

檔 號：

保存年限：

經濟部標準檢驗局 開會通知單

10461

台北市中山區德惠街16-8號9樓

受文者：台灣智慧風能發展協會

發文日期：中華民國115年3月2日

發文字號：經標標準字第11520003040號

速別：普通件

密等及解密條件或保密期限：

附件：(附件請至本機關附件下載區以發文字號及發文日期下載。網址
<https://docdl.bsmi.gov.tw/DL>) 識別碼：BAEI3BO4。

開會事由：召開電機工程國家標準技術委員會(TC03/SC13風力
發電分組委員會) 115年第10次及第11次會議

開會時間：115年3月10日(星期二)上午9時30分及下午2時

開會地點：視訊會議

主持人：張委員欽然

聯絡人及電話：林孟玄 02-23431700#2249

出席者：張委員庭綱、陳委員孟宗、黃委員建中、李委員仁傑、柯委員明村、常委員
挽瀾、黃委員傳興、楊委員條和、蘇委員長皇、柴委員駿甫

列席者：經濟部能源署、台灣智慧風能發展協會、台灣風能協會、台灣風力發電產業
協會、台灣離岸風電產業協會、GESA風能產業委員會、臺灣離岸風機基礎暨
海事工程協會、台灣區電機電子工業同業公會、財團法人中國驗船中心、財
團法人工業技術研究院綠能與環境研究所、財團法人金屬工業研究發展中
心、財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心、財團法人船舶暨海洋
產業研發中心、台灣電力股份有限公司綜合研究所、力鋼工業股份有限公司、
士林電機廠股份有限公司、中興電工機械股份有限公司、中鋼機械股份
有限公司、台朔重工股份有限公司、永傳能源股份有限公司、臺灣御風能源
股份有限公司、先進複材科技股份有限公司、亞力電機股份有限公司、東元
電機股份有限公司、金豐機器工業股份有限公司、富崴能源股份有限公司、
華城電機股份有限公司、經濟部標準檢驗局檢驗行政組、經濟部標準檢驗局
檢驗技術組

副本：

備註：

裝

訂

線



11501165



- 一、討論事項：審查CNS草-制1140022「風力發電系統—第3-2部—浮式離岸風力機設計要求」1種草案。
- 二、請各公(協)會轉知所屬會員。
- 三、本次會議採線上視訊方式進行，請於會議前提供出席人員名單、電子郵件信箱及電話，並寄至john.lin@bsmi.gov.tw，俾利通知連線網址等相關事宜，請於會議開始前15分鐘以連線網址申請加入會議。出席人員之名稱請以單位加姓名(例：○○○公司○○○)，並測試影音訊號是否正常。
- 四、本次會議除本局為製作會議紀錄之需要，得於會議中錄音、錄影或照相，其他人員非經全體與會者同意，不得錄音、錄影或照相；違反者應自負相關法律責任，如有公開揭露，應予去除。
- 五、配合政府政策，檢附性別平等宣導資料供參。

經濟部標準檢驗局

中華民國國家標準

C N S

風力發電系統－第 3-2 部－ 浮式離岸風力機設計要求

Wind energy generation systems –
Part 3-2: Design requirements for
floating offshore wind turbines

CNS 草-制 1140022:2025

中華民國 年 月 日制定公布
Date of Promulgation: - -

中華民國 年 月 日修訂公布
Date of Amendment: - -

本標準非經經濟部標準檢驗局同意不得翻印

目錄

| 節次 | 頁次 |
|-----------------------------|----|
| 前言 | 4 |
| 1. 適用範圍 | 5 |
| 2. 引用標準 | 5 |
| 3. 用語及定義 | 7 |
| 4. 符號、單位及縮寫 | 17 |
| 4.1 一般 | 17 |
| 4.2 符號與單位 | 18 |
| 4.3 縮寫 | 19 |
| 5. 基本要素 | 20 |
| 5.1 一般 | 20 |
| 5.2 設計方法 | 20 |
| 5.3 FOWT 之安全位準 | 22 |
| 5.4 RNA 及塔架之安全等級 | 23 |
| 5.5 品質保證 | 23 |
| 5.6 轉子(葉輪)－機艙總成標示 | 23 |
| 5.7 支撐結構標示 | 23 |
| 6. 外部條件－定義與評估 | 24 |
| 6.1 一般 | 24 |
| 6.2 風力機等級 | 24 |
| 6.3 FOWT 場址外部條件定義 | 24 |
| 6.4 FOWT 場址(場地)外部條件評估 | 32 |
| 7. 結構設計 | 41 |
| 7.1 一般 | 41 |
| 7.2 設計方法 | 42 |
| 7.3 負載 | 42 |
| 7.4 設計工況與負載狀況 | 44 |
| 7.5 負載與負載效應計算 | 66 |
| 7.6 極限狀態分析 | 73 |
| 8. 控制系統 | 79 |
| 9. 機械系統 | 81 |
| 10. 電力系統 | 81 |
| 11. 錨之設計 | 82 |
| 12. 組裝、運輸及安裝 | 82 |
| 12.1 一般 | 82 |

(共 145 頁)

| | |
|-------------------------------------|-----|
| 12.2 計畫..... | 82 |
| 12.3 環境條件..... | 83 |
| 12.4 文件..... | 83 |
| 12.5 運輸、接收、裝卸與存放..... | 83 |
| 13. 試運轉、操作與維護..... | 83 |
| 13.1 一般..... | 83 |
| 13.2 安全操作、檢查及維護之設計要求..... | 84 |
| 13.3 試運轉..... | 85 |
| 13.4 操作者操作手冊..... | 86 |
| 13.5 維護手冊..... | 88 |
| 14. 位置保持系統..... | 88 |
| 14.1 一般..... | 88 |
| 14.2 懸鏈式、半緊繫式或緊繫式之位置保持系統..... | 88 |
| 14.3 張力鏈系統..... | 89 |
| 14.4 合成纖維繫泊系統..... | 89 |
| 14.5 位置保持系統構件..... | 89 |
| 14.6 動態電力電纜..... | 90 |
| 15. 浮動穩度..... | 90 |
| 15.1 一般..... | 90 |
| 15.2 完整穩度準則..... | 91 |
| 15.3 準靜態評估..... | 91 |
| 15.4 動態反應評估..... | 92 |
| 15.5 破損穩度準則..... | 92 |
| 16. 材料..... | 93 |
| 17. 海事輔助系統..... | 93 |
| 17.1 一般..... | 93 |
| 17.2 艙底水系統(舳水系統)..... | 93 |
| 17.3 壓載系統..... | 93 |
| 附錄 A (參考)浮式離岸風力機重要設計參數..... | 93 |
| 附錄 B (參考)水動力負載計算指南..... | 98 |
| 附錄 C (參考)浮式離岸風力機錨設計..... | 101 |
| 附錄 D (參考)用於極限強度分析之運轉海氣象參數統計外插法..... | 102 |
| 附錄 E (參考)腐蝕防護..... | 107 |
| 附錄 F (參考)熱帶氣旋期間極限波高之預估..... | 110 |
| 附錄 G (參考)符合熱帶氣旋地區安全位準之建議..... | 110 |
| 附錄 H (參考)地震..... | 113 |

| | |
|---------------------------------------|-----|
| 附錄 I (參考)模型試驗..... | 114 |
| 附錄 J (參考)海嘯 | 116 |
| 附錄 K (參考)位置保持系統之餘裕度 | 119 |
| 附錄 L (參考) IEC 及 ISO 標準中不同之極限狀態方法..... | 120 |
| 附錄 M (參考)負載和負載效應邏輯在浮式下部結構設計之應用 | 122 |
| 附錄 N (參考)模擬長度和相關參數指南..... | 124 |
| 附錄 O (參考)藉由長波法/單點量測評估波浪之方向擴散 | 127 |
| 附錄 P (參考)方向擴散函數 | 129 |
| 附錄 Q (參考)混凝土結構設計 | 130 |
| 附錄 R (參考)湧浪影響海域中尖峰波週期與示性波高之關係..... | 134 |
| 附錄 S (參考)破損穩度準則應用 | 135 |
| 參考資料 | 143 |

前言

本標準係依據 2025 年發行之第 1 版 IEC 61400-3-2，不變更技術內容，制定成為中華民國國家標準者。

本標準係依標準法之規定，經國家標準審查委員會審定，由主管機關公布之中華民國國家標準。

依標準法第四條之規定，國家標準採自願性方式實施。但經各該目的事業主管機關引用全部或部分內容為法規者，從其規定。

本標準並未建議所有安全事項，使用本標準前應適當建立相關維護安全與健康作業，並且遵守相關法規之規定。

本標準之部分內容，可能涉及專利權、商標權與著作權，主管機關及標準專責機關不負責任何或所有此類專利權、商標權與著作權之鑑別。

1. 適用範圍

本標準規定評估浮式離岸風力機(FOWT)場址(場地)外部條件之額外要求，同時規定基本設計要求，以確保浮式離岸風力機之工程完整性。本標準之目的為在所規劃的風力機壽命期間提供適當之保護位準，以防止所有可預期危險所造成之損壞。本標準之重點為浮式離岸風力機結構組件之工程完整性，但亦涉及次系統，如控制與保護機構、內部電力系統、機械系統等。

若風力機之浮式下部結構需承受水動力負載，且藉由浮力與位置保持系統支撐，則應視為 FOWT。浮式離岸風力機包括 5 個主要次系統：轉子(葉輪)－機艙總成(RNA)、塔架、浮式下部結構、位置保持系統及非屬 RNA 之機械、設備與系統。本標準明確考量以下型式之浮式下部結構：

- － 船形結構及駁船式。
- － 半潛式。
- － 浮圓柱式。
- － 張力腿式平台/浮筒。

本標準可用於上述以外之結構型式，但若為較新穎的結構特徵可能需搭配特殊考量做為參考依據，以達到相同之目標安全位準。此等其他結構在幾何形狀、材料及結構形式方面會有很大的變化範圍，因此，本標準之要求僅涵蓋特定結構形式的設計準則。在其他情況下，本標準中規定之特定要求可能不適用於設計中所有或部分的結構情境。惟在所有上述情況下，設計應基於其基本原則，達到與本標準要求相當或更高之安全位準。

本標準適用於僅有單一水平軸風力機之無人浮動結構。對於單一浮動結構上有多組風力機、垂直軸風力機、共用繫泊系統之 FOWT、旋轉立柱浮筒式、無位置保持系統之浮動結構或風能/波浪能結合系統，情境雖普遍適用，但可能需額外考量其特殊要求。

本標準應與第 2 節中提及之相關 CNS、IEC 與 ISO 標準一同使用。本標準特別是與 CNS 15176-1 具有完整之一致性。若本標準與引用標準之間存在衝突，則本標準中的要求將取代引用標準中的要求。

2. 引用標準

下列標準因本標準所引用，成為本標準之一部分。有加註年分者，適用該年分之版次，不適用於其後之修訂版(包括補充增修)。無加註年分者，適用該最新版(包括補充增修)。

| | |
|---------------|--|
| CNS 15176-1 | 風力機－第 1 部：設計要求 |
| CNS 15176-13 | 風力機－第 13 部：機械負載量測 |
| CNS 61400-3-1 | 風力發電系統－第 3-1 部－固定式離岸風力機設計要求 |
| CNS 61400-24 | 風力發電系統－第 24 部：雷擊防護 |
| ISO 2394 | General principles on reliability for structures |

| | |
|----------------------|--|
| ISO 2533 | Standard Atmosphere |
| ISO 18692-1 | Fibre ropes for offshore stationkeeping – Part 1: General specification |
| ISO 18692-2 | Fibre ropes for offshore stationkeeping – Part 2: Polyester |
| ISO 18692-3 | Fibre ropes for offshore stationkeeping – Part 3: High modulus polyethylene (HMPE) |
| ISO 19900 | Petroleum and natural gas industries – General requirements for offshore structures |
| ISO 19901-1 | Petroleum and natural gas industries – Specific requirements for offshore structures – Part 1: Metocean design and operating conditions |
| ISO 19901-4 | Petroleum and natural gas industries – Specific requirements for offshore structures – Part 4: Geotechnical and foundation design considerations |
| ISO 19901-6 | Petroleum and natural gas industries – Specific requirements for offshore structures – Part 6: Marine operations |
| ISO 19901-7 | Petroleum and natural gas industries – Specific requirements for offshore structures – Part 7: Stationkeeping systems for floating offshore structures and mobile offshore units |
| ISO 19902 | Petroleum and natural gas industries – Fixed steel offshore structures |
| ISO 19903 | Petroleum and natural gas industries – Concrete offshore structures |
| ISO 19904-1 | Petroleum and natural gas industries – Floating offshore structures – Part 1: Ship-shaped, semi-submersible, spar and shallow-draught cylindrical structures |
| ISO 19906 | Petroleum and natural gas industries – Arctic offshore structures |
| ISO 29400 | Ships and marine technology – Offshore wind energy – Port and marine operations |
| IEC 60721 (系列標準) | Classification of environmental conditions |
| IEC 61400-1:2019 | 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 61400-13 | Wind turbines – Part 13: Measurements of mechanical loads |
| IEC 61400-15-1 | Wind energy generation systems – Part 15-1: Site suitability input conditions for wind power plants ⁽¹⁾ |
| IEC TS 61400-30:2023 | Wind energy generation systems – Part 30: Safety of wind turbine generators – General principles for design |
| API RP 2T | Planning, Designing, and Constructing Tension Leg Platforms |

IMO International Code on Intact Stability, 2008 (2008 IS CODE), 2020 Edition
IMO 2009 MODU CODE, 2020 Edition

註⁽¹⁾ 審議中，本標準發布時階段為 IEC/AFDIS 61400-15-1:2023。

3. 用語及定義

CNS 15176-1 所規定及下列用語及定義適用於本標準。

3.1 氣隙(air gap)

極端環境條件發生期間之最高水面，與非設計承受波浪衝擊的最低暴露部件之間
的間隙。

3.2 錨(anchor)

附著於繫泊索或張力腱末端之裝置，可部分或全部埋入海床中。此裝置可限制繫
泊索或張力腱之運動，並將負載傳遞到海床上。

備考：在浮式結構之錨碇中，可選擇的錨碇方式包括拖錨、錨樁(打入式、水流沖
刷式、吸力式、魚雷/重力埋入式及鑽孔灌漿式)，以及其他類型之錨碇，
諸如重力式錨及平錨(plate anchor)。

3.3 葉片旋角(blade pitch)

葉片相對於輪轂之旋轉運動，以控制葉片與風之間的角度。

3.4 同向(co-directional)

意指作用之方向相同。

3.5 控制系統(control system)

實作風力機與 FOWT 支撐結構控制功能之系統，包括感測器、邏輯元件、致動器、
通訊網路及電源(電源供應設備)。

備考 1. 控制系統之目的為經由主動與被動方式控制風力機與 FOWT 支撐結構之
運轉，以將發電量最佳化並將運轉參數保持在整體 FOWT 結構設計假定的
限制內。控制系統可能包括正常運轉期間的控制迴路以及警報與停機機制，
以確保運轉參數不超過限制。

備考 2. 可能有獨立用於風力機運轉與 FOWT 支撐結構之控制系統。

3.6 海流(current)

通過固定位置之海水流動，通常以海流速率與方向予以描述。

3.7 繞射(diffraction)

描述浮式下部結構對入射波場產生之物理現象。

備考：繞射為構成浮式下部結構受波浪激振之水動力負載的一部分。

3.8 設計波浪(design wave)

具有已定義波高、週期與方向之確定波浪，用於離岸結構之設計。

備考：設計波浪可能附帶使用特定週期波理論之相關要求。

3.9 設計者(designer)

負責設計 FOWT 之機構。

3.10 動態電力電纜(dynamic power cable)

從浮式下部結構饋送或收集電力之動態水下電纜，動態部分從浮式下部結構之懸掛處到觸地點或另一個浮式下部結構之懸掛處。

3.11 環境條件(environmental conditions)

可能影響 FOWT 行為之環境特徵(風、空氣與海洋溫度、波浪、海流、水位、海水/湖水結冰、海洋附生物、淘刷、整體海床移動等)。

3.12 外部條件(external conditions)

影響 FOWT 運轉之外部因素，包括環境條件、電網狀況，以及其他氣候因素(溫度、雪、冰等)。

3.13 極端示性波高(extreme significant wave height)

海況基準週期年超越機率為 $1/N$ (回歸期為 N 年)之示性波高，依據場址示性波高之極端分布外插。

3.14 極端波高(extreme wave height)

年超越機率為 $1/N$ (回歸期為 N 年)之個別波高(一般為零上切波波高)。

3.15 穩固覆冰(fast ice cover)

堅硬、連續且不移動之覆蓋冰層。

3.16 風域(fetch)

風以接近恆定風速與風向，在海面上持續吹過之距離。

3.17 固定式離岸風力機(fixed offshore wind turbine)

下部結構需承受水動力負載，且基礎固著於海床上之風力機。

3.18 浮式離岸風力機(floating offshore wind turbine)

浮式下部結構需承受水動力負載，且藉由浮力與位置保持系統支撐之風力機。

備考：圖 1 顯示各種 FOWT 支撐結構之概念與 FOWT 支撐結構的其他部件。

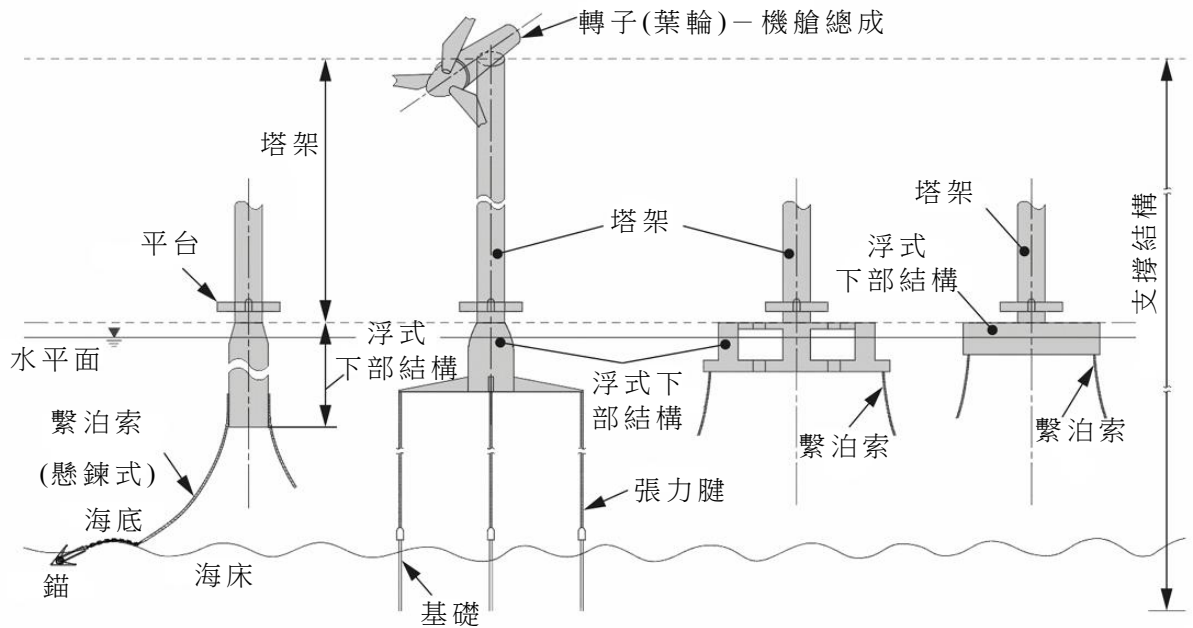


圖 1 FOWT 各部件

3.19 浮式離岸風力機場址(場地) (floating offshore wind turbine site)

個別單獨安裝或安裝於風場中的 FOWT 之位置或預定位置。

3.20 浮動穩定性(floating stability)

浮式下部結構在偏離平衡浮動位置後產生回復力矩之能力。

備考：一般而言，浮動穩度之驗證適用於完整或破損的情況。

3.21 浮式下部結構(floating substructure)

FOWT 支撐結構的一部分，浮於海底之上，與塔架及位置保持系統銜接，且由浮式結構組成以支撐運轉負載。

備考：浮式下部結構亦可稱為船體，圖 1 顯示各種浮式下部結構之概念與 FOWT 的其他部件。

3.22 起伏(heave)

浮式下部結構之上下平移運動。

備考 1. 圖 2 說明浮式下部結構之 6 個剛體運動自由度：縱移、橫移、起伏、橫搖、縱搖及平擺。

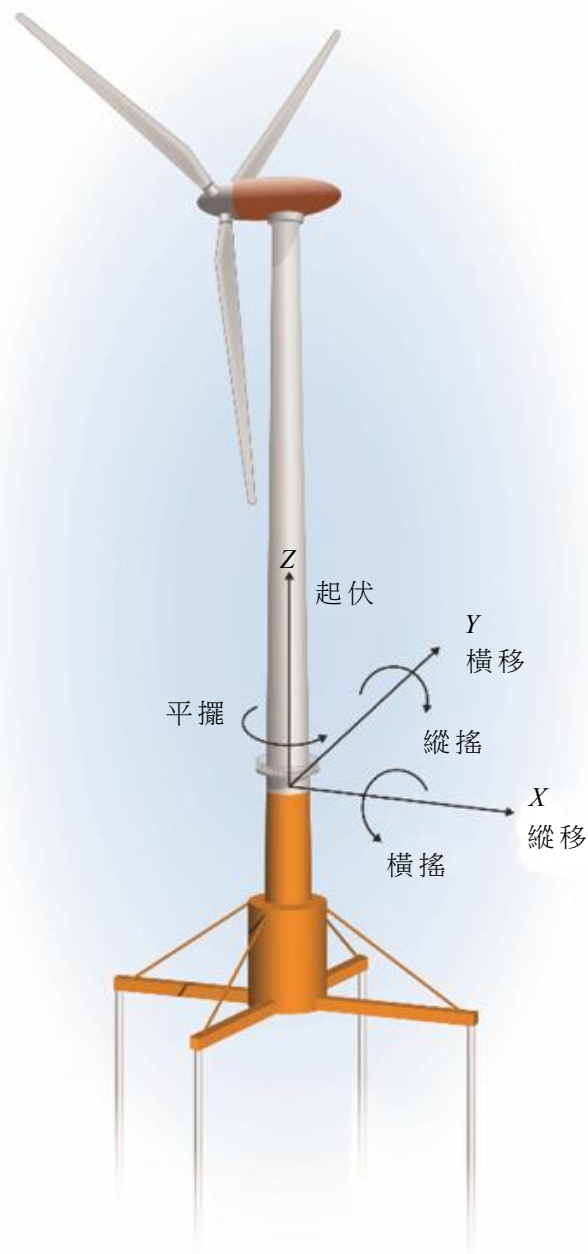


圖 2 浮式下部結構之剛體運動自由度。由美國國家再生能源實驗室繪製

備考 2. 圖 2 所示之坐標系統僅供參考，可由設計者定義。

3.23 最高天文潮(highest astronomical tide)

在一般氣象條件及各種天文條件組合下，可以預測之最高靜水位。

備考：由於氣象因素造成之暴潮本質上不規則，且疊加於潮汐變化之上，因此總靜水位可能高於最高天文潮。

3.24 後報(hindcasting)

藉由數值模式化方式模擬某地區之歷史(海氣象)資料的方法。

3.25 輪轂高度(hub height)

風力機轉子(葉輪)掃掠面積中央至平均海水位之高度。

3.26 圓丘冰(hummocked ice)

大型浮冰互相接觸或與剛性物體(例：浮式下部結構)接觸時，碎冰與浮冰堆積而隆起之現象。

3.27 浮冰(ice floe)

大小由數公尺至數公里之片狀冰塊，未因冰凍而牢固附著於海岸，可能為靜止或移動。

3.28 結冰(icing)

在 FOWT 之某部分上覆蓋的冰或霜，可能造成其負載之增加及/或性質改變。

3.29 陸封水域(land-locked waters)

大部份或全部被陸地包圍之水域。

3.30 負載效應(load effect)

施加於結構組件或系統之單一負載或負載組合所造成的效應，例：內力、應力、應變、移動等。

3.31 最低天文潮(lowest astronomical tide)

在一般氣象條件及各種天文條件組合下，可以預測之最低靜水位。

備考：由於氣象因素造成之暴潮本質上不規則，且疊加於潮汐變化之上，因此總靜水位可能低於最低天文潮。

3.32 製造商(manufacturer)

負責製造及建造 FOWT 之機構。

3.33 海洋條件(marine conditions)

可能影響 FOWT 行為之海洋環境特性，如波浪、洋流、水位、海水/湖水結冰、海洋附生物、海床移動與淘刷等。

3.34 海洋附生物(marine growth)

植物、動物及細菌等造成之結構組件表面被覆。

3.35 平均海水位(mean sea level)

一段時間內之海洋平均水位，此段時間之長度須足夠去除因波浪、潮汐與暴潮所造成的變異。

3.36 平均零切波週期(平均零切波週期)(mean zero crossing period)

海況中零切(包括上或下)波浪之平均週期。

備考：平均零切波週期與尖峰週期間存在相關性。

3.37 海氣象(metocean)

氣象與海象合稱之縮寫，描述海洋上的氣象條件。(描述海洋環境中大氣與海洋相關的綜合物理條件。)

3.38 錯位(風及波浪)[misaligned (for wind and waves)]

作用自不同方向。

3.39 繫泊系統(mooring system)

被動式位置保持系統，通常由繫泊索、錨、連接器及硬體(金屬製品)組成，亦可能包含其他組件如浮筒、配重塊、轉塔、解除連接系統等。

3.40 移動冰體(moving ice)

部分海水/湖水結冰因風及/或海流作用而移動。

3.41 多向(風及波浪)[multi-directional (for wind and waves)]

作用於多個方向。

3.42 機艙轉向(nacelle yaw)

具有主動或被動機艙轉向控制功能之風力機，可調整 RNA 相對於塔架(以及延伸的浮式下部結構)座向之自由度。

3.43 運轉吃水(operational draft)

意指在無環境激振(無風、無浪及無海流)，且風力機、位置保持系統及動態電力電纜完全就位安裝並於壓載運轉的條件下，實測從龍骨到靜水位(STL)的浮式下部結構吃水。

備考：運轉吃水通常係特定 FOWT 設計的 1 個固定值。然而，對於某些特定之 FOWT 設計，可能存在小範圍的變動值，例：張力腿式平台(TLP)受潮汐水位變化影響，或因海洋附生物之變化而有所不同。

3.44 運轉極限(operational limit)

在設計基礎中滿足最嚴格操作準則所定義之某一特定物理參數的值，如加速度、傾斜、傾側、位移、偏移、頻率、轉速、電壓、應變、壓力、風速、波高等，以確保 FOWT 在可接受之可靠性與安全性準則下運轉。

3.45 尖峰波週期(peak wave period)

波譜中尖峰能量的週期。

3.46 縱搖(俯仰)(pitch)

浮式下部結構繞著橫移方向軸之旋轉運動。

備考：圖 2 說明浮式下部結構之 6 個剛體運動自由度：縱移、橫移、起伏、橫搖、縱搖及平擺。

3.47 匯電系統(power collection system)

由 1 組或多組 FOWT 收集電力之系統。

備考：匯電系統包含連接風力機終端與電網連接點之間的所有電機設備。對於離岸風電場而言，匯電系統可能包含與海岸間之連接。

3.48 輻射(水動力學)[radiation (hydrodynamic)]

描述浮式下部結構在水中振盪所產生波場之物理現象。

備考：輻射取決於浮式下部結構之自由度及振盪頻率。最常見的輻射水動力負載組成為附加質量及輻射阻尼。

3.49 經認可船級協會(recognized classification society)

指為國際船級協會聯合會(IACS)成員，或為經國家認可且具備浮動結構相關能力

與經驗之組織。

3.50 位置保持系統之冗餘[redundancy (for stationkeeping system)]

當 FOWT 之位置保持系統失去 1 條繫泊索或張力腿時，FOWT 仍可保持在限定區域內，且不會影響到其他結構，亦不會進一步產生繫泊索或張力腿損失之後果。

備考：若經所有者/開發者批准，FOWT 因漂移而使動態電力電纜斷連及停機可能被視為可接受的方案。

3.51 基準週期(reference period)

假定某個已知隨機過程具有穩定性之週期，例：風速、海水位或反應等。

3.52 折射(refraction)

因水深及/或海流速度變異，使波浪傳播速度改變，造成波浪能量重新分配之過程。

3.53 橫搖(滾轉)(roll)

浮式下部結構繞著縱移方向軸之旋轉運動。

備考：圖 2 說明浮式下部結構之 6 個剛體運動自由度：縱移、橫移、起伏、橫搖、縱搖及平擺。

3.54 轉子(葉輪)－機艙總成(rotor-nacelle assembly)

由支撐結構承載之 FOWT 動力的一部份。

3.55 寸法(scantling)

浮式下部結構之板、桁及加強材之尺寸。

3.56 海底(sea floor)

海水及海床間之交界面。

3.57 海底坡度(sea floor slope)

海底之局部梯度，例：與海岸連接處。

3.58 海水/湖水結冰(sea/lake ice)

海水或湖泊淡水結冰。

3.59 海況(sea state)

海洋統計資料維持固定時之海洋條件。

3.60 海床(seabed)

海底以下之物質，支撐結構固定在其中。

3.61 海床移動(seabed movement)

海床因自然地質變化過程而產生之移動。

3.62 淘刷(scour)

海流及波浪移動海床土壤，或可能因結構元件阻斷海底上方之海流自然流動而造成。

3.63 半潛式(semisubmersible)

浮式下部結構通常由 1 個頂部結構及連接到浸沒浮箱(submerged pontoon)或垂盪

板(heave plate)之若干間距較寬且橫截面大的支撐柱所組成。

備考：通常會選擇浮箱/柱的幾何形狀，以最小化各種波浪頻率下之整體運動。

3.64 淺水(shallow water)

海床對波浪水動力造成顯著影響之深度。

3.65 示性波高(significant wave height)

海況中波浪高度之統計值度量，定義為零上切波最高前1/3之平均高度，或 $4 \times \sigma_\eta$ ，其中 σ_η 為海面高度之標準差。

備考：前者之高度稱為統計值示性波高(通常標示為 $H_{1/3}^{(2)}$)，而後者稱為波譜示性波高(標示為 H_s 或 H_{m0})。

註⁽²⁾ 對深水區域，無論何種波譜型式(ISO 21650:2007)， $H_{1/3} \approx 0.956H_s$ 。

3.66 示性波週期(significant wave period)

海況中波浪週期之統計值度量，定義為零上切波高最高前1/3之平均週期，標示為 $T_{1/3}$ 。

備考： T_p 與 $T_{1/3}$ 之間存在關聯。

3.67 立柱浮筒(spar)

吃水較深、水線面面積較小的浮式下部結構。

3.68 飛濺區(splash zone)

經常因風力機運轉、波浪、潮汐變化及浮式下部結構運動而潮濕之 FOWT 外部支撐結構區域。

備考：為定義飛濺區之上下限，下列參數應考量適用於特定 FOWT 支撐結構之類型：

- 1 年回歸期之最高靜水位，加上 1 年回歸期示性波高波浪之波峰高度。
- 1 年回歸期之最低靜水位，減去 1 年回歸期示性波高波浪之波谷深度。
- 最淺及最深之運轉吃水變化。及
- 浮式下部結構在風力機正常運轉期間，各方向的平均傾側角。

支撐結構中僅在重大風暴期間(回歸期超過 1 年)才會被水浸濕的區域，不視為飛濺區。

3.69 位置保持系統(station-keeping system)

能夠將 FOWT 之偏移及/或加速度限制在限定範圍內，並維持其預期方向之系統。

備考：若為主動推進器、張力腿等，位置保持系統可能與繫泊系統不同。

3.70 靜水位(still water level)

納入潮汐及暴潮效應，但排除波浪造成之變異經計算所得之水位。

備考：靜水位可能高於、等於或低於平均海水位。

3.71 暴潮(storm surge)

與暴風相關的風及/或大氣變異所造成之水位變動。

3.72 結構動力學模型(structural dynamics model)

用於計算 FOWT 結構基於物理反應之數值模型或模型系列，包括環境激振(風、波浪、海流)、控制動作及整體系統結構反應(轉子(葉輪)、傳動系統、機艙、塔架、浮式下部結構及位置保持系統)。

3.73 支撐結構(support structure)

FOWT 的一部分，由塔架、浮式下部結構及位置保持系統組成。

備考：參照圖 1。

3.74 縱移(surge)

浮式下部結構之前後平移運動。

備考：圖 2 說明浮式下部結構之 6 個剛體運動自由度：縱移、橫移、起伏、橫搖、縱搖及平擺。

3.75 橫移(sway)

浮式下部結構之側向平移運動。

備考：圖 2 說明浮式下部結構之 6 個剛體運動自由度：縱移、橫移、起伏、橫搖、縱搖及平擺。

3.76 湧浪(swell)

風於遙遠地點造成之波浪行進至風力機場址(場地)，而非於當地環境所形成之波浪的海況。

3.77 張力腱(tendon)

由張力腿式浮式下部結構與海底上及下方的錨之間形成垂直或接近垂直受張力連接的位置保持系統組成之集合，用以提供 FOWT 的位置保持與浮動穩度。

3.78 張力腿式平台(tension leg platform)

1 種垂直繫泊、有浮力之撓性結構系統，其中浮式下部結構之額外浮力(超過重量及張力腱負載)用於維持繫泊系統的張力。

3.79 潮流(tidal current)

潮汐造成之海流。

3.80 潮汐範圍(tidal range)

最高天文潮與最低天文潮間之垂直距離。

3.81 潮汐(tides)

天文力所造成之規則且可預測海洋運動。

3.82 塔架(tower)

FOWT 支撐結構之一部份。此部份連接浮式下部結構與轉子(葉輪)－機艙總成。

3.83 海嘯(tsunami)

海底快速垂直移動所造成之長週期海浪。

3.84 單向(風及波浪)[uni-directional (for wind and waves)]

作用於單一方向。

3.85 波浪湧升高度(upwell)

相對於浮式下部結構之波形高。

3.86 水深(water depth)

海底與靜水位間之垂直距離。

備考：由於靜水位有數種定義(參照 3.70)，因此可能有數種水深值。

3.87 波峰高度(wave crest elevation)

波峰與靜水位間之垂直距離。

3.88 波向(wave direction)

波浪行進之平均方向。

3.89 波高(wave height)

個別零上切波水面上最高點與最低點間之垂直距離。

3.90 波浪週期(wave period)

零上切波 2 個相鄰零上切點之時間間隔。

3.91 波譜尖峰頻率(wave spectral peak frequency)

波譜中尖峰能量之頻率，波浪尖峰週期之倒數。

3.92 波譜(wave spectrum)

海況中海面高度之頻域的描述。

3.93 波浪陡度(wave steepness)

波高對波長之比率。

3.94 天氣停止作業時段(weather downtime)

由於環境條件太過嚴苛，而無法執行指定海事操作之一段或數段時間區間。

3.95 天氣許可作業時段(weather window)

環境條件容許執行指定海事操作之時間區間。

3.96 風剖面－風切律(wind profile – wind shear law)

假定風速為隨距靜水位高度變異之數學表示式。

備考：常使用之剖面為對數剖面[公式(1)]或冪次律剖面[公式(2)]。

$$V(z)=V(z_r)\times\frac{\ln(z/z_0)}{\ln(z_r/z_0)} \quad (1)$$

$$V(z)=V(z_r)\times\left(\frac{z}{z_r}\right)^\alpha \quad (2)$$

式中， $V(z)$ ：為高度 z 處之風速

z ：為離靜水位之高度

z_r ：為用於近似風剖面之離靜水位基準高度

z_0 ：為粗糙度長度

α ：為風切(或冪次律)指數

3.97 風浪(wind sea)

局部風所造成之海況。

3.98 平擺(轉向)(yaw)

浮式下部結構繞著起伏方向軸之旋轉運動。

備考：圖 2 說明浮式下部結構之 6 個剛體運動自由度：縱移、橫移、起伏、橫搖、縱搖及平擺。

3.99 零上切波(零上交越波)(zero up-crossing wave)

介於零上切點間波形高歷時之部分。

備考：零上切發生於海面升高(而非下降)超過靜水位時。

4. 符號、單位及縮寫

4.1 一般

CNS 15176-1 所規定及下列符號及縮寫適用於本標準：

4.2 符號與單位

| 符號 | 說明 | 單位 |
|----------------------------|--------------------------------|------------------------|
| A_C | 查諾克(Charnock's)常數 | [-] |
| d | 水深 | m |
| $f_{\text{low frequency}}$ | 低頻範圍內之頻率上限 | Hz |
| f_p | 波譜尖峰頻率 | Hz |
| g | 重力加速度 | m/s^2 |
| H | 個別波高 | m |
| H_B | 碎波波高 | m |
| H_N | 回歸期為 N 年之個別波高 | m |
| H_s | 波譜示性波高 | m |
| H_{sN} | 回歸期為 N 年之波譜示性波高 | m |
| $H_{1/3}$ | 統計值示性波高 | m |
| k | 波數 | [-] |
| K_{max} | 累計結冰度－日(degree-day) | $^{\circ}\text{C}$ |
| L_k | 速度分量積分尺度參數 | m |
| $p(V_{\text{hub}})$ | 輪轂高度處風速之機率密度函數 | [-] |
| R_d | 組件負載阻抗之設計值(設計阻抗) | [-] |
| R_k | 組件阻抗之特徵值 | [-] |
| S_d | 負載效應之設計值 | [-] |
| $S.F.$ | 安全因數 | [-] |
| S_k | 負載效應之特徵值 | [-] |
| S_{η} | 單邊波譜 | m^2/Hz |
| t | 時間 | s |
| T | 波浪週期 | s |
| T_p | 波譜尖峰週期 | s |
| T_z | 平均零切波週期 | s |
| U_N | 回歸期為 N 年之海流速度 | m/s |
| U_{ss} | 水面下海流速度 | m/s |
| U_w | 風造成之海流速度 | m/s |
| V_N | 回歸期為 N 年之預期極端風速(10 min 之平均值) | m/s |
| V_{eN} | 回歸期為 N 年之預期極端風速(3 s 之平均值) | m/s |

| 符號 | 說明 | 單位 |
|----------------------|-------------------|-----------------------|
| z | 靜水位上之垂直距離 | m |
| α | 風速冪次律剪切指數 | [-] |
| η | 相對於 SWL 之海面高度 | m |
| κ | 馮卡門(von Karman)常數 | [-] |
| λ | 波長 | m |
| θ_c | 流向 | [°] |
| θ_w | 波向 | [°] |
| θ_{wm} | 平均波向 | [°] |
| $\sigma_{allowable}$ | 允許應力 | N/m ² 或 Pa |
| $\sigma_{buckling}$ | 允許挫曲應力 | N/m ² 或 Pa |
| σ_y | 最小降伏強度 | N/m ² 或 Pa |
| σ_{cr} | 臨界壓縮挫曲應力或剪切挫曲應力 | N/m ² 或 Pa |
| σ_η | 海面高度之標準差 | m |
| τ | 溫度 | °C |

4.3 縮寫

| | |
|------|--|
| COD | 同向(co-directional) |
| CPT | 圓錐貫入試驗(cone penetration test) |
| DLC | 設計負載狀況(design load case) |
| ECD | 風向變化之極端相干陣風(extreme coherent gust with direction change) |
| ECM | 極端海流模型(extreme current model) |
| EDC | 極端風向變化(extreme direction change) |
| EOG | 極端運轉陣風(extreme operating gust) |
| ESS | 極端海況(extreme sea state) |
| EWLR | 極端水位範圍(extreme water level range) |
| EWM | 極端風速模型(extreme wind speed model) |
| EWS | 極端風切(extreme wind shear) |
| FMEA | 故障模式與影響分析(failure modes and effects analysis) |
| FOWT | 浮式離岸風力機(floating offshore wind turbine) |
| HAT | 最高天文潮(highest astronomical tide) |
| IACS | 國際船級協會聯合會(International Association of Classification Societies) |
| IMO | 國際海事組織(International Maritime Organization) |

| | |
|------|--|
| ITTC | 國際船模試驗水槽會議(International Towing Tank Conference) |
| LAT | 最低天文潮(lowest astronomical tide) |
| MIC | 微生物造成之腐蝕(microbiologically influenced corrosion) |
| MIS | 錯位(misaligned) |
| MODU | 海上移動式鑽探裝置(mobile offshore drilling unit) |
| MSL | 平均海水位(mean sea level) |
| MUL | 多向(multi-directional) |
| NCM | 正常海流模型(normal current model) |
| NSS | 正常海況(normal sea state) |
| NTM | 正常擾流模型(normal turbulence model) |
| NWLR | 正常水位範圍(normal water level range) |
| NWP | 正常風剖面模型(normal wind profile model) |
| RCS | 經認可船級協會(recognized classification society) |
| RNA | 轉子(葉輪)－機艙總成(rotor-nacelle assembly) |
| SSS | 嚴苛海況(severe sea state) |
| SWL | 靜水位(still water level) |
| TLB | 張力腿式浮筒(tension-leg buoy) |
| TLP | 張力腿式平台(tension-leg platform) |
| UNI | 單向(uni-directional) |
| WSD | 工作應力設計(working stress design) |

5. 基本要素

5.1 一般

本標準敘述確保 FOWT 結構、機械、電力及控制系統安全性之工程與技術要求。此規範適用於 FOWT 運轉與維護，以及相關品質管理程序之設計、製造、運輸(包括拖航)、組裝、安裝及手冊。此外，本節亦將各種應用中所建立之使用於 FOWT 運輸、組裝、安裝、運轉及維護之安全程序列入考量。

5.2 設計方法

本標準採用動態結構模型以預測設計之負載效應。此模型應使用於確立第 6 節所述之所有外部條件以及第 7 節所述的設計工況中各種相關組合之負載效應。本標準已將上述組合之最低條件定義為負載狀況。

FOWT 支撐結構之設計應以場址(場地)的特殊外部條件為基礎。因此此等條件應依第 6 節中所述之規定加以確立，並在設計基礎中簡要敘述此等條件。

FOWT 支撐結構之設計應包括第 14 節所述的位置保持系統設計，並考量第 15 節所述之浮動穩度。偏移要求、海氣象條件及動態電力電纜系統對浮式下部結構產生之相應負載，以及浮式下部結構及位置保持系統可能之撞擊亦應一併納入考量。除此之外，亦應考量浸水重量、力學反應特徵及懸掛處之位置。

在最初可能以 IEC 61400-1:2019 之 6.2 所定義的標準風力機等級為基礎進行設計之轉子(葉輪)－機艙總成中，應證明此 FOWT 支撐結構及離岸場址(場地)之特定外部條件不影響 RNA 的工程完整性。分析中應包含針對特定浮式離岸風力機支撐結構及特定 FOWT 場址(場地)條件所計算之 RNA 負載及變形量，及最初設計期間之計算值間的比較。

控制與保護系統(參照第 8 節)、機械系統(參照第 9 節)及電力系統(參照第 10 節)之設計應將 FOWT 的動態反應納入考量以進行查證。

圖 3 所示為 FOWT 之設計過程。圖中說明設計過程之關鍵要素，並列出對應於本標準之相關章節。此過程應整合支撐結構與轉子(葉輪)－機艙總成之完整風力機負載及負載效應進行反復的疊代計算。若 FOWT 之結構完整性已依 7.6 定義之極限狀態分析加以查證，則其結構設計可視為已完成。

由 RNA 的全尺寸測試所得之資料應用於提升預測設計值的信賴度，並確證結構動力學模型及設計工況。若可取得，可以相似方式使用由 FOWT 支撐結構全尺寸測試所得之資料。全尺寸風力機測試之機械負載量測的相關指引參照 CNS 15176-13。模型縮尺測試所得之資料宜用於確認特定浮式下部結構配置之反應、確證結構動力學模型與設計工況，以及確認測試配置未發生異常或非預期之意外行為(參照附錄 I)。

