

“四深”领域这样创新③

# 地下“迷宫”寻宝

本报记者 潘旭涛

站在珠穆朗玛峰顶，如何将球投入山脚下的篮筐？一块指甲盖大小的区域，如何承受住10多头大象的重量？……这些形象比喻，道出了“深地工程”科研团队的攻关方向。

位于新疆塔里木盆地的顺北油气田基地，钻塔耸立，钻机轰鸣。2022年8月，中国石化命名顺北油气田为“深地工程”顺北油气田基地，这是中国首个以“深地工程”命名的油气项目，顺北油气田基地成为“深地一号”项目。

顺北油气田基地已有50口油气井钻探垂直深度超过8000米，这些深井被称为“地下珠峰”。5月1日，“深地一号”跃进3—3XC井正式开钻，其设计深度为9472米，完钻后将成亚洲最深井。向地球深部挺进需克服超深、高压、高温、高含硫等困难，勘探开发难度极大。中国石化“深地工程”科研团队持续发力深地油气研究和勘探开发，创新发展深层海相地质理论和勘探技术，逐步掌握了超深层油气优快钻井技术，为保障国家能源安全贡献重要力量。

## 给地球“拍CT”

在油气勘探开发实践中，一般认为埋深超过6000米的地层为深层，埋深超过8000米的地层为超深层。随着中浅层油气勘探开发程度不断提高，油气发现难度越来越大，向深层、超深层进军成为油气勘探开发的必然选择。近年来，世界新增油气储量60%来自深部地层，深层勘探潜力巨大。中国深层、超深层油气资源达671亿吨油当量，占全国油气资源总量的34%。

“在埋深超过8000米的‘地下珠峰’找油，就好比站在珠穆朗玛峰顶，要透过层层云雾，看清雅鲁藏布江上的游船。”中国石化西北油田勘探开发研究院院长李宗杰说。28年来，李宗杰扎根大漠戈壁，专注油气勘探，深知“找油难”。在他的办公室里，墙上、桌上贴满了地质平面图、剖面图。

顺北区块地质构造复杂，走滑断裂埋深大，且受地应力影响不断活动，油气杂乱藏于断裂带内部，形成一个天然“迷宫”。穿越从新生界到古生界10多个地层系，跨越近万米深度寻找油气，难度可想而知。

“地下珠峰”找油，离不开地质理论的引领。传统理论认为，地下要有油气，一般要有原生油气藏和优质储盖组合，曾经有专家断言：8000米以下地层的高温会使原油基本裂解，是油气勘探的禁区。“中国石化科研团队颠覆了传统认识，创新提出了海相烃源岩生烃抑制模式，揭示了高演化阶段石油裂解保存机理，把盆地液态烃保存下限拓展到近万米深层，形成超深层断控缝洞型油气藏成藏新认识，丰富了中国海相碳酸盐岩油气成藏理论。”李宗杰说。

“地下珠峰”找油，技术突破至关重要。为了让8000米深的油气储集体“看得清、描得精、定得准”，科研人员持续攻关，创新形成“超深层储层立体成像技术”和“缝洞体精细雕刻技术”，将断裂识别精度从30米提高至15米，可以对地层进行360度扫描，相当于给地球深部



图①：图为“深地一号”顺北10X井。

资料图片



图②：图为中国石化西北油田顺北“尖刀”班员工在“深地一号”4—5H井附近巡线。

资料图片



图③：图为“深地一号”顺北6X井作业现场。

资料图片

“拍CT”，使打油气井实现从“摸着打”到“看着打”的转变。

即便有理论和技术突破，油气勘探也是困难重重。全球范围内，油气勘探成功率低于30%。科研人员需要不断面对挑战、解决难题。2020年，顺北油气田4号带顺北41井第一个分支开钻，结果没有打出预期的油气量。科研人员心里开始打鼓：“是我们的成藏理论出了问题吗？”李宗杰感到了压力。他与团队成员反复研究后发现，问题出在井轨迹没有找准。也就是说，他们叩开了油气“地宫”的大门，但是走错了通往深地的“寻宝路径”。

修正后的井轨迹模型用在了顺北42X井上。2021年3月，顺北42X井获得日产近千吨当量工业油气流，成为顺北油气田首口“千吨井”。目前，“深地一号”已落实4个亿吨级油气区，成为近10年来塔里木盆地石油勘探的新亮点。

