

基于微震监测的高强度开采工作面围岩响应规律

李 杨^{1,2}, 杨天鸿^{1,2}, 侯宪港^{1,2}, 汪 泓^{1,2}

(1. 东北大学 资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110819;

2. 东北大学 深部金属矿山安全开采教育部重点实验室, 辽宁 沈阳 110819)

摘 要: 将微震监测系统引入西部高强度开采的典型矿区——小纪汗煤矿, 实现了整个监测区域的“空间”监测, 更为全面地捕捉围岩内部破裂信息, 基于微震监测数据分析了煤矿工作面的矿压显现规律、岩层运动规律和围岩应力变形规律。结果表明: 随着 11203 工作面的不断开采, 微震事件的演化呈周期性变化, 与工作面矿压显现规律密切相关, 且周期来压平均步距为 23 m。划分得到了工作面“三带”的范围及工作面开采扰动影响范围, 为工作面的支护设计和灾害防治工作提供数据支撑。

关 键 词: 高强度开采; 矿压显现规律; 岩层运动规律; 微震监测

中图分类号: TD 325

文献标志码: A

文章编号: 1005-3026(2017)06-0854-05

Surrounding Rock Response Pattern of Working Face with High-Intensity Mining Based on Microseismic Monitoring

LI Yang^{1,2}, YANG Tian-hong^{1,2}, HOU Xian-gang^{1,2}, WANG Hong^{1,2}

(1. School of Resources & Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China; 2. Key Laboratory of Ministry of Education on Safe Mining of Deep Metal Mines, Northeastern University, Shenyang 110819, China. Corresponding author: YANG Tian-hong, E-mail: yang_tianhong@126.com)

Abstract: IMS microseismic monitoring system was employed in Xiaojihan coal mine, a typical high-intensity mining mine in Western China. The spatial monitoring of the whole monitoring area was realized and more comprehensive information of surrounding rock failure was captured. The mine pressure behavior, strata movement, and the stress and deformation around the surrounding rock mass were analyzed based on microseismic monitoring. The results showed that the microseismic events evolved periodically with the continuous mining of 11203 working face, which is closely related to the mining pressure behavior in the working face, and the average periodic weighting length is 23 m. The height of “three zones” and the influence range of mining disturbance in the working face could provide help for support design and disaster prevention.

Key words: high-intensity mining; mine pressure behavior; strata movement; microseismic monitoring

岩体在变形破坏的整个过程中几乎都伴随着裂纹的产生、扩展、摩擦、能量积聚, 以应力波的形式释放能量, 从而产生微震事件。微震监测是通过监测岩体破裂产生的震动, 对监测对象的破坏状况、安全状况等作出评价的技术方法。到 20 世纪中叶, 波兰、南非、美国、加拿大等采矿大国先后开展了大量应用^[1-3]。我国近些年来也积极开展了矿山地压活动的微震监测研究工作。唐礼忠等^[4]

在冬瓜山铜矿引进了南非 ISS 地震监测系统以实现岩层活动的连续监测和岩爆的实时预报, 研究了深井开采地压活动规律。姜福兴等^[5]开发了具有自主知识产权的微震监测系统, 并应用于煤矿突水监测预报中。赵兴东等^[6-7]在红透山铜矿建立了微震监测系统, 并对其矿山动力灾害进行了预测研究。唐春安等^[8]通过锦屏一级水电站左岸边坡微震监测系统研究了边坡微震活动性规律。冯夏

收稿日期: 2016-01-15

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(2013CB227902)。

作者简介: 李 杨(1986-), 男, 甘肃武威人, 东北大学博士研究生; 杨天鸿(1968-), 男, 辽宁抚顺人, 东北大学教授, 博士生导师。

庭等^[9]开展了锦屏Ⅱ级水电站深埋隧洞TBM施工的微震监测工作,探讨了TBM掘进过程中岩爆预测预报的可行性。

当前,我国煤炭资源开发的重心已经转移到西部.由于西部特有的自然地理、地质结构和生态环境,在大规模高强度开采中存在着严重的地质灾害和环境损伤问题,引起了国家高度重视.为实现安全生产,开展高强度开采条件下的岩体破坏和地压活动规律研究显得迫切而重要.传统的应力、位移等监测方式是基于有限区域的“点”监测,无法涵盖整个开采空间的围岩破裂信息,而微震监测能够实现整个监测区域的“空间”监测,能够更全面地揭示工作面围岩内部的破裂特征和运动规律,并且设备数量少,安装便捷,读取数据方便且能实时查看,能够节省大量人力和物力.西部高强度开采矿区的微震监测研究较为鲜见,本文将微震监测系统引入西部高强度开采的典型矿区,开展全过程围岩变形、破坏的实时监测,为高强度开采条件下顶板失稳及灾害防治研究提供现场依据,并为西部高强度开采工作面的微震研究提供借鉴.

