

我国海洋运载装备产业发展研究

卢明剑^{1,2}, 董胜节^{1,2}, 汤敏^{1,2*}, 王传荣³, 曹林⁴, 严新平^{1,2}

(1. 水路交通控制全国重点实验室, 武汉 430063; 2. 武汉理工大学智能交通系统研究中心, 武汉 430063;
3. 中国船舶集团有限公司规划发展研究中心, 北京 100037; 4. 中国造船工程学会, 北京 100037)

摘要: 我国海洋运载装备产业发展迅速, 已形成先进的总装建造和系统集成配套能力, 实现了由技术引进向自主创新的根本性转变; 但长远发展面临的瓶颈问题未能缓解, “两头在外”的产业发展风险依然存在。着眼我国海洋运载装备产业“安全、绿色、智能、高效”的转型升级需求, 本文梳理了国际海洋运载装备产业的发展经验, 分析了我国海洋运载装备产业现状并总结了设备、部件、技术、服务等方面的发展挑战; 论证提出了以绿色、智能转型为主线, 实现装备高端化、产业规模与效益协同高质量发展, 建设海洋运载装备现代化产业体系的阶段性重点任务, 阐述了绿色智能高端装备核心技术研发、高技术船舶先进关键技术研发、产业链和供应链的安全韧性、产业高质量发展基础能力等主攻发展方向。进一步从保障科技创新投入、强化自主品牌发展、促进新兴技术融入海洋装备产业等方面提出了产业发展建议, 以期为船舶工业转型升级研究提供参考。

关键词: 海洋运载装备; 绿色智能船舶; 绿色智能制造; 船舶配套技术

中图分类号: U674.1 **文献标识码:** A

Development of China's Marine Transportation Equipment Industry

Lu Mingjian^{1,2}, Dong Shengjie^{1,2}, Tang Min^{1,2*}, Wang Chuanrong³, Cao Lin⁴, Yan Xinping^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Maritime Technology and Safety, Wuhan 430063, China; 2. Intelligent Transportation Systems Research Center, Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China; 3. Planning and Development Research Center of China State Shipbuilding Corporation Limited, Beijing 100037, China; 4. The Chinese Society of Naval Architects and Marine Engineers, Beijing 100037, China)

Abstract: Currently, China's marine transportation equipment industry develops rapidly and has formed supporting capabilities for advanced assembly and system integration, transforming from technology introduction to independent innovation. However, bottlenecks that restrict long-term development of the industry still exist and China still lags behind with regard to the research and development (R&D) and design of marine transportation equipment. This study focuses on the transformation demands of China's marine transportation equipment industry for safety, greenness, intelligence, and high efficiency. It summarizes the development experiences of the international marine transportation equipment industry, analyzes the current status of China's marine transportation equipment industry, and explores the development challenges in terms of equipment, components, technologies, and services. The phased key tasks should focus on the green and intelligent transformation of the industry,

收稿日期: 2023-04-21; **修回日期:** 2023-06-02

通讯作者: *汤敏, 武汉理工大学智能交通系统研究中心教授, 研究方向为船舶智能设备及运维; E-mail: tangmin@whut.edu.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

coordinated and high-quality development of industrial scale and efficiency, and establishment of a modern industrial system for marine transportation equipment. The major R&D directions are elaborated, including core technologies for green and intelligent equipment, advanced key technologies for high-tech ships, safety resilience of industrial and supply chains, and basic capabilities for high-quality industrial development. Further suggestions are proposed from the perspectives of ensuring investment in scientific and technological innovation, actively developing independent brands, and promoting the integration of emerging technologies into the marine equipment industry, to provide a basic reference for the transformation and upgrading of the shipbuilding industry.

Keywords: marine transportation equipment; green intelligent ship; green intelligent manufacturing; ship supporting technology

一、前言

海洋运载装备产业是为水上交通提供技术装备的现代化、综合性、战略性产业，构成国家高端装备制造制造业的关键基础，成为保障经济安全、能源安全的重要支撑。我国海洋运载装备产业拥有包括总体设计、关键原材料、总装建造、关键配套在内的技术体系，历经多年发展形成相对完善的产业格局，涵盖船舶与海洋工程高等教育^[1]、船舶与海洋工程研究、总体设计与总装制造、信息与通信导航、动力与配套机电^[2]等主要领域。海洋强国战略和“双碳”战略目标的提出，将驱动海洋运载装备产业转型升级^[3]并对产业发展产生深远影响。

受科技革命、产业变革加速融合的驱动，船舶工业处于转型发展的关键时期^[4]：①国际产业分工、生产格局出现了深刻调整，对具有高度国际化特征的船舶工业科研、生产、经营等活动构成重大挑战；②第五代移动通信（5G）、大数据、人工智能（AI）等信息技术发展和应用迅速，加速了船舶工业数字化、智能化转型进程；③国际海事组织（IMO）的航运业温室气体减排战略、我国“双碳”战略目标^[5]，都驱动新型动力、零碳船舶成为船舶工业发展的重要方向；④船海装备加速向深远海、极地区域拓展应用，对船舶装备提出更高的技术要求。在国际船舶工业快速发展、转型升级的过程中，海洋运载装备产业链将朝着跨领域融合、绿色化、智能化方向发展，这也成为我国船舶工业转型升级的重要内容。整体上，“安全、绿色、智能、高效”成为未来一段时期我国海洋运载装备产业的发展目标。

