



指导性文件  
GD 03-2023

中 国 船 级 社

# 船用风力旋筒助推系统 检验指南

2023

2023年2月1日生效

北 京

# 目 录

|                         |           |
|-------------------------|-----------|
| <b>第1章 通则</b> .....     | <b>1</b>  |
| 1.1 一般规定.....           | 1         |
| 1.2 定义.....             | 2         |
| 1.3 附加标志.....           | 2         |
| 1.4 图纸资料.....           | 2         |
| <b>第2章 船舶设计要求</b> ..... | <b>5</b>  |
| 2.1 一般规定.....           | 5         |
| 2.2 布置与设计.....          | 5         |
| 2.3 总纵强度.....           | 7         |
| 2.4 局部强度.....           | 7         |
| 2.5 稳性.....             | 8         |
| 2.6 噪声.....             | 9         |
| 2.7 电气装置.....           | 9         |
| <b>第3章 旋筒构造要求</b> ..... | <b>11</b> |
| 3.1 一般规定.....           | 11        |
| 3.2 材料.....             | 11        |
| 3.3 设计条件.....           | 11        |
| 3.4 设计载荷.....           | 12        |
| 3.5 旋筒结构计算.....         | 15        |
| 3.6 内塔结构计算.....         | 15        |
| 3.7 其他.....             | 16        |
| <b>第4章 系统设计要求</b> ..... | <b>17</b> |
| 4.1 一般规定.....           | 17        |
| 4.2 驱动系统.....           | 17        |
| 4.3 安全措施.....           | 17        |
| 4.4 控制和监测报警系统.....      | 17        |
| <b>第5章 检验</b> .....     | <b>19</b> |
| 5.1 一般规定.....           | 19        |
| 5.2 建造中检验.....          | 20        |
| 5.3 建造后检验.....          | 22        |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>第6章 EEDI/EEXI计算和验证</b> .....             | <b>23</b> |
| 6.1 一般规定.....                               | 23        |
| 6.2 风力旋筒助推船舶EEDI计算方法.....                   | 23        |
| 6.3 风力旋筒助推系统对EEDI贡献度验证方法.....               | 26        |
| <b>附录1 全球风场概率分布矩阵<math>W_k</math></b> ..... | <b>29</b> |
| <b>附录2 风洞试验和推力矩阵计算</b> .....                | <b>35</b> |

# 第1章 通则

## 1.1 一般规定

1.1.1 本指南适用于安装了风力旋筒助推系统的海上航行船舶。

1.1.2 船用风力旋筒助推系统是一种利用风力 Magnus 效应产生推力辅助船舶推进的系统，一般包括基座、内塔结构、旋筒结构、驱动系统、供电系统、监测报警和控制系统等，如图 1.1.2 所示。

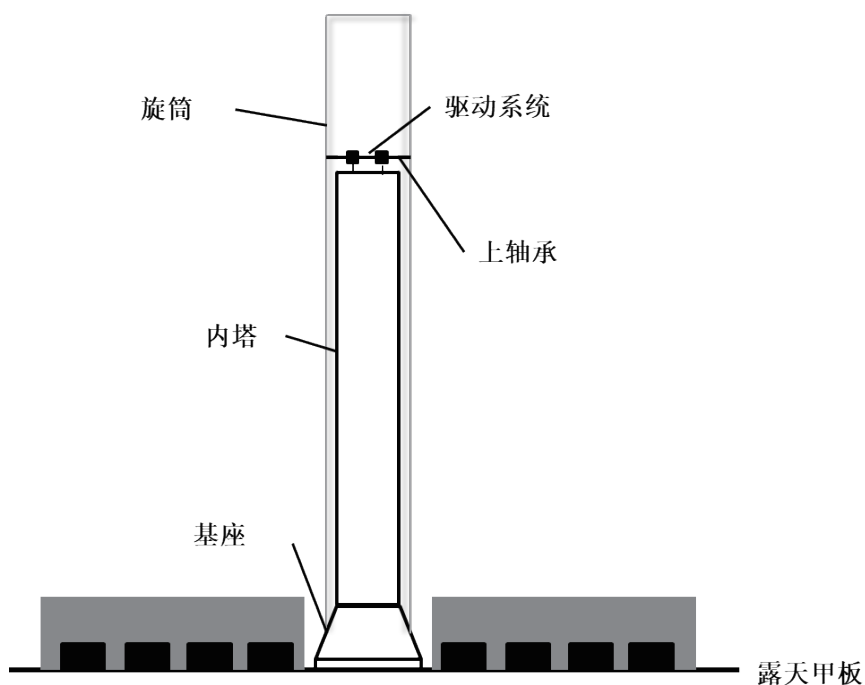


图 1.1.2 旋筒助推系统示意图

1.1.3 本指南规定了船用风力旋筒助推系统的布置与设计、供电与电气系统、监测与控制系统、船舶的强度与稳性、噪声等的技术要求，明确了相关设备的检验要求，并提出了安装风力旋筒助推系统船舶的 EEDI 计算方法和验证要求。

1.1.4 安装本指南所规定的风力旋筒助推系统的海上航行船舶，除应满足本指南的要求外，还应满足 CCS 《钢质海船入级规范》和《材料与焊接规范》的适用要求。

1.1.5 本指南适用于本章第 1.1.2 条描述的风力旋筒助推系统，考虑到风力旋筒助推技术尚处于发展阶段，如有其他型式的系统，其计算方法、评定标准、检验和试验方法，应提供相应的试验、理论依据、使用经验或有效的公认标准，经 CCS 同意，可接受作为等效方法。

## 1.2 定义

1.2.1 本指南适用的定义如下：

(1) **Magnus 效应**：系指当流体（气体或液体）流经旋转物体表面时会改变流体的流线从而产生升力的现象。

(2) **风力旋筒助推技术**：系指应用 Magnus 效应，通过电机驱动船上露天安装的圆柱体旋转，并将 Magnus 力传递给船体产生推力辅助船舶推进，降低推进系统能耗的一种风能利用技术。

(3) **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，并受电机驱动旋转，将产生的推力传递给旋筒助推系统中的内塔。

(4) **内塔及基座**：系指旋筒助推系统中的内部结构物，为旋筒和驱动电机的安装、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。

## 1.3 附加标志

1.3.1 如船舶应用了风力旋筒助推技术，应满足本指南第 1、2、3、4、5 章的要求。经申请，可授予旋筒助推系统附加标志 WAP(ROTOR)。

1.3.2 对于适用 CCS《绿色生态船舶规范》2.3.2 条和 4.3.2 条的新造船，如其安装了旋筒助推系统，可按照本指南第 6 章的要求对旋筒助推系统的节能效果进行计算和验证，并将其计入该船的 Attained EEDI 值后授予附加标志  $CD_x$ 。

1.3.3 对于适用 CCS《绿色生态船舶规范》2.3.3 条的营运船，如其安装了旋筒助推系统，可按照本指南第 6 章的要求对旋筒助推系统的节能效果进行计算和验证，并将其计入该船的 Attained EEXI 值后授予附加标志  $CDE_x$ 。

## 1.4 图纸资料

1.4.1 应提交下列图纸资料批准，如已包含在该船舶要求提交的图纸资料中，则可不必重复提交：

- (1) 旋筒助推系统布置图;
- (2) 旋筒助推系统旋筒结构图;
- (3) 旋筒助推系统内塔结构图;
- (4) 基座结构图;
- (5) 旋筒区域船体结构加强结构图;
- (6) 旋筒助推系统电气相关系统图和布置图;
- (7) 旋筒助推系统系泊试验大纲;
- (8) 旋筒助推系统航行试验大纲 (含船舶紧急制动试验);
- (9) EEDI 技术案卷 (如适用);
- (10) 其他 CCS 认为有必要提交的图纸资料。

1.4.2 对于改装船, 至少还应补充提交下列图纸资料供批准:

- (1) 总布置图;
- (2) 驾驶室视线图;
- (3) 信号设备布置图;
- (4) 倾斜试验大纲 (如适用);
- (5) 倾斜试验报告 (如适用);
- (6) 装载手册、破损稳性计算书、装载仪 (如适用);
- (7) 电力负荷计算书;
- (8) 旋筒助推系统新增电气相关系统图和布置图;
- (9) 天线布置图 (如适用);
- (10) 噪声控制图 (如适用);
- (11) 危险区域电气设备布置图 (如适用);
- (12) EEDI 技术案卷 (如适用);
- (13) EEXI 技术案卷 (如适用);
- (14) 受船舶吨位变化影响的其他法定图纸资料 (如适用);
- (15) 其他 CCS 认为有必要提交的图纸资料。

1.4.3 应将下列图纸资料提交备查:

- (1) 旋筒助推系统设计说明书, 应至少包含系统概述、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;
- (2) 旋筒助推系统改装说明书 (适用于改装船);
- (3) 系统设备规格表;
- (4) 空船重量和重心变化估算及稳性影响评估 (适用于改装船);
- (5) 吨位计算书;
- (6) 旋筒结构强度计算书;
- (7) 内塔 (含基座) 结构强度计算书;
- (8) 旋筒区域船体结构局部强度计算书;

- (9) 旋筒材料检测报告；
- (10) 旋筒助推系统操作手册；
- (11) 其他 CCS 认为有必要提供的图纸资料。

## 第 2 章 船舶设计要求

### 2.1 一般规定

#### 2.1.1 基本要求

2.1.1.1 安装旋筒助推系统船舶的布置与设计、总纵强度、局部强度、稳性、噪声和电气装置应满足本章的设计要求。

2.1.1.2 旋筒助推系统应能在设计环境条件下持续正常工作。

### 2.2 布置与设计

#### 2.2.1 航行视线

2.2.1.1 旋筒助推系统的大小及安装位置应满足驾驶室视线要求，在所有操作情况下应符合 SOLAS 第 V 章第 22 条和船旗国法规的相关规定。

#### 2.2.2 航行灯

2.2.2.1 旋筒助推系统的大小及安装位置应不影响航行安全，航行灯的布置应符合最新的《国际海上避碰规则》和船旗国法规的相关规定。

#### 2.2.3 吨位

2.2.3.1 对于改装船，应考虑旋筒助推系统安装后船舶吨位变化对法定适用要求的影响。

#### 2.2.4 消防安全

2.2.4.1 应在内塔内或附近至少设置 1 具经认可的手提式灭火器或其他等效灭火装置。

2.2.4.2 内塔内部应设置适当的通风装置，当人员进入该处所之前应进行适当通风。当旋筒助推系统位于危险区域范围内时，应从安全处所向内塔内部提供足够的动力通风。若采用固定式通风装置，其排量应满足每小时至少换气 8 次，移动式通风系统为每小时至少换气 16 次。风扇或风机应远离人员通道出入口。

2.2.4.3 内塔内电机部位应安装和布置固定式探火和失火报警系统。在旋筒助推系统正常工作状态和可能的环境温度范围内所要求的通风变化下，迅速探出火灾征兆并在船上足够地点启动听觉和视觉报警。不允许安装仅使用感温探测器的探火系统。探测器的数量应满足 IMO 发布的《消防安全系统规则》第 9 章 2.4.2.2 和 2.4.2.3 的要求。

## 2.2.5 栏杆扶手

2.2.5.1 如旋筒助推系统的布置对船员安全通道产生影响，应按照 ICLL 第 25-1 条的相应要求采取任一措施布置。如栏杆扶手需要更改布置，则应满足 ICLL 第 25 条对船员的保护要求。

## 2.2.6 雷达系统

2.2.6.1 雷达系统的布置应考虑旋筒助推系统的影响，符合公约和船旗国法规对雷达系统的相关规定。

## 2.2.7 操纵性能

2.2.7.1 旋筒助推系统的运行应确保船舶满足操纵性能要求。

2.2.7.2 在试航中应补充演示船舶的操舵设备和主推进系统能够消除船舶营运范围内因旋筒助推系统的运行对船舶操纵性能造成的不良影响。

2.2.7.3 操作手册应记录船舶在各种典型工况下是否使用旋筒助推系统及船舶操纵性能，包括极端状况下的操作限制和措施。

## 2.2.8 防爆

2.2.8.1 在 CCS《钢质海船入级规范》第 4 篇第 1 章表 1.3.3.3、第 2 章第 16 节和第 18 节以及 CCS《液货船危险区域划分和电气配备指南》第 2 章规定的危险区域内，原则上不应安装电气设备和敷设电缆。如因操作要求，需在危险区域内布置旋筒助推系统相关电气设备和敷设电缆，则应满足上述规范和指南的相关防爆要求。

## 2.2.9 避雷

2.2.9.1 旋筒助推系统的安装应能减小雷击所引起的对电气系统的间接损坏效应，设备的金属外壳应可靠接地，并应满足 CCS《钢质海船入级规范》第 4 篇第 2 章第 13 节的相关要求。

## 2.3 总纵强度

### 2.3.1 基本要求

2.3.1.1 对于新造船舶，应按照《钢质海船入级规范》第 2 篇第 2 章第 2 节要求计算船舶总纵强度。

2.3.1.2 对于改装船舶，应评估安装旋筒助推系统后，对空船重量重心和装载工况的影响，根据评估结果确定是否重新计算船舶的总纵强度。

## 2.4 局部强度

### 2.4.1 计算模型

2.4.1.1 模型范围一般采用局部立体结构模型（以下简称局部模型），以基座有效作用平面矩形 ( $a \times b$ ) 形心为中心，向四周分别扩展至少一倍的该矩形相对应的长、宽距离 ( $3a \times 3b$ )。垂向从基座面扩展至甲板之下的第一个平台甲板或至少  $D/4$  处 ( $D$  为型深)。如按上述方法框取的模型边界上未设置结构的主要支撑构件，则模型应再延伸直至边界落在结构的主要支撑构件上。为计及旋筒内塔和支撑结构的相互作用影响，模型之中应考虑计入一段伸出甲板以上的旋筒内塔。模型的单元选取、特性及其建模网格划分等原则按《钢质海船入级规范》第 2 篇第 1 章 1.5.6。为了较好地观察高应力部位的开孔影响，建议将开孔处边缘局部区域的网格进行适当细化。

2.4.1.2 边界条件的假定应以不影响模型中心所考察单元的计算结果为原则。一般可考虑设置自由支持或固支。

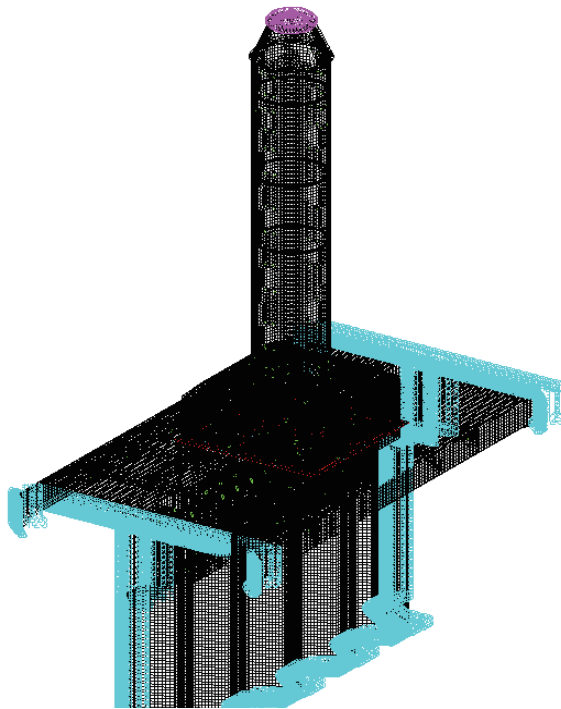


图 2.4.1.2 边界条件

### 2.4.2 设计载荷及工况选取

2.4.2.1 设计载荷一般基于旋筒及内塔的计算工况及组合。应至少包括以下载荷：

- (1) 风载荷 (包括 Magnus 力)；
- (2) 船舶运动引起的惯性力载荷；

- (3) 旋筒旋转产生的陀螺力矩;
- (4) 旋筒及内塔重量;
- (5) 甲板上浪载荷 (当旋筒布置于距船首  $1/4L$  区域范围内)。

2.4.2.2 设计工况应包含旋筒船体支撑结构最不利的受力情况,也可按经验及作业实际情况选取纵向、横向、不同斜向等几个典型的作用方向工况(甲板工作平面内,每  $45^\circ$  对应一个工况)。

### 2.4.3 评估衡准

2.4.3.1 各种工况下,旋筒船体支撑结构的计算应力应不大于表 2.4.3.1 中的许用值。

许用应力

表 2.4.3.1

| 单元类型 | 许用应力   |
|------|--|
| 交叉梁系 | 正应力: $[\sigma] = 0.67R_{eH}$<br>剪应力: $[\tau] = 0.39R_{eH}$ |
| 板元   | 相当应力: $[\sigma] = 0.80R_{eH}$                              |

注:  $R_{eH}$ ——材料屈服应力,  $N/mm^2$ 。

2.4.3.2 对于船中  $0.4L$  ( $L$  为规范船长) 内参与船体梁总纵强度的纵向支撑构件,除满足 2.4.3.1 规定的局部强度要求外,还应校核在局部载荷和船体梁总纵弯矩共同作用下的强度,叠加后的相当应力的安全系数应不小于 1.1。