設計之適當性的查證應以計算為之，並宜以測試支持。關於如何在設計過程中利用模型試驗，參照附錄 I。

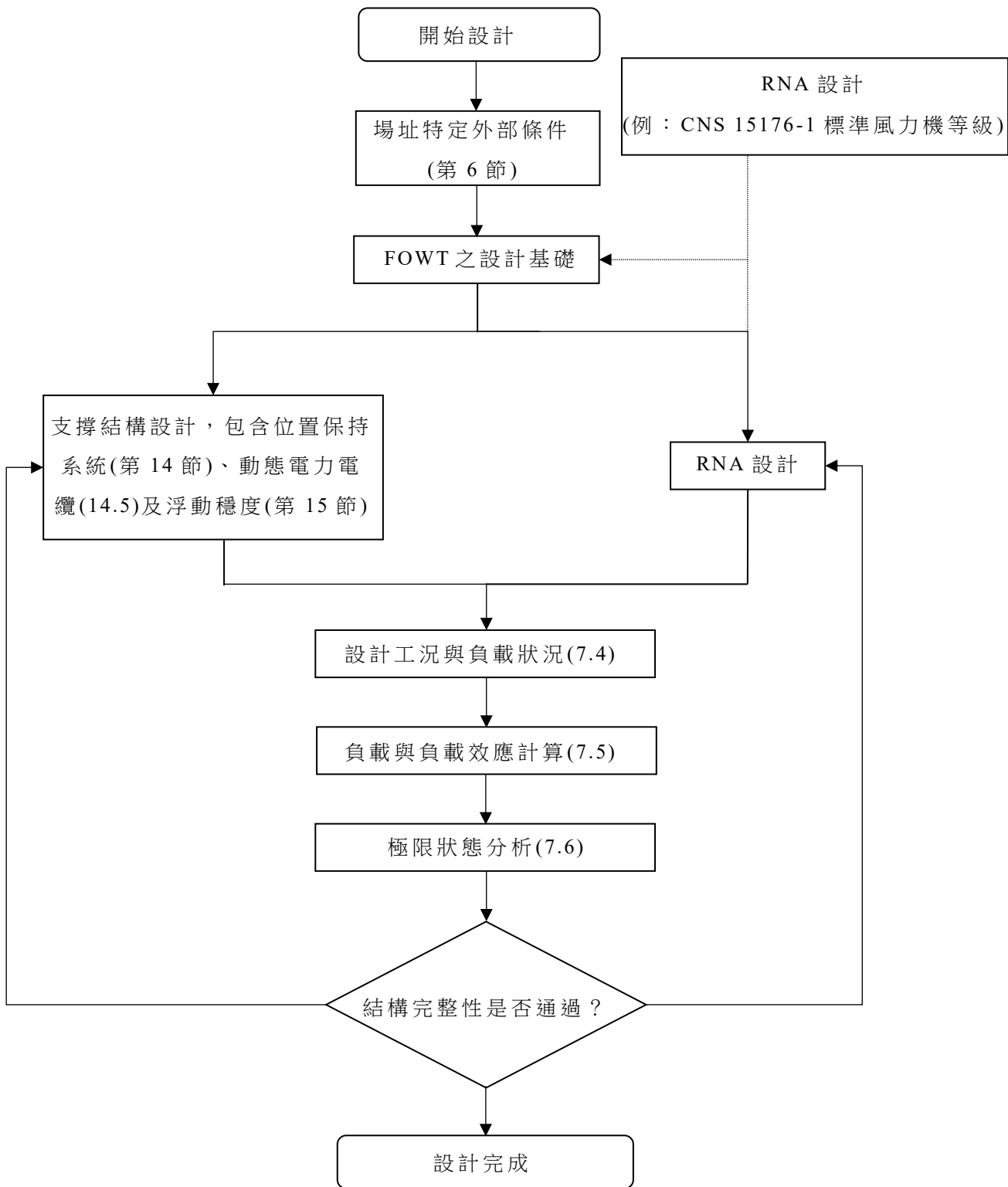


圖 3 浮式離岸風力機設計流程

5.3 FOWT 之安全位準

依本標準所設計之 FOWT，其安全位準應滿足或高於 CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019。

FOWT 通常為無人值守，僅於執行檢測、維護期間有人員登臨，其潛在故障後果

被視為中等，此類型特徵對應於 ISO 19900 系列標準中所定義的中等(L2)暴露位準。宜留意 ISO 19901-7 及 ISO 19904-1 未規定中等(L2)暴露位準的安全因數及回歸期。因此，本標準提供的回歸期、安全因數及方法與 ISO 19900 系列標準有所不同。將 FOWT 視為 L2 結構時，其安全位準相當於 CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019 中所討論的標準。關於 ISO 19900 系列標準與 CNS 15176/CNS 61400/IEC 61400 系列在極限狀態分析上的其他考量，參照附錄 L。

5.4 RNA 及塔架之安全等級

RNA 應依照以下 2 種安全等級之一設計：

- 當故障導致人員受傷或其他社會或經濟後果的風險時所適用之一般安全等級。
- 當安全要求係由當地主管機關及/或由製造商與客戶共同協議時所適用之特殊安全等級。

一般安全等級之 RNA 所適用之局部安全因數，規定於 CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019。

特殊安全等級 RNA 所適用之局部安全因數，應由製造商與客戶共同協議。依據特殊安全等級所設計之 RNA 應歸類為 CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019 所定義之 S 級風力機。

CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019 定義的安全位準與 5.3 定義的 FOWT 安全位準一致。CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019 的安全等級可應用於塔架。

5.5 品質保證

品質保證應為 FOWT 與其所有組件之設計、採購、製造、安裝、試運轉、運轉與維護及除役之一部分。

5.6 轉子(葉輪)－機艙總成標示

轉子(葉輪)－機艙總成名牌上應以永久、清晰且無法磨滅之方式標示至少下列資訊：

- RNA 製造商與生產國。
- 型號與序號。
- 生產年份。
- 額定功率。
- 基準風速 V_{ref} 。
- 輪轂高度運轉風速範圍 $V_{in}-V_{out}$ 。
- 運轉周圍溫度範圍。
- IEC 風力機等級(參照 CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019)。
- 風力機終端之額定電壓。
- 風力機終端之頻率，或與公稱差異大於 2 %時之頻率範圍。

5.7 支撐結構標示

FOWT 支撐結構(包括浮式下部結構)名牌上應以永久、清晰且無法磨滅之方式標

示至少下列資訊：

- 吃水標誌(包含海上作業時之載重線標誌)。
- 單位識別資訊。
- 公司及註冊業主識別資訊。
- 當地主管機關要求之標示。

6. 外部條件－定義與評估

6.1 一般

FOWT 會承受一些可能影響其負載、耐久性及運轉之環境條件與電力條件，包含鄰近風力機之影響。為確保適當之安全層級與可靠度，設計中應考量環境、電力及土壤參數，且應在設計文件中詳細說明。

環境條件可再細分為風況、海洋條件(波浪、海流、水位、海水/湖水結冰、海洋附生物、海床移動與淘刷)與其他環境條件。電力條件可參考電網條件。FOWT 錨及位置保持系統設計與土壤性質相關。

在考量其結構完整性時，仍應將預定安裝 FOWT 之特定場址(場地)的環境狀況納入考量。

FOWT 之設計流程如圖 3 所示。場址特定外部環境條件評估，為設計流程的第一步並產出設計基礎。因此本節具體說明外部環境條件之定義與評估方式。

外部條件可細分為正常與極端類別。正常外部條件通常與重複發生之結構負載狀況有關，而極端外部條件則代表罕見之外部設計工況。設計負載狀況應包含特定聯合回歸期下之外部條件、與風力機運轉模式及其他設計工況之關鍵組合。

設計時需考量之正常與極端外部條件的定義與評估將於 6.2 至 6.4 中規範。

本節以下各小節括號中之縮寫，係用於敘述 7.4 所定義設計負載狀況之外部條件。

6.2 風力機等級

設計中須考量之外部條件取決於 FOWT 的預定場址(場地)或場址(場地)型式。在 CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019 中，風力機等級係依風速及擾流參數定義。分級之用意在於涵蓋大多數岸上風力機應用。CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019 包含針對熱帶氣旋狀況之特別風力機等級(等級 T)，附錄 G 提供熱帶氣旋條件之額外指引。

離岸與岸上風況存在一些重要差異。然而，以風速與擾流參數定義之等級，仍適用於 FOWT 轉子(葉輪)－機艙總成之設計基礎。如 5.2 所述，繼而應證明場址特定之外部條件不會損害轉子(葉輪)－機艙總成之結構完整性。

製造商應在設計文件中說明所使用之模型與設計參數值。當採用第 6 節所述之模型時，參數值之說明即已足夠。設計文件宜包含附錄 A 列舉之資訊。

6.3 FOWT 場址外部條件定義

6.3.1 一般

設計 FOWT 應以安全地承受風況與海洋條件作為設計的基礎。

根據負載及安全考量之風況與海洋條件，可分為 FOWT 正常運轉期間經常發生之正常條件，以及 1 年或 50 年回歸期定義之極端條件。500 年回歸期亦用於 FOWT 支撐結構的穩固性檢查。

備考：本標準定義之正常海水水位範圍為回歸期為 1 年的水位變化(參照 6.3.3.4.2)。

極端條件旨在產生 N 年($N=1$ 、50 或 500)回歸期之負載效應(如橫截面負載、變形等)。直接結合 N 年邊際事件通常會產生回歸期較 N 年為長之負載效應。以此方式結合之環境參數愈多，則設計可能愈保守。對於綜合風況與海況環境之評估，數個參數與離岸風力機負載效應相關，因此對於 FOWT 設計，由指定相關條件之聯合環境條件評估以取代直接結合相同回歸期邊際效應是適合的。 N 年反應亦可藉由基於反應的長期分析來確定，此方法會在風暴的每個時間步階內考量所有實際的海氣象參數。然而，宜注意罕見事件的組合可能難以進行外插估算。可參照 API RP 2MET 作為指引。

環境曲線法能用以決定用於設計之聯合環境條件，隨後，用於設計之聯合環境條件定義為環境曲線所有條件中，在給定回歸期下造成最極端反應之條件。潛在動態反應應於評估中考量。藉由此方法，可建立聯合風速、波高、波浪週期、水位與方向關係等。

環境曲線法或其他機率方法之應用，一般需定義風況與海洋條件之長期聯合機率分布資訊。實務上，通常並非所有環境條件皆同時量測。環境曲線反而係為次集合參數開發，諸如波高與水位、波高與波浪週期等。

後續節次定義最少應考量之顯著邊際極端條件，諸如 N 年回歸風況與海洋條件，應建立關乎此等之條件。以利在缺少足夠發展場址特定環境曲線資訊時，提供保守替代方案。

6.3.2 風況

定義於 CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019 之風況參數仍適用離岸環境。FOWT 場址之場址特定條件應依據 6.4.3 所述要求評估。

宜確保擾流功率譜的表示及轉子在低頻範圍內對擾流之取樣，足以獲得 FOWT 低頻模式的適當誘因。

6.3.3 海洋條件

6.3.3.1 一般

定義負載模擬之風浪組合輸入時宜特別注意，以免忽略重要的海況。

湧浪的影響並未明確包含在基於單一示性波高及週期之標準波譜中，但在湧浪存在之區域應適當納入考量，其影響不可忽略。湧浪效應可能會影響 FOWT 之反應，以及 FOWT 的低頻反應及波譜之多向性，即風浪及湧浪之盛行波向可能不同。可能須額外考量 FOWT 風及波浪錯位狀況導致之雙向波浪負載。此可能導致塔架基礎產生疲勞之負載狀況，應特別留意。

本節說明之海洋條件包括波浪、海流、水位、海洋結冰、海洋附生物、淘刷及海床移動。與離岸環境有關之其他外部條件定義於 6.3.5。

6.3.3.2 波浪

6.3.3.2.1 一般

波浪之形狀沒有規則，高度、長度及傳播速率各不相同，且可能從單一方向或多個方向同時接近 FOWT。藉由隨機波浪模型描述海況，為最能反映海洋之實際特徵的方式。

隨機波浪模型將海況表示為許多微小的獨立頻率分量之疊加，每個分量均為週期波，具有各自之振幅、頻率及傳播方向，同時各分量間為隨機之相位關係。設計海況應以波譜(S_{η})以及示性波高(H_s)、波譜尖峰週期(T_p)以及平均波向(θ_{wm})或尖峰波向(θ_{wp})加以描述。在適當狀況下，波譜可使用方向擴散函數加以補充。標準波譜方程式參照 ISO 19901-1。

在適當理由下，設計時可以週期波或規律波作為海洋之抽象代表。決定性設計波浪應指定其高度、週期及方向。

設計 FOWT 時，應考量風況與波浪之相關性。此相關性應就以下參數之長期聯合機率分布加以考量，例：

- 平均風速 V 。
- 示性波高 H_s 。
- 波譜尖峰週期 T_p 。及
- 水深 d 。

此等參數之聯合機率分布受諸如風域、水深及海洋測深法等區域場址(場地)條件影響。因此，應藉由適當的長期量測及/或使用數值化後報技術來確定分布，參照 6.4.4。

正常風況與波浪之關聯性亦應考量風浪錯位，即考量平均風向與波向之不同(亦可考量風浪與湧浪的分離)。在某些狀況下，風向與波向之多向分布對作用於支撐結構的負載有相當重要之影響。此影響之重要性取決於風與波浪的方向性，以及支撐結構之特性如特徵頻率、模態阻尼、模態形狀、幾何對稱性。在某些情況下，設計者可以藉由適當分析，證明其為保守，因此可接受假設風與波浪對齊(同向)，且作於單一、最壞情況的方向。

此外，設計者可以藉由適當分析，證明其為保守，因此可接受假設風與波浪錯位，並考量狀況最不利之 2 個方向作用(例：90°錯位導致缺乏空氣動力阻尼可能是最不利的狀況)。7.4 考量每個設計負載狀況下風向與波向的假設。考量風與波浪錯位之狀況時應特別留意，以確保方向資料與風力機模型模擬技術均為可靠(參照 7.5)。

風、波浪、水位及其他相關參數之極端事件組合應確保考量 1 年及 50 年回歸期之整體極端環境事件。支撐結構之幾何形狀與動力性質可能意味著應

明定一些組合事件。

表示海況之波浪模型定義於 6.3.3.2.2 至 6.3.3.2.5，包含隨機線性波浪模型及規則非線性設計波。隨機波浪模型應基於適用 FOWT 預期場址(場地)之波譜。

只要海況穩定， H_s 及 T_p 與基準週期無關。為決定 V_{hub} 、 H_s 及 T_p 之聯合機率分布，應以 1 h 為平均週期定義平均風速，並以此關聯示性波高及波譜尖峰週期。在任何狀況下，波浪擴展(spreading)對於 FOWT 之負載計算可能相當重要，宜予以考量。忽略擴展可能導致較不保守的結果，例：低估浮式下部結構平擺運動的變動，此與固定式風力機不同。有關波浪擴展的更詳細資訊，參照附錄 O、附錄 P 及 ISO 19901-1。

6.3.3.2.2 正常海況(NSS)

應以適用於預定場址(場地)之海氣象參數的長期聯合機率分布為基礎，選定一正常海況之示性波高、波譜尖峰週期、方向，以及相關的平均風速。

計算疲勞負載時，設計者應確認所考量之正常海況的數目與解析度足以說明完整海氣象參數之長期分布所造成的疲勞損害。

計算極限負載時，考量之正常海況其特性應以給定平均風速值下的示性波高(H_s)及波譜尖峰週期(T_p)之期望值加以描述。設計者應考量適用於每一示性波高之(T_p)範圍。設計計算時，應以對 FOWT 造成最大負載之波譜尖峰週期值為基礎。

6.3.3.2.3 嚴苛海況(SSS)

進行 FOWT 發電之極限負載計算時，應將嚴苛海況模型與正常風況一同考量。嚴苛海況模型可建立發電範圍內每一平均風速與嚴苛海況間之關聯。每一嚴苛海況之示性波高($H_{s,SSS}(V)$)通常應根據適當場址(場地)的特定海氣象資料，並以示性波高與平均風速組合之 50 年回歸期為準，加以外插求得。進行海氣象資料之外插計算時，建議使用所謂的「逆向一階可靠度方法」(Inverse First Order Reliability Method, IFORM)。此方法之相關說明參照附錄 D，該附錄中同時說明如何依據特定場址(場地)環境條件決定 $H_{s,SSS}(V)$ 。附錄 D 亦介紹環境曲線的替代方法。

為改善收斂性，嚴苛海況可選擇性地包含與相關波浪週期及平均風速結合之 50 年回歸期極端個別波高。在此狀況下，設計者應考量適合每個極端波高之波浪週期(T)範圍。在缺少更為精確機率評估下，計算時應假設波浪週期在上述範圍內，且採用造成 FOWT 最大負載之值。

對所有平均風速而言，可將 50 年回歸期之未調整極端示性波高($H_{s,50}$)作為 $H_{s,SSS}(V)$ 的保守值。同理，可調整 50 年回歸期之極端個別波高(H_{50})作為嚴苛海況下極端個別波高之保守值。此方法得於缺少定義長期風與波浪聯合機率分布資訊時使用。

6.3.3.2.4 極端海況(ESS)

1 年、50 年及 500 年回歸期之整體環境事件應考量極端海況模型。設計者可能需調查數個極端海況，例：結合不同水位，以決定適合設計之極端海況，參照 6.3.3.4.3 與 6.3.3.3.5。海況應包含極端示性波高($H_{s,500}$ 、 $H_{s,50}$ 或 $H_{s,1}$)，亦可選擇性地包含極端個別波高(H_{500} 、 H_{50} 或 H_1)以改善收斂性。在此情況下，設計者應考量適合每個極端波高之波浪週期範圍 T 。設計計算應假設波浪週期值為在前述週期範圍內導致作用於 FOWT 負載為最大者。

FOWT 場址(場地)之極端海況應以場址特定海氣象資料(即量測及/或後報資料)之分析結果決定，參照 6.4.4。

若缺少定義極端風力及波浪之長期聯合機率分布的相關資訊，則應假設 50 年回歸期之極端 3 h 海況將出現 50 年回歸期的極端 10 min 平均風速。在 1 年回歸期之極端 10 min 平均風速及極端 3 h 海況組合方面，應採用相同之假設。當採用時，極端個別波高應假設隨機發生於極端海況之模擬時間內。

6.3.3.2.5 碎波

設計 FOWT 時，應評估碎波之影響。碎波可分為溢出型(spilling)、捲入型(plunging)及洶湧型(surging)。前 2 種類型與適於建造 FOWT 之場址(場地)有關。碎波預期為溢出型或捲入型，取決於水深、海床坡度及波浪週期。此外，結構本身的存在亦可能引發碎波。

附錄 B 提供計算碎波施加於 FOWT 支撐結構之負載的相關說明。

6.3.3.3 海流

6.3.3.3.1 一般

儘管原則上海流隨空間及時間而變化，但通常可視為速度與方向恆定之水平均勻流場，僅隨深度而變化。以下有關海流速度之分量應列入考量：

- 潮汐、暴潮及大氣壓力變化等因素造成之水面下海流。
- 風造成之近水面海流。

海流速度為上述分量之向量總和。波浪引發之海水質點速度及海流速度，應以向量方式加入。海流對波長與波浪週期間關係之影響通常相當小，因此可以忽略不計，進一步說明參照 ISO 19901-1 之 A.8.4.3。其他場址特定海流分量可能存在，諸如近岸、由波浪誘發平行海岸行進之表面海流。

6.3.3.3.2 水面下海流

水面下海流剖面可由簡單冪次率及水深 d 描述。其中之海流速度 $U_{SS}(z)$ 為 SWL 以上的高度 z 之函數：

$$U_{SS}(z) = U_{SS}(0) [(z + d)/d]^{1/7} \quad (3)$$

水面速度 $U_{SS}(0)$ 之 1 年及 50 年回歸值，可藉由分析 FOWT 場址(場地)之適當

量測數據求得(參照 6.4.4.3)。

一般狀況下，假設水面下海流與波向相同為保守。

6.3.3.3.3 風造成之近水面海流

風造成之海流可由速度 $U_w(z)$ 的線性分布描述。此分布係由表面速度 $U_w(0)$ 漸減至 SWL 以下 20 m 之流速為 0 而來：

$$U_w(z) = U_w(0)(1 + z/20) \quad (4)$$

在水深小於 20 m 之場址(場地)，風在海床造成之海流速度將不等於 0。

風造成之海面海流速度可假設為與風同向，並可由以下公式估算：

$$U_w(0) = 0.01 V_{1\text{-hour}}(z = 10 \text{ m}) \quad (5)$$

式中， $V_{1\text{-hour}}(z = 10 \text{ m})$ 定義為 SWL 以上 10 m 高度之 1 h 風速平均值

$V_{1\text{-hour}}(z = 10 \text{ m})$ 之 1 年及 50 年回歸值，可藉由分析 FOWT 場址(場地)之適當量測數據求得。此等風速並可用於公式(5)，估算風造成之海面海流速度的 1 年及 50 年回歸值。

6.3.3.3.4 正常海流模型(NCM)

正常海流模型定義為風造成之海流及潮汐流的適當場址(場地)特定組合。正常海流模型中不包含暴風造成之水面下海流。正常潮汐流應以平均潮汐海流流速考量。

對於正常及嚴苛波浪條件(NSS、SSS)之極端負載狀況，以及風造成之海流速度可由相關平均風速加以估算(參照 6.3.3.3.3)的負載狀況，均應假設為正常海流模型。

6.3.3.3.5 極端海流模型(ECM)

有關極端波浪條件(ESS)之極限負載案例應考量極端海流模型。ESS 相關之海流應導致具 1 年、50 年及 500 年回歸期的綜合整體環境事件，且分別標示為 U_1 、 U_{50} 及 U_{500} 。進行負載計算時，應以造成 FOWT 最大負載之海流條件為基礎。

FOWT 場址(場地)之極端值應以場址特定海氣象資料(即量測及/或後報資料)的分析結果決定，參照 6.4.4。

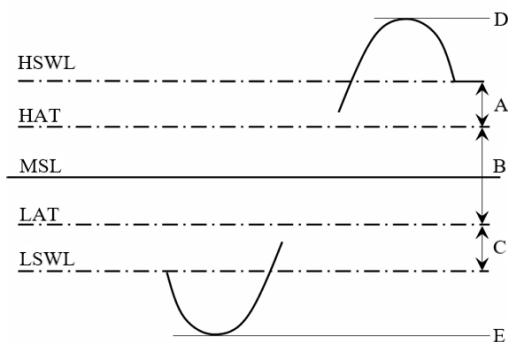
若缺少極端長期聯合機率分布資訊，則採取 1 年及 50 年回歸期之海流且假設海流與波浪同向為保守作法。

6.3.3.4 水位

6.3.3.4.1 一般

當與 FOWT 設計相關時，應決定水深範圍。

圖 4 說明不同水位。



說明

| | | | |
|------|-------|---|----------------------------|
| HSWL | 最高靜水位 | A | 正暴潮 |
| HAT | 最高天文潮 | B | 潮汐範圍(為 NWLR, 參照 6.3.3.4.2) |
| MSL | 平均海水位 | C | 負暴潮 |
| LAT | 最低天文潮 | D | 最大波峰高度 |
| LSWL | 最低靜水位 | E | 最小波谷高度 |

圖 4 各種水位定義

6.3.3.4.2 正常水位範圍(NWLR)

正常水位範圍應假設為最高天文潮(HAT)及最低天文潮(LAT)間之長期差異。對於此包含正常海況模型(NSS)之疲勞及極端負載狀況，應依據海況條件與風速之聯合機率分布(H_s 、 T_p 、 V_{hub})，假設其為 NWLR。對於與以下狀態有關之極端負載狀況，亦應假設其為 NWLR 範圍：

- 嚴苛海況(SSS)。
- 1 年回歸期之波浪條件。

進行極端負載之計算時，應依據最高負載造成之 NWLR 內的水位，或適當考量 NWLR 內水位之機率分布。

對於與嚴苛隨機海況(SSS)模型有關之極端負載狀況，符合 NWLR 之水位可能導致波高受深度限制。若在此情況下，則為避免波高受深度限制，應假設較高之水位，且應在極端水位範圍(EWLR)內。

設計者計算水動力疲勞負載時，在某些情況下可藉由適當分析，證明水位變化對疲勞負載之影響可以忽略，或保守地假設恆定水位不小於海平面來說明。

6.3.3.4.3 極端水位範圍(EWLR)

具 50 年回歸期波浪條件(ESS)相關之極限負載狀況，其水位條件應假設為極端水位範圍。結合 ESS 應產生具有 50 年回歸期之綜合整體極端環境行為。設計者可能需要調查數個結合不同水位之 ESS 表現情形。進行負載計

算時，應以對 FOWT 造成最高負載之水位為基礎。影響設計之相關驅動 (driving) 水位應加以求得，用於計算支撐結構之水動力負載、冰負載及浮式下部結構之浮力。

若無法取得包含水位之海氣象參數長期聯合機率分布，設計者至少應依據以下水位進行計算：

- 50 年回歸期之最高靜水位，以最高天文潮及正暴潮之適當組合為基準。
- 50 年回歸期之最低靜水位，以最低天文潮及負暴潮之適當組合為基準。
- 與最高碎波負載有關之水位。

6.3.3.5 海水/湖水結冰

在某些地點，海水/湖水結冰對 FOWT 浮式支撐結構造成之負載可能相當重要。冰負載可能包括穩固覆冰之靜態負載，或風及海流引發浮冰運動之動態負載。在相當時間內撞擊浮式支撐結構之移動浮冰，可能造成顯著疲勞負載。因此應依 6.4.4.5 所述，評估海水/湖水結冰之發生與特性的特定場址(場地)。

6.3.3.6 海洋附生物

海洋附生物會對浮式下部結構之質量、幾何形狀及表面粗糙度，以及 FOWT 之位置保持系統及動態電纜系統產生影響。因此，海洋附生物可能影響結構之水動力負載、動態反應、機組可及性難度及腐蝕率等。

在某些地點，海洋附生物可能相當多，因此在設計 FOWT 支撐結構時應列入考量。

海洋附生物大致可分為「硬質」(通常為貽貝及藤壺等動物)及「軟質」(海草及海藻)，硬質附生物通常較軟質附生物細小，但表面比較粗糙。通常在安裝之後，海洋附生物很快就會開始移居到結構上，但數年之後，生長率會下降。海洋附生物之特性與厚度不僅與結構件相對於海平面的位置、相對於海流之主要方向、壽命及維護策略相關，亦與其他場址條件，諸如鹽分、含氧量、pH 值、海流及溫度相關。

在 FOWT 支撐結構之浸沒區上部及飛濺區下部區域內，通常由海洋附生物改變其腐蝕環境。依海洋附生物種類及其他局部條件，其淨效應可強化或抑制腐蝕影響程度。由海洋附生物(例：藉由具腐蝕性之代謝物)所造成的加速腐蝕，一般稱為微生物影響性腐蝕(Microbiologically Influenced Corrosion, MIC)。海洋附生物可能進一步干擾腐蝕防護系統，包括塗裝/內襯及陰極防護。

由於與海洋附生物有關之假設具有不確定性，FOWT 設計中宜包含檢驗及去除海洋附生物(可能必要)之相關計畫。頻率、檢驗法及附生物去除準則，應依據海洋附生物對 FOWT 結構可靠性之影響，以及對該特定場址(場地)條件下之海洋附生物的瞭解程度。

6.3.3.7 海床移動與淘刷

設計 FOWT 之錨時，應考量海床移動與淘刷之影響。海床移動與淘刷之分析

以及適當防護設計，應符合 ISO 19901-4 及 ISO 19901-7 之相關規定。海床條件評估之相關規定於 6.4.4.7 說明。

6.3.4 電網條件

FOWT 終端條件應以 6.4.6 所述特定設施決定。

6.3.5 其他環境條件

風力及海洋條件以外之環境(氣候)條件可能以熱作用、光化學作用、腐蝕、機械力、電力或其他物理作用影響 FOWT 之完整性與安全性。此外，氣候參數之組合亦會增強其效應。

應至少考量下列其他環境條件，並將其所產生之作用記載於設計文件中。

- 氣溫。
- 濕度。
- 空氣密度。
- 陽光輻射。
- 雨水、冰雹、雪及冰。
- 積冰及積雪。
- 化學活性物質。
- 機械活性粒子。
- 造成腐蝕之鹽分。
- 雷擊。
- 地震作用及/或海嘯。
- 海水密度。
- 海水溫度。

所考量之氣候條件應以可變條件的代表值或極限定義。當選取設計值時，應考量氣候條件同時發生之機率。

1 年以下回歸期之氣候條件在正常範圍內的變化不應對 FOWT 所設計之正常運轉有所干擾。

除非有相關性，6.4.5.3 所述之其他極端環境條件應與 CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019 所述的正常風況及 6.3.3 所述之正常海洋條件加以組合。

對於張力腿式平台/浮筒之浮式下部結構，宜特別注意地震分析之評估，參照附錄 H。

6.4 FOWT 場址(場地)外部條件評估

6.4.1 一般

FOWT 場址(場地)之外部條件應依照以下子節的要求加以評估。

7.6.2.2 所述之負載局部安全因數係假設正常與極端海氣象的場址(場地)評估均已依本節之最低要求執行。

6.4.2 海氣象資料庫

場址特定海氣象資料庫應包含以下資訊：

- 風速與風向。
- 示性波高、波浪週期與方向。
- 風力與波浪統計資料關聯。
- 海流速率與方向。
- 水位。
- 海水/湖水結冰之發生與性質，及其漂流方向與漂流速度之發生。
- FOWT 及其支撐結構結冰之發生。
- 其他相關海氣象參數，諸如空氣與水之溫度與密度、海水鹽分、場址(場地)測深、海洋附生物等。

資料庫可由場址(場地)特定量測資料以建立，若適用時，可由數值模擬(後報)提供之。若使用場址(場地)特定量測資料，除非所建立資料庫之結果可證明為保守，其結果通常應與取自鄰近位置之長期量測數據的資料相關聯。場址(場地)特定量測資料之監測期間應足以確保個別參數及相關參數的聯合機率分布為可靠統計值。若僅要進行實測資料之相關分析，則長期量測之位置距離 FOWT 預備場址(場地)宜少於 50 km，同時兩位置之水深、風域及測深宜大致相同。在進行長期資料與風力機特定場址短期資料之關聯性分析時，宜確保其關聯性合適，且其關聯分析之不確定性可加以估算。若長期量測數據之位置距離風力機預備場址(場地)超過 50 km，則亦可進行數值模擬(後報)，估算該場址(場地)之海氣象統計資料。在採用來自鄰近地點之適合長期資料，或可運用數值工具將長期資料正確轉換至該風力機場址(場地)時，通常可不需要長期場址(場地)特定量測數據。

在描述淺水場址(場地)之波高、週期及波譜時，時間序列量測數據可能相當重要。

評估資料之品質及數量時，宜特別注意在非常罕見之事件中，資料對於外插之適當程度。

6.4.3 風況評估

6.4.3.1 一般

場址風況參數應以量測與推斷，或使用適當方法(例：現場進行之量測監測、當地氣象站之長期紀錄、模擬模型或當地規範與標準)計算。CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019 之 11.3 及 IEC 61400-15-1 描述的方法涉及以下規定之偏差。

除於 CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019 說明之參數外，下列風力機場址(場地)之參數值應加以估算：

- 1 年回歸期之輪轂高度極端 10 min 平均風速 $V_{1,\text{hub}}$ 。
- 周圍擾流風速標準差 $\hat{\sigma}$ (以縱向分量標準差之平均值估算)，及 V_{hub} 介於 V_{in} 至 V_{out} 間與 V_{hub} 等於 V_{ref} 時條件下 $\hat{\sigma}$ 之標準差 $\hat{\sigma}_\sigma$ 。

某些與高度分層流場或嚴重粗糙度變化之區域，已有長時間之高風切值報告。然而，採用平均風剖面陣風模型(即 CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019 中定義之 EOG、ECD、EWS)的風切值可假設為平均風切。因此等模型關注在有關擾流產生之陣風，其意味有關高擾流位準之風切值為適當。

上述所使用之風速區間間隔應為 2 m/s 以下，且風向扇形區域應為 30°以下。除空氣密度以外，所有 CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019 要求參數應描述成風向之函數，並以 10 min 平均呈現。離岸環境展現之方向變化一般較陸域環境者為小，故可接受藉由不定向資訊提供如風切與擾流等參數，除非受到近岸地點海岸效應或鄰近障礙物之阻礙。

場址(場地)極端風力參數應為以下 3 者之一：

- 在 $0.2V_{ref}$ 與 $0.4V_{ref}$ 之間實測並外插而得。或
- 短期監測值與當地氣象站長期資料之關聯分析、或從當地規範或標準推導而得。或
- 以鄰近場址之經驗為基礎。採用此方式，須評估場址(場地)間相似性假設之合理性。

在場址(場地)特定極端平均風速僅有長於 10 min 平均週期之資料時，表 1 列出之轉換因數可用於估算極端 10 min 平均風速。本表之因數提供極端情形下給定平均週期內風速以及極端 10 min 平均風速間之比例。

表 1 不同平均週期間極端風速之轉換

| 平均週期 | 10 min | 1 h | 3 h |
|------------------------|--------|------|------|
| 相對於極端 10 min 平均風速之修正因數 | 1.00 | 0.95 | 0.90 |

對於 10 min 至 3 h 範圍內⁽³⁾之時間，平均風速 V_{hub} 之長期機率分布可假設為與平均週期無關。

註⁽³⁾ 在長期機率分布之尾端，超過 V_{out} 之平均風速部分，此假設可能無效。

6.4.3.2 CNS 15176-1/IEC61400-1:2019 風況條件於轉子(葉輪)－機艙總成設計之應用

以 CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019 所述風況條件作為轉子(葉輪)－機艙總成設計基礎情況下，參數變化可假設如下：

- 平均氣流相對水平面之傾角為 0。
- 風剖面表示為平均風速 $V(z)$ 為靜水位以上高度 z 之函數。標準風力機等級下正常風速剖面以冪次律表示如下：

$$V(z)=V_{hub}(z/z_{hub})^{\alpha} \tag{6}$$

式中，正常風況之冪次律指數值 α 為 0.14

6.4.3.3 周圍自由流擾流評估

自由流擾流標準差之值，應針對量測及宜為去趨勢(de-trended)之資料，使用適當之統計技巧求得。在地形(岸線)或其他區域效應可能影響自由流擾流強度時，應在資料中表現相關效應。評估自由流擾流強度時，應考量取得量測數據之風速計、取樣頻率及平均時間之特性。

若無法取得自由流擾流之場址(場地)資料，則近中性大氣條件之自由流擾流標準差 σ_1 可由查諾克表示式估算得出之表面粗糙度參數 z_0 而得：

$$z_0 = \frac{A_C}{g} \left[\frac{\kappa \times V_{\text{hub}}}{\ln(z_{\text{hub}}/z_0)} \right]^2 \quad (7)$$

其中， g ：為重力加速度

κ ：為馮卡門常數(=0.4)

A_C ：為查諾克常數

$A_C=0.011$ 建議用於開放海面， $A_C=0.034$ 可用於近岸位置。使用查諾克等式計算所得之表面粗糙度參數及造成的擾流標準差，適用於開放海面條件。在岸邊地形影響及岸上粗糙度可能使擾流標準差之值提高時，宜特別注意。除非場址(場地)特定資料另有說明，否則建議使用較高值的係數。

海面粗糙度隨風速提高，因此，在近中性條件下，擾流強度亦會隨風速提高。已在許多離岸場址發現於低風速時，平均擾流強度較高，且隨風速增加而下降，在平均風速(於參考高度 10 m 處)約 8 m/s 至 12 m/s 時達最低值，而後隨風速增加而微幅增加。

求出前述隱函數方程式之解，可得出粗糙度參數。而縱向風速分量之標準差可由下式計算而得：

$$\sigma_1 = \frac{V_{\text{hub}}}{\ln(z_{\text{hub}}/z_0)} + 1.28 \times d \times I_{15} \quad d = 4 \text{ m/s} \quad (8)$$

式中， I_{15} 為 $V_{\text{hub}}=15 \text{ m/s}$ 時求得之輪轂高度擾流強度平均值。使用近中性條件假設[如公式(7)]求取之縱向風速分量的標準差平均值一般較低，且以其表示熱帶氣旋之狀況為無效⁽⁴⁾。

註⁽⁴⁾ 公式(8)中之標準差 $4 \text{ m/s} \times I_{15}$ 不同於 CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019 規定的 $1.44 \text{ m/s} \times I_{15}$ ，係因在某些離岸地點有明顯更大之標準差紀錄。故宜小心評估此參數於特定場址之值，並考量相似或鄰近場址之可得資訊。此外，CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019 等級定義中之擾流強度韋伯分布於離岸環境並不具普遍性，此影響 ETM 之評估。

用以考量離岸非中性大氣條件之模型已被提出，參考資料[15]中所提出之模型，可於無其他資訊可得時採用。此等模型可表示由遠海至具有複雜地形近岸區域之 3 種不同位準的擾流。證明所採用擾流位準之合理性時應謹慎。

若無法取得適合之場址(場地)特定資料以估算 1 h 平均週期內的擾流標準差，

粗糙度參數可假設為與 10 min 平均擾流標準差有以下關係：

$$\sigma_{i,1\text{-hour}} = \sigma_{i,10\text{-min}} + b; \quad b = 0.2 \text{ m/s} \quad (9)$$

6.4.3.4 鄰近風力機尾流效應評估

應依據 CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019 之要求執行鄰近風力機尾流效應的評估。CNS 15176-1 附錄 D/IEC 61400-1:2019 附錄 E 提供場址(場地)特定條件之指引。

6.4.4 海洋條件評估

6.4.4.1 極端波浪條件評估

下列極端海況參數應加以估算：

- 假設 3 h 基準週期之 500 年回歸期的示性波高 $H_{s,500}$ 。
- 假設 3 h 基準週期之 50 年回歸期的示性波高 $H_{s,50}$ 。
- 假設 3 h 基準週期之 1 年回歸期的示性波高 $H_{s,1}$ 。
- 回歸期 500 年之極端個別波高 H_{500} 及相應波浪週期範圍。
- 回歸期 50 年之極端個別波高 H_{50} 及相應波浪週期範圍。
- 回歸期 1 年之極端個別波高 H_1 及相應波浪週期範圍。
- 回歸期 50 年之極端波峰高度。

極端示性波高與極端個別波高可以數種方法決定。最適當之方法為基於海氣象資料庫中高於特定閾值之風暴示性波高峰值的統計分析。極端個別波高可將示性波高 H_s 及波譜尖峰週期 T_p 之長期分布，與給定示性波高 H_s 之個別波高 H 的短期分布捲積(convolution)而得。可參照 ISO 19901-1 第 8 節。無論如何，極端波高可能受水深限制。

FOWT 場址(場地)可能發生碎波，依水深、海床坡度、波高、週期及尖度而定。附錄 F 提供在熱帶氣旋條件下極端波浪條件評估之指引。

在海氣象資料不足以評估深水區域極端波高與相關波浪週期範圍情況下，可假設如公式(10)：

$$H = 1.86H_s \quad (10)$$

該示性波高為假設 3 h 基準週期海況之 1,000 個波呈瑞利分布下的最大波高，即瑞利分布之 0.1 % 超越分位數。有關此波高之波浪週期範圍可採用下述公式：

$$11.1\sqrt{H_s/g} \leq T \leq 14.3\sqrt{H_s/g} \quad (11)$$

宜注意上述公式為風造成之波浪的關係。FOWT 可能安裝在湧浪對 FOWT 反應具有顯著影響的場址(場地)。在此場址(場地)，可能觀察到比公式(11)所述更長的週期。詳細內容參照附錄 R。

對於給定之波高，波浪週期具有一與水深相關之下限，該下限可由碎波高度

限制決定。需注意深水區域之個別波高與示性波高的比值(H_{50}/H_{s50} 與 H_1/H_{s1})，通常在 1.9 至 2.0 範圍內。對缺少量測資料之淺水場址，當 H_s 小於 2 倍之適當示性波高值，個別波高(H_{50} 與 H_1)應假設為碎波波高。

6.4.4.2 正常波浪條件評估

對正常海況，場址(場地)特定海氣象資料庫應加以分析，以便建立下列正常海況參數之長期聯合機率分布：

- 輪轂高度之平均風速 V_{hub} 。
- 示性波高 H_s 。
- 波譜尖峰週期 T_p 。

需注意此為最低要求，倘若使用標準波譜不適當時，可考量採用更多波浪參數或離散波譜，包括具有頻率與方向之二維頻譜。例：當湧浪及因風造成波浪均占主導地位，且採用具有 2 個峰值的頻譜進行設計，則需要額外的參數。

6.3.3.2.2 定義 NSS 所建立之 V_{hub} 、 H_s 及 T_p 的長期聯合機率分布需以 1 h 作為平均時間。若可取得之 V_{hub} 、 H_s 及 T_p 的聯合統計資料採取不同之平均時間，則資料應轉換成採取 1 h 平均時間之風速。平均時間加長時， V_{hub} 、 H_s 及 T_p 間之關聯可能會隨之增加，係因在以小時為單位之長時間內，受風影響而產生之波浪會增加。然而，依據該場址(場地)之特徵而定，此關聯亦可能不會隨平均時間而明顯改變，因此可假設 V_{hub} 、 H_s 及 T_p 之長期聯合機率分布與平均時間無關。必要時，聯合機率分布應加以擴充至包含風與波浪之方向，然可用於推導此 5 個參數之聯合發生次數的場址(場地)特定量測數據經常無法取得⁽⁵⁾。聯合機率分布之解析度應使用風速區間間隔為 2 m/s 以下，示性波高區間間隔應為 0.5 m 以下，波浪週期區間間隔應為 0.5 s 以下。若計算所得之疲勞負載仍符合保守性，則可增加示性波高與波浪週期區間間隔。此可使用適當的代表值來證明。若可取得方向資料，則風與波浪之方向扇形區域的寬度應為 30° 以下。

註⁽⁵⁾ 應注意對於風與波浪方向經常錯位較大之場址，採用風與波浪同向之假設可能並非保守作法。

6.4.4.3 海流評估

海流除對於 FOWT 支撐結構負載造成影響，亦會影響船隻靠岸與放護舷材的位置及方向，同時可能造成海床淘刷。

評估海流時，應考量與風力機場址(場地)有關之潮汐、暴潮、風引發之激流及海流等。該場址(場地)海流之每一重要分量之速度與方向特徵，應分別加以評估。

1 年、50 年及 500 年回歸期之極端海面海流速度，應藉由分析場址(場地)特定海氣象資料庫求得。

一般而言，目前沒有要求場址(場地)特定之海流速度隨深度之變化之評估，且

可假定具有 6.3.3.3 提供之標準剖面。然而，建議量測特定場址(場地)之海流振幅和方向，以改進標準剖面。對於單點繫泊浮式下部結構，表層海流尤其重要。對於吃水較深的浮式下部結構，海流的深度變化尤其重要。

6.4.4.4 海況水位、潮汐與暴潮之評估

風力機場址(場地)之水位平均及起伏應加以評估，以求得以下參數：

- 平均海水面(MSL)。
- 最高天文潮(HAT)及最低天文潮(LAT)。
- 包含正暴潮之最高靜水位(HSWL)。
- 包含負暴潮之最低靜水位(LSWL)。

相關參數應由場址(場地)特定海洋資料庫求得。暴潮之精確估計需要大量資料組。取自鄰近地點之長期量測數據或後報，並與相關技術一同使用，推導出場址(場地)特定暴潮特徵。

6.4.4.5 海水/湖水結冰評估

若浮式離岸風力機準備安裝於海洋可能結冰之場址(場地)，在支撐結構設計中結冰之物理性質應加以考量。

設計文件應詳述場址(場地)特定海洋結冰之性質。

有些參數需要評估，部分參數能夠量測，另一部分可根據經驗公式計算，其他部分是根據冰況地圖等歷史數據來源決定。

最相關之參數如下所列：

- 50 年回歸期之冰厚度 h_{50} 。
- 冰中挾帶範圍有限之厚冰特徵(如冰脊)尺寸，可能與結構相互作用，包括 50 年回歸期之固結層厚度 (h_c)。
- 冰強度係數 C_R 。
- 冰密度。
- 冰下表面下 1 公尺之海流速率。
- 冰面上 10 公尺之風速，作用於冰蓋與冰堆上。
- 水位波動。
- 水鹽度。
- 水密度。
- 空氣密度。
- 結冰度-日。
- 風拖曳力係數 C_W 。
- 海流拖曳力係數 C_C 。
- 冰集結之頻率。

