



目前国际上新发现的深水油气田70%位于深海，而中国掌握的深水装备技术中，水下部分几乎是空白，水上部分掌握了一些，但是从金额来看占比也较小。

面对1500米深水油气田开发需求，要实施两大关键水下核心装备、九类水下关键零部件的国产化攻关，并加快实现产业化。

牢牢“抓住”水下生产系统

记者 卞展婷

近日，“海基一号”深水导管架平台相继实现15口生产井全部投产、首口注水井投用等重要节点，进一步推动我国中深水油气田的经济高效开发。以荔湾3-1、流花16-2、陵水17-2等深水油气田的应用实践为基础，近年来，我国基于南海环境条件、国内技术水平、设计、建造、安装资源受限，无先例、无经验、诸多技术空白等深水工程重大技术挑战及首次全面自主建设的“拓荒”之难。“深海一号”作为由我国自主研发建造的全球首座10万吨级深水半潜式生产储油平台，在我国首次实现了自主一体化水下生产系统设计，运用了13项国内首创技术。

但与此同时，业内专家也指出，我国水下生产系统核心装备大部分依赖进口，核心技术还未实现自主可控，国内水下生产系统国产化这一个“卡脖子”关卡如果不能尽快攻克，将给我国能源安全带来威胁。

深水油气勘探渐多，但水下核心技术没有掌握

水下井口、水下采油树等系列部件基本被Aker、Technip FMC等国外供应商垄断；水下脐带缆等则被JDR、DUCO、NKT等国外供应商垄断

据中海油集团海洋工程专家李志刚介绍，目前南海深水油气田开发已经形成了深陆陆开发模式、船型浮式生产储油装置（FPSO）+水下生产系统、半潜储油平台+水下生产系统、深水导管架+圆筒型FPSO等4种典型深水油气田开发模式，实现南海深水油气资源经济高效开发，新增产能约900万吨油当量/年。

据了解，“深海一号”深水平台“扎根”的中国首个自营超深水大气田陵水17-2气田就采用了“半潜储油平台+水下生产系统”的开发模式。该气田是1500米级深水气田开发工程，气田探明储量超千亿立方米，高峰年产天然气32.5亿立方米，相当于粤港澳大湾区1/4的民生用气量；同时，它离岸149公里，最大水深1560米，面临人员、物资、海域应急无依托，设计、建造、安装资源受限，无先例、无经验、诸多技术空白等深水工程重大技术挑战及首次全面自主建设的“拓荒”之难。“深海一号”作为由我国自主研发建造的全球首座10万吨级深水半潜式生产储油平台，在我国首次实现了自主一体化水下生产系统设计，运用了13项国内首创技术。

而另一个事实是，在水面以下，开发该气田应用的水下生产系统均需从国外进口。水下井口、水下采油树等系列组成部件的设计、建造，专业集成度高、系统性强，目前我国该领域的装备基本被Aker、Technip FMC、Cameron Baker Huge等供应商垄断；水下脐带缆则被JDR、DUCO、NKT、Oceaneering、Nexans等供应商垄断。

不仅深水水下生产系统是如此，在浅水水下生产系统装备方面，也存在“浅水采油树进口零部件数量占比约8%而费用占比近40%，水下控制模块进口零部件占比约3%而费用占比约70%”的窘境。

对此，哈尔滨工程大学船舶学院副院长康庄指出，目前国际上新发现的深水油气田70%位于深海，深海油气资源开发装备正在向全水下生产系统趋势发展，而中国掌握的深水装备技术中，水下部分几乎是空白，水上部分掌握了一些，但是从金额来看占比也较小，近年来国际贸易环境日趋复杂，核心装备和技术面临的封锁日趋严重，一旦受到相关方的联合封锁，我国海洋油气资源开发行业将面临严峻形势。

实现了“0”到“1”，亟须向“深水区”进军

自研水下生产系统对打造自主可控的海洋油气装备体系具有重要意义，应尽快掌握水下生产系统总体设计技术、水下生产系统装备体系基础共性与关键核心技术

近年来，瞄准“把水下生产系统核心技术掌握在自己手里”的目标，我国油气装备产业以多个油气田的开发项目为依托，大力推进国产化深水水下生产系统研制和应用，建立起基本的深水技术与装备体系。



我国自主研发的首套深水水下多功能管汇系统、首套深水水下采油树、首台深水高压高温电液集成水下脐带缆终端设备（UTA）等水下生产核心装备陆续问世，实现浅水及500米深水水下生产系统的自主设计、制造，并应用于南海西部乐东22-1等多个新油气田。集高产、智能、低碳等特点为一体的恩平15-1油田群项目实现设备95%以上自主研发，首次应用国产中控系统、配电系统，首次通过我国自主研发的脐带缆为无人平台输送电力、通讯和化学药剂，拓展了国产装备在海上平台的应用前景；“深海一号”二期项目的水下中心管汇系统在实现自研的基础上进行了紧凑化、集成化等优化设计，可在高压、低温以及海水腐蚀等恶劣环境下免维护服役20年。

李志刚介绍说，目前我国水下生产系统已经实现了从“0”到“1”的历史性突破，浅水水下生产系统全系统平均国产化率达到了约70%，深水水下生产系统全系统平均国产化率达到了约60%，并正在逐渐形成较为完备的深海水下生产系统生产制造产业链；未来水下生产系统装备将继续向“水下工厂”的建设目标进军。

专家建议，未来，一方面要继续完善浅水水下生产系统的开发，突破技术“深水区”：进一步掌握浅水水下简易井口和采油树、水下控制系统、水下防护等关键核心技术，推进关键零部件持续深度国产化，构建标准化部件体系，完善产业链供应链与总装集成建设；另一方面要突破应用领域的“深水区”：面对1500米深水油气田开发需求，要开展两大关键水下核心装备——1500米级水下采油树及控制系统的研制，实施两大关键水下核心装备、九类水下关键零部件的国产化攻关，实现示范应用，加快产业化能力建设。

