

胡杰. 声发射预测技术在石门揭煤过程中的应用与效果分析[J]. 矿业安全与环保, 2018, 45(6): 37-42.

文章编号: 1008-4495(2018)06-0037-06

应用技术

声发射预测技术在石门揭煤过程中的应用与效果分析

胡 杰^{1,2}

(1. 中煤科工集团重庆研究院有限公司, 重庆 400037; 2. 瓦斯灾害监控与应急技术国家重点实验室, 重庆 400037)

摘要: 为了提高石门揭煤突出危险性预测结果的准确性及可靠性, 弥补“点”预测技术的局限, 以大湾煤矿西井 X10903 工作面运输巷为试验地点, 通过对声发射监测信号的时谱频谱图分析, 以及声发射特征参数的变化规律研究, 对声发射预测技术在巷道掘进期间石门揭煤过程的应用进行效果考察。结果表明: 孔底安装传感器的工艺可有效隔离安装位置附近的干扰信号, 基于主频分布、波形、波长等因子判别可对声发射监测信号进行有效滤噪; 石门揭煤过程中基于声发射特征参数的突出危险性预测结果与工作面实际相符, 且监测信号与工作面突出预测指标、放炮作业后瓦斯浓度保持着一致的变化趋势, 说明声发射预测技术可应用于石门揭煤突出危险性预测, 为生产矿井石门揭煤突出危险性预测提供了一种新的辅助判别方法。

关键词: 石门揭煤; 声发射; 有效滤噪; 时谱图分析; 频谱图分析; 信号处理

中图分类号: TD713; X936

文献标志码: B

Application and Effect Analysis of Acoustic Emission Prediction Technology in the Process of Rock Cross-cut Uncovering

HU Jie^{1,2}

(1. CCTEG Chongqing Research Institute, Chongqing 400037, China;

2. State Key Laboratory of the Gas Disaster Detecting, Preventing and Emergency Controlling, Chongqing 400037, China)

Abstract: In order to improve the accuracy and reliability of coal and gas outburst prediction results in rock cross-cut uncovering, and make up for the limitations of “spot” forecasting technology, taking X10903 working face of west well in Dawan Coal Mine as the test site, by analyzing the time spectrum and spectrum of acoustic emission monitoring signal and studying the variation rule of acoustic emission characteristic parameters, the application of acoustic emission prediction technology in rock cross-cut uncovering during roadway tunneling was investigated. The results show that the process of installing the sensor at the bottom of the hole can effectively isolate the interference signal near the installation position, based on the discrimination of frequency distribution, waveform and wavelength, the acoustic emission monitoring signal can be effectively filtered; the coal and gas outburst prediction results based on acoustic emission characteristic parameters in the process of rock cross-cut uncovering are consistent with the actual, moreover, the monitoring signal is consistent with the index of coal and gas outburst prediction in working face and the gas concentration after blasting, it is indicated that acoustic emission prediction technology can be applied to gas outburst prediction results in rock cross-cut uncovering, and provides a new auxiliary method for coal and gas outburst prediction in rock cross-cut uncovering of production mine.

Keywords: rock cross-cut uncovering; acoustic emission; effective denoising; time spectrogram analysis; spectrogram analysis; signal processing

收稿日期: 2018-05-09; 2018-11-16 修订

基金项目: “十三五”国家科技重大专项资助项目 (2016ZX05045); “十三五”国家重点研发计划重点专项 (2018YFC0808001); 中煤科工集团重庆研究院有限公司自筹基金项目 (2015YBXM39)

