

船舶节能减排技术及其应用研究

黄家顺

中国船级社实业有限公司宁波分公司, 中国·浙江 宁波 315000

摘要: 论文综述了船舶节能减排技术的重要性、发展现状及应用成果。随着全球能源危机和环境污染问题的加剧, 船舶节能减排已成为航运业发展的关键。论文从动力系统优化、推进系统节能、辅助设备改进、智能化技术应用、能源管理策略及排放控制技术等方面, 详细阐述了船舶节能减排技术的具体应用及成效。通过案例分析, 展示了新技术在节能减排方面的显著效果。研究表明, 船舶节能减排技术不仅能降低运营成本, 提高经济效益, 还能显著减少温室气体排放, 对环境保护具有重要意义。

关键词: 船舶节能减排; 动力系统优化; 推进系统节能; 智能化技术; 排放控制

Research on Energy Saving and Emission Reduction Technologies for Ships and Their Applications

Jiashun Huang

China Classification Society Industrial Corp. Ningbo Branch, Ningbo, Zhejiang, 315000, China

Abstract: This paper summarizes the importance, development status, and application achievements of energy-saving and emission reduction technologies for ships. With the intensification of the global energy crisis and environmental pollution problems, energy conservation and emission reduction of ships have become the key to the development of the shipping industry. The paper elaborates on the specific application and effectiveness of ship energy-saving and emission reduction technologies from the aspects of power system optimization, promoting system energy conservation, improving auxiliary equipment, applying intelligent technologies, energy management strategies, and emission control technologies. Through case analysis, the significant effects of new technologies in energy conservation and emission reduction have been demonstrated. Research has shown that energy-saving and emission reduction technologies for ships can not only reduce operating costs and improve economic benefits, but also significantly reduce greenhouse gas emissions, which is of great significance for environmental protection.

Keywords: ship energy conservation and emission reduction; optimization of power system; promote energy conservation in the system; intelligent technology; emission control

0 前言

船舶运输作为全球贸易的重要组成部分, 承担着大量的货物运输任务。然而, 随着全球能源危机和环境污染问题的日益严重, 船舶的能耗和排放问题也受到了广泛关注。船舶节能减排不仅关系到环境保护, 还直接影响到航运成本和企业的可持续发展。因此, 研究船舶节能减排技术及其应用具有重要的现实意义。

1 船舶节能减排技术概述

1.1 节能减排技术的重要性

在全球经济一体化的大背景下, 船舶运输作为国际贸易的主要载体, 承担着超过 90% 的货物运输量, 其重要性不言而喻。然而, 随着全球能源危机的加剧和环境保护意识的提升, 船舶运输所带来的能耗与排放问题日益凸显, 成为制约航运业可持续发展的关键因素。船舶节能减排不仅关乎航运企业的经济效益, 更是响应全球节能减排号召、履行环境保护责任的重要举措。

从经济层面看, 船舶能耗占运营成本的很大比例, 通过节能减排技术降低能耗, 可以直接减少运营成本, 提高航运企业的竞争力。同时, 随着国际油价波动加剧, 节能减排技术对于稳定运营成本、抵御市场风险具有重要意义。从环境层面看, 船舶排放的二氧化碳、硫氧化物、氮氧化物等污染物对大气环境造成严重影响, 是导致全球气候变化和空气污染的重要因素。因此, 推广船舶节能减排技术, 减少污染物排放, 对于保护生态环境、实现可持续发展目标具有不可替代的作用。

1.2 节能减排技术的发展现状

近年来, 随着科技的不断进步和环保法规的日益严格, 船舶节能减排技术取得了显著进展。在动力系统方面, 高效发动机、废气涡轮增压、电子控制燃油喷射等技术的应用, 有效提高了发动机的热效率, 降低了燃油消耗。同时, 液化天然气 (LNG)、甲醇等清洁能源在船舶上的应用逐渐增多, 为减少碳排放提供了新的途径^[1]。

