

# 石油钻井中旋冲钻井技术的应用策略

任宏连

中原石油工程公司钻井二公司 河南 濮阳 457001

**摘要：**旋冲钻井技术融合旋转与冲击破岩方式，在石油钻井领域优势显著。其借助冲击器产生高频冲击，有效提升硬岩地层钻进效率，降低钻头磨损，改善井眼质量。通过对不同动力源冲击器的合理选用、钻井参数的精准优化以及与其他先进技术的有机结合，该技术在复杂地质条件下展现出卓越的适应性与高效性，为石油钻井行业的降本增效及可持续发展提供有力支撑。

**关键词：**石油钻井；旋冲钻井技术；应用策略

## 引言

在石油资源勘探开发进程中，钻井作业面临着地质条件复杂、成本控制严苛等诸多挑战。传统钻井技术在硬岩地层钻进效率低下，难以满足行业日益增长的需求。本文聚焦旋冲钻井技术，深入剖析其工作原理、技术优势及应用场景。通过对冲击器类型、钻井参数等关键要素的研究，旨在探寻该技术在石油钻井中的最佳应用策略，为提升钻井作业效率、推动行业技术创新提供理论与实践依据。

## 1 旋冲钻井技术概述

旋冲钻井技术，作为一项极具创新性的石油钻井工艺，在石油开采领域发挥着日益重要的作用。其核心机制是在传统旋转钻井的基础上，巧妙引入一个冲击器，使钻头在冲击动载和旋转的协同作用下对岩石展开破碎作业。冲击力属于加速度极大的动载荷，在极短时间内作用力变化幅度剧烈。在其作用下，岩石应力能迅速逼近甚至超越强度极限，促使岩石性质从塑性向脆性转变，进而极大地提升了岩石破碎的速率。在实际作业中，把冲旋钻具连接在钻头上，借助循环的液体或者气体推动冲旋钻具的心轴，让钻头同步以冲击和旋转两种动作破碎岩石。旋冲钻井的钻具结构通常为钻头+冲击器+钻铤+钻杆+方钻杆，地面设备与常规钻井并无二致。这种技术特别适用于钻硬岩石及深部地层，在这些场景下，相较于传统旋转钻井方法，它能够显著提高钻井效率。在浅部及泥页岩中，其优势相较于其他钻井方式则不太显著，可将其视为对旋转钻井方法的一种有效补充。从破岩特点来看，在旋冲钻进过程中，牙轮钻头除承受旋转钻井时的静载荷和动载荷外，冲击器施加的高频冲击载荷，大幅缩短了岩石产生形变所需时间，增大了变形速度。被冲击点来不及重新分配作用力，应力快速接近或超过强度极限，岩石脆性增加、塑性下降。经

多年在多个油田的试验表明，旋冲钻井在硬地层、易斜地层及破碎地层钻进时，能显著提高钻速，且井身质量优良。旋冲钻井通过冲击使钻头齿下岩石形成强应力集中，降低岩石塑性、增加脆性，快速产生脆性破坏坑，提升破岩效率，同时为旋转剪切创造有利条件，进一步提高钻速。

## 2 石油钻井中旋冲钻井技术的具体应用

### 2.1 复杂地层钻井作业

在面对复杂地层时，常规钻井技术常因岩石特性复杂而效率低下。复杂地层包含高研磨性、硬脆性以及软硬交错等多种不利于钻井的岩石类型。高研磨性岩石会快速磨损钻头，缩短钻头使用寿命，增加起下钻次数，严重影响钻井进度；硬脆性岩石在钻进过程中易发生坍塌、掉块等问题，威胁钻井安全；软硬交错地层则会导致钻头受力不均，引发钻具振动，降低破岩效率。旋冲钻井技术凭借独特的破岩机理，能有效应对这些复杂状况。在高研磨性地层，冲击器产生的高频冲击载荷，可使钻头齿迅速切入岩石，减少钻头与岩石的摩擦时间，降低磨损程度。例如在某地区的高石英含量砂岩地层，使用旋冲钻井技术后，钻头使用寿命延长了近显著的比例，机械钻速提高了大幅的比例。对于硬脆性地层，冲击作用促使岩石以脆性方式破碎，减少了坍塌和掉块风险，同时通过合理调整钻井参数，能够更好地控制井壁稳定性。在软硬交错地层，冲击与旋转的协同作用使钻头在不同硬度岩石间切换时，能更快速地适应，保持较为稳定的破岩效率，有效减少钻具振动，保障钻井作业的顺利进行<sup>[1]</sup>。

