

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114年4月17日

發文字號：經標標準字第11420006780號

速別：普通件

密等及解密條件或保密期限：

附件：如文(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：K4ZZGQC5。

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) 114年第39次、第40次、第41次及第42次會議

開會時間：114年4月23日(星期三)上午9時30分及下午2時及  
114年4月24日(星期四)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#136

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

列席者：經濟部能源署、台灣智慧風能發展協會、台灣離岸風電產業協會、GESA風能產業委員會、台灣風能協會、台灣區電機電子工業同業公會、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、富歲能源股份有限公司、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：

一、討論事項：審查CNS草-制1140044「風力發電系統—第12-1部：發電用風力機



11402651

之功率性能量測」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12-1部： 發電用風力機之功率性能量測

### Wind energy generation systems – Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines

草-制 1140044:2025

XXX

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 .....	3
1. 適用範圍 .....	4
2. 引用標準 .....	4
3. 用語及定義 .....	5
4. 符號、單位及縮寫 .....	7
5. 功率性能方法概述 .....	16
6. 性能試驗準備 .....	19
6.1 一般 .....	19
6.2 風力機及電氣連接 .....	19
6.3 試驗場 .....	19
7. 試驗設備 .....	21
7.1 電功率 .....	21
7.2 風速 .....	22
7.3 風向 .....	27
7.4 空氣密度 .....	27
7.5 轉速及旋角 .....	28
7.6 葉片狀態 .....	28
7.7 風力機控制系統 .....	28
7.8 資料擷取系統 .....	28
8. 量測程序 .....	28
8.1 一般 .....	28
8.2 風力機運轉 .....	29
8.3 資料收集 .....	29
8.4 資料剔除 .....	29
8.5 資料庫 .....	30
9. 推導結果 .....	30
9.1 資料正規化 .....	30
9.2 決定量測功率曲線 .....	35
9.3 年發電量(AEP) .....	36
9.4 功率係數 .....	37
10. 報告格式 .....	38
附錄 A (規定)障礙物評鑑 .....	45
附錄 B (規定)試驗場之地形評鑑 .....	46
附錄 C (規定)場地校正程序 .....	47

(共 139 頁)

附錄 D (規定)量測不確定度評估 .....	48
附錄 E (參考)利用區間法決定量測不確定度之理論基礎 .....	51
附錄 F (規定)風速計之風洞校正程序 .....	102
附錄 G (規定)儀器於氣象桿上之安裝 .....	103
附錄 H (規定)小型風力機功率性能試驗 .....	104
附錄 I (規定)杯型及音波風速計之分類 .....	109
附錄 J (規定)杯型及音波風速計之評鑑 .....	110
附錄 K (規定)風速計之現場比較 .....	111
附錄 L (規定)遙感技術之應用 .....	112
附錄 M (參考)依據擾流強度之功率曲線資料正規化 .....	117
附錄 N (參考)風向感測器之風洞校正程序 .....	127
附錄 O (參考)寒冷氣候下之功率性能試驗 .....	128
附錄 P (參考)風切正規化程序 .....	130
附錄 Q (參考)考慮風轉向之轉子等效風速定義 .....	132
附錄 R (參考)多台風力機試驗之不確定度之考量 .....	135
附錄 S (參考)電網氣象桿之氣象桿氣流畸變校正 .....	140
參考資料 .....	141

## 前言

本標準係依據 2022 年發行之第 3 版 IEC 61400-12-1，不變更其技術內容，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。CNS 15176-12-1:2012 已經廢止並由本標準取代。

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

本標準規定單一風力機功率性能特性之量測程序，並適用於連接至電力網路的所有類型及尺寸之風力機測試。此外，本標準亦定義用於決定小型風力機(依 IEC 61400-2 定義)連接至電力網路或蓄電池組時之功率性能特性程序。此程序可用於特定位置之特定風力機的性能評估，當考量場地特定條件及資料過濾之影響，同樣的方法亦可用於不同風力機模型或不同風力機設定之間進行通用性比較。

多台風力機功率性能試驗不確定度評鑑之相關考量參照附錄 R。

本標準定義 1 種量測方法，要求實測功率曲線，藉由評鑑不確定度來源與其組合效應以推導出電能量產出圖形。風力量測之不確定度來源依據相關風力量測設備標準中所述的程序進行評鑑，而功率曲線及年發電量之不確定度則依據本標準中的程序進行評鑑。

## 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 61400-12-2	風力發電系統－第 12-2 部：基於機艙風速量測之發電用風力機功率性能
CNS 61400-12-3	風力發電系統－第 12-3 部：功率性能－基於量測之場地校正
CNS 61400-12-5	風力發電系統－第 12-5 部：功率性能－障礙物與地形評鑑
ISO 2533:1975	Standard atmosphere
IEC 60688	Electrical measuring transducers for converting AC and DC electrical quantities to analogue or digital signals
IEC 61400-2	Wind turbines – Part 2: Small wind turbines
IEC 61400-50-1	Wind energy generation systems – Part 50-1: Wind measurement – Application of meteorological mast, nacelle and spinner mounted instruments
IEC 61400-50-2	Wind energy generation systems – Part 50-2: Wind measurement – Application of ground mounted remote sensing technology
IEC 61869-1	Instrument transformers – Part 1: General requirements
IEC 61869-2	Instrument transformers – Part 2: Additional requirements for current transformers
IEC 61869-3	Instrument transformers – Part 3: Additional requirements for inductive voltage transformers
ISO/IEC Guide 98-3:2008	Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement



### 3. 用語及定義

下列用語及定義適用於本標準。

#### 3.1 準確度(accuracy)

量測結果與量測量真值之間一致的接近程度。

#### 3.2 年發電量(annual energy production, AEP)

將實測功率曲線應用至輪轂高度之不同基準風速頻率分布，並假設 100 % 可取得頻率分布時，估算 1 年期間內 1 台風力機之總發電量。

#### 3.3 大氣穩定性(atmospheric stability)

風促進或抑制垂直混合的趨勢之度量。

備考：穩定大氣的特徵為相對於不穩定條件隨高度變化之高溫梯度、高風切、可能風轉向及低擾流。中性(neutral)及不穩定之大氣通常會造成較低溫度梯度及較低風切。

#### 3.4 複雜地形(complex terrain)

試驗場周圍的地形，其特點為地形之顯著變化及可能導致氣流畸變的地形障礙物。

#### 3.5 切入風速(cut-in wind speed)

風力機開始發電之最低風速。(能源局使用”啟動”/起斷風速審完刪)

#### 3.6 切出風速(cut-out wind speed)

風力機因高風速而脫離電網之風速。

#### 3.7 資料組(data set)

在連續期間內收集所取樣之資料。

#### 3.8 外插功率曲線(extrapolated power curve)

針對最大實測風速至切出風速之輸出功率進行估算，以延伸實測功率曲線。

#### 3.9 氣流畸變(flow distortion)

由障礙物、地形變化或其他風力機引起之氣流變化，其導致量測位置的風速與風力機位置之風速不同。

#### 3.10 輪轂高度(hub height)

風力機轉子掃掠面積中心在塔架底座以上之高度。

(12-2”塔架底座以上”有些風力機底座高度與地面高度不一致，”塔架底座以上”應該是”塔架底座處地面以上較為正確。參考 7.2.3 為定義地面高度，可估計氣象桿底座周圍 2 m 半徑或風力機底座周圍 5 m 半徑範圍內之平均高度  
<wind turbines> height of the centre of the swept area of the wind turbine rotor above the ground level at the tower base 審完刪)

備考：對於垂直軸風力機，輪轂高度定義為轉子掃掠面積形心在塔架地面以上之高度。

#### 3.11 最大功率(maximum power, $P_{60}$ )

小型風力機於正常穩態運轉時，所能產生之最大 1 min 平均輸出功率。

備考 1. 輸出功率瞬間峰值可能大於最大功率。

備考 2. 此定義僅適用於附錄 H 所提及之小型風力機。

### 3.12 實測功率曲線(measured power curve)

在明確定義之量測程序下進行量測，以圖表顯示風力機之實測、修正及正規化淨輸出功率，其為實測風速之函數。(61400 12-2 3.14..... 其為實測自由流風速之函數)。

### 3.13 量測期間(measurement period)

在該期間內已收集到針對功率性能試驗之具統計意義的資料庫。

### 3.14 量測扇形區域(measurement sector)

風向所形成之扇形區域，於實測功率曲線選用該區域之資料。

### 3.15 區間法(method of bins)

針對特定參數將試驗資料分組為若干個風速區間(bins)之資料減量程序。

備考 1. 區間法通常用於風速區間，亦適用於其他參數。

備考 2. 對於每個區間，記錄資料組或樣本之數目及其總和，並計算各區間內的平均參數數值。

### 3.16 淨有效電功率(net active electric power)

傳送至電力網路之風力機輸出電功率的量測值。

### 3.17 正常維護(normal maintenance)

任何依規定之定期維護計畫進行的干預行為，與正在進行之功率性能試驗無關，例：換油、清洗葉片(若到期，與功率性能試驗無關)，及定期維護計畫範圍以外之任何干預行為(例：修理失效之組件)，並非機器組態之改變。

### 3.18 障礙物(obstacle)

阻擋風力並產生氣流畸變之物體，如建築物或樹木。

### 3.19 旋角(pitch angle)

通過已定義之葉片徑向位置(通常為葉片半徑的 100%)之弦線，與轉子旋轉平面間之夾角。

### 3.20 功率係數(power coefficient)

風力機之淨電功率輸出與從轉子掃掠面積上風的自由流獲得功率之比。

### 3.21 功率性能(power performance)

量測風力機產生電功率及電能之能力。

### 3.22 額定功率(rated power)

通常由製造商針對組件、裝置或設備於特定運轉條件下指定之功率大小。

### 3.23 基準功率(reference power)

於 11 m/s 風速區間內之平均功率。

備考：此定義僅適用於附錄 H 提及之小型風力機。

### 3.24 轉子等效風速(rotor equivalent wind speed)

當考慮風速隨高度變化時，風速對應於通過轉子掃掠面積之動能通量。  
參照公式(5)。

### 3.25 特殊維護(special maintenance)

超出定期維護計畫範圍且非機器組態變更之干預行為，即於試驗期間為提高功率性能而進行之任何干預行為，例：計畫外之葉片清洗、更換任何重要組件。

### 3.26 標準不確定度(standard uncertainty)

以標準差表示之量測結果不確定度。

### 3.27 掃掠面積(swept area)

若為水平軸風力機，掃掠面積為移動轉子在垂直於轉動軸平面之投影面積。

備考：對於搖擺式轉子，宜假設轉子保持垂直於低速軸。對於垂直軸風力機，掃掠面積為移動轉子在垂直平面上之投影面積。

### 3.28 試驗場(test site)

風力機於試驗時之位置及其周圍區域。

### 3.29 量測不確定度(uncertainty in measurement)

與量測結果相關之參數，用來表示可合理歸因於量測量之離散程度。

### 3.30 風力量測設備(wind measurement equipment, WME)

安裝在氣象桿上之儀器或遙感裝置(remote sensing device, RSD)。

氣象桿或遙感裝置。(CNS 61400-12-3 3.16 定義有問題?審完刪)

### 3.31 風切(wind shear)

風速隨風力機轉子高度之變化。

### 3.32 風切指數(wind shear exponent, $\alpha$ )

定義風速隨高度變化之幕次律指數。

備考：此參數用作附錄 C 中場地校正之風切大小量測，亦可做其他應用。

幕次律公式為

$$v_{zi}=v_h\left(\frac{z_i}{H}\right)^\alpha \quad (1)$$

式中， $v_h$ ：輪轂高度風速(m/s)

$H$ ：輪轂高度(m)

$v_{zi}$ ：高度  $z_i$  之風速(m/s)

$\alpha$ ：風切指數

### 3.33 風轉向(wind veer)

風向隨風力機轉子高度之變化。

## 4. 符號、單位及縮寫

藍-2、橘-5 綠-6

符號或縮寫	說明	單位
$A$	風力機轉子掃掠面積	$m^2$
$A_i$	第 $i$ 個風力機轉子區段之面積	$m^2$
$A_w$	韋伯比例因數(Weibull scale factor)	$m/s$
AEP	年發電量	Wh
$B$	大氣壓力	Pa
$B_{10min}$	實測之 10 min 平均空氣壓力	Pa
$C_P$	恆定功率係數之假設	
$C_{P,i}$	區間 $i$ 之功率係數	
$C_{P,max}$	最大功率係數	
$c$	參數之靈敏度係數(偏微分)	
$c_{B,i}$	區間 $i$ 的空氣壓力之靈敏度係數	W/Pa
$c_{d,i}$	區間 $i$ 的資料擷取系統之靈敏度係數	
$c_{k,i}$	區間 $i$ 之第 $k$ 項靈敏度係數	
$c_{l,i}$	區間 $i$ 之第 $l$ 項靈敏度係數	
$c_{l,j}$	區間 $j$ 之第 $l$ 項靈敏度係數	
$c_{m,i}$	風速區間 $i$ ，於高度 $m$ 處之風速 $v_{eq}$ 靈敏度係數	
$c_{n,i}$	風速區間 $i$ ，於高度 $n$ 處之風速 $v_{eq}$ 靈敏度係數	
$c_{RH,i}$	區間 $i$ 的相對濕度之靈敏度係數	
$c_{T,i}$	區間 $i$ 的空氣溫度之靈敏度係數	W/K
$c_{V,i}$	區間 $i$ 的風速之靈敏度係數	Ws/m
$c_{\rho,i}$	區間 $i$ 的空氣密度修正之靈敏度係數	$Wm^3/kg$
$D$	轉子直徑	m
$D_e$	等效轉子直徑	m
$D_n$	鄰近且運轉中的風力機之轉子直徑	m
$d$	氣象桿直徑	m
$F(V)$	風速之瑞利(Rayleigh)累加機率分布函數	
$f_i$	風速間隔區間 $i$ ，風速相對發生率	
$f_r$	9.1.3.3 計算之風切修正因數	
$f_{r,MM}$	風切修正因數，使用安裝在氣象桿之儀器量測	
$f_{r,RSD}$	風切修正因數，使用遙感裝置量測	
$f_{r,X,i}$	風速區間 $i$ 之風切修正因數	

符號或縮寫	說明	單位
$f(v)$	10 min 時段之風速分布	
$H$	風力機輪轂高度	m
$h$	障礙物高度	m
$I_{ref}$	基準擾流強度(附錄 M)	
$i$	參考功率曲線區間平均之風速區間	
$k$	等級數字	
$k$	韋伯形狀因數(Weibull shape factor)	
$L$	風力機與風力量測設備間之距離	
$L_e$	風力機或風力量測設備與障礙物間之距離	m
$L_n$	風力機或風力量測設備與鄰近且運轉中風力機間之距離	m
$M$	各區間之不確定度項數目	
$M_A$	A 類不確定度項之數目	
$M_B$	B 類不確定度項之數目	
$N$	區間數目	
$N_h$	1 年之小時數，約 8,760 h	h
$N_i$	風速區間 $i$ 的 10 min 資料組數目	
$n$	可用量測高度數目 ( $n \geq 3$ )	
$n_h$	可用量測高度數目	
$P_o$	障礙物孔隙度(0：實心，1：無障礙物)	
$P_i$	區間 $i$ 正規化之平均輸出功率	W
$P_{I=0}(v)$	零擾流功率曲線	
$P_{kin}$	風於轉子高度範圍內之動能	
$P_n$	正規化之輸出功率	W
$P_{n,i,j}$	區間 $i$ 的資料組 $j$ 正規化之輸出功率	W
$P_{rated}$	額定功率	
$P_{sim}(v)$	模擬實測之 10 min 平均輸出功率	
$P_w$	水蒸氣壓	Pa
$P_{10min}$	實測之 10 min 平均功率	W
$P_{60}$	最大 1 min 平均輸出功率	
$\overline{P}(v)$	實測之 10 min 平均輸出功率	

符號或縮寫	說明	單位
$\overline{P_{\text{sim},i}(v)}$	依據上述條件(a)模擬實測之 10 min 平均輸出功率：公式(M.1)適用於實測風速分布	
$\overline{P_{\text{sim},i,\text{ref}}(v)}$	依據上述條件(b)模擬實測之 10 min 平均輸出功率：假設高斯風速分布，將公式(M.1)應用於實測平均風速及基準擾流強度 $I_{\text{ref}}$	
$R$	轉子半徑	m
$R_0$	乾燥空氣之氣體常數(=287.05)	J/(kg·K)
$R_d$	距氣象桿中心之距離	m
REWS	轉子等效風速(rotor equivalent wind speed, REWS)	
$R_w$	水蒸氣之氣體常數(=461.5)	J/(kg·K)
RSD	遙感裝置	
$r$	相關係數	
$s$	A 類標準不確定度項	W
$s_{k,i}$	區間 i 第 k 項之 A 類標準不確定度	W
$s_i$	區間 i 的 A 類組合不確定度	W
$s_{P,i}$	區間 i 的功率之 A 類標準不確定度	W
$s_{sc}$	場地校正之 A 類標準不確定度	m/s
$s_{sc,i}$	區間 i 的場地校正之 A 類標準不確定度	m/s
$T$	絕對溫度	K
$T_i$	區間 i 之平均溫度	
$T_{10\text{min}}$	實測之 10 min 平均空氣絕對溫度	K
$t$	時間	s
$U$	風速	m/s
$U_i$	區間 i 之風速	m/s
$u$	B 類標準不確定度項	
$u_{\text{AEP}}$	估算之 AEP 組合標準不確定度	Wh
$u_{\text{AD},i}$	區間 i 與空氣密度相關之不確定度	
$u_{\text{AD},\text{method},i}$	區間 i 與空氣密度修正相關之不確定度	
$u_{\text{B},i}$	區間 i 的空氣壓力之 B 類標準不確定度	Pa
$u_{\text{B},\text{cal},i}$	區間 i 與壓力感測器校正相關之不確定度	Pa
$u_{\text{B},\text{mnt},i}$	區間 i 與壓力感測器安裝相關之不確定度	Pa
$u_{c,i}$	區間 i 的功率之組合標準不確定度	W

符號或縮寫	說明	單位
$u_{d,i}$	區間 i，某一量測通道全範圍之資料擷取系統標準不確定度	
$u_{d,SA,i}$	區間 i，因系統準確度引起之不確定度	
$u_{d,SC,i}$	區間 i，因訊號調適引起之不確定度	
$u_{d,ST,i}$	區間 i，因訊號傳輸引起之不確定度	
$u_{d,VT,i}$	區間 i，依據 IEC 61400-50-1 與風速感測器訊號資料擷取相關之不確定度	
$u_{dVS,i}$	區間 i 與風速訊號資料擷取相關之不確定度	
$u_{dB,i}$	區間 i 與壓力感測器訊號資料擷取相關之不確定度	Pa
$u_{dP,i}$	區間 i 與功率訊號資料擷取相關之不確定度項	
$u_{dRH,i}$	區間 i 與濕度感測器訊號資料擷取相關之不確定度	%
$u_{dT,i}$	區間 i 與溫度感測器訊號資料擷取相關之不確定度	°C
$u_{dWV,i}$	區間 i 與風向感測器(風向標或音波風速計)訊號資料擷取相關之不確定度	
$u_{dWR,i}$	區間 i 與風向感測器(遙感裝置)訊號資料擷取相關之不確定度	
$u_i$	區間 i 之 B 類組合不確定度	
$u_{f,x,i}$	風速區間 i， $f_{r,x,i}$ 之標準不確定度	
$u_{k,i}$	區間 i 第 k 項之 B 類標準不確定度	
$u_{l,i}$	區間 i 第 l 項之標準不確定度	
$u_{l,j}$	區間 j 第 l 項之標準不確定度	
$u_{M,i}$	區間 i 與應用方法相關之不確定度	
$u_{M,cc,i}$	區間 i 與寒冷氣候中量測相關之不確定度	
$u_{M,shear,i}$	區間 i 與整個轉子風切缺失資訊相關之不確定度	
$u_{M,sfx,i}$	區間 i 與風力機因季節性效應而無法量化相關之不確定度	
$u_{M,ti,i}$	當區間 i 無輪轂高度氣象桿風速訊號可用時，與擾流資訊缺失相關之不確定度	
$u_{M,tinorm,i}$	區間 i 與擾流正規化相關之不確定度	
$u_{M,upflow,i}$	區間 i 與整個轉子上升氣流缺失資訊相關之不確定度	
$u_{M,veer,i}$	區間 i 與整個轉子風轉向缺失資訊相關之不確定度	
$u_{P,i}$	區間 i 的功率之 B 類標準不確定度	W
$u_{P,CT,i}$	區間 i 因比流器引起之不確定度項	

符號或縮寫	說明	單位
$u_{P,PT,i}$	區間 i 因功率傳感器引起之不確定度項	
$u_{P,VT,i}$	區間 i 因比壓器引起之不確定度項	
$u_{REWS,i}$	區間 i，REWS 之不確定度	
$u_{REWS,hear,i}$	區間 i 基於多風速量測 REWS 之 REWS 風速不確定度	
$u_{REWS,veer,i}$	區間 i 與 REWS 轉向影響相關之不確定度	
$u_{RH,i}$	區間 i 的相對濕度之 B 類標準不確定度	
$u_{RH,cal,i}$	區間 i 與濕度感測器校正相關之不確定度	%
$u_{RH,mnt,i}$	區間 i 與濕度感測器安裝相關之不確定度	%
$u_{T,i}$	區間 i 的空氣溫度之 B 類標準不確定度	K
$u_{T,cal,i}$	溫度感測器區間 i 之不確定度項	°C
$u_{T,mnt,i}$	區間 i 與溫度感測器安裝相關之不確定度	°C
$u_{T,shield,i}$	區間 i 與溫度感測器輻射屏蔽相關之不確定度	°C
$u_{V,i}$	區間 i 的風速之 B 類標準不確定度	m/s
$u_{v_h,i}$	風速區間 i， $v_{h,i}$ 之標準不確定度	
$u_{v_{eq,final,i}}$	區間 i，最終轉子等效風速之標準不確定度	
$u_{v_{eq,k,i}}$	風速區間 i， $v_{eq}$ 之第 k 子項標準不確定度	
$u_{v_{eq,l,i}}$	風速區間 i， $v_{eq}$ 之第 l 子項標準不確定度	
$u_{v_{eq,X,i}}$	區間 i， $v_{eq,X,i}$ 之標準不確定度	
$u_{v_{eq,X,k,i}}$	區間 i，遙感裝置量測轉子等效風速之第 k 項標準不確定度，依公式(E.32)進行分析	
$u_{VHW,i}$	區間 i 所使用硬體之不確定度，且為 $u_{VS,i}$ 、 $u_{VR,i}$ 或 $u_{REWS,i}$ 之一	
$u_{v_{h,X,i}}$	區間 i， $v_{h,X,i}$ 之標準不確定度	
$u_{v_{h,X,k,i}}$	區間 i，使用遙感裝置量測之輪轂高度風速的第 k 項標準不確定度	
$u_{v_M,i}$	區間 i 與應用方法相關之不確定度	
$u_{v_{m,k,i}}$	風速區間 i，於高度 m 處風速量測之第 k 子項標準不確定度	
$u_{v_{n,k,i}}$	風速區間 i，於高度 n 處風速量測之第 k 子項標準不確定度	
$u_{VR,i}$	從 RSD 風速量測之不確定度	
$u_{VR,class}$	區間 i 與 RSD 分類相關之不確定度	



符號或縮寫	說明	單位
$u_{VR,class,i}$	與 RSD 分類(依據 IEC 61400-50-2)相關之不確定度	
$u_{VR,flow,i}$	區間 i 與 RSD 量測體積內氣流變化相關之不確定度	
$u_{VR,isc,i}$	區間 i 因現場試驗引起之不確定度	
$u_{VR,mnt,i}$	區間 i 與 RSD 安裝相關之不確定度	
$u_{VR,mon,i}$	區間 i 與 RSD 監測相關之不確定度	
$u_{VR,ver,i}$	區間 i 因查證試驗引起之不確定度	
$u_{VREWS,i}$	區間 i 轉子等效風速(REWS)之不確定度	
$u_{VREWS,shear,i}$	區間 i 因轉子上之風切量測對 REWS 影響而產生的不確定度	
$u_{VREWS,veer,i}$	區間 i 與 RSD 分類相關之不確定度	
$u_{VS}$	與風速(杯型或音波風速計)相關之不確定度	
$u_{VS,class,i}$	區間 i 與感測器分類相關之不確定度	
$u_{VS,lgt,i}$	區間 i 與來自避雷針尖端氣流畸變相關之不確定度	
$u_{VS,mnt,i}$	區間 i 與感測器安裝相關之不確定度	
$u_{VS,postcal,i}$	區間 i 與地形氣流畸變相關之不確定度 (原文錯?與感測器後校正區間 i 相關之不確定度)	
$u_{VS,precal,i}$	區間 i 所使用硬體之不確定度,且為 $u_{VS,i}$ 、 $u_{VR,i}$ 或 $u_{REWS,i}$ 之一 (原文錯?與感測器前校正區間 i 相關之不確定度)	
$u_{VT,i}$	區間 i 與地形氣流畸變相關之不確定度	
$u_{VT,class,i}$	與場地校正(依據 IEC 61400-50-1)感測器分類相關之不確定度	
$u_{VT,coc,i}$	與試驗前感測器校正(依據 CNS 61400-12-3)相關之不確定度	
$u_{VT,coc,i,j}$	與區間之間修正值變化相關之不確定度	
$u_{VT,lgt,i}$	區間 i 與可能頂部安裝避雷針相關之不確定度	
$u_{VT,mnt,i}$	區間 i 與感測器安裝相關之不確定度	
$u_{VT,precal,i}$	區間 i 與試驗前感測器校正相關之不確定度	
$u_{VT,postcal,i}$	區間 i 於現場校正期間及/或之後,與感測器現場校正(附錄 K)及/或後校正(IEC 61400-50-1)相關之不確定度	
$u_{VT,rmv,i}$	區間 i 與場地校正與功率性能試驗間移除風向感測器相關之不確定度	
$u_{VT,sv,i}$	區間 i 與場地校正與功率性能試驗間季節性變化相關之不確定度	
$u_{v,X,k,i}$	區間 i, $v_{h,X,i}$ 或 $v_{eq,X,i}$ 之第 k 項標準不確定度	

符號或縮寫	說明	單位
$u_{WR,i}$	區間 i 與 RSD 風向量測相關之不確定度	
$u_{WR,align,i}$	區間 i 與 RSD 對準相關之不確定度	
$u_{WR,fv,i}$	區間 i 與不同探測體積中氣流變化相關之不確定度	
$u_{WR,class,i}$	區間 i 與 RSD 分類相關之不確定度	
$u_{WR,mda,i}$	區間 i 與磁偏角相關之不確定度	
$u_{WR,mon,i}$	區間 i 與 RSD 裝置風向監測訊號之現場監測相關之不確定度	
$u_{WR,ver,i}$	區間 i 與 RSD 查證試驗相關之不確定度	
$u_{WV,i}$	區間 i 與安裝在氣象桿上之風向感測器(風向標或音波風速計)風向量測的相關不確定度	
$u_{WV,bo,i}$	區間 i 與風向感測器安裝懸臂方位相關之不確定度	
$u_{WV,cal,i}$	區間 i 與風向感測器校正相關之不確定度	
$u_{WV,mda,i}$	區間 i 與磁偏角相關之不確定度	
$u_{WV,nm,i}$	區間 i 與風向感測器北標相關之不確定度	
$u_{WV,oe,i}$	區間 i 與氣象桿對量測點自由流風向影響相關之不確定度	
$V$	風速	m/s
$V_{ave}$	輪轂高度之年平均風速	m/s
$V_i$	區間 i 正規化之平均風速	m/s
$V_{eq}$	實測等效風速	
$V_n$	正規化之風速	m/s
$V_{10min}$	實測之 10 min 平均風速	m/s
$v$	橫向風速分量	m/s
$\bar{v}$	平均氣流空氣速率	m/s
$v_{eq}$	實測等效風速	m/s
$v_{eq,final}$	最終轉子等效風速	m/s
$v_{eq,i}$	區間 i 之等效風速	
$v_{eq,MM}$	基於氣象桿量測之等效風速	m/s
$v_{eq,RSD}$	基於遙感裝置量測之等效風速	m/s
$v_{eq,X,i}$	區間 i, 使用遙感裝置量測之轉子等效風速	
$v_h$	輪轂高度風速	m/s
$v_{h,i}$	區間 i, 輪轂高度風速	

符號或縮寫	說明	單位
$v_{h,i}$	使用杯型或音波風速計，於區間 $i$ 輪轂高度處量測之風速	
$v_{h,MM}$	輪轂高度處，使用氣象桿量測之風速	m/s
$v_{hn}$	特定風切剖面，正規化之輪轂高度風速	m/s
$v_{h,RSD}$	輪轂高度處，使用遙感裝置量測之風速	m/s
$v_{h,X,i}$	區間 $i$ ，使用遙感裝置量測之風速	
$v_i$	高度區間 $i$ 量測之風速	m/s
$v_{m,i}$	風速區間 $i$ 於高度 $m$ 之風速	
$v_{rated}$	額定風速	
$v_{zi}$	於高度 $z_i$ 之風速	m/s
WME	風力量測設備(wind measurement equipment)	
$w$	垂直風速分量	m/s
$w_i$	定義偏差包絡之加權函數	
$z$	離地高度	m
$z_i$	第 $i$ 個風力機轉子區段之高度	m
$z_m$	連續量測高度之風速量測	m
$\alpha$	來自冪次律之風切指數	°(度)
$\kappa$	馮卡門常數(von Karman constant)(=0.4)	
$\rho$	空氣密度	kg/m <sup>3</sup>
$\rho_i$	區間 $i$ 之平均空氣密度	
$\rho_{k,l,i}$	風速區間 $i$ ，第 $k$ 項不確定度於高度 $m$ 與 $n$ 間之相關係數 (這個定義沒有 $l$ 項，有問題?這個定義應該是 $\rho_{m,n,k,i}$ )(下面第二個) 風速區間 $i$ ，第 $k$ 項與第 $l$ 項不確定度間之相關係數	
$\rho_{k,l,i,j}$	區間 $i$ 第 $k$ 項不確定度與區間 $j$ 第 $l$ 項不確定度間之相關係數	
$\rho_{m,n,k,i}$	風速區間 $i$ ，第 $k$ 項不確定度於高度 $m$ 與 $n$ 間之相關係數	
$\rho_{u_{v_{eq,X}}u_{v_{h,X}}^i}$	區間 $i$ ，不確定度項 $u_{v_{eq,X,i}}$ 與 $u_{v_{h,X,i}}$ 間之相關係數	
$\rho_{u_{v_{eq,X}}u_{v_{h,X}}^{k,i}}$	區間 $i$ ，標準不確定度項 $u_{v_{eq,X,k,i}}$ 與 $u_{v_{h,X,k,i}}$ 間之相關係數	
$\rho_0$	基準空氣密度	kg/m <sup>3</sup>

符號或縮寫	說明	單位
$\rho_{10\text{min}}$	推導之 10 min 平均空氣密度	$\text{kg/m}^3$
$\sigma$	標準不確定度	
$\sigma_{P,i}$	區間 i 的正規化功率資料之標準差	W
$\sigma_{10\text{min}}$	參數 10 min 平均之標準差	
$\Phi$	相對濕度(範圍 0 % 至 100 %)	
$\Phi_i$	區間 i 之平均相對濕度(範圍 0 % 至 100 %)	
$\Phi_{m,i}$	風速區間 i，第 m 高度之風向相對於輪轂高度的風向	
$\varphi_i$	輪轂高度風向與第 i 區段風向之角度差	

### 5. 功率性能方法概述

在大氣穩定性條件下，風切及風轉向可能會隨著大型風力機轉子高度變化而顯著變化，而此等亦取決於場地之地形。極端大氣穩定性條件之發生為 1 個特定場地議題，若在功率性能試驗期間發生此等狀況，功率曲線可能會發生顯著之變化。本標準使用的功率性能量測法乃基於功率曲線之定義，該功率曲線表示產生之功率對風速的關係，此有效地代表風流過轉子掃掠面積之動能通量。

動能通量(指某一時間點或時間時段，通常為 10 min，假設垂直取得面積在此時間內風速無變化)，一般表示為：

$$P_{\text{kin}} = \int_A \frac{1}{2} \rho V^3 dA \quad (2)$$

備考 1. 若風速在某一時間時段期間變化(即若擾流強度大於 0)，動能(此時間時段內之平均)高於恆定風速的情況，風力機將此額外動能轉換為額外電功率之可能性有限，此處不再進一步考慮此議題。為簡化，即使在擾流強度大於 0 情況下，公式(2)、公式(3)及公式(4)在此亦視為有效。風速變化對時間平均動能及對風力機功率曲線之相關影響，依附錄 M 中擾流正規化程序進行處理。

於此，風速  $V$  為水平風速，量測點於轉子面積上方空間。

備考 2. 對於單點輪轂高度風速量測，風力機功率與水平風速定義的相關性似乎比與向量風速定義之相關性為佳。

水平風速定義為瞬時風速向量水平分量之平均量，僅包括縱向及側向(不包括垂直)分量。當考慮水平軸風力機時，亦需考慮風轉向，並依據輪轂高度之風向修正風中動能：

$$P_{\text{kin}} = \int_A \frac{1}{2} \rho (V \cos(\varphi - \varphi_{\text{hub}}))^3 dA \quad (3)$$

式中， $\varphi_{\text{hub}}$  為輪轂高度處之風向。在極端大氣穩定性條件下，風轉向可能隨著大型

風力機轉子高度之變化而顯著變化，此亦取決於場地之地形。

在本標準中，不考慮水平面上之風切及風轉向。故由公式(3)動能表達公式推導出風中動能對應之能量等效風速，一般表示為：

$$V_{eq} = \left( \frac{1}{A} \int_{A_i} (V_i \cos(\varphi_i - \varphi_{hub}))^3 dA_i \right)^{\frac{1}{3}} \quad (4)$$

式中，i 指轉子面積內之高度

備考 3. 然而，當本標準中提到風速時，除特別聲明係指能量等效風速定義外，通常係指輪轂高度風速定義。

儘管水平風速視為影響風速之參數，但於具顯著非水平氣流(上升氣流或下降氣流)之場地，水平風速之量測及風力機之響應均存在附加不確定度。

在整個轉子上具低且均勻風切及風轉向的場地(及對於可能在更複雜風流條件下之小轉子直徑風力機)，於輪轂高度處量測之風速可很好地代表轉子可取得之動能。輪轂高度風速在先前版本中定義為功率曲線風速。為此，即使在整個轉子高度可利用更全面之風速量測，但在輪轂高度量測風速為風速之預設定義，應始終進行量測及報告。

在預期極端大氣穩定性條件頻繁出現之場地及季節，建議量測風切。

若未在整個轉子高度上量測風切及風轉向時，則等效風速會增加不確定度。隨著使用更多風速及風向量測高度，此不確定度會降低。若量測僅限於輪轂高度，且未完整量測轉子風切最顯著部位，則此意味著決定等效風速時會存在不確定度。對於小型風力機，當風切及風轉向影響不顯著時，風速應僅以輪轂高度量測之風速代表，不會因欠缺風切及風轉向量測而增加不確定度。

備考 4. 小型風力機，參照 IEC 61400-2。

對於垂直軸風力機，當不存在風轉向影響時，應忽略風轉向。

若試驗風力機或風力量測位置位於任何風力機尾流中時，試驗風力機及風力量測位置之風況可能會顯著不同，試驗應排除此等狀況。

空氣密度  $\rho$  亦會隨著大型風力機轉子高度而變化，然而，此等變化小。對於功率性能量測法實際實施時，僅定義及決定輪轂高度處之空氣密度即足夠。將功率曲線正規化至量測期間量測場地之平均空氣密度或至預先定義之基準空氣密度。

功率曲線亦會受試驗場擾流之影響，且於整個轉子上之擾流可能會有所不同。在本標準中，僅考慮輪轂高度之場地擾流。高擾流會增加於切入及於標稱功率功率調節開始時之功率曲線曲率半徑，而低擾流將使功率曲線轉彎處變得更尖銳。應量測場地擾流並呈現，以作為功率曲線之補充。若需要，可使用附錄 M 的方法對指定之擾流進行正規化。

總之，依據本標準之功率曲線為特定氣候的功率曲線，其中：

- (a) 空間某一點之風速定義為水平風速。
- (b) 功率曲線的風速定義為輪轂高度之風速。考慮垂直風切及風轉向時，此定義可

利用公式(4)定義之等效風速進行補充。

備考 5.對於垂直軸風力機，公式(3)省略風向(設定  $\varphi_i = \varphi_{hub}$ )。

(c) 於輪轂高度量測空氣密度，並將功率曲線正規化至量測期間的場地平均空氣密度或至預先定義之基準空氣密度。

(d) 於輪轂高度量測擾流，並以無擾流正規化呈現功率曲線。

(e) 功率曲線可正規化至更廣泛之氣候條件(例：特定空氣密度、擾流強度、垂直風切及轉向)。

備考 6.功率曲線正規化僅對實際場地條件之氣候條件有限範圍有效。

在本標準中，所有需要之量測、校正、分類、資料修正、資料正規化及不確定度決定的程序均在本標準中提供或參照相關風力量測標準。然而，若未充分量測所有參數，則會因欠缺量測而應加上不確定度。例：此適用於僅使用輪轂高度風速感測器量測大型風力機之功率曲線，在此情況下，應對風切及風轉向之可變性加上不確定度。

藉由使用本標準量測所有要求參數並使用所有相關程序可獲得最佳結果。然而，若無法做到，則量測設定及使用程序可選擇表 1 說明之選項，選項涉及風力量測設備之使用、應用之正規化及與附加不確定度連結至欠缺之量測。

表 1 符合本標準要求之功率曲線量測的風力量測組態概述

風力量測組態	1. 於輪轂高度之氣象桿及全高度遙感	2. 於輪轂高度下方之氣象桿及全高度遙感	3. 於輪轂高度上方之氣象桿	4. 於輪轂高度之氣象桿
典型應用	於平坦地形之大型風力機 <sup>(a)</sup> (參照附錄 B)		於各種地形之大型及小型風力機	
風力量測感測器	杯型風速計及音波風速計：IEC 61400-50-1 遙感：IEC 61400-50-2		杯型風速計及音波風速計：IEC 61400-50-1	
決定特定氣候功率曲線之正規化程序	空氣密度及風切：9.1.5 及 9.1.3.4			空氣密度：9.1.5
因欠缺風切量測而產生之附加不確定度	無取決於涵蓋量測高度範圍之附加不確定度：E.11.2.2			大型風力機因欠缺垂直風切量測而產生之顯著不確定度：E.11.2.2
選擇性正規化程序 <sup>(b)</sup>	擾流、風轉向及上升氣流角度：9.1.6 及 9.1.4		擾流、風轉向及上升氣流角度：9.1.6 及 9.1.4 氣象桿氣流畸變：9.1.2 場地校正：附錄 C	擾流及上升氣流角度：9.1.6 及 9.1.4 場地校正：附錄 C
註 <sup>(a)</sup> 大型及小型風力機定義參照 IEC 61400-2。 註 <sup>(b)</sup> 上升氣流會影響功率曲線，可使用 3D 音波風速計或上升氣流風向標進行量測。若應用上升氣流角度正規化，則宜記錄方法(附錄 E 考慮上升氣流之不確定度)。然而，本標準並無說明如何正規化上升氣流角度之特定程序。				

## 6. 性能試驗準備

### 6.1 一般

與風力機功率性能量測相關之特定試驗條件，應明確定義並記錄於試驗報告中，參照第 10 節。

### 6.2 風力機及電氣連接

如第 10 節所述，應說明及記錄風力機與電氣連接，以唯一地識別受試驗之特定機器組態。

### 6.3 試驗場

#### 6.3.1 一般

應於試驗場風力機附近設置風力量測設備，以決定驅動風力機之風速。

場地之風切及大氣穩定特性會對風力量測及風力機之實際功率性能產生顯著影響。通常存在晝夜循環之大氣穩定性，穩定之大氣於夜間形成，而白天由於太

陽加熱地面而形成中性或不穩定之大氣，增加擾流及邊界層之混合。風切、風轉向及擾流均為大氣穩定性之函數，會影響輪轂高度風速與轉子等效風速間之關係，而異常之剖面會影響風力機的能量轉換。此外，儘管風速量測位置的風速與風力機之風速兩者相關，但氣流畸變效應會導致風速量測位置的風速與風力機之風速不同。

應評鑑試驗場之氣流畸變來源，以便：

- (a) 選擇風力量測設備位置。
- (b) 定義 1 個適當之量測扇形區域。
- (c) 決定是否需要場地校正，然後依據附錄 C 藉由量測決定適當之氣流修正。
- (d) 評估因氣流畸變所引起之不確定度。

應特別考慮下列因素：

- (a) 地形變化及粗糙度。
- (b) 其他風力機。
- (c) 障礙物(建築物、樹木等)。

試驗場應依據第 10 節進行記錄。

### 6.3.2 風力量測設備位置

謹慎選擇風力量測設備位置。風力量測設備不應距離風力機太近，否則會影響風力機前方之風速，亦不應距離風力機太遠，因為風速與電功率輸出間之相關性會降低。風速量測儀器與風力機間之距離應為風力機轉子直徑  $D$  的 2 倍至 4 倍。建議距離為轉子直徑  $D$  之 2.5 倍。垂直軸風力機，參照 H.3。

