

船舶运用工程中快装式修船脚手架结构稳定性分析

郭 斌

大连中远海运重工有限公司 辽宁 大连 116000

【摘要】：快装式修船脚手架是船舶运用工程检修施工中的关键临时支撑设施，自身结构稳定性深刻影响现场作业安全水平、施工推进效率与船舶整体运维质量。依托船舶修船滨海露天、工况复杂多变的场景特征，结合该类脚手架拆装灵活、组装便捷、承载工况波动大的应用特点，从结构设计参数设定、节点连接可靠性能、荷载布局分配方式三大维度入手，系统剖析不同作业工况下脚手架的受力特征与形变演化规律，梳理归纳引发结构失稳的深层诱因，提出科学可行的稳定性优化策略与管控路径，可为快装式修船脚手架的方案设计、标准化搭设及日常运维管理提供理论依据与实践参考，助力船舶修船作业全程实现结构安全与高效有序开展。

【关键词】：快装式修船脚手架；船舶运用工程；结构稳定性；受力特性；安全管控

DOI:10.12417/2705-0998.26.06.049

引言

船舶运用工程领域中，修船作业是保障船舶安全航行、延长船舶服役年限的关键环节，快装式修船脚手架作为修船作业不可或缺的临时支撑设施，其结构稳定程度直接关联作业人员人身安全、修船进度推进及船舶运维成效。相较于传统脚手架，快装式脚手架依托拆装高效、适配性突出的特质，已广泛应用于各类船舶修船场景，但船舶修船环境具有复杂性、荷载工况具有多变性，易造成脚手架出现节点松动、结构形变等问题，进而埋下失稳隐患。结合快装式修船脚手架的应用现状与结构特质，深入剖析其稳定性影响要素及失稳机理，对完善其设计与运维管控体系、推动船舶修船作业安全高效开展，具备重要的现实价值。

1 快装式修船脚手架在船舶运用工程中的应用背景及结构概况

快装式修船脚手架于船舶运用工程领域中地位突出，是船舶坞修、航修等各类检修作业里必不可少的临时支撑设施，应用场景涵盖散货船、集装箱船、客船等各类船舶的船体表面、甲板、舱室等部位的检修施工。伴随船舶运用工程朝着高效化、规模化方向推进，传统脚手架拆装繁琐、耗时久、适配性不足的问题愈发明显，快装式修船脚手架依托拆装便捷、组装高效、结构轻便且可灵活适配船舶复杂曲面与空间的特点，逐步替代传统脚手架，成为修船作业的核心选择。此类脚手架主要由立杆、横杆、斜撑、脚手板及连接节点等构件构成，各构件经标准化设计实现快速拼接，整体结构既具备足够承载性能，又拥有良好灵活性，可依据修船作业的实际需求，灵活调整搭设高度、跨度及布置形态。考虑到船舶修船作业的特殊性，其结构设计需适配海上或船厂修船环境的复杂荷载工况，为后续修船作业安全推进提供坚实结构支撑，这也对其结构稳定性提出更为严苛的要求。

2 船舶运用工程中快装式修船脚手架结构稳定性存在的问题及成因分析

在船舶运用工程实际运维过程中，快装式修船脚手架是船舶检修施工不可或缺的临时支撑载体，其结构稳定状态直接关系到现场作业人员人身安全、施工进度推进以及船舶整体运维效益。从实际应用现状来看，脚手架结构稳定性隐患突出，问题主要集中在结构设计、节点连接、荷载适配与环境适配四大核心层面，各维度因素相互交织、共同制约架体安全服役水平。在结构设计层面，现有部分快装式脚手架并未立足船舶船体曲面形态、作业高度差异及空间受限等特殊工况做定制化设计，依旧套用通用制式参数，立杆间距、横杆步距与斜撑排布缺乏科学统筹，造成架体整体受力分配不均，局部区域产生明显应力集中，从设计源头埋下结构不稳隐患。节点连接作为架体荷载传导的关键枢纽，部分连接构件生产加工质控不严，成型尺寸与接口契合度不达标，现场拼装后易留存装配间隙；加之现场人员搭设操作不规范，未严格落实节点紧固与防松设置，长期经受交变荷载作用，易出现节点松动、错位滑脱，破坏架体整体协同受力体系^[1]。荷载适配层面，设计阶段对人员作业、工具摆放、物料堆放等叠加荷载预估不足，承载标准设置偏低，荷载分配缺乏合理规划，易出现局部超载受力，久而久之引发杆件形变破损。同时船舶修船多处于滨海露天环境，海风浪涌、盐雾腐蚀及昼夜温差变化，既考验架体抗侧移抗扰动能力，又加速金属构件锈蚀老化、性能劣化，多重不利条件叠加，进一步弱化脚手架整体结构稳定性，成为诱发架体失稳的重要根源。

