ICS 03.220.40
CCS R 30

团　　体　　标　　准

T/CIN 095—2025

船体水下清洗机器人操作技术要求

Operational technical requirements for hull underwater cleaning robots

2025-12-10 发布　　2026-03-10 实施

中国航海学会　　发 布

目　　次

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。

本文件由中国航海学会提出并归口。

本文件起草单位：苏州世航智能科技有限公司、交通运输部水运科学研究院、招商局能源运输股份有限公司、中远海运散货运输有限公司、山东省港口集团有限公司、华洋海事中心有限公司、国能（天津）港务有限责任公司、福建省海运集团有限责任公司、哈尔滨工程大学。

本文件主要起草人：陈晓博、陈新川、刘春庭、王俊文、陈云赛、杨斌、孙肃徽、梁树琦、董斌、曹颖、冯翠芝、李立谦、朱玮玮、顾群、张钊。

船体水下清洗机器人操作技术要求

1 范围

本文件规定了船体水下清洗机器人作业的一般要求、设备要求、人员要求、操作要求和其他要求。

本文件适用于集装箱、客滚、邮轮、客运和散货运输船舶等采用水下清洗机器人进行的船体水下清洗作业。

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 2811 头部防护 安全帽

GB 21148 足部防护 安全鞋

GB/T 36666—2018 船舶水下清洗指南

GB 39800.1 个体防护装备配备规范 第1部分：总则

3 术语和定义

GB/T 36666—2018界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

船体水下清洗机器人 hull underwater cleaning robot

对船舶吃水线以下船体表面及附属装置进行清洗的遥控式水下机器人。

3.2

清洗效率 cleaning efficiency

单位时间内船体水下清洗机器人（3.1）能够清洗的船体面积。

注：通常以平方米每小时（m^2/h）表示。

4 一般要求

4.1 使用船体水下清洗机器人（以下简称“机器人”）进行水下清洗工作应取得海事与港口作业许可。

4.2 不应在易燃、易爆、固体污染等危险品的区域使用机器人进行水下清洗作业。

4.3 当船舶出现以下情况之一时，宜考虑进行水下清洗：

a) 传动轴每分钟的轴转速保持正常，船舶航行速度降低超过1kn；
b) 在以最佳的推进和辅机效率保持额定的轴转速情况下，燃油的消耗量增加超过5%；
c) 在保持额定的船舶航行速度下，每分钟螺旋桨轴转速增幅超过5%；
d) 水下目视检测发现海生物覆盖面积及厚度符合GB/T 36666—2018中表7的指标。

4.4 机器人水下清洗环境包括如下要求：

a) 水流速度应不大于3kn；
b) 作业水域的浪高应不大于1.25m；
c) 水质能见度宜大于0.2m；
d) 水温宜在0℃～40℃之间；

e）作业深度不应大于50m；
f）船底作业时，确保船底至水底的距离应不小于3m；
g）船舷离开码头的距离应不小于2m；
h）无水下爆破、污染、障碍物、高压水射流、电击以及其他危及机器人安全的因素（如被清洗船舶推进器未锁定、加油或压载等）。

4.5 机器人应按使用说明书进行存放、运输、组装、调试、使用、拆卸和保养。

4.6 水下清洗工作分作业前准备、清洗作业、作业后环节，流程参见附录 A。

4.7 实施方应确保委托方、港口企业的通讯畅通，保证机器人水下清洗期间出现异常时可以快速联动，及时处理。

4.8 实施方人员在工作过程中应穿戴荧光救生衣、安全帽和相关的劳动防护用品，并满足 GB 39800.1、GB 2811 和 GB 21148 的相关要求。

4.9 需要工作船配合作业时，工作船应配备起重设备、船岸通讯设备和应急供电系统。

5 设备要求

5.1 设备组成

机器人由机身结构、动力系统、作业属具、辅助设备、控制系统、监控系统、通信系统和配件组成，配置要求参见附录 B。

5.2 功能和规格

5.2.1 机器人应具备以下功能：

a）按照预定路线进行船体表面行走，支持自主避障；
b）在大曲率船面、复杂钢结构等场景下稳定贴合；
c）根据船体表面污染程度，自动调整清洗策略，对船体污染生物执行清洗操作；
d）实时采集清洗过程中的相关数据，如机器人水下状态、所在位置、清洗压力、水质参数、清洗效果等；
e）对机器人自身进行故障诊断和报警；
f）供电断电后可自主上浮至水面。

