

船舶管道安装工艺与质量控制研究

张建明

上海中远海运重工有限公司，上海 200122

DOI:10.61369/ETQM.2026050002

摘 要： 针对船舶建造中对船舶管道系统安装精度要求较高、工作环境复杂、质量问题较多等问题，在管道安装前准备工作、管段预制、组对焊接、支吊架配置、密性试验以及整个施工过程的质量检查等方面进行阐述，并对尺寸偏差、焊接缺陷、接口处泄漏等问题提出相应解决措施。通过对各项工作的进一步细分，加强对重要部位的管控力度并建立严格的质量验收制度可以提高管道安装质量和系统可靠性降低返工率从而保证船舶航行安全以及缩短船舶建造周期。

关 键 词： 船舶管道；安装工艺；焊接质量；过程控制；质量验收

Research on Installation Technology and Quality Control of Ship Pipelines

Zhang Jianming

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

Abstract： Addressing the stringent installation precision requirements, complex working environments, and frequent quality issues in ship pipeline systems during construction, this paper details preparatory work prior to pipeline installation, segment prefabrication, assembly welding, support and hanger configuration, leak tightness testing, and quality inspections throughout the construction process. Corresponding solutions are proposed for issues such as dimensional deviations, welding defects, and interface leaks. By further refining each task, enhancing control over critical components, and establishing rigorous quality acceptance protocols, the paper demonstrates how to improve pipeline installation quality and system reliability, reduce rework rates, thereby ensuring vessel navigation safety and shortening construction timelines.

Keywords： ship pipelines; installation techniques; welding quality; process control; quality acceptance

引言

船舶管道系统用于燃油输送、冷却循环、消防保障、压载调节等众多重要工作，是连接船舶主机及其他各种设备装置之间的桥梁。由于船舱狭小、管路纵横交错、交叉作业较多，而且对于管路安装精度及密封性都有一定要求，任何一个环节出现问题都会造成整个船舶建造的质量问题甚至航行安全隐患。伴随着船舶制造业的发展趋势日益趋向于模块化、精细化，管系安装已经不再是一个简单的工序而是决定整个系统的可靠性的主要因素，在此基础上就需要对管系的安装方法以及质量管理进行总结以便更好的指导以后的工作开展和技术进步。

一、船舶管道安装的工艺特点与施工准备

（一）船舶管道系统的类型及安装特点

船舶管道系统包括燃油、滑油、冷却水、压缩空气、消防、压载和生活服务等众多系统，在压力等级、耐腐蚀性、密封性和清洁度上各有不同要求，比如燃油与滑油管系对密封性和防水要求较高，而消防与压载管系则需具备较大的流通能力和较强的承压能力。由于船体舱室尺寸有限，机舱、双层底以及设备集中的地方空间狭小，管道与通风管道、电缆桥架、舱壁等相互交错，局部间距较小，一般仅为几厘米，如果安装时出现偏差，容易导致碰撞、硬性安装或者返工。此外，部分管路还需要有抗振、耐热、耐压以及防腐蚀性能，焊缝位置、支吊架间距、坡度大小以

及补偿方式都要考虑到整船布置、设备布置以及工作条件等因素进行合理设计，即船舶管道安装系统性强、精度要求高、施工配合复杂的特点^[1]。

（二）船舶管道安装前的技术准备与现场准备

船舶管道安装前准备工作质量影响到后期预制程度、现场组装速度以及返工情况，施工前需进行图纸会审和技术交底，主要查看系统原理图、安装布置图、设备接口方向、法兰规格、支吊架位置、舱室贯穿处等，对于有冲突或者尺寸不符地方要改进，在空间比较狭窄地方可以利用实船测量后再做一次校核以保证后期对接准确性。材料准备上，要查管材、弯头、三通、阀门、法兰和焊材规格尺寸、材质标记、压力等级和合格证是否齐全，必要时按批抽检以免误用不合格产品。现场准备需检查设备基础、