3 船舶运用工程中快装式修船脚手架结构稳定性优化措施

3.1 结构设计不合理及成因

(1) 结构参数适配性不足。部分快装式修船脚手架的设计过程中，未能充分结合船舶修船作业的复杂场景特点，未充

分考量船舶船体曲面不规则、作业高度跨度差异大、作业区域空间受限等实际工况，立杆间距、横杆步距及斜撑布置均未进行针对性调整，仍沿用通用脚手架的常规参数设置，导致脚手架结构整体受力分配失衡，局部区域易形成应力集中现象，进而显著削弱结构整体稳定性能，为后续作业埋下安全隐患。这一问题的核心成因，在于设计环节未充分重视船舶修船作业的特殊性，盲目套用陆地通用脚手架的设计参数，缺乏对船舶具体作业场景的精准调研与适配设计，最终导致脚手架结构设计船舶修船的实际应用需求严重脱节，无法满足复杂工况下的结构稳定要求。

(2) 承载能力设计偏差。快装式修船脚手架开展前期结构规划与方案设计时，对船舶检修现场复杂工况下的各类荷载测算过于保守，未全面兼顾现场人员往复作业、大型检修器械放置、各类维修物料集中堆放等多重荷载叠加产生的综合作用。设计环节仅参照常规通用荷载标准进行取值核定，架构额定承载阈值设置偏低，与船舶实际作业的真实受力状况存在显著落差。架体长期承受多变复合荷载的持续作用，主体杆件易产生弯曲变形，各类衔接配件也会出现磨损老化及局部损伤^[2]。这类先天设计层面的缺陷，会不断消耗架体自身承载富余空间，随着作业周期推移逐步累积各类安全隐患，压缩整体结构安全储备空间，大幅降低工况适应能力，为脚手架后期局部受损乃至整体失稳埋下难以规避的潜在风险。

3.2 节点连接可靠性不足及成因

(1) 连接部件加工精度不达标。快装式修船脚手架的各类连接构件虽采用标准化流水线量产模式，但部分生产厂家在锻造裁切、成型打磨等加工环节质控松懈，工艺执行不到位，致使成品加工精度难以契合施工标准。构件对接接口贴合度不足，外形尺寸与标准参数存在超出允许范围的误差，现场拼装就位后节点缝隙无法完全闭合，难以构建连续顺畅的受力传递体系，直接干扰架体荷载传导效率。在现场作业荷载与滨海环境交变外力的长期交替作用下，留有装配间隙的节点部位容易出现咬合松动、错位滑移等问题，破坏各构件协同受力格局，弱化脚手架整体结构完整性与稳固度，同时滋生不易察觉的安全隐患，直接影响船舶修船现场施工的整体安全保障水平。

(2) 节点安装操作不规范。船舶修船现场进行快装式脚手架搭设作业时，部分施工人员并未严格恪守标准化施工规程，节点拼装对接随意性较强，构件咬合衔接未能达到工艺要求的紧固标准。多处关键连接点位未依照施工规范配齐防松限位配件，拼装完成后也缺少系统性查验与二次加固流程，无形中遗留诸多装配漏洞。受现场工期紧张、施工流程简化等因素影响，日常巡检与调校工序常被忽略，架体节点长期承受作业荷载与滨海环境外力的交替作用，连接牢靠度持续衰减，构件间咬合契合度逐步变差，易出现接口松动、受力偏移等现象，打乱脚手架整体受力传递格局，慢慢侵蚀结构稳定基础，逐步

演变为引发架体形变乃至整体失稳的重要诱因。

3.3 环境适配性不足及成因

(1) 抗环境荷载能力薄弱。船舶修船作业大多布置在沿海船厂岸线及近海露天作业区域，常年处于海风肆虐、海浪扰动的复杂自然环境中，海风的持续吹拂、海浪的反复冲击形成各类动态环境荷载，不间断地对快装式脚手架整体架构产生持续且不均衡的冲击作用。现有多数架体在结构设计与现场搭设阶段，未能充分结合滨海修船的特殊工况定制配套防风、抗浪防护构造，缺乏针对性的抗侧移、抗倾覆设计，导致架体自身侧向抗倾覆与抗变形性能先天不足^[3]。遭遇强风过境、近岸浪涌冲击等极端天气工况时，架体极易出现大幅摇摆与侧向偏移，承重杆件随之产生弯曲形变，直接打破原有均衡受力格局，造成局部应力集中。在自然外力长期反复作用下，架体原有稳定基础不断被侵蚀，整体抗干扰与环境耐受能力逐步下滑，难以适配船舶修船野外复杂、多变的工况需求，无法满足长期安全服役的标准，为修船作业埋下安全隐患。

(2) 部件抗老化能力不足。船舶修船作业常年处于滨海露天作业环境，海域空气内含高浓度盐雾与潮湿水汽，具备极强化学腐蚀作用，再加上区域昼夜温差波动频繁，会持续对快装式脚手架各类金属构件形成侵蚀作用。长期置身于这种高盐、高湿且温差多变的特殊工况下，架体杆件表面极易发生氧化生锈、材质老化变质等问题，逐步消减构件原本的机械强度与结构韧性。立杆、横杆等主要承重杆件以及各类金属连接配件，在腐蚀因素持续侵袭下性能不断劣化，轻则出现表层锈蚀剥落、局部点位损伤，重则滋生细微裂纹甚至直接断裂失效。构件本身耐候防腐与抗老化性能偏弱，会逐步打破脚手架整体受力平衡，持续滋生结构性安全隐患，既削弱架体服役期间的整体稳固性，也大幅缩减设备正常使用周期。