5.2.2 机器人主要技术指标满足以下要求：

a）清洗效率应符合表1要求；
b）应识别并清除直径不小于5mm的污染生物；
c）清洗厚度应不大于10cm的污染生物；
d）水下通讯距离应不小于200m；
e）应支持1min内完成贴壁；
f）应具备高清图像增强功能：水下拍摄图片像素不低于1920×1080DPI分辨率；水下录制视频不低于1920×1080DPI分辨率，60Hz；
g）应具备数据采集功能，满足 GB/T 36666 的相关要求，并支持一次清洗作业采集数据的完整存储。

表 1 清洗效率参数

船体长度/m	清洗效率/（m^2/h）
≤100	≥800
>100	≥1500

5.2.3 机器人清洗范围应包括：

a) 船体表面；
b) 未涂涂料表面（不包括螺旋桨和舵）；
c) 阴极保护系统、锌块、外加电流阴极保护；
d) 海底门及其他排水口；
e) 明显的受损部位。

6 人员要求

6.1 实施方应由具备相应资质和经验的人员组成，至少包括项目组长、机器人操作员、安全监督员和技术支持人员等，责任分工如下：

a) 项目组长负责组织制定清洗作业计划，协调各方资源，确保清洗作业顺利进行，监督检查清洗作业质量和安全情况；
b) 机器人操作员负责机器人的操作和监控,清洗数据的记录和整理,机器人的日常维护保养；
c) 安全监督员负责对作业前人员及设施进行检查,监督检查作业现场的安全状况,督促作业人员严格执行安全操作,处理作业过程中发生的突发事件；
d) 技术支持人员负责机器人的安装、调试和维护保养,机器人的故障诊断和排除,为操作人员提供技术指导。

6.2 实施方人员应经过船体水下清洗机器人操作专业培训，持证上岗。

6.3 项目组长应具备 3 年以上机器人水下清洗作业经验。

6.4 机器人操作专业培训应至少包括以下内容：

a) 机器人设备结构、工作原理、操作程序、操作方法的相关知识；
b) 机器人检查、测试、维护和保养等相关知识；
c) 机器人水下清洗安全操作、风险防控、应急处置等相关知识；
d) 船舶结构和工作原理的相关知识。

7 操作要求

7.1 作业前准备

7.1.1 实施方应编制清洗实施方案（以下简称“实施方案”），明确作业流程、安全措施和应急预案等,并报委托方批准后方可实施。

7.1.2 实施方案应包括以下内容：

a) 船舶情况，包括船名、IMO 编号、船型、船长、船宽、吃水、货物类型等；
b) 作业计划，包括作业时间、作业区域、船舶停靠方式、机器人及相关设备配置、人员安排、工作船、作业车和码头作业场地使用等；
c) 检测方案，包括检测起止时间、船体检测区域、检测路径、机器人及相关设备配置、检测要求、安全措施和应急预案等；
d) 清洗方案，包括清洗起止时间、船体清洗区域、清洗策略、清洗路径、机器人及相关设备配置、清洗要求、清洗效果图像采集策略、安全措施和应急预案等。

