工艺过程、爆破及开采强度等开采参数之间存在密切关系, 在国内例如冬瓜山铜矿、新疆西拓铜矿、华峰煤矿等矿山主要针对地震活动与开采过程及工程空间位置关系开展了研究。其中张君<sup>[4]</sup>针对冬瓜山铜矿采用累积地震视体积和能量指数来比较不同时段地震活动与开采的响应特性, 提出相应的参数来表征地震活动与开采速率之间的响应关系; 张达等<sup>[5]</sup>基于能量分布特征开展了矿山微震和爆破信

[作者简介] 张金钟(1986-), 男, 甘肃天水市人, 工程师, 从事矿山生产与矿山管理工作。

[引用格式] 张金钟, 刘芳芳, 杨清平, 等. 中色非矿微震活动与爆破扰动的相关性研究[J]. 中国矿山工程, 2022, 51(2): 72-78+94.

号自动识别研究工作;唐礼忠<sup>[6]</sup>等针对冬瓜山铜矿深井开采诱导地震活动,对地震视应力和位移在矿区开采过程中的时空特征开展研究,发现地震活动具有区域性分布特征,其时空分布与开采活动及矿区矿柱分布具有较强的对应关系;虽然国内外研究人员对于矿山地震活动的响应特性有了很多认识,但是由于受到矿山地质条件和开采活动复杂性的影响<sup>[7-9]</sup>,目前的研究还处于初步阶段,特别是在建立地震活动与开采响应定量关系方面,更需要深入研究。中色非矿谦比希东南矿体是典型的深埋矿山,存在较高的地应力,矿体相对厚大,随着采掘活动的进行采空区规模不断增加,存在地压灾害风险,特别是随着深部矿体的开采还伴随着岩爆灾害的风险,本文基于微震监测数据、开采活动及地质开采条件,对东南矿体开采活动引起的采场采空区顶板围岩失稳垮落活动、南采区的顶板沉降活动、北采区深部高应力活动进行监测与分析,为日常监测活动分析和指导矿山安全生产提供理论依据。

## 2 矿山概况

东南矿体是中色非矿谦比希铜矿的三个矿区之一,位于主矿区东南约7 km处,是一座大型地下开采铜矿,典型层状矿床,缓倾斜中厚矿体,建设规模年采选矿石330万t,生产铜精矿5.68万t。矿体埋深在500~1 040 m,倾角5°~30°不等,平均厚度9.6 m,矿石主要为硫化矿。东南矿区设计采用分条空场嗣后充填采矿法为主、房柱法及上向水平分层充填法为辅的采矿方法,初步设计以900 m为界,900 m以上水平为南采区,900 m以下水平为北采区。结合矿山地质开采条件,根据国内外深井金属矿山开采经验,目前矿山生产过程中存在的地压风险有:

(1)南采区大范围充填采矿工艺的不充分接顶造成顶板沉降和地表塌陷,从而影响地表公路设施的安全。

(2)首采区顶板岩层含水层发育,随着开采扰动会诱发裂隙开裂贯通,从而导致上覆含水层发生透水事故,影响井下生产安全。

(3)采空区回填之前容易受到周围爆破扰动影响以及应力分布不均匀作用,造成采空区顶板垮塌,从而影响生产活动正常有序进行。

(4)北采区埋深较大,存在较高的地应力,岩爆

风险等级上升。

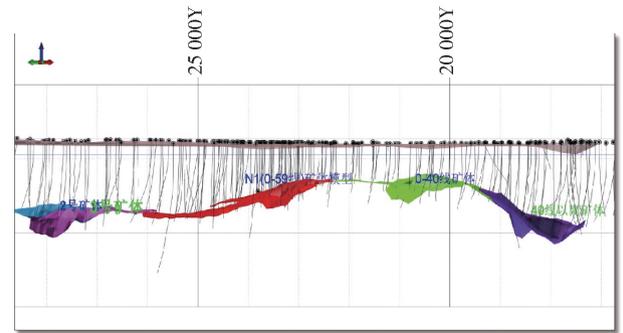


图1 矿体三维模型图

## 3 微震监测系统的构建

### 3.1 系统概况

针对东南矿体实际生产情况和采空区分布特征,建设一套适合谦比希东南矿体的地压监测系统以掌握东南矿体地下开采的地压活动规律,实现对南采区680 m水平至800 m水平采空区、北采区1 080 m水平至980~960 m水平采空区地压活动实时在线监测,根据规划目前采用微震监测和常规地压监测联合监测的方式。

