

指导性文件
GUIDANCE NOTES
GD17-2020



中国船级社

船用硬质翼面帆评估与检验指南

2020

2020 年 7 月 1 日生效

北京

目 录

前言	1
第 1 章 通则	
1.1 一般规定	2
1.2 附加标志	2
1.3 定义与缩写	3
1.4 目标和功能要求	6
第 2 章 船舶设计与布置	8
第 1 节 一般规定	8
2.1.1 目标	8
2.1.2 功能要求	8
第 2 节 图纸资料	8
2.2.1 送审图纸和资料	8
2.2.2 备查图纸和资料	10
2.2.3 船上应保存的图纸和资料	10
第 3 节 风帆装置对船舶影响及其评估	10
2.3.1 设计原则	10
2.3.2 风险评估	11
2.3.3 典型影响及评估方法	12
第 4 节 安装风帆装置船舶附加的检验和试验要求	17
2.4.1 一般要求	17
2.4.2 附加的检验和试验的要求	17
第 3 章 风帆装置	19
第 1 节 一般规定	19
3.1.1 目标	19
3.1.2 功能要求	19
3.1.3 图纸资料	21

3.1.4 故障模式与影响分析（FMEA）	22
第2节 风帆结构	24
3.2.1 一般规定	24
3.2.2 计算载荷与工况	26
3.2.3 结构强度评估方法及衡准	27
3.2.4 疲劳强度评估方法及衡准	31
3.2.5 机械部件强度评估方法及衡准	34
3.2.6 振动与谐摇分析	36
第3节 操帆装置和控制、监测报警、安全系统	37
3.3.1 一般规定	37
3.3.2 定义	37
3.3.3 操帆装置	37
3.3.4 操帆装置的控制、监测报警与安全系统	41
3.3.5 供电和线路敷设	44
3.3.6 风帆装置数据采集	44
3.3.7 帆/桨联合控制系统	45
第4节 风帆装置制造、工艺和试验	47
3.4.1 一般规定	47
3.4.2 设计认可	47
3.4.3 认可后检验要求	48
3.4.4 船上安装后检验/试验要求	51
附录1 某金属材料风帆装置的《风帆装置产品持证清单》	53
第5节 风帆装置操作要求	55
3.5.1 一般规定	55
3.5.2 操作手册编制要求	55
3.5.3 操作要求	56
3.5.4 维护和保养要求	56
第4章 风帆辅助推进船舶 EEDI 计算和验证	57

第 1 节 一般规定	57
4.1.1 目标	57
4.1.2 功能要求	57
4.1.3 编制依据	57
第 2 节 风帆辅助推进船舶 EEDI 计算方法	57
4.2.1 Attained EEDI 计算公式	57
4.2.2 Attained EEDI 公式中参数含义和选取方法	58
4.2.3 推力矩阵 $F(V_{ref})_{i,j}$	59
4.2.4 风场概率矩阵 $W_{i,j}$	60
第 3 节 风帆辅助推进系统对 EEDI 贡献度验证方法	60
4.3.1 验证程序	60
4.3.2 设计阶段的前期验证	61
4.3.3 试航阶段的最终验证	63
 第 5 章 风帆装置营运检验要求	 67
第 1 节 一般规定	67
第 2 节 需重点关注结构或设备	67
5.2.1 结构部分	67
5.2.2 机电设备部分	68
第 3 节 检验和试验要求	68
5.3.1 年度检验要求	68
5.3.2 五年度全面检查要求	69

前 言

节能、环保一直是近年来航运关注的热点之一，也成为船舶设计优化的趋势和目标。自船舶能效设计指数（EEDI）要求强制生效以来，业界从航速优化、型线优化、机桨匹配、节能装置等多方面优化设计，使得 EEDI 值和船舶能耗不断降低。但同时也应注意到另一个趋势，就是常规的船舶设计技术手段的节能潜力正在逐步减小，很多船型要满足 EEDI 第 3 阶段指标要求还存在较大困难。为此，必须寻找新的提高船舶设计能效的替代方法。

太阳能和风能作为公认的替代能源，目前在航运方面应用程度有限。风能作为船舶最原始的驱动方式，在人类航海史上曾经起过不可替代的作用。人类在风帆驱动方式的应用方面，有着丰富的经验和积累。在寻找新的方法提高船舶能效设计指数时，自然会将眼光转向风能的利用。

船舶使用风能作为驱动力，一般会采用风帆直接驱动技术，当然还包括风力发电后作为船舶推进动力的风力间接驱动技术。风力直接驱动常见的方式一般有桅式传统阻力帆、翼面升力帆、富莱特纳旋筒和风筝帆等，其中：阻力帆和风筝帆均系采用相当面积的受风装置承受风压，从而因风压的作用产生推进力；翼面升力帆系利用气流在特定装置的表面发生流场改变，从而利用气动学原理产生推进力；富莱特纳旋筒系利用气流通过高速旋转的圆筒时，产生压力差的马格努斯效应产生推进力。随着空气动力学技术以及船舶设计手段的进步，采用空气动力学原理的升力帆和富莱特纳旋筒技术，因其辅助推进效率较高，逐步成为利用风能提高船舶能效的首选。

风帆技术，特别是升力帆技术在现代设计内燃机推进的船舶上作为辅助动力应用，目前整个业界尚缺乏成熟的经验。一方面是风帆应用缺乏法规框架和技术标准的支持；另一方面，为产生足够的推进力，现代设计风帆的尺度一般较大，除自身结构强度和驱动装置等多面临的技术问题外，还会对船舶的结构、布置等原有常规设计造成影响，存在一定的技术和操作性风险。

本指南从安全角度出发，对常规设计船舶使用硬质翼面升力帆作为辅助推进装置的设计、布置、控制监测、制造、安装试验/检验、操作等方面做出规定，旨在为船舶和风帆装置设计、建造、检验/试验、操作等提供指导。

第 1 章 通则

1.1. 一般规定

1.1.1 本指南适用于用作海上航行船舶辅助推进的硬质翼面升力帆装置（以下简称风帆装置），其它型式的具有类似结构或部分相同结构的升力帆装置（如软面帆等）可参照本指南的适用部分，并经特殊考虑。本指南不适用于非营业性游艇的风帆装置。

1.1.2 指南规定了风帆装置设计、制造、安装布置、检验和试验、营运检验等方面的要求，以及安装风帆装置船舶的相关技术要求。

1.1.3 风帆装置和安装风帆装置的船舶应满足本指南要求。对于本指南未规定的内容，应满足中国船级社（以下简称 CCS）《钢质海船入级规范》（以下简称《钢规》）或《国内航行海船建造规范》（以下简称《内规》）、CCS《材料与焊接规范》（以下简称《材规》）、CCS《船舶与海上设施起重设备规范》（以下简称《起规》）、CCS《船体结构疲劳强度指南》（以下简称《疲劳指南》）的有关要求。安装风帆装置的船舶还应满足船旗国主管机关接受的公约、规则，以及主管机关颁布的法规和特殊要求。

1.1.4 如果在入 CCS 级船舶上安装风帆装置，则应满足本指南除第 4 章以外的所有要求，并作为保持船级的基本条件。

1.1.5 如申请方申请授予计及风帆节能效果的 G-ECO (CDx) 附加标志，需按照本指南第 4 章要求进行风帆辅助推进系统产生的节能效果的 EEDI 验证，并按本指南的规定进行的审图、检验和发证将作为保持证书有效的条件。

1.2. 附加标志

1.2.1 按照本指南（第 4 章除外）的要求进行设计、制造、检验和试验的风力辅助推进（Wind Assisted Propulsion, WAP）装置，并经 CCS 审图和检验合格后，可授予如下附加标志：

硬质翼面帆：WAP (RWS)

RWS: Rigid Wing Sails

1.2.2 适用 CCS《绿色生态船舶规范》2.3.2 条的船舶安装满足本指南要求的风帆装置，并按照第 4 章要求完成 EEDI 验证，可将其对 EEDI 的贡献值计入该船

的 Attained EEDI 值后授予附加标志 CDx。

1.3. 定义与缩写

1.3.1 定义

(1) 风帆装置：系指船上出于节能目的装设的、用于辅助推进的风力直接利用装置，一般包括风帆结构、操帆装置、操帆装置控制系统、监测报警、安全系统、帆/桨联合控制系统（如设置时）等。风帆装置及其子系统的组成、相互间关系详见图 1.3.1。

(2) 风帆结构：系指承受风载荷并传递助推力的风帆基座、中柱、骨架、帆面等构件。

(3) 操帆装置：系指为使风帆产生辅助推进力而控制风帆执行升降、回转和转动动作必须的机械，包括动力单元、动力传动系统和机械执行机构等。

(4) 动力单元：如为电动驱动控制的风帆装置，系指驱动用电动机及其辅助的电气设备；如为电动液压驱动控制的风帆装置，系指提供传动、控制动力的相关电机、泵及其辅助的电气设备。这些电气设备的供电也是动力单元的组成部分。

(5) 操帆装置控制系统：系指用以将风帆升降、回转、旋转等指令由驾驶室或其它控制位置传至风帆装置动力设备之间的一系列设备。操帆装置控制系统由发送器、接收器、液压控制泵及电动机、电动机控制器、管路和电缆组成。

(6) 操纵指令装置：系指根据船舶驾驶和风力辅助推进节能需要，向操帆装置控制系统发出的指令信号，用以通过控制系统和操帆装置完成风帆装置的升降和转动，从而控制风帆辅助推进力为目的的装置。本装置操纵指令应由有资质的驾驶人员或通过计算机，根据环境条件、船舶航行状况、船舶推进情况综合计算判断后给出的一组指令信号。

(7) 操帆装置监测报警系统：系指对操帆装置的设备或系统运行情况进行监测，且当其超出预定参数范围时能发出听觉和视觉信号，并能识别设备故障情况和位置的系统。

(8) 操帆装置安全系统：系指当发生危及操帆装置的严重故障时，能使发生故障的设备或系统产生保护性动作的系统。

(9) 帆/桨联合控制系统：系指根据风帆辅助推进的目的，根据既定的帆-桨联合操作优化策略，对主推进装置和风帆辅助推进装置进行组合控制的系统，该

系统可以为手动控制，也可以在手动控制基础上附加自动控制。

(10) 风帆工作状态：风帆在限定的工作条件下正常提供辅助推进动力的状态。

(11) 风帆放置状态：风帆处于非工作，且在预定的位置和角度存放的状态。

1.3.2 缩写与符号说明

(1) EEDI:船舶能效设计指数

(2) FMEA:故障模式与影响分析

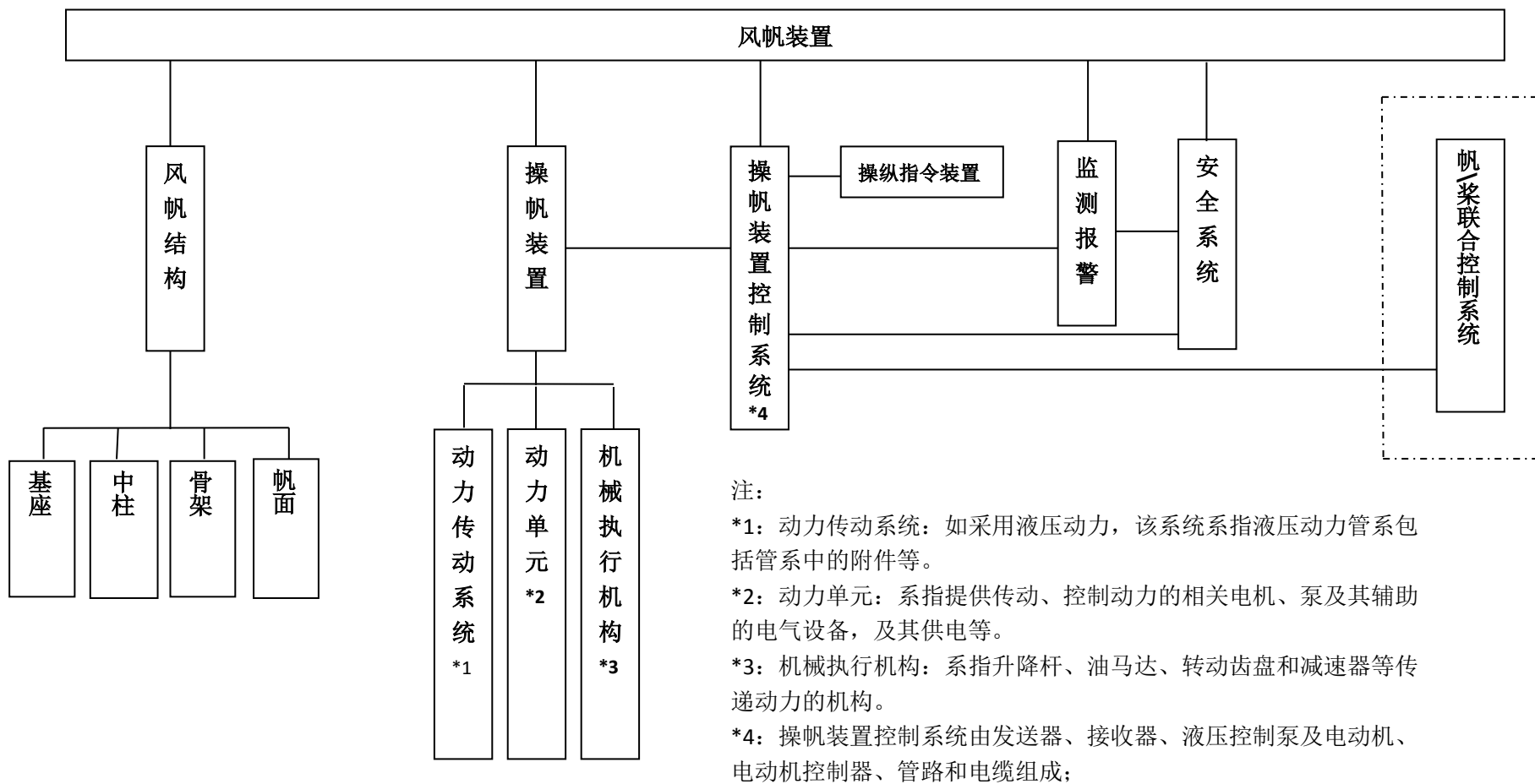


图 1.3.1 风帆装置构架框图

1.4. 目标和功能要求

1.4.1 本指南旨在为用于节能目的的风帆装置的设计、制造、船上安装布置、操作安全提供技术标准，以尽可能避免或减少风帆装置及其安装和使用对船舶、重要设备和人员安全造成危害。本指南同时提供了验证风帆辅助推进对 EEDI 贡献度的方法。

1.4.2 为实现 1.4.1 要求，风帆装置的设计、制造、安装布置、检验/试验要求等应能实现如下功能要求：

(1) 安装风帆装置的船舶的安全性、可用性和可靠性，应与未安装风帆装置的同年代建造的全新同类型船舶相同；

(2) 应能通过适当的布置或优化设计，并以适当方式进行验证，以保证安装风帆装置的船舶满足强制生效的规范、法规、公约、规则要求；

(3) 应避免风帆装置对船舶的安全航行和人员的正常操作所导致的负面影响，或将其减少到最低限度；

(4) 风帆装置应有足够的结构强度，以能够承受船舶正常运营期间的设计载荷。强度校核的极限工况包括但不限于正常作业工况和自存工况（风帆放置状态）下极限风速（见 3.2.1.4 定义）所分别对应的设计载荷的最大组合工况等；

(5) 风帆装置及其部件应适应船舶营运的环境条件和工作条件；

(6) 风帆装置及其部件的设计、制造、安装、操作、维护和检验，应确保其实现预设的功能，并安全和可靠的运行；

(7) 应考虑高压管路、运动部件对人员的危险，通过设置警示标志或防护措施，防止人员因无意接近或接触而造成伤害；

(8) 除非运动的机械部件外，其它风帆装置的某个系统或部件的单一故障，不应导致风帆和/或船舶处于不安全或不可靠的状况，这些状况和故障模式通过风险评估界定；

(9) 应设置合适的控制、监测报警、安全保护系统，以确保其操作和安全保护动作的可靠；

(10) 应保证紧急情况下，对风帆装置的有效控制，以保证风帆在任何情况下，均可以处于预先设置的安全状态。紧急控制的方式和预设的安全状态，通过风险评估确定；

(11) 如果设置帆/桨联合控制系统，则其主推进和辅助推进力的分配和/或转换应保证船舶安全推进；

(12) 应提供详细说明，介绍系统组成和功能、操作限制条件和注意事项、操作程序、维护和保养要求等，以确保船员可以安全和正确地操作风帆装置；

(13) 应对用于风帆装置制作的重要材料和零部件进行验证和控制，以确保其实现所设计的功能并达到相应的安全性要求；

(14) 应对风帆装置制作的工艺、重要制作过程进行验证和控制，以确保制作质量满足设计要求；

(15) 对于新颖设计的风帆装置，在船上安装前应进行设计认可，设计认可包括但不限于设计评估、样机制作、陆上试验和验证环节等，以验证其安全性和可靠性；

(16) 风帆装置船上安装后，应进行试验，以验证风帆装置的操作，以及对船舶的总体影响是否与设计要求相符，并满足在安全性、可靠性和可用性方面设定的目标；

(17) 应对风帆装置进行定期的检验和试验，以保证其重要结构和功能的有效性以及操作的可靠性；

(18) 如申请签发设计及风帆助推效果的能效证书，应按照 EEDI 的验证原则开展，通过模拟计算/模型试验、实船验证或这几种方法的组合或修正，获得可靠和公认的验证结果。

