

# 低渗透油田注水开发工艺技术分析

易有权 何杰 刘建雄 赵艳林 王晓辉

延长油田股份有限公司子长采油厂 陕西 延安 717300

**摘要:** 在全球石油资源日益紧缺的背景下,低渗透油田作为重要的石油储备库,其高效开发显得尤为重要;注水开发技术,以其独特的优势,成为提高这类油田采收率的关键所在。本文深入剖析了低渗透油田注水开发的工艺技术,不仅详细阐述了其工作原理及应用成效,更客观指出了存在的问题,并在此基础上提出了切实可行的优化策略,旨在为低渗透油田注水开发的实践提供有益的参考与指导。

**关键词:** 低渗透油田;注水开发;工艺技术;采收率

引言:在广袤的地下世界中,低渗透油田宛如难以触及的宝藏,其渗透率低、孔隙度小、储层物性差的特性使得开发之路充满挑战。然而,正是这些挑战激发了石油工业对于技术创新的不懈追求;注水开发技术,便是在这一背景下应运而生,成为提高低渗透油田采收率的利器。本文将深入剖析这一工艺技术的内涵与外延,探寻其优化之道,以期为低渗透油田的高效开发贡献智慧之光。

## 1 低渗透油田注水开发概述

注水开发,作为石油工业中的一项关键技术,主要是通过向油田储层注入水来实现多种开发目标;这一技术在低渗透油田中的应用尤为重要,因为低渗透油田往往面临着更为复杂的开发环境和更高的技术挑战。在低渗透油田中,注水的主要目的是增加地层压力,从而改善油水的流动状态。由于低渗透油田的储层物性较差,自然能量往往不足以维持长期的高效开采;所以,通过注水来补充地层能量,成为提高油田采收率的关键手段;注水还可以起到驱替原油、提高油井产量的作用,对于解决油井产量递减问题具有重要意义。然而,低渗透油田的特殊地质条件也为注水开发带来了一系列技术难题。由于储层渗透率低,注水过程中往往面临着较高的注水压力。这不仅增加了注水设备的负担,还可能引发地层破裂等安全风险。还有低渗透油田的储层非均质性较强,容易导致注入水的突破和窜流,从而影响注水效果;注入水的水质问题、储层敏感性问题等也是低渗透油田注水开发中需要重点关注的技术难题<sup>[1]</sup>。

## 2 低渗透油田注水开发工艺技术分析

### 2.1 注水方式选择

在低渗透油田的注水开发过程中,注水方式的选择直接关系到开发效果和经济效益;根据油田的地质构造、储层特性以及开发阶段的需求,科学合理地选择注

水方式是至关重要的。(1)边缘注水方式通常适用于油田开发初期或储层物性较好的区域,这种方式通过在外部注入水,利用水的驱替作用将原油推向生产井,从而提高采收率。其优点在于注水井与生产井相对独立,便于管理和调整。然而,随着开发的深入,边缘注水可能难以维持地层压力的稳定,此时需要考虑其他注水方式。(2)内部切割注水是在油田内部选择性地布置注水井,通过切割油层、改变液流方向来提高波及系数和采收率,这种方式适用于储层非均质性较强、油井产量递减较快的区域。内部切割注水能够更有效地利用注入水,提高水驱效率,但也需要更精细的注水管理和调整。(3)面积注水则是在整个油田范围内均匀布井注水,以保持地层压力的均匀分布,这种方式适用于储层物性相对均匀、开发进入中后期的油田。面积注水能够最大限度地提高油田的采收率,但也需要大量的注水井和配套设施,投资成本较高。

### 2.2 注水水质处理

在低渗透油田的注水开发过程中,注水水质是影响注水效果的关键因素;由于低渗透油田的储层物性较差,对注入水的水质要求尤为严格,所以进行精细的水质处理至关重要。(1)过滤是水质处理的基本环节,通过物理或化学方法去除水中的悬浮物、杂质和颗粒物,确保注入水的清澈透明。这有助于防止堵塞储层孔隙,保持油层的渗透率,从而提高注水的波及效率和采收率。(2)除氧也是水质处理的重要步骤。水中溶解的氧气会与储层中的原油发生化学反应,导致油质劣化和储层损害。通过除氧处理,降低注入水中的氧含量,有助于保护储层和原油的稳定性,延长油井的生产寿命。(3)杀菌处理对于保障注水水质同样重要。水中滋生的微生物和细菌会污染储层,引发腐蚀和结垢等问题。通过加入杀菌剂或使用其他杀菌技术,有效杀灭或抑制这