现有海洋运载装备产业研究集中在总体技术、总装建造方面，而对产业现存问题、发展路径关注较少^[3,6]，系统性的产业发展研究更显薄弱^[7-10]。当前是我国海洋运载装备产业从“大规模”转向“高质量”发展的关键时期，全面提升三大主流船型、

气体运输船、邮轮等重点产品的质量效益，才能支撑船舶工业高质量发展。在海洋强国建设、“双碳”战略目标、“双循环”发展格局的背景下，针对海洋运载装备产业的中长期发展课题开展研究具有迫切性。针对于此，本文在梳理国际发展经验、国内产业态势及面临挑战的基础上，提出2050年前的阶段性重点任务和主攻发展方向，以期为船舶工业高质量发展研究提供参考。

二、海洋运载装备产业的国际发展经验

（一）政府出台产业扶持政策，行业联合争取公共资源支持

海洋运载装备强国重视并运用政策支持，关联行业积极争取公共资源支持。韩国推出了“韩国造船再腾飞战略”，引导发展绿色环保船舶和智能船舶，旨在占据最高的国际市场份额^[11]；发布了“确保造船产业超级差距战略”，提出像培养半导体产业一样发展海运和造船业的理念，据此引导全行业的系统性升级；还出台了支持船舶工业发展的一系列政策方案。

在中国和韩国造船实力增长、主要造船集团积极重组的背景下，日本造船企业面临较大的竞争压力，为此日本政府频繁发布产业规划和配套政策以推动造船业复苏^[12]：提出了“海事产业未来愿景”，包含促进造船企业协作、推进产业结构数字化、拓展海外公务船市场、研发零排放船舶、拓展新业务领域等措施；研究了日本造船业短期、中长期发展规划，如刺激订单需求、强化产业基础、促进技术研发、培养本土系统集成商、加强海洋资源开发、确保公平竞争、落实“拆船公约”等；发布了产业基础强化计划，认定并支持有助于提高市场竞争力的造船企业，定向提供长期低息贷款、财政补贴、降低税率等扶持手段^[12]；支持企业设立联盟，构建共同承接订单、联合研发新型船舶、共享设计生产

信息、统一配套产品规格的运营机制，优化船舶工业供应链。

欧洲海事界积极推动政府增加对欧洲船舶产业的支持力度。欧洲造船和设备协会（SEA Europe）建议欧洲委员会向欧洲船舶产业提供特定的政策和经费支持，以克服短期市场不利因素并维护欧洲船舶产业的长期竞争力。德国造船与海洋工业协会联合欧洲其他机构制定了船队更新建议方案，以改善新造船市场需求不足的状况并推进“欧轮欧造”。欧盟委员会计划采用一揽子政策工具，加强对企业并购、公共采购、申请欧盟资金等的监管。

（二）以技术革命为核心推动绿色、低碳、数字化转型

欧洲以技术革命为核心推动绿色经济变革。2021年，在“欧洲绿色协议”框架下设立了总额为7500万欧元的“蓝色投资基金”，通过扶持创新型企业发展推动海洋经济的可持续发展^[13]。欧洲海洋运载装备的配套企业积极研发绿色技术和产品，如在“Horizon 2020”项目支持下，14家欧洲企业联合开展氨动力燃料电池的海工船舶安装应用^[14]、基于氨燃料的二冲程发动机开发及氨燃烧测试^[15]。

在绿色、智能船舶逐步商用化的形势下，日本提出了“2028年投放全球首艘零排放船、2050年实现零排放”的发展目标^[12]，向海洋资源开发、节能环保等新技术研发提供资金补贴，如拨款支持氢燃料船舶、氨燃料船舶研发^[12]。韩国船舶行业抢占技术高地，引领国际标准和认证标准发展，在液化天然气（LNG）动力等低碳船舶方向具有竞争优势，正在开发零碳船舶（如氢氨燃料动力）、自主航行系统；针对IMO环保、安全等方面的规范要求，积极投资LNG燃料、氨燃料、氢燃料电池、固体氧化物燃料电池等新型动力；以丰富的船舶建造和运营经验为基础，收集、管理、利用船舶数据并推动智能船舶发展。

欧洲持续推进船海产业数字化转型。欧盟公布了“塑造欧洲数字未来”“欧洲数据战略”“人工智能白皮书”以阐明数字化战略；SEA Europe将造船业确定为具有责任和潜力来推动可持续发展的行业之一，呼吁将造船和海事设备制造作为欧盟后续“智能和可持续交通”“离岸战略”的优先事项。近年来，欧洲海洋运载装备的配套企业发布了多种数

字化方案，用于优化发动机的使用和维护，从船舶和船队获取情境化数据以改善船舶运营^[16]；以边缘数据收集、船舶发动机性能分析软件为基础构建统一的数据基础平台，形成数字孪生软件及相关服务^[17]。

（三）开展生产制造的数字化、智能化转型以增强技术竞争力

物联网、云计算、大数据、区块链等信息技术正在推动船厂数字化、智能化变革，持续巩固船舶产业技术竞争力。

日本船舶企业积极采取行动：引入智能解决方案以推进业务流程自动化，覆盖设计、管理、销售等部门；在机器人、物联网方向投资以向智能工厂转型，数年后可降低建造成本10%~20%；建立涵盖销售、采购、设计、生产等阶段的数据库，革新生产模式以压缩建造时间^[12]。韩国企业重点巩固LNG船舶的技术竞争力：拓展了LNG船舶的货物围护系统功能^[18]并获得船级社认证和实船应用；开工建造船舶行业首个LNG系统测试设施，用于LNG新技术自主评估；独立开发空气润滑系统并应用于新建LNG船，研发LNG船舶配套的耐酷寒设备^[19]；联合开发第二代LNG船舶液货舱，计划开展环保船用超低温隔热系统技术相关的研发及验证工作^[11]。

