

基于微震监测的地压活动规律和风险预测

江文武¹, 谢建敏², 杨作林², 李家福³

1. 江西理工大学应用科学学院, 赣州 341000
2. 江西理工大学资源与环境工程学院, 赣州 341000
3. 上海鹏旭信息科技有限公司, 上海 201199

摘要 在介绍微震监测技术基本原理和系统组成架构基础上, 以漂塘矿区为工程背景, 借助统计学原理和地震学原理对其地压活动规律开展研究, 分别从云图、地震参数时间曲线和地震统计 b 值对矿山的 448 中段进行风险评估, 确认该中段特定区域为重点风险区域评估和预测区域。通过理论分析及实际结果表明, 矿山地压活动与地下开采活动有着密切联系, 开采活动是井下重要风险源之一。微震事件聚集区域与井下作业位置相对应, 在时空上, 微震事件活跃的高峰期与井下作业台班基本吻合。确定风险区域后, 根据地压参数时间曲线分别设定观察期、预警期和危险期以减少损失。实践证明, 微震监测系统可实现漂塘钨矿风险区域的岩体状态的全面监控, 实现风险区域的监控和预警。

关键词 漂塘钨矿; 微震监测; 危险区域; 风险预警

中图分类号 TD76

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.16.010

Risk Prediction and Law of Ground Pressure Activities Based on Seismic Monitoring System

JIANG Wenwu¹, XIE Jianmin², YANG Zuolin², LI Jiafu³

1. Faculty of Applied Science, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China
2. Faculty of Resource and Environmental Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China
3. Shanghai Pengxu Information and Technology Co., Ltd., Shanghai 201199, China

Abstract This paper introduces the basic principle and system architecture of micro seismic monitoring technology from an engineering background of the Piaotang mine. The law of ground pressure activities in level 448 is studied and three steps based on different theories are involved. The event density contour plot is used for establishing the risk region. Observation period, prediction period and danger period are set up based on earthquake parameter time curves. The statistics of b value are made for checking the result. After that, the particular middle risk assessment of that area is performed by using the statistics and magnitude theory. Then the film clip stopped is confirmed with emphasis on the area of risk assessment and prediction area. Theoretical analysis and practical results show that the mine ground pressure activity is not only related to the time but also closely to underground mining activities. And the underground mining activity is an important risk resource in the underground environment. The seismic event concentrated area corresponds to the underground working position. The peak activity of seismic event is in accordance with stopping and developing machine-team in spatial and temporal domains. Those three periods are set up when determined based on earthquake parameter time curves. If so, less persons and property losses can be achieved. Combined with the current monitoring results and work, when the instability signal appears, the system can inform the miners, providing safeguard for mine safety production.

Keywords Piaotang tungsten mine; micro seismic monitoring; hazardous area; risk prediction

收稿日期: 2014-01-09; 修回日期: 2014-03-13

作者简介: 江文武, 副教授, 研究方向为地压监测、岩土工程, 电子信箱: wenwujiang@163.com; 谢建敏(共同第一作者), 硕士研究生, 研究方向为地压监测与管理, 电子信箱: jxust_jianmin@163.com

引用格式: 江文武, 谢建敏, 杨作林, 等. 基于微震监测的地压活动规律和风险预测[J]. 科技导报, 2014, 32(16): 58-62.

矿山地压监测不仅是揭示矿山地压活动规律主要的科学手段,也是井下风险预警的重要技术支撑。为实现矿山地压的有效监测,多种技术手段前后开发并应用,钻屑法及光弹应力计简便易行、直观可靠,但费工、费时,无法实现时空上的连续监控^[1,2]。声发射技术实时性强、定位精度高,但监测预报成功率不高、效果不理想^[3,4]。故急需引入高效成熟的技术手段开展地压规律和预警研究。近年来,随着计算机技术的飞速发展,地球物理学和地震学理论不断完善,微震监测技术的日臻成熟,已在国外的矿山得到成功应用^[5],中国陆续有多个矿山引进该系统并开展地压监测及预警研究,如门头沟煤矿1984年引进波兰Sylok微震监测系统^[6];21世纪初至今,凡口铅锌矿、红透山铜矿、柿竹园多金属矿、冬瓜山铜矿及会泽铅锌矿相继引进加拿大ESG和南非ISS微震监测系统^[7~16]。

