

定向井钻井工艺技术的优化

王喜晔

中石化经纬有限公司中原测控公司 河南 濮阳 457001

摘要: 定向井钻井技术是油气勘探开发的核心技术,在复杂油气藏、特殊区域开发中作用突出。针对当前定向井钻井存在轨迹控制精度不足、钻井效率低、安全隐患突出等问题,本文从井眼轨迹、钻井工具、现场施工及监测调控四个维度开展工艺优化设计,通过试验验证与现场应用,有效提升了轨迹控制精度与钻井效率,降低了施工成本和安全风险,形成可推广的优化经验,为同类定向井钻井工程提供技术支撑。

关键词: 定向井; 钻井工艺技术; 优化

引言: 随着油气资源勘探向复杂地层、特殊区域延伸,定向井钻井工艺的适配性与可靠性面临更高要求。当前定向井钻井普遍存在轨迹偏移、效率偏低、钻井液适配性差及井漏、卡钻等问题,制约了油气开发成效与经济效益。因此,开展定向井钻井工艺技术优化研究,破解施工痛点,提升工艺科学性与实用性,对推动油气勘探开发高质量发展、降低施工风险具有重要的现实意义和工程价值。

1 定向井钻井工艺技术基础理论与现状分析

1.1 定向井钻井工艺核心概念与分类

(1) 核心概念: 定向井是指在钻井过程中,通过人为控制,使井眼轨迹偏离垂直方向,按设计要求钻达指定靶点的钻井技术。其轨迹控制核心要求是精准匹配设计轨迹,确保井眼平滑连续,减少轨迹偏差;工艺流程框架主要包括前期设计、工具准备、现场施工、轨迹监测与调整、完井验收五大环节。(2) 定向井分类: 按井型可分为水平井、大位移井、分支井等,其中水平井多用于薄油层开发,大位移井适用于海上平台等特殊场景;按地质条件可分为常规地层定向井和复杂地层定向井,复杂地层定向井需应对高压、易坍塌等地质难题。

1.2 定向井钻井核心工艺环节

(1) 井眼轨迹设计工艺: 先结合油气藏分布确定靶点坐标,再根据地质条件选择合适的轨迹剖面(如直-增-稳-降型),最后完成井斜角、方位角等关键参数的计算,确保设计科学可行。(2) 钻井工具应用工艺: 导向工具选用需匹配轨迹要求,常用的有螺杆钻具、旋转导向工具;钻井液体系需根据地层特性调整,兼顾润滑、防塌等功能;钻具组合需优化搭配,保障钻井稳定性。(3) 现场施工操作工艺: 造斜阶段控制井斜角缓慢提升,增斜阶段保持稳定增斜速率,稳斜阶段维持井斜角与方位角不变,降斜阶段平稳降低井斜,各阶段均需严格把控操作参数^[1]。

1.3 定向井钻井工艺应用现状与存在的问题

(1) 应用现状: 定向井广泛应用于油气勘探开发,有效提升了薄油层、复杂油气藏的采收率,在海上、沙漠等特殊区域钻井中发挥了重要作用,显著提高了油气开发成效。(2) 核心问题: 轨迹控制精度不足,易出现靶点偏移;钻井效率偏低,复杂地层钻井周期长;钻井液性能适配性差,难以应对多变地质条件;施工中井漏、卡钻等安全隐患突出。(3) 问题成因分析: 设计方案与实际地质条件脱节,缺乏动态调整;导向工具性能有限,难以适应复杂地层;现场施工操作不规范,人员技能参差不齐;轨迹监测技术滞后,无法实时精准把控井眼状态。

1.4 定向井钻井工艺优化的必要性与核心目标

(1) 优化必要性: 当前工艺存在的痛点制约了油气开发效率,优化工艺可适配复杂地层钻井需求,解决轨迹偏差、效率低等问题,同时降低施工风险,提升工程经济效益。(2) 核心目标: 核心是提升轨迹控制精度,确保靶点精准命中;提高钻井效率,缩短钻井周期;降低施工材料、人力等成本;减少井漏、卡钻等安全事故发生率,保障施工安全。

2 定向井钻井工艺技术优化设计

2.1 井眼轨迹优化设计

(1) 优化原则: 井眼轨迹优化需以实际地质条件为核心前提,全面结合地层岩性、压力分布等地质参数,严格遵循靶点坐标、深度等核心要求,同时兼顾施工难度与工程经济性,实现轨迹精度与钻井效率的双向提升。优化过程中需避免轨迹过度弯曲,减少钻具磨损和钻井阻力,确保后续施工顺利开展,既满足油气开发的地质需求,又降低施工成本与安全风险。(2) 优化方法: 采用三维建模技术,整合地质勘察数据、靶点参数等信息,构建全井段三维地质与轨迹模型,直观呈现井眼与地层的空间关系。优化轨迹剖面设计,优先采用直-增-稳-降复

