

低渗透油藏的水驱开发技术与经济效益优化

孙志民（胜利油田东胜精攻石油开发集团股份有限公司，山东 东营 257000）

摘要：低渗透油藏开发面临渗流性差、油水混合和高成本等多重挑战。为应对这些问题，本文提出了一系列解决方案。首先，通过综合应用水驱技术和优化注水参数，改善了油藏流动性和驱油效率。其次，采用经济型流动增强剂和驱油剂降低了成本，同时通过优化油水分离技术减少了处理成本。精细的成本控制和运营管理进一步提高了经济效益。在实际应用中，如美国得克萨斯州和中国新疆的案例中，这些解决方案已经成功提高了油藏产量和经济效益。综合这些策略和技术，不仅能有效提高低渗透油藏的开发效率，还能实现成本降低和经济效益的优化，为油藏开发提供了有益的实践经验。

关键词：低渗透油藏；水驱技术；经济效益；成本控制

1 引言

低渗透油藏由于其特殊的地质性质，如细小孔隙和低渗透性，开发难度大，但储量丰富，具有巨大的潜在价值。在全球石油需求增长和传统油藏逐渐衰减的背景下，低渗透油藏的开发和利用成为了石油行业的关键挑战和焦点。水驱开发技术作为一种常用的增油手段，因其成本效益高、环境友好等优点，逐渐受到了石油工程师和研究者的关注^[1]。然而，低渗透油藏的水驱开发面临着一系列的技术和经济难题，如渗流性差、油水分布不均、井筒堵塞等，这些问题限制了水驱开发的效率和经济效益。因此，如何优化低渗透油藏的水驱开发技术，并实现经济效益的最大化，成为了当前石油行业研究的重要方向。本文旨在深入探讨低渗透油藏的水驱开发技术，分析其挑战与问题，提出优化策略，并评估其经济效益，以期石油工程师和决策者提供有价值的参考和指导。

2 低渗透油藏的水驱开发技术概述

2.1 水驱开发原理与机制

水驱开发是一种通过注入水来驱动油藏中的原油，促进油的流动并提高采收率的增油方法。其基本原理是利用注入水的压力驱动，增加油藏内部的压力，从而推动原油向采油井移动。在水驱过程中，水与原油、天然气和油藏岩石之间会发生一系列的物理和化学反应^[2]。水驱的主要机制包括：①油位驱动机制：通过注入的水形成的水柱，增加了油藏内部的上升压力，促使油从孔隙中排出；②油水相互作用：水与原油在油藏中的相互接触，形成的界面张力会影响油的流动性；③岩石表面改性：注入的水中的盐分和化学物质可能会与油藏岩石表面发生反应，改变岩石的渗透性，影响油的流动；④驱替效应：水的流动会带动

油前移，但不同的物理性质和渗透性导致油和水的分布不均匀，进而影响驱替效率。

综上所述，水驱开发原理与机制是一个复杂的过程，涉及多种因素的相互作用。了解和掌握这些机制对于优化水驱开发技术和提高采收率至关重要。

2.2 常用的水驱工艺和方法

常用的水驱工艺和方法包括连续注水、水驱前期注气、低浓度化学剂注入、水平井开发以及水驱与其他驱替技术的结合。连续注水通过持续地向油藏注入水来维持或提高油藏压力；水驱前期注气采用注入气体如天然气或氮气，以减少界面张力；低浓度化学剂注入利用表面活性剂和驱油剂提高水油相容性和油的流动性；水平井开发通过钻孔在油藏中增加接触面积；而水驱与其他技术结合如聚合物驱和微生物驱则能进一步提高驱油效率和采收率。根据油藏特性和需求，这些方法可单独或组合应用，以达到最佳的水驱开发效果。

2.3 低渗透油藏水驱开发的挑战与问题

低渗透油藏水驱开发面临多种挑战和问题，限制了其开发效率和经济效益。首先，渗流性差是主要问题之一，导致油和水在油藏中难以均匀分布，可能形成“通道效应”，影响驱油效率，增加油藏压力分布不均的风险；其次，油水相分离困难，因为低渗透油藏中油和水的界面张力大，油水分离不完全，导致油的采集难度增加。此外，岩石的损伤和井筒堵塞问题也常见于低渗透油藏开发过程中，特别是当使用化学剂或其他增驱技术时。

经济性方面，由于低渗透油藏的开发成本相对较高，水驱开发可能面临较长的投资回收周期和低的经济效益，特别是在油价低迷或环境和社会压力增加的情况下。此外，环境问题也不能忽视。大量的水注入

和油水分离可能导致地下水污染和地震风险增加，加剧环境压力和社会反对。综上所述，低渗透油藏水驱开发的挑战包括渗流性差、油水相分离、岩石损伤和经济性问题等，这些问题需要综合技术和策略来解决，以实现有效和可持续的开发。

