



指南编号/Guideline No.Z-09(202502)

Z-09

船用风力旋筒助推系统

生效日期/Issued date:2025 年 2 月 1 日

©中国船级社 China Classification Society

前言

中国船级社（以下简称“本社”）产品检验指南规定了拟申请本社认可/检验的船舶入级产品、授权法定产品的适用技术要求及检验试验要求。

本指南并不限制用户采用其它试验方法和要求，但相关试验方法及要求应不低于本指南的要求。

本指南由本社编写和更新，通过网址 <http://www.ccs.org.cn> 发布，使用相关方对于本社指南如有意见可反馈至 mp@ccs.org.cn。

历史发布版本及发布时间： 新编

本版本主要修改内容： 无

目 录

1 适用范围	4
2 规范性引用文件	4
3 术语及定义	4
4 图纸资料	5
5 技术要求	8
6 原材料及零部件	9
7 型式试验	10
8 单件/单批检验	18

船用风力旋筒助推系统

1 适用范围

- 1.1 本指南适用于船用风力旋筒助推系统。
- 1.2 若旋筒使用纤维增强塑料以外的材料制造，应经本社特别考虑。
- 1.3 本指南所提及的技术要求和试验方法，本社可接受其他公认的标准。

2 规范性引用文件

- (1) 中国船级社《钢质海船入级规范》
- (2) 中国船级社《材料与焊接规范》
- (3) 中国船级社《船用风力旋筒助推系统检验指南》
- (4) 中国船级社《电气电子产品型式认可试验指南》
- (5) 中国船级社《船舶与海上设备设施起重设备规范》
- (6) 中国船级社《纤维增强塑料船建造规范》
- (7) 中国船级社《纤维增强塑料船检验指南》
- (8) 中国船级社《绿色生态船舶规范》
- (9) 中国船级社《船用硬质翼面帆评估与检验指南》

3 术语及定义

上述检验依据中所确定的术语及定义适用于本技术要求。为编写及使用方便，本指南直接引用或补充下列定义。

船用风力旋筒助推系统：系指应用马格努斯效应，将旋筒旋转产生的力传递给船体产生推力辅助船舶推进，从而降低推进系统能耗的一种风能技术产品。

旋筒:系指旋筒助推系统中的外部圆筒型结构物,布置在船舶露天甲板上,直接受到风力作用,并受外力驱动旋转,将产生的推力传递给旋筒助推系统中的内塔。

内塔及基座:系指旋筒助推系统中的内部结构物,为旋筒和驱动系统的安装、检验和维修提供支撑结构,同时将旋筒产生的推力传递给船体。

驱动系统:系指用于驱动旋筒旋转的机构。

控制和监测报警系统:系指实现旋筒转速和转向控制、系统状态监测和安全保护等功能的系统。

4 图纸资料

4.1 产品审图时,下列图纸资料应提交本社批准:

- (1) 系统主要性能规格表(应包含产品型号规格、旋筒材质、旋筒直径、顶盖直径、内塔直径、旋筒高度、基座高度、最大高度、最大设计转速、电机额定功率、自身重量、最大持续推力、系统对基座的最大合力、系统对基座的最大力矩、系统适用的最大 Z_H (旋筒型心到设计水线的垂直距离)、工作温度、最大运行风速、安全风速等);
- (2) 系统布置图;
- (3) 旋筒结构图;
- (4) 内塔结构图(含主体结构、旋筒支撑结构、旋筒连接板、锁紧结构等);
- (5) 基座结构图(不含船体结构加强部分);
- (6) 旋转限位装置布置图;
- (7) 锁紧装置布置图;
- (8) 驱动装置及系统布置图:电机、齿轮箱布置图(如电力驱动);液压马达布置图、液压管路系统图(如液压驱动);

- (9) 传动装置及系统布置图；
- (10) 电气设备相关系统原理图和布置图；
- (11) 控制和监测报警系统原理图和布置图；
- (12) 通风系统布置图；
- (13) 照明系统布置图；
- (14) 可折叠式旋筒的液压系统原理图和布置图；
- (15) 其他本社认为有必要提交的图纸资料。

