

# “经纬领航”旋导系统：在极复杂地层为钻井精准领航



技术引领市场 10

旋转地质导向钻井系统可在旋转钻进过程中测量地层数据并实时调整井眼轨迹,有效提高钻井速度和井眼轨迹控制精度。就像游戏中的贪吃蛇,可解决石油勘探开发中的核心问题,“瞄着油层打”。

本版聚焦经纬公司自主研发的“经纬领航”旋转地质导向钻井系统的突破与应用,展示从超深层钻井到海上作业、从复杂气藏钻探到难动用储量开发,旋导系统在西北、胜利、西南等油气田的实践成果,展现自主创新技术助力我国油气开发提质增产、降本增效的生动实践。

□赵春国 渠玉兵 郑志成 邵云丽

盛夏酷暑,新疆顺北油气田骄阳似火,沙漠里地表温度已超过60摄氏度,旋导作业施工现场,经纬公司地质测控技术研究院旋导工程师闫良好和安路正在仔细推敲增斜优化细节。

前不久,正是在顺北“深地一号”沙漠腹地,经纬公司自主研发的“经纬领航”旋转地质导向钻井系统创造了我国自主旋导作业垂深最深(7521.15米)、造斜点最深(7350米)等多项纪录,成为我国旋导工具在顺北油气田超深层成功应用的首个实例。

## 打通堵点 技术突破催生科学提速

去年至今,“经纬领航”旋转地质导向钻井系统研发人员全面梳理旋导作业现场施工难点堵点,通过方法研究支撑结构优化、电路研制与软件开发,实现了“经纬领航”旋导系统造斜能力升级、结构强度提升、振动检测模块研制与寿命跟踪软件开发,并成功升级脱压算法与“三不停钻”技术,有效破解过去旋导工具超限振动、测斜、下传指令、调试信号等导致停钻或降低参数等难题,突破了钻井时效偏低的瓶颈,单井纯钻时间占比从40%提高到60%。

“一深万难。在地层极端复杂、信号衰减严重的超深层攀高逐新,对‘经纬领航’是极其严峻的考验。”经纬公司高级专家、旋导项目技术负责人肖红兵坦言。

真金不怕火炼。经纬公司旋导作业团队迎难而上,开发出区块专属“黄金指令集”,针对新疆顺北地区20余种地层工况建立钻井参数优化数据库,通过多参数(钻压、扭矩等)、多目标(井斜、方位等)协同算法,实现“毫厘之间”的钻井参数动态优化,并身轨迹控制的精度误差小于1度/30米,连续拿下双百成绩(中靶率100%、储层钻遇率100%),实现“打得准”。为保证钻进质量,经纬公司与石化机械江钻公司联合攻关,定制深地工程旋导专用国产钻头,配合“提速+减震”钻具组合,实现“打得快”。

旋导系统是一个集电子信息、自动控制、机械液压、力学材料和地质测量等多学

科多专业于一体的复杂智能测控系统,工作环境不同,对工艺设备的要求也各有侧重。在胜利油田页岩油重点区块,旋导作业团队通过分析邻井地质资料,明确不同伽马值地层对机械钻速的影响,优选地质-工程“甜点”;舍弃无磁承压钻杆,提升钻具组合刚性和马达扭矩传递效率,创新应用4D异形齿钻头,促使平均机械钻速提升50%。

今年6月5日,在胜利东部难动用区块重点井组,经纬公司旋导作业团队开展“科研+技术+维保”联合攻关,采取激光复焊工艺加厚工具肋板增强支撑能力、在大井径区域提前调整轨迹解决软地层造斜率不足、优化工具结构延长使用寿命等一系列创新措施,收效显著。

## 关口前移 工具仪器质量管控提档升级

工欲善其事,必先利其器。技术人员结合“经纬领航”旋导仪器在各工区施工实际情况,推行工具仪器全生命周期质量管控提档升级,全力打造胜利、西南、西北三大旋导修造维保基地,将仪器修造维保关口前移,坚持对所有旋导工具严格分级管理,出厂前逐一进行不少于2小时的水力循环测试,其中高温工具的高温振动测试不少于3小时。

