

力-电-热多参量监测深井动力灾害的试验分析

李 祁¹, 王 皓¹, 潘一山², 徐连满², 马 箫²

(1. 辽宁工程技术大学 理学院, 辽宁 阜新 123000; 2. 辽宁工程技术大学 冲击地压研究院, 辽宁 阜新 123000)

摘要: 采掘活动引起工作面前方煤体应力场重新分布、煤体破裂、瓦斯运移等活动, 煤体内部内能、势能等能量不断发生转换, 并对外辐射电荷、电磁等能量, 致使煤体应力、煤体温度发生变化。使用煤体应力、煤体电荷和煤体温度多参量监测技术, 对工作面前方煤体压力、煤体电荷和煤体温度进行持续监测, 可判断煤体应力变化、瓦斯运移及煤体破裂状况等, 从而确定煤层动力灾害危险程度。通过现场试验研究表明: 含瓦斯煤层煤体应力突变时, 煤体辐射电荷量增加、煤体温度降低, 应力平稳变化阶段, 煤体温度、煤体电荷信号基本稳定不变。因此, 可利用对煤体应力、煤体温度和煤体电荷的监测结果, 判断煤层动力灾害危险性, 并且煤体应力、煤体温度、煤体电荷监测技术可相互补充验证, 增加动力灾害预测可靠度。力-电-热多参量预测技术可提高煤矿动力灾害预测准确性, 为煤矿安全生产提供可靠保障。

关键词: 动力灾害; 煤体应力; 煤体温度; 煤体电荷

文章编号: 1003-8035(2014)02-0070-07

中图分类号: TD77

文献标识码: A

0 引言

随着煤炭开采的发展和浅部可采储量的逐年减少, 深部开采成为我国大部分煤矿必须面临的问题。深部开采处于“四高一扰动”的复杂力学环境, 冲击地压、煤与瓦斯突出等矿山动力灾害发生的频率和强度不断增加^[1-2]。目前冲击地压及煤与瓦斯突出的预测方法主要有微震预测法^[3-4]、声发射监测法^[5]、电磁辐射法^[6]等非接触式方法, 通过监测煤体内部能量向外辐射的信号, 监测煤体结构中应力的变化和煤体变形破裂; 钻孔法等接触式方法, 通过检测钻屑量^[7]、钻孔瓦斯涌出初速度和钻屑瓦斯解吸特征^[8]等指标, 反映煤体力学性质、煤层瓦斯压力和含量及煤层应力等因素; 区域预测法^[9], 综合区域地质条件和开采技术条件对煤层及煤层区域的动力灾害危险性做出判断。由于单项指标本身的局限性, 动力灾害机理及规律尚未清晰明确, 同时受地质条件复杂性与多样化等因素的限制, 目前的预测手段准确率不高, 防治措施的有效性也不十分理想。

付东波等提出了采动应力监测理论, 并在综采工作面使用钻孔应力传感器, 实时监测采动影响条件下工作面前方煤岩体的应力变化, 对冲击危险工作面进行了监测和预测^[10]。潘一山等使用电荷感应仪对工作面电荷感应信号进行监测, 证实电荷感应值与煤体所处的应力水平有一定关系, 电荷感应预测技术可对冲击地压等煤岩动力灾害现象进行预测预报^[11]。刘

纪坤等对煤体瓦斯解吸过程进行了热力学分析, 认为煤与瓦斯突出是由地应力、煤层瓦斯压力以及煤的物理力学性质等多种因素综合作用的结果, 而煤体温度的变化与以上三种因素都存在相应关系^[12]。

本研究提出使用煤体应力、电荷和温度监测技术, 对煤体内部应力变化、瓦斯运移及煤体破裂状况等多种信息进行持续监测, 采用三项指标综合分析, 对煤矿动力灾害进行预测预报, 提高煤矿动力灾害预测准确性, 为煤矿安全生产提供保障。

1 深井动力灾害灾变机理

动力灾害从孕育到发生的过程是十分复杂的力学过程, 是由发生前的准静态平衡状态失稳转变到另一个稳定平衡状态的动力失稳过程。冲击地压、煤和瓦斯突出等动力灾害孕育过程是相同的^[13-14], 即采掘活动破坏了原有的力学平衡, 煤层及其围岩应力重新分布, 瓦斯发生流动; 在应力和瓦斯固流耦合作用下, 受有效应力支配的煤层发生变形; 煤层中裂纹裂

