

基于COMSOL的煤层气排采数值模拟

朱文侠¹, 刘钰辉²

1. 煤层气开发工程研究所, 中煤科工集团西安研究院有限公司, 陕西, 西安
2. 资源勘探开发与瓦斯防治技术研发中心, 中煤科工集团西安研究院有限公司, 陕西, 西安

简介: 煤层气数值模拟技术可以分析排采过程中储层流体流动运移的规律, 可为量化排采提供依据。本研究借助COMSOL软件构建数值模型, 进行排采数值模拟, 实现了煤层气排采动态分析及排采制度优化。图1为模型计算100天时空间压力分布。

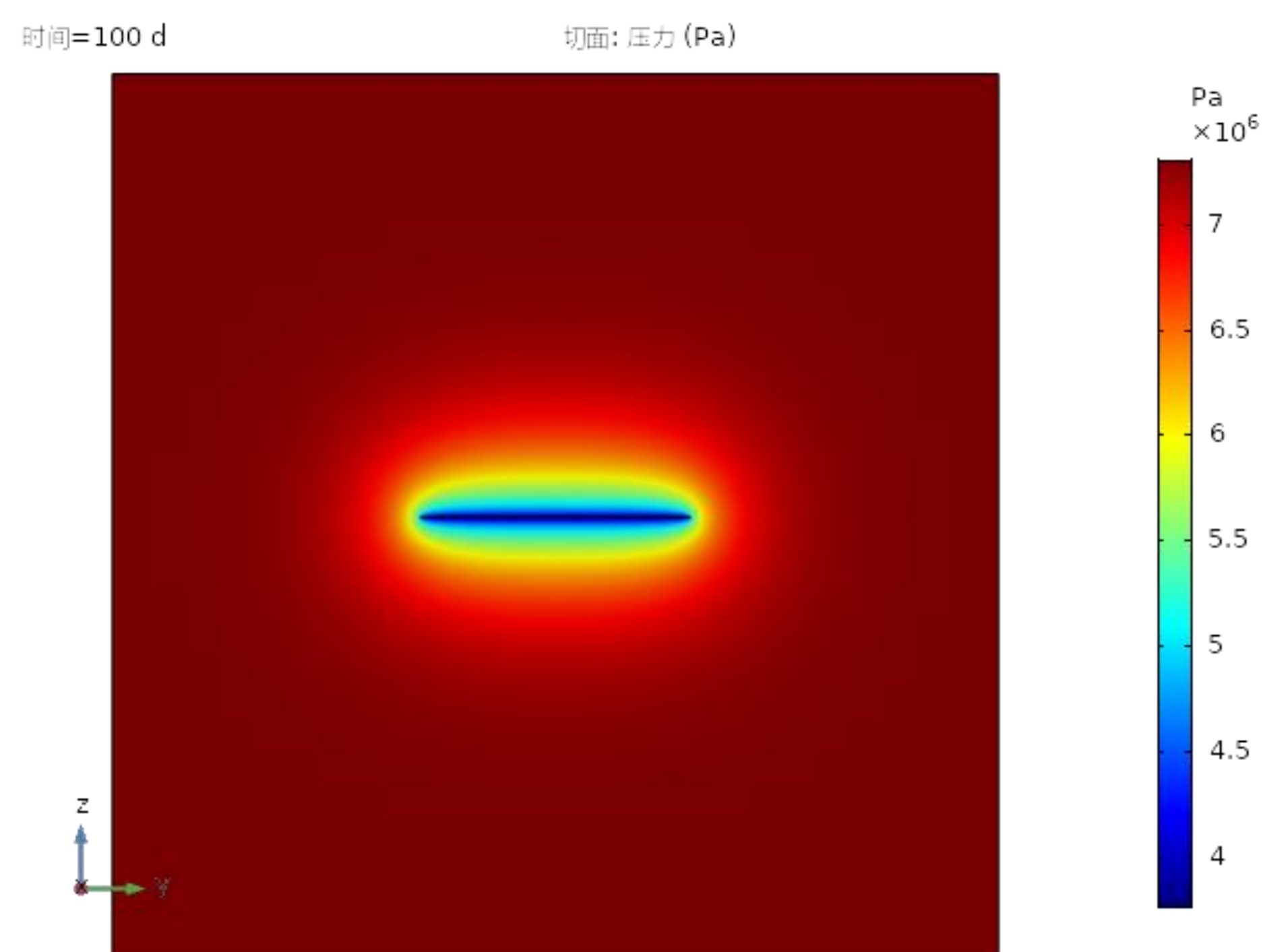


图 1. 压力分布

计算方法: 计算模型采用达西定律物理场接口, 添加储水模型和裂隙流节点, 选择质量通量和压力两种边界条件, 构建求解模型。公式(1)为基质区域的求解方程, 公式(2)为压裂裂缝区域求解方程^[1-3]。

