

Optimization of the Fracture Parameters of Fractured Horizontal Well of Horizontal Well-Vertical Well Joint Development Well Pattern

Zhitao Xu¹, Huiying Zhong^{1*}, Xiaoxin Wang², Yuyang Zhou³, Wei Liu¹

¹Key Laboratory of Enhanced Recovery of Ministry of Education, Northeast Petroleum University, Daqing Heilongjiang

²Oil Recovery Plant No.6, Daqing Oilfield Corp. Ltd, Daqing Heilongjiang

³College of Petroleum Engineering, China University of Petroleum, Beijing

Email: xuzhitao19900517@126.com, *zhhy987@126.com

Received: May 6th, 2016; accepted: May 19th, 2016; published: May 26th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Due to the rapid development of horizontal well drilling technology, Horizontal well-Vertical well joint development technology is gradually mature, but in the oil field development plan design and the calculations of reservoir engineering, optimization of the fracture parameters of fractured horizontal well of Horizontal well-Vertical well joint development well pattern is relatively less. According to the geological characteristics and development characteristics of a peripheral low permeability thin layer Horizontal well-Vertical well joint development oil field in Daqing, and applying the reservoir numerical simulation software Eclipse with the LGR technology, the typical mechanism model is established. Then the fracture parameters of fractured horizontal well of Horizontal well-Vertical well joint development well pattern are optimized. The results can provide guidance for the optimization of the fracture parameters of fractured horizontal well in the similar oil fields of Horizontal well-Vertical well joint development.

Keywords

Oil and Gas Well Development Engineering, Horizontal Well-Vertical Well Joint Development, Fractured Horizontal Well, Parameter Optimization, Local Grid Refinement, Mechanism Model

*通讯作者。

水平井 - 直井联合开发井网压裂水平井参数优化

徐志涛¹, 钟会影^{1*}, 王小欣², 周宇洋³, 刘 巍¹

¹东北石油大学提高采收率教育部重点实验室, 黑龙江 大庆

²大庆油田有限责任公司第六采油厂, 黑龙江 大庆

³中国石油大学(北京)石油工程学院, 北京

Email: xuzhitao19900517@126.com, *zhhy987@126.com

收稿日期: 2016年5月6日; 录用日期: 2016年5月19日; 发布日期: 2016年5月26日

摘 要

由于水平井钻井技术的飞速发展, 水平井 - 直井联合开发技术已经逐渐成熟, 然而在设计油田开发方案和油藏工程计算时, 对于压裂水平井 - 直井联合开发井网压裂水平井参数的优化还比较少。本文依据大庆某外围低渗透薄层水平井 - 直井联合开发油田的地质特征和开发特征, 应用油藏数值模拟Eclipse软件并采用LGR局部加密网格技术建立了具有代表性的机理模型, 从而对水平井 - 直井联合开发井网压裂水平井的参数进行优化, 研究结果为类似水平井 - 直井联合开发油田压裂水平井参数优选提供了指导。

关键词

油气田井开发工程, 水平井 - 直井联合开发, 压裂水平井, 参数优化, 局部加密, 机理模型

1. 引言

在水平井开采技术的发展过程中, 逐渐由水平井单一开采过渡到水平井 - 直井联合开发, 水平井 - 直井联合开采技术被广泛应用于老油田的挖潜工作以及新油田投产。由于水平井钻井技术的飞速发展, 水平井 - 直井联合开发已经逐渐由厚油层发展到薄油层, 现在水平井直井联合开发技术已在辽河、大庆、胜利等多个油田的薄层油藏中得到了成功的应用[1]-[5]。该开发技术已走向了成熟应用阶段, 为我国油田的高效开发起到了相当重要的作用[6] [7]。

然而在设计油田开发方案和油藏工程计算时, 对于压裂水平井 - 直井联合开发井网压裂水平井参数的优化还比较少[8]-[16]。因此, 通过建立水平井 - 直井联合开发井网的概念模型, 对水平井 - 直井联合开发井网压裂水平井进行了优化研究, 为此类油田的开发调整提供一定的依据, 促进油田的可持续开发。

2. 水平井 - 直井联合开发机理模型的建立

依据大庆某外围低渗透薄层水平井 - 直井联合开发油田的地质特征和开发特征, 应用油藏数值模拟Eclipse软件并采用LGR局部加密网格技术建立了具有代表性的水平井 - 直井联合开发井网的机理模型。模型采用4口直井注水、1口水平井采油的井网, 注采井距250 m, 井网示意图如图1所示。