1 小纪汗煤矿概况

小纪汗煤矿为国家规划的“陕北侏罗纪煤田榆横矿区(北区)”第一个千万吨级现代化矿井,地处榆林市城西12 km,位于榆林市榆阳区小纪汗乡.小纪汗煤矿井田面积251.75 km²,地质储量31.7亿t,可采储量18.9亿t.井田地质构造简单,煤层倾角小于1°,属水平煤层,低瓦斯矿井.

11203综采工作面是小纪汗煤矿的首采面,11203工作面煤层底板标高为826~890 m,地面标高为1 208~1 225 m.工作面回撤前推进长度2 651.2 m,工作面长240 m.11203工作面煤层倾角0~1°,平均倾角0.7°;煤层厚度1.6~2.95 m,平均厚度2.67 m.老顶和直接顶平均厚度分别为7.53 m和3.49 m,直接底平均厚度为4.39 m.

实行“三八”制的作业形式,即两个生产班和一个检修班,早班保证割煤2刀,其余时间检修,中、夜班全班生产,每个生产班割煤5刀,采煤机的实际截深为865 mm.11023工作面的回采速度可达到10 m/d,属于高强度开采,故选取此工作面具有典型代表意义.

2 微震监测系统的建立

针对高强度开采工作面割煤高度、推进速度

和工作面长度等方面的特点,选择实时性好、敏感性强的南非IMS微震监测系统作为主要的监测手段.该系统的硬件主要分为三个部分,即传感器、数据采集器和数据通信部分(见图1和图2).

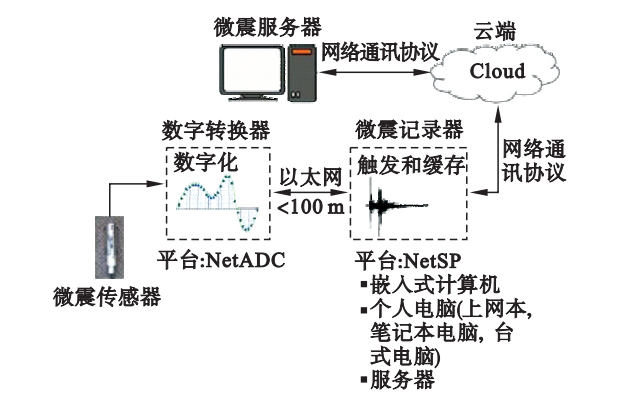


图1 IMS微震监测系统网络^[10]
Fig. 1 IMS microseismic monitoring system network^[10]



图2 IMS微震系统的主要组成部分
Fig. 2 Main parts of IMS microseismic system

根据煤矿工作面开采特点,选择固有频率为14 Hz,响应范围为12~2 000 Hz,监测范围可达数百米的速度型传感器较为合适.再考虑到岩体破裂的空间特征及传感器安装的便利性,对传感器布置进行综合优化,对于8通道数据采集仪而言,采用5个单分量和1个三分量传感器较为合理.在11203工作面的辅运顺槽安装了6个微震传感器,第一个传感器距工作面切眼100 m,6个传感器的间距为40 m,第4个传感器为三分量传感器,如图3所示.

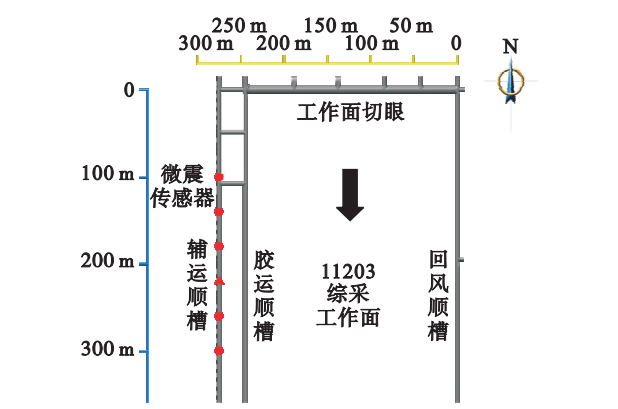


图3 微震监测具体布置方案
Fig. 3 Specific arrangement of microseismic monitoring

3 微震活动性与采矿活动的特征分析

利用微震监测系统对小纪汗煤矿 11203 工作面高强度开采过程中的微震信号进行分析,研究微震事件的演化特征及其与围岩破坏的关系.