漂塘钨矿位于江西省大余县,主要有漂塘、大龙山和木梓园3个矿区。其中,漂塘矿区是目前主要生产矿区,开采始

于21世纪初,至今已有80多年。截止2013年底,已开拓676、616、556、496、448、388、328、268、208共9个中段。其中,556中段和496中段进行残矿回收,448、328、268中段为当前开采主体对象。矿山具有空区暴露面积大,地质构造复杂等特点。为确保矿山安全生产,于2011年引入南非IMS微震监测技术,构建微震监测监控网络,开展动态岩体应力活动实时监测,采集岩体振动数据,运用地震学原理综合分析各参数,初步开展复杂空区环境下因开采活动所引起的地压活动规律和控制技术分析。

1 微震监测系统布置、架构与调试

根据漂塘钨矿实际情况,确定建立微震监测系统的原则是力求精确,逐步完善。首先将主要监测范围限制在主要开采的中段区域,根据系统运行的实际情况进行方案调整。通过优化设计网络,在矿区内共布置18个传感器、3个工作站、1个井下数据中心、1个地表主控制室和各种线缆,如图1所示。

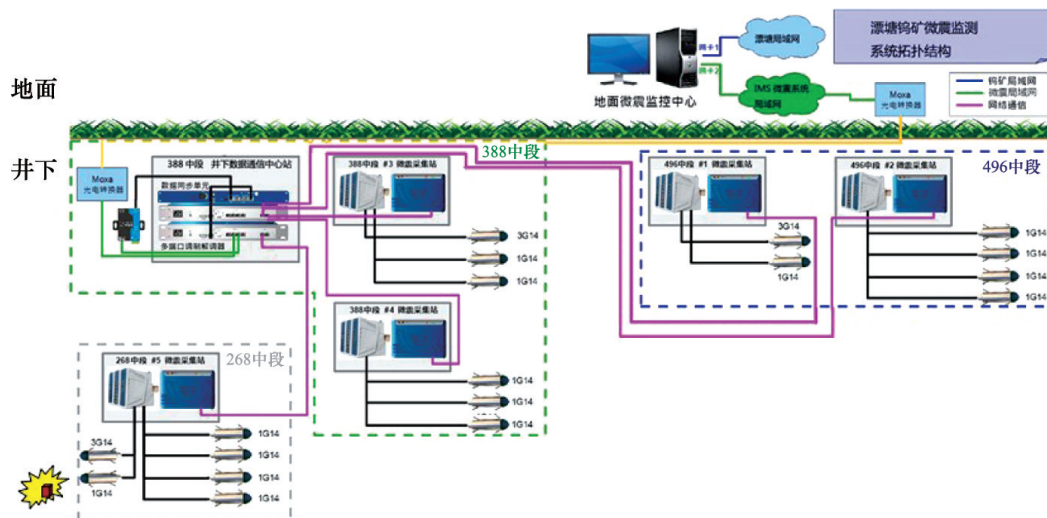


图1 漂塘微震监测系统拓扑图

Fig. 1 Seismic monitor system layout in Piaotang tungsten mine

微震监测系统由硬件和软件2大部分组成。硬件部分包括检波器、数据采集仪、数据处理器、UPS、调制解调器、计算机、通信铜绞线及光缆等;软件部分包括时间运行系统(Synapse)、微震事件波形分析处理软件(Trace)、微震事件活动性分析软件(Vantage)和微震事件三维解释软件(Ticker 3D)。地面监控中心位于漂塘钨矿388平硐口办公楼,井下数据中心位于388中段变电硐室内。各工作站连接6个分布在不同钻孔内的检波器。各检波器信号通过工作站采集后传入井下数据中心,再由井下数据中心传输至地表控制中心,再进行进一步的处理和分析,同时地表控制中心实时监测和控制系统运行状况。本套微震监测系统于2011年10月开始施工,2012年初竣工,系统频率监测范围为1~5000 Hz,可对里氏震级在-10~4级范围内微震事件进行监控,通过定点爆破测试,系统定位误差小于10 m,满足系统定位精确要求。

2 采动诱发地压活动规律

漂塘矿区是黑钨、锡石为主的多金属-石英细脉型高温热液矿床,矿体主要由石英脉构成,矿区围岩属寒武系变质砂岩,顶底板围岩均为坚硬致密的变质砂岩与板岩,矿区整体稳定性好。但矿区内断层发育有东西向、北东至东北向和北西向,较大者有11条,其中最重要的断层是F2,断层平均产状 $138^{\circ}\angle 54^{\circ}$,破碎带宽0.5~1 m,贯穿矿山的主要生产中段,包括448中段2线至14线的区域。截止2011年底,448中段从东往西布置采场共计28个采场,已形成采空区体积约31.05万 m^3 。该中段采用浅孔留矿法和阶段矿房法进行钨矿资源回收,运用中深孔爆破和浅孔爆破实现资源高效回采,其间对矿区围岩产生扰动,影响岩体内新裂隙的产生和旧裂隙的发展。

