

基于COMSOL Multiphysics的稠油热采过程井筒-储层多场耦合模拟

薛世峰¹,王海静¹,王斐斐¹,郇筱林¹,程宇彤¹,任星宇¹,许高¹

1. 储运与建筑工程学院工程力学系, 中国石油大学(华东), 山东, 青岛

简介:水平井注蒸汽热力采油是稠油开发的一种有效方法, 其过程涉及井筒管流与油藏渗流, 及储层温度场、渗流场与岩体变形场之间的双重耦合。本研究针对注蒸汽热采过程, 建立了反映变温、变形影响的井筒-油藏耦合数学模型。对稠油热采注蒸汽过程进行了模拟计算, 为热采油藏注汽参数优化、提高油井产能和采收率提供了技术支持。

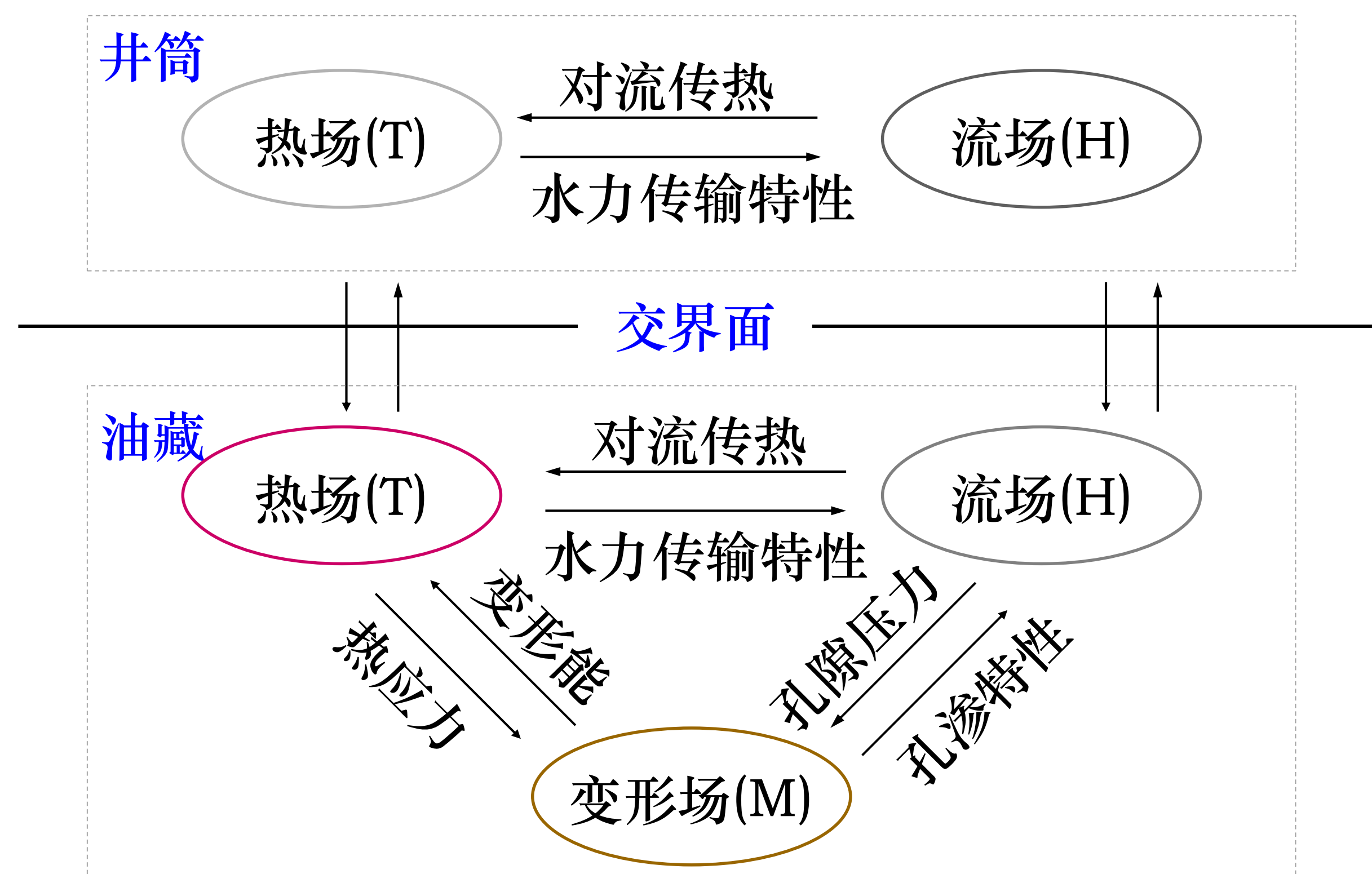


图 1. 注汽过程耦合机理

计算方法:基于COMSOL Multiphysics自带的多孔介质传热模块、达西定律模块和固体力学模块, 通过自定义各模块间的耦合变量, 实现了井筒、储层以及温度场、流体场固体力学场之间的全耦合。