4.2 产品审图时，下列图纸资料应提交本社备查：

- (1) 送审图纸目录；
- (2) 系统设计说明书，应至少包含系统概述、环境和能力参数、设计参数、各主要部件功能、系统原理、系统控制功能以及系统外部接口描述；
- (3) 系统主要零部件清单及设备规格表；
- (4) 系统操作及维护使用说明书；
- (5) 旋筒结构强度计算书；
- (6) 内塔及基座结构强度计算书；
- (7) 旋筒材料检测报告（如适用）；
- (8) 旋筒气动力计算报告（如适用）；
- (9) 模型风洞试验报告（如适用）；
- (10) FMEA 故障模式和影响分析（如适用）；
- (11) 其他本社认为有必要提交的图纸资料。

4.3 产品审图注意事项:

- (1) 基座船体结构加强部分的图纸, 应满足船舶审图相关要求;
- (2) 产品审图中相关船舶载荷及参数的选取建议如下:
 - ① 系统结构计算中, 船舶运动引起的惯性力载荷可按如下选取:
纵向加速度为 $\pm 0.5g$; 横向加速度为 $\pm 1.4g$; 垂向加速度为 $\pm 1.2g$;
 - ② 为简化上浪载荷, 旋筒外壁设计压力可按 4m 水压头选取;
 - ③ 系统设计方应充分考虑可能安装的船舶类型, 给定适宜的 Z_H
(旋筒型心到设计水线的垂直距离) 进行计算;
 - ④ 如有明确的配套船舶, 也可根据配套船舶的情况, 制定相关载荷参数。
 - ⑤ 其他载荷的选取及载荷的组合, 按《船用风力旋筒助推系统检验指南》要求执行。

4.4 认可时, 下列图纸资料应提交审查:

- (1) 工厂概况: 工厂名称、地址、生产历史、生产能力、技术和检验人员、主要产品、隶属关系、产品商标等;
- (2) 申请认可产品明细;
- (3) 主要生产设备清单;
- (4) 主要检测设备清单;
- (5) 申请认可产品的简要生产流程, 主要工艺文件, 焊接工艺、接头连接工艺, 相关复合材料的铺层设计, 旋筒和构件的连接工艺(包括筒体之间的连接, 筒体和加强筋、端部法兰之间的连接)等;
- (6) 质量管理文件或质量体系证书;
- (7) 企业注册登记证明;

- (8) 资质证明和/或生产许可证，如适用；
- (9) 产品质量证明书或合格证样本；
- (10) 质量控制计划，如适用；
- (11) 合格供方清单，如适用；
- (12) 型式认可试验大纲。

5 技术要求

5.1 系统设计要求

5.1.1 系统的布置与设计应满足本社《钢质海船入级规范》、《材料与焊接规范》及《船用风力旋筒助推系统检验指南》的相关要求。应考虑航行视线、航行灯、吨位、消防安全、栏杆扶手、雷达系统、操纵性能、防爆、避雷等因素，应考虑对总纵强度、局部强度、稳性、电气装置的影响。

5.1.2 系统中相关电气设备外壳防护等级应与所安装处所相适应。

5.2 旋筒要求

5.2.1 旋筒制造使用的关键非金属原材料，如增强材料、树脂、芯层材料等，应满足本社《材料与焊接规范》第2篇第2章的相关要求。树脂等材料的选用应考虑旋筒的工作温度，其热变形温度或玻璃化转变温度应高于旋筒最大工作温度至少20℃。

5.2.2 旋筒各部位应根据结构特点选用合适的复合材料成型工艺制造，如缠绕成型法、真空灌注法、真空袋压成型法、手工铺设法等。生产条件、树脂液配置、固化和脱模等制造工艺可参考本社《材料与焊接规范》第2篇第3章的相关要求。

