

考虑流固耦合的煤层气压裂水平井数值模拟研究

路广¹, 练章华¹

1. 油气藏开发地质及开发工程国家重点实验室, 西南石油大学, 四川, 成都

简介:利用Comsol Multiphysics对煤层气的开发特征及规律进行数值模拟, 实现对模型中关键参数的敏感性和压裂裂缝参数的影响进行分析。

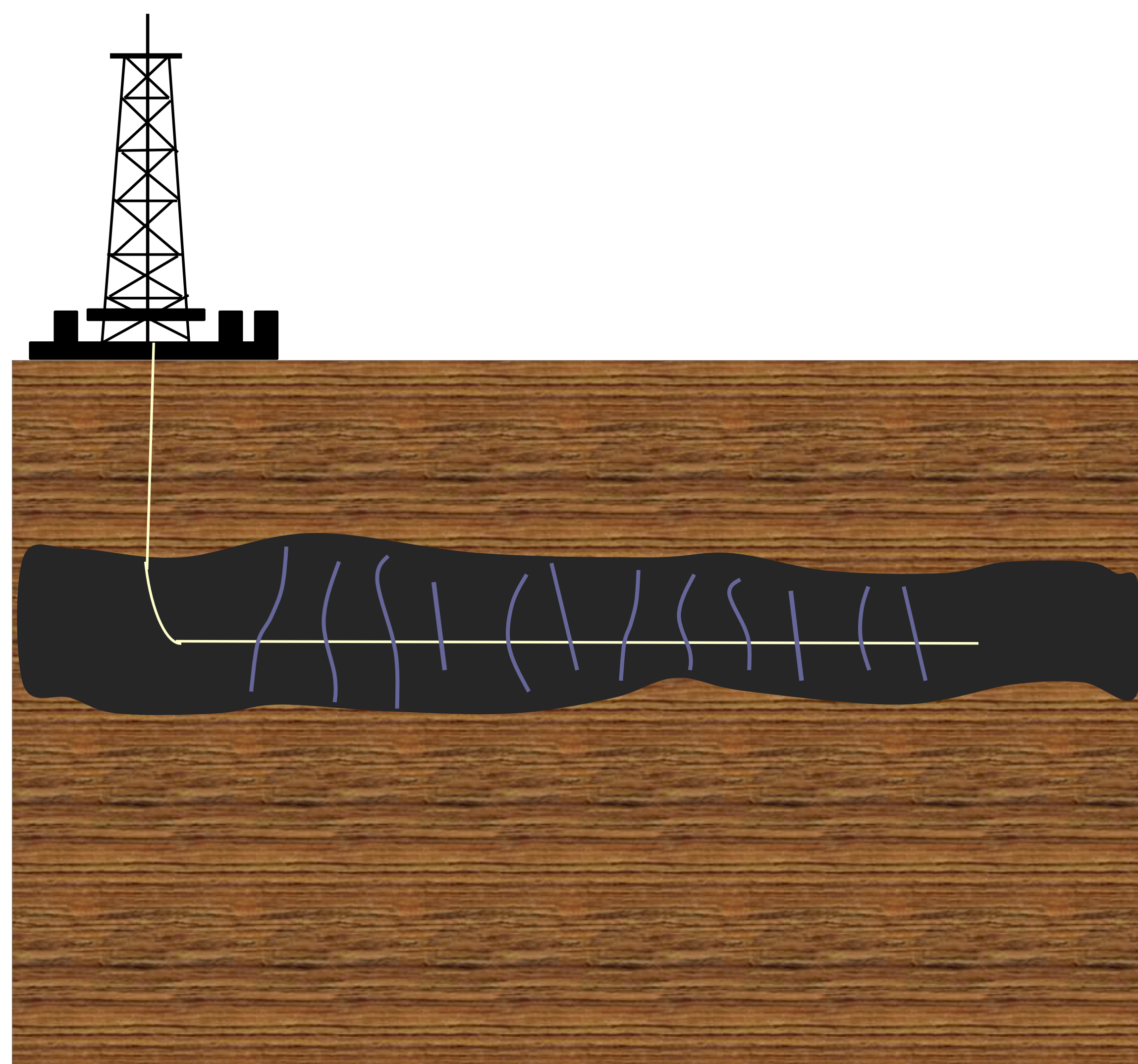


图 1. 煤层气藏压裂水平井示意图

计算方法: 本次研究的控制方程分为煤层变形和气体流动两部分, 控制方程如下。分别通过固体力学和达西定律 (多孔弹性) 两个模块耦合实现。

$$\text{煤层变形应力应变方程: } \varepsilon_{ij} = \frac{1}{2G} \sigma_{ij} - \left(\frac{1}{6G} - \frac{1}{9K} \right) \sigma_{kk} \delta_{ij} + \frac{\alpha}{3K} p \delta_{ij} + \frac{\varepsilon_s}{3} \delta_{ij}$$

