

# 船舶坞内脚手架搭设与拆除关键技术及安全管控研究

张志强

江南造船(集团)有限责任公司 上海 201913

**摘要:** 船舶坞内脚手架是保障坞内作业安全、提升效率的核心设施。本文聚焦其搭设与拆除关键技术,涵盖结构选型、特殊工况适应、标准化流程,以及逆向拆除规划、高效工具应用、废弃物处理等内容。同时,构建全流程安全管控体系,包括风险识别、防护措施、应急管理。还展望了数字孪生技术应用、轻量化自稳固结构研发等未来方向,为船舶坞内脚手架管理提供参考。

**关键词:** 船舶坞内脚手架;搭设;拆除关键技术;安全管控体系

**引言:** 船舶坞内作业中,脚手架是不可或缺的临时性承重支撑结构。其需适配船舶曲面船体、坞内有限空间等特殊需求,设计与搭设质量直接影响后续检修作业的安全性及高效性。但船舶坞内脚手架搭设与拆除面临诸多挑战,且安全管控至关重要。因此,深入研究其关键技术及安全管控体系,对保障船舶坞修工程顺利开展意义重大。

## 1 船舶坞内脚手架的定义

船舶坞内脚手架是船舶进坞检修、涂装、改装等作业时,搭建在船体周围及内部的临时性承重支撑结构,是保障坞内作业安全、提升施工效率的核心设施。其不同于建筑行业常规脚手架,需适配船舶曲面船体、坞内有限空间、多变作业工况等特殊需求,兼顾承重性、稳定性与可操作性。该脚手架以船体结构为依附基础,通过专用连接件与船体构件牢固连接,形成覆盖船体甲板、舱室、船舷等部位的作业平台,为施工人员提供安全作业空间,同时满足工具、材料的临时堆放需求<sup>[1]</sup>。船舶坞内脚手架的设计与搭设需严格匹配船舶吨位、船体形态及作业荷载,需经过精准受力计算,规避因船体变形、坞内水位变化等因素引发的安全隐患。作为船舶坞修工程的前置关键环节,其质量直接决定后续检修作业的安全性、高效性,是船舶坞修过程中不可或缺的临时性基础设施,广泛应用于商船、军舰、特种船舶等各类船舶的坞内维保作业。

## 2 船舶坞内脚手架关键搭设技术

### 2.1 脚手架结构选型与优化设计

船舶坞内脚手架结构选型与优化设计需立足坞内作业特殊性,结合船体结构特点、作业荷载要求及施工空间限制,实现安全性与经济性的统一。选型阶段优先采用模块化、可拼接结构,常用扣件式、碗扣式及铝合金脚手架,其中铝合金脚手架因轻量化、耐腐蚀特性,适

配坞内潮湿环境及高空作业需求。优化设计核心是通过受力计算规避结构薄弱环节,采用有限元分析方法对脚手架立杆、横杆、斜撑等构件进行强度、刚度及稳定性验算,根据船体曲面弧度调整立杆间距、横杆步距,确保脚手架与船体贴合紧密。同时,优化连接件结构,采用可调节式抱箍、防滑连接件,增强脚手架与船体的连接可靠性,减少船体表面损伤。另外,结合作业分区特点,合理划分脚手架搭设高度与范围,避免过度搭设造成的材料浪费,通过结构优化降低搭设难度,提升搭设效率,确保脚手架结构既满足作业需求,又具备良好的适配性与经济性。

### 2.2 特殊工况适应性技术

船舶坞内脚手架搭设面临坞内水位波动、船体曲面不规则、高空风力影响及作业荷载多变等特殊工况,需针对性采用适应性技术,保障脚手架稳定性。针对水位波动工况,采用可调节式立杆结构,预留水位变化调节余量,避免水位升降导致脚手架受力失衡,同时对水下及近水部位脚手架构件进行防腐处理,延长使用寿命。针对船体曲面不规则问题,采用柔性连接件与可伸缩横杆,贴合船体弧度调整脚手架间距,确保脚手架与船体紧密贴合,避免局部受力集中<sup>[2]</sup>。针对高空风力影响,增设抗风拉杆、揽风绳,合理设置防风支撑点,将脚手架与船体牢固连接,降低风力对脚手架稳定性的影响,根据风力等级制定作业停工标准。针对作业荷载多变,采用分级荷载设计,明确不同作业区域荷载限值,设置荷载监测装置,实时监测脚手架受力情况,及时调整作业负荷,规避超载引发的安全隐患。

