

文章编号: 0253-9993(2004)04-0396-04

冲击矿压预测的电磁辐射技术及应用

窦林名, 何学秋, 王恩元

(中国矿业大学 能源科学与工程学院, 江苏 徐州 221008)

摘要: 试验研究表明, 煤岩在冲击破裂过程中, 裂缝的形成和颗粒的摩擦会产生电磁辐射; 煤岩体所受的应力越高、变形破裂越强烈, 电磁辐射信号越强; 现场观测的微震和冲击矿压发生前, 电磁辐射也有较大幅度的增加。为此, 提出了非接触式电磁辐射预测冲击矿压危险的临界指标和偏差技术。

关键词: 冲击矿压; 电磁辐射; 临界指标; 偏差值; 危险监测

中图分类号: TD324 **文献标识码:** A

Electromagnetic emission technique of monitoring rock burst and its application

DOU Lin-ming, HE Xue-qiu, WANG En-yuan

(School of Energy Science and Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008 China)

Abstract: Experimental study show that the EME (electromagnetic emission) is caused by the crack expands and friction of granule during rock and coal burst failure. The higher the stress in the coal is, the stronger the deformation and the failure are, and the stronger the signal of the EME is. The EME is increased by a relatively large margin before the slight shock and rock burst break out at spot. Therefore, some methods to monitor and forecast the danger of rock burst are proposed, such as critical point and deviation values which by non-contact method.

Key words: rock burst; electromagnetic emission (EME); critical point; deviation values; monitoring danger

煤岩动力灾害——冲击矿压是一种较为典型的矿山灾害动力现象, 其发动阶段的突然性和剧烈的破坏性对矿山安全构成很大的威胁。特别是随着煤矿开采深度每年以 10 m 的速度增加, 冲击矿压问题越来越突出。徐州、大同、抚顺等矿务局都面临冲击矿压的威胁问题。在冲击矿压的危险性评价及预测、预报方面, 世界各国采用的方法有综合评价法, 其中包括分析认识法、地震法、地音法, 以及小直径钻孔法^[1]。这些方法在可能发生的冲击矿压的地点进行危险性预报评价, 为采取相应的治理措施打下基础。目前这些方法主要以接触式法为主, 但预报的准确率在各种因素影响下, 近期还很难提高。电磁辐射是在 20 世纪 90 年代末发展起来的预测、预报冲击矿压危险的技术, 目前只有中国(中国矿业大学)和俄罗斯在进行这方面的研究工作^[1~12]。本文将结合中国矿业大学对煤岩破坏过程中所伴随的电磁辐射效应规律的研究成果, 提出用非接触电磁辐射监测冲击矿压灾害危险的技术原理和基本准则, 并进行工程实践验证。

1 煤岩冲击破坏的电磁效应规律

煤岩材料的破裂一般呈张拉或剪切形式。煤岩体的裂纹扩展时, 处于裂纹尖端表面区域中在应力诱导

收稿日期: 2003-09-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50074030); 国家自然科学基金重点资助项目(50134040); 教育部博士点基金资助项目(20030290017)

作者简介: 窦林名(1963-), 男, 青海平安人, 教授, 博士生导师。Tel: 0516-3885904, E-mail: lmdou@cumt.edu.cn

极化作用下积聚大量正负电荷, 裂纹尖端表面区域的扩展运动、电荷的迁移过程以及破坏停止后正负电荷的快速综合过程均会伴随电磁辐射效应. 煤岩剪切摩擦过程微观上是破坏过程, 同样也会伴随电磁辐射效应. 因此, 承载煤岩在微观上非均匀应力作用下的变形及破裂过程必然伴随着电磁辐射效应. 煤岩变形及破裂过程中的电磁辐射是煤体各部分的非均匀变速变形引起的电荷迁移和裂纹扩展过程中形成的, 煤体中应力越高, 变形破裂过程越强烈, 电磁辐射信号越强, 其主频带也越高^[1-7].

图 1 为某矿具有强烈冲击倾向性四层煤试样冲击破坏过程中电磁辐射的试验结果. 试样是从原煤岩中直接钻取 50 mm×100 mm 的原煤试样. 试验系统由加载系统、电磁辐射宽频带接收天线、电磁辐射信号数据采集系统、载荷和位移记录系统及电磁屏蔽系统等组成.

