

裂缝铺砂参数对压裂开发有效缝长的影响分析

李剑辉^{1, 2}, 岳明^{1, 2}, 朱维耀^{1, 2}, 王九龙¹, 刘昫枫¹, 王亚震¹

1. 土木与资源工程学院, 北京科技大学, 北京

2. 应用力学研究所, 北京科技大学, 北京

简介: 水力压裂是目前低渗透致密油气田开发的关键技术, 水力压裂裂缝的铺砂浓度、导流能力、有效缝长和改造体积等参数是影响开采效果的重要因素。本文着重考虑水平井单裂缝内铺砂参数的变化对开采过程中渗流规律的影响。

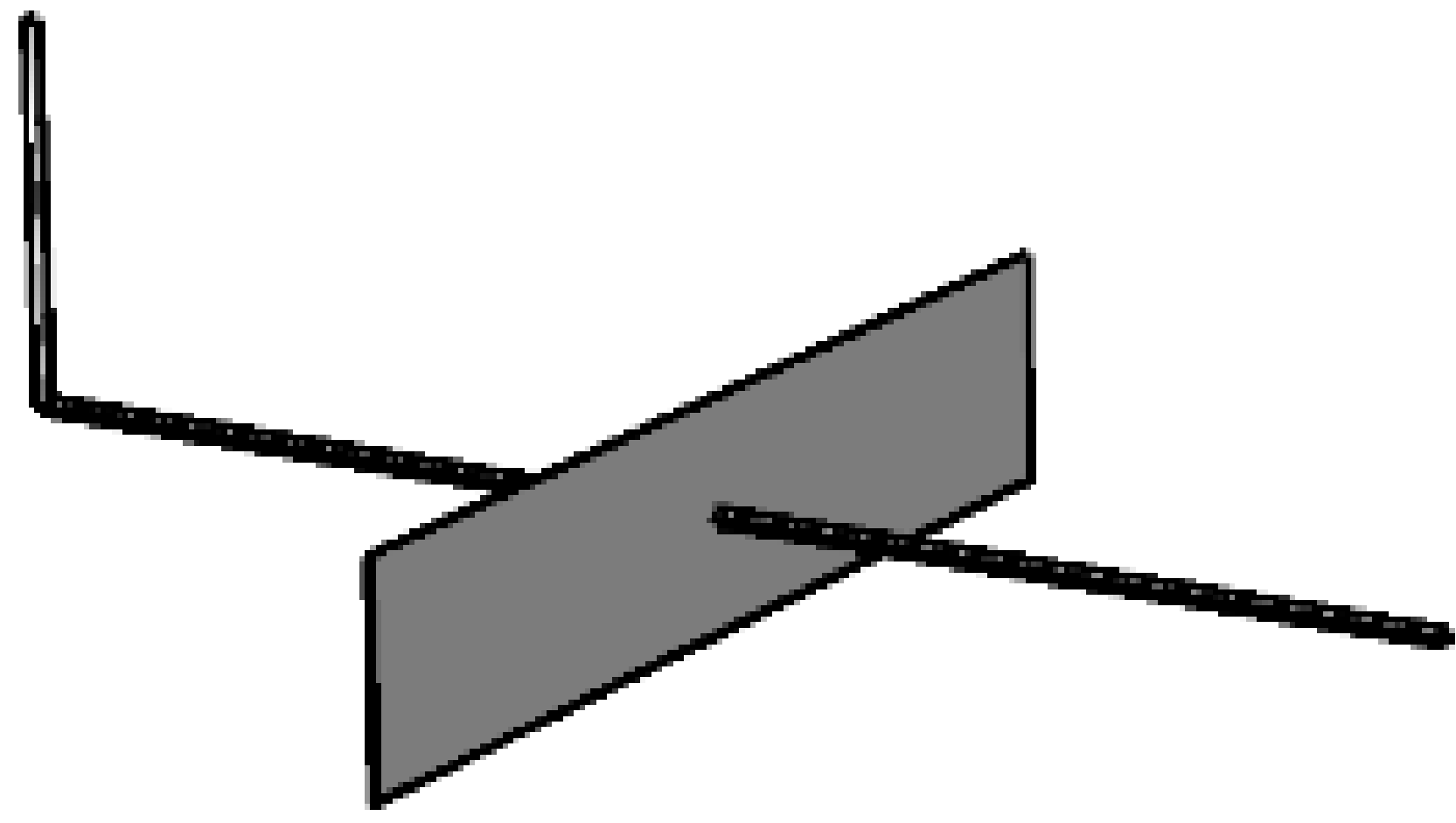


图 1. 水平井单裂缝示意图

计算方法: (1) 使用CFD模块中的混合流动 (Mixture Model, Laminar Flow) 模型对铺砂过程进行了模拟, 选取速度入口和压力出口的边界条件。

$$\rho \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \rho (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = \nabla \cdot [-\rho \mathbf{I} + \mu (\nabla \mathbf{u} + (\nabla \mathbf{u})^T - \frac{2}{3} (\nabla \cdot \mathbf{u}) \mathbf{I})] - \nabla \cdot [\rho c_d (1 - c_d) \mathbf{u}_{slip} \mathbf{u}_{slip}^T] + \rho \mathbf{g} + \mathbf{F}$$

$$(\rho_c - \rho_d) \left\{ \nabla \cdot [\phi_d (1 - c_d) \mathbf{u}_{slip}] + \frac{m_{dc}}{\rho_d} \right\} + \rho_c (\nabla \cdot \mathbf{u}) = 0$$

$$\frac{\partial \phi_d}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{N}_{f_d} = -\frac{m_{dc}}{\rho_d}, \mathbf{N}_{f_d} = \phi_d \mathbf{u}_d, \mathbf{u}_d = \mathbf{u} + (1 - c_d) \mathbf{u}_{slip}$$

