

中華民國國家標準	風力機－第 2 部： 小型風力機設計要求	總號	15176-2
CNS		類號	C4501-2

Wind turbines – Part 2: Design requirements for small wind turbines

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	6
4. 符號及縮寫	12
4.1 符號	12
4.2 座標系統	17
5. 基本要素	18
5.1 概述	18
5.2 設計法	18
5.3 品質保證	18
6. 外部條件	20
6.1 概述	20
6.2 小型風力機等級	20
6.3 風況	21
6.4 其他環境條件	26
6.5 電力負載狀況	27
7. 結構設計	28
7.1 概述	28
7.2 設計法則	28
7.3 負載及負載狀況	28
7.4 簡化之負載模型	29
7.5 氣彈力模型	35
7.6 負載量測	38
7.7 應力計算	38
7.8 安全係數	39
7.9 極限狀態分析	40
8. 保護及停機系統	40
8.1 概述	40
8.2 保護系統之功能性規定	41

(共 98 頁)

公 布 日 期 97 年 9 月 30 日	經 濟 部 標 準 檢 驗 局 印 行	修 訂 公 布 日 期 100 年 11 月 29 日
--------------------------	----------------------------	--------------------------------

8.3 手動停機	41
8.4 維修停機	41
9. 試驗	41
9.1 概述	41
9.2 查證設計資料試驗	41
9.3 技術性負載試驗	42
9.4 耐久性試驗	43
9.5 機械組件試驗	45
9.6 安全及功能	46
9.7 環境試驗	47
9.8 電力	47
10. 電氣系統	47
10.1 概述	47
10.2 保護裝置	47
10.3 解聯裝置	47
10.4 接地系統	47
10.5 雷擊保護	48
10.6 電導體與電纜	48
10.7 電力負載	48
11. 支撐結構	49
11.1 概述	49
11.2 動態要求	49
11.3 環境因素	49
11.4 接地	49
11.5 基座	49
11.6 風力機通道設計負載	49
12. 文件規定	50
12.1 概述	50
12.2 安裝	50
12.3 操作	50
12.4 維護與例行檢查	51
13. 風力機標示	52
附錄 A(參考)小型風力機型式驗證	53
附錄 B(規定)描述 S 級小型風力機之設計參數	55
附錄 C(規定)隨機擾流模型	56
附錄 D(參考)確定擾流之描述	58
附錄 E(參考)材料之局部安全係數	60
附錄 F(參考)簡易設計方程式之開發	70

附錄 G(參考)小型風機性能與安全要求	79
參考資料	101

前言

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。CNS 15176:2008 已經修訂並由本標準取代。

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

本標準闡述小型風力機(small wind turbine, SWT)之安全原理、品質保證、工程整合，並闡釋其安全規定，包括在特定外部條件下之設計、安裝、維修及運轉。本標準之目的乃為在計畫之壽命期間內提供適當之保護水準，以防止此等系統產生危險而造成損壞。

本標準涉及小型風力機之所有次系統，例如保護機構、內部電氣系統、機械系統、支撐結構、基座以及電氣與負載之併接。

雖然本標準與 CNS 15176-1 類似，但其作了簡化並進行適當修改以適用於小型風力機。本標準適用於轉子掃掠面積小於 200 m² 且電壓低於交流 1,000 V 或直流 1,500 V 之風力機。

本標準應與相關之國家標準、IEC 及 ISO 標準結合使用(參照第 2 節)。

與垂直軸小型風力機相關之標準應依據「風力機－小型垂直軸風力機設計、性能及安全要求 Wind turbines – Design , performance and safety requirements for small vertical axis wind turbines」。垂直軸風力發電機組(以下簡稱垂直軸風力機)為其風力機風輪之旋轉軸(風輪軸)垂直於地面的風力發電機組。主要部件包括垂直風輪、發電機、控制器、電力轉換器、及支撐機構或塔架等組件所組成。

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 12681	品質管理系統－要求
CNS 15176-1	風力機－第 1 部：設計規定
CNS 15176-11	風力發電機系統－第 11 部：噪音量測技術
CNS 17025	測試與校正實驗室能力一般要求
ISO 2394	General principles on reliability for structures
IEC 60034-1	Rotating electrical machines – Part 1: Rating and performance
IEC 60034-2	Rotating electrical machines – Part 2: Methods for determining losses and efficiency of rotating electrical machinery from tests (excluding machines for traction vehicles)
IEC 60034-5	Rotating electrical machines – Part 5: Degrees of protection provided by the integral design of rotating electrical machines (IP code) – Classification
IEC 60034-8	Rotating electrical machines – Part 8: Terminal markings and direction of rotation
IEC 60038:1983	IEC standard voltages
IEC 60038	Amendment 1 (1994)
IEC 60038	Amendment 2 (1997)
IEC 60204-1	Safety of machinery – Electrical equipment of machines – Part 1: General requirements

- IEC 60364-5-54 Electrical installations of buildings – Part 5-54: Selection and erection of electrical equipment – Earthing arrangements, protective conductors and protective bonding conductors
- IEC 60721-2-1 Classification of environmental conditions – Part 2-1: Environmental conditions appearing in nature – Temperature and humidity
- IEC 61400-12-1 Wind turbines – Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines
- IEC 61400-13 Wind turbine generator systems – Part 13: Measurement of mechanical loads
- IEC 61400-23 Wind turbine generator systems – Part 23: Full-scale structural testing of rotor blades
- IEC 61643-1 Low-voltage surge protective devices – Part 1: Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems – Requirements and tests

3. 用語及定義

下列用語及定義適用於本標準。

3.1 年平均(annual average)

由一組數量及時間均適當之量測數據所得之平均值，用以估計量化之期望值。

備考：平均時間間隔應為整數年，以便將不穩定因素如季節變化等平均在內。

3.2 年平均風速(annual average wind speed)

依據年平均值所定義之平均風速。

3.3 自動復閉週期(auto-reclosing cycle)

電網故障後斷路器跳脫至自動閉合且線路重新連接至電網之一段時間，一般從 0.01 秒到數秒。

3.4 煞車(brake)

能降低風力機轉子轉速或停止旋轉之裝置。

3.5 嚴重故障(catastrophic failure)

組件或結構碎裂或損毀，導致將影響安全性之主要功能受損。

3.6 特徵值(characteristic value)

在一個假定無限制之試驗序列中具有一個無法取得之規定機率之數值。

3.7 控制系統(control system)

接收風力機及/或其環境資訊，並調節風力機，使其保持在操作極限內之次系統。

3.8 切入風速 V_{in} (cut-in wind speed)

風力機開始發電時，輪轂高度處之最低平均風速。

3.9 切出風速 V_{out} (cut-out wind speed)

風力機在設計用於發電時，輪轂高度處之最高平均風速。

3.10 設計極限(design limits)

設計中採用之最大值或最小值。

3.11 設計狀況(design situation)

風力機運轉之各種可能狀態，例如發電、待機等。

3.12 設計風速(design wind speed)

簡易設計方程式中風速之輸入值(等於 $1.4 V_{ave}$)。

3.13 下風向(downwind)

主風向之方向。

3.14 緊急停機(emergency shutdown)

藉由保護系統或人工介入觸發下，使風力機迅速停機。

3.15 環境條件(environmental conditions)

可能影響風力機組運作之環境特徵(例：海拔高度、溫度、濕度等)。

3.16 外部條件(external conditions)

影響風力機運轉之諸因素，包括風勢結構、其他氣候因素(雪、冰等)、地震及電網狀況。

3.17 極端風速(extreme wind speed)

t 秒內平均最高風速，其很可能在特定週期(重現週期) T 年之內。

備考：重現週期 $T=50$ 年與 $T=1$ 年，及平均時間間隔 $t=3$ 秒與 $t=10$ 分鐘使用於許多標準中。較不精確之講法“耐風速”經常被使用。然而實際上風力機乃利用極端風速下之負載狀況進行設計。

3.18 故障安全防護(fail-safe)

避免產品故障而造成嚴重破壞之設計特性。

3.19 彎折(furling)

一個被動超速控制機構可減小投影掃掠面積。

3.20 陣風(gust)

突然和短暫超過平均風速值之風速變化。

備考：陣風可以升速時間、振幅及持續時間之特徵表示。

3.21 水平軸風力機(horizontal axis wind turbine)

轉子之軸線本質上平行於風流向之風力機。

3.22 輪轂(hub)

將葉片或葉片組固定於轉子轉軸上之裝置。

3.23 輪轂高度(hub height)

從地表面到風力機轉子軸心之高度。若為垂直軸風力機，輪轂高度為該風機赤道面之高度。

3.24 惰轉(idling)

風力機緩慢旋轉但不發電之狀態。

3.25 極限狀態(limit state)

結構之一種狀態，若負載超出此一狀態，則結構不再滿足設計要求(參照 ISO 2394 之 2.2.9 修正版)。

備考：設計計算(即極限狀態之設計要求)之目的係使結構達到極限狀態的機率小於結構規定值(參照 ISO 2394)。

3.26 負載狀況(load case)

設計狀況及外部條件之結合所造成的結構負載。

3.27 對數風切律(logarithmic wind shear law)

表示風速隨離地面高度以對數函數變化之數學定律。

3.28 平均風速(mean wind speed)

瞬時風速在以數秒或數年為週期下平均，所得出之統計平均值。

3.29 機艙(nacelle)

設在水平軸風力機塔架頂端之內含驅動系統及其他元件的外殼。

3.30 正常停機(normal shutdown)

所有過程均在控制系統操控下進行之停機。

3.31 運轉極限(operating limits)

由小型風力機設計者所定義主導控制與保護系統之各種條件組合。

3.32 風力機待機(parked wind turbine)

根據風力機結構之不同，決定係採用靜止或惰轉的待機狀態。

3.33 待機(parking)

風力機在正常停機後所回復之狀態。

3.34 風切冪次律(power law for wind shear)

表示風速隨離地面高度以冪次律函數變化之數學定律。

3.35 功率輸出(power output)

以特定形式和為特定目的之裝置所輸出之功率。

備考：由風力機輸出之電功率。

3.36 保護系統(protection system)

確保風力發電機組運轉在設計極限內之系統。

3.37 瑞利分布(Rayleigh distribution)

經常用於風速之機率分布函數，分布函數取決於一個調節參數－尺度參數，其控制平均風速之分布。

備考：瑞利分布與韋伯分布(參照 3.55)在形狀參數為 2 時相等。

3.38 基準風速 V_{ref} (reference wind speed)

用於確定小型風力機級別之風速基本參數。其他氣候相關設計參數均可以從基準風速及其他基本等級參數中推導得來。

備考：對應基準風速級別之風力機設計，它在輪轂高度承受之重現期 50 年極端 10 分鐘平均風速，應小於或等於基準風速 V_{ref} (參照 3.17)。

3.39 共振(resonance)

振動系統中出現之一種現象，此時強迫振動頻率非常接近系統之自然振動頻率。

3.40 轉子轉速(rotor speed)

風力機轉子繞其軸之旋轉速度。

3.41 粗糙長度(roughness length)

假設垂直風剖面隨離地面高度按對數關係變化之情況下，平均風速變為 0 時之

推斷高度。

3.42 安全壽命(safe life)

在所宣示之嚴重故障機率下之預期使用壽命。

3.43 定期維護(scheduled maintenance)

根據事先制定好之時間表進行之預防性維護。

3.44 停機(shutdown)

風力機由發電至靜止或惰轉這段期間之過渡狀態。

3.45 停機狀態(standstill)

風力發電機組之停止狀態。

3.46 支撐結構(support structure)

風力機之支撐部件包含塔架及基座。

3.47 耐風速(survival wind speed)

結構設計所能承受之最大風速之俗稱。

備考：本系列標準不採用此用語，設計時可參考極端風速(參照 3.17)。

3.48 小型風力機(small wind turbine, SWT)

掃掠面積 200 m² 以下將風之動能轉換為電能之系統。

3.49 掃掠面積(swept area)

為垂直於風向之平面，轉子旋轉時葉尖運動所生成圓之投影面積。

3.50 擾流強度(turbulence intensity)

風速之標準差與平均風速之比值，用某一特定時間內，由同一組風速量測數據計算得到。

3.51 最終極限狀態(ultimate limit state)

通常對應於最大負載承載能力之極限狀態。

3.52 不定期維護(unscheduled maintenance)

不依照事先制定好之時間表，而係針對某項目之需要所進行之維護作業。

3.53 上風向(upwind)

與主風向相反之方向。

3.54 垂直軸風力機(vertical axis wind turbine)

轉子之軸線為垂直之風力機。

3.55 韋伯分布(Weibull distribution)

經常用於風速之機率分布函數，分布函數取決於兩個參數，控制分布寬度之形狀參數和控制平均風速分布之尺度參數。

3.56 風剖面－風切律(wind profile－wind shear law)

假定風速隨離地面高度變化之數學表示式。

備考：通常應用對數輪廓(1)或冪次律剖面(2)。

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

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

式中， $V(z)$ ：高度 z 處風速

z ：離地面高度

z_r ：用於擬合風剖面之離地面參考高度

z_0 ：粗糙長度

α ：風切(或幂次律)指數

3.57 風切(wind shear)

通過垂直於風向平面之風速變異量。

3.58 風切指數(wind shear exponent)

常用於描述風剖面線形狀之幂次律指數(參照 3.56)。

3.59 風速(wind speed)

圍繞空間中特定點之微量空氣的移動速率。

備考：風速亦為局部風速度之量值(參照 3.61 風速度)。

3.60 風速分布(wind speed distribution)

用於描述一延伸時段內風速機率分布之分布函數。

備考：通常應用之分布函數為瑞利分布函數 $P_R(V_0)$ 與韋伯分布函數 $P_W(V_0)$ 。

$$P_R\{V < V_0\} = 1 - \exp\left[-\pi(V_0/2V_{ave})^2\right] \dots\dots\dots (3)$$

$$P_W\{V < V_0\} = 1 - \exp\left[-(V_0/C)^k\right]$$

$$V_{ave} = \begin{cases} C\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \\ C\frac{\sqrt{\pi}}{2}, \text{ 若 } k=2 \end{cases} \dots\dots\dots (4)$$

式中， $P(V_0)$ ：累積機率函數，亦即 $V < V_0$ 之機率

V_0 ：風速(極限)

V_{ave} ：風速 V 之平均值

C ：韋伯分布函數之尺度參數

k ：韋伯分布函數之形狀參數

Γ ：伽馬函數

C 與 k 二者均可由實際值推算出。若選擇 $k=2$ ，亦即 C 與 V_{ave} 滿足公式(4)中 $k=2$ 之條件，則瑞利分布函數與韋伯分布函數相同。

分布函數所表達係為小於 V_0 風速之累積機率。若估算 V_1 至 V_2 間之分布，則公式 $[P(V_1)-P(V_2)]$ 係規定 V_1 與 V_2 間之各風速對時間之分布函數。對分布函數微分即能得出相對應之機率密度函數。

3.61 風速度(wind velocity)

指向圍繞於所考慮點之微量空氣移動方向向量，向量之大小等於此微量空氣移動之速率(即局部風速)。

備考：任意點之向量為通過此點之微量空氣其位移向量對時間之導數。

3.62 轉向(yawing)

轉子軸線繞垂直軸之旋轉(僅適用於水平軸風力機)。

3.63 轉向率(yaw rate)

轉向角度隨時間改變之速率。

3.64 轉向錯位(yaw misalignment)

風力機轉子軸與風向之間之水平偏差。

4. 符號及縮寫

4.1 符號

符號	說明	單位
A	截面積	m^2
A_{proj}	投射於與風向垂直或平行之平面上之分量面積	m^2
a	擾流標準變異模型之斜率參數	—
B	葉片數	—
C	韋伯分布函數之尺度參數	m/s
C_d	阻力係數	—
C_f	力量係數	—
C_l	升力係數	—
C_T	推力係數	—
Coh	相干函數(coherency function)	—
D	轉子直徑	m
e_r	從轉子重心到旋轉軸之間之距離	m
F	作用力	N
F_{zB}	在葉片根部在展開方向上之力量	N
$F_{x\text{-shaft}}$	軸向轉軸負載	N
f	頻率	s^{-1}
f_k	材料強度之特徵值	—
G	發電機之額定轉矩與短路轉矩之比值	—
g	重力加速度(值為 9.81)	m/s^2
I_B	葉片對根襟翼軸線之轉動慣量	$\text{kg}\cdot\text{m}^2$
I_{15}	在輪轂高度處，10 分鐘平均風速 15 m/s 下之擾流強度特徵值	—
K	修正之貝色函數	—
k	韋伯分布函數之形狀參數	—
L	等向擾流整體尺度參數	m
L_{lt}	升力點與塔架頂點間之距離	m
L_{rt}	轉子中心與轉向軸間之距離	m
L_{rb}	轉子中心與第 1 軸承間之距離	m
L_c	相干尺度參數	m
L_k	速度分量整體尺度參數	m
M_{xB} 、 M_{yB}	葉片根部之彎矩	$\text{N}\cdot\text{m}$

符號	說明	單位
M_{brake}	由煞車導致低速轉軸之力矩	N·m
$M_{\text{x-shaft}}$	在轉子軸第 1 軸承上之扭矩	N·m
M_{shaft}	在轉子軸第 1 軸承上之合成彎矩	N·m
M_{tower}	在升力點連接塔架上之彎矩	N·m
m_{B}	葉片質量	kg
m_{overhang}	在升力點與塔架頂點間之塔架質量	kg
m_{r}	轉子質量，為葉片加上輪轂之質量	kg
$m_{\text{tower top}}$	機艙與轉子之質量總和	kg
$N(.)$	失效之循環次數，其為引數(亦即 S-N 曲線)所指示之應力(或應變)函數	—
N	極限狀況之重現周期	年
n	轉子轉速	r.p.m.
n_i	負載數據組 “i” 中疲勞循環次數	—
O	運轉時間片段	%
P	電功率	W
$P_{\text{R}}(V_0)$	瑞利累積機率分布，亦即 $V < V_0$ 之機率	—
$P_{\text{W}}(V_0)$	韋伯累積機率分布	—
p	倖存機率	—
Q	轉子扭矩	N·m
R	轉子半徑	m
R_{cog}	葉片重心與轉子中心之徑向距離	m
r	分向量投影值	m
$S_{\text{I}}(f)$	功率頻譜密度函數	m ² /s
S_{k}	單邊速度分量頻譜	m ² /s
s_i	數據組 “i” 內對應某一循環次數之應力(或應變)位準	—
T	陣風特徵時間	s
t	時間	s
T_{d}	設計壽命	s
T_{E}	屏除時間	h
T_{N}	風力機無運轉之時間	h
T_{T}	耐久性試驗之總時間	h
T_{U}	未知時間	h

符號	說明	單位
V	風速	m/s
$V(z)$	高度 z 處之風速	m/s
V_{ave}	輪轂高度處之年平均風速	m/s
V_{cg}	整個轉子掃掠面上之極端持續陣風值	m/s
V_{design}	設計風速	m/s
V_{eN}	重現時間間隔為 N 年 1 次之預期極端風速(3 秒期間之平均)， V_{e1} 、 V_{e50} 分別表示 1 年 1 次及 50 年 1 次之預期極端風速	m/s
V_{gustN}	預期重現週期為 N 年 1 次之最大陣風值	m/s
V_{hub}	在輪轂高度處 10 分鐘期間內之平均風速	m/s
V_{in}	切入風速	m/s
$V_{\text{max, shutdown}}$	製造商容許正常停機時之最大風速	m/s
V_0	風速分布模型中極限風速	m/s
V_{out}	切出風速	m/s
V_{ref}	在 10 分鐘期間內之平均基準風速	m/s
V_{tip}	葉片尖端速度	m/s
$V(z, t)$	用於描述極限陣風瞬時變化及風切狀況之縱向風速分量	m/s
W	應力計算所使用之截面模數	m^3
x, y, z	用於描述風場之座標系，分別為縱向、橫(側)向及垂(高度)向	m
z_{hub}	風力機之輪轂高度	m
z_{r}	離地面之參考高度	m
z_0	對數風剖面之粗糙長度	m
α	風切幕次律指數	—
β	極端風向變化模型與極端運轉陣風模型之參數	—
Γ	伽馬函數	—
γ_{f}	負載之局部安全係數	—
γ_{m}	材料之局部安全係數	—
Δ	範圍	—
$\theta(t)$	瞬時風向變化	°
θ_{cg}	陣風條件下距平均風速方向之最大偏離角	°
θ_{eN}	N 年 1 次最大風向變化	°
η	電力輸出與轉子(原則上為發電機、齒輪箱及轉換系統)間之組件效率	—

符號	說明	單位
A_1	無因次縱向功率頻譜密度 $fS_1(f)/\sigma_1^2$ 等於 0.05 時定義為波長之擾流尺度參數	m
λ	葉尖速度比	—
ρ	空氣密度(假設為 1.225)	kg/m ³
σ_1	輪轂高度縱向風速標準差	m/s
σ_2	輪轂高度垂直風速標準差	m/s
σ_3	輪轂高度橫向風速標準差	m/s
σ_d	設計應力	MPa
σ_k	第 k 個輪轂高度分量風速標準差($k=1$ 、 2 或 3)	m/s
ω_n	轉子之旋轉速度	rad/s
ω_{yaw}	轉向率	rad/s

下標：

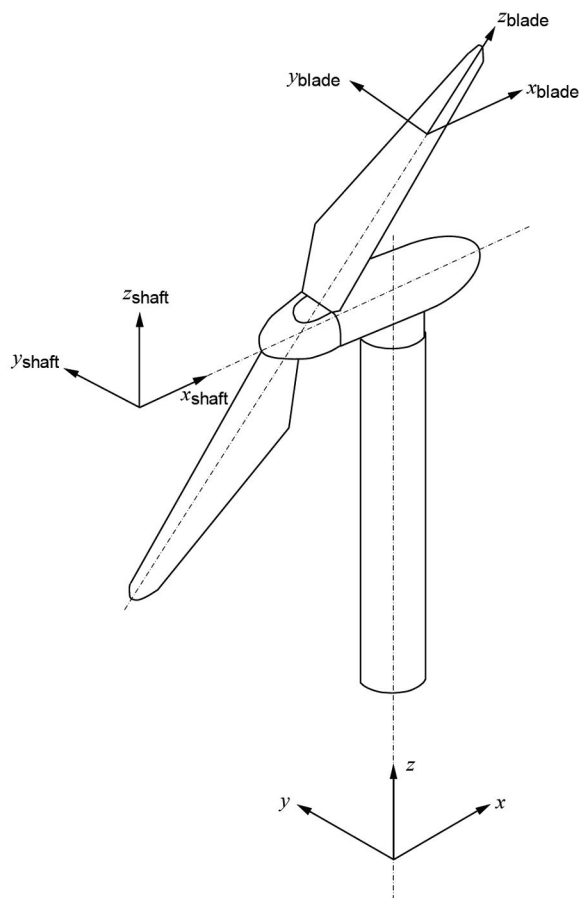
ave	平均值
B	葉片
design	簡化之設計方程式中之輸入參數
e50	50 年 1 次之極端(平均 3 秒)
hub	輪轂
max	最大
r	轉子
shaft	轉軸
x	x 方向
y	y 方向
z	z 方向

縮寫：

a.c.	交流電(alternating current)
d.c.	直流電(direct current)
DLC	設計負載狀況(design load case)
ECD	方向變化之極端持續陣風(extreme coherent gust with direction chang)
ECG	極端持續陣風(extreme coherent gust)
EDC	極端風向變化(extreme wind direction change)
EMC	電磁相容性(electromagnetic compatibility)
EOG	極端運轉陣風(extreme operating gust)
EWM	極端風速模型(extreme wind speed model)
F	疲勞(fatigue)
GFCI	接地故障斷路器(ground fault circuit interrupter)
HAWT	水平軸風力機(horizontal axis wind turbine)
NWP	正常風剖面模型(normal wind profile model)
NTM	正常擾流模型(normal turbulence model)
S	特殊 IEC 風力機等級(special IEC wind turbine class)
SWT	小型風力機(small wind turbine)
U	極限負載(ultimate)

4.2 座標系統

使用圖 1 所示之座標系定義負載方向。



塔架系統：

在下風向 x 為正， z 為向上， y 為依右手定則完成之座標系統。

塔架系統為固定。

轉軸系統：

x_{shaft} 為正力矩依 x 軸方向旋轉。

y_{shaft} 與 z_{shaft} 不使用，僅在總合力矩上使用。

轉軸系統隨機艙方向旋轉。

葉片系統：

x_{blade} 為正力矩依 x 軸方向旋轉。

y_{blade} 為正力矩往葉片尖端彎曲。

z_{blade} 朝向葉片尖端為正。

葉片座標系統當由下風位置觀看時，若轉子為順時鐘旋轉則使用右手定則，逆時鐘旋轉則使用左手定則。

葉片座標系統隨轉子旋轉。

圖 1 水平軸風力機座標系之定義

5. 基本要素

5.1 概述

以下各子節將說明確保風力機結構、機械、電力及控制系統安全性之工程與技術規定。此規範適用於風力機之設計、製造、安裝與維護及相關品質管理程序。

附錄 A 提供有關本標準如何使用於小型風力機型式驗證之指引。

附錄 G 提供測試與評估小型風力機性能與安全之方法。

5.2 設計法

圖 2 所示為本標準所涵蓋之風力機之設計方法。許多風力機配置容許採用簡化之方式。轉子掃掠面積小於 2 m^2 之風力機，其塔架並不視為設計之一部分。

風力機主要資料取自於“查證設計資料試驗”(參照 9.2)，而其後預測之設計負載值應以下列 3 種方式之一或其組合方式求得：

- 某些風力機設計可採用簡化之計算法。

7.4 列出 1 組設計負載及簡易公式與簡化之外部條件。

- 使用結構動力模型配合設計資料試驗與有限之全尺寸負載量測以查證模型。

此模型應用於決定各種風速條件下之負載，並採用 6.3 定義之擾流條件與其他極端風況及 7.5 定義之設計狀況。所有相關外部條件與設計狀況之組合均應加以分析。本標準已定義有 1 組最小數量之負載組合，作為設計負載。

