

海洋运载装备技术与产业发展研究

吴有生¹, 曾晓光², 徐晓丽², 曹博², 李洋²

(1. 中国船舶科学研究中心, 江苏无锡 214082; 2. 中国船舶信息中心, 北京 100101)

摘要: 海洋运载装备是建设海洋强国的基础支撑, 我国在建设海洋强国、制造强国、交通强国的战略需求下, 亟需加快推进海洋运载装备技术创新与产业高质量发展。本文针对我国海洋运载装备技术与产业未来发展问题, 研判了世界海洋运载装备在市场、海洋科学研究与资源开发、绿色智能技术方面的发展需求, 从船舶与海洋工程高等教育、科学研究、总体设计与总装建造、信息与通信导航、动力与配套机电等方面分析了当前世界海洋运载装备的技术现状与产业格局, 总结了世界海洋运载装备的先进前沿技术。研究指出, 近期海洋运载装备领域的重点发展方向为极地航行船舶技术、船舶智能制造技术、船舶优化节能技术等 5 个方面的突破性关键技术, 建议设立智能船舶工程、超级生态环保船舶科技专项、船舶全生命周期运维保障科技专项。从顶层设计、政策引导、资金投入、协同创新、人才建设和国际合作等方面提出了促进我国海洋运载装备发展的对策建议, 以为船舶工业主管部门和“产学研用”相关机构前瞻布局技术研究方向提供参考。

关键词: 海洋运载装备; 船舶与海洋工程; 绿色智能船舶; 极地船舶; 船舶配套产业

中图分类号: U674.1; P75 **文献标识码:** A

Technology and Industry Development of Marine Transportation Equipment

Wu Yousheng¹, Zeng Xiaoguang², Xu Xiaoli², Cao Bo², Li Yang²

(1. China Ship Scientific Research Center, Wuxi 214082, Jiangsu, China; 2. Shipbuilding Information Center of China, Beijing 100101, China)

Abstract: Marine transportation equipment is the basic support to build a strong marine country. To promote the marine, manufacturing, and transportation sectors, China needs to accelerate the technological innovation and high-quality industrial development of marine transportation equipment. This study aims at the future development of China's marine transportation equipment technology and industry. First, the demands of marine transportation equipment were proposed for future markets, marine scientific research, marine resource development, and green intelligent technology. Then the technology and industry status of the world's marine transportation equipment were analyzed from the aspects of higher education, scientific research, general design and assembly, information and communication equipment, as well as power and electromechanical equipment. Meanwhile, the world's advanced technologies of marine transportation equipment were summarized. Next, the technological capabilities and industrial status of China's marine transportation equipment were investigated, and the main problems were analyzed. Based on the above research, five key technical suggestions were put forward, such as polar navigation ship technology, ship intelligent manufacturing technology, and

收稿日期: 2020-09-27; 修回日期: 2020-11-05

通讯作者: 吴有生, 中国船舶科学研究中心研究员, 中国工程院院士, 研究方向为船舶力学与船舶工程; E-mail: wuys@cssrc.com.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“海洋装备发展战略研究”(2020-ZD-02)

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

ship optimization and energy saving technology. And advices of setting up major projects were put forward, including intelligent ship engineering project, project of super eco-environment protection ships, and project for ship lifecycle operation and maintenance. At last, countermeasures and suggestions for the future development of China's marine transportation equipment were proposed, in terms of top-level design, policy guidance, capital investment, collaborative innovation, talent construction, and international cooperation. The research results of this study can provide a reference for the future technical research of China's shipbuilding authorities and relevant institutions.

Keywords: marine transportation equipment; ship and ocean engineering; green and intelligent ship; polar ship; marine equipment industry

一、前言

海洋是人类可持续发展的战略资源宝库,进入 21 世纪以来,以争夺海洋资源、控制海洋空间、抢占海洋科技制高点为特征的国际海洋权益斗争日益激烈 [1]。工欲善其事,必先利其器,海洋运载装备是保卫海洋安全与主权、维持海洋经济稳定发展、推动海洋科学创新研究的“脊梁骨”。在我国加快建设海洋强国、制造强国、交通强国的战略需求下,加快推进海洋运载装备技术创新与产业高质量发展迫在眉睫。海洋运载装备的技术内涵包括:各类船舶与海洋运载平台总体技术(含设计、制造、运营)、海洋运载装备动力技术、海洋运载配套设备技术、海洋运载装备观通导航技术等 [2],海洋运载装备技术与产业格局中涉及的教育与科研体系。