## 为钻井装“导航”

如果说寻找油气相当于站在珠穆朗玛峰顶向下瞭望，那么开采油气则相当于从珠穆朗玛峰顶向山脚投掷，命中难度极大。尽管油气井开钻前已经规划好了钻头行进路径，但深入地下近万米，仍然充满未知。如何让钻头精准绕开各类地质风险，顺利抵达目的地？

“开车导航时，我们常会用到提前预警、错峰换线的功能。那钻井能不能也这样，通过技术实现自动导航呢？”中国石化江汉石油工程页岩气开采技术服务公司工程地质研究所所长刘勇江，萌生了这样一个想法。于是，他带领工程地质科研人员多方摸索，经过一年多的技术攻关，终于研发出地震剖面动态校正技术。

利用该技术，研究人员可预测钻头前方50—100米地层的断裂带、破碎带、天然裂缝发育区和储集体分布范围，并形成实时地质跟踪图像，实现钻井风险与地质分析可视化，提前做好钻头的“出行方案”。

与以前普遍使用的文字地质设计相比，地震剖面动态校正技术形成的地质图像更加准确、直观。“即便不是相关专业的人，也能一看就懂。”刘勇江介绍，“深地一号”跃进3—6XC井应用了这项技术，通过精准定位到各个地层层系，仅用18天就完成了3753米的钻井任务，创下了顺北工区跃进区块钻井的新纪录。

近年来，“深地工程”勘探开发技术日益成熟。超深层地震精细描述与断裂三维立体解析技术，可以实现断裂带的精细刻画，精准锁定有利区带。走滑断裂带断控储集体地质建模、三参数空间定位等技术，可实现断裂带内部储集体结构解析，精准识别地下8000米断裂带内部的米级缝洞。

## 用上“狮虎兽钻头”

钻探行业有句话：“一深万难。”钻井到达一定深度极限后，每向下钻探一米，难度都呈几何倍数增长。

井深到9000米时，井底温度达200摄氏度，地层压力超过150兆帕，相当于指甲盖大小的区域承受10多头大象的重量。钻井过程中，地面钻机传动动力，带动一节一节连起来的钻杆旋转，推动钻头“啃”碎地下岩石。行进到地下八九千米时，近千根连接起来的钻杆就像煮熟的面条一样柔软。

“我们技术团队通过不断优化钻头、螺杆选型，创新形成‘高效钻头+耐高温大扭矩螺杆’破岩技术。”中国石化石油工程公司副总经济师兼西北工区项目管理部常务副主任冷鑫说。

老一代石油人打井使用的是老式牙轮钻头，由于材料和工艺落后，钻进效率比较低，现在普遍使用金刚石复合钻头。“顺北油气田玄武岩硬度很高，金刚石钻头复合片容易崩齿，于是我们又研发出一种混合钻头，兼具牙轮钻头和金刚石钻头的优点，取名‘狮虎兽钻头’。”冷鑫介绍。

井下动力工具（螺杆）技术也在进步，以前螺杆功率低，不耐高

温，在井下使用寿命很短。现在使用的是大功率、长寿命、耐高温螺杆，大幅提升了钻探效率。

“深地工程”科研人员还成功研发出国内首套抗温200摄氏度、耐压200兆帕以上的高精度随钻测量仪器，实现井底数据实时传输至地面，技术人员通过数据分析实时监控和优化调整钻头在地下的前进轨迹，引导钻头向着油气层的方向前进。

“一系列技术突破，实现了高效破岩、快速钻进的目标。”冷鑫说，近3年，顺北油气田单井建设周期大幅缩短，由280天下降至目前最低只需97天。

## 研发“L型吸管”

胡杨郁郁葱葱，河面波光粼粼，水鸟翩飞起舞……这是位于塔里木河上游的湿地保护区。在这片“沙漠绿洲”之下，蕴藏着丰富的油气资源。

为践行“绿水青山就是金山银山”理念，2018年以来，中国石化西北油田先后退出塔里木胡杨林国家级自然保护区、塔里木河上游湿地省级自然保护区，测算影响78万吨/年原油、3.5亿立方米/年天然气的产能。

