

绿色船舶技术发展战略研究

张信学¹, 赵峰², 王传荣¹, 曾晓光¹, 赵俊杰¹

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

摘要: 发展绿色船舶对促进我国船舶工业转型升级, 建设船舶制造强国具有重要意义。本文对绿色船舶的内涵进行了界定, 对全球范围内绿色船舶技术发展热点进行了分析研究, 并在深入剖析我国绿色船舶技术发展现状和存在问题的基础上, 研究提出了我国绿色船舶技术发展的思路、2025年前发展目标, 以及从绿色船舶设计、建造、营运到拆解全生命周期内的重点任务。
关键词: 绿色船舶; 船舶工业; 设计; 建造; 营运; 拆解
中图分类号: U66 **文献标识码:** A

Research on the Development Strategy of Green Ship Technology

Zhang Xinxue¹, Zhao Feng², Wang Chuanrong¹, Zeng Xiaoguang¹, Zhao Junjie¹

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

Abstract: To develop green ship has an important significance to China's shipbuilding industry. It can promote China's shipbuilding industry to transform and upgrade, also can make China's shipbuilding industry more powerful. The article defines the concept of green ship, analysis the green ship technology development hotspots in worldwide. Based on the in-depth analysis of the current situation and existing problems of China's green ship technology, development ideas, objectives, and key tasks in the entire life cycle (design, construction, operation and demolition) are put forward.

Key words: green ship; shipbuilding industry; design; construction; operation; demolition

一、绿色船舶的内涵

近年来, 船舶所带来的能耗问题和环境污染问题越来越成为人们关注的焦点。同时, 国际海事组织针对船舶节能减排的新公约、新规范也不断出台, 促使船舶工业界及其上下游产业不得不考虑如何更好地实现船舶的绿色化发展。

绿色化的核心内容在于保护人类赖以生存的环境, 促进经济的可持续发展。绿色船舶是指在船舶

的全生命周期内(设计—建造—营运—拆解), 通过先进技术的应用, 在满足船舶功能需求和正常使用要求的基础上, 最大程度地降低能源和资源的消耗, 消除或大幅降低有毒、有害物质的排放, 打造资源节约型和环境友好型船舶^[1]。真正的绿色船舶应当具备环境友好性、技术领先性和经济最优性三个基本要素, 绿色船舶应是在实现技术领先性和经济最优性的基础上, 最终确保船舶满足环境的友好性。

收稿日期: 2016-01-10; 修回日期: 2016-02-03

作者简介: 张信学, 中国船舶信息中心, 研究员, 副所长, 主要从事船舶情报研究; E-mail: asenzhang@hotmail.com

基金项目: 中国工程院重大咨询项目“中国海洋工程与科技发展战略研究(II期)”(2014-ZD-5)

本刊网址: www.enginsci.cn

二、绿色船舶技术发展的热点

(一) 绿色船舶的总体技术

1. 船舶设计优化

船舶设计优化主要是降低船舶的航行阻力和提高船舶的推进效率。在降低船舶航行阻力方面主要包括降低兴波阻力、纵倾优化、风阻优化等。韩国大宇造船通过优化超大型原油运输船 (VLCC) 的主尺度和船体线型, 降低了 5% 的油耗; 挪威乌斯坦 (Ulstein) 集团开发的 X 型船首在海洋工程辅助船、干散货船、汽车滚装船等船舶上已有广泛的应用, X 型船首能够显著降低船舶的油耗, 并改善船舶抨击、振动的性能, 提升船舶的安全性和舒适性; 日本石川岛播磨重工研发的鲸背型球首能够降低船舶尤其是肥大型船舶的兴波阻力, 减少燃油的消耗。

在提高船舶推进效率方面, 目前螺旋桨设计已经非常成熟, 继续提高螺旋桨的效率主要通过大直径螺旋桨匹配低速主机来实现。大直径螺旋桨需要有充足的压载水量保证, 以确保压载状态螺旋桨的充分浸没与合理纵倾, 同时过大的直径将距离尾部船体更近, 对振动及噪声带来不利影响。另外, 还可以采用反转螺旋桨等新型螺旋桨来提高推进效率^[2]。同时, 水动力节能装置也是提高船舶推进效率的重要途径。节能效果因船因桨而异, 因此, 针对不同的线型、不同的螺旋桨设计, 应采用不同的节能装置设计。