当前,关于海洋运载装备技术与产业发展的研究,主要从总体技术与总装建造角度来分析,对关键配套系统设备等方面的问题剖析与发展建议研究较少,且相关研究缺乏系统性 [3-9]。为此,本文在走访调研、专家研讨与项目研究的基础上,以本领域高等教育、科学研究、总体技术与总装建造、信息与通信导航、动力与配套机电等为切入点,开展世界海洋运载装备发展需求、世界海洋运载装备技术与产业格局、我国海洋运载装备发展现状与问题、我国海洋运载装备领域重点发展方向和对策建议等研究。

二、世界海洋运载装备的发展需求

(一) 市场需求

在全球经济增速不明朗的背景下,全球进出口贸易量增速呈现下滑趋势,全球海运贸易量也难有大幅增长(见图 1)。目前,全球能源消费虽以石

油、天然气等传统能源为主,但需求增速将逐步放缓 [10]。在不出现极端条件的情况下,海洋运载装备的新增需求已很难回到 2008 年的需求高峰。从供给端来看,海洋运载装备产能从 2012 年达到高峰之后,受市场环境影响一直处于收缩调整阶段。据克拉克森数据库统计,到 2019 年全球活跃产能已经下探到约 3.5×10^7 修正总吨(cgt) [11],今后各主要造船国进一步缩减产能的难度较大。在此背景下,主要造船国间的市场竞争将更加激烈。

(二) 海洋科学研究与资源开发需求

深海是人类尚未充分认识的科学与资源宝库,世界社会与经济的可持续发展依赖于对海洋的科学研究及资源开发。目前,人类对占海洋面积 90% 的水深超过 1000 m 的深海区的认识与开发尚处于初级阶段 [12]。当前,用于深海油气资源开发、深海矿产资源开发、深海生物资源研究开发,对海洋环境、海洋科学、海洋经济与海洋安全态势有重大影响的深海运载装备前沿技术,其突破与发展已成为重要需求点 [13]。

(三) 绿色智能技术发展需求

未来在海洋运载装备的设计、建造、营运、拆解过程中,通过先进技术的运用,在满足功能和性能要求的基础上,需实现降低资源和能源消耗、减小或消除环境污染等目标 [14]。同时,随着新一代信息技术与传统行业加速融合,海洋运载装备的智能化将成为发展热点。未来智能船舶将整合传感器、大数据分析、通信技术、先进材料等各项技术,在航行操控、能源与动力系统管理、辅机运行监控、全船安全监控、节能环保监控、振动噪声监控、货物管理等方面实现全船功能的智能控制及船、海、陆、空、天一体化信息互联,并具备感知能力、评估分析能力、决策能力、学习成长能力 [15]。

