

多分支水平井渗流 COMSOL App 模型开发

张佳亮¹, 陈冬¹, 叶智慧¹, 努莎¹, 龚珂¹

1. 石油工程学院, 中国石油大学(北京), 北京市, 昌平

简介 石油开采过程中, 油田广泛采用多分支水平井技术以提高产量, 因此研究多分支水平井对油气井产能的影响具有重要意义。本文应用达西定律接口, 建立不同井眼几何尺寸的多分支水平井二维模型, 分别计算产量。并且应用 COMSOL App 开发器, 建立了多分支水平井 App, 可以方便非专业人士的使用。多分支水平井的示意图, 如图1所示。



图 1. 多分支井水平井示意图
(http://www.renwen.com)

研究方法 本研究中使用地下水流模块的达西定律接口, 应用质量守恒原理, 借助储水模型来描述渗流过程。瞬态情况下的偏微分方程为:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi) + \nabla \cdot (\rho u) = 0$$

其中:

$$u = -\frac{k}{\mu} \nabla p$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi) = \rho S \frac{\partial p}{\partial t}$$

$$S = \phi \cdot x_f + (1 - \phi) \cdot x_p$$

边界条件:

$$p|_{t=0} = p_0$$

$$p|_{x=\text{井筒}} = p_1$$

$$u|_{x=\text{几何边界}} = 0$$

符号说明:

符号	变量	单位	符号	变量	单位
t	时间	s	ϕ	孔隙度	1
ρ	密度	Kg/m ³	u	动力粘度	Pa.s
κ	渗透率	m ²	S	储水系数	1/Pa
p	地层压力	MPa	x_f	地层流体可压缩率	1/Pa
x_p	地层基质体可压缩率	1/Pa			

表 1. 符号说明

几何模型 采用二维绘图中的“矩形”绘制油藏、将井筒抽象成“线段”, 并借助“阵列”变换得到所有的井筒, 几何模型如图2所示。

网格: 物理场控制网格。

结果: 开采过程中, 地层孔隙压力云图如图3所示。

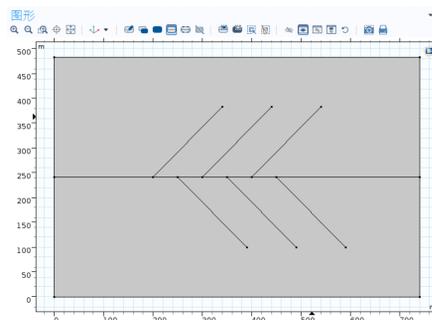


图 2. 多分支水平井几何模型

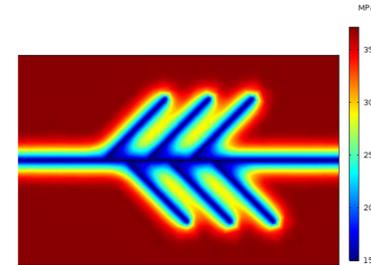


图 3. 开采一段时间后地层压力分布

App 功能

- 1、用户可定义多分支水平井的几何参数:
分支段长度、间距、数目以及与主井眼的夹角,
- 2、用户可定义油藏参数:
孔隙度、渗透率、流体粘度、流体密度、初始地层压力
- 3、用户可定义工程参数:
井底压力、生产时间
- 3、用户可随时查看多分支水平井的几何形态和网格划分情况
- 4、用户可以查看研究时间范围内、任意时刻的地层压力状况。

App 界面

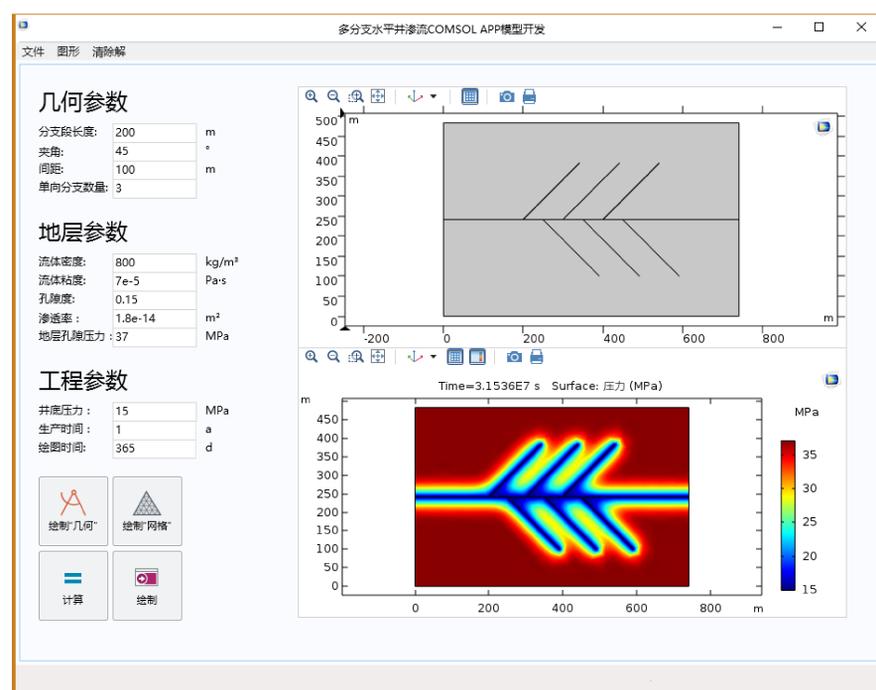


图 4. 多分支水平井 COMSOL App 模型开发器工作界面

意义 多分支水平井 App 为非专业人士, 研究多分支井的几何形态对开采效果的影响, 提供了有力的工具, 降低了研究成本。