

基于颗粒离散元的页岩各向异性微观机理研究

Microscopic mechanism of the anisotropy of shale based on particle-based discrete element simulations

余先炜¹ 张诗淮¹ SHEN Haimeng^{2, 3} 赵宇松⁴

SHE Xianwei¹ ZHANG Shihuai¹ SHEN Haimeng^{2, 3} ZHAO Yusong⁴

(1. 中国科学技术大学地球和空间科学学院, 安徽合肥 230026;

2. GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam, Germany

3. DynaFrax UG, Potsdam, Germany

4. 福州大学紫金地质与矿业学院, 福州 350108)

(1. School of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China ;

2. GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam, Germany

3. DynaFrax UG, Potsdam, Germany

4. Zijin School of Geology and Mining, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China)

摘要: 从矿物尺度理解页岩力学各向异性, 对非常规油气资源的高效开发具有重要意义。基于页岩矿物组分和微观结构特征, 本文利用颗粒离散元理论系统研究微裂纹和柔性矿物(有机质、黏土)对页岩力学各向异性的影响。在构建页岩颗粒离散元模型时, 通过在刚性基质中填充具有一定方向性的较小颗粒显式模拟有机质矿物形态, 采用平节理接触模型(Flat Joint Model)分别模拟先存微裂纹、黏土矿物及其定向性特征。本文以两种北美页岩(Eagle Ford、Haynesville)为例, 探究二者在柔性矿物总含量相近的情况下, 杨氏模量呈现显著差异性的原因。基于室内力学试验, 首先确定页岩颗粒流离散元模型的细观参数, 并通过数值模型参数敏感性分析, 定量研究微裂纹、有机质矿物和黏土矿物对 Eagle Ford 和 Haynesville 页岩力学各向异性的影响。结果如下: (1) 提出确定岩石裂纹闭合应力的新方法, 建立张开微裂纹性质(裂纹模量、裂纹张开度、裂纹方向)与闭合压力的联系; (2) 同等含量的有机质较黏土矿物对页岩杨氏模量的影响更大, 且在柔性矿物总含量相同时, 有机质含量增大显著降低试样杨氏模量; (3) 黏土矿物的定向性控制页岩各向异性, 当有机质以及黏土矿物含量不变时, 黏土定向性增强可增加水平试样杨氏模量、降低垂直试样杨氏模量。本文为研究页岩各向异性的微观机理提供了离散元模拟新手段。

关键词: 页岩; 各向异性; 离散元模拟; 矿物尺度结构.