

低渗透油藏压裂技术优化设计与经济效益评估

毕雯琳（胜利油田鲁胜公司，山东 东营 257000）

摘要：本研究旨在探索低渗透油藏压裂技术优化设计与经济效益评估，通过对低渗透油藏压裂技术的深入探索，本研究结合当前该技术的应用难点，进行了低渗透油藏压裂技术优化设计，并针对设计进行了综合经济效益评估。

关键词：低渗透油藏；压裂技术；优化设计；经济效益

0 引言

全球能源需求的不断增长导致传统油气资源的开发面临储量逐渐减少和开采难度加大的挑战，在此背景下，低渗透油藏逐渐成为油气开发的重要目标。然而，由于低渗透油藏储层渗透率低、油气产量偏低，常规的开采技术往往难以实现预设的经济效益，容易出现采收率低、开发成本高等问题^[1]。因此，先进的压裂技术在低渗透油藏中的应用愈发显得关键和重要。良好的压裂技术，可以有效增强储层渗透性，从而提升油气产量，因此，也逐渐成为开发低渗透油藏的核心技术之一。

1 低渗透油藏压裂技术概述

低渗透油藏压裂技术是指一种通过人为手段在油藏中形成裂缝、以增加油气渗透通道的增产技术^[2]。其主要作用是通过高压将压裂液注入储层，制造人工裂缝，显著提升油藏的渗透性，增加油层的有效渗透面积，从而大幅提高油气产能。低渗透油藏一般是指渗透率较低的油田，通常为致密砂岩或页岩油藏，这类油藏的地质条件复杂、储层物性差，勘探开发难度大、生产成本高^[3]。因此，压裂技术作为一种关键的增产手段，能够有效改善储层的渗透性，帮助实现经济效益。

1.1 压裂原理

压裂技术的核心原理是利用高压注入的压裂液对储层施加压力，使储层中的天然裂隙扩展或产生新的裂缝，形成高导流通道。通过这种人工裂缝的形成，油气流动通道得到拓展，降低了油藏的流动阻力，使得油气能够更加顺畅地流向井筒，进而提高油气的产能。压裂过程不仅通过高压在油层中制造裂缝，还可以在裂缝中填充支撑剂，以保持裂缝的开放性，从而为油气的长时间流动提供条件^[4]。

1.2 压裂液选择

压裂液是压裂技术中的重要组成部分，其选择直接影响压裂效果。压裂液的种类主要包括水基压裂液、

油基压裂液和泡沫压裂液等，其中水基压裂液由于其成本低、环境友好，得到了广泛的应用。然而，针对不同的地质条件和储层特性，压裂液的选择需要综合考虑流体性质、储层敏感性和环境影响等因素，以确保能够在压裂过程中最大化油气产量。

1.3 压裂工艺步骤

在低渗透油藏中实施压裂作业时，通常需要经过多个关键步骤。首先是确定压裂的目标层段，根据油藏的地质模型和储层条件，选择合适的压裂区块。其次是设计压裂参数，包括注入压力、裂缝长度、裂缝宽度及支撑剂的类型与浓度。这些参数的设计需要通过地质力学模拟和裂缝建模进行优化，确保裂缝的形成和延伸符合油藏开发的需求。最后，在实际压裂作业中，必须严格按照设计的压裂参数进行操作，确保裂缝形态与预期相符，并通过实时监测调整作业参数以达到最佳效果^[5]。

1.4 主要难点

在低渗透油藏中进行压裂作业存在一些独特的技术难点，主要体现在裂缝设计、压裂液选择和施工过程控制等方面。其中，裂缝的有效延伸和导流能力是关键难点，过短的裂缝会导致压裂效果不理想，而裂缝延伸过长则可能增加作业成本且无法提高产量。此外，低渗透储层通常具有较高的压裂压力需求，如何在保证裂缝有效导流的同时降低作业成本，也是工程施工中的重要挑战。

2 低渗透油藏压裂技术优化设计

低渗透油藏的开采面临储层渗透率低、油气流动受限等多重技术难题。为了提高采收率，优化压裂技术的设计是必不可少的。优化设计不仅要考虑储层的物理性质，还要根据实际开采条件调整压裂液、裂缝设计和施工工艺，以实现最大化的经济效益。