微震监测系统主要由微震检波器、数据采集基站、时间同步授时器、微震服务器和微震数据采集软件和分析软件组成,中色非矿东南矿体微震监测系统架构图如图2所示,一共包括28支微震检波器、4台微震采集基站、1台时间同步服务器和1台微震服务器,4台采集基站分别布设在1 080 m中段、980 m/960 m中段、800 m中段和680 m中段。

### 3.2 监测区域

微震监测台网的设计对于监测效果至关重要,合理的监测台网有利于保证微震事件定位的精度和整个监测系统的灵敏度<sup>[10]</sup>。根据东南矿体采矿工程结构进行台网布设,监测台网基本覆盖了生产区域,如图3所示,东南矿体微震有效监测区域为680~1 080 m中段相关围岩和采空区顶板。依据《岩体工程微震监测技术规程》中台网设计要求,本次设计台网定位误差范围在10 m以内,满足高精度定位的要求。

## 4 微震活动与爆破扰动的相关性分析

### 4.1 信号识别

微震监测系统,其基本原理就是通过传感器检测周围环境的振动信号,并进行相关计算处理,但振

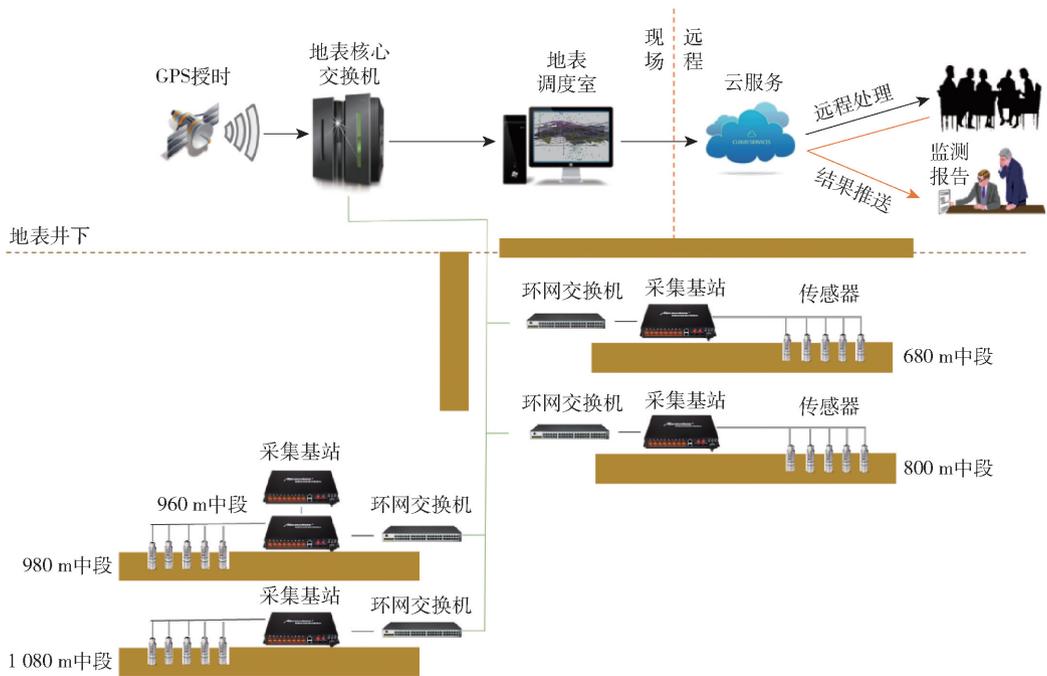


图2 微震监测系统架构图

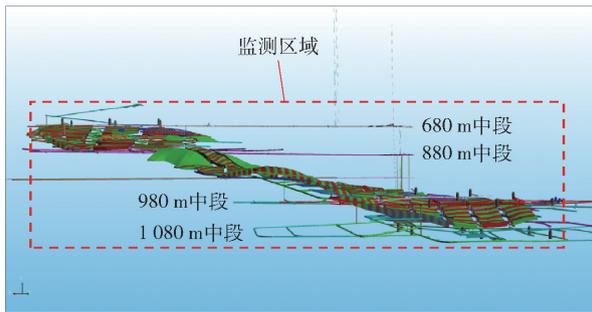


图3 微震系统监测区域

动信号包含的种类较多,如微震事件信号、爆破事件信号、机械振动信号、溜井放矿等信号。从爆破震源机理上来判断,爆破一般产生的能量较大,因此波形振幅较大;爆破采用微差爆破方式,会形成多个振动叠加信号;爆破信号频率成分复杂,同时以低频信号为主,信号特征如图4所示。微震事件指的就是岩石破裂或者断层滑移等矿山岩体地压活动事件,其本身破坏机理较为复杂,中色非矿微震事件频率范围一般分布在20~1 500 Hz,具有较为明显的P/S波特征,微震事件波形衰减较慢、尾波发育,信号特征如图5所示。

