

Experiment Study on Effect of Temperature on Mechanical Properties of Two Types of Coal Containing Gas

Shoujian Peng^{1,2}, Yongming Ding¹, Weidong Lu¹, Hui Guo¹

¹Department of Safety Engineering, Xinjiang Institute of Engineering, Urumqi Xinjiang

²State Key Laboratory of Coal Mine Disaster Dynamics and Control, Chongqing University, Chongqing

Email: sjpeng@cqu.edu.cn

Received: Jan. 8th, 2016; accepted: Jan. 26th, 2016; published: Jan. 29th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Based on the self-developed device called the coal-containing heat solid coupling servo seepage device, the experimental study on effect of temperature on mechanical properties of two types of the coal containing gas under triaxial compression conditions has been carried out. The results show that: under the conditions of constant confining pressure and gas pressure, there exists a threshold when temperature has an impact on the elastic modulus of the coal containing gas. When the temperature is lower than the threshold value, the elastic modulus of the coal containing gas increases as the temperature rises. When the temperature is higher than the threshold value, the elastic modulus of the coal containing gas decreases as the temperature rises. In addition, the compressive strength of the coal containing gas has a more significant reduction as the temperature rises, indicating that the temperature has softening effect on the strength of the coal containing gas.

Keywords

Coal Containing Gas, Deformation Characteristics, Compressive Strength, Temperature

温度对两种含瓦斯煤样力学特性影响的实验研究

彭守建^{1,2}, 丁永明¹, 陆卫东¹, 郭辉¹

¹新疆工程学院安全工程系, 新疆 乌鲁木齐

²重庆大学煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室, 重庆

Email: sjpeng@cqu.edu.cn

收稿日期: 2016年1月8日; 录用日期: 2016年1月26日; 发布日期: 2016年1月29日

摘 要

本文利用自主研发的含瓦斯煤热流固耦合伺服渗流试验装置, 以原煤及型煤试样为研究对象, 进行了不同温度条件下两种含瓦斯煤三轴压缩全应力-应变试验。研究表明: 在围压及瓦斯压力恒定的条件下, 温度对含瓦斯煤岩的弹性模量影响存在阈值, 当温度低于阈值时, 含瓦斯煤岩的弹性模量随着温度升高而增大, 当温度高于阈值时, 含瓦斯煤岩的弹性模量随着温度升高而降低, 同时, 含瓦斯煤岩的抗压强度随温度的升高而有着较显著的降低, 表明温度对煤样强度具有软化效应。

关键词

含瓦斯煤, 变形特性, 抗压强度, 温度

1. 引言

能源是国民经济发展的重要支撑, 随着浅部煤炭资源的日益枯竭, 国内外都陆续进入深部(一般指埋深大于 800 m)资源开采阶段。据报道, 国内最深的煤矿山东济宁唐口煤矿, 主井和副井均超过 1000 m, 非洲的一些矿井采深已达 3000 m。一般而言, 埋深每增加 100 m, 温度将升高 3℃, 因此在深部开采条件下, 煤层将达到摄氏几十度的高温, 南非某矿地下 3000 m 处地温已高达 70℃ [1]。而岩体在超出常规温度环境下, 表现出的强度、变形性质与普通环境条件下具有很大差别。因此, 研究含瓦斯煤岩在不同温度条件下的强度和变形特性, 对于煤岩稳定性研究具有重要的理论价值。

然而, 已有温度对煤样力学特性及渗透特性影响的研究[2]-[9]却存在温度和围压影响没有单独考虑或未考虑煤样内瓦斯流动等问题, 导致温度对煤样力学性质影响不明确或与实际存在一定的差异。基于此, 本文通过控制围压为 2.0 MPa、瓦斯压力为 1.0 MPa, 在煤样内瓦斯流动情况下, 对不同温度条件下两种含瓦斯煤岩的变形及强度特征进行了试验研究。

