

技术

责任编辑:季佳欣
电 话:59963261
邮 箱:
jxj@sinopec.com
审 校:张春燕
版式设计:王 强

□杨 涵 张佳鹏

1月5日,上海海洋石油局合作区块油气勘探开发战场再传捷报:新年第一口井高效顺利完钻,测井数据精准可靠,为中深海油气藏评价提供了关键支撑。

这背后,中国石化自主研发的高温直推存储测井技术功不可没。半年前,上海海洋石油局特殊作业分公司SH-CJ101测井队在某海域首次应用该技术完成作业,目前已连续完成10口探井和开发井的测井任务,先后刷新该海域2000米水平井段裸眼测井、92度最大井斜、194摄氏度井底最高温度三项纪录,标志着国内海域高温复杂井测井技术实现关键突破,为

中深海油气勘探开发按下“加速键”。

“全井型侦察”的技术升级

高温直推存储测井技术是传统测井“地质体检”的突破性升级。这套由地面深度系统、井下仪器、井下短节和专用工具组成的系统,作业时使用过渡短节将测井仪器与钻具连接,由钻具输送至井底,在钻进过程中完成测井数据的采集,构建起适应高温高压等复杂工况的“全井型侦察系统”。一次施工即可测得下放和上提曲线,大幅提升了测井数据的可靠性和测井曲线质量。

这项技术的核心优势,藏在“直推”与

周“油”列国
油 事 精 彩

新闻会客厅

直推存储测井推动海洋复杂井筒数据精准采集

□上海海洋石油局特殊作业分公司副经理 郑北均 □经纬公司测井专家 王金茂

问题一:直推存储测井技术发展背景是什么?相比其他测井技术有什么优势?

郑北均:随着钻井技术的不断发展和各类油气藏的勘探开发,水平井、大位移井、多分支井、鱼骨井技术得到推广应用,还出现一些特殊设计的井眼轨迹,如S形、阶梯形、螺旋形井眼和套管下深仅两三百米的长裸眼大斜度井等,各种特殊井眼给测井施工带来了困难和挑战,直推存储测井技术应运而生。

直推存储测井技术可有效规避电缆测井、钻具输送电缆测井等常规技术在复杂井筒中的阻卡及井控风险难题,时效提升明显,实现高温、高压、大斜度、大位移等复杂井筒环境下地层资料优质高效采集,相比其他测井技术主要有以下四大优势:

第一,该技术完全继承了常规电缆测井测量计算方法,和传统的电缆测井有同样的测量精度,保障了地层地质测量数据的准确性和可靠性。

第二,直推存储测井技术在井下工程处理方面有着其他测井技术不可企及的优势,在测井过程中,井队可以根据工程需要随时上提下放活动钻具,完全避免卡钻之类的工程事故发生。

第三,在井控方面也有着巨大的优势,测井过程中,可以很好地监测井下溢流情况,根据井控需要随时可以加灌循环泥浆,甚至在极端条件下,可以随时进行关井等井控操作,可以避免井控失控的发生。

第四,在推广国产装备、加强国内自身技术能力储备上也有重要的意义。

王金茂:直推存储测井技术是一种无电缆测井技术,将测井仪器直接连接在钻具的底部,通过钻具输送测井仪器,在起下钻过程完成资料采集并存储于仪器内部的大容量存储单元中,作业完成后起出仪器,再通过数据接口将存储的测井数据下载到地面计算机进行数据解编、深井匹配、解释评价。

电缆测井在大斜度或水平井段,依靠重力下放无法将仪器输送到井底,在容易发生坍塌、缩径或“狗腿度”大的井眼,容易发生仪器遇阻、遇卡或工程事故。钻杆输送测井使用钻杆将电缆仪器推入井底,需要进行复杂的湿接头对接,这种方式作业效率低、耗时长,且湿接头对接成功率受井下环境影响大,电缆在井内也存在循环不畅导致的井控风险。泵出存储测井是直推存储测井的前身,通过泵压将存储式仪器从钻杆内“泵出”并释放到裸眼井段,必须有一个“释放”动作,如果释放失败将导致测井落空,一旦释放,仪器与钻杆脱离,无法进行下测,且遇到复杂井况无法通过钻具活动(如旋转、划眼)来保护仪器,容易造成仪器落井。

针对上述传统测井方式的局限性,集团公司为满足复杂井况测井需求,开展直推存储测井技术、关键技术研究和仪器研制,建立直推存储测井技术方法,研制直推存储地面系统和裸眼、固井、生产测井系列仪器及配套系列工具,形成适应复杂井况测井的直推存储测井系统。

问题二:直推存储测井技术目前的应用现状如何?是如何引进海洋石油勘探开发工程技术和服务的?

