

我国海洋油气装备发展战略研究

程兵^{1,2*}, 付强^{1,2}, 李清平^{1,2}, 刘一斌^{1,2}, 朱琳^{1,2}, 吴英^{1,2}

(1. 中海油研究总院有限责任公司, 北京 100028; 2. 天然气水合物国家重点实验室, 北京 100028)

摘要: 海洋油气装备是开发海洋油气、建设海洋强国的国之重器, 近年来中国的海洋油气装备取得了一系列突破, 正在实现面向超深水的跨越, 但仍然存在一定的不足。本文全面分析和总结了海洋油气勘探装备、钻井装备、施工装备、生产装备的全球发展现状和国内发展水平, 分析了我国海洋油气装备领域的发展差距, 并提出了各个领域未来的重点发展方向。研究提出了我国海洋油气装备未来的发展目标, 并提出了无人化、智能化、标准化发展实现常规海洋装备产业的升级; 超前部署 3000 米级超深水油气田开发技术和装备体系, 制定关键核心装备清单, 加快核心装备的突破; 加快水下生产装备的国产化应用; 加快实现浮式液化天然气设施 (FLNG) 的突破, 打造大国重器; 加强海洋装备测试及认证体系建设, 助力“首台套”装备的应用; 探索海洋油气装备与海上新能源融合发展等战略建议, 以期为我国未来的海洋油气装备发展战略提供参考。

关键词: 海洋油气; 勘探装备; 钻井装备; 施工装备; 生产装备

中图分类号: TE951 **文献标识码:** A

Development Strategy of China's Offshore Oil and Gas Equipment

Cheng Bing^{1,2*}, Fu Qiang^{1,2}, Li Qingping^{1,2}, Liu Yibin^{1,2}, Zhu Lin^{1,2}, Wu Ying^{1,2}

(1. CNOOC Research Institute Co., Ltd., Beijing 100028, China; 2. State Key Laboratory of Natural Gas Hydrate, Beijing 100028, China)

Abstract: Offshore oil and gas equipment is crucial for developing offshore oil and gas and strengthening the marine power of a country. In recent years, China's offshore oil and gas equipment industry has made a series of breakthroughs and is realizing the leap toward ultra-deep water; however, there are still some drawbacks. This study reviews the development status of offshore oil and gas exploration, drilling, construction, and production equipment globally and in China, analyzes the gap between China and the advanced international level, and proposes the key development directions for each type of equipment. Future development goals and the following suggestions are further proposed: (1) upgrading the conventional marine equipment industry through unmanned, intelligent, and standardized development, (2) establishing a system of technologies and equipment for 3000-meter-level oil-gas field development, (3) formulating a key core equipment list to accelerate breakthroughs of core equipment, (4) accelerating the domestication of underwater production equipment, (5) achieving breakthroughs regarding floating liquefied natural gas facilities, (6) improving the marine equipment test and certification system, and (7) exploring the integrated development of offshore oil and gas equipment and offshore new energy resources, thereby providing references for future development of offshore oil and gas equipment in China.

Keywords: offshore oil and gas; exploration equipment; drilling equipment; construction equipment; production equipment

收稿日期: 2023-03-21; **修回日期:** 2023-05-08

通讯作者: *程兵, 中海油研究总院有限责任公司高级工程师, 研究方向为海洋资源发展战略; E-mail: chengbing@cnooc.com.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“我国海洋装备产业链发展战略研究”(2022-XBZD-01), “海洋装备重大基础技术与创新能力建设战略研究”(2022-HYZD-07)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

一、前言

海洋油气装备主要包括海洋勘探装备、海洋钻井装备、海洋施工装备、海洋油气生产装备等类型，涉及海洋油气开发的全流程各环节，是集安装建造、浮体结构、信息及新材料等高新技术的综合体，是多领域融合、多学科交叉的系统工程^[1]。目前全球海洋油气开发工程和装备市场已形成三级梯队式竞争格局。近年来我国深水开发取得突破，在深水油气开发技术和装备国产化方面正在努力缩小与国外的差距。第一梯队的部分欧美国家（美国、挪威等）最早发展海洋工程和装备，垄断着世界海洋工程装备的研发、设计和绝大多数关键配套设备技术；第二梯队由亚洲国家主导装备制造领域，我国近十年来从第三梯队跃居第二梯队的领先地位，与韩国、新加坡在高端海洋工程装备模块建造与总装领域形成三足鼎立之势，尤其是以荔湾3-1气田、流花16-2油田群、陵水17-2气田为代表的一系列深水油气开发工程成功实施，标志着我国海洋石油勘探开发装备实现从300 m深水向1500 m以上超深水的历史性跨越；第三梯队巴西、俄罗斯、阿联酋等资源大国成为海洋工程装备制造领域新的竞争者，但尚未在世界市场形成有力竞争力。

