ICS 47.020.20
CCS U 44

T/CS

团 体 标 准

T/CS 316—2026

船舶柴油机增压器智能清洗技术规范

Technical specification for intelligent cleaning of marine diesel engine turbocharger

2026－05－21 发布 2026－05－21 实施

中国商品学会 发 布

目　　次

前言 II
引言 III
1　范围 1
2　规范性引用文件 1
3　术语和定义 1
4　基本要求 1
5　设备要求 2
6　操作要求 3
7　质量控制 5
8　安全与环保 6
9　维护保养 6
10　记录与追溯 7

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。

本文件由大连中远海运海事工程技术有限公司提出。

本文件由中国商品学会归口。

本文件起草单位：大连中远海运海事工程技术有限公司、大连海洋大学、大连太和机电设备有限公司、大连鑫枫船舶科技有限公司。

本文件主要起草人：张文剑、余厚焱、衣正尧、王远鸣、刘万生、郑伟、王抒、丛贵治。

引　言

本文件的发布机构提请注意，声明符合本文件时，可能涉及到与一种采用机械臂清洗、风干的智能清洗系统及其工作方法（专利号：ZL202511715152.4）相关的专利的使用。

本文件的发布机构对于该专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

该专利持有人已向本文件的发布机构承诺，他愿意同任何申请人在合理且无歧视的条款和条件下，就专利授权许可进行谈判。该专利持有人的声明已在本文件的发布机构备案。相关信息可以通过以下联系方式获得：

专利持有人姓名：大连中远海运海事工程技术有限公司。

地址：辽宁省大连市沙河口区星河二街5号深蓝国际2204。

请注意除上述专利外，本文件的某些内容仍可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

船舶柴油机增压器智能清洗技术规范

1 范围

本文件规定了船舶柴油机增压器智能清洗的基本要求、设备要求、操作要求、质量控制、安全与环保、维护保养、记录与追溯。

本文件适用于各类船舶柴油机增压器的智能清洗作业。

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 2894 安全色和安全标志

GB/T 8918 重要用途钢丝绳

GB 8978 污水综合排放标准

GB 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准

GBZ 2.1 工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

智能清洗 intelligent cleaning

集成自动化设备、传感器、集中控制系统等技术，实现船舶柴油机增压器零部件清洗过程中自动吊运、超声清洗、高压水清洗、吹干等操作的自动化、精确化和高效化，并能对清洗全过程进行实时监测与闭环控制的清洗方式。

4 基本要求

4.1 场地要求

4.1.1 场地面积应根据设备布局、作业流程及人员活动空间合理规划，面积不应小于 50 m^2。

4.1.2 场地地面应采用耐磨、防滑、耐腐蚀材料铺设，地面坡度不应大于 1%，并设置排水沟槽及污水收集装置，排水坡度不应小于 3%。

4.1.3 场地环境温度应控制在 5 ℃～40 ℃，相对湿度不应大于 85%，无粉尘、易燃易爆气体及腐蚀性介质，电源电压波动范围不应超过 ±5%。

4.1.4 场地应设置独立的通风系统，通风量不应小于 15 $m^3/(h \cdot m^2)$，确保废气及时排出。

4.2 工位布局

4.2.1 工位布局应遵循“流程连续、操作便捷、安全高效”的原则，按“转运初始工位→超声清洗工位→高压水清洗区→机械臂吹洗工位→手动清洗区（可选）”的作业顺序依次布置，各工位之间的距离应满足设备吊运及人员操作需求。