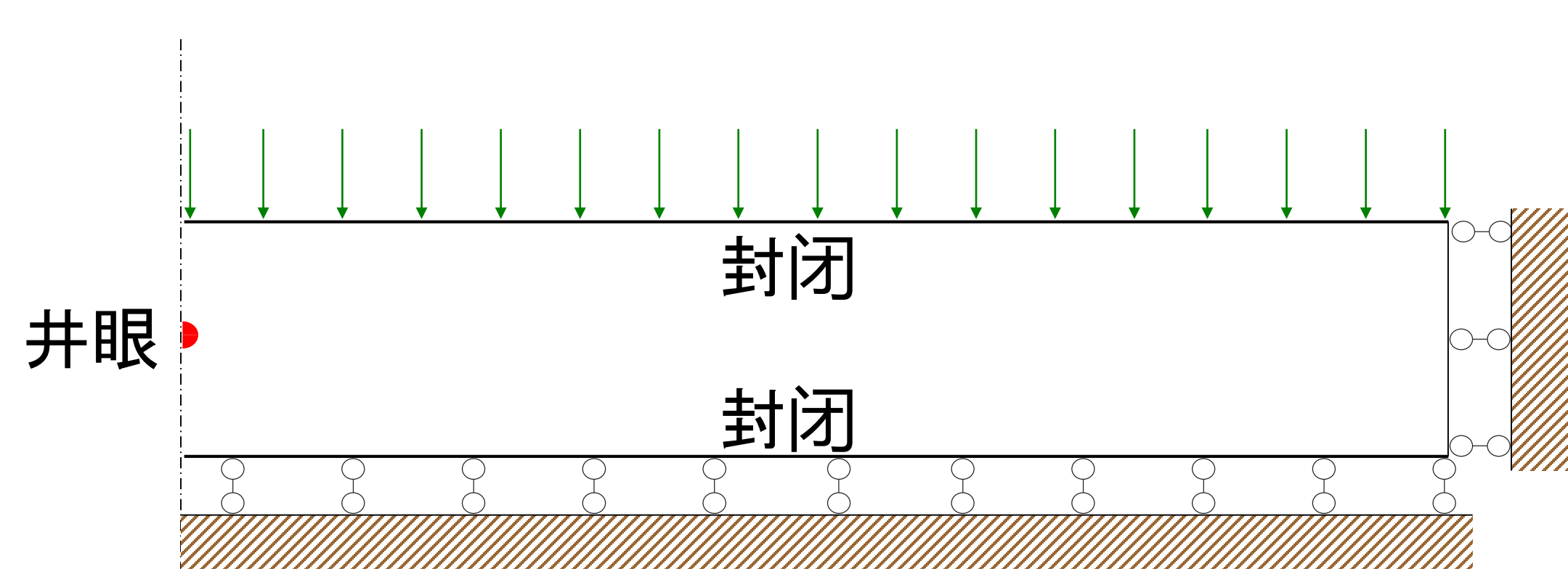


图 2. 油藏几何模型

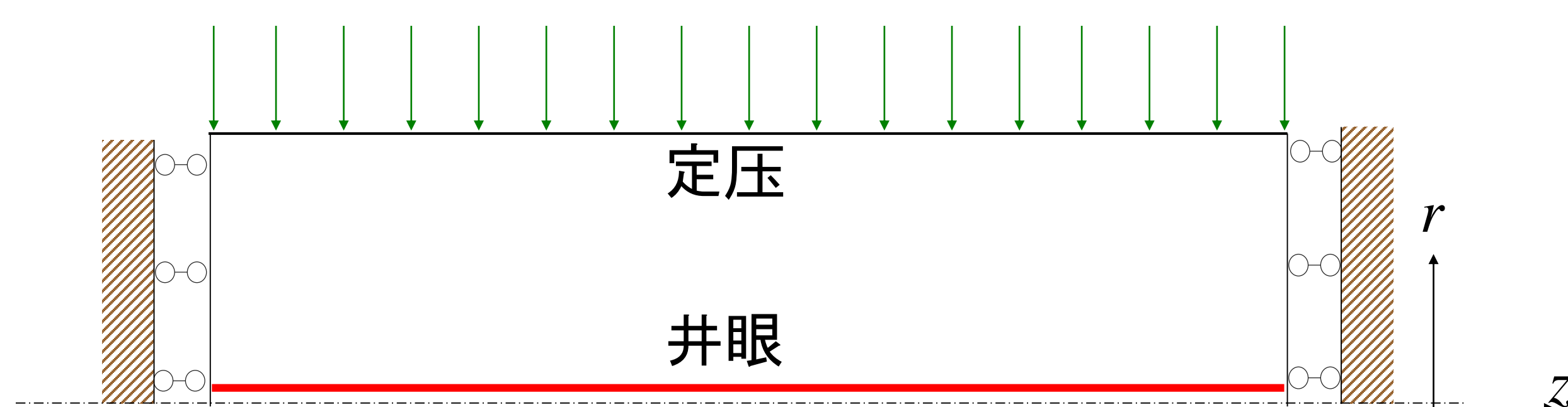


