

绿色造船技术在环保船舶建造中的应用

李恒

江南造船（集团）有限责任公司，上海 201913

[摘要] 航运行业作为全球经济的重要支柱，面临着日益严峻的环境挑战。船舶的能源消耗和污染排放不仅对海洋生态系统造成威胁，也对全球气候变化产生了深远影响。国际海事组织（IMO）和各国政府已制定了一系列法规，要求船舶行业降低排放和提高能源效率。与此同时技术进步和材料创新为实现这些目标提供了新的可能。绿色造船技术的出现，标志着船舶设计与建造理念的重大变革，通过引入先进的节能技术、环保材料和智能化制造工艺，推动行业走向更环保的未来。尽管取得了显著进展，绿色造船技术在实际应用中仍面临诸多挑战和瓶颈，需要行业共同努力来克服。

[关键词] 绿色造船技术；环保船舶；可持续发展

DOI: 10.33142/sca.v7i10.13653

中图分类号: U6

文献标识码: A

Application of Green Shipbuilding Technology in Environmental Protection Ship Construction

LI Heng

Jiangnan Shipyard (Group) Co., Ltd., Shanghai, 201913, China

Abstract: As an important pillar of the global economy, the shipping industry is facing increasingly severe environmental challenges. The energy consumption and pollution emissions of ships not only threaten the marine ecosystem, but also have a far-reaching impact on global climate change. The International Maritime Organization (IMO) and various governments have formulated a series of laws and regulations, requiring the shipbuilding industry to reduce emissions and improve energy efficiency. At the same time, technological progress and material innovation provide new possibilities for achieving these goals. The emergence of green shipbuilding technology marks a major change in the concept of ship design and construction. By introducing advanced energy-saving technology, environmental protection materials and intelligent manufacturing technology, the industry will be promoted to a more environmentally friendly future. Although remarkable progress has been made, green shipbuilding technology still faces many challenges and bottlenecks in practical application, which need the joint efforts of the industry to overcome.

Keywords: green shipbuilding technology; environmental protection ship; sustainable development

引言

随着全球环保意识的提升和对可持续发展的关注增加，绿色造船技术已经成为航运行业的核心议题。船舶作为全球物流的重要组成部分，对能源的消耗和环境的影响不容忽视。传统船舶建造和运营过程中存在的高能耗、高排放等问题，促使行业迫切寻求更加环保和高效的解决方案。绿色造船技术应运而生，通过节能减排、优化材料和改进工艺，推动船舶行业向更加环保、经济和可持续的方向发展。

1 环保船舶的设计原则

环保船舶的设计原则主要是为了减少船舶对环境的负面影响，同时增强其经济效益和安全性。首先，设计应以能源效率为核心，通过优化船体形状和提高动力系统效率，最大限度地减少燃料消耗和排放。其次，采用环保材料，如低挥发性有机化合物的涂料和可回收材料，以减少对海洋生态的潜在危害。此外，设计还需考虑船舶生命周期中的各个阶段，包括建造、运营和拆解，以实现资源的有效利用和废物的最小化。综合这些原则，环保船舶不仅能够降低运营成本，还能有效减缓全球变暖和保护海洋环境，从而推动绿色航运的发展。

2 绿色造船技术的分类与特点

2.1 节能技术

节能技术在绿色造船中至关重要，通过优化能源使用以降低燃料消耗和减小排放，提升船舶的经济性和环保性能。现代节能技术包括高效推进系统、先进船体设计和智能能源管理系统。高效推进系统是节能的核心，包括可调螺距螺旋桨和 underwater wing devices^[1]。可调螺距螺旋桨能够根据航速和负载自动调整叶片角度，优化推进效率减少燃料消耗。水下翼型装置则通过改变水流方向和速度，降低水阻力，特别是在高速航行中，显著提高推进效率。船体设计的优化也是节能技术的重要方面，流线型船体设计通过减少与水流的摩擦阻力，提升航行效率。优化的船首和船尾设计减少了水流的乱流和湍流，从而进一步降低阻力和能耗。智能能源管理系统运用先进传感技术和数据分析工具，实时监控船舶的能源使用，动态调整操作参数以优化动力系统运行，提升燃料使用效率。系统还能够预测维护需求，减少故障发生，进一步提高经济性和可靠性。此外，再生能源技术也逐渐被整合，太阳能电池板安装在船舶甲板上，将太阳能转化为电力，支持辅助能源需求，减少对主动力

