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7月29日
發文字號：經標標準字第11420013410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：BZ0CHSEA。

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91次、第92次、第93次及第94次會議

開會時間：114年8月5日（星期二）上午9時30分及下午2時及114年8月6日（星期三）上午9時30分及下午2時

開會地點：視訊會議

主持人：張委員欽然

聯絡人及電話：林孟玄　02-23431700#2249

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

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、富崴能源股份有限公司、華城電機股份有限公司、經濟部標準檢驗局檢驗行政組、經濟部標準檢驗局檢驗技術組

副本：

備註：

一、討論事項：審查CNS草-制 1140047「風力發電系統－第 50-3 部：使用安裝於機

11404752

114. 7. 31 1500

艙之光達進行風力量測」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

裝 訂 線

ICS 27.180

中華民國國家標準

C N S

風力發電系統－第50-3部：使用安裝於機艙之光達進行風力量測

Wind energy generation systems – Part 50-3: Use of nacelle-mounted lidars for wind measurements

電機工程國家標準技術委員會修正稿
會議日期：114年7月23日

CNS 草-制 1140047:2025

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

中華民國　年　月　日修訂公布
Date of Amendment:　-　-

本標準非經經濟部標準檢驗局同意不得翻印

※

目錄

節次 頁次
前言 3
1. 適用範圍 4
2. 引用標準 4
3. 用語及定義 4
4. 符號、單位及縮寫 8
5. 概述 12
5.1 一般 12
5.2 量測方法概述 13
5.3 文件概述 13
6. 光達要求 14
6.1 功能要求 14
6.2 文件要求 14
7. 機艙光達中間值之校正及不確定度 15
7.1 校正方法概述 16
7.2 光束軌跡/幾何之查證 16
7.3 傾斜儀校正 17
7.4 量測範圍之查證 17
7.5 LOS 速率校正 18
7.6 LOS 速率量測之不確定度 26
7.7 校正結果 31
7.8 校正報告要求 32
8. 環境條件變化所導致之不確定度 34
8.1 一般 34
8.2 環境條件變化所導致之中間值不確定度 34
8.3 支持 WFR 充分性之證據基礎 35
8.4 報告要求 36
9. 重建風力參數之不確定度 37
9.1 水平風速之不確定度 37
9.2 透過 WFR 演算法傳播之不確定度 38
9.3 與 WFR 演算法相關之不確定度 uope,lidar 39
9.4 由於量測高度變化而產生之不確定度uΔV, measHeight 39
9.5 光達量測不一致所導致之不確定度 39
9.6 組合不確定度 39
10. 特定量測活動(SMC)之準備 40

(共 68 頁)

10.1 程序概述 40
10.2 活動前檢查清單 40
10.3 量測設定 40
10.4 量測扇形區域 41
11. 量測程序 46
11.1 一般 46
11.2 WTG 運轉 46
11.3 有效量測扇形區域之一致性檢查 46
11.4 資料收集 48
11.5 資料剔除 48
11.6 資料庫 48
11.7 WFR 演算法之應用 48
11.8 量測高度變化 49
11.9 光達量測監測 49
12. 報告格式－特定於機艙光達之相關圖表 50
12.1 一般 50
12.2 特定量測活動場地說明 50
12.3 機艙光達資訊 50
12.4 WTG 資訊 50
12.5 資料庫 51
12.6 圖 51
12.7 不確定度 51
附錄 A (參考)二視線 WFR 重建參數之不確定度計算示例 52
附錄 B (參考)傾斜角及滾轉角量測之建議方法 57
附錄 C (參考)在機艙上安裝光達之建議 59
附錄 D (參考)評鑑安裝於機艙之光達對風力機性能之影響 62
參考資料 68

前言

本標準係依據 2022 年發行之第 1 版 IEC 61400-50-3，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。

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

本標準目的在於說明使用安裝於機艙之風光達進行風力量測之程序及方法，以確保一致地且依據最佳實務執行及報告。本標準未規定風力量測之目的或使用案例。然而，由於本標準為 CNS 61400 系列標準之一部，因此預計風力量測將用於某種形式之風能試驗或資源評鑑。

本標準之適用範圍僅限於前視之機艙安裝的光達(即量測體積位於風力機轉子之上游)。

本標準旨在適用於任何類型及品牌之機艙安裝的光達。本標準中所提供之方法及要求與儀器型號及類型無關，亦與量測原則無關，並容許應用於新型機艙安裝之光達。

本標準旨在說明使用機艙安裝之光達進行風力量測，該光達具足夠之品質，可用於功率性能測試之使用案例(依據 IEC 61400-12-1:2017)。本標準使用者宜考量到其他使用案例可能尚有其他特定之要求。

本標準僅提供 IEC 61400-12-1:2017 附錄 B 定義之平坦地形及離岸量測指引。由於撰寫本標準時經驗有限，因此複雜地形之應用已從適用範圍排除。

感應區或阻塞效應(blockage effects)之修正不屬於本標準之適用範圍。但若使用案例需要，可在使用者承責下應用此種因阻塞效應而導致之修正或不確定度估算。

本標準之目的在於提供風力量測指引，健康安全環境(health safety environment, HSE)要求(例：雷射操作)雖然很重要，但不在本標準之適用範圍內。

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。有加註年份者，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)。

IEC 61400-12-1:2017 Wind energy generation systems − Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines

IEC 61400-12-2:2013 Wind energy generation systems − Part 12-2: Power performance of electricity-producing wind turbines based on nacelle anemometry

3. 用語及定義

IEC 61400-12-1:2017 用語及定義及下列用語及定義適用於本標準。

3.1 載波雜訊比(carrier-to-noise ratio, CNR)

脈衝光達訊號品質之度量，定義為在偵測頻寬內，外差電流功率與總雜訊功率之比。

備考 1. 預設情況下，CNR 為 CNR 寬頻(CNR_{wb})。亦可將窄頻 CNR (CNR_{nb})定義為在都卜勒峰值頻寬(Doppler peak bandwidth)內，外差電流功率與雜訊功率之比，此比值與光譜訊號處理無關。CNR 與訊號雜訊比(Signal-to-Noise

Ratio, SNR)不同，SNR 為都卜勒峰值功率與雜訊功率標準差之比。

備考 2. $SNR = CNR_{\mathrm{nb}}\sqrt{n}$，式中 n 為平均脈衝數。

3.2 連續波光達(continuous wave lidar, CW lidar)

光達發射恆定振幅及頻率之雷射訊號，且同時接收背向散射光。

3.3 相關不確定度(correlated uncertainties)

1 對不確定度項，其中 1 個項的未知誤差與另 1 個項之誤差，在某種程度上相關。

備考：相關係數值可於−1 與 1 之間變化。

3.4 資料可用性(data availability)

依據預先定義之資料品質的所接受量測點數量，與給定量測時段可取得最大量測點數量之比。

3.5 最終值(final values)

機艙光達系統提供用於風能評鑑應用之數值，諸如風力發電機(wind turbine generator, WTG)功率性能測試。

備考：因此，在風能應用中使用機艙光達時，最終值之準確度為關鍵考量。最終值之示例包括(但不限於)水平風速及風向。

3.6 自由風速(free wind speed)

風力機所在位置，假設無風力機時之風速。

3.7 零差偵測(homodyne detection)

將接收訊號跟與發射訊號頻率相同之訊號混合的量測技術。

備考：差頻混合產物包含接收訊號中由都卜勒頻移所引起之量值的資訊，但無法判斷都卜勒頻移為正或為負。

3.8 外差偵測(heterodyne detection)

將接收訊號跟與發射訊號頻率不同之訊號混合的量測技術。

備考：差頻混合產物包含接收訊號中由都卜勒頻移所引起之量值及正負號的資訊。

3.9 中間值(intermediate values)

風場重建(wind field reconstruction, WFR)模型或演算法之輸入，該模型或演算法傳送最終值作為輸出。

備考：中間值之示例包括(但不限於)視線(LOS)速率。

3.10 視線(line of sight, LOS)

源自雷射光源並沿著發射雷射光束軸線之方向，與光束傳播路徑一致。

3.11 視線速率(line of sight speed, LOS speed)

LOS 上風速分量之量值。

3.12 LOS 速率擾流強度(LOS speed turbulence intensity)

LOS 速率標準差與平均 LOS 速率之比，該比係依據在規定時間期間取得之 LOS 速率量測資料樣本組決定。

備考：有關使用光達量測之擾流特性，參照第 6 節。

3.13 量測(measurement)

藉由實驗獲得 1 個或多個可合理地歸屬於量測量之量值的過程。

3.14 量測準確度(measurement accuracy)

量測量的實測量值與真量值間一致的接近程度。

3.15 量測偏差(measurement bias)

系統性量測誤差之估算。

3.16 量測期間(measurement period)

第 1 次量測與最後 1 次量測間之時間間隔。

3.17 量測不確定度(measurement uncertainty)

基於所使用之資訊，特性化歸屬於量測量的量值分散性之非負參數。

3.18 機艙安裝之光達(nacelle-mounted lidar, NML)

安裝在 WTG 機艙上之風光達。

例：若光達跟隨鼻錐繞著轉子軸旋轉，則放置在 WTG 鼻錐上之光達不視為機艙安裝的光達。

備考：僅當風光達固定於機艙基準架(而非轉子基準架)時，才視為機艙安裝之光達。

3.19 探測長度(probe length)

光達探測體積之徑向範圍的度量，可以定義為光達徑向靈敏度最大值 1/2 的二點間之距離：半高全寬(full-width at half-maximum, FWHM)靈敏度。

- 對於脈衝同調光達(pulsed coherent lidars)：探測長度為速度範圍加權函數(velocity range weighting function, VRWF)之 FWHM 位準間的距離。
- 對於脈衝異調光達(直接偵測光達)：探測長度為雷射脈衝之 FWHM 位準間的距離(假設無範圍平均)。
- 對於 CW 同調光達：探測長度為勞侖茲加權函數(Lorentzian weighting function)之 FWHM 位準間的距離。

備考：速度範圍加權函數(VRWF)說明以環繞標稱範圍之距離函數，表示收集速度資訊之相對效率。理想之加權函數為在 0 處(於一點量測風速)之狄拉克函數(Dirac function)，加權函數之積分(從負無窮到正無窮)等於 1。VRWF 是範圍閘剖面與脈衝振幅剖面之正規化捲積。

3.20 探測體積(probe volume)

位於雷射光束傳播路徑上之體積，其中光散射回光達系統的粒子，對接收訊號具顯著貢獻。

3.21 脈衝光達(pulsed lidar)

在短時間期間(脈衝)定期發射雷射訊號，並接收脈衝間之背向散射光的光達。

3.22 遙感(remote sensing)

儀器遠離感測風向量位置之風力量測技術。

3.23 滾轉角(roll angle)

相對於定義為水平之光達設計方位，光達繞滾轉軸之旋轉角度。

備考：滾轉軸通過光達坐標系之原點，方向代表光達之平均量測方向。滾轉軸之確切定義應由光達製造商文件化。對於掃掠光達，建議將滾轉軸定義為與描述光束軌跡之單位向量的平均具相同方向之單位向量。對於固定光束光達，建議將滾轉軸定義為與描述光達固定光束之單位向量的平均具相同方向之單位向量。

3.24 純量平均(scalar average)

將純量資料總和除以資料組中之項目數所得的純量數。

3.25 掃掠光達(scanning lidar)

掃掠單一發射光束方向之光達。

備考：本標準考量 2 種類型之掃掠光達：

(a) 固定樣態掃掠光達：光束依據固定、預先定義之軌跡進行掃掠(此軌跡通常是平面或圓錐形)。

(b) 可程式掃掠光達：光束以可編程之方式掃掠。

相較之下，固定光束幾何光達為 1 種雷射光束以多個不同但固定方向發射之光達，此等方向按順序或同時定址(addressed)。

3.26 特定量測活動(specific measurement campaign, SMC)

使用案例之實施。

3.27 傾斜角(tilt angle)

相對於定義為水平之光達設計方位，光達繞傾斜軸旋轉之角度。

備考：傾斜軸通過光達坐標系之原點，垂直於滾轉軸，且當光達處於定義為水平之設計方位時，傾斜軸為水平。

3.28 擾流強度(turbulence intensity)

風速標準差對平均風速之比，由同一組在規定時間期間測得的風速資料樣本決定。

3.29 使用案例(use case)

下列 3 個元素之組合：

- 資料要求：源自於應用之目標，與儀器能力無關。
- 量測方法：選擇光達技術以滿足資料要求。本指引之適用範圍限於使用機艙安裝之光達的方法及其在所述操作條件下的準確度評估。
- 運轉條件：可影響量測準確度之情況。

3.30 向量平均(vector average)

將向量總和除以資料組中之項目數所得的向量。

3.31 風向(wind direction)

風速水平分量之方向。

3.32 風場重建(wind field reconstruction, WFR)

結合中間值(諸如與多個 LOS 相關之 LOS 速率)的過程，以檢索與使用案例相關之最終值。

3.33 風光達(wind lidar)

將雷射光源能量發射至大氣中，並分析風攜帶之粒子的反射訊號，以量測風特性之遙感裝置。

備考 1.本標準中使用〝光達〞一詞表示風光達。

備考 2.大多數風光達之工作原理均依賴都卜勒效應，即隨風移動之粒子的背向散射光頻率會發生都卜勒頻移。

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

氣象桿或遙感裝置。

3.35 風切(wind shear)

水平風速隨高度之變化。

備考：本標準關注的是跨越風力機轉子跨距，風速隨高度的變化。

3.36 風切指數(wind shear exponent)

水平風速隨地面高度變化之冪次律模型的指數。

備考：冪次律公式為

$$v_{z2}=v_{z1}\left(\frac{z_2}{z_1}\right)^{\alpha} \qquad (1)$$

式中，v_{zi}：高度 z_i 處之水平風速(m/s)

α：風切指數

3.37 風速(wind speed)

當地風速度之量值。

備考：水平風速為風速度在水平面上投影之量值。

3.38 風轉向(wind veer)

風向隨 WTG 轉子高度之變化。

3.39 風速度(wind velocity)

指向考量點周圍極微小體積空氣移動方向之向量，該向量之量值等於該空氣〝團(parcel)〞的移動速率(即當地風速)。

備考：因此，任何一點之向量均是通過該點的空氣〝團〞位置向量的時間導數。

3.40 橫搖失準(yaw misalignment)