图 3. 井筒-油藏系统轴对称几何模型

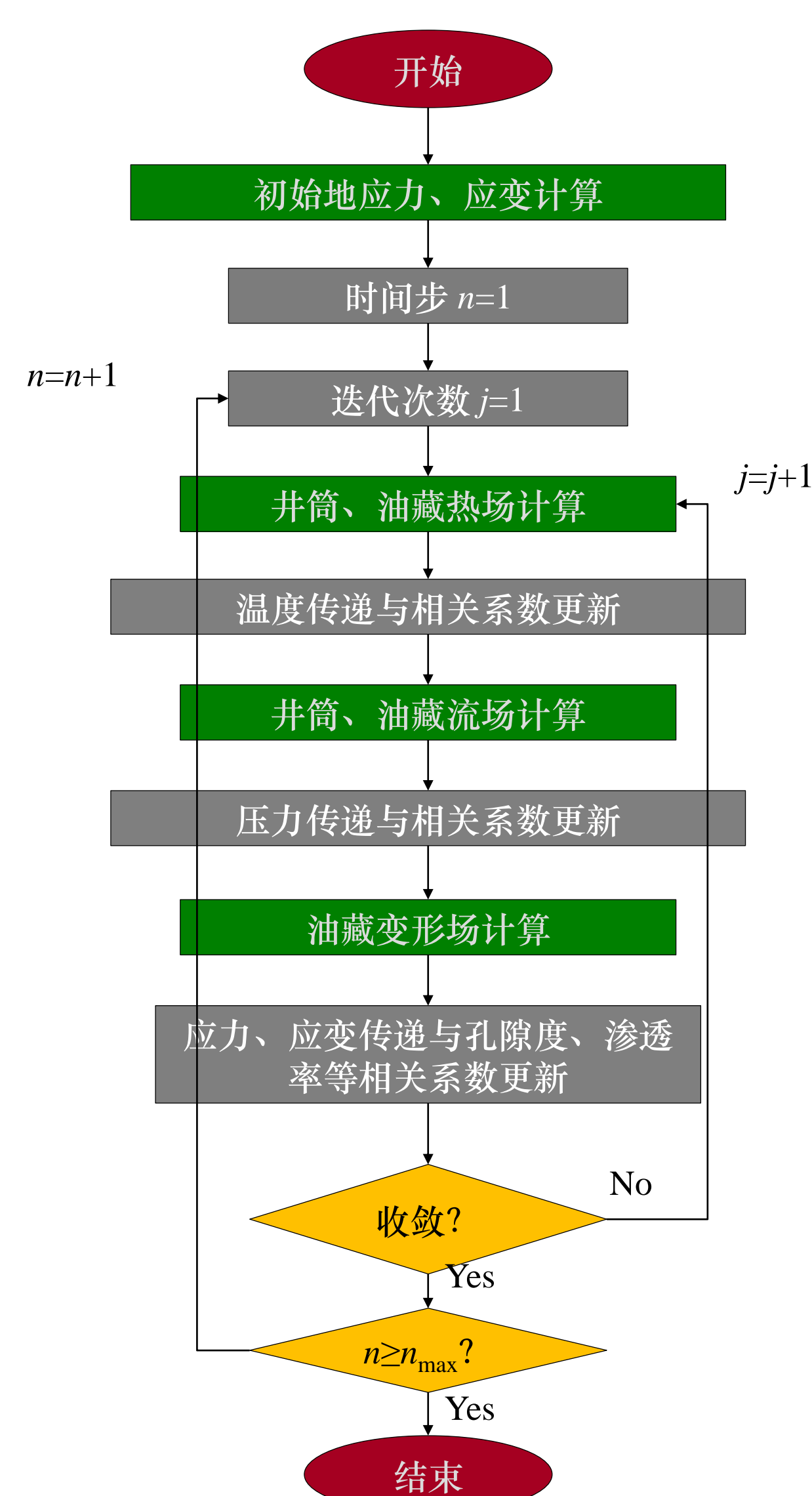


图 4. 井筒-油藏耦合计算流程

结果:

注汽过程油藏压力/渗透率场分布

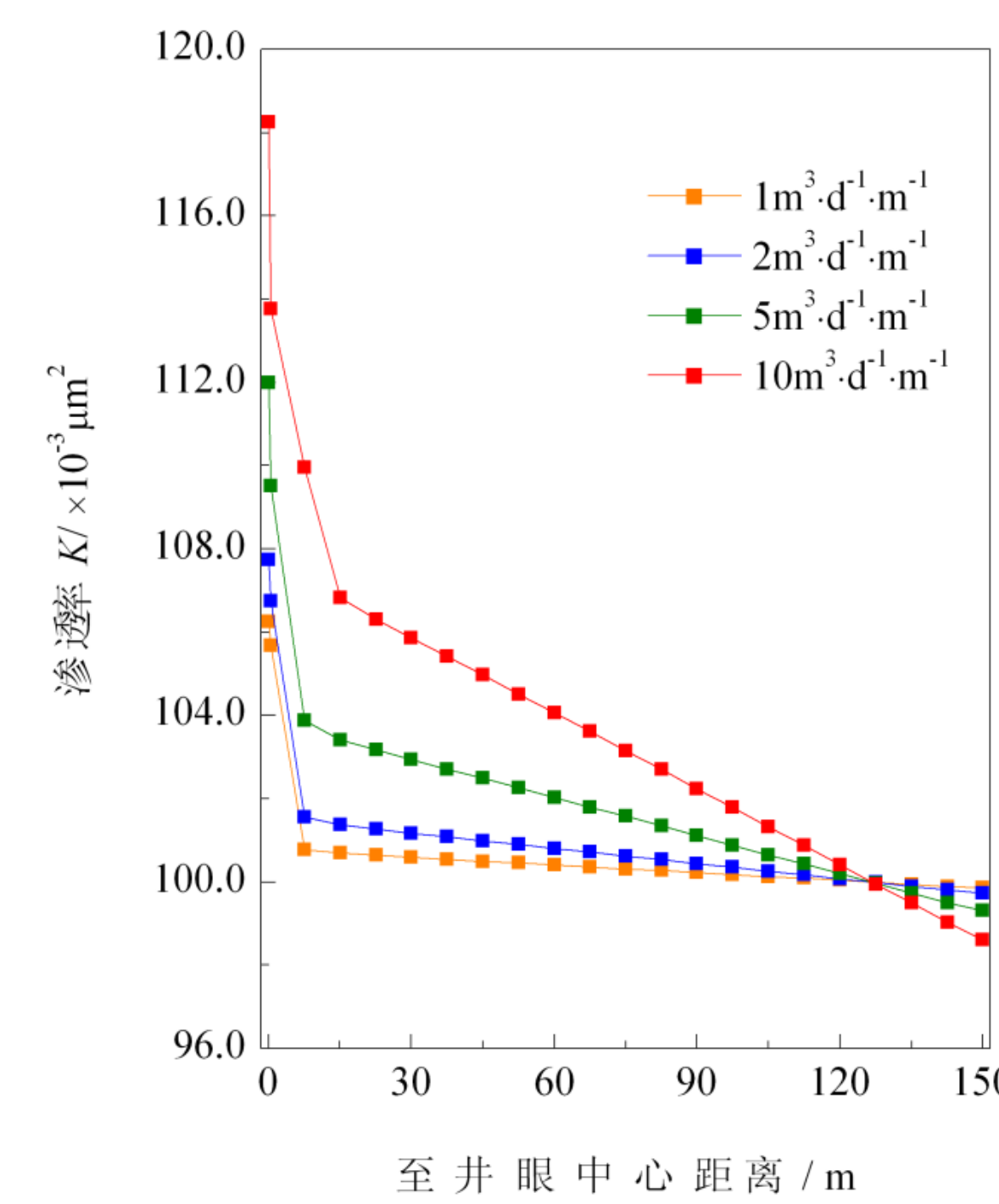


