

酸化与压裂联合应用对油田经济效益的影响分析

李 翠 陶 洁 周 利 王中华 侯庆勇 (中国石化胜利油田河口采油厂, 山东 东营 257200)

摘要: 本文旨在探索酸化与压裂联合应用对油田经济效益的影响。文中概述了酸化与压裂技术的具体作用原理和联合应用机制, 并根据二者联合的技术效益分析了其对油田经济效益的影响。研究发现, 联合应用可以有效提高单井产量、延长油田开发周期、降低开发成本、提升边际油田与低渗透油田的开发潜力, 因此, 酸化与压裂联合应用技术具有重要的开发和推广意义。

关键词: 酸化技术; 压裂技术; 联合应用; 油田经济效益

在油田开发过程中, 储层的渗透性和连通性是影响油气产量的关键因素, 传统增产技术在应对复杂储层条件时具有一定局限性, 而酸化与压裂技术作为两种高效的储层改造手段, 可以显著提升油气资源的采收效率^[1]。近年来, 随着油田开发对经济效益要求的提升, 单一技术的应用已然难以满足复杂地质条件下技术需求, 因此, 针对酸化与压裂联合应用技术的研究就有了一定的必要性。

1 酸化与压裂技术概述

1.1 酸化技术原理与分类

酸化技术的原理一般是指, 在油气井的开发或生产过程中, 作业人员利用酸液与地层岩石发生化学反应, 溶解矿物质, 解除地层伤害, 从而达到改善地层渗透性和提高油气产量的目的^[2]。相比于机械增产技术, 酸化技术具有成本较低、适用范围广以及对储层损害小等技术优势, 在低渗透、裂缝性及受污染地层条件下, 更加适用于提高单井产量和恢复井筒通道能力等工程之中。

根据酸化的应用场景及作用方式, 酸化技术可划分为三大类。其一, 基质酸化技术, 此技术主要用于低渗透地层之中, 作业人员会向地层基质注入酸液, 溶解孔隙壁上的矿物质和阻塞物质, 可以实现改善储层孔隙结构和提升渗透率的目的。其二, 酸洗处理技术, 此技术主要用于清理井筒周围的污染物, 例如钻井泥浆、固相沉积物及其他堵塞物, 作业人员通过清除这些障碍物, 可以实现恢复井筒流通能力的目的。其三, 裂缝酸化技术, 此技术主要用于裂缝性地层之中, 作业人员会将酸液注入天然裂缝或人工裂缝, 通过溶解岩石扩大裂缝的导流能力, 从而改善更大范围的渗透性。

上述三种酸化方式, 各自针对不同的地质条件和井况特点, 既可以单独实施, 也可结合其他增产措施

配套应用, 以满足复杂地质条件下的开发需求。

1.2 压裂技术原理与分类

压裂技术的原理是作业人员使用高压流体作用于地层, 使地层岩石在压力超过其抗拉强度时产生裂缝, 并在裂缝中填充支撑剂以保持其张开状态, 从而形成高渗透通道, 提升油气的流动效率和产能。在压裂施工中, 作业人员会精确控制流体压力和施工参数, 确保裂缝的形态和分布符合设计要求, 以最大化提高井筒与储层的连通性。

根据作业方式和适用场景, 压裂技术可分为三大类。其一, 常规压裂技术, 这一技术主要适用于高渗透或中等渗透储层。作业人员需要注入高压液体以形成单一裂缝, 从而增强油气产能。其二, 多级压裂技术, 这种技术常用于水平井或低渗透储层。作业人员会利用分段工具将井筒分为多个作业段, 并依次进行压裂施工, 从而改造更大范围的储层。其三, 体积压裂技术, 这一技术主要应用于页岩气等非常规储层。施工人员会采用大规模多裂缝方式, 形成密集裂缝网络, 大幅提升储层的渗透性。

上述三种压裂技术的实施由作业人员根据储层条件和开发目标进行选择, 可以单独应用, 也可以结合其他增产措施, 以实现油气产量的最大化。

2 酸化与压裂联合应用技术机理

2.1 联合应用的协同作用机制

酸化与压裂联合应用是指在油气井开发和增产改造过程中, 作业人员结合酸化技术和压裂技术, 通过化学改造与物理裂缝创建的协同作用, 改善储层渗透性并提升油气产量的联合作业过程。此联合应用的协同作用机制关键在于, 酸化技术与压裂技术优势之间的相互补充原理。其中, 酸化技术可以溶解地层中的矿物质, 清除孔隙和裂缝内的堵塞物, 从而提高储层的渗透能力; 压裂技术则可以通过高压裂缝创建导流

通道，进一步增强井筒与储层的连通性。在二者协同作用下，酸化技术能够降低裂缝壁面的阻力，使压裂形成的裂缝导流能力更加持久，同时压裂技术可以扩大酸化的作用范围，使储层深部也得到有效改造。这种联合作业过程可以实现改善孔隙结构与裂缝网络的双重目标。

