

深度观察·重大技术装备这样攻关②

感言

海洋油气装备持续进步

谢玉洪

近年来,我国油气勘探开发加快向深海挺进、增储上产持续发力,很大程度上得益于海洋油气装备产业的进步。

勠力攻坚,成果不断。这些年,一系列由我国自主设计建造,担负地球物理探测、地质勘察、钻井作业、工程建设、安全保障和生产管理等职能的海洋油气装备先后投入使用。勘探开发方面,“海洋石油720”“海洋石油721”姊妹船最大作业水深达3000米,能高效、精确、大面积地进行三维地震采集作业。建造安装方面,我国已拥有包括“蓝鲸”号、“海洋石油201”在内的多艘起重、铺管作业船,最大起重能力达7500吨。生产设施方面,中国海油共有在生产平台和浮式生产储卸油装置超300座,最大作业水深超1500米,部分油气田完成了数字化、智能化改造,可实现远程遥控生产。去年6月,我国首套国产化深水水下采油树投入使用,海洋高端装备制造能力进一步增强。

整体看,我国已经拥有了从物探、钻井到工程建设全流程的海洋油气开发“深水舰队”,建立了具有自主知识产权的深水油气勘探开发技术体系。我国已跃升为全球少数能够自主开展深水油气勘探开发的国家之一。

未来,随着建设设计能力持续提升,行业前景十分值得期待。我们将继续推进实施国家重大科技专项,加强海洋油气勘探开发领域关键核心技术攻关,提升勘探开发成效。我国将着力研制浮式液化天然气生产储存外输装置、深水单立柱平台等新型生产平台,支撑不同规模、不同海洋环境下油气田高效开发的需求,进一步带动海洋工程产业技术快速发展,形成具有中国特色的浅水、深水、超深水油气田开发全产业链工程技术和管理体系。为了推动海洋科技实现高水平自立自强、切实保障国家能源安全,我们将不断努力、再攀高峰。(作者为中国工程院院士、中国海油首席科学家)

本版责编:李心萍 版式设计:张丹峰

油气开发挺进深海

探访全球首座十万吨级深水半潜式生产储油平台“深海一号”能源站

本报记者 丁怡婷



①

米作业水深的深海装备15艘,相继攻克了深水、地层高温高压等世界级难题,形成了具有自主知识产权的深水技术体系,具备从深水到超深水、从南海到极地的全方位作业能力。

产业联动,关键设备自主化率由33%提升至80%

过去几十年,我国海洋油气开发主要集中在300米以内的浅水海域,深水油气田勘探开发起步较晚,相关设备也较为落后。“购买国外装备和设计,既花费大量资金,也受到很大制约。”中国海油海南分公司工程建设中心主任工程师董晓雨举例,过去单台功率在5000千瓦左右的印刷板式换热器,采购成本一般在600万元以上,供货周期超过10个月。

“能源的饭碗必须端在自己手里。”肩负重任,中国海洋石油人不敢懈怠。“深海一号”能源站建造过程中,中国海油联合优质企业和高校建立产学研用机制,联合相关厂家开展深水聚酯绳、钢链条立管等15项关键设备和系统的技术攻关,带动了我国造船、钢铁、机电等行业的进步,推动我国半潜式油气生产平台的关键设备自主化率由33%提升至80%。

以深水系泊聚酯绳为例,其中一家供货商是浙江民营企业四兄绳业。“国产聚酯绳从合同签订到最终交货只用了9个月,相较进口产品,工期和成本分别缩短和减少1/4,性能也完全满足要求。”吴尧增说。

最让吴尧增印象深刻的,是一次缆绳固定救急。2020年7月,系泊缆绳辅作业刚刚开始,由于最初的聚酯绳甲板固定方案不太理想,现场临时调整为“打中国结”的固定方式。但当时,国外厂家回复,从设计、测试到制造,再到寄往中国、人员入关指导安装,至少得3个月,相关费用还得增加上百万美元。

