

王恩元,何学秋,窦林名等. 煤矿采掘过程中煤岩体电磁辐射特征及应用. 地球物理学报, 2005, 48(1): 216~221

Wang E Y, He X Q, Dou L M, et al. Electromagnetic radiation characteristics of coal and rocks during excavation in coal mine and their application. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2005, 48(1): 216~221

煤矿采掘过程中煤岩体电磁辐射特征及应用

王恩元, 何学秋, 窦林名, 周世宁, 聂百胜, 刘贞堂

中国矿业大学能源与安全工程学院, 徐州 221008

摘 要 运用研制的 KBD5 矿用本安型电磁辐射监测仪测试了煤矿采掘过程中工作面煤岩体的电磁辐射, 分析了电磁信号与采掘工艺及煤岩动力灾害危险性等的关系. 研究表明, 煤矿采掘过程伴随产生电磁辐射, 电磁辐射是煤岩体受到采动影响后应力重新分布或变形破裂趋向新的平衡的结果; 有煤与瓦斯突出和冲击地压危险时, 有明显的电磁异常前兆; 采取防治措施后, 电磁辐射显著下降. 电磁辐射技术在煤矿可以用于预测煤与瓦斯突出、冲击地压等煤岩动力灾害.

关键词 煤矿采掘过程 电磁辐射异常 煤与瓦斯突出 冲击地压

文章编号 0001 - 5733(2005)01 - 0216 - 06 中图分类号 P631 收稿日期 2003 - 05 - 07, 2004 - 09 - 30 收修定稿

Electromagnetic radiation characteristics of coal and rocks during excavation in coal mine and their application

WANG En-Yuan, HE Xue-Qiu, DOU Ling-Ming, ZHOU Shi-Ning, NIE Bai-Sheng, LIU Zhen-Tang

College of Energy & Safety Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China

Abstract Electromagnetic radiation (EMR) signals produced by coal and rocks in working faces during excavation in coal mine were measured with the KBD5 electromagnetic radiation monitoring equipment. We analyze the relationships between electromagnetic radiation signals and excavation, dynamic disaster fatalness of coal and rocks. Our research shows that the electromagnetic radiation is produced in the course of excavation, which is the result of the stress redistribution or deformation and fracture of coal and rocks tending to a new balance when affected by excavation. There is obvious electromagnetic anomaly precursor when there is danger of coal and gas outburst or rock burst, and electromagnetic radiation intensity drops notably after taking measures. The electromagnetic radiation technology can be used for forecasting dynamic disasters such as coal and gas outburst and rock burst in coal mine.

Keywords Coal mine excavation, Electromagnetic radiation anomaly, Coal and gas outburst, Rock burst.

1 引 言

实验室条件下卸载煤岩体破裂时能够产生电磁辐射已被大量的研究所证实^[1~5], 矿井塌陷过程中

也有电磁辐射产生^[4], 那么煤矿采掘过程中受采动影响的煤岩体能否产生电磁辐射呢?

煤矿采掘过程中可能会发生煤岩动力灾害. 煤岩动力灾害是压力超过煤岩体的强度极限, 聚积在巷道周围煤岩体中的能量突然释放, 较大范围的煤

基金项目 国家自然科学基金项目(50204010)、国家自然科学基金重点项目(50134040)和江苏省自然科学基金项目(BK2001075)资助.

作者简介 王恩元,男,1968年生,副教授,1997年于中国矿业大学安全技术及工程专业获博士学位,主要从事矿山煤岩灾害动力过程及其预测技术、煤岩电磁辐射及其技术应用研究. E-mail: weytou@263.net