5.2.3 用于旋筒制作的结构用粘结剂应满足本社《材料与焊接规范》第2篇第3章的相关要求。旋筒分段之间不可仅使用结构用胶黏剂进行连接。

5.2.4 旋筒表面应使用具备良好的耐湿性、耐紫外线辐射、耐海洋气候能力以及低吸水性涂层。涂层对筒体材料应具有良好的附着力和兼容性。

5.3 内塔与基座的要求

5.3.1 内塔与基座的设计和结构计算，应满足本社《船用风力旋筒助推系统检验指南》第3章的要求；

5.3.2 内塔与基座的材料与焊接应满足本社《材料与焊接规范》、《船舶与海上设备设施起重设备规范》第6章的要求。

5.4 控制和监测报警系统要求

5.4.1 控制和监测报警系统应满足本社《船用风力旋筒助推系统检验指南》第4章和《钢质海船入级规范》第7篇第2章的相关要求。

5.4.2 控制和监测报警系统的环境试验和电磁兼容试验应满足本社GD019-2024《电气电子产品型式认可试验指南》及IACS UR E10的相关要求。

5.5 布置在危险区域内的要求

5.5.1 系统中的电气设备尽可能不布置在危险区域内，若无法避开则应按照不同船型所对应的危险区域的划分要求来确定产品实际所处的危险区，从而判断系统中的设备应满足的防爆要求，相关电气设备应持有本社接受的防爆合格证明；

5.5.2 系统中的机械运动部件应尽可能布置在非危险区域内，若无法避开，对于油船，应保证其在运转时不产生任何火花和部件表面温度不超过200℃。对于化学品船或危险品船，部件表面温度应不超过拟载运化学品或危险品的相应要求。

6 原材料及零部件

6.1 船用风力旋筒助推系统主要包含如下部分：旋筒、内塔、驱动系统、监测报警及控制系统、基座及其他零部件。

6.2 原材料及零部件的持证要求

(1) 以下部件及原材料应持有本社船用产品证书：

旋筒（如外购）、内塔及基座（如外购）、控制和监测报警系统（如外购）、齿轮箱、电机(50kW及以上)、液压动力装置、液压马达/

液压缸、蓄能器、变频器(50kW及以上)、变频控制柜、通讯电缆电力电缆及光缆、风机（如用于危险区域）、回转支承（如有时）。

(2) 以下部件及原材料应持有本社认可证书：

风向风速仪、电机(50kW以下)、变频器（50kW以下）、传感器。

(3) 其余部件及原材料应提交质量证明书：

中心轴、限位支撑装置、旋筒锁定机构、制动电阻、横倾仪、旋筒锁死限位开关、连接板螺栓及定位销等。

6.3 纳入合格供方清单的重要原材料和零部件，未经本社批准不得变更。

7 型式试验

7.1 典型样品的选取

型式认可时所选取的样机应为具有代表性的产品，能在特性、特征、制造质量上代表或覆盖申请认可的产品或系列产品。

不同旋筒材料、不同旋筒制造工艺的产品，应分别选取旋筒进行 7.2（2）的相关型式试验。

7.2 型式试验项目

船用风力旋筒助推系统的型式试验项目应包括：

- (1) 主要原材料及零部件证书及质量证明书核查；
- (2) 旋筒的制造与检验；
- (3) 内塔与基座的制造与检验；
- (4) 控制和监测报警系统的检验；
- (5) 风洞试验（如适用）；
- (6) 布置在危险区域内的要求核查（如适用）；

(7) 系统联调试验。

7.3 试验要求及试验方法

试验要求及试验方法可参照下列要求：

7.3.1 主要原材料及零部件证书及质量证明书核查

制造厂应按照 6.2 的要求提交主要原材料及零部件证书及质量证明书，供本社核查。

7.3.2 旋筒的制造与检验

(1) 成型工艺评定

在旋筒制造之前应制定必要的成型工艺规程并提交本社审核。成型工艺可参考本社《材料与焊接规范》第 2 篇第 3 章的相关要求，并按规程的要求制备层合板和/或夹层板试板进行成型工艺认可试验。

