

大数据与人工智能在油气田数智化转型中的应用研究

尹楠, 张倩, 丁大勇

(中国石油股份有限公司玉门油田分公司, 甘肃 酒泉 735000)

摘要 油气田行业正处于以数字化、智能化为引领的深度转型阶段。本研究系统构建了“数据治理—智能决策—管理创新”的全链条数字化转型框架, 阐明大数据与人工智能在勘探开发优化、生产运营管理及安全环保管控中的核心作用。通过实施“云平台筑基—系统集成提效—数据治理赋能”的转型路径, 推动形成新型业务生态、管理模式和价值网络, 持续提升企业核心竞争力和可持续发展能力, 为打造现代化油气田体系提供有益参考。

关键词 油气田数字化转型; 人工智能; 数据治理; 智能优化; 碳中和

中图分类号: TP18; TP3; TE3

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.26.013

0 引言

在全球能源结构加速向低碳化转型背景下, 油气行业面临资源劣质化与碳排放约束的双重挑战。我国“十四五”规划明确将油气行业数字化转型纳入国家战略, 要求通过技术创新突破传统开发模式的技术瓶颈^[1]。传统油气田面临开采效率低、成本高企、安全风险大等发展瓶颈。本研究聚焦油气田数智化转型, 系统探讨数字孪生、大数据分析和人工智能三大技术在油田生产优化中的创新应用, 构建油气田数字化转型的理论框架与实施路径, 旨在为传统能源企业实现技术赋能与可持续发展提供决策参考。

1 行业变革的技术驱动与实践回应

1.1 研究背景

“十四五”期间, 按照“加快油气行业数字化转型”战略部署, 玉门油田通过研究数字化、智能化技术在酒东油田、环庆油田的应用, 大幅度提升油田管控水平, 初步建成了数智化示范区。但油田生产经营、改革发展面临的形势依然复杂严峻, 迫切需要技术革新来加快生产现场全过程智能联动与自动优化, 推进业务模式创新、管理模式变革、工作方式转变, 做好数字化转型这道“必答题”, 驱动油田实现增储上产、提质增效、风险管控、造福员工的目标^[2]。与此同时, 全球能源结构加速向低碳化转型, 油气企业面临绿色技术创新与碳中和目标的双重压力, 亟需通过大数据与人工智能技术实现开发过程的精准化与低碳化。

1.2 研究意义

大数据与人工智能技术的深度融合, 正在重构油气田全产业链的运营范式。生产端通过实时数据流驱

动油藏动态预测与井筒智能调控, 推动经验驱动型作业向自适应优化生产模式转变; 管理端依托跨领域数据中台打通勘探开发、生产运营与地面工程的信息壁垒, 实现资源调配与风险预警的敏捷响应^[3]; 战略端基于机器学习算法构建多维度决策模型, 使企业得以在复杂地质条件与市场波动中实现开发方案动态优化。这种技术赋能不仅重塑了能源企业的价值创造路径, 更通过精准化开发与低碳化运营, 为传统能源行业突破资源约束、实现可持续发展提供了创新范式^[4]。

2 油气田数字化转型的框架体系

2.1 转型目标定位

数字化转型需构建覆盖全业务链的技术生态体系。生产环节通过物联网与边缘计算技术实现设备自主控制, 如偏远井站的智能调节系统可依据实时工况自动调整运行参数; 管理环节建立跨部门数据共享机制, 整合钻、录、测、试等专业数据库, 形成一体化、实时化、可视化、协同化的油气藏研究与决策模式, 支撑油气藏综合研究、井位部署、方案会审、随钻分析等业务场景; 决策环节基于机器学习算法的预测模型可动态优化开发方案, 为资源接替提供科学依据。

2.2 关键实施路径

基础设施云化改造是数字化转型的基石。混合云架构的构建使企业能够根据业务需求灵活调配计算资源。业务系统整合需打破传统烟囱式架构, 通过建立数据湖、统一数据中台集成勘探、开发、生产等环节的异构数据, 并通过标准化接口实现跨系统协同。在数据治理方面, 需建立覆盖数据采集、清洗、存储的

全生命周期管理体系,通过主数据管理消除“一物多码”问题,确保数据的一致性与可靠性^[5]。构建覆盖数据采集、清洗、分析到决策应用的全生命周期管理机制,通过建立跨部门数据共享平台和智能分析工具,推动勘探开发决策从经验驱动向数据驱动转型,可以提升复杂地质条件下油藏描述精度与开发方案优化效率。