在進行功率性能試驗之前及選擇風力量測設備位置時，宜考慮排除風力量測設備或風力機會受氣流擾動之所有扇形區域的量測要求，故宜選擇風力量測設備位置以確保保留有效扇形區域。

在大多數情況下，風力量測設備最佳位置是位於風力機之上風處，即試驗期間預期最有效風來的方向。然而，在其他情況，將風力量測設備置於風力機旁邊可能更合適，因為風條件將更加相似，例：位於山脊上之風力機。

### 6.3.3 量測扇形區域

從受測風力機及風力量測設備觀點，量測扇形區域應排除具明顯障礙物及其他風力機之方向。

對於所有鄰近之風力機及顯著障礙物，應使用 CNS 61400-12-5 中之程序，決定因尾流效應而應排除之方向。由於風力量測設備位於受測風力機尾流中而需排除之受干擾扇形區域如圖 1 所示，距離為  $2D$ 、 $2.5D$  及  $4D$ 。減少量測扇形區域之原因可能是特殊地形條件或來自具複雜結構方向之非期望量測資料。應清楚記錄減少量測扇形區域之所有原因。



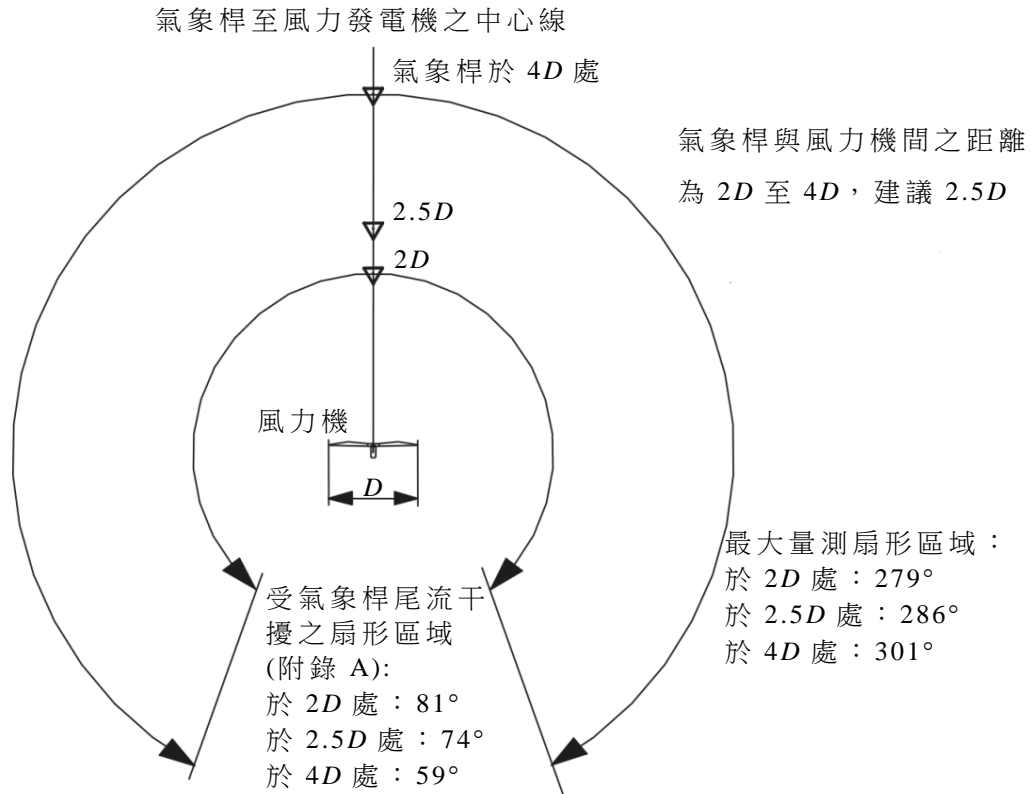


圖 1 至風力量測設備距離及最大允許量測扇形區域之要求

#### 6.3.4 因地形氣流畸變之修正因數及不確定度

應評鑑試驗場因地形變化而導致之氣流畸變來源。附錄 B 中之評鑑應識別是否可在不進行場地校正情況下量測功率曲線。若符合附錄 B 準則，則該場地之風氣流狀態無需進行場地校正。然而，假設無需進行氣流修正，若風力量測設備位於距風力機 2 至 3 倍轉子直徑位置，則因試驗場氣流畸變而產生之不確定度應至少為實測風速之 2 %。若距離為轉子直徑之 3 至 4 倍，則不確定度為 3 % 或更大，除非可提供量化之不同不確定度的客觀證據。

備考：此等不確定度推導自符合附錄 B 地形要求之高斯丘陵(Gaussian hill)的風力圖分析與應用程式 [Wind Atlas Analysis and Application Program (WAsP)，DTU 風能] 分析。

若未符合附錄 B 之準則，或希望因試驗場之氣流畸變產生較小之不確定度，則應依附錄 C 進行試驗性場地校正。每一個扇形區域均應使用實測氣流修正因數。

### 7. 試驗設備

#### 7.1 電功率

應使用功率量測裝置(例：功率傳感器)及依各相之電流與電壓量測值，來量測風力機之淨電功率。

比流器的等級應符合 IEC 61869-2 之要求，若使用比壓器，其等級應符合 IEC 61869-3 之要求。比流器及比壓器應為等級 0.5 或更優。

功率量測裝置若為功率傳感器，其準確度應符合 IEC 60688 之要求，其應為等級 0.5 或更優。若功率量測裝置並非功率傳感器，則該裝置精確度宜等同於等級 0.5 之功率傳感器。應將功率量測裝置之操作範圍設定為可量測風力機所產生的所有正負瞬間功率峰值。對於兆瓦級主動控制調節風力機，建議宜選用風力機額定輸出功率之 -25 % 至 +125 % 作為全距範圍。在其他情況下，可能需要更高之範圍。此應依具體情況進行檢查。在量測過程中，應定期審查所有量測資料，以確保受測資料不超過功率量測裝置之操作範圍。功率傳感器應校正至可追溯之標準。功率量測裝置應安裝於風力機與電力接點之間，以確保僅量測到淨有效電功率(即自我損耗降低)。應說明所執行之量測係在變壓器的風力機側或電網側。

## 7.2 風速

### 7.2.1 一般

僅在輪轂高度(hub height, HH)量測之風速是預設風速定義，且應始終使用。此可視為轉子等效風速之極限情況，其中僅有 1 個量測高度，且因欠缺量測風切或風轉向剖面而存在額外之不確定度(參照 E.11.2.2)。建議量測輪轂高度風速輔以量測轉子下半部之風切，以減少風速之不確定度。為進一步降低風速不確定度，宜使用轉子等效風速(REWS)(參照 9.1.3.2 及附錄 Q)作為功率曲線之風速輸入變量。

表 2 總結風速量測組態，其中考慮每 1 種量測技術相對於地形複雜性分類之當前限制。假設遙感裝置掃描體積內水平氣流均勻，此假設限制此技術應用於非複雜地形條件下之功率性能試驗，故僅應應用於表 2 之組態。

表 2 風速量測組態(X 表示允許之組態)

風速量測	HH	HH	REWS	REWS
地形類型	非複雜	複雜	非複雜	複雜
輪轂高度氣象桿	X	X		
輪轂高度氣象桿+RSD	X	X	X	
RSD+非輪轂高度氣象桿	X		X	
氣象桿涵蓋高於 HH + 2/3 R 之高度	X	X	X	X

不同可能之感測器組態包括氣象桿頂部安裝式及側面安裝式風速計(參照 IEC 61400-50-1)及遙感裝置(參照 IEC 61400-50-2)。此等提供輪轂高度風速、轉子等效風速及風切剖面之量測。IEC 61400-50-1 說明氣象桿頂部安裝式及側面安裝杯型風速計及音波風速計風力量測之一般通用要求及程序。IEC 61400-50-2 說明遙感風力量測之一般通用要求及程序。

### 7.2.2 氣象桿安裝風速計之一般要求

下列要求適用於所有 IEC 61400-50-1 所述之杯型風速計及音波風速計應用。用於功率性能試驗之風速計配置應包括輪轂高度主風速計及控制風速計。杯型風速計及音波風速計應符合附錄 I 及 IEC 61400-50-1 要求。對於功率性能量測，應使用等級優於 1.7A 或 1.7C 之風速計。此外，在需要場地校正之地形中，建議使用比 2.5B、2.5D 或 1.7S 更好之等級。有關等級分類，參照附錄 I、附錄 J 及 IEC 61400-50-1。

風速計應在量測活動前，依據附錄 F 及 IEC 61400-50-1 進行校正，若要求，在量測活動後再次校正(後校正)。在整個量測期間為保持其校正有效性，要求檢查風速計並記錄。此可藉由將初始校正結果與後校正結果進行比較，或亦可依據附錄 K 及 IEC 61400-50-1 之程序進行現場風速計比較。

當進行後校正，校正與後校正迴歸線間之差異，在 4 m/s 至 12 m/s 範圍應於  $\pm 0.1$  m/s 以內。僅量測活動前之校正始能用於性能試驗。風速計校正應依據附錄 F 及 IEC 61400-50-1 中之程序進行。若校正與校正後迴歸線間之最大差異，在 4 m/s 至 12 m/s 範圍超出  $\pm 0.1$  m/s，則風速計校正之標準不確定度  $u_{VS,precal,i}$  應增加(至少為最大差值，但不超過  $\pm 0.2$  m/s)。若差異大於  $\pm 0.2$  m/s，則應使用附錄 K 及 IEC 61400-50-1 所述之現場風速計比較，以識別資料產生偏差之時間點及剔除隨後偏差之資料。若現場試驗無法決定偏差開始點，則增加後校正差異作為不確定度。

替代方案為應使用附錄 K 及 IEC 61400-50-1 所述之現場校正程序，檢查整個量測期間風速計之完整性。在此程序中，控制風速計用於監測主風速計。當使用杯型風速計作為主風速計時，則可使用杯型風速計或音波風速計作為控制風速計。若使用音波風速計作為主風速計，則控制風速計應為杯型風速計。當 REWS 推導出之功率曲線是來自高於輪轂高度的氣象桿量測，則應於氣象桿輪轂高度安裝控制風速計及 1 個側面安裝式主風速計，以符合附錄 G 及 IEC 61400-50-1 安裝要求。

風速量測之不確定度推導源自於 IEC 61400-50-1 中規定的多個不確定度來源。具體而言，應自 IEC 61400-50-1 推導出所有校正不確定度、運轉特性(風速計分類)引起之不確定度及安裝效應引起之不確定度。

### 7.2.3 頂部安裝式風速計

若使用頂部安裝式風速計進行風速量測，則適用 IEC 61400-50-1 中有關安裝之要求。安裝感測器之離地高度應藉由量測進行查證，並記錄量測方法及其標準不確定度。為定義地面高度，可估算氣象桿底座周圍 2 m 半徑或風力機底座周圍 5 m 半徑範圍內之平均高度。感測器高度量測之不確定度宜排除地面高度估算之不確定度。對於離岸狀態，地面高度應考慮為平均海平面高度。

備考：可藉由具可追溯校正之量測裝置進行高度量測，例：能藉由於垂直平面角度量測推導出高度之經緯儀。

風速感測器高度量測之標準不確定度高於估算地面高度之標準不確定度之量應小於或等於 0.2 m。控制風速計安裝應依據 IEC 61400-50-1 要求。若具避雷針且符合 IEC 61400-50-1 關於與頂部安裝式風速計相隔距離及尾流干擾要求時，則無需考慮因避雷針尖端氣流畸變而產生之附加不確定度。

#### 7.2.4 側面安裝式風速計

側面安裝式風速計之安裝應遵循 IEC 61400-50-1 要求。側面安裝式風速計高於地面之安裝高度(地面高度定義及高度量測指引參照 7.2.3)應藉由量測進行查證，且量測方法及其不確定度應予以記錄。高度量測標準不確定度應小於或等於 0.2 m。

在氣象桿尾流運轉之風速計會受到嚴重干擾。在此情況下所獲得之量測結果不得用於功率性能分析。

允許使用側面安裝式風速計對氣象桿氣流畸變進行修正，於 IEC 61400-50-1 進一步說明。修正技術之依據及修正效應應予以記錄。懸臂應具相同方位，以確保不同高度間之氣流畸變相似性。氣象桿與懸臂之設計應在感測器處具類似之氣流畸變效應，所有不同高度間之風速畸變的最大允許差異為 1 %。氣象桿每一高度之截面尺度應一致。故對於獨立式氣象桿，氣象桿橫截面積在較低高度處較大之情況，宜特別注意遵循 IEC 61400-50-1 中之建議。另一種選擇是在單獨之懸臂上，於每 1 個量測高度安裝第 2 個風速計，並限制量測扇形區域，以使風速量測值之偏差不超過 1 %。

#### 7.2.5 遙感裝置(RSD)

假設遙感裝置掃描體積內水平氣流均勻，此假設限制此技術應用於附錄 B 定義之非複雜地形條件下的功率性能試驗。RSD 應於量測活動前或於現場依據 IEC 61400-50-2 進行查證。遙感裝置可用於量測輪轂高度風速、風切剖面、風轉向及/或於基於多個高度量測之轉子等效風速(參照 7.2.8)。在任何情況下，RSD 應同時與氣象桿上之頂部安裝式風速計進行比較，該風速計高度不低於風力機轉子下端高度之最小值或 IEC 61400-50-2 中定義之 40 m。頂部安裝式風速計之要求與 7.2.3 規定相同。

應依據 IEC 61400-50-2 推導 RSD 風速量測之不確定度。

#### 7.2.6 轉子等效風速量測

若依據 7.2.8 定義，於整個風力機轉子之 3 個或更多高度處量測風速，則可依 9.1.3 計算轉子等效風速，建議量測 3 個以上高度之風速。量測轉子等效風速有下列(a)至(c)3 種選項可供遵循。

- (a) 當符合 7.2.3 要求之輪轂高度頂部安裝式風速計及符合 7.2.5 要求之 RSD 一起使用，且地形符合附錄 B 要求時，則結合輪轂高度風速計與 RSD 之量測，依據 9.1.3 決定轉子等效風速。
- (b) 除風速計不在輪轂高度外，其餘均符合 7.2.3 頂部安裝式風速計之要求時，

與符合 7.2.5 要求之 RSD 一起使用，且地形符合 CNS 61400-12-5:2025 第 9 節要求時，則直接使用 RSD 量測，依據 9.1.3 決定轉子等效風速。

- (c) 當使用高於輪轂高度之氣象桿，並使用沿整個轉子高度分布之側面安裝式風速計量測(包括輪轂高度處之風速計)時，則可直接使用側面安裝式風速計之風速量測，依據 9.1.3 量測轉子等效風速。

### 7.2.7 輪轂高度風速量測

量測輪轂高度風速有下列(a)至(c)3種選項可供遵循。

- (a) 當使用輪轂高度之氣象桿時，輪轂高度風速量測應符合 7.2.3 要求。
- (b) 若地形符合 CNS 61400-12-5:2025 第 9 節要求，則可使用符合 7.2.5 要求之 RSD 量測輪轂高度風速，並特別注意將 RSD 與同步頂部安裝式風速計進行比較。
- (c) 可使用比輪轂高度更高之氣象桿，以更好地取得穿越轉子面積之風速。在此情況下，輪轂高度風速應依據 7.2.4 中所述之要求，使用安裝在懸臂上之側面安裝式感測器進行量測。

對於風速之輪轂高度定義，由於對風力機轉子上之垂直風切或風轉向缺乏瞭解，應依據附錄 E 基於估算或實測風切或風轉向，增加不確定度項解決。當僅有輪轂高度風速量測可利用時，則應使用基於場地特性(例：粗糙度)或場地先前之量測或建模(例：在資源評鑑活動期間)估算之風切或風轉向，作為不確定度分析之輸入。當使用 RSD 或高於輪轂高度氣象桿且使用側面安裝式風速計量測越過轉子之風速，以決定輪轂高度風速時，或當存在低於輪轂高度之側面安裝儀器且符合 7.2.8 所述之最低要求時，則使用 RSD 或側面安裝儀器推導風切或風轉向，以作為不確定度評鑑之輸入。

### 7.2.8 風切量測

當可在一定高度範圍內進行風速量測，則應量測風切並用於決定轉子等效風速或風切指數。

風切量測應使用 7.2.4 所述之側面安裝式風速計或 7.2.5 所述之單一遙感儀器。IEC 61400-50-2 及 IEC 61400-50-1 分別提供使用遙感儀器或氣象桿量測風切之進一步規定。

轉子等效風速量測應包括輪轂高度以上之風速量測。應用基於量測之風切修正，應於轉子掃掠面積上分布至少 3 個風速量測。然而，為最小化風速不確定度，建議量測高度盡可能多。量測高度宜圍繞輪轂高度對稱分布，並均勻分布在轉子掃掠面積之垂直範圍內。

量測高度至少應包括以下高度：

- (a)  $H \pm 1.0\%$ 。
- (b)  $H - R$  與  $H - (2/3R)$  之間。
- (c)  $H + (2/3R)$  與  $H + R$  之間。

其中  $H$  為風力機之輪轂高度， $R$  為轉子掃掠面積之半徑，參照圖 2。

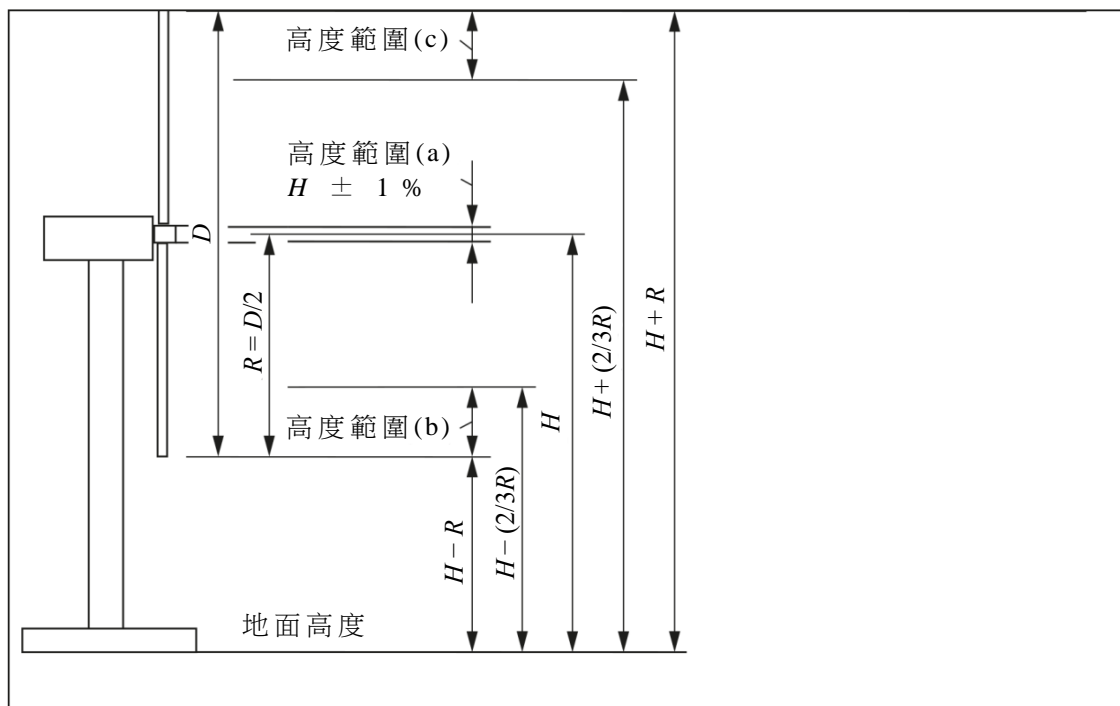


圖 2 適合轉子等效風速量測之風切量測高度

若氣象桿位於輪轂高度或略高，則輪轂高度以上之風速量測可能無法用於風切量測。在此情況下，用於推導風切之量測應至少包括下列高度：

- (a) 側面安裝式風速計盡可能接近輪轂高度，同時仍符合 IEC 61400-50-1 中關於與頂部安裝式風速計相隔距離之要求。
- (b) 介於  $H - R$  與  $H - (2/3R)$  之間，並符合 IEC 61400-50-1 對側面安裝式風速計之要求。

其中  $H$  為風力機之輪轂高度， $R$  為轉子掃掠面積之半徑，參照圖 3。

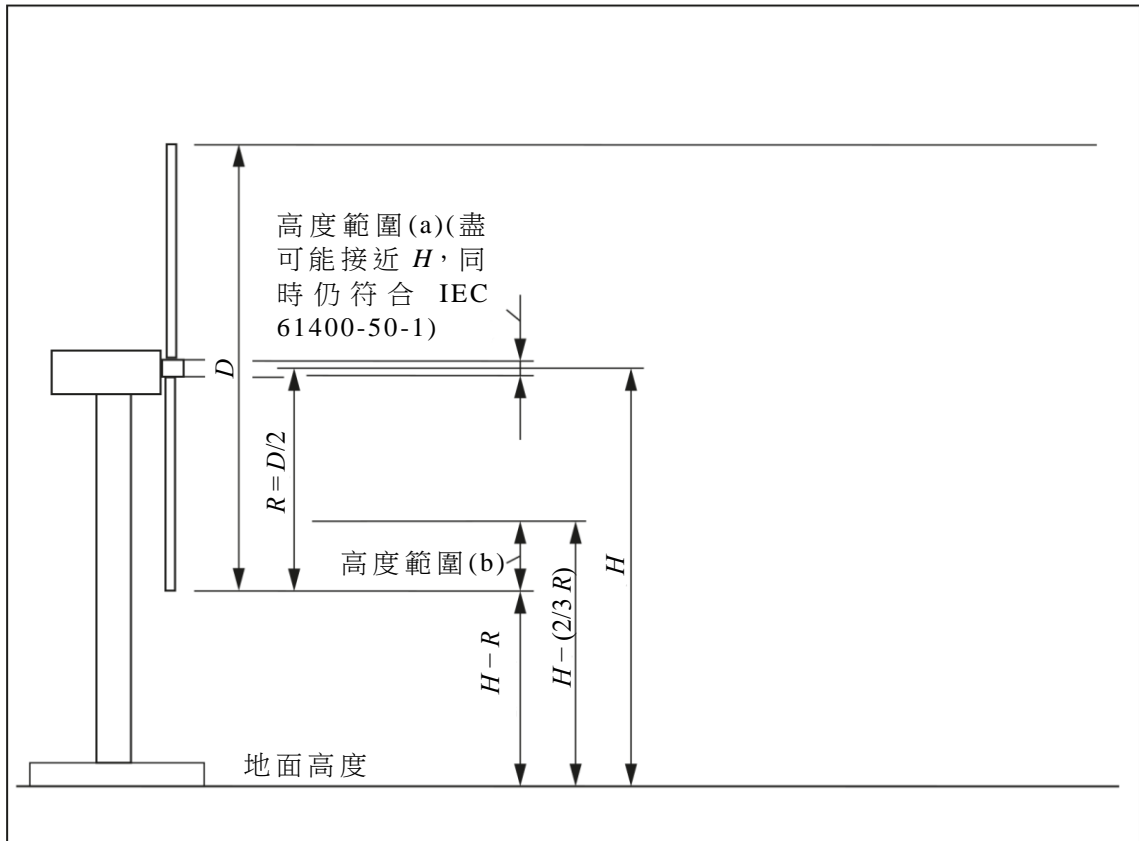


圖 3 當無輪轂高度以上風速量測可利用時之風切量測高度(僅用於決定風切指數)

### 7.3 風向

風向量測用作場地校正之輸入，用於將資料過濾至有效之方向扇形區域，並用於決定風轉向。風向量測應使用風向感測器，此可為風向標、2D 或 3D 音波風速計或 RSD。當使用音波風速計時，則應將其與傳統風向標結合作為控制。若使用 RSD，則宜依據 IEC 61400-50-2 進行風向查證試驗。

應決定瞬間水平風向並取 10 min 平均。向量平均(瞬間風向值之餘弦及正弦分量之平均，取平均值之反正切並調整到  $0^{\circ}$  至  $360^{\circ}$  範圍)是推導平均風向之 1 種方法。另 1 種方法是將風向尺度擴展至  $360^{\circ}$  以上，並計算 10 min 平均，然後將平均值調整到  $0^{\circ}$  至  $360^{\circ}$  範圍。於風向標死區內(通常在風向感測器主體之北標處)之量測資料通常未定義(開路或短路)，應予以排除。風向量測之校正、運轉及方位之組合標準不確定度應小於  $5^{\circ}$ 。風向感測器應依據附錄 N 及 IEC 61400-50-1 進行校正。

### 7.4 空氣密度

空氣密度應藉由量測空氣溫度、空氣壓力及相對濕度推導出。若未量測濕度，則可使用 50 % 相對濕度之假設值，以作為濕度量測之替代方案。空氣密度應使用 9.1.5 中之公式(12)計算。

除將低於輪轂高度之氣象桿與遙感裝置結合使用外，溫度、大氣壓力及相對濕度感測器應位於氣象桿上且距輪轂高度 10 m 內，且低於主風速計至少 1.5 m 處，同時符合 IEC 61400-50-1 定義之其他儀器的安裝要求。

溫度感測器應安裝在輻射屏蔽內。

大氣壓力感測器可安裝於耐氣候盒子中。然而，宜注意確保盒子適當通風，以便壓力讀值不會受到盒子周圍壓力分布影響。空氣壓力量測應始終依據 ISO 2533 修正至適當輪轂高度。

濕度感測器宜安裝在輪轂高度 10 m 範圍內，以代表風力機轉子中心線之濕度。若可用於功率性能試驗之氣象桿比輪轂高度低(特別是當較低之氣象桿與附錄 L 中定義之遙感裝置結合使用時)，溫度、濕度及壓力感測器應位於距主風速計 1.5 m 至 10 m 範圍內之高度。大氣壓力應依據本標準調整至輪轂高度，此外，假設大氣依據 ISO 2533 變化，將空氣溫度調整至輪轂高度，或將溫度感測器應安裝在風力機機艙上方至少 1 m 處且位於任何現有通風系統之上風處。

## 7.5 轉速及旋角

若對轉速及旋角有特定需求，則宜在整個試驗過程中量測轉速及旋角。例：若需應用量測結合聲學噪音試驗。若進行量測，則應依據第 10 節報告量測結果。

## 7.6 葉片狀態

葉片條件會影響功率曲線，特別是對於失速調節風力機。其有助於瞭解風力機之特性，以監測影響葉片條件之因數，包括降雨、結冰、昆蟲及污垢積聚。

## 7.7 風力機控制系統

應識別、查證及監測足夠狀態訊號，以允許應用 8.4 之剔除準則。從風力機控制器之資料系統獲得此等參數是足夠的。應報告每 1 個狀態訊號之定義。

備考：發電機切入狀態訊號是足以查證切出磁滯控制演算法。

## 7.8 資料擷取系統

應使用每一通道取樣率至少為 1 Hz 之數位資料擷取系統，收集量測並儲存取樣資料或資料組之統計資料，如 8.3 所述。

應藉由可追溯之校正源於傳感器端注入已知訊號，並將此等輸入與記錄之讀值進行比較，以查證資料系統鏈(傳輸、訊號調適及資料記錄)之校正及準確度。作為指導綱要，資料擷取系統之不確定度與感測器之不確定度相比，資料擷取系統之不確定度宜可忽略不計。

## 8. 量測程序

### 8.1 一般

量測程序之目的是收集 1 組符合明確定義準則之資料，確保資料量充足且品質良好，以準確地決定風力機之功率性能特性。量測程序應予以文件化(參照第 10 節)，以便可審查每 1 個程序步驟及試驗條件，並於需要時重複之。

量測之精確度應以標準不確定度表示，如附錄 D 所述。量測期間，資料宜定期確



證以確保其高品質。應維護試驗日誌以記錄功率性能試驗期間所有重要事件。

## 8.2 風力機運轉

量測期間，風力機應依風力機運轉手冊規定正常運轉，不得改變機器組態。風力機之運轉狀態應依據第 10 節規定進行報告。應在整個量測期間進行風力機之正常維護，並應註記於試驗日誌中。試驗期間為確保良好性能之任何特殊維護行動(例：經常清洗葉片)應特別註記，宜避免此類特殊維護行動。

## 8.3 資料收集

資料應以 1 Hz 或更高之取樣率連續收集。量測空氣溫度、空氣壓力、濕度及降雨(若量測)，可以較慢之取樣率，但至少每分鐘 1 次。

資料擷取系統應儲存取樣資料或如下述之資料組統計。

- (a) 平均值。
- (b) 標準差。
- (c) 最大值。
- (d) 最小值。

選定之資料組應基於源自連續量測資料之 10 min 時段。應收集資料直至符合 8.5 中定義之要求。

## 8.4 資料剔除

為確保僅使用風力機正常運轉期間獲得之資料進行分析，並確保資料不會被篡改，在下列情況下應將資料組從資料庫中剔除：

- (a) 除風速以外之外部條件超出風力機運轉範圍。
- (b) 風力機因故障條件而無法運轉。
- (c) 風力機被手動關閉或處於試驗或維護運轉模式。
- (d) 量測設備失效或劣化(例：因結冰)。
- (e) 風向超出 6.3.3 中定義之量測扇形區域。
- (f) 風向超出有效(完整)場地校正扇形區域。
- (g) 場地校正期間過濾之任何特殊大氣條件，亦應於功率曲線試驗期間過濾。

其他任何剔除準則應清楚地報告。

切出控制演算法中較大之磁滯曲線對功率曲線影響可能相當顯著。此影響不得包含在功率曲線中，且應排除所有因高風速切出而導致風力機停止發電之資料組。若在量測期間已達到切出行為，則量測可以包含資料庫中所有資料點之特殊資料庫形式呈現。功率曲線應取得切入控制演算法中之磁滯影響及切入以下寄生損耗之影響。切出磁滯會影響較高之風速區間，因此忽略它可能會導致高估產出之能量，特別是在年平均風速較高之情況下。

在量測期間發生之特殊運轉條件(例：因粉塵、鹽分、昆蟲及冰引起高粗糙度葉片，或電網條件變化顯著)或大氣條件(例：降雨、風切)下，所收集之資料庫子組可選作為特殊資料庫。

## 8.5 資料庫

資料正規化後(參照 9.1),應使用“區間法”程序對選定資料組進行整理,參照 9.2。風速範圍應分為以 0.5 m/s 為中心,連續之 0.5 m/s 間隔區間。選定資料組應至少涵蓋從切入以下 1 m/s 至風力機額定功率 85 %時之 1.5 倍風速的風速範圍,或風速範圍應從切入以下 1 m/s 延伸至“實測 AEP”風速,“實測 AEP”風速大於或等於 95 %之“外插 AEP”風速(參照 9.3),當使用適當且一致之風速定義“實測 AEP”及“外插 AEP”(即輪轂高度風速導出之功率曲線及風速分布,及在 REWS 導出情況下,藉由 REWS 導出功率曲線及風速分布)時。對於主動旋角控制風力機,當 3 個連續風速區間達到額定功率且平均功率變化不超過功率之 0.5 %或 5 kW,且此 3 個區間功率平均無增加之趨勢時,則功率曲線亦可視為完整的。報告應聲明使用 3 個風速範圍準則中之哪一個。

當資料庫符合下述準則時,則資料庫應視為完整的:

- (a) 每個區間包含至少 30 min 之取樣資料。
- (b) 資料庫包含至少 180 h 之取樣資料。

若單一不完整區間使得試驗未完成時,則可用線性內插法,由相鄰之 2 個完整區間估算該區間值。

資料庫應依據第 10 節顯示在試驗報告中。

## 9. 推導結果

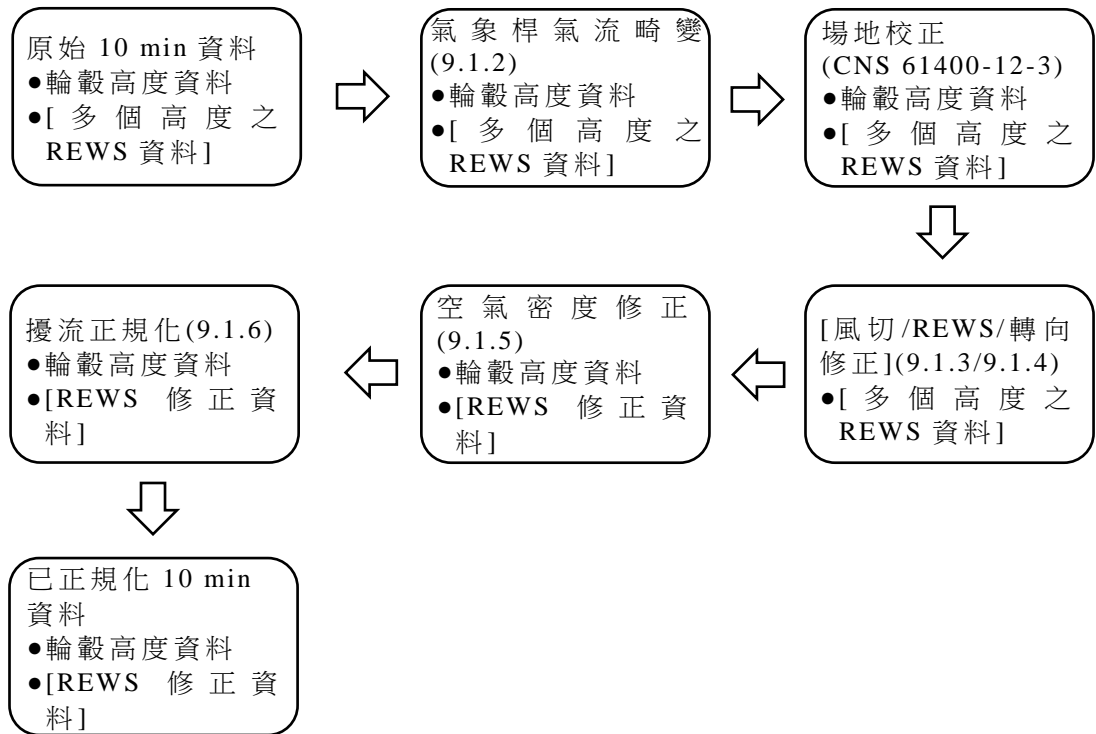
### 9.1 資料正規化

#### 9.1.1 一般

在 9.1.3 至 9.1.6 中,說明 3 種功率曲線結果之主要大氣驅動因數進行正規化方法:空氣密度、風切、風轉向及擾流強度。

此等正規化之目的是藉由每一個變數之具體公式化改善結果準確度。此在某種程度上允許比較不同資料組之結果,使其達到相似之尺度。

宜依據圖 4 所示之流程圖應用各種正規化。



備考：當可選擇 REWS 量測可利用時，REWS 資料遵循與預設輪轂高度資料正規化平行之正規化路徑，如方括號([ ])中之項目所示。REWS 資料之正規化是在每一個量測高度上針對所有正規化步驟分別進行，直到將每一個高度之結果合併至風切、REWS 及轉向修正為止。在隨後之每一個步驟中，為每一個 10 min 資料點導出單一 REWS 修正值，與應用於每一個輪轂高度資料點之修正平行。

圖 4 各種正規化之應用流程

### 9.1.2 側面安裝式風速計氣象桿氣流畸變修正

允許藉由側面安裝式風速計對氣象桿氣流畸變風速進行修正(仍需符合附錄 S 及 IEC 61400-50-1 中關於應用修正之前氣象桿氣流畸變最大為 1% 之要求)。任何修正方法應依據第 10 節之要求進行記錄及報告。

可藉由減少氣象桿氣流畸變低於一定限度之量測扇形區域，最小化氣象桿氣流畸變對風切量測之衝擊影響。任何此類扇形區域寬度減小之技術依據應予以文件化。IEC 61400-50-1 給出一種決定格形氣象桿(lattice mast)氣流畸變修正之可能方法。

### 9.1.3 風切修正(當 REWS 量測可利用時)

#### 9.1.3.1 一般

若風力機轉子面積上之風速恆定，則輪轂高度處之風速將代表風力機轉子風速，且使用輪轂高度風速將是合理的。然而，假設點風速(例：輪轂高度)代表

風力機轉子面積之風速對於大型風力機不一定具代表性。故有必要導入修正，考慮輪轂高度處之風速及風力機轉子之風切所引起的變化，定義 3 個量：

- (a) 轉子等效風速。
- (b) 風切修正因數。
- (c) 風切修正風速。

風切修正因數可用於推導氣候特定功率曲線，如附錄 P 所述。然而，此種修正也是基於假設風力機能轉換所有可利用動能。

### 9.1.3.2 轉子等效風速

轉子等效風速是在考慮垂直風切時與通過轉子掃掠面積之動能通量相應的風速。當至少有 3 個量測高度之風速可利用時(參照 7.2.6)，轉子等效風速定義為：

$$v_{eq} = \left( \sum_{i=1}^{n_h} v_i^3 \frac{A_i}{A} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (5)$$

式中， $n_h$ ：可利用量測高度之數目( $n_h \geq 3$ )

$v_i$ ：高度  $i$  處之風速量測

$A$ ：轉子掃掠之完整面積(即  $\pi R^2$ ， $R$  為半徑)

$A_i$ ：第  $i$  區段面積，即風速  $v_i$  代表之區段，由公式(6)推導而得應以二區段間水平分隔線位於 2 個量測點中間之方式選擇區段(面積為  $A_i$ )。再依據公式(6)推導出區段面積：

$$A_i = \int_{z_i}^{z_{i+1}} c(z) dz = g(z_{i+1}) - g(z_i) \quad (6)$$

式中， $z_i$ ：第  $i$  區段分隔線之高度( $H - R < z_i < H + R$ )，編號順序與  $v_i$  相同(由上而下或由下而上)

高度  $z$  處之轉子寬度為：

$$c(z) = 2\sqrt{R^2 - (z - H)^2} \quad (7)$$

式中， $R$ ：轉子半徑

$H$ ：輪轂高度

積分函數為：

$$g(z) = (z - H)\sqrt{R^2 - (z - H)^2} + R^2 \arctan \left[ \frac{z - H}{\sqrt{R^2 - (z - H)^2}} \right] \quad (8)$$

以下為一個 10 min 風速剖面之 REWS 計算示例。

在此示例中，假設風力機之輪轂高度為 80 m，轉子直徑為 100 m。使用氣象桿於 5 個高度量測風速。若可選擇高度，理想情況下其應均勻分布(40 m、60

m、80 m、100 m 及 120 m)。此示例顯示獨立於 REWS 評估目的而固定高度之情況。區段限制設定在 2 次連續量測之中間。所得 REWS 等於 9.38 m/s，如表 3 所示。

表 3 REWS 計算示例

量測高度 m	風速 m/s	區段加權 <sup>(a)</sup> %	區段下限 高度(z <sub>i</sub> ) m	區段上限 高度(z <sub>i+1</sub> ) m	區段高度 m
116	11.46	16.31	108	130	22
100	10.43	21.04	90	108	18
80	9.24	25.3	70	90	20
60	7.81	23.16	50	70	20
40	6.05	14.24	30	50	20

註<sup>(a)</sup>區段權重定義為區段面積與總掃掠轉子面積之比。

### 9.1.3.3 風切修正因數

#### 9.1.3.3.1 案例 1：遙感裝置於輪轂高度之氣象桿或具遙感裝置之短氣象桿(低於輪轂高度)

使用遙感裝置量測之風切修正因數定義為轉子等效風速與輪轂高度量測風速之比，依據公式(9)計算：

$$f_{r,RSD} = \frac{v_{eq,RSD}}{v_{h,RSD}} \quad (9)$$

式中， $v_{eq,RSD}$ ：遙感裝置量測之轉子等效風速，如公式(5)定義

$v_{h,RSD}$ ：遙感裝置於輪轂高度處量測之風速

#### 9.1.3.3.2 案例 2：高於輪轂高度之氣象桿

氣象桿量測之風切修正因數定義為轉子等效風速與輪轂高度量測風速之比，依據公式(10)計算：

$$f_{r,MM} = \frac{v_{eq,MM}}{v_{h,MM}} \quad (10)$$

式中， $v_{eq,MM}$ ：氣象桿上風速計所量測之轉子等效風速，如公式(5)定義

$v_{h,MM}$ ：風速計於輪轂高度處量測之風速

備考： $f_{r,MM}$ 僅用於報告目的。

#### 9.1.3.4 風速之風切修正

若使用同型式 WME 量測輪轂高度風速及風切，則依據公式(5)計算轉子等效風速。

若使用安裝在氣象桿上之風速計量測輪轂高度風速，並使用 RSD 量測風切，則最終轉子等效風速依據公式(11)計算：

$$V_{eq,final} = f_{r,RSD} V_{h,MM} \quad (11)$$

#### 9.1.4 風轉向修正

如附錄 Q 所述，風向在轉子高度範圍內變化(風轉向)會對風力機之輸出功率產生重大影響。對於大型風力機轉子，建議應用包括風轉向之等效風速的擴大定義。

#### 9.1.5 空氣密度正規化

空氣密度應依據實測之空氣溫度、空氣壓力及相對濕度，依據公式(12)決定：

$$\rho_{10min} = \frac{1}{T_{10min}} \left[ \frac{B_{10min}}{R_0} - \Phi P_w \left( \frac{1}{R_0} - \frac{1}{R_w} \right) \right] \quad (12)$$

式中， $\rho_{10min}$ ：推導之 10 min 平均空氣密度

$T_{10min}$ ：實測之 10 min 平均空氣絕對溫度(K)

$B_{10min}$ ：10 min 平均之實測修正至輪轂高度的氣壓(Pa)

(這裡的定義跟第 3 節定義不同) 實測之 10 min 平均空氣壓力(審完刪)