3.1 微震事件的动态发展规律

本文选取 2013 年 8 月 20 日到 10 月 18 日的微震事件作为研究对象,其中 10 月 5 日到 8 日由于设备故障,数据出现中断. 整个监测期间,每天均有定位的微震事件产生,且共监测到微震定位事件 3 245 个. 图 4 和图 5 为 8 月 31 日至 9 月 10 日的微震监测定位结果(9 月 2 日设备故障中断),相邻两条平行线间距为 50 m,黑色箭头为工作面推进方向.

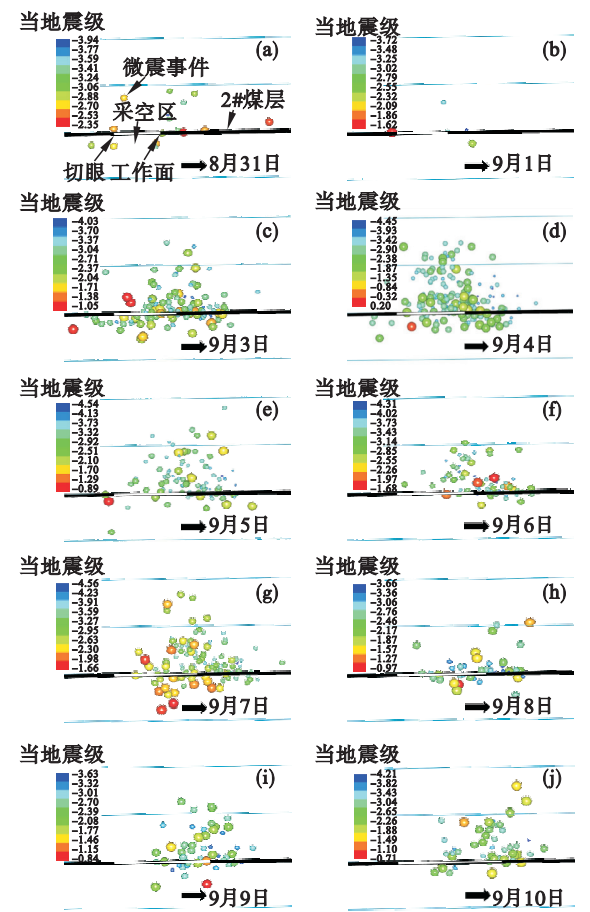


图 4 8 月 31 日至 9 月 10 日微震事件沿走向动态分布
Fig. 4 Distribution of microseismic events along the strike from Aug. 31st to Sep. 10th
(a)—8 月 31 日; (b)—9 月 1 日; (c)—9 月 3 日; (d)—9 月 4 日; (e)—9 月 5 日; (f)—9 月 6 日; (g)—9 月 7 日; (h)—9 月 8 日; (i)—9 月 9 日; (j)—9 月 10 日.

如图 4 所示,微震事件分布的不同位置对应了顶板岩层不同的断裂位置.8 月 31 日至 9 月 1

日产生的微震事件均不多,零星分布在工作面周围,微震事件距煤层的最大高度为 40 m 左右.9 月 3 日至 5 日微震事件的数量出现急剧增加,说明此期间发生了工作面顶板的初次来压,且微震事件的最大高度可达 92 m.9 月 6 日,微震事件数量产生一定回落,微震事件的最大高度也减小为 54 m,初次来压结束.9 月 7 日,微震事件数量上升,破裂高度达到 85 m,则为顶板发生第一次周期来压.9 月 8 日至 9 日,微震事件在数量上和破裂高度上又产生周期性回落.9 月 10 日,破裂高度又上升至 83 m,此为顶板的第二次周期来压.