4.2.2　转运初始工位应设置工件放置平台，平台高度宜为 0.8 m～1.0 m，承重不应小于 1 000 kg/m^2。

4.2.3　超声清洗工位、高压水清洗区、机械臂吹洗工位应设置防护围栏，围栏高度不应低于 1.2 m，防护区域内严禁非作业人员进入。

4.2.4　控制中心应设置在视野开阔、便于观察各工位作业状态的位置，与清洗作业区的距离不应大于 15 m，且应采取防尘、防潮、防静电措施。

4.3　流程要求

4.3.1　清洗流程应实现闭环管理，包括清洗前准备、上料、吊运、超声清洗、高压清洗、机械臂吹干、检验、下料、工件存储等关键环节，各环节应设置明确的质量控制点。

4.3.2　清洗作业应遵循“先粗洗后精洗、先自动化后人工辅助”的原则，确保清洗效果满足本文件 7.1 规定的质量要求。

4.3.3　不同材质、不同污垢类型的零部件应分类清洗，避免交叉污染。

4.4　人员要求

4.4.1　操作人员应具备机械或电气相关专业基础知识，经过专业培训并考核合格后，方可上岗操作。

4.4.2　维修人员应为机械设计制造、电气工程及自动化等相关专业，具备相关设备维修经验，应定期参加技术培训，更新知识储备。

4.4.3　质量检验人员应具备机械制造或质量检验相关专业知识，熟悉本文件第 7 章规定的质量要求及检验方法。

5　设备要求

5.1　超声清洗机

5.1.1　清洗槽应采用 304 不锈钢材质，厚度不小于 5 mm；设备应配备液位监测、自动补液及溢流保护装置。

5.1.2　应具备漏电保护、过热保护、低液位保护功能。

5.1.3　技术要求应符合表 1 的规定。

表 1　超声清洗机技术要求

项目	要求
清洗液温度调节范围/℃	10～75
温度控制精度/℃	±2
超声功率调节范围/kW	0～24
超声频率/Hz	20～30
功率稳定性（波动范围）/%	≤±5

5.2　起重机

5.2.1　钢丝绳应符合 GB/T 8918 的规定。

5.2.2　应配备过载保护、上升限位、下降限位、防碰撞装置及紧急制动按钮。

5.2.3　大车、小车运行时应平稳，无明显晃动。

5.2.4　技术要求应符合表 2 的规定。

表 2　起重机技术要求

项目	要求
吊运定位偏差/mm	≤±5
篮筐晃动角度/°	≤5
运行速度变化率/%	≤±3
运行噪声/dB（A）	≤75

5.3　机械臂

5.3.1　应能与起重机、清洗设备实现联动控制，接收控制系统指令并反馈作业状态。

5.3.2　应配备过载保护、碰撞检测保护及急停功能。

5.3.3　应支持自定义清洗轨迹，根据零部件三维模型自动生成最优清洗路径。

5.3.4　技术要求应符合表 3 的规定。

表 3　机械臂技术要求

项目	要求
指令响应时间/s	≤0.5
急停响应时间/s	≤0.2
轨迹调整响应时间/s	≤0.3
碰撞检测灵敏度/N	≤5
重复定位精度/mm	≤±0.1
关节运动速度/（°/s）	≥150

5.4　控制系统

5.4.1　应采用集中式可编程逻辑控制器（PLC）控制系统，配备彩色触控人机界面，支持中文操作。

5.4.2　应具备数据采集、存储、分析功能，支持实时记录设备运行参数、清洗工艺参数、清洗时间、故障信息等，数据存储时间不应少于 1 年。

5.4.3　应支持远程监控与管理功能，支持通过以太网或无线局域网实现远程参数调整、设备启停及状态查看。

5.4.4　应具备故障自诊断功能，支持识别设备过载、漏电、液位异常等常见故障，诊断准确率不应低于 95%。

6　操作要求

6.1　清洗前准备

6.1.1　操作人员应检查设备外观及连接部位，确认超声清洗机、起重机、机械臂等设备无松动、变形、泄漏等异常，安全保护装置完好有效。

6.1.2　应根据零部件材质、污垢类型及污垢厚度，在控制系统中选择对应的清洗工艺参数，或自定义设置参数。

6.1.3　检查清洗液液位及浓度，液位不应超过清洗槽容积的 60%～80%，浓度应满足不同污垢的清洗要求：

a)　油泥类污垢：5%～10%；

b)　积碳类污垢：10%～15%。

6.1.4　应对零部件进行预处理，去除表面大块杂物，检查零部件是否存在破损、变形，对易损部位进行防护处理。

6.2　上料

6.2.1　操作人员应将预处理后的零部件整齐放入清洗篮筐（下文简称“篮筐”），确保零部件放置稳固，不相互堆叠、挤压，零部件之间的间隙不应小于 10 mm，避免影响清洗效果。

