

文章编号:1671-251X(2016)05-0036-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2016.05.009

李国爱,李忠辉,娄全,等.瓦斯喷孔过程声发射响应规律研究[J].工矿自动化,2016,42(5):36-40.

瓦斯喷孔过程声发射响应规律研究

李国爱^{1,2}, 李忠辉^{1,2}, 娄全^{1,2}, 李学龙^{1,2}, 张伟强^{1,2}

(1.煤矿瓦斯与火灾防治教育部重点实验室,江苏 徐州 221116;

2.中国矿业大学 安全工程学院,江苏 徐州 221116)

摘要:为预防石门揭煤过程中可能诱发的突出危险,基于声发射监测系统,对某矿石门揭煤过程中瓦斯喷孔时的声发射活动进行了测试和分析。分析研究结果表明,声发射强度通常在喷孔发生前2~3 h迅速升高,峰值强度可达到无突出危险时的2~3倍,在喷孔发生前又突降至较低水平;喷孔越严重,声发射强度值越高;声发射强度变化的幅度能够反映喷孔严重性,喷孔动力现象越明显,瓦斯体积分数变化越剧烈,煤岩体声发射强度增长率越大且峰值强度越高。该分析研究结果对石门揭煤中突出危险性的监测预报有重要的参考意义。

关键词:石门揭煤;喷孔;声发射;前兆规律;应力集中

中图分类号:TD713 文献标志码:A 网络出版时间:2016-04-29 11:24

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20160429.1124.009.html>

Study of response regularity of acoustic emission in gas jet orifice

LI Guo'ai^{1,2}, LI Zhonghui^{1,2}, LOU Quan^{1,2}, LI Xuelong^{1,2}, ZHANG Weiqiang^{1,2}

(1.Key Laboratory of Gas and Fire Control for Coal Mines of Ministry of Education, Xuzhou 221116, China;

2.School of Safety Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116 China)

Abstract: In order to prevent danger of coal and gas outburst in process of rock cross-cut coal uncovering, tests and analysis on acoustic emission in rock cross-cut coal uncovering process in a coal mine were conducted based on acoustic emission monitoring system. The analysis and research results indicates that acoustic emission intensity increases rapidly in 2-3 hours before jet orifice occurred, peak strength can reach 2-3 times higher than that no outburst danger, then dropped to lower level before jet orifice occurred. The more serious the jet orifice was, the higher the intensity of acoustic emission was. The variation range of the acoustic emission intensity could reflect severity of the jet orifice, the more obvious the jet orifice was, the more severe the changes of gas concentration was, the greater the growth rate of coal and rock acoustic emission intensity was and the higher the peak intensity was. The analysis and research results have important reference significance for monitoring and forecasting of coal outburst risk in rock cross-cut coal uncovering.

Key words: rock cross-cut coal uncovering; jet orifice; acoustic emission; precursor law; stress concentration

收稿日期:2015-12-22;修回日期:2016-01-27;责任编辑:张强。

基金项目:国家自然科学基金项目(51574231);教育部科学技术研究项目(113031A);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2014ZDPY23);江苏省研究生培养创新工程项目(KYLX15_1429)。

作者简介:李国爱(1990—),男,河南林州人,硕士研究生,研究方向为矿山煤岩动力灾害,E-mail:lga_2014@163.com。

0 引言

随着煤矿开采深度和开采强度日益增大,煤与瓦斯突出的危险性也日趋严重。由于石门揭煤中瓦斯存储条件的特殊性,导致其发生煤与瓦斯突出的平均强度和破坏性都是各类突出事故中最大的,突出一旦发生,带给矿井的灾难将是巨大的^[1]。因此,石门揭煤工作是煤与瓦斯突出预测的重点。

