

文章编号: 1673- 0062(2010) 02- 0015- 04

大尺度冲击性煤体电阻率变化规律的实验研究

王云刚

(河南理工大学 安全科学与工程学院, 河南 焦作 454003)

摘 要: 在未加载条件下对大尺度煤样的电阻率测试结果表明, 在自然状态下煤样的电阻率较大; 经过浸泡后其电阻率明显下降. 在单轴压缩条件下的大尺度冲击性煤样电阻率实验表明, 电阻率变化曲线整体上成不对称的“凹”型, 基本符合二次曲线; 煤样电阻率随压力增加逐渐减少, 当达到一定的应力值时, 电阻率达到最小值; 继续加载, 电阻率将升高, 直到完全失稳. Ⅲ、Ⅲ和 4#煤样单轴抗压强度与其受载过程中的视电阻率变化存在一定的正相关性; 受载煤体的电阻率变化与其变形破裂过程中的裂隙分叉、发育、汇合贯通密不可分; 兼有剪裂和拉裂特点的破坏类型可能是大尺度煤样较常见的破坏形式.

关键词: 大尺度煤体; 冲击倾向性; 视电阻率; 前兆信息

中图分类号: TQ 531; TD 324⁺. 2 **文献标识码:** A

The Experimental Study on the Apparent Resistivity of Large-scale Coal Samples with Burst Tendency

WANG Yun-Gang

(School of Safety Science and Engineering Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan 454003, China)

Abstract In this paper, the characteristics and rules of the apparent resistivity of large-scale coal samples with burst tendency are studied. Experiment results show that the apparent resistivity of coal samples are relatively large in natural state and decrease significantly after water immersion, and the apparent resistivity curves of coal samples in the uniaxial compression are like asymmetric concave type, which is basically in line with quadratic curve. The positive correlation between the uniaxial compressive strength and the apparent resistivity changes of Ⅲ, Ⅲ, 4# coal samples is studied and the apparent resistivity changes of coal samples under load are closely associated with the bifurcation, expansion, confluence and connection of their cracks. The failure type with the characteristics of both shear

收稿日期: 2010- 05- 15

基金项目: 国家科技支撑计划基金资助项目 (2006BAK03B01); 国家重点基础研究发展计划 (973) 基金资助项目 (2005CB22150105); 国家自然科学基金资助项目 (50904024); 河南理工大学博士基金资助项目 (B2009- 66)

作者简介: 王云刚 (1978-), 男, 山西晋城人, 河南理工大学安全科学与工程学院讲师, 博士. 主要研究方向: 煤矿安全监测.

fracture and tension crack have a good potential in the fundamental failure form of the large-scale coal samples

Key words large-scale coal samples; burst tendency; apparent resistivity; precursory information

0 引言

电阻率是岩石的一个重要电性参数,有关岩石受载破裂过程中的电阻率变化的实验研究,国内外学者作了大量的工作。Brace和Orange^[1]、张中天^[2]、钱家栋^[3]、K. Kurita^[4]、陈大元^[5-6]、安金珍^[7]、陈峰^[8-9]、郝锦琦^[10]和张流^[11]等研究了干燥、部分饱和和饱和岩石在单轴压缩条件下的电阻率变化规律以及变化机理,提出测试岩石电阻率可以揭示岩石破裂过程的某些细节,并在较大程度上可以发出临震预报。

杜云贵^[12]、何继善^[13]、徐宏武^[14]等建立了瓦斯突出煤体电性参数观测系统,对不同变质程度的突出煤进行了电阻率和介电常数的测定,研究了突出煤体的导电性质。王云刚^[15]对煤的电性参数及其影响因素的关系进行了回归分析,得出水分和视密度是影响电阻率变化的主要因素。刘贞堂^[16]等对干燥和湿润煤样单轴压缩过程的电阻率进行测试,分析了两种煤样受载过程中的电阻率变化规律及电阻率变化原因。

研究表明,煤岩动力灾害的孕育和发生过程首先是一个力学过程,孕育过程中应力集中和应变能积累等都会引起煤岩中多种物理(其中包括电性)、化学性质的改变。而从某种意义上讲,灾害孕育过程中煤体内应力变化与其电性参数的变化所存在的内在联系正是电阻率法预报煤岩动力灾害的物理基础。