图 5. 油藏渗透率分布

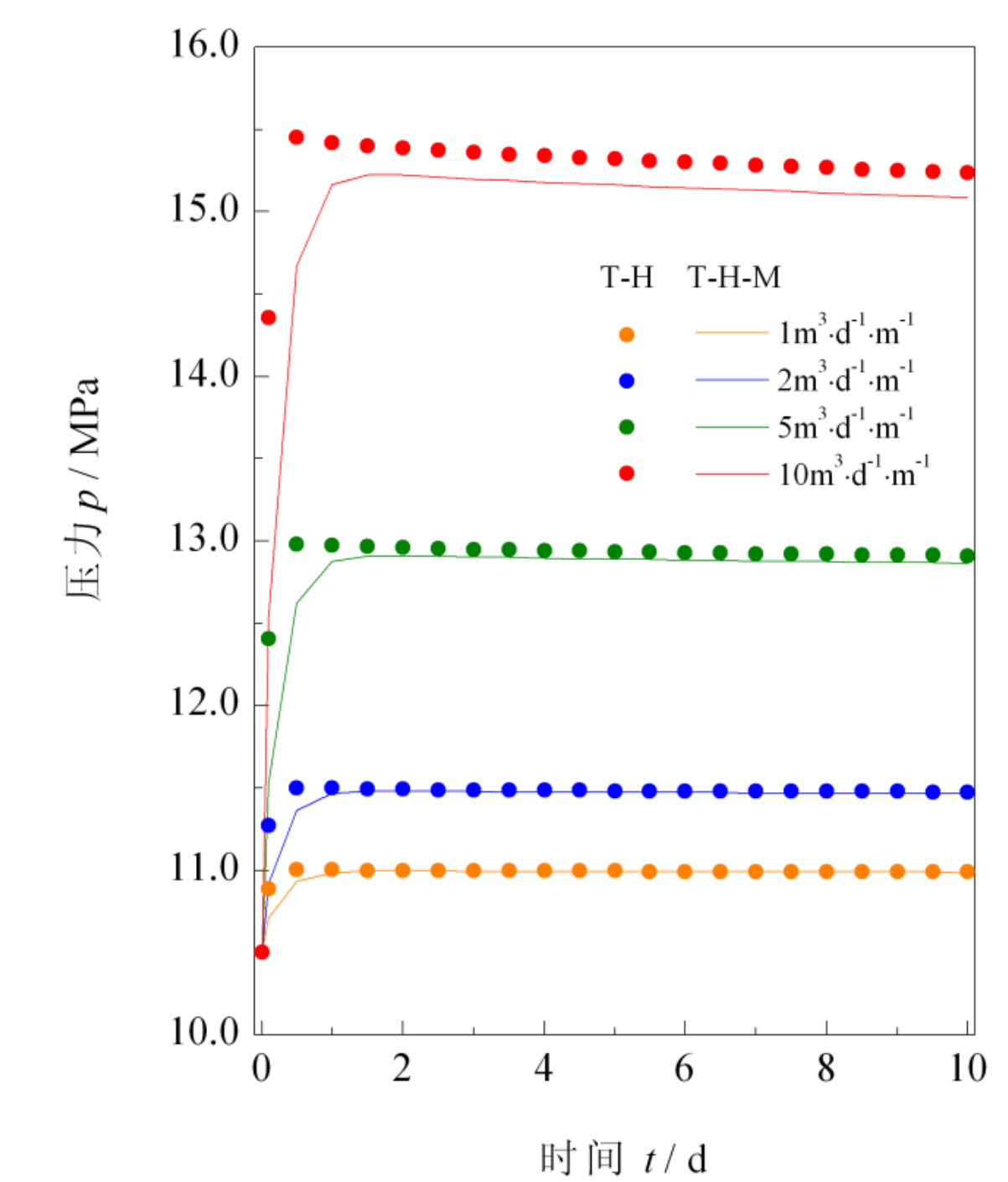
