DOI 10.15302/J-SSCAE-2026.07.015

深远海一体化服务保障体系建设发展战略研究

郭欣承[1,2]，王国荣[1,2*]，钟林[1,2]，黄泽奇[1,2]，曾薪霖[1,2]，何苗[1,2]，谢毅[1,2]

（1. 西南石油大学机电工程学院，成都 610500；2. 西南石油大学能源装备研究院，成都 610500）

摘要：随着海洋开发重心向深远海持续拓展，南海作为我国最具代表性的深远海海域，战略地位日益凸显。本文以油气开发、海上风电、深远海养殖、航运安防及应急抢险五类场景保障需求为导向，梳理了我国现有保障体系在基地布局、技术装备和运行机制方面的瓶颈，发现目前“分散管理、按需协调”的保障模式难以满足深远海跨度大、海况复杂和需求多样化的保障需求。基于此，提出构建“陆基为主、海基为辅、智能高韧”的一体化服务保障体系，旨在通过“后方基石–区域中继–前沿支撑–机动补充”层级化保障网络和协同机制，实现保障资源的前置部署、快速投送与统筹调配。最后，从完善协同运行机制、强化关键技术装备能力及推进层级化保障网络建设等方面提出发展建议，以期提升响应速度、保障效能和系统韧性，为我国能源安全和海洋权益维护提供持续可靠的保障支撑。

关键词：深远海一体化服务保障体系；层级化保障网络；协同机制；陆基为主；海基为辅

中图分类号：P75　　**文献标识码：**A

Development Strategy of Integrated Service Support System for Deep and Far Sea

Guo Xincheng[1,2], Wang Guorong[1,2*], Zhong Lin[1,2], Huang Zeqi[1,2], Zeng Xinlin[1,2], He Miao[1,2], Xie Yi[1,2]

(1. School of Mechatronic Engineering, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China;
2. Energy Equipment Research Institute, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China)

Abstract: As the focus of marine development continues to expand toward the deep and far sea, the South China Sea, as the most representative deep-sea area in China, has become increasingly significant in terms of its strategic position. Guided by the security needs of five scenarios, namely oil and gas development, offshore wind power, deep- and far-sea aquaculture, shipping security, and emergency rescue, this study sorts out the bottlenecks regarding China’s existing service support system in terms of support base layout, technical equipment, and operation mechanism. It reveals that the current support model of “decentralized management and on-demand coordination” is difficult to meet the support needs of the deep and far sea that features large spans, complex sea conditions, and diversified needs. Based on this, the study proposes an integrated service support system that is “dominated by land-based supply, supplemented by sea-based support, and characterized by intelligence and high toughness,” aiming to achieve the pre-deployment, rapid delivery, and coordinated allocation of support resources through a hierarchical support network and a collaborative mechanism. Specifically, the hierarchical support network consists of “rear foundation, regional relay, frontline support, and mobile supplement.” Furthermore, suggestions are proposed in terms of strengthening the collaborative operation mechanism, accelerating the independent development of key technologies and equipment, and promoting the construction of a hierarchical support network. These measures

收稿日期：2026-07-17；**修回日期：**2026-08-12

通讯作者：*王国荣，西南石油大学能源装备研究院教授，研究方向为油气装备开发及能源综合利用；E-mail: 200331010023@swpu.edu.cn

资助项目：中国工程院咨询项目“深远海作业及保障体系建设战略研究”(2025-HZ-32)

本刊网址：sscae.engineering.org.cn

aim to improve response speed, support effectiveness and system resilience, and provide continuous and reliable support for China's energy security and the protection of marine rights and interests.

Keywords: integrated service support system for deep and far sea; hierarchical support network; collaborative mechanism; dominated by land-based supply; supplemented by sea-based support

一、前言

在全球能源结构调整、海洋开发重心持续向深远海拓展的战略背景下，深远海正逐步成为海洋资源开发、海洋科技创新和海洋经济发展的重要空间[1-2]。随着我国海洋开发需求不断提升，海洋发展重心加速从近海向深远海延伸[3]。近年来，国家层面持续加强深海科技与深远海开发能力建设[4]，围绕深海工程、海洋资源开发、海洋观测及保障支撑体系等方向进行重点部署[5]，“十五五”规划进一步部署实施深海工程、健全深远海考察与支撑保障体系等任务，标志着深远海开发已从战略规划阶段转入能力建设与工程实施的新阶段[6-7]。

在此战略导向下，南海凭借其独特的区位条件和资源禀赋，成为我国深远海开发活动最为集中、场景最为多元的核心区域[8]。从空间尺度看，南海超70%海域为深远海区域，是我国空间占比最大、最具代表性的深远海海域。从区位优势看，南海连接太平洋与印度洋，是全球重要的海上运输通道之一，全球约有21%的海运贸易量经由南海运输，我国约64%的海运活动依赖该航道[9]。从资源禀赋看，南海深远海区域具有丰富的资源开发潜力，南海油气资源储量约占我国海洋油气资源总量的1/3，其中约70%分布于深远海海域[10-11]；南海深远海风能资源丰富，理论蕴藏量超过7×10^8 kW，远高于近海区域的开发规模，是未来海上风电规模化开发的重要空间[12-13]。此外，深远海盆地区域还赋存多金属结核、富钴结壳等战略性矿产资源，其沉积物中存在丰富的稀土元素，极具开发潜力[14-15]。因此，推进南海深远海开发利用是保障我国能源安全、拓展战略空间的关键实践。

然而，南海深远海开发活动面临复杂的自然环境与多元任务场景的双重约束[16]。与近海开发相比，深远海海域离岸距离远、水深大、海况复杂，且活动呈现多任务交叉、多主体协同和持续运行等特征，对保障体系快速响应能力、连续支撑能力和系统韧性提出了更高要求[17-18]。然而，我国现有保障体系总体建立在近海开发模式基础上，保障资源统筹配置、基地布局及运行机制衔接存在局限；已有研究与工程实践主要集中于技术装备产业链的单项能力提升，对保障需求、保障基地布局、技术装备产业链及协同运行机制间的系统耦合关注不足；尚未形成适应深远海多场景需求的一体化服务保障体系，导致快速响应能力不足，连续支撑能力薄弱，体系运行韧性偏低[19-20]。保障需求指数级提升与保障能力不足间的矛盾已成为向深远海拓展的重要制约因素。

当前南海深远海开发活动已进入加速阶段，但现有保障体系主要依赖陆基支撑，补给距离远、响应周期长、多场景并发保障能力不足等问题日益突出，难以满足深远海发展实际需求。基于此，本文以南海海域为研究对象，以保障能力建设需求为切入点，系统分析多场景活动的保障需求特征及典型保障模式，评估现有能力与实际需求间的差距，进而探索构建“陆基为主、海基为辅、智能高韧”的深远海一体化服务保障体系。研究重点围绕保障基地布局、技术装备产业链发展以及协同运行机制优化展开，通过构建层级化保障网络与协同运行框架，推动保障模式从传统“分散管理、按需协调”向“陆海协同、冗余支撑”的综合保障模式转变，以期为各类南海深远海活动从常态作业到应急处置全链条稳定连续开展提供系统性服务保障，有效缩短响应时间、提升多场景并发保障能力、增强极端环境下的系统韧性与兜底保障能力。

二、深远海活动保障需求及国际保障模式分析

（一）多维场景的深远海活动保障需求分析

深远海油气开发、海上风电开发、深远海养殖、航运安防及应急抢险等活动因作业模式、空间分布和风险属性差异，在能源与物资补给、通信感知和应急保障等方面存在差异化需求（见表1）。其中，海洋油气开发作业水深、离岸距离和能源消耗

表1 各类深远海活动的差异化保障需求

类型		深远海定义	能源与物资补给	通信感知与应急保障
生产运营	海洋油气开发	水深>300 m，离岸>500 km	平台自发电、补给船定期补给；库存冗余要求高，断供即停产	生产数据双向传输（时延<50 ms），通信链路可用性>99.99%；井控溢流预警<5 min，台风48 h内撤离
	海上风电开发	水深>50 m，离岸>50 km	风机自发电，SOV月耗柴油占比较高；建设期需大件船集中投送，运维期定期补给	场群远程监测（秒级预警），微波+卫星双链路；台风72 h预测，电网波动自动保护
	深远海养殖	水深>25 m，离岸>3 n mile（5.6 km）	多能互补供电（风光油蓄）；饲料舱容为350 t、可供15 d，冷链需24 h内出厂	环境参数10 min/次监测，投喂指令时延<200 ms；水质突变与病害预警，台风48 h启动沉放或撤离
安全管控	航运与安防	水深>500 m，离岸>100 n mile（185.2 km）	执法船续航>90 d，万吨级约7~10 d需横向补给；航空煤油／柴油前置部署	全域态势感知（雷达+AIS+声纳），指挥链路带宽≥2 Mbps；非法闯入1 min告警，航道风险动态评估
	应急抢险	水深>500 m，离岸>100 n mile（185.2 km）	应急装备自备动力；应急物资需常备于作业平台，特种船24 h待命	水下定位精度<10 m，自组网+卫星电话备份；响应等级分级判定，多力量协同方案30 min内下达