- 全尺寸負載量測與負載外插

此等方法之任一種，皆有不同之不確定性，因此應根據所採用之負載估算法(參照 7.8)採用不同之安全係數。

所有風力機均須進行靜態葉片試驗(參照 9.5)。查證其他負載承載元件之適當性時須採用計算或試驗。試驗條件應反映設計負載並包含相關之安全係數。

最後，所有風力機均應經過安全及功能試驗(參照 9.6)與耐久性試驗(參照 9.4)。

5.3 品質保證

品質保證應為風力機及其所有組件之設計、採購、製造、安裝、運轉及維修之整體之一部分。

建議品質系統至少符合 CNS 12681 或 ISO 9001 標準之規定。

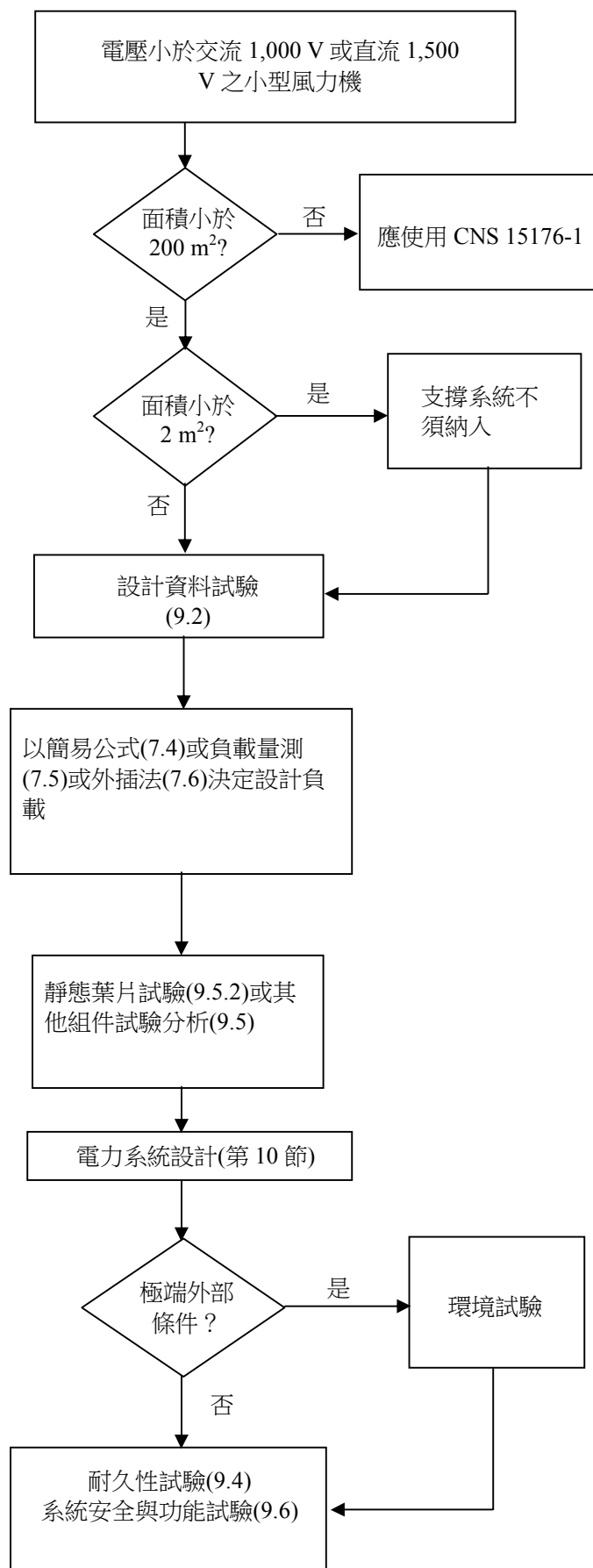


圖 2 本標準之設計決定路徑

6. 外部條件

6.1 概述

小型風力機會受到一些可能影響其負載、耐久性及運轉之環境與電力狀況。為確保適當之安全及可靠性水準，設計中應考慮環境、電力及土壤參數，並應清楚記載於設計報告中。

環境條件可再細分為風況與其他環境條件。電力條件係與電網條件或當地之電力條件(例：電池、混合系統或當地之電網)有關。土壤參數與小型風力機基座之設計有關。

風況為影響結構完整性之主要外部考量。其他環境條件亦會影響設計特徵，例如控制系統功能、耐久性及腐蝕等。

每種外部條件可細分為正常與極端外部條件。正常外部條件通常與長期結構負載及運轉狀況有關，而極端外部狀況則代表罕見但潛在之關鍵外部設計狀況。設計負載狀況應包含此等外部條件與風力機運轉模式之組合。

6.2 小型風力機等級

設計中宜考慮之外部條件取決於小型風力機設置之場地或場地種類。小型風力機等級係以風速及擾流參數定義。分級之用意在於涵蓋大多數之用途。風速與擾流參數之數值旨在表示多種不同場地之特徵值，而非提供任何特定場地之準確描述。其目的在於以風控制之各種堅固程度達成小型風力機分級。表 1 所示為定義小型風力機之基本參數。

另一小型風力機等級(S 級)係針對特殊要求(例：特殊風況、其他外部條件或特殊安全等級)所定義。S 級風力機之設計值應由設計者選擇並載明於設計報告中。有關此等特殊設計，設計條件中所選擇之數值應反映出較小型風力機之使用環境中所預期更為嚴峻之狀況。

第 I 級、第 II 級、第 III 級及第 IV 級中所定義之特定外部條件並非用於涵蓋離岸式或如颶風、熱帶氣旋及颱風之熱帶風暴中之風況。此等狀況應要求使用 S 級風力機設計。

表 1 小型風力機等級之基本參數

小型風力機等級	I	II	III	IV	S
$V_{ref}(m/s)$	50	42.5	37.5	30	由設計者 規定之值
$V_{ave}(m/s)$	10	8.5	7.5	6	
$I_{15}(-)$	0.18	0.18	0.18	0.18	
$a(-)$	2	2	2	2	
式中，以上數值適用於輪轂高度					
I_{15} ：在 15 m/s 時之擾流強度之無因次特徵值					
a ：公式(7)所使用之無因次斜率參數					

除此等基本參數以外，亦需要一些其他重要參數，以完整描述使用於小型風力機設計之外部條件。關於後續將稱為標準小型風力機等級之小型風力機第 I 級至第 IV 級，此等額外參數值將規定於 6.3 至 6.5 中。

本節各子節標題括號中之縮寫係用於敘述 7.5 所定義之設計負載狀況之風況(注意，在簡易負載計算中，風況亦已簡化)。

關於 S 級小型風力機，製造商應在設計文件中說明所使用之模型及重要設計參數值。當採用本節所述之模型時，參數值之說明即已足夠。S 級小型風力機之設計文件應包含附錄 B 所列之資料。

設計文件中應清楚說明設計壽命。

6.3 風況

6.3.1 概述

小型風力機應經過適當設計，以安全承受所選定之小型風力機等級之風況。設計文件中應詳述風況之設計值。負載之風力分級與安全考量可細分為時常在小型風力機正常運轉情形下發生之正常風況，及 1 年或 50 年重現週期下定義之極端風況。

在所有情況下均應考慮平均氣流與水平面間傾斜角度在 8°以內之影響。此項氣流傾角可假設為與高度無關。

備考：若捲曲方向並未根據轉子旋轉角度作適當選擇時，則斜角入流氣流會產生捲曲效應。

6.3.2 正常風況

6.3.2.1 風速分布

場地之風速分布對於小型風力機設計極重要，因為其決定個別負載狀況發生之頻率。在標準小型風力機等級之情況下，10 分鐘內風速平均值應假設為瑞利分布，以便於設計負載計算之目的。在此情況下，輪轂高度之累積機率分布公式如下所示。

$$P_R(V_{\text{hub}}) = 1 - \exp\left[-\pi(V_{\text{hub}}/2V_{\text{ave}})^2\right] \dots\dots\dots (5)$$

6.3.2.2 正常風剖面模型(normal wind profile model, NWP)

風剖面 $V(z)$ 代表平均風速，其為地面以上高度 z 之函數。在標準風力機等級中，正常風剖面模型應假設由冪次律求出。

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

冪次律指數 α 應假設為 0.2。

所假設之風剖面係用於定義轉子掃掠面積之平均垂直風切。

6.3.2.3 正常擾流模型(normal turbulence model, NTM)

正常擾流模型應包含 NWP 下所定義之風切。“風切”一詞意指偏離 10 分鐘平均之隨機風速變化。擾流模型應包含風速變化、風向變化及旋轉取樣之效應。對標準小型風力機等級，不論是否明確使用於模型中，隨機風速向量場之功率頻譜密度應滿足以下要求。

(a) 縱向風速分量之標準差特徵值應為⁽¹⁾：

$$\sigma_1 = I_{15}(15 + aV_{\text{hub}})/(a+1) \dots\dots\dots (7)$$

I_{15} 與 a 值如表 1 所示。標準差 σ_1 與擾流強度 σ_1/V_{hub} 之特徵值如圖 3 所示。

註⁽¹⁾ 為進行表 4 所述者以外之負載條件計算，採用不同之分位數可為適當之做法。計算此分位數時應將以下所得之數值代入公式(6)：

$$\Delta\sigma_1 = 2(x-1)I_{15}$$

式中， x ：從常態分布函數求得。例如第 95 個分位數之 $x=1.64$ 。

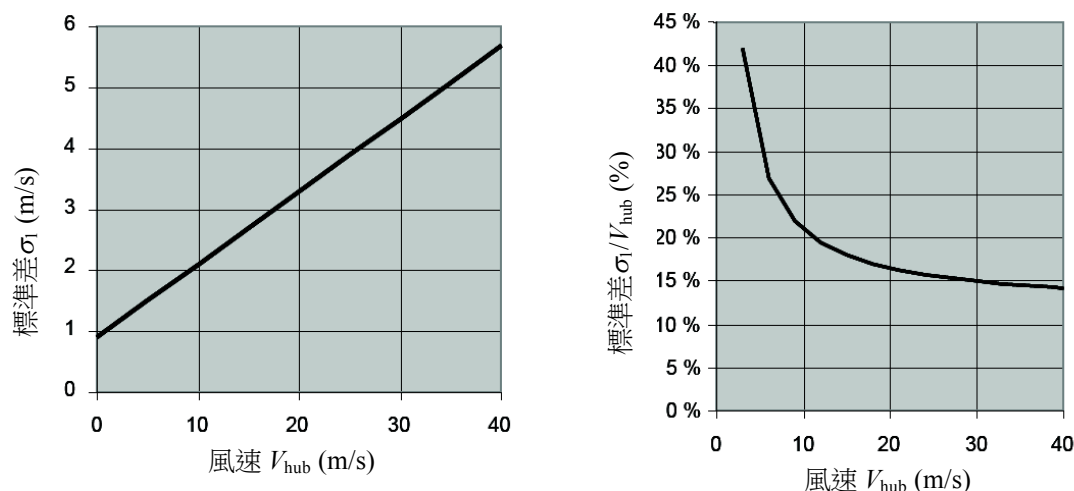


圖 3 擾流特性

(b) 靠近慣性副區之高頻率端時，擾流之縱向分量功率頻譜密度 $S_1(f)$ 應以不對稱方式趨近以下形式：

$$S_1(f) = 0.05\sigma_1^2(A_1/V_{\text{hub}})^{-2/3}f^{-5/3} \dots\dots\dots (8)$$

擾流比例參數 A_1 應為：

$$A_1 = \begin{cases} 0.7z_{\text{hub}}, & z_{\text{hub}} \leq 30 \text{ m} \\ 21 \text{ m}, & z_{\text{hub}} > 30 \text{ m} \end{cases} \dots\dots\dots (9)$$

附錄 C 提供滿足此等規定之隨機擾流模型之規格。附錄 D 中提供 1 個根據擾流之隨機敘述所作成之簡化型決定性模型。若可證明風力機葉片對旋轉取樣風速之反應已充足衰減時，則此模型可採用。附錄 D 亦提供此項確認之說明。

6.3.3 極端風況

6.3.3.1 概述

極端風況係用於決定小型風力機之極端風力負載。極端風況包含因暴風及風速與風向急速變化所產生之尖峰風速。此等極端條件包括風力擾流之可能效應，因此僅需要在設計計算中考量決定性之效應。

6.3.3.2 極端風速模型(extreme wind speed model, EWM)

50 年之極端風速 V_{e50} 及 1 年之極端風速 V_{e1} 應根據基準風速 V_{ref} 。在標準小型風力機等級之小型風力機設計中， V_{e50} 及 V_{e1} 應以如下公式計算。

$$V_{e50}(z) = 1.4V_{\text{ref}}(z/z_{\text{hub}})^{0.11} \dots\dots\dots (10)$$

$$V_{e1} = 0.75V_{e50} \dots\dots\dots (11)$$

式中， z_{hub} ：輪轂高度

應假設與平均風向之短期偏移為 $\pm 15^\circ$ 。

6.3.3.3 極端運轉陣風(extreme operating gust, EOG)

標準小型風力機等級之重現週期 N 年之輪轂高度陣風強度 $V_{\text{gust}N}$ 應以如下公式決定。

$$V_{\text{gust}N} = \beta \left(\frac{\sigma_1}{1 + 0.1 \left(\frac{D}{A_1} \right)} \right) \dots\dots\dots (12)$$

式中， σ_1 ：為標準差，參照公式(7)

A_1 ：為擾流比例參數，參照公式(9)

D ：為轉子直徑

β ： $N=1$ 時為 4.8， $N=50$ 時為 6.4

重現週期 N 年之風速應以下公式定義：

$$V(t) = \begin{cases} V(z) - 0.37V_{\text{gust}N} \sin(3\pi t/T)(1 - \cos(2\pi t/T)), & 0 \leq t \leq T \\ V(z), & t < 0 \text{ 及 } t > T \end{cases} \dots\dots\dots (13)$$

式中， $V(z)$ ：定義於公式(6)

$N=1$ 時 $T=10.5$ 秒

$N=50$ 時 $T=14.0$ 秒

例如，圖 4 所示為 1 年重現週期與 $V_{\text{hub}}=25$ m/s 之極端運轉陣風。

2 種重現週期之參數值均經過適當選擇以提供相同之最大上升速率。

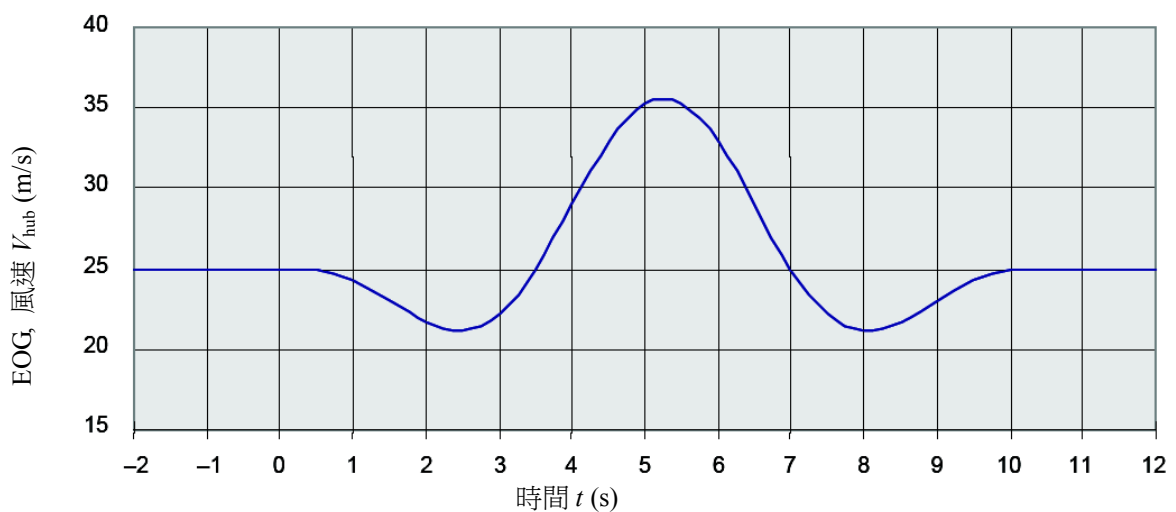


圖 4 極端運轉陣風($N=1$ ， $V_{\text{hub}}=25$ m/s)之範例

6.3.3.4 極端風向變化(extreme direction change, EDC)

重現週期 N 年之極端風向變化大小 θ_{eN} 應以如下公式計算。

$$\theta_{eN}(t)=\pm\beta\arctan\left(\frac{\sigma_1}{V_{hub}\left(1+0.1\left(\frac{D}{A_1}\right)\right)}\right)\dots\dots\dots (14)$$

- 式中， θ_{eN} ：限制在 $\pm 180^\circ$ 之間
- A_1 ：擾流尺度參數，參照公式(9)
- D ：轉子直徑
- β ： $N=1$ 時為 4.8； $N=50$ 時為 6.4

重現週期 N 年之瞬間極端風向變化 $\theta_N(t)$ 應以如下公式計算。

$$\theta_N(t)=\begin{cases} 0 & t < 0 \\ 0.5\theta_{eN}(1-\cos(\pi t/T)) & 0 \leq t \leq T \\ \theta_{eN} & t > T \end{cases} \dots\dots\dots (15)$$

式中， $T=6$ 秒為瞬間極端風向變化之持續時間。正負號應適當選取，以產生出最不利之瞬間負載。在瞬間風向變化最後時，假設風向維持不變。

例如，圖 5 與圖 6 所示為 50 年重現週期與 $V_{hub}=25$ m/s 之極端風向變化。

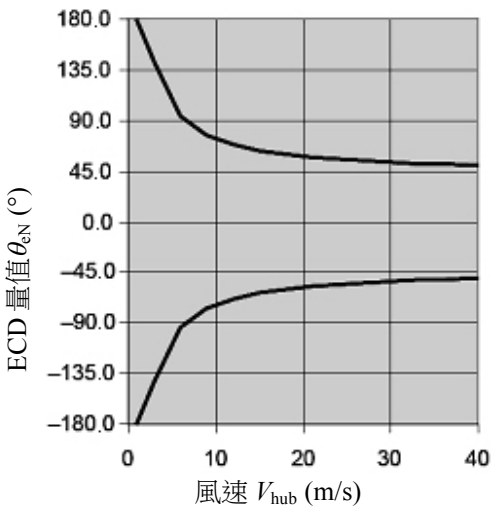


圖 5 極端風向變化量值之範例
($N=50$ ， $D=5$ m， $z_{hub}=20$ m)

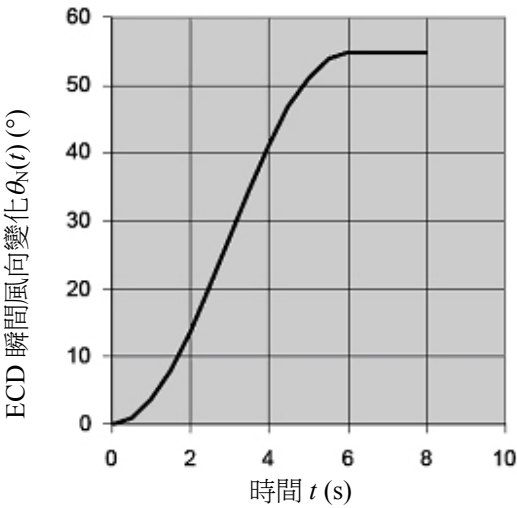


圖 6 極端風向變化之範例
($N=50$ ， $V_{hub}=25$ m/s)

6.3.3.5 極端持續陣風(extreme coherent gust, ECG)

標準小型風力機等級之風力機設計中，應假設大小為 $V_{cg}=15$ m/s 之極端持續陣風。風速應以如下公式定義。

$$V(z,t)=\begin{cases} V(z) & t < 0 \\ V(z)+0.5V_{cg}(1-\cos(\pi t/T)) & 0 \leq t \leq T \dots\dots\dots (16) \\ V(z)+V_{cg} & t > T \end{cases}$$

式中， $T=10$ 秒為上升時間。應採用公式(6)所述之風速之正常風剖面模型。
圖 7 所示為 $V_{hub}=25$ m/s 時之極端持續陣風。

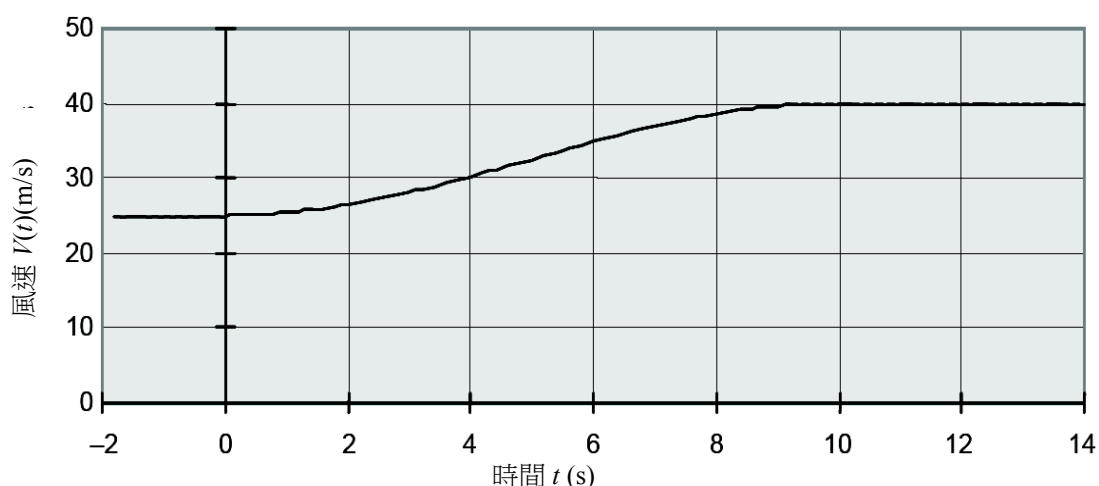


圖 7 極端持續陣風($V_{hub}=25$ m/s)(ECG)

6.3.3.6 具風向變化之極端持續陣風(extreme coherent gust with direction change, ECD)

在此情況中，風速之上升(以 ECG 敘述，參照圖 7)應假設與風向變化 θ_{cg} 同時發生，其中 θ_{cg} 之定義如下。

$$\theta_{cg}(V_{hub})=\begin{cases} 180^\circ & V_{hub} < 4 \text{ m/s} \\ 720^\circ & 4 \text{ m/s} \leq V_{hub} \leq V_{ref} \\ \frac{V_{hub}}{V_{hub}} & \end{cases} \dots\dots\dots (17)$$

圖 8 與圖 9 所示分別為在 $V_{hub}=25$ m/s 下以 V_{hub} 及時間為函數之風向變化 θ_{cg} 。

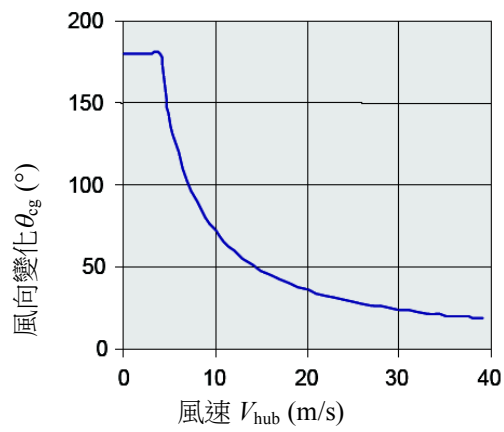


圖 8 ECD 之風向變化

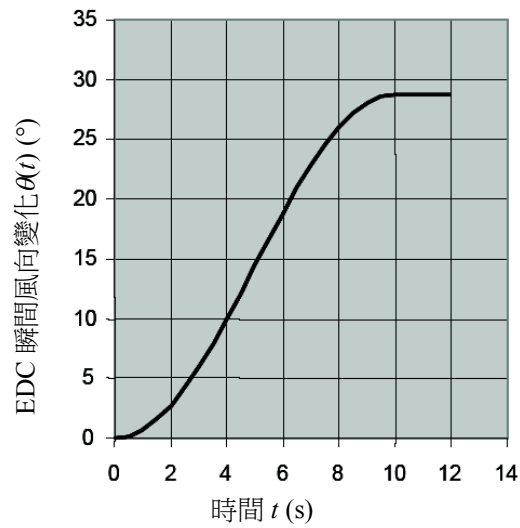


圖 9 $V_{hub}=25\text{ m/s}$ 時風向變化之時間發展

同時發生之風向變化為如下。

$$\theta(t)=\begin{cases} 0^{\circ} & t < 0 \\ \pm 0.5\theta_{cg}(1-\cos(\pi t/T)) & 0 \leq t \leq T \\ \pm \theta_{cg} & t > T \end{cases} \dots\dots\dots (18)$$

6.4 其他環境條件

6.4.1 概述

風力以外之環境(氣候)條件會以各種方式影響小型風力機之完整性與安全性，例如熱力作用、光化學作用、腐蝕、機械力、電力或其他物理作用等。此外，已知之氣候參數之組合亦會增強其效應。至少應考慮下列其他環境條件，並應於設計文件中敘明所採取之措施。

- 溫度；
- 溼度；
- 空氣密度；
- 陽光輻射；
- 雨水、冰雹、雪及冰；
- 化學活性物質；
- 機械活性粒子；
- 雷擊；
- 地震；及
- 海洋環境－腐蝕。

海洋環境需要特殊之額外考量。設計中之氣候條件應以代表值或以各種條件之極限值加以定義。挑選設計數值時，應考慮各氣候條件同時發生之機率。

1 年回歸期中之氣候條件在正常限制範圍內之變化不應與小型風力機所設計之正常運轉有所干擾。除非有相關性，6.4.3 所述之其他極端環境條件應與 6.3.2

所述之正常風況結合。

6.4.2 其他正常環境條件

以下為應考慮之其他正常環境條件。

- 正常系統運轉週邊溫度範圍為 -10°C 至 $+40^{\circ}\text{C}$ 之間；
- 相對溼度最高為 95 %；
- 相當於未受污染之內陸大氣之空氣成分(參照 IEC 60721-2-1)；
- 太陽輻射強度為 $1,000\text{ W/m}^2$ ；及
- 空氣密度為 1.225 kg/m^3 。

當設計者要求額外之外部條件參數時，各參數及其數值應在設計文件中說明，且應依照 IEC 60721-2-1 之規定。

6.4.3 其他極端環境條件

6.4.3.1 概述

小型風力機中所應考慮之其他極端環境條件為溫度、雷擊、結冰及地震。

6.4.3.2 溫度

標準小型風力機等級之極端溫度範圍之設計值應至少在 -20°C 至 $+50^{\circ}\text{C}$ 之間。

6.4.3.3 雷擊

10.5 所要求之電擊保護規定可視為足以作為標準小型風力機等級之設計用。

6.4.3.4 結冰

對於標準小型風力機等級，並無結冰之規定。

若製造商欲在其設計負載估算中納入結冰負載時，建議所有暴露之區域上採用最少 30 mm 厚、密度 900 kg/m^3 之冰層。此靜態結冰負載須與處於待機之風力機系統在 $3 V_{\text{ave}}$ 時之阻力負載結合。包括支撐索在內之支撐結構上之結冰負載，應在支撐結構之設計負載中一併考量。

6.4.3.5 地震

對於標準小型風力機等級，並無最小地震之規定。

6.5 電力負載狀況

6.5.1 概述

設計中須考量之電力條件取決於風力機之用途。

6.5.2 連接至電網之風力機

6.5.2.1 正常電力狀況

以下為設計中宜考慮之風力機終端正常條件。當以下參數落於以下所述範圍內時，則適用正常電網狀況。

- 電壓
標稱值(依照 IEC 60038) $\pm 10\%$ ；
- 頻率
標稱值 $\pm 2\%$ ；
- 電壓不平衡
電壓負相序分量與正相序分量之比值不超過 2 %；

- 自動復閉週期

第 1 次復閉之自動復閉週期為 0.2 秒至 5.0 秒，而第 2 次為 10 秒至 90 秒；

- 斷電

電網斷電應假設每年發生 20 次。最長達 24 小時之斷電應視為正常狀況。

6.5.2.2 極端電力狀況

設計中至少應考慮以下風力機終端處之極端電網狀況：

- 電壓：偏離標稱值 $\pm 20\%$ ；
- 頻率：標稱值 $\pm 10\%$ ；
- 電壓不平衡 15% ；
- 對稱與不對稱故障；及
- 斷電：最長達 1 星期之斷電應視為極端狀況。

