

船舶通风管路布置优化研究

张文忠

上海中远海运重工有限公司，上海 200122

DOI:10.61369/WCEST.2026030010

摘 要： 在考虑船舶舱室空气组织、设备散热以及作业环境的前提下，根据通风系统阻力匹配、区域协调布置以及维修可接近性的原则，对通风管道走向、主干管与支管连接方式、弯头和变径处位置等进行合理布置，在此基础上进一步通过压降匹配和路径合并来使两者更加协调。合理布置可以使管道更短，减少局部阻力以及空间干扰，有利于送排风均匀，减轻风机负担并节约电能，从而有利于船舶通风系统的正常工作、建造合理性和日后维护便利性。

关 键 词： 船舶通风系统；管路布置优化；阻力损失控制；空间协同设计；运行能耗降低

Research on the Optimization of Ship Ventilation Pipeline Layout

Zhang Wenzhong

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

Abstract： Considering the air distribution within ship compartments, equipment heat dissipation, and operational environments, the ventilation duct routing, connections between main and branch ducts, as well as the positioning of elbows and reducers are rationally arranged based on principles of resistance matching in the ventilation system, coordinated regional layout, and maintenance accessibility. Further optimization is achieved through pressure drop matching and path consolidation to enhance system harmony. This rational layout reduces duct length, minimizes local resistance and spatial interference, ensures uniform air supply and exhaust, alleviates fan load, and conserves energy—thereby facilitating optimal system performance, structural efficiency, and future maintenance convenience.

Keywords： ship ventilation system; pipeline layout optimization; resistance loss control; spatial collaborative design; reduction of operational energy consumption

引言

船舶通风系统分布于机舱、生活舱、货舱以及一些特殊用途舱室，通风管路的设计直接影响舱室内空气质量、设备冷却效果以及航行安全。伴随着船舶越来越大、功能越来越丰富，在通风管路上，从以往只考虑风量问题发展到现在需满足多个专业的相互制约要求。而在实际工作中，通风管道曲折冗长、阻力较大、占位过多、维护困难的情况仍然普遍存在，给船舶带来不利影响的同时也会提高建造费用以及改造难度。因此研究通风管路布置问题对于提高设计质量和工程实用性有着非常重要的作用。

一、船舶通风管路布置的基本要求与主要影响因素

（一）船舶通风管路布置的基本原则

船舶通风管路布置要满足通风需求、空间布局合理、安全可靠以及便于维修条件。在设计过程中需考虑不同舱室的功能性、人数多少、设备发热量大小以及对空气质量的要求来决定送排风的方式以及换气次数，以使各个舱室之间有良好的通风效果。主管道和支管道的方向应该尽量顺畅，避免不必要的弯曲，减少沿程阻力以及局部阻力，主要干线风速建议不超过8 ~ 12m/s，而分支线风速不得超过4 ~ 8m/s。此外，在设计上还要符合结构强度、防火分隔、设备间距和舾装配合的要求，不能与其他电缆桥

架、消防管道等相抵触，同时要有检修孔或者拆卸的空间以便于安装、使用和保养^[1]。

（二）影响船舶通风管路布置效果的主要因素

影响船舶通风管路布置效果因素存在较强的系统性关联性，主要包括舱室结构形式、设备分布情况、风机位置、风口设置、风管大小以及各专业配合程度等。船体内有多个甲板层、众多舱壁且局部存在较大变化，在结构较复杂情况下，对风管路径影响较大，特别是在机舱和设备密集区容易出现风管相互交错现象。风机布置不合理会造成主管较长并且使整个系统的阻力增大，管径较小虽然可以节省空间，但是会造成风速增大、阻力增大和噪音增大问题。如果弯头、三通、变径较多，则局部阻力也会显著