WTG 轉子軸線水平偏離風向所導致之角度。

4. 符號、單位及縮寫

備考：本節所示之符號僅適用於本標準，勿與其他標準混淆。

縮寫		說明
CNR	carrier-to-noise ratio	載波雜訊比

CW	continuous wave	連續波
DLL	dynamic-link library	動態鏈接程式庫
EV	environmental variable	環境變數
FWHM	full-width half-maximum	半高全寬
HSE	health safety environment	健康安全環境
LOS	line of sight	視線
NML	nacelle-mounted lidar	機艙安裝之光達
RSS	residual sum of squares	殘差平方和
SCADA	supervisory control and data acquisition	監控及資料擷取
SMC	specific measurement campaign	特定量測活動
SNR	signal-to-noise ratio	訊號雜訊比
VRWF	velocity range weighting function	速度範圍加權函數
WFR	wind field reconstruction	風場重建
WME	wind measurement equipment	風力量測設備
WTG	wind turbine generator	風力發電機

變數	說明	單位
C_j	LOS 速率之不確定項，其為左、右光束間之關聯(附錄 A)	m/s
d	地形點與校正氣象桿間之水平距離(7.5.2.2)	m
D	受測 WTG 轉子直徑	m
D_n	鄰近風力機轉子直徑	m
$Dir_{OffsetCorr}$	真北與機艙方位角 $Dir_{Yaw,TR}$ 間之修正角(D.2.4)	(°)
$Dir_{TrueNorth}$	相對於真北之機艙方位(D.2.4)	(°)
$Dir_{1,Nac,TR}$	第 1 個感測器之 10 min 平均風力機報告相對風向(D.2.4)	(°)
$Dir_{2,Nac,TR}$	第 2 個感測器之 10 min 平均風力機報告相對風向(D.2.4)	(°)
$Dir_{Yaw,TR}$	10 min 平均風力機報告機艙方位(D.2.4)	(°)
H	輪轂高度	m
h	視為顯著障礙物之高度閾值	m
H_0	附錄 B 特定，傾斜及滾轉位移後光束 0 所升高之高度	m
H_1	附錄 B 特定，傾斜及滾轉位移後光束 1 所升高之高度	m
H_{OH}	光達光學頭與轉子軸間之垂直距離	m
H_{ref}	光達校正中所使用之基準風速儀器距地面的高度	m
i	若作為指標：風速區間之號碼	-
k	依 IEC 61400-12-1:2017 之 E.2.2 的涵蓋因數	-
L_0	附錄 B 特定，光束 0 之光束原點與偵測點間的距離	m

變數	說明	單位
L_1	附錄 B 特定，光束 1 之光束原點與偵測點間的距離	m
L_e	與鄰近障礙物之距離(10.4.2)	m
l_h	障礙物高度	m
L_n	與鄰近風力機之距離(10.4.2)	m
l_w	障礙物寬度	m
L_{probe}	光達探測長度	m
L_{ref}	光達與基準間之水平距離(校正時)	m
L_u	轉子平面與上升氣流量測位置間之水平距離	m
N	區間內之資料數量	-
R	光達校正設置中，光達與基準儀器間之總距離(7.5.4)	m
r	障礙物與校正氣象桿間之距離	m
$r_{i,j}$	不確定度項間之相關性(附錄 A)	-
R_b	沿 LOS 之量測範圍(10.4.2)	m
R_{conf}	光達量測範圍(已組態)(7.5.4)	m
s	平均地形坡度(7.5.2.2)	%
u_{cal}	用於量測 V_{hor} 之基準風速感測器的校正不確定度	m/s
u_{daq}	資料擷取系統不確定度	m/s
u_{HWS}	重建水平風速之不確定度	m/s
U_i	不確定度項之變數(A.2)	
u_{inc}	由於傾斜光束及量測範圍導致之不確定度	m/s
$U_{L,i}$	A.2 特定，左 LOS 之不確定度項(不相關)	m/s
u_{lgt}	與避雷針安裝相關之不確定度(若有)	m/s
u_{mast}	量測 V_{hor} 所使用之基準感測器安裝而導致的不確定度	m/s
u_{ope}	量測 V_{hor} 所使用之基準風速感測器的分類不確定度	m/s
$u_{ope,lidar}$	與 WFR 演算法相關之不確定度(9.3)	m/s
u_{pos}	光束定位導致之不確定度	m/s
$U_{R,i}$	A.2 特定，右 LOS 之不確定度項(不相關)	
u_{range}	量測範圍不確定度	m
$u_{residual}$	校正函數殘差之不確定度(9.2.1)	m/s
u_{sens}	校正設置中基準感測器之不確定度(7.6.2.2)	m/s
u_{probe}	光達探測體積內之水平風氣流變化而導致的不確定度	m/s
u_{vert_pos}	基準感測器與 LOS 間之高度差而導致的不確定度	m/s
$u_{V,hor}$	水平風速不確定度	m/s
$u_{V,LOS}$	LOS 速率估算之不確定度	m/s

變數	說明	單位
u_{V_m}	實測風速之不確定度(A.4)	m/s
u_{rfr}	基準風速之不確定度	m/s
$u_{<v>,WFR}$	經由 WFR 演算法之 LOS 速率不確定度的傳播不確定度	m/s
$u_{WFR,par}$	WFR 演算法中之參數所導致的不確定度(9.2.2)	m/s
$u_{<\Delta v>,measHeight}$	量測高度變化所導致之不確定度(9.4)	m/s
u_{z_m}	量測高度之不確定度(A.4)	m
u_α	風切指數之不確定度(A.4)	-
u_θ	風向之不確定度	(°)
$u_{\theta,LOS}$	LOS 估算之不確定度	(°)
$u_{\theta,r}$	相對風向之不確定度	(°)
u_φ	光束仰角之不確定度	(°)
$\overline{V}$	由光達量測及 WFR 演算法得到之水平風速	m/s
V_{2LOS}	使用 2 LOS 重建方法重建之水平風速(附錄 A)	m/s
V_H	外插至所欲量測高度之水平風速(附錄 A)	m/s
V_{hor}	校正期間，風速基準儀器測得之水平風速(附錄 A)	m/s
V_L	從光達後方看之左 LOS 的 LOS 速率(A.1)	m/s
V_{LOS}	LOS 速率	m/s
$V_{LOS,norm}$	正規化之光達 LOS 速率(校正期間用於決定 θ_{LOS})	-
V_m	量測期間，光束指向之高度處的水平風速(A.4)	m/s
$V_{NAC,TR}$	10 min 平均風力機報告風速(D.2.4)	m/s
V_R	從光達後方看之右 LOS 的 LOS 速率(A.1)	m/s
V_{ref}	校正中在 LOS 方向所使用之基準風速	m/s
V_x	縱向風速分量(A.1)	m/s
V_y	橫向風速分量(A.1)	m/s
W	校正期間，基準儀器測得之垂直風速	m/s
X_{OH}	光達光學頭與轉子平面間之水平距離	m
z	相對於基準平面之地形高度(7.5.2.2)	m
z_H	所欲之量測高度(A.4)	m
z_m	光達取得量測值之高度(A.4)	m
α	風切指數	-
β	包含 2 光束所在平面內之 2 光束間的夾角(7.2.1.2)	(°)
β_{max}	軌跡/幾何形狀內任何 2 光束位置間之最大水平角度(10.4.2)	(°)
γ	附錄 B 中之示例特定，相對於水平面對稱之 2 光束間的開口角度	(°)

變數	說明	單位
γ_V	附錄 B 中之示例特定，γ 在垂直平面上之投影	(°)
$\Delta Dir_{i,Nac}$	對風速區間 i 平均，機艙感測器的 2 風向量測間之角度差	(°)
ΔV	LOS 速率與基準速率之差(7.6.4)	m/s
ΔV_{hor}	量測高度變化導致之風速修正(附錄 A)	m/s
δ	光達光軸與被校正之 LOS 間的角度(7.5.4)	(°)
δ_v	入流角所導致之 LOS 速率相對誤差(7.5.5)	
δ_{cal}	傾斜儀表校正所得之修正(C.2)	(°)
δ_H	2.5D 處光達光學頭至輪轂高度方向與水平面間之垂直角(C.2)	(°)
δ_{Nac}	WTG 正常運轉時與靜止時，機艙方位間傾斜角度的差(C.2)	(°)
δ_{ope}	WTG 正常運轉時之機艙傾斜角度(C.2)	(°)
$\delta_{StandStill}$	WTG 靜止時之機艙傾斜角度(C.2)	(°)
δ_{tot}	光達光學頭預傾斜角	(°)
θ	光達校正期間，風向基準儀器測得之風向(第 7 節)	(°)
θ_0	方向 θ_{LOS} 之近似值	(°)
θ_{2LOS}	由 2-LOS WFR 演算法獲得之水平風向	(°)
$\theta_{induction}$	為考量鄰近風力機或其他障礙物之感應區內氣流畸變對光達探測體積的影響，將風向扇形區域排除在量測範圍之外	(°)
θ_{LOS}	LOS 方向	(°)
θ_{proj}	投影角度(第 7 節)	(°)
θ_r	相對風向($\theta_r = \theta - \theta_{LOS}$)	(°)
θ_{wake}	為考量鄰近風力機或其他障礙物之尾流影響，將風向扇形區域排除在量測範圍之外	(°)
ρ	滾轉角	(°)
σ_{dev}	LOS 速率與基準風速間之差的標準差(7.6.4)	(°)
τ	傾斜角度	(°)
φ	光達校正期間，光達光束之仰角(第 7 節)	(°)
ψ	風速向量與水平面間之夾角(入流角)，參照 7.5	(°)

5. 概述

5.1 一般

本標準適用於使用下列量測準則之機艙光達(NML)：光達之基本量測對象是視線(LOS)速率。所需之量測量(例：水平風速及風向)是透過對 LOS 速率多次量測及定義視線方向及量測範圍之參數(如光達傾斜角及滾轉角、每個 LOS 與光達光軸

間之角度)而得出的。

用於推導所需量測之演算法稱為風場重建(WFR)。WFR 演算法之輸入稱為中間值(例：LOS 速率、光達傾斜及滾轉角等)，WFR 演算法之輸出稱為最終值(例：水平風速)。

5.2 量測方法概述

總體方法包括特定量測活動(SMC)之二個階段，即光達校正及量測活動執行。

第 1 階段：校正及對環境變數之靈敏度

本標準第 7 節所述之校正方法遵循〝白盒校正〞方法，用以校正並提供中間值之不確定度。校正提供特定於每一個設備之校正因數及量測不確定度，因此必須針對每一個光達設備單獨執行。

SMC 期間之環境條件與光達設備校正期間之環境條件不同。透過分析每一個中間值之準確度對此等變化的靈敏度，以評鑑對量測不確定度之結果貢獻。此等靈敏度假設為光達類型之特性，且適用於該類型之任何設備。此等靈敏度之處理於 8.2 中說明。

在撰寫本標準時，未有足夠之 NML 經驗，評鑑不同環境條件如何影響 WFR。因此，在本標準目前版本中，採取務實之方法，在有證據證明某種類型之光達具足夠之量測準確度的前提下，將量測不確定度之此項分配為 0 值。此證據基礎之要求於 8.3 中說明。

中間值之校正及靈敏度分析提供主要不確定度項，此等不確定度項必須傳遞至 SMC 最終值(例：水平風速)之不確定度中。

在 SMC 開始前，應進行機艙光達設備之校正及機艙光達類型之靈敏度分析。

注意本標準中所述之程序與 IEC 61400-12-1:2017 中針對地面遙感測器所說明之方法不同，後者僅說明最終值(例：水平風速)之校正及/或查證。IEC 61400-12-1:2017 將評估因環境條件變化對風速量測準確度影響而導致之量測不確定度的貢獻稱為〝分類〞，但本標準目前版本中未使用該用語，作為光達類型指定〝類別〞。

第 2 階段：執行特定量測活動(SMC)

SMC 實施使用案例之資料要求在相關標準中提供(例：用於功率性能測試之 IEC 61400-12-1:2017)。使用 NML 執行典型量測活動遵循 4 個步驟：

(a) 準備工作：包括場地評鑑、量測扇形區域及在機艙上安裝光達之準備工作。

(b) 量測。

(c) 完成量測不確定度之評鑑。

(d) 報告。

5.3 文件概述

本標準各主要節次間並非相互依賴。因此，可僅參考主要節次之某些部分而非所有節次，以使本標準適應特定之使用案例。然而，主要節次是依據邏輯順序排列

的，可應用於實務中。

第 6 節說明光達應符合之要求，以適用本標準中所述之各種方法。

第 7 節說明 NMLs 校正之程序及要求。

第 8 節說明中間值對改變環境條件之靈敏度評鑑。其亦說明能支持環境對 WFR 之影響，對貢獻量測不確定度為 0 之假設的證據基礎要求。

第 9 節說明中間值之不確定度(依據第 7 節進行校正及依據第 8 節進行靈敏度分析得出)如何透過 WFR 演算法傳遞至最終值(例：水平風速及風向)。附錄 A 提供 2-LOSs 光達之示例。

第 10 節說明在 SMC 準備階段需要考慮之 NML 特定觀點。

第 11 節說明量測程序，包括過濾及資料庫之要求，及 SMC 期間監控量測所需之感測器輸出及輔助系統要求。

第 12 節規定針對 NML 之報告最低要求(由使用案例提供報告之總體要求)。

6. 光達要求

6.1 功能要求

為與本標準相容，機艙光達至少應符合下列功能要求：

(a) 光達應至少報告下列內容之一：

(1) 重建之水平風速、相對於光達光軸之風向及擾流強度的估算。

(2) 可重建水平風速、風向及擾流強度估算之中間值。

(b) 應提供支援校正程序之 LOS 速率。

(c) 光達應配備一個或多個傾斜儀，以大於或等於水平風速重建率之取樣率，以量測 WFR 演算法所需之角度。

(d) 傾斜角及轉滾角(及 WFR 所需之任何其他參數)之量測值應在資料流中報告。

(e) 光達應能量測轉子前方一個或多個已知距離(範圍)。量測距離應滿足使用案例之要求(例：符合 IEC 61400-12-1:2017 之功率性能量測，從轉子平面量測之距離應為被測 WTG 轉子直徑的 2 倍至 4 倍)。