预埋件、开孔、吊装通道以及照明、防火、防护等是否符合施工要求并控制好焊接部位清洁程度、通风情况和交叉作业等。

（三）船舶管道安装的基本工艺流程

船舶管道安装一般按“图纸审核—现场测量—管段预制—支架制作安装—管段组对—焊接连接—外观及无损检测—强度与密封性试验—吹扫冲洗—防腐保温—系统验收”的流程进行，而预制率、组对接精度以及试验完整度是影响施工质量的重要因素，在现场测量时要根据船舶分段情况、设备找正情况以及舱室尺寸进行复核；在管材预制过程中要严格控制下料长度、坡口大小、弯管角度以及编号，尽可能避免现场切割；在安装过程中要先做好支架定位，然后吊装、对接口，防止产生额外应力，同时还要检查法兰平行度、接口错边量、管线坡向以及阀门方向等。焊后进行外观检查以及必要的无损检测并进行试压、吹扫、冲洗等^[2]。如图1所示。

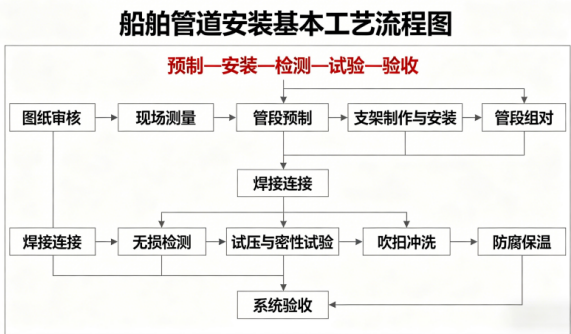


图1 船舶管道安装基本工艺流程图

二、船舶管道安装关键工艺分析

（一）管道预制与下料加工工艺

船舶管道安装一般为“车间预制+现场安装”，有利于提高安装质量和效率，在管道预制前根据实物以及图纸放样、量取尺寸，保证每一段管道长度、角度以及对接位置正确性，在下料过程中要求切割误差不得大于 $\pm 2\text{mm}$ 以免由于尺寸不当导致无法安装，在坡口加工及弯管成形中要控制好其椭圆率（一般不超过管径的2%）、弯曲变形情况，而坡口角度偏差不宜大于 1° 。另外所有预制好的管子都要做好标记并合理码放以防运输或施工中出现混乱或者错位。精确预制加工可以降低现场拼装工作量以及提高安装精度并减少后期调试难度^[3]。

（二）管道组对、焊接及连接工艺

管道组对是保证船舶管道系统安装质量的重要工序，特别是对接口正确对接及焊接。组对过程中要保证法兰面平行度、螺栓孔同轴度、接口错边量以及间隙等，以保证管道接口准确无误。焊接方法要根据管道材料、壁厚及所输送介质性质选择适当的方法，并按有关要求（例如《船舶焊接工艺评定规则》）进行焊接工艺评定及参数控制。常见的焊接缺陷有未焊透、气孔、夹渣、咬边和裂纹等，可以通过控制焊接工艺来避免这些问题。连接

上，要使用适当的连接方式（焊接、法兰连接或螺纹连接等）以及选用适当密封垫圈保证连接紧密性和密封性。此工艺对确保管道的密封性、耐压性和耐腐蚀性至关重要。

（三）支吊架安装及系统完整性工艺控制

支吊架是船舶上管道的重要组成部分，在保证管道稳定性和抗震性以及在高温、高压的工作环境下可靠性的方面发挥着重要作用。支吊架的设计及安装需遵循相关船舶规范的要求（例如《船舶管道安装工程施工质量验收规范》等）保证其承载能力和减振能力符合规定标准。支吊点的位置选择既要考虑受力情况又要防止对管道造成不必要的限制导致管道由于温差而产生过大变形。对于高温、高压的管道系统来说，支吊架需要具有良好的耐温性和耐腐蚀性并且正确布置固定支架、导向支架和弹性支撑来降低由于温度变化或者震动给管道带来的损害。系统的完整性还包括阀门布置是否合理、有足够的维修空间、管道路由是否正确、有良好的排空及泄压等，保证系统的正常工作，防止由于某一部分安装不合理造成问题^[4]。