岩体或含瓦斯煤岩体突然失稳而发生冲击或突出的现象,变形破裂过程是一个由流变到突变发展的过程^[5],主要有冲击地压和煤与瓦斯突出等。煤岩动力灾害预测预报就是要在冲击或突出等煤岩动力灾害发生前对煤岩体所处的动力灾害危险程度做出判断。现行常规的煤岩动力灾害预测方法主要是钻屑法。在煤矿,也用钻孔瓦斯涌出初速度或钻屑瓦斯解吸指标来预测煤与瓦斯突出。这些预测方法从时间上来说,是一种静态预测方法,从空间上来说,是一种点(或线)信息的方法。钻屑法打钻及参数测定需占用作业时间和空间,工程量很大,预测作业时间也较长,对生产有一定的影响,预测所需费用也较高。并且这种静态法的准确性也不是很高,易受人工及煤岩体的结构、应力分布不均匀和不稳定的影响,突出危险预测的准确性在很大程度上取决于钻孔布置及预测时刻在空间和时间上的代表性。近几年来常出现预测指标未超过临界值而发生突出灾害的事例^[6,7]。究其原因,采掘空间或巷道周围煤岩体的结构、应力在空间上分布是不均匀的,也是不稳定的,在钻孔附近取得的预测结果仅仅是局部的,并不能完全反映工作面前方整个预测范围内的突出危险性;在预测时刻取得的结果也只是静态的,并不能完全反映煤岩体稳定前整个时期内的突出危险性,因为煤岩体处于动态变化之中。因此基于地球物理方法的动态连续预测研究正日益引起人们的重视。

目前已经将声发射技术初步应用于预测矿井煤岩动力灾害^[8]。电磁辐射的接收可实现定向及非接触,在监测过程中比声发射有较大优势。如果矿井采掘过程中能够产生电磁辐射,并且在煤岩动力灾害发生前有电磁辐射异常,那么可将电磁辐射技术应用于矿井预测煤岩动力灾害,这会使煤岩动力灾害预测技术发生很大的突破。电磁辐射法预测预报煤岩动力灾害具有可实现非接触、区域性(较大范围)、连续动态监测、可节省大量的钻探工程量、对生产影响小及不受煤岩体在空间上分布不均匀及时间上不稳定的影响等优点。

本文将研究煤矿采掘过程中工作面煤岩体的电磁辐射特征,并分析电磁信号与采掘工艺及煤岩动力灾害危险性等的关系。

2 测试系统

由于煤矿井下有瓦斯,测试仪表必须符合防爆要求。为此开发了 KBD5 矿用本安型电磁辐射监测

仪,由定向接收天线和接收机组成,其功能主要有:参数输入、电磁信号接收、数据处理、数据存储、数据显示、通讯等。接收天线为磁性天线,极化方式为轴向圆极化,其带宽为 1~500kHz,在该范围内其增益波动幅度为 ± 1 dB。煤岩体电磁辐射原始信号为阵发性的脉冲信号,其频带很宽,且其主频带随载荷而发生变化,根据电磁场理论及采掘工作面监测范围确定接收机的测量频率范围为 1~500kHz^[2],采用时域宽频接收。为了克服测试数据量大且矿用监测仪存储空间小的矛盾,在测试过程中对数据作了统计处理:统计每秒钟的电磁辐射强度(电压)极大值和脉冲数作为显示或输出指标。

煤岩体的变形破裂是区域性的,存在很多辐射源,辐射源表现为随机的,而且电磁辐射在传播过程中受到裂隙及层理界面的反射、散射和边缘绕射,常会使到达接收天线处的电磁波的极化状态不可预测。

3 掘进过程的电磁辐射特性

3.1 测试环境

测试矿井位于地下 500~1000m,地面电磁干扰信号影响较小。测试前对环境影响进行了测试及分析。测试结果表明,在有效测试范围周围 2m 以内,采、掘、运输机械的开机和停机时电磁辐射测值出现一个或一组强度很高的尖脉冲,而在正常运行过程中无影响;在有效测试范围 2m 以外时,采、掘、运输机械、井下照明对测试没有影响;局部通风机离测点较远,对测试也没有影响。本文测试结果均是在测试地点 5m 以内工作机械停止工作的情况下完成的。

3.2 测试方案

在有突出危险的煤层中掘进巷道时,根据《煤矿安全规程》^[9]需要采取预测和防治煤与瓦斯突出措施。在掘进工作面进尺后,测试了工作面前方煤体的电磁辐射,预测有突出危险并采取卸压和排放瓦斯措施后,又测试了工作面煤体电磁辐射,同时测试了钻屑量、钻孔瓦斯涌出初速度或钻屑瓦斯解吸指标等常规指标,并进行了对比分析。电磁辐射测点距掘进工作面前方煤壁 0.8m 左右(如图 1 所示)。定向接收天线朝向工作面前方煤体。测试过程中巷道后方 5m 内不允许有机械工作。

