

# 地质导向技术在复杂地质条件下的应用与挑战

刘晶磊

中石化经纬有限公司华北测控公司 河南 郑州 450042

**摘要:** 地质导向技术是石油钻探的关键,通过实时获取地质数据,动态调整钻井轨迹,确保高效穿越目标储层。在复杂地质条件下,它面临地层复杂性、地质解释精准度、地质风险和录井资料失真等挑战。但通过采用先进技术、创新井筒轨迹控制、降低地质风险及建立数据共享平台,地质导向技术仍能有效引导钻头,提高油气勘探成功率 and 开发效率,为油气资源开发提供有力支持。

**关键词:** 地质导向技术;复杂地质条件下;应用;挑战

引言:地质导向技术在复杂地质条件下的应用,是现代石油勘探与开发领域的一大重要突破。该技术通过实时监测和分析地下地质信息,动态调整钻井轨迹,为油气勘探提供了前所未有的精确度和灵活性。然而,复杂的地质条件也给地质导向技术的应用带来了诸多挑战。本文将探讨这些应用实例与挑战,旨在为地质导向技术的进一步优化和发展提供参考。

## 1 地质导向技术简介

### 1.1 定义与原理

(1) 地质导向技术的定义。地质导向技术是指在石油钻探过程中,依据实时获取的地质和工程数据,动态调整钻井轨迹,确保井眼在目标储层内部高效穿行的技术。它结合了地质学、地球物理学、钻井工程学等多学科知识,通过实时监测和解释地下地质特征,为钻井作业提供精确指导。(2) 核心技术FEWD的组成。FEWD技术是地质导向技术的核心,它包含一系列先进的传感器和工具。其中,定向工程参数传感器用于监测井眼轨迹的倾斜角、方位角等关键参数;测井传感器则负责测量地层的自然伽马、电阻率、孔隙度和中子密度等物理性质;钻具振动传感器则用于监测钻头的振动状态,预防钻井过程中的潜在风险。这些传感器实时传输数据至地面控制中心,供地质导向师进行综合分析和决策。

### 1.2 技术特点

(1) 实时获取真实地质参数。地质导向技术通过FEWD系统实时获取地下地质参数,如自然伽马射线强度、电阻率分布、孔隙度和中子密度等,这些数据为地质导向师提供了宝贵的地下信息,有助于准确判断地层边界、储层特性和流体性质。(2) 风险回避与地质导向优势。地质导向技术通过实时调整钻井轨迹,有效避免了钻穿非目标地层、误入地质异常区等风险。同时,该技术还能引导井眼在储层内部高效穿行,提高油气勘探

的成功率和开发效率。此外,地质导向技术还能在复杂地质条件下,如断层、裂缝发育区等,实现精确钻井,为油气田的高效开发提供有力支持。

### 1.3 常用仪器与钻具组合

(1) 伽马与电阻率组合仪器。伽马与电阻率组合仪器是地质导向技术中常用的测井工具,它能同时测量地层的伽马射线和电阻率,为地质导向师提供地层岩性、流体性质等方面的信息。(2) 伽马、电阻率、孔隙度、密度四项参数组合仪器。该仪器可以同时测量地层的伽马射线、电阻率、孔隙度和密度等四项参数,提供更加全面的地层信息,有助于地质导向师更准确地了解地层特性,制定更合理的钻井策略。(3) 导向马达工艺配合高效钻头。导向马达工艺通过内置的偏置机构实现井眼轨迹的精确调整,而高效钻头则能在保持高钻速的同时,减少磨损和故障率,两者结合使用,大大提高了地质导向技术的钻井效率和成功率。

## 2 地质导向技术在复杂地质条件下的应用

### 2.1 薄层与复杂地层

(1) 地质导向技术如何更好地引导钻头穿过薄层和复杂地层。薄层与复杂地层因其地质结构的复杂性和储层特性的多样性,给钻井作业带来了极大的挑战。地质导向技术通过集成随钻测量(MWD)和随钻测井(LWD)系统,能够实时获取钻井过程中的地质信息,包括地层岩性、物性、含油气性等关键参数。这些信息为地质导向师提供了精确的地下“地图”,使其能够准确判断钻头当前所在位置及其与目标储层的关系。在薄层中,地质导向技术利用高精度传感器实时监测地层的微小变化,确保钻头能够精确穿越目标储层,避免误钻非储层或穿过储层过薄区域。同时,地质导向技术还能根据实时数据调整钻井参数,如钻压、转速和泥浆性能,以优化钻井效率和储层保护。在复杂地层中,地质

