

地质因素对钻井工程的影响

李艾玲

四川省非金属(盐业)地质调查研究所 四川 自贡 643000

摘要: 地质因素对钻井工程具有显著影响,包括地层硬度、岩性不均质、地层温度等。这些因素不仅影响钻井效率,还增加作业风险。井漏、井涌、卡钻和井壁垮塌等安全隐患均与地质因素密切相关。为应对这些挑战,钻井工程需采用复合钻井技术、智能化技术,并优化钻井液体系和引进先进设备。通过科学选择和调整钻井参数,加强地质勘探和实时监测,可有效降低事故风险,提高钻井效率和安全性。

关键词: 地质因素; 钻井工程; 影响

引言: 钻井工程作为油气勘探开发的关键环节,面临着复杂多变的地质挑战。地层硬度、岩性不均质、地层温度等地质因素,直接影响钻井作业的顺利进行和作业安全。如何有效应对这些地质因素,提高钻井效率和安全性,成为钻井工程领域亟待解决的问题。因此,分析地质因素对钻井工程的影响,并探讨相应的措施,具有重要的理论和实践意义。

1 地质因素对钻井工程的影响分析

1.1 地层硬度

地层硬度是钻井工程中的关键因素。随着井深每增加100米,地层硬度平均增加约8%(实际数据可能因地质条件而异)。在硬质地层,如花岗岩(莫氏硬度约6-7)

和石英砂岩(莫氏硬度约7)中,钻头的破碎难度显著增大,导致钻井机械速度降低,效率下降可达30%-50%。这种硬度差异对钻具的磨损尤为明显。在硬质地层钻井时,钻具的磨损速率是软质地层的2倍以上,更换钻具的频率也随之大幅增加,单次更换成本可达数万元。特别是在砂泥岩互层且含有砾石层的地层中,岩石硬度变化剧烈,跳钻现象频发,每钻进100米,就可能发生跳钻数次,这不仅将钻井速度降低20%-40%,还可能导致钻具损坏,缩短其使用寿命达20%-30%。泥岩和泥质砂岩的弹性、塑性和脆性差异也进一步增加了破碎难度,使得钻井过程更加复杂多变。如表1所示。

表1 地层硬度影响分析

| 地质因素 | 地层硬度 |
|---------|-----------------------------------|
| 硬度变化趋势 | 随着井深每增加100米,地层硬度平均增加约8% |
| 硬质地层示例 | 花岗岩(莫氏硬度约6-7)、石英砂岩(莫氏硬度约7) |
| 硬质地层影响 | 钻头破碎难度显著增大,钻井机械速度降低,效率下降可达30%-50% |
| 钻具磨损情况 | 在硬质地层钻井时,钻具的磨损速率是软质地层的2倍以上 |
| 更换钻具成本 | 单次更换成本可达数万元 |
| 砂泥岩互层影响 | 岩石硬度变化剧烈,跳钻现象频发,每钻进100米可能发生跳钻数次 |
| 砂泥岩互层后果 | 钻井速度降低20%-40%,钻具损坏,使用寿命缩短20%-30% |
| 泥岩/泥质砂岩 | 弹性、塑性和脆性差异进一步增加了破碎难度,使得钻井过程更复杂多变 |

1.2 岩性不均质

深部地层的岩性往往不均质,同一岩性结构也可能复杂多变。这种岩性不均质现象给钻井工程带来了极大的挑战。在含有砾石块的地层中,砾石块容易剥落,导致井下情况复杂多变,增加了钻井工程的风险。这些剥落的砾石块可能堵塞钻具或损坏钻井设备,严重时甚至可能导致井喷、井漏等事故^[1]。此外,岩性不均质还会影响钻井液的性能。在高温高压的条件下,钻井液的稳定性会受到严重影响,导致钻井液性能下降,进而影响钻

井效率。岩性不均质还可能导致钻头保径齿和切削齿脱落,井下工具密封失效,进一步增加了钻井工程的难度和成本。

1.3 地层温度

地层温度是影响钻井工程安全的另一个重要因素。随着井深的增加,地层温度逐渐升高,高温高压条件对钻井液性能和钻头材料提出了更高要求。在高温高压的环境下,钻井液的稳定性下降,容易导致井下复杂情况的发生。高温还会加速钻头的磨损和失效,降低钻井机

械的速度和效率。地层温度高还会导致井下工具密封失效和钨钢柱脱落等问题,进一步增加了钻井工程的风险和成本。在高温高压的条件下进行钻井工程,需要采取特殊的钻井液和钻头材料,以确保钻井工程的安全和效率。例如,选择具有耐高温性能的钻井液和钻头材料,以及加强钻井设备的冷却和润滑措施,以降低高温对钻井作业的影响。

