

# 旋转导向钻井技术在页岩油水平井的应用与认识

张 聪 肖红兵 李 闪 杨全进 盖志晓

中石化经纬有限公司地质测控技术研究院 山东 青岛 266071

**摘 要：**旋转导向钻井技术在页岩油水平井开发中展现出显著优势。该技术通过实时获取井下地质信息，精确控制井眼轨迹，提高钻进效率和井眼稳定性，有效降低钻井成本。在多个页岩油田的实际应用中，旋转导向钻井技术均取得了显著成效，不仅提高油田的开采效率，也为油气开发领域带来新的技术突破。随着技术的不断发展和完善，旋转导向钻井技术将在未来页岩油开发中发挥更加重要的作用。

**关键词：**旋转导向钻井技术；页岩油水平井；认识

## 1 页岩油水平井与旋转导向钻井技术概述

页岩油水平井与旋转导向钻井技术是当今油气开采领域中的两项关键技术，它们在页岩油资源的开发中发挥着重要作用。页岩油水平井技术；页岩油水平井技术是针对页岩油这种特殊油藏类型而发展出来的一种高效开采技术。由于页岩岩石的致密程度高，油气无法自由流动，因此需要通过特殊的开采方式来提取这些难以开采的油气资源。水平井技术通过在垂直井眼的基础上，将钻机转向90度，钻探水平井段，使得井眼与储层有更大的接触面积，从而极大地提高了油井的产量。水平井技术不仅适用于页岩油的开发，也广泛应用于其他类型的油气藏开发中。在页岩油水平井的开发过程中，完井技术是一个至关重要的环节，完井技术是指将井眼钻至油气层后，通过一系列的技术手段，使井眼与油气层之间建立有效的流通通道，以便油气能够顺利地由储层中流入井眼，进而被开采出来。完井技术的选择直接受到岩石强度、堵水堵气要求、预期流动率、完井寿命、页岩的活动性和稳定性等多种因素的影响。

旋转导向钻井技术；旋转导向钻井技术是一种先进的钻井技术，它通过在井下使用旋转导向系统，实现对井眼轨迹的精确控制。与传统的螺杆导向钻井方式相比，旋转导向钻井技术具有更高的准确性和及时性，可以实现经验轨迹控制的最大精度，保证导向钻井中的持续性旋转，实现摩阻扭矩的控制。旋转导向钻井系统实质上是一个井下闭环变径稳定器与测量传输仪器（MWD/LWD）联合组成的工具系统<sup>[1]</sup>。它完全抛开了滑动导向方式，而以旋转导向钻进方式，自动、灵活地调整井斜和方位，大大提高了钻井速度和钻井效率。旋转导向钻井技术主要应用于特殊油藏的高难度定向井、大位移井、水平井、超深井以及水平分支井等复杂钻井环境中。在页岩油水平井的开发中，旋转导向钻井技术也发挥着重

要作用。通过使用该技术，可以更加精确地控制井眼轨迹，确保井眼与储层之间建立有效的流通通道，从而提高油井的产量和开采效率。旋转导向钻井技术还可以降低钻井过程中的摩阻扭矩和钻井成本，提高钻井作业的安全性和经济性。

## 2 旋转导向钻井技术在页岩油水平井中的应用价值

旋转导向钻井技术在页岩油水平井中的应用价值显著，主要体现在几个方面：第一，旋转导向钻井技术能够实现对井眼轨迹的精确控制，在页岩油水平井的钻探过程中，精确控制井眼轨迹至关重要，因为页岩油储层通常分布广泛且复杂。旋转导向钻井系统通过井下闭环变径稳定器与测量传输仪器（MWD/LWD）的联合工作，能够实时获取井下的地质信息，并据此自动、灵活地调整井斜和方位，确保井眼轨迹能够精准地穿越目标储层，从而最大限度地提高油井的产量。第二，旋转导向钻井技术能够提升钻井效率。与传统的滑动导向钻井方式相比，旋转导向钻井技术能够实现持续性的旋转钻进，避免了滑动钻进时产生的摩阻扭矩和磨损问题，从而减少了钻井过程中的故障率和停机时间。旋转导向钻井技术还能够根据地质情况实时调整钻进参数，如钻压、转速等，以适应不同的地层条件，进一步提高了钻井效率和作业安全性。第三，旋转导向钻井技术有助于降低钻井成本。由于旋转导向钻井技术能够实现精确控制和高效钻进，因此可以减少钻井过程中的废井和返工现象，降低钻井成本。该技术还能够减少钻井设备的磨损和维护成本，延长设备的使用寿命，进一步降低了钻井成本。第四，旋转导向钻井技术对于页岩油资源的开发具有重要意义，页岩油作为一种新兴的油气资源，具有广阔的开采前景。由于其储层特点复杂，开发难度较大。旋转导向钻井技术的应用，可以实现对页岩油储层的高效、精确开发，提高油井的产量和开采效率，对于