三、船舶管道安装中常见质量问题及成因分析

（一）尺寸偏差与安装干涉问题

在船舶管道安装过程中，尺寸偏差、走向偏差以及空间干涉是最常见的，主要是由于预制管段与设备接口位置不对齐、法兰连接需要施加较大外力、管道与底座或者船体结构发生碰撞等。这些问题一般都由图纸深化不到位、实测测量误差、预制过程中积累的误差以及分段对接后的真实收缩引起的。根据一般焊接接头检测标准，错边量一般不大于壁厚的10%，并且不应大于2mm，如果超出这个范围，则会造成组对时产生较大的附加应力，在后续焊接过程中会产生更大的变形甚至出现泄漏的情况。CB/Z 345—2008已把船舶管系布置及安装工艺的要求列入行业标准中，说明这不是一个孤立的问题，是设计、放样、预制以及施工现场配合等多种原因导致的结果。

（二）焊接缺陷与密封失效问题

焊接与密封失效往往是造成船舶管道质量事故的重灾区。据公开报道，在两艘船和两座海上设施建造过程中出现的一般性焊接质量缺陷中，焊接本身以及所用材料方面的问题占到80%，排名靠前的问题有未预热或者预热/道间温度达不到要求、焊条烘干不符合规定、焊缝清理不到位或焊接规范不合理等。而在管道安装现场，常见的问题是气孔、夹渣、未熔合、裂纹以及焊缝成型不良，同时还有法兰密封橡胶圈选用不当、阀杆填料泄露或者螺纹连接处松动等现象。目前对焊接的要求是：焊缝表面不允许有裂纹、未熔合、夹渣、气孔或未焊透；手工焊咬边深度一般应 $\leq 0.5\text{mm}$ ，而且其总长不应大于焊缝全长的10%，如果超过此范围，则会影响管道承受压力以及使用寿命^[5]，如表1所示。

表1 船舶管道安装常见质量问题及控制依据表

质量问题类型	现场典型表现	关键控制数据 / 参数	主要成因	依据来源
尺寸偏差与安装干涉	管段对口困难、法兰强力组 装、与设备基座碰撞	组对错边量通常控制在 $\leq 10\%T$ 且 $\leq 2\text{ mm}$	实船测量误差、预制累计偏 差、分段合拢变形	焊接检验要求；CB/Z 345— 2008
焊接工艺与材料问题	未预热、层间温度失控、焊 缝清理不足	在典型船舶 / 海工建造统计中，相 关问题约占 80%	焊材管理不严、工艺执行偏 差、作业控制不足	《船舶与海工平台建造焊接 质量问题统计与分析》
焊缝表面缺陷	气孔、夹渣、未熔合、未焊 透、裂纹	焊缝表面不得存在裂纹、未熔合、 夹渣、气孔、未焊透	坡口处理不规范、焊接参数 不当、清根不充分	焊接检验要求
咬边与成形不良	焊缝边缘凹陷、余高不均、 成形差	手工焊咬边深度一般 $\leq 0.5\text{ mm}$ ，其 总长不大于焊缝全长 10%。	电流电压不稳、运条不当、 焊接姿态受限	焊接检验要求
密封失效	法兰渗漏、阀门填料函泄 漏、螺纹松动	法兰、阀门、焊口需在系统试验中 逐点检查	垫片选型不当、紧固顺序不 合理、试压前检查不细	CCS 规范、安装工艺要求

（三）质量问题对船舶建造和运行的影响

管道安装质量问题主要体现为返工增加以及施工进度延误，在分段搭载、舾装交叉、设备定位同时进行的情况下，一条管线一处问题会导致整个管路重新布置。而且由于船舶管系有隐蔽性和整体性，如果问题出现在交付之后，则会造成燃油、滑油、冷却水、消防、压载等系统的故障，严重的还会导致渗漏、设备损坏乃至事故的发生。根据中国船级社发布的《国内航行海船建造规范（2024）》，需要提供舱底水、压载、燃油、滑油、冷却水等多种类型的管系图，这也体现了船舶使用对于不同种类管系的要求非常高。所以，管道安装的质量控制应前置到建造过程，在尺寸控制、焊接检查、试压及系统验收上进行闭环管理，而不是等到交付后进行返修或补焊等处理方法^[6]。