6.5.3 未連接至電網之風力機

6.5.3.1 電池充電風力機

風力機應能在下列各種電池電壓之全範圍下運轉：

- 電壓範圍：標稱電壓(例如 12 V、24 V 及 36 V 等)之 -15% 或 $+30\%$ ；或
- 超過充電控制器上下設定值之 5% 。

6.5.3.2 區域電網

連接到當地電網而非連接到大型電網之風力機，將遇到較大之電壓與頻率變化。風力機系統應能在以下限制之內運轉。

- 電壓：偏離標稱值 $\pm 15\%$ ；及
- 頻率：標稱值 $\pm 5\text{ Hz}$ 。

7. 結構設計

7.1 概述

風力機結構應以從轉子葉片到基座之間之關鍵負載路徑中，各組件結構完整性之查證進行設計。結構構件之極限與疲勞強度應以計算及/或試驗加以查證，以確定小型風力機之結構完整性符合適當之安全性等級。

結構分析應根據 ISO 2394 或同等級規範。

7.2 設計法則

應查證風力機設計並未超過極限狀態。

有如下 3 種方法可決定風力機之設計負載。

- 簡化之負載方程式(參照 7.4)；
- 氣彈力模型(參照 7.5)；及
- 機械負載試驗(參照 7.6)。

7.3 負載及負載狀況

應考慮以下負載類型。

7.3.1 振動、慣性及重力負載

慣性與重力負載為因慣性、迴轉、振動、旋轉、重力及地震活動(或是如船隻搖晃般之支撐結構運動)所產生而作用於小型風力機之靜態與動態負載。

應注意風力機系統自然頻率之激發。

7.3.2 空氣動力負載

空氣動力負載為因氣流及氣流與小型風力機靜止與活動零件之間相互作用所產生之靜態與動態負載。氣流應視為與轉子之旋轉速度、轉子面上之擾流、空氣密度、風力機組件之空氣動力外型及其相互作用效應(包括氣彈力效應)有關。

7.3.3 運轉負載

運轉負載來自於風力機系統之運轉與控制。運轉負載可因轉向、煞車、彎折、俯仰及電網連接而產生。

7.3.4 其他負載

可由製造商所規定之特殊運轉環境所產生之所有負載，均應在設計加以考量(例如波動負載、尾流負載、結冰負載、運輸、組裝、維護及修理負載等)。

7.3.5 負載狀況

關於設計之目的，小型風力機之壽命可採用 1 組風力機可能承受之最激烈情況之設計條件來表示。

負載狀況應由特定組裝、豎立、維護及運轉或設計狀況與外部條件之組合而決定。具備合理發生機率之所有相關負載狀況及控制與保護系統之行為，均應一併考量。

通常，用於決定小型風力機結構完整性之設計負載狀況，應由下列項目之組合予以計算。

- 無故障且在正常外部情況下之風力機運轉；
- 無故障且在極端外部情況下之風力機運轉；
- 有故障且在適當外部情況下之風力機運轉；及
- 運輸、安裝及維護設計狀況及適當之外部條件。

若極端外部條件與故障情況有明顯關聯時，則兩者之實際組合應視為 1 個設計負載狀況。

每種設計狀況中，應考慮數個設計負載狀況，以驗證小型風力機組件之結構完整性。至少應考慮表 2 或表 4 所列之設計負載狀況。上述 2 表中，每個設計狀況之設計負載狀況皆以風力、電力及其他外部條件描述。

當控制與保護系統無法監控與限制某些風力機參數時，則應在負載條件中考量此狀況。此類參數之範例如下。

- 纜繩扭轉；
- 振動；
- 轉子速度；及
- 葉片顫振(flutter)。

7.4 簡化之負載模型

7.4.1 概述

對於某些風力機配置，負載可用簡單但保守之公式推導出一組有限數量之負載狀況。附錄 F 提供有關此等公式之背景資料。若風力機配置無法符合此等配置

之規定時，則無法採用簡易公式，而應採用替代性之氣彈力模型(參照 7.5)或負載量測(參照 7.6)。

可採用簡易公式之風力機配置，應符合下列所有規定。

- － 水平軸；
- － 雙葉片或多葉片螺旋槳式轉子；
- － 懸臂式葉片；及
- － 剛性輪轂(非蹺蹺板式輪轂或鉸鏈式輪轂)。

風力機配置可採用上風向或下風向之轉子；可在可變或恆定速度下運轉；可具有主動或被動旋角機構，亦可具有固定旋角。可對垂直軸、水平軸或中間軸彎折，亦可不彎折。

本子節所述之簡化負載模型採用輸入參數，除最大轉向率外，輸入參數應依照 9.2 決定。此等參數為：

- － 設計旋轉速率 n_{design} ；
- － 設計風速 V_{design} ；
- － 設計軸扭矩 Q_{design} ；
- － 最大轉向速率 $\omega_{\text{yaw,max}}$ ；及
- － 最大旋轉速率 n_{max} 。

此外，設計葉尖速率比定義為：

$$\lambda = \frac{V_{\text{tip}}}{V_{\text{hub}}} = \frac{\omega R}{V_{\text{hub}}} \Rightarrow \lambda_{\text{design}} = \frac{R}{V_{\text{design}}} \frac{\pi n_{\text{design}}}{30} \dots\dots\dots (19)$$

$$\omega_n = \frac{2\pi n}{60} = \frac{\pi n}{30} \dots\dots\dots (20)$$

表 2 為簡化負載計算之負載狀況一覽表。簡化負載計算之負載分量列於討論負載狀況之各節。

表 2 中每一種設計狀況都註明有 F 及 U 說明分析之型態。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、葉片尖端變形量與結構穩定性之說明。

若因特定小型風力機設計之需要時，應考慮與安全性相關之其他設計負載狀況。

表 2 簡化負載計算法之設計負載狀況

設計狀況	負載狀況		風力入流	分析型式	備註
發電	A	正常運轉		F	
	B	轉向	$V_{\text{hub}}=V_{\text{design}}$	U	
	C	轉向誤差	$V_{\text{hub}}=V_{\text{design}}$	U	
	D	最大推力	$V_{\text{hub}}=2.5 V_{\text{ave}}$	U	轉子轉動但可能捲曲或拍動

表 2 簡化負載計算法之設計負載狀況

設計狀況	負載狀況		風力入流	分析型式	備註
發電+故障發生	E	最大旋轉速率	—	U	—
	F	負載連結短路	$V_{hub}=V_{design}$	U	最大發電機短路扭矩
停機	G	停機(煞車)	$V_{hub}=V_{design}$	U	—
待機(惰轉或靜止)	H	待機風力負載	$V_{hub}=V_{c50}$	U	—
待機與故障情形	I	待機風力負載， 最大曝露情況	$V_{hub}=V_{ref}$	U	風力機承受最不利曝 露狀態
運輸、組裝、維護及修理	J	由製造商敘明	—	U	—

7.4.2 負載狀況 A：正常運轉

“正常運轉”之設計負載係為疲勞負載。負載狀況假設葉片與轉軸為固定範圍疲勞負載，以下將提供此等範圍。疲勞評估中此等範圍須視為峰對峰值。負載範圍之平均值可忽略。

葉片負載：

$$\Delta F_{zB} = 2m_B R_{cog} \omega_{n,design}^2 \dots\dots\dots (21)$$

$$\Delta M_{xB} = \frac{Q_{design}}{B} + 2m_B g R_{cog} \dots\dots\dots (22)$$

$$\Delta M_{yB} = \frac{\lambda_{design} Q_{design}}{B} \dots\dots\dots (23)$$

葉片上之疲勞負載須視為發生在翼面與翼根連接點或翼根與輪轂連接點，取決於最小極限強度者。計算後之應力為離心負載(F_{zB})與彎矩(M_{xB} 與 M_{yB})之組合。

轉軸負載：

$$\Delta F_{x-shaft} = \frac{3}{2} \frac{\lambda_{design} Q_{design}}{R} \dots\dots\dots (24)$$

$$\Delta M_{x-shaft} = Q_{design} + 2m_r g e_r \dots\dots\dots (25)$$

$$\Delta M_{shaft} = 2m_r g L_{rb} + \frac{R}{6} \Delta F_{x-shaft} \dots\dots\dots (26)$$

式中， $e_r=0.005 R$ ，除非設計文件中可證明較小值係屬合理。

轉子轉軸上之疲勞負載應視為發生在轉子轉軸上第 1 個軸承處(最靠近轉子)。

應力範圍應由推力負載($F_{x-shaft}$)、扭矩($M_{x-shaft}$)與彎矩(M_{shaft})之組合來計算。

7.4.3 負載狀況 B：轉向

在此負載狀況下，應假設最大轉向速度 $\omega_{yaw,max}$ 發生在 n_{design} ，並計算極限負載(旋轉力與彎矩)。

被動轉向系統之最大轉向速率由下式計算：

$$\omega_{yaw,max} = 3 - 0.01(\pi R^2 - 2) \dots\dots\dots (27)$$

所有轉子掃掠面積小於 2 m^2 之風力機，其最大轉向速率應為 3 rad/s 。

主動轉向系統之最大轉向速率應以平靜風勢下之量測值計算。若最大轉向速率可能在特殊條件下發生(例如高速之緊急轉向)，則主動轉向速率應在此等條件下量測。因葉片彎矩 M_{yB} 與轉軸彎矩 M_{shaft} 所產生之負載，應以下式計算：

$$M_{yB} = m_B \omega_{\text{yaw}}^2 L_{\text{rt}} R_{\text{cog}} + 2 \omega_{\text{yaw}} I_B \omega_n + \frac{R}{9} \Delta F_{x\text{-shaft}} \dots\dots\dots (28)$$

$\Delta F_{x\text{-shaft}}$ 由公式(24)求得。

轉軸之負載與葉片數量有關。

對雙葉片轉子而言：

$$M_{\text{shaft}} = 4 \omega_{\text{yaw}} \omega_n I_B + m_r g L_{\text{rb}} + \frac{R}{6} \Delta F_{x\text{-shaft}} \dots\dots\dots (29)$$

對三葉片以上之轉子而言：

$$M_{\text{shaft}} = B \omega_{\text{yaw}} \omega_n I_B + m_r g L_{\text{rb}} + \frac{R}{6} \Delta F_{x\text{-shaft}} \dots\dots\dots (30)$$

7.4.4 負載狀況 C：轉向誤差

所有風力機皆會有某種程度之轉向誤差。在此負載狀況下，假設轉向誤差為 30° 。

因轉向誤差所產生之翼面方向彎矩由公式(31)求得：

$$M_{yB} = \frac{1}{8} \rho A_{\text{proj},B} C_{l,\text{max}} R^3 \omega_{n,\text{design}}^2 \left[1 + \frac{4}{3 \lambda_{\text{design}}} + \left(\frac{1}{\lambda_{\text{design}}} \right)^2 \right] \dots\dots (31)$$

若無最大升力係數 $C_{l,\text{max}}$ 者應採用 2.0。

7.4.5 負載狀況 D：最大推力

小型風力機可受到轉子上高推力負載之影響。推力負載之作用方向與轉子轉軸平行，其最大值為：

$$F_{x\text{-shaft}} = C_T 3.125 \rho V_{\text{ave}}^2 \pi R^2 \dots\dots\dots (32)$$

式中， C_T ：推力係數，等於 0.5

7.4.6 負載狀況 E：最大旋轉速率

葉片根部之離心負載 F_{zB} 及離心力與轉子不平衡所產生之轉軸彎矩 M_{shaft} 應以下式求得。最大可能轉子速率 $\omega_{n,\text{max}} = (\pi/30) n_{\text{max}}$ 應由 9.2.4 所述之量測值求得。

$$F_{zB} = m_B \omega_{n,\text{max}}^2 R_{\text{cog}} \dots\dots\dots (33)$$

$$M_{\text{shaft}} = m_r g L_{\text{rb}} + m_r e_r \omega_{n,\text{max}}^2 L_{\text{rb}} \dots\dots\dots (34)$$

7.4.7 負載狀況 F：負載連接短路

在小型風力機輸出端之直接電力短路或發電機內部短路之情況下，交流發電機短路轉矩會產生對轉子轉軸之高彎矩。若無法取得更準確之數值時，作用在發電機轉軸上之短路轉矩須視為 Q_{design} 之 2 倍。

$$M_{x\text{-shaft}} = G Q_{\text{design}} \dots\dots\dots (35)$$

若無法取得更準確之數值時，則 G 應為 2.0。

$$M_{xB} = \frac{M_{x-shaft}}{B} \dots\dots\dots (36)$$

7.4.8 負載狀況 G：停機(煞車)

若風力機在驅動裝置中有機械或電子煞車系統時，則煞車彎矩可大於最大驅動彎矩。在此等情況下，小型風力機之設計計算中，應採用由試驗或計算所得之煞車彎矩 M_{brake} 。最大轉軸扭矩假設為煞車與設計扭矩之總和(因此假設發電機仍在供應設計彎矩時，煞車發生作用)。

$$M_{x-shaft} = M_{brake} + Q_{design} \dots\dots\dots (37)$$

若煞車位於高速轉軸時， M_{brake} 應乘以齒輪箱之齒輪比。

停機期間葉片負載係假設以轉軸扭矩與葉片質量所求得，因此：

$$M_{xB} = \frac{M_{x-shaft}}{B} + m_B g R_{cog} \dots\dots\dots (38)$$

式中， $M_{x-shaft}$ ：公式(37)所求得之轉軸扭矩

若風力機具有齒輪箱與高速轉軸煞車時，公式(37)所求得之轉軸扭矩應增加，以計入驅動裝置之動力狀況。若無法取得更準確之數值時，則轉軸扭矩應乘以 2。

7.4.9 負載狀況 H：待機風力負載

在此負載狀況下，風力機係以正常方式待機。小型風力機外露部分上之負載應假設以 6.3.3.2 所得之風速來計算。

在即將待機之風力機上，平面外葉片根部彎矩係由阻力所控制，因此定義如下：

$$M_{yB} = C_d \frac{1}{4} \rho V_{e50}^2 A_{proj,B} R \dots\dots\dots (39)$$

式中， C_d ：阻力係數，並應設為 1.5

$A_{proj,B}$ ：葉片平面形狀之面積

風力機之轉子以 V_{e50} 轉動時，在轉子上某些位置 $C_{l,max}$ 會因風向變化而發生在一葉片上。因此葉片彎矩為：

$$M_{yB} = C_{l,max} \frac{1}{6} \rho V_{e50}^2 A_{proj,B} R \dots\dots\dots (40)$$

若無 $C_{l,max}$ 之資料時，應假設為 2.0。

關於推力負載：

待機轉子之軸推力負載係以公式(41)計算。

$$F_{x-shaft} = B C_d \frac{1}{2} \rho V_{e50}^2 A_{proj,B} \dots\dots\dots (41)$$

旋轉轉子之推力由下式求得。

$$F_{x-shaft} = 0.17 B A_{proj,B} \lambda_{e50}^2 \rho V_{e50}^2 \dots\dots\dots (42)$$

式中， λ_{e50} 為 V_{e50} 時之葉尖速率比，如其為未知時可由下公式求得。

$$\lambda_{e50} = \frac{\eta_{max} \pi R}{30 V_{e50}} \dots\dots\dots (43)$$

最大塔架彎矩應以公式(41)或公式(42)(取決於風力機設計)計算所得之推力計

算。塔架與機艙所承受之阻力或升力亦應納入考量。此等力量應以公式(44)計算求得。獨立塔架之最大彎矩發生於塔架底部。有支撐索之塔架其最大彎矩將發生於上部支撐索固定處。

各組件之負載可由下式求得。

$$F = C_f \frac{1}{2} \rho V_{e50}^2 A_{proj} \dots\dots\dots (44)$$

式中， C_f ：作用力係數(參照表 3)

A_{proj} ：與風向垂直之平面上之分量投影面積

葉片、轉軸及塔架之負載必須要由各組件上之負載來計算。

7.4.10 負載狀況 I：待機風力負載，最大曝露情況

若轉向機構發生故障時，小型風力機會受到各種方向之風力所影響。因此對於設計之目的，所有可能之曝露方式(包括來自轉子正面、側面與背面之風勢)所產生對小型風力機葉片、機艙、塔架及尾部(如可行時)之作用力均必須計算。

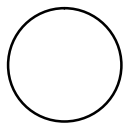
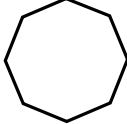
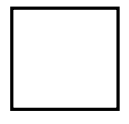
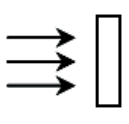
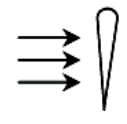
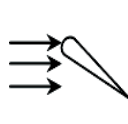
各組件之負載可由下式求得。

$$F = C_f \frac{1}{2} \rho V_{ref}^2 A_{proj} \dots\dots\dots (45)$$

式中， C_f ：作用力係數，可能來自於升力或阻力

A_{proj} ：配合該作用力係數之分量投影面積(在其最不利位置)。對鈍角造型(或陡峭造型)(例如機艙蓋及塔架接頭)，此面積應為在一與風向垂直之平面上之投影面積。對翼面形狀而言，此面積即為翼面之平面形狀面積

表 3 作用力係數 C_f

						
特徵長度 < 0.1 m	1.3	1.3	1.5	1.5	1.5	2.0
特徵長度 > 0.1 m	0.7	1.2	1.5	1.5	1.5	2.0

7.4.11 負載狀況 J：運輸、組裝、維護及修理

製造商應考慮因系統之運輸、組裝、安裝、維護及修理所造成風力機系統之負載。此負載之範例包括如下之項目。

- 運輸期間風力機處於直立以外之狀態下所產生之重力負載；
- 因特殊安裝工具所產生之負載；
- 安裝期間之風力負載；
- 將風力機吊裝到基座上所產生之負載；
- 安裝期間豎立塔架之負載；及

— 爬上支撐結構而對支撐結構所施加之負載。

例如，下列公式為計算安裝期間豎立塔架負載之公式。

$$M_{\text{tower}} = 2 \left(m_{\text{tower top}} + \frac{m_{\text{overhang}}}{2} \right) g L_{\text{lt}} \dots\dots\dots (46)$$

式中， M_{tower} ：為塔架在吊裝點之彎矩(Nm)

$m_{\text{tower top}}$ ：機艙與轉子之質量總和(kg)

m_{overhang} ：吊裝點與塔頂之間之塔架質量(kg)

L_{lt} ：吊裝點與塔頂之間之距離(m)

公式(46)係根據以下之條件進行假設。

- 動態放大係數為 2；
- 風力機重心位置位於轉子軸上；及
- 最大彎矩發生在塔架處於水平位置時。

7.5 氣彈力模型

7.5.1 概述

若設計負載係以氣彈力模型決定時，應考慮本節所述之設計負載狀況。表 4 提供最低要求之設計負載狀況。該表中，每種設計狀況之設計負載狀況均以風力、電力及其他外部條件加以描述。在風速範圍為已知之情況下評估負載狀況，負載狀況應以整個風速範圍加以評估，以確保確認最不利之負載。

若特定風力機設計要求時，亦應考慮與安全性相關之其他設計負載狀況。

每種設計負載皆以 F 及 U 說明其適當之分析型式。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，例如超過最大材料強度之分析、葉片尖端變形量分析及結構穩定性分析。

表 4 氣彈力模型最小要求之設計負載狀況

設計狀況	DLC	風況	其他條件	分析類型
(1)發電	1.1	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$ 或 $3 V_{ave}$		F, U
	1.2	ECD $V_{hub} < V_{design}$		U
	1.3	EOG ₅₀ $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$ 或 $3 V_{ave}$		U
	1.4	EDC ₅₀ $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$ 或 $3 V_{ave}$		U
	1.5	ECG $V_{hub} = V_{design}$		U
(2)發電+故障發生	2.1	NWP $V_{hub} = V_{design}$ 或 V_{out} 或 $2.5 V_{ave}$	控制系統故障	U
	2.2	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$ 或 V_{e1}	控制或保護系統故障	F, U
	2.3	EOG ₁ $V_{in} < V_{out}$ 或 $2.5 V_{ave}$	喪失電網連接	U
(3)正常停機	3.1	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$		F
	3.2	EOG ₁ $V_{hub} = V_{out}$ 或 $V_{max, shutdown}$		U
(4)緊急或手動停機	4.1	NTM 由製造商說明		U
(5)待機(靜止或惰轉)	5.1	EWM $V_{hub} = V_{e50}$	可能的電網連結之喪失	U
	5.2	NTM $V_{hub} < 0.7 V_{ref}$		F
(6)待機與故障情況	6.1	EWM $V_{hub} = V_{e1}$		U
(7)運輸、組裝、維護及修理	7.1	由製造商說明		U

7.5.2 發電(DLC 1.1 – DLC 1.5)

在此設計狀況中，風力機於運轉中且連接至電力負載。所假設之風力機配置應考慮轉子不平衡。設計計算中，應採用製造轉子時所規定之最大質量及空氣動力不平衡(例如葉片旋角與葉面扭曲之偏差)。

此外，與理論最佳運轉狀態之偏差(例如轉向錯位與控制系統追蹤錯誤)，應在運轉負載之分析中加以考量。

計算中應假設各種條件之最不利組合情況，例如設計負載條件(DLC)1.4 中具特徵轉向錯位之風向變化。設計負載狀況 1.1 即為因大氣擾流所產生之負載之具體要求。DLC 1.2 至 DLC 1.5 詳細說明瞬間負載狀況，而此等狀況皆已經過適當挑選以代表風力機一生中可能會遭遇之重大事件。

7.5.3 發電加上故障發生(DLC 2.1 – DLC 2.3)

應假設在發電期間會發生控制或保護系統之故障，或明顯影響風力機承載(例如發電機短路)之電力系統內部故障。DLC 2.1 中，應分析被視為正常事件之控制系統故障。DLC 2.2 中應分析保護系統或內部電力系統之故障，而此故障不會造成立即待機並且會導致嚴重之疲勞損壞。

在設計負載狀況 2.3 中，1 年極端運轉陣風須與電力連接損失作負載組合。

以下為被動控制風力機中控制系統故障之範例。

- 故障之捲動系統(例如尾端鎖定)(若無法證明捲動系統之安全性時)；及
- 故障之葉片螺距系統(若無法證明葉片螺距系統之安全性時)。

每年最少以 24 小時之期間，評估風力機系統單一故障之疲勞狀況。

7.5.4 正常停機(DLC 3.1 – DLC 3.2)

此負載狀況包含從發電狀態到靜止或惰轉狀態中在正常瞬間狀況下造成風力機負載之所有事件。發生之次數應根據控制系統之行為加以估計。

在被動控制之風力機中，不一定會有自動停機，在此種情況下可忽略疲勞負載狀況。在負載狀況 3.2 中，最大風速為 V_{out} 或 $V_{max,shutdown}$ 。

7.5.5 緊急或手動停機(DLC 4.1)

應考慮緊急或手動停機所造成之負載。製造商應在操作手冊中規定各程序之風速限制。應採用製造商所規定之風速，而非 V_{out} 。

7.5.6 待機(停機或惰轉)(DLC 5.1 – DLC 5.2)

待機之風力機之葉片可能處於停機或惰轉狀態，應以極端風速條件加以考量。此等條件應為擾流或準穩態狀況，並加上陣風與動態反應之修正。

若某些組件可能發生明顯之疲勞損壞(例如來自惰轉葉片之重量)，則亦應考慮各適當風速下之非發電時數。

應考慮待機風力機中因電網喪失之效應。

若風力機並未連接到電網時，則不需要考慮電網喪失(loss of grid)。若有可能在高風速下發生風力機故障時，則本設計負載狀況中亦應考慮此情況。

7.5.7 待機加上故障狀況(DLC 6.1)

因電網或風力機之故障而產生待機風力機與正常行為之偏差，應加以分析。若非電網損失之任何故障引發待機風力機與正常行為之偏差時，則應分析其可能之後果。在設計負載狀況 6.1 中，故障情況應與 1 年重現週期之極端風速模型作組合。此等情況應為擾流或準穩態狀況，並加上陣風與動態反應之修正。

7.5.8 運輸、組裝、維護及修理(DLC 7.1)

製造商應考慮在系統之運輸、組裝、安裝、維護及修理作業中在風力機系統中所產生之負載。此等負載之範例如下。

- 運輸期間風力機處於直立以外之狀態下所產生之重力負載；
- 因特殊安裝工具所產生之負載；
- 安裝期間之風力負載；
- 將風力機吊裝到基座上所產生之負載；
- 豎立期間於傾斜之塔架上之負載；及
- 爬上支撐結構而對支撐結構所施加之負載。

7.5.9 負載計算

對每種設計負載情況，均應考慮 7.3 所述之負載。當有相關時，亦應考慮以下情況。

- 風力機本身所產生之風場擾動(尾流所引起之速度、塔架遮蔽等)；

- － 立體氣流對葉片空氣動力特徵之影響(例如 3 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；及
- － 風力機之控制與保護系統之行為；

7.6 負載量測

若設計負載係由負載量測推導而來時，則此等負載之量測應在盡可能接近 7.5 所述之設計負載情況下進行。量測負載之外插應依照 IEC 61400-13 進行。有關負載量測之進一步規定，可參照 9.3 及 IEC 61400-13。

對於 7.4 或 7.5 中所述之任何一種設計負載狀況，若負載量測係於設計負載狀況所規定之類似情況下進行者，則可用負載量測取代負載計算。

7.7 應力計算

應計算承載組件之所有重要負載上之應力。由個別作用力計算而得之應力應與設計負載狀況中所得之彎矩加以組合，以求得等效應力。所得之等效應力應與設計值作比較，以找出與材料應力之關係。

在應力計算中，應考慮以下情形。

- － 應力變化；
- － 應力集中；
- － 所得負載之大小與方向；
- － 組件之尺寸與材料厚度變化；
- － 組件表面粗糙度與表面處理；
- － 負載型式(彎曲、拉伸、扭轉等)；及
- － 電鍍、鑄造、機械加工及末端處理等。

表 5 所示為由單向值計算等效應力之說明。

表 5 等效應力

	圓形葉片根部	方形葉片根部	轉子轉軸
軸向負載	$\sigma_{zB} = \frac{F_{zB}}{A_B}$	$\sigma_{zB} = \frac{F_{zB}}{A_B}$	$\sigma_{x-shaft} = \frac{F_{x-shaft}}{A_{shaft}}$
彎矩	$\sigma_{MB} = \frac{\sqrt{M_{xB}^2 + M_{yB}^2}}{W_B}$	$\sigma_{MB} = \frac{M_{xB}}{W_{xB}} + \frac{M_{yB}}{W_{yB}}$	$\sigma_{M-shaft} = \frac{M_{shaft}}{W_{shaft}}$
剪力	可忽略	可忽略	$\tau_{M-shaft} = \frac{M_{x-shaft}}{2W_{shaft}}$
組合 (軸向負載與彎矩)	$\sigma_{eqB} = \sigma_{zB} + \sigma_{MB}$		$\sigma_{eq} = \sqrt{(\sigma_{x-shaft} + \sigma_{M-shaft})^2 + 3\tau_{M-shaft}^2}$

7.8 安全係數

7.8.1 材料係數與規定

本子節所述之材料係數應適用於以 95 %信賴界限與 95 %機率所估計之材料性質。若此材料性質係以其他倖存機率所計算時，則材料之安全係數應加以調整(參照附錄 E)。