### 4.2 数据分析

为了研究微震活动与开采生产活动之间的关系,本文选取北采区2021年6月至2021年8月的数据进行统计分析,从时间、空间、强度三个维度揭

示微震活动与爆破活动之间的相关特性。

#### 1) 时间特征分析

微震事件与爆破事件相关性分析从时间角度出发,主要是进行事件发生时段的比较。图6所示为北采区2021年6月至2021年8月的微震事件和爆破事件总体活动率演化曲线,其中横轴表示的是日期,左侧纵轴表示的是事件每日发生数量,右侧纵轴表示的是累计发生的事件数量。从图6可以看出中色非矿北采区的爆破事件活动比较规律、稳定,曲线近乎直线,微震事件分布落后于爆破事件分布,因为爆破事件对地压活动的影响有一定的延迟。微震事件是伴随着爆破事件发生的,表明其岩层稳定性对外界扰动比较敏感,而爆破事件的稳定说明了微震事件的发生与爆破总体水平无关、与局部关键爆破有关。

通过统计一段时间内以天为区间24 h中微震事件频次与能量的分布特征,可有效掌握矿山监测区域内微震事件的分布特征,在每天的地压监测实践中针对性的分析时间区间内微震活动性,从而提高微震预警效率。图7所示为北采区2021年6月至2021年8月的微震事件和爆破事件时辰分布图,其中横轴表示的是24时、纵轴表示的是每个时辰内微震事件发生数量。

从图7可以看出,中色非矿6—8月期间受井下采空区稳定性及采掘活动影响,微震事件活动主要

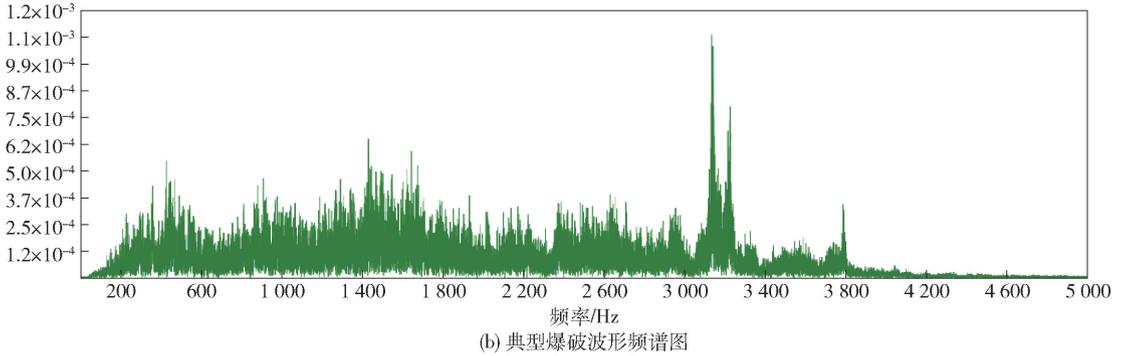
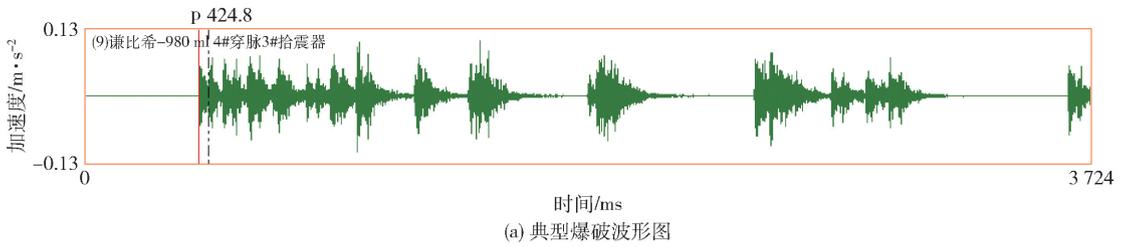