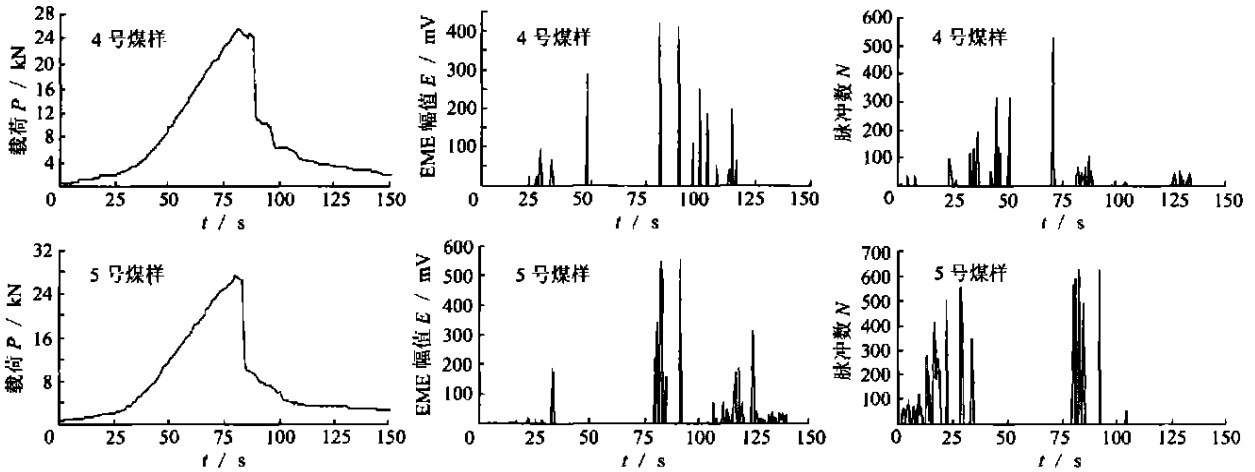


图 1 煤样的试验结果

Fig 1 The experiment results of coal samples

由上述试验结果及笔者已进行的研究可得出煤体在载荷作用下变形及破裂过程中产生电磁辐射信号, 基本上随着加载及变形速率的增加而增强. 从煤变形破坏试验结果来看, 煤试样在发生冲击性破坏前, 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. 如果将煤岩体在载荷作用下, 冲击破坏时最大应力的 80% 作为煤岩体冲击破坏的应力预警区, 由于电磁辐射与煤体应力具有一定的对应关系, 因此可得出煤岩体冲击破坏应力预警区的电磁辐射预警值. 根据确定的预警值进行煤岩体冲击破坏的预报, 表 1 为某矿四层煤样冲击破坏的电磁辐射预警值. 实验结果表明, 煤体电磁辐射的脉冲数随着载荷的增大及变形破裂的增强而增大, 即煤体应力越大, 变形破裂越强烈, 电磁辐射信号也越强.

表 1 煤样冲击破坏的电磁辐射预警值

Table 1 The warning EME value of rock burst of coal and rock sample

煤 层	冲击破坏的应力值/MPa		冲击破坏的电磁辐射值			
	最大值	预警值	幅值/mV		脉冲数	
			最大值	预警值	最大值	预警值
4 号煤	16.1	12.9	433	346	610	488

2 电磁辐射监测冲击矿压危险技术原理^[2, 4, 12]

在掘进或回采过程中, 围岩原有力学平衡状态被打破, 应力将重新分配, 向新的平衡状态转化, 转化期间煤体必然要发生变形或破裂, 引起电磁辐射. 电磁辐射强度与煤的应力状态有关, 在煤体松弛区域, 应力较低, 电磁辐射信号较弱, 且变化较小; 在应力集中区, 煤体的变形破裂过程较强烈, 电磁辐射信号

较强, 频率较高. 煤体的应力集中程度越高, 发生冲击矿压的危险性就越大. 因此通过监测煤体的电磁辐射信号强弱及其变化可以预测煤体的冲击危险程度. 对煤体采用非接触方式监测的信号是松弛区和应力集中区产生的电磁辐射信号的总体反映. 当监测范围内出现高应力集中区时, 接受的信号表现出高应力集中区的特征, 因此可以通过监测煤体的电磁辐射信号来预测监测范围内高应力集中区的范围及大小, 从而实现煤体冲击矿压的监测预报. 研究表明, 煤岩冲击、变形破坏的变形值 $\epsilon(t)$ 、释放的能量 $w(t)$ 与电磁辐射的幅值、脉冲数成正比. 冲击矿压发生前的一段时间, 电磁辐射值较高, 之后有一段时间相对较低, 但这段时间内, 其电磁辐射值均达到、接近或超过临界值, 之后发生冲击矿压. 电磁辐射的变化反映了煤岩破坏发生、发展的过程. 由于电磁辐射强度和脉冲数综合反映了煤体应力集中程度, 因此监测收集电磁辐射幅值最大值、幅值平均值、脉冲数 3 个指标来反映不同应力条件下电磁辐射特征.

