



新闻动态

- 图片新闻
- 头条新闻
- 通知公告
- 学术活动
- 综合新闻
- 科研动态
- 研究亮点
- 学术前沿

您现在的位置: 首页 > 新闻动态 > 研究亮点

## 黄北秀等-JGR: 陆相页岩细观力学各向异性及破裂面粗糙度特征

2020-06-18 | 【大 中 小】 【打印】 【关闭】

我国页岩类型丰富,海相、陆相和海陆过渡相等不同沉积环境的页岩均较为发育且分布广泛,油气资源储量可观,具有很好的勘探开发前景。受沉积、成岩及构造作用的影响,页岩发育显著的层理结构,导致同一页岩在不同方向上呈现出不同的物理、化学等性质,即页岩具有各向异性。国内外诸多学者针对页岩力学特性的研究表明,页岩的力学各向异性是其固有属性,对页岩油/气开采过程中井壁的稳定性和储层改造的力学响应有直接影响。然而,目前已有研究多集中于海相页岩,且主要是基于宏观尺度 (> 10 mm) 或是微观尺度 (< 0.1 mm) 的力学试验,而对于细观尺度 (0.1 - 10 mm) 的页岩力学行为研究较少,这使得不同尺度之间的页岩力学特性难以建立直接、连续的联系。此外,页岩破裂面粗糙度类似于储层压裂改造形成的裂缝网络复杂程度,与页岩油/气的开采效率有紧密的联系。相关学者在研究中也常采用粗糙度这一指标来评价储层压裂改造的效果,但局限于不同压裂方案的效果对比,对于破裂面粗糙度和力学特性之间的内在关联鲜有考虑。

针对上述问题,中国科学院地质与地球物理研究所页岩气与地质工程院重点实验室黄北秀博士生在导师李丽慧副研究员、李晓研究员的指导下,采用微型拉伸台-光学显微镜 (MTI-LM) 细观实时加载-观测-采集试验系统 (图1),对鄂尔多斯盆地南缘延长组长7段陆相页岩开展了细观尺度下不同层理角度 (最大压应力和层理面之间的夹角,范围为 $0^{\circ}$  -  $90^{\circ}$ ) 的单轴压缩试验研究。通过综合分析MTI-LM系统同步采集的力学试验数据和全程样品变化图像,结合破裂面粗糙度定量化表征以及微米CT在位 (in-situ) 单轴压缩扫描图像,系统研究了陆相页岩在细观尺度下的单轴压缩强度、裂缝扩展特征、破坏模式以及破裂面粗糙度随层理角度变化的差异性。

主要取得以下认识: (1) 陆相页岩的细观压缩强度和层理平行裂缝 (bedding-parallel fractures) 占总裂缝长度的百分比随层理角度呈反向波动趋势 (图2),即在强度越高的页岩中层理平行扩展的裂缝占比越低; (2) 陆相页岩的细观压缩强度、破坏时间、破裂面粗糙度随层理角度的变化具有一致性 (图3),即在恒定加载速率下,强度越高的页岩,其破坏时间越晚,最终形成的破裂面越粗糙; (3) 非均质的矿物成分和结构使页岩在压缩破坏过程中产生不同大小和数量的岩桥 (图4),可能是导致页岩细观力学各向异性的内在原因。