$$\text{煤层气体流动控制方程: } \frac{\partial}{\partial t} \left(\rho_g \phi + \rho_{ga} \rho_c \frac{V_L p}{p + p_L} \right) - \nabla \cdot \left(\frac{k}{\mu} p \nabla p \right) = Q_s$$

几何模型为500m×200m的矩形, 三边受位移约束。且上、左和右边界无流体流动。九条具有无限导流能力的压裂裂缝关于水平井对称, 且等间距地垂直于水平井排列。

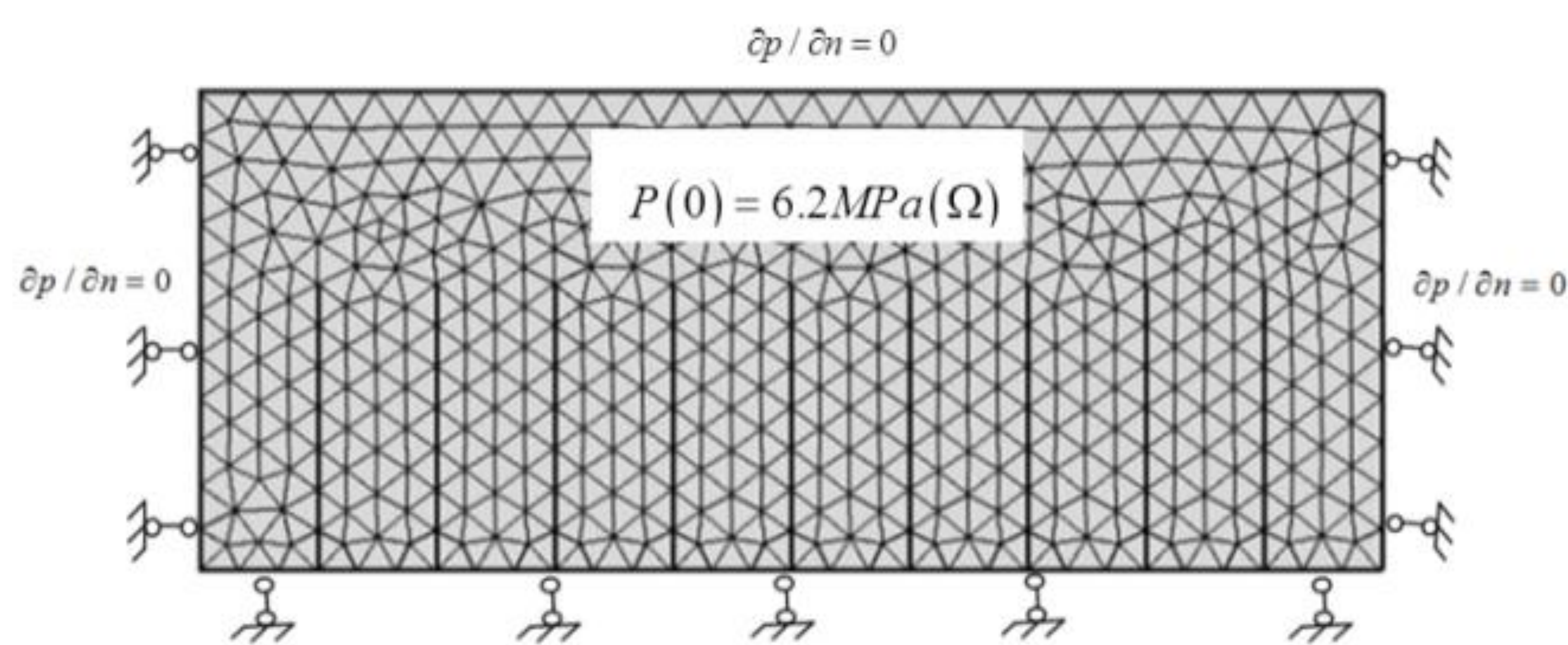


图 2. 煤层压裂水平井物理模型

结果:

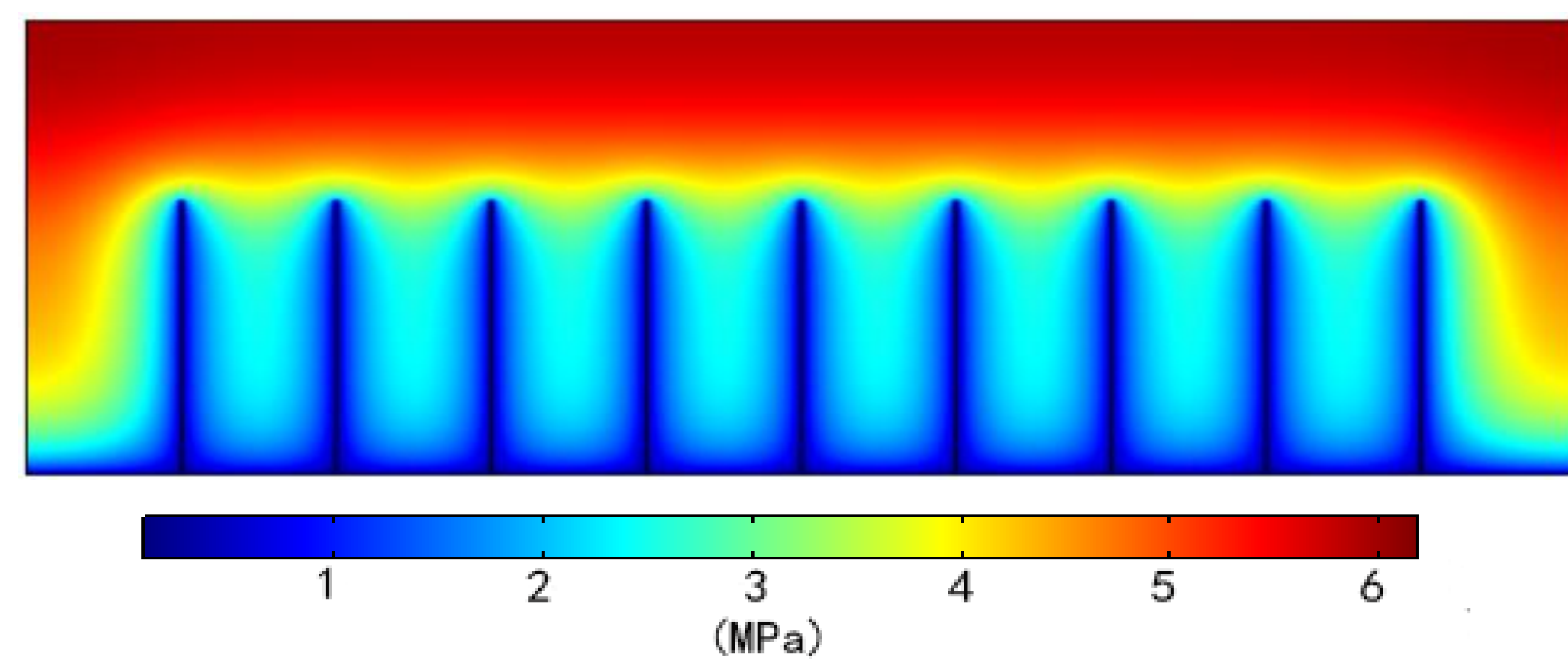


图 3. 100天时煤层气体压力分布云图

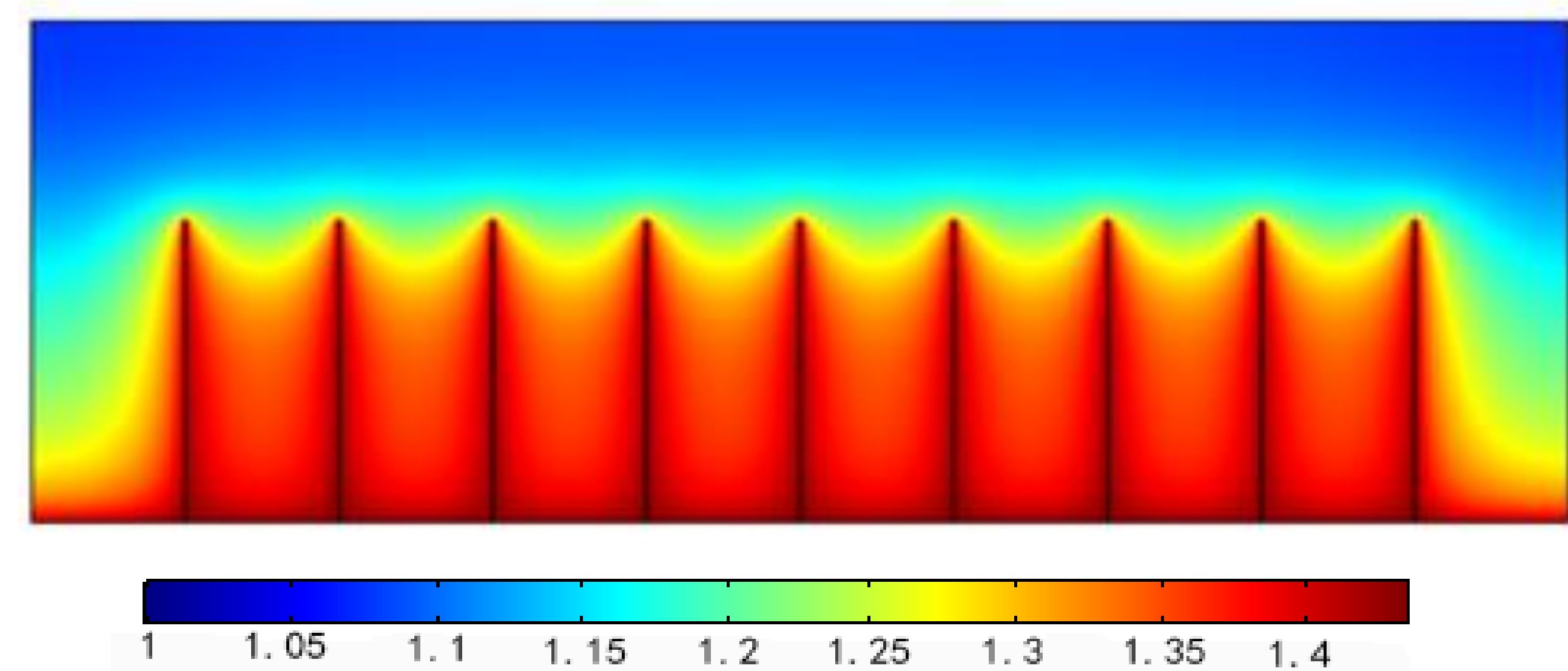


图 4. 1000天煤层渗透率比(k/k0)分布云图

参数	数值	单位
煤体杨氏模量	2.71	GPa
煤骨架颗粒的杨氏模量	8.13	GPa
煤的密度	1.25	kg / m ³
Langmuir 压力常数	6.109	MPa
Langmuir 体积常数	0.015	m ³ / kg
煤层初始孔隙度	0.00804	—
煤层初始渗透率	3.7996×10 ⁻¹⁷	m ²
Langmuir 体积应变常数	0.02295	—

表 1. 模型计算应用的主要参数

结论:煤层变形机理复杂。煤层气开采过程中煤层所受应力、孔隙压力以及气体的吸附解吸, 会导致煤体骨架和孔隙体积发生变化, 改变煤层的渗流能力。应用此流固耦合模型计算, 煤层中的渗透率是随着气体压力的下降呈逐渐增长的趋势, 有利于煤层气藏的开发。这种地质力学和流体流动的耦合模型, 可广泛应用于模拟非常规油气藏的开发及地热资源的开采与评价。

参考文献:

1. 李祥春, 郭勇义, 吴世跃, 聂百胜. 考虑吸附膨胀应力影响的煤层瓦斯流-固耦合渗流数学模型及数值模拟[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(s1):2743-2748.
2. Zhang H, Liu J, Elsworth D. How sorption-induced matrix deformation affects gas flow in coal seams: A new FE model[J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 2008, 45(8):1226-1236.
3. 杨天鸿, 陈仕阔, 朱万成, 刘洪磊, 霍中刚, 姜文忠. 煤层瓦斯卸压抽放动态过程的气-固耦合模型研究[J]. 岩土力学, 2010, 31(07):2247-2252.