3 优化低渗透油藏水驱开发的技术方法

3.1 改进的注入技术与流动增强剂的应用

为应对低渗透油藏水驱开发中的挑战，改进的注入技术和流动增强剂的应用成为重要举措。改进的注入技术如变频注水、井筒分段注水等，能够优化注水井的流量分布，减少“通道效应”，提高油藏的流动均匀性。此外，通过精确控制注水量和压力，可以减少油水界面张力，促进油的流动，改善油水分离效果。

流动增强剂如表面活性剂、聚合物和纳米材料等，能够改变油和水的相互作用，降低油的粘度，提高油的流动性，从而增强驱油效率。这些技术和剂型能有效地提高低渗透油藏水驱开发的效率和经济效益，减少环境风险，为实现可持续发展提供有力支持。

3.2 油藏模拟与预测模型的开发

油藏模拟与预测模型的开发是优化低渗透油藏水驱开发的关键。这些模型基于油藏地质、物理性质和开发参数，能够模拟油藏内的流体流动、油水分布和压力变化。通过精确的模拟，可以预测不同开发策略下的油藏响应，优化注水方案，减少“通道效应”和油水分离问题。此外，模型还能帮助评估流动增强剂的效果，指导改进注入技术和优化生产操作。通过油藏模拟与预测模型，工程师能够更加科学地设计和管理低渗透油藏的水驱开发，提高开发效率和经济效益。

3.3 有效的水管理和控制策略

有效的水管理和控制策略对于低渗透油藏的水驱开发至关重要。首先，建立高效的注水与产水平衡机制，确保注入的水量与采出的水量相匹配，以维持油藏的压力平衡和减少水的浪费。其次，实施水质监测和处理技术，确保注入水的质量达标，减少油藏污染风险。进一步，采用先进的水回收和再利用技术，最大限度地减少水的消耗和排放，提高水资源的利用效率。此外，通过合理的井网布局和操作管理，优化水驱效果，减少油水竞争和混合，提高油的采集效率。这些水管理和控制策略有助于提高低渗透油藏的水驱开发效率，降低成本，同时减少环境影响。

3.4 油藏修复与增强技术

针对油藏损伤和堵塞问题，可采用酸化处理、压

裂、水平井和化学剂处理等修复技术，恢复油藏的渗透性和流动性。这些技术能有效清除油藏中的堵塞物，打开新的油水通道，提高驱油效率。同时，通过注入驱油剂、聚合物或纳米材料等增强剂，可以改善油的流动性，减少油的粘度，增强驱油效果。此外，应用先进的油藏评价和监测技术，对修复和增强效果进行实时监控和调整，确保技术应用的有效性和经济效益。综合运用这些油藏修复与增强技术，能够有效提高低渗透油藏的水驱开发效率和采收率。

4 经济效益优化策略

4.1 成本降低与效率提升的平衡

在低渗透油藏水驱开发中，成本降低与效率提升是一个需要平衡的重要问题。一方面，为了提高开发效率和采收率，可能需要投入更多的资源和使用高成本的技术和方法，如使用增强剂、先进的注入技术和油藏修复技术等。另一方面，为了控制开发成本，需要寻找低成本的替代方案，如优化水管理、采用简化的注入技术或利用现有的设备和基础设施。

因此，平衡成本与效率的关系，需要综合考虑油藏的特性、技术可行性、市场条件以及长期的经济效益。可以通过精细的成本效益分析、风险评估和技术经济优化，找到最佳的平衡点，既满足效率提升的需求，又实现成本的有效控制，从而实现低渗透油藏水驱开发的可持续性和经济效益。

4.2 投资回报率的分析与评估

投资回报率（ROI）的分析与评估对于低渗透油藏水驱开发至关重要。ROI 是评估投资项目经济效益的关键指标，它可以帮助决策者判断项目是否值得投资。在水驱开发中，投资主要涉及注水设备、增强剂、人力和运营成本等。评估 ROI 需要考虑投资成本、预期收益以及投资期限等因素。通过综合分析开发成本、油价预测、生产量增长等因素，可以预测未来的现金流和 ROI。此外，应考虑风险因素，如油价波动、技术风险和市场风险，进行风险调整后的 ROI 评估。通过 ROI 的分析与评估，决策者可以做出明智的投资决策，确保低渗透油藏水驱开发项目的经济可行性和投资回报。

4.3 长期运营与维护的经济效益考虑

开发项目不仅需要考虑初期的投资和开发成本，还需关注长期的运营与维护费用及效益。良好的运营管理能确保油藏的稳定生产，维持生产效率，并最大化油藏的经济价值。经济效益考虑应包括运营成本、