图4 爆破信号特征

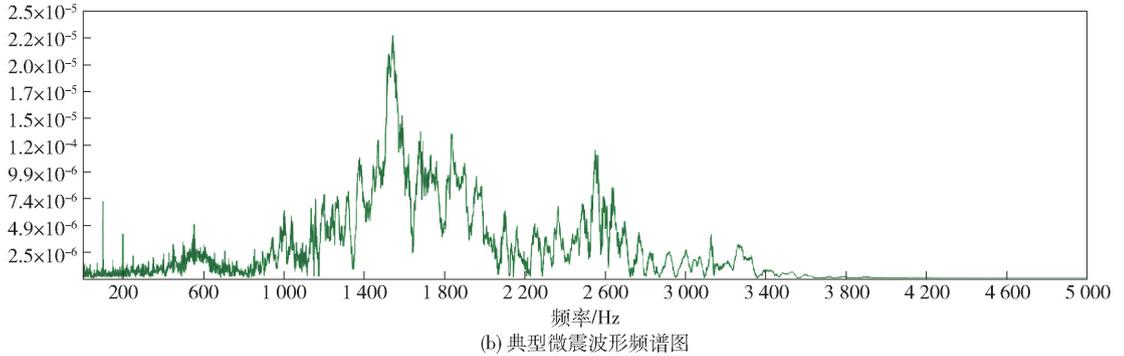
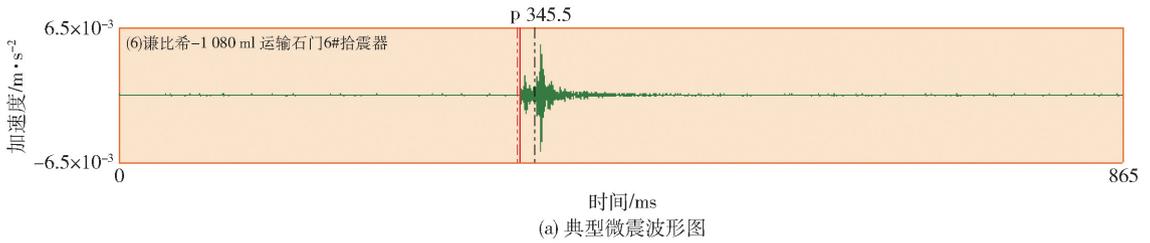


图5 微震信号特征

集中时段为7:00—9:00时段、19:00—21:00时段,爆破事件活动主要集中时段为7:00—9:00时段、19:00—20:00时段,微震事件活动主要集中时段与爆破活动发生时段基本一致,这表明爆破活动是导致微震事件活动发生的主要原因。

### 2) 空间特征分析

微震事件空间分布规律是指微震事件在空间上的三维分布规律和演化规律,而为了对不同区域地压变化进行区分,通过建立空间过滤体进行针对性分析,依据中色非矿实际情况分别对北采

区采场顶板围岩体、底板围岩体、隔离矿柱进行针对性分析,空间过滤体完全包络采场及空区,具体如图8所示。

图9、图10所示分别给出了中色非矿北采区2021年6月至2021年8月微震事件和爆破事件的空间分布图,其中球体的颜色表示的是事件发生的时间,球体的位置就是对事件的定位。从图9可以看出6—8月份期间监测到的微震事件空间分布整体比较分散,相对比较集中区域主要分布于960 m中段和1 080 m中段之间的960-1MU、

