

油气数字化录井技术发展现状与推广应用路径探讨

陈 斌

中法渤海地质服务有限公司海南分公司 海南 海口 570000

【摘 要】：复杂井型、远程作业和多专业协同增多后，油气数字化录井技术基本内涵体现为井深程度、作业时间、原始值、校正值、质量状态和人工复核记录的同步保存，并通过传感采集、岩屑图像、气测曲线和平台解释形成现场证据链。本文分析油气数字化录井的技术内涵、现场建设状态、发展问题与推广路径，识别采集可信度、岩屑识别边界、解释平台留痕、多源数据融合和服务覆盖能力等关键问题，提出采集端质量治理、录井数据融合、智能模型现场迭代和远程服务标准化措施。推广重点应由单井软件部署转向数据对象定义、现场质量责任、模型适用边界和平台协同能力的同步建设。

【关键词】：数字化录井；综合录井；数据治理；岩屑识别；远程协同

DOI:10.12417/2811-0722.26.09.006

引言

油气钻井连续暴露地层、井筒流体和工程参数变化，录井系统承担储层识别、地质导向和风险预警任务。传统录井依赖单点仪器与人工经验串联，在水平井、深层复杂储层和非常规目标中容易出现岩屑迟到校正不足、气测解释滞后和工程参数脱节。数字化录井把曲线、图像、事件和解释规则纳入同一数据链路，为现场决策和远程协同提供可复核基础，也把数据质量责任前移到采集和解释全过程。

1 油气数字化录井技术基本内涵

油气数字化录井以井深、钻时、钻压、转速、泵压、排量、泥浆性能、全烃和组分气、岩屑图像、荧光反应等连续信息为对象，按时间与程度双坐标组织现场数据^[1]。传感器提供实时曲线，岩屑采集与图像识别提供地层线索，气测数据反映烃类显示和井筒扰动，钻井工程参数限定解释边界。技术核心是让原始值、校正值、质量状态和人工复核记录具有统一标识，使录井成果转化为地质导向、储层评价和工程风险预警依据。程度域约束地层位置，时间域还原作业过程，质量域区分可用、待复核和无效记录，共同支撑平台解释和责任追溯。

2 油气数字化录井现场建设现状

2.1 井场传感数据采集数字化建设

井场采集端已由单一综合录井仪扩展为多传感器组合，程度、泵冲、立管压力、出口流量、气测、硫化氢、二氧化碳和泥浆池体积等设备共同构成基础数据层^[2]。数字化建设应把采样频率、量程、检定状态、作业事件和异常标识同步写入数据对象。接单根、循环、堵漏、压井和停泵会改变气测峰值与地层显示的匹配关系，采集端越能保留工况边界，后端解释越稳定。传感器漂移、断线、量程溢出和人工补录均应形成事件标记。数据到达平台前完成最小质量标识，可减少后端反复追问原始工况。现场还需把网络中断、传感器换接和人工补测写成可识别事件，避免同一曲线段在不同平台中出现来源不明的修订。

2.2 岩屑图像岩性识别智能化

岩屑数字化把样品颜色、粒度、纹理、含油性和荧光反应转化为可复核图像证据，能够减轻照明、清洗、粒径筛分和人员经验差异造成的描述波动^[3]。固定光源、统一拍摄距离和样品状态记录是模型可靠运行的前提。数字化识别已从单纯留图转向岩性分类、含油性辅助判断和层位对比，现场仍要保留采样程度、迟到时间和人工复核意见。智能识别现阶段更适合作为岩性描述、含油性判断和层位对比的辅助证据，与人工复核和气测曲线共同使用。模型结果进入解释前，还要复核样品代表性和层位匹配关系。

2.3 录井解释评价平台化持续建设

录井解释评价平台把岩屑图像、气测组分、钻时、泵压、井斜和泥浆性能放在同一解释界面，减少单项曲线孤立判断。水平井地质导向要根据岩屑返出、气测异常、钻时变化和轨迹位置综合判定储层边界；深层复杂井段还要把井漏、扭矩波动和泵压异常纳入工程约束。平台化建设的价值在于保留解释版本、人工修正点和异常处置记录，使多专业围绕同一版数据讨论。日报、完井报告和解释图件中的关键判断也应回写到数据对象，保留曲线片段、样品图像和作业事件，便于异常复盘时区分地质信号和工程扰动。

2.4 远程协同服务体系数字化建设

远程协同服务把井场实时曲线、图像、报警和解释结论同步到后方支持中心，适合海域、沙漠、山地和边远区块的多井并行服务。远程支持岗位结合邻井资料和工程经验介入气侵、漏失、压力变化与储层显示判断。钻机、探井、区块、海上平台、基础设施投入和新录井项目等活动绝对量，能够反映数字化推广所面对的现场场景、区域跨度和项目储备。当前建设仍呈平台先行特征，数据脱敏、访问权限、建议留痕和现场确认责任要同步配套。协同体系的成熟程度取决于井场上传数据的完整性、通信链路稳定性和建议回写机制。远程意见只有绑定曲线窗口、样品记录和确认人员，才能进入正式解释链。反映

