

石油钻井中旋冲钻井技术应用策略

梁宏超

广东南油服务有限公司天津分公司 天津 300457

摘要：本文探讨石油钻井中旋冲钻井技术的应用策略。该技术结合旋转钻进与高频低幅冲击破岩，能显著提高硬地层钻井效率。关键设备有冲击器（液动、气动）和钻具组合，需合理配置。应用策略包括前期地层评估与方案设计、钻井参数动态优化、设备维护与故障预防以及安全环保措施。通过这些策略，可提升旋冲钻井效率与安全性，减少非生产时间及环境污染风险。

关键词：石油钻井；旋冲钻井技术；应用策略

引言

随着油气勘探开发向深层及复杂地层深入，传统钻井技术受限于效率低下、钻头损耗快等问题，难以满足开发需求。旋冲钻井技术凭借高频冲击与旋转切削的复合破岩机制，有效突破硬地层钻井瓶颈，显著提升钻井效率并延长钻头寿命。该技术的成功应用需统筹地层特征、钻具组合、参数调控及安全环保等关键要素。本文将系统剖析旋冲钻井技术要点，为复杂地层高效钻探提供实践指导。

1 旋冲钻井技术原理

旋冲钻井技术突破传统旋转钻井单一切削模式，将旋转钻进与高频低幅冲击破岩相结合，形成独特的复合破岩机制，大幅提升硬地层钻井效率。该技术的核心动力源于冲击器，根据驱动介质分为液动和气动两类。以应用广泛的液动冲击器为例，钻井液流经冲击器内部时，其动能驱动活塞高速往复运动，产生周期性冲击力，并通过钻铤等钻具精准传递至钻头^[1]。钻机动力系统持续为钻头提供旋转扭矩，使钻头在井下既保持360°旋转切削，又承受每秒数十次的高频冲击。在复合破岩过程中，旋转切削作用负责刮削岩石表面，而冲击力则有效降低岩石抗压强度。当钻头接触地层时，冲击瞬间产生的应力波会在岩石内部形成微裂隙，削弱岩石结构完整性，后续旋转切削便能以更低能耗破碎岩石。相较于传统旋转钻井，这种“先冲击致裂、后旋转切削”的协同作用，使破岩效率提升30%-50%。高频冲击还能显著改善钻头工作状态。冲击力促使钻头产生微小跳动，减少钻头与岩石的持续摩擦，降低磨损速率，延长钻头使用寿命；同时分散钻压集中载荷，避免钻头在硬地层出现“打滑”现象，增强钻井过程稳定性，为复杂地层高效钻进提供技术保障。

2 旋冲钻井关键设备与工具

2.1 冲击器

冲击器是旋冲钻井技术实现高效破岩的核心设备，通过产生高频冲击力，为钻头提供破岩的关键动能。根据驱动动力源不同，冲击器主要分为液动冲击器和气动冲击器两类。液动冲击器以钻井液为动力介质，应用场景最为广泛。当钻井液流经冲击器内部时，其流动产生的压力差驱动活塞组件做高速往复运动。在活塞上行冲程，钻井液推动活塞压缩复位弹簧，储存势能；下行冲程中，复位弹簧释放能量，活塞快速撞击砧体，将冲击能量传递至钻头。液动冲击器的优势在于能量传递稳定，可适配各类钻井液体系，尤其适用于深部地层钻井。其冲击频率通常在10-30Hz，能精准控制冲击能量，保障破岩效率的同时减少钻具振动。气动冲击器则以压缩空气作为动力源，常用于空气钻井、泡沫钻井等欠平衡钻井工艺。压缩空气进入冲击器后，推动活塞进行周期性往复运动，产生冲击力。该类型冲击器具有响应速度快、冲击能量大的特点，能在气体介质中高效工作，但受气源压力和流量限制，在深部地层应用时需配备大功率空压机，且对井壁稳定性要求较高。无论是液动还是气动冲击器，其性能参数（如冲击频率、冲击功、能量转换效率）的优化对钻井效果至关重要。实际作业中，需根据地层硬度、钻井深度和钻井液类型，合理选择冲击器型号，并定期维护保养内部精密部件，确保冲击器持续稳定运行，充分发挥旋冲钻井技术的高效破岩优势。

2.2 钻具组合

旋冲钻井钻具组合由钻头、冲击器、钻铤、加重钻杆、普通钻杆构成，承担动力传递与破岩功能，其合理配置是实现高效钻进的关键。钻头与冲击器位于钻具最前端，是直接作用于地层的核心部件。冲击器产生高频冲击力，钻头在冲击与旋转复合作用下破碎岩石。不同类型的钻头和冲击器适配不同地层条件，牙轮钻头配合