第2章 船舶设计与布置

第1节 一般规定

2.1.1. 目标

2.1.1.1. 本章的目标是保证安装用于节能目的的风帆装置后，船舶和船上人员的安全性，将风帆装置对船舶安全航行和人员正常操作的风险降至最低。

2.1.2. 功能要求

2.1.2.1. 本章除应满足 1.4.2 (1)、(2)、(3)、(5)、(11)、(16) 中的功能要求，还应满足如下要求：

(1) 风帆装置在正常工作和放置状态时，均应将其对船舶布置和其它设备的影响控制在尽量小的范围内。特别地，除非经等效评估和/或免除并得到本社和/或船旗国主管机关同意，风帆装置的安装和布置，不应导致船舶的其它布置和设备无法满足强制生效的规范和法规要求。

(2) 应采用公认的风险评估方法，对风帆装置引起的船舶的附加风险进行评估，并通过降低风险的措施或优化设计，将安装风帆装置船舶的总体安全风险，控制在与未安装风帆装置的同年代建造的同类型船舶相当的水平。

(3) 在分析或评价风帆装置对船舶的总体性影响时，应考虑风帆装置可能导致的附加风险。导致这些附加风险的因素包括但不限于：风帆遮挡影响、风帆气动力效应影响、风帆结构性损坏影响、人身伤害危险和电气防爆（适用时）等。

(4) 除非风帆装置的设计，使得在风帆装置的任一系统或部件（非运动机械部件除外）发生故障时，风帆均可以在可控情况下回复至所设定的安全状态（以 2.3 规定的 FMEA 分析结果为准），否则上述（3）所述的分析或评价，应包含风帆处于最不利的状态下的工况。

(5) 除非通过系统或软件控制，将风帆-主推进方式联合推进状态下的船舶航速限制在不超过设计航速，否则需要评估风帆助推情况下，船舶航速超过设计航速对设计和总体性能的影响。

第2节 图纸资料

2.2.1 送审图纸和资料

2.2.1.1 安装风帆装置的船舶，除按照本社相关规范的要求提交图纸资料外，还应将下列与风帆装置相关的船舶图纸资料提交本社批准（风帆装置的设计图纸送审要求详见 3.1.3 规定。）：

- (1) 总布置图；
- (2) 驾驶室视线图；
- (3) 完整稳性计算书；
- (4) 装载手册；
- (5) 破损稳性计算书；
- (6) 基本结构图；
- (7) 风帆装置基座结构图；
- (8) 风帆装置基座甲板下加强结构图；
- (9) 舾装数计算书；
- (10) 电力负荷计算书；
- (11) 电力系统单线图；
- (12) 危险区电气设备布置图；（适用时）
- (13) 危险区电气设备清单（如有风帆装置电气设备布置在危险区时）；
- (14) 天线布置图；
- (15) 航行灯、信号灯布置图；
- (16) 雷达系统图；
- (17) 雷达盲区图（如风帆对雷达有遮挡时）；
- (18) 与风帆装置系统和设备布置相关的处所的布置图；
- (19) 锚泊、系泊设备能力评估（风帆气动力效应影响因素）；
- (20) 操舵装置能力评估（风帆气动力影响因素）；
- (21) 最小主机推进功率计算（风帆气动力效应影响因素）；
- (22) OCIMF 要求符合性评估（风帆气动力效应影响因素）；（适用时）
- (23) 直升机作业的影响评估及操作限制条件（风帆气动力效应影响因素）；（适用时）
- (24) 试验大纲及试验程序（与风帆装置对船舶总体影响评估相关部分）；
- (25) 噪声控制图（适用时）；

- (26) EEDI 前期计算报告及相关技术资料（如申请 EEDI 验证时）；
- (27) EEDI 最终验证报告及相关技术资料（如申请 EEDI 验证时）；
- (28) 其它本社认为需要提交的图纸；

2.2.2 备查图纸和资料

- (1) 船舶操纵性评估（典型工况下风帆气动力效应影响因素）；
- (2) 风帆装置操作手册；
- (3) 相关风险分析报告；

2.2.3 船上应保存的图纸和资料

- (1) 风帆装置工作状态下船舶操纵曲线；
- (2) 风帆装置操作手册；

第 3 节 风帆装置对船舶影响及其评估

2.3.1 设计原则

2.3.1.1 船体结构应有效支撑风帆，自风帆传递至船体结构的载荷应为惯性载荷和风动力载荷的组合，具体载荷计算详见第 3 章第 2 节规定；

2.3.1.2 应充分考虑和评估船舶安装风帆后，因重心升高、迎风面积增加和气动力效应引起的侧倾力矩增加等因素对稳性的不利影响；

2.3.1.3 应将安装风帆后，对驾驶室视线、信号设备、航行设备（如雷达）等的影响减少至最低限度。必要时应采用替代或等效设计，以保证安装风帆装置的船舶满足强制生效的法规、公约、规则要求；

2.3.1.4 应充分考虑因风帆的迎风面积（纵向、横向）增加和气动力效应导致的锚泊和系泊附加力，以及对锚泊和系泊设备能力的要求；

2.3.1.5 应充分考虑风帆助推对船舶航速的影响，如果不设置限定最高航速的策略，应将考虑助推效果修正后的设计航速用于评估操舵系统的能力；

2.3.1.6 除非有有效的应对措施，否则应充分考虑故障模式下，风帆因气动力效应可能产生的与航行方向相反的推力，并据此设定最小主机推进功率，以在恶劣海况下保持船舶的操纵能力；

2.3.1.7 应考虑风帆助推工况下，风帆产生的横向分力、转船力矩和航速

变化对船舶操纵性的影响并进行评估；

2.3.1.8 应充分考虑风帆结构局部或整体失效的可能性及其后果，并采取相应的设计优化和降低风险措施。

2.3.1.9 应注意风帆装置对船上原有的其它设备或系统，如灭火系统、空气/通风/透气系统、甲板照明系统等的影响，并将其影响减少至最低限度。

2.3.1.10 风帆装置一般应由船舶主电源供电，如根据 2.3.2 和 3.1.4 进行的风险分析结果显示，主电源的失去会使风帆自身和/或船舶处于不可控的危险状况，则需要应急电源供电或其它独立动力供应，以保持对风帆的有效控制，以便将其回收至安全放置位置。在进行电力系统设计和电力负荷计算时，风帆装置可作为一般电气设备。

2.3.1.11 风帆装置及其电气设备尽量不布置在危险区内，如果无法避开，则应充分考虑电气防爆、机械撞击火花、静电和雷击的危险。

2.3.1.12 应尽量减少风帆装置对船上人员舒适性和安全操作的影响，如帆面反光对船员观察和夜间照明的影响、帆面反射雷达波束可能导致的健康损害、侧倾力矩导致的初始静横倾角对舒适性和安全操作的影响、气动力效应对直升机降落/悬停布置和操作的影响、风帆装置对装卸货操作的影响等。

2.3.1.13 上述设计原则的实现和影响因素的评估，应基于风帆装置的功能设计，特别是应急情况（如主电源失去或故障模式）下的控制能力，并基于 2.3.2 和 3.1.4 规定的风险评估结果开展。

2.3.1.14 与船舶总体性能和安全操作相关的任何设计边界条件和操作性限制，应包含在按照 3.6.2 要求编制的风帆装置操作手册中；重要或关键性的操作提示，应在设备操作位置张贴。

2.3.2 风险评估

2.3.2.1 应采用公认的风险分析/评估方法对船舶安装风帆装置的总体风险，如布置、操作等与安全相关的风险进行分析和评估，以评价风帆装置对船舶总体布置和性能的影响，并根据评估结果，采取合适的措施对已识别的风险进行控制。风险分析时，可以针对不同的分析对象分别采用一种或几种风险分析方法的组合。

2.3.2.2 船舶安装风帆装置的总体风险分析一般应考虑如下可能的风险：

- (1) 风帆对法定要求履约和航行安全的影响；
- (2) 风帆对船舶总体性能和系统设计的影响；
- (3) 风帆对人员安全和安全操作的影响；
- (4) 风帆结构失效的影响；

在进行上述分析时，应考虑风帆正常控制和操帆装置失效两种工作模式，并在 3.1.4 风险评估（FMEA）结果中所对应的风帆控制能力和状态中，选取对应于所分析风险的最不利的风帆状态，作为本项风险评估和结果分析的输入。

2.3.2.3 风险分析报告一般应包含如下几个方面的内容：

- ① 用于风险分析的标准和方法；
- ② 分析时所做的各种假定和前提条件；
- ③ 分析对象，如系统、设备、操作等；
- ④ 可能存在的风险；
- ⑤ 产生风险的原因；
- ⑥ 风险可能造成的影响；
- ⑦ 防止或减轻风险危害所采取的措施及落实。

2.3.2.4 本项风险评估（总体）的内容和结果，应作为风帆装置设计和 3.1.4 项风险评估（风帆装置）的输入，以确保本项风险分析时的假定和前提条件，以及减轻风险危害的措施，在风帆装置的设计和验证环节得以体现。

2.3.3 典型影响及评估方法

2.3.3.1 船舶结构强度

(1) 应考虑因风的附加载荷导致的风帆装置对船体总纵强度和局部强度的影响；

(2) 如风载荷导致的沿船舶中纵剖面分布的风帆装置最大纵向弯矩不大于船体梁最大中拱/中垂弯矩（取绝对值中的小者）的 1%，则可以不计入其对船体总纵强度的影响；

(3) 与船体结构相连的风帆基座及其船体加强结构的强度（屈服、屈曲和疲劳强度），应在考虑风载荷引起的弯矩、剪力、扭矩，以及风帆结构的重力分量和因船舶运动引起的惯性载荷，并根据给定工况进行合成后，使用直接计算等方法进行校核。具体计算方法详见第 3 章。

2.3.3.2 完整稳性

(1) 在风帆任何正常工作和放置状态下，船舶的完整稳性应满足相应船型的要求；如果根据 2.1.2.1 (4) 的规定，风帆可能处于对船舶稳性影响更恶劣的状态，则完整稳性计算应包含该工况。

(2) 完整稳性计算时，船舶受风面积需要计及风帆不同工作状态下的最大侧投影面积；

(3) 气象衡准计算中考虑风压的影响时，如果计及风帆工作状态下，因气动力效应产生的最大横倾力矩大于仅考虑风压和风帆侧向受风面积的横倾力矩，则风压力矩应以公认的理论计算方法（如 CFD）或风洞试验获得的风帆风压横倾力矩代替。原则上，对于新颖翼型，需要通过风洞试验的方法确定风压力矩。确定风帆风压力矩时对应的风速，应取《国际完整稳性规则》（2008）及其修正案中确定风压值所对应的风速和风帆正常工作限定风速中的小者。

2.3.3.3 驾驶室可视范围

(1) 风帆应尽量布置在驾驶室正横以后的范围内，以减少对驾驶室可视范围的遮挡。

(2) 不论风帆的布置位置如何，在计及风帆正常工作和放置状态处于最不利位置（高度和宽度）的情况下，在驾驶位置的可视范围均应满足公约或法规要求。

2.3.3.4 信号设备布置

(1) 风帆的布置方式和位置，应使得风帆在任意工作和放置状态，信号设备均能满足避碰规则和主管机关法规对机动船的布置要求。

(2) 可采取等效或替代布置方式以避免航行灯被风帆遮挡，如果该方式为双套航行灯布置，，则应设置风帆状态与相应航行灯工作状态的联锁装置，以避免误用。

2.3.3.5 雷达布置

(1) 风帆的布置位置，应尽量减少对雷达正常工作的影响。一般应满足 SOLAS 公约中关于“雷达安装（包括天线）应以雷达系统性能不受严重妨碍的方式进行，在出厂文件应有安装指南”的要求，即雷达的安装至少应满足雷达生产厂家的安装指南要求。作为通用标准，推荐使用 IMO SN.1 Circ.271 “Guidelines

for the Installation of Shipborne Radar Equipment”中的相关要求；

(2) 如果雷达和风帆的相对安装位置，不能满足雷达生产厂家安装指南或上述 2.3.4.1 推荐技术标准的要求，则雷达的等效/替代布置方案应报请船旗国主管机关同意。

2.3.3.6 锚泊、系泊设备配置

锚泊和系泊时，风帆应处于放置状态。在进行舾装数计算时，可假定风帆处于放置状态，但需假定风帆的水平角度处于舾装数计算结果数值最大的状态，并以该计算结果作为选取锚系泊设备的依据；

(1) 设计方还应根据风帆装置的型式，对因风帆的气动力效应可能导致的锚泊和系泊力的增加进行评估，并根据评估结果对锚系泊设备的规格进行修正。进行评估时：

① 应假定风帆在非工作的放置状态，且风帆角度和来风方向的组合处于使锚泊或系泊附加力的增加值最大的工况；如果风帆在指定角度放置，且在 2.1.2.1 (4) 所述的操帆装置单一故障（含主电源失去）的情况下，操帆装置可以将风帆转至该角度，则进行附加力计算评估时，可仅考虑风帆在该指定存放角度和指定来风方向的工况组合。其中锚泊附加力评估需考虑首向 0° 和左舷/右舷首向 45° 来风方向，系泊附加力评估需考虑横向和左舷/右舷横向 45° 来风方向。

② 进行锚泊附加力评估对应的风速为 25m/s；

③ 油轮系泊附加力评估可按照 OCIMF 的相关要求，其中风速取为 31m/s，其它船型的系泊附加力评估可参照油轮要求。

本条提及的风速均不考虑垂向梯度；

(2) 除按照《钢规》要求进行舾装数计算和锚系泊设备选取外，对于油轮，还应关注 OCIMF 等行业组织的相关要求。

2.3.3.7 操舵系统的设计

(1) 风帆助推力和主机推进力的联合作用，可能使船舶航速超过仅主推进装置工作时的设计航速，而航速与舵系结构件强度和舵机系统的设计转舵能力密切相关；

(2) 除非设置航速报警并通过帆-桨联合操作策略，将夏季载重吃水情况下

风帆助推船舶的航速控制在不超过设计航速，否则应在舵机系统设计时，使用夏季载重吃水时船舶可能达到的最大航速作为舵系构件强度计算时的最大服务航速，并将该航速作为考核操舵装置基本性能时的最大营运前进航速。

(3) 考虑到风帆和主推进装置联合推进与主推进装置单独推进时，其舵系构件所处的尾流场有所差异，允许以理论计算和/或水池试验的方法，对《钢规》第2篇第3章第1节中舵力的计算结果进行修正。相关的计算和评估报告应提交本社审批。

(4) 如上述评估显示操舵系统的能力（强度或舵机转舵能力）不能承受超过仅主推进装置工作时的假定设计航速，并且也未设置符合第3章3.3.7要求的帆/桨联合控制系统，则船舶应设置（对水）航速报警，并在驾驶室的显著位置放置船舶实际航速不能超过限定值的警示牌。相关的操作限制应写入《风帆装置操作手册》

2.3.3.8 恶劣天气下操纵能力保持和主机最小推进功率核定

(1) 船舶需具备在恶劣海况条件下维持操纵性的能力，为此，IMO制定了相关导则，对主机最小推进功率提出要求。对于加装的风帆装置，可能在某些情况下，产生与主机推进力相反的辅助推力，从而可能抵消一部分主机推进力，进而降低船舶维持操纵性的能力，应予以特殊考虑。

(2) 除非风帆装置设计成主电源正常工作时，2.1.2.1(4)所述的任一单一故障不会导致风帆装置产生与主机推进力反向的推力，否则主机的功率（约定最大持续功率）应有足够的富余，在抵消风帆装置失控情况下可能产生的与主机相反的推力后，仍能够满足相关导则对主机最小推进功率的要求。相关的计算和评估报告应提交本社审批。

2.3.3.9 船舶操纵性

(1) 如果风帆在某些工作和放置状态下的气动力会产生沿船舶横向的分力，则在进行船舶操纵性评估时，应充分计及横向力可能导致的横漂、转船力矩可能导致的首向偏移，还应计及风帆沿首向的推进力对船舶从最大营运前进航速至停止能力的影响；

(2) 应通过理论计算或水池试验或实船试航试验的方法，评估风帆典型工况下风帆对船舶操纵性的影响。评估可仅考虑相应风速下船舶操纵性受到的影响，

不必考虑风浪的联合作用。典型工况至少应包含风帆在放置位置且不产生推进力、风帆产生最大横漂力、风帆产生最大转船力矩、风帆在正常工作状态位置和设计风速（参见 3.2.3 定义）下产生最大推进力等 4 种工况；