收稿日期: 2013-06-16; **修订日期:** 2013-06-21

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2010CB226803); 国家自然科学基金面上项目(11172121); 国家自然科学基金面上项目(11072102)

作者简介: 李 祁(1986—), 男, 辽宁阜新人, 硕士生, 主要从事工程计算的研究。

E-mail: lngdwl@tom.com

隙发生发展,应力超过弹性极限,裂纹裂隙开始大量发生,裂纹发生并合密集现象,出现了局部化现象;至峰值强度附近,变形局部化现象显著,出现了包括裂纹裂隙在内的变形集中区;变形集中区内煤的性质呈现应变软化性质,即煤抵抗外载的能力不仅不随变形增加而增加,反而随变形增加而降低。

冲击地压与煤和瓦斯突出的孕育过程是完全相似,但发生过程和能量来源有很大区别^[15-16]。冲击地压是煤层变形系统整体受压失稳而发生的,而煤和瓦斯突出是煤层变形系统未达临界稳定情况下,在应变软化区进行采掘工作面推进,造成围压与孔隙压力抵消后剩余拉性有效应力超过煤抗拉强度,发生拉伸失稳破坏。冲击地压能量主要来自煤岩系统在变形过程中的弹性势能,冲击地压发生时剩余能量转化为冲击能。煤和瓦斯突出能量主要来自瓦斯压力势能以及在煤变形过程中和突出发生过程中转化为瓦斯压力势能的煤岩弹性势能,最后剩余能量转化为瓦斯喷出时的动能。

2 深井动力灾害预测技术

地应力变化及瓦斯运移等因素是引起动力灾害发生的根本原因^[17]。在工作面推进过程中,工作面前方煤层应力场重新分布、瓦斯发生流动,在此过程中伴随能量转换,煤体将发生破裂、煤与瓦斯之间进行热量交换、向外辐射电荷等能量。因此通过监测煤体应力、温度及电荷等指标,可反映煤层内煤体应力、瓦斯等变化,对动力灾害进行预测预报。

2.1 煤体应力监测技术

掘进或回采空间形成后,工作面煤体失去应力平衡,处于不稳定状态,煤壁中的煤体发生变形或破裂,以向新的应力平衡状态过渡。工作面前方依次存在着三个区域,它们是松弛区、应力集中区和原始应力区^[18]。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。应力集中区应力达峰值,煤体将会发生变形破裂,煤体物理力学参数、煤岩体内瓦斯压力及瓦斯吸附解吸状态等发生较大变化,这一系列参数和状态的变化达到一定程度、并足以使煤岩体发生破坏失稳和抛出,将发生动力灾害,因此通过监测煤体应力的变化状况来预测矿井动力灾害。

目前煤体应力监测主要采用接触式压力传感器^[19],包括振弦式和液压式传感器两种,安装方式采用钻孔探入式固定安装。本次测试使用 GPD200A 矿

用本安型压力传感器,在工作面前方煤体中钻孔,用安装杆将探头缓慢钻孔内,实现了对工作面前方煤体应力连续、实时测量。

2.2 煤体温度监测技术

工作面地应力场随着采掘面向前掘进不断发生变化,煤体在地应力的作用下发生变形和破坏,煤体能量向外耗散,此过程不是单纯的力学过程,而是热力耦合过程,自始至终都存在温度的变化^[20]。当地应力对工作面煤体做正功时,地应力做功部分转化为热能,根据热力学第一定律,煤体内部温度将升高;游离瓦斯的涌出和吸附瓦斯的解吸是一个吸热过程,将使煤体温度降低;已有的研究表明瓦斯吸收的热量要远大于地应力做功生成的热量。

根据现场资料及部分学者研究,煤与瓦斯突出前,煤体内部已开始产生部分微裂隙,煤体内部吸附瓦斯解吸与游离瓦斯涌出将吸收煤体内部大量热量,导致煤体温度降低^[21],巷道处产生煤壁发凉、有丝丝冷气冒出、空气变冷、气温下降等现象,因此可通过监测煤体温度信号来预测矿山动力现象的发生。

煤体温度监测使用 GWP100 矿用本安型温度传感器,其使用精度高、稳定性好、性能可靠的铂电阻作为温度感应元件,温度传感器通过安装杆推入到钻孔内,可连续监测煤体温度变化来反映钻孔温度变化。