2 地质因素对钻井安全的影响

2.1 井漏与井涌

井漏和井涌是钻井作业中常见的两种严重事故,它们的发生往往与地质因素密切相关。井漏,即钻井液意外流失到地层中,通常发生在裂缝发育、岩石疏松或地层压力低于井筒压力的情况下。裂缝发育的地层,如断层带、破碎带,由于岩石结构的不完整性,钻井液容易通过这些裂缝渗透进入地层,造成井漏。这不仅会降低钻井速度,增加钻井成本,还可能因钻井液流失导致井筒压力失衡,进而引发更严重的井下事故。井涌,则是地层流体(如油、气、水)在压力差的作用下涌入井筒的现象,常见于高压地层或地层压力异常区域。当地层压力大于井筒压力时,流体将被迫进入井筒,若不能及时控制,将演变为井喷,对钻井平台和周围环境构成巨大威胁。特别是在含有高压气藏或水驱油藏的地层中,井涌的风险尤为突出。

2.2 卡钻与井壁垮塌

卡钻和井壁垮塌是钻井作业中另一类常见的安全隐患,它们的发生与地层的不均质性和复杂性紧密相关。卡钻,即钻具在钻井过程中因某种原因被卡住无法继续钻进,常见原因包括地层坍塌导致的钻具被埋、岩石硬度突变导致的钻具磨损或断裂等。特别是在软泥岩层、吸水膨胀的泥岩层中,由于地层稳定性差,钻井液浸泡后易导致地层强度降低,进而发生井壁垮塌,造成钻具被埋或卡钻^[2]。井壁垮塌不仅影响钻井进度,增加处理难度和成本,还可能因井筒缩径而导致钻具损坏,甚至引发更严重的井下事故。

3 应对地质因素的钻井工程措施

3.1 提升钻井技术

(1) 复合钻井技术的引入。在硬质地层中,传统的钻井方式往往力不从心,钻头磨损严重,机械钻速低下。为解决这一难题,PDC(聚晶金刚石复合片)钻头与井下动力钻具的组合使用应运而生。PDC钻头以其卓越的耐磨性和高转速适应性,成为硬地层钻进的首选。而井下动力钻具则能在井下提供额外的扭矩和转速,进一步提升了破岩效率。两者结合,不仅大幅度提高了机

械钻速,还有效缩短了钻井周期,降低了作业成本。

(2) 智能化技术的应用。随着科技的飞速发展,智能化技术正逐步渗透到钻井作业的各个环节。旋转导向钻井技术和随钻测量技术,便是现代钻井智能化的典型代表。旋转导向钻井技术通过井下智能导航系统,实现了钻头的精确导向,有效减少了井眼偏差,提高了井身质量。该技术还能根据地层变化实时调整钻井参数,确保钻井作业的顺利进行。随钻测量技术则能实时监测钻井过程中的各项参数,如井斜角、方位角、地层压力等,为地面决策提供即时、准确的数据支持,从而确保了钻井作业的安全性和可控性。

3.2 优化钻井液体系

(1) 针对性选择钻井液。钻井液性能直接关系到钻井作业的安全性和效率,针对不同地层特性,科学选择钻井液类型、配比及添加剂至关重要。如钾铵聚合物钻井液和聚合物——腐植酸钾钻井液,因其良好的稳定性和携岩能力,特别适用于软地层钻进。这类钻井液能有效抑制粘土膨胀,减少井壁坍塌风险,同时保持良好的流动性,确保岩屑顺利排出。而在中深部硬地层中,聚磺钻井液和钾基聚磺钻井液则因其抗高温高压、抑制地层造浆的特性而备受青睐。它们能在高温高压环境下保持性能稳定,有效抑制地层造浆,确保钻井作业的顺利进行。(2) 特殊地层特殊处理。对于裂缝发育层、异常高压层等特殊地层,传统的钻井液体系往往难以满足需求。此时,需采用特殊钻井液体系进行针对性处理。如低密度钻井液、泡沫钻井液等,这些钻井液体系能有效减少地层伤害,维持井壁稳定,确保钻井作业的安全进行。它们还能降低钻井液对地层的压力作用,减少地层漏失和气体侵入等复杂情况的发生。(3) 环保与经济效益并重。在优化钻井液体系时,还需充分考虑环保因素和经济成本。选用环保型钻井液,减少对环境影响,是实现绿色钻井的重要途径。通过精确计算钻井液用量、合理使用添加剂等措施,可以有效控制钻井液成本,提高经济效益。在保障钻井作业安全、高效进行的同时,实现环保与经济效益的双赢。

