ICS 47.020
CCS U00/09

团 体 标 准

T/CSNAME 264—2026

浮船坞超高压水除锈系统设计要求

Design requirements for ultra-high-pressure water rust-removal system of floating dock

2026－11－06 发布　　2027－02－06 实施

中国造船工程学会　　发 布

目　　次

前　　言 II
1 范围 3
2 规范性引用文件 3
3 术语和定义 3
4 设计原则 4
4.1 本质安全 4
4.2 系统匹配 4
4.3 环境友好 4
4.4 人机工程 4
4.5 维保便利 4
5 设计依据 4
6 设计内容 5
6.1 系统组成与工作原理 5
6.2 供水预处理单元 5
6.3 清水箱（或浮船坞上的清水储存舱） 6
6.4 超高压泵组单元 6
6.5 超高压管路 7
6.6 除锈作业单元 7
6.7 回收与环保单元 8
6.8 控制与安全系统 8
7 设计验证 9
7.1 验证项目 9
7.2 验证要求 9

前　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则　第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国造船工程学会船舶标准化专业委员会提出。

本文件由中国造船工程学会归口。

本文件起草单位：广东中远海运重工有限公司、上海中远海运环境科技股份有限公司、威海中远海运重工科技有限公司、南通中远克莱芬船舶工程有限公司。

本文件主要起草人：杨茂、任丽、庄瑞民、李娟、何桥宝、王海、刘向文、敖武平、刘习贤、岑鉴、赵勇平、刘佩秀、戴长生、赖访明、李伟京、胡勇、江南阳、江志海、赖军郁、张宇中、寇英卫、龚帆、李升杰、于坤坤、陈真、姚必明。

浮船坞超高压水除锈系统设计要求

1 范围

本文件规定了浮船坞超高压水除锈系统的设计原则、设计依据、设计内容以及设计验证等要求。

本文件适用于浮船坞配套超高压水（工作压力不低于 200 MPa）除锈系统的设计。干船坞、修造船平台同类超高压水除锈系统可参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 8501—2010 涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级

GB/T 8923.4—2013涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定-第4部分：与高压水喷射处理有关的初始表面状态、处理等级和闪锈等级

GB/T 43142—2023 超高压水射流船舶除锈成套装备

GB 50058 爆炸危险环境电力装置设计规范

中国船级社,钢质海船入级规范，2026

中国船级社，船舶废气清洗系统试验和检验指南，2025

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

超高压水除锈 ultra-high pressure water blasting rust removal

使用压力大于200 MPa的高压水射流剥离金属表面氧化皮、旧涂层及锈蚀物的工艺。

3.2

原水 raw water

进入浮船坞超高压水除锈系统供水单元的水源水。

3.3

坞次 docking cycle

船舶进入浮船坞就位，完成除锈等坞内作业至完工出坞的整个历时。

3.4

平面密封 face Seal

管路接头处，通过两个平整端面压紧接触实现密封的密封形式。

3.5

卡槽密封 grooved seal

管路接头端面开设环形卡槽，密封件嵌入卡槽限位，依靠压紧形变阻断介质泄漏的密封形式。

3.6

卡套密封 ferrule seal

利用卡套受挤压切入管壁，配合端面压紧实现密封的管路连接密封形式。

4 设计原则

4.1 本质安全

应采用冗余设计、联锁保护与物理隔离等措施，降低高压射流、电气及机械伤害风险，保障系统运行安全。

4.2 系统匹配

泵组、管线、喷枪、回收等各子系统性能参数应相互匹配，保证系统整体效能稳定。

4.3 环境友好

废水、废渣的产生、回收、处理及排放或回用全过程应受控，满足环保相关法规要求。

4.4 人机工程

设备布局与操作界面应优化设计，减轻作业强度，提升作业效率与操作舒适性。

4.5 维保便利

设备布置与结构设计应便于日常检查、定期保养及故障维修，预留足够操作与维护空间。

5 设计依据

根据本系统的产品特点，设计应满足下列具体约束条件：

a) 产品用途：用于浮船坞配套超高压水除锈作业，即利用压力不低于 200 MPa 的高压水射流剥离船舶外板、坞体钢结构表面的氧化皮、旧涂层及锈蚀物。适用于浮船坞配套超高压水除锈系统的设计，干船坞、修造船平台同类超高压水除锈系统可参照使用。

