

文章编号: 0253-9993(2009)06-0806-04

单轴压力下煤样表面电位实验

李艳娜, 王恩元, 赵恩来

(中国矿业大学 安全工程学院, 江苏 徐州 221008)

摘 要: 建立了煤岩变形破裂过程表面电位测试实验系统, 研究了不同试样单轴压力下变形破裂过程中的表面电位特征规律。结果表明, 原煤、型煤和混凝土在受单轴压力变形破裂过程中都有表面电位产生, 并且表面电位在整个变形破裂过程中始终存在。从总体上看, 表面电位和载荷的变化趋势一致; 载荷突变时, 表面电位信号也出现突变, 表面电位的突变幅度和载荷的突变幅度成正相关。

关键词: 表面电位; 变形破裂; 载荷突变; 卸载

中图分类号: TD313.1

文献标识码: A

Experiment on surface potential of coal under uniaxial compression

LI Yan-na, WANG En-yuan, ZHAO En-lai

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

Abstract: The experimental system for collecting surface potential was founded. The research was made on the characteristic of surface potential signal during the deformation and fracture of coal and concrete. The results show that surface potential signal generates during the process and exists during the whole deformation and fracture of coal and concrete. As a whole, the change tendency of the surface potential with the load is the same. When there is a break in load, the surface potential signal will change as well and the break extent of the surface potential and the load are positive correlation.

Key words: surface potential; deformation and fracture; sudden load change; unload

矿井煤岩动力灾害的发生大多是由于煤炭受开采影响或地壳应力变迁等外部应力综合作用而发生变形、裂纹扩展、直至迅速破坏而导致的^[1-4]。这一过程实际上是煤岩体中的能量以弹性能、声能、电磁能等形式耗散的过程。基于这种能量耗散形式, 电磁辐射技术已应用于煤岩动力灾害的预测和预报。根据电磁场理论, 煤岩变形破裂过程的电磁辐射与电位变化有着内在的关联。煤岩体受载后在裂隙壁面上存在不均匀的分离电荷, 并在裂隙之间形成很高的电场, 这已被许多学者研究证明。目前, 人们对花岗岩表面电位进行的探索比较多^[5-14]。Дерягин等人的实验资料表明, 裂隙表面的电荷密度达到 $10^{-10} \sim 10^{-2} \text{ C/m}^2$, 局部电场达到 $10^6 \sim 10^9 \text{ V/m}$; 孙正江等^[6]利用岩石破坏时的磁场记录值定量地计算了裂隙壁的电场强度为 10^9 V/m 的数量级; 钱书清等^[14]对双轴压力下岩样自电位变化进行实验, 利用伺服控制双轴加载系统, 采用阵列式布局的应变、自电位测量方法, 对岩石样品弹性变形阶段和破坏过程中的应变和自电位进行了实验研究。本文建立了单轴压缩条件下煤岩体变形破裂过程表面电位信号实验系统, 并利用该系统记录了单轴压缩过程中煤岩体产生的表面电位信号。从煤岩体的变形破裂过程来解释电位信号的产生原因, 并具

收稿日期: 2008-06-26 责任编辑: 毕永华

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)基金资助项目(2005CB221505); 国家高科技发展计划(863)基金资助项目(2006AA06Z119); “十一五”国家科技支撑计划(2006BAK03B02-04); 中国矿业大学青年科研基金资助项目(OY080234); 中国矿业大学煤炭资源与安全开采国家重点实验室开放基金资助项目(07KF12)

作者简介: 李艳娜(1982—), 女, 河北石家庄人, 硕士研究生。Tel: 0516-83884695, E-mail: liyanna007@163.com

体分析了表面电位信号与变形破裂过程的关系,对产生电位信号的原因进行了解释。

1 实验系统与实验样品

1.1 实验系统

在煤岩变形破裂电磁辐射实验系统的基础上,建立了煤岩变形破裂表面电位采集系统。该测试系统置于电磁屏蔽室内,主要由加载系统和高速数据采集系统组成,如图1所示。

加载系统由压力机、加载控制器、MaxTest 控制程序组成。高速采集系统采用 LB-IV 型多通道采集器,如图1(右)所示,共有16通道进行信号处理与记录,实验时使用其中的3个通道同步记录表面电位-时间的变化,主放大器采用2倍档;前端放大器为50倍。