机理模型平面网格总节点数为 $251 \times 251 \times 1 = 63,001$ 个, 网格大小为 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m} \times 2 \text{ m}$, 渗透率为 $20 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 孔隙度为0.2, 有效厚度为1.6 m, 初始含油饱和度为0.575。

根据该油田油层及流体的物性参数，设置机理模型的基本参数如表 1 所示。

3. 水平井 - 直井联合开发井网压裂水平井参数优化

3.1. 裂缝条数的优化

随着压裂工艺技术的不断完善，水平井可以压裂出多条裂缝。因此，水平井压裂往往倾向于产生多条裂缝以提高产能。为了研究压裂水平井的裂缝条数对水平井产能的影响，将裂缝半长固定为 80 m，导流能力为 $25 \mu\text{m}^2 \cdot \text{cm}$ ，设置 5 种裂缝条数方案，分别为 3, 4, 5, 6, 7 条，均等间距分布，进行模拟计算 10 年，不同裂缝条数的日产油量曲线如图 2 所示，累积产油量随裂缝条数的变化曲线如图 3 所示。通过对比不同裂缝条数对水平井产能的影响，对压裂水平井的裂缝条数进行优化。

由图 2 可以看出，初期日产油量随着裂缝条数的增加而逐渐增加，而随着裂缝条数的增加产量递减的也相对较快，说明裂缝条数对水平井产量有较大的影响。由图 3 可以看出，裂缝条数由 3 条增加到 5 条的过程中，累积产油量上升幅度比较大；裂缝条数由 5 条增加到 7 条的过程中，累积产油量上升幅度降低，说明裂缝条数越多，裂缝条数增加对产能的贡献逐渐降低，缝间干扰对产能带来的不利影响逐渐增加。所以，在现有水平井 - 直井联合开发下，存在最佳的裂缝条数，5 条裂缝为最佳。

3.2. 裂缝长度的优化

裂缝长度是影响压裂水平井生产动态的一个重要的因素，为了研究压裂水平井的裂缝长度对水平井

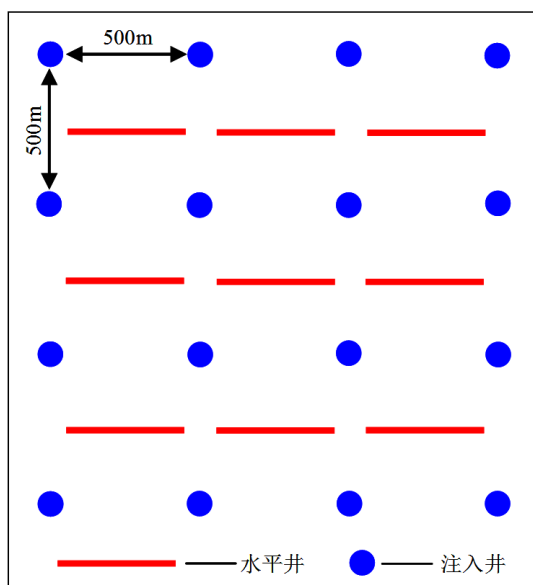


Figure 1. The mechanism model schematic diagram
图 1. 机理模型示意图

Table 1. Basic parameter table of the mechanism model

表 1. 机理模型基本参数表

水密度(g/cm^3)	1	水体积系数	1
水粘度($\text{mPa}\cdot\text{s}$)	0.68	原油体积系数	1.124
原油密度(g/cm^3)	0.86	水压缩系数(MPa^{-1})	4.4×10^{-4}
原油粘度($\text{mPa}\cdot\text{s}$)	5.54	原油压缩系数(MPa^{-1})	8.2×10^{-4}
原始地层压力(MPa)	16	岩石压缩系数(MPa^{-1})	6.8×10^{-4}

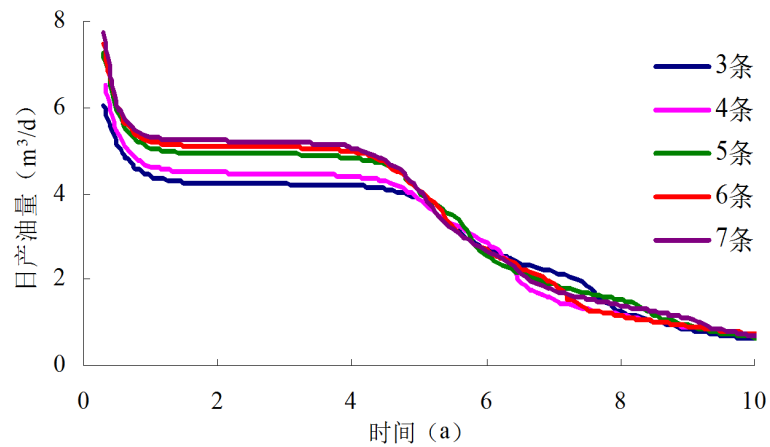


Figure 2. Daily oil production curve of different number of fractures
图 2. 不同裂缝条数的日产油量曲线

