

优化石油工程开发方案保障油田产能效益

张 涛 (中石化西南石油工程有限公司井下作业分公司, 四川 德阳 618000)

摘要: 针对陆上油气开发面临储量品位下降、开发成本持续高企、工程技术难度不断增大等严峻挑战, 构建系统化的石油工程开发方案优化技术体系。通过综合应用方案优化设计技术、钻井提速降本技术、完井产能保障技术、过程动态优化技术及工程资源统筹配置技术, 实现地质工程深度一体化、钻完井高效协同化与资源配置科学精细化。技术实践结果表明, 钻井施工周期大幅缩短, 机械钻速水平显著提高, 井均非生产时间有效压缩, 工程资源利用效率持续提升, 综合开发成本明显降低。该技术体系为保障油田产能效益、推动难动用储量经济高效开发提供了科学可行的技术路径。

关键词: 石油工程; 开发方案优化; 钻完井技术; 产能提升; 效益保障

中图分类号: TE32 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 001-0073-03

Optimize the petroleum engineering development plan to ensure the production capacity and efficiency of oil fields

Zhang Tao (Downhole Operations Branch of Sinopec Southwest Petroleum Engineering Co., Ltd, Deyang Sichuan 618000, China)

Abstract: In response to the severe challenges faced by onshore oil and gas development, such as the decline in reserve grade, persistently high development costs, and the continuous increase in engineering and technical difficulties, a systematic technical system for optimizing petroleum engineering development plans is constructed. Through the comprehensive application of scheme optimization design technology, drilling speed increase and cost reduction technology, completion capacity guarantee technology, process dynamic optimization technology and engineering resource overall allocation technology, the deep integration of geological engineering, efficient coordination of drilling and completion, and scientific and refined resource allocation can be achieved. The results of technical practice show that the drilling construction period has been significantly shortened, the mechanical drilling rate level has been significantly improved, the average non-production time per well has been effectively compressed, the utilization efficiency of engineering resources has been continuously enhanced, and the comprehensive development cost has been significantly reduced. This technical system provides a scientific and feasible technical path for ensuring the production capacity and efficiency of oil fields and promoting the economic and efficient development of hard-to-access reserves.

Key words: Petroleum Engineering; Optimization of the development plan; Drilling and completion technology; Capacity increase; Benefit guarantee

保障国家能源安全与推进绿色低碳转型的双重战略背景下, 油气田高质量开发已成为石油行业发展的核心重点。当前陆上油田开发呈现储量劣质化加剧、开发成本高企化持续、工程技术复杂化升级等显著特征, 传统分散式工程开发模式存在设计方案与地质认识脱节、钻采作业流程衔接不畅、技术资源配置分散低效等突出问题, 严重制约油田产能效益的有效提升。通过系统优化石油工程开发方案, 构建涵盖方案设计、钻井实施、完井保障、动态调整、资源配置的全流程技术体系, 全面提升钻完井作业效率与工程资源利用水平, 实现油田高效开发、保障国家能源安全。

1 工程概况

某陆上油田区块属于典型的难动用储量类型, 该区块地质构造复杂储层物性较差, 开采难度极大且开发成本一直居高不下, 所以长期以来都没能实现经济有效动用, 为破解陆上油田开发难题, 工程实施单位

和油田开发单位合作, 突破传统组织模式组建联合指挥部, 统筹陆上油田区块的日常生产运行, 打破单位之间的边界协同落实井位部署, 以及针对工程设计开展相关论证工作。该项目系统应用开发方案优化设计技术、钻井提速降本技术、完井产能保障技术等关键技术, 通过在源头对井身结构与轨迹设计进行优化、精心选择钻井液材料与提速工具组合、创新完井方式与控水工艺、建立在线动态监测与实时调整机制, 形成地质工程深度融合且钻完井高效协同的系统性开发模式, 为难动用储量的效益开发奠定工程技术基础。

2 石油工程开发方案优化技术应用

2.1 石油工程开发方案优化技术

石油工程开发方案优化技术通过构建联合指挥部协调机制, 打破单位边界协同设计生产方案^[1]。技术团队针对难动用区块复杂地质特征综合储层分布断层发育流体性质等地质因素与钻井风险作业周期工程投

资等要素，应用数值模拟方法建立井网优化模型，井位优选采用层次分析法量化影响因子权重系数并通过遗传算法迭代寻优确定井位坐标与轨迹参数，井身结构设计建立井眼稳定性评价体系依据岩石力学参数与地应力分布计算安全钻井液密度窗口确定套管下入深度与水泥返高，开窗侧钻作业运用三维可视化技术模拟井眼轨迹与周边已钻井空间关系精确计算防碰距离安全余量优化开窗位置规避高风险井段，井眼轨迹设计采用最小曲率法计算空间曲线井眼曲率：

$$K = \left[\left(\frac{\Delta\alpha}{\Delta L} \right)^2 + \left(\frac{\Delta\phi \cdot \sin\alpha}{\Delta L} \right)^2 \right] \quad (1)$$

