

船舶通风系统设计与优化研究

张文忠

上海中远海运重工有限公司, 上海 200122

DOI:10.61369/ETQM.2026060026

摘 要：以船舶机舱、货舱以及居住舱室等为代表性部位通风要求为基础，在风量确定、风道布置、送排风组织、设备选取及运行调节等方面提出兼顾安全、舒适和经济的通风系统设计方案；同时针对局部温度高、气流停滞、阻力过大和能耗过高的情况，优化系统结构和控制方法。优化之后可以提高舱室内空气流通均匀性和有毒有害物质排出能力，减少风机工作量和系统的电能消耗，有利于设备散热以及船员工作条件，从而保障船舶的安全、经济、有效运行。

关 键 词：船舶通风系统；风量计算；送排风组织；节能优化；空气环境控制

Research on Design and Optimization of Marine Ventilation System

Zhang Wenzhong

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

Abstract：Based on ventilation requirements for representative areas including ship engine rooms, cargo holds, and living quarters, this study proposes a ventilation system design that balances safety, comfort, and cost-effectiveness in aspects such as air volume determination, duct layout, air supply/exhaust organization, equipment selection, and operational regulation. To address issues like localized high temperatures, airflow stagnation, excessive resistance, and elevated energy consumption, the system structure and control methods are optimized. The enhanced design improves air circulation uniformity within compartments and toxic substance removal efficiency, reduces fan workload and system power consumption, facilitates equipment heat dissipation, and improves crew working conditions, thereby ensuring safe, economical, and efficient vessel operation.

Keywords：ventilation system of a ship; calculation of airflow; organization of supply and exhaust air; optimization of energy saving; control of air environment

引言

船舶长期处于高湿、高盐雾、强振动以及密闭状态工作条件，通风系统除了要完成舱室换气外，还要考虑设备散热、安全保障、人员舒适性和能源消耗等问题，在船舶大型化以及功能日益复杂的背景下，各舱室对于通风参数有着不同的需求，而传统的设计方法已经不能满足现代船舶对于通风量分配、气流组织以及能耗等方面的要求，因此对船舶通风系统设计要点及改进措施进行探讨具有重要意义并且也有利于以后的工作开展。

一、船舶通风系统设计的基本要求与原则

（一）满足船舶不同舱室的通风需求

船舶通风系统设计应基于分区负荷差异进行划分，根据不同区域如机舱、辅机舱、货舱、居住舱、厨房、电气设备间的温湿度条件以及污染物特性选择适宜通风方法及参数。对于机舱通风主要是设备发热量以及废气排放量，要考虑到主机辐射热量、辅机发热量以及舱室允许温升来确定送排风量，一般可按换气次数和余热进行计算；居住舱更注重空气质量与舒适度，送风量不仅要保证人员所需的新鲜空气，同时还要考虑温湿度平衡以及降噪要求；而货舱通风要根据所装货物对其温度、湿度和气体的要求确定换气次数，防止产生局部积水、过热或者有毒有害气体累

积现象^[1]。

（二）兼顾安全性与运行可靠性

安全性是船舶通风系统设计首要考虑因素，在容易积聚可燃气体、油雾、毒气或者高温烟气处应以机械通风与局部强制排风为主并结合防火、防爆分区以及事故状态进行专门设计。机舱、泵舱、电池舱和油漆间等重要部位要使污染物能够顺畅排出而不至于重新流入居住区或电气控制区。风机、风阀以及电动部件都需要有抗震动、抗盐雾以及抗湿能力，主要设备最好选用连续工作制，若有必要还要配备备用风机或者双电源供电。同时，风道材料、阀门密封性以及穿舱件等都应该满足防火完整性的要求，在发生火灾、泄露或者温度异常升高情况下可以迅速切断气流传播，增加系统的安全裕度以及运行稳定性。