基于此,本文针对大尺度有冲击倾向性煤体进行单轴压缩实验,测试并分析其电阻率的变化规律。这对利用电磁辐射技术和电阻率法预测预报冲击地压、顶板来压等煤岩动力灾害有着重要的理论指导意义。

1 受载煤体视电阻率测试实验

1.1 样品

实验用的4个煤样平均单向抗压强度为10.58 MPa,煤样平均动态破坏时间为243 ms,平均弹性指数为8.06,平均冲击能指数为5.41,对照《煤层冲击倾向性分类及指数的测定方法煤炭行业标准》(MT/T174-2000),煤样具有强冲

击倾向性。实验煤样为圆柱状,其长度分别为17.8、18.4、16.15、4 cm,直径均为5.0 cm,煤样上、下表面平行、光滑,以利于和压力机压头接触,受力均匀。煤样的保存时间不超过30天。

1.2 实验方法

实验主要采用压力机、电阻率测试仪和计算机。电阻率测试仪包括主机、探头、硫酸铜电极(传感器)和标准块,它在同一点测试时准确度在1%以内。探头的长度为15 cm,其上有一排4个电极,每个电极的间距是50 mm。通过外面2个电极产生电流和里面2个电极测试所产生的电压;标准块的作用是检验仪器是否工作正常。电阻率测试仪是通过测试煤样纵表面而显示电阻率($\Omega \cdot m$)的。在计算电阻率时所用公式为: $R = V/I$, $\rho_s = 2\pi aR$; 其中, R —电极电阻; V —电极电压; I —电极电流; ρ_s —电阻率; a —电极间距。

在室温条件下,利用电阻率测试仪对未受载的自然煤样视电阻率进行了测试;之后,把煤样在水中浸泡24 h后测试其视电阻率。

建立了有冲击性倾向煤样受载的电阻率测量实验系统。分别把煤样放在压力机压头上,煤样上下垫上绝缘板,使其充分接触,启动压机,使压头和绝缘板接触。当压力分别达到0.1、1.2、3.4、5.6、7.8、9 kN时,停止并保持压力值不变,立刻进行电阻率的测试,读取测试值进行记录,直到煤样发生失稳破坏。

2 实验结果分析

在自然状态和湿润状态测试的煤样视电阻率结果如表1所示。由表1可知,在自然状态下,煤样的视电阻率较大,2#煤样表面无裂隙,结构较致密,其视电阻率值相对较小,为5.010 $\Omega \cdot m$,3#煤样表面明显存在一条纵向裂缝,其视电阻率值达到1.6475 $\Omega \cdot m$;4个煤样经过浸泡后,由于水分楔入煤样的裂隙中形成导通电路,其视电阻率明显下降,变化幅度分别是1170、1230、2076、7.4618 $\Omega \cdot m$,下降幅度分别为50%、41%、40%、36%。因此,煤体中的含水状况对其电阻率的影响具有极为重要的意义。

表 1 煤样电阻率测试结果 (Ω · m)

Table 1 Test result of apparent resistivity of coal sample(Ω · m)

电阻率	样品编号			
	煤样 1	煤样 2	煤样 3	煤样 4
自然状态	11 990	5 010	16 475	15 345
湿润状态	5 980 5	2 973 8	9 828 9	9 798 3

测试受载煤样的视电阻率值结果如图 1~图 4所示. 结果表明, 电阻率变化曲线整体上成不对称“凹”型, 基本符合二次曲线. 随着压力的增加, 煤样视电阻率逐渐减小; 增加到一定的应力值时, 视电阻率达到最小值; 继续加载, 视电阻率将升高, 直到完全失稳. Brace和 Orange采用的实验方法是二极法, 测试结果反映了水饱和和岩石平均真电阻率的变化, 试样电阻率的最小值出现在破坏应力值的一半左右. 本实验采用的是对称四极法, 测试结果为视电阻率的变化情况, 并不都是在破坏应力值的一半出现视电阻率最小值. 在地下存在多种煤岩的情况下, 采用电阻率法预测预报煤岩动力灾害所测得的电阻率不是一种煤岩体的真电阻率, 而是视电阻率, 它受到各种煤岩电阻率、煤岩的分布状态、电极排列等情况的影响. 因此, 受载煤体视电阻率变化规律的实验研究就更具有现实意义.