式中，K 为井眼曲率 (rad/m)， $\Delta\alpha$ 为井斜角增量 (rad)， $\Delta\phi$ 为方位角增量 (rad)， α 为井斜角 (rad)， ΔL 为井段长度 (m)，引入曲率约束条件控制造斜率与工具面角变化速率，使轨迹平滑度与可钻性兼顾。

2.2 钻井工程提速降本技术

钻井工程提速降本技术以机械钻速为核心，过钻井液体系优化、提速工具组合及参数实时调整协同实现降本增效，针对泥页岩水化膨胀和井壁失稳这类问题，研发出疏水无固相有机盐钻井液配方体系，采用有机盐作为抑制剂来替代传统无机盐，在黏土矿物表面形成疏水膜层以阻止水分子侵入，配合纳米封堵材料填充微裂隙来进行物理化学协同抑制，流变性能调控会优选聚合物增黏剂和降滤失剂的复配比例，将塑性黏度与动切力控制在相对较低的水平^[2]。

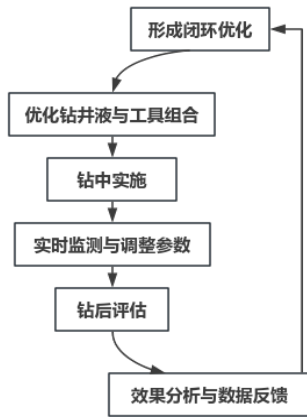


图 1 钻井工程提速技术流程图

提速工具组合根据地层岩性选配钻头类型与钻具组合，软至中硬地层采用 PDC 钻头配合螺杆马达，通过优化切削齿布局与后倾角参数让破岩效率和钻头寿命相匹配，螺杆马达输出功率借助转速转矩特性曲线来匹配钻头载荷需求，复杂地层段采用随钻测量仪器与旋转导向系统集成，地面监测系统获取钻压、扭矩、排量等参数变化情况，技术人员根据这些判断钻头磨损程度和地层可钻性变化趋势，然后调整钻井参数组

合以此保持钻速稳定，钻井工程提速技术流程如图 1 所示，该流程贯穿钻前设计、钻中实施、钻后评估的全过程，进而形成系统化的提速技术链。

2.3 完井工程产能保障技术

完井工程产能保障技术聚焦储层有效动用与长期稳产目标，通过完井方式优化和控水技术创新来提升油田产能水平，裸眼水平井完井技术针对物性较好且胶结疏松的油藏，采用筛管防砂完井方式并优选筛管缝宽与砾石粒径以匹配储层砂粒级配，在阻挡地层出砂的同时保持较高渗流通道，让油气流入井筒的阻力降至最低，水平段长度设计综合考虑储层厚度、非均质性和水平应力差异，通过油藏数值模拟预测不同水平段长度下的产能响应和见水时间，确定兼顾产量与采收率的最优参数^[3]。

分舱智能控水技术应对油藏纵向非均质性强、底水锥进风险高难题，在水平井段安装智能滑套控水装置来进行相应操作，将水平段划分成为多个独立的生产单元以便管理，内置流量控制阀会根据流体密度差异自动调节过流面积，当某分段含水上升从而导致流体密度增大的时候，滑套阀芯在浮力作用下收缩过流通道截面，让该段产液量受到抑制而含水较低分段保持正常产液，控水装置流量调节特性通过室内水驱实验进行标定，建立滑套阀芯位移与流体密度、过流面积的函数关系。

2.4 开发过程动态优化技术

开发过程动态优化技术建立钻前攻关、钻中监控、钻后总结的闭环管理体系，依靠全过程精细化管控来保障工程方案执行质量，钻前一体化攻关阶段地质工程专家组针对目标井开展地质设计、井身结构、钻井液配方、提速工具选型等专项论证，采用数值模拟与类比分析方法预测潜在工程风险并制定针对性技术措施与应急预案，专家组评审机制保证工程设计方案具备科学性与可行性。

钻中动态监测采用 24 小时在线跟踪模式，地质工程师借助远程监控系统实时获取井下工况参数与地层信息，当监测数据出现异常波动的情况时，技术人员会马上开展原因分析与对策研判的工作，通过调整钻井液性能、优化钻井参数或者更换钻具组合等措施，把工程风险控制在刚刚萌芽的状态^[4]。地质导向技术在钻进过程当中发挥着关键作用，随钻测量仪器实时传输井眼轨迹、伽马射线、电阻率等地层参数，地质工程师依据测井响应特征判断钻头与目标储层相对位置关系，钻遇储层顶底界面的时候及时对井眼轨迹作出调整，让水平段始终在优质储层里面进行穿行^[5]。开发过程动态优化技术流程如图 2 所示，该流程体现计划该

