

北特鲁瓦底水油藏水平井分段酸压技术应用研究

张群双

捷贝通石油技术集团股份有限公司, 四川 成都
Email: zhangqunshuang@163.com

收稿日期: 2021年4月7日; 录用日期: 2021年5月11日; 发布日期: 2021年5月18日

摘要

北特鲁瓦油田是岩性-构造双重控制的多断块边底水油气藏, 具有低孔低渗、地层压力低、易压窜底水层等改造难题。通过对该油田多井开采层含水变化情况进行分析, 得出油水预测界面, 对比以往安全压裂改造规模与油水纵向距离间的关系, 结合地应力解释和裂缝模拟等深入研究, 最后针对H817井提出连续油管水力喷砂射孔环空酸压工艺改造方案, 酸化和酸压同井实施, 同时采用水力喷射、组合酸、多级交替注入等集成技术模式, 顺利完成14段酸化作业, 取得了多项成果, 如区域内相同段数规模下施工周期最短, 施工后自喷生产, 日产液过万方, 日产气过万方。该井解决方案解决了多项改造难题, 为同类井提供了技术参考。

关键词

北特鲁瓦, 底水, 连续油管, 水力喷射, 多级交替注入

Application & Study of Acid Fracturing Technology of Sectional Horizontal Well on Bottom Water Reservoir in North Troy

Qunshuang Zhang

Gepetto Oil Technology Group Co. Ltd., Chengdu Sichuan
Email: zhangqunshuang@163.com

Received: Apr. 7th, 2021; accepted: May 11th, 2021; published: May 18th, 2021

Abstract

North Trova oilfield is a multi-fault block edge and bottom water reservoir controlled by lithology and structure, which has some difficult problems, such as low porosity and low permeability, low formation pressure, easy pressure channeling bottom water layer and so on. Through the analysis of the water cut change of the multi-well production layer in the oil field, the oil-water prediction interface is obtained, and the relationship between the previous safe fracturing transformation scale and the oil-water vertical distance is compared, combined with in-depth study of *in-situ* stress interpretation and fracture simulation. Finally, the modification scheme of coiled tubing hydraulic sandblasting perforation annular acid fracturing process is put forward for H817 well, and acidizing and acid fracturing are carried out in the same well. At the same time, the integrated technical modes such as hydraulic injection, combined acid and multi-stage alternating injection were adopted, and 14 sections of acidizing operation were successfully completed, and a number of achievements were obtained, such as the shortest construction period under the same number of sections in the region, self-spraying production after construction, daily production of more than 100 square meters of liquid, daily production of gas of more than ten thousand square meters. The solution of this well solves a number of reconstruction problems and provides a technical reference for similar wells.

Keywords

North Truva Oilfield, Bottom Water Reservoir, Coiled Tubing, Hydraulic Injection, Multi-Stage Alternating Injection

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 前言

对于水平井碳酸盐岩储层的酸压改造,国内外已经形成和发展了多项酸压工艺技术。按分段机械工具分主要有套管封隔器 + 滑套[1] [2] [3]、裸眼封隔器 + 滑套[4]、桥塞分段[5]、不动管柱水力喷射[6]、连续油管拖动水力喷射[7] [8]、暂堵分段[9] [10] [11]等多种技术。

影响水平井分段酸压改造效果的主要因素是酸液有效作用距离和酸蚀裂缝导流能力[12],与储层性质、酸液性质和酸压施工参数均有关系,其中酸压施工参数主要有酸液类型、施工排量、酸液规模等。目前,水平井酸压通常分段跨度都比较大,滤失也较大,造成有效作用距离较短,于是便通过加大酸液规模来弥补,但这对于底水油藏却是不可取的,因为很容易压窜水层,过快水淹。针对北特鲁瓦油田底水油藏水平井酸压,需要探索新的解决方案。

2. 目标井基本数据

北特鲁瓦油田位于扎纳诺尔油田南部 30 Km 处,行政上隶属于阿克纠宾州穆戈让拉斯基区和白甘宁区之间。构造上位于滨海海盆地东部边缘区[13]。于 2003 年通过二维地震发现北特鲁瓦构造,后于 2006 年 7 月通过试油在石炭系碳酸盐沉积旋回中获得了油气流。

H817 井为北特鲁瓦油田的一口新完钻开发水平井。该井油藏类型为岩性 - 构造双重控制的多断块边

底水油气藏。采取反九点法井网开发，井距 700 m。目的层位为 KT-I，岩性为石灰岩。KT-I 储层中部深度为 2385 m，原始地层压力为 23.46 MPa，压力系数为 0.98，属正常压力系统，目前预测地层压力为 15.1 MPa。KT-I 油层组地温梯度 1.74℃/100m，为中等地温系统，测井显示地层温度为 55℃。储渗空间为孔隙型，天然裂缝不发育。水平段孔隙度为 5.9%~11.4%，含油气饱和度为 70.8%~85.9%，渗透率为 0.4~9 md，泥质含量为 2.7%~6.1%。主力油层厚度为 10.4 m (垂厚 8.3 m)。水平段测井解释 698 m，油层钻遇率 64.5%。水平段方位为 314.8°。