## 2.5 稳性

### 2.5.1 工况

2.5.1.1 安装旋筒助推系统的船舶,应考虑旋筒助推系统在非工作状态和正常工作状态下对稳性的不利影响。

### 2.5.2 受风面积

2.5.2.1 受风面积应考虑旋筒助推系统的影响。旋筒助推系统的受风面积应为其侧投影面积乘以高度修正系数  $C_H$ 。由表 2.5.2.1 中侧投影面积中心至水线的垂向距离  $Z_H$  来查得高度修正系数  $C_H$ 。

高度修正系数  $C_H$  表

表 2.5.2.1

| $Z_H$<br>(m) | $0 \leq Z_H < 15$ | $15 \leq Z_H < 30$ | $30 \leq Z_H < 45$ | $45 \leq Z_H < 60$ | $60 \leq Z_H < 75$ | $75 \leq Z_H < 90$ | $90 \leq Z_H < 105$ | $105 \leq Z_H < 120$ |
|--------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|----------------------|
| $C_H$        | 1                 | 1.16               | 1.32               | 1.44               | 1.53               | 1.61               | 1.68                | 1.74                 |

### 2.5.3 结冰重量

2.5.3.1 对于具有冰级标志或在可能发生结冰的区域航行的船舶，稳性应考虑旋筒助推系统的结冰重量引起的不利影响。

### 2.5.4 附加横倾力矩影响

2.5.4.1 完整稳性计算中应根据旋筒助推系统特性考虑其在最大运行转速下因气动力效应可能产生的附加横倾力矩的不利影响，且应满足下列要求：

- (1) 静倾角应不大于  $2^\circ$ ，或；
- (2) 如静倾角大于  $2^\circ$ ，在复原力臂曲线特性衡准时应考虑静倾角的影响。

### 2.5.5 其他要求

2.5.5.1 稳性手册中应包括旋筒助推系统的操作限制说明或气象窗口指导。

2.5.5.2 对于改装船，应评估旋筒助推系统安装后对空船重量重心和稳性资料的影响。根据评估结果确定是否重做倾斜试验及送审装载手册、破损稳性计算书、装载仪。

## 2.6 噪声

### 2.6.1 基本要求

2.6.1.1 对适用 MSC.337(91) 的船舶，应考虑旋筒运行对上层建筑舱室噪声的影响，满足《船上噪声等级规则》舱室噪声限值的要求。

## 2.7 电气装置

### 2.7.1 用电负荷

2.7.1.1 旋筒助推系统的用电负荷应计入在全船电力负荷估算中，可包含在 CCS《钢质海船入级规范》第 4 篇第 1 章 1.1.3.1 要求提交批准的“主电源和应急电源电力负荷估算书”中。

### 2.7.2 电气设备外壳防护

2.7.2.1 旋筒助推系统相关电气设备的外壳防护型式的选择，应与安装的场所相适应，其最低防护等级应满足 CCS《钢质海船入级规范》第 4 篇第 1 章表 1.3.2.2 的要求。

### 2.7.3 过载和短路保护

2.7.3.1 旋筒助推系统的馈电线路应以同时分断所有绝缘极的多极断路器或多极开关加熔断器作过载和短路保护，并应满足 CCS《钢质海船入级规范》第 4 篇第 2 章 2.5.9 的要求。

#### 2.7.4 照明

2.7.4.1 内塔内部应设有照明，便于人员进行检查和维护工作。

#### 2.7.5 其他要求

2.7.5.1 除上述 2.7.1~2.7.4 规定外，旋筒助推系统的电气系统及电气装置还应满足 CCS《钢质海船入级规范》第 4 篇第 2 章的适用要求。

## 第3章 旋筒构造要求

### 3.1 一般规定

#### 3.1.1 基本要求

3.1.1.1 旋筒的构造应能确保设计环境条件下的安全，并确保作业条件下的持续正常工作。

### 3.2 材料

#### 3.2.1 基本要求

3.2.1.1 用于制造旋筒的材料应能满足使用期间的环境条件。

3.2.1.2 用于制造旋筒的金属材料及焊接工艺应满足 CCS《材料与焊接规范》中第1篇及第3篇的相关要求。用于制造旋筒的非金属材料，其纤维、树脂、芯材等材料应满足 CCS《材料与焊接规范》中第2篇第2章的相关要求，施工工艺可参照第2篇第3章的相关规定。

3.2.1.3 旋筒的内、外表面应采用有效手段防止水汽侵入筒体内、外表面。

3.2.1.4 如旋筒使用碳纤维材料制造，则与碳纤维材料接触的金属材料应考虑腐蚀问题。

### 3.3 设计条件

#### 3.3.1 一般说明

3.3.1.1 本节给出了用于旋筒助推系统结构安全评估的设计条件和最小设计载荷。

#### 3.3.2 环境条件

3.3.2.1 在结构设计时应考虑天气条件、湿度、温度、腐蚀和其他相关环境条件。

3.3.2.2 旋筒（包括辅助机械和电气设备）设计时应满足如下温度和湿度要求：

##### (1) 旋筒内部空间

空气温度：-25℃到 +70℃。

相对湿度：80%。

##### (2) 露天区域

空气温度：-25℃到 +45℃。

相对湿度：80%，并且考虑盐雾和甲板上浪的影响。

### 3.3.3 操作条件

#### 3.3.3.1 正常作业工况

制造商应确定正常作业工况，并提交详细计算资料供 CCS 审核。提交的计算资料包括但不限于基于船舶航向的最大运行风速和相应海况下的船舶运动。正常作业工况下，对旋筒助推系统结构和基座结构进行分析时应考虑下述载荷及其最恶劣组合：

- (1) 自重和船舶运动引起的惯性力载荷；
- (2) 风引起的风载荷；
- (3) 旋筒旋转产生的陀螺力矩；
- (4) 冰雪引起的冰雪载荷 ( 如适用 )；
- (5) 船舶的船体梁载荷 ( 对于基座结构，且该结构布置于参与总纵强度的纵向构件上 )。

#### 3.3.3.2 自存工况

自存工况代表了安装旋筒助推系统的船舶可能遭遇的最恶劣环境条件。在自存工况下，环境条件已超过作业允许范围，旋筒助推系统停止运行。制造商应确定自存工况，并提交详细计算资料供 CCS 审核。提交的计算资料包括但不限于风条件和相应的海况数据。同时在结构分析中，应考虑阵风和从水面到旋筒助推系统位置的垂直距离的影响。自存工况下，对旋筒助推系统结构和基座结构进行分析时应考虑下述载荷及其最恶劣组合：

- (1) 自重和船舶运动引起的惯性力载荷；
- (2) 风引起的风载荷；
- (3) 甲板上浪引起的甲板上浪载荷；
- (4) 冰雪引起的冰雪载荷 ( 如适用 )；
- (5) 船舶的船体梁载荷 ( 对于基座结构，且该结构布置于参与总纵强度的纵向构件上 )。

## 3.4 设计载荷

### 3.4.1 基本要求

3.4.1.1 本节包括作用于旋筒助推系统和基座结构上的设计载荷。所有载荷的计算资料应提交 CCS 审核。

### 3.4.2 风载荷

3.4.2.1 送审方应提交正常作业工况和自存工况下的最大风载荷及对应的风向。

3.4.2.2 正常作业工况的风载荷应根据旋筒助推系统的推力产生机构来定义，包括升力和阻力。计算方法应提交 CCS 审核。在进行风载荷计算时，应适当考虑 Magnus 力、阵风因素和与水面的垂直距离。

3.4.2.3 正常作业工况下的设计风速一般不小于：

$$V_D = V_{max} \times G_f$$

式中： $V_D$ ——正常作业工况下的设计风速；

$V_{max}$ ——正常作业工况下的最大运行风速；

$G_f$ ——阵风系数，应由设计方提供，一般取为  $1.25 \leq G_f \leq 1.45$ 。

3.4.2.4 自存工况的风载荷应同时考虑旋筒助推系统在最不利的风向角和投影面积等条件下的阻力。计算方法应提交 CCS 审核。在没有具体计算方法的情况下，应至少开展以下计算：