### 2.2 深井和超深井钻井

深井和超深井钻井作业面临着诸多挑战，如高温高压环境、深部岩石硬度高、可钻性差等。随着井深增加，岩石受到的上覆压力增大，其强度显著提高，常规

钻井方法破岩难度剧增。高温对钻井液性能、钻具材料性能以及井下工具的可靠性都产生不利影响,高压则可能引发井漏、井涌等复杂情况。旋冲钻井技术在深井和超深井领域展现出巨大优势。在深部硬地层,冲击载荷能够降低岩石的塑性,增加脆性,使岩石更容易被破碎。通过优化钻具组合和冲击器参数,能够更好地适应深井和超深井的特殊工况。例如,采用高强度、耐高温的钻具材料,配合高效能的冲击器,在某超深井作业中,成功将深部花岗岩地层的机械钻速实现了极为显著的提升。旋冲钻井技术在提高井身质量方面也表现出色,冲击作用有助于减少钻头的横向振动,使井眼轨迹更加平滑,降低了井斜风险,为后续的完井作业提供了良好基础。

### 2.3 老井侧钻作业

老井侧钻是挖掘老油田剩余油潜力、提高采收率的重要手段。在老井侧钻过程中,面临着套管磨损、井眼轨迹控制困难、地层情况复杂等问题。套管磨损可能导致开窗难度增加,甚至影响侧钻的可行性;复杂的地层情况可能使钻头在侧钻过程中遭遇卡钻、井漏等事故;精确控制井眼轨迹,使侧钻井能够准确钻达目标油层,对提高采收率至关重要。旋冲钻井技术在老井侧钻作业中发挥了关键作用。在开窗阶段,冲击器的冲击作用能够帮助钻头更顺利地套管上开窗,减少开窗时间和对套管的损伤。在侧钻钻进过程中,冲击与旋转的结合,使钻头能够更有效地破碎岩石,尤其是在遇到坚硬夹层时,旋冲钻井技术的破岩优势得以凸显。通过与先进的随钻测量和井眼轨迹控制技术相结合,能够实时调整钻井参数,精确控制井眼轨迹。例如在某老井侧钻项目中,利用旋冲钻井技术,成功在复杂地层中实现了精确的井眼轨迹控制,侧钻井准确钻达目标油层,投产初期产量较预期实现了极为可观的提升,为老油田的高效开发提供了有力支持。

### 2.4 定向钻井作业

定向钻井要求钻头按照预定的轨道或地质导向进行破岩钻进,以准确钻达地下的预定目标。在定向钻井过程中,实时测控难度大,地下工况复杂多变,容易遇到地层岩性变化、断层、裂缝等情况,这些都给井眼轨迹控制带来极大挑战。若井眼轨迹控制不当,可能导致无法准确钻达目标层位,影响油气开采效果。旋冲钻井技术为定向钻井作业提供了新的解决方案。冲击器产生的冲击载荷有助于提高钻头在复杂地层中的破岩效率,使钻头在不同岩性地层中都能保持较好的钻进性能。在井眼轨迹控制方面,旋冲钻井技术与旋转导向钻井系统

等先进的轨迹控制技术相结合,能够更好地应对地层变化。例如,当遇到地层自然造斜力较大的情况时,冲击作用可以帮助抵消部分地层力的影响,使钻头更容易按照设计轨迹钻进。在某定向钻井项目中,采用旋冲钻井技术配合旋转导向系统,成功在复杂地质条件下实现了高精度的井眼轨迹控制,井眼轨迹与设计轨迹的偏差控制在极小范围内,确保了定向钻井作业高效、安全地完成,为油气田的高效开发奠定了坚实基础<sup>[2]</sup>。

## 3 石油钻井中旋冲钻井技术的应用策略

### 3.1 加强技术研发与创新

(1) 深入开展旋冲钻井技术的基础研究,投入专项资金组建专业科研团队,对冲击器的冲击频率、冲击能量与岩石特性的适配关系进行系统性研究。通过室内模拟实验,构建不同岩石类型与冲击参数的数据库,为实际作业中的参数优化提供理论支撑。例如,针对不同硬度、脆性的岩石,精确分析冲击器最佳工作参数,以最大化提升破岩效率。(2) 积极探索新型旋冲钻井工具与材料的研发。研发高强度、耐磨损且能适应复杂工况的钻头材料,结合先进的制造工艺,提高钻头在冲击与旋转复合作用下的使用寿命。对冲击器的结构进行创新设计,减小其体积与重量,提高能量转换效率,降低能耗,使设备在深井、超深井等复杂环境下能稳定高效运行。(3) 加强与高校、科研机构的产学研合作,构建紧密协同的创新网络,设立联合实验室与专项研发基金,定期开展技术研讨与项目对接。借助外部专业力量,聚焦关键难题,如与高校联合开展冲击载荷下岩石破碎机理研究,加速成果转化,推动旋冲钻井技术升级,保持行业技术领先地位。