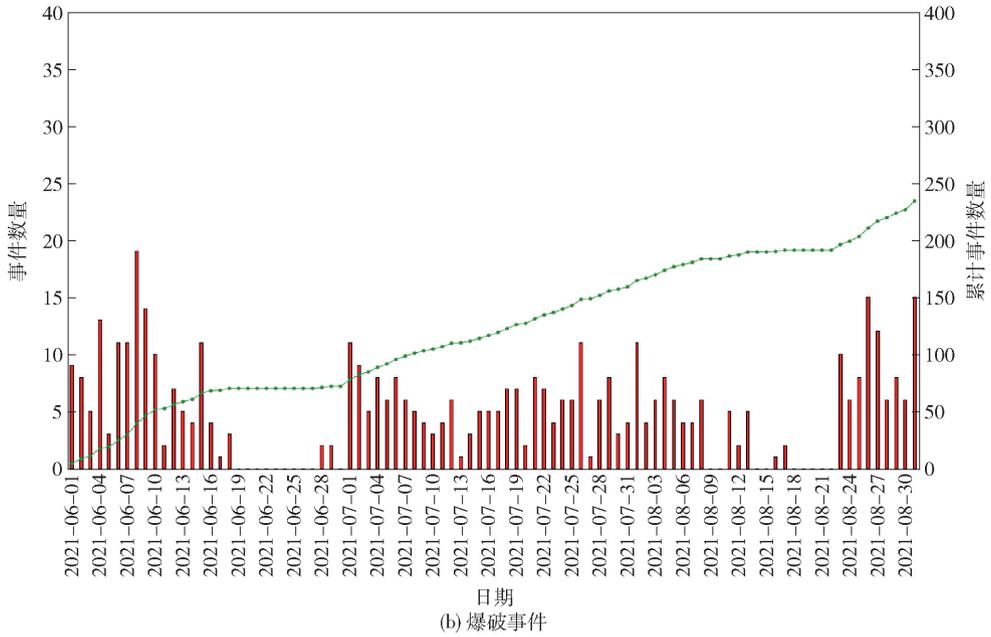
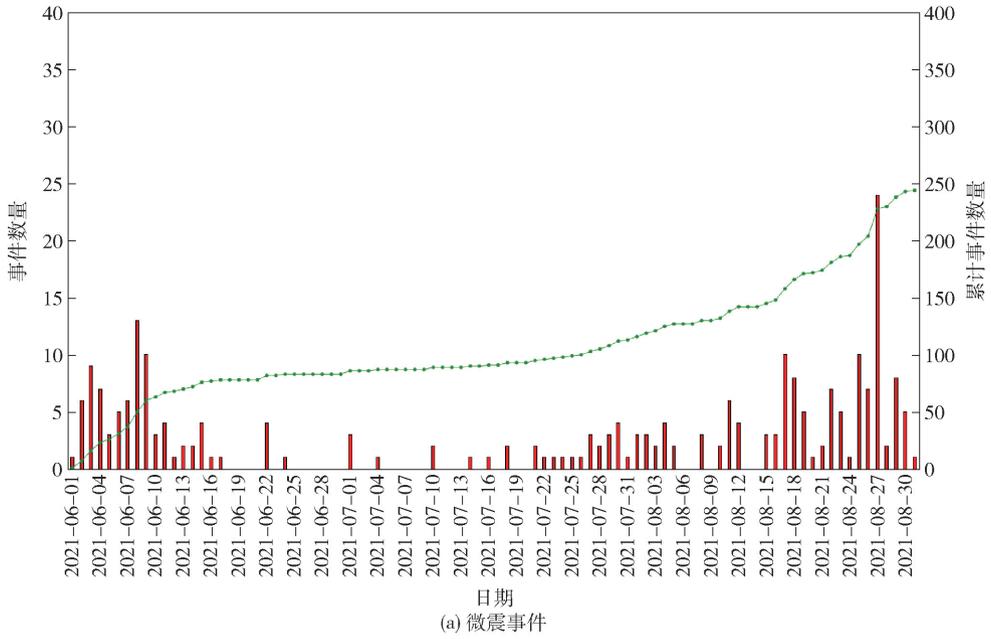