3.3 测试结果及分析

图 2~4 分别为在平顶山煤业(集团)公司八矿掘进工作面不同情况下的电磁辐射测试结果。结果

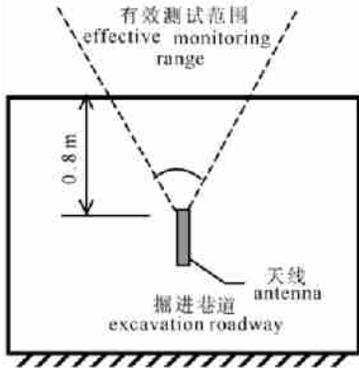


图 1 掘进工作面电磁辐射测试示意图

Fig. 1 Sketch map of electromagnetic radiation test at an excavation working face

表明,煤矿掘进工作面煤岩体有电磁辐射产生(图 2,3),电磁辐射信号明显强于邻近较为稳定巷道周围的电磁信号(图 4),表明掘进工作面煤岩体的电磁辐射信号强于背景电磁干扰.

掘进工作面有突出危险时,有明显的电磁前兆:煤体电磁辐射信号较强(图 2a),脉冲数(N)较大(图 2b),明显高于无突出危险或正常情况下的电磁辐射(图 3).在其他煤矿(如焦作矿区、淮南矿区、沈阳红菱煤矿、徐州张集煤矿等)的测试结果也提供了充分的证明.

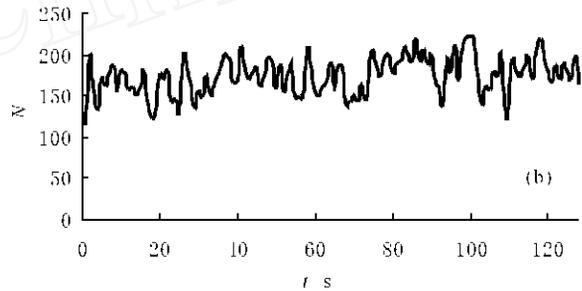
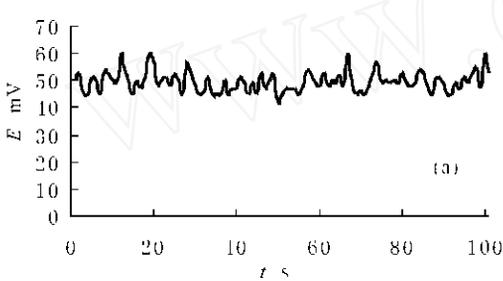


图 2 13190 掘进工作面有突出危险时电磁辐射的测试结果

(a) 电磁辐射强度 E 变化; (b) 电磁辐射脉冲数的变化.

Fig. 2 EMR test results on the 13190 excavation working face with outburst danger

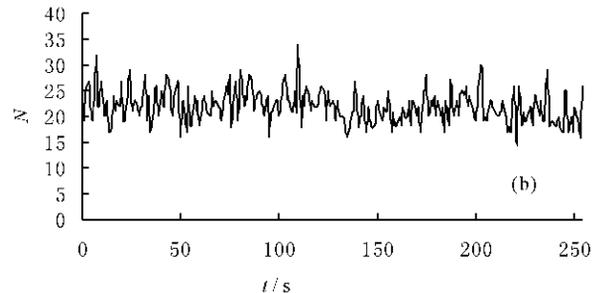
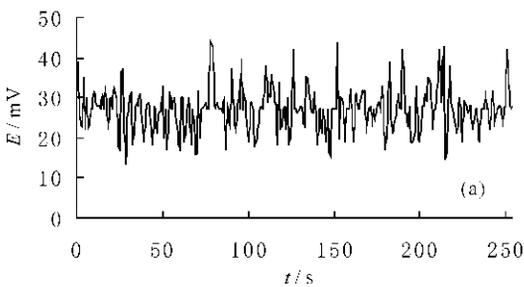


图 3 13190 掘进工作面无突出危险时电磁辐射的测试结果

(a) 电磁辐射强度变化; (b) 电磁辐射脉冲数的变化.