3 大数据在油气田的核心应用场景

3.1 勘探开发优化

地质数据的深度整合通过多模态数据融合技术实现跨域协同分析,例如将地震波形特征与测井曲线形态进行时空对齐,构建高精度三维地质模型,显著提升复杂构造区储层预测精度。深度学习算法通过卷积神经网络自动提取岩性特征参数,替代传统人工判读方式,将岩性识别效率提升五倍以上,同时降低主观误差^[6]。在页岩气勘探中,基于残差网络的岩相划分模型可自动识别纳米级孔隙发育带,为甜点区优选提供关键依据。钻井工程中强化学习算法通过模拟不同钻压、转速组合的井下工况,动态优化钻井参数,在典型盆地应用中使机械钻速提高12%,同时将复杂事故率降低30%,显著提升钻井效率与安全性。

3.2 生产运行管理

在油气田生产运行阶段,大数据技术通过智能传感器构建全域设备监测网络。实时采集输油泵、压缩机等关键设备的振动频谱数据,结合历史故障特征库可提前3~7天预警异常状态;数字孪生技术基于三维建模与物理仿真,实时映射设备运行参数并预测核心部件剩余寿命。产量动态分析通过长短期记忆网络整合地质构造、注采关系等多源数据,建立油藏动态储量预测模型,支撑注采参数的精准调控。此外,智能调度引擎融合设备状态、能源消耗与市场供需数据,自动生成多目标优化的生产计划,实现生产资源的高效配置。

3.3 安全环保管控

管道安全通过融合光纤振动监测与卫星热红外遥感数据,构建长输管道泄漏预警系统,实现异常工况秒级响应与精准定位。自然语言处理技术解析井场巡检文本报告,自动提取管线腐蚀、设备渗漏等风险特征,生成带优先级的整改方案并推送至管理人员移动终端。虚拟现实技术模拟井喷、硫化氢泄漏等高危场景,构建沉浸式应急演练平台,通过体感设备反馈与多视角回放功能,强化员工风险辨识与协同处置能力,显著提升极端工况下的应急响应效率。

4 人工智能驱动的管理变革

4.1 组织架构调整

数字化转型推动了组织架构的调整,技术层面呈现出向“前一中一后台”三级协同模式演进的特征。前台部署智能井站与无人化生产平台,集成物联网传感器与自动化控制系统,实现偏远油区无人值守与远程调控;中台构建数据治理中枢与智能分析平台,通过多源异构数据融合与实时计算能力,支撑动态产能预测与开发方案优化;后台由战略决策层主导资源调配与长期规划,建立数据驱动的资源配置模型与风险预警机制(见图1)。项目制管理模式突破传统部门壁垒。例如:组建涵盖地质工程、数据科学、装备研发的复合型团队,依托数字孪生技术与机器学习算法,攻克致密砂岩储层预测与压裂改造难题,实现复杂地质条件下开发效益最大化^[7]。

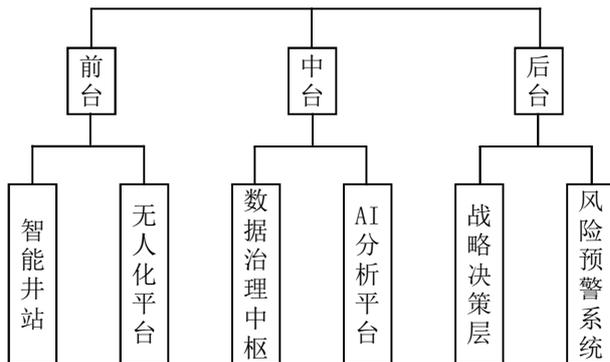


图1 前一中一后台三级协同模式架构图

4.2 业务流程重构

机器学习算法驱动的智能调度引擎深度融合设备运行状态、能源消耗曲线与市场供需波动,自动生成多目标优化的生产计划,提升炼化产线与输油管网资源调配效率。无人机搭载多光谱成像系统对长输管道进行周期性巡检,通过热红外波段自动识别管壁腐蚀、第三方施工破坏等隐患,替代传统人工徒步巡检模式。智能工单系统基于物联网传感器实时监测设备异常振动与温度参数,自动触发分级维修指令并推送至移动终端,维修人员通过AR眼镜获取故障三维可视化指引,实现从隐患发现到闭环处置的全流程数字化管控。

4.3 决策模式升级

管理层驾驶舱通过数字孪生技术构建立体化数据空间,集成实时生产数据流与市场动态信息,运用多源异构数据融合算法实现全维度可视化分析。三维可视化界面支持动态产能预测与资源调配优化,结合设备异常预警与地质灾害模拟推演功能,实现决策场景的虚实交互。投资效益模拟系统基于蒙特卡洛随机变

量生成与市场波动特征建模,构建油价、政策调整等多因素关联的风险收益评估框架,通过三维可视化沙盘对比不同开发方案的全周期效益分布,辅助管理层在复杂不确定性中制定动态优化策略。