系统的依赖。风力发电机通过捕捉风能转化为电力，在风力条件良好的环境中，有效减少传统燃料使用。这些技术的综合应用显著提升了船舶的能源效率，并降低了运营成本和环境影响。

2.2 环保材料及其应用

环保材料在船舶建造中的应用致力于减少对环境影响，并提升整体可持续性，这些材料通常具备较低的环境负荷和高效的资源利用特性。例如，低挥发性有机化合物（VOC）的涂料在船体涂装中减少了有害气体的排放，同时提高了涂层的耐久性和保护性能。采用可回收或再生的建筑材料，如再生塑料和生物基复合材料，不仅降低了原材料的需求还减少了废料的产生。船舶内部材料，如低噪音隔音材料和节能照明系统，也有助于提高船舶的舒适性和能源效率。此外，环保材料的选择应考虑到船舶的使用寿命和维修周期，以确保材料在其生命周期内的环境友好性。这些材料的广泛应用有效降低了船舶对海洋生态系统的影响，并推动了船舶建造的绿色转型。

2.3 先进制造工艺

先进制造工艺在绿色造船中起着至关重要的作用，通过提升建造精度和效率实现资源的最优化利用。首先，精密数控机床和机器人焊接技术显著提高了结构组件的制造精度，减少了材料浪费和能源消耗。其次，3D 打印技术在船舶零部件生产中的应用，能够实现复杂几何形状的快速制造，降低了生产成本并缩短了交货周期。此外，模块化建造工艺通过将船舶分解为标准化模块进行生产和组装，提高了建造过程的灵活性和效率，同时降低了现场施工的资源需求。再者，虚拟现实（VR）和增强现实（AR）技术的应用使设计和建造过程中的碰撞检测和问题解决变得更加高效，减少了返工和修正的时间。这些先进制造工艺不仅提升了船舶建造的整体质量，还减少了对环境的负担，推动了船舶工业向更高效、可持续发展的方向发展。

3 绿色造船技术在船舶设计与建造中的应用

3.1 设计阶段

在船舶设计阶段，绿色造船技术的应用至关重要，它涵盖了从初步概念到详细设计的全过程。在这一阶段，设计师运用计算流体力学（CFD）和有限元分析（FEA）等先进模拟工具，优化船体形状以降低水阻和空气阻力从而提高能效。此外，采用生命周期评估（LCA）方法来评估不同设计选项的环境影响，确保选择的设计方案在其整个使用周期内具有最低的环境足迹。设计阶段还涉及集成智能能源管理系统，这些系统通过实时监控和调整能源使用，优化动力系统的运行模式，最大限度地减少能源浪费。进一步设计师在材料选择上优先考虑环保材料和可回收材料，减少对环境的负面影响。

3.2 模拟与优化

在船舶设计过程中，模拟与优化技术发挥着关键作用，

以确保船舶性能和环境效益的最大化。计算流体力学（CFD）模拟用于预测船体在不同航行条件下的流体动力行为，从而优化船体设计以减少水阻和提高推进效率。结构优化技术则通过有限元分析（FEA）评估船体结构在各种负荷下的强度和稳定性，确保结构安全的同时最小化材料使用。能源系统优化利用动态模拟工具分析不同能源管理策略的效果，以实现最佳的燃料效率和排放控制。此外，采用多目标优化方法，可以综合考虑性能、成本和环境影响，找到最佳的设计方案。通过这些先进的模拟与优化技术，设计团队能够在设计阶段预见并解决潜在问题，提高船舶的整体效能，并推动绿色造船技术的应用。