作者简介: 胡 杰 (1989—), 男, 重庆开州人, 助理研究员, 现从事矿井瓦斯灾害防治工作。E-mail: leaderhj@126.com。

煤与瓦斯突出事故导致的人、财损失及影响是巨大的, 严重威胁着煤矿企业安全生产^[1-2]。统计结果表明石门揭煤引发的突出在各类突出事故中

是平均强度最大的^[3-4],石门揭煤是煤矿企业防突工作的重点。国内外学者在研究石门揭煤防突技术方法方面取得了一些成果^[5-7],如脉冲射流割缝技术^[8]、注液冻结法^[9]、穿层预抽钻孔^[10]等,而石门揭煤的突出危险性主要通过布置钻孔并测定相关参数进行预测,但钻孔布点位置的合理性、钻孔的施工质量,以及不同煤层瓦斯赋存条件下突出预测指标的敏感性对预测结果的影响较大;且对于石门揭煤区域而言,掘进前方的应力分布随着掘进作业不断发生变化;钻孔预测属于非连续性的点预测方法,无法实现实时监测。受多种因素的综合影响,突出危险性预测结果可能存在失真或者“相对不敏感”的情况。声发射预测技术是一种非接触式预测技术,具有实时、动态、连续预测等特点^[11],其信号可以反映煤岩体的应力变化和稳定性^[12],且声发射的特征参

数所携带的信息可有效反馈动力灾害发生的前兆信息,声发射技术已在煤矿企业进行了应用并取得了较好的效果^[13-15]。基于此,笔者以贵州水矿集团大湾煤矿西井为试验矿井,将声发射技术应用于矿井石门揭煤防突过程,并进行应用效果分析。

1 工程背景

1.1 工作面概况

大湾煤矿西井为新建矿井,位于六盘水市钟山区大湾镇和威宁县东风镇境内,其设计生产能力为90万t/a,设计服务年限为29a。根据西井采掘部署条件及现场实际情况,选取X10903工作面运输巷为试验地点,如图1所示。对X10903运输巷掘进期间石门揭煤过程应用声发射预测技术进行突出危险性预测,并分析预测效果。

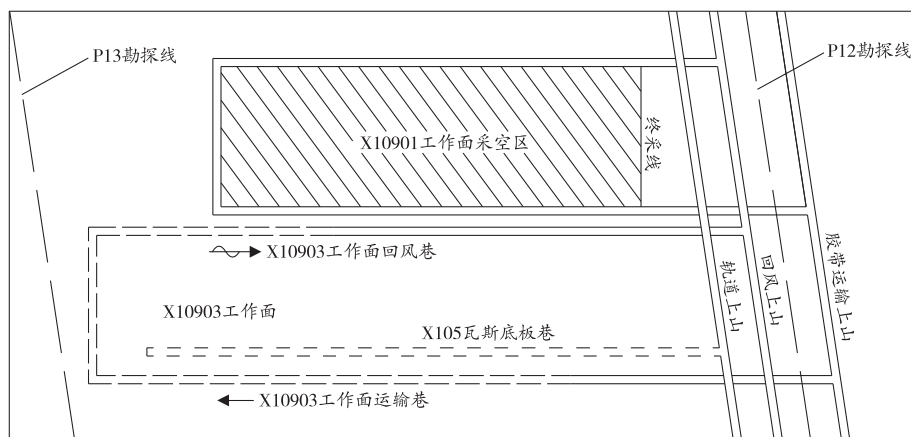


图1 X10903工作面及巷道位置关系示意图

大湾煤矿西井X10903工作面位于西井P12勘探线与P13勘探线之间,北面为X10901工作面采空区,工作面埋深约为340~390m,设计走向长度为1367m、倾斜长度为200m,主采9#煤层,平均煤厚为2.58m,原始煤层瓦斯含量为11.51m³/t,原始瓦斯压力为3.38MPa,属于煤与瓦斯突出煤层。在X10903工作面下方垂深30~40m内布置了X105瓦斯底板巷,用于施工穿层钻孔抽采瓦斯。X10903工作面运输巷开口于胶带运输上山西帮,预计掘进211m后见9#煤层,在沿煤层顶板掘进1156m后与X10903工作面开切眼贯通,采用炮掘工艺进行巷道掘进。

