

基于电磁辐射监测特厚煤层综放开采过程中煤岩动力灾害预测

成云海¹, 张 东¹, 李 琳², 张 明³

(1. 安徽理工大学煤矿安全高效开采省部共建教育部重点实验室, 安徽 淮南 232001;
2. 新汶矿业集团水帘洞煤矿, 陕西 咸阳 712000; 3. 新汶矿业集团有限责任公司, 山东 泰安 271200)

摘要: 目前缺乏针对特厚煤层工作面开采的电磁辐射特征研究。本文利用电磁辐射技术对彬县水帘洞煤矿特厚煤层综掘面和综放面动力灾害倾向进行了监测, 得到特厚煤层电磁辐射强度和脉冲数特征。监测结果表明: (1) 掘进工作面正常掘进时, 强度和脉冲数都较小, 强度在 15mv 以下, 脉冲数基本为 0; 掘进至背斜构造时, 强度增大、波动性较大, 有弱动力灾害倾向; (2) 综放面强度和脉冲数均较大, 正常回采时强度在 100mv 以下, 脉冲数在 $(6-10) \times 10^4$ 范围内波动; 周期来压时强度最大、脉冲数最小, 强度最大到 190mv, 脉冲数最小值仅 418 次, 有弱动力灾害倾向, 现场采取的顶煤预裂有助于消除煤岩动力灾害发生可能性。电磁辐射变化特征对预测特厚煤层采掘过程中煤岩动力灾害倾向有参考价值。

关键词: 特厚煤层; 综放开采; 电磁辐射; 特征; 煤岩动力灾害危险性

文章编号: 1003-8035(2012)04-0081-05

中图分类号: TD823.25⁺4; TD824.7

文献标识码: A

0 引言

大量的实验研究表明, 煤岩体受到应力的作用下产生变形破裂时, 伴随有电磁辐射的产生^[1-5], 应力场的分布及变化对电磁辐射测试值有明显的影 响^[6-8], 应力大或应力集中的区域, 电磁辐射较强, 目前国内许多矿井已采用电磁辐射方法来反映工作面应力变化、预测冲击地压等煤岩动力灾害^[9-14], 但国内外尚未有针对特厚煤层工作面开采的电磁辐射研究。

水帘洞煤矿 3807 切眼施工至 16m 时, 迎头遇“劈裂”地质构造, 造成大量煤被推出, 综掘机被埋。几天后, 迎头用综掘机清理浮煤过程中, 又发生了煤矸涌出, 将综掘机后推了 8m, 将架设的 U 型钢棚全部推倒。针对上述动力显现现象, 对水帘洞煤矿特厚煤层综放面进行电磁辐射监测, 分析其电磁辐射强度及脉冲数特征, 预测动力显现的可能性和危险性, 对确保安全生产意义重大。

1 工作面基本情况及监测方案

1.1 工作面基本情况

水帘洞煤矿三采区埋深 370m, 监测地点是 3802 运输巷和 3807 综放面。

3802 运输巷北邻已回采结束的 3801 工作面, 距

离 3801 工作面采空区留有 8m 窄煤柱。断面为矩形断面, 掘进断面 14.08m², 采用“锚网带”联合支护, 锚索补强。煤层倾角 5°, 普氏系数 $f=3.5$ 。直接顶为中、细砂岩, 厚度 3m。底板为泥岩, 厚度 5.9m。掘进至 800m 处时将遇背斜地质构造。

3807 综放面面长 124m, 四周为实煤区, 煤层均厚 14.5m。采用综放一次采全高, 采高 3.0m, 放煤高度 9m, 采放比为 1:3。顶板砂质泥岩、老顶为中细砂岩。底板为泥岩。

1.2 工作面监测方案

采用 KBD5 型矿用本安型电磁辐射仪^[12], 非接触式定向测试, 宽频带监测, 接收频率为 1~500 kHz, 有效监测距离为 7~22m, 监测指标为电磁辐射强度和脉冲数。

1.2.1 掘进工作面电磁辐射监测方案

距 3802 运输巷迎头 1~2m 设 3 个测点, 每天早班掘进前后分别进行监测。第一个测点在巷道左侧, 距帮 0.7~1.2m, 靠近未开采的 ZF3802 工作面, 天线

