



中国船级社

# 海上浮式风机平台指南

2021

2022 年 1 月 1 日生效

北京

# 目录

|                        |           |
|------------------------|-----------|
| <b>第 1 章 总 则</b>       | <b>1</b>  |
| 第 1 节 一般规定             | 1         |
| 第 2 节 定义               | 1         |
| 第 3 节 接受标准             | 2         |
| 第 4 节 入级服务             | 3         |
| 第 5 节 符合证书服务           | 3         |
| 第 6 节 入级服务检验           | 4         |
| 第 7 节 符合证书服务检验         | 6         |
| 第 8 节 操作手册             | 6         |
| <b>第 2 章 设计载荷与工况</b>   | <b>7</b>  |
| 第 1 节 一般规定             | 7         |
| 第 2 节 设计载荷             | 7         |
| 第 3 节 设计工况             | 8         |
| 第 4 节 总体性能分析           | 17        |
| <b>第 3 章 结 构</b>       | <b>19</b> |
| 第 1 节 一般规定             | 19        |
| 第 2 节 结构设计             | 19        |
| 第 3 节 结构防腐             | 21        |
| <b>第 4 章 稳性、分舱与载重线</b> | <b>22</b> |
| 第 1 节 一般规定             | 22        |
| 第 2 节 稳性               | 22        |
| 第 3 节 载重线              | 24        |
| 第 4 节 水密及风雨密完整性        | 24        |
| 第 5 节 其他               | 24        |
| <b>第 5 章 定位系泊系统</b>    | <b>25</b> |
| 第 1 节 一般规定             | 25        |
| 第 2 节 环境条件及环境载荷        | 25        |
| 第 3 节 平台偏移及系泊索张力       | 25        |
| 第 4 节 系泊系统设计衡准         | 26        |
| 第 5 节 系泊设备             | 26        |
| <b>第 6 章 平台系统与设备</b>   | <b>27</b> |
| 第 1 节 一般规定             | 27        |
| 第 2 节 电气装置             | 27        |
| 第 3 节 通信与信号            | 27        |
| 第 4 节 公用系统             | 28        |
| 第 5 节 消防系统             | 29        |
| 第 6 节 救生设备             | 29        |

# 第1章 总 则

## 第1节 一般规定

### 1.1.1 一般要求

1.1.1.1 本指南是中国船级社（以下简称“CCS”）为海上浮式风机平台提供入级服务，以及为安全设备、吨位、载重线、防止环境污染等方面提供符合证书服务的依据。

1.1.1.2 本指南的要求是非强制性的，但一经接受采用，就成为各方共同遵守的技术依据，应遵照执行。

1.1.1.3 为保障海上浮式风机平台的顺利使用，除满足本指南的要求外，尚应符合主管机关的相关规定，如有相悖或不一致，应以主管机关的适用规定为准。

### 1.1.2 适用范围

1.1.2.1 本指南适用于无人值守的海上浮式风机平台及其附属系统，主要包括浮体结构、锚固基础、系泊系统、平台机电设备和动态电缆，不包括风轮-机舱组件和塔架结构。

### 1.1.3 等效与免除

1.1.3.1 对于入级部分要求，与本指南要求（包括接受标准的要求）不一致的设计规定，可予以接受以替代本指南的相应要求，其条件是以书面文件证明或表明其至少与本指南要求具有同等的安全水平，并经合同各方及 CCS 同意。

1.1.3.2 对于具有新型结构和新颖特性的海上浮式风机平台，涉及到入级部分，如应用本指南的任何规定可能严重妨碍对其特性的应用或结构的使用时，经 CCS 同意，可免除该规定。

## 第2节 定义

### 1.2.1 定义

1.2.1.1 除另有规定外，本指南采用的名词术语定义如下：

（1）无人值守：系指无人居住，且不设置固定的运行和维护的值班人员，监测和控制等操作采用远程方式进行，并定期对设备进行巡视和维护；

（2）风轮：系一种将风能转化为机械能的装置，由叶片和轮毂组成；

（3）风轮-机舱组件（RNA）：系风轮、机舱结构以及相关机电设备的总和；

（4）塔架：系连接 RNA 和海上浮式风机平台的结构；

（5）支撑结构：系支撑 RNA 的结构，包含塔架和海上浮式风机平台；

（6）海上浮式风机平台：系除塔架以外的支撑结构，包含浮体结构、系泊系统、锚固基础以及平台上的相关机械系统与设备、电仪系统与设备等；

（7）海上浮式风机设施（FOWT）：系一种将风能转化为电能的海上浮式设施，一般由 RNA 和支撑结构组成。

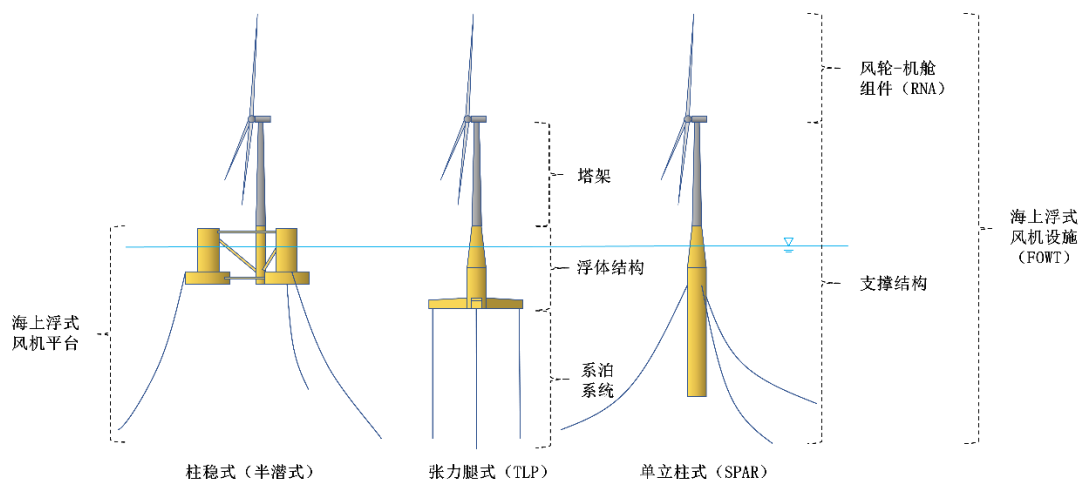


图 1.2.1.1 海上浮式风机设施示意图

### 第 3 节 接受标准

#### 1.3.1 一般要求

1.3.1.1 本节所列标准为 CCS 提供服务时所接受的标准。除经专门同意外，接受标准中所有适用要求均应加以采用。

1.3.1.2 本节所列接受标准以外的其他标准也可使用，条件是应证明具有与本指南要求相当或更高的安全水准，并事先经 CCS 同意。主管机关如有相关要求，应以主管机关要求为准。

1.3.1.3 任何与设计标准之间的不一致，以及对设计标准要求的免除及更改均应在设计文件中明文说明，并经业主和 CCS 同意。

#### 1.3.2 接受标准

1.3.2.1 本指南接受的主要标准如下：

- CCS《海上浮式装置入级规范》（简称“浮规”）；
- CCS《海上移动平台入级规范》（简称“移规”）；
- CCS《钢质海船入级规范》（简称“钢规”）；
- CCS《材料与焊接规范》；
- CCS《国内航行海船建造规范》；
- CCS《海洋工程结构物疲劳强度评估指南》；
- CCS《海洋工程结构物屈曲强度评估指南》；
- CCS《船舶结构防腐蚀检验指南》；
- 国际海事组织《1966 年国际载重线公约》（简称“载重线公约”）；
- 国际海事组织《1974 年国际海上人命安全公约及其修正案》（简称“海上人命安全公约”）；
- 国际海事组织《1969 年国际船舶吨位丈量公约》（简称“吨位丈量公约”）；
- 国际海事组织《经 1978 年议定书修订的 1973 年国际防止船舶造成污染公约》（简称“防污公约”）；
- 国际海事组织《2001 年国际控制船舶有害防污底系统公约》（简称“防污底公约”）；
- 国际海事组织《2004 年国际船舶压载水及沉淀物控制与管理公约》（适用时）（简称“压载水公约”）；
- 国际海事组织《1972 年国际海上避碰规则》（简称“避碰规则”）；
- 中华人民共和国海事局《海上移动平台法定检验技术规则》；
- 中华人民共和国海事局《国际航行海船法定检验技术规则》；
- 中华人民共和国海事局《国内航行海船法定检验技术规则》；

中华人民共和国海事局《海上拖航法定检验技术规则》；  
中华人民共和国海事局《起重设备法定检验技术规则》；  
IEC 61400-1《Wind energy generation systems – Part 1: Design requirements》；  
IEC 61400-3-1《Wind energy generation systems – Part 3-1: Design requirements for fixed offshore wind turbines》；  
IEC 61400-3-2《Wind energy generation systems – Part 3-2: Design requirements for floating offshore wind turbines》。

## 第 4 节 入级服务

### 1.4.1 一般要求

1.4.1.1 入级服务系指 CCS 按其技术标准，认为海上浮式风机平台主体的结构强度和完整性，系泊系统、动态电缆以及平台上装配的其他设施或辅助系统的可靠性和功能，能够维持平台的基本功能，并以不同的符号与标志进行标识。

1.4.1.2 入级过程一般包括设计图纸审查、建造检验、入级证书签发以及营运检验后的入级证书签署或签发。

### 1.4.2 入级符号

1.4.2.1 入级符号是海上浮式风机平台主要特性的表述，具有强制性。

1.4.2.2 海上浮式风机平台的主体和机械符合 CCS 规范、指南或等效规定，CCS 将授予相应的入级符号与附加标志。

1.4.2.3 凡海上浮式风机平台的主体和机械经 CCS 批准入级，将根据不同情况授予下列入级符号和附加标志：

★CSA Offshore Wind Turbine Installation (Floating)

或

★CSA Offshore Wind Turbine Installation (Floating)

入级符号含意如下：

★CSA——表示海上浮式风机平台主体以及重要用途的辅助机械是由 CCS 进行产品检验、审图和建造中检验，并符合 CCS 规范的规定。

★CSA——表示海上浮式风机平台主体以及重要用途的辅助机械不是由 CCS 进行产品检验、审图和建造中检验，但其后经 CCS 进行入级检验，认为其符合 CCS 规范的规定。

## 第 5 节 符合证书服务

### 1.5.1 一般要求

1.5.1.1 根据业主或设计单位或建造厂的申请或合同/协议，CCS 可提供本指南列出的部分或全部海上浮式风机平台符合证书服务。

1.5.1.2 本指南提供的符合证书服务，宜首先经 CCS 确认入级部分已符合 CCS 入级规范的要求。

1.5.1.3 对申请在 CCS 同时进行入级服务和符合证书服务的海上浮式风机平台，CCS 将入级与符合证书服务结合进行。

1.5.1.4 由 CCS 同时进行入级服务与符合证书服务的设施，如入级证书失效，且影响到相关符合证书签发的条件时，则相应的符合证书也同时失效。

1.5.1.5 除本节规定外，符合证书的格式、签发、有效期等规定应参照《海上移动平台法定检验技术规则》的适用规定。

### 1.5.2 符合证书

1.5.2.1 CCS 验船师对海上浮式风机平台进行符合检验合格后，签发或签署相应的符合

证书（如选择）：

- (1) 安全符合证书（救生、信号、通信）；
- (2) 吨位符合证书（适用时）；
- (3) 载重线符合证书（适用时）；
- (4) 防止油污符合证书（适用时）；
- (5) 防止生活污水污染符合证书（适用时）；
- (6) 防止空气污染符合证书（适用时）；
- (7) 防止垃圾污染检验符合证书（适用时）；
- (8) 防污底系统符合证书（适用时）；
- (9) 起货设备检验记录簿（适用时）。

