

改进拉链式压裂生产井的页岩气渗流场模拟

王士国¹, 韦世明²

1.石油工程学院, 中国石油大学(北京), 北京, 北京

2.石油工程学院, 中国石油大学(北京), 北京, 北京

简介:改进拉链式压裂技术是将拉链式压裂和交替压裂相结合, 第2口井中产生的裂缝处于第1口井产生的两条裂缝之间, 具有更大的应力干扰作用范围, 储层改造体积更大。在开采过程中, 两口井裂缝区域存在缝间干扰, 明确裂缝干扰区域的渗流场及基质、裂缝间地层压力变化规律十分重要, 同时可预估产能的计算, 对压裂效果进行评价。

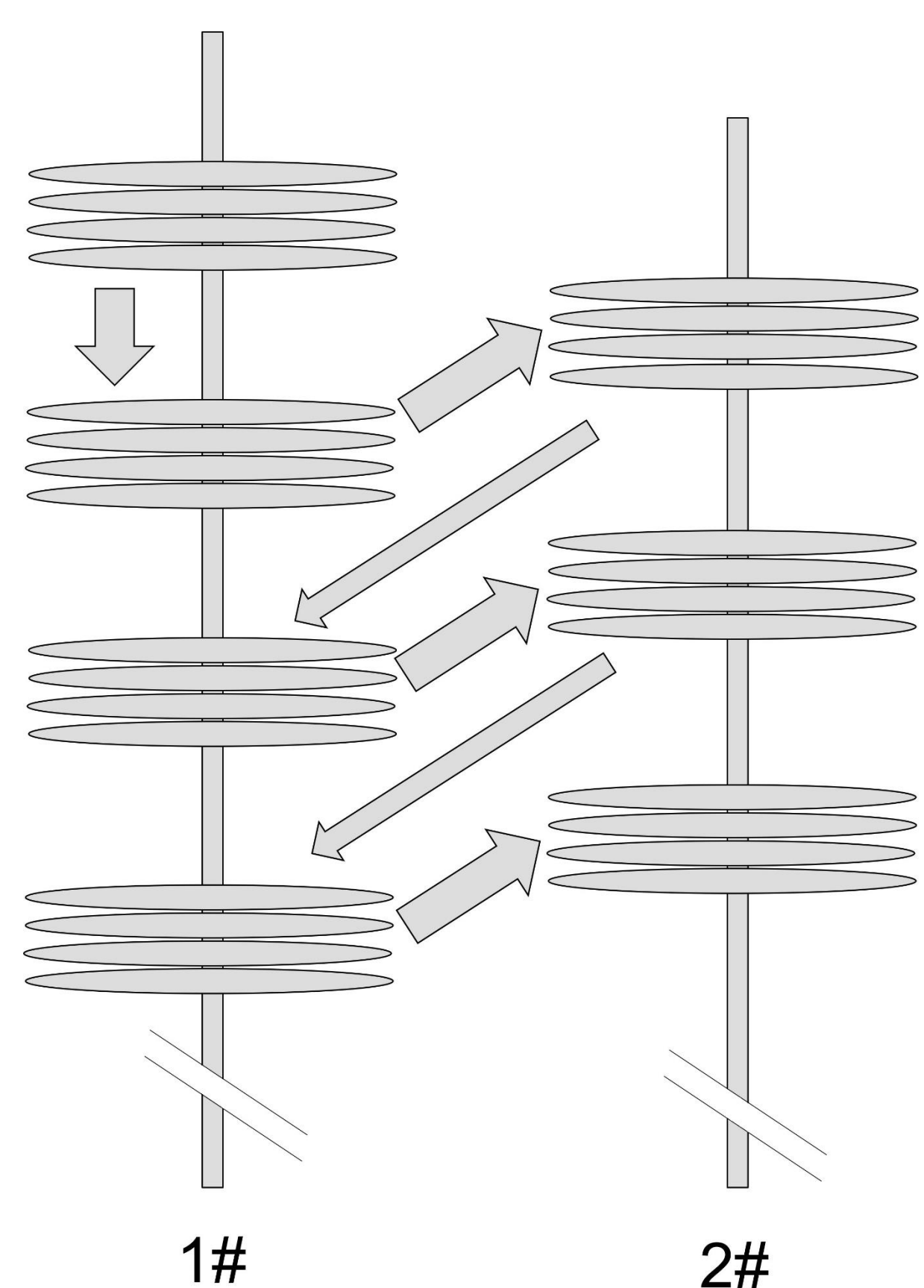


图 1. 改进式压裂示意图

计算方法:页岩中孔隙及天然裂缝尺度远小于人工裂缝, 用连续介质模型描述, 可使用流体流动中达西定律, 在基质孔和天然裂缝内考虑粘性流和努森扩散, 对方程改写将努森扩散项整合到渗透率的计算中; 而离散的人工裂缝嵌入天然裂缝渗流场中, 使用达西定律中的裂隙流进行描述, 人工裂缝内仅考虑黏性流。基质与天然裂缝属于两个渗流场, 存在渗流场之间的窜流, 添加质量源建立了渗流场之间的耦合模型。