2.1 微震事件时间分布

为掌握448中段的地压活动规律,本文基于微震监测系统采集的2012年3—6月的数据,统计分析显示,24 h内发生事件大多数小于0级,如图2所示。24 h内事件柱状图中蓝色占绝大多数,只有个别数目事件大于0级。图2还可以看出,事件的高发时间段分别为11:00—12:00,14:00—16:00,震级大于0级的事件发生在01:00—02:00,因为这2个时间

段是漂塘矿区作业的时间区段,每星期六00:00都会进行大爆破。换言之,微震事件的高发期主要集中在采区开挖时间段内,表明采矿活动对采矿围岩造成较强烈的扰动和损伤,引起岩体内部移动,诱发岩体内部裂隙进一步发展,新裂隙的产生以及旧裂隙的发展与贯穿。综上所述,微震监测结果基本吻合矿山实际开采作业情况。

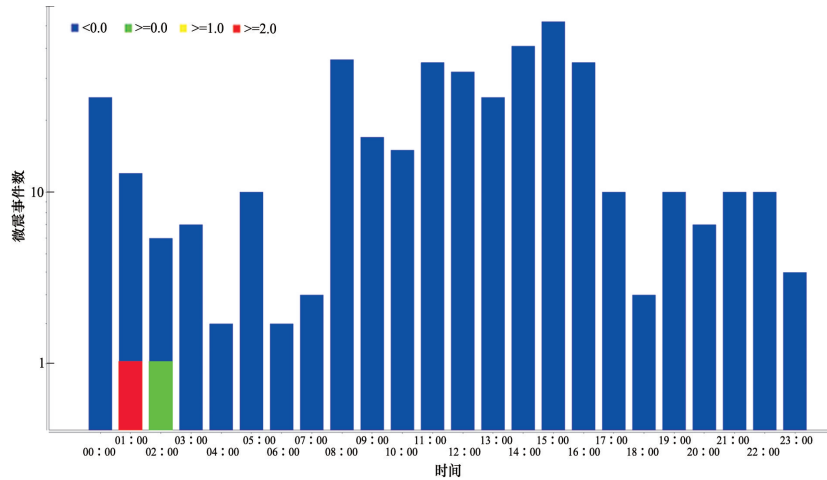


图2 24 h不同震级事件分布

Fig. 2 Earthquake magnitude distribution in 24 hours

2.2 微震事件空间分布

448中段具有地质构造复杂,采场分布多等特点,且矿山未有相关统计数据,因此结合微震监测技术数据采集的准确处理,剔除爆破事件、干扰事件等,通过不同时间段的事件密度图确定主要风险区域。

随着时间推移,事件均在不断累计,由图3可以看出,西部区域的事件密度明显高于东部区域,且西部的F3断层附近高于其他区域,说明事件不仅与井下采动活动有关,还与采

场附近的岩体性质等密切相关。448中段3带4线附近岩体和3810采场附件区域的事件密度一直处于相对较高水平,且随着时间的发展,事件密度也在不断升高。考虑到该采场采用阶段矿房法,回采后留下的矿柱和采空区,随着回采工作的推进,空区体积越来越大,暴露时间越来越长,同时开采深度也越来越大,其地压将随着不断增加,可能出现空区局部冒落、矿柱或顶底柱变形破坏,由此将该区域设定为重点监测区域。

