

# 水平井钻井技术优化与经济效益研究

胡永生（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：**水平井钻井技术作为油气开发的重要手段，在复杂地质条件下具有显著优势。然而，该技术的实施仍面临井眼轨迹控制、井壁稳定性、钻具耐久性及其与钻井液性能匹配等核心技术问题。本文通过系统分析水平井钻井技术的常见问题，从精细化设计与实时轨迹监测、地层力学分析与井壁加固、高性能钻具研发与维护及钻井液动态调控与适配等方面提出优化策略，并对其经济效益进行深入探讨。研究表明，这些优化措施不仅可以提升钻井效率、降低成本，还可以显著提高油气田开发的整体经济效益，为推动油气开发技术进步和企业经济效益最大化提供学术参考和实践建议。

**关键词：**水平井钻井技术；技术优化；经济效益

## 0 引言

水平井钻井技术作为现代油气田开发的重要手段，在提高单井产量、优化资源开发效率以及延长油气田生产周期等方面具有显著优势<sup>[1]</sup>。随着全球能源需求的持续增长以及资源勘探难度的不断加大，如何在提升钻井效率的同时实现经济效益的最大化，已成为石油工业领域亟待解决的重要课题。从经济视角来看，传统直井开发方式由于开发周期长、资源利用率低，已无法满足现代油气田高效开发的需求，而水平井技术凭借其扩大油气藏暴露面积、提高采收率的特点，不仅显著降低了开发成本，还在全球油气资源开发中展现出强大的经济竞争力<sup>[2]</sup>。然而，水平井钻井技术的实施过程中面临着一系列技术挑战，如井壁稳定性差、井眼轨迹控制困难等，这些问题若不能有效解决，将对整体经济效益产生不利影响。因此，优化水平井钻井技术，从而实现技术进步与经济效益的协同发展对于油气开发企业而言尤为重要。

## 1 水平井钻井技术概述

水平井钻井技术作为油气田开发的重要技术之一，包括随钻测量技术、井眼轨迹控制技术、井壁稳定技术、钻井完井液技术等。其核心在于通过先进的钻井工程和精确的轨迹控制，将井眼从垂直方向转向水平延伸，从而大幅增加井眼与油气藏的接触面积。这一技术的应用为复杂油气藏的高效开发提供了可能，尤其在低渗透、非均质性储层中，表现出了显著的经济和技术优势<sup>[3]</sup>。水平井的钻井过程通常包括钻前地质和工程设计、轨迹规划与控制、钻井液管理以及钻后固井等多个环节，每一阶段都需要高度的技术协同和精确的执行。钻前阶段，工程师需要综合考虑地层地质特性、目标储层位置以及油藏性质，制定出

合理的水平井轨迹，以最大限度提高油气资源的采收率。在实际钻井过程中，轨迹控制技术至关重要，通过随钻测量和导向钻井设备的配合，可以实时调整井眼的轨迹，使其始终保持在最优油气层内。此外，为了维持井壁稳定性和优化携岩效率，钻井液的设计和使用也需要结合地层压力和流体性质进行动态调整。

相较于传统的垂直井或定向井，水平井钻井技术的优势主要体现在高采收率和经济效益两个方面。其一，水平井可以显著提升单井的采收效率，通过延长水平段的长度，扩大油气藏暴露面积，实现更大规模的油气产能；其二，该技术可以减少井口数量和地面设施的占地，从而降低钻井和开发成本<sup>[4]</sup>。同时，水平井的实施还为开发边际储量或难动用储层提供了可行的解决方案，这在全球能源转型的大背景下尤为重要。近年来，随着随钻测量、旋转导向以及智能钻井等相关技术的快速发展，水平井钻井的实施精度和经济可行性得到进一步提升。这些技术的进步不仅有效解决了井眼轨迹偏离、井壁失稳等传统问题，还为复杂地质条件下的高效开发开辟了新的路径。

## 2 水平井钻井技术常见问题分析

### 2.1 井眼轨迹控制难度大

水平井钻井过程中，井眼轨迹的精确控制是一个核心技术难题。由于井眼需要从垂直转向水平，并在复杂地层条件下保持一定的轨迹稳定性，传统的钻井技术难以满足精度要求。特别是在非均质储层中，地层的物性变化会引发井眼偏离目标油气层的问题，这直接影响到油气采收率和开发效果。为了实现轨迹精确控制，需要依赖高精度的随钻测量系统和先进的旋转导向钻井技术。然而，实时测量数据的传输延迟以及工具在高温高压环境下的可靠性问题，常常制约着

