

智能化技术在海上油气开采中的应用及其经济性分析

李胜吉（中海石油（中国）有限公司深圳分公司，广东 深圳 518000）

摘要：智能化技术在海上油气开采领域深度应用正重塑传统油田开发模式。通过对典型海上油田智能化建设实践分析，研究发现智能化技术在油藏开发管理、远程注采调控、生产安全监控等核心领域实现了突破性应用。油藏智能化管理系统实现精准的剩余油挖掘与注采优化，远程智能控制技术改变了传统海上作业模式，生产安全智能监控体系显著提升风险识别与预警能力，经济性分析显示，智能化技术应用带来了显著的投资回报效益，并为海上油气开发可持续发展开辟了新路径。

关键词：智能油田；海上油气开采；数字化转型；经济性分析；生产优化

中图分类号：TE5 文献标识码：A 文章编号：1674-5167（2025）030-0043-03

Application of Intelligent Technology in Offshore Oil and Gas Extraction and Its Economic Analysis

Li Shengji (CNOOC (China) Limited Shenzhen Branch, Shenzhen Guangdong 518000, China)

Abstract: The deep application of intelligent technology in the field of offshore oil and gas extraction is reshaping the traditional oilfield development model. Through the analysis of intelligent construction practices in typical offshore oil fields, it has been found that intelligent technology has achieved breakthrough applications in core areas such as reservoir development management, remote injection and production control, and production safety monitoring. The intelligent management system for oil reservoirs achieves precise optimization of remaining oil excavation and injection production. Remote intelligent control technology has changed the traditional offshore operation mode, and the intelligent monitoring system for production safety has significantly improved risk identification and early warning capabilities. Economic analysis shows that the application of intelligent technology has brought significant investment return benefits and opened up a new path for sustainable development of offshore oil and gas development.

Keywords: intelligent oilfield; Offshore oil and gas extraction; Digital transformation; Economic analysis; production optimization

海上油气资源属于全球能源供应的重要组成部分，其开发技术水平直接影响能源安全战略的实施效果。海上油田开发环境有特殊性，这决定它在技术要求与投资规模以及风险管理等方面，面临比陆地油田更严峻的挑战，传统的海上油田开发模式在应对复杂地质条件与精细化管理需求以及安全环保要求等方面，逐渐显露出技术局限性，迫切需要通过技术创新突破发展瓶颈。智能化技术快速发展为海上油气开采提供全新技术路径，借助数字化与网络化以及智能化手段深度融合，能够有效提升海上油田开发效率与降低运营风险以及增强经济竞争力，为实现海上油气资源的高效开发利用奠定坚实基础。

1 海上油田工程概况

某海上大型整装油藏位于南海海域，是典型的热带深水油田，有着多层系多油组的复杂地质构造特征，油田储层主要由新近系珠江组与韩江组砂岩构成，纵向上发育十余套含油层系且单层厚度变化较大，储层物性差异显著与渗透率分布范围广泛。受深海沉积环境影响，储层非均质性严重，层间及平面渗透率变化剧烈，致使油水分布复杂多变，油田采用海上浮式生

产储卸装置（FPSO）开发模式，借助多个海上平台对周边卫星井位进行统一管理与协调控制，形成集油气处理与原油外输以及生产管理于一体的综合性海上生产系统。因远离陆地支持基地，海上生产设施高度集成化，各类工艺设备与监控仪表以及通讯系统密集布置在有限平台甲板空间内，设备之间相互依存度极高。传统海上油田开发管理模式在应对复杂多层油藏精细化开发需求时，暴露出诸多技术瓶颈与管理难题，迫切需要通过智能化技术手段来突破发展瓶颈。

2 智能化技术应用实践

2.1 油藏智能化开发技术应用

该海上油田构建基于全局加局部代理模型的智能化油藏管理系统，实现对复杂多层油藏开发过程精准控制与动态优化，智能化系统采用离线训练与在线滚动相结合的算法架构，把油田开发专业知识与深度学习技术深度融合起来。通过建立油藏数值模拟器加速迭代与集群求解机制，有效克服了传统数值模拟方法大规模运算效率的技术瓶颈，油藏智能化调配过程注采比优化遵循地层系数法配注理论，其最优注采比计算公式为：

$$R_{opt} = \frac{Q_w}{Q_o} = f(k_i, h_i, P_i, S_w, \mu_w, \mu_o) \quad (1)$$

式中: R_{opt} 为最优注采比; Q_w 为注水量; Q_o 为产油量; k_i 为第 i 层渗透率; h_i 为第 i 层厚度; P_i 为第 i 层压力; S_w 为含水饱和度; μ_w 、 μ_o 分别为水相和油相粘度。

