

超高压水除锈工艺在船舶修造防腐施工中的应用优化

胡超

上海中远海运重工有限公司, 上海 201913

DOI:10.61369/ERA.2026070003

摘 要 : 船舶修造防腐施工中, 除锈工序直接影响船体涂装质量与结构使用寿命。传统喷砂工艺污染严重、作业隐患多, 已难以适配绿色修船发展要求。本文围绕超高压水除锈工艺的现场应用问题, 从工艺参数调控、环保配套、智能作业及人员管理等方面提出优化措施。通过结合行业数据与施工标准, 有效改善除锈质量波动大、环保性不足等问题, 可为船舶防腐标准化施工提供工程参考。

关 键 词 : 超高压水除锈; 船舶修造; 防腐施工

Optimization of Ultra-high Pressure Water Rust Removal Technology in Anticorrosion Construction of Ship Repair and Shipbuilding

Hu Chao

COSCO Shipping Heavy Industry (Shanghai) Co., Ltd., Shanghai 201913

Abstract : Rust removal procedures determine coating performance and structural service life during anticorrosion construction for ship repair and shipbuilding. Conventional sand blasting leads to severe pollution and abundant operational risks, failing to satisfy development demands for eco-friendly ship repair. Focused on practical obstacles encountered on construction sites when adopting ultra-high pressure water rust removal, this paper puts forward optimized measures covering process parameter regulation, environmental supporting facilities, intelligent operation and personnel administration. Industrial statistics and construction specifications are referenced to mitigate unstable rust removal outcomes and inadequate environmental performance, offering engineering references for standardized anticorrosion construction on ships.

Keywords : ultra-high pressure water rust removal; ship repair and shipbuilding; anticorrosion construction

引言

船舶长期处于海水与盐雾侵蚀环境, 锈蚀问题严重影响船体结构安全与服役年限, 除锈质量是防腐涂装施工的核心前提。当前船舶行业环保管控持续升级, 传统除锈工艺短板日益凸显。超高压水除锈工艺具备环保、高质、适用性强的优势, 但实际施工存在参数不规范、配套体系不完善等问题。基于行业发展趋势, 本文对该工艺开展应用优化研究, 提升船舶防腐施工综合效益。

一、船舶修造防腐施工发展现状与除锈工艺发展趋势

海洋环境下海水与盐雾的交替侵蚀作用, 对船舶船体结构造成持续性破坏, 防腐施工的整体品质直接影响船舶使用寿命。除锈作为涂装施工前的核心预处理工序, 钢材表面处理达标程度, 直接决定涂层附着性能与长期防护能力^[1]。国内船舶修造领域环保管控力度持续加大, 传统干式喷砂除锈作业会产生大量硅工艺落地过程中仍存在尘与固体废弃物料, 不仅危害现场作业人员职业健康, 废渣处理产生的经济成本也逐年增加, 密闭舱室等受限施工场景内的安全施工风险更为突出。绿色修船理念逐步渗透行业各施工环节, 超高压水除锈技术开始广泛应用于船舶修造现场, 参数匹配无统一标准、不同船体构件除锈效果差异明显、废水回

收配套设施不完善等实操难题。行业发展进程对除锈施工提出更高要求, 施工品质、环保价值与作业效率需要实现协同提升, 超高压水除锈技术的工艺优化升级, 能够更好适配不同船型、不同锈蚀程度船体构件的现场施工场景。

二、超高压水除锈工艺在船舶修造防腐施工中的应用优势

超高压水除锈依托 80 ~ 300MPa 高压水流的冲击作用力剥离船体表面锈蚀层, 施工原理与喷砂磨料撞击除锈存在本质区别, 不会改变母材金属原始表面粗糙度, 船体表面处理等级可稳定维持在 Sa2.5 级, 契合 GB/T8923.1《涂装前钢材表面锈蚀等级和除