试板厚度应能代表旋筒产品最薄处的厚度。层合板试板应进行密度、巴柯尔硬度、纤维含量、拉伸、压缩、弯曲、层间剪切、泊松比等试验项目，夹层板试板还应同时进行芯材剪切强度试验，具体见表 7.3.2 (1)。

试样的制备应考虑方向性的要求，并应严格保证纤维方向和铺层方向与试验要求相一致，试样方向和试验结果应满足旋筒设计的要求。当旋筒设计有其它明确的性能要求时，应以具体设计为准。

试板的试验项目

表 7.3.2 (1)

试验项目	标准
拉伸强度 (N/mm ²)	ISO 527-4
拉伸模量 (N/mm ²)	ISO 527-4
泊松比	ISO 527-4
弯曲强度 (N/mm ²)	ISO 14125
弯曲模量 (N/mm ²)	ISO 14125
压缩强度 (N/mm ²)	ISO 604
压缩模量 (N/mm ²)	ISO 604
层间剪切强度 (N/mm ²)	ISO 14130

续表 7.3.2 (1)

纤维含量(%，质量比)	ISO 1172(玻璃纤维) ASTM D3171(碳纤维/芳纶纤维)
巴柯尔硬度	ASTM D2583
密度	ISO 1183-1
芯材剪切强度(仅夹层板)	ISO 1922 或 EN 1465 等

(2) 粘结工艺评定

受力部件的粘结工艺应提交 CCS 审核，并应提交粘结接头的强度满足设计要求的证据（如：同种粘接工艺的历史测试记录）。如采用新的粘接工艺则粘结接头的强度应经试验验证，以确认其强度等性能满足设计要求。

(3) 产品成型试验

在铺敷成型期间，对于主筒体，应同时制作供验证用的试板。试板应从旋筒外延部位选取，如不可行，应在与实际生产相同的环境条件、原材料、配方和工艺方法下（除胶衣层外）模拟制作。实际进行产品检验时，凡用同一图纸型号、同一工艺流程、同一生产条件成批生产的旋筒，允许每批次进行一次成型试验。

层合板性能应进行下列项目的测试，各项性能试验的测试结果不应低于层合板的设计性能。

- ① 纤维含量（玻璃纤维：ISO1172；碳纤维/芳纶纤维：ASTM D3171）；
- ② 拉伸强度和模量（ISO 527-4）；
- ③ 弯曲强度和模量（ISO 14125）；
- ④ 压缩强度和模量（ISO 604）；
- ⑤ 层间剪切强度（ISO 14130）；
- ⑥ 芯材剪切强度（ISO1922 或 EN 1465 等）。

(4) 外观及尺寸检查

旋筒应按照本社批准的图纸文件以及成型工艺流程进行制造，制造完毕后进行外观检查、尺寸检查。

产品外观应无超过设计要求的开口、孔隙、凹槽、裂纹或纤维外露等缺陷。

产品尺寸检查应包含旋筒直径、长度、壁厚、圆度、同心度、直线度的测量，并满足本社批准图纸的要求。

7.3.3 内塔与基座的制造与检验

- (1) 在开工建造前，工厂应对使用的焊接工艺按照本社《材料焊接与规范》第3篇第3章的要求进行焊接工艺认可，焊接工艺规程经本社批准后方可使用；
- (2) 内塔与基座应按照本社批准的图纸文件进行施工制造，制造完毕后进行外观检查、尺寸检查及无损检测；
- (3) 焊接检验：

所有焊缝表面应进行目检。

对于屈服强度大于或等于 420 N/mm² 的淬火回火钢，其焊缝的无损检测一般应在焊后 48 小时以后进行。当焊件要作焊后热处理时，无损检测应在热处理后进行。

焊接结构无损检测的种类和范围可参照表 7.3.3 (3) 进行。

焊接结构无损检测的范围(%)

表 7.3.3 (3)

