

文章编号:1000-582X(2010)11-129-05

有效围压为零条件下瓦斯对煤体 力学性质影响的实验

尹光志¹,王 振^{1,2},张东明¹

(1. 重庆大学 资源及环境科学学院,重庆 400030;2. 煤炭科学研究总院重庆研究院,重庆 400037)

摘 要:考虑到气体的封存条件,含瓦斯煤体力学指标的测定一般都是在伪三轴的情况下进行的。但根据国家标准,煤岩力学指标的测定多是对原煤标准试样进行单轴实验取得的。利用瓦斯气体密封装置,提出了测定瓦斯煤体力学指标的类单轴实验方法。通过实验研究,得到了有效围压为零条件下瓦斯对煤样力学性质和力学响应的影响规律。实验结果表明,孔隙瓦斯改变了煤体全部变形阶段的力学响应特性,而煤体力学性质和响应的变化趋势随瓦斯压力的升高而逐渐减弱,即随瓦斯压力的升高,吸附瓦斯所引起的非力学作用将逐渐占据主导地位。

关键词:瓦斯;密封装置;有效围压;力学指标

中图分类号:X936

文献标志码:A

Experiment of the gas effect on coal mechanical properties under zero effective confirming pressure

YIN Guang-zhi¹, WANG Zhen^{1,2}, ZHANG Dong-ming¹

(1. College of Resources and Environmental Science, Chongqing University, Chongqing 400030, P. R. China; 2. Chongqing Branch of China Coal Research Institute, Chongqing 400037, P. R. China)

Abstract: Considering the seal and storage of gas, mechanical index of coal containing gas is usually obtained by normal three-axis experiment. While, according to national standard, mechanical index of coal is usually tested by uniaxial experiment. By utilizing the gas sealing system, an analogic uniaxial experiment method is proposed. Through designed experiments, the effect of gas on mechanical properties and mechanical response of the coal sample when effective confirming pressure is 0 is studied too. The experimental results show that pore gas changes the mechanical response of complete deformation stage, but the trend of change gradually weakens as the gas pressure increases, and it means that non-mechanical effects caused by absorbed gas play a leading role gradually.

Key words: gas; seal device; effective confirming pressure; mechanical index

煤岩系统的失稳是煤岩瓦斯动力灾害发生的先决条件,而失稳破坏是否发生则取决于含瓦斯煤体是否发生强度破坏和相应的力学响应^[1-5]。煤是一种复杂的多孔介质,天然的吸附体,煤体中可吸附大

量的瓦斯。因此,研究煤岩瓦斯动力灾害应首先研究瓦斯对煤体物理力学特性的影响,这是研究含瓦斯煤体破坏机理和本构关系的基础。现有的相关研究主要是在伪三轴的情况下进行的^[6-12]。但国家标

收稿日期:2010-07-18

基金项目:国家自然科学基金重点项目(50534080);国家重点基础研究发展计划(973)资助项目(2005CB221504;2006CB202204)

作者简介:尹光志(1962-),男,重庆大学教授,博士生导师,主要从事矿业工程与岩石力学等的研究,
(E-mail) gzyin@cqu.edu.cn。

准中煤岩物理力学指标多是在单轴作用下取得的。因此,如果能测定含瓦斯煤体单轴作用下的力学指标以便与无瓦斯情况下煤体力学指标加以对比分析,则可更进一步揭示瓦斯的的存在对煤体物理力学性质的影响规律,从而更进一步揭示灾害的发生机制。

笔者利用瓦斯气体密封装置^[13-14],提出了测定瓦斯煤体力学指标的单轴实验方法^[15],通过实验研究,得到了有效围压为零条件下瓦斯对煤样力学性质和力学响应的影响规律。

1 实验方法和试样的制备

1.1 实验方法

传统含瓦斯煤体力学指标的测定都是在伪三轴的情况下进行的,即在煤样周围加以高于瓦斯压力的油压把瓦斯封存在煤样中。根据国家标准,力学指标多是对原煤标准试样进行单轴实验取得的,而瓦斯的的存在,则必须考虑其相应的封存方法。本实验利用瓦斯气体密封系统(图 1)将原煤试样封存其中,用真空泵抽真空后,充入一定压力的高纯度瓦斯气体,吸附气体浓度为 99.9%,直到煤样吸附饱和为止。饱和的判定是通过高精度压力表和精密应变仪共同确定,即压力表指针和应变仪读数不再发生变化,一般吸附时间均保证在 48 h 以上。后将密封系统放在伺服压力机上利用密封系统的活塞加载装置进行单轴加压。由于煤样的饱和吸附作用,瓦斯压力作为体积力施加于煤体,使煤体所受到的有效围压为零,即其内部瓦斯和煤样周围密封空腔内的游离瓦斯压差为零,则类似于常规的单轴加载实验。如此,则可对在不同瓦斯压力吸附饱和的原煤试样进行力学指标测定,从而得出瓦斯对煤体力学指标的影响规律。