在推进系统方面, 优化螺旋桨设计、采用节能型推进器、应用电力推进系统等措施, 显著提高了船舶的推进效率, 降

低了能耗。此外,船舶能效设计指数(EEDI)的引入,促使船舶在设计阶段就充分考虑能效因素,推动了船舶能效水平的提升。

在辅助设备方面,智能控制系统、高效照明设备、节能型空调等技术的应用,有效减少了船舶辅助系统的能耗。同时,船舶能效管理系统的开发与应用,实现了对船舶能耗的实时监测与优化控制,进一步提高了能源利用效率^[2]。

1.3 节能减排技术的应用成果

在中国,船舶节能减排技术也取得了重要进展。例如,超大型油轮安装的仿生螺旋桨,通过模仿海豚皮的特性,有效降低了螺旋桨与水之间的剪切力,提高了推进效率,实现了能耗的降低。此外,我国还在积极推动 LNG 动力船舶的研发与应用,为减少船舶碳排放提供了新的解决方案。

同时,随着智能化与信息化技术的不断发展,船舶节能减排技术正逐步实现智能化管理。通过集成先进的传感器、通信技术和数据分析技术,船舶能效管理系统能够实时监测船舶能耗情况,为船员提供合理的航行策略和建议,进一步降低能耗。例如,一些先进的船舶能效管理系统已经能够实现对船舶动力系统的远程监控与管理,提高了船舶运营的安全性和效率^[3]。

2 船舶节能减排技术的具体应用

2.1 动力系统优化

主机作为船舶动力系统的核心,其性能直接决定燃油消耗与排放水平。当前主机优化技术主要聚焦于燃烧效率提升与热管理改进。例如,采用高压共轨燃油喷射系统可精确控制喷油量与时机,使燃油雾化更均匀,燃烧更充分。MAN Energy Solutions 推出的双燃料发动机,通过切换燃油与天然气模式,在降低硫氧化物排放的同时减少 15%~25% 的二氧化碳排放。此外,智能控制系统可实时监测主机工况,自动调整喷油参数与气门正时,确保发动机始终运行在最佳效率区间。韩国现代重工开发的智能主机管理系统,通过大数据分析预测主机故障,提前进行维护,避免非计划停机导致的能耗增加。

主机废气携带大量热能,传统船舶通常直接排放至大气。废热回收技术通过安装涡轮增压器与废气锅炉,将废气热能转化为电能或蒸汽。瓦锡兰公司的废热回收系统可将主机废气温度从 400℃ 降至 150℃,产生蒸汽驱动涡轮发电机,额外提供船舶总功率的 5%~10%。挪威某油轮安装该系统后,年燃油消耗降低 8%,二氧化碳排放减少 6000 吨。此外,热电联产技术可将废热同时用于发电与供暖,进一步提升能源利用率。

混合动力技术通过结合内燃机与电力推进系统,实现能源灵活调配。例如,电池-柴油混合动力船舶在低速航行时使用电池动力,高速航行时切换至柴油发动机,减少低速工况下的燃油消耗。芬兰某渡轮采用该技术后,港口停泊期间完全依靠电池供电,年燃油消耗降低 20%。氢燃料电池作为新兴动力源,其零排放特性备受关注。日本邮船开发的

氢燃料电池货轮,通过燃料电池与锂电池组合供电,续航里程达 1000 海里,碳排放较传统船舶降低 90%。

2.2 推进系统节能

螺旋桨性能直接影响船舶推进效率。现代螺旋桨设计采用计算流体力学(CFD)模拟技术,优化桨叶形状与扭曲角度,减少水流阻力。例如,Kappel 螺旋桨通过增加桨叶数量与特殊曲面设计,在相同功率下提升 5% 推进效率。仿生学技术为螺旋桨设计提供新思路,德国某研究机构模仿座头鲸鳍状肢的凸起结构,开发出仿生螺旋桨,其表面结节可引导水流形成涡流,降低桨叶表面压力差,实验室测试显示推进效率提升 8%。