提高。

（三）当前船舶通风管路布置中存在的主要问题

就目前船舶设计、建造而言，通风管路布置还存在一定普遍性问题。首先是部分项目在初步设计中对于风机位置、主管走向以及分支数目考虑不够周全，造成风管蜿蜒曲折，大量使用90°弯头、异径接头以及三通等配件，使得整个系统局部阻力较大，部分通风支路压降可达总压降的30%以上；其次由于船体内部空间狭小以及各专业之间配合较差等原因，通风管道与梁骨、舱壁开口、电缆桥架以及消防水管等发生碰撞的现象十分普遍，后期调整不但会浪费更多材料而且还会降低施工水平。第三，风口安置有时过于依赖建筑条件而忽略气流组织要求，易导致局部送风量不够、排风延迟以及温湿度分布不合理，在高热负荷区及长条形舱室内尤为突出；第四，一些安置方式未能充分考虑到维修工作需要，阀门、消音器、清扫口位置受到限制，维修通道净空较小，给今后拆卸带来不便^[2]。

二、船舶通风管路布置优化的核心思路与方法

（一）基于最短路径与最小阻力的管路优化思路

船舶通风管路优化的主要目的是在有限舱室内尽可能使管路最短、阻力最小以及安装可行性最大。管路越短可以节省风管材料、法兰、支吊架以及施工时间等，但是如果一味地追求最短距离，则会带来大量急弯、异径及交叉点，从而导致局部阻力增大并且施工困难，所以在优化时要以“等效阻力最小”代替单纯的“几何距离最短”。尽量采用直管、大半径弯头以及渐扩渐缩部件，弯头曲率半径一般不应小于风管当量直径的1.5倍，变径段长度一般不应小于直径变化量的3到5倍，以减少附面层分离及涡流造成的损失；主干风管风速一般控制在8~12m/s，支路风速宜控制在4~8m/s，总压降根据风机剩余压力分配，使沿途阻力和局部阻力的比例处于较合理的比例，以达到较好的送排风效果并且减少风机所需轴功率。

（二）基于舱室空间协同的布置优化方法

通风管路布置优化实质上是船体结构、机电设备、消防系统以及舾装件之间空间协调的问题，在多层甲板、多道舱壁且设备较为集中的船上，应该遵循“主管先行、主通道先行、功能区划分先行”，在净空较大处布置大断面主管，在净空较小的地方利用支管分解、标高改变、断面变化等方法避开障碍物并连接起来，还要考虑设备安装顺序以及检修开口位置来决定风管穿过船体、跨过梁以及改变方向的位置，以免后期因为设备基础、桥架或者消防主管占据位置而导致重新敷设管道。目前，在工程设计中，三维数字化校核精度一般在毫米级以内，而碰撞检查报警值一般设置为5~10mm，这样可以在初步设计时发现并解决通风管道之间的空间矛盾问题，从而避免现场切割改动，提高安装质量以及保证系统的合理性和连贯性及施工的可能性^[3]。

（三）基于运行与维护需求的综合优化方法

通风管路布置优化不能只考虑图纸上整齐美观问题，还要考虑运行安全性、维修方便性和寿命周期费用等因素。风阀、消声

器、过滤段、柔性接头以及清扫口等各种附件应尽量布置在便于接近地方，检修走道宽度要能满足人工作业条件，经常检修一侧净空一般不应小于600mm，局部困难处也要能使重要部件单独拆卸；而对于机舱、高温设备舱室或者潮湿场所，风管可用耐蚀镀锌板、不锈钢板或有防火功能复合材料制成，其连接处也要考虑密封性、抗震能力和防锈等要求，有时还需加装保温隔热措施和减振支架^[4]。