焊缝位置	接头形式	目检	检验方法		
			RT	UT	MT
基座和支撑构件的周向焊缝； 基座和支撑结构之间的过度构件	对接	100	10~20	100	100
	十字/T，全焊透	100	-	100	100
	十字/T，填角/深熔焊	100	-	-	100
支撑构件的重要焊缝 以及产生推力的构件	对接	100	5~10	50~80	20~50
	十字/T，全焊透	100	-	50~80	20~50
	十字/T，填角/深熔焊	100	-	-	20~50
其他焊缝	对接	100	-	2~5	2~5
	十字/T，全焊透	100	-	2~5	2~5
	十字/T，填角/深熔焊	100	-	-	2~5

7.3.4 控制和监测报警系统的检验

- (1) 控制和监测报警系统应按照本社 GD019-2024《电气电子产品型式认可试验指南》及 IACS UR E10 相关规定，进行如下环境试验和电磁兼容试验，见表 7.3.4(1)。

环境试验和电磁兼容试验项目 表 7.3.4 (1)

序号	试验项目	试验要求及试验方法
环境试验		
1	外观检查	GD019-2024 第 2.1 条
2	性能试验及温升试验	GD019-2024 第 2.2 条、 GB/T3797
3	绝缘电阻测量	GD019-2024 第 2.3 条
4	能源波动试验	GD019-2024 第 2.4 条
5	能源故障试验	GD019-2024 第 2.5 条
6	振动试验	GD019-2024 第 2.7 条
7	高温试验	GD019-2024 第 2.8 条
8	低温试验	GD019-2024 第 2.9 条
9	交变湿热试验	GD019-2024 第 2.10 条
10	盐雾试验 Kb (适用时)	GD019-2024 第 2.12 条
11	耐电压试验	GD019-2024 第 2.14 条
12	外壳防护试验	GD019-2024 第 2.15 条
13	滞燃试验 (适用时)	GD019-2024 第 2.16 条
电磁兼容试验		
1	传导发射测试	GD019-2024 第 3.2 条
2	外壳端口辐射发射测量	GD019-2024 第 3.3 条
3	静电放电抗扰度试验	GD019-2024 第 3.4 条
4	射频电磁场辐射抗扰度试验	GD019-2024 第 3.5 条
5	电快速瞬变脉冲群抗扰度试验	GD019-2024 第 3.6 条
6	浪涌抗扰度试验	GD019-2024 第 3.7 条
7	低频传导抗扰度试验	GD019-2024 第 3.8 条
8	射频场感应的传导骚扰抗扰度试验	GD019-2024 第 3.9 条

- (2) 控制和监测报警系统应具有如下功能，并经试验验证。

- ① 系统应具有监测和自动及手动控制功能，以便在不同的操作条件下，使系统运行保持在预定的参数范围内；
- ② 系统的设计，应能使运行过程中出现的一个故障不会导致其他故障的产生，并且其产生的危险性降到尽可能低的程度；

③ 系统发生严重故障时（例如电机超速、系统失控等），应能发出报警，在驾驶室和其它遥控位置（如设有）以及就地应设有独立于控制系统的手动应急停止装置，其布置应能防止被误触动；

④ 应在驾驶室和其它控制位置（如设有）设置以下显示：

驱动电机运行状态；

驱动电机电压、电流、频率和功率；

旋筒转速和转向；

风向和风速（就地除外）；

系统控制模式；

锁定装置的状态指示。

⑤ 应在驾驶室和其它控制位置（如设有）设置以下听觉和视觉报警：

监测报警及控制系统故障；

动力系统供电故障；

监测报警及控制系统供电故障；

驱动电机故障；

备用电机（如设有）转换；

电机冷动介质（如设有）温度高；

电机超速；

系统应急停止；

泵升电压高（如适用）。

7.3.5 风洞试验（如适用）

(1) 试验目的

为了测量风力旋筒助推系统的气动力特性，可对单个旋筒开展模型风洞试验，通过风洞试验可以得出模型的推力系数、阻力系数、功率消耗、系统允许的攻角范围及转速范围，为预测系统的推力矩阵、功率消耗矩阵提供参考。