(3) 按照《关于船上配备和显示操纵资料的建议》(A.601(15)决议)的规定应配备和显示的操纵资料，应包含按照上述(2)典型工况评估后的补充信息。

2.3.3.10 风帆对甲板上灭火系统/设备布置的影响

(1) 风帆的形状及安装位置，应在其周边区域失火时，尽可能避免形成灭火系统无法触及的死角或盲区；

(2) 如因风帆装置的遮挡，形成对甲板固定式灭火系统（如水消防系统、油船固定式甲板泡沫系统）灭火作业的盲区，则盲区的位置及面积应提交本社评估。评估时，应假定风帆在任意角度的工作或放置状态并形成最大遮挡盲区。必要时，应调整或增设设备，以尽量减少遮挡造成的不利影响。

2.3.3.11 风帆产生静电的危险和可靠接地

(1) 风帆的设计，应使产生静电集聚的危险尽量降低，为此，所有的金属零部件应可靠接地。

(2) 风帆装置的帆面、法兰等非可靠电气连接的部件之间，应设有可靠电气连接，并应与船体有可靠连接。接地应满足《钢规》第 4 篇第 1 章第 3 节 1.3.4 条要求。

(3) 滑动接触的金属零部件不应视为有效电气连接。

2.3.3.12 风帆避雷措施

风帆装置应设置避雷装置，以防止雷击对船舶安全造成的危害。避雷装置的设置应满足《钢规》第 4 篇第 2 章第 13 节。

2.3.3.13 船员安全操作和舒适性

(1) 风帆在某些工况下，会产生横倾力矩，从而导致船舶有一个稳定的静横倾角。该静倾角过大时，可能影响船员、乘客的舒适性，并可能对所载运货品（如车辆）的稳定性带来不利影响，应尽可能控制。一般情况下，仅考虑风帆的最大横倾力矩贡献所产生的静横倾角不应大于 3° ，且在任何情况下，不应使用压载的方法对因风帆产生的横倾进行浮态修正。

(2) 某些情况下，风帆工作时会产生风噪；在特定的流场分布下，上层建

筑和船体结构对风帆的流场的扰动可能会导致比较明显的居住区域振动和噪声。船舶的噪声水平，应满足《船舶噪声水平规则》的要求。如认为必要，应对风帆的工况予以适当限制。

(3) 推荐风帆表面使用非反光材料或进行非反光处理，以尽量减小对船员驾驶、瞭望、视觉的不利影响，以及因对航行灯等信号设备的反射可能导致的他船误判。

2.3.3.14 甲板直升机作业

(1) 应充分考虑和评估风帆正常工作和放置状态下对直升机降落和/或悬停作业的影响。原则上，直升机作业时，风帆应处于放置状态。

(2) 应采用理论计算和/或风洞试验的方法，模拟风帆在存放状态下的流场分布，并按照公认的标准（如 CAP437）进行评估，以给出直升机作业的操作规定和/或限制条件。该规定和限制条件应包含在风帆操作手册中，并建议在直升机作业指挥位置（如驾驶室）张贴操作提示。

第 4 节 安装风帆装置船舶附加的检验和试验要求

2.4.1 一般要求

本节的检验和试验要求，系在常规船舶检验和试验要求的基础上，依据本章第 3 节要求及评估结果和预防措施，检验和试验风帆装置对船舶航行安全的影响因素是否得到消除或有效控制。附加的检验和试验应包括但不限于船舶雷达盲区、船舶操纵性、船舶操舵能力等。风帆助推节能效果的验证请参见第 4 章相关内容。

2.4.2 附加的检验和试验的要求

安装风帆装置船舶附加的检验和试验要求，可根据不同型式风帆装置的实际情况提出，并不限于以下提及的要求：

(1) 船舶雷达盲区验证。应分别在风帆处于工作状态和放置状态并对雷达波形成遮挡最大状态时，测量并绘制雷达盲区。

(2) 船舶操纵性验证。应分别在风帆工作和放置状态，进行船舶操纵性试验。风帆放置状态的操纵性试验与未安装风帆船舶相同。工作状态的操纵性试验应按如下条件进行：

回转性试验的试验开始航速为“MSC. 137(76) 船舶操纵性标准”中定义的测试航速，并计及风帆助推所增加的航速。在试验过程中风帆的角度不进行调整。

航向稳定性试验和停船试验的开始状态为风帆处于纵向与横向推力最大工作状态，试验过程中风帆的角度不进行调整。

(3) 船舶操舵能力验证。应分别在风帆工作和放置状态，进行船舶操舵试验。风帆工作状态应为纵向与横向推力最大。试验过程中风帆的角度不进行调整。

第3章 风帆装置

第1节 一般规定

3.1.1 目标

3.1.1.1 本章的目标，是保证风帆装置的结构、操帆装置和控制系统，以及监测报警和安全系统，能够在设定的环境和工作条件下安全运行以实现辅助推进的功能，并满足根据船舶设计和布置的总体性安全所设定的功能性要求。

3.1.2 功能要求

本节除应满足 1.4.2 (1)、(3)、(4)、(5)、(6)、(7)、(8)、(9)、(10)、(11)、(12)、(13)、(14)、(15)、(16) 的功能要求外，还应满足如下要求：

(1) 风帆装置的设计，应充分考虑 2.3.2 总体风险评估的结果和风险控制措施的实现，辅之以 3.1.4 规定的风险评估（FMEA），以确保风帆装置设计功能的实现和船舶总体安全风险可控。

(2) 应设置风帆装置正常工作的限制条件或衡准，并据此进行结构和系统的设计。在超过正常工作限制条件或衡准时，风帆应停止工作，并回收至最有利的状态放置，以尽量降低自身损坏和导致船舶处于不可控危险状态的可能性。这些限制条件或衡准包括，但不限于：

- ① 风帆正常工作的最大风力限制；
- ② 必须将帆回收至放置位置的场景规定；
- ③ 风帆的极限变形衡准；
- ④ 如结冰会影响风帆回收至安全位置放置，则应规定风帆正常工作最低环境温度；
- ⑤ 任何引起风帆共振或谐摇的工况；
- ⑥ 其它影响安全航行或安全操作的限制条件。

上述限制条件或衡准应在风帆装置操作手册中做出明确规定。

(3) 风帆装置的设计，应使风帆在除非运动机械部件外的其它系统或部件任意单一故障时，仍可以正常工作，或安全回收至预定的放置位置（以按 3.1.4 进行的 FMEA 分析结果为准），或操作至经验证不会对风帆自身和船舶造成不可控安全风险的位置（以按 3.2.3 进行的风险评估结果为准）。

(4) 原则上,操帆装置及其控制系统的设计,应实现可以在不同的控制位置对风帆的关键动作(如升降、回转、旋转等)进行操作,其中之一应设置在尽量靠近风帆装置的安全位置,以保持控制电缆和/或液压管系失效情况下对风帆的基本安全性控制。

(5) 风帆装置在正常使用状态,可以根据事先设定的寻优策略进行手动或自动控制,以达到最佳助推效果,但应设置手动控制装置,可以使操作人员在任何情况下接管风帆的操作。

(6) 如果安装帆/桨联合控制系统,主推进装置在任何情况下均应作为推进的动力之一,并且在假定风帆装置的辅助推进功能完全失效的情况下,不应影响主推进装置的正常操作和船舶的独立推进能力。

(7) 风帆装置的帆面及其支持结构的材料,应与其安装的环境条件和工作条件相适应。金属材料应充分考虑工作状态的环境温度和耐海洋环境腐蚀的措施;非金属材料除强度和条件外,还应充分考虑材料性能随时间变化的特性(如老化、蠕变等)。非金属材料的使用应满足技术相对成熟、材料性能标准明确和制成部件的使用寿命可预期等前提条件。

(8) 风帆装置的机械设备和电气设备等,应分别按《钢规》第 3、4、7 篇规定的环境条件/工作环境进行设计、选型、布置。

(9) 风帆装置电气设备和机械设备布置在危险区域内时,应满足:

① 风帆装置的电气设备尽可能不布置在危险区域内,若无法避开则应满足 IEC60092-502 的要求。

② 风帆装置中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。

(10) 应按《钢规》第 3 篇第 1 章 1.3.6 的要求设有适当的防护措施,防止风帆装置工作和维护时可能对船上人员造成的伤害。

(11) 风帆装置的结构设计、布置,应便于安装、操作和维护。如果营运过程中的船上检查和维护不易进行,本社将对风帆装置的检查方法和全面检查间隔时间予以特殊考虑。

3.1.3 图纸资料

风帆装置的图纸,包括风帆装置设计图纸和主要零部件图纸应提交 CCS 审核。

(1) 风帆装置设计图纸:

- 风帆装置设计说明书,应包含风帆使用环境条件、助推原理、风帆控制策略、帆-桨联合控制策略(如有时)、与船舶相关界面的设计、操帆系统的布置和功能设置等信息;
- 风帆装置结构图纸(含主船体基座法兰面以上的风帆基座、中柱、骨架、帆面等,应包含典型结构节点详图);
- 风帆装置结构强度计算报告(含屈服、屈曲、疲劳),应包含用于强度评估的载荷体系、工况选择、建模原则等的说明(应提供相应的风场数据、风载荷理论计算和/或试验报告等作为支持性材料);
- 风帆装置的相关连接部件(如钢丝绳及其活动/固定零部件、液压装置的活动/固定零部件、滑道等)的布置图和强度计算报告。
- 风帆装置回转支撑结构图纸;
- 回转支撑强度计算报告(含屈服、疲劳);
- 回转支撑上下连接螺栓图纸及强度计算报告(含屈服、疲劳);
- 风帆装置振动和谐摇分析报告。适用时,振动响应计算报告;
- 操帆装置设计说明书,应包含液压、电气、监测、控制(站点/软件)等设计说明和主要技术参数(含主要零部件的设定参数);
- 操帆装置布置图;
- 操帆装置包括动力、升降、转动等装置的详图(含重要零部件强度计算及所选用材料等资料)
- 液压装置原理图;
- 风帆转动与升降液压动力系统图(如设计为电动液压系统),应包含安全阀的布置及排量说明、液压缸及液压马达配置、主要零部件规格参数以及管路等级壁厚、法兰螺栓等相关资料;
- 操帆装置电气系统图(如设计为电动或电动液压系统);
- 风帆控制电气系统图和控制软件资料;
- 操帆装置安全、监测和报警点清单,应考虑计算机或 PLC 装置/网络数据

传输/参数设定；

- 管路破损降帆速度计算（防止帆面意外坠落的措施，如适用）；
- 帆面升降和回转能力计算；（适用时）
- FMEA 故障模式分析报告，应包含 GBT 7826-2012 中 5.2.2.5 内容，或者在设计说明书中给予明确；
- 风帆装置操作手册；
- 风帆系统电气说明书；
- 控制装置功能清单；
- 电气控制装置动作协调性分析；
- 风帆电气系统图（至少包含供电、安全监测报警各模块等信息）；
- 风帆系统电气设备布置图；
- 风帆接地和防雷击系统布置图；
- 风帆装置控制、安全、监测和报警系统图；
- 风帆控制系统中的计算机系统相关资料，提交图纸的范围详见《钢规》第 7 篇第 1 章 1.1.3.2 条的规定。
- 帆/桨联合控制系统设计说明书；（适用时）
- 帆/桨联合控制系统原理图；（适用时）
- 帆/桨联合控制系统 FMEA 分析报告或软件安全评估报告；（适用时）
- 根据具体的设计方案，其它本社认为需要提交的图纸。

（2）主要零部件设计资料：

风帆装置各主要部件如果按照 CCS 要求需持证或需检验和验证，则下列与零部件设计相关的图纸和技术文件需要提交审查：

- 设计图纸，包括总图、主要部件图纸、主要零部件或材料清单等；
- 阐明产品规格的文件；
- 阐明产品性能、使用用途的文件包含规格设计参数等；
- 必要的工程计算和分析报告；
- 必要时，CCS 要求的其他文件。

3.1.4 故障模式与影响分析（FMEA）

风帆装置的操帆装置和控制系统应遵照公认的标准进行 FMEA 分析。

(1) FMEA 的目的在于分析与风帆装置（包括操帆装置、控制系统、监测报警和安全系统等）有关设备的不同故障模式及其影响。应特别注意 2.3.2 中对船舶安装风帆装置总体风险分析的结果，该风险评估中的假定/限定条件、对已识别风险的控制措施等，应作为 FMEA 分析的输入条件和限定条件，以保证总体风险评估与本章要求的 FMEA 分析方法和结果之间的协调。

(2) 对整个风帆装置应进行故障模式与影响分析。故障模式与影响分析应假定风帆装置处于不同的运行模式，并尽可能详细地包括所有系统的主要部件；对于系统中的某一设备可能有多种故障模式，从而对系统产生多种不同影响，在分析时应特别注意。FMEA 一般应包括但不局限于下列内容：

- ① 所有系统主要部件的描述以及表示他们相互之间作用的功能框图；
- ② 所有严重故障模式；
- ③ 每一故障模式的主要可预测原因；
- ④ 每一故障对船舶安全的瞬态影响；
- ⑤ 探测故障的方法；
- ⑥ 故障对系统能力的影响；
- ⑦ 对可能的公共故障模式的分析。

(3) 在编制 FMEA 报告时，应对每一单个故障模式对系统内其他部分的影响以及对整个风帆装置的影响进行说明。

(4) 应对所有技术功能的独立性进行考虑，当认为系统的某些部件无需冗余或无法进行冗余时，要进一步考虑这些部件的可靠性和机械保护，如果这些部件的可靠性足够高或故障的影响足够低，可以接受相应的布置。

