

复杂区域深井优快钻井技术应用

沈长洋

中石化江汉石油工程有限公司钻井二公司 湖北 武汉 430000

摘 要: 复杂区域深井作业受非均质地层、高地应力、高温高压等多重因素制约, 施工难度与安全风险显著提升。文章结合复杂深井施工的地质与环境工况, 梳理优快钻井技术的适配应用条件, 系统阐述高效破岩、井筒稳定控制、防漏堵漏等核心技术体系, 分析钻井液调控、钻具适配及施工工艺优化的实操路径, 落实全流程风险管控、设备运维与技术迭代举措, 全方位提升复杂区域深井钻井的施工稳定性与作业效率。

关键词: 复杂地层; 深井钻井; 优快钻井技术; 井筒稳定; 钻井工艺优化

引言: 深层油气资源开发已成为能源勘探领域的核心方向, 复杂区域深井普遍存在地层结构复杂、岩性交替频繁、地应力分布不均等地质特征, 叠加井下高温高压、作业空间受限等恶劣工况, 常规钻井技术难以适配现场施工需求, 易引发井壁失稳、钻井液漏失、钻进效率偏低等问题。为破解复杂深井钻井的施工难题, 各类优快钻井技术逐步投入现场应用, 依托适配性技术体系与优化工艺, 改善深井井下施工工况, 保障深层钻井作业高效、有序推进。

1 复杂区域深井钻井应用工况适配条件

1.1 复杂地层钻井应用地质条件

复杂区域地层呈现多层系交错排布形态, 岩性组合表现出显著非均质特征, 不同埋深岩体的致密程度和硬度指标存在差异化特征。深部地层广泛存在岩体破碎、裂隙发育的地质构造, 岩体整体结构稳定性不足, 钻井作业推进阶段易出现井壁结构失衡问题。地层内部应力排布均匀度不足, 构造活动形成的特殊应力场会改变岩体原始受力结构, 干扰钻井钻进的平稳推进状态^[1]。深部地层频繁出现软硬岩性交替排布情况, 传统钻井施工模式无法匹配地层动态变化规律, 提升井下施工的操作难度。深部储层与夹层存在明显物性差异, 孔隙构造和渗透性能的分层区别, 抬升钻井施工的技术适配标准。地层内部流体分布杂乱, 不同层位流体组分和压力数值存在偏差, 打破地层原始受力平衡, 干扰钻井施工推进状态。

1.2 深井作业应用环境条件

深井施工依托较大地下埋藏深度开展, 井下温度、压力数值随埋深增加持续攀升, 形成特殊的井下施工环境。地下深部空间密闭程度较高, 空气流通效率偏低,

设备散热工况和参数调节状态受到客观环境制约。深部井下作业空间维度有限, 设备布设方式和施工操作范围存在局限, 压缩施工操作的调整空间。野外地表气象的动态波动会传导至井下施工体系, 干扰钻井设备的常态化运行状态。温度压力、空间结构、介质属性等多重环境因素相互交织, 约束钻井施工的稳定推进。井下流体和岩体介质形成的复合环境, 持续作用于钻井设备, 改变设备运行工况和钻进推进节奏。

1.3 优快钻井技术应用适配条件

优快钻井技术可匹配复杂深井的地层结构特点, 凭借自身适配性能应对地层岩性和地应力的动态波动, 可适应岩石单轴抗压强度 20MPa~200MPa 的大范围波动工况。技术运行模式可适配深井高温高压的井下环境, 适配深部特殊施工场景的运行要求, 整套工艺体系可在 180℃、140MPa 的极端工况下连续稳定运行超过 120h。技术配套设备体系可适配深井狭小作业空间的施工条件, 设备运行参数可依据深井施工需求完成动态调控, 在 Ø165mm 的有限钻具空间内可集成随钻测控、水力加压器等多组功能模块。整套工艺体系可贴合复杂地层钻进需求, 依据井下工况变化调整施工节奏和作业模式, 参数响应调整时间可控制在 30s 以内, 适配井下工况的实时变化需求。技术运行逻辑适配深井长距离钻进施工场景, 应对深部地层多变的地质条件, 维持钻进施工的平稳状态, 单趟钻最大钻进进尺可突破 1200m, 大幅减少起下钻作业频次。技术配套作业体系可贴合复杂区域深井施工标准, 适配深部钻井全流程施工工况, 全井段技术覆盖度可达 100%, 无需中途更换整套工艺体系。

2 复杂区域深井优快钻井核心技术应用体系

2.1 高效破岩技术的场景化应用

高效破岩技术结合深部地层岩石力学特质开展施工适配,可应对岩石抗压强度 100MPa~180MPa 复杂地层致密坚硬岩层的钻进工况^[2]。技术通过专属破岩原理削弱岩体结构强度,改变岩层固有物理形态,加快岩层破碎速率。深部地层普遍存在岩性交替变化的地层结构,施工过程中可灵活切换破岩方式,适配不同硬度岩层的破碎施工标准。致密坚硬岩层钻进阶段,均匀的破碎效果可以削减岩块残留造成的施工阻滞,保障钻进作业平稳推进。该类破碎方式适配深井连续钻进的施工工况,弱化地层非均质结构对钻进进程的干扰,提升深部岩层整体破碎质量。