7.1.3 实施方应设置作业区域，将岸上作业区域清理干净，并设置隔离设施、悬挂施工安全警示标志，宜利用视频监控摄像头对岸上作业区域进行监控。

7.1.4 实施方应合理布放设备并完成设备连接，对机器人及清洗工具等进行功能测试，通过测试后方可使用。

a) 委托方应将下列事项通知实施方，并在任何变更操作前立即再次告知：

b）装/排压载水操作，包括开始时间、位置（左舷/右舷）、设备配置情况等；
c）驳船预计靠离泊时间。

7.2 清洗作业

7.2.1 实施方应对作业区域、作业水深、流速、天气状态等作业环境信息进行确认。

7.2.2 实施方应确保机器人清洗工作区域没有障碍物（包括漂浮物、水草、礁石等）。

7.2.3 实施方应按实施方案协调被洗船舶、工作船和机器人到达指定位置。

7.2.4 实施方清洗作业应遵循如下流程：

a）开启机器人电源，设置机器人检测工作参数；
b）协调吊装设备将机器人放入水中；
c）以人工方式遥控机器人行至检测路径规划起始点，并校准航向和位置信息，按照设定路径启动机器人执行检测任务；
d）检测作业过程中，时刻监视机器人设备状态、作业执行情况和船体水下监控影像等；
e）检测作业结束后，应记录污染物类型、厚度、等级、附着率等，并与委托方签订《清洗作业确认单》，确认单应包括船体结构、预计清洗位置、预计清洗面积等，确认单样式参见附录 C；
f）根据《清洗作业确认单》设置机器人清洗工作参数；
g）按照清洗作业确认单，以人工方式遥控机器人行至清洗路径规划起始点，并校准航向和位置信息，按照设定路径操纵机器人执行清洗任务；
h）清洗作业过程中，实施方根据机器人设备状态、作业执行情况和船体水下监控影像等及时调整机器人清洗工作参数，并按需进行重复清洗；
i）清洗完成后，遥控机器人到指定吊装位置，关闭机器人电源，协调吊装设备回收机器人。

7.2.5 作业过程中，应确保被清洗船舶：

a）悬挂作业旗；
b）拆除舵系、艏/艉推保险；
c）船舶控制室、主机控制面板旁、启动空气阀及舷梯旁放置“机器人工作中”标志；
d）外加电流阴极保护系统断开；
e）所有吸水口和排水口关闭；
f）处于完车状态。

7.3 作业后

7.3.1 作业后应对清洗效果进行检查，并满足以下要求：

a）清洗不应造成船体表面部位的涂料损伤；
b）清洗后的船体每平方米范围内污染生物面积不超过 5%；
c）所有涂有高铜配方涂料的船舶表面，清洗后应无污染生物。

7.3.2 实施方应编制清洗作业报告（以下简称“作业报告”）报送委托方确认。作业报告应包括清洗内容、作业方式、清洗后船体状况以及相关影像资料等。

7.3.3 委托方参考作业报告进行检查验收，并签订《作业完工单》。《作业完工单》样式参见附录 D。

7.3.4 实施方应及时清理作业区域、盘卷相关线缆、拆除隔离设施、回收施工标识。

7.3.5 实施方应按照机器人使用、维护要求，对机器人及相关辅助设备进行清理、盘点、外观检查、功能测试、收纳和储存。

7.3.6 实施方应对全部文件进行归档，并完成移交。

8 其他要求

8.1 实施方操作机器人应符合港口安全生产相关要求。

8.2 实施方应避免疲劳作业，宜采用间歇或轮班模式开展清洗作业。

8.3 作业前，实施方应针对落水、机械伤害、触电等风险制定处置措施。

8.4 作业前，实施方宜配备备用机器人及应急打捞设备。

8.5 作业过程中，机器人发生损坏（如动力故障、部件脱落等），应立即停止作业并回收机器人，宜启用备用机器人接替作业。机器人回收后，应及时检查损坏原因，同时做好记录。

8.6 吊装机器人操作应注意：

a) 机器人与吊装设备固定牢固；
b) 人员不应处于吊臂下方和机器人行进方向，远离吊臂回转区域，严禁手扶机器人减速；
c) 吊装设备由专业人员操控，实施方安全监督员时刻监视现场情况，及时发现、制止和处置安全风险和事件。