$$\frac{\partial}{\partial t}(\phi_p \rho) + \nabla \cdot (\rho u) = Q_m$$

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

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

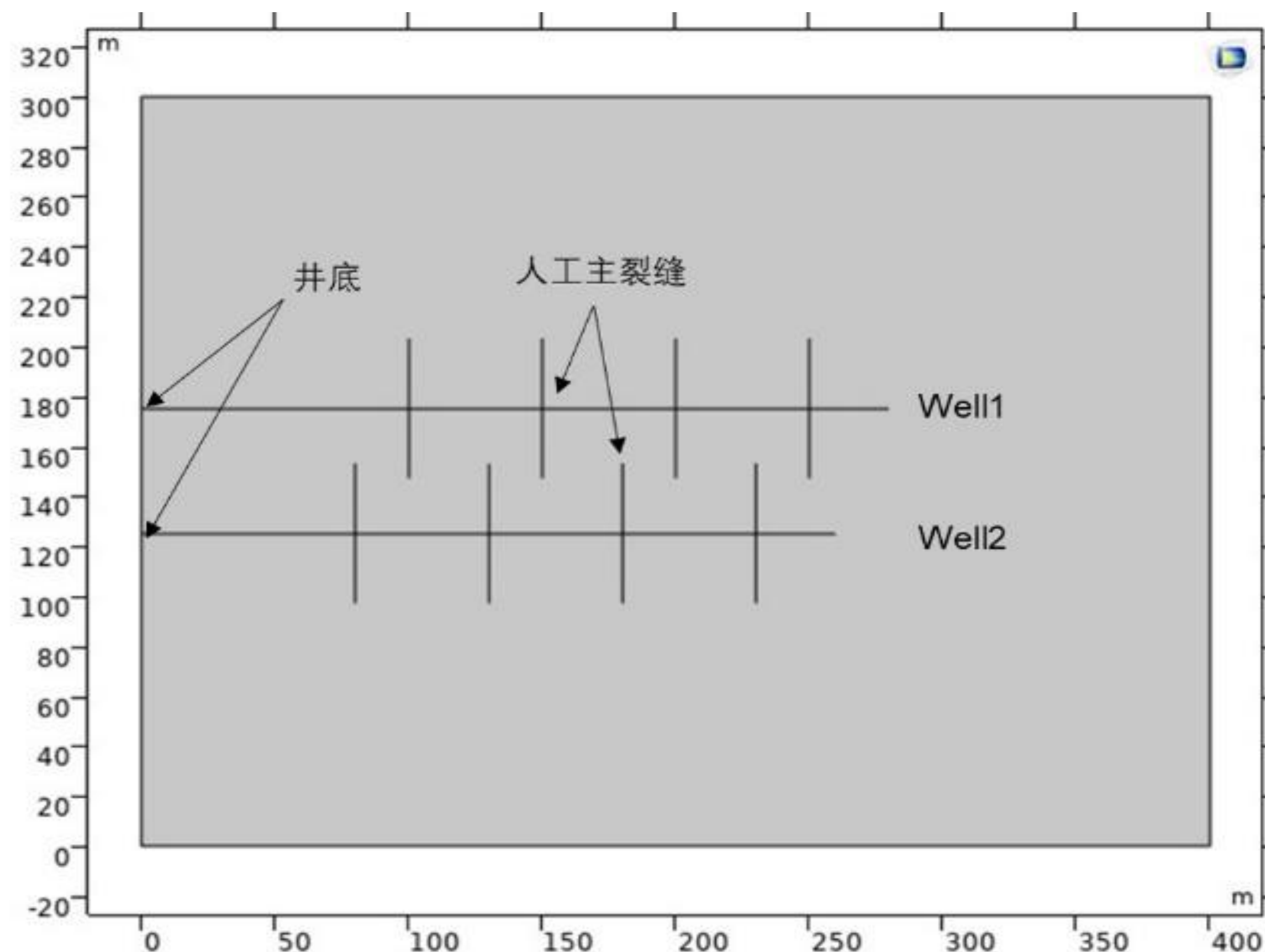