2.3 煤体电荷监测技术

煤岩体在变形破裂过程中有电荷感应信号的产生,电荷的产生是压电效应、摩擦作用、微破裂导致裂隙尖端电荷分离、位错、流动电势和电场等共同作用产生的电荷综合叠加的结果,主要原因是微破裂导致裂隙尖端电荷分离和摩擦作用^[22-23]。煤岩变形破裂时产生的电荷信号包含着煤岩变形破裂力学过程的大量信息,通过对煤岩变形破裂产生电荷进行检测分析就可以掌握煤岩变形破裂的力学过程。

掘进或回采空间形成后,工作面煤体失去应力平衡,处于不稳定状态,煤壁中的煤体必然要发生变形或破裂,以向新的应力平衡状态过渡,在此过程中会产生电荷分离^[24]。电荷感应与煤的应力状态和破裂程度有关,煤体应力及煤体破裂程度越高时电荷感应信号就越强,电荷感应强度和位置两个参数综合反映了工作面前方煤体应力的集中程度。电荷法是一种很有潜力的煤岩变形破裂的预测方法,也将是一种很有潜力的非接触、连续、综合的矿山动力灾害监测预警方法。

本次测试使用课题组研制的在线式煤体电荷监测仪,其电荷传感器具有高放大倍数、响应快速的特点,可接受到煤体中向外辐射的电荷信号。将电荷传感器安装在巷道煤壁处,电荷传感器探头正对煤壁,对工作面前方煤体电荷变化进行连续、实时监测。

3 现场测试实验结果及分析

3.1 现场概况

平顶山八矿戊9、10-12160工作面位于戊二下延采区西部,东与戊二下延皮带相邻,西至戊四采区,北为己回采的戊9、10-12180采面,南邻己回采的戊9、10-12140采面,为孤岛工作面,煤层埋藏深度为620.5~736.2m。该采面可采走向长度为1051m(机巷1047.79m,风巷1055.37m),南北倾斜平均宽197m,斜面积为207047m²,煤层平均为4.3m。老顶为细砂岩,直接顶为砂质泥岩,距煤层顶板2.2~8.8m为戊8煤(0.6~0.9m),直接底为泥岩及砂质泥岩,老底为砂质泥岩及粉砂岩。局部地段受断层影响,煤层顶底板破碎,裂隙发育,工作面推进速度为1.5m/d。

3.2 测试方案

选择戊9、10-12160工作面风巷,自工作面煤壁开始,每15m布置一个测点,钻孔起底高度为1m。温度传感器、压力传感器使用安装杆安装于孔内,电荷传感器置于孔口处。传感器通过接线盒经专用电缆连接至安装于石门附近的分机站监测端子,分机站通信端子经专用电缆连接到串口服务器,串口服务器接入监测网,地面的监测机通过串口服务器连接至监测网,接收煤体应力传感器、温度传感器、电荷传感器监测的信号,监测系统布置图见图1。

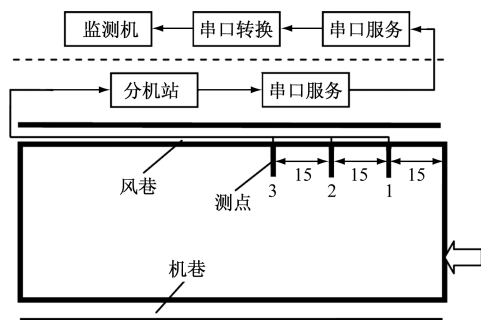


图1 监测系统网络布置图

Fig. 1 The network arrangement diagram of monitoring system

3.3 测试结果及分析

选取1#~3#测点2011年5月27日~2011年6月11日期间的数据进行分析。

从图2中可以看出,1#测点传感器在5月28~30号之间,煤体压力增大3MPa,两天后压力降低。煤体温度在此期间降低3℃,煤体电荷在此期间连续出现大幅波动变化,最大变化量达7000pC;在此之后几天时间里,煤体应力、煤体温度与煤体电荷监测值一直稳定不变;自6月5日1#测点距采煤工作面5.7m,到6月10日采煤工作面推进到1#测点期间,煤体温度呈缓慢降低趋势,下降最大幅值为2℃,煤体电荷在6月5日连续出现幅度较大波动变化,此后几天偶尔会有电荷增大现象且数值变化较小。

