

绿色船舶背景下通风系统优化研究

张文忠

上海中远海运重工有限公司，上海 200122

DOI:10.61369/ERA.2026050039

摘 要： 基于绿色船舶节能减排要求，在船舶机舱、居住舱以及公共舱室通风方面，通过对风机合理选择、风道阻力最小化、变频调速及空气参数检测等方式提高送排风配合程度以及整个系统的协调工作能力。改进之后可以大大节约通风费用开支，使舱室内的温度、湿度等条件得到改善并且提高空气的质量，有利于提高设备的工作可靠度以及船舶的绿色发

关 键 词： 绿色船舶；通风系统；变频控制；风道优化；能耗管理

Research on Ventilation System Optimization under Green Ship Background

Zhang Wenzhong

COSCO Shipping Heavy Industry (Shanghai) Co., Ltd., Shanghai 200122

Abstract： In compliance with green ship energy conservation and emission reduction requirements, this study enhances the coordination between air supply and exhaust systems as well as the overall system performance in ship engine rooms, living quarters, and public spaces through measures such as optimal fan selection, minimized duct resistance, variable frequency speed control, and air parameter monitoring. These improvements significantly reduce ventilation costs, optimize cabin temperature and humidity conditions, improve air quality, thereby enhancing equipment operational reliability and advancing the ship's green development standards.

Keywords： green ship; ventilation system; frequency conversion control; air duct optimization; energy consumption management

引言

绿色航运发展迅速，船舶辅助系统节能越来越受重视。通风是贯穿整个船舶机舱、生活舱以及特殊舱室的过程，它对空气更新、温度、湿度起着决定性作用的同时也影响到设备散热、安全性和船员的生活质量等。目前很多船舶通风系统存在风量分配不合理、调控手段简单、运行能耗高，不利于绿色发展等问题。从通风系统的角度进行探讨可以为以后的设计和智能化管理提供参考。

一、绿色船舶通风系统优化的研究基础

（一）绿色船舶的内涵与发展要求

绿色船舶是在整个生命周期考虑能源使用效率、污染控制、航行安全性以及环境保护的前提下所建造的一种新型船舶，主要体现在四个方面：即节能、环保、高效、安全。随着国际海事组织对船舶能效监管力度加大，EEDI、EEXI 以及 CII 等相关标准日益严格，船舶设计已经从单纯的主机动力节能发展到全船整体节能。除了主机、推进器和清洁能源供应设备以外，辅助设备节能程度也会影响整船能耗。而通风系统是构成船舶内部空气流动和温度条件的一个重要方面，在一些船上，它所消耗电力占有所有辅助设备总耗电量的比例达10%~20%，尤其是在高温机舱、密闭工作舱室和居住区域等地方更为明显。

（二）船舶通风系统的组成及功能特点

船舶通风系统一般包括送风机、排风机、风管、风阀、消声器、送排风口、控制系统以及传感器等部件并且根据用途的不同可以分为机舱通风、生活区通风、货舱通风以及其他处所通风等几种形式。机舱通风主要是为了保证设备散热以及空气流通的要求，而生活区通风主要考虑人对于温度和湿度的要求以及空气质量的要求，危险货物舱室和泵舱还必须具有良好的防爆防腐以及一定的压差控制能力。由于船舶本身的体积较小，因此风道较狭窄并且弯头较多，造成局部阻力较大，整个系统的静压较高；另外由于船舶在海上航行，所以外部环境因素如温度、湿度、盐雾含量以及设备发热量都在不断发生变化，从而使得风量的需求也不断变化。根据船舶舱室环境控制的要求，一般采用的设计风速为：主风道8 ~ 12m/s、支风道4 ~ 8m/s 等，以保证送风的效