我国海洋油气装备从浅水开始起步，逐步开始对深水的布局 and 突破，经历了对外合作、自主攻坚的过程^[2]。1996年与美国阿莫科公司合作，用“南海挑战”号半潜式浮式生产系统（FPS）开发水深达330 m的流花11-1油田；半潜式钻井平台“奋进号”的成功应用使我国成为继美国、挪威之后第三个具备超深水半潜式钻井平台设计、建造、调试、使用一体化综合能力的国家；2014年水深近1500 m的荔湾3-1大气田的投产推动了水下生产装备的大规模应用。2008年，国家科技重大专项启动了“海洋深水油气田开发工程技术”项目，并通过连续三期十余年的资助，对深水钻完井装备、浮式平台、水下生产系统、立管、浮式液化天然气设施（FLNG）等深水重大装备开展了系统性的持续攻关；“十三五”期间科学技术部、工业和信息化部也分别对深远海保障平台、干树半潜平台、FLNG等部分重大装备的攻关进行了资助；国家重点研发计划在“十三五”“十四五”期间分别资助了“深海关键技术与装备”专项、“深海和极地关键技术与装备”专项。

这些科研项目结合工程实践应用，推动了我国深水技术的突破和深水装备的进步，助力我国海上油气作业装备日趋完备，深海油气开发舰队初步形成。

为实现我国海洋油气装备高质量发展，有必要对各个类型的海洋油气装备的国内外发展现状和趋势进行全面的梳理，分析我国海洋油气装备的不足，从而提出我国海洋装备发展的重点发展方向以及战略目标和建议，助力我国实现由海洋油气装备制造和应用大国向强国的转变，保障我国能源安全、支撑海洋强国建设。

二、全球海洋油气装备的发展现状

（一）海洋油气勘探装备

海洋勘探装备中最核心的装备为物探船。2007—2014年全球物探公司急速扩张，产能过剩影响延续至今。2014年全球勘探投资开始下降，由于受疫情和低油价影响，2020—2022年更是处于勘探投资低谷^[3]。全世界物探船保有量近150艘，但近3年来利用率均不足50%，因此新建意愿不强。物探船研发制造主要集中在欧洲，其中挪威是物探船配套设备和建造船厂最集中的国家，也是运营物探船最多的国家^[4]，欧洲之外拥有较多物探船的国家是美国、中国和阿联酋，但大型深水物探船仍然被挪威坦索地球物理公司（PGS），西方奇科（Western Geco）公司，法国地球物理维里·达斯集团公司（CGG-veritas），辉固国际集团（Fugro Geoteam）等欧洲公司所拥有，上述公司占据全球海洋三维物探市场80%以上的份额。全球具备设计和开发大型物探船能力的国家为数不多，船型开发主要由挪威Skipsteknisk, Vik-Sandvik, Marin Teknisk, Ulstein和英国的Rolls-Royce等公司主导。挪威PGS推出的24缆“Ramform”系列是目前缆数最多的物探船，其宽船艏的设计确保了作业能力的提升。此外，为了满足面向深水、深层勘探的多种需求，高密度、宽频、宽方位、多波多分量多节点深水/超深水海底节点相关装备和技术成为海洋勘探领域最新的发展方向^[5]。

（二）海洋油气钻井装备

随着2022年油气价格大幅上涨，全球海洋油气钻井装备的利用率大幅提高至70%以上，作业日费

也显著增加。新加坡的吉宝集团、胜科集团，韩国的三星集团和大宇集团，美国的Friede Goldman以及挪威阿克（AKER）海洋生物公司在深水钻井装置的设计建造方面具有很强的实力。国际海洋钻井装备作业水深、钻井深度能力不断提高，作业水深能力超过4000 m，钻深能力超过15 000 m；半潜式钻井平台外形结构继续优化，进一步减轻平台结构自重，提高可变载荷与平台自重之比；环境适应能力更强，平台进一步适应更深、更冷海域的恶劣海况，甚至可达全球全天候的工作能力；排水量和可变载荷增加，可变载荷超过10 000 t^[6]；钻机最大钩载超过1250 t，普遍采用双井架；水下防喷器安全性进一步增加，采用全电控制，具有7~8个闸板，压力等级达20 000 psi（1 psi=6.895 kPa）；平台多功能化和系列化；不断有新型式钻井装备出现，如无隔水管钻井装置、海底钻机等。国外在深水钻井平台及生产平台钻井系统设计、配套、设备制造技术方面已经比较成熟，形成了交流变频钻机、液压钻机、双列多功能钻井塔等类型的深水钻机^[7]。