导向技术通过实时监测地层结构、断裂和裂缝的发育情况,指导钻头绕过或穿越不利区域,如断层、裂缝密集带等。此外,地质导向技术还能结合地震资料和地质模型,进行井眼轨迹的预测和优化,确保钻头能够沿着最优路径钻进,降低钻井风险和成本<sup>[1]</sup>。(2)实时调整钻井设计,确保钻头安全有效地沿着油层目标钻进。地质导向技术的核心优势在于其能够实时调整钻井设计,以适应复杂多变的地质条件。在钻井过程中,地质导向师根据实时获取的地质信息和钻井参数,对钻井轨迹进行动态调整。这种调整不仅限于水平位移和垂直深度的控制,还包括井眼倾斜角、方位角等参数的微调。通过实时调整钻井设计,地质导向技术能够确保钻头始终沿着油层目标钻进,最大化地利用储层资源。同时,地质导向技术还能根据地层含油气性的变化,及时调整泥浆配方和钻井速度,以防止地层垮塌、井漏等钻井事故的发生,确保钻井作业的安全进行。

## 2.2 隐蔽油藏与薄油藏

(1)地质导向技术为开发隐蔽油藏和薄油藏提供技术支持。隐蔽油藏和薄油藏因其埋藏深、储层厚度薄、岩性复杂等特点,一直是油气勘探开发的难点和热点。地质导向技术通过实时监测和分析地下地层的信息,能够准确判断隐蔽油藏和薄油藏的位置、储层厚度、岩性和含油气性,为油田勘探开发人员提供了宝贵的地质依据。在隐蔽油藏和薄油藏的开发中,地质导向技术不仅能够指导钻井作业精确穿越目标储层,还能根据实时数据调整开发方案,优化井网布局和注水策略,提高油气采收率。(2)实际应用案例(如塔里木油田HD1-1井)。塔里木油田HD1-1井是地质导向技术在隐蔽油藏开发中的一次成功应用。该井位于塔里木盆地深层,储层厚度薄,岩性复杂,且受多期构造运动影响,地层断裂发育。通过应用地质导向技术,钻井作业成功穿越了多个复杂地层,精确找到了隐蔽油藏的位置,并获得了高产油气流。这一成功案例不仅验证了地质导向技术在隐蔽油藏开发中的有效性,也为类似地质条件下的油气勘探开发提供了宝贵的经验。

## 2.3 老油田剩余油藏

(1)地质导向技术在老油田长期开采后的边底水构造油藏中的应用。老油田在长期开采后,边底水构造油藏往往面临油气采收率低、生产成本高等问题。地质导向技术通过实时监测和分析地下流体的动态变化,能够准确判断边底水的位置和活动规律,指导钻井作业避开高产水区,直接钻入富含油气的区域。同时,地质导向技术还能结合储层地质模型和数值模拟技术,对老油田

的剩余油藏进行精细描述和预测,揭示剩余油气的空间分布特征,为优化开发方案提供科学依据<sup>[2]</sup>。(2)提高油气田开发效率和产量。地质导向技术在老油田剩余油藏中的应用,显著提高了油气田的开发效率和产量。通过精确引导钻头穿越目标储层,地质导向技术减少了因误钻非储层而导致的钻井事故和成本浪费。同时,结合储层地质模型和数值模拟技术,地质导向技术为油田开发人员提供了更为准确的地质信息,有助于制定更加科学合理的开发方案,优化井网布局和注水策略,从而提高油气采收率。

## 3 地质导向技术在复杂地质条件下面临的挑战

### 3.1 地层复杂性的挑战

地层复杂性是地质导向技术面临的首要难题。地层岩性、构造和地质构造的变化多端,使得井眼轨迹的控制变得尤为困难。尤其是当遇到断层、褶皱等复杂地质构造时,井眼轨迹极易发生偏差,甚至可能导致钻头偏离目标储层,严重影响油气采收率。此外,非均质性和多层次地层中的地质导向更是难上加难,因为岩性和物性的突然变化会误导地质导向系统,使得操作人员难以做出准确的判断和决策。

### 3.2 地质解释精准确度的挑战

地质解释的精准确度直接关系到地质导向的准确性。然而,复杂地质条件下,地震、测井等数据的准确性往往受到多种因素的干扰,如数据采集质量、数据处理方法以及地质条件本身的不确定性等。这些因素可能导致地质解释出现偏差,从而影响地质导向的可靠性。此外,解释方法的合理性也是影响地质导向准确性的重要因素。传统解释方法可能难以适应复杂地质条件的变化,需要不断探索和创新更为科学、合理的解释方法。

### 3.3 地质风险的挑战

地质风险是地质导向技术应用中不可忽视的问题。地层漏失、坍塌等地质风险不仅可能导致钻井事故和成本浪费,还可能对地质导向的准确性和可靠性造成严重影响。特别是在复杂地质条件下,这些风险的发生概率和危害程度都会显著增加。因此,如何有效识别、评估和应对地质风险,是地质导向技术面临的重要挑战。

