

# 绿色船舶低碳发展趋势与应对策略

郑洁<sup>1,2</sup>, 柳存根<sup>1,2</sup>, 林忠钦<sup>1,2</sup>

(1. 上海交通大学, 上海 200240; 2. 中国海洋装备工程科技发展战略研究院, 上海 200240)

**摘要:** 近年来, 船舶航运业带来的环境污染问题受到国际社会的高度关注。规制船舶环境污染和降耗减排的国际公约及相关规划文件相继出台, 且标准和规范日益严苛, 绿色低碳已成为船舶航运业发展的必然趋势。本文在分析国际海事组织碳减排初步战略的基础上, 阐述了挪威、日本、英国在绿色船舶领域的发展现状, 归纳了国外在政策引导、技术方向、国际合作等方面促进绿色船舶发展的共性优势。结合国内绿色船舶发展情况, 从强化政府主导、制定国家和行业层面的绿色船舶发展规划, 布局技术攻关、加快推进船舶替代燃料的市场化应用进程, 实施开放合作、在提升核心竞争力的同时引领国际行业发展三方面就我国绿色船舶发展提出建议。

**关键词:** 绿色船舶; 国际海事组织; 碳减排; 发展趋势

**中图分类号:** U662      **文献标识码:** A

## Low-Carbon Development of Green Ships and Related Strategies

Zheng Jie<sup>1,2</sup>, Liu Cungen<sup>1,2</sup>, Lin Zhongqin<sup>1,2</sup>

(1. Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China; 2. China Strategy Institute of Ocean Engineering, Shanghai 200240, China)

**Abstract:** Environmental pollution caused by shipping has attracted great attention from the international community in the recent years. International conventions and related documents regulating environmental pollution and reducing emissions from ships have been promulgated in succession, and the standards and regulations have become increasingly stringent. Green ships have become an inevitable trend for shipbuilding and shipping industries. This study first analyzes the initial International Maritime Organization strategy on reduction of greenhouse gas emissions from ships, then introduces the development status of green ships in Norway, Japan, and the United Kingdom. We summarize the advantages of these countries in terms of policy guidance, technical direction, and international cooperation, and propose some suggestions while considering the development status of green ships in China. China should strengthen government leadership to formulate green ship development plans at the national and industrial levels, make technical breakthroughs to accelerate the market application of alternative fuels for ships; and encourage international cooperation while enhancing core competitiveness.

**Keywords:** green ship; International Maritime Organization; carbon emission reduction; development trend

收稿日期: 2020-10-25; 修回日期: 2020-11-09

通讯作者: 柳存根, 上海交通大学船舶海洋与建筑工程学院教授, 研究方向为船舶与海洋工程的设计与建造; E-mail: cgliu@sjtu.edu.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

## 一、前言

21 世纪以来,世界经济增长带来的环境问题日益严峻,国际社会持续关注环境污染与保护议题,对各行业低碳环保的要求也不断提高,一系列国际新公约、新规则、新标准应运而生,如为全面控制温室气体排放、应对全球气候变暖的《联合国气候变化框架公约》,为应对全球气候变化做出行动安排的《巴黎协定》。世界气象组织(WMO)发布的《2019 年全球气候状况声明》证实:全球气候持续变暖,所产生的一系列连锁反应正在加剧,距离实现《巴黎协定》的温度控制目标越来越远。联合国秘书长古特雷斯表示,需要全球所有国家表明政治意愿且抓紧行动,才能 2030 年实现 45% 的减排量(较 2008 年)、2050 年实现零排放[1]。

全球贸易的 90% 是通过海运完成的,船舶航运带来的环境污染问题受到国际社会的高度关注。国际海事组织(IMO)不断制定和出台各项防止船舶污染环境的强制性规定。在此背景下,绿色环保理念应运而生,逐渐被船舶行业接受和认可,船舶绿色发展的模式开始被深入挖掘和探索。“绿色船舶”的概念在此背景下逐渐清晰,学术界对其探讨也愈发广泛和深入。中国船级社对绿色船舶的概念界定受到国内广为认可:绿色船舶系采用相对先进的技术在其生命周期内能安全地满足预定功能和性能,同时实现提高能源使用效率、减少或消除环境污染、对操作和使用人员具有良好保护的船舶[2]。虽然学术界对绿色船舶的概念界定尚未达成完全一致的说法,但都基本体现了在船舶建造和应用的全生命周期中以绿色环保、节能减排为原则,以先进技术和新能源燃料开发为支撑,以减少乃至消除环境污染为目标等核心要义。

为提升行业竞争能力,世界主要造船国家积极制定绿色船舶发展规划、开展绿色船舶技术研究。我国自 1990 年起开展绿色船舶技术的相关研究,在高效节能船型研发、船体建造等方面已取得一定成效。为更好地履行关于节能减排的国际承诺、加快由造船大国向造船强国的转型升级,我国应抓住绿色船舶发展的关键窗口期,就尽快实现绿色船舶的市场化运营开展谋划布局。本文在分析 IMO 碳减排战略和国外绿色船舶前沿发展的基础上,重点