（三）海洋油气施工装备

近两年来，伴随着全球石油价格持续走高，海洋施工装备行业逐渐复苏，重吊船、水下多功能船、铺缆船等海洋油气施工船舶需求市场逐渐回暖。深水作业的发展给海洋施工装备的发展提出了新的需求，全球45%的重吊船是驳船，往往仅能在亚太地区的良性水域工作，而船型重吊船、半潜式重吊船及双体船则面向深水市场部署。在国际上，随着海上大型生产设施增多，一般的海上作业支持装置无法满足需求，在海洋工程界对应出现了大型化的海上作业装置以满足此类需求。大型半潜式起重船从双8000 t发展到双万吨，可顺利完成海上更大型设施的安装和拆卸，可以用于安装和拆除导管架以及上部组块，还可用于安装深水装置的基础、系泊系统等。“Sleipnir”号（见图1）半潜式起重船的出现为双万吨级半潜式起重船的建造掀开了序幕。此外，由于海上大型作业船的稀缺性，加上其昂贵的动复员费用，当海上油气生产设施需要开展多功能的复合作业时，功能单一的大型船舶很难满足需求。例如大型海上导管架平台的拆卸作业，往往需要一艘能拆除上部组块的作业装置和一艘能拆除导管架的作业装置，两艘装置的工期衔接、动复



图1 “Sleipnir”号半潜式起重船

员费用等累加起来会十分昂贵。一艘功能单一的海上作业装备一旦其功能短期内没有市场需求，就可能处于闲置状态，从而造成巨大的资源浪费。在这样的背景下，能完成多种功能的海上复合作业装备应运而生。以起重铺管工程船“Pioneering Spirit”号为例，其功能的设置和服务的范围代表着海上作业装备新的发展方向。总体来看，为适应全球海洋油气发展需求，海洋油气施工装备正向着大型化、多功能化和智能化方向发展。

（四）海洋油气生产装备

导管架平台是应用最为广泛的海洋油气生产装备，目前全球共有数千座导管架平台，其中应用水深超过280 m的仅有10座。国际上浮式生产设施作业水深越来越深，浮式液化天然气生产储卸装置（FPSO）、半潜式生产平台、深吃水立柱式平台（SPAR）、张力腿平台（TLP）等广为应用；新型浮式装置，如FLNG，深水八角形浮式钻井生产储油平台（FDPSO）等不断涌现^[8]。全球目前一共有220余艘FPSO，分布于各个海域，其中超深水FPSO有39艘，主要分布于南美、非洲海域，Turritella作业水深达到2900 m。有32座半潜式生产平台在世界范围内服役，近五年新建4座，另有9座计划建设或在建，新建半潜式生产平台的船体结构型式基本固定，即环形浮箱、4根立柱的典型船体型式，主要分布在巴西、北海、墨西哥湾海域等，其中Independence Hub作业水深最深，达到2414 m。TLP平台广泛应用于墨西哥湾、西非、北海（大西洋东北部的边缘海）、东南亚、巴西，适合各类海洋环境条件，目前全球已建成30座TLP平台，墨西哥湾的Bigfoot平台作业水深最深，达1580 m。

SPAR 平台已建成 21 座，其中墨西哥湾 20 座，Perdido 平台作业水深最深，达 2383 m。FLNG 装置已经建成 5 座，Prelude 大型工程已经投产，Coral-Sul FLNG 成为首个超过 2000 m 水深的 FLNG 项目。浮式生产设施在不同作业环境下的适应能力越来越强，在深远海、极地、恶劣海况下得到了更多的应用。

水下生产系统通过水下井口、海底的水下生产设施、海底管线和电缆，将油气井生产的油气混合物输送至较远的处理平台或岸上油气处理厂。水下生产系统设备包括井口设备、采油树、管汇、基盘、控制系统、脐带缆、管线、增压系统和水下处理系统等^[9]。国际上水下关键设备如水下管汇、海底计量装置、水下控制单元等已经广泛应用，水下增压、水下油气处理等创新技术逐步进入工业化应用阶段，水下遥控作业机器人作业水深达 4000 m，水下油气田开发模式日益丰富，应用水深、水下油气田回接距离的纪录快速刷新。当前应用水下生产系统开发的油气田水深纪录为墨西哥湾 Perdido 项目，最大水深 2943 m；应用全水下生产系统开发油气田并通过 143 km 的海底多相输送管道直接回接到陆上终端已在挪威实现。水下生产系统成为经济高效地开发深水油气田和海上边际油气田的重要技术手段，并逐步向远海拓展。

三、我国海洋油气装备发展现状与差距

（一）海洋油气勘探装备

随着几十年来海洋石油勘探行业的快速发展，我国已经形成一支亚洲领先的海洋油气勘探装备队伍，海洋拖缆系列装备已成规模，核心设备国产化程度逐步提高^[10]。随着勘探区域逐步向南海深海发展，我国迫切需要具有高续航力、自持能力，以及强抗风浪能力的物探装备^[11]。“海洋石油 720”深水物探船是我国自主建造的第一艘大型深水三维地震物探船，是我国设计和建造的第一艘满足保护涂层性能标准（PSPC）的海洋工程船，是一艘由柴电推进系统驱动、可航行于全球 I 类无限航区的 12 缆双震源大型物探船，是物探船主流技术的代表^[12]。“海洋石油 721”是我国第二艘大型深水物探船（见图 2），具备拖带 12 条 8000 m 长采集电缆进行地震勘探作业的能力，深海勘探拓展至 3000 m，各项性