图6 微震事件和爆破事件频数直方图

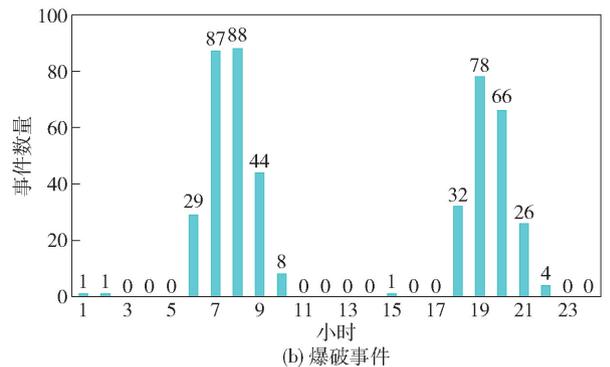
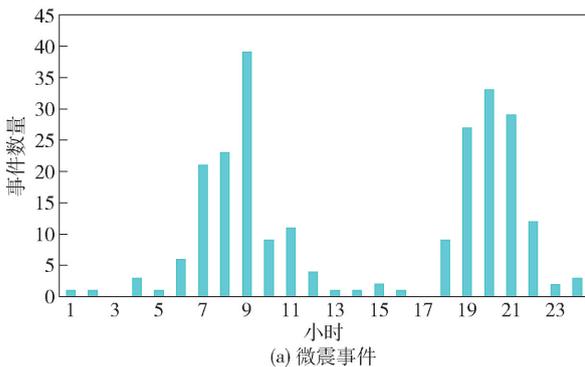


图7 微震事件和爆破事件日分布图

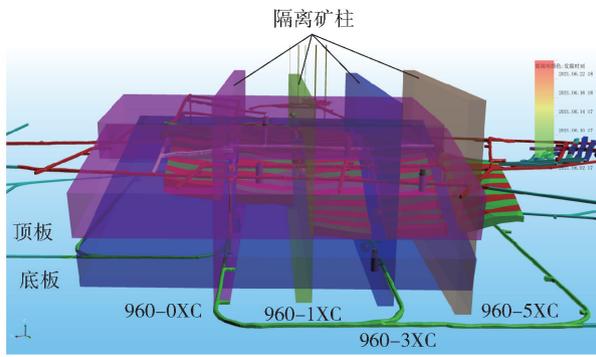
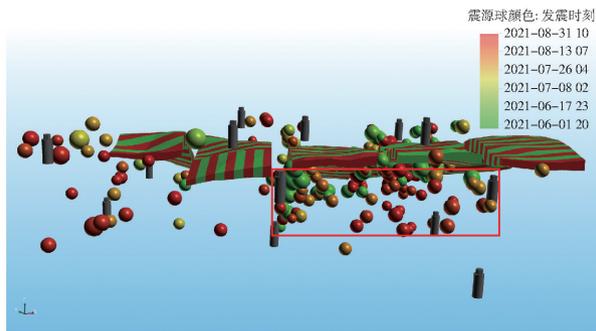
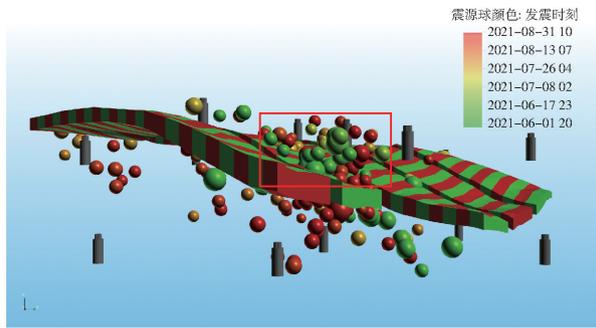