6.4.4.6 海洋附生物評估

海洋附生物及其與海平面以下深度之相關性，應依據適用之建議、當地經驗

及現有之量測數據加以評估。可能需要進行場址(場地)特定研究，以瞭解海洋附生物之特性、可能厚度及深度相關性。

備考：某些地區(北海、波斯灣、非洲西部海岸、墨西哥灣、加州灣、加拿大東部海岸)之海洋生物相關資訊，參照 ISO 19901-1。

6.4.4.7 海床移動與淘刷評估

海床之穩定性應加以評估。應判定該場址(場地)之海洋深度及土壤結構是否需要考量邊坡破壞、滑動、洞穴破壞或侵蝕現象之可能性。對於重力式錨設計，沉陷及土壤液化應列入考量。依據觀察結果，海床變化通常可由以下各項之組合加以描述：

- 局部淘刷之特徵為位於作為錨碇使用時之基樁或基樁組等結構組件周圍、側壁陡斜之淘刷坑。
- 全面淘刷之特徵為位於結構物周圍之大範圍淺淘刷凹陷，可能由整體結構效應、多重結構相互作用，或波浪－土壤結構相互作用所造成。
- 出現於無結構物處之沙浪、沙堆或沙洲等整體海床移動。此類移動可能造成海床降低或升高，或此等狀況重複出現。添加人造結構可能改變局部沉積物運送方式，進而可能使侵蝕惡化、造成堆積，或無影響。

海床移動及淘刷可能導致錨支撐物垂直及橫向移動，造成淺水錨出現不應出現之沉陷及位移，使錨構件承受過大應力及浮式離岸風力機結構動態性質改變。在可能發生淘刷處，設計中應將淘刷列入考量，及/或應考量緩和措施。一般而言，評估應依循 ISO 19901-4 之 6.3.4 和 6.3.5 概述之程序。

決定淘刷範圍及浮式離岸風力機場址(場地)必須之淘刷防護措施之方式包括：

- 依據鄰近場址(場地)或海床特徵類似之場址(場地)之紀錄。
- 藉由模型試驗，或
- 藉助原型或模型試驗進行校正之計算。

6.4.5 其他環境條件評估

6.4.5.1 一般

應評估 6.3.5 說明之參數。

6.4.5.2 其他正常環境條件

環境參數之正常值可依下述假設：

- 周圍溫度範圍在 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 至 $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之間。
- 相對溼度最高至 100 %。
- 陽光輻射強度 $1,000\text{ W/m}^2$ 。
- 空氣密度 1.225 kg/m^3 。
- 海水密度 $1,025\text{ kg/m}^3$ 。
- 海水溫度範圍在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 至 $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之間。

在缺少場址空氣密度資料情況下，空氣密度應假設與 ISO 2533 要求一致，並根據年平均溫度適當校正。

當設計者要求其他外部條件時，各應參數及其值應在設計文件中說明，並應符合 IEC 60721-2-1 之規定。

6.4.5.3 其他極端環境條件

6.4.5.3.1 一般

浮式離岸風力機設計中應考量之極端其他環境條件為溫度、雷擊、結冰及地震。

6.4.5.3.2 溫度

缺少場址(場地)特定資料下，浮式離岸風力機之極端空氣溫度範圍得假設為 $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 至 $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之間。

缺少場址(場地)特定資料下，浮式離岸風力機之極端海水溫度範圍得假設為 $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 至 $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之間。

6.4.5.3.3 雷擊

CNS 61400-24 標準之雷擊防護要求可視為適用浮式離岸風力機。

6.4.5.3.4 結冰

雖然標準風力機等級之浮式離岸風力機並無規定最低對冰之要求。惟風力機上之結冰應考量下列因素：

- 溫度低於及大致等於 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 時之濕氣及碎屑。
- 溫度低於 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 時之波峰浪花。

6.4.5.3.5 地震

相關時，應評估地震條件，參照附錄 H。

6.4.6 電網條件評估

電網條件評估參照 CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019 之 11.7。缺少場址資料情況下，應考量電網喪失連續 3 個月以上的極端條件。

6.4.7 土壤狀況評估

應進行土壤調查以提供足夠的資訊，據以鑑別錨碇作用所涵蓋或影響之區域與深度範圍內的土壤性質。該調查通常應包括以下項目：

- 場址(場地)之地質調查。
- 海床之水深量測，包括記錄海底的巨礫、沙波或障礙物。
- 地球物理調查。
- 地質鑽探調查，包括現地試驗和實驗室試驗。

為建立所需錨之設計參數，調查期間獲得的資料應與該區域之淺層地質綜合考量(若可獲得)。若可行，在審查地球物理結果後應針對土壤取樣和試驗程序進行定義。

土壤調查應包括一個或多個土壤鑽孔，提供現地試驗和實驗室試驗土壤樣本，

以決定適用於定義工程性質的資料。所需的鑽孔數量和深度將取決於離岸風場中風力機錨的數量和位置、場址(場地)附近的土壤變異性、錨的類型以及任何初步地球物理調查之結果。在大型離岸風場中，應該至少對於總錨點位置之 10 % 進行取樣鑽孔。若場址土層變異性較高或存在夾層、液化疑慮時，可適度增加代表性取樣點。圓錐貫入試驗(必要時可包含孔隙水壓量測)和淺層振動鑽孔可作為土壤調查的補充方法。原則上，應對於風場內的每個錨點該建立場址(場地)專屬的土壤資料，並確保其足以支援錨碇之靜態與動態行為評估。。為此，對未鑽孔之風力機位置，得使用圓錐貫入試驗。為了校正圓錐貫入試驗，應在至少一處土壤鑽孔之鄰近位置進行一次圓錐貫入試驗。

備考：ISO 19901-8 中提供了有關海洋土壤調查設備和程序的進一步建議。ISO 19901-10 提供海洋地球物理調查指引。

土壤調查應提供以下資料作為錨設計之基礎：

- 土壤分類和描述資料。
- 剪切強度參數，若與錨類型相關，則需考量土壤劣化效應。
- 變形特性，若與錨類型相關，則需考量壓密參數。
- 滲透性，若與錨類型相關。
- 若與錨類型相關，則須提供勁度與阻尼參數，以預測浮式離岸風力機的動態特性。
- 必要時宜依場址條件補充相關動態參數，以降低分析不確定性。
- 應評估水下錨碇基礎於施工過程中可能引致之土壤擾動與土壤結構互制行為變化，並檢討其對錨碇承載行為及施工安全性之影響。鑑於台灣地質條件複雜且位於地震活動頻繁區域，應考量地震作用及其循環週期對水下錨碇基礎土壤結構安全性與使用性之影響，並評估潛在風險。

應通過適當的現地和實驗室試驗徹底評估每個土壤層工程性質。

土壤條件的評估亦應考量土壤液化之可能性、錨及周圍土壤之長期沉陷和位移、循環載重下之累積行為以及水力穩定性和土壤穩定性特徵。

7. 結構設計

7.1 一般

浮式離岸風力機應依本章節規定設計。浮式下部結構設計之相關額外要求應依據 ISO 19904-1 適用條文，並考量定義於 5.3 中之暴露位準。

位置保持系統應依第 14 節規定設計。

浮式離岸風力機結構中受負載作用組件之完整性應加以查證，並應依據所列要求確認達到可接受之安全位準。構件之極限與疲勞強度應以計算、試驗或兩者共同加以查證，以證明浮式離岸風力機在適當安全位準下之結構完整性。

計算應採用適當方法進行。設計文件中應詳述計算方法。敘述中應包含計算方法效力之證明或適當查證研究之參考文件。任何強度驗證試驗中之負載等級應搭配

符合 7.6 所述之特徵負載配合適當之安全係數。

浮式離岸風力機支撐結構、轉子(葉輪)與傳動系統應於葉片通過頻率 2 倍以下之激振頻率範圍內進行共振識別判定。應就 DLC 1.2 NTM 之設計擾流等級 C 於 30 %位準下可能之共振頻率進行調查。若於低擾流條件下發現高共振負載，則應採取避免共振之措施或應將該負載納為設計負載。

7.2 設計方法

應檢核驗證(verified)浮式離岸風力機所受之極限狀態並未超過其設計之條件。設計計算應基於經證實之方法與認可之規範。

7.3 負載

7.3.1 一般

設計計算中應考量 7.3.2 至 7.3.7 所述之負載。

7.3.2 重力與慣性負載

重力與慣性力負載係因重力、振動、旋轉及地震活動所產生之靜態及動態負載。慣性負載，包含陀螺負載(gyroscopic load)，對於浮式離岸風力機特別重要，因為其可能增加額外的順應性(compliance)，並因氣動力與水動力負載而增強動態反應。

7.3.3 空氣動力負載

空氣動力負載係因氣流以及氣流和風力機靜止及活動部件間之相互作用所產生之靜態及動態負載。

氣流與下述相關：橫越轉子平面之平均風速及擾流、轉子之轉速、空氣密度、風力機組件之空氣動力外形及其交互作用效應，包括氣彈力效應。

氣流與浮式離岸風力機間之氣動力交互作用因其額外的順應性(compliance)以及增強之動態反應而特別重要。應考量浮式下部結構潛在大幅移動與轉動對轉子(葉輪)－機艙總成及塔架氣動力負載之交互作用，包含氣彈力效應、相關整體與局部動力以及非穩態氣動力效應，如動態入流、斜向進流(oblique inflow)、歪斜尾流、包含動態失速之非穩態翼型氣動力學以及葉片渦漩交互作用。浮式下部結構之風負載亦應視情況納入考量。

7.3.4 致動負載

致動負載係因浮式離岸風力機之運轉及控制而產生。此負載可分成數類，包括發電機/變頻器之扭矩控制、機艙轉向與旋角致動器負載及機械剎車負載。任何情況中，計算反應與負載時考量涵蓋摩擦力之可用的致動器施力範圍非常重要。尤其係機械煞車，檢核任何煞車期間之反應與負載時，應考量受溫度與老化所影響之各種摩擦、彈簧力或壓力之範圍。

7.3.5 水動力負載

水動力負載係因海流以及海流與浮式離岸風力機支撐結構間之相互作用所產生之動態負載。

水動力負載與海流之運動學、水密度、水深、浮式下部結構之形狀及其相互作用效應包括水彈性效應等有關。

當設計評估包含海流時，海流流體之對流加速度亦可能影響浮式下部結構之流體慣性負載。

針對非設計暴露於水動力負載之浮式離岸風力機支撐結構，應確保其主結構之正氣隙(positive air gap)。亦應確保風力機葉片之最低點具足夠之氣隙。氣隙評估應涵蓋 50 年回歸期之反應，並考量浮台之運動、波浪之反對稱性、繞射/輻射效應與靜水位等因素。若經證明有效，可使用目前已開發且受認可及校正之氣隙評估方法(參照附錄 B)。選用之方法宜具適當模型試驗支持。氣隙亦可直接基於 DLC 負載狀況表(表 2)評估。替代方法之氣隙宜在 $0.2 \times H_{50}$ 以上，但最小值為 1.5 m。替代方法之氣隙可由下述步驟取得：

- 取得由特定波浪/風/方向性條件的模擬結果(隨機種子)的反應時間序列下之最大反應值(波浪湧升高度)。
- 計算在相同波浪/風/方向性條件下，不同模擬結果(隨機種子)所對應之最大反應平均值。
- 取得所有評估的風/波浪/方向性條件下之最大反應平均值的最大值。
- 依據預估之波浪湧升高度評估氣隙。

因氣旋造成極端狀況的場址，應考量決定氣隙之區域指引。

因波浪「溯升(run-up)」而產生之水動力負載宜加以考量，尤其在設計外部平台與附屬物時。波浪溯升原則上受結構幾何、波高及波浪陡度影響，且通常藉由模型試驗決定。

此外，宜依據 ISO 19904-1 評估波浪衝擊負載，包含波擊(slamming)與拍擊(slapping)(參照附錄 B 之定義)、沖激(sloshing)及上浪(green water)，並適當考量 5.3 定義之暴露位準。

7.3.6 海水/湖水結冰負載

當適用時，應考量海水/湖水結冰負載，參照 7.5.4。

7.3.7 其他負載

應適當地考量尾流負載、船舶衝擊負載、及渦流引發振動等其他可能發生之負載。有關寒冷氣候之其他負載，參照 IEC 61400-1:2019 第 14 節及附錄 L。

發電期間應考量來自鄰近浮式離岸風力機之尾流效應，並針對所有相關的環境風速和風向進行評估。在評估離岸風場某一特定地點是否適合設置浮式離岸風力機時，應考量來自上風側單一或多個機械尾流之確定性與擾流特徵。上風尾流之結構、回復與幾何範圍宜考量以下效應：

- 因浮式下部結構運動造成機械間之空間變化。
- 上風機械於所有自由度之靜態傾斜與暫態運動。

風力機後方所形成之尾流將造成風速損失且傾向曲折擺動，並使原存在於自然自由流之擾流增強。當有一部或多部上風風力機之尾流局部涵蓋至下風轉子(葉輪)時，將在下風轉子(葉輪)產生較大的不對稱負載(包含轉向負載)。此等負載及動態運動造成之反應，對於因位置保持系統配置使平擺運動較為柔性之浮式離岸風力機可能特別重要。當依循 CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019 建立尾流模型時，宜考量浮式下部結構之運動。

對於浮式離岸風力機及位置保持系統，繫泊索及張力腿之負載於負載計算中具相當重要且應多加考量。相關情況下，亦應將動態電力電纜納入考量。

在適當情況下，作用於浮式下部結構之靜水力負載，應考量因內部與外部靜水壓及所造成之浮力，包含源自浮式下部結構平均位置之起伏、橫搖及縱搖位移時靜水壓之時序變化。

有關浮式結構地震負載之效應，參照附錄 H。

對於海嘯好發場址，海嘯一般被視為水面波形高及水平海流之變化，相關指引參照附錄 J。若風力機內裝載海嘯預警系統且可於事發前將風力機停機，則進行海嘯負載分析時可不考慮來自運轉中風力機引致之額外負載。

7.4 設計工況與負載狀況

7.4.1 一般

本節將敘述浮式離岸風力機之設計負載狀況，並規定須考量之最少項目。

為設計之目的，浮式離岸風力機之壽命可用一組涵蓋浮式離岸風力機可能承受最激烈情況之設計工況來表現。負載狀況應由運轉模式或如特定組裝、安裝或維護情況等其他設計工況，配合外部條件來決定。具合理發生機率之所有相關負載狀況，應與控制系統之行為一併考量。用於驗證浮式離岸風力機結構完整性之設計負載狀況，應結合以下項目加以計算：

- 正常設計工況與適當之正常或極端外部條件。
- 故障設計工況與適當之外部條件。
- 運輸、安裝與維護設計工況及適當之外部條件。

若一極端外部條件與故障情況之間有關聯時，則兩者之實際組合應視為一個設計負載狀況。

每種設計工況下均應考量數個設計負載狀況。至少應考量表 2 之設計負載狀況。在該表中，各設計工況所包含之設計負載狀況是藉由風、海洋、電力及其他外部條件等之描述來加以指定。此外，若浮式離岸風力機將安裝於可能出現海水/湖水結冰之地點，參照 7.5.4。

若係與特定風力機設計之結構完整性有關時，則應考量其他設計負載狀況。

設計者應確保負載包絡包括所有可能導致負載增加之參數變化之影響，如轉子(葉輪)方位角、波高、水深變化等。

設計者應考量當環境及風力機狀態參數值降低至本標準與 CNS 15176-1/IEC

61400-1:2019 限制值以下時，對負載產生之影響。

設計者可藉由證明某些參數值之變化並不顯著，從而於負載案例模擬中，排除或減少此等參數之考量。通常需要使用限定次數之模擬以證明此參數變化並不顯著。若可以相似方式證明此等外部作用不重要，則可延伸至排除某些外部作用。此負載機制可包含海流、波浪或此過程之元素，如用於轉子(葉輪)－機艙總成相關設計之波浪運動、及/或用於位置保持系統設計與浮式下部結構設計之氣動力負載機制。

在浮式離岸風力機中，支撐結構具有較大的運動潛勢，加上缺少側向(side-to-side)氣動力阻尼，可能造成風、波與海流之方向性對極端與疲勞負載造成更大之影響。

可能須格外留意風及波/海流錯位(MIS)對浮式離岸風力機支撐結構之影響，且應針對每一設計負載狀況(DLC)之情境進行考量。然而，若證明風、波與海流錯位之影響不顯著，表 2 中規定錯位(MIS)之設計負載狀況則可忽略不計。

在某些狀況下，風、波與海流之多向性對作用於浮式離岸風力機支撐結構之負載具有重要影響，主要取決於支撐結構為非軸對稱之程度。表 2 訂定所有負載狀況皆需將多向(MUL)情境納入考量，因在浮式下部結構反應於方向性上可能存在顯著變化。然而，此不代表設計者必須針對完整負載狀況之所有可能組合進行計算。應針對最不利之風向進行評估，考量各場址特殊之海氣象特徵，組合出最嚴重之負載狀況。當設計者能證明浮式下部結構反應對方向性變化不顯著，或已給定一明確且與海氣象特徵一致之最不利方向，則可將表 2 中規定為多向(MUL)之設計負載狀況多向性項目排除。

表 2 中每種設計負載狀況皆以 F 及 U 說明適合之分析型式。F 代表疲勞負載分析，用於評估疲勞強度；U 代表極限負載分析，其中包含材料強度、葉片尖端變形量及結構穩定性。

可基於時序環境資料，準備“F”設計負載狀況列表，該時序資料通常源自後報格點(hindcast grid point)。由於後報之空間解析度高於或相當於浮式離岸風力機運動範圍，因此單一後報點位可作為 FOWT 場址(場地)之代表數據。不同於散布圖，時序環境資料包含連續多變量分布資訊並開啟以下可能性：

- 考量自然發生條件，同時持續追蹤環境組成(風、波、湧浪、海流)方向。
- 使用代表性統計數據作為設計負載狀況參數，而非使用任意分段間格中心值。
- 驗證離散清單相對於原分布之代表性。

在應用環境資料時間序列時，應確保其統計變異性與相對應之長期統計散佈圖一致。

標示 U 之設計負載狀況分為正常(N, normal)或異常(A, abnormal)等 2 類。正常設計負載狀況係指在風力機生命週期中預期時常發生之狀況。風力機通常處於

正常狀態，偶爾碰到一些輕微故障及異常現象。異常設計工況較不常發生，且通常發生在造成系統保護功能啟動之嚴重故障時之設計工況中。應用在極限負載上之局部安全係數 γ_f 係由 N 及 A 等二種設計工況之形式來決定。此等係數參照 IEC 61400-1:2019 之表 3。

模擬要求之數量與時間長度參照 7.5.6 之說明。

表 2 設計負載狀況

| 設計工況 | DLC | 風況 | 波浪 | 海氣象方向性 (風、波、流) | 海流 | 水位 | 其他條件 | 分析種類 | 局部安全係數 |
|-------|-----|--|--|--------------------|-----|----------------------|--------------------------|------|-------------|
| (1)發電 | 1.1 | NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$ 轉子(葉輪)-機 艙總成 | NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$ | MIS, MUL | NCM | MSL | 用於外插轉子(葉輪)- 機艙總成之極端負載 | U | N (1.25) |
| | 1.2 | NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$ | NSS H_s, T_p, V_{hub} 之聯合 機率分布 | MIS, MUL | NCM | NWLR 或 \geq MSL | | F | * |
| | 1.3 | ETM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$ | NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$ | COD, MUL | NCM | MSL | | U | N |
| | 1.4 | ECD $V_{hub} = V_r - 2 m/s,$ $V_r, V_r + 2 m/s$ | NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$ | MIS, 風向變 化, MUL | NCM | MSL | | U | N |
| | 1.5 | EWS $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$ | NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$ | COD, MUL | NCM | MSL | | U | N |
| | 1.6 | NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$ | SSS $H_s = H_{s,SSS}$ | MIS, MUL | NCM | NWLR | | U | N |

表 2 設計負載狀況(續)

| 設計工況 | DLC | 風況 | 波浪 | 海氣象方向性 (風、波、流) | 海流 | 水位 | 其他條件 | 分析種類 | 局部安全係數 |
|------------|-----|---|-------------------------------|-------------------|-----|----------------------|-----------------------------------|------|--------|
| (2)發電及故障發生 | 2.1 | NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$ | NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$ | COD, MUL | NCM | MSL | 正常控制系統故障或電網喪失或主要層控制功能故障(參照 7.4.3) | U | N |
| | 2.2 | NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$ | NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$ | COD, MUL | NCM | MSL | 異常控制系統故障或次要層保護功能相關故障(參照 7.4.3) | U | A |
| | 2.3 | EOG $V_{hub} = V_r \pm 2 m/s$ 及 V_{out} | NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$ | COD, MUL | NCM | MSL | 外部或內部電氣故障，包括電網喪失 | U | A |
| | 2.4 | NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$ | NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$ | COD, MUL | NCM | NWLR 或 $\geq MSL$ | 控制系統故障、電氣故障或電網喪失 | F | * |
| | 2.5 | NWP $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$ | NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$ | COD, MUL | NCM | MSL | 低電壓穿越 | U | N |
| | 2.6 | NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$ | SSS | MIS, MUL | NCM | NWLR | 海況限制保護系統故障 | U | A |
| (3)啟動 | 3.1 | NWP $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$ | NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$ | COD, MUL | NCM | NWLR 或 $\geq MSL$ | | F | * |
| | 3.2 | EOG $V_{hub} = V_{in}, V_r \pm 2 m/s$ 及 V_{out} | NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$ | COD, MUL | NCM | MSL | | U | N |
| | 3.3 | EDC $V_{hub} = V_{in}, V_r \pm 2 m/s$ 及 V_{out} | NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$ | MIS, 風向變化, MUL | NCM | MSL | | U | N |

表 2 設計負載狀況(續)

| 設計工況 | DLC | 風況 | 波浪 | 海氣象方向性 (風、波、流) | 海流 | 水位 | 其他條件 | 分析種類 | 局部安全係數 |
|---------|-----|---|---|-------------------|-----|----------------------|----------|------|--------|
| (4)正常停機 | 4.1 | NWP $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$ | NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$ | COD, MUL | NCM | NWLR 或 $\geq MSL$ | | F | * |
| | 4.2 | EOG $V_{hub} = V_r \pm 2 m/s$ 及 V_{out} | NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$ | COD, MUL | NCM | MSL | | U | N |
| | 4.3 | NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$ | SSS SSS 或未達 SSS 之最嚴苛條件觸 發控制及保護系 統安全限制 | MIS, MUL | NCM | MSL | 最大操作海況限制 | U | N |
| (5)緊急停機 | 5.1 | NTM $V_{hub} = V_r \pm 2 m/s$ 及 V_{out} | NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$ | COD, MUL | NCM | MSL | | U | N |

表 2 設計負載狀況(續)

| 設計工況 | DLC | 風況 | 波浪 | 海氣象方向性 (風、波、流) | 海流 | 水位 | 其他條件 | 分析種類 | 局部安全係數 |
|-----------------|-----|--|--|-------------------|---|----------------------|--------------------|------|--------|
| (6) 停機(待機狀態或惰轉) | 6.1 | EWM 擾流風力模型 $V_{hub} = V_{ref}$ | ESS $H_s = H_{s50}$ | MIS, MUL | ECM $U = U_{50}$ | EWLR | | U | N |
| | 6.2 | EWM 擾流風力模型 $V_{hub} = V_{ref}$ | ESS $H_s = H_{s50}$ | MIS, MUL | ECM $U = U_{50}$ | EWLR | 電網喪失 | U | A |
| | 6.3 | EWM 擾流風力模型 $V_{hub} = V_1$ | ESS $H_s = H_{s1}$ | MIS, MUL | ECM $U = U_1$ | NWLR | 極端轉向錯位 | U | N |
| | 6.4 | NTM $V_{out} < V_{hub}$ $< 0.7V_{ref}$ | NSS H_s, T_p, V_{hub} 之聯合 機率分布 | MIS, MUL | NCM | NWLR 或 $\geq MSL$ | | F | * |
| | 6.5 | EWM 擾流風力模型 ⁽⁹⁾ $V_{hub} = V_{500}$ | ESS ⁽⁹⁾ $H_s = H_{s500}$ | MIS, MUL | NCM ESS ^(a) $H_s = H_{s500}$ | EWLR | 僅適用浮式離岸風力機 支撐結構 | U | 1.0 |

表 2 設計負載狀況(續)

| 設計工況 | DLC | 風況 | 波浪 | 海氣象方向性 (風、波、流) | 海流 | 水位 | 其他條件 | 分析種類 | 局部安全係數 |
|---------------------|-----|---|---|-------------------|------------------|-----------------------------|-----------|------|--------|
| (7) 停機與故障情況 | 7.1 | EWM $V_{\text{hub}} = V_1$ | ESS $H_s = H_{s1}$ | MIS, MUL | ECM $U = U_1$ | NWLR | | U | A |
| | 7.2 | NTM $V_{\text{hub}} < V_{\text{out}}$ | NSS H_s, T_p, V_{hub} 之 聯合機率分布 | MIS, MUL | NCM | NWLR 或 $\geq \text{MSL}$ | | F | * |
| (8) 運輸、組裝、 維護及修理 | 8.1 | 參照 7.4.9。設計條件應載明於設計基礎中。 | | | | | | U | N |
| | 8.2 | EWM $V_{\text{hub}} = V_1$ | ESS $H_s = H_{s1}$ | MIS, MUL | ECM $U = U_1$ | NWLR | | U | A |
| | 8.3 | NTM $V_{\text{hub}} < 0.7V_{\text{ref}}$ | NSS H_s, T_p, V_{hub} 之 聯合機率分布 | MIS, MUL | NCM | NWLR 或 $\geq \text{MSL}$ | 安裝期間無併聯電網 | F | * |
| | 8.4 | 參照 7.4.9。設計條件應載明於設計基礎中。 | | | | | | F | * |

表 2 設計負載狀況(續)

| 設計工況 | DLC | 風況 | 波浪 | 海氣象方向性 (風、波、流) | 海流 | 水位 | 其他條件 | 分析種類 | 局部安全係數 |
|--|------|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------|-----|------|---------------------|------|--------|
| (F1)發電時餘裕度確認及破損穩度確認 | F1.1 | NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$ | NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$ | MIS, MUL | NCM | MSL | 介於完整與餘裕度確認狀態期間之瞬時狀態 | U | A |
| | F1.2 | NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$ | NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$ | MIS, MUL | NCM | MSL | 餘裕度確認狀態 | U | A |
| | F1.3 | NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$ | NSS $H_s = E[H_s V_{hub}]$ | MIS, MUL | NCM | MSL | 洩漏(破損穩度) | U | A |
| (F2)停機(待機狀態或惰轉)下餘裕度確認及破損穩度確認 | F2.1 | EWM $V_{hub} = V_1$ | ESS $H_s = H_{s1}$ | MIS, MUL | ECM | EWLR | 介於完整與餘裕度確認狀態期間之瞬時狀態 | U | A |
| | F2.2 | EWM $V_{hub} = V_1$ | ESS $H_s = H_{s1}$ | MIS, MUL | ECM | NWLR | 餘裕度確認狀態 | U | A |
| | F2.3 | EWM $V_{hub} = V_1$ | ESS $H_s = H_{s1}$ | MIS, MUL | ECM | EWLR | 洩漏(破損穩度) | U | A |
| <p>註^(a) 應藉由以下組合考量每種環境條件的 500 年回歸期(除非應用基於聯合分布的等值線方法)：</p> <ul style="list-style-type: none"> — 500 年回歸期的風、50 年回歸期的波、5 年回歸期的海流。 — 50 年回歸期的風、500 年回歸期的波、5 年回歸期的海流。 — 5 年回歸期的風、5 年回歸期的波、500 年回歸期的海流。 | | | | | | | | | |

以下為表 2 中使用之縮寫：

| | |
|-------------------------|---|
| COD | 同向(參照 6.3.3.2) |
| DLC | 設計負載狀況 |
| ECD | 風向變化之極端相干陣風(參照 CNS 15176 -1 標準) |
| ECM | 極端海流模型(參照 6.3.3.3.5) |
| EDC | 極端風向變化(參照 CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019 標準) |
| EOG | 極端運轉陣風(參照 CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019 標準) |
| ESS | 極端海況(參照 6.3.3.2.4) |
| EWLR | 極端水位範圍(參照 6.3.3.4.3) |
| EWM | 極端風速模型(參照 CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019 標準) |
| EWS | 極端風切(參照 CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019 標準) |
| MIS | 錯位(參照 6.3.3.2) |
| MSL | 平均海水位(參照 6.3.3.4) |
| MUL | 多向(參照 6.3.3.2) |
| NCM | 正常海流模型(參照 6.3.3.3.4) |
| NTM | 正常擾流模型(參照 CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019 標準) |
| NWLR | 正常水位範圍(參照 6.3.3.4.2) |
| NWP | 正常風剖面模型(參照 CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019 標準) |
| NSS | 正常海況(參照 6.3.3.2.2) |
| SSS | 嚴苛海況(參照 6.3.3.2.3) |
| UNI | 單向(參照 6.3.3.2) |
| $V_f \pm 2 \frac{m}{s}$ | 於應分析之範圍中對所有風速之敏感度 |
| F | 疲勞(參照 7.6.3) |
| U | 極限強度(參照 7.6.2) |
| N | 正常 |
| A | 異常 |
| * | 對疲勞之局部安全係數(參照 7.6.3) |

當表 2 中說明風力範圍時，應考量會造成風力機設計最不利狀況之風速。當風速範圍可用一組離散數值表示時，其解析度應足以確定計算之精確度。有關設計負載狀況之定義，可參照第 6 節所述之風況。

備考 1. 一般而言，2 m/s 之解析度足以確保計算之精確度。然而，在功率曲線快速上升之風速範圍，可能需要更細解析度之風速以確保準確度。

在 7.4.2 至 7.4.10 的進一步說明中指出，部分 DLC 允許其他替代公式。當文件提及可替代公式時，則該文件之設計方應決定整個 DLC 分析應使用何種替代公式。

除平均風向有暫態變化之設計負載狀況(DLC 1.4 及 3.3)，計算作用於轉子(葉輪)

—機艙總成之負載時，通常可假設波浪與風同向，且風與波浪均來自單一方向（單向）。

備考 2. 針對 DLC 1.4 及 3.3 之風與波浪，在平均風向瞬間變化之前可假設為同向和單向。

每一設計負載狀況中需考量之極端及平均之機艙轉向錯位，應依據 CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019 所述加以說明。機艙轉向錯位定義為風力機轉子軸與風向間之水平偏差。由於浮式下部結構之轉向運動，以及缺乏機艙轉向控制之通用模擬工具，模擬中呈現之平均機艙轉向錯位可能會與預期輸入值發生偏離，例如，源自位置保持系統之較小轉向勁度或耦合橫搖－平擺(roll-yaw)運動。圖 5 提供了一個偏差之示例。這是可接受的，但應謹慎評估。可配合實際狀況適時修改輸入機艙轉向角。

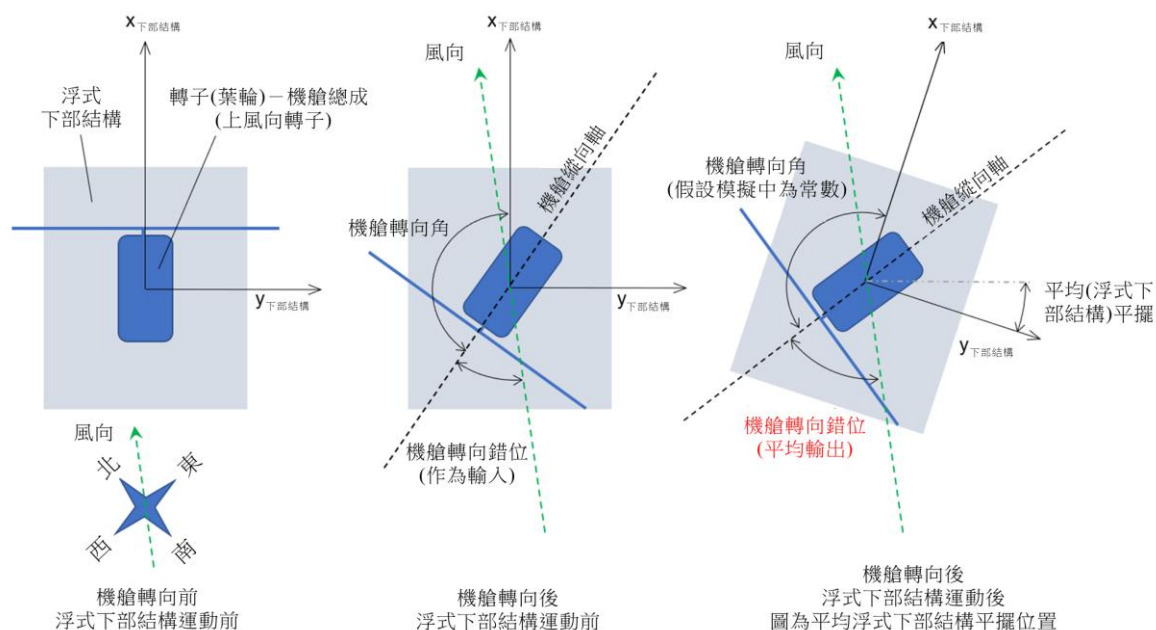


圖 5 模擬中機艙轉向與機艙轉向錯位之俯視圖

7.4.2 發電(DLC 1.1 至 1.6) Power production (DLC 1.1 to 1.6)

在此設計工況中，浮式離岸風力機在運轉中且連接至電力負載上。假設之風力機配置應考量轉子不平衡。設計計算中應採用轉子製造商所規定之最大質量與空氣動力不平衡(如葉片旋角與扭曲變異)。

此外，運轉負載分析中應考量與理論最佳運轉狀態之偏差，如轉向錯位與控制系統追蹤錯誤。

設計負載狀況 DLC 1.1 與 DLC 1.2 具體表達浮式離岸風力機在其生命週期中正常運轉期間因大氣擾流(NTM)及隨機海況(NSS)所產生負載之規定。

DLC 1.1 之分析僅於計算作用於轉子(葉輪)-機艙總成之極端負載時才需要進

行。計算 DLC 1.1 時，應模擬所有運轉情況下平均風速之隨機海況及擾流入流之模擬，以此等負載反應之結果作為求取統計外插值之基礎。

對作用於風力機轉子(葉輪)－機艙總成負載之計算，DLC 1.1 模擬資料(參照 IEC 61400-1:2019 7.6.2.2 與附錄 G)之統計分析應至少包含葉片根部面內彎矩(in-plane moment)、面外彎矩(out-of-plane moment)及葉尖變形量極端值之計算。若由 DLC 1.3 推導而得之葉片根部彎矩極端設計值超過由 DLC 1.1 推導之極端設計值，則可不需進行 DLC 1.1 之進一步分析。

若 DLC1.3 推導而得之葉片根部彎矩極端設計值未超過由 DLC1.1 推導之極端設計值，則可增加用於 DLC1.3 之極端擾流模型之係數 c (參照 CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019)，直到 DLC 1.3 所計算之極端設計值等於或大於 DLC 1.1 所計算之極端設計值。與其他風力機組件有關之負載特徵值可能以分析 DLC 1.3 後增加之 c 值決定。以此作為分析之替代選項，有關每一風力機組件所有負載分量之適當特徵值，可直接決定或由模擬外插。

在 DLC 1.2 中，應假設其具有正常海況條件(NSS)。對每個相關之平均風速可能考量單一之示性波高。然而，設計者應確認所考量之正常海況之數目與解析度足以說明與海氣象完整長期分布有關之疲勞損害。每一正常海況之示性波高、波譜尖峰週期、波浪方向及水位均應依據海氣象參數之長期聯合機率分布，與相關平均風速一同加以考量。有關風力機可用率參照 7.6.3。

DLC 1.3 具體表達極端擾流狀況所產生極限負載之要求。此設計負載狀況(根據 7.4.1)應假設為具有正常海況條件(NSS)，且每一個別海況之示性波高應為依相關平均風速反應之示性波高之期望值。

DLC 1.2 與 DLC 1.3 應考量尾流影響，相關指引參照 CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019 附錄 D。

DLC 1.4 與 DLC 1.5 指定經過挑選來作為浮式離岸風力機使用期間可能發生之重大事件的暫態狀況。對於此設計負載狀況(參照 7.4.1)，應假設為具有正常海況條件(NSS)，且每一個別海況之示性波高應為依相關平均風速反應之示性波高之期望值。

在 DLC 1.4 中，可假設在風向發生瞬間變化之前，風和浪之方向可為同向。

DLC 1.6 說明正常擾流(NTM)及嚴苛海況(SSS)等條件造成之極端負載之規定。動態反應計算應如同非線性波浪運動學一般，適當考量風、波浪及海流負載之動態反應。為確保此點，負載狀況應以擾流入流結合隨機海況之模擬進行分析，其中每個隨機海況至少包含一個等同適用於 SSS 極端波高之非線性波高。若證明為保守，則可選擇嵌入一波高等同嚴苛海況(SSS)極端波高作為不規則波之替代方案，以改善特徵負載效應的收斂性，此程序之額外詳細資訊參照附錄 D，注意事項與替代方案參照附錄 N。海況參數之決定方式描述於 6.3.3.2.3。7.5.6 說明模擬如何執行以滿足 DLC 1.6 之要求。

設計者可藉由特定控制與保護系統功能限制風力機於極限條件下之運轉。控制與保護系統功能應依據第 8 節要求描述，運轉限制可藉由海況或其他量測信號定義。某些情況下，可能發生控制與保護系統不允許於 DLC 1.6 描述條件下運轉之情境。若可證實此情成立，則 DLC 1.6 可在控制和保護系統允許之最嚴苛條件下運轉。

7.4.3 發電加電網併聯之故障或喪失(DLC 2.1 至 2.6)

7.4.3.1 一般

本設計工況包含風力機在發電時因電網併聯之故障或喪失而產生之暫態事件。設計中應考量對風力機負載有相當影響之控制與保護系統之任何故障或電力系統之內部故障(如發電機短路)。此設計工況與疲勞分析有關，參照 DLC 2.4。

應執行故障模式與影響分析或具等效之故障分析以決定故障事件相關之風力機負載。

風力機轉子於故障發生時之方位角位置，可能對負載等級具有顯著影響。故障發生時之方位角位置宜隨機選擇。

DLC 2.1 與 DLC 2.2 應考量如 7.4.3.2 描述之控制系統故障。風力機安全性以兩套獨立功能設置(通過主要層控制功能與次要層保護功能)，可使用 7.4.3.3 所述方法。

故障模式識別、故障模式回歸期評估、故障排除及常見故障原因避免措施等之指引，參照 IEC 61400-1:2019 第 8 節。

在 DLC 2.1 中，額外故障狀況之定義，可依據 IEC 61400-1:2019 中之表 3 考量平均故障時間間隔計算局部負載係數。若故障事件並非與場址條件直接相關，可使用 1 年場址條件定義負載狀況。

對支撐結構具有控制系統(如主動控制系統或被動支撐結構轉向系統(單點繫泊)、主動壓載或具推進器之位置保持系統)之浮式離岸風力機，該系統之故障情境應予以考量。

7.4.3.2 控制系統故障(DLC 2.1 與 DLC 2.2)-定量方法

在 DLC 2.1，下列情形應以正常事件考量之：

- (a) 預期故障模式回歸期為 50 年以下之控制功能故障相關事件。
- (b) 預期故障模式回歸期無法獲得之控制功能故障相關事件。
- (c) 電網連接喪失。

對預期故障模式回歸期在 10 年至 50 年之事件，其應用之局部負載係數為 IEC 61400-1:2019 表 3 說明故障模式回歸期之函數。

在 DLC 2.2，對於故障回歸期大於 50 年之預期控制功能故障事件或內部電力或機械系統故障應考量為異常事件。

回歸期超過 2,000 年及無關於風力機負載之故障事件可忽略。故障事件回歸期係基於對控制或內部電力系統元件處於或進入故障狀態，以致可能發生結構失效事件之機率統計計算。

7.4.3.3 控制系統故障(DLC2.1 與 DLC2.2)-雙層方法(two-layer approach)

此方法可應用於由獨立雙層構成之控制系統結構。在此方法中：

- (a) 主要層控制與保護功能之目標分別為在於保持風力機運轉參數在其正常運轉限制與其設計限制範圍內，及
- (b) 次要層保護功能之目標在於保持風力機運轉參數在其設計限制範圍內。由於主要層控制功能之故障、內部或外部故障或者危險事件之影響，次要層保護功能應被啟動。

對於 DLC 2.1，主要層控制功能故障、保護功能啟動及電網連結之喪失應視為正常事件。DLC 2.2 應包含導致超出限制之控制功能故障及次要層保護功能之啟動。

DLC 2.1 應考量主要層控制功能故障，通常包含與轉速、轉向角及葉片旋角有關之故障。

對於 DLC 2.2，與風力機負載相關之罕見事件，包含啟動次要層保護功能之相關故障，應考量為異常。此類故障可能包含致動器錯誤啟動、煞車系統未啟動及旋角系統之受阻。此負載狀況至少應涵蓋下列事項：獨立過速保護、發電機過載/故障保護、失控之葉片旋角保護(葉片旋角失控)、失控之機艙轉向保護及過度振動或衝擊保護。

7.4.3.4 其他發電期間發生故障或電網併聯喪失(DLC 2.3 至 DLC 2.6)

對於 DLC 2.3，潛在重要風況事件，即極端運轉陣風(EOG)，需與多相電網連結中一個或更多相位喪失之境況相結合，並應考量為異常事件。在此工況中，此兩種事件之時序應以造成最嚴重負載之組合作為選擇依據。

作為前述說明與表 2 中 DLC 2.3 之替代方案，DLC 2.3 可視為正常事件(即負載之局部安全係數為 1.35)，並以隨機風況與波況模擬($NTM - V_{in} < V_{hub} < V_{out}$)結合內部或外部電力系統故障(包含電網連結喪失)。在此工況中，每個平均風速應執行 12 次反應模擬，而對每一反應模擬，針對電力故障發生後之極端反應應進行取樣。故障事件應於初期條件之影響變為可忽略後引入。對每一平均風速之標稱極端反應以 12 個取樣平均極端反應，加上 12 個取樣之 3 倍標準差。DLC 2.3 之特徵反應值係由所有標稱極端反應之極值決定。

若故障或電網連結喪失未造成立即停機且後續負載會導致重要疲勞損害，則應於 DLC 2.4 中，就此情況可能持續期間及其於正常擾流條件(NTM)下造成之疲勞損害進行評估。

製造商應對事件評估預期頻率或持續時間。若可得之無相關資料或資訊，得應用對下列事件之頻率或期間：

- 每年 10 次因過速運轉而停機。
- 每年 24 小時運轉於轉向錯誤事件下。
- 每年 24 小時運轉於旋角錯誤事件下。
- 每年 20 次電網連結喪失。

於 DLC 2.5 中，低電壓穿越以及高電壓穿越能力應視為正常事件，要能符合國內綜合電業電力公司之運轉要求。低、高電壓穿越事件之設計應明確說明下降電壓、上升電壓容許幅度以及持續時間。

備考：低電壓、高電壓穿越狀況一般由電力公司定義為在不關機情況下處理電網干擾或故障之情形。要求在低電壓、高電壓穿越情況下保持運轉之緣由，係因為處理電網干擾或故障之期間，若風力機(特別在風電場)停機，可能會造成電網崩潰。

在 DLC 2.1、2.2、2.3、2.4 及 2.5 中(參照 7.4.1)，應假設為正常海況(NSS)(根據 7.4.1)，每一個別海況之示性波高應為依相關平均風速反應之示性波高之期望值。

在 DLC 2.6 中，應模擬致使風力機無法於極端條件下運轉之海況限制系統的潛在故障。DLC 2.6 被定義為異常事件。

7.4.4 啟動(DLC 3.1 至 3.3)

