



专家视点

# 智能钻井:人工智能引领未来油气工程技术变革

□中国石化石油工程技术研究院副院长 王敏生

人工智能作为新一轮产业变革和科技革命的新引擎和核心驱动力,已成为引领未来发展的战略性新兴产业,正在对油气行业产生深刻影响。相关研究显示,人工智能技术可使油气生产成本减少约30%,采收率提升10~20个百分点,全球油气可采储量增加8%~20%。随着自动化钻井技术不断完善,以及与大数据、人工智能等技术不断融合发展,钻井技术正在由自动化转向智能化。智能钻井技术配备具有学习、记忆和判断功能的人工智能平台,集成智能化地面和井下控制系统,以及高精度传感器和高速传输系统,能够实现部分钻井作业的自主决策和闭环控制,大幅提高作业效率和安全性,是油气工程技术未来发展的重要方向之一。

国内外油气公司竞相抢占钻井智能化技术制高点,制定了详细的技术发展路线,搭建了智能钻井架构体系,部分关键技术已经实现现场应用。其中,高精度井下传感器、连续波高速传输等技术商业应用;一键式自动化钻机、起下钻自动控制、自动送钻和旋转导向等自动控制系统已规模应用;钻井仿真模拟、大数据分析、远程决策平台等智能分析决策系统进入工程应用。总体上,地面井下一体化智能钻井技术还处于开发试验阶段,正在着力整合行业力量,建立统一的标准与认证体系。SPE(国际石油工程师协会)钻井自动化技术分部将钻井智能化划分为观察模式、咨询模式、半自主控制模式、自主控制模式4个阶段,国内外部分作业场景已进入半自主控制模式,国内部分场景实现了咨询模式,正在向半自主控制模式迈进。

为加速推动钻井技术智能化发展,打造油气领域技术竞争新优势,推动形成油气上游新质生产力,近年来,中国石化通过联合攻关,开展了7000米自动化钻机及关键装备、随钻工程地质参数感知、智能钻井分析决策、智能钻井系统集成等关键技术的攻关研究,基本形成了智能钻井关键技术与装备体系,在胜利油田济阳页岩油国家级示范区进行了集成与示范应用,实现了钻机、仪器、决策系统与集成控制中心数据交互联动,以及钻前模拟、钻井参数智能优化、井下风险智能预警、井眼轨迹智能导航等应用场景多目标协同优化与控制,达到了智能辅助—人工决策的闭环控制水平,机械钻速提高17.44%,风险诊断准确率大于90.2%,优质储层钻遇率100%,钻井周期缩短19.87%,有力支撑了重点油气领域勘探开发降本增效。

目前,智能钻井技术正处于快速发展的蓄势期,还存在技术整体闭环集成度不高、智能化分析决策水平不足等难题和挑战,具体表现在钻机装备没有实现“无人接管”或远程控制的全自动操控,井下测控仪器还没有打通地层—井筒—地面大数据高速传输链路和自主控制、智能分析决策平台不能满足智能钻井作业由人工决策向机器决策转变的需要、地面井下一体化控制缺少算法

封装共享及模块集成技术规范等方面。需要在大力推广现有成果的基础上,持续开展自动化智能化装备、智能决策软件、数字孪生等关键技术研究,加大技术迭代升级力度,推动咨询模式向半自主控制、自主控制模式的转变,实现“全方位感知、大数据分析、智能化决策、自动化调控”的智能钻井技术目标。

一是加强智能钻井基础前瞻研究,形成智能钻井技术新规律、新认识,为关键技术研发提供源头供给。基于先进的机器学习等理论方法,建立井筒—地层大数据地质力学大模型;研究自适应钻头、智能流体等新一代智能钻井技术;搭建公开的行业数据标准和协议,建立统一的装备、工具、流体、软件标准。

