

定向钻井施工提速提效技术措施与实践

陈党涛

中石化经纬有限公司中原测控公司 河南 濮阳 457000

摘要：针对定向钻井施工中地质条件复杂、设备工具适配性差、施工工艺及管理不完善等效率制约问题，本文从设备优化、工艺改良、智能技术应用、施工管理升级四方面制定提速提效技术措施。结合现场区块10口定向井开展工程实践，结果表明，优化后钻井机械钻速大幅提升，施工周期显著缩短，井下故障发生率与施工成本大幅下降，有效解决复杂地层钻井施工难题，可为同类区块钻井施工提质增效提供技术参考。

关键词：定向钻井施工；提速提效；技术措施；实践

引言：定向钻井是油气资源开发的核心工艺，广泛应用于各类油田开采工程。当前油田井下地层结构复杂，硬地层、破碎地层分布广泛，加之传统施工设备老旧、工艺固化、管理不规范等问题，导致钻井施工钻速低、故障多、工期长、成本高，严重制约油气钻井工程建设效率。为破解施工痛点，提升定向钻井施工质量与效率，本文系统分析施工效率制约因素，针对性制定成套技术优化措施，并通过现场工程实践验证技术应用效果，为定向钻井技术优化推广提供依据。

1 定向钻井施工效率制约因素分析

1.1 地质条件制约因素

(1) 复杂地层特性影响。油田井下地层结构复杂多变，硬地层、破碎地层、高研磨性地层分布广泛，大幅提升井下破岩施工难度。这类地层岩石硬度高、整体性差、磨蚀性强，常规钻进方式难以高效破碎岩体，直接导致机械钻进速率大幅降低，基础施工效率难以提升。

(2) 地层压力异常影响。井下普遍存在高压、低压异常地层区段，施工过程中极易引发井漏、井涌、井壁缩径等井下故障。故障发生后需暂停钻进开展隐患处置，彻底打断连续钻进作业流程，造成施工中断、工期延误，是制约施工连续性的核心地质因素。

(3) 地层各向异性影响。地层各向异性会破坏钻井轨迹稳定性，引发井眼轨迹偏移、井壁失稳等问题。为修正偏移轨迹、稳固井壁，施工中需额外开展多次纠偏、修井作业，不仅大幅增加无效施工时长，还显著提升工程施工成本^[1]。

1.2 施工设备与工具制约因素

(1) 钻井工具性能短板。现场常用常规钻头耐磨性、高强度破岩性能不足，适配复杂地层的能力较差，破岩效率难以达标。同时，定向施工核心的导向工具定位精度低、运行稳定性差，无法满足高精度定向钻井的施工要求。

(2) 钻井设备匹配性不足。部分施工现场

钻机功率、泵组流量与压力等核心参数，和实际地层工况、定向钻井工艺适配度较低，设备无法发挥最优运行性能，钻进潜能难以释放，整体施工效率受限。

(3) 工具磨损与故障频发。定向钻井作业工况恶劣，钻头、导向仪器等井下工具损耗速度快、故障率高。工具损坏后需频繁开展起下钻作业进行检修更换，占用大量施工工期，严重延误整体施工进度。

1.3 施工工艺与人为管理制约因素

(1) 钻井工艺方案不合理。部分钻井轨迹设计科学性不足，钻进转速、钻压等参数及泥浆配比未结合实际地层优化调试，工艺方案适配性差，无法适配复杂井下施工条件，制约钻进效率提升。

(2) 现场施工操作不规范。部分操作人员专业经验不足，对钻进参数实时调控、定向轨迹精准控制等核心操作熟练度欠缺，操作精准度不足，易引发施工偏差，降低施工质量与效率。

(3) 施工管理体系不完善。施工现场工序衔接混乱，设备日常运维保养不到位，井下故障应急处置流程不及时、不规范，易造成工期浪费，进一步压缩有效施工时长。

2 定向钻井施工提速提效核心技术措施

2.1 钻井工具与设备优化技术

(1) 高效破岩钻头优选与改良。结合施工现场硬地层、破碎地层、高研磨性地层等不同地质条件，针对性开展钻头选型与结构改良。针对软地层、中硬地层优先选用PDC钻头，针对高硬度、研磨性强的复杂地层适配牙轮钻头，同时优化钻头齿型、布齿密度、保径结构等核心参数。通过个性化改良提升钻头切入能力、耐磨性和整体破岩性能，有效解决常规钻头破岩效率低、磨损快的问题，从硬件层面提升基础钻进效率。