(f) 光達量測資料應具相對於已知基準之準確時間戳(±2 s)。此時間基準可由 GPS 或主風力機之時間基準提供。

(g) 應能將量測設備橫搖自由度對準至 1°標準不確定度以內。

(h) 光達應報告資料品質管制代碼。

(i) 上述參數應至少可作為 10 min 統計。

6.2 文件要求

6.2.1 技術文件

為提供支援校正、不確定度靈敏度及光達操作所需之技術資訊，應記錄下列內容：

(a) 量測 LOS 速率之工具(例：連續或脈衝同調都卜勒光達)。

(b) 光達探測長度-L_{probe}，定義參照 3.19。

(c) 光束數量-光束數量由系統中可能光學路徑數量定義。光學路徑是由光從光源至大氣所經過之一系列光學組件所定義。

例：多光束裝置為將來自單一雷射光源之光束切換或分離至不同平行設計路徑(例：不同的望遠鏡)之裝置。若裝置之光束來自單一雷射光源，且使用移動稜鏡或反射鏡朝向各個方位，則該裝置視為單光束裝置。

(d) 光達是否採用固定光束幾何、固定掃描模式或可程式掃描模式運作。

(e) 光束幾何或掃描模式之說明，包括相關角度及角度許可差。

(f) 內部坐標系，包括符號約定。

(g) 掃描速率，即完成整個掃描模式間之時間。

(h) 對於掃描光達，動態位置不確定度之估算(參照 7.2.2)。

(i) 儀器量測是單一範圍或是多個範圍，若是多個範圍，不同範圍之時間順序(例：每 10 min 一個範圍，在 10 min 間隔內按順序切換範圍，或在 10 min 間隔每次量測期間從多個範圍擷取資料)。

(j) 儀器區分不同範圍之方法(例：對焦或範圍閘控)。

(k) 從實測 LOS 速率計算水平風速、相對風向及估算擾流強度之方法的一般說明(WFR 方法)。

(l) 擾流強度估算與擾流強度點量測(例：透過杯型風速計量測)間之關係的資訊。

(m) 在資料流或資料紀錄中，可用於重建水平風速及風向之速率。

(n) 如何解釋品質管制代碼。

(o) 儀器中所使用之傾斜儀技術說明及其量測原理(例：其為加速度計亦是陀螺儀感測器)。該文件至少宜涵蓋量測範圍、解析度、準確度及取樣率。

(p) 設備目前之韌體版本。

(q) 已知之設備環境及操作限制清單(例：傾斜度、溫度等)。

6.2.2 安裝及操作文件

為支援光達在 WTG 上之安裝及操作，文件亦應說明：

(a) 光達主要組件之尺度與重量及其安裝配置。

(b) 光達之功率需求及消耗。

(c) 將光達安裝至 WTG 機艙上之完整過程，包括可能需要對 WTG 進行永久性修改之清單。

(d) 用於將光達光軸與轉子軸投影至水平面上對準之系統及/或過程。

(e) 任何布纜要求之詳細資訊。

(f) 資料連接之要求。

(g) 時鐘同步之要求。

(h) 其他資源或消耗品之需求，例：螢幕清洗液。

(i) 任何確保眼睛安全之程序或證明無需進行此類程序之認證。

7. 機艙光達中間值之校正及不確定度

7.1 校正方法概述

此方法需要校正光達 WFR 演算法之輸入。此過程分為 5 個步驟：前 3 個步驟涉及光束位置數量之校正(光束軌跡、傾斜儀及量測範圍)，後 2 個步驟涉及校正 LOS 速率 V_{LOS} 及評鑑其不確定度 $u_{V_{\mathrm{LOS}}}$。校正說明光束位置數量之程序，其特定於光達技術及光達光束之特定幾何/軌跡。V_{LOS} 不確定度之校正及評鑑更加通用，但細節(特別是光束位置之決定)可能仍然取決於光達技術之精確性質。

光束位置之決定需要準確地定位及偵測光達光束，此可透過下列方式之一實現：

- 使用具如紅外線靈敏卡或紅外線攝影機之可視化雷射光束。
- 執行硬目標試驗。硬目標試驗包括使用反射面阻擋光束，然後量測目標位置。當光束被阻擋時，光達測得之訊號位準遠高於光束未被阻擋時之訊號位準。對於零差光達而言，由於無法偵測到 0 速率，因此移動目標是必要的。

在SMC開始之前，應對每一個光達設備進行機艙光達之校正。校正有效期限長度及該期限內允許之SMC數量，應依據與使用案例相關之指引及製造商建議而決定。例：更換任何影響量測之光學組件或韌體均需重新校正。

7.2 光束軌跡/幾何之查證

7.2.1 靜態位置不確定度

7.2.1.1 方法

定義光束幾何(對於固定光束幾何光達)或光束軌跡(對於掃描光達)之角度應遵循下述進行量測：

- 對於固定光束幾何光達：各種 LOS 間之角度。
- 對於固定模式及可程式掃描光達：特性化掃描軌跡之角度值(例：固定模式圓錐掃描光達之錐角，可程式掃描光達之方位角及仰角)。

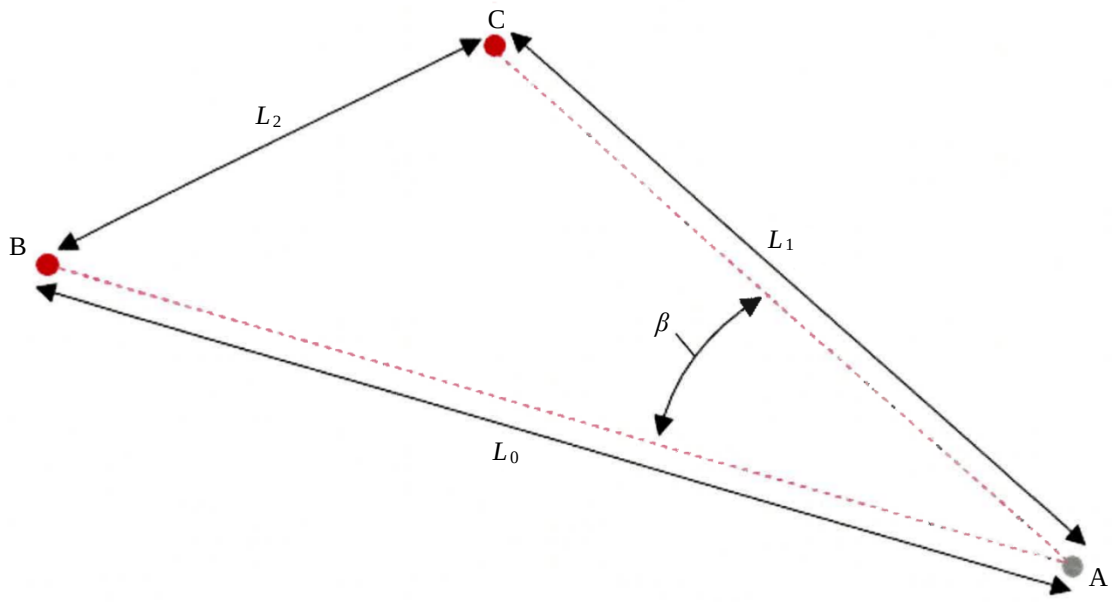
應聲明量測角度之不確定度。試驗結果(實測角度及其不確定度)應與製造商規格中聲明之值及許可差相符[依據6.2.1(4)提供之技術文件]。

7.2.1.2 示例

圖1給出二光束(固定光束幾何)機艙光達之光束幾何查證示例。在此情況下，光束幾何之查證包括驗證二LOS間之角度β(參照圖1)。實測距離L_0、L_1及L_2(例：使用經緯儀)，圖1中二光束間之角度β定義為：

$$\beta = \cos^{-1}\left(\frac{L_0^2 + L_1^2 - L_2^2}{2L_0L_1}\right) \qquad (2)$$

實測角度之不確定度來自L_0、L_1及L_2之量測不確定度。



備考：A點代表光束起點，L_0及L_1是至偵測到光束位置B及C之距離。

圖 1　二光束間之開角β示例

7.2.2 動態位置不確定度

對於掃描光達，當其在光束移動時(或快速移動然後停止)進行量測，由於移動控制系統無法提供精確位置，因此會出現額外位置不確定度。此種不確定度稱之為動態位置不確定度。除開角靜態量測及此等量測不確定度外，亦應量化或提供軌跡之動態位置不確定度。

7.3 傾斜儀校正

傾斜儀校正目的是建立光達傾斜儀器示之傾斜角($\tau_{\text{indicated}}$)及滾轉角($\rho_{\text{indicated}}$)與基準量測(τ_{measured}, ρ_{measured})間之關係。

該程序包括：

(a) 讀取傾斜儀器示位置值 $\tau_{\text{indicated}}$, $\rho_{\text{indicated}}$。

(b) 量測光束位置相對於光束原點之距離及高度差(例：使用經緯儀)。

(c) 推導傾斜角 τ_{measured} 及滾轉角 ρ_{measured}，並將其與傾斜儀量測值進行比較。

宜對至少 5 個不同 $\tau_{\text{indicated}}$ 值及至少 5 個不同 $\rho_{\text{indicated}}$ 值之組合重複此程序。校正範圍宜盡可能涵蓋 SMC 期間預期之傾斜角及滾轉角範圍。校正範圍應報告。

應聲明實測傾斜角及轉滾角之不確定度。

附錄 B 介紹以二光束光達為例之傾斜角及滾轉角現場量測的建議方法。

7.4 量測範圍之查證

應使用下列方法之一查證量測範圍：

- 從已知位置之目標，目視觀察不同範圍之反向散射程度。
- 對 LOS 速率校正資料進行統計分析：光達組態為圍繞基準儀器所在位置之幾

個範圍。分析基準風速及於不同範圍 LOS 速率量測間之相關性。預計在最接近基準儀器之範圍內相關性最高。

- 焦點校正方法(用於具固定或可變焦距之零差光達)，例：透過量測光束直徑作為沿 LOS 距離之函數，或當光達焦點調整時，量測固定校正範圍內移動目標散射之光達回波訊號的強度。

建議查證範圍接近 LOS 速率校正中所使用之量測範圍(有關校正範圍之建議參照 7.5.4)。

應查證每一光束進行之量測範圍，並報告不確定度。

7.5 LOS 速率校正

7.5.1 方法概述

此校正目的是建立光達沿一 LOS 內量測之風速 V_{LOS} 與從可追溯校正之基準儀器沿 LOS 量測基準速率 V_{ref} 間之關係。對於連續波(CW)光達，基準速率為在焦點處所量測之風速。對於脈衝光達，基準速率為在探測長度中心處所量測之風速。

為此目的，光達依據 7.5.2 所述之要求安裝於試驗場，並依 7.5.3 進行設定，且光達量測範圍依據 7.5.4 說明組態。LOS 速率校正程序於 7.5.5 至 7.5.7 中說明。

V_{ref} 是風速在 LOS 上之投影，且其最一般之形式表示為

$$V_{ref} = V_{hor} \cdot \cos\varphi \cdot \cos(\theta - \theta_{los}) + W \cdot \sin\varphi \qquad (3)$$

式中， V_{hor} ：水平風速，由風速基準儀器量測

φ ：光達光束自水平面之仰角(參照圖 4)

θ ：風向，由風向基準儀器量測

θ_{los} ：LOS 方向

W ：垂直風速，由基準儀器量測

由於在平坦地形中，風速之垂直分量通常遠小於水平分量($W << V_{hor}$)，仰角及內流角亦較小(例：在−2°及+2°之間)，因此垂直分量貢獻之影響可忽略不計，故公式(3)可寫為：

$$V_{ref} = V_{hor} \cdot \cos\varphi \cdot \cos\theta_r \qquad (4)$$

式中 $\theta_r = \theta - \theta_{los}$ 為相對於 LOS 之風向，即風向與 LOS 間之差值。公式(4)中 V_{ref} 為下文各節次所使用之基準風速。

備考：公式(4)中之 V_{ref} 定義要求對 V_{hor} 及 θ 的量測進行向量平均。

應對每一光束進行 LOS 速率校正。

7.5.2 校正場要求

7.5.2.1 定義

光達設定至緊鄰安裝於氣象桿上之基準感測器範圍內(參照7.5.3)以進行量測。

光達及基準點間之水平距離為L_{ref}。基準感測器距地形之高度為H_{ref}。光達探測長度為L_{probe}，該長度之中間位置緊鄰量測感測器(注意光達亦感應探測長度之前及之後的風，參照3.19)。基準平面是通過基準氣象桿底座之水平面。地形高度$z(r)$從此基準平面量測(式中r是沿光束方向與氣象氣象桿間之水平距離)。圖2提供此校正設定之示意圖。

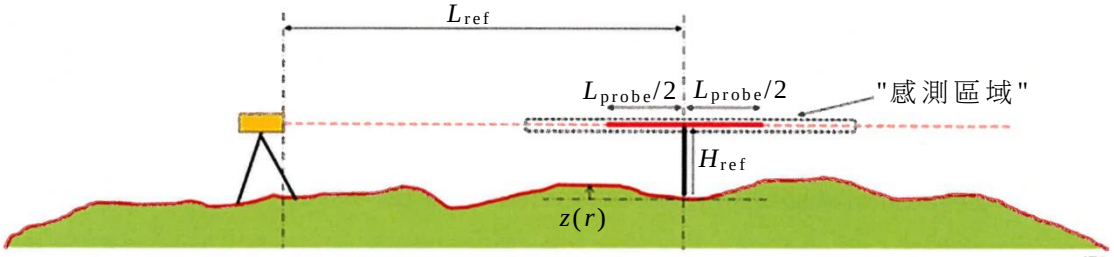


圖 2　校正設定之側向海拔簡圖

二個特定區域具下述給出之特殊要求，參照圖3。感測區為一個與基準平面平行之圓盤，以基準感測器為中心，直徑為$2L_{probe}$。內流區域是由校正中所使用之風向扇形區域定義的扇形區域，其半徑為$L_{ref}+15L_{probe}$，頂點位於機艙光達。