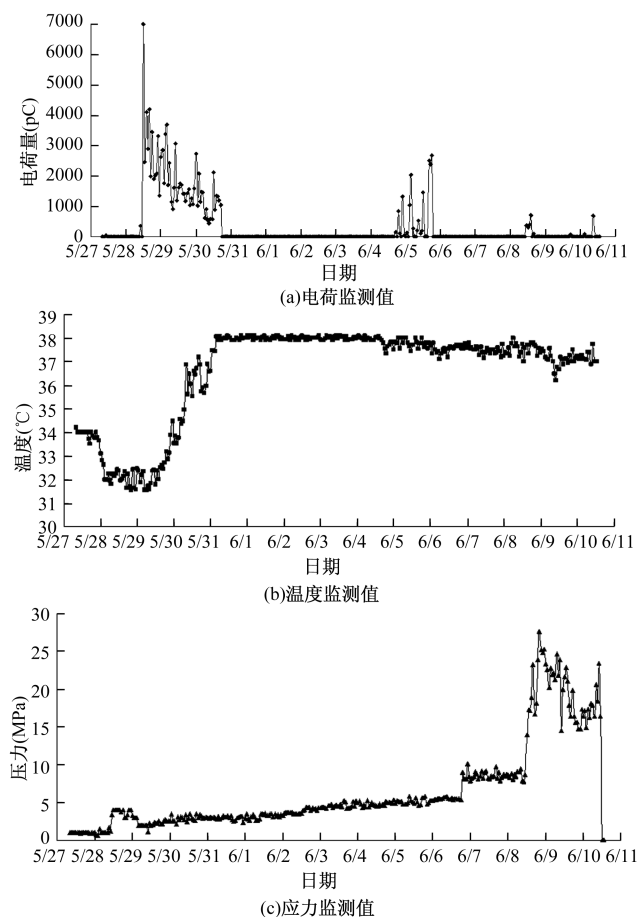


图2 1#测点监测结果

Fig. 2 Test results of measuring point 1

从图3中可以看出,2#测点煤体温度在5月27与5月28两天时间里出现大幅波动下降,降温最大值达到8℃,煤体压力在5月28号到5月30号之间出现增大现象,煤体电荷在此期间出现两次小的幅值

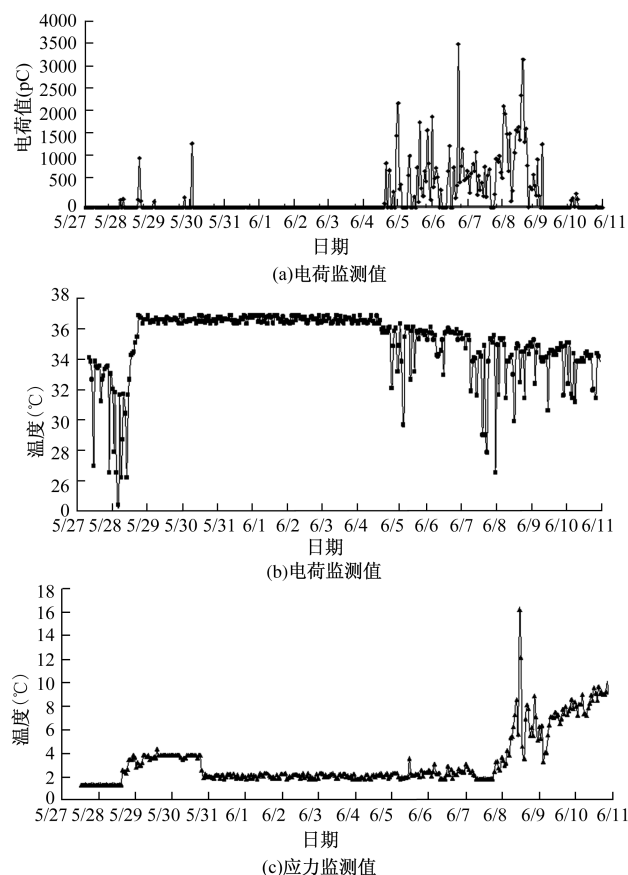


图3 2#测点监测结果

Fig. 3 Test results of measuring point 2

突增现象;在6月5日至6月11日期间,煤体温度持续出现温度波动降低现象,煤体温度下降最大差值达6℃,煤体电荷在6月5日至6月9日期间出现连续大幅值波动变化,最大变化量达3400pC,煤体应力从6月8日开始增大,最大值达到17MPa。