（四）推动船企重组以构建高效协同的产业生态，加强企业合作以发挥协同优势

推动优势船舶企业重组升级、促进企业合作交流已成为优化资源配置、构建高效协同产业生态、发挥产业协同优势的重要形式。

韩国积极构建高效协同的船海产业生态，以船企重组增强产业效能。现代重工、大宇造船等品牌的业务合并曾是韩国推进产业结构调整的重要举措，但以失败告终^[11,20]；积极开展中型造船企业重组，5家中型骨干造船企业中仅剩大韩造船有限公司1家，其余4家进行资产剥离和业务整合（有的继续从事造船业务，也有转型开展船舶分段制作及船舶维修^[11]）。此外，韩国成立了造船海洋产业发展协议会，致力解决中小型船企、配套企业等“弱势群体”利益受损问题，引导大型船企和中小船企的协调发展，优化船海产业生态^[19]。

与中国、韩国相比，日本造船企业数量较多、

产业集中度不高；但相关企业联系较为紧密，特别是在市场低迷时期，通过产业联盟、联合公司、共同平台等形式加强合作，以争取优势互补并显现协同效益，成为应对国际市场激烈竞争的有效手段。

① 三菱重工、今治造船、名村造船、大岛造船等品牌在商船建造领域组建联盟，合作开发新船型，共享设计方案，推动工程标准化、装备共通化；还有企业成立业务联盟，在研发、供应链方面开展合作。

② 今治造船、日本联合造船等品牌合资成立日本造船公司，覆盖销售和 design，提升大型船舶批量化生产能力。③ 9家造船企业和日本船级社共同组建“新一代环保船舶研发中心”，应用各自的优势专业技术，共同研发新一代绿色船舶并推动商业化。

三、我国海洋运载装备产业的发展态势及面临挑战

（一）我国海洋运载装备产业发展态势

一直以来，我国海洋运载装备主要有散货船、集装箱船、油船三大主力运输船^[21]。随着天然气贸易量的大幅增加，LNG运输船舶已成为第四大主力运输船。此外，海洋旅游市场潜力巨大，北极地区的通航条件逐步改善，邮轮、极地运输船等高新技术船舶也在迅速发展。整体上，我国海洋运载装备产业从消化并吸收引进技术发展到自主研发创新阶段，形成了海洋运载装备的总装建造、系统集成配套能力。2015年以来，我国船舶装备产业进入高速发展期，形成了一批标准化、系列化船型，在全球市场上的份额大幅提升。2021年，我国三大造船指标保持世界领先，造船完工量、新接订单量、手持订单量分别占世界总量的47.2%、53.8%、47.6%（以载重吨计）^[22]；低/中/高速机、大型推进器、甲板机械、液货系统、压载水处理系统等重要设备实现自主配套，相应关键技术取得重要突破。

针对三大主力运输船舶、气体运输船、极地运输船、邮轮的技术链，梳理了产业共性 & 个性关键技术格局，以此展示我国海洋运载装备产业的技术发展态势。① 总体设计技术。仅在邮轮的部分总体设计共性技术方向处于起步阶段，其他海洋运载装备的总体设计技术均处于良好掌握阶段，达到国际一流水平。国产三大主力运输船舶的总体设计在个性技术层面均达到国际一流水平，而LNG船舶高技术货物围栏及处理总体设计的个性技术仍处于被

国外企业垄断的阶段，极地运输船舶基本处于跟随发展阶段。在邮轮总体设计的个性技术方面，国内企业具备一定的自主设计能力，多数技术源自引进。② 原材料技术。海洋运载装备产业涉及的关键原材料共性技术处于良好掌握阶段，具有良好的自主可控水平。作为高技术船舶的邮轮，其关键原材料个性技术仍处于国外公司垄断阶段，国内处于起步发展阶段。LNG船舶货物围栏系统的原材料个性技术处于部分掌握阶段。三大主力运输船、极地船舶的关键原材料个性技术均处于良好掌握阶段。③ 总装建造技术。邮轮的部分总装建造共性技术、所有的总装建造个性技术均处于起步阶段。除此之外，海洋运载装备产业基本掌握总装建造共性 & 个性技术。④ 关键配套技术。邮轮关键配套共性技术处于国外公司高度垄断阶段，国内邮轮关键配套个性技术处于起步阶段^[23]。对于三大主力运输船、极地船、LNG船舶，仅常规动力系统、电气系统处于良好掌握阶段，而其他关键配套共性 & 个性技术均处于国外公司垄断的局面。

（二）我国海洋运载装备产业发展面临的挑战

受国际形势变化、产业竞争加强等因素的影响，我国高技术制造业产业链、供应链的稳定性和安全性面临挑战。在海洋运载装备领域，我国具备建造以三大主流船型、气体运输船、邮轮为代表的海洋运载装备的总装建造能力，但动力系统、自动化系统、电子信息、LNG专用设备、邮轮专用设备仍以国外进口或专利授权生产为主，自主品牌竞争力有待提升，面向国际市场提供全面服务的能力仍处于起步阶段。另外，产业链质量效益不佳，大型船企的利润率普遍不足5%，如2021年我国造船企业全年主营收入利润率仅为0.6%，2022年才回升至3%左右^[24]。