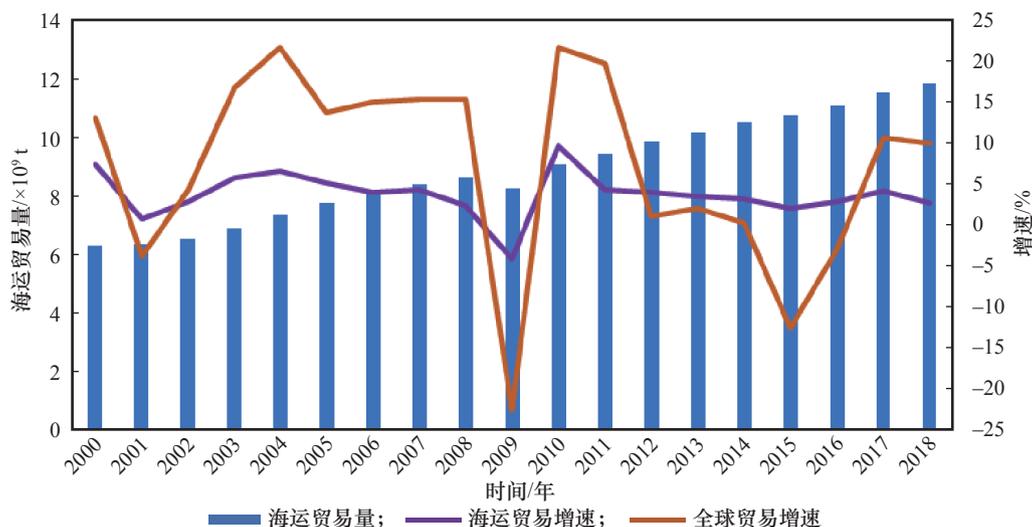


图1 全球海运贸易量变化情况

三、世界海洋运载装备技术与产业格局

(一) 世界海洋运载装备产业发展现状

1. 船舶与海洋工程高等教育领域

由于船舶与海洋工程制造业的重心逐步向亚洲地区转移，欧洲、美国等国家和地区在船舶与海洋工程领域的高等教育规模较20世纪80年代大为缩减，有些著名大学甚至取消了船舶与海洋工程系或相关专业。尽管如此，欧洲、美国等国家和地区的高等教育界仍是船舶与海洋工程新科技研究的重要开拓力量，教学与科研内容更新速度快，再加上与国际学术和技术标准机构的密切合作，在国际舞台和市场上的活跃程度与影响力突出。我国在此方面仍存在一定差距，需进一步提高影响力。

2. 船舶与海洋工程研究领域

20多年来，虽然欧洲、美国等国家和地区的船舶总装建造产业规模大幅缩减，装备总体技术的研究人员数量也有所减少，但其研究成果仍然对全球海洋运载装备技术发展具有重要影响，主要依靠的是技术积累与知识产权基础、高福利待遇与灵活的研究机制、传统的市场开拓与服务能力、船舶领域技术人才优势；同时，开展全球绝大部分船舶设计、评估、数字化制造软件的研制与服务业务，拥有高端船舶与配套装备的核心技术，在国际海事组织、国际船级社联合会、国际标准化组织等海洋装备与海运界国际机构中发挥着主导作用。值得关注的是，在一些细分设备领域，欧洲、美国等国家和地区拥

有众多超过百年历史的中小型企业，一些技术具有全球性垄断地位，科研实力不可小觑。

3. 总体设计与总装制造领域

据克拉克森数据库统计显示（见表1），2014—2019年，在全球具有设计信息的船舶中，由中国船舶设计机构参与设计的船舶份额约占30%~35%，日本约占20%~25%，韩国约占10%~20%，欧洲约占10%~15% [11]。具体来看，在船舶设计方面，中国和日本的船舶设计机构偏重于散货船设计，韩国的设计机构较多参与液化气船设计，欧洲的设计机构则集中在豪华邮轮设计。从技术内涵考量，欧洲国家在高端船舶（如大型邮轮、冰区船、深海采矿船、液化天然气（LNG）运输船、核动力水面船、远洋渔业捕捞加工船等）的设计方面占据主导或垄断地位，在绿色与智能船舶的设计开发方面占据先导地位；日本在三大主力船型的优化及减重设计方面具有优势，注重新概念、绿色化、智能化船舶设计技术的开发。

全球船舶总装制造市场呈现出中国、韩国、日本三足鼎立格局。自2008年全球金融危机以来，中国和韩国在争夺全球船舶总装制造主要市场份额方面展开了激烈竞争，互有胜负；日本则采取谨慎的产业发展策略，其全球船舶总装制造市场份额较中国和韩国的差距有所增大。在总装建造技术方面，日本和韩国代表了当前世界先进水平，采用设计—评估—制造一体化的信息系统，逐步提升工艺智能化水平；日本、韩国的船舶总装建造生产效率平均

较我国船厂高 2 倍以上。

4. 信息与通信导航领域

世界船舶通信导航设备的主要竞争格局由欧洲、美国、日本组成，主流远洋运输船配备的多为欧洲、美国集成系统。这些船舶通信导航设备生产企业拥有完善的全球服务网络，垄断着全球通信导航产品市场。同时，国外企业重视信息与通信导航设备及其上下游产品的数据资源综合化、标准化和智能化。

5. 动力与配套机电领域

世界高端柴油机市场几乎被发达国家垄断。按克拉克森数据库中品牌份额统计，德国曼恩集团拥有全球 80% 以上的低速柴油机市场份额；芬兰瓦锡兰公司、美国卡特彼勒公司、韩国现代集团、日本大发工业株式会社、日本洋马株式会社等占据全球 90% 以上的中速柴油机市场份额 [11]。在海洋核

动力领域，以美国、俄罗斯为典型代表，具有先进的研发体系和产业体系，形成了完备的海洋核动力装备谱系。在船舶特种推进装置方面，国外也已形成了大功率、标准化、系列化产品，满足各类船舶市场需求。同时，国外企业在甲板机械、舱室机械等船舶配套辅机领域也占据主导地位。

(二) 世界海洋运载装备先进前沿技术

1. 当前先进技术

(1) 远洋船舶应用 LNG 燃料技术

未来一段时期，船舶的主要替代燃料是 LNG。天然气储量大，随着基础设施的不断建设，天然气变得越来越可用 [16]。目前，在已有的 LNG 燃料船中，渡轮和近海船舶占大多数，集装箱船、油船和化学品船的占比正在迎头赶上，如国际上针对两万标准箱级 LNG 动力集装箱船的开发设计取得长