同时，要开展全电式水下生产系统研发，聚焦全电式水下控制模块功能可靠性和应用安全性，突破电力变送、低压大功率驱动和多电机同步控制等关键技术；掌握水下电动阀门密封可靠性、失效关断及低功耗保持等关键技术，建立水下电动阀门执行器驱动模式；布局水下生产系统储能电池及电池管理系统研究，形成适用于水下环境的高可靠性和长寿命的电储能技术。

水下生产系统是开发深水油气田的关键装备，能与较远处的浅水海域固定平台或深水海域的浮式生产设施联合，大幅节省深水油气田开发投资。业内专家认为，自研水下生产系统，对打造自主可控的海洋油气装备体系具有重要意义。应尽快填补国内空白，掌握水下生产系统开发方式总体设计技术、水下生产系统装备体系基础共性与关键核心技术；掌握超深水、超高温和超高压条件下水下生产系统装备可靠性/耐久性测试认证技术及安全评估技术；结合人工智能、大数据、云计算等新技术，实现水下生产系统组网监测与风险预警技术、智能风险管控与运维技术等突破；通过学科交叉与融合，实现水下生产系统核心装备体系与技术重大突破，初步形成水下生产系统理论与技术创新体系，支撑深海和极地油气资源高质量开发。

李琴

水下生产系统是海洋油气装备的核心设施，其自主可控对我国能源安全有着十分重要的意义，在国际政治风云变幻、我国大力进行现代化建设的大形势下，实现水下生产系统的自主可控极其必要与迫切。

目前，国际上新发现的深水油气田70%位于深海，而这些水域的油气勘探生产大多采用“导管架平台+水下生产系统长距离回接”模式与“浮式生产平台+水下生产系统”模式，均需水下生产系统的支撑。我国作为海洋油气装备特别是深水油气装备领域的后来者，在水下生产系统研制方面起步较晚，相关产品与技术很大程度上依赖于进口。而美国与欧洲依靠先发优势、技术优势、标准优势、专利优势等对全球海洋油气装备供应链具有掌控能力，是包括钻井系统、水下生产系统等海洋油气高端装备领域的“王者”。当前，美国已明确将中国列为竞争对手，并通过2018年生效的《出口管制改革法案》，对关键技术的进行闭环控制，全面收紧对新兴和基础技术外流的管控，对中国实行全方位的技术封锁。近年来，美国已将多家船海企业及院校列入“未经核实实体清单”，对我国相关领域进行精准打击。这给我国海洋油气装备供应链产业链的安全与稳定带来巨大挑战。因此，我国要想把能源的“饭碗”端在自己手里，必须加强加快水下生产系统等海洋油气高端装备的研发制造，打破国外企业特别是美国企业在这一领域的垄断局面。

水下生产系统等海洋油气高端装备的研制不仅依靠我国船舶行业的努力，也依靠我国工业水平的整体进步。当前，我国正大力开展现代化建设，全面加快发展现代产业体系，提升产业链供应链现代化水平，做好供应链战略设计和精准施策，加大重要产品和关键核心技术攻关力度。我国船舶行业应依托相关政策红利，联合相关行业，补齐水下生产系统短板，打造稳定安全、自主可控的海洋油气装备供应链产业链。

努力实现油气装备供应链自主可控

新闻深一度

典型的水下生产系统由水下设备和水面控制设施组成。按照功能可分为井口及采油树系统、管汇系统及连接系统、水下控制及脐带缆系统。

水下生产系统自20世纪60年代开始发展，利用水下完井技术结合固定式平台、浮式生产平台等设施组成不同的海上油田开发形式。水下生产系统可以避免建造昂贵的海上采油平台，节省大量建设投资，受灾害影响较小，可靠性强。随着海上深水油气田及边际油田的开发，水下生产系统在结合固定平台、浮式生产设施组成完整的油气田开发方式上得到了广泛应用。300米、1500米，通常被认为是浅水与深水、

深水与超深水之间的分界线。基于水深、环境条件、技术水平等方面不同，海洋油气开发会采取不同的模式。在浅水海域，尤其是针对水深在100米左右的油气田，通常是通过浅水导管架平台完成油气田的钻井井以及油气的开采、处理，再通过海底管道输送至陆地终端或浮式生产储油船进一步处理、储存。流花11-1油田是我国第一个采用水下生产系统的油田，平均水深300米，于1996年3月投产。流花11-1油田由集中管汇、一座半潜式浮式生产系统（FPS）和一艘浮式生产储油装置（FPSO）、单点系泊塔井和井下井口系统构成。流花11-1油田的开发实现了多项技术的创新，包括国内首次全部使用水平井、世界范围内首次使用水下井口电潜泵、国内首次全部采用遥控作业机器人完成水下作业维修等。

而在深水、超深水海域，则采用“导管架平台+水下生产系统长距离回接”模式与“浮式生产平台+水下生产系统”模式。前者适用于离浅水区较近的分散油气田开发，在深水区设置水下井口与生产系统，开采出的油气资源通过海底管道输送至固定在浅水海域的导管架平台进行加工处理，再通过长距离管道输送至陆地终端，如荔湾3-1气田开发。“浮式生产平台+水下生产系统”模式则通过水下生产系统开采出油气资源，再通过海底管道输送至半潜式生产平台或浮式生产储油船进行加工处理，比如油、气、水的分离等。“深海一号”采用典型的“浮式生产平台+水下生产系统”开发模式，增加了半潜式生产平台的储卸油功能，属世界首创。