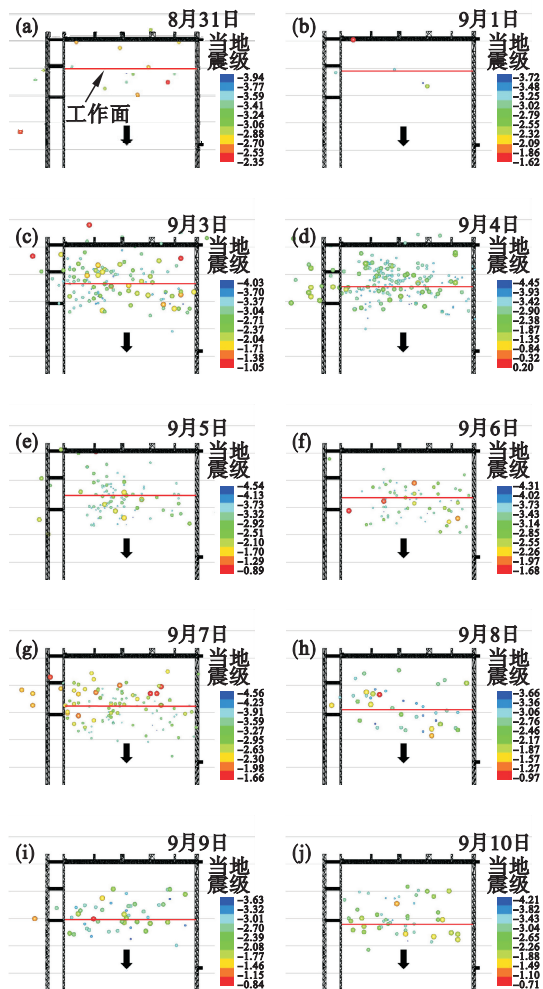


图 5 8 月 31 日至 9 月 10 日微震事件平面投影的动态分布(相邻两条平行线间距为 50 m,红色直线为工作面位置)
Fig. 5 Distribution of microseismic events on plane projection from Aug. 31st to Sep. 10th
(a)—8 月 31 日; (b)—9 月 1 日; (c)—9 月 3 日; (d)—9 月 4 日; (e)—9 月 5 日; (f)—9 月 6 日; (g)—9 月 7 日; (h)—9 月 8 日; (i)—9 月 9 日; (j)—9 月 10 日.

如图 5 所示,微震事件分布的不同位置对应了工作面前后围岩不同的破坏位置.8 月 31 日至 9 月 1 日,在工作面初次来压前,微震事件较少,

分布范围也较小.9月3日至5日,初次来压期间,微震事件数激增,开采影响范围也明显增大,工作面前方微震事件主要集中在40 m左右范围内.9月6日至10日,微震事件数和影响范围出现周期性变化,主要集中在工作面前方25~40 m范围内.

3.2 基于微震监测的矿压显现规律

微震事件数的变化趋势如图6所示.9月3日之前,每天产生的微震事件数很少,均在25以下.而9月3日微震事件数骤然上升,说明工作面顶板出现大范围破坏,即发生初次来压.初次来压之后,每天产生的微震事件数均处于较高水平,但有上升下降的变化出现,应该与工作面的周期来压有关.

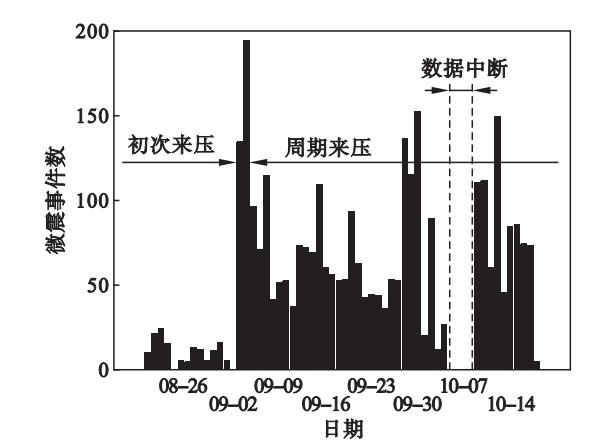


图6 微震事件数变化规律
Fig. 6 Changes of microseismic events number

每天产生的微震事件是由采矿活动引起的,所以微震活动与矿压特征一样,也应该具有周期变化的规律.以8月20日至9月20日为例,图7绘制了每天微震事件的最大破裂高度,即为工作面上覆岩层的破坏范围,通过其研究工作面周期来压的特征.9月3日发生初次来压,来压步距为65.6 m.从9月3日至20日,共发生了六次周期来压,来压步距为16~25.6 m,平均23 m.