$$\rho = \phi_c \rho_c + \phi_d \rho_d, c_d = \frac{\phi_d \rho_d}{\rho}$$

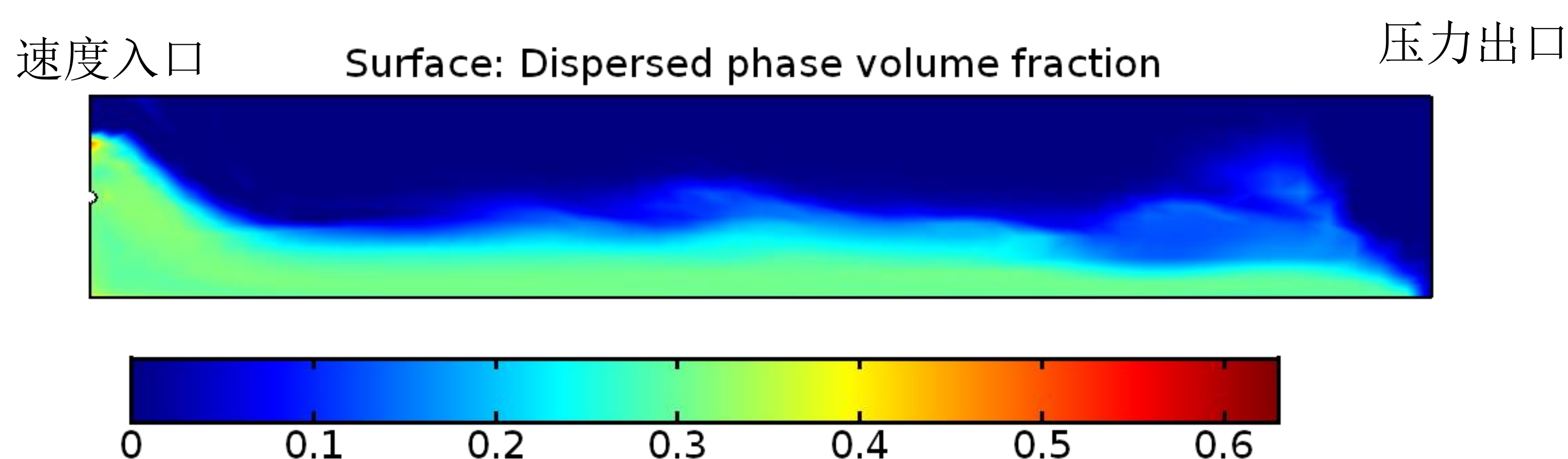


图 2. 砂粒展布体积分数

(2) 利用平均数值积分的方法将以上得到的二维分布转换成一维, 根据铺砂浓度与裂缝渗透率的经验公式, 将此一维分布转换成裂缝中渗透率的分布。

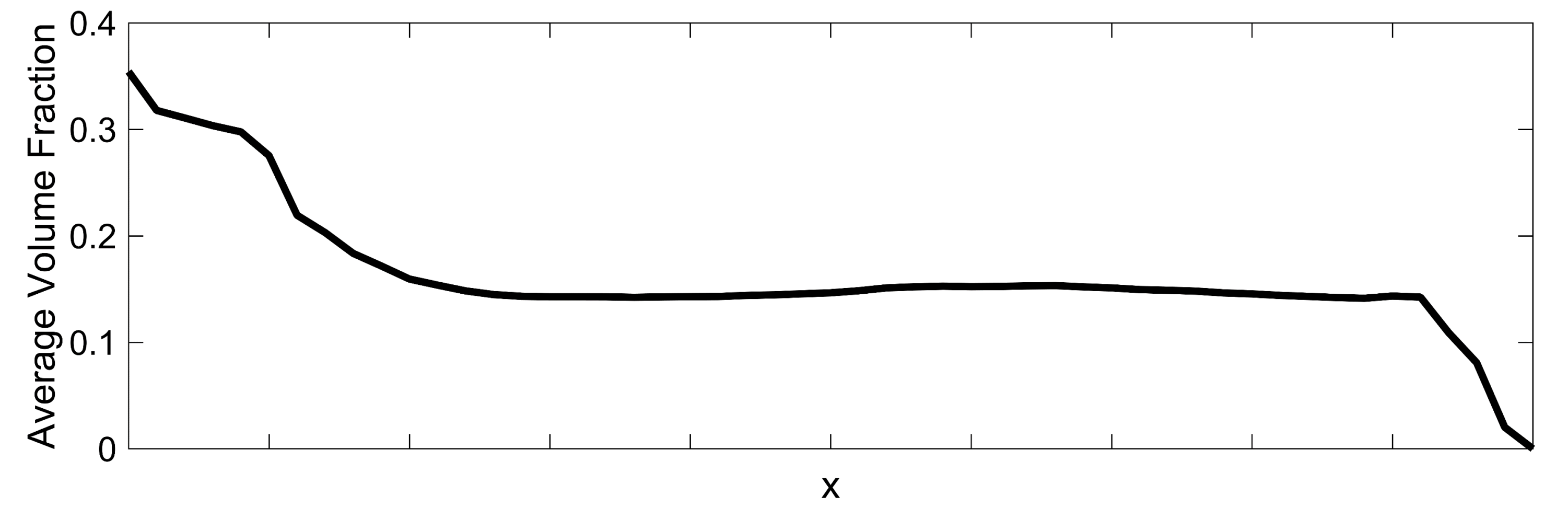


图 3. X方向平均体积分数

裂缝导流能力半经验公式:

$$(Kb)_f = 6.246 \bar{C} Z \left(\frac{17500}{142 p_c + \alpha} \right)^8 \left[1 + \frac{\beta}{\exp(Z-1)} \ln(0.1B) \right]$$

(3) 利用CFD模块中的达西流 (Darcy's Law) 模型模拟基质与裂缝两个区域的流动, 基质渗透率选取为各向同性, 裂缝渗透率延缝长方向符合上步的分布规律, 选取流量通量井口和压力随时间递减的边界条件。

$$\frac{\partial}{\partial t} (\varepsilon_p \rho) + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = Q_m, \quad \mathbf{u} = -\frac{k}{\mu} \nabla p$$