b) 功能要求：系统应具备原水预处理、超高压增压、射流除锈作业、废水废渣回收、集中控制与安全联锁等功能，并应由供水预处理单元、超高压泵组单元、除锈作业单元、回收与环保单元、控制与安全系统构成。

c) 性能要求：系统输出压力应为 200 MPa～280 MPa；供水预处理出水过滤精度应逐级不低于 80 目（孔径约 180 μm）、25 μm 和 5 μm；原水硬度大于 150 mg/kg（以 CaCO3 计）时应经软化处理；清水箱（或浮船坞上的清水储存舱）有效容积应满足不少于一个坞次除锈设备连续作业的供水要求；泵组入口压力应稳定在 0.3 MPa～0.5 MPa，入口缓冲水箱有效容积不小于泵组最大分钟流量的 3 倍；真空回收系统吸入口真空度（表压）应不低于-60 kPa；触发紧急停机后高压泵应在 2 s 内卸压至 10 MPa 以下。除锈质量应按 GB/T 8501—2010 和 GB/T 8923.4—2013 评定，成套装备应符合 GB/T 43142—2023 的规定。

d) 外形尺寸要求：设备外形尺寸、管路走向以及喷枪、爬壁除锈机器人、软管卷盘、龙门吊等作业装置的占用空间，应在浮船坞总体（或系统）设计给定的设备舱、坞墙、坞底位置和坞内船舶进出坞净空界限以内，并满足结构预留安装空间的要求。

6 设计内容

6.1 系统组成与工作原理

本浮船坞超高压水除锈系统由供水预处理单元、超高压泵组单元、除锈执行单元、废水收集单元、自动化控制单元五大单元组成。系统组成见图1示意。



图1 系统组成图

工作原理为原水先经过滤、软化等预处理，去除杂质与有害金属离子，供给超高压泵组单元增压至200 MPa～280 MPa；高压水通过高压管路输送至手持喷枪/爬壁除锈机器人等除锈作业设备，形成高速水射流冲击船体钢板表面，剥离锈蚀、旧涂层；除锈产生的含锈渣、漆渣废水，由真空回收装置或等效设备收集，将废水送入配套浮船坞除锈废水收集舱或浮船坞污水舱；系统配套 PLC 集中控制、压力监测、急停卸压、防爆联锁，实现全过程安全可控。系统工作原理见图2示意。

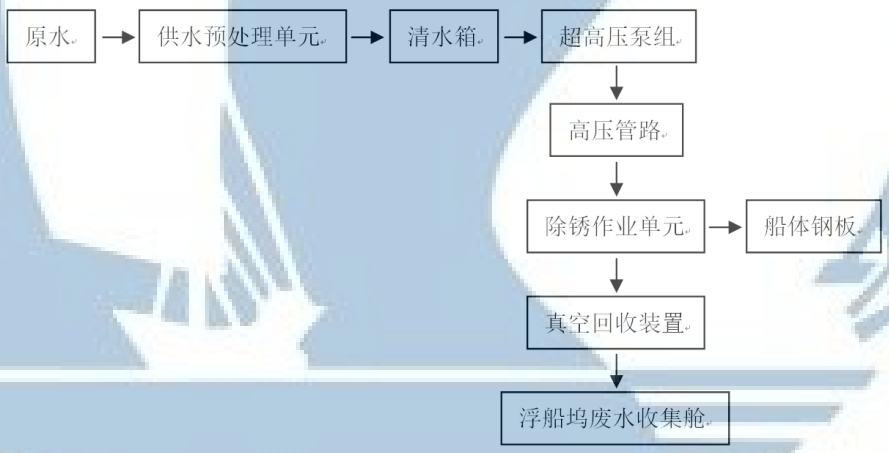


图2 系统工作原理图

6.2 供水预处理单元

6.2.1 过滤系统

常采用三级过滤，推荐性能如下：

a) 一级为 Y 型不锈钢滤网，80 目（孔径约 180 μm），滤除较大颗粒；

b) 二级为袋式或芯式过滤器，25 μm，滤除细沙；

c) 三级（关键）在高压泵入口前安装聚丙烯（PP）熔喷滤芯，精度不大于 5 μm，这是保护高压柱塞和密封的重要防线；
d) 所有过滤器应配备压差计，压差超过 0.15 MPa 时发出报警。

