

钻井提速工具运用及工艺优化与经济效益评估分析

刘志根 (湖南继善高科技有限公司, 湖南 长沙 410000)

王召阳 (中国石油集团渤海钻探工程有限公司, 天津 300450)

摘要: 石油钻井工程面临着复杂地质条件以及高效钻探需求这两方面的挑战, 随着科技不断进步, 石油钻井提速工具以及工艺优化成为提高钻探效率、降低成本、保障安全环保的关键途径。本文探讨石油钻井提速工具的技术发展趋势以及其在工艺优化中的应用, 评估其对经济效益的影响, 并且技术优化策略。经过深入研究, 为石油钻井行业的技术创新和可持续发展提供理论支撑与实践指导。

关键词: 石油钻井; 提速工具; 工艺优化; 经济效益

中图分类号: TE242 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2025) 024-0046-03

Application of Drilling Speed up Tools, Process Optimization, and Economic Benefit Evaluation Analysis

Liu Zhigen (Hunan Jishan High tech Co., Ltd., Changsha Hunan 410000, China)

Wang Zhaoyang (China Petroleum Bohai Drilling Engineering Co., Ltd., Tianjin 300450, China)

Abstract: Petroleum drilling engineering faces challenges in complex geological conditions and the need for efficient drilling. With the continuous advancement of technology, oil drilling acceleration tools and process optimization have become key ways to improve drilling efficiency, reduce costs, and ensure safety and environmental protection. This article explores the technological development trend of oil drilling acceleration tools and their application in process optimization, evaluates their impact on economic benefits, and proposes technical optimization strategies. Through in-depth research, provide theoretical support and practical guidance for technological innovation and sustainable development in the petroleum drilling industry.

Keywords: oil drilling; speed-up tools; process optimization; economic benefits

石油钻井工程处于复杂地质条件以及高效钻探需求的双重压力环境之中, 迫切需要借助技术创新来提高钻探效率、降低成本并且保障安全环保。随着科技不断进步, 石油钻井提速工具以及工艺优化已成为达成目标的关键途径, 本文探讨水力振荡器、旋转导向仪 (如图 1 所示) 等提速工具的具体种类、技术走向以及在工艺优化里的应用情况, 评估其对经济效益所产生的影响, 同时分析当前面临的挑战以及相应的应对策略。

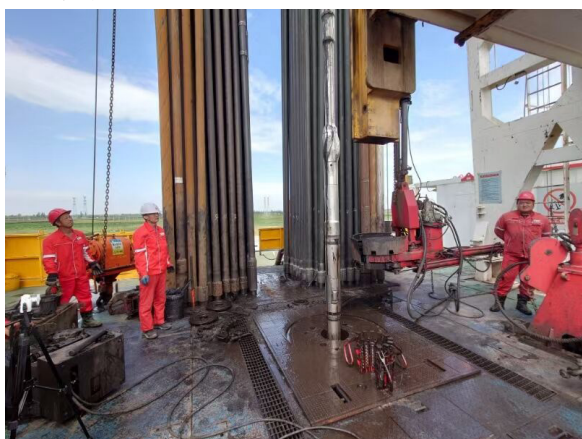


图 1 旋转导向仪

1 提速工具技术发展趋势

石油钻井提速工具技术正经历着三重变革, 分别是智能化升级、高效化创新以及环保化转型。在智能化升级进程中, 水力振荡器和高精度传感器系统共同运作, 实时收集地层岩性特征、井下温度以及设备运转参数, 再配合旋转导向工具, 依靠机器学习算法动态优化钻压与转速的配比, 形成精准控制的智能钻进模式^[1]。

内蒙巴彦油田兴华 1 区块, 在使用水力振荡器后平均机械钻速提高 12.6%, 节约钻井周期 2.32 天。高效化创新主要关注材料科学的突破, 复合钻头运用纳米复合涂层技术, 在抗冲击韧性和耐磨性方面有了很大提升, 再配合经过拓扑优化设计的工具结构, 单次下井作业的效率得到明显提高, 环保化转型体现在低振动降噪装置的应用以及废弃物减排系统的集成上, 依靠流场仿真技术开发的阶梯式水力结构可降低 30% 的能源消耗。

工作时, 水力振荡器可以优化井下流体流动, 减少岩屑堆积, 可实现岩屑的定向收集与资源化处理, 为传统石油开采向绿色低碳发展模式的转型注入新的动力^[2]。

2 石油钻井工艺优化

2.1 钻井参数优化

①转速、钻压与排量优化。石油钻井工艺中,转速、钻压与排量的科学调控直接影响工程成效,合理调节转速可使钻头处于最佳切削状态,实际作业中需根据地层特性差异化调整,软岩层可适当提高转速以加快进尺速度,硬质地层需适当降低转速防止切削齿异常损耗,钻压参数需根据地层岩性特征和钻头结构差异进行针对性调整,在保证有效破碎岩石的同时避免井下工具过载失效^[3]。排量参数直接影响钻井液的携屑效能,优化设计可维持井眼清洁度,减少岩屑重复破碎造成的能量损耗,结合随钻测量技术对地层变化的实时反馈,建立参数动态调控机制,可有效提升钻井作业的施工效率与工程质量。②井身结构优化。科学规划井身结构对于保证钻井作业安全高效有决定性作用,需要综合考虑地层岩性特征、目标井深和油气开发需求进行针对性设计。在套管参数设计方面,要精准匹配不同层位的套管下深与管径规格,这种差异化配置能有效隔离不稳定层段,避免井筒垮塌和地层流体互窜,还可以较大控制工程成本。具体实践中,针对浅部松软地层宜采用大口径表层套管提高井筒完整性,而深部致密岩层则需根据应力状态优选高强度套管尺寸,依靠三维轨迹优化技术控制井眼曲率^[4]。

