

致密储层压裂开发有效缝长（改造体积）定量分析与评价

张启涛^{1,2}, 朱维耀^{1,2}, 岳明^{1,2}, 刘昀枫¹, 刘雨薇¹, 陈震¹

1. 土木与资源工程学院, 北京科技大学, 北京; 2. 应用力学所, 北京科技大学, 北京

简介: 在页岩或致密储层中, 水力压裂技术得到了广泛引用。而在实际开发过程中, 水力压裂出的裂缝往往只有部分发挥增产效果, 可以称之为有效裂缝, 相关领域研究尚处于起步状态。有效裂缝（改造体积）的研究对于非常规油藏实际开发, 具有实际研究意义。

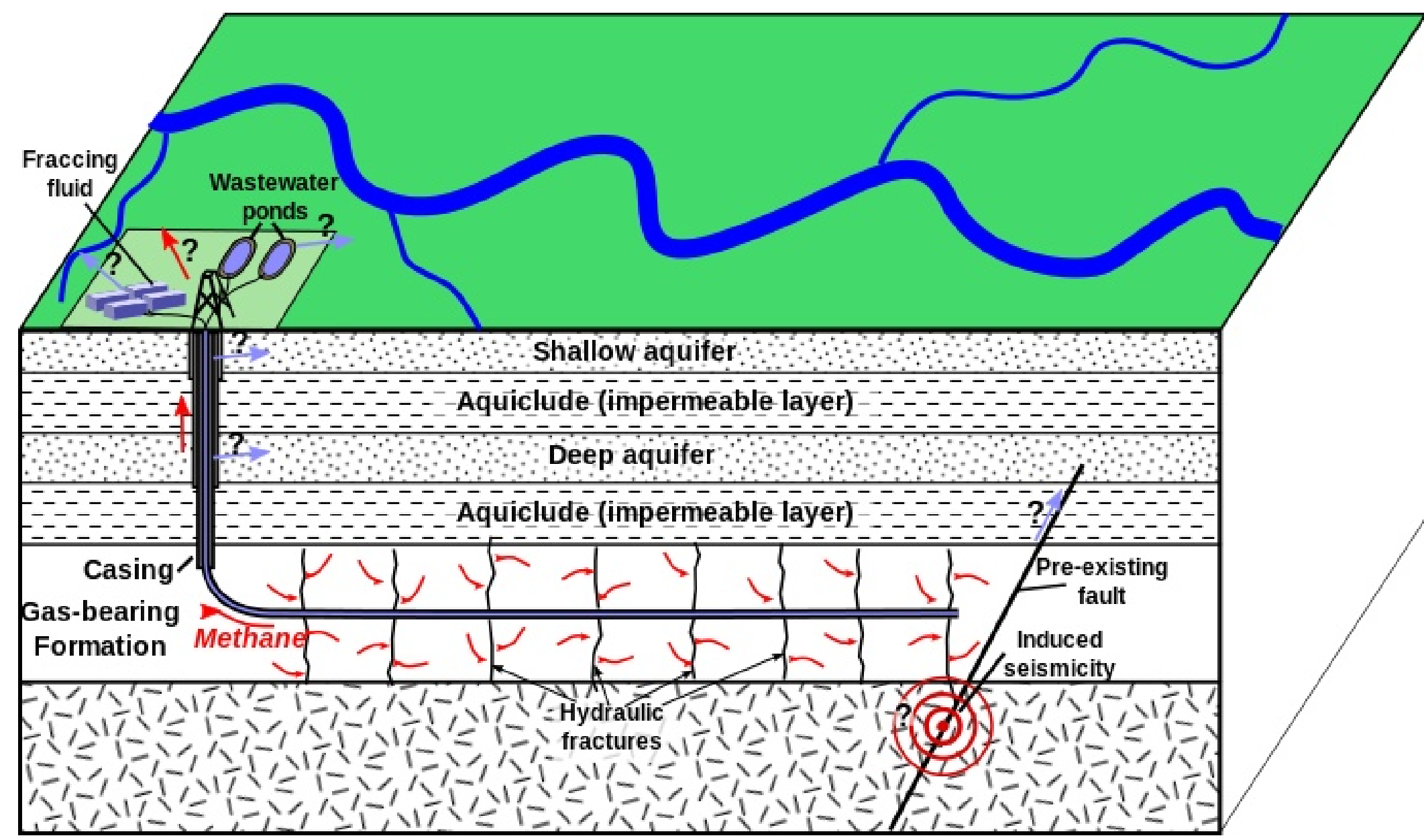


图 1. 水平井水力压裂开发示意图

计算方法: 采用CFD模块的达西定律模型（Darcy's Law）对地层流场进行模拟计算, 主要公式如下:

$$\mathbf{u} = -\frac{k}{\mu}(\nabla p - \lambda)$$

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

基础的达西定律模型无法描述非线性流动, 本模型通过添加域常微分和微分代数方程的方法, 引入启动压力梯度, 主要公式如下:

$$\lambda = ak^{-b} \cdot \frac{\mathbf{u}}{|\mathbf{u}|}$$

对于裂缝采用裂隙流进行描述, 主要公式如下:

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

$$\mathbf{u} = -\frac{k_f}{\mu} \nabla_T p$$

结果:

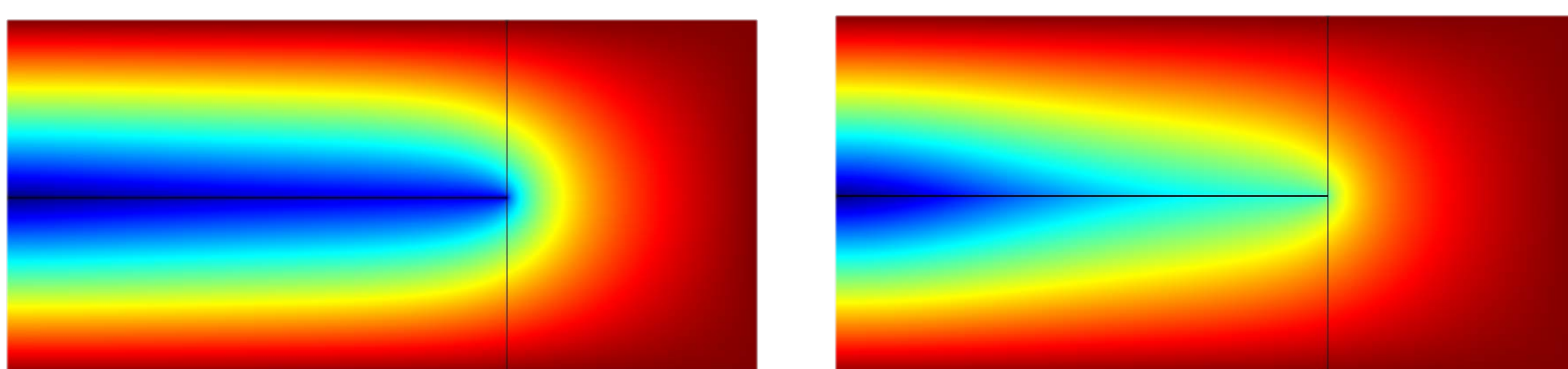


图 2. 理想裂缝（左）与部分有效裂缝（右）对比

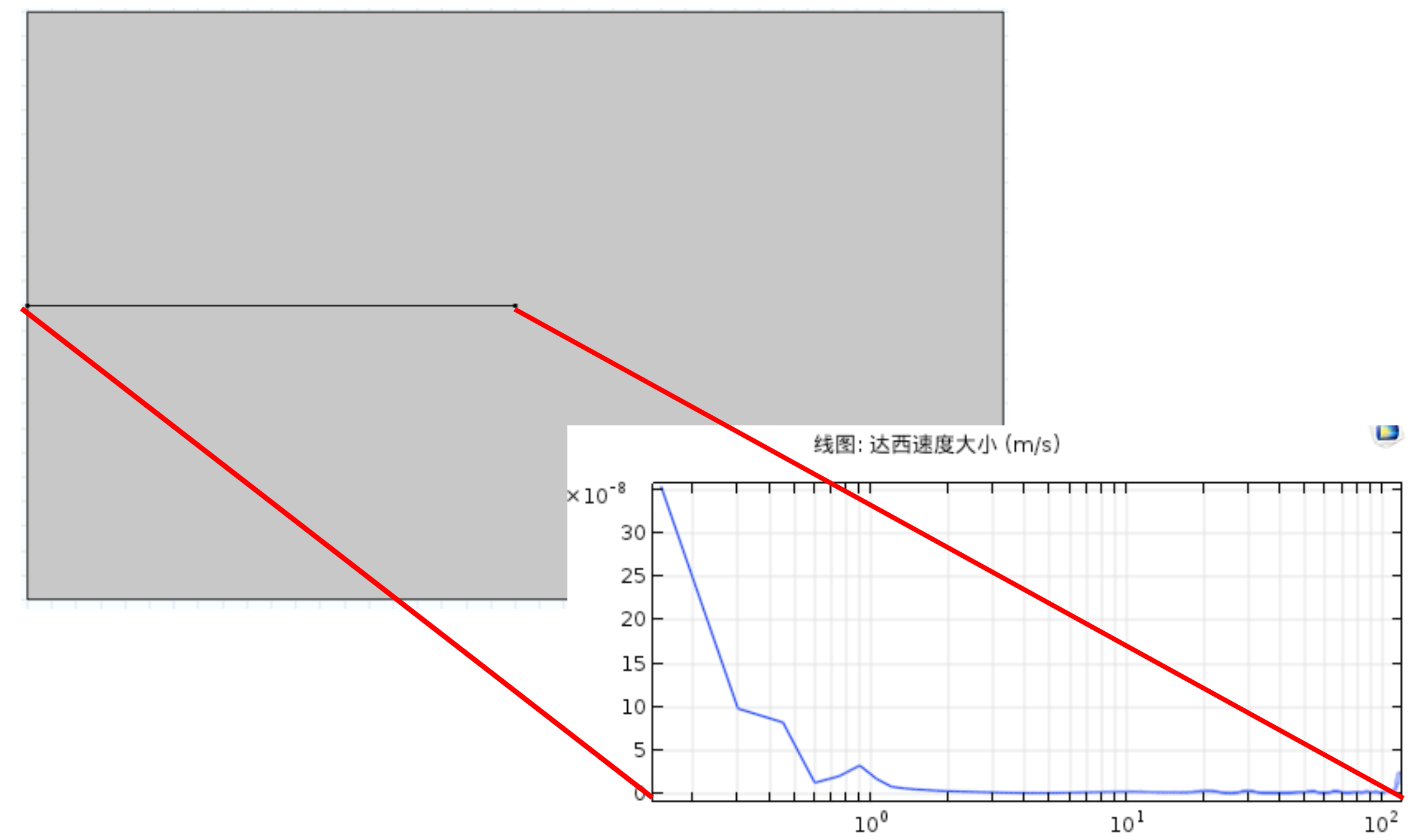


图 3. 有效缝长动态判定方法

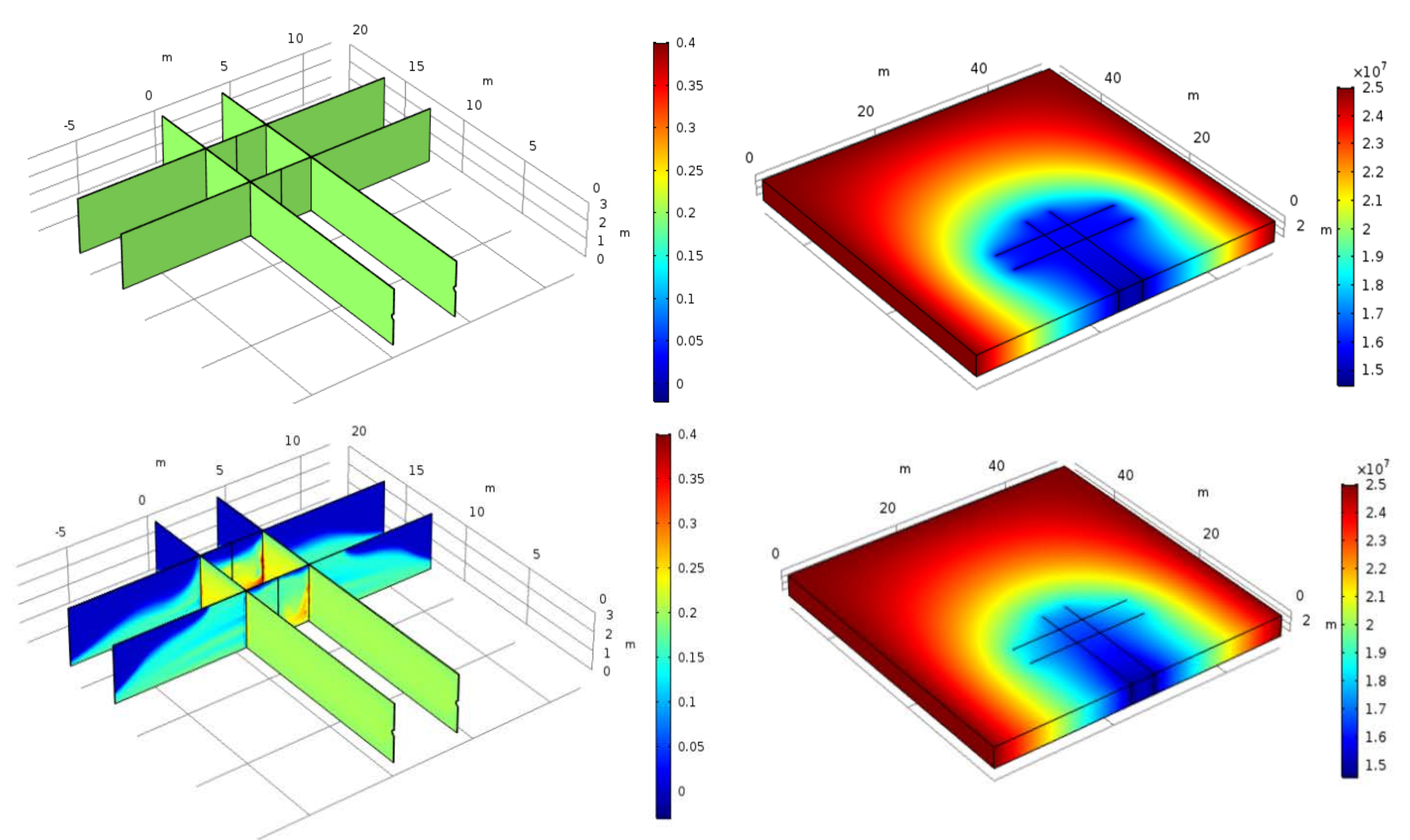


图 4. 支撑剂均匀/不均匀分布对裂缝网络有效改造体积的影响