H817 井首先实施导眼井，主眼采用三开井身结构。油层套管为 177.8 mm 和 139.7 mm 组合套管，固井完井。如图 1。

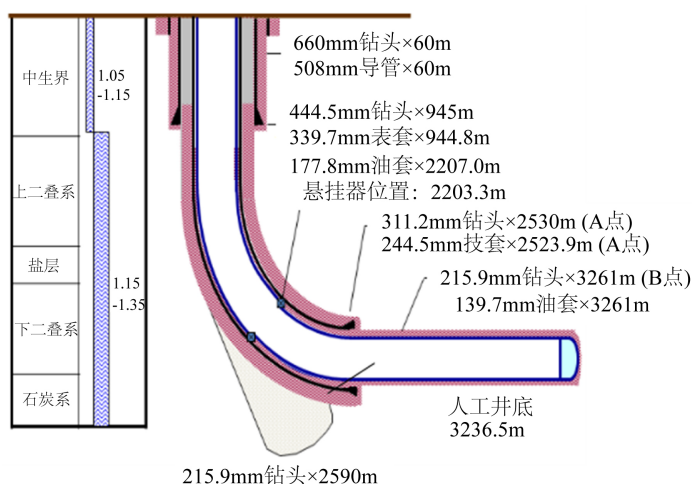


Figure 1. Bore structure chart of H817 well
图 1. H817 井井身结构图

3. 油藏分析评价

3.1. 油水界面分析

H817 井区周边有 8 口邻井，其中有助于判断油水界面的井有 4 口井。见图 2。

1) 与 H817 井目的层 A2 同层位并且动用的只有 600 井产水，且含水上升为 2013 年 3 月，此时邻井尚未注水，经判断出水为地层水。

2) 新完钻井 598 井的 A2 油层底界海拔-2151.6 m，生产不出水。

3) 油层位置最低部位在 CT-39 井，底界海拔-2155.5 m，生产几乎不出水。

4) H817 导眼井解释油水同层顶界海拔-2166.0 m。

综上判断：H817 井出水层位为下部 A3 层，油水界面位置在-2155.5 m~2158.0 m 之间，若按-2155.5 m 考虑，H817 井 A 点距离油水界面 49.1 m，B 点距离油水界面 29.7 m。

3.2. 地应力解释分析

根据 10 口成像测井解释成果，KT-I 层最大水平主应力方向为北西 - 南东方向。而 H817 井参考方位最为可靠的范围是 275°~295°，故取中值为 285°。H817 井水平段方位为 314.8°，因此夹角 29.8°，夹角较小，不利于形成横切缝。