$R_0$ ：乾燥空氣之氣體常數(J/kgK)(=287.05)

$\Phi$ ：相對濕度(範圍 0 % 至 100 %)

$R_w$ ：水蒸氣之氣體常數(J/kgK)(=461.5)

$P_w$ ：蒸氣壓，等於  $0.0000205 \exp(0.0631846 \times T_{10min})$ (Pa)

蒸氣壓  $P_w$  取決於 10 min 平均空氣溫度。

將選定資料組正規化到至少 1 個基準空氣密度。基準空氣密度應為試驗時段場地有效收集資料之實測空氣密度的平均(參照 8.4)，或場地預先定義之標稱空氣密度。平均實測空氣密度應修整至最接近之  $0.01 \text{ kg/m}^3$ ，並依據第 10 節進行報告。

對於定旋角、定轉速之失速調整風力機，應依據公式(13)對實測輸出功率進行資料正規化：

$$P_n = P_{10min} \left( \frac{\rho_0}{\rho_{10min}} \right) \quad (13)$$

式中， $P_n$ ：正規化輸出功率

$P_{10min}$ ：實測之 10 min 平均功率

$\rho_0$ ：基準空氣密度

$\rho_{10min}$ ：依據公式(12)導出之 10 min 平均空氣密度

對於有效功率控制之風力機，應依據公式(14)對風速進行正規化：

$$V_n = V_{10\min} \left( \frac{\rho_{10\min}}{\rho_0} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (14)$$

式中， $V_n$ ：已正規化風速

$V_{10\min}$ ：實測之 10 min 平均風速

### 9.1.6 擾流正規化

風力機功率曲線量測受擾流強度之影響。顯著擾流強度影響是由實測輸出功率及實測之 10 min 平均風速所引起。建議依據附錄 M 將功率曲線資料正規化至基準擾流強度，以消除量測中此種影響。基準擾流強度應於功率曲線試驗之前定義，其可定義為輪轂高度風速之函數。除另有定義外，則應採用 10 % 之基準擾流強度。應考慮擾流正規化之不確定度。若未對功率曲線資料進行擾流正規化，則應估算因擾流影響而導致之功率曲線不確定度。建議使用附錄 M 中所述之不確定度方法。以杯型風速計、遙感裝置及音波風速計不同方式量測擾流強度之結果有所不同，解釋結果時應考慮此點。

## 9.2 決定量測功率曲線

功率曲線應依據輪轂高度風速及轉子等效風速(若量測)決定。然而，由於缺乏對其他影響風條件參數之瞭解，僅從輪轂高度量測推導出之功率曲線的不確定度會受到更高的不確定度。故為考慮垂直風切、風轉向及擾流強度，並降低功率曲線量測不確定度，建議考慮以轉子等效風速作為代表風速，並依據附錄 M 之擾流正規化輸出功率作為相關輸出功率。若比較不同功率曲線或將功率曲線應用於風力資源評鑑時，建議選擇基於針對特定風切剖面正規化之風速(參照附錄 P)及擾流正規化功率輸出推導功率曲線。

為指示單一 10 min 平均，宜於各自之風速中加入進一步索引 j。

實測功率曲線是藉由對正規化資料組應用“區間法”，使用 0.5 m/s 風速區間並依據公式(15)及公式(16)計算每一個風速區間之正規化風速及正規化輸出功率的平均值：

$$V_i = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} V_{n,i,j} \quad (15)$$

$$P_i = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} P_{n,i,j} \quad (16)$$

式中， $V_i$ ：區間 i，正規化之平均風速

$V_{n,i,j}$ ：區間 i，資料組 j 之正規化風速

$P_i$ ：區間 i，正規化之平均輸出功率

$P_{n,i,j}$ ：區間 i，資料組 j 正規化之輸出功率

$N_i$ ：區間 i，10 min 資料組數目

實測功率曲線應依據第 10 節進行呈現，且當量測 REWS 功率曲線時，亦應呈現

輪穀高度風速功率曲線。每當量測 REWS 功率曲線時，均應始終呈現輪穀高度風速功率曲線以進行比較。

### 9.3 年發電量(AEP)

AEP 應以 2 種方式計算，1 種稱為“實測 AEP”，另 1 種稱為“外插 AEP”。若實測功率曲線不包括至切出風速之資料時，則功率曲線應從最大完整實測風速外插至切出風速。

此外，AEP 可定義為通用 AEP 或場地特定 AEP。藉由將實測功率曲線應用於不同基準風速頻率分布以估算通用 AEP。對於特定開發，標稱場地條件規定之場地風氣候可能已知。若是，亦可基於此場地特定資訊，同時報告及估算場地特定之 AEP。

從輪穀高度風速量測推導出之功率曲線僅能與基於輪穀高度風速定義之風速頻率分布相結合以推導 AEP。而從 REWS 量測推導出之功率曲線僅能與 REWS 頻率分布相結合以導出 AEP。結合 REWS 功率曲線與輪穀高度風速頻率分布推導 AEP (反之亦然)並非有效之計算。應使用瑞利分布(Rayleigh distribution)作為基準風速頻率分布，瑞利分布與形狀因數為 2 之韋伯分布(Weibull distribution)相同。應針對輪穀高度年平均風速 4 m/s、5 m/s、6 m/s、7 m/s、8 m/s、9 m/s、10 m/s 及 11 m/s，依據公式(17)估算 AEP：

$$AEP=N_h \sum_{i=1}^N [F(V_i) - F(V_{i-1})] \left( \frac{P_{i-1}+P_i}{2} \right) \quad (17)$$

式中

AEP：年發電量

$N_h$ ：一年之小時數 $\approx 8,760$

$N$ ：區間數目

$V_i$ ：區間  $i$ ，正規化之平均風速

$P_i$ ：區間  $i$ ，正規化之平均輸出功率

$$F(V)=1 - \exp \left[ -\frac{\pi}{4} \left( \frac{V}{V_{ave}} \right)^2 \right] \quad (18)$$

式中

$F(V)$ ：風速之瑞利累積機率分布函數

$V_{ave}$ ：年平均風速

$V$ ：風速

藉由設定  $V_{i-1}=V_i - 0.5$  m/s 及  $P_{i-1}=0.0$  kW 開始求和。

對於特定場地，可能已知標稱場地條件規定之場地風氣候。若如此，亦可基於此場地特定資訊，同時報告及估算場地特定之 AEP。若特定場地之風分布已知且以表格形式呈現，則可藉由先將風分布轉換為相應之累積分布以計算場地特定之



AEP。將藉由對累積分布之二個相鄰值進行線性內插導出實測功率曲線之每一個量測風速前之小時數。小時數除以表中之小時數總和，即為通常日曆年內之標稱小時數。最後，使用公式(17)計算 AEP。表格中風速分布應使用與實測功率曲線相同之風速定義(輪轂高度或 REWS)，否則無法導出有效之 AEP。

若將場地特定之風速分布表示為具已知形狀及比例因數之韋伯分布，則可使用公式(17)計算 AEP，並使用將韋伯分布公式(19)替換累積瑞利分布公式(18)：

$$F(V)=1 - e^{-\left(\frac{V}{A_w}\right)^k} \quad (19)$$

式中

$F(V)$ ：風速現在韋伯累積機率分布函數

$V$ ：風速

$A_w$ ：韋伯比例因數

$k$ ：韋伯形狀因數

實測 AEP 應藉由假設實測功率曲線範圍以上及以下之所有風速的功率均為 0，從實測功率曲線中獲得，並依據公式(17)求和。

外插 AEP 應藉由假設實測功率曲線中最低風速以下之所有風速的功率均為 0，及實測功率曲線中最高風速與切出風速間之風速的功率恆定，從量測功率曲線中獲得。用於外插 AEP 之恆定功率應為量測功率曲線中最高風速區間之功率值。

實測 AEP 及外插 AEP 應依據第 10 節呈現於試驗報告中。對於所有 AEP 計算，風力機之可用性應設為 100 %。對於給定之年平均風速，當計算顯示實測 AEP 小於外插 AEP 之 95 % 時，則實測 AEP 之估算應標示為“未完成”。

對於所有使用之風速分布，對實測 AEP 應依據附錄 D 量測不確定度(以 AEP 標準不確定度表示)估算進行報告。

上述 AEP 中之不確定度僅涉及源自功率性能試驗之不確定度，並未考慮與給定設備之實際發電量相關其他重要因數產生的不確定度。

#### 9.4 功率係數

風力機功率係數  $C_P$  應加至試驗結果中，並詳細依據第 10 節進行呈現。應從實測功率曲線依據公式(20)決定  $C_P$ 。

$$C_{P,i} = \frac{P_i}{\frac{1}{2}\rho_0 A V_i^3} \quad (20)$$

式中， $C_{P,i}$ ：區間  $i$ ，功率係數

$V_i$ ：區間  $i$ ，正規化之平均風速。(將定義之風速與轉子等效風速或輪轂高度風速匹配)

$P_i$ ：區間  $i$ ，正規化之平均輸出功率

$A$  : 風力機轉子掃掠面積

$\rho_0$  : 基準空氣密度

## 10. 報告格式

試驗報告應包含以下資訊。

- (a) 受測風力機特定組態之識別及說明(參照 6.2)，包括：
- (1) 風力機製造商(品牌)、型式、序號、生產年。
  - (2) 轉子直徑及所用查證方法或轉子直徑引用文件之說明。
  - (3) 轉子速率或轉子速率範圍。
  - (4) 額定功率及額定風速。
  - (5) 葉片資料：製造商(品牌)、型式、序號、葉片數目、固定或可變旋角及旋角。
  - (6) 輪轂高度及塔架類型。
  - (7) 控制系統(裝置及軟體版本)及用於資料減量之狀態訊號文件之說明。
  - (8) 風力機電網條件(即電壓、頻率及其許可差)，及指示功率傳感器連接位置(特別是與內部或外部變壓器)之圖面及功率自耗之說明。
- (b) 試驗場之說明(參照 6.3)，包括：
- (1) 所有量測扇形區域之照片，最好從風力機輪轂高度拍攝。
  - (2) 試驗場地圖，至少顯示 20 倍風力機轉子直徑之徑向距離的周圍區域，並標示地形、風力機位置、風力量測設備、顯著障礙物、其他風力機及量測扇形區域。
  - (3) 場地評鑑結果，即有效量測扇形區域之限值。
  - (4) 若進行場地校正，亦應報告最終量測扇形區域之限值，包括場地評鑑結果變化之任何理由。
  - (5) 所考慮之障礙物評鑑中，試驗風力機、風力量測設備及任何顯著障礙物之座標及海拔表。
- (c) 試驗設備之說明(參照第 7 節)：
- (1) 所有感測器、風力量測設備及資料擷取系統，包括感測器、風力量測設備、傳輸線及資料擷取系統之校正文件的識別。
  - (2) 氣象桿配置草圖，顯示氣象桿及儀器安裝之尺度，以記錄符合 IEC 61400-50-1 之情況。
  - (3) 說明量測期間保持風力量測設備校正狀態之方法及顯示保持校正結果之文件。
- (d) 量測程序之說明(參照第 8 節)：
- (1) 程序步驟、試驗條件、取樣率、平均時間及量測期間之文件，包括：
    - 資料記錄器及/或後處理應用之校正、修正或轉移函數的文件。
  - (2) 記錄功率性能試驗過程中所有重要事件之試驗日誌簿，包括：

- 試驗期間發生之所有維護活動清單。
  - 為確保良好性能而完成之任何特殊行動(例：葉片清洗)清單。
- (3) 用於產生報告結果之所有過濾準則的完整清單，包括：
- 欲過濾之參數、量測期間或時間時段或參數組合。
  - 過濾器範圍或邏輯準則。
  - 使用過濾器理由。
  - 應報告應用過濾器之順序及每次迭代移除之點數，或過濾器自行從資料庫中移除之資料點數目。
  - 資料庫中資料組之起始數目及應用所有過濾器後資料組之最終數目。
- (e) 實測資料之呈現(參照 8.3 至 8.5)。每一個選定資料組之資料應以表格及圖形格式呈現，提供實測輸出功率作為風速及重要氣象參數之函數的統計資料，包括(當 REWS 量測可利用時，則實測資料應分別呈現為輪轂高度資料及 REWS 資料)：
- (1) 平均、標準差、最大及最小輸出功率與風速關係之散布圖(圖中應包括取樣頻率之資訊)，示例參照圖 5。
  - (2) 平均風速及擾流強度與風向關係之散布圖。
  - (3) 擾流強度與風速關係之散布圖，並應呈現每一個風速區間內之平均擾流強度。
  - (4) 由特殊運轉或大氣條件下收集之資料所組成的特殊資料庫，亦宜如上所述呈現。
  - (5) 若量測，轉速及旋角應以散布圖呈現，包括分區值對風速之關係及包含分區值之表格。
  - (6) 狀態訊號之定義及量測期間狀態訊號圖。
  - (7) 空氣密度與風向及風速關係之散布圖，包括每一個區間之平均。
  - (8) 風切指數對當日時間之散布圖及與風速關係之散布圖。下半轉子及上半轉子之風切指數應分別呈現。此外，亦應表示每一風速區間之 2 個風切指數之平均值。
  - (9) 試驗期間，場地風切條件之平均風切指數或等效表示。
  - (10) 依據 9.1.3.3 之風切修正因數，若適用，基於量測設定(依據量測組態使用公式(9)或公式(10)]。
  - (11) 試驗期間，量測之平均空氣密度。
- (f) 於基準空氣密度之的實測功率曲線(參照 9.1 及 9.2)，輪轂高度風速推導功率曲線及 REWS 推導功率曲線(若量測)之呈現：
- (1) 功率曲線應以類似表 4 之表格形式呈現。每 1 個風速區間，表格應列出：
    - 正規化平均風速。
    - 正規化平均輸出功率。

- 資料組數目。
- 計算之  $C_p$  值。
- A 類標準不確定度(參照附錄 D 及附錄 E)。
- B 類標準不確定度(參照附錄 D 及附錄 E)。
- 組合標準不確定度(參照附錄 D 及附錄 E)。

除依據(f)(1)於表格中呈現實測功率曲線外，實測功率曲線亦可呈現為區間中心值。建議之方法是使用三次仿樣函數(cubic spline)於表中區間值間進行內插，以表示區間中心處之實測風速、功率及功率係數值。

- (2) 功率曲線應以類似圖 6 之圖呈現，此圖應顯示平均風速與下述正規化之關係：
- 正規化平均輸出功率。
  - 組合標準不確定度。
- (3)  $C_p$  曲線應以類似圖 7 呈現。
- (4) 圖與表均應聲明用於正規化之基準空氣密度。
- (5) 若在量測期間已達到切出風速，則功率曲線及  $C_p$  曲線(或受切出磁滯影響之曲線部分)可以與(f)(1)、(f)(2)、(f)(3)及(f)(4)類似之方式呈現。
- (g) 於特殊運轉及大氣條件下收集之量測功率曲線的呈現：  
亦可報告從資料庫子組導出之特定操作或大氣條件的功率曲線。若為此情況，則宜以與基準空氣密度相同之方式報告功率曲線，但密度來自資料庫子組之實測空氣密度平均，或使用預先定義之場地標稱空氣密度。
- (h) 於基準空氣密度(參照 9.3)之估算年發電量，輪轂高度風速推導功率曲線及 REWS 推導功率曲線(若量測)之呈現：
- (1) 每一個年平均輪轂高度風速類似表 5 之表格應包括：
- 實測 AEP。
  - 實測 AEP 之標準不確定度(參照附錄 D 及附錄 E)。
  - 外插 AEP。
- (2) 表中亦應聲明：
- 基準空氣密度。
  - 切出風速。
- (3) 若在任何年平均風速之實測 AEP 小於 95 %外插 AEP，則表中亦應於實測 AEP 值欄中標示“未完成”。
- (i) 量測功率係數之呈現(參照 9.4)：
- (1) 實測功率係數宜以與風速關係之圖形及表格形式呈現，並應標示轉子掃掠面積。
- (j) 場地校正結果之呈現(報告要求參照 CNS 61400-12-3)：
- (1) 若進行場地校正，應以表格形式於報告中提出。

(2) 表格應呈現每一個風向區間：

- 最小及最大風向限值。
- 區間平均風向。
- 風速修正特性。
- 資料之小時數。
- 6 m/s、10 m/s 及 14 m/s 風速比之組合標準不確定度。

(3) 報告亦應包括 CNS 61400-12-3 要求之圖形。

(k) 量測不確定度(參照附錄 D)：

(1) 應提供所有不確定度項之不確定度假設(氣象桿風力量測不確定度應依據 IEC 61400-50-1 推導，遙感風力量測不確定度應依據 IEC 61400-50-2 推導)。

(l) 偏離程序：

(1) 任何與本標準要求之偏差應於單獨節次中明確記錄。均應有技術理由及其對試驗結果影響之估算以支持每一個偏差。

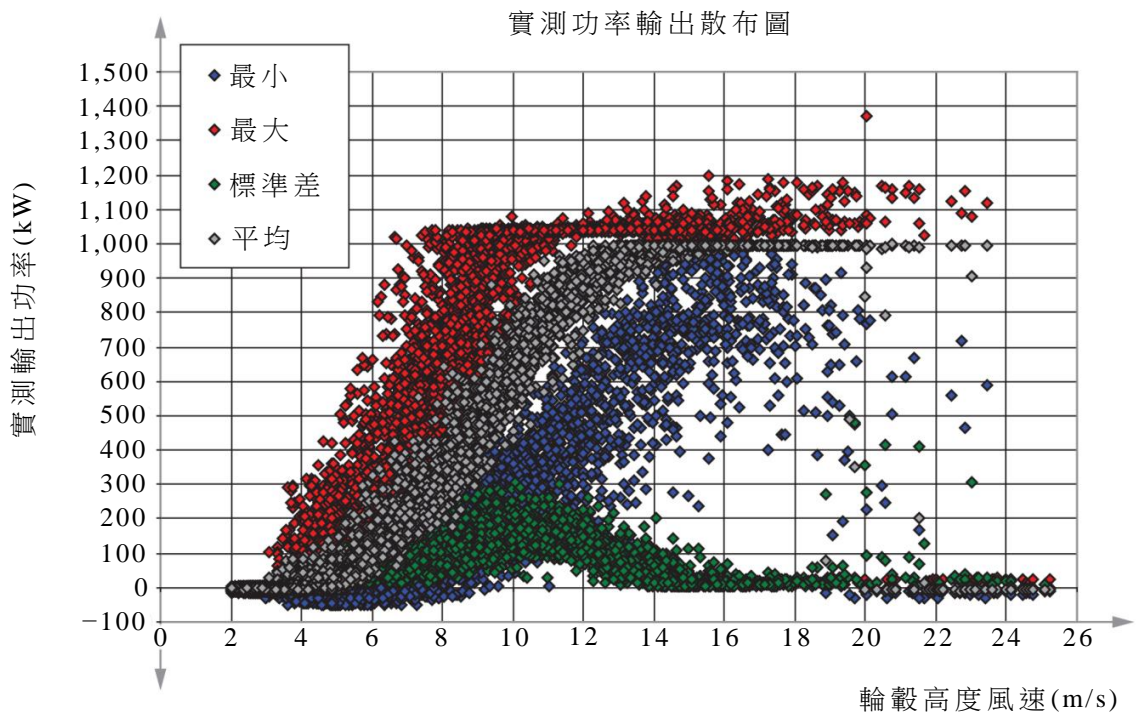


圖 5 資料庫呈現示例：取樣率為 1 Hz 之功率性能試驗散布圖(10 min 平均值)

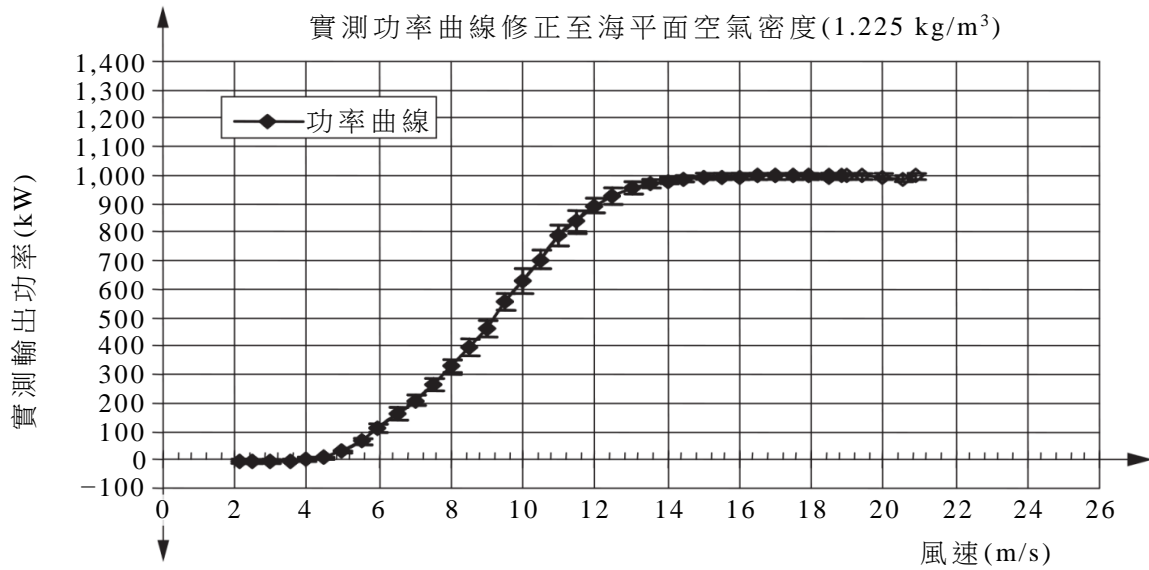


圖 6 實測功率曲線呈現示例

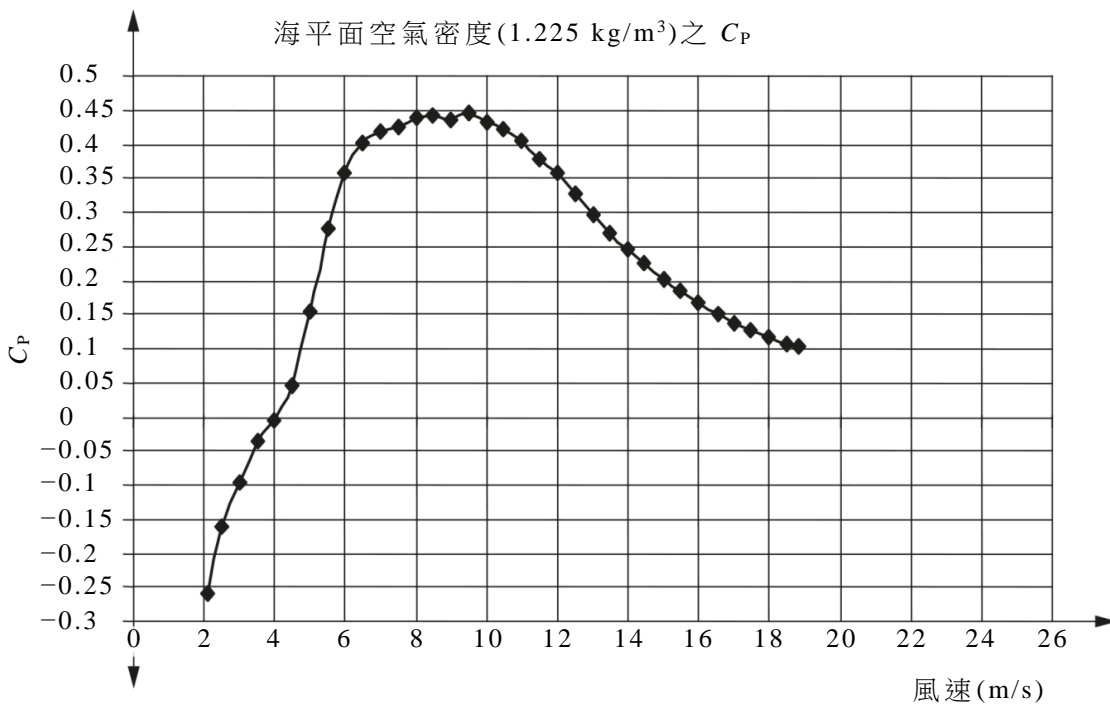


圖 7  $C_p$  曲線呈現示例

表 4 實測功率曲線呈現示例

實測功率曲線							
基準空氣密度：1.225 kg/m <sup>3</sup>					A 類標準不確定度 $s_i$ kW	A 類標準不確定度 $u_i$ kW	組合標準不確定度 $u_{ci}$ kW
區間 No.	輪轂高度風速 m/s	輸出功率 kW	$C_p$	資料組數目 (10 min 平均)			
4	2.1	-3.6	-0.26	138	0.05	6.3	6.3
5	2.5	-3.6	-0.16	275	0.04	6.3	6.3
6	3.0	-3.8	-0.10	270	0.13	6.3	6.3
7	3.5	-2.2	-0.03	320	0.56	6.3	6.3
8	4.0	-0.4	0.00	347	0.56	6.3	6.3
9	4.5	6.0	0.05	362	0.67	6.3	6.4
10	5.0	27.7	0.15	333	1.09	6.8	6.9
11	5.5	67.4	0.28	285	1.65	10.9	11.0
12	6.0	111.3	0.36	262	2.26	16.1	16.3
13	6.5	160.9	0.40	265	3.08	20.1	20.3
14	7.0	209.4	0.42	286	3.22	20.4	20.7
15	7.5	262.0	0.43	287	3.23	20.7	20.9
16	8.0	327.6	0.44	248	3.28	23.3	23.5
17	8.5	395.2	0.44	215	4.38	28.6	28.9
18	9.0	462.0	0.44	179	4.94	29.8	30.2
19	9.5	556.1	0.45	183	5.02	29.9	30.3
20	10.0	629.8	0.43	133	5.83	41.5	41.9
21	10.5	703.1	0.42	127	6.82	32.8	33.5
22	11.0	786.5	0.41	119	6.75	36.1	36.7
23	11.5	836.5	0.38	101	6.65	36.5	37.1
24	12.0	893.5	0.36	94	7.27	25.2	26.2
25	12.5	928.6	0.33	74	5.59	28.8	29.3
26	13.0	956.4	0.30	70	6.38	19.5	20.5
27	13.5	971.3	0.27	63	4.66	16.5	17.1
28	14.0	980.9	0.25	71	3.19	13.5	13.8
29	14.5	988.2	0.22	77	2.53	12.2	12.4
30	15.0	993.5	0.20	64	1.37	11.9	11.9
31	15.5	993.7	0.18	47	0.84	11.6	11.6
32	16.0	995.7	0.17	54	0.83	11.3	11.3
33	16.5	996.2	0.15	33	0.42	11.4	11.4
34	17.0	996.4	0.14	23	0.23	11.3	11.3
35	17.5	996.5	0.13	30	0.24	11.3	11.3
36	18.0	996.5	0.12	13	0.18	11.3	11.3
37	18.5	995.7	0.11	11	0.21	11.3	11.3

表 4 實測功率曲線呈現示例(續)

實測功率曲線							
基準空氣密度：1.225 kg/m <sup>3</sup>					A 類標準不確定度 $s_i$	A 類標準不確定度 $u_i$	組合標準不確定度 $u_{ci}$
區間 No.	輪轂高度風速 m/s	輸出功率 kW	$C_p$	資料組數目 (10 min 平均)			
38	19.0	996.6	0.10	14	0.59	11.3	11.3
39	19.4	996.1	0.09	10	0.21	11.3	11.3
40	20.0	994.1	0.09	5	0.41	11.3	11.3
41	20.5	987.4 <sup>(a)</sup>	0.08	2	2.67	11.4	11.7
42	20.9	996.9	0.08	3	3.38	11.8	12.3

註<sup>(a)</sup> 區間 41 之資料組未完成(少於 3 個資料組)，故區間 41 用於 AEP 計算之功率值內插為 995.7。

表 5 年發電量估算呈現示例

年發電量估算					
基準空氣密度：1.225 kg/m <sup>3</sup>					
切出風速：25 m/s					
(從最後一個區間以恆定功率冪次律進行外插)					
輪轂高度之年平均風速(瑞利) m/s	實測 AEP (實測功率曲線) MWh	AEP 中之標準不確定度 MWh	AEP 中之標準不確定度 %	外插 AEP (外插功率曲線) MWh	
4	480	82	17	480	
5	1,081	113	10	1,081	
6	1,824	138	8	1,824	
7	2,595	155	6	2,603	
8	3,305	163	5	3,342	
9	3,889	165	4	3,995	
10	4,318	162	4	4,536	
11	4,592	157	3	4,954	未完成

備考：表 4 及表 5 中之標準不確定度數字是基於涵蓋因數為 1。此意味著信賴水準(在重複功率曲線測量中，區間將包含“真實” AEP 值之次數百分比)約為 58 %至 68 %。信賴水準僅為估計值，因為通常不知道量測的概率分布之詳細知識。上值(68 %)適用於常態分布，下值(58 %)適用於矩形分布。



附錄 A  
(規定)  
障礙物評鑑

參照 CNS 61400-12-5:2025 第 6 節。

附錄 B  
(規定)  
試驗場之地形評鑑

參照 CNS 61400-12-5:2025 第 9 節。

附錄 C  
(規定)  
場地校正程序

參照 CNS 61400-12-3。

## 附錄 D

## (規定)

## 量測不確定度評估

附錄 D 提出決定量測不確定度之要求。使用區間法決定不確定度之理論基礎及估算不確定度之工作示例參照附錄 E。

實測功率曲線應補充量測不確定度估算。估算應基於 ISO/IEC Guide 98-3:2008。

依據 ISO/IEC Guide 98-3:2008，不確定度分為二類：A 類，其量值可藉由量測推導出來。B 類，可藉由其他方式估算。在此二類中之不確定度均以標準差表示，並稱為標準不確定度。

## (a) 量測量

量測量為功率曲線，由電功率及風速之量測及正規化區間值(參照 9.1 和 9.2)及估算之年發電量(參照 9.3)決定。量測不確定度藉由靈敏度係數轉換為量測量之不確定度。

## (b) 不確定度項

表 D.1 提供應納入不確定度分析之不確定度參數的最少清單。部分不確定度項應可於與本標準相關之標準中找到，如表 D.1 左欄所示。

表 D.1 不確定度項清單

量測參數	不確定度項	不確定度分類
電功率 (依據 IEC 61869-1、IEC 61869-2、IEC 61869-3 及 IEC 60688)	比流器	B
	比壓器	B
	功率傳感器或功率量測裝置	B
	資料擷取系統(參照量測參數=下述之資料擷取系統)	B
	電功率變動性	A
風速(杯型及音波風速計， 依據 IEC 61400-50-1)	風洞校正	B
	分類	B
	氣象桿氣流畸變	B
	懸臂氣流畸變	B
	資料擷取系統(參照量測參數=下述之資料擷取系統)	B
現場試驗	B	
風速(遙感裝置，依據 IEC 61400-50-2)	RSD 查證試驗	B
	現場試驗	B
	RSD 分類	B
	安裝效應	B
	相同高度處探測體積內之氣流變化	B
	監測試驗 Monitoring test	B

表 D.1 不確定度項清單(續)

量測參數	不確定度項	不確定度分類
轉子等效風速	風切量測	B
	風向量測	B
風向(風向標或音波, 依據 IEC 61400-50-1)	校正	B
	北標	B
	懸臂方向	B
	運轉(氣象桿影響)	B
	磁偏角	B
	資料擷取系統(參照量測參數=下述之資料擷取系統)	B
風向(遙感裝置, 依據 IEC 61400-50-2)	查證試驗	B
	分類	B
	監測試驗	B
	相同高度處探測體積內之氣流變化	B
	對準	B
	磁偏角	B
	資料擷取系統(參照量測參數=下述之資料擷取系統)	B
空氣溫度	溫度感測器	B
	輻射屏蔽	B
	安裝效應	B
	資料擷取系統(參照量測參數=下述之資料擷取系統)	B
空氣壓力	壓力感測器	B
	安裝效應	B
	資料擷取系統(參照量測參數=下述之資料擷取系統)	B
相對濕度	濕度感測器	B
	安裝效應	B
	資料擷取系統(參照量測參數=下述之資料擷取系統)	B
資料擷取系統	訊號傳輸	B
	系統準確度	B
	訊號調適	B
地形(無場地校正)	地形引起之氣流畸變	B
地形(具場地校正, 依據 CNS 61400-12-3)	試驗前風速計校正	B
	後校正/現場校正	B
	風速計分類	B
	安裝效應	B
	標準安裝	B

表 D.1 不確定度項清單(續)

量測參數	不確定度項	不確定度分類
地形(具場地校正，依據 CNS 61400-12-3)	選擇性安裝	B
	側面安裝	B
	避雷針	B
	資料擷取系統(參照量測參數=上述之資料擷取系統)	B
	修正變化(鄰近風向區間)	B
	場地校正與功率曲線量測間移除風向感測器	B
	季節性變化	B
	場地校正之統計變動性	A
方法	空氣密度修正	B
	風條件欠缺風切資訊	B
	風條件欠缺轉向資訊	B
	風條件欠缺上升氣流資訊	B
	風條件欠缺擾流資訊	B
	季節性效應	B
	擾流正規化(或欠缺擾流正規化)	B
	寒冷氣候量測	B

備考：本標準之輪轂高度風速功率曲線方法的隱含假設是風力機 10 min 平均發電量，此可由輪轂高度同時量測之 10 min 平均風速及空氣密度而充分解釋。事實並非如此，其他氣流變數會影響發電量，因此即使輪轂高度風速及空氣密度相同，相同之風力機在不同場地會產生不同之電力。此等其他變數包括風速之擾流變動(在 3 個方向上)、氣流向量相對於水平面之傾斜度、擾流尺度及轉子上平均風速之風切。目前，分析工具對於識別其中一些變數之影響幾乎沒有幫助，而實驗方法亦遇到同樣嚴重之困難。結果是功率曲線從一個場地到下一個場地均會有所不同，此將顯得不確定性。

此不確定度源於不同地形及氣候條件下觀測到之發電量差異，即將均勻地形中量測之 AEP 與在非均勻風場量測之 AEP 進行比較時，要量化此明顯之不確定度是很困難的。依據場地條件及氣候，不確定度可能達幾個百分點。一般而言，隨著地形複雜性增加及非中性大氣條件頻率增加，預計不確定度亦會增加。

然而，本標準提出至少考慮其中一些影響變數(例：風切及擾流)之方法，對不確定度之評鑑及基於此等變數很重要之隱含假設，在不應用修正情況下會增加不確定度。

## 附錄 E

(參考)

## 利用區間法決定量測不確定度之理論基礎

## E.1 一般

在本附錄中，結合並補充整個標準中所有不確定度聲明，以對功率曲線量測(涵蓋功率曲線及計算出之 AEP)進行一致之不確定度評估。

為獲得清晰之結構介紹此相當複雜之主題，本附錄之結構如下述。主要結構是基於每一個不確定度項類別之單獨節次。由於風速具許多不確定度項，此等項均有自己之節次，如下所示：

E.2 一般數學大綱及包含所有不確定度項及其預設量值之概覽表

E.3 A 類不確定度

E.4 B 類不確定度－簡介及資料擷取

E.5 B 類－輸出功率

E.6 B 類－風速－簡介及感測器

E.7 B 類－風速－RSD

E.8 B 類－風速－REWS

E.9 B 類－風速－地形

E.10 B 類－空氣密度

E.11 B 類－方法

E.12 B 類－風向

E.13 組合不確定度

本附錄給出聚合不確定度之計算方法，及相關因數表及(非詳盡)數值示例。

對於所有 B 類不確定度，均給出關於不確定度項所涵蓋之內容、每一個項使用之符號、討論該項之參考文件或其他附錄及預設量值之討論。

## E.2 組合不確定度

## E.2.1 一般

在其最一般形式中，區間  $i$ ，功率組合標準不確定度  $u_{c,i}$  可表示為：

$$u_{c,i}^2 = \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^M c_{k,i} u_{k,i} c_{l,i} u_{l,i} \rho_{k,l,i,j} \quad (\text{E.1})$$

式中，  $c_{k,i}$  : 區間  $i$ ，第  $k$  項靈敏度係數

$u_{k,i}$  : 區間  $i$ ，第  $k$  項標準不確定度

$M$  : 每個區間中不確定度項之數目

$\rho_{k,l,i,j}$  : 區間  $i$  第  $k$  項不確定度與區間  $j$  第  $l$  項不確定度項間之相關係數(表達式中，第  $k$  項及第  $l$  項均在區間  $i$  中)

不確定度項是每一個量測參數不確定度之個別輸入量。估算 AEP 之組合標準不

確定度  $u_{AEP}$  可以其最一般形式表示為

$$u_{AEP}^2 = N_h^2 \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^M f_i c_{k,i} u_{k,i} f_j c_{l,j} u_{l,j} \rho_{k,l,i,j} \quad (E.2)$$

式中，  $f_i$  : 區間  $i$ ，風速之相對出現發生率

$N$  : 區間數目

$N_h$  : 一年之小時數  $\approx 8,760$

很少能明確地推導出相關係數  $\rho_{k,l,i,j}$  之所有值，通常需要顯著之簡化。為使上述組合不確定度之表達公式簡化至實用程度，可做以下假設：

- (a) 不確定度項完全相關 ( $\rho_{k,l,i,j} = 1$ ，意味著組合標準不確定度可以線性和獲得)，或獨立 ( $\rho_{k,l,i,j} = 0$ ，意味著二次和，即組合標準不確定度為不確定度項平方和之平方根)。
- (b) A 類不確定度在風速區間之間不相關，而 B 類不確定度在風速區間之間完全相關。
- (c) 僅與場地校正不確定度相關：A 類不確定度在風向區間內不相關，而 B 類不確定度在風向區間內完全相關。

在計算轉子等效風速或風切及風轉向正規化風速之不確定度時，應針對每一個項及每一種情況分別評鑑不同風力量測高度上相同型式不確定度之相關性。每一個不確定度可先在轉子等效風速或風切及風轉向正規化風速之某個區間的量測高度上累積。然後，可依據(a)及(b)所述處理轉子等效風速或風切及風轉向正規化風速之不確定度項。

使用此等假設，區間內功率組合不確定度  $u_{c,i}$ ，可表示為：

$$u_{c,i}^2 = \sum_{k=1}^{M_A} c_{k,i}^2 s_{k,i}^2 + \sum_{k=1}^{M_B} c_{k,i}^2 u_{k,i}^2 = s_i^2 + u_i^2 \quad (E.3)$$

式中，  $M_A$  : A 類不確定度項之數目

$M_B$  : B 類不確定度項之數目

$s_{k,i}$  : 區間  $i$ ，第  $k$  項之 A 類標準不確定度

$s_i$  : 區間  $i$ ，A 類不確定度之組合

$u_i$  : 區間  $i$ ，B 類不確定度之組合

宜注意因  $s_{p,i}$  在區間中資料組數目之相依性，故  $u_{c,i}^2$  不獨立於區間大小(參照公式(E.10))。

此等假設意味著年發電量之組合標準不確定度  $u_{AEP}$  為：

$$u_{AEP}^2 = N_h^2 \sum_{i=1}^N f_i^2 \sum_{k=1}^{M_A} c_{k,i}^2 s_{k,i}^2 + N_h^2 \sum_{k=1}^{M_B} \left( \sum_{i=1}^N f_i c_{k,i} u_{k,i} \right)^2 \quad (E.4)$$

公式(E.4)中第二項之重要性在於，每一個單獨之 B 類不確定度項均會發展至相應之 AEP 不確定度，並應用跨區間對單一項完全相關之假設。最後，跨區間之組合不確定度項以二次方的方式加到所得之 AEP 不確定度中。



此外，某些 A 類不確定度項不必然能夠方便地在區間之基礎上推導或估算。例：場地校正方法 A 類項(CNS 61400-12-3)，可藉由 AEP 計算之靈敏度分析導出。在此情況下，此等項宜以二次方之方式加到 AEP 不確定度中。有關示例，參照公式(E.8)。

實務上，在單獨組合之前，對跨區間 B 類不確定度項進行加總可能不方便。一種近似方法，允許 B 類不確定度項在跨區間組合之前，在區間內組合(即可使用  $s_i$  及  $u_i$ )，從而得到更方便之表達式：

$$u_{AEP}^2 = N_h^2 \sum_{i=1}^N f_i^2 \sum_{k=1}^{M_A} c_{k,i}^2 s_{k,i}^2 + N_h^2 \left( \sum_{i=1}^N f_i \sqrt{\sum_{k=1}^{M_B} c_{k,i}^2 u_{k,i}^2} \right)^2 \tag{E.5}$$

$$= N_h^2 \sum_{i=1}^N f_i^2 s_i^2 + N_h^2 \left( \sum_{i=1}^N f_i u_i \right)^2$$

藉由公式(E.5)獲得之  $u_{AEP}$  始終等於或大於使用公式(E.4)所獲得之  $u_{AEP}$ 。

**E.2.2 擴充不確定度**

功率曲線及 AEP 之組合標準不確定度亦可藉由擴充不確定度來表示。參考 ISO/IEC Guide 98-3 並假設為常態分布，可藉由將此等組合標準不確定度乘以表 E.1 中所示之涵蓋因數，以找到具表 E.1 中所示信賴水準之區間。

表 E.1 擴充不確定度

信賴水準 %	涵蓋因數
68.27	1
90	1.645
95	1.960
95.45	2
99	2.576
99.73	3

**E.2.3 不確定度評鑑之基礎**

計算方法是藉由估算實測功率曲線之每一個區間的 A 類及 B 類不確定度，推導出功率曲線之不確定度，且最後估算年發電量(AEP)之不確定度。注意由於各種量測方法之計算存在差異，故未包含完整之示例。在可能情況下，包括部分計算示例，以顯示如何應用公式及不確定度項之預設值估算。