在強度方面，此等係數能以應力或應變為基礎。在決定材料性質時應考慮以下因素。

- (a) 全尺寸結構之代表性材料與材料配置；
- (b) 全尺寸結構典型相同之試驗樣品製造方法；
- (c) 靜態、疲勞及頻譜負載試驗(包括速率效應)；
- (d) 環境效應(例如腐蝕、紫外線劣化、溼度及溫度等)；及
- (e) 會影響材料性質之幾何形狀效應(例如射出成型葉片之材料方向、複合材料與木材中之膠合力下降及金屬鑄造時之材料方向等)。

表 6 所示為疲勞與極限強度分析時所應採用之材料局部安全係數。當以上 5 項因素經過審慎考量之後，則可採用最小之材料局部安全係數。此種情況稱為“全特徵化”。若材料性質完全依照試驗且並未考慮以上因素時，則應採用最大材料係數。此種情況稱為“最小特徵化”。附錄 E 提供依照已完成材料試驗之數量與類型來決定適當係數之說明。

表 6 材料局部安全係數

狀況	全特徵化	最小特徵化
疲勞強度	1.25 ^(a)	10.0 ^(b)
極限強度	1.1	3.0
註 ^(a) 安全係數適用於公式(48)所示之應力範圍。		
註 ^(b) 安全係數適用於所測得之材料極限強度。		

7.8.2 負載之局部安全係數

局部安全係數包含負載估算程序之不確定性，因此各負載計算方法之安全係數不同。表 7 所示為各種方法所採用之負載係數。此處已用負載量測值驗證過氣彈力模型，因此此負載計算方法之負載局部安全係數為最低。

表 7 負載局部安全係數

負載計算方法	疲勞負載之安全係數(γ_f)	極限負載安全係數(γ_f)
簡易負載計算	1.0	3.0
以設計資料(r.p.m.、功率)進行之氣彈力模型	1.0	1.35
以外插量測之負載	1.0	3.0

7.9 極限狀態分析

7.9.1 極限強度分析

在極限強度方面，下列公式為應符合之設計要求。

$$\sigma_d \leq \frac{f_k}{\gamma_m \gamma_f} \dots\dots\dots (47)$$

式中， f_k ：特徵材料強度

γ_m ：材料局部安全係數

γ_f ：負載局部安全係數

7.9.2 疲勞破壞

所有疲勞負載狀況所產生之疲勞損壞應加總。疲勞損壞應以適當之疲勞損壞計算加以估計。例如，在線性損毀律中，當累積損壞(damage)超過 1 時便到達極限狀態。因此在風力機使用壽命範圍內之累積損壞應小於或等於 1。

$$\text{損壞(damage)} = \sum_i \frac{n_i}{N(\gamma_f \gamma_m s_i)} \leq 1.0 \dots\dots\dots (48)$$

式中， n_i ：包括所有相關負載狀況之特徵負載頻譜之負載數據組“i”中疲勞循環

之次數

s_i ：與負載數據組“i”中疲勞循環次數相關之應力(或應變)水準

$N(.)$ ：為產生破壞時之循環數，為以自變數所顯示之應力(或應變)函數(亦即特徵 S-N 曲線)

γ_f 、 γ_m ：分別為適當之負載與材料局部安全係數

若採用簡化負載模型(參照 7.4)時，則公式(49)所求得之疲勞循環次數應適用於負載狀況 A 之範圍。

$$n = \frac{B n_{\text{design}} T_d}{60} \dots\dots\dots (49)$$

式中， T_d ：風力機之設計壽命(秒)

若無可用之 S-N 曲線時，公式(47)應採用極限強度作為材料之特徵強度，且應採用表 6 所提供之疲勞與最小特徵化之局部安全係數($\gamma_m=10.0$)。

7.9.3 臨界變形量分析

應查證設計負載狀況中無影響風力機安全性之變形量。

最重要之考量之一即為查證葉片與塔架之間不會發生機械干擾。在任何設計負載狀況下，葉片之任何部位均不應撞擊塔架。最大預測之葉片尖端變形量與適當之局部負載係數之乘積，不應超過無負載情況下葉片與塔架之間之距離。

8. 保護及停機系統

8.1 概述

小型風力機應經過適當設計以便在所有設計負載狀況下將所有參數維持在其各

自之設計限制之範圍內。此應以設計中所包含之主動及/或被動保護系統來達成。特別是應具備避免超過旋轉速度設計極限 $n_{\max}$ 之機制。

8.2 保護系統之功能性規定

保護系統之設計應包含故障安全功能。保護系統應能保護小型風力機不受如電氣單項故障、電源系統故障，或控制與保護系統中任何無安全壽命設計的組件故障等之影響。系統之故障安全行為應以試驗及/或分析加以查證。控制、動力或保護系統之故障不應導致風力機超過 $n_{\max}$ 旋轉速度或進入不安全之運轉狀態。

當風力機處於手動或自動控制狀況下，保護系統應能提供令人滿意之運作。

應採取適當措施以避免保護系統發生意外或未經授權之調整行為。

8.3 手動停機

葉片掃掠面積在 40 m^2 以上之風力機應具備手動停機之按鈕/開關及停機程序。手動停機按鈕/開關應凌駕自動控制系統，並使得系統在所有正常運轉情況下均可被帶至待機狀態。

葉片掃掠面積小於 40 m^2 之風力機，不要求採用手動停機按鈕/開關，但須具備停機程序。建議此類風力機採用手動停機按鈕/開關。

8.4 維修停機

製造商應提供小型風力機進行檢查、服務或維護前停機之安全方法。該方法應包含最大風速及可能進行該程序時之其他條件之規範。此最大風速不應低於 $0.5 V_{\text{ave}}$ 。

在進行維修之前，轉子與轉向動作應進入停機狀態。製造商應提供使風力機進入停機狀態之程序。將小型風力機自傾倒式(tilt-up)塔架上降下係使風力機進入停機狀態之可接受程序。傾倒式塔架上之小型風力機可在地面上進行維修。若維修作業在塔頂進行時，則在進行維修之前應有適當措施以避免轉子與轉向機構發生位移。

9. 試驗

9.1 概述

本節將說明適用於小型風力機之試驗。5.2 已說明何者為強制之試驗。試驗所使用之樣品應足以代表風力機型式/組件之設計。應採用經正確校正之儀器與適當之採樣速率。

在所有需要風速之量測中，風速計之位置與量測區間應依照最新版本之 IEC 61400-12-1 功率性能量測標準。

試驗結果應記錄於報告中，其包括所採用之試驗方法之完整說明、試驗條件、試驗機具之規格及試驗結果。試驗方法之說明應包含量測程序、儀器、資料取得及資料分析之詳細說明。與本節所述之方法有所差異時，應以文件詳細說明。

量測報告應符合 ISO/IEC 17025 或 CNS 17025 及用於定義試驗要求之相關標準(例如 IEC 61400-12-1 及 IEC 61400-13)之規定。

9.2 查證設計資料試驗

9.2.1 概述

為決定簡化負載分析所需之資料或查證氣彈力模型，須進行試驗以決定以下設計資料。

- 設計功率(P_{design})；
- 設計旋轉速度(n_{design})；
- 設計轉軸扭矩(Q_{design})；及
- 最大旋轉速度(n_{max})。

9.2.2 P_{design} 、 n_{design} 、 V_{design} 及 Q_{design}

設計風速定義為 $1.4V_{\text{ave}}$ 。 P_{design} 及 n_{design} 則成為該風速下之功率水準與旋轉速度。為決定此等參數時，風速、發電量及轉速(r.p.m.)應於標稱電力負載之下量測。

所測得之資料應每隔 0.5 m/s 分為 1 個風速數據組。從 V_{in} 以下 1 m/s 至 $2V_{\text{ave}}$ 之間之每個風速資料組應包含至少 30 個資料點。資料點係根據在至少 0.5 Hz 取樣速率下所記錄之 1 分鐘平均樣本所求得。

設計扭矩應由 P_{design} 與 n_{design} 推導。若無已經證明之較準確數值時，驅動裝置效率 η 應假設為公式(50)所求得者。

$$\begin{aligned} n &= 0.6 + 0.000005 \times P_{\text{design}} & P_{\text{design}} &\leq 20,000 \text{ W} \\ n &= 0.7 & P_{\text{design}} &> 20,000 \text{ W} \end{aligned} \quad (50)$$

$$Q_{\text{design}} = \frac{30 P_{\text{design}}}{\eta \pi n_{\text{design}}} \quad (51)$$

9.2.3 最大轉向率

最大轉向率定義為轉子對轉向軸之轉向運動之最大速率。關於捲曲式風力機，此轉向速率可包含機艙構架之轉向速度與捲曲速度在一與轉向軸平行之軸線上之分量。量測值不得使用於簡易負載計算，而應採用公式(27)所求得之數值。若製造商欲量測轉向率作為模型確認之用時，下列項目宜納入考量。

- 轉向率受外部條件高度影響；
- 推導最大轉向率時可能需要用內插或外插；及
- 由轉向位置推導轉向率時可能產生含糊不清之結果。

9.2.4 最大旋轉速度

轉子速度應在風速 10 m/s 與 20 m/s 之間於最有可能出現最高轉子速度之風力機狀況下(例如無負載或陣風)加以量測。此處至少需要 2 小時之資料，而其中至少要有 30 分鐘在 15 m/s 以上所測得，而另外有 30 分鐘在 15 m/s 以下所測得。最高轉子速度應由此等資料中以內插或外插計算到 V_{ref} ，並考慮任何可見之斜率變化。

9.3 技術性負載試驗

負載量測之目的包括 2 方面：確認設計計算之正確性或決定設計負載。

負載量測計畫應根據並包括儘可能接近 7.5 所述之設計負載狀況。量測負載狀況應包含所有正常與關鍵運轉與故障條件、煞車性能及轉向行為。試驗應足以描述整體設計風速範圍中之典型運轉行為。應收集在統計上具有代表性數量之相關風速資料，並應容許外插。

量測值中應至少包含負載、氣象參數及風力機運轉資料。應量測結構中關鍵路徑位置上之負載。此等負載包括葉片根部彎矩、轉軸負載及作用在支撐結構上之

負載。氣象參數應包括輪轂高度風速與風向。應量測相關風力機運轉資料，包括轉子速度、電功率、轉向位置及風力機狀態。

若進行負載量測以查證設計負載之正確性時，資料應經過適當分析以獲取計算負載之間有效之比較。試驗中應至少評估與包含所記錄之風速與擾流範圍內適當負載資料之平均值、最小值與最大值及標準差，並且試驗報告中應包含相關資料。

IEC 61400-13 提供試驗程序及試驗評估之相關說明。

9.4 耐久性試驗

9.4.1 概述

耐久性試驗之目的在於探討如下之項目。

- 結構完整性與材料劣化情形(腐蝕、裂痕、變形)；
- 風力機之環保品質；及
- 風力機之動態行為。

在耐久性試驗期間，應進行試驗程序以決定風力機是否符合及何時符合下列試驗準則。當風力機達到以下項目時，則風力機通過耐久性試驗。

- 試驗期間運轉可靠性；
- 至少 6 個月的運轉；
- 在各種風速之下至少進行 2,500 小時的發電運轉；
- 在 $1.2 V_{ave}$ 以上風速下至少進行 250 小時的發電運轉；及
- 在 $1.8 V_{ave}$ 以上風速下至少進行 25 小時的發電運轉。

風速為至少 0.5 Hz 取樣速率下之 10 分鐘平均樣本。試驗報告中應說明試驗期間 15 m/s 時之平均擾流強度與最高瞬間風速。

發電意指風力機產生正向電力，而此電力可在與電力負載之接點處以電力轉換器測得。

耐久性試驗期間風力機之行為應儘可能與正常之風力機使用狀況相似，例如在電池充電系統中，電池之電壓水準應改變以反映電池組之正常充電與放電。

小型風力機製造商通常會將相同風力機作不同之塔架配置。在此情況下，若可用計算與短期試驗證明另一個塔架之動態與靜態行為不會導致超過系統之設計極限時，則可不需要對每個塔架進行耐久性試驗。

9.4.2 運轉可靠性

9.4.2.1 概述

運轉可靠性表示符合如下項目。

- 運轉時間比率至少 90 %；
- 風力機或風力機系統中之組件無重大故障；
- 風力機組件無明顯磨損、腐蝕或損壞；及
- 在可比較之風速下所產生之電力並無退化現象。

在進行非排定之維修或檢查時，若風力機以任何方式進行修改，則試驗機構應確定此修改是否已造成重大故障或明顯之設計變更。試驗報告中應註明試驗機構之判斷。風力機系統之主要故障包括會影響風力機安全及功能之任何

系統組件之故障，包括葉片、充電控制器、交流發電機、轉向軸承或換流器。明顯磨損意指推斷在風力機壽命期間，任何會造成無法接受之強度或間隙減損之磨損情形。

試驗完成時應進行風力機系統之詳細檢查，以評估組件之磨損、腐蝕及損壞。

9.4.2.2 運轉時間比率

針對此試驗之目的，運轉時間比率定義為在任何一段試驗期間內，以風力機展現其正常設計行為之時間與試驗時間之比例所呈現之性能評量，單位為%。正常設計行為包括如下項目(若可行時)。

- 風力機發電中；
- 在低風速切入與高風速切出時因風速變換而產生之自動啟動與停機；
- 在風速低於 V_{in} 或高於 V_{out} 時之惰轉或待機狀態；及
- 風力機正常停機(非故障所造成)與重新啟動之間之延後時間(例如煞車冷卻循環、尖端煞車回復)。

運轉時間比率 O 可由以下公式求得。

$$O = \frac{T_T - T_N - T_U - T_E}{T_T - T_U - T_E} \times 100\% \dots\dots\dots (52)$$

式中， T_T ：研擬中之總時間

T_N ：風力機不在運轉狀態下之時間

T_U ：風力機狀態不明之時間

T_E ：排除在分析以外之時間

備考：風力機狀態不明之時間或是排除在分析以外之時間均不得作為有利或不利於運轉時間比率之用途。

以下狀況應視為風力機故障，且應視為 T_N 之一部分。

- 由風力機控制器所顯示且使風力機無法運轉之任何風力機故障狀況；
- 任何因已顯示之故障而由風力機控制器所指示之自動停機；
- 通常為例行保養或已察覺之故障而使得風力機無法運轉之人工切換之暫停、停止或試驗模式；
- 根據製造商建議而進行之風力機檢查；及
- 因排除垂降纜繩纏繞所需之待機時間。

以下狀況應視為風力機狀態不明之時間(上式之 T_U)。

- 試驗機構之資料獲取系統之故障或維修；及
- 風力機狀況記錄遺失或無法解讀。

以下狀況應排除在試驗期間以外，且應視為 T_E 之一部分。

- 屬於此試驗之一部分之風力機檢查作業，但非製造商所建議者(例如資料獲取系統之檢查)；
- 因例行維護或已察覺之故障以外之目的而使風力機無法運轉之暫停、停止或試驗模式之人工切換；

- 電網、電池系統、變流器(inverter)或受測風力機系統以外之組件之故障(見以下)。若這些組件被視為系統之一部分時，則該項時間應計入 T_N 內；及
- 因風力機控制系統感應到超出設計外部條件以外之外部條件而造成之發電量降低或中止。

若在任何一種狀況期間出現機故障時，且係在正常外部條件之下所造成者，則該項時間應計入 T_N 內。

耐久性試驗報告應清楚說明哪一些組件被視為風力機系統之一部分及哪一些組件被視為風力機系統以外之部分。這項說明應考慮如下項目。

- 風力機與地面之間之機械介面；
- 風力機與負載之間之電力介面；及
- 風力機與局部及/或者遠端控制裝置之間之控制介面。

若發生無法判定所出現之狀況屬於機故障或外部條件之情況時，則試驗計畫應定義此類狀況應屬於何種類別。以下為此種狀況之一些範例。

- 尖端煞車或捲曲系統意外啟動；及
- 因電壓暫態所導致之控制器混淆。

試驗報告應敘述在耐久性試驗期間進行機運轉狀態確定與記錄所需之儀器與資料記錄配置。

9.4.2.3 發電量性能減退

耐久性試驗包含以下程序作為檢查風力機發電性能中任何隱藏之性能減退情形之手段。

耐久性試驗進行期間，每 1 個月均應將發電水準依照風速作分類。每一個風速均以分組之發電水準繪製成時間函數之圖形。若可以看出趨勢時，則應進行討論以找出原因。在電池充電系統之情況下，應畫出具有可比較之充電狀態之各點。本分析中僅採用被視為正常運轉之資料點。

9.4.3 動態行為

風力機之動態行為應加以評估以查證該系統並未出現過度振動。從切入風速至 20 m/s 間之所有運轉條件(例如有負載、無負載、捲曲(furled)狀態)下之風力機動態行為均應予以觀察。應在接近 5 m/s、10 m/s、15 m/s 及 20 m/s 之風速下，至少觀察風力機在各風速下之行為 5 分鐘，且總數至少為 1 小時。須特別注意塔架振動與共振、風力機噪音、尾部運動及轉向行為。工作日誌中應註明觀察事項，並記錄於報告中。亦容許以儀器進行評估。

9.5 機械組件試驗

9.5.1 概述

所有風力機均需要進行葉片靜態試驗。在所有其他承載組件之負載，若並未進行組件之計算者，則該組件應接受組件試驗。一般而言，元件應承受包含安全係數之最不利設計負載組合。不可出現任何會影響風力機安全運轉之損壞情形(例如明顯之剛性損失、塑性變形、挫曲或裂痕)。

若為採購之組件，其應充分顯示設計負載並未超出組件之規格。

9.5.2 葉片試驗

靜態葉片試驗中所施加之負載應為翼面方向彎矩與離心力之最不利負載組合。葉片應連同葉片與輪轂之接頭一起進行試驗。在最大至如同模型分析或負載量測所得之最大運轉負載之試驗負載下(其中包含安全係數)不得出現損壞情形。建議將葉片試驗至破壞為止，以決定設計負載與實際葉片故障負載之間之強度餘裕度。

若進行葉片疲勞試驗時，則試驗應符合 IEC 61400-23 之規定。

9.5.3 輪轂試驗

若進行輪轂試驗，輪轂應以統計方式模擬在葉片上所有連接點之靜態離心力與翼面方向彎矩進行試驗。輪轂應連同輪轂轉軸一起進行試驗。依據最大計算負載於設計試驗負載(包含安全係數)下不得出現損壞情形。

9.5.4 機艙結構試驗

若進行機艙結構試驗，機艙結構應受施加靜態轉軸傾斜彎矩、軸向轉子力量及本身重量進行試驗。依據最大計算負載於設計試驗負載(包含安全係數)不得出現損壞情形。

9.5.5 轉向機構試驗

若進行轉向機構試驗，轉向機構應受施加機艙結構試驗所述之負載進行試驗。應確認此時轉向機構之運作仍正常。

9.5.6 齒輪箱試驗

無須進行齒輪箱試驗，但建議依 AGMA/AWEA 921-A97 標準進行試驗。

9.6 安全及功能

安全及功能試驗之目的係為查證受試驗之風力機顯示設計中所預測之行為且與個人安全有關之規定之正確施行。

安全及功能試驗應包含設計文件中提及需要試驗查證之控制與保護系統之關鍵功能。此關鍵功能應包含下列項目。

- 功率與速度控制；
- 轉向系統控制(風校準)；
- 負載損失；
- 在設計風速以上之超速保護；
- 在設計風速以上之開機與停機。

其他可適用之項目如下。

- 過度振動保護；
- 電池過電壓或低電壓保護；
- 正常運轉下之緊急停機；
- 纜線扭轉；
- 孤島保護(針對電網連接)。

因組件故障或其他關鍵事件或操作條件所觸發之任何額外之保護系統功能，亦應加以試驗。此試驗可包含關鍵事件或操作條件之模擬，例：具有自動斷線設計之

小型風力機在下垂纜線過度扭轉情況下，應展現其功能正常。

9.7 環境試驗

若風力機係針對正常外部條件(第 6 節所述者)以外之外部條件所設計時，則該風力機應接受模擬此等條件之試驗。此等試驗宜在整組風力機上進行。若此為不可行時，則此等試驗應在系統中可能受到該外部條件影響之所有部分進行。

9.8 電力

小型風力機中所有與安全性有關之電力次系統(例：發電機、控制面板、電動機、變壓器、GFCI 及加熱器等)均應依照其相關 IEC 及國家標準進行評估與試驗。例如，發電機之試驗應符合 IEC 60034-1、IEC 60034-2、IEC 60034-5 及 IEC 60034-8 之規定。

10. 電氣系統

10.1 概述

小型風力機之電氣系統與系統中所採用之各項電力組件，例如控制器、發電機及類似裝置等，均應符合 IEC 60204-1 第 4 節至第 15 節之相關部分及相關標準。當小型風力機連接到電氣設備電力網路時，應適用 10.7.3。每項電力組件均應能承受所有設計環境條件(參照 6.4)，及運轉期間各組件可能承受之機械、化學及熱應力。

每件按照其功率特徵所選擇之電力組件應可適合設備之運轉需求，並考慮包括故障狀況下之設計負載條件。然而若一項電力組件因其設計之故而不具備其終端用途所必須之性質時，則在提供有額外之適當保護措施作為小型風力機整體電氣系統之一部分之前提之下得採用該組件。

所有可能受雷擊與其他瞬間過電壓狀況影響之風力機保護系統電路均應依照 IEC 61643-1 之規定加以保護。所有用於小型風力機上之突波保護裝置均應符合 IEC 61643-1 之規定。

10.2 保護裝置

小型風力機電力系統應包含適當裝置以確保保護小型風力機及外部電力系統不受故障之影響，因故障可能會導致不安全之狀況或狀態。此應依照 IEC 60204-1 中 7.1 至 7.5 及 7.8 之規定。此類裝置之範例包括過電流保護之熔線及溫度用之電熱調節器等。

10.3 解聯裝置

依照維護或試驗之需要，應可將小型風力機電力系統與所有電力供應源完全隔離。不應單獨採用半導體裝置作為解聯裝置。

維護期間因安全因素需要照明或其他電氣系統時，輔助電路應具備自身之斷電裝置，以使得此等電路在其他電路解聯之後仍舊維持功能。

10.4 接地系統

小型風力機之設計應包含局部接地電極系統以符合 IEC 60364-5-54 及當地電力法規主管機關之要求。接地設備(接地電極、接地導體、主接地終端與接地棒)之安裝、配置及選擇應符合小型風力機對雷擊保護之要求。安裝報告中應說明

接地系統適用之土壤狀況之範圍，及當遇到其他土壤條件時之建議。

10.5 雷擊保護

小型風力機雷擊保護之說明可參考 IEC 61400-24。保護措施不需要包含葉片。有關小型風力機雷擊保護之進一步說明，可參照 IEA “Recommended Practices for Wind Turbine Testing, 9 Lightning Protection for Wind Turbine Installations”。

10.6 電導體與電纜

小型風力機之電導體應針對特定用途依照 IEC 60204-1 第 13 節在溫度、電壓、電流、環境條件及對外界侵略性物質(油、紫外線等)曝露程度進行額定。

包括扭曲所引起且在安裝及運轉期間導體可能承受之機械應力，應加以考量。電導體應依照 IEC 60204-1 第 14 節進行安裝。

若有鼠類或其他動物咬壞電纜之可能時，則應採用有保護包覆之電纜或導管。地下電纜應埋設在適當深度以免受到工程車輛或農用機具之損壞。若無導管或管線溝槽保護時，地下電纜應以電纜蓋或適當標示帶加以標示。

保護極限應經適當設計，以使得任何傳導到電力組件之過電流均不致超過依照該組件絕緣位準所建立之極限值。

10.7 電力負載

10.7.1 概述

10.7.2 至 10.7.5 所述之電力負載均為適合小型風力機系統之負載。

10.7.2 電池充電

用於電池充電裝置之小型風力機應經過適當設計，以便在操作手冊建議之機型所適合之電壓與電流下對電池充電。其他之考量包括如下之項目。

- 電池溫度；
- 電池連接數量；及
- 導體尺寸與絕緣定額。

充電電路應能承受負載損失期間，或當電池充滿電且電壓轉移作其他用途時之最大電壓。

10.7.3 電力網路(併聯電網之系統)

10.7.3.1 概述

連接至電力網路之小型風力機應符合 10.7.3.2 至 10.7.3.3 及相關連線標準之規定。

10.7.3.2 自激

在電力網路喪失事件中，任何可以獨立自激小型風力機之電力系統，應可自動斷若電容器組以並聯方式連接到與網路連接之小型風力機時(亦即功率因數修正)，則需要適當之開關以便在網路電力損失時可切斷電容器組之電力，以避免小型風力機電力發電機自激。此外，若裝有電容器時，應足以顯示電容器無法引起自激。應提供必要之措施以便在電容器組無法切斷時可將電容器放電。

電並保持在安全之斷電狀態。

10.7.3.3 諧波與功率調節設備

例如變流器、功率電子控制器及靜態乏補償器(static VAR compensators)之類之功率調節組件，應經過適當設計，以使得諧波線電流與電壓波形扭曲不致干擾電力網路保護繼電裝置。特別在與網路連接之小型風力機上，小型風力機所產生之電流諧波應使得網路連接點處之整體電壓波形扭曲不致超過電力網路之可接受上限。

10.7.4 直接連接至電動機(例如抽水機)

直接連接至電動機上之小型風力機可能會有不同之電壓、電流及頻率。應證明在整個運轉範圍內均可安全運轉(耐久性試驗、其他試驗或分析可作為採購規範之一部分)。

10.7.5 直接電阻負載(例如加熱)

直接連接至電阻負載上之小型風力機可能會有不同之電壓、電流及頻率。應證明在整個運轉範圍內均可安全運轉(耐久性試驗、其他試驗或分析可作為採購規範之一部分)。連接至電阻負載上(例：電熱器)之小型風力機應具備適合所使用之電流、電壓及頻率之電導體。

11. 支撐結構

11.1 概述

支撐結構為小型風力機之關鍵組件。支撐結構承受來自風力機之負載。若轉子面積 $>2\text{ m}^2$ 時，則支撐結構應視為小型風力機系統之一部分。支撐結構亦應符合當地規範與法規。無法安全地降至地面進行維修之任何風力機與塔架，建議應具備上升、下降及在塔頂工作使用之防墜落系統。

11.2 動態要求

小型風力機支撐結構之共振係為關鍵之設計課題，因此設計中應注意避免使風力機系統持續在共振頻率下運轉以免發生過度振動。若支撐結構為已使用之建築物時尤其重要。

11.3 環境因素

小型風力機支撐系統應足以承受第 6 節所列之所有外部條件。在極端環境條件下進行小型風力機安裝、運轉及維護時應有特別考量。製造商應在安裝與操作手冊及設計文件中說明小型風力機之設計環境條件。

11.4 接地

小型風力機支撐結構(包括支撐索)應作適當接地以減少雷擊所造成之損害。

11.5 基座

轉子面積大於 2 m^2 之風力機，製造商應詳細說明基座之規定，包括適用之基座配置、支撐索位置及支撐索最大與最小建議及支撐索安裝規定。製造商應提供樣本基座系統之詳圖與適當之土壤條件及基座之設計負載。

