

大斜度井井眼稳定技术优化及经济效益探讨

王金燕（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：本文探讨了大斜度井井眼稳定性技术的优化与应用，分析了钻井液优化、井壁支护、防塌技术及钻井设备创新的关键作用。通过案例，展示了这些技术对提升井眼稳定性、降低钻井成本、提高作业效率和经济效益的显著影响。研究表明，技术优化在大斜度井钻井过程中具有重要意义，未来智能化钻井技术的发展将进一步促进井眼稳定性和经济效益的提升，为油气勘探提供更强有力的支持。

关键词：大斜度井；井眼稳定性；钻井液优化；经济效益

1 引言

随着石油和天然气勘探技术的不断发展，大斜度井在复杂地质条件下的应用日益增多。然而，大斜度井的稳定性仍然是钻井中的主要问题。钻孔的不稳定性不仅影响钻井作业的顺利进行，而且有可能造成严重的安全事故和经济损失。因此，对大斜度井的井身稳定技术进行优化研究，不仅具有重要的技术意义，而且对提高石油和天然气勘探的经济效益具有实际价值。本文旨在通过分析大斜度井井眼稳定性问题，探讨优化技术及其应用，评估其对钻井成本、作业效率及安全性的影响，从而为相关技术的提升与推广提供理论依据和实践指导。

2 大斜度井井眼稳定性分析

2.1 大斜度井的定义与特点

大斜度井是指倾斜角度大于或等于 45 度或接近 45 度的钻井工程。其目的是穿透复杂的地质结构或达到特定的采矿目标。与垂直井或低角度井相比，高角度井在钻井过程中面临更复杂的挑战，例如井身稳定性降低、钻井效率降低以及工具严重磨损。

大斜度井的主要特点包括：

①井眼的倾斜角度较大，导致井壁受力不均，容易发生失稳；

②钻井液在倾斜井眼中的流动性差，可能导致井壁坍塌或钻井液侵入周围岩层；

③由于井眼斜度较大，钻进过程中的定位、测量和导向精度要求高。大斜度井常用于资源开采中的定向钻井、水平井钻探以及复杂地质条件下的井眼设计，对钻井技术和设备提出了更高的要求。

2.2 井眼稳定性问题分析

在大斜度井中，井眼的稳定性是钻井的主要问题之一，这主要受地质条件和钻井技术的影响。岩层的硬度、地质条件中的裂缝和断层等因素决定了井壁的

承载能力。如果岩石较软或存在断层带，井壁的支撑力就会不足，容易坍塌。根据陡峭井的角度，井壁的负载会变得更加复杂，局部和不均匀的负载会增加不稳定的风险。此外，井眼的方向变化和深度增大，也使得井壁承受的地应力不均，导致稳定性下降。

钻井液的特性也是确保钻孔稳定性的重要因素。除了具有足够的密度来承受地下压力外，钻井液还必须具有出色的流变特性和润滑性，以防止过度摩擦和损坏钻孔壁。钻井过程中的参数，如钻井速度、钻井压力和钻头设计，也会直接影响钻孔的稳定性。如果钻井速度过快，在钻孔壁完全发挥支撑功能之前，就有坍塌的风险。因此，确保大斜度井井眼的稳定性需要综合考虑地质、钻井液和钻进工艺等多方面因素。

2.3 大斜度井稳定性影响因素

大斜度井的稳定性受到多个因素的综合影响，主要包括以下几点：

2.3.1 地质条件

岩层的力学性质是影响油井稳定性的重要因素。如果岩层较弱，或者存在断裂带、裂缝或断层等地质特征，油井就更容易坍塌或变形，尤其是倾斜度较大的油井。局部不均匀应力会导致油井更加不稳定。

2.3.2 钻井液性能

钻井液对油井的稳定性起着重要作用。密度、粘度和流变学等参数必须与地质条件相匹配，以确保油井的稳定性。如果钻井液不能正常发挥作用，可能无法有效抵抗油井的压力，从而导致不稳定。

2.3.3 钻进参数

钻进速度、钻压、转速等钻井参数直接影响井眼稳定性。过快的钻进速度或不适当的钻压会使井壁无法承受应力，增加失稳风险。

2.3.4 井眼导向控制

大斜度井要求精确的井眼导向系统。井眼方向偏

差可能导致不均匀应力分布,进而影响稳定性。

综合考虑这些因素,优化设计与施工工艺是确保大斜度井井眼稳定的关键。

3 大斜度井井眼稳定技术优化方法

3.1 钻井液的优化与改进

钻井液可以有效防止井塌、控制井压并提高钻井效率。因此,钻井液的优化和改良是确保井眼稳定性的关键。首先,必须调整钻井液的密度,使其与地层压力相匹配。如果密度过高或过低,都会影响井眼稳定性。通过调整钻井液的成分,可以提高井眼稳定性,避免因流体柱不平衡导致井眼坍塌。