收稿日期: 2012-05-18; 修订日期: 2012-08-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(51174002)、国家重点基础研究发展规划(973)项目(2010CB226800)资助。

作者简介: 成云海(1970—), 男, 副教授, 采矿工程专业, 工学博士, 主要从事矿山动力灾害控制研究。

E-mail: chengyunhai2005@126.com

方向是正前方偏左 10° ;第二个测点正对掘进方向;第三个测点在巷道右侧,距帮 $0.7 \sim 1.2\text{m}$,靠近已采的 3801 采空区,天线方向是正前方偏右 10° 。掘进期间,电磁辐射监测作为主要监测手段。

1.2.2 综放面电磁辐射监测方案

综放面共 84 架液压支架,分别在第 4、14、36、50、70、80 支架下各布置一个测点,每天中班割煤后进行监测。

2 综掘面电磁辐射特征

2.1 正常掘进时电磁辐射特征

图 1 为 2011 年 10 月综掘面正前方电磁辐射强度,图 2 为掘进割煤前、割煤后数据平均值变化曲线,25 日、26 日和 28 日是正常掘进时的监测数据。26 日当天掘进割煤后监测过程中受迎头机械设备的影响,造成了脉冲数的失真,所以此次监测的脉冲数可作为无效数据,不予参考。其余监测时间的电磁辐射强度,掘进割煤后都有不同程度的降低。

特征为:正常掘进过程中强度的平均值,割煤前为 11.12mV ,割煤后为 10.97mV ,变化很小,说明正常掘进时,掘进割煤对迎头前方电磁辐射强度影响很小。

2.2 掘进至背斜轴部时电磁辐射特征

图 1 中 27 日夜班过背斜轴部,此时背斜由上坡变为下坡。

特征为:电磁辐射信号强度较弱,波动也小。27 日夜间掘进工作面过背斜轴部期间,从图中可以看出,电磁辐射强度波动性较大,但强度值不大。割煤后,电磁辐射强度降低到正常掘进时的水平。

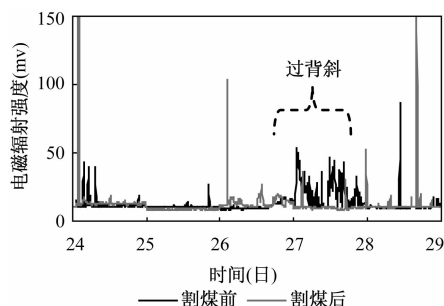


图 1 2011 年 10 月综掘面正前方电磁辐射强度

Fig. 1 Radiation intensity in front of the Fully Mechanized Workface, Oct. 2011

27 日过背斜轴部时,与正常掘进时相比,迎头正前方电磁辐射强度割煤前后都偏大,但其强度仍然较

小。掘进割煤后,强度降低了 4.81mV ,说明掘进割煤使工作面前方的构造应力得到释放,降低了诱发动力灾害的可能性。

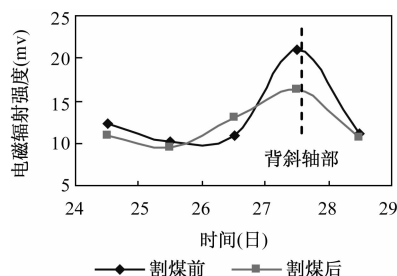


图 2 综掘面电磁辐射强度平均值

Fig. 2 Average of Electromagnetic Radiation intensity in Fully Mechanized Workface

2.3 煤岩动力灾害危险分析

掘进过背斜轴部与无构造时的电磁辐射强度相比,掘进割煤前有 10mV 左右的增大,割煤后相对小一些,仅有 5mV 的增大。在数值上,增大程度较小,但相对而言,过背斜构造时的强度割煤前有 90% 的增大,割煤后有 45% 的增大。

根据文献[12]研究结果,从煤的变形破坏试验结果来看,煤试样在发生冲击性破坏以前,电磁辐射强度一般在某个值以下,而在冲击破坏时,电磁辐射强度突然增加。煤岩体电磁辐射的脉冲数随着载荷的增大及变形破裂过程的增强而增大。预测该巷道正常掘进时不会发生动力危险,但在有构造的情况下,有弱动力倾向。