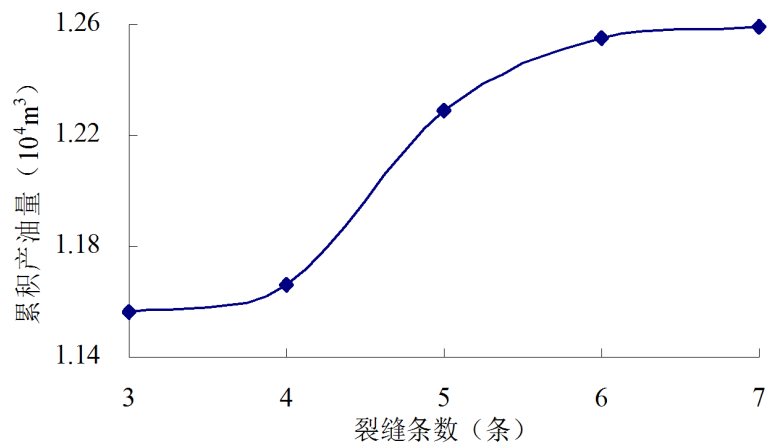


Figure 3. Daily oil production curve of different number of fractures
图 3. 不同裂缝条数的日产油量曲线

产能的影响,将裂缝条数固定为5条,等间距分布,导流能力为 $25 \mu\text{m}^2 \cdot \text{cm}$,设置5种裂缝半长方案,分别为60 m, 80 m, 100 m, 120 m, 140 m,进行模拟计算10年,不同裂缝半长的日产油量变化曲线如图4所示,累积产油量随裂缝半长的变化曲线如图5所示。通过对比不同裂缝长度对水平井产能的影响,对压裂水平井的裂缝长度进行优化。

由图4可以看出,日产油量随着裂缝半长的增加而逐渐增加,说明裂缝长度的增加有利于提高水平井的产量。由图5可以看出,随着裂缝半长的增加,累积产油量逐渐增加,但是当裂缝半长大于100 m后,累积产油量增加幅度降低。另外,裂缝过长会缩短注入井与裂缝位置之间的距离,导致注入水向压裂水平井的突进。所以,综合考虑以上两点,在现有水平井-直井联合开发下,存在最佳的裂缝长度,裂缝半长100 m为最佳。

3.3. 裂缝导流能力的优化

由于在压裂施工过程中选用的支撑剂的种类不同,裂缝的宽度也就不一定相同,这就使得裂缝的导流能力也必然存在差异,所以,有必要研究裂缝导流能力的变化对压裂水平井产能的影响。将裂缝条数固定为5条,等间距分布,裂缝半长为100 m,设置5种裂缝导流能力方案,分别为5, 15, 25, 35, $45 \mu\text{m}^2 \cdot \text{cm}$,进行模拟计算10年,不同裂缝导流能力的日产油量变化曲线如图6所示,累积产油量随裂

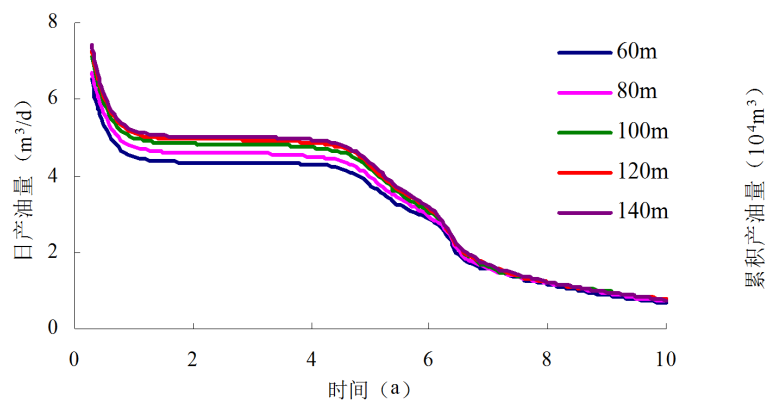


Figure 4. Daily oil production curve of different half length of fractures
图 4. 不同裂缝半长的日产油量曲线