本設計工況包含浮式離岸風力機從任何待機狀態或惰轉情況進入發電瞬間時產生負載之所有事件。發生之次數應根據控制系統行為進行估計。

若無法取得相似風力機啟動之歷史資料，DLC 3.1 之發生年頻率可假設如下：

- 1,000 次於切入風速之啟動程序。
- 50 次於額定風速之啟動程序，及
- 50 次於最大啟動風速(maximum start-up wind speed)之啟動程序。

對 DLC 3.2，對每一風速，至少應於 EOG 與啟動事件之間考量 4 個不同時間點之事件。第一個時間點應選擇 EOG 開始發生，且當發電功率達最大功率 50 % 時。最後一個時間點應選擇 EOG 開始發生且當發電功率達最大功率 95 % 時。另外至少應選擇額外兩個時間點，平均分布於最大發電功率 50 % 至 95 % 之間。對每一風速，負載特徵值可以 4 個定義的不同時間點的每個極端計算瞬間值之平均值進行計算。

作為 EOG 陣風的替代方案，DLC 3.2 得替代為對每個平均風速使用 ETM 隨機風況模擬進行至少 12 次分析。對每個平均風速，可採模擬極端值之平均值評估標稱極端反應。

在 DLC 3.1、3.2 及 3.3 中(參照 7.4.1)，應假設為正常海況(NSS)，且每一個別海況之示性波高應為依相關平均風速反應之示性波高之期望值。

在 DLC 3.3 中，可假設在風向瞬間改變之前，風與波浪為同向。

7.4.5 正常停機(DLC 4.1 至 4.3)

本設計工況包含浮式離岸風力機從任何待機狀態或惰轉情況進入發電的暫態期間所有導致負載產生之事件。發生之次數應根據控制系統行為進行估計。

若無法取得相似風力機停機之歷史資料，DLC 4.1 之發生年頻率可假設如下：

- 1,000 次於切入風速之停機程序。
- 50 次於額定風速之停機程序，及
- 50 次於切出風速之停機程序。

對於 DLC 4.2，陣風和停機事件的時間選擇應使得 EOG 陣風在相對於停機的不同時間開始，且至少有 6 次事件平均分布於停機開始前 10 秒至功率達到 50 % 初始發電功率等級時之事件。

各不同時間點至少應採用均勻分布之 4 個轉子方位角位置。對各風速，負載特徵值可能以所有考量之方位角位置及時間內極端計算負載之平均進行計算。

若因安全及控制系統於 EOG 陣風期間自動觸發停機，該事件亦應於分析中考量。

作為 EOG 陣風的替代方案，DLC 4.2 得替代為對每個平均風速使用 ETM 隨機風況模擬進行至少 12 次分析。對每個平均風速，可採模擬極端值之平均值評估標稱極端反應。

在 DLC 4.1 與 4.2 中(參照 7.4.1)，應假設為正常海況(NSS)，且每一個別海況之示性波高，應為依相關平均風速反應之示性波高之期望值。

7.4.6 緊急停機(DLC 5.1)

應考量啟動緊急停機按鈕時所產生之負載。

啟動時之轉子方位角位置可能對負載等級有顯著影響。發生故障時之方位角位置宜為隨機。

在 DLC 5.1 中(參照 7.4.1)，應假設為正常海況(NSS)，且每一個別海況之示性波高，應為依相關平均風速反應之示性波高之期望值。

7.4.7 停機(待機狀態或惰轉)(DLC 6.1 至 6.5)

在此設計工況下，停機中風力機之轉子(葉輪)將處於待機狀態或惰轉狀態。DLC 6.1、DLC 6.2、DLC 6.3 及 6.5 應加以分析以判定此工況下之極端負載，而 DLC 6.4 則考量疲勞負載。

在 DLC 6.1 及 6.2 中，極端風力、波浪及海流條件之組合，應使整體極端環境作用(action)具有 50 年之結合回歸期。附錄 I 提供熱帶氣旋條件下之安全等級指引。

對於 DLC 6.1、6.2、6.3 及 6.5，反應計算應適當考量風、波、海流負載之動態反應及非線性波浪運動學；為確保此設計負載狀況，應使用擾流入流結合隨機海況之模擬進行分析。若證明為保守，可將非規則波嵌入相同且合適之單一極端海況(ESS)極端波高，作為改善負載效應特徵之收斂性之選擇方案，此程序之更多的詳細資訊參照附錄 D、注意事項與替代方案參照附錄 N。海況參數應以

6.3.3.2.4、6.3.3.3.5 及 6.3.3.4.3 描述決定。CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019 允許使用穩定風況模型之 DLC 工況，然本標準要求使用擾流極端風速模型。

在 DLC 6.1、6.2、6.3 及 6.5 中，計算作用於浮式離岸風力機之負載時，應考量風與波向之錯位。在可以取得適當的特定場址之風與波向量測數據時，應使用此等資料，推導出與極端風力及波浪條件有關之錯位角範圍。另外，負載計算應以對浮式離岸風力機造成最大負載之範圍內之錯位值為基礎。

當缺少適當場址(場地)特定風與波向資料時，應考量造成作用於浮式離岸風力機最大負載 $\pm 30^\circ$ 範圍之錯位。

若在特徵負載下風力機機艙轉向系統發生滑動，則平均機艙轉向錯位應加入最大可能不利滑動。若風力機具有機艙轉向系統，且極端風況下可能出現轉向移動(如自由轉向、被動轉向或半自由轉向)，則應採用擾流風力模型，且機艙轉向錯位將受擾流風向變化及風力機轉向動態反應控制。另外，若風力機遭遇大幅轉向移動或風速由正常運轉提高為極端狀況期間之平衡變化，分析中應包含此行為。

在 DLC 6.1 中，對於具有主動機艙轉向系統之浮式離岸風力機，若可確定無法得知轉向系統之滑動，則採用擾流極端風力模型時，使用 $\pm 8^\circ$ 之平均機艙轉向錯位。注意此組設計負載狀況模擬(DLC 6.1)不考量極端穩定風速模型。

反應應使用全動態模擬進行評估。7.5.6 明確說明應如何執行模擬以達成滿足 DLC 6.1 工況之要求。

在 DLC 6.2 中，應假設在具有極端風況之暴風之早期出現電網喪失。除非備用電力可讓控制與機艙轉向系統維持至少 6 小時之運作能力，否則應分析最大 $\pm 180^\circ$ 之風向變化效應。對於被動機艙轉向或風向標系統，應進行轉向分析以確定預期的最大機艙轉向錯位。

在 DLC 6.3 中，1 年回歸期之極端風速應與一極端機艙轉向錯位作組合。採用擾流風力模型時應假設 $\pm 20^\circ$ 之極端轉向錯位。

藉由使用上述 DLC 6.1 所相同方法，可符合對 DLC 6.2 及 6.3 模型之要求，參照 7.5.6。

若對 DLC 6.1、6.2、6.3 及 6.5 工況，使用離散數值評估機艙轉向錯位，轉向錯位增量在葉片最大升力扇區內應不超過 10° 。

在 DLC 6.4 中，應考量非發電期間之預期時數，因適用於各風速之波動負載可能造成任何組件之重大疲勞損害(如來自於惰轉葉片之重量)。應特別注意因波浪激振及待機狀態或惰轉狀態之轉子之低空氣動力阻尼影響而對浮式離岸風力機支撐結構形成之共振負載。假設其為正常海況(NSS)。正常海況之示性波高、波譜尖峰週期及方向均應與相關平均風速一同依據適用於預備場址(場地)之海氣象參數之長期聯合機率分布選定。設計者應確認所考量之正常海況之數量與解析度足以計及與海氣象完整長期分布有關之疲勞損害。

DLC 6.5 為浮式離岸風力機支撐結構之穩固性確認，用以檢測系統於極端海氣象條件下的強烈非線性反應。應在無安全係數下使用 500 年回歸期的環境風、波與海流之組合。DLC 6.5 之分析僅於評估作用於浮式離岸風力機支撐結構極端負載時所需。

對安裝於熱帶氣旋影響區域之浮式離岸風力機，可能需要額外的設計考量，以維持與安裝於溫帶區域(extra-tropical regions)浮式離岸風力機相同之安全等級。附錄 G 提供一基於穩固性等級分析之方法，且描述兩個額外負載狀況，以調查停機工況下之浮式離岸風力機，於氣旋海氣象條件下之反應。

7.4.8 停機加故障狀況(DLC 7.1 及 7.2)

因電力網路或風力機故障而產生偏離風力機停機正常行為之情況需要分析。至少應評估下述系統故障：煞車系統、葉片旋角系統及機艙轉向系統。

當機艙轉向系統出現故障時，應考量 $\pm 180^\circ$ 之機艙轉向錯位。若對 DLC 7.1 具有轉向系統故障、使用離散數值評估機艙轉向錯位等情況時，轉向錯位增量在葉片最大升力扇區內應不得超過 10° 。對任何其他故障，機艙轉向錯位應與 DLC 6.1 一致。

在 DLC 7.1 中，故障狀況應與極端風況及波浪條件結合，使整體極端環境行為具有 1 年之結合回歸期。海況參數應以 6.3.3.2.4、6.3.3.3.5 及 6.3.3.4.2 描述方式決定。

藉由與上述 DLC 6.1 相同方法，可符合 DLC 7.1 對模擬之要求，參照 7.5.6。

在 DLC 7.1 中，計算作用於浮式離岸風力機支撐結構之負載時，應考量風與波向之錯位。在可取得適當的特定場址之風與波向量測數據時，應使用此等資料，推導出與極端風力及波浪條件有關之錯位角範圍。負載計算應基於在上述錯位角範圍內對浮式離岸風力機支撐結構造成最大負載。

若無法取得特定場址(場地)之風與波向之適當資料，應考量對浮式離岸風力機支撐結構造成最大負載之錯位。若此錯位超過 30° ，此極端波高可能減少，因為在造成錯位之風向改變之相關期間內，海況之嚴苛程度減少。計算極端波高之降低時，應考量水深、風域與其他相關場址(場地)特定條件。

若在 DLC 7.1 之特徵負載下可能發生機艙轉向系統滑動時，則應考量加入最大可能之不利滑動。

在 DLC 7.2 中，應考量電網故障或風力機故障造成之非發電期間(參照 7.6.3)之預期時數，風力機則應將各風速及海況納入考量。應特別注意因波浪激振及待機狀態或惰轉狀態之轉子(葉輪)之低空氣動力阻尼影響，而對浮式離岸風力機支撐結構形成之共振負載。應假設其為正常海況(NSS)。

對於支撐結構設有主動控制系統(例如主動壓載系統或具主動推進器之位置保持系統)之浮式離岸風力機，應納入該等系統發生故障時之情境考量。

7.4.9 運輸、組裝、維護及修理(DLC 8.1 至 8.4)

7.4.9.1 一般

對於浮式離岸風力機海事操作之一般要求，參照第 12 節。

DLC 8.1 至 8.4 表示與浮式離岸風力機運輸、組裝、維護及修理相關之極限與疲勞負載。設計基礎應說明浮式離岸風力機之運輸、場址(場地)組裝、進出、維護及修理作業中所假設之風況、海洋條件及設計工況，以定義此等負載狀況。若最大規定風況及海洋狀況可造成風力機明顯負載時，則應在設計中加以考量。應在要求條件與設計中所考量之風況及海洋狀況之間提供充分之裕度，以保留可接受之安全位準。可在規定平均風況中加入 5 m/s 以保留足夠之裕度。

浮式離岸風力機於運輸、組裝、進出、維護及修理期間所發生之負載均應列入考量：

- 工具與移動設備之重量。
- 起重機操作之負載。
- 維修風力機之船隻所造成之繫泊及碰撞負載(請見 7.4.9.2)。
- 與直升機操作有關之負載(請見 7.4.9.2)。
- 若相關，拖曳作業期間發展之負載，如渦流引發振動或移動。

有關阻動裝置之設計意見，參照 CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019 之 7.4。

在 DLC 8.2 中，應結合極端風況與波浪條件，使得整體極端環境作用之組合回歸期為 1 年。在缺少資訊定義極端風與波之長期聯合機率分布時，應假設 1 年回歸期極端海況期間發生 1 年回歸期之極端 10 min 平均風速。

得藉由使用描述於 DLC 6.1 之相同方法，以滿足對 DLC 8.2 模擬要求，參照 7.5.6。

在 DLC 8.3 中，應考量離岸風場施工期間以及連結到電網前之非發電期間之預期時數，因各風速及海況可能造成任何組件之重大疲勞損害。應假設其為正常海況(NSS)。正常海況之示性波高、波譜尖峰週期及方向均應與相關平均風速一同依據適用於預備場址(場地)之海氣象參數之長期聯合機率分布選定。設計者應確認所考量之正常海況之數量與解析度足夠，以便計入與海氣象完整長期分布有關之疲勞損害。

7.4.9.2 船舶碰撞與直升機負載(DLC 8.1)

7.4.9.2.1 一般

當相關時，位於水線及接近水線之船靠、爬梯及其他次要結構，應設計使其能夠抵抗作業船舶碰撞，且將其視為正常設計負載狀況。位於水線及接近水線之主要結構，應設計使其能夠抵抗意外船舶碰撞，且需按照下述說明將其視為異常設計負載狀況。

依據船舶尺寸、漂流速率及下部結構幾何，船舶撞擊浮式下部結構後將造成浮式離岸風力機浮式下部結構、塔架及轉子(葉輪)－機艙總成之顯著暫態反

應。因此於整體浮式離岸風力機設計應評估船舶碰撞造成之反應。作業船舶碰撞考量之環境條件應符合勤務船允許接近風力機之最嚴苛情況。分析時，可假設風力機能夠遠端控制為停機或進入維護情況。運轉手冊應載明浮式離岸風力機設施附近作業船舶允許作業之最大示性波高。宜將任何禁止船舶於附近作業之區域載明於運維手冊中。

至少兩種設計工況需於 DLC 8.1 中考量：正常設計工況，表示受操縱勤務船之碰撞；以及異常設計工況，表示漂流船舶之碰撞。只需要考量有計畫靠近船靠或其他通道系統之勤務船。無需考量於風電場中作業但非預期靠近風力機之支援船(如住宿船)的碰撞情境。此等設計工況於 7.4.9.2.2 及 7.4.9.2.3 中描述。

應視各案情境適時考量因直升機操作造成之浮式離岸風力機負載。設計工況、直升機最大尺寸及直升機靠近浮式離岸風力機之外部條件限制應由營運者或設計者提供，並於負載計算中進行考量。

7.4.9.2.2 正常設計工況：受操縱之勤務船

對正常設計工況，特徵碰撞能量應為最大授權勤務船於允許勤務船靠近風力機之最嚴苛海況條件下所造成之預期碰撞能量。應假設船舶指定速率。該與浮式離岸風力機有關的速率應假設不小於 0.5 m/s。應包含風、波浪與海流之影響，以及對船舶動能具影響之附加質量。

以下說明為三種允許用於評估碰撞負載之不同方法。此等方法處理自船艏或船尾以相對船靠(boat landing)之正面或側面方向靠近之水平力量。他們應假設相同尺寸。力量不應同時施加於兩方向。

選項 1：得執行考量下列情況之船舶靠近之詳細動力分析：

- 結合船舶速率與海況以建立船舶碰撞速率。這將考量船舶慣性，以確定海況能造成之加速。船舶速率之保守估計方式於選項 2 描述。
- 船舶排水量與附加質量。
- 船舶、護舷及船靠等彈簧系統之非線性受力與變形特性。

若執行詳細評估所需之充足資訊無法取得時，可以使用之選項 2 或 3 描述於下。

選項 2：若護舷及船靠彈簧系統能夠假設為線彈性反應，可採用下述方法建立碰撞力與船舶速率、碰撞能量與彈簧能量之關聯。

碰撞能量將轉換為引致彈性變形產生之碰撞條件：

$$E_{\text{kin}} = E_{\text{spring}} \quad (12)$$

碰撞能量可由下式計算

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot a \cdot m \cdot v_{\text{impact}}^2 \quad (13)$$

式中， m ：為船舶排水量，單位為 t
 a ：為附加質量係數(船艏或船尾撞擊為 1.25)
 v_{impact} ：為碰撞速率，單位為 m/s

假設船舶運行已抵消海流影響，碰撞速率可以下式評估：

$$v_{\text{impact}} = v_{\text{boat}} + \begin{cases} \sqrt{\frac{g}{a}} \frac{1}{2} H_s & \text{淺水} \\ \pi H_s / T_p & \text{深水} \end{cases} \quad (14)$$

假設線彈性、彈簧能量與彈簧力及勁度之關係如下式：

$$E_{\text{spring}} = \frac{1}{2} \frac{F_{\text{boat impact}}^2}{c} \quad (15)$$

式中， $F_{\text{boat impact}}$ ：為碰撞力，單位為 kN/m
 c ：為碰撞點處沿碰撞方向之結構總彈簧勁度，單位為 kN/m 。

總彈簧勁度(c)，可以下式計算：

$$\frac{1}{c} = \frac{1}{c_1} + \dots + \frac{1}{c_n} \quad (16)$$

式中，勁度值 c_1 至 c_n 表示接觸點處總撓度之不同組成部分，如：

- 船靠結構之局部勁度。
- 浮式離岸風力機之整體勁度。
- 於船靠側之萬向減振器(shock cell)、摩擦條等。
- 護舷及於船側處之局部結構撓度。

一般而言，若假設勤務船為剛性且總能量被傳遞到支撐結構對浮式離岸風力機是保守的。

選項 3：當勤務船碰撞之特定負載不可得時，碰撞區域可以設計以承受 $F = 2.5 \times \Delta$ 之碰撞力，其中 F 是以 kN 為單位之碰撞力， Δ 是以噸為單位之勤務船滿載排水量。

無論選擇何種方法計算碰撞負載，次要結構部件之設計不應限制勤務船垂直運動。次要結構部件亦應足夠強健，除非執行詳細分析以評估考量定向碰撞及摩擦之垂直負載，次要結構部件應能承受垂直施加之 1/2 作業碰撞負載。上述適用於向上與向下方向。

於正常設計負載狀況，次要結構部件，如護舷、船靠及爬梯，應不受到致使其失去各自作為通道結構功能之損傷。

7.4.9.2.3 異常設計工況：操縱失靈之勤務船

對異常設計工況，應假設為最大授權勤務船發生橫向漂流。應評估漂流船舶之碰撞速率，但不應假設其相對於浮式離岸風力機支撐結構小於 $2 m/s$ 。應包含附加質量與護舷之影響，以及船舶碰撞浮式離岸風力機之反應。

若能證明整體安全位準已達標準，則對於異常船舶碰撞之局部安全係數將能減少。

由於此設計工況，允許次要結構部件脫落(torn off)，次要結構部件如包含弱點或局部加強之支撐結構部件，從而避免對此等支撐結構部件造成過度損傷。

由浮式離岸風力機支撐結構吸收之能量，取決於結構與船舶碰撞元件兩者間強度及勁度之比較結果。當支撐結構非常堅硬且強固時，則能量主要由船舶吸收。船舶碰撞後，重要的是檢查浮式離岸風力機支撐結構上任何碰撞負載造成之損傷，及決定任何必須執行之修復工作，以確保支撐結構保有承擔必要負載之能力。結構必須能夠承受 DLC 8.2 損傷狀態之工況，以確保修復工作可執行。

7.4.10 餘裕度確認及破損穩度(DLC F1.1 至 F2.3)

DLC F1.1 及 F2.1 對應從完整狀態(所有繫泊索或張力腿均完好無損)到失去單一繫泊索或張力腿之餘裕狀態(如 3.50 定義)間之暫態情況。DLC F1.2 及 F2.2 為單一繫泊索或張力腿斷裂且結構已到達新的平衡位置後之情況。

對具有超過一個艙區之浮式離岸風力機，應針對 DLC F1.3 及 F2.3 所有相關泛水負載狀況進行調查。並依據 15.5 中對破損穩度之要求進行泛水條件之選擇。若控制及保護系統—參照第 8 節—觸發風力機停機(shut down)或其他風力機行為，則應於 DLC F1.1、F1.2 及 F1.3 中考量，動力系統之改變亦應一併納入考量。

備考 1. 依據控制及保護系統架構，當適用 DLC F2.2 或 F2.3 之應用時，DLC F1.2 及 F1.3 可能變為不再適用(如風力機停機(shut down)後)。

除風及海況條件之外，設計負載狀況 DLC F2.1 至 DLC F2.3 之定義與 DLC F1.1 至 DLC F1.3 相同。於第一群組(DLC F1.1 至 DLC F1.3)中，應使用正常擾流模型(NTM)結合正常海況(NSS)，而於第二群組(DLC F2.1 至 DLC F2.3)中，則應使用具 1 年回歸期之極端風速模型(EWM)結合極端海況(ESS)。

備考 2. 若場址條件或運轉及維護策略不允許及時修復，則應採用更高之回歸期。

進行 DLC F1.1 與 F2.1 暫態情況分析前，需要自完整條件模擬中識別出造成繫泊索最大線張力之負載狀況及隨機種子(random seed)。建議於下列各個時間點進行由完整無損狀態到失去受力最大之繫泊索的暫態分析：

- (a) 在最大線張力之峰值處。
- (b) 在線張力於最大張力發生前達最大張力一半之時。
- (c) 在最大線張力峰值之前一個峰值時。若前一峰值明顯較低時此步驟可省略。

除非繫泊索成簇狀方式排列，否則即時暫態效應可能並不顯著，但因浮式下部

結構到達新平衡位置時可能會觀察到較大的張力，故仍須針對足夠長之持續時間進行模擬；隨後將在 DLC F1.2 及 F2.2 中進行模擬。

為確保因繫泊索失效導致之極端偏移量，當導致最大偏移狀況與導致最大張力狀況顯著不同時，可能需要擴展完整負載狀況識別至最大偏移狀況。

在進行負載狀況 DLC F1.1 至 F2.3 之模擬期間，浮式離岸風力機可能經歷劇烈運動及機艙轉向錯位(如當最嚴重狀況下之轉向運動，轉子之入流能自上風移動至下風)，相關情境應適時納入考量。

若為非餘裕位置保持系統，則可忽略 DLC F1.1、F1.2、F2.1 及 F2.2，但此情況下需考量額外之安全係數，參照第 14 節。

7.5 負載與負載效應計算

7.5.1 一般

負載及負載效應計算之進行應使用適當方法以考量浮式離岸風力機對相關外部條件之結構動態反應。應依循 IEC 61400-1:2019 之 7.5 指引說明，並輔以本標準 7.5.2 至 7.5.7 之特定離岸指引。

頻域方法歷來常用於進行離岸浮式結構分析，而時域方法通常用於風力機分析以考量氣動力、結構動力與控制系統之非線性現象。若將頻域方法應用於浮式離岸風力機分析，則應確認計算出之負載已達到或高於受認可時域方法達到之安全位準，並且適用於每一頻域方法之負載狀況。

一般而言，浮式下部結構之極端負載效應被評估為預期最大值。對具有顯著非線性反應之浮式下部結構，詳細評估作業應確實執行以取得統計變異性，確保達到目標安全位準，進一步詳細資訊參照附錄 N.3.3。

7.5.2 水動力負載之相關性

對有關浮式離岸風力機支撐結構設計之負載計算，應考量 7.3.1 至 7.3.7 描述之所有負載狀況。負載計算應基於代表浮式離岸風力機場址之外部條件。

因支撐結構之動態反應，作用於浮式離岸風力機下部結構之水動力及位置保持系統負載，能直接影響塔架及轉子(葉輪)-機艙總成，應予以考量。

7.5.3 水動力負載之計算

進行作用於浮式離岸風力機支撐結構之水動力負載計算時，應使用適當方法。浮式離岸風力機下部結構之潛在大體積與大幅運動，可能會影響相較於固定式離岸風力機之水動力負載計算。當適當時，宜考量對此等效應進行適當處理。繞射對於大體積結構相當重要，因該結構會使波形產生顯著改變。因此，水動力負載無法在缺乏結構的情況下使用水粒子運動學來進行計算。導致 IEC 61400-3-1 建議之非線性強制波浪法(constrained wave calculation method)無法應用，該方法將非線性規則波浪納入一連串不規則線性波中，並使用莫利森公式計算水動力負載。在繞射相對重要之情況下，波浪之隨機與非線性性質及水動力負載可使用二階(或更高階)勢流波-體交互作用理論考量之，包括適當狀況

下之平均漂移、慢漂移(差頻(difference-frequency))，以及和頻效應(sum-frequency)。垂直自由度(浮式下部結構之起伏、橫搖、縱搖)之差頻激振亦可能十分重要，應適時予以納入。張力腿式平台/浮筒之彈振(springing)與鳴振(ringing)激振對緊繫式繫泊索(taut-line mooring)與張力腿之設計特別重要。因此，若證明為保守，可選擇將等效極端波高之線性或二階波嵌入非規則波中，以改善特徵負載效應之收斂性，此程序更多詳細資訊參照附錄 D、注意事項與替代方案參照附錄 N。

波浪輻射負載，包含記憶效應，對處於大幅運動之大型結構很重要，因為結構之運動會產生自由表面波。在此狀況下，該負載與結構之振盪速度與加速度成正比，並且受其運動歷程影響，能視情況以勢流波-體交互作用理論(potential-flow wave-body interaction theory)計算相關負載，包含頻率相關之附加質量及阻尼。

勢流波-體交互作用理論之應用常假設浮式下部結構為剛體(rigid body)。然而，應適時考量浮式下部結構之順應性，包含水彈性效應(hydro-elastic effects)。由勢流波-體交互作用理論所得之水動力負載應增加流動分離帶來之額外負載，包含基於流體及浮式下部結構間相對速度之黏性阻力。黏滯效應對垂盪板(heave plate)之阻尼特別重要。

單純使用莫利森公式來計算波浪對浮式下部結構之動態負載，且未結合勢流理論(通常適用於水動力影響較小之細長結構，如立柱浮筒式下部結構及細肢型半潛式下部結構)，則應考量來自未擾動波場作用於結構錐形部分與底部表面之垂直力(Froude-Krylov 力)及可能產生之繞射力。

當處理大波浪及/或浮式下部結構大幅運動時，應評估非線性波浪負載。

附錄 B 提供能考量作用於附屬物與海洋附生物影響之浮式結構水動力計算指引。海洋附生物對作用於浮式離岸風力機支撐結構之水動力負載之影響應加以考量，方法為將構件之外部尺寸增加「硬體」海洋附生物之預期平均厚度，並依據海洋附生物之數量及厚度，將構件分為「平滑」或「粗糙」兩類。缺少更多明確資訊情況下，宜假設位於北海結構之海洋附生物於平均海平面以上為 2 m。對於其地理位置，宜取得場址特定指引。

若海洋附生物厚度完全包覆特定構件之組件，則於模擬作用於浮式離岸風力機支撐結構之水動力負載之模型時，應適當納入其影響。

7.5.4 海水/湖水結冰負載之計算

於可能發生海水/湖水結冰地區應考量海水/湖水結冰負載計算。海水/湖水結冰應依據 ISO 19906 進行評估。此外，應將海水結冰負載與因冰、風、波或海流作用導致浮式離岸風力機引起之運動一併考量。當計算海水結冰負載時，亦應考量位置保持系統之柔性。

若位置保持系統及電力電纜之部分暴露於結冰負載處，則應考量該負載，並依

循 ISO 19906 之規範。

冰管理系統可用於降低因結冰作用造成之負載。設計中應考量冰管理對浮式離岸風力機行為之影響。

7.5.5 支撐結構反應評估之總阻尼評估

7.5.5.1 一般

當浮式離岸風力機結構之動態反應建模，對一浮式離岸風力機之負載承受組件，結構總阻尼為預估疲勞與極限負載之關鍵元素，且宜小心選定該值。浮式離岸風力機之阻尼有數種來源，包含源自下列項目之能量散逸：

- 氣彈力。
- 水動力。
- 結構組件。
- 土壤能量散逸，當適用。
- 被動阻尼裝置。
- 未包含於本章節，但可能使用之主動阻尼裝置或阻尼控制功能。

此等通常具有不同特性。部分為黏性，部分為材質遲滯性與其他類似摩擦。因此阻尼之狀態變數可能為線性或非線性。阻尼常以等效黏性模態阻尼表示。需要強調的是，此等效黏性阻尼取決於振動幅度。黏性阻尼通常以臨界阻尼之比例或對數遞減表示。在任何情況下，模態頻率與質量為隱性，且當採用一案例之阻尼至另一案例時應小心，如風力機尺寸不同時。

考量大量風與波向錯位之動態模擬，得證明由波浪力引發之浮式離岸風力機支撐結構高位準共振反應，因為橫向氣彈力對阻尼影響極低。設計者應特別注意確保支撐結構模型之橫向移動阻尼為可靠。

7.5.5.2 氣動力阻尼

氣動力阻尼應於氣彈力模擬中考量。

7.5.5.3 水動力阻尼

水動力阻尼係源於浮式下部結構、位置保持及動態電力電纜系統與水之交互作用而產生。此阻尼主要由兩來源構成：浮式下部結構之輻射阻尼與黏性阻尼以及位置保持及動態電力電纜系統之黏性阻尼。

流體黏性阻尼產生自結構浸水部分與周圍流體之相對速度。水動力黏性阻尼與莫利森公式之流動拖曳力項有關。莫利森公式中藉由流體粒子相對速度考量黏性阻尼。

輻射阻尼產生自結構浸沒部分之運動，因此產生自結構向外之輻射波。此機制代表系統能量損失，並為一阻尼形式。

7.5.5.4 結構阻尼

結構阻尼原則上代表源於遲滯應力-應變關係之材料阻尼，但源自浮式離岸風力機支撐結構內部之阻尼效應同樣得涵蓋於此值，此等包含如平台、爬梯、

升降機及懸掛之未固定垂直電纜。

7.5.5.5 被動阻尼裝置之阻尼

總阻尼能藉由採用被動阻尼裝置增加。應藉由量測與測試證明源自此類裝置之阻尼效應。

7.5.6 模擬規定

7.5.6.1 一般

利用結構動態模型之動態模擬通常用於計算風力機負載。某些負載情況具有隨機風力及/或波浪輸入。在所有情況下，負載資料之總時間長度應足以保證考量之系統組件其特徵負載效應估計之統計可靠性。一般而言，應進行敏感度分析以決定模擬之長度與數量。應將 6.4.3 與 6.4.4 定義之離散化納入考量，現實模擬時所考量之每個平均輪轂高度風速與海況之總時間應不少於 1 h，無論是連續 1 h 或 6 組 10 min。緩慢變化的反應對於某些浮式離岸風力機組件很重要，如繫泊系統，因此現實狀況中情境應於模擬時充分體現。然而在這些設計負載狀況下，最低計算要求會比較繁雜：

- 在 DLC 2.1、DLC 2.2 及 DLC 5.1 中，每個事件至少應在既定風速及海況下進行 12 次 10 min 模擬。
- 在 DLC 1.1 中，每一平均風速及海況組合需進行之模擬次數與時間，應足以求得極端值之可靠長期機率分布，供外插求得特徵負載效應。
- 對 DLC 1.2，對每個平均風速與海況組合進行模擬之數量與週期，應足夠以避免隨機種子之依賴性，一般而言，如重複使用相同波浪隨機種子搭配不同風況隨機種子為不足。另一方面，對每個平均風速與海況並考量不同錯位組合，進行一次模擬可提供足夠之精確度。
- 對 DLC 1.6、2.6、6.1、6.2、6.3、6.5、7.1 及 8.2 等工況，應執行至少進行 6 次 1 h 模擬。若證明反應變化緩慢或不重要者，可執行 6 組 6 次 10 min 模擬，其中每組 6 次模擬等同 1 組 1 h 模擬。6 組模擬中，每組至少一個 10 min 模擬應採用具 N 年回歸期輪轂高度之 10 min 平均風速，而其他則可使用具適當相關擾流等級之 N 年回歸期之 1 h 平均風速值。在相似方法下，6 組模擬中，每組至少 1 個 10 min 模擬應包含 N 年回歸期之波高， H_N 。對每次模擬應考量 N 年回歸期示性波高值。若設計者能證明以該方法評估之極限反應不小於以 1 h 實現獲得之結果，則可採用該方法。為獲得合適之極值分布，可能需要更多模擬，但最低需考量 6 次模擬。

為確保頻譜形狀、可能共振反應及避免週期性之描述，隨機海況之代表頻譜需要求最少數量頻譜分量。

在包含隨機海況及擾流流場模擬、且已給定風速範圍之負載狀況中，特徵負載效應之超越機率應在考量浮式離岸風力機預備安裝場址(場地)之正常海況及風速之聯合機率分布條件下計算。因為許多負載計算包含有限期間之隨機

模擬，因此依規定之回歸期決定之特徵負載效應可能大於模擬中計算之任何值。

對具指定之決定性風況及相關隨機海況之負載狀況，如 DLC 1.4、1.5、2.3、3.2、3.3 及 4.2 (除非 7.4.1 中說明排除之海況)，負載效應特徵值應為最嚴重條件下之計算暫態值，該值為相關隨機海況最嚴重計算負載效應之平均值。擾流入流與不規則海況同時使用時，應使用針對不同隨機時段之最壞狀況計算負載效應之平均值，但 DLC 2.1、2.2 及 5.1 除外。在此等狀況中，負載效應之特徵值應為所有負載效應最大值中前一半之平均值。

確定性風況通常會導致系統組件在短時間內(以秒為單位)出現極端負載。短期極端負載與浮式下部結構潛在低頻大幅度運動之間的相位可能很重要。

(a) 與方向性(MIS and MUL)相關需求及標準可詳章節 7.4.1。

(b) 浮式離岸風力機相對於固定式離岸風力機的獨特設計特徵和動態特性可能決定了模擬要求的變化。在適當的情況下，應考量以下子節中之因素。

7.5.6.2 確保統計可靠性

應評估計算負載的統計可靠性，並應考量風速、風向，波高、波週期、波向、海流流速、方向、潮汐變化的所有可能組合。將每個環境參數的可能範圍劃分為各運行模擬大小的分段間格，藉由合理的計算工作執行足夠精度的負載分析。為了減少所需的分段間格總數，可搭配合適的劃分原則將方向和波週期範圍進行粗略的劃分。

在每個分段間格中，藉由適當數量且足夠時間長度的模擬來執行負載分析相當重要，據以確保計算結構負載結果之可靠性。應根據浮式離岸風力機支撐結構和離岸場址(場地)條件，確定每個設計負載狀況的適當模擬次數和時間長度，但不應少於上述規定。上述內容建議針對多數設計負載狀況進行 10 min 模擬，並使用至少 6 個隨機風浪種子，使每種環境條件累積的隨機風浪輸入時間長度達 60 分鐘。選擇 10 min 的模擬長度是基於風速變化的譜隙(spectral gap)，該譜隙位於風譜中的擾流峰值和每日尖峰之間。在此頻帶內，10 min 的擾流風可近似為穩態。海上石油和天然氣產業亦採用類似作法，對浮動系統每次模擬應用 1 h 到 6 小時之模擬時長，考量較低頻率下波浪的譜隙、浮式下部結構的低自然頻率以及二階慢漂移水動力效應。

僅延長浮式離岸風力機模擬時間可能並不理想。擾流風模擬通常假設風況為穩態條件，因此模擬時間超過 1 h 所產生的擾流風不具備物理合理性。並且，產生具有足夠空間範圍、足夠空間和時間解析度以及超過 1 h 模擬時間之擾流風數據，對於大多數計算機而言計算成本過高，不易生成和儲存。此外，延長模擬長度會引入額外的隨機資訊(及更大的極值)，將導致更大的極限結構負載，且與離岸因素無關。

為了避免此等風資料問題，如果浮式離岸風力機考量運行模擬時間遠超過 10

分鐘，則建議使用重複週期性擾流風資料。藉由傅立葉變換技術產生的擾流風資料是週期性的，其週期等於資料集的長度(通常為 10 min)。可以使用總模擬長度(最多 6 小時)的波浪數據，連續重複此週期性風數據，執行超過 10 min 的風浪組合激振模擬。應確保使用週期性風資料不會激振浮式離岸風力機的低頻反應。或者，藉由不同資料庫之間的適當混合，可以將較短且不同的擾流風資料集連接成較長的資料集；在這種情況下，應確保混合不會造成浮式離岸風力機的非物理性激振，並且極端風事件能符合預期的統計特性。對於極端海況，應根據給定基準週期場址(場地)評估所得之平均風速和示性波高，調整為模擬長度進行對照。

對於浮式離岸風力機可忽略之慢漂移效應極限負載，若模擬次數足以確保計算之結構負載的統計可靠性，單次模擬之時間可不超過 10 分鐘。即只要改變模擬次數使隨機風浪資料中的隨機資訊總量保持恆定，就可以使用不同時間長度的模擬值來計算相同的極限負載。模擬長度要求的評估可能需要比較不同模擬長度間之極限負載。為了比較不同模擬長度間之極限負載，平均化技巧相當重要。應將相同總模擬長度之極限負載進行比較，或將較長之模擬長度劃分為最短模擬長度並比較其平均最大值。

對於浮式離岸風力機之疲勞負荷，計算未閉合循環(unclosed cycles)之方法可能較採用模擬長度之方法具更高之敏感度，參照 7.6.3。

7.5.6.3 浮式離岸風力機支撐結構自然頻率之考量

浮式離岸風力機支撐結構之頻率範圍可能較固定式系統低。因此，為了捕捉瞬態期間潛在之極端負載或足夠疲勞循環數，可能需要增加浮式離岸風力機啟動和停機事件之模擬長度。浮式離岸風力機於系統亦可能設計具備超出固定式風力機中通常實施之控制監測機制。在分配模擬的停機事件數量時，應考量額外的監測觸發因素是否可能對評估總體疲勞負載具備重要意義，特別需針對可能觸發此類監測的條件進行考量。

由於動態模擬之初始條件，通常會影響模擬週期開始期間之反應統計數據，因此在任何分析中，應適當排除部分初始數據。這種初始條件之作法對於浮式離岸風力機而言尤為重要，因為浮式下部結構通常具有較長之自然週期及較低阻尼。應選擇適當的時間長度，以確保初始數值暫態效應已充分衰減，且浮式下部結構已達到準靜態位置。為了降低每次模擬所需初始時間，建議針對特定盛行風、浪和操作條件，設定數值模型之狀態(特別是葉片節距角、轉子速率、浮式下部結構之縱移及傾側)進行初始化。

浮式離岸風力機之塔架第一彎曲模態頻率(包含前後向及側向彎曲模態，主要受塔架彎曲主導)，通常高於固定式離岸系統，係因其具備「自由-自由」(free-free)端邊界條件。此特性對疲勞負載評估尤為關鍵，特別是在特徵頻率可能接近諧波激振頻率(例如葉片通過頻率及其諧波)之情況下。影響此類頻率正確

計算之主要參數如下：

- 轉子(葉輪)－機艙總成之質量、慣性、質心位置及對於柔性較高之轉子其葉片之彎曲勁度。
- 塔架之彎曲勁度及質量分布。
- 浮式下部結構之質量、慣性及質心位置。
- 浮式下部結構於相應彎曲方向上之勁度。
- 流體動力附加質量及慣性。
- 靜水勁度(hydrostatic stiffness)。
- 位置保持系統之剛性及慣性。

一般而言，在存在不確定性之情況下，特徵頻率應相對於激振頻率採取保守設定。因此，於設計過程中，針對耦合系統特徵頻率之建模和評估應特別留意。在所有情況中，設計者必須確保對影響負載分析之耦合特徵頻率進行適當估計，並將其納入模擬模型中。

當簡化用於負載分析之系統結構動力學模型，且未能完整包含所有浮式支撐結構或風力機之撓曲自由度時，可另行評估耦合系統特徵模態。必須針對負載模型進行適當修改，據以確保特徵頻率之一致性。模型建置時，應納入系統中所有合理存在之動力學行為，包含浮式下部結構和轉子(葉輪)－機艙總成中之撓曲模態。

下列情況應特別注意：

- 整體結構組件材料性質之變化。
- 整體結構組件之指定尺寸公差。
- 系統質量特性的變化。
- 全生命週期之演變。
- 不同運轉條件下之頻率變化。
- 建模假設之保守性。

7.5.7 其他要求

每一設計負載狀況中，7.3.1 至 7.3.7 所述之所有負載均應列入考量。當相關時，以下項目亦應列入考量：

- 風力機本身造成之風電場擾動(尾流引起之速度、塔架陰影等)。
- 三維氣流對葉片空氣動力特徵值之影響(如三維失速與空氣動力尖端損失)。
- 不穩定空氣動力效應。
- 結構動力學與振動模式之組合。
- 氣彈力效應。
- 葉片變形量，包含與浮式離岸風力機支撐結構之間隙。
- 浮式離岸風力機及其支撐結構控制與保護系統之行為。
- 浮式離岸風力機之葉片或其他零件結冰，對風力機空氣動力及動態特徵值之

影響。設計者應特別考量轉子(葉輪)－機艙總成結冰對負載與浮動穩度之影響。

- － 累積海洋附生物質量對浮式離岸風力機支撐結構共振頻率及動態負載。
- － 風力機動態對空氣動力及水動力負載之組合反應。
- － 非線性波浪運動。
- － 繞射，參照附錄 B。
- － 浮式下部結構及位置保持系統之渦流引發振動及運動，參照附錄 B。
- － 位置保持系統如懸鏈式(catenary)、半緊繫式(semi-taut)或緊繫式(taut)包含阻尼之非線性行為及動態效應，參照 ISO 19901-7，或若為張力鏈，參照 API RP 2T。
- － 繫泊索及錨與海床間之非線性交互作用。
- － 浮式下部結構受波擊脈衝(slam impulse)之動態激振(顫振)及振動(彈振)，參照附錄 B。
- － 沖激(sloshing)。

在許多情況下，關鍵位置下既定之風力機組件之局部應變或應力會受同時間多軸向負載之控制。在此情況下，有時使用模擬所輸出之正交負載(orthogonal loads)之時間序列描述設計負載。當採用此種正交分量時間序列計算疲勞與極限負載時，此時間序列亦應以保留其相位與強度方式加以組合。因此，此種直接方法係以明顯應力之來源作為歷時資料。接著便可把極端與疲勞預測法用在單一訊號上，以避免負載組合之問題。

當假設最不利的組成成份值同時發生時，則極限負載分量亦可用保守之方式加以組合。當採用此選項時，應在所有可能組合中，採用最大與最小之極端分量值，以避免非保守設計。

對風與波向錯位評估要求在 6.3.3.2 中具體說明。當風與波向分布考量多方向性時，則應考量產生應力之方向分布。

與混凝土相關之極限狀態，如水密性(tightness)、裂縫張口(crack-opening)的設計條件詳述於附錄 Q。

7.6 極限狀態分析

7.6.1 方法

7.6.1.1 一般

本標準使用局部安全係數法或工作應力設計(WSD)法說明負載與材料上之不確定性與變異性、分析方法之不確定性及關於故障後果之結構組件之重要性。浮式離岸風力機之轉子(葉輪)－機艙總成之極限狀態分析，應符合 CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019 標準所述之規定。對於浮式離岸風力機支撐結構之設計，應遵守 7.6.1.3 所述之規定。極限狀態分析包含：

- － 極限強度分析(參照 7.6.2)。

- 疲勞分析(參照 7.6.3)。
- 使用性分析(參照 7.6.4)。

浮式離岸風力機支撐結構之結構設計應依據局部安全係數設計法或工作應力設計法。如依據 ISO 19904-1，局部安全係數設計法和工作應力設計法被視為並行要求。對於符合 ISO 19904-1 之浮式離岸風力機支撐結構之疲勞設計，所有局部安全係數應設定為 1.0(unity)，因此局部安全係數法與工作應力設計法可視為等效。

由於相關浮式下部結構設計額外要求也許會依據 ISO 19904-1，其係應用不同極限狀態分析方法，附錄 L 提供此等差異及如何解決差異之說明。

應使用適當方法，依據設計負載狀況(DLC)對浮式下部結構之極限狀態進行結構評估，以驗證經認可船級協會(RCS)規範中寸法計算式(scantling equation)決定(如 ISO 19904-1 所定義)寸法(scantling)之適用性。