根据导眼井地应力解释结果显示：上部泥岩隔层应力为 36.6~44 MPa；目的储层应力为 33.5~36.6

MPa; 下部灰岩隔层应力为 36.6~37 MPa。如图 3。缝高更易于向下扩展, 沟通底水, 因此需要适度控制改造规模。

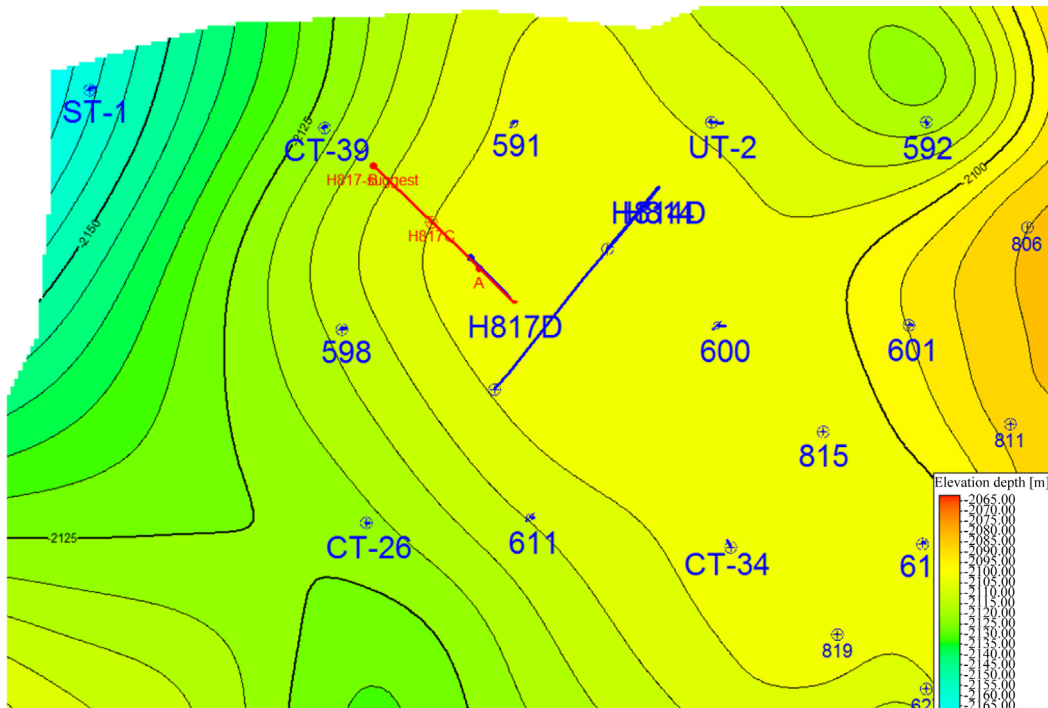


Figure 2. Top structural map of KT-I

图 2. KT-I 顶面构造图

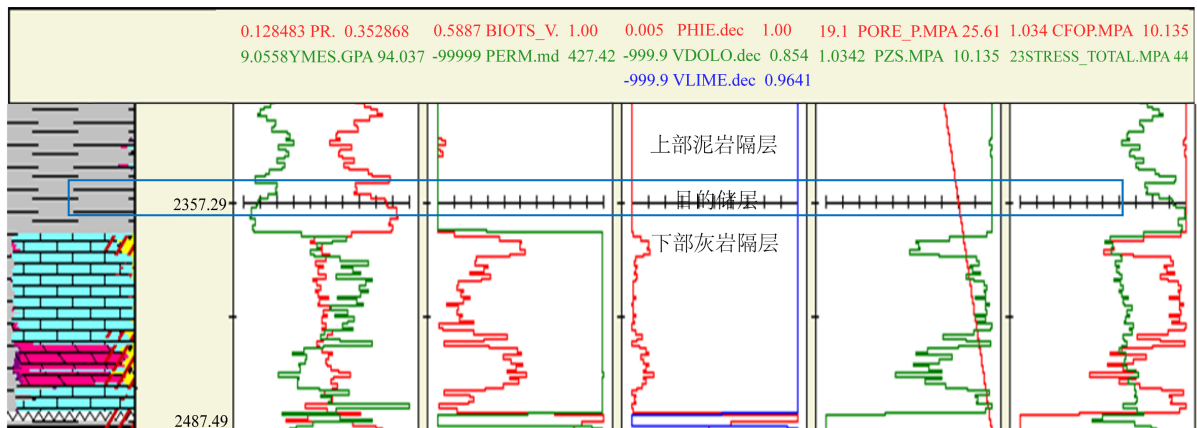


Figure 3. Geostress interpretation map of H817 pilot hole

图 3. H817 导眼井地应力解释图

3.3. 改造难点分析

- 1) 目前地层压力较低, 地层能量亏空。
- 2) 水平段较短, 单控储量小。
- 3) 水平段离油水界面较近, 最短距离 29.7 m, 压窜水层风险较大。
- 4) 碳酸岩储层易产生多裂缝, 液体滤失大, 通常缝宽较窄, 易砂堵, 加砂施工风险大。

5) 井筒轴线与最大主应力方位夹角较小, 不利于形成为横切缝, 影响产能最大化。

4. 酸压技术研究

北特鲁瓦油田前期应用的酸压工艺有裸眼封隔器 + 滑套分段、连续油管拖动分段两种。但裸眼封隔器 + 滑套分段酸压工艺改造段数有限, 储层动用差, 施工排量较小, 酸液滤失较大, 酸压效果差[14]; 连续油管拖动分段酸压工艺通过细密切割, 取得了较好的改造效果。但由于本井是底水油藏, 且有其它的改造难点, 故除了采用连续油管拖动分段酸压工艺外, 还应进一步优化。提出酸化、酸压同井实施, 分别进行施工参数优化; 优选 5 种液体体系, 优势互补, 实现深度酸压改造。

4.1. 酸压工艺优选

本井为套管完井, 水平段较长, 有底水, 水窜风险高。由于笼统酸压, 滤失较大, 有效作用距离较短, 改造效果难以保证; 桥塞分段酸压相应施工排量较高, 酸蚀缝高容易失控, 沟通底水, 造成水淹; 不动管柱水力喷射酸压, 井下工具接触酸时间长, 工程风险较高。

综合考虑工程风险、施工周期及改造需求, 优选连续油管带底封拖动分段酸压工艺技术, 水力喷砂射孔后, 通过油套环空进行主压裂, 实现水力喷射射孔与压裂联作。该酸压工艺无需另行射孔, 一趟管柱可以连续施工 10~16 段, 能减少起下钻作业次数, 缩短了作业周期, 能精准地在指定位置形成裂缝, 易实施水平段细密切割, 实现广义上的体积改造, 提高酸压效果。

通过邻井分析总结出油底离底水距离大于 30 m 时实施酸压是安全的。由于 817 井油水距离是 B 点向 A 点方向逐渐增大, B 点油底离油水距离最近为 26 m, 斜深小于 3158 m 后, 油底与油水界面的距离大于 30 m。因此考虑在 3158 m 附近为酸化和酸压分界点。斜深大于 3158 m 为酸化段, 斜深小于 3158 m 为酸压段。同时从施工周期和施工成本综合考虑, 均采用水力喷砂射孔。

