

# 智能录井仪器在钻井工程中的应用探讨

蒋国伟

中石化经纬有限公司胜利地质录井公司 山东 东营 257091

**摘要:** 随着钻井工程向深层、极端环境延伸,智能录井仪器依托物联网、AI等技术实现革新,成为油气勘探高效开展的核心支撑。本文阐述智能录井仪器的核心内涵、设备特性及工作原理,重点分析其在储层识别、风险预警、流程优化及质量管控中的具体应用,剖析当前应用中的技术、产业及应用层面问题,提出针对性优化策略,为智能录井仪器在钻井工程中的规范化、高效化应用提供理论与实践参考,助力钻井工程数智化转型。

**关键词:** 智能录井仪器; 钻井工程; 应用

引言: 钻井工程是油气勘探开发的关键环节,传统录井模式依赖人工操作,存在效率低、精度不足、风险预警滞后等弊端,难以适配现代钻井工程的复杂需求。数字经济赋能下,智能录井技术快速发展,其仪器凭借精准采集、实时分析、智能决策优势逐步替代传统设备。当前,国外企业推出集成化智能录井系统,国内聚焦国产化升级,但现有研究多局限于单一设备或特定场景,缺乏全流程应用模式梳理及技术瓶颈、产业协同的综合分析。基于此,本文围绕其应用展开探讨,破解瓶颈、推动技术升级,保障钻井工程安全高效低成本推进。

## 1 智能录井仪器相关理论与设备特性

### 1.1 智能录井技术核心内涵

(1) 智能录井的定义: 依托物联网、大数据、人工智能等前沿技术,构建录井全流程数字化、智能化技术体系,实现钻井过程中各类数据的自动采集、实时传输、智能分析及决策支撑,打破传统录井的人工依赖,提升录井效率与精度。(2) 智能录井的核心架构: 采用感知层、传输层、应用层及数据链、业务链的“三层两链”架构。感知层负责参数捕捉,传输层保障数据互通,应用层实现智能决策,数据链与业务链串联各环节,形成闭环管理。(3) 智能录井与传统录井的本质区别: 核心是从“被动记录”向“主动决策”转型,传统录井以人工记录、事后分析为主,智能录井可实时识别异常、预测风险,主动为钻井施工提供科学指导。

### 1.2 钻井工程中常用智能录井仪器类型

(1) 综合录井仪: 核心主力设备,集成多参数采集功能,可同步采集地质、工程、气测等各类关键数据,实现数据一体化分析,为地层评价和钻井安全提供全面支撑。(2) 专项智能录井仪器: 针对性解决特定监测需求,包括钻井参数仪、液面报警仪、红外光谱气测录井仪等,分别用于监测钻井工况、预警液面异常、精准分

析气测数据。(3) 辅助智能设备: 保障录井全流程顺畅运行,涵盖数据传输终端、远程运维平台、岩屑数字化识别设备,实现数据远程传输、设备在线运维及岩屑智能识别。

### 1.3 智能录井仪器的核心技术特性

(1) 数据采集特性: 具备秒级采样能力,采集精度高,覆盖地质与工程多类参数,采集精度较传统设备提升30%以上,可精准捕捉钻井过程中的细微参数变化。(2) 数据处理特性: 支持实时分析与智能建模,依托AI算法实现数据自动解读、异常识别,无需人工干预即可快速反馈分析结果,提升决策效率。(3) 适配性特性: 采用防爆、抗干扰设计,可适应深层高温高压、沙漠、深海等各类极端钻井环境,保障仪器稳定运行<sup>[1]</sup>。

### 1.4 智能录井仪器的工作原理

(1) 数据采集原理: 通过高精度传感器阵列,全方位捕捉钻井过程中的地质、工程、气测等各类参数,实现无死角、全方位实时监测。(2) 数据传输原理: 依托5G+卫星双模通信技术,构建“井场-云端”高速传输链路,时延控制在100ms以内,确保数据实时同步至云端平台。(3) 智能分析原理: 结合CNN、RNN等AI算法,对采集的数据进行深度挖掘,实现岩性识别、钻井风险预测等智能决策功能,为钻井施工提供科学依据。

## 2 智能录井仪器在钻井工程中的具体应用

### 2.1 在储层识别与评价中的应用

(1) 岩性智能识别: 智能录井仪器通过高清工业摄像头实时采集岩屑图像,搭配元素分析仪获取岩屑主要元素组成数据,依托CNN、RNN等AI算法挖掘图像特征与元素数据,可快速准确识别砂岩、泥岩等常见岩性,识别精度达90%以上,规避传统人工识别因经验、疲劳、环境干扰导致的误判,提升识别准确性与效率,为储层划分、地层对比提供可靠数据支撑。(2) 流体智能识别:

依托智能录井仪器实时采集的气测组分、钻井液性能等数据,结合成熟机器学习模型,智能分析油气水流体特征参数并精准匹配,实现流体实时识别、组分分析及产能评价,及时捕捉油气显示异常,精准判断储层流体性质,为油气评价、钻井方案调整提供及时支撑,减少漏误判带来的资源浪费与施工延误<sup>[2]</sup>。(3)储层参数评价:智能录井仪器整合岩性识别、电性测井关联、气测组分等数据,构建“岩性-电性-含气性”三维关联模型,通过AI算法精准计算孔隙度、渗透率等关键参数并综合分析,打破传统单一参数评价局限,提升储层识别与评价效率,为储层分级、开发方案制定及产能预测提供科学全面的数据依据。

## 2.2 在钻井工程风险预警中的应用

(1)井下异常风险预警:智能录井仪器实时监测钻井过程中的钻井液排量、井底压力、气测值、钻井液含砂量等关键参数,通过AI预警模型对参数变化趋势进行实时预判、动态分析,可提前1-2小时预警井涌、卡钻、井漏、井喷等井下重大异常风险,及时发出声光预警信号并给出初步处置建议,为现场施工人员争取充足的处置时间,有效降低井下安全隐患,避免安全事故发生,保障钻井施工顺利推进。(2)钻井参数异常预警:智能录井仪器实时捕捉钻压、转速、钻井液密度、黏度、漏斗黏度等核心钻井参数的动态变化,通过智能算法预设各参数的合理阈值范围,当参数出现偏离或异常波动时,立即发出预警提示,提醒施工人员及时排查设备故障、地层变化等潜在原因,快速调整施工参数,避免因参数异常导致钻井效率下降、钻井设备损坏或井下复杂情况加剧,保障钻井施工平稳、高效开展<sup>[3]</sup>。(3)井壁失稳预警:结合智能录井仪器采集的岩屑掉块图像、钻井液性能变化数据及井眼轨迹数据,通过AI算法分析岩屑掉块的数量、尺寸、形态及变化规律,结合地层力学参数,精准预判井壁失稳风险,提前发出预警信号,并指导施工人员及时调整钻井液性能、优化钻井速度和钻井轨迹,有效预防井壁坍塌、缩径等事故,保障钻井施工安全和井眼质量。

## 2.3 在钻井流程优化与降本增效中的应用

(1)钻井参数动态优化:自2006年埃克森美孚总工程师Fred E. Dupriest建立完整优化流程、2014年K&M公司将其发展为独立技术并被斯伦贝谢收购后,钻井优化技术日趋成熟。相关研究机构在该领域持续深耕,依托智能录井仪器实时采集分析钻井全流程地质、工程参数,结合地层与井下工况,通过AI优化模型动态调整钻压、转速等关键参数,实现“因地施钻、因况调整”,缩短周期、减少消耗,实现效率与成本双优化。(2)远程运

维与无人值守:针对沙漠、深海、高原等恶劣钻井环境,智能录井仪器依托5G+卫星双模通信技术,构建“井场-云端-运维中心”的高速传输链路,实现井场数据远程实时传输与监控,搭建远程运维平台,可完成仪器参数调整、故障排查、数据解读、施工指导等操作,实现无人值守或少人值守模式,大幅降低人力投入,据实际应用统计可降低人力成本60%以上,同时规避了恶劣环境对施工人员的安全威胁。(3)钻头磨损预测:依托钻井优化技术发展成果,结合相关技术研发积累,智能录井仪器实时监测扭矩、钻速等参数,结合钻头磨损数据库与地层硬度数据,通过AI算法精准预判钻头磨损及剩余寿命,合理规划起钻换钻头时间,减少卡钻等问题,降低非生产时间,助力降本增效<sup>[4]</sup>。

## 2.4 在钻井工程质量管控中的应用

(1)钻井轨迹精准控制:结合行业钻井优化技术发展成果与相关技术实践,智能录井仪器实时采集钻井轨迹、地层岩性及井底工况数据,结合预设方案,通过AI算法精准分析轨迹偏差及趋势,辅助调整导向工具参数,及时纠正偏差,将轨迹控制在设计范围内,避免储层漏钻、成本增加等问题,保障钻井质量。(2)钻井数据全程追溯:智能录井仪器实现钻井全过程各类数据的自动采集、实时备份、分类存储和加密管理,涵盖地质参数、工程参数、仪器运行参数、施工操作记录等,数据可全程追溯、可查可验、不可篡改,为钻井工程质量追溯、问题排查、责任认定提供了完整、可靠的数据支撑,提升了质量管控的规范性和科学性。(3)施工流程标准化:通过智能录井平台预设钻井各环节的标准化作业流程,明确各施工步骤的操作规范、参数要求和质量标准,实时监控施工人员的操作行为,及时提醒违规操作,有效减少人为误操作,规范钻井施工流程,确保各环节施工质量符合行业标准和设计要求,全面提升钻井工程整体质量水平。