保护区地下的油气资源还采不采？能否既保护绿水青山又保障国

家能源安全？2020年开始，西北油田加大力度搭建开放合作平台，聚集内外部科研力量进行科技攻关。

科研团队研发出超深大位移技术，可以在保护区外打井，开采保护区地底下的油气资源。“常规的钻井采油是向下打井，就像用一根吸管插到杯底喝豆浆。使用超深大位移技术则像是一根L型吸管喝豆浆，管子插到杯子底部后，还要横向延伸很长距离。”中国石化西北油田石油工程技术研究院钻井研究所工程师杨卫星说。

2022年2月，超深大位移技术首次应用，深层水平钻进距离由210多米增至1400米，实现退出保护区后胡杨林下油气开采的新突破。今年5月1日，“深地一号”跃进3—3XC井开钻，运用超深大位移技术，钻头到达7200米深的地层后，还将水平钻进3400多米，为获取“沙漠绿洲”地底下的油气资源建立通道。

在“又深又黑”的地下，想要通过大位移水平井准确找到油气，还必须给钻头装上“眼睛”。西北油田采用超深高温高效定向技术，利用高精度随钻测控系统将地下深处信号实时传输至地面，让钻头犹如长了眼睛，随时调整行进轨迹。

如今，自然保护区里已不见昔日的井站、管线，补种的红柳、梭梭也已枝繁叶茂。“超深大位移技术的下一个目标是水平钻进距离突破5000米。我坚信，我们既能当好国家能源安全的保障者，又能当好生态环境的守护者。”杨卫星说。

## 升级“安全卫士”

顺北油气田油气藏储层平均埋深超过7300米。越往深处走，风险就越大。

2022年12月，顺北21斜井进入完井测试阶段，稳定运行一段时间后，井口压力突增，从10兆帕快速上升到93兆帕。中国石化西北油田石油工程技术研究院院长刘练，接到消息后立刻赶赴现场，开井测试时，油井压力飙升至134兆帕。“这种井压十分罕见，当时我是现场总指挥，说实话，心里还是很紧张的。”刘练回忆道。

为了控制住超高压，刘练和“深地一号”团队攻关四天四夜，他们抢修设备，抢装阀门、管线，最终确保了顺北21斜井测试安全。截至目前，顺北21斜井已累计生产原油超9500吨、天然气超2300万立方米。

“面对井口134兆帕的压力，大家虽然紧张，但还是有底气的。”刘练说，这个底气来自新款国产井下高压安全阀。

井下高压安全阀是油井生产的“安全卫士”，能在生产设施发生火灾、刺漏等突发情况时，紧急关闭以防止井喷。很长一段时间，国产井下安全阀性能无法满足顺北油气田高温高压要求，但进口安全阀供货周期长，可能耽搁井下生产。面对这一“卡脖子”难题，西北油田科研团队与中海油田服务公司开展联合攻关，成功研制出一款压力等级140兆帕、大通径井下高压安全阀，实现了井下安全阀国产化。

第一批安全阀出厂检测时，刘练要求测试压力比额定压力提高一个等级。

今年1月，国家能源局公布2022年全国油气勘探开发十大标志性成果，“深地工程推动超深层油气实现新突破”名列其中。在挺进“地下珠峰”、开掘油气宝藏过程中，“深地工程”科研团队创新地质理论、挑战深度极限，形成一批关键核心技术装备，实现了特深井由“打不成”到“打得快、打得准”的重大跨越。

## “深地工程”简介

■中国深层、超深层油气资源达671亿吨油当量，占全国油气资源总量的34%，勘探潜力巨大。

■2022年8月，中国石化命名顺北油气田为“深地工程”顺北油气田基地，这是中国首个以“深地工程”命名的油气项目，顺北油气田基地成为“深地一号”项目。

■顺北油气田基地已有50口油气井钻探垂直深度超过8000米，其中“深地一号”跃进3—3XC井设计深度为9472米，完钻后将成亚洲最深井。

■“深地工程”科研团队创新地质理论、挑战深度极限，形成一批关键核心技术装备，实现了特深井由“打不成”到“打得快、打得准”的重大跨越。



图为“深地一号”跃进3—3井。

资料图片