

# 多场耦合条件下岩石孔-裂隙模型的渗流特征模拟

赵磊磊<sup>1</sup>, 程鑫辉<sup>1</sup>, 司凯<sup>1</sup>, 彭瑞东<sup>1,2</sup>

1. 中国矿业大学(北京)力学与建筑工程学院, 北京

2. 中国矿业大学(北京)煤炭资源与安全开采国家重点实验室, 北京

**简介:** 利用COMSOL软件建立了煤体“孔-裂隙”细观结构模型。模型中采用固体力学模块、层流模块、达西定律模块、稀物质传递模块以及多孔介质稀物质传递模块, 对同裂隙出口压力模型进行了数值模拟计算, 以研究多场耦合下岩石孔裂隙结构对渗流特征的影响机制, 同时为开展不同尺度下储层岩石中的气体运移模拟提供了切实可行的多场耦合数值模拟方法。

**计算方法:** 数值模型采用长方体、圆锥和圆柱体组合建模。模型中通过在煤体基质中引入孔隙率的方法实现对孔隙介质的模拟, 并认为煤层气在孔隙介质中的渗流符合达西定律, 采用固体力学模块、流体力学达西定律模块、多孔介质稀物质传递模块相耦合的方式实现孔隙介质的模拟计算。对于裂隙介质而言, 煤层气在其内渗流符合层流规律, 因此通过流体力学层流模块、稀物质传递模块相耦合的方式实现裂隙介质的模拟计算。通过在裂隙壁边界上设置合理的流体速度和压力值实现达西定律模块和层流模块的相互耦合。通过在裂隙壁边界上设置合理的流体浓度和通量值实现达西定律模块和层流模块的相互耦合。另外设置模型的孔隙率和渗透率为动态变量, 在给定某一初值后随体应变变化而改变。