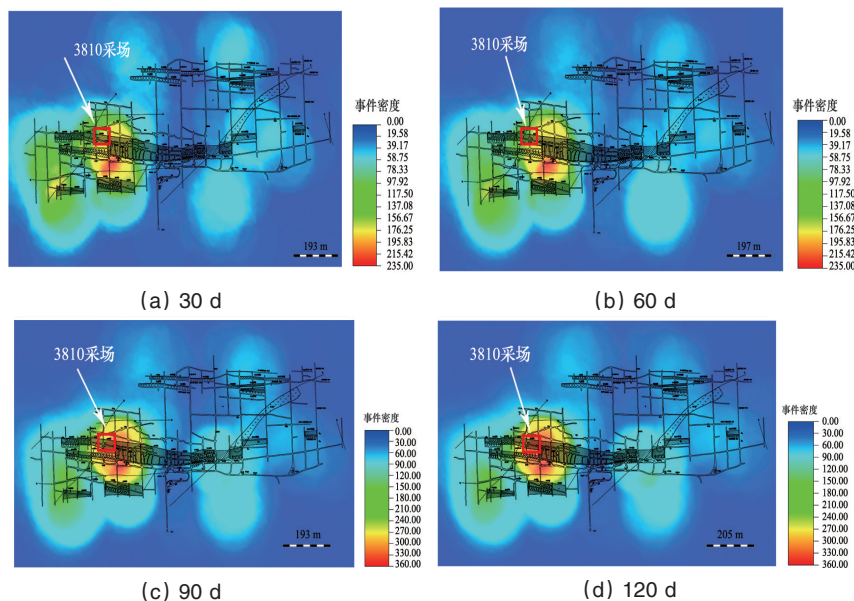


图3 事件密度随时间的变化

Fig. 3 Event density variation over time

3 井下开采过程的风险判别

3.1 微震监测风险识别原理

井下岩体工程危险性识别一般从云图、地震参数时间曲线和地震统计 b 值^[17] (b 为特定标量) 建立预测模型, 进而完成预测。其中时间曲线主要包括视体积 V_A 和能量指数 EI ^[10,16], 云图主要包括事件密度云图等, 地震统计 b 值记录区域特定时刻内微震震级分布规律。根据长期的统计观察结果, 建立风险评估模型预测风险发生的可能性。主要地震参数的计算公式为

$$V_A = \frac{M}{2\sigma_A} = \frac{M^2}{2\mu E} \quad (1)$$

$$EI = \frac{E}{\bar{E}(M)} \quad (2)$$

$$\lg N = a - bM \quad (3)$$

式中, μ 为剪切刚度, E 为地震释放能量, M 为地震矩, \bar{u} 为平均位错, $\bar{E}(M)$ 为定值地震矩 M 均值, M' 为地震震级, N 为相应的地震次数, a 为系数, 本文取 1.3。

对某一圈定区域进行微震活动性分析时, 岩体活动时的应变速率是以累计视体积和能量指数随时间变化曲线的斜率表示, 当累计视体积曲线斜率突然变大和能量指数斜率突然变小, 说明圈定区域内岩体进入失稳状态, 产生了较大变形。 b 值随时变化曲线的斜率表示微震统计数量中大震级和小震级事件所占比例变化, 当 b 值斜率变小时, 则表明大震级事件占绝大多数, 岩体内部大尺度裂隙发育。

3.2 微震监测结果

当确认 448 中段 3810 采场为重点监测区域, 利用 Vantage 软件建立区域独立分析, 进而获取地震参数曲线。

从图 4 可知, 5 月内微震事件震级均较小, 仅在 18 和 28 日有震级在 -0.1 级和 -0.3 级的微震事件发生。考虑到矿山的开采技术条件及矿区整体的微震事件情况, 显然, -0.1 和 -0.3 级事件为大震级事件, 故将其发生前后时间设定为重点观测期。在 5 月 7 日之前, 能量指数对数和视体积均呈逐步增加的趋势, 在 5 月 8—9 日间, 能量指数开始快速下降, 围岩体积内的能量超过了围岩体的储能能力, 但考虑到视体积增加速率仅稍有增加, 岩体破裂仅发生在岩体内部, 诸多小尺度裂隙扩展形成大尺度裂隙, 但未形成具有宏观特征的岩体移动或冒落现象, 将其设定为观察期。在随后的几天, 能量指数又呈现出增加趋势, 视体积持续增加, 在 5 月 14—17 日间, 视体积突然迅速增加, 并在 2~3 天内几乎未有变化, 还伴随着能量指数迅速下降, 预示该中段的区域进入非稳定破坏阶段, 可能发生大尺度岩体破坏, 故将其设为大尺度岩体破坏预警期。接着, 视体积和能量指数均继续缓慢增加, 最终进入大尺度岩体破坏发生的危险期, 在进入岩爆危险期后第 13 天(5 月 30 日) 产生较大尺度的岩体破裂事件。

为进一步完善和确保预测的准确性, 再从 b 值角度出发, 对该区域风险进行评估(图 5)。从图 5 可以看出, b 值在 5 月 15 日之前始终保持较高水平, 并在逐步增加, 表明在这段时