11.6 風力機通道設計負載

應考量包括攀爬、舉升及降下塔架在內之正常維護作業時所產生之設計負載。此等負載應與適當手冊中所述之風力機通道程序一致。

12. 文件規定

12.1 概述

本節將提供小型風力機產品手冊之規定。此等手冊應提供有關小型風力機設備之組立、安裝、運轉及豎立規定之詳細說明。文件中亦應提供小型風力機維修規定之詳細資訊。此等資料應針對安裝人員、業主及維修人員分別記載於 1 本或多本手冊中。所有文件應告知使用者文件內容為重要之安全性指示，且文件應善加保存。文件中應說明風力機機型、序號及版本編號。文件應提供給使用者，且應以使用者可以閱讀與理解之我國文字與語言撰寫。

12.2 安裝

12.2.1 概述

小型風力機製造商應提供圖面、程序、規範、說明及裝貨單供小型風力機組立、安裝、運轉及豎立之用。文件中應包含小型風力機安全處理與安裝所需之所有負載、重量、吊裝工具及程序之詳細資料。

若製造商要求小型風力機由受過專業訓練之人員進行安裝時，則應在安裝手冊之封面上清楚標示：“僅可由受過專業訓練之人員進行安裝”。

文件中應包含有關吊車、起重及吊裝設備之規定(包括所有吊索、吊鉤及其他安全吊裝工作所需之設備)。手冊中與組件上應清楚標示吊裝點。安全安裝作業所需之所有特殊工具、吊具、固定件及其他設備均應清楚說明。

文件中應清楚說明所有組件之維修前調整與適當潤滑之規定。

手冊中本節應含有清楚標示具國際標示之電力機械終端電力線路圖，且若相關電導體係由業主/安裝承包商所提供時所需之必要資料。手冊之安裝或維修章節應具備系統線路圖。

12.2.2 支撐結構

有關轉子掃掠面積在 2 m^2 以下之風力機，製造商應提供使用者挑選風力機安全運轉所需之適合支撐結構之必要資料。其應包含以下項目，但不限於此。

- 風力機/塔架機械接頭之細節；
- 風力機/塔架電力接頭之細節；
- 葉片/塔架之間最小間隙；
- 塔頂最大容許變位；及
- 最大塔頂負載。

有關轉子掃掠面積大於 2 m^2 之風力機，建議提供以上各項資料。此等風力機中應提供 11.5 所要求之資料。

12.3 操作

操作文件中應包含正常運轉條件下啟動與停止小型風力機所需之詳細程序。手冊中應包含所有適當之控制器設定，例如緊急待機控制設定點。操作文件中亦應包含整個系統供正常運轉與用途之說明。

製造商應提供一套書面之手動停機程序，其中應包含風速極限與程序可以安全進行之其他狀況之詳細說明。文件中應提供有聯絡資料以便臨時維修/客戶支援之用。

12.4 維護與例行檢查

12.4.1 概述

製造商應提供小型風力機檢查與維護之文件。此文件中應提供小型風力機之檢查、停機程序及例行維護規定之文件。

若製造商要求小型風力機由受過專業訓練之人員進行維護與服務時，則應在維護及服務手冊之封面上清楚標示：“僅可由受過專業訓練之人員進行維護與修理”。

12.4.2 安全程序

維護文件中應包含具體之停機程序，其中應包括如何進行以下項目之說明，但不限於此。

- 負載及/或能量來源之切斷(參照 10.3)；
- 停止並固定轉子；
- 停止並固定轉向機構；
- 如適宜時，停止並固定捲曲系統；

若小型風力機連接至公共電力網路時，則應提供將風力機從公共電力網路切斷之程序。

製造商應提供攀爬塔架之安全建議事項，包括適當之攀爬設備與適用之程序。

12.4.3 例行檢查

製造商應提供小型風力機(包括塔架、驅動裝置、控制器及轉子)例行檢查之間隔時間。製造商應記錄須受檢查之組件，其中包括以下項目，但不限於此。

- 轉子葉片；
- 磨損或扭曲之纜線；
- 支撐索張力；
- 潤滑油漏油；及
- 固定件。

製造商應提供確保風力機正常運轉及其查證所需之設備與量測值之清單。製造商應說明對小型風力機安全性很重要之所有正常運轉範圍數值(此將包含電池電壓、抽水泵水流率、變流器電壓、電流及頻率等)。

製造商應建議每一台小型風力機都要保留一本工作日誌。工作日誌應記錄之資料包括日期、時間、進行檢查之人員、任何重要事件及任何所採取之修正動作或額外資料。

12.4.4 維護

製造商應提供小型風力機例行維護之間隔時間。例行維護定義為製造商認為在一定期間之後為維持小型風力機安全運轉所需之任何保養與修理作業。例行維護可包含以下項目，但不限於此。

- 潤滑；
- 緊急停機/超速系統之定期試驗；
- 煞車系統之調整/更換；及
- 軸承、電刷/滑環之更換。

若製造商要求在例行維護前將小型風力機停機，則應在文件中清楚標示：“注意：在進行例行維護之前，請遵守風力機停機之正當程序”。

製造商應建議將所有維護與修理作業記錄於 12.4.3 所述之工作日誌中。

12.4.5 障礙或故障排除

製造商應提供可在通知服務人員之前自行檢查之障礙或故障排除項目表。表中之項目應為可由受過訓練之操作人員進行之項目，而不需要特殊試驗設備或受過專業訓練之服務人員。

12.4.6 人員安全

製造商應在安裝、操作及維護手冊中提供有關人員安全之必要資料。此資料可包含如攀爬程序、爬梯、錨定點及人員安全設備之使用等主題。製造商亦應說明任何有關攀爬及/或降下塔架時之風速限制。

13. 風力機標示

以不可磨滅方式所製作之風力機銘牌上應以永久且清晰之方式標示至少以下資料。

- 風力機製造商及生產國；
- 型號與序號、版本編號；
- 生產日期；
- 風力機系統終端之最大電壓與電流；及
- 連接到電力網路時，風力機系統終端之頻率。

另外亦可提供以下資料：

- 塔頂質量；
- 耐風速；
- 小型風力機等級；
- 轉子掃掠面積；
- 設計功率；及
- 葉片長度。

附錄 A

(參考)

小型風力機型式驗證

A.1 概述

IEC WT01 說明大型風力機與小型風力機之驗證程序。然而，本標準與 IEC WT01(2001 年第 1 版)之部分規定有所衝突。本附錄提供製造商與驗證機構有關本標準如何適用於小型風力機型式驗證之建議。

IEC WT01 提供有關型式驗證之組織架構(圖 A.1)。

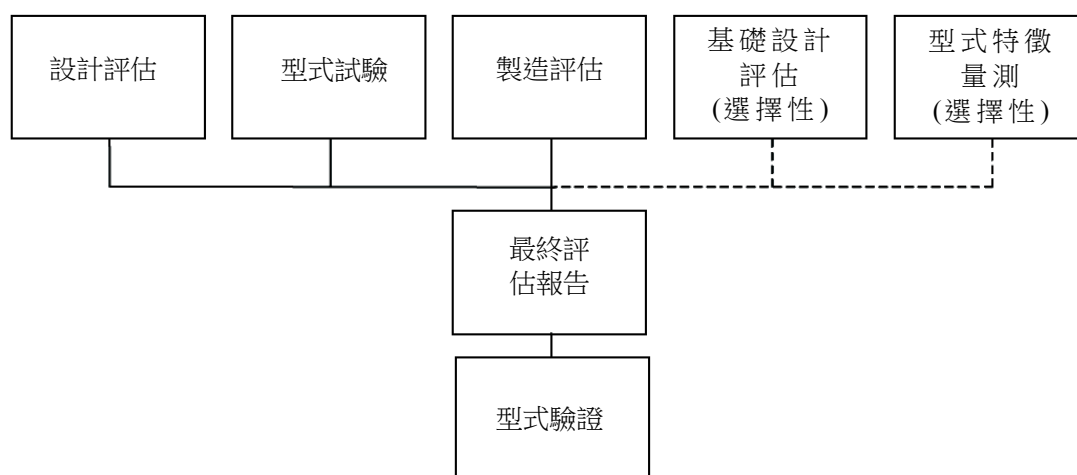
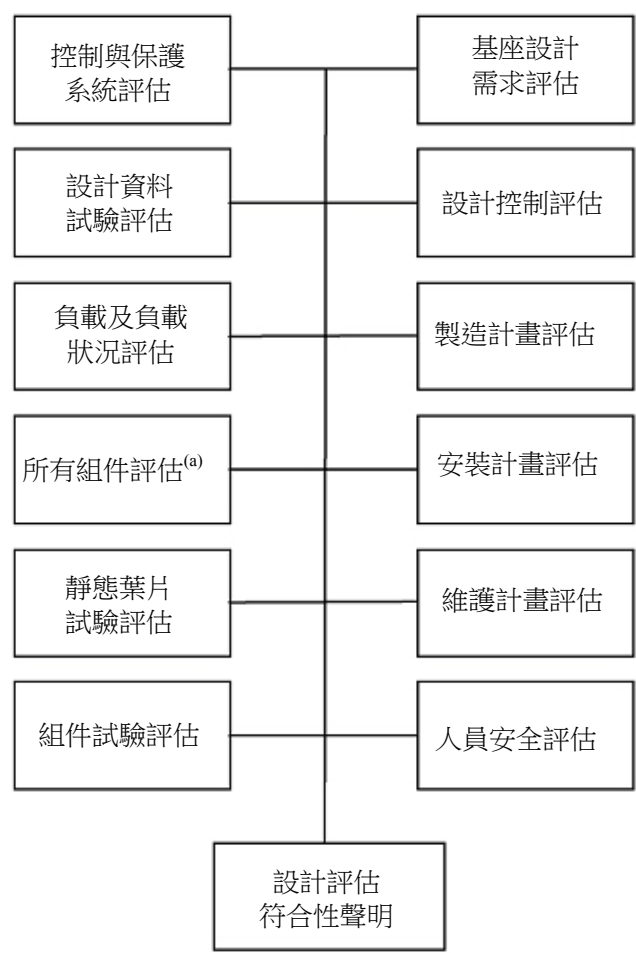


圖 A.1 型式驗證模組(依照 IEC WT01 及本標準)

對於小型風力機，此等模組皆相同。在以下節次中，將說明小型風力機之設計評估模組及型式試驗模組之內容。其他 3 個模組之內容皆與 IEC WT01 所述者相同。

A.2 設計評估

IEC WT01 說明設計評估模組中之 10 項元素。IEC WT01 說明小型風力機僅需要此 10 項元素中之 3 項。然而，建議在小型風力機中增加 2 項新元素至此 10 項當中，使其成為 12 項。此新增之元素為設計資料試驗及靜態葉片試驗。所有 12 項元素皆列於圖 A.2 中。靜態葉片試驗、設計資料試驗及組件試驗可由製造商在工廠中進行。



註^(a) 結構、機構及電子組件。

圖 A.2 設計評估之元素(依照本標準之建議)

A.3 型式試驗

小型機之型式試驗包括 4 項元素，安全及功能試驗、功率性能量測、耐久性試驗及其他試驗(EMC、環境等)。所有元素皆列於圖 A.3 中。

與大型機比較下，其差異為將負載量測與葉片疲勞試驗以耐久性試驗取代。
型式試驗模組內之所有試驗應由已認可之實驗室進行，否則驗證機構應查證進行試驗之機構符合至少 ISO/IEC 17020 或 ISO/IEC 17025 或 CNS 17025 之準則。

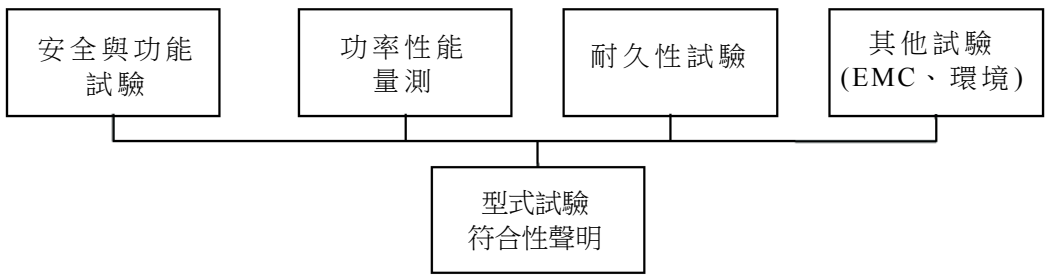


圖 A.3 型式試驗之元素(依照 IEC WT01 及本標準)

附錄 B

(規定)

描述 S 級小型風力機之設計參數

對 S 級小型風力機而言，設計文件中應說明以下資料。

— 機器參數

- 額定功率(W)。
- 輪轂高度運轉風速範圍($V_{in}-V_{out}$)(m/s)。
- 壽命(年)。

— 風況

- 特徵擾流強度，平均風速之函數。
- 年平均風速(m/s)。
- 平均傾斜流場(°)。
- 風速分布(韋伯、瑞利、量測、其他)。
- 擾流模型與參數。
- 輪轂高度極端風速 V_{e1} 與 V_{e50} (m/s)。
- 1 年與 50 年重現期之極端陣風模型與參數。
- 1 年與 50 年重現期之極端風向變化模型與參數。
- 極端持續陣風模型與參數。
- 具風向變化之極端持續陣風模型與參數。

— 電力網路條件

- 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)。
- 自動復閉週期(敘述)。
- 對稱與不對稱外部故障期間之行為(敘述)。

— 其他環境條件(納入考量時)

- 離岸式風力機之設計條件(水深、波浪條件等)。
- 正常與極端溫度範圍(°C)。
- 空氣之相對溼度(%)。
- 空氣密度(kg/m^3)。
- 陽光輻射(W/m^2)。
- 下雨、冰雹、下雪及結冰。
- 化學活性物質。
- 機械活性粒子。
- 雷擊保護系統敘述。
- 地震模型與參數。
- 鹽分(g/m^3)。

附錄 C

(規定)

隨機擾流模型

C.1 概述

以下隨機擾流模型可使用於設計負載計算。此等模型滿足 6.3.2 所述之規定。擾流速度波動係假設為隨機向量場，其分量具有零平均高斯統計值。描述分量之功率頻譜密度係以卡莫(Kaimal)頻譜與指數相干性模型或馮卡門(Von Karman)等向模型描述。

卡莫(Kaimal)頻譜模型

下列公式為無因次之分量功率頻譜密度。

$$\frac{f S_k(f)}{\sigma_k^2} = \frac{4 f L_k / V_{hub}}{(1 + 6 f L_k / V_{hub})^{5/3}} \dots\dots\dots (C.1)$$

- 式中， f ：頻率(Hz)
- k ：表示速度分量方向指數(亦即 1=縱向，2=橫向，3=向上)
- S_k ：單邊速度分量譜
- σ_k ：速度分量標準差(參照公式(C.2))
- L_k ：速度分量積分尺度參數

及

$$\sigma_k^2 = \int_0^\infty S_k(f) df \dots\dots\dots (C.2)$$

表 C.1 為擾流頻譜參數。

表 C.1 卡莫模型之擾流頻譜參數

	速度分量指數(k)		
	1	2	3
標準差(σ_k)	σ_1	$0.8\sigma_1$	$0.5\sigma_1$
積分尺度(L_k)	$8.1A_1$	$2.7A_1$	$0.66A_1$

式中， σ_1 與 A_1 分別為 CNS 15176 系列標準所述之擾流之標準差與尺度參數。

C.2 指數型相干性模型

下列指數型相干性模型可與卡莫自關聯頻譜一同使用，以計入縱向速度分量之空間關聯性結構。

$$Coh(r, f) = \exp \left[-8.8 \left((f \cdot r / V_{hub})^2 + (0.12 r / L_c)^2 \right)^{0.5} \right] \dots\dots\dots (C.3)$$

式中， $Coh(r, f)$ ：在空間中由自關聯頻譜函數所分割之 2 個點上縱向風速分量之交互關聯頻譜密度之複數大小所定義之相干性函數

R : 垂直於平均風向之平面上 2 點之間分割向量投影之大小

f : 頻率(Hz)

$L_c=3.5A_1$: 相干尺度參數

C.3 Von Karman 等向擾流模型

縱向風速分量頻譜係由下列無因次公式求得。

$$\frac{fS_1(f)}{\sigma_1^2} = \frac{4fL/V_{\text{hub}}}{\left(1+71(fL/V_{\text{hub}})^2\right)^{5/6}} \dots\dots\dots (C.4)$$

式中， f : 頻率(Hz)

$L=3.5A_1$: 等向總體尺度參數

σ_1 : 輪轂高度處之縱向標準差

橫向與垂直方向頻譜相同，且由以下無因次公式求得：

$$\frac{fS_2(f)}{\sigma_2^2} = \frac{fS_3(f)}{\sigma_3^2} = 2fL/V_{\text{hub}} \times \frac{1+189(fL/V_{\text{hub}})^2}{\left(1+71(fL/V_{\text{hub}})^2\right)^{11/6}} \dots\dots\dots (C.5)$$

式中， L : 與公式(C.4)相同之等向尺度參數

$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$: 風速標準差分量

相干函數為：

$$Coh(r,f) = \frac{2^{1/6}}{\Gamma(5/6)} \left(x^{5/6} K_{5/6}(x) - 0.5x^{11/6} K_{11/6}(x) \right) \dots\dots\dots (C.6)$$

式中， x : 為 $2\pi((f \times r/V_{\text{hub}})^2 + (0.12r/L)^2)^{0.5}$

R : 固定點之間距

L : 等向擾流總體尺度

$\Gamma(.)$: 伽馬函數

$K_{(.)}(.)$: 分數序號，修正之貝色(Bessel)函數

公式(C.6)可近似於以等向性尺度參數 L 取代 L_c 後之公式(C.3)指數模型。

附錄 D

(參考)

確定擾流之描述

若風力機模式及轉子振動模式明確地具足夠阻尼時，則以下決定性模型可用於正常風況下之風力機。旋轉採樣風速之阻尼有效性(damping sufficiency)可用簡易隨機模型來驗證。在此簡易驗證模型中，在風力機之動態模擬模型中每個時間步驟上都在每個葉片之平均風速上一個具有等於 5 %平均值之標準差之獨立、順序無關聯性之隨機增加量，每一葉片均假設為完全處於其各自之瞬時風場內，並接著分析葉片尖端變形與根部彎矩(沿翼面方向與邊緣方向)之受模擬葉片反應變數之歷時資料。此項分析包含計算於旋轉頻率之較高諧波振幅與基本振幅之比例。若此等比例均小於 1.5 時，則可採用以下決定性模型。

縱向速度分量：

$$V_1(y, z, t) = V(z) + A_1 \sin(2\pi f_1 t) + A_2 y \sin(2\pi [f_2 t + 1/4 \sin(2\pi f_3 t)]) + A_2 z \sin(2\pi [f_2 t + 1/4 \cos(2\pi f_3 t)]) \quad \dots (D.1)$$

式中，(y,z)：風力機轉子掃掠面上各點之橫向與垂直軸座標，原點為轉子中心

橫向速度分量：

$$V_2(t) = A_3 \sin(2\pi (f_4 t + 1/4 \sin(2\pi f_5 t))) \dots (D.2)$$

橫向速度分量可假設為在整個轉子掃掠面積上都相同。

關於前述風力速度模型，振幅與頻率參數可由以下關係式求得：

振幅參數：

$$A_1 = 2.0 \sigma_1 ;$$

$$A_2 = A_1 / D ;$$

$$A_3 = 0.8 A_1 ;$$

頻率參數：

$$f_1 = 0.0194 V_{hub} / A_1 ;$$

$$f_2 = 4.0 f_1 ;$$

$$f_3 = f_1 / 10.0 ;$$

$$f_4 = 0.6 f_1 ;$$

$$f_5 = f_4 / 10.0 .$$

式中， σ_1 ：輪轂高度風速標準差

A_1 ：擾流尺度參數

V_{hub} ：10 分鐘平均輪轂高度風速

D ：風力機轉子直徑

注意，橫向風速分量與縱向風速分量二者共同決定輪轂高度之瞬時風速及方向，其係採用下列關係式計算：

$$V_{\text{hub}}(t) = \left((V_1(0,0,t))^2 + (V_2(t))^2 \right)^{0.5} \dots\dots\dots (D.3)$$

$$\theta_{\text{hub}}(t) = \arctan \frac{V_2(t)}{V_1(0,0,t)}$$

附錄 E

(參考)

材料之局部安全係數

E.1 概述

本附錄將針對無法取得完整材料試驗結果時，提供挑選材料疲勞所使用之局部安全係數之說明。

E.2 符號

- F 納入複合材料幾何效應之材料係數；
- N 某一應力水準之疲勞破壞循環次數；
- P 倖存機率；
- R 疲勞循環中最小與最大應力之比值；
- S 應力(MPa)；
- V_f 纖維體積比例；
- γ_m 材料局部安全係數；
- δ 變異係數。

E.3 特徵值對設計值

特徵值－具有與其相關之特定統計機率與信賴水準之材料或元素之機械性質；用於設計某部分或結構。在本標準中，材料之安全係數係根據 95 %信賴界限之材料會超過特徵值之機率之 95 %來建立。

設計值－用於設計分析中，並納入設計某部分所採用之標準、所採用之分析方法與所用之材料之特徵值之數值。

材料局部安全係數之定義如下。

$$f_d = \frac{1}{\gamma_m} f_k \dots\dots\dots (E.1)$$

- 式中， f_d ；材料之設計值
- γ_m ；材料之局部安全係數
- f_k ；材料性質之特徵值

在建立特徵值方面，圖 E.1 所示為宜採用之適當分布。大多數設計者皆很熟悉常態分布或鐘型曲線。不過經驗顯示最適用於複合材料者為韋伯分布(Weibull distribution，參照圖 E.1)。

常態分布係為對稱，亦即每一個弱之樣本皆會有一個相對應之強樣本。然而韋伯分布卻偏向一邊。在上述情況中，其顯示出每一組試驗中較弱樣本之數量會較強樣本之數量多。若分布偏向右邊，則表示較強樣本之數量會較弱樣本之數量多。對金屬與其他均質材料而言，最適用者通常皆為常態分布或常態對數分布。對複合材料而言，韋伯分布通常比較適當。此在纖維控制之強度性質中更為如此，因為其中曲線會偏向右邊，顯示出較強樣本比較弱樣本多。

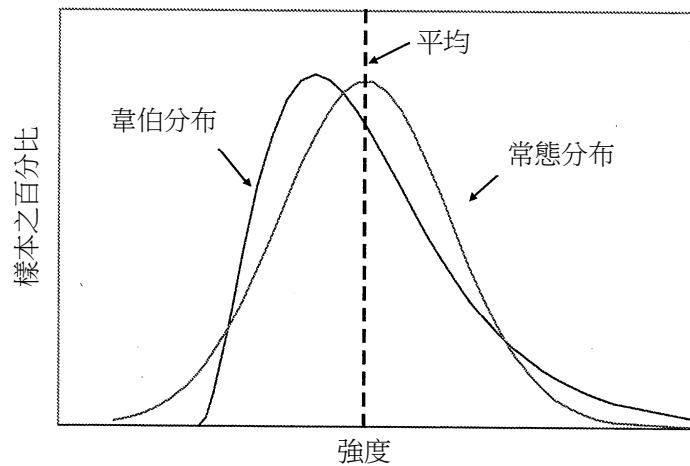


圖 E.1 常態分布與韋伯分布

本標準所提供之材料係數係根據材料依據 95 %信賴界限之 95 %機率所得之假設而來。

若特徵材料性質係以其他倖存機率(但信賴界限仍為 95 %)及/或變異係數 $\delta=10\%$ 以上推導而來時，則相關之材料係數應乘以表 E.1 所提供之係數。此等係數係根據常態分布而得。

表 E.1 不同倖存機率與可變異性之係數

$p\%$	$\delta=10\%$	$\delta=15\%$	$\delta=20\%$	$\delta=25\%$	$\delta=30\%$
99	0.93	0.95	0.97	1.02	1.06
98	0.96	0.99	1.03	1.09	1.15
95	1.00	1.05	1.11	1.2	1.3
90	1.04	1.11	1.20	1.32	1.45
80	1.08	1.18	1.31	1.47	1.65

E.4 材料係數與規定

E.4.1 概述

有 5 個因素會影響材料之疲勞與極限強度，而材料試驗應考慮此等效應。此等因素包括如下之項目。

- 全尺寸結構之代表性材料與材料配置；
- 與全尺寸結構相同之試驗試體製造方法；
- 靜態、疲勞與頻譜負載試驗(包括速率效應)；
- 環境效應(例如腐蝕、紫外線退化、溼度與溫度等)；及
- 會影響材料性質之幾何形狀效應(例如射出成型葉片之材料方向、複合材料與木材中之膠合力下降及金屬鑄造時之材料方向等)。

最好之試驗資料係由包含以上(a)至(e)之全尺寸試驗所推導而來。應採用充分之試驗樣本及 95 %機率與 95 %信賴界限以求得最終結果。

注意，此等效應並未包含傳統之應力集中係數。此等係數係在應力分析期間考慮，而非在材料特徵化中。

若材料資料庫中並未包含以上所有(a)至(e)時，則局部安全係數亦應隨之修正。以上 5 種效應中每一種都可以估計獨立之係數。此等係數可以乘到適用之條件中。材料之特徵值要除以所求得之係數。

例如，假使特徵值不含環境效應或疲勞效應時，則特徵值應乘以下列額外之安全係數。

安全係數(環境效應)×安全係數(疲勞)×標稱安全係數=修正安全係數

若以上標準(a)至(e)不符合材料資料庫時，則本附錄之說明應作為小型風力機設計之材料安全係數。

E.4.2 複合材料

材料安全係數－複合材料－玻璃纖維， $\gamma_m=7.4$ 。

材料安全係數－複合材料－碳纖維， $\gamma_m=3.7$ 。

此等為參考資料[E.1]所述之材料係數，且包含極限拉力強度到疲勞強度之轉換。此等為可應用在靜態極限材料強度之總係數以計入疲勞、環境、可靠性與尺寸效應等。另外可能需要 E.5 所述之應用在局部材料性質之額外幾何效應係數。幾何係數可以用經驗公式或分析求得。將應力集中納入應力分析中係較適合之做法，而此處此等係數並未納入。

注意，以上並不完全保守。此等係數與參考資料[E.4]相符。圖 E.1 至 E.4 所示為一般資料。特別注意圖 E.4 之 S-N 曲線之斜率大約為圖 E.2 曲線之一半。此為碳纖維安全係數比玻璃纖維安全係數低之原因之一。