一是部分关键设备和核心部件依赖进口，供应链自主可控能力不足。部分国产船海装备关键设备或重要核心部件的技术差距较大，对进口产品的依赖度居高不下。例如，T型吊舱推进器、LNG专用设备、豪华邮轮配套设备的核心技术尚未攻克，制约了LNG船、邮轮等高端船型的国际市场竞争力；压载水处理系统、波浪补偿吊机、特种推进器、惯性导航等设备的高精密部件及元器件存在明显的技术差距，短期内难以实现国产替代。

二是主要设备多为引进国外专利许可生产，自

主品牌的产品竞争力不强。国内企业较多通过市场化方式引进国外企业的专利授权,开展船海核心或专用设备(如低速机、中速机、锅炉、舱口盖、吊机)的本地生产,有利于快速提升国产船海产品的市场竞争力。然而,专利引进和许可生产方式制约了产业自主化进程:国外专利商构建了知识产权壁垒,国内企业不拥有核心技术和自主品牌;许可证往往附带限制,生产企业只能按照规定条款进行生产和销售,自主权利缺失。

三是技术创新基础和能力薄弱,与产业发展需求不匹配。我国船海装备研发水平、国家工业基础能力不断增强,在部分装备方向具备了技术攻关能力,但尚未形成完备的产业链和供应链。① 导航装置、动力定位系统等产品受制于可靠性、售后服务、生产成本,长期停留在样机或工程示范阶段,产业化发展遇到瓶颈,目前需要依靠国外供应链解决需求。② 受市场规模、需求波动的影响,产业链和供应链建设缓慢,如邮轮接单量较少而未形成规模效益。③ 顶层规划缺乏,对产业链和供应链的引导建设不足。以液氢海上运输装备为例,日本、韩国在政府和船厂的共同推动下已完成实船建造,初步形成相关产业链和供应链;我国尚未开展相关研究或示范,产业链和供应链建设尚属空白。

四是全球服务体系不完善,自主品牌的产业化发展不畅。随着工业化与信息化的深度融合,制造和服务的关系更加紧密,服务型制造成为船舶工业转型升级的主要方向。我国船舶工业尚未建立起全球服务网络,仅有个别企业建有少量的国外服务站,部分服务还需通过国内派员方式完成,导致服务成本和效率不及行业先进水平;服务内容仍以备品、备件销售为主,登船现场服务等业务占比偏低。相比国际一流企业的全球服务网络,我国企业的全球服务能力差距明显,导致售后服务规模较小、大量服务利润难以获取;由于没有建立全球售后服务网络,自主品牌产品很难进入国外企业的供货名录,不利于产业化发展。

四、我国海洋运载装备产业发展的重点任务与主攻方向

(一) 阶段性重点任务

立足新发展阶段,以高质量发展为目标,建立

海洋运载装备研发、设计、总装、配套、试验、服务的国际化和现代化产业体系。注重自主创新和产业链协同,构建关键核心技术体系,增强产业链、供应链的韧性和安全水平。以融合创新为重点,全面推进海洋运载装备产业的绿色化、智能化、高端化发展,发展自主品牌并构建全球售后服务体系,形成科技型和服务型制造新业态。

1. 至2025年

依托低碳化、数字化升级手段,健全绿色装备与配套设备的标准、标识、认证体系,实现关键技术自主可控,提高装备产业链的节能减排水平,增强市场竞争力。借鉴汽车制造业的绿色化、智能化发展经验,推动绿色智能技术应用,建立海洋运载装备数字化、低碳能源动力技术体系,重构装备数字化控制系统架构,增强设备数字化升级与集成服务能力。实施供应链提升工程,优化海洋运载制造业的供应链生态体系,围绕产业链和供应链上的关键原材料、技术、产品,研发关键瓶颈技术和配套“卡点”设备,提升产业基础共性研发能力,增强供应链的灵活性和可靠性。把握海洋运载装备高端化趋势,完善技术标准规范,覆盖行业(团体)、国家、国际等标准层次,固化科研成果并高质量开展推广应用、行业共享,支持关键设备系统研发与产业数字化升级。

2. 至2030年

以绿色化、智能化转型为主线,驱动装备高端化、产业规模与效益协同的高质量发展。发展智能制造、绿色制造,引导产业链上/下游联合攻关,促进产业链、创新链、生态链融通发展。攻关“卡脖子”技术和系统,自主研发关键零部件,填补国内产品空白,确保产业链和供应链稳定;提升设备自主配套能力、关键部件与核心设备系统自主可控水平,以智能运维提升装备的远程保障能力。培育具有国际影响力的企业和品牌,形成具有国际市场竞争力的配套产品,建成覆盖全球主要港口的售后服务网络;引导船舶企业由提供“产品”向提供“产品+服务”转变,全面提升产业价值链。增强海洋运载装备产业研发、制造、试验、服务能力以及综合竞争力,实现海洋运载装备及其制造过程的绿色化、数字化、智能化,使我国海洋运载装备产业进入国际一流行列。