## 第 6 节 入级服务检验

### 1.6.1 一般要求

1.6.1.1 除本节特殊规定外，海上浮式风机平台入级检验应满足 CCS “浮规” 的适用规定。

1.6.1.2 入级检验提交的图纸范围应依据 1.6.1.1 规定的适用规范，结合海上浮式风机平台结构型式以及功能确定，包括但不限于：

#### (1) 设计条件与载荷

- 1) 风、浪、流、系泊及其他环境载荷计算书，包括结冰影响（适用时）；
- 2) 模型试验报告（适用时）；
- 3) 总体性能计算书（根据第 2 章第 4 节提供相关参数、分析方法和计算数据）；
- 4) 风机载荷计算书。

#### (2) 总体和结构

- 1) 总布置图；
- 2) 平台技术说明书；
- 3) 固定和可变重量分布概要；
- 4) 基本结构图：包括主要横剖面、纵剖面、各层甲板和平台、内底结构、上层建筑和甲板室等；
- 5) 结构节点图册；
- 6) 甲板载荷图；
- 7) 水密舱壁图；
- 8) 型线图及型值表（适用时）；
- 9) 总强度计算书；
- 10) 疲劳强度计算书；
- 11) 风机塔架基座及其支撑结构图，包括强度及疲劳计算书；
- 12) 重要设备基座结构图及其支撑结构图，包括强度计算书，如起重机、系泊链缆悬挂、海缆悬挂等；
- 13) 冰区加强结构图（适用时）；
- 14) 防腐控制，包括涂装和阴极保护；
- 15) 建造说明书；
- 16) 建造程序和原则工艺说明书，包括焊接方式和规格、无损探伤及密性试验；
- 17) 焊接规格表；
- 18) 设施安装程序和图纸资料及相应的计算书，如码头装船、海上运输、现场安装等；
- 19) 操作手册。

#### (3) 稳性与分舱

- 1) 完整稳性计算书（包括迁移、安装及在位稳性）；

- 2) 破损稳性计算书（包括迁移、安装及在位稳性）；
- 3) 干舷计算书（适用时）；
- 4) 载重线标志及水尺图；
- 5) 许用重心高度计算书及曲线图；
- 6) 水密及风雨密门、窗和开口完整性图；
- 7) 备查图纸资料：
  - ① 型线图；
  - ② 静水力曲线图；
  - ③ 稳性横交曲线图；
  - ④ 舱容图；
  - ⑤ 水密舱区划分图。

#### （4）定位系泊系统

- 1) 定位系泊布置图，包括系泊模式、系泊部件和设备；
- 2) 系泊部件和设备详图，包括底座及与海上浮式风机设施的连接系统；
- 3) 锚机布置图（适用时）；
- 4) 海上浮式风机平台上的风（风机支撑结构及风机叶片）、海流及波浪力的计算书；
- 5) 系泊分析计算书；
- 6) 导向装置、掣链/缆器、锚机支撑结构的强度计算书；
- 7) 下述支持图纸资料应提交一份供备查（适用时）：
  - ① 环境载荷模型试验报告，包括风（风机支撑结构及风机叶片）、海流及波浪力等；
  - ② 海上浮式风机平台的波频及低频运动模型试验报告。

#### （5）平台系统与设备

- 1) 机电设备/系统说明书；
- 2) 压载系统图及布置图；
- 3) 通风系统图及布置图；
- 4) 疏水系统图及布置图。

#### （6）电气及通信系统

- 1) 主电源及应急电源负荷估算书；
- 2) 电力系统图及电气设备布置；
- 3) 主照明及应急照明系统图；
- 4) 内外通信系统图（如设有）；
- 5) 信号灯、障碍灯布置图。

#### （7）救生设备与安全系统

- 1) 人员逃生通道图；
- 2) 消防系统及设备系统图及布置图（如设有）；
- 3) 救生设备配置及布置；
- 4) 火灾探测与报警系统布置图。

1.6.1.3 产品检验是设施入级检验和符合证书检验的一部分，产品检验的范围应依据 1.6.1.1 规定的适用规范，结合平台结构型式以及功能确定。

### 1.6.2 建造中检验

1.6.2.1 建造检验的建造厂评估、开工前检查、试验检验文件核查、检验试验项目及要  
求、无损检测及文件资料等要求一般应依据 1.6.1.1 规定的适用规范，结合平台结构型式以  
及功能确定。

1.6.2.2 同一船厂建造的同系列海上浮式风机平台，可以作为姊妹船免除适用规范规定的  
部分试验项目。

### 1.6.3 建造后检验

1.6.3.1 建造后检验的重新入级、损坏或改造检验，检验前准备、检验计划、焊接与材料、检验类别、检验项目及要求、测厚等要求一般应依据 1.6.1.1 规定的适用规范，结合平台结构型式以及功能确定。

## 第 7 节 符合证书服务检验

### 1.7.1 一般要求

1.7.1.1 符合证书检验一般应满足《海上移动平台法定检验技术规则》、《国内航行海船法定检验技术规则》的适用要求，及作业海域主管机关的有关法定要求。

## 第 8 节 操作手册

### 1.8.1 一般要求

1.8.1.1 海上浮式风机平台上应备有经 CCS 批准的操作手册供所有人员使用。该手册可作为正常情况和预计紧急情况下对平台的安全操作指南。其内容除介绍平台的必要总体情况外，还应包括对人员和平台安全重要的操作的指南和程序。手册应简明扼要易懂，应有目录和索引，应尽可能对在平台上可方便查到的详细资料进行交叉检索。

1.8.1.2 对于正常作业和应急操作情况，操作手册应该包括的内容应参照《海上移动平台法定检验技术规则》中 18.1 的适用规定。

1.8.1.3 如果必要，操作手册所提供的资料应有相应材料予以支持，其形式可以是图纸、制造厂的产品手册及平台操作和维护保养所必需的其他资料。制造厂的产品手册中提供的详细资料不必在操作手册中重复，可列为参考项目。操作手册放在平台上易于到达的地方并随时可供查阅。



## 第2章 设计载荷与工况

### 第1节 一般规定

#### 2.1.1 一般要求

2.1.1.1 本章为海上浮式风机平台的设计载荷提供指导。

2.1.1.2 设计载荷除按本章给出的方法外，还可采用其他公认的方法进行计算，必要时可根据模型试验校准，模型试验报告需提交 CCS 审查批准。

2.1.1.3 提供用于海上浮式风机平台设计及分析的海洋环境条件是业主或作业者的责任。获取海洋环境条件的方法和过程可参考 CCS《海洋工程结构设计和评估环境条件应用指南》。

### 第2节 设计载荷

#### 2.2.1 一般要求

2.2.1.1 设计载荷应考虑海上浮式风机平台在运输、安装、运行和维护阶段可能遇到的实际载荷情况。海上浮式风机平台的设计载荷一般包括：固定载荷、可变载荷、环境载荷、意外载荷和其他载荷等。

#### 2.2.2 固定载荷

2.2.2.1 固定载荷系指在结构寿命期内不发生变化的载荷。

2.2.2.2 海上浮式风机平台的固定载荷，包括但不限于：

- (1) RNA 重量；
- (2) 塔架重量；
- (3) 浮体结构重量；
- (4) 系泊系统重量和系泊缆预张力；
- (5) 机械设备重量；
- (6) 永久压载重量（如适用）；
- (7) 永久变形和制造期间产生的载荷等。

#### 2.2.3 可变载荷

2.2.3.1 可变载荷系指在结构寿命期内可变的载荷。可变载荷大小能被改变、被移动或被移除，因此应考虑可变载荷的最大和最小有效载荷。

2.2.3.2 海上浮式风机平台的可变载荷，包括但不限于：

- (1) 风力发电机组的运行和控制产生的驱动载荷，包含发电机扭矩、偏航和变桨控制载荷以及机械制动载荷等；
- (2) 维护和维修期间起重设备施加的载荷；
- (3) 服务船只正常作业时产生的冲击载荷；
- (4) 调整压载产生的载荷等（如适用）。

#### 2.2.4 环境载荷

2.2.4.1 环境载荷系指直接或间接由环境作用引起的载荷，包括由环境载荷引起的所有外力，如系泊力、运动惯性力、液舱晃动力（如有时）等。

环境载荷一般由下列载荷组成：

- (1) 风载荷；
- (2) 波浪载荷；
- (3) 海流载荷。

如业主/设计者认为需要,则地震、海床承载能力、温度、海生物、冰/雪等对载荷的影响也应考虑。

#### 2.2.4.2 风载荷

(1) 作用于机舱、塔架和浮式结构的风载荷,可采用风压公式进行计算,可参照 CCS “移规”第 2 篇第 2 章第 2 节的相关要求;

(2) 风轮的气动载荷应采用公认的方法进行计算,如叶素-动量理论方法(BEM)等。

#### 2.2.4.3 波浪载荷

(1) 业主/设计者规定的设计波要素可用设计波能谱或用具有适当形状、尺度和周期的确定性设计波来描述;

(2) 设计波波高、波浪周期和波浪理论的选取,可参照 CCS “移规”第 2 篇第 2 章第 3 节的相关要求;

(3) 小尺度构件( $D/L \leq 0.2$ ,  $D$  为构件截面的特征尺寸,  $L$  为特征波长)的波浪载荷,一般采用 Morison 公式计算;大尺度浮体上的波浪载荷,一般采用三维辐射-绕射理论通过对作用在浮体湿表面上的水动压力的积分计算波浪载荷。可参照 CCS “移规”第 2 篇第 2 章第 3 节的相关要求。

2.2.4.4 海流载荷的计算可参照 CCS “移规”第 2 篇第 2 章第 4 节的相关要求。

### 2.2.5 意外载荷

2.2.5.1 意外载荷通常产生于非正常操作或技术故障,包括但不限于:

- (1) 舱室意外进水;
- (2) 系泊系统失效;
- (3) 与安装船、维修船、相邻风电设施或其他物体的碰撞;
- (4) 在运输和操作过程中可能掉落在船体或甲板上的设备;
- (5) 火灾和爆炸等。

## 第 3 节 设计工况

### 2.3.1 一般要求

2.3.1.1 设计工况系指为进行平台设计而选定的典型工况,涵盖海上浮式风机平台在运输、安装、运行和维护等各个阶段。

2.3.1.2 海上浮式风机平台的设计工况系设计条件与环境条件的组合工况,至少应包含作业工况和自存工况等典型工况。必要时,还应对事故工况予以特殊考虑,如撞船等。

2.3.1.3 本指南所列的海上浮式风机平台的设计工况(表 2.3.1),参照业界公认的规范和技术标准制定,涵盖 IEC 61400-1、IEC 61400-3-1 和 IEC 61400-3-2 等。如采用的工况与本指南的要求存在差异,应在设计文件中予以明确,并得到 CCS 认可。