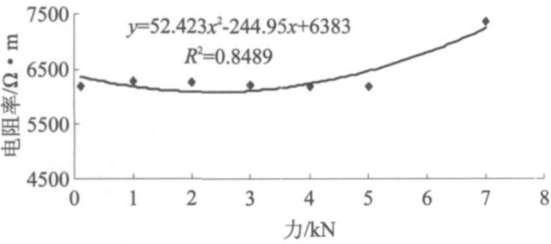


图 1 1#煤样电阻率值

Fig 1 The apparent resistivity of No 1 coal sample

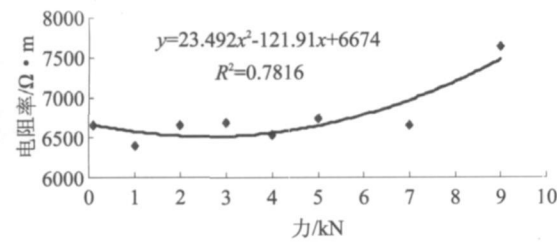


图 2 2#煤样电阻率值

Fig 2 The apparent resistivity of No 2 coal sample

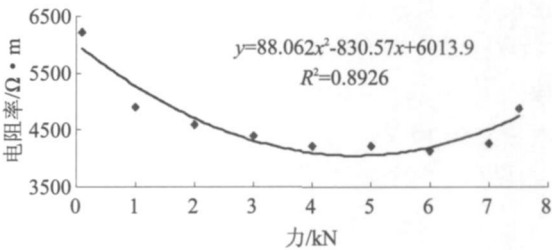


图 3 3#煤样电阻率值

Fig 3 The apparent resistivity of No 3 coal sample

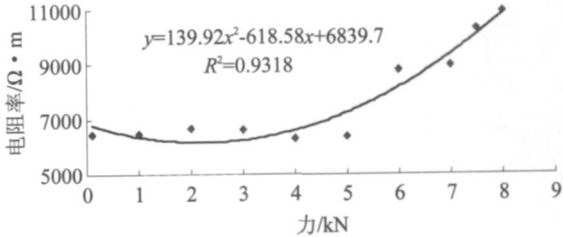


图 4 4#煤样电阻率值

Fig 4 The apparent resistivity of No 4 coal sample

3 电阻率变化规律的影响因素分析

3.1 大尺度煤样单轴抗压强度与电阻率变化的关系

Weibull分布尺寸效应(均匀场)的关系式^[21]为:

$$\frac{E(\sigma_i)}{E(\sigma_j)} = \left[\frac{V_j}{V_i} \right]^{1/\alpha} \tag{1}$$

式(1)中, V_j , V_i 为大小试样的体积; $E(\sigma_i)$, $E(\sigma_j)$ 为它们抗拉强度的数学期望; α 为 Weibull 模数. 这里假设极限应力后煤样即破坏, 且抗压强度与抗拉强度有同样分析. 由于煤样截面积相同, 式(1)中可用长度代替, 即有:

$$\frac{E(\sigma_i)}{E(\sigma_j)} = \left[\frac{h_j}{h_i} \right]^{1/\alpha} \tag{2}$$

由式(2)可知, 随着煤样高径比的增加, 煤样抗压强度呈减小趋势.

本实验采用的大尺度煤样高径比普遍大于 3, 分别为 3.56, 3.68, 3.2, 3.08, 其单轴抗压强度分别为 3.82, 4.84, 4.08, 4.33 MPa, 而高径比为 2 的该标准煤样单轴抗压强度为 15.28 MPa. 由此可知, 当煤样的高径比大于 3 与标准煤样相比, 其单轴抗压强度减少幅度达 68.3%~75%, 随着高径比的增加而减小, 与公式(2)的变化趋势相符.

2#煤样结构较致密, 发生张拉脆性破坏, 单轴

抗压强度较大,其电阻率变化率为 16.1%;Ⅱ、Ⅲ和 4#煤样发生兼有剪裂和劈裂的破坏类型,单轴抗压强度与高径比成负相关关系,其电阻率的变化率分别为 15.8%、33.4%、42.2%。因此,Ⅰ、Ⅲ和 4#煤样单轴抗压强度与其受载过程中的视电阻率变化存在一定的正相关性。