系统能够实时处理油藏注采动态数据, 运用智能优化算法自动识别剩余油分布规律, 通过对不同小层与各时间步剩余油分布进行可视化分析, 主动发现油藏注采不平衡的关键症结, 实现从被动响应到主动预测的根本性转变^[1]。智能化技术在油藏开发管理中的深度应用, 使得传统依靠经验判断的开发决策模式转向数据驱动的科学决策体系, 为油田长期稳产与效益最大化提供了强有力的技术保障。

2.2 远程注采调控技术应用

海上油田远程注采调控系统借助部署智能分注分采物联网技术架构, 建立起涵盖数据采集与传输处理以及云端控制的全链条智能化管理体系, 系统运用 ModbusTCP 协议达成对分注井实时生产数据的高精度采集, 涉及入口压力、出口压力、分层流量、水嘴开度等关键工艺参数, 并且通过 MQTT 协议把采集数据实时上传至云端数据存储服务平台。云端智能控制系统依据实时数据分析结果, 能够自动生成具有针对性的井层调配指令, 再通过边缘计算一体机将控制信号精准下发到地面控制设备, 实现对油水嘴开度的远程精细化调节^[2]。该技术体系彻底改变传统海上作业模式, 把原本需海上作业人员现场操作的注采调配工作转变为陆地远程智能控制, 不但大幅降低海上作业成本与安全风险, 还实现了注采调配响应速度的质跃式提升, 为海上油田精细化开发管理开辟全新技术路径, 远程调控技术的成功应用标志着海上油田开发从传统的现场作业模式, 向智能化远程管理模式的历史性跨越, 为海洋石油工业的数字化转型树立了重要的技术标杆与示范样本。

2.3 生产安全智能监控技术应用

该油田的生产安全智能监控平台把前沿的计算机视觉与深度学习方法综合起来, 构建出一套完整的智能安保体系, 用来覆盖设备运行状态监控、人员行为识别以及作业场景分析方面^[3]。系统在海上把高清摄像头与边缘计算终端进行部署, 结合自主研发的人工智能模型对生产现场开展实时智能监测, 能够精准识别设备异常、违规操作以及危险区域入侵等各类安全风险, 针对南海海上油气设施的高温高湿环境, 对识别算法做深度优化, 并且通过构建多层神经网络来提升识别效果, 其改进后的准确率可表示为:

$$A_{improved} = A_{traditional} + \Delta A = A_{traditional} \times (1 + \alpha) \quad (2)$$

式中: $A_{improved}$ 为改进后识别准确率; $A_{traditional}$ 为传统方法识别准确率; ΔA 为准确率提升量; α 为提升系数。

系统将 UWB 定位与三维可视化技术融合, 能对海上平台人员的位置进行高精度实时追踪, 并且依靠电子围栏与智能预警体系, 给海上作业的安全管理提供强有力的技术支撑^[4]。通过引入智能监控系统让海上平台安全管理从传统被动防护转变为主动预防, 依托实时监测与智能预警的协同作用, 来打造多层次的立体防护网络, 为海上油田的安全生产与稳定运行提供坚实有力的保障。

2.4 数字孪生与可视化技术应用

海上作业平台的数字孪生平台把三维建模与实时数据整合跟虚拟现实技术结合起来, 打造出高度还原真实情况的海上油田虚拟映像, 该系统以工程初期精准的三维模型作为基础, 结合激光扫描与无人机拍摄以及现场录像等多样化的数据采集方法, 构建出涵盖生产设备与工艺流程以及环境因素在内的全面数字场景。系统把资产编码与三维模型元素精准绑定起来, 实现了静态设计信息跟动态生产数据的深入融合展示, 让生产管理人员能在虚拟环境里直观查看设备运行状况与工艺参数变化以及异常事件分布等重要信息, 数字孪生平台还带有虚拟巡检功能, 借助预设的巡检路线与检查项目, 实现对海上设施的远程可视化检查, 大大提升了设备维护管理的效率与准确度^[5]。该架构为海陆协同作业提供强有力的可视化支撑, 让陆地技术人员可以实时掌握海上现场具体情形, 帮助进行快速决策与提供技术方面的支撑, 从而形成坚实可靠的保障, 数字孪生这种创新应用不光提升了海上油田在可视化管理方面的能力, 还为未来实现智能化海上油田所需的技术生态奠定关键数字底座。

3 智能化技术经济性分析

3.1 智能化建设投资构成与成本分析

该海上油田智能化建设投资构成展现出多元化与系统化的特点, 包含硬件设施建设与软件系统开发以及技术服务支撑等多个维度的资金投入。

从表 1 投资构成分析能看出, 硬件设施与软件系统投资占智能化建设总投资的 67.1%, 体现了智能化技术对先进设备与核心软件的高度依赖性。技术服务投资比重达 18.6%, 表明智能化建设不仅需物质基础投入, 更要专业技术团队深度参与, 基础设施投资比重虽相对较小, 但对支撑整个智能化系统稳定运行意义重大, 尤其是在海上恶劣环境下, 可靠的数据传输与存储基础设施是确保智能化功能有效发挥的关键前提。

