

文章编号:1671-251X(2013)05-0045-04

DOI:10.7526/j.issn.1671-251X.2013.05.013

李学龙,刘贞堂,陆智斐,等.突出煤层中软煤厚度与电磁辐射规律研究[J].工矿自动化,2013,39(5):45-48.

突出煤层中软煤厚度与电磁辐射规律研究

李学龙^{1,2}, 刘贞堂^{1,2}, 陆智斐^{1,2}, 马国强³, 冯俊军^{1,2}, 景林波^{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; 3.煤炭科学研究总院,北京 100013)

摘要:通过试验研究了软煤厚度和煤与瓦斯突出的关系,得出软煤厚度突增(变化率 $\geq 10\%$)或一段时间内厚度持续在0.8 m以上时突出危险性增大的结论;为了提高突出预测准确率,采用电磁辐射技术分析了软煤厚度和电磁辐射的响应规律,结果表明,软煤电磁辐射高于硬煤,软煤厚度增加或持续较大(≥ 0.8 m)时,电磁辐射值也相应增高或持续很高,突出危险性增大;软煤厚度和电磁辐射信号呈很好的正相关性,相关系数为0.824。

关键词:煤与瓦斯突出;突出煤层;软煤厚度;电磁辐射;正相关性

中图分类号:TD713 文献标志码:A 网络出版时间:

网络出版地址:

Research of regularity of soft coal thickness and electromagnetic radiation in
outburst coal seam

LI Xue-long^{1,2}, LIU Zhen-tang^{1,2}, LU Zhi-fei^{1,2}, MA Guo-qiang³,
FENG Jun-jun^{1,2}, JING Lin-bo^{1,2}

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

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

3.China Coal Research Institute, Beijing 100013, China)

Abstract: The paper studied relation between soft coal thickness and outburst of coal and gas, and got a conclusion that risk of outburst of coal and gas increases when soft coal thickness increases suddenly (rate of change $\geq 10\%$) or the thickness is more than 0.8 m over a period of time. In order to improve accuracy of outburst prediction, electromagnetic radiation is employed to analyze response regularity of soft coal thickness and electromagnetic radiation. The result shows that electromagnetic radiation of soft coal is higher than hard coal, and if soft coal thickness increases or sustains higher (≥ 0.8 m), value of electromagnetic radiation increases or sustains high too, outburst risk increases accordingly; there is a positive correlation between soft coal thickness and electromagnetic radiation, and the correlation coefficient is 0.824.

Key words: outburst of coal and gas; outburst coal seam; soft coal thickness; electromagnetic radiation, positive correlation

0 引言

近年来,随着煤炭资源消耗量的增加,矿井的开

采深度也持续增加,部分矿井的采深甚至达到1 000 m以上,由此引发的煤与瓦斯突出(以下简称突出)灾害也越发严重。突出防治的重点是对突出

收稿日期:2013-02-01。

基金项目:“十二·五”国家科技支撑计划项目(2012BAK04B07,2012BAK09B01)。

作者简介:李学龙(1988—),男,河南濮阳人,硕士研究生,研究方向为煤与瓦斯突出等煤岩动力灾害的监测预警,E-mail:lixlcumt@126.com。

危险的预测,尤其是研究非接触式的连续动态监测的突出预报技术已是一种很迫切的需求^[1-3]。大量理论研究和实践表明,煤矿采掘工作面的瓦斯涌出量和突出有很大的关联性,瓦斯涌出量变大或大小起伏变化都是工作面煤体有突出危险的前兆信息。基于此,国内外广泛应用瓦斯涌出特征指标进行突出危险性预测,如综合指标法、钻屑瓦斯解吸指标法、瓦斯涌出初速度法、 R 值指标法、钻屑量指标法等,并取得了一定的效果。但是以上接触式预测方法没有实现对突出前各指标动态特征变化规律的连续考察,并且存在工作量大、可靠性低、时效性差、操作复杂且有危险、临界值难以准确确定等局限^[4]。

软煤也叫构造煤,具有高空隙率、低透气性的特点。大量实践与研究表明,软煤与突出事件的发生有密切关系。郝吉生等^[5]发现一定厚度的构造煤是突出的必要条件;软煤厚度越大,发生突出的危险性愈大;软煤的强度愈低,越容易发生突出,软煤厚度变化剧烈区域也是突出危险增大区域。刘明举等^[6]把软煤指标和以瓦斯为主的综合指标结合起来,作为预测突出的瓦斯地质指标。