計算方法遵循 ISO/IEC Guide 98-3 及上述假設。依據公式(E.5)使用 B 類不確定度項之組合，可先組合每一個區間內之所有不確定度項，以表達每一個量測參數之組合 B 類不確定度，例：對於風速：

$$u_{V,i}^2 = u_{V1,i}^2 + u_{V2,i}^2 + \dots \quad (E.6)$$

其中不確定度項為表 E.2 中之不確定度項，使用表 E.2 中之符號及索引。

其次，量測量之標準不確定度可用區間 i 中量測參數之不確定度表示：

$$u_{c,i}^2 = s_{P,i}^2 + u_{P,i}^2 + u_{M,Tinorm,i}^2 + c_{V,i}^2 u_{V,i}^2 + c_{T,i}^2 u_{T,i}^2 + c_{B,i}^2 u_{B,i}^2 + c_{RH,i}^2 u_{RH,i}^2 + c_{V,i}^2 u_{M,i}^2 \quad (E.7)$$

式中， $s_{P,i}$ ：區間 i，功率之 A 類標準不確定度

$u_{P,i}$ ：區間 i，功率之 B 類標準不確定度

$u_{M,Tinorm,i}$ ：與擾流正規化相關之不確定度

$u_{V,i}$ ：區間 i，風速之 B 類標準不確定度

$u_{T,i}$ ：區間 i，溫度之 B 類標準不確定度

$u_{B,i}$ ：區間 i，壓力之 B 類標準不確定度

$u_{RH,i}$ ：區間 i，相對濕度之 B 類標準不確定度

$u_{M,i}$ ：區間 i，方法之 B 類標準不確定度

$c_{V,i}$ ：區間 i，風速之靈敏度係數

$c_{T,i}$ ：區間 i，空氣溫度靈敏度係數

$c_{B,i}$ ：區間 i，壓力靈敏度係數

$c_{RH,i}$ ：區間 i，相對濕度靈敏度係數

此亦提供

$$u_{AEP}^2 = N_h^2 \left[ \sum_{i=1}^N f_i^2 (s_{P,i}^2) + \left( \sum_{i=1}^N f_i \sqrt{u_{P,i}^2 + u_{M,Tinorm,i}^2 + c_{V,i}^2 u_{V,i}^2 + c_{T,i}^2 u_{T,i}^2 + c_{B,i}^2 u_{B,i}^2 + c_{RH,i}^2 u_{RH,i}^2 + c_{V,i}^2 u_{M,i}^2} \right)^2 \right] \quad (E.8)$$

在公式(E.8)中，因資料擷取系統引起之不確定度是每一個量測參數不確定度的一部分。

圖 6 及表 4 顯示之實測功率曲線，用於本附錄 E 中之不確定度計算。示例中之不確定度分析結果亦顯示於圖 6、表 4 及表 5。所有靈敏度係數均列於表 E.10 中，B 類不確定度列於表 E.11 中。

表 E.2 A 類及 B 類不確定度列表

B 類：儀器	備考	不確定度	靈敏度	量值
<b>輸出功率</b>		$u_{P,i}$	$c_{P,i}=1$	
比流器	a	$u_{P,CT,i}$		0.75 %
比壓器	a	$u_{P,VT,i}$		0.5 %
功率傳感器或功率量測裝置	a	$u_{P,PT,i}$		0.5 %
DAQ	d	$u_{dP,i}$		0.1 % ~ 0.2 %
<b>風速</b>		$u_{V,i}$		
<b>風速量測</b>		$u_{VHW,i}$		
<b>風速(杯型或音速)</b>		$u_{VS,i}$	對於 AEP 不確定度(及功率曲線不確定度之最後一個區間)使用： $c_{V,i} \approx \frac{P_i - P_{i-1}}{V_i - V_{i-1}}$ 對於功率曲線不確定度，使用： $c_{V,i} \approx \frac{1}{2} \cdot \left[ \frac{(P_{i+1} - P_i)}{(V_{i+1} - V_i)} + \frac{(P_i - P_{i-1})}{(V_i - V_{i-1})} \right]$	來自校正
校正	b	$u_{VS,precal,i}$		0.2 m/s
後校正/場地校正	b	$u_{VS,postcal,i}$		1.0 %
分類	c	$u_{VS,class,i}$		0.5 %
安裝效應				1.0 %
單頂部安裝	d	$u_{VS,mnt,i}$		1.5 %
並排安裝	d	$u_{VS,mnt,i}$		0.1 % ~ 0.2 %
側面安裝	d	$u_{VS,mnt,i}$		0.1 % ~ 0.2 %
避雷針	d	$u_{VS,igt,i}$		0.1 % ~ 0.2 %
DAQ	d	$u_{dVS,i}$		0.1 % ~ 0.2 %
<b>風速 RSD</b>		$u_{VR,i}$	$c_{V,i}$ (參照上述)	
校正	b,c	$u_{VR,ver,i}$		2 % ~ 3 %
現場檢查	c	$u_{VR,isc,i}$		參照 E.7.3
分類	c	$u_{VR,class,i}$		1.0 % ~ 1.5 %
安裝	c	$u_{VR,mnt,i}$		0.1 %
相同高度不同探測體積之氣流變化	d	$u_{VR,flow,i}$		2 % ~ 3 % 參照 E.7.6
監測試驗	c	$u_{VR,mon,i}$		0.5 %
<b>轉子等效風速</b>		$u_{REWS,i}$	$c_{V,i}$ (參照上述)	
風切	c	$u_{REWS,shear,i}$		參照 E.8.2
風轉向	c	$u_{REWS,veer,i}$		參照 E.8.3
<b>風速－地形效應</b>		$u_{VT,i}$	$c_{V,i}$ (參照上述)	

表 E.2 A 類及 B 類不確定度列表(續)

B 類：儀器	備考	不確定度	靈敏度	量值
<b>無場地校正</b>				
地形引起之氣流畸變	d	$u_{VT,i}$	$c_{V,i}$ (參照上述)	2 % ~ 3 % (離岸 1 % 或 2 %)
<b>有場地校正</b>				
風速計校正	b	$u_{VT,precal,i}$		來自校正
後校正 / 現場校正	b	$u_{VT,postcal,i}$		0.2 m/s
風速計分類	c	$u_{VT,class}$		1.0 %
<b>安裝效應</b>				
單頂部安裝	d	$u_{VT,mnt,i}$		0.5 %
並排安裝	d	$u_{VT,mnt,i}$		1.0 %
側面安裝	d	$u_{VT,mnt,i}$		1.5 %
避雷針	d	$u_{VT,lgt,i}$		0.1 % ~ 0.2 %
DAQ	d	$u_{dVT,i}$		0.1 % ~ 0.2 %
修正變化(鄰近風向區間)	c	$u_{VT,coc,i}$		參照 E.9.8
場地校正及功率曲線量測間移除風向感測器	c	$u_{VT,rmv,i}$		參照 E.9.9
季節性變化	c	$u_{VT,sv,i}$	參照 E.9.10	
<b>空氣密度</b>		$u_{AD,i}$		
溫度		$u_{T,i}$	$c_{T,i}$ (參照 E.10.2)	
溫度感測器	a,b	$u_{T,cal,i}$		0.4 K ~ 0.6 K
輻射屏蔽	c,d	$u_{T,shield,i}$		1.5 K ~ 2.5 K
安裝效應	c,d	$u_{T,mnt,i}$		0.25 K ~ 0.4 K
DAQ	c	$u_{dT,i}$		0.1 % ~ 0.2 %
<u>空氣壓力</u>		$u_{B,i}$	$c_{B,i}$ (參照 E.10.7)	
壓力感測器	a,b	$u_{B,cal,i}$		2 hPa ~ 4 hPa
安裝效應	a	$u_{B,mnt,i}$		修正 10 %
DAQ	c	$u_{dB,i}$		0.1 % ~ 0.2 %
<u>相對濕度</u>		$u_{RH,i}$	$c_{RH,i}$ (參照 E.10.11)	
濕度感測器	a,b	$u_{RH,cal,i}$		1 % ~ 2 % (RH)
安裝效應	c,d	$u_{RH,mnt,i}$		0.1 % ~ 0.2 %
DAQ	c	$u_{dRH,i}$		0.1 % ~ 0.2 %

表 E.2 A 類及 B 類不確定度列表(續)

B 類：儀器	備考	不確定度	靈敏度	量值
方法 空氣密度正規化	c,d	$u_{AD,method,i}$	$c_{AD,method,i} = c_{V,i}$ (用於主動調節風力機) $c_{AD,method,i} = 1$ (用於失速調節風力機)	風速 0.2 % ~ 0.3 %
方法 風條件 風條件－風切 風條件－風向 風條件－上升氣流 風條件－擾流 季節性效應 擾流正規化 寒冷氣候	d d d d d d d d d	$u_{M,i}$ $u_{M,wc,i}$ $u_{M,hear,i}$ $u_{M,veer,i}$ $u_{M,upflow,i}$ $u_{M,ti,i}$ $u_{M,sfx,i}$ $u_{M,tinorm,i}$ $u_{M,cc,i}$	$c_{V,i}$ (參照上述)	參照 E.11.2.1(a) 或 (b) 參照 E.11.2.2 參照 E.11.2.3 參照 E.11.2.4 0.3 % ~ 0.5 % (僅適用於氣象桿較低之 RSD)參照 E.11.2.5 0.7 % 參照 E.11.3 參照 E.11.4 0.5 % ~ 1 %
風向				
風向標		$u_{WV,i}$	無(參照 E.12.2.1)	
校正 北標 懸臂方位 運轉(氣象桿影響) 磁偏角 DAQ	b c d c c c	$u_{WV,cal,i}$ $u_{WV,nm,i}$ $u_{WV,bo,i}$ $u_{WV,oe,i}$ $u_{WV,mda,i}$ $u_{dWV,i}$		參照 E.12.2.1 參照 E.12.2.2 參照 E.12.2.3 參照 E.12.2.4 參照 E.12.2.5 參照 E.12.2.6
風向 RSD		$u_{WR,i}$	無(參照 E.12.3)	
查證 分類 監測試驗 相同高度不同探測體積之氣流變化	a,b c c c	$u_{WR,ver,i}$ $u_{WR,class,i}$ $u_{WR,mon,i}$ $u_{WR,fv,i}$		參照 E.12.3.1 參照 IEC 61400-50-2 參照 E.12.3.2 參照 E.12.3.3

表 E.2 A 類及 B 類不確定度列表(續)

B 類：儀器	備考	不確定度	靈敏度	量值
對準	d	$u_{WR,align,i}$		參照 E.12.3.4
磁偏角	c	$u_{WR,mda,i}$		參照 E.12.3.5
DAQ	c	$u_{dWR,i}$		參照 E.12.3.6
A 類：統計				
電功率	e	$s_{P,i}$	$c_{P,i}=1$	
場地校正	e	$s_{sc}$	$c_{V,i}$ (參照上述)	
備考：不確定度識別： a = 參考標準。 b = 校正。 c = 其他“客觀”方法。 d = “猜測”。 e = 統計。				

宜考慮表 E.2 中給出之不確定度項範圍。當可用時，宜使用特定量測之實際值。依據 ISO/IEC Guide 98-3 中之指引，除特定之不確定度項與所應用之特定試驗方法無關(參照 E.14)外，不確定度項不宜估算為 0。

此外，值得注意的是，風向不確定度不會直接影響功率曲線或 AEP 之不確定度(除非應用風轉向正規化)。然而，因瞭解如何準確地實施量測扇形區域過濾及如何準確地將場地校正因數應用於正確扇形區域資料是重要的，故此處包含風向不確定度。由於應報告風向不確定度，表 E.2 給出風向不確定度應考慮之最小不確定度項。未給出此等項量值之估算，但此等項宜包含在報告功率曲線中。注意某些校正報告會報告涵蓋因數為 2 而非 1 之不確定度。為正確組合不確定度，應將不確定度轉換為與所有不確定度輸入一致之涵蓋因數(預設使用涵蓋因數為 1)。

### E.3 A 類不確定度

#### E.3.1 一般

需考慮量測及正規化電功率與因氣候變動及場地校正(若執行)而導致之 A 類不確定度。

#### E.3.2 A 類電功率不確定度

依據公式(E.9)計算每一個區間中正規化功率資料分布之標準差。

$$\sigma_{P,i} = \sqrt{\frac{1}{N_i-1} \sum_{j=1}^{N_i} (P_i - P_{n,i,j})^2} \quad (E.9)$$

式中， $\sigma_{P,i}$ ：區間  $i$ ，正規化功率資料之標準差  
 $N_i$ ：區間  $i$ ，10 min 資料組之數目  
 $P_i$ ：區間  $i$ ，正規化之平均輸出功率  
 $P_{n,i,j}$ ：區間  $i$ ，資料組  $j$  之正規化輸出功率

依據公式(E.10)估算區間內正規化之平均功率的標準不確定度：

$$s_{P,i} = \frac{S_{P,i}}{\sqrt{N_i}} \quad (\text{E.10})$$

式中， $s_{P,i}$ ：區間  $i$ ，功率之 A 類標準不確定度  
 $\sigma_{P,i}$ ：區間  $i$ ，正規化功率資料之標準差  
 $N_i$ ：區間  $i$ ，10 min 資料組數目

### E.3.3 場地校正之 A 類不確定度

場地校正修正與風力機氣象桿實測風速間之殘差用於定義場地校正之 A 類不確定度  $s_{sc}$ 。推導方法參照 CNS 61400-12-3。

## E.4 B 類不確定度：簡介及資料擷取系統

### E.4.1 B 類不確定度：簡介

B 類不確定度假設與儀器、資料擷取系統、功率性能試驗場周圍之地形、風條件及與所應用方法相關之不確定度有關。若不確定度以不確定度限值表示，或具隱含非統一之涵蓋因數，則應估算標準不確定度或將其適當轉換至標準不確定度。

考慮表示為不確定度限值  $\pm U$  之不確定度。若假設矩形機率分布，則標準不確定度為：

$$\sigma = \frac{U}{\sqrt{3}} \quad (\text{E.11})$$

若假設三角機率分布，則標準不確定度為：

$$\sigma = \frac{U}{\sqrt{6}} \quad (\text{E.12})$$

### E.4.2 B 類不確定度：資料擷取系統

與資料擷取相關之不確定度已包含在對特定訊號處理中。電功率之不確定度包括資料擷取項，風速及其他量測訊號項亦是如此。

在本附錄中，假設資料擷取系統之標準不確定度  $u_{d,i}$  為每一個量測通道全範圍之 0.1%。但對於特定功率性能試驗之報告，應估算特定試驗設定之資料擷取不確定度，至少包括 E.4.2 中提及之對資料擷取不確定度的貢獻。

資料擷取系統中可能存在來自傳輸、訊號調適、類比數位轉換及資料處理之不確定度。每一個量測通道之不確定度可能不同。資料擷取系統對某一量測通道全範圍之標準不確定度  $u_{d,i}$  可表示為：

$$u_{d,i} = \sqrt{u_{d,ST,i}^2 + u_{d,SA,i}^2 + u_{d,SC,i}^2} \quad (E.13)$$

式中， $u_{d,ST,i}$ ：區間  $i$ ，訊號傳輸所引起之不確定度

$u_{d,SA,i}$ ：區間  $i$ ，系統準確度所引起之不確定度

$u_{d,SC,i}$ ：區間  $i$ ，訊號調適所引起之不確定度

儘管量測通道全範圍之標準不確定度為 0.1 % 的假設在許多情況下是合理的，但特定之硬體及條件可能會導致此值更高。為確保資料擷取系統之不確定度與感測器之不確定度相比確實可以忽略不計(作為指引，在比較標準不確定度時宜將其解釋為量之 10 倍)，應評鑑所使用之資料擷取系統的實際不確定度。

## E.5 B 類不確定度：輸出功率

### E.5.1 一般

關於輸出功率之 B 類不確定度是基於 5 個不同不確定度項，如下述。

此不確定度項之符號為  $u_{P,i}$ 。

功率量測之不確定度有來自比流器、比壓器及功率傳感器(或其他功率量測裝置)的不確定度貢獻。此等子項之不確定度通常由其分類聲明。

此外，應增加因風力機輸出功率之動態行為及功率量測裝置於靜態條件下分類之事實而產生的不確定度項，最後應增加與功率訊號之資料擷取相關之不確定度。

### E.5.2 B 類不確定度：輸出功率－比流器

此不確定度項涵蓋感測器分類所涵蓋之比流器所引起之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{P,CT,i}$ 。

在本附錄中，比流器及功率傳感器均假定為等級 0.5，此為本標準要求之功率曲線量測的最低可接受等級。

等級 0.5 之比流器(比流器之標稱負載於此設計為匹配標稱功率 2,000 kW，而非標稱功率之 125%)。依據 IEC 61869-2，其不確定度限值為 100 % 負載時電流之  $\pm 0.5\%$ 。然而，在 20 % 及 5 % 負載下，不確定度限值分別增加至電流之  $\pm 0.75\%$  及  $\pm 1.5\%$ 。對於風力機之功率性能量測，最重要的能源產出是在降低功率下產生的。故預期 20 % 負載時電流之不確定度限值為  $\pm 0.75\%$ ，此為一良好之平均。

假設比流器之不確定度分布是矩形分布。若比流器未在其二次迴路運轉負載限值內運轉，則應增加額外之不確定度。

假設 3 個比流器之不確定度是由空氣溫度、電網頻率等外部影響因子引起的。故假設其完全相關(一般假設之例外)並線性相加。由於每一個比流器對功率量測貢獻 1/3，因此所有比流器之不確定度與功率成正比，如下所示：



$$u_{P,CT,i} = \frac{0.75 \% \cdot P_i(\text{kW})}{\sqrt{3}} \frac{1}{3} = 0.43 \% \cdot P_i(\text{kW}) \quad (\text{E.14})$$

### E.5.3 B 類不確定度：輸出功率－比壓器

此不確定度項涵蓋感測器分類所涵蓋之比壓器所引起的不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{P,VT,i}$ 。

在本附錄中，比壓器及功率傳感器均假定為等級 0.5，此為本標準要求之功率曲線量測的最低可接受等級。

等級 0.5 之比壓器，依據 IEC 61869-3 之不確定度限值為在全負載時電壓的  $\pm 0.5\%$ 。假設不確定度分布為矩形分布。

並非所有量測均使用比壓器，當未使用時，此不確定度項之值可設定為 0。

若比壓器不在其二次迴路運轉負載限值內運轉，則應增加額外之不確定度。

電網電壓通常相當恆定且與風力機功率無關。3 個比壓器之不確定度與比流器一樣，假設是由外部影響因子(例：空氣溫度、電網頻率等)引起的。由於每一個比壓器對功率量測貢獻 1/3，因此所有比壓器之不確定度與功率成正比，如下所示：

$$u_{P,VT,i} = \frac{0.5 \% \cdot P_i(\text{kW})}{\sqrt{3}} \frac{1}{3} = 0.29 \% \cdot P_i(\text{kW}) \quad (\text{E.15})$$

### E.5.4 B 類不確定度：輸出功率－功率傳感器或其他功率量測裝置

此不確定度項涵蓋由感測器分類所涵蓋之功率傳感器(或其他功率量測裝置)引起的不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{P,PT,i}$ 。

等級 0.5 之功率傳感器，依據 IEC 60688 標稱功率為 2,500 kW (風力機標稱功率 2,000 kW 之 125%)，不確定度限值為 12.5 kW。假設不確定度分布為矩形分布。

因此功率傳感器之不確定度為：

$$u_{P,PT,i} = \frac{12.5 \text{ kW}}{\sqrt{3}} = 7.2 \text{ kW} \quad (\text{E.16})$$

### E.5.5 B 類不確定度：輸出功率－資料擷取

此不確定度項涵蓋與功率訊號資料擷取相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{dP,i}$ 。

此項之量值假設預設值為資料擷取系統全範圍之 0.1% 至 0.2%。

考慮到 2 MW 風力機之量測通道的電功率範圍為 3,000 kW，且資料擷取系統之不確定度為該範圍的 0.1%，因此得出不確定度為 3 kW。

## E.6 B 類不確定度：風速－簡介及感測器

### E.6.1 B 類不確定度：風速－簡介

風速不確定度由 3 個項組成，每一個項又由多個子項組成。此 3 項為：

- (a) 與使用感測硬體[杯型風速計、音波風速計及遙感裝置(RSD)]相關之不確定度。
- (b) 與地形造成之氣流畸變相關之不確定度。
- (c) 與所應用方法相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{v,i}$ 。

此不確定度項及子項將在 E.6.2 至 E.11 中介紹。

靈敏度係數  $c_{v,i}$  於表 E.2 中定義。

#### **E.6.2 B 類不確定度：風速－硬體**

與硬體相關之風速不確定度由 3 項組成，每一個項由多個子項組成。此 3 項為：

- (a) 與使用安裝在氣象桿上之感測器(杯型風速計及音波風速計)相關之不確定度。
- (b) 與遙感裝置(RSD)相關之不確定度。
- (c) 與轉子等效風速(REWS)相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{vhw,i}$ 。

#### **E.6.3 B 類不確定度：風速－安裝在氣象桿上之感測器**

##### **E.6.3.1 一般**

此不確定度項涵蓋與在氣象桿上使用杯型風速計及音波風速計(頂部安裝式或側面安裝式)相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{vs,i}$  (V 代表風速，S 代表感測器)。

此不確定度項有 6 個子項，所有子項宜依據 IEC 61400-50-1 推導：

- (a) 功率性能試驗開始前與感測器校正相關之不確定度。
- (b) 功率性能試驗期間或試驗之後與感測器校正相關之不確定度。
- (c) 與由感測器分類決定之運轉特性相關之不確定度。
- (d) 與感測器安裝相關之不確定度。
- (e) 與避雷針安裝相關之不確定度。
- (f) 與感測器訊號資料擷取相關之不確定度。

##### **E.6.3.2 B 類不確定度：風速－氣象桿感測器－預校正**

此不確定度項涵蓋依據 IEC 61400-50-1 進行試驗前與感測器校正相關之不確定度。此包括一試驗設施重複試驗之變動性及不同設施間重複試驗之變動性。

此不確定度項之符號為  $u_{vs,precal,i}$ 。

對於特定之功率性能試驗，應使用感測器校正之器示值進行不確定度計算。

##### **E.6.3.3 B 類不確定度：風速－氣象桿感測器－後校正**

此不確定度項涵蓋與依據 IEC 61400-50-1 進行之場地校正及/或依據 IEC 61400-50-1 在試驗期間及/或試驗之後，對感測器進行後校正相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{vs,postcal,i}$ 。

此不確定度亦於 7.2.2 及 IEC 61400-50-1 中討論。

#### **E.6.3.4 B 類不確定度：風速－氣象桿感測器－分類**

此不確定度項涵蓋與感測器分類(依據 IEC 61400-50-1)決定之運轉特性相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{VS,class,i}$ 。

此不確定度於 IEC 61400-50-1 中詳細討論。

應於功率性能報告中包含對分類報告之參考資料。

基準風速計之運轉不確定度(來自依據 CNS 61400-12-3 可能進行之場地校正)應包含在此不確定度項中。此可為基準風速計來自場地校正之不確定度的全部、部分或無，其具體取決於場地校正期間永久氣象桿上之基準感測器所經歷之影響參數量測範圍，是否與在功率曲線試驗期間永久氣象桿上之基準感測器所經歷之影響參數範圍顯著不同。

預設情況下，應包括場地校正期間基準風速計運轉不確定度之 1/2 及風力機風速計之所有運轉不確定度，及功率曲線試驗期間風速計運轉不確定度之 1/2。此等應使用均方根法相加。

#### **E.6.3.5 B 類不確定度：風速－氣象桿感測器－安裝**

此不確定度項涵蓋與感測器(依據 IEC 61400-50-1)安裝相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{VS,mnt,i}$ 。

此不確定度於 7.2.4、9.1.2 及 IEC 61400-50-1 中進行討論。

此不確定度項具 3 個預設值，對應於 IEC 61400-50-1 允許之 3 種安裝配置(單一頂部安裝風速計、並排頂部安裝風速計或側面安裝風速計)。詳細資訊參照 IEC 61400-50-1。

#### **E.6.3.6 B 類不確定度：風速－氣象桿感測器－避雷針**

此不確定度項涵蓋與可能之頂部安裝避雷針及當無法符合 IEC 61400-50-1 中關於避雷針安裝要求時，其影響頂部安裝風速計相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{VS,lgt,i}$ 。

若未符合 IEC 61400-50-1 要求時，則該不確定度項之預設量值為風速訊號的 0.1 % 至 0.2 %。

#### **E.6.3.7 B 類不確定度：風速－氣象桿感測器－資料擷取**

此不確定度項涵蓋與風速訊號資料擷取相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{d,VS,i}$ 。

E.4.2 中亦討論此不確定度。

此不確定度項之預設量值為量測風速訊號全範圍之 0.1 % 至 0.2 %。

考慮到量測通道之風速範圍為 30 m/s，且資料擷取系統之不確定度為此範圍的 0.1 %，則資料擷取之標準不確定度為 0.03 m/s。

### **E.7 B 類不確定度：風速－RSD**

### E.7.1 一般

此不確定度項涵蓋依據 IEC 61400-50-2 使用遙感裝置進行風速量測(光達及聲達)相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{VR,i}$ (V 代表風速，R 代表遙感裝置)。

此不確定度項有 6 個子項：

- (a) 與裝置查證相關之不確定度。
- (b) 與裝置現場檢查相關之不確定度。
- (c) 與由裝置分類決定之裝置運轉特性相關之不確定度。
- (d) 與裝置安裝相關之不確定度。
- (e) 與相同高度不同探測體積氣流變化相關之不確定度。
- (f) 與監測試驗相關之不確定度。

### E.7.2 B 類不確定度：風速－RSD－校正

此不確定度項涵蓋與遙感裝置校正(依據 IEC 61400-50-2)相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{VR,ver,i}$ 。

量測前，應依據 IEC 61400-50-2 進行校正並評估其不確定度( $u_{VR,vrf,i}$ )。若無精確量測高度不確定度可使用時，則宜對不確定度進行內插。此不確定度項之預設量值為量測風速之 1.0 %至 3.0 %。

### E.7.3 B 類不確定度：風速－RSD－現場檢查

此不確定度項涵蓋與遙感裝置現場查證(依據 IEC 61400-50-2)相關之不確定度，僅適用於低於輪轂高度氣象桿之 RSD。

此不確定度項之符號為  $u_{VR,isc,i}$  [“isc”代表現場檢查(in-situ check)]。

現場試驗應依據 IEC 61400-50-1 說明進行評估，其中 RSD 為主要量測，監測氣象桿上之風速計為具相同不確定度限値之控制風速計。

### E.7.4 B 類不確定度：風速－RSD－分類

此不確定度項涵蓋與遙感裝置分類(依據 IEC 61400-50-2)相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{VR,class,i}$ 。

由於運轉特性而產生之不確定度來自 RSD 分類報告，此報告提供環境變數之斜率及範圍。依據 IEC 61400-50-2 藉由 3 種方式計算此等變數引起之不確定度。依據 IEC 61400-50-2，若查證試驗包含與功率曲線試驗相同之資料，則  $u_{VR,class}$  將等於 0。

此不確定度項之預設量值為量測風速之 1.0 %至 1.5 %。

### E.7.5 B 類不確定度：風速－RSD－安裝

此不確定度項涵蓋與遙感裝置安裝(依據 IEC 61400-50-2)相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{VR,mnt,i}$ 。

應估計因裝置非理想調平而導致之遙感裝置不確定度。不確定度很大程度上取決於所使用之儀器型式。

此不確定度項之預設量為實測風速之 0.1 %。

#### **E.7.6 B 類不確定度：風速－RSD－氣流變化**

此不確定度項涵蓋與遙感裝置量測體積內之氣流變化(依據 IEC 61400-50-2)相關的不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{VR,flow,i}$ 。

使用者宜諮詢遙感裝置製造商，以瞭解評估其特定裝置於試驗場之不確定度的最佳方法。

#### **E.7.7 B 類不確定度：風速－RSD－監測試驗**

此不確定度項涵蓋與遙感裝置監測結果相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{VR,mon,i}$ 。

IEC 61400-50-2 詳述此不確定度之推導。

此不確定度項之預設量值為實測風速之 0.5 %。

### **E.8 B 類不確定度：風速－REWS**

#### **E.8.1 一般**

許多不確定度項與風速量測無關(至少在應用於輪轂高度風速時是如此)，但與轉子等效風速(REWS)之使用與定義有關。與 REWS 相關之不確定度項將在 E.8 中涵蓋。

依據 9.1.3.2 中公式(5)之轉子等效風速包括距地面不同高度之風速量測。為使轉子等效風速之不確定度計算可行，需要公式(E.3)及公式(E.4)。對於 B 類不確定度項在不同 B 類不確定度來源間獨立之情況，公式(E.3)及公式(E.4)分別為公式(E.1)及公式(E.2)之近似。若將不同高度之風速量測的不確定度視為單獨的 B 類不確定度，則此近似值會嚴重違反，因為不同高度之風速量測的不確定度項具高度相關，故不能直接應用公式(E.3)及公式(E.4)。

為克服此問題，應使用可被視為彼此獨立之轉子等效風速的 B 類項，以應用公式(E.3)及公式(E.4)。E.8.2 提供如何實施之建議。

#### **E.8.2 B 類不確定度：風速－REWS－整個轉子上之風速量測**

##### **E.8.2.1 一般**

此不確定度項涵蓋基於 REWS 所基於之多個風速量測 REWS 風速的不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{REWS,shear,i}$ 。

附錄 P 中亦討論此不確定度。

備考：此不確定度將與 E.13.3 結合使用，以取代  $u_{v,i}$ 。

對此不確定度項而言非常重要，其推導及其量值強烈依賴於 7.2 所介紹之各種量測方法。僅具輪轂高度氣象桿之組態不會產生 REWS 之實施，E.8.2.2 至 E.8.2.4 考慮其他量測組態。

每一個子節中使用相同之符號，因為此等組態是相互排斥的，且依特定之量

測設定，僅適用 E.8.2.2、E.8.2.3 及 E.8.2.4 之一。

#### **E.8.2.2 REWS 風切不確定度－氣象桿顯著高於輪轂高度**

在此組態中，REWS 是基於來自氣象桿上多個量測高度之側面安裝式杯型風速計或音波風速計訊號。

在此情況下，適用 9.1.3.2 公式(5)，且 REWS 不確定度項來自 E.6。

預設值來自 E.6 中預設值之組合。

E.13.7 解釋將此等項組合成 REWS 不確定度之方法。

#### **E.8.2.3 REWS 風切不確定度－RSD 加上低於輪轂高度氣象桿**

在此組態中，REWS 是基於來自 RSD 之訊號。來自氣象桿之資料僅用於確證 RSD 資料。

在此情況下，適用 9.1.3.2 公式(5)，且 REWS 不確定度項來自 E.7。

預設值來自 E.7 中預設值之組合。

E.13.7 解釋將此等項組合成 REWS 不確定度之方法。

#### **E.8.2.4 REWS 風切不確定度－輪轂高度氣象桿加上風切之 RSD**

在此組態中，REWS 是基於輪轂高度氣象桿上之杯型風速計或音波風速計，並結合來自 RSD 之風切資料。

在此情況下，適用 9.1.3.4 中公式(11)，且 REWS 不確定度項來自 E.6 及 E.7。

在此情況下，仍進一步劃分：RSD 訊號被視為絕對風速量測或相對風速量測，因每一種情況之處理方法均不同。此取決於所使用設備之類型或可利用之靈敏度及查證試驗。

對於絕對風速，將此等項組合成 REWS 不確定度之方法於 E.13.8 中解釋。

對於相對風速，將此等項組合成 REWS 不確定度之方法於 E.13.9 中解釋。

#### **E.8.3 B 類不確定度：風速－REWS－風轉向**

此不確定度項涵蓋與轉向對轉子等效風速影響相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{REWS,veer,i}$ 。

附錄 Q 亦討論此不確定度。

轉向量測基於來自側面安裝風向標或氣象桿上多個量測高度之音波風速計訊號或來自 RSD 之訊號。

故此不確定度項之子項來自 E.12.2 或 E.12.3。

#### **E.9 B 類不確定度：風速－地形**

##### **E.9.1 一般**

此不確定度項涵蓋因當地地形而導致量測點與風力機間之風速氣流畸變相關的不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{VT,i}$  (V 代表風速，T 代表地形)。

此不確定度亦於 6.3.4 討論。

當在無場地校正情況下進行功率性能試驗時，此不確定度項之預設量值由量測

裝置及被測風力機間之距離決定。若此距離介於 2 至 3 個轉子直徑間( $2D \leq \text{距離} \leq 3D$ )，則此預設量值為陸上平坦地形實測風速之 2%，離岸平坦地形為實測風速之 1%。若此距離介於 3 至 4 個轉子直徑間( $3D < \text{距離} \leq 4D$ )，則此預設量值為陸上平坦地形實測風速之 3%，離岸為 2%。

當依據 CNS 61400-12-3 藉由場地校正完成功率曲線試驗時，此不確定度項之預設量值由場地校正量測決定。

在此情況下，與地形相關之不確定度項有 9 個子項：

- (a) 與場地校正所用風速計校正相關之不確定度。
- (b) 與場地校正所用風速計運轉特性相關之不確定度。
- (c) 與場地校正所用風速計安裝相關之不確定度。
- (d) 與場地校正所用風速計訊號資料擷取相關之不確定度。
- (e) 與收斂性檢查相關之不確定度。
- (f) 與相關性檢查相關之不確定度。
- (g) 與鄰近區間間之修正變化相關之不確定度。
- (h) 場地校正及功率曲線量測間與移除風向感測器相關之不確定度。
- (i) 與季節性變化相關之不確定度。

#### E.9.2 B 類不確定度：風速－地形－預校正

此不確定度項涵蓋與試驗前感測器校正相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{VT,precal,i}$ 。

此不確定度於 IEC 61400-50-1 及 CNS 61400-12-3 中詳細討論。

此不確定度實際上與  $u_{VS,cal,i}$  相同，不同之處在於此其應用於 2 個氣象桿上實測風速。

#### E.9.3 B 類不確定度：風速－地形－後校正

此不確定度項涵蓋場地校正期間及/或校正後與感測器現場校正(附錄 K)及/或感測器後校正(IEC 61400-50-1)相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{VT,postcal,i}$ 。

此不確定度於 7.2.2 及 IEC 61400-50-1 中討論。

#### E.9.4 B 類不確定度：風速－地形－分類

此不確定度項涵蓋對於場地校正(依據 IEC 61400-50-1)與感測器分類相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{VT,class,i}$ 。

此不確定度基本上與  $u_{VS,class,i}$  相同，不同之處在於此應用於 2 個氣象桿上的風速量測。某些分類影響因數將以相同之方式影響 2 個感測器，導致運轉響應之相關性及訊號間差異減少。有關如何處理此問題之詳細資訊，參照 CNS 61400-12-3。

若於場地校正期間，永久氣象桿上基準感測器所經歷之影響參數的量測範圍與

功率曲線試驗期間，永久氣象桿上基準感測器所經歷之影響參數的量測範圍顯著不同，則可能需要額外之不確定度項。但只要 2 項試驗均保持在 A 類及 B 類定義範圍內，即視為已充分涵蓋，無需考慮額外之不確定度。

#### E.9.5 B 類不確定度：風速－地形－安裝

此不確定度項涵蓋在場地校正期間與安裝感測器(依據 IEC 61400-50-1)相關之不確定度，如 CNS 61400-12-3 所述。

此不確定度項之符號為  $u_{VT,mt,i}$ 。

IEC 61400-50-1 定義 3 種可能安裝配置(單一頂部安裝、並排頂部安裝或側面安裝)中每一種不確定度項之預設量值。有關評估細節參照 CNS 61400-12-3 及 IEC 61400-50-1。

#### E.9.6 B 類不確定度：風速－地形－資料擷取

此不確定度項涵蓋對於場地校正期間與風速感測器訊號資料擷取(依據 IEC 61400-50-1)相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{d,vT,i}$ 。

有關評估細節參照 CNS 61400-12-3 及 IEC 61400-50-1。

#### E.9.7 B 類不確定度：風速－地形－避雷針

此不確定度項涵蓋與可能之頂部安裝避雷針及當無法符合 IEC 61400-50-1 中關於避雷針安裝要求時，其影響頂部安裝風速計相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{VT,igt,i}$ 。

有關此項之細節參照 CNS 61400-12-3 及 IEC 61400-50-1。

#### E.9.8 B 類不確定度：風速－地形－鄰近區間之間的修正變化

此不確定度項涵蓋試驗前與感測器校正(依據 CNS 61400-12-3)相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{VT,coc,i}$  [“coc”代表“修正變化(change in correction)”]。

有關此不確定度評估之細節參照 CNS 61400-12-3。

#### E.9.9 B 類不確定度：風速－地形－風向感測器之移除

此不確定度項涵蓋與在場地校正與功率性能試驗間移除風向感測器(依據 CNS 61400-12-3)相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{VT,rmv,i}$ 。

有關此不確定度評估之細節參照 CNS 61400-12-3。

#### E.9.10 B 類不確定度：風速－地形－季節性變化

此不確定度項涵蓋與場地校正與功率性能試驗間季節性變化相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{VT,sv,i}$  [“sv”代表“季節性變化(seasonal variation)”]。

有關此不確定度評估細節參照 CNS 61400-12-3。

### E.10 B 類不確定度：空氣密度

#### E.10.1 一般

此不確定度項涵蓋與空氣密度對功率曲線影響相關之不確定度。



此不確定度項之符號為  $u_{AD,i}$ 。

空氣密度源自於空氣溫度、濕度及空氣壓力之量測，如 7.4 所述。

空氣密度不確定度由 4 個項組成：

- (a) 與溫度感測器之使用及資料擷取相關的不確定度。
- (b) 與壓力感測器之使用及資料擷取相關的不確定度。
- (c) 與相對濕度(RH)感測器之使用及資料擷取相關的不確定度，或欠缺此類感測器。
- (d) 由於空氣密度修正而產生之不確定度。

此等不確定度項及子項將於 E.10 中介紹。

#### E.10.2 B 類不確定度：空氣密度－溫度－簡介

此不確定度項涵蓋與溫度量測(依據 7.4)相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{T,i}$ 。

此不確定度項有 4 個子項：

- (a) 與溫度感測器校正相關之不確定度。
- (b) 與溫度感測器輻射屏蔽相關之不確定度。
- (c) 與溫度感測器安裝相關之不確定度。
- (d) 與溫度感測器訊號資料擷取相關之不確定度。

溫度靈敏度係數之公式參照公式(E.17)及公式(E.18)。

有效功率控制之風力機量測的溫度靈敏度如下：

$$c_{T,i} = -\frac{c_{v,i}v_i}{3\rho_i} \left[ \frac{\rho_i}{T_i} + \frac{\Phi_i}{T_i} \left( \frac{1}{R_0} - \frac{1}{R_w} \right) 0.0000205 \cdot 0.0631846 \cdot \exp(0.0631846 \cdot T_i) \right] \quad (\text{E.17})$$

式中， $c_{T,i}$ ：區間 i，溫度靈敏度係數

$c_{v,i}$ ：區間 i，風速靈敏度係數

$v_i$ ：區間 i，平均風速

$\rho_i$ ：區間 i，平均空氣密度

$T_i$ ：區間 i，平均溫度

$\Phi_i$ ：區間 i，平均相對濕度(範圍 0 % 至 100 %)

$R_0$ ：乾燥空氣之氣體常數(J/kgK)(=287.05)

$R_w$ ：水蒸氣之氣體常數(J/kgK)(=461.5)

失速調節風力機量測之溫度靈敏度如下：

$$c_{T,i} = \frac{P_i}{\rho_i} \left[ \frac{\rho_i}{T_i} + \frac{\Phi_i}{T_i} \left( \frac{1}{R_0} - \frac{1}{R_w} \right) 0.0000205 \cdot 0.0631846 \cdot \exp(0.0631846 \cdot T_i) \right] \quad (\text{E.18})$$

式中， $c_{T,i}$ ：區間 i，溫度靈敏度係數

$P_i$ ：區間 i，風速靈敏度係數

$\rho_i$ ：區間 i，平均空氣密度

$T_i$ ：區間 i，平均溫度

$\Phi_i$  : 區間  $i$ , 平均相對濕度(範圍 0 %至 100 %)

$R_0$  : 乾燥空氣之氣體常數(J/kgK)(=287.05)

$R_w$  : 水蒸氣之氣體常數(J/kgK)(=461.5)

**E.10.3 B 類不確定度：空氣密度－溫度－校正**

此不確定度項涵蓋與溫度感測器校正相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{T,cal,i}$ 。

此不確定度項之預設量值為 0.4 °C至 0.6 °C。

**E.10.4 B 類不確定度：空氣密度－溫度－輻射屏蔽**

此不確定度項涵蓋與溫度感測器輻射屏蔽相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{T,shield,i}$ 。

此不確定度項之預設量值為 1.5 °C至 2.5 °C。

**E.10.5 B 類不確定度：空氣密度－溫度－安裝**

此不確定度項涵蓋與溫度感測器安裝(依據 7.4)相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{T,mnt,i}$ 。

此不確定度項之預設量值為 0.25 °C至 0.4 °C。

**E.10.6 B 類不確定度：空氣密度－溫度－資料擷取**

此不確定度項涵蓋與溫度感測器訊號資料擷取相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{dT,i}$ 。