表 1 全球 2014—2019 年前 20 名船舶设计公司情况统计 [11]

序号	公司名称	国家 / 地区	船舶数量	占具有统计信息的全 球新设计的船舶数量 的比例	新设计船舶cgt	占具有统计信息 的全球新设计船 舶cgt总量的比值
1	上海船舶研究设计院	中国	842	5.48%	16 628 050	7.09%
2	中国船舶及海洋工程设计 研究院	中国	139	0.90%	5 081 416	2.17%
3	上海外高桥造船海洋工程 设计有限公司	中国	99	0.64%	3 334 707	1.42%
4	塞斯潘航运集团	中国香港	45	0.29%	2 476 441	1.06%
5	南通中远海运川崎船舶工 程有限公司	中国	105	0.68%	2 048 884	0.87%
6	中船重工船舶设计研究中 心有限公司	中国	64	0.42%	1 684 515	0.72%
7	今治造船株式会社	日本	403	2.62%	7 687 110	3.28%
8	常石控股株式会社	日本	266	1.73%	4 884 411	2.08%
9	日本造船联合公司	日本	118	0.77%	3 949 511	1.68%
10	大岛造船所	日本	215	1.40%	3 743 157	1.60%
11	名村造船所	日本	115	0.75%	2 130 751	0.91%
12	新来岛造船厂	日本	132	0.86%	2 011 327	0.86%
13	现代重工蔚山船厂	韩国	73	0.47%	3 346 483	1.43%
14	CS 海事技术公司	韩国	101	0.66%	2 117 958	0.90%
15	大宇造船海洋株式会社	韩国	37	0.24%	2 016 803	0.86%
16	三星重工造船厂	韩国	39	0.25%	1 903 928	0.81%
17	现代尾浦造船厂	韩国	86	0.56%	1 733 720	0.74%
18	德他马林船舶设计公司	芬兰	133	0.87%	3 117 182	1.33%
19	马士基航运公司	丹麦	38	0.25%	2 784 906	1.19%
20	皇家加勒比邮轮有限公司	美国	12	0.08%	1 836 492	0.78%

足进展。

(2) 大型船舶应用太阳能和风能技术

航运业正在探索应用可再生能源来为船队提供动力，相关技术已进入试验和测试阶段。例如，大连船舶重工集团有限公司为招商局能源运输股份有限公司建造的全球首艘安装风帆装置的 3.08×10^5 DWT 超大型原油船，已交付投产并完成多个航次任务。今后最有潜力的应用方向是作为现有能源的补充来降低燃料消耗。

(3) 极地船舶技术

随着北极地区战略地位不断提高，北极地区的海上运输引起了广泛关注，因全球变暖而导致的冻冰减少也使北极航行变得更为可行。此外，两极地区旅游业和渔业的不断发展也对极地船舶提出了新的需求。极地船舶的船体结构设计、监测系统、应急响应系统、多变环境下的设备可靠性是后续研发重点。

(4) 船舶噪声控制技术

船舶噪声可能会影响海洋生物、船员及乘客的健康。国际海事组织发布的《船上噪声等级规则》，为防止船上出现具有潜在危险的噪声级提供了参考标准，并为船员可接受的环境提供参考标准 [17]，此外，国际标准化组织正在推进船舶噪声国际标准制定工作。当前针对船舶噪声产生机理、预报方法和控制方法等的研究仍是热点。

(5) 先进材料技术

材料是海洋运载装备的基础，先进的新型材料使海洋运载装备具有更优异的性能。当前，海洋运载装备领域的先进材料包括：超大型集装箱船高强止裂厚钢板、船用低温钢及极地低温材料、船用结构声学复合材料、减阻防腐防污涂料、复合材料和低温材料等。

2. 在研前沿技术

海洋运载装备在研前沿技术主要与海洋运载装备智能化相关，旨在推动装备智能化，促进航运业的安全、高效发展。

(1) 智能船舶技术

智能船舶技术领域主要包括：航行智能操控技术、能源与动力系统智能管理技术、辅机安全运行智能监控技术、全船安全智能监控技术、节能环保智能监控技术、振动噪声智能监控技术、货物智能管理技术、智能船舶一体化信息系统技术八大