(1) 风速

不同设计工况的风载荷应基于实测数据获得，由业主 / 设计者提供。通常，设计风速的重现期不得小于 100 年，一般应不小于 51.5m/s。

(2) 风压

风压  $P$  应按下式计算：

$$P = 0.613 \cdot V_s^2 \cdot 10^{-3} \quad \text{kPa}$$

式中： $V_s$ ——自存工况下的设计风速，m/s。计算定常风力时，取平均海平面以上 10m 处时间间隔为 1 分钟的平均风速。

(3) 作用于构件上的风力  $F$  应按下式计算，并应确定合力作用点的垂直高度：

$$F = C_H \cdot C_s \cdot S \cdot P$$

式中： $P$ ——风压，kPa；

$S$ ——旋筒结构在正浮或倾斜状态时，受风构件的正投影面积， $\text{m}^2$ ；

$C_H$ ——受风构件的高度系数，其值可根据构件高度  $Z_H$ （构件型心到设计水面的垂直距离）由表 3.4.2.4 选取；

高度修正系数  $C_H$  表

表 3.4.2.4

| $Z_H$<br>(m) | $0 \leq Z_H < 15$ | $15 \leq Z_H < 30$ | $30 \leq Z_H < 45$ | $45 \leq Z_H < 60$ | $60 \leq Z_H < 75$ | $75 \leq Z_H < 90$ | $90 \leq Z_H < 105$ | $105 \leq Z_H < 120$ |
|--------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|----------------------|
| $C_H$        | 1                 | 1.16               | 1.32               | 1.44               | 1.53               | 1.61               | 1.68                | 1.74                 |

$C_s$ ——受风构件形状系数，其值取为 1.0，也可根据风洞试验确定。

3.4.2.5 由公认实验室进行的具有代表性的模型风洞试验数据，可作为确定风压及其合力的依据。

### 3.4.3 惯性力载荷

3.4.3.1 由船舶运动引起的惯性力载荷是指由船舶运动和旋筒助推系统的自重引起的载荷。这些载荷应提交 CCS 审核，包括但不限于所考虑的船舶加速度。

(1) 对于散货船和油船，加速度应不小于 CCS《钢质海船入级规范》第 9 篇第 4 章 3.3 的计算值。

(2) 对于集装箱船，加速度应不小于 CCS《集装箱船结构规范》第 4 章 3.3 的计算值。

(3) 对于上述 (1) 和 (2) 规定外的其他船型，加速度应不小于 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 1 章 1.5.2.2 的计算值。

(4) 此外，也可以考虑由直接计算得到的船舶加速度值或模型试验获得的值。在这种情况下，对于无限航行船舶，确定加速度时，使用的船舶设计寿命应不小于 20 年，并应采用 IACS Rec.34 波浪散布图。

3.4.3.2 迎浪、横浪、斜浪航行条件下，各加速度的组合系数如表 3.4.3.2 所示。

加速度系数表

表 3.4.3.2

| 载荷组合                | $a_x$           | $a_y$           | $a_z$        |
|---------------------|-----------------|-----------------|--------------|
| 迎浪 1                | $a_{x-env}$     | 0               | $a_{z-env}$  |
| 迎浪 2 <sup>(1)</sup> | $a_{x-env}$     | 0               | $-a_{z-env}$ |
| 横浪 1                | 0               | $a_{y-env}$     | $a_{z-env}$  |
| 横浪 2 <sup>(1)</sup> | 0               | $a_{y-env}$     | $-a_{z-env}$ |
| 斜浪 1                | $0.6 a_{x-env}$ | $0.6 a_{y-env}$ | $a_{z-env}$  |
| 斜浪 2 <sup>(1)</sup> | $0.6 a_{x-env}$ | $0.6 a_{y-env}$ | $-a_{z-env}$ |

注：(1) 指中拱情况

### 3.4.4 冰雪载荷

3.4.4.1 如船舶航行于结冰海域，应考虑冰雪载荷。如需考虑冰的堆积，且没有经验值或规定的值，则应假设暴露在天气条件下的所有施工部分的一般冰的堆积厚度为 3cm 厚。

假设该冰的单位体积重量为 700kg/m<sup>3</sup>，雪的单位体积重量为 200kg/m<sup>3</sup>。

### 3.4.5 甲板上浪载荷

3.4.5.1 在自存工况下，应考虑甲板上浪载荷：

(1) 对于散货船和油船，甲板上浪载荷应不小于 CCS《钢质海船入级规范》第 9 篇第 4 章 5.4.3 和 5.4.4 的计算值。

(2) 对于集装箱船，甲板上浪载荷应不小于 CCS《集装箱船结构规范》第 4 章 5.4.3 和 5.4.4 的计算值。

(3) 对于上述 (1) 和 (2) 规定外的其他船型，甲板上浪载荷应不小于 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 2 章 2.17.2 的计算值。

### 3.5 旋筒结构计算

#### 3.5.1 局部强度

3.5.1.1 计算载荷应选取按本章 3.4 要求载荷的最恶劣组合。

3.5.1.2 计算工况应按照本章 3.3.3 各工况要求载荷的最恶劣组合。

3.5.1.3 钢质旋筒结构的许用应力  $[\sigma]$  应按下列式算得：

$$[\sigma] = \frac{\sigma_s}{\beta \cdot n}$$

式中： $\sigma_s$ ——旋筒材料屈服强度，MPa；

$n$ ——安全系数，作业工况时，取 1.21；自存工况，取 1.05；

$\beta$ ——系数，根据钢材屈强比，按表 3.5.1.3 选取。

系数  $\beta$  选取表

表 3.5.1.3

| 屈强比     | $\leq 0.7$ | 0.75  | 0.80  | 0.85  | 0.90  |
|---------|------------|-------|-------|-------|-------|
| $\beta$ | 1.0        | 1.045 | 1.084 | 1.120 | 1.155 |

注：屈强比为屈服强度与抗拉强度的比值。

#### 3.5.2 屈曲强度

3.5.2.1 旋筒应考虑屈曲强度，包括整体和局部屈曲：整体屈曲校核应按照 CCS《船舶与海上设施起重设备规范》3.2.19 和 3.2.21 进行；局部屈曲校核按照 CCS《船舶与海上设施起重设备规范》3.2.20 进行。

### 3.6 内塔结构计算

#### 3.6.1 局部强度

3.6.1.1 计算载荷应选取按本章 3.4 要求载荷的最恶劣组合。

3.6.1.2 计算工况按照本章 3.3.3 各工况要求载荷的最恶劣组合。

3.6.1.3 内塔及其基座的许用应力  $[\sigma]$  参照本章 3.5.1.3。

3.6.1.4 内塔屈曲强度参照本章 3.5.2。

### 3.6.2 振动

3.6.2.1 内塔结构振动的主要激励源包括主机、螺旋桨，以及由船舶总振动、船舶运动以及卡门涡街现象引起的振动等。

3.6.2.2 内塔结构应尽可能避免与各激励共振，防止发生有害振动。

### 3.6.3 疲劳

3.6.3.1 应在旋筒支撑结构 / 基座的设计阶段考虑循环载荷引起的疲劳损坏的可能性，疲劳强度计算要求可参考 CCS《船体结构疲劳强度指南》或其他公认标准。

3.6.3.2 应至少考虑旋筒基座与甲板连接处的疲劳强度。

3.6.3.3 应至少考虑如下疲劳载荷：

- (1) 风载荷；
- (2) 船舶运动引起的惯性力载荷；
- (3) 陀螺力矩。

3.6.3.4 如旋筒结构遭遇较大振动载荷，还应在疲劳强度分析中考虑振动载荷的影响。

### 3.6.4 防腐蚀

3.6.4.1 内塔支撑钢结构，依据使用年限，设计时需要考虑一定的腐蚀增量。

3.6.4.2 内塔支撑结构要采取防腐措施，如涂装环氧涂层或热喷铝等。

3.6.4.3 不同材料之间的连接要考虑绝缘措施，避免电偶腐蚀。

3.6.4.4 旋筒和基座连接的螺栓、螺母、垫片和其他紧固件需要采取防腐措施，避免缝隙腐蚀，可采用镀锌层等措施保护。

3.6.4.5 基座应采取防腐措施，如涂装。

## 3.7 其他

### 3.7.1 攀爬防护

3.7.1.1 内塔内设置的梯子上应安装安全栏杆，用于从塔基安全攀爬至维护平台。对于高空作业，应采取适当的安全措施，为安全带设置安全连接点。

## 第 4 章 系统设计要求

### 4.1 一般规定

4.1.1 旋筒助推系统应能确保在作业条件下持续正常工作，并保证作业安全。

### 4.2 驱动系统

4.2.1 驱动电机及其控制设备应满足 CCS《钢质海船入级规范》第 4 篇第 3 章第 2 节和第 4 节的相关要求。

4.2.2 驱动系统如包含电力半导体变换器，则应满足 CCS《钢质海船入级规范》第 4 篇第 3 章第 8 节的相关要求。

### 4.3 安全措施

4.3.1 在紧急情况下，应关闭驱动系统停止旋筒转动。

4.3.2 应在就地位置设有锁定装置以防止旋筒助推系统未经授权的启动和阻止旋筒转动。

4.3.3 旋筒助推系统中的电气系统设计应能抑制或消耗旋筒旋转能量，同时应避免驱动电机由于泵升电压过高导致损害，且在驱动电机正常运行与电动状态时，泵升电压抑制电路不应启动。