大能量冲击器适用于极硬地层，PDC钻头搭配高频冲击器在中硬地层表现优异。钻铤由高强度合金钢制成，质量大、刚性强，为钻头提供钻压，确保其与地层接触，同时稳定井眼轨迹^[2]。常规作业时，钻铤数量根据井深和地层硬度确定，通常3-5根串联使用。加重钻杆连接钻铤和普通钻杆，负责传递扭矩，调节钻具刚度与重量分布，减少振动，尤其在定向井作业中，可改善钻具的造斜性能。普通钻杆作为传力通道，将地面钻机动力传输至井底，同时形成钻井液循环回路，其长度和强度需与井深和钻井工艺匹配。钻具组合配置需依据地层特性、井深及钻井工艺确定。钻进硬地层时，增加钻铤数量提升钻压，采用刚性大的钻具组合增强能量传递；在易斜地层，采用满眼钻具组合，通过增加稳定器数量和直径，限制钻具横向位移，达到防斜目的。在水平井施工中，需在钻具组合中加入导向工具，如螺杆钻具或旋转导向工具，配合冲击器实现轨迹精确控制。钻具组合的连接方式也影响作业效果。螺纹连接需严格按扭矩标准上紧，防止脱扣；使用应力分散接头可减少应力集中，延长钻具寿命。通过实时监测钻具振动、扭矩变化等参数，动态调整钻具组合参数，可进一步提高冲击能量传递效率，降低钻具疲劳损坏概率，保障旋冲钻井作业高效、安全进行。

3 旋冲钻井技术应用策略

3.1 前期地层评估与方案设计

前期地层评估与方案设计是旋冲钻井技术高效实施的前提，通过系统分析地层特性与作业需求，制定针对性方案，可显著提升钻井效率与安全性。地层评估需综合多源数据。利用岩心分析获取岩石矿物成分、孔隙度、渗透率等参数，结合岩石力学试验测定抗压强度、弹性模量等力学指标，明确地层硬度等级与破碎特性。整合地震、测井资料构建三维地质模型，识别断层、裂缝、夹层等复杂地质结构，预判钻井风险。在高研磨性地层，需重点关注岩石石英含量，评估钻头磨损风险；针对裂缝发育地层，需分析流体压力与漏失可能性。基于地层评估结果，选择适配的钻井工艺。对于深部硬地层，优先采用常规旋冲钻井工艺，利用高能量冲击器配合牙轮钻头实现高效破岩；针对易漏失地层，可选用欠平衡旋冲钻井，降低井底压力，减少漏失风险；在浅层气藏开发中，气动旋冲钻井结合空气钻井技术，可提高排屑效率，避免气侵问题。钻具组合与参数设计需与地层特性精准匹配。根据岩石硬度选择冲击器型号与钻头类型，如花岗岩地层配置大冲击功液动冲击器和牙轮钻头；页岩地层采用高频冲击器搭配PDC钻头。依据井深

与井型设计钻铤数量与组合刚度，定向井需增加稳定器与导向工具，确保井眼轨迹控制精度。预设钻井参数范围：钻压依据岩石抗压强度设定，转速控制在10-60r/min，冲击频率根据钻头类型调整，牙轮钻头适配10-20Hz，PDC钻头适配20-30Hz。建立应急预案体系。针对可能出现的井漏、卡钻、钻具失效等风险，制定应急处置流程，储备相应堵漏材料、打捞工具与备用钻具，确保作业突发情况可快速响应，降低非生产时间，保障旋冲钻井技术应用效果。

3.2 钻井参数动态优化

钻井参数动态优化是旋冲钻井应对地层变化、维持高效钻进的核心策略，通过实时监测与参数调整，可最大化发挥技术效能，降低作业风险。现场试验是参数优化的基础。开钻前选取试验井段，在不同钻压（8-20吨）、转速（10-60r/min）、冲击频率（10-30Hz）组合下进行钻进测试，记录机械钻速、钻头扭矩、振动幅度等数据。通过对比分析，确定初始参数组合，例如在中硬砂岩地层，试验表明12吨钻压、40r/min转速、25Hz冲击频率下机械钻速最高。实时监测为动态优化提供数据支撑。利用随钻测量（MWD）、随钻测井（LWD）系统，实时采集井下钻压、扭矩、转速、冲击器工作状态、钻井液性能等参数，并通过地面监控系统可视化呈现。当监测到扭矩波动超过30%时，系统自动预警，提示可能存在钻头磨损或地层变化。参数调整需遵循地层响应规律。若机械钻速下降，优先检查钻压是否不足，可每次增加1-2吨钻压观察效果；若扭矩持续升高，可能因钻头与地层摩擦过大，需降低转速或调整冲击频率。遇到地层硬度突变时，例如从页岩进入灰岩，可将冲击频率从20Hz提升至25Hz，钻压从10吨增至14吨，维持破岩效率。某油田现场实践中，通过动态优化参数，将平均机械钻速提高22%。初始钻进页岩层时，采用10吨钻压、30r/min转速、20Hz冲击频率，机械钻速为3.5m/h；进入下部砂岩夹层后，实时调整参数为12吨钻压、40r/min转速、25Hz冲击频率，机械钻速提升至4.2m/h。通过监测钻头振动数据，提前判断钻头磨损，及时起钻更换，避免井下事故。