### 3.2 优化钻井参数设计

(1) 构建基于大数据与人工智能的钻井参数优化模型。收集大量实际钻井作业数据,涵盖不同地层条件、不同井深、不同设备配置下的旋冲钻井参数及钻进效果数据。利用机器学习算法,分析数据之间的关联规律,建立精准的参数优化模型。通过该模型,能根据实时地层信息和钻井工况,快速给出最优的冲击频率、旋转速度、钻压、排量等参数组合,提高钻井效率与质量。(2) 在实际作业前,运用数值模拟技术对钻井过程进行预演。模拟不同参数组合下,钻头在岩石中的破岩过程、井眼轨迹变化、钻具受力情况等。根据模拟结果,提前调整和优化钻井参数,避免在实际作业中因参数不合理导致的钻具损坏、井眼质量差等问题。例如,针对复杂地层,通过模拟找到既能有效破岩又能保证井壁稳定的参数区间。(3) 建立实时监测与反馈调整机制。在

钻井作业过程中,利用先进的传感器技术,实时监测钻压、扭矩、冲击频率、井眼轨迹等关键参数。当监测到实际参数偏离优化模型给出的最优值,或出现异常情况时,系统自动发出预警,并根据预设的算法及时调整钻井参数,确保钻井作业始终处于最佳状态,提高作业的稳定性与可靠性<sup>[3]</sup>。

### 3.3 加强设备维护与管理

(1) 制定科学完善的设备维护保养计划。根据旋冲钻井设备的使用频率、工作环境、设备性能特点等因素,制定详细到每个零部件的维护保养周期与操作规范。例如,对冲击器的关键部件,如活塞、弹簧等,设定严格的定期检查与更换周期,确保设备始终处于良好运行状态,减少因设备故障导致的停工时间。(2) 引入先进的设备监测技术与故障诊断系统。利用振动分析、油液监测、红外测温等技术,对设备运行状态进行全方位实时监测。通过故障诊断系统,对监测数据进行分析处理,提前预测设备可能出现的故障隐患。一旦发现异常,及时安排维护人员进行针对性维修,变被动维修为主动预防,提高设备的可靠性与使用寿命。(3) 加强设备管理信息化建设。建立设备管理数据库,记录设备的采购、安装调试、使用、维护、维修、报废等全生命周期信息。通过信息化平台,实现设备信息的实时共享与动态管理,方便管理人员随时掌握设备状态,合理安排设备调配、维护计划,提高设备管理效率与决策科学性,保障旋冲钻井作业的顺利进行。

### 3.4 强化人才培养与储备

(1) 开展针对性的内部培训课程体系建设。针对旋冲钻井技术特点,设计涵盖理论知识、操作技能、故障排除等方面的培训课程。邀请公司内部经验丰富的技术专家、操作能手担任讲师,结合实际案例进行教学,提高培训的实用性与针对性。定期组织员工参加培训,通过考核激励机制,确保员工熟练掌握旋冲钻井技术相

关知识与操作技能。(2) 加强与外部专业培训机构、高校的合作,拓宽人才培养渠道。选派优秀员工参加外部专业培训,学习行业内最新的旋冲钻井技术与管理理念。与高校联合开展人才定向培养计划,设立相关专业课程,为公司储备具有扎实理论基础与创新能力的专业人才。例如,与高校合作开展旋冲钻井技术创新研究项目,让学生参与其中,毕业后直接为公司所用。(3) 建立人才激励与职业发展通道。设立专项奖励基金,对在旋冲钻井技术研发、应用、设备维护等方面表现突出的人才给予物质与精神奖励。为员工设计多元化的职业发展路径,如技术专家路线、管理岗位路线等,让员工清晰看到自身职业发展方向,激发员工提升自身专业能力的积极性,吸引和留住优秀人才,为旋冲钻井技术的持续发展提供坚实的人才保障<sup>[4]</sup>。

### 结语

综上所述,旋冲钻井技术凭借其独特的破岩机制,在石油钻井中展现出显著优势,成为应对复杂地层挑战的有力手段。从冲击器性能优化,到钻井参数精细化调控,再到多技术协同应用,其应用策略的每一次完善都推动着钻井效率的提升与成本的降低。未来,随着材料科学、智能控制等技术的深度融合,旋冲钻井技术有望在深海、深层等极端环境下实现更大突破,持续为石油工业的高效、绿色发展赋能。

### 参考文献

- [1]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.
- [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]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.
- [4]胡大鹏.石油钻井中旋冲钻井技术的应用[J].石化技术,2024,31(8):86-88,262.