### 2.3.2 设计条件

2.3.2.1 设计条件系指海上浮式风机平台的设计状态。至少应考虑以下几种设计条件:

(1) 正常设计条件,系指海上浮式风机设施处于完好状态的正常作业状态,可考虑生命周期中可能频繁出现的容许的小故障;

(2) 非正常设计条件,系指海上浮式风机设施处于非正常状态,发生严重故障导致保护系统启动的设计条件。异常状态包括:

- ① 结构的非正常状态,如结构破损、进水、系泊系统破损、火灾或爆炸等;
- ② 非结构的非正常状态,如脱网、电力系统内部或外部故障、控制系统故障或保护系统故障等。

### 2.3.3 环境条件

#### 2.3.3.1 一般要求

(1) 环境条件包括风况、海况、水位和其他外部条件;

(2) 各设计工况所选取的风况、海况和水位的参数组合, 应覆盖导致最不利情况出现的组合;

(3) 用于计算环境载荷的海况条件, 包括但不限于环境要素的重现期单极值、条件极值、方向极值, 以及联合概率分布等, 可参考 CCS《海洋工程结构设计和评估环境条件应用指南》的推荐算法;

(4) 在海上浮式风机平台的设计中, 应考虑风况和海况的相关性。当缺少风况和海况的长期联合概率分布资料时, 应假设 50 年重现期的 10 分钟极限平均风速发生在 50 年重现期的 3 小时极限海况条件下, 该假设也同样适用于 1 年重现期的 10 分钟极限平均风速和 1 年重现期的 3 小时极限海况的组合;

(5) 海上浮式风机平台的定位系泊系统应该按照设计环境造成极值载荷的风、浪、流组合进行设计。实际设计中, 一般通过多重设计准则的组合近似值得到。

如, 对重现期为  $N$  年的设计环境, 通常考虑如下三种设计准则:

① 重现期为  $N$  年的波浪, 加上相对应的风和流;

② 重现期为  $N$  年的风, 加上相对应的波浪和流;

③ 重现期为  $N$  年的流, 加上相对应的波浪和风。

2.3.3.2 风况条件主要包含正常风况和极限风况:

(1) 正常风况, 系指海上风力发电机组正常运行期间频繁出现的风况;

(2) 极限风况, 系指风切变以及由风暴和风速风向快速变化而产生的峰值风速等风况, 一般取 1 年或 50 年重现期的轮毂高度处 10 分钟平均极限风速。

2.3.3.3 海况条件包含正常海况、恶劣海况和极限海况, 每种海况条件需要考虑有义波高、谱峰周期、浪向与风速和流速之间的组合。

(1) 正常海况, 应考虑正常风速、正常波高和正常流速的组合;

(2) 恶劣海况, 应考虑正常风速、允许正常发电的极限海况条件和正常流速的组合, 如不能确定允许正常发电的极限海况条件, 则需要用 50 年重现期的 3 小时极限波高代替;

(3) 极限海况, 应考虑 50 年重现期的轮毂高度处 10 分钟平均极限风速、50 年重现期的 3 小时极限波高和 50 年重现期的极限流速的组合, 或 1 年重现期的轮毂高度处 10 分钟平均极限风速、1 年重现期的 3 小时极限波高和 1 年重现期的极限流速的组合。

2.3.3.4 水位条件主要包含正常水位范围和极限水位范围:

(1) 正常水位范围, 一般用于疲劳载荷工况和极限载荷工况, 其中极限载荷工况应考虑恶劣海况和 1 年重现期的极限海况。在缺乏特定场址水位的长期概率分布数据的情况下, 可考虑最高天文潮和最低天文潮之间的水位范围;

(2) 极限水位范围, 一般用于极限载荷工况, 考虑与 50 年重现期的极限海况相结合。在缺乏特定场址水位的长期概率分布数据的情况下, 至少应考虑最高天文潮和正风暴潮适当组合的 50 年重现期的高水位、最低天文潮和负风暴潮适当组合的 50 年重现期的低水位以及考虑最高破碎波的水位 (如适用)。

设计载荷工况

表 2.3.1

| 风机工况          | DLC                | 风况                                         | 波浪                                 | 风浪方向      | 海流  | 水位                | 其他说明                               | 分析类型 | 载荷系数        |
|---------------|--------------------|--------------------------------------------|------------------------------------|-----------|-----|-------------------|------------------------------------|------|-------------|
| 1)正常发电        | 1.1                | NTM<br>$v_{in} < v_{hub} < v_{out}$        | NSS<br>$H_s = E[H_s v_{hub}]$      | 同向, 单向    | NCM | MSL               | 用于外推 RNA 的极限载荷                     | U    | N<br>(1.25) |
|               | 1.2                | NTM<br>$v_{in} < v_{hub} < v_{out}$        | NSS<br>$H_s, T_p, v_{hub}$ 的联合概率分布 | 不同向, 多向   | 无流  | NWLR 或 $\geq$ MSL | ——                                 | F    | *           |
|               | 1.3                | ETM<br>$v_{in} < v_{hub} < v_{out}$        | NSS<br>$H_s = E[H_s v_{hub}]$      | 同向, 单向    | NCM | MSL               | ——                                 | U    | N           |
|               | 1.4                | ECD<br>$v_{hub} = v_r, v_r \pm 2$          | NSS<br>$H_s = E[H_s v_{hub}]$      | 不同向, 风向变化 | NCM | MSL               | ——                                 | U    | N           |
|               | 1.5                | EWS<br>$v_{in} < v_{hub} < v_{out}$        | NSS<br>$H_s = E[H_s v_{hub}]$      | 同向, 单向    | NCM | MSL               | ——                                 | U    | N           |
|               | 1.6                | NTM<br>$v_{in} < v_{hub} < v_{out}$        | SSS<br>$H_s = H_{s,SSS}$           | 不同向, 多向   | NCM | NWLR              | 未设有最大海况安全控制<br>和保护系统               | U    | N           |
|               | 1.7                | NTM<br>$v_{in} < v_{hub} < v_{out}$        | NSS<br>$H_s = E[H_s v_{hub}]$      | 不同向, 多向   | NCM | MSL               | 从完整到一根系泊缆破断<br>的瞬态工况               | U    | A           |
|               | 1.8                | NTM<br>$v_{in} < v_{hub} < v_{out}$        | NSS<br>$H_s = E[H_s v_{hub}]$      | 不同向, 多向   | NCM | MSL               | 一根系泊缆破断后达到新<br>平衡位置的工况             | U    | A           |
|               | 1.9                | NTM<br>$v_{in} < v_{hub} < v_{out}$        | NSS<br>$H_s = E[H_s v_{hub}]$      | 不同向, 多向   | NCM | MSL               | 破舱进水工况                             | U    | A           |
| 2)正常发电<br>兼故障 | 2.1                | NTM<br>$v_{in} < v_{hub} < v_{out}$        | NSS<br>$H_s = E[H_s v_{hub}]$      | 同向, 单向    | NCM | MSL               | 正常的控制系统故障、电<br>网连接中断或第一层控制<br>功能故障 | U    | N           |
|               | 2.2                | NTM<br>$v_{in} < v_{hub} < v_{out}$        | NSS<br>$H_s = E[H_s v_{hub}]$      | 同向, 单向    | NCM | MSL               | 非正常的控制系统故障或<br>第二层保护功能故障           | U    | A           |
|               | 2.3 <sup>(1)</sup> | EOG<br>$v_{hub} = v_r, v_r \pm 2, v_{out}$ | NSS<br>$H_s = E[H_s v_{hub}]$      | 同向, 单向    | NCM | MSL               | 包含电网连接中断的外部<br>或内部电气系统故障           | U    | A           |

|         |                    |                                                    |                               |           |     |                   |                         |   |   |
|---------|--------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------|-----------|-----|-------------------|-------------------------|---|---|
|         | 2.3 <sup>(2)</sup> | NTM<br>$v_{in} < v_{hub} < v_{out}$                | NSS<br>$H_s = E[H_s v_{hub}]$ | 同向, 单向    | NCM | MSL               | 包含电网连接中断的外部或内部电气系统故障    | U | N |
|         | 2.4                | NTM<br>$v_{in} < v_{hub} < v_{out}$                | NSS<br>$H_s = E[H_s v_{hub}]$ | 同向, 单向    | 无流  | NWLR 或 $\geq$ MSL | 控制系统故障、电气系统故障或电网连接中断故障  | F | * |
|         | 2.5                | NWP<br>$v_{in} < v_{hub} < v_{out}$                | NSS<br>$H_s = E[H_s v_{hub}]$ | 同向, 单向    | NCM | MSL               | 低压穿越                    | U | N |
|         | 2.6                | NTM<br>$v_{in} < v_{hub} < v_{out}$                | SSS<br>$H_s = H_{s,SSS}$      | 不同向, 多向   | NCM | NWLR              | 最大海况安全控制和保护系统故障 (如设有)   | U | A |
| 3) 启机   | 3.1                | NWP<br>$v_{in} < v_{hub} < v_{out}$                | NSS<br>$H_s = E[H_s v_{hub}]$ | 同向, 单向    | 无流  | NWLR 或 $\geq$ MSL | 风机启动引起的疲劳工况             | F | * |
|         | 3.2 <sup>(1)</sup> | EOG<br>$v_{hub} = v_{in}, v_r, v_r \pm 2, v_{out}$ | NSS<br>$H_s = E[H_s v_{hub}]$ | 同向, 单向    | NCM | MSL               | ——                      | U | N |
|         | 3.2 <sup>(2)</sup> | ETM<br>$v_{in} < v_{hub} < v_{out}$                | NSS<br>$H_s = E[H_s v_{hub}]$ | 同向, 单向    | NCM | MSL               | ——                      | U | N |
|         | 3.3                | EDC<br>$v_{hub} = v_{in}, v_r \pm 2, v_{out}$      | NSS<br>$H_s = E[H_s v_{hub}]$ | 不同向, 风向变化 | NCM | MSL               | ——                      | U | N |
| 4) 正常停机 | 4.1                | NWP<br>$v_{in} < v_{hub} < v_{out}$                | NSS<br>$H_s = E[H_s v_{hub}]$ | 同向, 单向    | 无流  | NWLR 或 $\geq$ MSL | 风机停机引起的疲劳工况             | F | * |
|         | 4.2 <sup>(1)</sup> | EOG<br>$v_{hub} = v_r \pm 2, v_{out}$              | NSS<br>$H_s = E[H_s v_{hub}]$ | 同向, 单向    | NCM | MSL               | ——                      | U | N |
|         | 4.2 <sup>(2)</sup> | ETM<br>$v_{in} < v_{hub} < v_{out}$                | NSS<br>$H_s = E[H_s v_{hub}]$ | 同向, 单向    | NCM | MSL               | ——                      | U | N |
|         | 4.3                | NTM<br>$v_{in} < v_{hub} < v_{out}$                | SSS 或触发安全控制和保护系统的海况           | 不同向, 多向   | NCM | NWLR              | 如设有海况安全控制和保护系统          | U | N |
| 5) 紧急停机 | 5.1                | NTM<br>$v_{hub} = v_r \pm 2, v_{out}$              | NSS<br>$H_s = E[H_s v_{hub}]$ | 同向, 单向    | NCM | MSL               | ——                      | U | N |
|         | 5.2                | NTM<br>$v_{in} < v_{hub} < v_{out}$                | SSS 或操作手册中规定的海况或运动响应限值        | 不同向, 多向   | NCM | NWLR              | 如海况或运动响应达到限值, 需要进行人工远程停 | U | N |