四、船舶管道安装全过程质量控制措施

（一）材料、工序与人员的前端质量控制

前端控制主要是把质量问题消灭在进场以及开工前。管材、阀门、法兰、垫片、焊条等进场后要依据设计图纸、材质证明书、产品合格证等逐一检查，主要查看规格、壁厚、压力等级、耐腐蚀等级以及标记是否一致，必要时还要复试抽查，以防错料混用。下料、坡口加工、组对、焊接、支吊架安装等重要环节要设立质量控制点，进行第一件验收以及工序交接工作，前一道工序未经检验合格不能进入下一环节。焊工、无损检测人员、安装工人必须有资质证书，焊接作业须满足现行焊接工艺评定标准。对口错边量一般不大于壁厚的 10%，最大不超过 2mm，做到“有材可溯、有工可查、有责可究”的预防措施^[7]。

（二）检测、试验与验收的过程质量控制

过程控制应包括焊前、焊中以及焊后整个过程。焊缝焊接完成后首先对外观及尺寸进行检查，主要查看余高、宽度、错边

量、咬边以及成型情况等；手工焊焊缝表面咬边深度一般不应大于 0.5mm，且其总长不大于焊缝全长的 10%，表面不允许出现裂纹、未熔合、夹渣、气孔或者未焊透等缺陷。对于重要的管道还需按照规定进行无损探伤。系统安装完毕之后要进行压力试验、泄漏试验、吹扫与清洗等工作并如实填写试验用水或者空气的压力值、保压时间以及观察到的现象等，以便查询。验收时应根据 CCS《国内航行海船建造规范（2024）》，设计图纸以及船东意见提交齐全的质量资料，而 CCS 该规范从 2024 年 7 月 1 日起实施。

（三）基于全过程管理的质量提升路径

质量提升不能只靠一个工序把关，还需要有标准化、协同化以及数字化贯穿始终的质量管理模式。首先要按照 GB/Z 345–2008 等相关安装工艺的要求统一施工标准、检查表格以及交底工作，让测量、预制、安装、试验和验收成为一个整体；其次要重视管道、电气、通风、设备安装之间接口配合，避免因交叉作业引起的空间冲突以及返工；最后可以利用三维建模、预制编号及质量问题可追溯性来提升施工现场定位准确性以及问题查找速度。随着船舶建造日益趋向模块化、精细化，质量管理也从单一控制发展到全过程控制，而只有将施工工艺、人员素质以及过程资料等全部纳入管理范围内，才能保证管系安装质量及整个系统的正常工作能力^[8]。

五、结语

船舶管道安装伴随整个船舶建造过程，工序繁琐、精度要求高、质量控制点较多。安装质量不但影响管系正常工作，而且影响整个船舶建造质量。从预制加工、组对焊接、支吊架安装、试压检查以及全过程管理进行全方位管控可以大大降低安装缺陷和返工率，提高管道系统的气密性、可靠性以及寿命，从而保证船舶的安全、经济航行。

参考文献

[1] 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.
[2] 张新龙. 船舶管道焊接固定夹具. 广西壮族自治区, 中国船舶集团广西造船有限公司, 2024-04-30.
[3] 王志昊. 核动力船舶管道布局综合评价系统及软件开发 [D]. 大连理工大学, 2024.
[4] 李仕麒, 张亚东. 船舶制造中金属材料无损探伤检测技术 [J]. 中国科技信息, 2024, (17): 91-93.
[5] 黄俊杰, 张迪, 杨少杰, 等. 船舶和海洋工程设计中管道防腐研究 [J]. 船舶物资与市场, 2024, 32(11): 65-67.
[6] 赵聪. 船舶管舾装工艺智能设计方法研究 [D]. 江苏科技大学, 2025.
[7] 张恒. 船舶高压 CO2 灭火系统管道网络动态响应特性 [J]. 中国高新科技, 2025, (11): 155-157.
[8] 韩硕, 曾林林, 陈嘉柱, 等. 船舶海水管道腐蚀的原因及其防护 [J]. 珠江水运, 2025, (16): 78-81.