

船舶管道布置合理性分析

张建明

上海中远海运重工有限公司, 上海 200122

DOI:10.61369/WCEST.2026020026

摘 要： 为满足船舶机舱及舱室管路系统布置要求，在介质流向合理、空间层次合理、支吊架设置合理、检修便利性和安全距离的基础上，考虑影响管系布置的主要因素对管路走向以及各管件位置进行优化设计。通过提高管系布置密度、牢固度以及便于维修，可以避免相互干扰和局部流体阻力过大，提高施工速度及运行安全性，同时也便于后期检修工作并节约总体造价。

关 键 词： 船舶管道；布置优化；空间协调；检修可达性；运行安全

Rationality Analysis of Ship Pipeline Arrangement

Zhang Jianming

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

Abstract： To meet the layout requirements for ship engine rooms and cabin piping systems, the pipeline routing and positions of various fittings are optimized by considering the primary factors influencing piping arrangement, based on rational medium flow direction, appropriate spatial hierarchy, proper support and suspension bracket placement, ease of maintenance, and safety distances. By increasing the density and structural integrity of the piping layout while facilitating maintenance, mutual interference and excessive local fluid resistance can be avoided, thereby enhancing construction efficiency and operational safety, simplifying subsequent maintenance tasks, and reducing overall costs.

Keywords： ship pipelines; layout optimization; spatial coordination; maintenance accessibility; operational safety

引言

船舶管道系统贯穿动力、压载、消防、冷却以及生活保障等各个部分，在保证船舶正常航行中起着举足轻重的作用。而随着船舶功能日益复杂，舱室越来越小、设备越来越多、专业交叉越来越多，管路布局混乱、局部冲突严重、难以维修、间距不够等问题也越来越明显。管路布置好坏对造船进度、使用性能乃至后期保养都有很大影响，所以很有必要研究其布置特点及改善方法。

一、船舶管道布置的基本原则

（一）满足系统功能要求

船舶管道布置首先必须满足系统的功能要求，在设计工况下保证介质按指定的方向流动并且具有一定的流速、流量以及压降、温升等要求。燃油、滑油、冷却水、压载水、消防水及生活供水等管系由于其特性不同以及工作压力等级和是否连续工作等因素存在较大区别，在布置时要根据介质粘性大小、允许最大压降、局部阻力系数及其高度差来决定它们的走向。主管应较短且尽量直线，避免过多弯头、三通和改变口径，因为弯头越多就会造成更大沿途以及局部阻力从而降低水泵工作效率并导致最后端供料不稳定；对于吸水管还要注意防止阻力过大以免发生气穴现象造成流量不稳定甚至机器震动等问题。对于机舱集中区域一般还需要根据设备接口标高、阀门位置、放残、放气的要求等做进一步优化设计，保证系统能够在满载、不同工况以及故障情况

下都能正常工作^[1]，如图1所示。

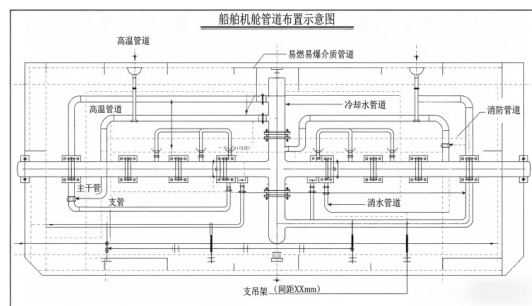


图1 船舶机舱管道布置示意图

（二）满足安全与规范要求

船舶管道布置不仅要满足功能需求，还要符合船级社的相关规定、防火分区的要求以及船舶建造一般规定，对于高温、高压、易燃、易爆或者有腐蚀性的管路要进行更为严格地隔离与保护，在机舱内燃油管、滑油管、蒸汽管、排气相关的附件还有电