|                |     |                                                                 |                                    |         |                   |                      |                         |   |   |
|----------------|-----|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------|---------|-------------------|----------------------|-------------------------|---|---|
|                |     |                                                                 |                                    |         |                   |                      | 机操作                     |   |   |
| 6) 停机(静止或空转)   | 6.1 | EWM (湍流)<br>$v_{hub} = v_{50}$                                  | ESS<br>$H_s = H_{s,50}$            | 不同向, 多向 | ECM (50 年<br>重现期) | EWLR (50<br>年重现期)    | 考虑 $\pm 8^\circ$ 平均偏航误差 | U | N |
|                | 6.2 | EWM (湍流)<br>$v_{hub} = v_{50}$                                  | ESS<br>$H_s = H_{s,50}$            | 不同向, 多向 | ECM (50 年<br>重现期) | EWLR (50<br>年重现期)    | 电网连接中断                  | U | A |
|                | 6.3 | EWM (湍流)<br>$v_{hub} = v_1$                                     | ESS<br>$H_s = H_{s,1}$             | 不同向, 多向 | ECM (1 年<br>重现期)  | NWLR                 | 考虑极限偏航误差 $\pm 20^\circ$ | U | N |
|                | 6.4 | NTM<br>$v_{hub} < v_{in}$ 和<br>$v_{out} < v_{hub} < 0.7v_{ref}$ | NSS<br>$H_s, T_P, v_{hub}$ 的联合概率分布 | 同向, 多向  | 无流                | NWLR 或 $\geq$<br>MSL | ——                      | F | * |
|                | 6.5 | EWM (湍流)<br>$v_{hub} = v_{50}$                                  | ESS<br>$H_s = H_{s,50}$            | 不同向, 多向 | ECM (50 年<br>重现期) | EWLR (50<br>年重现期)    | 从完整到一根系泊缆破断的瞬态工况        | U | A |
|                | 6.6 | EWM (湍流)<br>$v_{hub} = v_{50}$                                  | ESS<br>$H_s = H_{s,50}$            | 不同向, 多向 | ECM (50 年<br>重现期) | EWLR (50<br>年重现期)    | 一根系泊缆破断后达到新平衡位置的工况      | U | A |
|                | 6.7 | EWM (湍流)<br>$v_{hub} = v_1$                                     | ESS<br>$H_s = H_{s,1}$             | 不同向, 多向 | ECM (1 年<br>重现期)  | NWLR                 | 破舱进水工况                  | U | A |
| 7) 停机兼故障       | 7.1 | EWM<br>$v_{hub} = v_1$                                          | ESS<br>$H_s = H_{s,1}$             | 不同向, 多向 | ECM (1 年<br>重现期)  | NWLR                 | 至少应考虑刹车、变桨和偏航系统故障       | U | A |
|                | 7.2 | NTM<br>$v_{hub} < v_{out}$                                      | NSS<br>$H_s, T_P, v_{hub}$ 的联合概率分布 | 同向, 多向  | 无流                | NWLR 或 $\geq$<br>MSL | ——                      | F | * |
| 8) 运输、安装、维护和维修 | 8.1 | 由施工方或业主自定义工况                                                    |                                    |         |                   |                      |                         | U | N |
|                | 8.2 | EWM<br>$v_{hub} = v_1$                                          | ESS<br>$H_s = H_{s,1}$             | 同向, 单向  | ECM (1 年<br>重现期)  | NWLR                 | ——                      | U | A |
|                | 8.3 | NTM<br>$v_{hub} < 0.7v_{ref}$                                   | NSS<br>$H_s, T_P, v_{hub}$ 的联合概率分布 | 同向, 多向  | 无流                | NWLR 或 $\geq$<br>MSL | 在安装期间未连接电网              | F | * |
|                | 8.4 | 由施工方或业主自定义工况                                                    |                                    |         |                   |                      |                         | F | * |

备注:

NTM: 正常湍流模型

ETM: 极限湍流模型

ECD: 方向变化的极限相干阵风

EWS: 极限风切变

EOG: 极限阵风

NWP: 正常风廓线模型

EDC: 极限风向变化

EWM: 极限风速模型

NSS: 正常海况

SSS: 恶劣海况

ESS: 极限海况

NCM: 正常流速模型

ECM: 极限流速模型

MSL: 平均水位

NWLR: 正常水位范围

EWLR: 极限水位范围

U: 极限强度校核

F: 疲劳强度校核

N: 正常

A: 非正常

$v_{ref}$ : 参考风速, 系指 50 年重现期的轮毂高度处 10min 平均风速

$v_1$ : 1 年重现期的轮毂高度处 10min 平均风速

$v_{50}$ : 50 年重现期的轮毂高度处 10min 平均风速

$v_{hub}$ : 轮毂高度处的 10min 平均风速

$v_{in}$ : 切入风速

$v_{out}$ : 切出风速

$v_r$ : 额定风速

$H_s$ : 特征波高

$H_{s,SSS}$ : 恶劣海况下的特征波高

$H_{s,1}$ : 1 年重现期的特征波高

$H_{s,50}$ : 50 年重现期的特征波高

$E[H_s|v_{hub}]$ : 在风速  $v_{hub}$  下的特征波高的条件期望

$T_p$ : 谱峰周期

## 2.3.4 设计载荷工况

### 2.3.4.1 一般要求

(1) 设计载荷工况表 2.3.1 按风力发电机组工况进行分类, 涵盖正常发电工况、正常发电兼故障工况、启机工况、正常停机工况、紧急停机工况、停机(静止或空转)工况、停机兼故障工况以及运输、安装、维护和维修工况;

(2) 设计载荷工况表 2.3.1 适用于海上浮式风机平台的极限强度和疲劳强度校核, 其中极限强度校核分为正常和非正常两种情况, 对应的分项载荷系数可参照本指南第 3 章表 3.2.5.2 的相关要求;

(3) 正常发电工况 DLC1.7~1.9、正常发电兼故障工况 DLC2.6、停机(静止或空转)工况 DLC6.5~6.7、正常停机工况 DLC4.3, 均为 IEC 61400-3-2 (2019) 提出的针对海上浮式风机设施的设计载荷工况;

(4) 如海上浮式风机平台的系泊系统为非冗余设计时, 可忽略 DLC1.7、DLC1.8、DLC6.5 和 DLC6.6 工况, 但需另取安全系数, 可参照本指南第 5 章 5.4.3.2 的相关要求;

(5) 设计载荷工况表 2.3.1 中风速选取间隔一般不大于 2m/s, 如额定风速属于计算风速区间, 则可将额定风速作为一个计算风速;

(6) 对于设计载荷工况表 2.3.1 中风浪不同向的工况, 应考虑导致最不利情况出现的风浪夹角, 可考虑  $\pm 30^\circ$  的夹角范围;

(7) 对于设有海况安全控制和保护系统的海上浮式风机设施, 如上述系统在恶劣海况下(或触发该系统的海况)发挥作用, 即停机, 则应按正常停机工况 DLC4.3 计算, 如达到操作手册上注明的海况或运动响应限值时需要人工远程控制停机, 则应按紧急停机工况 DLC5.2 计算, 且该工况为正常工况; 如上述系统发生故障, 即在恶劣海况下仍继续运行, 则应按正常发电兼故障工况 DLC2.6 计算, 且该工况为非正常工况。对于未设有该系统的海上浮式风机设施, 则应按照正常发电工况 DLC1.6 计算, 且该工况为正常工况;

(8) 对于确定性风场和随机海况组成的载荷工况, 如表 2.3.1 中的 DLC1.4、DLC1.5、DLC2.3<sup>(1)</sup>、DLC3.2<sup>(1)</sup>、DLC3.3<sup>(1)</sup>和 DLC4.2<sup>(1)</sup>, 风力发电机组的特征载荷应是最不利情况下计算的瞬时值; 对于湍流风场和随机海况组成的载荷工况, 风力发电机组的特征载荷应采用最不利情况下的载荷效应的均值; 对于表 2.3.1 中的 DLC2.1、DLC2.2 和 DLC5.1, 风力发电机组的特征载荷应为 1/2 最大载荷效应的均值。

### 2.3.4.2 设计载荷工况定义

(1) 正常发电工况(DLC1.1~1.9), 系指风力发电机组正常运行、电网正常连接的发电工况。该工况除 DLC1.4 外, 轮毂高度处 10min 平均风速  $v_{hub}$  均处于切入风速  $v_{in}$  和切出风速  $v_{out}$  区间范围。

① DLC1.1 系用于外推 RNA 所受的极限载荷, 至少应输出风轮面内和面外的叶根弯矩以及叶尖变形。考虑正常湍流模型(NTM)、正常海况(NSS)、正常流速(NCM)和正常水位(MSL)的组合, 并考虑风浪同向且沿单向传播;

② DLC1.2 系风力发电机组在正常发电期间内的疲劳工况。采用正常湍流模型(NTM)和正常海况(NSS), 需考虑特征波高、谱峰周期和轮毂高度处 10min 平均风速的联合概率分布, 并考虑风浪不同向且沿多向传播。取正常水位范围(NWLR)或大于平均水位(MSL), 无需考虑流速的影响;

③ DLC1.3 系极限湍流模型(ETM)和正常海况(NSS)的组合工况。同时, 考虑正常流速(NCM)和平均水位(MSL), 并考虑风浪同向且沿单向传播。如 DLC1.3 的叶根极限弯矩极值未超过 DLC1.1 的叶根弯矩极值, 则应增加 DLC1.3 湍流强度中的系数  $c$ , 直到得到的叶根弯矩极值超过 DLC1.1 的叶根弯矩极值。其中, 系数  $c$  的取值参照 IEC 61400-1(2019) 6.3.3.4 条款的相关要求;

④ DLC1.4 系极限阵风伴随风向改变(ECD)的瞬态工况, 轮毂高度处 10min 平均风速  $v_{hub}$  取  $v_r-2$ 、 $v_r$  和  $v_r+2$  (m/s), 取正常海况(NSS)、正常流速(NCM)和正常水位(MSL)的组合, 考虑风浪不同向, 并且伴随风向改变。风廓线与高度和时间相关, 风向改变的角度与  $v_{hub}$  相关, 具体公式参照 IEC 61400-1 (2019) 6.3.3.6 条款的相关要求;

⑤ DLC1.5 系极限风切变(EWS)的瞬态工况, 包含瞬态的垂向风切变和水平风切变, 风场参数的计算公式参照 IEC 61400-1 (2019) 中 6.3.3.7 条款的相关要求。考虑正常海况



(NSS)、正常流速 (NCM) 和平均水位 (MSL) 的组合, 并考虑风浪同向且沿单向传播;