1.2 声发射监测系统

本次试验采用YSFS(A)声发射监测仪进行信号采集和处理,该系统是由中煤科工集团重庆研究院有限公司自主研发并具有独立知识产权的一套动态智能化煤岩瓦斯动力灾害实时在线监测系统。系统通过实时监测、采集煤(岩)体内部的声发射信号,

分析特征参数指标的变化规律、趋势及灾害发生前的征兆,实现煤岩瓦斯动力灾害的连续预测。声发射监测系统构成如图2所示。

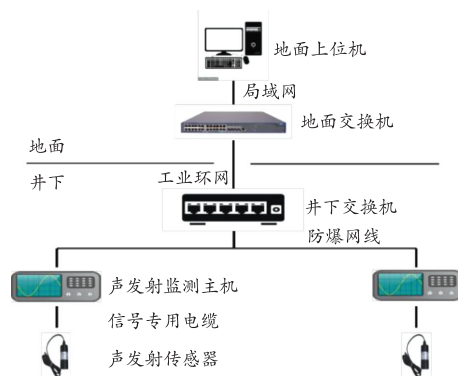


图2 YSFS(A)声发射监测系统框架图

2 声发射预测技术现场应用

2.1 系统搭建

声发射监测主机安装于西井井底变电所内,并

通过专用信号屏蔽电缆与传感器间完成信号通讯,然后利用交换机及矿井工业环网将声发射信号传输至地面监控室内的上位机。为减少 X10903 运输巷掘进作业期间机器或人为噪声对声发射信号的影响,将声发射传感器布置在 X10903 工作面下方的 X105 瓦斯底板巷内,即在 X105 瓦斯底板巷 3# 钻场附近向 X10903 运输巷掘进端头方向施工孔深 25 m 的上向钻孔,然后将声发射传感器送入孔底并封孔,如图 3 所示。传感器安装位置附近的作业地点为 X10903 运输巷道掘进工作面。

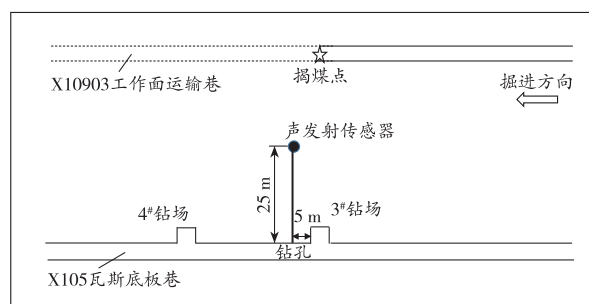
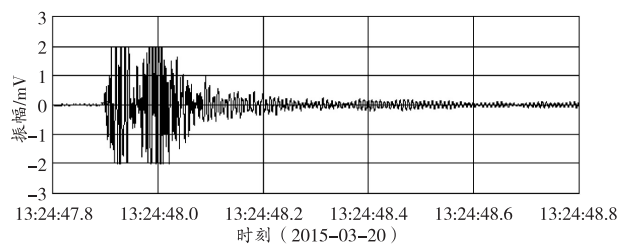


图3 声发射传感器安装位置剖面图

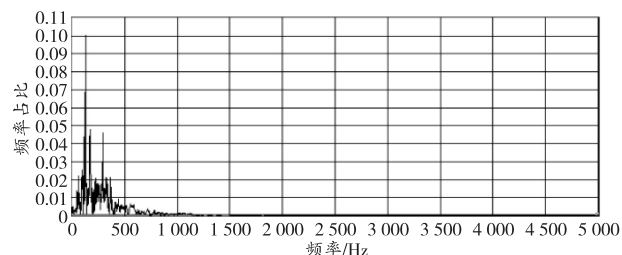
2.2 现场应用

2.2.1 信号处理分析

声发射传感器安装在密闭钻孔环境中,可滤除部分干扰信号,但难以完全滤除作业时的机器噪声及人工作业时的敲击等噪声。基于此,首先对作业过程中煤岩体内部产生的正常信号及干扰信号进行频谱分析,以达到滤噪的目的。通过对比掘进工作面作业时的声发射监测系统的信号,提取了掘进过程中的放炮信号、人为敲击等信号,并对其进行了频谱分析,如图4~7所示。

