

# 经济效益导向下油气钻井技术优化的路径

宋庆华 (中石化胜利石油工程公司黄河钻井总公司, 山东 东营 257000)

**摘要:** 油气钻井工程是能源开发投资最大的一个环节, 其技术经济性直接影响资源开发的总体收益水平。目前, 由于油气藏地质条件越来越复杂以及行业利润空间被压缩, 通过技术优化实现钻井周期缩短和成本降低已经成为必然的选择。现有钻井管理在技术先进性和经济合理性之间还存在优化空间。研究从经济效益的角度出发, 对钻井成本构成进行系统的分析, 并就井身结构、钻具组合和钻井液体系等主要技术展开协同优化的路径探讨。

**关键词:** 经济效益; 油气钻井; 技术优化; 成本控制

**中图分类号:** TE24; F407.22

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1674-5167 (2026) 011-0050-03

## Pathways for Optimizing Oil and Gas Drilling Technology Under Economic Efficiency Orientation

Song Qinghua (Sinopec Shengli Oilfield Engineering Company, Huanghe Drilling General Company, Dongying Shandong 257000, China)

**Abstract:** Oil and gas drilling engineering is the largest investment segment in energy development, and its technical and economic efficiency directly affects the overall return on resource development. At present, due to increasingly complex geological conditions of oil and gas reservoirs and the compression of industry profit margins, achieving shorter drilling cycles and reduced costs through technological optimization has become an inevitable choice. There is still room to optimize existing drilling management in terms of technical advancement and economic rationality. This study analyzes the composition of drilling costs systematically from the perspective of economic benefits and explores coordinated optimization paths for major technologies such as wellbore structure, drill string configuration, and drilling fluid systems.

**Keywords:** economic efficiency; oil and gas drilling; technology optimization; cost control

在全球能源需求不断增长以及开采环境日趋严峻的情况下, 油气钻井行业面临着提高效率和控制成本的双重压力。尽管钻井装备与工艺已经取得了很大的进步, 但是在实际作业中, 技术参数设置一般只考虑单一的生产指标, 没有对工程全生命周期经济效益进行系统的评价。目前对于钻井技术的研究多集中在地质适应性或者纯粹的技术层面, 把技术优化与经济效益相结合的系统化分析还不充分。探索以经济效益为导向的技术改进路径, 对降低建设成本、提高油气资产边际开发价值具有重要的实践意义。

### 1 钻井成本构成与技术影响因素分析

#### 1.1 钻井成本构成分解

①固定成本。石油钻井工艺占据了总投入成本的40%以上, 能源及成本消耗总额是需要控制和投入研究的对象, 这是因为整个流程不仅影响了实际开采的效果, 也会对开采效率、开采安全产生影响<sup>[1]</sup>。钻井工程初期投入主要是设备动员、营地建设、场地平整等前期准备工作。包括土地征用过程中的青苗补偿费、道路维修费、井架钻机拆装费; 人员薪酬、补贴、奖励; 油料、泥浆、钻具等材料消耗; 车辆、钻机等固定资产折旧; 劳动保护费、保险费、运输费以及各种经营管理费用<sup>[2]</sup>。②时间成本。钻机日费在总成本结

构里占据着非常重要的地位, 支出的多少受实际作业周期长短的影响。非生产时间主要指设备故障维修、地质灾害处理、气象因素造成的停工等无效工时, 这些无效工时会使得租赁支出无故上升。机械钻速的缓慢或者复杂井况下循环排险, 都会使时间支出偏离预算。提高作业衔接紧密度, 减少待料时间, 是控制时间消耗, 保证工程财务效率的有效途径。③材料成本。材料消耗直接体现的是工程物耗水平。钻头在破岩过程中所消耗的磨损速度、针对不同地层所配的特制钻井液药剂、井身结构设计所决定的套管吨位, 都是物化劳动价值体现的组成部分。高性能钻具价格高, 但是其使用寿命和作业效率影响材料周转率。复杂深井作业中抗高温、防坍塌药剂的投用规模会随着地质风险的波动而波动, 因此材料预算的执行精度也容易因为地质条件的变化而产生波动。

#### 1.2 影响经济效益的关键技术因素

①机械钻速对周期成本的影响。机械钻速是体现钻井效率的重要参数, 直接影响到钻机租赁和人工成本的总数。单位时间内进尺深度的增加可以明显缩短建井周期, 使固定日费支出在单井总投资中所占比例大幅度下降。破岩能量转换效率的好坏在硬质底层或者深部地层里表现得更为突出, 低效的能量传递会造

成钻时增长,进而导致管理成本和动力燃料支出的连锁式增加。提高机械钻速是实现规模化降本的前提条件。

②井下复杂情况对风险成本的贡献。钻井施工作为一项复杂性工程,需要在科学、有效工艺技术的辅助下来进行。结合钻井工程特点选择与之相应的工艺技术就显得尤为关键<sup>[3]</sup>。井漏、溢流、卡钻等地质灾害所引起的井下复杂情况,是造成风险支出超出预算的主要原因。排险过程中产生的额外材料投入、专业服务费和停工损失一般呈现非线性增长态势。风险成本的有效控制要依靠井下状态的精准监测和预警技术,防止潜在的安全事故演变成沉没成本。