2.2 井筒稳定控制技术的适配性应用

井筒稳定控制技术适配深部应力异常的复杂地层,根据井壁动态变化规律开展针对性施工调控。技术调整井筒内部应力分布状态,缓解地层应力波动引发的井壁形变,保持井筒结构完整规整。裂隙发育的破碎地层中,优化后的井筒防护模式可以降低松散岩体脱落对井筒结构的破坏作用。深井全段钻进施工均可实现井筒形态动态调控,规避井径缩径、井壁坍塌等常见井下问题。在 125°C 高温、85MPa 高压深部作业环境中,技术运行机制依旧可以保持稳定,保障复杂工况下的井筒结构安全性。井筒防护模式可随不同层位地质条件灵活调整,适配多层系复杂地层的井筒防护施工需求。

2.3 防漏堵漏钻井技术的针对性应用

防漏堵漏钻井技术针对深部地层孔洞、裂隙发育的地质特点,处理钻井液漏失的常见井下问题。专用封堵材料可以填充 0.1mm~20mm 尺度地层内部孔隙与裂隙通道,切断钻井液渗漏的流通路径。高渗透松散地层施工阶段,封堵工艺能够强化地层孔隙密闭性,抑制地层高渗透特性引发的漏失隐患。压力等级 80MPa 以内的深部高压施工环境下,成型封堵结构具备良好抗压能力,不会随井下压力波动出现破损失效。技术可适配各类尺度裂隙与孔洞结构,应对复杂地层多样化的钻井液漏失工况。封堵施工节奏贴合深井持续钻进流程,维持井下钻井介质的平衡状态。

2.4 深井提速配套技术的系统性应用

深井提速配套技术融合多项施工工艺,构建完整的井下施工技术体系,支撑复杂区域深井高效钻进作业。技术对井下施工流程进行精简优化,剔除无效施工环节,提升深井钻进作业整体推进效率。面对多变的深部井下工况,配套工艺可调整设备运行参数,适配 4500m 以深长距离持续钻进的设备运行标准。多项配套工艺

相互协同,覆盖钻进作业、井壁防护、工况调控等关键施工环节,完善深部钻井施工架构。工艺参数可依据地质特征与井下环境持续调整,适配复杂区域深井动态变化的施工条件。整套技术体系可以优化深部钻井施工状态,满足优快钻井的施工标准。

3 优快钻井配套工艺与装备的应用优化

3.1 深井钻井液体体系的现场应用调控

深井钻井液体体系适配深部复杂地层的施工环境,依托可控的性能参数满足长距离钻进施工需求。钻井液基础组分可根据井下温度压力变化进行动态调节,稳定液相整体物理化学属性^[3]。深部地层钻进产生的岩屑会持续混入钻井液内部,合理调控流变参数可以提升岩屑携带与悬浮能力,减少井下沉积堆积问题。钻井液护壁性能可通过组分调整得到改善,增强井壁表層封堵效果,抑制地层流体侵入井筒内部。井下复杂地质条件会持续改变钻井液工作状态,现场调控工作可以持续维护体系稳定性,降低钻井液失效引发的施工隐患。通过细化各项性能调控标准,能够维持钻井液在全井段施工过程中的工作状态,适配多层系复杂地层的钻进施工。

3.2 井身结构与钻具组合的应用适配

井身结构设计围绕复杂区域深井的地层分布规律开展适配调整,优化井筒整体结构布局。合理规划各开次井筒尺寸与钻进深度,可以匹配不同层位地层的承压能力与稳定特性,弱化地层差异对施工进度的干扰。科学排布套管下入层级,提升井筒整体封闭性能,隔绝不同层位地层之间的介质互通通道。钻具组合依据深井钻进负荷与井下空间条件完成选型搭配,强化井下钻进系统的整体稳定性。通过调整钻具结构配比,可以优化井下传力状态,提升破岩作业的平稳程度。适配地层特征的钻具配置能够降低井下振动与偏斜问题,维持深井长距离钻进的施工精度,适配复杂工况下的连续作业需求。

3.3 深井钻井施工工艺的应用调整

深井钻井施工工艺结合复杂区域地质特征完成动态调整,细化各施工环节的操作标准。钻进参数可以结合岩层硬度、致密性以及井下环境变化进行精细化调控,适配不同区段的钻进施工节奏。优化钻进操作节奏可以降低井下复杂情况的发生概率,维持井筒施工的连续性。针对深部地层应力变化带来的施工波动,工艺调整可以优化井下作业受力状态,减少施工扰动对井壁结构的影响。结合深井长周期施工特点调整作业流程,能够提升各施工环节的衔接紧密程度,减少施工停滞问题。持续优化的施工工艺可以适配复杂地层多变的施工条