间内, 小震级事件占绝大多数, 诱发的裂隙以小尺度裂隙为主。5 月 15 日之后, b 值开始快速下降, 能量释放率迅速增加, 说明在该时间段内, 大震级事件数目逐步增加, 诱发大量裂隙释放能量, 小裂隙大量迅速产生, 原有小裂隙破裂并逐步贯通合并为大裂隙。5 月 19 日, b 值下降至最低值, 在随后几天内, b 值回升速度缓慢, 表明在 19 日内岩体内部所有的裂隙发育至最大程度, 预示岩体产生表观位移, 最终失稳破坏。同理, 可以将 5 月 15—17 日作为矿岩失稳的预警期, 这与采用累积能量指数与视体积划分的预警期是一致的。

经现场调研, 这次地压活动发生在 3 带 4 线附近岩体和 3810 采场, 它们均发生局部的岩体冒落现象(图 6)。

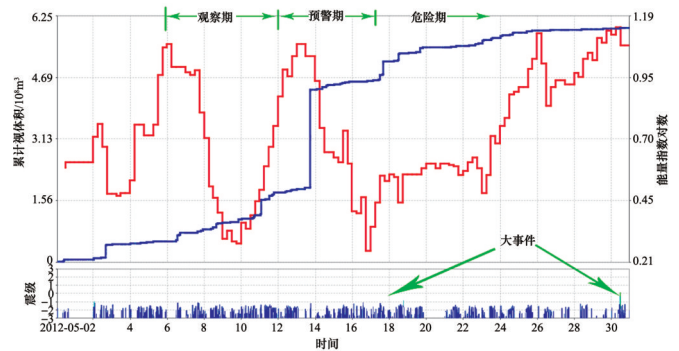


图 4 448 中段累计视体积、能量指数与时间关系曲线

Fig. 4 Cumulative apparent volume-log energy index-time relation curve of level 448

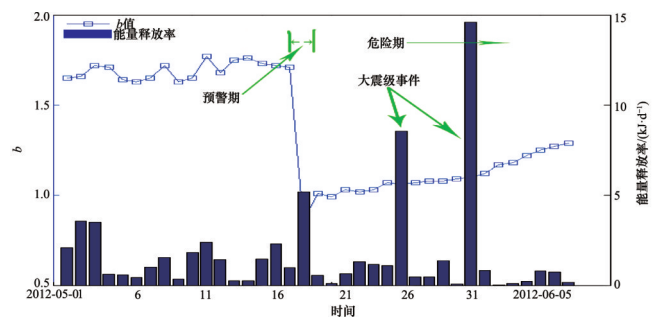


图 5 448 中段 b 值变化

Fig. 5 b value variation diagram of level 448



图 6 采场岩体破坏现场

Fig. 6 Stop site rock-mass damage field

4 结论

结合漂塘钨矿矿区的实际情况,通过微震监测网络对矿区存在的片帮、冒顶等地压事故灾害判定、识别。基于目前所获得的数据进行研究,结果发现,对于某一特定的区域,在某一时刻出现如下情况,表明岩体内部裂隙进入快速发育期:1) 能量指数突然迅速下降,累计视体积突然急剧上升,能量指数突然迅速下降,累计视体积突然急剧上升;2) 当 b 值突然下降,且能量释放率处于一相对较高水平。此时,矿山应加强监控和危险排查工作。

微震监测数据的时空分布规律能较好地反映围岩损伤演化的动态过程,为应用微震监测系统评价围岩失稳等地压灾害提供有力的工具。微震监测手段较于传统监测技术,具有实时、全局、全面等优点,必将成为今后重点研究和推广的手段之一。

参考文献(References)

[1] 王怀. 浅谈用异常岩屑法预防井内事故[J]. 中州煤炭, 2007, 145(1): 62-64.
Wang Huai. The research of mining accident preventin in the abnormal cuttings method[J]. Zhongzhou Coal, 2007, 145(1): 62-64.

[2] 张雯, 曹平. 某铜矿二次应力场的监控与分析[J]. 南华大学学报: 自然科学版, 2009, 23(1): 41-44.
Zhang Wen, Cao Ping. Monitoring and analysis of the secondary stress of copper mine[J]. Journal of Nanhua University: Science and Technology Edition, 2009, 23(1): 41-44.

[3] 李庶林, 尹贤刚, 王泳嘉, 等. 单轴受压岩石破坏全过程声发射特征研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(15): 2499-2503.
Li Shulin, Yin Xiangang, Wang Yongjia, et al. Studies on acoustic emission characteristic of uniaxial compressive rock failure[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(15): 2499-2503.