电磁辐射监测冲击矿压危险的方法有临界值法、偏差法等. 临界值法是在正常没有冲击矿压危险的情况下, 以 n 次监测电磁辐射 3 个特征参数的平均值为基础, 取其平均值的 k 倍作为临界值. 当监测数据大于临界值时, 即预报煤体冲击危险增强. 其预测公式为 $E_l = k\bar{E}$. 其中 \bar{E} 为电磁辐射幅值 (或脉冲数) 平均值; n 与 k 值的确定根据煤层条件进行选取. 一般取 $n > 10$, $k = 1.4 \sim 1.5$. 偏差法就是通过分析监测数据与正常情况下平均数据的偏差值大小来预测、预报工作面冲击危险的程度. 实践表明, 冲击矿压发生前, 电磁辐射的偏差值均发生明显变化, 其预测公式为 $d = (E - \bar{E}) / \bar{E}$, 其中 E 为电磁辐射幅值 (或脉冲数) 观测值.

3 冲击危险的监测实践

(1) 试验工作面条件 电磁辐射监测预报实践是在某矿 3406 (1) 工作面进行的. 3406 (1) 工作面位于 -750 水平 3 采区第 2 区段四层煤上分层工作面. 四层煤厚 6.5 m, 具有强烈冲击倾向性, 分 3 层开采, 上分层采高 2.2 m, 倾角平均 34° . 直接顶为 2.0 m 厚的粉砂岩, 基本顶为 70 余米厚的砂岩, 粉、中、粗砂岩互层; 3406 (1) 工作面回风巷和运输巷标高分别为 -537, -635 m, 上为 3405 工作面采空区, 西为井田边界, 东为 2407 采空区, 下为 3407 工作面, 工作面走向长 650 m. 3406 (1) 工作面采用走向长壁跨落法开采, 单体液压支柱配铰接顶梁支护, 放炮落煤, 自溜运输.

(2) 电磁辐射监测方法 采用 KBD5 型电磁辐射仪进行工作面煤体的电磁辐射监测, 监测方式为非接触式定向测试, 为宽频带监测, 接收频率上限 500 kHz, 有效监测距离 7 ~ 22 m, 测点间距 10 m.

(3) 试验工作面电磁辐射特征 观测结果表明, 正常情况下, 工作面及巷道的电磁辐射的幅值及脉冲数较小, 变化不明显. 工作面不同部位电磁辐射值不同, 顶板压力大及煤体冲击危险性高的区域, 电磁辐射值高. 在较大的矿震、冲击矿压发生前, 电磁辐射有明显反映, 其幅值或脉冲数增长幅度较大. 在冲击危险区域, 诱发爆破后, 电磁辐射的脉冲数变化剧烈, 说明在这期间煤壁内变形破坏变化强烈, 发生冲击矿压危险的可能性较大. 图 2 为 3406 (1) 工作面中部电磁辐射观测结果 (图中 M_i 为震级). 图 3 为电磁辐射 3 个参数偏差值的变化规律. 由图 2, 3 可看

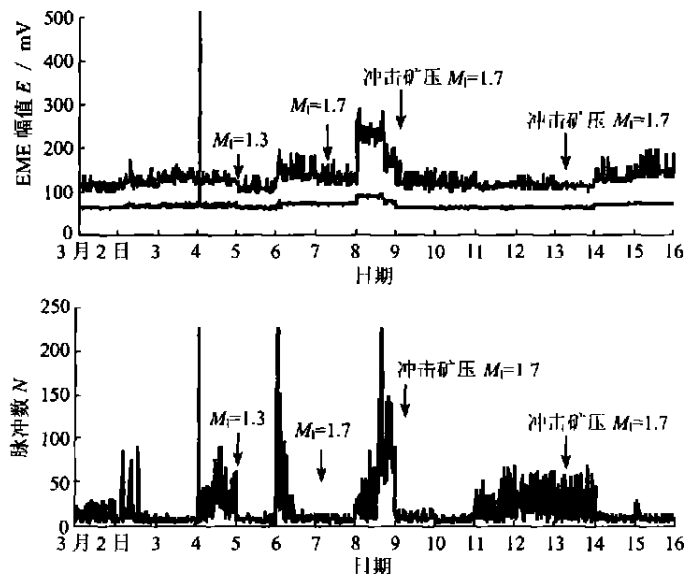


图 2 冲击矿压前、后电磁辐射值的变化规律

Fig. 2 The regularity of the EME amplitude and impulse fore-and-aft rock burst

出, 冲击矿压发生前, 电磁辐射的3个特征参数均不同程度地超过了某一临界值, 其偏差值变化较大. 因此, 采用电磁辐射监测配合其它监测方法可以大大提高工作面冲击危险的预测预报的准确程度.