图 2. 模拟几何模型示意图

结果:展示了页岩气随着生产过程中, 基质及天然裂缝中自由气的浓度分布, 计算开采阶段产能指数随时间的变化关系。

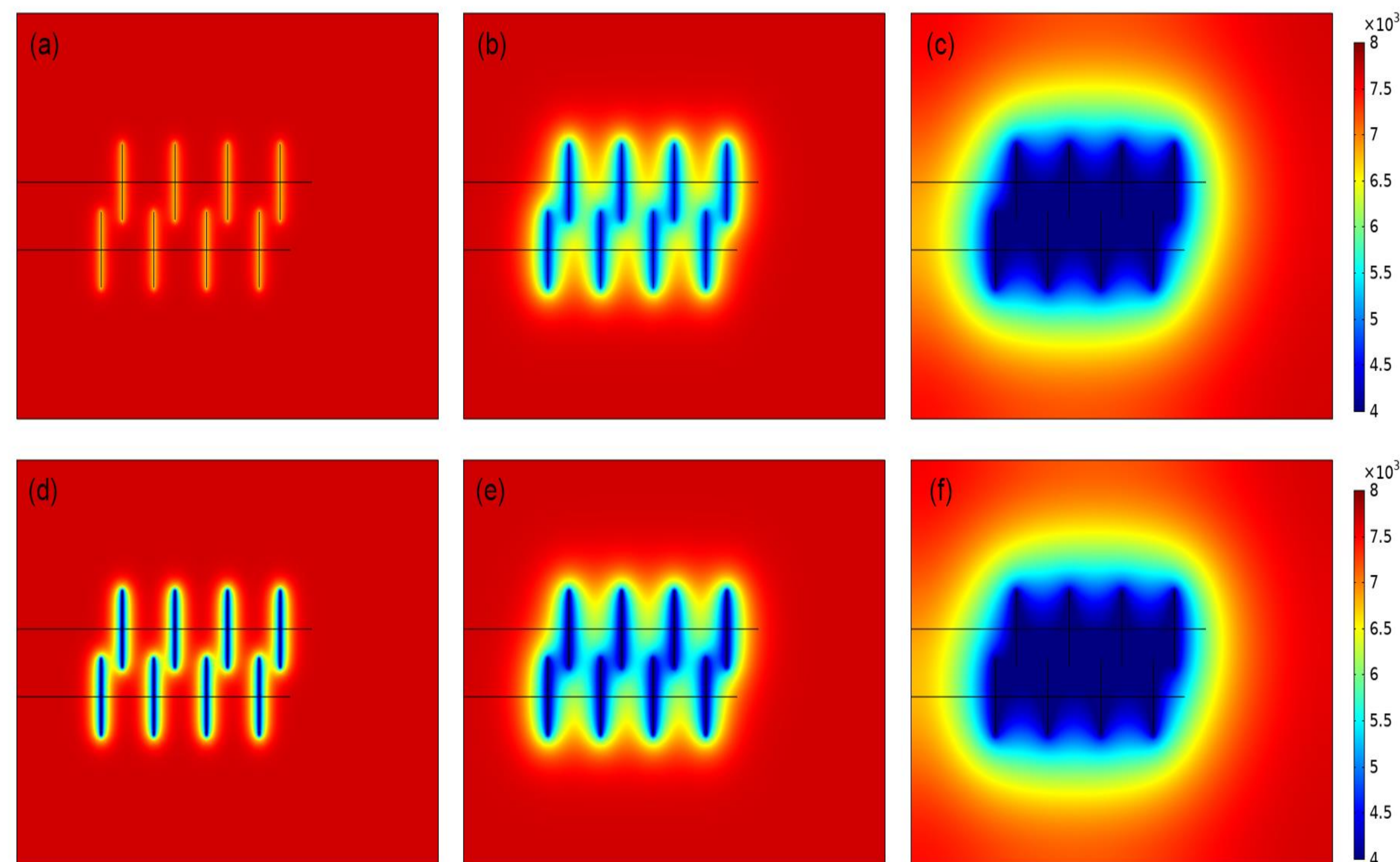


图 3. 基质自由气和天然裂缝自由气浓度分布(单位: mol/m³).
(a), (d)生产1d; (b), (e)生产10d; (c), (f)生产100d;
(a)-(c)基质内自由气; (d)-(f)天然裂缝内自由气