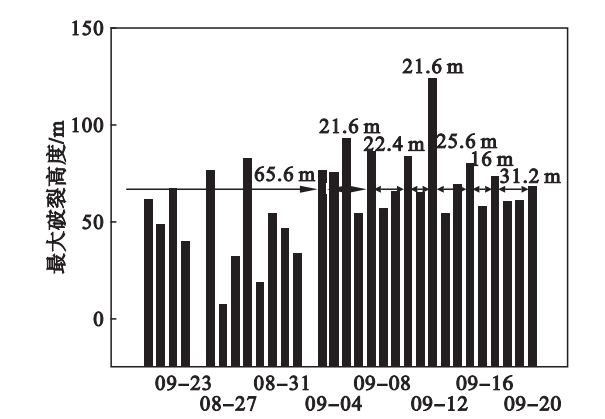


图7 工作面周期来压规律
Fig. 7 Periodic weighting at the working face

3.3 基于微震监测的顶板岩层运动规律

图8为沿工作面倾向的微震事件定位分布,可以看出工作面在垂直方向的采动影响范围为120 m(顶板80 m,底板40 m).在胶运顺槽和辅运顺槽之间有25 m宽的煤柱,工作面垮落在煤柱处会产生应力集中,故出现了微震事件集中区.在工作面中间的顶板处也出现了微震集中区,是煤体采出后形成顶板暴露而产生拉应力集中导致的.

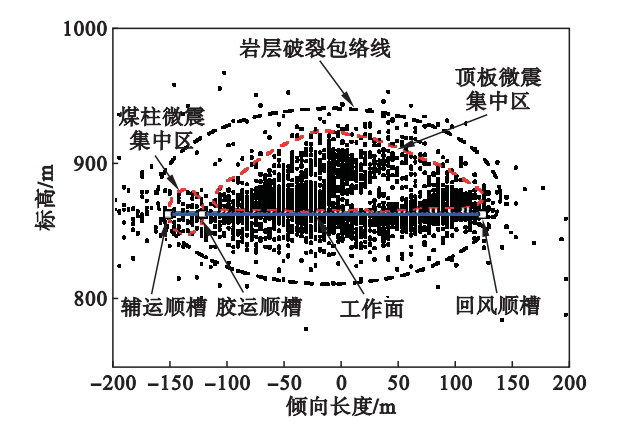


图8 工作面采动影响范围
Fig. 8 Mining influence range of working face

从图9中可以看出采场覆岩的“三带”分布规律.在煤层上方的微震事件可以根据其分布的疏密程度,大致划分出顶板的“三带”范围,垮落带、裂缝带和弯曲带分别为15,32和42 m.其中,垮落带和裂缝带合称“两带”,又称为“导水裂隙带”,意指上覆岩层含水层位于“两带”范围内,将会导致岩体水通过岩体破断裂缝流入采空区和回采工作面,对工作面防治水工作有重要指导作用.“两带”的高度和岩性与煤层采高有关,覆岩岩性越坚硬,“两带”高度越大.小纪汗煤矿顶板属于中硬岩层,其“两带”高度应为采高的12~18倍^[11],即32.04~48.06 m.微震监测结果得到的“两带”高度为47 m,与理论结果一致.

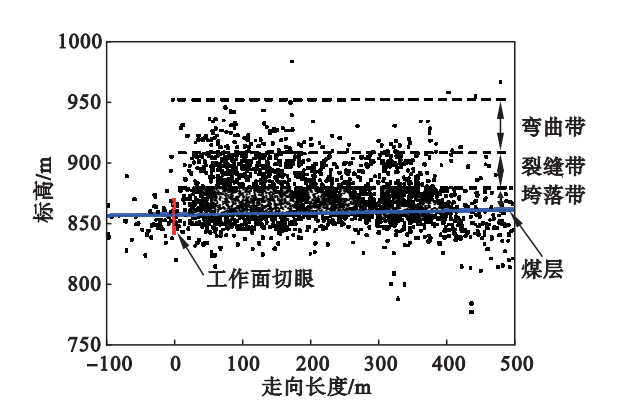


图9 采场上覆岩层“三带”范围
Fig. 9 Division of “three zones”

3.4 开采扰动围岩应力变形演化规律

工作面煤体采出会对围岩产生扰动,导致应力重分布.图 10 和图 11 表示 8 月 20 日~9 月 18 日和 8 月 20 日~10 月 18 日的能量指数与位移云图分布(红色直线为工作面位置).能量指数表示微震事件发生时震源的驱动应力大小,位移表示震源的岩体变形大小.从图 10 和图 11 中可看出,随着工作面的开采,从切眼到工作面位置范围内的驱动应力变化较小,而位移量变化较大,且随着开采不断发展,但大变形基本都在顶板冒落范围内,属于正常采矿活动引起的,即围岩稳定性较好,只是在煤柱的局部区域受冒落影响可能产生小范围的冒顶片帮.