此不確定度項之預設量值為量測通道全範圍的 0.1 %至 0.2 %。假設溫度範圍為 40 °C，則為 0.04 °C。

**E.10.7 B 類不確定度：空氣密度－壓力－簡介**

此不確定度項涵蓋與壓力量測(依據 7.4)相關之不確定度。

此不確定度項之符號是  $u_{B,i}$ 。

此不確定度項有 3 個子項：

- (a) 與壓力感測器校正相關之不確定度。
- (b) 與壓力感測器安裝相關之不確定度。
- (c) 與壓力感測器訊號資料擷取相關之不確定度。

壓力靈敏度係數之公式參照公式(E.19)及公式(E.20)。

有效功率控制之風力機量測的壓力靈敏度如下：

$$c_{B,i} = \frac{c_{v,i}v_i}{3\rho_i T_i R_0} \tag{E.19}$$

式中， $c_{B,i}$ ：區間  $i$ ，溫度靈敏度係數

$c_{v,i}$ ：區間  $i$ ，風速靈敏度係數

$v_i$ ：區間  $i$ ，平均風速

$\rho_i$ ：區間  $i$ ，平均空氣密度

$T_i$ ：區間  $i$ ，平均溫度

$R_0$ ：乾燥空氣之氣體常數(J/kgK)(=287.05)

失速調節之風力機量測的壓力靈敏度如下：

$$c_{B,i} = - \frac{P_i}{\rho_i T_i R_0} \quad (\text{E.20})$$

式中

$c_{B,i}$ ：區間  $i$ ，溫度靈敏度係數

$P_i$ ：區間  $i$ ，正規化之平均輸出功率

$\rho_i$ ：區間  $i$ ，平均空氣密度

$T_i$ ：區間  $i$ ，平均溫度

$R_0$ ：乾燥空氣之氣體常數(J/kgK)(=287.05)

#### **E.10.8 B 類不確定度：空氣密度－壓力－校正**

此不確定度項涵蓋與壓力感測器校正相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{B,cal,i}$ 。

此不確定度項之預設量值為 2 hPa 至 4 hPa。

#### **E.10.9 B 類不確定度：空氣密度－壓力－安裝**

此不確定度項涵蓋與壓力感測器安裝(依據 7.4)相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{B,mnt,i}$ 。

此不確定度項之預設量由修正來自壓力感測器訊號之高度差決定。使用 ISO 2533 可計算與此高度差相關之壓力。與此壓力修正相關之不確定度的預設量值為修正之 10 %。

對於安裝在 2 m 高度及 100 m 輪轂高度之感測器，差異為 98 m，此給出 11.7 hPa 之壓力差，則不確定度將為 1.17 hPa。

#### **E.10.10 B 類不確定度：空氣密度－壓力－資料擷取**

此不確定度項涵蓋與壓力感測器訊號資料擷取相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{dB,i}$ 。

此不確定度項之預設量為壓力量測通道全範圍的 0.1 %。考慮量測通道之壓力範圍為 100 hPa，則結果為 0.1 hPa。

#### **E.10.11 B 類不確定度：空氣密度－相對濕度－簡介**

此不確定度項涵蓋與相對濕度量測(依據 7.4)相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{RH,i}$ 。

無需量測相對濕度。在此情況下，應假定預設值為 50 %，不確定度為 100 % (從 0 %到 100 %)。

若量測濕度，則此不確定度項具 3 個子項：

- (a) 與濕度感測器校正相關之不確定度。
- (b) 與濕度感測器安裝相關之不確定度。
- (c) 與濕度感測器訊號資料擷取相關之不確定度。

相對濕度靈敏度係數之公式如公式(E.21)及公式(E.22)所示。  
有效功率控制之風力機量測的相對濕度靈敏度如下：

$$c_{RH,i} = -\frac{c_{V,i}v_i}{3\rho_i T_i} \left( \frac{1}{R_0} - \frac{1}{R_w} \right) \cdot 0.0000205 \cdot \exp(0.0631846 \cdot T_i) \quad (E.21)$$

式中， $c_{RH,i}$ ：區間 i，溫度靈敏度係數  
 $c_{V,i}$ ：區間 i，風速靈敏度係數  
 $v_i$ ：區間 i，平均風速  
 $\rho_i$ ：區間 i，平均空氣密度  
 $T_i$ ：區間 i，平均溫度  
 $R_0$ ：乾燥空氣之氣體常數(J/kgK)(=287.05)  
 $R_w$ ：水蒸氣之氣體常數(J/kgK)(=461.5)

失速調節之風力機量測的相對濕度靈敏度如下：

$$c_{RH,i} = \frac{P_i}{\rho_i T_i} \left( \frac{1}{R_0} - \frac{1}{R_w} \right) \cdot 0.0000205 \cdot \exp(0.0631846 \cdot T_i) \quad (E.22)$$

式中， $c_{RH,i}$ ：區間 i，溫度靈敏度係數  
 $P_i$ ：區間 i，正規化平均輸出功率  
 $\rho_i$ ：區間 i，平均空氣密度  
 $T_i$ ：區間 i，平均溫度  
 $R_0$ ：乾燥空氣之氣體常數(J/kgK)(=287.05)  
 $R_w$ ：水蒸氣之氣體常數(J/kgK)(=461.5)

**E.10.12 B 類不確定度：空氣密度－相對濕度－校正**

此不確定度項涵蓋與濕度感測器校正相關之不確定度。  
此不確定度項之符號為  $u_{RH,cal,i}$ 。  
此不確定度項之預設量值為 1 % 至 2 %。

**E.10.13 B 類不確定度：空氣密度－相對濕度－安裝**

此不確定度項涵蓋與濕度感測器安裝相關之不確定度。  
此不確定度項之符號為  $u_{RH,mnt,i}$ 。  
此不確定度項之預設量值為量測值之 0.1 % 至 0.2 %。

**E.10.14 B 類不確定度：空氣密度－相對濕度－資料擷取**

此不確定度項涵蓋與濕度感測器訊號資料擷取相關之不確定度。  
此不確定度項之符號為  $u_{dRH,i}$ 。  
此不確定度項之預設量值為相對濕度量測通道全範圍的 0.1 %。

**E.10.15 B 類不確定度：空氣密度－修正**

此不確定度項涵蓋與空氣密度修正相關之不確定度。  
此不確定度項之符號為  $u_{AD,method,i}$ 。

作為資料分析之一部分，執行從實測空氣密度至基準空氣密度之正規化。此種正規化與不確定度項有關，部分原因是實測之溫度、壓力及相對濕度的不確定度，且亦因空氣密度差越大，正規化公式所依據基本假設之一就越不準確。

對於具定旋角及定轉速之失速調節風力機，應藉由對空氣密度正規化輸出功率及實測輸出功率與輪轂高度風速進行平均之區間評估此種不確定度。每一個風速區間正規化及量測輸出功率之偏差的 1/2，應視為該風速區間中空氣密度正規化之標準不確定度。

對於具有效功率控制之風力機，空氣密度正規化之不確定度應藉由將量測風速與空氣密度正規化之風速進行區間平均來評估。正規化風速及量測風速之偏差的 1/2，應視為該風速區間內空氣密度正規化之標準不確定度。

在此示例中，使用具有效功率控制之風力機，每一個風速區間之風速偏差列於表 E.9 中。

## **E.11 B 類不確定度：方法**

### **E.11.1 一般**

用於量測或分析功率曲線之特定方法亦會導致結果的不確定度。此等已盡可能包含在與其相關之 B 類不確定度中。因此，與空氣密度修正相關之不確定度包含在空氣密度下，與氣流畸變修正相關之不確定度包含在風速感測器下。然而，與該方法相關之一些不確定度無法輕易歸因於特定組件，此等不確定度已分組在“方法”標題下。

此不確定度項之符號為  $u_{M,i}$ 。

### **E.11.2 B 類不確定度：方法－風條件**

#### **E.11.2.1 一般**

雖然此不確定度在本標準中未直接討論，但其與第 5 節中給出之功率曲線定義密切相關。

依據定義，本標準之功率曲線是氣候特定的功率曲線。風切、風轉向、擾流及上升氣流等風條件對風力機功率性能有直接影響。

舉例而言，假設量測功率曲線是在一組特定之風條件下進行，即風切為 0.1、風轉向為 10°，擾流為 10%，上升氣流為 +2°，然而實測功率曲線將與此等值一起報告，並無需導入進一步之不確定度。

然而，在功率曲線量測期間，大多數情況下此等參數不會是恆定值，且在功率曲線量測期間，此等參數中之每一個均將反映風力機所承受的一範圍值。作為此示例之一部分，假設風切範圍為 0 至 0.3，風轉向範圍為 0°至 20°，擾流範圍為 3%至 20%，上升氣流範圍為 0°至 5°。隨著量測之進行，實際上是從許多不同之功率曲線中進行取樣。由於無法控制此等輸入變量，因此同一位置之下一次功率曲線量測(無論是第一次量測後立即進行，亦是一年

後同一年度季節)將與第一次量測功率曲線有所不同。此為增加與風條件相關之不確定度項的基本論點。

從此觀點看來，有以下幾點須考量。

- (a) 若決定風條件之 4 個參數中的一個或多個未量測，則無法準確地報告功率曲線。與此相關之不確定度僅能藉由假設缺少參數的可能值及範圍，並估算對風力機功率性能之潛在影響來估算。
- (b) 對於已量測之參數，可獲得更多資訊，但不一定所有資訊均足以詳細地特性化功率性能。例：
  - (1) 在轉子上 3 個點量測之參數可能仍無法提供未量測區域完整圖像。
  - (2) 風條件(例：風切)是在距離風力機 2 至 4 個轉子直徑處量測，且在大多數情況下，無進一步資料顯示量測位置條件在多大程度上反映風力機位置之條件。注意 E.9.1 考慮輪轂高度風速相關性之不確定度。
  - (3) 轉子之水平尺度亦有類似之論點。量測在很大程度上僅特性化此等參數隨高度之變化(若有)，而非量測參數之水平變化。

鑑於此等論點，採用一實用之方法。假設對於此等參數之一採用 9 個或更多量測高度，則無需進一步增加不確定度。對於較少之量測高度，將會增加不確定度。

此意味著目前之不確定度分析未解決上述某些問題。此將進一步澄清足夠之細節，納入本標準未來修訂版中。

- (c) 若已經量測此等參數中之一個或多個，則可使用該資訊對功率曲線進行正規化，如附錄 M、附錄 P 及附錄 Q 所述。

E.11.2.2 涵蓋與(a)及(b)相關之不確定度，而 E.11.2.2.3、E.11.2.3、E.11.2.4 及 E.11.2.5 涵蓋與正規化相關之不確定度。

此許多影響將表示為風速之不確定度。預設量值所基於之經驗值通常以 AEP 表示。選擇由風速表示不確定度為一實用方法。

#### **E.11.2.2 B 類不確定度：方法－風條件－風切**

##### **E.11.2.2.1 一般**

此不確定度項之符號為  $u_{M, \text{shear}, i}$ 。

此不確定度項之預設量值可在 E.11.2.2.2 及 E.11.2.2.3 中找到。

##### **E.11.2.2.2 半轉子風切量測涵蓋範圍**

此不確定度估算適用於具輪轂高度風速定義且未經附錄 P 正規化之功率曲線。風機功率曲線受風切影響時，即使未進行風切量測，亦應保守估算並考慮因風切引起之實測功率曲線不確定度。為此，應於下述假設下依據 9.1.3.3 中之公式(9)及公式(10)計算風切修正因數：

- (a) 假設 20 個虛擬風速量測均勻分布在轉子高度範圍內，進而產生 20 個加權係數。

- (b) 假設轉子下半部採用一種冪次律，而轉子上半部則採用另一種冪次律。依據此等冪次律，計算每一個虛擬量測高度相對於輪轂高度之風速。應依據每 10 min 資料點之量測決定應用於轉子下半部之風切指數。應假設轉子上半部之風切指數為轉子下半部所使用值的 1/2。在負風切值情況下，對於轉子上半部亦應假設此等值之 1/2。

由於未量測風切，風速實測功率曲線之標準不確定度對於第  $i$  個風速區間應假設為：

$$u_{vs,i} = \frac{1}{\sqrt{3}} |f_r - 1| v_{h,i} \quad (\text{E.23})$$

式中， $f_r$ ：依據 9.1.3.3 計算之風切修正因數

$v_{h,i}$ ：區間  $i$  輪轂高度風速

由於欠缺風切量測而導致風速實測功率曲線之標準不確定度估算示例如表 E.3 所示。相應之不確定度隨著轉子直徑增加而增加，並隨著輪轂高度增加而減少。

表 E.3 欠缺風切量測而導致之標準不確定度示例

$H$ m	$D$ m	$U_{vs}/v_h$ %
60	60	3.0
60	80	3.9
100	80	2.4
120	80	2.0
100	120	3.5
150	120	2.4

備考：假設轉子下半部與上半部之風切指數分別為 0.5 及 0。

#### E.11.2.2.3 全轉子風切量測涵蓋範圍

此不確定度估算應用於：

- (a) 具轉子等效風速定義之功率曲線。  
 (b) 應用附錄 P 正規化之輪轂高度風速功率曲線。

依據 9.1.3.2 之公式(5)計算轉子等效風速時，假設每一個量測高度之風速恆定。此假設導致轉子等效風速評估之不確定度。應藉由冪次律擬合連續量測高度( $z_m$ )之每一對風速量測以估算不確定度。針對在每一對量測高度間之均勻分布至少 10 個高度，依據此冪次律計算風速。應對冪次律假設及量測高度涵蓋之所有高度重複依據公式(5)進行加總。由於量測高度數目

有限，與僅使用實測風速之轉子等效風速相比，所得轉子等效風速之百分比偏差應假設為風速之標準不確定度(%)。

由於量測高度數目有限，標準不確定度之估算應依據不同高度之風速量測區間平均進行，以作為最終應用於功率曲線評估之風速函數。

備考：計算需要 10 min 資料組。

### E.11.2.3 B 類不確定度：方法－風條件－風轉向

#### E.11.2.3.1 一般

此不確定度項涵蓋與少於 9 個風向量測高度相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{M,veer,i}$ 。

此不確定度項之預設量值可使用 E.11.2.3.2 及 E.11.2.3.3 決定。

#### E.11.2.3.2 無轉向量測

於下述假設下，風向修正因數應依據公式(Q.1)計算。

(a) 假設所有量測高度之風速均等於 1，再將公式(Q.1)轉換為風向修正因數。

(b) 假設 20 個虛擬風向量測值均勻分布在轉子高度範圍內，進而產生 20 個加權係數。

(c) 假設整個轉子高度範圍均勻風轉向與試驗場合理預期一樣大。若試驗場無法合理假設極端風向，則應假設風轉向為  $40^\circ/100\text{ m}$ 。

由於未量測風轉向，實測風速功率曲線之標準不確定度對於第  $i$  個風速區間應假設為：

$$u_{v6,i} = \frac{1}{\sqrt{3}} |f_r - 1| v_{h,i} \quad (\text{E.24})$$

式中， $f_r$ ：依據公式(E.24)計算之風向修正因數

$v_{h,i}$ ：區間  $i$  輪轂高度風速

由於欠缺風向量測而導致功率曲線量測估算風速之標準不確定度示例，如表 E.4 所示。相應之不確定度隨著轉子直徑增加而增加。



表 E.4 缺乏風向量測而導致標準不確定度之示例

$D$ m	$u_{v6}/v_h$ %
20	0.04
40	0.1
60	0.3
80	0.6
100	0.9
120	1.2
140	1.7
160	2.1
180	2.7
200	3.2
備考：計算時假設極端風轉向為 $40^\circ/100\text{ m}$ 。	

**E.11.2.3.3 半轉子轉向量測**

依據公式(Q.1)計算轉子等效風速時，假設每一個量測高度之風向恆定。此假設導致轉子等效風速評估之不確定度。

與半個轉子之轉向量測相關的不確定度，應使用與整個轉子轉向相同之程序進行估算(參照 E.11.2.3.4)，但整個轉子之風轉向為半個轉子量測之 2.5 倍。

**E.11.2.3.4 全轉子轉向量測**

依據公式(Q.1)計算轉子等效風速時，假設每一個量測高度之風向恆定。此假設導致轉子等效風速評估之不確定度。應藉由假設連續量測高度之每一對風速量測間風轉向的線性增加估算此不確定度。應依據此假設風速，針對在每一對量測高度間均勻分布至少 10 個高度進行計算。應使用風轉向剖面假設及量測高度涵蓋之所有高度，並假設所有高度之風速恆定，重複依據公式(Q.1)進行加總。由於方向量測高度數目有限，與僅使用實測風向之轉子等效風速相比，所得轉子等效風速之百分比偏差應假設為風速之標準不確定度(%)。

由於風向量測高度數目有限，標準不確定度之估算應依據不同高度之風速量測區間平均進行，以作為最終應用於功率曲線評估之風速函數。

備考：計算需要 10 min 之資料組。

**E.11.2.4 B 類不確定度：方法－風力條件－上升氣流**

此不確定度項涵蓋與少於 9 個上升氣流測高度相關之不確定度。此不確定度項應適用於不符合附錄 B 要求之場地。

該不確定度項之符號為  $u_{M,upflow,i}$ 。

此不確定度項之預設量值可在表 E.5 中找到。

表 E.5 缺乏瞭解上升氣流而導致之不確定度貢獻

量測高度數目	風速百分比
0 (無上升氣流量測)	0.3 ~ 0.5
1 (僅在輪轂高度)	0.15 ~ 0.25
2 (下轉子面積)	0.08 ~ 0.12
3	0.03 ~ 0.07
5	0.015 ~ 0.025
7	0.005 ~ 0.015

對上升氣流而言，此與風速感測器分類中所考慮之上升氣流不確定度項非常不同。在此情況下，由於存在垂直風速分量而導致水平風速量測不準確。於此考慮上升氣流對風力機性能之影響。儘管定義水平風速，但當存在垂直分量時，風力機之性能仍然會變化。

#### E.11.2.5 B 類不確定度：方法－風條件－擾流強度

此不確定度項涵蓋與未量測輪轂高度擾流相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{M,ti,i}$ 。

對於擾流，不考慮其他量測高度，因第 5 節僅定義輪轂高度擾流之功率曲線，此為一個必要之訊號，仍將其作為附加不確定度項包含在內之原因是，具低於輪轂高度氣象桿之量測組態僅具由遙感裝置量測之輪轂高度擾流。遙感裝置量測之擾流與音波風速計或杯型風速計量測之擾流顯著不同。因此存在額外之不確定度。

此不確定度項之預設量值可在表 E.6 中找到。

表 E.6 缺乏瞭解擾流而導致之不確定度貢獻

量測高度數目	風速百分比
0(由於 RSD，無準確之擾流強度)	0.3 % ~ 0.5 %

#### E.11.3 B 類不確定度：方法－季節性效應

此不確定度項涵蓋與季節性效應對功率曲線影響相關之不確定度。注意某些季節性變化會貢獻風速之不確定度，因其會影響風剖面特性(風切、擾流等)。此等變化單獨處理。

其他某些貢獻，例：葉片上之昆蟲及/或污垢積聚(例：在溫暖乾燥時段)，此增加葉片表面粗糙度並造成葉片空氣動力學性能劣化。因此，對於相同之風動能，當葉片髒污時，風力機發電量會較低。此等貢獻組合在不確定度項

$u_{M, sfx, i}$  中。

顯然，此等貢獻不會影響風剖面特性，因此，嚴格而言，是影響電功率。為量化對 AEP 變化之貢獻，此不確定度項更方便地表示為風速之不確定度。建議風速之預設量值為 0.7 %，但該項之量值隨場地位置及性能試驗年度時段而變化，在可能情況下，宜依據經驗或特定場地 AEP 變化資料進行估算。

#### E.11.4 B 類不確定度：方法－擾流正規化(或欠缺擾流正規化)

此不確定度項涵蓋與功率曲線擾流正規化相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{M, tinorm, i}$ 。

此不確定度亦於附錄 M 及 9.1.6 中討論。

附錄 M 中給出之擾流正規化旨在處理 10 min 資料平均對評估功率曲線的影響。擾流強度對風力機功率曲線亦有其他影響，例：擾流強度對空氣動力學之直接影響或因擾流三維特性。最後，擾流強度正規化是特性化短期風速變動之一種高度簡化的方法。因此，即使已應用擾流正規化程序，由於可能之擾流效應，評估之功率曲線仍存在不確定度。擾流正規化通常消除約 1/2 觀察到之擾流強度對實測風力機功率曲線的影響。因此，應執行下述步驟以計算擾流正規化之不確定度：

- (a) 應依據擾流正規化輸出功率及非擾流正規化輸出功率評估最終區間平均功率曲線。
- (b) 應假設此二條功率曲線之偏差為因擾流正規化產生之每一個風速區間擾流正規化功率曲線之最大不確定度。每一個風速區間擾流正規化所產生之標準不確定度應計算為功率曲線偏差除以  $\sqrt{3}$ 。應依據附錄 D 將標準不確定度與功率性能量測之其他不確定度結合，以決定總標準不確定度。

在無擾流正規化情況下，因擾流對功率曲線影響而產生之不確定度宜依據 M.5 說明進行計算。

#### E.11.5 B 類不確定度：方法－寒冷氣候

此不確定度項涵蓋與於寒冷氣候下進行量測對風速計分類影響(依據 IEC 61400-50-1)有關之不確定度，更多詳細資訊宜參考 IEC 61400-50-1。

此不確定度項之符號為  $u_{M, cc, i}$ 。

此不確定度亦於附錄 O 中討論。

此不確定度項之預設量值為風速之 0.5 % 至 1 %。

### E.12 B 類不確定度：風向

#### E.12.1 一般

風向不確定度藉由場地校正對功率曲線產生影響，且其影響較小。依據風向不確定度之量與場地校正區間大小資料相比，資料將被(不)正確地分配至區間。對於 10°之區間大小及 5°之風向不確定度，區間中大約 39 %之資料被錯誤分配。儘管此會趨於平均，但其可能會對較小量測扇形區域有影響及相鄰

區間之間有較大差異。類似之論點亦適用於功率曲線量測扇形區域之過濾，但程度較小。

此等不確定度僅適用於風向感測器或其安裝在執行場地校正之場地發生變化時。

此背景是本標準要求評鑑風向不確定度，以確保風向保持在  $5^\circ$  以下的主要原因。

尚未建立風向對功率曲線及 AEP 影響之量化，亦未開發靈敏度係數。

由於應報告風向不確定度，因此 E.12 給出風向不確定度應考慮之最小不確定度項。未給出此等項量值之估算，但其應包含在報告之功率曲線中。

#### **E.12.2 B 類不確定度：風向－風向標或音波**

##### **E.12.2.1 B 類不確定度：風向－風向標或音波－校正**

此不確定度項涵蓋與風向感測器校正(依據 IEC 61400-50-1)相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{WV,cal,i}$ 。

此亦包括風向感測器之解析度，此值應除以  $2\sqrt{3}$  作為最小值。

未給出預設值，但應評鑑及報告此不確定度項。

##### **E.12.2.2 B 類不確定度：風向－風向標或音波－北標**

此不確定度項涵蓋與準確決定感測器北標相度於安裝感測器之懸臂的相關不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{WV,nm,i}$ 。

未給出預設值，但應評鑑及報告此不確定度項。

##### **E.12.2.3 B 類不確定度：風向－風向標或音波－懸臂方位**

此不確定度項涵蓋建立懸臂相對於基準北(即磁北或真北)方向相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{WV,bo,i}$ 。

未給出預設值，但應評鑑及報告此不確定度項。

##### **E.12.2.4 B 類不確定度：風向－風向標或音波－運轉效應**

此不確定度項涵蓋與氣象桿對量測點自由氣流風向影響相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{WV,oc,i}$ 。

由於風會繞過氣象桿流動，感測器量測到之風向可能不是自由氣流之風向。

此影響包含在不確定度項中。

未給出預設值，但應評鑑及報告此不確定度項。

##### **E.12.2.5 B 類不確定度：風向－風向標或音波－磁偏角**

此不確定度項涵蓋與磁北與真北間差異相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{WV,mda,i}$  [“mda”代表磁偏角(magnetic declination angle)]。

從磁北至真北之修正亦與不確定度有關。

未給出預設值，但應評鑑及報告此不確定度項。

#### **E.12.2.6 B 類不確定度：風向－風向標或音波－資料擷取**

此不確定度項涵蓋與風向感測器訊號資料擷取相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{dWV,i}$ 。

未給出預設值，但應評鑑及報告此不確定度項。

#### **E.12.3 B 類不確定度：風向－RSD**

此不確定度項涵蓋與查證 RSD 風向量測(依據 IEC 61400-50-2)相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{WR,ver,i}$ 。

##### **E.12.3.1 B 類不確定度：風向－RSD－查證**

未給出預設值，但應評鑑及報告此不確定度項。

##### **E.12.3.2 B 類不確定度：風向－RSD－監測**

此不確定度項涵蓋與 RSD 對風向監測訊號進行現場監測(依據 IEC 61400-50-2)相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{WR,mon,i}$ 。

未給出預設值，但應評鑑及報告此不確定度項。

##### **E.12.3.3 B 類不確定度：風向－RSD－氣流變化**

此不確定度項涵蓋與不同探測體積中氣流變化相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{WR,fv,i}$ 。

未給出預設值，但應評鑑及報告此不確定度項，IEC 61400-50-2 提供指引。

##### **E.12.3.4 B 類不確定度：風向－RSD－對準**

此不確定度項涵蓋與 RSD 對準準確度相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{WR,align,i}$ 。

未給出預設值，但應評鑑及報告此不確定度項。

##### **E.12.3.5 B 類不確定度：風向－RSD－磁偏角**

此不確定度項涵蓋與從磁北修正至真北相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{WR,mda,i}$ 。

未給出預設值，但應評鑑及報告此不確定度項。

##### **E.12.3.6 B 類不確定度：風向－RSD－資料擷取**

此不確定度項涵蓋與 RSD 訊號資料擷取相關之不確定度。

此不確定度項之符號為  $u_{dWR,i}$ 。

未給出預設值，但應評鑑及報告此不確定度項。

### **E.13 組合不確定度**

#### **E.13.1 一般**

在 E.13 中，將討論及呈現將不確定度項組合至聚合程度之公式與其進一步考量。一個示例是基於場地校正不確定度之不確定度項計算場地校正不確定度。

**E.13.2 組合電功率之 B 類不確定度 ( $u_{P,i}$ )**

每一個區間之電功率的標準不確定度 ( $u_{P,i}$ ) 是結合來自功率傳感器、比流器及比壓器、動態行為及資料擷取系統之標準不確定度計算：

$$u_{P,i} = \sqrt{u_{P,CT,i}^2 + u_{P,VT,i}^2 + u_{P,PT,i}^2 + u_{dP,i}^2} \quad (E.25)$$

式中， $u_{P,i}$ ：功率量測之不確定度

$u_{P,CT,i}$ ：與比流器相關之不確定度

$u_{P,VT,i}$ ：與比壓器相關之不確定度

$u_{P,PT,i}$ ：與功率傳感器相關之不確定度

$u_{dP,i}$ ：與功率訊號資料擷取相關之不確定度

考慮 E.5 給出之此等不確定度項之預設量值，每一個區間之電功率感測器的標準不確定度為：

$$\begin{aligned} u_{P,i} &= \sqrt{(0.43 \% \cdot P_i [\text{kW}])^2 + (0.29 \% \cdot P_i [\text{kW}])^2 + (7.2 \text{ kW})^2 + (0.1 \% \times 3,000 \text{ kW})^2} \\ &= \sqrt{(0.53 \% \cdot P_i [\text{kW}])^2 + (7.8 \text{ kW})^2} \end{aligned} \quad (E.26)$$

**E.13.3 組合風速量測之不確定度 ( $u_{V,i}$ )**

組合以下不確定度項，計算風速 ( $u_{V,i}$ ) 之 B 類不確定度：

$$u_{V,i} = \sqrt{u_{VHW,i}^2 + u_{VT,i}^2 + u_{AD,method,i}^2} \quad (E.27)$$

式中， $u_{VHW,i}$ ：所使用硬體之不確定度，為  $u_{VS,i}$ 、 $u_{VR,i}$  或  $u_{REWS,i}$  之一

$u_{VT,i}$ ：與地形氣流畸變相關之不確定度

$u_{AD,method,i}$ ：與空氣密度修正相關之不確定度

**E.13.4 組合風杯或音波風速量測之不確定度 ( $u_{VS,i}$ )**

組合以下不確定度項，計算風杯或音波風速量測之 B 類不確定度 ( $u_{VS,i}$ )：

$$u_{VS,i} = \sqrt{u_{VS,precal,i}^2 + u_{VS,postcal,i}^2 + u_{VS,class,i}^2 + u_{VS,mnt,i}^2 + u_{VS,igt,i}^2 + u_{dVS,i}^2} \quad (E.28)$$

式中， $u_{VS,precal,i}$ ：所使用硬體之不確定度，為  $u_{VS,i}$ 、 $u_{VR,i}$  或  $u_{REWS,i}$  之一

$u_{VS,postcal,i}$ ：與地形氣流畸變相關之不確定度

$u_{VS,class,i}$ ：與感測器分類相關之不確定度

$u_{VS,mnt,i}$ ：與感測器安裝相關之不確定度

$u_{VS,igt,i}$ ：與避雷針尖端氣流畸變相關之不確定度

$u_{dVS,i}$ ：與風速訊號資料擷取相關之不確定度

**E.13.5 組合來自 RSD( $u_{VR,i}$ )風速量測之不確定度**

組合以下不確定度項，計算 RSD 裝置( $u_{VR,i}$ )風速量測之 B 類不確定度：

$$u_{VR,i} = \sqrt{u_{VR,ver,i}^2 + u_{VR,isc,i}^2 + u_{VR,class,i}^2 + u_{VR,mnt,i}^2 + u_{VR,flow,i}^2 + u_{VR,mon,i}^2} \quad (E.29)$$

式中， $u_{VR,ver,i}$ ：查證試驗所引起之不確定度

$u_{VR,isc,i}$ ：現場試驗所引起之不確定度

$u_{VR,class,i}$ ：與 RSD 分類相關之不確定度

$u_{VR,mnt,i}$ ：與 RSD 安裝相關之不確定度

$u_{VR,flow,i}$ ：與 RSD 量測體積內之氣流變化相關之不確定度

$u_{VR,mon,i}$ ：與 RSD 監測相關之不確定度

**E.13.6 組合來自 REWS  $u_{VREWS,i}$  風速量測之不確定度**

組合以下不確定度項，計算以轉子等效風速表示之風速量測的 B 類不確定度 ( $u_{VREWS,i}$ )。

$$u_{VREWS,i} = \sqrt{u_{VREWS,shear,i}^2 + u_{VREWS,veer,i}^2} \quad (E.30)$$

式中， $u_{VREWS,i}$ ：轉子等效風速(REWS)之不確定度

$u_{VREWS,shear,i}$ ：轉子上風切量測對 REWS 影響而產生之不確定度

$u_{VREWS,veer,i}$ ：與 RSD 分類相關之不確定度

$u_{VREWS,shear,i}$  值取自以下之一：

(a)  $u_{veq,i}$  (來自 E.13.7)。

(b)  $u_{veq,final,i}$  (來自 E.13.8)。

(c)  $u_{fr,RSD,k,i}$  (來自 E.13.9)。

$u_{VREWS,veer,i}$  值取自  $u_{veq,i}$  (來自 E.13.10)。

包含在 REWS 不確定度中之風速不確定度項是基於 9.1.3.2 中之公式(5)或 9.1.3.4 中之公式(11)。9.1.3.2 中之公式(6)[亦會影響公式(11)]意味著存在與建立正確量測高度相關之不確定度項。由於此對氣象桿量測而言並不顯著，且包含在依據 IEC 61400-50-2 之光達校正中，因此唯一需要關注的是聲達量測，尤其是在高風速可能發生“光束彎曲”之情況。若在量測過程中遇到此情況，則應將其作為進一步之不確定度項。

**E.13.7 組合顯著高於輪轂高度之氣象桿或低於輪轂高度氣象桿之 RSD 的 REWS 風速量測不確定度**

組合以下不確定度項，計算 RSD 裝置風速量測之 B 類不確定度。

轉子等效風速應視為單一風速量測。風速區間  $i$  中轉子等效風速之總標準不確定度可表示為：

$$u_{v_{eq},i}^2 = \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^M u_{v_{eq},k,i} u_{v_{eq},l,i} \rho_{k,l,i} \quad (E.31)$$

式中，  $M$  :  $v_{eq}$  之不確定度項數目

$i$  : 功率曲線之區間平均的風速區間

$u_{v_{eq},k,i}$  : 風速區間  $i$ ， $v_{eq}$  之第  $k$  子項標準不確定度

$u_{v_{eq},l,i}$  : 風速區間  $i$ ， $v_{eq}$  之第  $l$  子項標準不確定度

$\rho_{k,l,i}$  : 風速區間  $i$ ，第  $k$  項不確定度於高度  $m$  與  $n$  間之相關係數

注意此處明確不包括靈敏度係數，因其已包含在公式(E.32)中。

應藉由誤差傳播法，從單一量測高度之風速量測的不確定度項計算風速區間  $i$  之  $v_{eq}$  不確定度項。

$$u_{v_{eq},k,i}^2 = \sum_{m=1}^L \sum_{n=1}^L c_{m,i} u_{v_{m,k,i}} c_{n,i} u_{v_{n,k,i}} \rho_{m,n,k,i} \quad (E.32)$$

式中，  $L$  : 轉子上量測高度之數目

$u_{v_{m,k,i}}$  : 風速區間  $i$ ，高度  $m$  之風速量測的第  $k$  子項標準不確定度

$u_{v_{n,k,i}}$  : 風速區間  $i$ ，高度  $n$  之風速量測的第  $k$  子項標準不確定度

$c_{m,i}$  : 風速區間  $i$ ，高度  $m$  之風速的  $v_{eq}$  靈敏度係數

$c_{n,i}$  : 風速區間  $i$ ，高度  $n$  之風速的  $v_{eq}$  靈敏度係數

$\rho_{m,n,k,i}$  : 風速區間  $i$ ，第  $k$  項不確定度高度  $m$  與  $n$  間之相關係數

藉由誤差傳播，由轉子等效風速定義得到靈敏度係數  $c_{m,i}$  及  $c_{n,i}$ 。

$$c_{m,i} = \frac{\partial v_{eq,i}}{\partial v_{m,i}} = \frac{A_m}{A} \left( \frac{v_{m,i}}{v_{eq,i}} \right)^2 \quad (E.33)$$

式中，  $A_m$  : 依據 9.1.3.2 公式(6)於高度  $m$  量測風速所對應之轉子區段面積

$A$  : 轉子掃掠面積

$v_{m,i}$  : 風速區間  $i$  於高度  $m$  之風速

$v_{eq,i}$  : 區間  $i$  等效風速

對於公式(E.33)之應用，在不同量測高度量測之風速( $v_{m,i}$ )應進行區間平均，以作為最終應用於功率曲線評估(空氣密度正規化及風切修正風速)之風速函數。

若假設不同量測高度之不確定度項間完全相關或不相關，則公式(E.32)與公式(E.33)之組合是一種簡化。宜使用表 E.7 中建議之相關係數計算  $v_{eq}$  的不確定度。僅當相關係數明顯時才應使用較低之相關係數。

風速決定之另一個不確定度是來自空氣密度正規化。此項是在風速轉子平均後產生的，應增加至風速不確定度之最終評估中。



表 E.7 不同量測高度間之量測不確定度相關性的建議假設

項	不同量測高度間之不確定度相關係數	解釋
<b>藉由杯型風速計量測風切</b>		
風洞校正	1	需在同一風洞中進行校正。不同杯型風速計校正不確定度之高相關性
杯型風速計分類	1	在非常相似之氣候條件下，於不同高度量測之風速計
杯型風速計安裝	1、0	1：若已安裝懸臂且懸臂組態相同 0：若一個風速計安裝在頂部，另一個安裝在懸臂上
資料擷取系統	0	應用不同之輸入通道
基準氣象桿與試驗風力機間之距離所造成的場地效應	1	作為第 1 個近似，對於轉子高度範圍可假設場地效應是相同的
因超過轉子高度範圍之量測次數有限而存在不確定度	1	對於第 1 個近似值，此不確定度與量測高度間完全相關
<b>遙感裝置量測風切</b>		
查證試驗	1	通常，不同高度之基準感測器的情況非常相似。可忽略遙感裝置準確度對測量高度之靈敏度
靈敏度分析或分類	1	在不同高度之非常相似條件下進行分類。可忽略遙感裝置之靈敏度對環境條件及對量測高度之相依性
氣象桿控造成之不確定度	1	假設所有高度具相同之不確定度
相同高度不同探測體積之氣流變化所導致之不確定度	1	通常，在不同量測高度預計會出現非常相似之效應。可忽略量測高度誤差之靈敏度
安裝	1	系統安裝在不同量測高度之類似效應
因量測及試驗風力機間之距離而產生的場地效應	1	作為第 1 個近似，對於轉子高度範圍可假設場地效應是相同的
因超過轉子高度範圍之量測次數有限而存在不確定度	1	對於第 1 個近似，此不確定度與量測高度間完全相關

備考：若假設所有項之相關係數等於 1，且每一個高度之所有項均相同，則該程序簡化到可依據 E.6 中所述使用  $v_{eq,i}$  取代  $v_i$  進行不確定度計算之

程度。對於固定值(例：校正)，該值可用於  $v_{eq,i}$ 。

**E.13.8 組合輪轂高度氣象桿之 REWS 風速量測加上 RSD 使用絕對風速量測風切的不確定度**

利用杯型或音波風速計量測輪轂高度風速之不確定度與利用遙感裝置量測風切之不確定度可視為是相互獨立的。依據 9.1.3.4 公式(11)，誤差傳播可得出最終轉子等效風速之不確定度公式(E.34)：

$$u_{v_{eq},final,i}^2 = f_{r,X,i}^2 u_{v_{h,i}}^2 + v_{h,i}^2 u_{f_{r,X,i}}^2 \quad (E.34)$$

式中， $u_{v_{eq},final,i}$ ：區間  $i$ ，最終轉子等效風速之標準不確定度

$f_{r,X,i}$ ：風速區間  $i$  之風切修正因數

$v_{h,i}$ ：區間  $i$ ，於輪轂高度使用杯型或音波風速計量測之風速

$u_{v_{h,i}}$ ：風速區間  $i$ ， $v_{h,i}$  之標準不確定度

$u_{f_{r,X,i}}$ ：風速區間  $i$ ， $f_{r,X,i}$  之標準不確定度

風切修正因數之不確定度為[誤差傳播依 9.1.3.3 公式(9)及公式(10)]：

$$u_{f_{r,X,i}}^2 = \frac{1}{v_{h,X,i}^2} u_{v_{eq,X,i}}^2 + \frac{v_{eq,X,i}^2}{v_{h,X,i}^4} u_{v_{h,X,i}}^2 - 2 \frac{v_{eq,X,i}}{v_{h,X,i}^3} u_{v_{eq,X,i}} u_{v_{h,X,i}} \rho_{u_{v_{eq,X,i}}, u_{v_{h,X,i}}} \quad (E.35)$$

式中， $v_{h,X,i}$ ：區間  $i$ ，遙感裝置量測之風速

$u_{v_{h,X,i}}$ ： $v_{h,X,i}$  之標準不確定度

$v_{eq,X,i}$ ：區間  $i$ ，遙感裝置量測之轉子等效風速

$u_{v_{eq,X,i}}$ ：區間  $i$ ， $v_{eq,X,i}$  之標準不確定度

$\rho_{u_{v_{eq,X,i}}, u_{v_{h,X,i}}}$ ：區間  $i$ ，不確定度項  $u_{v_{eq,X,i}}$  及  $u_{v_{h,X,i}}$  間之相關係數

考慮到  $v_{eq,X,i}$  及  $v_{h,X,i}$  均具表 E.7 給出之相同型式的不確定度子項，並假設此等子項彼此獨立，則公式(E.35)等於：

$$u_{f_{r,X,i}}^2 = \sum_{k=1}^M \frac{1}{v_{h,X,i}^2} u_{v_{eq,X,k,i}}^2 + \frac{v_{eq,X,i}^2}{v_{h,X,i}^4} u_{v_{h,X,k,i}}^2 - 2 \frac{v_{eq,X,i}}{v_{h,X,i}^3} u_{v_{eq,X,k,i}} u_{v_{h,X,k,i}} \rho_{u_{v_{eq,X,k,i}}, u_{v_{h,X,k,i}}} \quad (E.36)$$

式中， $u_{v_{eq,X,k,i}}$ ：依據公式(E.32)分析，區間  $i$  遙感裝置量測之轉子等效風速的第  $k$  項標準不確定度

$u_{v_{h,X,k,i}}$ ：區間  $i$ ，遙感裝置量測之輪轂高度風速的第  $k$  項標準不確定度

$\rho_{u_{v_{eq,X,k,i}}, u_{v_{h,X,k,i}}}$ ：區間  $i$ ，標準不確定度項  $u_{v_{eq,X,k,i}}$  與  $u_{v_{h,X,k,i}}$  間之相關係數

$M$ ： $v_{eq,X}$  及  $v_{h,X}$  之不確定度項數目

對於公式(E.36)之應用， $v_{h,X,i}$  及  $v_{eq,X,i}$  是從遙感裝置量測之轉子等效風速及輪轂高度風速進行區間平均而獲得的，以作為最終應用於功率曲線評估(空氣

