

吸附作用下煤变形和渗透率动态行为试验研究

Experimental study on dynamic behaviors of coal deformation and permeability influenced by sorption

赵耀耀¹ 赵毅鑫² 刘继山³ 赵志宏¹ 崔冬雪⁴
Yaoyao Zhao¹ Yixin Zhao² Jishan Liu³ Zhihong Zhao¹ Dongxue Cui⁴

(1. 清华大学土木工程系, 北京 100084;
 2. 中国矿业大学(北京)能源与矿业学院, 北京 100083;
 3. 西澳大学工程学院, 珀斯 WA6009;
 4. 国家能源集团国能龙源环保有限公司, 北京 100039)
 (1. Department of Civil Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China;
 2. School of Energy & Mining Engineering, China University of Mining and Technology-Beijing, Beijing 100083, China;
 3. School of Engineering, The University of Western Australia, 35 Stirling Highway WA 6009, Australia;
 4. China Energy Longyuan Environmental Protection Co., Ltd., Beijing 100039, China)

摘要: 煤是由裂隙网络和多孔基质组成的双重孔隙介质, 对甲烷、二氧化碳和氢气具有明显的吸附作用。气体吸附/解吸引起煤基质变形, 导致裂隙开度或煤孔隙度发生变化, 进而控制煤渗透率的演化。清楚吸附作用对煤变形和渗透率的控制机理, 对煤层气抽采、深部煤层存储二氧化碳和氢能等工程应用具有重要意义。本文通过一系列试验研究了吸附对煤变形和渗透率动态行为的影响。首先, 通过四组不同边界条件下(常围压、常有效应力、单轴应变和常体积)气体渗流和变形测试试验, 获得分别向煤样注入吸附型气体(CO₂)和非吸附型气体(He)后煤变形和渗透率的演变规律, 对比分析了不同边界条件下吸附作用对煤变形和渗透率的影响。试验结果表明: 在应力控制边界条件下(常围压、常有效应力)吸附对煤的膨胀有显著的促进作用, 对垂直于面节理方向煤膨胀变形的影响明显强于平行于面节理方向; 在低气体压力范围内(0~3.0 MPa), 吸附作用显著降低煤的渗透率, 特别是在位移控制边界条件下(单轴应变和等体积条件下)表现更为明显。此外, 本文完成了两组(He组和CO₂组)长期持续注气变形-渗流全过程观测试验, 探究了在相同的试验条件下(温度 30℃、围压 6 MPa、气体压力 3 MPa), 持续注入非吸附性气体 He 和吸附性气体 CO₂ 过程中, 煤变形和渗透率的全过程演化规律。在持续注气过程中, He 组和 CO₂ 组煤样表现出相似的变形趋势: 先快速增大, 后缓慢增大, 最后趋于稳定。区别在于在整个过程中吸附作用导致 CO₂ 组的煤膨胀变形量明显大于 He 组的煤膨胀变形量; CO₂ 组煤渗透率演化趋势分为四个先后阶段: 快速增加、快速下降、轻微反弹和最终稳定。其中, 快速下降和轻微反弹两个阶段渗透率的变化主要是由气体吸附作用所贡献的。

关键词: 吸附作用; 煤变形; 渗透率; 气渗试验