

干热花岗岩压裂裂缝剪切滑移数值模拟研究

徐志鹏^{1,2}, 盛茂^{1,2*}

1.石油工程学院, 中国石油大学(北京), 北京

2.油气资源与探测国家重点实验室, 中国石油大学(北京), 北京 * 通讯作者: shengmao@cup.edu.cn

摘要:

针对干热花岗岩, 建立考虑热-流-固耦合作用下的干热岩压裂裂缝剪切滑移模型, 数值模拟得到了杨氏模量、切向载荷、法向加载路径和摩擦系数等因素对裂缝极限滑移距离的影响规律。结果表明, 裂缝极限滑移距离受岩石杨氏模量、裂缝面摩擦系数、裂缝法向载荷的加载路径等因素影响较大。岩石杨氏模量存在临界值, 大于该临界值时, 裂缝滑移距离与杨氏模量正相关; 摩擦系数与极限滑移距离呈非线性关系; 裂缝法向加载路径可控制裂缝面极限滑动距离。研究结果有助于深入认识干热岩压裂增产机理。

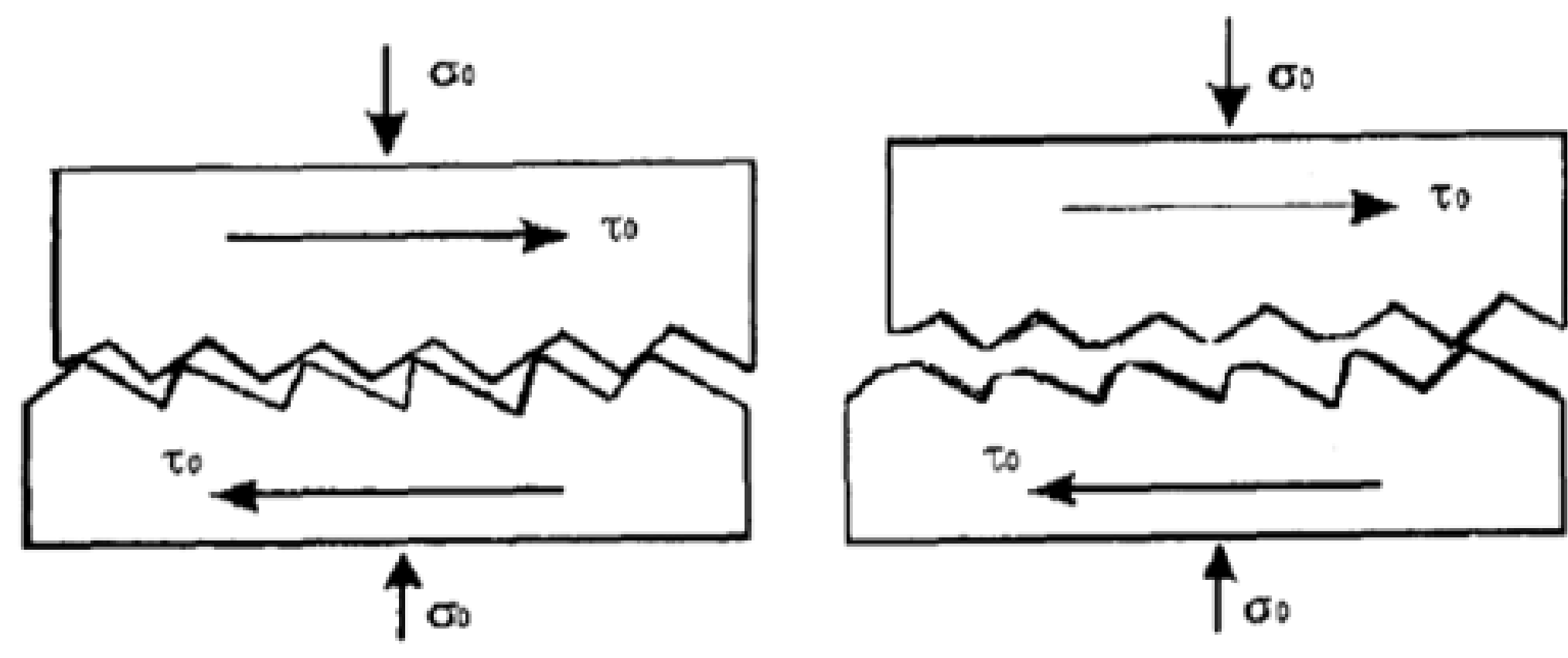


图 1.花岗岩剪切滑移示意图

物理模型:

花岗岩杨氏模量35GPa, 泊松比0.3, 密度2800 kg/m³, 导热系数2.9W/(m K), 热膨胀系数7×10⁻⁶ K⁻¹。

模型使用固体力学和固体传热模块。接触压力和剪应力计算方法为增广拉格朗日法。

上盘岩石所受均布法向载荷N(t)随时间变化, 用于模拟压裂时天然裂缝面上的净压力 σ_{eff} ($\sigma_{eff} = \sigma_v - P_f$)。上盘岩石左侧施加一个恒定均布切向载荷T。考虑缝面摩擦系数为状态函数, 因此设为时间函数 $\mu(t)$ 。热储温度200 °C, 裂缝面设为热通量边界, 换热系数算法为外部强制对流, 缝内流体温度20 °C。

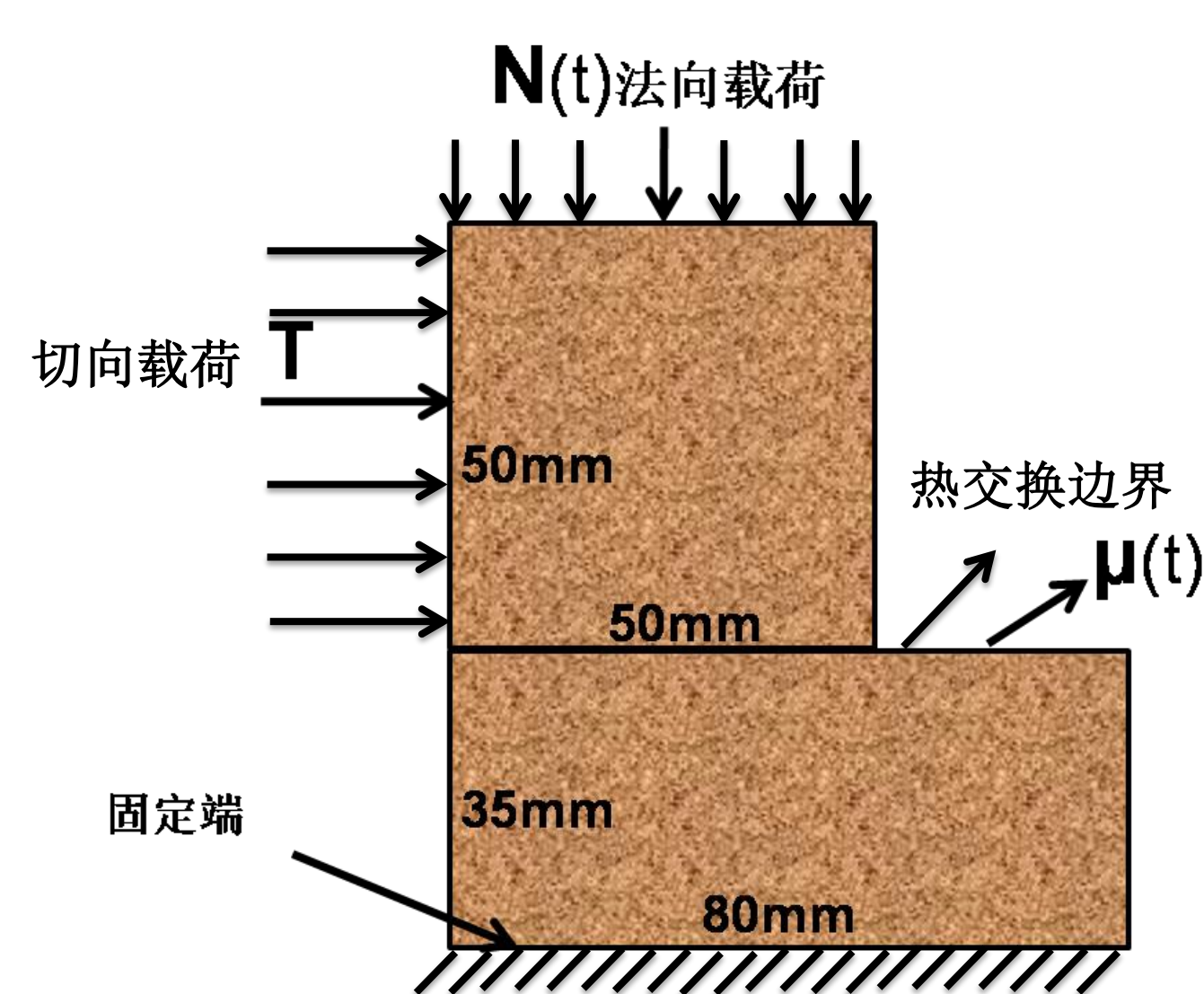


图 2 几何模型与边界条件

结果:

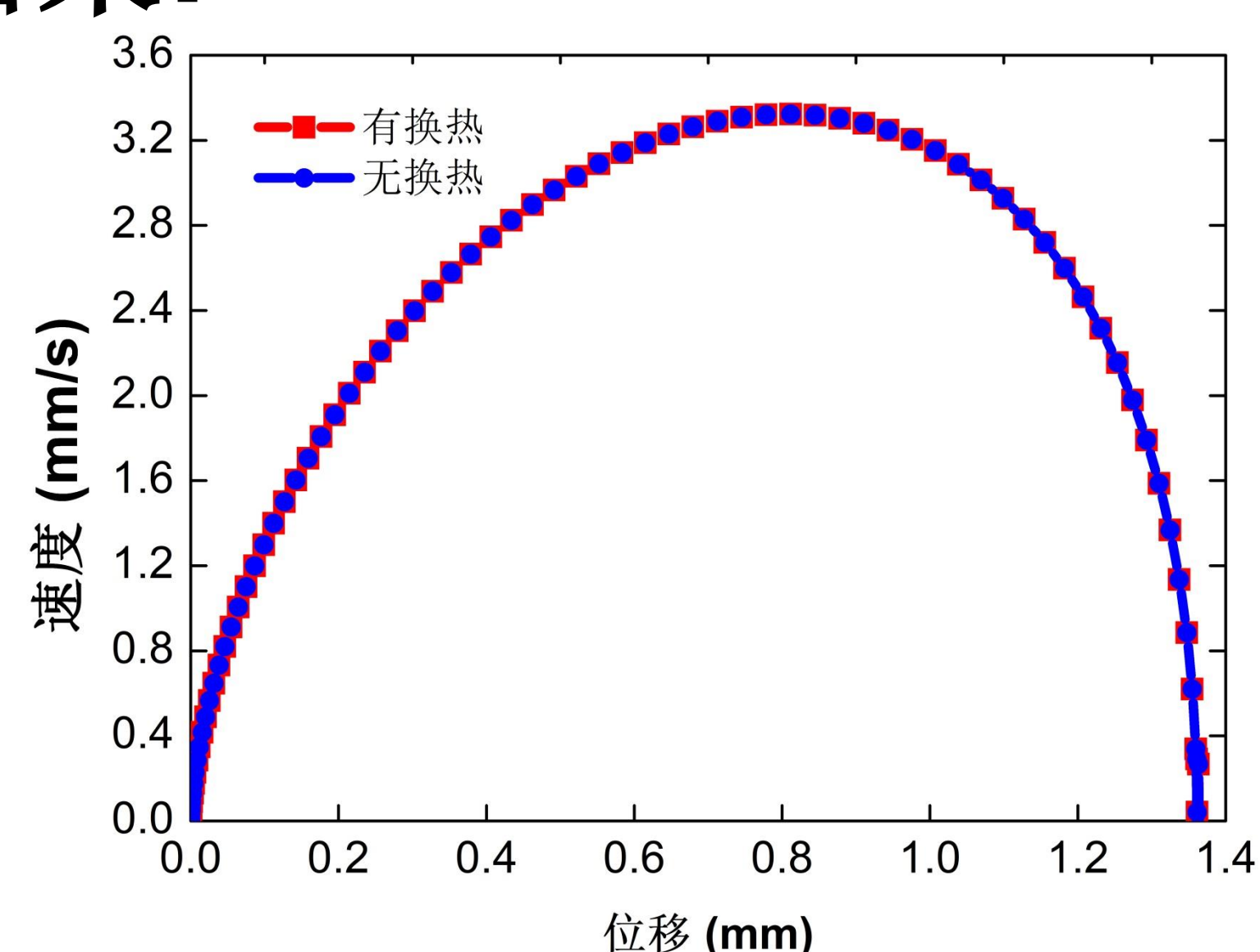


图 3.温度效应

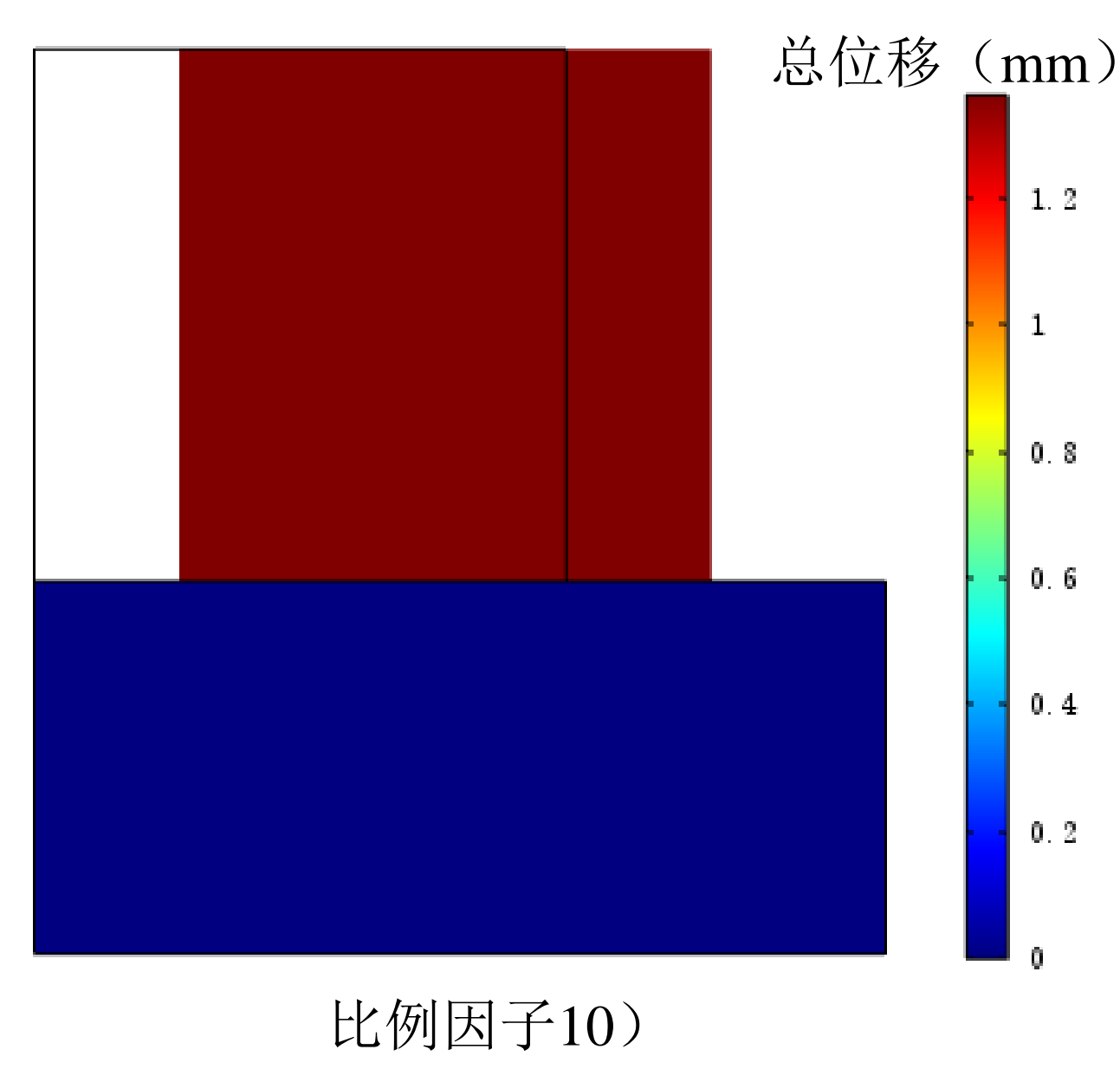


图 4.位移云图

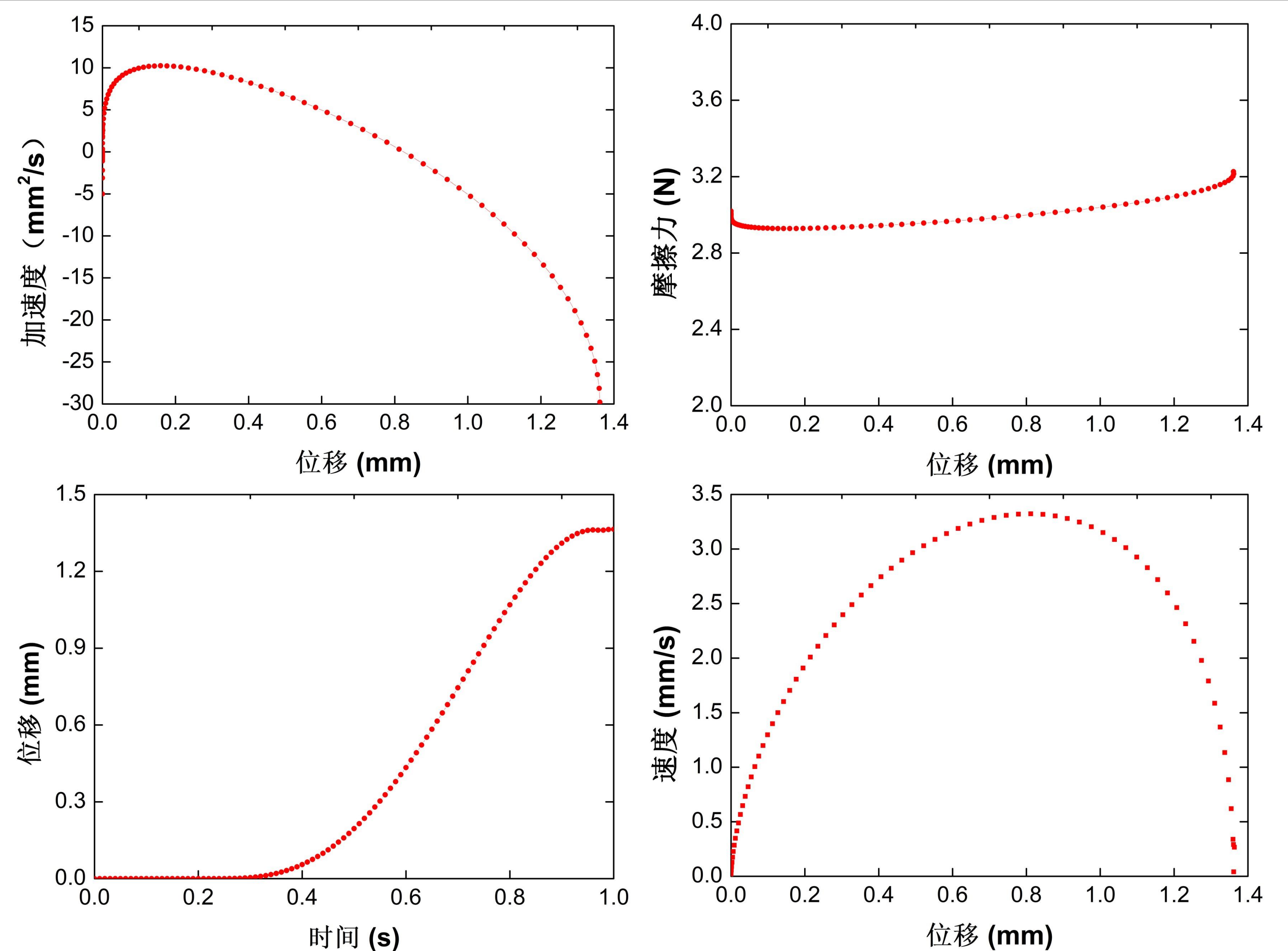


图 5.剪切滑移运动分析

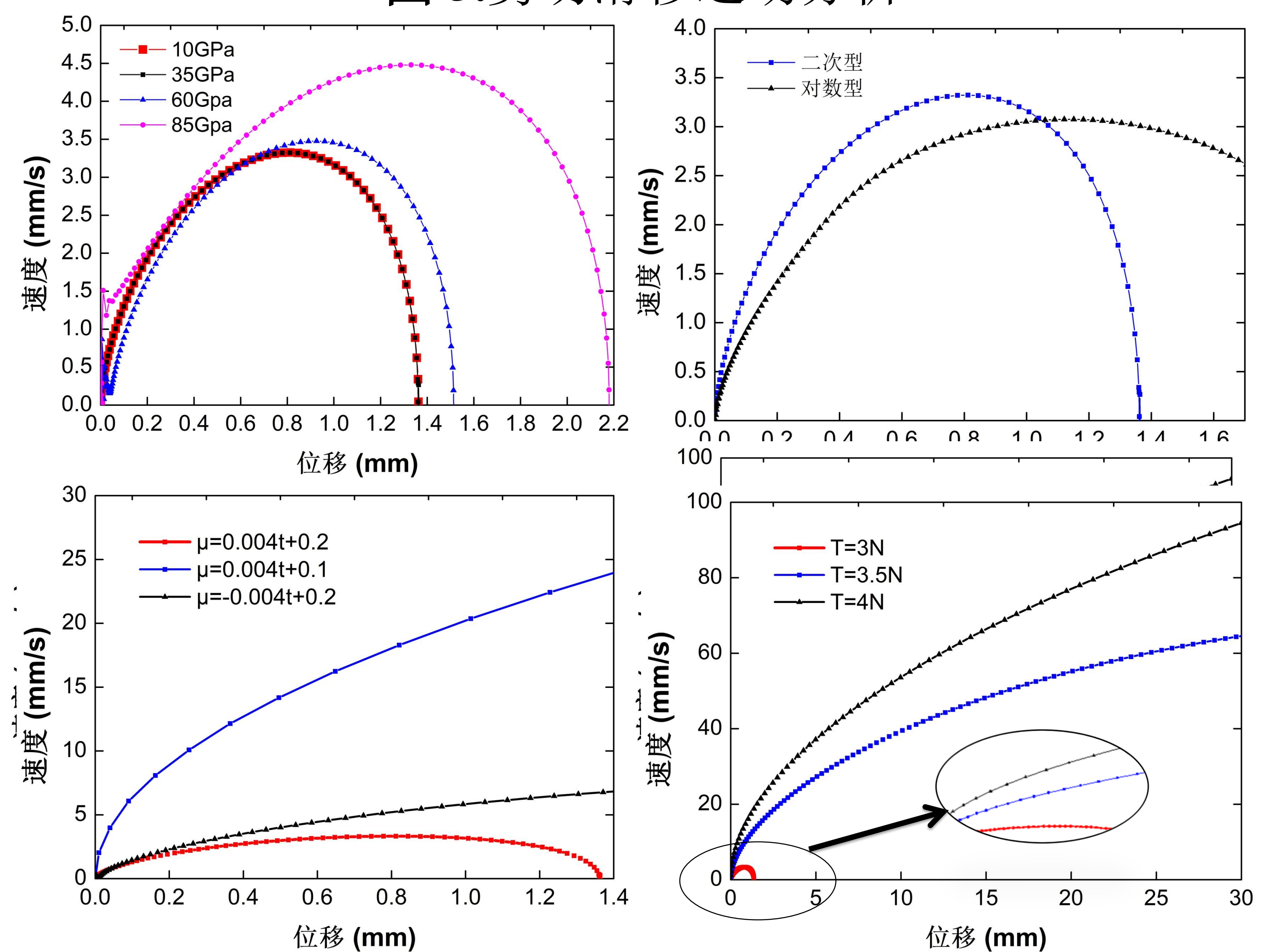


图 6.参数敏感性分析

结论:

裂缝极限滑移距离受岩石杨氏模量、裂缝面摩擦系数、裂缝法向载荷的加载路径等因素影响较大。岩石杨氏模量存在临界值, 大于该临界值时, 裂缝滑移距离与杨氏模量正相关; 摩擦系数与极限滑移距离呈非线性关系; 裂缝法向加载路径可控制裂缝面极限滑动距离。研究结果有助于深入认识干热岩压裂增产机理。

代表性参考文献:

1. Evans, K. F. Does significant aseismic slip occur on fractures in HDR systems under stimulation conditions. Draft proceedings, 4th, HDR forum. (1998).
2. McClure, M. W., & Horne, R. N. Opening mode stimulation or shear stimulation. Geothermal Resources Council Transactions, 36, 515-522. (2012).
3. McClure, M. W., & Horne, R. N. Conditions required for shear stimulation in EGS. European Geothermal Conference 2013. (2013).
4. Bauer S, Huang K, Chen Q, Ghassemi A, Barrow P. Laboratory and Numerical Evaluation of EGS Shear Stimulation. proceedings of 41st Workshop on Geothermal Reservoir Engineering. Stanford University, Stanford, California. (2016).