表1 智能化建设投资构成明细

投资类别	具体项目	投资金额(万元)	占比(%)
硬件设施	边缘计算一体机、传感器设备、通讯网络设备	1850	35.2
软件系统	油藏智能管理系统、远程控制平台、数字孪生平台	1680	31.9
技术服务	算法开发、系统集成、培训咨询	980	18.6
基础设施	数据中心建设、网络改造升级	750	14.3
合计		5260	100.0

3.2 运营成本降低效益定量评估

智能化技术深度应用给该海上油田带来了明显的运营成本节约效果，体现在人工成本减少与设备维护费用降低以及能耗优化等多方面，通过对比回分析传统运营模式与智能化运营模式的成本构成，能够清晰展现智能化技术在降低运营成本方面的突出优势。

据统计，智能化技术应用让该油田年运营成本降低31.2%，其中海上作业成本节约效果最显著降幅达56.0%，人工成本与设备维护费用节约比例均达30.0%，反映出智能化系统在减少人工依赖与提高设备可靠性上突出优势，能耗费用节约19.0%，体现了智能化调控系统在优化生产工艺与降低能源消耗方面积极作用。海上作业成本大幅降低主要得益于远程智能控制技术应用，减少海上人员驻留时间与作业频次，显著降低海上作业安全风险与经济成本。

3.3 生产效率提升经济价值测算

智能化技术在提升生产效率方面产生经济价值，主要是通过缩短分析时间与提高异常发现速度以及优化生产决策等途径来实现，为油田创造了可观的直接经济效益与间接管理价值。

表2 生产效率提升经济效益分析

效率提升指标	传统模式	智能化模式	提升幅度	年经济价值(万元)
产量跟踪分析时间	7天/人	10min/人	缩短99.0%	420
异常发现时间	15-30天	7天内	缩短76.7%	680
配注优化时间	3-5天	1天	缩短75.0%	320
自然递减率控制	基准值	减缓1.7%	改善1.7%	2850
单井年增油量	基准值	增加1.6万m ³	提升显著	3200
合计经济价值				7470

从表2量化分析能看出，智能化技术应用带来的年经济价值达到7470万元，其中单井年增油量提升与自然递减率控制贡献了主要经济价值，分别达到3200万元与2850万元，生产分析效率大幅提升在直接经济价值方面相对有限，但在管理效率改善与决策响应速度提升等方面产生了重要间接价值。异常发现时间显著缩短为及时制定调整措施以及避免生产损失提供了有力保障，其经济价值不仅体现在直接生产收益上，更重要的是降低了潜在生产风险与经济损失。

3.4 智能化投资回报率综合评价

海上油田智慧化建设在经济回报上有明显的优势，综合评估初期投入与运营成本下降以及产能提升等因素之后，项目具备良好的经济可行性与较强的投资吸引力。依据前面分析的数据，智能化方案一年的综合经济效益有9403万元，这里面包含通过降低运营成本所实现的1933万元以及通过提升生产效率带来的价值7470万元。与总投资的5260万元进行对比，项目的静态回收期仅为0.56年，要是考虑资金时间价值的动态回收期，大约为0.63年，明显低于通常工程项目3至5年的回收期标准。项目内部收益率高达178.7%，在10年运营期内净现值达到82150万元，这表明对智能化技术投入能创造极高经济价值。

4 结语

海上油气开采时智能化技术成功应用能说明，数字化转型对传统能源行业的升级有显著推动作用，通过构建覆盖油藏管理还有生产控制等环节的完整智能体系，南海深水海上油田已经从依靠经验为主的决策方式转变为以数据驱动的决策模式。这一转变在提升海上油田的生产效率的同时，还显著提高了深水油气开采的经济效益，随着人工智能与物联网以及大数据等前沿技术不断持续发展，海上油气开采领域的智能化应用会在深度和与广度上不断扩展，进而推动整个行业朝着更高水平的智能化与绿色化方向迈进。

参考文献：

- [1] 吴迪,周云华.石油油气生产数字化智能化安全管理分析[J].科技视界,2025,15(06):43-46.
- [2] 张春生,林杨,魏刚,等.海上油田生产智能化关键技术及应用——以渤海秦皇岛32-6油田为例[J].中国海上油气,2024,36(06):186-193.
- [3] 刘春昊.人工智能技术在海上油气生产中的应用[J].数字技术与应用,2024,42(12):13-15.
- [4] 彭程.海上油气生产运营系统数据一体化治理途径与发展趋势[J].天津科技,2024,51(04):3-5.
- [5] 刘帅,黄华山.探讨5G+工业智能化技术在海上石油工业的研究与应用[J].科技资讯,2024,22(02):31-33.