电磁辐射是煤岩体变形破坏过程中释放出来的一种能量,其大小与煤岩体的变形破坏方式及破坏过程密切相关^[7]。电磁辐射技术是一种真正的非接触式预测煤岩动力灾害的方法,近年来得到了广泛应用,王恩元等^[7-8]的研究结果表明,煤体变形破裂时电磁辐射信号基本随着煤岩变形破裂强度的增大而增强;通过现场试验表明,采用电磁辐射技术能够进行突出的区域预测和日常预测。李忠辉等^[9]用电磁辐射监测仪实现了对突出的实时、非接触、准确可靠和连续检测预报。本文采用电磁辐射技术,研究掘进工作面不同软煤厚度的煤岩电磁辐射特征,分析软煤厚度与电磁辐射信号的变化规律及其与突出危险的相关性,以期提高突出预测的准确率。

1 软煤厚度与突出危险性分析

根据煤矿掘进过程中软煤厚度 d 、钻屑瓦斯解吸指标 Δh_2 、钻屑量 S 、钻孔瓦斯涌出初速度 q 等指标的统计结果,如图 1 所示(横坐标 l 为通尺),突出危险前 Δh_2 持续增大或连续几次校检接近临界值(测试结果为 180 Pa, Δh_2 临界值为 200 Pa), q 值变化剧烈或达到 3 L/min 时,突出危险也往往增大; S 值变化不明显;软煤厚度在突出危险前常出现突增(变化率在 10% 以上)或一段时间内保持较大的厚度(厚度持续在 0.8 m 及以上),如图 2 所示。

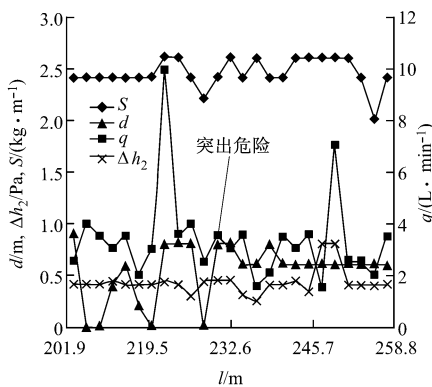


图 1 突出危险前常规校检指标变化

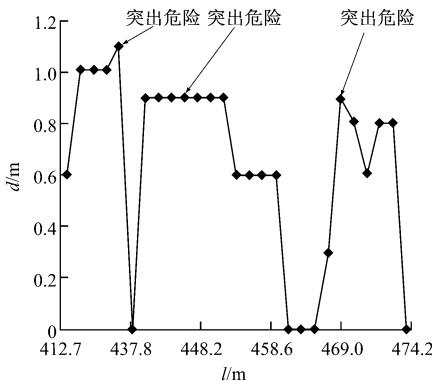


图 2 软煤厚度随通尺变化曲线

软煤是在成煤的地质历史时期经过滑移、揉搓、扭转等地质构造形成的,其空隙率较高,尤其是中微孔的面积较大,因而可以保存大量的瓦斯。由于煤质较软,软煤的透气性很低,使得大量瓦斯被封存在软分层内,不易逸散,这也造成了软煤处的瓦斯压力较大,具备了突出的动力。同时,一定厚度的软煤分层由于含有大量瓦斯而形成了瓦斯分隔层,分隔层中吸附态的瓦斯在煤体破碎时解吸出来有一定的助力作用,有利于煤体的破裂移动,在突出发生时促进了突出过程的快速持续进行。软煤的特殊成因使得它的强度低,对外力的抵抗力大大降低,所以在同等受力条件下软煤发生形变的幅度差异比硬煤大,也就是说在同等受压条件下软煤的压缩形变量更大,反之在巷道开挖、煤体受到扰动卸压时,其发生伸张变形的幅度也较硬煤大,有时甚至会产生新的裂隙,这就造成了瓦斯的快速流动和迅速解吸。