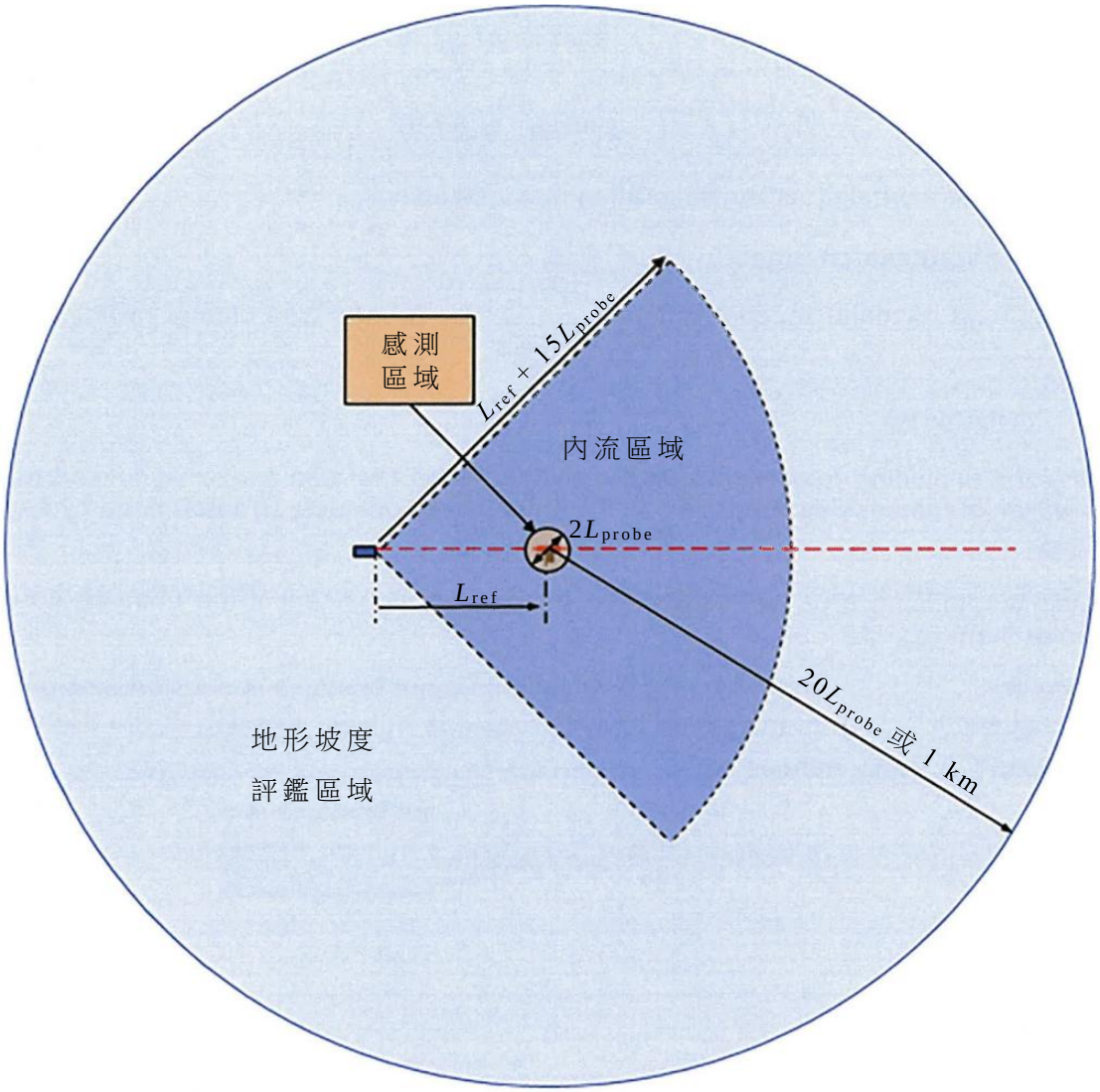


圖 3　感測及內流區域之平面視圖簡圖

7.5.2.2 地形要求

校正場應平整，並符合下述要求：

- 地形坡度：在以探測長度中點為中心，半徑為 1 km 或 20 L_{probe} (二者取其大者)之圓內，將一個平面擬合至解析度為 30 m 或更精細之數位地形模型中。平面坡度不得超過 1 %。
- 平均地形坡度：對於在內流區域內，但在感測區域外之每一個點，坡度 s 之計算公式為：$s = z / d$，式中 z 是相對於參考平面之地形高度，d 是地形點與校正氣象桿間之水平距離。建議使用解析度為 30 m 或更精細之數位地形模型。地形坡度 s 之平均值的絕對值不得超過 1 %。
- 高度變化：
  - 在感測區域內，地形高度 z 之變化不得超過 $\pm H_{ref}/20$，即 $|\max z - \min z| \leq H_{ref} / 20$。

– 在內流區域內但在感測區域外，高度變化不得超過以下限值：

$|\max z| \le H_{\mathrm{ref}} / 10$

$|\min z| \le H_{\mathrm{ref}} / 10$

式中校正氣象桿位置處之地形高度$z = 0$。

7.5.2.3 粗糙度變化

內流區域內不宜有重大粗糙度變化(土地利用或土地類型變化)。

7.5.2.4 障礙物

不允許有任何可能導致感測區域內出現明顯尾流或部分尾流之障礙物(包括樹木及灌木叢)。障礙物之顯著性由如下述高度決定：

- 在感測區域內，若障礙物高度大於 H_{ref} / 10，則該障礙物視為顯著。
- 在內流區域內且在感測區域外，若障礙物高度大於 h，則該障礙物視為顯著，$h(r)$為至校正氣象桿距離 r 之線性函數，定義為

$$h(r)=\frac{H_{\mathrm{ref}}}{10}\left[(r-L_{\mathrm{probe}})\frac{1}{6L_{\mathrm{probe}}}+1\right] \tag{5}$$

以使：

$h(r = L_{\mathrm{probe}}) = H_{\mathrm{ref}} /10$

$h(r = 15\ L_{\mathrm{probe}}) = H_{\mathrm{ref}} /3$

若至任何量測點(基準感測器或光達探測體積之一部分)之距離大於20個轉子等效直徑D_{e}，則允許存在顯著障礙物。

$$D_{\mathrm{e}}=2\times\frac{l_{\mathrm{h}}\times l_{\mathrm{w}}}{l_{\mathrm{h}}+l_{\mathrm{w}}} \tag{6}$$

式中l_{h}及l_{w}分別為障礙物之高度及寬度。

例：第2根氣象氣象桿之邊長為0.2 m，高度為30 m，等效直徑為0.4 m，因此必須與另一根氣象桿保持至少8 m之距離。

7.5.3 設定要求

光達應安裝在地面或堅固之高架平台上。支架及平台之設計應能防止光達撓曲超過±0.1°，或 LOS 與基準儀器間之最大高度變化在基準高度之±1 %內(二者取其小者)。

待校正光束應準確地指向安裝在氣象桿上之基準儀器。用於量測 V_{hor} 及 θ 之基準儀器應經過校正，並符合 IEC 61400-12-1:2017 (第 7 節)中關於校正、安裝及操作特性之要求。基準儀器應包括：

- 一個杯型或 3D 音波風速計，用於量測 V_{hor}。
- 一個 3D 音波或風向標，用於量測 θ (用於決定相對風向 θ_{r})。
- 用於對主儀器進行品質管制之第二風速及風向量測。
- 量測內流角或垂直風速(用於過濾)。

可選擇地，基準儀器亦應包括(建議)：

- 在不同高度量測水平風速，用於風切量測(與主 V_{hor} 感測器相同類型)。
- 用於濾除低於給定溫度閾值資料之溫度感測器，剔除受基準感測器上之積冰或軸承摩擦漂移影響之資料。不排除使用替代感測器或方法，以偵測因結冰而導致之基準儀器失效或性能劣化，但應於光達校正報告中說明。
- 可能需要壓力及濕度感測器，以決定校正對環境變數之靈敏度及/或檢查 V_{hor} 感測器是否在類別限值內。

感應器應依下列方式之一安裝：

- 在同一氣象桿上，可為下述之一：
  - 單頂部安裝配置(IEC 61400-12-1:2017 之 G.2)。
  - 並排頂部安裝配置(IEC 61400-12-1:2017 之 G.3)。
  - 側面安裝配置遵循 IEC 61400-12-1:2017 之 G.4 及下述更嚴格要求：
    (i) 由於風速計會受到氣象桿、安裝懸臂及可能拉線之影響，因此應依據 IEC 61400-12-1:2017 附錄 S，使用同一高度之第 2 個風速計以推導氣象桿阻塞修正。
    (ii) 風速計至氣象氣象桿中心之最小距離，應確保氣象桿對風速計風速讀數影響，在整個量測扇形區域內保持小於 1 %。
    (iii) 風向及風速感測器間之高度差不得大於 2 m。
- 在二個獨立氣象桿上，每一個氣象桿均應採用單獨之頂部安裝配置(IEC 61400-12-1:2017 之 G.2)，其中基準風速及風向感測器位於同一高度。二氣象桿間之水平距離不得大於 10 m。

最後，校正布局應確保氣象桿之存在不會顯著影響待校正光達探測體積之氣流(例：杯型風速計、氣象桿或懸臂之尾流不得影響探測體積內的風況)，校正活動期間所使用之量測扇形區域內的風向範圍。

光束與水平面之仰角 φ 宜盡可能地小，且不得大於 10°。

光束宜位於靠近基準速率風速計之位置。光束高度應於基準風速計高度之 1 % 範圍內，並與基準速率風速計之水平距離在 2 m 至 5 m 範圍內。應報告光束位置及其不確定度。

7.5.4 校正範圍

光達校正之量測設定宜盡可能地接近其往後應用中之量測設定。

量測範圍 R_{conf} 定義為光達與光軸(例：光達軌跡之對稱軸，若存在)正交平面間之距離，使得

$$R_{conf} = R \cdot \cos\delta \qquad (7)$$

式中，R：沿著 LOS 方向，從雷射光束起點至基準儀器之距離(非水平距離)。$R = L_{ref}\cos\varphi$，式中 L_{ref} 為雷射光束原點與基準儀器間之水平距離。φ 為雷射光束之仰角(對於校正之 LOS)

δ：光軸及待校正 LOS 間之角度

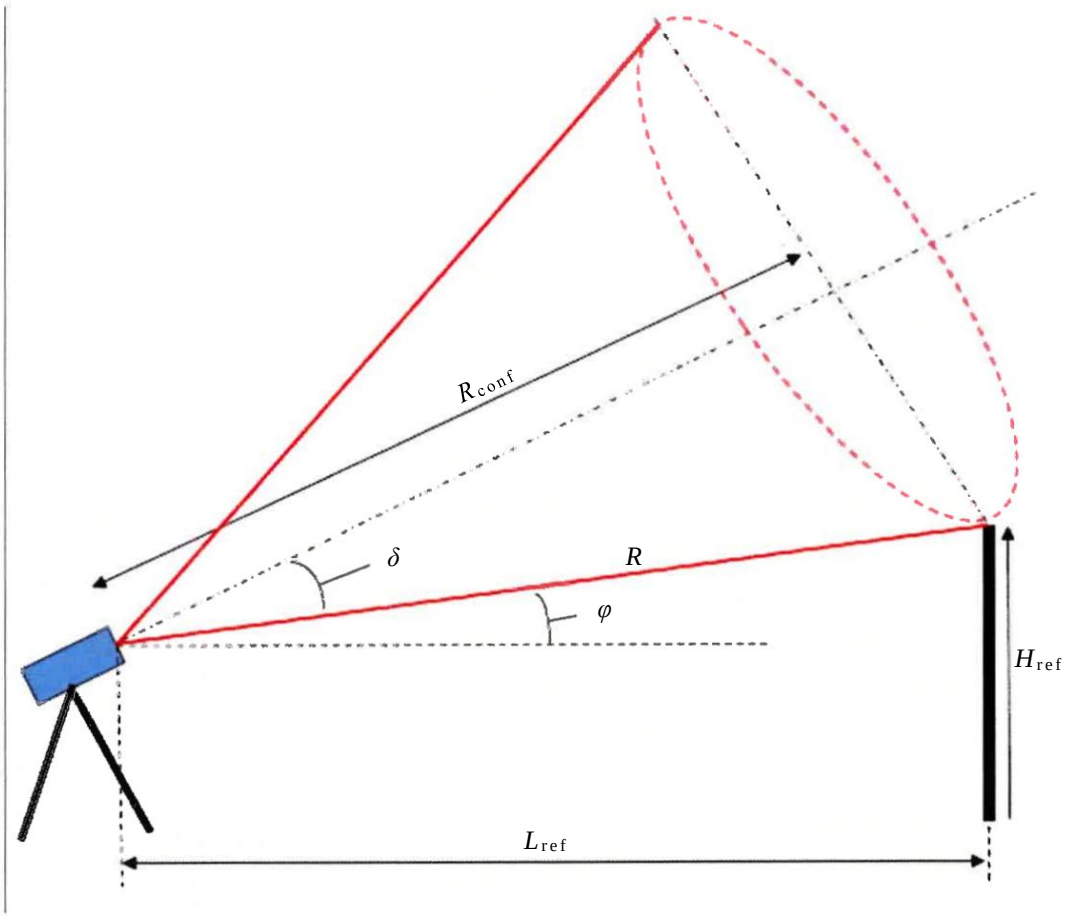


圖 4　校正設定之簡圖

7.5.5 校正資料之要求及過濾

V_{ref}之定義[公式(4)]是基於 V_{hor}、θ 及 $\varphi V_{hor}\sin\theta V_{hor}\cos\theta$ 之 10 min 向量平均量測。用於分析之資料組應依據下列準則進行過濾：

- V_{hor} 應於風速計校正範圍內(通常在 4 m/s 至 16 m/s 之間)。
- θ 應位於 LOS 周圍之連續扇形區域內(建議 $\theta_{LOS}\pm40°$或更小)。扇形區域限制應依據場地特性(參照 7.5.2)、方向感測器之幾何及場地內不受障礙物干擾之氣流方向決定。狹窄之扇形區域與 NMLs 之正常運轉條件非常吻合，因為相對於風力機橫搖位置之風向通常很小。然而，狹窄之扇形區域通常會增加執行校正所需之時間。
- 平均期間內之資料應具足夠的品質及數量。宜應用基於 V_{LOS} 可用性及/或高於閾值之 CNR 的過濾器。特定指標及閾值取決於光達之類型及場地之氣溶膠分布。
- 對於掃描光達之LOS選擇，光達LOS應在給定之方位角及/或仰角扇形區域

內。

- 量測設備發生失效或性能劣化(例：由於結冰)期間之時段的資料應予以剔除。
- 內流角ϵ_v所造成之LOS速率相對誤差為

$$\epsilon_v = \tan\psi\tan\varphi \tag{8}$$

式中

ψ：風內流角

φ：光束仰角

應對內流角進行過濾，以使 ϵ_v 之量值不超過 0.002。若水平風速量測(V_{hor})之準確度隨內流角增加而降低，則建議不管光達光束仰角如何，依據內流角進行過濾。