4.2. 酸液体系优选

通过室内实验室的多次优选和现场多井实施的经验, 经不断地改进和优化, 将工作流体确定为清洁自转向酸 + 降阻酸 + 胍胶 + 闭合酸 + 活性水五种液体体系的组合。这五种液体体系各有优点[15], 可以产生优势互补, 从而取得最优的改造效果。

1) 利用降阻酸低黏度、低摩阻的特点, 作为前置酸来建立排量, 并形成早期导流通道, 帮助后续流体顺利注入; 作为交替液与转向酸多级交替注入, 实现深度改造[16];

2) 利用清洁自转向酸变黏特性, 作为主体酸, 高黏时在溶蚀裂缝中暂堵转向, 提高裂缝复杂程度, 增大改造体积, 同时实现深度均匀酸压;

3) 胍胶液具有滤失小、造缝效率高等特点, 可以有效的降低酸液滤失, 提高液体效率;

4) 利用闭合酸, 在裂缝闭合过程中继续溶蚀缝口, 防止裂缝完成闭合, 从而保持裂缝高导流能力;

5) 活性水作为顶替液使用。

4.3. 压裂设计参数优化

4.3.1. 喷砂射孔参数优化

喷点选择物性好、含油气显示好, 含油气段较长的位置, 避开套管接箍和固井质量不好的位置。本井采用 2"连续油管, 油管内径 41.91 mm, 长度 5120 m。各段通过水力喷砂射孔, 喷嘴数量为 4 个, 相位角为 90°, 直径为 4.75 mm, 射孔直径 > 20 mm, 磨料采用 20/40 目石英砂, 单段用量为 0.6~1.0 m³。优化的喷射排量为 0.8 m³/min, 对应的射流速度为 212 m/s, 能够满足射孔要求[5] [8]。

4.3.2. 主体酸压参数优化

1) 分段段数优化

因以 3158 m 附近为酸化和酸压分界点。斜深大于 3158 m 为酸化段，斜深小于 3158 m 为酸压段，通过产能模拟显示，共分 14 段为最优。前 3 段为酸化段，后 11 段为酸压段。如图 4。

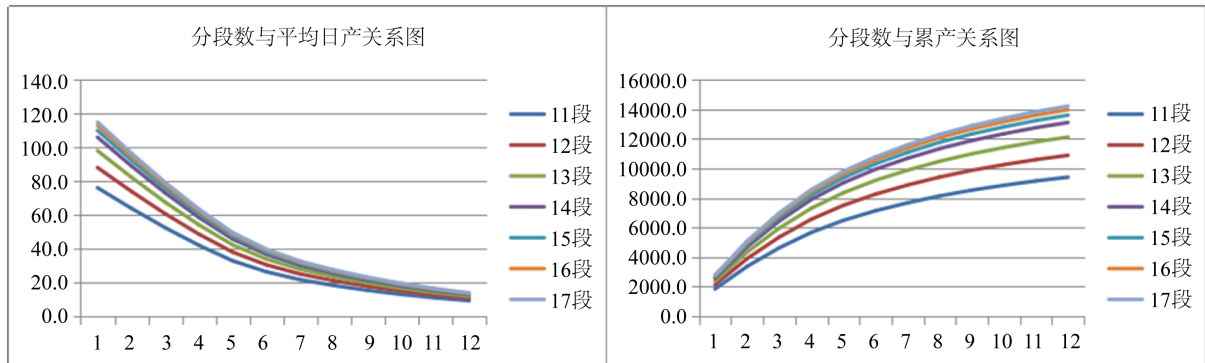


Figure 4. Capacity simulation and optimization chart

图 4. 产能模拟优化图

2) 酸化参数优化

前 3 段在水平井趾端附近，物性好，但井眼相对靠近下部，油水距离较近，为了防止沟通水层，采用小排量酸化处理，段间距约 30 m，通过软件模拟优化的每段酸量规模均为 40 m³。如图 5。