注：上述五类活动涵盖我国深远海资源开发、能源生产、公共安全保障的核心领域，作业场景复杂、风险特征多样，对保障服务的类型和协同要求较高，具有较强的典型性和代表性，故重点研究分析。SOV为海上风电运维母船，AIS为船舶自动识别系统。

强度都最大，柴油日耗与年综合能耗均居各类活动之首，“断供即停产”体现其对补给连续性的刚性依赖[16]。海上风电开发在建设期需大件吊装与特种船舶集中投送，运维期则转为低频多点巡检的轻量化补给和巡检模式，其运维成本占项目建设成本的20%~30%，是同等装机陆上风电的1.5~2倍[21]。深远海养殖的补给频次介于两者之间，冷链物流与鲜活运输的时效性是其最突出的保障挑战[22]。航运安防活动覆盖海域最广，续航力要求最高，对全域态势感知与通信支撑的依赖性最强[23-24]。应急抢险则对响应时间要求最为严苛[25]。尽管各类活动保障需求在时间尺度、物资品类和作业方式上各有侧重，但深远海特殊的环境条件使供给距离延长、响应窗口压缩、通信稳定性恶化，客观上对所有保障服务的能源供给持续性、通信感知可靠性和补给响应时效性均提出更高要求[26]。能源供给与物资补给解决“能不能持续运行”的问题，通信感知解决“能不能看得到、联得通”的问题，应急救援解决“有问题能不能控制、兜底保障”的问题，四者相互依存、缺一不可。

差异化需求需要差异化的保障策略，以适配不同场景在空间尺度、作业模式和风险特征的差异要求；共性保障难题则需要系统性的解决方案，从基地布局、技术装备与运行机制等基础层面统一应对。同时，各类深远海活动在能源供给、物资转运和信息传输环节间还具有天然的链式耦合关系（见图1）：油气平台承担物资中转和通信中继功能，新能源设施补充能源供给，深远海养殖提供生活保障物资，安防和应急力量依托节点布局提升巡护范围与响应效率。上述“差异分工、共性整合、链式耦合”的特征是实现深远海协同保障的现实基础。

（二）国际深远海活动保障模式分析

深远海保障能力受基地布局、技术装备水平、政策机制架构等多重因素制约。国外海洋开发起步较早，依托较为完善的陆基基础设施和长期工程实践，已形成两类典型保障模式。其中，传统陆基直供模式以陆上集成、海上接收为基本路径，依托港口、保障基地、陆海通信网络和海上运输体系，为海上平台提供能源、物资、运维及人员保障；目前可支撑距岸约300 km、水深约1500 m海域的保障需求（美国和挪威分别代表传统模式在超深水与极端环境条件下的能力边界，能有效检验陆基直供模式的保障极限）[27-28]。随着海洋开发向低碳化方向演进，以挪威Hywind Tampen为代表的“油气+风电”融合模式，通过将浮式风机接入油气平台电网，实现多能互补供电与设施共享，依托统一中控系统提升资源利用率和运维保障效能[29-30]。两类模式的核心差

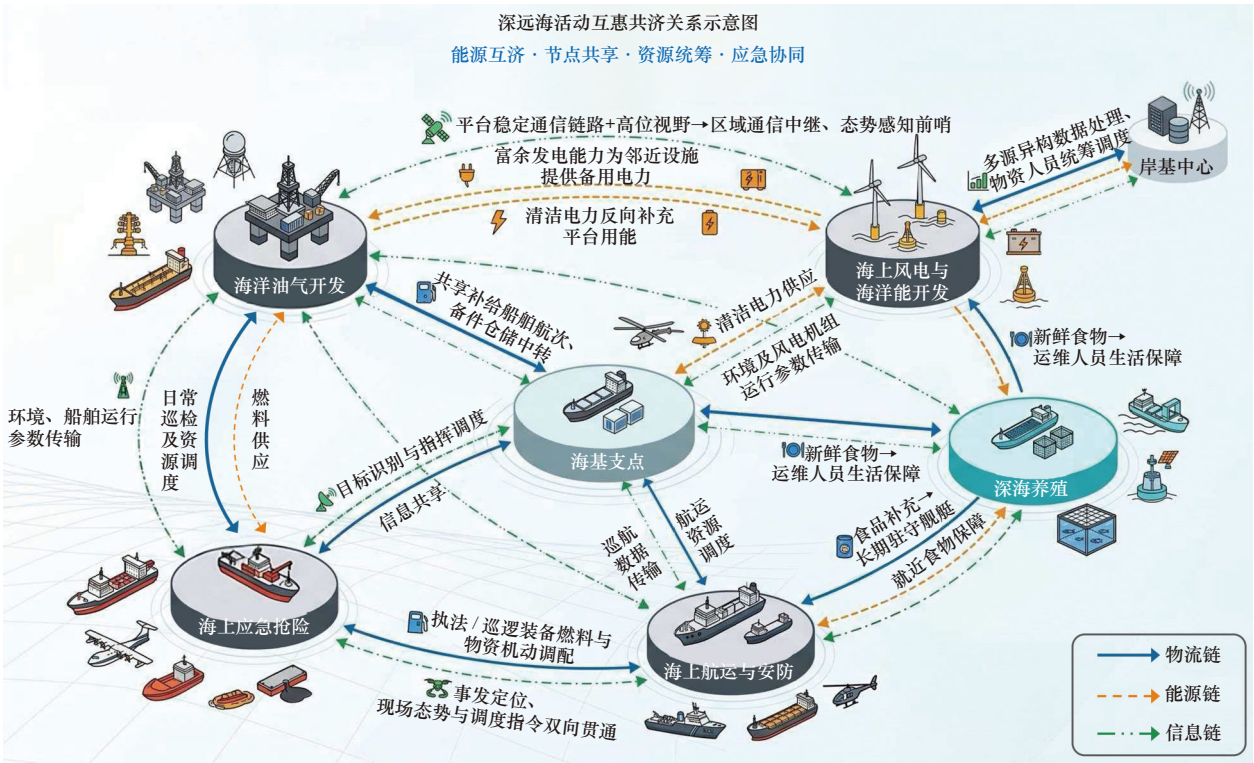


图1　深远海活动间的互惠共济关系

异在于：传统模式强调陆基支撑与单平台稳定运行，融合模式强调跨行业资源共享与多设施协同调度。

从发展趋势看，国外保障模式正从“独立运行”向“区域协同”转变。传统直供模式在设施密度低、离岸距离适中的海域仍具优势；而随着深远海开发向集群化方向发展，通过跨平台协同实现资源集约配置已成为提升保障效能的重要方向[31-32]。综合表2的对比分析，其核心经验可归纳为四个层面：在保障模式上，须根据作业水深、离岸距离和设施密度匹配差异化保障策略；在基地布局上，形成“陆基支撑+海上节点”层级化网络，通过物资前置部署缩短补给链条；在技术装备上，依托统一中控系统实现跨平台监测预警与运维调度，信息通信与态势感知能力是关键支撑；在政策机制上，以统一标准体系和跨行业协同机制为基础，通过资产整合降低重复配置。

三、我国海洋领域保障体系现状与系统性瓶颈分析

（一）保障模式

我国在海洋资源开发与工程建设过程中，借鉴国外经验并结合自身发展基础，形成以传统陆基直供和“油气+风电”融合为代表的两类保障模式[33-34]。依托沿海保障基地、海上平台及配套设施，当前已初步具备离岸150~300 km海域的保障能力。但从运行特征看，现有模式仍以项目需求驱动为主，呈现“分散管理、按需协调”特征，各活动主体的保障体系相对独立，资源共享程度较低，与国外体系化、协同化的保障能力相比，在技术成熟度、智能化水平和跨域统筹等方面仍存在差距。

从模式的内在约束看，现有保障模式本质上以陆基支撑为核心，能力提升高度依赖技术装备迭代，尚未从根本上突破深远海的时空约束。随海洋活动持续向深远海延伸，超长保障距离、复杂海洋环境及多场景持续保障需求不断增加，对陆基供给的过度依赖导致响应能力下降、持续支撑不足和系统韧性受限等问题逐步显现。因此，亟需从基地布局、技术装备和协同运行机制三个层面开展系统研究，以期为我国深远海保障体系建设提供支撑。

