

技术

中国石化高温高压测井技术实现国内领先

责任编辑:李佳欣
电话:59963261
邮箱:
jijx@sinopec.com
审校:张春燕
版式设计:王强

□赵春国 渠玉兵 丁静 邵云丽 任燕敏 高佳慧 文/图

近日,由经纬公司负责施工的中原油田东濮探区重点风险探井海通1井测井顺利结束,该井实钻并深5618米,井底温度193摄氏度。面对区块最深、温压条件最复杂等不利形势,经纬公司自主研发的国内首套260摄氏度超高温高压测井仪器凭借卓越的耐温耐压性能和精准的数据采集能力,成功获取了关键地层资料,为后续勘探部署提供了可靠依据。

今年9月,经纬公司260摄氏度超高温高压测井仪器入选国家能源局评定的能源领域首台(套)重大技术装备。紧接着,“经纬视界”超高温高压测井系列仪器通过集团公司科技部鉴定,整体达到国内领先水平。“突破特深层油气是保障国家能源安全的重要接替领域,我们面对技术难关‘十年磨一剑’,打破了长期依赖进口的局面,实现了超高温高压测井装备全场景应用。”项目负责人、经纬公司测井工程高级专家臧德福说。



经纬公司胜利测井公司员工正在做超高温高压测井施工前准备。

测井一次成功率98%,成为胜利济阳页岩油国家级示范区指定测井仪器。

针对中国石化“深地工程”超深井、超高温高压井及复杂井况逐年增多,研制了200摄氏度/206兆帕超高温高压直推存储式测井仪器系列,包含四参数、遥测、伽马、连斜、井径、双侧向、声波、补偿中子、岩性密度等,实现不同钻井液条件下资料采集和精细评价。2021年以来累计应用290余井次,承担了绝大部分超深井施工。

针对超深井小井眼测井,团队研制成功230摄氏度/172兆帕超高温高压小直径电缆测井仪器,包含三参数、遥测、伽马、连斜、井径、声波等,满足超深井小井眼常规测井资料采集需求,实现“一趟快测”,在四川、青海、新疆等区块应用,顺利完成元坝7井、GR1井等重点井施工,为超深井油气、地热资源等领域勘探开发提供技术支撑。

最令人兴奋的是,针对中国石化“深地工程”超万米深井部署,经纬公司超前谋划,取得远程测控成像测井系统、超高温高压高效绝热及承压密封技术、双侧向可控功率发射技术、数字声波发射测井补偿等创新成果,研制成功国内首套260摄氏度/206兆帕超高温高压测井仪器,温度压力指标国内最高,解决了我国特深层超高温高压数据收集难题。截至目前已完成18口超深井应用,刷新多项施工纪录。

最让人兴奋的是,针对中国石化“深地工程”超万米深井部署,经纬公司超前谋划,取得远程测控成像测井系统、超高温高压高效绝热及承压密封技术、双侧向可控功率发射技术、数字声波发射测井补偿等创新成果,研制成功国内首套260摄氏度/206兆帕超高温高压测井仪器,温度压力指标国内最高,解决了我国特深层超高温高压数据收集难题。截至目前已完成18口超深井应用,刷新多项施工纪录。

提质增效,“经纬视界”仪器系列实现全场景应用

去年4月,胜利油田西部油气勘探项目部北疆工区征深101井井场,经纬公司测井操作工程师紧盯屏幕上不断刷新的测井曲线,260摄氏度超高温高压测井仪器稳定传输来自准噶尔盆地地下8962米深处的地层信息,该井再次刷新了新疆准噶尔盆地测井最深纪录。