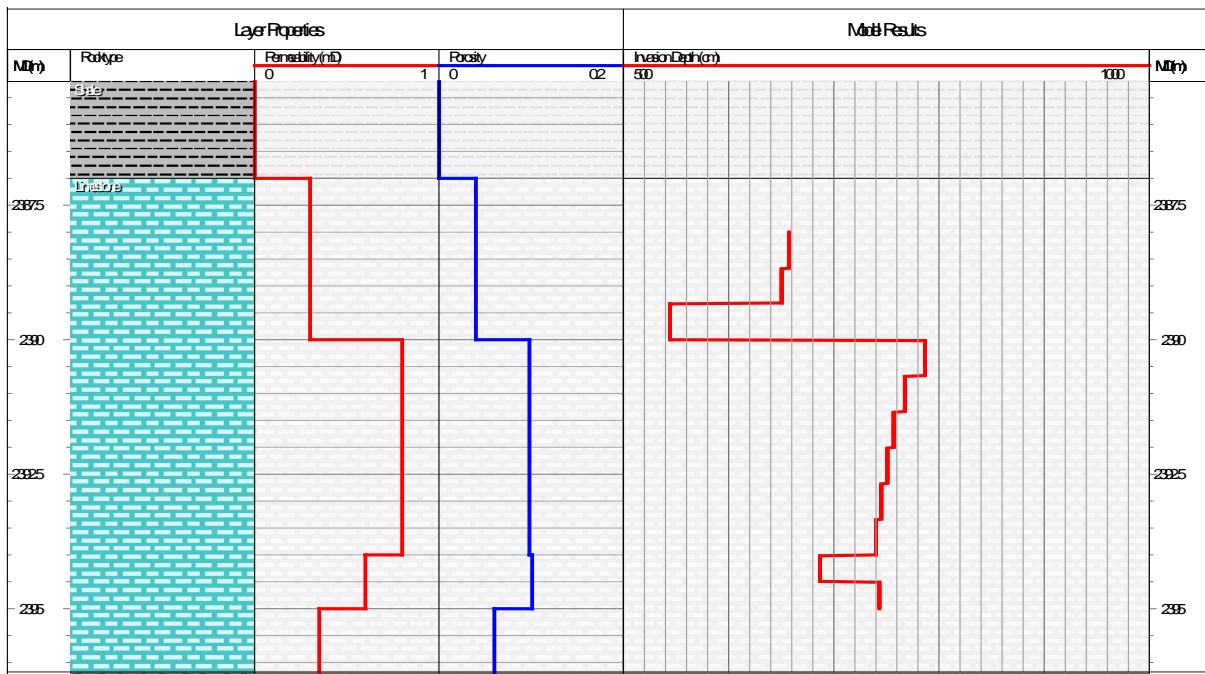


Figure 5. Acidizing software simulation chart

图 5. 酸化软件模拟图

3) 酸压参数优化

后 11 段油水距离较远，采取大排量酸压改造，段间距范围为 49~67 m，具体间距依水平段物性、含油气性固井质量等定。通过软件模拟优化的每段酸量规模为 80~120 m³。如图 6。

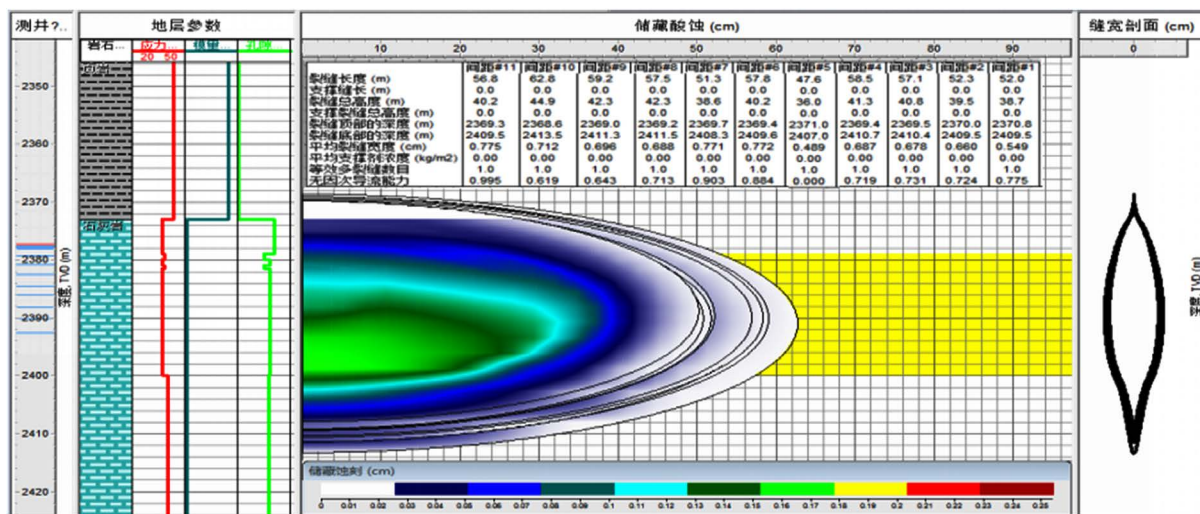


Figure 6. Fracture profile of acid fracturing simulation
图 6. 酸压模拟裂缝剖面图

软件模拟结果显示，施工排量小于 6 m³/min，酸液用量在 80~120 m³ 范围内，裂缝高度未出现较多无效扩展；而当施工排量 6 m³/min 时，酸液用量超过 130 m³，裂缝高度出现较多无效扩展。因此，本井酸液规模优化为 80~120 m³，排量优化为 5~6 m³/min。如图 7~10。