$$\rho_w \frac{\partial \rho}{\partial t} [\varepsilon_p \chi_f + (1 - \varepsilon_p) \chi_p] + \nabla \cdot \left(-\rho_w \frac{k}{\mu_w} \nabla P_w \right) = Q_w \quad (1)$$

$$d_f \frac{\partial (\phi_f \rho_w)}{\partial t} + \nabla_T \cdot \left[-\rho_w \frac{k_f}{\mu_w} (\nabla_T p_{fw} - \rho_w g \nabla_T D) \right] = 0 \quad (2)$$

几何构建: 为300×300×5m, 设置压裂裂缝半长为50m, 几何中心为煤层气直井, 见图2。实际压裂裂缝的尺度比较小, 裂缝的宽度为毫米级别, 因此, 构建实际三维压裂裂隙, 网格较密, 计算速度比较慢。本研究将压裂裂缝降低维度, 大部分区域用二位平面代替实际压裂裂缝, 只在井口处一定区域保留实际三维裂缝。这种近似处理不仅提高了井产量的准确度, 而且省去对实际裂隙进行网格剖分的需求, 节省了计算资源, 见图3。

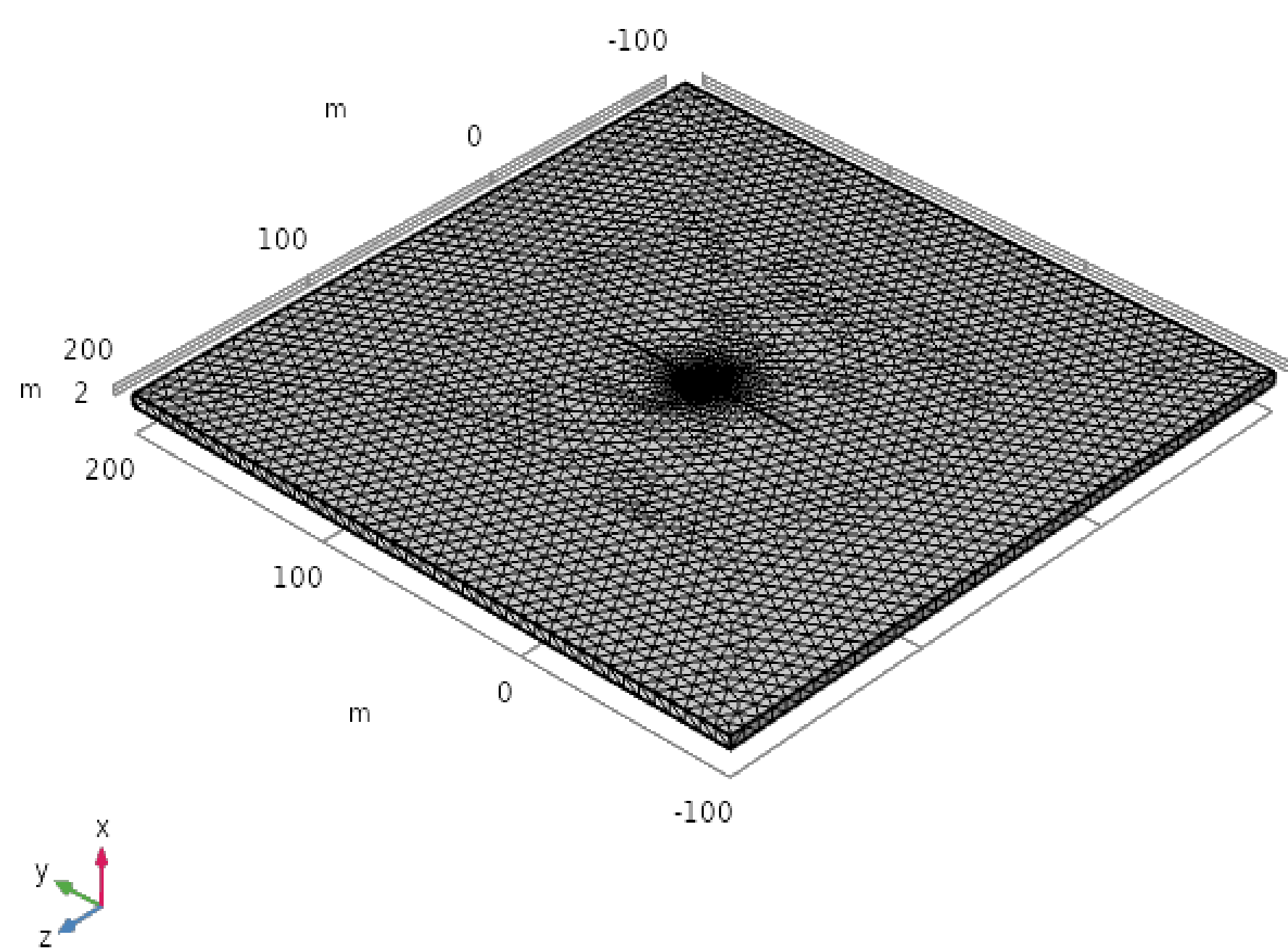


图 2. 几何模型

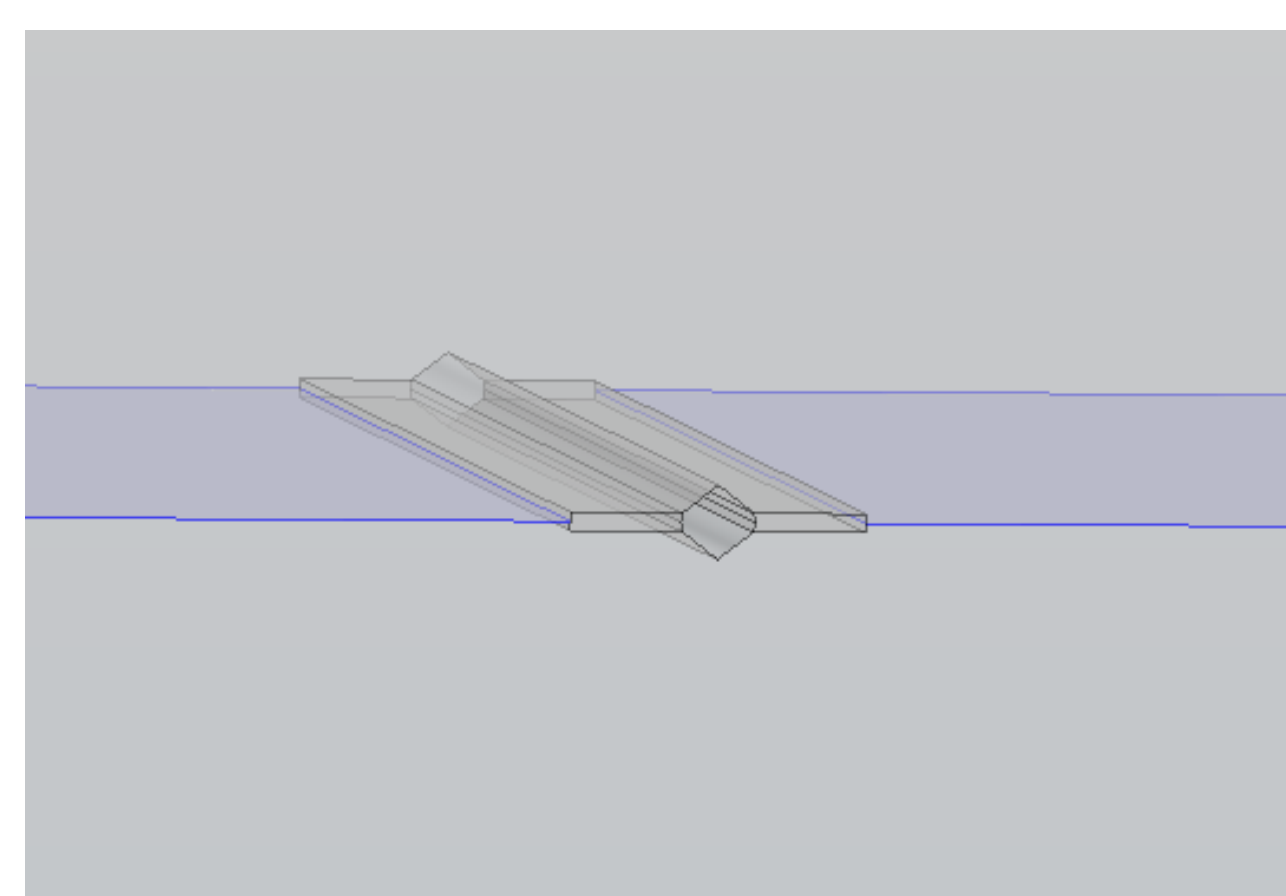


图 3. 井区域局部放大

结果: 利用软件研究中的参数化扫描, 优化出最佳的排水降压速率为0.03MPa/d, 见图4、图5。将数值模型封装成可独立运行的App, 便于数值模拟研究, 见图6。