探讨通过碳减排提高船舶能效、加快国内绿色船舶市场化运用的途径。

## 二、国际海事组织的碳减排战略

IMO 一直致力于推动航运业的温室气体减排工作,将降低船舶碳排放列为重点管理措施。IMO 为推动国际航运业尽快实现减排目标,2011 年通过了船舶能效设计指数(EEDI),将其作为控制船舶温室气体排放的主要手段,以期监管航运和船舶行业低碳排放的过程;2018 年通过了《减少船舶温室气体排放的初步战略》,从愿景目标、减排力度、指导原则、不同阶段的减排措施和影响等方面对航运业应对气候变化的行动作出总体安排(见图 1)[3,4]。这不仅是全球航运业首次为应对气候变化制定的温室气体减排战略,还是 IMO 在航运温室气体减排谈判进程中的重要里程碑[5]。

上述战略确定了温室气体减排的量化目标及阶段性减排措施。①与 2008 年相比,国际航运每单位运输活动的平均 CO<sub>2</sub> 排放量到 2030 年至少降低 40%,并力争到 2050 年降低 70%。②与 2008 年相比,到 2050 年国际航运的年度温室气体总排放量至少降低 50%。③为尽快消除国际航运产生的温室气体排放,制定了三个阶段的措施:一是短期措施(2018—2023 年),改善新船和现有船的技术和运行能效,发起研究开发替代性燃料等新技术的行动;二是中期措施(2023—2030 年),引入替代性低碳和零碳燃料实施计划,加强技术合作与能力建设等;三是长期措施(2030 年以后),引入零碳燃料,鼓励广泛采用可能的新型减排机制。

海洋环境保护委员会(MEPC)认为,开发可供全球利用且安全的船舶新能源可能面临较大的实施障碍,如为了引入替代燃料必须制定燃料生命周期温室气体/碳强度指南。IMO 已在《使用气体或其他低闪点燃料的船舶国际安全规则》中为液化天然气燃料船舶制定了安全标准,但尚未形成针对氢或其他燃料的船舶使用安全标准。MEPC 表示,将通过促进信息共享、技术转让与合作的方式促进公私伙伴关系和信息的交流,协助推动低碳技术的研发进展,加快实现船舶向低碳、零碳燃料的转型发展。

经过各方利益的博弈与平衡,IMO 关于船舶

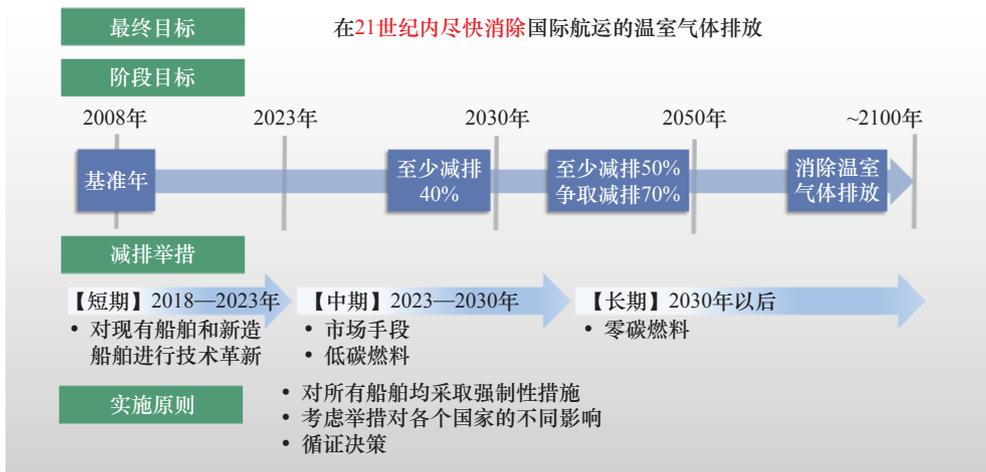


图1 国际海事组织减少船舶温室气体排放初步战略示意图

碳减排的初步战略将于2023年正式转为最终战略，相关国际规则的变化将决定航运业的发展方向。这势必给我国节能减排相关政策的制定带来重大影响，航运业节能减排的阶段性目标与措施也需要随之进行调整。国际规范与新兴技术将成为影响航运业未来清洁低碳发展的重要因素，随着IMO最终环保预期规则和标准的确立，新的船舶与航运投资发展机遇也将随之而来。