2.2 钻井液体系优化

①钻井液性能优化。钻井工作液的流变参数调控直接影响油气井建井质量与施工效率,借助实时监测地层孔隙压力变化,动态调控钻井液密度参数,可有效维持井筒压力平衡,规避井下复杂状况的发生概率,在保证岩屑悬浮能力的基础上,优化黏切参数的匹配关系,能实现停泵期间的钻屑悬浮,又可保障循环时的高效岩屑输送,这种流态控制技术大幅提升了井眼净化效果。凭借引入纳米级润滑材料构建极压润滑膜,可降低钻柱与裸眼地层的摩擦系数,这种微观界面改性技术为深井作业提供了关键保障,功能性处理剂的协同作用则体现在,降滤失组分的界面封堵效应可改善滤饼质量,配合页岩抑制剂等助剂的协同作用,使钻井液体系有动态自适应的工程特性,可根据井下温度压力场变化自动调节工作状态^[5]。②新型钻井液研发与应用。近年来,石油勘探领域的技术革新推动了钻井液体系的迭代升级,针对复杂地层环境的应用需求,有特定功能的钻井体系研发呈现出较大转型趋势。以高温高压地层为例,最新研发的耐高温钻井液凭借分子结构优化,在超过 200℃的极端工况下仍能维持黏度稳定性,这为深部油气资源开发提供了关键技术支撑。采用生物降解材料的环保型钻井液在抑制岩屑分散的其生态毒性较传统体系降低 60% 以

上,有效践行了可持续发展理念。

2.3 设备层面的优化

在石油钻井这个领域当中,设备对于钻井效率以及质量有着非常关键的影响作用。当下部分钻机设备存在自动化程度比较低的情况,在钻井的整个过程里,许多操作都需要依靠人工去完成,这样做效率不高,而且还很容易因为人为方面的失误引发安全事故,推进设备自动化升级成为了首要的任务。引入自动化钻机,这种钻机配备了先进的传感器以及控制系统,可精确地控制钻进参数,并且可自动完成钻杆的装卸以及连接等相关操作,可大幅度地减少人力投入,降低劳动强度,还可以提升作业精度以及安全性,要对泥浆循环系统给予优化,传统的泥浆循环系统容易出现泥浆漏失以及污染等一系列问题,这些问题会对钻井进程以及环境产生影响。新型泥浆循环系统采用了先进的过滤以及净化技术,可以实时监测泥浆性能,自动调整泥浆成分,减少泥浆浪费以及污染,对井控设备进行升级也十分关键,凭借安装智能化的井控装置,可及时监测井下压力变化,在出现井涌、井喷等紧急状况的时候迅速做出响应,有效避免安全事故的发生,保障钻井作业顺利开展。

2.4 工具层面的优化

钻井工具的性能对于钻井效率以及成本有着直接的关联。当下部分钻头存在磨损速度较快、适应性欠佳的情况,这致使需要频繁地进行起下钻操作来更换钻头,浪费了大量的时间以及资源,研发新型的高性能钻头显得非常有必要。举例来说,采用了纳米材料以及新型制造工艺的复合钻头,拥有更为出色的耐磨性以及抗冲击性,可适应不同的地层条件,延长钻头的使用期限,减少起下钻的次数,提升钻井效率。引进先进的随钻测量工具,这类工具整合了多种传感器,可在钻井过程当中实时测量井下的地质参数、钻井参数等各类信息,并且将数据及时传送到地面控制系统,工作人员依据这些数据,可实时对钻井工艺参数进行调整,达成精准钻进,避免由于盲目钻引发的井斜、卡钻等问题,降低钻井风险,提高钻井质量。另外应用水力振荡器等辅助工具,可改善井底流场,提高岩屑携带效率,防止岩屑堆积,提高钻井效率。

3 石油钻井提速工具运用及工艺优化的经济效益评估

3.1 成本分析

石油钻井提速技术应用与工艺改进涉及多项费用构成,其中设备购置费用占据较大比例,高效能钻头与高性能螺杆钻具的采购成本较高,导致初期资金压力增大,工艺改进过程中需要引入高精度监测设备,