2. 试验方法

2.1. 试样制备

应试验研究的需要, 在山西晋城无烟煤业集团有限责任公司下属赵庄矿选取了一批有代表性的原煤块。所取煤样均来自 3#煤层, 其煤质属于无烟煤, 其工业分析结果见表 1 所示。煤样取回后分别进行了原煤及成型煤样制作, 分别制取了圆柱体原煤及型煤, 如图 1 所示, 其制作方法如下:

原煤制作: 将从现场取来的原始煤块用塑料薄膜密封好置于大小适当的木箱内, 然后用细骨科骨料混凝土进行浇灌, 以填满煤块与木箱之间的间隙, 待混凝土硬化完全后再用取芯机进行取芯。煤芯取出后, 利用磨床对其进行小心仔细地打磨, 制成 $\Phi 50 \times 100$ mm 的原煤煤样, 并将之置于烘箱内在 80℃ 下烘干 24 h, 再用干燥箱存放, 以备实验时用。

型煤制作: 将所取原始煤块用粉碎机粉碎, 通过振动筛筛选煤粒粒径为 40~80 目的煤粉颗粒, 然后在这些筛选出来的煤粉中加入少量纯净水和均匀后置于成型模具中在 200 t 刚性实验机上以 100 MPa 的压力

Table 1. The industrial analysis of different coal
表 1. 煤样的工业分析

煤层编号	序号	水分/% (Mad)	灰分/% (Aad)	挥发分/% (Vad)	固定碳/% (Fcad)
赵庄矿 3#	1	1.79	12.56	11.77	73.88
	2	1.82	11.45	12.89	73.84
	3	1.67	12.20	12.69	73.44
	平均值	1.76	12.07	12.45	73.72



Figure 1. The produced coal specimens
图 1. 煤样采集及制取

稳定 20 min 压制成 $\Phi 50 \times 100$ mm 的煤样。最后将制备好的型煤煤样烘干后放置于干燥箱内以备实验时用。

2.2. 试验装置

试验所用装置为重庆大学煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室自行研制的含瓦斯煤热流固耦合三轴渗流实验装置[10], 如图 2 所示。该装置主要由伺服加载系统、三轴压力室、水域恒温系统、孔压控制系统、数据测量系统和辅助系统等 6 个部分组成, 可进行不同温度条件下地应力和瓦斯压力共同作用时煤层瓦斯渗流规律及含瓦斯煤岩在渗流过程中的变形破坏特征方面的试验研究。

2.3. 试验方案

试验均在自主研发的含瓦斯煤岩热流固耦合三轴伺服渗流试验装置上进行, 采用先加载围压至设定值, 再采用位移控制方式以 0.1 mm/min 的轴向加载速率进行加载至煤样破坏的试验方法。

同时, 本实验的特色之处还在于整个三轴压缩过程伴随有瓦斯流动, 即实验过程中打开出口阀门, 使瓦斯在试件中形成流动状态。

具体实验内容为不同温度下煤岩三轴压缩全应力应变全过程试验, 即恒定瓦斯压力为 1.0 MPa、围压为 2.0 MPa, 进行温度分别为 20℃、40℃、60℃、80℃下的三轴压缩全应力应变过程试验。

3. 试验结果及分析

3.1. 温度对含瓦斯煤力学特性的影响

图 3 所示为不同温度条件下两种含瓦斯煤岩主应力差—应变曲线。从图 3 中可以看出, 不同温度条



Figure 2. Triaxial stress thermal-hydro-mechanical coal containing gas permeameter
图 2. 含瓦斯煤热流固耦合三轴伺服渗流实验装置