图2 “海洋石油 721”

能指标达到国际先进水平，可进行 50 m 电缆间距的高密度地震数据采集；震源压力可达 3000 psi；配备了新一代地震数据采集系统、综合导航系统、电缆横向控制系统、全套物探机械遥控操作系统及先进的全柴-电推进系统。我国在海洋勘探关键核心设备方面取得显著突破，2022 年自主海洋地震勘探拖缆核心成套装备“海”系列（“海源”震源控制系统、“海亮”地震采集系统、“海燕”拖缆控制系统和“海途”综合导航系统）整体列装“海洋石油 720”深水物探船，并投入生产使用，有效地提升了海洋地震成像品质。中海油田服务股份有限公司成为继舍赛尔（Sercel）公司、美国 ION 地球物理集团公司之后全球第三家掌握海洋拖缆地震勘探成套装备技术的公司。主要差距在于宽频、宽方位的深水、超深水的新型地震资料采集技术仍有不足；此外微机电系统（MEMS）芯片等高端核心设备仍有待突破。

（二）海洋油气钻井装备

我国浅水油田使用的钻井装备包括海洋模块钻机、坐底式钻井平台、自升式钻井平台，这些装备从船体设计建造到配套的船体设备、钻机设备均已实现全面国产化^[13]。国内海洋模块钻机和修井机的数量已有 100 多座，自升式钻井平台的数量也超过 50 座，钻机的最大作业水深达到约 120 m（“海洋石油 941”系列），最大钻井深度达 10 000 m，从船体设备（包括桩腿、升降装置）到钻机设备也全部实现了国产化。总体来说，我国浅水钻井装置的设计建造技术发展已经比较成熟，基本达到了国际先进水平。我国目前在用的深水钻井装备主要是半潜式钻井平台，还有待进一步发展其他类型的钻井装

备。目前国内有 18 座半潜式钻井平台，我国半潜式钻井平台经过多年发展，已形成作业水深从 300~3600 m 的系列船队，从数量、作业水深、平台配置等方面已经能够和世界先进水平接轨，而且经过建造“奋进号”“蓝鲸 1 号”等先进的第六代平台，我国半潜式钻井平台设计和建造水平已经和国际先进水平相差不大。主要差距在于深水钻机、深水防喷器等部分关键核心装备仍需要依赖进口，自主化程度不高；缺乏自主知识产权的船型设计，船型相对单一，核心技术仍掌握在国外少数专业公司手中，国内企业处于产业链中低端。

（三）海洋油气施工装备

我国深水油气施工作业装备涉及多个种类，包括起重船、浮托驳船、下水驳船、运输驳船、铺管船、深水工程船、拖轮。目前我国建成了具有国际先进水平的 5 型作业船队，基本形成了 1500 m 深水油气勘探开发配套作业能力，实现了我国海洋深水工程装备的自主化，填补了国内空白。建造了大量重吊船和自升式起重船，自主研发了大型深水工程船舶配套设备，依托“海洋石油 201”形成 3000 m 水深海底管道和设备安装能力，成功完成荔湾、流花、陵水项目等多项深水作业任务。“海洋石油 201”是中国首艘 3000 m 深水铺管起重船（见图 3），也是世界上第一艘同时具备 3000 米级深水铺管能力、4000 吨级重型起重能力和 DP-3 级动力定位能力的船型深水铺管起重船，能在除北极外的全球无限航区作业，入中国船级社（CCS）和美国船级社（ABS）双船级。建成了世界一流的多功能、超深水作业，同时具有起抛锚、拖带和供应功能的三用工作船“海洋石油 681”，可用于拖曳深水石油平台、大型起重船、大型下水驳船、FPSO、工程作业船舶和海洋结构物，是大型海洋工程结构物移动远洋拖航的主拖船，能进行 3000 m 深水抛起锚作业，可提供快速高效的抛起锚作业服务，具有海面浮油回收和海面油污消除作业能力，能进行深水油田守护值班和营救作业。依托我国海洋施工装备的发展，形成了满足不同海域、不同水深、不同气候条件下的动力定位浮托安装、锚系浮托安装能力，掌握了 3 万吨级超大型海上平台浮托安装和 3 万吨级导管架滑移下水工程能力。主要差距在于 1500 m 以上超深水的作业实践经验不足，距离国际先进



图3 “海洋石油 201”

的 3000 米级的作业能力仍有明显差距，装备的作业能力仍有待挖潜，部分作业还需要借助国外安装公司。

（四）海洋油气生产装备

我国的导管架平台设计、建造和安装能力已经十分成熟，尤其是集成建造和浮托安装技术处于世界领先水平。2022 年我国新建投产的亚洲第一深水导管架“海基一号”在南海陆丰油田服役，作业水深达 286 m（世界第八位），标志着我国深水超大型导管架成套关键技术和安装能力迈向了世界一流。