从图4中可以看出,3#测点煤体温度在5月27与5月28两天时间里缓慢下降,降温最大值达到2℃,煤体电荷在5月28号到5月29号之间连续波动变化,最大变化量达4600pC;煤体压力在此期间稳定不变;此后一段时间里,煤体应力、煤体温度与煤体电荷均无变化;在6月7日至6月10日期间,煤体应力连续波动,最大幅值达12MPa,煤体电荷在6月8日至6月10日期间出现连续大幅值波动变化,最大变化量达3500pC。

通过八矿的戊9、10-12160工作面风巷钻孔中的在线实测数据分析,1#~3#测点在传感器安装完之后,4天时间内,除3#测点煤体应力没有变化外,其余测点的煤体应力、煤体温度与煤体电荷均有变化,1#、

2#测点距工作面的距离分别为15m、30m,位于应力增高区,孔壁周围应力场较大,孔壁发生坍塌时,产生较小的冲击,而3#测点距工作面较远,位于应力增高区以外,因此无冲击现象发生,所以3#煤体压力传感器测的煤体压力无波动。煤体温度先降低后升高,钻孔形成后,煤体内部在大量贯通的孔隙,以及在地应力的作用下,孔壁附近煤体破裂生产大量裂隙裂纹,煤体中的游离瓦斯与吸附瓦斯从孔隙和裂隙裂纹中涌入钻孔向外释放。由热力学定律可知,瓦斯膨胀与解吸将吸收大量热量,因此导致孔壁周围煤体温度下降。在地应力作用下,钻孔处煤体继续坍塌密闭钻孔,不再释放瓦斯,温度传感器被封闭于孔内,无法与巷道中空气进行热量流通,温度传感器处温度逐渐回升至原始煤体温度。孔壁附近煤体破裂及煤体内瓦斯向孔外释放过程中,煤体破裂、瓦斯涌出因素等产生大量电荷携带到孔口处,致使孔口处接收到大量电荷信号。

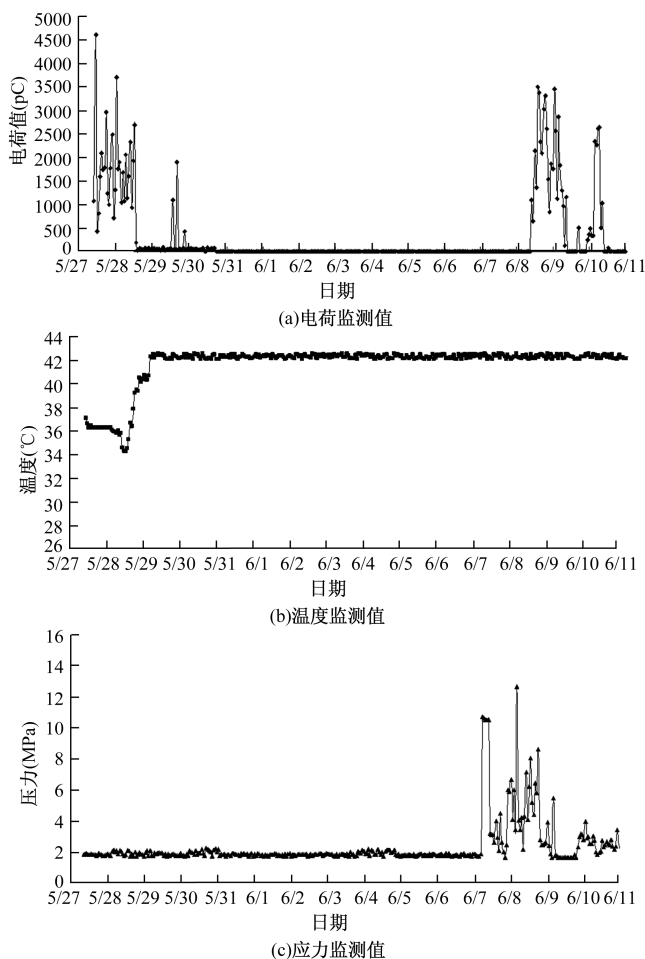


图4 3#测点监测结果

Fig. 4 Test results of measuring point 3

6月5日1#测点距采煤工作面5.7m,逐渐进入破碎区,破碎区内煤体大量破裂,煤体中的游离瓦斯与吸附瓦斯向外释放,使1#测点处煤体温度降低,煤体电荷辐射量增大,随着工作面的继续推进,煤体已完全破碎,煤体内瓦斯大部分已释放,不再生成电荷,煤体中大量的裂隙裂缝使工作面处空气进入到煤体中,致使煤体内部温度降低。