2. 减轻船舶的重量

目前通常采用的方法有两种, 一是对船体结构进行优化, 在满足安全性和使用性的前提下, 尽可能的减少板材的用量; 二是采用轻质复合材料替代传统的钢材, 目前复合材料在航空领域已有较广泛的应用, 在船舶领域中军用船舶以及渔船、游艇等船舶也有一定的应用, 未来随着技术的发展, 远洋运输船舶也有望广泛使用复合材料。

瑞典 Kockums AB 公司曾以一艘长 128 m、航速 42 节的渡船作为目标船型, 对碳纤维增强塑料、钢材、铝分别作为建造材料在重量、成本、拆解上进行过全面的比较, 得出如下结论: ①使用复合材料替代钢材最大的优点是可以明显的减少结构重量, 采用碳纤维增强塑料和铝均可减轻重量, 与钢材相比, 整船重量可减轻 50% 左右。②从纯建造的观点来看, 钢材是建造大型船舶最经济的材料, 但如果将后期的营运和维护考虑在内, 进行全生命

周期的成本比较, 则钢材的成本最高, 复合材料的成本最低。③目前的状况下, 回收困难是复合材料难以推广的障碍之一。④由于复合材料的易燃性, 很长时间以来在国际海上人命安全公约 (SOLAS) 的规定中复合材料不能被用于上层建筑、结构性舱壁、甲板和甲板室。2002 年, 国际海上人命安全公约规定只要具备与钢材相同的阻燃性, 其他材料也可用于船舶的建造。该项规定开启了轻质复合材料在军用船、小艇以外的船舶上应用的可能性, 因此现阶段在“轻质材料在船舶上应用”的项目中, 防火安全性是中心议题。⑤综合而言, 高速船上使用复合材料优势明显, 可以极大地减少燃油消耗量, 但在远洋运输船舶上, 钢材和复合材料混合使用的方法更为可行。

3. 少 / 无压载水船舶

少 / 无压载水型船舶是一种在正常运营状态下仅需要少量或者完全不需要装载压载水的船舶。船舶压载水对海洋环境危害较大, 目前船舶压载水处理方式主要采用机械处理、物理处理、化学处理以及多种方式混合使用等方法。尽管目前对船舶压载水有多种处理方式, 但处理效果均不尽人意。同时, 多数方法成本较高, 且不易实施。因此, 全球范围内一方面大力研发新型的船舶压载水处理装置, 另一方面国际上也有相关机构通过研究提出了少 / 无压载水船舶概念, 美国、荷兰、日本等国家均在研究开发少 / 无压载水船舶。目前提出的船体设计方法主要包括 V 型船身、贯通流系统和单一结构三种。三种方法均是通过船体结构的再设计从而达到船舶在正常运营状态下少使用压载水甚至不使用压载水的目的^[3]。

(二) 绿色船舶动力技术

从当前的技术发展看, 船舶动力绿色技术是重点, 目前已经较为成熟或正在研发的有关技术包括低转速长冲程设计技术、降低最大持续运转功率 (MCR) 点油耗技术、气体燃料技术等, 对绿色船舶重点动力技术发展情况的梳理总结见表 1。