3.2 大尺度煤样的破坏类型与电阻率变化的关系

煤体是一种具有原生和次生缺陷的复杂介质,冲击性煤体原生结构保存较好,属于脆性材料,在外载荷作用下宏观破裂特征明显。本次实验中,4个大尺度煤样的破坏类型如图 5所示。由图 5可知,由于煤体的非均质性及煤样内部应力分布的非均衡性,其破裂过程是一个路径分叉、间歇式、不均匀的过程,且具有自相似性;煤样高径比较大,相对原生裂纹少,且间距大不易贯通,破坏形式主要是单一裂纹的失稳扩展。

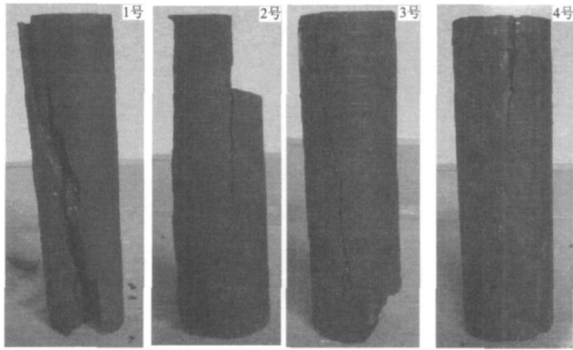


图 5 煤样单轴压缩的破坏类型

Fig 5 The failure types of uniaxial compression tests of loading coal

Ⅱ、Ⅲ和 4#煤样随着载荷的不断增大,试样中的微裂隙沿相对较弱的结构面不断萌生、扩展,形成许多雁行排列和羽状排列的微裂隙,在极限载荷作用下,这一系列裂隙贯通后汇集成一个与轴线小角度($0^\circ \sim 10^\circ$)的破裂带,而后突然发生破坏,这种破坏类型兼有剪裂和拉裂的破坏特点。

2#煤样在轴向压应力作用下,由于泊松效应将在横向将产生拉应力,从煤样内部至表面可看到与最大主应力方向近似一致的两条主劈裂面,破坏类型为条柱状张拉脆性破坏。

从 3.1的分析可知,属于兼有剪裂和拉裂破坏类型的 3个煤样无论是单轴抗压强度,还是电阻率变化率都遵从一定的规律;2#煤样由于发生了张拉破坏而具有不同的特点。

因此,受载煤体的电阻率变化与其变形破裂过程中的裂隙形成、发育、汇合和贯通密不可分;

兼有剪裂和拉裂特点的破坏类型可能是大尺度煤样较常见的破坏形式。

4 结论

电阻率作为煤体的一个重要电性参数,在煤体受载变形破裂过程中其变化规律的研究对于预防和防治煤岩动力灾害的发生有着重要的现实意义。本文采用实验方法对大尺度冲击性煤体的电阻率变化进行了研究,得出以下结论:

1)煤样在自然干燥状态下的电阻率较大;在湿润条件下,电阻率明显下降,下降幅度最大达 50%。煤体中的含水状况对其电阻率的影响具有极为重要的意义。

2)对大尺度冲击性煤体在单轴压缩条件下的电阻率进行了测试和分析,结果表明,电阻率变化曲线整体上成不对称“凹”型,基本符合二次曲线;煤样电阻率随压力增加逐渐减少,当增加到一定应力值时,电阻率达到最小值;继续加载,电阻率会继续升高,直到煤样完全失稳。

3)Ⅱ、Ⅲ和 4#煤样单轴抗压强度与其受载过程中的视电阻率变化存在一定的正相关性;受载煤体的电阻率变化与其变形破裂过程中的裂隙分叉、发育、汇合贯通密不可分;兼有剪裂和拉裂特点的破坏类型可能是大尺度煤样较常见的破坏形式。

参考文献:

- [1] Brace W F, Orange A S. Electrical resistivity changes in saturated rocks during fracture and frictional sliding[J]. Geophys Res, 1968, 73(4): 1433-1445.
- [2] 张天中, 华正兴, 徐明发. 1.2千巴围压下岩样破裂和摩擦滑动过程中电阻率变化[J]. 地震学报, 1985, 7(4): 428-433.
- [3] 钱家栋, 陈有发, 金安忠. 地电阻率法在地震预报中的应用[M]. 北京: 地震出版社, 1985.
- [4] Kurita K. How can we identify location of a fracture plane? - Anisotropy of electrical conductivity and seismic velocity in dilatancy[J]. Earthq Predict Res, 1986, 4(1/2): 39-45.
- [5] 陈大元, 陈峰, 王丽华. 单轴压力下岩石电阻率的研究 - 电阻率的各向异性[J]. 地球物理学报, 1983, 26(增刊): 783-792.
- [6] 陈大元, 修济刚, 安金珍, 等. 岩石不同变形阶段电阻率变化各向异性特征研究[C]//中国地球物理学会年刊. 北京: 中国建材工业出版社, 1996: 207.
- [7] 安金珍, 修济刚, 陈峰, 等. 单轴压力下有补给水岩石电阻率变化各向异性研究[J]. 中国地震, 1996, 12(3): 300-306.