在石门揭煤防突工程中,国内外常用到的预测方法有综合指标 Π_0 、B综合指标法^[2]、D、K综合指标法^[3]、钻屑指标法和钻孔瓦斯涌出速度结合瓦斯涌出衰减系数法^[4]等单项指标法。这些静态突出预测方法在石门揭煤突出预测中得到了广泛的应用,但存在着通用性和相关性差、准确性低、费用高的问题。所以,目前用来预测突出危险的动态连续预测方法越来越受到重视。常用的动态连续预测方法有电磁辐射、微震、采场压力变化、瓦斯涌出特征、声发射等^[5],可实现实时、连续的预测。早在20世纪40年代,美国用声发射技术和监测系统对岩爆进行了预测;在20世纪80年代,英国采用声发射突出预测系统在南威尔士煤田的Cynheire矿进行了煤与瓦斯突出预测的试验^[6-7]。近年来,俄罗斯研究人员发现突出危险带声发射信号频率比非突出危险带声发射信号频率窄,且突出危险带声发射信号多集中在高频范围^[8]。石显鑫等^[9]研究认为,声发射的总事件、大事件和能量参数能较好地反映声发射活动特征,总事件的增多、大事件的急剧增加,是突出发生的预兆。贺虎等^[10]分析了煤岩体损伤破坏与声发射之间的耦合关系,论述了利用声发射评价冲击矿压危险的可行性。曹树刚等^[11]对突出煤样破坏全过程声发射进行了研究,通过对比分析声发射的表征参数,发现声发射振铃事件可作为煤岩动力灾害预测的重要参数之一。王恩元等^[12]将声电监测预警系统应用于煤与瓦斯突出监测预警,取得了较好的预警效果,显著提高了突出预警准确率。

以上研究表明,国内外广大科研工作者在实验室和现场对突出煤岩体破坏时声发射特征进行了大量研究,取得了卓有成效的成果,但研究声发射监测在石门揭煤中应用的较少。由于石门揭煤的复杂性和地质条件的多样性,且石门揭煤过程是发生突出危险的重要区域,所以,本文对石门揭煤过程中的瓦斯喷孔进行了声发射监测,分析了声发射在喷孔发生前后时间和强度上的变化规律,探讨了喷孔动力现象与声发射响应的内在动力学演化规律,为预防

喷孔的发生和突出危险的发生提供声发射依据。本研究成果对石门揭煤中突出危险性的监测预报有一定的参考意义。

1 现场测试

1.1 测试地点概况

现场测试是在河北某矿进行,该矿可采与局部可采煤层共7层,分别是5、7、8、9、11、12₁和12₂煤层,主要分布于煤系地层中部的二叠系下统大苗庄组和石炭系上统赵各庄组。其中主要可采煤层为7、9和12₁煤层,均属复结构的中厚~厚煤层。该矿水文地质条件属中等型,其中5煤层顶板及12₁煤层、14煤层砂岩裂隙含水层含水性较强,是采掘、开拓工作面的主要充水水源。

声发射系统应用在该矿的-850主石门揭煤,-850主石门位置如图1所示。该主石门位于三水平首采区——十四采区,为衔接-1100~-850暗立井的重要开拓工程,位于-850西大巷西北方向,开口处在-850西大巷W14点前24.9 m。-850主石门所在的5煤层受断层和原始沉积的影响,煤层厚度不稳定,煤厚为0.2~5.2 m,平均厚度为2.26 m,顶板为灰黑色泥岩,厚度为0.5 m,底板为深灰色粉砂岩,厚度为1.2 m。岩层倾角较缓,平均为8°。5煤层受断层和地应力的影响,煤层松软易碎,硬度较小,根据施工的地质探查钻孔以及地面钻孔测得5煤层普氏系数为0.19~0.39,瓦斯放散初速度为17.3~23.8 mL/s,瓦斯含量为2.26~10.05 m³/t。

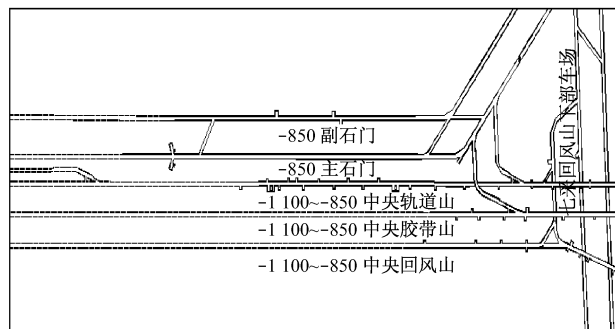


图1 -850主石门位置

1.2 现场测试方案

为对揭煤过程中的突出危险性进行有效监测预警,该矿安装了GDD12声电瓦斯同步监测系统,系统包括声发射传感器、电磁辐射传感器、主机及其他相关部分。该系统可进行煤与瓦斯突出在线式监测,具有探测范围广、灵敏度高、安装简洁方便等特

