



## 阅读提示

向地球深部进军是我国油气发展的必由之路。陆上深层超深层、海洋深水深层已成为我国油气勘探开发的重要阵地。近10年,我国新增油气储量的54.3%来自深层超深层,深层超深层油气资源量达671亿吨油当量,顺北、富满、克深等大油气田(区)的发现有力推动了我国深层油气资源有效动用。目前,我国83%的深地油气资源仍有待探明开发。

一深生万难。超深钻井作为一项系统性工程,是一个国家钻井水平的最高体现,更是综合国力的集中体现。7月18日,第三届中国深井超深井油气发展论坛在新疆乌鲁木齐举办,专家们紧扣“自主创新”和“产业升级”两大核心,共同探讨培育深地勘探新质生产力的路径。本版将专题呈现论坛成果,敬请关注。

本版文字由 本报记者 王福全 提供

## 我国油气开发挺进万米时代

第三届中国深井超深井油气发展论坛盘点



胜利油田民丰页岩油区块顺北2号台、3台钻机正在有序施工。  
宋克民 摄

## 十年跨越:深地技术成果丰硕

近10年,我国新增油气储量的54.3%来自深层超深层。突破深度下限不仅直接提高了油气自给能力,更通过技术自主化减少了对国外装备与技术的依赖,避免了关键环节被“卡脖子”。

深地深海勘探的核心价值是探索地球演化、生命起源、气候变化、灾害防治、资源利用。从全球视角看,万米深度勘探始于20世纪70年代,50年来累计完成万米井67口,其中48口为近10年来完成。俄罗斯大陆科学钻探SG-3井、德国大陆深钻计划KTB井和中国陆地古气候钻探科2井,成为地球深部科学探索的3项标志性成果。

深层超深层已成为保障能源安全的主战场。近10年,我国新增油气储量的54.3%来自深层超深层。

2022年,中国石化启动实施“深地工程”项目,设立顺北油气田、川渝天然气、济阳页岩油三大示范基地。截至目前,中国石化深层超深层累计探明储量30亿吨油当量、生产油气2.5亿吨油当量。2024年,深层超深层油气产量占总产量的27%。

中国石化在6000米至9000米深度已发现富满10亿吨级油气田,博孜-大北、克深、蓬莱3个万亿立方米大气区。在8000米以深,剩余资源量达到176亿吨油当量,勘探潜力巨大。

从技术层面看,我国已构建覆盖深井超深井勘探全链条的创新技术体系。

中国石化石油工程技术研究院副总工程师臧艳彬介绍,历经多年攻关探索,中国石化

深层超深层领域实现了从石油到天然气、常规到非常规、油气到深部地热的全面发展,逐步突破了常规从5000米到超9000米、非常规从3500米到5000米的深度下限,发现和建成了塔河、普光、元坝、顺北、川西、威荣和慕江页岩气,济阳新页岩油等8个大型-特大型油气田,实现了川南寒武系页岩气、准中超深层、大牛地深层煤层气等领域油气勘探重大突破,福深热1井刷新了我国最深地热能科学井纪录。

突破深度下限不仅直接提高了油气自给能力,更通过技术自主化减少了对国外装备与技术的依赖,避免了关键环节被“卡脖子”。

臧艳彬介绍,中国石化加强攻关,建立了深层超深层油气勘探开发工程技术与装备体系,支撑保障了勘探突破和规模效益建产。2018年至今,中国石化累计钻探完成115口8000米以深超深井,其中9000米以深井11口。钻井技术方面具备万米特深井、6000米水平位移井和5400米长水平段水平井钻井能力;压裂技术方面具备4000米长水平段大型分段能力和9000米特深井酸化压裂能力;测录技术方面具备超高温230摄氏度、超高压207兆帕及复杂条件下的测井施工能力;试油技术方面具备8000米“三高”油气井测试,230摄氏度和172兆帕下的射孔施工能力。

## 深地战略:装备技术全面突破

向地球深部进军,势在必行。全力推动科技攻关和产业发展,加强基础理论研究、推动核心装备国产化、发展智能化技术、强化地质工程一体化协同等,成为油气行业攻克深井超深井世界难题的基本共识和实践路径。

中国石化科协副主席、中国石化原石油工程首席专家秦永和指出,未来钻探技术装备面临四大需求。

**超深井需求激增。**深层超深层油气资源约占全国油气资源总量的34%。根据相关研究,油气藏勘探开发深度可能超过1万米,甚至达到2万米,对深井装备提出更高要求。如深地川科1井需应对超深、超大尺寸井眼、超重负荷、超压、超高温、超难钻地层和超难钻井液保障、超多油气显示和超多漏溢转换风险点等“七超”世界级挑战。