密度及風切正規化風速)之風速函數。遙感裝置量測之轉子等效風速的標準不確定度項( $u_{v_{eq,X,k,i}}$ )與輪轂高度風速量測的標準不確定度項( $u_{v_{h,X,k,i}}$ )間之相關係數  $\rho_{u_{v_{eq,X,k,i}},u_{v_{h,X,k,i}}}$  應從遙感裝置之查證試驗及靈敏度試驗或分類之結果進行估算。在某些情況下，相關係數接近 1 之假設是合理的。

公式(E.36)與公式(E.34)及公式(E.32)結合，允許評估最終轉子等效風速之所有標準不確定度項。此等子項應於公式(E.3)及(E.4)中實現。

依據公式(E.34)，最終轉子等效風速之總不確定度大於杯型或音波風速計在輪轂高度量測風速之不確定度(至少當風切修正因數超過 1)。由於風切修正因數之不確定度增加不確定度。依據公式(E.36)，若遙感裝置量測之轉子等效風速及遙感裝置在輪轂高度量測之風速的不確定度完全相關，且若遙感裝置量測之轉子等效風速等於遙感裝置於輪轂高度量測之風速，則此額外之不確定度消失( $\rho_{u_{v_{eq,X,k,i}},u_{v_{h,X,k,i}}} = 1$ )。

注意假設所有相關係數均等於 1，且  $u_{v_{eq,X,k,i}}$  等於  $u_{v_{h,X,k,i}}$ (參照 E.13.7)， $u_{f_{r,X,i}}^2$  之公式簡化如下：

$$u_{f_{r,X,i}} = \left( \frac{v_{h,X,i} - v_{eq,X,i}}{v_{h,X,i}} \right) \sqrt{\sum_{k=1}^M u_{v_{h,X,k,i}}^2} \quad (E.37)$$

式中， $v_{h,X,i}$ ：區間 i，遙感裝置量測之風速

$u_{v_{h,X,k,i}}$ ： $v_{h,X,i}$  或  $v_{eq,X,i}$  第 k 項之標準不確定度

$v_{eq,X,i}$ ：區間 i，遙感裝置量測之轉子等效風速

### E.13.9 組合輪轂高度氣象桿 RSD 使用相對風速量測風切之 REWS 風速量測的不確定度

可對用於風切量測而非絕對風速量測之遙感裝置進行靈敏度分析及查證試驗。此意味著藉由查證試驗查證遙感裝置在風切量測方面之準確度，並試驗遙感裝置風切量測對環境變數之靈敏度，以對遙感裝置進行分類。若可對遙感裝置進行此靈敏度分析及查證試驗，則導入由遙感裝置執行之相對風速量測對不確定度之評估是有用的：

$$v_{r,RSD,m} = \frac{v_{m,RSD}}{v_{h,RSD}} \quad (E.38)$$

式中， $v_{r,RSD,m}$ ：遙感裝置在第 m 高度相對於輪轂高度風速量測之相對風速量測

$v_{h,RSD}$ ：遙感裝置在輪轂高度量測之風速

$v_{m,RSD}$ ：遙感裝置在第 m 高度量測之風速

9.1.3.3 公式(9)定義之風切修正因數可改寫為：

$$f_{r,RSD} = \left( \sum_{m=1}^L \frac{A_m}{A} v_{r,RSD,m}^3 \right)^{\frac{1}{3}} \quad (E.39)$$

式中， $A_m$ ：依據 9.1.3.2 公式(5)，第  $m$  高度之風速量測的轉子區段面積

$A$ ：轉子掃掠面積

$L$ ：轉子高度區域內量測高度之數目

然後可應用公式(E.34)評鑑最終轉子等效風速之不確定度，其中風速區間  $i$  之風切修正因數的不確定度項可藉由下列公式獲得：

$$u_{f_{r,RSD},k,i}^2 = \sum_{m=1}^L \sum_{n=1}^L c_{v_{r,RSD},m,i} u_{v_{r,RSD},m,k,i} c_{v_{r,RSD},n,i} u_{v_{r,RSD},n,k,i} \rho_{r,m,n,k,i} \quad (E.40)$$

式中， $L$ ：轉子高度區域內量測高度之數目。

$u_{v_{r,RSD},m,k,i}$ ：風速區間  $i$ ，第  $m$  高度相對風速量測之第  $k$  項標準不確定度

$u_{v_{r,RSD},n,k,i}$ ：風速區間  $i$ ，第  $n$  個高度相對風速量測之第  $k$  項標準不確定度

$c_{v_{r,RSD},m,i}$ ：風速區間  $i$ ，第  $m$  高度相對風速之  $f_{r,RSD}$  靈敏度係數

$c_{v_{r,RSD},n,i}$ ：風速區間  $i$ ，第  $n$  個高度相對風速之  $f_{r,RSD}$  靈敏度係數

靈敏度係數  $c_{v_{r,RSD},m,i}$  及  $c_{v_{r,RSD},n,i}$  為：

$$c_{v_{r,RSD},m,i} = \frac{\partial f_{r,RSD,i}}{\partial v_{r,RSD,m,i}} = \frac{A_m}{A} \left( \frac{v_{r,RSD,m,i}}{f_{r,RSD,i}} \right)^2 \quad (E.41)$$

應用表 E.7 給出相同不確定度項，但採用的是遙感裝置相對風速量測，而非絕對風速量測。此外，對於相對風速量測，除有證據表明存在其他值外，否則應假設二個量測高度間之不確定度項具相同的相關係數(如表 E.7 所示)。杯型或音波風速計在輪轂高度量測之風速( $v_h$ )、風切修正因數( $f_{r,RSD}$ )及遙感裝置量測之相對風速( $v_{r,RSD}$ )應使用公式(E.34)、(E.40)及(E.41)之功率曲線評估(風切修正及空氣密度正規化風速)的最終風速進行區間平均。

#### E.13.10 組合因整個轉子風轉向之 REWS 風速量測的不確定度 $u_{v_{REWS},veer,i}$

轉子等效風速(依據附錄 Q 考慮風向)取決於轉子高度範圍內之風速及風向。通常，風向及風速量測之不確定度可視為是彼此獨立的。則 E.13.7 中之公式(E.31)轉換為：

$$u_{v_{eq},i}^2 = \sum_{k=1}^M u_{v_{eq},k,i}^2 + \sum_{l=1}^N u_{v_{eq},l,i}^2 \quad (E.42)$$

式中， $M$ ：與風速量測相關之  $v_{eq}$  不確定度子項數目

$i$ ：風速區間，功率曲線之區間平均

$u_{v_{eq},k,i}$ ：風速區間  $i$ ，與風速量測相關之  $v_{eq}$  的第  $k$  子項標準不確定度

$N$ ：與風向量測相關之  $v_{eq}$  不確定度子項數目

$u_{v_{eq},l,i}$ ：風速區間  $i$ ，與風向量測相關之  $v_{eq}$  的第  $l$  子項標準不確定度

公式(E.42)左邊項涵蓋轉子等效風速之所有風速量測不確定度，應依據 E.8 進行處理，同時公式(E.32)及公式(E.42)中給出之靈敏度係數乘以  $\cos(\varphi_m)$  三次方，其中  $m$  為第  $m$  個量測高度與輪轂高度之風向差。此係數亦應導入公式(E.39)中，用於定義風切修正因數。

此公式(E.42)中右邊項涵蓋轉子等效風速之所有風向量測不確定度。正如 E.8.1 中所解釋，評鑑此不確定度之困難與不同高度風向量測之不確定度彼此相關的事實有關。與公式(E.32)類似，風速區間  $i$  中  $v_{eq}$  之風向不確定度子項應依據單一量測高度之風向量測的不確定度項，藉由誤差傳播方法計算：

$$u_{v_{eq},i}^2 = \sum_{m=1}^L \sum_{n=1}^L c_{m,i} u_{v_{m,l,i}} c_{n,i} u_{v_{n,l,i}} \rho_{m,n,l,i} \quad (E.43)$$

式中，  $L$  : 轉子高度區域內量測高度之數目

$u_{v_{m,l,i}}$  : 風速區間  $i$ ，相對於輪轂高度之第  $m$  高度風向量測的第  $l$  子項標準不確定度

$u_{v_{n,l,i}}$  : 風速區間  $i$ ，相對於輪轂高度之第  $n$  個高度風向量測的第  $l$  子項標準不確定度

$c_{m,i}$  : 風速區間  $i$ ，相對於輪轂高度之高度  $m$  的風向  $v_{eq}$  靈敏度係數

$c_{n,i}$  : 風速區間  $i$ ，相對於輪轂高度之高度  $n$  的風向  $v_{eq}$  靈敏度係數

$\rho_{m,n,l,i}$  : 風速區間  $i$  (風速區間功率曲線)，相對於輪轂高度之高度  $m$  與高度  $n$  的風向量測之第  $l$  項標準不確定度項間之相關係數

靈敏度係數  $c_{m,i}$  及  $c_{n,i}$  是藉由考慮誤差傳播引起之風轉向，依據轉子等效風速之定義獲得的：

$$c_{m,i} = \frac{\partial v_{eq,i}}{\partial \varphi_{m,i}} = -\sin(\varphi_{m,i}) \cos^2(\varphi_{m,i}) \frac{A_m v_{m,i}^3}{A v_{eq,i}^2} \quad (E.44)$$

式中，  $A_m$  : 依據 9.1.3.2 公式(5)，第  $m$  高度風速量測之轉子區段面積

$A$  : 轉子掃掠面積

$\varphi_{m,i}$  : 風速區間  $i$ ，相對於輪轂高度風向之第  $m$  高度風向

$v_{m,i}$  : 風速區間  $i$ ，高度  $m$  處之風速

$v_{eq,i}$  : 區間  $i$  之等效風速

對於公式(E.33)之應用，在不同量測高度量測之相對風向( $\varphi_{m,i}$ )及風速( $v_{m,i}$ )應進行區間平均，以作為最終應用於功率曲線評估(空氣密度正規化、風切及風轉向修正風速)之風速函數。

若假設不同量測高度處之不確定度項間存在完全相關、無相關或反相關，則公式(E.43)與公式(E.45)結合可簡化。表 E.8 建議之相關係數應用於計算  $v_{eq}$  風向的不確定度。僅當相關係數明顯且報告相關資料時，才應使用較低之相關係數。

表 E.8 不同量測高度之相對風向量測不確定度的建議相關假設

項	不同量測高度間之不確定度的相關係數	解釋
<b>藉由風向標或音波風速計量測相對風向</b>		
於高度 $m$ 、 $n$ 及輪穀高度處使用風向標之風洞校正	0.5	單一風向標校正之不確定度基本上是相關的。但由於高度 $m$ 與 $n$ 處相對於輪穀高度之風向差異，包括輪穀高度處之方向量測，因此建議相關係數為 0.5
氣象桿對於高度 $m$ 、 $n$ 及輪穀高度之風向量測的影響	0.5、1	若高度 $m$ 及 $n$ 二個高度處之風向標相對於相同氣象桿結構，以相同方式安裝，則在高度 $m$ 及 $n$ 二個高度之不確定度完全相關。然而，若輪穀高度之風向標亦以同樣方式受氣象桿影響，則不確定度本身為 0。若在高度 $m$ 及 $n$ 二個高度之風向標相對於氣象桿結構安裝不同，或若氣象桿結構在高度 $m$ 及 $n$ 二個高度差別很大，則不確定度與此二個高度可視為是不相關的。但因在高度 $m$ 及 $n$ 二個高度相對於輪穀高度之風向差異包括輪穀高度處之方向量測，因此在此情況下建議相關係數為 0.5
於高度 $m$ 、 $n$ 及輪穀高度量測之風向北偏	0.5	單一風向標北偏之不確定度基本上是不相關的。但高度 $m$ 及 $n$ 二個高度相對於輪穀高度之風向包括輪穀高度處之方向量測，因此建議相關係數為 0.5
資料擷取系統 (DAS) 用於監測高度 $m$ 、 $n$ 及輪穀高度處之風向標	0.5	單一風向標 DAS 通道之不確定度通常基本上是不相關。但由於高度 $m$ 及 $n$ 二個高度相對於輪穀高度之風向差異包括輪穀高度處之方向量測，因此建議相關係數為 0.5
<b>遙感裝置之相對風向量測</b>		
用於高度 $m$ 、 $n$ 及輪穀高度之查證試驗的基準風向標風洞校正	0.5、1	於高度 $m$ 及 $n$ 二個高度之查證試驗的基準量測不確定度基本上是不相關的。但因高度 $m$ 及 $n$ 二個高度相對於輪穀高度之風向差異包括輪穀高度處之方向量測，因此建議相關係數為 0.5。一個例外是在高度 $m$ 及 $n$ 二個高度使用相同之查證試驗之情況(例：若用於查證試驗之氣象桿未涵蓋轉子整個範圍)，則不確定度在高度 $m$ 及 $n$ 二個高度是完全相關的。但若對輪穀高度亦應用相同之查證，則不確定度本身為 0
用於高度 $m$ 、 $n$ 及輪穀高度之查證試驗的基準風向標北偏	0.5、1	
用於高度 $m$ 、 $n$ 及輪穀高度之查證試驗，監測基準風向標之資料擷取系統 (DAS)	0.5、1	
於高度 $m$ 、 $n$ 及輪	0.5、1	

轂高度之查證試驗期間，RSD 量測值與基準量測之平均偏差		
高度 m、n 及輪轂高度之查證試驗的統計不確定度	0.5、1	
由於 RSD 可能未對準，於高度 m、n 及輪轂高度處之查證試驗的不確定度	1	不確定度與高度 m 與 n 完全相關。然而，因為在評估高度 m 及 n 相對於輪轂高度之風向差異時，錯位誤差被抵消，故對於所有高度 m 及 n，各自之不確定度為 0
於高度 m、n 及輪轂高度之查證試驗的不確定度是因假設 RSD 探測體積中之風力條件相同而導致的	1	此等不確定度在高度 m 及 n 間完全相關。然而，在評估風向差異時，由於高度 m (或 n) 及輪轂高度對風向量測之影響相互抵消，各自之不確定度接近 0
因 RSD 量測體積中心與基準氣象桿位置可能分開，而導致於高度 m、n 及輪轂高度之查證試驗的不確定度	1	
因 RSD 量測及環境變數之靈敏度而導致的不確定度	1	
於功率曲線試驗時，RSD 可能未對準	1	此不確定度在高度 m 及 n 間完全相關。然而，因為在評估風向差異時，高度 m (或 n) 及輪轂高度對風向量測之影響相互抵消，故對於所有高度 m 及 n，各自之不確定度為 0
假設高度 m、n 及輪轂高度之 RSD 探測體積具相同風力條件	1	此不確定度在高度 m 及 n 間高度相關。然而，在評估風向差異時，因高度 m (或 n) 及輪轂高度對風向量測之影響相互抵消，故各自之不確定度接近 0
於功率曲線試驗時，使用氣象桿監測風	0.5、1	若監測氣象桿涵蓋 m 及 n 二個高度且使用不同風向標，則在 m 及 n 二個高度處之監測不確定度基本上是不相關的。但由於 m 及 n 二個高度相對於輪轂高度之風向差異包括輪轂高度處之方向量測，因此在此情況下建議相關係數為 0.5。若監測氣象桿僅提供一個量測高度，用以檢查 m 及 n 高度處之 RSD 量測，則不確定度在高度 m 及 n 間完全相關。然而，因為在評估高度 m (或 n) 及輪轂高度處之風向差異時，不確定度被抵消，故對於所有高度 m 及 n，各自之不確定度接近 0

**E.13.11 組合場地校正引起氣流畸變之風速量測不確定度  $u_{VT,i}$**

組合以下不確定度項，計算場地校正之 B 類不確定度( $u_{VT,i}$ )。

$$u_{VT,i,j} = \sqrt{u_{VT,precal,i,j}^2 + u_{VT,postcal,i,j}^2 + u_{VT,class,i,j}^2 + u_{VT,mnt,i,j}^2 + u_{VT,lgt,i,j}^2 + u_{VT,coc,i,j}^2 \cdot V_i^2 + u_{VT,rmv,i,j}^2 \cdot V_i^2 + u_{VT,sv,i,j}^2 + u_{dVT,i,j}^2 + s_{sc}^2} \quad (E.45)$$

- 式中，
- $u_{VT,i,j}$ ：來自場地校正之不確定度
  - $u_{VT,precal,i,j}$ ：與風速計校正相關之不確定度
  - $u_{VT,postcal,i,j}$ ：與風速計後校正或現場校正相關之不確定度
  - $u_{VT,class,i,j}$ ：與感測器分類相關之不確定度
  - $u_{VT,mnt,i,j}$ ：與感測器安裝相關之不確定度
  - $u_{VT,lgt,i,j}$ ：與避雷針相關之不確定度
  - $u_{VT,coc,i,j}$ ：與區間之間修正值變化相關之不確定度
  - $u_{VT,rmv,i,j}$ ：場地校正與功率性能試驗間，與移除風向感測器相關之不確定度
  - $u_{VT,sv,i,j}$ ：場地校正與功率性能試驗間，與季節性變化相關之不確定度
  - $u_{dVT,i,j}$ ：與風速訊號資料擷取相關之不確定度
  - $s_{sc}$ ：場地校正之 A 類標準不確定度(依據 CNS 61400-12-3)

為獲得所有方向扇形區間之風速區間不確定度，應使用加權平均：

$$u_{VT,i} = \frac{\sum_j u_{VT,i,j} N_{i,j}}{\sum_j N_{i,j}} \quad (E.46)$$

式中， $N_{i,j}$ ：風速區間 i 及風向區間 j 之功率曲線資料組數目

**E.13.12 溫度量測之組合不確定度  $u_{T,i}$**

組合以下不確定度項，計算溫度之 B 類不確定度( $u_{T,i}$ )。

$$u_{T,i} = \sqrt{u_{T,cal,i}^2 + u_{T,shield,i}^2 + u_{T,mnt,i}^2 + u_{dT,i}^2} \quad (E.47)$$

- 式中，
- $u_{T,i}$ ：溫度量測之不確定度
  - $u_{T,cal,i}$ ：與溫度感測器校正相關之不確定度
  - $u_{T,shield,i}$ ：與溫度感測器屏蔽相關之不確定度
  - $u_{T,mnt,i}$ ：與溫度感測器安裝相關之不確定度
  - $u_{dT,i}$ ：與溫度訊號資料擷取相關之不確定度

若作以下假設：

- 溫度感測器之標準不確定度為 0.5 °C。



- 溫度感測器之屏蔽溫度為 2 °C。
- 由於溫度感測器安裝效應而產生之標準不確定度取決於距輪轂高度的垂直距離。當溫度感測器安裝在輪轂高度 10 m 範圍內時，則假設標準不確定度為 0.3 °C。
- 考慮量測通道之溫度範圍為 40 °C，資料擷取系統之標準不確定度為此範圍的 0.1 %。

然後，每一個區間內空氣溫度之標準不確定度(以 K 為單位)數值計算為：

$$u_{T,i} = \sqrt{0.5^2 + 2.0^2 + 0.3^2 + (0.1\% \cdot 40)^2} = 2.1 \quad (\text{E.48})$$

#### E.13.13 空氣壓力量測之組合不確定度 $u_{B,i}$

組合以下不確定度項，計算空氣壓力之 B 類不確定度( $u_{B,i}$ )。

$$u_{B,i} = \sqrt{u_{B,\text{cal},i}^2 + u_{B,\text{mnt},i}^2 + u_{\text{dB},i}^2} \quad (\text{E.49})$$

式中， $u_{B,i}$ ：空氣壓力量測之不確定度

$u_{B,\text{cal},i}$ ：與空氣壓力感測器校正相關之不確定度

$u_{B,\text{mnt},i}$ ：與空氣壓力感測器安裝相關之不確定度

$u_{\text{dB},i}$ ：與空氣壓力訊號資料擷取相關之不確定度

若作以下假設：

- 空氣壓力感測器之標準不確定度為 3.0 hPa。假設依據 ISO 2533 將空氣壓力修正至輪轂高度(對於標準大氣且感測器與輪轂間之高度差為 98 m，空氣壓力為 11.7 hPa)。則因部署而產生之標準不確定度估計為修正值的 10 %，即 1.17 hPa。
- 考慮量測通道之空氣壓力範圍為 100 hPa，資料擷取系統之標準不確定度為此範圍的 0.1 %。

則空氣氣壓標準不確定度(以 hPa 為單位)之數值計算為：

$$u_{B,i} = \sqrt{3.0^2 + 1.17^2 + (0.1\% \cdot 100)^2} = 3.2 \quad (\text{E.50})$$

#### E.13.14 空氣濕度量測之組合不確定度 $u_{RH,i}$

組合以下不確定度項，計算空氣濕度之 B 類不確定度( $u_{RH,i}$ )。

$$u_{RH,i} = \sqrt{u_{RH,\text{cal},i}^2 + u_{RH,\text{mnt},i}^2 + u_{\text{dRH},i}^2} \quad (\text{E.51})$$

式中， $u_{RH,i}$ ：相對濕度量測之不確定度

$u_{RH,\text{cal},i}$ ：與相對濕度感測器校正相關之不確定度

$u_{RH,mnt,i}$  : 與相對濕度感測器安裝相關之不確定度

$u_{dRH,i}$  : 與相對濕度訊號資料擷取相關之不確定度

若作以下假設：

- (a) 相對濕度感測器之標準不確定度為 1 %。
- (b) 感測器安裝之標準不確定度為 0.1 %。
- (c) 考慮量測通道之 100 % 相對濕度範圍(原文錯誤?)及資料擷取系統的標準不確定度為此範圍之 0.1 %。

則相對濕度標準不確定度之數值計算為：

$$u_{RH,i} = \sqrt{(1.0\%)^2 + (0.1\%)^2 + (0.1\% \cdot 100\%)^2} = 1.0\% \quad (E.52)$$

#### E.13.15 組合方法相關項之不確定度 $u_{M,i}$

組合以下不確定度項，計算與方法相關之 B 類不確定度( $u_{M,i}$ )。

$$u_{M,i} = \sqrt{u_{M, shear,i}^2 + u_{M, veer,i}^2 + u_{M, upflow,i}^2 + u_{M, ti,i}^2 + u_{M, sfx,i}^2 + u_{M, cc,i}^2} \quad (E.53)$$

式中，  $u_{M,i}$  : 與所應用方法相關之不確定度

$u_{M, shear,i}$  : 與整個轉子風切缺失資訊相關之不確定度

$u_{M, veer,i}$  : 與整個轉子風轉向缺失資訊相關之不確定度

$u_{M, upflow,i}$  : 與整個轉子上升氣流缺失資訊相關之不確定度

$u_{M, ti,i}$  : 當無輪轂高度氣象桿風速訊號時，與擾流資訊缺失相關之不確定度

$u_{M, sfx,i}$  : 與無法量化之季節性影響對風力機相關之不確定度

$u_{M, cc,i}$  : 與寒冷氣候下量測相關之不確定度

#### E.13.16 組合風向標或音波風速計進行風向量測之不確定度 $u_{WV,i}$

組合以下不確定度項，計算使用風向標或音波風速計進行風向量測之 B 類不確定度( $u_{WV,i}$ )。

$$u_{WV,i} = \sqrt{u_{WV, cal,i}^2 + u_{WV, nm,i}^2 + u_{WV, bo,i}^2 + u_{WV, oe,i}^2 + u_{WV, mda,i}^2 + u_{dWV,i}^2} \quad (E.54)$$

式中，  $u_{WV,i}$  : 與安裝在氣象桿上之風向感測器(風向標或音波風速計)量測風向相關之不確定度

$u_{WV, cal,i}$  : 與風向感測器校正相關之不確定度

$u_{WV, nm,i}$  : 與風向感測器北標相關之不確定度

$u_{WV, bo,i}$  : 與安裝風向感測器之懸臂方位相關之不確定度

$u_{WV, oe,i}$  : 氣象桿對風向量測影響之不確定度

$u_{WV, mda,i}$  : 與磁偏角相關之不確定度

$u_{dWV,i}$ ：與風向感測器訊號資料擷取相關之不確定度

#### E.13.17 結合 RSD 風向量測之不確定度( $u_{WR,i}$ )

組合以下不確定度項，計算 RSD 風向量測之 B 類不確定度( $u_{WR,i}$ )。

$$u_{WR,i} = \sqrt{u_{WR,ver,i}^2 + u_{WR,class,i}^2 + u_{WR,mon,i}^2 + u_{WR,fv,i}^2 + u_{WR,align,i}^2 + u_{WR,mda,i}^2 + u_{dWR,i}^2} \quad (E.55)$$

式中， $u_{WR,i}$ ：與 RSD 風向量測相關之不確定度

$u_{WR,ver,i}$ ：與 RSD 查證試驗相關之不確定度

$u_{WR,class,i}$ ：與 RSD 分類相關之不確定度

$u_{WR,mon,i}$ ：與 RSD 監測相關之不確定度

$u_{WR,fv,i}$ ：與整個量測體積之風氣流變化相關之不確定度

$u_{WR,align,i}$ ：與 RSD 對準相關之不確定度

$u_{WR,mda,i}$ ：與磁偏角相關之不確定度

$u_{dWR,i}$ ：與風向感測器訊號資料擷取相關之不確定度

#### E.13.18 組合 B 類不確定度

每一個區間之 B 類不確定度組合如下：

$$u_i = \sqrt{u_{P,i}^2 + u_{M,Tinorm,i}^2 + c_{V,i}^2 u_{V,i}^2 + c_{T,i}^2 u_{T,i}^2 + c_{B,i}^2 u_{B,i}^2 + c_{RH,i}^2 u_{RH,i}^2 + c_{V,i}^2 u_{M,i}^2} \quad (E.56)$$

#### E.13.19 組合標準不確定度－功率曲線

藉由組合 A 類不確定度與所有 B 類不確定度，以得到功率曲線之每一個區間之組合標準不確定度。

$$u_{e,i} = \sqrt{s_i^2 + u_i^2} = \sqrt{s_i^2 + u_{P,i}^2 + u_{M,Tinorm,i}^2 + c_{V,i}^2 u_{V,i}^2 + c_{T,i}^2 u_{T,i}^2 + c_{B,i}^2 u_{B,i}^2 + c_{RH,i}^2 u_{RH,i}^2 + c_{V,i}^2 u_{M,i}^2} \quad (E.57)$$

#### E.13.20 組合標準不確定度－發電量

AEP 之組合標準不確定度藉由組合個別 A 類及 B 類不確定度得到的。此可依據公式(E.4)之完整公式表述[參照公式(E.58)]或公式(E.5)之簡化及保守公式表述[參照公式(E.59)]完成。

$$u_{AEP} = N_h \sqrt{\sum_{i=1}^N f_i^2 \sum_{k=1}^{M_A} c_{k,i}^2 s_{k,i}^2 + \sum_{k=1}^{M_B} (\sum_{i=1}^N f_i c_{k,i} u_{k,i})^2} \quad (E.58)$$

$$u_{AEP} = N_h \sqrt{\sum_{i=1}^N f_i^2 s_i^2 + (\sum_{i=1}^N f_i u_i)^2} \quad (E.59)$$

式中， $f_i$ ：在區間  $i$  內，風速在  $V_{i-1}$  與  $V_i$  [ $F(V_i) - F(V_{i-1})$ ] 間之相對發生率

#### E.14 規定條件下不確定度項之相關性

依據 ISO/IEC Guide 98-3，在某些情況下，可評估不確定度項並發現其不顯著，

因此不包括在量測結果不確定度之評估中。

在本標準中，僅在特定情況下或符合一組特定條件時，才宜為各種不確定度項指派為 0。一個示例是  $u_{VT, coc, i, j}$  之不確定度，其與場地校正中應用之不確定度有關，當風向區間與鄰近區間相比修正因數變化大於 2 % 時，未從資料組中消除，參照 CNS 61400-12-3。僅當決定不移除此類區間時， $u_{VT, coc, i, j}$  才會獲得一個值，否則其值為 0。

由本標準之使用者決定在哪些情況下不確定度項可被視為不相關，並因此將其設定為 0。此宜記錄下來(包括理由)以確保不確定度計算之可重複性。

### E.15 參考表

表 E.9 正規化空氣密度之不確定度

區間 No. $i$	空氣密度正規 化風速 $V_{n,i}$ m/s	正規化前風速 (未正規化) $V_{un,i}$ m/s	正規化與非正 規化風速之差 $V_{n,i}-V_{un,i}$ m/s	空氣密度正規化所 引起之不確定度 $u_{\rho,i}$ m/s
4	2.03	2.025	0.008	0.004
5	2.51	2.501	0.013	0.007
6	3.03	3.015	0.014	0.007
7	3.52	3.501	0.016	0.008
8	4.02	4.000	0.022	0.011
9	4.53	4.503	0.028	0.014
10	5.00	4.976	0.029	0.014
11	5.55	5.523	0.031	0.016
12	6.03	5.991	0.035	0.017
13	6.56	6.503	0.055	0.028
14	7.01	6.970	0.041	0.021
15	7.55	7.485	0.061	0.031
16	8.04	7.979	0.065	0.032
17	8.57	8.503	0.064	0.032
18	9.08	8.999	0.080	0.040
19	9.58	9.494	0.090	0.045
20	10.10	10.007	0.091	0.045
21	10.61	10.501	0.113	0.056
22	11.10	10.982	0.122	0.061
23	11.60	11.475	0.121	0.060

24	12.11	11.986	0.125	0.062
25	12.64	12.504	0.139	0.070
26	13.17	13.034	0.134	0.067
27	13.59	13.467	0.123	0.061
28	14.18	14.020	0.157	0.079
29	14.62	14.479	0.140	0.070
30	15.07	14.916	0.149	0.075
31	15.76	15.611	0.151	0.075
32	16.09	15.941	0.147	0.073
33	16.83	16.680	0.150	0.075
34	17.03	16.926	0.100	0.050
35	17.81	17.586	0.226	0.113
36	18.19	18.052	0.135	0.068
37	18.5	0.1522	0.135	0.068
38	19.0	0.1521	0.135	0.068
39	19.5	0.1539	0.135	0.068
40	20.0	0.1541	0.135	0.068
41	20.5	0.1505	0.135	0.068
42	21.0	0.1512	0.135	0.068
43	21.5	0.1548	0.135	0.068
44	22.0	0.153	0.135	0.068
45	22.5	0.1533	0.135	0.068
46	23.0	0.1557	0.135	0.068
47	23.5	0.1567	0.135	0.068

表 E.10 靈敏度係數

區間 No.	功率曲線 (資料庫 B)		靈敏度係數		
	風速 $V_i$ m/s	電功率 $P_i$ kW	風速 $c_{v,i}$ kW/m/s	空氣溫度 $c_{T,i}$ kW/K	空氣壓力 $c_{B,i}$ kW/hPa
4	2.13	-3.64	1.712	0.013	0.004
5	2.49	-3.65	0.014	0.013	0.004
6	2.99	-3.78	0.269	0.013	0.004
7	3.51	-2.19	3.062	0.008	0.002
8	3.99	-0.43	3.645	0.001	0.000
9	4.50	6.04	12.825	0.021	0.006
10	4.98	27.70	44.664	0.096	0.027
11	5.52	67.39	74.049	0.234	0.067
12	5.98	111.30	94.430	0.386	0.110
13	6.51	160.95	95.019	0.558	0.159
14	7.01	209.42	95.472	0.727	0.207
15	7.50	261.96	107.566	0.909	0.259
16	8.00	327.63	131.992	1.137	0.323
17	8.50	395.23	136.290	1.372	0.390
18	8.99	462.01	134.677	1.603	0.456
19	9.49	556.06	187.824	1.930	0.549
20	10.00	629.80	145.079	2.186	0.622
21	10.47	703.06	155.957	2.440	0.694
22	11.00	786.55	157.358	2.729	0.776
23	11.50	836.48	100.000	2.903	0.826
24	11.99	893.52	116.327	3.101	0.882
25	12.49	928.61	70.200	3.223	0.917
26	13.03	956.44	51.481	3.319	0.944
27	13.50	971.30	31.702	3.371	0.959
28	14.00	980.92	19.200	3.404	0.968
29	14.48	988.17	15.208	3.429	0.976
30	15.00	993.46	10.192	3.448	0.981
31	15.49	993.71	0.408	3.449	0.981
32	15.99	995.70	4.000	3.455	0.983
33	16.54	996.22	0.909	3.457	0.983

34	17.02	996.42	0.417	3.458	0.984
35	17.48	996.48	0.217	3.458	0.984
36	17.95	996.50	0.000	3.458	0.984
37	18.49	995.71	0.556	3.457	0.983
38	18.97	996.6	0.833	3.459	0.984
39	19.42	996.1	1.111	3.457	0.983
40	19.96	994.1	3.704	3.450	0.981
41	20.51	987.4	12.182	3.427	0.975
42	20.88	996.9	25.676	3.460	0.984

表 E.11 B 類不確定度

區間 No.	電功率	風速	風速	空氣溫度	空氣溫度	空氣壓力	空氣壓力
i	$u_{P,i}$ kW	$u_{V,i}$ m/s	$c_{V,i} \cdot u_{V,i}$ kW	$u_{T,i}$ K	$c_{T,i} \cdot u_{T,i}$ kW	$u_{B,i}$ hPa	$c_{B,i} \cdot u_{B,i}$ kW
4	6.29	0.19	0.33	2.09	0.03	3.18	0.01
5	6.29	0.19	0.00	2.09	0.03	3.18	0.01
6	6.29	0.19	0.05	2.09	0.03	3.18	0.01
7	6.29	0.19	0.60	2.09	0.02	3.18	0.01
8	6.29	0.20	0.71	2.09	0.00	3.18	0.00
9	6.29	0.20	2.53	2.09	0.04	3.18	0.02
10	6.29	0.20	8.85	2.09	0.20	3.18	0.09
11	6.30	0.20	14.82	2.09	0.49	3.18	0.21
12	6.32	0.20	19.04	2.09	0.81	3.18	0.35
13	6.35	0.20	19.34	2.09	1.17	3.18	0.51
14	6.39	0.21	19.58	2.09	1.52	3.18	0.66
15	6.44	0.21	22.28	2.09	1.90	3.18	0.82
16	6.52	0.21	27.66	2.09	2.37	3.18	1.03
17	6.62	0.21	28.87	2.09	2.86	3.18	1.24
18	6.74	0.21	28.86	2.09	3.35	3.18	1.45
19	6.93	0.22	40.71	2.09	4.03	3.18	1.75
20	7.09	0.22	31.82	2.09	4.57	3.18	1.98
21	7.28	0.22	34.61	2.09	5.10	3.18	2.21
22	7.51	0.22	35.38	2.09	5.70	3.18	2.47
23	7.65	0.23	22.77	2.09	6.06	3.18	2.63
24	7.82	0.23	26.81	2.09	6.48	3.18	2.81
25	7.93	0.23	16.41	2.09	6.73	3.18	2.92
26	8.02	0.24	12.20	2.09	6.93	3.18	3.00
27	8.07	0.24	7.61	2.09	7.04	3.18	3.05
28	8.10	0.24	4.67	2.09	7.11	3.18	3.08
29	8.13	0.25	3.75	2.09	7.16	3.18	3.10
30	8.14	0.25	2.55	2.09	7.20	3.18	3.12
31	8.14	0.25	0.10	2.09	7.20	3.18	3.12
32	8.15	0.26	1.03	2.09	7.22	3.18	3.13



33	8.15	0.26	0.24	2.09	7.22	3.18	3.13
34	8.15	0.26	0.11	2.09	7.22	3.18	3.13
35	8.15	0.27	0.06	2.09	7.22	3.18	3.13
36	8.15	0.27	0.00	2.09	7.22	3.18	3.13
37	8.15	0.28	0.15	2.09	7.22	3.18	3.13
38	8.15	0.28	0.23	2.09	7.22	3.18	3.13
39	8.15	0.28	0.32	2.09	7.22	3.18	3.13
40	8.15	0.29	1.07	2.09	7.21	3.18	3.12
41	8.12	0.29	3.54	2.09	7.16	3.18	3.10
42	8.15	0.29	7.54	2.09	7.23	3.18	3.13

附錄 F  
(規定)  
風速計之風洞校正程序

參照 IEC 61400-50-1。

附錄 G  
(規定)  
儀器於氣象桿上之安裝

參照 IEC 61400-50-1。

備考：IEC 61400-12-1:2017 附錄 G 中特定於功率性能之內容，已移至本標準本文中，  
更多通用內容包含於 IEC 61400-50-1 中。

## 附錄 H

### (規定)

#### 小型風力機功率性能試驗

##### H.1 一般

小型風力機(如 IEC 61400-2 定義)功率性能試驗需要特殊規定。特別是，用於為蓄電池充電之風力機應以能代表正常運轉，但減少或消除試驗期間使用之特定蓄電池組態及條件影響之方式進行試驗，使用反向器進行併網之風力機應與此等反向器一起進行試驗，以給出代表正常運轉之結果。在所有情況下，相關功率對消費者而言均是有用功率，因此功率是併網風力機注入電網之功率。類似地，功率是為蓄電池充電之風力機輸送至蓄電池之功率。當試驗小型風力機時，應符合本標準中所述之所有要求，並進行以下補充及更改。

##### H.2 風力機系統之定義及安裝

對於 6.2 遵循下述要求。

- (a) 當特性化蓄電池充電性能時，風力機系統應包括風力機、風力機塔架、風力機控制器、風力機與負載間之配線及充電控制器，充電控制器是一種電壓保護裝置，可在蓄電池充滿電時降低風力機功率輸出。系統可包括一傾卸負載(dump load)用於在蓄電池充飽電時，耗散來自風力機之能量。風力機系統不包括蓄電池組，因其被視為負載之一部分，其他儲能裝置可取代本附錄中之蓄電池。
- (b) 當特性化系統輸出至電網時，風力機系統應包括風力機、風力機塔架、風力機控制器、風力機與負載間之配線及任何附加之控制器。另外，此系統可包括電壓反向器。若變壓器安裝在電壓反向器與電網間，則其可被視為風力機系統或負載之一部分。若併網風力機系統包含蓄電池組及/或傾卸負載，則應將其視為系統之一部分。
- (c) 風力機應連接至代表風力機設計負載之電力負載。在蓄電池充電應用中，負載由蓄電池組、電壓調節器及通過電壓調節器(或傾卸負載)耗散功率之裝置組成。在理想試驗設定中，蓄電池組不儲存風力機產生之能量。相反地，所有風力機之輸出均會藉由電壓調節器輸送。因此，只要風力機與負載之連接處的電壓能夠維持在(e)及(f)規格內，蓄電池組可小於通常建議用於風力機之蓄電池組。
- (d) 風力機應使用製造商規定之安裝系統進行安裝。若風力機未配備特定安裝系統，則風力機宜安裝在至少 10 m 之輪轂高度處。
- (e) 為最小化因風力機與負載間之配線而導致之結果差異，量測從塔架底座至負載之總電線長度應至少為轉子直徑之 8 倍。小型風力機與負載間之配線應依據製造商有關該電線長度之規定。若規格規定電線尺寸範圍，則電線尺寸應

盡可能使用此範圍之平均。若未提供規格，則應選擇可使風力機與負載間之電壓降相當於額定功率下標稱電壓 10 % 之電線尺寸。

- (f) 電壓調節器應能在風力機輸出功率之全範圍內，將風力機與負載連接處之電壓維持在表 H.1 給出之設定 10 % 範圍內。負載電壓之 1 min 平均應在表 H.1 給出之設定 5 % 以內，以包含在可用資料組中。

### H.3 氣象桿位置

關於 6.3.2 遵循下述要求。

- (a) 若能將風速計安裝在連接至風力機塔架之長懸臂上更為實用，則無需單獨之氣象桿。為最小化風速計、風向標及其安裝硬體之尾流對小型風力機轉子引起之氣流畸變，所有此類組件應距風力機轉子任何部位至少 3 m。此外，風速計安裝座之組態應使其在低於輪轂高度 1.5 倍轉子直徑以上之橫截面積最小化。懸臂之安裝應確保結構振動不會引入風速訊號中。
- (b) 對於垂直軸風力機，輪轂高度定義為風力機轉子掃掠面積質心之高度。
- (c) 對於垂直軸風力機，風力機與氣象桿間之距離如圖 H.1 所示。

