

钻井作业效率提升技术应用探析

宫忠奇

中海油田服务股份有限公司深圳分公司 广东 深圳 518000

摘要：钻井作业效率受地层条件、钻具性能、钻井液调控和工序协同这几个方面牵制。传统模式毛病不少：钻进参数死板，钻具寿命不够，循环净化落后，协同调度也跟不上。把复合钻进提速、耐磨钻具优化、闭环循环增效、动态监测调度这四项核心技术分层选型、一体化组合起来，再配上工艺参数标准化管控和设备运维体系，就能把非生产时长压下去，故障停工率降下来，让钻井全流程的作业效率系统性提上去。

关键词：钻井作业；作业效率；钻进工艺；钻具优化

引言：钻井作业效率是衡量油气勘探开发质量的核心指标，受地层岩性、钻具性能、钻井液调控及工序协同等多重因素制约。当前常规钻井在钻进参数固定、钻具寿命不足、循环净化粗放及协同调度滞后等方面存在明显短板，导致非生产时长占比偏高。围绕复合钻进提速、耐磨钻具优化、闭环循环增效及动态监测调度四项核心增效技术，结合分层选型、一体化组合、标准化管控及预防性运维等落地措施，可系统性突破效率瓶颈，实现钻井全流程作业效能的整体提升。

1 钻井作业基础作业体系及效率影响维度

1.1 常规钻井标准作业流程划分

钻井作业整体流程包括井位筹备、钻具组合布设、钻进破碎、井壁支护、钻井液循环、起下钻作业、井下工况调控、完井修整等主要工序。各工序不是各自单干，而是环环相扣。上一道工序干得好不好、快不快，直接决定下一道工序什么时候能动、能不能动。工序衔接时间长短，能看出现场组织协调能力。每个环节干得精不精，决定了整个作业顺不顺畅。一旦某道工序出了延误或质量毛病，后面的工序会跟着放大，整体作业周期就拉长了。把工序边界划清楚，各环节责任主体定明确，非必要的等待时间压缩掉，这是提升钻井整体时效的关键。

1.2 钻井作业效率核心评价指标

评估钻井作业效率，主要看机械钻速、单井作业周期、钻具损耗率、井下故障停工时长、工序衔接耗时、作业人力投入量这几个核心指标。机械钻速就是钻进阶段破岩快不快，能看出钻头和参数配得好不好。单井作业周期从井位准备到完井修整全都算进去，是衡量项目进度的直观依据。钻具损耗率反映钻头、钻杆这

些关键部件用得省不省、匹配得合不合理。井下故障停工时长能看出异常工况对作业连续性干扰有多大。工序衔接耗时反映不同作业阶段之间切换快不快。作业人力投入量则是从资源占用角度评价作业组织水平。这些指标相互影响、共同作用，综合起来就能判定钻井整体施工效能。

1.3 制约钻井作业效率的基础性因素

制约钻井作业效率的基础性因素有几个：地层岩体结构硬度、地层裂隙发育程度、井下温压工况、钻井设备性能参数、钻具适配性、现场工序统筹模式、井下异常工况发生率。地层越硬，破碎岩石需要的钻压和扭矩就越大，钻进阻力也越大。地层裂隙发育程度会影响钻井液漏不漏、井壁稳不稳，裂隙发育的地方容易出复杂工况。井下温压工况对钻井液性能、井下工具耐用性和测量仪器精度都有明显影响，高温高压环境下作业风险更高。钻井设备性能参数限定了它能提供的功率、排量 and 提升能力^[1]。钻具配得好不好，关系到能量传递效率和井眼轨迹控制精度。现场工序统筹模式决定了各环节衔接顺不顺。井下异常工况发生率，则是上述因素综合作用后，作业连续性被干扰的程度。

2 现阶段常规钻井作业现存效率短板及成因分析

2.1 钻进施工工序效率短板及成因

常规钻进模式在破碎岩体时切削效率偏低，碰上硬质夹层和不均匀地层就更不好使了。钻进参数用的是固定数值，没有根据地层实时工况去动态调整，结果无用钻进能耗占比较高。这些能耗没变成有效进尺，反倒给设备增加了负担，还多花了作业时间。无效钻进时涨一涨，整体钻进施工进度就被拖慢了。问题主要出在钻进参数调控手段太滞后，没法根据地层岩性变化随时优化