点,监测仪器可通过分站接入井下环网,再通过交换机将数据上传至井上的监控中心,便于及时查看和分析。主机和传感器都要随工作面的推进同步前移。由于声发射传感器探测距离为 7~22 m,所以,将声发射探头用专用夹具固定在距离工作面 5 m 的波导杆上,监测仪器和传感器也要随工作面的推进同步前移。现场监测仪器布置如图 2 所示。

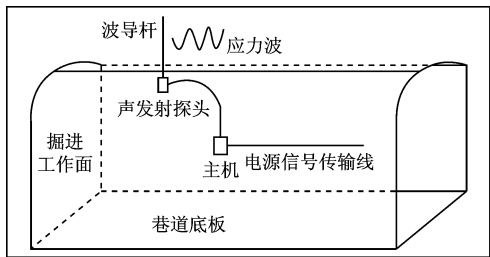


图 2 现场监测仪器布置

2 瓦斯喷孔声发射响应规律分析

2.1 瓦斯喷孔发生前后声发射响应规律

瓦斯喷孔是一种典型的突出危险显现现象,本文结合现场打钻过程中喷孔发生前后声发射响应规律进行分析。瓦斯喷孔发生前后声发射强度变化与瓦斯体积分数对比如图 3—图 5 所示。

图 3 中,11:30 左右发生了一次喷孔现象,这次喷孔发生时,瓦斯体积分数突然升高,由 0.02% 跃升至 0.35%,在相对瓦斯体积分数较高的环境下持续时间约为 90 min,这个过程前期伴有少量的煤喷出。这次喷孔发生前声发射强度出现了明显的反应,在发生喷孔 3 h 前的声发射稳定期内,声发射强度一直在 50 mV 左右波动,在喷孔前 3 h 内(08:00)声发射强度开始出现升高,2 h 内(09:30)达到最高 200 mV 左右,然后下降再升高,总体呈现波动型变化趋势。11:30 喷孔开始发生,在 12:00,瓦斯体积分数达到最高,喷孔发生后声发射强度在 100 mV 左右平稳波动,但这个时间段内的声发射强度要高于发生异常前的稳定值,约为声发射稳定期内的 2 倍。

图 4 中,5 月 23 日凌晨发生了一次喷孔现象,本次喷孔瓦斯体积分数最高达到 0.40%,持续时间约为 3 h,而且喷出的煤量较多。这次喷孔发生前声发射变化规律:在喷孔发生 3 h 前,即稳定期声发射强度基本维持在 75 mV 左右,前 2.5 h 左右(23:30),声发射强度开始出现异常升高,在前 1.5 h 左右(00:30)达到最高的 240 mV,然后开始出现下降,喷孔发生前 0.5 h 左右(01:30)降到