### 4.4 控制和监测报警系统

4.4.1 旋筒助推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。

4.4.2 控制系统和监测报警系统的设计，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。

4.4.3 自动控制和遥控系统应确保持续、有效、可靠地运行。

4.4.4 每个旋筒助推系统均应设有单独的控制装置和保护装置，如设计成多个旋筒助推系统同时运行，可由一个系统实行同步控制。

4.4.5 如设有多个控制位置，则在各控制位置间应能在其共同控制的设备正常运行或发生故障时实施控制转换。在进行这种转换时，不应引起设备运行状态的严重变化。控制转换应在得到应答后，方可进行，在所有控制位置均应指示出哪个位置正在进行控制。

4.4.6 旋筒助推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。

4.4.7 旋筒助推系统应在驾驶室和其它控制位置（如设有）设置以下显示：

- (1) 驱动电机正常运行；
- (2) 驱动电机电压、电流、频率和功率；
- (3) 旋筒转速和转向；
- (4) 风向和风速（就地除外）；
- (5) 系统控制模式；
- (6) 锁定装置的状态指示。

4.4.8 旋筒助推系统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：

- (1) 控制和监测报警系统故障；
- (2) 动力系统供电故障；
- (3) 控制和监测报警系统供电故障；
- (4) 驱动电机故障；
- (5) 备用电机（如设有）转换；
- (6) 电机冷动介质（如设有）温度高；
- (7) 电机超速；
- (8) 系统应急停止；
- (9) 泵升电压高（如适用）。

4.4.9 用于旋筒助推的计算机控制系统作为 I 类系统，应满足 CCS《钢质海船入级规范》第 7 篇第 2 章第 6 节的相关要求。

4.4.10 除上述要求外，旋筒助推系统的控制和监测报警系统还应满足 CCS《钢质海船入级规范》第 7 篇第 2 章第 1、2、4 和 7 节的要求。

## 第 5 章 检 验

### 5.1 一般规定

#### 5.1.1 检验过程与基本要求

5.1.1.1 本章对于旋筒助推系统的要求是对《钢质海船入级规范》第 1 篇适用检验要求的补充。该系统安装完成后应按本章要求进行检验。

5.1.1.2 CCS 验船师应参与和见证该系统车间试验、建造中检验、建造后检验。该系统在装船前，应由厂家授权的人员进行测试和检查。

5.1.1.3 旋筒助推系统完成陆上调试后由 CCS 签发产品证书。

5.1.1.4 旋筒助推系统主要部件持证清单见表 5.1.1.4。

主要部件持证清单

表 5.1.1.4

| 序号 | 产品名称                  | 证件类别 |   | 认可模式 |      |      |    | 审图 | 备注                         |
|----|-----------------------|------|---|------|------|------|----|----|----------------------------|
|    |                       | C/E  | W | DA   | TA-B | TA-A | WA | PA |                            |
| 1  | 电动机<br>(50kW 及以上)     | X    | — | —    | X    | O    | —  | X  |                            |
| 2  | 电动机<br>(50kW 以下)      | —    | X | —    | X    | —    | —  | X  |                            |
| 3  | 电气控制箱                 | X    | — | —    | —    | —    | -  | X  |                            |
| 4  | 电力、控制和<br>通讯电缆、电<br>线 | X    | — | —    | —    | —    | X  | X  | 包含控制和通讯<br>电缆中的光纤和<br>网络电缆 |
| 5  | 监控报警系统                | X    | — | —    | X    | O    | —  | X  |                            |
| 6  | 变频器                   | X    | — | —    | X    | O    | —  | X  | 功率 50kW 及以<br>上的变频器        |
| 7  | 小型气象站<br>(风向风速仪)      | —    | X | —    | X    | —    | —  | X  |                            |

| 序号 | 产品名称 | 证件类别 |   | 认可模式 |      |      |    | 审图 | 备注  |
|----|------|------|---|------|------|------|----|----|---|
|    |      | C/E  | W | DA   | TA-B | TA-A | WA | PA |   |
| 8  | 齿轮箱  | X    | — | —    | X    | O    | —  | X  | 适用于传递最大持续功率大于等于 220KW 的主推进机械和大于等于 110KW 重要辅机的齿轮传动装置 |
| 9  | 齿轮箱  | X    | — | —    | —    | —    | —  | X  | 适用于传递最大持续功率小于 220KW 的主推进机械和小于 110KW 重要辅机的齿轮传动装置     |
| 10 | 回转支承 | X    | — | —    | —    | —    | —  | X1 | 锻件材料应提供 C/E   |

符号说明：

- 1) C— 船用产品证书；E— 等效证明文件；W— 制造厂证明；X— 适用；O— 可选；
- 2) DA— 设计认可；TA-B— 型式认可 B；TA-A— 型式认可 A；WA— 工厂认可；PA- 图纸审查；
- 3) X<sup>1</sup>：应按照审批的整体产品 / 系统（船舶、产品）图纸进行检验。

5.1.1.5 其他设备应用公认的标准进行设计和测试，持证要求参见《钢质海船入级规范》第 1 篇第 3 章。

5.1.1.6 在装船前，旋筒助推系统应根据 CCS 批准的试验程序进行陆上调试。

## 5.2 建造中检验

### 5.2.1 功能测试

5.2.1.1 在船上试验之前，旋筒助推系统应在车间完成必要的测试。

5.2.1.2 下列项目应由验船师确认：

(1) 旋筒助推系统根据批准图纸安装，并确认下列项目：

- ① 目视检查支撑结构和甲板连接结构；
- ② 机械装置、管系和电气设备的安装检查；
- ③ 检查防雷措施（如适用）；
- ④ 操作和维护手册存放在船上；
- ⑤ 无损探伤 (NDT) (如适用)，参见表 5.2.1.2。

**结构焊缝无损探伤 (NDT)**

**表 5.2.1.2**

| 焊缝位置                             | NDT 范围及方法  |
|----------------------------------|--|
| 基座和支撑构件的周向焊缝；<br>基座和支撑结构之间的过度构件。 | 板厚大于等于 8mm，全焊透区域 100% UT(RT)，同时做 100% PT 或 MT；<br>板厚大于等于 8mm 的角焊缝，100% MT。   |
| 支撑构件的重要焊缝以及产生推力的构件               | 板厚大于等于 8mm，所有全焊透区域 20%UT(RT)，同时 100%PT 或 MT；<br>板厚大于等于 8mm 的角焊缝，10% PT 或 MT。 |
| 其他焊缝                             | 在建造中，若验船师认为必要，可以随机抽取。  |

5.2.1.3 对设置回转支承的旋筒助推系统，验船师应确认以下方面：

- (1) 平整度；
- (2) 表面状况；
- (3) 回转支承的接触面；
- (4) 摇摆测试。

5.2.1.4 根据验船师批准的程序进行旋筒助推系统的功能测试，至少包括以下项目：

- (1) 所有报警点和安全点的测试；
- (2) 自动安全停止运行的测试；
- (3) 紧急停测试；
- (4) 机械装置、电气单元和控制系统的功能测试；
- (5) 测试火灾探测系统和灭火系统 (如适用)。

## 5.2.2 试航

5.2.2.1 根据认可的试航和调试程序，对旋筒助推系统进行海上试验，风况应能换算到与设计风速相对应。

5.2.2.2 下列应在试航中确认：

(1) 旋筒助推系统应能根据实际风况做出响应，包括应急状况。在试航中，验船师确认旋筒助推系统运行可靠，满足功能要求，并在整个设计范围内没有危险振动。基于试航结果，下列信息应更新并提供在船：

- ① 停船时间;
- ② 船舶艏向和停船距离;
- ③ 对于多螺旋桨船舶, 在一个或几个螺旋桨失效时的航行和操纵能力所做试验的结果。

(2) 应考虑旋筒助推系统对船舶的正常操作产生的不利影响, 包括操纵性和稳性。具体需要记录的信息可参考船舶配备和显示操纵资料的规定 (IMO Resolution A.601(15))。

(3) 根据厂家提交的试验程序, 并经 CCS 批准, 确认旋筒助推系统与主推进系统、操舵系统、控制系统之间的响应。

### 5.3 建造后检验

#### 5.3.1 年度检验

5.3.1.1 在年度检验中, 应至少确认以下方面:

- (1) 目视检查旋筒助推系统的基座和支撑构件, 避免有过度变形、过度磨损、腐蚀、裂纹等缺陷;
- (2) 对旋筒助推系统的安全系统进行测试, 包括紧急停、报警和火警以及在极端情况下的锁定或释放系统;
- (3) 运行旋筒助推系统及其相关的控制系统;
- (4) 如有回转支承, 船员应根据厂家推荐检验项目及其周期进行检查, 验船师确认船上自查记录。