3.3 材料选择与应用

在船舶设计与建造过程中，材料选择与应用是实现绿色造船目标的关键环节。环保材料的选用不仅关注其对环境的影响，还需兼顾性能和经济性。优选的材料包括高强度轻质合金和复合材料，这些材料不仅减少了船体重量，提升了燃料效率，还降低了材料消耗和废料生成。应用可再生和可回收材料，如再生塑料和竹纤维复合材料，可以显著降低对原生资源的依赖，并减少船舶的整体环境负荷。此外，采用低挥发性有机化合物（VOC）的涂料和防腐蚀材料，有助于降低有害气体的排放并延长船体的使用寿命。材料的选择和应用不仅需要满足船舶的结构安全和功能需求，还应符合可持续发展的要求，以推动船舶建造的环保进程。

3.4 制造工艺

制造工艺在绿色造船中至关重要，它直接影响船舶的环境性能和资源利用效率。现代制造工艺包括精密的数控加工、自动化焊接和先进的组装技术，以确保高质量和低浪费。精密数控机床能够实现高精度的部件加工，减少材料浪费并提高装配精度^[2]。自动化焊接技术，如机器人焊接不仅提高了焊接质量和效率，还降低了对工人的依赖，减少了操作误差和焊接废料。模块化建造工艺通过将船舶分解为标准化模块进行制造和组装，提升了建造灵活性，减少了现场施工时间和资源消耗。此外，采用数字化制造技术和实时监控系統，可以有效跟踪生产过程中的每一步，及时调整和优化生产参数，确保生产过程的高效和环保。

4 绿色造船技术在船舶运营中的应用

4.1 动力系统优化

在船舶运营中，动力系统优化是提高能源效率和减少环境影响的核心措施之一。现代动力系统优化技术包括高效的发动机管理系统、先进的推进装置和智能能源控制策略。高效发动机管理系统通过精确调节燃料喷射、空气供给和燃烧过程，提高发动机的燃烧效率和减少排放。推进装置的优化，如采用可调螺距螺旋桨或水下推进器，可以显著提升推进效率减少能量损失。智能能源控制系统则通过实时监控和调整能源使用，优化动力系统的运行状态降

低燃料消耗。这些系统还集成了预见性维护技术，通过分析发动机运行数据，预测和防止潜在故障，从而减少停机时间和维护成本。

4.2 维护与管理

在绿色造船中，维护与管理的优化对于确保船舶长期高效运行至关重要。先进的维护管理策略包括预测性维护、智能监控系统和优化的维护计划。预测性维护利用数据分析和传感技术实时监测船舶各系统的健康状态，提前识别潜在故障，从而减少突发故障的风险和停机时间。智能监控系统通过集成传感器和数据分析工具，实时跟踪船舶的关键运行指标，如发动机性能、燃料消耗和排放水平，以便及时调整和优化操作参数。这些系统还可以生成维护报告和预警信息，帮助船员和管理人员做出及时的维护决策。此外，优化的维护计划根据设备使用情况和性能数据，制定定期和临时的检修方案，确保船舶在最佳状态下运行。通过这些维护与管理措施，船舶不仅能保持高效的运营状态，还能减少能源浪费和环境影响，推动绿色航运的可持续发展。

4.3 节能与环保效果

节能与环保效果的评估是衡量绿色造船技术成功的重要指标。通过实施节能技术和环保措施，船舶在运营过程中可以显著降低能源消耗和排放。节能效果主要体现在燃料效率的提升上，例如，优化的动力系统和高效推进装置可以减少燃料使用量，降低运营成本^[3]。先进的能源管理系统通过精确控制能源分配，进一步减少不必要的能源消耗。此外，船舶还可通过采用再生能源技术，如风能和太阳能，减少对传统燃料的依赖。环保效果则体现在减少有害排放和废物处理的改进上。例如，低排放发动机和清洁能源的使用减少了温室气体和空气污染物的排放，同时高效的废水处理系统和固体废物管理措施有效降低了对海洋生态的负担。这些节能与环保措施的综合应用，不仅提升了船舶的整体运行效率，还对保护环境和推动可持续航运作出了积极贡献。