光達量測及基準儀器應即時同步。依據 IEC 61400-12-1:2017，同步許可差為±1 %，即 10 min 平均間隔為±6 s 是可以接受的。

應收集資料直到滿足7.5.7定義之要求為止。

7.5.6 LOS 之決定

7.5.6.1 一般

LOS應予以評估，此可分二個步驟完成。首先，將光達對風向之響應擬合為一個函數，以檢索近似之LOS。接下來，應用基於殘差平方和(RSS)之過程，得出LOS最終值。此方法的優點在於，θ_{LOS}值是在基準風向感測器之基準架構中獲得。

7.5.6.2 擬合光達對風向之響應

擬合正規化光達LOS速率($V_{LOS,norm}$)為風向(θ)函數，以評估LOS之第1次近似值。在本分析中，除場地相關規格(例：塔陰影、障礙物、鄰近風力機尾流等)外，所有風向扇形區域均有效。正規化LOS速率為：

$$V_{LOS,norm} = \frac{V_{LOS}}{V_{hor}\cos\varphi} \tag{9}$$

擬合函數f_{fit}為：

- 外差光達之餘弦：$f_{fit,1} = A_1 \cdot \cos(\theta - \theta_0) + B_1$。
- 零差光達之整流餘弦：$f_{fit,2} = A_2 \cdot |\cos(\theta - \theta_0)| + B_2$。

擬合過程得出$A_{1,2}$、$B_{1,2}$及θ_0之最佳估算。理想情況下，$A_{1,2} = 1$且$B_{1,2} = 0$，θ_0為θ_{LOS}之估算。圖5顯示正規化風速對風向之示例及餘弦擬合之結果。

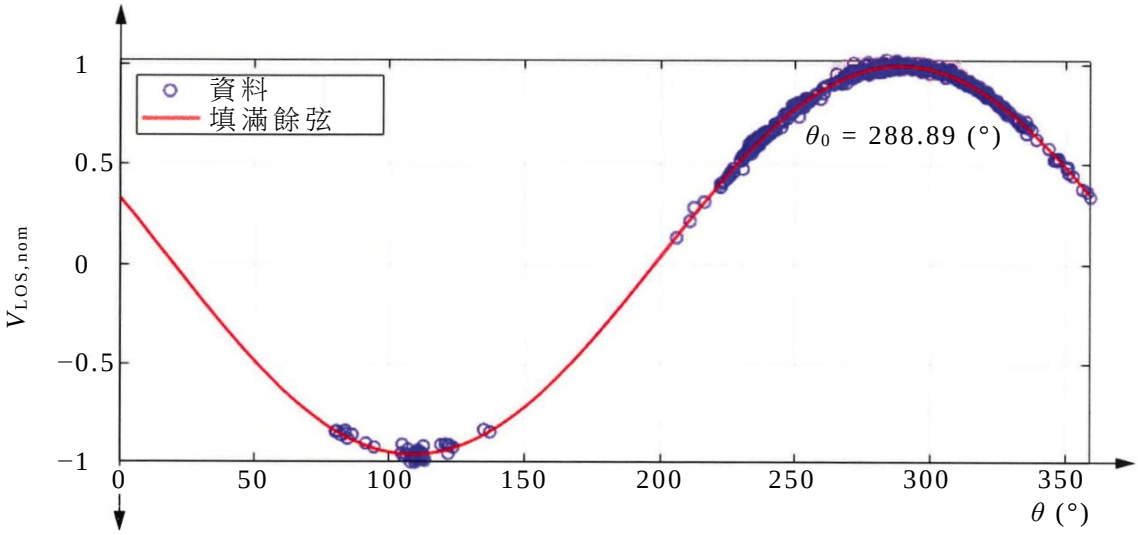


圖 5　光達對風向之響應及餘弦擬合示例

7.5.6.3 使用殘差細化估算之 LOS

使用統計過程細化θ_{LOS}之估算：

(a) 對於以 θ_{proj} 為中心，以 0.1°為增量之 20 個 θ_{proj} 值($\theta_{proj,i}$;i = 1,...,20)：

(1) 評估所有 10 min 資料之 $V_{ref,i}$，如下式：

$$V_{ref,i} = V_{hor} \cdot \cos\varphi \cdot \cos(\theta - \theta_{proj,i}) \tag{10}$$

(2) 在 V_{LOS} 與 $V_{ref,i}$ 之間進行線性迴歸

$$V_{LOS_fit,i} = aV_{ref,i} + b \tag{11}$$

(3) 評估 $RSS_i = \sum_k^N (V_{LOS} - V_{LOS_fit,i})^2$

(b) 繪製 RSS_i 與 $\theta_{proj,i}$(i = 1,...,20)之關係圖。

(c) 擬合二階多項式(參照圖 6 中之示例)。

(d) θ_{LOS} 是提供最小 RSS 之投射角。此為第 7 節其餘部分所述程序中要使用之值，特別是依據公式(4)評估 $V_{ref} = V_{hor} \cdot \cos\varphi \cdot \cos(\theta - \theta_{LOS})$。

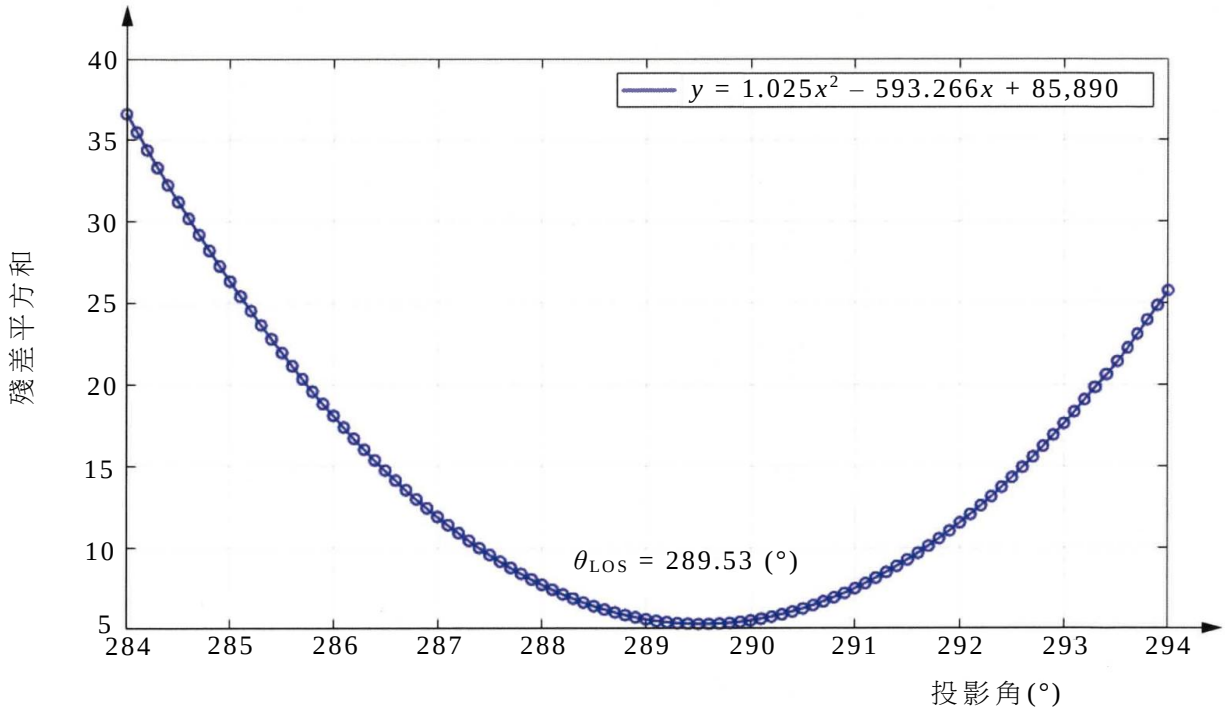


圖 6　使用 RSS 過程進行 LOS 評估之示例：RSS 對 θ_{proj}

7.5.7 資料分區及資料庫要求

建議首先對整個過濾後之 10 min 資料組製作 V_{LOS} 對 V_{ref} 之散布圖，以便直觀地識別異常值，並依需要對其進行調查。然後基於 V_{ref} 對有效資料進行分區，區間寬度為 0.5 m/s，區間中心為 0.5 m/s 之倍數。

若一個區間至少包含 5 個資料點，則視為是完整的。當出現下列情況時，資料庫即視為完整：

- 從每一光束校正中獲得 300 個有效資料點。
- 從 4 m/s 到 12 m/s 之所有區間均已完成。注意風洞校正之通常風速範圍為 4 m/s 至 16 m/s。然而，在機艙光達校正中，在特定 LOS 中取得大於 12 m/s 之風速可能非常耗時，有時甚至要達到 12 m/s 速率也可能很困難(例：風力較小之季節)。在此情況下，校正範圍可能必須縮小為 4 m/s 至 10 m/s。必須將此視為偏離此程序而進行報告。此外，亦需對重建之風速加上一個額外不確定度。

7.6 LOS 速率量測之不確定度

7.6.1 一般

由於 LOS 速率是對 V_{ref} 校正的，因此 V_{LOS} 之不確定度是來自 V_{ref} 的不確定度、V_{LOS} 與 V_{ref} 間之偏差的統計不確定度及由於在公式(4)中忽略風之垂直分量而產生的不確定度。

7.6.2 V_{ref} 之不確定度

7.6.2.1 一般

如公式(12)所示，基準風速是V_{hor}、φ、θ及θ_{LOS}之函數(式中$\theta_r = \theta - \theta_{LOS}$是相對於LOS之風向)。在最一般情況下，可合理地假設此等量之不確定度是不相關的，且V_{ref}之組合不確定度可表示為：

$$u_{V_{ref}} = \sqrt{\left(\frac{\partial V_{ref}}{\partial V_{hor}}\right)^2 u_{V_{hor}}^2 + \left(\frac{\partial V_{ref}}{\partial \varphi}\right)^2 u_{\varphi}^2 + \left(\frac{\partial V_{ref}}{\partial \theta_r}\right)^2 u_{\theta_r}^2} \tag{12}$$

靈敏度係數為：

$$\frac{\partial V_{ref}}{\partial V_{hor}} = \cos\varphi \cos\theta_r \tag{13}$$

$$\frac{\partial V_{ref}}{\partial \varphi} = -V_{hor} \sin\varphi \cos\theta_r \tag{14}$$

$$\frac{\partial V_{ref}}{\partial \theta_r} = -V_{hor} \sin\theta_r \cos\varphi \tag{15}$$

可透過區間平均值計算不確定度及靈敏度係數[(1)]。對於角度量，建議對角度值取平均值，例：cos[avg(θ_r)]。

註[(1)] 理論上，計算所有10 min值之不確定度及靈敏度係數，然後取平均更為準確。上述建議用於實際目的，以便無需資料庫即可重現不確定度校正結果。

所有不確定度均表示為具一單位涵蓋因數(k=1)之標準不確定度。若應用需要擴充不確定度，則參照IEC 61400-12-1:2017之E.2.2。

7.6.2.2 水平風速之不確定度

V_{hor}之不確定度是基準風速感測器不確定度及由於基準感測器之量測範圍與校正之LOS不完全相同而導致的不確定度組合：

$$u_{V_{hor}} = \sqrt{u_{sens}^2 + u_{pos}^2} \tag{16}$$

用於量測水平風速之基準感測器不確定度應依據IEC 61400-12-1:2017計算：

$$u_{sens} = \sqrt{u_{cal}^2 + u_{ope}^2 + u_{mast}^2 + u_{lgt}^2 + u_{daq}^2} \tag{17}$$

式中與基準風速感測器相關之不確定度來源如下：

u_{cal}：用於量測V_{hor}–u_{cal}之基準感測器的校正不確定度為通用的，不僅包括校正前之不確定度，亦包括與感測器現場監測及/或校正後相關之不確定度

u_{ope}：用於量測V_{hor}(亦稱為分類)之參考感測器的操作不確定度

u_{mast}：用於量測V_{hor}之基準感測器因安裝而導致的不確定度

u_{lgt}：與避雷針安裝相關之不確定度(若有)

u_{daq}：用於量測V_{hor}之基準感測器的資料擷取不確定度

與校正之LOS探測體積相比，由於基準感測器之相對位置及不同量測體積引起之不確定度表示為：

$$u_{pos}=\sqrt{u_{probe}^2+u_{inc}^2+u_{vert_pos}^2} \tag{18}$$

式中，u_{probe}：由於光達探測體積內風速變化所引起之不確定度，是由沿著探測體積之風速水平變化引起的，此主要是由地形效應所造成。此外，在傾斜LOS情況下，由探測長度涵蓋高度範圍內之非線性風切所引起。建議依據校正高度及探測長度估算此不確定度。此不確定度通常隨著校正高度降低及探測長度增加而增加。對於傾斜LOS情況，此不確定度之估算亦宜取決於基準氣象氣象桿上測得之風切。此不確定度通常會隨著LOS仰角增加而增加。另外，亦可透過與基準氣象氣象桿相符範圍周圍之不同量測範圍內進行的校正來估算u_{probe}。水平LOS之典型u_{probe}值為0.1 %及傾斜LOS之典型u_{probe}值為0.2 %

u_{inc}：由於傾斜之LOS及量測範圍所造成之不確定度

與LOS傾斜度相關之最顯著誤差(除u_{vert_pos}中考慮之對準誤差外)為量測範圍誤差所造成的。即使LOS恰好經過基準感測器，若存在距離誤差，則量測之高度亦會錯誤。因此，對於傾斜之LOS，範圍誤差會導致高度誤差。使用簡單之冪次律模型，傾斜造成之不確定度為

$$u_{inc}=\alpha\frac{\sin\varphi u_{range}}{H_{ref}}V_{hor} \tag{19}$$

式中，α ：風切指數

φ ：傾斜角

u_{range} ：範圍不確定度

H_{ref} ：量測基準高度

u_{range}可透過量測範圍查證來估算(參照7.4)。

與範圍不確定度相關之另一個不確定度與探測體積中心相對於基準量測位置之水平位移有關。地形效應可能導致二個位置之風速不同，並可能導致基準量測之不確定度。與校正高度相比，在範圍不確定度較大之情況下，此不確定度可能很大，宜以與探測長度(u_{probe})不確定度類似之方式進行估算。