**非常规资源开发提速。**未来新增油气探明储量中低品位资源占比达95%,而80%以上是非常规资源量,非常规井的数量将大幅增加。实践证明,“长水平段水平井+大规模体积压裂”技术是开发非常规资源的有效手段。

**老油田盘活“停躺井”需求上升。**老油气田增产取决于高效修复利用大量“停躺井”,传统的修井方式必然发生变革,将加快促进开发应用开窗侧钻技术等大量新工艺、新技术和新装备。

**装备“四化”加速推进。**面对环境恶劣、条件复杂、劳动力紧张、用工成本上升的形势,随着超高压输变电和交流变频技术成熟,以及物联网、大数据、云计算和人工智能快速发展,钻井装备电动化、自动化、数字化和智能化将成为必然趋势。

智能化已成为全球行业共识。当前,5G、物联网、大数据、云计算技术发展势头迅猛,国内外石油企业都在强化智能化理念,加快数字化转型和智能化发展。2024年1月,斯伦贝谢和挪威国家石油在巴西Peregrino C海上平台创下完全自主钻井纪录,2600米井段中99%实现完全自主控制,钻速提高60%。

国内智能钻井技术也在加速突破。中

国石油大学(北京)智能钻井技术与装备研究中心主任祝兆鹏介绍,智能钻井技术是将钻井技术与AI和智能装备相结合,培养系统形成智能感知、认知推理和决策调控能力,从而实现智能识别地质情况和油气藏位置、智能导向钻井、高质量钻遇油气储层。通过系统参数自动寻优、风险闭环调控、方案智能决策生成,进一步实现安全经济高效作业。

目前,相关研究已涵盖钻前、钻中、钻后多个环节,初步构建了智能钻井应用场景技术体系,初步形成智能钻井理论方法体系。通过建立完善地质状态实时感知与三维表征等新型智能体技术,推动各类模型与地层状态、井筒风险等多个感知智能体协同进化,未来将实现钻井多目标全局优化决策管理。

新材料助力破解深层超深层勘探难题。中国科学院新疆理化技术研究所能源化工研究中心主任马鹏程介绍,攻克万米特高温高压油气开采技术与装备已被列为2020~2035年国家油气科技重大专项战略规划,深层超深层钻井用纳米复合材料研究将有助于应对“百井百样”地层岩性复杂、高温高压高盐等挑战,目前已在油基岩屑资源化处理和、深层钻井液润滑助滤和钻杆隔热纳米复合涂层材料等方面取得进展。

对于未来发展方向,臧艳彬表示,中国石化将坚定不移实施“深地工程”,围绕重点领域、聚焦关键难题,强化基础理论研究,持续提升超深层工程技术装备保障能力与智能化水平,推动技术装备向电气化及低耗能绿色方

截至2024年底,中国石油钻探完成超8000米井208口,仅在塔里木盆地,累计钻探8000米以深井191口。2025年1月,我国首口超万米科探井深地塔科1井在地下10910米完钻,成为亚洲第一、世界第二垂直深度井。

中国石油塔里木油田副总经理、总工程师罗绪武介绍,塔科1井钻探面临地质条件复杂、超高温超高压、超深超重载荷、地层破裂压力高四大难题。该井成功完钻推动构建了万米特深层钻井理论、工艺、装备技术体系,初步建立了深地勘探工程应用理论体系。

这一突破也推动了我国深地系列装备、工具、材料迭代升级。成功研制12000米自动化钻机、高张力测井动力系统、特高压井口等高端石油装备,升级钻具、取芯、固井等关键工具,形成耐高温高压基钻井液、水泥浆、压裂液等井筒工具,打造了自主可控的万米关键核心技术体系。

我国深地勘探仍面临诸多挑战,超深特深层油气藏埋藏深、地层层序多、沉积古老、温度压力高、压力体系、储层流体相对复杂,下部未知地层不确定因素多、预测难度大、作业风险高等难题,都迫切需要持续攻关创新工程技术与装备加以破解,以满足深地能源高效勘探开发的重大需求。