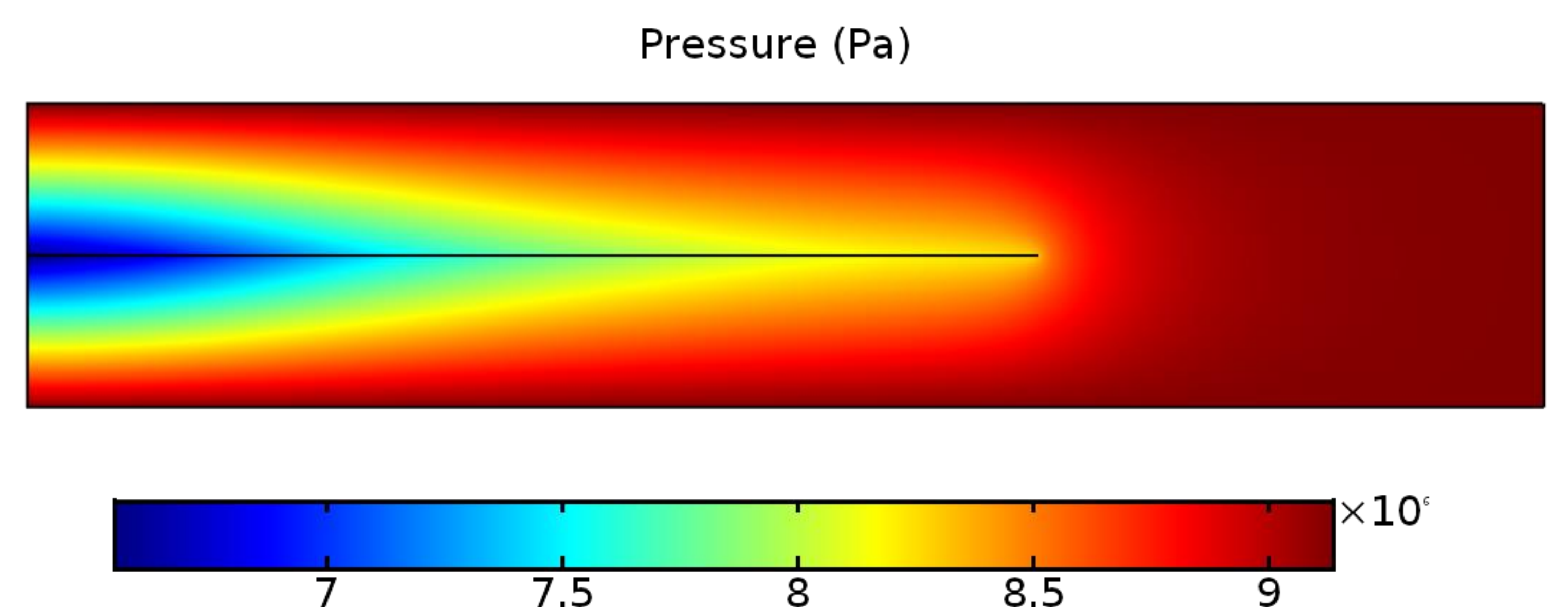


图 4. 定流量生产的压力分布

结论: 本模拟在不同注入速度、砂粒半径、砂粒密度, 携砂液粘度的条件下, 得到了裂缝内铺砂浓度及砂粒展布的变化规律。利用裂缝渗透率与铺砂浓度之间的对应关系, 分析了生产压差、基质与裂缝渗透率比值等因素对压裂开发渗流规律的影响, 得到了有效缝长与储层物性、生产参数之间的关系。

参考文献:

1. 李鹏, 苏建政等, 单裂缝中携砂液流动规律研究, 力学与实践, 39 (2), 135-144 (2017)
2. Eissa M. and Abdulrahman A. Experimental and Numerical Investigation of Proppant Placement in Hydraulic Fractures. Petroleum Science and Technology, 27(15), 1690-1703, 2009
3. 朱维耀, 岳明等, 致密油层体积压裂非线性渗流模型及产能分析. 中国矿业大学学报, 43(02), 248-254 (2017)