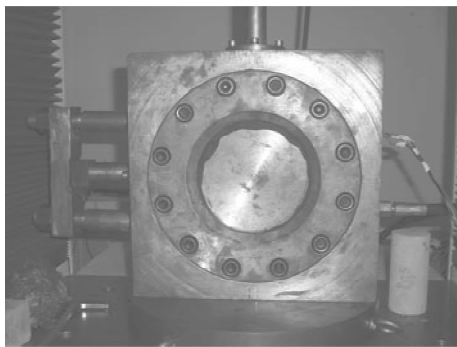


图 1 密封装置

1.2 试样的制备

研究煤样提取于平煤集团十二矿己 15 煤层。

实验室测定所取煤样的 f 值为 0.43, 瓦斯吸附常数 a 值为 22.636 8, b 值为 0.880 3。

考虑到实验装置内腔空间的尺寸,严格按照煤岩力学实验规程要求,将所取煤块切割为 50 mm × 50 mm × 50 mm 的方形试样。

为保证实验结果具有可靠性和可比性,煤样加工成型后对煤样的外观仔细观察,选取没有明显的节理及裂纹等缺陷,且两端的不平行度小于 0.05 mm 的作为实验试样,以确保试样之间没有出现明显的差异,并对其进行编号。



图 2 制作的部分试样

2 单轴压缩条件下煤样的应力应变曲线

单轴压缩实验的瓦斯条件分为 0, 1, 2 MPa 3 种情况,每种情况至少做 3 个试样。实验所得的部分煤样的应力应变曲线和实验数据如图 3-4 所示。

图 2 为无瓦斯作用下煤样单轴压缩应力-应变曲线,从图中可以看出,虽然煤样取自同一煤块,并且在实验过程中保证了其层理方向的一致性,但原煤试样所测数据存在的离散性是难以避免的。图 3 为不同瓦斯压力作用下煤样单轴压缩应力-应变曲线。从图中可以看出,孔隙瓦斯不仅改变了煤体塑性变形阶段和峰值强度后变形阶段的力学性质和力学响应,而且改变了煤体的弹性变形特性,使得弹性模量等力学参数不再为常数。即孔隙压力改变了包

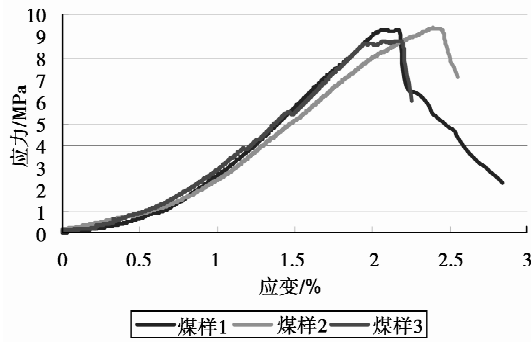


图 3 无瓦斯作用下煤样单轴压缩
应力-应变曲线

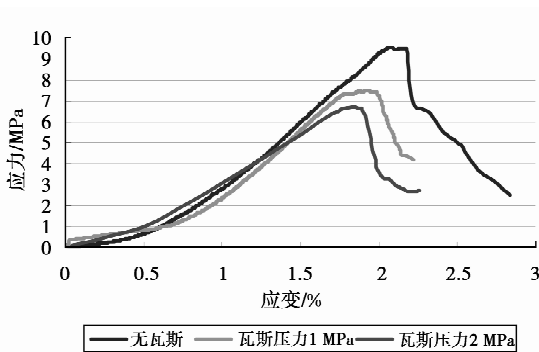


图 4 不同瓦斯压力作用下煤样单轴压缩
应力-应变曲线

括弹性变形阶段在内的煤体全部变形阶段的力学响应特性。

3 瓦斯对煤样力学指标及力学响应的影响规律分析

煤体中的瓦斯以游离和吸附两种状态存在,并在一定温度和瓦斯压力下保持动态平衡。含瓦斯煤体的物理力学性质同时受到这两种状态瓦斯的影响。游离瓦斯对煤体力学性质的影响是通过孔隙压力作为体积力而产生作用的。吸附瓦斯则是通过吸附解吸作用使煤的力学性质和力学响应发生改变,从而对煤的本构关系产生影响^[9-11]。