(5) 应在系统实际运转情况下，尽可能对每一种故障模式下的系统冗余度进行试验，冗余度的试验程序应以模拟故障模式为基础，详细的冗余度试验程序应提交审查。

(6) 船上应放置 FMEA 和冗余度试验程序。若风帆装置的硬件或软件有改变，根据实际情况，FMEA 和冗余度试验程序应更新。

第2节 风帆结构

3.2.1 定义

3.2.1.1 船体坐标系

船体坐标系取右手坐标系，记为 **Coor_0**。

原点：船舶对称纵剖面、船长 L 尾端和基线的相交处；

X轴：沿船体纵向，且正方向为从船尾指向船首；

Y轴：沿船体横向，且正方向为从船中心线指向左舷；

Z轴：沿船体垂向，且正方向为垂直 XY 面向上（右手坐标系）。

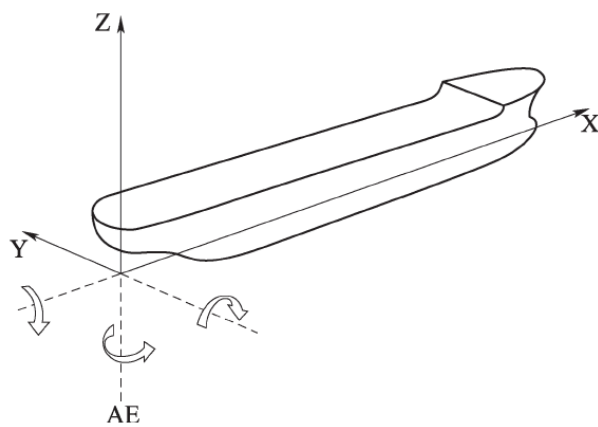


图 3.2.1 船体坐标系

3.2.1.2 风帆坐标系（见图 3.2）

设置风帆坐标系，取右手坐标系，用于计算风帆旋转角度、表明风攻角。

原点：风帆基座上法兰底面中心点位于船体上的空间位置。

x轴正向：平行于帆面方向，见图3.2.2所示；

y轴正向：垂直于帆面方向，见图3.2.2所示；

z轴正向：同 **Coor.0 Z** 轴。

规定风帆旋转角度 θ 为**x**轴绕原点**O**的夹角，逆时针旋转为正。

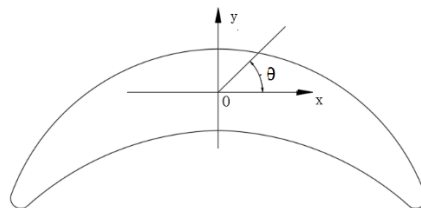


图 3.2.2 风帆坐标系

3.2.1.3 风帆结构

以硬质翼面帆为例，说明各部分结构名称（其它类型风帆相似），如图 3.2.3 所示：

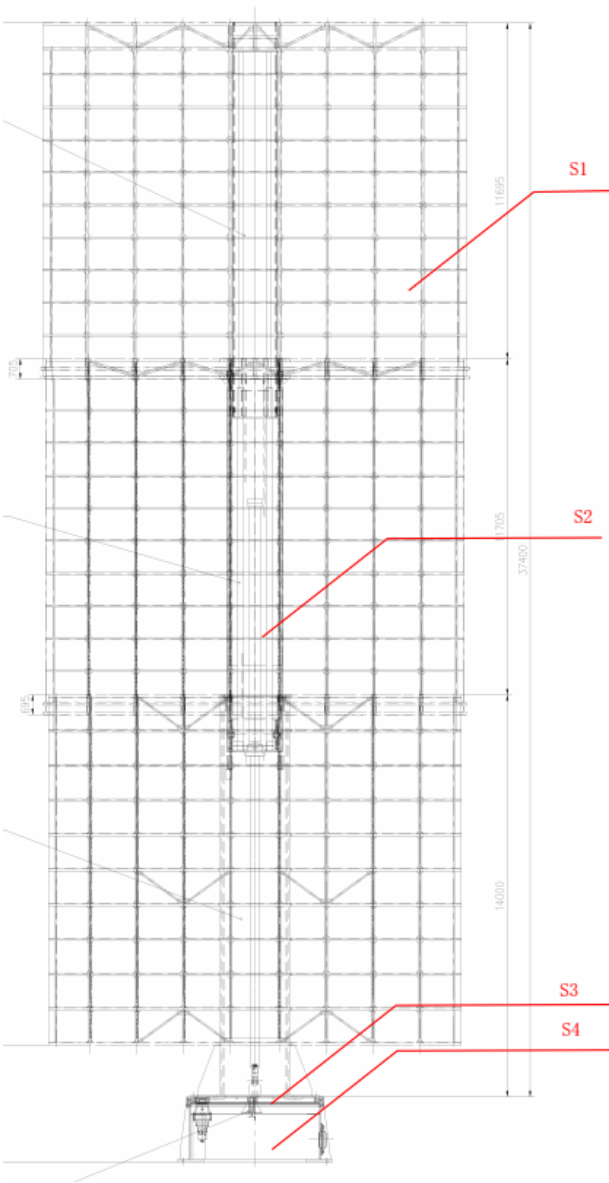


图 3.2.3 风帆结构定义

其中：S1—帆面；S2—中柱；S3—回转支承；S4—风帆基座；

3.2.1.4 风速

（1）参考风速（1分钟）

参考风速指海平面10m处的1分钟平均风速 $V_{10}(m/s)$ 。风速垂向剖面定义为：

$$V_z = V_{10} \left(\frac{z}{10} \right)^\beta$$

其中：z——垂向距当地海平面高度，m；

V_z ——海平面以上高度为z处的风速；

β ——取0.125。

(2) 极限风速 V_{lim}

V_{lim} 系指结构设计所能承受的最大设计相对风速，m/s。

对应风帆自存工况的极限风速：不小于 55m/s；

(3) 设计风速 V

V 系指风帆结构所能承受的船与风的最大相对风速，m/s。

(4) 绝对风速 V_{true}

V_{true} 为是指空气相对于地球某一固定地点的运动速率，m/s。

(5) 平均风速 V_f

V_f 由设计单位提供风场概率统计得到的分钟/小时/天/年平均风速，m/s。

(6) 航速 V_{ship}

V_{ship} 系指船舶在营运中的最大航速 (m/s)，其中用于强度评估时采用 5 节，疲劳强度评估时采用 $0.75V_{ship}$ 。

3.2.1.5 风帆装置风场

风帆装置风场系指评价风帆结构范围内存在局地风速、风向等因子不一致的风场。设计单位应能提供风帆剖面在风帆坐标系下的风场分布及压力分布图或曲线。

3.2.2 计算载荷与工况

3.2.2.1 基本原则

风帆的载荷体系应与风帆所在船舶的载荷体系相协调。对于超尺度比或特定航线的船舶，可采用《钢规》第 2 篇第 1 章第 5 节的相关要求进行载荷直接预报；设计单位也可限制风帆的最大惯性力包络值，并提供相应的可靠检测和控制手段，并取得 CCS 认可。

3.2.2.2 风载荷与风场

设计单位应提供风帆工作状态的设计风速，工作/放置状态的风帆剖面的风场分布及压力分布图或曲线。

3.2.2.3 计算工况

应考虑船舶运动产生的惯性力载荷，考虑各向加速度 (a_x , a_y , a_z) 的合成效应，共四种工况及其他可能的更危险工况，如表 3.1 所示：

表 3.1 载荷组合系数

	组合工况 1	组合工况 2	组合工况 3	4 意外工况
风载荷	1.0	1.0	1.0	1.0
风帆自重	1.0	1.0	1.0	1.0
横向加速度 a_y	1.0	0	0.8	-
纵向加速度 a_x	0	1.0	0.8	-
垂向加速度 a_z	1.0	1.0	0	-
碰撞载荷	-	-	-	1.0

其中： a_x ， a_y ， a_z 参考相应的规范计算公式，其中重力加速度 $g=9.81\text{m/s}^2$ 。

3.2.2.4 其他载荷

(1) 甲板上浪载荷：对于干舷甲板以上小于 3.0m 的区域，应考虑 1.0kPa 飞溅力；

(2) 碰撞载荷（任意水平方向 0.5g 加速度）；

(3) 其他可能出现的载荷应予以特别考虑，如结冰载荷。

3.2.3 结构强度评估方法及衡准

应采用有限元方法对风帆结构进行屈服、屈曲强度评估。对于非金属材料，要综合考虑其材料特性。风帆结构中的接触关系或其他非线性约束，应采用非线性方法或等效方法求解；对于帆面结构的强度计算，应采用大挠度计算理论；对风帆基座的甲板加强结构应满足《起规》的相关要求。当粗网格屈服应力超出许用应力时，应采用细化网格进行评估。

下列位置（但不限于）属于强制细化区域：

- (1) 中柱与回转支撑相连处肘板（若有时）；
- (2) 帆面骨架与中柱连接处的典型节点（若有时）；
- (3) 选择高应力区域的帆面骨架典型节点（若有时）；
- (4) 其他高应力区域。

3.2.3.1 建模原则

应采用整体模型和局部模型（含细化模型）相结合的方法。整体模型（含帆面、中柱模型）反映风帆的整体响应，局部模型（仅帆面或中柱模型）反映风帆的局部应力状态，细化模型反映节点细节的应力状态。局部/细化模型可以嵌入整体模型，也可从整体模型中提取边界条件。

- 粗网格：中柱单元应以板单元模拟，单元尺寸应不大于实际板格的尺寸；帆面应采用板单元模拟，每强框架内单元数量不小于 4 个；帆面骨架可采用梁/杆

板单元模拟，板单元尺寸不大于骨材的腹板高度。若存在非焊接节点，应采用接触单元或等效方式进行模拟。

- 细网格：单元尺寸不大于 50mmx50mm。
- 采用建造厚度：须考虑结构的自重，钢的密度取 7.85t/m^3 。

3.2.3.2 载荷及工况（屈服/屈曲）

计算载荷应采用 3.2.2 中的相关载荷，且取最不利的计算工况，包括但不限于：

（1）对中柱、中柱基座及其甲板支撑结构

应考虑风帆升起状态和放置状态，并分别考虑以下几种工况及其与惯性力的组合（0-360 度或设计旋转角度内），载荷组合系数见表 3.1：

- 风载荷及风帆自重对中柱基座产生的最大合力/弯矩；
- 风载荷及风帆自重对中柱的最大扭矩；
- 船舶运动产生的惯性力；
- 其他不利载荷等。

（2）帆面局部强度

设计风速或极限风速下，帆面迎风角度（0-360° 或设计旋转角度内）所受风压、惯性力等组合。

（3）碰撞工况

应考虑碰撞载荷，仅考虑结构的极限强度即可。

3.2.3.3 边界条件

对于风帆整体模型和局部模型，应考虑以下边界条件模拟；若风帆的结构型式与本节描述不同，则应按照实际边界条件进行模拟，并取得 CCS 认可：

（1）中柱间通过滑道应采用接触单元模拟传递载荷或等效的边界条件拟合；

（2）帆面间的骨架间存在滑道应采用接触单元模拟，能传递压力但不能传递拉力，应考虑帆面间的相互作用；

（3）中柱与帆面间采用嵌套形式（非焊接结构），边界条件应采用接触单元模拟；

（4）中柱内的液压装置、滑轮装置、钢丝绳等固定/活动零部件受力问题及边界条件应予以考虑，提供相应的支反力/变形数据以供液压装置、滑轮装置和钢丝绳等选型。

(5) 与甲板相连处刚固；与法兰连接处应按实际边界条件模拟。

(6) 各构件间的摩擦系数取不大于 0.05。

若整体模型由于接触单元过多或其他因素导致边界条件不足时，可与 CCS 协商，予以特殊考虑。

3.2.3.4 屈服强度衡准

应考虑材料的曲强比（见《起规》2.3.5 关于 β 的要求），风帆各结构屈服强度安全系数如表 3.2 所示：

表 3.2 屈服强度安全系数

安全系数	中柱	帆面、骨架	甲板支撑结构
正应力[σ]	—	—	1.5
剪应力[τ]	—	—	2.25
相当应力[σ_e]	1.59	升起状态： 1.21 放置状态： 1.05	1.33

注： 50x50mm 细化网格的衡准可采用粗网格的 1.6 倍安全系数。

3.2.3.5 屈曲强度衡准

3.2.3.5.1 中柱

目前的屈曲校核是整体和局部屈曲，在校核局部屈曲时，一般还要考虑横向和纵向加强筋的间距和剖面要求，一般可参照起重机设计手册或公认的标准，至于考虑带加筋板屈曲计算，如有公认合适标准可以考虑。对于风帆中柱的屈曲强度校核，既要校核整体屈曲，也要校核局部屈曲，具体要求如下：

(1) 整体屈曲校核：

a) 回转半径不变的构件的长细比 λ 按照下式计算：

$$\lambda = \frac{kL}{r}$$

式中：

L—构件的长度，应取构件的整个长度（精确计算时，可适当扣除嵌入基座的长度，mm；

r—构件的回转半径，mm；

k—构件的长度系数，按表 3.3 选取。

表 3.3 构件的长度系数 k

支点受限制程度	长度系数 k
两端固定	0.7
一端固定，一端简支	0.85
两端铰支	1
一端固定，一端自由，但旋转受约束	1.5
一端固定，一端自由	2

r 值的取值应满足《起规》3.2.19.2，且应基于 I_x 和 I_y 的小值计算得到，即，应对应剖面弱轴的惯性矩和回转半径；对于分段构件，每段截面积不变者可分段求得 r_{ei} （其中 r_{ei} 为分段剖面的有效回转半径）， $r_e = \sqrt{\sum_i^n r_{ei}^2 L_i / \sum_i^n L_i}$ （其中 n 为分段数， L_i 为分段长度）。

b) 受压构件的长细比 λ 应不大于表 3.4 所示：

表 3.4 受压构件的长细比 λ

构件种类		长细比 λ
主要受压构件	主桁架的弦杆	120
	整体构件	150
次要受压构件（主桁架的其他杆件、辅助桁架的弦杆等）		150

(2) 局部屈曲校核：

a) 板的临界应力按照《起规》3.2.20 进行。

b) 需注意：

对于受压一面的板格，受轴向受压，屈曲系数按照表 3.2.20.1 的序号 1 中的规定求得 σ_{cr} ，受压的工作应力取中柱计算剖面处的负弯曲应力；对于侧向一面的板格，受面内弯曲和剪切联合作用，屈曲系数按照表 3.2.20.1 的序号 2 中的规定求得 σ_{cr} ，按照序号 4 中的规定求得 τ_{cr} ，然后 σ_{cr}^p 按照 3.20.2 计算，板格的面内弯曲工作应力取中柱计算剖面处的正负弯曲应力，工作剪应力取中柱计算剖面处的剪应力；适用时，应执行起规 3.2.20.3；局部屈曲校核衡准按照起规 3.2.20.4 执行。

(3) 此外，由于中柱受到横向风力的作用，对于受压面，实际上是受到一个压缩和弯曲的联合作用，因此，该案对于 3.2.17.2 的要求也是适用的，因此还应按照 3.2.17.2 进行校核，需注意，校核时，弯曲应力应基于剖面的弱轴剖面模数计算得出；

(4) 《起规》3.2.21 仅是“薄壁圆筒体的局部屈曲稳定性”要求，不适用于方形截面的中柱结构，也不是整体稳定性的要求。

3.2.3.5.2 适用时，风帆帆面及骨架还应满足《起规》3.2.17 中相关要求。

3.2.4 疲劳强度评估方法及衡准

本节的规定是基于 S-N 曲线的热点应力法，也接受其他疲劳评估方法，如：许用应力范围法、谱分析疲劳法、修正的 S-N 曲线法、断裂力学法等。若设计单位采用其他方法，应提交相应的计算数据经 CCS 批准。

3.2.4.1 一般要求

一般选择风帆关键位置的结构节点进行疲劳强度评估；疲劳节点应根据强度评估的结构进行筛选。本节无规定者应满足《疲劳指南》相关要求。

设计寿命目标应由设计单位/船东确定。疲劳评估方法采用有限元热点应力分析法，该方法仅适用于焊接节点与非焊接节点的疲劳强度评估，考虑了焊接节点的结构不连续性，但是不包括焊趾转折点的切口效应。

基于有限元应力分析的疲劳强度校核采用精细网格分析进行，可将精细网格模型嵌入整体有限元模型中进行分析，也可采用包括局部精细网格区域的子模型，边界条件整体有限元模型得到。

热点附近的有限元网格应足够精细，以便反映应力梯度的变化，网格大小应不大于热点处受力构件厚度 t 。精细网格区域应保证从热点位置向外所有方向延伸不小于 $10t$ ，精细网格与粗网格之间的细化网格区域的网格密度的过渡应保持平稳。精细网格区域内应使用具有弯曲和膜元特性的 4 节点单元，壳单元应表示板材的中面和板弯曲特性。应尽可能避免使用三角形单元，避免使用角度小于 60° 或大于 120° 的畸变单元。细化区域内的骨材，应以板单元模拟；细化区域外的骨材可采用梁单元模拟。不考虑焊缝的几何形状和结构的对中。如果在自由边（如骨材穿过强框架的开孔、板材边缘和舱口角隅）进行应力评估时，应使用高度与板材厚度相同，宽度近似忽略的梁单元来得到局部的应力值。

采用建造厚度，疲劳计算时腐蚀修正系数 $f_{c1}=1.1$ ，具体规定见《疲劳指南》。

3.2.4.2 S-N 曲线选择

对于焊接节点，疲劳强度评估采用 D 曲线；对于母材自由边，疲劳强度评估采用 C 曲线。Weibull 分布系数取 1.0。

3.2.4.3 热点位置

应选取典型节点作为评价目标，选取位置应选择高应力区域。热点位置包括但不限于：

- (1) 风帆基座与甲板、回转支撑相连处的节点。
- (2) 3.2.3 中规定的细化区域。

3.2.4.4 计算工况

计算工况仅取升起状态，时间分配系数为 0.85。

3.2.4.5 疲劳载荷

疲劳载荷仅需考虑风动压力和惯性力作用。风动压力应考虑航向、风向的影响。若船舶航线为固定航线，可采用特定航线，否则应采用全球航线。

(1) 升起状态：热点平均应力的计算风速取年平均风速（应考虑航线的概率），风动压力取 50% 的平均风速压力；

(2) 惯性力载荷，无论何种状态，均取 3.2.2.3 的 ± 1.0 倍，航速取 $0.75V_{\text{ship}}$ 。

3.2.4.6 基于 FEM 的热点应力范围与热点平均应力（具体参见《疲劳指南》相关要求）

3.3.1 装载工况“(k)”的设计应力范围 $S_{D(k)}$ 应按下式计算：

$$S_{D(k)} = \max(f_{m,i(k)} f_t S_{h,i(k)}) \quad \text{N/mm}^2$$

式中： $S_{h,i(k)}$ ——装载工况“(k)”中载荷工况“i”下的热点应力范围， N/mm^2 ，见第 4 章或第 5 章；

$f_{m,i(k)}$ ——装载工况“(k)”中载荷工况“i”下的热点平均应力修正系数，见本章 3.3.2；

f_t ——板厚修正系数，见本章 3.3.3；

3.3.2 装载工况“(k)”的热点平均应力修正系数 $f_{m,i(k)}$ 应按下述要求确定：

(1) 对于焊接节点

$$f_{m,i(k)} = \min \left[1.0, 0.85 + 0.3 \frac{\sigma_{m,i(k)}}{C_s S_{h,i(k)}} \right] \quad \text{当 } \sigma_{m,i(k)} \geq 0 \text{ 时}$$

$$f_{m,i(k)} = \max \left[0.7, 0.85 + 0.3 \frac{\sigma_{m,i(k)}}{C_s S_{h,i(k)}} \right] \quad \text{当 } \sigma_{m,i(k)} < 0 \text{ 时}$$

(2) 对于母材自由边

$$f_{m,i(k)} = \min \left[1.0, 0.8 + 0.4 \frac{\sigma_{m,i(k)}}{C_s S_{h,i(k)}} \right] \quad \text{当 } \sigma_{m,i(k)} \geq 0 \text{ 时}$$

$$f_{m,i(k)} = \max \left[0.6, 0.8 + 0.4 \frac{\sigma_{m,i(k)}}{C_s S_{h,i(k)}} \right] \quad \text{当 } \sigma_{m,i(k)} < 0 \text{ 时}$$

式中: $\sigma_{m,i(k)}$ ——装载工况“(k)”中载荷工况“i”下的热点平均应力, N/mm²;

$S_{h,i(k)}$ ——装载工况“(k)”中载荷工况“i”下的热点应力范围, N/mm²;

C_s ——系数, 下式计算:

$$C_s = 1.6 + 0.0025L$$

其中 L 为船长, m。

有限元应力分析时, 仅考虑局部载荷工况即可。

$$\sigma_c = C_{VT} f_{cl} \sigma_L$$

式中:

σ_L ——局部载荷工况下的热点应力, N/mm²; f_{cl} ——腐蚀修正系数

C_{VT} ——船型修正系数, 按下述要求确定:

$C_{VT}=0.75$, 对于集装箱船

$C_{VT}=0.80$, 对于油船

$C_{VT}=0.9$, 对于散货船

$C_{VT}=0.95$, 对于 LNG 船

3.2.4.7 板厚修正系数 (具体见《疲劳指南》)

$f_t = 1.0$ 当 $t \leq 22$ 时;

$f_t = \left(\frac{t}{22} \right)^n$ 当 $t > 22$ 时;

式中: n ——系数, 见本章表 3.3.3;

t ——热点处的板厚, mm, 按下述要求确定;

对于简化应力分析, 扁钢和球扁钢不作板厚修正, 角钢和 T 型材取面板厚度。

对于有限元应力分析, 应取为裂纹容易产生和扩展处结构的板厚。

3.2.4.8 累计损伤度计算

应满足《疲劳指南》的相关要求, 对于船舶在 25 年营运期间的惯性力载荷循环总次数, N_D 取 0.8×10^8 ; 对风载荷的循环总次数, N_D 取 0.8×10^8 。对于设计单

位确定的其他疲劳寿命，循环总次数可进行相应的折减，并取得 CCS 认可。

3.2.5 机械部件强度评估方法及衡准

3.2.5.1 回转支承环和连接螺栓应进行静强度与疲劳强度计算。支承环的连接法兰应具有足够的刚度，支承环与起重机基座法兰的连接应为钢对钢的连接，中间不得置有填片或填料。回转支承环材料的性能要求应符合《起规》6.3.2 的规定。

3.2.5.2 回转支承环按静强度设计的强度安全系数应不低于 2.5，最大载荷应取自 3.2.2 规定的载荷组合工况。回转支承环按疲劳强度设计的安全系数应不低于 1.5。对于整体回转支承，其标定的极限承载能力（包括连接螺栓）与上述最大载荷之比应不低于 1.5。

3.2.5.3 回转支承环的连接螺栓材料冲击性能应符合《起规》6.3.3 的规定，钢材的等级一般应不超过 ISO 898/1 中的 10.9 ($\sigma_b \geq 1000 \text{ MPa}$, $\sigma_s = 0.9\sigma_b$)。承受交变载荷的接头，连接螺栓应有控制地预紧至屈服强度的 70%~80%。螺栓的静强度和疲劳强度计算时应考虑预紧力和《起规》3.6.2 规定。按外载荷计算的螺栓许用应力不得超过表 3.5 的规定。

表 3.5 螺栓许用应力

载荷形式	许用应力 (Mpa)
拉伸	$\sigma_s/2.5$
单剪	$\sigma_s/2.6$
双剪	$\sigma_s/1.75$
拉伸剪切复合 $\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$	$\sigma_s/2.1$
承压	$\sigma_s/1.1$

注： σ_s —螺栓材料屈服强度，Mpa。

3.2.5.4 回转支承环的加工面应进行磁粉检查。

3.2.5.5 钢索、固定/活动零部件及液压装置

3.2.5.5.1 本条无规定者应满足《起规》第 5、6、7 章的相关要求。

3.2.5.5.2 钢索安全系数 n （用于动索或静索）应不小于按下式计算所得的值且不小于 5.0 且不必大于 8.0：

$$n = \frac{20000}{0.9L + 1910}$$

式中：L 为钢索所能承受的最大安全工作负荷，KN。

3.2.5.5.3 钢索的最小破断负荷 Q_b 应按下式算得：

$$Q_b = nW \quad \text{KN}$$

式中：n——钢索安全系数；

W——钢索上的最大载荷，包括钢索通过滑车组的摩擦力，KN。

3.2.5.5.4 滑轮槽底直径与钢索直径之比，应不小于 19：1。

3.2.5.5.5 液压缸所受的最大载荷 $F_{\max}$ 应由有限元计算得到，具体详见

3.2.3.3 (4)；液压缸的稳定性应根据其边界条件确定其稳定性的临界力 F_{cr} ，使得

$$F_{\max} < F_{cr}/m$$

其中： $F_{cr} = \pi^2 EI / (Kl)^2$

式中： l ——液压缸两支点之间最大距离，mm；

E——弹性模量，取 206,000N/mm²；

I——液压缸的最小惯性矩，mm⁴；

m——安全系数，取 2.7；若有详细计算，经 CCS 同意，最小可取 2.3。

K——杆件的有效长度系数，如下图所示：

杆件的有效长度系数 K						
杆件的失稳形式 (虚线表示)	无侧移			有侧移		
	理论值 理想条件下， K 的推荐值	0.50 0.65	0.70 0.80	1.00 1.00	1.00 1.20	2.00 2.10
端部约束条件		线位移		角位移		
 		固定		固定		
		固定		自由		
		自由		固定		
		自由		自由		

3.2.6 振动与谐摇分析

3.2.6.1 应对风帆结构的自由振动进行计算，并应计算风帆结构的纵向、横向以及扭转振动的第一谐调固有频率。

3.2.6.2 风帆结构的纵向、横向以及扭转振动的第一谐调固有频率值应

当避开主机和螺旋桨激振频率以及船体的固有频率。

3.2.6.3 风帆结构的横向振动的第一谐调固有频率值应当避开船舶横摇频率。

3.2.6.4 风帆结构的纵向、横向以及扭转振动的第一谐调固有频率值应与上述激励频率值具有 15%以上的频率储备系数。

3.2.6.5 以上振动与谐摇分析报告应提交本社批准。如 3.2.6.4 节的要求不能满足，则应进行响应计算并提交报告。

第 3 节 操帆装置和控制、监测报警、安全系统

3.3.1 一般规定

风帆的操帆装置和控制系统应按照操纵指令装置发出的指令，操作风帆进行升降、回转、旋转等动作，以实现风力辅助推进的目的。在实现其助推功能的同时，其安全性应得到充分保证，使得其自身和船舶整体的风险得到有效控制。

当船上装有多个风帆时，应设置适当的风帆操作策略，以保证不同的风帆及其操帆装置和控制系统不会因正常工作或故障相互影响。

为实现上述目的，风帆装置的设计应保证风帆工作在设定的限制条件下，并且除风帆结构部件和非运动机械零部件以外的任何组成装置的动力源、执行和控制部件等发生单项故障时，确保风帆保持必要的安全操作状态并回复至放置位置。通常系统应按照故障安全原则设计，在设计之初，可采用可靠性分析，设备、系统的冗余设置等方式来实现。设计完成后，应按照本章 3.1.4 进行故障模式与影响分析，使得整个操帆装置和控制系统不会因为部件或者系统的某项故障而产生灾难性后果。

本节规定仅适用于硬质翼面型操帆装置和控制系统，对于其它型式的操帆装置可参照对应的适用部分，或等效采用但应保证安全可靠。

操帆装置和控制、监测报警、安全系统的显示内容应使用船上人员容易理解的语言，对于国际航行船，应至少包括英文。

3.3.2 定义

（1）动力升帆和转帆系统：系指提供动力升帆和转帆的设备，由风帆装置动力设备及辅助管路和附件，以及升帆和转帆机构组成。各个动力升帆和转帆系统可共用一些机械部件，如升帆杆（液压油缸、齿条等）、转动齿盘或作同样用途的部件。

（2）升帆和转帆机构：系指将动力（液力、电力等）转变为机械动作升举和转动风帆的部件。

3.3.3 操帆装置

根据 1.3.1（3）操帆装置的定义，本条适用的范围为具有动力升降和回转功能的风帆，且其动力源为电动或者电动液压。其它型式的操帆装置可以参照本条

技术要求。

3.3.3.1 操帆装置的基本性能

1) 操帆装置应满足在设计风速下, 风帆能够按照设计要求的速度进行帆面回转, 一般情况下, 回转速度不应小于 $0.5^{\circ}/\text{S}$ 。

2) 操帆装置应满足在风帆设计升降载荷(可参见《起重设备法定检验技术规则》/《起规》中关于升降机的要求)作用下, 风帆能够按照设计要求的速度从底部升至正常工作位置的时间应不大于 10min。帆面自全部升起位置降落至完全收起位置(不包括帆面降落的准备动作, 如转帆)的时间应不超过 5 分钟。

3) 操帆装置的动力设备应满足以下要求:

- (1) 当动力源发生故障失效后又恢复输送时, 能尽快再启动。
- (2) 能从驾驶室使其投入使用;
- (3) 任一台操帆装置动力设备的动力源发生故障时, 应在驾驶台发出视觉和听觉报警。

4) 操帆装置应设有措施保证风帆在工作期间始终处于其设定的工作位置。为保证在任何情况下的紧急降帆操作, 不能设置风帆升降和回转方向的机械锁紧装置。

5) 在风帆的主要控制位置(如驾驶室)和尽量接近风帆装置的安全位置, 均应设置相互独立的操帆装置控制器, 任一控制器故障不应导致风帆控制失效。

6) 应设有不依赖于任何动力源的就地手动应急降帆装置, 该装置应易于到达并有明显的标识。

7) 应在风帆降至底部极限位置时设有缓冲器, 防止帆面降落太快导致对风帆基座的冲击。

8) 操帆装置应能在船舶可能的纵倾、横倾或横摇状态下正常工作, 也可以根据设计输入或操帆策略来设定上述风帆正常工作角度限制。

3.3.3.2 操帆装置的结构与设计

1) 操帆装置承受内压的所有构件应按《钢规》第三篇第6章I级压力容器的有关规定进行设计。

2) 按3.3.3.1中1)和2)规定进行设计的承压部件, 其许用初始总薄膜应力应不超过下列两式的较小值:

$$R_m/A \text{ 或 } R_{eh}/B$$

式中： R_m ——材料在环境温度下的抗拉强度，N/mm²

R_{eh} ——材料在环境温度下的屈服点或规定非比例伸长应力，N/mm²

A或B——安全系数，按下表选取。

安全系数 A 或 B			
安全系数	钢	铸钢	球墨铸铁
A	3.5	4	5
B	1.7	2	3

3) 液压油缸活塞杆应进行纵向弯曲强度和稳定性校核，安全衡准参见液压设计手册和本指南第3章的要求。

4) 操帆装置的所有承压部件或传递机械负荷部件的焊接接头，应为全焊透型或等强度。焊接详图及施焊工艺应经CCS批准。

5) 操帆装置部件的结构应尽量减少局部应力集中。

6) 对于内部承受液压的管路和操帆装置的其他部件，确定其尺寸时，计算所用的设计压力应至少等于下列两值中的较大值：

- (1) 1.25倍的最大工作压力；
- (2) 安全阀的调定值。

7) 操帆装置的所有部件，应具有足够的强度和可靠的结构。对任何不是双套配置的重要部件，如适用，应采用抗磨轴承，例如能持久润滑或备有润滑附件的滚珠轴承、滚柱轴承或套筒轴承。

8) 传递机械力到操帆装置的相关部件，如没有结构性风帆制动器或机械缓冲器对其进行过载保护，则其强度至少应与风帆受力构件的强度相当，可参照《钢规》第二篇第三章对于舵柄等的要求。

9) 形成外压力界面部分的非活动部件之间的油密封，应为金属对金属的型式或为某种等效的型式。

形成外压力界面部分的运动件间应为双重的油封，以便在一道油封失效时不致引起操帆油缸故障，亦可采用等效的替代密封装置。

10) 操帆装置中涉及的固定零部件、活动零部件和绳索的制造厂应为认可的制造厂。其设计、制造和试验标准参见《起规》第五、七章的相关要求。

3.3.3.3 操帆装置的液压系统

1) 操帆装置液压管系中的管路、接头、阀、法兰和其他附件,应符合《钢规》第三篇第2章的相关要求。设计压力满足上述3.3.3.2中6)的规定。

2) 升帆液压油缸的布置应保证液压油缸工作不受帆面(包括立柱等受力件)变形的影响。

3) 顶升液压油缸应设有限位器,除非液压油缸设计时考虑使用机械限位器,如采用其他限位器,应设有两套限位器,互为备用。风帆回转系统如需要设置限位器,也应达到上述要求的同等水平。

4) 原则上,操帆装置应具有两台或两台以上的动力设备,互为备用,其中一台动力设备的能力至少能满足3.3.3.1中1)和2)的要求。且应布置成当管系或一台动力设备发生单项故障时,此缺陷能被自动隔离,使操帆装置的能力保持或迅速恢复。为实现此目的:

(1) 如顶升液压管系布置不能保证上述要求,当液压管系破损后,应有措施保证风帆不会坠落,或者提供相应的计算或者评估,风帆在重力作用下的下降速度不会导致产生危险。另外,应采取措施,当帆面降到底座时应降速,上述布置应取得本社的满意。

(2) 如回转液压管系布置不能满足上述要求时,当液压管系破损后,故障能手动隔离,并恢复转帆能力。否则应提交相关计算,保证帆角在任意角度不会对船舶的安全产生影响。

(3) 动力源为电动的操帆装置应能达到同等的标准。

5) 能被隔断的液压系统的任何部分,以及由于动力源或外力作用能产生压力的任何部分,均应设置安全阀。安全阀的设置应符合如下规定:

(1) 安全阀开启压力一般应为1.05-1.1倍最大工作压力;

(2) 安全阀最小排量,应不低于可能通过这些阀排放的所有泵容量的110%。

6) 考虑到液压系统的型式和设计特点,应具有保持液压流体清洁的设备。

7) 操帆装置的液压系统,必要时应设有放气的设施。

8) 如操帆装置的布置多于一个系统(动力系统或控制系统),并需同时进行操作,则应考虑由于单项故障而引起的液压阻塞的危险。

9) 每一液压系统的循环油箱应设有低位报警器,以尽早指示出液压流体的泄露,在驾驶室应设有视觉和听觉报警。

10) 应设有一个固定的储油箱,其容量至少足以使一个操帆装置包括循环油箱进行再充液。如设有两个或两个以上动力装置并自带油箱,且每个动力装置能满足风帆的正常操作要求,则可以免设上述固定储油箱。

11) 液压管系包括液压油应适用于风帆的工作环境,如无法满足,应采用管系保温或者选用低凝液压油的方式来达到等效标准。

12) 液压油循环油柜如设有电加热设施,应保证加热部件始终浸没在油液之中,可以通过与油箱液位连锁来实现。

3.3.3.4 动力单元的供电应满足 3.3.5 条的相关要求。

3.3.4 操帆装置的控制、监测报警与安全系统

3.3.4.1 一般要求

3.3.4.1.1 控制系统、监测报警系统和安全系统应按故障安全原则设计。

3.3.4.1.2 控制系统、监测报警系统和安全系统应具有独立性,应设计成或使其功能相互独立。

3.3.4.1.3 控制系统、监测报警与安全系统的供电应满足 3.3.5 条要求。

3.3.4.2 控制系统

3.3.4.2.1 操帆装置应至少设有 2 套相互独立的操帆装置控制系统,分别布置在驾驶室和风帆本地附近。本地位置的控制系统可仅设有基本操帆功能,并可延伸至驾驶室进行控制和设置可靠的控制位置转换装置,以作为驾驶室控制系统的备用。若控制系统为自动控制系统,则应具有手动控制功能。

3.3.4.2.2 如在操帆过程中操帆装置控制系统发生故障,另一套系统应能立即投入操作控制。

3.3.4.2.3 任何时候,2 套控制系统不可同时控制风帆。控制优先级设置方面,本地控制优先于驾驶室遥控。

3.3.4.2.4 应在驾驶室设有解除风帆液压锁止(回转系统)的装置。

3.3.4.2.5 控制风帆装置所需采集的参数应能在驾驶室显示,在风帆的控制位置应能清晰可见。

3.3.4.2.6 具有自动控制系统的操帆装置的安全性,应与人工直接操控的风帆装置相同,应特别关注自动控制系统失效或给出错误指令,但不能为操作人员立即感知时所带来的安全性风险。为此,应有措施保证在自动控制失效时能在驾

驾驶室和/或风帆本地立即进行操作方式切换，并进行有效的人工操作。

3.3.4.2.7 制定风帆控制策略时，应考虑工作极限状态，以及正常气象条件下风帆的操作。比如，推荐采用先将风帆转至最有利迎风角(中柱和/或帆面受力/变形最小)，再进行升降帆操作的控制策略。

3.3.4.2.8 控制系统可以设计为自动控制系统或人工控制系统，并能实现遥控和本地控制。控制系统应具有良好的控制品质和必要的控制精度。控制系统的设计，应能在单一控制系统/位置发生故障时，不应使备用的自动和/或手动控制失效。

3.3.4.2.9 操帆装置控制系统采用的计算机系统应满足 CCS《钢规》第 7 篇第 2 章第 6 节中 II 类计算机系统的相关要求。

3.3.4.3 监测报警系统

3.3.4.3.1 监测报警系统应具有自检功能。

3.3.4.3.2 可采用仪表、显示器等进行参数显示，可单独显示也可选择显示，可用文字显示也可用图形显示，但显示均应清晰明了，并满足相关标准要求。

3.3.4.3.3 被监控的机电设备和监控系统本身的所有被检测到的故障应在驾驶室控制站显示，并发出报警，对同时发生的所有故障发出报警信号，并设有消除听觉报警信号的装置。