(2) 高精度定向导向工具应用。摒弃传统精度低、稳定性差的老旧导向工具，积极推广应用先进旋转导向系统和高性能螺杆钻具。该类工具具备轨迹控制精度高、运行稳定、

适配性强等优势,可精准把控定向井钻进轨迹,有效规避轨迹偏移问题,大幅减少施工过程中的纠偏、修井作业次数,降低无效施工时长,保障定向钻井作业连续稳定推进^[2]。(3)钻井设备配套优化。根据施工现场地层工况和钻井工艺要求,对钻机、泥浆泵、固控设备等核心设备进行参数匹配与配套优化。合理调整设备运行参数,优化设备组合模式,解决设备参数不匹配、协同性差等问题,让各类设备发挥最优运行性能,实现整套钻井设备高效协同作业,有效降低设备运行能耗、减少设备故障概率,提升整体施工效率。

2.2 钻井施工工艺优化技术

(1)钻井轨迹优化设计。施工前全面整合区域地质勘查数据、地层结构、压力分布等核心资料,科学优化定向井轨道关键参数。在满足钻井工程质量和开发要求的前提下,简化钻进轨迹、优化井眼曲率,减少井眼转折和复杂井段,有效降低钻进过程中的摩擦阻力和施工难度,从源头减少轨迹偏移、井壁失稳等问题,为高效钻进奠定基础。(2)钻进参数精准优化。改变传统经验化参数设置模式,结合实时地层特性、井下工况动态优化钻压、转速、泵量等核心钻进参数。通过精细化参数调控,匹配不同井段的破岩需求,规避参数过大或过小导致的钻进低效、设备损耗严重等问题,构建适配性最优的钻进工况,最大化提升机械钻速。(3)优质钻井液体系优化。针对不同地层的压力特性、岩土结构,精准调整钻井液的密度、黏度、滤失量等关键指标,优化钻井液护壁、防漏、防塌性能。通过改良钻井液配方,有效适配复杂地层工况,预防井壁坍塌、井漏、井涌等井下故障,稳定井下施工环境,保障钻井作业连续不间断开展,避免故障停工造成的效率损耗^[3]。

2.3 辅助提速与智能钻井技术应用

(1)井下提速辅助技术。积极引入水力脉冲、旋流提速等先进辅助破岩技术,依托井下辅助装置改善井底流场,强化钻头冲击、切削破岩效果,辅助钻头高效破碎坚硬岩体,弥补常规破岩技术的短板,显著提升井下机械钻速,适配复杂地层提速施工需求。(2)智能监测与调控技术。依托智能化钻井参数实时监测系统,对井下钻压、转速、泵压、井眼轨迹等数据进行24小时实时采集、分析与预警。根据井下工况动态智能调整施工参数,替代传统人工经验调控模式,实现钻井作业精准化、智能化管控,减少人为调控偏差,提升施工精准度与效率。(3)高效井下故障处置技术。针对定向钻井施工中高频出现的卡钻、井塌、井漏等故障,优化完善快速处置工艺与流程。梳理各类故障的诱因与处置要点,

制定标准化、快速化处置方案,缩短故障排查与处理时长,最大限度减少井下故障造成的停机延误,保障施工进度稳定。

2.4 施工管理优化措施

(1)标准化施工流程搭建。结合定向钻井施工规范与现场工况,搭建全工序标准化施工流程,明确定向造斜、轨迹控制、钻进推进、起下钻等各工序的操作标准与工艺要求。统一施工规范,杜绝随意化操作,有效减少人为操作误差和施工失误,提升施工规范性与稳定性^[4]。(2)人员专业化培训。定期开展定向钻井专业化培训,重点强化操作人员的地层适配、设备操作、轨迹调控、应急处置等核心能力。通过实操训练、技术交底、案例分析等方式,提升现场作业人员的专业素养和实操水平,规避人为操作不当引发的效率损耗与施工问题。(3)全过程施工管控。建立涵盖施工进度、设备运维、质量安全、故障应急的一体化全过程管控体系。细化各岗位工作职责,强化设备日常巡检与保养,严格把控施工工序衔接,实时跟进施工进度,及时处置施工隐患,全方位保障定向钻井施工高效、有序、稳定推进。

3 定向钻井施工现场工程实践与效果分析

3.1 工程概况

(1)施工区块地质条件。本次施工区块主力钻进层位为中生代碎屑岩地层,整体地层结构复杂,纵向层理发育不均,夹杂砂岩、泥岩及硬质砾石夹层。地层岩性研磨性较强,中部井段存在多处破碎松散地层。地层压力系数分布在0.95~1.35之间,浅部存在低压易漏层、深部为高压致密层。核心施工难点集中在深部硬地层破岩难度大、井壁易失稳、轨迹易偏移,极易引发井漏、缩径等井下故障。(2)定向井施工基本参数。本次实践选取区块内10口定向井作为试验井,设计井深区间为2800~3450m,均为二维常规定向井。钻井轨迹设计造斜率控制在 $2.8^{\circ}/30\text{m}\sim 3.2^{\circ}/30\text{m}$,水平段最大延伸长度420m。施工核心技术要求为井眼轨迹合格率100%、井径扩大率控制在12%以内,全程保障钻井施工连续、安全、合规。(3)施工前期现存问题。区块原有传统施工模式存在明显短板,整体施工效率偏低。前期单井平均机械钻速仅 3.2m/h ,单井施工周期普遍超22天。同时井下故障频发,井壁坍塌、井漏、轨迹偏移等问题多发,平均单井起下钻整改次数达5次,无效施工时长占比超18%,施工成本偏高、稳定性较差。