4 快装式修船脚手架结构稳定性优化的应用成效

4.1 结构稳定性显著提升，筑牢修船作业安全防线

科学完善的快装式修船脚手架，可有效化解过往结构设计疏漏、节点连接松散、环境适配性欠缺等突出问题，让架体整体受力更趋均衡，使应力集中状况得到有效改善。通过合理调整立杆、横杆及斜撑布局形式，精准适配船舶修船各类复杂工况，配合标准化节点安装流程与专业防松处置方式，显著强化节点连接牢靠度，从源头规避节点松动、滑脱等安全隐患^[4]。同时，依托配套设置的防风防浪防护装置与专业构件防腐工艺，大幅增强脚手架对海上及露天修船场景的适应能力，能够有效抵御海风、浪涌及盐雾腐蚀带来的不利影响，减少结构形变、构件老化破损等问题发生，保障脚手架在各类修船工况中始终保持良好稳定状态，从根源降低结构失稳风险，为船舶修船作业平稳开展筑牢安全根基。见图1所示：

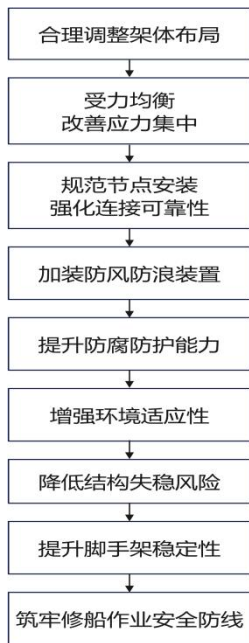


图1 快装式修船脚手架结构稳定性提升逻辑流程图

4.2 适配性与作业效率提升，契合船舶修船实际需求

各项优化举措充分兼顾快装式修船脚手架的拆装便捷性与结构稳定性，在保留其标准化拼接优势的基础上，结合不同船舶类型、不同修船部位的实际工况，优化架构布置与尺寸参数，使其能够更灵活地适配船舶船体曲面、甲板、舱室等复杂空间，有效解决了优化前脚手架适配性不足、搭设受限的痛点。优化后的脚手架拆装流程更为规范，构件拼接精度大幅提升，搭设与拆除效率较以往有明显改善，能够快速响应修船作业的工期诉求，缩短脚手架搭设与拆除占用的作业时长，同时避免因脚手架不稳定引发的作业中断、返工等问题，保障修船作业

参考文献:

- [1] 胡向忠.AM 软件在船舶与海洋工程设计中的应用[J].工业控制计算机,2025,38(12):67-69.
- [2] 占优.浅析工程船舶机电设备安装要点及策略[J].珠江水运,2025,(24):104-106.
- [3] 吴海涛.基于船舶与海洋工程的船体结构设计思路[J].船舶物资与市场,2025,33(12):1-3.
- [4] 沈伟.模块化设计在船舶建造工程中的应用[J].船舶物资与市场,2025,33(12):4-6.
- [5] 张智.知识工程在船舶结构优化设计中的应用[J].船舶物资与市场,2025,33(05):1-3.

按计划有序推进，进一步提升船舶修船作业的整体效能，契合船舶运用工程高效化、规模化的发展导向。

4.3 运维成本合理控制，实现安全与效益双赢

完善快装式修船脚手架结构稳定体系，能够有效减缓各类构件老化破损速度，依托科学合理的结构设计与专业化防护举措，有效延长杆件、连接件等配件的服役周期，大幅缩减构件更换与日常检修频次，切实减少运维阶段的材料消耗、配件采购及人工维保投入。结构稳定性能的全面提升，还可从源头规避架体失稳引发的安全事故，避免事故善后处理、人员赔付及设备损毁产生的额外经济损失，间接压缩船舶修船整体运营开支^[5]。同时在满足施工规范与结构安全要求的前提下，无需额外增设搭设耗材与配套设备投入，在保障现场作业安全与施工效率的基础上，实现运维开支的精细化管控。既严格契合船舶修船作业安全管控标准，又有效提升船舶整体运维经济价值，达成安全施工与经济效益协调统一，为船舶运用工程长效稳健运营提供坚实保障。

5 结语

本文围绕船舶运用工程中快装式修船脚手架的结构稳定性展开系统研究，梳理其应用背景与结构概况，明确其在结构设计、节点连接、环境适配等方面的突出问题及核心成因，据此制定针对性优化改进举措，并验证了这些措施的实际应用效果。研究表明，科学的结构设计、规范的安装操作与完善的防护措施，可有效强化脚手架稳定性能，保障修船作业安全，提升作业效能并合理管控运维成本。本文研究成果可为脚手架的设计、搭设及运维提供可行参考，完善船舶运用工程临时支撑结构管控体系，推动修船作业向安全、高效、经济方向发展，为船舶运维事业稳步前行提供支撑。