(4) 预测效果分析 根据确定的电磁辐射监测预报指标, 对3406(1)工作面各观测点进行冲击矿压危险性判断. 如果将监测到的C级(中等)冲击矿压危险作为预测标准, 则对1.0级以上矿震及冲击矿压危险预测的准确率为100%, 如果将监测到的D级(强)冲击矿压危险作为预测标准, 则冲击矿压危险预测的准确率为73%.

4 结 论

煤岩体在载荷作用下变形及破裂过程中有电磁辐射信号产生. 电磁辐射基本上随着载荷的增大而增强, 随着加载及变形速率的增加而增强. 根据实验结果, 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, 脉冲数随着载荷的增大及变形破裂过程的增强而增大. 现场实践表明, 电磁辐射幅值最大值、平均值、脉冲数随着工作面冲击危险性的增强而变化, 找出了工作面不同状态下电磁辐射特征及工作面预测预报指标, 通过应用, 预报出多次冲击危险. 电磁辐射监测冲击矿压灾害危险的方法, 可在类似的条件下推广应用.

参考文献:

- [1] 窦林名, 何学秋. 由煤岩变化破坏引起的电磁辐射[J]. 清华大学学报, 2001, 41(12): 86~88.
- [2] 窦林名, 何学秋. 冲击矿压防治理论与技术[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2001.
- [3] 何学秋, 刘明举. 含瓦斯煤岩破坏电磁动力学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1995.
- [4] 窦林名, 何学秋. 采矿地球物理学[M]. 北京: 中国科学文化出版社, 2002.
- [5] Dou Linming, Xu Fangjun, Zhang Xiufeng. EME rockburst monitoring in Coal Mine Huafeng [A]. International Scientific-Technical Symposium Rockburst 2002 Research and Prevention Systems Proceedings [C]. Poland: Glowny Instytut Gorniczy Press, 2002. 261~267.
- [6] 何学秋. 含瓦斯煤岩流变动力学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1995.
- [7] 王恩元, 何学秋. 煤岩变形破坏电磁辐射的实验研究[J]. 地球物理学报, 2000, 43(1): 131~137.
- [8] 钱书清, 任克新, 吕智. 伴随岩石破裂的VLF、MF、HF和VHF电磁辐射特性的实验研究[J]. 地震学报, 1996, 18(3): 346~351.
- [9] 郭自强, 周大庄, 施行觉, 等. 岩石破裂中的电子发射[J]. 地球物理学报, 1988, 31(5): 566~571.
- [10] 郭自强, 郭子祺, 钱书清, 等. 岩石破裂中的声电效应[J]. 地球物理学报, 1999, 42(1): 74~83.
- [11] 窦林名. 煤岩突变的声电效应规律及其应用研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2001.
- [12] 窦林名, 曹其伟, 何学秋, 等. 冲击矿压危险的电磁辐射监测技术[J]. 矿山压力与顶板管理, 2002, 19(4): 89~91.

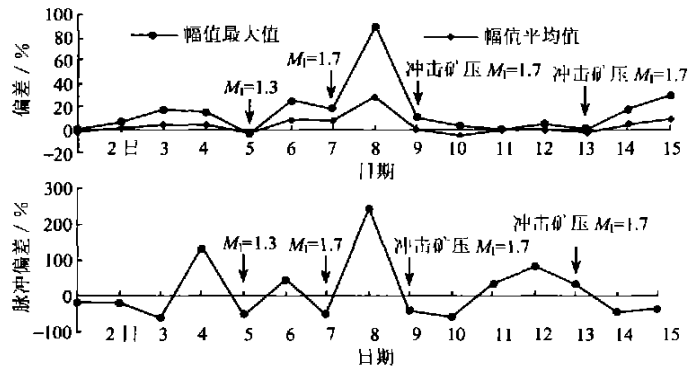


图3 3406(1)工作面电磁辐射偏差变化(3月)

Fig.3 The changes of EME deviation of the working face (march)