### 三、国外绿色船舶发展规划及启示

在国际组织一系列严格的环保公约和标准的“倒逼”之下，欧洲、日本等纷纷制定国家级绿色船舶发展规划和措施，加快新能源、新技术、新材料在绿色船舶领域的研究和推广，以期支持本国造船和航运业尽快满足国际环保公约规定，赢得新一轮船舶及航运市场中的竞争优势 [6]。

#### （一）挪威

挪威作为航运领域绿色转型的全球领导者，其政府目标是到2030年将国内航运和渔船的碳排放量削减50%，并采取立法规划、财政支持、政企合作、配额制度、公共采购减排化、注册激励机制等手段持续推进各类型船舶的低碳减排工作，加快航运业的绿色发展 [7]。

政府出台相关立法并制定发展规划。挪威政府正在努力推动气候与环境友好型的航运业国际制度框架构建：《船舶安全与监管法》涵盖了环境安全及

与船舶建造、设备、运营方面有关的环境要求；《国际防止船舶造成污染公约》已在挪威国内法律体系中得到适用，主要调整因船舶航行造成的空气污染、有毒有害物质排放等引起的法律问题；《污染防治法》的适用范围已扩展至管控船舶温室气体的排放。

政府在公共采购过程中推行船舶减排理念。挪威政府将推动在渡轮和高速船采购过程中纳入零排放和低排放理念的要求。依据挪威公共采购方面的立法规定，公共机构必须以减少有害环境影响、促进气候友好型的方式进行采购。政府希望公共部门利用其减排采购的做法激励社会对低排放技术产品的使用，将尽可能在公共采购过程中确保考量与零排放运输相关的要求，为零排放船舶的发展提供机会并创造动力。

政府以资金和税费优惠的方式支持绿色船舶的购置及注册。挪威政府为环境友好型船舶的购置制定了长期的补贴和税收优惠计划，2019年国家预算设立专款为高速客船引入低排放和零排放方案提供支持，并用于对地方政府购置环境友好型高速船舶的资金补贴。在敦促悬挂挪威国旗的现有船舶实施绿色化环境措施的同时，引入激励措施（如提供更好的服务、更低的费用等），鼓励船东在挪威注册零排放和低排放船舶，以提升挪威航运业的国际竞争力。

政府与相关企业合作，制定绿色船舶发展方案。挪威政府认为，航运业的绿色化发展离不开船东、货主和相关公共部门的共同努力与合作。在制定绿色船舶发展方案的过程中，挪威政府与相关行业合

作伙伴开展对话,讨论制定货运船队绿色更新意向书的可能性;鼓励企业通过捐款等方式支持相关技术的研发与基础设施建设,如挪威皇家石油能源部下属的国有独资公司 Enova 自 2015 年起为不同种类船舶项目拨款 15 亿挪威克朗,用于绿色船舶的电池及充电设施安装。

建立生物燃料的航运配额义务。挪威政府认为,增加生物柴油和沼气的使用是实现 2030 年挪威航运排放量减半目标的重要手段之一。挪威议会已向政府提出关于航运业实施可持续生物燃料配额义务的提案。对此,挪威气候和环境部已组织环境署与海事局合作审查引入生物燃料配额义务措施的可行性与环境影响,联合创新署、研究理事会等科研机构及相关企业加大对以生物残留物和废物等为原料的生物沼气的研发和生产力度。

## (二) 日本

日本作为全球航运和造船业的主要参与者,正致力于在 2030 年前引入超低排放或零排放船舶,以期实现 90% 及以上(较 2008 年)的温室气体减排量。为此,日本正在加快新技术的研究、开发和示范,制定措施鼓励零排放船舶、清洁替代燃料供应链和相关基础设施的协同发展,以期尽快解决绿色船舶在推广应用方面存在的初期投入成本高、续航能力不足、相关配套设施建设滞后等问题。

日本将开发清洁替代燃料视为促进绿色船舶发展的有效途径,认为航运船舶替代燃料的实现主要有两种可能性:一是将液化天然气(LNG)燃料作为解决航运碳减排问题的过渡性替代燃料,利用 LNG 燃料的基础设施,逐步扩大生物  $\text{CH}_4$ 、碳循环  $\text{CH}_4$  的使用;二是在使用 LNG 燃料的同时,增加使用氢和氨燃料,因为液化氢和氨在不使用引燃物情况下的燃烧不会排放  $\text{CO}_2$ ,可在减少国际航运温室气体总排放量方面发挥重要作用 [4]。

为在 2028 年前后全面引入船舶动力替代燃料及相关技术,日本确立了近年来的重点试点项目和攻关技术:一是加快双燃料内燃机的项目试点,通过开展常规燃料和氢/氨替代燃料的双燃料内燃机试用,实现 2026 年之前将其应用在沿海小型船只上的目标,并随着该技术的完善拓展应用至大型远洋船舶;二是鼓励使用 LNG 燃料、碳循环  $\text{CH}_4$  燃料,制定措施解决  $\text{CH}_4$  逃逸的问题;三是从提高