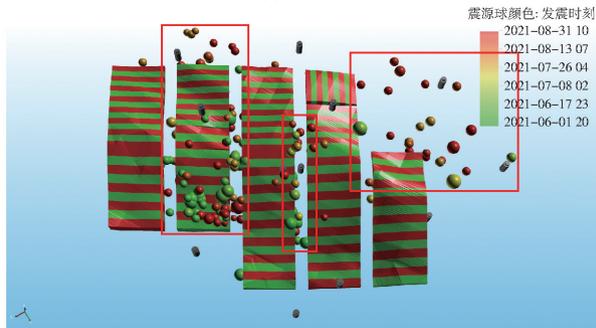
图8 微震事件分析空间过滤体



(a) 正视图



(b) 侧视图

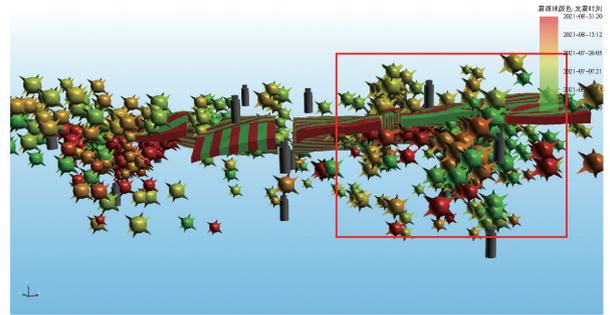


(c) 俯视图

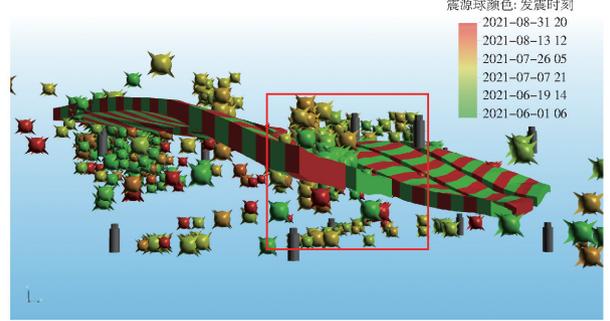
图9 微震事件空间分布图

980-1MU、100-1MU、1020-1MU、1040-1MU 采场的顶板围岩,980-3MU 采场、1000-3MU 采场、1020-3MU 采场、1040-3MU 采场的底板围岩,960-0XC、960-1XC、960-3XC 隔离矿柱岩体。图 10 所示爆破活动主要分布在 980 m 中段的 960ML-1MU、

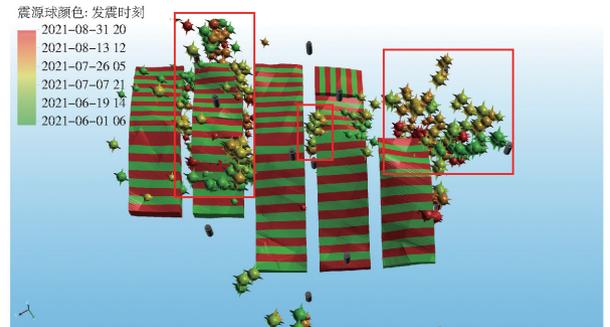
960MLS-1、1000ML-1MU、1020ML-1MU、960ML-5MU、980ML-5MU、980ML-7MU、1000ML-7MU、1020ML-7MU 采场,爆破类型主要为采场爆破、其次是巷道爆破。整体来看,微震事件与爆破事件的分布区域有较高重合性,表明微震事件与爆破事件的空间相关性较强,微震事件主要受生产活动影响。



(a) 正视图



(b) 侧视图



(c) 俯视图

图10 爆破事件空间分布图

### 3) 强度特征分析

图 11 所示为北采区 2021 年 6 月至 2021 年 8 月的微震事件和爆破事件震级分布情况,其中横轴表示的是 24 个时辰,纵轴表示的是每个时辰内微震事件发生数量和震级分布情况。通过分析震级分布情况可以看出,微震事件与爆破事件的日分布图特征相似,二者变化趋势相同,表明了微震的震级与爆破的强度呈正相关关系。

能量-地震距(E-M)关系表示的是微震事件地

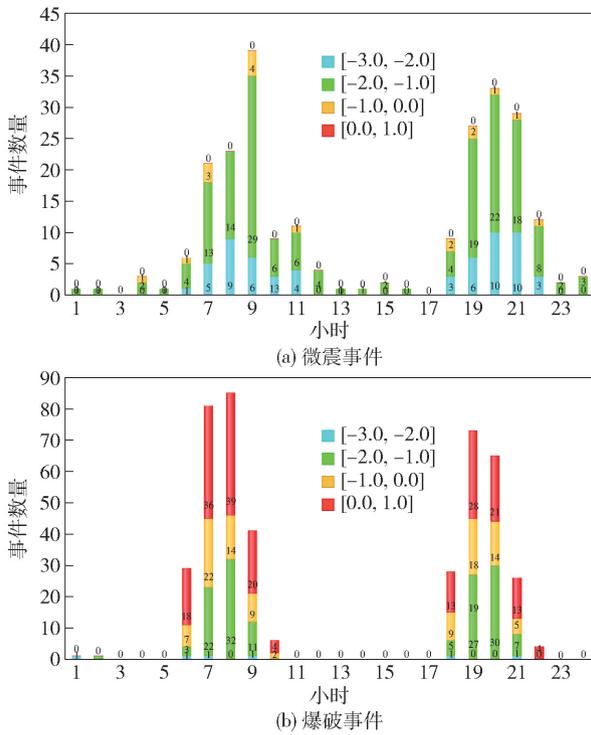


图 11 微震事件和爆破事件震级分布图

震参数释放的能量和地震矩之间的相关性分析,可以表征分析区域内岩体的刚度值相对变化趋势,拟合值  $d$  值越大岩体刚度越大,围岩抵抗变形能力越强。

图 12 所示为监测区域内北采区 6 月—8 月的 E-M 关系拟合曲线,6 月份  $d$  值 0.6,7 月份  $d$  值 2.5,7 月份相对于 6 月份北采区岩体刚度大大增强,稳定性提高,8 月份  $d$  值为 1.8,相较于 7 月份岩石稳定性小幅度下降。具体统计见表 1。