郑北均:该技术在陆地测井作业中已得到了很好的推广应用,但在中深海石油勘探开发上还是一片空白。这主要有两个重要原因:一是中深海石油勘探投资大,钻完井综合成本很高,对于施工时效、成功率要求极高;二是此前海洋钻探的探井、开发井数量有限,开发力度未全部释放,常规的测井技术尚能满足勘探开发需求。

随着勘探开发力度加大,难度不断提高,常规的测井技术已经无法满足勘探开发的需求,国外随钻测井技术面对井底高温也望而止步,海洋测井面临严峻的挑战。基于此背景,上海海洋石油局相关专家对存储测井技术进行了深入的调研,对技术实施进行反复推演,最后确定在某海域尝试推广直推存储测井,目前已经应用并完成10井次。

王金茂:针对高温高压井及复杂井况需求,经纬公司持续开展技术攻关,形成了175摄氏度/140兆帕、200摄氏度/206兆帕、230摄氏度/206兆帕三大温压级别的系列直推存储测井仪器,达到国际先进水平,是目前高温高压井施工主力装备,已经成为超深井、复杂井高效勘探开发的“助推器”。

直推存储测井技术在东部、西南、西北、东北、海域等工区累计完成1000余井次的测井施工,完成众多重点井、疑难井、复杂井施工任务,创造了石油工程公司存储测井温度最高(202摄氏度)、存储测井压力最高(184.26兆帕)、存储测井井深最深(9538.2米)、存储测井测量井段最长(6938米)、存储测井水平井段最长(3439.34米)等多项施工纪录。

高温直推存储测井技术——
中深海勘探开发再添“地质利刃”

中深海油气勘探开发按下“加速键”。

“全井型侦察”的技术升级

高温直推存储测井技术是传统测井“地质体检”的突破性升级。这套由地面深度系统、井下仪器、井下短节和专用工具组成的系统,作业时使用过渡短节将测井仪器与钻具连接,由钻具输送至井底,在钻进过程中完成测井数据的采集,构建起适应高温高压等复杂工况的“全井型侦察系统”。一次施工即可测得下放和上提曲线,大幅提升了测井数据的可靠性和测井曲线质量。

这项技术的核心优势,藏在“直推”与



上海海洋石油局特殊作业分公司测井工程师正在做仪器下井前的最终确认工作。 王晨 摄

“存储”两大创新中。

传统测井靠电缆牵引仪器自重下放至井底,如同用绳子吊着重物探底,而“直推”技术则是借助钻具的刚性与推力,像推土机般将仪器“顶”向深井底部,这种方式就像在狭窄的“地下隧道”中驾驶越野车,凭借钻具的刚性与推力,不怕井下恶劣“路况”,能稳当地把仪器送到目标深度,哪怕是那些蜿蜒、复杂的深井“小道”也能顺利通过。此外,直推测井技术的核心部件可通过耐高温材料改性与结构优化实现升级。升级后部件能适配高地层温度,无须额外降温设备即可稳定运行,在“炙烤工况”下有效避免因设备失效造成作业中断,保障作业连续性。

“存储式”设计则让仪器自带“超级存储芯片”,全程记录岩层密度、声波全系列、电阻率及井下温压等关键参数,待作业完成后随钻具回收至地面,经工程师精密解编,为油气开采与地质研究提供核心数据支撑,有效避免了因数据偏差导致的储层误判或开发决策失误。另一方面,井下工程安全性与作业灵活性领先行业。测井过程中无须固定钻具位置,井队可根据钻井工程进度、井眼稳定情况随时上下活动钻具,既能有效预防因井眼缩径、泥饼附着引发的卡钻、遇阻等工程事故,又能灵活配合井队完成井眼清洁等辅助作业,大幅提升了整体施工效率;同时,在井控安全保障上优势显著,测井期间可实时监测溢流情况,一旦发现异常能快速响应,根据井控等级需求及时加灌循环泥浆、调整钻井液性能,极端情况下可立即协同井队实施关井等应急操作,形成“监测-预警-处置”的闭环管控,全面防范井控失控风险,为海洋高压力复杂油气藏测井作业筑牢安全防线。