紧急时刻,四兄绳业不谈任何条件,立马投入试制,只用了两三天,首批作业材料和技术人员就到达海上现场作业,保证了施工进度。精诚合作,互利共赢。“中国海油团队帮助我们改造了聚酯绳试验测试平台,一同摸索深海聚酯绳的拉力、强度、抗疲劳性等指标参数,推动产品研发成功。”四兄绳业海工业务副总经理李航宇说,“深海一号”项目之后,相继有其他油气公司慕名而来,去年企业的聚酯绳产品还首次走出了国门。

“深海一号”能源站的建造和成功合龙,也进一步夯实了中集来福士在油气生产领域的能力。去年,企业向英国企业交付1座自升式生活平台、向马来西亚企业交付2座水处理模块,还完成了巴西一家企业浮式生产储卸装置项目的定位合龙作业。

海洋之于海洋石油人,正如土壤之于树木。步入深水,就是这棵大树不断向深处、远处扎根,汲取更多养分的过程。前不久,“深海一号”能源站再次“上新”技能——完成台风远程遥控生产改造,能够实现恶劣天气不掉线、台风期间不停产,每年可新增6000万立方米天然气产量。70公里外,“深海一号”二期工程正在进行深水海管铺设作业,建成后可使“深海一号”天然气储量从1000

亿立方米增至1500亿立方米,高峰年产量从30亿立方米增至45亿立方米。

据统计,近10年全球新发现的100余个大型油气田中,深水油气田数量和储量占比均超过65%。“我们将向更深更远的蔚蓝大海挺进,助力海洋强国建设。”中国海油海南分公司总经理刘小刚表示,到2025年,我国海上“万亿方大气区”有望建成。

图①:2021年5月,“深海一号”能源站完成全部设备安装工作,具备投产条件。

图②:“深海一号”气田首口开发井开钻。以上图片均由中国海油提供



②

记者手记

合力攻坚,端稳能源饭碗

采访“深海一号”能源站,听到不少感人的奋斗故事:抢抓工期,每周送审图纸超700份,14天内召开近30场技术讨论会;走遍全国寻找合适管材,同厂家联合分析试制,攻克大口径厚壁钢悬链立管管材的技术瓶颈;为解决海底管道开孔处阀门故障,工作人员在高压环境中整整旋转手柄830圈……

“拼搏到感动自己,努力到竭尽全力”,项目团队靠着脚踏实地的干劲、不惧艰辛的韧劲,铸就了我国超深水油气勘探开发“从0到1”突破的底气。

增强油气供应保障能力,是夯实国内能源生产基础的关键一环,也是海洋油气勘探开发从业者的使命所在。为了更好地开发利用我国丰富的深水海域油气资源,中国海油联合多家

企业和科研院校合力攻坚,打造自主研发设计、产品制造、测试验证及示范应用全链条,实现3项世界级创新、运用13项国内首创技术,最终成功叩开1500米超深水油气勘探开发的大门。这一重大成果的问世,既有效增强了我国能源保障能力,也大力推动相关装备水平跃上新台阶,为后续发展奠定了坚实基础。

进步不小,潜力巨大。当前,我国海上原油增量占全国原油总增量的比例已经连续4年超过60%。同时,我国海洋油气产量占全国油气总产量的比重仍只有18%左右,与30%左右的世界平均水平还有不小差距。

我们深信,怀着能源报国的使命感责任感,海洋油气勘探开发行业将实现更多“从0到1”的突破,助力我国端稳能源饭碗。

2022年4月,习近平总书记连线“深海一号”作业平台时强调:“要推动海洋科技实现高水平自立自强,加强原创性、引领性科技攻关,把装备制造牢牢抓在自己手里,努力用我们自己的装备开发油气资源,提高能源自给率,保障国家能源安全。”

从海南三亚乘坐直升机,记者来到我国首个自营勘探开发的1500米超深水大气田“深海一号”。俯瞰蔚蓝大海,一座黄色的钢铁“巨无霸”巍然矗立:总高度120米,总重量超5万吨,钢铁用量超过7座埃菲尔铁塔,投影面积足有两个足球场大,使用电缆长度800多公里。