3.1 峰值强度随瓦斯压力的增加而降低

如图 5 所示,煤的单轴抗压强度随瓦斯压力的增加而降低,但降低的速率随压力的增加而逐渐变缓。去除有效轴向应力的影响,强度的降低主要由瓦斯的非力学作用产生。瓦斯的非力学作用,减少了煤体内部裂隙表面的张力,从而使煤体骨架部分发生相对膨胀,导致煤体颗粒间的作用力减弱,被破坏时所需要的表面能减小,削弱了煤体的强度。同时,瓦斯的非力学作用,阻碍了裂隙的收缩,促进其扩张,减弱了宏

观裂缝间的摩擦系数,也使得煤体强度降低。

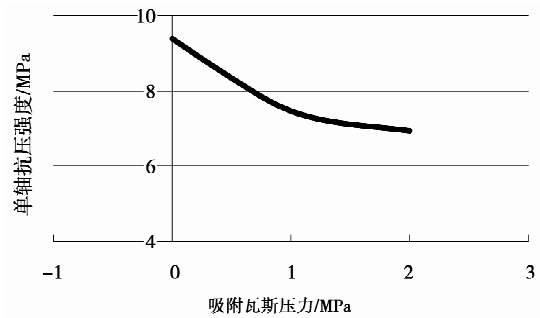


图 5 单轴抗压强度随吸附瓦斯压力的变化趋势图

3.2 弹模随瓦斯压力的增加而降低

煤体的弹性模量随瓦斯压力的增加而降低(图 6)。弹模代表了煤体抵抗变形的能力。吸附于煤体颗粒表面和颗粒空间中的瓦斯气体分子将减弱煤体试样的黏结力,宏观表现即为降低了煤体抵抗变形的能力,即弹模降低。

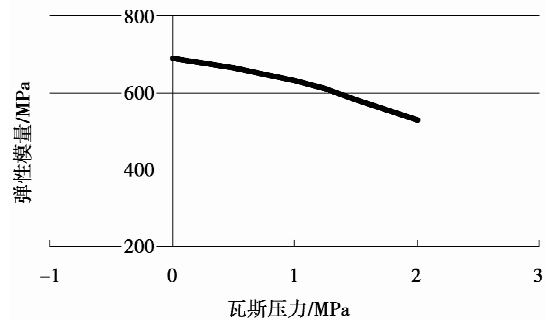


图 6 弹性模量随吸附瓦斯压力的变化趋势图

3.3 峰值点处塑性变形随瓦斯压力的增加而降低

从图 7 中可以看出,在峰前阶段,随瓦斯压力的增高,煤样发生的塑性变形逐渐减小。分析其原因,由于瓦斯的存在,对煤体中的孔裂隙起充填作用,填补了煤体中的孔裂隙空间,煤样在受压变形的过程中,瓦斯对围压起反作用,也即瓦斯的存在抵消了部分围压的作用(有效应力原理)。也就是说,在煤体破坏前瓦斯的存在阻碍了煤体的变形。因此,对同样孔隙度的煤岩来说,在破坏前,吸附了高压瓦斯的煤体,其发生的塑性变形会随瓦斯压力的增高而减小。

3.4 煤体的脆性度随吸附瓦斯压力的增加而降低

从图 4 可以看出,瓦斯的存在,使得峰后段曲线变缓,尤其是脆性破断(曲线瞬间降低即比较陡的一段)表现不明显。这主要表现在吸附瓦斯的存在,增加了煤体的延性,降低了其发生脆性破断的几率。