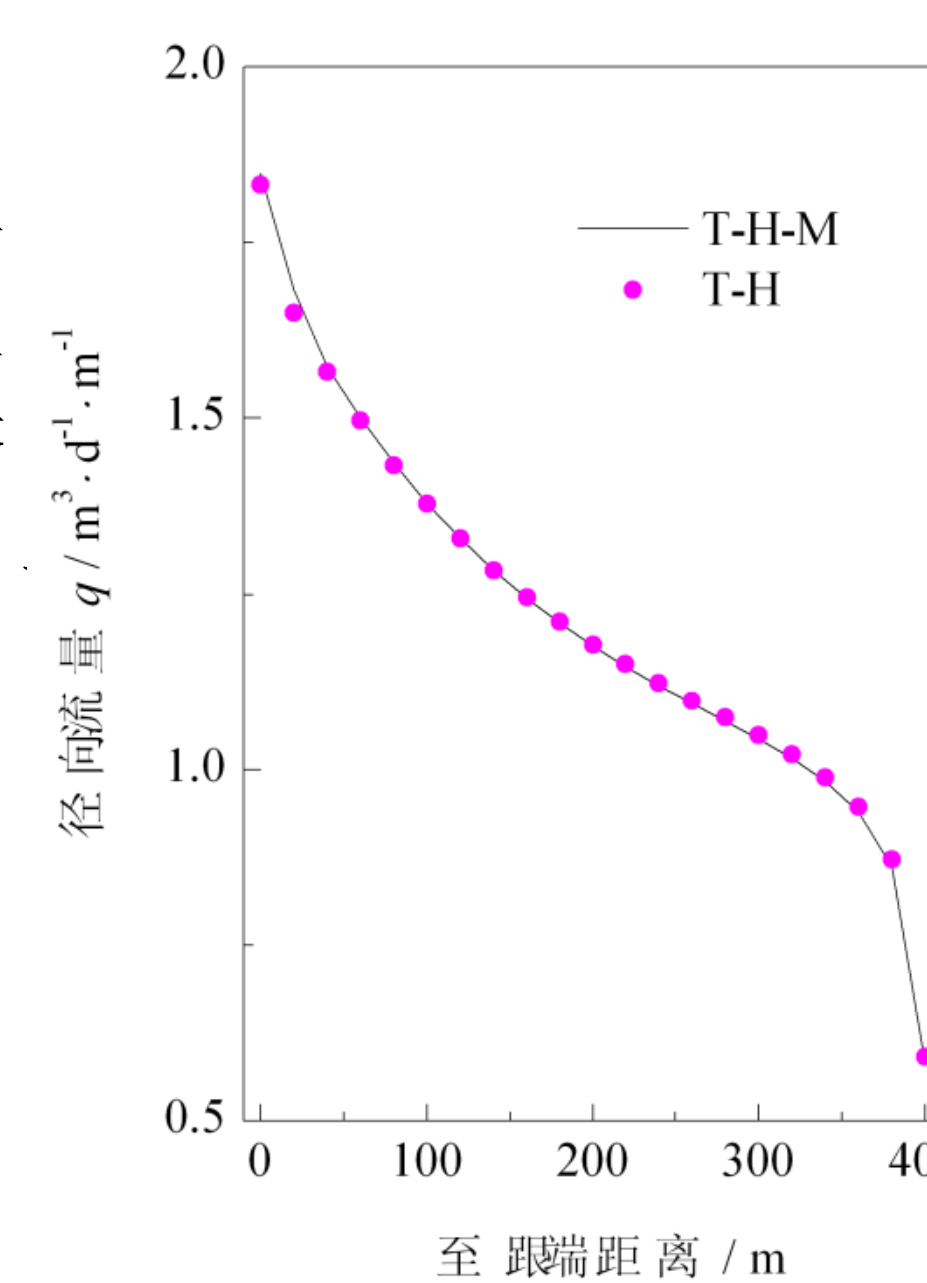
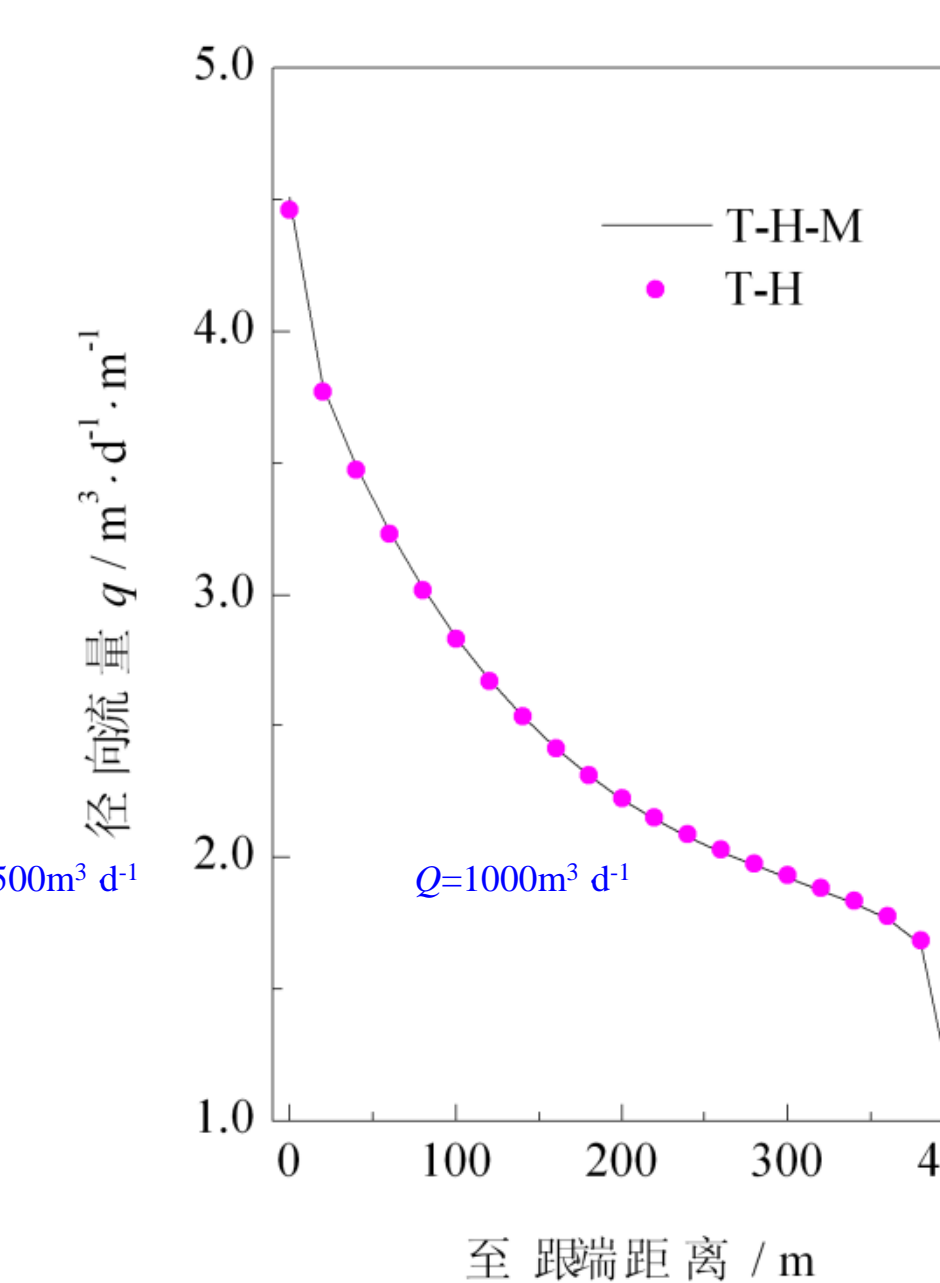