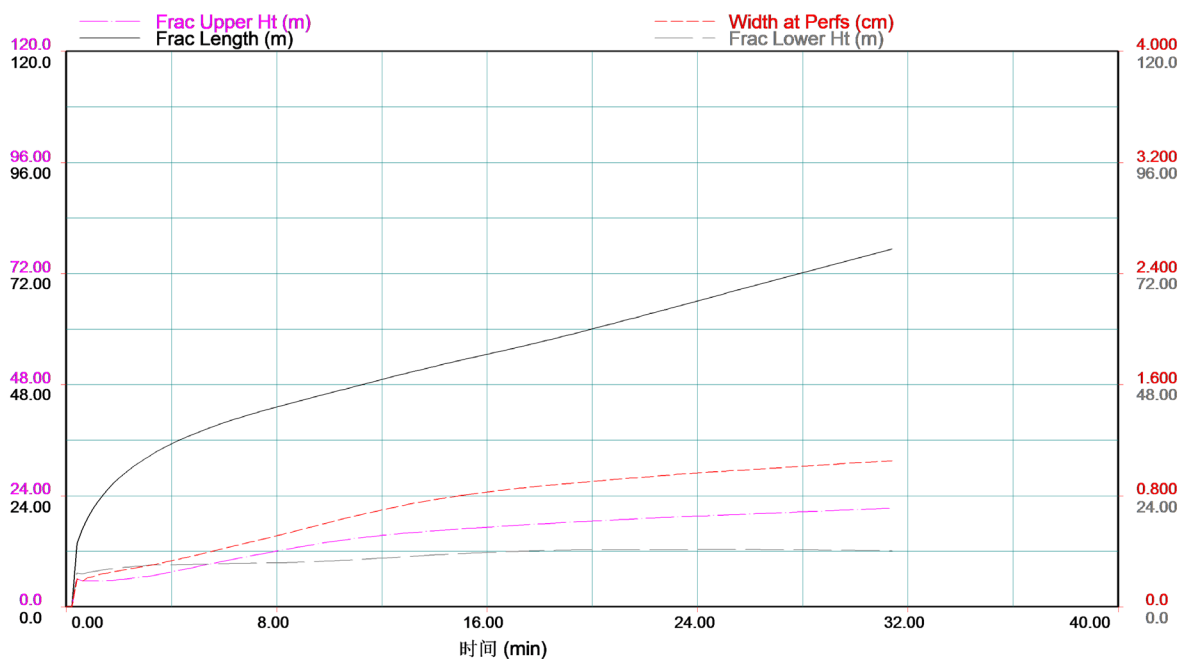


Figure 7. The acid content is 80 m³, the discharge rate is 4 m³/min, and the fracture height does not show much invalid expansion
图 7. 酸量 80 m³，排量 4 m³/min，裂缝高度未出现较多无效扩展

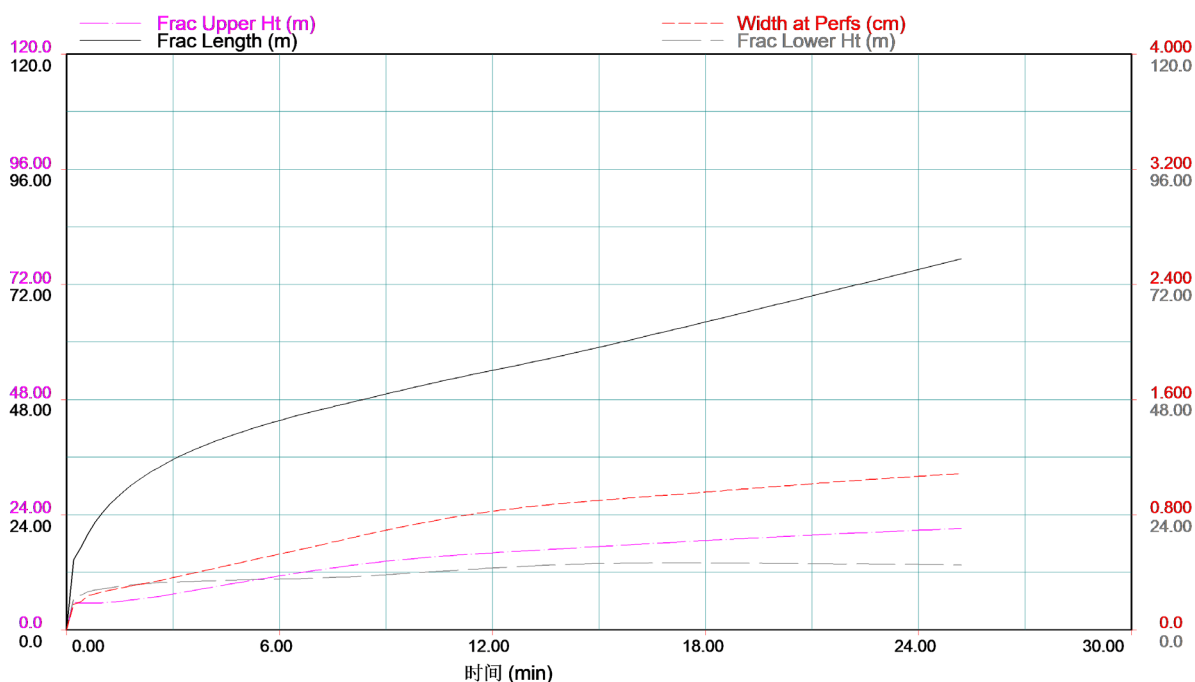


Figure 8. The acid content is 80 m^3 , the discharge rate is $5 \text{ m}^3/\text{min}$, and the fracture height does not show much invalid expansion