转速、钻压和排量的配合。钻头与地层之间的破碎匹配机制也不够完善,在复杂岩性条件下很难维持稳定高效的切削状态。

2.2 钻具配套运维作业效率短板及成因

传统钻具耐磨和抗冲击性能都不太行,井下磨损、弯折、卡阻这些故障挺常见。钻具一出故障,往往就得停下来排查处理,作业连续性大受影响。钻具拆装、检修、更换这些活儿,标准化程度不高,不同班组干起来手法不一样,起下钻作业时间明显变长。也没有预判检修机制,没法根据钻具使用状态和磨损趋势提前安排维护,突发性故障老是引发非计划停工。问题主要出在两方面:一是钻具材料扛不住复杂井下载荷,二是现场钻具管理制度里,状态监测和寿命预测这块支撑不够。

2.3 钻井液循环调控效率短板及成因

传统钻井液配比稳定性不行,携渣和护壁的配合也不太好,井底容易沉渣,井壁也容易剥落。钻井液循环净化工艺偏老旧,固相杂质分离不干净,岩屑颗粒在钻井液里留得太多。这些固相杂质容易堵管路,还容易糊钻头,现场只能被动停工去清理,而且清理得还挺勤。问题出在几个地方:钻井液配比没有针对不同地层条件做动态调整,循环净化设备的处理能力也跟不上高岩屑产出工况下的分离需求,另外携渣性能和护壁性能之间的平衡关系也没好好优化过。

2.4 现场工序统筹协调效率短板及成因

钻井各工序在实际作业中各干各的,相互之间衔接统筹跟不上,前置准备和井下施工没法有效并行。井下工况监测手段偏滞后,异常工况很难提前预判,往往等出了问题才启动处置,被动应付花的时间很长。现场作业人员之间的配合模式也比较死板,没有根据当前作业状态灵活调整的机制,整体作业流转效率上不去^[2]。问题出在几个地方:工序计划编制和现场执行对不上,监测信息的采集和传递太慢,还有各作业班组在职责划分和协作流程上缺少系统性的协同设计。

3 钻井作业主流增效核心技术原理及适配特性

3.1 高效复合钻进提速技术

高效复合钻进提速技术,把机械冲击和旋转切削耦合到一块,改变岩体破碎的方式,让破碎过程更连续、更稳定。这套技术根据地层物性参数,对钻压、转速、泵量这些核心钻进参数做自适应调控,钻进参数能随着井下岩性变化实时调整。有了这种耦合作用和参数调控,地层不均匀性对钻进进度的干扰就被弱化了,钻头和井底岩体之间的钻进阻力也降下来了,单位深度内的

钻进速率自然就提上去了。这项技术适合在复杂地层中常态化作业,在硬质夹层、岩性交替变化这些条件下,也能维持较高的切削效率,减少因地层突变导致的进尺停滞,给钻进工序提供持续稳定的速度支撑。

3.2 高性能耐磨适配钻具优化技术

高性能耐磨适配钻具优化技术,主要从钻头齿型布局、合金基材配比、钻杆结构强度这几个方面下手,让钻具在井下复杂载荷条件下更能抗磨、抗扭、抗冲击。齿型布局优化后,钻头破碎岩体时受力更均匀;合金基材配比改进了,耐磨寿命也跟着提高;钻杆结构强度增强了,弯折和断裂的风险就降下来了。这套技术采用模块化钻具组合结构,井下拆装对接的机械结构简化了,起下钻过程中拆装更便捷、更高效,单次起下钻作业时间也就缩短了。这些优化措施综合下来,井下钻具故障发生率降低了,因钻具损坏或卡阻引起的故障停工时间也减少了,钻具全周期的使用效率自然就上去了。

3.3 改性钻井液闭环循环增效技术

改性钻井液闭环循环增效技术,根据地层透水率和岩体稳定性特征,对钻井液组分做定向改性,把悬浮携渣、承压护壁、润滑减阻这几项性能优化好。通过调整添加剂的种类和用量,让钻井液在不同地层条件下都能保持稳定的流变特性和携带能力,岩屑不容易在井底沉降堆积,同时对井壁的支撑作用也增强了,剥落坍塌的风险跟着降低。配套用上分级固相分离闭环净化装置,实现钻井液中杂质颗粒快速分离、液体循环复用,避免固相杂质在管路和钻头表面堆得太多^[3]。这项技术能有效避开井内沉渣、井壁失稳、钻头糊钻这些拦路虎,减少被动停工清理的次数。

3.4 井下动态监测协同调度技术

井下动态监测协同调度技术,用井下实时传感监测设备,动态采集和传输井壁稳定性、钻具受力、流体压力变化、地层物性数据。拿到这些数据,就能提前发现和预判卡钻、塌孔、渗漏这类异常工况的发展趋势,给地面作业系统发出预警。地面系统根据井下反馈的数据,统筹安排各工序的先后顺序和时机,做到风险前置处置,也就是在异常还没发展成严重故障之前就采取针对性的控制措施。这项技术把从异常发生到开始处置的响应时间缩短了,井下异常工况的处置时长也就压下来了,非计划停工对钻井作业连续性的影响跟着降低,整体工序流转更平稳了。