王金茂:尽管直推存储测井技术已经取得了较大突破,但在研发和应用中依然面临不小的挑战:

一是材料与电子元器件的瓶颈极限。在超过230摄氏度的极端高温下,如何通过特殊的保温瓶设计、耐高温材料筛选及低功耗电路设计来保证仪器在“桑拿房”里正常工作数小时,这是最大的技术壁垒。二是复杂井眼环境的工程适配挑战。大斜度、水平井、小井眼等井况需要解决仪器推靠与居中难题,对仪器结构与推靠技术提出极高要求。三是钻具输送与起下风险。需要应对刚性低、深井中易弯曲变形、井壁掉块卡钻,打捞成本高等问题。四是多仪器组合受到限制。成像、声波、中子等多参数组合时,存在通过性差、信号干扰等影响因素,如何保证测井成功率和测量精度,也是一大难点。

上述挑战,定义了当前研发与改进的前沿。该技术的推广应用不仅打破了非常规测井技术依赖国外企业的局面,更通过与国内装备制造企业的深度协同,推动了国产测井仪器、存储模块、数据传输组件等核心设备的迭代升级,加速了国产装备在海洋复杂工况下的工程验证与规模化应用。同时,技术的本土化推广过程中,积累了大量适配我国海洋油气藏特征的施工经验与技术参数,培养了一个兼具理论功底与实践能力的专业技术团队,为国内测井技术自主创新、核心技术储备及产业链完善奠定了坚实基础,助力我国海洋油气勘探开发领域实现“技术自主、装备自主、人才自主”的发展目标。

问题四:直推存储测井技术未来的发展方向是什么?有怎样的意义和前景?

郑北均:目前,该测井技术已经在某海域实现了普及,石油工程公司将以此为契机,把先进的、尖端的、更适合海洋石油勘探开发的项目带到中深海。直推存储测井实施成功,尤其在合作海域实施成功,为石化工程走向中深海树立了标杆,总结了经验,起到了很好的引领作用。

王金茂:为了适应更深、更复杂地层的勘探需求,未来的技术将朝着以下几个方向进化:

一是超高温超高压。突破“卡脖子”技术,深化230~260摄氏度超高温仪器研发,拓展9000米以上特深层应用场景以适应特深层油气勘探需求。

二是集成化与高强度。进一步缩短仪器串长度,提升抗拉抗压强度,解决盲测难题,提高应对复杂工况能力,并实现“通测一体”应用场景。

三是成像与数智功能。加速发展核磁共振、远探测、电成像等高端成像测井技术扩展,融合AI与大数据,提升解释与储层“甜点”识别精度,支撑复杂油气藏精细描述与开发。

(徐慧峰 整理)

了该海域高温复杂井测井技术空白,解决了复杂井况资料采集难题,有效支撑中深海油气藏的勘探开发。

“这项技术在陆地上已经比较成熟,但在合作区块海域还是首次应用,我们算得上是‘第一批吃螃蟹的人’”,测井专家郑北均回忆道,“为确保万无一失,我们前期做足了功课,首先在实验井上对该技术进行了严格测试,又在商业井上反复验证,最终打消了甲方对新技术的顾虑,圆满拿下这口‘魔鬼井’,取到了优质的测井资料。”

效率与安全的双重突破

相较于传统测井技术,高温直推存储测井技术实现效率与安全的双重飞跃。时效方面,无须使用测井绞车等地面装备,只需一趟钻具配接所有测井项目所需仪器,一次性完成所有测井项目,单次作业可集成多项测井参数,避免了传统电缆测井多次起下的烦琐工序,在井斜超30度的复杂井况中,作业效率提升超35%;安全方面,仪器采用高强度耐温耐压设计,抗拉抗压性能优异,可适应150~230摄氏度高温、8000米以上超深井环境,同时摒弃电缆传输,有效规避了电缆损伤、对接不良等风险,在井涌、井漏等复杂井控场景中响应更迅速,实现了本质安全。