推动页岩油产业的发展具有重要意义。

### 3 旋转导向钻井技术在页岩油水平井中的具体应用

#### 3.1 前期规划与设计

在页岩油水平井的勘探与开发过程中，旋转导向钻井技术的前期规划与设计至关重要。地质勘探团队需要对目标区域进行详尽的地质勘探，了解页岩油储层的分布、厚度、岩性、渗透率等关键参数。基于这些地质数据，钻井工程师会制定初步的井眼轨迹设计方案，确定井眼的深度、倾斜角度、方位角等关键参数。在井眼轨迹设计过程中，旋转导向钻井技术的优势得到了充分体现。通过模拟软件，工程师可以模拟出不同井眼轨迹下的钻进效果，包括钻进速度、摩阻扭矩、井眼稳定性等。这些模拟结果能够为井眼轨迹的优化提供重要参考，确保设计的井眼轨迹能够最大限度地穿越目标储层，同时减少钻进过程中的风险。在前期规划与设计阶段，还需要对旋转导向钻井系统的设备进行选型与配置。根据目标储层的地质条件和井眼轨迹的设计要求，选择合适的旋转导向钻井系统、测量传输仪器（MWD/LWD）以及其他配套设备。这些设备的选型与配置将直接影响到钻进过程中的效率和安全性。

#### 3.2 实施过程中的操作技术

在页岩油水平井的钻进过程中，旋转导向钻井技术的操作技术是关键。钻井工程师需要根据井眼轨迹的设计要求，设定好旋转导向钻井系统的钻进参数，如钻压、转速、泥浆排量等。这些参数将直接影响到钻进过程中的效率和井眼轨迹的精度。在钻进过程中，旋转导向钻井系统通过井下闭环变径稳定器与测量传输仪器（MWD/LWD）的联合工作，实时获取井下的地质信息<sup>[2]</sup>。根据这些信息，钻井工程师可以实时调整钻进参数，确保井眼轨迹能够按照设计要求进行钻进。同时，系统还能够实时监测井下的摩阻扭矩、井眼稳定性等关键参数，及时发现并处理钻进过程中的异常情况。在水平段钻进过程中，旋转导向钻井技术能够实现井眼轨迹的平滑过渡和稳定钻进。通过调整稳定器的直径和钻进参数，可以确保井眼轨迹在水平段内保持平稳的轨迹和合适的倾斜角度。这对于提高井眼轨迹的精度和稳定性具有重要意义。

#### 3.3 后期井筒管理与效果评估

在页岩油水平井钻进完成后，旋转导向钻井技术还需要在后期井筒管理与效果评估中发挥重要作用。钻井工程师需要对井筒进行清洗和整理，确保井筒内无残留物和堵塞现象。这有助于提高油井的产量和开采效率。工程师需要对井筒进行固井作业，以提高井筒的稳定性和使用寿命。在固井过程中，旋转导向钻井技术可以提

供精确的井眼轨迹数据，帮助工程师选择合适的固井方案和材料。同时，系统还能够实时监测固井过程中的关键参数，确保固井作业的质量和安全性。工程师需要对井筒的钻进效果进行评估，通过对比分析钻进过程中的数据、井眼轨迹的精度、井筒的稳定性等指标，可以评估旋转导向钻井技术的应用效果。这些评估结果将为后续油井的开采和运营提供重要参考。

### 4 应用效果评估与认识提升

#### 4.1 钻进效率与成本控制分析

在页岩油水平井的钻探过程中，应用旋转导向钻井技术后，对钻进效率与成本控制的评估是至关重要的。首先分析钻进效率的提升，通过旋转导向钻井技术，可以实现井眼的持续旋转钻进，避免了传统滑动钻进中频繁的起下钻和换向操作，显著提高了钻进速度。由于旋转导向钻井系统能够根据实时地质数据调整钻进参数，使得钻进过程更加高效和稳定，进一步提升钻进效率。在成本控制方面，旋转导向钻井技术也展现出了显著的优势，由于钻进效率的提升，缩短钻井周期，降低设备使用时间和人工成本。旋转导向钻井系统能够精确控制井眼轨迹，减少因井眼偏移而导致的额外钻进和修复成本。通过实时监测和预警系统，能够及时发现并处理钻进过程中的异常情况，避免潜在的安全风险和事故损失。然而也需要注意到，旋转导向钻井技术的设备购置和维护成本相对较高，在成本控制分析中，需要综合考虑设备投资、运行成本、维护成本等因素，进行全面的经济评估。

#### 4.2 井眼轨迹精度与稳定性评价

井眼轨迹的精度与稳定性是评价旋转导向钻井技术应用效果的重要指标之一。在页岩油水平井的钻探过程中，旋转导向钻井技术通过井下闭环变径稳定器与测量传输仪器（MWD/LWD）的联合工作，实现了对井眼轨迹的精确控制。通过实时获取井下的地质信息，系统能够自动调整稳定器的直径和钻进参数，确保井眼轨迹能够按照设计要求进行钻进。在井眼轨迹精度方面，旋转导向钻井技术展现出了显著的优势。通过对比分析实际井眼轨迹与设计井眼轨迹的偏差，可以发现旋转导向钻井技术的精度远高于传统钻井技术。这主要得益于旋转导向钻井系统的高精度测量和实时调整能力。在井眼轨迹稳定性方面，旋转导向钻井技术也表现出了良好的性能。由于系统能够实时监测井下的摩阻扭矩、井眼稳定性等关键参数，并据此调整钻进参数，因此能够确保井眼轨迹在钻进过程中保持稳定的轨迹和合适的倾斜角度<sup>[3]</sup>。