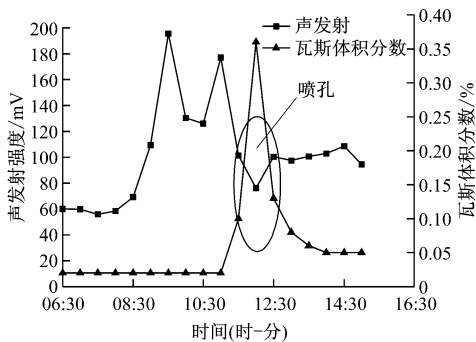


图 3 5 月 15 日喷孔发生前后声发射强度变化与瓦斯体积分数对比

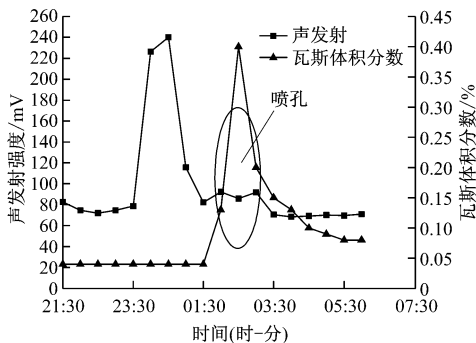


图 4 5 月 23 日喷孔发生前后声发射强度变化与瓦斯体积分数对比

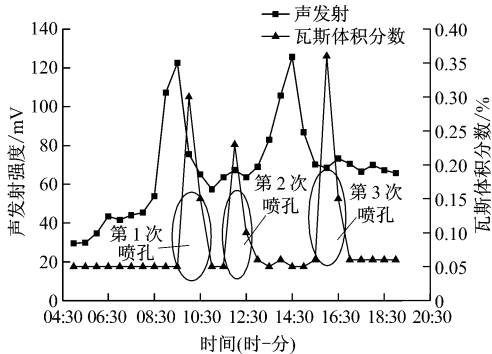


图 5 5 月 26 日喷孔发生前后声发射强度变化与瓦斯体积分数对比

80 mV 左右。02:00 发生喷孔,在 02:30 瓦斯体积分数升到最高,喷孔后声发射强度在 75 mV 附近波动,与异常前强度基本持平。

2015 年 5 月 26 日发生了一次间歇性多次喷孔事件(图 5),第 1 次喷孔开始的时间是 10:00 前,瓦斯体积分数突然从 0.05% 异常升高到 0.3%,接着在 12:00 前和 16:00 前发生了第 2、3 次喷孔事件,且第 3 次瓦斯体积分数最高达 0.36%,从瓦斯体积分数和现场喷煤量的情况来看,这 3 次喷孔事件中,第 3 次喷孔能量最大。在 2 次较大喷孔发生前,声发射强度都有较为明显的变化。从图 5 可以看出,10:00 前(第 1 次喷孔前),声发射强度呈阶梯状上

升,提前 2 h(08:00)声发射强度开始出现异常升高现象,喷孔前 30 min(09:30),声发射强度升到最高 122 mV,并在喷孔前(10:00)降低到 75 mV 左右。在 12:00 前,即这次小规模喷孔前后,声发射强度变化幅度不明显。在 16:00 前,即这次喷孔发生前,声发射强度提前 3 h(13:00)开始出现异常升高,并在前 1.5 h 内(14:30)升到最高 125 mV,然后出现规律性的下降,在喷孔前 30 min(15:30)降到 70 mV 左右。16:00 发生喷孔后,声发射强度在 70 mV 左右变化,较出现异常前有较大幅度升高。26 日的 2 次声发射异常都提前瓦斯异常 2~3 h 出现变化且有较强的规律性。

2.2 瓦斯喷孔事件声发射响应规律分析

从图 3—图 5 可以得出,3 次喷孔前,声发射强度都有很明显的前兆变化,在喷孔前的 2~3 h,声发射强度开始出现异常升高现象,而且在升高之前都处于一个相对平稳的状态,没有出现大的波动,声发射强度峰值是平稳时期强度的 2~3 倍,在喷孔发生前期,声发射强度又恢复到一个相对稳定的值。这个前兆反应说明现场的声发射监测能够对煤岩动力现象的发生做出很好的提前响应。当声发射强度出现类似的变化趋势时,应该加强掘进工作面前方的安全检查,注意掘进工作面前方的施工安全,防范煤与瓦斯突出危险的发生。

比较 15 日、23 日、26 日 3 次动力喷孔现象,从瓦斯体积分数、声发射信号变化方面和喷孔的持续时间和规模方面可以发现,声发射信号对瓦斯喷孔显现具有明确的响应,当煤体声发射强度和瓦斯体积分数呈现快速增长时,说明掘进工作面前方瓦斯喷孔危险性逐渐增强,需要进一步做好突出防范措施。

从这 3 次动力事件中可以看出,声发射强度可以从 2 个不同方面反映出喷孔动力的大小:① 声发射峰值强度越高,喷孔动力现象越明显;② 声发射峰值强度较稳定期内强度增加倍数越多,喷孔动力现象越严重。

3 声发射强度与瓦斯体积分数变化关系

从声发射强度和瓦斯体积分数变化的观测结果可以看出,前兆变化很明显,主要原因是打钻扰动了前方原本封闭、平衡的煤岩体,瓦斯迅速解析产生很大的瓦斯压力,使深部煤岩体发生破裂,产生应力波,积蓄的能量越高,破裂越严重,声发射强度越强。当钻杆钻进到破裂的煤岩体时,喷孔发生,能量得到释放,声发射强度迅速恢复到较低水平。