相比单一的酸化技术或压裂技术，酸化与压裂联合应用更适用于低渗透、裂缝性和非均质储层，二者联合能够显著提高储层的开发效率和增产效果。联合技术为复杂储层提供了更全面的解决方案，可以帮助作业人员更好地提高单井产量、延长油田开发周期，同时优化整体经济效益。

2.2 联合应用的施工流程

从作业的高效性和安全性出发考虑，酸化与压裂联合应用的施工流程通常包括以下几个关键步骤：

2.2.1 地层评价与施工设计

在施工准备阶段，作业团队需要对目标地层进行详细的储层描述。这包括收集和分析岩性、裂缝特性、渗透性以及地层压力等关键数据。随后，地质工程师会利用这些数据进行地质建模，确定适合酸化的范围和压裂裂缝的分布特性。根据地层矿物组成和力学参数，设计酸液配方、泵注压力、压裂液黏度和支撑剂类型等施工参数，确保方案具有针对性和可行性。

2.2.2 井筒清理与初步酸化

在施工开始前，作业人员需对井筒进行彻底清理，采用清洁液或低浓度酸液去除钻井液滤饼、泥浆污染物等残留物，确保井筒的通畅。如果井筒附近的地层存在堵塞，还需注入弱酸对堵塞区域进行初步酸化，溶解残留物，为后续作业奠定基础。

2.2.3 酸化预处理

井筒清理完成后，作业人员会按照设计方案向目标地层注入酸液（如盐酸或土酸）。酸液注入时会采用分段注入或连续泵注的方式，以确保酸液均匀分布于储层孔隙和裂缝内。此阶段的目标是溶解地层中的矿物质和堵塞物，降低流动阻力，为压裂作业创造有利条件。

2.2.4 压裂施工

酸化预处理完成后，作业人员会开始进行压裂作业。高压泵注装置会将压裂液注入目标地层，使地层岩石在压力作用下产生裂缝。在此过程中，施工团队需要实时监控泵注压力、流速和裂缝扩展情况等重要施工参数，确保裂缝形态符合设计要求。随后，施工人员需要向裂缝中注入支撑剂以保持裂缝的张开状

态，增强裂缝的导流能力。支撑剂的注入浓度和顺序同样需要经过精确设计，以匹配地层特性和施工目标。

2.2.5 酸化-压裂联合优化阶段

在压裂作业的最后阶段，作业人员会注入活性酸液，对裂缝壁和周围储层进行进一步处理。该步骤可以扩大酸化的作用范围，溶解裂缝末端的矿物质，降低地层阻力，从而进一步增强储层的渗透性和裂缝的导流能力。

2.2.6 后期处理与产能测试

施工完成后，作业团队会使用清液清理井筒，恢复地层的生产条件。随后，通过测压、测温以及生产动态监测，全面评估储层改造的效果，包括但不限于对裂缝的导流能力和单井产量的提升情况进行全面深入分析。根据测试结果，作业团队会再次优化后续开发方案，如采用调整裂缝间距或注采模式等方法，来达到进一步提高油气产能和经济效益的最终目的。

3 酸化与压裂联合应用对油田经济效益的影响

3.1 提高单井产量，直接增加油田收益

酸化与压裂联合应用技术在油田中可以对储层的物性进行有效改造，从而实现提高单井产量，直接增加油田收益的目的。其中，酸化技术通过向储层注入酸液，使酸液与岩石矿物反应，溶解孔隙壁上的堵塞物和沉积物，扩大孔隙的有效半径，降低流体流动的阻力。压裂技术通过高压液体在储层中生成裂缝，并注入支撑剂维持裂缝张开状态，形成高效导流通道。两种技术的联合应用可以显著提升储层的渗透性和动用范围，从而提高油气的采收效率。

然而，在实际操作中，由于地质条件复杂、储层非均质性强以及施工参数控制不当等原因，酸化与压裂联合应用技术也可能导致储层损害。例如，压裂液的残留物可能堵塞储层孔隙，酸液使用不当可能溶解储层中的关键支撑矿物，导致储层强度下降。此外，裂缝的分布范围和导流能力如果没有精准控制，可能无法充分动用储层，甚至引发储层压实或裂缝闭合的问题。这些因素可能导致单井产量不增反减，影响油田开发的经济效益。

因此，在酸化与压裂联合应用过程中，作业人员需要注重施工设计的精准性和参数的合理控制。在储层地质特征分析阶段，应对储层的岩性、孔隙结构、渗透性等特性进行详细评价，以选择合适的酸液配方和压裂液类型。在施工过程中，作业人员应严格控制包括酸液浓度、注入压力、裂缝延伸方向和支撑剂的注入量等重要指标，确保技术措施与储层条件始终保