（二）主要保障基地布局

1. 陆上基地保障

目前，我国陆上保障基地已形成技术服务（从

表2 国外海洋作业保障模式对比分析

维度	传统陆基直供模式	“油气+风电”融合模式	启发
代表案例	BigFoot（美国）、Aasta Hansteen（挪威）	Hywind Tampen（挪威）	保障模式：由单平台独立保障向区域协同保障演进
现实基础	完善的陆上保障基地、工作船和直升机运输体系	成熟的油气平台基础设施+海上风电产业+统一中控系统	基地布局：建设海机支点，近距离依靠定期补给，深远海依托海基支点实现前沿部署
距离 / 水深	BigFoot距岸362 km、水深1584 m；Aasta Hansteen距岸300 km、水深1300 m	距岸约140 km、水深>260 m	
能源保障	燃气轮机、岸电、固定供能系统，满足单平台稳定运行	11台浮式风机（总装机88 MW）接入5座油气平台，满足约35%的用电需求	技术装备：从单一燃料供能向多能协同转变，新能源并网对电网稳定性与储能技术提出新要求
物资保障	工作船与直升机联合补给，典型补给周期约为30 d；船舶航程约为7~24 h，直升机航程约为1.5~2 h	共用物流运输体系、仓储设施及运维资源，减少重复配置	基地布局与政策机制：建立区域共享物资运输储备系统，实现物资前置部署与集约化调配
监测预警	具备海况、平台状态和结构监测能力；引入预测性维护技术	风机监测接入油气平台中央控制系统，实现统一监测与状态感知	技术装备：跨平台数据共享与统筹管理是预警预置的关键
日常运维	标准体系成熟，以美国石油协会等国际标准为基础，预测性维护能力较完善	实现能源、设施和运维资源统一调度	政策机制：统一技术标准和运维规范是跨平台协同的前提
应急保障	依托区域供应基地、工作船及直升机网络；人员救援响应可控制在1~3 h	依托共享设施及行业联盟实现协同应急	技术装备+政策机制：应急救援需专用装备体系与区域协同机制双重支撑
优势	技术成熟、运行稳定、标准统一，适合单平台长期保障	资源共享程度高，可降低燃料消耗和碳排放	—
总体对比	强调陆基支撑与稳定运行能力	强调跨行业资源共享和协同运行能力	推动单点保障向网络协同升级

“0到1”的技术装备创新与验证）、技术支撑（从“1到N”的应用与连续性运行）、制造储运（装备建造与大宗物资储运）、集成补给（前沿集成与快速响应补给）等功能的保障能力。其中，以三亚崖州湾科技城、海口马村港及洋浦经济开发区为节点的南海保障基地集群已初步成型，依托其港口设施、船舶修造及物资储运能力，可为各类海洋活动提供综合保障服务[35-36]。

从能力特征看，陆基保障体系具有产业基础完善、资源集聚能力强和综合保障能力突出的优势，是深远海保障体系的重要战略支撑。然而，受船舶航速、海况条件及物理距离等因素制约，其有效保障范围主要集中在距岸约400 km以内[37]，对于南海中南部海域难以实现有效覆盖。随着保障需求向深远海延伸，运维成本增加、响应效率下降，全海域资源共享和协同调度能力不足等问题逐渐凸显[38]。未来陆上保障基地仍将承担战略总后方功能，但需与海上保障能力协同发展。

2. 岛礁支点保障

我国已在南海逐步形成以永兴岛、永暑岛等大型岛礁为核心的前沿支点，并持续完善跑道、港池、通信、医疗及生活保障等基础设施。依托永兴岛综合服务能力和南沙前沿驻守优势，已初步构建覆盖行政管理、交通运输、应急搜救及基础通信等功能的前沿支撑能力[39]。然而，在深远海多场景保障需求适用性方面，现有岛礁支点能力仍有不足。一方面，其功能定位以行政管理和公共服务为主，大型装备维修停靠、物资仓储转运等支撑能力有限；能源保障主要依赖传统燃料，多能供给与储备能力不足；监测通信系统在传输链路稳定性、多源数据融合及实时交互等方面难以满足集约化需求。另一方面，受礁盘条件和生态约束等因素限制，短期内难以开展大规模人工岛扩建，因此需统筹整合邻近岛礁资源。

总体来看，岛礁支点凭借前沿区位与长期驻留优势，仍将在深远海保障体系中发挥关键前沿节点

作用。但受固定空间属性限制，岛礁间天然距离约束难以实现保障能力全域覆盖，因此需依托机动支点弥补空间断点，进一步完善海基支撑网络。

3. 机动支点保障

我国已具备浮式平台自主设计建造及工程实施能力，形成以浮式生产储卸装置（FPSO）、深水半潜式钻井平台和浮式风电平台为代表的装备体系[18,40-41]，累计投运50余座海洋平台及多个浮式风电示范项目，在设计制造、海上安装和运行维护等方面积累了较丰富的工程经验。巴西桑托斯盆地依托FPSO集群开展超深水开发[42]，克里特岛漂浮式能源岛概念的提出[43]，均表明浮式平台在深远海能源和物资储存、供给等综合保障方面具有较大潜力。

然而，从机动保障支点适用性看，现役浮式平台主要服务于单一开发项目，功能定位以生产或运输为主，平台间互联互通及协同能力不足。未来需围绕能源储存、物资储备和通信中继等功能开展系统规划与适应性布局，进一步释放其保障支点效能。

（三）技术装备产业链现状

技术装备产业链是保障能力的物质基础。其中，海洋工程作业装备决定深远海活动的作业能力边界；信息通信与态势感知装备是实现广域覆盖条件下跨平台协同作业的技术前提；应急救援装备是应对深远海极端环境与突发事故的兜底保障。三者依次对应“到达–感知–救援”的能力链条，共同构成技术装备产业链现状分析的基本框架。

1. 海洋工程作业

我国海洋工程技术装备实现由近海浅水向深水、超深水领域拓展，初步形成覆盖深水钻完井、海底生产控制、深远海工程安装及漂浮式海上风电等领域的装备体系（见表3），在大型海洋平台建造、海上安装和工程实施方面积累了丰富经验，海洋工程装备制造能力已进入世界前列[18,41,44-45]。与美国、挪威等海洋强国相比，在关键配套装备、核心控制系统及技术标准体系方面存在差距[1,19]。主动波浪补偿起重装备（AHC）、动力定位系统（DP3）及高端传感器等关键技术和设备依赖进口，高端装备自主设计能力和标准建设能力相对薄弱。

面向深远海规模化开发需求，现有技术装备性能尚未覆盖全海域作业能力。一方面，国产成熟装备能力主要集中于1500~3000 m作业范围，而南海最大水深已超过5500 m[46]；另一方面，极端海况下装备长期运行和工程应用验证不足，在环境适应性、运行可靠性及系统韧性等方面仍需进一步提升。

2. 信息通信与态势感知

我国信息通信与态势感知能力已初步形成覆盖天基、陆基、海面和水下等多空间层级的立体化能力架构（见表4），但在广域海洋信息网络、深远海长期连续观测、冗余通信组网及智能决策支撑等方面与国际先进水平尚有差距[47-52]。

面向深远海规模化需求，我国现有能力呈现“近海强、远海弱，单点强、融合弱，感知强、协同弱”的特征。当前距岸约150 km的近海海域已形成较稳定的覆盖能力；中远海依托卫星、无人集群及岛礁支点实现梯次覆盖；而南海中南部海域因超长距离与复杂海况制约，通信保障能力明显不足，当前依靠天通卫星和北斗短报文通信手段的传输带宽有限，难以满足高清视频回传、实时态势感知等业务需求，成为制约整体效能释放的关键短板[53-55]。

表3　典型海工装备发展现状

维度	代表装备 / 系统	应用现状	瓶颈分析
深水 / 超深水钻井平台	“海洋石油981”“蓝鲸1/2号”等	作业水深突破3000米级，钻井深度超10 000 m，平台建造能力达到国际先进水平	核心设备国产化率低，防喷器、控制系统等关键设备依赖进口
水下生产系统	“擎海”系列采油树、管汇、脐带缆等	水下生产装备向2000米级迈进，部分装备实现国产化	高端装备超深水环境可靠性验证不足，深水防喷器、多相流泵等核心装备仍存在技术空白
施工船舶	“海洋石油201”等施工船	已具备3000米级铺管、4000吨级起重能力，并配有DP3	主动波浪补偿（AHC）起重装置、J型铺管系统等装备自主能力不足；安装经验与精度控制能力尚需提升
漂浮式海上风电	“海油观澜号”等示范工程	漂浮式风电示范和运行稳定性取得突破	动态海缆、系泊系统国产化率低，基础设计标准缺失；叶片碳纤维材料和关键控制部件仍依赖进口

