

# 旋转导向钻井技术在定向井钻完井中的应用效果分析

张玉峰

中国海洋石油国际有限公司 天津 100029

**摘要：**旋转导向钻井技术在定向井钻完井中的应用效果显著，通过其精确的轨迹控制能力，大幅提升钻井效率与井眼质量。该技术实现了钻柱在旋转状态下的精准导向，减少非钻进时间及井下复杂情况的发生，从而降低钻井成本。旋转导向钻井技术还增强复杂地层的适应性，为油气田的高效开发提供有力支持。本文深入分析该技术在定向井钻完井中的具体应用效果，展现其广阔的应用前景。

**关键词：**旋转导向钻井技术；定向井钻完井；应用效果

**引言：**随着油气勘探开发向更深、更复杂地层迈进，定向井钻完井技术面临着前所未有的挑战。传统钻井技术因轨迹控制精度低、钻井效率低及复杂地层适应性差等问题，已难以满足现代油气田开发的需求。旋转导向钻井技术作为一种先进的钻井工艺，凭借其精确的轨迹控制能力、高效的钻井效率及卓越的复杂地层适应性，在定向井钻完井中展现出了巨大的应用潜力。本文旨在探讨旋转导向钻井技术在定向井钻完井中的应用效果，以为油气田的高效开发提供技术参考。

## 1 旋转导向钻井技术原理

旋转导向钻井技术是一种先进的钻井工艺，其核心原理在于通过精密的井下工具系统，实现对钻头方向的动态、精确控制。在钻井过程中，该技术摒弃了传统的滑动钻进模式，允许钻柱在旋转的同时，按照预设路径调整钻头方向，从而显著提升钻井效率与井眼质量。具体而言，旋转导向钻井系统集成了高精度的测量传感器、智能控制单元及导向执行机构。测量传感器实时捕捉井下的地质参数与钻头姿态信息，并上传至地面监控系统。地面系统基于这些数据，结合预设的钻井轨迹，生成精确的导向指令<sup>[1]</sup>。随后，指令通过高速双向通信系统传输至井下智能控制单元。该单元解析指令后，驱动导向执行机构动作，如调整钻头的偏置角度或改变钻井液的喷射方向，从而引导钻头沿预定路径钻进。此技术不仅实现了钻头的连续旋转与精确导向，还大幅减少钻柱与井壁的摩擦，降低卡钻风险，提高钻井安全性。同时其构建的井眼轨迹更加平滑，有利于后续作业的进行，为油气田的高效开发提供有力支持。

## 2 旋转导向钻井技术的优势

### 2.1 边滑动边旋转的特点与精确定向能力

旋转导向钻井技术最显著的优势之一在于其边滑动边旋转的独特工作模式与卓越的精确定向能力。传统钻

井技术往往需要在滑动钻进与旋转钻进之间频繁切换，这不仅耗时费力，还难以保证钻井方向的精确性。而旋转导向钻井技术则打破了这一局限，它允许钻柱在持续旋转的同时，通过井下智能控制系统实时调整钻头方向，实现边滑动边旋转的复合钻进。这种模式下，钻头能够更灵活地响应地层变化，精确命中目标靶点，大大提高钻井作业的精度和效率。精确定向能力也确保井眼轨迹的准确性和一致性，为后续作业奠定坚实基础。

### 2.2 井眼轨迹控制的精确性与稳定性

旋转导向钻井技术在井眼轨迹控制方面展现出极高的精确性与稳定性，这一特性为油气田的高效开发提供坚实的技术支撑。该技术通过集成高精度的测量传感器与先进的智能控制算法，构建一套实时反馈与动态调整系统。在钻井过程中，测量传感器能够持续捕捉钻头的位置、姿态及地层变化等关键信息，并迅速传输至智能控制单元。智能控制算法则基于这些数据，快速计算出最优的钻进方向调整方案，并指令执行机构精确动作，从而确保钻头始终沿着预设路径稳定钻进。无论是直井、斜井还是水平井，旋转导向钻井技术都能实现平滑、稳定的井眼轨迹控制。它有效避免传统钻井中因频繁调整钻具角度而导致的井眼扭曲、狗腿度过大等问题，显著提高井眼轨迹的连续性和一致性。这种精确而稳定的井眼轨迹不仅提升钻井质量，还降低后续作业如固井、完井及采油等过程中的风险和成本，为油气田的长期稳产高产奠定坚实基础<sup>[2]</sup>。

### 2.3 减少井下复杂情况发生，提高钻井效率

旋转导向钻井技术还显著减少井下复杂情况的发生，从而大幅提高了钻井效率。由于该技术能够实时调整钻头方向，避免对地层的过度扰动和破坏，因此减少卡钻、井漏等井下事故的风险。同时旋转导向钻井技术还通过优化井眼轨迹，降低钻柱与井壁的摩擦阻力，