3. 至2050年

建立海洋运载装备现代化产业体系，提升产业链和供应链的韧性及安全水平，海洋运载装备产业的经济规模、创新研发、综合竞争力达到国际领先水平。海洋运载装备实现绿色化（低碳/零碳）、智能化（少人/无人）、高端化、定制化，远程遥控、完全自主船舶广泛投入应用，支持国家“双碳”战略目标进程。形成一批具有生态主导力、核心竞争力的龙头企业，关键核心技术处于引领行业发展态势，积极参与国际合作与竞争并建立创新型产业链。海洋运载装备产业全面实现绿色制造、智能制造，产业链具有良好的质量效益和国际市场竞争力，成为世界海洋运载装备行业的关键力量。

（二）主攻发展方向

1. 绿色智能高端装备核心技术研发

（1）装备绿色智能制造技术研发

以智能制造、绿色制造技术应用为重点，增强制造业核心竞争力，推动海洋运载装备产业创新发展。实施海洋运载装备智能和绿色制造工程，优化总装建造生产效率，牵引配套设备制造技术升级，推动设计、制造、服务一体化的数字化协同发展，提升产业协同效率与效益。

为推动海洋运载装备行业“增品种、提品质、创品牌”，开展质量提升专项行动：对于总装建造厂、动力配套设备厂，发展和应用制造全过程组网/感知/物流传输、制造流程与工艺自适应匹配、基于智能感知识别的制造精度及品质管控、数字虚拟制造、工业云平台、基于设计信息的零部件编码/视觉识别/智能定位等技术；对于总装建造厂，发展和应用切割成形/装配焊接/涂装等智能机器人、板材排料与切割智能优化、总装建造5G应用、总段智能柔性精准对接、虚拟现实应用等技术；研究船舶中间产品生产线的设计集成与控制、智能化工艺设计、智能制造工艺、制造过程智能管控、关键制造环节智能决策等技术，实现船舶智能制造应用示范^[1,25]；制定船海装备智能制造标准体系。

（2）绿色船舶关键技术与设备研发

围绕IMO环境规则、“双碳”战略目标，攻关绿色低碳、零碳船舶关键技术，形成绿色能源动力与减排关键设备以及系列化配套能力，构建精品绿

色船型，实质性提高清洁能源和可再生能源的应用水平。结合海洋运载装备主流船型的节能减排需求，发展低碳/无碳燃料、可再生能源、电池/电容推进等应用技术，开展新能源动力设备的谱系化研发，推进船体表面涂层减阻、船底空气润滑减阻、太阳能/风力助推等技术的实船集成与示范，支撑新型绿色船型开发。制定海洋运载装备清洁能源体系、装备谱系规划，推动船舶绿色动力装备发展，提升产业链综合发展水平。

分解国际、国内温室气体减排目标，立足船舶能效水平和改进潜力，论证风能、太阳能、LNG、氢能、氨能的船舶应用技术可行性，提出适应各类船型的新能源动力技术发展路线图。探索太阳能、风能、氢能、氨能的综合利用途径，形成多能源协同利用的动力系统拓扑结构、船舶新能源装备动力系统谱系，据此优化船舶新能源动力系统方案设计。根据船舶新能源动力系统结构，建立基于负荷扰动的能源系统动力学模型，形成船舶多能源系统能量优化管理与柔性控制策略。

2. 高技术船舶先进关键技术研发

（1）自主航行船舶技术研发与应用

着眼IMO Level 3目标，开展自主航行船舶核心技术及系统研发，牵引配套设备技术升级、测试验证能力改进、自主航行船舶技术标准体系建设。面向提升船舶航行安全性、降低船员工作强度、提升航运效率及效益的实际需求，研制核心器件并完善核心算法，提升设备系统配套技术性能，突破航行、“靠离泊”等场景下的增强感知与避碰/避障辅助决策技术。对于执行特定航线、特定任务的小型（内河）船舶，重点发展高可靠交互、协同优化控制、无人驾驶多模式控制等技术，增强自动航行、“靠离泊”、遥控航行的能力。优化船舶网络通信安全性能，保障智能船舶可靠航行。开展智能设备、系统验证方面的技术与体系能力建设，完善智能船舶标准体系，提高我国在IMO智能船舶法规框架内的参与度。

面向船舶航行智能化、少人化的需要，深化航次计划研究，结合气象、海况进行航线和航速的在线优化。开展船岸协同的船舶自主航行研究，建立远程遥控驾驶系统、自主航行系统，突破船舶航向、航速、航路保持以及偏航预警修正，自主航行避碰，人机协同权限分配及切换，远程安全辅助与

人机共驾等技术；船舶可在开阔水域、狭窄水道、进出港口等场景下自主航行，在“靠离”码头等复杂环境下遥控航行。在岸端布设监控中心，远程监控船舶航行并按需介入控制。研究船舶编队协同航行的建模与控制方法，将水路交通自主驾控技术由单船拓展至编队应用。

(2) LNG船舶自主设计与配套

发展具有国际一流水平的大型LNG船舶设计和建造能力。突破LNG船舶的配套系统核心技术，增建液货围护系统、处理系统等关键配套设备，建设综合性低温工程测试平台。形成关键设备与系统的系列化配套能力，保障LNG船舶的充分自主配套以及大型化、系列化发展，增强国际市场综合竞争力。