$u_{\mathrm{vert_pos}}$：由於基準感測器及LOS間之高度差異導致的不確定度(對準誤差–注意此不確定度對於水平光束亦有效)。

例：使用冪次律及風切指數α建模垂直風切剖面，基準儀器高度為H_{ref}，光束位置之不確定度u_{H}將對應於風速不確定度：

$$u_{\mathrm{vert_pos}}=\alpha\frac{u_{\mathrm{H}}}{H_{\mathrm{ref}}}V_{\mathrm{hor}} \tag{20}$$

α可以是校正期間量測之平均風切(若有風切量測可用)或場地之典型值。

垂直定位之不確定度來源有三：

- 安裝期間光達之方位不理想導致高度誤差。不確定度非常顯著，尤其是在校正高度 H_{ref} 較小之情況下。
- 光達傾斜角可能出現系統性漂移，例：由於系統性風負載或系統性時間漂移。此不確定度應依據光達之傾斜儀量測隨風速及時間之變化來評估。此不確定度很容易佔主導地位，尤其是對於安裝在平台上或校正高度較低之光達。
- 光達之振動。此不確定度通常並不顯著，可忽略之。

前二個來源產生之子項應分別進行評估，並應在假設其彼此獨立之情況下進行組合。

7.6.2.3 相對風向不確定度

相對風向之不確定度為

$$u_{\theta_{\mathrm{r}}}=\sqrt{u_{\theta}^{2}+u_{\theta_{\mathrm{los}}}^{2}} \tag{21}$$

式中，u_{θ}：量測扇形區域內風向感測器之不確定度。此不確定度是依據IEC 61400-12-1:2017之E.12計算的，不包括北標、懸臂方位及磁偏角之不確定度，因為LOS是在感測器之基準架構中計算的。因此，此通常僅為由風向感測器校正殘差所引起之不確定度。

第二個不確定度來源是校正期間光達傾斜角可能出現之系統性漂移，例：由於系統性風負載或系統性時間漂移。此不確定度應透過監測校正期間光達之傾斜角來評估。其應視為與光達安裝導致之傾斜角不確定度無關，即二個不確定度應以平方和開平方之方式相加。

$u_{\theta_{\mathrm{LOS}}}$：決定LOS之不確定度，與$\theta_{\mathrm{LOS}}$統計評估有關。對於7.5.6中所述之方法，不確定度估算為0.1°。

7.6.2.4 光束仰角不確定度

u_{φ}特性化水平風速垂直投影至LOS時所使用角度之不確定度。其值可透過以下方式取得：

- 傾斜儀之校正-用於試驗設定，當光達安裝在平台上，藉由傾斜儀之讀值結合光達高度，以獲得用於投影之光束高度值。
- φ直接量測之不確定度-在一個試驗設定中，當光達安裝在地面或非常穩定之平台上時，φ是透過直接量測(例：經緯儀)獲得的。

7.6.3 氣流傾斜不確定度

在依據公式(4)評估V_{ref}時，忽略風向量之垂直分量。忽略項可以氣流傾斜造成之V_{ref}不確定度處理。

$$u_{\psi_i}=W\sin\varphi_i=V_{hor}\tan\psi_i\sin\varphi_i \qquad (22)$$

式中，u_{ψ_i}：由於氣流傾斜導致之V_{LOS}不確定度

W：垂直風速

φ：光束仰角

V_{hor}：水平風速

ψ_i：內流角，估算為$\tan^{-1}(W/V_{hor})$。為估算u_{ψ_i}，可使用內流角ψ_i之區間平均

7.6.4 LOS 速率量測之不確定度

對於每一個風速區間，V_{LOS}量測之不確定度表示為：

$$u_{V_{LOS}}=\sqrt{u_{V_{ref}}^2+(V_{hor}\sin\varphi\cos\theta_r)^2u_{\psi_i}{}^2+\frac{\sigma_{dev}^2}{N}} \qquad (23)$$

式中，$u_{V_{ref}}$：公式(12)中校正所採用之基準風速之不確定度

σ_{dev}：區間內差值$\Delta V=(V_{LOS}-V_{ref})$之標準差[應計算每10 min間隔之$\Delta V$，然後計算其標準差(在LOS速率區間內)]

N：區間中之資料數量

u_{ψ_i}：氣流角不確定度(參照7.6.3)

表 1 總結所有 LOS 校正不確定度項，包括其不確定度類型。

表 1　校正不確定度項之匯總

No.	項	類型	說明
基準風速計			
1	校正不確定度 u_{cal}	B	基準風速計感測器依據 IEC 61400-12-1:2017 之校正不確定度
2	操作特性 u_{ope}	B	風速計依據 IEC 61400-12-1:2017 之分類
3	安裝 u_{mast}	B	風速計安裝之不確定度
4	避雷針 u_{lgh}	B	由於避雷針導致之基準風速計的不確定度
5	(原文編號重號)資料擷取 u_{daq}	B	資料擷取系統不確定度
光達探測長度			
6	場地效應 u_{probe}	B	在光達探測體積內之水平氣流變化
高度誤差			**由於風切導致之量測誤差**
7	安裝 $u_{\mathrm{vert_pos}}$	B	由於光學頭安裝導致基準風速計與 LOS 間之高度差
8	量測範圍 u_{inc}	B	由於量測範圍誤差導致基準風速計與 LOS 間之高度差
風向相關 $u_{\theta_{\mathrm{r}}}$			
9	基準風向感測器 u_{θ}	B	線性及其他儀器偏差之不確定度
10	視線之決定 $u_{\theta_{\mathrm{los}}}$	B	7.5.6 程序中之不確定性
投影誤差			**投影所使用角度之誤差**
11	安裝 u_{φ}	B	傾斜儀校正不確定度或 φ 直接量測之不確定度(例：經緯儀)
12	氣流傾斜 u_{ψ}	B	由於忽略 $W\sin\varphi$ 貢獻而產生之不確定度
校正量測			
13	統計不確定度	A	$\sigma_{\mathrm{dev}}/\sqrt{N}$

7.7 校正結果

應計算區間中 V_{LOS} 及 V_{ref} 差($\Delta V = V_{\mathrm{LOS}} - V_{\mathrm{ref}}$)之平均。校正結果應依表 2 之格式報告。

可基於校正結果修正機艙光達 LOS 速率。若區間平均偏差(ΔV)大於任何風速區間之不確定度 $u_{V_{\mathrm{LOS}}}$，則必須進行修正。修正應基於區間平均基準速率與區間平均光達 LOS 速率間之線性回歸，若 $|\Delta V| < u_{V_{\mathrm{LOS}}}$，則 LOS 速率之修正是可選擇的。

表 2　校正表示例

i，區間編號	V_{ref} m/s	V_{LOS} m/s	N	ΔV m/s	$\sigma_{\Delta V}$ m/s	$u_{V_{ref}}$ m/s	$u_{V_{LOS}}$ m/s
7	4.04	4.13	13	0.10	…	0.05	…
8	4.51	4.57	20	0.06	…	0.06	…
9	4.98	5.05	31	0.07	…	0.06	…
10	5.45	5.51	12	0.06	…	0.07	…
11	5.98	6.08	22	0.10	…	0.07	…
…	…	…	…	…	…	…	…
23	12.01	12.05	30	0.04	…	0.12	…
24	12.47	12.58	6	0.11	…	0.12	…
25	12.95	13.01	14	0.06	…	0.12	…
26	13.53	13.63	20	0.11	…	0.13	…
27	13.95	14.01	12	0.05	…	0.13	…
28	14.49	14.56	7	0.08	…	0.13	…
29	15.01	15.05	5	0.04	…	0.14	…

當幾個 LOS 速率已經校正時，包含所有校正 LOS 不確定度之表格應作為結果的一部分。該表應在不同欄中分別報告不同 LOS 間之相關及不相關的不確定度。表 3 給出 N 條 LOS 校正之強制性內容示例。

表 3　校正表示例

(n=1…N，N為已校正LOS之總數)

i，區間編號	$u_{corr,1}$	$u_{uncorr,1}$	…	$u_{corr,n}$	$u_{uncorr,n}$	…	$u_{corr,N}$	$u_{uncorr,N}$

$u^2_{corr,n}$為第 n 條 LOS 光束間之相關不確定度項的平方和。

$u^2_{uncorr,n}$是第 n 條 LOS 光束間之不相關項的平方和。

7.8 校正報告要求

7.8.1 報告內容

校正報告應提供 7.8.2 至 7.8.6 所列之資訊。

7.8.2 一般光達資訊

- 光達設備：型號、製造年份、序號、韌體識別、光束組態、掃描幾何。
- 範圍閘門。

7.8.3 光束幾何/軌跡之查證(依據 7.2)

- 角度之定義，例：錐角、二個共面 LOS 間之半開角/全開角等。
- 量測設定之說明。
- 量測角度之方法說明。
- 量測設備之說明。
- 結果表：實測角度、報告之不確定度及與製造商規格的相容性。

7.8.4 傾斜儀校正(依據 7.3)

- 量測設定之說明。
- 方法之說明。
- 量測設備之說明。
- 結果表：傾斜角($\tau_{\text{indicated}}$)及滾轉角($\rho_{\text{indicated}}$)、實測角度($\tau_{\text{measured}}, \rho_{\text{measured}}$)及報告之不確定度。
- 指示傾斜及滾轉角與實測傾斜及滾轉角之關係圖。

7.8.5 感測範圍之查證(依據 7.4)

- 量測設定之說明。
- 方法之說明。
- 量測設備之說明。
- 範圍查證之結果。

7.8.6 LOS 速率校正(針對每一個 LOS)

- 場地說明(7.5.2)，包括場地全景照片。
- 量測設定之說明(7.5.3)。
- 基準設備之說明，包括：感測器類型及序號、校正、氣象桿配置簡圖。
- 相對於基準設備之光達與光達探測體積位置。
- LOS 對準方法。
- 光達設定之說明，包括量測範圍(7.5.4)、相對於 UTC 之時間基準及與基準儀器同步之方法。
- 實測光束位置及不確定度。
- 資料收集開始及結束時間。
- 應用於量測資料庫之過濾器說明(7.5.5)。
- 決定 LOS 之方法說明及所得到之 LOS(7.5.6)。
- 針對每一個 LOS 速率之校正函數，以 V_{ref} 為因變數(y)，V_{LOS} 為自變數(x)。校正函數以一般最小平方法擬合。R^2 亦應報告。
- V_{LOS} 對 V_{ref} 之散布圖及區間圖，及(V_{LOS} 對 V_{ref})與相關變數(例：V_{ref} 或 TI)之關係圖。
- 一張圖，圖中包括 ΔV 與 V_{ref} 之關係圖及$\pm u_{V_{\text{ref}}}$與 V_{ref} 之關係圖。
- 每一個 LOS 校正之光達傾斜角及滾轉角的時間序列圖。
- 校正結果及不確定度之表格(7.7)。

- 包含所有校正 LOS 之不確定度的表格，在不同欄位中分別報告不同 LOS 間之相關及不相關的不確定度。

8. 環境條件變化所導致之不確定度

8.1 一般

在特定環境條件下，光達之校正(如第 7 節所述)建立裝置進行之風速量測的量測不確定度。SMC 期間之環境條件與校正期間遇到的環境條件不同，從而引入進一步之量測不確定度。

透過分析環境變數(EVs)對量測準確度之影響，以評鑑此額外之量測不確定度。過程包括二個階段：

(a) 評鑑由 EVs 變化對中間值量測不確定度之貢獻(參照 8.2)。

(b) 建立 EVs 對 WFR 模型不產生影響之操作條件範圍(參照 8.3)。

EVs對量測準確度之影響，預期為特定型號之光達(硬體及軟體)及其在定義之操作條件下組態的特性。上述二步驟過程均應用於每一個光達型號。

8.2 環境條件變化所導致之中間值不確定度

8.2.1 文件

應針對每一個顯著之 EV，評鑑因環境條件變化對每一個中間值量測不確定度之貢獻。光達製造商應以可接受之獨立審查方式，提供此評鑑之詳細資訊。

8.2.2 方法

8.2.2.1 一般

評鑑每一種不確定度貢獻之方法，將取決於EV及中間值。評鑑可透過實驗、實驗室測試、模擬或理論分析進行。

每一個EV之評鑑範圍至少應涵蓋試驗期間預期或實測的值，形成支持WFR模型充分性之證據基礎(參照8.3)。當透過實驗評鑑因EV變化而產生之不確定度時，此評鑑可能需要多次試驗才能涵蓋所需之數值範圍。

8.2.2.2 透過靈敏度分析進行不確定度評鑑

可透過靈敏度分析評鑑環境條件變化對中間值量測不確定度之貢獻。中間值對EV準確度之靈敏度定義為中間值誤差對此EV變化的變化率。

透過將靈敏度乘以適當範圍以估算中間值對不確定度之相關貢獻。若在校正及SMC期間均量測EV，則可將EV平均值間之絕對差作為該範圍。若未量測EV，則使用範圍宜為最大範圍之估算值(例：IEC 61400-12-1:2017表L.3中給出之範圍)除以$\sqrt{6}$(即IEC 61400-12-1:2017之L.2.7及L.4.4中之除數的乘積)。

8.2.2.3 LOS 速率靈敏度試驗

可透過類似於IEC 61400-12-1:2017之L.2中所述之靈敏度試驗(儘管該標準中靈敏度定義與上述略有不同)，評估LOS速率對EV變化之靈敏度。在此試驗中，將LOS速率與每一個EV值之範圍的基準風速量測進行比較。此類試驗需符合下列實驗條件：

- 場地及設定應符合 7.5.2 及 7.5.3 之要求。至少需要 1,080 個資料點，涵蓋 4 m/s 至 12 m/s 之 LOS 速率範圍，每一個區間(0.5 m/s 寬度)至少有 5 個資料點。
- 在可能情況下，應使用基準感測器(而非待測光達)量測基準參數。若光達報告後向散射強度之量測結果，則可用它來評鑑氣溶膠密度。

8.2.3 需要考慮之環境變數清單

需要考慮 EVs 之最少清單如下：

- 空氣溫度、壓力、相對濕度及密度。
- 雲底高度。
- 氣溶膠密度(例：透過後向散射強度量測)。
- 擾流強度。
- 光達探測範圍內之線性風速變化。
- 光達探測範圍內之風速呈非線性(如冪次律)變化。
- 10 min 時段之資料可用性。