提高钻进速度。另外,该技术还减少起下钻次数和滑动钻进时间,进一步缩短了建井周期。这些优势共同作用下,使得旋转导向钻井技术成为提高钻井效率、降低钻井成本的重要手段。

### 3 旋转导向钻井技术在定向井中的应用效果分析

#### 3.1 轨迹控制精度提升

在定向井钻井作业中,旋转导向钻井技术的应用显著提升了轨迹控制精度。这一技术通过集成高精度的测量传感器和先进的控制系统,实现了对钻头位置的实时、精确监测与调整。与传统钻井方法相比,旋转导向钻井技术能够在钻柱旋转的同时,精确控制钻头的钻进方向,确保井眼轨迹严格遵循预设路径。这种精确控制不仅体现在对井斜角、方位角的精确调整上,还体现在对井眼轨迹的平滑度和一致性上。在复杂地层中,如大位移井、水平井等,旋转导向钻井技术能够克服地层变化带来的干扰,保持井眼轨迹的稳定性和精确性,从而大大提高了钻井作业的成功率和安全性。

#### 3.2 钻井效率提高

旋转导向钻井技术在定向井中的应用,对钻井效率的提升作用尤为显著。这一先进技术通过深度优化钻井工艺与大幅减少非钻进时间,成功实现了钻井速度的飞跃。具体而言,旋转导向钻井技术打破了传统钻井模式的束缚,它允许钻柱在持续旋转的同时进行精确的导向钻进。这一创新不仅彻底避免传统钻井中频繁的起下钻和滑动钻进过程,还极大地缩短钻井周期,使得钻井作业更加高效、连贯。该技术还通过精确控制井眼轨迹,有效减少因轨迹偏差而引发的重复钻进和修正作业。这种高度的精确性不仅提高钻井效率,还降低因重复作业而产生的额外成本。更值得一提的是,旋转导向钻井技术还具备根据地层情况实时调整钻进参数的能力。无论是钻压、转速还是其他关键参数,该技术都能根据地层变化进行智能调整,以确保钻进过程始终保持在最优状态。这种智能化的钻进方式,进一步提升钻井效率,同时也降低钻井过程中的风险。

#### 3.3 井眼质量改善

旋转导向钻井技术在定向井中的应用还带来井眼质量的显著改善。这一技术通过精确控制井眼轨迹和减少钻柱与井壁的摩擦,实现井眼的光滑度和规整度提升。旋转导向钻井技术能够确保井眼轨迹的平滑过渡,避免了传统钻井中常见的井眼扭曲和狗腿度过大等问题。该技术通过减少钻柱与井壁的接触面积和摩擦阻力,降低井壁磨损和坍塌的风险,从而提高井眼的稳定性和完整性。旋转导向钻井技术还能够根据地层情况实时调整钻井液

性能和流量,以实现井眼的有效清洁和润滑。这些措施共同作用下,使得旋转导向钻井技术构建的井眼质量更高,为后续作业如固井、完井等提供更好的条件。

#### 3.4 复杂地层适应性

旋转导向钻井技术在定向井中的应用还展现出了卓越的复杂地层适应性。随着油气勘探开发向更深、更复杂的地层推进,传统钻井技术面临着越来越多的挑战。而旋转导向钻井技术则凭借其独特的优势和灵活性,成功应对这些挑战。首先,旋转导向钻井技术能够精确控制井眼轨迹,在复杂地层中实现精确钻进。无论是穿越断层、褶皱还是其他复杂地质构造,旋转导向钻井技术都能够通过实时调整钻头方向,确保井眼轨迹的准确性和稳定性。这种精确控制不仅提高了钻井作业的安全性,还降低因轨迹偏差导致的风险。其次,旋转导向钻井技术具有强大的地层适应性,该技术能够根据不同地层的特点和变化,实时调整钻进参数和钻井液性能,以实现地层的最佳钻进效果。例如,在硬地层中,旋转导向钻井技术可以通过增加钻压和转速来提高钻进速度;在软地层中,则可以通过降低钻压和转速来避免地层坍塌和井壁失稳<sup>[3]</sup>。另外,旋转导向钻井技术还能够有效应对复杂地层中的各种异常情况。例如,在遇到井漏、井涌等复杂情况时,旋转导向钻井技术可以通过实时调整钻井液的性能和流量,以及改变钻进参数来迅速应对,确保钻井作业的安全进行。在具体应用案例中,旋转导向钻井技术已经成功应用于多个复杂地层的定向井钻井作业中。例如,在海上油气田的开发中,旋转导向钻井技术凭借其卓越的地层适应性和精确控制能力,成功穿越多个复杂的地质构造和地层变化区域,实现高效、安全的钻井作业。这些成功案例不仅验证旋转导向钻井技术在复杂地层中的适应性,还为其在更广泛的领域中的应用提供有力的支持。