(三) 绿色船舶营运技术

1. 船舶能效优化系统

船舶能效控制是船舶绿色营运技术的一个重要参考方面。船舶能效优化系统是基于风险分析、数据采集、云计算、大数据分析、远距离数据传输等

表 1 绿色船舶重点动力技术发展情况

序号	技术名称	技术是否成熟	应用情况
1	低转速长冲程设计技术	★★★★★	已经取得较为普遍的应用，能够降低油耗并减少有毒有害物质的排放
2	降低最大持续运转功率点油耗技术	★★★★★	应用依赖于柴有机关重件设计建造水平的技术进步
3	部分负荷优化技术	★★★	通过如高压共轨、米勒循环等技术的组合应用达到节能减排的目的
4	废气再循环技术（EGR）	★★★★	目前还不能够满足氮氧化物减排第三段（Tier III）的要求，对技术的可靠性和设备的使用寿命等还需要进行验证
5	废气催化还原技术（SCR）	★★★★	能够满足氮氧化物减排第三段的要求，但设备成本控制、运营的安全性等仍可进一步改善
6	气体燃料技术	★★★★	能够满足氮氧化物减排第三段的要求，目前远洋运输船舶应用气体燃料技术主要受制于配套基础设施不完善的影响
7	尾气颗粒净化器和 SO _x 洗涤技术	★★★★★	能够满足硫化物排放等法规的要求，但在减少设备体积、降低油耗等方面仍有发展的空间
8	增压空气 / 缸内喷水和乳化油技术	★★★	目前还不能够满足氮氧化物减排第三段的要求，如何进一步提高可靠性和降低对零部件的腐蚀是发展的重点
9	混合 / 电力推进系统	★★★★	目前还不能够满足氮氧化物减排第三段的要求，需要其他技术的配合以满足法规的要求，尚需解决投资费用较大等问题
10	数字增压技术	★★	技术若成熟应用，能够有效降低油耗和排放
11	进气预处理技术	★★	技术若取得突破，可大幅降低柴油机油耗，并减少有毒有害物质排放
12	太阳能和风能应用技术	★★★	国内外已开展了一些技术的研究，需要指出的是该项技术仅可作为辅助技术的应用，节能减排的效果有限
13	燃料电池技术	★★★★★	技术成熟，并且能够实现零排放，目前主要受制于初始投资高一级燃料制备、储存等技术因素限制
14	核能利用技术	★★★★★	技术应用已没有太大阻碍，主要受制于核能本身的安全问题和政策环境等因素的影响

信息处理技术的综合船舶监控系统，也是船舶安全管理系统（SMS）的一个组成部分，目前大量应用于各型远洋商船。

船舶能效设计指数（EEDI）是衡量船舶设计和建造能效水平的一个指标。船舶能效设计指数越大，说明船舶能耗越高。在国际海事组织（IMO）通过的船舶能效设计指数文本中，对每艘船舶配备船舶能效优化系统有明确的规定：船舶能效设计指数要求的所有 400 总吨及以上的国际航行船舶必须持有满足公约规定的“船舶能效管理计划（SEEMP）”，而船舶能效优化系统将成为实现船舶能效管理计划的一个重要的工具。

提升船舶能效是各国船东减少燃料消耗，控制运输成本的有效途径，而对主机、发电机组、辅助锅炉进行实时的数据监控，保证船载设备正常的运行，客观上可以把温室气体（GHG）CO₂ 的排放量稳定在船舶能效设计指数规定的基线内，同时大量减少 NO_x、SO_x 等有害气体的排放；另外，通过“岸—

船”一体化集成信息系统，对船只的航线、航速、洋流、天气条件、航行水域海况等运营参数实施不间断的监控，修正船只的航线、减少航行的阻力，降低主机的负荷，有效削减船只排放的污染气体。船舶能效优化系统结构见图 1。

2. 岸电技术

全球船舶每年消耗的燃油有 5% 是在港口消耗的，港口一般都位于人口密集的地区，船舶污染排放会造成本地的环境和健康问题。岸电计划是通过岸电替代船上发电，可以减少由于排放硫氧化物，氮氧化物和颗粒物而造成的健康和环境的不良影响。另外，通过利用岸上清洁发电站，可以减少 CO₂ 的排放量^[4]。