推广场景规模的活动指标见表1。

表1 录井服务活动绝对量指标及推广指向

指标对象	(count)	计量单位	时间口径	场景条件	推广指向
正在运行的钻机	620	台	2024年第二季度	美国活跃钻机规模	实时地层评估和气体监测需求集中
新探井	185	口	2023年至2024年	加拿大相关区域勘探活动	区域勘探增加带来录井服务增量
区块	100	个	过去两年	印度HELP许可政策	新区块开放增加地质数据服务需求
海上钻井平台	600	座	2024年中期	全球海上勘探活动	海上录井设备和远程协同需求增加
录井基础设施	5	亿美元	2023年至2024年	全球升级投入	数据采集系统和传感器集成获得资金支持
新录井项目	160	个	2024年全球上游服务报告	项目筹备规模	说明录井技术投资和推广储备

表1按计量单位和时间口径比较运行钻机、新探井、区块、海上钻井平台、基础设施投入和新录井项目。不同场景条件对应的推广指向显示,远程协同须应对多井并行、跨区域支持和项目储备增加。

3 油气数字化录井发展存在的问题

3.1 井场传感数据质量短板仍然突出

数字化录井首先受制于原始数据质量^[4]。传感器漂移、安装位置差异、泥浆污染、样品混层、井深同步误差和作业事件漏记,都会影响后续解释。气测曲线出现峰值时,迟到时间、循环状态和泥浆性能没有同步校正,平台很难区分真实地层显示与工程扰动。部分井场能够上传曲线和图像,却缺少检定、换件、校零和复核记录,后方平台难以判断可信度。采集端未标记的异常点,可能在解释平台中变成储层边界、压力异常或井控风险提示。质量状态缺失越靠后修复,修改成本越高。质量治理不能只看最终解释图件,还要回到采集端核对事件标记、井深同步和传感器状态。

3.2 多源数据融合广度与应用程度不足

多源融合不足集中体现在地质数据、工程数据和设备状态之间连接不稳^[5]。岩屑描述、气测组分、钻时、泵压、扭矩、井斜和泥浆性能由不同系统采集,字段命名、采样间隔、程度基准和异常标识不一致,平台汇集后仍可能停留在并列展示。有效融合应回答同一解释问题,气测异常常同时涉及地层来源、工程扰动、井筒滞后和安全边界。融合不足还会造成重复录入和口径冲突,同一井深在岩屑、气测和钻井参数系统中出现不同状态时,平台缺少主记录规则,解释人员只能依靠经验重新判断。推广阶段应优先打通同一井深窗口内的图像、气测和工程参数,使平台能够保留冲突来源并提示复核顺序。

3.3 智能解释模型受制于样本不足和工况差异

智能解释模型依赖样本数量、样本质量和工况覆盖。不同盆地、层系、钻井液体系、岩屑粒度和井型条件下,图像颜色、气测响应和钻时特征并不一致。少量井次训练得到的模型推广到新区块时,容易把局部经验误认为一般规律。现场标签又常来自完井解释、测井解释或后续生产认识,具有滞后性;未经复核的即时判断进入训练集,会削弱模型长期可靠性。训练井、调参井和现场应用井如果没有分开记录,模型表现就难以区分拟合效果和真实迁移能力,推广风险会被低估。现场应用还应把模型失配记录为样本边界,而不是简单归入人工经验差异。

3.4 现场服务效能与覆盖范围需加强

数字化录井推广还受服务能力差异影响。不同队伍在设备配置、网络条件、数据录入规范和解释经验上并不一致,同一平台跨井队运行时可能受接口、延迟或人员习惯限制。远程支持中心扩大覆盖面后,如果报警规则、值班响应时限、异常关闭标准和责任确认不统一,多井并行会产生提示噪声,现场人员也容易把平台视为额外录入负担。必录数据范围、提示复核边界和结论采用边界不清时,不同井队对平台提示的判断尺度容易分化。推广路径需要把接口验收、响应分级和岗位确认做成统一模板,先保证高风险井段稳定使用,再扩大普通井段覆盖。

4 油气数字化录井推广应用路径优化

4.1 加强井场采集数据质量治理能力

推广数字化录井应先建立采集端质量治理^[6]。设备入井前完成传感器检定、接口校验、时间同步和数据字典确认,开钻后连续记录校零、换件、异常剔除和人工复核。气测、泥浆池体积、泵压和出口流量等风险敏感数据应区分原始值、校正值、无效值和确认值。岩屑样品同步记录采样程度、迟到时间、清洗方法、拍摄光源和保存状态,形成可追溯的图像识别输入。质量治理宜与岗位动作绑定,录井员负责原始采集和异常标记,仪器工程师负责检定和维护记录,地质监督负责解释采用边界。平台侧同步保存修改前后值、操作人员和采用理由,使质量治理从事后追溯前移到现场作业过程。