Fig. 3 EMR test results on the 13190 excavation working face without outburst danger

(a) Change of EMR intensity; (b) Change of EMR pulse number.

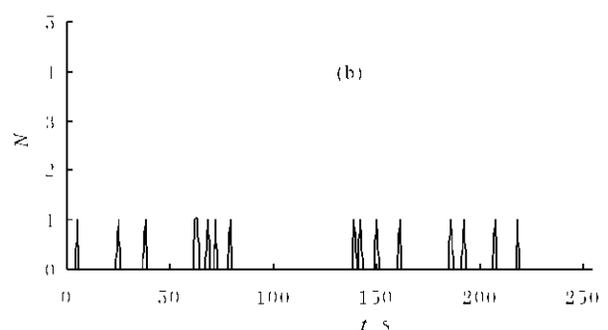
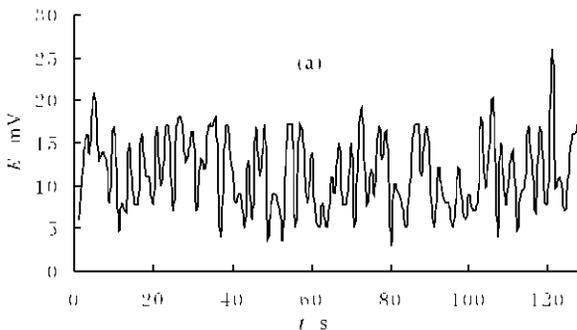


图 4 稳定巷道电磁辐射及其变化

(a) 电磁辐射强度变化; (b) 电磁辐射脉冲数变化.

Fig. 4 EMR and its change in a steady roadway

(a) Change of EMR intensity; (b) Change of EMR pulse number.

工作面前方煤体内不同的位置处,测定的电磁辐射是不同的,由钻孔口进及煤体深部,电磁辐射逐渐增大,出现最大值后,又逐渐降低,整体上呈现一个与应力变化相类似的曲线(图 5),与能够反映煤岩体应力状态的钻屑量指标完全一致。

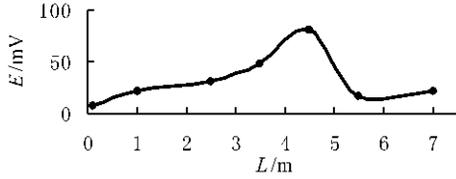


图 5 煤体电磁辐射与深度 L 间的关系

Fig. 5 Relationship between coal body EMR and depths

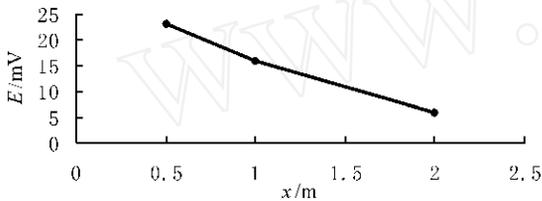


图 6 沿巷道出口方向电磁辐射测定情况

Fig. 6 EMR test results along the exit direction

巷道内不同位置处测定的电磁辐射也是不同的.当工作面工作机械停止工作且没有其他的电磁干扰时,沿巷道出口方向,电磁辐射呈现衰减趋势,距离煤壁越远,电磁辐射越弱(图 6),这表明距煤岩体变形破裂较为强烈区域越远,测试电磁辐射越弱,也表明在掘进工作面,电磁辐射主要来源于掘进工作面前方。

4 采煤过程电磁辐射特性

4.1 测试方法

在回采工作面或顺槽中测试时,每隔 10m 或 20m 左右布置一个测点(图 7),当某一测点电磁辐射

较强时,在周围加密测点,测点间距为 5 ~ 10m. 测试时,天线朝向需要进行测试的煤岩体区域并固定,连接天线与接收机后即可进行测试.采用 KBD5 监测仪也可进行定点、长时间监测。