3 综放面电磁辐射特征

3807 综放面早班设备检修,中班和夜班生产。根据矿上现场情况,2011 年 11 月 3 日至 17 日每天中班在综放队割煤前,先进行一次电磁辐射监测,待割煤一刀后,进行第二次监测。现场监测过程中,监测数据会受到工作面机械设备的影响,尤其刮板输送机开启和停止的瞬间都会引起电磁辐射强度突然出现一个或一组尖脉冲,此时可视为无效数据。生产期间电磁辐射强度和脉冲数的变化情况如图 3—图 6 所示,其中 8 日为周期来压时的数据,除 6 日、13 日、14 日因矿上安全检查未进行监测外,其余时间为正常回采时的数据。

3.1 3807 综放面正常回采时电磁辐射特征

3.1.1 强度特征

图 3 为综放面割煤前电磁辐射强度平均值的变

化情况,图4为割煤后强度平均值的变化情况。

特征为:割煤前5日到7日电磁辐射强度平均值偏大,达到70~120mv,是来压前的压力显现,但其强度较来压时偏小,其余时间内维持在10~50mv。来压后,电磁辐射强度恢复到较低值,并保持稳定。

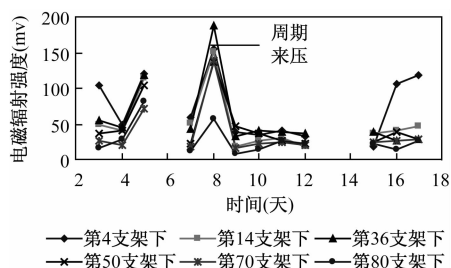


图3 2011年11月综放面割煤前电磁辐射强度

Fig. 3 Radiation intensity before coal cutting of the Fully Mechanized Caving Face, Nov. 2011

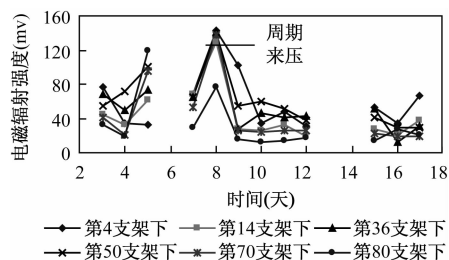


图4 综放面割煤后电磁辐射强度

Fig. 4 Radiation intensity after coal cutting of the Fully Mechanized Caving Face

与割煤前相比,割煤后电磁辐射强度总体变化趋势与割煤前相同,但表现出不稳定性。受割煤影响,工作面前方煤体内应力发生变化,打破割煤前的准应力平衡状态,在数据上表现为部分数据高于割煤前,但同时也有部分数据比割煤前要低,短时间内处于应力集中状态,煤岩的流变破坏较剧烈,释放出大量的电磁波,这种现象随时间的推移会逐渐降低,并逐渐恢复到割煤前的水平。

3.1.2 脉冲数特征

图5为综放面割煤前电磁辐射脉冲数的变化情况,图6为割煤后脉冲数的变化情况。

特征为:根据协庄煤矿《冲击地压工作面预测与防治技术》项目研究报告,脉冲数较大时为35000次左右,强度较大时为300mv左右。特厚煤层综放面的电磁辐射脉冲数明显偏大,5日到7日脉冲数最大,高于 10^5 ,其余时间在 $(8 \sim 10) \times 10^4$ 范围内波动。割煤后,变化趋势大致与割煤前相同。但在割煤后,

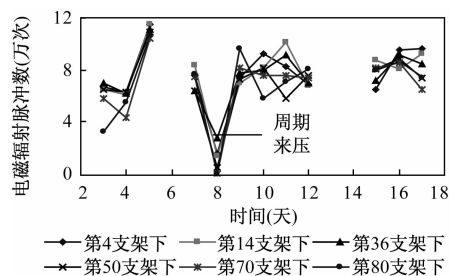


图5 综放面割煤前电磁辐射脉冲数

Fig. 5 Pulse number of Electromagnetic Radiation before coal cutting of the Fully Mechanized Caving Face

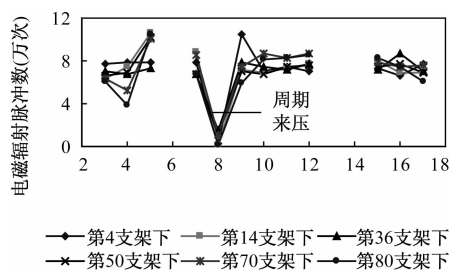


图6 综放面割煤后电磁辐射脉冲数

Fig. 6 Pulse number of Electromagnetic Radiation after coal cutting of the Fully Mechanized Caving Face