三、我国绿色船舶技术的发展现状及主要问题

经过多年的发展，我国在船舶全生命周期内的

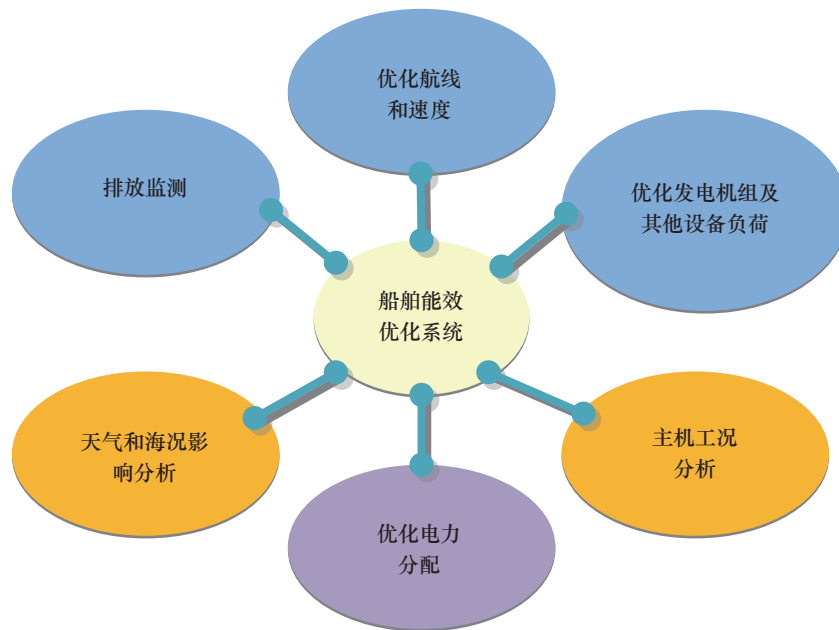


图1 船舶能效优化结构示意图

绿色技术都取得了长足的进步，特别是在绿色船型建造、配套设备的绿色化、特殊减排技术、无公害拆船和船舶材料循环利用等方面成果显著。但发展过程中仍存在一些问题，主要体现在以下几方面。

（一）技术研发缺乏统一的战略规划

日本、韩国和欧美等国家和地区造船强国对于绿色船舶技术的研发都有国家层面或行业层面的统筹规划，确立了研发时间进度安排，而对于技术投入实际应用后也标定了明确的减排指标，同时在扶持政策、研发资金方面都有一定的支持，特别是日本，尽管造船工业不断衰落，但其对技术的研发一刻也不曾放松。而且日本、韩国、欧洲都是制定国际造船新标准的积极推动者，不排除这些国家带有保持技术优势的动机。目前国外造船强国关于船舶绿色环保技术已有广泛的研究，并基于其研究成果制定新的标准规范。由于我国在技术研发方面缺乏统筹的安排，经常出现资源浪费、重复建设、内耗严重的情况，严重地制约了我国绿色船舶技术的发展。

（二）船舶的设计理念没有根本性的突破

对比日本、韩国等先进国家推出的未来环保概念船设计，其关于船舶的外形、结构性能、推进方式、

动力匹配等方面都是对现有船舶的巨大突破，未来船舶必然超出传统的范畴。目前我国对于绿色船舶技术的研发，一方面是基于自身发展的需要，另一方面也是迫于国际新规范公约的压力，设计思路基本难以脱离现有的框架。而在现有船舶技术基础上进行优化设计，尽可能满足国际规范的要求，是一条捷径，但也是无奈之举。没有开拓性的研究，缺乏突破性的思维，我国船舶工业技术跟随者的地位难以摆脱。

（三）船用配套技术基础性研究薄弱

船用节能技术可以通过对配套设备的技术革新来实现：如材料优化、提高推进系统的效率、减少压载水等方式，这些技术在保持船体强度、航行速度、船舶载货灵活性的同时，形成节能高效的整体化设计，满足针对绿色船舶设计提出的新问题。当前，国际上船舶节能减排的配套技术纷纷涌现，如气体减阻、组合推进、复合材料等正在成为世界船用节能技术的主流趋势，而我国对船用节能减排的关键配套技术尚未展开全面的研究，特别是基础性设备数据有待积累，同时缺乏研发高效节能、减振降噪、洁净减排、新材料等领域的科研实力，导致研究规模小，创新能力薄弱，技术无法与实际应用相结合。