$\text{CO}_2$  捕集率、减小尺寸、降低成本和功率等方面优化船载  $\text{CO}_2$  捕集系统的应用性能;四是通过增强电池能量密度、提升电池推进系统效率等方式满足大型远洋船舶长时间续航的需求。

在实践方面,日本正在致力于超级生态船舶的概念设计,开发 4 种零排放船舶(氢燃料船、氨燃料船、 $\text{CO}_2$  捕集船、超高效 LNG 燃料船),探索集装箱船、散货船未来实现生态化发展的可能性。该项目从技术等角度明确了引入零排放船舶的可能性和挑战,在开发 80 000 DWT 散货氢燃料船、20 000 TEU 集装箱氢燃料船概念设计的同时,确定了开发液化氢燃料船舶所需重点解决的技术问题,如发展氢燃料发动机和燃料供应系统、加大燃料箱的尺寸、强化热保护系统、防止氢泄漏等。日本船级社尝试通过优化船型、降低船体摩擦、提高船舶推进效率、提高余热回收利用率和运营效率等方式改善和提升船舶绿色性能,取得了一定的研究进展 [6]。

## (三) 英国

英国将 2020—2030 年视为突破和发展零排放船舶技术的关键时期。从 IMO 2050 年实现零排放的初步战略来看,2020—2030 年期间必须突破零排放船舶的研发技术,此后的几十年该领域将基于规模化和商业化而发展,凸显了现在采取行动的紧迫性。英国认为,零排放船舶需要在 2030 年之前投入使用,任何计划在 2020 年资助、设计或建造的船舶项目都需要考虑在船舶使用寿命后期转向非化石燃料动力供给 [8]。为了实现 2030 年的船舶脱碳方案,英国制定了以下脱碳发展路径:明确《低碳行动 2050》中关于发展零排放船舶的需求,开展零排放船舶的工业可行性评估,厘清现行船舶与零排放船舶之间的差距,对不同的脱碳方案进行比较,明确向零排放船舶过渡发展过程中的推动因素,制定低碳行动计划来推动零排放船舶全面发展。

为了推动零排放船舶的应用,英国在政策、公共领域、标准和规则制定方面开展了大量工作。2020—2030 年的扶持性航运政策有助于航运业实现具有成本效益的脱碳目标,将对该行业产生重大影响。随着时间的推移,相关零排放船舶标准制定可能会变得更加严格,以辅助提供公平竞争环境、缩小与传统化石燃料和技术的竞争差距、促进提高零

排放船舶的使用率。在开发和商业化推广零排放船舶方面，英国非常重视与国际能源开发商、燃料技术公司等行业领先企业建立合作。

劳氏船级社根据零碳燃料发展的技术成熟度，评估了多种可替代燃料使用的技术瓶颈并提出解决方案；将“零碳燃料”定义为所有 CO<sub>2</sub> 排放量都非常低且有可能变为零 CO<sub>2</sub> 排放量的燃料，认为可能存在其他的零碳燃料；推测认为，可再生能源、生物能源、含碳捕获和储存的化石燃料将是未来航运燃料的主要来源。劳氏船级社从燃料加注、储存、加工、转换、推进等方面研究了零碳燃料的技术成熟度及使用情况，认为每一种零碳燃料都存在使用短板，但一些技术瓶颈存在共性；需要行业主体、监管机构、非政府组织共同努力，解决燃料加注程序和质量标准制定、新燃料能源存储、陆上配套基础设施等问题 [9]。

为满足未来市场化需求，劳氏船级社就零排放船舶技术发展的影响因素和应用可行性进行了研判；通过构建不同的监管和经济方案，将 7 种具有可行性的零排放船舶技术（见表 1）与 5 种船型（散货船、集装箱船、油船、客船、滚装客船）进行组合，评估出每种技术和船型组合的生命周期及其收益能力和成本影响，相对全面地答复了业界关于“哪些零排放技术最适合应用于当今常规性能船舶”的问题。根据对航运业利益攸关者的调查，多数船东认为船舶零排放技术的可靠性、可扩展性比成本因素更为重要，但零排放船舶的成本提升最好不超过 10% [10]。为此，劳氏船级社专门就影响零排放船舶建造和运营的价格因素进行了分析，认为目前设想的零排放方案无法满足上述条件要求，即便是先进的生物燃料方案。虽然随着对研发的大量投资、技术准备程度的提高，零排放过渡过程中的技术和

