

压裂试油工艺对提高油田采收率的影响分析

程 雷

中国石油集团大港油田公司第一采油厂 天津 300280

摘 要：本文深入探讨了压裂试油工艺的基本原理、常见类型及其在油田开发中的应用现状，详细分析了压裂试油工艺对提高油田采收率的多方面影响，包括改善油藏渗透性、增加泄油面积、优化油井生产动态等。同时，结合案例，进一步验证了压裂试油工艺在提高采收率方面的显著效果，并针对工艺应用过程中存在的问题提出了相应的改进措施，旨在为油田开发工作者提供有价值的参考，推动压裂试油工艺在提高油田采收率方面的进一步应用与发展。

关键词：压裂试油工艺；油田采收率；油藏渗透性；泄油面积

1 引言

油田采收率是指在一定的经济极限内，从油藏中能采出的石油量占原始地质储量的百分比。提高油田采收率对于保障国家能源安全、提高石油企业的经济效益具有重要意义。在油田开发过程中，随着开采时间的推移，油藏压力逐渐下降，油层渗透率降低，油水关系变得复杂，导致油井产量递减，采收率难以进一步提高。压裂试油工艺通过在油层中形成人工裂缝，改善油藏的渗流条件，使原本难以采出的原油能够流入井筒，从而提高单井产量和油田采收率。因此，深入研究压裂试油工艺对提高油田采收率的影响具有重要的理论和实际价值。

2 压裂试油工艺概述

2.1 压裂试油工艺的基本原理

压裂试油工艺是利用地面高压泵组，将高粘液体以大大超过地层吸收能力的排量注入井中，在井底憋起高压，当此压力大于井壁附近的地应力和地层岩石的抗张强度时，便在井底附近地层产生裂缝。继续注入带有支撑剂的携砂液，裂缝向前延伸并填以支撑剂，关井后裂缝闭合在支撑剂上，从而在井底附近地层内形成具有一定几何尺寸和导流能力的填砂裂缝，使油井达到增产增注的目的。试油则是在压裂后对油井的产能、油层压力、温度等参数进行测试，以评价压裂效果和油层的生产能力。

2.2 常见压裂试油工艺类型

①水力压裂：这是目前应用最广泛的压裂工艺。根据施工规模和目的的不同，又可分为普通水力压裂、大型水力压裂等。普通水力压裂主要用于低渗透油藏的改造，施工规模相对较小；大型水力压裂则适用于特低渗透、致密油藏等，通过大规模注入压裂液和支撑剂，形成更长的裂缝，提高油井产量^[1]。②酸化压裂：将酸液与压裂液混合注入地层，酸液对裂缝壁面进行腐蚀，形成

不均匀的刻蚀裂缝，同时支撑剂支撑裂缝，增加裂缝的导流能力。酸化压裂适用于碳酸盐岩等易被酸液溶蚀的地层。③泡沫压裂：以泡沫流体作为压裂液，泡沫流体具有粘度高、滤失量小、对地层伤害小等优点，特别适用于低压、水敏性地层的压裂改造。

2.3 压裂试油工艺在油田开发中的应用现状

随着油田开发技术的不断进步，压裂试油工艺在国内外油田得到了广泛应用。在我国，各大油田如大庆、胜利、长庆等，都大量采用压裂试油工艺对老油田进行二次开发以及对新油田进行开发。通过不断优化压裂参数、改进压裂液和支撑剂性能，压裂试油工艺在提高油田采收率方面取得了显著成效。同时，随着非常规油气资源（如页岩气、致密油等）的开发，压裂试油工艺也不断发展和创新，如水平井分段压裂技术等，为非常规油气资源的有效开发提供了有力支持。

3 压裂试油工艺对提高油田采收率的影响分析

3.1 改善油藏渗透性

3.1.1 形成人工裂缝增加渗流通道

在油藏中，天然裂缝和孔隙的分布往往不均匀，且部分区域的渗透率较低，限制了原油的流动。压裂试油工艺通过在油层中形成人工裂缝，为原油提供了新的渗流通道。这些人工裂缝的导流能力远高于天然孔隙，使得原油能够更顺畅地从油藏流入井筒。例如，在一些低渗透油藏中，原本原油几乎无法流动，经过压裂后，人工裂缝成为主要的渗流通道，大大提高了油藏的渗透性。

3.1.2 沟通天然裂缝和孔隙

压裂过程中产生的人工裂缝可以与油藏中的天然裂缝和孔隙相互沟通，形成一个复杂的渗流网络。这不仅增加了原油的流动路径，还扩大了原油的流动范围，使更多的原油能够参与到流动过程中。通过这种沟通作用，原本被孤立局部区域的原油也能够被开采出来，