3.3.4.3.4 监测和报警

(1) 操帆装置控制系统的报警和监测要求，应符合下表的规定。控制系统发生故障，应在驾驶室内进行报警。在布置液压动力站的舱室内，应设置涉及液压动力站的相关显示和报警。

序号	项目	驾驶室控制站		备注
		显示	极限报警	
1	操帆装置动力设备的动力故障	---	故障时	----
2	动力电路及电动机断相及过载	---	断相及过载时	
3	操帆装置控制系统电源故障	---	故障时	----
4	操帆装置控制系统数据通信故障	---	故障时	控制系统使用可编程电子系统时
5	操帆装置控制系统计算	---	故障时	

	机硬件和软件故障			
6	液压动力装置液压油柜液位	---	低	每一油柜均应进行监测
7	风帆转角	角度	---	操帆处就地显示
8	自动控制装置故障	---	故障时	
9	自动控制装置运行指示	运行指示	---	
10	液压油温度	温度	高	在油冷却器安装处
11	液压油滤器压力差	--	高	当安装滤器时
12	操帆装置（动力或控制） 液压系统液压阻塞	---	故障时	参见 3.3.2.3 (8)
13	数据采集系统故障	---	故障时	-----
14	风速	速度	高	
15			低	
16	风向	方向	---	
17	大气温度	温度	低	

(2) 风帆动力设备的电路及电动机应设置短路保护和过载报警装置，本条所要求的警报须为视觉和听觉警报，并应位于动力设备处所的明显位置上，在驾驶室内也应设置视觉和听觉报警。

(3) 由单一故障引起的液压阻塞，可能会导致操帆失灵时，在驾驶室内应设置视觉和听觉报警。在下列情况下，此报警应动作：

- 1) 变量泵控制系统的位置与所给操帆指令不一致；或
- 2) 在定量泵系统中的全流量三通阀位置不正确。

(4) 对于不同型式的风帆系统，可能增加或减少部分的监测和报警项目，具体以实际项目而定。

3.3.4.4 安全系统

3.3.4.4.1 驾驶室和本地控制位置应设置独立于风帆控制系统的紧急降帆装置，以保证帆面能够快速安全收回到安全放置位置。

3.3.4.4.2 应有措施防止紧急降帆功能被误触动。

3.3.4.4.3 安全系统动作后，应在驾驶室控制站发出听觉和视觉报警。

3.3.4.4.4 如因安全系统动作而导致机电设备停止运行，则非经人工确认复位，该设备不应再投入运行。

3.3.5 供电和线路敷设

3.3.5.1 对于电动和电力液压风帆装置，应在驾驶室和液压动力站装设指示电动机正在运转的装置。

3.3.5.2 每一电动或电动液压操帆装置，至少应由主配电板设两路独立馈电线直接供电。若在主电源故障时，且船舶安全需要操帆，则应提供独立于主电源的附加动力源，以提供紧急情况下风帆回到安全位置的需要。电动或电动液压操帆装置的供电电源应有足够的容量，使之能同时向与其连接且可能需要同时工作的所有电动机供电。

3.3.5.3 操帆装置的控制系统、监测报警系统和安全系统，应由主电源和备用电源供电，应能在正常供电失效时自动转接到备用电源。该备用电源可以采用蓄电池组，其容量应能至少维持 30min 供电的需要。主电源和备用电源的布置应相互独立，无论如何，任一电源中断不应对上述系统产生有害影响。

3.3.5.4 当操帆装置的控制系统、监测报警系统和安全系统的电源故障时应发出视觉和听觉报警。

3.3.5.5 操帆装置的控制系统、监测报警系统和安全系统应由独立的最后分路供电，并应设有短路和过载保护。

3.3.5.6 上述要求的电力线路和操帆装置控制系统及其附件、电缆和管子，应在他们的整个长度范围内尽可能远离。

3.3.5.7 如果按照设计假定（参见 2.1.2.1(4)），风帆装置需要在主电源失效时操作至保证安全的放置状态，则应设有最长不超过 45s 向操帆装置自动提供动力的替代动力源。这种动力源可为应急电源或位于合适处所的独立动力源，其容量至少应能向操帆装置的动力设备及其联用的控制系统提供足够的能源。替代动力源应具有足够供应操帆装置和控制系统至少连续工作 20min（或从任意工作位置回复至放置位置所需要的最长时间，取小者）的能量，以使风帆回到设计假定的安全放置位置。如果此独立动力源不设计为专用于上述目的，则应与主电源失去情况下需要保持工作的其它应急设备占用功率进行协调分析。

3.3.6 风帆装置数据采集

3.3.6.1 风帆控制系统所需采集的数据，应根据不同型式的风帆，在合适的位置设置所需要的传感器。

3.3.6.2 除船舶正常配备的风向风速仪外，尚应在合适的位置设置1部风帆

专用风速风向仪，为风帆操作提供风速、风向数据。专用风速风向仪的精度和安装位置应特殊考虑（如风力场的分布），并尽可能在风帆附近布置，以排除不利干扰的影响。

3.3.6.3 传感器应能长期稳定地正常工作。其量程及频率特性(如适用时)应与被测参数的预计的最大变化范围及变化速率相适应，并应具有适当的精度和灵敏度。

3.3.6.4 传感器应在其安装位置对环境条件有良好的适应性。传感器应坚固耐用，具有良好的机械保护、可靠的电气连接和良好的绝缘性能。

3.3.6.5 传感器的安装位置应能正确反映出被监测参数，并应易于接近、测试和拆装。为便于维修和更换，传感器应加装防护套。

3.3.7 帆/桨联合控制系统

3.3.7.1 帆/桨联合控制系统是优化主机和风帆助推联合推进效能而设置的协调统一的联合控制系统。该系统的功能设计和故障，不应妨碍原有主推进系统和风帆控制装置的正常工作和功能。

3.3.7.2 帆/桨联合控制系统应根据实时风向和风速计算对风帆对船舶产生的辅助推进作用力，并据此给出主推进装置和/或风帆装置的操作策略或建议，以实现既保证安全又节能的目的。

3.3.7.3 如果联合控制系统直接给出主推进装置和/或风帆装置的控制指令并自动执行，应特别注意其不能因船员不易立即感知的故障或错误指令，使船舶或风帆装置处于不可控的危险中。对于此种联合控制系统，应进行 FMEA 分析或其它方式的软件安全性评估，以确保控制方式的基本安全性。

3.3.7.4 如果由于风帆的助推作用而导致船舶实际航速超过设计航速，从而导致舵系结构和设备能力不足，或增加船舶操作性的难度，则帆/桨联合控制系统应根据风帆助推力的大小，根据对船舶实际航速的实时监测结果，通过主机转速控制系统以降低主机的转速，保证船舶的航速处于受控状态。该系统也可以在实际营运过程中进行经过数据的采集分析后进行修正，使其更加符合实际营运和操作。

3.3.7.5 系统的设计应保证主机转速控制系统的安全，至少满足如下要求：

- 1) 主机转速在任何情况下不能低于最低稳定转速；

2) 主机转速应快速避开转速禁区;

3) 控制系统应与原主机转速控制系统相互独立, 发生任何故障不应影响原主机转速控制系统。

3.3.7.6 如船舶未设置本条要求帆/桨联合操作系统, 并且船舶操舵系统的能力不足以应对风帆助推情况下船舶超过设计航速, 则船舶驾驶室应设置相关警示标识以提示船员在船舶航速过高时, 手动降低主机转速, 且应在风帆操作手册中明确。

第 4 节 风帆装置制造、工艺和试验

3.4.1 一般规定

3.4.1.1 本节内容仅适用于硬质翼面型风帆装置的制造、工艺认可及试验要求，对于其他型式的风帆装置的相关要求可参照对应的适用部分，不适用部分需参照其他标准。

3.4.1.2 本节内容主要包括风帆装置的设计认可、认可后的检验要求（包括材料和设备的持证要求、材料和设备的检验/试验要求、制造工艺的认可/验证要求、制作过程中检验/试验）、船上安装后的检验/试验。

3.4.1.3 风帆装置的检验和试验依据主要为（不限于）批准的审批图纸、《钢规》、《材规》、《起规》、《船舶焊接检验指南》、中国造船质量标准 GB/T34000-2016、经批准的相关《试验程序》、批准的工艺文件等。

3.4.1.4 风帆装置的认可模式为首先应经过设计认可，然后方可进行认可后的各项检验。认可后的检验流程与船舶的建造检验流程类似，可参照执行。

3.4.2 设计认可

3.4.2.1 风帆装置应按照《钢质海船入级规范》的要求进行设计认可。

3.4.2.2 设计认可系指通过对产品图纸审查和原型试验，确认产品设计满足 CCS 规范要求 and/或其他接受标准要求的评价过程。

3.4.2.3 设计认可由图纸审查和原型试验组成。

3.4.2.4 图纸审查

(1) 风帆装置图纸审查需要提交审批的图纸和技术资料详见本指南 3.1.3 的要求；

(2) 在风帆装置的图纸和技术资料中应当至少包含主要零部件的基本要求，如升降装置、回转装置、动力装置的性能和功能要求，操帆装置控制系统、监测报警系统和安全系统的功能要求等，以便确定 CCS 批准的零部件图纸和按照批准图纸检验的零部件能够满足风帆装置的要求。

3.4.2.5 原型试验

(1) 申请认可的风帆装置，应经验船师检验和标识，以确认其按批准图纸进行制造，并符合 CCS 规范和指南、适用标准的要求，适合于船上使用的预期用途。

(2) 原型试验大纲应提交 CCS 批准, 验船师应见证全部原型试验, 原型试验报告应提交验船师审核。

(3) 原型试验应至少包括风帆装置批准图纸中确定的操帆装置控制功能、安全保护功能、监测和报警点清单、FMEA 建议的试验项目的要求。相关试验项目、试验方法及合格判定依据应逐条列入原型试验大纲中。

(4) 申请设计认可的风帆装置如需验证节能效果, 按第 4 章要求执行。

(5) 不同结构、系统布置、控制和安保功能的风帆装置申请设计认可时, 原则上应按照上述 (1) ~ (4) 条要求进行原型试验, 如设计方、制造厂有充分的理由认为上述原型试验可以减免, 应提交详细的证明材料和申请供 CCS 审批。

3.4.3 认可后检验要求

风帆装置经过设计认可后, 可按照以下步骤进行认可后的检验, 具体要求如下:

3.4.3.1 重要材料和设备持证要求

3.4.3.1.1 应按照《起规》、《钢规》或相关依据对风帆装置的重要材料和设备进行对应的《风帆装置产品持证清单》的审批, 并在实际检验时按照《风帆装置产品持证清单》的要求对各材料和设备进行产品持证控制。

3.4.3.1.2 本章附录 1 是某金属材料风帆装置的《风帆装置产品持证清单》的实例, 对于类似风帆装置的产品持证清单的审批可以参照执行。

3.4.3.2 材料和设备检验/试验要求

风帆装置的产品包含风帆的结构材料 (板材、管材、结构钢、耐磨钢、钢丝绳、索具等), 机械设备 (液压缸、回转支承、液压系统、传动齿轮、旋转装置、回转支承紧固螺栓等), 电器设备 (控制系统、安全系统、监测报警系统等) 三大部分。

3.4.3.2.1 风帆用结构材料的检验

风帆用结构材料应按 3.4.3.1 的持证要求进行检验并取得相应证书。风帆装置常用材料的检验和试验一般还应满足以下要求:

(1) 如果为了增加抗腐蚀性采用不锈钢材料, 则不锈钢管材、板材、结构钢通常应采用奥氏体不锈钢, 如采用其他类型不锈钢应经 CCS 同意。上述不锈钢应按照《材料与焊接规范》及审批图纸的要求进行检验, 对于非超低碳牌号的不

锈钢，在进行晶间腐蚀实验时，可以不进行敏化处理。

(2) 如某些构件采用有耐磨特性的钢板，应按照公认的标准进行检验，对于承载部位所用钢板，应进行抗拉强度试验和缺口冲击试验。

(3) 对于钢压索具，每种型式索具在第一次供货时，应选取典型件按照公认的标准进行型式试验，相关试验大纲应经 CCS 批准，后续供货可按出厂检验项目进行。

3.4.3.2.2 机械设备的检验

(1) 风帆装置的升帆和转帆机构的重要零部件(如：用于升帆的液压缸，用于转帆的回转支承、回转支承紧固螺栓、液压马达、传动齿轮，用于将风帆锁紧在固定位置的锁紧销轴，为升帆和转帆机构提供动力的液压动力站等)应按 CCS《钢质海船入级规范》、产品检验指南要求持证和检验。

(2) 升帆和转帆机构重要零部件（如液压缸、回转支承、回转支承紧固螺栓、传动齿轮、锁紧销轴等）使用的原材料应进行冲击试验，试验温度应当充分考虑风帆装置所处的环境温度。

(3) 如风帆升帆机构采用升降油缸，该升降油缸应当自带缓冲功能；

(4) 如风帆转帆机构采用旋转接头作为连接液压动力站和风帆旋转部分液压系统的管系连接件，则应申请 CCS 进行检验和试验。旋转接头的检验除了要进行原材料性能试验、压力试验、密性试验之外，还应当进行设计压力下以额定转速旋转时的内泄漏和外泄漏试验，泄漏量应满足风帆装置液压系统设计方的要求。为了能够在旋转接头运转过程中观察到旋转接头的内泄漏量，如可能，应在旋转接头的各工作油路之间设置能够观察泄漏量的装置。

3.4.3.2.3 电器设备的检验

(1) 重要的电器元件应按照《钢规》要求制造、检验、持证；

(2) 需要特别注意，显示器除需满足 IEC 60945 要求的船用环境条件之外，还应满足 IEC 62288 第 4 章与第 7 章对于导航显示器的要求；

(3) 功能试验应满足本指南第 3 章第 3 节要求的操帆装置控制系统、监测报警与安全系统试验项目。如操帆装置控制系统出厂时无法完成上述所有的功能试验项目，在完成所有的安全试验项目的前提下（模拟试验），可在原型试验时完成未进行的试验项目。

(4) 应特别注意，安装在驾驶室的控制系统需完成《电气电子产品型式认可试验指南》中规定的辐射发射试验与传导发射试验，保证其对通信导航设备和无线电设备的安全工作不会产生不利影响。

3.4.3.3 制造工艺认可/验证要求

3.4.3.3.1 根据不同的设计特点，风帆装置可能采用一些特殊的材料（包括金属和非金属），对于金属材料，针对这些特殊材料和焊接方式，需要在施工前完成相关的焊接工艺认可，保证其覆盖所有的材料和焊接节点形式，并最终形成焊接工艺规程文件，供检验人员和现场施工人员使用。

3.4.3.3.2 针对各新颖材料和焊接方式的焊接工艺认可的流程和方法，可参照《材规》和《船舶焊接检验指南》进行，也可以依据其他适用的国际公认标准进行。

3.4.3.3.3 经过焊接工艺认可试验形成的焊接工艺规程文件是风帆结构焊接施工的重要依据，检验人员要确保文件中各焊接参数的准确性。

3.4.3.3.4 对于可能使用的非金属材料，如碳纤维、玻璃纤维、树脂、尼龙等，同样需要依据相关标准对其施工工艺进行认可，并充分考虑实际施工环境的影响。

3.4.3.4 制作过程中检验/试验

风帆装置的制作检验要求与船舶建造的检验类似，主要是依据批准的《检验项目清单》并按照预定的检验标准对风帆装置结构制作的各个环节进行检验和验证，具体的内容如下，但不限于：

3.4.3.4.1 原材料及零部件产品证书的确认

检验前应对所使用的原材料、焊材、零部件等的产品证书进行核对，确认所使用的材料与审批图纸的一致性。

3.4.3.4.2 风帆装置结构部件的检验

对于回转支承、基座、中柱、骨架、帆面等构件，应按照批准的图纸、各项工艺文件，并根据相应的检验标准对各部件的制作进行检验和试验。

3.4.3.4.3 安装上船前的试验验证

应根据批准的《试验程序》对总装后的风帆装置进行相关试验验证，内容可能包括（不限于）升降试验、回转试验、耐久试验等，待所有试验满足要求后

方可进行下一步检验。

3.4.4 船上安装检验/试验要求

3.4.4.1 一般规定

本节内容适用于风帆结构、操帆装置和操帆装置的控制系统、监测报警和安全系统的安装检验和效用试验。安装和效用检验依据为（不限于）批准的图纸、《钢规》、《起规》、中国造船质量标准 GB/T34000-2016、批准的工艺文件、批准的《系泊试验程序》和《航海试验程序》。