流程体现计划、执行、检查、改进的 PDCA 管理理念, 以此确保开发方案在实施过程中能够不断完善。

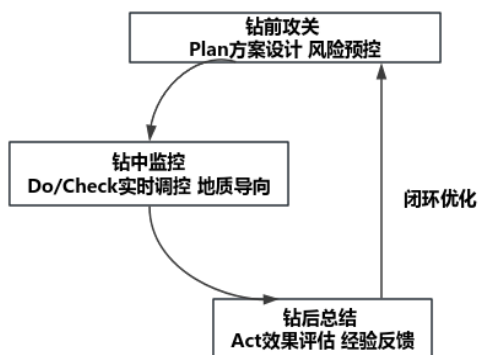


图2 开发过程动态优化技术流程图

2.5 工程资源统筹配置技术

工程资源统筹配置技术通过建立跨单位资源共享机制与应急保障体系, 提升工程运行整体效率与抗风险能力。在运输车辆统筹调度方面陆上钻井单位和井下作业单位把各自车辆纳入统一调度平台, 依据钻完井作业计划和物资运输需求运用线性规划方法优化车辆调度安排, 调度系统全面考虑车辆载重吨位、行驶速度、作业区域、道路交通状况等约束条件并通过遗传算法求解车辆配载与路线优化模型。

工具装备集成创新技术针对陆上钻完井作业特点, 研制整体式油套管头与快装井口装置, 该装置运用模块化设计理念把多个井口部件集成为整体结构, 借助快速连接机构实现井口安装的机械化作业, 让井口安装时间从传统工艺的数小时缩短至小时级, 整体式井口装置在工厂完成预制并进行密封性能与承压能力检测, 保证现场安装质量的一致性, 应急资源共享库建设整合井控抢险物资、自然灾害应急装备、医疗救援力量等资源, 建立统一调派与快速响应机制, 当出现井控溢流、井场火灾等突发事件, 应急资源在指挥部统一协调下实现跨区域调动, 形成立体救援网络。

3 开发方案优化效果评估

3.1 产能提升效果评估

石油工程开发方案优化技术应用于某陆上油田区块后, 产能指标呈现全面提升态势。一体化运行期间钻井进尺和前期相比同比增长了7000m, 机械钻速从常规作业模式3.2m/h提高到了3.7m/h提速幅度达17%, 钻井周期从原先平均的45天缩短到了20天时间压缩比例达56%, 典型井钻完井作业周期从优化前的11.86天压缩到添加: 8.5天, 作业提速效果显著, 产能建设方面优化方案实施后新钻井投产井数达到了19口其中高产井占比超过50%, 日产油超百吨井数达到了11口单井平均产能较区块历史水平提升2.5倍, 井控时间压缩效果明显井均非生产时间较传统模式减少22.6%,

生产时效因数从优化前的0.72提升到了0.88钻完井全流程时间利用率得到有效改善, 裸眼水平井技术使单井控制储量较直井增加3倍水平段储层钻遇率保持在92%以上, 初期产能较直井提升幅度达到2-3倍。

3.2 开发效益综合评估

石油工程开发方案优化技术在某陆上油田区块的应用带来显著综合效益, 钻井周期的缩短让井场日费与人工成本支出明显降低, 钻井液材料消耗量的减少使作业成本得到有效控制, 资源的统筹配置让车辆利用率提升了8.24%且长期租赁车辆数量减少2艘。开发方案优化后单井钻井成本由3850万元降到2680万元降幅达30.4%, 井场日费支出从45万元/天降到32万元/天降幅为28.9%, 钻井液材料成本降幅达到30.4%, 井口安装时间从8.5h压缩至3.2h降幅62.4%, 单井综合投资从5200万元降到3640万元降幅为30.0%。整体式井口装置的批量应用让井口安装成本较传统工艺下降比例很可观, 工具装备标准化水平的提升带来明显的规模效应, 开发方案的优化使难动用储量转化成经济可采储量, 油田整体开发效益水平得到显著提升并为企业可持续发展奠定资源与经济基础。

4 结语

石油工程开发方案优化技术体系有效应对了当前油气开发面临的多重挑战。通过应用开发方案优化设计技术实现油藏地质与工程设计的深度融合, 运用钻井提速降本技术系统破解施工周期长、作业成本高的突出难题, 采用完井产能保障技术大幅提升储层有效动用程度, 实施开发过程动态优化技术全面强化施工过程精细管控, 推进工程资源统筹配置技术显著提高整体运行效率, 系统性解决了难动用储量开发的关键技术制约。未来应持续深化人工智能与数字化技术的深度融合应用, 不断强化绿色低碳开发工艺的创新研发突破, 逐步完善覆盖全生命周期的优化管理体系, 为油气田绿色可持续发展提供更加坚实的技术支撑保障。

参考文献:

- [1] 阮江宁, 伍泉霖, 刘琴, 等. 新质生产力赋能城市燃气行业高质量发展的理论逻辑与实践路径 [J]. 城市燃气, 2025(11):1-8.
- [2] 郭力. 经济新常态背景下燃气企业管理创新研究 [J]. 知识经济, 2025(30):67-70.
- [3] 刘浩东. 论燃气企业科技创新发展技术路线 [J]. 城市燃气, 2025(08):40-44.
- [4] 陈思灿. 智慧监管赋能提质筑牢气瓶安全防线 [J]. 福建市场监督管理, 2024(06):35-36.
- [5] 肖文凯. 城镇燃气企业工业互联网创新发展的现状及建议 [J]. 上海煤气, 2022(04):19-22.