工作面前方煤体上的压力得到一定程度的释放,脉冲数集中在一个更小的范围内波动,并基本稳定。

3.1.3 煤岩动力灾害危险分析

根据文献[12]研究结果,3807综放面没有来压期间,预测没有动力危险,可按作业规程正常回采。

3.2 3807综放面周期来压时电磁辐射特征

3.2.1 强度特征

图3、图4中,8日为周期来压时电磁辐射强度的监测数据。特征为:

(1)周期来压前,强度又一个征兆性的增大,但相比来压时的强度略低,如5日的数据;

(2)来压时,除80支架下的监测数据外,其余测点强度出现最大值,割煤前达到150~185mv。割煤后强度略有减小,但仍维持在一个较高的幅值,在130~150mv。80支架前方电磁辐射强度没有大的变化,预测80支架下没有周期来压,81~84支架下也没有来压。

3.2.2 脉冲数特征

图5、图6中,8日为周期来压时电磁辐射脉冲数的监测数据。特征为:

(1)周期来压前,脉冲数增大,出现一个较大值,

如 5 日数据,部分数据接近 1.2×10^5 ;

(2) 来压时,割煤前后脉冲数都降低到一个极小值,不到 10^4 ,此时顶板失稳,位于采空区上部已经失稳的顶板与煤体上部的顶板形成平衡结构,结构的保护作用,使工作面前方煤体上方压力减小。

3.2.3 煤岩动力灾害危险分析

根据文献[12]研究结果,3807 综放面周期来压时,电磁辐射强度较正常回采时有大幅度增大,脉冲数有大幅度的减小,预测有弱动力发生可能性。现场采取的顶煤预裂,有助于消除动力倾向。

4 结论

研究得到了特厚煤层掘进和开采导致的电磁辐射脉冲数和强度特征,与薄煤层相比,特厚煤层综放面脉冲数非常大,是薄煤层脉冲数的 10~20 倍,强度也略高。另外,来压时强度变化趋势与薄煤层相同,都是来压时强度达到最大值,但特厚煤层在来压时,脉冲数降低到一个极小的值。

应用电磁辐射技术可以对特厚煤层开采进行动力灾害预测,现场应用应采用多参数分析提高预测精度。

参考文献:

- [1] 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.
- HE Xueqiu, WANG Enyuan, NIE Baisheng, et al. Electromagnetic dynamics of coal or rock rheology[M]. Beijing: Science Press, 2003.
- [2] 撒占友,何学秋,王恩元.煤岩流变电磁辐射效应及突出预测[M].北京:煤炭工业出版社,2006.
- SA Zhanyou, HE Xueqiu, WANG Enyuan. Electromagnetic emission effect during the fracture of coal or rock in predicting coal and gas outburst[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 2006.
- [3] 窦林明,王云海,何学秋,等.煤样变形破坏峰值前后电磁辐射特征研究[J].岩石力学与工程学报,2007,26(5):908-914.
- DOU Linming, WANG Yunhai, HE Xueqiu. Study on electromagnetic emission characteristic for coal sample deformation and failure during pre-and post-peaking phases[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(5): 908-914.
- [4] 王恩元,何学秋,刘贞堂,等.煤岩变形破裂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.
- WANG Enyuan, HE Xueqiu, LIU Zhentang, et al. The regularity electromagnetic radiation of coal or rock under load and its application[J]. China Safety Science Journal, 2000, 10(2): 35-39.
- [5] JIA Huilin, WANG Enyuan, SONG Xiaoyuan, et al. Correlation of electromagnetic radiation emitted from coal or rock to supporting resistance[J]. Mining Science and Technology, 2009, 19: 317-320.
- [6] 肖红飞,何学秋,冯涛,等.单轴压缩煤岩变形破裂电磁辐射与应力耦合规律的研究[J].岩石力学与工程学报,2004,23(23):3948-3953.
- XIAO Hongfei, HE Xueqiu, FENG Tao, et al. Research on the coupling laws between EME and stress fields during the deformation and fracture of coal or rock mono-axial compression[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(23): 3948-3953.
- [7] 李忠辉,王恩元,何学秋,等.掘进工作面前方电磁辐射分布规律研究[J].中国矿业大学学报,2007,36(2):142-147.
- LI Zhonghui, WANG Enyuan, HE Xueqiu, et al. Study of distribution of electromagnetic radiation of coal or rock before driving face[J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2007, 36(2): 142-147.
- [8] 刘晓斐,王恩元,何学秋,等.回采工作面应力分布的电磁辐射分布规律[J].煤炭学报,2007,32(10):1019-1022.
- LIU Xiaofei, WANG Enyuan, HE Xueqiu, et al. Electromagnetic radiation laws of the stress distribution in working face[J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32(10): 1019-1022.
- [9] 王恩元,何学秋,聂百胜.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.
- WANG Enyuan, HE Xueqiu, NIE Baisheng, et al. Principle of predicting coal and gas outburst using electromagnetic emission[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2000, 29(3): 225-229.
- [10] 刘晓斐,肖栋,邵学峰,等.矿井冲击危险电磁辐射连续监测及预测研究[J].煤田地质与勘探,2007,35(6):67-69.
- LIU Xiaofei, XIAO Dong, SHAO Xuefeng, et al. Electromagnetic radiation law of continuous monitoring and forecasting rock burst in coalmine[J]. Coal Geology and Exploration, 2007, 35(6): 67-69.
- [11] 何学秋,聂百胜,王恩元,等.矿井煤岩动力灾害电磁辐