轨迹调整的灵活性。此外，井眼轨迹的设计与实际执行之间存在一定偏差，这需要在钻井前充分进行地质建模和轨迹模拟，以确保设计方案的可行性和科学性。

## 2.2 井壁稳定性问题

在水平井钻井过程中，井壁稳定性是影响钻井成功与否的关键因素之一。由于井眼通常需要穿越多个地质层面，而不同地层的应力条件和岩性特征差异较大，井壁失稳现象较为常见。例如，在软弱地层中，井壁容易发生坍塌，而在硬脆性地层中，井壁则可能出现裂缝或掉块。井壁失稳不仅会导致钻井工具的卡阻，还可能增加井眼清理和修复成本，从而影响整体经济效益。

## 2.3 钻井工具耐久性和适应性不足

水平井钻井对工具性能提出了更高要求，特别是在长水平段或高温高压环境下，传统钻井工具的耐久性和适应性往往难以满足作业需求<sup>[5]</sup>。钻头的磨损和失效是一个常见问题，尤其在研磨性强的地层中，钻头的寿命会显著缩短，从而导致频繁起下钻，延长作业周期。此外，旋转导向工具和随钻测量仪器在恶劣工况下容易出现精度下降或信号中断的问题，这直接影响钻井过程的连续性和轨迹控制效果。

# 3 水平井钻井技术优化策略

## 3.1 精细化设计与实时轨迹监测优化

针对井眼轨迹控制难度大的问题，可以从精细化设计与实时监测相结合的角度进行优化。其中，精细化设计需要依托先进的地质建模和轨迹模拟技术，通过高精度三维地震数据和地质分析软件构建储层的详细模型。这一模型应涵盖储层的物性分布、地层压力变化以及断层和裂缝的具体位置。在设计井眼轨迹时，需采用多方案比较的方式，评估不同轨迹对储层接触面积和钻井风险的影响，从而选择最优路径。此外，应对轨迹偏差的潜在风险进行提前评估，并制定对应的调整策略。

在钻井过程中，实时监测技术的应用是实现精确轨迹控制的关键。通过使用高精度的随钻测量系统（MWD）和随钻成像（LWD），可以获取井眼轨迹的实时位置和目标地层的动态变化。为了应对信号传输延迟问题，可结合无线随钻技术和快速数据处理算法，缩短轨迹调整的反应时间。同时，旋转导向钻井工具的优化设计也至关重要，通过提升其响应速度和导向精度，可以确保井眼在复杂地层中保持稳定的轨迹。上述措施相结合，可以显著提升轨迹控制的精度

和灵活性。

## 3.2 地层力学分析与井壁加固优化

针对井壁稳定性问题，可以从地层力学分析与井壁加固技术的结合进行优化。其中，地层力学分析需要在钻井前进行全面的地质力学建模，通过测试地层的岩性、孔隙压力和地应力分布，预测潜在的井壁失稳区域。模型分析结果可以指导井眼的角度和路径选择，以避免应力集中区域，从而降低井壁坍塌或掉块的风险。

在实际钻井作业中，井壁加固技术的应用尤为重要。针对软弱地层，钻井液的优化配方可以起到关键作用。通过调整钻井液的密度和黏度，可以在井眼内外形成压力平衡，从而稳定井壁。此外，添加具有封堵性能的聚合物或颗粒材料，可以增强钻井液对地层裂缝的封堵效果，从根本上改善井壁稳定性。如果遇到硬脆性地层，化学加固技术可以发挥作用，例如向井眼注入固化剂或树脂，形成保护层，有效降低裂缝扩展的可能性。这些策略结合使用，可以全面提高井壁稳定性。

## 3.3 高性能钻具研发与维护优化

针对钻井工具耐久性和适应性不足的问题，可以从高性能钻具的研发与现场维护优化两个方面进行改进。其中，高性能钻具的研发需要结合地层条件和钻井工况，选择合适的材料和结构设计。例如，在研磨性强的地层中，可以采用聚晶金刚石复合（PDC）钻头，其优越的耐磨性和高温稳定性能够有效延长使用寿命。与此同时，通过对旋转导向工具的设计进行优化，可以提高其在高温高压环境下的精确度和稳定性。

为了进一步延长工具的使用寿命，现场维护优化同样至关重要。在钻井过程中，可以通过实时监测钻具的运行状态，包括温度、振动和磨损情况，提前识别潜在问题并及时更换部件。此外，钻具的定期检修和精度校准也应纳入日常管理，以确保其在长时间作业中的性能稳定。通过研发与维护的双重优化，可以有效应对复杂地层对钻具提出的高要求，从而提升作业效率。

# 4 水平井钻井技术优化策略的经济效益分析

## 4.1 减少钻井轨迹偏差风险，提高经济回报

在精细化设计与实时轨迹监测策略的推动下，油气开发企业可以有效降低井眼轨迹偏差引发的开发风险，并显著提升整体经济效益。通过依托高精度三维地震建模和轨迹模拟技术，井眼设计可以更加科学合

理, 钻井作业中偏离目标储层的可能性可以被大幅降低。精准的轨迹控制可以减少无效钻井作业所消耗的时间和资源, 并可以有效降低因轨迹偏差修正导致的返工成本, 从而直接降低钻井总成本。