向发展,协同发力突破深地极限。

臧艳彬介绍,中国石化将以石油工程业务管控平台(IPPE)为核心,整合系统内各单位优势技术,打造上游共建共享共用的中国石化地质工程一体化平台,提升闭环迭代的协同方案设计、科学智能的技术优化决策、精准高效的运行管理能力,强化地质工程一体化协同,有力支撑油公司和工程公司一体化运行。依托石油工程中试平台,系统开展新研发的井下工具、仪器、流体等核心技术装备在超高温高压、全尺寸、全工况条件下的可靠性、适用性和成熟度测试评价,大力推进超深特深井工程技术优化迭代和产业化发展,为深井钻探构建更强安全屏障。



顺北油田顺北6-6井钻井作业现场。李学仁 摄



在西南油气埋藏最深的页岩气井顺北1-1井井场,员工正在查看水套炉运行状况。

任远均 摄

## 深海探索:技术攻坚势在必行

海上油气开发成果显著,我国2024年海洋油气产量创新纪录。面对开发难度加大的挑战,中国海油突破深水钻井关键技术,构建智能化系统,钻井效率显著提升。未来需加快深水超深层技术研发,应对日益增长的深井作业需求。

海上油气资源已成为我国资源战略接替的重要力量。近10年,全球油气重大发现70%来自深水;预计未来10年至20年,全球油气产量一半来自海上,其中深水占35%。2024年,我国海洋油气产量当量突破8500万吨,再创历史新高,其中原油产量连续5年增产超200万吨,为国内原油2亿吨持续稳产发挥重要作用。

中国海油研究总院有限责任公司副总经理、总工程师李中介绍,中国海油油气勘探开发已迈向中深层、深水区和高温高压区。自2016年起,我国海域屡获重大油气发现,潜山中深层、深水深层、超高温高压等高难度区块开发成为海上油气田增储上产的工作重点。中国海油海外新发现区块中,深水区块占比超过80%。

海洋油气资源勘探开发同样面临诸多难题。随着海上油气田开发不断深入,优质储量越来越难以发现,新发现油气田储量经济开发难度大,深水、高温高压、深层超深层等高难度工程项目越来越多,复杂油气井关键技术亟待加速发展。

李中介绍,近年来,中国海油持续推动海上深层钻井关键技术发展,创新形成多项技术体系。

构建深水复杂油气井田钻井技术体系。历经多个深水油气田开发项目的设计及工程实践,自主掌握了1500~2000米级深水复杂油气田开发全套钻采设计能力,创新形成深水气田开发钻井总体方案设计、深水气田安全钻井技术、深水井控及安

全测试技术等关键技术,构建了深水复杂油气田钻井技术体系。以渤海首个千亿立方米气田渤中19-6气田一期项目为例,在系列技术成果加持下,平均钻井时效由90%提高至98%,5900米深度钻井工期由140余天缩短至35天,快速全面建成海上深层潜山油气田。

智能化同样是海上勘探的核心抓手。李中介绍,中国海油已在数据治理、系统整合方面积极布局,着力推动“作业智能化、设计协同化、管理主动化、决策科学化”转型,在赋能设计、作业和管理方面初见成效。

例如,研发了钻井井下工程参数实时测算技术,在实钻测试中实现了对钻头附近的井斜、方位、伽马、钻压、扭矩、振动等10项工程参数的信息采集及无线传输,测量准确率达到90%以上,实现了关键数据从计算机获得到实时监测的转变,为钻井过程中对井下状况的洞察和实现智能化钻井提供了保障。

围绕海上深层钻井速度慢、工期长,严重制约深层油气上产难题,中国海油基于大数据开展钻速智能预测优化研究,取得了机理约束下的钻速智能预测模型等4项创新成果,形成了具有自主知识产权的智能钻井导航系统。2024年10月在惠州26-6油田首口潜山开发井示范应用,取得良好效果。

李中表示,我国海上待探明深层超深层地质储量石油超过6亿吨,天然气超过3600亿立方米,深层超深层将成为我国海上中长期重要的资源接替领域,预估深井作业量今后几年将大幅增加,约50口井深度将突破6000米,深层超深层钻井能力提升迫在眉睫。

未来,将重点推动深部地层压力高精度预测、海洋深井超深井井身结构优化等一系列技术的创新和迭代升级。加快信息化、智能化钻井技术研究,包括早期溢流监测、井下风险识别、智能实时决策等技术研究,进一步完善基于大数据分析的钻井风险监测及识别技术。通过智能钻机、井下实时大容量信道通信、风险预测与自动处置系统等研究形成智能钻井技术体系,助力我国石油工业向更深、更远、更智能迈进。