2.1 裂缝设计优化

裂缝设计的核心价值在于提升低渗透油藏的产

能,通过合理设计裂缝,可以最大限度地增加油气流动通道,进而提高油井的采收率和经济效益。裂缝设计的优化不仅有助于提高油井的生产能力,还可以有效降低开采成本,延长油藏的生产周期。因此,裂缝的长度、宽度、高度及数量是裂缝设计中的关键要素。首先,在裂缝长度方面,合适的裂缝长度可以使得裂缝贯穿更多储层区域,扩大油气渗流面积。但过长的裂缝可能会导致压力损失增大,从而影响油气的流动效率,因此,在设计中需通过地质力学模拟与油藏工程分析,确定裂缝的最优长度,以确保裂缝能够有效增产的同时避免不必要的能量消耗。其次,裂缝宽度直接影响油气的流动能力。较宽的裂缝可以提供较低的流动阻力,从而增强油气的流动速度。然而,过宽的裂缝可能增加施工难度和支撑剂的使用量,导致作业成本上升。因此,宽度设计需要综合考虑油藏渗透率、压裂液性能及支撑剂的经济性,确保裂缝在满足油气流动需求的同时,保持施工的经济可行性。再者,在裂缝高度的设计中,需要特别注意防止裂缝超出目标储层。裂缝过高会延伸至非产油层,导致压裂能量的浪费,同时可能引起储层污染或非目标层的裂缝干扰。裂缝高度的优化设计需要依赖于地层的地质条件和应力场分布,以确保裂缝主要集中在油藏目标层内,最大化增产效果。此外,裂缝数量的优化设计同样至关重要。合理的裂缝数量不仅能够覆盖更多的储层面积,还可以减少井间干扰,避免过多裂缝带来的能量浪费。裂缝数量的设计应根据储层的地质模型及产能预测结果,通过多次模拟和试验调整,确保裂缝分布的均匀性与有效性,实现低渗透油藏的高效开发。通过对这些要素的优化设计,能够更好地平衡施工成本与产能提升的关系,最终实现低渗透油藏压裂技术的经济效益最大化。

2.2 压裂液优化设计

在低渗透油藏中,压裂液的选择和黏度对裂缝的延伸和形成有直接影响,压裂液的黏度足够高才能保证裂缝的有效扩展和支撑剂的有效输送,但黏度过高又可能会导致液体漏失问题,影响裂缝延伸。因此,压裂液的优化设计应注重黏度与渗透能力的平衡。在压裂液类型的选择上,水基压裂液、油基压裂液和泡沫压裂液是常用的压裂液类型。水基压裂液因其环保、低成本特点被广泛应用,但对于水敏性储层而言,可能会导致储层伤害。油基压裂液适用于水敏性储层,但成本较高。因此,在低渗透油藏中,应根据储层的

敏感性、压裂液的流变性能等选择适合的压裂液类型。同时,因为低渗透油藏的储层往往具有较低的孔隙度和渗透率,压裂液容易进入储层导致漏失。为避免压裂液的过度漏失,通常会在压裂液中添加适当的漏失控制剂,如聚合物或纤维状材料,这些材料能够在裂缝壁上形成隔离层,减少压裂液的渗入,提高压裂效果。而随着环保要求的日益严格,压裂液的环保性也逐渐成为压裂技术优化设计中的重要考量。其中,水基压裂液虽然成本低,但会对地层和环境造成一定伤害。因此,环保型压裂液的开发,如低毒性、可生物降解的化学添加剂,也逐渐成为一种选择趋势。此外,压裂液的回收利用也是降低作业成本的重要手段之一,通过对压裂液的回收处理,不仅可以减少环境污染,还能有效节约资源,降低成本。

2.3 施工工艺优化

在低渗透油藏压裂作业中,施工参数的优化对压裂效果和经济效益有直接影响。注入压力是施工工艺中的关键因素,通常低渗透储层的脆性较高,导致需要较大的压力来形成和延伸裂缝。但盲目提高压力可能会导致裂缝向非产油层或非有效区域扩展,增加无效作业成本。为了避免这种情况,施工过程中需要采用多级压力分段法,即通过多次升压与降压,控制裂缝的延伸方向和范围,确保裂缝在油气富集层中充分发育。此外,压裂液的黏度和流变特性也与注入压力的设计密切相关,在施工优化中,需要针对不同的项目选择合适的压裂液配方,才能够有效降低注入压力需求并提高裂缝延展效果。在压裂施工作业中,注入速度也会直接影响裂缝的形态和支撑剂的分布。为了精确控制裂缝的宽度和支撑剂的沉积,优化设计需要采用分段注入法或交替注入技术,使压裂液和支撑剂交替注入,提高裂缝导流能力和裂缝稳定性。为了确保施工过程中的实时调控效果,施工团队需要优化自己的技术配置,结合微地震监测和压后动态测井技术,尽可能提高压裂作业的成功率和安全性。其中,微地震监测可以实时跟踪裂缝的空间延展情况,帮助判断裂缝是否按照预期方向发育。同时,声波时差测井和压力传感器网络的结合使用,则可实时获取裂缝宽度、长度和压力分布数据,这些数据为施工过程中动态调整注入压力和注入速度提供了依据。此外,压裂施工工艺优化设计还需要根据实际作业中的地质和压裂响应,采用闭环反馈控制系统,通过对实时监测数据的自动分析,智能调整施工参数,确保在实际作业中,裂缝形态和支撑剂分布始终处于最佳状态,从而最大化