3.1 声发射强度增长速率与瓦斯体积分数变化的关系分析

声发射强度增长速率最大值与瓦斯体积分数变化的关系见表 1。从表 1 可以看出,瓦斯体积分数变化大,声发射强度增长速率快,两者的变化不是直接的线性关系,但具有较好的吻合一致性。从表 1 中喷孔声发射强度增长速率对比可以发现,声发射强度增长速率越快,喷孔动力现象越明显;26 日声发射强度增长速率没有前 2 次增长速率快,且瓦斯体积分数变化差值比 15 日和 23 日变化小,这是因为这次是间断式多次喷孔,能量得到了缓慢的释放,但从总体能量来看,26 日喷孔规模要强于前 2 次,所以,声发射强度增长速率能部分反映出喷孔强度变化,声发射强度增长速率越快,喷孔动力越强。

表 1 声发射强度增长速率最大值与瓦斯体积分数变化的关系

日期(月-日)	瓦斯体积分数/%	声发射强度增长速率/(mV·min ⁻¹)
05-15	0.34	2.96
05-23	0.36	4.95
05-26	0.25	1.78
	0.31	0.76

3.2 声发射与瓦斯涌出关系探讨

根据现场情况和地质条件分析,可得出声发射与瓦斯涌出之间的主要关系:① 石门揭煤巷道处于-850 m,水平埋深大,地应力较大,很容易造成应力集中现象,引起内部煤岩层的断裂,产生声发射应力波,打钻过程内部地应力通过瓦斯喷出得到释放,所以,声发射要提前于瓦斯体积分数变化;② 掘进工作面地质条件复杂,在其前方和顶部不远处就是 3 m 厚的煤层,煤质软,瓦斯含量高,瓦斯压力大,在卸压过程中很容易造成煤岩体的破坏,产生震动。

4 结语

对石门揭煤过程中的瓦斯喷孔进行了声发射监测,分析了瓦斯喷孔发生前后声发射响应规律、声发射强度增长速率与瓦斯体积分数变化关系,得出了如下结论,为预防瓦斯喷孔和突出危险的发生提供了一定的帮助。

(1) 石门揭煤过程中,声发射强度通常在喷孔发生前 2~3 h 迅速升高,峰值强度达到平稳时期的 2~3 倍,在喷孔发生前又降低到一个低值并小幅度变化。

(2) 声发射强度前兆变化反映了喷孔动力的大

小,声发射峰值强度越高,喷孔动力现象越明显;声发射峰值强度较稳定期内强度增加倍数越多,喷孔动力现象越严重;声发射强度增长速率越快,喷孔动力越强。

(3) 地质构造复杂,地应力集中,煤层较软,瓦斯含量及瓦斯压力大,喷孔前煤岩体破裂释放能量等导致声发射强度变化超前于瓦斯体积分数升高。

参考文献:

[1] 俞启香. 矿井瓦斯防治[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,1992.

[2] 李建铭. 煤与瓦斯突出防治技术手册[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2006:204-210.

[3] 中华人民共和国煤炭工业部. 防治煤与瓦斯突出细则[M]. 北京:煤炭工业出版社,1995.

[4] 于不凡. 国内外煤和瓦斯突出日常预测研究综述[R]. 重庆:煤炭科学研究总院重庆分院,1987.

[5] 李俊亮. 声发射预测煤与瓦斯突出危险性技术研究[D]. 西安:西安科技大学,2009.

[6] SATOSHI F, WATANABE Y. Relation between bit diameter and AE activities during boring in coal

seam; study on acoustic activity due to advance boring in coal seam[J]. Journal of the Mining and Metallurgical Institute of Japan, 1988, 104 (1201): 871-875.

[7] GIBOWIEZ S J, KIJKO A. 矿山地震学引论[M]. 修济刚,译. 北京:地震出版社,1998:56-71.

[8] LOCKNER D A. The roles of acoustic emission in the study of rock fracture [J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science and Geomechanics Abstracts,1993,30(7):883-899.

[9] 石显鑫,蔡栓荣,冯宏,等. 利用声发射技术预测预报煤与瓦斯突出[J]. 煤田地质与勘探,1998,26(3): 60-65.

[10] 贺虎,窦林名,巩思园,等. 冲击矿压的声发射监测技术研究[J]. 岩土力学,2011,32(4):1262-1268.

[11] 曹树刚,刘延保,张立强. 突出煤体变形破坏声发射特征的综合分析[J]. 岩石力学与工程学报,2007, 26(增刊 1):2794-2799.

[12] 王恩元,何学秋,李忠辉,等. 煤岩电磁辐射技术及其应用[M]. 北京:科学出版社,2009.