6.2.2 水质处理

供水预处理单元应具备过滤、软化功能，可有效去除原水中固体杂质、钙镁离子等有害金属离子；出水水质应满足超高压泵组进水防护要求，防止泵体、密封件、高压管路结垢磨损；管路设计中应设置排污、旁路检修接口，便于维护清洗；配置水质监测取样口，可定期检测出水硬度、悬浮物。当水源硬度大于150 mg/kg（以$CaCO_3$计）时，应安装全自动软水器，将硬度降低至满足超高压泵组进水要求，以减少水垢，延长泵阀寿命。

6.3 清水箱（或浮船坞上的清水储存舱）

6.3.1 有效容积

清水箱（或浮船坞上的清水储存舱）用于储存合格的作业清水，清水箱应满足不少于船坞一个坞次除锈设备连续作业流量的供水要求。

6.3.2 箱体材质

箱体材质材质应耐腐蚀、抗锈蚀，优先选用与接触的船坞主体结构同等碳钢，具备足够强度、刚度，能承受浮船坞工况下的静水压力、波浪载荷、坞体变形冲击。箱内设置防腐涂层，材料与防腐涂层不得析出有害物质，不污染预处理进水，满足除锈用水水质要求。

6.3.3 箱体附件

箱体应设置液位监测及报警、溢流、放空排污接口。箱内应设置防涡流装置，避免泵组吸入空气。箱体应配套密封盖板，防止杂物落入。

6.4 超高压泵组单元

6.4.1 泵型选择

泵型选择应满足以下要求：
a) 泵组设计输出压力范围应在 200 MPa～280 MPa 范围，以满足除锈设备的工作压力需求
b) 优先采用往复式柱塞泵。
c) 推荐采用三缸或五缸单作用柱塞泵，以保证流量和压力的稳定性。

6.4.2 关键部件规格

关键部位的规格应满足以下要求：
a) 柱塞材质优先采用双相不锈钢或同类别合金钢，表面硬度 HRC≥60；
b) 高压动密封应采用多层组合式密封（如 V 型、U 型组合），设计使用寿命不低于 1000 小时；
c) 进排液阀可采用蘑菇形或锥形阀，阀芯阀座材质为硬质合金（如碳化钨），设计使用寿命不低于 2000 小时。

6.4.3 泵组配置

泵组的配置应满足以下要求：

a) 对于大型浮船坞（举力大于 30000 吨），由于除锈作业用水较大，启用高压泵组较频繁，泵组配置方案应采用至少一台泵组作为备用，以增加系统的使用冗余，确保浮船坞连续除锈作业；
b) 每台泵应独立配置入口低压过滤器、脉动阻尼器、安全阀及压力传感器。
c) 泵组应配套减震基座，降低振动传递；配置压力传感器、流量传感器，实时采集运行参数。
d) 泵组配置应具备过载保护，超压、欠压时触发报警及联锁动作。

6.4.4 系统处理能力计算原则

系统处理能力的计算原则应满足：

a) 整个系统的原水设计最低供应能力应匹配超高压泵组连续作业流量，满足不少于船坞一个坞次超高压水除锈作业的持续供水量。
b) 水源应为市政自来水或经过处理的淡水，供水管径需保证泵组入口压力稳定在 0.3-0.5 MPa；
c) 泵组入口前应设置缓冲水箱，有效容积不小于泵组最大分钟流量的 3 倍。

6.5 超高压管路

超高压管线的设计应满足以下要求：

a) 软管优先使用多层高强度钢丝缠绕软管，其额定工作压力（WP）必须不小于系统最高工作压力，最小爆破压力（BP）至少为额定工作压力的 2.5 倍，船舶坞修（手持喷枪，高脉动、人身风险大）推荐不小于 3 倍；
b) 泵出口、固定管路段的硬管与接头应使用锻造的三通、弯头及管材，所有高压接头应为平面密封、卡槽密封或者卡套密封，严禁使用锥螺纹或者平管螺纹；
c) 管线布局应使主管路（设备舱至坞墙/坞底接口）沿坞体结构敷设于专用管槽内，并最大距离不超过每隔 3 米设置管夹固定；甲板作业区的软管应通过卷盘或桁架式龙门吊进行收放与管理，避免随地拖拉。