3.3 设备维护与故障预防

作业前检查冲击器外观有无裂纹、螺纹磨损，内部活塞、缸套等精密部件需通过拆卸检测，确保配合间隙符合标准。运行中监控钻井液性能，要求固相含量不超过0.5%，含砂量低于0.2%，避免固相颗粒进入冲击器造成卡滞或磨损。每钻进50-80小时，对冲击器进行清洗保养，更换密封件与润滑油，定期校验冲击频率与

冲击功,确保性能稳定。钻头维护需结合磨损规律动态管理。建立单只钻头使用档案,记录累计进尺、机械钻速、扭矩变化等数据。采用井下电视或钻头微震监测技术,实时评估钻头切削齿磨损状态。规定PDC钻头磨损量超过30%、牙轮钻头齿高磨损超2mm时强制更换。根据地层岩性调整钻头使用策略,在高研磨性地层,每钻进20-30米短起下钻,检查钻头磨损情况。钻具系统的预防性维护重点关注疲劳损伤。每日对钻杆、钻铤进行螺纹探伤,采用超声波或磁粉检测技术排查裂纹隐患,对API标准螺纹连接部位进行扭矩检测,确保上扣扭矩达到规定值的110%-120%。针对定向井、水平井作业,对弯曲段钻具实施重点监测,每口井后进行加厚过渡带壁厚测量,壁厚减薄超15%立即报废^[3]。控制钻井参数波动范围,避免钻压突变超过20%、扭矩波动超30%,减少钻具疲劳失效风险。建立设备故障预警体系,整合振动监测、油液分析、声发射检测等技术。当冲击器振动频率异常波动超20%、钻井液含金属屑浓度升高时,自动触发预警,结合历史数据模型预判故障类型。储备关键备用件,如冲击器活塞组件、钻头切削齿、钻杆接头等,确保突发故障时2小时内完成更换,将非生产时间压缩50%以上。

3.4 安全与环保措施

井控安全是旋冲钻井的核心保障。冲击破岩可能加速地层流体释放,增加井涌、井喷风险。作业前需精确计算地层压力,配置符合标准的防喷器组,确保环形防喷器、闸板防喷器等设备密封性能达标。钻井过程中,通过监测钻井液返出量、密度变化,实时判断地层流体侵入情况。一旦发现异常,立即启动关井程序,利用节流管汇控制套压,维持井内压力平衡。针对作业过程中的噪声与振动问题,需采取工程控制措施。在冲击器及

钻机设备外部加装隔音罩,选用低振动钻具组合,降低设备运行噪声与振动强度。为操作人员配备降噪耳罩、减震手套等防护装备,并合理安排作业时间,减少人员暴露在高噪声、高振动环境的时长,预防职业健康危害。环保措施聚焦钻井液全生命周期管理。优先选用水基环保型钻井液,严格控制重金属、有机污染物含量^[4]。作业现场设置三级沉淀池,对废弃钻井液进行固液分离,分离后的固相通过固化处理达标后填埋,液相经化学处理达到排放标准后排放。对岩屑进行分类处置,非污染岩屑用于道路基层材料,含油岩屑则交由专业机构无害化处理,实现钻井废弃物零排放,降低对周边土壤、水体的污染风险。

结语

旋冲钻井技术以旋转与冲击协同破岩为核心优势,为复杂地层钻探提供了高效路径。其应用需紧密结合地层特性优化方案,动态调控钻井参数,强化设备全周期维护与风险防控,并落实安全环保举措。实践验证,该技术可大幅提升钻井效能、降低工具损耗及作业延误。未来,随着技术迭代升级,旋冲钻井将深度赋能深层资源开发,推动钻井工程向智能化、绿色化转型,为全球能源勘探提供关键技术支撑。

参考文献

- [1]张国辉.旋冲钻井技术在石油钻井中的应用研究[J].清洗世界,2021,37(2):81-82.
- [2]吴修国.石油钻井中旋冲钻井技术的应用[J].石化技术,2022,29(1):61-64.
- [3]张庭.旋冲钻井技术在石油钻井中的应用策略[J].石油石化物资采购,2022(10):76-78.
- [4]刘刚.石油钻井中旋冲钻井技术的应用[J].石油石化物资采购,2023(7):82-84.