从而提高了油田的采收率。

3.2 增加泄油面积

3.2.1 扩大油井控制范围

在未压裂的油井中，其泄油面积主要受油层渗透率、油井半径等因素的限制。压裂试油工艺形成的人工裂缝向油层深处延伸，使得油井的控制范围大大扩大。原本距离井筒较远的原油，由于人工裂缝的存在，能够更快地流入井筒^[2]。例如，通过大规模水力压裂，油井的泄油面积可以增加数倍甚至数十倍，从而显著提高了单井产量和油田的采收率。

3.2.2 提高油藏动用程度

随着泄油面积的增加，油藏的动用程度也相应提高。在油田开发过程中，由于油藏的非均质性，部分油层区域可能未被充分动用。压裂试油工艺通过增加泄油面积，使这些未被充分动用的区域得到开发，提高了油藏的整体采收率。特别是在老油田的二次开发中，压裂试油工艺对于挖掘剩余油潜力、提高油田最终采收率具有重要意义。

3.3 优化油井生产动态

3.3.1 降低油井生产压差

在未压裂的油井中，由于油层渗透率较低，为了维持一定的产量，需要较大的生产压差。这不仅增加了油井的生产能耗，还容易导致油层出砂、水窜等问题，影响油井的正常生产。压裂试油工艺形成的人工裂缝提高了油层的导流能力，使得原油能够以较小的阻力流入井筒，从而降低了油井的生产压差。较低的生产压差有利于延长油井的生产寿命，减少油井故障的发生，提高油田的采收率。

3.3.2 稳定油井产量

压裂试油工艺可以改善油井的生产动态，使油井产量更加稳定。在未压裂的油井中，产量往往随着开采时间的推移而迅速递减。而经过压裂后，由于人工裂缝的存在，油井的产能得到提高，产量递减速度明显减缓。同时，通过合理的压裂设计和施工参数优化，可以进一步延长油井的稳产期，提高油田的采收率。

3.4 对油藏流体分布的影响

3.4.1 改变油水界面

在油田开发过程中，油水界面的变化会影响油田的采收率。压裂试油工艺可能会改变油藏流体的分布，从而影响油水界面。例如，在压裂过程中，如果压裂液进入水层，可能会导致水层的水窜入油层，使油水界面上升；反之，如果压裂液能够有效地驱替原油，可能会使油水界面下降。通过合理控制压裂施工参数和压裂液性

质，可以尽量减少对油水界面的不利影响，甚至利用压裂工艺改善油水分布，提高油田的采收率。

3.4.2 促进原油驱替

压裂试油工艺形成的人工裂缝可以作为原油驱替的通道。在注水开发油田中，通过压裂可以增加注水井与采油井之间的连通性，使注入水能够更有效地驱替原油^[3]。同时，压裂液中的添加剂可能会改善原油与水的流度比，提高驱油效率。例如，在一些低渗透油藏的注水开发中，采用压裂增注技术后，注水井的吸水能力增强，采油井的产量提高，油田采收率得到显著提升。

4 案例分析：长庆油田姬塬油田压裂试油效果分析

4.1 油田概况

姬塬油田位于鄂尔多斯盆地中西部，是典型的低渗透、特低渗透油田。油藏埋深一般在2000-3000米，油层孔隙度平均为10%-12%，渗透率平均为0.3-0.5毫达西，原油粘度较高，自然产能极低，平均单井自然产能仅为0.5-1吨/天，常规开发方式难以实现经济有效开采。

4.2 压裂试油工艺应用

为提高姬塬油田的采收率，长庆油田广泛采用了水力压裂试油工艺。在压裂施工过程中，根据不同油层的地质特征和产能需求，对压裂参数进行了精细优化。针对姬塬油田油层敏感性特点，选用了低伤害的胍胶压裂液体系。该压裂液具有良好的携砂性能和滤失控制能力，同时对油层的伤害较小。在压裂液配方中，添加了适量的粘土稳定剂和破胶剂，以减少粘土膨胀和压裂液残渣对油层的损害。主要采用石英砂和陶粒作为支撑剂。对于浅层油层，选用粒径为0.425-0.85毫米的石英砂，成本较低且能满足裂缝支撑需求；对于深层油层，选用高强度的陶粒支撑剂，粒径为0.6-1.18毫米，抗压强度可达80兆帕以上，能有效抵抗地层闭合压力，保持裂缝长期导流能力。压裂液排量控制在每分钟3-5立方米，根据油层厚度和渗透率调整支撑剂用量，一般为每米裂缝0.5-1.2立方米。通过实时监测井底压力和排量，及时调整施工参数，确保压裂效果。

4.3 压裂试油效果

压裂后，油井产量显著提高。平均单井日产量达到5-8吨，较压裂前提高了5-8倍。部分高产井日产量甚至超过10吨，取得了良好的增产效果。经过多年生产跟踪，实施压裂试油工艺的区域采收率得到显著提升。与未实施压裂的区域相比，采收率提高了8-12个百分点。截至目前，姬塬油田通过压裂试油工艺已累计增产原油数百万吨，为油田的稳产增产做出了重要贡献。压裂试油工艺形成的人工裂缝有效沟通了油层中的天然孔隙和裂缝，扩大了