图 6. 井筒压力响应

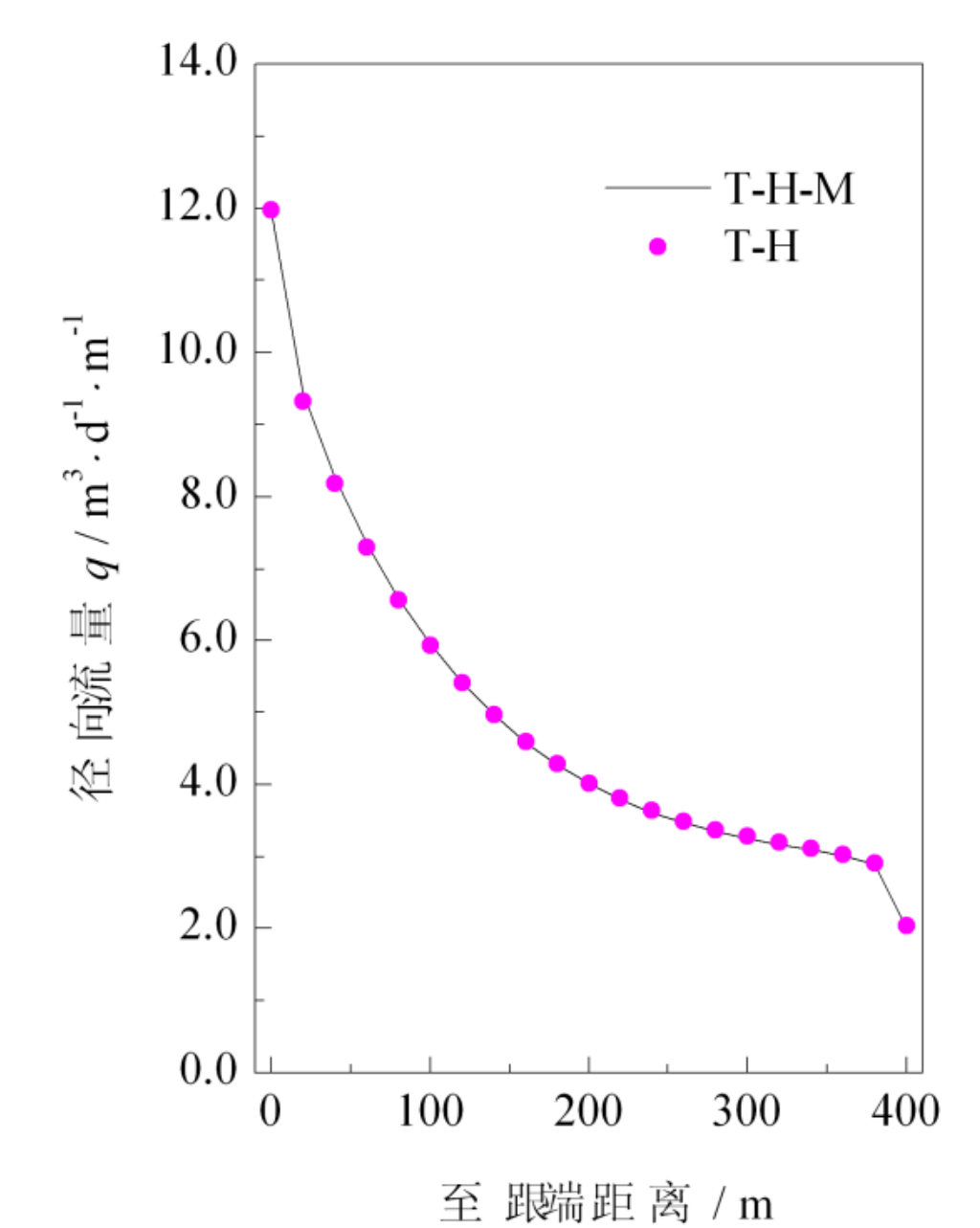
注汽过程井筒沿程速度分布



•图 7. $Q=500\text{m}^3\text{d}^{-1}$



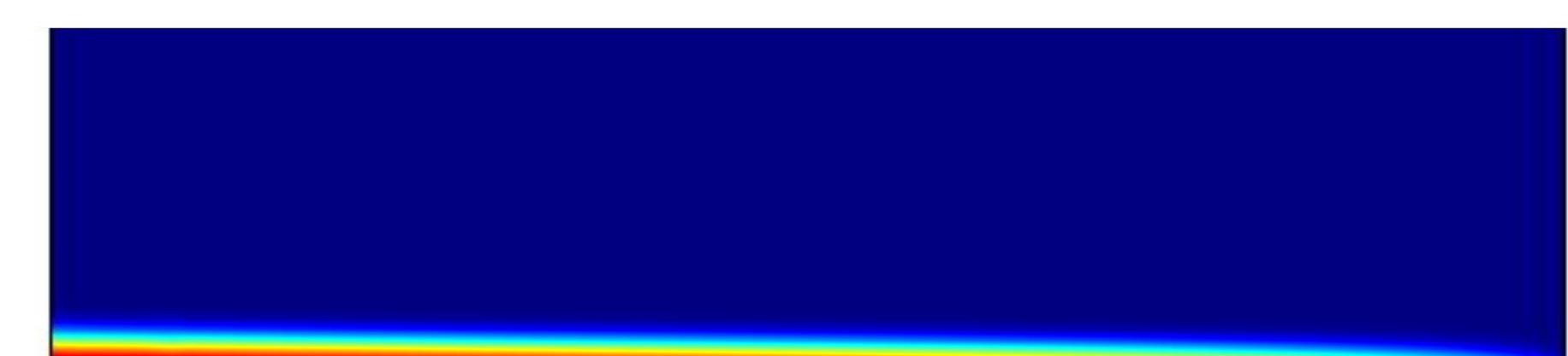
•图 8. $Q=1000\text{m}^3\text{d}^{-1}$



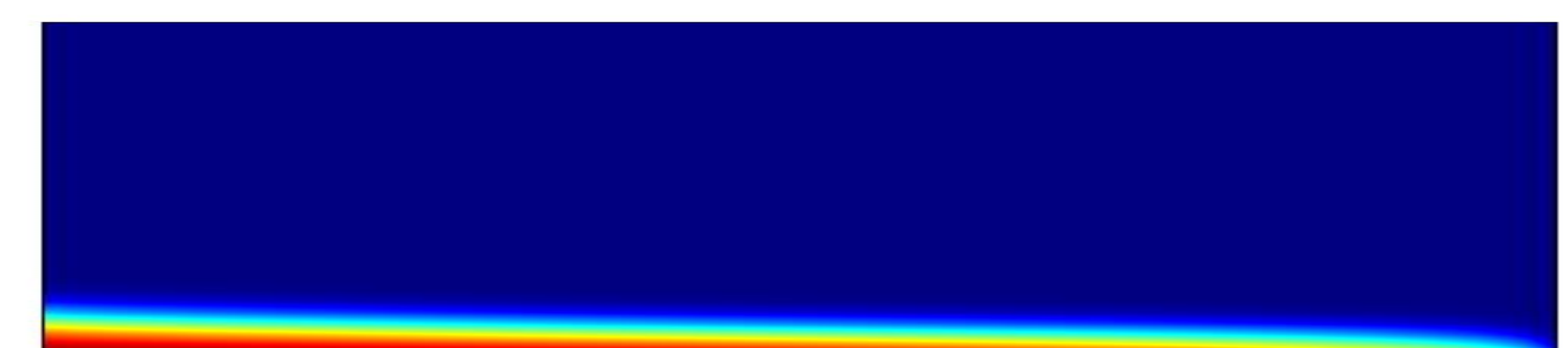
•图 9. $Q=2000\text{m}^3\text{d}^{-1}$

注汽过程油藏温度场分布

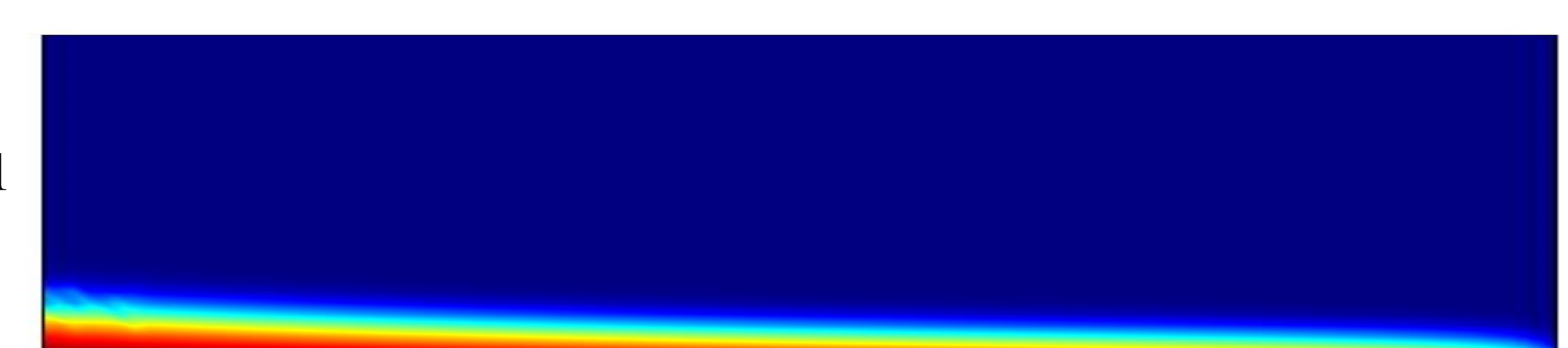
•图 10. $Q=500\text{m}^3\text{d}^{-1}$



•图 11. $Q=1000\text{m}^3\text{d}^{-1}$



•图 12. $Q=2000\text{m}^3\text{d}^{-1}$



结论:注汽过程中, 孔隙压力增大引发拉应力, 温度升高引发压应力。随着孔隙压力的增大和温度的升高, 岩石骨架体积逐渐膨胀, 孔隙度、渗透率随之升。均质油藏中井筒沿程压力损失、热损失及其引起的沿程蒸汽粘度差异是水平井注汽剖面、油藏受热不均衡的主要原因。此外, 注汽过程中油藏岩石骨架膨胀引起的渗透率升高以及井筒沿程压力、温度不均匀分布引起的渗透率差异进一步加剧了水平井注汽的不均衡性。注汽速率越高, 井筒-油藏双重耦合效应越显著。