## 3 智能录井仪器应用中的现存问题及优化策略

### 3.1 智能录井仪器应用中的现存问题

(1)技术层面问题:智能录井仪器在深层高温高压、沙漠强风沙、深海高盐雾等极端环境适应性不足,传感器故障率较高;且不同仪器采集的数据格式不统一,多源数据融合存在壁垒,各类数据无法高效整合,难以发挥协同作用。(2)产业层面问题:行业缺乏统一技术标准和规范,不同企业设备在接口、数据协议等方面存在差异,导致设备不兼容、数据互通难,增加企业设备升级和协同作业成本;同时,兼具钻井地质知识与人工智能、物联网技术的复合型人才短缺,制约技术推广与应

用升级。(3)应用层面问题:部分企业对仪器的应用仅停留在基础数据采集,应用深度不足,工作人员过度依赖传统经验,未充分发挥仪器智能分析和决策功能;且对海量采集数据缺乏深度挖掘,数据的预测、指导价值未释放,仪器应用效益未达最大化。

### 3.2 技术层面优化策略

(1)研发耐高温、抗高压特种传感器,采用新型极端环境材料,优化传感器结构设计,提升其在高温、高压、强腐蚀、强干扰环境下的稳定性和耐久性,降低设备故障率,确保极端场景下数据采集的连续性和准确性。(2)优化数据融合算法,统一各类智能录井仪器的数据采集格式和协议标准,打破多源数据融合壁垒,实现地质、工程、气测等各类数据的高效整合与互通,提升数据利用率,为智能分析和决策提供全面、统一的数据支撑。(3)推动技术融合创新,将数字孪生、边缘计算等前沿技术与智能录井技术深度结合,构建虚拟井场模型,实现钻井过程的可视化模拟,同时依托边缘计算实现数据本地实时处理,降低传输时延,进一步提升仪器的智能决策能力和响应速度<sup>[5]</sup>。

### 3.3 产业与应用层面优化策略

(1)推动行业标准制定,由行业协会、龙头企业牵头,联合科研机构共同制定统一的智能录井仪器技术标准、数据标准和接口标准,实现不同企业设备的兼容互通,降低企业设备更换、协同作业的成本,加快智能录井技术的行业推广。(2)搭建产学研协同培养平台,推动高校、科研机构与企业深度合作,根据行业需求定向培养兼具钻井工程、地质知识和人工智能、物联网技术的复合型人才,通过校企联合实训、订单式培养等模式,弥补行业人才缺口。(3)加强企业应用培训,针对不同企业的应用需求,开展智能录井仪器操作、数据解读、智能决策应用等专项培训,引导企业打破传统经验依赖,深化仪器应用深度,建立数据挖掘机制,充分释放数据的

预测、指导价值,提升仪器应用效益。

### 3.4 优化策略的可行性分析

(1)技术可行性:当前人工智能、物联网、数字孪生、边缘计算等相关技术已发展成熟,且在多个工业领域实现广泛应用,具备与智能录井技术深度融合的基础,能够为各项优化策略的落地提供坚实的技术支撑,确保优化方案可落地、可实现。(2)实践可行性:国内已有多家钻井企业开展智能录井仪器应用试点,积累了丰富的应用经验和案例,各项优化策略均能结合现有试点成果进行完善和推广,适配深层钻井、沙漠钻井、深海钻井等不同场景,具有较强的可复制性和可推广性,能够满足行业实际应用需求。

### 结束语

智能录井仪器的应用,彻底改变了传统钻井录井的作业模式,在提升钻井效率、保障施工安全、降低作业成本等方面发挥着不可替代的作用,是钻井工程数智化转型的必然趋势。尽管当前其应用仍存在诸多不足,但通过技术革新、标准完善、人才培育等优化措施,可有效破解瓶颈。未来,需持续推动技术融合创新,深化仪器应用深度,充分释放数据价值,助力油气勘探开发行业高质量发展。

### 参考文献

- [1]宋殿光,张德军,马慧斌,等.油气钻井智能装备现状及发展趋势[J].石油管材与仪器,2025,11(5):11-13.
- [2]尹雨箭.综合录井在钻井工程中的应用现状与发展思考[J].工程技术,2021,26(3):29-33.
- [3]李戈东,孙晓飞,陶林.综合录井在钻井工程中应用及发展探析[J].石化技术,2022,29(11):218-220.
- [4]惠静.人工智能在钻井工程中的应用[J].建筑技术科学,2023,16(8):122-125.
- [5]桑军元,袁文飞,刘文文,等.基于RFID技术的钻井工具管理系统研究与实现[J].电子产品世界,2024,31(7):75-78.