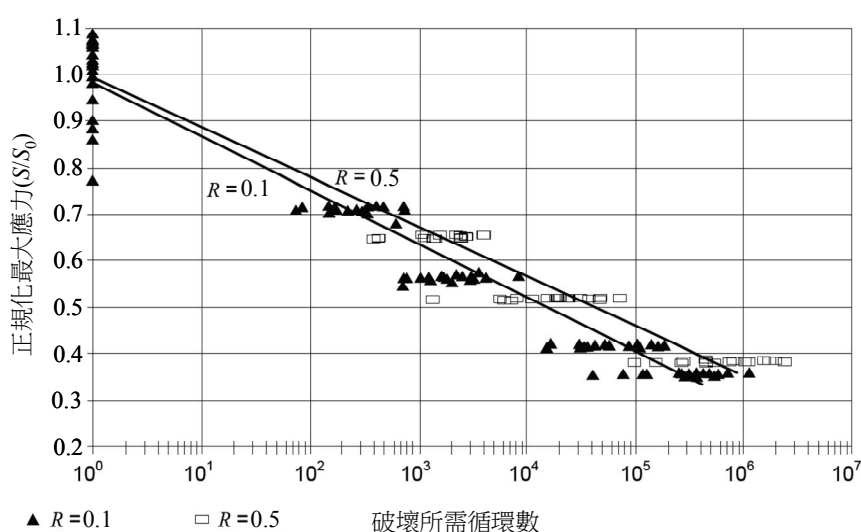


圖 E.2 玻璃纖維複合材料疲勞之一般 S-N 圖(取自參考資料[E.2]之圖 41)

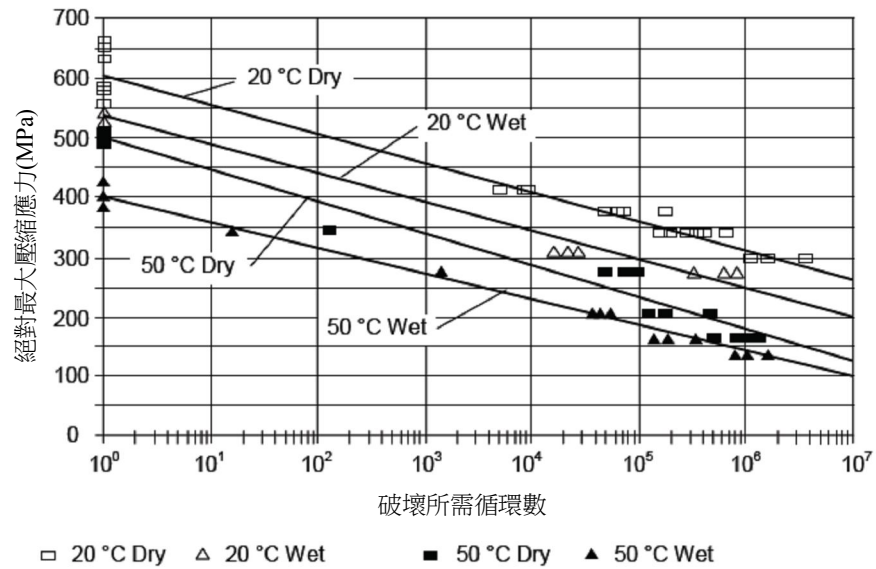


圖 E.3 玻璃纖維複合材料上之一般環境效應(取自參考資料[E.2]之圖 25)

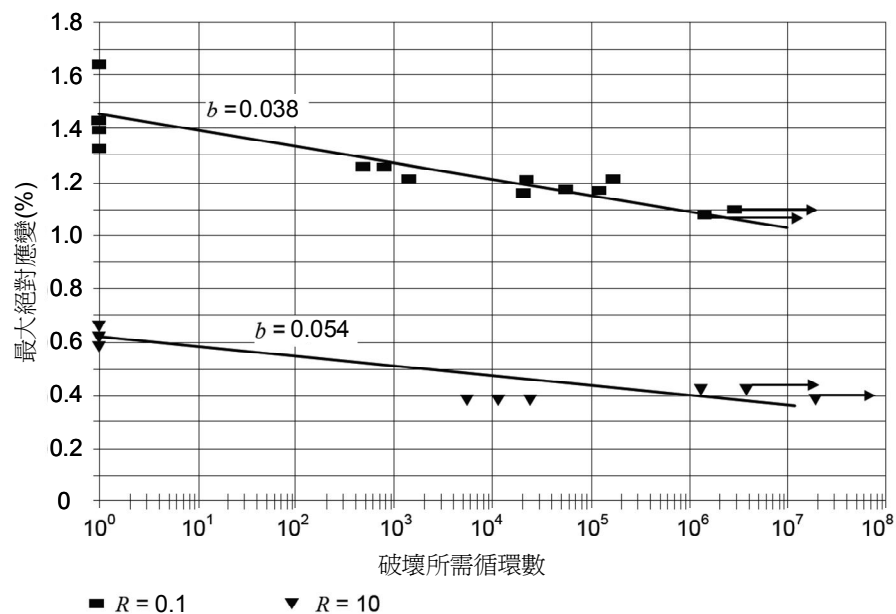


圖 E.4 大型拖曳單向 0°碳纖維/乙烷基酯樹脂(vinyl ester)複合材料之疲勞應變圖， $R=0.1$ 與 10(取自參考資料[E.2]之圖 107)

E.4.3 金屬

疲勞強度

疲勞材料係數－鋼=1.9(參照參考資料[E.3])；

疲勞材料係數－鋁=3.5(參照參考資料[E.3])；

此等係數再次係由極限拉力強度轉換到疲勞強度。圖 E.5 所示為一般曲線。同樣之曲線亦可用於其他合金或金屬上，例如鈦。

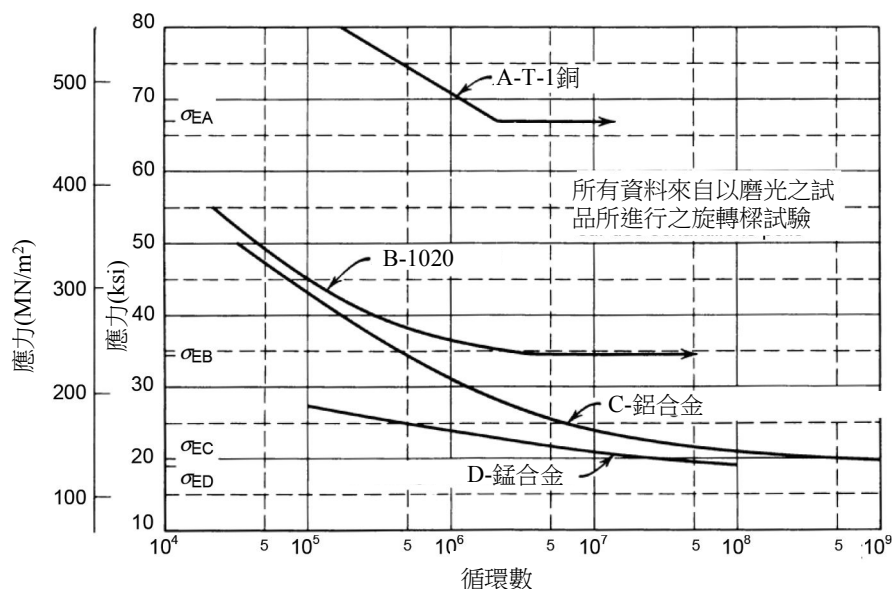


圖 E.5 一般金屬疲勞之 S-N 曲線

環境效應－若未進行應力腐蝕裂痕試驗時，則以下之環境材料係數適用之(參照參考資料[E.4])。

環境材料安全係數－鋼=1.3；

環境材料安全係數－鋁=1.3；

環境材料安全係數－鈦=4.2。

E.4.4 木材

疲勞材料安全係數－軟木材=3.4(參照參考資料[E.5])；

環境材料安全係數－軟木材=1.6(參照參考資料[E.6])；

若設計中並未包含一些細節之分析與試驗，例如台階、接頭與幾何變化等，則另外要增加一之 2.8 之係數以計入幾何效應(參照參考資料[E.7])。

以下圖 E.6 到 E.10 為額外之支援資料。

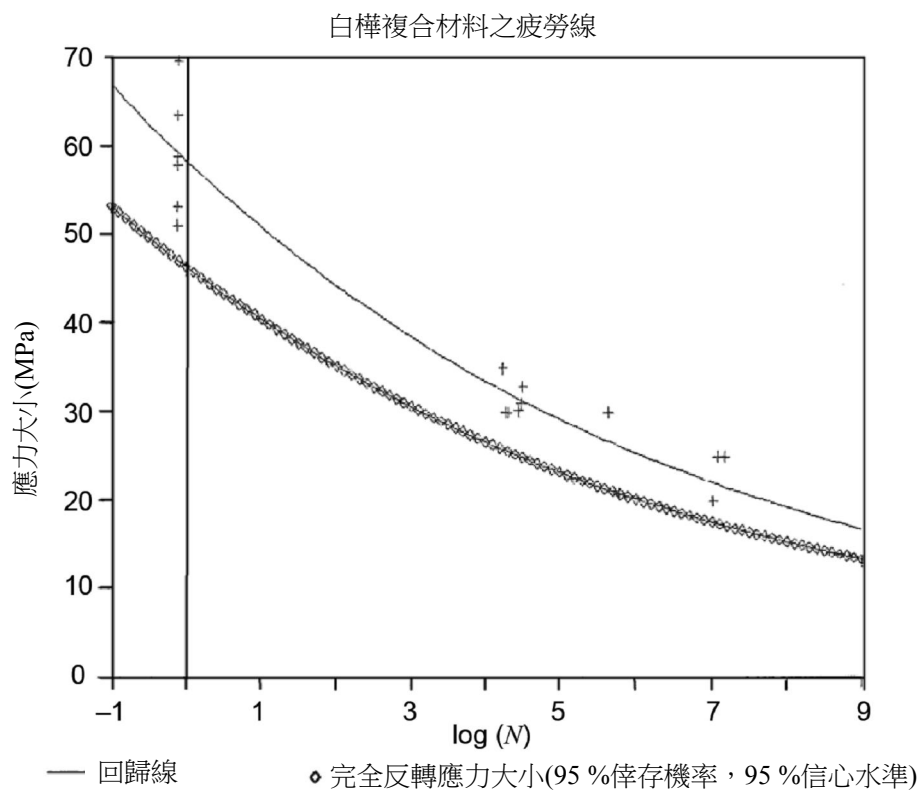


圖 E.6 軟木複合材之疲勞壽命資料(參照參考資料[E.5])

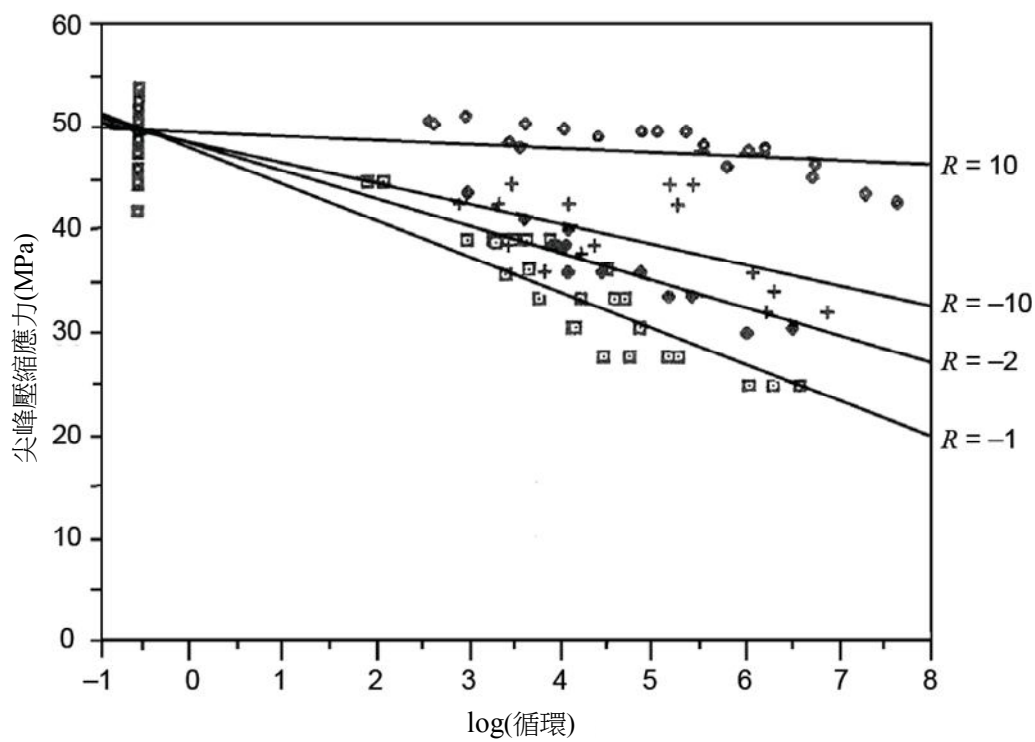


圖 E.7 木材之一般 S-N 曲線 — 參照參考資料[E.5]

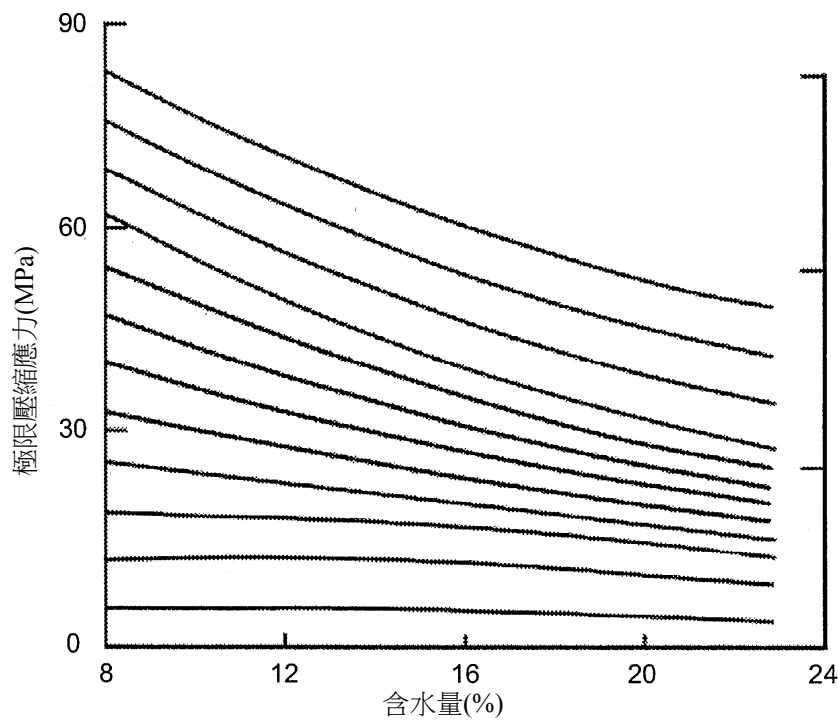


圖 E.8 含水量對木材平行紋理之壓力強度之效應
(取自參考資料[E.6]之圖 4-13)

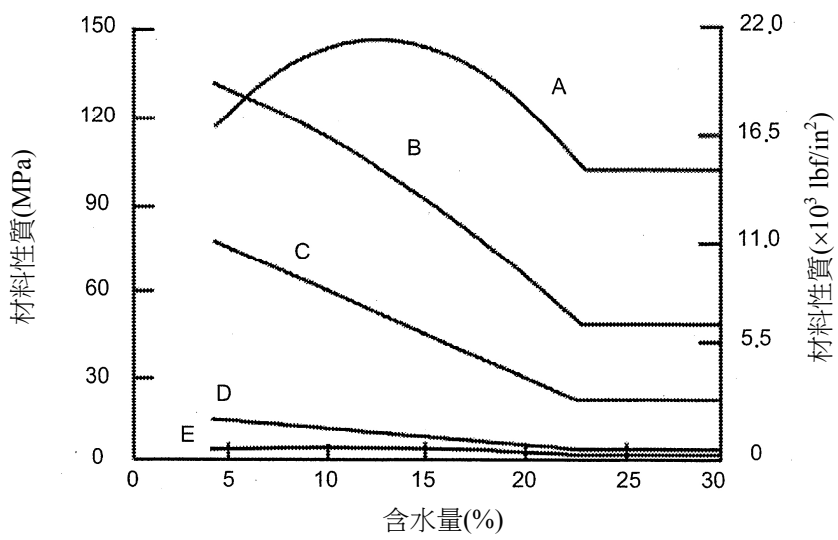


圖 E.9 含水量對木材強度之效應(取自參考資料[E.6]之圖 4-11)

說明

- A 平行紋理之拉力；
- B 彎矩；
- C 平行紋理之壓力；
- D 垂直紋理之壓力；及
- C 垂直紋理之拉力。

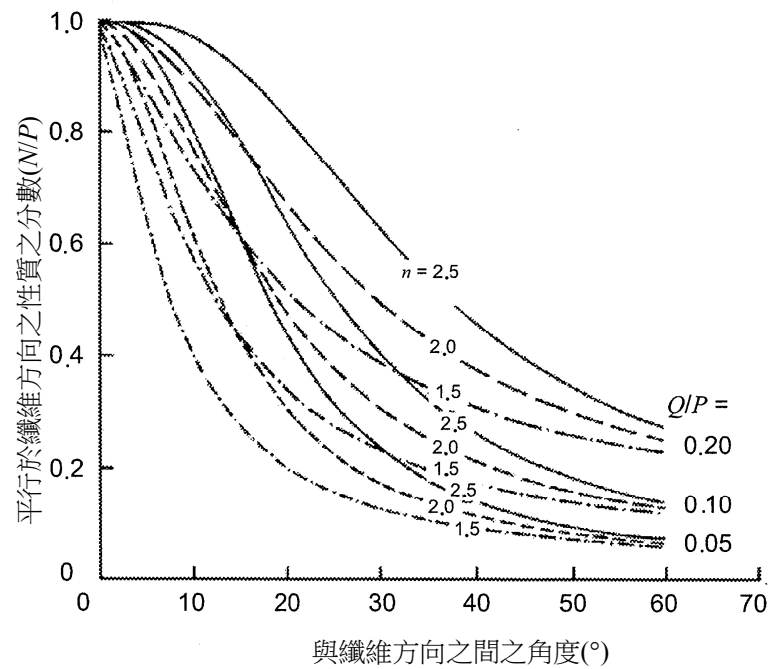


圖 E.10 依照漢金森(Hankinson)型公式所得之紋理角度
對乾淨木材機械性質之效應(取自參考資料[E.6]之圖 4-4)

備考： Q/P 為橫越紋理之性質之比值(P)； n 係以經驗公式計算之常數。

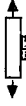
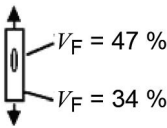
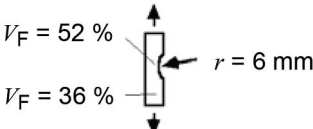
E.5 幾何效應

結構設計評估會假設製造商已經適當考慮與破裂與疲勞相關之幾何效應。在均質材料之一般應力集中方面，任何有停機械設計之書籍均可採用，例如參考資料[E.7]。

在複合材料方面，表 E.2(取自參考資料[E.2])可用於計算幾何形狀對複合結構之耐久性之影響。

在表 E.2 中， F 為額外之材料安全係數，而若 E.4.1 所述之(a)至(e)均未考慮幾何效應時，則應採用此項係數以計入幾何效應。

表 E.2 幾何不連續性

說明	圖例		F
簡單單體 (直線材料)			1.0
組合加勁板 (樑腹板)			1.2
橫向裂痕 90°貼補			1.0
單一內部 0°膠合下降		$V_F<0.4$	1.2
		$V_F<0.4$	—
雙重內部 0°膠合下降		$V_F<0.4$	1.6
		$V_F<0.4$	1.0
局部較高 纖維含量			1.4
表面凹痕(V_f 增加,厚度 減少 25 %)			2.5

E.6 參考資料

- [E.1] ECN-C--96-033, Verification of design loads for small wind turbines, F.J.L. Van Hulle et. al. Table 2.6 Safety Factors in IEC 1400-2 and Danish Code
- [E.2] Mandell, J.F., Samborsky, D.D., and Cairns, D.S., Fatigue of composite materials and substructures for wind turbine blades, SAND REPORT, SAND2002-0771, Unlimited Release, Sandia National Laboratories, March 2002
- [E.3] Higdon, Ohlsen, Stiles, Weese, and Riley, Mechanics of Materials, 3rd Edition, John Wiley and Sons, Inc., New York, New York, 1976, pp. 572, 674-675
- [E.4] Hertzberg, Richard W., Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials, Fourth Edition, John Wiley and Sons, Inc, New York, New York, 1996, pp. 508-509
- [E.5] Boerstra, G.K., Zwart, G.G.M., Proposal, Design Envelope Wood Epoxy Laminate as a Completion of NEN 6096, Paragraph 4.3.5.4, WindMaster Nederland, 1992, p. 11
- [E.6] Forest Products Laboratory, 1999, Wood handbook--Wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113, Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, "Chapter 4 Material properties of Wood"
- [E.7] Norton, Robert L., Machine Design – An Integrated Approach, Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 1996, Appendix E – Stress concentration factors, pp. 1005-1012

附錄 F

(參考)

簡易設計方程式之開發

F.1 附錄 F 中所使用之符號

A	轉子掃掠面積(m^2)
A_{proj}	垂直於風向之平面上之分量投影面積(m^2)
B	葉片數
c	葉片翼弦(m)
C_d	阻力係數
C_f	力量係數(force coefficient)
C_l	升力係數
C_p	動力係數
C_T	推力係數
D	轉子直徑(m)
e_r	轉子重心至旋轉軸之間之距離(m)
F	力(N)
F_{zB}	葉片根部位於葉片 z 方向上之力(N)
$F_{x\text{-shaft}}$	向軸負載(N)
g	重力加速度： $9.81(\text{m/s}^2)$
G	發電機短路電路乘數
I_B	葉片之慣性矩(kgm^2)
L_{rt}	轉子中心至轉向軸之間之距離(m)
L_{rb}	轉子中心至第 1 軸承之間之距離(m)
m_B	葉片質量(kg)
m_r	轉子質量，亦即葉片質量與輪轂質量之總和(kg)
M_{xB}, M_{yB}	葉片根部之彎矩(Nm)
M_{brake}	因煞車所引起之低速軸上之扭矩(Nm)
$M_{x\text{-shaft}}$	轉子轉軸上在第 1 軸承處之扭矩(Nm)
M_{shaft}	在第 1 軸承處之轉軸彎矩(Nm)
n	轉子速度(r.p.m)
P	電功率(W)
P_r	轉子功率(W)
Q	轉子扭矩(Nm)
r	徑向座標(m)
R	轉子半徑(m)
R_{cog}	葉片重心至轉子中心之間之距離(m)
V	風速(m/s)

V_{ave}	輪轂高度之年平均風速(m/s)
V_{design}	設計風速，定義為 1.4 倍 V_{ave} (m/s)
V_{eN}	預期極端風速(3 秒內平均)，重現時間為 N 年。 V_{e1} 與 V_{e50} 分別表示 1 年與 50 年重現時間之風速(m/s)
V_{hub}	10 分鐘平均輪轂高度風速(m/s)
V_{tip}	葉片尖端速度(m/s)
W	相對風速(m/s)
δ	範圍
Y	轉向角
η	電力輸出與轉子之間組件之效率，通常係指發電機、齒輪箱與轉換系統
λ	尖端速度比
λ_{e50}	V_{e50} 下之尖端速度比
ρ	空氣密度，此處假設為 $1.225(\text{kg/m}^3)$
ψ	轉子之方位角(0° 表示葉片垂直向上)($^\circ$)
ω_n	轉子旋轉速度(rad/s)
ω_{yaw}	轉向率(rad/s)。

下標符號：

ave	平均
B	葉片
design	簡化設計方程式之輸入參數
H	直昇機
hub	輪轂高度
max	最大值
proj	投影
r	轉子
shaft	轉軸

F.2 概述

本附錄提供本標準之簡易設計方程式之背景資料。提供背景資料與方程式之推導有以下幾個目的。

- 讓使用者對簡易設計方程式有更清楚之了解；
 - 清楚說明方程式中採用何種物理原理及未採用之物理原理(例如葉片拍動與葉片護罩)；
 - 藉由提供方程式之背景資料希望具有特殊概念之製造商能夠回歸方程式之基本面，並且推導出更適合其設計之方程式。
- 一般而言，以下各關係式均為有效。

$$\omega_n = \frac{2\pi n}{60} = \frac{\pi n}{30} \dots\dots\dots (F.1)$$

式中， n ：轉子之旋轉速度(r.p.m)

ω_n ：轉子之旋轉速度(rad/s)

$$\lambda = \frac{V_{tip}}{V_{hub}} = \frac{\omega_n R}{V_{hub}} = \frac{R}{V_{hub}} \frac{\pi n}{30} \dots\dots\dots (F.2)$$

式中， λ ：尖端速度比

V_{tip} ：葉片尖端速度(m/s)

V_{hub} ：輪轂高度風速(m/s)

R ：轉子半徑(m)

$$Q = \frac{P_r}{\omega_n} = \frac{P}{\eta \omega_n} = \frac{30P}{\eta \pi n} \dots\dots\dots (F.3)$$

式中， Q ：轉子扭矩(Nm)

P_r ：轉子功率(W)

P ：電力功率(W)

此外亦定義一些設計輸入值供作本標準使用。

V_{design} 為設計風速，其定義為 1.4 倍 V_{ave} 。 V_{ave} 與風力機等級相關。 P_{design} 與 n_{design} 分別為 V_{design} 下之功率與轉子旋轉速度。

負載狀況 A：正常運轉

負載條件 A 為具有固定範圍之疲勞負載條件。其範圍背後之基本概念即為機速度在 0.5 到 1.5 “額定” 之間循環。由於 “額定” 一詞有許多種不同之意義，故此處以 “設計” 一詞取而代。此名詞已在前面定義過。

讓 n 在 $0.5n_{design}$ 與 $1.5n_{design}$ 之間變化即可由速度範圍中得到以下 F_z 之範圍(此處假設可變轉子速度)。

$$\begin{aligned} \Delta F_{zB} &= m_B R_{cog} \left(\frac{\pi 1.5 n_{design}}{30} \right)^2 - m_B R_{cog} \left(\frac{\pi 0.5 n_{design}}{30} \right)^2 = 2m_B R_{cog} \left(\frac{\pi n_{design}}{30} \right)^2 \dots\dots (F.4) \\ &= 2m_B R_{cog} \omega_{n,design}^2 \end{aligned}$$

式中， m_B ：葉片質量

R_{cog} ：葉片重心到轉子中心之間之距離

n_{design} ：設計轉子速度，其定義為 V_{design} 時之轉子速度

在邊緣彎矩方面，邊緣彎矩範圍包含因扭矩變化(從 $1.5Q_{design}$ 與 $0.5Q_{design}$ 之間變化且平均分攤在 B 個葉片上)而起之部分及因葉片重量彎矩所產生之部分。

$$\Delta M_{xB} = \frac{Q_{design}}{B} + 2m_B g R_{cog} \dots\dots\dots (F.5)$$

翼面方向彎矩之推導稍微比較複雜。

$$F_{axial} = C_T \frac{1}{2} \rho V_{hub}^2 A = C_T \frac{1}{2} \rho V_{hub}^2 \pi R^2 \dots\dots\dots (F.6)$$

$$P_r = C_p \frac{1}{2} \rho V_{\text{hub}}^3 A = C_p \frac{1}{2} \rho V_{\text{hub}}^3 \pi R^2 \dots\dots\dots (F.7)$$

式中， ρ ：空氣密度(kg/m³)，此處假設為 1.225 kg/m³

A ：轉子橫掃面積(m²)

R ：轉子半徑(m)

P_r ：轉子功率(W)