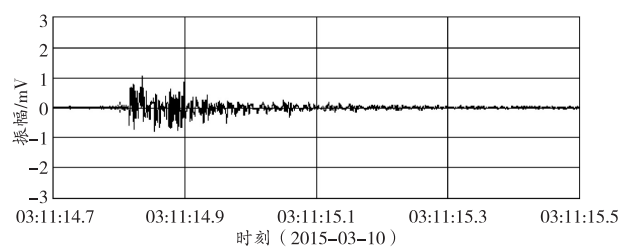


(a) 时谱图

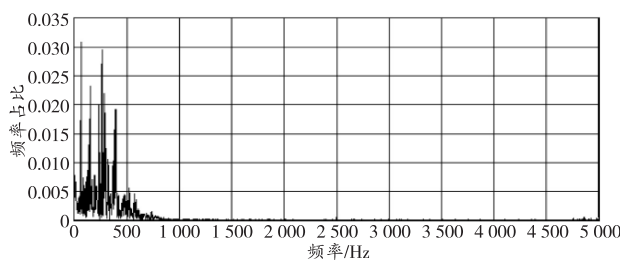


(b) 频谱图

图4 放炮作业后声发射信号时谱及频谱图

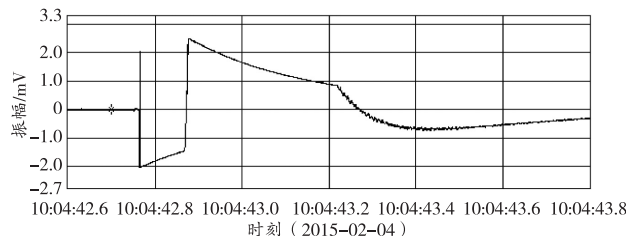


(a) 时谱图

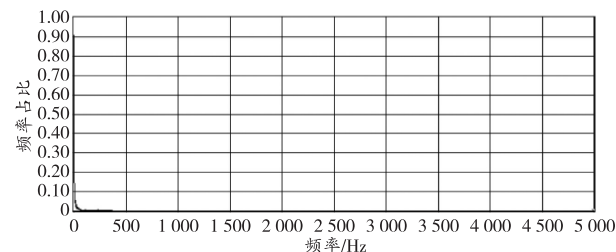


(b) 频谱图

图5 掘进作业过程中声发射信号时谱及频谱图

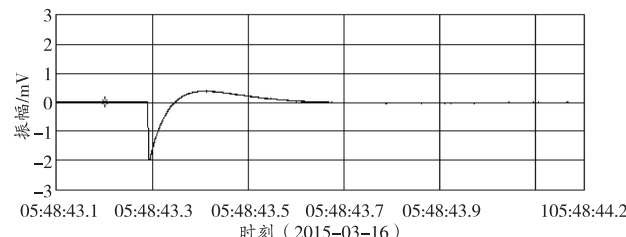


(a) 时谱图

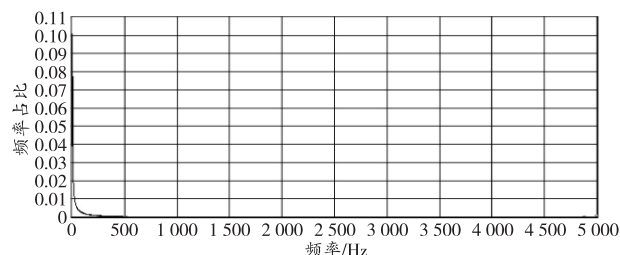


(b) 频谱图

图6 人为敲击巷帮声发射信号时谱及频谱图



(a) 时谱图



(b) 频谱图

图7 其他干扰信号时谱及频谱图

由图4~7可知,正常掘进过程中煤岩体内产生的声发射信号时谱及频谱图与干扰信号(如人工敲击)时谱及频谱图有明显区别,正常作业信号表现为波形上下对称,波长较短,频率较高,短时间内呈现高频震荡的形态,如放炮信号振幅都达到2 mV以上,频率分布在50~500 Hz内,信号上升时间一般不超过0.3 s,信号持续时间约为0.3~1.0 s。