些微生物的生长，确保注入水的纯净无菌，为油田注水开发提供一个健康的环境<sup>[2]</sup>。

### 2.3 注水压力控制

在低渗透油田的注水开发过程中，注水压力的控制显得尤为关键；注水压力不仅直接关系到注水效果，更对油田的整体开发安全和稳定性产生深远影响。（1）过高的注水压力可能会引发一系列问题，当地层无法承受过大的压力时，可能会出现地层破裂的现象，这不仅会破坏储层的完整性，还可能导致注入水的无效流失。同时过高的压力也可能导致注入水过早地突破至生产井，造成油井含水率上升，影响原油的质量和采收率。（2）注水压力过低同样会带来问题，过低的压力可能无法有效地推动原油向生产井移动，从而导致油井产量下降，注水开发的效果大打折扣。（3）合理控制注水压力至关重要，在确定注水压力时，需要综合考虑地层压力、储层物性、油井产能以及开发阶段等多种因素。通过实时监测和调整，确保注水压力始终维持在安全、高效的范围内，从而最大限度地提高低渗透油田的注水开发效果。

### 2.4 注采平衡调整

在低渗透油田的注水开发过程中，注采平衡的调整扮演着至关重要的角色；注采平衡，即注入水量与油井产量之间的动态平衡，是实现油田高效、稳定开发的关键。（1）由于低渗透油田储层物性差、非均质性强，油井产量和注入水量的变化往往更加复杂和难以预测。所以实时监测油井产量和注入水量等数据显得尤为重要；通过这些数据的分析，可以及时发现注采失衡的迹象，为调整注采策略提供有力依据。（2）在调整注采平衡时，需要综合考虑多种因素，一方面，要根据油井的实际产能和储层特性，合理调整注水量，确保水驱前缘均匀推进，提高波及系数；另一方面，要关注油井的含水率变化，防止过早水淹，确保油井的稳定生产。（3）通过科学的注采平衡调整，不仅可以提高低渗透油田的采收率，还能有效控制油田的开发节奏和成本投入。注采平衡调整是低渗透油田注水开发过程中不可或缺的一环，对于实现油田的高效、可持续开发具有重要意义。

## 3 低渗透油田注水开发工艺技术优化建议

### 3.1 加强地质研究，准确掌握储层特征

（1）地质研究是注水开发的基础，低渗透油田的储层特征复杂多变，只有通过深入的地质研究，才能准确掌握储层的物性、非均质性、裂缝发育情况等关键信息。这些信息对于制定合理的注水策略至关重要。例如，了解储层的渗透率分布，可以帮助确定注水的速度和强度；掌握裂缝的发育情况，则有助于优化注水井的

布局 and 避免水窜。（2）建议加强地质勘探和储层评价工作，利用现代地球物理和地球化学技术，结合岩心分析、测井解释等手段，全面、精细地刻画低渗透油田的储层特征。建立储层地质模型，实现动态更新和修正，以反映储层随开发过程的变化。这样，不仅能为注水开发提供科学依据，还能及时调整注水策略，确保开发的持续性和高效性；通过加强地质研究，我们可以更加精准地把握低渗透油田的注水开发过程，实现资源的高效利用和油田的可持续发展<sup>[3]</sup>。

### 3.2 优化注水方式选择，根据实际情况灵活调整注水策略

在低渗透油田注水开发中，注水方式的选择直接影响到油田的开发效果和采收率；由于低渗透油田的地质条件和开发阶段不断变化，所以，灵活调整注水策略显得至关重要。（1）要对油田进行全面的地质评估，明确储层的渗透率、孔隙度以及裂缝发育情况，这是选择注水方式的基础。在此基础上，可以针对不同的地质特征，采用边缘注水、内部切割注水或面积注水等方式，确保注水能够有效地波及到目标储层，提高原油的采收率。（2）随着开发的深入，油田的地质条件和生产动态会发生变化；需要及时收集和分析生产数据，包括油井产量、含水率、注水压力等，以评估当前注水方式的效果。如果发现注水效果不佳或出现异常情况，应立即调整注水策略，如改变注水井的布局、调整注水速度和强度等，以适应油田的变化。（3）要注重技术创新和引进先进的注水技术，随着科技的发展，一些新型的注水技术不断涌现，如智能注水、周期性注水等。这些技术能够更加精准地控制注水量和注水时间，提高注水的效率和效果；在优化注水方式选择时，应积极考虑这些先进的技术手段，以提升低渗透油田的注水开发水平<sup>[4]</sup>。