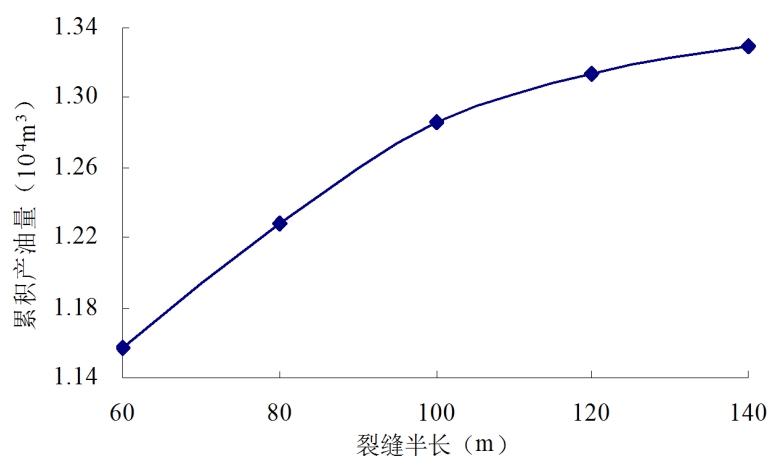


Figure 5. Cumulative oil production curve of different half length of fractures
图 5. 不同裂缝半长的累积产油量变化曲线

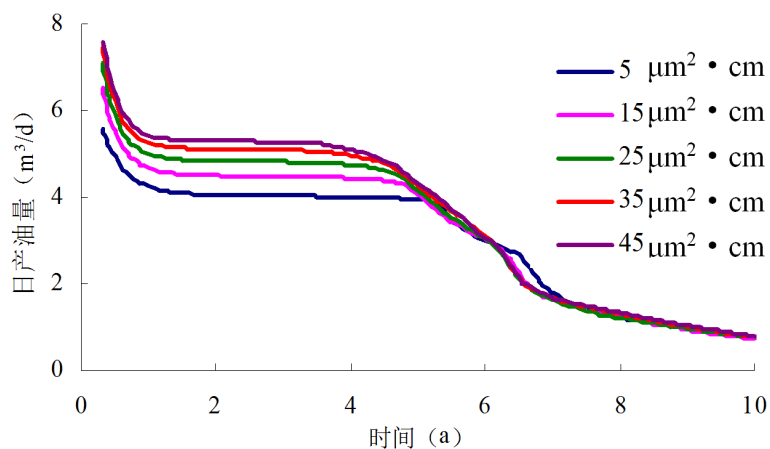


Figure 6. Daily oil production curve of different flow conductivity of fractures
图 6. 不同裂缝导流能力的日产油量曲线

缝导流能力的变化曲线如图 7 所示。通过对比不同裂缝导流能力对水平井产能的影响，对压裂水平井的裂缝导流能力进行优化。

由图 6 可以看出，裂缝导流能力对日产油量的影响主要表现在早期阶段，水平井日产油量随着裂缝

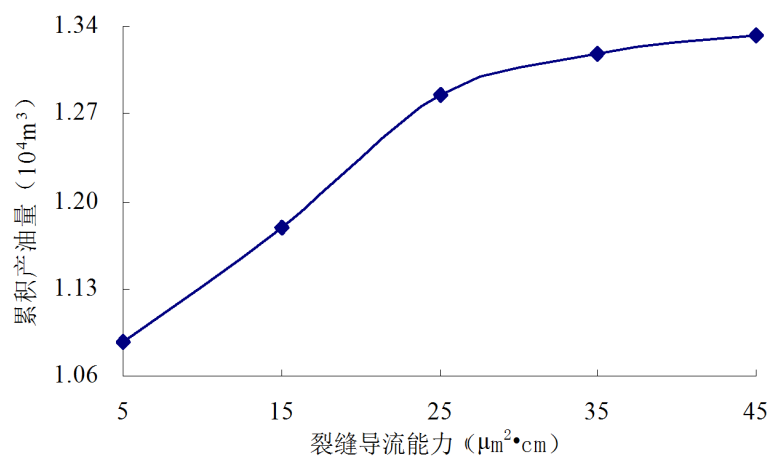


Figure 7. Cumulative oil production curve of different flow conductivity of fractures