类技术。

(2) 增材制造技术

增材制造技术不仅可以改善机械部件设计、提高其效率和寿命，还可以让相关备件在世界各地不同港口就地生产。这将提升企业对市场需求的响应能力，缩短维修时间，有助于提高船舶运营效率。增材制造技术已被应用于快速原型制造领域，正在逐渐被集成到传统制造业中，如汽车和飞机制造业。目前，美国海军已经开始在一些船舶上测试这项技术以评估其备件生产的潜力。

(3) 先进传感器技术

新一代传感器具有小型化、自校准等特性，能够自主收集数据，包括船舶运营环境的大气 / 水面 / 水下 / 海底的风浪流、载荷、运动、强度等特征数据，机电设备工作状态、舱内环境、装载物详情等，并能够实时传递这些数据。未来的船舶将具有完整的传感器网络来监测各个方面，如检测故障、识别需要维护或修理的区域等。

(4) 先进通信技术

第五代移动通信 (5G)、无线上网 (Wi-Fi)、新一代卫星及传统无线电通信网络的集成应用，将使海洋信息的远距离传输变得经济便捷。管理人员或用户可在船上的记录设备中实时访问音频、高清视频、三维 (3D) 视频，降低对实际上船调查的需求。

3. 未来颠覆性技术

氢燃料动力技术是世界海洋运载装备前沿技术中有关颠覆性技术的代表。由于氢燃料可实现真正的零排放，国际能源署 (IEA) 认为氢能将成为实现国际海事组织 2050 年航运业碳减排目标的一种燃料选项 [18]。如果氢燃料动力技术能够发展成熟并得到广泛应用，有望重塑海洋运载装备产业形态，对海洋运载装备设计、总装、配套、服务等各方面产生深远影响。近年来，越来越多的造船厂、能源公司、动力系统供应商开始加快氢燃料动力船舶的研发，取得了实质性进展。目前已有多种船型采用氢燃料电池动力，还有更多大型项目处于开发过程 [19]。

四、我国海洋运载装备科技能力和产业结构的现状与问题

经过多年发展，我国海洋运载装备产业规模不

断发展壮大。2019 年 1—11 月,我国拥有规模以上船舶工业企业 1052 家,实现主营业务收入约为 3947.7 亿元 [20]。我国海洋运载装备产业链相对完善,涵盖研发设计、总装建造、动力与配套、服务全链条,有力支撑了海洋事业发展。

(一) 船舶与海洋工程高等教育领域

近 40 年来,我国船舶与海洋工程高等教育的规模持续扩大。20 世纪 70 年代我国从事该领域教学的高等院校只有 9 所,而 21 世纪初我国从事该领域教学的高等院校超过 40 所,在校教师和学生的总数超过世界其他国家的总和;我国培养了世界 50% 以上的船舶行业人才。同时,我国部分高等院校已建成具有国际先进水平的大型船舶与海洋工程试验设施群。

我国船舶与海洋工程高等教育领域面临的问题为:侧重于船舶与海洋工程总体技术的教学,对海洋装备动力、辅助机械、观通导航、综合信息等方面的配套技术、智能技术、新材料技术、海洋探测感知基础器件技术的教学重视程度相对较弱;在校学生实习机会较少、工程概念偏弱等。

(二) 船舶与海洋工程研究领域

我国船舶与海洋工程装备研究队伍规模庞大,来自企业的研究设计院所和船厂为核心、以高等院校为支撑,形成了专业配置较为完备的科技研究开发体系,服务于水面水下船舶与海洋工程装备总体及配套系统的设计与制造 [21]。与世界船舶与海洋工程研究水平相比,我国在该领域的研究水平整体处于少数跟跑、多数并跑、局部领跑并重的态势。

我国船舶与海洋工程研究领域存在的问题主要为:基础技术研究储备不足,如缺乏对核心零部件等基础关键单元的机理与优化、特种材料与特种工艺、检测方法等基础技术研究;能源与动力系统智能管理、节能环保监控等设备的智能化、绿色化共性技术研究相对滞后等。

(三) 船舶总体设计与总装制造领域

我国在主流船型方面已经具备了全系列船型研发、设计、建造能力,实现了系列化、批量化生产;在高技术和特种船舶方面,基本具备大型 LNG 船、

超大型全冷式 LNG 运输船、汽车滚装船等船舶设计与建造能力。自 2010 年以来,我国总装造船产能稳居世界第一,年度造船完工量占世界市场总量的 35%~44% (按载重吨计) [11]。同时,我国在船舶绿色化、智能化技术研究方面也取得了较好进展。