3.4.4.2 船上安装检验和要求

1) 按照批准的持证清单，确认操帆装置的动力传动系统、动力单元和机械执行机构，以及操帆装置的控制系统、监测报警、安全系统等持有产品证书或等效证明文件。

2) 风帆结构和操帆装置的船上组装和安装检验，包括：

(1) 检查中柱、回转支承、基座相互间的安装，关注固定螺栓的预紧力和止动装置；

(2) 检查动力传动系统、动力单元和机械执行机构的安装。测量机械执行机构中相对运动部件间的间隙；

(3) 按规范要求，对动力传动系统的管系和附件进行安装和密性检验；

(4) 按照设计要求，检查操帆装置的预期动作正常，无严重阻滞和停顿。包括但不限于旋转运动、升降运动等。

3) 电气设备的安装检验，包括：

(1) 检查控制系统、监测报警和安全系统所含电气设备的安装；

(2) 检查电缆的敷设和接线，满足 3.3.5 的相关要求；

(3) 检查风速风向仪安装位置，避免障碍物的影响；

(4) 检查避雷装置的安装，接地电缆可靠连接，测量接地电阻。

3.4.4.3 系泊试验要求

在风帆装置船上安装后，应遵照批准的《系泊试验程序》，对风帆装置的操帆装置、操帆装置控制系统、监测报警、安全系统、以及上述装置和系统的电源供电实施效用试验和检验。验证风帆装置和各系统的功能性、安全性、操作性满足设计要求和本指南的相关要求。

1) 电源供电

(1) 操帆装置电源供电。确认动力单元由主电源和替代动力源提供,并验证主电源、替代动力源的故障切换;当替代动力源为应急电源时,应验证为保障人员和船舶安全的应急设备的供电优先于操帆装置的供电;验证电源失电并恢复供电后,动力单元能自动启动。

(2) 操帆装置控制系统、监测报警和安全系统的电源供电。验证主电源、应急电源、UPS 供电和故障切换;试验 UPS 供电时长,满足功能设计要求。

2) 操帆装置

(1) 对动力单元效用试验。试验各控制位置转换,以及本地和遥控的启动和停止功能正常;试验两套或多套动力单元的切换功能。

(2) 试验操帆装置的锁紧功能。验证风帆装置在任何状态时,当失去动力源后,风帆装置能够保持工作状态不变,直至动力源恢复。

(3) 试验动力传动液压系统中阀件、附件和管路等冗余设计的故障切换。

3) 操帆装置控制系统

(1) 按照 3.3.4 中的相关要求,验证控制位置和控制方式的相互转换和优先级。

(2) 按照风帆装置设计功能要求,在各控制位置和控制方式,手动和自动控制风帆装置,实现预期运行动作。

4) 监测报警和安全系统

依据审批的风帆装置监测报警清单,验证每一报警和安全动作。试验应急停止功能和应急降帆功能。

5) FMEA 验证试验

依据 FMEA 评估的结果和预防措施,模拟失效故障,验证预防措施有效,风帆装置按预期安全运行。

3.4.4.4 航海试验要求

风帆装置完成系泊试验后,应按照批准的《航海试验程序》,在船舶航海试验中,验证风帆装置及其各系统运转正常,验证风帆装置达到预期设计功能和操作功能要求。如设置帆-桨联合控制系统,应对该系统进行功能性试验。

附录 1：某金属材料风帆装置的《风帆装置产品持证清单》

序号 No.	设备、材料名称 Equipment List	产品 证书 P C	型式认 可证书 TAC	工厂 证书 MC	备注 Remark
结构材料：					
1	一般强度钢板	X			
2	高强度钢板	X			
3	耐磨钢板				提供原材料证明+检验证书
4	不锈钢钢板（316L）				提供原材料证明+检验证书
5	钢管	X			
6	不锈钢方管				提供原材料证明+检验证书
7	尼龙 66 滑板			X	
8	锻件				提供原材料产品证书
机械设备：					
1	回转支承		X		提供原材料产品证书
2	油马达	X			
3	齿轮				提供原材料产品证书
4	升降液压缸	X			
5	钢丝绳及索具				钢丝绳提供产品证书 索具提供检验证书
6	轴和销轴				提供原材料产品证书
7	绳轮	X			
8	套				提供原材料产品证书
9	连接螺栓				提供原材料产品证书
10	风雨密门	X			
液压系统：					
1	液压单元	X			含液压站和执行阀组

序号 No.	设备、材料名称 Equipment List	产品 证书 P C	型式认 可证书 TAC	工厂 证书 MC	备注 Remark
2	管路阀件（仅限于 I、II 级管路）	X			通经大于 DN50 且设计压力大于 16 bar. 提供产品证书, 电动阀提供防爆证书
3	管路阀件			X	通径小于等于 DN50 且设计压力小于 16 bar. 电动阀提供防爆证书
4	软管		X		设备与管路之间, 用于液压油系统通径大于 DN50 需要提供产品证书
5	I、II 级管系用法兰、弯头、三通	X			
控制系统:					
1	电动机（50KW 以上）	X			
2	危险区防爆设备		X		需提供防爆证书, 如果系统证书中提及该设备, 则不需要提供 TAC
3	UPS		X		
4	风帆 PLC 控制柜	X			
5	风帆液压单元启动器	X			
6	风帆本地操作柜	X			
7	驾驶室操作台	X			
8	风帆本安隔离栅箱			X	防护等级为 IP56, 箱内的隔离栅提供防爆证书
9	接线箱			X	
10	防爆接线箱		X		
11	编码器		X		
12	接近开关		X		
13	电缆	X			

第 5 节 风帆装置操作要求

3.5.1 一般规定

3.5.1.1 船上应备有经本社批准的风帆装置操作手册，明确风帆操作、检查、维护、安全等方面的程序和计划。国际航行船舶配备的操作手册，应使用船员容易理解的语言编制，且至少包括英文。操作手册应提交本社审批。

3.5.1.2 风帆装置应按照设计限制条件和操作手册要求进行操作，以确保其自身运行安全和船舶的整体安全。

3.5.1.3 风帆装置的结构和重要设备、零部件，应按照所制定的维修保养计划进行定期保养和检查，也可以将风帆装置的维修保养要求纳入机械计划保养系统(PMS)，以保证可能导致系统失效的结构和设备缺陷能够及时发现和消除。

3.5.2 操作手册编制要求

操作手册一般应至少包括以下几个方面的内容：

(1) 风帆装置系统说明，包括船舶详细资料、系统组成描述和设计图纸（至少包括风帆结构件、液压/电动动力源、操帆装置、控制系统、监测报警系统和安全系统等）；

(2) 风帆装置操作的有关工作条件和限制条件，包括但不限于 2.3.1 风帆装置设计原则中提及的风帆装置影响因素评估结果和必要说明，以及 3.1.2 风帆装置功能要求中提及的任何风险控制措施或工作限制条件；

(3) 风帆装置操作程序，包括风帆正常和应急操作程序、系统控制功能清单、系统故障/报警点清单及应对措施；

(4) 系统功能试验程序和试验方法，必要时，应包含按照 3.1.4 完成的 FMEA 分析所建议的船上试验项目；

(5) 风帆装置维护范围和维护计划，应包括任何重要设备和零部件制造商建议的维护程序；

(6) 风帆装置检验和修理记录。

3.5.3 操作要求

3.5.3.1 风帆装置应在设计限定的天气条件下操作。

3.5.3.2 当船舶的操纵或作业条件受到限制时（如遭遇恶劣天气、狭窄水

道航行、离靠港、锚系泊作业、直升机作业等), 应对风帆装置的使用做出适当限制, 以使得其对船舶的影响降到最低和可控。

3.5.3.3 风帆装置的操作应按照批准的操作手册进行, 对任何报警后应对措施越控应得到负责风帆装置操作的高级船员的许可;

3.5.3.4 风帆操作人员应明确了解风帆工作和放置状态下, 对船舶稳性、航行设备、信号设备、甲板作业等的影响。在任何情况下, 如果船长认为风帆的工作可能导致船舶处于不安全的状态, 可以通过对风帆工作状态的人工干预或应急操作, 使风帆回复至安全状态。

3.5.3.5 建议针对风帆装置的关键性操作、应急操作和任何重要的设备连锁要求制定操作程序, 并在操作位置附近张贴。

3.5.3.6 风帆操作人员应经适当培训, 以保证其根据职责, 了解和掌握操作手册中的相应内容。

3.5.4 维护和保养要求

3.5.4.1 风帆装置的结构件和操帆装置的重要设备和零部件应定期进行检查, 并按照制造商的建议进行维护保养。

3.5.4.2 风帆装置应至少每 6 个月按照操作手册要求进行系统功能试验。试验时, 应特别注意风帆的工作状态对试验时船舶的影响, 以保证船舶的航行和作业安全。

第 4 章 风帆辅助推进船舶 EEDI 的计算和验证

第 1 节 一般规定

4.1.1 目标

4.1.1.1 本章旨在为申请将风帆辅助推进系统产生的节能效果计入 Attained EEDI 计算值的船舶提供相关的计算方法和验证指导。

4.1.1.2 本章是在 CCS《绿色生态船舶规范》和《船舶能效设计指数 (EEDI) 验证指南》的基础上,对安装了风帆辅助推进系统船舶的补充,为授予绿色生态船舶的 CO₂排放设计指数附加标志 (CDx) 提供依据。

4.1.2. 功能要求

4.1.2.1 为实现上述目标,先应用创新型能效技术的分类方法将风帆辅助推进系统进行归类。

4.1.2.2 根据船舶航行期间创新型能效技术的受限条件,分析风帆辅助推进系统的可用性,并进行量化。

4.1.2.3 风帆辅助推进系统的节能效果应可量化、可验证。

4.1.3. 适用范围

4.1.3.1 本章适用于申请 CCS《绿色生态船舶规范》CO₂排放设计指数附加标志 (CDx) 的海船。

4.1.3.2 就国际航行海船而言,适用的船型及定义见 CCS《绿色生态船舶规范》第一部分第 2 章规定。

4.1.3.3 就国内航行海船而言,适用的船型及定义见 CCS《绿色生态船舶规范》第二部分第 4 章规定。

第 2 节 风帆辅助推进船舶 EEDI 计算方法

4.2.1 Attained EEDI 计算公式

4.2.1.1 风帆辅助推进船舶采用通用的 Attained EEDI 计算公式,如下:

$$\frac{\left(\prod_{j=1}^n f_j \right) \left(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}^{**}) + \left(\left(\prod_{j=1}^n f_j \cdot \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{noff} f_{off(i)} \cdot P_{AEoff(i)} \right) C_{FAE} \cdot SFC_{AE} \right) - \left(\sum_{i=1}^{noff} f_{off(i)} \cdot P_{off(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME}^{**} \right)}{f_i \cdot f_c \cdot f_i \cdot Capacity \cdot f_w \cdot V_{ref} \cdot f_m}$$

* 如果正常最大海上负荷部分由轴带发电机提供, 则对该部分功率可使用 SFC_{ME} 和 C_{FME} 替代 SFC_{AE} 和 C_{FAE} 。

$0.75 * \sum_{i=1}^{n_{PTO}} P_{PTO(i)} \leq P_{AE}$ 时, $P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}$ 可由下式替代:

$$(P_{AE} - 0.75 * \sum_{i=1}^{n_{PTO}} P_{PTO(i)}) \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE} + 0.75 * \sum_{i=1}^{n_{PTO}} P_{PTO(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)}$$

$0.75 * \sum_{i=1}^{n_{PTO}} P_{PTO(i)} > P_{AE}$ 时, $P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}$ 可由下式替代:

$$P_{AE} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)}$$

** 如果 $P_{PTI(i)} > 0$, 则 $(SFC_{ME} \cdot C_{FME})$ 和 $(SFC_{AE} \cdot C_{FAE})$ 的加权平均值应用于 P_{eff} 的计算。

4.2.2 Attained EEDI 公式中参数含义和选取方法

4.2.2.1 安装了风帆辅助推进系统的船舶, 除该系统对 EEDI 贡献度计算以外, 其它计算应按 CCS《绿色生态船舶规范》进行。

4.2.2.2 主机推进功率 ($P_{ME(i)}$)、主机碳转换系数 ($C_{FME(i)}$)、主机单位燃油消耗 ($SFC_{ME(i)}$)、辅机功率 (P_{AE})、辅机碳转换系数 (C_{FAE})、辅机单位燃油消耗 (SFC_{AE})、载运能力 ($Capacity$)、特殊设计补偿修正系数 (f_j)、载运能力修正系数 (f_i)、舱容量修正系数 (f_c)、波浪失速修正系数 (f_w)、轴马达功率 ($P_{PTI(i)}$), 应按照 CCS《绿色生态船舶规范》附录 1 进行选取。

4.2.2.3 航速 (V_{ref}) 是指在假定无风无浪的气象条件下, 在 4.2.2.1 所选取的主机推进功率 ($P_{ME(i)}$) 和载运能力 ($Capacity$) 下风帆放置状态时的深水航速, 单位为节。

4.2.2.4 风帆辅助推进系统的节能效果以 P_{eff} 表示, 乘以创新型能效技术可用系数 f_{eff} , 再乘以 C_{FME} 和 SFC_{ME} (如果 $P_{PTI(i)} > 0$, 则 $(SFC_{ME} \cdot C_{FME})$ 和 $(SFC_{AE} \cdot C_{FAE})$ 的加权平均值) 后, 从 EEDI 公式中扣除。

4.2.2.5 其中, 风帆辅助推进系统的可用有效功率 (即, $f_{eff} \cdot P_{eff}$) 计算可转换成以下公式进行计算:

$$(f_{eff} \cdot P_{eff}) = \left(\frac{0.5144 \cdot V_{ref}}{\eta_T} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n F(V_{ref})_{i,j} \cdot W_{i,j} \right) - \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n P(V_{ref})_{i,j} \cdot W_{i,j} \right)$$

式中:

(1) ($f_{eff} \cdot P_{eff}$) 表示风帆辅助推进系统输出的可用有效功率, 单位为 kW。由

于每种风场的概率及不同风场下风帆辅助推进系统发出的推力均不同，因此将 f_{eff} 和 P_{eff} 组合进行计算，风场的概率矩阵和推进力矩阵的运算结果扣除风帆辅助推进系统操作所需要的功率作为可用性和功率的乘积。

(2) 参考航速 V_{ref} 同 4.2.2.3。

(3) η_T 表示主机 75% 额定装机功率 (MCR) 下 (各) 主推进系统的总效率。如无经验验证方验证的其它数值， η_T 应设定为 0.7。

(4) 推力矩阵 $F(V_{ref})_{i,j}$ ，表示参考航速 V_{ref} 下不同风速不同风向角下风帆辅助推进系统产生的推力形成的矩阵，单位为 kN。 i 表示不同风速大小， j 表示不同风向角。

(5) 风场概率矩阵 $W_{i,j}$ ，表示相对于船舶坐标的不同风速不同风向角下的风场概率形成的矩阵。 i 表示不同风速大小， j 表示不同风向角。

(6) $P(V_{ref})_{i,j}$ 表示风帆辅助推进系统操作所需要的功率，单位为 kW。具有与 $F(V_{ref})_{i,j}$ 和 $W_{i,j}$ 一样尺寸的矩阵。

(7) $\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n P(V_{ref})_{i,j} \cdot W_{i,j}$ ，表示风帆辅助推进系统操作所需要的功率，单位为 kW，应从风帆辅助推进系统获得的附加推进功率中扣除。经验验证方同意，也可按照风帆驱动电机的额定功率乘以风帆控制策略中设定的操作频率获得。

4.2.3 推力矩阵 $F(V_{ref})_{i,j}$

4.2.3.1 每个风帆辅助推进系统随航速、风速及相对于艏向的风向角不同，都有不同的推力特性。这种推力特性可用二维矩阵 $F(V_{ref})_{i,j}$ 表示，包括了参考航速 V_{ref} 下的风速和相对于首向的风向角的任何组合元素。

4.2.3.2 矩阵的每个元素均表示各自风速和风向角的推力，单位为 kN。风向角以相对方向表示 (船首为 0°)。风帆辅助推进系统的推力矩阵 $F(V_{ref})_{i,j}$ 可参照表 4.1 格式制定。

表 4.1 风帆辅助推进系统推力矩阵 (kN)

风向角 ($^\circ$) 风速 (m/s)	0	5	10	...	355
0	$f_{1,1}$	$f_{1,2}$	$f_{1,3}$	...	$f_{1,72}$

1	$f_{2,1}$	$f_{2,2}$	$f_{2,3}$	...	$f_{2,72}$
2	$f_{3,1}$	$f_{3,2}$	$f_{3,3}$	...	$f_{3,72}$
...	...	...	...	...	...
23	$f_{24,1}$	$f_{24,2}$	$f_{24,3}$	...	$f_{24,72}$
24	$f_{25,1}$	$f_{25,2}$	$f_{25,3}$	...	$f_{25,72}$
25	$f_{26,1}$	$f_{26,2}$	$f_{26,3}$	...	$f_{26,72}$

4.2.4 风场概率矩阵 $W_{i,j}$

4.2.4.1 风场的概率用二维矩阵 $W_{i,j}$ 表示。矩阵的每个元素均表示相对于船舶坐标的不同风速和不同风向角下的风场概率。

4.2.4.2 风场概率矩阵 $W_{i,j}$ 所有元素的总和等于 1，为无因次。风场概率矩阵 $W_{i,j}$ 可参照表 4.2 格式制定。

表 4.2 风场概率矩阵 (kN)