### 2.3 搭设工艺标准化流程

船舶坞内脚手架搭设需遵循标准化流程,规范各环节操作,确保搭设质量与安全,流程主要分为前期准备、基础处理、分层搭设、连接固定及验收检测五个阶

段。前期准备阶段,核对船舶坞修图纸,明确作业需求,进行现场勘查,清理搭设区域障碍物,准备合格的脚手架构件、连接件及安全防护设施,并完成施工人员技术交底。基础处理阶段,对坞底搭设区域进行平整、压实,铺设垫板或枕木,增强基础承载力,避免立杆下沉,针对船体附着部位,清理表面油污、铁锈,确保连接件贴合紧密。分层搭设阶段,按照“自下而上、逐层搭设”原则,先搭设立杆、横杆,再设置斜撑、剪刀撑,确保每层结构牢固,搭设过程中严格控制立杆垂直度、横杆水平度及间距偏差。连接固定阶段,采用规范连接件紧固,确保连接可靠,严禁松动、漏接,对曲面部位进行专项固定处理。验收检测阶段,组织专业人员对脚手架结构、连接部位、荷载承载力进行全面检测,验收合格后方可投入使用。

### 3 船舶坞内脚手架拆除关键技术

#### 3.1 逆向拆除工艺规划

船舶坞内脚手架拆除需遵循“逆向拆除、分级管控”原则,制定科学的逆向拆除工艺规划,确保拆除过程安全、高效,避免对船体及周边作业造成影响。逆向拆除工艺需与搭设工艺相反,按照“自上而下、逐层拆除”的顺序,先拆除安全防护设施、荷载平台及横杆,再拆除斜撑、立杆,最后拆除基础垫板及连接件,严禁上下同时拆除或逆向违规操作。拆除前,结合脚手架搭设图纸,明确拆除分区、拆除顺序及各区域拆除时间节点,划分危险作业区域,设置警示标识,禁止无关人员进入。针对高空、曲面及舱室内等复杂区域,制定专项拆除方案,采用分段拆除、吊运结合的方式,避免拆除构件坠落伤人或损坏船体。同时,规划拆除构件吊运路线,避开船体关键部位及作业人员,合理安排施工人员分工,明确各岗位职责,拆除过程中实时监测脚手架结构稳定性,发现异常立即停止作业,排查隐患后再继续拆除,确保拆除过程有序可控。

#### 3.2 高效拆除工具与设备

船舶坞内脚手架拆除需选用高效、适配的工具与设备,兼顾拆除效率与作业安全,减少人工劳动强度,规避拆除过程中的安全隐患。常用高效拆除工具包括电动扳手、液压剪切器、便携式切割机等,其中电动扳手用于快速拆卸扣件、连接件,液压剪切器用于切割脚手架钢管构件,便携式切割机用于处理复杂部位连接件,这些工具操作便捷、效率高,可大幅缩短拆除工期。针对高空及大型构件拆除,选用小型起重机、高空作业平台等设备,起重机用于吊运拆除的大型构件,避免构件坠落,高空作业平台为施工人员提供安全作业空间,适配

高空拆除作业需求。同时,配备荷载监测仪、风速仪等辅助设备,实时监测吊运荷载及现场风力,确保设备运行安全<sup>[3]</sup>。另外,对拆除工具与设备进行前期检查、维护与调试,确保设备性能良好,严禁使用不合格设备,施工人员需熟练掌握设备操作规范,避免设备操作不当引发安全事故,提升拆除作业的高效性与安全性。

#### 3.3 废弃物处理与资源回收

船舶坞内脚手架拆除过程中会产生大量钢管、扣件、连接件等废弃物,需建立规范的废弃物处理与资源回收体系,实现环保与节能的双重目标。拆除作业时,对废弃物进行分类收集,将完好的钢管、扣件与损坏的构件分开存放,做好标识,避免混放。对于完好的脚手架构件,进行清理、除锈、防腐处理后,分类入库,用于后续船舶坞修脚手架搭设,实现资源重复利用,降低施工成本。对于损坏、无法修复的构件,委托具备资质的回收机构进行专业回收处理,采用粉碎、熔炼等方式进行再加工,避免随意丢弃造成环境污染。同时,拆除现场设置专用废弃物堆放区域,做好防雨、防潮、防坠落措施,及时清理废弃物,保持现场整洁。建立资源回收台账,详细记录回收构件的数量、类型、处理方式及再利用情况,加强回收过程管控,提升资源回收利用率,践行绿色施工理念。

### 4 全流程安全管控体系构建

#### 4.1 风险识别与动态评估

船舶坞内脚手架全流程安全管控的核心是做好风险识别与动态评估,提前排查隐患,实现风险闭环管理。风险识别需覆盖脚手架搭设、使用、拆除全生命周期,结合坞内作业环境、船体结构、施工人员及设备等因素,识别出荷载超载、结构失稳、连接件松动、高空坠落、物体打击、水位波动、风力影响等潜在风险,建立详细的风险清单,明确风险等级、影响范围及诱发因素。动态评估需建立常态化评估机制,在脚手架搭设前、搭设过程中、使用期间及拆除前,组织专业人员进行全面评估,结合作业工况变化、荷载调整、环境变化等情况,及时更新风险清单,调整风险等级。采用定性定量相结合的评估方法,通过现场勘查、受力计算、模拟分析等方式,精准判断风险程度,针对高风险环节制定专项防控措施,明确防控责任人及防控时限,定期跟踪隐患整改情况,确保风险处于可控范围,从源头规避安全事故。