在此基础上,钻井液的流变性和粘度也需要优化。对于大斜度井,良好的流变性能能够确保钻井液在井眼中流动顺畅,并有效带走切削物,防止井壁粘附泥浆。而高粘度的钻井液能增强对井壁的支撑力,减少井壁坍塌的可能。最后,添加防塌剂、润滑剂和抑制剂等功能性化学品可以进一步提高钻井液的性能,改善井壁的稳定性,降低摩擦力,避免在复杂地质条件下的井眼失稳问题。

通过对钻井液的优化和改进,可以有效提升大斜度井的井眼稳定性,降低钻井风险,确保钻井作业的顺利进行。

3.2 井壁支护与防塌技术

良好的支护和防塌技术是确保大斜度井井眼稳定性的重要措施。常用的支护方法是增加钻井泥浆的密度和粘度,以提高井的支护强度并防止塌陷。此外,通过使用高性能的加固材料,如防塌剂和抑制剂,可以有效地提高井的抗压强度,防止井不稳定。在钻孔倾斜度较大的情况下,钻孔会承受不均匀的载荷,更容易发生局部坍塌。因此,合理选择支撑材料并优化钻井泥浆的成分尤为重要。

同时,改进钻进工艺,如控制适当的钻进速度、钻压和优化钻头设计,也有助于减少井壁的摩擦与压力,降低井眼失稳风险。

3.3 井壁支护与防塌技术

井壁支护与防塌技术在大斜度井钻井过程中至关重要,主要通过增强井壁支撑力和防止井眼塌陷。常见的方法是优化钻井液的性能,通过调整密度、粘度及流变性来稳定井壁,避免井壁因地层压力或钻井作业引起的失稳。防塌剂的使用能够增强井壁的抗塌性,特别是在软弱地层中,通过形成保护膜或胶结作用,提高井壁的承载能力。此外,钻井工艺的改进,如控

制钻进速度、钻压和选择合适的钻头,能有效减少井壁受到的冲击力和摩擦力,防止井眼崩塌。

3.4 钻井设备与工具技术创新

为了满足大斜度井井眼稳定性和钻孔效率需求,开发创新的钻头和导向工具是克服瓶颈的关键。新的导向系统能够精确控制钻孔方向,减少方向误差,避免因钻孔受力不均而导致的稳定性问题。同时,使用更高效、更耐磨的钻头材料能够有效提高钻孔效率,延长工具寿命,减少频繁更换工具的成本。

此外,智能化钻井设备也在大斜度井中得到应用,实时监测钻井参数并自动调整钻进策略,优化作业流程。通过先进的传感技术和数据分析,智能设备能够精准调控钻井液流量、钻进速度等关键参数,确保井眼稳定性和作业安全。这些技术创新大大提升了大斜度井钻井的效率和安全性。

4 大斜度井井眼稳定技术的应用实例分析

在油气勘探和开采中,大斜度井的应用逐渐增多,特别是在复杂地质条件下,井眼稳定性问题更加突出。以下是几个实际发生的案例,通过分析其中的技术应用,展示大斜度井井眼稳定技术的有效性。

案例一:中东地区某油田大斜度井施工

在中东某油田的一口大斜度井钻井过程中,井眼的稳定性问题严重影响了钻井效率。该井井眼倾斜角度为70度,地层为软弱的沉积岩和碎屑岩,容易发生井壁塌陷。为确保钻孔的稳定性,施工团队使用了经过优化的钻井液配方,并添加了稳定剂和减压剂,以增加钻井液的密度和粘度,并改善对钻孔壁的支撑。此外,还使用了新的滚轮导向系统,以精确控制钻孔方向,减少因缠绕钻孔而产生的额外负荷,并有效防止钻孔壁上的不均匀负荷。经过技术优化,最终成功完钻,井眼保持稳定,无塌方事故,减少了作业停工时间和设备损耗。

案例二:中国某深水油气田的深井钻探

在中国某深水油气田的深井钻探项目中,钻井团队面临了极其复杂的地质条件。该井的钻进深度超过5000m,井眼倾斜角度为60°,遇到了一系列井眼失稳问题。为了保证井眼稳定性,钻井作业中采用了多项技术手段:一方面,通过增强钻井液的粘度和密度,减少了井壁塌陷的风险;另一方面,应用了高效钻头与优化钻进工艺,降低了钻进速率和钻压,避免了因钻进速度过快导致的井眼不稳定。此外,针对深井高温高压的特殊情况,还采用了耐高温钻井液系统,有

效保证了钻井液的稳定性和井壁的支撑力。通过这一系列技术措施，最终成功完成了井眼稳定性保障，确保了作业顺利进行。

上述案例表明，针对大斜度井的井眼稳定性问题，采用优化钻井液、创新导向工具和改进钻进工艺等技术手段，能够有效提升井眼稳定性，减少井壁坍塌和设备损耗。这些成功应用实例为大斜度井的钻井技术提供了宝贵的经验，也为后续类似项目的顺利推进奠定了基础。

