



南海神狐海域天然气水合物增产措施数值模拟¹⁾

徐建春*,²⁾, 孙伟⁺

* (中国石油大学(华东)石油工程学院智能油气田研究所, 青岛 266580)

+ (中国石油大学(华东)石油工程学院智能油气田研究所, 青岛 266580)

1) 资金资助项目(重大项目: 南海天然气水合物钻采机理与调控-课题4: 储层天然气水合物相变和渗流多场时空演化规律)

2) 通讯作者Email: 20170048@upc.edu.cn

Introduction

南海海域泥质粉砂水合物储层的低渗透率特性影响其试采产气效率, 水力压裂作为改善储层低渗透率的一种增产措施已在陆地致密油气藏已经得到成功应用。神狐海域中已成功的两次试采均采用的降压法, 根据产气数据的结果可认为井型的选择对于低渗透水合物储层的开采存在一定的影响。

为探究各类增产措施对于南海海域水合物开采的促进/抑制作用, 本文基于神狐海域天然气水合物首次试采的数据, 建立了实际的储层地质特征, 采用数值模拟的方式研究了水力压裂联合降压以及注热的开采方式对于低渗透水合物储层的投产效果。

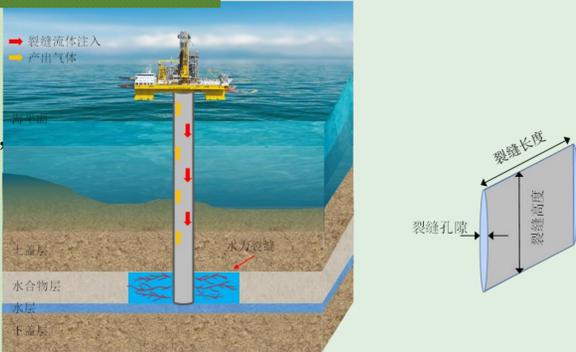


Fig. 1. 水力压裂降压开采水合物示意图

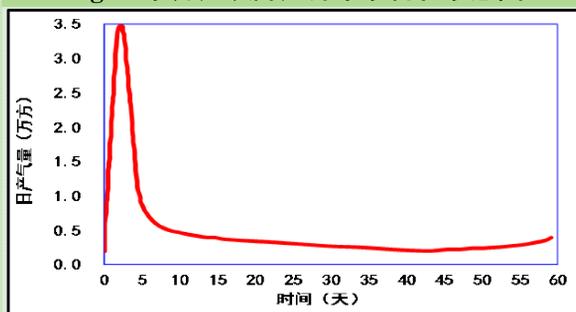


Fig. 2. 2017中国试采水合物产量曲线^[1]

[1] Chen L, Feng Y, Okajima J, et al. Production behavior and numerical analysis for 2017 methane hydrate extraction test of Shenhu, South China Sea[J]. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 2018, 53: 55-66.

Numerical Simulation

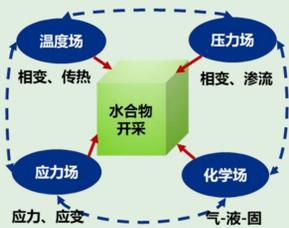


Fig. 3. 多种因素影响渗流示意图

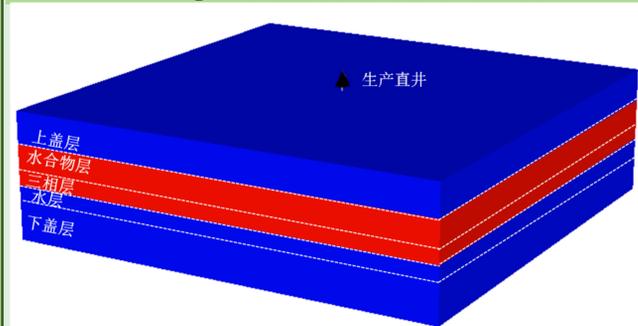


Fig. 4. 神狐水合物藏数值模拟地质模型

考虑水合物的相变、传质、传热等机理, 分析渗流场、温度场和化学场, 构建天然气水合物动力学方程、质量守恒方程和能量守恒方程, 建立多场耦合流动的数学模型。

主要假设:

模型考虑三相为水相、气相、水合物相(其中水合物相设置为固相); 三组分为甲烷气体、水、天然气水合物;

多孔介质中的液相和气相的流动符合达西渗流定律;