注意並非所有此等 EV 均會影響每一個中間值(例：傾斜感測器之校正準確度預期不會對氣溶膠密度敏感)。EV 清單並不詳盡，可依據適當之技術原理進行擴充。

8.2.4 不確定度貢獻之顯著性

若因 EV 導致中間值量測不確定度之貢獻，小於第 7 節規定之校正不確定度的 1/2 (k=1)，則該貢獻可考慮忽略之。

8.3 支持 WFR 充分性之證據基礎

與中間值之靈敏度無關，WFR 模型可能對某些 EV 靈敏。由於沒有簡單或已建立之方式評估此等靈敏度，本標準提供 WFR 模型對 EVs 非靈敏度之準則，此準則基於證據基礎，包括對機艙光達量測之風速值(最終值，非中間值)與可接受之校正基準量測之風速值進行比較。

證據基礎應包括至少 5 項試驗，此等試驗已證明最終值具令人滿意之準確度。對於其中至少 2 項試驗，被測光達應安裝在正常運轉之 WTG 上。對於其餘試驗，光達可安裝在地面或固定平台上。

成功之試驗包括：

- 至少 600 個 10 min 平均資料點。
- 至少 150 個 8 m/s 以上之 10 min 資料點。
- 至少 150 個低於 8 m/s 之 10 min 資料點。
- 對安裝在 WTG 機艙上之光達進行試驗：

對於所有區間，與基準量測之逐區間平均偏差，應落在基準量測之不確定度(涵蓋因數 k=1)範圍內，且其至少有 6 對 10 min 資料點。

- 對於安裝在地面或固定平台上之光達試驗：

量測間之單參數迴歸應表現出 2 %以內的迴歸斜率及至少為 0.97 之決定係數(R^2)。用於建立證據基礎之可接受基準儀器包括：

- 依據 IEC 61400-12-1:2017 (第 7 節)安裝及操作之杯型風速計，等級優於 1.7A 或 1.7C，或
- 依據 IEC 61400-12-1:2017 附錄 L 校正及分類之地面光達，或
- 符合本標準之單獨基準 NML。

以下要求適用於證據基礎上之安裝於機艙試驗：

- NML 操作應限於量測不受運轉中之 WTG 或障礙物(如本標準 10.4.1 所定義)影響的扇形區域。
- 對於給定扇形區域之地形，應符合 IEC 61400-12-1:2017 中表 B.1 對 WTG 及 WME 位置之要求(如 10.4.2 中進一步所述)。

證據基礎中之任一試驗應至少符合下列每一項要求：

- 在新量測活動中，安裝在 WTG 上之被測光達，其轉子直徑應在 WTG 轉子直徑之 30 %以內。
- 試驗中所使用之量測範圍應於新量測活動中所使用量測範圍之 1/2 轉子直徑(新量測活動中所使用之 WTG)內。
- 在新量測活動中，試驗中之量測高度在風力機輪轂高度的 30 %以內。

8.4 報告要求

應引用證據基礎支持對於 SMC 中之特定光達，環境效應對 WFR 之量測不確定度貢獻為 0 之假設。應記錄中間變數之靈敏度。

光達製造商應製作靈敏度分析報告，其中至少包含下列內容：

- 光達製造商名稱、型號及版次。
- 報告日期。
- 報告版次履歷。
- 作者、審查者及授權者姓名。
- 光達之說明。
- 對上述所列之 EVs 靈敏度。
- 說明用於得出靈敏度值之方法。
- 靈敏度視為有效之變數範圍。
- 任何額外靈敏度之值及其決定方法。
- 證據基礎之結論。

若觀察到任何顯示不確定度評估不完整之量測差異，則宜向證據基礎及靈敏度分析報告之作者報告，並應修改為：

- 完善操作條件之說明，排除出現差異之條件，重新彙編證據基礎，若證據基礎仍符合要求，則進一步將量測限制在新證據基礎支持之範圍內。
- 若影響僅限於中間變數，則透過納入額外之 EVs，以適應靈敏度分析程序中

出現差異之條件。

9. 重建風力參數之不確定度

9.1 水平風速之不確定度

應估算水平風速之不確定度。

校正(依據第 7 節)及對 EVs 可能靈敏度(依據 8.2 節)提供中間值之不確定度：沿著不同 LOS 之 LOS 速率量測及特性化光達光束軌跡之量(傾斜角、光達光軸間之角度及每一個 LOS、錐角等)。

透過組合 4 個項(參照圖 7)，可得出所需量測高度處之水平風速不確定度：

(a) WFR 演算法輸出之不確定度-透過 WFR 演算法，組合中間值之不確定度(參照 9.2)。

(b) 因 WFR 演算法適用性而導致之不確定度，若查證 8.3 中所述之條件，則假設為 0 m/s(參照 9.3)。

(c) 由於量測高度變化而引起之不確定度，該變化可能是因機艙之傾斜及橫搖或地形高度變化或二者都有(參照 9.4)。

(d) 由於光達量測不一致可能造成之額外不確定度(參照 9.5)。

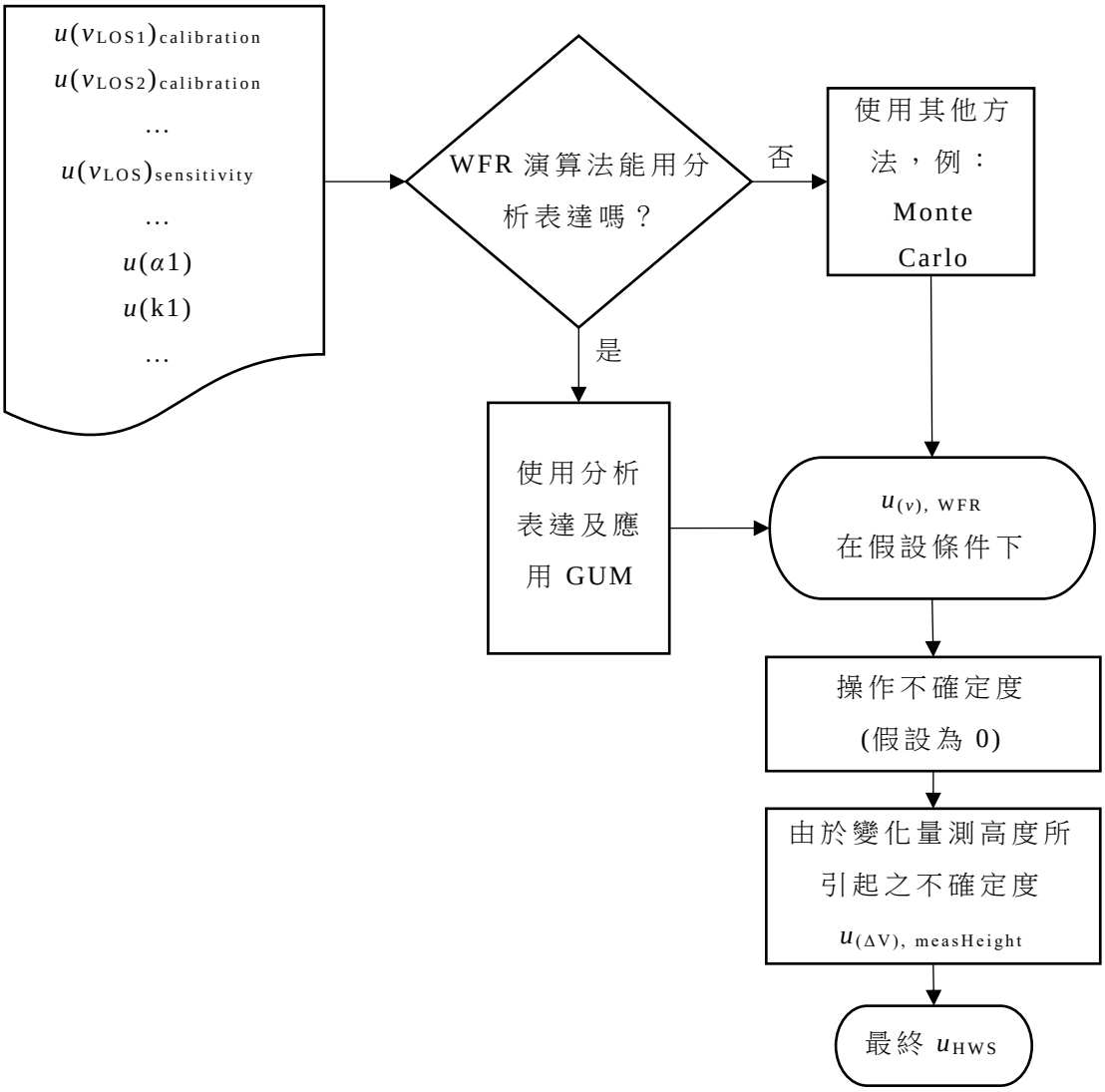


圖 7　水平風速不確定度傳播之高階過程

9.2 透過 WFR 演算法傳播之不確定度

9.2.1 中間值不確定度之傳播 $u_{\langle V\rangle,\ WFR}$

中間值之不確定度(依據第 7 節及 8.2 得出)透過 SMC 期間使用之重建演算法傳遞至水平風速。

(a) 若 GUM(參照 JCGM 100:2008)適用(例：可微分演算法)，則宜使用顯式方程式或近似，遵循 GUM 方法將中間值之不確定度傳遞至最終變數的不確定度(參照附錄 A)。

(b) 若 GUM 不適用或演算法作者未提供方程式，則應使用其他不確定度傳播方法[例：蒙特卡羅(Monte Carlo)法]。在此情況下，演算法之作者/所有者應提供：

- 演算法本身(例：可讀底稿格式)或可執行檔(DLL)。
- 演算法之輸入量清單。

- 輸出量清單。

有必要對所有輸入量之不確定度進行估算。若輸入量可以校正(例：光達傾斜角及滾轉角)，則應進行校正。若輸入量無法校正，則宜提供不確定度估算(例：範圍不確定度)。

校正殘差應視為光達應用中之附加不確定度項 u_{residual}。校正殘差定義為依據 7.7 計算之區間平均偏差(ΔV_{i})。若 LOS 速率依據校正結果修正，則殘差應估算為校正函數修正後之 $V_{\mathrm{LOS,i}}$ 與 $V_{\mathrm{ref,i}}$ (〝i〞表示校正區間索引)間之差。

9.2.2 其他 WFR 參數之不確定度 $u_{\mathrm{WFR,par}}$

若重建演算法包括輸入量外之參數，則演算法作者應指出此等參數，並提供其不確定度對最終值影響之估算。此類參數之一個例子是演算法中應用的參數。或若使用擬合優化水平風速之重建，則擬合過程產生之不確定度亦宜作為一個參數來處理。

9.3 與 WFR 演算法相關之不確定度 $u_{\mathrm{ope,lidar}}$

需要考慮由於不同 EVs 下，WFR 演算法性能變化而產生之水平風速量測不確定度。8.3 之目的在於提供考慮模型假設是否可接受標準，以便無需增加進一步之不確定度。若查證 8.3 中所述之條件，則該不確定度項為 0。

9.4 由於量測高度變化而產生之不確定度 $u_{\langle\Delta V\rangle,\,\mathrm{measHeight}}$

由於以下一種或二種機制，機艙光達之每一束光束或 LOS 均會偵測地面以上不同高度之風：

- 風力機機艙在風變化之推力及扭矩作用於轉子上，造成機艙傾斜及滾轉，使得光達光束上下傾斜或繞風力機轉子軸滾轉。
- 光達跟隨風力機機艙橫搖移動，若地形不是完全平坦或風力機塔稍微傾斜，則光達光束距地面之高度就會改變。

建議將量測高度變化(參照11.8)作為WFR演算法之一部分或在後期處理期間進行修正。在任何情況下，均應考慮量測高度之不確定度。

- 若 WFR 演算法提供 SMC 所需高度之最終變數輸出，則不確定度估算將作為從中間值到最終值之傳播一部分(9.2)。
- 若 WFR 未考慮實際量測高度，但在後處理中對量測高度進行修正(參照 11.8)，則應估算並記錄此修正而產生之殘差不確定度，參照 A.4 中之示例。
- 若在 WFR 或後處理中未對量測高度進行修正，則不確定度應估算為對重建水平速率之最大修正範圍(例：假設具保守風切指數之指數風切)除以$\sqrt{3}$。

9.5 光達量測不一致所導致之不確定度

依據 11.9，若在量測期間觀察到偏差，則應加上附加不確定度項。相應之不確定度評估應在報告中說明。

9.6 組合不確定度

上述 4 種(9.2.1、9.2.2、9.4、9.5[(2)])類型之不確定度可視為完全不相關，且應以平

方和開平方之方式相加。

註(2) 若對中間變數進行一致性檢驗，則相關之不確定度宜依據 9.2.1 透過 WFR 演算法傳播。

附錄 A 給出使用二個 LOS 之 WFR 水平風速不確定度估算示例。

10. 特定量測活動(SMC)之準備

10.1 程序概述

在量測活動開始之前，應準備好 SMC 之要求(例：IEC 61400-12-1:2017 關於功率性能量測之要求)及其對 NML 量測之影響。本節及圖 8 說明在此準備中需要考慮之最低要求。

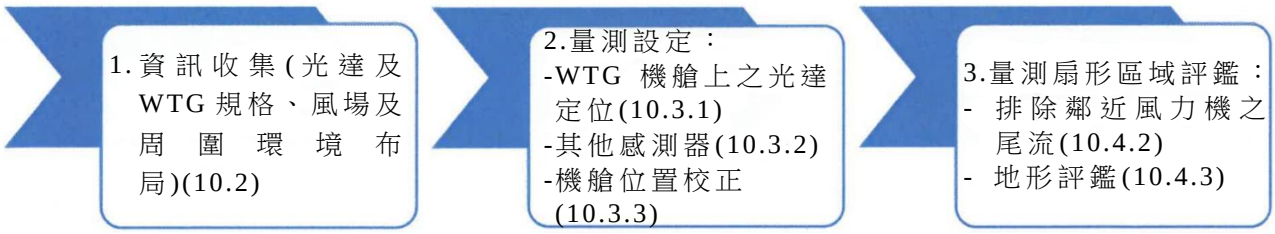


圖 8　程序流程圖

10.2 活動前檢查清單

建議在開始量測活動前準備一份活動前檢查清單。該清單宜涵蓋第 12 節(報告格式)要求之所有資訊，只要此等資訊可在活動開始前決定即可。

清單中包含之資訊至少宜包括(但不限於)：

- 文件要求(依據 6.2)。
- 光達校正證書(依據第 7 節)。
- 光達靈敏度分析報告(依據第 8 節)。
- 在 WTG 上安裝光達之相關資訊(參照 10.3.1)。
- 與靈敏度分析報告有關之軟體變更日誌。
- 若需要，量測活動期間要使用之附加感測器的說明及位置(參照 10.3.2)。
- 依據 10.4 評估量測扇形區域(排除尾流及障礙物、地形評鑑)。
- 量測方法之說明(遵循 SMC 之要求)。尤其宜特別注意光達資料及風力機資料之時間同步(參照 11.4)。