“两年前,这样的超深井测井,我们还必须依靠进口设备,光等待调试就要半个月。”自研高端测井仪器终于不再受制于人,现场所有人自豪感满满。

“超高温高压系列测井仪器助力深层超深井测井施工的时效总体提升近25%,深受用户企业认可。”胜利测井公司经理郭同政说。

2024年10月,经纬公司发布“经纬视界”超高温高压直推存储式测井仪器、超高温小直径测井仪器等新技术,受到各方高度评价。

“经纬视界”超高温高压测井系列技术在“深地工程”、非常规页岩油气等方面发挥着越来越重要的作用。截至目前,“经纬视界”系列超高温高压测井仪器已连续攻克8000米以上超深井近50井次、175摄氏度以上高温井34口、150兆帕以上高压井16井次,助力“深地工程”测井资料采集率提高22%,优质高效完成多口重点探井资料采集任务。

其中,在井深9432.55米的新疆YJ3-3XC井施工中,技术人员使用超高温高压测井仪器,克服超高温、地层复杂、超大位移等施工难题,创中国石化超深大于7100米井水平位移最长施工纪录、亚洲陆上水平井测井最深纪录。

“截至目前,测井仪器从175摄氏度、200摄氏度、230摄氏度到260摄氏度,已形成210种仪器及工具的全系列产品矩阵,施工覆盖陆地各工区、海上全场景,自主可控率达99.3%。累计现场应用1000余井次,超深井作业成功率98%,为东部老区挖潜、西部深层勘探以及海上油气开发等注入坚实动力。”臧德福说。

展望未来,“经纬视界”超高温高压测井系列仪器的创新探索之路仍在继续,团队正瞄准超高温高压成像类高端仪器继续攻关。同时,针对新能源领域的地热勘探、盐湖锂矿开发等,研发专用测井装备,推动超高温高压测井技术应用于更多领域。

超高温高压测井技术从“单项突破”到“系统集成”

□石油工程技术研究院测控技术及装备研发中心副经理 李永杰

在能源安全战略持续推进的背景下,我国油气勘探开发正加速向超深特深层进军,8000米以上特深井、万米级探井不断涌现,随之而来的是230摄氏度以上、200兆帕以上的超高温高压环境,超高温高压测井技术的性能直接决定了油气资源评价的精准度与开发效率,其发展水平已成为衡量国家油气勘探开发实力的核心指标之一。

在超高温、高压环境下,常规耐温耐压测井仪器易出现信号失真、密封失效,导致测不成、精度低,急需耐温耐压性能更强的装备,但超高温测井技术的研发面临材料、工艺、算法、系统集成等多重挑战。在材料领域,半导体芯片、传感器、密封材料等核心部件需要同时满足耐高温、耐高压、抗腐蚀、信号低衰减等多重要求;工艺方面,需满足仪器小型化和高强度的平衡,大规模集成电路模块在小型化布局设计的同时要解决发热、散热和模块间信号干扰的难题,承压结构设计需要优化材料选择和精准结构仿真以匹配高温力学性能需求;算法方面,高温环境会导致电子元件漂移,高压条件会使井下测量环境复杂,易导致数据出现偏差,需要建立超高温高压校准技术实现不同测井方法的井眼环境校正,以提高采集资料的精准性;系统集成方面,需采用完善的高温高压环境的可靠性验证及复杂工况下的仪器参数适配调整,构建超高温高压测试环境和大量的工程实践需要高昂的经费和较长的研发周期,任重道远。

国际上,斯伦贝谢、哈里伯顿、贝克休斯三大油服公司,引领了国际测井技术的发展,常规测井系列实现260摄氏

度/206兆帕,二维成像、三维成像仪器实现175摄氏度/138兆帕,但有的只提供服务和价格高,有的高温小直径仪器售价昂贵且配件供应周期长。当前,我国国产化超高温测井装备实现规模化突破,超高温测井仪器系列日趋完善,260摄氏度/206兆帕常规测井满贯系列、235摄氏度/175兆帕常规测井满贯系列、200摄氏度/206兆帕直推存储式测井满贯系列、205摄氏度/140兆帕二维成像测井系列等均实现了规模化应用,成功应用于我国数百口超8000米特深井,实现了从“单项突破”到“系统集成”的跨越。

