

# 石油钻井工程技术的优化措施

韩 康

天浩工程技术服务(天津)有限公司 天津 300450

**摘 要:**当前石油钻井作业逐步转向深地、非常规、复杂地层场景,传统钻井技术模式效率低、适配性差、能耗偏高的问题持续凸显。本文结合当下钻井行业数智化、绿色化发展趋势,从钻井前期筹备、核心施工技术、智能化应用、现场运维管控等维度,梳理适配现代钻井场景的技术优化路径,针对性解决深井钻探、轨迹控制、能耗浪费、工况适配等行业共性问题,全面提升钻井作业的稳定性、经济性与适配性,为石油钻井工程提质增效、技术迭代升级提供实操性参考。

**关键词:**石油钻井;工程技术;优化措施

## 引言

石油钻井是油气勘探开发的核心工序,直接影响开发效率与施工成本。国内浅层常规油气资源不断枯竭,钻井作业逐步转向超深层、薄储层、复杂地质及海洋等复杂工况。传统依赖人工经验、固定参数和老旧设备的作业模式,已难以适配现有施工场景。当前行业以数字化、绿色化、精准化为升级方向,通过技术革新突破传统钻井短板,解决复杂地层施工故障多、周期长、成本高的问题,推动钻井作业向智能化、精细化模式转型。

## 1 石油钻井工程技术发展现状

现阶段国内石油钻井工程整体处于传统技术迭代、新型技术落地的过渡阶段,基础钻井作业体系已经成熟,但适配新型复杂工况的核心技术仍存在明显短板。目前国内常规浅层、中层钻井作业流程标准化程度较高,设备运行、施工工艺、人员操作都形成了固定模式,能够满足常规油气资源的开发需求。但随着油气开发向深地、深水、非常规储层延伸,万米深井、超长水平井、密集丛式井作业占比持续提升,原有钻井技术体系的适配性持续下降<sup>[1]</sup>。从设备层面来看,多数油田仍在沿用传统机械化钻井设备,自动化、智能化改装覆盖率不足,设备参数调节依赖人工操作,无法根据井下实时工况动态调整运行状态,容易出现钻井参数匹配失衡的问题。部分新型智能钻井设备仅在重点区块试点应用,尚未实现规模化普及,新旧设备混用导致整体作业效率参差不齐。从施工技术层面来看,传统钻井工艺固化严重,多数施工现场沿用固定钻井流程,未结合不同区块地层结构、压力分布、岩性特点做针对性调整。面对破碎地层、高硬度地层、高压地层等复杂工况,钻井

轨迹偏差、钻头损耗过快、井下复杂情况频发等问题频繁出现,直接拉长钻井周期,增加物料与人力成本。从技术应用层面来看,数字化、智能化技术与钻井作业的融合度偏低,多数施工现场仅实现基础数据记录,未搭建完整的实时监测、数据分析、智能决策体系。钻井作业仍高度依赖资深操作人员经验,数据利用率低,无法实现提前预判风险、精准优化参数的作业模式。钻井作业的绿色化技术落地滞后,传统作业模式能耗、耗材损耗偏高,不符合当下油气行业低碳发展的整体要求,整体技术体系仍有较大优化升级空间。

## 2 石油钻井工程基础作业优化

### 2.1 钻井设备适配性优化

钻井设备的运行工况适配水平,直接关乎现场钻井作业的整体效率与运行稳定性,现阶段设备优化工作,主要从工况精准适配、设备智能升级、日常调校运维三个核心方向推进。传统钻井设备具备良好的通用作业能力,但专项适配性存在短板,同一套设备应用于不同地层、不同井型施工场景时,常会出现运行负荷不均、功能配置与现场需求不匹配等问题,影响作业质效。为此需摒弃一刀切的设备配置模式,结合作业区块井深规格、地层地质条件、具体施工方式,开展设备选型及运行参数的定制化调整。针对超深井、大位移井等高难度作业场景,重点对钻机承载、动力输出、压力控制三大核心系统进行升级改造,强化设备在高压、高负荷工况下的稳定运行能力。面向浅层非常规井施工,精简设备多余冗余结构,推行模块化、轻量化改造,有效降低设备转运及日常运维成本。同时对老旧设备开展智能化改造,加装高精度传感设备与数据传输组件,实现运行参

数实时采集、设备故障提前预警。建立设备分级运维管理制度,依据设备使用频次、作业场景划分运维等级,常态化开展精度校准、部件检修与性能调试,规避设备长期运行导致的性能衰减。通过全方位适配优化,彻底解决传统设备工况适配弱、故障多发、能耗偏高问题,实现设备性能与现场需求精准契合,为钻井作业提质增效筑牢硬件基础。