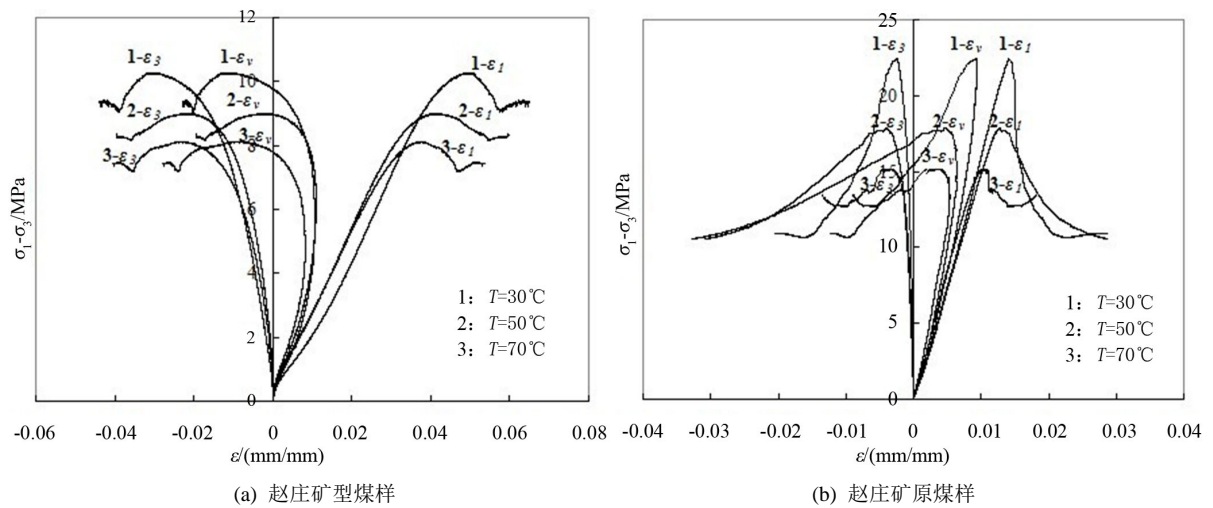


Figure 3. Triaxial stress thermal-hydro-mechanical coal containing gas permeameter ($\sigma_2 = \sigma_3 = 2.0 \text{ MPa}$, $p = 1.0 \text{ MPa}$)
图 3. 含瓦斯煤热流固耦合三轴伺服渗流实验装置 ($\sigma_2 = \sigma_3 = 2.0 \text{ MPa}$, $p = 1.0 \text{ MPa}$)

件下两种含瓦斯煤岩的应力 - 应变过程仍大致可分为压密阶段、弹性变形阶段、屈服阶段和破坏阶段。

吸附平衡后的含瓦斯煤岩在初始轴向荷载作用下, 试件内部的部分孔裂隙逐渐闭合, 试件被压密, 从图上看, 型煤被压密的效果比原煤更明显; 进入弹性变形阶段后, 型煤和原煤主应力差 - 轴向应变关系曲线直线段的斜率随着温度的升高先变大后降低, 说明温度对含瓦斯煤岩的弹性模量影响存在阈值, 当温度低于阈值时, 含瓦斯煤岩的弹性模量随着温度升高而增大, 当温度高于阈值时, 含瓦斯煤岩的弹性模量随着温度升高而降低, 对于赵庄矿煤样而言, 该阈值介于 $50^\circ\text{C} \sim 70^\circ\text{C}$ 之间。在破坏阶段,

含瓦斯煤岩的抗压强度随温度的升高而有着较显著的降低，表明温度对煤样强度具有软化效应。

含瓦斯煤岩弹性模量及抗压强度随温度的变化规律如图 4 所示，从图上可以看出，两种煤样的弹性模量随着温度升高先增大后降低，而抗压强度则持续降低，同时增加相同温度幅度时，其对原煤弹性模量及抗压强度的影响比对型煤的煤弹性模量及抗压强度的影响程度大。

分析温度对含瓦斯煤岩变形特性的影响，主要有两方面的因素[11][12]：一是温度的变化将改变煤基质的内部结构；二是温度的变化影响着煤体吸附瓦斯的性能。其中温度的升高使煤体内部发生热膨胀变形从而产生热应力，该热应力和吸附膨胀应力一样加速了含瓦斯煤岩的变形破坏进程。