假設 C_T 為 3/2 之 C_p (參考資料[F.1]，第 3 節)，而整合公式(F.6)與公式(F.7)可得出如下公式。

$$F_{\text{axial}} = \frac{3}{2} \frac{P_r}{V_{\text{hub}}} \dots\dots\dots (F.8)$$

代入公式(F.2)所得之 V_{hub} 與公式(F.3)所得之 P_r 可得出如下之公式。

$$F_{\text{axial}} = \frac{3}{2} \frac{30\lambda}{R\pi n} P_r = \frac{3}{2} \frac{30\lambda}{R\pi n} \frac{Q\pi n}{30} = \frac{3}{2} \frac{\lambda Q}{R} \dots\dots\dots (F.9)$$

假設此負載施加在 $2/3R$ 處，並且除以葉片數量則可得如下之公式。

$$M_{yB} = \frac{\lambda Q}{B} \dots\dots\dots (F.10)$$

此處假設圓錐角度小到足以忽略離心分量。

假設 Q 從 0.5 變化到 $1.5n_{\text{design}}$ 便可計算出邊緣彎矩範圍。

$$\Delta M_{yB} = \frac{\lambda_{\text{design}} Q_{\text{design}}}{B} \dots\dots\dots (F.11)$$

轉軸上之軸向負載等於公式(F.9)所得之轉子之軸向負載如下。

$$\Delta F_{x\text{-shaft}} = \frac{3}{2} \frac{\lambda_{\text{design}} Q_{\text{design}}}{R} \dots\dots\dots (F.12)$$

軸扭矩範圍包含了一項扭矩及一項偏心部分。偏心部分中假設轉子之質量中心偏離軸心 $0.005 R$ (除非有更好之資料可用，否則用此數值)，進而產生一個重力扭矩範圍。

$$\Delta M_{x\text{-shaft}} = Q_{\text{design}} + 2m_r g e_r \dots\dots\dots (F.13)$$

轉軸彎矩之最大值假設在第 1 軸承處。在轉軸彎矩方面，轉子質量及軸負載偏心(因風切所造成)均應納入考量。

假設偏心量為 $R/6$ ，此係由原始 IEC 61400-2 工作小組所決定，則可得出以下之範圍：

$$\Delta M_{\text{shaft}} = 2m_r g L_{rb} + \frac{R}{6} \Delta F_{x\text{-shaft}} \dots\dots\dots (F.14)$$

式中， L_{rb} ：轉子中心到第 1 軸承之間之距離

m_r ：轉子質量(包含葉片與輪轂等)

負載狀況 B：轉向

在此種負載條件中，風力機以 $\omega_{yaw,max}$ 之速率轉向且轉子以 $\omega_{n,design}$ 之速率旋轉。
假設翼面方向彎矩包含 3 個部分：離心力、旋轉彎矩及轉軸負載之偏心。
因轉向率而在葉片上產生之離心力乘以葉片根部到葉片質量中心之距離。

$$M_{yB,centrifugal} = m_B \omega_{yaw,max}^2 L_{rt} R_{cog} \dots\dots\dots (F.15)$$

式中， L_{rt} ：轉子中心至轉向軸之間之距離(m)

旋轉彎矩：

因轉向率與旋轉速度而在葉片上產生之旋轉力可由公式(F.16)推導。在參考資料 [F.1] 之第 238 頁有較詳細之推導過程。

$$M_{yB,gyroscopic} = \int_0^R 2\omega_n \omega_{yaw} \cos \Psi r^2 m(r) dr = 2\omega_{yaw} I_B \omega_n \cos \Psi \dots (F.16)$$

此式在 $\Psi=0$ 時具最大值。

最後一部分係考慮因風切或偏斜氣流所產生之軸向力之偏移。

在轉子以 n_{design} 速率旋轉且轉子對塔架以 $\omega_{yaw,max}$ 速率移動時，整個翼面方向彎矩之公式即成為如下。

$$M_{yB} = m_B \omega_{yaw,max}^2 L_{rt} R_{cog} + 2\omega_{yaw,max} I_B \omega_{n,design} + \frac{R}{9} \Delta F_{x-shaft} \dots (F.17)$$

對轉軸而言，方程式之推導如下。

旋轉負載：

在雙葉片機型方面，轉子對轉向軸之慣性取決於方位角。剛性體動力學之高等教科書中有最大彎矩之公式如下。

$$M_{shaft} = 2B\omega_{yaw,max} \omega_{n,design} I_B \dots\dots\dots (F.18)$$

在 3 個以上葉片之機型方面，方位角所產生之慣性變化較小，可以忽略。

即適用以下公式。

$$M_{shaft} = B\omega_{yaw,max} \omega_{n,design} I_B \dots\dots\dots (F.19)$$

加入質量負載與軸負載偏心則可得出如下公式。

雙葉片轉子：

$$M_{shaft} = 4\omega_{yaw,max} \omega_{n,design} I_B + m_r g L_{rb} + \frac{R}{6} \Delta F_{x-shaft} \dots\dots\dots (F.20)$$

3 個以上葉片轉子：

$$M_{shaft} = B\omega_{yaw,max} \omega_{n,design} I_B + m_r g L_{rb} + \frac{R}{6} \Delta F_{x-shaft} \dots\dots\dots (F.21)$$

式中， L_{rb} ：轉子中心到第 1 軸承之間之距離(m)

負載狀況 C：轉向誤差

固定轉向機大多數時間均在轉向誤差之情況下運轉。若轉子發生轉向誤差且瞬間陣風讓整個葉片處於最大升力之攻角時，則有可能產生極端負載。以下分析即為此種情況之簡化方式。

在葉片半徑 r 處之相對風速約為：

$$W = r\omega_n + V_{\text{hub}} \sin \gamma \cos \Psi \dots\dots\dots (\text{F.22})$$

由於此分量與切線分量相比通常都很小，此處忽略相對風力之正交分量。

葉片根部之翼面彎矩大約為如下。

$$M_{yB} = \frac{1}{2} \rho C_{\text{ave}} C_{l,\text{max}} \int_0^R r(r\omega_n + V_{\text{hub}} \sin \gamma \cos \Psi)^2 dr \dots\dots\dots (\text{F.23})$$

$\Psi=0$ 時(亦即前進葉片)可達最大值。

對此公式積分可得如下。

$$M_{yB} = \frac{1}{2} \rho C_{\text{ave}} C_{l,\text{max}} \left[\frac{1}{4} R^4 \omega_n^2 + \frac{2}{3} R^3 \omega_n V_{\text{hub}} \sin \gamma + \frac{1}{2} R^2 V_{\text{hub}}^2 \sin^2 \gamma \right] (\text{F.24})$$

在 30° 轉向誤差時，此公式經過重新安排以後可以得出如下公式。

$$M_{yB} = \frac{1}{8} \rho A_{\text{proj},B} C_{l,\text{max}} R^3 \omega_{n,\text{design}}^2 \left[1 + \frac{4}{3\lambda_{\text{design}}} + \left(\frac{1}{\lambda_{\text{design}}} \right)^2 \right] \dots\dots (\text{F.25})$$

負載狀況 D：最大推力

此負載條件之公式並不需予以太多解釋。此僅為力係數與動態壓力之簡單組合。

$$F_{x-\text{shaft}} = C_T \frac{1}{2} \rho (2.5V_{\text{ave}})^2 \pi R^2 \dots\dots\dots (\text{F.26})$$

式中， C_T ：推力係數，大小等於 0.5

此項公式經過氣彈性模型所求得之推力負載。 $2.5V_{\text{ave}}$ 與 $C_T=0.5$ 之組合可以得出與此等模型相提並論之結果。

負載狀況 E：最大旋轉速度

該負載條件中假設由最大轉速控制。

在葉片負載中僅需要考慮離心力。

$$F_{zB} = m_B R_{\text{cog}} \left(\frac{\pi n_{\text{max}}}{30} \right)^2 = m_B \omega_{n,\text{max}}^2 R_{\text{cog}} \dots\dots\dots (\text{F.27})$$

在轉軸方面僅考慮轉軸彎矩，其中假設轉子中有一個不平衡狀況，亦即轉子質量中心與轉軸中心有一個距離 e_r 。此負載條件中並未假設轉向。

$$M_{\text{shaft}} = M_{r-\text{mass}} + M_{r-\text{imbalance}} = m_r g L_{\text{tb}} + m_r e_r \omega_{n,\text{max}}^2 L_{\text{tb}} \dots\dots\dots (\text{F.28})$$

負載狀況 F：負載連接短路

此負載條件假設發電機中有一個很高之短路扭矩。各常數係在與此領域中之專家學者討論過，並且參考過其他標準之後才決定，例如 NEN 6096/2 及德國勞氏驗船協會(Germanischer Lloyd, GL)之藍皮書。

除非發電機有更準確之數值可以使用，否則設計扭矩應乘如表 F.1 之 G 值。

表 F.1 發電機設計扭矩時應乘之 G 值

發電機	G 值
同步或非同步發電機	2
永磁發電機	2

因此：

$$M_{x-shaft} = G \times Q_{design} \dots\dots\dots (F.29)$$

$$M_{xB} = \frac{G \times Q_{design}}{B} + m_B g R_{cog} \dots\dots\dots (F.30)$$

負載狀況 G：停機

此處假設最大轉軸扭矩為煞車扭矩(在有煞車之情況下)及額定發電機扭矩之總和(亦即假設煞車動作時，發電機仍舊在輸送額定扭矩)。

$$M_{x-shaft} = M_{brake} + Q_{design} \dots\dots\dots (F.31)$$

式中， M_{brake} ：低速軸上之煞車扭矩

停機期間之葉片負載假設係由轉軸扭矩與葉片質量所決定，因此：

$$M_{xB} = \frac{M_{x-shaft}}{B} + m_B g R_{cog} \dots\dots\dots (F.32)$$

若風力機具備齒輪箱與高速轉軸煞車時，則公式(F.31)所計算之轉軸扭矩應該要增加以納入驅動裝置之動力行為。

若無法取得更準確之數值時，則轉軸扭矩應乘以動力放大係數 2。

負載狀況 H：可耐風力

負載條件 H 實際上為 2 組公式，而其中 1 組係根據風力機之設計而採用。其中 1 組是針對在強風中待機之風力機，例如大多數之主動控制機，而另 1 組則係針對轉子會持續轉動之風力機，例如大多數之被動控制機。

待機時之轉子：

在將要停止之機方面，葉片根部之平面外彎矩係由阻力所控制，因此其定義為：

$$M_{yB} = C_d \frac{1}{2} \rho V_{e50}^2 A_{proj,B} \frac{1}{2} R \dots\dots\dots (F.33)$$

式中， C_d ：阻力係數，此處應採用 1.5

A_{proj} ：葉片之平面面積

公式(F.33)假設葉片阻力之壓力中心位於葉片長度中點，而這在大多數葉片中都算保守。此外還假設葉片之平面面積完全垂直於風向。

對已待機之風力機而言，轉軸推力負載係以公式(F.34)計算。

$$F_{x-shaft} = B C_d \frac{1}{2} \rho V_{e50}^2 A_{proj,B} \dots\dots\dots (F.34)$$

此即所有葉片阻力之總和。

全羽毛型葉片主要係受到升力之影響而非阻力。風向之變化會使得葉片處於高升力之攻角下。在此情況下，力量係由最大升力係數所控制，而非最大阻力係數。

由於此兩個數值大小相當，故此等簡易公式也適用於羽毛型葉片。

旋轉中轉子：

對轉子在 V_{e50} 下轉動之機而言，一般預期在轉子上某個位置， $C_{l,max}$ 會因為風向變化而發生在其中一個葉片上。因此葉片根部之彎矩即為：

$$M_{yB} = \int_0^R C_{l,max} \frac{r}{R} \frac{1}{2} \rho V_{e50}^2 C_r dr \approx C_{l,max} \frac{1}{6} \rho V_{e50}^2 A_{proj,B} R \dots\dots\dots (F.35)$$

此處假設三角形之升力分布，亦即 $C_{l,max}$ 位於尖端，而在根部為 0。此外還假設翼弦固定不變。若無法取得更準確之 $C_{l,max}$ 數值時，則應採用 2.0。

在轉動中轉子方面，推力之計算係根據直昇機理論進行。直昇機推力係數係從葉片尖端速度而來，而非風速。

$$C_{T,H} = \frac{T}{\rho \pi R^2 (\omega_n R)^2} \dots\dots\dots (F.36)$$

參考資料[F.2]顯示直升機轉子之最大推力係數可近似為如下。

$$\frac{C_{T,Hmax}}{\alpha} = 0.17 \dots\dots\dots (F.37)$$

式中， σ ：轉子實心體積， $\sigma = \frac{B c_{ave}}{\pi R}$ 且 c_{ave} 為平均葉片翼弦。此數值發生在前進

比 $\frac{V}{\omega_n R}$ (尖端速度比之倒數) 等於 0 時。在前進比等於 0.5 時，水平飛行

之推力係數會減少到 0.06 左右，但在瞬間事件中則維持在 0.17 左右。

因此而採用與前進比無關之 0.17 常數值。

將直昇機推力係數轉換成風力機係數可以得出如下之公式。

$$C_T = 2 C_{T,H} \lambda^2 \dots\dots\dots (F.38)$$

整合公式(F.37)與公式(F.38)可得出如下之公式。

$$C_T = 0.34 \sigma \lambda^2 \dots\dots\dots (F.39)$$

利用公式(F.39)與公式(F.26)之型式可以得出如下之公式。

$$F_{x-shaft} = 0.34 \sigma \lambda_{e50}^2 \frac{1}{2} \rho V_{e50}^2 A \dots\dots\dots (F.40)$$

式中， σ ：轉子實度 ($BA_{proj,B}/A$)

λ_{e50} ： V_{e50} 時之尖端速度比，若未知時可以公式(F.41)估計之。

$$\lambda_{e50} = \frac{\eta_{max} \pi R}{30 V_{e50}} \dots\dots\dots (F.41)$$

將各部分代入公式(F.40)中可得出如下之公式。

$$F_{x-shaft} = 0.17 B A_{proj,B} \lambda_{e50}^2 \rho V_{e50}^2 \dots\dots\dots (F.42)$$

在轉動與停止兩種情況下，於塔架負載計算中，塔架與機艙上之推力應加上阻力。該阻力可以依照各組件利用公式(F.43)來估算。

$$F = C_f \frac{1}{2} \rho V_{e50}^2 A_{proj} \dots\dots\dots (F.43)$$

式中， C_f ：力係數

A_{proj} ：討論中組件在一與風向平行之平面上之投影面積

負載狀況 I：最大曝露

在此負載條件中，風力機假設完全靜止。升力及/或推力應根據組件形狀與尺寸之不同而加以考量。以下為基本之方程式。

$$F = C_f \frac{1}{2} \rho V_{e1}^2 A_{proj} \dots\dots\dots (F.44)$$

式中， V_{e1} ：1 年 1 次之極端風速

所有曝露在風力下之組件之負載均須計算。風力機中整體之應力均應計算。

F.3 參考資料

[F.1] Burton, T., Sharpe, D, Jenkins, N, and Bossanyi, E., Wind Energy Handbook, John Wiley and Sons, 2001.

[F.2] Prouty, R.W., Helicopter Performance, Stability and Control, PWS Publishers, 1986.

附錄 G

(參考)

小型風機性能與安全要求

G.1 通則

G.1.1 概述

本附錄提供驗證、測試與評估小型風力機性能與安全之方法，包括功率性能測試、噪音測試、耐久性測試、強度與安全評估及電力品質試驗等 5 項。本附錄基本上除參考本標準之內容重點外，亦參考美國風能協會(American wind energy association, AWEA)及英國風能協會(British wind energy association, BWEA)對 IEC 標準之簡化與增補精神，期望以階段性方式，建構我國小型風力機產業之性能與安全品質，以逐次與國際規範接軌，並注重在符合規範要求時所必須考量之成本及困難度之合理性。本附錄之執行仍應參酌其他例如建築、噪音、環境、電業併聯等相關標準及法規。

G.1.2 本要求之符合

對於符合本要求之各項風力機性能和安全測試與評估，應由合格之測試或評估單位進行。各項測試與評估可分別核發其與本要求符合之評估報告(conformity evaluation report, CER)，或彙整成為總結報告(summary of conformity evaluation report, SCER)。

G.1.3 引用標準

下列標準因本附錄所引用，成為本附錄之一部分。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 15176-11	風力發電機系統－第 11 部：噪音量測技術
IEC 61400-11:2006	Wind turbine generator system – part 11: acoustic noise measurement technique
IEC 61400-12-1:2005	Wind turbines – Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines
IEC 61400-13	Wind turbine generator systems – Part 13: Measurement of mechanical loads

G.1.4 用語及定義

下列用語及定義適用本附錄。

G.1.4.1 葉片掃掠面積(rotor swept area)

定義為當正常發電運轉狀態，若是水平軸風力機，該面積為轉子轉動而投影在垂直於轉動軸心之平面。若是搖擺式轉子，宜假設轉子保持垂直於低速軸心。若為垂直軸轉子，該面積為轉子轉動而投影在垂直面上。

G.1.4.2 最大功率(maximum power)

風力機在正常穩態運轉下的最大 1 分鐘平均輸出功率。

G.1.4.3 最大電壓(maximum voltage)

風力機運轉時(包含開放迴路狀態)產生的最大瞬間電壓。

G.1.4.4 最大電流(maximum current)

風力機運轉時在系統控制或功率轉換電路所產生的最大瞬間電流。

G.1.4.5 擾流強度(turbulence intensity)

基於 1 Hz 資料取樣率及 1 分鐘平均下的風速標準差除以平均風速之值。

G.2 功率性能測試(power performance testing)

風力發電機功率性能測試應依 IEC 61400-12-1 及其附錄 H 之規定進行測試，其內容參照本標準之 G.10.1，另針對 G.10.1 之額外要求說明如下：

- 在 IEC 61400-12-1 附錄 H 之(b)項中，針對內含蓄電池組之併網型風力機，蓄電池組視為風力機之一部分。
- 在 IEC 61400-12-1 附錄 H 之(e)項中，從塔架基座算起電線長度須至少為轉子直徑 8 倍以上，其線徑依需製造商之安裝說明書選用之。
- 在 IEC 61400-12-1 附錄 H 之(n)項中之數據組(bin)，至少須包含以最大功率 95 %下對應之風速值，將該風速值至少再增加 5 m/s 之風速範圍，以此風速範圍下，每個區間至少須具備 10 分鐘(1 分鐘平均資料共 10 筆)之取樣資料。

G.3 噪音測試(acoustic sound testing)

本節之量測法及測試報告內容主要依據 IEC 61400-11 或 CNS 15176-11 標準。噪音量測所使用之儀器應符合 IEC 61400-11 或 CNS 15176-11 第 6 節之規定。

G.3.1 量測位置

量測位置參照 IEC 61400-11 或 CNS 15176-11 中 7.1 有關量測位置之規定(如聲音、風速及風向位置)。除量測基準點外，選擇性的另三個輔助量測位置得使用在量測上。如下圖左所示之平面圖，4 個量測位置應環繞風力機塔身的垂直中心線。如下圖 G.1 所示，下風(downwind)量測點做為量測基準點。量測位置相對於風向準確度應在 $\pm 15^\circ$ 內。由風力機塔身垂直中心線至各麥克風位置的水平距離 R_0 如下圖左所示，許可差為 20 %，量測的準確度應為 $\pm 2\%$ 。

水平風機： $R_0=H+D/2$ ；垂直風機： $R_0=H+D$ 。

G.3.2 量測時間

每一次量測所取的平均時間為 10 s。

G.3.3 風速、風向、大氣條件及相關風力機控制參數量測

風速及風向量測應分別依 IEC 61400-11 或 CNS 15176-11 中 7.3.1.2(以氣象桿上的風速計直接量測風速)及 7.3.2 之規定，另並應依 IEC 61400-11 或 CNS 15176-11 中 7.3.3 量測其他大氣條件(如空氣溫度及壓力)。若適用時建議量測相關風力機控制參數(如轉子速率及旋角)並於報告中載明。

G.3.4 應採用數據組以內線性迴歸的數據組分析法，以決定整數風速時的音壓位準。

視在聲功率位準之計算可參照 IEC 61400-11 或 CNS 15176-11 之 8.3。

G.3.5 在麥克風使用防風罩仍有效的情況下，應盡量量測更寬廣的風速範圍。**G.3.6 應當描述在高風速而過速保護裝置啟動的狀況下(例如尾翼偏折或葉片旋角改**

變)，是否風力機之噪音有明顯變化。

G.3.7 聲值(tonality)不需分析，然而仍須在報告中說明所量測到的主要純音(prominent tones)。

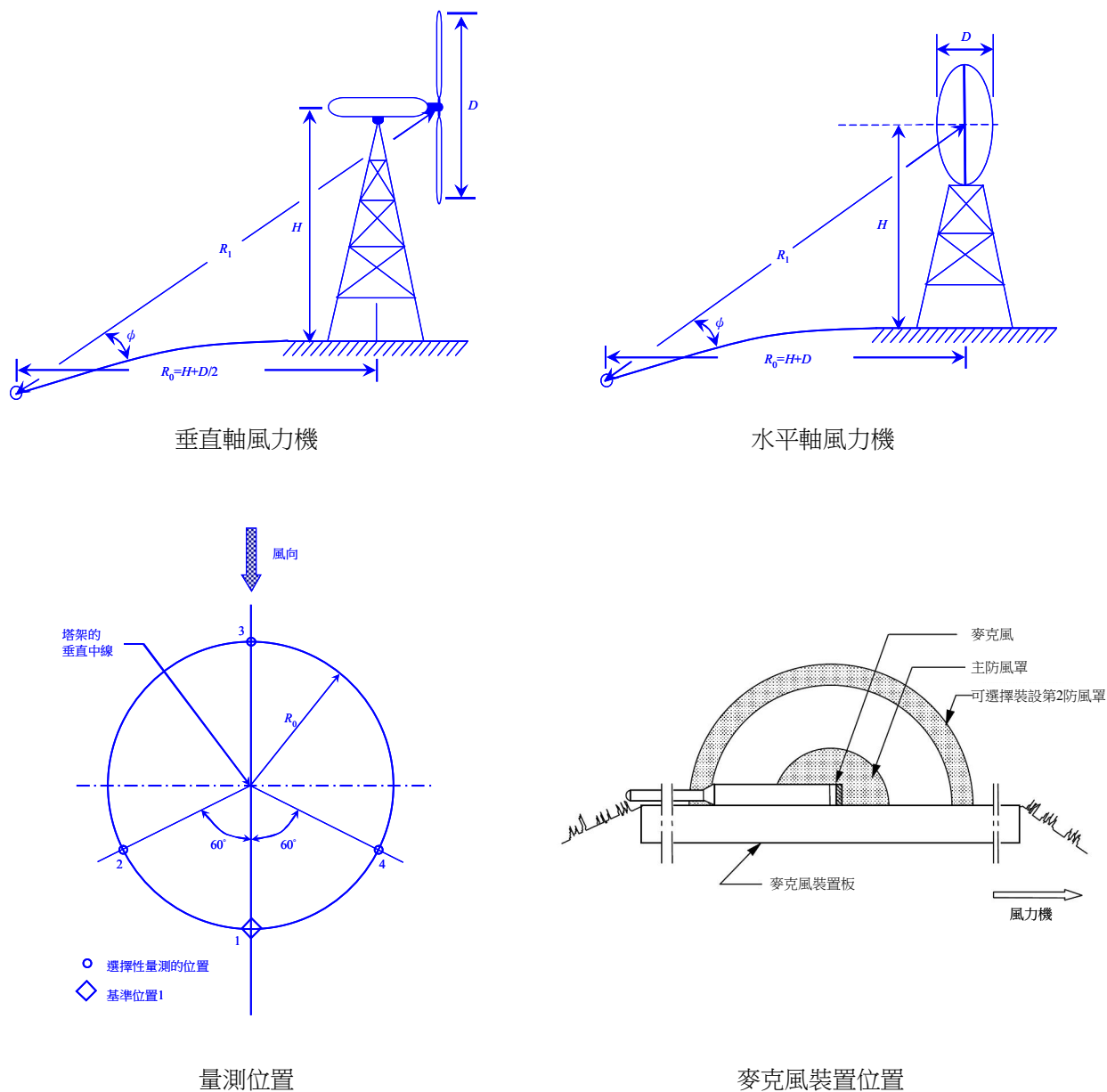


圖 G.1 垂直軸風力機與水平軸風力機量測圖例

G.3.8 量測項目

- (a) 風速、風向、大氣條件及相關風力機控制參數；
- (b) 背景噪音；
- (c) 聲壓值(計算公式參照量測標準 IEC 61400-11 或 CNS 15176-11)；
- (d) 風力機噪音對量測距離之關係宜引用 AWEA

額定聲壓位準(引用自參考資料[4]AWEA-9.1 2009 之附錄 A)，依據距轉子輪轂 60 公尺計算並排除背景噪音的貢獻度。然而距風力機越遠噪音總量(風力機噪音與背景噪音)中的背景噪音的貢獻度將越高。

背景噪音與風力機所在位置是否有道路或其他音源有絕大的關係，範圍從 35 dB(A)(安靜背景)到 50 dB(A)(市區)。

公式(G.1)可用於計算風力機噪音位準(turbine sound level)。

$$\text{turbine sound level} = L_{\text{AWEA}} + 10 \log(4\pi \times 60^2) - 10 \log(4\pi R^2) \quad \text{. (G.1)}$$

公式 G.2 可用於計算風力機噪音加入背景噪音而得到噪音位準總量(overall sound level)。

$$\text{overall sound level} = 10 \log \left(10^{\frac{\text{turbine sound level}}{10}} + 10^{\frac{\text{background level}}{10}} \right) \quad \text{.. (G.2)}$$

式中， L_{AWEA} ：AWEA 額定聲壓位準

R ：觀測點與風力機轉子中心距離(m)

G.4 耐久性試驗

耐久性測試如無其他要求下，應符合本標準 9.4 之要求。耐久性試驗的目的在於探討如下項目。

- － 結構完整性與材料退化情形(腐蝕、裂痕、變形等)；
- － 風力機的環保品質；
- － 風力機的動態行為。

G.4.1 當風力機達到以下所有項目時，則風力機視為通過耐久性試驗。

- (a) 測試期間運轉的可靠性；
- (b) 至少 6 個月的運轉；
- (c) 在各種風速之下至少進行 2,500 小時的發電運轉；
- (d) 在 1.2 倍 V_{ave} 以上風速下至少進行 250 小時的發電運轉；
- (e) 在 1.8 倍 V_{ave} 以上風速下至少進行 25 小時的發電運轉；
- (f) 在 15 m/s 以上風速下至少進行 25 小時的正常運轉。

備考 1. 上述兩項 V_{ave} 係以風力機廠商依本標準 6.2 所宣稱之風力機等級下，輪轂高度之年平均風速。廠商應依據上述耐久性測試之發電運轉時數之實際測試結果，據以變更原宣稱之風力機等級。

備考 2. 以上各項測試之基本參數或風速是以連續 1 分鐘之平均值為準，亦即 25 小時意味須有 1 分鐘平均一筆測試資料共 1,500 筆，標準測試場應經驗證具備此等測試條件。