此外,技术人员利用AI和大数据,深度分析施工数据和维保记录,不断优化维保策略、备件库存管理和预防性维护计划,建立并完善了覆盖工具接收、检测、维修、测试全流程的精细化、标准化维保规程和管理制度。工具出库合格率达88%提升到100%,维保周期同比缩短25%。

“旋导施工每深一米,对工具仪器的要求就更高一分。”旋导专家陈威说。顺北超深层井多,由于地质结构复杂,被视为“旋导施工禁区”。在新疆顺北工区,经纬公司借鉴军工标准,专门启动“深地特勤”保障机制,创新实施“工具健康云档案”,对15项核心参数进行动态评级,每套旋导工具出厂前严格进行5小时以上高温振动测试,有效保障工具“零缺陷”。

研发团队主力成员李伟清晰记得,去年10月,针对175摄氏度高温旋导系统产品研发,他们三班倒,先开展400小时

165摄氏度连续高温测试,然后进行140小时175摄氏度连续高温测试,最后是“常温-175摄氏度-常温”高低温循环测试。一场场标准严苛的电路产品质量可靠性测试,犹如在高温熔炉中进行的数据长征,为仪器在极端环境下的稳定运行提供保障。

有了金刚钻,揽得瓷器活儿。从今年5月开始,旋导作业单日施工井数连续突破20口,创出新高。

## 管理优化 智慧协同提升施工时效

今年5月底,在焦页165-4HF井旋导施工中,面对邻井资料空白、地层产状剧烈变化、靶点预测困难等挑战,经纬公司利用远程技术支持,将旋导技术、地质导向技术

与随钻测井(LWD)工具优势互补,在后期井震误差大的极端情况下,实现了优质储层穿行率100%。

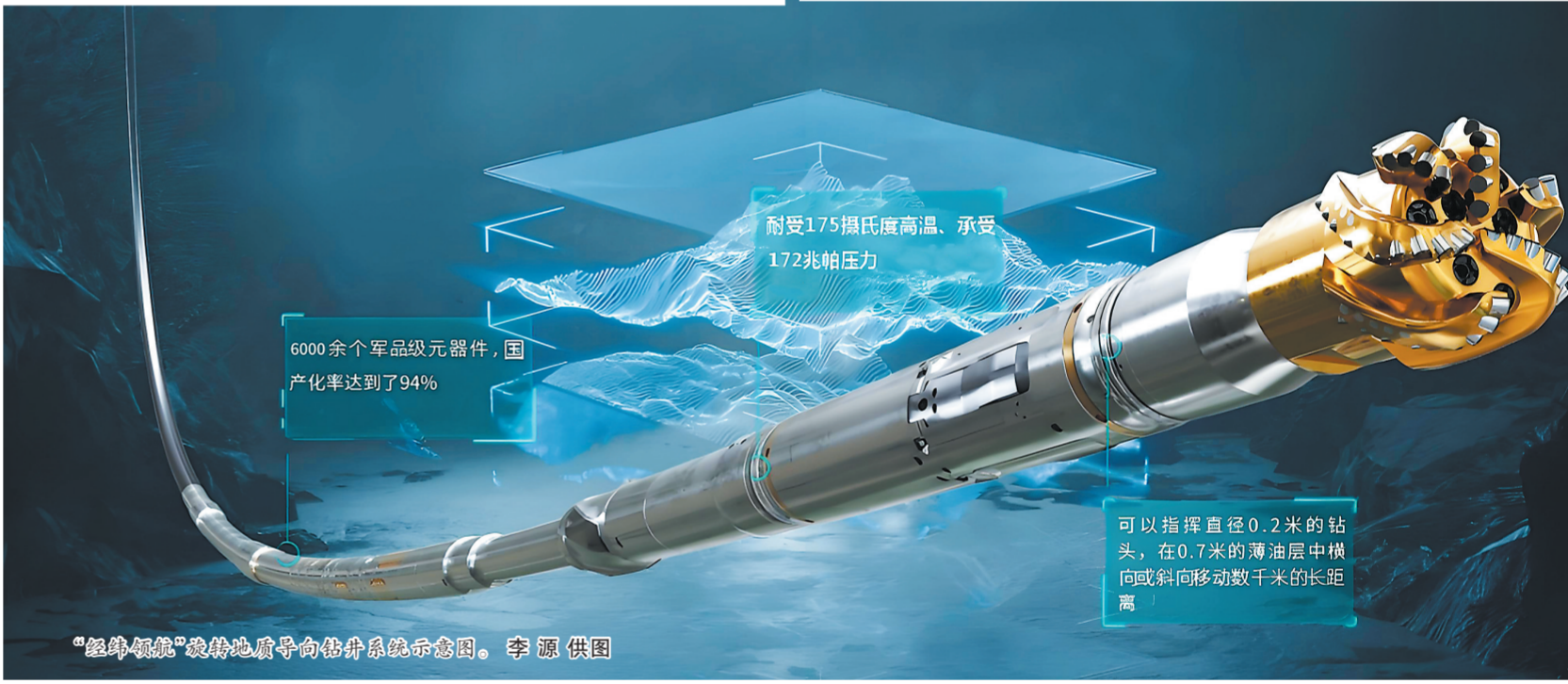
对标国际先进水平,经纬公司在国内率先打破传统作业模式,自主开发“经纬定向旋导远程支持系统”和“经纬智汇钻井优化系统”,构建远程支持中枢组,形成“3+X”(以现场3人作业组为前方基本作战单元,与后方专家团队实时联动)和“旋导+”远程智慧作业新模式,借助数智化、智能化系统升级,当井下出现异常情况,旋导技术专家级5分钟内快速响应、半小时内有效处置,一线作战单元更灵活高效。