随着深水油气开发的推进，国内的浮式生产装置如半潜式生产平台、FPSO 的应用取得进一步的突破。多家企业正在开展新型浮式装置（圆筒形 FPSO、FLNG，FDPSO、半潜式干树采油平台）的工程技术研究^[14]。我国目前共设计建造了 19 艘 FPSO，其中两艘为深水 FPSO：“南海胜利号”的作业水深约为 330 m；“海洋石油 119”的作业水深约为 420 m。目前已可以实现船型 FPSO 的国内设计、建造、安装、运维；但对于单点系泊系统等关键核心设备仍需要国外公司提供总包设计，国内船厂可实现集成建造。国内船厂如上海外高桥造船有限公司、大连船舶重工集团有限公司、海洋石油工程股份有限公司、中远船务工程集团有限公司等已可以实现 FPSO 船体与上部组块的集成建造，并可以承接国外的 FPSO 建造订单。圆筒型 FPSO 由于不采用单点系统，已可以实现国内自主建造，国内已经顺利承担过“希望号”“企鹅号”等圆筒形 FPSO 的建造，亚洲首艘圆筒型 FPSO——流花 11-1/4-1 油田二次开发项目圆筒型 FPSO 正在推进。目前国内共

建成两座深水半潜式生产平台：1997年建成“南海挑战号”半潜式生产平台，用于流花11-1油田，作业水深约330 m，已实现二十多年安全作业；2021年建成全球首座十万吨级深水半潜式生产储油平台“深海一号”，用于陵水17-2深水自营大气田，作业水深约1500 m（见图4）。目前国内主要船厂具备建造半潜式生产平台的能力，海洋石油工程股份有限公司具备深水半潜式平台的安装作业能力。目前国内没有已建成的TLP平台，但对于TLP平台设计、建造、安装技术开展了大量研究工作，国内主要船厂可完成TLP平台主体建造，也具备依靠国内安装船舶资源进行平台安装的能力，但TLP平台的工程实施技术体系与国外有较大差距，张力腿系统、立管系统等关键核心部件仍需进口。国内没有SPAR平台应用，对于SPAR平台设计、建造、安装技术开展了部分研究工作，但无建造、安装、运维经验及能力，关键核心部件需要借助国外资源。对于FLNG国内做了大量相关研究工作，具有一定的建造技术基础和经验，已经具备国际订单的集成建造能力，但总体上仍有大量的核心技术问题需要解决^[15]。主要差距在于浮式生产装置在基础共性技术方面仍然较为薄弱，特别是深水工程水动力性能分析软件、结构性能分析及模型实验技术、海洋工程风险评估、工程建造技术和管理技术等基础共性技术方面；此外，当前装备的类型还难以全方位满足南海深远海复杂的海洋环境和缺乏依托设施情况下的开发需求。

自20世纪90年代中国海洋石油集团有限公司与阿莫科东方石油公司采用水下生产技术联合开发流花11-1水下油田以来，已经相继开发了陆丰22-1、惠州32-5，惠州26-1北水下油田、流花4-1、崖城



图4 “深海一号”半潜式生产储油平台

13-4、流花19-5、番禺34/35-1/2、流花11-1三井区^[16]、文昌9-2/9-3/10-3区块，随着荔湾3-1、流花16-2油田群和陵水17-2区块深水油气田的开发，水下生产系统在我国得到大规模的应用^[17]（见图5），目前已经有18个海上油气田采用水下生产系统进行开发。我国水下油气生产系统技术研究起步相对较晚，长期以来国内所用水下装备多依赖进口，采购和维护成本高，供货周期长，极大地限制了我国海洋油气田开发事业的进展。为打破国外技术壁垒，近年来国内水下油气生产系统装备研发与设计技术已取得显著突破，包括水下管汇、水下多相流量计、水下脐带缆等在内的多类水下关键装备已完成工程样机的研制并通过第三方认证，开始陆续进入示范应用阶段^[18]。主要差距在于常规水下装备尽管正在陆续实现国产化，但现场应用的业绩仍然较少；此外深远海回接所需的水下压缩机、水下分离器等新型水下装置的研究才刚刚起步；水下装备的测试体系仍不够完善。

四、我国海洋油气装备发展目标、重点方向及战略建议

（一）发展目标

对于我国海洋油气装备的发展，从2035年和2050年两个时间节点制定发展目标。

（1）到2035年，我国海洋油气装备和技术总体处于并跑阶段，部分处于领跑阶段。基本建成深远海资源开发装备和技术体系，初步形成3000 m油气开发装备和技术能力，实现深海资源开发主要关键装备和设备的国产化，有效支撑我国深远海的油气开发，总体达到国际先进水平。