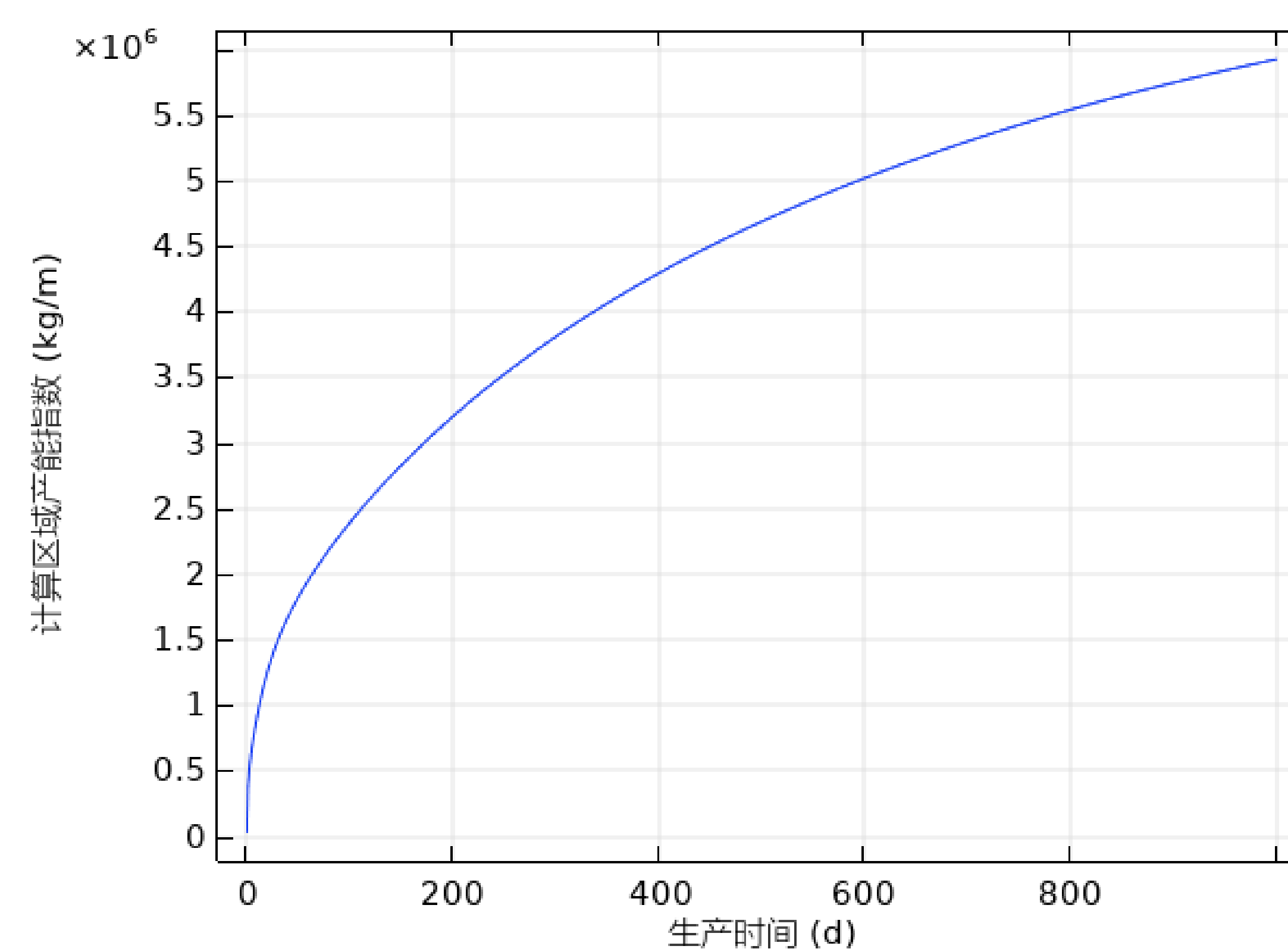


图 4. 产能指数随时间的变化曲线

结论:

- 改进拉链式压裂形成主裂缝, 主裂缝之间的渗流区域发生重合, 存在渗流干扰现象, 随着开发的进行, 由独立的裂缝单元渗流向整体裂缝渗流转变, 最终压力(浓度)由边界向井底呈近似椭圆形区域传播。
- 页岩中的渗流过程存在一定的滞后现象, 基质中的压力降比天然裂缝中的压力降缓慢一些, 主要原因是随着定井底压力开采, 人工裂缝中的自由气向井底渗流, 导致基质中的自由气向天然裂缝中窜流, 最终窜流到人工裂缝中进入井筒。
- 产能指数随着时间呈现快速增加到缓慢增加的趋势, 页岩气的单井产量递减较快。

参考文献:

- 韦世明, 缝网页岩储层非线性耦合渗流模型研究, 中国科学:物理学 力学 天文学, 48(06), 98-112 (2018)
- A. Algarhy, Design Aspects of Optimized Zipper Frac, American Rock Mechanics Association, ARMA-2019-2172 (2019)
- 刘曰武, 页岩气开采中的若干力学前沿问题, 力学进展, 49(00):1-236 (2019)
- 刘洪, 页岩气“井工厂”不同压裂模式下裂缝复杂程度研究, 天然气工业, 38(12):70-76. (2018)