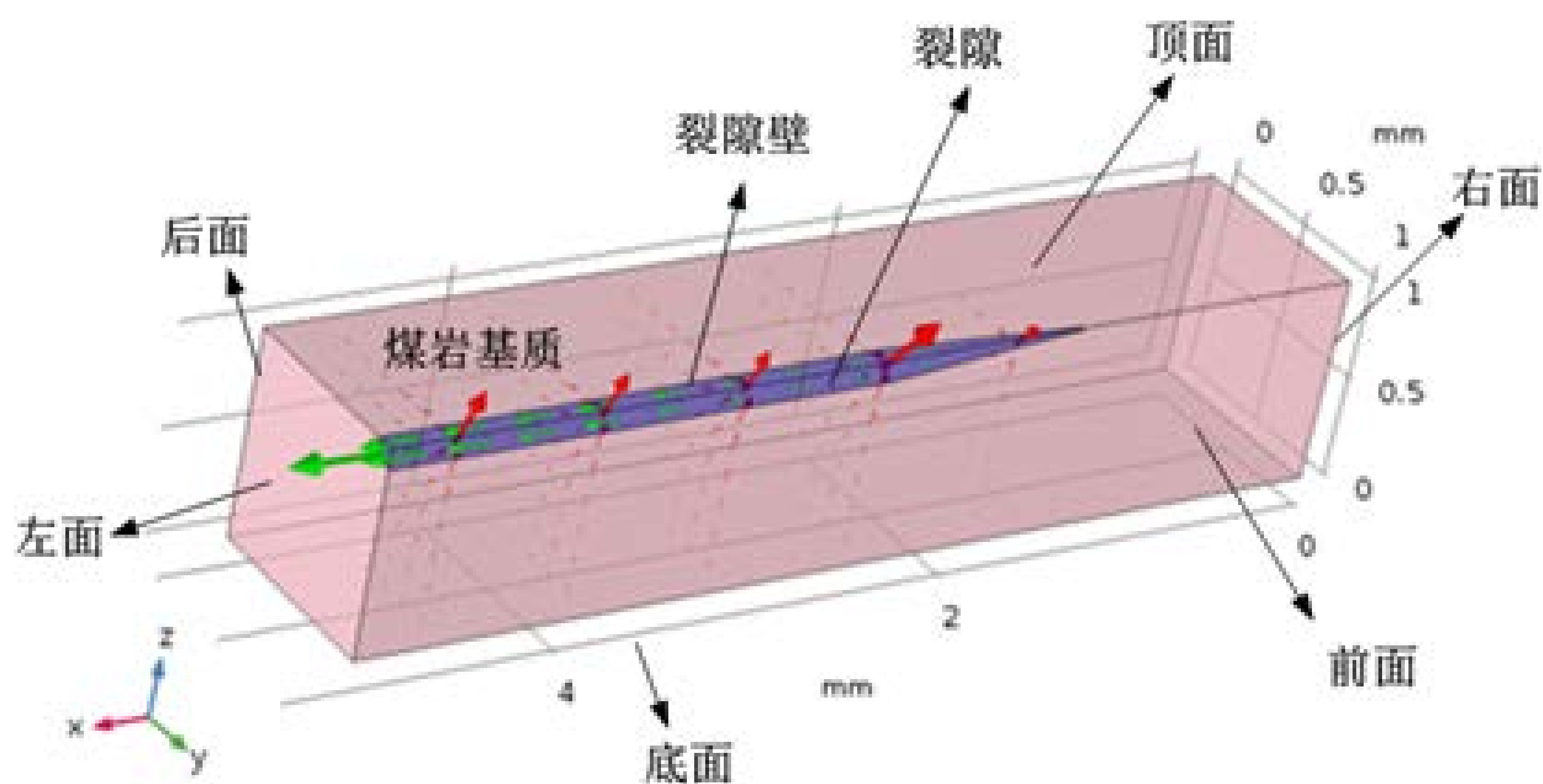


图 1. 数值模型示意图

**结果:** 模拟得到了多场耦合下煤岩基质受力变形以及煤层气渗流的分布状态, 发现了在不同裂隙出口压力下应力应变、流速分布以及渗透率变化的差异特征。

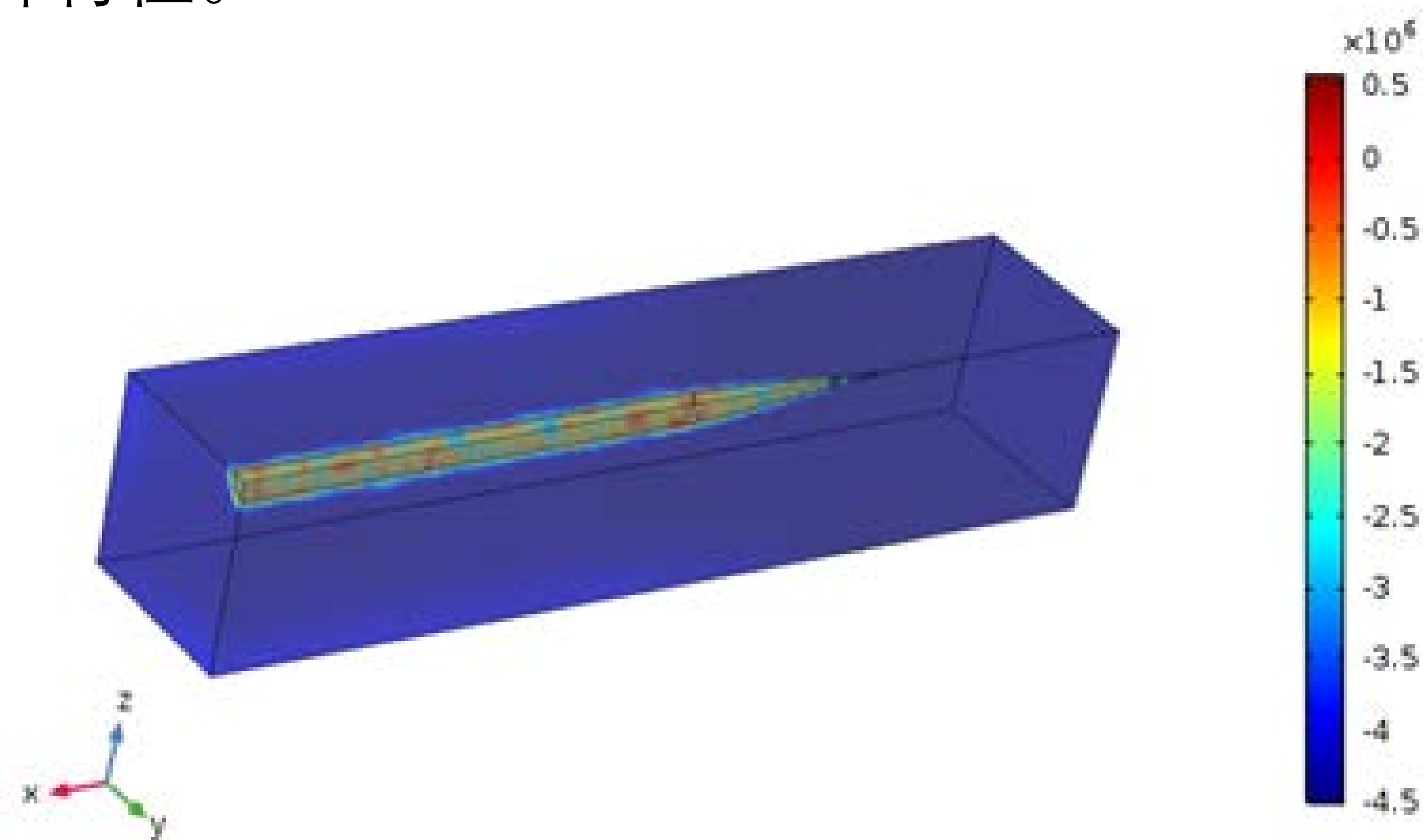


图 2. 裂隙出口压力0.5MPa时第一主应力分布云图

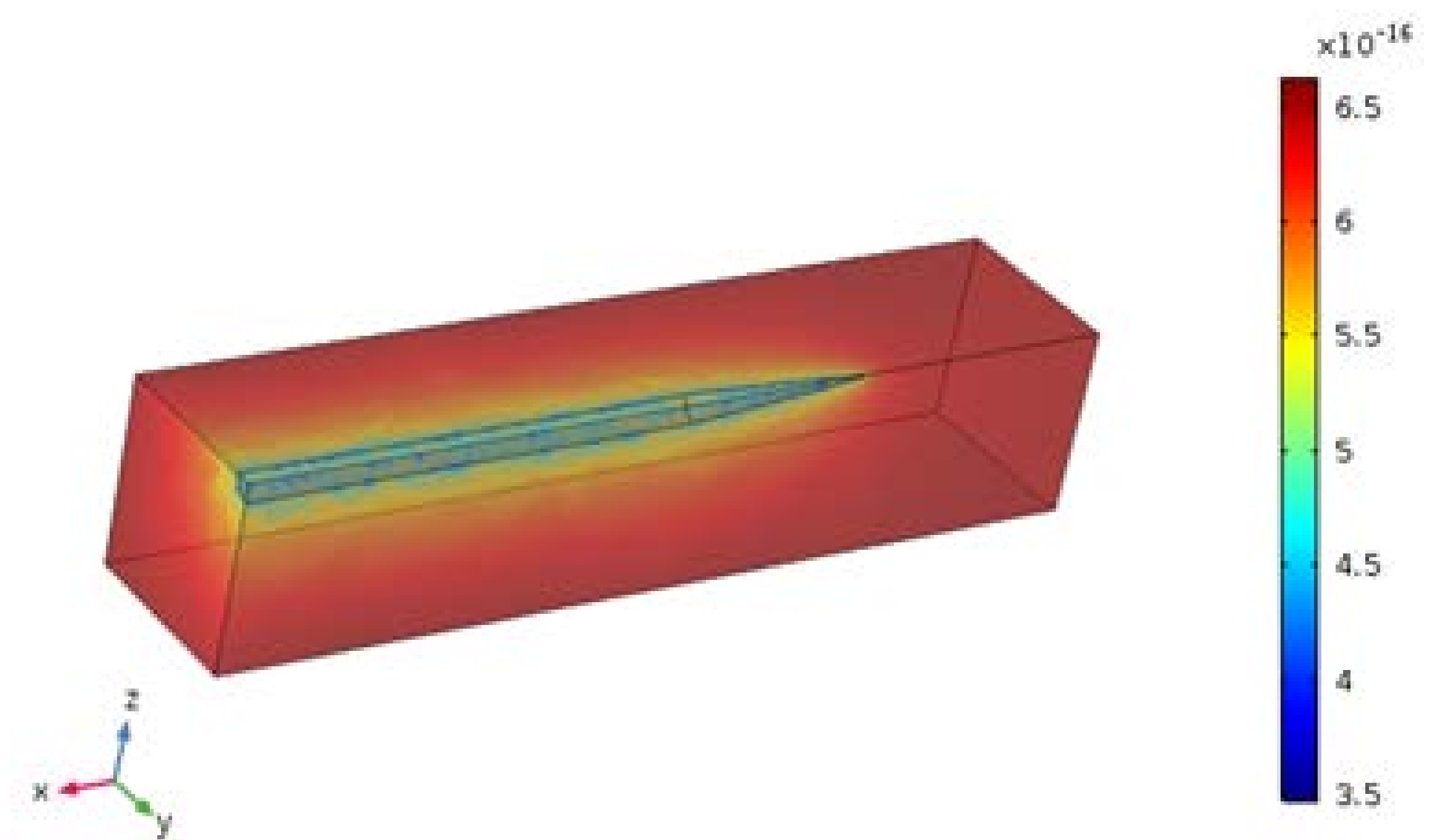