#### 5.3.2 特别检验

5.3.2.1 除包括本章 5.3.1 规定的适用项目外, 特别检验还应包括 5.3.2.2 和 5.3.2.3 的内容。

5.3.2.2 如对基座结构状况有怀疑, 可采用无损探伤 (NDT) 验证。

5.3.2.3 当旋筒助推系统配置回转支承时, 应检查和测试下列内容:

- (1) 验船师应仔细检查转环装置, 包括螺栓、基座、轴承面等, 确认没有变形或者裂纹等缺陷;
- (2) 根据厂家文件确认回转支承螺栓的预紧力;
- (3) 所有回转支承螺栓都要进行测试 (如锤击测试或扭矩验证) 以确定它们的坚固性和严密性;
- (4) 回转支承螺栓的检查无需在拆卸和拔出状态下进行, 除非验船师认为有必要;
- (5) 验船师对回转支承螺栓的状态有怀疑, 可进行必要的无损探伤 (NDT);
- (6) 验船师应见证根据厂家程序而进行的摇摆测试。如测试结果和 / 或油脂样品显示有过度磨损, 轴承应打开检查或者替换。

# 第 6 章 EEDI/EEXI 计算和验证

## 6.1 一般规定

### 6.1.1 适用说明

6.1.1.1 本章旨在为申请将旋筒助推系统产生的节能效果计入 Attained EEDI/EEXI 计算值的船舶提供相关的计算方法和验证指导。

6.1.1.2 本指南忽略了应用旋筒助推系统时由于船舶发生偏航、舵角和横倾而导致的附加阻力，或由于船舶轻载运行导致的螺旋桨效率降低。

6.1.1.3 本章是在 CCS《绿色生态船舶规范》、《国际航行海船能效设计指数 (EEDI) 计算与验证指南》、《国内航行海船能效设计指数 (EEDI) 计算与验证指南》和《现有船舶能效指数 (EEXI) 计算与验证指南》的基础上，对安装了旋筒助推系统船舶的补充，为授予新造船 CO<sub>2</sub> 排放设计指数附加标志 (CD<sub>x</sub>) 和营运船 CO<sub>2</sub> 排放设计指数附加标志 (CDE<sub>x</sub>) 提供依据。

6.1.1.4 本章仅对安装旋筒助推系统的国际航行海船的 EEDI 计算和验证进行规定，国内航行海船 EEDI 参考执行，现有船 EEXI 对照执行。

### 6.1.2 适用范围

6.1.2.1 本章适用于申请 CCS《绿色生态船舶规范》新造船 CO<sub>2</sub> 排放设计指数附加标志 (CD<sub>x</sub>) 和营运船 CO<sub>2</sub> 排放设计指数附加标志 (CDE<sub>x</sub>) 的海船。

6.1.2.2 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 1 部分第 2 章规定。

6.1.2.3 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 2 部分第 4 章规定。

## 6.2 风力旋筒助推船舶 EEDI 计算方法

### 6.2.1 Attained EEDI 计算公式

6.2.1.1 安装了旋筒助推系统的船舶，采用通用的 Attained EEDI 计算公式，即：

$$\frac{\left( \prod_{j=1}^n f_j \right) \left( \sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}^*) + \left( \left( \prod_{j=1}^n f_j \cdot \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{noff} f_{off(i)} \cdot P_{AEoff(i)} \right) C_{FAE} \cdot SFC_{AE} \right) - \left( \sum_{i=1}^{noff} f_{off(i)} \cdot P_{off(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME}^{**} \right)}{f_1 \cdot f_c \cdot f_1 \cdot Capacity \cdot f_u \cdot V_{ref} \cdot f_m}$$

\* 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  $C_{FAE}$ 。

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

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

$0.75 * \sum_{i=1}^{nPTO} P_{PTO(i)} > P_{AE}$  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。

## 6.2.2 Attained EEDI 公式中参数含义和选取方法

6.2.2.1 安装了旋筒助推系统的船舶，除该系统对 EEDI 贡献度计算以外，其它计算应按 CCS《国际航行海船能效设计指数 (EEDI) 计算与验证指南》第 2 章进行。

6.2.2.2 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 ( $f_l$ )、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。

6.2.2.3 航速 ( $V_{ref}$ ) 是指在假定无风无浪的气象条件下，在 6.2.2.2 所选取的主机推进功率 ( $P_{ME(i)}$ ) 和载运能力 ( $Capacity$ ) 下旋筒助推系统关闭时的深水航速，单位为 knot。

6.2.2.4 旋筒助推系统的节能效果以  $P_{eff}$  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。

6.2.2.5 其中，旋筒助推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：

$$(f_{eff} \cdot P_{eff}) = \left( \frac{1}{\sum_{k=1}^q W_k} \right) \cdot \left( \left( \frac{0.5144 \cdot V_{ref}}{\eta_D} \sum_{k=1}^q F(V_{ref})_k \cdot W_k \right) - \left( \sum_{k=1}^q P(V_{ref})_k \cdot W_k \right) \right)$$

$$F_1 - F_k \geq 0 \wedge F_{k-1} - F_k \geq 0$$

且，

$$\sum_{k=1}^{q-1} W_k < \frac{1}{2} \wedge \sum_{k=1}^q W_k \geq \frac{1}{2}$$

式中：

(1)  $(f_{eff} \cdot P_{eff})$  表示旋筒助推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旋筒助推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力矩阵的运算结果扣除旋筒助推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 6.2.2.3。

(3)  $\eta_D$  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， $\eta_D$  应设定为 0.7。

(4) 推力矩阵  $F(V_{ref})_k$ ，表示给定参考航速  $V_{ref}$  下各旋筒助推系统产生的推力矩阵。矩阵中各元素代表不同风速不同风向角的推力，单位为 kN。风向角为相对值，船首方向为  $0^\circ$ 。

(5) 风场概率矩阵  $W_k$ ，矩阵中各元素代表相对于船舶艏向的风速和风向角的概率，矩阵中所有元素之和为 1，无量纲。

(6) 旋筒助推系统操作所需要的功率矩阵  $P(V_{ref})_k$ ，单位为 kW。具有与  $F(V_{ref})_k$  和  $W_k$  一样的尺寸。

(7) 旋筒助推系统操作所需要的功率，应从旋筒助推系统获得的附加推进功率中扣除。

### 6.2.3 推力矩阵 $F(V_{ref})_k$

6.2.3.1 每个旋筒助推系统随航速、风速及相对于艏向的风向角不同，都产生不同的推力，用二维矩阵  $F(V_{ref})_k$  表示，该矩阵包含了参考航速  $V_{ref}$  下的风速和相对于首向的风向角的任何组合元素。

6.2.3.2 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  $0^\circ$ )。旋筒助推系统的推力矩阵  $F(V_{ref})_k$  可参照表 6.2.3.2 格式制定。

旋筒助推系统推力矩阵 (kN)

表 6.2.3.2

| 风速 (m/s) \ 风向角 ( $^\circ$ ) | 0          | 5          | 10         | ... | 355         |
|-----------------------------|------------|------------|------------|-----|-------------|
| 0.5                         | $f_{1,1}$  | $f_{1,2}$  | $f_{1,3}$  | ... | $f_{1,72}$  |
| 1.5                         | $f_{2,1}$  | $f_{2,2}$  | $f_{2,3}$  | ... | $f_{2,72}$  |
| 2.5                         | $f_{3,1}$  | $f_{3,2}$  | $f_{3,3}$  | ... | $f_{3,72}$  |
| ...                         | ...        | ...        | ...        | ... | ...         |
| 23.5                        | $f_{24,1}$ | $f_{24,2}$ | $f_{24,3}$ | ... | $f_{24,72}$ |
| 24.5                        | $f_{25,1}$ | $f_{25,2}$ | $f_{25,3}$ | ... | $f_{25,72}$ |
| 25.5                        | $f_{26,1}$ | $f_{26,2}$ | $f_{26,3}$ | ... | $f_{26,72}$ |

## 6.2.4 风场概率矩阵 $W_k$

6.2.4.1 风场的概率用两维矩阵  $W_k$  表示。

6.2.4.2 风场概率矩阵  $W_k$  可参照表 6.2.4.2 格式制定。

风场概率矩阵

表 6.2.4.2

| 风向角 (°)<br>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, +∞)            | $w_{26,1}$ | $w_{26,2}$ | $w_{26,3}$ | ... | $w_{26,72}$ |

6.2.4.3 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，国际航行海船应采用本指南附录 1 全球风场概率分布矩阵。