(3) 邮轮研制与产业化能力

掌握邮轮模块化建造、全过程精度控制、供应链管理、成本控制等方面的建造与管理技术，支持邮轮自主建造，提升邮轮运行维护能力，筑牢新兴产业高质量发展基础。突破薄板结构变形控制、滚装系统数字化工艺设计、上层建筑模块化设计等高效建造技术，科学缩短高端客滚船的建造周期，合理降低综合建造成本，打破邮轮总装与总体设计瓶颈，实现国产大型邮轮自主研发设计、工程化开发、系统集成设计能力^[23]。

(4) 极地船舶关键技术与设备研发

建设较为完善的北极航道、冰情、水文等基础数据和预报技术体系，推动极地船舶和关键配套系统设备的自主设计与建造。开展极地船舶航行性能、安全性、环境适应性的试验技术研究，制定中高冰级的极地船舶工业标准。重点开展北极海冰环境预报及海冰管理系统，极地航行船总体设计，极地海洋工程装备基本设计技术，极地海洋工程装备动力与配套技术，冰水池试验，冰区航行稳性/快速性/操纵性，极地环境保护与应急救援，极地抗冰防寒与防污染，耐低温、耐腐蚀、耐磨损、易焊接、高韧性涂层，冰下声学物理特性与冰下水声技术等研究。解决极地环境中的声场特性认知、冰下网络化水声探测与通信机理等瓶颈问题，提高极地船用LNG动力、核动力、全回转推进器等动力与推进，极地锚泊与动力定位、锚泊与动力定位联合控制，高负载系泊快速脱离与重新连接等方向的技术能力^[26]。

3. 产业链、供应链韧性及安全水平提升

(1) 船舶高端化核心部件与设备研发

突破高端船舶总体设计、关键原材料、总装建造等“卡点”技术，自主研发LNG货物处理系统及核心配套设备、LNG货物围护系统及关键材料、极地低温钢、邮轮内饰绝缘材料等被国外供应商垄断的设备和材料，加速原油运输船用货油泵等设备的国产化。发展高效率、低噪声推进系统及智能控制技术，舱室机械、甲板机械、船舶专用设备与系统的数控与智能化技术，针对油污、污水、氮/硫氧化物、固体废物的船载监测、控制、处理系统技术，增强高端装备配套技术与核心器件的自主供应能力。面向自主航行需求，构建船舶航行态势感知多元信息融合系统，增强船舶航行的环境感知、自动瞭望、辅助避碰等能力。应用船舶航行交通环境安全识别与智能预警、设备安全管控等技术，深化船舶航行安全与风险控制研究，建立船舶风险防控系统及相应装备，提升船舶航行安全保障水平。

(2) 绿色智能船舶配套技术研发

革新船舶设备绿色智能技术体系，提升船舶配套核心竞争力。研发高能效船舶设备，制定设备能效等级标准，淘汰高能耗的落后产品，形成高能效船用设备谱系、高能效船用设备配套方案。通过智能化能效管控系统量化设备运行能效及排放，驱动海洋运载装备达到国际先进水平，提升供应链绿色化水平。优化系统集成能力，应用船用设备状态监测与健康监测、故障诊断与视情维护、趋势预测与视情维护、远程操控与运维等技术，提升配套设备数字化、智能化水平。研发船载机器人，提出无人甲板、无人机舱域控制体系构架，提升智能船舶设备集成控制水平。发展船岸信息交互与安全技术，研发智能船舶“1个集成平台+N个智能应用”，建立船岸协同运维管理系统，提升装备运行能力和管理水平。

4. 产业高质量发展基础能力提升

(1) 现代服务体系与智能运维技术研究

推动船舶企业由提供“产品”向提供“产品+服务”转变，研究并应用智能运维、数据分析技术，提升装备远程保障能力和产业价值链。加快建设海外服务网络，增强全球服务能力，改善海外服务响应速度以及客户认可度。明确全球服务网络体系设计方案，采取自主建设、国际合作并举的形

式，扩充区域服务中心和服务网点，形成基本覆盖全球主要港口的售后服务网络。研发配套设备智能运维技术，建设岸基数据中心，推动服务数据、服务流程标准化，形成设备远程在线监测、故障诊断、趋势预测等能力。引导国内企业在专业服务技术、海外站点、备品备件、服务团队等方面开展资源协同与共享。

(2) 基础共性技术与标准研究

深化绿色智能船舶的基础共性技术研究，提升产业发展的基础技术水平，主要包括：虚实结合的装备设计与评估技术、能效优化的船型及水动力学技术、复杂环境中结构与装备安全性技术、装备防腐防污技术、航线/航速及运行能耗的智能优化控制技术、船舶高效推进技术、减振降噪与舒适性技术。针对绿色清洁能源应用、自主航行船舶应用、IMO规范等要求，采取产品研发与标准同步建设的形式，加快制定有利于绿色智能技术商业应用的标准规范。完善绿色智能船舶研发设计、总装建造、设备配套、技术服务相关的技术及产品体系，积极参与相关国际标准制定，形成标准引领海洋运载装备产业发展的良好格局。