G.4.1.1 符合運轉的可靠性之意指符合如下之項目。

- (a) 至少 90 % 的運轉時間比率；運轉時間比率計算參照本標準 9.4.2.2。
- (b) 風力機本身或機構系統中的組件無重大破壞；
- (c) 風力機系統組件沒有明顯磨損、腐蝕或損壞；
- (d) 在可比較的風速下所產生的電力並無退化現象。其他更詳細之說明可參照本標準 9.4.2。

G.4.1.1.1 運轉時間比率之定義為在任何一段測試期間內，以風力機展現其正常設計行為(正常運轉)之時間與測試時間之比例所呈現之性能評量，單位為%。正常

設計行為(正常運轉)包括如下之項目。

- (a) 風力機發電中；
- (b) 在低風速切入與高風速切出時因風速變換而產生之自動啟動與關機；
- (c) 在風速低於 V_{in} 或高於 V_{out} 時之惰轉或停機狀態；
- (d) 風力機正常關機(並非故障所造成)到重新啟動之間的時間(例：煞車冷卻循環及尖端煞車回復等)。

G.4.1.1.2 明顯磨損意指影響到風力機壽命上之任何會造成無法接受之強度或間隙損失的磨損情形。測試完成時應進行風力機系統的詳細檢查以評估組件的磨損、腐蝕與損壞。

G.4.1.1.3 發電量退化以下列程序作為檢查風力機發電性能中任何隱藏退化情形之手段：耐久測試進行期間，每一個月均應將發電水準依照風速作分類。每一個風速均以分組之發電水準繪製成時間函數的圖形。如果可以看出趨勢時，則應進行討論以找出原因。在電池充電系統的情況下，應畫出具有可比較之充電狀態的各點。本分析中僅採用被視為正常運轉的資料點。

G.4.2 耐久測試期間風力機的行為應由檢測單位及廠商進行協議，以儘可能與風力機的各项正常使用狀況相似，並於測試報告中載明，例如在電池充電系統中，電池的電壓水準應改變以反映電池組的充電與放電。

G.4.3 風力機的動態行為應符合本標準 9.4.3 之規定，應加以評估以證實系統並未出現過度振動。從切入風速到 20 m/s 之間所有運轉條件(例：有負載、無負載、捲曲狀態等)下之風力機動態行為均應接受觀察。在接近 5 m/s、10 m/s、15 m/s 及 20 m/s 之風速下，至少要觀察風力機在各風速之下的行為 5 分鐘，而總數應至少為 1 小時。塔架振動與共振、風力機噪音、尾部運動以及轉向行為應特別注意。上述觀察事項應於報告中載明。若以儀器進行之評估亦可接受。

G.4.4 少量之維修可被允許，但亦應於報告中載明。

G.4.5 耐久測試期間內任何之主要零件被替換，包括葉片、輪轂、發電機、塔架、控制器、轉向軸承或換流器等，則測試應重新開始。

G.4.6 耐久測試期間內有關風力機及塔架有任何可見的問題及缺失皆應詳實記錄並載明於報告中。

G.4.7 耐久試驗用塔架需依照原本塔架設計規範使用，塔架設計規範敘述於 G.5.6 中。

G.5 強度/安全/功能評估

小型風力發電系統因成本考量，其強度、安全及功能評估，應以分析測試結果為主，再輔以適當之模擬計算分析，以確保安全運轉。

G.5.1 除塔架與基礎之外，風力發電系統之機械結構強度應進行安全分析與評估。機械結構強度分析應至少涵蓋葉片根部、主軸及轉向機構，並且以極限強度分析為主，再輔以耐久性測試之結果評估疲勞強度。其他機構部分可以依需要用快速檢視的方式觀察有無明顯的缺陷或損壞發生，再輔以相關分析。

G.5.2 機械結構強度分析可分為負載計算及結構應力分析等 2 部分。

G.5.2.1 負載計算

負載值之取得有如下 3 種方式。

- (a) 依 7.4 所描述之簡易模型進行負載計算(不適用於垂直軸風力機)，再結合 7.8 之安全係數。
- (b) 依 7.5 之步驟，採用符合 IEC 規範之氣彈力模型(aeroelastic model)進行計算，至少應分析 DLC 5.1 與 DLC 6.1，再結合本標準 7.8 之安全係數。
- (c) 以近似 7.5 之設計負載案例，進行負載量測，量測方式與數據處理應符合 IEC 61400-13 之範疇。

G.5.2.2 結構應力分析與結構強度安全評估

結構應力分析方式主要分為如下 2 種方式。

- (a) 採用 5.2.1(a)取得負載值者，建議依 7.7 之公式進行結構應力分析。
- (b) 應用有限元素模型(finite element model, FEM)進行結構應力分析。

依據本標準 7.9 之步驟，以及應力分析之結果進行結構強度安全評估，要注意的是，風力發電機系統之附屬部品如齒輪與軸承，以及機械系統接合點如螺栓與焊道等，可以耐久性測試結果加以評估，如有必要再依據如 ISO、VDI、或 AWS 等相關規範進行強度評估。

說明

ISO 國際標準組織(International Organization for Standardization)

VDI 德國工程師學會(Verein Deutscher Ingenieure)

AWS 美國焊接學會(American Welding Society)

G.5.3 針對風力發電系統運轉時與塔架之共振評估，一般較有可能發生於單一轉速或雙轉速之系統如採用一個或兩個感應式發電機之風力發電系統，至於變轉速之風力發電系統較無耦合振動之疑慮。若廠商使用測試廠之塔架，則僅需依 G.4.3 之方式進行評估；若廠商自備塔架進行測試，則除依 G.4.3 之方式進行評估之外，尚須計算塔架自然振頻，並且確認風機在各風速之運轉點不會與塔架產生耦合共振。

G.5.4 安全相關之系統功能評估，至少應包括下列項目。

- (a) 運轉程序書；
- (b) 高風速運轉保護機制；
- (c) 緊急或維修時之減速或停止機制；
- (d) 保養與維護手冊；
- (e) 高/低環境溫度運轉之操作條件說明，並提出相關文件以供審查(如潤滑油規格、電子元件等與操作溫度相關之規格)。

G.5.5 依風力發電系統之技術規格與功能說明，相關之功能與安全測試應符合 9.6 之要求。

G.5.6 本要求並不包含塔架與基礎之審查，但造廠商應提供使用者挑選風力機安全運轉所需之適合支撐結構之必要資料，至少應包含以下項目。

- (a) 風力機組與塔架接合點規格，包含機械結構與電力等接合點之細節；
- (b) 葉片與塔架最小允許間隙；

- (c) 塔頂最大設計負載；
- (d) 允許之塔架最大變形量。

製造商應詳細說明基座之規定，包括適用之基座配置、支撐索位置及支撐索最大與最小建議及支撐索安裝規定。製造商應提供樣本基座系統之詳圖與適當之土壤條件及基座之設計負載。

G.6 併網與電力品質要求

小型風機併網應符合國內相關法規及本標準 6.5 規定。

G.7 測試與評估報告之內容

本附錄之測試與評估報告至少應包括本節規定之項目。

G.7.1 摘要報告

摘要報告至少應包括如下之項目。

- (a) 風力機概述，例：風力機編號、風力機設計等級(依據本標準之分級方式)、製造廠、製造日期、葉片直徑(製造廠家及製造日期)、轉子轉速範圍、額定風速與額定功率、控制方式、發電機及電力轉換形式、電力儲能或聯網方式及塔架形式和高度等。
- (b) 測試場概述，例：測試位置及相關地形地物等。
- (c) 重要測試儀器或電路等配置，包含應事先校正之主要儀器的簡要說明。
- (d) 試驗日期。
- (e) 重要量測結果之彙整，例：量測功率曲線(power curve)、年產生電量曲線(annual energy production curve, AEP curve)、額定功率(rated power, RP)，依所量測功率曲線，以 11 m/s 為準的風力機輸出功率)、年額定發電量(rated annual energy, RAE)(以年平均 5 m/s 風速為基準的年發電量)、量測聲功率位準曲線、額定噪音位準(rated sound level, RSL)(以年平均 5 m/s 風速及距離 60 m 為基準的聲功率位準)等。

G.7.2 功率性能測試報告(包含 RP/RAE)

功率性能測試報告之項目及格式範例如 G.10.2。

G.7.3 噪音測試報告(包含 RSL)

噪音測試報告之項目及格式範例如 G.10.3。

G.7.4 耐久性測試報告

耐久性測試報告之項目及格式範例如 G.10.4。

G.7.5 強度/安全/功能評估報告

強度/安全/功能評估報告之項目及格式範例如 G.10.5。

G.8 性能與安全規格標籤

G.8.1 為使得風力機具有一致性之性能及安全評價，除應符合第 13 節之規定外，風力機製造廠可在其產品文件或相關廣告文宣中全部或部分說明以下各項性能及安全標籤內容。

- (a) 額定功率：依本要求所量測功率曲線，以 11 m/s 為準的風力機輸出功率。
- (b) 年額定發電量：依本要求所量測功率曲線，以輪轂高度年平均 5 m/s 風速為

基準的年發電量。

(c) 額定音壓位準：依本要求噪音量量測，以瑞利風速分佈，年平均 5 m/s 風速及距離 60 m，於風力機正常運轉期間，95 %之時間內不會超過之聲壓值，為額定聲壓位準。

(d) 耐久性試驗與可靠度(duration testing hours and availability, DTHA)：依本要求耐久性測試，完成 2,500 小時所有耐久性測試及 90%以上可靠度評估。

G.8.2 其他為配合 G.8.1 中 4 種標籤內容，至少應有如下之項目。

(a) 系統廠商名稱及風機系統型號；

(b) 切入風速；

(c) 切出風速；

(d) 最大功率；

(e) 最大輸出電壓；

(f) 最大輸出電流；

(g) 過速控制方式；

(h) 功率輸出形式(儲能或直接併網，或儲能兼併網，或其他任何將風力機輸出功率運用至負載的方式)。

G.8.3 符合本要求各項性能與安全測試與評估之風力機，應於風機系統明顯之固定位置，以銘牌方式標示本節所述之標籤內容，標示項目應清楚易讀且不易被磨滅，標示字樣應位於使用者可容易看到之位置。

G.9 參考資料

- | | | |
|-----|-------------------|---|
| [1] | CNS 15177 | 風力發電機組詞彙 |
| [2] | IEC 61400-14:2005 | Declaration of apparent sound power level and tonality values |
| [3] | AWEA 9.1 | AWEA small wind turbine performance and safety standard, 2009 |
| [4] | BWEA | BWEA small wind turbine performance and safety standard, 2008 |

G.10 附錄

G.10.1 IEC 61400-12-1 附錄 H 關於小型風力機功率性能測試說明如下。

(a) 依據 IEC 61400-12-1 之 5.1，當說明蓄電池充電性能特性時，風力機系統應包含風力機、風力機塔架、風力機機控制器及風力機與負載間之線路。風力機系統包含做為電壓防護裝置的充電控制器，當蓄電池完成充電時，該裝置能降低風力發電機的輸出功率，其中亦包含備用負載，當蓄電池完成充電時，可利用備用負載從風力機釋放電能。因蓄電池組是負載的一部分，故風力機系統並未包含蓄電池組。

(b) 依據 IEC 61400-12-1 之 5.1，當說明系統輸出對電網的特性時，風力機系統應包含風力機、風力機塔架、風力機控制器、風力機及負載間之線路、充電控制器及備用負載(若有使用)。此外，系統若使用電壓反相器，且變

壓器裝設在電壓反相器與電網之間時，變壓器即為風力機系統或負載之一部分。若系統使用蓄電池組時，蓄電池組則視為風力機系統的一部分。

- (c) 依據 IEC 61400-12-1 之 5.1，風力機應連接至能代表負載之電力負載，其中風力機即為設計供應該負載。若應用於蓄電池充電時，負載是由蓄電池組、電壓調節器及經由電壓調節器釋放電力之工具所組成。當建立理想測試條件時，蓄電池組並沒有儲存由風力機所產生的電能。所有風力機之輸出都要經由電壓調節器。因此，只要由風力機連接至負載的電壓能維持在以下章節之規格所說明的範圍之內時，蓄電池組可較一般建議供風力機使用的規格更小。
- (d) 依據 IEC 61400-12-1 之 5.1，應採用製造商所指定的架設系統來安裝風力機。倘若未將特定架設系統提供給風力機時，宜將發電機安裝在至少 10 m 的輪轂高度。
- (e) 依據 IEC 61400-12-1 之 5.1，應根據製造商的規格連接小型風力機與負載間的線路，若沒有提供規格時，纜線尺寸應能保持風力機與負載間的壓降等效於額定電壓值的 10 % (前提為額定功率下)。
- (f) 依據 IEC 61400-12-1 之 5.1，電壓調節器應能在整個風力機輸出功率範圍內，使風力機連接至負載的電壓保持在下表所指定之設定值的 10 % 以內。負載電壓的 1 分鐘平均值應下表所指定之設定值的 5 % 以內，且下表 G.1 要包含在使用數據組內。

表 G.1 蓄電池組之電壓設定表

額定電壓(V)	需要的設定值(V)	可選擇的低設定值(V)	可選擇的高設定值(V)
12	12.6	11.4	14.4
24	25.2	22.8	28.8
36	37.8	34.2	43.2
48	50.4	45.6	57.6
其它	2.1 ^(a)	1.9 ^(a)	2.4 ^(a)
註 ^(a) 每個蓄電池的電壓值			

- (g) 依據 IEC 61400-12-1 之 5.2.1，若風速計固定於長懸臂上，而長懸臂連接至風力機塔身更為實際的話，即不需要另外豎立氣象天線桿。為使風速計、風向計及架設硬體產生尾流的可能性降至最低，而不會影響流入小型轉子之氣流，所有這類構件應距離轉子任一部分以外至少 3 m 之位置。
- (h) 依據 IEC 61400-12-1 之 6.1，應量測連接至負載之風力機的輸出功率。
- (i) 依據 IEC 61400-12-1 之 6.1，除電功率外，應量測連接至負載之電壓值。
- (j) 依據 IEC 61400-12-1 之 6.6，僅當風力機控制器顯示風力機發生故障時，才需要監控小型風力機的狀態。

- (k) 依據 IEC 61400-12-1 之 7.2，當選擇高電壓設定條件時，若風力機之充電控制器會降低風力機的電壓輸出時，可將該裝置調整至高電壓值。倘若調整了該裝置，應在測試報告內記錄調整前後的設定值。有任何對風力機控制裝置的其它調整都應載明於報告中。
- (l) 依據 IEC 61400-12-1 之 7.3，前處理數據應有 1 分鐘之持續時間。當測試小型風力機時，所有後續與本要求之 10 分鐘數據組相關的部分均適用 1 分鐘數據組。
- (m) 依據 IEC 61400-12-1 之 7.6，當資料庫遇到下列條件時，應考量如下完整之資料庫。
 - (1) 當風速在開機速率以下 1 m/s 至 14 m/s 之間時，各風速數據組應至少包含 10 分鐘的取樣數據。
 - (2) 當小型風力機在風速範圍以內時，總資料庫包含至少 60 小時的數據。
 - (3) 若為收捲式發電機，當收起渦輪時，資料庫宜包含完整風速數據組的特性表現。
 - (4) 依據 IEC 61400-12-1 之 8.1，若被動功率控制之風力機，如尾翼偏折或葉片顫振，宜利用其 8.1 之公式(5)(風速調整)、公式(6)(功率調整)或其他方法，對風速進行常態化(normalization)。採用其他方式應提供文件證明。
- (n) 依據 IEC 61400-12-1 之 8.3，當風速偏高而沒有停止小型風力機時，應算出量測 AEP 及推算 AEP，使關機風速為最高值而滿足風速數據組或 25 m/s 中較大的一項。
- (o) 依據 IEC 61400-12-1 第 9 節，風力機與建立測試之說明應包含以下資訊。
 - (1) 線路尺寸、導體材質、類型、長度、以及用來連接風力機與負載之接頭。
 - (2) 量測反相器和負載之間線路的阻值，如果未使用反相器的話，則量測風力機與負載之間線路的阻值。
 - (3) 任何過電保護裝置或低電壓保護裝置的電壓設定均為小型風力機系統的一部分。
 - (4) 蓄電池組的額定電壓(例：12 V、24 V、48 V)。
 - (5) 蓄電池組之規格(即安培-小時(Ah)電容量)，蓄電池類型與使用時間。
 - (6) 用於維持特定時限內蓄電池組電壓之電壓調節裝置的品牌、類型及規格之說明。
- (p) 建議取得額外之性能數據，用於量化蓄電池組變動時會對風力機性能所造成的影響。宜將蓄電池組電壓選定為下表所列的高低設定值以求出這些額外的功率曲線，利用 1 分鐘預平均求出至少 30 小時的數據。在這些功率曲線報告中，圖表應清楚顯示選定在高低電壓設定值時的性能情況，並應顯示這些電壓設定值。建議利用單獨圖表來顯示功率隨風速和蓄電池組電壓的變動情形。

G.10.2 功率性能測試報告格式

功率性能測試報告格式之範例如表 G.2。

表 G.2 功率性能測試報告格式之範例

風力機功率性能測試報告	
報告編號：	
產品名稱	
申請廠商	
製造商	
銘牌標示及主要特性	
商標或廠牌	
型式(號)	
該產品樣品試驗 依據之試驗標準	IEC 61400-12-1:2006/CNS 15176-2
測試實驗室名稱：000	
日期：00 年 00 月 00 日	報告簽署人 簽章：_____

表 G.2 功率性能測試報告格式之範例(續)

文件內容	
風力機功率性能測試報告摘要	頁
1.測試風力機規格及環境	頁
1.1 風力機規格	頁
1.2 系統配置	頁
1.3 測試環境及狀況	頁
2.功率性能測試	頁
2.1 功率性能測試方法	頁
2.2 標準不確定度評估	頁
2.3 測試設備	頁
3.測試結果	頁
4.結論	頁

表 G.2 功率性能測試報告格式之範例(續)

風力機功率性能測試報告摘要				
報告編號.....：				
收件日.....： 00 年 00 月 00 日				
完成日.....： 00 年 00 月 00 日				
試驗室名稱.....：				
地 址.....：				
試驗室認可代號.....：				
試驗人員.....： 測試者： _____ 報告簽署人： _____				
申請者名稱.....： 0000				
地 址.....： 0000				
製造商名稱.....： 0000				
地 址.....： 0000				
風 力 機 規 格	製 造 商		發電機型式	
	機種型號		輸出方式	
	轉軸型式		輸出電壓	
	額定風速		額定功率	
	迎風方向		啟動風速	
	葉 槳 數		停止風速	
	葉片直徑		耐 風 速	
	掃掠面積		塔架形式	
	煞車系統		塔架高度	
重 量				
試驗標準(規範).....： IEC 61400-12-1：2005/CNS 15176-2				
試驗方式.....： 功率性能測試				
備考 1. 報告僅對測試樣品負責，未經書面許可不得自行更改或摘錄使用。				
備考 2. 本報告格式乃依據 IEC 61400-12-1：2005 或 CNS 15176-2 個別標準節錄製作，詳細內容以該標準為準。				

G.10.3 噪音測試報告格式(包含額定音壓位準(RSL))

噪音測試報告格式之範例如表 G.3。

表 G.3 噪音測試報告格式之範例

	風力機噪音測試報告	
	報告編號：	
產品名稱		
申請廠商		
製造商		
銘牌標示及主要特性		
商標或廠牌		
型式(號)		
該產品樣品試驗 依據之試驗標準	IEC 61400-11:2002+A1:2006/CNS 15176-2	
測試實驗室：○○○		
日期：○○年○○月○○日	報告簽署人	簽章：

表 G.3 噪音測試報告格式之範例(續)

目錄	
1.測試風力機規格及環境	頁
1.1 風力機規格	頁
1.2 系統配置	頁
1.3 測試環境及狀況	頁
2.噪音量測	頁
2.1 噪音量測方法	頁
2.2 標準不確定度評估	頁
2.3 量測設備列	頁
3.噪音量測結	
— 風速與聲壓之對應表	
— 風速與聲壓之對應圖	頁
— 額定音壓位準	
— 量測到的主要純音(prominent tones)	
4.結論	頁

表 G.3 噪音測試報告格式之範例(續)

風力機噪音測試報告摘要	
報告編號.....	:
收件日.....	: 00 年 00 月 00 日
完成日.....	: 00 年 00 月 00 日
試驗室名稱.....	:
地 址.....	:
試驗室認可代號.....	: 000000
試驗人員.....	: 測試者: 報告簽署人:
申請者名稱.....	: 0000
地 址.....	: 0000

製造商名稱.....： 0000				
地 址.....： 0000				
風 力 機 規 格	製 造 商		發電機型式	
	機種型號		輸出方式	
	轉軸型式		輸出電壓	
	額定風速		額定功率	
	迎風方向		啟動風速	
	葉 槳 數		停止風速	
	葉片直徑		耐 風 速	
	掃掠面積		塔架形式	
	煞車系統		塔架高度	
			重 量	
試驗標準(規範).....： IEC 61400-11:2002+A1:2006/CNS 15176-2				
備考：報告僅對測試樣品負責，未經書面許可不得自行更改或摘錄使用。				

G.10.4 耐久性測試及安全及功能評估報告格式(包含耐久性測試及可靠度)

G.10.4.1 耐久性測試報告格式

耐久性測試報告格式之範例如表 G.4。

表 G.4 耐久性測試與安全及功能評估報告格式之範例

風力機耐久測試報告	
報告編號：	
產品名稱	
申請廠商	
製造商	
銘牌標示及主要特性	
商標或廠牌	
型式(號)	
該產品樣品試驗 依據之試驗標準	IEC 61400-2:2006 之 9.4/CNS 15176-2 之 9.4
測試實驗室名稱：○○○	
日期：○○年○○月○○日 報告簽署人 簽章：	

表 G.4 持久性測試與安全及功能評估報告格式之範例(續)

文件內容	
風力機耐久測試報告摘要.....	頁
1.測試風力機規格及環境.....	頁
1.1 風力機規格.....	頁
1.2 系統配置.....	頁
1.3 測試環境及狀況.....	頁
2 耐久測試.....	頁
2.1 耐久測試方法.....	頁
2.2 標準不確定度評估.....	頁
2.3 測試設備.....	頁
3.測試結果.....	頁
4.結論.....	頁

表 G.4 耐久性測試及安全及功能評估報告格式之範例(續)

風力機耐久測試報告摘要				
報告編號.....：				
收件日.....： 00 年 00 月 00 日				
完成日.....： 00 年 00 月 00 日				
試驗室名稱.....：				
地 址.....：				
試驗室認可代號.....：				
試驗人員.....： 測試者： _____ 報告簽署人： _____				
申請者名稱.....： 0000				
地 址.....： 0000				
製造商名稱.....： 0000				
地 址.....： 0000				
風 力 機 規 格	製造商		發電機型式	
	機種型號		輸出方式	
	轉軸型式		輸出電壓	
	額定風速		額定功率	
	迎風方向		啟動風速	
	葉 片 數		停止風速	
	葉片直徑		耐 風 速	
	掃掠面積		塔架形式	
	煞車系統		塔架高度	
			重 量	
試驗標準(規範).....： IEC 61400-2:2006 之 9.4/CNS 15176-2 之 9.4				
試驗方式.....： 耐久測試				
備考 1. 報告僅對測試樣品負責，未經書面許可不得自行更改或摘錄使用。				
備考 2. 本報告格式乃依據 IEC 61400-2:2006 之 9.4 或 CNS 15176-2 之 9.4 個別標準節錄製作， 詳細內容以該標準為準。				

G.10.4.2 安全及功能評估報告

安全功能評估報告除了安全及功能測試報告之外，亦須附帶(1)運轉/操作手冊，(2)組裝/架設手冊及(3)維修/保養手冊。

評估項目內容如下表(可納入功率性能測試報告中)：

表 G.5 安全及功能評估項目

項目	內容
1	測試場所、環境狀況、評估方式等概述
2	震動評估
3	功率與轉速控制測試
4	轉向機構測試
5	喪失負載測試
6	過轉速保護機制測試
7	起動/停機測試
8	其他功能測試
9	總結

G.10.5 強度評估報告格式

強度評估報告格式之範例如表 G.6，評估項目之內容參照表 G.7。

表 G.6 強度評估報告格式之範例

		風力機強度評估報告		
		報告編號：		
產品名稱				
申請廠商				
製造商				
銘牌標示及主要特性				
商標或廠牌				
型式(號)				
該產品樣品試驗 依據之試驗標準		CNS 15176-2		
測試實驗室名稱：OOO				
日期：OO 年 OO 月 OO 日		報告簽署人		簽章：_____

表 G.7 強度評估項目

	項目	備註
1	風力機概述	
	風力機技術規格	敘述、規格
	主要機械元件與構造	規格
	運轉範圍與限制	規格
	電力系統	敘述、圖示
	設計規範	敘述
	座標系統	敘述、圖示
2	設計文件	
	文件清單與管制編號	敘述
3	控制與安全系統	
	控制與安全系統概述	敘述、規格
	控制/保護流程圖	圖示
	運轉模式	敘述
	設定點	規格
	控制程式軟體	敘述、規格、圖示
	軟體版本	敘述
	遠端監控	敘述、規格、圖示
	電力供應系統	敘述、圖示
	液壓系統	敘述、圖示
	故障分析	敘述、分析
	過轉速保護	敘述、圖示
	過載保護	敘述、圖示
	緊急停機按鈕	敘述、圖示
5	結構安全分析	
	一般參數	敘述
	假設條件	敘述
	尺寸、質量分佈等	分析、規格、圖示
	氣動力參數	分析、規格、圖示
	分析模型與方式	敘述
	負載安全係數	分析、規格
	負載案例	分析、敘述
	負載計算結果	分析
	變形量分析(葉片與塔架)	分析

表 G.7 強度評估項目(續)

5	結構安全分析	
	機構組合圖/零件圖	圖示
	材料特性	規格
	安全係數	分析、規格
	分析模型與方式	敘述
	主要結構件分析(葉片、主軸、轉向機構)	分析、圖示
	螺栓、軸承、齒輪	分析、敘述、規格
6	總結	敘述

參考資料

- | | |
|-------------------|---|
| CNS 14725 | 不同型式的執行檢驗機構運作之一般準則 |
| IEC WT01:2001 | IEC system for conformity testing and certification of wind turbine generator systems – Rules and procedures |
| IEC 61400-11 | Wind turbine generator systems – Part 11:Acoustic noise measurement techniques |
| IEC 61400-21 | Wind turbines – Part 21: Measurement and assessment of power quality characteristics of grid connected wind turbines |
| IEC 61400-24:2002 | Wind turbine generator systems – Part 24: Lightning protection |
| ECN-C-96-033 | Verification of design loads for small wind turbines, F.J.L. Van Hulle et al. |
| AIAA 2003-1048 | Investigation of the IEC safety standard for small wind turbine design through modelling and testing, Jason Jonkman et al. |
| AGMA/AWEA 921-A97 | Recommended practices for design and specification of gearboxes for wind turbine generator systems |
| | Small Wind Turbine Performance and Safety Standard, AWEA, 2005 |
| | Expert group study on recommended practices for wind turbine testing, 9. Lightning protection for wind turbine installations, IEA, 1997 |
| | 小型風力機性能與安全要求，台灣中小型風力機發展協會，2011 |

相對應國際標準

- IEC 61400-2 Wind turbines – Part 2: Design requirements for small wind turbines