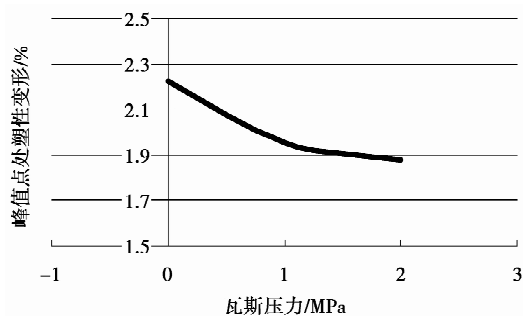
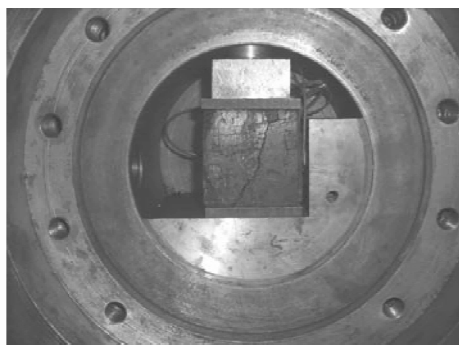
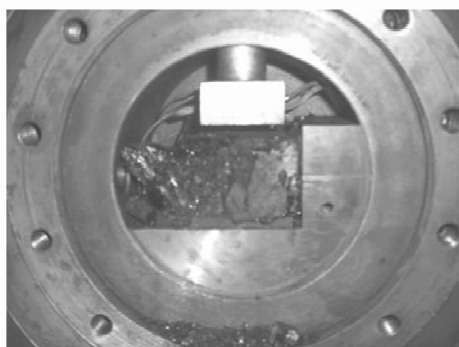


图7 峰前塑性变形随瓦斯压力的变化趋势图

从图8中也可看出,无吸附瓦斯作用的试样发生破坏后,其破坏为一条比较完整的劈裂线,脆断破坏的痕迹明显;而吸附瓦斯作用的试样破坏后其破坏的程度为一种碎裂形式,破坏后的完整性差。



(a) 无瓦斯作用



(b) 瓦斯压力2 MPa

图8 不同瓦斯压力作用下煤样的破坏形式

综合以上分析,还可以看出,煤体力学性质和力学响应随吸附瓦斯压力升高而变化的趋势逐渐变弱,也就是说,在有效围压为零的单轴压缩条件下,瓦斯对煤体力学性质和响应的影响中吸附瓦斯所起的非力学作用占主导作用。

4 结 语

笔者利用瓦斯气体密封系统,提出了测定瓦斯

煤体力学指标的类单轴实验方法。并通过实验研究,得到了有效围压为零的条件下瓦斯对煤样力学性质和力学响应的影响规律。实验结果表明,孔隙瓦斯改变了煤体全部变形阶段的力学响应特性,而煤体力学性质和响应的变化随瓦斯压力的升高而逐渐变缓,即随瓦斯压力的升高,吸附瓦斯所引起的非力学作用将逐渐占据主导地位。

参考文献:

- [1] YIN GUANG-ZHI, WANG DENG-KE, HUANG GUN, et al. A triaxial creep model for coal containing gas and its stability analysis [J]. Journal of Coal Science & Engineering, 2009, 15(3): 248-251.
- [2] 胡天庭. 煤与瓦斯突出的力学作用机理及应用研究[D]. 北京: 中国矿业大学, 2007.
- [3] 章梦涛, 徐曾和, 潘一山. 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 MENG-TAO, XU ZENG-HE, PAN YI-SHAN. A united instability theory on coal(rock)burst and outburst[J]. Journal of China Coal Society, 1991, 16 (4): 48-53.
- [4] YU M H, ZAN Y W, ZHAO J, et al. A unified strength criterion for rock material[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2002, 39(8): 975-989.
- [5] NAKAI T, MATSUOKA H. A generalized elastoplastic constitutive model for clay in three-dimensional stresses[J]. Soils and Foundations, 1986, 26(3): 81-98.
- [6] 尹光志, 赵洪宝, 张东明. 突出煤三轴蠕变特性及本构方程[J]. 重庆大学学报, 2008, 31(8): 946-950.
YIN GUANG-ZHI, ZHAO HONG-BAO, ZHANG DONG-MING. Characteristics of triaxial creep and constitutive relationship of outburst coal[J]. Journal of Chongqing University, 2008, 31(8): 946-950.
- [7] 姚宇平, 周世宁. 含瓦斯煤的力学性质[J]. 中国矿业大学学报, 1988, 34(1): 4-10.
YAO YU-PING, ZHOU SHI-NING. The Mechanical Property of Coal Containing Gas[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 1988, 34(1): 4-10.
- [8] 赵阳升. 煤体与瓦斯二相介质耦合作用的研究[D]. 上海: 同济大学, 1992.
- [9] 梁冰, 章梦涛, 潘一山. 瓦斯对煤的力学性质及力学响应影响的实验研究[J]. 岩土工程学报, 1995, 17(5): 12-18.
LIANG BING, ZHANG MENG-TAO, PAN YI-SHAN. The experimental research on the effect of gas on mechanical properties and mechanical response of