表 1 北采区  $d$  值统计分析

月份	$d$ 值
6 月	0.6
7 月	2.5
8 月	1.8

### 5 结论

通过实时监测地压活动情况,从时空强角度分析矿山微震事件与爆破事件之间的变化规律,通过长期的对比研究,总结动力灾害事件发生的前兆规律,对矿山岩体稳定性及地压活动规律监测意义重大,为深部规模化开采地压控制技术提供研究参考。本文通过对中色非矿北采区微震监测系统的应用和数据分析,得出以下结论:

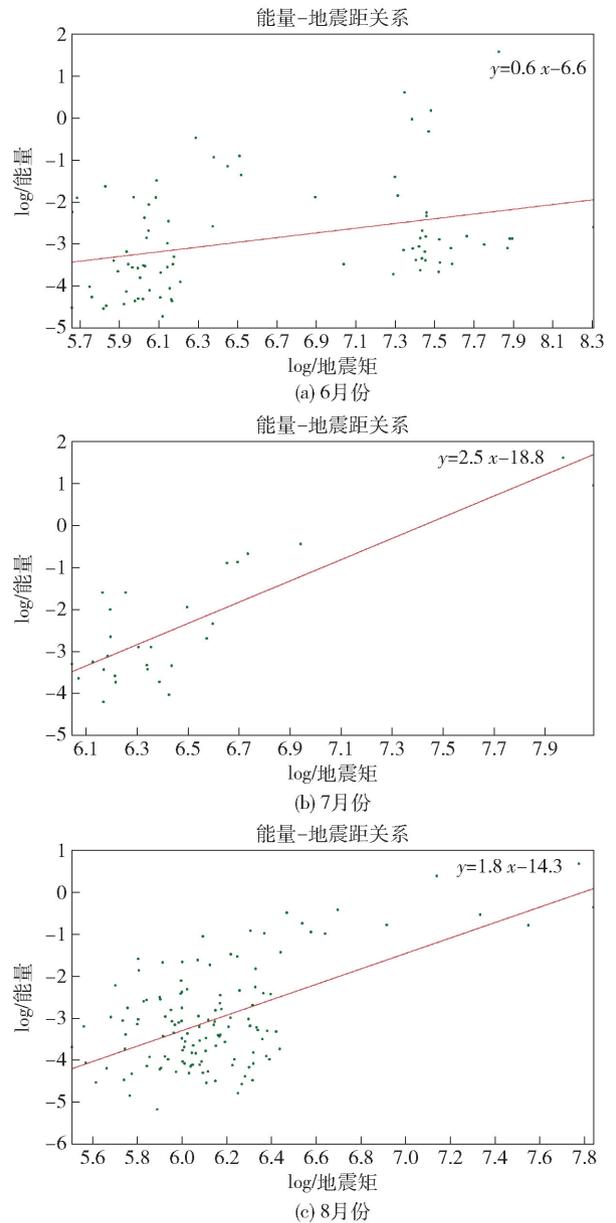


图 12 能量-地震矩关系散点图(E-M)

(1)通过时空强三个角度的分析可知,微震活动与矿山开采活动存在明显的相关性。爆破活动是导致微震事件活动的主要外因,内因是随着开挖的进行岩体稳定性的自我调整产生的地压活动。

(2)大多数微震事件是发生在爆破作业之后,而爆破事件的发生具有稳定性,这说明了微震事件的发生或聚集受特定区域关键爆破活动影响,与整体爆破水平无关,因此要调整爆破参数以减少爆破对隔离矿柱和巷道稳定性的影响。

(3)采场顶板暴露面积和时间需要进行优化考虑,通过加强浮石管理、支护和充填管理进而控制地压活动。  
(下转第 94 页)