下一步,为了支撑万米级深地勘探,同时赋能干热岩开发、CCUS监测等新兴领域,超高温测井仪器将向耐超高温、智能化、集成化模块化方向发展,做到能用、好用,成为油气藏精准评价的“智能终端”。首先是超高温仪器逐步实现系列化,声电成像、阵列侧向、声波远探测等成像测井方法实现耐温260摄氏度,伽马、电阻率、井径、声波等常规测井方法260摄氏度仪器系列日益成熟,并向耐温极限300摄氏度突破,满足极限条件的测井资料采集。其次是超高温测井仪器逐步实现智能化,实现模块化AI插件与硬件单元的协同,机器学习和大模型逐步应用于传感器、芯片等运行的智能监测与控制,高温下的测井信号畸变的实时校正,从而提高信号采集精度。最后是超高温测井仪器实现集成化模块化,通过系统设计电路、传感器、仪器结构等提高仪器集成度,降低组合仪器的长度,以满足复杂井身结构的需求。同时,为了促进我国超高温测井仪器的研发,需要建设“材料研发—芯片设计制造—系统设计—测试服务”全链条体系,做到核心技术自主可控和产学研用的深度融合。

突破重重难关 打造新一代高温高效测井成套装备

□经纬公司测井工程高级专家 臧德福

近年来,随着中国石化油气高质量勘探开发的推进,研制耐超高温、耐高压、高时效、高精度的国产化超高温高压测井成套装备的必要性逐渐凸显,但研发过程中面临重重难关:一是超高温高压测井面临高效绝热、低功耗运行、耐高温承压密封等技术鸿沟;二是小直径测量面临传感器小型化、等效测量、小空间发射源仓设计等技术挑战;三是多项目并行一趟快测面临抗干扰、集成设计、兼容性等技术难题;四是地面系统升级换代面临长电缆高速数据传输、网络架构、远程测控、系统扩展等技术瓶颈。

创新之路艰苦漫长,研制超高温高压测井成套装备是一个大系统,我们遵循循序渐进原则,把大系统细分为一个个子系统,每一步都稳中求进。比如研制超高温高压测井仪,里面就包含耐超高温承压密封技术、感应测井温漂补偿方法、岩性密度双源自动测谱方法、双侧向可控功率发射技术等多项技术创新。为解决超高温高压环境承压密封问题,我们创新集成热管定向导热方法,研制新型绝热瓶,实现仪器耐温260摄氏度,创新多级密封承压工艺,实现仪器超高温耐温206兆帕。

新一代超高温高压测井成套装备具有完全自主知识产权。截至目前,我们共申报发明专利104件,已授权21件,软件著作权8项,发表论文66篇。经过集团公司科技部组织的专家委员会鉴定,超高温高压测井技术整体达到国内领先水平,网络成像测井系统达到国际先

进水平,其中高速数据传输达到国际领先水平。

新一代超高温高压测井成套装备是超高温高压测井技术的深度集成,带动超高温元器件、承压密封件、芯片封装、精密加工、软件开发、实验室配套、装备更新换代等一大批前后端产业优化升级,同步达到新的高度。

作为国内自研耐温最高的测井装备,新一代超高温高压测井成套装备为东部老区、西部深层油气回数据收集提供了一揽子解决方案,助力“四提一降”,为油气勘探开发稳产增产提供了可靠的技术保障。260摄氏度超高温高压测井仪在东部、西北等工区推广应用,支撑万米特深井数据收集,刷新了准噶尔盆地测井的最深纪录。230摄氏度小直径测井仪在胜利、新疆、四川、青海等工区超高温高压超深井测井,助力深部油气和非油领域勘探,创造了干热岩测井温度最高纪录。满贯一趟快测技术大幅提高了测井时效,在老井挖潜和新井勘探开发方面取得了良好应用效果,有力支撑了东部老区“四提”,累计节约占井时间1800天。

更令人欣喜的是,该技术实现新一代超高温高压测井成套装备产业化,累计制造104套,成功销往乌兹别克斯坦。260摄氏度超高温高压测井仪器入选国家能源局评定的能源领域首台(套)重大技术装备,打破国外超高温测井技术垄断,摆脱了超高温测井装备依赖进口、受制于人的窘境。