（2）到2050年，海洋油气装备和技术达到国际领先水平。全面建成深远海资源开发装备和技术体系，形成超过3000 m资源开发装备和技术能

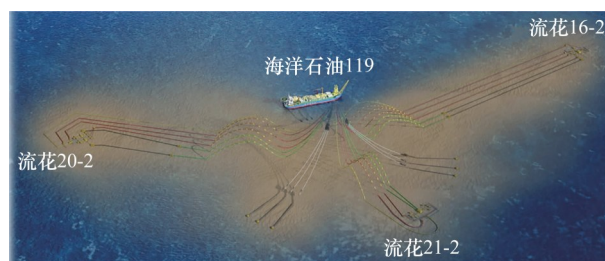


图5 流花16-2油田群开发模式

力,全面实现关键装备和设备国产化,成为海洋油气开发高端装备的制造强国,总体达到国际领先水平。

(二) 重点发展方向

我国海洋油气装备未来的重点发展方向见表1。

(三) 发展建议

1. 无人化、智能化、标准化发展实现常规海洋装备产业的升级

加快海洋装备无人化、智能化升级,建设数字油气田、智能油气田,提升海洋装备建造和运维的智能化水平,实现海洋装备的现代化升级;加强常

表1 我国海洋油气装备重点发展方向

类型	重点发展方向	重点内容
勘探装备	深水/超深水、深层/超深层海底地震采集装备	重点发展深水/超深水、深层/超深层海底节点、海底地震用的高端光纤以及MEMS检波器和采集芯片等核心零部件
	海洋油气勘探地震混采装备	拖缆与海底地震联合混采凭借其高性价比的高效采集装备逐渐成为新的发展方向,可有效克服单一方法的局限性
	深水海床水平静力触探(CPT)测试及取样装备	深水海床CPT测试及取样装备是深水勘察的重要技术和重要装备之一,尤其是深水软土取样及原位测试技术和装备,可为海底设施的建造安装提供详细的岩土设计参数
钻井装备	深水钻机关键设备国产化	开展深水钻机关键设备的国产化工作,如升沉补偿装置、隔水管张力器、主动升沉补偿绞车、深水水下防喷器、司钻控制系统、大功率顶驱、大功率钻井绞车、管子处理系统、隔水管运送系统、防喷器运送系统等
	探索多种类型的深水钻井装置	根据国外先进海洋钻井装备发展方向,开展不同类型海洋钻井装备技术研究,包括深水钻井船、辅助钻井装备(Tender钻机)、FDPSO等,并开展新型钻井装备的前瞻性研究
	数字化、智能化钻井	将数字化和智能化技术融入海洋钻井装备研发设计中,提升海洋钻机的智能化和自动化水平,实现全面感知和智能控制,以及作业时效和风险控制能力
施工装备	大型海上作业装备	为海上大型油气田的开发和大型平台的潜在需求提供支撑,避免现有的作业船队无法满足需求而必须借助国外昂贵的大型作业装备的情况,也可以为我国油田服务行业占领国际市场提供支撑
	多功能深水作业装备	研发可以用于海上铺管、平台安装及拆卸等多种功能的海上作业装置和海上多用工作船,可以满足不同市场条件下的需求,确保工作量和较高的利用率
	专用配套系统	突破J型铺设系统、卷管铺设系统、水下机器人等
浮式生产装备	FLNG	包括FLNG液货维护技术、紧凑型预处理技术、液化工艺技术、外输技术等,尽快实现FLNG装置在国内的应用
	深水浮式平台关键技术	圆筒形FPSO、TLP、干树平台设计建造技术、台风模式生产及解脱技术、系泊技术、立管技术等
	关键核心设备国产化 深水浮式生产装置运维技术	单点系泊系统、动力定位系统、柔性立管、系泊张紧器、钢缆等 特种新型监/检测装备,全寿命期智能化、数字化评估技术,设施完整性管理技术体系等
水下生产装备	水下远距离增压技术	突破水下多相泵、水下压缩机、水下分离器等关键装备,实现更远距离的水下回接,拓展水下开发方案的应用范围
	全电式水下生产系统	该系统具有响应迅速,控制距离长,零污染等优点,是海底油气田开发未来的重要发展方向
	水下生产装置的测试、认证和 海试技术及相关标准	完善各类水下装备的测试和认证流程,推动水下装备在完成样机后尽快投入使用

规海洋装备设计建造的标准化建设，形成工程设施规模化定制，构建通用工程模式，提高工程建设效率，实现工程设施共享，助力海上油田的高效开发。

2. 超前部署3000米级超深水油气田开发技术和装备体系

以突破南海深远海油气开发的技术瓶颈为目标，超前部署3000米级深水油气田开发技术和装备体系，为深远海开发做好储备。加快突破自主可控的深远海油气独立开发关键技术装备，重点突破FLNG液化、存储、外输装卸等核心装备（用于气田）和深水FPSO装备（用于油田）；加强对TLP、圆筒形FPSO、深远海保障平台、深水大型多功能施工船等新型浮式装置的技术攻关，打造能够适应南海开发不同需求的深水开发舰队；针对深远海回接距离远的问题，攻克水下分离器、水下多相泵、水下压缩机、深水智能集输管网等关键设备。