图 8. 酸量 80 m^3 ，排量 $5 \text{ m}^3/\text{min}$ ，裂缝高度未出现较多无效扩展

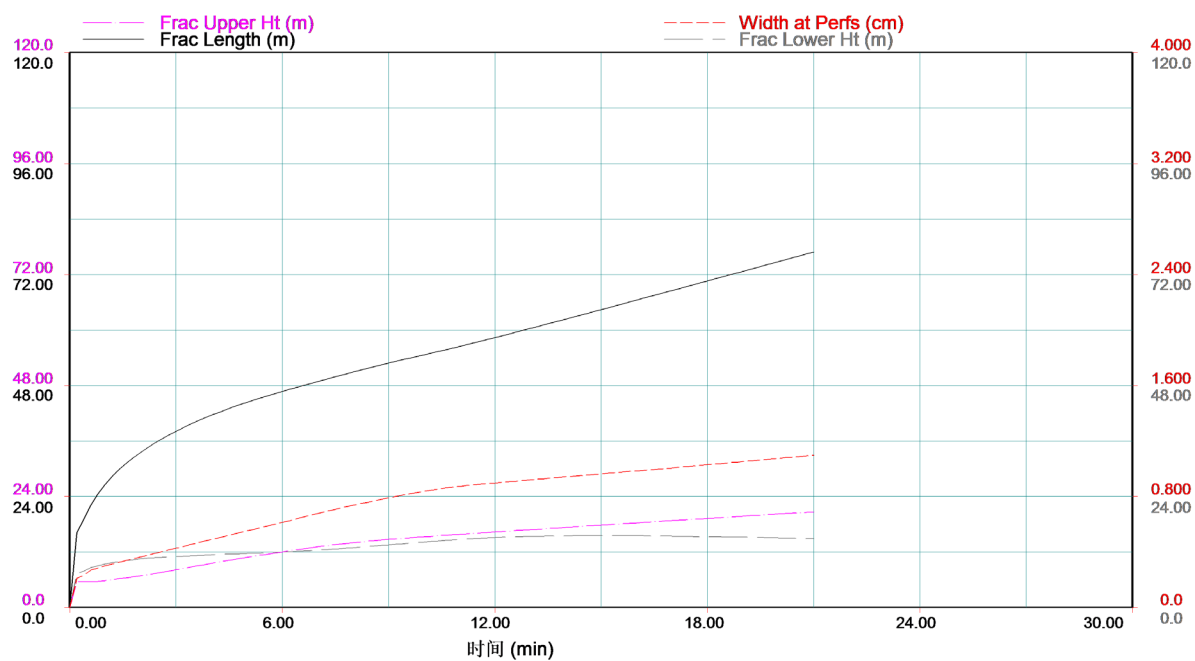


Figure 9. The acid content is 80 m^3 , the discharge rate is $6 \text{ m}^3/\text{min}$, and the fracture height does not show much invalid expansion