缆桥架等都是比较集中的,如果间距太小或者防护不到位就容易造成泄露起火、热传导叠加以及检修过程中误触等问题,因此高温管路应该做好保温或者隔热,燃油管不能靠近高温物体布置,穿过重要的舱壁、甲板或者防火分隔的地方应当采取封严强化等措施。对于承压管系,还要考虑其设计压力、试验压力、材质以及补偿方式等进行核算,保证其连接部位、法兰、支座等在振动、冲击和温差变化时的安全性。规范化布置并非仅是“装得下”,而是在整个服役期内可接受的风险水平以及有足够的裕量。

（三）兼顾建造与维护便利性

船舶管道是多专业交叉最频繁的一个系统,布置是否得当对分段预制质量、现场安装速度以及后续维修费用都有很大关系,在设计时就要考虑到制造、吊装、焊接、试压、除锈涂漆、阀门更换等要求,防止过分紧凑而使焊接位置无法操作、法兰不能够拆解、阀门手轮碰到的情况出现一般情况下,阀门、过滤器、流量计、压力表、液位仪、取样口等都应该布置在人能够到达的地方并且要有足够的空间供工作人员进行工作以及拆卸的空间;对于那些需要经常清理或者更换部件,则要更加注重其检修路径畅通无阻。同时,管道支吊架间距、固定点位置以及补偿段长度也应考虑施工方法,避免安装后发生下垂、附加荷载过大或者振动超限等现象。综合考虑建设和维修的方法可以降低返工率,提高一段完整性以及安装精度,并有利于船舶日后运营^[2]。

二、船舶管道布置中存在的主要问题

（一）管路走向不合理,空间利用率偏低

某些船舶管路布置过于曲折,弯道、三通较多,造成管路过长,局部阻力增大,增加了机器负担以及系统的压降。而在机舱、泵舱及双层底等狭小区域内,如果主干管与支管布置不合理,则会导致该处管路堵塞,影响舱室使用面积,不利于人员行走与设备安装检修。另外,在实际施工过程中,由于管路转弯过多或者高度不当而产生的排气不良、积水无法排出、排水不畅等问题,在冷却水、压载水和燃油供给方面尤为突出。如果忽略管路流动性和压力降的设计,则易发生设备损坏或者效率低下。这些问题一旦到现场进行安装,则需要重新制作支架、重新排列短节或者进行局部返工等,降低预制精度与施工效率,延长工期以及提高费用最终造成船舶延迟交付并且增加成本^[3]。

（二）管道与设备、结构之间干涉较多

船舶舱室内部一般需同时布置管道、电缆桥架、通风风管、设备基础、平台扶梯以及船体骨架等,相互之间位置关系十分复杂,在前期未进行充分协调的情况下,容易发生硬干涉和软干涉现象。所谓硬干涉即指管道与肋骨、纵桁、舱壁加强材、设备外壳相撞;而软干涉主要是指占据检修空间、妨碍阀门操作范围、缩小过道尺寸或是制约吊装路径,给后期维修带来诸多问题。特别是对于狭小舱室,如果管道设计不当,则会影响设备拆卸和更换,甚至使某些重要系统不能正常工作。尤其是在主机周围、辅机集中区以及消防总管附近,如果忽视设备振动位移、拆装边界和人机操作空间问题,则虽然可以勉强布置,但是在以后的使用

过程中会出现检修不便、观察受限、局部改造困难等情况,造成整个布局不合理性和可行性差,从而提高维修费用、延长船舶停泊期。

（三）支撑与附件设置不完善

一些船舶管路虽然已经实现空间上的连接,但是从支吊架的选择到固定点的位置,从滑动补偿到附件的安装等都存在问题,造成管子承受的载荷与其工作条件不符。长距离直管如果支承距离较大就会产生较大的挠度以及局部下垂;而泵出口、压缩机附近或者有较大波动的地方如果刚性不够则会引发振动传递以及连接部位松动;高温管路如果没有足够的余量用于热膨胀就容易引起在法兰、焊缝或弯头处产生额外的热应力。另外,如果阀门、过滤器、补偿器或仪表等安装不合理也会造成局部阻力增大并且给拆卸以及测量带来困难。支撑与附件体系不完善虽然不一定在安装时就出现,但是由于长期运行以及波浪载荷、交变振动等因素影响,在以后使用中容易发生渗漏、裂纹或者疲劳损伤等问题^[4]。

