

低渗透油藏高效开发策略与实践经济效益

刘 新(孤岛采油厂地质研究所勘探室, 山东 东营 257200)

摘要:本文深入探讨了低渗透油藏高效开发的策略与实践。低渗透油藏在我国石油资源中占据重要地位,但其特殊的地质特征导致开发难度较大。通过对低渗透油藏地质特性的分析,从储层改造、注水开发优化、提高采收率技术应用以及管理模式创新等方面,研究并阐述了一系列高效开发策略。结合实际案例,详细介绍了这些策略在实践中的应用效果,旨在为低渗透油藏的高效开发提供理论支持与实践参考,促进我国石油工业的可持续发展。

关键词:低渗透油藏; 高效开发; 储层改造; 注水开发; 采收率; 经济效益

中图分类号: TE34 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2025) 012-0067-03

Efficient development strategy and practical economic benefits of low permeability reservoir

Liu Xin(Exploration room, Geological Research Institute, Gudao Oil Production Plant,Dongying Shandong 257200,China)

Abstract: In this paper, the strategy and practice of efficient development of low permeability reservoir are discussed in depth. Low permeability reservoir plays an important role in China's petroleum resources, but its special geological characteristics make it difficult to develop. Through the analysis of the geological characteristics of low permeability reservoir, a series of efficient development strategies are studied and expounded from the aspects of reservoir reconstruction, waterflood optimization, enhanced oil recovery technology application and management model innovation. Combined with actual cases, the application effects of these strategies in practice are introduced in detail, aiming at providing theoretical support and practical reference for the efficient development of low permeability reservoirs and promoting the sustainable development of China's petroleum industry.

Key words: low permeability reservoir; Efficient development; Reservoir reconstruction; Waterflood development; Recovery rate; Economic benefit

随着全球经济的快速发展,对石油资源的需求持续增长。低渗透油藏作为重要的石油资源类型,在我国石油储量中占有相当比例。然而,低渗透油藏具有渗透率低、孔隙结构复杂、非均质性强等特点,使得其开发面临诸多挑战,如单井产量低、开采难度大、开发成本高、采收率低等问题。如何实现低渗透油藏的高效开发,提高原油产量和采收率,已成为石油工业领域亟待解决的关键问题。深入研究低渗透油藏高效开发策略并进行实践应用,对于保障我国能源安全、提高石油企业经济效益以及推动石油工业可持续发展具有重要意义。

1 低渗透油藏高效开发的重要性

低渗透油藏高效开发的重要性,不仅体现在对能源安全的战略支撑上,还深刻影响着全球能源结构的优化与可持续发展。随着传统高渗透油田资源逐渐枯竭,低渗透油藏成为油气资源勘探开发的重要领域之一。这类油藏因地质条件复杂、孔隙度低、渗透率差,传统开采技术往往难以有效提取其内部的油气资源,因此,探索并实施高效开发策略显得尤为重要。通过技术创新和工艺优化,如水平井钻探、多级压裂、智

能开采等先进技术,可以大幅提高对低渗透油藏内油气的采收率。这不仅有效延长了油田的生命周期,还极大降低了开采成本,提高了资源的整体利用效率,对于缓解资源压力、保障国家能源安全具有重要意义。低渗透油藏的高效开发推动了石油工程技术的进步与创新,如纳米材料的应用、数字化油田建设、人工智能优化决策系统等,这些技术的发展不仅提高了开采效率,也为整个石油行业的技术升级和转型提供了强大动力。

同时,它促进了上下游产业链的协同发展,如化工产业、装备制造产业等,形成了良好的经济效益和社会效益。高效开发策略注重环境保护,通过减少水资源消耗、降低排放、实施碳捕集与封存(CCS)等措施,有效减轻了对生态环境的影响。长远来看,这有助于构建绿色低碳的能源体系,符合全球应对气候变化的目标和趋势。

2 低渗透油藏地质特征

2.1 渗透率低

低渗透油藏的渗透率一般小于50mD(毫达西),甚至部分油藏渗透率低于1mD。这种低渗透率使得原

油在储层中的流动阻力极大，常规的开采方式难以实现原油的有效驱替和采出。低渗透率导致油井产能低，需要采取特殊的增产措施来提高原油产量。

2.2 孔隙结构复杂

低渗透油藏的孔隙结构复杂多样，孔隙喉道细小且连通性差。这使得原油在孔隙中流动时，容易受到毛管力、贾敏效应等多种因素的影响，进一步增加了原油的流动难度。细小的孔隙喉道还容易被外来流体中的颗粒物质堵塞，造成储层伤害，降低储层渗透率。

2.3 非均质性强

低渗透油藏在纵向上和横向上都表现出较强的非均质性。纵向非均质性表现为不同油层之间渗透率、孔隙度等物性参数差异较大；横向非均质性则体现为同一油层在不同位置的物性参数变化明显。这种非均质性导致注水开发过程中，注入水容易沿着高渗透层突进，形成无效循环，而低渗透层难以得到有效驱替，从而降低了原油采收率。