2#、3#测点煤体应力、煤体温度与煤体电荷在6月5日~6月10日期间均有异常变化,由于巷道压缩变形空间缩小,进行巷道扩帮清底施工扰动,引起巷道围岩应力重新分布,6月9日巷道发生一次动力现象,距工作面30m左右的巷道表面有煤体崩落。动力现象发生前,煤层发生冲击位置煤体应力已开始产生较大变化,导致煤体应力、煤体温度与煤体电荷信号异常。由此可以看出煤体温度波动、煤体应力、煤体电荷波动与煤矿动力现象有关,煤体温度波动、煤体应力、煤体电荷波动具有同步性,电荷量、温度值、应力值不是稳定值而是波动值,这是由于煤岩体动力学效应引起。

根据以上测试结果,可以看出,在煤体应力有明显变化的时候,煤体辐射电荷量与煤体温度都有明显的变化。这说明测得的电荷感应值、煤体温度值与煤体所受应力突变,受到冲击是有一定关系的。因此可通过监测煤体温度、煤体应力、煤体电荷信号来预测矿山动力现象的发生。煤体应力、煤体温度、煤体电荷测量信息相互验证,虽然都能反映动力灾害的信息,但每一种仪器监测的物理信息又有区别,煤体应力反映的是煤岩应力的变化,但对煤岩的破裂程度和瓦斯的运移反映不出来,同时还受传感器与围岩的耦合程度影响;煤体温度反映的是煤岩的破裂程度和瓦斯解吸带来的温度变化,但对煤岩应力的变化反映不敏感;煤体电荷反映的是煤岩的破裂程度和瓦斯的运移带来的电荷感应变化,但对煤岩弹性应力阶段的变化反映不敏感,所以煤体应力、煤体温度、煤体电荷监测的物理信息相互补充相互验证,增加可靠和可信度。

4 结论

(1)含瓦斯煤体破裂过程中,导致游离瓦斯的涌出和吸附瓦斯的解吸,将会产生感应电荷,导致煤体温度降低。煤体温度波动、煤体应力、煤体电荷波动具有同步性,电荷量、温度值、应力值不是稳定值而是

波动值。

(2)可通过监测煤体温度、煤体应力、煤体电荷信号来预测矿山动力现象的发生,在工作面应力变化平稳时期,测点的煤体温度、煤体应力、煤体电荷信号基本稳定不变,而在发生矿山动力现象时测得的煤体温度、煤体应力、煤体电荷信号将有波动变化。

(3)煤体应力、煤体温度、煤体电荷测量信息相互验证,虽然都能反映动力灾害的信息,但每一种仪器监测的物理信息又有区别,煤体应力、煤体温度、煤体电荷监测的物理信息相互补充相互验证,增加可靠和可信度。

(4)动力灾害发生过程中的煤体温度、煤体电荷机理产生研究尚不十分明确,有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 王明洋,周泽平,钱七虎. 深部岩体的构造和变形与破坏问题[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(3): 448-455.
WANG Mingyang, ZHOU Zeping, QIAN Qihu. Tectonic deformation and failure problems of deep rock mass[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(3): 448-455.
- [2] 何满潮,谢和平,彭苏萍,等. 深部开采岩体力学研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(16): 2803-2813.
HE Manchao, XIE Heping, PENG Suping, et al. Study on rock mechanics in deep mining engineering [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(16): 2803-2813.
- [3] 姜福兴, XUN Luo. 微震监测技术在矿井岩层破裂监测中的应用[J]. 岩土工程学报, 2002, 24(2): 147-149.
JIANG Fuxing, XUN Luo. Application of microseismic monitoring technology of strata fracturing in underground coal mine [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2002, 24(2): 147-149.
- [4] 陆莱平, 窦林名, 王耀峰. 坚硬顶板诱发煤体冲击破坏的微震效应[J]. 地球物理学报, 2010, 53(2): 450-456.
LU Caiping, DOU Linming, WANG Yaofeng. Microseismic effect of coal materials rockburst failure induced by hard roof[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2010, 53(2): 450-456.
- [5] 贺虎, 窦林名, 巩思园, 等. 冲击矿压的声发射监测技术研究[J]. 岩土力学, 2011, 32(4): 1262-1268.
HE Hu, DOU Linming, GONG Siyuan, et al. Study of