设备成本会逐渐降低，但营运成本始终是阻碍零排放船舶尽早实现市场化应用的掣肘因素。

#### （四）国外绿色船舶的发展启示

为顺应国际航运业绿色减排的发展形势，海洋强国纷纷加大对绿色船舶领域的投入，船舶企业加快绿色船舶研发投入，航运公司也在大力推动船舶运营绿色化工作。

在政策引导方面，对标 IMO 2030 年、2050 年的初步碳减排目标，分别制定国内航运业碳减排的中长期发展规划，比如《英国海事 2050》（2019 年）、《挪威绿色航运行动计划》（2019 年）、《日本航运零排放路线图》（2020 年）等。给与相应的资金扶持和税费优惠，积极引导航运业市场主体、高校和科研院所等行业单位参与绿色船舶的技术研发与生产制造。

在科研开发和应用推广支持方面，将绿色船舶技术列为船舶工业的优先发展项目，推动各研发单位和组织积极投入到绿色船舶的科技发展趋势研判和装备性能提升工作中去，确保本国在该行业领域的技术领先地位。例如，日本邮船株式会社（NYK Group）研发设计的 80 000 DWT 氢燃料散货船、80 000 DWT 氨燃料散货船、超高效 LNG 燃料集装箱船等引领了超级生态船舶的发展理念。

提倡开展国际合作，建立国际合作项目。通过与国际行业技术领先企业、工程总包企业、核心系统 / 模块设计制造企业的合作，在积累经验、培养人才的同时促进国际竞争力和影响力的提升。例如，欧盟设立 LeanShips 创新项目，联合了 13 个国家的 46 家造船企业、设备制造商和研究机构，致力于生态友好型航运技术 / 各类型零排放船舶研发；重点关注船舶替代燃料、船舶能效决策支持系统、硫排

表 1 英国零排放船舶的关键技术及主要构成

序号	新能源技术 / 方式	主要构成
1	电力	电池 / 电机
2	混合氢	氢储存 / 电池 / 燃料电池 / 电机
3	氢燃料电池	氢储存 / 燃料电池 / 电机
4	氢 + 内燃机	氢储存 / 备用油舱 / 双燃料内燃机
5	氨燃料电池	氨储存 / 重整器 / 燃料电池 / 电机
6	氨 + 内燃机	氨储存 / 备用油舱 / 双燃料内燃机
7	生物燃料	生物燃料舱 / 内燃机

放控制区整改等问题,旨在实现船舶燃料消耗减少 25%、CO<sub>2</sub> 排放量减少 25%、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub> 和颗粒物的排放量为零等目标。

纵观国际绿色船舶发展现状,当前的绿色船舶技术热点主要围绕船舶总体优化、船舶动力燃料低碳化两个维度展开,辅以船舶绿色营运和建造技术。船舶总体优化技术主要体现在优化船舶设计、新型船体材料、减少船舶压载水、降低船舶阻力等方面;船舶动力提升技术主要围绕新型替代燃料的使用需求开展,包括气体燃料技术、混合/电力推进系统、燃料电池技术、发动机余热回收等。这也是我国绿色船舶产业实现高质量发展的关键技术竞争领域。

#### 四、我国绿色船舶发展现状与存在的问题

针对国际公约和 IMO 对船舶节能环保的新要求,我国在绿色船舶发展领域取得了一些成绩:对标国际行业标准和规范,出台了相关政策引导船舶建造和航运业的绿色化发展;国内科研院所和企业紧跟国际趋势,在船舶替代燃料研发、绿色船型建造等领域有所突破。但在绿色船舶的统筹规划、理念引领和技术创新领域等方面仍面临一些问题。

##### (一) 发展现状

在国际航运业节能减排背景的驱动下,我国出台相关政策,引导船舶和航运业积极开展绿色船舶领域的技术研发和建造工作。2013 年,交通运输部出台《关于推进水运行业应用液化天然气的指导意见》,推动船舶使用液化天然气作为燃料,促进航运业的节能减排 [11];2017 年,科学技术部联合交通运输部发布《“十三五”交通领域科技创新专项规划》,将船舶先进推进技术、绿色船舶设计与优化技术列为重点科技发展方向 [12];2020 年 8 月,交通运输部印发《关于推动交通运输领域新型基础设施建设的指导意见》,鼓励船舶应用液化天然气等清洁能源 [13]。