它,就是全球首座10万吨级深水半潜式生产储油平台——“深海一号”能源站,也是“深海一号”大气田的枢纽。水深1500米的天然气通过海底管道,源源不断输送到能源站,进行油气分离处理。

当前,深水已成为全球油气资源的重要接替区。按照国际惯例,一般将水深超过300米海域的油气资源定义为深水油气,1500米水深以上称为超深水。面对超深水海域高压、低温、浪急的复杂海况,在国内尚无先例、经验缺乏的情况下,“深海一号”能源站的建造是如何完成的?又有哪些技术创新和成功应用?记者进行了采访。

屡创纪录,我国海洋石油勘探开发进入1500米超深水时代

登上“深海一号”能源站,仿佛置身一座“机器岛”。它的上部组块密集布局了近200套关键油气处理设备,以及可容纳120人的生活楼,下部浮体由“回”字形底浮箱和4个立柱组成。与其他半潜式平台不同,“深海一号”在4个立柱内分别设置了5000立方米的凝析油舱,开创了立柱储存凝析油的世界先例。

中国海油“深海一号”气田开发项目总经理尤学刚告诉记者,“深海一号”大气田既有天然气又有伴生的凝析油,凝析油年产量达20多万立方米,按照传统开发方式,需要再建一条凝析油海底管线,长度约100公里,成本会增加近10亿元。

2014年,“深海一号”大气田刚发现时,国际油气价格正处低谷,项目能够开发的临界气价比当时的油气价格高20%以上,常规方法难以达到经济开发门槛。在安全可靠的前提下尽可能经济高效,成为项目推进的重要考量。

“能否设计一个平台,既满足气田生产需求,又能暂时储存少量凝析油?”设计团队提出,凝析油可以储存在立柱内,再通过穿舱油轮外输。但这也意味着,项目人员在结构上要解决好储油安全、外输作业安全等难题。即便是国外油气公司,此前也从未尝试过。

没有先例,就开创先例!设计团队从零起步、迎难而上;开发新型“脊梁柱”结构,将凝析油舱内结构疲劳寿命提高30倍以上;借鉴保温瓶内胆原理,为油舱量身定制“护体铠甲”,避免立柱遭碰撞漏油;自主研发平台尺度规划软件……

“上部组块、下部浮体、立管、系泊缆等需要通过多次修改和迭代,在平台性能、吃水、抗风、外输等方面达到较好平衡,任何一项变动都会导致工期调整。”“深海一号”气田开发项目浮体部经理吴尧增介绍,团队花了两年左右开展参数分析和模型实验,最终得到满意组合。

设计阶段结束后,留给“深海一号”能源站从建造到投产的周期只有约28个月,比国外同类项目建设期少了10个月。领域全新、成本受限、工期紧张,重重困难下,“深海一号”能源站的建设工作却屡创纪录——

工期更短。在青岛,上部组块提前19天、下部船体提前46天完成陆地建造;在烟台,36小时高质量完成“大合龙”,100天完成上百个模块吊装和子系统调试……作业高峰期,中国海油组织超过5000人、17台大型履带式起重机昼夜奋战,使工期缩短至21个月,比同类项目节省约1/3。

精度更高。“深海一号”能源站的4个立柱近60米高,对角跨距最大达70004毫米,建造精度要求控制在13毫米内,比国外类似项目标准严格约3倍,误差不到万分之二。

寿命更长。普通的海洋油气浮式生产装置,一般10至15年就要回坞大修。出于技术风险和经济性考虑,“深海一号”能源站项目选择按“30年不回坞检修、疲劳寿命达150年,抵御百年一遇超强台风”的高标准进行设计建设。“目前看,面对十二级台风,平台依然能够维持安全稳定的运行状态,实际稳定性优于设计稳定性。”“深海一号”气田总监宋金龙介绍。