图 9. 酸量 80 m^3 ，排量 $6 \text{ m}^3/\text{min}$ ，裂缝高度未出现较多无效扩展

5. 施工及投产情况

历时 3 天完成全部 14 段施工，共注入酸量 803 m^3 ，其中降阻酸 312 m^3 ，清洁自转向酸 270 m^3 ，闭

合酸 38 m³, 稠化酸 183 m³, 另外胍胶液 136 m³, 活性水 580 m³。

施工后自喷生产, 最高日产液 115 m³, 最高日产气 1.12×10^4 m³。

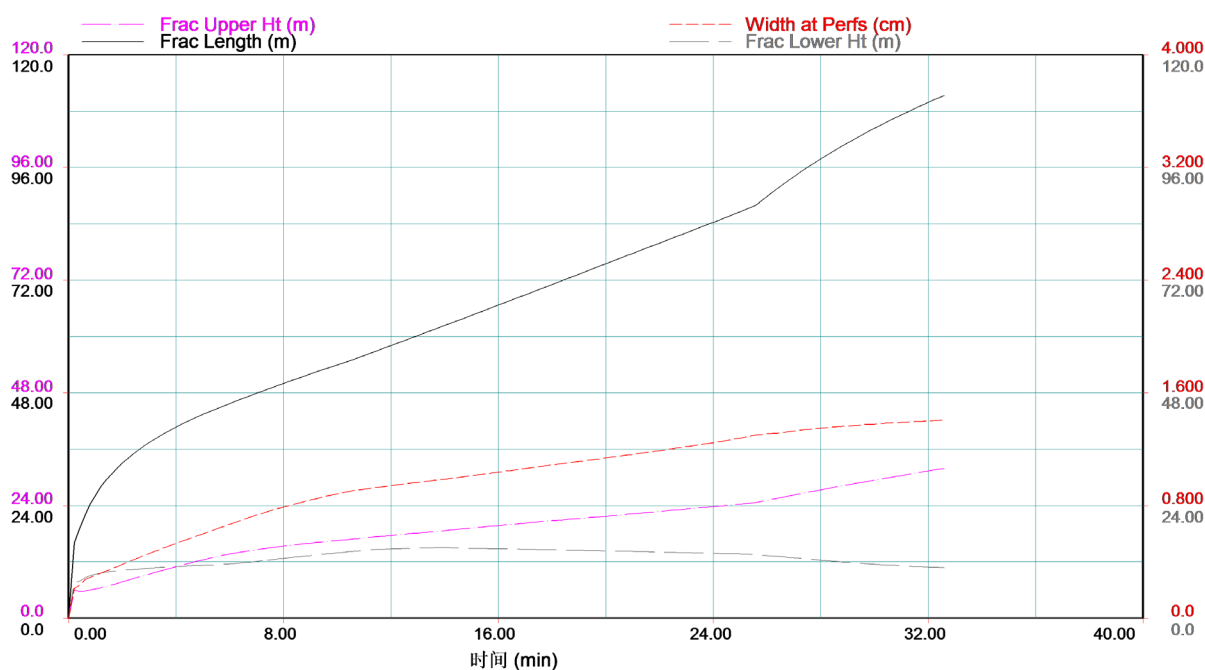


Figure 10. The acid content is 130 m³, the discharge rate is 6 m³/min, and the fracture height does not show much invalid expansion

图 10. 酸量 130 m³, 排量 6 m³/min, 裂缝高度未出现较多无效扩展

6. 结论

底水油气藏, 仍然是世界上油气开发的难点之一, 特别是底水油藏中的碳酸盐岩水平井改造, 存在易沟通水层、酸蚀裂缝短、改造效果差、有效生产周期短等问题。

通过对北特鲁瓦油田井 H817 井的具体分析, 提出了多项增产措施。优选了连续油管水力喷砂射孔环空酸压工艺, 并从分段数、液体体系、喷砂射孔参数、酸压施工参数等方面进行了设计优化, 利用组合液体体系的优势互补, 提高了溶蚀裂缝的复杂程度, 实现了深度均匀酸化, 利用酸化、酸压同井实施, 有效降低了压窜水层的风险, 为同类井提供了技术参考。

参考文献

- [1] 张群双, 李民, 张佩波. 静 52-H1Z 井分段布酸酸化技术[J]. 石油钻采工艺, 2014(3): 79-81.
- [2] 杨晓莉, 颜晋川. 河坝嘉二气藏衬管完井及分流酸化技术[J]. 油气井测试, 2021, 30(1): 41-45.
- [3] 雷林, 张龙胜, 熊炜. 渝东南地区茅口组气藏大石 1HF 井酸压工艺技术研究[J]. 油气藏评价与开发, 2020, 10(5): 84-90.
- [4] 艾昆, 贾光亮, 张会师, 等. 水平井分段转向酸酸化压裂技术[J]. 特种油气藏, 2014, 21(3): 148-150.
- [5] 储铭汇, 何青, 陈付虎, 等. 大牛地气田下古生界碳酸盐岩气藏水平井固井完井及改造方式优化探讨[J]. 石油地质与工程, 2017, 31(3): 114-117.
- [6] 龚蔚. 深层裂缝型碳酸盐岩油藏水平井水力喷射酸压技术[J]. 断块油气田, 2020, 27(6): 808-811.
- [7] 戴勇, 郝力博, 康克利, 等. 北特鲁瓦油田 H814 井钻完井及储层改造一体化设计及应用[J]. 新疆石油天然气, 2017, 13(1): 45-48.

-
- [8] 王天祥, 宋会光, 林宣义, 等. 酸化压裂技术在北特鲁瓦油田的应用[J]. 中国石油和化工, 2016, 1(S1): 291-288.
- [9] 王涛, 赵兵, 曲占庆, 等. 塔河老区井周弱势通道暂堵酸压技术[J]. 断块油气田, 2019, 26(6): 794-799.
- [10] 郭建春, 苟波, 秦楠, 等. 深层碳酸盐岩储层改造理念的革新——立体酸压技术[J]. 天然气工业, 2020, 40(2): 61-74.
- [11] 宋志峰, 胡雅洁, 吴庭新. 水平井无工具分段酸压方法在塔河油田的应用[J]. 新疆石油地质, 2016(6): 738-740.
- [12] 埃克诺米德斯, 张保平. 油藏增产措施[M]. 第3版. 北京: 石油工业出版社, 2002.
- [13] 张宝露, 张敏, 李维锋, 等. 滨里海盆地北特鲁瓦油田上石炭统碳酸盐岩沉积相研究与有利储层预测[J]. 科学技术与工程, 2015, 15(12): 34-43.
- [14] 申贝贝, 何青, 陈付虎, 等. 大牛地气田下古生界气藏裸眼水平井分段酸压效果影响因素分析[J]. 天然气勘探与开发, 2015, 38(4): 44-47.
- [15] 陈志海, 戴勇. 深层碳酸盐岩储层酸压工艺技术现状与展望[J]. 石油钻探技术, 2005(1): 58-62.
- [16] 丁柯宇, 冯强, 陈保山, 等. 超深水平井分段酸化压裂增产措施研究[J]. 辽宁化工, 2018, 47(9): 911-913.