（三）遵循经济性与节能性原则

在满足通风功能以及安全性基础上，系统经济性主要表现为初始投资少、运行能耗低以及便于维修三个方面内容。风道应尽可能减少送风路径长度，减少弯头、三通及变径使用次数，以减小整个系统的压力损失，避免由于系统压力过高使风机一直处于不经济的工作区间运转。风机的选择需根据设计风量、全压、效率和噪声等因素进行选择，在一般工况下可适当留有一定富余量，但是不能过多，以防造成“大马拉小车”的现象而造成不必要的能源浪费；对于负荷变化较大的舱室，可通过变频调节或者分时启动等方式，使其风量满足实际需要^[2]。

二、船舶通风系统设计中存在的主要问题

（一）风道布置不合理导致通风效果不足

船舶舱室内空间狭小，设备众多，风道布置往往受到梁的影响以及甲板高度、管道相互交错和维修空间的影响而造成某些线路较长，弯头较多，局部缩放频繁的情况。当风道有多个90度弯头，断面迅速变化或者支路分配不合理时，沿程阻力以及局部阻力都会大大增加，从而造成末端风口静压低，实际风量小，导致整个舱室达不到预期的换气率，热点部位不能得到有效冷却，污染的空气不能有效排出。对于机舱、泵舱、电器设备舱室来说，如果送风口和排风口设置不合理很容易产生短路、死区、死角，使得高温空气以及油雾不能够及时排除。而对居住舱来说则会出现局部闷热、温差较大以及舒适度降低的问题。根据相关规范规定一般主风道风速应为6~10m/s，支风道风速应为4~6m/s，在局部风速过大时，会造成额外的能量损失同时还会产生较大的噪声及振动从而降低整个系统的性能^[3]。

（二）设备选型与工况匹配度不高

船舶通风设备选型不当，主要是因为风机参数与系统的实际情况不符、末端设备与主管道之间配合不佳，还有就是对特殊环境下的要求考虑不足。有些设计只是根据理论风量或者经验来确定风机型号，而忽略了管道中的阻力损失、风门留有足够的调整空间、过滤器带来的增加阻力以及各种工况的变化，使得风机一直在高效区域以外工作，造成风量不够、电耗大或者容易发生喘振的情况。一般情况下，离心风机的最佳工况是在其额定值的0.8到1.1之间，如果这个静压差距太大，那么整个系统的效率就会大大降低。而且散流器、百叶风口、防火阀和止回阀等末端部件所选取的阻力系数不合适，也会影响风量的均匀分布。对于机舱高温、高湿、高盐雾环境，如果对电机绝缘、防腐等级以及能够长期工作的要求没有足够重视，也会造成设备使用寿命降低、系统可靠性差等问题。

（三）系统控制方式较为粗放

目前仍有部分船舶通风系统使用定速风机、手动风阀以及分段启停等方法进行控制，其控制策略较单一，不能满足船舶各种工况下不断变化的需求，在靠岸、低速航行、热带海域航行以及设备负荷较大情况下，如果仍然以恒定风量运行，则会出现过度通风或者通风不足的情况，前者会造成风机耗电量增加并且增大热湿波动幅度；后者会使局部温度上升并且产生有毒有害气体聚集，尤其是对机舱和电气设备间等热负荷变化较大的地方，在无相关参数之间联系的情况下，系统反应迟缓更加突出，因此通风控制亟需改进为变

频调速、分区协调控制和报警提示方面发展^[4]。

三、船舶通风系统的设计优化措施

图1给出船舶通风系统优化主要内容，即一般舱室通风要求、风管及设备布置改进以及智能化监测与控制途径等，体现了通风系统从以往固定工作模式到更加合理、经济、智能控制过程。