1.2 实验样品

实验样品有原煤、型煤和混凝土,从所有实验结果中选取3块试样的实验结果,它们分别来自同煤集团忻州窑矿东三盘区11号8506工作面、淮南型煤以及混凝土。取自同煤集团的煤是原煤,即由井下采取的大块煤体通过加工而成的,其尺寸为 $\phi 50\text{ mm} \times 50\text{ mm}$;淮南型煤是成型煤样,它是由原煤磨成细小的煤粒用特制的模具加工成的,它是煤矿井下软煤的替代品。实验用混凝土尺寸为 $\phi 50\text{ mm} \times 100\text{ mm}$ 。

2 实验结果及分析

实验所用传感器为铜片电极,尺寸为 $10\text{ mm} \times 5\text{ mm}$,以导电银胶黏贴于样品表面,然后放置一定时间以达到接触极化的稳定。加载之前均先进行测试,当测试阶段所记录的信号是50 Hz工频环境干扰(此信号比所观测的电位信号相差很远,其干扰可以忽略),没有其他异常信号时,开始实验。由于仪器记录单位的不同,实验结果中 Word 与 mV 之间的变换关系为:1 Word = 0.06 mV(注:Word 为 LB-IV 信号采集器的默认单位)。仪器的测量精度为1%。

从图2(a),(d)可以看出,最大载荷之前的加载段,载荷变化梯度较大,随载荷增加电位信号也增大,并且有微小的波动;最大载荷时试样出现主破裂,之后试样承载的变化是残余强度起作用,信号波动不明显,表明残余强度对信号的影响不大。从图2(b),(e)可以看出,淮南型煤由于煤质较软,能承受的应力较小,产生的电位信号也小。加载阶段,载荷增加缓慢,变化梯度小,产生的电位信号并不明显,增大的趋势也小;卸载阶段,电位信号跳跃,表现出突然增大;同时,卸载梯度越大,产生的电位信号也越强;完全卸载之后,电位信号逐渐减小。图3为峰前、峰后载荷与电位信号的拟合结果,从图3中可以看出,无论峰前还是峰后,电位信号基本上随载荷变大而增加,随载荷变小而减少。峰前,两者的相关系数为0.8319,峰后两者的相关系数为0.9010,均为高度相关。由此表明两者的相关程度很高。从图2(c),(f)可看出,载荷变化出现2个峰值,电位变化相应的也出现2个峰值;但是,由于2次卸载幅度不同,导致2次峰值电位的大小不同。加载段,随载荷增加,电位信号增大;直到第1次卸载时,电位信号出现微小的突变增加;第2次卸载时,载荷卸载幅度较大,电位信号突变的也较厉害,出现一个较大值;之后,试样进入完全卸载阶段,电位信号逐渐减少。

对图2,3进行综合比较分析可以看出:混凝土、型煤和原煤在受单轴压力时都有表面电位产生,并且表面电位信号在整个变形破裂过程中始终存在;试样的承载能力越大,产生的表面电位信号也越强。由图2(b),(e)可知,淮南型煤硬度较小,能承受最大载荷仅为3.1 kN,整体来看它产生的电位信号也最小。由图2(a),(d)可知,混凝土硬度较大,最大能承受30 kN 载荷,它产生的电位信号就较大,平均在几百左右。在达到最大载荷之前,表面电位信号强度随载荷增大而增大。载荷随时间变化越快(即加载速度越