## 2.2 钻井耗材精细化优化

钻井耗材的选型与使用管理,直接影响钻井进度、井下工况与作业成本,核心优化方向是摆脱粗放式耗材使用模式,实现耗材选型、适配、更换的精细化管控。钻井核心耗材包含钻头、钻井液、密封配件等,传统作业中耗材多采用通用型号,未结合地层岩性、钻井速度、井下压力做针对性匹配,容易出现耗材损耗过快、适配性不足的问题。为提升钻井作业效率、降低施工成本、规避安全隐患,现场推行钻井工艺与耗材精细化管控优化举措。钻头施工摒弃通用化使用方式,结合硬地层、破碎地层、软地层的不同地质特征,匹配适配结构与材质的钻头,同时依托现场实时钻井数据,动态调整钻头运行参数,削减无效磨损损耗,切实延长钻头单次使用寿命。钻井液改变固定配比模式,依据井下温度、压力及地层水敏特质,实时微调配方与性能指标,稳定实现携渣、护壁、控压核心功能,有效防范井壁坍塌、卡钻等施工故障<sup>[2]</sup>。建立完善耗材使用台账,详细记录不同作业区块、工况下各类耗材的损耗情况、使用寿命及适配效果,搭建本地化耗材数据库。结合作业进度与损耗规律制定精准换件计划,杜绝耗材过度损耗和提前更换的浪费现象,以精细化管理保障作业安全稳定,压缩物料成本,规避换料停工导致的工期延误。

## 2.3 钻井前期勘察与方案优化

钻井前期勘察与施工方案设计,是规避井下风险、提升作业效率的前置关键环节,现阶段优化重点是实现勘察数据精准化、方案设计定制化,摆脱传统经验化设计模式。传统钻井前期勘察数据精度不足、数据维度单一,仅依托基础地质数据制定施工方案,无法精准预判井下隐蔽工况,导致施工过程中频繁调整方案,影响作业进度。前期勘察优化需要丰富数据采集维度,依托三维地质探测、井下数据预判技术,全面采集作业区块的地层结构、岩性分布、压力梯度、裂隙发育等核心数据,搭建完整的区块地质数据模型,精准定位井下复杂工况区域。基于完整勘察数据,针对性制定差异化施工方案,针对普通地层、复杂地层、风险区域划分不同施工段落,匹配对应的钻井速度、作业流程、防控措施。

与此同时搭建方案动态调整机制,打破固化不变的传统施工方案思路。正式开钻前,参照周边完钻井施工资料与现场工况反馈,细化完善方案内容。提前研判钻井期间井斜、漏失、井壁坍塌等各类风险,配套落实处置预案,从源头规避各类突发状况。依托前期勘察和方案持续优化,有效降低钻井施工各类不确定因素,减少返工与方案调整次数,确保钻井施工平稳有序开展。

## 3 现代化钻井核心技术优化措施

### 3.1 钻井智能化参数动态优化

钻井作业的施工品质、钻进效率与井下安全直接取决于钻井参数的匹配精度,传统钻井作业普遍采用固定参数定值施工模式,全程无动态调节机制,无法适配井下地层岩性、压力、结构的实时变化,极易诱发井壁失稳、钻具卡滞、钻井液漏失等井下故障,大幅降低钻井综合施工效益。依托数字化、智能化钻井技术的迭代升级,智能化参数动态调控成为现代钻井提质增效的核心手段,彻底摒弃传统人工经验式操控模式,实现参数适配的自动化、精准化、实时化管控。该优化技术依托全域井下传感监测体系落地实施,通过在井下钻具、井口设备及地面系统布设高精度传感元件,全天候采集钻压、转盘扭矩、钻进转速、井斜角度、井下环空压力、地层温度等核心工况数据,经高速无线传输通道实时同步至智能决策终端。系统依托区块海量钻井历史数据与机器学习算法,实时比对施工参数与标准工况阈值的偏差,精准研判井下工况波动趋势,自动生成最优参数调节方案<sup>[3]</sup>。常规均质地层施工时,系统自主匹配高效钻进参数,在筑牢安全施工底线的前提下提升机械钻速;面对地层突变、裂隙发育、压力异常等复杂工况,可毫秒级微调钻进参数与钻井液输送工况,规避各类井下安全隐患。