3.2 现场技术方案实施

(1)工具设备配套方案落地。结合区块地层工况开展设备工具优选,软、中硬地层选用五刀翼PDC钻头,

深部硬地层适配耐磨牙轮钻头。配套投入高精度旋转导向系统与高效螺杆钻具,同时调试钻机、泥浆泵核心参数,优化设备协同配比,整改老旧设备故障隐患,保障整套钻井设备适配现场复杂施工条件。(2)优化工艺现场应用。全面落地提速提效优化工艺,简化原有钻井轨迹,优化井眼曲率参数。根据不同井段实时调整钻压、转速、泵量等钻进参数,同时改良钻井液配方,将钻井液密度精准调控在 $1.15\sim 1.30\text{g/cm}^3$,强化护壁、防漏、防塌性能,全程保障井下施工工况稳定。(3)现场施工管理落地。搭建标准化施工工序流程,明确造斜、稳斜、纠偏等各环节操作规范。落实全过程施工管控机制,加强设备日常巡检运维,定期开展操作人员技能交底与实操培训,规范现场参数调控、定向操控等核心操作,杜绝人为操作失误,保障施工流程高效衔接^[5]。

3.3 施工效果对比分析

(1)钻进效率指标对比。技术优化后施工效率提升显著,区块试验井平均机械钻速提升至 5.8m/h ,较优化前提升 81.2% 。单井平均施工周期缩短至 14.5 天,缩短工期 34.1% ,单井日平均进尺量大幅提升,有效杜绝了无效停工、纠偏耗时,整体钻进效率实现跨越式提升。(2)施工质量指标对比。优化后井眼轨迹控制精度大幅提高,轨迹合格率达到 100% ,井眼轨迹偏差值控制在 0.5m 以内。井壁稳定性显著改善,井径扩大率稳定在 8% 以内,远低于设计标准,固井封固质量优良,无井壁坍塌、井眼变形等质量问题,施工质量全面达标。(3)安全与成本指标对比。整套技术方案落地后,井下故障发生率大幅下降,单井平均故障次数降至 1 次以内,较优化前降低 80% 。设备故障率显著降低,起下钻作业次数大幅减少,单井施工综合成本降低 16.8% ,有效实现了提质、提速、降本、增效的施工目标。

3.4 技术应用总结与优化建议

(1)本次现场实践技术应用成效。本次配套的工具优化、工艺改良、智能调控及标准化管理成套技术,高

度适配该区块复杂地层施工条件。技术落地性强、提速增效效果突出,可有效解决传统钻井施工效率低、故障多、质量差等核心问题,整体技术体系具备良好的实用性与可靠性。(2)现场施工中存在的遗留问题与技术短板。在深部超硬致密地层中,钻头磨损速度仍相对较快,深部机械钻速提升空间有限。同时,井下复杂微小隐患的预判能力不足,智能化实时预警精度有待提升,极端复杂井段的施工适配性仍需优化。(3)后续定向钻井提速提效技术优化与推广应用建议。后续可针对性研发适配深部硬地层的耐磨复合型钻头,升级智能监测预警系统,提升井下工况预判精度。同时持续优化极端井段施工工艺与应急处置方案,将本次成熟的成套提速提效技术推广至同类型区块,实现规模化降本增效。

结束语

本文结合定向钻井施工现场实际,梳理了地质、设备、工艺、管理四大类效率制约因素,构建了全方位提速提效技术体系。经现场工程实践证实,成套技术可有效提升钻井效率、施工质量与施工安全性,实现降本增效。同时研究发现深部超硬地层钻进、智能预警精度等方面仍存在短板,后续需持续优化技术工艺,推进智能化、适配化钻井技术升级,扩大技术推广范围,助力油田钻井工程高质量发展。

参考文献

- [1]姜福兴,张兴民.煤矿顶板灾害防控理论与技术新进展[J].煤炭科学技术,2021,49(7):121-126.
- [2]康红普,林健.煤矿井下钻孔施工技术与装备现状及发展趋势[J].煤炭科学技术,2022,50(5):171-175.
- [3]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,2024,32(7):75-78.
- [4]王鹏浩.钻井施工过程中的钻进提速技术措施分析[J].西部探矿工程,2023,35(6):42-44.
- [5]马国栋.钻井施工过程中的钻进提速技术措施分析[J].西部探矿工程,2021,33(8):111-115.