4 增效钻井技术落地应用优化及配套管控方式

4.1 分层地层差异化技术选型应用

浅层松软地层、中层均质地层、深层硬质裂隙地层,物性不一样,得分别搭配相适应的钻进工艺、钻具型号和钻井液体系。浅层松软地层,要防止钻具陷得太深、井壁坍塌,得用低钻压、高转速的钻进方式,配上护壁性能好的钻井液。中层均质地层岩性相对稳定,可以把高效复合钻进技术的参数优势使出来,把单位时间的进尺提上去。深层硬质裂隙地层岩体硬、裂隙多,得用高耐磨钻具和抗渗漏钻井液体系。分层差异化选型,就是不让单一技术从头套到尾,让各类增效技术最大程度发挥地层适配能力,别因为选型不对导致作业低效或者井下复杂工况频发^[4]。

4.2 多类增效技术一体化组合应用

把钻进调控、钻具优化、钻井液净化、井下监测这四项技术联动起来,打通钻进破碎、井壁支护、岩屑排运、工况监测全工序的增效链条。钻进调控技术根据地层实时反馈调整核心参数,钻具优化技术保障井下破岩和传扭的可靠性,钻井液净化技术维持井筒清洁和壁面稳定,井下监测技术提供异常工况的早期预警。四项技术一块儿干活,优化并行作业的施工模式,让部分工序从串联变成并联。一体化组合用下来,工序之间的等待时间压下去了,重复作业环节减少了,停工处置的冗余时长也缩短了,全流程作业效率自然就上去了,各增效技术之间还能互补互促。

4.3 现场作业工艺参数标准化管控

把不同工况下的钻进参数、钻井液性能指标、设备运行参数都标准化管起来。钻进参数这块,正常钻进、穿夹层、起下钻这些不同阶段,分别定好转速、钻压、排量的合理区间和调整规则。钻井液性能指标,要把密度、粘度、失水量这些关键参数的控制范围和检测频次定清楚。设备运行参数,泵压、泵冲、扭矩这些运行数据的上限和预警阈值也要规范好。同时,统一增效设备的操作流程,把各型号钻具的检修更换周期也定明白,让现场作业有规矩可循。标准化管起来,就能避免人为操作偏差带来的作业阻滞和设备损耗,各项增效技术也

能持续稳定地发挥效能。

4.4 设备运维与作业能力提质管控

把增效钻井设备的常态化预防性运维机制建起来,监测传感装置、循环设备、钻进主机这些关键设备都要定好定期检修计划,检修内容和验收标准也写清楚,别让设备突发故障把作业给打断了。预防性运维重点做好设备状态的周期性评估和易损件的提前更换,把故障处置从事后维修变成事前维护。对作业人员做专项培训,让他们掌握多种增效设备的协同操作方法,还有异常情况下的应急处置流程。班组轮岗配合模式也要优化,减少因为岗位不熟悉或者配合不畅导致的操作失误^[5]。设备和人员两头抓,人为因素带来的作业时效损耗就能降下来,现场作业的连续性和稳定性也就上去了。

结束语: 钻井作业效率受地层条件、钻具性能、钻井液调控和工序协同这几个因素牵制。传统模式毛病不少:钻进参数死板,钻具寿命不够,循环净化粗糙,协同调度跟不上。把复合钻进提速、耐磨钻具优化、闭环循环增效、动态监测调度这四项核心技术分层选型、一体化组合起来,再配上工艺参数标准化管控和预防性运维体系,就能把非生产时长压下去,故障停工率降下来,让钻井全流程作业效率系统性地提上去。

参考文献

- [1] 温海波. 复杂地层钻井破岩效率提升机理与工具改进设计 [J]. 石化技术, 2026, 33(4): 343-345.
- [2] 张灿, 史旻, 王丹阳, 等. 基于数字化转型下的钻井作业效率提升研究 [C]//2021 年中国智慧石油化工论坛暨石化产业集群数字化转型峰会论文集. 2021: 400-408.
- [3] 牛茂猛. 海洋深水钻完井作业效率提升技术优化研究 [J]. 石油石化物资采购, 2026(2): 70-72.
- [4] 李书君. 钻井工程技术及提高效率措施分析 [J]. 工程研究与实用, 2026, 7(1).
- [5] 周赞彬. 钻井工程存在问题与提高钻井效率技术策略探讨 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2025, 45(7): 134-136.