6.2.2　篮筐装载重量不应超过起重机额定起重量的 80%，且不应超过篮筐最大承重。

6.2.3　上料完成后，操作人员通过控制终端向控制系统发送上料完成信号，退出防护区域，等待吊运指令。

6.3　吊运

6.3.1　控制系统接收上料完成信号后，应自动启动起重机，大车、小车运行至转运初始工位上方，吊钩下降至篮筐吊点位置，平稳挂钩。

6.3.2　起重机应按预设程序将篮筐提升至指定高度，悬停稳定，确认无晃动后，按设定速度转运至目标工位。

6.3.3　起重机到达目标工位上方后，应悬停稳定，再缓慢下降至下止点，完成吊运作业，吊钩应自动脱钩。

6.3.4　吊运过程中，篮筐晃动角度不应超过 5°，若出现异常晃动，起重机应自动停止运行并报警。

6.4　超声清洗

6.4.1　起重机将篮筐下放至超声清洗槽内，确保零部件完全浸没在清洗液中，控制系统应自动启动超声清洗机，按设定参数进行清洗。

6.4.2　清洗过程中，操作人员应通过人机界面实时监控清洗状态，若发现清洗液起泡过多、温度异常等情况，应及时调整参数或暂停清洗。

6.4.3　超声清洗完成后，超声清洗机向控制系统发送完成信号，起重机应自动将篮筐提升至指定高度，悬停沥水不低于 60 s，去除表面残留清洗液。

6.5　高压水清洗

6.5.1　起重机将沥水后的篮筐转运至高压水清洗区，下放至指定位置后，控制系统应启动高压清洗机械臂。

6.5.2　机械臂应按预设轨迹移动，高压喷头喷射压力宜设定为 5 MPa～10 MPa，喷射量 10 L/min～50 L/min，对零部件表面进行全方位冲洗，冲洗时间应根据污垢残留情况设定，宜为 3 min～10 min。

6.5.3　冲洗过程中，冲击距离不应小于 150 mm。

6.6　机械臂吹干

6.6.1　高压水清洗完成后，起重机应将篮筐转运至机械臂吹洗工位，下放至指定位置。

6.6.2　控制系统应启动机械臂及高压气枪，气枪压力宜设定为 0.6 MPa～0.8 MPa，风量不应小于 20 $m^3/(h \cdot m^2)$，机械臂应按设定轨迹对零部件进行吹干，吹干时间根据零部件大小、表面粗糙度设定，宜为 5 min～20 min。

6.7　手动清洗（可选）

6.7.1　对于形状复杂、盲孔较深或自动化清洗不彻底的零部件，可转运至手动清洗区进行人工辅助清洗。

6.7.2　手动清洗应使用专用清洗工具，如软毛刷、高压水枪等，采用与自动化清洗相同的环保型清洗液，清洗时间宜为 10 min～30 min。

6.7.3　手动清洗过程中，操作人员应佩戴防护手套、防护眼镜等防护用品，遵守安全操作规程。

6.8　下料与检验

6.8.1　清洗完成后，起重机将篮筐转运至初始工位，操作人员应在防护区域外打开防护，取出零部件。

6.8.2　检验人员应对零部件进行清洗质量检验，采用目视检查和重量测量相结合的方式。

6.8.3　检验合格的零部件应放入指定存储区域，按材质、型号分类存放；不合格的零部件应重新进行清洗，直至符合要求。

7　质量控制

7.1　清洗质量要求

7.1.1　零部件清洗后表面应洁净，无油泥、积碳等污垢去除率不低于 95%，无明显划痕、腐蚀等损伤，表面粗糙度应符合原零部件技术要求。

7.1.2　盲孔、深孔等部位应无污垢残留，用内窥镜检查孔内清洁度，无可见杂质。

7.1.3　清洗后的零部件应无清洗液残留，表面干燥，水分残留率不应超过 1%。

7.1.4　同一批次零部件清洗质量一致性偏差不应超过 3%。

7.2　设备性能测试

7.2.1　超声清洗机

7.2.1.1　选取 3 件盲孔件和 3 件通孔件作为测试工件，测量并记录清洗前工件含油泥、积碳质量，拍照记录外观状态；准备含油泥质量测量仪器、温度计、功率计等测试工具。

7.2.1.2　将测试工件放入清洗篮筐，设置清洗参数：温度 50 ℃，功率 20 kW，频率 25 Hz，清洗时间 15 min，按清洗流程进行超声清洗；清洗完成后，测量工件含油泥、积碳质量，拍照记录外观状态；计算污垢去除率，重复测试 3 次，取平均值。