5 绿色造船技术的挑战与未来发展

5.1 当前面临的主要挑战

绿色造船技术在推进过程中面临多重挑战。首先，技术成本高昂是一个主要障碍，虽然绿色技术如高效发动机和环保材料能显著降低长期运营成本，但初期投资大，许多船东和造船厂在资金筹集上面临压力。其次，技术成熟度和标准化不足也是一个问题，许多绿色技术仍处于试验阶段，缺乏行业统一的标准和验证，导致技术应用的不一致性和可靠性问题。此外，技术整合复杂，将新技术与传统系统兼容并提高整体系统的效率，需要复杂的工程调整和系统优化。法规政策的滞后也是一大挑战，尽管国际海事组织和各国政府在推动环保法规，但现行法规往往滞

后于技术进步，缺乏足够的激励机制来鼓励绿色技术的广泛应用。最后，行业接受度和培训不足也影响了技术的推广，船舶操作人员和维护团队对新技术的理解和操作能力有待提升。面对这些挑战，行业需要加强技术研发、标准化建设、政策支持和培训，推动绿色造船技术的全面应用和发展。

5.2 绿色造船技术的创新趋势

绿色造船技术正迎来一系列创新趋势，这些趋势将进一步推动船舶行业的可持续发展。首先，智能化技术的应用日益广泛，船舶通过集成物联网(IoT)和人工智能(AI)技术，实现实时监控和数据分析，从而优化能源管理和运营效率。智能化系统能够分析运行数据，预测维护需求，进一步降低能源消耗和减少故障率。其次，新型环保材料的研发和应用正在加速，生物基复合材料、纳米涂层和再生材料逐步取代传统的高污染材料，这些材料不仅具备优异的性能，还能减少环境负担。例如，耐腐蚀的生物涂层和高强度再生塑料在船舶建造中应用，将显著提高船舶的耐用性和环保性能。第三，新能源技术的整合也成为趋势。船舶逐渐采用风能、太阳能和氢能等清洁能源，减少对传统化石燃料的依赖。混合动力系统和燃料电池的应用正在提高船舶的能源使用效率，降低排放。此外，数字化设计和制造技术正在提升船舶建造的精度和效率。虚拟现实(VR)、增强现实(AR)和3D打印技术的应用，使得设计、测试和生产过程更加高效和准确，减少资源浪费。这些创新趋势不仅提升了船舶的环保性能和经济效益，还推动了整个行业向绿色、智能、可持续方向发展。

6 结语

绿色造船技术正引领船舶行业向可持续发展迈进，通过节能、环保材料和先进制造工艺的应用，大幅度降低了能源消耗和环境影响。尽管面临技术成本、标准化不足和行业接受度等挑战，但智能化技术、新型环保材料和新能源技术的不断创新，正为行业带来新的机遇。未来，随着技术的成熟和政策的完善，绿色造船将成为推动航运行业可持续发展的核心驱动力，助力实现更高效、更环保的航运目标。

[参考文献]

- [1] 刘炳达. 绿色造船技术在环保船舶建造中的应用[J]. 船舶物资与市场, 2024, 32(6): 97-99.
 - [2] 秦昌媛, 侯志远. 绿色造船工艺优化新技术价值分析[J]. 船舶标准化工程师, 2021, 54(1): 49-53.
 - [3] 张孟秋. 对推进绿色造船技术的思考[J]. 科技风, 2020(7): 35-36.
- 作者简介: 李恒(1988.3—), 男, 学历: 硕士研究生, 上海海事大学, 毕业院校: 所学专业: 物流工程, 目前职称: 助理工程师。