2.4 天然能量不足

多数低渗透油藏天然能量有限，依靠天然能量开采时，油井产量递减快，开采周期短。在开采初期，油藏压力下降迅速，很快进入低产阶段，需要及时补充能量以维持油井的正常生产。因此，注水开发是低渗透油藏补充能量的主要方式，但由于低渗透油藏的特殊性质，注水开发也面临诸多困难。

3 低渗透油藏高效开发策略

3.1 储层改造技术

3.1.1 压裂技术

压裂是低渗透油藏储层改造的主要手段之一。通过向地层注入高压液体，使地层岩石产生裂缝，从而增加原油的渗流通道，提高油井产能。在压裂设计中，需要根据油藏地质特征，优化压裂参数，如裂缝长度、宽度、导流能力等。对于低渗透油藏，通常采用大规模压裂技术，以形成长而宽的高导流裂缝。同时，结合水平井技术，进行水平井分段压裂，能够有效提高储层的动用程度。

3.1.2 酸化技术

酸化是利用酸液与地层岩石中的矿物质发生化学反应，溶解岩石中的堵塞物，扩大孔隙和喉道半径，从而提高储层渗透率。对于低渗透油藏，常用的酸化方法有常规酸化、土酸酸化和酸压等。常规酸化主要用于解除近井地带的堵塞；土酸酸化适用于砂岩储层，能够溶解砂岩中的硅质和铁质成分；酸压则是将酸化与压裂相结合，在形成裂缝的同时，通过酸液溶蚀裂缝壁面，提高裂缝的导流能力。在实施酸化作业时，需要根据储层岩石矿物成分和堵塞类型，选择合适的酸液配方和施工工艺，以避免对储层造成二次伤害。

3.2 注水开发优化

3.2.1 合理的注水方式

根据低渗透油藏的地质特征和开发阶段，选择合适的注水方式至关重要。常见的注水方式有边缘注水、切割注水和面积注水等。对于小型低渗透油藏或构造简单的油藏，边缘注水可以满足开发需求；对于大型、非均质性较强的油藏，切割注水或面积注水能够更好地实现均匀驱替，提高注水效果。在实际应用中，还可以采用分层注水、周期注水等方式，进一步优化注水开发效果。分层注水是根据油层的物性差异，将不同层位分开注水，使各油层都能得到有效驱替；周期注水则是通过周期性地改变注水量和采液量，造成地层压力的波动，提高注入水的波及系数，从而提高原油采收率。

3.2.2 注水井网优化

合理的注水井网布置能够提高注水效率和原油采收率。在低渗透油藏中，由于渗透率低，注水井与采油井之间的距离不宜过大，否则会导致注水井的压力难以传递到采油井，影响注水效果。同时，注水井网的井距和排距应根据油藏的渗透率、孔隙度、原油粘度等参数进行优化设计。例如，对于渗透率较低的油藏，可以采用较小的井距和排距，增加注水井和采油井的数量，提高井网密度，以加强注水效果。此外，还可以采用不规则井网，根据油藏的非均质性和裂缝发育情况，灵活布置注水井和采油井，提高储层的动用程度。

3.2.3 水质处理与防垢、防腐蚀措施

注水井的水质对注水开发效果和油藏寿命有着重要影响。低渗透油藏对注入水的水质要求较高，需要对注入水进行严格的处理，去除水中的悬浮物、细菌、溶解氧等杂质，防止其对储层造成堵塞和腐蚀。同时，由于注入水与地层水混合后，可能会发生化学反应，产生沉淀和结垢现象，影响注水系统的正常运行和注水井的吸水能力。因此，需要采取有效的防垢、防腐蚀措施，如添加防垢剂、缓蚀剂等化学药剂，定期对注水系统进行清洗和维护。

3.3 提高采收率技术应用

3.3.1 化学驱技术

化学驱是提高低渗透油藏采收率的重要技术手段之一，主要包括聚合物驱、表面活性剂驱和碱驱等。聚合物驱是通过向注入水中添加聚合物，增加注入水的粘度，降低水油流度比，从而提高注入水的波及系数，扩大原油的驱替范围。表面活性剂驱则是利用表面活性剂的降低界面张力、乳化和增溶等作用，提高原油的采收率。碱驱是通过向地层注入碱性溶液，与原油中的酸性物质反应，生成表面活性物质，降低油