### 3.2 井身轨迹精准控制技术优化

井身轨迹控制是水平井、大位移井、薄储层精细开发的核心工艺,轨迹精度直接决定油气储层穿透率、储层动用率与钻井施工合格率。钻井轨迹一旦出现偏移、曲率异常等问题,会导致储层钻探不充分、后期修井返工、油气开发利用率降低等一系列问题。传统轨迹管控依赖人工定时监测、手动纠偏的作业模式,存在监测频次不足、数据精度偏低、反馈滞后等短板,难以满足现代精细化钻井的施工标准,因此亟需通过技术升级实现井身轨迹全流程闭环精准管控。本次优化核心为重构轨迹监测与纠偏体系,取消传统定时抽检模式,引入随钻动态监测技术,实时捕捉井下井斜、方位角、轨迹偏移量等关键数据,同步构建三维可视化井身轨迹模型,

直观呈现井下施工状态,提前预判轨迹偏移风险并自动预警。结合不同井型结构、储层分布特征与钻井设计路径,综合考量地层扰动风险、储层靶区精度要求分级设定轨迹偏差控制阈值,建立全井段差异化轨迹管控标准。实时比对随钻测量数据,一旦施工参数超出预设阈值,系统即刻自动预警并启动智能纠偏程序,动态调整钻井导向参数,保障井眼轨迹精准贴合设计方案。

### 3.3 复杂地层钻井适配技术优化

当前油气勘探开发逐步向深层、复杂地质区块延伸,破碎松散地层、高硬度研磨地层、高压低渗地层及水敏性地层成为主流施工场景,复杂地质条件极大提升了钻井施工难度。此类地层结构松散、稳定性差、地质应力复杂,沿用传统固化钻井工艺,易引发井壁坍塌、钻井液恶性漏失、卡钻、钻进低效等故障,严重制约施工安全与工程质量,因此针对性优化复杂地层适配钻井工艺,是现阶段钻井工程技术升级的关键重点。针对不同复杂地层特性,本次优化实施差异化施工工艺。对于松散破碎、水敏性地层,通过放缓钻进节奏、优化钻具启停频次,降低施工扰动对地层的破坏,改良钻井液封堵、护壁性能,利用钻井液填充地层微小裂隙,阻隔地层水侵入,构建稳定井壁防护体系,杜绝井壁坍塌、掉块问题<sup>[4]</sup>。针对高硬度强研磨地层,摒弃传统大钻压硬钻进模式,采用稳速高频钻进工艺,配套高耐磨、抗振动专用钻头与井下工具,降低设备作业振动干扰,提升破岩效率与井眼成型规整度。

### 3.4 钻井节能降耗与绿色施工技术优化

在油气行业低碳绿色转型的行业背景下,钻井工程已从单一追求施工效率,转变为效率、质量、节能、环保协同发展。传统粗放式钻井作业存在设备能耗高、能源利用率低、废液固废排放量大、资源浪费严重等问题,无法适配现行绿色施工规范与生态环保要求。通过设备升级、工艺优化、资源循环、数字化能耗管控多维

优化,可实现钻井施工提质增效与节能降碳双向赋能。设备节能升级是核心基础,逐步淘汰高能耗老旧钻机设备,全面推广变频智能钻机与动态动力匹配系统,系统可根据实时钻进负荷自动调节动力输出,杜绝设备空转、长时间待机造成的无效能耗,同时优化多设备联动作业流程,规范设备启停时序,降低整体施工能耗。资源循环利用方面,搭建钻井液闭环处理系统,对废弃钻井液进行过滤、净化、改性调配,实现二次循环复用,大幅减少钻井耗材消耗与废液外排总量。同步完善施工现场水循环、岩屑固废回收体系,施工废水、井下返水经处理后循环用于现场作业,钻井岩屑、废旧钻具配件分类回收、资源化处置。

### 结语

钻井工程技术优化是油气行业提质增效的重要手段,能够改善复杂地层钻井作业短板,压缩施工成本。本文顺应行业智能化、绿色化发展趋势,从前期筹备、设备耗材管理、智能调控、轨迹控制、地层适配及绿色施工等方面,构建了完整的钻井技术优化体系。当下钻井技术升级趋向整体体系迭代,不再局限于单一工艺改进。全面落实相关优化措施,可推动钻井作业精细化、智能化转型,助力深层与非常规油气资源安全高效、低碳开发。

### 参考文献

- [1] 白建伟.石油钻井工程技术的优化措施探析[J].天津化工,2024,38(2):129-132.
- [2] 王庚超.浅谈石油钻井工程技术的优化措施.中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2022,(9):68-71.
- [3] 苏志军.石油钻井工程中的复合钻井技术研究分析[J].石油化工建设,2026,48(3):165-167.
- [4] 周爽.石油钻井工程技术的局限性分析及优化措施研究.中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2025,(9):132-135.