三、船舶管道布置合理性的分析重点

（一）分析管道路径的经济性与流动性

管道的走向对系统所用材料及流动阻力有影响,在设计上合理地布置管道尽可能短一些,少一些弯头、三通以及变径等部件可以减少阻力损失同时增加通过量,比如船上燃油管路和冷却水管路由直线而不弯曲可以大大节约动力。而按国际船用管道设计规范 ISO 13703 规定,每缩短一根管道一米大约能节约百分之一二左右的材料费和安装费;一般情况下减少一个四十五度弯头可以减少约两百分比的流动阻力。所以在布置管道时要考虑到材料、施工、运行等方面的因素^[5]。

（二）分析空间协调性与可达性

管道布置不仅是“可安装”,还要考虑其在运行期间便于检修及通行的要求,在舱室空间、设备布置、通道尺寸等方面都要综合考虑,使管道与其周围设备、船体结构以及其他系统之间关系良好。标准化的空间布置要符合船级社的相关规定,比如 DNVGL-RU-02-0205 规定设备与管道之间的净距不应小于 30 cm 以便发生问题后能够及时修理或者更换,如果管道布置不合理导致设备难以拆卸或者管道不能方便地到达,则日后维护、管理工作的费用会大大升高。合理的设计和足够的空间可以提高船舶运维效率及安全性。

（三）分析运行安全性与耐久性

管道的安全性和耐久性对船舶的正常航行至关重要。比如高温蒸汽管道以及燃油管道等,在设计上要充分考虑振动问题、热膨胀补偿及防腐等工作。而高温管道如蒸汽管一般需要设置热膨胀补偿器并且其支承距离不应大于 4m 以防由于温度引起的变形;而对于有腐蚀性的介质,则要涂覆防锈漆并且使其腐蚀速度不大于规定的限值,依据《船舶管道设计规范》(GB/T 15510-2019)的要求,蒸汽管道的腐蚀率不得超过 0.2 mm/a 从而保证其具有较长的工作寿命。为了保证管道安全,在管道热膨胀、压力

变化、振动等方面考虑问题并进行相应的计算，在设计时进行校核^[6]，如表1所示。

表 1 船舶管道布置优化前后对比

项目	优化前	优化后	改善幅度
管道总长度（米）	350	320	8.6%
弯头数量（个）	45	35	22.2%
系统压降（Pa）	2500	2000	20%
维修可达性评分	70	85	21.4%
热膨胀补偿设置（次）	4	2	50%

四、提高船舶管道布置合理性的优化措施

（一）加强前期综合设计与统筹规划

船舶管道布置优化是从开始进行总体设计时就应考虑的问题，特别是对于舱室设备布置、船体结构以及系统功能等各方面情况都要有所了解。在设计之初就需要对各个系统之间进行协调，考虑各种系统之间相互影响、管道与设备之间关系，在早期发现潜在问题并解决，以免造成后期返工带来较大费用开支以及时间损失。依据国际上有关船舶设计标准 ISO 13703规定，管道布置准确性是保证船舶建造顺利进行重要条件。舱室设备布置合理性也是需要布置设计过程中考虑到与结构设计、通风系统和电气布线之间关系，防止由于设计不到位而产生地方性变更。使用数字化设计软件，例如 AutoCAD、Revit等可快速制作及交流三维设计图纸，降低设计错误率以及返工次数，提升一次设计合格率以及施工质量^[7]。