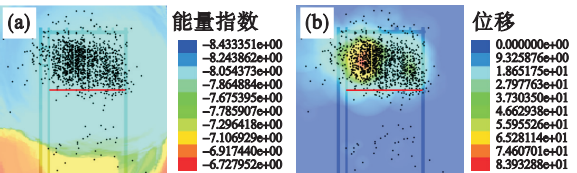


图 10 8 月 20 日~9 月 18 日能量指数和位移分布云图
Fig. 10 Cloud charts distribution of energy index and displacement from Aug. 20th to Sep. 18th
(a)—能量指数云图; (b)—位移云图.

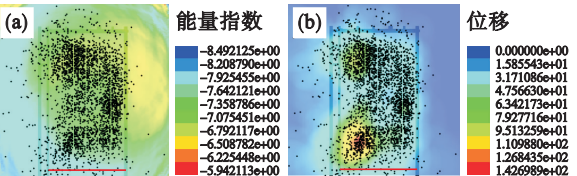


图 11 8 月 20 日~10 月 18 日能量指数和位移分布云图
Fig. 11 Cloud charts distribution of energy index and displacement from Aug. 20th to Oct. 18th
(a)—能量指数云图; (b)—位移云图.

4 结 论

将微震监测系统引入小纪汗煤矿,实现了整个监测区域的“空间”监测,为西部高强度开采的微震监测提供借鉴.通过微震监测可以分析得到工作面来压步距、开采扰动影响范围、覆岩“三带”范围、导水裂隙带高度及围岩应力变形分布等,为高强度开采工作面的支护设计和灾害防治工作提供数据支撑.分析结果表明,微震监测可以作为研究分析工作面矿压显现规律、顶板岩层运动规律和围岩应力变形规律的一种新方法.

参考文献:

[1] Gibowicz S J, Kijko A. An introduction to mining seismology [M]. San Diego: Academic Press, 1994.

[2] Young R P, Collins D S. Seismic studies of rock fracture at the underground research laboratory, Canada [J]. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2001, 8: 787 – 799.

[3] Ge M C. Efficient mine microseismic monitoring [J]. *International Journal of Coal Geology*, 2005, 64: 44 – 56.

[4] Tang L Z, Xia K W. Seismological method for prediction of areal rockbursts in deep mine with seismic source mechanism and unstable failure theory [J]. *Journal of Central South University of Technology*, 2010, 17: 947 – 953.

[5] 姜福兴, 叶根喜, 王存文, 等. 高精度微震监测技术在煤矿突水监测中的应用 [J]. *岩石力学与工程学报*, 2008, 27 (9): 1932 – 1938.

(Jiang Fu-xing, Ye Gen-xi, Wang Cun-wen, et al. Application of high-precision microseismic monitoring technique to water inrush monitoring in coal mine [J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2008, 27 (9): 1932 – 1938.)

[6] 赵兴东, 李元辉, 刘建坡, 等. 红透山矿深部开采岩爆潜在区微震活动性研究 [J]. *东北大学学报(自然科学版)*, 2009, 30 (9): 1330 – 1333.

(Zhao Xing-dong, Li Yuan-hui, Liu Jian-po, et al. Study on microseismic activity in potential rockburst zone during deep excavation in Hongtoushan mine [J]. *Journal of Northeastern University (Natural Science)*, 2009, 30 (9): 1330 – 1333.)

[7] Liu J P, Feng X T, Li Y H, et al. Studies on temporal and spatial variation of microseismic activities in a deep metal mine [J]. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2013, 60: 171 – 179.

[8] Tang C A, Wang J M, Zhang J J. Preliminary engineering application of microseismic monitoring technique to rockburst prediction in tunneling of Jinping II project [J]. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2010, 2: 193 – 208.

[9] Feng X T, Chen B R, Li S J, et al. Studies on the evolution process of rockbursts in deep tunnels [J]. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2012, 4: 289 – 295.

[10] 北京盛科瑞仪器有限公司. 微震监测系统 [EB/OL]. [2016 – 01 – 15]. <http://www.scrgeo.com/html/28/product67.html>.

(Beijing SCR Instruments Ltd. Microseismic monitoring system [EB/OL]. [2016 – 01 – 15]. <http://www.scrgeo.com/html/28/product67.html>.)

[11] 钱鸣高, 石平五. 矿山压力与岩层控制 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.

(Qian Ming-gao, Shi Ping-wu. Mining pressure and strata control [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2003.)