此外，作為浮式離岸風力機極限狀態分析的一部分，亦應執行使用性分析，參照 7.6.4。

7.6.1.2 設計準則

當設計負載效應(S_d)不超過設計負載阻抗(R_d)時，該結構或結構組件之安全程度可視為足夠：

$$S_d \leq R_d \quad (17)$$

此為設計準則。設計準則亦稱為設計不等式。對應之等式 $S_d = R_d$ 為設計方程式。該設計不等式應依 7.6.1.3 中定義之局部安全係數法或 7.6.1.4 中定義之工作應力設計法進行驗證。

7.6.1.3 局部安全係數法

7.6.1.3.1 設計負載效應

求得與特定負載 F_i 有關之設計負載效應 S_{di} 之方法有二種。

方法 1—將特徵負載效應 S_{ki} 乘以負載效應之局部安全係數 γ_{fi} ，得出設計負載效應 S_{di} 。

$$S_{di} = \gamma_{fi} S_{ki} \quad (18)$$

式中，特徵負載效應 S_{ki} 由特徵負載 F_{ki} 之結構分析求得。

方法 2—設計負載效應 S_{di} 由設計負載 F_{di} 之結構分析求得。式中將特徵負載 F_{ki} 乘以負載效應之局部安全係數 γ_{fi} ，得出負載效應 F_{di} 。

$$F_{di} \leq \gamma_{fi} F_{ki} \quad (19)$$

方法 1 通常在適當描述動態反應為主要考量時，用於求得設計負載效應。

方法 2 則通常用於局部結構設計，當適當描述非線性材料行為或幾何非線性特質或二者均為主要考量時。在目前的浮式結構情境下，後者僅限於解決

動態平衡後之後處理。二種方法之差別說明於圖 6。負載及負載效應之說明參照附錄 M。

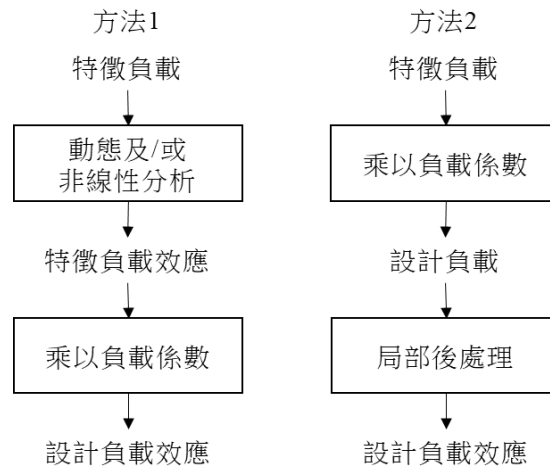


圖 6 兩種計算設計負載效應的方法

7.6.1.3.2 設計阻抗

有 2 種方法可求得特定結構組件之設計阻抗 (R_d)，係基於可涵蓋材料不確定性及其他影響阻抗其他因素之材料係數。

方法 1 – 設計阻抗由特徵材料強度求得， R 為等同於給定材料強度及材料係數之結構組件阻抗：

$$R_d = R \left(\frac{1}{\gamma_m} f_k \right) \quad (20)$$

式中， γ_m 為材料強度之材料係數， f_k 為材料強度之特徵值。

方法 2 – 設計阻抗由特定結構組件之特徵阻抗求得：

$$R_d \leq \left(\frac{1}{\gamma_m} R_k \right) \quad (21)$$

式中， γ_m 為特定構件之材料係數， R_k 為組件阻抗之特徵值。

依據 CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019 之規定，公式(18)與公式(21) 一起使用。有些標準，如 ISO 19900，規定公式(19)與公式(21)結合使用，但其他標準，如 ISO 19903，則公式(19)及公式(20)結合使用。由於上述之選擇會影響構件之安全位準，設計者必須保持謹慎以確保最終浮式離岸風力機安全位準符合目標最小要求。

7.6.1.4 工作應力設計法

依照工作應力設計法對鋼構浮式風力機塔架及浮式下部結構進行極限狀態設計檢核時，7.6.1.3 中所引用的所有局部安全係數均取為 1.0 (unity)，並取設計值作為代表值；在設計檢核時，應用適當之全域安全係數或使用因數 (utilization factors)。

設計驗收準則係以適當之允許應力(allowable stress)表示。允許應力 $\sigma_{\text{allowable}}$ 係依據設計條件與應力類型所定之單一安全係數 $S.F.$ ，配合規定之最低降伏強度 σ_y 計算而得，計算方式如下：

$$R_d = \sigma_{\text{allowable}} = \frac{\sigma_y}{S.F.} \quad (22)$$

此外，結構組件中因受壓縮、彎曲或剪切而產生之應力，不得超過允許挫曲應力 σ_{buckling} ，此應力由臨界壓縮挫曲應力或剪切挫曲應力 σ_{cr} ，除以安全係數 $S.F.$ 而得，公式如下：

$$R_d = \sigma_{\text{buckling}} = \frac{\sigma_{\text{cr}}}{S.F.} \quad (23)$$

7.6.2 極限強度分析

7.6.2.1 一般

塔架及浮式下部結構之系統及組件設計阻抗，應依據 ISO 離岸結構設計標準或其他經認可之離岸標準求得。此外，塔架之設計阻抗可依據 CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019 求得。本標準中指定之極限強度設計負載狀況及相關之負載安全係數應於塔架及浮式下部結構之設計中應用。

對於評估的每種塔架及浮式下部結構組件及表 2 中適用極限強度分析之各種負載狀況，公式(17)中的設計準則應以最小臨界極限狀態驗證，並以最小餘裕為基礎進行確定。

若浮式下部結構之設計係依據 ISO 標準或其他經認可之離岸標準基於類似設計原則，應使用 7.6.1.3 之方法 2，適當地考量土壤非線性之影響。在典型設計工況中，除永久負載以外之主負載為風力負載、水動力負載及繫泊負載。浮式下部結構、位置保持系統及錨之設計負載效應，可將設計風力負載效應視為適當介面高度，如塔架法蘭接頭或繫泊連接點(如錨鏈扣(chain stopper)或導索器(fairleads))之外部負載，隨同水動力負載與永久負載等設計值加以套用，進行結構分析後求得。

7.6.1.3 中的方法 1 可用於通過對組合的特徵風，水動力學和永久負載的綜合動態分析而產生的特徵負載影響應用通用負載安全係數來確定設計負載效應。在此種狀況下，應注意局部安全係數之校正，以補償未針對浮式下部結構在反應方面之非線性製作模型。此校正過程須確保結構可靠性具有與本標準規定中所述之相同等級，包含對相關 ISO 設計標準之參照。

轉子(葉輪)－機艙總成之極限強度分析應依據 CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019 決定。位置保持系統之極限強度分析已涵蓋於第 14 節。

7.6.2.2 負載局部安全係數

負載局部安全係數應為 CNS 15176/IEC 61400-1 所指定之值。如 CNS 15176/IEC 61400-1 中之說明，DLC 6.1 與 DLC 6.2 之負載局部安全係數，係

藉由假設年度最大風速變異係數小於 15 % 推得，然於熱帶氣旋情況下並非總是如此。除 CNS 15176/IEC 61400-1 之指引外，本標準附錄 G 提供熱帶氣旋情況下之安全位準之指引。

7.6.2.3 阻抗及材料之局部安全係數

塔架及浮式下部結構之系統及組件設計阻抗，應依據 ISO 離岸結構設計標準或經認可之其他離岸標準求得。因此，用於評估極限設計極限阻抗、材料強度及/或極限阻抗，以及其相關材料及/或極限阻抗安全係數之公式，應由先前提及之標準取得。此外，塔架之設計阻抗可依據 CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019 求得。

7.6.2.4 特殊局部安全係數

當以量測或以超乎一般之信賴度量測確認之分析得到負載之大小時，則可以採用較小之負載局部安全係數。設計文件中應說明所採用之所有局部安全係數值。

7.6.2.5 工作應力設計法

對梁柱及管狀構件，個別應力分量不應超過其容許應力。對於具有組合負載的構件，應考量應力的疊加效應。

對多軸負載條件下之板結構，應以馮米塞斯(von Mises stress)(或等效應力)表示其應力狀態，且不得超過其容許應力。

一般而言，應依據符合表 3 之降伏安全係數。當負載強度由量測或經量測驗證建立具超乎一般信賴度之分析方法時，則得採用較低降伏應力之安全係數。所有降伏應力安全係數值之使用應於設計文件中說明。

表 3 降伏應力安全係數

| 應力類型 | 正常(N) | 異常(A) | 運輸及豎立 |
|----------|-------|-------|-------|
| 軸應力及彎曲應力 | 1.5 | 1.25 | 1.67 |
| 剪應力 | 2.26 | 1.89 | 2.52 |
| 等效應力 | 1.33 | 1.11 | 1.48 |

一般而言，對受壓、彎曲或剪力作用之構件，挫曲安全係數對於正常(N)條件下之應採用 1.50、對於異常(A)條件下為 1.25、及對於運輸及豎立(T)條件下為 1.67。然而，若負載強度由量測或經量測驗證建立具超乎一般信賴度之分析方法時，則安全係數對於正常(N)條件下之應不低於 1.25、對於異常(A)條件下不低於 1.04、及對於運輸及豎立(T)條件下不低於 1.39。

承受壓縮、彎曲或兩者組合負載作用之梁柱及管接頭之容許應力額外要求，應符合經認可之離岸標準。

7.6.3 疲勞分析

塔架及浮式下部結構之系統及組件設計阻抗，應依據 ISO 離岸結構設計標準或其他經認可之離岸標準求得。因此，用於評估疲勞設計阻抗、材料強度及/或阻抗，以及其相關材料及/或阻抗安全係數之公式，應由先前提及之標準取得。或者，塔架之設計阻抗可依據 CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019 求得。

對於評估塔架及浮式下部結構之各別組件，應說明負載情況之選擇和權重(在表 2 中疲勞情境為經準確估計生命週期期間累積疲勞損害之結果)。

用於疲勞評估之應力範圍，應依據結構動力學模型(表 2 之設計負載狀況「F」分析)之結果推導，並/或與該模型結果一致方式進行計算。對於塔架及浮式下部結構中各個關鍵細部位置，要考量之應力來源包含：

- 藉由結構之全域內部負載，包含(a) 在轉子(葉輪)–機艙總成和導纜器介面處之邊界負載(涵蓋所有相關頻率，包括振動)，以及(b) 自重、慣性、靜水力、水動力和空氣動力負載。
- 因全域結構動力學模型有限的解析度，可能被遺漏的任意局部載荷，例如：外部靜水壓力和流體動壓力、內部流體壓力(壓載水或其他壓力)以及平台上之機械振動。

疲勞分析應涵蓋預期之設計壽命。原則上，此意味著須將各項個別模擬(參照附錄 N)計算得出之短期損害進行重新調整，並依各設計工況之可能性進行加權。亦宜採取適當方法，在避免高估下，使暫態情況(風力機啟動、停機、故障)所造成之損害得以併入設計使用年限之疲勞評估結果。

生命週期期間累計疲勞損害受風力機可用率影響，此未包含建造與試運轉期間。評估疲勞負載時，在某些情況下，可用率 100% 為保守假設，而其他情況(包含其他負載分量)下，可保守假設較低值之可用率。在此情況下，應由設計者評估

較低之保守可用率，如缺乏其他資訊，保守可用率可假設為 90 %。

於浮式離岸風力機之疲勞分析中，未閉合循環(unclosed cycles)可能對疲勞負載結果產生顯著影響，尤以模擬時間較短者更為明顯。相較於模擬長度，疲勞負載結果對未閉合循環計算方式之敏感度可能更高。為降低此敏感度，疲勞計數演算法應以各分段間格中之所有模擬結果連接成單一資料組集中進行處理，而非個別計算。

備考：未閉合循環，亦稱為半循環(half cycles)或部分循環(partial cycles)，係指於應用雨流計數法(rainflow-counting)進行疲勞評估時，當應力歷程中之波峰無對應之反向等值波谷(即振幅相當但方向相反之應力)時，所產生之不完整循環。未閉合循環通常發生於時域模擬分析之開始與結束階段，或出現大振幅應力循環時。進行最終疲勞損害計算時，對於未閉合循環應賦予介於零到一的權重因子。當權重因子為 1 時，表示未閉合循環視同完整循環計入損傷計算；當取值為 0 時，則表示未閉合循環不納入計算，不影響疲勞損害計算結果。一般建議採用權重因子 0.5 作為折衷值。

7.6.4 使用性分析

浮式離岸風力機之設計，應滿足其預訂設計運轉期間安全運轉之要求。凡涉及轉子(葉輪)－機艙總成或浮式離岸風力機之運動行為，若可能產生超過限制值之情形，致使風力機、海底電纜或鄰近設施損害、轉子葉片變形、塔架傾斜及浮式下部結構之傾側等影響，即便該等情形對於負載模擬分析結果未必有負面影響，於實際運轉時仍可能妨礙浮式離岸風力機安全運轉，故應予以避免。因此應執行使用性極限狀態評估，以確保浮式離岸風力機之完整性。業主/開發商應提出適當之限制值以確保浮式離岸風力機及相關基礎設施之完整性與使用性(如最大加速度、動態電力電纜要求及禁入區域)，並應優先考量當地要求。設計者應就 7.4 考量之所有相關設計負載狀況，進行驗證，以確保運動行為未超過前述限制值。

使用性分析所採用之特徵運動效應，應依各設計負載狀況中特徵負載效應(如極值或最嚴重狀況暫態計算值之平均)之相同方法進行計算。在使用性分析中，局部係數設計方法所採用之局部負載係數及局部阻抗係數應取為 1.0(unity)；採用工作應力設計法時安全係數亦應取為 1.0(unity)。

8. 控制系統

浮式離岸風力機之運轉與安全性應由符合 CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019 所述要求之控制系統所掌管。

如有定義浮式平台控制系統，則應持續遵循 CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019 所規範之相關控制系統要求。浮式平台控制系統故障模式之識別應依據 IEC 61400-1 之 8.4 要求，並依據本標準 7.4.3 加以評估。此外，若風力機控制器和浮式平台控制器之間存在任何介面，則應評估該介面可能發生故障之情況。

應執行故障模式與影響分析(Failure Mode and Effects Analysis)或等效故障分析以決定故障事件相關之浮式離岸風力機負載。此類分析方法得包含故障樹分析或其他類似方法，以識別任何潛在之共因失效(common cause failures)。

應擬定相關規定，確保控制與保護系統所有組件具備足夠之防護能力，以抵抗海洋環境影響。腐蝕防護之相關指引於附錄 E 已提供。

另須符合下述規定：

應於人員抵達之前，藉由遠端控制系統停止轉子(葉輪)，以確保人員安全。

若有確保人員安全之必要(如直升機吊掛作業或防止葉尖與船舶可能之碰撞)，應能依據風力機附近直升機或船舶操作人員要求，遠端控制及鎖定機艙轉向系統。如使用其他系統而非固鎖裝置(blocking devices)進行固定(例如機艙轉向剎車(nacelle yaw brakes)或機械碟式剎車(mechanical disc brakes))，應採取安全措施避免發生滑動之情境。

浮式離岸風力機發電機組應安裝適當之指示器，以告知接近的人員轉子(葉輪)和機艙轉向系統已固定。

當控制系統涉及驅動浮式下部結構中之主動裝置，如壓載水轉移泵、平擺控制推進器、轉向軸承齒輪電動機等，應執行與機艙轉向、葉片旋角和轉子旋轉之相似安全措施，以確保作業人員進出和工作安全。

當執行轉子(葉輪)及/或機艙轉向系統之自動或遠端遙控鎖定控制時，應具備措施，以防止該等系統於之自動或遠端重啟，除非經風力機及/或直升機/船上人員要求。對於風力機上的人員，應於人員進入風險區域之前，應可以關閉轉子及/或機艙轉向系統之自動或遠端重啟控制。相關操作文件中應明確註記該項操作注意事項。由於浮式離岸風力機支撐結構可能需要額外的控制和保護系統，設計時應考慮多個控制和保護系統之間的相互作用。

應適當抑制由控制系統作動引致之共振和運動動態放大效應，以確保結構完整性。傳統葉片變槳控制之風力機，其運轉特性之一為當風速超過額定風速時，平均轉子推力將隨風速增加而降低。若採用此變槳控制，設計者應考量其對系統動態特性之影響，並採取適當措施，抑制浮式離岸風力機系統於艏艉方向(fore-aft direction)所可能產生之負阻尼效應，此前後方向應包含塔架彎曲、浮式下部結構縱移、縱搖與平擺，並應涵蓋所有正常運轉條件下之行為。

控制系統之保護功能至少應於以下危險事件中啟動：

- 浮式離岸風力機支撐結構控制功能發生足以影響風力機運轉之故障(如主動壓載系統、主動阻尼系統或主動繫纜張力系統)。
- 浮式下部結構之位置超出設計包絡線範圍之損失(如失去繫泊索或張力腿)(其中一條繫泊索損失未必需要立即觸發緊急停機，視結構與繫泊索數量等因素而定，可僅發出警告，或觸發風力機進入安全模式之要求。業主可決定判斷是否因單一條繫泊索損失導致停機或影響發電)。

- 浮式下部結構之運動及加速度超出運轉限制。
- 塔架傾斜角度超出運轉限制。
- 泛水影響浮動穩度。
- 張力腱損失，若適用。
- 顯著共振。

控制系統應能偵測任何上述可能造成危險之事件並觸發警告。若因此超出運轉限制，控制系統將觸發警報，並使風力機停機或使其進入安全模式。評估其可正常運作並重置後，方可重新啟動。

9. 機械系統

本標準所指之機械系統，並非僅由靜力結構組件或電力元件組成，而是藉由軸、連桿、軸承、滑件、齒輪或其他裝置之組合運用或傳輸相對運動之任何系統。在浮式風力機內，此等系統可包括傳動系統(如齒輪箱、軸及聯軸器)與輔助機件(如煞車、葉片旋角控制器、機艙轉向驅動器)之元件。輔助零件可由電力、液壓或氣動之方式驅動。而與浮式相關示例則包括排水或舭水抽排(bilge pumping)、主動或被動位置保持和海事甲板設備。

轉子(葉輪)－機艙總成與塔架中所有機械系統之設計，應符合 CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019 之規定。浮式離岸風力機下部結構中所有機械系統之設計，應符合 ISO 19904-1 第 17 節之適用條款，並考量本標準 5.3 定義之浮式離岸風力機下部結構之暴露位準，另參照第 17 節。

備考：有關更多與機械系統設計相關之安全要求指引，參照 IEC TS 61400-30:2023 第 8 節。

應擬定相關規定，以確保所有機械系統具備足夠之防護能力，以抵抗海洋環境影響。與腐蝕防護有關之指引於附錄 E 已提供。

部分浮式離岸風力機將比陸域和固定式離岸風力機表現出更大的運動。由縱搖和橫搖運動而引起之浮式下部結構之潛在傾側角度和加速度尤其重要。設計者應確保設計時考量加速度、動態運動，以及平均靜態和最大動態傾側及傾斜角(heel and inclination)，特別是機械系統之磨耗和潤滑，包含附屬於轉子(葉輪)－機艙總成系統及浮式離岸風力機支撐結構特有之系統和設備。

10. 電力系統

浮式離岸風力機系統之電力系統係由安裝於個別浮式離岸風力機中之所有電力設備所組成，包含高壓開關設備。以下均統稱為「風力機電力系統」。

本標準並不包含匯電系統。

浮式離岸風力機之電力系統設計應符合 CNS 15176-1/IEC 61400-1:2019 所述之規定，除非明顯與陸域場址(場地)相關。

備考：更多與電力系統相關之指引，參照 IEC TS 61400-30:2023 第 7 節。

應擬定相關規定，以確保所有電力元件具備足夠之防護能力，以抵抗海洋環境影

響。藉由選擇適當之腐蝕等級、氣候等級、環境等級、污染等級及異物防護等級 (IP)，以符合相關國家及國際設計規範及法規。腐蝕防護相關指引於附錄 E 已提供。

設計者應充分考量電氣絕緣要求、含鹽大氣、濕度與溫度、通風規定、濕氣及/或冷凝水之生成、滴水之可能性、機械衝擊或振動，以及維護需求等，以維持風力機電力系統完整性。

浮式離岸風力機支撐結構之電力系統應符合 IEC、ISO、CNS 或經認可船級協會之規範。

部分浮式離岸風力機將比陸域和固定式離岸風力機表現出更大的運動。由縱搖和橫搖運動而引起之浮式下部結構之傾側角度尤其重要。設計者應確保電力系統設計時已考量所有浮式離岸風力機系統之運動，包含附屬於轉子(葉輪)－機艙總成系統及浮式離岸風力機支撐結構特有之系統和設備。

11. 錨之設計

位置保持系統錨碇之錨設計和場址(場地)、土壤和岩石特徵應依循 ISO 19901-4 和 ISO 19901-7 之要求。本標準之附錄 C 辨認出與浮式離岸風力機錨設計相關之進一步具體指引參考來源。共用錨碇需要特別考量負載條件和安全係數，以滿足既有錨設計相同之安全位準。

對於具有餘裕度之繫泊系統之裝置，應驗證繫泊索失效時，暫態條件下之錨碇能力。

12. 組裝、運輸及安裝

12.1 一般

本節未提及之適用項目，參照 ISO 19901-6、IEC 61400-1 及/或 IEC 61400-3-1。ISO 19901-6 提供適用於浮式離岸風力機安裝作業之離岸海事操作要求和指引，及其所有相關臨時階段(temporary phases)，位置保持系統部署(deployment)和連接(hook up)、結構拖航等。

備考：有關動態電力電纜之安裝，包括佈署、拉入作業和懸掛作業，參照 ISO 13628-5。

有關風力機特定事項，參照 ISO 29400 第 8、9 和 10 節，其係處理風力機之特定物流作業(如陸域或近岸運輸、構件組裝及儲存)，以及 12.6 說明關於重量控制或大量生產設備。

於設計階段，應以 12.3 所定義之最不利環境條件，驗證浮式離岸風力機及其所有構件在組裝、運輸和安裝操作期間之浮動穩度和結構完整性。

有關拖航條件，包含貨物與繫固裝置之被拖物體，其設計應能承受 12.3 定義之最不利環境條件所產生之負載。

12.2 計畫

浮式離岸風力機與相關設備之組裝和安裝應作計畫，以便工程安全進行並符合

當地與國家規定。除品質保證程序外，計劃亦應包含所有危害與可操作性分析 (HAZOPs)。應考量之項目包含，但不限於以下事項：

- 作業及檢查計畫之詳細圖說與規格。
- 塔架、機艙、轉子(葉輪)之組裝和安裝程序。
- 浮式離岸風力機/浮式下部結構於港口之移動程序。
- 浮式下部結構浮出(float out)之程序。
- 執行電纜鋪設及/或錨碇安裝所需之海床工程與前置作業之安全執行規範。
- 位置保持系統、電纜及浮式下部結構之安裝程序
- 突發事件和設備失效之緊急應變計畫(如但不限於天氣惡化、船舶設備失效、安裝輔助器具失效等)。
- 拖航、連接(hook up)、試運轉。

12.3 環境條件

應制定安裝手冊，以規定安裝作業及各階段臨時作業期間之最大環境條件，安裝作業程序需遵守最大操作限制。若適用，應考量環境條件之方向性以識別最關鍵之環境條件，參照 ISO 19901-6 之 7.4 定義。

12.4 文件

應制定風力機及浮式離岸風力機支撐結構之組裝程序、安裝作業所需之圖面、規格及安裝說明。應將所有負載、重量、吊裝點及特殊工具之詳細資訊，以及浮式離岸風力機安全操作與安裝所需之程序文件化。於施工前，應進行危害辨識 (HAZIDs) 和危害與可操作性分析 (HAZOPs)。

文件亦應包含執行各項作業人員之訓練要求。

所有階段執行期間均應留存詳細記錄，以提供竣工資料。

12.5 運輸、接收、裝卸與存放

浮式離岸風力機構件之運輸、接收、裝卸和存放，應根據製造商之說明及程序執行。

為防止浮式離岸風力機移動可能造成之損壞，應固定所有部件。所有重要設備之海事繫固應詳細記載於圖說。

13. 試運轉、操作與維護

13.1 一般

浮式離岸風力機之操作手冊應說明試運轉、操作、檢查及維護程序，並適當考量人員安全。

設計應納入檢查及維護所有組件安全通道之規定。通道系統應符合相關之當地、國內及國際法規。

備考：有關更多安全通道之指引，參照 IEC TS 61400-30:2023 之 9.2。

第 10 節之規定亦涵蓋為量測而臨時安裝於浮式離岸風力機之電氣量測設備。

於適當情況下，操作及維護人員應使用核准之眼睛、足部、聽力及頭部之保護裝

備。所有攀登塔架或在地面與水面以上進行作業之人員，應接受有關此工作之訓練，並應使用經認可之安全帶、安全攀爬輔具，其他安全裝置包括救生衣、潛水衣及浮力輔助設備。

更多關於試運轉、操作與維護之浮式特定指引，參照 ISO 19901-6。

13.2 安全操作、檢查及維護之設計要求

維護人員應可於出入口處控制浮式離岸風力機，使其正常運轉。此外，於出入口處，亦應設置具有標識之就地人工越控(manual override)裝置，以利對自動/遠端控制系統進行介入操作。

備考 1. 有關安全操作、檢查與維護的進一步指引，參照 ISO 19901-6、ISO 19901-7、ISO 19904-1 和 ISO 29400。

當出現故障但並不影響浮式離岸風力機未來安全性之外部事件，例如電力負載之損失與重新恢復等，在完成停機程序後由自動回復程序使浮式離岸風力機正常運轉。

保護人員免於意外接觸活動部件之保護裝置應為固定式，但可預期將時常使用者可作成活動式。

保護裝置應：

- 以堅固之構造製作。
- 不易被忽略。
- 若可能，無需拆卸即可進行必要之維護。

備考 2. 有關更多與機械系統設計相關之安全要求指引，參照 IEC TS 61400-30:2023 第 8 節。

於僅考量與海上維護或修理人員通道相關之設計工況(DLC)下，安裝於浮式離岸風力機支撐結構之任何走道或平台，其氣隙應符合 7.3.5。基於安全考量，應評估是否清除海洋附生物。若場址(場地)有結冰風險，應考量於結冰情況下爬梯及平台之可及性限制。另應考量結構因落冰而損壞之風險。

設計中應於旋轉葉尖與風力機運轉期間使用之走道或平台之間納入適當之最小垂直間距。

設計中應包含偵測故障之設備。為確保檢查及維護人員安全，設計中應納入：

- 檢查及例行維護作業之安全通道及工作位置。
- 保護人員免於意外接觸旋轉部件或活動部件之適當措施。
- 確保用於攀爬或於出入口處作業之救生索、安全帶或其他經認可之保護裝置符合安全要求。
- 根據 DLC 8.1 所述之風況與設計工況之運維期間，阻擋轉子(葉輪)旋轉與機艙轉向機構或其他如葉片旋角等機械運動之規定，及安全解除阻擋措施之規定。
- 帶電導體之警告標誌。

- 釋放累積電荷之適當裝置。
- 用以保護操作人員之防火措施。
- 機艙中之替代逃生路徑。
- 發生緊急情況時離開浮式離岸風力機之替代逃生路徑。
- 在浮式離岸風力機中停留一星期之補給品(食物、飲水、暖氣、衣物與毯子)。
- 離岸安全設備(如救生衣、救生筏、救生衣燈、信號槍、照明彈)。

維護程序應包含人員進入輪轂或葉片內部等封閉工作空間之安全規定，以確保待命人員可得知任何危險狀況，並於必要時立即發動救援程序。

備考 3. 有關更多人員安全之指引，參照 IEC TS 61400-30:2023 第 8 節與第 9 節。與海上航行及航空有關之障礙物燈光及標誌，應符合相關之國內及國際法規及章程。

13.3 試運轉

13.3.1 一般

不屬於轉子(葉輪)–機艙總成部分之平台上機械、設備和系統，例如壓載水系統、泵、壓縮機、發電機、電氣和控制系統、消防設備、推進器及/或風向標主動或被動裝置等之試運轉，應包含依照核准程序進行之功能和容量測試。無餘裕度之平台上機械、設備和系統，運轉前之試運轉應足以證明其於營運條件下的可靠性。

製造商應提供試運轉操作手冊。

13.3.2 通電

製造商之操作手冊應包含風力機電力系統之初始通電程序。

備考：有關更多與電力系統相關之指引，參照 IEC TS 61400-30:2023 第 7 節。

13.3.3 試運轉測試

製造商之操作手冊應包含離岸風力機安裝完成後之測試程序，以確認所有設備、控制及裝置之正確、安全及功能操作之程序，其中應包含但不限於以下項目：

- 安全啟動。
- 安全停機。
- 安全緊急停機。
- 過速運轉或代表性模擬之安全停機。
- 保護系統之功能測試。

13.3.4 紀錄

製造商之操作手冊應包含妥善保存相關測試，如試運轉、控制參數及結果之測試紀錄。

13.3.5 後試運轉活動

在安裝作業及後續製造商建議之磨合期之運轉完成時，製造商可能要求之特定活動亦應完成。

此類活動可包含但不限於扣件施加預力、更換潤滑劑、檢查其他組件之設定與運轉是否正確及調整控制參數。

13.4 操作者操作手冊

13.4.1 一般

浮式離岸風力機製造商應提供操作手冊，並應於手冊中酌情增加與當地特殊條件有關之試運轉資訊。提供操作及維護人員之手冊，應以操作者可閱讀及理解之語言撰寫。操作手冊應包但不限於以下項目：

- 須由通過適當訓練或指導之人員執行作業之相關要求。
- 安全運轉極限與系統敘述。
- 啟動與停機程序。
- 警報操作清單。
- 緊急程序計畫。
- 安全之離岸通道程序。
- 適當時之相關規定：
 - 應使用經認可之眼睛、足部、聽力及頭部之個人保護設備。
 - 所有攀爬塔架或在地面與水面以上之作業人員應接受適當訓練，並應使用經認可之安全帶、安全攀爬輔具或其他安全裝置。

ISO 19904-1 已規定適用於浮式離岸風力機支撐結構海上操作之額外要求，作為海上操作手冊的一部分。

備考：有關更多安全操作之指引，參照 IEC TS 61400-30。

13.4.2 運轉與維護記錄之說明

操作手冊中應說明須保存運轉與維護紀錄之規定，且應包含以下項目：

- 風力機識別資料。
- 發電量。
- 運轉時數。
- 停機時數。
- 故障紀錄之日期與時間。
- 保養或維修之日期與時間。
- 故障或維修之性質。
- 所採取之動作。
- 更換之零件。

13.4.3 無預期自動停機之說明

手冊中應要求於故障或失效引起之非預期自動停機，操作者應於重新啟動浮式離岸風力機前調查原因，除非操作手冊或說明中另有規定。所有非預期之自動停機均應作成紀錄。

若浮式離岸風力機超過 3 個月未發電，其於重新啟動時應採取預防措施。重新

啟動前，應徹底檢查所有組件及系統，且需評估工程完整性。受長期未發電影響而經判定為無法滿足設計要求之組件與系統者，應加以修理或更換。風力機重新啟動及重回發電狀態後，應監控關鍵性組件及系統之狀況。

13.4.4 可靠性減損之說明

手冊中應說明須採取之措施，以消除任何異常現象或造成可靠性減損之跡象或警告之根本原因。

13.4.5 作業程序計畫

說明手冊中應要求離岸風力機應依照安全作業程序操作，並考量以下項目：

- 電力系統運作。
- 操作與維護之協調。
- 設施淨空程序。
- 塔架攀爬程序。
- 設備處理程序。
- 惡劣天候下之活動。
- 聯絡程序與緊急計畫。
- 風力機進出程序。

備考：有關更多施工安全程序之指引，參照 IEC TS 61400-30。

13.4.6 緊急程序計畫

作業手冊中應說明可能發生之緊急狀態及操作人員應採取之動作。

手冊中應規定當浮式離岸風力機或其組件發生火警或明顯之結構損壞時，除非該風險已經特定程序評估，否則任何人均不得接近風力機。

為浮式離岸風力機擬定緊急程序計畫時，應考量以下可能增加結構損壞之風險：

- 過速運轉。
- 結冰狀況。
- 雷雨。
- 地震。
- 支撐索斷裂或鬆脫。
- 煞車失效。
- 轉子(葉輪)不平衡。
- 扣件鬆動。
- 潤滑不良。
- 火災與水災。
- 船舶撞擊。
- 繫泊索或張力腱斷裂事件。
- 一個或多個浮力艙區洩漏、破裂與隨之發生之泛水。
- 浮式離岸風力機支撐結構控制功能故障。

- 其他組件故障。

13.5 維護手冊

每部浮式離岸風力機均應配備維護手冊，手冊至少須包含浮式離岸風力機製造商所規定之維護要求與緊急程序。手冊中亦應說明事先未排定之維護作業。

維護手冊應說明易受磨損、損害、腐蝕與海洋附生物影響之零件與其更換之標準：

- 檢查及維護應由通過適當訓練或講習之人員執行、且需於指定期間進行、同時應符合維護手冊之說明與規定。
- 浮式離岸風力機各子系統及其操作之敘述。
- 潤滑頻率與潤滑劑或任何其他特殊油品種類之潤滑時間表。
- 重啟試運轉程序。
- 維護檢查期間與程序。
- 保護子系統功能性檢查之程序。
- 完整線路與接線圖。
- 包含拉力與扭矩負載之支撐索檢查及重新調整張力之時間表、螺栓檢查及施加預力時間表。
- 維修因勤務船撞擊等原因造成通道系統損壞後之維修程序。
- 診斷程序與疑難排除說明。
- 建議之備用零件清單。
- 現場組裝與安裝圖。
- 工具清單。
- 海洋附生物之檢查及清除。
- 腐蝕防護系統之維護
- 淘刷防護系統之維護。

備考：有關更多維護要求與緊急程序之指引，參照 IEC TS 61400-30。

14. 位置保持系統

14.1 一般

懸鏈式、半緊繫式或緊繫式之位置保持系統應依照 ISO 19901-7 之基本要求進行設計。有關張力鏈，參照 API RP 2T 相關指引。根據 7.4 規定，應定義設計條件和負載狀況。有關非餘裕定位系統(non-redundant)，可考量增加安全係數，以達到與餘裕定位系統相同之安全位準，參照附錄 K。

浮式離岸風力機負載分析之模擬，參照第 7 節，應考量轉子(葉輪)－機艙總成、塔架、浮式下部結構、位置保持系統及電纜(若需要)之間的交互作用。

土壤條件(如剛性與阻尼)可能具有重要影響，並應納入設計考量。

14.2 懸鏈式、半緊繫式或緊繫式之位置保持系統

適用於懸鏈式、半緊繫式或緊繫式之位置保持系統，與 ISO 19901-7 有差異之項目包含：

- 環境條件之回歸期，參照表 2。
- 若繫泊索承載容量因除最低要求斷裂強度以外的其他因素而增加，則浮式下部結構之繫泊連接點(例如錨鏈扣和導纜器)及其結構強化，應根據受最大負載繫泊索之最大張力和適當安全係數設計，並應依據 ISO 19901-7 之 10.2 與本標準第 7 節所述之阻抗與材料安全係數進行。
- 由於浮式離岸風力機繫泊系統之配置與 ISO 19901-7 所述之傳統離岸設施不同，表 2 中設計負載狀況(DLC) F1.1、F1.2、F2.1 及 F2.2 之單一繫泊索損壞情況，在安全係數考量上，可視為等同於 ISO 所定之暫態情況。
- 需特別考量共用繫泊索之負載條件及安全係數。

14.3 張力腱系統

未涵蓋於 ISO 19901-7 之張力腱系統(包含張力腱、連接件、錨)，一般應依據 API RP 2T 進行設計，其中應考量以下事項：

- 環境條件之回歸期，參照表 2。
- 由於浮式離岸風力機之張力腱系統配置與 API RP 2T 中傳統離岸平台不同，表 2 之設計負載狀況(DLC) F1.1、F1.2、F2.1 及 F2.2 中單一腱之斷裂情況，就安全係數而言，可視為等同於 API RP 2T 之極端設計條件安全類別 B。
- 使用非鋼管(not comprising tubular steel)張力腱體之張力腱系統，應確定張力腱和連接件之設計標準，以確保張力腱系統至少達到與浮式離岸風力機相同之安全位準。

14.4 合成纖維繫泊系統

當使用合成纖維繫泊索時，應藉由資格驗證計畫以證明浮式風力機適用之具體負載狀態與運轉模式。合成纖維繫泊索之認證應符合 ISO 18692-1、ISO 18692-2(若適用)及 ISO 18692-3(若適用)。在進行繫泊索之認證時，應注意其負載模式可能和其他離岸繫泊應用不同，浮式風力機繫泊之相關注意事項如下所列：

- 海洋附生物之影響及於淺水區域與海床接觸之可能性。
- 不同運轉模式之勁度變化(極限生存狀態、疲勞、最大操作條件、安裝後及安裝中等)。
- 繫泊索之構造、製造過程、安裝過程及運轉與維護原則相關之隨時間潛變延展(Creep elongation)。
- 疲勞性能和長期強度之穩定性。
- 紫外線影響。
- 應考量開發中的其他計畫/允許活動(如漁業)對設計之影響(如防切割套管等)。

14.5 位置保持系統構件

一般而言，應全面考量個別構件(如 H 型連接件、卸扣、三角型板及加重塊(clump weight))對位置保持系統完整性和性能之影響，並包含失效模式。

位置保持系統承受負載之構件應根據 ISO 19901-7 與 API RP 2T 所述之相同原則

進行設計。

14.6 動態電力電纜

本節非為動態電力電纜提供設計準則，而係促進浮式下部結構和位置保持系統之整體性能分析之設計過程，同時為電纜設計者提供足夠的資訊。在任何情況下，電纜介面(cable interface)都不應對浮式下部結構造成損害。應評估電纜、浮式下部結構和位置保持系統之間的碰撞可能性。

浮式下部結構、位置保持系統和電纜之設計者間應共享之資訊，包含但不限於以下內容：

- 電纜特性，包含操作範圍內之彎曲勁度。
- 電纜拉入作業和懸掛作業負載。
- 浸沒重量。
- 配置、附屬物及浮力要求，包括彎曲限制器(bend stiffener)、鐘形口(bellmouth)及/或電纜保護系統。
- 海洋附生物之積累。
- 反應振幅運算子(RAO)。
- 海氣象和大地工程數據。
- 完整狀態及單一繫泊索損壞狀態下，浮式下部結構之最大偏移量。

15. 浮動穩度

15.1 一般

浮動行為應符合所有條件下浮動穩度之要求，包含完整及破損狀態配置，且應涵蓋臨時及營運狀態，包含：

- 發電(DLC 1.2 至 1.6)
- 發電同時電網併聯之故障或喪失(DLC 2.1 至 2.6)
- 啟動(DLC 3.1 至 3.3)與正常停機(DLC 4.1 至 4.3)
- 緊急停機(DLC 5.1)
- 停機(待機狀態或惰轉) (DLC 6.1 至 6.5)
- 待機加故障狀況(DLC 7.1 至 7.2)
- 運輸、組裝、維護及修理(DLC 8.1 至 8.4)
- 船舶碰撞與直升機負載(DLC 8.1)
- 餘裕度確認及破損穩度(DLC F1.1 至 F2.3，另參照附錄 K)

浮動穩度係指能維持穩定平衡，且能防止泛水及傾覆。浮式風力機組須具備足夠之浮動穩度，以滿足所需之安全位準。

泛水角係指當浮式結構傾側時，第一個無法水密或風雨密之開口(又稱未保護開口)開始浸沒時之傾側角。應仔細評估並設計通往單元浮力部件(如柱體)之人孔及艙口之位置與設計，以確保在任何可預期之情況下不會發生進水。

對於避免翻覆及泛水之安全目標，應與結構目標安全位準相符，即無人結構且具

較低環境影響者，應符合一般安全位準；人員駐守之結構則應符合高安全位準。對於完整及破損狀態之浮動穩度分析，可使用準靜態(參照 15.3)或動態穩度分析(參照 15.4)。建議使用動態穩度分析。

備考：有關浮式離岸風力機之浮動穩度分析可參考：

- ABS Guide for building and classing floating offshore wind turbines
- BV NI 572, Classification and Certification of Floating Offshore Wind Turbines
- DNV-ST-0119, Floating wind turbine structures

準靜態穩度分析之結果應依據 7.4 設計負載狀況之動態分析進行驗證。即使準靜態分析中穩度足夠，結構不應於動態分析時發生傾覆情況，亦不得於動態分析(負載模擬)過程中達到泛水角或發生傾覆(未能回復)。

準靜態及動態穩度分析中，應考量包含壓載水艙等其他艙、櫃中流體之影響。完整穩度分析中應依據預定安裝之位置，考量質量與重心之變化及結冰情況下受風面積之變化。

15.2 完整穩度準則

不論是運轉或任何臨時階段，浮動穩度均應維持完整狀態。

對於柱體穩定浮式下部結構、立柱浮筒式平台或其他靜水穩定平台以及張力腿式平台，其於自由浮動階段(如運輸或安裝時之臨時階段，且於張力腿開始拉緊前)，浮動穩度(扶正穩度)之要求應參照國際海事組織完整穩度章程(IMO *International Code on Intact Stability, 2008*)(2008 IS CODE)之 2020 年版或其他受認可標準之適用部分。

安裝完成之張力腿式平台浮動穩度分析應證明該系統已受張力腿系統充分拘束，且在所有可預見之環境情況下均不會發生傾覆。在各種運轉模式與環境條件下重心之水平位移分析尤為重要。

浮動穩度分析應考量不同風力機轉子(葉輪)－機艙總成運轉條件之穩態與暫態負載情況(由設計負載狀況表示，參照第 7 節)。

應於評估中確定各負載情況下最關鍵之傾側軸。每一負載情況之最關鍵傾側軸可能有所不同，因為其為傾側力矩與傾覆力矩之函數。

以下浮動穩度之準則，適用於本標準中所有條件及負載情況：

- 扶正力矩曲線第一截角之水密完整性
- 正值之定傾高度，惟對於已安裝之張力腿式平台非強制要求。

此外，穩度分析中應明確說明並考量轉子(葉輪)－機艙總成傾斜角之使用性限制，應加以定義及遵守於發電與待機情況或維護期間之傾斜角限制。

15.3 準靜態評估

本項章節不適用張力腿式平台及張力腿式浮筒。

準靜態分析可藉由傾覆力矩對傾側角積分方式進行。完整穩度之準則應適用國

際海事組織完整穩度章程(IMO *International Code on Intact Stability*, 2008)(2008 IS Code)之 2020 年版中有關海上移動式鑽探裝置(MODU)部分。

風力作用應基於特定場址(場地)之風速及風剖面資料(如惰轉情況 $V_{hub} = V_{ref}$ 及運轉情況 $V_{in} \leq V_{hub} \leq V_{out}$)。對於運輸、安裝、維護或其他暫時狀態，風速得對應活動期間之天氣許可作業時段。

扶正力矩曲線應基於大體積模型計算，適用於任何吃水相關條件及不受繫泊限制之負載條件。

15.4 動態反應評估

應採用以動態反應為基礎之完整穩度準則，藉由分析設計負載狀況(DLC)而導出動態運動反應特性，以提供防止傾覆及泛水之合理安全餘裕，參照本標準第 7 節。動態反應之最大反應係由模擬所得之最大傾側角，對於相同負載情況所進行之多組隨機種子模擬，應考量其最大值之平均值。可對負載使用相同之局部安全係數。

此外，建立以動態反應為基礎之柱體穩度單元替代完整穩度準則之指引可參考國際海事組織完整穩度章程(IMO *International Code on Intact Stability*, 2008)(2008 IS Code)之 2020 年版。

張力腿式平台與張力腿式浮筒應避免於動態情況下發生張力鬆弛。然而，若能證明張力鬆弛於最極端情況下仍存在足夠安全裕度以防止傾覆則可被接受。

15.5 破損穩度準則

破損穩度應考量以下要求：

- 應採用表 2 中之設計負載狀況 DLC F1.3 與 DLC F2.3，且應證明其抵抗浮動穩度損失之能力。
- 一般而言，張力腿式平台發生破損後，張力腿仍應維持最小靜態張力，參照 14.3。最小靜態張力可藉由考量整體結構之安全位準，並在應用 DLC F1.3 與 DLC F2.3 時，維持抵抗浮動穩度損失之能力決定。