6.6 除锈作业单元

本单元为浮船坞超高压水射流除锈系统核心作业单元，主要包含喷枪与喷头、爬壁除锈机器人等设备，实现船体、坞体钢结构表面氧化皮、锈蚀层及旧涂层的清除作业，各项设备及部件应满足下述规定。

6.6.1 喷枪与喷头

6.6.1.1 喷枪类型

喷枪类型应满足以下要求：

a) 手持式喷枪，用于复杂边角、小面积区域。必须配备双手联动开关和防反弹护罩。操作者必须穿戴全套防护装备；
b) 遥控自走式喷枪（机器人），用于大面积坞墙、坞底板。应具备无线遥控、爬行吸附（负压或磁力）、喷头自动摆动（摆动角度 0-120°可调，频率 10-30 Hz）、水雾防护罩集成等功能。

6.6.1.2 喷嘴选型

喷嘴选型应满足以下要求：

a) 根据除锈等级确定工作压力；局部焊缝、边角修补采用单孔直流喷嘴，大面积钢板除锈选用旋转喷头，不推荐扇形喷嘴用于氧化皮清除。
b) 主流为旋转喷头或扇形喷头。旋转喷头除锈效率更高，扇形喷头对基体损伤更小；
c) 含泥沙水源优先选用红宝石喷嘴，洁净水可优先选用陶瓷喷嘴；
d) 结合往复泵额定流量匹配标准喷嘴孔径，孔径过大压力不足、除锈效果差，孔径过小易憋压，造成安全阀起跳及设备过载。
e) 选定喷嘴后需校核管路承压与电机功率，并现场试喷调整；喷嘴属于易损件，使用中应定期检查更换。

6.6.2 爬壁除锈机器人

设备结构满足船体立面、曲面除锈作业需求；机器人配套安全自锁装置，失压时自动切断射流；作业区域设置安全防护围挡，防止高压水飞溅伤人。

6.7 回收与环保单元

6.7.1 真空回收系统

核心设备应选用工业级液环真空泵或罗茨真空机组；普通离心式真空风机不宜用于含大量水雾水气混合介质工况。回收管吸入口处设计真空度（表压）应不低于-60 kPa，设备选型应考虑回收管网的沿程阻力损失。

6.7.2 回收系统的环保处理

回收系统的环保处理应满足以下要求：

a) 真空回收系统抽吸来的废水、漆渣、铁锈，在设计流程上可设置先进入真空缓冲分离罐，利用重力沉降，大颗粒锈渣、漆渣在罐底沉淀，定期排渣；上部含细悬浮物废水溢流至坞内废水收集舱。配套滤网拦截大块漆皮，防止堵塞真空管路、真空泵。
b) 整套真空管路及收集舱应杜绝废水漫流或滴漏到作业区域外，防止含重金属漆渣废水直接入海。这是系统设计要求中的重要环保管控点。
c) 废水收集舱内的设计要求应包含设置滤器过滤和隔板沉淀，进一步分离细铁锈、漆渣。舱底污泥（危险废物，含油漆重金属）定期清淤。如需封装外运处理，应交由有资质危废单位处置，严禁直接抛海。

6.8 控制与安全系统

6.8.1 中央控制台

中央控制台应满足以下要求：

a) 位于设备舱或独立控制室，应能实时显示：各泵出口压力/温度、电机电流/电压、水箱液位、过滤器压差、真空泵负压、废水池液位等；
b) 具备压力预设与闭环控制功能，可根据不同除锈区域（平钢板、焊缝、旧涂层）一键切换压力参数（如 280 MPa、220 MPa、180 MPa）；
c) 设置数据存储功能，存储时间应满足生产运营的需求。一般需至少满足 6 个坞次作业或不少于 30 天的运营数据存储。