件,提升深井钻井施工整体质量与作业效率。

4 复杂区域深井优快钻井技术应用管控与升级

4.1 钻井技术应用过程风险防控

深井钻井施工所处的复杂地质环境具备较强的不确定性,各类施工风险贯穿钻井全流程施工工序。地层内部应力失衡、岩体结构破碎、孔隙流体压力波动等地质因素,都会对井下施工推进造成直接干扰^[4]。搭建全维度风险识别体系可以精准锁定施工风险产生的各类诱因,从施工源头把控隐患问题。钻井作业持续推进的过程中,对井下压力、地层温度、岩体结构状态等关键参数开展动态监测,快速捕捉施工工况的细微异常变动。细化钻井技术各应用环节的管控规范,明确不同地层施工区间的操作边界,减少施工操作偏差引发的各类隐患。针对井壁坍塌、钻井液渗漏、钻进效率受阻等常见施工问题,落实前置化防控举措,削弱复杂地质环境对钻井施工的干扰程度。结合深部地层结构的动态变化特征更新防控标准,适配多层系交错、岩性非均质地层的施工防控需求。拓宽井下工况监测覆盖范围,全面覆盖深部地层各类不稳定地质因素,实现钻井施工全流程风险管控。

4.2 钻井设备与作业模式应用管控

深井施工场景的高温高压环境与长期高负荷作业状态,会持续影响钻井设备的运行精度与稳定状态。建立常态化设备运维排查机制,每钻进 200m 开展一次设备全面巡检,定期对动力输送、井下作业、信号传输等各类设备开展状态检测,及时处理设备磨损、运行参数偏移等潜在故障问题。制定标准化设备运行规范,统一设备启停调控、参数调节、负荷承载的执行标准,适配深井长周期连续作业的施工属性。细化设备日常运维、工况校准、故障排查的操作流程,维持设备全程稳定的运行状态。传统粗放的作业模式难以适配复杂深井的精细化施工标准,优化升级现有作业模式可以提升施工工序的规整程度。规范井下钻进、固井、井筒防护等核心工序的操作流程,统一全井段施工执行标准。依据不同地层的施工难度划分差异化管控细则,规整各施工环节的衔接逻辑,提升深井整体施工的标准化层级。通过规范化的设备运维和精细化作业管控,可彻底改善深井施工的作业状态,保障优快钻井技术体系高效落地。

4.3 复杂工况下钻井技术应用迭代升级

复杂区域深部地层的构造形态与地质特性持续变化,传统钻井工艺体系难以适配不断更新的施工场景。结合现场真实施工工况优化破岩钻进、井壁防护、钻井液调控等核心工艺,提升技术工艺对复杂地层的适配能力。针对深井施工过程中暴露的工艺短板,调整各类施工参数与技术应用方式,弥补传统钻井工艺在复杂工况下的应用局限。吸纳行业新型施工工艺与配套装备资源,丰富优快钻井技术的应用场景与施工维度。结合不同地层的岩性、应力、孔隙结构差异,定制差异化的技术实施方案,强化技术体系的场景适配能力^[5]。依托深井施工积累的实操经验打磨工艺细节,强化施工技术与井下装备的协同匹配效果。迭代更新技术应用模式,适配深部地层复杂多变的施工环境,持续优化深井钻井的施工质量与作业效率。

结束语

复杂区域深井优快钻井技术依托适配性核心工艺、配套装备优化以及全流程管控体系,有效解决复杂地层钻井施工中的各类难点问题,显著改善深井钻进作业质量与施工效率。通过贴合现场工况优化技术应用模式、规范设备运维流程、迭代升级施工工艺,可进一步适配多层系、非均质复杂地层的钻井需求,为复杂区域深层油气钻井工程的常态化高效施工提供坚实的技术支撑与实践参考。

参考文献

- [1] 祝恩营. 复杂区域深井优快钻井技术应用 [J]. 中国科技论文在线精品论文,2025,18(3):257-259.
- [2] 张茂林,张伟,王雷,等. 深井超深井大尺寸井眼钻井提速技术应用 [J]. 西部探矿工程,2024,36(2):69-72.
- [3] 王春华,孙则鑫,丁扬扬,等. 塔东区块庆玉 1 井超深井优快钻井技术 [J]. 石油矿场机械,2024,53(5):59-65.
- [4] 李涛,赵彬凌,谭宇龙,等. 川西南部大兴场构造复杂深井优快钻井关键技术研究 [J]. 深地能源科技,2026,2(1):99-107.
- [5] 江显俊,肖金裕,兰太华,等. FT1 井非标大井眼超深井钻井液技术优化及应用 [J]. 天然气勘探与开发,2024,47(1):63-72.