3. 制定关键核心装备清单，加快核心装备的突破

建议设立制约我国海洋深水油气田开发的关键设备和“卡脖子”技术重大专项，加大原始创新力度，重点开展深水工程所需的原材料、核心元器件、关键核心装备的自主研发，加快开展水下生产系统关键设备国产化应用、浮式设施配套关键设备研发力度，加快推动深水浮式设施配套关键设备的自主研发；加强深水工程关键设备和产品及其所需的原材料（低温材料、抗腐蚀材料、抗高温和高压材料等）和核心元器件（高精度的监/检测数据传输器件、大型轴承、滑环堆栈、深水立管柔性接头/张紧器等）的自主研发，推动国产化和产业化应用。

4. 加快水下生产装备的国产化应用

国产多种常规的水下生产装备已经完成部分产品的自主化研制，即将陆续择机应用，建议尽快优选落实目标油气田，加快水下生产装备的国产化应用推进速度；以渤海受限区域的开发为契机，推动浅水水下生产装置广泛应用，助力渤海开发；加快深水核心水下生产装备的攻关，尤其是适合深远海开发的全电式水下生产装备、水下压缩机、水下分离器等目前国内较为薄弱的环节，助力我国南海深水开发。

5. 加快实现FLNG的突破，打造大国重器

南海深远海离岸数百乃至上千公里，缺乏可依

托设施，水深远超1500 m，为实现深远海天然气的独立开发，FLNG装置是首选方案。FLNG等深海高端装备既是开发深海资源的大国重器，也是科技创新重大突破的里程碑。高端重大装备的研发需要大量的资金投入，因此对于其首次应用，建议给予一定的配套政策支持，以鼓励相关企业积极推动技术和装备的进步。建议立项进一步支持FLNG关键技术和核心装备的研发，为后续示范应用做好储备。针对其生产处理、液化、船体、系泊、外输等环节的核心设备和材料予以攻关，重点突破紧凑式预处理设备、液化工艺包、液舱维护系统、单点系泊装备、外输装备、低温设备及材料等，尽早实现自主可控的关键技术装备能力。

6. 加强海洋装备测试及认证体系建设，助力“首台套”装备的应用

加强海洋装备测试体系的建设，确保工业样机研发完成后能够经过测试以验证其性能；完善国内海洋装备认证机构和体系建设，获取并积累相关认证经验；加强中试、海试体系建设，为工业化应用积累数据和经验；通过海洋装备测试及认证体系建设，打通国产装备投产前的最后“一公里”，助力“首台套”装备的应用。

7. 探索海洋油气装备与海上新能源融合发展

充分发挥我国已经积累的海洋油气装备领域的优势和经验，积极探索海洋油气装备与海上风电、海洋能、海上制氢、海洋地热能等多种途径的“油气+新能源”的融合发展模式，推动海洋油气开发装备的绿色转型，助力“碳达峰、碳中和”目标的实现。

利益冲突声明

本文作者在此声明彼此之间不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: March 21, 2023; **Revised date:** May 8, 2023

Corresponding author: Cheng Bing is a senior engineer from the CNOOC Researcher Institute Co., Ltd. His major research field is development strategy of marine resource. E-mail: chengbing@cnooc.com.cn

Funding project: Chinese Academy of Engineering project “Development Strategy of China’s Marine Equipment Industry Chain” (2022-XBZD-01), “Strategic Research on Major Basic Technology and Innovation Capability Development of Marine Equipment” (2022-HYZD-07)

参考文献

[1] 陈荣旗. 海洋油气生产装备智能制造发展现状及前景展望 [J].