国内企业和研究机构也开始将绿色化作为船舶研发和建造过程中的重要指标,在绿色船型建造、配套设备的绿色化、特殊减排技术、船舶材料循环

利用等方面取得一定成果 [14],部分新能源、新燃料技术研究处于世界先进水平。LNG 等替代能源在非气体船上得到广泛应用,如上海外高桥造船公司开发的  $3.2 \times 10^5$  t 双燃料超大型油船配置温特图尔发动机有限公司 (WinGD) 双燃料主机,国际船舶能效设计指数低于基准线 37.5%,达到第三阶段要求,于 2018 年获美国船级社 (ABS) 认可 [15]。大连船舶重工集团有限公司为招商局集团有限公司建造全球首艘安装风帆装置的  $3.08 \times 10^5$  t 超大型原油船“凯力”号,填补了国内风帆装置实船应用的技术空白 [16]。中远海运集团在汽车运输船“中远腾飞号”上成功安装了太阳能面板,使其成为世界领先的采用光伏/并网技术的太阳能船舶 [17]。此外,LNG 动力超大型集装箱船、散货船、油船、客滚船等进入了实船建造阶段,部分船型已经交付;采用电池动力的三燃料汽车运输船也进入了实船建造阶段;其他替代能源如乙烷、液化石油气、甲醇和氢动力的船型也在研发过程之中。我国在绿色船舶领域的发展基本满足现阶段 IMO 相关绿色环保要求,但面向未来更高绿色环保要求的前瞻性技术研究仍与欧盟成员国、日本、韩国等存在一定差距 [18]。如果错失 2020—2030 年绿色船舶技术研发的关键时期,待欧盟成员国、日本等国建立了成熟的技术体系后,我国在绿色船舶领域又将陷入受制于人的不利局面。

##### (二) 存在问题

###### 1. 国家层面关于绿色船舶发展的统筹规划缺乏

我国在绿色船舶的技术研发方面缺乏未雨绸缪的统筹规划和整体安排,并未发挥“产学研用”融合发展的作用,各科研单位、企业之间缺乏激励共享机制,导致出现各船舶企业、相关科研机构重复性低质投入及建设的现象,严重制约了我国绿色船舶技术的高效、集约化发展,甚至会阻碍我国由造船大国向造船强国转型的时间进程。为了顺应国际航运业节能减排的发展形势,抢占绿色船舶国际技术领先优势,掌握国际相关新标准、新规范制定的话语权,我国亟待对标 IMO 的碳减排愿景,就国内绿色(零排放)船舶的发展制定国家及行业层面的规划,并对各种替代能源进行全产业链的绿色评估,确立绿色船舶技术研发的进度和减排目标。

2. 绿色船舶配套设备及技术的自主发展能力无法满足需求

船舶配套设备的技术能力和环保性能很大程度上影响着整个船舶行业的“绿色化”水平。近年来,新一代节能、减排、低噪的绿色船舶动力、配套机电设备、船舶环保设备与材料纷纷面世,成为世界船用节能技术的主流趋势,推动了新兴绿色船舶技术与产业的发展 [19]。而我国在船舶节能减排的关键配套技术领域尚未开展系统性研究,高效节能、减振降噪、节能减排、新材料等方向的科研力量并未形成合力,“散兵作战”导致研究力量规模小、集成创新能力薄弱,很难实现科研成果向生产力的转化。绿色船舶部分核心配套设备的核心技术,如双燃料发动机、薄膜围护系统等仍依赖国外专利拥有者。再者,船舶行业的绿色化转型需要企业进行大量投资,运营成本上涨可能会削弱其原有的市场竞争优势,进而影响企业主体参与船舶绿色化改革的积极性。在中美贸易摩擦加剧的背景下,尽快突破我国绿色船舶关键配套设备及“卡脖子”技术、形成自主发展能力、构建绿色船舶产业的健康内循环,是亟待考量和解决的问题。

3. 绿色船舶技术创新及标准规范引领的动力不足

挪威、日本、英国等国家在制定绿色船舶发展规划时非常重视以紧凑的时间安排、高效的技术研发来抢占国际领先技术高地,以便参与国际组织的相关标准和规范制定,凸显本国话语权。在技术研发方面,重视从船舶新型替代燃料、船体优化设计、绿色动力推进等方面进行绿色化设计和创新。我国船舶的绿色化研发和建造在一些领域虽然有所突破,但整体而言尚未达到国际先进水平;对国际船舶能效设计指数规范下的绿色船舶设计技术自主创新的能动性不足,多是迫于满足国际公约和新规范、新标准的压力,通过附加式的节能减排设备、基于现有船舶框架构造进行改良,缺乏开创性绿色船舶设计理念。

## 五、对策建议

作为联合国应对气候变化行动的重要参与者,我国 2015 年在巴黎气候变化大会上提出了中国 2030 年的碳减排目标。发展绿色船舶是践行国际减

排承诺的重要方式,也是促进我国船舶工业转型升级的重要机遇。2020—2030 年是加速突破绿色船舶核心技术的关键时期,只有充分把握这个关键窗口期,才能为 2030 年之后实现绿色船舶的市场化和产业化做好准备。建议尽快从国家和行业层面统筹规划绿色船舶发展策略,扭转被动的跟随、模仿、造不出来就进口的局面,在全面评估国内绿色研发和制造领域基础条件的同时,发挥国内外优势资源和力量对关键“卡脖子”技术进行攻关突破。