③井身结构设计对材料消耗的控制。井身结构是钻井工程的上层设计,它的层数、尺寸直接决定了套管、水泥和钻井液的下限。过于保守的结构设计会造成不必要的钢材用量、大尺寸井眼钻掘工作量增大,从而导致物耗成本冗余。优化井序层次,缩小井眼直径可以做到管材减量化,还可以减少以后的采油作业能源损耗。合理的结构布置可以保证作业的安全,在保证安全的同时从源头上控制资源投入的规模,这是实现工程经济性目标的重要技术手段。

## 2 经济效益导向下油气钻井技术优化的关键原则

### 2.1 全生命周期成本控制原则

全生命周期成本控制要求把评价的视野从单一的技术投入扩大到钻井、完井、采油乃至弃井的全过程。单纯追求钻前成本的降低会造成后期维护费用的大幅上涨,合理的优化途径应该平衡初期建设投资与生产运营期支出的比例。优质井筒质量对于后续增产措施的兼容性、完井管柱耐腐蚀能力对生产寿命的延长都属于全周期效益。技术的选择要服务于油气资产价值最大化的目的,不能因为短期财务成本的节约而忽略长期运营的风险。

### 2.2 安全性、效率与效益协同优化原则

安全性是钻井工程保证效益底线的基础性保证。效率的提高必须在工程风险可控的红线内进行,机械钻速的极限拉升必须以井下流体平衡和井壁稳定为前提。经济效益的最大化并不是某一个单一指标的峰值,而是安全生产、施工进度、资源消耗三者之间的最佳平衡点。优化路径应该消除生产链条中无效的环节,在保证作业环境稳定的前提下,促使施工组织和工艺流程向高增值区间移动。

## 3 经济效益导向下的钻井技术方案协同优化

### 3.1 井身结构设计的集约化改进

#### 3.1.1 井眼尺寸优化对管材及钻井液减量的贡献

井眼尺寸缩减造成工程物资的连锁减量。大井眼

布置一般会造成多余的环空间隙,造成套管吨位和钻井液配制量远大于地质要求。缩小各级开次井径可以精确匹配地层压力剖面,大幅度减少表层和技术套管的钢材用量。井身尺寸每减小一级,对应的井眼容积就会平方倍数减少,从根本上压减了全井循环系统所需的化学药剂基数,实现了钻井材料投入的源头节约。

施工现场缩减井眼截面,控制单位进尺产生的岩屑总量,同步调整固控设备运转频率。配制钻井液时,依据缩减后的井筒容积,确定膨润土和处理剂的初始投用量,维持低基数循环模式。

高性能泥浆运行期间,现场监测浆饼厚度与流变参数,按比例缩减药剂补充定额。废弃物处置方面,操作员采用离心机对回流浆进行固液分离,将回收基浆回送循环罐重复投用,泵送系统采用低排量、高泵压操作策略,配合小直径井筒循环压耗,控制动力系统油料消耗。这种实操方案将物料投入与能源消耗压制在定额内,落实建井阶段的成本控制目标,提升工程整体经济效益。

#### 3.1.2 “小井眼”与“瘦身井”技术的经济适用性

小井眼技术在低渗透油气藏和边远区块上有着很强的工艺适配性,它最大的优势就是对于经济效益的挖掘。现场作业用轻型钻机代替重型设备,压减设备动迁物流费用和井场占地开支。通过减小钻头尺寸和钻具规格来控制旋转系统的转动惯量,单位时间耗能就会随之减少。该技术模式可以加快钻机周转,使单井施工作业在很短的时间内完成从搬迁到完井的循环,从而达到对时间成本的主动压降。

技术应用中瘦身井结构通过优化套管程序来削减多余工序,对成本控制目标进行精准覆盖。作业团队在硬岩地层用高转速螺杆配合小尺寸PDC钻头,在较小的扭矩下增加单只钻头的进尺量,控制起下钻的频次<sup>[4]</sup>。为解决复杂的应力环境,瘦身井技术通过紧密环的空间隙来增加钻井液上升的速度,把岩屑带到地面,抑制由于沉渣堆积造成卡钻。

老油田加密作业中,施工单位精简完井尺寸后,直接确定后面采油树及地面集输管线的额定压力等级。整体开发投入要在保证产量的前提下受到严格的限制,达到工程投资和资源产出价值的良好匹配,提高单井建设边际回报率,给资源集约化开发提供可行的操作途径。

### 3.2 钻头与动力钻具的选型匹配策略

#### 3.2.1 基于岩石力学特性的定制化PDC钻头设计

钻井现场根据地层岩石硬度和研磨性特点对PDC钻头切削齿几何参数做精确调校。作业人员对研磨性砂岩使用高密度布齿方案,增加切削齿的韧性来延长

工具在井下的寿命。施工单位利用邻井资料分析岩石力学剖面,调整切削齿后角和侧刃长度,保证非均质地层中破岩轨迹稳定。该方案可以减少因钻头报废而产生的频繁提下钻支出,保证复杂井段的进尺效率,达到控制钻具投入成本的目的。