8.7 机器人使用中，实施方应防止线缆及线缆与设备间的绞缠，防止线缆与人员的绞缠等。

8.8 岸上或工作船应为机器人配备应急电源，异常断电后可供机器人上浮至安全地点。

附 录 A
（资料性）
船体水下机器人清洗工作流程框架

船体水下机器人清洗工作流程框架见图 A.1。

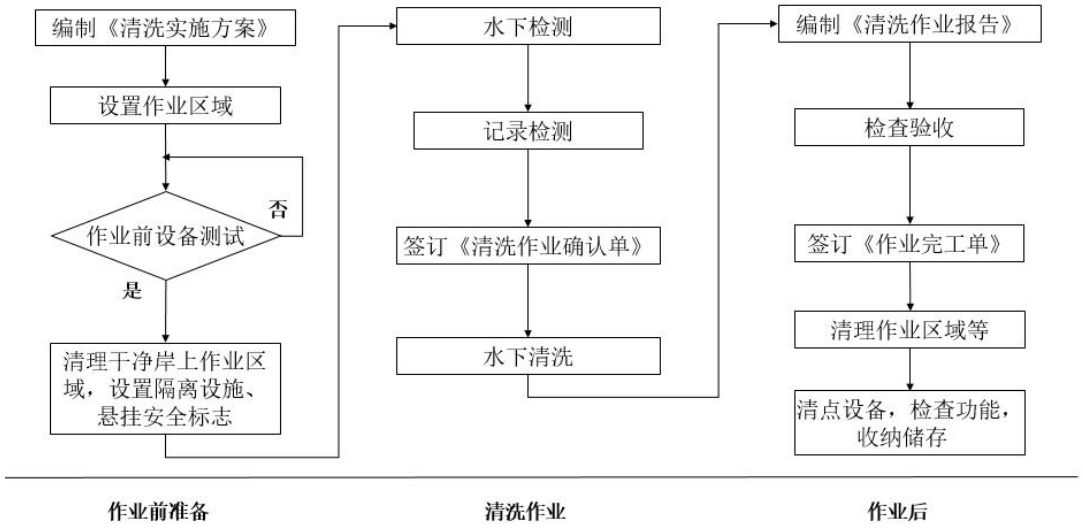

图 A.1 清洗工作流程

附 录 B
（资料性）
机器人基本组成配置

机器人基本组成配置见表 B.1。

表 B.1 机器人基本组成配置

序号	组件	装置/材料	功能
1	机身结构	外壳	采用耐腐蚀的材料，具备防水、防压、防侵蚀能力，用于保护内部组件
		框架	采用轻便坚固材料，用于承载各类组件、设备、配件
2	动力系统	推进装置	支持多电机驱动，为机器人移动提供推力
		供电装置	使用岸电、发电机或者通过母船供电，提供机器人所需能量
3	作业属具	清洗属具	配备喷射装置或刮擦装置，用于水洗清洗作业
		检测属具	配备检测装置，用于检测水下作业环境
4	辅助设备	运动控制装置	支持姿态控制、自主导航等，用于维持机器人在水下运动稳定和定位导航
		安全装置	支持浮力调节、故障检测、报警组件等，用于保障机器人安全运行
5	控制系统	主控装置	支持机器人传感数据处理、推进器控制和其他操作命令执行
		遥控装置	支持机器人操控、指令下达、视频回传
6	监控系统	视频监控装置	配备高清或超高清摄像头，用于实时监控和图像采集
		照明装置	配备强光LED光源，确保在水下环境下能够采集到清晰的图像
		传感装置	配备深度传感器、温度传感器、压力传感器、声呐传感器等，用于水下环境监测
7	通讯系统	通讯装置	配备内置通讯设备，支持无线或有线方式的数据传输
8	配件	工具接口	配备安装额外工具的接口
		附件	包括线缆、固定装置等