截至目前,该技术已在海上多口高温复杂井中成功应用,采集地层的中子、密度、声波全波列、电阻率等数据精准可靠,为储层评价和油气开发方案优化提供了重要数据支撑。

一支高素质人才队伍是该技术成功应用的基础。近年来,特殊作业分公司面对勘探开发的技术难点痛点,锁定业务多元化发展与高端工程技术服务转型目标,坚持敢为人先、攻坚克难,探寻破题的新思路。新技术和新方法,对钻头存储测井、泵出式存储测井、直推存储测井等多项技术开展专项调研,从可行性、安全性、可靠性及资料准确性等维度进行全面论证,结合合作区块海域现场条件,开展高温直推存储测井新技术尝试。

作业人员将测井仪器置入数千米深的钻井通道,如同医学上的内窥镜,可直接获取地层岩性、油气水层分布、储层产能等“健康指标”,是解锁油气资源的“金钥匙”。

近年来,随着中国石化油气勘探开发向深层、超深层迈进,大位移井、水平井作业数量持续上升。以上海海洋石油局为例,当前海域作业井深已突破8000米大关,井底最高温度近200摄氏度,传统测井技术难以适配复杂井眼轨迹,与极端温度区,精准勘探遭遇瓶颈。

作为中国石化从事中深海井筒服务的专业队伍,特殊作业分公司面对勘探开发的技术难点痛点,锁定业务多元化发展与高端工程技术服务转型目标,坚持敢为人先、攻坚克难,探寻破题的新思路。新技术和新方法,对钻头存储测井、泵出式存储测井、直推存储测井等多项技术开展专项调研,从可行性、安全性、可靠性及资料准确性等维度进行全面论证,结合合作区块海域现场条件,开展高温直推存储测井新技术尝试。

2025年“五一”期间,他们就遭遇了一场硬仗:一口井深达6239米,预测地层温度高达201.8摄氏度。更为棘手的是,该井井身结构复杂,存在煤层发育和大小井眼台阶,属于典型的大斜度超高温井,传统电缆测井极易遇阻遇卡,随钻测井工具耐温指标很难达到要求,稍有不慎便前功尽弃。

经组织专家多方论证,最终决定采用高温直推存储测井技术,首次应用便创下该海域194摄氏度的测井温度纪录,填补



上海海洋石油局勘探八号钻井平台进行直推存储测井作业。 陈炳超 摄

专家视点

海域高温直推存储测井具有里程碑式意义

□合作区块公司岗位经理 刘英辉

与开发投入失败概率。

高温直推存储测井技术在某海域的成功落地,一举攻克了该海域复杂井身结构、水平井等特殊井型的地层资料采集难题,突破了井底高温环境对数据采集的限制,更终结了该类井型测井资料采集完全依赖国外随钻测井技术的历史。

该技术迅速在开发评价井中推广应用,始终保持高作业效率。凭借其采集的高精度测井资料,能够精准识别目的层物性特征,精确计算孔隙饱和参数,为油气开发方案优化提供了核心数据保障。尤其在多分支井开发场景中,成效更为显著:基于该技术获取的测井数据,可精准核算目的层油气储量与产能,直接指导下一分支钻井计划的调整,实现“有的放矢”的科学开发,大幅降低了分支井布井“甜点”落空风险。

在钻完井工程安全层面,该技术展现出不可替代的优势。面对存在溢流风险的井,测井团队可与钻井团队紧密配合,实时监测泥浆液面及井下溢流动态,根据现场情况灵活开展钻具上下活动、泥浆加重、补充及循环等井控处理措施,在顺利完成测井资料采集的同时,全面保障了井下工程安全。

该技术的成熟应用,不仅为中深海油气勘探开发提供了坚实的工程技术支撑,为开发方案优化提供了精准数据依据,为井下作业安全提供了可靠保障,更彻底改变了我国中深海水平井、大位移井资料依赖国外技术的被动局面,在推广国产设备、培育自主工程技术体系、提升我国海洋石油工业核心竞争力等方面,均具有深远而重大的意义。