

页岩气开发中的解吸和驱替动力学*

袁泉子, 林 焱, 赵亚溥

(中国科学院力学研究所非线性力学国家重点实验室, 北京 100190)

中国的页岩气储量居世界首位。然而, 由于“甜点区”的页岩渗透率极低、页岩岩层极深、水资源缺乏等问题, 国内页岩气的采收率仅为6%左右。页岩气开发的瓶颈问题在于页岩气解吸和驱替的比例低。如果增加解吸或驱替约10%的页岩气, 就可以节省一口新井(约6千万元)的开支。因此, 页岩气的解吸和驱替不仅是工程实际中提高采收率的关键, 而且是力学、地质学、地球化学等学科交叉的前沿问题。

我们采用物理力学方法, 详细地研究了页岩气吸附、解吸和驱替的动力学过程。基于密度泛函理论(Density Functional Theory, DFT)、反应力场分子动力学(Reactive Force Field Molecular Dynamics, Reaxff MD)、大规模分子动力学、相场动力学等方法, 模拟了页岩中干酪根从没有缺陷的初始构型到裂解成页岩气、产生微缺陷和多孔结构的微观过程; 探索了页岩气在孔隙通道中的吸附现象, 从原子层次研究纳米通道内页岩气吸附的状态和规律, 得到了从亚连续单分子链到多层结构、毛细凝聚、相变等解吸附规律, 建立了页岩气吸附相的理论模型; 研究了水力压裂中裂纹的动态扩展问题, 对于水力压裂中起裂、裂纹尖端失稳、位错发射、孔洞形成、裂纹愈合等现象进行了详细的分析; 建立了三维逾渗模型, 用重整化群的方法得到了三维逾渗相图, 将页岩的孔隙度与联通性联系起来, 并在此基础上研究了驱替过程中的黏性指进和分形扩展等。

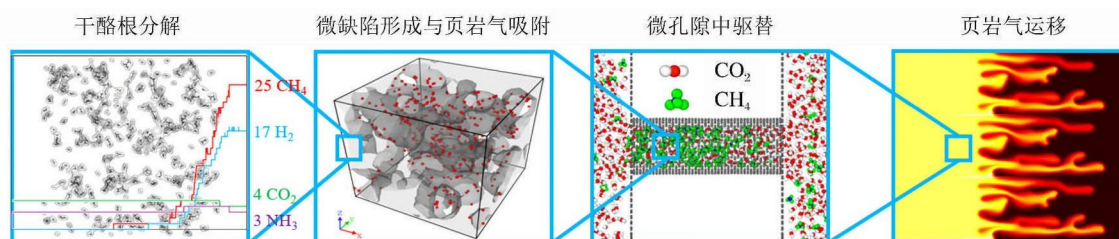


图1 页岩气开发中的解吸和驱替动力学

我们的工作从干酪根裂解页岩气开始, 采用物理力学方法自下而上地研究了页岩气解吸和驱替过程中的微观规律, 探索了水力压裂中微裂纹扩展、失稳、愈合等动力学现象。期望通过模拟、理论和实验相结合的研究为工程实际提供现象预测和理论指导, 进而提高页岩气的采收率。

* 通讯作者: 袁泉子(1983-), 男, 副研究员, E-mail: yuanquanzi@lnm. imcch. ac. cn