五、我国海洋运载装备产业发展建议

(一) 加大科技创新投入，实现技术引领

保障科技创新需求，合理加大资源投入，实施海洋运载装备产业基础再造工程、重大技术装备攻关工程。以技术攻关为牵引，构建海洋运载装备现代化产业体系，分类推进关键技术和产品的国产化工作，实质性化解供应链受制于人的隐患。遴选矛盾突出、事关行业发展的关键技术和产品，在科技研发、能力建设等方面给予充分保障。组织相关企业攻关船海业务的供应链产品和技术，协同国内其他行业联合开展工业基础类产品和技术研发；对于有能力研制但尚未国产化的供应链产品，积极利用国家、地方及行业平台开展需求对接，以市场化方式加快产业化进程。

(二) 发展自主品牌，推动国产替代

从设计源头强化“国船国配”理念，提升自主品牌的市场竞争力和占有率。可设立产业发展基金，支持自主品牌产品从首台（套）示范应用尽快

转向小批量生产、产业化应用。以提升海洋运载装备产业竞争力为目标，开展专业化整合，适度提高行业资源集中度；支持形成拥有自主品牌、具有较强竞争力的产业链龙头企业，在各细分产品领域培育具有国际先进水平的单项冠军企业。对于短期内无法全面国产的供应链产品，可扩宽国际供货渠道来源，以重要产品进口来源多元化的方式优化供应链结构，规避潜在的贸易合作风险；对于受限风险较高的供应链产品和技术，可开展供应链应急储备工作。

(三) 促进新兴技术融入海洋装备产业

推动战略性新兴产业集群式发展，形成AI、生物、新能源、新材料、高端装备、绿色环保等新兴技术的增长点。以智能制造、智能装备建设为牵引，推进船海领域“新基建”工程，发挥5G、数据中心、AI、工业互联网等技术的赋能效应，驱动数字化、网络化、智能化技术在船舶及配套设备全流程（设计、制造、管理、维护、检验）中的应用，构建安全、高效、绿色、智能的现代海洋运载装备体系。发挥数据作为生产要素的关键作用，推动数据与船海全产业链的融通，开展船海企业数字化转型，以数字增值提升行业效益。

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: April 21, 2023; **Revised date:** June 2, 2023

Corresponding author: Tang Min is a professor from the Intelligent Transportation System Research Center, Wuhan University of Technology. Her major research field is ship intelligent equipment and operation & maintenance. E-mail: tangmin@whut.edu.cn

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

参考文献

- [1] 吴有生, 曾晓光, 徐晓丽, 等. 海洋运载装备技术与产业发展研究 [J]. 中国工程科学, 2020, 22(6): 10–18.
Wu Y S, Zeng X G, Xu X L, et al. Technology and industry development of marine transportation equipment [J]. Strategic Study of CAE, 2020, 22(6): 10–18.
- [2] “中国海洋工程与科技发展战略研究”海洋运载课题组. 海洋运载工程发展战略研究 [J]. 中国工程科学, 2016, 18(2): 10–18.
Task Force for the Study on Development Strategy of China’s Marine Engineering and Technology Marine Transportation Research