三、船舶通风管路布置优化的具体实施路径

如图1所示，船舶通风管路布置优化需要从系统源头着手进行规划，在各个连接处合理设置以及在整个过程中做好协调工作，以提高通风效果、施工质量和后期保养等。

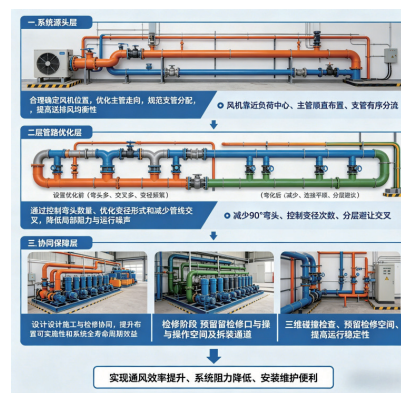


图1 船舶通风管路布置优化实施路径示意图

（一）合理确定风机、主管与支管的布置关系

船舶通风管路优化设计应以风机、主管及支管间的关系为基础进行。风机位置应尽可能接近主要送排风服务区域负荷中心，以便减少主管平均输送距离同时使各支路阻力趋于一致，从工程实际考虑主管长度差异一般不应超过10%~15%，以免由于末端阻力差异造成风量分配不合理；主管宜尽量沿甲板下方、走廊上方或者设备外部等有足够的空间的地方敷设，并根据不同的舱室划分支路出入口处，避免反复弯曲；支管连接宜尽量顺着气流方向连接，在三通处的角度不宜过大，一般在30°~45°之间为好，可以降低紊流损失以及噪声。对于机舱、辅机舱以及生活区等通风需求不同的场所，还需要根据不同场所换气次数、显热负荷和使用时间设置不同风量等级，以保证主干、支管布置合理的同时又能达到通风均匀、高效的目的。

（二）减少弯头、变径和交叉以降低系统阻力

降低系统阻力主要取决于减少支路以及连接方式，通风管道设计中，90°急弯、突变断面以及上下左右重叠是最容易产生额外阻力因素，在设计中尽量采用较大弯曲半径弯头、渐缩渐扩管段和平滑过渡结构，弯头中心线半径不应小于其当量直径1.5倍，扩张角度不应超过15°，收缩角度不应超过30°，从而减小流体脱离及二次涡流损失；而对于交叉部分可以通过改变标高、分层排列、局部错位或者使用不同形状短节来解决这个问题，防止因为临时更改而导致大量非标准件出现。而对于高风速主管，局部阻力的影响更大，每增加2~3个弯头，系统的总阻力就会有较大

幅度提高，同时也会使风机的余压裕度迅速降低，在设计初期就需要对重要位置进行阻力计算以及碰撞检查，保证气流畅通无阻并且噪音在允许范围内^[5]。

（三）强化设计、施工与检修全过程协同控制

船舶通风管路布置优化需覆盖设计、生产、安装、试航以及维修等各个环节，而不能仅限于二维图纸上简单排列。设计时须考虑结构开孔位置、设备起吊顺序、支吊架受力情况以及舾装预留条件等因素，在此基础上进行合理布置，三维模型之间碰撞检测一般可达5mm 以内，可以有效避免通风管与电缆槽道、消防水管、舱壁加强材料发生冲突；施工过程中要根据船体各分段建造精度、焊接收缩量以及设备实际尺寸重新测量风管长度并及时作出相应改变，安装时尽量使法兰同心，风管垂直和平直度符合规定要求；系统交付之前还需要进行风量平衡试验、漏风检查以及振动噪声复核来判断设计是否合理，如果存在问题需要调整末端风阀开启角度、支路阻力或者局部节点等，以避免返工，提高施工质量并且有利于后期维护及系统的正常运转^[6]。

四、船舶通风管路布置优化的应用效果分析

（一）优化后对通风性能提升的表现

通风管路优化后显著改善风量分配更加均匀、末端风口送排风差异降低以及重要舱室空气质量控制更加良好。如文中23 000 TEU LNG 双燃料集装箱船，燃气系统双壁管通风要达到危险区域每小时不少于30次换气频率，在主机双壁管计算通风量不小于345.2 m³/h 的情况下，当空气比重为1.197 kg/m³、温度为20 ℃选取380 m³/h 时，案例中管路总的阻力损失是397.03 Pa，风机所需的静压要大于400 Pa。这表明船用通风装置达到安全换气目的之后，已经无很大余量，如果主管路较长或者有较多部件，则支路处风量衰减更加严重。由空气动力损失公式 $\Delta p = \xi \rho v^2/2$ 可知，在支路风速为10m/s 情况下，锐角90° 弯头局部阻力系数约为1.3，而圆角并且R/D>1的90° 弯头可降到0.25，一个弯头造成的局部阻力可以由约78Pa 降到15Pa，局部构件改进对于主要支路的风量稳定有很大帮助^[7]，如表1所示。