3. 应急救援

我国初步形成“航空–水面–水下”立体式海上应急救援体系，具备海上搜救、医疗救助及平台事故处置等综合能力[25,56-59]。AG600 大型水陆两栖飞机、“奋斗者号”载人潜水器等高端装备的成功应用，以及专业救捞力量常态化进驻南沙，表明我国已具备一定远海救援能力和实践基础[60-64]。但与美国全球快速响应体系以及挪威多主体协同救援模式相比，我国在跨部门资源整合、统一指挥调度和协同联动等方面的效率较差[65-67]。

面向深远海规模化开发需求，现有应急救援覆盖范围和协同联动能力仍存不足：应急力量主要集中于沿海重点海域和少数岛礁节点，稳定快速响应能力主要覆盖距岸 185~370 km 范围，南海中南部海域距离三亚超过 1000 km，应急救援能力相对薄弱[68]（见表 5）。

（四）政策法规及运行机制现状

我国相继出台《中华人民共和国海域使用管理法》《中华人民共和国海上交通安全法》《国家综合立体交通网规划纲要》《“十四五”海洋经济发展规划》等政策法规，并依托海南自由贸易港建设、海洋强国建设等国家战略，初步形成覆盖海洋资源开发、交通运输、安全管理及应急保障领域的制度框架，为保障体系建设提供基本政策支撑[69-72]。同时，我国已逐步建立政府部门、涉海企业和科研院所共同参与的海洋开发与保障运行机制，在近海资源开发、安全管理及海上保障实践方面积累了基础[73-74]。然而，深远海保障相关内容分散于资源开发、交通运输、安全管理及应急保障等多个领域，缺乏国家层面的综合保障专项规划及配套标准规范和实施细则[75-76]。多主体跨域协同受权责边界、资源共享机制及数据安全等因素影响，保障设施、装备力量及信息资源仍以部门或项目主体独立建设运行为主，跨部门跨行业资源统筹和常态化协同运行机制尚不完善[53,77-78]。

总体而言，现有政策法规和运行机制已具备海洋活动的基础支撑能力，但在顶层规划统筹、制度

表 4　信息通信与态势感知技术装备发展现状

维度	代表装备 / 系统	发展现状	核心瓶颈
天基感知通信	北斗系统、高分 / 海洋遥感卫星、天通卫星等	实现导航定位、遥感观测及通信支撑，形成广域覆盖能力	深远海带宽有限、通信时延较高，高速数据传输能力不足
陆基监测网络	对海雷达、AIS 基站、海洋观测站等	已形成近海持续监测能力	远距离探测能力受环境影响明显，小目标识别能力不足
岛礁监测节点	永兴岛、永暑礁观测及通信系统等	构建南海前沿信息节点体系	节点数量有限，中南部海域覆盖力不足，数据共享能力较弱
海空无人集群	无人机、无人艇、机器人、滑翔机、观测浮标等	已开展“空–海–潜”的协同应用验证	续航能力有限，观测密度和长期稳定运行能力不足
水下通信网络	水声通信、海底观测网、浮标中继系统	初步形成深远海观测与数据传输能力	通信速率低、抗干扰能力弱，实时回传能力不足
态势感知与智能决策	数字孪生平台、海洋大模型、海洋大数据中心	初步具备态势分析和辅助决策能力	数据标准不统一，多源融合与智能应用成熟度不足

表 5　我国应急救援技术装备发展现状及瓶颈分析

维度	代表装备	应用现状	瓶颈分析
航空	AG600、AW139/189 救助直升机、固定翼飞机、无人机等	形成南海重点海域航空救援能力，可开展搜救、医疗后送和应急投送	常规直升机有效救援半径有限，距岸 500 km 以远区域需依赖前置支点；恶劣天气适应能力不足
水面	“南海救 101”轮等专业救助船、医院船、无人艇等	初步形成海空协同的综合救援能力	力量布局偏沿海和少数岛礁节点，深远海响应时效需 10 h 以上
水下	“奋斗者号”“深海勇士号”、遥控水下机器人、自主水下航行器等	具备深海探测、水下搜寻及事故处置能力	水下装备连续驻守时间通常为数天至数周，快速部署和跨平台协同能力不足

体系衔接及多主体协同运行机制建设等方面仍存在短板，难以满足深远海高时效、体系化保障需求[79]。

（五）系统性瓶颈

我国已具备构建一体化服务保障体系的产业、技术、制度与工程基础，但总体处于由近海向深远海拓展、由项目驱动向体系建设转型的关键阶段，现面临三大系统性瓶颈。在空间布局上，陆基、岛礁及机动支点间功能衔接和协同联动能力有限，从近海到深远海尚未形成连续的保障路径；在能力建设上，关键技术装备自主能力和南海极端海况条件下装备长期运行可靠性验证不足；在运行机制上，保障资源以分散建设、独立运行为主，跨平台数据共享、多主体协同调度和常态化运行机制尚不完善。因此，面向深远海规模化开发需求，亟需构建“陆基为主、海基为辅、智能高韧”的一体化服务保障体系。

四、深远海一体化服务保障体系发展路径

如图2所示，综合前文分析，随着海洋活动持续向更深、更远、更多元方向拓展，我国保障能力建设亟需从单项能力提升向体系化能力构建转变。当前体系的根本问题在于：缺乏面向深远海场景的系统性规划，保障资源分散在不同部门与行业，基地布局、技术装备与运行机制之间尚未形成有机衔接，导致在“远、深、散、变”的极端条件下，快速响应、持续支撑和系统协同能力难以满足实际需求。

面向上述瓶颈，提出构建深远海一体化服务保障体系的总体架构与发展路径（见图3）。该体系的核心目标是：面向深远海油气开发、海上风电、深远海养殖、航运安防及应急抢险等活动，通过保障基地的梯次布局、技术装备的自主化与智能化发展、跨行业跨部门的协同运行机制建设，提供可见、可达、可控的全方位保障，确保保障资源在深远海区域的前置部署、快速投送与统筹调配。有效缩短补给响应时间，提升多场景并发保障能力，增强极端环境下的系统韧性与应急兜底能力。

