

石油钻井中旋冲钻井技术的应用研究

吴正启

华东石油工程有限公司生产服务中心 江苏 扬州 225129

摘要: 旋冲钻井技术作为一种高效的钻探方式,在石油钻井中得到广泛应用。该技术通过高频冲击与旋转钻进相结合,提高钻进效率与质量。液动与气动冲击器作为关键部件,各具优势,适用于不同工况。旋冲钻井技术不仅能解决硬地层钻进难题,还能延长钻头使用寿命,降低钻探成本。随着技术进步,旋冲钻井技术将进一步提升石油开采效率与质量,满足经济发展对优质石油资源的需求。

关键词: 石油钻井;旋冲钻井技术;应用

引言:随着全球能源需求的不断增长,石油资源的开采效率与质量日益成为行业关注的焦点。在石油钻井过程中,传统的旋转钻井技术面对硬岩和复杂地层时存在效率低下、钻头磨损严重等问题。为解决这些难题,旋冲钻井技术应运而生。该技术通过融合旋转切削与高频冲击破碎两种作用机制,显著提高了钻井速度和钻头使用寿命。本文旨在探讨旋冲钻井技术在石油钻井中的应用现状、优势、挑战及应对策略,为石油开采提供新的技术思路和解决方案。

1 旋冲钻井技术概述

1.1 旋冲钻井技术定义

(1) 旋冲钻井技术的基本概念。旋冲钻井技术是一种融合旋转切削与冲击破碎的复合钻井技术,通过钻井系统同时提供旋转扭矩与高频冲击能量,作用于钻头以破碎岩石,适用于硬岩、研磨性地层等复杂钻井场景,能有效提升钻井效率与钻头寿命。(2) 旋冲钻井与传统钻井技术的区别。传统钻井以旋转切削为主,依赖钻头持续研磨岩石,硬地层中易出现钻头磨损快、进尺慢的问题;旋冲钻井新增高频冲击作用,可先通过冲击破碎岩石结构,再配合旋转切削清除岩屑,减少钻头与岩石的摩擦阻力,在硬地层中钻井效率比传统技术提升30%-50%。

1.2 旋冲钻井技术种类

(1) 液动旋转冲击钻井技术。以钻井液为动力源,通过钻井液推动冲击器内部活塞往复运动,产生高频冲击,适应常规钻井液循环体系,成本较低,广泛应用于油气井、地质勘探井等陆地钻井工程。(2) 气动旋转冲击钻井技术。以压缩空气为动力,冲击频率更高(可达100-200Hz),排屑能力强,适用于干旱缺水地区、煤层气井等,但需配套空气压缩设备,对工况密封性要求较高。(3) 其他类型(如电动等)的简要介绍。电动旋冲钻井技术以电机驱动冲击机构,能量传递效率高、噪音

低,但受限于井下电机功率与散热条件,目前多用于小口径浅层钻井,如地质取样、小型水井施工。

1.3 旋冲钻井技术工作原理

(1) 冲击器的工作原理及作用机制。冲击器接收动力源(钻井液、压缩空气或电能)能量,驱动内部核心部件(活塞、锤体)做往复运动,将能量转化为高频、低幅的冲击载荷,通过传能部件传递至钻头,破坏岩石的完整性与强度。(2) 钻头与冲击器的协同工作方式。冲击器输出的冲击载荷使钻头齿反复冲击岩石,形成破碎坑;同时,钻井系统提供的旋转扭矩带动钻头旋转,使钻头齿在岩石表面产生切削作用,清除破碎岩屑;二者循环协同,实现持续、高效的岩石破碎与钻井作业。

2 旋冲钻井技术的应用优势

2.1 提高钻井效率

(1) 高频冲击破碎提升钻进速度。旋冲钻井技术依靠冲击器输出100-200Hz的高频冲击载荷,能快速打破硬岩、研磨性地层的岩石结构,形成初始破碎坑,为钻头旋转切削创造有利条件。相比传统旋转钻井仅依赖钻头研磨,其将“冲击破碎+旋转切削”结合,在花岗岩、玄武岩等硬地层中,钻进速度可提升30%-60%,大幅缩短单井钻井周期,尤其适用于深层复杂地层钻井作业。(2) 减少钻头损耗,延长使用寿命。传统钻井中,硬地层易导致钻头齿过度磨损、崩裂,需频繁起下钻更换钻头。而旋冲钻井通过冲击先破碎岩石,降低钻头与完整岩石的直接摩擦,减少钻头齿承受的研磨力与冲击载荷。数据显示,在相同硬地层条件下,旋冲钻井的钻头使用寿命可延长2-3倍,减少起下钻次数,进一步提升整体钻井效率^[1]。