備考 1. 為驗證破損穩度之允收準則，可參照國際海事組織之 2009 年海上移動式鑽探裝置構造和設備章程(IMO 2009 MODU Code) 2020 年版，3.4.3 至 3.4.7。

破損程度應與國際海事組織之 2009 年海上移動式鑽探裝置構造和設備章程(IMO 2009 MODU Code, 2020 年版 3.5 之定義相符。對於立柱浮筒式結構，應適用與柱體穩定式結構相同之要求。

小艇、船舶或其他平台碰撞之破損穩度準則之應用參照附錄 S。

當不危及人身安全且對海洋環境不造成不合理危害時，無人員駐守之浮式離岸風力機可不要求破損穩度。於此情況下，應遵循最低規定如下：

- 浮式結構因碰撞而致使任一艙區泛水，進而導致浮動穩度損失之聯合機率，不得超過用於結構完整性評估之安全位準所對應之失效機率；應考量由小艇、船舶或其他平台所造成之碰撞情況。

- 應安裝監測系統，以偵測發生重大洩漏導致之浮動穩度損失，例如監測浮式下部結構吃水或內部艙區水位；可參照本標準第 8 節。
- 結構與機械元件之設計應足夠安全，以防止裂縫造成艙區進水，此要求不僅包含外殼結構，亦涵蓋當壓載水移動可能造成浮動穩度損失時，關鍵之內部艙壁與管路系統。

備考 2. 一般情況下之目標失效機率，參照 ISO-2394。風力機之建議目標安全位準，參照 IEC 61400-1:2019 附錄 K.2。

16. 材料

位置保持系統和浮式下部結構之材料要求，宜遵照 ISO 19901-7、ISO 19903 和 ISO 19904-1，同時考量 5.3 定義之安全位準。

結構配置應具備適當腐蝕防護措施，參照附錄 E。保護方法應依適用於其預定位置和用途採取適用之防護方法。

17. 海事輔助系統

17.1 一般

浮式離岸風力機之海洋輔助系統應符合 ISO 19904-1 或其他經認可標準，並應於本節考量以下事項。

17.2 艙底水系統(舢水系統)

除永久浸水之艙櫃以外，應提供所有艙櫃之抽水排水裝置；若使用可攜式動力泵取代永久性艙底水系統，則至少須具備兩台舢水泵存放於浮式離岸風力機上或由勤務船攜帶之，且需確保泵及相關設備易予取得。

17.3 壓載系統

壓載系統應具備對所有非永久壓載艙之壓載及卸壓載能力。所有泵和閥門應可遠端操控。不論壓載系統為正常或緊急操作下，均不應因開啟艙口蓋、人孔及其他水密邊界，避免增加漸進泛水之風險。若適當，可參照國際海事組織完整穩度章程(IMO *International Code on Intact Stability*, 2008) (2008 IS Code)之 2020 年版，以獲取進一步指南。

若適用，設計時應考量壓載水之潛在結冰情況。

附錄 A

(參考)

浮式離岸風力機重要設計參數

A.1 浮式離岸風力機識別資料

A.1.1 一般

對於浮式離岸風力機而言，設計文件中應簡要說明下列資料：

- 風力機名稱及型式(文字描述)。
- 位置坐標。

A.1.2 轉子(葉輪)－機艙總成(機器)參數

需提供下列參數：

- － 額定功率 [kW]
- － 轉子(葉輪)直徑 [m]
- － 轉速範圍 [rpm]
- － 功率調節(失速/旋角)
- － 輪轂高度(由 MSL 算起) [m]
- － 輪轂高度運轉風速範圍 $V_{in}-V_{out}$ [m/s]
- － 設計壽命 [年]
- － 運轉重量(最小，最大) [kg]
- － 轉子(葉輪)－機艙總成之腐蝕防護(文字描述)
- － 運轉期間最大傾斜角 [deg]
- － 待機期間最大傾斜角 [deg]
- － 運轉期間最大加速度 [m/s/s]
- － 待機期間最大加速度 [m/s/s]

A.1.3 支撐結構參數

需提供下列參數：

- － 浮式下部結構之描述，包含尺寸
- － 運轉吃水之識別，包含最淺至最深之運轉吃水範圍
- － 位置保持系統之描述
- － 電纜之描述
- － 設計水深 [m]
- － 風力機附近之水深 [m]
- － 風力機位置之土壤條件(文字描述，參照 6.4.7)
- － 浮式離岸風力機支撐結構之共振頻率(最小，最大)：
 - － 於正常運轉條件下 [Hz]
 - － 於極端運轉條件下 [Hz]
- － 不包含風負載時，浮式下部結構縱移、橫移、起伏、橫搖縱搖和平擺反應振幅運算子之振幅
- － 腐蝕容許量 [mm]
- － 腐蝕防護措施(文字描述)
- － 往來平台高度(由 MSL 算起) [m]
- － 主動式壓載水或艙底水系統之描述

A.1.4 風力條件(於相關處，以 10 min 基準週期，並包含風場之尾流效應)

需提供下列資訊：

- － 擾流強度、NTM 與 ETM 所用之平均風速之函數

- 年平均風速(輪穀高度) [m/s]
- 平均傾斜流場 [度]
- 風速分布(韋伯、瑞利、量測、其他)
- 正常風切模型與參數
- 擾流模型與參數
- 輪穀高度極端風速 V_1 、 V_{50} 與 V_{500} [m/s]
- 1年與50年回歸期之極端陣風模型與參數
- 用於評估浮式下部結構反應之極端陣風模型與參數
- 1年與50年回歸期之極端風向變化模型與參數
- 極端相干陣風模型與參數
- 具風向變化之極端相干陣風模型與參數
- 極端風切模型與參數
- 風向分布(風花圖)

A.1.5 海洋條件(於相關處，以3h為基準週期)

需提供下列資訊：

- 水深變化 [m]
- 最高天文潮(HAT) [m]
- 最低天文潮(LAT) [m]
- 最高靜水位(HSWL) [m]
- 最低靜水位(LSWL) [m]
- 1年、50年與500年回歸期之示性波高 [m]
- 1年、50年與500年回歸期之尖峰週期範圍 [s]
- 1年、50年與500年回歸期之個別極端波高 [m]
- 1年、50年與500年回歸期之相關波浪週期範圍 [s]
- 50年回歸期之極端波峰高度 [m]
- 1年、50年與500年回歸期之極端海面海流 [m/s]
- 包含方向性之風與波浪聯合分布(H_s , T_p , V)
- 波譜與參數
- 波浪擴展分布與參數
- 決定性波浪模型與參數
- 碎波模型與參數
- 海洋結冰條件(文字描述，參照 7.3.6)
- 局部與全域淘刷或兩者之總和(最大之允許值) [m]
- 海床水深圖 [m]
- 海洋附生物剖面及厚度 [mm]

A.1.6 風力機之電網條件

需提供下列資訊：

- 正常供電電壓與範圍 [V]
- 正常供電頻率與範圍 [Hz]
- 電壓不平衡 [V]
- 電網停電最大持續時間 [天]
- 電網停電次數 [次/年]
- 生命週期內電網停電總時間 [小時]
- 自動復閉週期(文字描述)
- 對稱與非對稱外部故障期間之行為(文字描述)

A.2 其他環境條件

需要提供下列資訊

- 正常與極端空氣溫度範圍 [°C]
- 正常與極端海洋溫度範圍 [°C]
- 空氣密度 [kg/m³]
- 水密度 [kg/m³]
- 太陽輻射 [W/m²]
- 濕度 [%]
- 下雨、冰雹、下雪及結冰
- 化學活性物質
- 機械活性粒子
- 雷擊防護系統之敘述
- 地震模型與參數(文字描述)
- 海嘯模型與參數(文字描述)
- 鹽分 [g/m³]
- 針對 DLC 6.4 假設之時間及環境條件
- 針對 DLC 7.2 假設之時間及環境條件
- 針對 DLC 8.3 假設之時間及環境條件

A.3 運輸、安裝及維護之限制條件

需提供下列資料：

- 最大風速 [m/s]
- 最大示性波高 [m]
- 最大水位變化 [m]
- 容許大氣溫度 [°C]
- 維護時最大容許風速 [m/s]
- 運輸船之排水量 [metric ton]
- 運輸與安裝時之最大與最小壓載條件

附錄 B

(參考)

水動力負載計算指南

B.1 一般

以下條文提供水動力負載計算指南之參考資料。設計者不應混合使用不同方法，而應考量浮式離岸風力機之整體安全位準，使用一致的方法計算水動力負載。關於浮式離岸風力機水動力負載計算之詳細指引，包括流體靜力、輻射、繞射與黏性效應，可參照 ISO 19904-1, ISO 19901-6, ISO 19901-7 和下列經認可船級協會之規範：

ABS Guidance Notes on Air Gap and Wave Impact Analysis for Semisubmersibles

ABS Guide for Building and Classing Floating Offshore Wind Turbines

BV, NI572, Classification and Certification of Floating Offshore Wind Turbine

BV, NI691, Environmental conditions, loads and induced responses

DNV-RP-C205, Environmental Conditions and Environmental Loads

DNV-ST-0119, Floating Wind Turbine Structures

Nippon Kaiji Kyokai (ClassNK), Guidelines for Floating Offshore Wind Turbines

B.2 莫利森公式

關於浮式離岸風力機莫利森公式之詳細指引可參照下列：

ISO 19904-1:2019, subclause 7.4.5.3 Actions and components

ISO 19901-7:2013, subclauses 8.4.3 and A.8.4.3 Dynamic analysis

B.3 繞射與輻射理論

關於浮式離岸風力機繞射與輻射理論之詳細指引可參照 ISO 19904-1 之下列章節：

Subclause 7.4.5.2, Actions and large-volume bodies

Subclause 8.3.4, Damping

Subclause 8.4 and A.8.4, Frequency domain analysis

B.4 波擊負載

關於浮式離岸風力機波擊負載之詳細指引可參照下列：

ISO 19904-1:2019

Subclause 7.4.5.4 and A. 7.4.5.4, Slamming on slender components

Subclause 7.4.5.8 and A. 7.4.5.8, Slamming and green water actions

Subclause 9.8.2 Slamming and A.9.8, Special design issues

ISO 19901-6:2009, clause 12.7.5, Sea fastening

B.5 渦流引發之振動與運動

關於浮式離岸風力機渦流引發之振動和運動之詳細指引可參照下列：

ISO 19904-1:2019

Subclause 7.4.3.4, Wind-induced instability

Subclause A.7.4.5, Wave actions and A.7.4.5.1 general

Subclause 7.4.6, and A.7.4.6 vortex-induced vibrations and motions

Subclause 7.7, Repetitive actions

ISO 19901-6:2009

Subclause 13.3.2, General considerations on the mooring design

Subclause 13.4.3, Particular mooring conditions

Subclause 16.12, TLP tendons

ISO 19901-7:2013

Subclause 7.3.2, Current-induced actions

Subclause 7.3.4 and A.7.3.4, Vortex-induced vibrations of mooring lines

Subclause 7.4.7 and A.7.4.7, Vortex-induced motions of floating structures

Subclause 8.3.5 and A.8.3.5, Vortex-induced motion considerations

B.6 附屬設備與海洋附生物

關於浮式離岸風力機附屬設備與海洋附生物之詳細指引可參照下列：

ISO 19904-1:2019

Subclause 7.4.2 and A.7.4.2, Environmental site-specific data

Subclause 7.4.5.3, Actions on slender components

Subclause 8.2.2, Static equilibrium in still-water condition

Subclause 8.10.2, Wave crest effects

Subclause 13.2.4, Local action effects

ISO 19901-6:2009

Subclause 7.3.6, Marine growth

Subclause 19.2.4, Weight control

ISO 19901-7:2013

Subclause 7.2.8, Marine growth

Subclause 8.3.5 and A.8.3.5, Vortex-induced motion considerations

Subclause A.10.4.3.2.3.4.6, Transportation and handling actions

B.7 全域分析與疲勞分析方法

關於浮式離岸風力機全域分析與疲勞分析方法之詳細指引可參照下列：

ISO 19904-1:2019

Subclauses 8 and A.8, Global analysis

Subclauses 10 and A.10, Fatigue analysis and design

ISO 19901-6:2009

Subclause 12.7.5, Sea fastening

Subclause 13.4.3, Particular mooring conditions

Subclause 16.10, Steel wire rope

Subclause 16.11, Synthetic fibre rope

Subclause 16.12, TLP tendons

ISO 19901-7:2013

Subclauses 8.3 and A.8.3, Floating structure response

Subclauses 8.4 and A.8.4, Mooring line response

Subclause 8.5, Line tension

Subclauses 8.8 and A.8.8, Typical mooring configuration analysis and assessment

Clause 9, Fatigue analysis

Clauses 14 and A.14, Synthetic fibre rope mooring

B.8 碎波負載

關於浮式離岸風力機碎波負載之詳細指引可參照下列：

ABS Guidance Notes on Air Gap and Wave Impact Analysis for Semisubmersibles

DNV-RP-C205

B.9 氣隙

關於浮式離岸風力機氣隙之詳細指引可參照下列：

ABS Guidance Notes on Air Gap and Wave Impact Analysis for Semisubmersibles

BV, NI691, *Environmental conditions, loads and induced responses*

DNV-ST-0119

附錄 C

(參考)

浮式離岸風力機錨設計

關於浮式離岸風力機錨設計之詳細指引，可參照下列經認可船級協會之規範：

ABS Guide for Building and Classing Floating Offshore Wind Turbines

BV, NI572, Classification and Certification of Floating Offshore Wind Turbine

DNV-ST-0119, Floating Wind Turbine Structures

附錄 D

(參考)

用於極限強度分析之運轉海氣象參數統計外插法

D.1 一般

本附錄說明環境海氣象參數之外插法，旨在評估定義於 6.3.3.2.3 嚴苛海況(SSS) 相關參數。將長期海氣象參數外插至對應於 50 年回歸期之值時，未考量對應於特定海氣象參數下之反應變動，即給定平均風力之 1 h 最大反應、擾流強度及示性波高等均予以忽略。因此，先對長期海氣象參數加以外插，再進行反應計算，求得 50 年回歸期反應，所得結果通常不同於對所有相關海氣象參數之反應計算，再適當計入海氣象參數之長期分布並加以外插。本附錄描述一常見海氣象參數之外差方法，稱為逆向一階可靠度方法(IFORM，參照參考資料[21]⁽⁶⁾)，該方法於此用以決定嚴苛海況(SSS)。

註⁽⁶⁾ 方括號中的數字為參考資料。

IFORM 可產生環境曲線，定義 50 年回歸期之平均風速 V 與示性波高 H_s 組合。定義環境曲線後，下一步為沿曲線搜尋，找出條件期望極端反應成為最極端反應之點。該點所對應之極端反應，便可作接下來，此點之極端反應即為 50 年回歸期反應之估計值。條件期望極端反應係可藉由數個動態模擬之偽隨機反應時間序列決定，此等模擬時應以用 SSS 海況作為輸入，可選擇性地包含嵌入波浪模擬。本附錄末對 SSS 海況可選擇性嵌入極端個別波高進行討論。

應注意可使用非 IFORM 之替代方法來建立環境曲線，參考資料[23]中提供了不同聯合分布建模技術和環境變數曲線定義方法之敘述。特別是，此曲線可藉由直接採樣方法來建立，此方法係基於對關鍵海氣象變數之聯合模型進行蒙特卡羅模擬而得，參照參考資料[24]。

D.2 使用 IFORM 求出平均風速之 50 年示性波高

IFORM 須使用平均風速 V (在適當之平均期間) 及示性波高 H_s 之聯合分布模型。IFORM 為聯合分布之環境曲線。為建立此環境曲線，須取得 2 個不相關標準常態分布變數 U_1 與 U_2 對聯合分布對 (V, H_s) 之機率轉換：

$$(v, h_s) = \varphi(u_1, u_2) \quad (\text{D.1})$$

建立此轉換之常見方式為應用所謂的羅森布拉特(Rosenblatt)轉換：

$$\begin{aligned} \Phi(u_1) &= F_V(v) \\ \Phi(u_2) &= F_{H_s|V}(h_s|v) \end{aligned} \quad (\text{D.2})$$

其中， Φ ：代表標準常態累積分布函數(CDF)

$F_V(v)$ ：為平均風速之邊界 CDF，而

$F_{H_s|V}(h_s|v)$ ：為依平均風速調整之示性波高分布

羅森布拉特轉換之優點為簡單，以及其中之兩個分布 $F_V(v)$ 與 $F_{H_s|V}(h_s|v)$ 提供一方便方式呈現聯合分布。因此必要之機率轉換成為：

$$\begin{aligned} v &= F_V^{-1}[\Phi(u_1)] \\ h_s &= F_{H_s|V}^{-1}[\Phi(u_2)|v] \end{aligned} \quad (D.3)$$

使用方程式(D.3)之轉換方法，可使用以下程序得出環境曲線。位於 $u_1 - u_2$ 平面上、半徑為 β 的圓，即滿足方程式 $u_1^2 + u_2^2 = \beta^2$ 之所有點，轉換為 $V - H_s$ 平面上之曲線，此即環境曲線。半徑 β 定義為：

$$\Phi(\beta) = 1 - \frac{1}{N} \quad (D.4)$$

其中 N 為 50 年內獨立海況之數目。

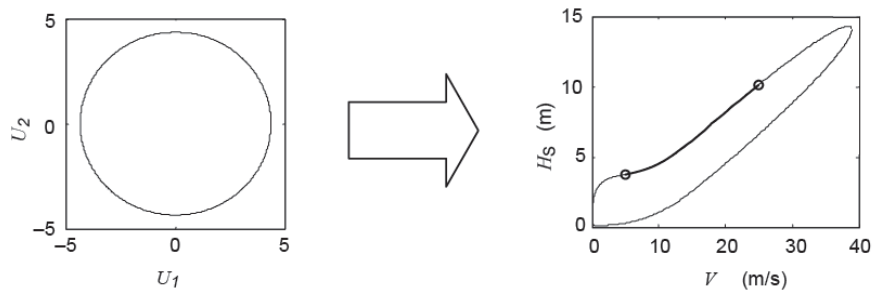


圖 D.1 3 h 海況期間之 50 年環境曲線建立示例

對於 3 h 之海況期間而言， $N = 50 \times 365 \times \frac{24}{3} = 1.46 \times 10^5$ ，因此 $\beta \approx 4.35$ 。對於 1 h 海況期間而言， $\beta \approx 4.58$ 。圖 D.1 為 3 h 海況期間之示例。一般說來，環境曲線不需全部求出，僅需在運轉範圍內給定之平均風速下造成最大示性波高(稱為嚴苛海況(SSS))之環境曲線，因為此處為可測得最大平均極端反應之部分。此部分環境曲線可由以下方法加以求得，不需進行模擬。對於運轉範圍內每一平均風速 V ，首先使用下式評估標準化變數 u_1 ：

$$u_1 = \Phi^{-1}[F_V(v)] \quad (D.5)$$

接下來以下式求出與 V 有關之示性波高(標記為 $H_{s,SSS}(V)$)：

$$H_{s,SSS}(v) = F_{H_s|V}^{-1}[\Phi(\sqrt{\beta^2 - u_1^2})|v] \quad (D.6)$$

圖 D.1 兩小圓間之環境曲線粗黑部分，為由公式(D.5)與公式(D.6)推導而得。由於此方法相當依賴平均風速示性波高之聯合分布模型，因此必須以統計或目視方式進行模型之適合度試驗。聯合分布模型應包含示性波高上限可能的影響，若

無法確定上限是否包含於模型中，則可在確定環境狀態後加上上限以避免高估 $H_{s,SSS}(V)$ 。

D.3 V 與 H_s 之聯合機率分布及環境曲線模擬示例

以下提出 2 項聯合分布模型，在許多狀況下，此等模型可符合資料。此 2 項模型之優點為可推導得出模擬公式(D.5)與公式(D.6)之簡單分析表示式。此等表示式包函數個統計參數，在大多數狀況下能可靠地加以估算。值得注意的是，可靠地估算此等統計參數，並不保證能估計結果之環境曲線為可靠。為確保此點，須進行選定模型之適合度試驗。模型通過此等試驗後，此處提供之表示式即能可靠估計環境曲線。

第 1 個分布模型假定 H_s 以 V 為條件時具備常態分布。意即：

$$F_{H_s}(h_s|v) = \Phi\left(\frac{h_s - \mu_{H_s}(v)}{\sigma_{H_s}(v)}\right) \quad (D.7)$$

其中 $\mu_{H_s}(v) = E[H_s|V = v]$ 及 $\sigma_{H_s}(v) = D[H_s|V = v]$ 分別為 H_s 以 V 為條件之平均及標準差。在此種狀況下，公式(D.6)成為：

$$H_{s,SSS} = \mu_{H_s}(v) + \sqrt{\beta^2 - u_1^2} \sigma_{H_s}(v) \quad (D.8)$$

刪去 u_1 之平方後，可得出公式(D.8)之保守模擬。如此可得出簡單表示式：

$$H_{s,SSS} \approx \mu_{H_s}(v) + \beta \sigma_{H_s}(v) \quad (D.9)$$

V 與 H_s 間之關聯程度強，且切出平均風速與 50 年回歸期平均風速間之差異越大，則公式(D.9)越接近公式(D.8)。

此處呈示之第 2 個分布模型假定 H_s 以 V 為條件時具備對數常態分布，意即：

$$F_{H_s}(h_s|v) = \Phi\left(\frac{\ln h_s - \mu_{\ln H_s}(v)}{\sigma_{\ln H_s}(v)}\right)$$

$$\mu_{\ln H_s} = \ln \mu_{H_s}(v) - \ln \sqrt{1 + CoV_{H_s}(v)^2} \quad (D.10)$$

$$\sigma_{\ln H_s} = \sqrt{\ln(1 + CoV_{H_s}(v)^2)}$$

$$CoV_{H_s}(v) = \frac{\sigma_{H_s}(v)}{\mu_{H_s}(v)} \quad (D.11)$$

使用公式(D.10)時，公式(D.6)則成為：

$$H_{s,SSS} = \exp[\mu_{\ln H_s}(v) + \sqrt{\beta^2 - u_1^2} \sigma_{\ln H_s}(v)] \quad (D.12)$$

公式(D.12)之保守模擬，可使用公式(D.11)之泰勒展開，並刪去公式(D.12)中之 u_1 平方求得：

$$H_{s,SSS} \approx \mu_{H_s}(v) \cdot \exp[\beta C_0 \sigma_{H_s}(v)] \quad (D.13)$$

V 與 H_s 間之關聯程度越高，且切出平均風速與 50 年回歸期平均風速間之差異越大，公式(D.13)越接近公式(D.12)。公式(D.13)可藉由加入 u_1 之平方而獲得顯著的改善，如： $\sqrt{\beta^2 - u_1^2}$ 以取代 β 。

可靠估計有條件平均 $\mu_{H_s}(v) = E[H_s|V = v]$ 及標準差 $\sigma_{H_s}(v) = D[H_s|V = v]$ 在多數情況下為可行。若以目視或統計方式進行適合度試驗，相較於估算 $\mu_{H_s}(V = v)$ 及 $\sigma_{H_s}(V = v)$ ，所需之資料較多且需仰賴最終之判斷以確定保守性。值得注意的是，與一般常態分布模型相比，對數常態模型有較高的保守性。若無法估算 $E[H_s|V]$ 與 $D[H_s|V]$ 及/或保守選擇分布模型，則為保守估計 $H_{s,SSS}(V = v)$ ，可使用與平均風速無關之 50 年回歸期極端示性波高 H_{s50} 。此示性波高由 H_s 之邊緣分布定義，且其海況期間與建立環境曲線時相同。

要正確計入較高的平均風速下之示性波高之上限，在常態及對數常態分布模型兩者中可能均有困難。因此須注意，為避免 $H_{s,SSS}(V)$ 估計值過大，上限可定義為 50 年回歸期之極端示性波高 H_{s50} ，且其海況期間與用於建立環境曲線之海況期間相同。

D.4 海況期間之選擇

由於正確之選擇隨場址(場地)而不同，提供選擇海況期間之精確指引有相當的困難。然而本節中對此問題提供簡短討論。

海況之定義為海面高度過程可假定為具有平穩性之條件。由於海況之期間通常大於或等於 1 h，因此選擇僅 10 min 之期間以符合風速基準週期相當困難。在選擇 10 min 期間之狀況下，欲求得之極端反應(發生於風力機正在發電之正常風力狀態下，且具有 50 年回歸期之反應)甚有可能出現於在 SSS 以外之 10 min 海況。因此，在此狀態下，SSS 之示性波高須相當程度地放大(提高)。選擇接近海況實際持續時間之較長期間，可減少此問題。對應於暴風或熱帶氣旋中心結束期之設計工況可能相當重要，此時波浪仍相當嚴苛，但風速已降低至容許風力機啟動之值。此狀況之運轉空氣動力負載與水動力負載組合，可藉由環境曲線之求取過程加以分析。若選擇 10 min 期間，但 $H_{s,SSS}$ 未加以正確放大，則波浪負載對此重要負載狀況之比重可能將明顯低估。

海氣象資料(包括量測所得及後報)均為 1 h 資料，亦即每小時有一次海氣象觀測資料。在風力資料方面，所得之 1 h 資料通常為 1 h 平均值，亦即此資料為 1 h 平均期間內之平均風速。另一種情況為可取得 10 min 平均風速資料，同時需要轉換為 1 h 或 3 h 資料。此處簡短討論此類轉換對 V 與 H_s 之聯合分布之影響。若考量平均風速之長期邊緣分布時，10 min、1 h 及 3 h 平均期間之風速分布將有差異。基準週期增加時，邊際效應之標準差將微幅減少，而平均值則沒有改變。 H_s 之長期邊緣分布沒有改變，因為就定義上而言， H_s 與取樣區間及應用時使用之基準週期均無關。

基準週期增加時， V 與 H_s 間之關聯可能隨之增加，原因為在以小時為單位之較長期

間內，受風影響而產生之波浪亦會增加。然而，依該場址(場地)之特徵而定，此關聯可能不會隨平均時間而明顯改變，因此可假設 V_{hub} 、 H_s 及 T_p 之長期聯合機率分布與基準週期無關。

D.5 可選擇性嵌入巖苛海況(SSS)極端個別波高之決定

若將此方法應用於浮式離岸風力機，則必須證明使用嵌入極端個別波高以提高特徵負載效應之收斂性是保守的。

若波高分布 $F(h|H_s)$ 為已知，則 $H_{SSS}(V)$ 可藉由解以下 H_{SSS} 方程式而求得：

$$F\left(h_{SSS}\left|H_s = H_{s,SSS}(V = v)\right.\right) = 1 - \frac{1}{M} \quad (D.14)$$

其中， M 表示 SSS 中之平均波浪數目。

公式(D.14)提供分布模式，亦被稱為最有可能的最大值。根據用於找尋特徵極端響應之策略(參照附錄 N)，可能會尋求不同的統計值或百分位數。若波高分布 $F(h|H_s)$ 為未知，則可假設波高為瑞利分布(依據深水中之窄頻海面高度過程假設)，由 $H_{s,SSS}(V)$ 求出 $H_{SSS}(V)$ 。對於 3 h 之海況期間 $H_{SSS}(V)$ 可寫為：

$$H_{SSS}(V) \approx 1.86 H_{s,SSS}(V) \quad (D.15)$$

若以 H_s 為條件之波高分布無法以瑞利模型正確呈現(因為水深限制等原因)，則公式(D.15)可能無效。若無法取得足夠資料，使用公式(D.14)或公式(D.15)求出 $H_{SSS}(V)$ ，則 50 年回歸期之無條件極端波高 H_{50} 與 V 無關，可作為 $H_{SSS}(V)$ 之保守值。

附錄 E
(參考)
腐蝕防護

E.1 一般

關於浮式離岸風力機腐蝕保護系統之指引可參照 ISO 19904-1 與 ISO 12944-9。關於混凝土結構，則可參照 ISO 19903。

浮式離岸風力機位於腐蝕性相當強之海洋環境，且由於可及性之限制，檢查與修理機會經常受限。因此浮式離岸風力機於腐蝕防護方面須加以特別考量，如材料選擇、設計考量、腐蝕防護系統，以及適當之檢查與修理計畫等。

腐蝕損壞可能在許多方面影響結構之完整性、降低其抵抗負載之能力。腐蝕防護之目的為防範在易受疲勞與極端負載影響區域出現損壞。在疲勞方面，腐蝕損壞可能成為應力集中處，並開始出現疲勞裂痕。在極限負載方面，腐蝕防護可避免結構組件之負載抵抗能力降低。在疲勞設計方面，若具備完整之腐蝕防護系統，且該系統具備適合之檢查及修理計畫，則可假設浮式離岸風力機支撐結構不會發生腐蝕損壞。浮式離岸風力機之結構、機械及電氣元件設計，均應考量腐蝕對功能之影響，如接合點生銹卡死或感測器損壞等。

設計浮式離岸風力機之腐蝕防護系統時，需遵守經認可之法規與標準，同時需注意不可混用不同標準之分析方法。

E.2 海洋環境

腐蝕之定義為金屬表面在稱為「氧化」之電化學過程下分解為離子形式。此過程與導電性離子電解質有關，而海洋環境中之海水即可提供此種物質。腐蝕過程受下列海水關鍵變數影響：

- 溶解於水中之鹽與污染物的種類及質量。
- 溶解於水中之氧。
- 溫度。
- 移動與海流。

浮式離岸風力機結構可分為以下區域，以協助瞭解風力機結構與海洋環境之關係：

- 大氣區。
- 飛濺或中間區。
- 浸沒區。
- 掩埋區。

大氣區包含飛濺區以上，完全暴露及半遮蔽區域。

飛濺區之定義為結構中因預測海面高度分布而間歇性潮濕之區域，局部變化通常相當大。

浸沒區由飛濺區向下延伸，包含被海水淹沒之內部艙間。

掩埋區包含掩埋於海底沉積物或被廢棄固體掩蓋之結構部件。

浸沒區上部及飛濺區下部通常亦受海洋附生物影響。隨此類附生物之種類及生長範圍，以及當地狀況不同，此效應可能強化或抑制腐蝕影響程度。海洋附生物還可能干擾腐蝕防護系統，如塗裝/內襯，以及陰極防護等。

在北極圈條件下，冰之擦蝕可能除去以下物質，提高腐蝕速率：抑制腐蝕之氧化層、腐蝕防護塗裝，以及海洋附生物。

在熱帶條件下，由於平均溫度與濕度較高使海洋環境更加嚴苛，腐蝕防護系統更顯得重要。

E.3 腐蝕防護之考量

腐蝕防護系統用於在設計壽命中止或降低腐蝕對結構造成之損害。實際上，要完全阻止腐蝕通常相當困難，但要降低腐蝕速率仍屬可能。

腐蝕損壞可藉由下列腐蝕防護措施加以抑制：

- 運用受認可之設計規定及標準，選擇適合之結構材料。
- 使用適合之設計方法，包括：可及性、良好之排水、去除邊緣及瑕疵，以及其他考量等。
- 使用塗裝系統將金屬材料與電解質隔離。
- 定期檢查及修理腐蝕防護系統。
- 使用電化學防護措施，如陰極防護等。

E.4 腐蝕防護系統-支撐結構

浮式離岸風力機支撐結構之腐蝕防護系統可區分為兩大部分，分別為塗裝系統與陰極防護。以下將就此兩部分於支撐結構各區域之要求加以探討。

對於大氣區與飛濺區而言，所有金屬表面應適用符合經認可之法規或標準之適當塗裝系統。飛濺區應特別加以注意，此處之塗裝系統應針對較嚴苛之海況環境加以指定，依據結構之維修條件加以調整，且需評估其效果。

浸沒區與掩埋區亦應藉由適當防護系統加以保護，以延長結構之設計壽命，否則須應容許更新或修理。若預期採取更新措施，則須訂定專門調查區間，偵測是否有塗料分解。

箱型梁、管槽等密閉之內部空間，不需具備內部腐蝕防護。組裝過程期間應特別注意，確保空間在密封前完全乾淨及乾燥。對於內部水交換率極小或等於零之永久浸沒空間而言，腐蝕防護規定亦可予以降低。

所有塗裝系統應具備檢查及修理計畫，以確保在設計壽命期間可維持其完整性。若降低檢查頻率，則須依經認可之標準，加強注意塗裝品質要求。須注意塗裝品質要求本身無法保證設計壽命期間之效能，塗裝選擇應以類似用途之已證明產品經驗為基礎。

此外，浸沒區須具備陰極防護。陰極防護通常採用電蝕陽極(犧牲式)或外加電流系統兩種方式。若陰極防護系統在結構部件上造成不利之電流分布，則建議在此

等範圍添加額外塗裝。縫隙與陰極防護措施無法產生作用之區域應加以避免，或以額外塗料加以補足。對於可停靠進行澈底檢查與修理之浮動結構而言，此項規定可能需重新考量。

以腐蝕容許量代替腐蝕防護系統，僅適用於：重要性不高之元件、設計壽命較短之結構，或準備進行定期檢查與修理之區域。舉例而言，在 ISO 19902 中，在北海地區，位於飛濺區且無防護之低合金或無合金鋼鐵，其腐蝕速率指定為每年 0.3 mm，位於浸沒區之鋼鐵則為每年 0.1 mm。以 20 年之設計壽命而言，等於在飛濺區之總腐蝕為 6 mm，而在浸沒區為 2 mm。在極限狀態分析中，此腐蝕應視為腐蝕容許量加以容許。

E.5 轉子(葉輪)－機艙總成之腐蝕防護

機艙亦位於大氣區，且承受相同之海洋環境腐蝕應力，應採與浮式離岸風力機支撐結構相同腐蝕防護考量。另一項可採取之腐蝕防護措施為隔離機艙與大氣區。對於機艙內之所有金屬表面，需依據經認可之法規或標準，施加塗裝系統。建議依據 ISO 12944-2 區分環境類別為：

- － 外部元件、配件、感測器等，應依 CX 類別防範腐蝕。
- － 直接接觸外部空氣之內部表面，應依 C4 類別防範腐蝕。
- － 與外界空氣隔離之內部表面，依 C3 類別防範腐蝕。

一般而言，相對濕度超過 80 % 時，可能發生顯著腐蝕。因此，應藉由環境密封及調節機制，控制機艙內部之環境。環境控制系統應由風力機之控制系統監測，同時實施正常定期維護。

此外，直接或間接接觸外部空氣之其他內部元件(如軸承或齒輪箱之通氣口)、運轉材料(如潤滑劑及油料)，以及位於機艙外部之外部元件(如油封、彈性密封墊及軟管等)，在指定及設計時須可承受離岸海洋環境。為提供指引，建議以 IEC 60721-3-3 所述之環境為依據。

附錄 F

(參考)

熱帶氣旋期間極限波高之預估

F.1 一般

應適當考量位於熱帶或副熱帶地區之浮式離岸風力機可能面臨颶風、氣旋或颱風等熱帶氣旋影響極限波高之情況。相關之評估可藉由實地量測或後報技術^[33]。而兩者均須具備至少 30 年之數據作為參考。

本附錄針對熱帶及副熱帶地區後報技術之內容進行補充。

F.2 面臨熱帶氣旋時之風場評估

離岸風況本身就難以量測，一般離岸風場皆以模型建置之方式估算。本節描述一種模擬離岸風場的方法。該方法可以結合實際模擬的氣旋路徑和合成的氣旋路徑。風場表面氣壓在熱帶氣旋情境之模型建置可使用 Schloemer 模型^[34]或 Holland 模型^[35]，Holland 模型中表面氣壓可定義為：

$$\frac{p(r)-p_c}{p_\infty-p_c} = \exp\left(-\frac{R_m}{r}\right)^B \quad (\text{F.1})$$

式中， r ：與熱帶氣旋中心之距離

p_c ：熱帶氣旋中心氣壓

p_∞ ：熱帶氣旋外之氣壓

R_m ：最高風速之半徑

B ：為形狀參數，在 Schloemer's 模型等於 1.0

熱帶氣旋模型參數可用 DVORAK 技術^[36]或由當地氣象機構公告之數據(參照參考資料[47]及[48])進行推估。其他極端風況模型之不確定性，及數據和模擬之作用則可參照參考資料[37]、[38]及[39]。

邊界層外之風場可以藉由假設梯度風平衡來估計，表面風則可以使用 Ishihara 等人提出之方法進行估算^[40]。

需格外注意開放海域中湧浪可能對極端波高有顯著影響，在此情況中，應針對影響發生熱帶氣旋時波高之熱帶氣旋外部風場進行模型建置。以中尺度氣象模擬估算熱帶氣旋外之風場地表風況^[41]。

F.3 熱帶氣旋區之波高預測

熱帶氣旋時之波高推算可使用第三代的波浪模型執行後報，如 WAVEWATCH III (WW3)^[42]或 SWAN^[43]。第三代波浪模型求解對波數－方向頻譜之隨機相位頻譜行為密度平衡公式。此公式之隱含假設為介質性質(水深與海流)與波場本身隨時間與空間尺度之變化遠較單一波浪的變化尺度為大。波高模型預測時應一併預測波浪間相互動力消散、破碎波浪間等作用力。選擇模擬之水平解析度時需特注意考慮與海岸線距離、測深特性與水深。

附錄 G

(參考)

符合熱帶氣旋地區安全位準之建議

G.1 一般

熱帶氣旋相關之海氣象條件可能產生較溫帶氣旋大之變化性(較大之極值變異係數[COV])，此等潛在的需求將改變設計規則，如變更設計公式、特徵值(例如回歸期)或安全係數，以維持本標準中隱含對溫帶地區設計規則之相同安全位準。相關示例可參照 IEC 61400-1:2019 11.3.2 之註腳說明。

本附錄提供一符合熱帶氣旋情境下區域相關條件設計規則之方法。其餘方法得於證明其安全位準等同文件所要求之安全位準後可運用。用於對抗熱帶氣旋區域相關之設計規則要求，僅能應用於浮式離岸風力機支撐結構之設計。

G.2 符合整體穩固層級準則

在探討熱帶氣旋情境下之結構安全需求，可著重在浮式下部結構及位置保持系統整體穩固層級標準之使用，而非取決於基於危害曲線而得知局部安全因子。美國石油協會(API)建議手冊 2A 第 22 版，針對處於熱帶氣旋侵襲之地理區域，提供基於生命安全與損害結果之風險，建立特定場址資料及選擇環境基準之指南。對於暴風情況之無常駐及可撤離並具中等暴險程度之 L-2 結構，應定義 50 年之設計層級準則及 500 年之穩固級層級準則。

G.3 設計負載狀況

建議位於受熱帶氣旋影響區域之風場，額外考量表 G.1 所示之設計負載狀況。

於 DLC G.2 中極限環境情境(extreme environmental conditions)下之回歸期設定為“N”，在極限環境下有 1/500 之可能性會失去機艙轉向力或控制性之情況，等同於 500 年之回歸期之設定。“N”之設定宜由設計者評估，若場址有停電之虞，則應針對環境情境保守設定 500 年之回歸期，若風場具備備用電力系統則可除外(詳細內容可參照 7.4.7)。

表 G.1 熱帶氣旋影響區域之額外負載狀況表

| 設計 工況 | DLC | 風況 | 波浪 | 風與波浪 方向 | 海流 | 水位 | 其他 條件 | 分析 種類 | 局部 安全 係數 |
|-----------------------------|-----|---------------------------------------|------------------------|------------|-----|------|----------|----------|----------------|
| 停機 (待機 狀態 或惰 轉) | G.1 | EWM 擾流風模型 $V_{hub}=V_{10min,500}$ | ESS $H_s=H_{s500}$ | MIS,MUL | ECM | EWLR | | U | 1.0 |
| | G.2 | EWM 擾流風模型 $V_{hub}=V_{10min,N-yr}$ | ESS $H_s=H_{sN-yr}$ | MIS,MUL | ECM | EWLR | 電網 喪失 | U | 1.0 |

附錄 H

(參考)

地震

對於地震活躍之區域，於結構設計中應考量地震活動引發之情況(參照 ISO 19900)。然而，浮式結構設計通常不會考量地震發之作用(另參照 ISO 19904-1、ISO 19901-2 和 API RP 2T)。

由於懸鏈式繫泊系統勁度較小，地震較不會影響浮式下部結構，但會造成動態繫泊索張力負載。若為張力腿或緊繫式位置保持系統，較大勁度會使慣性力傳遞至浮式下部結構。地震產生之動態張力會造成起伏運動(以及緊繫式位置保持系統潛在縱移和橫移運動)。對於具有多於一條緊繫式繫泊索或張力腿之浮式下部結構，考量作個別錨點作用力之相位所能引起之橫搖和縱搖運動至為重要。位置保持系統之設計應符合第 14 節所述之相關 ISO 標準。

應檢查錨系統之地工條件，以確定動態土壤性質和液化潛勢(另參照 ISO 19901-4 之 6.3.2 及 6.4.2)。

附錄 I
(參考)
模型試驗

模型試驗之目的包以下三種情況：

- 確定特定結構構形之反應。
- 驗證系統反應之分析或數值模擬方法，包含氣隙和模擬參數校正(調整)，特別是流體動力模型。
- 確認試驗構形無發生異常或意外行為，例如過大波擊、溯升和上浪。

在停機或惰轉情況，可忽略風力機影響下，基本上可採用傳統離岸結構物於造波水池之試驗方法。在發電情況下，除一般離岸結構物之試驗方法外，重要的是需考量使用合適之風力機模型，因運轉中之風力機可能影響浮式下部結構之反應。此一情況可藉由於波浪水槽內適當增加造風機或藉由其他風負載模擬等結合風/波浪方式進行試驗，可納入風負載之不同選項包含：

- (a) 在風場中之被動阻力盤。
- (b) 在風場中運轉之縮尺風力機。
- (c) 機載風扇(組)：安裝於機艙高度之導罩式或開放式風扇(組)。
- (d) 絞機系統：安裝於機艙高度之機械致動器。

當增加造風機(選項 a 及 b)於波浪水槽時，應注意造風機之設計，以減少非預期的擾流和渦流，並使由非預期之風造成之波浪減至最少。結合風/波浪之水槽試驗中，正常操作程序應施加以適當縮尺比後之風負載，而非風速。主要風負載應能就相對模型之方向適當表示。造風機應能產生穩定的風負載及適當的風擾流負載。

當使用縮尺之風力機(選項 b)時，縮尺控制成為一項挑戰。雖然佛勞德縮尺方法通常為一合理方法，但由於空氣動力負載取決於雷諾數，因此應針對轉子調整該方法。雖然不可能對風力機和浮式下部結構使用相同的縮尺方法，但須驗證空氣動力和水動力受力之間的比例與實際尺寸系統相差不遠。在佛勞德縮尺環境下進行結合風/波浪風力機試驗，建議使用專為低雷諾數環境(性能尺度)設計之葉片幾何形狀。可藉由增加葉片弦長並使用適合低雷諾數之翼型來達成，此通常在風洞試驗中採用。此一情況下葉片幾何形狀可能無法代表全尺寸結構，但葉片之設計應匹配全尺寸之功率、推力和可能的扭矩係數曲線，這將確保在佛勞德縮尺環境中維持結構上的全域平均力。重現試驗之數值模擬應使用與模型試驗相同的雷諾數。因應縮尺風力機調整之控制系統非常重要且應確保由控制系統引起之高頻反應可正確表示。

若以獨立於浮式離岸風力機下部結構來驗證風力機模型較為有利。雖然這可藉由將浮式下部結構固定在水池中達成，但可先於風洞中測試風力機為佳。在配備致動器之風洞中進行試驗，以決定預先計算或即時(HIL/SIL，見下文)計算浮式下部結構運動，可能有利於分析轉子空氣動力與驗證控制系統。