附 录 C
（资料性）
清洗作业确认单

《清洗作业确认单》样式见表C.1。

表C.1 清洗作业确认单

<table>
<tr><td>Confirmation Form NO.
（确认单编号）</td><td colspan="2"></td><td>Hull Cleaning Operation Info（清洗作业信息）</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>Working Boat
（工作船）</td><td colspan="2"></td><td>Operation Vehicle
（作业车）</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">Target Ship Name（Chn/En)
作业目标船船名（中/英）</td><td></td><td colspan="4">Length（船长）： m
Width（船宽）： m Depth（型深）： m</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">Full Draft（满载吃水)： m</td></tr>
<tr><td colspan="6">Date of Construction（建造年月）：
Last Docking Date（上次上坞日期）：</td></tr>
<tr><td colspan="6">Company/Agent of Target Ship（目标船所属公司/代理）：</td></tr>
<tr><td>Operation Area
（作业区域）</td><td colspan="5">Anchorage/Wharf（锚地/码头）：</td></tr>
<tr><td colspan="6">Arrival Time of Target Ship in Operation Area（目标船抵达作业区域时间）：</td></tr>
<tr><td colspan="6">Expected Stay Time of Target Ship（预计停留时长）： hrs</td></tr>
<tr><td colspan="6">Estimated Operation Start Time（预计作业开始时间 ）：
Estimated Operation Duration（预计作业时长)： hrs</td></tr>
<tr><td>Pollution Type
（污染物类型）</td><td></td><td>Thickness
（厚度）</td><td></td><td>Grade
（等级）</td><td></td></tr>
<tr><td>Fouling Coverage Ratio
（附着率）</td><td colspan="5">%</td></tr>
<tr><td colspan="6">Estimated Cleaning Location（预计清洗位置）：</td></tr>
<tr><td colspan="6">Estimated Cleaning Area（预计清洗面积）： m^2</td></tr>
<tr><td colspan="2">Tel No. of Working Boat Team Leader
（项目班组长电话）</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td colspan="2">Tel No. of Target Ship Captain
（作业目标船船长电话）</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td colspan="2">Remarks
（备注）</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td colspan="2">Confirmed by the Principal （signature and seal)
委托方确认（签字、盖章）</td><td colspan="4"></td></tr>
</table>

附 录 D
（资料性）
作业完工单

作业完工单样式见表 D.1。

表D.1 作业完工单

Principal（委托方）			
Target Ship Name （作业目标船船名）		IMO. （IMO 号）	
Implementing Party （实施方）		Confirmation Form NO. （确认单编号）	
Hull Cleaning Operation Info （清洗作业信息）		Operation Area （作业区域）	
Operation Date （作业日期)		Number of Workers （作业人数)	
Quantity and Specifications of Operation Equipment （作业设备数量及规格）			
Completed Items （完成内容）			
At the principal’s request, we arranged for an underwater cleaning robot to perform the following services for the target vessel; please confirm: （在委托方委托下，安排水下清洗机器人为目标船舶提供了如下服务，请予以确认：）			
1、Commencement Time of Personnel and Equipment On-Site Operations（人员及设备入场作业时间）： _____YYYY（年）____MM（月）____DD（日）_____HH（时）； 2、Completion and Demobilization Time of Personnel and Equipment（人员及设备作业完毕离场时间）： _____YYYY（年）____MM（月）____DD（日）_____HH（时）； 3、Mobilization of Personnel and Equipment（人员设备调遣）：____Times（次）； 4、Operation Permit Processing（作业手续办理）：____Times（次）； 5、Work-boat Chartering（工作船租赁）：____Days（天）； 6、Scope of Work（作业内容）： Confirmed by the Principal （signature and seal)： 委托方确认 （签字、盖章)： DATE（日期）：			

参 考 文 献

[1] GB 11291 工业环境机器人安全要求 第1部分：机器人
[2] GB/T 12466 船舶及海洋工程腐蚀与防护术语
[3] GB/T 12900 船舶通用术语 船用材料
[4] GB/T 29112 船舶防污染术语
[5] GB/T 36896.1 轻型有缆遥控水下机器人 第1部分：总则
[6] JT/T 1452-2022 潜水打捞术语
[7] T/CANSI 119-2023 船载水下机器人选用与操作一般要求
[8] T/CANSI 123-2024 水下船体清刷机器人