2.2 增强钻井质量

(1) 规则井眼的形成,提升钻井精度。旋冲钻井中,高频冲击使钻头受力更均匀,配合稳定的旋转扭矩,可避免传统钻井因钻头受力不均导致的井眼扩径、

缩径或倾斜问题。其形成的井眼直径偏差通常控制在5%以内，井眼垂直度误差小于1°，能满足后续固井、完井作业对井眼形态的高精度要求，为油气井、地质勘探井的后续开发奠定良好基础。（2）岩石破碎效率高，降低岩性变化风险。该技术通过高效破碎岩石，可快速穿过岩性变化频繁的地层（如砂泥岩互层、火山岩夹层），减少钻头在不同岩性地层间的适应时间，降低因岩性突变导致的钻井参数波动。同时，破碎后的岩屑颗粒均匀，不易在井眼内堆积，减少井壁坍塌、卡钻等风险，保障钻井作业连续稳定进行。

2.3 降低成本与安全环保

（1）减少人力物力投入，降低生产成本。一方面，钻井效率提升缩短了单井作业时间，减少了钻机租赁、人员值守等固定成本；另一方面，钻头使用寿命延长，降低了钻头采购与更换成本，同时减少起下钻次数，节省了钻井液、动力燃料等耗材消耗。据测算，在深层硬岩钻井项目中，旋冲钻井技术可使综合生产成本降低20%-30%。（2）环保型钻井技术的应用前景。气动旋冲钻井以压缩空气为动力，无需大量钻井液，可避免传统钻井液泄漏造成的土壤、地下水污染；电动旋冲钻井依赖清洁能源驱动，噪音低、碳排放少，契合绿色钻井发展趋势。随着环保政策趋严，该技术在生态敏感区（如水源地、自然保护区）、煤层气开发等领域的应用前景广阔，有望成为环保型钻井的主流技术之一。

3 旋冲钻井技术在石油钻井中的具体应用

3.1 硬地层钻进

（1）针对不同硬度的地层选择合适的旋冲钻井技术。石油钻井中硬地层按抗压强度可分为中硬地层（抗压强度30-60MPa，如致密砂岩）、硬地层（60-100MPa，如灰岩）与特硬地层（> 100MPa，如花岗岩）。中硬地层优先选用液动旋转冲击钻井技术，依托常规钻井液循环系统即可驱动，成本低且适配性强；硬地层需提升冲击能量，可采用高压液动旋冲技术（钻井液压力提升至25-35MPa），增强破碎能力；特硬地层则适用气动旋转冲击钻井技术，其150-200Hz高频冲击能快速突破岩石结构，搭配金刚石复合片钻头，可有效应对极端硬岩环境。（2）实例分析：硬地层钻进效果评估。在塔里木油田某区块硬灰岩地层钻井项目中，前期采用传统旋转钻井，平均机械钻速仅1.2m/h，钻头寿命不足8小时。改用高压液动旋冲钻井技术后，冲击器输出频率120Hz，配合PDC钻头，机械钻速提升至3.8m/h，较传统技术提升217%；同时钻头寿命延长至22小时，起下钻次数从5次减少至2次，单井硬地层段钻井周期缩短12天，

验证了该技术在硬地层中的高效性。

3.2 深井及超深井钻进

（1）深井钻进中的技术挑战与旋冲钻井的解决方案。深井（3000-6000m）钻进面临井底温度高（可达150-200°C）、钻压传递效率低、地层研磨性强三大挑战。旋冲钻井技术通过两项核心改进应对：一是采用耐高温冲击器（选用镍基合金材质，耐受温度达220°C），避免动力部件因高温失效；二是优化冲击-旋转参数匹配，通过降低旋转转速（从60r/min降至30-40r/min）、提升冲击频率（100-130Hz），减少钻柱扭矩损耗，提升井底能量利用率，解决钻压传递难题；同时高频冲击减少钻头与岩石的研磨时间，降低地层研磨对钻头的损耗^[2]。

（2）超深井钻进中的旋冲钻井技术应用案例。在四川盆地某超深井（井深7200m）钻井项目中，目的层为二叠系玄武岩（抗压强度95MPa），前期传统钻井因井底温度高、钻压传递差，机械钻速仅0.8m/h。采用耐高气动旋冲钻井技术后，冲击器以压缩空气为动力，耐受井底205°C高温，输出冲击频率140Hz，配合孕镶金刚石钻头，机械钻速提升至2.5m/h，成功突破6500m以下特硬地层；且全程未出现冲击器失效问题，超深井段钻井周期缩短28天，为深层油气资源开发提供了技术支撑。