实际作业通过调整钻头冠部弧度、水眼喷嘴排布,改变井底流场冲刷路径,避免粘土地层钻进时钻头泥包现象的发生。技术人员给硬质地层配置预破碎齿形,增加切削结构中的抗冲击聚晶层,提高破岩过程中能量转换率。施工时用机械限深技术调整切削深度,使切削齿适应地层压力的波动,减少由于扭矩不均造成的崩损风险。针对性优化直接减少由于工具失效造成的非生产性工期,从而在工具层面上提高经济效益。现场管理团队通过废旧钻头磨损形态拍照定级、数据反馈,动态修正下入钻头的结构参数,建立基于实战数据的成本控制闭环流程,为深层提速提供硬件保障。

### 3.2.2 高转速、高扭矩动力钻具对硬地层钻进效率的提升

动力钻具的性能好坏直接影响全口井的经济效益。现场一般采用大功率螺杆钻具配合液动冲击工具,在提供高转速的同时输出大扭矩,解决深部地层破岩动能不足的瓶颈。作业人员根据岩石围压变化来监测循环压力,保证动力钻具在恒定的输出区间内运转,大幅度提高机械钻速。高能输出模式有效地缩短了复杂地层的驻留时间,降低钻机日费支出从而达到时间维度上成本控制的目的。

施工时,操作人员把大扭矩螺杆与旋转导向系统集成,在定向段采用连续旋转的方式推入井。对坚硬地层,技术人员给钻具组中加装减振工具,调节地面泵压控制液动冲击的频率,使钻头切削齿始终在恒定冲击负荷下工作。现场管理团队借助数字化终端监控钻具扭矩和转速的波动情况,并根据地层阻力的变化来调整给进力参数,将动力输出控制到与地层阻力匹配的最佳范围里。在作业过程中要对动力钻具寿命实行定额考核,实施强制性探伤及周期性维修,达到控制昂贵工具损耗成本的目的。以参数优化为基础的实操策略把能源消耗固定在合理的定额内,为油气资源的高效转化打下了基础。

## 3.3 钻井液体系的成本控制与循环利用

### 3.3.1 高性能水基钻井液对油基钻井液的替代前景

钻井现场用水基体系加高效抑制剂、润滑剂来模拟油基体系的流变特性、防塌效果。作业人员将纳米级的封堵剂倒入泥浆循环池内,依靠物理屏蔽作用填充井壁微裂缝,从而在盐膏层或者不稳定泥页岩段保持井筒平衡。施工单位根据地层压力预测来实时调节

膨润土浆的剪切速率,保证在不用昂贵的柴油作基液的情况下保持岩屑悬浮和携带能力。直接消除了高昂的油基介质采购费,在流体配置环节体现出了明显的经济效益。

技术员用高性能水基体系对井下动力钻具进行冷却,在循环中检测泥浆饼质量、摩阻系数。作业队伍向系统内分批注入抗高温处理剂,在高压高温深井段动态保持流体参数。对复杂的层位,施工人员会根据pH值和离子浓度的变化情况来看补充化学试剂,以保持抑制力。作业流程直接在现场进行固液分离回收基浆,操作净化设备拦截泥浆流失量。施工单位对单井泥浆药剂消耗总量进行限额,控制钻井液废弃物排放量,将物料支出控制在预算内。此种以材料替换为基础的成本控制方式,把特种泥浆储备、转运的开支控制在较低水平。

### 3.3.2 废弃钻井液处理工艺的经济化改进

钻井现场通过布置多级振动筛和高转速离心机,实现井口回流钻井液的分级固相控制。作业人员实时观测排出的岩屑含液率,根据岩屑含液率动态调整离心机分离参数,把有用基浆从废弃物中最大限度的提取出来并回送至循环罐。施工单位在泥浆池旁建回收站,用化学絮凝技术对老浆进行脱水。现场处理流程把泥浆药剂留在循环体系中,直接体现出工程施工过程中的经济效益。

综上所述,钻井工程通过对于小井眼、瘦身井结构进行物理优化从而达到对管材、物料、动力能耗的连锁减少。定制化PDC钻头和高效动力钻具的选型匹配,配合水基钻井液循环利用,建立工具、流体和工艺参数实操体系。以技术协同为依托的作业模式在达到地质目的的前提下,使施工周期以及材料消耗定额实现了精确的控制。全流程提速增效实践把成本控制贯穿于建井全过程,给油气资源开发提供有显著经济效益的技术方案。

#### 参考文献:

- [1] 唐得勇.石油钻井工艺技术现状与发展探讨[J].西部探矿工程,2022,34(07):49-51.
- [2] 任琨.浅谈钻井成本影响因素及降本增效措施[J].中国石油和化工标准与质量,2021,41(19):43-44.
- [3] 杨文勇.定向井钻井工艺技术探讨[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(23):146-148.
- [4] 谢鑫.小井眼提速技术在页岩油开发中的应用[J].油气藏评价与开发,2023,13(01):83-90.

#### 作者简介:

宋庆华(1972-),男,汉族,山东莒南人,本科,工程师,研究方向:钻井工程。