水界面张力，改善原油的流动性。在实际应用中，还可以采用复合驱技术，将多种化学驱方法结合起来，发挥各自的优势，进一步提高采收率。

3.3.2 气驱技术

气驱技术在低渗透油藏开发中也具有广阔的应用前景，常见的气驱方式有二氧化碳驱、氮气驱和天然气驱等。二氧化碳驱是利用二氧化碳在油藏条件下与原油混相或非混相的特性，降低原油粘度，膨胀原油体积，提高原油的流动性和采收率。同时，二氧化碳还可以溶解在地层水中，降低水的粘度，改善注水效果。氮气驱和天然气驱则是利用气体的膨胀能和驱替作用，将原油驱向采油井。气驱技术需要考虑气体的注入方式、注入量、注入时机以及气窜等问题，通过优化设计和现场监测，确保气驱效果的最大化。

3.4 管理模式创新

3.4.1 数字化油田建设

随着信息技术的飞速发展，数字化油田建设已成为低渗透油藏高效开发的重要手段。通过建立数字化管理平台，实现对油藏数据的实时采集、传输、存储和分析，能够为油藏开发决策提供及时、准确的数据支持。利用先进的油藏数值模拟技术和大数据分析技术，可以对油藏动态进行精准预测和优化调整，提高油藏开发方案的科学性和合理性。同时，数字化油田建设还可以实现远程监控和自动化操作，降低人工成本。

3.4.2 一体化管理模式

一体化管理模式是将油藏勘探、开发、生产、销售等各个环节进行有机整合，实现资源共享、协同作业和统一管理。在低渗透油藏开发中，采用一体化管理模式能够有效减少部门之间的沟通成本和协调难度，提高工作效率和决策速度。通过建立跨部门的项目团队，加强地质、工程、生产等专业人员之间的合作与交流，实现从油藏评价到开发方案制定、再到生产运行管理的全过程优化，确保低渗透油藏开发的高效运行。

4 低渗透油藏高效开发实践经济效益

低渗透油藏的高效开发依赖于先进的钻井、完井技术以及流体管理技术的创新。例如，水平井和多分支井技术的应用大幅提高了单井产量，降低了单位产量所需的钻井数量，从而显著减少了直接成本。同时，通过优化注入剂和开采工艺，减少化学剂使用量及能耗，进一步压缩了运营成本。高效开发策略不仅关注短期产量，更重视长期资源动员能力。通过精细地质建模和数值模拟技术，精确预测储层流体分布，实现按需开采，避免资源浪费。这种精细化管理提高了资源回收率，延长了油田生命周期，为项目带来了更高的经济回报。

在环保意识增强的今天，低渗透油藏的高效开发

注重生态保护，采用绿色生产技术减少对环境的影响，符合国际环保趋势和国家政策导向。这不仅有助于获得政府补贴、税收优惠等政策支持，还提升了企业形象，为可持续发展奠定基础。高效开发使得低渗透油藏能够更灵活地适应市场变化。当国际油价波动时，通过优化生产策略，如调整开采节奏、实施灵活定价策略等，可以有效抵御市场风险，保持项目的盈利性。

另外，随着全球能源转型加速，低渗透油藏作为过渡能源的角色更加重要，其经济效益得以在更广阔的市场背景下得到体现。成功的低渗透油藏开发项目不仅能够吸引大量投资，创造就业机会，还能带动周边社区经济发展，提高当地居民生活水平。良好的社区关系和社会责任项目进一步提升了项目的社会接受度，为项目的长期稳定运行创造了有利条件。

综上所述，低渗透油藏的高效开发实践，通过技术创新、成本优化、资源高效利用、环境友好及市场适应性增强等多维度策略，不仅显著提升了项目的经济效益，也为全球能源产业的可持续发展开辟了新的路径。

5 结论

低渗透油藏高效开发是一个复杂的系统工程，需要综合考虑油藏地质特征、开发技术和管理模式等多个方面。通过采用储层改造技术、优化注水开发、应用提高采收率技术以及创新管理模式等一系列高效开发策略，并结合实际案例进行实践应用，能够有效提高低渗透油藏的开发效果，增加原油产量和采收率，降低开发成本，实现低渗透油藏的可持续高效开发。在未来的低渗透油藏开发中，还需要不断加强技术创新和管理创新，进一步探索适合不同类型低渗透油藏的高效开发模式，为我国石油工业的发展做出更大贡献。同时，随着环保要求的日益提高，低渗透油藏开发过程中还需要注重环境保护，实现经济、社会和环境的协调发展。

参考文献：

- [1] 武长富.海上油田水平井稳油控水技术探究[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(08):173-175.
- [2] 黄飞明.海上高含水油田稳油控水技术研究[J].中国石油和化工标准与质量,2022,42(13):170-172.
- [3] 庞博.海上油田水平井稳油控水技术现状与发展趋势[J].石化技术,2022,29(05):119-121.
- [4] 张洪.压力计探测液面法探讨[J].油气井测试,2003(05):49-50,77.
- [5] 朱克祥.井下动态液面监测压井技术在J35-5井的应用[J].江汉石油职工大学学报,2015,28(01):48-49.
- [6] 王智.钻井动液面无线监测装置研制[D].西安:西安石油大学,2021.