我国船舶总体设计与总装制造领域存在的问题主要为:船舶设计软件多为国外引进,缺乏对新型、新运输平台的自主创新设计能力;总装建造的自动化、智能化、绿色化程度显著落后于日本、韩国,建造效率明显低于国际先进水平;智能船设计制造技术发展相对滞后等。

(四) 信息与通信导航领域

近年来,国内相关企业、科研机构通过自主研发,进军船舶通信导航的中高端产品领域,已经研制出电子海图显示与信息系统、船用导航雷达、综合船桥系统、船舶自动识别系统等产品,部分已通过中国船级社的认证,在公务船、近海中小型船舶上逐步实现应用。从通信导航设备整机配套来看,绝大部分设备解决了自主品牌、自主研制配套的有无问题。

我国信息与通信导航领域存在的主要问题为:通信导航设备在远洋运输船舶上的装船率偏低,成套设备严重依赖进口;国产通信导航设备关键零部件的精度和可靠性与国外产品相比仍有差距;通信导航设备基础电子元器件主要依赖进口;缺乏适应智能船舶技术发展要求、相对完善的一体化通信与数据平台系统等。

(五) 动力与配套机电领域

在市场驱动下,我国动力与配套机电产业规模迅速扩大,全国规模以上船用配套设备制造企业超过 500 家;基本建成动力机电设备制造和试验验证设施体系,形成相对完整的产业链,产品涵盖动力系统、甲板机械、舱室机械、自动化、舾装等领域;在加工制造和产能方面已达到世界先进水平,基本具备三大主流船型动力与机电设备配套能力。

我国在动力与配套机电领域存在的问题主要为:一些自主设计制造的动力与机电设备缺乏可靠性指标,且产品尚未形成系列化、标准化,品牌装船率低;动力配套设备服务发展缓慢,在服务网点

数量、服务效率、服务涵盖范围等方面与欧洲企业存在较大差距等。

五、我国海洋运载装备重点发展方向

我国海洋运载装备领域亟需补齐产业链短板，实施关键技术攻关，不断提高海洋运载装备的绿色化和智能化水平，提升建造效率与质量，加快培育具有自主知识产权的核心关键系统和设备，形成完善的海洋运载装备研发设计、总装建造、设备供应、技术服务产业体系和标准化体系 [22]，推动海洋运载装备产业发展模式转为科技创新驱动型。

(一) 突破性关键技术

1. 极地航行船舶技术

重点开展极地航行船总体设计、冰水池试验、冰区航行稳性 / 快速性 / 操纵性、极地环境环保与应急救援、极地抗冰防寒与防污染等技术研究。

2. 船舶智能制造技术

重点开展船舶典型中间产品生产线设计集成与控制、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研究。

3. 船舶优化节能技术

重点开展低阻船体主尺度与线型设计、船体上层建筑空气阻力优化、船底空气润滑降阻、船舶热能发电系统等技术的集成研究。

4. 船舶推进装置设计技术

重点开展高效螺旋桨优化设计技术、螺旋桨 / 舵一体化设计技术、螺旋桨 / 船艏优化匹配设计技术、叠叶双桨对转推进等技术的合理集成研究。

5. 减振降噪与舒适性技术

重点开展设备隔振、高性能船用声学材料、建造声学工艺与舾装管理、结构声学设计、声振主动控制、舒适性舱室设计等技术研究。

6. 船舶关键材料技术

重点开展 EH47 以上高强度钢材、钛合金材料、低温材料（大气温度 $\leq -50^{\circ}\text{C}$ ）、轻型复合材料、环境友好型防污减阻新材料等技术研究。

(二) 重大工程与科技专项

1. 智能船舶工程

完善智能船舶顶层设计规划，以典型船舶为对

象，实现船舶智能管理与控制，逐步具备基于智能避碰的船舶自主航行能力；构建智能船舶虚实融合的综合测试环境、船岸海联动的试验机制与测试条件；加强船舶数据安全与设备安全防范建设。

2. 超级生态环保船舶科技专项

形成若干具有国际领先水平的绿色品牌船型、标准船型及系列船型，大幅提升技术引领能力；突破配套设备绿色化关键技术，技术水平跻身世界先进水平行列；开发以低 / 无碳燃料为动力的新型绿色船舶船型。

3. 船舶全生命周期运维保障科技专项

建立船岸一体化的“物联网、大数据、互联网”技术体系，逐步实现船岸一体化的运维保障；针对船舶机电设备、甲板系统、舱室系统、核动力系统关键系统逐步实现远程故障诊断、预测性维护和远程操控；相关设备逐步具备自感知自适应能力，实现自主维修、自我防护。