果以及降低噪声和减少阻力损失^[1]。

（三）通风系统优化对绿色船舶建设的意义

通风系统优化直接影响到船舶能耗、舱室内空气质量以及重要设备工作可靠性，在绿色船舶从单一节电到整体节电方面起到良好开端作用。合理选择风机型号以及其工作状态可以使风机经常处于最佳状态下运转，防止因“大流量、小负荷”而造成不必要的电耗；合理布置风管以及减小沿程以及局部阻力损失可以显著降低压力降，提高送排风效果；采用变频调速、温度湿度联控以及空气质量实时监测等手段可以使风量调整更加准确，从而增强系统适应性。对于机舱而言，良好的通风有利于防止设备表面过热以及周围空间温度过高。对生活区来说可以改善 CO₂ 浓度、相对湿度以及热舒适性；而对整个船舶来说则可以降低维护工作量、节省开支并促进船舶辅助系统向信息化、精细化、绿色化发展^[2]。

二、当前船舶通风系统存在的主要问题分析

（一）系统设计匹配性不足

部分船舶通风系统在设计上依然主要依靠经验估算或者增加一定的裕量，而未考虑具体热负荷、人员数量、设备发热量以及舱室内空气流通的需求进行精确的计算，因而风量、风压与工作状态之间存在一定差距，在机舱、辅机舱以及封闭操作舱室的设计时一般都按最大工况放大 10%–20% 的安全裕度，有的甚至达到 25% 以上，使得风机经常处于非最优的工作状态。另外，在风道的设计中弯头过多、变径突变、管径选取不当或支路阻力分配不合理等情况也很普遍，从而引起整个系统的阻力增大，局部的压力损失加大。根据通风设计的基本原则，在风管内沿程阻力以及局部阻力需综合考虑，当主干风速较大时会导致噪声增大、能耗提升的问题，但是当风速较小时又会造成送风不足的现象，在空间有限的船型中尤其明显^[3]。

（二）运行控制方式相对粗放

目前很多船舶通风系统还是采用定频风机加上人工开关模式工作，控制较为简单，不能根据舱室内热湿负荷以及空气质量的变化及时做出响应。而机舱内温度、机械设备发热量、人员活动量以及外界海区天气都存在较大变化范围，但是有些系统却是一直保持恒定风速运转，没有随着温度、湿度、二氧化碳浓度、压力差等因素变化而改变的能力，造成大负荷下供风不足，小负荷下供风过多的问题同时出现。对于环境控制的要求，生活舱和密闭处所需要较高的新风量、较低温湿度波动率以及较小噪音水平，而粗犷的操作方法只能达到最基本的运行标准，无法实现节能环保并且舒适的目标^[4]。

（三）设备维护与智能监测水平较弱

通风系统长期在潮湿、高盐雾、高振动环境下工作，风机叶片积灰严重、轴承损坏、风门卡死、风管锈蚀以及滤网堵塞现象比较常见，会造成风量降低、静压异常以及设备性能降低问题。另外一些船舶未安装持续监测设备，只在定期检查时进行人工巡查，不能获取风机电流变化情况、振动差异、轴承温度上升以及重要舱室相关指标等信息，容易造成延迟发现故障问题。传感器

数量不足也是很大一个问题，温湿度、压差、CO₂ 以及颗粒物检测点设置不合理，使得控制单元无法得到准确信息来满足按需送风以及报警需求。

三、绿色船舶通风系统的优化设计与技术路径

图 1 是以绿色船舶通风系统优化为中心，对风机及风道布置优化、变频节电及分区控制优化、智能监控及自动化管理优化三个方面进行阐述，展示了通风系统的从传统粗放式到高效、节能、环保的发展过程并达到节能减排、改善环境以及提高运行可靠性的目标。