### 3.3 强化注水水质管理，确保注入水质量满足开发需求

在低渗透油田的注水开发过程中，注入水的水质对油田开发效果有着举足轻重的影响；由于低渗透油田的储层物性较差，对注入水的水质要求更为严格；所以强化注水水质管理，确保注入水质量满足开发需求，是优化注水开发工艺技术的重要环节。（1）为了实现这一目标，需要建立完善的水质监测体系，通过定期对注入水进行取样化验，全面掌握水质状况，包括悬浮物含量、油分、细菌总数等关键指标；一旦发现水质超标，应立即采取措施进行处理，确保注入水的纯净度和稳定性。

（2）要加强注水系统的清洗和维护工作，长时间运行的注水系统容易滋生细菌、结垢等问题，严重影响水质；

应定期对注水管道、储水罐等设备进行清洗和消毒，保持系统的清洁卫生。（3）要强化人员的培训和管理，通过培训提高员工对注水水质重要性的认识，增强他们的责任心和操作技能。建立健全的考核和奖惩机制，激励员工积极参与水质管理工作，共同保障注入水质量满足开发需求。只有这样，才能为低渗透油田的高效开发提供有力保障。

### 3.4 完善注水压力监测系统，实现精准控制注水压力

在低渗透油田的注水开发过程中，注水压力的控制至关重要，为了实现精准控制注水压力，必须完善注水压力监测系统。这一系统能够实时监测注水井的压力变化，为操作人员提供准确的数据支持，从而及时调整注水策略，确保注水过程的安全与高效。（1）要选用高精度、高稳定性的压力传感器，确保监测数据的准确性；还要建立数据传输与处理系统，实现监测数据的实时采集、传输与分析；这样操作人员可以远程监控注水压力，及时发现异常情况，并采取相应的处理措施。（2）还应定期对注水压力监测系统进行校准与维护，确保其长期稳定运行。通过完善注水压力监测系统，不仅可以实现精准控制注水压力，还能有效预防地层破裂、注入水突破等风险，提高低渗透油田注水开发的安全性与经济性，这一措施对于优化低渗透油田注水开发工艺技术具有重要意义<sup>[5]</sup>。

### 3.5 加强注采平衡调整研究，提高油田采收率和开发效果

注采平衡调整是低渗透油田开发中的核心技术之一，由于低渗透油田的储层特性，其流体流动能力有限，所以确保注入水与原油采出的平衡至关重要。加强注采平衡调整研究，不仅可以优化油田的开发策略，还能显著提高采收率和整体开发效果。（1）深入研究注采

平衡调整有助于更准确地了解储层动态，通过实时监测和分析油井产量、注入水量、压力变化等数据，可以掌握储层中流体的分布和流动规律，为调整注采策略提供科学依据。（2）注采平衡调整能够优化注水策略，提高水驱效率。根据储层特性和开发阶段的需求，合理调整注水速度、注水强度和注水方式，可以确保水驱前缘均匀推进，最大限度地提高波及系数，从而提高原油的采收率。（3）加强注采平衡调整研究还有助于及时发现和解决开发过程中的问题，例如，当发现油井产量下降或含水率上升过快时，可以迅速调整注采策略，采取措施稳定产量和控制含水率，确保油田的持续高效开发。

### 结语

低渗透油田注水开发工艺技术，如同开启地下宝藏的密钥，对于提高油田采收率具有举足轻重的意义；本文不仅深入剖析了这项工艺技术的精髓，更在此基础上提出了富有洞察力的优化建议。展望未来，随着科技浪潮的汹涌澎湃，我们有理由相信，低渗透油田注水开发工艺技术将不断焕发新生，迎来更多的创新与突破，为全球石油资源的可持续开发谱写新的辉煌篇章。

### 参考文献

- [1]梁清清.低渗透油田注水开发调整技术探究[J].化工管理,2020(26):209.
- [2]甘德科.试析低渗透油田注水的开发技术方法[J].化学工程与装备,2021(03):162-163.
- [3]董林.采油废水用于低渗透油田注水处理技术探讨[J].石化技术,2019,25(04):106.
- [4]马福军,胡景春,庄健,等.新立油田低渗透油藏超前注水技术实践与应用[J].特种油气藏,2020,12(3):47-49.
- [5]樊超,李三山,李璐,王亚男.低渗透油藏压驱注水开发技术研究[J].石油化工应用.2022(01):37-40