水合物的分解会导致地层孔隙度的变化。

推测在钻井过程中井筒附近的渗透率提高且游离气饱和度较高的缘故, 将井周围网格进行加密, 调整加密后井周围一圈网格的渗透率模拟后结果与试采结果接近。

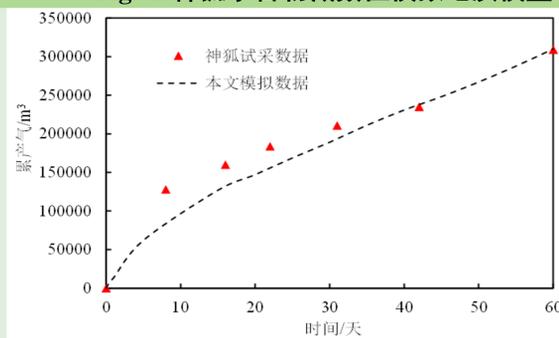


Fig. 5. 模拟结果与2017年试采结果累计产气比较

Results

针对各个增产方法进行现场生产模拟, 即分析对比单直井、直井压裂、多级压裂水平井、注热-压裂联合开采、水平井、多分支井6种增产方式对神狐储层模型生产的影响。裂缝设置长100 m, 宽0.001 m, z方向贯穿整个水合物层, 无因次裂缝导流能力为10。水平井长400 m, 裂缝间隔100 m, 共5条裂缝。注热井注入温度50 °C、注入速度200 m³·day⁻¹。多分支井设置四个分支, 每个分支长100 m。

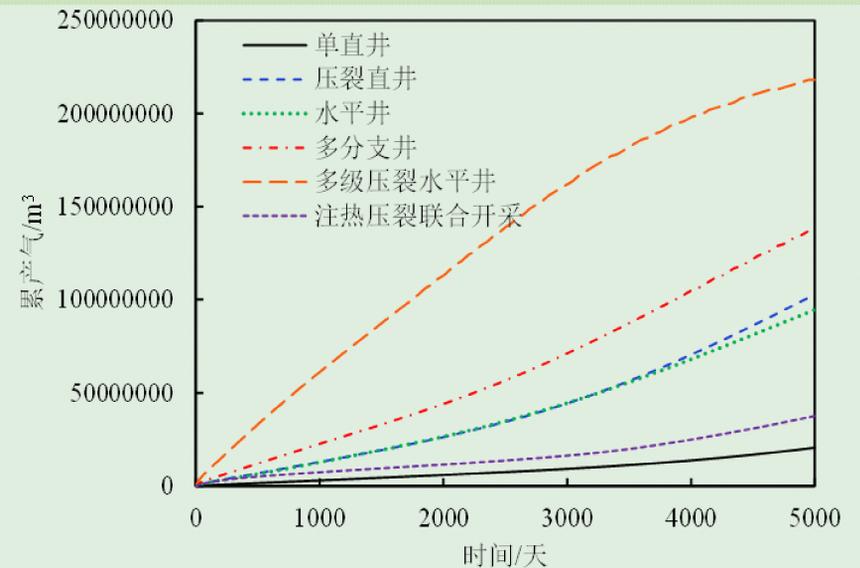


Fig. 6. 不同开采方式的累产气曲线以及日产气曲线

可以看出, 每种开采方式都比单直井降压开采效果好, 其中, 多级压裂水平井开采方式模拟出的增产效果最好(5000天时累产气达到 2.18×10^8 m³), 多分支井次之(5000天时累产气达到 1.38×10^8 m³), 直井压裂(5000天时累产气达到 1.03×10^8 m³)和水平井开采(5000天时累产气达到 9.47×10^7 m³)产气相差不大, 最后是注热-压裂联合开采(5000天时累产气达到 3.77×10^7 m³)。并且, 多级压裂水平井的产量远大于其他几种增产方式的产量。这是因为水平井能够接触到储层中更多的水合物, 再加上裂缝的高导流能力, 能够在生产前期使大量的水合物分解产生甲烷气, 提高产量。

由于地层渗透率和孔隙度较低, 注热井注入热水产生的热量无法很好的扩散影响到生产井以及裂缝区域, 导致生产前期增产不明显。生产后期, 由于注热井始终在源源不断注入热流体, 使其近井区域的压力逐渐增高, 抑制了水合物的分解, 使得增产效果较差。由此可知, 采用注热-压裂联合开采时, 合适的井位设置也是一个影响因素。

Conclusion

- 建立了首次试采的地质模型和数值模拟模型并进行了产气拟合。在此基础上, 对不同增产模式进行了产能的预测分析, 结果表明诸多增产措施中多级压裂水平井的增产效果最好, 而注热-压裂联合开采效果表现差;
- 注热-压裂联合开采受储层物性条件的影响很大, 注热井和生产井所在层位渗透率高时带来的增产效果远好于渗透率低的情况;
- 进一步分析影响多级压裂水平井产气的生产因素得出, 无因次裂缝导流能力和裂缝间距对产气效果起到了至关重要的作用。适当的裂缝间距和无因次裂缝导流能力能够使产气显著增加;
- 对于水合物储层的低渗透特性, 生产井周围的裂缝无法影响到注热井, 导致注热形成储层憋压的情况, 抑制了水合物的分解, 因此注热法开采的增产效果较差。