- Group. Research on China's development strategy for marine transportation engineering [J]. Strategic Study of CAE, 2016, 18 (2): 10–18.
- [3] 中国造船工程学会. 我国海洋工程装备产业发展形势与对策 [J]. 船海工程, 2014 (1): 1–9.
The Chinese Society of Naval Architects and Marine Engineers. China's marine engineering equipment industry development situation and countermeasures [J]. Ship & Ocean Engineering, 2014 (1): 1–9.
- [4] 桂傲然. 以技术创新引领我国船舶工业新发展 [J]. 中国船检, 2020 (10): 42–45.
Gui A R. Leading the new development of China's shipbuilding industry with technological innovation [J]. China Ship Survey, 2020 (10): 42–45.
- [5] 卓睿璇, 张高磊, 卓红. 绿色航运背景下 LNG 动力船舶政策与法律研究 [J]. 浙江海洋大学学报 (人文科学版), 2022, 39(5): 31–38.
Zhuo R X, Zhang G L, Zhuo H. On the policy and law of LNG-powered ships in the context of green shipping [J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Humane Science), 2022, 39(5): 31–38.
- [6] 阴晴, 谢予, 朱永安. 中国造船业对外开放“四十年”: 历程、路径及影响分析 [J]. 船舶标准化与质量, 2018 (5): 47–49.
Yin Q, Xie Y, Zhu Y A. Study on course, path and impact of Chinese shipbuilding industry's opening up in 40 years [J]. Shipbuilding Standardization & Quality, 2018 (5): 47–49.
- [7] 宋余庆, 李艳, 陆介平, 等. 镇江船舶与海洋工程装备产业专利分析——基于生态位理论 [J]. 情报杂志, 2016, 35(4): 105–111.
Song Y Q, Li Y, Lu J P, et al. Zhenjiang ship and ocean engineering equipment industry patent analysis based on niche theory [J]. Journal of Intelligence, 2016, 35(4): 105–111.
- [8] 王娜娜, 甄希金. 船舶智能制造技术现状及发展趋势 [J]. 船舶工程, 2019, 41(9): 6–9.
Wang N N, Zhen X J. The current situation and development trend of ship intelligent manufacturing technology [J]. Ship Engineering, 2019, 41(9): 6–9.
- [9] 吴国凡. 基于波特钻石模型的中国船舶工业国际竞争力分析 [J]. 船海工程, 2016, 45(2): 105–108.
Wu G F. Analysis of international competitiveness of Chinese shipping industry based on the Porter's diamond model [J]. Ship & Ocean Engineering, 2016, 45(2): 105–108.
- [10] 谢荣, 胡杰, 谢易. 船舶与海洋装备制造业市场发展趋势分析 [J]. 江苏船舶, 2018, 35(6): 1–4.
Xie R, Hu J, Xie Y. Market development trend analysis of ship and marine equipment manufacturing industry [J]. Jiangsu Ship, 2018, 35(6): 1–4.
- [11] 陈柏全, 刘二森. 2021 年韩国船舶工业发展回顾 [J]. 中国船检, 2022 (2): 52–58.
Chen B Q, Liu E S. Review of Korean shipbuilding industry development in 2021 [J]. China Ship Survey, 2022 (2): 52–58.
- [12] 屠佳樱, 刘二森. 2021 年日本船舶工业发展回顾与展望 [J]. 中国船检, 2022 (2): 59–64.
Tu J Y, Liu E S. Review and outlook of Japanese shipbuilding industry in 2021 [J]. China Ship Survey, 2022 (2): 59–64.
- [13] European Commission and European investment fund launch €75 million BlueInvest fund [EB/OL]. (2020-02-04)[2023-04-17]. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/mex_20_189.
- [14] Maritime Cleantech. ShipFC—green ammonia energy system [EB/OL]. [2023-04-17]. <https://maritimecleantech.no/project/shipfc-green-ammonia-energy-system/>.
- [15] Wärtsilä Corporation. Wärtsilä launches major test programme towards carbon-free solutions with hydrogen and ammonia [EB/OL]. (2021-07-14)[2023-04-17]. <https://www.wartsila.com/media/news/14-07-2021-wartsila-launches-major-test-programme-towards-carbon-free-solutions-with-hydrogen-and-ammonia-2953362>.
- [16] Kongsberg and Man Energy Solutions sign MoU for collaboration on common data infrastructure for maritime sector [EB/OL]. (2023-04-17)[2023-04-28]. <https://www.kongsberg.com/maritime/about-us/news-and-media/news-archive/2019/kongsberg-and-man-energy-solutions-have-signed-a-memorandum-of-understanding/>.
- [17] Shell Global Solutions International B.V. has awarded Kongsberg Digital an enterprise framework agreement for the supply of Kognitwin® energy, digital twin software [EB/OL]. [2023-04-17]. <https://www.kongsberg.com/digital/resources/news-archive/2020/shell-global-solutions-international-b.v.-has-awarded-kongsberg-digital-an-enterprise-framework-agreement-for-the-supply-of-kognitwin-energy-digital-twin-software>.
- [18] 秦琦. LNG 船建造: 韩国缘何能一枝独秀? [J]. 中国船检, 2019 (8): 34–37.
Qin Q. LNG-ship construction: Why can Korea stand alone? [J]. China Ship Survey, 2019 (8): 34–37.
- [19] 陈柏全, 万鹏举, 屠佳樱, 等. 2019, 韩国造船为何能再次超越 [J]. 中国船检, 2020 (2): 47–53.
Chen B Q, Wan P J, Tu J Y, et al. Why can South Korean shipbuilding surpass again in 2019 [J]. China Ship Survey, 2020 (2): 47–53.
- [20] EU blocks merger of Daewoo and Hyundai [EB/OL]. (2022-01-14)[2023-04-17]. <https://xindemarinenews.com/m/view.php?aid=35625>.
- [21] 宋磊, 童骏, 孙江龙. 纵倾调整对三大主力船型航行性能的影响 [J]. 实验室研究与探索, 2021, 40(2): 18–22.
Song L, Tong J, Sun J L. Influence of trim optimization on resistance performance of three main ship types [J]. Research and Exploration in Laboratory, 2021, 40(2): 18–22.
- [22] 刘颖. 凝心聚力 迎接春归 [J]. 船舶经济贸易, 2022 (1): 1.
Liu Y. Gathering our strength to welcome the return of spring [J]. Ship Economy & Trade, 2022 (1): 1.
- [23] 易国伟, 陈刚, 刘佩, 等. 国产首制大型邮轮总装能力建设与产业发展研究 [J]. 中国工程科学, 2022, 24(2): 113–122.
Yi G W, Chen G, Liu P, et al. Capacity construction and industrial breakthrough of China's first domestic cruise ship [J]. Strategic Study of CAE, 2022, 24(2): 113–122.
- [24] 中国船舶工业行业协会. 2021 年船舶工业经济运行分析 [EB/OL]. (2022-01-19)[2023-04-17]. <http://www.cansi.org.cn/cms/document/17230.html>.
China Association of the National Shipbuilding Industry. Economic operation analysis of the shipbuilding industry in 2021 [EB/OL]. (2022-01-19)[2023-04-17]. <http://www.cansi.org.cn/cms/document/17230.html>.
- [25] 李翼, 吕建军, 周陶然, 等. 船舶智能制造关键共性技术体系探究 [J]. 船舶工程, 2021, 43(6): 24–30.
Li Y, Lyu J J, Zhou T R, et al. Exploration of key common technology system for ship intelligent manufacturing [J]. Ship Engineering, 2021, 43(6): 24–30.
- [26] 师桂杰, 冯加果, 康美泽, 等. 极地海洋工程装备的应用现状及关键技术分析 [J]. 中国工程科学, 2021, 23(3): 144–152.
Shi G J, Feng J G, Kang M Z, et al. Polar offshore engineering equipment: Development status and key technologies [J]. Strategic Study of CAE, 2021, 23(3): 144–152.