船舶航行时船底与海水摩擦阻力占总阻力的 50% 以上。空气润滑系统通过向船底喷射压缩空气,形成气泡层减少水与船体的直接接触。三菱重工开发的空气润滑系统,在 30 万吨级油轮上应用后,日均燃油消耗降低 13%。银翼公司推出的微气泡润滑技术,通过特殊喷嘴产生直径小于 1 毫米的微气泡,附着在船底形成持久润滑层,实测显示阻力降低 15%~20%。

预旋定子安装在螺旋桨前方,通过引导水流预旋改善进流条件。挪威某散货船安装预旋定子后,螺旋桨推力提升 6%,燃油消耗降低 9%。节能导管通过包裹螺旋桨桨毂,减少桨毂涡流损失。瓦锡兰公司的 OptiDesign 导管采用非对称截面设计,在实船测试中使推进效率提升 4%~7%^[4]。

2.3 辅助设备改进

LED 照明技术已全面替代传统卤素灯,其能耗仅为后者的 20%,寿命延长 5~10 倍。智能照明系统通过人体感应与光照度自动调节,进一步降低能耗。例如,船舶走廊采用微波感应 LED 灯,无人时自动调暗至 10% 亮度,有人进入时恢复至 80% 亮度。某集装箱船改造智能照明后,年用电量减少 3.2 万千瓦时。

变频空调根据舱室负荷自动调节压缩机转速,避免频繁启停造成的能耗损失。某邮轮采用变频空调系统后,空调能耗降低 25%。通风系统优化包括采用高效风机、优化风道设计等措施。某油轮将传统轴流风机更换为翼型风机,风量提升 15% 的同时噪声降低 8 分贝,年耗电量减少 12 万千瓦时。

EMS 通过实时监测船舶各系统能耗,实现能源动态分配。例如,当发电机负载低于 70% 时,系统自动启动电池充电;当主机余热充足时,优先使用废气锅炉供汽。某散货船安装 EMS 后,通过优化能源调度,年燃油消耗降低 7.5%。预测性维护功能可提前发现设备性能衰退,避免突发故障导致的能耗激增。

上述技术的综合应用已形成显著减排效应。以某 20 万吨级散货船为例,通过主机优化、废热回收、高效螺旋桨、智能照明及 EMS 改造,年燃油消耗从 1.2 万吨降至 9800 吨,二氧化碳排放减少 1.8 万吨,运营成本降低 18%。未来随着人工智能与物联网技术的深度融合,船舶节能减排技术将向自适应优化、远程运维等方向演进,为全球航运业绿色转型提供更强动力。

3 船舶节能减排技术的未来发展趋势

随着全球对环境保护和可持续发展的日益重视,船舶节能减排技术正面临着前所未有的发展机遇和挑战。在未来的发展中,船舶节能减排技术将呈现出以下几个显著趋势。

3.1 智能化与自动化技术的深度融合

智能化与自动化技术是船舶节能减排技术发展的重要方向。未来,船舶将更加注重智能化系统的集成与应用,通过先进的传感器、大数据、人工智能等技术手段,实现对船舶能耗、排放以及航行状态的实时监测与优化控制。

未来的船舶能效管理系统将更加智能化,能够自动分析船舶航行数据,预测能耗趋势,并提供优化建议。例如,系统可以根据天气、海况、货物负载等因素,自动调整航行速度、航线以及主机功率,以达到最佳的能效状态。随着自主航行技术的不断发展,未来船舶有望实现完全自主航行。这将大大减少人为操作带来的能耗浪费,提高航行效率。同时,自主航行技术还能通过优化航线、避免恶劣海况等方式,进一步降低能耗和排放。

通过物联网技术,船舶的能效管理系统可以与岸基中心实现远程连接,实现船舶能耗、排放以及设备状态的远程监控与诊断。这将有助于及时发现并解决问题,提高船舶的运营效率和安全性。

3.2 清洁能源与替代燃料的广泛应用

清洁能源与替代燃料的应用是船舶节能减排技术的另一重要方向。随着全球对化石燃料依赖的减少,未来船舶将更加注重清洁能源和替代燃料的使用。

氢能作为一种清洁、高效的能源,具有零排放、可再生等优点。氢燃料是一种零碳排放的替代燃料,具有来源广泛、易于储存和运输等优点。未来,随着氢燃料技术的不断进步和成本的降低,氢燃料有望在船舶上得到广泛应用。例如,一些大型航运公司已经开始了氢燃料船舶的研发和试航工作。