5 油气田数智化转型的挑战与对策

5.1 主要瓶颈

油气田数字化转型面临数据孤岛、人才断层与模式惯性三重挑战^[8]。油气生产数字化管控平台、钻井设计管理系统、气井动态分析平台等独立系统形成数据壁垒,跨系统数据融合面临协议异构与标准缺失的技术壁垒。既精通主营业务又掌握深度学习算法架构的复合型人才储备不足,部分单位仍沿用基于经验公式的产能预测方法,对实时动态数据驱动的决策模式接受度较低,制约智能优化算法与数字孪生技术的规模化应用。

5.2 解决方案

构建覆盖全业务链条的企业级数据中台,采用混合云架构整合边缘计算节点与中央数据湖,通过数据血缘追踪与质量评估模型保障信息可信度。深化校企联合培养机制,共建油气大数据分析实验室,开发融合气井工况分析与机器学习算法的智能实训平台。推行“试点验证—知识沉淀—规模推广”的转型路径,选择典型区块开展数字孪生井筒与智能压裂试点,建立跨部门数字化转型知识库与经验共享机制,逐步实现从单点突破到全业务链重构的系统性升级。

6 油气田数智化转型的生态重构与可持续发展路径

6.1 实践启示

数字化转型需构建覆盖油气田生产环境的工业物联网平台与边缘计算节点,通过智能传感器与分布式控制系统实现设备全域互联,形成从井下作业到地面集输的全要素数字化映射。建立标准化数据资产目录与元数据管理体系,依托数据血缘追踪与质量评估模型,确保勘探开发、生产运营等环节数据的完整性与可信度。通过重组跨部门协同机制与敏捷型组织架构,打通勘探开发与生产运行间的数据流,构建覆盖“数据采集—分析—决策—执行”的闭环指令链。同步部署基于角色权限的动态访问控制与隐私计算技术,结合区块链存证与量子加密算法,构建符合相关要求的纵深防御体系,在机器学习驱动的储层预测与产能优化算法支持下,实现从资源勘探到产品销售的产业链动态优化。

6.2 未来方向

元宇宙技术为油气田培训提供新范式。通过构建虚拟油田场景,技术人员可在三维空间协同操作,模

拟复杂工况下的应急处置。碳足迹追踪技术结合区块链,实现全生命周期碳排放的透明化管理,助力企业履行社会责任。随着量子计算与边缘智能的突破,油气田智能化水平将迈向新的高度。“十五五”期间,油田可以重点推进三大技术突破,在数字孪生领域构建覆盖地质构造、井筒设备与地面管网的多尺度仿真体系,通过融合高精度传感器数据与多物理场耦合算法,实现油田生产全要素动态映射与智能调控;在量子计算领域部署分布式量子计算节点,突破传统储层预测算法的算力瓶颈,构建面向复杂地质条件的智能优化模型;在绿色低碳领域搭建基于区块链的碳足迹追踪平台,整合油气生产、运输及加工环节的碳排放数据,建立覆盖“井场—管道—炼厂”的全链条碳排放监测体系,为油气行业碳中和目标提供可信数据支撑。

7 结束语

油气田行业在第四次工业革命驱动下,正经历以数字化、智能化为核心的深刻变革。本研究系统论证了技术融合与产业实践的协同优化逻辑,全球能源结构低碳化转型与资源劣质化挑战共同构成行业转型的双重驱动力,玉门油田通过数字孪生等技术创新,进一步提升油气生产效率、精准预测油气资源分布,优化生产流程,提升安全管理水平。数字化转型不仅重构了全产业链运营范式——生产端实现设备自主控制与动态优化,管理端打破信息孤岛推动敏捷决策,更通过数据治理体系与复合人才培养机制破解了传统行业的技术壁垒与模式惯性。未来,油气田智能化需进一步融合量子计算、元宇宙等先进技术,在提升储层预测精度、强化安全生产能力的同时,探索碳足迹追踪与绿色开发路径。

参考文献:

- [1] 张相木.工业人工智能时代的制造业数智化转型[J].电气时代,2025(01):22-25.
- [2] 胡建国,马建军,李秋实.长庆油气田数智化建设成果与实践[J].石油科技论坛,2023,42(03):30-40.
- [3] 李文倚,侯明雨.中国海油勘探开发一体化协同研究平台建设与应用[J].中国海上油气,2024,36(06):206-215.
- [4] 彭程,刘昊,刘雪松.油气田开发中大数据、人工智能的应用和展望[J].石油石化物资采购,2024(09):67-69.
- [5] 叶萍.基于大数据技术的企业数据治理与质量控制策略研究[J].信息系统工程,2025(06):133-136.
- [6] 同[4].
- [7] 同[2].
- [8] 同[1].