图1 煤岩表面电位测试系统

Fig. 1 Test system of coal or rock surface potential

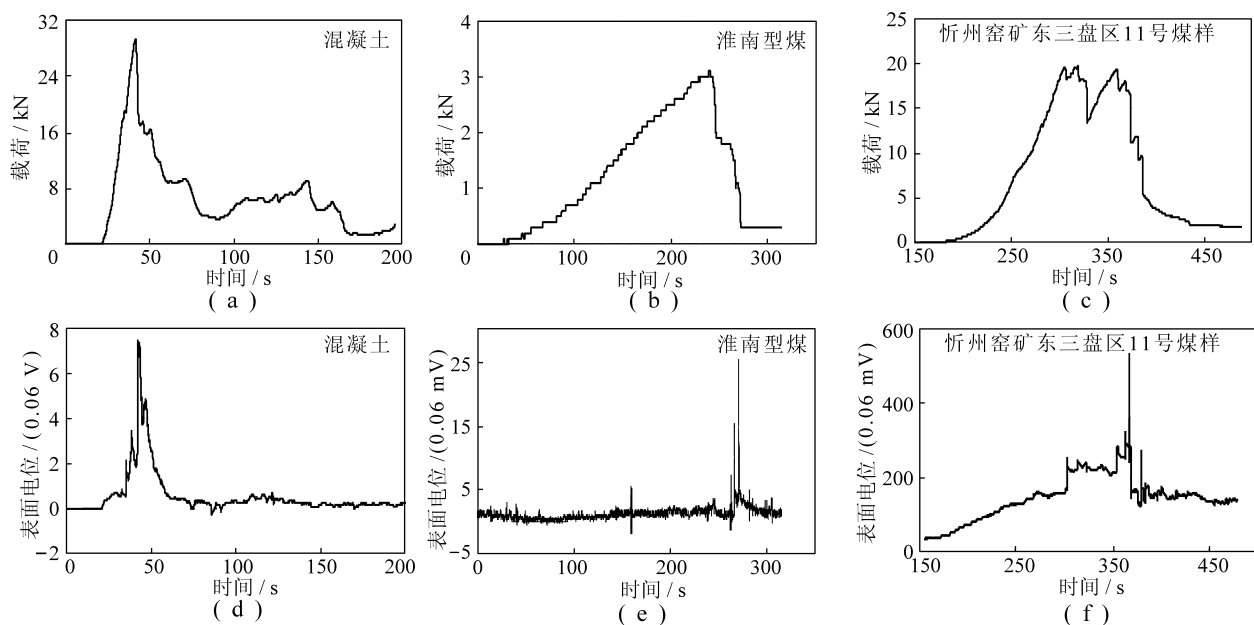


图 2 混凝土、型煤和厚煤单轴压缩表面电位实验结果

Fig. 2 The surface potential of concrete, briquette and raw coal under uniaxial compression

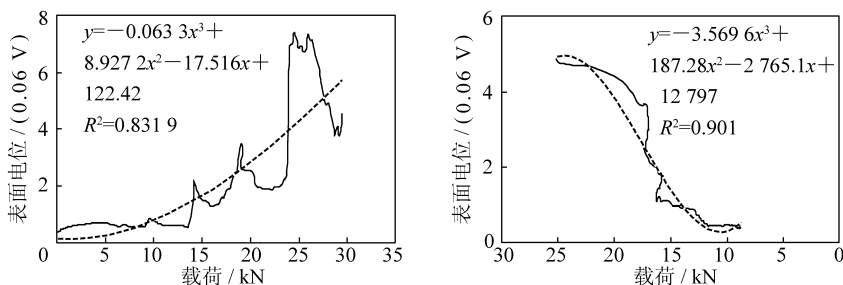


图 3 峰前、峰后载荷与信号的拟合结果

Fig. 3 Fit of load and signal before and after the peak

大)时,表面电位信号上升速度也越快,所产生的电位信号也越强.由图 2(a),(d)可知最大载荷之后载荷突降,这时出现了一个很高的电位信号,达 480 mV;35 s 左右时载荷有微小的变化,同样出现较大的电位信号,达 210 V.从达到最大载荷

后,试样发生主破裂进而卸载的实验曲线图上可发现,突然卸载时,表面电位会出现异常,即有一个突然的较大的信号;同时,卸载速率越快,产生的信号强度也越大.由图 2(b),(e)可知,载荷上升阶段,电位信号一直没有太大的变化,维持在 0.12 mV 左右,直到 250 s 载荷突然下降时,出现一个相对较大的电位信号,达 1.5 mV.由图 2(c),(f)可知,370 s 时载荷突降了 5 kN,这时电位信号由 18 突增到 33 mV.

3 结 论

外加载荷对煤岩内部结构的损伤破坏程度影响着煤岩单轴压缩下表面电位信号的产生.

在加载初期,随着载荷的增加,煤岩颗粒之间、晶体边界、晶体内部、微裂纹之间、矿物杂质之间甚至化学元素之间都可能发生滑移、位错,致使煤岩内部结构发生损伤和破坏,煤岩颗粒之间的电平衡被打破,自由电子发生移动、扩散,产生表面电位.表面电位信号同时也反映了在变形破裂过程中试样内部产生电位的情况.因为,试样内部在压实变密过程中会产生电子,但煤的电阻大,是电的不良导体,致使内部产生的电子不能很快移动到煤体表面,不过由于试样处于这些电子产生的电场之中,反映到铜片电极上就是电位信号.所以,即使压实阶段试样表面不会产生电位,也能得到试样内部电子引发的电位信号.