⑥ DLC1.6 系未设有最大海况安全控制和保护系统时应校核的工况。考虑正常湍流模型 (NTM)、恶劣海况 (SSS)、正常流速 (NCM) 和正常水位范围 (NWLR) 的组合, 并考虑风浪不同向且沿多向传播。其中, 关于恶劣海况 (SSS) 的说明详见本节 2.3.3.3;

⑦ DLC1.7 系从完整系泊系统到一根系泊缆破断的瞬态工况, 非冗余系泊系统可忽略此工况。考虑正常湍流模型 (NTM)、正常海况 (NSS)、正常流速 (NCM) 和平均水位 (MSL) 的组合, 并考虑风浪不同向且沿多向传播;

⑧ DLC1.8 系一根系泊缆破断后达到新平衡位置的工况, 非冗余系泊系统可忽略此工况。风场模型、风速、海况、流速、水位和风浪方向等与 DLC1.7 一致;

⑨ DLC1.9 系浮体结构破舱进水的工况。风场模型、风速、海况、流速、水位和风浪方向等与 DLC1.7 一致。

(2) 正常发电兼故障工况 (DLC2.1~2.6), 系指风力发电机组发电时由故障或电网连接中断触发的瞬态事件。轮毂高度处 10min 平均风速  $v_{hub}$  处于切入风速  $v_{in}$  和切出风速  $v_{out}$  区间范围;

① DLC2.1 系正常的控制系统故障、电网连接中断或第一层控制功能故障工况。考虑正常湍流模型 (NTM)、正常海况 (NSS)、正常流速 (NCM) 和平均水位 (MSL) 的组合, 并考虑风浪同向且沿单向传播;

② DLC2.2 系非正常的控制系统故障或第二层保护功能故障工况。风场模型、风速、海况、流速、水位和风浪方向等与 DLC2.1 一致;

③ DLC2.3<sup>(1)</sup>系包含电网连接中断的外部或内部电气系统故障。考虑极限阵风 (EOG)、正常海况 (NSS)、正常流速 (NCM) 和平均水位 (MSL) 的组合, 并考虑风浪同向且沿单向传播, 且为非正常工况。DLC2.3<sup>(2)</sup>为 DLC2.3<sup>(1)</sup>的替代计算工况, 考虑正常湍流模型 (NTM), 且为正常工况;

④ DLC2.4 系控制系统故障、电气系统故障或电网连接中断等故障引起的疲劳工况。考虑正常湍流模型 (NTM)、正常海况 (NSS) 和正常水位范围 (NWLR) 或大于平均水位 (MSL) 的组合, 并考虑风浪同向且沿单向传播;

⑤ DLC2.5 系低压穿越工况。考虑正常风廓线模型 (NWP)、正常海况 (NSS)、正常流速 (NCM) 和平均水位 (MSL) 的组合, 并考虑风浪同向且沿单向传播。其中, 正常风廓线模型 (NWP) 可参照 IEC 61400-1 (2019) 6.3.2.2 条款的相关要求;

⑥ DLC2.6 系最大海况安全控制和保护系统故障工况。考虑正常湍流模型 (NTM)、恶劣海况 (SSS)、正常流速 (NCM) 和正常水位范围 (NWLR) 的组合, 并考虑风浪不同向且沿多向传播。

(3) 启机工况 (DLC3.1~3.3), 系指风力发电机组从停机空转或静止状态到发电状态的瞬态事件;

① DLC3.1 系启机引起的疲劳工况。如没有相关的启机历史数据, 可参考 IEC 61400-1 (2019) 中 7.4.4 提到的年启机次数, 即在切入风速  $v_{in}$  下的 1000 次启机, 在额定风速  $v_r$  下的 50 次启机, 在最大启机风速下的 50 次启机。其中, 最大启机风速一般由风机厂商给出, 如没有相关参数, 用切出风速  $v_{out}$  代替最大启机风速。考虑正常风廓线模型 (NWP)、正常海况 (NSS)、正常水位范围 (NWLR) 或大于平均水位 (MSL) 的组合, 并考虑风浪同向且沿单向传播, 但无需考虑流速的影响;

② DLC3.2<sup>(1)</sup>系启机与极限阵风 (EOG) 相结合的工况。极限阵风的发生时刻至少需要考虑 4 个时刻, 即发电量达到最大发电量的 50% 时、发电量达到最大发电量的 95% 时, 并应在最大发电量 50% 至 95% 的间隔内均匀地选择至少 2 个额外的时刻。极限阵风 (EOG) 也可采用极限湍流模型 (ETM) 代替, 即 DLC3.2<sup>(2)</sup>, 但针对每个轮毂高度处 10min 平均风速  $v_{hub}$  至少需要进行 12 个随机风场模拟, 响应极值的均值即为名义响应极值。考虑正常海况 (NSS)、正常流速 (NCM) 和平均水位 (MSL) 的组合, 风浪同向且沿单向传播;

③ DLC3.3 系启机与极限风向变化 (EDC) 相结合的工况。在风向变化之前, 假设风浪同向, 并考虑正常海况 (NSS)、正常海流 (NCM) 和平均水位 (MSL) 的组合。

(4) 正常停机工况 (DLC4.1~4.3), 系指风力发电机组从发电状态到停机空转或静止状态的瞬态工况, 发生次数一般与控制系统有关。

① DLC4.1 系正常停机引起的疲劳工况。如没有相关的停机历史数据,可参考 IEC 61400-1 (2019) 中 7.4.5 提到的年停机次数,即在切入风速 $v_{in}$ 下的 1000 次停机,在额定风速 $v_r$ 下的 50 次停机,在切出风速 $v_{out}$ 下的 50 次停机。考虑正常风廓线模型(NWP)、正常海况(NSS)、正常水位范围(NWLR)或大于平均水位(MSL)的组合,并考虑风浪同向且沿单向传播,但无需考虑流速的影响;

② DLC4.2<sup>(1)</sup>系正常停机与极限阵风(EOG)相结合的工况。根据 IEC 61400-1 (2019) 中的 7.4.5 条款,极限阵风的发生时刻至少应考虑 6 个时刻,即停机开始前 10s、发电量达到初始发电量的 50%时,在这 2 个时刻之间再根据初始发电量的百分比均匀选取 4 个时刻,并且每个不同时刻至少应考虑 4 个均匀分布的转子方位角。极限阵风(EOG)也可采用极限湍流模型(ETM)代替,即 DLC4.2<sup>(2)</sup>,但针对每个轮毂高度处 10min 平均风速 $v_{hub}$ 至少需要进行 12 个随机风场模拟,响应极值的均值即为名义响应极值。考虑正常海况(NSS)、正常流速(NCM)和平均水位(MSL)的组合,风浪同向且沿单向传播;

③ DLC4.3 系正常停机伴随恶劣海况(SSS)或触发安全控制和保护系统的海况,如未设有安全控制和保护系统则无需考虑该工况。考虑正常湍流模型(NTM)、正常流速(NCM)和正常水位范围(NWLR),并考虑风浪不同向且沿多向传播。

(5) 紧急停机工况(DLC5.1~5.2),系风力发电机组在正常发电状态突然紧急停机的瞬态工况。

① DLC5.1 系风力发电机组在正常发电状态突然紧急停机的瞬态工况,考虑由于紧急停机引起的载荷。考虑正常湍流模型(NTM),轮毂高度处 10min 平均风速 $v_{hub}$ 取 $v_r-2$ 、 $v_r$ 、 $v_r+2$ 和 $v_{out}$  (m/s),考虑正常海况(NSS)、正常流速(NCM)和平均水位(MSL)的组合,并考虑风浪同向且沿单向传播;

② DLC5.2 系人工远程控制紧急停机的工况,即当达到操作手册上注明的海况或运动响应限值时,需要人工远程控制停机。考虑正常湍流模型(NTM)、恶劣海况(SSS)或操作手册中规定的海况或达到运动响应限值时的海况、正常流速(NCM)和正常水位范围(NWLR)的组合,并考虑风浪不同向且沿多向传播。

(6) 停机(静止或空转)工况(DLC6.1~6.7),系风力发电机组处于停机静止或空转状态的工况。除 DLC6.4 为疲劳分析工况外,其他均为极限强度分析工况。

① DLC6.1 考虑停机(静止或空转)工况下 50 年重现期的极限风速模型(EWM)和极限海况条件(ESS)的组合。应考虑风场的湍流模型,轮毂高度处 10min 平均风速 $v_{hub}$ 取 50 年重现期风速 $v_{50}$ ,并考虑 50 年重现期的特征波高 $H_{s,50}$ 、50 年重现期的极限流速和 50 年重现期的极限水位范围(EWLR)的组合,并考虑风浪不同向且沿多向传播。在湍流风场模型下,需考虑 $\pm 8^\circ$ 平均偏航误差;

② DLC6.2 系风暴早期阶段电网连接中断的情况。风场模型、风速、海况、流速、水位和风浪方向等与 DLC6.1 一致,但该工况为非正常工况。除非备用电源可以支持至少 6 个小时的偏航控制功能,否则应考虑 $\pm 180^\circ$ 风向变化范围的影响;

③ DLC6.3 考虑停机(静止或空转)工况下 1 年重现期的极限风速模型(EWM)和极限海况(ESS)的组合,并考虑极限偏航误差 $\pm 20^\circ$ 的情况。应考虑风场的湍流模型,轮毂高度处 10min 平均风速 $v_{hub}$ 取 1 年重现期风速 $v_1$ ,并考虑 1 年重现期特征波高 $H_{s,1}$ 、1 年重现期的极限流速和正常水位范围(NWLR),并考虑风浪不同向且沿多向传播;

④ DLC6.4 系停机(静止或空转)工况引起的疲劳工况。采用正常湍流模型(NTM)和正常海况模型(NSS),轮毂高度处 10min 平均风速包含两个范围,即小于切入风速 $v_{in}$ 以及处于切出风速 $v_{out}$ 和 0.7 倍参考风速 $v_{ref}$ 区间范围。需考虑特征波高、谱峰周期和轮毂高度处 10min 平均风速的联合概率分布,取正常水位范围(NWLR)或大于平均水位(MSL),并考虑风浪同向且沿多向传播,但无需考虑流速的影响;

⑤ DLC6.5 系从完整系泊系统到一根系泊缆破断的瞬态工况,非冗余系泊系统可忽略此工况。风场模型、风速、海况、流速、水位和风浪方向等与 DLC6.1 一致;

⑥ DLC6.6 系一根系泊缆破断后达到新平衡位置的工况,非冗余系泊系统可忽略此工况。风场模型、风速、海况、流速、水位和风浪方向等与 DLC6.1 一致;

⑦ DLC6.7 系浮体结构破舱进水的工况。风场模型、风速、海况、流速、水位和风浪方向等与 DLC6.3 一致。

(7) 停机兼故障工况 (DLC7.1~7.2), 系停机伴随电网或风力发电机组故障的工况。至少需考虑刹车系统、变桨系统和偏航系统等故障。

① DLC7.1 系考虑停机兼故障工况下 1 年重现期的极限风速模型 (EWM) 和 1 年重现期的极限海况 (ESS) 的组合。轮毂高度处 10min 平均风速  $v_{hub}$  取 1 年重现期风速  $v_1$ , 考虑 1 年重现期特征波高  $H_{s,1}$ 、1 年重现期的极限流速和正常水位范围 (NWLR), 并考虑风浪不同向且沿多向传播;