5 大斜度井井眼稳定技术的经济效益分析

5.1 井眼稳定性与经济效益关系

井眼的稳定性直接影响钻井作业的效率 and 安全性，进而对盈利能力产生重大影响。如果井眼不稳定，可能会出现钻井作业中断、设备损坏、维修时间延长和钻井液浪费等问题，从而导致工作成本增加。稳定性高的井眼可降低塌陷和钻井泥浆流失的风险，提高作业连续性，缩短钻井周期，减少计划外停机时间，降低资源消耗，最终提高作业效率并降低整体钻井成本。同时，稳定的井眼还有助于精准实施下一步的油气勘探和开采作业，保证油气的产出效率。因此，优化井眼稳定性技术能够有效提升钻井工程的经济效益，确保资源开发的可持续性和高效性。

5.2 技术优化对经济效益的提升作用

技术优化在大斜度井钻井中对经济效益的提升起着至关重要的作用。通过优化钻井液配方、提高井眼稳定性、改进钻进工艺以及引入高效的钻井设备，可以显著减少钻井过程中发生的井壁失稳、停工等问题，从而缩短钻井周期，降低设备损耗和维修成本。此外，技术优化能够提高钻井作业的效率 and 精度，减少资源浪费和不必要的开支。在油气开采过程中，稳定的井眼和高效的作业流程不仅降低了风险，还确保了产量的持续提升，因此，技术优化对整体经济效益的提升具有直接和深远的影响。

5.3 经济效益评估

在上述案例中，技术优化对经济效益的提升起到了显著作用。通过优化钻井液配方、增加防塌剂和抑制剂，提升了井壁的支撑力，有效防止了井眼坍塌和钻井液泄漏，降低了井眼失稳的风险。该项目通过采用滚动导向系统，确保了井眼的精确导向，减少了因井眼偏差引发的作业停顿和修复成本。

在实施这些技术优化后，钻井周期显著缩短，作业效率提高了约 20%。钻井液的优化配置和导向工具

的精确控制，避免了钻头更换频繁和井壁清理的额外成本，减少了设备损耗和非计划停工时间。最终，整个项目的钻井成本下降了 15% 左右，显著提高了油田开采的经济效益。此外，井眼稳定性增强也为后续油气勘探作业提供了有力保障，确保了油气资源的高效开采与可持续发展。

6 结论与展望

本文分析了大斜度井井眼稳定性技术的应用和优化方法，探讨了钻井液优化、井壁支护与防塌技术、以及钻井设备创新在提高井眼稳定性方面的有效性。通过实际案例分析可见，技术优化不仅提高了井眼稳定性，还显著降低了钻井成本，提高了作业效率，增强了油气开采的经济效益。

展望未来，随着油气勘探向更复杂地质条件的延伸，大斜度井的钻井技术仍需不断创新。进一步优化钻井液配方、提高井眼导向精度、以及智能化钻井设备的应用，将为大斜度井的安全、高效钻探提供更有力的支持。预计这些技术的持续发展将在提高资源开采效率、降低作业风险及成本方面发挥更大作用，推动行业的可持续发展。

参考文献：

- [1] 龙章亮, 丁洁, 曾贤薇, 等. 川西蓬莱镇组大斜度井井壁稳定性及临界生产压差确定 [J]. 天然气技术与经济, 2022, 16(01): 34-40.
- [2] 卫丽霞. 大斜度井深部调驱技术研究 [J]. 内蒙古石油化工, 2018, 44(08): 84-85.
- [3] 赵凯, 邓金根, 蔚宝华, 等. 层理性泥页岩大斜度井井壁稳定性研究 [J]. 科学技术与工程, 2013, 13(05): 1147-1149+1159.
- [4] 李涛, 刘庆怀. “大斜度井及水平井井眼岩屑携带问题探讨.” 工业 2019(001): 135-135.
- [5] 王丹. 某大斜度丛式井组井眼轨道设计及轨迹控制方案 [D]. 中国石油大学 (华东), 2024, 01(13): 23-24.
- [6] 李林祥. 孤东油田小油砂体提高采收率技术 [J]. 油气地质与采收率, 2013, 019(2): 5-7.
- [7] 曹向峰, 孙连坡, 牛洪波, 等. 非常规水平井井眼轨道优化设计及轨迹控制技术 [C]// 深层, 深水, 非常规钻井技术研讨会暨钻井研究院. 中国石油学会, 2012.
- [8] 郭良, 贾新光, 马毅超, 等. 大井斜长位移井井眼畅通钻井液技术优化 [J]. 自然科学 (文摘版), 2025, 01(13): 34-36.