油井的控制范围,增加了油藏的动用程度。通过数值模拟和实际生产数据分析,压裂后油藏的有效动用面积增加了30%-50%,更多原本难以开采的原油得以动用。

4.4 原因分析

压裂形成的人工裂缝为原油提供了新的渗流通道,大大提高了油层的导流能力。原本渗透率极低的油层,经过压裂后,有效渗透率可提高10-20倍,使原油能够更顺畅地流入井筒。人工裂缝向油层深处延伸,扩大了油井的泄油半径,使更多油层区域参与到原油开采中来。原本只能开采到井筒附近有限范围内的原油,现在可以通过人工裂缝开采到更远处的原油,从而提高了单井产量和油田采收率。压裂后油井的生产压差降低,生产更加稳定。较低的生产压差减少了油层出砂、水窜等问题的发生,延长了油井的生产寿命。同时,稳定的生产动态也有利于油田的长期开发和管理。

5 压裂试油工艺应用中存在的问题及改进措施

5.1 存在的问题

一是压裂液对油藏的伤害:部分压裂液可能会与油藏岩石和流体发生化学反应,导致油层渗透率降低,影响压裂效果和油田采收率。例如,一些压裂液中的添加剂可能会引起油层粘土矿物的膨胀和运移,堵塞孔隙和裂缝。二是支撑剂性能不稳定:支撑剂的质量和性能直接影响人工裂缝的导流能力。如果支撑剂的强度不足、圆球度差或粒径分布不合理,可能会导致支撑剂在裂缝中破碎、嵌入地层或堵塞裂缝,降低裂缝的导流能力^[4]。三是压裂施工参数优化困难:压裂施工参数(如压裂液排量、压力、支撑剂用量等)的优化需要考虑油藏地质特征、岩石力学性质、流体性质等多种因素,优化过程复杂且难度较大。不合理的施工参数可能导致压裂效果不佳,甚至对油藏造成损害。四是压裂效果评价不准确:目前对压裂效果的评价方法还存在一定的局限性,难以准确评估人工裂缝的几何尺寸、导流能力以及对油田采收率的实际贡献。这给后续的油田开发决策带来了一定的困难。

5.2 改进措施

①研发低伤害压裂液:加强对压裂液的研究和开发,研发出与油藏岩石和流体相容性好、伤害低的压裂液。例如,采用清洁压裂液、泡沫压裂液等新型压裂液

体系,减少对油层的伤害。②提高支撑剂质量:加强对支撑剂生产过程的质量控制,提高支撑剂的强度、圆球度和粒径均匀性。同时,研发新型支撑剂材料,如高强度陶粒、树脂涂层支撑剂等,以提高支撑剂在裂缝中的稳定性和导流能力。③优化压裂施工参数:利用先进的数值模拟技术和现场试验数据,建立更加准确的压裂施工参数优化模型。综合考虑油藏地质特征、岩石力学性质、流体性质等因素,对压裂施工参数进行精细化优化,提高压裂效果。④完善压裂效果评价方法:结合微地震监测、测井解释、生产动态分析等多种手段,建立更加完善的压裂效果评价体系。通过实时监测压裂过程中裂缝的扩展情况,准确评估人工裂缝的几何尺寸和导流能力,为后续的油田开发提供科学依据。

结语

压裂试油工艺作为提高油田采收率的重要技术手段,在改善油藏渗透性、增加泄油面积、优化油井生产动态等方面发挥着重要作用。通过实际油田案例分析可以看出,压裂试油工艺能够显著提高油田的采收率,为油田的高效开发提供了有力支持。然而,在压裂试油工艺的应用过程中,还存在一些问题,如压裂液对油藏的伤害、支撑剂性能不稳定等。针对这些问题,需要采取相应的改进措施,如研发低伤害压裂液、提高支撑剂质量等。同时,为了推动压裂试油工艺的进一步发展,还需要加强技术创新、人才培养和行业合作与交流。未来,随着油田开发技术的不断进步,压裂试油工艺将不断完善和创新,为提高油田采收率、保障国家能源安全做出更大的贡献。

参考文献

- [1]张小丽.低成本低伤害油井压裂工艺技术研究[J].石河子科技,2025,(03):27-29.
- [2]王庆,苏煜彬,郭韬,等.油气储层压裂工艺新探索:恒定砂浓度加砂压裂方式下气井产能分析[J].中国石油和化工,2025,(04):46-48.
- [3]郭士英,席旦,兰天宇,等.侧钻水平井桥射联作分段压裂工艺技术研究[J].采油工程,2025,(01):1-9+79.
- [4]吴家豪.深层页岩气井压裂工艺难点及对策[J].中国石油和化工标准与质量,2025,45(06):160-162.