此外，随着温度升高，煤样吸附瓦斯的含量降低，而游离瓦斯含量则增大，一方面煤样瓦斯吸附量降低后其变形特性必然发生改变，另一方面游离瓦斯量增大后，煤样内瓦斯压力升高，促进了孔裂隙的扩展，同时瓦斯压力增大后使得煤样有效围压减小，在外部荷载作用下，含瓦斯煤岩抵抗变形的能力进一步降低。

3.2. 温度含瓦斯煤破坏形态的影响

图 5 为不同温度条件下含瓦斯煤岩三轴压缩破坏后的形态。从图上可以看出，含瓦斯煤岩的破坏皆为剪切破坏，破坏后的试件上均有较明显的剪切面，且温度越高，含瓦斯煤岩破坏程度越强烈。从图上还可以看到，随着温度升高，含瓦斯煤岩破断角有增大的趋势。

对于煤岩试件而言，由于地质作用及取样过程的影响，导致其内部发育有孔裂隙，即实验前已存在一定程度的损伤，因此，含瓦斯煤岩破坏并非严格沿着 θ 面发生，而是沿着孔裂隙较发育的弱面产生剪切滑移。从试验后试件的破坏形态来看，同一矿井同一煤层的试件最终形成的破断角均不等，型煤试件除有明显的滑移面外，还有断节现象，并出现有 X 型共轭剪切破坏。

4. 结论

本文利用自主研发的含瓦斯煤热流固耦合伺服渗流试验装置，进行了两种含瓦斯煤三轴压缩全应力-应变试验。所得主要结论如下：

1) 在围压及瓦斯压力一定的条件下，温度对含瓦斯煤岩的弹性模量影响存在阈值，温度低于该值，含瓦斯煤岩的弹性模量随着温度升高而增大，温度高于该值，含瓦斯煤岩的弹性模量随着温度升高而降低。

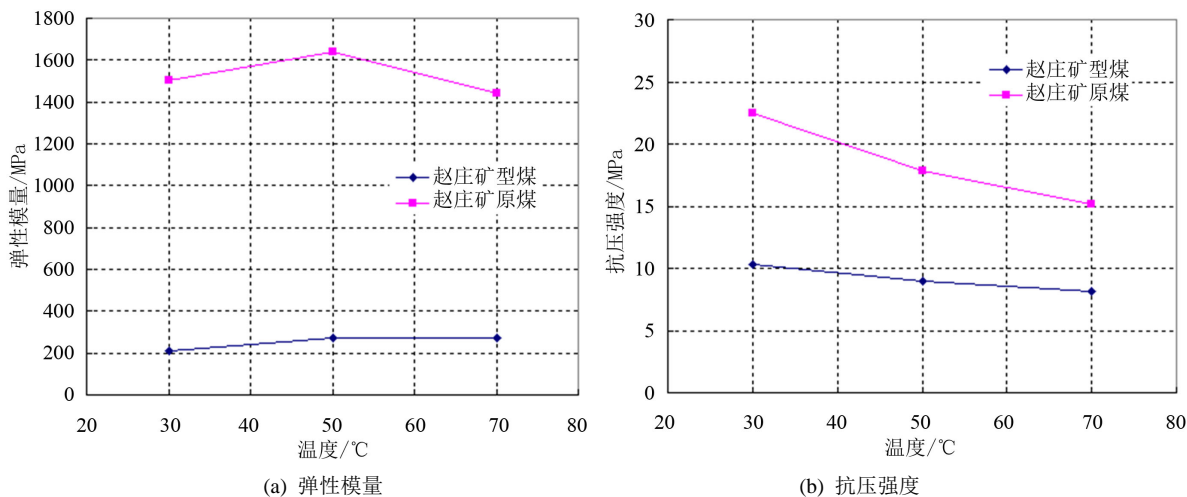


Figure 4. The relationship curves of mechanics parameters of gas-saturated coal specimens versus temperature