### 3.4 录井资料失真的挑战

录井资料是地质导向的重要依据之一。然而,在复杂地质条件下,录井资料往往受到多种因素的影响而失真。相变地层油层中厚度和方向的变化可能导致录井数据与实际地质情况存在偏差,从而影响地质导向的准确性。此外,油基钻井液的使用也可能对测量数据的精确度造成干扰,进一步加大了地质导向的难度。

## 4 应对地质导向技术挑战的全面技术对策

### 4.1 提高地质解释精度

(1) 采用先进的地震解释技术、测井技术和成像技术。面对复杂的地质结构,我们需要采用更为先进的地震解释技术,如三维地震反演技术,以揭示地下岩层的精细结构。同时,测井技术的升级也至关重要,如核磁共振测井、阵列声波测井等,能够提供更为详尽的地层物理参数。此外,成像技术的应用,如电成像测井和电阻率成像,可以直观地展示地下岩层的分布和特征,显著提高地质解释的精度。(2) 结合人工智能和大数据分析技术。人工智能和大数据分析技术的引入,为地质解释带来了新的可能性。通过机器学习算法,我们可以对大量的地质数据进行分析 and 预测,揭示潜在的地质规律和趋势。大数据分析技术则能够整合多源数据,挖掘数据间的关联性,提高地质解释的准确性和可靠性。这些技术的应用,有助于我们更深入地了解地下储层的特征,为后续的井筒轨迹控制和地质风险评估提供有力支持。

### 4.2 创新井筒轨迹控制技术

(1) 使用钻井测斜仪、定向钻井技术等。在井筒轨迹控制方面,我们需要依靠钻井测斜仪和定向钻井技术等先进工具。钻井测斜仪能够实时监测井眼的倾斜角和方位角,确保井眼轨迹按照预定方向进行。定向钻井技术则能够实现对井眼轨迹的精确调整,以适应复杂的地质条件。这些技术的结合应用,可以显著提高井筒轨迹的精确度,确保钻井作业的顺利进行。(2) 在钻进过程中实现更加精准的钻井目标。为了更加精准地实现钻井目标,我们需要综合考虑地质解释和实时监测数据。通过不断优化钻井参数和调整钻井策略,我们可以确保钻头能够精确到达目标储层。此外,我们还可以利用先进的导航系统和智能钻井技术,实现对井筒轨迹的实时监控和精确控制<sup>[3]</sup>。

### 4.3 降低地质风险

(1) 加强对地层地质特征的综合评估和预测。地质风险的降低需要从地层地质特征的综合评估和预测入手。我们需要对地下岩层的分布、物理参数和地质构造等进行深入研究,以揭示潜在的地质风险。同时,还需要利用地质模型进行风险评估和预测,为后续的钻井作

业提供指导。(2) 结合钻井液、完井技术等手段。钻井液和完井技术是降低地质风险的重要手段。通过选择合适的钻井液类型和配方,我们可以减少地层漏失和坍塌的风险,同时提高钻井效率。完井技术则涉及到井筒结构的优化和储层保护等方面,通过选择合适的完井方式和采用先进的完井材料,我们可以最大限度地降低地质风险,确保油气井的长期稳定生产。

### 4.4 数据共享与协同平台

(1) 借助互联网和信息技术,建立数据共享和协同平台。为了应对地质导向技术中的数据孤岛和协同不足问题,我们需要借助互联网和信息技术的力量,建立统一的数据共享和协同平台。该平台应能够集成地震、测井、井筒轨迹、地质评估等多源数据,实现数据的实时共享和协同处理。通过该平台,不同部门和团队可以方便地访问和共享数据,从而提高工作效率和准确性。(2) 加强地质导向的信息交流和协同作用。除了数据共享外,地质导向的信息交流和协同作用也是至关重要的。我们需要建立有效的沟通机制和协作流程,确保不同部门和团队之间的信息共享和协同工作。通过定期的会议、讨论和协作,我们可以及时发现和解决问题,优化工作流程,提高整体的地质导向效果。

### 结束语

综上所述,地质导向技术在复杂地质条件下的应用展现出其强大的技术优势和适应能力,为油气勘探开发提供了有力的支持。面对地层复杂性、地质解释精度、地质风险和录井资料失真等挑战,通过不断探索和创新,我们有望进一步提高地质导向技术的准确性和可靠性。未来,地质导向技术将继续在油气勘探与开发领域发挥重要作用,为能源产业的可持续发展贡献力量。

### 参考文献

- [1]王兵,张维平.石油钻井工程技术现状、挑战及发展趋势[J].化工设计通讯,2019,(11):152-153.
- [2]姜曼.石油钻井工程技术现状、挑战及发展趋势研究[J].中国石油和化工标准与质量,2019,(18):233-234.
- [3]乔大成.石油钻井工程技术现状、挑战及发展趋势[J].石化技术,2020,(08):65-66.