（一）层级化保障网络的总体布局

基于我国保障资源分布和能力基础的客观判

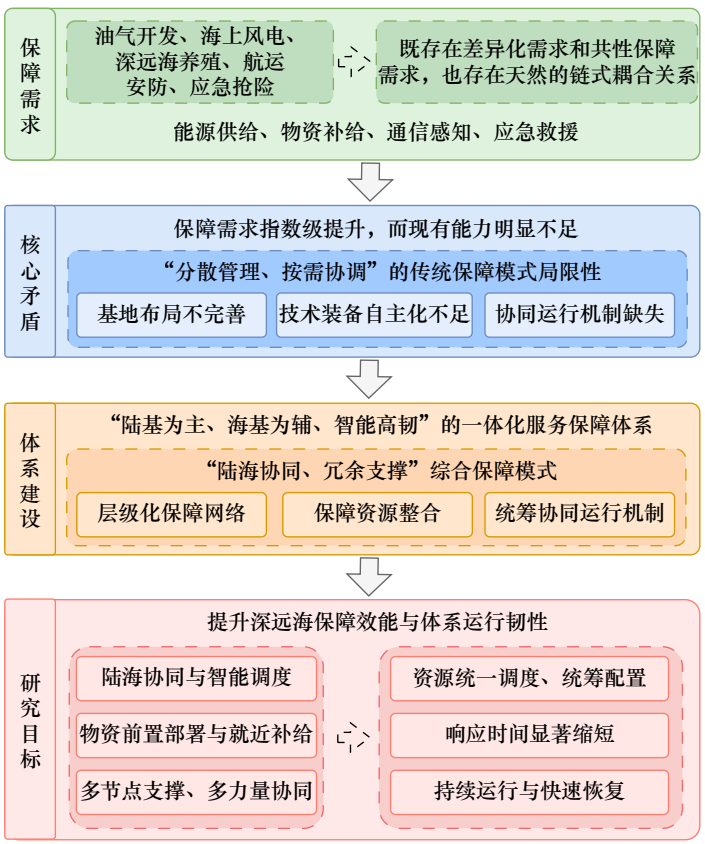


图2　研究逻辑及目标框架图

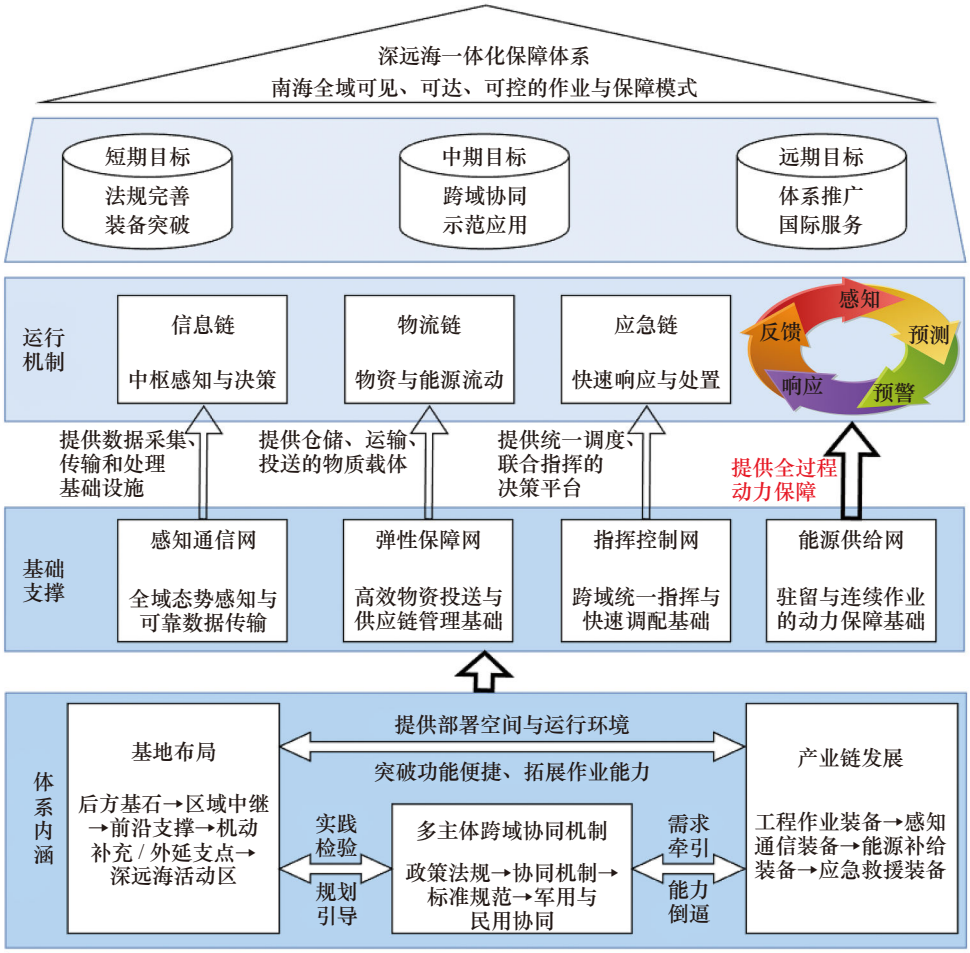


图3　深远海一体化服务保障体系总体战略框架

断，深远海所需燃料、食品、淡水、装备备件等多数保障资源依赖陆域生产储备与调配，海基支点受空间和功能限制难以实现大规模自给，且沿海经济带已建成较为完善的港口群、保障基地和陆海通信网络等基础设施，具备规模化和稳定性优势。因此，本文提出“陆基为主、海基为辅、智能高韧”的深远海一体化服务保障总体布局，构建分层递进、梯度支撑的层级化保障网络（见图4（a））。

“陆基为主”以三亚崖州湾科技城、海口马村港及洋浦经济开发区等陆上保障基地为核心枢纽，承担指挥调度、装备维修、物资储备及技术支撑等核心功能。“海基为辅”依托岛礁支点和机动平台，按“后方基石–区域中继–前沿支撑–机动补充”路径布局，将保障能力由近海向深远海前移部署；直升机和无人机等空中力量以海基支点为起降依托，在岛礁条件受限或响应紧迫时承担快速投送、通信中继及灾情侦察等任务，是海基保障的动态延伸。“智能高韧”通过感知通信网络和智能调度机制，实现多节点状态感知、资源动态配置及跨层级协同，增强体系在极端环境下的适应能力与运行韧性。

（二）多主体跨域协同运行框架

在层级化保障网络基础上，进一步提出“四网三链”基础支撑架构与多主体跨域协同运行框架，推动保障模式由分散配置向体系化协同运行转变。

在基础支撑层，感知通信网依托“天–岸–海–底”一体式系统，实现全域态势感知与信息实时传输；弹性保障网通过多层级储备与运输能力，确保物资装备持续供给；指挥控制网依托全域数据共享与联合决策，实现多任务统一调度；能源供给网通过多能互补提供稳定能源支撑。在运行机制层，信息链负责多源数据融合与保障需求生成；物

流链负责物资装备与能源的跨域动态配置；应急链面向突发事件的快速响应与协同处置。三链通过统一标准规范、接口规则与军民协同机制耦合运行，形成“感知–预测–预置–响应–反馈”的闭环运行。

层级化保障网络和“四网三链”协同运行框架通过空间布局、资源统筹及运行机制的深度耦合，共同构成深远海一体化服务保障体系（见图4（b）），推动形成“陆海统筹、冗余支撑”的保障模式。以某深远海油气开发场景为例，传统陆基直供模式单程保障距离通常超过1000 km，且作业任务受气象窗口影响严重；在一体化服务保障体系下，可依托海基固定支点及机动支点构建的区域中继和前沿支撑能力，将保障距离缩短至500 km以内。保障距离缩短可减少一半的航行时间，同时有效降低复杂海况对运输的影响。此外，当某一保障节点因恶劣海况、装备故障或突发事件导致保障能力下降甚至暂时失效时，体系可通过智能调度机制快速调用邻近节点或其他层级支点实施资源补充和任务接续，实现保障能力动态重构，从而提高恶劣环境下保障体系的持续运行能力和系统韧性。为清晰表征深远海一体化服务保障体系建设前后的能力演进，表6从能源供给、物资补给、通信感知与应急救援四个功能维度，对比分析了各板块在建设前后的保障能力差异，以明确体系建设的预期目标。

五、深远海一体化服务保障体系发展建议

（一）加强顶层统筹管理，完善协同运行机制

制度建设是一体化服务保障体系构建的重要基础。建议将深远海保障能力建设纳入国家海洋发展战略布局，完善面向深远海开发与保障需求的政策支撑体系，形成覆盖规划建设、运行管理和应急处置全过程的制度框架。针对南海深远海保障涉及多行业、多主体、多区域的特点，建议由国家军民融合办牵头，编制南海深远海服务保障专项规划，明确体系建设的目标定位、空间布局、重点任务、实施路径及责任分工，统筹协调各方保障资源，建立跨行业、跨部门的联合保障机制。同步推进统一标准规范与协同规则建设，重点制定海洋观测数据格式、跨平台通信协议、装备接入规范及保障资源编码等标准。建立“国家统筹–区域协同–节点联动”运行机制，明确资源接入标准、数据共享规则、联



(a) 层级化保障网络总体布局　　(b) 深远海一体化保障体系示意图

图4　层级化保障网络总体布局

表6 深远海服务保障能力现状与体系建设目标对比

功能	建设前基本能力	建设后预期目标	
能源供给	以平台自发电为主（燃气轮机 / 柴油发电）；海上风电并网供能处于探索阶段	形成“油气+风电+光伏+储能”多能互补能源系统，实现极端条件下冗余供电能力	在保障模式方面，当前“分散管理、按需协调”模式下各活动主体保障体系相对独立、资源共享程度低；体系建成后“陆海协同、冗余支撑”的保障模式可实现各类保障资源统一调度、统筹配置
物资补给	依托沿海保障基地，已具备离岸 150~300 km海域基本补给能力；工作船与直升机联合补给模式较为成熟	构建“陆基为主、海基为辅”的层级化联动保障网络，实现补给响应时间大幅缩短，多场景并发保障能力显著提升	在响应能力方面，当前深远海补给依赖长距离直供，响应周期长；体系建设完成后的多级保障支点布局可实现物资前置部署与就近补给，响应时间显著缩短
通信感知	拥有超过600套潜标、航保设施及第五代移动通信体系，覆盖南海中北部海域；但深远海通信覆盖不足、带宽有限、稳定性差；水下感知能力薄弱	建成平台数据共享与统一感知指挥平台，实现“岸海联动、全域覆盖”的通信保障体系	在系统韧性方面，当前保障链条单一、缺乏冗余，关键环节中断可能导致整体失效；体系建成后通过多节点支撑、多力量协同，可实现极端条件下的持续运行与快速恢复
应急救援	已建成覆盖沿海的专业救助打捞体系，可实现离岸100 n mile内的自主管控与快速响应能力；但深远海响应距离受限，深水装备自主化程度不高	形成“陆基保障 – 岛礁支点 – 机动平台”层级化保障网络，实现救援力量在深远海海域的前置部署与快速出动	