## 6.3 风力旋筒助推系统对 EEDI 贡献度验证方法

### 6.3.1 验证程序

6.3.1.1 采用旋筒助推系统的船舶，首先应按照 CCS《国际航行海船能效设计指数 (EEDI) 计算与验证指南》进行 EEDI 验证。

6.3.1.2 对旋筒助推系统的验证，按照 6.3.2、6.3.3 的附加要求进行。

6.3.1.3 用于最终确定旋筒助推系统对 EEDI 贡献度的推力矩阵  $F(V_{ref})_k$  必须经验证方验证。

### 6.3.2 设计阶段的前期验证

6.3.2.1 除 CCS《国际航行海船能效设计指数 (EEDI) 计算与验证指南》第 4 章要求外，申请方提交的 EEDI 技术案卷还应包括：

- (1) 旋筒助推系统布置图；
- (2) 旋筒助推系统原理图；
- (3) 旋筒助推系统适用工作范围；
- (4) 旋筒助推系统控制 / 操作手册；

(5) 旋筒助推系统推力矩阵  $F(V_{ref})_k$  的性能试验或模拟计算的详细过程及结果;

(6) 采用旋筒助推系统的船舶的 Attained EEDI 计算过程及初步结果。

6.3.2.2 采用旋筒助推系统的船舶, 首先应按照常规船舶进行快速性水池试验。

6.3.2.3 设计阶段, 为获得表 6.2.3.2 所示旋筒助推系统推力矩阵  $F(V_{ref})_k$ , 必须首先测量风推力系数。

6.3.2.4 以下任一方法均可用来确定旋筒助推系统的气动力特性:

(1) 风洞模型试验;

(2) CFD/ 数值计算;

(3) 实尺度试验。

6.3.2.5 应尽可能确定旋筒助推系统和船舶相互作用下的风推力系数。

6.3.2.6 船上安装多个风力旋筒的情况下, 如送审方能提供有效的方法计算旋筒与旋筒之间、旋筒与船舶之间的相互作用效应, 则可通过对构成该系统的单个旋筒的风推力系数求和来确定多个旋筒的合力。

6.3.2.7 风洞模型试验是测量旋筒助推系统在典型状态下气动力的主要方法。如通过风洞模型试验测量风推力系数, 则应按本指南附录 2 进行试验并计算风推力系数。

6.3.2.8 如风洞模型试验不适用于测量风推力系数, 经 CCS 同意也可接受数值计算 (如 CFD 计算) 来估算风推力系数, 但数值计算的条件和模型应参考风洞模型试验, 并按照最新版本或同等版本 ITTCv 技术标准进行。

6.3.2.9 确定风推力系数的试验程序应在进行试验之前提交给 CCS, 试验过程由 CCS 验船师进行见证, 试验结束后, 向 CCS 提交试验和计算程序的详细报告。CCS 可要求提交方提供验证风推力系数所需的附加文件 / 信息。

6.3.2.10 对于多个相同的旋筒助推系统和相同的船舶, 如送审方提供可接受的证明文件, 可接受单个旋筒的风洞试验。

### 6.3.3 试航阶段的最终验证

6.3.3.1 除 CCS《国际航行海船能效设计指数 (EEDI) 计算与验证指南》第 5 章要求外, 送审方提交的 EEDI 技术案卷还应包括:

(1) 旋筒助推系统布置图 (完工);

(2) 旋筒助推系统的设备配置 (完工);

- (3) 旋筒助推系统的适用工作范围 (完工);
- (4) 旋筒助推系统控制 / 操作手册 (完工);
- (5) 经修订的安装了旋筒助推系统船舶的 Attained EEDI 计算过程及最终结果。

6.3.3.2 旋筒助推系统功率消耗采用直接测量法测量出不同风速风向角下的旋筒助推系统操作所需要的功率矩阵  $P(V_{ref})_k$ , 然后与风场概率矩阵  $W_k$  相乘获得。

## 附录 1 全球风场概率分布矩阵 $W_k$

沿全球主要贸易路线与船舶航行方向的风场概率的标准化全球风场图

| 风向角(°)<br>风速(m/s) | 0     | 5     | 10    | 15    | 20    | 25    | 30    | 35    | 40    | 45    | 50    | 55    |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <1                | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <2                | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <3                | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <4                | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| <5                | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| <6                | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| <7                | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| <8                | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| <9                | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| <10               | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| <11               | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <12               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <13               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <14               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <15               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <16               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <17               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <18               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <19               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <20               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <21               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <22               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <23               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <24               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <25               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| ≥25               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

| 风向角(°)<br>风速(m/s) | 60    | 65    | 70    | 75    | 80    | 85    | 90    | 95    | 100   | 105   | 110   | 115   |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <1                | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <2                | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <3                | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <4                | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| <5                | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| <6                | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| <7                | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| <8                | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| <9                | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| <10               | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <11               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <12               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <13               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <14               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <15               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <16               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <17               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <18               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <19               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <20               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <21               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <22               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <23               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <24               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <25               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| ≥25               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

| 风向角(°)<br>风速(m/s) | 120   | 125   | 130   | 135   | 140   | 145   | 150   | 155   | 160   | 165   | 170   | 175   |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <1                | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <2                | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <3                | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <4                | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| <5                | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| <6                | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| <7                | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| <8                | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| <9                | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| <10               | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| <11               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 |
| <12               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <13               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <14               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <15               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <16               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <17               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <18               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <19               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <20               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <21               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <22               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <23               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <24               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <25               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| ≥25               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

| 风向角(°)<br>风速 (m/s) | 180   | 185   | 190   | 195   | 200   | 205   | 210   | 215   | 220   | 225   | 230   | 235   |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <1                 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <2                 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <3                 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <4                 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| <5                 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| <6                 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| <7                 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| <8                 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| <9                 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| <10                | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| <11                | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <12                | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <13                | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <14                | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <15                | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <16                | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <17                | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <18                | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <19                | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <20                | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <21                | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <22                | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <23                | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <24                | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <25                | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| ≥25                | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

| 风向角(°)<br>风速(m/s) | 240   | 245   | 250   | 255   | 260   | 265   | 270   | 275   | 280   | 285   | 290   | 295   |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <1                | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <2                | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <3                | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <4                | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| <5                | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| <6                | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| <7                | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| <8                | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| <9                | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| <10               | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <11               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <12               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <13               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <14               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <15               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <16               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <17               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <18               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <19               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <20               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <21               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <22               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <23               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <24               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <25               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| ≥25               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

| 风向角(°)<br>风速(m/s) | 300   | 305   | 310   | 315   | 320   | 325   | 330   | 335   | 340   | 345   | 350   | 355   |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <1                | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <2                | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <3                | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <4                | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| <5                | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| <6                | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| <7                | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| <8                | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| <9                | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| <10               | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| <11               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 |
| <12               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <13               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <14               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <15               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <16               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <17               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <18               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <19               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <20               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <21               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <22               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <23               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <24               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| <25               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| ≥25               | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

## 附录2 风洞试验和推力矩阵计算

### 1 风洞试验资质

#### 1.1 质量体系

1.1.1 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。

1.1.2 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：

(1) 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；

(2) 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。

### 2 风洞试验准则

#### 2.1 相似准则

2.1.1 风洞模型试验应遵循几何相似、运动相似和动力相似准则。

(1) 几何相似：按统一缩尺比制作的旋筒模型满足几何相似条件。

(2) 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。

(3) 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。

#### 2.2 模型要求

2.2.1 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。

### 3 风洞试验

#### 3.1 试验方法

3.1.1 通常可采用两种方法进行风洞试验：

- (1) 方法 1 对安装了旋筒助推系统的船舶进行整体试验；
- (2) 方法 2 仅对单个旋筒进行独立试验。

#### 3.2 整体试验方法

##### 3.2.1 模型

3.2.1.1 旋筒助推系统的模型和船体模型应与实际形状相似，但可从模型中省略不影响空气动力学特性的附件（如栏杆、起锚机等）。

3.2.1.2 船体模型的吃水条件应与 EEDI/EEXI 计算指南中定义的载运能力相对应。

3.2.1.3 船体模型通过力平衡与转台连接，通过改变转台角度改变船模的风向角。

##### 3.2.2 试验条件

3.2.2.1 旋筒助推船舶的风洞模型试验应满足几何相似准则。

3.2.2.2 旋筒助推船舶的风洞模型试验应满足动力相似准则。即，只有当试验风速高于某一临界风速时，无量纲风系数趋于稳定，模型周围的流动与真实船舶相似。实测风系数可直接外推到实船上。在试验过程中，通过可变风速试验确定临界风速。