远程“会诊”消除疑难杂症。郭页1井泥浆泵噪音加大,导致信号解码成功率降至50%,现场工程师反复尝试仍无法解决。技术专家张海亮通过远程支持系统邀

请专家对现场情况全面排查分析,提出采用适配码方式进行解码的方案,解码成功率回到100%,成功避免了起钻带来的时间损失,最终实现“一趟钻”完钻,进尺12616米,纯钻151小时。

作业模式革新带来效率提升,一线施工人员从单井施工4~5人缩减为2~3人。今年旋导作业在一线员工减少20%的情况下,队伍施工时效提升25%,日施工井数实现大幅增长。

截至7月31日,“经纬领航”旋导系统累计应用387口井,进尺51.17万米,工作时间超9.19万小时,倒逼国外同类仪器服务降价50%;在胜利页岩油施工占比达到77%。2025年以来施工101井次,进尺14.95万米;工作量同比翻了一番,趟钻成功率超过90%,达到国际先进油服公司水平。



## 西北油田

### 适应恶劣环境“从能用到好用”

□张俊 李敏越 李林涛

7月20日,入伏首日,骄阳似火,塔河油田TKK3-2-8X井闷热的监控室里却欢呼阵阵。推靠式旋转地质导向系统在该井成功应用,实现一体化程度最高、单趟进尺最长、周期最短三项突破。历经3年攻坚,“经纬领航”旋转地质导向钻井系统终于打破进口垄断,以过硬设备品质助力保障国家能源安全。

“在咱们油田这种极为少见的恶劣环境下,要想实现随钻实时导向,只有用进口旋导系统,之前确实没有‘平替’。”西北油田石油工程技术研究院钻完井研究所副主任师杨卫星说。

塔河油田碎屑岩井油藏地质条件复杂,规模小、相变快、非均质强,还高温、高压,始终是勘探开发的“硬骨头”。进口旋导系统曾是西北油田的常规钻井辅助系统,但其高昂的成本、偏高的损耗,以及烦琐的维修保养,严重制约油田效益开发。

2022年,西北油田首次引入“经纬领航”旋转地质导向钻井系统技术,在探索之初,存在可靠性不足、连续工作时间短等问题,于是与经纬公司联合开展攻坚。

今年,钻完井研究所成立“技术优化党员先锋队”,针对系统信号稳定性不足、参数测量不够精准等问题,杨卫星与经纬公司技术人员开展24小时驻井跟踪,细致记录每一个操作环节,通过对比分析钻压、转速、钻井液性能等数据,优选最佳方案。