锈等级》的规范要求。施工全程无硅尘颗粒物产生，密闭舱室作业区域粉尘浓度可控制在 $2\text{mg}/\text{m}^3$ 以内，大幅规避干式喷砂工艺易引发的各类职业疾病。中国船舶工业行业协会2024年修船行业调研数据显示，同等除锈施工面积下，超高压水除锈工艺产生的固体废弃物总量较干式喷砂工艺降低75%，有效控制固废转运与无害化处理产生的费用。高压水流可深入船体加强筋、焊缝夹缝、狭小舱室等复杂结构内部清理锈蚀层与老旧涂层，不存在磨料堆积造成的清理死角。施工过程无需添加各类外来磨料，不会出现船体表面嵌砂问题，从源头规避涂层后期鼓包、脱落等病害，为长效防腐涂装作业提供优质的基材基础^[2]。

三、超高压水除锈工艺在船舶修造防腐施工中的应用与优化路径

（一）优化水压、靶距等工艺参数稳定除锈等级

结合船体构件差异化锈蚀状态，建立分级分类的参数作业标准。中国船舶工业行业协会2025年现场试验数据表明，轻度锈蚀船体外板适配140MPa工作水压、200mm靶距的施工参数，中度锈蚀区域可调整为180MPa水压、150mm靶距，存在厚层旧涂层的重度锈蚀构件，施工参数可提升至220MPa水压、120mm靶距，规避固定参数模式下除锈不彻底或高压水流损伤母材的施工问题。技术人员在施工前对作业区域锈蚀等级开展全面检测，结合船体平板、弧形外板、舱室加强筋、焊缝等不同结构形态划分独立施工单元，匹配差异化的喷头移动速度。

平板区域喷头移动速度设置为0.35m/s，焊缝等结构复杂区域放缓至0.2m/s，保障高压水流对锈蚀界面的持续作用效果。批量施工前设置标准试验样板，除锈作业完成后参照GB/T8923.1规范核验表面处理等级，依据样板检测数据微调施工参数区间，稳定达成Sa2.5级除锈施工标准，减少大面积施工后的返工整改情况^[3]。船体不同区域钢板厚度、结构刚度存在细微差异，长期服役船舶还存在板材疲劳、局部磨损等隐性问题，固定参数施工容易出现局部过清洗或除锈残留的情况。分级参数管控模式能够适配船体构件的个体化工况差异，让高压水流的冲击作用精准作用于锈蚀与涂层老化区域，最大程度保留母材原有结构性能，让除锈施工精度贴合船舶防腐工程的精细化施工要求。

（二）配套废水废渣收集系统完善现场环保管控

针对船坞露天作业、密闭舱室作业两类核心施工场景，搭建分区式废水废渣回收体系。露天船坞施工区域周边布设移动式集水围堰，围堰内部铺设多孔集水垫层，搭配 $120\text{m}^3/\text{h}$ 流量负压抽水泵，实时收集除锈作业产生的混合废水。密闭燃油舱、压载水舱等受限空间，配置小型可折叠集水底盘跟随喷头同步作业，避免污水在舱室底部淤积堆积。收集后的废水统一输送至一体化处理设备，多级滤网完成铁锈渣、旧漆皮等固体杂质的分离作业，固体残渣经脱水处理后转运至合规固废堆场^[4]。水体通过絮凝沉降、油水分离工艺完成净化处理，分离出的油污单独处置，达标净化水体可输送至超高压水主机循环利用，减少市政自来水的取用消耗。修船厂区规划专用废渣临时堆放区域，铺设防渗覆膜阻

隔污染，规避雨水冲刷引发的二次污染问题。

现场管理人员每4小时巡检废水管路及收集设备运行状态，及时清理滤网堆积杂质，保障回收处理系统长期稳定运行。船舶修造施工现场水域环境复杂，露天作业易受风力、潮汐影响造成污水扩散，密闭舱室通风条件较差，污水淤积还会滋生腐蚀介质，对未施工船体结构造成二次腐蚀。成套回收体系的落地运行，可实现除锈施工污染物的全流程管控，贴合港口水域生态保护的管控要求，让超高压水除锈的环保优势充分发挥，解决传统除锈工艺污染治理难度大、管控碎片化的行业痛点。见图1