- 中国海上油气, 2020, 32(4): 152–157.
- Chen R Q. Current development status and prospects of the intelligent manufacturing of offshore oil and gas production equipment [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2020, 32(4): 152–157.
- [2] 王震, 鲍春莉. 中国海洋能源发展报告 2022 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2022.
- Wang Z, Bao C L. *China ocean energy development report 2022* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2022.
- [3] 吴佩达, 张昊楠, 阮福明, 等. 海上地震勘探拖缆定位数据处理系统设计与实现 [J]. *工程勘察*, 2021, 49(4): 62–65.
- Wu P D, Zhang H N, Ruan F M, et al. Design and realization of a precise positioning system for offshore towed-streamer seismic exploration [J]. *Geotechnical Investigation & Surveying*, 2021, 49(4): 62–65.
- [4] 夏侯命胜, 李志雨, 王东, 等. 物探船关键技术及发展趋势 [J]. *船舶工程*, 2019, 41(10): 16–23.
- Xiahou M S, Li Z Y, Wang D, et al. Key technology and development trend of physical exploration vessel [J]. *Ship Engineering*, 2019, 41(10): 16–23.
- [5] 高翀, 刘都让, 吴青松, 等. 物探装备智能化发展探讨与展望 [J]. *物探装备*, 2022, 32(4): 221–224.
- Gao C, Liu D R, Wu Q S, et al. Discussion and prospect of intelligent development in geophysical prospecting equipment [J]. *Equipment for Geophysical Prospecting*, 2022, 32(4): 221–224.
- [6] 王定亚, 孙娟, 张茹新, 等. 海洋钻井装备技术现状与发展思路研究 [J]. *石油机械*, 2021, 49(3): 84–89.
- Wang D Y, Sun J, Zhang J X, et al. Technology status and development thinking of offshore drilling equipment [J]. *China Petroleum Machinery*, 2021, 49(3): 84–89.
- [7] 赵涛, 黄元元, 贾向锋, 等. 我国海洋油气钻井装备技术现状与展望 [J]. *石油机械*, 2022, 50(4): 56–62.
- Zhao T, Huang Y Y, Jia X F, et al. Offshore oil/gas drilling equipment in China: Review and prospect [J]. *China Petroleum Machinery*, 2022, 50(4): 56–62.
- [8] 朱海山, 李达, 魏澈, 等. 南海陵水 17-2 深水气田开发工程方案研究 [J]. *中国海上油气*, 2018, 30(4): 170–177.
- Zhu H S, Li D, Wei C, et al. Research on LS17-2 deep water gas field development engineering scenario in South China Sea [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2018, 30(4): 170–177.
- [9] 程兵, 李清平, 黄冬云, 等. 水下生产系统管汇布置研究 [J]. *石油机械*, 2015, 43(3): 60–63.
- Cheng B, Li Q P, Huang D Y, et al. Configuration of manifolds in underwater production system [J]. *China Petroleum Machinery*, 2015, 43(3): 60–63.
- [10] 阮福明, 张昊楠, 胡广浩, 等. 基于 CORBA 命名服务的海上拖缆综合导航系统命名设计 [J]. *电子技术与软件工程*, 2020 (24): 17–19.
- Ruan F M, Zhang H N, Hu G H, et al. CORBA naming service based naming design of integrated navigation system for offshore towing cables [J]. *Electronic Technology & Software Engineering*. 2020 (24): 17–19.
- [11] 张文昊, 顾洪, 宋峥嵘, 等. 浅谈海洋资源物探船的设计特点 [J]. *石油和化工设备*, 2017, 20(4): 68–71.
- Zhang W H, Gu H, Song Z R, et al. Introduction to the design characteristics of marine resource exploration vessels [J]. *Petro-Chemical Equipment*, 2017, 20(4): 68–71.
- [12] 於国平, 岳长青, 罗军超, 等. 有缆机器人在深水节点采集勘探中的应用及发展趋势 [J]. *物探装备*, 2021, 31(6): 369–372, 375.
- Yu G P, Yue C Q, Luo J C, et al. Application and development trend of cable robots in deep water node acquisition exploration [J]. *Geophysical Equipment*, 2021, 31(6): 369–372, 375.
- [13] 刘健. 我国海洋钻机设备发展路径研究 [J]. *中国工程科技*, 2020, 22(6): 40–48.
- Liu J. Development path of offshore drilling equipment in China [J]. *Strategic Study of CAE*, 2020, 22(6): 40–48.
- [14] 王春升, 陈国龙, 石云, 等. 南海流花深水油田群开发工程方案研究 [J]. *中国海上油气*, 2020, 32(3): 143–151.
- Wang C S, Chen G L, Shi Y, et al. Engineering plans study on the development of Liuhua deep water oilfields in the South China Sea [J]. *China offshore Oil and Gas*, 2020, 32(3): 143–151.
- [15] 赵晶瑞, 李清平, 王世圣. FLNG 尾输过程耦合运动分析 [J]. *舰船科学技术*, 2021, 43(7): 64–69.
- Zhao J R, Li Q P, Wang S S. Research on the coupled motion response of a FLNG in tandem offloading process [J]. *Ship Science and Technology*, 2021, 43(7): 64–69.
- [16] 李清平, 朱海山, 李新仲. 深水水下生产技术发展现状与展望 [J]. *中国工程科学*, 2016, 18(2): 76–84.
- Li Q P, Zhu H S, Li X Z. The current state and future of deep water subsea production technology [J]. *Strategic Study of CAE*, 2016, 18(2): 76–84.
- [17] 李志刚, 安维峥. 我国水下油气生产系统装备工程技术进展与展望 [J]. *中国海上油气*, 2020, 32(2): 134–141.
- Li Z G, An W Z. Progress and outlook of equipment engineering technologies for subsea oil and gas production system in China [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2020, 32(2): 134–141.
- [18] 中国海洋装备工程科技发展研究院. 2021 年中国海洋装备发展报告 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2021.
- China Marine Equipment Engineering Science and Technology Development Strategy Research Institute. 2021 China marine equipment development report [M]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University Press, 2021.