图 4. 含瓦斯煤岩力学参数与温度的关系曲线

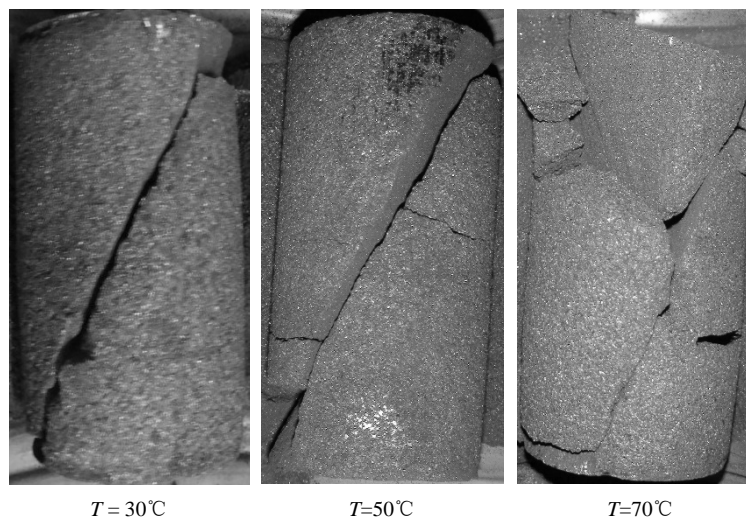


Figure 5. Triaxial stress thermal-hydro-mechanical coal containing gas permeameter
图 5. 不同温度条件下含瓦斯煤岩样的破坏形式

2) 在围压及瓦斯压力一定的条件下, 含瓦斯煤岩的抗压强度随温度的升高而有着较显著的降低, 表明温度对煤样强度具有软化效应。

3) 不同温度条件下含瓦斯煤岩的破坏皆为剪切破坏, 且温度越高, 含瓦斯煤岩破坏程度越强烈, 其破断角有增大的趋势。

基金项目

新疆维吾尔自治区自然科学基金资助项目(201233146-3)。

参考文献 (References)

- [1] 何满潮. 深部开采工程岩石力学现状及其展望[C]. 第八次全国岩石力学与工程学术大会论文集, 2004, 88-94.
- [2] 许江, 鲜学福, 杜云贵, 张广洋. 含瓦斯煤的力学特性的实验分析[J]. 重庆大学学报, 1993(9): 42-47.
- [3] 周建勋, 王桂梁, 邵震杰. 煤的高温高压实验变形研究[J]. 煤炭学报, 1993(3): 324-332.
- [4] 姜波, 秦勇, 金法礼. 煤变形的高温高压试验研究[J]. 煤炭学报, 1997(1): 80-83.
- [5] 马占国, 茅献彪, 李玉寿, 陈占清, 朱鹏. 温度对煤力学特性影响的试验研究[J]. 矿山压力与顶板管理, 2005(3): 46-48.
- [6] 杨光, 刘俊来, 马瑞. 沁水盆地煤岩高温高压实验变形特征[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2006(3): 346-350.
- [7] 李志强, 鲜学福, 隆清明. 不同温度应力条件下煤体渗透率试验研究[J]. 中国矿业大学学报, 2009(4): 523-527.
- [8] 许江, 张丹丹, 彭守建, 刘东, 王雷. 温度对含瓦斯煤力学性质影响的试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2011(S1): 2730-2735.
- [9] 袁梅, 李波波, 杜育芹, 孟庆浩, 许石青. 温度对含瓦斯煤力学性质影响的试验研究[J]. 煤矿安全, 2015(11): 11-14.
- [10] 许江, 彭守建, 尹光志, 陶云奇, 杨红伟, 王维忠. 含瓦斯型煤热流固耦合三轴伺服渗流装置的研制与应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2010(5): 907-914.
- [11] 张天军, 许鸿杰, 李树刚, 任树鑫. 温度对煤吸附性能的影响[J]. 煤炭学报, 2009(6): 802-805.
- [12] 孟巧荣, 赵阳升, 于艳梅, 胡耀青. 不同温度下褐煤裂隙演化的显微 CT 试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2010(12): 2475-2483.