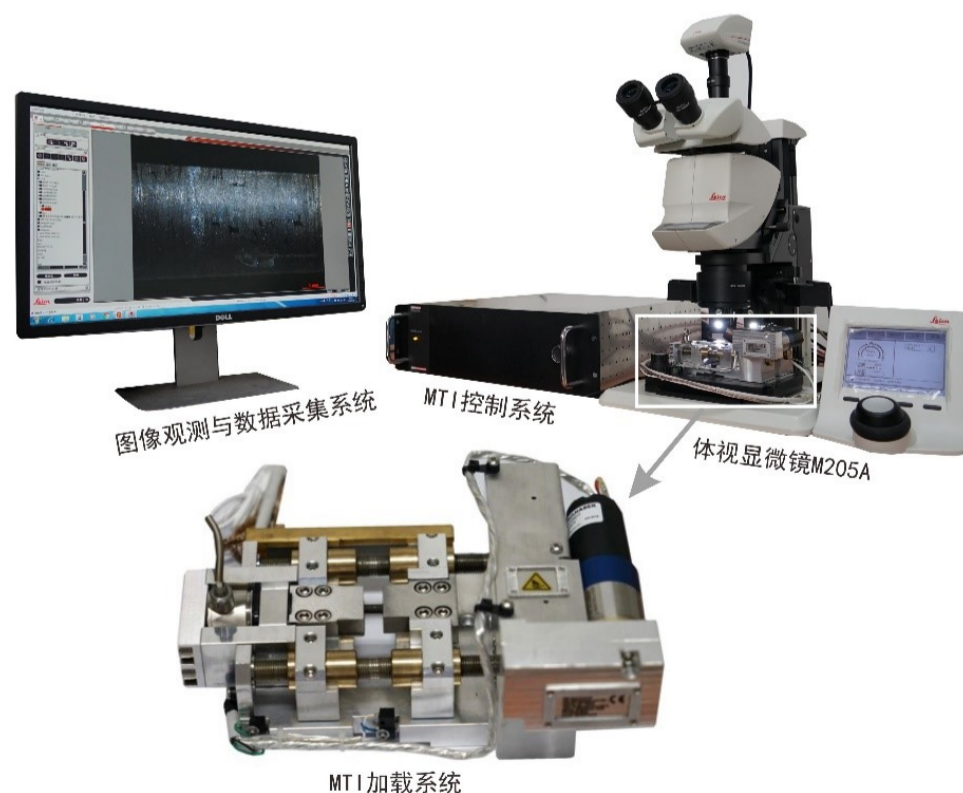


图1 微型拉伸台-光学显微镜 (MTI-LM) 细观实时加载-观测-采集试验系统

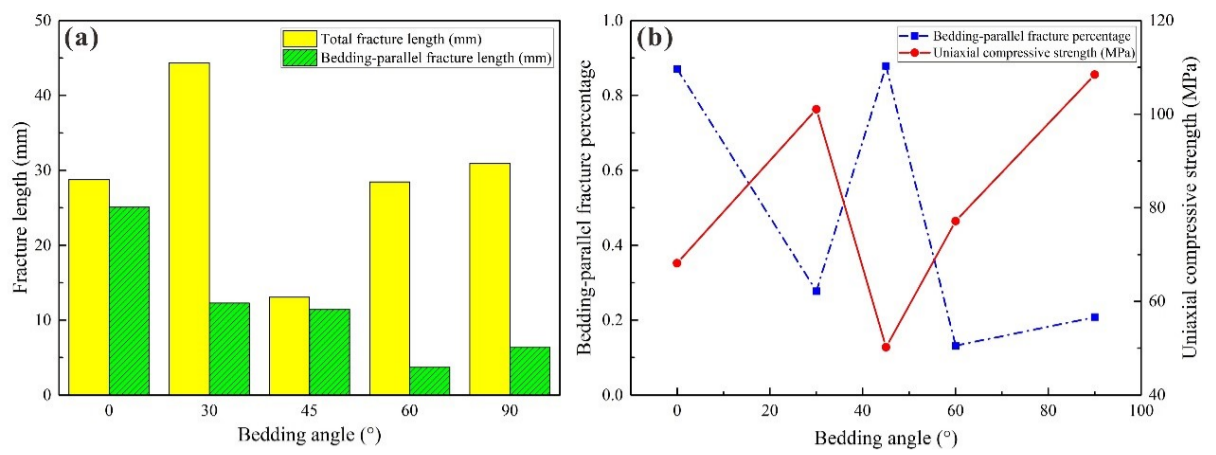


图2 不同层理角度的页岩裂缝长度及平行层理裂缝百分比分布图。(a) 总裂缝长度(黄色)和平行层理裂缝长度(绿色)随层理角度的变化,层理角度为0°和45°的页岩中的裂缝主要与层理面平行,60°和90°的页岩中的裂缝主要与层理面交叉,30°的页岩则二者兼有;(b) 平行层理裂缝百分比(蓝色点划线)和单轴抗压强度(红色实线)随层理角度的变化,二者呈现出反向波动的趋势。