六、对策建议

(一) 加强顶层设计，做好统筹规划

当前，我国部分科研单位与科技研究人员对基础性、前沿性技术研发重视不足。建议进一步加强顶层设计工作，制定总体战略规划，做好统筹与引导，加强基础研究，避免重复建设和恶性竞争。针对中长期船舶与运载技术的发展，宜发挥国家和行业的整体力量，明确发展重点方向，引导相关企业将技术研发重点统一到具有共识的重点方向上。

(二) 强化政策引导，推动国产应用

建议教育、工业等主管部门积极开展政策引导，逐步调整重“总装建造”、轻“内脏与基础件”的产业结构；鼓励自主开发的海洋运载装备设计、评估、制造和运行软件推广应用；在首台（套）应用、自主品牌推广应用、配套服务能力建设等方面制定并落实鼓励政策。

(三) 加大科研投入，拓展资金渠道

鼓励相关企业、科研院所、高等院校在自身专业领域加强自主研发投入，用好、用足国家科技和金融方面的相关支持政策；通过多渠道开展直接融资，引入民间资本参与共建科技创新项目，探索形

成多元化、可持续的投入机制。

(四) 促进多方融合, 推动协同发展

加强行业内部研发力量的合作, 根据专业特长分工协作, 明确权益保障和成果共享机制, 共同开展重大技术项目攻关。同时加强行业内研发机构与国内其他领域科研机构、高等院校的合作交流, 构建企业、高等院校和研究机构共同参与的多层次研发体系。

(五) 探索激励机制, 促进人才发展

创新人才培养激励机制, 探索合理有效的中长期激励约束制度, 加快创新型研发人才、高级营销人才、项目管理人才、高级技能人才等专业化队伍的培养和建设 [23]。鼓励采用专利实施许可、专利权转让、发明专利出资入股、知识产权质押等形式, 促进创新成果转移转化和产业化。

(六) 注重国际合作, 推动技术创新

充分利用全球科技资源, 深度融入全球科技创新网络, 开展国际海洋领域的技术交流互动, 强化国际知识产权规则研究。采取科技合作、资源共同开发与利用、参与国际标准制定等多种方式, 不断提升海洋运载装备科技发展水平和行业治理能力。

参考文献

- [1] “中国工程科技2035发展战略研究”海洋领域课题组. 中国海洋工程科技2035发展战略研究 [J]. 中国工程科学, 2017, 19(1): 108-117.
Task Force for the *Research on China's Engineering Science and Technology Development Strategy 2035* Marine Research Group. Development strategy for China's marine engineering science and technology to 2035 [J]. *Strategic Study of CAE*, 2017, 19(1): 108-117.
- [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] 胡文龙. 中国船舶工业70年: 历程、成就及启示 [J]. 中国经贸导刊, 2019 (11): 28-34.
Hu W L. 70 years of China's shipbuilding industry: Course, achievements and enlightenment [J]. *China Economic & Trade Herald*, 2019 (11): 28-34.
- [4] 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 forty years' opening up [J]. *Shipbuilding Standardization & Quality*, 2018 (5): 47-49.
- [5] 郎舒妍, 曾晓光, 张民. 智能船舶工程科技发展战略研究 [J]. 中国工程科学, 2019, 21(6): 27-32.
Lang S Y, Zeng X G, Zhang M. Development strategy of intelligent ship engineering technology [J]. *Strategic Study of CAE*, 2019, 21(6): 27-32.
- [6] 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, 8.
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, 8.
- [7] 曲慧. 日本船舶工业发展现状调查与分析 [D]. 大连: 大连理工大学(硕士学位论文), 2018.
Qu H. Investigation and analysis of the current development situation of Japanese shipbuilding industry [D]. Dalian: Dalian University of Technology(Master's thesis), 2018.
- [8] 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, 112.
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, 112.
- [9] 马仁锋, 梁贤军, 庄佩君. 基于文献计量视角的中国船舶工业及其技术研发动态 [J]. 世界科技研究与发展, 2014, 36(4): 446-452.
Ma R F, Liang X J, Zhuang P J. Progress on researches of Chinese shipbuilding industry and its R & D based on bibliometrics [J]. *World Sci-Tech R & D*, 2014, 36(4): 446-452.
- [10] 马丁, 单葆国. 2030年世界能源展望——基于全球能源展望报告的对比研究 [J]. 中国能源, 2017, 39(2): 21-24.
Ma D, Shan B G. World energy outlook 2030: A comparative study based on global energy outlook report [J]. *Energy of China*, 2017, 39(2): 21-24.
- [11] 克拉克森研究公司. 克拉克森航运数据库 [DB/OL]. (2020-03-31) [2020-06-11]. <https://www.clarksons.net/portal/>.
Clarkson Research Services Limited. Clarkson shipping database [DB/OL]. (2020-03-31) [2020-06-11]. <https://www.clarksons.net/portal/>.
- [12] 廖静. 到2030年, 全球蓝色经济产值将达3万亿欧元 [J]. 海洋与渔业, 2018 (1): 42-43.
Liao J. By 2030, the global blue economic output value will reach 3 trillion euros [J]. *Ocean and Fishery*, 2018 (1): 42-43.
- [13] 曾晓光. 我国深海开发利用如何发力 [J]. 中国船检, 2018 (4): 37-39.
Zeng X G. How to develop and utilize the deep sea in China [J]. *China Ship Survey*, 2018 (4): 37-39.
- [14] 张信学, 赵峰, 王传荣, 等. 绿色船舶技术发展战略研究 [J]. 中国工程科学, 2016, 18(2): 66-71.
Zhang X X, Zhao F, Wang C R, et al. Research on the development strategy of green ship technology [J]. *Strategic Study of CAE*, 2016, 18(2): 66-71.
- [15] 李源. 最新船舶技术盘点 [J]. 中国船检, 2016 (1): 92-95.
Li Y. Review of the latest ship technology [J]. *China Ship Survey*,