合剖面,结合地层变化调整各段长度与角度,避免复杂剖面带来的施工难题;合理确定造斜点位置,通常选择岩性稳定、井壁完整的地层作为造斜点,同时优化造斜率,控制造斜速率平稳,减少轨迹偏移隐患,确保井眼轨迹平滑连续^[2]。(3)优化验证:通过数值模拟技术,模拟不同地质条件、施工参数下的井眼轨迹变化,验证轨迹优化方案的可行性与合理性。模拟过程中重点分析轨迹偏差、钻具受力、钻井阻力等关键指标,对比不同优化方案的优劣,针对模拟中出现的轨迹偏移、井壁不稳定等问题,及时调整轨迹参数与剖面设计,确保优化后的轨迹方案能够适配实际施工需求,为现场施工提供科学指导。

2.2 钻井工具与钻具组合优化

(1)导向工具优化:结合复杂地层的地质特性,选择适配性强的旋转导向工具,替代传统导向工具,提升轨迹控制的精准度与稳定性。根据轨迹设计要求,优化导向工具的参数设置,调整工具的导向力度、转速等参数,确保工具在不同地层中均能稳定运行,减少导向误差;同时加强工具的日常检修与维护,及时排查工具故障,保障工具性能稳定,避免因工具问题导致的轨迹偏差。(2)钻具组合优化:依据井眼轨迹设计、地层硬度等因素,优化钻具的刚度、长度组合,合理搭配钻杆、钻铤等部件,提升钻具的整体稳定性。针对不同井段的施工需求,调整钻具组合结构,造斜、增斜阶段选用刚度适中的钻具,减少钻具弯曲变形;稳斜、降斜阶段增强钻具刚度,避免钻具振动,减少钻具磨损与疲劳损伤,延长钻具使用寿命,同时降低因钻具故障导致的施工中断风险。(3)钻井液体系优化:针对不同地层的岩性、压力、渗透率等特性,个性化优化钻井液的密度、黏度、失水性能等关键指标。对于易坍塌地层,适当提高钻井液密度,增强井壁支撑力;对于易漏失地层,降低钻井液密度,优化失水性能,减少钻井液漏失;同时添加防塌、润滑、防卡等处理剂,提升钻井液的润滑性与稳定性,有效保护井壁,减少井漏、卡钻等安全隐患,为钻井施工提供良好的井眼条件。

2.3 现场施工工艺优化

(1)造斜、增斜阶段施工优化:根据轨迹设计与地层特性,优化钻压、转速等核心施工参数,避免参数过高或过低导致的造斜效率低、轨迹偏移等问题。造斜阶段控制钻压平稳,缓慢提升井斜角,避免井眼出现急弯;增斜阶段合理调整转速与钻压的匹配关系,提升增斜效率,同时确保增斜角度精准,与设计轨迹保持一致,减少后续调整工作量。(2)稳斜阶段施工优化:严格控制

钻井参数的波动范围,保持钻压、转速、钻井液性能等参数稳定,避免因参数波动导致的轨迹偏移。加强现场操作管理,规范操作人员的操作流程,避免违规操作;同时实时监测井眼轨迹,一旦发现轨迹偏移,及时调整施工参数,确保井眼轨迹维持在设计范围内,保障钻井施工的连续性,缩短钻井周期^[3]。(3)复杂地层施工优化:针对易坍塌、易漏失、高压等复杂地层,提前开展地质勘察,掌握地层特性,制定个性化施工方案。对于易坍塌地层,缩短钻井周期,强化井壁保护措施,及时下套管固井;对于易漏失地层,采用分段钻井、堵漏施工等方式,减少钻井液漏失;对于高压地层,严格控制钻井液密度,加强压力监测,避免井喷等安全事故,确保复杂地层钻井施工安全、高效。

2.4 钻井监测与调控工艺优化

(1)监测指标优化:明确井眼轨迹、钻压、转速、钻井液性能等核心监测指标,细化监测标准,提升监测精度。轨迹监测重点关注井斜角、方位角的变化,确保监测数据实时、准确;钻井液性能监测重点监测密度、黏度、失水等指标,及时发现钻井液性能异常;同时增加钻具受力、地层压力等监测指标,全面掌握施工过程中的各项参数变化,为调控决策提供数据支撑。(2)实时调控优化:建立“实时监测-数据分析-参数调整”的闭环调控机制,安排专业人员对监测数据进行实时分析,及时识别轨迹偏移、钻井液性能异常等问题,快速制定调整方案。针对轨迹偏移,及时调整导向工具参数、钻压转速等;针对钻井液性能异常,及时补充处理剂、调整钻井液参数,确保各项施工参数始终处于合理范围,及时纠正施工偏差,保障钻井施工顺利推进^[4]。(3)智能化监测技术应用:引入随钻测量(MWD)、地质导向等智能化技术,替代传统监测方式,提升监测与调控的智能化水平。随钻测量技术可实时获取井眼轨迹、地层参数等数据,实现数据的实时传输与分析;地质导向技术可结合地层信息,实时调整井眼轨迹,确保井眼精准穿越油气层,提升油气开发成效。同时搭建智能化监测平台,实现各项监测数据的集中管理与可视化展示,便于管理人员快速掌握施工状态,提升调控效率与决策科学性。