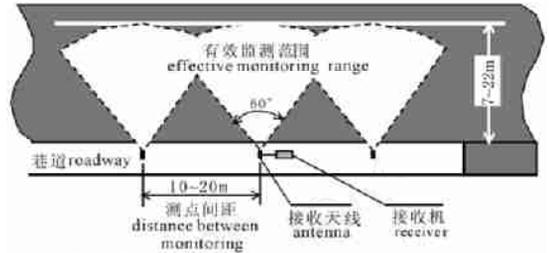


图 7 回采工作面或巷道测点布置示意图

Fig. 7 Sketch map of monitoring points on a slope working face or a roadway

4.2 测试结果及分析

在采煤过程中,回采工作面和上、下顺槽中均有电磁辐射产生.电磁辐射的强弱与应力有密切关系:应力大或应力集中的区域,或变形破裂强烈的区域,电磁辐射较强。

有发生冲击地压危险的区域,应力较大,发生冲击地压前电磁辐射异常.图 8 为 2001 年 3 月 6 日 ~ 12 日山东华丰煤矿回采工作面顺槽的电磁辐射强度测试结果,3 月 9 日电磁辐射较强,3 月 10 日发生了 1.7 级冲击地压。

电磁辐射强度和脉冲数较大的区域,采取卸压爆破措施后,电磁辐射强度和脉冲数大幅度降低.图 9 为徐州三河尖煤矿工作面回采过程中材料道电磁辐射测试结果^[10],17 日夜班 1 时电磁辐射较强,工作面停采,17 日早班 9 时电磁辐射仍较强,且有增大趋势,结合工作面实际状况预测此时已达到相当危险的状态,早班对工作面危险区域采取了卸压爆破措施.之后,17 日 16 时进行测试,电磁辐射幅值大幅度下降,防治效果明显。

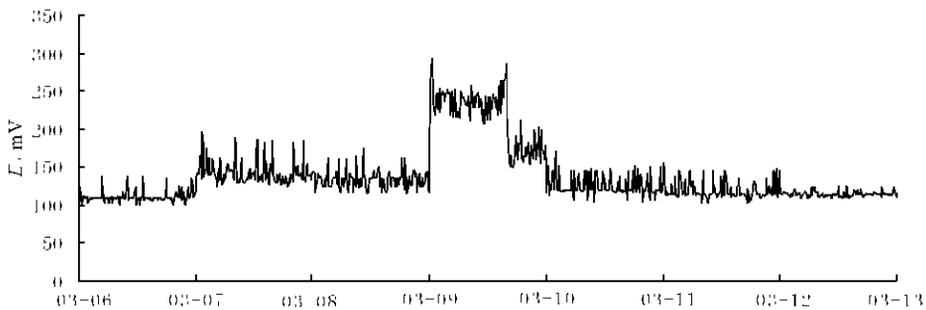


图 8 华丰煤矿电磁辐射测试结果

Fig. 8 Electromagnetic radiation test results in the Huafeng coal mine

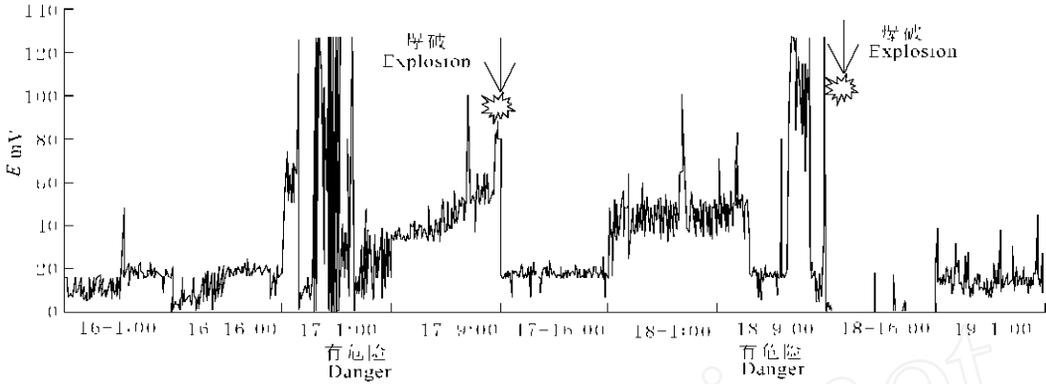


图 9 有冲击危险采取防治措施前后电磁辐射强度变化

Fig. 9 Change of electromagnetic radiation amplitude before and after taking measures against rock burst danger