② DLC7.2 系停机兼故障引起的疲劳工况。采用正常湍流模型 (NTM) 和正常海况模型 (NSS), 轮毂高度处 10min 平均风速  $v_{hub}$  小于切出风速  $v_{out}$ 。需考虑特征波高、谱峰周期和轮毂高度处 10min 平均风速的联合概率分布, 取正常水位范围 (NWLR) 或大于平均水位 (MSL), 并考虑风浪同向且多向传播, 但无需考虑流速的影响。

(8) 运输、安装、维护和维修工况 (DLC8.1~8.4), 系海上浮式风机设施在运输、安装、维护和维修阶段的工况。

① DLC8.1 系由建造方或业主确定的运输、安装、维护和维修期间的极限强度分析工况;

② DLC8.2 系运输、安装、维护和维修超过一周时间情况下定义的极限强度分析工况。采用极限风速模型 (EWM), 考虑 1 年重现期风速  $v_1$ 、1 年重现期的特征波高  $H_{s,1}$ 、1 年重现期的流速组合, 取正常水位范围 (NWLR), 并考虑风浪同向且沿单向传播;

③ DLC8.3 系运输、安装、维护和维修期间且未连接电网情况下的疲劳分析工况。采用正常湍流模型 (NTM) 和正常海况模型 (NSS), 轮毂高度处 10min 平均风速  $v_{hub}$  小于 0.7 倍参考风速  $v_{ref}$ 。需考虑特征波高、谱峰周期和轮毂高度处 10min 平均风速的联合概率分布, 取正常水位范围 (NWLR) 或大于平均水位 (MSL), 并考虑风浪同向且沿多向传播, 但无需考虑流速的影响;

④ DLC8.4 系由建造方或业主确定的运输、安装、维护和维修期间的疲劳分析工况。

## 第 4 节 总体性能分析

### 2.4.1 一般要求

2.4.1.1 总体性能和载荷可通过数值计算或模型试验进行预报。

2.4.1.2 总体性能预报的目标是确定海上浮式风机平台在环境载荷下的总体响应。

2.4.1.3 总体性能和载荷预报应涵盖本章第 3 节中的设计工况, 并对以下内容进行预报:

(1) 海上浮式风机平台六自由度运动响应, 对于不同型式的海上浮式风机平台, 应根据其特性考虑相关因素;

(2) 极限波峰与甲板主结构最低构件下缘之间的峰隙 (如适用), 应满足 CCS “移规” 的相关要求;

(3) 系泊索和动态电缆张力, 包括最大和最小张力响应以及用于设计的疲劳载荷;

(4) 用于结构分析的水动力载荷;

(5) 用于结构分析的塔架底部载荷, 该载荷需考虑 RNA 和塔架惯性力;

(6) 用于确定惯性载荷的加速度;

(7) 用于 RNA 设计和选型的塔架顶端加速度等。

### 2.4.2 分析方法

#### 2.4.2.1 一般要求

(1) 总体性能应由时域分析方法得到, 频域分析方法可作为前期的方案比选使用;

(2) 应考虑 RNA 和塔架对海上浮式风机平台总体性能的影响;

(3) 应考虑动态电缆、系泊和浮体结构之间的干涉碰撞;

(4) 商业软件和内部软件均可用于总体性能分析, 但内部软件需通过模型试验的充分验证或得到行业内的广泛认可。

#### 2.4.2.2 频域分析方法

(1) 频域分析应包含海上浮式风机平台六个自由度的波频分析, 对于不同型式的海上浮式风机平台应有特殊考虑, 如二阶低频和低频运动;

(2) 应根据已有的工程经验或模型试验确定计算分析中的阻尼，并在计算报告中明确给出。

#### 2.4.2.3 时域分析方法

(1) 时域分析方法应考虑气动载荷、水动力载荷和驱动载荷与海上浮式风机平台之间的耦合效应；

(2) 时域模拟的时间应足够长以得到稳定的统计峰值，并应尽可能使时域模拟中不规则波的随机种子数能够准确模拟实际海况。

(3) 通常按平均值统计计算分析的随机种子数应不少于 5 个，按极值分析模型进行统计分析时随机种子数应不少于 10 个。

## 第3章 结 构

### 第1节 一般规定

#### 3.1.1 适用范围

3.1.1.1 本章规定适用于海上浮式风机平台的主体结构及附属结构，海上浮式风机设施的 RNA 和塔架结构不在本章适用范围内。

3.1.1.2 本章所述结构设计的规定和要求主要适用于以下型式的海上浮式风机平台：

- (1) 柱稳式（半潜式）平台；
- (2) 水面式（驳船式）平台；
- (3) 张力腿式平台（TLP）；
- (4) 深吃水单立柱式平台（SPAR）。

除上述以外的新颖结构型式的风机平台的结构设计可根据平台的结构型式、受载特点等采用工业界普遍认可的技术标准进行，但采用的结构设计方法及相关技术标准、技术依据等应在设计文件中明确，并得到 CCS 的认可。

#### 3.1.2 材料与焊接

3.1.2.1 海上浮式风机平台材料与焊接的一般要求应满足 CCS《材料与焊接规范》的相关要求。

3.1.2.2 对钢质海上浮式风机平台，应符合下列规定：

(1) 平台结构用钢应满足 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 3 章的相关要求，平台结构用钢的选择也可参照 CCS“移规”第 2 篇第 1 章第 4 节和第 6 节的相关要求。

(2) 平台结构的焊接应满足 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 6 章的相关要求，平台结构的焊缝设计可参照 CCS“移规”第 2 篇第 1 章第 5 节的相关要求。

3.1.2.3 对于采用混凝土材料为主的海上浮式风机平台，应符合下列规定：

- (1) 混凝土材料应满足 CCS《材料与焊接规范》第 2 篇第 6 章的相关要求。
- (2) 平台结构用混凝土材料的相关要求，也可按照国内外普遍认可的海工行业技术标准进行，但应在设计、建造文件中予以明确，并得到 CCS 的认可。

#### 3.1.3 结构布置

3.1.3.1 海上浮式风机平台的结构布置应主要考虑满足平台总体性能及与平台安全直接相关的要求（如稳性）。

3.1.3.2 涉及到通道布置、舱室分隔、人员保护等的结构布置，可参照 CCS“移规”第 2 篇第 1 章第 8 节的相关要求。在设计中考虑到人员驻守性质、平台智能运行等情况后，对其布置要求的等效或免除，应在设计文件中明确指出，并得到 CCS 的认可。

#### 3.1.4 结构监测

3.1.4.1 海上浮式风机平台结构监测系统一般应符合下列要求：

- (1) 应能实现结构的连续监测；
- (2) 监测数据一般应能够实时传输至陆上数据中心，如采用平台本地储存，应能有措施保证检测数据的安全。

3.1.4.2 位于波浪影响区内的监测装置、信号传输线缆等应考虑设置必要的保护，如防波浪砰击保护结构。

### 第2节 结构设计

#### 3.2.1 一般要求

3.2.1.1 本节要求主要适用于钢质海上浮式风机平台的结构设计，混凝土平台的结构设计可按照工业界普遍认可的规范和技术标准进行，并得到 CCS 的认可。

3.2.1.2 海上浮式风机平台结构设计可按照下列设计方法进行：

- (1) 工作应力设计法 (Working Stress Design, 简称 “WSD”);
- (2) 载荷抗力系数法 (Load and Resistance Factor Design, 简称 “LRFD”).

3.2.1.3 海上浮式风机平台设计寿命不应低于海上风力发电机组的设计寿命。对于示范、验证的海上浮式风机平台，设计寿命可适当予以减少，但应在设计文件中予以明确，并得到 CCS 的认可。

**3.2.2 设计载荷**

3.2.2.1 设计载荷工况的选取应参照本指南第 2 章第 3 节的相关要求。

3.2.2.2 应充分考虑上部风机载荷与环境载荷的联合作用所产生的极限载荷效应。当采用风力发电机组和平台一体化耦合分析的方法得到极限载荷时，应确保在一体化分析中已经充分考虑了风力发电机组所受风力载荷与平台所受环境载荷之间的联合作用效应。

3.2.2.3 对于艏不足的水面式（驳船式）平台，主甲板及其上的附属结构应考虑波浪砰击载荷效应。

**3.2.3 构件尺寸**

3.2.3.1 构件尺寸应保证浮式风机平台总体强度满足规范要求，如采用规范法确定构件尺寸，可参照 CCS “移规” 第 2 篇第 3 章第 2 节的相关要求。

3.2.3.2 如采用直接有限元计算确定平台的构件尺寸，应确保结构在所有设计工况下的强度满足要求，并得到 CCS 的认可。

**3.2.4 结构分析**

3.2.4.1 海上浮式风机平台结构分析，一般应包括结构强度分析和疲劳分析。

3.2.4.2 结构分析方法一般应基于线弹性理论，若采用塑性方法分析时，应在设计文件中予以明确，并得到 CCS 的认可。

3.2.4.3 一般应采用公认的有限元结构分析程序进行结构计算，否则，应提供程序的有关说明文件，包括程序所基于的力学原理、程序的求解计算方法及相关软件验证等资料。

3.2.4.4 在强度分析中，应特别注意风机塔架与平台结构连接部位的结构高应力区域，如采用有限元直接计算方式，可参考 CCS “移规” 第 2 篇第 3 章 3.4.2 节的有关规定。

3.2.4.5 在疲劳分析中，应充分考虑风力发电机组在各工况下的疲劳载荷的时域特性及平台所受波浪载荷的频域特性。

**3.2.5 强度校核**

3.2.5.1 当采用工作应力设计法 (WSD) 进行结构强度校核时，应符合下列规定：

- (1) 结构强度校核准则可参照 CCS “浮规” 第 2 篇第 3 章第 4 节的规定进行，其中有关 “静载工况” 和 “组合工况” 的定义参照 CCS “浮规” 第 2 篇第 3 章第 3 节 3.3.2 部分；
- (2) 海上浮式风机平台设计工况（参照本指南第 2 章第 3 节）的载荷系数取为 1.0；
- (3) 结构的屈曲强度校核也可参照 CCS 《海洋工程结构物屈曲强度评估指南》进行。

3.2.5.2 当采用载荷抗力系数法 (LRFD) 进行结构强度校核时，应符合下列规定：

- (1) 海上风力发电机组设计工况（参照本指南第 2 章第 3 节）的载荷应视为环境载荷（参照本指南第 2 章第 2 节 2.2.4 部分）。其分项载荷系数应按照表 3.2.5.2 取值；

| 分项载荷系数 |      | 表 3.2.5.2 |
|--------|------|-----------|
| 工况类型   | 正常/N | 非正常/A     |
| 分项载荷系数 | 1.35 | 1.1       |

注：上述工况类型定义中的 “正常/N”、“非正常/A” 详见本指南第 2 章第 3 节表 2.3.1。

- (2) 固定载荷和可变载荷（参照本指南第 2 章第 2 节 2.2.2 和 2.2.3 部分）的分项载荷系数可取为 1.0，但当固定载荷和可变载荷对结构产生有利影响时，其分项载荷系数应取为