合调度流程和成本分担机制，推动各部门和涉海主体由分散运行向整合统筹转变。

（二）强化关键技术装备能力建设，夯实体系运行基础

关键技术装备是“四网三链”运行框架的重要支撑。面向超深水、远距离及复杂海洋环境下持续运行需求，应重点围绕感知通信、保障投送、指挥控制及能源供给等关键环节，统筹推进核心技术装备体系建设。近期重点突破深水水下生产系统、高等级动力定位、水下连接系统、海洋无人平台及智能运维装备等关键装备技术，同步推进远距离跨介质通信、多源数据融合、智能调度及数字孪生等关键技术研发；中期依托并完善南海深远海综合试验平台，推动关键技术装备集成应用；远期推动保障装备由单项能力向体系化集成演进，逐步形成自主可控的技术装备产业链。

（三）推进层级化保障网络示范建设，构建一体化服务保障体系

层级化保障网络是保障能力向深远海持续延伸的空间载体。建议依托现有陆上保障基地、岛礁节点及海上工程平台，分阶段推进多层级保障网络建设。近期重点建设“海南岛 – 永兴岛 – 南海北部作业区”核心保障链路，实现南海中北部海域保障能力前移部署；中期向南拓展，构建“海南岛 – 永兴岛 – 永暑岛 – 南沙海域”层级化网络，填补南海南部保障能力空白；远期形成“海南岛 – 海基中继支点 – 海基前沿支点 – 机动支点 / 外延支点 – 深远海活动区”的全域保障网络，构建覆盖全海域多场景、多任务和全周期需求的保障能力。通过保障支点空间布局、资源配置和运行机制的系统优化，促进“体系协同、主动响应”一体化保障模式的迭代优化，持续提升深远海保障体系的响应效率和系统韧性。

利益冲突声明

本文作者在此声明不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: July 17, 2026; **Revised date:** August 12, 2026

Corresponding author: Wang Guorong is a professor from the Energy Equipment Institute, Southwest Petroleum University. His major research fields include oil and gas equipment development and energy comprehensive utilization. E-mail: 200331010023@swpu.edu.cn

Funding project: Chinese Academy of Engineering project “Strategic Research on the Construction of Deep-Far offshore Operations and Support System” (2025-HZ-32)

参考文献

[1] 林间. 深海科技创新前瞻性布局研究[J]. 人民论坛•学术前沿，2025(23)：66-73.
Lin J. Research on forward-looking layout of deep-sea scientific and technological innovation[J]. Frontiers，2025(23)：66-73.

[2] 敬佳佳，黄泽奇，钟林，等. 面向深远海的多能源融合发展模式

探究[J]. 中国重型装备，2023(2)：18-22.
Jing J J，Huang Z Q，Zhong L，et al. Research on the integrated development modes of multiple energies for the deep and pelagic sea[J]. China Heavy Equipment，2023(2)：18-22.
[3] 李志军，沈睿，王伟. 我国深远海开发的战略与任务研究[J]. 中国海洋大学学报(社会科学版)，2026(2)：18-31.
Li Z J，Shen R，Wang W. Strategies and tasks for China's deep and far-sea development[J]. Journal of Ocean University of China (Social Sciences)，2026(2)：18-31.
[4] 郭庆宾，熊永莎，孙世芳. 大国博弈背景下加快海洋科技创新的挑战与建议[J]. 中国科学院院刊，2026，41(4)：707-714.
Guo Q B，Xiong Y S，Sun S F. Accelerating marine science and technology innovation under great power competition：Challenges and recommendations[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences，2026，41(4)：707-714.
[5] 于小悦，陈任霖，刘宇昊. 新发展理念引领海洋经济高质量发展——“十四五”回顾与“十五五”展望[J]. 产业经济评论，2026(3)：82-98.
Yu X Y，Chen R L，Liu Y H. “The new development philosophy” guides the high-quality development of the marine economy：A review of the 14th Five-Year Plan and an outlook on the 15th Five-Year Plan[J]. Review of Industrial Economics，2026(3)：82-98.
[6] 何晓红，白翠粉，康宁. 我国海洋能开发利用现状及“十五五”展望[J]. 能源，2026(1)：42-46.
He X H，Bai C F，Kang N. Present situation of marine energy development and utilization in China and its prospect in the 15th Five-Year Plan[J]. Energy，2026(1)：42-46.
[7] 张辉，刘健奕，崔巍亮. 全球海工市场“十四五”回顾与“十五五”展望[J]. 船舶，2026，37(2)：34-42.
Zhang H，Liu J Y，Cui W L. Review of the global offshore engineering market during the “14th Five-Year Plan” period and outlook for the “15th Five-Year Plan” period[J]. Ship & Boat，2026，37(2)：34-42.
[8] Camanni G，Pandey D K，Ye Q. Emerging knowledge on the evolution，structure and resource distribution of the northern South China Sea continental margin[J]. Journal of the Geological Society，2026，183(3)：jgs2025-jgs2246.
[9] 《南海航运安全与发展报告(2025年)》在北京发布[J]. 世界海运，2025，48(11)：22.
South China Sea shipping safety and development report (2025) was released in Beijing[J]. World Shipping，2025，48(11)：22.
[10] Xu Z，Hu T，Pang X Q，et al. Research progress and challenges of natural gas hydrate resource evaluation in the South China Sea[J]. Petroleum Science，2022，19(1)：13-25.
[11] Jiang W M，Chen C，Long Z L，et al. Geochemical characteristics and possible sources of crude oils in the Baiyun deep-water area of the Pearl River Mouth Basin，South China Sea[J]. Marine and Petroleum Geology，2022，135：105410.
[12] Zhao W H，Wang J G，Huang W X，et al. Revealing deep-far offshore wind potential through an integrated resource assessment and priority zoning framework：A case from China's adjacent seas[J]. Applied Energy，2026，413：127790.
[13] Xu H，Long J C，Lu Z Y，et al. Assessment of wind energy resources at 100 m in the South China Sea：Climatology and interdecadal variation[J]. Atmosphere，2026，17(4)：425.
[14] Follmann J，van der Zwan F M，Petersen S，et al. Hydrothermal circulation during continental breakup：Evolution of a subseafloor stockwork mineralization at the South China Sea rifted margin[J]. Geochemistry，Geophysics，Geosystems，2025，26(11)：e2025GC012482.
[15] 王国荣，黄泽奇，周守为，等. 深海矿产资源开发装备现状及发展方向[J]. 中国工程科学，2023，25(3)：1-12.
Wang G R，Huang Z Q，Zhou S W，et al. Current status and development direction of deep-sea mineral resource exploitation equipment[J]. Strategic Study of CAE，2023，25(3)：1-12.
[16] Chen W C，Du X P. The research progress on the current status，key challenges，and frontier technologies in deepwater oil and gas development[J]. Advances in Resources Research，2025，5(4)：2671-2701.
[17] 陈浩东，黄熠，钟斌，等. 深远海工程调查作业保障体系探讨[J]. 海洋开发与管理，2022，39(5)：111-116.
Chen H D，Huang Y，Zhong B，et al. Study on guarantee system of engineering survey in far and deep sea[J]. Ocean Development and Management，2022，39(5)：111-116.
[18] 陈浩东，蒋东雷，吴艳辉，等. 超深水超浅层天然气钻探关键技术进展[J]. 天然气工业，2025，45(6)：161-169.
Chen H D，Jiang D L，Wu Y H，et al. Progresses in key drilling technologies for ultra-deepwater ultra-shallow gas reservoirs[J]. Natural Gas Industry，2025，45(6)：161-169.
[19] 纪建悦，孙浚钊，曹绍朋. 我国深海科技的现实挑战与发展策略研究[J]. 中国海洋大学学报(社会科学版)，2026(1)：1-9.
Ji J Y，Sun J Z，Cao S P. Practical challenges and strategic pathways for deep-sea science and technology in China[J]. Journal of Ocean University of China (Social Sciences)，2026(1)：1-9.
[20] 石欣. “十五五”时期我国海洋经济高质量发展的区域协同联动机制探索[J]. 区域经济评论，2026(2)：36-49.
Shi X. Exploration of the regional collaborative linkage mechanism for high-quality development of China's marine economy in the “15th Five-Year Plan” period[J]. Regional Economic Review，2026(2)：36-49.
[21] 郑惠文. 深远海浮式保障平台应急系统建设模式探索[J]. 中国设备工程，2018(19)：148-149.
Zheng H W. Exploration on the construction mode of emergency system for deep-sea floating support platform[J]. China Plant Engineering，2018(19)：148-149.
[22] Davies I P，Carranza V，Froehlich H E，et al. Governance of marine aquaculture：Pitfalls，potential，and pathways forward[J]. Marine Policy，2019，104：29-36.
[23] 李华文，罗超. 科考船海事监管与服务保障现状分析及对策研究[J]. 中国海事，2025(8)：28-30.
Li H W，Luo C. Analysis of the current situation and countermeasures of maritime supervision and service for scientific research ships[J]. China Maritime Safety，2025(8)：28-30.
[24] Melnyk O，Onyshchenko S，Onishchenko O，et al. Review of ship information security risks and safety of maritime transportation issues[J]. TransNav，the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation，2022，16(4)：717-722.
[25] 杨立波，陈兵，孙金莹，等. 重特大海上交通事故情景分析与救援装备配置策略研究[J]. 中国安全生产科学技术，2023，19

(8):172-177.
Yang L B, Chen B, Sun J Y, et al. Research on scenario analysis of major and catastrophic maritime traffic accidents and configuration strategy of rescue equipment[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2023, 19(8): 172-177.