风向角 (°) 风速 (m/s)	[0, 5)	[5, 10)	[10, 15)	...	[355, 360)
[0, 1)	$W_{1,1}$	$W_{1,2}$	$W_{1,3}$	...	$W_{1,72}$
[1, 2)	$W_{2,1}$	$W_{2,2}$	$W_{2,3}$	...	$W_{2,72}$
[2, 3)	$W_{3,1}$	$W_{3,2}$	$W_{3,3}$	...	$W_{3,72}$
...	...	...	...	...	...
[23, 24)	$W_{24,1}$	$W_{24,2}$	$W_{24,3}$	...	$W_{24,72}$
[24, 25)	$W_{25,1}$	$W_{25,2}$	$W_{25,3}$	...	$W_{25,72}$
[25, +∞)	$W_{26,1}$	$W_{26,2}$	$W_{26,3}$	...	$W_{26,72}$

4.2.4.3 对于国际航行海船，如设计航区为无限航区，风场概率矩阵应从全球主要航运路线上的风场概率资料中获取。一般情况下全球风场概率矩阵见 MEPC.1/Circ.815 通函。

4.2.4.4 对于国内航行海船，应采用设计航线上的风场概率矩阵。

第 3 节 风帆辅助推进系统对 EEDI 贡献度验证方法

4.3.1 验证程序

4.3.1.1 采用风帆辅助推进系统的船舶，首先应按照 CCS《船舶能效设计指数 (EEDI) 验证指南》进行 EEDI 验证。

4.3.1.2 对风帆辅助推进系统的验证,按照 4.3.2、4.3.3 的附加要求进行。

4.3.1.3 用于最终确定风帆辅助推进系统对 EEDI 贡献度的推力矩阵 $F(V_{ref})_{i,j}$ 必须经验证方验证。

4.3.2 设计阶段的前期验证

4.3.2.1 除 CCS《船舶能效设计指数 (EEDI) 验证指南》2.3 要求外,申请方提交的 EEDI 技术案卷还应包括:

- (1) 风帆辅助推进系统布置图;
- (2) 风帆辅助推进系统原理图;
- (3) 风帆辅助推进系统的适用工作范围;
- (4) 风帆辅助推进系统控制策略/操作计划;
- (5) 风帆辅助推进系统推力矩阵 $F(V_{ref})_{i,j}$ 的性能试验或模拟计算的详细过程及结果;
- (6) 采用风帆辅助推进系统的船舶的 Attained EEDI 计算过程及初步结果。

4.3.2.2 采用风帆辅助推进系统的船舶,首先应按照常规船舶进行快速性水池试验。

4.3.2.3 设计阶段,为获得表 4.1 所示风帆辅助推进系统推力矩阵 $F(V_{ref})_{i,j}$,应采用模型风洞试验对该系统提供的推力进行测量或计算。

4.3.2.4 风洞试验

(1) 风洞试验组织的试验程序和质量控制体系应获得验证。如表明以往的经验不充分,验证方应审核风洞试验组织的质量管理体系。

(2) 如风洞试验组织的质量控制体系未得到有效文件 (如 ISO 9001) 的认证,应向验证方提交有关风洞试验室组织的以下附加信息:

- a. 风洞试验室的设施与设备的描述,这包括设施名称、设备的细节以及每个监测设备的校准记录;
- b. 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) 风洞模型试验应遵循几何相似、运动相似和动力相似准则。

a. 几何相似：按统一缩尺比制作的风帆模型满足几何相似条件。

b. 运动相似：空气介质相对运动模拟船舶匀速直线运动状态，船体模型姿态角、帆角保持与实船相等。

c. 动力相似：试验风速应高于临界风速，满足动力相似准则，由此测得的模型风载荷系数可直接外推预报实船风载荷系数。

(4) 在同时满足上述相似准则的基础上，应尽量设定合理的试验模型缩尺比，试验模型的加工精度应满足试验规程要求。

(5) 试验条件及测量要求

a. 风场环境：风剖面应满足 1/8 指数分布；

b. 模型试验装载工况：至少应在 EEDI 装载工况下进行。如实船将无法在 EEDI 装载工况下试航，则需要额外增加与实船试航工况相对应的模型试验工况；

c. 试验内容至少应包括：不带风帆辅助推进系统的船体单独空气动力测量，船舶风向角 $0^\circ \sim 360^\circ$ ，间隔 $10-15^\circ$ ；带风帆辅助推进系统的船舶整体空气动力测量，船舶风向角 $0^\circ \sim 360^\circ$ ，间隔 $10-15^\circ$ 。

d. 测量参数至少应包括：风帆辅助推进船舶在不同状态下的力，纵向力 F_x ，横向力 F_y ，横倾力矩 M_x ，偏航力矩 M_z 。

(6) 试验数据及无量纲化

测试各个工况下的纵向力 F_x ，横向力 F_y ，横倾力矩 M_x ，偏航力矩 M_z ；各参量无量纲表达如下：

$$C_{Fx} = F_x / (\frac{1}{2} \rho V^2 L^2)$$

$$C_{Fy} = F_y / (\frac{1}{2} \rho V^2 L^2)$$

$$C_{Mx} = M_x / (\frac{1}{2} \rho V^2 L^3)$$

$$C_{Mz} = M_z / (\frac{1}{2} \rho V^2 L^3)$$

式中：

ρ —— 试验环境下的空气密度；

V —— 试验参考风速；

L —— 模型长度。

根据以上试验获得的风载荷无因次系数，按照实尺度的特征参数，由下列公式预报实体处于不同风向和风速下的风载荷：

$$F_x = \frac{1}{2} \rho V_{\text{实尺度}}^2 L_{\text{实尺度}}^2 \times C_{Fx}$$

$$F_y = \frac{1}{2} \rho V_{\text{实尺度}}^2 L_{\text{实尺度}}^2 \times C_{Fy}$$

$$M_x = \frac{1}{2} \rho V_{\text{实尺度}}^2 L_{\text{实尺度}}^3 \times C_{Mx}$$

$$M_z = \frac{1}{2} \rho V_{\text{实尺度}}^2 L_{\text{实尺度}}^3 \times C_{Mz}$$

式中：

$\rho_{\text{实尺度}}$ —— 实尺度环境下的空气密度；

$V_{\text{实尺度}}$ —— 实尺度环境下的参考风速；

$L_{\text{实尺度}}$ —— 实船长度。

4.3.3 试航阶段的最终验证

4.3.3.1 除 CCS《船舶能效设计指数（EEDI）验证指南》要求外，申请方提交的 EEDI 技术案卷还应包括：

- (1) 风帆辅助推进系统布置图（完工）；
- (2) 风帆辅助推进系统的设备配置（完工）；
- (3) 风帆辅助推进系统的适用工作范围（完工）；
- (4) 风帆辅助推进系统控制策略/操作计划（完工）；

(5) 满载吃水工况下系列风帆推力的实船试航测量数据、修正过程和风帆辅助推进系统推力矩阵 $F(V_{ref})_{i,j}$ 最终修正结果；

(6) 经修订的安装了风帆辅助推进系统的船舶的 Attained EEDI 计算过程及最终结果。

4.3.3.2 试航阶段，应对设计阶段获得的风帆辅助推进系统推力矩阵进行实船试航验证试验。

4.3.3.3 试航开始前，试航小组应制定合理可行的试航方案，提交 CCS 验船师审核，通过审核方可开展辅助推进系统推力试航验证试验。

4.3.3.4 试航要求

(1) 试航应在满载工况下进行。

(2) 首先按照 ISO15016: 2015 测速试验要求开展 EEDI 常规测速试航。常规测速时，风帆处于放置状态，即不为船舶提供辅助推力的状态。

(3) 然后，开展系列风帆推力验证试验，试验时相对于船舶的风速一般不小于 BF5。

(4) 验证可以选择以下方法进行：

(a) 功率对比法

具体步骤：在某个航速和航向，分别开展风帆放置状态和风帆工作状态下的试航，试验过程中应测量并记录航速、航向、风速、风向、主机推进功率、操舵角和风帆控制能耗；调整航向至一定角度，然后保持航速和航向不变，再次分别开展风帆工作状态和风帆放置状态下的试航，测量并记录相应数据；这样的测量至少进行 5 次，获得 5 组有效的对比数据。

(b) 推力直接测量法

具体步骤：船舶在某个航速和航向下，分别开展风帆放置状态和风帆工作状态下的试航，试验过程中应测量航速、航向、风速、风向、风帆桅杆上应变片的推力读数、操舵角和风帆的操作能耗；调整航向至一定角度，然后保持航速和航向不变，再次开展风帆工作状态下的试航，测量并记录相应数据；这样的测量至少进行 5 次，获得 5 组有效的对比数据。

(d) 上述试验得到的 5 个推力值，尽可能保持在同一相对风速，风向角均匀分布在风帆辅助推进系统的适用风向角范围内。

常规测速试航是 EEDI 计算公式的基础，应用风帆辅助推进系统，在提高船

舶航速的同时，一般还可以减少功率需求。为了维持 Attained EEDI 计算公式的前后一致，将参考航速认为设为前后一致，仅考虑功率的需求降低来进行计算。试航方法也按照这个逻辑进行设计。

关于测量方法，理论上功率对比法和推力直接测量法都可以采用。但实际上，操作性方面各有各的难度。功率对比法，很难控制船舶的航速前后一致。而推力直接测量法又增加了另一个问题，即应变片上推力读数的精度问题。

4.3.3.5 试航结束，应对试航测量得到的数据进行分析处理，如果处理后得到的推力值与模型风洞试验预报得到的推力矩阵的相应元素之间存在差异，应对预报得到的推力矩阵进行修正，得到最终的推力矩阵。

下面给出了一种推力矩阵修正方法示例。

分别求出每一个实船推力试验值，与风洞试验预报得到的相应推力值进行比较，得到一组系数 η_n ，再对这组系数取平均值作为修正系数，用于修正风洞试验获得的推力矩阵，最后修正风洞试验预报的推力矩阵得到实船推力矩阵，用于最终 Attained EEDI 的计算。即，

$$\eta_n = f(n) / (f_{i,j})_n,$$

$$\eta = \sum \eta_n / 5$$

$$F(V_{ref})_{i,j,S} = \eta * F(V_{ref})_{i,j,P}$$

式中：

$f(n)$ ，风帆辅助推进系统实船推力试验获得的推力值，kN；

$(f_{i,j})_n$ ，风洞试验预报得到的 EEDI 条件下的推力矩阵中与 $f(n)$ 相对应的风速风向角的推力值，kN；

$F(V_{ref})_{i,j,P}$ ，风洞试验预报得到的 EEDI 条件下的推力矩阵；

$F(V_{ref})_{i,j,S}$ ，经修正得到的实船 EEDI 条件下的推力矩阵；

η ：推力比

4.3.3.6 风帆辅助推进系统功率消耗可采用直接测量法，即按照式 4-2 测量出不同风速风向角下的风帆辅助推进系统操作所需要的功率矩阵 $P(V_{ref})_{i,j}$ ，然后

与风场概率矩阵 $W_{i,j}$ 相乘获得。也可采用简化算法,即根据风帆操控策略对升帆、降帆、转帆等操作及其频率的设置,计算出风帆驱动电机的使用频率系数,乘以风帆驱动电机的额定功率得到功率消耗值。

第5章 风帆装置营运检验要求

第1节 一般规定

5.1.1 应对使用中的风帆装置进行定期的检验和试验,验证其结构和设备的安全有效性,以保证其在使用中操作的可靠性。

5.1.2 本节内容仅适用于主要为硬质翼面型风帆装置的营运检验,对于其他型式的风帆装置的营运检验可参照对应的适用部分,不适用部分需参照其他标准。

5.1.3 本节内容主要包括风帆装置相关的结构、机电设备及附属件,营运检验的流程和方法可参照船舶的营运检验进行。

5.1.4 风帆装置的营运检验依据主要为(不限于)批准的审批图纸、《钢规》、《材规》、《起规》、《船舶焊接检验指南》、中国造船质量标准 GB/T34000-2016、批准的工艺文件等。

5.1.5 风帆装置的营运检验应结合船舶的营运检验进行,应充分考虑风帆装置的安装对船舶本身的影响,其检验范围应与船舶的营运检验对应。

第2节 需重点关注的结构或设备

5.2.1 结构部分

风帆装置的结构部分主要包括(不限于)中柱、帆面骨架、帆面蒙皮、回转支承和基座及加强结构,检验的重点关注内容如下:

5.2.1.1 中柱结构

中柱是风帆装置的主要支撑和运动部件,各节中柱之间通过滑道接触并产生相对运动,风帆的帆面也是通过焊接形式与中柱连接。综上,中柱结构的重点关注点包括,中柱的滑道、中柱与帆面连接处的结构和焊缝、以及风帆升起后各节中柱之间互相接触的位置。

5.2.1.2 帆面骨架

帆面骨架是由方管焊接而成的桁架结构,因为帆面的整体受力变形,各骨架之间一定存在力的传递。相对而言,最上层的帆面的结构变形是最大的。需要重点关注的是各骨架之间的连接情况,包括焊缝质量、是否出现疲劳缺陷。

5.2.1.3 帆面蒙皮

对于帆面蒙皮，需要关注的是蒙皮外表面的涂层状况、是否出现了破损或严重变形的情况，另外需要关注的是帆面蒙皮与帆面骨架之间的焊缝的状况。

5.2.1.4 回转支承

重点关注回转支承与中柱下端连接处的结构和焊缝状况，以及回转支承与基座连接螺栓的状况。

5.2.1.5 基座及加强

重点关注基座加强结构（肘板的趾端），以及基座连接螺栓的状况。

5.2.2 机电设备部分

（1）液压系统。重点关注液压管系及阀件的状况，尤其是液压软管的状况；以及液压动力源、升降油缸和液压马达的运转状况。

（2）机械部分。重点关注运转部件的状况，运转正常；运动支撑部件状况正常，未产生影响安全的缺陷；固定螺栓和止动装置状况正常，未产生影响安全的缺陷。

（3）电气部分。重点关注电缆和控制箱内接线状况；动力电源和控制电源的供电状况；风帆防雷击及接地装置的状况；风速风向仪的功能和状况；控制系统、报警系统和安全系统的功能。

第3节 检验和试验要求

5.3.1 年度检验要求

风帆装置的年度检验应尽实际可能确认结构、机电设备和管系处于良好的状态。

5.3.1.1 结构部分

1) 在进行结构检查前可先向船员询问日常检查的情况，并调取应力监测的数据（如有时），将这些反馈结果作为检验的参照；

2) 全面检查可见的结构部件，并关注涂层的损坏情况；

3) 选取有代表性的结构进行近观检验，对怀疑区域进行无损探伤（如可行）；

4) 检查钢丝绳，注意端头索具连接以及断丝和内部腐蚀的情况；

5) 风帆装置各结构部件的损坏和修理原则参照《钢规》、《起规》执行。

5.3.1.2 机电设备

- 1) 目视检查动力传递系统的液压管路和阀件, 尤其是软管, 保持良好状态;
- 2) 目视检查机械执行机构各运动部件, 保持良好状态, 运转正常;
- 3) 确认动力单元得到维护保养, 处于良好工作状态;
- 4) 检查操帆装置供电电源状态正常有效;
- 5) 检查操帆装置控制系统、监测报警和安全系统的供电电源状态正常有效;
- 6) 检查防雷击接地装置保持良好工作状态;
- 7) 检查风速风向仪保持良好工作状态;
- 8) 在各控制位置和控制模式下, 试验风帆装置的操作运行正常;
- 9) 试验监测报警和安全系统的运行保持良好状态。

5.3.2 五年度全面检查要求

5.3.2.1 结构部分

1) 原则上需要对所有结构进行近观检验和/或测厚检查, 并对怀疑区域进行无损探伤, 以确保检查能够发现出现的显著腐蚀、重大变形、裂纹、损坏或其他结构缺陷 ;

2) 在进行结构检查前可先向船员询问日常检查的情况, 并调取应力监测的数据 (如有时), 将这些反馈结果作为检验的参照;

3) 全面检查可见的结构部件, 并关注涂层的损坏情况;

4) 全面检查钢丝绳, 必要时进行清洁, 对断丝和内部腐蚀情况、所有插接处的状况进行确认, 如对钢丝绳进行了换新, 需进行全面的擦油;

5) 风帆装置各结构部件的损坏和修理原则参照《钢规》、《起规》执行。

5.3.2.2 机电设备

1) 本章 5.3.1.2 的项目适用;

2) 对动力传递系统的液压管系、阀件进行 1.25 倍工作压力的液压试验;

3) 试验操帆装置液压系统的安全压力释放阀, 记录整定值;

4) 试验应急停止功能和应急降帆功能;

5) 试验主配电板、应急配电板上风帆装置的供电用空气断路器;

6) 动力单元的电动机应进行检查, 在工作条件下试验, 必要时可同时进行全负荷试验;

- 7) 测量防雷击接地装置的绝缘电阻;
- 8) 检查风帆回转支承的固定螺栓和底脚螺栓, 必要时进行预紧力校核。