



中石化攻克钻井“卡脖子”难题,打破国外技术垄断

20年攻关,实现钻井“巡航制导”

如何把石油钻井的井斜精度控制到0.1度之内,确保钻头在一米厚的油层中完成作业?中石化胜利石油工程公司经过20年攻关,打破了国外技术垄断,于2019年12月19日实验成功:连续工作141小时,进尺857米,最大造斜率每30米6.6度,顺利完成第4次现场试验。

钻井技术知名专家刘汝山认为,这组数据标志着中国石化成功解决了钻井的“卡脖子”技术难题,将为油气田勘探开发提质提速提产提效、用适度技术保障稳油增气降本增添重量级砝码。

胜利石油工程公司机械专家在检修旋转导向单元。
通讯员 张玉 摄



本报记者 邵芳
通讯员 李泰豫 郭卉
张玉 张晓林

自主研发成必然之选

油气田开发需要在地下油气储层中用最小成本和最快速度完成钻井,许多石油企业都优先选择能够在油气储层中穿行的水平井钻井技术,这就要求钻头能够在地层深处按照设计好的轨道钻进,直至命中目标“靶点”。

旋转导向系统满足了这种要求,它能够实时控制井下钻进方向的工具,从而高效精准的实现一趟钻贯穿目标地层。早在上世纪90年代初,少数几家国际知名油服公司就研制出旋转导向工具,而国内许多石油工程专家对它的了解程度几乎是“零”。

胜利石油工程公司副总经理韩来聚等人第一次接触旋转导向工具与随钻测量仪,是因为开发复杂油气藏的需要,特别是打水平井能增加渗油面积、大幅提高产量。

由于国内技术达不到,他们不得不面对“日费五六万美元,只租不卖,禁止参观”的要求,聘请国外油服公司出马。“不搞自主研发,就永远无法摆脱‘卡脖子’的困境!”在韩来聚看来,自主研发旋转导向工具,成为必然之选。

作为当时国内石油钻探领域最大的钻井研究院所,胜利钻井院将目光瞄准了当时最先进的“动态推靠式”旋转导向工具。1999年,钻井院与西安石油大学联合立项,旋转导向技术前瞻性研究被列入“国家863计划”,迈出旋转导向工具研发的第一步。经过五年的攻关,虽然研究出原理样机,却未达到现

场应用水平。

2005年,他们又开始与美国一家公司合作研制“动态推靠式”旋转导向系统工程样机,并验证了其功能性。但由于该样机在动态测量精度等方面还存在难以突破的技术瓶颈,影响了产业化应用。

随着研究的深入,研发团队意识到,旋转导向系统是典型的集机、电、液、测、控等多学科的复杂系统,不仅需要各类传感器测量姿态参数,各类软件处理参数并进行控制,还需要足够的机械强度抵抗井下施工时的高温高压和震动冲击,对材料的性能、机械加工精度及可靠性也提出了更高的要求。这意味着必须大量吸收数学、机械、液压、通讯、微电子技术等学科的专业人才加入研发团队。

此时,距离1999年立项已经过去十年,信号上传、大功率电源、中控平台、载波通信等技术逐步攻克,但液压控制、动态测量精度等核心技术难题仍未破解,而国外油服公司的静态推靠式、动态推靠式、复合式等旋转导向技术日趋完善,中国石油、中国海油等国内多家企业也开始涉足旋转导向工具研发。

面对来自国内外的双重压力,2013年,时任钻井院院长的韩来聚做出一个大胆的决定——改变攻关方向,充分利用多年研究积累的技术基础,由“动态推靠式”改为技术实现可行性更高的“静态推靠式”旋转导向工具。

那一年,中国石化将旗下石油工程业务整合重组,成立了中石化石油工程公司,胜利石油工程公司随之成立,旋转导向系统工具研发也成为了石油工程公司高层关注的焦点。

哪怕是“火焰山”也要迈过去

2014年,国际油价断崖式下跌,油服行业量价齐跌,石油工程公司进入市场“寒冬”。即便如此,石油工程公司以及胜利石油工程公司依然投入人力、物力、财力,通过子项目立项等方式拨发研究经费,确保旋转导向研究持续进行。