从2006年与国外石油公司合作勘探发现我国首个深水气田荔湾3-1,到2014年自营勘探发现“深海一号”大气田,再到2021年“深海一号”正式投产,我国海洋石油勘探开发进入超深水时代,尤学刚感慨:“由300米浅水到1500米超深水,我们用10多年的时间实现了历史性跨越,也使我国跻身世界海洋深水油气工程建设的先进行列。”

勠力攻关,实现3项世界级创新、运用13项国内首创技术

目前,全球具备深水油气开采能力的国家依

然屈指可数。究其原因,从浅水到深水,水深的量变会带来油气开采难度的质变。像安装在水下1500米深处的设备,受到的压力相当于一个指甲盖要承受150公斤的重量,这对深水油气装备制造和技术水平提出了极高要求。为了实现目标,“深海一号”能源站项目团队进行了艰辛探索。

——精益求精,36小时吊装实现完美合龙。

2020年10月29日凌晨,中集来福士烟台基地。吊点桥式起重机“泰山吊”,以每分钟约0.15米的速度,将“深海一号”能源站缓缓吊起,上部组块与下部浮体开始合龙。192个吊钩必须如臂使指,确保组块下方的4个导向筒,准确捕捉位于浮体上方的导向插尖,前后左右包括对角线的累计误差要控制在250毫米以内。“中国海油团队和我们前后编制了110多份技术文件,召开超过10次内部评审会,尽可能查漏补缺。”烟台基地总经理贺昌海说。

这是“泰山吊”起吊最高、吊装时间最长的一次,必须做好周全准备。“深海一号”气田开发项目建造中心总工程师张庆营介绍,为保障顺利合龙,项目必须做到“三精”:一是建造安装精,精度控制指标细分到材料切割、焊接、滑道总装搭载等各个环节,遵循极为严苛的技术标准;二是模拟分析精,正式作业前,专门进行计算机模拟搭载分析,排查潜在安全隐患;三是测量方式精,太阳照射会使钢板发生变形,导致测量出现18至25毫米的偏差,工作人员要在日出前就完成测量。

经过36小时作业,上部组块缓缓下放到下部浮体上,立柱与结构物之间只有5毫米的微小偏差,累计误差40毫米左右,好于预期。

——稳如磐石,16根系泊缆扛住恶劣海况。

面对超深水海域频发的台风、动辄10余米高的海浪,“深海一号”能源站如何做到稳如磐石,可以30年不回坞检修呢?

关键答案在4组16根长度超过2500米的特制系泊缆上。它们仿佛“定海神针”,一头固定在1500米深的海底,另一头系泊在平台的4个立柱上,每个立柱4根。尤学刚介绍,每根特制系泊缆中间包含两段长度近千米、直径达270毫米的聚酯绳,聚酯绳的强度比钢缆还要高,耐海水腐蚀,但重量却只有钢缆的约1/43。

——“飞针走线”,60万米焊接合格率达99.48%。

液压式浸没泵,承担着半潜平台的吃水调载以及货油外输等功能。最初建造时,浸没泵管线焊接环节总是失败。由于壁厚仅为1.5毫米,按照先打底下盖面的常规方式,容易破坏焊道根部,造成焊接缺陷。

“在这么薄的管线上焊接,像是用快速转动的焊枪‘飞针走线’,整个过程必须一次成型,特别考验手的稳定性。”接到求助,海油工程高级技师李晓鹏用时一个多月开展了上百组焊接试验,终于摸索出组对间隙、坡口角度、焊接速度的规律。

“焊一口口,手至少5分钟不能乱动,小拇指靠近焊道边缘,焊枪喷射出的火焰高达2000摄氏度,一天下来手套经常烧糊,小拇指也容易起泡。”李晓鹏说,“深海一号”能源站船体工程焊缝总长60万米,焊接一次合格率达99.48%。

实现3项世界级创新、运用13项国内首创技术,“深海一号”项目团队交出亮丽答卷。目前,中国海油拥有各类深水船舶平台66艘,其中1500