人为敲击或其他干扰信号的时谱及频谱图的波形是不规则的,且上下振幅不对称,波长较长,人为敲击的声发射信号的频率极低,分布在0~30 Hz内,与正常作业信号频谱图相比较有明显的区别。基于此,可通过波长、波形、主频分布、振幅对称情况等因素对声发射信号进行处理,以达到去除干扰信号实现有效滤噪的目的,为声发射预测的准确性提供保障。

2.2.2 监测距离分析

声发射传感器安装位置到掘进工作面间的距离与声发射特征参数数值大小有直接关系,受应力波传播衰减的影响,传输距离越大接收到的声发射信号特征参数值越小。2015年3月1日—29日试验期间的传感器到掘进工作面间的距离变化情况如图8所示。

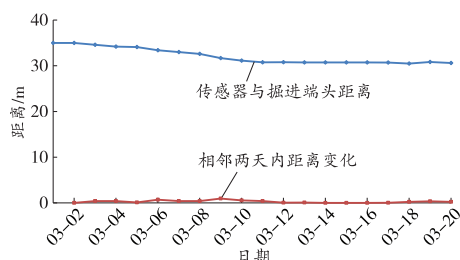


图8 声发射传感器与X10903运输巷掘进工作面绝对距离及相邻两天距离变化的趋势图

由图8可知,巷道走向方向,声发射传感器与掘进工作面作业地点的距离在变小,由于X10903运输巷按照12°的倾角向上掘进,垂距方向两者的距离又在增大。综合垂距、平距及走向3个坐标上的距离计算得:声发射传感器安装地点与掘进工作面距离约为30~35 m,因此可忽略传感器与掘进端头间的相对距离变化对声发射特征参数数值的影响。

2.2.3 总体应用情况

通过对西井X10903运输巷揭煤过程的声发射信号进行监测和跟踪、时谱频谱分析,并进行声发射信号滤噪,最终得到石门揭煤期间的声发射振铃计数及能量指标的特征参数,如图9所示(图中标注距离是指掘进方向上掘进工作面与揭煤点间的距离)。