（四）业界主动应对国际新规范的能力不强

近年来，随着国际新规则、新规范的不断出台，我国船舶工业也加强了应对力度，如在共同规范、涂层性能新标准实施的过程中，通过联合行业的力量，针对重点、难点组织技术攻关，取得了很好的效果。但是总体来说，由于在相关基础领域的研发上缺乏积累，数据积累不完善，我国船舶工业面对国际新规则、新规范的变化基本还处在被动接受的地位，在国际规则、规范的制定过程中缺少话语权，主动参与国际海事事务的意识不强，与世界造船大国的地位极不匹配。

（五）工业综合水平影响船舶绿色技术的发展

船舶绿色技术不仅仅是船舶工业的关注热点，而且反映了我国工业的综合水平，其中船舶能效设计指数就是一个典型的例子。为了满足船舶能效设计指数的要求，不仅需要造船界进行相应的技术研发，而且要求航运、冶金、机械、材料、化工、计算机和卫星通信行业的各种技术的融合，但是我国针对船舶能效设计指数的设计技术研究刚刚起步，各行业间没有形成合力，影响了技术的发展。另据联合国开发计划署报告，目前我国约有 70%^①的减排核心技术需要进口，导致满足国际海事规范条件的绿色船舶建造成本巨大。

四、我国绿色船舶技术发展战略

（一）发展思路

以满足我国经济和社会发展重大需求和国际市场对船舶绿色环保要求为总体目标，结合新一轮科技革命孕育兴起的发展契机，立足当前，着眼未来，加快绿色船舶技术创新，着力突破绿色船舶的设计、建造、营运、拆解以及配套设备的关键技术，提升国际市场的竞争力，推动我国船舶工业的转型升级，助力造船强国和海洋强国战略目标的实现。

（二）发展目标

至 2025 年，绿色船舶整体技术水平世界领先，其中绿色船舶设计、建造、营运技术达到国际先进水平，绿色拆船技术达到国际领先水平。绿色船舶自主创新能力显著增强，总装及配套企业基本建立绿色化、智能化的制造模式，初步实现基于信息化

的研发、设计、制造、管理、服务的一体化并行协同；形成若干具有国际领先水平的品牌船型、标准船型及系列船型，技术引领能力大幅提升；突破配套设备绿色化、智能化的关键技术，重点产品质量和技术水平跻身世界先进水平的行列。

（三）发展重点

1. 绿色船舶设计技术

（1）设计全过程数字化，数字化设计工具研发的重点由过去服务于详细设计和生产设计阶段，逐步向概念设计和初步设计阶段转移，实现产品从市场需求开始直至产品报废的全生命周期各个环节的数字化。

（2）全面应用基于人机工程的虚拟设计，帮助设计人员在详细设计阶段，测试和验证各种设备是否便于操作和维修，各种工作空间是否满足要求，在建造前就可最大程度地避免可能出现的布置、操作空间以及维修空间等问题，减少返工。

（3）深化并行协同设计技术，加强面向制造的设计技术（DFP）的应用，优化与制造相关的设计流程，在设计过程中就考虑制造因素，加强系统集成和业务过程的协同，打通设计所和船厂之间的数据传递，消除信息孤岛，逐步实现设计制造一体化，降低研制成本和缩短周期。

（4）构建综合集成设计平台，全面考虑计算机辅助设计（CAD）、计算机辅助工程（CAE）、计算机辅助制造（CAM）以及维修等信息系统的需求，在基于共同产品数据模型的基础上，实现产品全生命周期不同阶段信息系统的集成。

2. 绿色船舶的建造技术

（1）采用先进的制造工艺与装备，包括绿色加工技术（无冷却液干式切削、数控等离子水下切割工艺及装备、激光切割工艺及装备、分段无余量建造技术等）、绿色焊接技术（节能焊接电源、高效焊接工艺及装备、高效环保焊接材料等）、绿色涂装技术（绿色涂装工艺、环保节能涂装设备等）等。

（2）建立船舶绿色管理技术系统，包括精益生产技术（通过消除造船过程中的无效时间，来达到减少资源浪费、缩短造船周期、降低造船成本的目的）、成本管理技术（提高钢材的利用率、控制分

^① 中国渔业装备与工程科技信息网 . <http://www.fmiri.com/showNews2.aspx?id=5182010>.