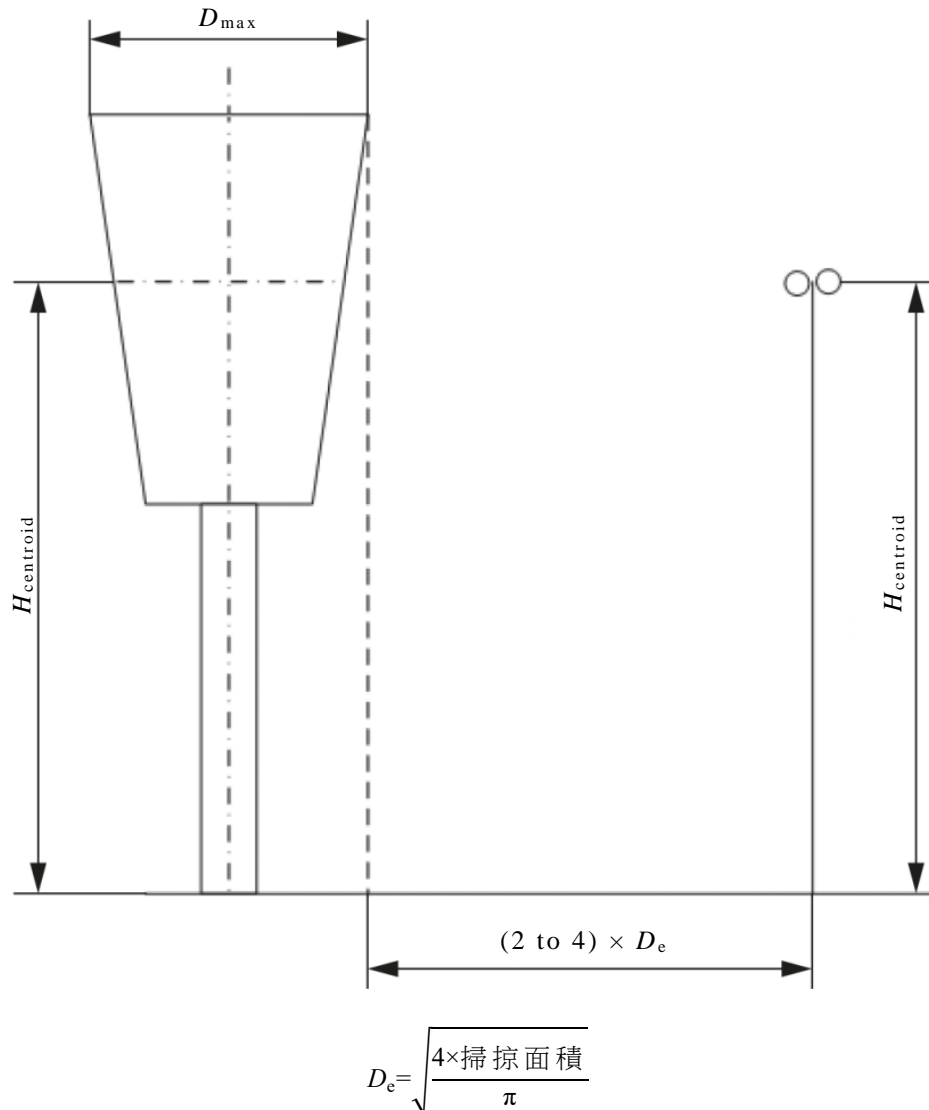


圖 H.1 垂直軸風力機之輪轂高度及氣象桿位置之定義

#### H.4 試驗設備

- (a) 在 7.1 中：當量測掃掠面積為 40 m<sup>2</sup> 或以下之蓄電池充電風力機的直流輸出時，允許使用準確度為 2 % 或更好之量測設備量測電流及功率，而非 7.1 中提到之 0.5 % 準確度。
- (b) 在 7.1 中：風力機輸出功率應在 H.2 定義之負載連接處量測。
- (c) 在 7.1 中亦規定：除電功率外，亦應量測負載連接處之電壓，以確保符合 H.2 所列之要求。
- (d) 在 7.2.2 中：宜遵循 IEC 61400-50-1 提供之風速計安裝指引。若有偏差，則應在試驗報告中記錄其原因，並在分析中增加額外之不確定度。在極端情況下，若能證明控制風速計及第 3 風速計間存在良好之相關性，則允許臨時使用控制風速計以外之風速計。分析中應使用額外之不確定度以容納相關性中之不確定度。
- (e) 在 7.2.3 中：風速計應安裝在氣象桿頂部，其輪轂高度相對於氣象桿地面 ± 2 %。
- (f) 在 7.2.6 中：無需量測風切。
- (g) 在 7.4 中：相對濕度之量測及校正是可選擇的。
- (h) 在 7.4 中亦規定：空氣溫度感測器、空氣壓力感測器及濕度感測器(若使用)之安裝應使其距輪轂高度之垂直距離至少為 1.5 倍轉子直徑，且距輪轂之水平距離應於 100 m 以內。
- (i) 在 7.7 中：建議監測小型風力機狀態，但非要求。

#### H.5 量測程序

- (a) 在 8.2 中：若風力機之充電控制器在可選擇之高電壓設定下降低風力機之輸出，則充電控制器可調整至更高之電壓。若調整充電控制器，試驗報告應記錄調整前後之設定。對風力機控制器之任何其他調整應明確報告。
- (b) 在 8.3 中：預處理資料之持續時間應為 1 min。本標準中所有後續引用之 10 min 資料組均適用於試驗小型風力機時之 1 min 資料組。
- (c) 在 8.4 中：新增資料剔除項目：
  - 負載電壓之 1 min 平均不在表 H.1 給出之設定 5 % 範圍內。
- (d) 在 8.5 中：當資料庫符合下述準則時，應視為資料庫是完整的：
  - (1) 低於切入 1 m/s 及 14 m/s 間之每一個風速區間應包含至少 10 min 取樣資料。
  - (2) 小型風力機在(d)(1)定義的風速範圍內，總資料庫包含至少 60 h 之資料。
  - (3) 在折收風力機的情況下，資料庫宜包括特性化風力機折收時性能之完整風速區間。
- (e) 建議取得額外之性能資料以量化蓄電池組電壓變化對風力機性能影響。應藉由將蓄電池組電壓設定為表 H.1 列出之可選擇低電壓與高電壓設定，並使用

1 min 預平均取得至少 30 h 之資料以獲得此等額外之功率曲線。在報告此等功率曲線時，圖及表應清楚地指出其在可選擇低電壓與高電壓設定下之性能，並應指出此等電壓之設定。建議使用單一圖形顯示功率隨風速及蓄電池組電壓之變化。

表 H.1 蓄電池組電壓設定

標稱電壓	要求設定	選擇低設定	選擇高設定
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
其他	2.1 <sup>(a)</sup>	1.9 <sup>a</sup>	2.4 <sup>a</sup>
註 <sup>(a)</sup> 每顆蓄電池電壓。			

## H.6 推導結果

- (a) 在 9.1 中：對於具被動功率控制(例：折收或葉片顫動)之風力機，應使用公式(14)(風速正規化)、公式(13)(功率正規化)或替代方法將風速正規化為海平面。應提供文件證明使用替代方法之合理性。然而，若風力機已調整以適應場地特定之空氣密度，則宜報告此點，不允許進行額外之正規化。
- (b) 在 9.1.6 中：對於小型風力機組，不建議進行擾流修正，但若進行，應報告此方法是否應用量測功率及風速之 1 min 平均而非 10 min 平均，且任何一個均是允許的。若應用擾流修正，則應報告並清楚標示具/不具擾流修正之功率曲線。
- (c) 在 9.3 中：若小型風力機在高風速下不關閉，則應將量測 AEP 及外插 AEP 依切出風速為最高、填滿風速區間或 25 m/s (二者取其大者)進行計算。

## H.7 報告

在第 10 節中：除第 7 節所列之資訊外，風力機及試驗設定之說明亦應包括：

- (a) 用於將風力機連接到負載之配線尺寸、導電體材料、型式、長度及連接器。
- (b) 小型風力機系統中任何過壓或欠壓保護裝置之電壓設定。
- (c) 蓄電池組額定電壓(如 12 V、24 V、48 V)。
- (d) 蓄電池組大小(即安時容量)、蓄電池型式及使用壽命。
- (e) 說明，包括用於將蓄電池組電壓維持在規定限值內之電壓調節裝置製造商、型號及規格。
- (f) 基準功率。
- (g) 應報告依據實測 AEP 及平均風速為 5 m/s 之瑞利風速分布及海平面密度正規化功率曲線計算之年發電量，以作為基準年發電量。

(h) 每一個資料組(連續、不間斷、時間序列)之 1 min 擾流強度，以作為觀測風速範圍內之散布圖。

#### H.8 試驗場風力機及障礙物影響之評鑑

CNS 61400-12-5 關於相關障礙物之距離與高度之要求可放寬，以適應小型風力機，但宜包括風速不確定度之附加不確定度。但勿忽視 CNS 61400-12-5 其他節次(即 CNS 61400-12-5:2025 之 6.4 規定，因障礙物而排除扇形區域之方法)。

#### H.9 試驗場地地形之評鑑

考慮小型風力機安裝之典型環境，CNS 61400-12-5 中所有距離及所有方向之最大坡度要求可能加至 10 %。然而，亦宜增加風速之附加不確定度。

#### H.10 場地校正程序(參照 CNS 61400-12-3)

- (a) 不建議對小型風力機進行額外之量測以特性化風切。同樣地，不建議進行垂直風速及風向量測。
- (b) 忽略風切及大氣穩定分析。
- (c) 任一氣象桿均無需進行風切量測。
- (d) 對於每一個 1 min 資料點，應計算風速比，即風力機氣象桿位置之輪轂高度風速除以基準氣象桿處之輪轂高度風速。
- (e) 應忽略說明場地風切條件評鑑及依據風切推導場地校正之節次。
- (f) 場地校正分析應僅採用未考慮風切之場地校正方法。
- (g) 對於小型風力機之場地校正，在符合氣流畸變要求情況下，可使用風力機支撐塔而非風力機位置氣象桿。



附錄 I  
(規定)  
杯型及音波風速計之分類

參照 IEC 61400-50-1。

附錄 J  
(規定)  
杯型及音波風速計之評鑑

參照 IEC 61400-50-1。

附錄 K  
(規定)  
風速計之現場比較

參照 IEC 61400-50-1。

## 附錄 L

### (規定)

#### 遙感技術之應用

##### L.1 一般

地面遙感技術應用於風力量測之方法及程序，參照 IEC 61400-50-2。本附錄說明與風力機功率曲線測試相關之遙控風速感測裝置[例：光達(light detection and ranging, lidars)及聲達(sound detection and ranging, sodars)]的操作特定要求。制定一個程序，確保量測結果可追溯至國際標準，並提供用於功率性能評估相關不確定度項。

應用程序時遵循下述限制。

- (a) 功率性能試驗期間應使用至少 40 m 之氣象桿或使用受測風力機之較低尖端高度之氣象桿，以監測遙感裝置之性能(例：30 m 之較低轉子尖端高度要求使用至少 30 m 之監測高度，而 50 m 之較低轉子尖端高度則需要至少 40 m 高之監測氣象桿)。
- (b) 僅使用地面遙感裝置(例：不包括安裝在機艙之遙感裝置)。
- (c) 使用遙感進行功率性能評鑑僅限於平坦地形，即依據附錄 B 無需場地校正之情況。

當與安裝在氣象桿之杯型風速計的量測進行比較時，遙感裝置之量測通常會顯示出一定程度的分散，其中某些分散是由遙感裝置對不同環境條件(例：溫度及風切)之靈敏度而產生的。分類試驗(參照 IEC 61400-50-2)之任務是識別及量化此等涵蓋感興趣量測範圍之許多離散高度的靈敏度。對於杯型風速計，假設此等靈敏度是型式特定的，且需要對每一種型式之遙感裝置進行分類試驗，每一種型式之最小數量及最小位置數量依據 IEC 61400-50-2 之定義。

杯型風速計比較中剩餘分散視為隨機雜訊，此有多種來源。例：因氣象桿間之距離，風中擾流去相關性而導致之散射。此外，遙感器本身之各個探測體積間距離亦可能導致此種分散。假設隨機雜訊是單元特定及場地特定，即其可在同一遙感裝置之不同評估間變化。

在用於功率性能試驗之前，遙感裝置之單元特定應先經過查證試驗(參照 IEC 61400-50-2)，或查證試驗亦可在功率性能試驗期間進行。此試驗將遙感裝置之量測與安裝在氣象桿上已校正杯風速計之量測進行比較，此氣象桿包括感興趣高度範圍之很大部分。此試驗之目的是以不確定度形式向此特別裝置傳遞可追溯性至國際標準。通常，功率性能試驗將在不同位置及不同時間進行，因此與查證試驗相比，環境條件之分布亦不同。依據分類試驗期間已識別之靈敏度，不同環境條件將改變遙感裝置之性能，增加與查證試驗中決定之相關不確定度。IEC 61400-50-2 及附錄 E 給出遙感裝置不確定度之表達公式及如何使用此等表達公式評估

功率曲線不確定度。

IEC 61400-50-2 說明如何使用短氣象桿之杯型風速計量測監測遙感裝置之性能。藉由確保至少一個共同之量測高度，可評鑑分類及查證試驗中獲得之不確定度與遙感裝置在功率性能試驗中之性能是否一致。若從此監測中發現不一致，則功率性能試驗中使用之相應不確定度就會增加。此為該方法提供一個有用之“安全網”，並提供一個回饋機制，可促進現實之不確定度評鑑。

本附錄中給出在功率性能試驗中使用遙感裝置之具體細節。特別相關的是遙感裝置之探測體積相對於受測風力機之位置及尺度。

IEC 61400-50-2 中給出完整方法之報告要求。

## L.2 功率性能試驗特定分類要求

若在分類及查證試驗期間使用之基準杯型風速計安裝在至少 3 個高度，包括風力機之下尖端高度  $\pm 25\%$  及風力機輪轂高度  $\pm 25\%$ ，則遙感裝置之分類及查證對於風力機之功率性能試驗應視為有效。若裝置用於風力機轉子整個高度範圍內之風力量測或僅用於輪轂高度以下之風力量測，則適用此等分類及查證之高度要求。僅於水平風速準確度等級之評估才與功率性能試驗相關。IEC 61400-50-2 中定義所有其他分類要求。

## L.3 功率性能試驗特定查證要求

功率性能試驗中使用之特定遙感裝置所獲得的量測，應依據安裝在氣象桿上基準遙感器所獲得之相同風氣流參數的同時與同位置量測進行校正，此基準遙感器視為符合進行功率性能試驗之要求。查證量測之高度應與 L.2 中所述高度相同。依據遙感裝置在功率性能試驗活動中之使用情況，應依據分類試驗期間考慮的與功率性能試驗相關之相同遙感裝置輸出參數評估準確度。

查證應在不早於功率性能試驗開始前一年(或功率性能試驗期間)進行，以便其結果在部署遙感裝置之功率性能試驗仍被視為是有效的。

應使用 IEC 61400-50-2 中所述之查證方法。

## L.4 功率性能試驗特定不確定度評估

參照附錄 E 及 IEC 61400-50-2 遙感裝置(RSDs)使用相關之不確定度評估要求。特定注意事項如下述。

(a) E.9.1 說明由於場地(地形)氣流變化而產生之不確定度，其中應假設與氣象桿應用相同之不確定度，即對於 2 至 3 倍轉子直徑之距離範圍，水平風速項之標準不確定度為 2%，對於超過 3 倍轉子直徑之距離範圍，標準不確定度為 3%。當使用 RSD 時，應考慮遙感裝置探測體積中心與試驗風力機位置間之水平距離。

(b) E.11.2.1 規定如何，藉由將 RSD 組態化至於轉子高度上具多個量測高度，以最小化由於缺乏風切及風轉向理解之不確定度貢獻。

## L.5 功率性能試驗特定附加檢查

#### L.5.1 監測應用場地遙感裝置之性能

功率性能試驗應採用至少達到 40 m 或受試風機較低尖端高度之氣象桿，以監測遙感裝置性能。除氣象桿高度相對較小且能在氣象桿頂部配備基準遙感器外，氣象桿及遙感裝置之設定及資料準備應符合 IEC 61400-50-2 中所述之要求。應進行 L.5.2 及 L.5.3 中所述之資料分析。

#### L.5.2 遙感裝置故障之識別

參照 IEC 61400-50-2 規定之要求，其中場地特定量測活動(specific measurement campaign, SMC)是功率性能量測活動。

#### L.5.3 遙感裝置系統不確定度評鑑之一致性檢查

參照 IEC 61400-50-2 規定之要求，其中場地特定量測活動(SMC)是功率性能量測活動。

#### L.5.4 遙感裝置現場試驗

參照 IEC 61400-50-2 規定之要求，其中場地特定量測活動(SMC)是功率性能量測活動。

#### L.6 功率性能試驗之其他特定要求

在使用遙感裝置進行功率性能量測之前，應進行 L.2 規定之分類試驗及 L.3 規定之查證試驗，或可在功率性能試驗期間執行校正試驗。若查證試驗不在功率性能試驗場進行，則遙感裝置應存放或直接運送到查證試驗結束時進行功率性能活動之位置。功率性能試驗後應重複進行查證試驗。作為替代方案，可對功率性能試驗場之氣象桿進行遙感裝置現場試驗。查證試驗方法之偏差或現場試驗包含之偏差應被視為本標準中定義之杯型風速計校正偏差。

若功率性能試驗所需之量測高度，在查證試驗或分類試驗可用之二個量測高度間，則查證試驗或分類試驗結果應依據此高度進行線性內插。不宜對查證試驗或分類試驗結果進行線性外插。只要保守，亦允許其他型式之外插法。若計算轉子等效風速所需之量測超出查證試驗或分類試驗所涵蓋之高度範圍，則應考慮採用比較正試驗或分類試驗所涵蓋最近高度之不確定度更高的不確定度。

在某些情況下，在地形足夠不複雜滿足附錄 B 要求情況下，進行場地校正是有幫助的。若遙感裝置結合場地校正量測使用，則量測體積水平中心應在 10 m 或基準氣象桿輪轂高度  $H$  之 10 % 範圍內，取其大者。若無需場地校正，遙感裝置之位置可符合 6.3.2 要求。在此二種情況下，當取得輪轂高度風速量測，輪轂高度  $H$  處之量測體積極值與試驗風力機距離不得小於  $2D$ ， $D$  為轉子直徑，且量測體積之質心與試驗風力機之距離不得超過  $4D$ ，如圖 L.1 說明，其中倒圓錐形掃描幾何形狀僅用於說明目的，此指引不限於此特定掃描幾何形狀。功率曲線試驗評估所有高度上之量測體積極值，應位於以任何風力機位置及輪轂高度為中心之球體外，半徑為相應風力機轉子直徑之 2 倍。

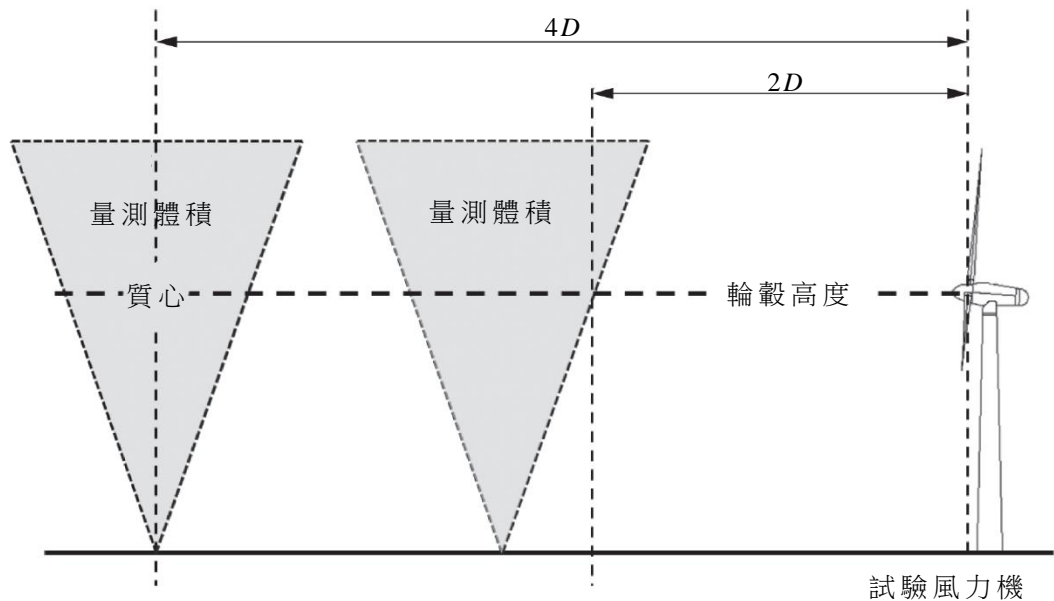


圖 L.1 量測體積允許位置範圍示例

遙感裝置取得徑向速度量測之探測體積不得受附錄 A 定義之風力機及障礙物的尾流及氣流擾動影響。為清楚起見：

- (a) 量測體積是風氣流特性可影響風速量測之區域，且由掃描幾何、裝置組態或穿透該體積以擷取量測之多個光束配置定義。
- (b) 探測體積是獲取如都卜勒頻移(Doppler shift)、徑向或視線速度等單一組分物理量測之區域，通常需要其中幾個物理量測以推導風速量測。探測體積是遙感裝置與大氣基本物理相互作用之特性，而非從此等相互作用推導之風速量測，風速量測由量測體積內之氣流決定。

為符合量測高度之一般要求，應依據所使用遙感裝置製造商建議及指引，採取裝置特定之措施。

功率性能試驗期間應使用與裝置分類及查證試驗期間使用之相同遙感裝置組態、操作參數、軟體、韌體及性能相關之硬體組件，不得實施可能影響查證、分類及功率性能試驗間之性能重大變更。

若可供功率性能試驗之氣象桿未達到輪轂高度，則氣象桿儀器量測之大氣壓力應依本標準調整至輪轂高度。此外，假設大氣依據 ISO 2533 變化，空氣溫度調整至輪轂高度。感測器應安裝在機艙上方至少 1 m 及任何現有通風系統之上風處。應依據 CNS 61400-12-2 減少機艙對感測器之影響。

若遙感裝置需各自之資料過濾以提供準確之量測，則功率性能試驗、查證試驗及分類試驗需進行下述量測：

- (a) 降雨量量測。

(b) 雲高量測。

(c) 環境聲學噪音位準量測。

在分類試驗期間應合理評鑑此類量測之需求。



## 附錄 M

(參考)

### 依據擾流強度之功率曲線資料正規化

#### M.1 一般

風力機功率曲線受擾流強度影響。擾流強度效應顯著部分是由 10 min 時段之實測輸出功率與實測風速平均引起的。此可從輸出功率與風速間之非線性關係理解：在輸出功率隨風速成比例增加之風速範圍內(功率曲線下拐點)，10 min 平均導致輸出功率隨著擾流強度增加而增加。此通常是在低風速及最大功率係數附近之風速情況。在風速範圍內，輸出功率隨風速增加小於比例(功率曲線上拐點)，10 min 平均導致輸出功率隨著擾流強度增加而減少，此通常是在風速略低於額定風速時之功率曲線上拐點。

本附錄說明將功率曲線資料正規化至基準擾流強度之程序(參照參考資料[1]<sup>(1)</sup>及[2])。基準擾流強度可定義為風速函數。給定程序僅考慮量測資料 10 min 平均之影響。此方法未涵蓋對風力機輸出功率之其他擾流影響。建議應用擾流正規化程序，以使在不同擾流強度下之量測功率曲線更具可比較性。

註<sup>(1)</sup> 方括號之數字係指參考資料。

本附錄概述擾流正規化程序作出簡化假設，如假設風力機在每一時刻均遵循某一確定與擾流強度無關之功率曲線，並假設 10 min 時段內，整個轉子面積相關風速變動由輪轂高度處之擾流強度充分特性化。儘管此等假設簡單，但此方法能調整 10 min 平均對各種風力機型式、轉子尺寸及擾流範圍之影響。

在 M.5 中給出不確定度估算連結功率曲線擾流效應之程序，無論是在執行擾流正規化或未執行擾流正規化情況下。建議之不確定度估算亦預期涵蓋與 10 min 平均無關之擾流效應對功率曲線試驗不確定度的影響。

#### M.2 擾流正規化程序

對於擾流正規化，假設風力機在每一時刻均遵循確定之功率曲線，此定義為零擾流功率曲線。M.3 說明零擾流功率曲線之決定。圖 M.1 說明擾流正規化過程。

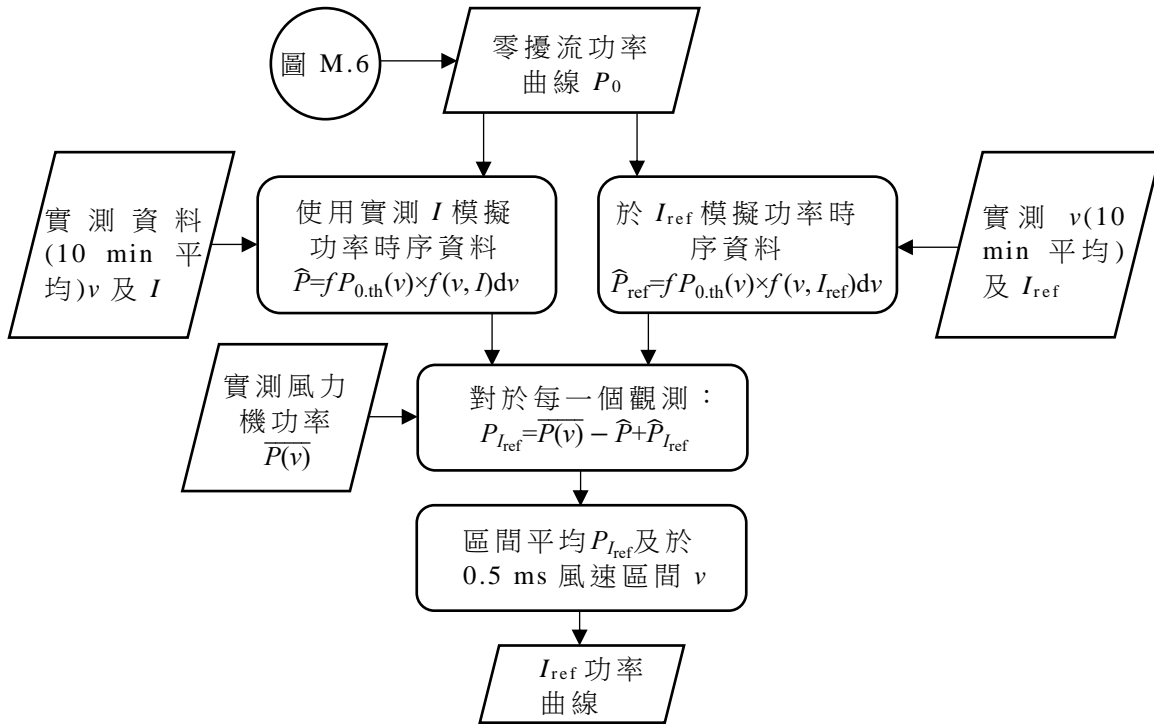


圖 M.1 由特定擾流強度 ( $I_{ref}$ ) 獲得功率曲線之過程

基於零擾流功率曲線與 10 min 時段之風速分布，藉由公式(M.1)模擬風力機輸出功率 10 min 平均：

$$\overline{P_{sim}(v)} = \int_{v=0}^{\infty} P_{I=0}(v) \cdot f(v) dv \quad (M.1)$$

式中，  $f(v)$ ：10 min 時段之風速分布

$P_{I=0}(v)$ ：零擾流功率曲線

$P_{sim}(v)$ ：實測輸出功率之模擬 10 min 平均

應將公式(M.1)應用至功率曲線資料(每 10 min 時段)，以計算下述條件下之二個模擬輸出功率：

- (a) 輪轂高度處，10 min 時段量測之風速分布。可假設為高斯分布  $f(v)$ ，其完全由 10 min 時段記錄之平均風速與風速標準差決定。若風力機具有效功率控制，則應使用公式(M.1)評估空氣密度正規化之輪轂高度風速。應用標準差計算實測之擾流強度(風速之標準差除以輪轂高度之平均風速)與空氣密度正規化平均風速(在輪轂高度)之乘積。
- (b) 具在輪轂高度處量測風速之 10 min 平均的高斯風速分布，且標準差等於輪轂高度處量測風速之 10 min 平均與基準擾流強度之乘積。對於具有效功率控制風力機，則應使用公式(M.1)評估空氣密度正規化之輪轂高度風速。

然後藉由公式(M.2)將實測輸出功率正規化至基準擾流強度：

$$\overline{P_{I_{ref}}(v)} = \overline{P(v)} - \overline{P_{sim,I}(v)} + \overline{P_{sim,I_{ref}}(v)} \quad (M.2)$$

式中， $\overline{P(v)}$ ：實測輸出功率之 10 min 平均

$\overline{P_{sim,I}(v)}$ ：依據上述條件(a)實測輸出功率之模擬 10 min 平均：公式(M.1)應用於實測風速分布(實測平均風速及實測擾流強度)

$\overline{P_{sim,I_{ref}}(v)}$ ：依據上述條件(b)實測輸出功率之模擬 10 min 平均：假設為高斯風速分布，公式(M.1)應用於實測平均風速及基準擾流強度  $I_{ref}$

對於失速調節風力機，公式(M.2)應與空氣密度正規化實測輸出功率一起應用。功率係數資料(僅用於量測之圖形演示)應基於正規化至基準擾流強度之輸出功率進行計算。對於失速調節風力機，功率係數資料應基於正規化至基準擾流強度之輸出功率與基準空氣密度(而非實測空氣密度)進行計算。

### M.3 零擾流功率曲線之決定

初始零擾流功率曲線是依據空氣密度正規化之區間平均功率曲線計算得出，但未依據擾流強度正規化且未依據風切修正。初始零擾流功率曲線作為第 1 步，依據下述決定(另參照圖 M.2 及圖 M.3)：

- (a) 假設低於切入風速時輸出功率為 0。第 1 步，將切入風速設定為實測輸出功率至少達到額定功率 0.1 % 時之風速區間的平均風速。
- (b) 假設切入風速與額定風速間之功率係數( $C_p$ )恆定，且等於最大功率係數( $C_{p,max}$ )。此假設相當於輸出功率隨風速之三次方增加。初始零擾流功率曲線應依據該假設，並基於基準空氣密度，在切入風速與額定風速間以不大於 0.1 m/s 之增量進行計算。第 1 步，將最大功率係數( $C_{p,max}$ )設定為實測區間平均功率曲線之最大功率係數。
- (c) 依額定功率( $P_{rated}$ )、轉子掃掠面積( $A$ )、最大功率係數( $C_{p,max}$ )與基準空氣密度( $\rho$ )計算額定風速( $v_{rated}$ )： $v_{rated} = \left( \frac{2 \cdot P_{rated}}{\rho \cdot C_{p,max} \cdot A} \right)^{\frac{1}{3}}$ 。第 1 步，將額定功率設定為所有風速區間之最高區間平均輸出功率。
- (d) 風速高於額定風速( $v_{rated}$ )時，輸出功率等於額定功率。第 1 步，將額定功率設定為實測功率曲線中之所有風速區間的最高區間平均輸出功率。應假設此額定輸出功率之風速遠高於切出風速(例：100 m/s)，以定義初始零擾流功率曲線。

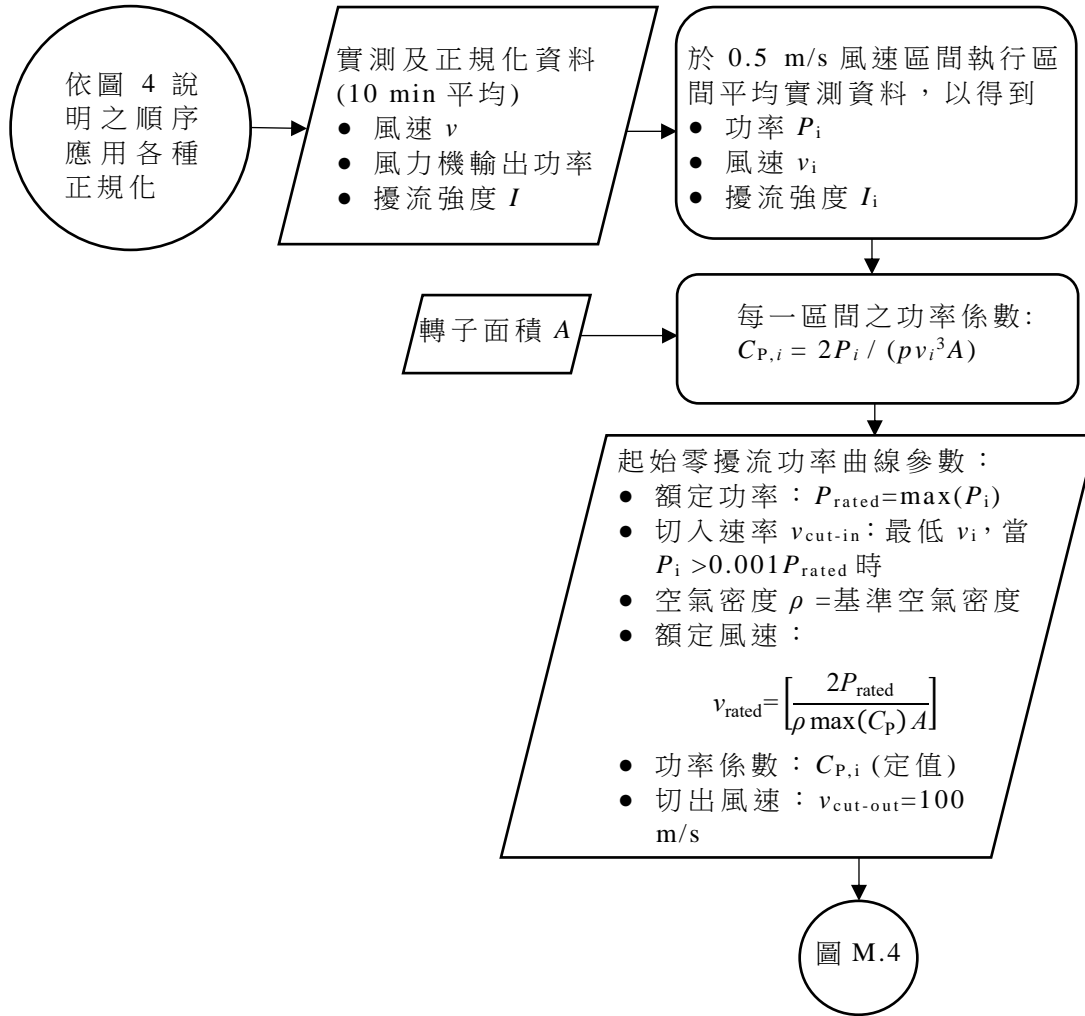


圖 M.2 從實測資料取得初始零擾流功率曲線參數之過程

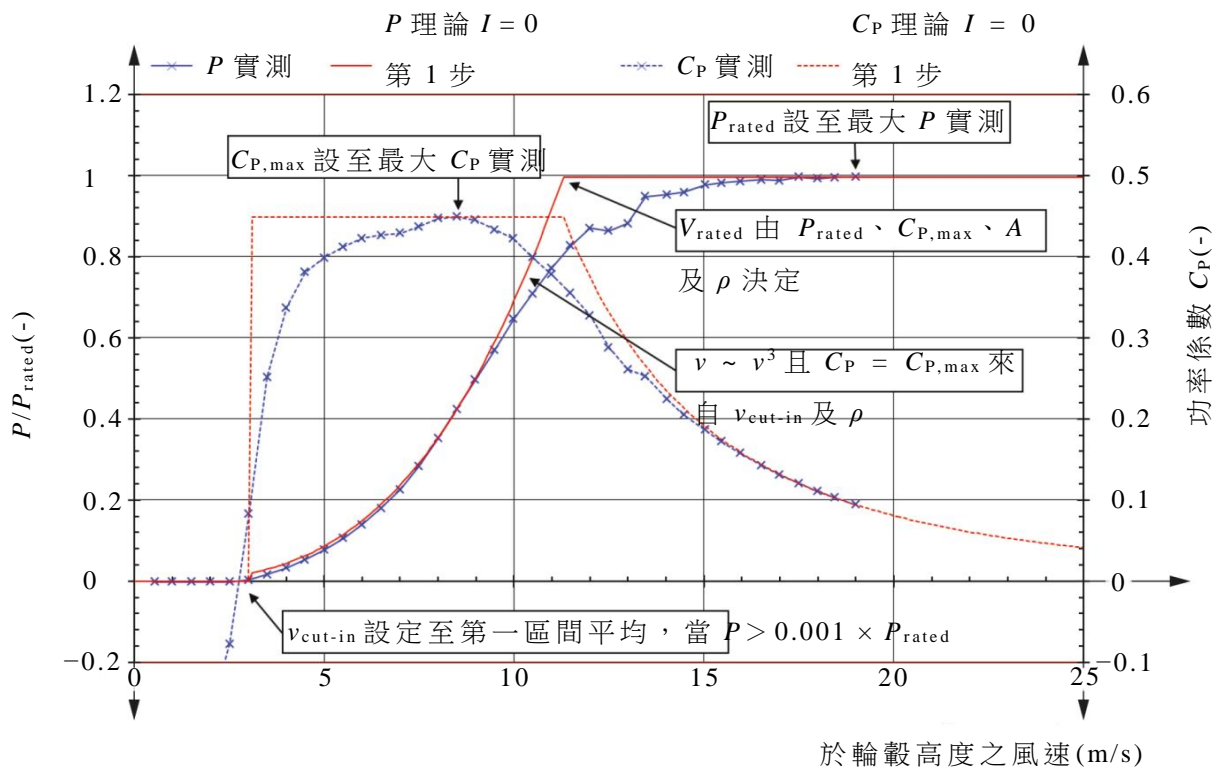


圖 M.3 初始零擾流功率曲線之第 1 步

下一步，應調整初始零擾流功率曲線之額定功率、切入風速及最大功率係數，因為此三個參數取決於擾流強度，且此等參數值已應用於上一步驟取代擾流強度為零之值。應將實測擾流強度作為輪轂高度風速量測之函數進行區間平均。對於具有有效功率控制之風力機，擾流強度應依據空氣密度正規化之輪轂高度風速進行區間平均。

接著，依據公式(M.1)將初始零擾流功率曲線依據高斯風速分布進行積分，平均風速等於實測功率曲線之區間平均，且標準差則為區間平均風速與區間平均擾流強度之乘積。對於具有有效功率控制風力機，應使用空氣密度正規化輪轂高度處之風速。藉由此過程，功率曲線針對每一個風速區間依據實測擾流強度進行模擬，而模擬之功率曲線與實測功率曲線參考之風速區間完全相同。然後，依據下述調整初始零擾流功率曲線之額定功率、切入風速及最大功率係數(參照圖 M.4)。

- (a) 應調整額定功率致使模擬功率曲線之最大功率與實測功率曲線之最大區間平均功率一致。
- (b) 應調整切入風速致使模擬功率曲線之切入風速與區間平均實測功率曲線之切入風速一致。二條功率曲線之切入風速均定義為輸出功率至少達額定功率 0.1 %之最低風速區間。
- (c) 調整最大功率係數致使模擬功率曲線之最大功率係數與實測功率曲線之最大功率係數一致。

上述步驟(a)至(c)應依據給定順序在每次迭代中重複執行，直到 3 個參數至少收斂至如下述：

- 模擬功率曲線之最大功率與實測功率曲線之最大區間平均功率偏差不超過 0.1 %。
- 模擬功率曲線之切入風速與區間平均實測功率曲線之切入風速偏差不超過 0.5 m/s。
- 模擬功率曲線之最大功率係數與實測功率曲線之最大功率係數偏差不超過 0.01。