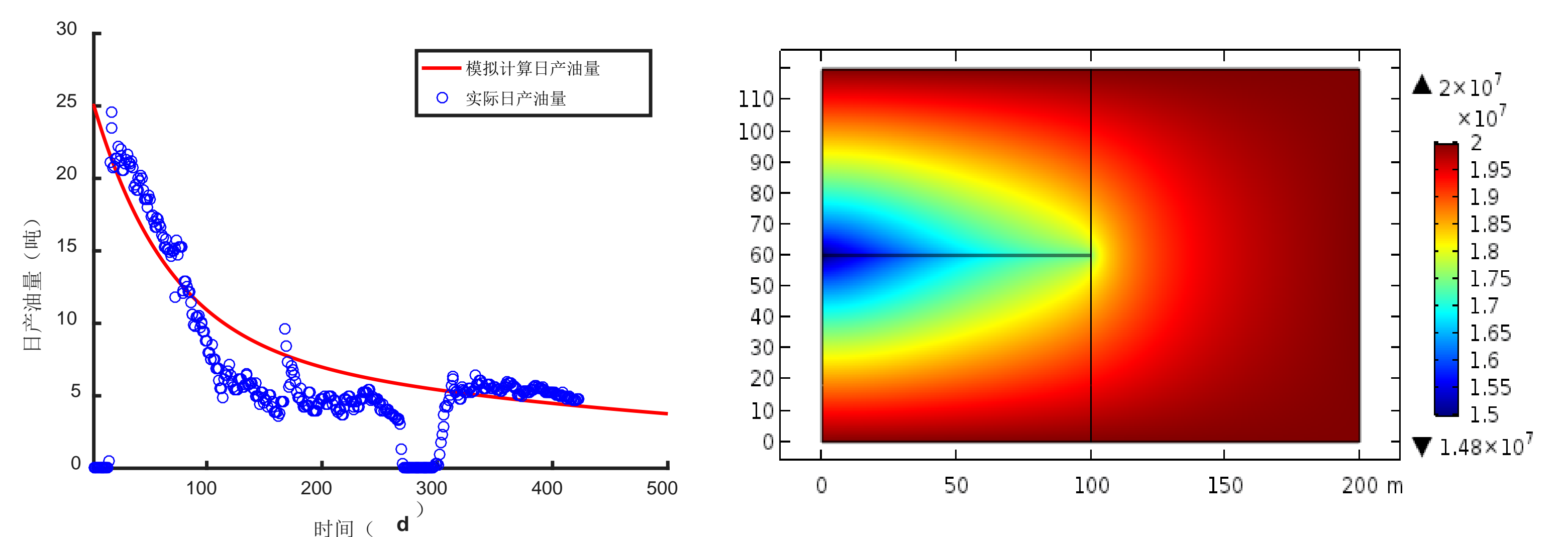


图 5. 有效缝长动态判定方法应用于实际油田

结论: 模型研究结果表明, 裂缝的有效缝长（有效改造体积）受多种因素共同影响, 包括基质渗透率, 启动压力梯度, 生产制度, 铺砂方法。有效缝长的机理研究直接影响实际油气田生产效果, 对非常规油藏开采具有实际意义。

参考文献:

1. 朱维耀, 岳明, 高英, 宋洪庆, 黄小荷. 致密油层体积压裂非线性渗流模型及产能分析[J]. 中国矿业大学学报, 2014, 43(02): 248-254.
2. Kong B, Fathi E, Ameri S. Coupled 3-D numerical simulation of proppant distribution and hydraulic fracturing performance optimization in Marcellus shale reservoirs[J]. International Journal of Coal Geology, 2015, 147-148: 35-45.
3. 李剑辉, 朱维耀, 岳明, 张启涛. 水平井压裂单缝和多分支缝中携砂液流动规律数值模拟[J]. 科学技术与工程, 2018, 18(22): 38-46.