段储备量、提高场地的利用率等)、采用清洁燃气(以性能更好、安全无毒的新型燃气逐步替代传统的乙炔等)、改造管理体制(中间产品专业化协作、扁平化管理等)、实施绿色采购、强化安全生产管理等技术内容。

(3) 大力发展智能制造技术,以智能制造装备为基础,通过加快物联网、大数据、云计算等技术在船舶领域的深化应用,针对切割、焊接、部件制作、分段建造、物流等生产制造环节以及相应的管理环节,发展智能制造技术,降低运营成本,提高生产效率,提升产品的质量,降低资源和能源消耗。

3. 绿色船舶营运技术

(1) 船型优化节能减排技术,包括低阻船体主尺度与线型设计技术、船体上层建筑空气阻力优化技术、船体航行纵倾优化技术、降低空船重量结构优化设计技术、少/无压载水船舶开发、船底空气润滑减阻技术等。

(2) 动力系统节能减排技术,包括低油耗发动机技术、双燃料发动机技术、气体发动机技术、风能/太阳能助推技术、燃料电池应用技术、核能推进技术、氮氧化物/硫氧化物减排技术、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等。

(3) 配套设备节能减排技术,包括新型高效节能发电机组、低功耗/安静型叶片泵与容积泵、高效低噪风机/空调与冷冻系统、余热余能回收利用装置、新型节能与清洁舱室设备、高效无污染压载水处理系统、新型高性能降阻涂料、船用垃圾与废水清洁处理等系统和设备研制技术。

(4) 减振降噪与舒适性技术,包括设备隔振技术、高性能船用声学材料、建造声学工艺与舾装管理、声振主动控制技术、舱室舒适性设计技术、结构声学设计技术、螺旋桨噪声控制技术。

(5) 船舶智能航行技术,包括天气预警技术、航线优化技术、主机监控优化技术、电力管理技术、

远程维护技术、船舶岸电技术等。

4. 绿色船舶拆解技术

大力发展“完全坞内拆解法”“干、浮式绿色拆解法”^[5]等先进的拆解技术,废水、废油等有害物质无害化处理技术等,在拆解工艺、综合利用、废物无害化处理等诸多方面不断加大投入,减少甚至完全消除拆船作业过程中对环境造成的污染,打造安全环保的绿色拆船业。

五、结语

绿色船舶是我国船舶工业转型升级的重要方向之一,也是在新的市场形势下,提升我国船舶工业竞争力的重要手段。为促进我国绿色船舶技术发展,应加强协同,构建开放合作的协同创新体系,并主动参与国际新标准、新规范的制定,注重研发成果的推广应用,取得绿色船舶技术发展优势,助力造船强国建设。

参考文献

- [1] 李碧英. 绿色船舶及其评价指标体系研究[J]. 中国造船, 2008, 49(183): 27-29.
Li B Y. Research on the green ship and evaluation index[J]. China Shipbuilding, 2008, 49(183): 27-29.
- [2] 李源. 绿色船舶未来方向[J]. 中国船检, 2013(12): 70-74.
Li Y. Future trends of green ship[J]. China Ship Survey, 2013(12): 70-74.
- [3] 赵桥生, 张铮铮. 无压载水舱船舶的研究进展[J]. 舰船科学技术, 2009, 31(7): 17-19.
Zhao Q S, Zhang Z Z. Research progress of non-ballast ship [J]. Ship Science and Technology, 2009, 31(7): 17-19.
- [4] DNV 展望2020年的绿色船舶前沿技术[EB/OL]. [2014-07-30]. <http://www.chinaship.cn/marinetechnology/2014/0730/250.html>.
Advanced Technology in 2020 Outlook by DNV [EB/OL]. [2014-07-30]. <http://www.Chinaship.cn/marinetechnology/2014/0730/250.html>.
- [5] 大船船务: 拆船“新军”心向绿色[EB/OL]. [2014-03-03]. <http://China.shipe.cn/Info/435209/Index.shtml>.
DSIC: Ship Green Scrapping[EB/OL]. [2014-03-03]. <http://China.shipe.cn/Info/435209/Index.shtml>.