随着载荷增加,煤体进入表观线弹性变形阶段.此时,煤体既有弹性变形也有塑性变形.微破裂逐渐

增多,电荷在裂纹尖端积累也多.宏观上来看,就在试样表面积累电荷,表面电位增大.

载荷继续增加,煤体进入破坏及发展阶段.到第1次煤体局部承受不住而卸压时,局部出现大的裂纹,大的裂纹尖端带有电荷,同时破裂瞬间会影响其他相邻区域的电荷分布,因而此时出现强电位信号.

实验中出现的载荷随时间变化越快(即加载速度越快)时,产生的电位信号越强的现象可以解释为,在连续加载的条件下,加载速度越快,载荷越大,煤岩结构损伤扩展速率越快,分离面上的电荷能级越高,越易逃逸成自由电荷产生电位,电位信号越强.

参考文献:

- [1] 张国枢,谭允祯,陈开岩,等.通风安全学[M].徐州:中国矿业大学出版社,2000.
- [2] 王佑安,吴继周,杨思敬,等.煤矿安全手册[M].北京:煤炭工业出版社,1994.
- [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] 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[D].徐州:中国矿业大学,1997.
Wang Enyuan. EMR and AE and application of fracture of gassy coal or rock [D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 1997.
- [5] Абдуппабеков К. Н. 地壳中的电现象[M].北京:学术期刊出版社,1990.
Абдуппабеков К. Н. Electricity phenomenon in lithosphere [M]. Beijing: Science Journal Press, 1990.
- [6] 孙正江,王丽华,高宏.岩石标本破裂时的电磁辐射和光发射[J].地球物理学报,1986,29(5):491-495.
Sun Zhengjiang, Wang Lihua, Gao Hong. EMR and AE of fracture of rock sample [J]. Acta Geophysica Sinica, 1986, 29(5): 491-495.
- [7] Cress G O, Brady B T. Sources of electromagnetic radiation from fracture of rock samples in laboratory [J]. Geophys. Res. Lett., 1987, 14(4): 331-334.
- [8] 郭自强,周大庄,施行觉,等.岩石破裂中的光声效应[J].地球物理学报,1988,31(1):37-41.
Guo Ziqiang, Zhou Dazhuang, Shi Xingjue, et al. The effects of light and acoustic emission during rock fracture [J]. Acta Geophysica Sinica, 1988, 31(1): 37-41.
- [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.
Guo Ziqiang, Zhou Dazhuang, Shi Xingjue, et al. Electron emission during rock fracture [J]. Acta Geophysica Sinica, 1988, 31(5): 566-571.
- [10] 郭自强,尤峻汉,李高,等.岩石破裂的电子发射与压缩电子模型[J].地球物理学报,1989,32(2):173-177.
Guo Ziqiang, You Junhan, Li Gao, et al. The model of compressed atoms and electron emission of rock fracture [J]. Acta Geophysica Sinica, 1989, 32(2): 173-177.
- [11] Poturayev V N, Bulat A F. Combined detection of electromagnetic and acoustic emission associated with rock failure [J]. Transactions (Doklady) of the USSR Academy of Sciences: Earth Science Sections, 1989, 308(5): 86-89.
- [12] Хатиашвили Н. Г. 论碱性卤素结晶体和岩石中裂隙形成时的电磁效应[A].地震地电学论文集[C],北京:地震出版社,1989:149-158.
Хатиашвили Н. Г. EMR effect during fracture deformation of alkaline halogen crystalline substance and rock [A]. Seismic Electricity Symposium [C]. Beijing: Earthquake Press, 1989: 149-158.
- [13] 钱书清,郝锦琦,周建国,等.岩石受压破裂的ULF和LF电磁前兆信号[J].中国地震,2003,19(2):109-116.
Qian Shuqing, Hao Jinqi, Zhou Jianguo, et al. Precursory electric and magnetic signals at ULF and LF bands during the fracture of rocks under pressure [J]. Earthquake Research in China, 2003, 19(2): 109-116.
- [14] 郝锦琦,刘力强,龙海丽,等.双轴压力下岩样自电位变化实验的新结果[J].地球物理学报,2004,47(3):475-482.
Hao Jinqi, Liu Liqiang, Long Haili, et al. New result of the experiment on self-potential change of rocks under biaxial compression [J]. Chinese J. Geo-phys., 2004, 47(3): 475-482.