#### 4.3 旋转导向钻井技术认识提升

在应用旋转导向钻井技术的过程中,也对这项技术有了更深入的认识和理解。首先,认识到旋转导向钻井技术是一种高精度、高效率的钻井技术,特别适用于页岩油水平井等复杂油气藏的开发,通过实时获取井下的地质信息并据此调整钻进参数,系统能够实现对井眼轨迹的精确控制,提高油井的产量和开采效率。其次,认识到旋转导向钻井技术在实际应用中需要综合考虑多种因素。例如,在设备选型与配置方面需要根据目标储层的地质条件和井眼轨迹的设计要求选择合适的设备;在钻进过程中需要根据实时地质信息调整钻进参数以确保钻进效率和井眼轨迹的精度;在后期井筒管理与效果评估中需要综合考虑钻进效率、成本控制、井眼轨迹精度与稳定性等因素进行综合评价。最后,也认识到旋转导向钻井技术的发展和應用仍然面临一些挑战。

### 5 旋转导向钻井技术在页岩油水平井开发中的应用案例分析

#### 5.1 案例一:某页岩油田旋转导向钻井实践

在某页岩油田的开发过程中,旋转导向钻井技术得到了成功应用。该油田的地质条件复杂,页岩储层分布不均,传统的钻井技术在钻探过程中遇到了很大的困难。为了解决这些问题,油田开发团队决定引入旋转导向钻井技术。在实施过程中,进行详细的地质勘探和井眼轨迹设计,根据地质数据和储层特性,制定合适的井眼轨迹方案。选用先进的旋转导向钻井系统和配套设备,确保钻进过程的稳定性和高效性。在钻进过程中,旋转导向钻井系统实时获取井下的地质信息,并根据这些信息自动调整钻进参数。这使得井眼轨迹能够精确地按照设计要求进行钻进,大大提高钻进效率和井眼轨迹的精度。系统还实时监测了井下的摩阻扭矩、井眼稳定性等关键参数,确保钻进过程的安全性和稳定性。经过旋转导向钻井技术的实施,该页岩油田的钻探效率得到显著提升<sup>[4]</sup>。与传统钻井技术相比,旋转导向钻井技术不仅缩短钻井周期,降低成本,还提高井眼轨迹的精度和稳定性。这为后续的完井作业和油气开采奠定了坚实的基础。旋转导向钻井技术的应用还带来了其他方面的积

极效果。由于钻进过程中的实时监测和预警系统,能够及时发现并处理异常情况,降低了安全风险。

#### 5.2 案例二:另一页岩油田旋转导向钻井实施

在另一个页岩油田的开发项目中,旋转导向钻井技术也展现出了强大的应用价值。该油田位于地形复杂的山区,储层分布较为零散,传统的钻井技术难以满足开发需求。为克服这些困难,油田开发团队引入旋转导向钻井技术。在项目实施前,进行了充分的地质勘探和井眼轨迹设计。根据地质数据和储层特性,制定合理的井眼轨迹方案。在钻进过程中,旋转导向钻井系统发挥关键作用,系统通过实时获取井下的地质信息,并据此调整钻进参数,确保井眼轨迹能够精确地按照设计要求进行钻进。系统还实时监测井下的关键参数,如摩阻扭矩、井眼稳定性等,确保了钻进过程的安全性和稳定性。经过旋转导向钻井技术的实施,该页岩油田的开发效率得到显著提升,不仅钻井周期大幅缩短,成本得到有效控制,而且井眼轨迹的精度和稳定性也得到显著提高。这为后续的油气开采和油田开发提供有力支持。

#### 结束语

旋转导向钻井技术作为页岩油水平井开发的重要工具,其应用不仅推动油气开发技术的进步,也为油气资源的高效利用提供有力支持。面对未来油气资源开发的挑战,需要不断探索和创新,加强技术研发和应用,推动油气行业的可持续发展。让我们共同期待旋转导向钻井技术在未来油气开发领域创造更多的辉煌。

#### 参考文献

- [1]赵建新.煤层气水平井钻进技术分析及应用[J].能源技术与管理.2021.46(03):163-165.
- [2]刘宗堂.初探旋转导向系统在深层页岩油水平井的应用[J].中国设备工程.2021(09):130-131.
- [3]付勇华.旋转导向钻井技术应用于水平定向钻进中[J].中国石油和化工标准与质量.2020.40(19):149-151.
- [4]马鸿彦.王大宁.张杰.赵会忠.李清碧.张鹏宇.王伟.旋转导向系统在深层页岩油水平井的应用[J].钻采工艺.2019.42(04):16-19+7.