二是提高自动化钻机及配套系统协同控制能力。在“一键式”钻机自动操作和钻井自动调控的基础上,开展全自动控制连续起下钻钻机及配套设备研究,配备钻台机器人和钻井液连续循环系统。通过数字化集成,提升多系统协同控制水平,实现钻机设备的全自动化和钻台无人化。

三是提升井下工程地质参数的获取精度和传输速率,扩展井下工具、仪器、流体的智能感知和智能调控能力。开展高精度井筒动态多参数智能监测技术、多维多尺度地层参数智能解释技术研究,建立井下工程参数实时监测和多维多尺度远/前探测方法;开展智能井下高速传输技术研究,探索智能钻杆、光纤传输技术。

四是借助智能技术辅助司钻管理钻井过程或智能决策。构建全场景赋能一体化云平台,进一步打通地质工程数据库;开展地质工程一体化钻井数字孪生技术研究,强化人工智能分析方法和学习样板,集成更多智能应用场景,实现钻井全生命周期的智能化分析作业和半自主控制模式随钻优化决策;借助钻井领域知识和数据+AI大模型,实现大模型在钻井信息提取、方案生成、科学计算、问答系统等场景的应用。

五是打造地面井下一体化云边协同“智能钻井驾驶舱”。开展多参数响应的闭环调控技术、基于联邦学习的云边协同技术、边缘集成控制技术研究,实现钻井全过程闭环智能钻井,为更大规模、更高智能化水平的工业推广应用提供条件。建立科研机构、油公司、油服公司和装备制造等多方协同推进机制,不断提升系统集成应用水平,有效提高钻井作业效率,降低作业成本。



▲随钻电阻率成像仪器在胜利油田临盘油田2-124井应用。 李新提供



红双湖回隆页岩气田焦页77平台。 侯松梯提供

## 智能钻井系统 以前靠经验打井 如今用数据找油

□张洪宁

### 产品介绍

智能钻井系统是现代钻井作业的数字化中枢神经,通过整合物联网、5G通信、大数据分析和人工智能等前沿技术,初步构建了集方案设计、参数优化、风险诊断、轨迹导航、压力控制、一键固井等多专业于一体的“全方位感知、智能化决策、自动化调控”智能钻井平台,助力传统钻井由“经验主导、现场决策”的作业模式向可视化、数字化和智能化转变。

### 实践应用

以前靠经验打井,如今用数据找油。中国石化自主研发的智能钻井系统iDrilling就像给钻井装上了“智慧大脑”。该系统整合了钻井、钻井液、固井等多专业数据,建立了包含2000多个案例的专家知识库。特别是在应对井喷、井漏等复杂情况时,系统能快速匹配历史案例,在30分钟内形成推荐处置方案,较传统专家会诊模式效率提升8倍。

今年6月,红星区块深层页岩气HY18-

2HF井的施工现场,技术人员应用该系统进行钻井风险的“天气预报”。该井设计井深6850米,主要目的是开发3500米以深页岩气储量,水平段长2700米,面临着水平段超长、储层非均质性强、易漏易塌等诸多挑战。

突然,大屏闪烁发出钻井异常预警信号,说明HY18-2HF井将在210米后钻遇易漏条带,“结合随钻测量数据信息,推测该层段大概率会出现漏失。”工程院科研人员冯庚说。

与此同时,智能钻井系统迅速匹配复杂案例库,一组组科学计算后的现场数据同步到北京、涪陵两地专家组。三方专家立即联合“会诊”,半小时后,一套“精细控压钻井+钻井液密度优化+提高随钻堵漏浆浓度”综合处置方案就形成了。接到指令后,现场工程师将钻井液密度快速下调,随钻堵漏浆浓度提高,安全钻穿了异常裂缝带,成功规避了风险。

“从预警发出、商讨方案到完成故障处理,全程仅用了2个小时。过去遇到这种情况要专家会诊、方案讨论等,大约需要1天时间,现在半小时就能搞定。”工程院钻井液

技术人员陈曾伟说。智能钻井系统就像石油工程人员的“超级助手”,能同时处理分析20余类钻井参数,数据延迟控制在10秒以内。同时,结合大模型技术,系统升级了学习能力,每完成一口井,它的人工智能算法就会变得更加“聪明”。