- coal[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1995, 17(5):12-18.
- [10] 梁冰. 煤和瓦斯突出固流耦合失稳理论[M]. 北京: 地质出版社, 2000.
- [11] 卢平, 沈兆武, 朱贵旺. 含瓦斯煤的有效应力与力学变形破坏特性[J]. 中国科学技术大学学报, 2001, 31(6): 55-62.
LU PING, SHENG ZHAO-WU, ZHU GUI-WANG. The effective stress and mechanical deformation and damage characteristics of gas-filled coal[J]. Journal of China University of Science and Technology, 2001, 31(6): 55-62.
- [12] 尤明庆, 华安增. 岩石试样的强度准则及内摩擦系数[J]. 地质力学学报, 2001, 7(1):53-60.
YOU MING-QING, HUA AN-ZEN. Strength criterion and internal friction coefficient of rock specimen[J]. Journal of Geomechanics, 2001, 7(1): 53-60.
- [13] 曹树刚, 刘延保, 李勇, 等. 煤岩固一气耦合细观力学试验装置的研制[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(8): 1681-1690.
CAO SHU-GANG, LIU YAN-BAO, LI YONG, et al. Research and development of testing apparatus of coal solid-gas coupled meso-mechanics[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(8): 1681-1690.
- [14] 曹树刚, 刘延保, 张立强, 等. 煤岩固一气耦合细观力学加载装置[P]. 中国, ZL200820099767.4, 2008-2-22.
- [15] 王振, 胡千庭, 尹光志. 瓦斯压力对煤体冲击指标影响的实验研究[J]. 中国矿业大学学报, 2010, 39(4): 516-519.
WANG ZHEN, HU QIAN-TING, YIN GUANG-ZHI. Experimental research on the burst proneness index of coal treated with gas pressure[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2010, 39(4): 516-519.
- (编辑 郑洁)
-
- (上接第 128 页)
- [6] REEKS M W. On model equations for particle dispersion in inhomogeneous turbulence [J]. International Journal of Multiphase Flow, 2005, 31(1): 93-114.
- [7] FERREIRA J M, CHHABRA R P. Accelerating motion of a vertically falling sphere in incompressible Newtonian media: an analytical solution[J]. Powder Technology, 1998, 97(1): 6-15.
- [8] SLATER S A, LEEMING A D, YOUNG J B. Particle deposition from two-dimensional turbulent gas flows[J]. International Journal of Multiphase Flow, 2003, 29(5):721-750.
- [9] FALTAS M S, SAADE I. Stokes flow with slip caused by the axisymmetric motion of a sphere bisected by a free surface bounding a semi-infinite micropolar fluid[J]. International Journal of Multiphase Flow, 2005, 43(11/12): 953-976.
- [10] VAN DER GELD C B M. Measurement and predication of solid sphere trajectories in accelerated gas flow[J]. Int J Multiphase Flow, 1997, 23(2): 357-376.
- [11] MARCHIOLI C, PICCIOTTO M, SOLDATI A. Influence of gravity and lift on particle velocity statistics and transfer rates in turbulent vertical channel flow[J]. International Journal of Multiphase flow, 2007, 33(3): 227-251.
- [12] ZISKIND G, CUTFINGER C. Shear and gravity effects on particle motion in turbulent boundary layers[J]. Powder Technology, 2002, 125(2/3): 140-148.
- [13] DORGAN A J, LOTH E. Efficient calculation of the history force at finite Reynolds numbers [J]. International Journal of Multiphase Flow, 2007, 33(8): 833-848.
- [14] SOBRAL Y D, OLIVEIRA T F, CUNHA F R. On the unsteady forces during the motion of a sedimenting particle [J]. Powder Technology, 2007, 178 (2): 129-41.
- [15] VISITSKII Y V, PETROV A G, SHUNDERYUK M M. The motion of a particle in a viscous fluid under gravity, vibration and Basset's force[J]. Journal of Applied Mathematics and Mechanics, 2009, 73(5): 548-557.
- [16] 黄社华, 李炜. 任意流场中稀疏颗粒运动方程的数值解法及其应用[J]. 水动力学研究与进展, 1999, 14(1): 51-61.
HUANG SHE-HUA, LI WEI. On numerical method of resolving discrete solid particles' motion equation and its applications [J]. Journal of Hydrodynamics, 1999, 14(1): 51-61.
- [17] KINCAID D, CHENEY W. Numerical analysis mathematics of scientific computing(third edition)[M]. American Mathematical Society, 2002.
- (编辑 郑洁)