可见,一定厚度的软煤是突出发生的必要条件^[5]。为了更加准确地预测突出危险性,提高突出预测的准确率,本文结合电磁辐射技术探讨软煤厚度与电磁辐射的响应规律。

2 电磁辐射与突出危险性分析

地下含瓦斯煤体未受采动影响时,基本处于动

态应力平衡状态,掘进和回采的影响使煤体所受应力失去动态平衡。受力非稳定状态下,煤壁中的煤体必然发生变形破裂,向新的应力平衡过渡。该过程伴随着弹性势能、塑性势能、表面能、各种辐射能和动能等多种能量形式的释放,电磁辐射即为煤岩破裂时释放的一种能量^[10]。煤岩体的变形破裂实际上是煤体中微裂纹的形成与扩展导致的宏观破坏,在微裂纹形成与扩展的同时,由于压电效应、摩擦起电、场致电子发射、热致电子发射、位错等原因,破裂面上会产生电荷分离,从而导致了电磁辐射的产生。此外煤岩破裂时,煤体中封存的瓦斯也失去了动态平衡,形成瓦斯压力梯度,在瓦斯压力的作用下,沿煤体中的裂隙向采掘空间涌出,产生动电效应,在此过程中也会产生电磁辐射;另一方面,瓦斯气体解吸涌出煤体时,产生的拉动应力使煤体更加破碎,也增强了电磁辐射信号^[11-12]。即使在工作面处于基本稳定状态时,由于受到上覆岩层的动态应力作用,也会产生电磁辐射。

电磁辐射信号和煤体所受应力大小及瓦斯状态有关,煤体所处应力越高,裂隙发展速度越快,电磁辐射信号越强;瓦斯压力越大,煤体破裂越快,产生的流动电荷也越多,电磁辐射强度越强,电磁辐射频率越高;地应力和瓦斯压力越高,则突出危险性越大。电磁辐射综合反映了煤体前方应力集中程度和瓦斯压力的大小,因此,电磁辐射技术可以进行非接触式突出预测^[7]。

3 软煤厚度与电磁辐射关系研究

3.1 矿井概况

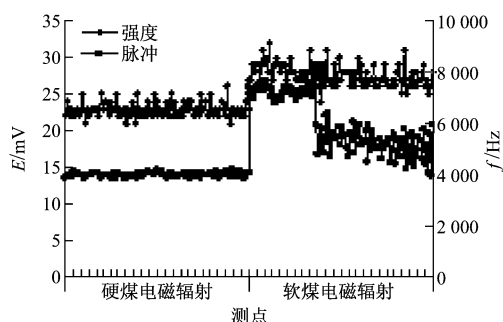
某矿主采二₁煤层是突出煤层,煤层直接顶以泥岩、砂质泥岩为主,老顶为厚层状砂岩,底板多为砂质泥岩和粉砂岩。顶板厚度大且透气性差,原始生成的瓦斯极易保存,造成煤层瓦斯含量高,瓦斯压力大。实测煤层最大瓦斯含量为 33.19 m³/t,最大瓦斯压力为 2.08 MPa。该矿突出事故多数发生在掘进巷道,随着采掘深度逐渐加大,煤层突出危险性愈加显著,因此,对各项指标的监测监控也更加重要。

3.2 电磁辐射监测方法

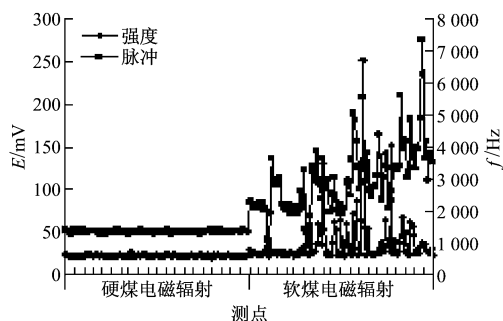
采用便携式 KBD5 型电磁辐射监测仪对工作面煤体进行电磁辐射监测,监测方式为非接触式定向测试,天线朝向掘进工作面前方,垂直于被测煤岩体的外表面。采用宽频带监测方式,接收频率上限为 500 kHz,有效监测距离为 7~22 m。

3.3 监测结果及分析

监测结果如图 3 所示,可见在同一测点处,软煤和硬煤的电磁辐射信号存在很大差异。无突出危险时,硬煤电磁辐射强度均值为 22.9 mV,软煤电磁辐射强度均值为 27.6 mV;有突出危险时,硬煤电磁辐射强度均值为 26.8 mV,软煤电磁辐射强度均值为 34.7 mV。软煤和硬煤的电磁辐射脉冲也有很大不同,硬煤电磁辐射脉冲相对平稳,波动不大;软煤电磁辐射脉冲则变化很大,波动剧烈,有数次达到满值,有突出危险时软煤的电磁脉冲也较硬煤的大。分析认为,软煤相对硬煤而言结构破碎,原生裂隙丰富,层理紊乱且煤质松软,在承受同等地应力的情况下其变形破裂更加剧烈,释放的能量比硬煤多,由此造成电磁辐射信号增强;另外,软煤空隙率很高,透气性较差,往往更易存储大量的瓦斯,瓦斯压力大,且煤体中瓦斯压力越大,电磁辐射反应越强^[7],因而软煤电磁辐射强度要高于硬煤。