“通过智能钻井系统优化改变了决策支持模式,技术专家可以在千里之外协同工作,切实提升了效率,降低了成本。”江汉油田监督中心技术人员于泮龙说。

### 应用评价

集团公司首席专家 曾义金:

智能钻井系统的研发应用是我国石油工程数字化转型的标志性成果,支撑打造了中国石化智能化钻井示范工程。胜利油田页岩油示范区集成应用8口井,单项技术应用83口井,平均机械钻速提高17.44%以上,优质储层钻遇率100%,钻井周期缩短19.87%,助力了油气勘探开发降本增效。更难得的是,智能钻井系统结合大模型技术,逐步完善数字资产积累机制,每口井产生的数据都转化为可复用的知识财富。

## 随钻成像探测技术 将“盲钻”变为“可视钻”

□李新 蒋琳琳

### 产品介绍

随钻成像探测技术是当前随钻测控领域的前沿技术,是实现智能钻井的核心装备。随钻仪器上的声、电、核物理学成像传感器360度实时探测和采集钻头附近地层的地质参数图像,能够准确反映地层边界变化,刻画井眼形状,识别裂缝、孔腔、层理等特征,实现动态可视化引导钻头调整井眼轨迹在优质储层中穿行。

### 实践应用

7月12日,山西晋城煤层气田SX-037H1井正在施工作业。一组来自地下2000米、经过处理的数据,实时反馈到司钻台,指导司钻精准调整井眼轨迹,引导钻头在优质储层中穿行。

“通过随钻成像探测技术,利用多种原理的成像传感器随钻具旋转动态扫描井眼周边不同深度的地质参数,以图像的形式为地质专家提供关键参数,井下数据经过

处理和压缩后,经泥浆脉冲传输仪器实时传送到地面,让地下深处清晰可见,钻井不再是‘摸着石头过河’。”工程院测控装备中心负责人倪卫宁说。

对于智能钻井系统来说,随钻成像探测技术就像钻头的“眼睛”。传统的随钻测量仪器,往往只能探测几条简单的参数曲线,能够探测到地层性质变化,但无法确定该向哪个方向调整钻头。为此,工程院历经10年,围绕“两深一非”油气高效开发需求,大力研发随钻成像探测技术,形成了多种规格的近钻头伽马成像、随钻微电阻率成像、随钻超声成像、随钻电磁波电阻率和随钻方位伽马仪器等系列产品,能够在随钻工况下实时生成高分辨率并眼图像,及时准确地探测地层变化,刻画井眼形状,识别地层裂缝特征,为油气层走势判断和决策提供精准的数据支持。针对深地工程、页岩气开发等新的重大需求和挑战,又研发出超高温随钻测量、高速随钻传输和高效旋转导向仪器,形成了完整的随钻测控技术链。

随钻成像探测技术可360度旋转扫描

地层进行成像,近钻头传感器距离钻头仅0.5米,微电阻率和超声传感器分别获得井周和井眼的128度扇区图像,裂缝分辨率达4毫米,可识别毫米级的地质特征和井眼状况,大幅提升钻井效率、储层钻遇率和作业安全性。

目前,该技术已应用于100余口井,连续无故障工作时间超200小时,单趟入井最长250.5小时,在页岩油气、煤层气水平井等复杂场景完成了地质导向任务,成为复杂储层开发的核心利器,支撑了国内复杂油气藏高效开发。

### 应用评价

工程院副总工程师 张卫:

随钻成像探测技术将“盲钻”变为“可视钻”,钻井工程师可实时判断钻头是否在最优储层内穿行,提高了储层钻遇率。正在研发的前视随钻成像探测技术,将来还可以“透视”钻头前方数十米的未钻地层构造,实现钻井“路况”的提前预报,是智能钻井系统中的硬核技术。