可藉由造風機以外之方式模擬波浪水槽中之風負載，例如藉由代替轉子之可控風扇或一組風扇(選項 c)。或藉由可指定預先計算或即時計算風負載之致動器(選項 d)。此種混合實體與計算之方法稱為硬體迴路(hardware-in-the-loop, HIL)或等效之軟體迴路(software-in-the-loop, SIL)，取決於「迴路」是表示計算還是實驗。藉由此等方法，同樣重要的是要驗證空氣動力和水動力之間的比例與實際系統相差不遠，並應注意因計算或致動延遲所產生之虛擬勁度或阻尼效應對系統造成影響。

無論選擇何種實驗設置，運轉中轉子(特別是當浮式下部結構橫搖/縱搖時)產生之氣動力激振和阻尼均應正確表示，以獲得真實的耦合運動行為。另外，若有必要，建議測試葉片旋角控制之影響。另一項可能需要根據其重要性納入考量的效應，是運轉中轉子在承受整體運動時所產生之迴轉負載。

儘管已進行葉片旋角控制試驗，但仍存在與模型試驗中快速時間尺度相關之重大挑戰，以及控制器本質上與全尺寸控制器不同之事實。重新設計之轉子可能需要重新設計控制器。

當彈性行為是所關注之物理現象之一時，有必要考量關於外力(風及/或波浪)頻率(f_{in})與結構振動自然頻率(f_n)之間的關係。

(a) $f_{in} \ll f_n$

可假設結構為剛體。

備考：一般而言，浮式結構(不包含塔架)在此頻率範圍中可被假設為剛性結構。

但若浮式結構之尺寸較大，該假設可能不合適。

(b) $f_{in} \approx f_n$

由於存在共振可能，因此須正確處理結構撓度。

(b) $f_{in} \gg f_n$

由於彈性對整體結構反應可能造成顯著影響，因此須正確處理結構撓度。

建議進行具位置保持系統之顯式弗勞德尺度模型。對於具有新穎配置之設計概念，海氣象負載和負載效應計算應藉由模型試驗驗證。藉由謹慎評估模型縮尺參數和試驗條件，在模型尺度上試驗浮式離岸風力機之新穎設計概念較為理想，以降低全尺度開發階段由於參數調整造成的昂貴成本。此外，高階負載效應應藉由一致的高階理論，並適當參考模型試驗加以確定。

儀器(包括感測器及其電纜)應輕量化，避免改變模型之動態行為。建議盡可能使用無線感測器，以避免感測器電纜影響模型之動態反應。若使用負載感測器量測塔架負載，應注意避免在塔架中產生額外的柔度。

建議依據 ISO 19904-1:2019 之 8.12、13.2.1 及附錄 A 之 8.12 與 ISO 19901-7:2013 之 8.3.5.1、14.6 和附錄 A 之 8.3.5.1.2，進行浮式離岸風力機模型試驗。更多資訊參照 ITTC:2021 Final Report and Recommendations to the 29th ITTC 第 9 節與程序和指南 7.5-02-07-03.8 和 7.5-02-07-03.17。

附錄 J

(參考)

海嘯

J.1 一般

ISO 19901-1 強調以下幾點：

- 有關海嘯資料有限，但應考量場址暴露於海嘯波可能接近之方向與來自可能震源伴隨之海流。
- 對大多數離岸結構而言，環境作用主要是極端風造成之波浪。週期極長的海嘯波會對繫泊之浮式結構造成巨大的負載。
- 海嘯高度可能因淺灘和折射急劇增加，因此靠近複雜海域地形或半封閉特徵(如海灣)之淺水場址應特別注意。

一般而言，海嘯是由地震引起的海床隆起而產生。海嘯雖然是波浪的一種，但由於浮式離岸風力機基本上安裝於在深水區，因此浮式離岸風力機之海嘯負載外部條件可以水面波形高和水平海流之變化表示。

當位置保持系統之自然週期與海嘯波週期接近時，應評估位置保持系統之共振反應。典型的海嘯波浪週期在震央附近區域為 5 min 至 60 min^[49]，在遠離震央區域為數小時至 20 至 30 h^[50]。

J.2 海嘯數值模型^{[51][52]}

海嘯可用長波理論表示，長波理論為適用於相對深度(水深與波長之比)較小之波浪近似理論。於此情況，水粒子之垂直加速度與重力加速度相比小至可忽略不計，且水粒子之軌跡曲率亦足夠小。因此可假設水粒子之垂直運動不影響壓力分布，從而將壓力視為靜水壓，而水粒子之水平速度可視為在垂直方向均勻分布。長波理論方程式描述如下。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (J.1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{M^2}{h} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{MN}{h} \right] + gh \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{h^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad (J.2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{MN}{h} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{N^2}{h} \right] + gh \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn^2}{h^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad (J.3)$$

式中， η ：為水面波形高

M ：為水平面 x 方向之排出通量

N ：為水平面 y 方向之排出通量

H ：為水深

n ：為曼寧粗糙度係數(Manning's roughness)

g ：為重力加速度

若水深夠深，即亞瑟數(Ursell number, U_r) $\ll 1$ ，則可應用微小振幅波理論之假設，且海底摩擦力之影響可忽略不計。用來標示長波非線性之亞瑟數定義為：

$$U_r = \frac{H}{h} \left(\frac{\lambda}{h} \right)^2 = \frac{H\lambda^2}{h^3} \quad (\text{J.4})$$

式中， U_r ：為亞瑟數

H ：為波高

Λ ：為波長

h ：為水深

基於上述假設，線性長波方程式描述如下：

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (\text{J.5})$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + gh \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \quad (\text{J.6})$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + gh \frac{\partial \eta}{\partial y} = 0 \quad (\text{J.7})$$

線性長波理論適用於估計水面波形高和水平海流速度之變化。近似公式如公式(J.8)所示^[49]，用於求得水深與非線性項對線性項之比例關係。圖 J.1 顯示使用日本本州島東北側區域參數(即 $h_0 = 500 \text{ m}$ 、 $A = 1 \text{ m}$ 和 $m = 1/50$)做為示例計算公式(J.8)的結果^[49]。此項研究中，假設該區域典型之海嘯週期超過 15 min。從圖 J.1 結果可得，線性長波理論適用於水深深於 50 m 之區域，因此狀況下 q 低於 10%。根據上述結果，由於場址水深大多深於 50 m，因此基本上考量採用線性長波理論以評估海嘯對浮式離岸風力機之影響。這項研究中，海嘯影響以水面波形高和水平海流之變化表示，並以線性長波理論評估。

$$\frac{h}{h_0} = \left[\frac{6\pi A}{\sqrt{gh_0 m T}} \frac{100}{q} \right]^{\frac{4}{3}} \quad (\text{J.8})$$

式中， h ：為任何點之水深

h_0 ：為邊界點之水深

A ：為邊界點之波振幅

M ：為海底坡度

T ：為波浪週期

q ：為非線性項對線性項之百分比

g ：為重力加速度

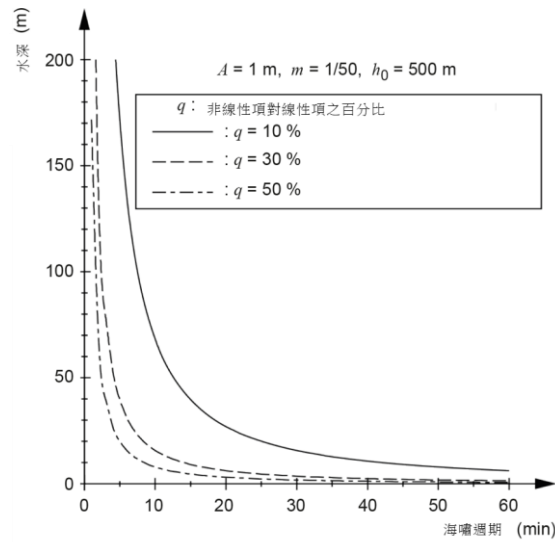


圖 J.1 公式(J.8)之計算結果

J.3 水面波形高和海流速度之變化評估^[5]

根據格林定律(Green's law)得到場址水面波形高變化，如公式(J.9)所示。

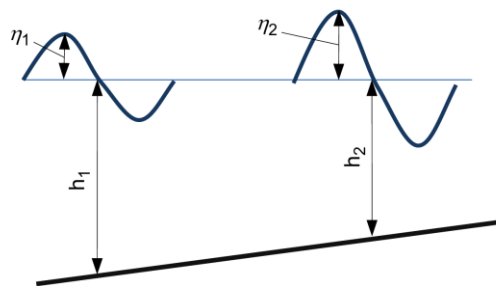
$$\eta_0 h_0^{1/4} = \eta_1 h_1^{1/4} = \text{const} \tag{J.9}$$

式中， η_0 ：為邊界點之水面波形高變化

η_1 ：為場址之水面波形高變化

h_0 ：為邊界點之水深

h_1 ：為場址之水深



基於線性長波理論的海流速度，如公式(J.10)所示。

$$u = \eta \sqrt{\frac{g}{h}} \tag{J.10}$$

式中， u ：為海流速度

η ：為水面波形高

h ：為水深

g ：為重力加速度

附錄 K

(參考)

位置保持系統之餘裕度

當失去一條繫泊索或張力腿後，浮式離岸風力機仍可藉由受損之位置保持系統維持浮動穩度於限定區域內，且不會影響到其他結構，亦可避免因繫泊索或張力腿損失而引發進一步後果者，則可被定義為餘裕之浮式離岸風力機位置保持系統。此應藉由風險評估加以證明，包含對人身安全之無危害及相鄰結構無漸進崩塌之風險證明文件。若經所有者/開發者批准，浮式離岸風力機因漂移而使動態電力電纜斷裂和停機可能被視為可接受的方案。

對於缺乏餘裕度之位置保持系統，設計時應增加安全係數。關於非餘裕之位置保持系統設計之詳細指南與經認可船級協會之規範，可參照：

ABS, Guide for Building and Classing Floating Offshore Wind Turbines

BV, NI572, Classification and Certification of Floating Offshore Wind Turbine

DNV-ST-0119, Floating Wind Turbine Structures

附錄 L

(參考)

IEC 及 ISO 標準中不同之極限狀態方法

本附錄參照 IEC 61400-1/IEC 61400-3-1 及 ISO 19904-1/ISO 19901-7 作為規範性參考文件。雖然此等標準中所描述之極限狀態分析方法和暴露位準之定義不同，但在建立設計要求方面具有相同目的。IEC 61400-1 及 IEC 61400-3-1 中之方法源自 ISO 2394：結構可靠度通則(General principles on reliability for structures)。原則上，所定義之方法應保持一致，因 ISO 19904-1 及 ISO 19901-7 透過 ISO 19900 參照規範 ISO 2394。然而，不同負載情境之分組和描述方式有顯著差異。本附錄描述兩個系統之間的對應關係，以提供更明確的說明。

兩種方法之間最顯著的差異在於，ISO 19904-1 與 ISO 19901-7 將設計情境分成不同的極限狀態，而 IEC 61400-1 及 IEC 61400-3-1 則定義不同的負載狀況，並解釋需要對不同負載狀況進行極限或疲勞計算，以及採用相應負載之局部安全係數。第二個差異在於，IEC 61400-1、IEC 61400-3-1 及 ISO 2394 中，疲勞分析並未被定義為一個獨立的極限狀態，而是最終極限狀態分析之附屬部分。第三，IEC 61400-1 及 IEC 61400-3-1 中，並未分別定義異常和最終極限狀態，而是通過不同類別之極限負載狀況來表示。此外，IEC 61400-1 及 IEC 61400-3-1 中等效適用之使用性極限狀態，不是由個別負載狀況評估，而是對所有極限負載狀況加以評估；再者，在葉片變形量方面，會應用局部負載和安全係數，以確保葉片和塔架間之間隙。此等差異並不表示兩種方法不相容。儘管定義不同，但計算方法相似。表 L.1 說明 ISO 19904-1 與 ISO 19901-7 之極限狀態與本附錄之負載狀況之對應。

離岸結構之疲勞分析通常藉由頻譜分析，然而對於風力機結構通常需要進行時域模擬以納入非線性效應。此為 ISO 19904-1 與 ISO 19901-7 所述選項之一，因此如何考量疲勞之時域分析不再進一步詳細說明。

表 L.1 ISO 19904-1 表 4 之極限狀態與本附錄之負載狀況之間的對應

| ISO 19904-1 之極限狀態 | IEC 61400-3-2 之負載狀況 | 註記 |
|----------------------|--|--|
| ULS-a | 無 | IEC 61400-3-2 中未提及額外重力負載之設計檢查。 |
| ULS-b | 極限 (1.1, 1.3~1.6, 2.1, 3.2, 3.3, 4.2, 5.1, 6.1, 6.3, 8.1) | IEC 將負載之局部安全係數應用於使用無因數化載重之負載分析所得之負載效應(即方法 1)，而 ISO 將負載/作用係數應用於負載/作用以及使用因數化負載之負載分析(即方法 2)。IEC 之安全係數為 1.35，而 ISO 19904-1 之安全係數為 1.30。ISO 將 1.3 用於環境負載，將 1.0 用於 ULSb 之永久和可變負載。ISO 之環境回歸期為 100 年，而 IEC 之環境回歸期為 50 年。 IEC 和 ISO 使用不同的材料/阻抗係數。IEC 61400-1 之 7.6.2.4 要求鋼及螺栓一般為 1.1，高強度鋼為 1.3，殼整體挫曲為 1.2。ISO 19904-1 之 9.7.3.3 採用鋼為 1.15，螺栓為 1.3。 |
| FLS | 疲勞 (1.2, 2.4, 3.1, 4.1, 6.4, 7.2, 8.3, 8.4) | ISO 19904-1:2006 之 10.3 中所概述之過程大多與 IEC 61400-1 和 IEC 61400-3-1 所概述之過程相符。差異主要出現在 ISO 的 f)和 g)兩點，其中建立反應振幅運算子之頻譜疲勞分析程序以及將每一疲勞設計海況與一個模型配置相連結，在 IEC 中則替換為進行時域模擬，以表示運轉、非運轉、啟動與停機條件。兩項標準對疲勞採用之局部負載安全係數均為 1.0(unity)。疲勞損傷設計安全係數可應用 ISO 標準、經認可船級協會之規範，或僅對於塔架時，可採用 IEC 61400-1 之規定。 |
| SLS | 對所有負載狀況評估 | IEC 之臨界撓曲分析中，會施加負載和材料安全係數，而 ISO 19904-1 之 SLS 則沒有應用安全係數。 |
| Pre-ALS | 異常 (2.2, 2.3, 2.5, 2.6, 8.1, F1.1, F2.1) | 異常負載狀況之安全係數一般為 1.1(相較於 ALS 為 1.0)，但地震負載狀況除外，其安全係數為 1.0，回歸期為 475 年(相較於 ISO 19904-1 為 10000 年)。 |
| Post-ALS | 異常 (6.2, 7.1, 8.2, F1.2, F1.3, F2.2, F2.3) | 異常負載狀況之安全係數一般為 1.1(相較於 ALS 為 1.0)。 |

附錄 M

(參考)

負載和負載效應邏輯在浮式下部結構設計之應用

M.1 一般

「負載」和「負載效應」之間的區別反映以下計算流程，其中包含：

- 環境「負載」之描述。
- 組成模型之描述。
- 應用於組成模型上環境負載之解算器，提供「負載效應」輸出。
- 評估負載效應(需求)相對於阻抗(容量)模型之判定準則

在經典結構力學中，設定可能相對簡單：例如在解析或數值組成模型上施加負載(如外部壓力、力和力矩)可提供結構中的負載效應(如應力、變形)。

在局部安全係數方法下，在應用相對的負載和阻抗係數後，最終根據阻抗驗證負載效應。

M.2 典型負載計算設定

對於浮式離岸風力機浮式下部結構工程設計而言，情況可能更加複雜，因為主解算器(結構動態模型)並未直接提供設計過程所需的所有負載效應。以下設置可用以解析負載效應。

- (a) 耦合模擬後解析的內部負載力學：重力負載、外部靜水壓力和流體動壓力，以及由結構動態模型預先計算的邊界力和力矩，隨後應用於單獨的結構模型，例如數值有限元素模型。採取適當的步驟以表示或重建慣性加速度負載。單獨的結構模型產生具有相關負載效應的內部負載狀態。
- (b) 耦合模擬期間解析的內部負載力學：結構動態模型可能包含代表細長浮式下部結構組件的梁元素，此等元素可承受局部外部負載。在這種情況下，內部(截面)負載狀態以軸向力和剪力及彎矩和扭矩的形式呈現，與塔架內部負載的方式相同。藉由分析後處理可得負載效應，應注意於截面上應施加適當的靜水壓力和流體動壓力。
- (c) 混合內部負載解析法：當浮式下部結構的細長部分可藉由梁元素全面分析，而其他部分於此處稱為「節點」(連接區域、接頭)不行時，可使用設置 B 來處理前者和設置 A 來處理後者。此即建立一個節點的單獨結構模型，其中可從相鄰的梁元素中擷取邊界力和力矩。

在設置 B 和 C 中可能會注意到，「負載」和「負載效應」分類變得更加複雜，因須處理與驗證三個量值：(一)外部負載、(二)內部(截面)負載、以及(三)最終負載效應(例如應力)。

M.3 應用示例

這裡介紹混合方法 C 的可能工作流程，為上述概念提供一些背景。為簡單化，假

設唯一要驗證之負載效應為材料應力。

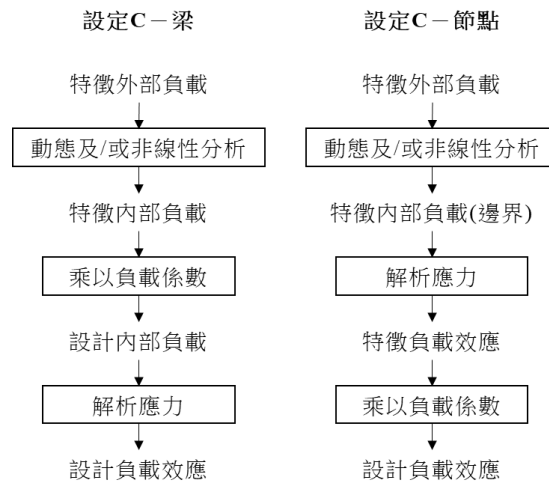


圖 M.1 混合「梁」和「節點」浮式下部結構模型設定之負載和負載效應工作流程示例

參考圖 M.1，在建立參考設計負載狀況環境(波浪、風、海流條件等)後，分析結構動態模型，其中浮式下部結構承受特徵外部負載。梁之特徵內部負載可作為模擬輸出。

後續工作流程對於梁和節點之組織方式有所不同：

- **梁部分**：若滿足材料線性之假設，可在解析應力之前實施負載係數(參照 7.6.1.3 方法 2)。此方法可直接求得設計截面力和力矩，通常包含額外的因數化負載資訊(例如局部壓力和加速度)；所有項目都將用於分析每個截面之設計應力位準。
- **節點部分**：節點的單獨結構模型會輸入來自動態模擬之特徵資訊(邊界負載等)。此等輸入通常仍未因數化，以免擾亂結構模型之平衡。解析特徵應力後，乘以負載係數即可得出設計應力(參照 7.6.1.3 方法 1)。

值得注意的是，在進行多重隨機種子之設計負載狀況強度檢核時，特徵負載狀態可藉由選取已實現的同步負載組合來獲得，其結果接近於不同隨機種子間各負載分量的最大值平均值(mean-of-maxima)。視負載狀況類別而定，亦可同樣採用「上半部最大值平均」(mean-of-upper-half-maxima)或「最大值中之最大值」(max-of-maxima)。

附錄 N

(參考)

模擬長度和相關參數指南

N.1 一般考量

N.1.1 一般

本附錄提供有關用於確定適合浮式離岸風力機系統設計之模擬長度方法、相關設定及後處理選擇之指南。

設計負載狀況係由一組固定環境與系統參數定義。進行設計負載狀況之時域模擬係指在某一隨機特徵環境條件呈現下，藉由負載模型施加於浮式離岸風力機之組成模型進行模擬。對於每個設計負載狀況配置，可採用多重具有不同組成相位(在下文中表示為「隨機種子」)呈現。

模擬後處理通常僅限於總解析持續時間內可利用之時間窗口進行。作為設計負載狀況類別之功能，該時間窗口預計包含完全發展的穩態反應或從穩態觸發之暫態事件(停機等)。因此，在模擬中確保系統達成穩態條件具重要性。

此處的模擬長度係指可利用時間窗口之長度。對於給定的設計負載狀況，此處的模擬時間係指所有個別隨機種子模擬長度之總和。

N.1.2 初始暫態時間

為產生合適的穩態數據，建模者必須在模擬進入可利用時間窗口前，預留足夠長的初始暫態時間，以確保：

- 初始模擬暫態反應衰減，此類暫態反應通常源於下列任一原因：初始條件設定不適當；組成模型達到初始平衡；將環境負載逐步提升至全載強度；控制器啟動並建立氣動推力反應。
- 共振反應已完全建立，其中浮式離岸風力機特有之領域包含：模態之低頻反應；控制器動作與浮式離岸風力機運動之相互作用，例如自激共振(如負空氣動力阻尼)。

N.1.3 低頻動態取樣

繫泊浮式系統通常具有低頻模態(如縱移和縱搖)之特徵，其顯著的反應週期約為分鐘或更長。為產生可靠之反應統計數據，設計者應致力於在每個設計負載狀況之模擬時間內對循環進行足夠取樣。例如藉由收斂性研究，認為取樣可能至少 50 個典型低頻循環較為適當；若該模態之自然週期為 1 min，則需要 50 min 或更長之模擬時間才能符合取樣標準。

N.1.4 基準週期

時間平均海氣象資料與記錄長度相關，通常風資料為 10 min，而海況資料為 1 或 3 h。此長度在此表示為基準週期。

模擬長度很少與基礎基準週期相匹配，且必須根據分析類型審慎處理結果(參

照 N.2 與 N.3)。

N.2 疲勞極限狀態分析之模擬

N.2.1 一般

對於以循環計數進行疲勞後處理的模擬而言，正確呈現反應變異是關鍵。然而，不應完全忽略反應極端值之呈現，在某些情況下，少數高值暫態反應可能引起損害。

N.2.2 反應變化與基準週期

獲得具代表性的反應變異並將其對應至基準週期的最典型方式如下：

- (a) 不論「基準週期與模擬時間長度」之比率為何，應將海氣象參數直接轉錄至模擬環境，包含與強制變化相關之指標(尤其是風擾流強度和示性波高)。
- (b) 依照標準作法，使用「基準週期與模擬時間長度」之比率作為衡量模擬時間(使其與基準週期相等)內計算損害的因子。同樣地，可將損害平均於一組隨機種子中，而後以「基準週期與模擬時間長度」之比率進行縮放。

N.2.3 損害之統計收斂性

應注意各疲勞設計負載狀況中長期損害之統計收斂性；一般而言，所研究的概念/反應之行為越不穩定，越難獲得收斂。

至少有 2 種模擬設置會影響損害之收斂性：

- 用於建立設計負載狀況清單的參數離散化解析度。
- 每項設計負載狀況之模擬時間。

改善其中任一項皆可提高收斂性；設計者可尋求最有效之組合，並藉由針對性研究以證明其充分性。通常建議先提高參數離散化解析度，再增加模擬時間，可在改善環境條件之呈現同時提高收斂性。

低頻反應對於繫泊系統的疲勞至關重要，應證明其於模擬中得到充分的呈現。為了完整擷取此效應，可能需要更長的模擬時間長度。亦可藉由上述任一方式，獲取低頻動態之正確取樣：或許在單一設計負載狀況中對慢週期的取樣不足情形(見上文)，可藉由高解析度的設計負載狀況清單有效改善。

應注意代表離散事件之設計負載狀況(例如設計負載狀況 2.4、3.1、4.1)可能會受益於使用多重隨機種子，以呈現更佳的損害收斂性，與穩態情況相同。

N.3 極端極限狀態分析之模擬

N.3.1 一般

N，所需之特徵極值(CE)通常定義為：

- 預期之最大值(或最小值)，即極端分布之平均值。
- 最有可能之最大值(或最小值)，即極端分布之眾數。

N.3.2 特徵極值與基準週期之一致性

通常為確保反應特徵極值與海氣象數據的一致性，依賴於環境作用統計數據(模擬輸入，下文示例 A 和 B)或浮式離岸風力機反應統計數據(模擬輸出，示

例 C)之操作：

- 環境輸入事件之縮放。即調整模擬之擾流強度和示性波高，使下列極端統計數據 a 與 b 相等：
 - 在模擬中：理論環境作用之反應特徵極值(如最大陣風速率、最大波高)之持續時間等於模擬長度。
 - 在海氣象資料中：理論環境之反應特徵極值的持續時間等於基準週期。
- 必須對每一預期環境之反應特徵極值、輸入參數和持續時間之間的關係規律做出假設(如基於瑞利分布之 $H_{\max} = k H_s \sqrt{0.5 \ln N}$)。反應特徵極值直接由模擬輸出中導出(多重隨機種子最大值之平均值或其他方式)。
- 極端事件之選擇。上述方法之更簡單方式，可依賴於將單一事件嵌入在未縮放環境中，以符合預期環境特徵極值(例如藉由波浪選定 H_{\max})。此方法同樣基於此等規律假設，用於確定輸入參數和基準週期函數之環境反應特徵極值。關注之極端反應與環境作用最大值的良好相關性需要額外驗證。反應特徵極值係直接由模擬輸出推導而來(多重隨機種子最大值之平均值或其他方式)。
- 從未縮放環境的模擬之外插反應特徵極值。基於未縮放的擾流強度和示性波高設置模擬。對極端反應分布之解析形式(瑞利分布、甘貝爾分布等)做出假設，模擬的極端值群體與該分布相符。然後，從擬合分布中外插在持續時間等於基準週期時，與目標超越機率相對應的反應特徵極值。

N.3.3 特徵值變異性

基於有限數量統計數據之極端反應評估，在本質上存在不確定性。浮式離岸風力機極端反應之變異性程度，取決於推導出特定反應所涉及之概念和物理原理；非線性效應通常與輸出的波動性增加有關，此在剛性懸鏈式繫泊系統的輸出張力中很常見。

為保持此在控制下，設計者應藉由變異性研究以評估其概念特徵值的統計收斂性。例如可採用設計驅動負載情況，並增加模擬時間(通常藉由增加額外的隨機種子)以觀察統計收斂至漸近值之過程。與所提出的模擬長度和隨機種子數量相關的可變性程度，最終或許可使用相對標準誤差等統計指標來評估。

附錄 O

(參考)

藉由長波法/單點量測評估波浪之方向擴散

O.1 背景

波浪分量行進之相對方向對其組合運動學和動力學有顯著影響。量測波浪相對方向之傳統方法係採用三個或更多儀器之陣列或多自由度裝置進行量測。另一方法係利用波浪非線性和波浪方向性之間關聯性。波形高時間序列可表示為線性自由波及二階拘束波之總和。

$$\text{波形高 } [\eta(t)] = \text{線性自由波 } [\eta_{free}] + \text{二階拘束波 } [\eta_{2-}]$$

與一組給定自由波相關的拘束波僅為其分量方向之函數。Adcock 和 Taylor[54]推導出一種評估點量測局部方向擴散之方法。此方法於此稱為「長波法(long-wave method, LWM)」。

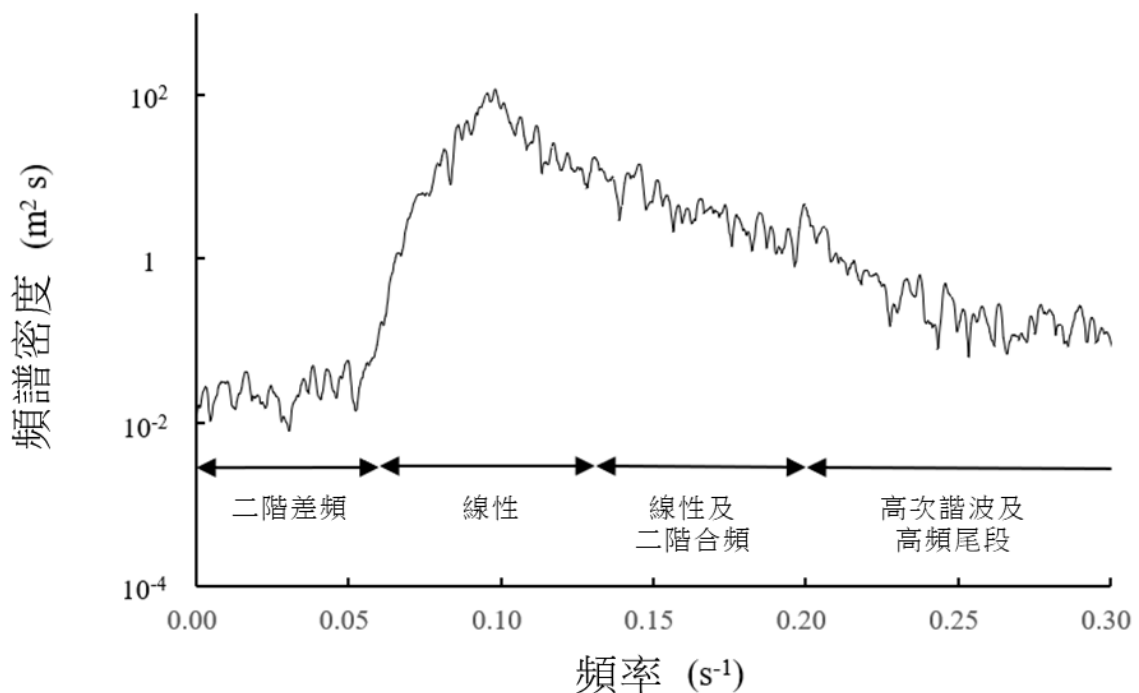


圖 O.1 典型之 60 min(全尺寸)歷時頻譜，示性波高為 6.18 m，尖峰波週期為 10.36 s，記錄於韓國(南韓)蔚山大學海洋工程試驗水槽

圖 O.1 顯示各項的頻率範圍：線性分量之上尾部與和頻項在頻率上重疊，致使精確分離相當困難。相反地，差頻項雖然較小但可在遠低於顯著線性項的頻率下量測。此處最大的分量主要是線性項，出現在高於 0.06 Hz 的頻率範圍。

O.2 線性自由波提取

為計算給定時間序列下平均水位以上自由表面高程 $\eta(t)$ 的拘束波，必須先提取線性自由波 $\eta_{free}^{[55]}$ ，並根據 Walker 等人^[56]所述之程序對數據線性化。

$$\eta_{free} = \eta(t) - \frac{S_{22}}{d}(\eta^2 - \hat{\eta}^2) \quad (O.1)$$

$$\frac{S_{22}}{d} = kB_{22} \quad (O.2)$$

$$B_{22} = \frac{\coth kd(1+2C)}{2(1-C)} \quad (O.3)$$

$$C = \operatorname{sech} 2kd \quad (O.4)$$

式中， d 是平均水深， $\hat{\eta}$ 是從 η 求得之希爾伯特轉換(Hilbert-transformed)時間序列， S_{22} 是修正史托克斯係數， B_{22} 是二階校正的標準史托克斯係數。

O.3 二階計算

自由傳播波可表示為：

$$\eta_{free} = \sum_{n=1}^{n=N} a_n \cos \phi_n \quad (O.5)$$

其中， a_n 為傅立葉係數， N 為使用的傅立葉分量數，且

$$\phi_n = \omega_n t + \xi_n \quad (O.6)$$

其中， ξ 為分量之相對相位， ω 為分量之圓頻率，而 t 為時間。式(O.5)所述之波浪經相互作用後，將形成下列方程式之二階形式：

$$\eta = \eta_{free} + \eta_{2+} + \eta_{2-} \quad (O.7)$$

其中，

$$\eta_2^\pm = \sum_{n=1}^{n=N} \sum_{m=1}^{m=N} a_n a_m \kappa^\pm \cos(\phi_n \pm \phi_m) \quad (O.8)$$

其中， κ^+ 和 κ^- 是相互作用項。

$$\begin{aligned} \kappa^\pm = & \frac{\omega_n^2 + \omega_m^2}{2g} + \frac{\omega_n \omega_m}{2g} \left\{ \frac{\cos \theta}{\tanh(|k_n|d) \tanh(|k_m|d)} \pm 1 \right\} \\ & \times \left\{ \frac{(\omega_n \pm \omega_m)^2 + g|k_n \pm k_m| \tanh(|k_n \pm k_m|d)}{(\omega_n \pm \omega_m)^2 - g|k_n \pm k_m| \tanh(|k_n \pm k_m|d)} \right\} \\ & + \left\{ \frac{\omega_n \pm \omega_m}{2g(\omega_n \pm \omega_m)^2 - g|k_n \pm k_m| \tanh(|k_n \pm k_m|d)} \right\} \\ & \times \left\{ \frac{\omega_n^3}{\sinh^2(|k_n|d)} \pm \frac{\omega_m^3}{\sinh^2(|k_m|d)} \right\} \end{aligned} \quad (O.9)$$

波數 $|k|$ 和自然頻率 ω 藉由線性頻散關係相關。相互作用分量之間之角度為 θ 。

附錄 P

(參考)

方向擴散函數

海浪具有多向分量。方向擴散函數可描述波浪能量於方向上之分布。海面方向頻譜通常表示為頻譜乘以角度擴散函數，表示如下：

$$S(f, \theta) = S(f)D(\theta) \quad (\text{P.1})$$

$$S(f) = A_\gamma \frac{5}{16} H_s \frac{f_p^4}{f^5} \exp\left[-\frac{5}{4}\left(\frac{f}{f_p}\right)^{-4}\right] \gamma^{\exp\left[-0.5\left(\frac{f-f_p}{\sigma f_p}\right)^2\right]}$$

$$A_\gamma = 1 - 0.287 \ln(\gamma) \quad \sigma = \begin{cases} 0.07 & f \leq f_p \\ 0.09 & f > f_p \end{cases} \quad (\text{P.2})$$

$$D(\theta) = \frac{\Gamma(1+n/2)}{\sqrt{\pi}\Gamma(1/2+n/2)} \cos^n(\theta - \theta_p) \quad -\frac{\pi}{2} \leq \theta - \theta_p \leq \frac{\pi}{2} \quad (\text{P.3})$$

其中， $S(f)$ 為波浪頻譜，可用強斯瓦普(JONSWAP)頻譜描述[57]； $D(\theta)$ 為是方向擴散函數[58]； H_s 、 f_p 和及 f 表示示性波高、尖峰波頻率和及波浪頻率； γ 是尖峰集中因子； Γ 是伽瑪函數； θ 、 θ_p 分別是基本波列方向及和主要波浪方向。根據 DNV-CG-0130 建議[59]，適用深水指數 n 之典型值為 2。對於完全發展的海況，波浪頻譜可以用皮爾森－莫斯科維茲(Pierson-Moskowitz, PM)頻譜描述[60]。

強斯瓦普頻譜的 γ 和擴散函數之指數 n ，亦可以基於場址實測波譜之最小平方法進行確定，例如[5]所示。波浪方向擴散可能會影響浮式下部結構在橫移、橫搖及和平擺方向上之運動(假設主要波浪方向平行於縱移方向)，且在未考量波譜之方向擴散下，此類運動反應可能被低估。當主要波浪方向位於縱移和橫移方向之間時，波浪方向擴散對橫移和橫搖方向運動之影響相對較小，但對平擺方向運動之影響可能較大[61]。

附錄 Q

(參考)

混凝土結構設計

Q.1 一般

本附錄提供設計浮式風力機之混凝土結構/構件指南。可被視為結構設計基礎之前提。專案設計基礎需提供指南應用方式之詳細資訊以達到一致安全標準。本附錄之目的係橋接混凝土結構設計規範與現行浮式風力機標準。

混凝土離岸結構之設計應根據 ISO 19900 定義之極限狀態設計原則進行。因此，設計驗證應依據反應值、極限值和安全係數進行。

一般而言，結構設計可遵循 ISO 19903《混凝土離岸結構》。本附錄對該標準加以修改和補充，並充分考量使用於浮式離岸風力機之特定負載和驗證方法。

本附錄不提供結構細部要求或材料選擇規則，僅針對鋼筋混凝土或預力混凝土結構，並涵蓋常重或輕質骨材混凝土中的鋼筋和預力鋼腱/鋼絞線。

混凝土結構施工期間負載狀況不在本附錄範圍，因土木建築設計規範通常適用於暫時情況的驗證。然而，應驗證施工期間允許之可能撓曲或裂縫不會損害浮式離岸風力機的使用性或強度。

在設計階段應確定容許之最終尺寸公差。應檢查以驗證是否符合尺寸公差標準。

Q.2 設計負載狀況

Q.2.1 鋼筋混凝土設計之極限狀態

上述標準中之所有極限狀態均應被考量—本附錄使用典型的 ISO 極限狀態定義。此類極限狀態與設計負載狀況之等效性應取自表 L.1: 最終極限狀態(ULS)、意外極限狀態(ALS)、使用性極限狀態(SLS)和疲勞極限狀態(FLS)。混凝土結構設計中，使用性極限狀態具有特殊重要性，因在此極限狀態下，結構水密性和耐久性才能得到保證。

在最終極限狀態(ULS)、意外極限狀態(ALS)和疲勞極限狀態(FLS)中，鋼筋混凝土的所有結構部件和配筋細節都須經過驗證。驗證項目包含混凝土本體、主筋以及剪力鋼筋(箍筋和繫筋)、鋼筋搭接、鋼筋續接、鋼筋彎折、預力鋼筋、預力剪力螺栓或鋼筋、灌漿、預埋底板、錨定等結構桿件。

疲勞極限狀態中，驗證應考量暴露等級和檢查/修理之可及性。鋼筋腐蝕亦會顯著影響疲勞壽命。

使用性極限狀態中，驗證包含檢查結構撓曲之可接受度、所有組件之應力等級不會隨時間推移導致不可接受之潛變或預力之損失，以及混凝土開裂不會導致不受控制的泛水或鋼組件之過度腐蝕。

Q.2.2 最終極限狀態(ULS)、意外極限狀態(ALS)和疲勞極限狀態(FLS)之負載狀況

應考量本標準第 7 節中所描述之所有負載狀況，以得出浮式離岸風力機所有結

構組件在最終極限狀態(ULS)、意外極限狀態(ALS)和疲勞極限狀態(FLS)下之負載。負載係數與本附錄 Q.2.4 定義相同，並應與本附錄 Q.3.1 中之材料係數結合使用。

預力負載應同時考量兩個負載係數(0.9 和 1.1，分別考量預力過緊和在生命週期內之預力損失)。例如較大預力對於混凝土來說通常更加嚴峻，而較低預力則對於鋼筋驗證或螺栓組件的穩定性來說更加嚴峻。

Q.2.3 使用性極限狀態(SLS)負載狀況

應針對不同使用性極限狀態之負載狀況定義相關的負載等級，以確保浮式離岸風力機之功能。應評估整個工作範圍及惰轉負載狀況。推導使用性極限狀態負載時，至少應考量波浪和海流條件為 1 年回歸期之情況。

Q.2.4 負載係數

表 Q.1 之負載係數可用以推導結構組件之設計負載。應根據需求調整負載係數，提供與使用參考標準一致之安全位準。應在 ULS(A)和 ULS(B)兩種設計情況下檢查最終極限狀態。ULS(A)反映重力、靜態和準靜態作用主導之狀況；ULS(B)反映環境行為和冰活動主導之狀況。

預力作用可被視為由施加變形所引起。計算有效內力時應考量時間相關效應。係數 0.9 和 1.1 均應作為設計中作用之局部係數。

表 Q.1 各種極限狀態的作用的部分因子 γ_F

| 極限狀態 | 作用分類(負載類別) | | | | |
|---------|------------|------------|---------------------|------------------|------------------|
| | γ_G | γ_Q | $\gamma_E^{(c)}$ | $\gamma_D^{(d)}$ | $\gamma_A^{(a)}$ |
| ULS (A) | 1.25 | 1.25 | 0.7 ^(b) | 1.0 | 0 |
| ULS (B) | 1.0 | 1.0 | 1.35 ^(b) | 1.0 | 0 |
| SLS | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0 |
| FLS | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0 |
| ALS | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |

負載類別：

G = 永久負載
 Q = 可變功能負載
 E = 環境負載
 D = 變形負載
 P = 預力負載

註^(a) 作用之局部係數值為 0 表示該作用不適用於此設計情況。
^(b) 若認為係數為 0 更加不利，亦應進行分析。
^(c) 負載係數相較 ISO 19903 有所增加，以符合每年 2×10^{-2} 之超越機率(50 年回歸期)。
^(d) 預力作用可被視為由施加變形所引起。計算有效內力時應考量時間相關效應。係數 0.9 和 1.1 均應作為設計中作用之局部係數。

Q.3 設計標準

Q.3.1 材料係數

ISO 19903 中定義結構組件(混凝土、被動鋼筋、預力構件和灌漿)之特徵阻抗。根據 ISO 19903 之材料係數如表 Q.2。定義材料係數時需考量特定公差。

表 Q.2 各種極限狀態和材料之材料係數 γ_m

| 極限狀態 | ULS | SLS | FLS | ALS |
|--------|------|-----|------|------|
| 混凝土和灌漿 | 1.50 | 1.0 | 1.50 | 1.20 |
| 鋼筋加勁 | 1.15 | 1.0 | 1.15 | 1.10 |

Q.3.2 最終極限狀態(ULS)、意外極限狀態(ALS)、疲勞極限狀態(FLS)驗證

在最終極限狀態、意外極限狀態和疲勞極限狀態中，Q.2 中所列之負載狀況可在表 Q.2 所列之材料係數中考量。應依據 ISO 19903 考量設計標準、內力計算及特徵阻抗。

Q.3.3 使用性極限狀態(SLS)：水密性驗證

結構水密性應依使用性極限狀態進行驗證。形成液體體積邊界之混凝土構件應保持受壓狀態。

對於水密結構，如艙區(參照 15.5)，外部和內部邊界之最小壓縮區應至少為：

- 壓力差小於 150 kPa 之情況，壁厚 25 %或 100 mm，以較大者為準。
- 壓力差大於 150 kPa 之情況，壁厚 25 %或 200 mm，以較大者為準。

驗證 2 組主要鋼筋方向即可視為足夠。

可進行直接水流計算以證明混凝土結構具有足夠水密性。應考量結構自製造至運轉及離岸安裝之全生命週期，以尋找可能產生裂縫之位置及其保持張口的可能性，且應特別驗證此等計算結果。

Q.3.4 使用性極限狀態(SLS)：裂縫張口驗證

若缺乏裂縫張口驗證準則，可使用表 Q.3 中定義之限制。當驗證預力變化可能影響裂縫寬度時，預力之施加順序和混凝土潛變可能會影響混凝土開裂。所用之方法應符合 ISO 19903。

表 Q.3 不同暴露區域之容許裂縫寬度

| 暴露區域 (ISO 19903 定義) | 容許裂縫張口 |
|------------------------|--------|
| 浸沒區 | 0.4 mm |
| 飛濺區 | 0.2 mm |
| 大氣區 | 0.2 mm |
| 內部區 | 0.4 mm |

不同裂縫張口評估方法可能導致於相同應力下評估之裂縫張口寬度不同。本附錄定義的限制，旨在防止過度腐蝕。

Q.3.5 使用性極限狀態(SLS)：應力限制

應檢查使用性極限狀態負載等級定義下之構件應力，以確保不會發生潛變、預力損失或鋼筋降伏。

附錄 R

(參考)