（二）优化关键区域的分层分区布置

对于船舶机舱、泵舱以及设备集中的地方等重要部位的管路，要根据介质性质、管路作用以及日后维修频次进行分层、分区和分级布置。对于高压、高温、易燃等危险介质的管路，应独立设置路径和支架，不能和其他一般性管路并列布置以免发生事故。比如船舶冷却系统的主冷却水管、消防管、气体管等都应在布置上按各自工作压力、流量和用途进行分层布置。依据《船舶管系设计规范》（GB/T 15510-2019）规定，管路与设备之间距离不得少于300mm以便检修并且不使设备互相影响。主干管道位

于中间，支管、辅助管道位于外侧，便于以后检修及维护工作。通过对分层、分区进行合理安排，有利于提高舱室内有效面积以及管道系统有序性和安全性^[8]。

（三）提高数字化与标准化设计水平

数字化设计以及标准化布置有利于提高船舶管道布置合理性。利用三维建模及管系综合排布方法可以极大提高设计水平，在设计初期就可以发现可能存在的问题，从而防止后续施工过程中出现返工、浪费时间等现象。目前，许多现代化船舶设计都采用计算机辅助设计（CAD）及建筑信息模型（BIM）软件来对管道进行三维建模并检查是否存在冲突，以达到各个管道、设备、支墩之间相互匹配的目的。在船舶管道设计上，合理的支撑布置及管道布置方式不仅可以加快施工进度还可以方便日后维修工作。依据国际船舶标准 ISO 13623规定，支吊架间距是按照管道尺寸以及承受载荷确定，在管道直径小于50mm情况下，一般支吊架最大距离不会超过2m；但是当管道直径大于500mm时，支吊架最大允许间距可放宽至4m。这样有利于避免管道系统发生振动或者断裂等安全隐患问题，保证船舶建造质量以及安全运行。

以上所述改进方法可以使船舶管道布置符合要求的同时，在船运过程中也具有更高的安全性和经济性以及高效性。而数字化设计及标准化布置可以保证船舶管道系统的整个寿命周期内具有良好的可靠性和可维修性，从而提高船舶的建造质量和经济效益。

五、结语

船舶管道布置合理与否直接影响船舶的安全性和经济性以及后期维修保养工作的便利性和工作效率，在当前船舶日趋复杂的工程背景下，管道布置需考虑各专业的配合、空间利用以及系统的正常工作要求，通过合理的管线走向、良好的空间规划、适当的支承等方式可以节约施工费用、提高系统的可靠性和安全性。而科学合理的管道布置方案是保证船舶良好运转的前提条件，也是船舶能够长久地发挥其作用的重要基础。

参考文献

[1] 郝方方. 船舶海水管道腐蚀的原因及其防护研究 [J]. 中国战略新兴产业, 2022, (06): 113-115.
[2] 高宏伟, 李明, 银美秀. 船舶管路系统液体泄漏监测仪的设计与开发 [J]. 舰船科学技术, 2022, 44(08): 118-121.
[3] 王莉, 张素萍. 船舶载流管道涡激振动数值模拟方法 [J]. 舰船科学技术, 2022, 44(13): 53-56.
[4] 柳勇. 船舶高能管道微漏预警与安全防护和评估关键技术及应用. 湖北省, 中国船舶重工集团公司第七一九研究所, 2022-07-18.
[5] 徐敏, 方至伟, 翁翠丽. 新型船舶布风管道装置设计 [J]. 广州航海学院学报, 2022, 30(03): 26-30.
[6] 闵振. 海底管道不停输带压开孔船舶施工解析 [J]. 航海技术, 2022, (06): 47-52.
[7] 孙耀峻, 侯宗宗. 船舶管道过滤器过滤特性的数值模拟 [J]. 船舶工程, 2021, 43(S1): 303-306.
[8] 杨宇超. 基于 CATIA 的船舶管道布置系统开发 [D]. 大连理工大学, 2022.