图1 船舶超高压水除锈废水废渣分区收集处理流程

（三）搭建智能化作业平台提升船体除锈施工效率

依托轨道移动载体搭载高压水除锈执行结构，搭建半自动化智能作业平台。船体外板大面积平整区域可录入船体曲面坐标参数，平台按照预设路径匀速自主作业，减少人工高空悬挂施工的作业频次。设备加装高清实时成像模块与锈蚀识别辅助系统，作业过程持续采集船体表面图像，精准定位残留锈蚀点位并完成标记，辅助作业人员完成补除锈作业。手持式移动除锈设备加装压力传感装置，实时采集的水压数据同步上传至现场控制终端，水压参数偏离预设区间时设备自动触发预警，规避参数异常造成的施工质量缺陷^[5]。

船厂实测数据显示，智能平台与手持设备协同作业模式，较全人工施工模式可缩短18%的单位面积作业时长，降低高空、狭小密闭空间内人员长时间作业产生的疲劳隐患，实现施工效率与现场作业安全的双向提升。传统人工除锈作业质量高度依赖操作人员状态，长时间高强度作业会出现施工节奏紊乱、局部漏除、参数把控偏差等问题，船体曲面、边角过渡区域的除锈均匀性难以统一。智能化作业设备可实现施工全过程的动态监测与精准控制，规整施工轨迹与作业节奏，弱化人为操作带来的质量波动，同时大幅降低高危作业场景的人工投入，适配现代化船舶修造高效、安全、标准化的施工生产模式。

（四）完善作业规范，加强一线操作人员技能建设

施工企业结合船体各类施工工况编制专项作业指导文件，明确不同船体构件适配的工艺参数、设备启停规范、应急处置方案，针对露天外板除锈、密闭舱室除锈、厚旧涂层清除三类场景制定专属操作细则，改变单纯依靠操作人员经验施工的作业模式。构建分层常态化培训体系，新入职操作人员先开展理论知识学习，掌握水压、靶距等参数变化对除锈效果的影响规律，在试验样板区域完成不少于40小时的实操训练，考核合格后方可参与实船施工。

在岗人员每季度开展技能复训，结合现场典型质量缺陷案例

开展技术复盘，梳理参数调控失误、废水收集不规范等各类现场问题。落实师徒协同作业制度，老旧船舶复杂结构除锈作业由资深操作人员带队值守，及时纠正不规范操作行为，稳固现场施工质量，保障各类工艺优化措施有效落地。超高压水除锈设备压力数值跨度较大，不同工况下的参数微调逻辑较为精细，操作人员专业能力参差不齐会直接影响整体施工效果。标准化作业体系与常态化培训机制能够统一现场施工标准，持续更新一线人员的工艺实操能力，帮助操作人员熟练应对老旧船舶锈蚀复杂、新船涂层致密等差异化施工难题，让工艺优化措施可以稳定落地于各类船舶修造施工场景，形成标准化、可复制的现场施工模式^[6]。

四、结语

本文结合船舶修造现场施工工况，完成超高压水除锈工艺的全方位应用优化，通过分级调控工艺参数、搭建废水废渣回收系统、引入智能作业设备、规范人员作业标准，有效解决了传统施工质量波动、污染突出、效率偏低的问题。优化后的工艺可稳定满足船舶除锈施工标准，兼顾施工质量、安全与环保效益，契合行业绿色发展趋势，具备良好的现场推广与工程应用价值。

参考文献

- [1] 崔军, 徐卫华, 任中正. 浮船坞内船底超高压水除锈技术研究与应用 [J]. 中国修船, 2023, 36(5): 34-38.
- [2] 翁海龙. 船舶外板超高压水除锈过程中的末端污水处理关键技术研究 [J]. 中国修船, 2024, 37(3): 9-13.
- [3] 苏宇, 翁海龙, 刘会飞, 等. 污水集成收集及处理装置在外板超高压水除锈中的应用 [J]. 中国修船, 2021, 34(2): 17-19.
- [4] 沈旭斌. 修船作业的超高压水除锈技术分析 [J]. 船舶物资与市场, 2022, 30(3): 64-66.
- [5] 陈远刚, 刘鹤, 陈海江. 一种船舶除锈清洗超高压水机设计及优化 [J]. 广东造船, 2022, 41(4): 60-62+59.
- [6] 周会萍, 王辉, 苟建仁, 等. 超高压水表面清洁含油废水处理技术优化研究 [J]. 粘接, 2025, 52(11): 179-182.