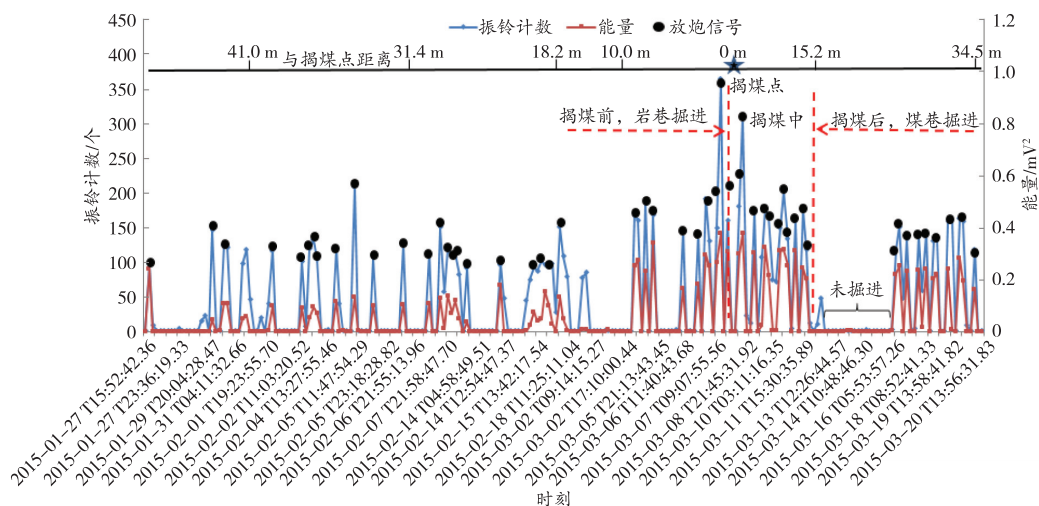


图9 X10903运输巷石门揭煤过程声发射特征参数曲线图

由图9可知,试验期间声发射特征参数值大小表现为“低—高—较低—平稳”的状态,曲线总体呈现“上升—峰值—下降”的变化趋势:揭煤前,当掘进工作面位置距离揭煤点10 m以外时,声发射特征参数指标在较低的水平范围内波动;当距离揭煤点约10 m内时,声发射特征参数指标呈现上升的趋势,在一个相对较高的区间内变化,如振铃计数拔尖点由100~150个提高至150~200个,同样能量指标也存在着类似的变化规律;揭煤过程中,声发射特征

参数与揭煤点前10 m范围内相似,仍在一个相对较高的区间内变化,但未出现持续增长的趋势;完成揭煤后,声发射特征参数值稍有一定的下降趋势,且趋于平稳。与正常巷道掘进过程中的声发射特征参数相比,揭煤过程中的声发射特征参数在一个相对较高的区间内波动,但并未出现持续上升的趋势,最终趋于平稳。基于声发射特征参数的预测结果表明:石门揭煤期间声发射信号未出现明显异常,与实际揭煤过程情况吻合。

3 应用效果分析

为进一步对石门揭煤期间声发射信号及预测结

果进行分析,提取出揭煤点前 10 m 范围内—揭煤过程中—揭煤完成后 20 m 范围内放炮作业后的声发射信号特征参数,如图 10 所示。

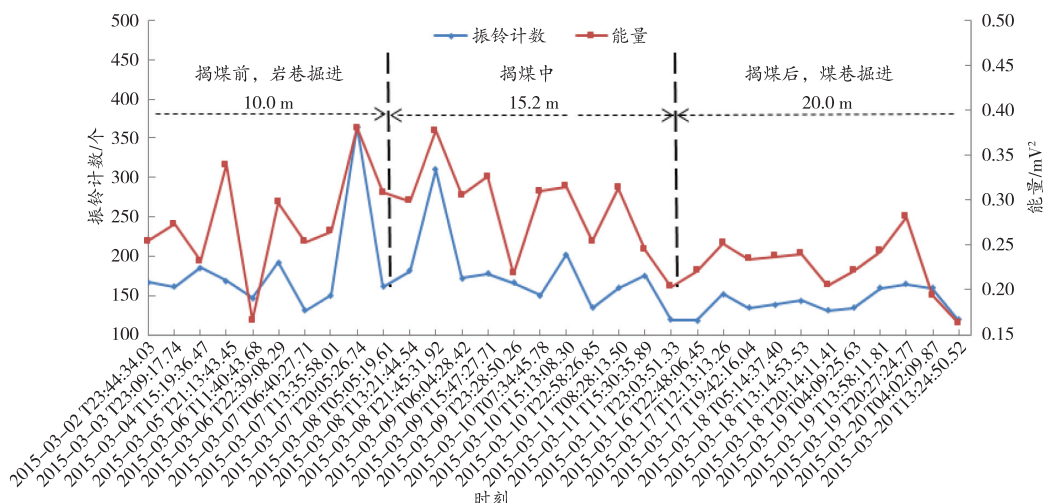


图 10 X10903 运输巷揭煤期间放炮作业后声发射特征参数趋势图

由图 10 可知,石门揭煤作业期间,放炮作业后声发射特征参数的整体变化规律呈现“上升—峰值—下降”的趋势。在岩巷掘进过程中,距离揭煤点越近所对应的声发射特征参数值越高,在揭穿煤层的前一次放炮作业产生的声发射信号达到峰值;随着掘进巷道断面暴露出来的煤增多,声发射特征参数趋于减小。由此说明见煤前应力峰值达到最大,揭穿煤层时应力得到了有效释放,突出危险性得到有效消除。