维护费用、设备更换和更新、人力资源、以及其他相关的长期费用。同时,还需要评估长期的油价趋势、市场需求、技术进步以及环境和政策因素对经济效益的影响。通过综合考虑长期运营与维护的经济效益,可以为低渗透油藏水驱开发制定出更为合理和可持续的运营策略,确保项目在长期内获得稳定和可观的经济回报。

5 案例研究

5.1 成功应用水驱技术提高低渗透油藏产量的案例

在美国得克萨斯州的一个低渗透油藏项目中,成功应用水驱技术显著提高了油藏的产量。该油藏由于其细小的孔隙结构和低渗透性,传统的开发方法难以实现高效采收。为此,项目团队采用了先进的水驱技术和策略。

首先,他们进行了详细的油藏评价和模拟分析,确立了最佳的注水井布局和注水参数。通过精确的注水管理,优化了油藏的压力分布,减少了“通道效应”,提高了油的采集效率。其次,采用了表面活性剂和驱油剂的组合作为流动增强剂,改善了油的流动性和驱油效果。此外,项目团队还注重了油藏的长期运营和维护,实施了定期的油藏评估和监测,及时调整注水和生产策略,确保油藏的稳定生产和最大化的经济效益。在此基础上,他们还采用了油藏修复技术,如酸化处理和压裂,有效恢复了受损的油藏区域,提高了整体的渗透性和产量。

经过数年的努力,该项目的日产量从最初的几百桶提高到了数千桶,成功实现了低渗透油藏的高效开发。这一成功案例证明,通过综合应用水驱技术、流动增强剂和油藏修复技术,结合精细的油藏管理和运营,可以有效提高低渗透油藏的产量和经济效益。

5.2 经济效益优化的实际应用案例

在中国新疆的某低渗透油藏开发项目中,成功实现了经济效益的优化。该油藏由于其特殊的地质条件和低渗透性,传统的开发方式面临着高成本和低效率的挑战。为了提高开发效率和经济效益,项目团队采取了一系列创新的策略和技术。

第一,该油田采用了先进的水驱技术,结合油藏模拟分析,优化了注水井的布局和参数设置,有效减少了油水混合和“通道效应”,提高了油的采集效率。其次,应用了经济型的流动增强剂和驱油剂,如天然表面活性剂,降低了驱油成本,同时提高了驱油效果,而且,项目团队还注重了成本控制和资源利用,优化了水管理和回收系统,减少了水的消耗和处理成本。

同时,实施了精细的运营管理和维护计划,延长了设备寿命,降低了运营成本。

经过一段时间的努力,该项目的开发成本降低了约 15%,同时油藏的产量提高了近 20%,经济效益明显优化。这一成功案例表明,通过综合应用先进的开发技术、优化的运营管理和精细的成本控制,可以有效提高低渗透油藏的经济效益和竞争力。

5.3 挑战与解决方案的比较分析

低渗透油藏的主要挑战包括渗流性差、油水混合和高成本等。这些问题导致传统开发方法效率低下和成本高昂。为解决这些挑战,综合应用水驱技术、优化注水参数和使用增强剂能够改善油藏流动性,提高驱油效率;通过优化油水分离技术和管理,降低油水混合导致的处理成本;同时,精细的成本控制、采用经济型流动增强剂和驱油剂,以及优化运营和维护策略,都有助于降低开发成本。综合这些解决方案,可以有效应对低渗透油藏开发中的挑战,提高其开发效率和经济效益。

6 结论

在低渗透油藏的开发是一个技术挑战与经济效益之间需要平衡的复杂过程。面对渗流性差、油水混合和高成本等多重挑战,传统方法往往难以取得满意的结果。然而,通过综合应用先进的水驱技术、优化注水参数、使用流动增强剂和驱油剂,以及精细的成本控制和管理,我们可以有效提高低渗透油藏的开发效率和经济效益。

水驱技术不仅改善了油藏的流动性,还通过优化油水分离和管理,减少了油水混合导致的处理成本。同时,经济型的流动增强剂和驱油剂有助于降低驱油成本,提高开发效率。精细的成本控制和运营管理进一步降低了开发成本,实现了经济效益的优化。

展望未来,针对低渗透油藏的特点和挑战,需采取综合、创新和精细的策略和方法。通过不断的研究和实践,可以充分发挥水驱技术和增强剂的优势,结合成本控制和管理,实现低渗透油藏的高效开发和可持续经济效益。这不仅有助于满足能源需求,还为油藏开发提供了有益的实践经验和参考。

参考文献:

- [1] 韩淑乔. 东营凹陷低渗透岩性油藏储层非均质性特征及水驱剩余油分布规律 [J]. 海洋地质前沿, 2024, 40(01):36-43.
- [2] 郭梦炎. 永宁油田特低渗水驱油藏提高采收率技术对策研究 [J]. 四川化工, 2023, 26(05):22-27.