用于实时获取地质条件和井下工具运行参数,该环节产生额外的设备采购与系统调试费用。在钻井液性能提升方面,新型复合体系研发需投入大量实验经费,特殊添加剂(如纳米封堵剂)的市场价格也明显高于常规处理剂,技术团队能力建设方面,操作人员需要完成从设备调试到工艺参数调整的全流程培训,由此产生的人力资源培养支出直接影响项目运营成本,虽然短期内的综合投入有所上升,但从全生命周期效益分析来看,这些技术革新措施有较大的降本增效潜力。

3.2 效益分析

石油钻井领域凭借技术创新实现了效率与效益的双重突破。在钻探设备升级方面,尖端提速工具的应用使得机械钻速获得突破性提升,单井施工周期较传统工艺压缩 60% 以上,这大幅降低了设备租赁费用和人员配置需求,使项目资金周转效率较大提高。以新型 PDC 钻头为例,其复合切削结构配合水力优化设计,成功将复杂地层的月进尺提升至传统牙轮钻头的 3 倍水平。工艺革新方面,基于大数据分析的钻井参数动态调整系统使井下复杂事故发生率下降,特别在应对井控风险和钻具卡阻问题上呈现出卓越的预防效能,借助改良钻井液体系提高井壁稳定性,配合随钻测量技术形成闭环控制,保障了连续作业的安全性,又使储层保护效果提升。

4 石油钻井提速工具运用及工艺优化策略

4.1 技术创新与定制化服务

在复杂地质状况下进行工程建设时,传统的技术和装备难以达到精准且高效的施工要求,迫切需要构建产学研协同创新体系,借助整合高校、科研机构以及企业的资源优势,搭建技术创新平台,专注于核心装备的智能化研发,突破技术瓶颈。组建跨学科研究团队是极为关键的一步,地质、机械、电子、计算机等多个领域的专家共同协作,全力研发新型复合型提速装置。以有智能感知功能的钻探工具来说,该工具集成了高精度传感器网络,可实时采集岩石密度、硬度、弹性模量等物理特性方面的数据,并且依靠边缘计算模块迅速进行分析,动态优化钻头切削齿形状、转速、钻压等参数配置,提升钻进效率。实施区域化工艺匹配策略,依据不同区域地质构造的差别,结合具体的工程目标,建立工艺参数动态配置模型。针对钻井液性能,构建梯度优化方案,依据井深、温度、压力的变化,精确调控其流变性能、润滑性能以及护壁能力,在装备组合方面,形成“钻探设备+智能监测系统+远程控制系统”的集群模式,实现协同作业。

4.2 成本管理与效益提升

为有效平衡成本管控与经营效益,企业需构建多

维度的管理体系,在供应链管理层面,可实施集团化采购策略并深化与核心供应商的战略合作,压缩设备采购支出,针对人才培养体系,创新性引入线上线下联动的复合型培训机制,在保证技能提升质量的同时削减人力培养成本,同步推进效益提升工程,建立全流程成本效益评估体系,重点筛选投资回报率优异的技术方案进行规模化应用。凭借技术创新驱动钻井作业效率提升,实现项目周期压缩与运营成本优化的双重目标,最终实现成本效益的最优配置。

4.3 强化安全环保管理

针对安全环保双重挑战,需实施全流程综合治理方案,首要任务是构建系统化的安全生产标准体系,凭借常态化安全培训强化作业人员的风险防控能力与规范操作水平,在设备管理维度,应建立设备全生命周期管理制度,对提速装置实施预防性维护策略,运用状态监测技术实现故障预警。环保治理层面需重点攻关生物降解钻井液体系研发,配套智能化废弃物处理装置实现岩屑资源化利用与废液无害化处置,同时组建专业化 HSE 监管团队,运用数字化监测平台对井场作业实施动态巡查,构建隐患识别-评估-整改的快速响应机制,形成钻井作业全流程的管理机制。

5 结语

石油钻井提速工具以及工艺优化在提升钻探效率、降低成本、保障安全环保方面有着重大意义,面对复杂地层条件和技术适应性挑战,要加强技术创新和定制化服务,构建产学研协同创新体系,并且强化成本管理与效益提升,构建多维度管理体系,达成成本效益的最优配置。强化安全环保管理,实施全流程综合治理方案,保障钻井作业的安全和环保。

参考文献:

- [1] 李晶晶. 钻井提速工具在南海东部深部地层应用分析[J]. 石化技术, 2024, 31(08): 209-211.
- [2] 李昕楠. 钻井工具在大庆深层提速设计中的应用[J]. 石油和化工设备, 2024, 27(06): 118-120+141.
- [3] 王青飞, 张野, 唐启胜, 等. 钻井提速工具原理及适应性分析[J]. 机械工程与自动化, 2024(03): 219-221.
- [4] 田雨, 张昕, 张鹏翔, 等. 冲击频率可调的钻井提速工具结构设计与试验[J]. 石油机械, 2024, 52(02): 36-43.
- [5] 秦天宝. 浅析渤海深部潜山地层钻井提速工具[J]. 石油和化工设备, 2023, 26(07): 74-75.

作者简介:

刘志根(1992-), 男, 汉族, 湖南娄底人, 本科, 中级工程师, 研究方向: 石油勘探钻井、钻井工艺提速增效。