### 4 旋转导向钻井技术的经济效益分析

#### 4.1 直接成本降低

旋转导向钻井技术在经济效益上的首要体现便是直接成本的显著降低。传统钻井技术由于需要频繁起下钻具、调整钻井参数以及应对井下复杂情况,往往导致钻井周期延长,人力、物力及时间成本大幅增加。而旋转导向钻井技术通过其独特的边滑动边旋转的工作模式,实现了钻头的精确导向与高效钻进,大幅减少了非钻进时间,如起下钻次数、滑动钻进时间等,从而直接降低了钻井作业的直接成本。具体而言,旋转导向钻井技术通过精确控制井眼轨迹,减少因轨迹偏差导致的重复钻进和修正作业,这不仅节省钻井液和钻头的消耗,还降

低钻机的磨损和维修成本。同时由于该技术能够实时调整钻进参数,优化钻井工艺,使得钻井过程中的能耗更低,进一步压缩了直接成本。旋转导向钻井技术还提高了钻井作业的安全性和稳定性,减少因井下事故导致的额外成本支出。

#### 4.2 间接效益提升

除了直接成本的降低,旋转导向钻井技术还带来了显著的间接效益提升。首先,该技术通过提高钻井效率和井眼质量,缩短了建井周期,使得油气田能够更快地投入生产,从而提前实现经济效益。这种时间上的优势在油气市场价格波动较大的情况下尤为重要,能够帮助企业抓住市场机遇,提高投资回报率。其次,旋转导向钻井技术构建的井眼轨迹更加平滑、规整,有利于后续作业如固井、完井及采油等工作的顺利进行。这不仅提高后续作业的效率和质量,还降低作业风险和成本。例如,在固井作业中,平滑的井眼轨迹能够确保水泥浆的均匀填充,提高固井质量,延长油井寿命。在采油作业中,规整的井眼轨迹则有利于油气的顺畅流动,提高采收率。旋转导向钻井技术还促进了钻井技术的整体进步和产业升级,随着该技术的广泛应用和不断成熟,相关的钻井设备、工具及材料也得到了快速发展和更新换代,形成更加完善的产业链和配套体系。这不仅提高整个钻井行业的技术水平和竞争力,还带动相关产业的发展和就业机会的增加。

#### 4.3 综合成本对比

从综合成本的角度来看,旋转导向钻井技术相较于传统钻井技术具有显著的优势。虽然旋转导向钻井技术的初期投资可能较高,包括设备购置、技术培训及人员配备等方面的费用,但从长远来看,其带来的直接成本降低和间接效益提升将远远超过初期投资<sup>[4]</sup>。在直接成本方面,旋转导向钻井技术通过提高钻井效率和减少非

钻进时间,降低钻井液、钻头、钻机等消耗品的用量和维修成本。同时由于该技术能够减少井下事故的发生,还避免因事故导致的额外成本支出。在间接效益方面,旋转导向钻井技术通过缩短建井周期、提高井眼质量和后续作业效率,为油气田带来更早的经济效益和更高的采收率。这些间接效益的累积将使得旋转导向钻井技术的综合成本远低于传统钻井技术。随着旋转导向钻井技术的不断发展和完善,其初期投资也将逐渐降低。随着生产规模的扩大和技术的成熟,设备购置成本将逐渐下降;同时技术培训和人员配备也将更加高效和经济。这将进一步拉大旋转导向钻井技术与传统钻井技术在综合成本上的差距,使得旋转导向钻井技术成为未来钻井作业的主流选择。

#### 结束语

综上所述,旋转导向钻井技术在定向井钻完井中的应用效果十分显著。它不仅大幅提升轨迹控制精度与钻井效率,还显著改善井眼质量,并展现出卓越的复杂地层适应性。这些优势共同推动油气田开发向更高效、更安全、更经济的方向发展。随着技术的持续进步与创新,旋转导向钻井技术将在未来油气勘探开发中扮演更加关键的角色,为行业带来更加深远的变革与影响,助力全球能源产业的高质量发展。

#### 参考文献

- [1] 刘晓军. 旋转导向钻井技术应用研究及其进展[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2021(24): 195-196.
- [2] 杨明伟. YSL油田丛式定向井钻井提速配套技术研究[J]. 西部探矿工程, 2020, 32(07): 52-53.
- [3] 张铖, 肖曰秋. 页岩油定向井钻井速度影响因子探讨[J]. 石化技术, 2020, 27(10): 141-142.
- [4] 赵庆杰. 影响定向井施工速度因素及提速措施分析[J]. 西部探矿工程, 2020, 32(7): 75-76.