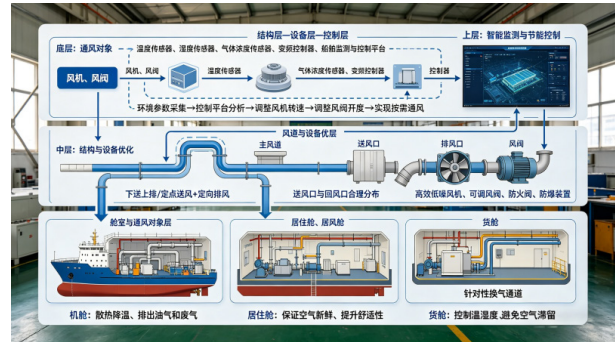


图1 船舶通风系统设计优化示意图

（一）优化风道结构与气流组织

船舶通风系统优化首先应从风道网络以及气流组织入手，在总体设计时就考虑到舱室边界、设备热源位置、检修通道以及结构开孔情况等，尽量避免无效输送和局部阻力叠加。主干风道宜采用直线型，避免过多弯头、三通及突变截面，弯头处可设置导流片或者加大弯曲半径，以减少涡流产生以及阻力损失；而对远离主干风道分支管路，则需进行静压校核以及阻力平衡计算来保证其风量符合要求。机舱、辅机舱以及电气设备舱等高温区域应采取“低位进风口、高位排风口”或者“热源附近送风、上方集中排风”的方式使热羽流以及污染物沿着自然上升趋势迅速排除；生活区需注重人员活动区风速以及温差，防止送风短路、吹风感强烈以及空气积聚。一般而言，在常规情况下，人员活动区风速应在0.15~0.50m/s范围内，对于一些重要设备发热量较大的地方其换气次数及局部风速根据实际情况进行计算来保证通风效果的同时也符合人体舒适度并且考虑整个系统的阻力情况^[5]。

（二）科学选择通风设备与控制装置

设备选型应在正确计算风量、系统阻力以及考虑工况变化基础上进行，不能盲目以经验加大规格。风机应按其额定风量、全压、效率、噪声级别和耐腐蚀性选择，尽量让工作点处于高效区域之内，一般不超过风机最大效率点 $\pm 10\%$ ，有利于降低长时间使用中电能消耗以及磨损。而对于机舱、泵舱、油漆间、电池舱等位置，则需同时达到防爆、防火、防腐蚀以及不间断工作，对电机防护等级、绝缘等级及其所用材料都必须适应潮湿、高盐雾、高振动条件。末端装置，如风阀、百叶、散流器以及防火阀等阻力特性要与主管系统相适应，防止由于某一部分阻力较大而使整个系统不能正常工作^[6]。

（三）引入节能与智能控制技术

通风系统优化不能只考虑静态设计，还要基于船舶自动化平台实现动态调整，把温度、湿度、压差、CO₂浓度、可燃气体浓度以及重要部位表面温度进行实时监控，“感知—分析—调节—

反馈”，机舱和电气设备舱可根据热负荷大小自动改变风机转速以及风门开度，而生活区可以按人数多少及外界情况分区定时供风。智能化还可以增加高温报警、浓度报警、故障联锁以及火警切换等功能，提高能源利用效率以及应对突发状况能力。

四、船舶通风系统优化后的应用效果分析

（一）舱室空气环境得到明显改善

通风系统改进之后，舱室内空气状况的改变首先是送排风合理，满足热源位置以及人们活动情况。居住舱和公共舱室可以参考现有船员居住舱室通风标准，机械通风状态下每人新风量至少为25m³/h，在气温为-1℃情况下，加热后舱室温度仍然要维持在21℃，这是对居住区热舒适性和空气品质的要求。而机舱或者其他高热源区域，定点送风、顶部排热、热源附近补风之后，局部过热区域显著减小。已经有一些CFD工程应用表明，在对机舱通风方案进行优化之后，系统在满足温度场的要求下，可以降低总

的供风风量约13.8%，并且有利于整个平均温度以及燃烧空气质量的提升，可见优化并不是一味增加气流量，而是通过对气流路径的改进而达到更好的通风效果^[7]。

（二）系统运行能耗得到有效降低

应用效果最直观的是风电量降低，在传统的风管系统中由于风管阻力较大、风机选型余量过大以及控制方式较为粗略等原因造成风机长时间处于非经济工况运行，从而使每立方米送风量所消耗的能量较高。而在进行改进之后一方面可以通过减少弯头、三通、局部突扩突缩以减少系统的阻力损失，另一方面可以采用变频风机根据需要进行变频调节，使得送风量与舱室内的热量相适应。有报道某货轮的机舱经过通风方案改善之后，其风机的功率降低了36%，而另外一艘油轮的机舱在进行了变频改造之后，机舱的通风风机一年节省的电能为613.116kWh，节约近80%。这表明，船舶通风系统节能潜力主要来自于“阻力优化+变频控制+工况联动”这三个方面综合起来发挥作用，而并不是某个单个设备代替的问题^[8]。如表1所示。