(下转第 23页)

浅眼落矿, 分层回采, 容易控制损失率和贫化率, 高, 工人劳动强度大, 难以实现机械化. 采矿工艺简单易行等优点. 缺点是采矿效率并不

表 3 设备选型表
Table 3 Type selection of mining equipment

序号	设备名称	型号	数量	用途	备注
1	气腿式凿岩机	YT29	2	进路回采	
2	上向式凿岩机	Y SP45	1	掘天井、落矿	
3	风动绞车		1	出矿	
4	电爬	15 kW	1	出矿	新购
5	矿车	侧卸式 0.7 m ³	8	运输	
6	局扇风机	5.5 kW	1	通风	

另外该铀矿没有从事该采矿方法的实际回采经验, 对一线工人在技术的掌握上还需要采矿技术人员进行业务指导, 以及在操作规程上对其进行的必要培训, 方可确保安全上的可靠.

分层矿房法的提出, 不仅有利于某铀矿五道沟Ⅲ[#]矿体的尽早回采, 而且也为其零星小矿体的采矿方法, 提供了新的选择.

参考文献:

[1] 孙旭. 金川三矿采矿方法探讨 [J]. 采矿技术, 2003, 3(3): 12- 14.

[2] 刘加冬. 浅谈采矿方法的优化与选择 [J]. 化工矿物与加工, 2009, 1: 25- 27.

[3] 周罗中, 张永林, 鲁洪军, 等. 中等稳固低品位厚大矿体采矿方法的优选 [J]. 采矿技术, 2009, 9(5): 1- 3

[4] 肖宏, 刘文剑, 刘玉红. 黄金洞金矿采矿方法的优选 [J]. 采矿技术, 2009, 8(5): 5- 6

[5] 黄小忠, 刘发平. 和睦山铁矿的新型高效采矿方法 [J]. 采矿技术, 2008, 8(6): 1- 2

[1] 孙旭. 金川三矿采矿方法探讨 [J]. 采矿技术, 2003, 3(3): 12- 14.

[8] 陈峰, 修济刚, 安金珍, 等. 用动态岩石电阻率变化各向异性探测岩石破裂前兆和确定主破裂扩展方向 [J]. 地震学报, 2000, 22(2): 210- 213.

[9] 陈峰, 安金珍, 廖椿庭. 原始电阻率各向异性岩石电阻率变化的方向性 [J]. 地球物理学报, 2003, 46(2): 271- 280.

[10] 郝锦琦, 冯锐, 周建国, 等. 岩石破裂过程中电阻率变化机理的探讨 [J]. 地球物理学报, 2002, 45(3): 42- 434.

[11] 张流, 黄建国, 高平. 水对岩石变形过程中电阻率变化的影响 [J]. 地震, 2003, 23(1): 8- 14

[12] 杜云贵, 鲜学福, 谭学术, 等. 南桐煤的导电性质研究 [J]. 重庆大学学报, 1993, 16(3): 145- 148.

[13] 何继善, 吕绍林. 瓦斯突出地球物理研究 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1999

[14] 徐宏武. 煤层电性参数测试及其与煤岩特性关系的研究 [J]. 煤炭科学技术, 2005, 33(3): 41- 46

[15] 王云刚. 受载煤体变形破裂微波辐射规律及其机理的基础研究 [D]. 徐州: 中国矿业大学, 2008

[16] 刘贞堂, 贾迎梅, 王恩元, 等. 受载煤体电阻率变化规律研究 [J]. 中国煤炭, 2008(11): 47- 49

[17] 曹亮. 考虑过程区的混凝土断裂韧度尺寸效应研究 [D]. 南京: 河海大学, 2006

(上接第 18 页)