生物质燃料是一种可再生的清洁能源,具有来源广泛、环保等优点。未来,随着生物质燃料技术的不断进步和成本的降低,生物质燃料有望在船舶上得到更广泛的应用。例如,一些航运公司已经开始了生物质燃料船舶的研发和试航工作。

3.3 绿色设计与建造技术的创新

绿色设计与建造技术是船舶节能减排技术的基础。未来,船舶将更加注重绿色设计与建造技术的应用,通过优化船体结构、采用轻量化材料、提高船舶能效等方式,降低能耗和排放。

通过优化船体线型、减少船体阻力等方式,提高船舶的航行效率。例如,采用流线型船体设计、安装减阻装置等,可以显著降低船舶的能耗和排放。轻量化材料具有密度小、强度高优点,可以降低船舶的自重,提高船舶的能效。例如,采用碳纤维复合材料、高强度钢等材料,可以显著降低船舶的能耗和排放。通过采用高效主机、优化推进系统、安装节能设备等方式,提高船舶的能效。例如,采用高效螺旋桨、安装空气润滑系统等,可以显著降低船舶的能耗和排放。

3.4 国际合作与标准统一

船舶节能减排技术的发展需要国际社会的共同努力和合作。未来,各国将更加注重国际合作与标准统一,共同推动船舶节能减排技术的发展和應用。

各国将加强在船舶节能减排技术领域的合作与交流,共同研发新技术、新产品,推动船舶节能减排技术的不断进步和应用。例如,通过国际海事组织(IMO)等平台,各国可以共同制定船舶节能减排的国际标准和规范。为了促进船舶节能减排技术的国际流通和应用,各国将努力统一船舶节能减排的标准和规范。例如,制定统一的船舶能效设计指数(EEDI)、碳排放强度指数(CII)等标准,以便各国在船舶节能减排方面进行比较和评估。

3.5 政策引导与市场机制

政策引导与市场机制是推动船舶节能减排技术发展的重要力量。未来,各国政府将更加注重政策引导和市场机制的建设,为船舶节能减排技术的发展和應用提供有力支持。

各国政府将出台一系列政策措施,鼓励和支持船舶节能减排技术的发展和應用。例如,提供财政补贴、税收优惠等激励措施,鼓励航运企业采用清洁能源和替代燃料;制定严格的环保法规和标准,限制高能耗、高排放船舶的运营等。通过市场机制的作用,推动船舶节能减排技术的发展和應用。例如,建立碳排放交易市场,通过碳排放权的买卖和交易,促使航运企业降低碳排放;推广绿色信贷等金融产品,为船舶节能减排项目提供资金支持等^[5]。

4 结语

船舶节能减排技术对于推动航运业的可持续发展具有重要意义。通过动力系统优化、推进系统节能、辅助设备改进以及智能化技术的应用,船舶节能减排技术已经取得了显著的成果。未来,随着技术的不断进步和创新,船舶节能减排技术将向智能化、信息化、高效与低排放以及绿色与可持续发展方向发展。这将有助于降低船舶的运营成本、提高经济效益,并显著减少温室气体排放,为环境保护做出重要贡献。

参考文献:

- [1] 孙鹏赞.船舶柴油机节能减排技术及其應用探讨[J].环球市场,2018(35):385.
- [2] 庄国生,任多.船舶柴油机节能减排技术及其應用探讨[J].内燃机与配件,2018(18):36-37.
- [3] 马林英.岸电设施领域节能减排技术运用研究[J].电力设备管理,2024(24):252-254.
- [4] 骆怀宏.20500DWT散货船节能技术应用研究[D].福建:集美大学,2021.
- [5] 白益飞.伴有新能源特性的船舶电力系统稳定性与节能减排研究[D].黑龙江:哈尔滨工程大学,2016.

作者简介:黄家顺(1990-),男,中国浙江衢州人,本科,工程师,从事船舶工程研究。