图 3. 裂隙出口压力0.5MPa时渗透率分布云图

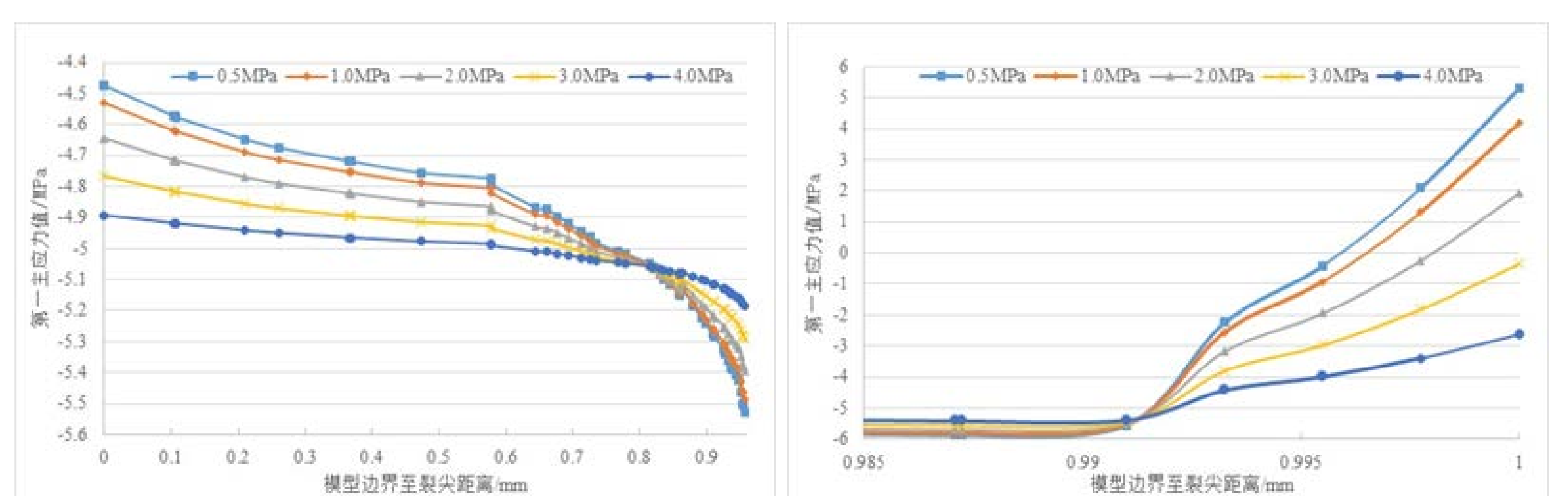


图 4. 不同裂隙出口压力下边缘到裂尖处第一主应力分布曲线

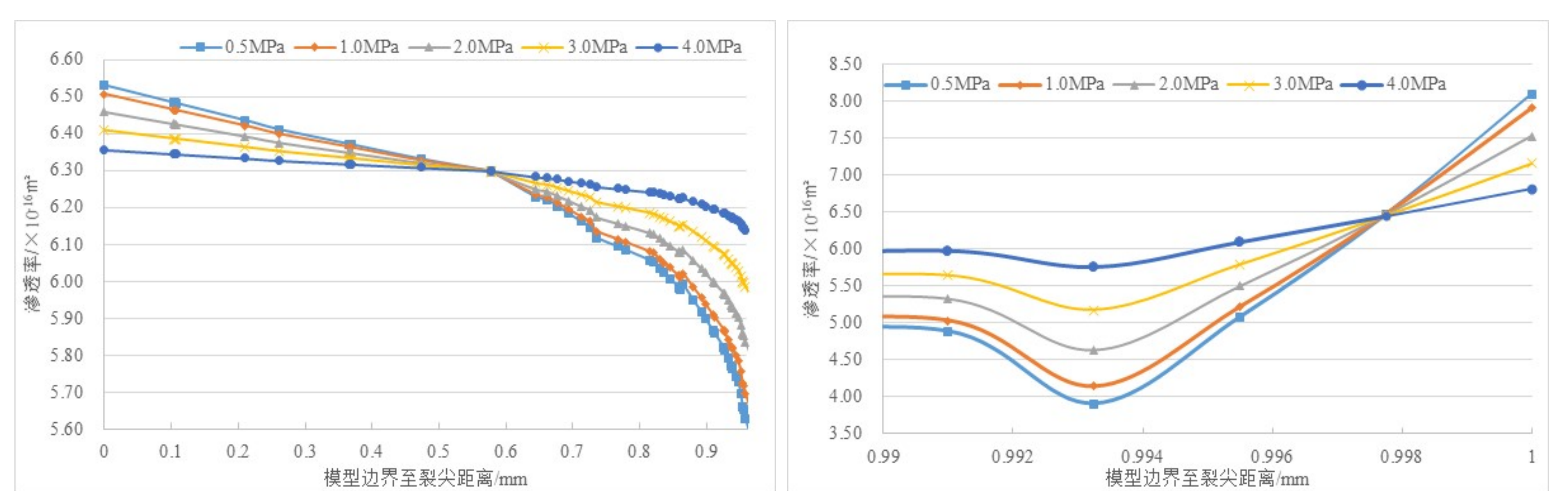


图 5. 不同裂隙出口压力下边缘到裂尖处渗透率分布曲线

**结论:** 在裂隙壁附近应力过渡明显, 渗透率变化显著, 在裂隙壁附近出现了明显的拉应力, 极易发生裂隙损伤和扩展;且在裂隙壁附近存在明显的临界位置, 使得应力值随裂隙出口压力值呈“先正相关-后负相关”的关系过渡, 渗透率与裂隙出口压力值呈“先负相关-后正相关-再负相关”的关系过渡。

## 参考文献:

1. 谢和平, 周宏伟, 薛东杰, 等. 我国煤与瓦斯共采: 理论、技术与工程. 煤炭学报, 2014, 39(8): 1391-1397.
2. 朱斌, 高峰, 杨建文, 王国华, 陈智. 深部薄层煤岩体裂隙-孔隙双渗流模拟研究. 中国矿业大学学报 2014, 43(06), 987-994.
3. Zhou Hongwei, Liu Jinfeng, Xue Dongjie, et al. Numerical simulation of gas flow process in mining induced crack network. International Journal of Mining Science and Technology, 2012, 22(6): 793-799.
4. 程鑫辉. 多场耦合下深部岩石中的渗流与损伤规律模拟[D]. 北京: 中国矿业大学(北京), 2019.