3.2.2.3 在风洞模型试验中，试验的雷诺数应大于  $1.0 \times 10^6$ 。雷诺数  $R_e$  由以下公式表示：

$$R_e = \frac{\rho \cdot U \cdot L_{pp}}{\mu}$$

式中： $\rho$  和  $\mu$  分别是空气的密度和粘度， $U$  是模型试验风速， $L_{pp}$  是模型船两柱间长。

3.2.2.4 堵塞比不应超过 5%，该比率由模型的横向投影面积除以风洞的横截面积计算得出。

##### 3.2.3 试验方法

3.2.3.1 为了获得不同风向角下旋筒助推系统的最大风推力系数，试验方案应包括：

(1) 在  $0^\circ$  至  $360^\circ$  的一系列风向角范围内，测量不运行旋筒助推系统的船舶模型的气动力特性，间隔为  $5^\circ$ ，最多不超过  $10^\circ$ 。

(2) 在  $0^\circ$  至  $360^\circ$  范围内的一系列风向角（间隔  $5^\circ$  或  $10^\circ$ ）下，测量运行旋筒助推系统的船模的气动力特性。

(3) 如以 10° 间隔进行测量，则应使用测量结果对每个中间气动力特性 (即 5°、15°、25°...) 进行插值。

3.2.3.2 在船舶形状和旋筒助推系统在右舷和左舷对称的情况下，推力系数也是对称的，因此，可以省略在 0° 到 180° 或 180° 到 360° 的一系列风角下的测量。

3.2.3.3 如果旋筒助推系统具有可变和可控装置，则旋筒助推系统的模型可布置为风角、旋筒速度或其他可控结构，以获得最大推力或最小风阻。

### 3.2.4 推力系数计算

3.2.4.1 作用在船模上的风推力系数公式为：

$$C_{Fx} = F_x / (0.5 \rho V^2 A)$$

3.2.4.2 旋筒助推系统产生的推力系数由以下公式确定：

$$\Delta C_{Fx} = C_{Fx-with WPS} - C_{Fx-without WPS}$$

式中： $C_{Fx}$ —指向船首的船模上的风推力系数；

$F_x$ —指向船首的船模上的风推力；

$\Delta C_{Fx}$ —旋筒助推系统产生的推力系数；

$\rho$ —模型试验时的空气密度；

$V$ —模型试验风速；

$A$ —计入旋筒助推系统的总投影面积。

注：下标“with WPS”是指船模运行旋筒助推系统的状态，“without WPS”是指船模不运行旋筒助推系统的状态。

## 3.3 独立试验方法

### 3.3.1 模型

3.3.1.1 考虑到船体和上层建筑结构对旋筒助推系统的影响，应采取措施修正遮蔽区域和距离的影响，如果船上安装了多个旋筒助推系统，它们之间的空气动力相互作用也应适当修正。申请方应提供文件以证明这些影响已被考虑。

3.3.1.2 旋筒助推系统模型通过力平衡连接到转台。

### 3.3.2 试验条件

3.3.2.1 旋筒助推系统的风洞模型试验应满足几何相似准则。

3.3.2.2 旋筒助推系统的风洞模型试验应满足动力相似准则。即，只有当试验风速高于某一临界风速时，无量纲风系数趋于稳定，模型周围的流动与真实船舶相似。实测风系数可直接外推到实船上。在试验过程中，通过可变风速试验确定临界风速。

3.3.2.3 在风洞模型试验中，试验的雷诺数应大于  $1.0 \times 10^5$ 。雷诺数  $R_e$  由以下公式表示：

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

式中： $\rho$  和  $\mu$  分别是试验室空气的密度和粘度， $U$  是模型试验风速， $C$  是旋筒助推系统的平均直径。

3.3.2.4 阻塞比不应超过 5%，该比率由模型的横向投影面积除以风洞的横截面积计算得出。

### 3.3.3 试验方法

3.3.3.1 为了获得旋筒助推系统的最大风推力系数，试验方案应包括以下气动力特性的测量：

- (1) 旋筒助推系统允许的攻角范围；
- (2) 旋筒助推系统允许的转速范围。

3.3.3.2 船舶上收到的推力是指在旋筒助推系统上测得的指向船首的气动力。

### 3.3.4 推力系数计算

3.3.4.1 当使用独立模型开展旋筒助推系统风洞试验时，模型的推力系数可确定为：

$$C_{Fx} = F_x / (0.5\rho V^2 A)$$

式中： $C_{Fx}$ —指向船首的船模的推力系数；

$F_x$ —指向船首的船模推力；

$\rho$ —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。

3.3.4.2 多个旋筒助推系统的风推力系数  $\Delta C_{Fx}$  可通过对组成系统的多个机组系数求和计算得出，并通过上层建筑的相互作用和遮挡效应进行加权。

## 4 推力矩阵计算

### 4.1 计算步骤与计算方法

4.1.1 通过旋筒助推系统的推力系数可预测旋筒助推系统推力矩阵。风定义为相对于地面的风和船舶速度产生的风的组合。计算风推力矩阵的步骤如下：

- (1) 确定船舶的参考速度  $V_{ref}$ ；

(2) 选择与  $W_k$  中相对应的平均风速，即 10m 高度处的全球风概率矩阵。建议选择风概率矩阵中第 1 个风速范围 (0-1m/s) 对应的平均风速为 0.5m/s，选择第 2 个风速范围 (1-2m/s) 对应的平均风速为 1.5m/s，以此类推，直至第 26 个风速范围 ( $\geq 25$ m/s) 对应的平均风速为 25.5m/s；

(3) 将风速外推至旋筒助推系统的参考高度，通常取气动作用力中心高度或距水线的一半高度：

$$v_{z_{ref}} = v_{10m} (z_{ref}/10)^{\alpha} \quad \text{对 } z_{ref} < 300m$$

$$v_{z_{ref}} = v_{10m} (300/10)^{\alpha} \quad \text{对 } z_{ref} \geq 300m$$

式中： $z_{ref}$ —水线以上的参考高度，取旋筒助推系统中各个旋筒的高度中点；

$v_{10m}$ —海平面以上 10m 处的风速；

$v_{z_{ref}}$ —参考高度处的风速；

$\alpha$ —取 ITTC 的推荐值 1/9；

(4) 根据相应的平均风速、风向角和船舶的速度，计算船舶的相对风速  $V_k$  和相对风向角；

(5) 根据相对风向角，以及相对风向角与风推力系数的对应关系  $\Delta C_{Fx}$ ，计算与  $W_k$  对应的旋筒助推系统的平均推力系数  $\Delta C_{Fx}$ ；

(6) 根据旋筒助推系统的平均推力系数，通过以下公式计算与  $W_k$  对应的全尺寸船舶推力矩阵  $F(V_{ref})_k$ ：

$$F(V_{ref})_k = \Delta C_{Fx} \cdot (0.5 \rho V_k^2 A)$$

式中： $\Delta C_{Fx}$ —对应于  $W_k$  旋筒助推系统的风推力系数；

$\rho$ —实船空气密度，取 1.225 kg/m<sup>3</sup>；

$V_k$ —与  $W_k$  相对应的全尺寸船舶的相对风速；

$A$ —旋筒助推系统的总投影面积。

## 4.2 补充说明

4.2.1  $(\Delta C_{Fx})_k$  可以通过改变旋筒助推系统的设置找到最佳值；如果设置中的增量足够小，则可以使用插值获取。

4.2.2 旋筒助推系统的设置和部署必须遵守系统规定的运行约束（例如，最大运行风速低于全球风力概率矩阵提供的值）。

4.2.3 应考虑由系统引起的潜在风阻力，例如在接近逆风的不可用风向中，以及当系统因超过运行极限而无法运行。

4.2.4 如果  $F(V_{ref})_k$  超过船舶阻力, 螺旋桨推力为负, 则  $F(V_{ref})_k$  取值应限制为船舶阻力值。

## 5 旋筒助推系统功率消耗

### 5.1 计算步骤与计算方法

5.1.1 对于风洞试验方法 1 和方法 2, 在试验期间, 应计算驱动旋筒助推系统的平均功率消耗系数。

5.1.2 应测量旋筒助推系统的功率消耗, 并根据测量值和系统控制计划编制功率消耗矩阵。

## 6 操作限制、侧向力和偏航力矩

### 6.1 $F(V_{ref})_k$ 的取值范围

6.1.1  $F(V_{ref})_k$  必须仅在适用于旋筒助推系统的操作范围内计算。

6.1.2 对于任何一对不符合旋筒助推系统操作范围的风向和风力,  $F(V_{ref})_k$  为 0。

### 6.2 侧向力和偏航力矩

6.2.1 船厂和 / 或旋筒助推系统制造商应记录旋筒助推系统作用于船舶的侧向力和施加到船舶上的偏航力矩, 并由 CCS 进行见证。

6.2.2 当侧向力和偏航力矩特别重要时, 验证方可要求进行航向保持和舵角演示, 以验证是否符合操作范围。