表1 船舶通风系统优化效果与控制基准数据表

指标类别	具体指标	数值	说明	来源
居住区空气品质基准	新风量	25 m³/h · 人	船员居住舱机械通风最低供风基准	ILO/NatLex 船员居住规定
居住区热环境基准	供暖温度	21° C	环境温度-1° C时应保持的舱温	ILO/NatLex 船员居住规定
危险空间通风基准	机械通风换气次数	≥ 12次 /h	封闭危险空间最低机械通风要求	IMO Rules 汇编条文
燃气双层管 / 导管安全基准	机械通风换气次数	30次 /h	燃气双壁管或通风导管的强制通风要求	IMO MSC.458(101)
机舱优化案例	送风量变化	-13.8%	满足温度分布条件下减少总风量	Sage 机舱 CFD 案例
机舱优化案例	风机功率变化	-36%	优化后风机功率下降	Sage 机舱 CFD 案例
原油船变频案例	年耗电量	613.116→153.279 kWh	变频驱动替代传统控制后的年电耗变化	2023 年船舶机舱 VFD 案例

（三）系统安全性与管理水平同步提升

改进后应用效果是更加明显，安全性更高，故障响应速度更快。根据 SOLAS 规定，机舱 A 类处所、车辆处所、厨房等处所的通风系统一般应当与其他区域如起居处所或其他处所隔离，在风管穿过这些分隔时应达到一定的钢材厚度、安装自动防火阀以及 A-60 级隔热的标准；而且风管钢板厚度根据其截面积进行划分，小于 0.075m² 风管至少需要 3mm 厚钢板，而介于 0.075~0.45 m² 范围内则至少需要 4mm 厚度，大于 0.45 m² 至少需要 5mm 厚度。对于采用气体或者低闪点燃料船舶还需提供双层管或者导管空间并且保证有 30 次 /h 的机械通风以防气体或者液体泄漏造成危害。这意味着优化通风系统不仅提升空气质量以及能效，同时提高防火分隔、气体稀释、故障联锁及区域划分的能

力，在系统连接到监控中心之后，温度过高、风量不足或者气体浓度超标等都可被更快发现，“经验运行”转为“参数化运行”，便于管理维护。

五、结语

船舶通风系统对舱室内空气质量、设备散热能力、航行安全性以及能源利用率都有很大影响。通过对不同通风要求、存在问题以及改进措施进行研究可以发现，改善风道布置、提高设备匹配度、增加智能化控制手段等，都是提高通风系统效果的有效途径。未来通风系统的设计要以安全、经济、适用为目标，更好地服务于船舶绿色化、高效化、智能化发展。

参考文献

[1]唐柱军.船舶轮机通风系统的可靠性分析与设计[J].船舶物资与市场,2024,32(02):56-58.
[2]蔡凯华,刘倩.船舶加装脱硫系统对机舱通风系统布置的影响[J].广东造船,2024,43(04):58-61.
[3]王永光.船舶生活区通风噪声分析及降噪方案探析[J].船舶与海洋工程,2025,41(03):34-40.
[4]魏永法,胡春华.船舶厨房通风系统的设计及布置[J].广船科技,2023,43(03):13-17.
[5]贺天智,陈旭,汪海燕,等.船舶洗衣烘干间通风系统设计[J].船舶与海洋工程,2024,40(05):53-59.
[6]李泽雄.船舶通风系统设计与船舶空气质量控制研究[J].船舶物资与市场,2025,33(10):55-57.
[7]徐世杰.船舶机舱通风系统设计[J].船舶物资与市场,2025,33(01):81-83.
[8]张贝.船舶通风系统中通风口设计及位置优化[J].船舶物资与市场,2024,32(12):4-6.