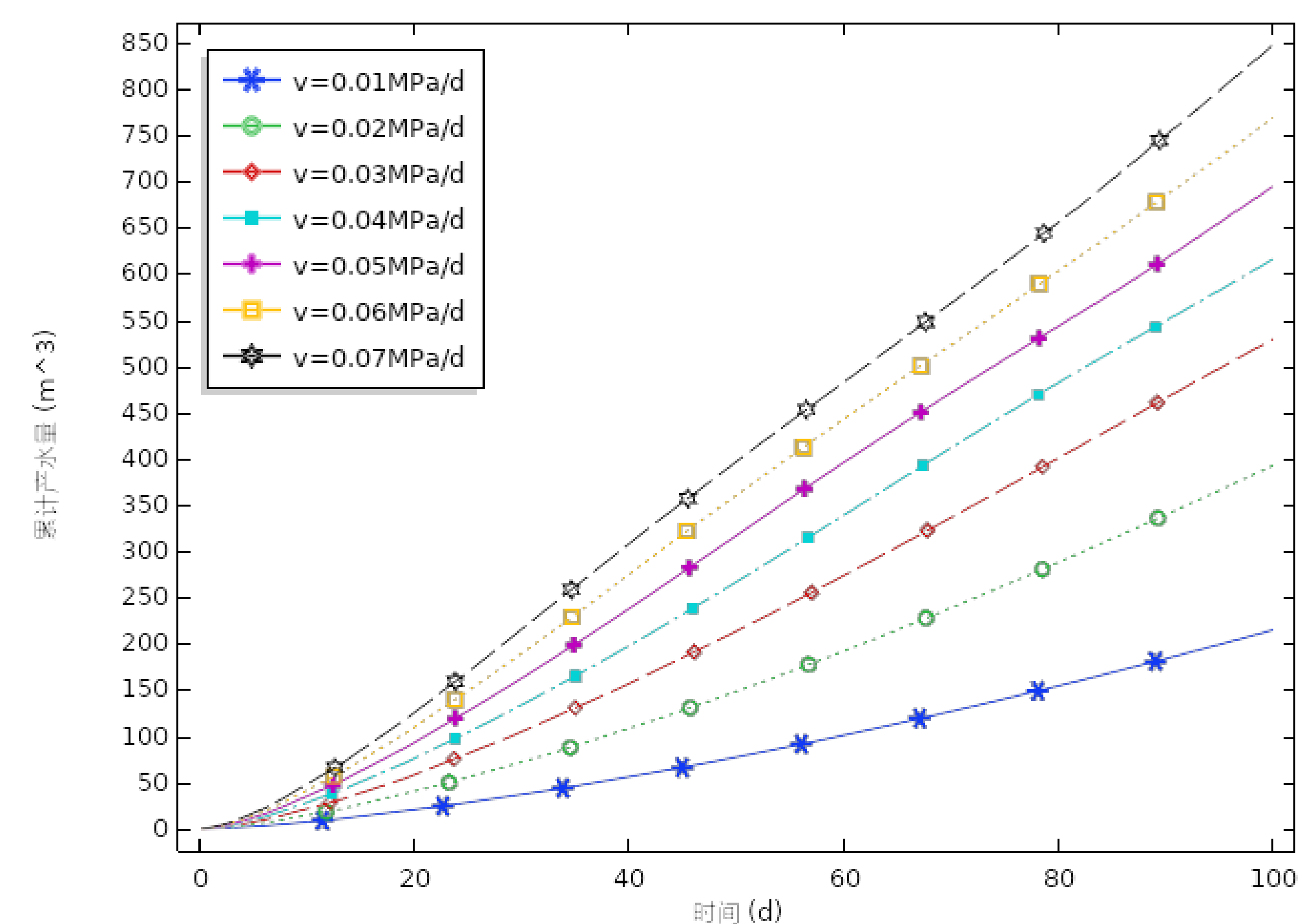


图 4. 累计产水量

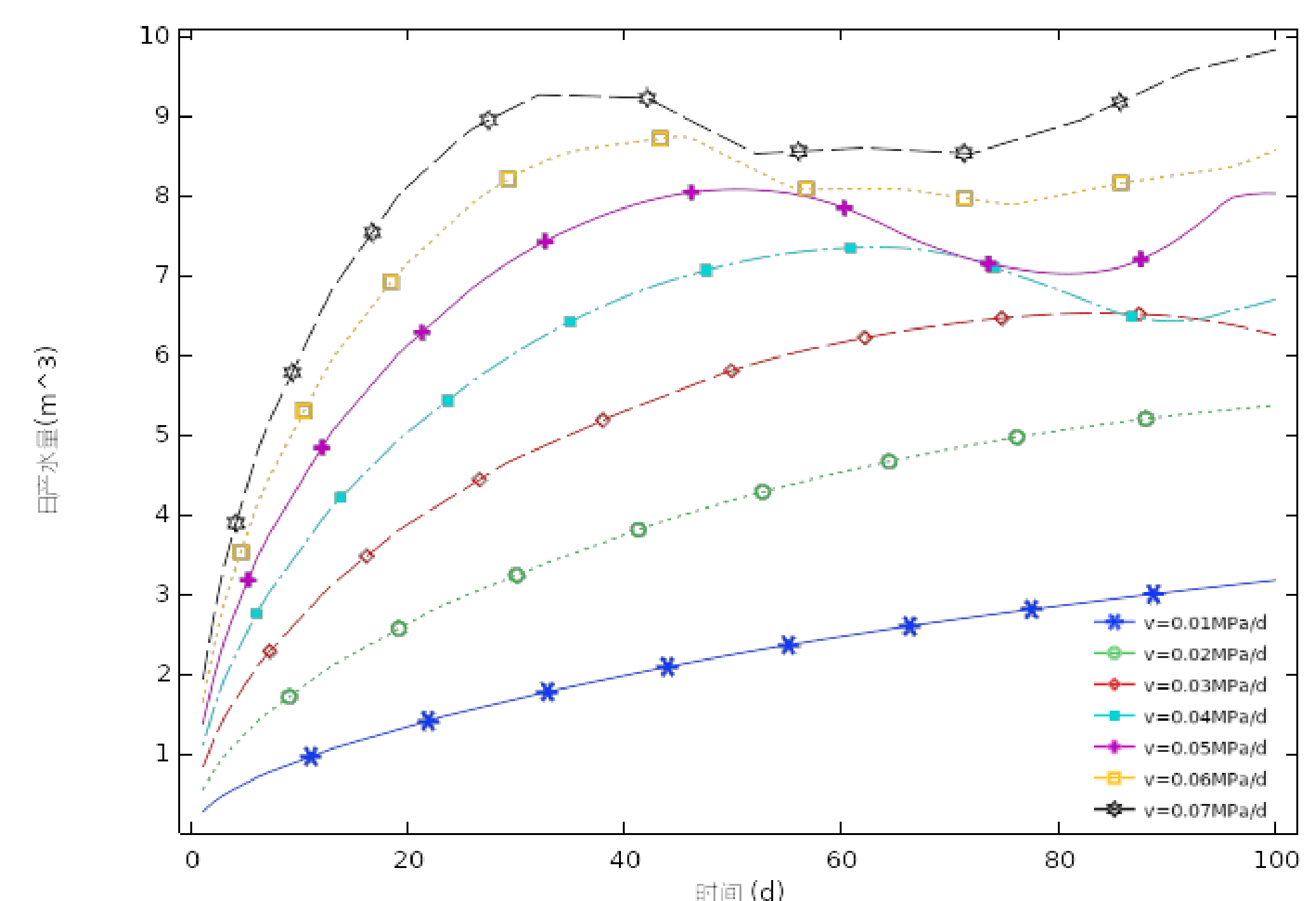


图 5. 日产水量

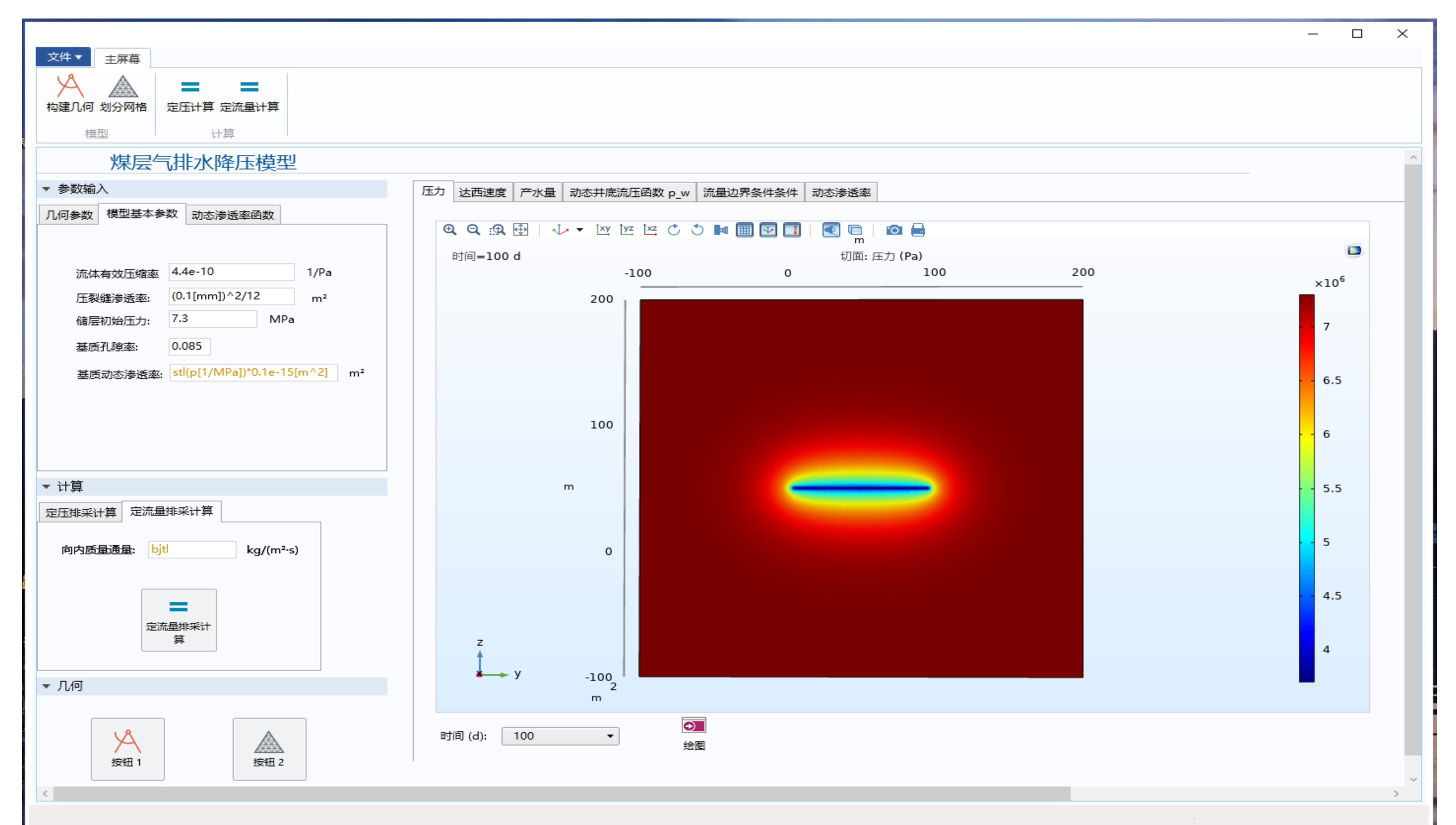


图 6. 排采模型App界面

结论: 借助达西定律物理场接口, 实现煤层气排采数值模拟, 聚焦排采制度分析, 利用参数化扫描研究, 优化出最佳排水降压速率为0.03MPa/d。最后将数值模型封装成APP, 可为不熟悉COMSOL建模的研究者提供便利的数值模拟条件。

参考文献:

- [1] Peng Cao, Jishan Liu, Yee-Kwong Leong. A multiscale-multiphase simulation model for the evaluation of shale gas recovery coupled the effect of water flowback[J]. Fuel, 199:191-205. (2017)
- [2] Zhangxin Chen, Guanren Huan, Yuanle Ma. Computational Methods for Multiphase Flows in Porous Media[M]. Southern Methodist University Dallas, Texas. (2006)
- [3] 韩大匡, 陈钦雷, 闫存章. 油藏数值模拟基础[M]. 北京: 石油工业出版社. (1989)