通过对30余口井分析复盘,团队总结出旋导工具所适应的井况参数边界,引进高性能扭转载减振器,不仅解决了旋导振动超限问题,而且将适用井径由215

毫米扩展到241毫米,覆盖全尺寸需求。经纬公司与工具研制厂家根据团队提供的参数,提升元器件质量,优化设计并定制旋导专用钻头,单趟钻进尺不断增加,斜井段机械钻速提升两倍多。

此外,双方团队研选出了分流螺杆匹配旋导参数,旋导使用井况从垂深5000米的碎屑岩油藏,扩展到垂深超7000米的顺北油田,为技术推广奠定了基础。截至目前,国产旋导系统先后应用10余井次,有效钻进20余趟。

今年,在千万吨级油气田建设浪潮中,面对旋导系统“从能用到好用”的技术要求,团队开启了新一轮头脑风暴。

全程参与系统研发的团队成员党志刚认为,应发挥其适用范围广、推靠力最大的优势,提出使用旋导“一趟钻”代替弯螺杆“三趟钻”侧钻的思路。

团队分别对侧钻初始段最小曲率、旋导工具最大推靠力和井眼适应性开展模拟分析,同时优化设计井眼轨迹,优选短刀翼钻头,经过多轮论证和完善,直井段推靠式旋导侧钻工艺应运而生。

7月,该工艺在塔河油田TKK3-2-8X井应用,简化侧钻工序,成功实现“一趟钻”目标,钻井周期缩短58%,成本和投资双降,为技术迭代提供了“低成本高效益”新模式。同时,侧钻工艺的合理化论证降低了工具厂家的作业风险,工具应用领域的拓宽也提高了工具利用率。

“下一步,我们将持续做好技术升级,逐步探索耐温175摄氏度、耐压172兆帕的工具系列,推动超高温定向仪器、旋导工具、钻头螺杆全面国产化,为9000米超深井储备核心关键技术。”西北油田工程院副院长于洋说。

## 胜利油田

### 钻井配上“自动挡+导航”

□徐海峰 任厚毅 郑志成

近日,“经纬领航”旋转导向钻井系统在胜利油田滨447区块助力4口难动用井顺利完钻,并在滨447-斜22井实现旋导作业日进尺1271米。

在定向井中,胜利油田应用旋转导向钻井系统,有效控制钻井轨迹,实现钻井工程提速提质。

旋转导向系统是控制钻井轨迹的利器。在钻井旋转钻进时,能够实时控制井下钻进方向,实现在目标地层中横向或斜向稳定穿行,是超深井、水平井、大位移井等高难度定向井作业的“撒手锏”技术。

以往,定向井技术人员需要登上钻台,通过旋转转盘改变钻头的行进方向,每次调整需要二三十分钟,耗时且费力。

有了旋导系统,技术人员向电脑内输入井斜、方位等指令后,旋导上三个肋板根据信号实时调整,在钻井过程中同时调整角度,确保钻头在油层中穿梭。

“旋转向导,相当于为钻井装上了‘自动挡’。”胜利油田石油工程技术研究院钻完井工程技术中心技术人员程燕新说。

旋转向导具有控制位置智能化的优势,能够实时调整方向,钻进的井眼更加光滑、井径规则、井筒质量高,为完井作业和后期的压裂作业奠定良好基础。井眼打得好,井身质量高,固井质量也会高,减少后期窜层的概率。

旋导还能在定向过程中大幅提升作业速度。这不仅减少钻井液对油层的污染,还能降低事故发生概率。

海上是胜利油田上产的重要阵地,近年来百吨井频现。3月27日,依靠旋导技术支持的埕北256B-P2井顺利完井,通过做好防碰碰撞、制定专项技术措施、动态优化钻井参数,钻完井周期8.25天,较设计周期节约4.14天,树立了胜利海上工区降本增效新标杆。

今年以来,埕北256A、256B两个井组5口井施工作业过程中,旋导系统的应用成功化解地质构造复杂、工程难度大、井眼轨迹多变等技术难题,圆满完成二开地质找层任务。埕北256A-平3井实现单趟旋导工具进尺2093米,256A-平5井实现一趟钻完成二开并段施工。