#### 4.2 安全防护技术措施

船舶坞内脚手架全流程需采取完善的安全防护技术措施,针对性防范高空坠落、物体打击、结构失稳等安全隐患,保障施工人员人身安全。高空防护方面,在脚

手架作业层铺设脚手板,设置1.2米高的防护栏杆及0.18米高的挡脚板,脚手板铺设严密,避免缝隙、空洞,作业层下方设置安全平网,双层防护,防止人员坠落。物体打击防护方面,在脚手架下方及周边危险区域设置安全防护棚,悬挂警示标识,禁止无关人员进入,施工人员佩戴安全帽、安全带,工具、材料采用工具袋存放,严禁抛掷。结构防护方面,定期检查脚手架立杆、横杆、斜撑及连接件的牢固性,及时紧固松动构件,对受损构件进行更换,避免结构失稳,针对曲面、高空部位,增设防护拉杆、揽风绳,增强结构稳定性。另外,在脚手架搭设、使用、拆除期间,设置防风、防雨、防滑措施,近水部位设置防水防护,避免环境因素引发安全隐患。

#### 4.3 应急管理 with 事故处置

船舶坞内脚手架作业需建立完善的应急管理与事故处置体系,提前防范突发情况,确保事故发生后能够快速、有效处置,降低事故损失。应急管理方面,制定专项应急预案,针对高空坠落、物体打击、脚手架坍塌等常见事故,明确应急组织机构、应急响应流程、应急处置措施及应急物资保障,定期组织应急演练,提升施工人员应急处置能力。配备充足的应急物资,包括急救箱、担架、灭火器、千斤顶、绳索等,定期检查应急物资的完好性,及时补充、更新,确保应急时能够正常使用。事故处置方面,建立事故快速报告机制,事故发生后,施工人员立即停止作业,及时上报事故情况,严禁迟报、漏报、瞒报。应急组织机构快速启动应急预案,组织人员开展救援工作,优先抢救受伤人员,控制事故扩大,同时保护事故现场,开展事故调查,分析事故原因,明确事故责任,制定整改措施,避免同类事故再次发生。

### 5 未来研究方向

#### 5.1 数字孪生技术在脚手架全生命周期管理中的应用

未来,数字孪生技术将成为船舶坞内脚手架全生命周期管理的重要研究方向,通过数字化手段实现脚手架设计、搭设、使用、拆除全流程的智能化管控。研究重点在于构建脚手架数字孪生模型,整合船体结构数据、脚手架设计参数、作业工况数据、环境数据等,实现物理脚手架与数字模型的实时联动,实时映射脚手架结构状态、受力情况及作业进度<sup>[4]</sup>。利用数字孪生模型开展虚拟仿真分析,在脚手架搭设前模拟不同工况下的结构稳

定性,优化设计方案;搭设过程中,通过实时数据采集,监测构件连接情况、受力变化,及时排查隐患;使用期间,动态模拟荷载变化、环境影响,预判结构风险;拆除阶段,模拟拆除流程,优化拆除方案,避免安全隐患。

#### 5.2 轻量化自稳固脚手架结构研发

轻量化自稳固脚手架结构研发是船舶坞内脚手架未来的另一重要研究方向,核心是解决传统脚手架重量大、搭设繁琐、对船体依附性强等问题,提升脚手架的适配性与便捷性。研究重点在于选用高强度、轻量化新型材料,如碳纤维复合材料、高强度铝合金等,替代传统钢管材料,在保证脚手架强度、刚度及稳定性的前提下,大幅降低脚手架自重,减少人工搭设劳动强度,提升搭设与拆除效率。同时,研发自稳固结构体系,优化脚手架节点设计,采用可自动调节、自锁紧的连接件,增强脚手架自身稳定性,减少对船体结构的依附,降低船体表面损伤风险。另外,结合模块化设计理念,研发可快速拼接、拆卸的标准化构件,适配不同吨位、不同形态船舶的作业需求,实现脚手架的通用性与灵活性。通过轻量化自稳固脚手架结构研发,降低施工成本,提升作业安全性与效率,适配船舶坞修行业高效、绿色、安全的发展需求。

#### 结束语

船舶坞内脚手架搭设与拆除的关键技术及安全管控研究,对保障船舶坞修作业安全、提升效率意义深远。当前研究在多方面取得成果,但未来仍有提升空间。数字孪生技术与轻量化自稳固结构研发等方向,有望推动船舶坞内脚手架管理向智能化、高效化迈进,为船舶坞修行业的高质量发展提供有力支撑。

#### 参考文献

- [1]姜国威.附着式升降脚手架施工安全风险管控分析[J].中国建筑金属结构,2023:178-180.
- [2]张平.船舶建造中装配式脚手架的研究与应用[J].船舶标准化工程师,2025,58(4):94-97.
- [3]张英香,金浩,王吉武,等.基于船用脚手架安全管理现状的思考[J].船舶物资与市场,2025,33(1):91-93.
- [4]张凯.大型船舶船坞阶段合拢的脚手设计研究[J].工程施工与管理,2024,2(7).