- 射预测技术[J].煤炭学报,2007,32(1):56-59.
- HE Xueqiu, NIE Baisheng, WANG Enyuan, et al. Electromagnetic emission forecasting technology of coal or rock dynamic disasters in mine[J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32(1): 56-59.
- [12] 邓洪波,王恩元,刘晓斐.薄煤层开采工作面电磁辐射特征[J].河南理工大学学报,2011,30(4):406-410.
- DENG Hongbo, WANG Enyuan, LIU Xiaofei. EMR characters of thin coal seam workface [J]. Journal of Henan Polytechnic University, 2011, 30(4): 406-410.
- [13] 王恩元,何学秋,刘贞堂,等.煤岩动力灾害电磁辐射监测仪及其应用[J].煤炭学报,2003,28(4):366-369.
- WANG Enyuan, HE Xueqiu, LIU Zhentang, et al. Electromagnetic radiation detector of coal or rock dynamic disasters and its application [J]. Journal of China Coal Society, 2003, 28(4): 366-369.
- [14] SONG Dazhao, WANG Enyuan, WANG Chao, et al. Electromagnetic radiation early warning criterion of rock burst based on statistical theory[J]. Mining Science and Technology, 2010, 20: 686-690.

Dynamic tendency prediction of fully mechanized top coal caving mining in ultra thick seam by EMR monitoring

CHENG Yun-hai¹, ZHANG Dong¹, LI Lin², ZHANG Ming

(1. The Key Laboratory of Safe and High-efficiency Mining of Ministry of Education, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, Anhui, China; 2. Shuiliandong Colliery of Xinwen Mining Group; Xianyang 271200, Shanxi, China; 3. Xinwen Mining Group Co. Ltd, Taian 271200, Shandong, China)

Abstract: Electromagnetic radiation characteristic in fully mechanized top coal caving mining in ultra thick seam were obtained with electromagnetic radiation technique in Binxian Shuiliandong Colliery. The results showed that, (1) The intensity and pulse number are small when the heading face was normal boring, the strength was followed 15mv, and the pulse number was basiced 0; there was weak dynamic tendencies when tunneling to the anticline because of the intensity and volatility are both bigger; (2) Intensity and pulse number are both strong in fully mechanized caving face, when the normal mining, the intensity was followed 100mv, and the pulse number was waved between $(6-10) \times 10^4$; The intensity was the biggest and the pulse number was the least when periodic mine ground pressure coming, the intensity was up to 190mv, and the pulse number was minimum only 418. Weak dynamic tendencies were predicted. The result may be of value to forecast dynamic tendencies.

Key words: ultra thick seam; fully mechanized top coal caving mining; electromagnetic emission (EMR); characteristic; dynamic dangerous