2015年5月4日,中海油服宣布由其自主研发的旋转导向系统在渤海之滨完成钻井作业。这个消息像一颗重磅炸弹,让韩来聚等人倍感压力大增。此时,巴山深处,如火如荼的涪陵页岩气勘探开发更让韩来聚等人坐立难安:由于页岩气勘探开发需要1000米以上的长水平段钻井,且地质条件复杂,地层横向变化大,常规钻井技术工具不仅效率低、难度大,而且控制并眼轨迹的效果不尽人意,需借助于旋转导向工具。唯有向外国公司求助,哪怕每天高达20多万元的服务费用也只能被迫接受。

为加快推进旋转导向工具研发,胜利石油工程公司整合内部科技资源,抽调钻井工艺研究院、测井公司及钻井工程技术公司相关研发人员,成立了随钻测控中心,以研发并筒随钻测控技术为目标,瞄准前沿技术,开启了迈向自主创新的高端化、国际化道路。

为缩短研发周期,快速提升高端装备研发水平和技术成果转化能力,胜利工程与国外公司开展技术合作,并逐步完成了SINOMACS随钻测控平台的升级,实现了结构优化、电气连接、测量系统精确控制,井下数据通讯可靠传输,以及实时高效的井下与地面系统的双向通讯,最终形成SINOMACS

ATS III型旋转导向系统。

2019年3月27日,SINOMACS ATS III型旋转导向系统下井试验。在胜利油区营6-更斜51井,技术人员通过地面系统下传控制指令,成功控制井下工具完成轨迹调整动作,旋转导向工具累计工作时间114小时,进尺927米,轨迹控制精度高,实钻轨迹与设计轨迹吻合,获得了甲方的高度认可。

攻克最核心的技术

虽然现场试验成功了,但科研人员并不满足,因为最核心的技术他们还没有攻克。面对新起点,科研人员又开始攻关旋转导向最核心部件——导向头。

据了解,旋转导向头是旋转导向系统的核心单元,是集测量、控制、信号传输和能量传输技术与一体的复杂系统。导向头上的各类传感器实时采集重力加速度、电压、电流与转速等信号,通过软件算法的处理,完成对液压系统中的电机、泵、阀等部件的精确控制,再通过非接触能量传输模块传输无线信号。

为了搞明白它的工作原理,科研人员加强对机械、电子和软件等模块进行组装调试、模拟验证,并经过200多次实验,于2018年12月,自主研发出第一台静态推靠式旋转导向系统样机——SINOMACS ATS I型旋转导向系统。

2019年1月16日,在众人期待中,样机徐徐入井。下井工作后,一组信号很快传回地面,当大家还在屏气凝神注视屏幕时,项目负责人李闪意识到试验失败,“当时只有我知道,正常的信号只传输了1分钟,再往后的都是错误信号。”

样机被拉回实验室,拆解分析后得知,不只是电路系统,液压单元、能量传输系统都出

了故障。这次,李闪他们重新设计电路系统,结合SINOMACS ATS III型旋转导向系统的技术指标,对标追标,力求达到或者超越III型的功能。

2019年10月29日晚11时许,第二次现场试验开始进行。这次,信号稳稳地传输了半个小时,当大家几乎以为快要成功时,旋转导向工具又“罢工”了。

即便又失败了,但李闪心里清楚,他们距离成功只有一步之遥!通过这次试验证明,技术路线是对的,只需要再提高设备的可靠性即可。在接下来的一个多月里,李闪和同事们着手在提高设备的稳定性上下功夫:导向头单元的近20个电路板、上百根控制电线,全部通过手工焊接完成,通过反复检验确保所有线路在井下的高温、高频振动的环境下不松不脱、稳定工作。

一个月后,第三次现场试验在胜利油区1-2-斜596井进行,工作52小时,钻进347米,累计工作时间52小时,造斜率达到每30米4.2度,地面监控、双向通讯、随钻测量和井下导向控制四大模块均达到理想效果。

“再试一口井!”韩来聚组织在埕913-斜80井进行试验,并于12月19日凌晨顺利完钻,这标志着中国石化自主研发的旋转导向工具具备了工业应用的条件。

近日,中国石化印发《关于表彰2019年中国石油化工集团有限公司优秀创新团队的决定》,对20支优秀创新团队进行表彰,胜利石油工程公司随钻测控技术创新团队位列其中。

据统计,近三年来,胜利随钻测控技术创新团队共承担国家、集团公司等科研课题35项,先后荣获局级以上奖励6项,申请专利51件,已授权专利31件,起草行业标准1项,中石化企业标准1项。