3.3 引进先进钻井设备

(1) 顶部驱动装置的应用。顶部驱动装置以其高度的自动化和灵活性,成为现代钻井作业的重要装备。它能实现钻柱的快速旋转和升降,简化了钻杆接卸过程,减少了作业时间,提高了作业效率。顶部驱动装置还能提供稳定的扭矩和钻压控制,确保钻井作业的顺利进行。在复杂地层钻进中,顶部驱动装置的应用更是显得尤为重要。它能够通过精确控制钻柱的旋转和升降,有

效应对地层变化带来的挑战,确保钻井作业的安全性和可控性。(2)井下动力钻具的革新。井下动力钻具的发展,使得井下作业更加高效、灵活。通过井下动力驱动,减少了地面设备的负担,提高了钻头的破岩效率。特别是在复杂地层中,井下动力钻具的应用更能体现出其独特的优势。它能根据不同地层特性灵活调整钻进参数,实现高效破岩和稳定钻进。井下动力钻具还能有效应对地层漏失、气体侵入等复杂情况,确保钻井作业的安全进行。(3)旋转导向系统的普及。旋转导向系统的引入,标志着钻井作业进入了一个全新的智能化时代。该系统能够实时调整钻头方向,精确控制井眼轨迹,极大地提高了钻井精度和效率。通过旋转导向系统的应用,可以实现对钻井过程的全面监控和精确控制,确保钻井作业的安全性和可控性^[3]。旋转导向系统还能有效降低钻井作业的风险和成本,提高经济效益。在未来的钻井作业中,旋转导向系统将成为不可或缺的重要装备。

3.4 强化地质预测与分析

(1)高精度地质勘探技术的应用。借助三维地震勘探、电磁勘探等高精度技术手段,我们能够以前所未有的精确度描绘地下地质构造。三维地震勘探通过模拟地震波在地层中的传播,揭示出地层结构、岩性分布乃至微小断层和裂缝的详细信息。而电磁勘探则利用地下岩石导电性的差异,进一步细化地质模型。这些技术共同构建起一个立体、动态的地质画卷,为工程师提供了制定钻井策略的科学依据。通过精确预测地层特征,工程师可以规避潜在的地质风险,如选择避开易坍塌地层或调整钻井路径以绕过高压流体区,从而确保钻井作业的安全与效率。(2)实时监测与数据分析平台的建立。实时监测与数据分析平台已成为钻井工程的重要组成部分,该平台集成了地质勘探数据、钻井作业数据以及实时监测数据,形成了一个全面的信息枢纽。工程师可以借此实时追踪钻井进度,监控地层变化,及时发现并处理异常情况。更重要的是,通过大数据分析和机器学习算法,平台能够从海量数据中挖掘出隐藏的模式和趋势,为决策支持提供科学依据。这不仅提升了钻井作业

的智能化水平,也增强了应对突发状况的能力。

3.5 实施风险管理与应急预案

(1)风险识别与评估体系的完善。在钻井作业前,必须进行全面、系统的风险识别,涵盖地质、技术、设备、环境等多个维度。通过专家评估、历史数据分析等方法,对识别出的风险进行量化评估,确定其可能性和影响程度。基于风险评估结果,制定针对性的风险管理措施,如加强地质监测、优化钻井工艺、提升设备可靠性等。根据风险等级制定应急预案,确保在风险发生时能够迅速响应,有效控制事态发展。(2)应急预案的演练与持续改进。定期组织应急预案演练,不仅是对预案有效性的检验,更是提升团队应急响应能力的有效途径。演练过程中,应模拟真实场景,涵盖从风险预警到应急处置的全过程,确保每个参与者都能熟悉自己的职责和操作流程。通过演练,发现预案中的不足和漏洞,及时进行修订和完善。建立应急预案的持续改进机制,根据作业环境的变化、新技术的应用以及演练反馈,不断更新预案内容,确保其始终与实际情况保持同步。这种动态管理的方式,有助于提升应急预案的针对性和实用性,为钻井作业提供坚实的安全保障。

结语

综上所述,地质因素对钻井工程的影响不容忽视。通过采用先进的钻井技术、优化钻井液体系以及引进先进钻井设备等措施,我们可以有效应对这些挑战,提升钻井效率,保障作业安全。未来,随着技术的不断进步和创新,钻井工程将能够更加高效、安全地进行,为石油天然气勘探开发提供更加有力的支持。

参考文献

- [1]石昌森,崔磊,董明,等.钻井工程项目风险分析及对策研究[J].西部探矿工程,2024,36(6):185-187.
- [2]魏玉印,张作伟,宋峙潮,等.地质因素对钻井工程的影响[J].石化技术,2022,29(4):125-126.
- [3]翟锋锋,卿家兵.影响煤层气钻井工程的工程地质因素分析[J].中国石油和化工标准与质量,2022,42(5):132-133.