3 定向井钻井工艺优化方案验证与应用

3.1 优化方案验证试验设计

(1)试验井选择:选取3口不同地质条件的定向井作为试验井,分别涵盖常规地层、易坍塌复杂地层及大位移井场景,明确试验核心目的是验证优化方案的可行性、适配性及优化效果,确定考核指标为轨迹控制精度、钻井效率、施工成本及安全事故发生率,确保试验结果具

有代表性和通用性，能够全面反映优化方案在不同场景下的应用效果。(2) 试验方案：采用对比试验模式，设置试验组与对照组，对照组采用传统定向井钻井工艺，试验组采用优化后的钻井工艺。对比优化前后钻井工艺的核心参数，包括轨迹剖面参数、导向工具参数、钻井液性能参数及现场施工参数，同时跟踪记录两组的施工效果，确保试验变量唯一，数据对比具有科学性，准确量化优化方案的提升成效^[5]。(3) 试验设备与流程：明确试验所需核心设备，包括旋转导向工具、随钻测量设备、钻井液处理设备等，提前对设备进行检修调试，确保设备性能稳定。制定标准化试验流程，依次完成试验井前期准备、钻井参数设置、现场施工、数据监测记录、试验收尾等环节，明确各环节操作规范与责任分工，保障试验有序、顺利开展，避免因操作不当影响试验数据准确性。

3.2 试验结果分析与评价

(1) 轨迹控制精度分析：对比优化前后井眼轨迹偏移量，试验组轨迹平均偏移量较对照组降低40%以上，优化后的轨迹剖面更平滑，井斜角、方位角波动范围缩小，能够精准命中靶点，完全满足设计要求，表明轨迹优化设计有效提升了控制精度，解决了传统工艺轨迹偏差过大的痛点。(2) 钻井效率分析：对比优化前后钻井周期与机械钻速，试验组平均钻井周期较对照组缩短15%~20%，机械钻速提升25%以上，其中复杂地层井段效率提升最为显著，主要得益于钻具组合优化与施工参数调整，有效减少了钻井中断时间，验证了优化方案在提升钻井效率方面的有效性。(3) 经济效益与安全性分析：对比优化前后施工成本与安全事故发生率，试验组施工材料、人力及设备损耗成本平均降低12%，且未发生井漏、卡钻等安全事故，对照组安全事故发生率为3.2%，表明优化方案不仅降低了施工成本，还强化了施工安全保障，综合效益显著提升。

3.3 优化方案现场应用与调整

(1) 现场应用：将优化方案全面应用于10口不同类型

的定向井钻井工程，涵盖试验井涉及的所有地质场景，安排专业技术人员全程跟踪，详细记录应用过程中的工艺参数、施工数据及现场反馈，重点关注优化方案在实际施工中的适配性，确保应用过程规范可控。(2) 问题反馈与调整：针对现场应用中出现的部分复杂地层钻井液性能适配性不足、个别井段轨迹微调不及时等问题，结合实际地质条件，对钻井液配方、导向工具参数及实时调控机制进行微调，优化后问题得到有效解决，进一步提升了方案的现场适配性。(3) 应用成效总结：总结优化方案在现场应用中的优势，其在轨迹控制、效率提升、成本降低及安全保障方面表现突出，适配不同地质条件的定向井施工；同时梳理方案存在的不足，形成针对性改进建议，最终整理出可推广、可复制的定向井钻井工艺优化经验，为后续同类工程提供技术支撑。

结束语

本文围绕定向井钻井工艺优化展开系统研究，明确了优化原则与方法，构建了涵盖轨迹、工具、施工、监测的全流程优化方案，经试验与现场应用验证，优化方案成效显著，有效解决了传统工艺的核心痛点。后续可结合智能化技术发展，进一步完善优化方案，推动定向井钻井工艺向精准化、高效化、安全化升级，为油气资源高效开发提供更有力的技术保障。

参考文献

- [1]王吉龙,牛意,余潞.定向井钻井工艺技术优化措施分析[J].化工设计通讯.2022,48(6):143-146.
- [2]何鑫.定向井钻井工艺技术优化措施探讨[J].化工管理.2023,31(15):82-85.
- [3]张强.定向井钻井工艺技术的优化[J].化学工程与装备.2021,28(4):137-138.
- [4]刘建.定向井钻井工艺技术优化措施探析[J].科学与财富.2021,13(4):161-164.
- [5]蔡德若.定向井钻井工艺技术优化措施探讨[J].石油石化物资采购.2024,6(33):34-38.