## 分析决策技术 打造智能钻井“中控大脑”

□张洪宝 蒋琳琳

### 产品介绍

分析决策技术是智能钻井系统三大核心单元之一。钻井过程中,基于一体化云平台,结合区域邻井大数据,实时分析井下和地面采集数据,动态预测钻头前方工程地质风险,在钻井参数优化、井筒风险防控、随钻轨迹调控场景实现了L2级“咨询模式”下的智能决策,为中国石化智能钻井系统提供了“中控大脑”。

### 实践应用

6月10日,涪陵页岩气田焦页44-Z5HF井正在进行三开作业,技术人员紧盯电脑显示器,实时关注钻井参数变化,每隔一段时间拿起对讲机指导司钻调整钻井参数,顺利钻达设计井深8517米,创陆上页岩气井水平段长5442米亚洲纪录。

通过智能钻井分析决策技术,动态接入10类63种井场数据,自动关联区域已钻井大数据,依靠100多种专业模型、AI算法,智能分析数千米井下的钻具工作状态,及时提醒井下复杂情况,动态推荐最优钻井参数,将钻井施工决策从“经验驱动”转变成“数据+模型”驱动。

随着油气钻探领域向深层、非常规等复杂领域进军,传统以经验为主的决策方式难

以满足复杂地质环境和工程条件下的决策需求。随着井场数字化水平的提升、人工智能和大数据技术为代表的新一代信息技术的快速发展,“数据+模型”驱动的钻井决策为钻井工程降本增效提供了新的手段。

工程院经过十余年攻关研究,开发了智能钻井分析决策技术和配套软件,该技术基于一体化云平台实现了智能钻井三大场景智能决策:钻井参数优化、井筒风险预测、轨迹导向与控制。

钻井参数优化方面,深度融合大数据处理、人工智能、经典工程模型,采用经典计算模型与AI深度融合的钻井参数优化方法,考虑地面设备能力、井筒流动状态、钻具运动状态、岩石破碎机理等4类23种因素约束条件,以机械钻速最高、机械比能最低为目标,动态推荐最优钻井参数,钻头前方30米机械钻速预测准确率大于80%。

井筒风险预警方面,建立了地质与工程因素耦合的潜在风险量化识别预测模型,开发了自适应多AI融合算法,建立了基于时序数据趋势分析的井漏监测预警流程,实现了“漏、喷、塌、卡”等井下复杂情况的早期预警,预警准确率高于85%。

随钻地质导向方面,融合地震信息、完钻信息和随钻数据,可实时分析和预测目标地层,实现实时测量井下信息、自动地质建模、自动导航等功能,自动生成和执行控制

指令。现场应用表明,井周地层预测分辨率小于0.5米。

2021年以来,该技术累计应用150口井,平均机械钻速提高17.44%以上,优质储层钻遇率超95%,为中国石化智能钻井系统建设提供了“中控大脑”。

下一步,研发团队将面向降本增效需求和智能钻井发展趋势,攻关L3级半自主控制模式下的智能决策关键技术,为油气田增储上产提供智能保障,支撑中国石化智能钻井技术发展。”工程院副院长、项目负责人王敏生介绍。

### 应用评价

江汉油田监督技术中心经理 周忠亚:

数字化、智能化技术可以深度挖掘非常规油气大数据资源中的工业价值,在钻井风险预报、井下复杂防控和钻井提速优化方面较传统技术优势明显,在涪陵页岩气田科学钻井模式建设中发挥了重要作用。

华北油气钻井工程技术研究院钻井所所长 张辉:

应用智能钻井系统,在东胜气田J58-8H井实现二开一趟钻进尺3169米,创鄂北气田一趟钻最长进尺纪录,为鄂北气田钻井提速提效提供了支持;支持大牛地神木区带神木1HF井刷新8项工程纪录,工区首次实现30天内钻成一口深层煤层气水平井。