测试结果可与 CFD 计算结果进行比对，对旋筒的气动力特性进行验证。

(2) 对风洞实验室的要求

应向本社提交以下信息：

风洞试验室的设施与设备的描述，包括设施名称、设备的细节以及每个监测设备的校准记录；风洞试验的主要设施与设备包括大型低速风洞、用于船舶气动力测量的应变式盒式天平、用于应变天平信号采集与处理的动态应变测试系统以及试验环境测量的温湿度及大气压力传感器等。

(3) 试验条件

- ① 模型风洞试验应满足几何相似准则，旋筒模型应进行等比例缩放；
- ② 模型风洞试验应满足动力相似准则，模型尺寸和风洞风速应与雷诺数匹配；
- ③ 在风洞试验中，试验的雷诺数应大于 1.0×10^5 。雷诺数 Re 由以下公式表示：

$$Re = \frac{\rho \cdot U \cdot C}{\mu}$$

式中， ρ 和 μ 分别是试验室空气的密度和粘度， U 是模型试验风速， C 是旋筒助推系统的外径。

- ④ 阻塞比不应超过 5%，该比值由模型的横向投影面积除以风洞试验段的横截面积计算得出。
- ⑤ 模型可为钢质或铝质，加工精度和粗糙度应满足试验规程要求。

满足上述试验条件的基础上，试验的雷诺数应尽可能大，旋筒模型的外径应尽可能取大。

(4) 试验方案

试验方案中应详细叙述风洞实验室的实验室尺寸、试验段的最大风速、试验的雷诺数、阻塞比、模型的材质、尺寸及缩放比、模型的固定方式、试验中测量的参数及测量方式、试验详细流程，并应提交本社批准。

(5) 试验结果的处理

- ① 计算推力系数、阻力系数

模型的推力系数可确定为： $C_{Fx} = F_x / (0.5\rho V^2 A)$

模型的阻力系数可确定为： $C_D = F_D / (0.5\rho V^2 A)$

式中：

C_{Fx} ：模型的推力系数；

C_D ：模型的阻力系数；

F_x ：模型产生的推力；

F_D ：模型产生的阻力；

ρ ：模型空气密度；

V ：模型试验风速；

A ：旋筒助推系统的投影面积。

- ② 绘制推力系数、阻力系数随旋筒转速、风速变化的曲线图，消耗功率曲线图，得出系统最佳攻角范围和转速范围。
- ③ 与 CFD 计算结果进行比对，对旋筒的气动力特性进行验证。

7.3.6 布置在危险区域内的要求核查（如适用）

若系统需安装在船舶的危险区域，相关电气设备的防爆合格证明应提交本社

核查，机械运动部件应满足本指南 5.5.2 条的要求。

7.3.7 系统联调试验

整个系统组装完毕后，应进行如下联调试验：

- (1) 自动和手动控制功能试验；
- (2) 紧急停止功能试验；
- (3) 锁定装置试验；
- (4) 控制和监测报警系统显示及报警试验；
- (5) 系统控制逻辑验证；
- (6) 如设有多个控制位置，则在各控制位置间进行控制转换；
- (7) 如旋筒具有可折叠功能，应进行效用试验；
- (8) 动静平衡检查：整个旋筒系统安装完毕后，应对旋筒进行静平衡和动平衡检查，检查结果应满足设计的要求。

8 单件/单批检验

8.1 每套船用风力旋筒助推系统均应进行单件/单批检验，取得船用产品证书。

8.2 对本社认可后的单件/单批检验，按认可时批准的产品检验计划进行。具体应包括以下试验项目：

- (1) 主要原材料及零部件证书及质量证明书核查；
- (2) 系统组成核查；
- (3) 旋筒的检验：包含产品成型试验、外观及尺寸检查；
- (4) 内塔与基座外观、尺寸及无损检测；

- (5) 控制和监测报警系统试验：包含绝缘电阻测量、耐电压试验、报警、安全功能、控制功能试验、软件版本检查；
- (6) 布置在危险区域内的要求核查（如适用）；
- (7) 系统联调试验。

8.3 提交试验报告供中国船级社审核的试验项目如下：

所有申请检验产品按照 8.2 条进行的试验报告；

试验用仪器仪表检定证书或检定清单。