同时, 实时轨迹监测技术可以确保井眼始终保持在高效储层内, 进一步提升单井的采收率, 带动经济开发效果的提升。此外, 该策略还可以延长油井的生产寿命并增加累计产油量。通过优化轨迹设计并减少储层破坏, 油井的长期开发潜力可以被充分释放。企业不仅可以在短期内节省钻井成本, 还可以在长期生产中获得更高的经济回报。这种从设计到执行的全流程优化, 可以为油气开发企业提供稳健的投资回报保障。

#### 4.2 降低井壁失稳成本, 提高经济开发效率

在地层力学分析与井壁加固技术的支持下, 企业可以有效降低因井壁失稳而导致的经济损失, 同时显著提高开发效率。通过全面的地层力学建模和应力分析, 潜在的井壁坍塌或裂缝区域可以被准确预测, 为井眼路径选择提供科学依据。这种预防性设计可以降低井壁问题发生的概率, 从根本上减少因非生产性时间和额外修复所引发的经济损失。与此同时, 井壁加固技术的应用可以进一步提升钻井作业的连续性。优化后的钻井液配方不仅可以稳定软弱地层, 还可以封堵裂缝并有效减小坍塌风险, 从而保障长井段作业的顺利进行。虽然加固措施可能在前期增加部分投入, 但从长期来看, 这些措施可以减少井眼维护费用和修复作业的频率, 为企业节约大量运营成本。此外, 井壁稳定性提升后, 油气藏的完整性可以得到更好保护, 为后续的高效采收和经济开发创造更多条件。

#### 4.3 延长钻具使用寿命, 节约钻井维护成本

通过高性能钻具的研发与维护优化, 油气开发企业可以显著延长钻具使用寿命, 同时降低频繁更换工具带来的高昂成本。高耐久性的钻头和旋转导向工具不仅可以适用于复杂地层条件, 还可以在高温高压环境下保持稳定性能。这种改进可以减少起下钻作业的次数, 从而缩短整体钻井周期, 并直接降低设备租赁和操作费用。

此外, 实时监测和预防性维护策略可以进一步优化设备运行状态。通过及时监控钻具的温度、磨损和振动情况, 潜在故障可以被提前识别并迅速解决, 从而可以避免工具失效导致的停工时间和经济损失。这种维护模式可以降低备件库存需求和物流成本, 并进

一步提升企业的经济运营效率。在钻井效率和工具寿命双向提升的背景下, 企业可以以较低的投入实现更高的产出, 从而获得显著的经济效益。

#### 4.4 降低井眼复杂处理费用, 优化经济开发模式

在钻井液动态调控与适配优化策略的作用下, 企业可以显著降低井眼复杂处理费用, 并优化油气开发的经济模式。实时监测与动态调整钻井液性能, 使其在井眼清洁、压力平衡和储层保护方面的表现更加优异。这种灵活的调控方式可以有效避免因岩屑堆积或压力失衡导致的井眼复杂情况, 从而可以节省清理和修复成本。适配优化可以进一步确保钻井液与储层的化学兼容性, 减少因不良反应引发的储层损害问题。这一措施不仅可以保护储层的完整性, 还可以提高油气的采收效率, 为企业创造更高的经济回报。在长水平段作业中, 高性能钻井液的应用可以显著减少携岩效率不足和井眼堵塞等问题, 从而提升钻井的连续性和生产效率。综合来看, 该策略可以为企业在钻井和后续开发中提供经济效益与技术保障的双重优势。

### 5 结语

水平井钻井技术的优化不仅是一项技术层面的进步, 更是一种对资源高效开发和经济效益最大化的追求。通过解决关键技术瓶颈, 油气开发企业可以实现从设计到执行的全面优化, 不仅可以为复杂储层的高效开发提供强有力的技术支撑, 也可以为全球能源的可持续发展注入新的活力。作为现代油气开发的重要手段, 水平井钻井技术的深入研究与优化策略的实施, 不仅可以推动油气行业技术升级, 还能够在资源紧缺的时代背景下助力经济增长, 为全球能源安全与企业经济效益的双重目标提供重要保障。

#### 参考文献:

- [1] 赵铁桥. 开窗侧钻水平井钻井工艺技术 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(03): 163-165.
- [2] 张峰, 姬超, 刘宇. 长水平段水平井钻井技术难点分析及对策分析 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(01): 156-158.
- [3] 曲胜. 钻井工程中水平井钻井提速技术研究 [J]. 石化技术, 2023, 30(10): 89-91.
- [4] 郭显涛, 胡小刚, 刘亮. 优化三开水平井钻井技术分析 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2022, 42(20): 196-198.
- [5] 张取胜. 水平井钻井完井关键技术研究 [J]. 石油和化工设备, 2022, 25(04): 105-106+91.