7.2.1.3　污垢去除率不低于 95%，温度控制精度不超过 ±2 ℃，功率波动不超过 ±5%，则判定设备性能合格。

7.2.2　起重机测试

7.2.2.1　清理起重机运行轨道，确保无障碍物。在清洗篮筐上安装角度传感器、重量传感器，准备计时器、测速仪；将起重机空载运行至初始位置，调试至正常工作状态。

7.2.2.2　分别在 0.5 t、1 t、1.6 t 负载下，设定大车速度 10 m/min、20 m/min、32 m/min，小车速度 5 m/min、15 m/min、20 m/min，进行吊运测试。记录吊运时间、运行速度、篮筐晃动角度、定位偏差等数据，每种负载和速度组合测试 3 次。

7.2.2.3　吊运定位偏差不超过 ± 5 mm，篮筐晃动角度不大于 5°，运行速度变化率不超过 ±3%，运行噪声不超过 75 dB （A），则判定设备性能合格。

7.2.3　机械臂测试

7.2.3.1　选取与实际清洗零部件相似的测试工件，含复杂曲面、盲孔，安装在机械臂工作区域；准备高压水、高压气供应系统，调试机械臂至正常工作状态；设置喷射压力 7 MPa，喷射量 30 L/min，风干压力 0.7 MPa，风量不应小于 20 m^3/（h • m^2）。

7.2.3.2　启动机械臂进行高压水清洗和吹干操作，记录喷枪开启耗时、轨迹运行耗时、风干耗时等数据；清洗完成后，检查工件清洗质量和干燥程度，重复测试 3 次。

7.2.3.3　重复定位精度不超过 ±0.1 mm，轨迹运行流畅无卡顿，则判定设备性能合格。

7.3　过程质量控制

7.3.1　操作人员应在每批次零部件清洗前、中、后进行质量自检，填写《清洗质量自检记录》，发现

问题及时处理。

7.3.2　质量检验人员应每天随机抽取不少于 3 批次的零部件进行抽样检验，填写《清洗质量检验记录》，抽样检验合格率不应低于 98%。

7.3.3　建立质量追溯体系，每批次零部件清洗应记录工件型号、数量、清洗时间、工艺参数、检验结果、操作人员等信息，确保质量可追溯。

8　安全与环保

8.1　安全要求

8.1.1　设备安全

8.1.1.1　超声清洗机应配备漏电保护、过热保护、低液位保护装置，接地电阻不应大于 4 Ω；起重机应配备过载保护、限位保护、防碰撞装置及紧急制动按钮；机械臂应配备过载保护、碰撞检测保护装置，所有安全装置应定期校验，确保有效。

8.1.1.2　高压水系统应设置压力安全阀，安全阀开启压力为额定工作压力的 1.1 倍，定期校验，确保灵敏可靠；高压管路应采用耐压材质，额定工作压力不应低于工作压力的 1.5 倍，定期检查管路有无老化、泄漏。

8.1.1.3　控制中心应配备应急电源，断电后应急电源可持续供电不少于 30 min，确保设备安全停机。

8.1.2　操作安全

8.1.2.1　操作人员应经过专业培训并考核合格，取得相应操作证书后方可上岗。

8.1.2.2　作业前，操作人员应穿戴好个人防护用品，不应穿戴宽松衣物、佩戴首饰作业。

8.1.2.3　设备运行过程中，人员不应进入防护围栏内，不应触摸运行中的设备部件。

8.1.2.4　发生设备故障或紧急情况时，操作人员应立即按下急停按钮，切断电源，疏散现场人员，报告管理人员，待故障排除后方可重新启动设备。

8.1.3　警示标识

8.1.3.1　智能清洗区域应设置明显的警示标识，包括“高压危险”“当心触电”“禁止入内”“紧急疏散通道”等标识，标识应清晰、牢固，符合 GB 2894 的规定。