4.2 推动多源录井数据融合实效应用

多源录井数据融合应围绕储层识别、地质导向和井控预警建立证据组^[7]。储层识别组合岩屑图像、荧光描述、气测组分、钻时和邻井分层;井控预警组合全烃突增、出口流量、泥浆池体积、泵压和作业状态;地质导向组合井斜方位、钻时变化、岩屑返出和目标层顶底界面。平台结果要回写关键数据片段、模型提示、人工修正和质量状态,使单井解释沉淀为区块知识资产。融合应用还应设置主时间轴和主程度轴,对应数据按采样频率和迟到校正结果映射到统一窗口。出现冲突时保留冲突本身,不用单一曲线覆盖对应证据。多源数据链路关系见图1。

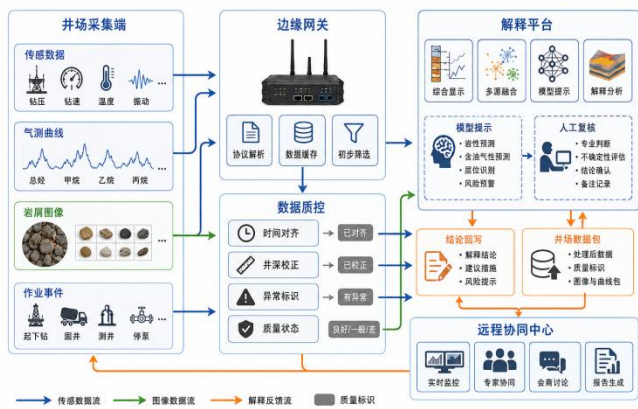


图1 数字化录井多源数据链路示意

图1中,传感数据流、图像数据流和解释反馈流连接井场采集端、数据质控、解释平台和远程协同中心。数据质控强调时间对齐、井深校正、异常标识和质量状态确认。

4.3 完善智能解释模型现场迭代

智能模型推广可采用通用模型、区块模型和井场模型分层迭代。通用模型承担岩屑颗粒识别、曲线异常初筛和数据质量提醒,区块模型适配盆地层系、储层类型和钻井液体系,井场模型记录当前井采样条件、设备状态和人工复核结果。模型输出同步给出样品条件、置信等级和复核原因;新层系、新井型和样本不足区块优先提供候选解释,避免未经验证的判断进入正式解释链。迭代过程要保存模型版本、训练范围、适用层系和人工修正原因。模型升级后应回放历史井关键层段,确认新模型没有破坏既有可靠判断。现场迭代不是一次性替代人工,

而是让模型在可验证边界内参与判断。

4.4 推动远程协同服务标准化规模应用

设置统一的井场数据目录、报警分级、图像归档、解释版本、权限日志和跨班组交接记录,是远程协同服务规模化的首要动作。现场录井岗位负责原始数据完整性,地质监督限定解释采用边界,远程岗位记录判断依据和曲线窗口,甲方代表确认最终结论。异常推送、会商研判、结论回写和复盘归档按同一流程执行;成熟区块建设历史井数据资产,复杂新区强化采集质量,高风险井段把气测异常、井漏井涌和有毒有害气体监测纳入重点预警。普通解释问题进入日常会商,高风险提示进入即时响应,结果回写到同一井场数据包。规模应用还应设置跨区块运行复盘,定期比较报警命中、建议采纳和数据回写质量,持续修正协同规则。

5 结语

油气数字化录井的发展重点已经从单项仪器信息化转向井场采集、图像识别、解释平台和远程协同的连续数据链路。当前综合录井应用基础较厚,数字化录井、岩屑智能识别、传感器管理和智能平台研发持续增加,但推广仍受原始数据质量、多源融合、模型样本边界和服务覆盖影响。后续应以采集端质量治理为底座,以多源数据融合为主线,以模型现场迭代和远程服务标准化为支点,形成井场数据可靠、解释责任清楚、平台协同可追溯的应用结构。这一路径不以单项软件替代现场判断,而是把采集、治理、解释和协同放入同一责任链条,使复杂井段中的异常识别和储层判断具有稳定依据。

参考文献:

- [1] 靖小伟,丁建宇,刘秀森,等.油气上游数智化发展现状及未来展望[J].石油科技论坛,2026,45(3):1-13.
- [2] 王文强,王瑞.数字化转型在提升油气管道运行效率中的创新应用[J].化工设计通讯,2026,52(8):133-135.
- [3] 苗雨.油气储运工程标准化管理体系构建与实施路径研究[J].中国石油和化工标准与质量,2026,46(15):4-6.
- [4] 任轶,徐瑞鸿,陈星宇.油气管道智能化监控技术在风险管控中的应用[J].中国化工贸易,2026,18(22):133-135.
- [5] 王振,刘鹤,曹伟东,等.以大模型为核心的油气勘探开发人工智能体系的理论与实践[J].油气地质与采收率,2026,33(4):213-224.
- [6] 李阳明,胡乾,董兴明.油气管道行业 AI 大模型创新应用与发展路径[J].石油科技论坛,2026,45(3):23-30.
- [7] 尚东辉,温纪宏,杨佰衡.地理信息技术在油气管道数字化管理中的应用研究[J].电子元件与信息技术,2026,10(7):208-211.