对应图 9 的作业时间,收集整理了揭煤期间工

作面的预测指标数据,如图 11 所示。由图 11 可知,钻屑瓦斯解吸指标 K_1 值及钻屑量 S 值均未出现超标的情况。在石门揭煤期间“揭煤前—揭煤中”掘进过程中 K_1 值及钻屑量 S 值呈现下降趋势。在煤体全部暴露出来之后,“揭煤后” K_1 值及钻屑量 S 值基本稳定,这与声发射特征参数变化趋势一致,说明声发射特征参数与钻屑瓦斯解吸指标 K_1 值及钻屑量 S 值反映出的工作面突出危险性一致。揭煤后煤体的暴露面积增大,更有利于瓦斯解吸及逸散,因此 K_1 值及 S 值要高于揭煤前。

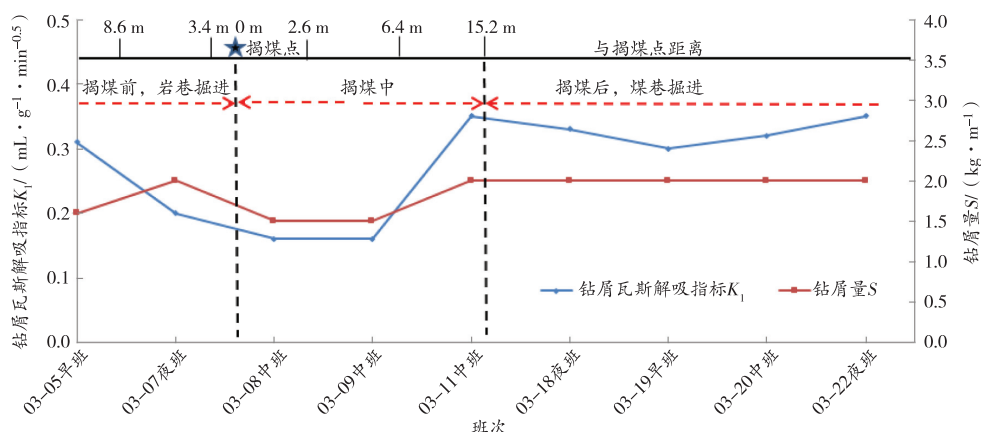


图 11 X10903 运输巷揭煤期间工作面预测指标情况

同样,对应图 9 的作业时间,提取出 X10903 运输巷掘进工作面放炮作业后最大瓦斯浓度(甲烷体积分数),如图 12 所示。由图 12 可知,在石门揭煤前,随着掘进位置与揭煤点的距离逐步减小,放炮作

业后最大瓦斯浓度逐步增大,在见煤点前达到峰值然后下降。对比图 10、图 12,2 种曲线在揭煤前与揭煤过程中保持着相对一致的变化趋势,表明声发射特征参数能够有效反映出瓦斯浓度的变化情况。