钻屑量 S 、钻孔瓦斯涌出初速度 q 、钻屑瓦斯解吸指标 h_2 和综合指标 R (无量纲) 等指标能够反映煤岩动力灾害的危险性^[11]. 图 10 为 2003 年 7 月 23 日徐州张集煤矿 7353 回采工作面不同位置处煤体电磁辐射与常规指标之间的对应关系, 图 11 为 2002 年焦作九里山煤矿 15011 工作面左前方测点电磁辐射强度与常规指标之间的关系. 从两图可以看出, 电磁辐射与常规预测指标有较好的对应关系. 需要说明的是, 在焦作九里山煤矿钻屑量是不敏感指标.

老虎台煤矿、新汶华丰煤矿、大屯孔庄煤矿和兖州东滩煤矿等用于预测冲击地压, 在焦作矿区、淮南矿区、沈阳红菱煤矿、徐州张集煤矿等用于预测煤与瓦斯突出. 测试了大量的数据, 表明采用电磁辐射法预测煤与瓦斯突出、冲击地压效果均很好. 可见, 用电磁辐射法超前预测煤岩动力灾害和检验防治措施效果是可行的.

5 采掘过程电磁辐射机理的探讨分析

地层中的煤岩体未受采掘影响时, 基本处于准平衡状态. 掘进或回采空间形成后, 周围煤岩体失去应力平衡, 处于不稳定状态, 必然要发生变形或破裂, 以向新的应力平衡状态过渡. 煤岩体承受应力越大, 煤岩体变形破裂过程越强烈, 电磁辐射信号越强. 当采掘空间或巷道周围煤岩体处于基本稳定状态时, 煤岩体仍然承受着上覆岩层的应力作用, 处于流变状态, 同样会产生电磁辐射.

在采掘工作面前方, 依次存在着三个区域, 它们是松弛区域 (即卸压带)、应力集中区和原始应力区. 采掘空间形成后, 煤体前方的这三个区域始终存在, 并随着工作面的推进而前移. 由松弛区到应力集中区, 应力及瓦斯压力越来越高, 电磁辐射信号也越来越强. 在应力集中区, 应力和瓦斯压力达最大值时, 煤体的变形破裂过程也较强烈, 电磁辐射信号最强. 越过峰值区后进入原始应力区, 电磁辐射强度将有所下降 (图 5), 这与反映煤岩体应力状态的钻屑量指标变化完全一致. 采用非接触电磁辐射法测定的是总体电磁辐射强度和脉冲数, 预测范围包含了应力松弛区和应力集中区.

煤与瓦斯突出是地应力 (包括顶底板作用力和侧向应力)、瓦斯压力和煤岩体共同作用的结果, 冲

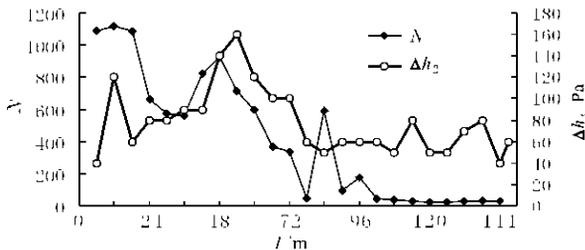


图 10 电磁辐射脉冲数 N 与钻屑瓦斯解吸指标 h_2 间的对应关系

Fig. 10 Relationship between EMR pulse number and gas desorption index h_2 of drillings

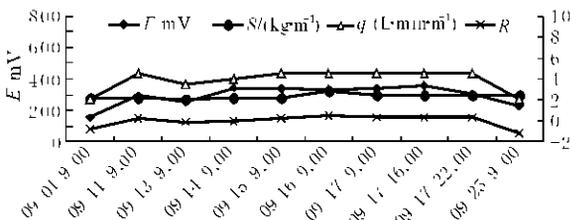


图 11 15011 工作面左前方测点电磁辐射与常规指标之间的关系

Fig. 11 Relationship between electromagnetic radiation and general index in the left front of 15011 working face