8.1.3.2　各设备操作面板应设置操作提示标识，明确操作步骤及安全注意事项；应急设备应设置明显标识，放置在便于取用的位置。

8.2　环保要求

8.2.1　清洗液应选择环保型产品，不含磷、重金属等有害物质，生物降解率不低于 90%。

8.2.2　清洗过程中产生的污水应通过排水沟槽收集至污水过滤地下槽，经过滤、净化处理，水质符合 GB 8978 一级标准后方可排放。

8.2.3　高压气枪吹干过程中产生的少量废气，应通过车间通风系统排出室外，车间内空气质量应符合 GBZ 2.1 的规定。

8.2.4　设备运行过程中产生的噪声应控制在 85 dB（A）以下，通过采取设备减震、安装隔音罩等措施，控制厂界噪声符合 GB 12348 的规定。

8.2.5　废弃清洗液、过滤残渣等危险废物应分类收集，存放在专用密闭容器中，交由有资质的单位进行无害化处理，建立危险废物转移记录。

9　维护保养

9.1 日常维护

每日作业结束后应进行日常维护，维护内容包括但不限于：

a) 设备清洁：清理超声清洗机槽体内部的污垢、残渣，擦拭设备表面的水渍、油污，清理起重机吊钩、钢丝绳表面的灰尘、油污，擦拭机械臂关节、喷头等部位；

b) 状态检查：检查设备各部件连接是否牢固，有无松动、变形、损坏，检查起重机钢丝绳、吊钩的磨损情况，检查高压管路、阀门有无泄漏，检查超声清洗机发生器、换能器的工作状态；

c) 管路维护：排放污水收集装置内的污水，清洗过滤装置，检查高压水、高压气管路有无堵塞，定期进行疏通；

d) 润滑保养：对起重机大车、小车车轮轴承，机械臂关节等运动部件涂抹适量润滑油或润滑脂，确保运动顺畅。

9.2 定期保养

9.2.1 每周应检查超声清洗机清洗液浓度，补充或更换清洗液；校准温度传感器、压力传感器；检查控制系统人机界面显示是否正常，清理控制柜内灰尘。

9.2.2 每月应调整超声清洗机频率，确保清洗效果稳定；检查机械臂重复定位精度，进行校准；检查起重机限位开关、防碰撞装置的灵敏度；更换超声清洗机过滤器滤芯。

9.2.3 每季度应对超声清洗机加热器、发生器进行全面检查，清除表面积尘、油污；检查起重机钢丝绳、刹车片的磨损情况；对机械臂高压喷头、气枪喷头进行拆解清洗，更换磨损部件；对控制系统进行软件备份及系统优化。

9.2.4 每年应对设备进行全面拆解检查，更换老化的密封件、管路；校准设备所有传感器及测量仪器；对控制系统进行升级，确保功能稳定；对设备进行全面性能测试，确保符合本文件要求。

9.3 故障维修

9.3.1 设备出现故障时，维修人员应根据控制系统显示的故障代码、故障描述，结合设备工作原理，快速定位故障原因；对于复杂故障，可借助专业检测仪器进行诊断。

9.3.2 维修人员应按照设备维护手册进行维修，更换的零部件应与原设备零部件型号一致，不应使用不合格零部件；维修过程中应采取安全防护措施，防止设备二次损坏或人员受伤。

9.3.3 维修完成后，应对设备进行调试和试运行，确保故障完全排除；记录故障原因、维修措施、维修时间、更换零部件型号及数量等信息，建立设备维修档案。

9.3.4 一般故障（如管路泄漏、传感器故障等）应在 2 h 内处理完毕；重大故障（如发生器损坏、机械臂关节故障等）应在 24 h 内处理完毕。

10 记录与追溯

10.1 记录要求

10.1.1 应建立完善的记录制度，记录内容包括：

a) 生产记录：清洗工件型号、数量、清洗日期、清洗工艺参数、清洗时间、检验结果、操作人员、检验人员等；

b) 设备记录：设备运行状态、维护保养记录、故障维修记录、性能测试记录等；

c) 环保记录：清洗液采购及更换记录、污水处理记录、危险废物转移记录、噪声监测记录等；

d) 人员记录：人员培训记录、考核记录、资质证书复印件等。

10.1.2 记录应真实、准确、完整，填写规范，签字齐全，不应随意涂改；记录可采用纸质或电子形式，

电子记录应具备防篡改功能。

10.1.3　生产记录、设备记录保存期限不应少于 3 年；环保记录、人员记录保存期限不应少于 5 年。

10.2　文件管理

10.2.1　应制定文件管理制度，对本文件、设备操作规程、维护手册、检验标准、培训材料等文件进行统一管理。

10.2.2　文件应定期更新，根据技术发展、设备更新、标准修订等情况，及时修订相关文件，确保文件的有效性和适用性；文件修订后应及时发放至相关人员。

10.2.3　应做好文件的备份和存档工作，纸质文件应存放在干燥、通风、防火、防潮的文件柜中；电子文件应进行异地备份，防止文件丢失或损坏。