0.9;

(3) 结构强度校核准则可参照国内外普遍认可的技术标准的规定进行，材料分项系数应按照所用规范标准的规定，在缺少具体规定的情况下，可取 1.05。

### **3.2.6 疲劳校核**

3.2.6.1 海上浮式风机平台结构的设计疲劳寿命应不小于风力发电机组的设计寿命。

3.2.6.2 平台结构的疲劳校核可参照 CCS《海洋工程结构物疲劳强度评估指南》进行。

3.2.6.3 当采用 LRFD 方法进行疲劳校核时，所有载荷工况的载荷系数可取 1.0。

## **第 3 节 结构防腐**

### **3.3.1 一般要求**

3.3.1.1 为防止腐蚀引起的整体损坏，主船体钢结构应设有效的保护，其他附属钢结构可视情况进行必要的保护。有效的保护系统一般包括涂层、金属镀层、阴极保护、增加腐蚀余量或其他认可的方法。防腐保护系统设计时应特别注意被保护的结构部位的设计寿命和保护系统装置的可维护性。

3.3.1.2 除本章第 3.2.3 条规定的舱壁构件尺寸已包含规范规定的腐蚀余量外，其他按本章 3.2.3 条规定采用规范计算确定的构件尺寸均不含腐蚀余量，应结合其所在部位、处所的环境条件以及所采用的防腐措施，考虑合适的腐蚀余量。腐蚀余量的选取可参照 CCS“浮规”第 2 篇第 3 章第 5 节的有关规定。所增加的腐蚀余量应在设计图纸、文件中注明。

3.3.1.3 对于采用新颖防腐方法或手段的平台，其防腐蚀系统应能够对平台提供与常规防腐方法或手段等效的保护，并应提供防腐系统的必要设计资料，如原理方法说明、系统设计说明文件等。

## 第4章 稳性、分舱与载重线

### 第1节 一般规定

#### 4.1.1 一般要求

4.1.1.1 海上浮式风机平台的稳性要求包括：迁移过程稳性、安装过程稳性及在位状态稳性，详见本章第2节的相关要求。

4.1.1.2 海上浮式风机平台的稳性分为完整稳性和破损稳性。平台的完整稳性系指漂浮着的平台依靠倾斜后其自身的复原力矩来抵抗外加倾覆力矩的能力。破损稳性系指平台破损后，依靠其自身倾斜后的复原力矩，在规定的外加风力作用下仍能保持不再继续进水的能力。

### 第2节 稳性

#### 4.2.1 倾斜试验

4.2.1.1 新建或经历重大改造的海上浮式风机平台应进行倾斜试验以确定平台空船重量及重心位置。倾斜试验应尽可能在接近完工时进行，且应有CCS验船师在场。试验程序及倾斜试验所得结果应提交CCS审查。

4.2.1.2 若平台因特殊的布局形式和/或安装过程所限无法适时进行倾斜试验，可以考虑用替代方法确定平台的重量和重心位置。当垂向重心不便于测量时，应采用保守方法估算。替代方法可以使用经认证的称重传感器测量平台及其组件的重量，最终的重量重心结果和整个过程应经 CCS 同意。

#### 4.2.2 稳性校核

4.2.2.1 海上浮式风机平台应校核下列基本工况的完整稳性：

(1) 迁移工况。迁移工况系指海上浮式风机平台从港口（码头）湿拖至安装海域位置的工况。完整稳性校核的最小风速应取 36m/s（70kn），同时应满足主管机关的相关要求；

(2) 安装工况。安装工况系指海上浮式风机平台到达安装地点后由迁移状态调整为在位状态过程的工况。在安装及调试过程中，浮式风机平台应始终保持正初稳性高。稳性校核风速的重现期应不小于 1 年一遇；

(3) 在位工况。在位工况系指海上浮式风机平台在其服役期间的工况。完整稳性分析需考虑各种运行条件下 RNA 的准静态效应（设计载荷工况表 2.3.1 所要求的任意正常运行或极限设计工况下所产生的等效倾覆力矩）。在计算倾覆力矩时，应考虑表 2.3.1 中使等效倾覆力矩最大的工况，并至少包含发电、停机和停机兼故障等典型工况。对于发电工况，应注意在切入和切出风速之间，采用使风轮叶片转动产生最大推力的风速（一般为额定风速）进行倾覆力矩的计算。倾覆力矩的计算应考虑风机所受最不利载荷、RNA 的工作条件和风机控制策略等的影响。当进行发电工况下不同倾角的倾覆力矩计算时，如倾角超过一定数值时有控制策略引发停机，应注意倾覆力矩在该倾角处的不连续性（如图 4.2.2.1 所示）。



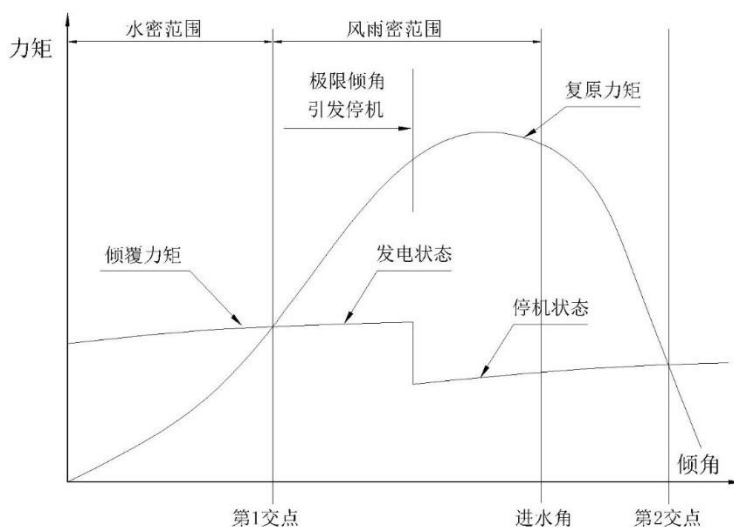


图 4.2.2.1 典型发电工况下完整状态静水力曲线图

4.2.2.2 对于破损稳性，应校核迁移工况和在位工况：

(1) 对于迁移工况，破损稳性分析的最小风速应取 25.8 m/s (50kn)。如湿拖过程中平台上无人员值守，且不会对海洋环境及拖航过程中的临近海上结构物造成损害威胁，可不作破损稳性分析；

(2) 在计算在位工况下的破舱稳性时，需要将表 2.3.1 中所列 DLC 1.9 和 DLC 6.7 作为设计状况和载荷工况；

(3) 破损稳性分析可仅考虑单个全部或部分处于所考虑水线以下的水密舱室进水的情况，这些舱室可以是泵舱、设有海水冷却系统机械的舱室或与海水相邻的舱室。对于张力腿式平台，还应包括任何单个张力筋腱舱室。

4.2.2.3 风载荷的计算应参照本指南 2.2.4.2 的相关要求。风载荷的作用力臂应取为受风面积压力中心至平台水下部分侧向阻力中心间的垂直距离。

4.2.2.4 应在全部漂浮工况吃水范围内，计算并绘制足够数量的相应于最危险轴的复原力矩和风倾力矩曲线。复原力矩的计算应考虑到最大的甲板负荷和设备处于实际可能的最不利位置上，并应计及液舱内自由液面的影响。就计算而言，应假定海上浮式风机平台处于无系泊约束的自由漂浮状态，但当系泊约束对海上浮式风机平台的稳性有不利影响时，则应加以考虑。

4.2.2.5 从具有代表性的浮式风机平台模型风洞试验得到的风倾力矩结果可代替 4.2.2.4 节所要求的计算值。这种风倾力矩的测定应包括各个适用横倾角的升力和曳力效应。

4.2.2.6 水面式、柱稳式海上浮式风机平台在漂浮状态下的完整稳性衡准应满足 CCS “移规” 第 3 篇第 2 章第 3 节中的相关要求。

4.2.2.7 水面式海上浮式风机平台在漂浮状态下的破损稳性衡准及破损范围应满足 CCS “移规” 第 3 篇第 2 章第 4 节中的相关要求。

4.2.2.8 柱稳式海上浮式风机平台在漂浮状态下单舱进水后的破损稳性衡准应满足 CCS “移规” 第 3 篇第 2 章第 4 节中的相关要求。

4.2.2.9 张力腿式海上浮式风机平台在漂浮状态下的完整稳性和单舱进水后的破损稳性衡准应满足 CCS 《张力腿平台入级指南》第 2 章第 2 节中的相关要求。

4.2.2.10 深吃水单立柱式 (SPAR) 海上浮式风机平台的稳性衡准应满足 CCS “浮规” 第 9 篇第 3 章中的相关要求。

### 第 3 节 载重线

#### 4.3.1 一般要求

4.3.1.1 水面式、柱稳式海上浮式风机平台应满足 CCS “移规” 第 3 篇第 3 章中的相关要求。

4.3.1.2 张力腿式海上浮式风机平台应满足 CCS “浮规” 第 3 篇第 3 章中的相关要求。

4.3.1.3 深吃水单立柱式（SPAR）海上浮式风机平台应满足 CCS “浮规” 第 9 篇第 3 章中的相关要求。

### 第 4 节 水密及风雨密完整性

#### 4.4.1 一般要求

4.4.1.1 水面式、柱稳式海上浮式风机平台应满足 CCS “移规” 第 3 篇第 4 章中的相关要求。

4.4.1.2 张力腿式海上浮式风机平台应满足 CCS《张力腿平台入级指南》第 2 章第 4 节中的相关要求。

4.4.1.3 深吃水单立柱式（SPAR）海上浮式风机平台应满足 CCS “浮规” 第 9 篇第 3 章中的相关要求。

### 第 5 节 其他

#### 4.5.1 一般要求

4.5.1.1 对于新颖设计型式的海上浮式风机平台的稳性、分舱和载重线，将由 CCS 予以特殊考虑。

## 第5章 定位系泊系统

### 第1节 一般规定

#### 5.1.1 一般要求

5.1.1.1 本章适用于具有定位系泊系统的海上浮式风机平台，定位系统可以是辐射式悬链状系泊系统、张紧式系泊系统和单点系泊系统等类型。

5.1.1.2 定位系泊系统分析结果可以通过计算分析或模型试验方法得到。

5.1.1.3 若采用与本章规定不同的分析方法计算环境载荷，则应有足够的模型试验或实测结果予以说明。

### 第2节 环境条件及环境载荷

#### 5.2.1 一般要求

5.2.1.1 业主/设计者在浮式风机平台定位系泊系统设计时应考虑作业工况（发电工况）和自存工况（极限海况），对应设计环境条件参数选取可参照本指南第2章第3节的相关要求。

5.2.1.2 当采用模型试验确定环境载荷和系泊状态的海上浮式风机平台运动时，试验模型的水上或水下形状应能表征实际的浮式结构物，并适当考虑其他附件的影响。模型试验的流动特征应与实际海上浮式风机平台相同，模型试验的程序及方法应与CCS协商确定。

#### 5.2.2 定位系统设计要求

5.2.2.1 冗余式定位系泊系统的系泊状态应包括完整系泊状态、破损系泊状态和瞬态破损系泊状态，其定义和适用范围可参照CCS“移规”第8篇第8章第3节的相关要求。