图 1 绿色船舶通风系统优化设计与技术路径示意图

（一）优化风机与风道系统设计

绿色船舶通风系统优化首先应当从风机以及风管配合着手，在充分了解机舱、卧室舱、货舱以及一些特殊用途舱室发热量、换气频率以及排出有害物质情况下确定每一种舱室所需风量、系统阻力以及静压要求，不能盲目增大数值。风机选择上以选用高效离心风机或者轴流风机为佳，使额定工作点尽可能靠近常用负载范围，一般而言使风机经常处于最大效率附近工作可以降低由于偏离最佳效率造成的额外耗电量。风道设计必须符合“短路径、少弯头、低阻损、易维护”要求，主干管及支管截面大小需根据允许风速确定，一般情况下主风道风速为 8 ~ 10m/s，支风道风速为 4 ~ 6m/s，以便减少阻力损失以及降低噪音问题。而对于弯头、三通、变径等部件，则要尽量使其平滑过渡并且布置得当以减小其局部阻力系数从而达到改善送排风效果的目的^[5]。

（二）推广变频节能与分区控制技术

由于船舶航行过程中，通风负荷会受到航区温湿度、设备工作情况、人员数量以及作业状态的影响而发生变化，如果采用恒速运行模式，容易出现风量过剩或能源浪费的现象。而使用变频调速之后，可以根据电机转速与风量、风压、功率之间存在的联系，改变风机输出大小，使系统在各种条件下均处于较佳状态，在一定程度上可以降低风机转速从而大幅度减小风机所消耗电能，尤其对于低负载时节能效果更佳。根据船舶舱室功能不同可以划分机舱、生活舱、货舱以及特殊区域的分区控制策略，针对各个部分设置相应的温度、湿度、二氧化碳含量、压差等值，在有人或有设备工作时提高等级，在无人或者无设备工作时降低等级。对高发热量区应满足其散热需要，在小发热量区可减少送风量，这样就可以做到按需送风、分等级控制及节约能源，提高通

风系统灵活性及适用性^[6]。

（三）引入智能监测与自动化管理技术

提高绿色船舶通风系统运行效率还需要借助智能化监控以及自动化的管理模式形成一种能够及时发现、迅速应对并相互协调的一体化管理系统，在重要舱室和通风管道上安装温湿度传感器、二氧化碳浓度传感器、压差传感器、风速风量测量仪以及电动机电流监视器等用来获取环境信息、负载情况以及工作状态等信息，而且这些信息要能准确无误地被读取出来才能用作指导工作的依据。以 PLC 或者船舶综合自动化平台为基础，可以对风机启停、变频调速、风阀开度以及报警限值进行一体化控制，在此基础上还可以利用趋势分析发现堵塞、不平衡、过载以及异常振动等问题。将状态监测、故障预兆和运行日志集中起来之后，通风系统就可以从传统的依赖人工的经验式运维转变为基于数据的预测性维护，从而提高通风系统的可靠性和可控性以及绿色化水平。

表1 绿色船舶通风系统优化的关键数据与依据

指标项目	数据 / 要求	针对性说明	来源
EEXI、CII 强制实施时间	2023年1月1日	说明船舶辅助系统节能已纳入整船能效约束背景	IMO
货油泵舱机械通风换气次数	≥ 20次 /h	属于高风险舱室最低安全边界，优化不能低于该要求	IMO/SOLAS 相关指南
船舶住宿及封闭舱室通风设计依据	ISO 7547:2022	作为通风与空调设计条件、计算基础的重要标准	ISO 7547:2022 简介
巡航船舶空气质量监测结果	约 75% 监测点处于 Band 2	说明空气品质可量化评价，适合纳入优化目标	ScienceDirect 监测结果
密闭空间新建建议生效时间	2025年12月3日	推动通风系统与气体监测、报警联动升级	IMO 修订建议后续通告