提高油气采收率,降低无效作业的成本,优化经济效益。

3 优化设计的经济效益评估

在低渗透油藏的开发过程中,优化压裂技术不仅是为了提升油气产量,还需要在实现技术目标的同时最大化经济效益。因此,合理评估压裂技术的经济效益是确保项目可持续发展和商业成功的关键环节。

3.1 产量提升与投资回报分析

从投资回报来看,优化后的压裂设计可以显著提升低渗透油藏的产量,新技术通过合理的裂缝设计、压裂液和支撑剂的优化,油井的初始产能和长期产量均可以得到提高。这种产量的增加,会直接体现在油井的投资回报上。油井初期生产中的快速增产能够加速投资回收周期,并增强项目的现金流,对于低渗透油藏这种开采难度大、初期投资较高的项目尤为重要。通过将优化设计前后的产量变化纳入计算模型,可以评估出技术优化带来的投资回报率是否具有经济吸引力。如果优化设计后的净现值为正且内部收益率高于企业预期回报率,意味着该项目具有较好的经济效益和开发价值。此外,优化后的设计不仅提高了产量,还延长了油井的生产周期。在低渗透油藏中,压裂技术的有效性决定了油井的长期稳定产出。通过合理的裂缝延展和支撑剂选择,可以延长裂缝的导流能力,使油井保持长期稳产状态,这对于油藏的全生命周期开发效益同样有着重要影响,因为长期稳产将带来稳定的现金流,从而提升整个项目的经济效益。

3.2 成本效益分析

压裂技术优化设计不仅会使产量得到大幅提升,还可以对施工成本进行严格控制,从而提升项目的整体经济效益。一般而言,压裂作业成本主要包括压裂液、支撑剂、设备使用、人工和施工时间等一干费用支出。通过优化设计,可以有效减少不必要的支出,从而控制总成本。例如,合理选择压裂液和支撑剂,不仅能够提升裂缝的导流能力,还能够避免因压裂液选择不当或支撑剂注入过多所带来的浪费,降低材料成本。此外,优化的施工工艺可以提高作业效率,缩短施工周期,从而降低设备和人工成本。优化设计后,在压裂过程中精确控制裂缝的形态和延伸方向,能够避免裂缝向非目标层的无效延伸,从而减少无效作业所带来的成本上升。通过微地震监测等实时控制技术,可以对压裂作业进行动态调整,避免因裂缝设计或施工参数不合理而导致的重复施工和资源浪费。在某些情况下,优化后的施工工艺还能减少压裂段数,减少

设备和材料的投入,同时确保产能提升,从而大幅降低作业成本。

3.3 风险控制与长期收益评估

在低渗透油藏的压裂开发中,地质不确定性和施工难度较高,因此存在较大的投资风险,而优化设计不仅可以直接提升项目的经济效益,还可以有效控制开发风险,减少经济损失。在优化后的压裂技术施工中,通过精准的地质模型、裂缝模拟和优化施工参数,可以显著减少施工过程中的失误,降低地质风险和作业风险,确保压裂作业的顺利进行。同时,优化设计下的压裂技术能够提升油井的采收率,减少储层能量损失,降低对后期补救措施的依赖,从而减少长期维护和再压裂的成本。此外,通过提高油井采收率、延长生产周期、降低维护成本,优化设计能够带来可观的长期经济收益。虽然低渗透油藏的开发初期投资较高,但优化的压裂技术可以有效延长油井的经济寿命,使企业在长期运营中获得稳定的收益流。综合考虑初期投资与长期收益,优化后的压裂设计能够实现良好的投入产出比,最大化项目的整体经济效益。

4 结论

低渗透油藏压裂技术对于提高油气采收率、延长油井生产周期以及降低开发成本具有关键意义。通过对裂缝设计、压裂液选择、支撑剂优化以及施工工艺等方面的优化设计,不仅能够有效改善储层渗透性,提升油井的产能和生产稳定性,还能显著提高投资回报率,减少作业成本,降低地质和施工风险。优化设计能够通过精确控制裂缝形态、延伸方向和支撑剂分布,避免无效作业和资源浪费,进而形成可观的经济效益。同时,这种技术优化能够延长油井的经济寿命,确保长期稳定的收益流,实现低渗透油藏的高效开发。

参考文献:

- [1] 左琴,瞿春,田化池,陈玉生.低渗透油田采油工艺技术探讨[J].石化技术,2024,31(08):381-383.
- [2] 徐伟嵩.油田低渗透层采油工艺技术措施分析[J].化学工程与装备,2024,(08):86-88.
- [3] 曹小朋,刘海成,任允鹏,贾艳平,牛祥玉,孙成龙.胜利油田低渗透油藏开发技术进展及展望[J].油气地质与采收率,1-8.
- [4] 李洋.低渗透油田压裂技术及发展趋势探讨[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(15):160-162.
- [5] 张一帆.低渗透油藏开发关键技术分析与研究[J].内江科技,2024,45(07):77-78.