[26] 张立奇. 面向海上作业的多无人船任务分配方法研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2025: 2-7.
Zhang L Q. Research on multi-USV task allocation methods for maritime operations[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2025: 2-7.

[27] Christensen T, Witsøe S A, Hagen H, et al. Aasta hansteen spar FPSO—A pioneer in Norwegian deepwater[C]// Offshore Technology Conference, 2019: 1-14.

[28] Feder J, Rassenfoss S. Data is not scarce, but oil companies hoard it as if it were[J]. Journal of Petroleum Technology, 2019, 71(5): 42-44.

[29] Lotfizadeh O, Barahmand Z, Amlashi H. Life cycle assessment of floating offshore wind farms: The case of hywind tampen in Norway[C]// The Second SIMS EUROSIM Conference on Modelling and Simulation, SIMS EUROSIM 2024, 2024: 33-40.

[30] Qaiser M T, Ejaz J, Osen O, et al. Digital twin-driven energy modeling of Hywind Tampen floating wind farm[J]. Energy Reports, 2023, 9: 284-289.

[31] Xia J J, Zou G. Operation and maintenance optimization of offshore wind farms based on digital twin: A review[J]. Ocean Engineering, 2023, 268: 113322.

[32] 郭文婷, 回月彤, 朱钢. 基于数字孪生在海外保障基地建设中的应用浅析[J]. 中国军转民, 2025(5): 32-33.
Guo W T, Hui Y T, Zhu G. Analysis on the application of digital twinning in the construction of overseas support base[J]. Defence Industry Conversion in China, 2025(5): 32-33.

[33] 尤学刚, 周守为, 张秀林, 等. “深海一号”能源站建设实践与创新[J]. 中国工程科学, 2022, 24(3): 66-79.
You X G, Zhou S W, Zhang X L, et al. Construction practice and innovation of “deep sea one” energy station[J]. Strategic Study of CAE, 2022, 24(3): 66-79.

[34] 万光芬, 魏澈, 邱银锋, 等. 大容量海上风电接入海上油田群微电网暂态稳定性研究——以“海油观澜号”接入文昌油田群电网工程为例[J]. 中国海上油气, 2025, 37(1): 211-220.
Wan G F, Wei C, Qiu Y F, et al. Transient stability of large-capacity offshore wind power connected to offshore oilfield microgrids: Taking the connection project of “CNOOC Guanlan” to the Wenchang Oilfield power grid as an example[J]. China Offshore Oil and Gas, 2025, 37(1): 211-220.

[35] 秦怡然, 张敏, 吴秉彦. “数”“链”融通——中国海油智慧仓储物流建设侧记[J]. 国企管理, 2024(5): 60-62.
Qin Y R, Zhang M, Wu B Y. Integration of “number” and “chain”—Sidenotes on the construction of China CNOOC smart warehouse logistics[J]. China State-owned Enterprise Management, 2024(5): 60-62.

[36] 海南省发展和改革委员会关于印发《海南省工程研究中心管理办法》的通知(琼发改规〔2021〕13 号)[J]. 海南省人民政府公报, 2022(8): 18-22.
Notice of Hainan Provincial Development and Reform Commission on printing and distributing *the administrative measures of Hainan provincial engineering research center* (No.13〔2021〕of Qiong fa Gai Gui)[J]. Bulletin of the People's Government of Hainan Province, 2022(8): 18-22.

[37] 王旭, 张敏学. 中国海洋安全保障体系建设探析[J]. 国家安全研究, 2023(5): 98-117, 154.
Wang X, Zhang M X. Improving the systems that safeguard China's maritime security[J]. China Security Studies, 2023(5): 98-117, 154.

[38] 朱寿佳, 代欣召, 陈俊仲. 海洋综合保障基地规划经验借鉴与路径研究——以广州为例[J]. 建设科技, 2022(14): 90-93.
Zhu S J, Dai X Z, Chen J Z. Study on planning experience and path of marine integrated support base—Case study of Guangzhou[J]. Construction Science and Technology, 2022(14): 90-93.

[39] 李雪松. 对南沙岛礁建设施工船舶海事监管的思考[J]. 中国海事, 2024(4): 33-35.
Li X S. Thoughts on maritime supervision of construction vessels in Nansha Islands and reefs[J]. China Maritime Safety, 2024(4): 33-35.

[40] Kaiser M J. Floating production storage and offloading (FPSO) vessels at the extremes—A review of notable installations[J]. The Extractive Industries and Society, 2026, 26: 101800.

[41] Zhang Z, Yang Y, Qu Q S, et al. Innovations and challenges in deepwater dual-gradient drilling: A review of current technologies and future directions[J]. Geoenergy Science and Engineering, 2025, 250: 213829.

[42] Anjos S M C, Sombra C L, Spadini A R. Petroleum exploration and production in Brazil: From onshore to ultra-deepwaters[J]. Petroleum Exploration and Development, 2024, 51(4): 912-924.

[43] Mendez-Morales M, Karipoglu F, Ivanković M, et al. Transforming Crete's sustainable energy landscape: A modular energy island approach[J]. International Journal of Energy Research, 2025, 2025: 2363366.

[44] Roga S, Bardhan S, Kumar Y, et al. Recent technology and challenges of wind energy generation: A review[J]. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 2022, 52: 102239.

[45] 蔡鹏, 柳存根, 林忠钦, 等. 海洋强国目标下我国海洋装备关键基础性技术发展战略研究[J]. 中国工程科学, 2024, 26(5): 91-103.
Cai P, Liu C G, Lin Z Q, et al. Development strategy of key basic technologies for marine equipment to enhance the marine strength of China[J]. Strategic Study of CAE, 2024, 26(5): 91-103.

[46] 谢玉洪, 张秀林. “深海一号”能源站工程技术与管理创新[J]. 工程管理科技前沿, 2022, 41(6): 1-7.
Xie Y H, Zhang X L. “Deep Sea No.1” energy station engineering technology and management innovation[J]. Frontiers of Science and Technology of Engineering Management, 2022, 41(6): 1-7.

[47] 张雪薇, 韩震, 周玮辰, 等. 智慧海洋技术研究综述[J]. 遥感信息, 2020, 35(4): 1-7.
Zhang X W, Han Z, Zhou W C, et al. Survey of smart ocean technology[J]. Remote Sensing Information, 2020, 35(4): 1-7.

[48] 严忠伟, 桑家军, 赵旭东. 智能船舶海事监管问题研究[J]. 中国海事, 2025(2): 31-34.
Yan Z W, Sang J J, Zhao X D. Study on maritime supervision of

intelligent ships[J]. China Maritime Safety,2025(2):31-34.

[49] 朱鹏. 对潜通信技术及其发展趋势研究[J]. 无线互联科技，2021,18(11):3-4.
Zhu P. Research on submarine communication technology and its development trend[J]. Wireless Internet Technology，2021，18(11):3-4.

[50] 江涛. 探讨现代通信与信息技术在海事通信中的应用趋势[J]. 数字通信世界,2018(9):180.
Jiang T. Discussion on the application trend of modern communication and information technology in maritime communication[J]. Digital Communication World,2018(9):180.

[51] Muthu B A,Cherubini C. Underwater digital twin sensor network-based maritime communication and monitoring using exponential hyperbolic crisp adaptive network-based fuzzy inference system[J]. Water,2025,17(9):1324.