- acoustic emission monitoring technology for rockburst[J]. Rock and Soil Mechanics, 2011, 32(4): 1262-1268.
- [6] 窦林名,何学秋,王思元. 冲击矿压预测的电磁辐射技术及应用[J]. 煤炭学报, 2004, 29(4): 396-399.
- Dou Linming, He Xueqiu, Wang Enyuan. Electromagnetic emission technique of monitoring rock burst and its application[J]. Journal of China Coal Society, 2004, 29(4): 396-399.
- [7] 赵阳升,梁纯升,刘成丹. 钻屑法测量围岩压力的探索[J]. 岩土工程学报, 1987, 9(2): 104-110.
- ZHAO Yangsheng, LIANG Cunsheng, LIU Chengdan. Exploration of measuring surrounding rock pressure by drilling bits [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1987, 9(2): 104-110.
- [8] 许石青,吴华帮. 煤与瓦斯突出预测方法研究现状与进展[J]. 矿业快报, 2008(5): 21-23.
- XU Shiqing, WU Huabang. Present situation and advances of research on prediction methods of coal and gas [J]. Express Information of Mining Industry, 2008(5): 21-23.
- [9] 宋卫华,张宏伟. 构造区域应力场与煤与瓦斯突出区域预测[J]. 矿业安全与环保, 2007, 34(4): 7-12.
- SONG Weihua, ZHANG Hongwei. Stress field in tectonic region and regional prediction of coal and gas outburst [J]. Express Information of Mining Industry, 2007, 34(4): 7-12.
- [10] 付东波,齐庆新,秦海涛,等. 采动应力监测系统的设计[J]. 煤矿开采, 2009, 14(6): 13-16.
- FU Dongbo, QI Qingxin, QIN Haitao, et al. Design for mining stress monitoring system [J]. Coal Mining Technology, 2009, 14(6): 13-16.
- [11] 潘一山,赵扬锋,李国臻. 冲击地压预测的电荷感应技术及其应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 31(s2): 3988-3993.
- PAN Yishan, ZHAO Yangfeng, LI Guozhen. Charge-induced technique of rockburst prediction and its application[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2012, 31(s2): 3988-3993.
- [12] 刘纪坤. 煤体瓦斯吸附解吸过程热效应实验研究[博士学位论文][D]. 北京:中国矿业大学(北京), 2012.
- LIU Jikun. Experimental research on thermal effect during coal gas adsorption and desorption [Ph. D. Thesis] [D]. Beijing: China University of Mining and Technology (Beijing), 2012.
- [13] 章梦涛,徐曾和,潘一山,等. 冲击地压、煤与瓦斯突出的统一失稳理论探讨[C]. 第二届全国岩石动力学术会议, 1990: 266-275.
- ZHANG Mengtao, XU Zenghe, PAN Yishan, et al. The exploring of instability theory on coal / rock burst and outburst [C]. The 2nd National Conference on Rock Dynamics, 1990: 266-275.
- [14] 章梦涛,徐曾和,潘一山,等. 冲击地压与突出的统一失稳理论[J]. 煤炭学报, 1991, 16(4): 48-53.
- ZHANG Mengtao, XU Zenghe, PAN Yishan, et al. A united instability theory on coal(rock) burst and outburst [J]. Journal of China Coal Society, 1991, 16(4): 48-53.
- [15] 张建国. 平顶山东部矿区深井动力灾害多因素耦合统一灾变机理[J]. 矿业安全与环保, 2012, 39(5): 11-14.
- ZHANG Jianguo. Multi-factor coupling unified catastrophic mechanism of dynamic disasters in deep mine in eastern mining area of pingdingshan coal mining group [J]. Express Information of Mining Industry, 2012, 39(5): 11-14.
- [16] 邹德蕴,刘先贵. 冲击地压和突出的统一预测及防治技术[J]. 矿业研究与开发, 2002, 22(1): 16-19.
- ZOU Deyun, LIU Xiangui. Unified forecasting of impact ground pressure and outburst and their control technology [J]. Mining Research and Development, 2002, 22(1): 16-19.
- [17] 王磊. 应力场和瓦斯场采动耦合效应研究[博士学位论文][D]. 淮南:安徽理工大学, 2010.
- WANG lei. Research of caving coupling effects of stress field and gas field [Ph. D. Thesis] [D]. Huainan: Anhui University of Science and Technology, 2010.
- [18] 徐连满,潘一山,李忠华,等. 深部开采覆岩应力变化规律模拟实验研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2011, 22(3): 61-66.
- XU Lianman, PAN Yishan, LI Zhonghua, et al. Research on similarity simulation experiment of development law of deep mining-induced overburden stress [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2011, 22(3): 61-66.
- [19] 段伟,邹德蕴,胡英俊. 冲击地压应力监测预报系统的研制与应用[J]. 采矿与安全工程学报, 2008, 25(1): 78-81.
- DUAN Wei, ZOU Deyun, HU Yingjun. Development and application of rock burst forecast information system [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2008, 25(1): 78-81.
- [20] 刘明举,颜爱华,丁伟,等. 煤与瓦斯突出热动力过程的