图 7. 不同裂缝导流能力的累积产油量变化曲线

导流能力的增加而逐渐增加, 主要是由于近水平井地带油藏压力比较高, 且裂缝处于最大导流能力阶段。随着地层压力的降低以及裂缝导流能力的衰减, 日产油量曲线趋于相近。由图 7 可以看出, 随着裂缝导流能力的增加, 累积产油量逐渐增加, 但是当裂缝能力大于 $25 \mu\text{m}^2 \cdot \text{cm}$ 后, 累积产油量提高幅度明显降低, 所以, 在现有水平井 - 直井联合开发下, 最佳的裂缝导流能力为 $25 \mu\text{m}^2 \cdot \text{cm}$ 。

4. 结论

(1) 根据大庆某外围低渗透薄层水平井 - 直井联合开发油田的地质特征和开发特征, 应用油藏数值模拟 Eclipse 软件并采用 LGR 局部加密网格技术建立了具有代表性的水平井 - 直井联合开发井网的机理模型, 为优化压裂水平井的参数提供了基础。

(2) 根据机理模型, 对压裂水平井的相关参数进行了优化, 得到在现有水平井 - 直井联合开发下, 最佳的裂缝条数为 5 条, 最佳的裂缝半长为 100 m, 最佳的裂缝导流能力为 $25 \mu\text{m}^2 \cdot \text{cm}$ 。

基金项目

中国石油和化学工业联合会科技指导计划项目(2015-01-03)。

参考文献 (References)

- [1] 汪全林, 廖新武, 赵秀娟, 等. 特低渗油藏水平井与直井注采系统差异研究[J]. 断块油气田, 2012, 19(5): 608-611.
- [2] 朱铭. 水平井 - 直井联合布井跟踪调整方法研究[D]: [硕士学位论文]. 大庆: 东北石油大学, 2011.
- [3] 李继丰, 李增庆, 胥昊. 大庆敖南油田水平井区三维地质建模及水平井优化设计[J]. 石油工程技术, 2014(5): 55-57.
- [4] 李云峰. 敖南油田薄差储层描述与水平井开发的可行性及优化[J]. 大庆石油学院学报, 2008, 32(4): 47-51.
- [5] 牛彦良, 李莉. 特低丰度油藏水平井开发技术研究[J]. 大庆石油地质与开发, 2006, 25(2): 28-30.
- [6] 崔茂蕾, 王一可, 黄小雷, 等. 大庆外围油田压裂水平井参数优选及渗流特征[J]. 科技导报, 2011, 29(23): 45-49.
- [7] Mcdaniel, B.W. and Willett, R.M. (2002) Stimulation Techniques for Low-Permeability Reservoirs with Horizontal Completions That Do Not Have Cemented Casing. *SPE Gas Technology Symposium*, Calgary, 30 April-2 May 2002, Document ID: SPE-75688-MS.
- [8] 王永辉, 蒋阡, 路勇. 低渗层重复压裂的油藏数值模拟研究[J]. 石油勘探与开发, 1997(1): 47-49.
- [9] 马新仿, 樊凤玲, 张守良. 低渗气藏水平井压裂裂缝参数优化[J]. 天然气工业, 2005, 25(9): 61-63.

- [10] 赵振峰, 吴晓东, 黄伟, 等. 特低渗透油藏压裂水平井产能影响因素分析[J]. 石油钻采工艺, 2011, 33(4): 81-82.
- [11] Raghavan, R., Chen C.-C. and Agarwal, B. (1994) An Analysis of Horizontal Wells Intercepted by Multiple Fractures. *SPE/CIM/CANMET International Conference on Recent Advances in Horizontal Well Applications*, Calgary, 20-23 March 1994, Document ID: PETSOC-HWC-94-39.
- [12] 张学文, 方宏长, 裘怿楠, 等. 低渗透率油藏压裂水平井产能影响因素[J]. 石油学报, 1999, 20(4): 51-55.
- [13] 杨勇, 苏海芳, 侯中昊, 康元勇. 水平井开发低渗透砂岩油藏[J]. 油气地质与采收率, 2002, 9(2): 23-25.
- [14] 曲占庆, 赵英杰, 温庆志, 于娇娇, 刘广忠. 水平井整体压裂裂缝参数优化设计[J]. 油气地质与采收率, 2012, 19(4): 106-110.
- [15] 高海红, 程林松, 曲占庆. 压裂水平井裂缝参数优化研究[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2006, 21(2): 29-32.
- [16] 曾凡辉, 郭建春, 徐严波, 赵金洲. 压裂水平井产能影响因素[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(4): 474-477.