[52] 董浩，宋亮，化存卿，等. 海上通信技术发展与研究综述[J]. 电信科学,2022,38(5):1-17.
Dong H，Song L，Hua C Q，et al. Survey of the research and development on the maritime communication technology[J]. Telecommunications Science,2022,38(5):1-17.

[53] 张欢，韩春花，杨锦坤，等. 中国大洋数据共享现状与展望[J]. 海洋开发与管理,2017,34(3):3-11.
Zhang H，Han C H，Yang J K，et al. Current sharing status and the utilization prospect of ocean data in China[J]. Ocean Development and Management,2017,34(3):3-11.

[54] 葛泉波，李凯，陆振宇，等. 海空异构多智能体全链路协同技术综述[J]. 数据采集与处理,2026,41(1):2-27.
Ge Q B，Li K，Lu Z Y，et al. A survey on full-chain cooperative technology for sea-air heterogeneous multiagent systems[J]. Journal of Data Acquisition and Processing,2026,41(1):2-27.

[55] 徐同乐，肖玉杰，何翼，等. 海洋自主无人系统跨域通信组网技术发展[J]. 指挥与控制学报,2023,9(6):683-691.
Xu T L，Xiao Y J，He Y，et al. Development of cross-domain communication networking technologies for marine autonomous unmanned system[J]. Journal of Command and Control,2023,9(6):683-691.

[56] 深圳海事局举行首次海陆立体式综合应急演练[J]. 珠江水运，2015(17):51.
Shenzhen Maritime Safety Administration held the first three-dimensional comprehensive emergency drill on land and sea[J]. Pearl River Water Transport,2015(17):51.

[57] 冯仁华，袁远，宋秀丽. 某新型深远海救助船立体救援体系配置[J]. 广东造船,2024,43(2):77-79.
Feng R H，Yuan Y，Song X L. Spatial rescue system configuration for new deep ocean large-power salvage vessel[J]. Guangdong Shipbuilding,2024,43(2):77-79.

[58] 陈德森. 水上应急救援关键装备技术现状与发展[J]. 中国科技纵横,2023(11):166-168.
Chen D S. Present situation and development of key equipment technology for water emergency rescue[J]. China Science & Technology Overview,2023(11):166-168.

[59] 赵杰超，金浩，陈健，等. 水上应急救援关键装备技术现状与发展[J]. 中国机械工程,2022,33(4):432-451,458.
Zhao J C，Jin H，Chen J，et al. State-of-the-art of key maritime rescue and salvage equipment and technology[J]. China Mechanical Engineering,2022,33(4):432-451,458.

[60] 王雷. 蓝天碧海展现大国担当——写在专业救捞力量进驻南沙5周年之际[J]. 中国水运,2024(1):8-9.
Wang L. Blue sky and blue sea show the role of a big country—On the occasion of the 5th anniversary of the professional salvage force stationed in Nansha[J]. China Water Transport,2024(1):8-9.

[61] “南海救103”号列编！深远海救助领域再添精兵悍将[J]. 船舶工程,2024,46(2):81.
“Nanhai Rescue 103” is compiled！ Add another elite soldier to the rescue field in the far-reaching sea[J]. Ship Engineering,2024,46(2):81.

[62] 高越松，张成巍. “鲲龙”AG600对我国民用航空制造业发展促进作用初探[J]. 内燃机与配件,2018(14):116-117.
Gao Y S，Zhang C W. A preliminary study on the promotion of “Kunlong” AG600 to the development of China’s civil aviation manufacturing industry[J]. Internal Combustion Engine & Parts,2018(14):116-117.

[63] 戴海滨. 探访世界在研最大的水陆两栖飞机AG600 中国“鲲龙”展翅九天[J]. 航空档案,2025(5):40-48.
Dai H B. Exploring the world’s largest amphibious aircraft under development—AG600，China’s “Kunlong” soars through the skies[J]. Aviation Archives,2025(5):40-48.

[64] 高金尉，张汉羽，周润民，等. 海斗深渊海山地形地貌特征研究：基于船载多波束测深数据和“奋斗者”号全海深载人潜水器的共同观测[J]. 地球物理学报,2026,69(3):1196-1216.
Gao J W，Zhang H Y，Zhou R M，et al. 2026. Geomorphological features of the seamounts in the hadal trenches based on collaborative observations of shipborne multibeam bathymetric data and “Fendouzhe” full-ocean-depth manned submersible[J]. Chinese Journal of Geophysics,2026,69(3):1196-1216.

[65] 崔世甲. 我国深远海搜救能力提升对策研究[D]. 大连：大连海事大学,2020:23-43.
Cui S J. Research on China’s deep-high-sea search and rescue capacity promotion countermeasure[D]. Dalian：Dalian Maritime University，2020:23-43.

[66] 韩鹏，李宇航，揭晓蒙. 发达国家海上搜救体系对比研究及对我国的启示[J]. 海洋技术学报,2020,39(1):107-113.
Han P，Li Y H，Jie X M. Comparative research of the maritime search and rescue systems in developed countries and its enlightenment to China[J]. Journal of Ocean Technology,2020,39(1):107-113.

[67] Sabol M，Grover A，Dresner M. Public decision making in disaster relief operations：The case of the U. S. Federal Emergency Management Agency（FEMA)[J]. Risk，Hazards & Crisis in Public Policy,2026,17:e70053.

[68] Zhou X，Cheng L，Min K F，et al. A framework for assessing the capability of maritime search and rescue in the South China Sea[J]. International Journal of Disaster Risk Reduction,2020,47:101568.

[69] 陈海龙，徐嘉翊. 海事监管领域信用管理制度的演进与创新研究[J]. 中国海事,2026(1):26-28.
Chen H L，Xu J Y. Evolution and innovation of credit management system in maritime supervision[J]. China Maritime Safety,2026(1):26-28.

[70] 曾露玲. 海事监管评价与治理研究[D]. 上海：上海海事大学，2024：15-129.
Zeng L L. Research on high-level maritime regulatory evaluation and governance[D]. Shanghai：Shanghai Maritime University，2024：15-129.

[71] 迟福林，郭达，郭文芹. 构建新发展格局下的海南自由贸易港[J]. 行政管理改革，2022，1(1)：15-19.
Chi F L，Guo D，Guo W Q. Hainan free trade port in the building of a new development paradigm[J]. Administration Reform，2022，1(1)：15-19.

[72] 龚六堂. 加快海南自贸港建设，推进我国制度型开放与更高水平开放[J]. 海南大学学报(人文社会科学版)，2025，43(6)：1-11，250.
Gong L T. Speeding up the construction of Hainan free trade port to promote China's institutional and higher-level opening-up[J]. Journal of Hainan University (Humanities & Social Sciences)，2025，43(6)：1-11，250.

[73] 龚奕境. 基于系统动力学的我国海洋基础设施互联互通保障机制研究[D]. 大连：大连海事大学，2023：3-57.
Gong Y J. Research on the interconnection and interconnection guarantee mechanism of China's marine infrastructure based on system dynamics[D]. Dalian：Dalian Maritime University，2023：3-57.

[74] Feng Y，Zhang S Y，Liu C M. Exploring new quality productive forces in ocean governance：Insights from China's practices and strategic directions[J]. Marine Policy，2025，176：106656.

[75] 张志伟，戴文娟，王蕾，等. 中国海洋油气资源开发管理政策研究[J]. 海洋开发与管理，2025，42(9)：15-23.
Zhang Z W，Dai W J，Wang L，et al. A study on the policies for the development and management of China's marine oil and gas resources[J]. Ocean Development and Management，2025，42(9)：15-23.

[76] Sun R H，Hu D S. China's marine eco-environment law enforcement from the perspective of the responsibility system：Dilemmas and solutions[J]. Marine Policy，2025，171：106437.

[77] 汤光伟，秦雅茹，徐莹. 助推军民融合的南海军地两用人才培养模式研究与实践[J]. 新教育(海南)，2025(28)：7-9.
Tang G W，Qin Y R，Xu Y. Research and practice on training mode of dual-use military and civil talents in South China Sea to boost integration of defense and civilian technologies[J]. New Education，2025(28)：7-9.

[78] 韩潇. 海南省洋浦经济开发区发展战略研究[D]. 北京：商务部国际贸易经济合作研究院，2023.
Han X. Study on the development strategy of Yangpu Economic Development Zone，Hainan Province[D]. Beijing：Chinese Academy of International Trade and Economic Cooperation，2023.

[79] 石欣. “十五五”时期我国海洋经济高质量发展的区域协同联动机制探索[J]. 区域经济评论，2026(2)：36-49.
Shi X. Exploration on the regional coordination and linkage mechanism for high-quality development of China's marine economy during the 15th Five-Year Plan period[J]. Regional Economic Review，2026(2)：36-49.