3.3 复杂地层钻进

（1）复杂地层条件下的旋冲钻井技术应用策略。石油钻井中复杂地层（如砂泥岩互层、盐膏层、裂缝发育地层）易出现井壁坍塌、卡钻、井眼扩径问题。应用旋冲钻井技术时需采取针对性策略：砂泥岩互层地层选用低冲击频率（80-100Hz）、高旋转转速（40-50r/min），平衡冲击破碎与切削效率，避免泥岩缩径；盐膏层地层采用液动旋冲技术，搭配饱和盐水钻井液，利用钻井液压力抑制盐膏层溶胀，同时高频冲击快速穿过易缩径段；裂缝发育地层则降低冲击能量（冲击压力 < 20MPa），减少裂缝扩展导致的井壁坍塌风险^[3]。（2）实例分析：复杂地层钻进效果与经验总结。在渤海湾某油田砂泥岩互层地层钻井项目中，传统钻井因岩性频繁变化，井眼扩径率达15%，多次发生卡钻。采用液动旋冲钻井技术，设定冲击频率90Hz、旋转转速45r/min，配合防塌钻井液，井眼扩径率降至5%以下，未出现卡钻事故；机械钻速从1.5m/h提升至2.8m/h，钻井周期缩短8天。经验表明，复杂地层中需根据岩性动态调整旋冲参数，同时搭配适配的钻井液体系，才能最大化技术优势，保障钻井作业安全高效。

4 旋冲钻井技术的挑战与应对策略

4.1 技术挑战

(1) 高压高温环境下的技术难题。石油钻井常面临深井、超深井的高压(井底压力超100MPa)、高温(温度达200-250℃)环境,对旋冲钻井技术构成显著挑战。一方面,高温易导致冲击器内部密封件老化、弹性部件失效,如橡胶密封圈在200℃以上环境中易出现开裂,造成动力介质(钻井液、压缩空气)泄漏,降低冲击能量传递效率;另一方面,高压环境会增加冲击器活塞往复运动阻力,导致冲击频率波动,甚至出现卡滞现象,同时高压还可能引发钻柱振动加剧,影响井眼轨迹控制精度,增加钻井事故风险。(2) 冲击器性能稳定性与可靠性问题。冲击器作为旋冲钻井技术的核心部件,其性能稳定性直接决定钻井效率。当前部分冲击器存在关键部件寿命短的问题,如液动冲击器的阀芯、气动冲击器的配气阀,在高频冲击载荷下易出现磨损、变形,平均使用寿命仅150-200小时,需频繁起下钻更换,增加作业成本与周期。此外,不同地层(如硬岩、松软地层)对冲击能量需求差异大,现有冲击器多为固定参数设计,难以动态适配地层变化,易出现“过冲击”导致钻头损坏或“欠冲击”降低钻进效率的问题,可靠性有待提升。

4.2 应对策略

(1) 加强技术研发与创新,提升冲击器性能。针对高压高温问题,研发耐高温、耐高压的新型材料,如采用陶瓷基复合材料制作冲击器密封件,耐受温度提升至300℃以上,同时使用高强度合金(如钛合金)制造活塞、缸体,增强抗压性能;针对参数适配性问题,开发可调频、调压的智能冲击器,通过井下传感器实时监测地层硬度,自动调整冲击频率(80-200Hz)与冲击压力(15-35MPa),实现地层与设备参数的动态匹配,延长冲击器寿命至300小时以上。(2) 推广智能化钻井技术,提高钻井自动化水平。引入物联网与大数据技术,构建“地面监控-井下监测-自动调控”一体化系统:通过井下随钻测量仪实时采集冲击器工作参数(频率、压

力)、井底温度压力及井眼轨迹数据,传输至地面控制系统;系统依托算法模型分析数据,自动优化钻井参数,如检测到冲击器频率异常时,实时调整动力介质供给,避免卡滞;同时实现钻头磨损、井壁稳定性的预判预警,减少人工干预,提升钻井作业的稳定性与安全性^[4]。

(3) 加强人员培训,提升操作人员技术水平。制定分层培训体系:针对基础操作人员,开展冲击器拆装、参数调试等实操培训,通过模拟钻井平台演练,使其熟练掌握设备维护与应急处理技能;针对技术人员,重点培训智能化系统操作、地层数据分析与参数优化方法,邀请行业专家开展案例教学,分享高压高温、复杂地层的钻井经验;定期组织技能考核与技术交流,建立人员资质认证机制,确保操作人员具备应对复杂工况的能力,减少因人为操作失误导致的设备故障与安全风险。

结束语

综上所述,旋冲钻井技术在石油钻井领域展现出巨大的应用潜力与价值。它不仅提高了钻井效率,延长了钻头使用寿命,还有效应对了复杂地层钻进中的诸多挑战。随着智能化与自动化技术的不断进步,旋冲钻井技术的性能将得到进一步优化与提升。未来,该技术有望在更多领域实现广泛应用,为石油工业的高效、安全、绿色发展提供有力支持。我们应持续关注旋冲钻井技术的发展动态,积极探索其更广阔的应用前景。

参考文献

- [1]宋泓钢.液动冲击器旋冲钻井技术现状及发展趋势[J].石油化工应用.2021,(12):93-95.
- [2]甘心.ZYXC-244机械式旋冲螺杆钻具的研制与应用[J].吉林大学学报(地球科学版).2021,(07):78-80.
- [3]于洋.速旋冲钻井技术优化及在顺北区块的试验[J].石油机械.2020,(10):121-122.
- [4]张志远.石油钻井中旋冲钻井技术的应用探讨[J].西部探矿工程,2021,(08):101-102.