持匹配。同时，在施工后期，作业团队应进行有效的裂缝清理和储层保护措施，减少压裂液残留对储层的影响，最大限度地发挥酸化与压裂联合技术的优势，实现单井产量的持续提升，确保油田开发的经济效益。

3.2 延长油田开发周期，稳定长期收益

酸化与压裂联合应用技术在油田开发过程中，可以通过优化储层改造效果和提高资源动用效率，达到延长油田开发周期，稳定油田长期收益的重要目的。其中，酸化技术可以有效改善储层的孔隙结构，降低流体流动阻力，确保储层在长期生产过程中保持良好的流动性能；压裂技术则可以通过创建和维持人工裂缝，扩大储层的动用范围，使油气资源的采收更加充分。

然而，由于地层压力变化、施工工艺不当或储层条件复杂等原因，酸化与压裂联合应用技术也有可能会导致油田出现裂缝闭合、导流能力下降等问题，从而影响油田开发周期，使得油田长期收益受到相应影响。在这种情况下，作业团队需要加强对储层地质特性的研究，合理设计酸液和压裂液配方，优化施工参数，确保裂缝分布合理且导流能力稳定正常。同时，还需要定期对储层状态进行各种全面深入的技术监测，及时发现并处理可能影响油田开发周期的各种潜在问题。

因此，尽管酸化与压裂联合应用技术在延长油田开发周期方面具有显著优势，但还是需要注重技术应用过程中的细节管理，精准匹配储层条件和施工参数，确保油田的长期效益得以稳定实现。

3.3 降低开发成本，提高经济效益比

在油田开发过程中，储层改造难度大、单井产能低、重复施工等因素容易导致油田整体开发成本超标，影响项目的经济效益。而酸化与压裂联合应用技术可以在油田开发过程中，解决储层渗透性差、资源动用率低等棘手问题，从根本上帮助开发团队降低开发成本，提高经济效益比。其中，酸化技术可以通过溶解堵塞物和沉积物，减少流体流动阻力，降低储层的初期处理成本；压裂技术则可以利用人工裂缝，扩大储层动用范围，显著提高单井的采收效率，从而减少因低产能引发的后期重复施工需求。

当然，任何技术都不会是完美的，尽管酸化与压裂联合应用技术已经可以为油田开发带来降低施工次数、提高单井产量等各种经济效益，但由于技术施工需要精密设计和高质量的操作流程，在过往的经验中也曾出现因参数设置不当导致储层损害、压裂液残留堵塞等问题。因此，为了更好地控制油田的开发成本

和经济效益比，开发团队需要在施工前做好储层的精细化地质分析，合理设计酸液和压裂液配方，优化施工参数。在施工过程中，严格执行质量控制措施，确保施工的稳定性和精确性。在施工后期，作业团队还要及时开展储层监测与评价，提前发现问题并及时调整工艺，从而有效保障油田开发的整体经济效益。

3.4 提升边际油田与低渗透油田的开发潜力

在油田开发过程中，边际油田与低渗透油田属于资源动用难度较高、经济效益较低的类型，其开发潜力往往受到储层渗透性差、资源分布不均等因素的限制。而借助酸化与压裂联合应用技术，则可以有效改善储层的渗透性，增加储层的动用范围，解决油气资源流动受阻的问题，从而达成全面提升边际油田与低渗透油田开发潜力的经济目的。其中，酸化技术可以溶解储层中的堵塞物和矿物质，减少孔隙壁的流体阻力，从而改善储层的流体流动性；压裂技术可以创建人工裂缝，将孤立的储层区域连通为整体，进一步扩大储层的动用范围，提高资源采收率。最终，帮助项目提升边际油田与低渗透油田的开发潜力。然而，如果我们单纯依靠酸化与压裂联合应用技术，也无法完全实现充分开发边际油田与低渗透油田的最终目的。因为在这个过程中，我们可能还要借助地质建模、精细化测井等技术，从储层结构和资源分布的精确性入手进行技术创新。例如，将储层特性分析与实时监测数据结合，通过调整酸液浓度和压裂参数，优化裂缝分布和延伸方向，实现更加精准的储层改造，才有可能更好更快地提高边际油田与低渗透油田的开发效率和经济效益。

4 结束语

酸化与压裂联合应用技术无论是在提高单井产量、延长油田开发周期，还是降低开发成本、提升边际油田与低渗透油田的开发潜力方面，都具有显著的经济效益与技术优势。然而，其实际应用过程中也可能面临诸多挑战，因此，在具体实施中，作业团队需始终以精细化设计和严密施工为核心作业标准，加强技术创新与质量管理，确保酸化与压裂联合技术可以在油田开发中得以高效实施与持续优化。

参考文献：

- [1] 薛长荣, 陈润生. 低渗透油田压裂技术研究分析 [J]. 石化技术, 2024, 31(06): 117-119.
- [2] 闫竹芹, 来轩昂, 冀忠伦. 油田增产措施经济价值对比研究 [J]. 经济研究导刊, 2024, (05): 64-67.