[4] 张茹, 谢和平, 刘建峰, 等. 单轴多级加载岩石破坏声发射特性试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(12): 2584-2589.
Zhang Ru, Xie Heping, Liu Jianfeng. Experiment study on acoustic emission characteristic of rock failure under uniaxial multilevel loading [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(12): 2584-2589.

[5] Potvin Y, Hudyma M R. Seismic monitoring in highly mechanised hardrock mines in Canada and Australia[C]//Proceedings of the Fifth International Symposium of Rockburst and Seismicity in Mines. Johannesburg: South African Institute of Mining and Metallurgy, 2001: 267-280.

[6] 李玉, 黄梅, 廖国华, 等. 冲击地压发生前微震活动时空变化的分形特征[J]. 北京科技大学学报, 1995, 17(1): 10-13.
Li Yu, Huang Mei, Liao Guohua, et al. Fractal character of the time-space change of micro-seismicity before coal outbursts or rock-bursts [J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 1995, 17 (1): 10-13.

[7] 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.
Li Shulin, Yin Xiangang, Zheng Wenda, et al. Research on multi-channel micro-seismic monitoring system and its application to Fan Kou Lead-Zinc Mine[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and

Engineering, 2005, 24(12): 2048-2053.

[8] 李庶林, 杨念哥. 凡口铅锌矿深部矿床地应力测试[J]. 矿业研究与开发, 2003, 23(4): 15-17.
Li Shunlin, Yang Niange. Strata Stress measurement for the deep ore body in Fan Kou Lead-Zinc Mine[J]. Mining Research and Development, 2003, 23(4): 15-17.

[9] 袁节平. 论柿竹园多通道微震监测技术研究的必要性. 采矿技术[J], 2011, 9(1): 66-69.
Yuan Jieping. The necessary research of multi-channel micro-seismic monitoring technology in Shizhuyuan Mine[J]. Mining Technology, 2011, 9(1): 66-69.

[10] 刘建坡. 深井矿山地压活动与微震时空演化关系研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2011.
Liu Jianpo. Studies on relationship between microseism time-space evolution and ground pressure activities in deep mine[D]. Shenyang: Northeastern University, 2011.

[11] 赵兴东, 石长岩, 刘建坡, 等. 红透山微震监测系统及其应用[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2008, 29(3): 399-402.
Zhao Xingdong, Shi Changyan, Liu Jianpo, et al. Application of micro-seismic monitoring system in Hongtoushan[J]. Journal of Northeastern University: Natural Science Edition, 2008, 29(3): 399-402.

[12] 袁节平. 论柿竹园多通道微震监测技术研究的必要性[J]. 采矿技术, 2011, 9(1): 66-69.
Yuan Jieping. The necessary research of multi-channel micro-seismic monitoring technology in Shizhuyuan Mine[J]. Mining Technology, 2011, 9(1): 66-69.

[13] 胡静云. 特大复杂采空区稳定性微震监测技术理论与应用研究[M]. 长沙: 长沙矿山研究院, 2011.
Hu Jingyun. Research of theory and application of micro-seismic monitoring technology on large complex gob stability[M]. Changsha: Changsha Mine Research Institute, 2011.

[14] 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.
Yang Chengxiang, Luo Zhouquan, Tang Lizhong. Study on rule of geostatic activity on micro-seismic monitoring technology in deep mine [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(4): 818-824.

[15] 唐绍辉, 潘懿, 黄英华, 等. 深井矿山地压灾害微震监测技术应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(S2): 3597-3603.
Tang Shaohui, Pan Yi, Huang Yinghua, et al. Application research of micro-seismic monitoring technology to Geo-stress Hazard in deep mine[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(S2): 3597-3603.

[16] 李瑞, 吴爱祥, 王春来, 等. 微震监测参数主要特征及关系的研究[J]. 矿业研究与开发, 2012, 30(6): 9-12.
Li Rui, Wu Aixiang, Wang Chunlai, et al. Study on the major characteristics and relationship of micro-seismic monitoring parameters[J]. Mining Research and Development, 2012, 30(6): 9-12.

[17] 任雪梅. 地震区划中B值统计的若干问题研究[D]. 北京: 中国地震局地球物理研究所, 2011.
Ren Xuemei. Study on estimation of b value on seismic zontion[D]. Beijing: Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, 2011.

(责任编辑 朱宇)