湧浪影響海域中尖峰波週期與示性波高之關係

R.1 一般

6.4.4.1 中之公式(11)僅適用於風浪。在受到湧浪影響海域可能觀察到較長週期之波浪。本附錄提供預測此類海域波浪週期之指南。

R.2 受湧浪影響海域中波高與波浪週期之關係

示性波高與尖峰波週期間之關係可藉由 ISO19901-1[62]中提及之基於量測或後報進行回歸模擬。需注意資料離散性處理。圖 R.1 顯示為福島(Fukushima)離岸場址^[63]量測之示性波高與示性波週期間之關係，以及方程式(11)之預估值，並以短虛線表示，而以合田(Goda)方程式^[64]預估湧浪($H_0/L_0 = 0.01$)之結果，以長虛線表示。應注意方程式(11)適用於表示 T_p 和 H_s 間之關係，且假設 $T_p \cong T_{1/3}$ 及 $H_s \cong H_{1/3}$ 。顯然，由於湧浪影響，量測資料結果位於公式(11)限定邊界之外。在此類海域建議考量湧浪對波浪週期的影響。此示例中對公式(11)可能之修正如下。

$$11.1 \sqrt{H_s/g} \leq T \leq \min(24.1 \sqrt{H_s/g}, 17) \tag{R.1}$$

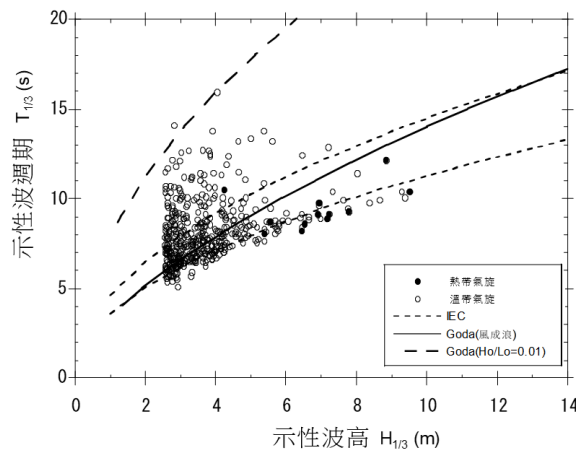


圖 R.1 基於浮島離場址量測結果之示性波高與適性波週期關係^[2]

附錄 S

(參考)

破損穩度準則應用

S.1 目標

本附錄提供基於風險分析以判斷是否需要計算破損穩度之基準。

由於勤務船或漂流船舶之碰撞速率低於巡航船舶，因此本附錄以巡航船舶之碰撞探討為主，其影響較大，且對於破損穩度準則亦更為重要。

若無破損穩度(水密艙區)，浮式下部結構之外殼破損應視為重大事件，因此本附錄不考量艙區及其對泛水體積之影響。

此方法係基於使用如自動識別系統(AIS)資料之統計數據以評估碰撞機率，且不包含與浮式結構自體喪失回復力相關之個別資料(風況)。

AIS 資料的動態資訊中之航行速率為對地速率，並已考量風況對碰撞速率之影響。

S.2 浮動穩度損失之情境

浮動穩度損失及後續結構全損之情境基本上應基於風險分析之結果。

可考量以下情境，除非有特殊情況。

浮動穩度損失之原因可分為以下幾類：

(a) 嚴苛暴風條件及後續結構倒塌或傾覆。

(b) 結構腐蝕或疲勞。

(c) 浮式離岸風力機外殼因船舶碰撞而破損。

(d) 浮式離岸風力機外殼因漂流物碰撞而破損。

(e) 水從壓載水進水口等開口裝置或繫泊索連接破損處浸入。

(f) 因缺乏品質管制而導致之製造缺陷。

(a)及(b)必須在本標準之設計條件準則中考量，而(d)不應在本標準中考量，因其屬罕見與意外之事件。(e)已在 15.5 中考量。本附錄中僅考量(c)及(f)之情況。

(f)「製造缺陷」可藉由一般程序進行控管。另一方面，(c)「船舶碰撞」將在以下子節討論。

S.3 新破損穩度準則之應用流程

評估程序之流程如圖 S.1 所示。

首先，應估計碰撞機率 P_1 。為估計碰撞機率 P_1 ，可使用船舶位置之時間序列資訊，即 AIS、雷達或觀測資料。

當 P_1 小於 S.4 中所述之目標失效機率 PS 時，可不考量破損穩度準則。若 P_1 大於 PS ，則應估計船舶碰撞造成之全損機率 P_2 。

由船舶碰撞造成之浮動穩度損失以及後續結構全損之聯合機率 PT ，被描述為碰撞機率 P_1 及船舶碰撞全損機率 P_2 之乘積。

當 PT 小於 PS 時，可不考量破損穩度準則。

當第一次研究中之 PT 小於 PS 時，亦可採取例如橡膠護舷、更強的材料、變更設計等額外措施，使浮式離岸風力機設計不須考量破損穩度準則。

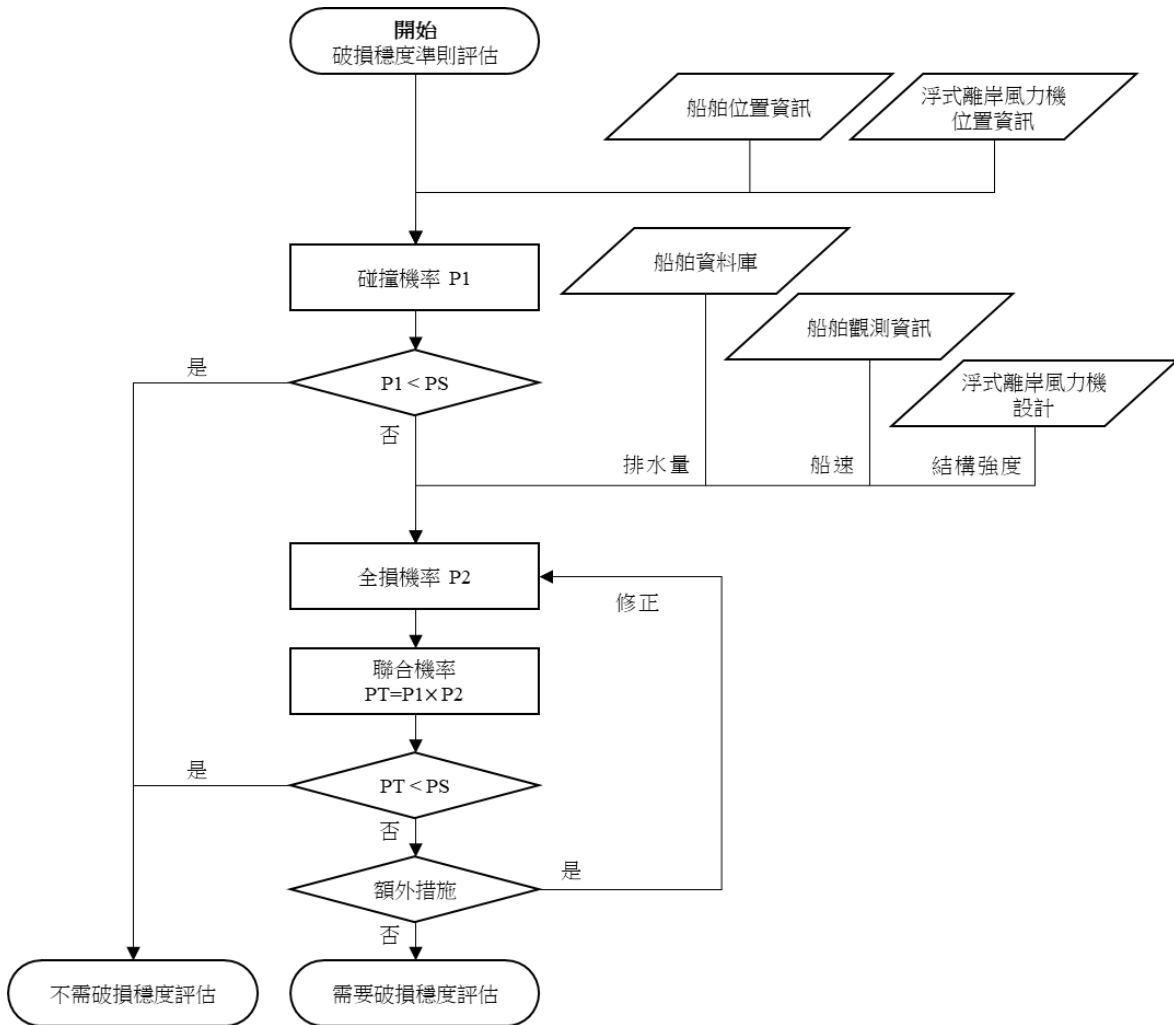


圖 S.1 新破損穩度準則之概念應用流程

S.4 目標失效機率(PS)之定義

用於評估結構完整性之安全位準所對應之目標失效機率 PS ，應基於已定義之可靠性設計。若無此設計，則可將 PS 設為主要國際章程或船級規範中指定之常見值 10^{-4} (參照表 S.1)。

表 S.1 為離岸結構年度目標可靠性之示例。「用於評估結構完整性之安全位準」應基於用於設計浮式離岸風力機之規範。若無此類設計規範，則「用於評估結構完整性之安全位準」年度目標可靠性可設為 10^{-4} 。

表 S.1 離岸結構年度可靠性

| 編號 | 文件/指南 | 發行單位，年分 | 可靠性 |
|----|--|------------|---|
| 1 | DNV-ST-0119 Floating wind turbine structures | DNV, 2021 | <p>10^{-4}：等級 1，失效不太可能導致不可接受之後果，例如人員傷亡、與鄰近結構之碰撞及環境影響。</p> <p>10^{-5}：等級 2，失效很可能導致不可接受之後果。</p> |
| 2 | 19th INTERNATIONAL SHIP AND OFFSHORE STRUCTURES CONGRESS Volume2 Committee V.1 Accidental limit states | ISSC, 2015 | <p>10^{-3} 至 10^{-4}：第 2 組；凡經特別識別之意外事件所涉危害，皆屬於第 1 組或第 2 組。</p> <p>10^{-3}：於餘裕結構中較不嚴重之失效。</p> <p>10^{-4}：餘裕結構中之較嚴重失效以及於非餘裕結構於失效發生前有明顯預警之較不嚴重失效。</p> <p>10^{-5}：失效發生前有明顯預警之較嚴重失效；和非餘裕結構失效發生前沒有明顯預警之較不嚴重失效。</p> |
| 3 | ISO 19900:2019 Petroleum and natural gas industries – General requirements for offshore structures | ISO, 2019 | 10^{-3} 至 10^{-4} ：異常事件 |

S.5 碰撞機率(P1)之定義

首先，根據航行於安裝浮式離岸風力機區域內之個別船舶位置，藉由式(S.1)計算個別船舶之接近頻率 η_{gi} ([次/年/船])。假設個別船舶每次航程的航線變化遵循常態分布^[65]，如圖 S.2 所示，對個別船舶積分，計算與浮式離岸風力機碰撞範圍之機率分布。

$$\eta_{gi} = \int_{-0.5(B+D)}^{0.5(B+D)} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{\left(-\frac{(x-\mu_i)^2}{2\sigma^2}\right)} dx \quad (\text{S.1})$$

式中， η_{gi} ：個別船舶之接近頻率

B ：浮式離岸風力機周圍船舶之平均寬度

D ：浮式離岸風力機之寬度

μ_i ：浮式離岸風力機與每艘船舶之間的距離

σ ：船舶航行位置之標準差

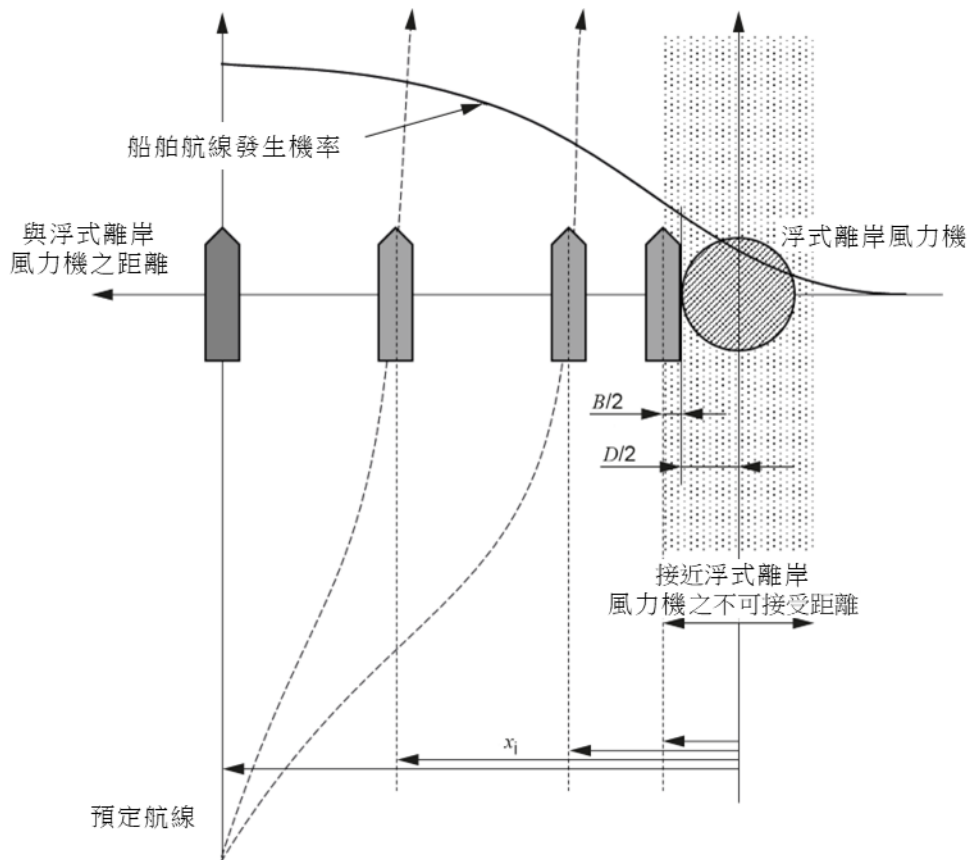


圖 S.2 接近頻率之概念

而後藉由公式(S.2)，計算個別船舶之年度接近頻率 η_{gi} ([次/年/船])。從船舶編號「1」加總至船舶編號「n」，以計算浮式離岸風力機之年度接近頻率 η_g ([次/年])。船舶編號「n」是指浮式離岸風力機周圍之船舶總數量。藉由公式(S.3)計算接近機率 P_g 。在這種假設下，碰撞被視為罕見災難事件，且為卜瓦松過程(Poisson process)，其通常用作災難發生之隨機過程。在此狀況下，假設事件發生之頻率遠小於 1。

$$n_g = \sum_{i=1}^n n_{gi} \tag{S.2}$$

$$\begin{aligned} P_g(t) &= 1 - e^{-n_g t} \\ &\approx n_g t \\ &= n_g (t = 1) \end{aligned} \tag{S.3}$$

式中， η_g ：船舶接近頻率

P_g ：接近機率

n ：浮式離岸風力機周圍船舶數量

最後，將年度接近頻率乘以避障失效機率 P_c ，即可求得年度碰撞機率，如公式(S.4)。若有特定船舶碰撞事故資料，則計算P1時所使用之 P_c 應參照該資料。若無事故資料，則根據內海中船舶與固定障礙物碰撞事故之觀測結果^[66]， P_c 可設為 $10^{-3.7}$ 。

$$P1 = n_g \cdot P_c \tag{S.4}$$

式中， $P1$ ：碰撞機率

P_c ：避障失效機率

S.6 船舶碰撞造成全損機率(P2)之定義

S.6.1 P2 和 PT 估計的概念

對於浮式離岸風力機周圍之所有船舶，可藉由嚴格的有限元素分析，得到不同船速下船舶碰撞對結構造成之全損機率 $P2$ 。估計 PT 之基本概念為每艘船舶個別 PT 之總和(參照圖 S.3)。

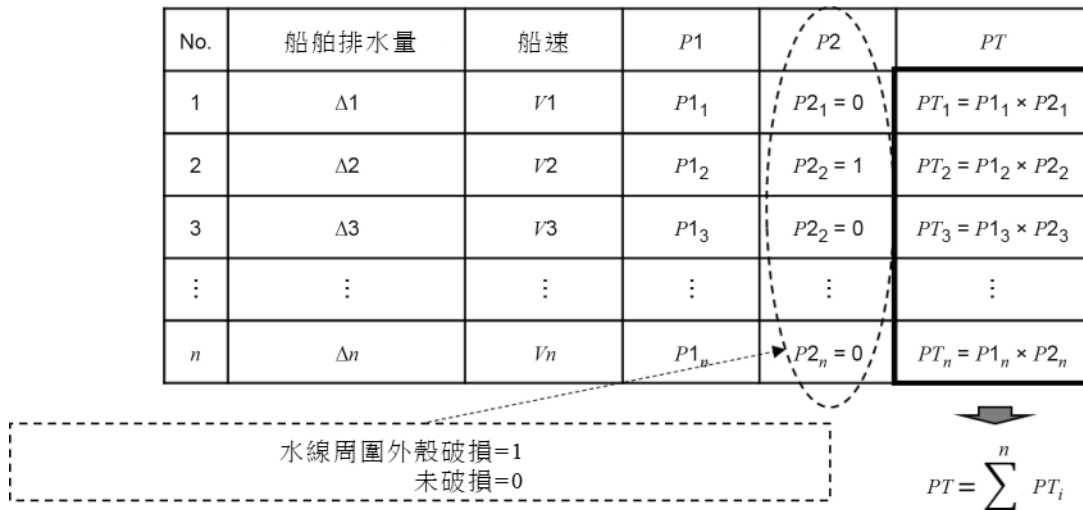


圖 S.3 嚴格估計 P2 和 PT 的概念

S.6.2 有限元素分析的簡化

為降低計算成本，本節討論以代表性船舶進行有限元素分析之估計方法，而非對浮式離岸風力機周圍的所有船舶進行有限元素分析。

浮式離岸風力機外殼是否破損之條件係依據式(S.5)定義之變形能量之大小。

$$E_{defo,c} \leq E_{defo} = \alpha E_s \tag{S.5}$$

式中， $E_{defo,c}$ ：浮式離岸風力機外殼破損之最小能量

E_{defo} ：浮式離岸風力機因結構變形而實際吸收之能量

E_s ：船舶和浮式離岸風力機吸收之能量

α ：浮式離岸風力機變形能量與總吸收能量之比例

$E_{defo,c}$ 和 α 可藉由對代表性船舶進行有限元素分析獲得。假設 $E_{defo,c}$ 為常數而不依據船舶類型或尺寸有所不同，因 $E_{defo,c}$ 取決於局部結構。 α 是基於假設浮式離岸風力機和船舶之總變形能量可分為浮式離岸風力機之變形及船舶之變形。

在此假設中，經由有限元素分析而得之變形量可用式(S.6)和式(S.7)所示的能量

E_s 表示。

$$M_B V_B = (M_A + M_B) V' \tag{S.6}$$

$$\frac{1}{2} M_A V_A^2 + \frac{1}{2} M_B V_B^2 = \frac{1}{2} M_A V'^2 + \frac{1}{2} M_B V'^2 + E_s$$

$$E_s = \frac{1}{2} V_B^2 \left(\frac{M_A M_B}{M_A + M_B} \right) \tag{S.7}$$

式中， M_A ：包含附加質量之浮式離岸風力機質量

M_B ：包括附加質量之船舶質量

V_A ：浮式離岸風力機之速率(=0)

V_B ：船舶速率

V' ：碰撞後船舶和浮式離岸風力機之速率

公式(S.5)及公式(S.7)可用來決定上節所示方法中P2值，即浮式離岸風力機外殼是否破損。

因此，不同排水量下，浮式離岸風力機外殼破損之船舶速率標準，以公式(S.8)之代表性船舶速率表示。

$$V_B > \sqrt{\frac{2E_{defo.c}(M_A+M_B)}{\alpha M_A M_B}} \tag{S.8}$$

極限曲線以碰撞船舶的動能形式表示(參照圖 S.4)。

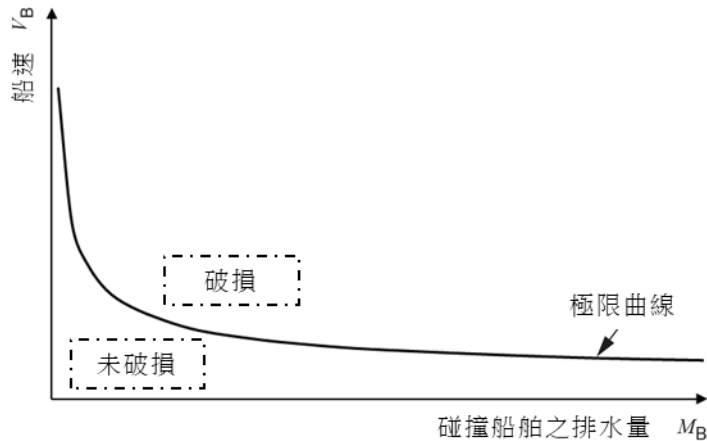


圖 S.4 極限曲線概念

S.6.3 利用極限曲線估計 P2

估計船舶碰撞造成之全損機率(P2)，可應用最簡單極限曲線概念。當整體P1相關碰撞事件和整體P2相關外殼破損事件是獨立時，可應用個別估計的整體P1和整體P2之乘積方式。此方法可用公式(S.9)表示。

$$\sum_{i=1}^n (P1_i \times P2_i) \cong \sum_{i=1}^n P1_i \times \frac{\sum_{i=1}^n P2_i}{n} = \sum_{i=1}^n P1_i \times \frac{n_d}{n} \quad (S.9)$$

式中， $P2$ ：船舶碰撞造成的全損機率

n ：浮式離岸風力機周圍的總船舶數量

n_d ：位於極限曲線上方的船舶數量

極限曲線的概念可根據船舶速率和排水量，將浮式離岸風力機周圍的船舶分為安全和危險兩類，如圖 S.5 所示。

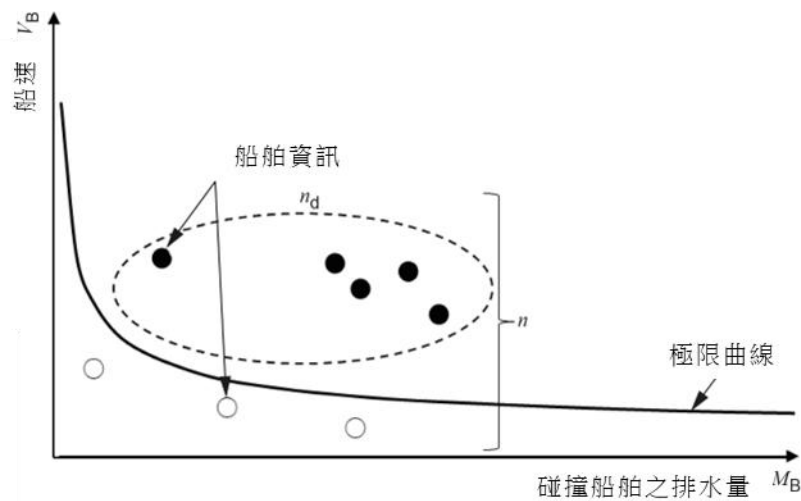


圖 S.5 船舶碰撞造成的全損機率之機率概念

位於全損極限曲線之上的船舶，被認為具有足夠能量造成浮式離岸風力機的外殼破損。這表示位於極限曲線上方之船舶 $P2$ 為 1，位於極限曲線下方的船舶 $P2$ 為 0。因此， $P2$ 是以極限曲線上方的船舶數量和浮式離岸風力機周圍的總船舶數量來表示，如公式(S.9)。

S.7 降低 $P2$ 之額外對策

並非所有碰撞都是迎首正遇情況。因此，應適當考量碰撞位置或碰撞速率，將全損極限曲線移至更實際之位置。碰撞位置或碰撞速度的變化可藉由模型水槽試驗或多體動力學(Multi Body Dynamics, MBD)等數值方式模擬。藉由試驗或模擬，若考量碰撞位置或碰撞速度之變化，其碰撞能量期望值可能改變 E_{defo} 之值及導致外殼破損所需之船舶速度。

亦可考量採用降低碰撞影響之額外對策，如橡膠護舷。評估橡膠護舷吸收之能量對導致外殼破損所需之船舶速率影響可由公式(S.10)表示。當考量以橡膠護舷吸收能量時，導致外殼破損所需之船舶速率，可根據公式(S.7)表示為公式(S.11)。

$$E_{defo_c} \leq E_{defo} = \alpha(E_s - E_F) \quad (S.10)$$

$$V_B' > \sqrt{2 \left(\frac{E_{defo.c}}{a} + E_F \right) \left(\frac{M_A + M_B}{M_A M_B} \right)} \quad (S.11)$$

式中， V_B' ：考量橡膠護舷影響後，使外殼破損之船舶速率

E_F ：護舷吸收之能量

參考資料

下列標準與浮式離岸風力機設計相關：

- [1] CNS 61400-24 風力發電系統－第 24 部：雷擊防護
 - [2] ISO 12944-2 Paints and varnishes – Corrosion protection of steel structures by protective paint systems – Part 2: Classification of environments
 - [3] ISO 12944-9 Paints and varnishes – Corrosion protection of steel structures by protective paint systems – Part 9: Protective paint systems and laboratory performance test methods for offshore and related structures
 - [4] ISO 13628-5 Petroleum and Natural Gas Industries – Design and operation of subsea production systems – Part 5: Subsea umbilicals
 - [5] ISO 19901-2 Petroleum and natural gas industries – Specific requirements for offshore structures – Part 2: Seismic design procedures and criteria
 - [6] ISO 19901-8 Petroleum and natural gas industries – Specific requirements for offshore structures – Part 8: Marine soil investigations
 - [7] ISO 19901-10 Petroleum and natural gas industries – Specific requirements for offshore structures – Part 10: Marine geophysical investigations
 - [8] ISO 21650 Actions from waves and currents on coastal structures
 - [9] ABS, Guide for Building and Classing Floating Offshore Wind Turbines
 - [10] ABS, Guidance Notes on Global Performance Analysis for Floating Offshore Wind Turbine Installations
 - [11] BV, NI572 Classification and Certification of Floating Offshore Wind Turbine
 - [12] DNV-ST-0119 Floating Wind Turbine Structures
 - [13] DNV-ST-0126 Support structures for wind turbines
 - [14] Germanischer Lloyd WindEnergie GmbH, Rules and Guidelines: IV – Industrial Services, Part 2 – Guideline for the Certification of Offshore Wind Turbines
 - [15] H. Wang, R. J. Barthelmie, S. C. Pryor and H. G. Kim, A new turbulence model for offshore wind turbine standards, Wind Energy, Volume 17, Issue 10, pages 1587–1604, October 2014
 - [16] ITTC, Recommended Procedures and Guidelines 7.5-02-07-03.8 – Model Tests for Offshore Wind Turbines
 - [17] ITTC, Recommended Procedures and Guidelines 7.5-02-07-03.17 – Uncertainty Analysis for Model Testing of Offshore Wind Turbines
 - [18] ITTC, Final Report and Recommendations to the 29th ITTC, The Specialist Committee on Hydrodynamic Modelling of Marine Renewable Energy Devices
 - [19] Nippon Kaiji Kyokai (ClassNK), Guidelines for Floating Offshore Wind Turbines
 - [20] ITTC:2021 The Specialist Committee on Hydrodynamic Modelling of Marine Renewable Energy Devices
- 用於極限強度分析之運轉海氣象參數統計外插法(附錄 D)之相關資料：
- [21] Winterstein, S.R., Ude, T., Cornell, C.A., Bjerager, P. and Haver, S., 1993,

Environmental parameters for extreme response: Inverse FORM with omission factors, ICOSSAR'93, Innsbruck

- [22] Moon, J. S., Sahasakkul, W., Soni, M. and Manuel, L., 2014, On the Use of Site Data to Define Extreme Turbulence Conditions for Wind Turbine Design, Journal of Solar Energy Engineering including Wind Energy and Building Energy Conservation, Transactions of the ASME, Vol. 136, No. 4, 044506
- [23] Ross, E., Astrup, O.C., Bitner-Gregersen, E., Bunn, N., Feld, G., Gouldby, B., Huseby, A., Liu, Y., Randell, D., Vanem, E., Jonathan, P., 2020, On environmental contours for marine and coastal design, Ocean Engineering, Vol. 195, 106194
- [24] Huseby A. B., Vanem E. and Natvig B., 2015, Alternative environmental contours for structural reliability analysis, Structural Safety, Vol. 54, pp. 32-45

腐蝕防護(附錄 E)之相關資料：

- [25] BV, NI572 Classification and Certification of Floating Offshore Wind Turbine
 - [26] DNV-OS-C101 Design of offshore steel structures, general – LRFD method
 - [27] DNV-ST-0126 Support structures for wind turbines
 - [28] DNV-RP-B401 Cathodic Protection Design
 - [29] IEC 60721-3-3 Classification of environmental conditions – Part 3: Classification of groups of environmental parameters and their severities – Stationary use at weatherprotected locations
 - [30] ISO 12944-2 Paints and varnishes – Corrosion protection of steel structures by protective paint systems – Part 2: Classification of environments
 - [31] ISO 12944-9 Paints and varnishes – Corrosion protection of steel structures by protective paint systems – Part 9: Protective paint systems and laboratory performance test methods for offshore and related structures
 - [32] ISO 19902 Petroleum and Natural Gas Industries – Fixed Steel Offshore Structures
- 熱帶氣旋期間極限波高之預估(附錄 F)之相關資料：

- [33] Moon, I. J., Ginis, I., Hara, T., Tolman, H. L., Wright, C. W. and Walsh, E. J., 2003, Numerical Simulation of Sea Surface Directional Wave Spectra under Hurricane Wind Forcing, J. of Physical Oceanography, Vol. 33, pp. 1680-1706
- [34] Schloemer, R. W., 1954, Analysis and synthesis of hurricane wind patterns over Lake Okeechobee Florida, Hydrometeorological Report, No.31
- [35] Holland, G. J., 1980, An Analytic Model of the Wind and Pressure Profiles in Hurricanes, Monthly Weather Reviews, American Meteorological Society, Vol. 108, pp. 1212-1218
- [36] Dvorak, V. F., 1975, Tropical Cyclone Intensity Analysis and Forecasting from Satellite Imagery, Monthly Weather Review, American Meteorological Society, Vol. 103, pp. 420 430
- [37] Vickery, P.J., Masters, F. J., Powell, M. D., and Wadhera, D., 2009, Hurricane hazard modelling: The past, present, and future, J. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 97, Nos. 7–8, pp. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jweia.2009.05.005> (viewed 3rd March 2018)

- [38] Vickery, P.J., Wadhera, D., Powell, M.D., and Chen, Y., 2009, A Hurricane Boundary Layer and Wind Field Model for Use in Engineering Applications, *J. of Appl. Meteor.*, 48, pp. 381–405
- [39] Hagerman, G., 2014, Development of an Integrated Extreme Wind, Wave, Current, and Water Level Climatology to Support Standards-Based Design of Offshore Wind Projects, Technology Assessment Programs Final Report #672, Bureau of Safety and Environmental Enforcement
- [40] Ishihara, T., Siang, K. K., Leong, C. C. and Fujino, Y., 2005, Wind field model and mixed probability distribution function for typhoon simulation, *Proc. of the Sixth Asia-Pacific Conference on Wind Engineering*, pp. 412-426
- [41] Tanemoto, J. and Ishihara, T., 2013, Prediction of extreme wind speed by using mesoscale model and JMA best track of tropical cyclones, *Proc. of the Eighth Asia Pacific Conference on Wind Engineering*
- [42] Tolman, H. L., 1989, The numerical WAVEWATCH: A third generation model for the hindcasting of wind waves on tides in shelf seas, *Communications on Hydraulic and Geotechnical Engineering*, Delft University of Technology, pp. 72
- [43] Booij, N. R., Ris, R. C. and Holthuijsen, L. H., 1999, A third-generation wave model for coastal regions, Part I, *J. of Geophysical Research*, 104, C4
- [44] Powell, M.D., Vickery, P.J., and Reinhold, T.A., 2003, Reduced drag coefficient for high wind speeds in tropical cyclones, *Nature*, 422, March 20, pp. 279-283
- [45] Holthuijsen, L. H., Powell, M. D., and Pietrzak, J. D., 2012, Wind and waves in extreme hurricanes, *J. of Geophys. Res.*, Vol. 117
- [46] Vickery, P. J., Skerlj, P. F., Steckley, A. C., and Twisdale, L. A., 2000, Hurricane wind field model for use in hurricane simulations, *J. of Struct. Engrg.*, ASCE, 126(10), pp. 1203-1222

熱帶風暴條件(附錄 F)之資料庫：

- [47] The National Hurricane Center/Tropical Prediction Center, USA (NOAA): <http://www.nhc.noaa.gov/> (viewed 3rd March 2018)
- [48] The Japan Meteorological Agency, Japan (JMA): <http://www.wis-jma.go.jp/cms/> (viewed 3rd March 2018)

海嘯(附錄 J)之相關資料：

- [49] Goto, C. and Sato, K.: Development of Tsunami Numerical Simulation System for Sanriku, Report of PARI, vol. 32, NO. 2, pp. 3-44, June 1993
- [50] <http://www.bousai.go.jp/jishin/tsunami/hinan/1/pdf/sub.pdf> (in Japanese) [viewed 2017 10-05]
- [51] Imamura, F., Yalciner, A.C. and Ozyurt, G.: Tsunami modeling manual 2006
- [52] IUGG/IOC Time Project, IOC Manuals and Guides, No. 35, UNESCO, 1997
- [53] Kokubun, Kentaroh, Taniguchi, Tomoki and Inoue, Shunji: Effects of Earthquake and Tsunami on Floating offshore wind turbine, Proceedings of the International Symposium on Marine and Offshore Renewable Energy 2013

藉由長波法/單點量測評估波浪之方向擴散(附錄 O)之相關資料：

- [54] Adcock TAA, Taylor PH. 2009 "Estimating ocean wave directional spreading from an Eulerian surface elevation time history." *Proc. R. Soc. A* 465, 3361–3381. (doi:10.1098/rspa.2009.0031)
- [55] McAllister ML, Venugopal V, Borthwick AGL. 2017 "Wave directional spreading from point measurements." *Proc. A* 473: 20160781. <http://dx.doi.org/10.1098/rspa.2016.0781> R. Soc.
- [56] Walker, D. A. G., Taylor, P. H. and Eatock Taylor, R. 2005 "The shape of large surface waves on the open sea and the Draupner New Year wave." *Appl. Ocean Res.* 26, 73–83. (doi:10.1016/j.apor.2005.02.001)

方向擴散函數(附錄 P)之相關資料：

- [57] K. Hasselmann, T.P. Barnett, E. Bouws, H. Carlson, D.E. Cartwright, K. Enke, J.A. Ewing, H. Gienapp, D.E. Hasselmann, P. Kruseman, A. Meerburg, P. Müller, D.J. Olbers, K. Richter, W. Sell, H. Walden. Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP)' *Ergänzungsheft zur Deutschen Hydrographischen Zeitschrift Reihe, A(8) (Nr. 12), p.95, 1973*
- [58] H. Mitsuyasu, F. Tasai, T. Suhara, S. Mizuno, M. Ohkusu, T. Honda, and K. Rikiishi. Observation of the directional spectrum of ocean waves using a cloverleaf buoy, *Journal of Physical Oceanography*, 5(4), 750--760, 1975
- [59] DNV-CG-0130 Wave Loads
- [60] W. J. Pierson, L. Moskowitz. A proposed spectral form for fully developed wind seas based on the similarity theory of S. A. Kitaigorodski, New York University G. S. Report 63-12, 1962
- [61] T. Ishihara, Y. Liu, Dynamic response analysis of a semi-submersible floating wind turbine in combined wave and current conditions using advanced hydrodynamic models, *Energies*, 13(21), 5820, 2020

受湧浪影響海域中尖峰波週期與示性波高之關係(附錄 R)之相關資料：

- [62] ISO 19901-1 Petroleum and natural gas industries – Specific requirements for offshore structures – Part 1: Metocean design and operating considerations
- [63] A. Yamaguchi and T. Ishihara, Numerical prediction of Normal and Extreme Waves at Fukushima Offshore Site, *Journal of Physics: Conference Series*, 1037(4), 042022, 2018
- [64] Y. Goda, *Random Seas and Design of Maritime Structures* 3rd Edition, *Advanced Series on Ocean Engineering*, Vol. 33, 2009

破損穩度準則應用(附錄 S)之相關資料：

- [65] DET NORSKE VERITAS, Navigational Risk Assessment Vesterhav Syd Offshore Wind Farm, Technical Report No./DNV Reg No. PD-644204-18PYFR2-5 Rev 4, 2015
- [66] Fujii, Y. and Mizuki, N., Design of VTS systems for water with bridges, *Proceedings of The International Symposium on Advances in Ship Collision Analysis*, pp.177-190, 1998

相對應國際標準

IEC 61400-3-2:2025 Wind energy generation systems – Part 3-2:Design requirements
for floating offshore wind turbines

中華民國國家標準
發行機關：經濟部標準檢驗局
局 址：臺北市中正區濟南路一段四號
電 話：(02)2343-1770
網 址：<https://www.bsmi.gov.tw>
編輯排版：文山彩藝有限公司
銷售網址：<https://www.cnsonline.com.tw>
定 價：依上開銷售網站公告之售價為準
GPN : 4911300047
本標準非經經濟部標準檢驗局同意不得翻印

CNS 草-制 1140022 「風力發電系統－第 3-2 部－浮式離岸風力機設計
要求」標準草案審查意見彙編

第1頁

| 審查委員單位 | 節次 | 審 查 意 見 |
|---------------------|-----------|---|
| 右列委員及單位均無意見 | | 財團法人船舶暨海洋產業研發中心、台灣電力股份有限公司綜合研究所、財團法人中國驗船中心 |
| 財團法人工業技術研究院綠能與環境研究所 | | 段落請縮排方便閱讀及每頁縮排請一致 |
| 楊委員條和 | 3.2 | 文中的” 錨” 與備考中的” 錨碇” ，其 ISO 原文如是一樣，則應有一致的翻譯。 |
| | 3.20 | “浮動穩度”建議改為”浮動穩定性”。 |
| | 3.32 | “製造廠商”建議改為”製造商”。 |
| | 3.36 | “mean zero crossing period” 建議改為”平均零交越週期”。 |
| 財團法人工業技術研究院綠能與環境研究所 | 3.37 | 海氣象 (metocean) 氣象與海象合稱之縮寫，描述海洋環境中大氣與海洋相關的綜合物理條件。 |
| 楊委員條和 | 3.46 | “縱搖”建議改為”俯仰”。 |
| | 3.50 | 之”餘裕度”建議改為”冗餘”。 |
| | 3.53 | “橫搖”建議改為”翻滾”或”滾轉”。 |
| | 3.67 | “立柱浮筒式”建議改為”立柱浮筒”。 |
| | 3.98 | “平擺(yaw)”翻譯應與 3.42 “機艙轉向(nacelle yaw)”一致。 |
| | 3.99 | “零上切波”建議改為”零上交越波”。 |
| 臺灣御風能源股份有限公司 | 6.3.1 | 後續條文定義最少應考量之顯著邊際極端條件，如 N 年回歸風況與海況， 關乎此些該等相關 之條件應被建立。以利在缺少足夠發展場址特定環境曲線資訊時，提供保守替代方案。 |
| | 6.3.3.2.1 | 設計浮式離岸風力機時，應考量風況與波浪之相關性。此相關性應就以下參數之長期聯合機率分布加以考量： — 平均風速 V ； — 示性波高 H_s ； — 波譜尖峰週期 T_p 及 |

CNS 草-制 1140022 「風力發電系統—第 3-2 部—浮式離岸風力機設計
要求」標準草案審查意見彙編

第2頁

| 審查委員單位 | 節 次 | 審 查 意 見 |
|---------------------|-----------|--|
| | | — 水深 d。 |
| 財團法人工業技術研究院綠能與環境研究所 | 6.3.3.2.1 | 「應以 1 h 為平均週期定義平均風速」處，建議將 1h 修正為 1 小時 |
| | 6.3.3.2.4 | 「極端 3 h 海況」及「極端 10min 平均風速」，建議將 3h 修正為 3 小時，10 min 修正為 10 分鐘 |
| | 6.3.3.3.3 | 「10 公尺高度之 1 h 風速平均值」，建議將 1h 修正為 1 小時 |
| | 6.4.3.1 | 有 5 處 10 min、1 處 1h 及 2 處 3h，建議將 min 修正為分鐘，h 修正為小時 |
| | 6.4.3.3 | 有 1 處 10 min 及 1 處 1h，建議將 min 修正為分鐘，h 修正為小時 |
| | 6.4.4.1 | 有 4 處 3h，建議將 h 修正為小時 |
| | 6.4.4.2 | 有 2 處 1h，建議將 h 修正為小時，「波浪週期分段間隔應為 0.5 s」處，建議將 0.5s 修正為 0.5 秒 |
| | 6.4.7 | 應該至少對於總錨點位置之 10% 進行取樣鑽孔；若場址土層變異性較高 或存在夾層、液化疑慮時，可適度增加代表性取樣點。圓錐貫入試驗（必要時可包含孔隙水壓量測）和淺層振動鑽孔可作為土壤調查的補充 方法。原則上，應對於風場內的每個錨點建立場址專屬的土壤資料，並確保其足以支援錨碇之靜態與動態行為評估。 |
| | 6.4.7 | 若與錨類型相關，則須提供勁度與阻尼參數，以預測浮式離岸風力機的動態特性；必要時宜依場址條件補充相關動態參數，以降低分析不確定性。 |
| | 6.4.7 | 若與錨類型相關，則須提供勁度與阻尼參數，以預測浮式離岸風力機的動態特性。應評估水下錨碇基礎於施工過程中可能引致之土壤擾動與土壤結構互制行為變化，並檢討其對錨碇承載行為及施工安全性之影響。鑑於台灣地質條件複雜且位於地震活動頻繁區域，應考量地震作用及其循環週期對水下錨碇基礎土壤結構安全性與使用性之影響，並評估潛在風險。 |
| | 6.4.7 | 土壤條件的評估亦應考量土壤液化之可能性、錨及周圍土壤之長期沉陷和位移、循環載重下之累積行為以及水力穩定性和土壤穩定性特徵。 |

CNS 草-制 1140022 「風力發電系統—第 3-2 部—浮式離岸風力機設計
要求」標準草案審查意見彙編

第 3 頁

| 審查委員單位 | 節 次 | 審 查 意 見 |
|---------------------|--------------|---|
| 臺灣御風能源股份有限公司 | 7.4.3.4 | 於 DLC 2.5 中，低電壓穿越以及高壓穿越 事件 能力應視為正常事件、要能符合國內綜合電業電力公司之運轉要求。低、高電壓穿越事件之設計應明確說明下降電壓、上升電壓容許幅度與以及持續時間。 備考：低電壓、高電壓穿越狀況一般由電力公司定義為在不關機情況下處理電網干擾或故障之情形。要求在低電壓、高電壓穿越情況下保持運轉之 原因 緣由，係因為處理電網干擾或故障之期間，若風力機（特別在風電場）停機，可能會造成電網崩潰。 |
| 財團法人工業技術研究院綠能與環境研究所 | 7.5.6.1 | 有 6 處 1h，建議將 h 修正為小時，有 3 處 10min 建議將 min 修正為分鐘 |
| | 7.5.6.2 | 有 3 處 1h，建議將 h 修正為小時，有 4 處 10min 建議將 min 修正為分鐘 |
| | D.1 | 有 1 處 1h，建議將 h 修正為小時 |
| | D.2 | 有 3 處 3h 及 1 處 1h，建議將 h 修正為小時 |
| | D.4 | 有 2 處 3h 及 7 處 1h，建議將 h 修正為小時，有 3 處 10min 建議將 min 修正為分鐘 |
| | D.5 | 有 1 處 3h，建議將 h 修正為小時 |
| | J.1 | 有 1 處 30h，建議將 h 修正為小時，有 2 處 min 建議將 min 修正為分鐘 |
| | N1.3 N1.4 | 有 1 處 3h，建議將 h 修正為小時，有 3 處 min 建議將 min 修正為分鐘 |

意見彙編截止日：115 年 02 月 05 日

職場多元 性別平等

~ 友善開放的世界 從改變職場開始 ~

尊重性別隱私、多元共融

互相尊重性傾向或性別認同，不該強迫揭露他人性別隱私、強行替他人出櫃；雇主也不能強迫員工表達性傾向，作為為勞務存續交換條件。

司法院釋字第748號解釋施行法

年滿18歲之同性2人可至戶政事務所登記結婚。

勞工請假規則

- 1.婚假：登記結婚者，可請婚假8日。
- 2.喪假：配偶、配偶之父母、養父母或繼父母、祖父母喪亡，雇主都應分別給予喪假。

性別工作平等法

- 1.陪產假：配偶分娩者，可請陪產假7日。
- 2.育嬰留職停薪：任職滿6個月以上，其每一子女滿3歲前得申請。