现在配套地质探边技术,能够实时调取伽马和电阻率的测井数值,判断地下地质情况。在旋转向导与探边技术的加持下,钻头犹如装上了导航,“瞄着”油层去、“闻着”油味钻,穿行在储层中,提高了储层钻遇率,最大限度释放油藏产能。

沾29-平36井是胜利油田东胜公司在渤海湾盆地济阳拗陷和庄凸起斜坡带部署的一口水平井,所在区块为边底水稠油油藏,常规开发效果不理想,综合含水率高达86.94%,采出程度只有9.54%。依靠“旋导+探边”技术,目标砂岩钻遇率和靶程钻遇率均为100%,该井日产原油峰值达到40吨,综合含水率降至20%以下,取得显著的提产成效。

今年以来,胜利油田与经纬公司开展了上百次旋导合作服务,有力推进了勘探开发提速提质。未来,胜利油田将继续深化旋导技术应用,为高效勘探开发注入新动力。

## 西南油气

### 实现“3D版贪吃蛇”式精准钻井

□薛婧 刘佳

“拧过螺丝吧?”西南油气石油工程技术研究院钻井工艺所党支部书记胡大梁说,“旋转导向钻井与它类似,边旋转边往地下深入,不同的是,咱们这个技术能导向,带着钻头三维转向直达目的层。”

随着油气开发向更深、更复杂、非常规领域迈进,能灵活调整钻头方向、精准控制井眼轨迹的先进钻井技术系统,成为打成井、打好井的刚需。

“这种工具很长一段时间由国外公司垄断,卡我们脖子。”胡大梁说,“突破高端工具困局,使用国产旋导,才能实现进一步提速增效降本。”全球超过40%的定向井采用旋转向导系统钻成,实现类似于“3D版贪吃蛇”式的钻具运行轨迹调整,从而一趟钻贯穿分布在“三维”区域内的目标地层,对降低开发成本、最大化开发油气田资源具有重要意义。

2024年以来,西南油气联合经纬公司积极推广“经纬领航”旋导系统,在川西中浅层气藏38口井应用,平均单井综合成本较进口设备降低73.5万元,为油气田低成本开发开辟了新路径。

中江气田极其复杂的致密薄层河道气藏,曾让油气勘探开发人员欧弟陷入迷茫。地下储层是一条条带状、缠绕叠置,形成于不同时期的古河道,如同四川火锅里的九尺鹅卵石,在精细刻画储层的基础上,实施精准导航的旋转向导钻井系统,是

中江气田高效开发的关键。

“国产旋导具备多尺度探测系统,既探得远,又看得清,为一趟钻穿行复杂油气藏优质储层提供了技术支持。”胡大梁说。一方面,在复杂薄层河道储层中实时导向,无须停钻即可调整钻头走向,持续旋转钻进,提高钻井效率。另一方面,高精度控制井眼轨迹,使钻头沿预设路径灵活穿行于油气层,提高储层钻遇率。同时,旋转向导钻井技术使井眼更加平滑清洁,降低钻井风险。

在非常规油气开发领域,西南油气也大量选用“经纬领航”旋导系统。在威荣页岩气田,推广应用以“高效PDC钻头+高造斜旋导系统+旋导专用马达”为代表的深层页岩气旋转向导配套工艺技术,完钻40口余井,平均机械钻速提高22.6%,旋导平均单趟钻进尺由600米提升至1063米。在新页1-6HF井,旋导系统成功破解储层埋藏深、水平段长超2000米、轨道上翘等难题,高效钻至完钻井深6024米,创该区块三开钻趟数最少、三开日进尺最高、全井钻井周期最短等6项纪录。

下一步,西南油气将进一步加大国产高性能旋导系统应用力度,通过“技术迭代+规模应用”双轮驱动,重点推进三维水平井轨迹控制技术升级,建立国产旋导技术标准体系。同时,以市场化合作机制,倒逼技术供应商持续优化成本结构,进一步释放降本空间,构建“需求牵引研发、应用反哺创新”的良性循环。

## 装备工程

责任编辑:季佳歆  
电话:59963261  
邮箱:jyx@sinopec.com  
审校:张春燕  
版式设计:王强



周“油”列国 油事精彩