### (一) 强化政府主导,制定国家和行业层面的绿色船舶发展规划

1. 以政策规划引导发展方向,促进资源整合

绿色船舶是我国船舶工业提升国际竞争力、确保可持续发展的重要机遇,应立足于船舶工业发展需求,对标国内外碳减排目标,尽快从国家和行业层面确立绿色船舶发展的战略地位,制定兼具系统性和可操作性的绿色船舶发展规划。以政策规划推动和引导国内相关企业、科研院所研究力量和资源的整合利用,减少重复性低质投入,聚焦关键发展方向,加快突破绿色船舶核心关键技术体系。

2. 以激励方式带动企业开展技术革新的积极性

船舶行业绿色化转型离不开政府部门的统筹监管、干预和激励,例如制定碳排放收费制度、布局替代燃料基础设施建设等。以税费优惠、专项补贴等激励方式调动企业和船东参与绿色船舶研发、建造、运营等活动的积极性,帮助企业主体减少由于船舶绿色化革新带来的成本增量负担。政府的规范引导、企业的积极参与是加速绿色船舶科技发展、降低航行成本的关键因素,唯此才能尽快实现绿色船舶的市场化运营。

### (二) 布局技术攻关,加快推进船舶替代燃料的市场化应用进程

1. 推进 LNG 船舶的市场化应用

绿色化的发展需求,不仅推动了船舶燃料由化石燃料向新型清洁燃料的替代转变,还推动了船舶动力由柴油机推进系统向混合动力推进系统及电力推进系统的变革。我国在 LNG 燃料的开发及动力推进领域有所突破,但远未具备商业化运行的条件,基础设施条件也不够。建议将正在开展和预计实施

的替代燃料研发活动进行整合, 制定“国家船舶动力替代燃料与技术发展重点计划”, 并将 LNG 燃料作为实现碳减排战略目标的过渡替代, 加快推进 LNG 双燃料混合动力推进系统的市场化应用和基础设施建设。

## 2. 布局氢燃料技术的示范应用

鉴于氨、氢能源未来可能成为主流的零碳排放船舶动力替代燃料, 我国亟待重点突破氨、氢燃料的生产、运输、存储等技术以及加注网点的布局。逐步推广氢燃料动力电池在船舶领域的示范应用, 依托长江三角洲、珠江三角洲海洋经济带, 在国内率先建立氢燃料电池动力船舶的示范应用项目, 继而向全国推广。随着 LNG、氢燃料技术在船舶动力推进领域的不断应用和提升, 产业发展迭代效应将逐渐显现。

## (三) 实施开放合作, 提升核心竞争力的同时引领国际行业发展

### 1. 以开放合作的理念吸收借鉴国内外资源优势

联合国节能减排战略目标的实现, 离不开各个国家的相互配合与合作; 船舶工业作为一个国际化的产业, 在科技发展方向上目前仍以欧盟成员国、日本等少数国家为主导。对外合作与交流是加快我国绿色船舶产业化发展、促进碳减排国际承诺早日实现的重要途径。绿色船舶的高质量发展, 除了需要船舶工业体系内各部门单位的合作外, 还涉及新材料、新能源等多个学科的交叉应用, 必须建立开放合作的发展理念, 最大限度整合行业内外的优势资源并开展合力攻关。

### 2. 以多元化的合作方式带动行业竞争力的提升

围绕“海上丝绸之路”建设, 以设立国际联合研发计划、科技合作专项、联合人才培养等方式, 促进先进技术的借鉴吸收、高层次技术人才的引进。在当前趋紧的国际环境下, 如何开展相关领域的科技合作, 在国际平台充分展现我国低碳减排的优势技术并参与相关国际新标准的制定, 促进绿色船舶行业“内外双循环”的协同发展, 成为值得深思的议题。