- 2016 (1): 92-95.
- [16] 李杰. 中国天然气现货交易市场构建思路——基于美国天然气交易市场的经验 [D]. 重庆: 重庆大学(硕士学位论文), 2012.
Li J. The build ideas of China natural gas spot market——Based on the experiences and of the U.S. natural gas market [D]. Chongqing: Chong Qing University(Master's thesis), 2012.
- [17] 张辉, 张新波. 《船上噪声等级规则》修订案解析及应对措施 [J]. 船舶标准化工程师, 2013, 46(1): 28-29.
Zhang H, Zhang X B. The Influence on *New ships of code on noise levels on-board ships* [J]. Ship Standardization Engineer, 2013, 46(1): 28-29.
- [18] 国际能源署. 2020年世界能源展望 [R]. 巴黎: 国际能源署, 2020.
International Energy Agency. World energy outlook 2020 [R]. Paris: International Energy Agency, 2020.
- [19] 薛龙玉. 未来船舶动力, 谁主沉浮? [EB/OL]. (2019-06-19) [2020-06-11]. http://www.ship.sh/news_detail.php?nid=35705.
Xu L Y. Who will be in charge of ship power in the future? [EB/OL]. (2019-06-19) [2020-06-11]. http://www.ship.sh/news_detail.php?nid=35705.
- [20] 中国船舶工业行业协会. 2019年船舶工业经济运行分析 [EB/OL]. (2020-01-11) [2020-06-11]. <http://www.cansi.org.cn/iframe/shownews.php?lang=cn&id=13449>.
China Association of the National Shipbuilding Industry. Economic operation analysis of shipbuilding industry in 2019 [EB/OL]. (2020-01-11) [2020-06-11]. <http://www.cansi.org.cn/iframe/shownews.php?lang=cn&id=13449>.
- [21] 吴有生. 在新世纪实现船舶力学的伟大振兴 [C]//中国造船工程学会: 2009年船舶结构力学学术会议暨中国船舶学术界进入ISSC30周年纪念会论文集. 北京: 船舶力学学术委员会、《中国造船》编辑部, 2009: 6-9.
Wu Y S. Realizing the great rejuvenation of ship mechanics in the new century [C]// The Chinese Society of Naval Architects and Marine Engineers: Paper collection of 2009 academic conference on ship structural mechanics and the 30th anniversary of the entry of Chinese ship academia into ISSC. Beijing: Academic Committee of Ship Mechanics and Shipbuilding of China Editorial Office, 2009: 6-9.
- [22] 本刊编辑部. 四部委发布《高端装备创新工程实施指南》多项创新工程助力造船强国建设 [J]. 船舶物资与市场, 2016 (4): 6-7.
Editorial Department. Four ministries and commissions issued *The implementation guide of high-end equipment innovation project*, and a number of innovation projects helped build a strong shipbuilding country [J]. Marine Equipment / Materials & Marketing, 2016 (4): 6-7.
- [23] 信息产业部人事司. 中国信息产业人才发展战略研究 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
Personnel Department of Ministry of Industry and Information Technology of China. Research on the development strategy of talents in China's information industry [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2006.