(a) 无突出危险时



(b) 有突出危险时

图 3 软煤、硬煤电磁辐射强度对比

软煤厚度变化剧烈或持续高值处,往往是突出危险增加区,而此时电磁辐射信号也相应增强。软煤厚度变化与电磁辐射信号响应曲线如图 4 所示,软煤厚度突增或持续较大(≥ 0.8 m)时,电磁辐射的强度也相应增强或持续高值,软煤厚度和电磁辐射指标呈很好的正相关性,相关系数为 0.824,呈高度相关。由于软煤厚度增加,煤体承压能力降低,在压力作用下煤体变形破裂加剧,由此造成电磁辐射

信号增强;与此同时煤体中软煤厚度增加,吸附态瓦斯含量增多,伴随着煤体破裂软煤中封存的大量吸附态瓦斯游离出来,释放能量,电磁辐射能增高;游离瓦斯的增多使得原始应力区与卸压区形成较大的瓦斯压力梯度,从而使瓦斯流动,产生电磁辐射;瓦斯的流动运移又加剧了煤体的变形破裂,电磁辐射信号也随之升高。

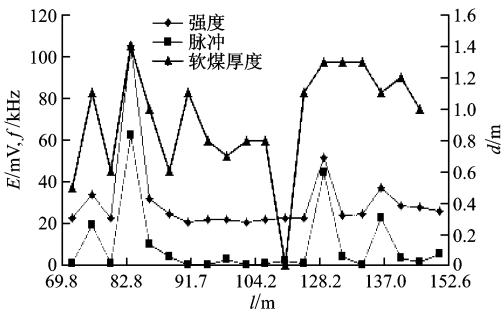


图 4 软煤厚度变化与电磁辐射信号响应

4 结语

从地质构造、煤体的微观结构、瓦斯的赋存及煤岩受力状态等方面分析了软煤厚度与突出危险的关系,得出结论:软煤厚度突增(变化率 $\geq 10\%$)或一段时间内厚度持续在 0.8 m 以上时突出危险性增大。现场试验结果表明,软煤电磁辐射信号比硬煤高,软煤厚度增大或持续高值(≥ 0.8 m)时,电磁辐射水平也高;电磁辐射信号与软煤厚度呈很好的正相关性,相关系数为 0.824。本文研究成果有利于提高突出预测的准确率。

参考文献:

[1] 刘铁敏,秦华礼. 中国煤矿安全事故的经济学分析[J]. 煤矿安全,2006,37(4):70-72.

[2] 孙云霄,方健,马小平. 基于半监督学习和支持向量机的煤与瓦斯突出预测研究[J]. 工矿自动化,2012,38(11):40-42.

[3] 张宏伟,李胜,陈学华. GIS 技术在瓦斯动力灾害预测中的应用[J]. 安全与环境学报,2002,2(1):44-46.

[4] 漆旺生,凌标灿,蔡嗣经. 煤与瓦斯突出预测研究动态及展望[J]. 中国安全科学学报,2003,13(12):1-4.

[5] 郝吉生,袁崇孚,张子戊. 构造煤结构及其对瓦斯特性的控制机理研究[J]. 焦作工学院学报:自然科学版,2000,19(6):403-406.

[6] 刘明举,龙威成,刘彦伟. 构造煤对突出的控制作用及其临界值的探讨[J]. 煤矿安全,2006,37(10):49-50,54.

[7] 王恩元,何学秋,聂百胜,等. 电磁辐射法预测煤与瓦斯突出原理[J]. 中国矿业大学学报,2000,29(3):225-229.

[8] 王恩元,何学秋,刘贞堂,等. 煤岩变形破裂的电磁辐射规律及其应用研究[J]. 中国安全科学学报,2000,10(2):35-39.

[9] 李忠辉,王恩元,何学秋,等. 电磁辐射实时监测煤与瓦斯突出在煤矿的应用[J]. 煤炭科学技术,2005,33(9):31-33.

[10] 何学秋. 含瓦斯煤岩灾害动力学[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,1995.

[11] 何学秋,王恩元,聂百胜,等. 煤岩流变电磁动力学[M]. 北京:科学出版社,2003.

[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.