

煤层气-致密气合采数值模拟研究及仿真APP开发

李辉¹, 陈冬¹, 叶智慧², 高添鑫¹, 张佳亮¹,

1. 油气资源与探测国家重点实验室(中国石油大学(北京)), 中国石油大学(北京), 石油工程学院, 北京 102249

2. 中国石油大学(北京), 安全与海洋工程学院, 北京 102249

简介: 煤层气开发受到越来越多国家的关注, 我国煤层气储量巨大, 但其分布方式多以煤-砂互层为主: 其特点是煤层多(20-40层), 单层厚度薄。若采用单层开采的方式, 不仅成本高昂且收益低下, 此时需要合采来提高效益。本文应用COMSOL地下水流模块, 研究了煤层气、致密气合采规律, 并开发了耦合的煤-致互层储层两气合采数值模拟仿真APP, 其交互界面十分便捷友好, 方便非专业人员应用。煤层-致密砂岩层分布示意图如下图1。

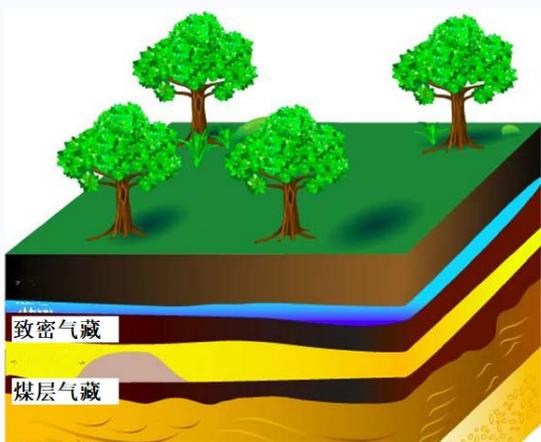


图1. 煤层-致密砂岩层地质模型示意图

研究方法: 本研究使用COMSOL地下水流模块模拟计算。基于气体在煤层与致密砂岩中不同的赋存状态及渗流规律, 建立如下偏微分方程:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi_i) + \nabla \cdot (\rho v_i) = Q_i \quad \rho = \frac{p}{RTZ}$$

致密砂岩气渗流微分方程:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi_s) - \nabla \cdot \left(\frac{\rho k_s}{\mu} \Delta p \right) = 0$$

煤层气渗流微分方程:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi_m) - \nabla \cdot \left(\frac{\rho k_m}{\mu} \Delta p \right) = \rho_{ga} \rho_m \frac{1}{\tau} \left(V - \frac{V_L p}{p + p_L} \right)$$

初始条件:

$$p(r, t)|_{t=0} = p_0 \quad p(r_w)| = p_w$$

符号说明:

符号	变量	单位	符号	变量	单位
t	时间	s	p	压力	MPa
ϕ_i	孔隙度	1	R	气体常数	J/mol·K
ρ	密度	Kg/m ³	T	温度	K
v_i	流速	m/s	Z	压缩因子	1
Q_i	质量流量	Kg/s	Δp	压差	MPa
ρ_{ga}	标况下密度	Kg/m ³	τ	吸附时间	s
V	煤层气吸附量	m ³	V_L	兰氏体积	m ³ /kg
p_L	兰氏压力	MPa	p_0	初始压力	MPa
r_w	井筒半径	m	p_w	某处压力	MPa

几何模型:

- 采用二维轴对称模型中的“矩形”绘制地质模型, 采用布尔运算画出井筒;
- 网格: 物理场控制; 网格单元大小: 极细化;
- 模拟结果: 合采压力变化如下图2, 3所示;

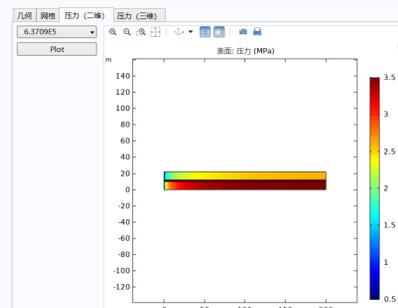


图2. 二维压力剖面图

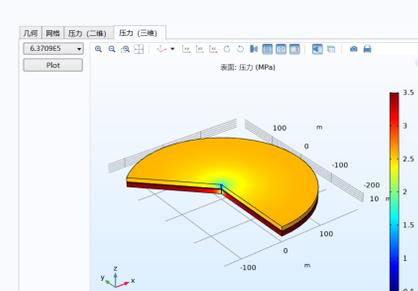


图3. 三维压力剖面图

APP功能:

- 用户可修改几何参数, 建立所需的几何模型;
- 用户可调整岩性参数、物理参数来适应不同的开发地质环境;
- 用户可变更工程参数, 建立不同的初始开采条件;
- 用户可通过该APP查看模拟结果: 几何模型、网格划分、压力剖面(二维、三维), 也可查看研究时间范围内、任意时刻的地层压力状况;
- 该APP可另存为和生成报告、二次开发等操作。

APP界面:

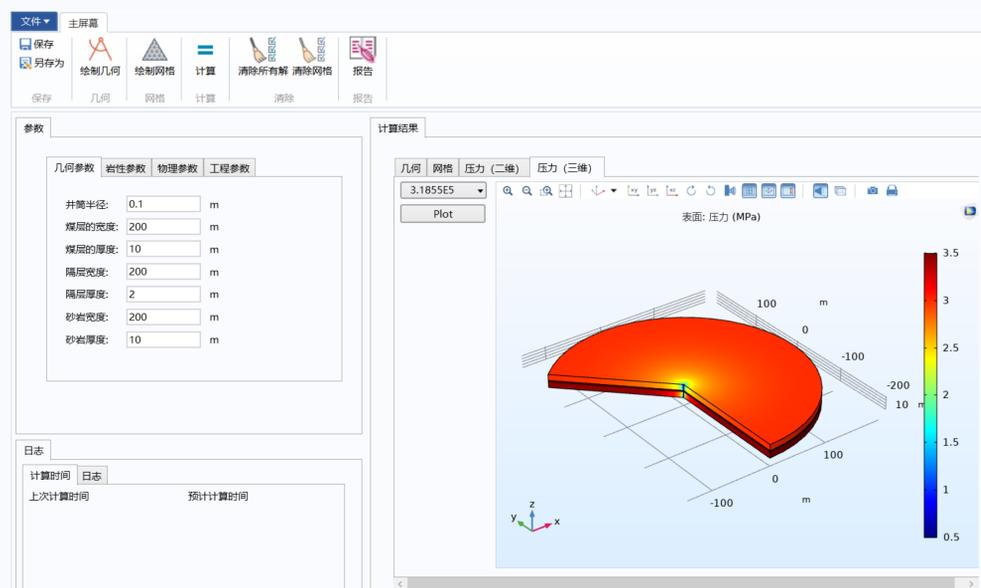


图4. 煤层气-致密气合采仿真COMSOL APP模型开发者工作界面

意义:

该APP提供了一种煤层气-致密气合采的数值模拟计算方法, 对于解决不同储层多层互层渗流规律的研究提供了一种思路和解决方案, 且该APP提供了一种十分便捷, 友好的交互界面, 方便非专业人士应用, 对于煤层气多层合采有积极意义。

致谢:

感谢国家自然科学基金青年科学基金项目“考虑支撑剂压实和嵌入双重作用的压裂裂隙渗透率模型研究”(编号: 51604283)、国家自然科学基金国际(地区)合作与交流项目“共采过程中致密气、页岩气、煤层气三气运移机理”(编号: 51811530306)的资助。