- 研究[J]. 煤炭学报, 2003, 28 (1): 50 - 54.
- LIU Mingju, YAN Aihua, DING Wei, et al. Research of thermodynamic process of coal and gas outburst [J]. Journal of China Coal Society, 2003, 28 (1): 50 - 54.
- [21] 郭立稳, 俞启香, 蒋承林. 煤与瓦斯突出过程中温度变化的实验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2000, 19 (3): 366 - 368.
- GUO Liwen, YU Qixiang, JIANG Chenglin, et al. Testing study on the variation of coal temperature during the process of coal and gas outburst [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2000, 19 (3): 366 - 368.
- [22] 赵扬锋, 潘一山, 刘玉春, 等. 单轴压缩条件下煤样电荷感应试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2011, 30 (2): 306 - 312.
- ZHAO Yangfeng, PAN Yishan, LIU Yuchun, et al. Experimental study of charge induction of coal samples under uniaxial compression [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2011, 30 (2): 306 - 312.
- [23] 赵扬锋. 煤岩变形破裂电荷感应规律的研究[博士学位论文][D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2010.
- ZHAO Yangfeng. Study on the charge induction rules during deformation and fracture of coal or uock [Ph. D. Thesis] [D]. Fuxin: Liaoning Technical University, 2010.
- [24] 唐治, 潘一山, 李忠华, 等. 煤岩体电荷检测在动力灾害预测中的应用[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2010, 21 (3): 109 - 112.
- TANG Zhi, PAN Yishan, LI Zhonghua, et al. Application of charge detection of coal-tock in the dynamic disaster prediction [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2010, 21 (3): 109 - 112.

Experimental study on deep well dynamic disaster prediction of force-electricity-heat multi-parameter monitoring technology

LI Qi¹, WANG Hao¹, PAN Yi-shan², XU Lian-man², MA Xiao²

(1. College of Science, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China;

2. School of Mechanics and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

Abstract: Mining activities cause coal stress in front of the working face to redistribute, coal fracture, gas migration and so on, then the internal energy and potential energy of the inner coal change continually, and radiating the charge, electromagnetic energy outwards lead to coal stress and coal temperature changing. Using coal stress, coal charge and coal temperature multi-parameter monitoring technology monitor coal pressure, coal charge and coal temperature continually, which may judge the situation of coal stress changing, gas migration and so on, and make sure the risk level of coal seam dynamic disaster. Field trial research show: when gas-filled coal stress mutates, the charge of the coal radiation increases, coal temperature decreases, and at the stage of stress stationary changing coal temperature and coal charge signal are basically stable. Therefore, the results of monitoring coal stress, coal temperature, coal charge can be used to judging the risk of coal seam dynamic disaster, and coal stress, coal temperature, coal charge monitoring technology may supply and verify mutually, increasing reliability of the dynamic disaster prediction. Force-electricity-heat multi-parameter prediction technology may improve the accuracy of the dynamic disaster prediction, providing reliable guarantee for safe production in coal mines.

Key words: dynamic disaster; coal stress; coal temperature; coal charge