表1 船舶通风支路局部优化前后效果对比

指标	原布置方案	优化后方案	依据
双壁管设计通风量	380 m ³ /h	380 m ³ /h	公开案例风机初选值
系统原始总压损	397.03 Pa	—	公开案例计算值
90° 弯头形式	2个锐角弯头	2个R/D > 1圆角弯头	局部构件优化假设
单个弯头阻力系数 ξ	1.3	0.25	阻力系数表
单个弯头局部压损（v=10 m/s）	78 Pa	15 Pa	$\Delta p = \xi \rho v^2/2$, $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$
2个弯头合计局部压损	156 Pa	30 Pa	同上
优化后等效总压损	—	271.03 Pa	397.03-126

指标	原布置方案	优化后方案	依据
空气功率	41.9 W	28.6 W	$P = Q \Delta p$, $Q = 380/3600 \text{ m}^3/\text{s}$
压损 / 空气功率降幅	—	31.7%	计算结果

（二）优化后对建造成本与运行能耗的影响

布置优化不仅可以提高通风效果，也可以同时节约材料成本以及能耗。基于上述公开船型，在支路中有两处锐角90° 弯头，将这两处锐角90° 弯头改为R/D>1圆角弯头，在风速10m/s、空气密度1.2kg/m³的情况下，仅弯头局部阻力就可以从156Pa 降到30Pa，减少126Pa；如果以前整个系统的总阻力397.03Pa 作为参照物，那么这个支路总的阻力就可以下降到大约271Pa，即降低了约31.7%，而根据前面所给定案例风机排量是380m³/h 也就是0.1056m³/s 计算，风机所需要的空气动力可以由原来的约41.9W 降到28.6W，即也降低了约31.7%；在风机效率不变情况下，轴功率下降比例相近^[8]。

（三）优化研究对船舶设计与工程实践的启示

从工程应用角度出发，船舶通风管路优化并不是简单地“减少几米管路”，而是在标准化工况下，进行阻力匹配以及多专业配合的基础上，做到安全换气的同时还便于布置以及节约成本。已公开船型也显示，当达到30次/h 的安全换气时，主机双层壁管风机所需的静压约在400Pa 左右，说明船舶通风系统对于局部的压力损失非常敏感。所以在机舱、燃气间、设备舱等有较高要求的地方，应该尽量避免出现90° 弯头或者大的面积改变以及不必要的交叉，同时考虑弯头的弯曲程度、风速大小、风机剩余压力以及维修通道等因素。

五、结语

船舶通风管路布置对通风效果、系统阻力、建造质量和运行能耗有重要影响。从布置要求、影响因素、优化措施以及实施方案等方面进行总结可知，合理地安排管路走向、节点形式及空间配合程度，有利于降低阻力损失和相互影响，提高送排风可靠性以及维修便利性，未来还需进一步利用计算机辅助设计、精确计算分析以及实际应用经验来完善船用通风系统的布置工作。

参考文献

[1] 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.
[2] 王一民, 王梦琴, 李晨源. 船舶通风管道结构优化对通风效率的提升研究 [J]. 中国机械, 2025, (08): 121-124.
[3] 贺莹炜. 船舶不同舱室类型通风空调温度需求与供给平衡 [J]. 船舶物资与市场, 2025, 33(05): 121-123.
[4] 王纲. 船舶舱室通风设计优化方案研究 [J]. 船舶物资与市场, 2025, 33(06): 20-22.
[5] 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.
[6] 许斐. 船舶空调通风管路噪声经验预报方法 [J]. 舰船科学技术, 2023, 45(23): 56-61.
[7] 胡志毅. 船舶通风管路风机声功率确定方法及管道噪声研究 [D]. 武汉理工大学, 2024.
[8] 王芳, 李文贺, 袁奎霖, 等. 船舶空调通风管路弯管噪声数值模拟研究 [J]. 舰船科学技术, 2025, 47(04): 40-44.