

基于直接剪切试验的含裂缝页岩剪切细观演化及断裂机制各向异性研究：对页岩气勘探开发的启示

Abstract template for China Rock 2024

郑紫芸¹ 邓虎成¹ 徐浩¹

Ziyun Zheng¹ Hucheng Deng¹ Hao Xu¹

(1. 成都理工大学油气藏地质及开发工程全国重点实验室, 成都 610053)

(1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

摘要：层理和天然裂缝是页岩储层力学特性、破坏模式及变形机制呈各向异性的关键因素。深入了解含裂隙页岩剪切破坏机制对页岩气储层改造和井壁稳定性控制具有重要意义。在含层理面及裂隙人造页岩的基础上，对层理倾角(α)为 0° 、 45° 、 90° 的页岩开展直接剪切试验。配套声发射、数字散斑以及破断面扫描，深入探讨直剪条件下含裂隙页岩力学响应、渐进演变及破坏模式的各向异性。再将多实验响应特征与单元应力矢量状态相结合，揭示页岩渐进剪切破坏的损伤变形规律及断裂机制。结果表明：(1) 随法向应力及层理倾角的增加，页岩断裂特征由脆性逐渐过渡为塑性。内聚力、峰值抗剪强度分别在 $\alpha=45^\circ$ 和 0° 时达到最大值和最小值，而摩擦系数、残余强度分别在 $\alpha=90^\circ$ 和 0° 时达到最大和最小值。(2) 页岩渐进破坏表现出显著的各向异性。随 α 增加，产生的AE事件频率和强度越高，裂纹起裂及损伤应力阈值总体增加。应变场演化结果显示， $\alpha=0^\circ$ 时沿预制裂纹方向出现剪切-层理面叠加应变集中带。 $\alpha=45^\circ$ 或 90° 时，沿层理面及剪切面形成两条汇聚的高应变带。(3) 剪切破坏后， $\alpha=0^\circ$ 沿层理面形成小尺度、剪切模式主导、扩展路径平整的裂纹。随着 α 增加，裂纹尺度及拉伸作用增大，形成复杂的裂纹扩展形态及锯齿状剪切破裂带。随正应力的增加，不同 α 的断面粗糙度呈不同的变化趋势。(4) $\alpha=0^\circ$ 为层理主控的沿层理剪切破裂。 $\alpha=45^\circ$ 为基质体和层理共同控制的剪切破裂。 $\alpha=90^\circ$ 为基质体和层理共同控制的张-剪复合破裂。研究结果可为页岩气藏储层水力压裂优化及缝网控制提供重要依据。

关键词：含裂缝页岩；直剪实验；渐进破坏；断裂机制；各向异性