迎难而上,攻克“卡脖子”难题

今年8月底,经纬公司超高温高压测井出口至乌兹别克斯坦,这是经纬公司成立后首次出口成套测井装备。

测井是石油勘探开发必不可少的重要环节,是找油找气的关键工程技术,被誉为油气勘探开发的“眼睛”。

回溯到2013年,当时国内测井行业缺少自己的高质量仪器,主力装备多是上世纪90年代引进的老旧型号,进口新仪器或配件不仅价格昂贵,而且时间周期受外方控制,严重影响施工效率。经纬公司胜利测井公司迎难而上,臧德福、李海、丁世村等专家组成项目团队,锚定国际先进水平开展专项攻关,自主研发新的测井仪器。

对于测井仪器而言,温度、压力是横亘在团队成员面前最大的难关。特别是随着我国油气勘探开发重点向“两深一非(深地、深水、非常规页岩油气)”挺进,地质结构更加复杂,越来越多的油气井并深超过6000米、8000米,甚至万米,超高温高压难以避免。

“一深万难,井下温度每升高1摄氏度,仪器配件的耐受能力、变形程度及功能等都会发生变化,加之井眼轨迹波动大、井况差,多种因素使得超高温高压测井仪器研发迫在眉睫。”经纬公司测井工程专家丁世村感慨。

团队成员孙锋记得,为了满足对测井仪器地面系统传输速率和稳定性精益求精的要求,无数个深夜,他不停地绞尽脑汁,把刚写好的软件代码又删除修改;为了让新仪器缩短总长度实现一趟快测的极致目标,大家反复讨论、集思广益,在一个短节上集成更多的功能,好在长度固定的前提下安装更多的电子元器件;为了提升仪器绝热性能、实验新的隔热工艺,首席技师李海查阅众多资料,像神农尝百草一样,从数不清的金属和非金属配件里,寻找符合超高温要求的最佳排列组合。

研发过程中为了测试仪器的耐温耐压能力,胜利测井公司专门建立了中国石化重点实验室——国内温度、压力指标最高的高温高压实验室。该实验室温度压力指标260摄氏度/210兆帕,可仿真模拟地层超高温高压环境、检测测井仪器耐超高温高压性能,满足超高温高压仪器研发、测试,兼顾随钻测井仪器测试需求,整体技术指标达到国内领先水平。

2021年,经纬公司挂牌成立后,把研发力量集中到地质测控技术研究院成立测井技术中心,超高温高压测井仪器研发驶入了快车道。研发团队依托超高温高压实验室,累计开展室内和现场试验1000余次,连续