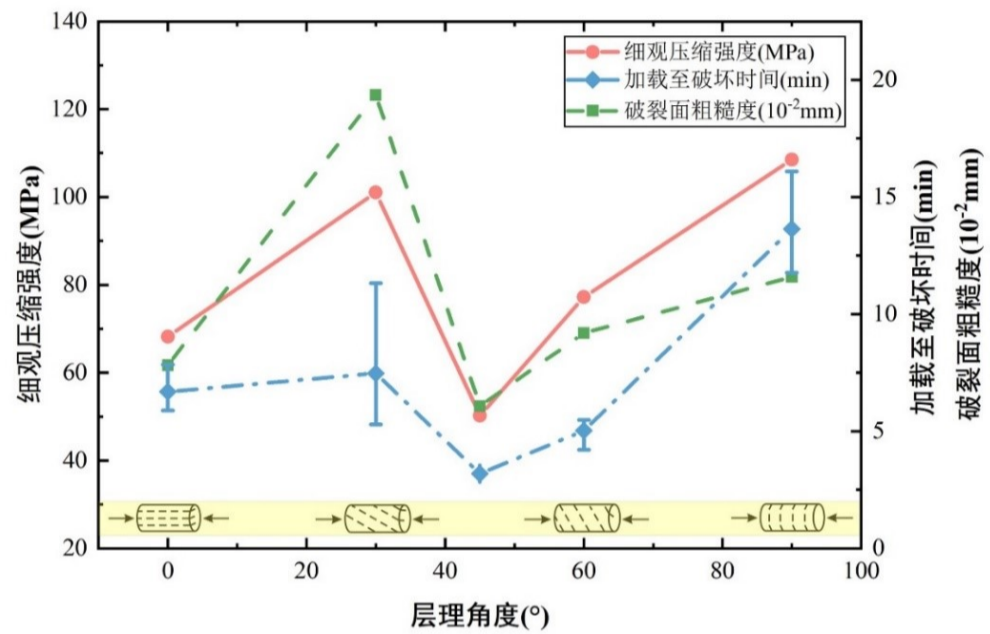


图3 页岩细观压缩强度、破坏时间、破裂面粗糙度随层理角度的变化曲线。随着层理角度的变化,三者呈现出较好的各向异性一致性。

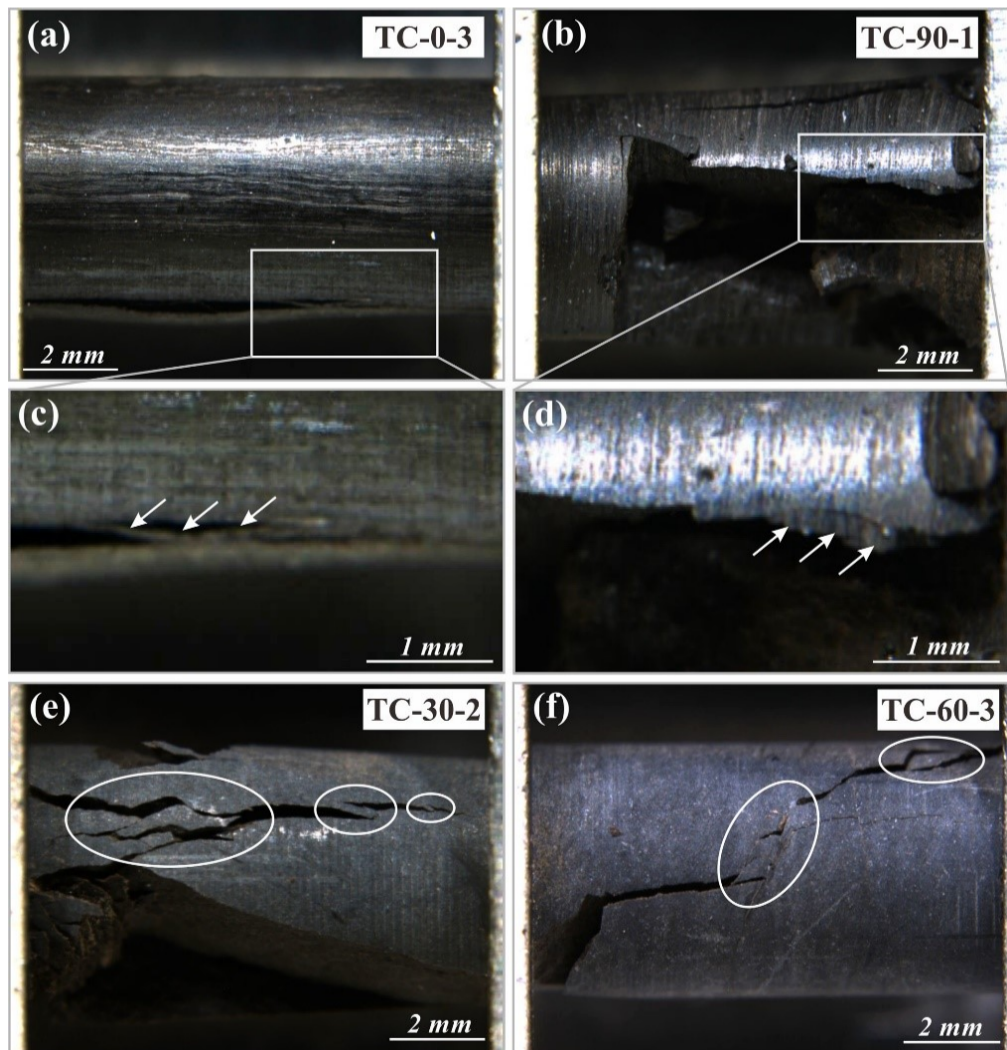


图4 页岩细观单轴压缩试验后不同层理角度的样品中的岩桥。(a, b) 0°样品TC-0-3和90°样品TC-90-1中模糊的小岩桥,如矩形框所示;(c, d)为(a)和(b)局部放大的岩桥,如白色箭头所示;(e) 30°样品TC-30-2中显著的大小不一的岩桥,如白色椭圆形所示;(f) 60°样品TC-60-3中的中等大小的岩桥。

以上研究增进了我们对细观尺度的页岩力学各向异性的理解,为后期建立页岩不同尺度的力学特性之间的关系提供了实验基础。同时,也为优化页岩油/气开采方案以形成复杂裂缝网络提供了新思路,可考虑通过寻找页岩强度-破坏时间-破裂面粗糙度的平衡点,从而获得页岩气开采成本和产气量的最优解。

研究成果发表于国际权威学术期刊 *JGR: Solid Earth*。(Beixiu Huang, Lihui Li\*, Yufang Tan, Ruilin Hu, Xiao Li. Investigating the Meso-mechanical Anisotropy and Fracture Surface Roughness of Continental Shale[J]. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 2020: e2019JB017828. DOI: 10.1029/2019jb017828.) (原文链接) 该成果受到中国科学院战略性先导专项 (B类)、国家自然科学基金项目和中国科学院地质地球所重点部署项目等的资助。



地址: 北京市朝阳区北土城西路19号 邮编: 100029 电话: 010-82998001 传真: 010-62010846  
版权所有© 2009-2021 中国科学院地质与地球物理研究所 京ICP备05029136号 京公网安备110402500032号