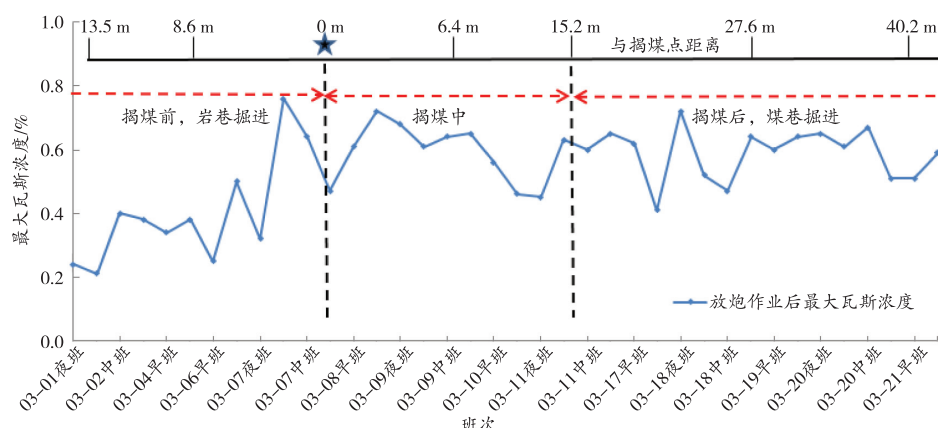


图12 X10903运输巷掘进工作面放炮作业后最大瓦斯浓度变化情况

声发射特征参数在石门揭煤过程中有一定幅度的增长,但总体趋于平稳,并未出现明显的趋势变化,这与石门揭煤期间现场实际情况相符,说明声发射预测结果是合理的。同时,声发射特征参数曲线与工作面突出预测指标结果,以及放炮作业后最大瓦斯浓度保持着相对一致的变化趋势,表明声发射预测结果是合理的。因此声发射预测技术应用在石门揭煤防突过程中是可行的。

4 结论

- 1) 石门揭煤期间声发射信号特征参数未出现明显异常,与生产实际情况相符,预测结果准确;
- 2) 声发射特征参数曲线与工作面预测指标、放炮作业后瓦斯浓度保持着相对一致的变化趋势,可以有效敏感地反映出掘进前方突出危险性大小;
- 3) 基于声发射监测信号的时谱及频谱分析,正常掘进过程中煤岩体所产生的声发射信号主频约为50~500 Hz,而干扰信号频率一般不超过30 Hz;
- 4) 声发射预测技术能实现在线、实时监测及有效预测,可对石门揭煤所采取的非连续“点”预测方法起到辅助判识的作用,在掘进工作面石门揭煤的突出危险性预测领域具有一定的推广价值。

参考文献:

[1] 于不凡,王佑安.煤矿瓦斯灾害防治及利用技术手册[M].北京:煤炭工业出版社,2000.
[2] 林柏泉.矿井瓦斯防治理论与技术[M].徐州:中国矿业大学出版社,2005.
[3] 刘震,李增华,杨永良,等.石门揭煤区域防突岩巷卸压消突作用[J].采矿与安全工程学报,2013,30(6):940-945.

[4] 李浩,石必明,李耀.强突松软近距离煤层群石门揭煤防突技术研究[J].中国安全生产科学技术,2014,10(1):98-102.
[5] 杨威,林柏泉,吴海进,等.“强弱强”结构石门揭煤消突机理研究[J].中国矿业大学学报,2011,40(4):517-522.
[6] 胡宝军.石门揭煤综合防治突出技术[J].矿业安全与环保,2004,31(4):56-57.
[7] 蔡寒宇,魏国营,辛新平.石门短导洞快速揭煤防突技术研究及应用[J].河南理工大学学报(自然科学版),2007,26(5):489-492.
[8] 卢义玉,葛兆龙,李晓红,等.脉冲射流割缝技术在石门揭煤中的应用研究[J].中国矿业大学学报,2010,39(1):55-58.
[9] 冯涛,谢雄刚,刘辉,等.注液冻结法在石门揭煤中防突作用的可行性研究[J].煤炭学报,2010,35(6):937-941.
[10] 卢平,李平,周德永,等.石门揭煤防突抽放瓦斯钻孔合理布置参数的研究[J].煤炭学报,2002,27(3):242-248.
[11] 腾山邦久.声发射(AE)技术的应用[M].冯夏庭,译.北京:冶金工业出版社,1996:52-54.
[12] 邹银辉,文光才,胡千庭,等.岩体声发射传播衰减理论分析与试验研究[J].煤炭学报,2004,29(6):663-667.
[13] 胡杰,李建功,隆清明,等.基于R型聚类分析的声发射特征参数指标相关性研究[J].矿业安全与环保,2015,42(4):52-55.
[14] 杨慧明.深部应力型突出灾害的声发射监测工艺及预警试验研究[J].煤矿安全,2017,48(2):17-20.
[15] 张晋京,李建功,朱同功,等.声发射技术在平煤股份十矿的应用[J].煤炭技术,2017,36(3):212-214.

(责任编辑:逢锦伦)