6.8.2 安全联锁设计

安全联锁设计应满足以下要求：

a) 门禁联锁的设置应保障在设备舱门、高压作业区防护栏门未关闭时泵组无法启动；
b) 顺序启停联锁的启动顺序必须是先供水泵，后高压泵，停机顺序相反；
c) 紧急停机（ESD）系统要求，应除控制台主 ESD 按钮外，沿坞墙每隔 15 m、每个作业机器人上、手持喷枪上均需设置拉绳开关或急停按钮。触发 ESD 后，高压泵应在 2 s 内卸压至 10 MPa 以下。

6.8.3 高压区域防护

高压区域防护应满足以下要求：

a) 所有高压管路及设备（除手持喷枪作业点外）必须安装于金属防护罩或防护区域内，并张贴“超高压危险”警示标识。
b) 遥控机器人作业时，系统自动启动声光报警（“高压作业，请勿靠近”），并在作业区域周边形成物理隔离区。
c) 高压区域防护设计要求。设计核心原则是“物理隔离、强制警示、本质安全”。在高压作业区域，应设置物理隔离+声光报警+人员禁入的安全措施。在设计上应完善防爆设计+防误触的应对。同时在高压管线与设备防护设计上，完善防止因管线爆裂、接头脱落产生的伤害。

6.8.4 紧急停机（ESD）系统

紧急停机（ESD）系统应满足以下要求：

a) 触发方式支持手动按钮、拉绳开关、遥控急停、控制台指令等多种方式；
b) 从触发信号发出到高压泵卸压至安全压力（10 MPa 以下）的响应时间少于 2 s；
c) 触发后，系统应锁定，须经现场检查确认安全后手动复位；
d) 触发时自动启动声光报警，显示触发位置；
e) 具有记录功能，自动记录触发时间、位置、压力变化曲线以便事后分析。

7 设计验证

7.1 验证项目

设计验证分为单元部件验证、单机性能验证、系统集成验证，主要验证项目如下：

a) 原水预处理单元处理能力及出水水质验证；
b) 超高压泵组输出压力、流量及运行稳定性验证；
c) 高压管路及平面密封、卡槽密封、卡套密封等接头耐压性能与密封可靠性验证；
d) 除锈作业终端（手持喷枪、爬壁除锈机器人）射流特性、作业适配性能验证；
e) 真空废水收集系统集水能力、渣水捕集效率验证；
f) PLC 集中控制系统、压力监测、紧急卸压、安全联锁及防爆保护功能验证；
g) 清水储存舱、废水收集舱结构强度、刚度及防腐防护性能验证；
h) 系统空载、额定负载连续运行工况验证。

7.2 验证要求

7.2.1 单元部件验证

承压构件、密封元件、储水舱舱体应按设计规定的试验压力进行水压试验，试验期间无渗漏、无可见塑性变形；材料及防腐体系应符合设计文件和相关船舶规范要求，材质证明、涂层检测文件齐全。

7.2.2 单机性能验证

超高压泵组在额定工况下，输出压力稳定控制在 200 MPa～280 MPa，流量满足设计指标；设备温升、振动、噪声应符合技术协议规定限值；预处理单元出水水质应满足超高压泵组进水控制要求，防止高压部件发生磨蚀、气蚀。

7.2.3 系统集成验证

系统依次开展空载、额定负载连续运行试验，高压管路及各密封节点无渗漏；真空收集系统可稳定捕集除锈产生的含锈渣、漆渣废水，无废水外溢；控制系统压力采集、反馈精度满足设计要求，紧急停机、自动卸压、安全联锁、防爆保护动作响应及时、逻辑正确。

7.2.4 浮船坞工况适配验证

应模拟浮船坞浮动、坞体变形、小幅摇摆等作业工况开展验证；除锈射流满足钢材表面处理工艺要求，废水收集系统工况适应性良好，安全保护装置无误触发、拒动现象。

7.2.5 结果判定

所有单机性能验证项目的结果判定应按 GB/T 43142—2023。超高压水除锈系统对船舶钢板处理效果的结果判定应按 GB/T 8923.4—2013。若出现不合格项，应完成整改后重新验证。

验证全过程应留存可追溯的试验记录、检测数据、影像资料，编制设计验证报告。