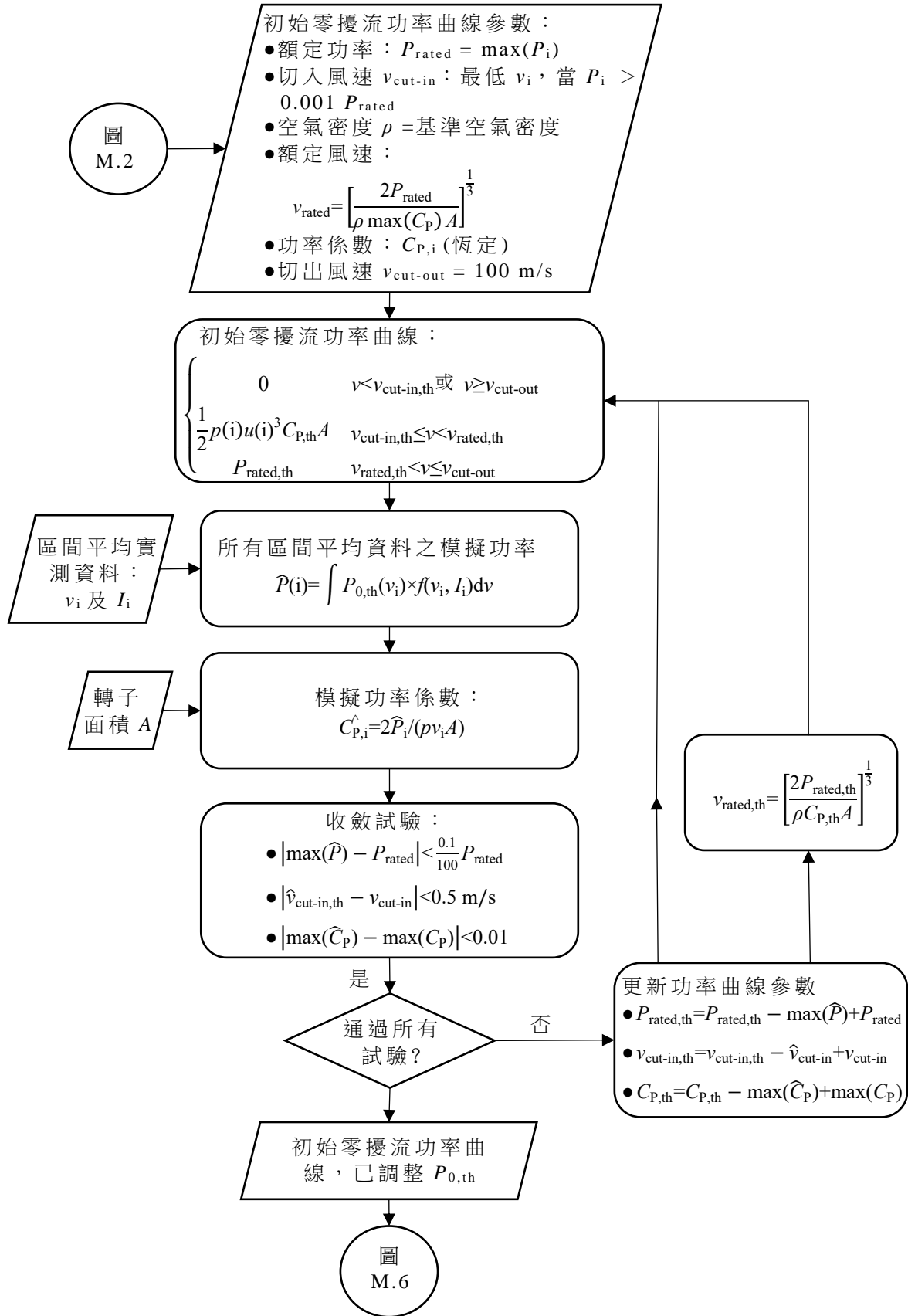


圖 M.4 從實測資料獲得理論零擾流功率曲線之過程

通常在第一次或第二次迭代後即可達到足夠之收斂。圖 M.5 說明如何從第 1 步調整通常改變初始零擾流功率曲線。

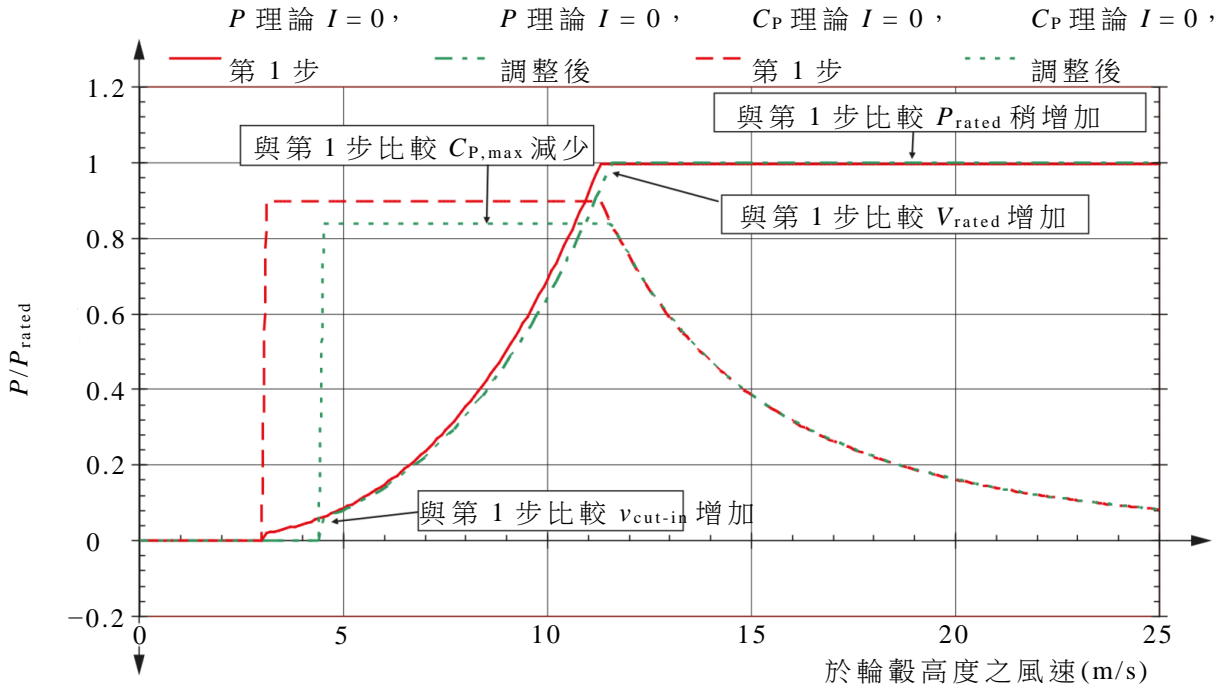


圖 M.5 與第 1 步(紅色)相比，調整後之初始零擾流功率曲線(綠色)

然後，藉應用 M.2 中所述之資料正規化過程決定零擾流功率曲線，其中零擾流功率曲線設定為公式(M.1)中之初始零擾流功率曲線，並假設擾流強度為零(10 min 時段風速恆定)。最終之零擾流功率曲線是藉對如此正規化之功率曲線原始資料進行區間平均而獲得，如圖 M.6 所示。當應用公式(M.1)和(M.2)進行擾流正規化時，此區間平均功率曲線應隨著最高區間之輸出功率延伸至遠高於截止風速(例：100 m/s)的風速正規化。

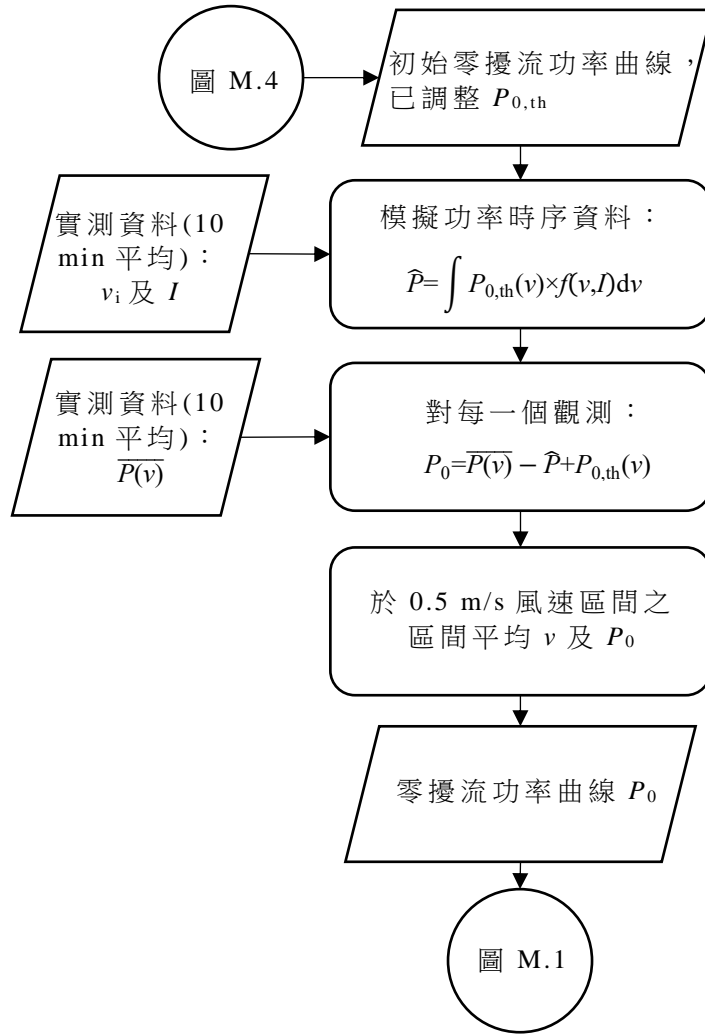


圖 M.6 從實測資料獲得最終零擾流功率曲線之過程

圖 M.7 說明最終零擾流功率曲線與初始零擾流功率曲線之典型比較。



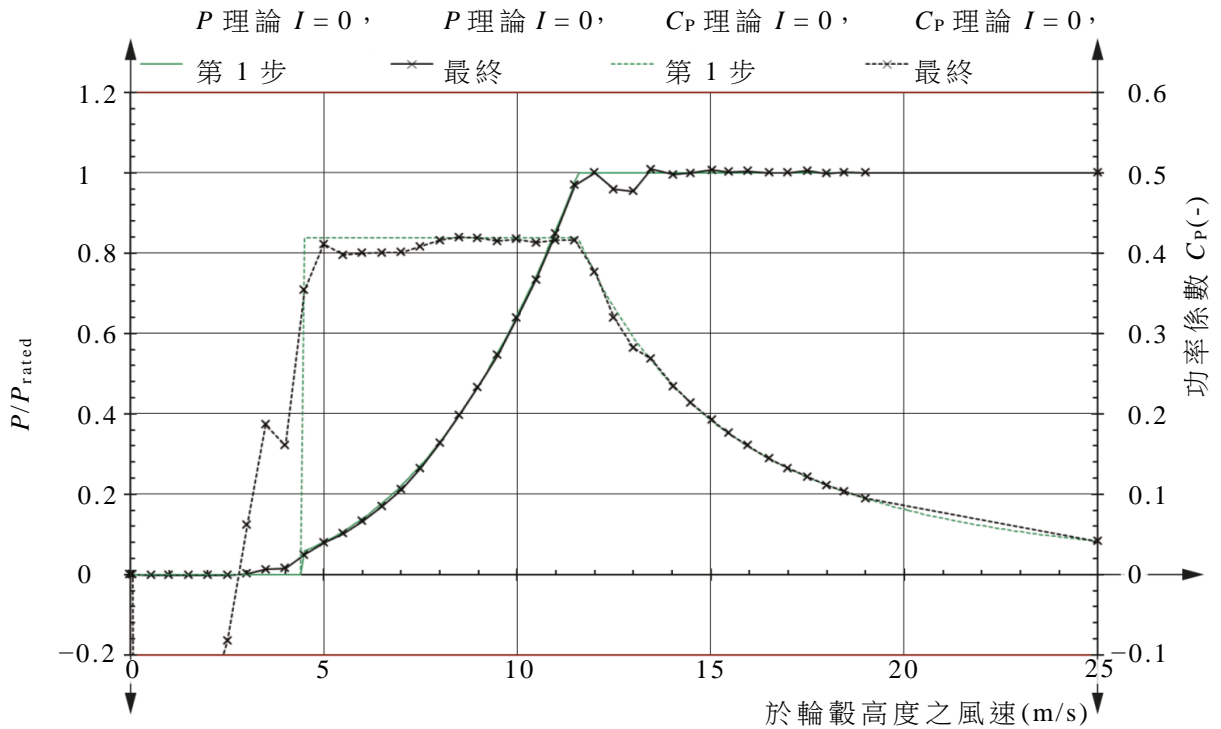


圖 M.7 調整後初始零擾流功率曲線(綠色)與最終零擾流功率曲線(黑色)相比

#### M.4 風切修正(正規化)與擾流正規化之順序

風切或風轉向修正(或正規化)及擾流正規化之應用順序通常對最終功率曲線影響無顯著影響。如 M.2 及 M.3 中所述，僅基於輪轂高度風速進行擾流正規化更為方便，但當整個轉子高度範圍內之風速量測資料允許進行風切修正時，亦可基於經風切修正(或正規化)或風轉向修正(或正規化)之風速進行擾流正規化。最後，最終功率應藉由將擾流正規化輸出功率與風切修正(或正規化)或風轉向修正(或正規化)風速進行區間平均計算。對於具有功率控制風力機，經風切修正(或正規化)之風速於區間平均前應依據空氣密度進行正規化。對於失速調節風力機，依據 M.2 進行之擾流正規化輸出功率已經針對空氣密度進行校正。

#### M.5 由擾流效應引起之擾流正規化或功率曲線之不確定度

M.2 及 M.3 給出之擾流正規化旨在處理 10 min 資料平均對評估功率曲線的影響。然而，擾流強度對風力機功率曲線亦有其他影響，例：擾流強度對空氣動力學之直接影響或擾流之三維特性。最終，擾流強度正規化是特性化短期風速變動之一種高度簡化方法。因此，即使應用擾流正規化程序，評估功率曲線仍可能存在擾流效應引起之不確定度。擾流正規化通常能消除觀察到之擾流強度對實測風力機功率曲線影響的約 1/2。因此，應執行以下步驟計算擾流正規化之不確定度。

- (a) 基於擾流正規化輸出功率及非擾流正規化輸出功率評估最終區間平均功率曲線。
- (b) 假設此二條功率曲線之偏差是由擾流正規化引起之擾流正規化功率曲線每一個風速區間之最大不確定度。擾流正規化每一個風速區間之標準不確定度應

計算為功率曲線偏差除以 $\sqrt{3}$ 。此標準不確定度應與功率性能量測之其他不確定度結合，用於附錄 D 決定總標準不確定度。

若未進行擾流正規化，則亦應考慮量測中擾流效應之不確定度，因為功率曲線僅對功率性能試驗期間存在之擾流條件有效，而非對偏離試驗條件之基準擾流強度無效。因此，若未應用擾流正規化，則建議對擾流效應引起之不確定度進行以下估計。

- (1) 應依據 M.2 及 M.3 僅為決定不確定度而評估二條擾流正規化功率曲線進行。第一條功率曲線正規化至極低擾流強度，第二條功率曲線正規化至極高擾流強度。若使用者未預先定義極端擾流強度限制，則將擾流強度 0.05 與 0.15 視為二個功率曲線正規化之極端擾流強度。
- (2) 假設 2 條正規化功率曲線之偏差為擾流效應而引起之最大不確定度的 1/2。擾流正規化每一個風速區間之標準不確定度應計算為二條正規化功率曲線的偏差乘以係數  $2/\sqrt{3}$ 。此標準不確定度應與其他不確定度結合，並依據附錄 D 決定功率曲線總不確定度。
- (3) 若實測功率曲線需與參考某特定(可能與風速相關)擾流強度之功率曲線(例：保證功率曲線)進行比較，且未執行功率曲線正規化，則第 1 步中應用之二個極端擾流強度應替換為區間平均量測擾流強度及待比較功率曲線之基準擾流強度，以進行不確定度計算。

附錄 N

(參考)

風向感測器之風洞校正程序

參照 IEC 61400-50-1。

## 附錄 O

(參考)

### 寒冷氣候下之功率性能試驗

#### O.1 概述

在 0 °C 以下溫度進行功率性能試驗可能因多種原因而變得必要，例：低溫可能是常見現象，或需要決定因葉片結冰導致之功率性能下降。

本附錄提供在寒冷氣候中進行功率性能試驗時，需要考慮之重要事項指引及建議。

#### O.2 建議

##### O.2.1 一般

建議使用不易受冰影響之風速量測感測器，例：加熱式杯型風速計、加熱超音波風速計及遙感裝置，或使用適當之結冰偵測器以可靠地監測冰之存在，並相應地過濾資料。

寒冷氣候下之功率性能試驗設備宜包括可靠之結冰偵測。有許多偵測冰之方式包括用於偵測大氣結冰之冰偵測器、用於偵測儀器結冰之偵測器、目視觀察或類似方法。積冰通常發生在 0 °C 以下或附近之溫度。故若使用適當之儀器及方法，在遠低於 0 °C 溫度下進行功率性能試驗不會有顯著之困難。

支架及安裝結構上之積冰可能會顯著影響風速計之氣流條件，因此必須避免此類情況，需對條件進行徹底評鑑或監測。建議在儀器周圍使用足夠加熱之結構以防止積冰。

##### O.2.2 音波風速計

若遵守 IEC 61400-50-1 之適當校正程序及分類程序，則允許使用音波風速計進行功率性能試驗。

可使用具足夠加熱能力之音波風速計，因其無活動組件，因此適合在寒冷條件下使用。

##### O.2.3 杯型風速計

若配備適當之軸(軸承)加熱時，對於 C 類風速計(參照 IEC 61400-50-1)之溫度下限可延伸，S 類風速計之溫度下限從 -20 °C 延伸至 -30 °C，但此並不能排除結冰偵測之需求。

若可提供足夠之證據證明可評鑑及解釋摩擦效應，則可將溫度範圍擴展至低於該類別下限。

風速計之分類在擴展溫度範圍時，可依據 IEC 61400-50-1 中之分類要求進行，僅需確保軸承摩擦量測涵蓋整個溫度範圍。

#### O.3 不確定度

擴展之溫度範圍由 S 類給出。

#### O.4 報告

除常規報告要求外，亦應報告以下內容：為確保用於量測風速之儀器不受結冰影響及低溫對風速量測之影響而採取之預防措施均考慮在內。

結冰條件之過濾應單獨記錄。功率性能試驗結果應包括考慮及未考慮溫度擴展之結果，並予以報告。

## 附錄 P

(參考)

## 風切正規化程序

為推導氣候特定之功率曲線，需考慮風切與風轉向對功率曲線之影響，並將輪轂高度風速正規化至預先定義之基準風切及風轉向。基準風切及風轉向剖面可具有任何形狀，且可定義為輪轂高度風速函數。若功率曲線試驗之目的是查證在相同參考條件指定之保證功率曲線，則基準風切及風轉向可反映功率曲線試驗場之預期條件。若未另行定義，則在整個風力機轉子高度範圍內應用風切指數為 0.2 且風轉向為 0° 之冪次律風切剖面。

應藉由轉子等效風速概念將輪轂高度風速正規化至基準風切及風轉向。風通過轉子高度範圍內之動能為：

$$P_{\text{kin}} = \int_A \frac{1}{2} \rho [V \cos(\varphi - \varphi_{\text{hub}})]^3 dA \quad (\text{P.1})$$

對應動能之轉子等效風速為：

$$V_{\text{eq}} = \left\{ \frac{1}{A} \int_i [V_i \cos(\varphi_i - \varphi_{\text{hub}})]^3 dA_i \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (\text{P.2})$$

轉子等效風速與輪轂高度風速之比，特性化風切剖面及風轉向剖面之形狀，與說明輪轂高度處某一風速下可利用動能相關。此比稱為風切修正因數：

$$f_r = \frac{V_{\text{eq}}}{V_h} \quad (\text{P.3})$$

可由輪轂高度風速、風切及風轉向條件之不同組合達成相同的轉子等效風速，例：功率曲線試驗 10 min 時段中出現之風切、風轉向及輪轂高度風速及基準風切及風轉向與相應之輪轂高度風速(此處稱為正規化風速)。

$$V_{\text{eq}} = f_{r,\text{measured}} \times v_{h,\text{measured}} = f_{r,\text{reference}} \times v_{h,\text{normalized}} \quad (\text{P.4})$$

因此，每 10 min 時段之風切及風轉向正規化輪轂高度風速應依下述公式計算。

$$V_{h,\text{normalized}} = \frac{V_{\text{eq}}}{f_{r,\text{reference}}} \quad (\text{P.5})$$

或

$$V_{h,\text{normalized}} = \frac{f_{r,\text{measured}}}{f_{r,\text{reference}}} \times V_{h,\text{measured}} \quad (\text{P.6})$$

(a) 對於基準風切修正因數為 1 ( $f_{r,\text{reference}} = 1$ )，即零風切及風轉向情況下，正規化輪轂高度風速等於轉子等效風速。風切及風轉向正規化風速量測之不確定度應依據

E.8、E.11.2.2 及 E.11.2.3 進行評鑑。在出現高風切情況下，轉子等效風速可能會高估大型風力機實際可用之風能。因此，應將輪轂高度風速修正之 1/3 作為附加不確定度，計入風切及風轉向正規化風速之量測不確定度中。

- (b) 在某些條件下，可能無法評估風力機轉子高度範圍外之風切及風轉向，因為無量測風力機轉子高度範圍外之風速或風向，或因為無法在輪轂高度以外其他高度之風速及風向進行場地校正。在此情況下，應依據 E.11.2.2.2 及 E.11.2.3.2 考慮功率曲線評估中欠缺風切及風轉向積分，以獲得所需之基準風切及風轉向條件。此外，亦應考慮從功率曲線試驗中假設之風切及風轉向條件至期望之基準風切及風轉向條件的虛擬風速修正之 1/3 的方法不確定度。

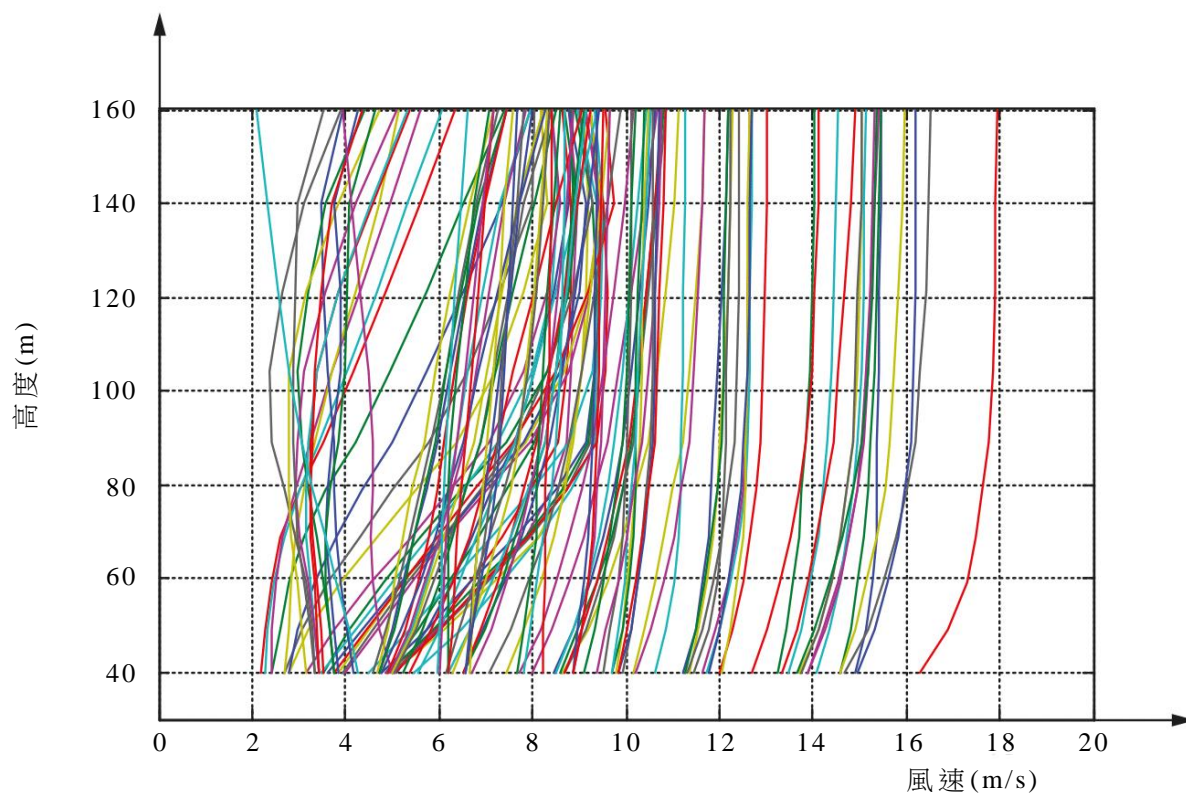
附錄 Q

(參考)

考慮風轉向之轉子等效風速定義

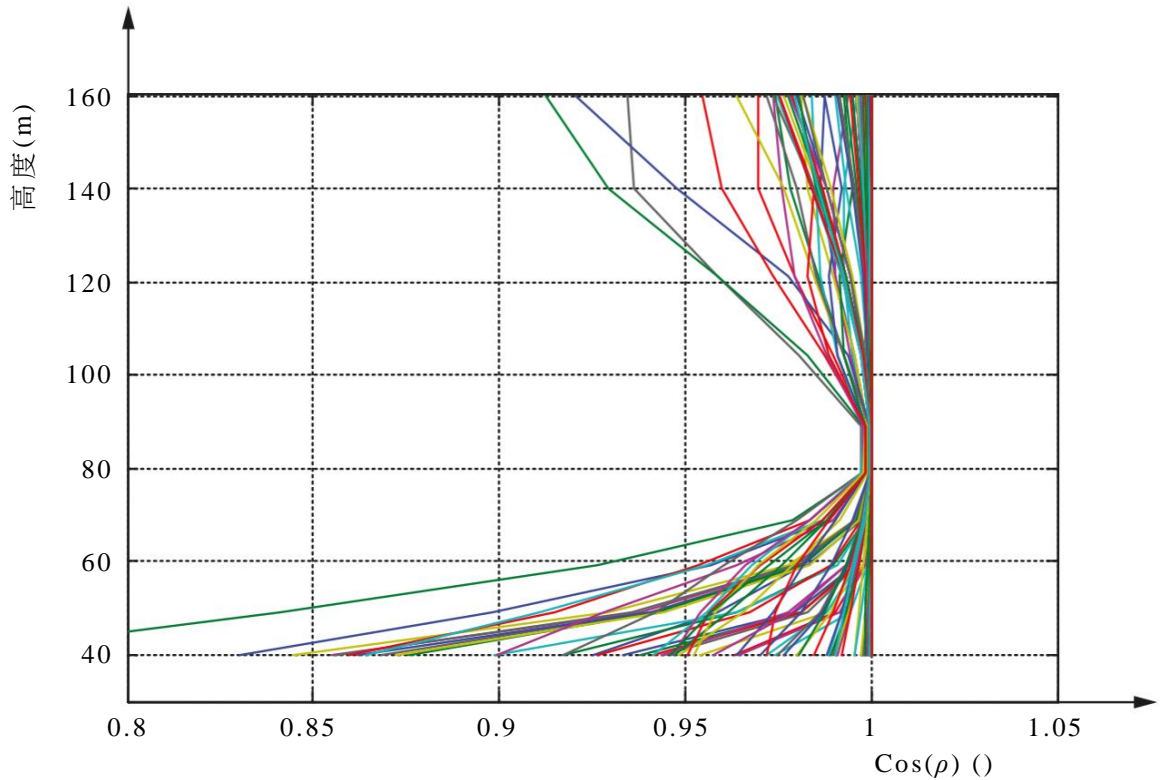
Q.1 一般

輪轂高度風速並不總是代表整個轉子上之風。由於大氣穩定性及/或地形影響，可能會出現較大之風速及風向變化。圖 Q.1 顯示平坦地形上之光達風剖面及相對於假設輪轂高度風向變化之餘弦。可看出，特定高度垂直於風力機轉子之風速分量有時會遠小於特定高度之風速。



(a) 風切剖面





(b) 風向相對於正規化輪轂高度之餘弦

圖 Q.1 使用光達於平坦地形上量測之風剖面

因此，藉風力機轉子之能量輸出將取決於特定剖面的風切及風轉向。使用基於輪轂高度風速之功率曲線會忽略風切及風轉向，而基於轉子等效風速獲得之功率曲線相較於基於輪轂高度風速獲得之功率曲線，受風切及風轉向之影響較小。

### Q.2 考慮風轉向之轉子等效風速定義

當考慮風切及風轉向時，轉子等效風速為與通過轉子掃掠面積之動能通量相對應之風速。在此情況下，至少有 3 個量測高度可利用(參照 7.2.6)，轉子等效風速定義為

$$v_{eq} = \left\{ \sum_{i=1}^n [v_i \cos(\phi_i)]^3 \frac{A_i}{A} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (Q.1)$$

式中， $n$ ：可利用量測高度之數目( $n \geq 3$ )

$v_i$ ：高度  $i$  量測之風速

$\phi_i$ ：輪轂高度與區段  $i$  間之風向角度差

$A$ ：轉子掃掠面積(即  $\pi R^2$ ， $R$  為半徑)

$A_i$ ：第  $i$  區段之面積，即風速  $v_i$  代表之區段[參照 9.1.3.2 公式(6)]

### Q.3 風向量測

公式(Q.1)定義之轉子等效風速，會受到相對於輪轂高度不同高度之風向量測差異影響。為提供風向差異之準確量測，重要的是使用相同型式之感測器量測不同高

度的風向，即使用一遙感裝置量測所有高度，或在氣象桿所有高度安裝相同之感測器。

**Q.4 結合風切及風轉向正規化**

附錄 P 說明之程序可擴展為藉由除基準風切剖面之外，亦考慮基準風轉向剖面，以將實測功率曲線參考回基準風轉向條件。應依據公式(Q.1)進行轉子面積基準剖面之積分。

## 附錄 R

(參考)

## 多台風力機試驗之不確定度之考量

本附錄解決多台風力機試驗結果彙總時出現之不確定度考量。當試驗多台風力機時，典型關注之量值是樣本之平均 AEP 及此平均之不確定度。平均 AEP 可以最簡單方式藉由對各台風力機 AEP 進行簡單平均決定。

平均 AEP 不確定度之決定並非那麼簡單。由於此是一經常遇到情況，因此本標準提供一種有關如何估算此不確定度之參考方法。此方法之數學架構與 CNS 61400-12-2:2022 附錄 F 及 CNS 61400-12-2:2022 附錄 G 中之解釋完全相同，此處不再贅述。本標準不同之處在於不同風力機試驗間之相關性估算表(CNS 61400-12-2:2022 表 G.1)，由表 R.1 取代，結果如 CNS 61400-12-2:2022 之圖 1 及圖 G.2 所示，此處不再重複。作為簡介，此重複當前問題之簡短討論。

組合不確定度之一種方法是對個別試驗不確定度進行簡單平均。然而，簡單平均未能考慮多次試驗之主要好處，即減少組合試驗不確定度。第二種方法是計算不確定度平均之標準不確定度：

$$u_{\text{AEP}_{\text{AVG}}} = \frac{1}{L} \sqrt{\sum_{i=1}^L u_{\text{AEP},i}^2} \quad (\text{R.1})$$

式中， $u_{\text{AEP}_{\text{AVG}}}$ ：平均 AEP 之不確定度

$u_{\text{AEP},i}$ ：風力機 i 之 AEP 不確定度

$L$ ：試驗風力機數目

備考：公式(R.1)與 CNS 61400-12-2 中之公式略有不同。由於此為平均之不確定度，除以 1/L 是線性轉換，因此得到平方根下方之  $1/L^2$  或平方根前面之  $1/L$ 。

公式(R.1)假設個別風力機試驗結果間完全獨立，此意味著一台機組之各個試驗結果與下一台風力機間不存在相關性。直接應用公式(R.1)將導致低估平均 AEP 之不確定度。因此，為準確地評鑑平均 AEP 之不確定度，必須識別處理相關不確定度項之實用方法。建議採用基於 ISO/IEC Guide 98-3 之方法，並對相關性處理進行細微調整。

表 R.1 相關不確定度項列表

量測參數	來源	相關係數	條件	值範圍	備考
電 功 率	比流器	$\rho_{up1,m,n}$	相同儀器品牌	0.9	相同品牌之比流器相對於真值傾向具相似 B 類誤差值
			不同儀器品牌	0.1	
	比壓器	$\rho_{up2,m,n}$	相同儀器品牌	0.9	相同品牌之比流器相對於真值傾向具相似 B 類誤差。直接量測電壓消除此不確定度
			不同儀器品牌	0.1	
	功率傳感器或功率量測裝置	$\rho_{up3,m,n}$	相同儀器品牌	0.9	相同品牌之功率量測裝置相對於真值傾向具相似 B 類誤差
			不同儀器品牌	0.1	
	動態功率量測	$\rho_{up4,m,n}$	相同儀器品牌	0.9	相同品牌之功率量測裝置相對於真值傾向具相似 B 類誤差
			不同儀器品牌	0.1	
	資料擷取	$\rho_{udp,m,n}$	相同儀器品牌	0.9	相同品牌之資料擷取裝置相對於真值傾向具相似 B 類誤差
			不同儀器品牌	0.1	
風 速	風速計校正	$\rho_{uv1,m,n}$	共用儀器(同一氣象桿)	1.0	校正基準及方法產生類似之 B 類誤差
			不同氣象桿, 相同品牌及型號, 相同校正實驗室	0.9	
			不同氣象桿, 不同品牌或不同型號, 相同校正實驗室	0.7	
			不同氣象桿, 相同品牌及型號, 不同校正實驗室	0.4	
			不同氣象桿、不同品牌或不同型號、不同校正實驗室	0.1	
	後校正或現場校正	$\rho_{uv2,m,n}$	共用儀器(同一氣象桿)	1.0	相同品牌之風速計相對於真值傾向具相似 B 類誤差
			相同儀器品牌	0.9	
			不同儀器品牌	0.7	
	操作不確定度	$\rho_{uv3,m,n}$	共用儀器(同一氣象桿)	1.0	相同品牌之風速計相對於真值傾向具

		相同儀器品牌	0.9	相似 B 類誤差
		不同儀器品牌	0.8	
安裝效應	$\rho_{uv4,m,n}$	本標準中之每一規格	0.9	使用給定轉移函數所需之類似安裝方式會導致相關不確定度
DAQ	$\rho_{uv5,m,n}$	共享 DAQ	1.0	設置越相似，DAQ 即越相關
		相同品牌、相同設計之不同 DAQ	0.9	
		不同品牌、相同設計之不同 DAQ	0.7	
		相同品牌、不同設計之不同 DAQ	0.5	
		不同品牌、不同設計之不同 DAQ	0.2	
因地形造成之氣流畸變，無場地校正	$\rho_{uv6,m,n}$	2 台風力機距氣象桿 2D 至 3D(或 3D 至 4D)	0.9	地形複雜性增加及試驗單元間之地形變化，會傾向風速相對於真值不相似之 B 類誤差，距離扮演重要角色
		1 台風力機距氣象桿 2D 至 3D，另 1 台距 3D 至 4D	0.6	
因試驗單元間之地形變化造成之氣流畸變，具場地校正、風速計校正	$\rho_{uv7,m,n}$	共用儀器(同一氣象桿)	1.0	
		不同氣象桿，相同品牌及型號，相同校正實驗室	0.9	
		不同氣象桿，不同品牌或不同型號，相同校正實驗室	0.7	
		不同氣象桿，相同品牌及型號，不同校正實驗室	0.4	
		不同氣象桿，不同品牌或不同型號，不同校正實驗室	0.1	
因試驗單元間之地形變化造成之氣流畸變，具場地校正、運轉不確定度	$\rho_{uv7,m,n}$	共用儀器(同一氣象桿)	1.0	
		不同氣象桿，相同品牌及型號	0.9	
		不同氣象桿、不同品牌或不同型號	0.7	

	用於場地校正之資料擷取	$\rho_{udv,m,n}$	共享 DAQ	1.0	相同品牌之 DAQ 傾向有相似 B 類誤差
			相同品牌、相同設計之不同 DAQ	0.9	
			不同品牌、相同設計之不同 DAQ	0.7	
			相同品牌、不同設計之不同 DAQ	0.5	
			不同品牌、不同設計之不同 DAQ	0.2	
溫度	溫度感測器	$\rho_{ut1,m,n}$	共用儀器(同一氣象桿)	1.0	相同品牌之溫度量測裝置傾向有相似 B 類誤差
			相同儀器品牌	0.9	
			不同儀器品牌	0.1	
	輻射屏蔽	$\rho_{ut2,m,n}$	共用儀器(同一氣象桿)	1.0	輻射屏蔽相對於真值傾向有相同之方法誤差
			相同儀器品牌	0.9	
			不同儀器品牌	0.6	
	安裝效應	$\rho_{ut3,m,n}$	共用儀器(同一氣象桿)	1.0	
			相同位置及安裝	0.9	
			不同位置或安裝	0.1	
	資料擷取	$\rho_{udt,m,n}$	共用儀器(同一氣象桿)	1.0	相同品牌資料擷取裝置傾向有相似 B 類誤差
			相同儀器品牌	0.9	
			不同儀器品牌	0.1	
壓力	壓力感測器	$\rho_{ub1,m,n}$	共用儀器(同一氣象桿)	1.0	相同品牌空氣壓力量測裝置傾向有相似 B 類誤差
			相同儀器品牌	0.9	
			不同儀器品牌	0.1	
	安裝效應	$\rho_{ub2,m,n}$	共用儀器(同一氣象桿)	1.0	若使用多個儀器，安裝應類似
			相同儀器品牌	0.9	
			不同儀器品牌	0.1	
	資料擷取	$\rho_{udb,m,n}$	共用儀器(同一氣象桿)	1.0	相同品牌 DAQ 傾向有相似 B 類誤差
			相同儀器品牌	0.9	

			不同儀器品牌	0.1	
方法	空氣密度修正	$\rho_{um1,m,n}$	所有風力機之修正方法相同	1.0	
	風條件	$\rho_{um2,m,n}$	相同條件之不同風力機	1.0	
	季節性變化	$\rho_{um3,m,n}$	測試在1年中同一時間進行	1.0	
			測試在1年中不同時間進行	0.6	
統計	電功率變異數	$\rho_{sp,m,n}$		0.0	本質上是隨機且獨立的

附錄 S

(參考)

電網氣象桿之氣象桿氣流畸變校正

參照 IEC 61400-50-1。



參考資料

- [1] Albers, A, Turbulence and Shear normalization of Wind Turbine Power Curve, Proceedings of European Wind Energy Conference, 2010
- [2] Albers, A., Turbulence normalization of Wind Turbine Power Curve Measurements, Report PP09037, Deutsche WindGuard

相對應國際標準

IEC 61400-12-1:2022 Wind energy generation systems – Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing 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 1140044 「風力發電系統—第 12-1 部：發電用風力機之功率  
性能量測」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、經濟部標準檢驗局檢驗行政組
楊委員條和	1.	第二段建議改為”,,,，其要求附有不確定度來源及其組合效應之評鑑的實測功率曲線及推導所得之發電量圖形。”
黃委員傳興	1.	本標準定義 1 種量測方法，要求實測功率曲線，藉由評鑑不確定度來源與其組合效應以推導出電能量產出圖形。→本標準定義 1 種量測方法，要求藉由對不確定度來源及其組合效應的評鑑來補充實測功率曲線及推導出的發電量數據。
楊委員條和	3.2	建議改為”藉由將實測功率曲線應用至輪轂高度處之不同基準風速頻率分布，並假設 100 % 可用率下，1 年期間內 1 台風力機總發電量的估計值。”
	3.4	“其特點為” 建議改為”其表徵”。
黃委員傳興	3.10	在塔架底座以上之高度→在塔架地面以上之高度。
	3.13	在該期間內已收集到針對功率性能試驗之具統計意義的資料庫。→已收集到針對功率性能試驗之具統計意義的資料庫之期間。
楊委員條和	3.15	“若干個風速區間” 建議改為”若干個區間”。
	3.17	“若到期” 建議改為”若適當”。
	3.21	建議改為”風力機產生電功率及電能之能力的度量。”
黃委員傳興	3.21	量測風力機產生電功率及電能之能力。→風力機產生電功率及電能能力之度量。
楊委員條和	3.23	句尾建議加上”位準”二字。
	3.24	建議改為“相當於通過轉子掃掠面積之動能通量的風速。”
黃委員傳興	3.24	當考慮風速隨高度變化時，風速對應於通過轉子掃掠面積之動能通量。→當考慮風速隨高度變化時，對應於通過轉子掃掠面積之動能通量的風速。
楊委員條和	3.27	建議改為“掃掠面積為移動轉子在垂直於轉動軸的平面上之投影面積。”
	3.32	備考中”量測”建議改為”度量”。
黃委員傳興	7.1	第 6 行：精確度→準確度

CNS 草-制 1140044 「風力發電系統—第 12-1 部：發電用風力機之功率  
性能量測」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
臺灣御風能源股份有限公司	7.1	-----比流器及比壓器 <del>應為精確度</del> 等級應為 0.5 級 或更優。
	7.1	-----功率量測裝置若為功率傳感器，其準確度應符合 IEC 60688 之要求， <del>其等級應為等級</del> 0.5 級或更優。若功率量測裝置並非功率傳感器，則該裝置精確度宜等同於 <del>等級</del> 0.5 級之功率傳感器。
	7.1	-----在量測過程中，應定期審查所有量測資料，以確保受測資料不超過功率量測裝置之操作範圍。功率傳感器應校正至可追溯之允收標準。
	7.1	-----功率量測裝置應安裝於風力機與電力接點之間，以確保僅量測到淨有效電功率(即自我損耗降低)。量測報告應說明加註所執行之量測係在變壓器的風力機側或電網側。
李委員仁傑	7.2.1	第三行修正為：向剖面量測而存在附加不確定度(參照 E.11.2.2)。
臺灣御風能源股份有限公司	7.2.1	----- <del>不再</del> 其他可能產生之感測器組態包括氣象桿頂部安裝式及側面安裝式風速計(參照 IEC 61400-50-1)及遙感裝置(參照 IEC 61400-50-2)。此等組態提供輪轂高度風速、轉子等效風速及風切剖面之量測。
臺灣御風能源股份有限公司	7.2.2	-----風速計應在量測活動前，依據附錄 F 及 IEC 61400-50-1 進行校正，若要求，在量測活動後再次校正(後校正)。則在整個量測期間為保持其校正有效性，須要求檢查風速計並記錄。
李委員仁傑	7.2.2	倒數第三段第一行修正為：當進行後校正時，在 4 m/s 至 12 m/s 範圍，校正之迴歸線與後校正間的差異，應於±0.1 m/s 以內。
黃委員傳興	7.2.6	建議量測 3 個以上高度之風速。→建議量測超過 3 個高度之風速。
臺灣御風能源股份有限公司	9.3	-----從輪轂高度風速量測推導出之功率曲線僅能與基於依(原文應為 Base on)輪轂高度風速定義之風速頻率分布相結合為基準，以推導 AEP。 -----對於特定場地，可能已知標稱場地條件規定之場地風與氣候。若如此，亦可基於依此場地特定資訊為基準(原文應為 Base on)，同時報告及估算場地特定之 AEP。
黃委員傳興	10.	表 4 ( $u_i$ 項)：A 類標準不確定度 →B 類標準不確定度

CNS 草-制 1140044 「風力發電系統—第 12-1 部：發電用風力機之功率  
性能量測」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	L.1	-----在用於功率性能試驗之前，遙感裝置之單元特定應先經過查證試驗(參照 IEC 61400-50-2)，或查證試驗亦可在功率性能試驗期間進行。此試驗要將遙感裝置之量測與安裝在氣象桿上已校正之杯型風速計之量測進行比較， <del>此氣象桿包括感興趣高度範圍之很大部分</del> 此氣象桿高度包括大部分感興趣之範圍。
	L.3	----- (b) E.11.2.1 規定，如何 <del>一</del> 藉由將 RSD 組態化至 <del>於</del> 轉子高度上具多個量測高度， <del>以最小化</del> 由於缺乏風切及風轉向理解之不確定度之貢獻採最小化。

意見彙編截止日：114 年 04 月 20 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。