## 参考文献

- [1] World Meteorological Organization (WMO). WMO Statement on the State of the Global Climate in 2019 [R]. Switzerland: Publications Board of WMO, 2020.
- [2] 中国船级社. 绿色船舶规范(2015) [S]. 北京: 中国船级社, 2015. China Classification Society (CCS). Green ship rules (2015) [S]. Beijing: CCS, 2015.
- [3] International Maritime Organization (IMO). The international maritime organization's initial greenhouse gas strategy [R]. London: IMO's Marine Environment Protection Committee (MEPC), 2018.
- [4] Japan Ship Technology Research Association. Roadmap to zero emission from international shipping [R]. Japan: supported by Shipping Zero Emissions Project, 2020.
- [5] 胡琼, 周伟新, 刁峰. IMO船舶温室气体减排初步战略解读 [J]. 中国造船, 2019, 60(1): 195-201. Hu Q, Zhou W X, Diao F. Interpretation of initial imo strategy on reduction of GHG emissions from ships [J]. Shipbuilding and China, 2019, 60(1): 195-201.
- [6] 刘继海, 肖金超, 魏三喜, 等. 绿色船舶的现状和发展趋势分析 [J]. 船舶工程, 2016, 38(S2): 33-37. Liu J H, Xiao J C, Wei S X, et al. Analysis of the status quo and development trend of green ships [J]. Ship Engineering, 2016, 38(S2): 33-37.
- [7] Koasidis K, Karamaneas A, Nikas A, et al. Many miles to Paris: A sectoral innovation system analysis of the transport sector in Norway and Canada in light of the Paris Agreement [J]. Sustainability, 2020, 12(14): 5832.
- [8] Lloyd's Register, University Maritime Advisory Services. Zero-emission vessels: Transition pathways [R]. London: Lloyd's Register, University Maritime Advisory Services, 2019.
- [9] Lloyd's Register, University Maritime Advisory Services. Techno-economic assessment of zero-carbon fuels [R]. London: Lloyd's Register, University Maritime Advisory Services, 2020.
- [10] Mestemaker B, Castro B, Blom E V, et al. Zero emission vessels from a shipbuilder's perspective [C]. Glasgow: 2nd International Conference on Smart & Green Technology for the Future of Marine Industries, 2019.
- [11] 中央人民政府. 交通运输部关于推进水运行业应用液化天然气的指导意见 [EB/OL]. (2013-10-23)[2020-10-23]. [http://www.gov.cn/gongbao/content/2013/content\\_2547150.htm](http://www.gov.cn/gongbao/content/2013/content_2547150.htm). The Government of PRC. Ministry of transport on the promotion of water transport industry applications Guidance on LNG [EB/OL]. (2013-10-23)[2020-10-23]. [http://www.gov.cn/gongbao/content/2013/content\\_2547150.htm](http://www.gov.cn/gongbao/content/2013/content_2547150.htm).
- [12] 科学技术部, 交通运输部. 科技部 交通运输部关于印发“十三五”交通领域科技创新专项规划的通知 [EB/OL]. (2017-05-02)[2020-10-23]. [http://xxgk.mot.gov.cn/jigou/kjs/201706/t20170607\\_2975321.html](http://xxgk.mot.gov.cn/jigou/kjs/201706/t20170607_2975321.html). Ministry of Science and Technology of the PRC, Ministry of Transport of the PRC. Notice of the Ministry of Science and Technology and the Ministry of Transport on issuing the special plan for scientific and technological innovation in the transportation field during the 13th Five-year [EB/OL]. (2017-05-02)[2020-10-23]. [http://xxgk.mot.gov.cn/jigou/kjs/201706/t20170607\\_2975321.html](http://xxgk.mot.gov.cn/jigou/kjs/201706/t20170607_2975321.html).
- [13] 交通运输部. 交通运输部印发指导意见 推动交通运输领域新型基础设施建设 [EB/OL]. (2020-08-07)[2020-10-23]. [http://www.gov.cn/xinwen/2020-08/07/content\\_5532980.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2020-08/07/content_5532980.htm).

- Ministry of Transport of the PRC. The Ministry of Transport issued guidance to promote the construction of new infrastructure in the field of transportation [EB/OL]. (2020-08-07)[2020-10-23]. [http://www.gov.cn/xinwen/2020-08/07/content\\_5532980.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2020-08/07/content_5532980.htm).
- [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] 中国水运报. 外高桥造船两艘双燃料船齐获ABS认可证书 [EB/OL]. (2018-02-19)[2020-10-23]. <http://www.zgsyb.com/news.html?aid=441859>.  
China Water Transport Newspaper. Waigaoqiao Shipbuilding Co., Ltd. and two dual fuel ships have obtained ABS certification [EB/OL]. (2018-02-19)[2020-10-23]. <http://www.zgsyb.com/news.html?aid=441859>.
- [16] 刘学. 全球首艘智能VLCC智能系统揭秘 [J]. 中国船检, 2019 (7): 78-80.
- Liu X. The world's first intelligent VLCC intelligent system revealed [J]. China Ship Survey, 2019 (7): 78-80.
- [17] China Daily. World's largest solar hybrid boat anchored at Tianjin Port [EB/OL]. (2014-07-24)[2020-10-23]. [http://www.chinadaily.com.cn/m/tianjinport/2014-07/24/content\\_17918106.htm](http://www.chinadaily.com.cn/m/tianjinport/2014-07/24/content_17918106.htm).
- [18] 樊志远, 江文成. 船舶低碳技术未来发展重点方向 [J]. 中国船检, 2019 (7): 70-73.  
Fan Z Y, Jiang W C. The key direction of the future development of ship low-carbon technology [J]. China Ship Survey, 2019 (7): 70-73.
- [19] 吴有生. 中国海洋工程与科技发展战略研究(海洋运载卷) [M]. 北京: 海洋出版社, 2014.  
Wu Y S. Research on China's ocean engineering and technology development strategy (ocean transportation volume) [M]. Beijing: Ocean Press, 2014.