攻克30余个技术难题,取得高强度及承压密封、高温采集及低功耗、井下自动稳谱及首波识别等12项创新成果。

有志者,事竟成。团队历时8年,自主研发并精心打造出MVLLog测井系统平台,形成175摄氏度、200摄氏度等系列测井技术,较好缓解了井下超高温高压矛盾。

迭代提升,量身定制超高温高压仪器

3年后的今天,尽管带队啃下了数不清的“硬骨头”,但团队成员、经纬公司测井工程专家王金茂回忆超高温高压测井施工温度最高纪录——2012摄氏度。

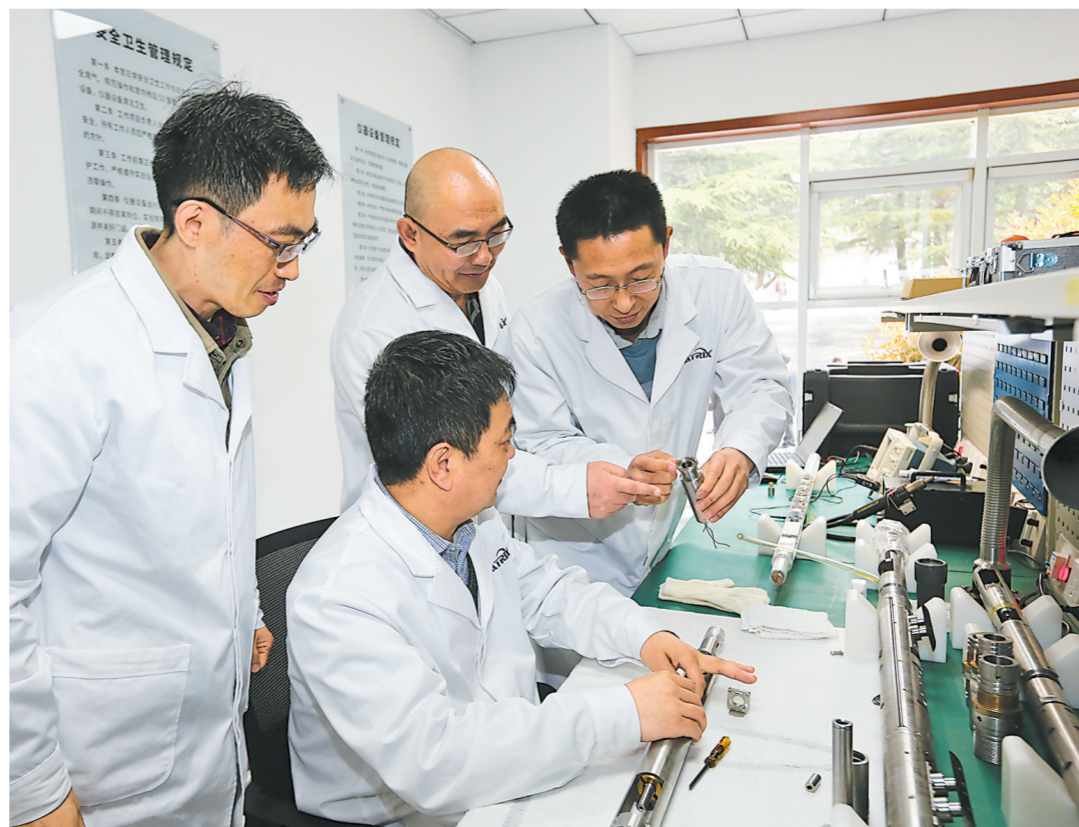
渤海斜10井深6340米,最大井斜62度,水平位移2900米,测量井段长1628米,是典型的超深超高温大斜度井。该井最大施工难度在于井温很高,对于下井仪器长时间稳定性工作挑战巨大,当时国内大多数测井仪器只能在175摄氏度以下工作2小时左右,临近200摄氏度则会停止工作。胜利测井公司使用超高温测井仪器,在井下经受住了长时间200摄氏度以上高温考验,一次成功完成了所有数据采集。

2022年9月,胜利测井公司再次圆满完成集团公司重点探井——四川盆地元深1井的四开中完测井施工,完钻井深8680米,创当时中国石化测井最高压力纪录。

“随着超高温高压测井仪器一次次现场应用成功,也为我们继续聚焦深地、特深层及复杂油气井,研发市场满意的测井仪器坚定了信心。”经纬公司地质测控技术研究院院长席力说。

“施工需要什么,我们就研制什么。”超高温高压测井系列仪器是一个系统工程。经纬公司领导带头走访市场,广泛听取胜利油田、西北油田、西南油气、江汉油田等企业意见建议,结合各工区地质条件和油气藏实际情况,坚持走好技术突破、现场应用、反馈改进的迭代提升之路,实现了“从无到有、从有到优”的量身定制。

针对页岩油气长水平段、超高温高压测井资料采集需求,研制175摄氏度/140兆帕超高温测井仪器,包含三参数、遥测、伽马、连斜、井径、双侧向、声波、补偿中子、岩性密度、伽马能谱、阵列感应、阵列声波等,实现了钻井过程中完成资料采集,单井为钻井队节约1~2趟通井。2021年以来累计应用300余口井,



▲经纬公司地质测控技术研究院测井技术中心科研人员正在论证仪器技术方案。

▶“经纬视界”MVLLog2.0网络成像测井系统。



经纬公司胜利测井公司员工正在进行超高温高压测井仪器入井作业。