（二）通风系统优化实施中的关键保障

优化措施落实，应把负荷调查、规范核算、仿真校核以及运行维护一并考虑进去。在设计过程中，宜采用 ISO 7547:2022 对住宿舱室和密闭处所通风与空调进行设计计算，确定设计工况、计算工况以及相关参数；而对于货油泵舱等危险区域，根据 SOLAS 的要求，其机械通风换气次数不应小于 20 次 /h，因此不能为了节能而减少安全裕度，在保证最基本的最低限度之上，可以通过合理设置风管阻力、变频调节以及分区区域来节约不必要的能量消耗。同时还要有运行评估标准，例如单位风量功耗、重要舱室温度、湿度稳定范围、CO2 变化幅度以及出现异常情况及时后处理时间间隔等来保证该方案可行性强^[8]。

（三）绿色船舶通风系统的发展趋势

未来的绿色船舶通风系统从传统的“定值供风”，发展到以“感知－判断－调节”的方式工作，主要体现在智能化感知、大数据、自适应控制以及系统的整体优化上，在 2025 年 6 月 IMO 海

四、绿色船舶通风系统优化的应用效果与实施建议

（一）通风系统优化的节能效果分析

通风系统改进之后，所获得节能效益主要体现在风机负载减少、风量分配更加合理以及舱室内空气质量提升上。从 2023 年 1 月 1 日开始，IMO 要求现有船舶符合 EEXI 和 CII 标准，在此背景下辅助系统电力消耗成为绿色船舶能效的一个方面；而且 2026 年的一项公开研究表明，船舶通风风机是非推进能耗的一个重要部分，通过基于数据的方法进行优化以及按需通风可以满足舱室空气质量的要求并节约能源。从船上环境质量来看，在巡航船舶实测中约有 75% 采样点的空气质量位于 BS EN 16798 Band 2 等级，因此如果能够根据 CO₂、温度、湿度以及负载的变化调整通风量，则可以提高乘客的热舒适度并改善船上空气质量^[7]，如表 1 所示。

安会新发布的关于进入封闭处所的指南，从 2025 年 12 月 3 日起实施，对船舶封闭处所内的气体监控及安全防护提出了更高的标准，这也促使通风系统与气体检测、报警联锁以及船舶综合自动化平台紧密结合。同时，有关船舶节能的最新综述也指出，辅助系统优化以及运行优化相结合远比单个设备改进更有意义。随着物联网、数字孪生及预测性维护应用于船舶上，通风系统可以做到可视化监控、故障预警以及各种工况下精确控制。

五、结语

绿色船舶的发展对通风系统节能性、可靠性和智能化程度有较高要求，在系统设计匹配、运行控制以及维护监测等方面进行改进可减少不必要的消耗，提高船舶舱室内空气质量，保障设备正常运转及管理水平。未来应结合物联网技术、大数据分析能力和绿色环保理念促进船舶通风系统更加节能、环保、精细化发展。

参考文献

[1] 慈家林. 绿色船舶建造管理的发展趋势与实践路径 [J]. 船舶物资与市场, 2025, 33(11): 49–51.
[2] 张亚蕾, 张雪晴, 谢璐. 船舶行业绿色低碳转型的国际比较与路径探析 [J]. 金融纵横, 2025, (12): 49–56.
[3] 李宏海, 王群朋, 李加铭, 等. 绿色船舶在航运市场的应用分析 [J]. 航海, 2026, (01): 8–11.
[4] 周琪. 船舶企业绿色创新及绩效影响研究 [D]. 上海师范大学, 2025.
[5] 尚保国, 张勇, 吴俊. 绿色船舶设计的发展与挑战 [J]. 船舶, 2021, 32(02): 1–8.
[6] 杨志. 船舶制造业绿色创新生态系统演化研究 [D]. 哈尔滨工程大学, 2023.DOI: 10.2
[7] 韩雪明. 基于绿色船舶制造技术浅谈其发展现状与趋势 [J]. 现代工业经济和信息化, 2023, 13(06): 159–161.
[8] 邹少军, 孔凡鹏. 绿色船舶设计与可持续发展研究 [J]. 船舶物资与市场, 2024, 32(07): 81–83.