目前该项技术及装备已在有动力灾害危险的矿井并进行试验或推广应用, 如在徐州三河尖煤矿、抚顺

击地压是地应力(包括顶底板作用力和侧向应力)和煤岩体共同作用的结果,二者均是经过一个发展过程后产生的突变行为,发生前有明显的前兆:工作面前方煤岩体或含瓦斯煤岩体处于高应力状态,煤岩体电磁辐射信号较强,或处于逐渐增强的变形破裂过程中,煤岩体电磁辐射信号逐渐增强。煤岩体的应力越高,瓦斯压力越大,突出危险性越大。应力越高,冲击危险性越大。电磁辐射强度和脉冲数两个参数综合反映了煤体前方应力的集中程度和煤岩体突出或冲击危险的程度,因此可用电磁辐射法进行突出和冲击地压等煤岩动力灾害危险性预测。

参考文献 (References)

- [1] 何学秋,刘明举. 含瓦斯煤岩破坏电磁动力学. 徐州:中国矿业大学出版社,1995
He X Q, Liu M J. Fracture Electro-magnetic Dynamic of Coal or Rock Containing Gas (in Chinese). Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 1995
- [2] 王恩元. 含瓦斯煤破裂的电磁辐射和声发射效应及其应用研究[博士论文]. 徐州:中国矿业大学能源科学与工程学院,1997
Wang E Y. The effect of EME & AE during the fracture of coal containing gas and its applications[Ph. D. thesis] (in Chinese). Xuzhou: College of Energy Science and Engineering, China University of Mining and Technology, 1997
- [3] 王恩元,何学秋. 煤岩变形破裂电磁辐射的实验研究. 地球物理学报,2000,43(1):131~137
Wang E Y, He X Q. Experiment study on electromagnetic radiation of coal or rock during deformation and fracture. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2000, 43 (1): 131 ~ 137
- [4] 国家地震局科技监测司. 震前电磁波观测与实验研究文集. 北京:地震出版社,1989.1~4
Department of Science and Technology of China Seismological Bureau. Anthology of Electromagnetic Wave Observation Before Earthquake and Experiment Study (in Chinese). Beijing: Seismological Press, 1989. 1 ~ 4
- [5] 何学秋. 含瓦斯煤岩流变动力学. 徐州:中国矿业大学出版社,1995
He X Q. Rheological Dynamic of Coal or Rock Containing Gas (in Chinese). Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 1995
- [6] 苏文叔. 利用瓦斯涌出动态指标预测煤与瓦斯突出. 煤炭工程师,1996,(5):2~7
Su W S. Probing into the prediction of gas and coal outburst with dynamic index of gas emission. *Coal Engineer* (in Chinese), 1996, (5): 2 ~ 7
- [7] 王恩元. 电磁辐射法监测煤与瓦斯突出危险性技术及其应用研究[博士后研究报告]. 徐州:中国矿业大学能源科学与工程学院,1999
Wang E Y. Study on coal and gas outburst forecast technology with electromagnetic radiation method and its application [Postdoctoral report] (in Chinese). Xuzhou: College of Energy Science and Engineering, China University of Mining and Technology, 1999
- [8] 胡菊,魏风清. 俄罗斯-6型地震声学监测系统在八矿的试验应用. 煤炭工程师,1994,(6):41~46
Hu J, Wei F Q. Experiment application of Russia-6 earthquake acoustic monitoring system in 8th coal mine. *Coal Engineer* (in Chinese), 1994, (6): 41 ~ 46
- [9] 国家煤矿安全监察局. 煤矿安全规程. 北京:煤炭工业出版社,2001
China Coal Mine Safety Supervise Bureau. Coal Mine Safety Regulation (in Chinese). Beijing: China Coal Industry Publishing House, 2001
- [10] 窦林名. 煤岩突变的声电效应规律及其应用研究[博士后研究报告]. 徐州:中国矿业大学能源科学与工程学院,2001
Dou L M. Study on acousto-electric effect law of coal or rock mutation [Postdoctoral report] (in Chinese). Xuzhou: College of Energy Science and Engineering, China University of Mining and Technology, 2001
- [11] 于不凡,王佑安. 煤矿瓦斯灾害防治及利用技术手册. 北京:煤炭工业出版社,2000
Yu B F, Wang Y A. Manual for Gas Disaster Prevention and Utilization in Coal Mine (in Chinese). Beijing: China Coal Industry Publishing House, 2000