5.2.2.2 非冗余式系泊系统系指在破损系泊状态下海上浮式风机平台无法满足系泊索设计衡准的设计要求，但在完整系泊状态具备更高安全系数的一种定位系泊系统。

#### 5.2.3 极限水位

5.2.3.1 潮汐引起的水位变化在一定程度上会影响海上浮式风机平台系泊系统预张力、系泊刚度等，在浅水系泊定位设计时应评估极限水位的影响。

#### 5.2.4 设计寿命

5.2.4.1 定位系泊系统的设计寿命应与海上浮式风机平台设计寿命一致。

#### 5.2.5 环境载荷

5.2.5.1 海上浮式风机平台的环境载荷计算和方向组合可参照CCS“浮规”第9篇第6章第2节的相关要求。

### 第3节 平台偏移及系泊索张力

#### 5.3.1 一般要求

5.3.1.1 本节要求仅涉及由于风、浪和流作用引起的浮式风机平台的运动偏移和系泊索张力。

5.3.1.2 浮式风机平台的运动偏移和系泊索张力可以通过数值模拟分析和/或模型试验

方法得到。

### **5.3.2 系泊分析方法**

5.3.2.1 系泊系统分析方法建议参照CCS“浮规”第9篇第6章第2节和第3节的相关要求。

### **5.3.3 纤维缆**

5.3.3.1 如采用纤维缆设计方案，其刚度确定方法应得到CCS同意。

## **第4节 系泊系统设计衡准**

### **5.4.1 一般要求**

5.4.1.1 本节内容主要适用于通过系泊索系泊的海上浮式风机平台定位系泊系统。

5.4.1.2 对于在设计上包含多根系泊索的海上浮式风机平台定位系泊系统，通常应设计成在任一系泊索突然失效时，不会导致其他系泊索相继失效，否则按非冗余式定位系统设计。

### **5.4.2 设计工况**

5.4.2.1 系泊定位系统的设计工况的确定可参照CCS“移规”第8篇第8章第3节的相关要求。

5.4.2.2 针对海上浮式风机平台的工作特性，系泊定位系统的作业工况至少应包括最大风机载荷工况和最大作业环境条件工况。

### **5.4.3 设计衡准**

5.4.3.1 海上浮式风机平台冗余式定位系泊系统的校核可参照CCS“移规”第8篇第8章第3节的相关要求。

5.4.3.2 非冗余式定位系泊系统应采用动态分析方法进行计算，其系泊索的安全系数应不小于CCS“移规”第8篇第8章第3节中对应完整工况最小安全系数的1.2倍。

## **第5节 系泊设备**

### **5.5.1 一般要求**

5.5.1.1 锚、系泊索及其附件、导向装置及掣链/缆器的材料、设计、制造及试验等均应满足CCS《材料与焊接规范》第1篇第10章的相关要求，或公认的国家或国际标准的有关要求。

### **5.5.2 锚和系泊索**

5.5.2.1 锚和系泊索应满足CCS“移规”第8篇第8章第3节和第4节的相关要求。

### **5.5.3 导向装置和掣链/缆器**

5.5.3.1 导向装置和掣链/缆器应满足CCS“移规”第8篇第8章第4节的相关要求。

## 第 6 章 平台系统与设备

### 第 1 节 一般规定

#### 6.1.1 一般要求

6.1.1.1 本章适用于无人值守海上浮式风机平台上的机电系统、安全系统和通信与信号系统。

6.1.1.2 本章内容不适用于 RNA 和塔架内部的系统和设备。

6.1.1.3 本章内的相关系统和设备，在电气及功能上应与风机独立，至少应确保风机相关系统或设备出现故障之后，不会影响到平台的安全。

### 第 2 节 电气装置

#### 6.2.1 一般要求

6.2.1.1 对于柱稳式海上浮式风机平台，电气自动化系统应参照 CCS “移规” 第 5 篇和第 6 篇的相关要求。

6.2.1.2 对于其他型式的海上浮式风机平台，电气自动化系统应参照 CCS “浮规” 第 6 篇和第 7 篇的相关要求。

#### 6.2.2 主电源

6.2.2.1 海上浮式风机平台主电源可以是风机发电转变的电源。

#### 6.2.3 应急电源

6.2.3.1 海上浮式风机平台应设有应急电源，保证平台的应急照明、信号设备、安全系统等可在应急状态下工作。

6.2.3.2 应急电源可为发电机或蓄电池组，且应安装在平台上。

6.2.3.3 除助航标示灯和航空障碍灯的供电时间为 96 小时外，其他应急电源供电时间至少应为 1.5 小时。

### 第 3 节 通信与信号

#### 6.3.1 一般要求

6.3.1.1 本章要求配备的通信设备是对海上浮式风机平台通信系统的最低要求，其他形式的通信设备可根据实际情况增配，前提是不影响这些最低配置的功能。

6.3.1.2 海上浮式风机平台应设置清晰的助航标志与信号设备，信号标识应符合所在海域主管机关的有关规定。

6.3.1.3 当海上风电场整体设有通航安全保障措施时，如电子围栏系统等，单个海上浮式风机设施则可免设信号系统。

6.3.1.4 当海上风电场整体设有外围助航标识灯时，单个海上浮式风机设施可不设置助航标识灯，但应配备航空障碍灯。

#### 6.3.2 通信系统

6.3.2.1 无人值守的海上浮式风机平台可以不设置通信系统，但登乘的人员应携带可靠的便携式对外无线电通信设备。

**6.3.3 信号设备**

6.3.3.1 助航标识灯配备要求：海上浮式风机平台四角应安装在夜间显白色的同步发光的助航标识灯。灯的数量和安装位置应保证从任何方向驶近该平台的船舶至少看见一个灯光。助航标识灯的闪光特性为莫尔斯信号“U”（••—），最大周期 15 秒，其莫尔斯信号“U”应符合表 6.3.3 的要求。

| 灯光的莫尔斯信号“U” |               | 表 6.3.3 |
|-------------|---------------|---------|
| 短明（点）       | 0.5 秒         |         |
| 暗           | 0.5 秒         |         |
| 短明（点）       | 0.5 秒         |         |
| 暗           | 0.5 秒         |         |
| 长明（划）       | 1.5 秒         |         |
| 停           | 8.5 秒或 11.5 秒 |         |
| 灯光周期        | 12 秒或 15 秒    |         |

6.3.3.2 航空障碍灯配备要求：海上浮式风机平台的风力发电机组顶端应装设红色障碍灯，其设置应符合航空条件的要求。

6.3.3.3 雾笛配备要求：海上浮式风机平台应设置主雾笛和备用雾笛，其结构及所在位置应使从任何方向驶近该设施的船舶都可以听见。当主雾笛完全失效或部分失效致使任何方向的一般听程小于 0.5 海里时，备用雾笛应能立即投入工作。主雾笛和备用雾笛应采用自动雾笛（或遥控起动）。

**6.3.4 供电要求**

6.3.4.1 助航标志与信号设备的主电源发生故障时，应能自动接至应急电源。

**第 4 节 公用系统**

**6.4.1 一般要求**

6.4.1.1 公用系统应参照 CCS “移规”第 4 篇或者 CCS “浮规”第 5 篇的相关要求。

6.4.1.2 结合海上浮式风机设施的具体作业模式需求，在确保作业人员安全的前提下，海上浮式风机平台可适当配备本指南 6.4.1.1 所要求的公用系统，但需经 CCS 认可。

**6.4.2 压载系统**

6.4.2.1 对于柱稳式海上浮式风机平台，其压载系统可参照 CCS “移规”第 4 篇的相关要求。

6.4.2.2 对于其他型式海上浮式风机平台，其压载系统可参照 CCS “浮规”第 5 篇的相关要求。

6.4.2.3 如海上浮式风机平台设计为在作业及自存工况下无需调节吃水或者无需从舷外泵入或排出压载水，则可以不设固定压载系统和压载舱水位探测系统。

**6.4.3 开排系统**

6.4.3.1 在确定符合排放要求的前提下，海上浮式风机平台上的雨水可以直接排至海中。

**6.4.4 通风系统**

6.4.4.1 对于固定式压载的泵舱等人员出入较少的处所，可以不设连续通风，但是应有确保人员进入时的安全措施。

## 第5节 消防系统

### 6.5.1 一般要求

6.5.1.1 对于无人值守的海上浮式风机平台，安全系统一般包含火灾/气体探测与报警、应急关停、消防系统等在内的系统。

6.5.1.2 对于柱稳式海上浮式风机平台，消防系统的配备可参照 CCS “移规” 第 5 篇第 3 章的相关要求。对于其他型式的平台，消防系统的配备可参照 CCS “浮规” 第 7 篇的相关要求。

6.5.1.3 结合海上浮式风机设施的具体作业模式需求，在确保作业人员安全的前提下，海上浮式风机平台可适当配备本指南 6.5.1.2 所要求的消防系统，但需经 CCS 认可。

### 6.5.2 火灾/气体探测与报警系统

6.5.2.1 如设有发电机间、配电间、蓄电池间，应根据实际情况设置必要的火灾/气体探测与报警系统。

6.5.2.2 火灾报警信号应能在岸上控制站显示。

### 6.5.3 消防系统

6.5.3.1 如设有消防系统，应参照 CCS “移规” 第 7 篇的相关要求。

## 第6节 救生设备

### 6.6.1 一般要求

6.6.1.1 救生设备在紧急情况下应能立即有效地投入使用。

6.6.1.2 所有救生设备都应当标注所从属的海上浮式风机平台名称，按规定合理存放，并在平台的总布置图上标明存放位置。

6.6.1.3 救生设备应能在海上浮式风机平台所处海域的气温范围内存放而不损坏，并能在该海域的水温范围内正常使用。

6.6.1.4 救生设备应标明其适用年限或必须更换的日期。

6.6.1.5 救生设备应经本社检验认可。

### 6.6.2 配备要求

6.6.2.1 海上浮式风机平台可不配备救生艇、救助艇和救生筏。

6.6.2.2 海上浮式风机平台应配备足够的救生圈，不少于总数一半的救生圈带自亮灯，且其中不少于 2 个应配备自发烟雾信号。

6.6.2.3 海上浮式风机平台应按 12 人配备救生衣，或登乘平台的工作人员每人应携带一件救生衣。

6.6.2.4 在寒冷地区作业的海上浮式风机平台，还应按 12 人配备救生服，或登乘平台的工作人员每人应携带一件救生服。

6.6.2.5 对于登乘海上浮式风机平台开展相关工作的人员数量可能超过 12 人的情况，应按照实际人员数量配备本节要求的救生设备。

### 6.6.3 遇险信号配备要求

6.6.3.1 海上浮式风机平台应至少配备 12 个火箭降落伞火焰信号及 2 支漂浮烟雾信号。

6.6.3.2 上述遇险信号应存放在易于到达的地方，其附近不得有热源通过。

### 6.6.4 抛绳设备配备要求

6.6.4.1 海上浮式风机平台应配备 1 具抛绳设备。

6.6.4.2 抛绳设备应存放在易于到达的地方，并随时可用。

#### **6.6.5 急救设备配备要求**

6.6.5.1 海上浮式风机平台宜配备常用药品、急救药箱和担架等。