10.3 量測設定

10.3.1 光達安裝

光達應依據光達製造商之指導綱要進行安裝。機艙上或機艙內各種光達零件(例：光學頭及處理單元)之定位及固定宜遵循 WTG 製造商之建議。

建議在安裝日前至少考慮以下幾點：

- 光達位置應選擇與風力機上儀器彼此影響最小化之位置。建議確保光達

光學頭不會干擾機艙風速計及風向標。應遵守相對最小距離。此宜與 WTG 所有者及製造商一起定義。在量測活動期間可檢查風力機橫搖失準之變化(參照 11.2 及附錄 D)。

- 光達量測體積由機艙上之光達光學頭位置、光束軌跡或光束幾何及光達光學頭之傾斜角及滾轉角決定。需要以下之輸入(參照附錄 C)：
  - 光達光學頭至轉子中心之水平距離(基準水平距離)。
  - 光達光學頭至轉子中心之高度。
  - WTG 運轉及靜止期間，風力機機艙傾斜角及轉滾角(由於塔架彎曲)與風速間之關係。

  機艙尺度及風力機彎曲之資訊可由 WTG 製造商提供，亦可透過初始階段之量測進行估算。
- 光達光軸宜與轉子軸之水平投影對齊。實際上，此需要在機艙上定義一基準線。

進一步建議及示例參照附錄 C。

10.3.2 其他感測器

對於某些 SMC (例：功率性能量測及負載評鑑)，需要量測空氣密度。

在此情況下，空氣壓力及溫度感測器應成為量測設定之一部分。建議使用符合 IEC 61400-12-1:2017 之相對濕度感測器。

應以能確保遵循個別條件之方式選擇儀器位置。

空氣溫度及相對濕度(若量測)感測器應最小化因能量轉換過程產生之能耗或輻射熱之影響。為檢查此點，可將參考感測器放置於第二個位置。

空氣壓力感測器安裝位置應能確保感測器與大氣接觸。

感測器之安裝應符合 IEC 61400-12-2:2013 之 7.4 要求。

10.3.3 機艙位置校正

應校正機艙位置(橫搖角)，且應於整個量測活動期間監測校正之變化。校正應依據 WTG 操作手冊或依據試驗者之指示及程序進行。WTG 之運轉狀態及橫搖校正文件應依據 12.4 規定進行報告。

10.4 量測扇形區域

10.4.1 一般

應考量障礙物位置及地形情況以決定適當之量測扇形區域。

10.4.2 評鑑 WTGs 週邊及障礙物之影響

安裝光達之 WTG 及量測範圍內之光達光束不得受到相鄰 WTGs 或障礙物影響。決定顯著障礙物之準則(考慮其高度及與安裝光達之風力機的距離)與 IEC 61400-12-1:2017 附錄 A 相同。附錄 A 應受到限制，以使光達光束(在軌跡/幾何內之任何位置)不會受到鄰近風力機或障礙物尾流之影響(參照圖 9)。

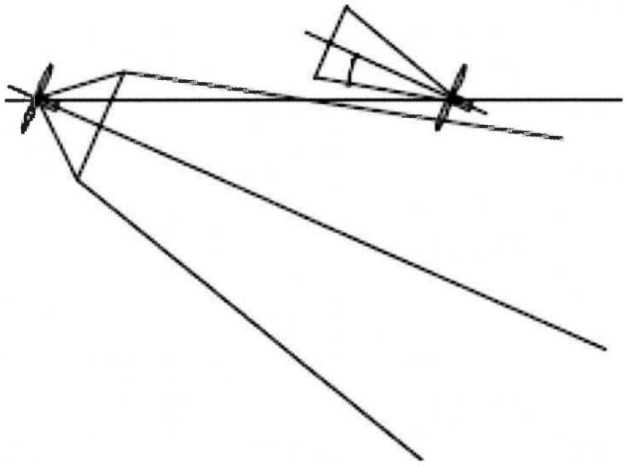


圖 9　評鑑 WTG 上游之 NML 光束及鄰近風力機尾流之平面簡圖

應依據 IEC 61400-12-1:2017 之 A.3 (表 A.1)評估障礙物，將 L 替換為 R_b：

$$R_b = R_{conf} / \cos(\beta_{max}/2) \tag{24}$$

式中，　R_{conf}　：量測範圍

β_{max}　：光束軌跡/幾何內，任二光束位置間之最大水平角度(在此處為全開角)

由於每一個鄰近之 WTG 或其他障礙物之尾流而需要排除的扇形區域，應以其安裝光達之 WTG 為中心。扇形區域之寬度由 β_{max} 及 θ_{wake} 間之最大值決定，由公式(25)、公式(26)或公式(27)定義(參照圖 10)：

- 若 $L_n - R_b > 2D_n$ 或 $L_e - R_b > 2D_e$ (若適當時)，則：

$$\theta_{wake}=1.3\tan^{-1}\left(2.5\frac{D_n}{L_n-R_b}+0.15\right)+10° \tag{25}$$

或

$$\theta_{wake}=1.3\tan^{-1}\left(2.5\frac{D_e}{L_e-R_b}+0.15\right)+10° \tag{26}$$

- 若 $L_n - R_b \le 2D_n$ 或 $L_e - R_b \le 2D_e$ (若適當時)，則：

$$\theta_{wake} = 1.3\tan^{-1}(1.4) + 10° = 80.8° \tag{27}$$

式中，　D_n　：鄰近風輪機之轉子直徑

D_e　：顯著障礙物之等效轉子直徑(障礙物沒有轉子，應為”等效”)

L_n　：至鄰近風力機塔架中心之距離

L_e　：至障礙物中心之距離

等效轉子直徑 D_e 應依據 IEC 61400-12-1:2017 的 A.4 之公式(A.1)進行評估。停止之 WTG 宜視為一個圓柱體，其寬度等於塔基直徑，高度等於上尖高度。圖 10 說明公式(25)至公式(27)。

此公式給出之扇形區域排除涵蓋鄰近風力機或障礙物之尾流對安裝光達的 WTG 及光達探測體積的影響。由於安裝在機艙上之光達是前視的，因此光達探測體積始終位於上游，而不會位於其安裝 WTG 之尾流中。

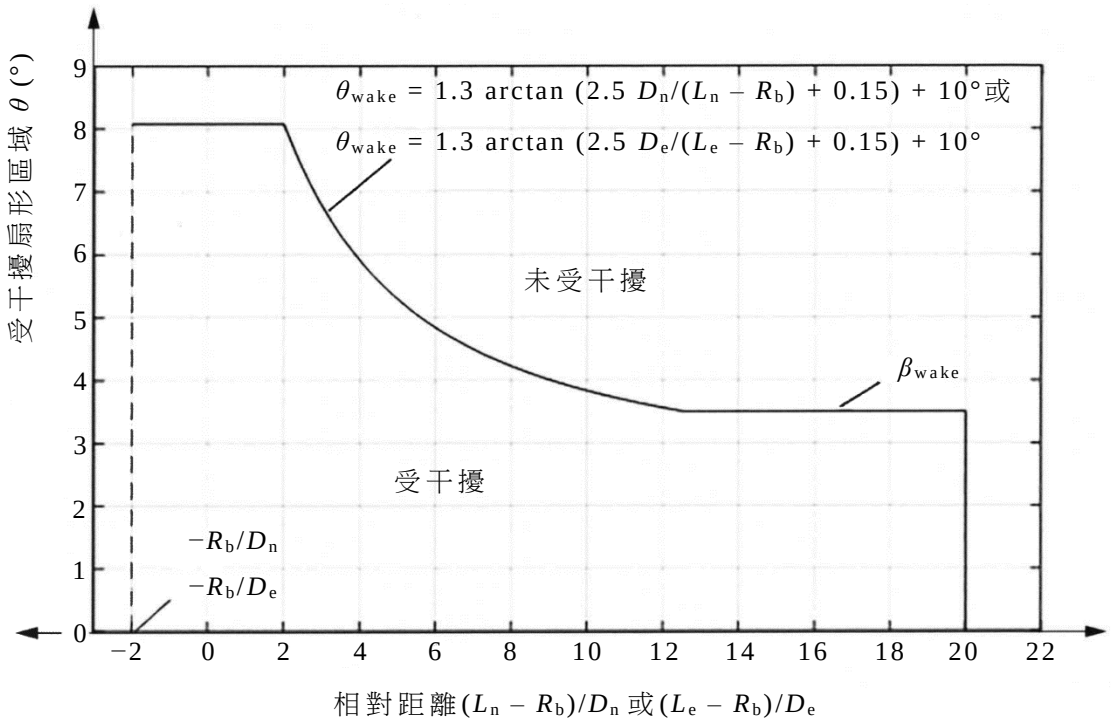


圖 10　因鄰近及運轉中之 WTGs 及顯著障礙物而應排除之扇形區域

此外：

- 任何相鄰運轉中之 WTG 與安裝光達之風力機間的距離應大於其轉子直徑 2 倍($L_n > 2D_n$)，任何顯著障礙物與安裝光達之風力機間的距離應大於 2 倍等效直徑($L_e > 2D_e$)。
- 光達量測體積與每一個相鄰風力機或障礙物間之最小距離應為 2 倍轉子直徑或 2 倍等效直徑(若適當時)。應依據探測體積之中心[(3)]進行評鑑，如下所示：

  在$-2D_n < L_n - R_b < 2D_n$或$-2D_e < L_e - R_b < 2D_e$之情況下，應排除之扇形區域應取θ_{wake}及$\theta_{induction}$中之最大者，後者應依據公式(28)或公式(29)計算。

  註[(3)] 注意光達以探測體積進行量測。此僅考慮探測體積中心之實際近似值。依據 11.3 規定，應對 SMC 期間量測之資料進行一致性分析，以確認所得之量測扇形區域，並在需要時減少。

$$\theta_{induction}=\beta_{max}+2\cos^{-1}\left[\frac{R_b^2+L_n^2-(2D_n)^2}{2R_bL_n}\right] \tag{28}$$

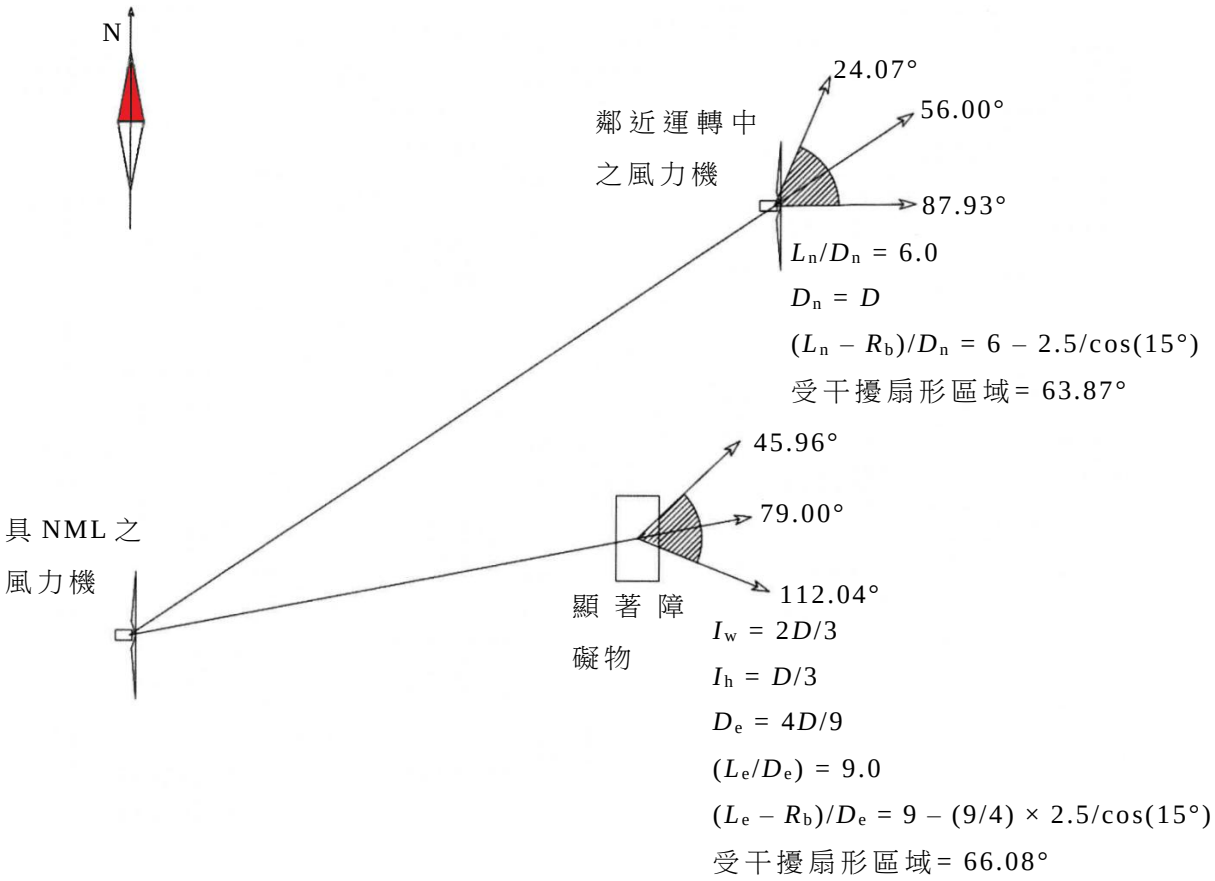
或

$$\theta_{\text{induction}}=\beta_{\max}+2\cos^{-1}\left[\frac{R_b^2+L_e^2-(2D_e)^2}{2R_b\times L_e}\right] \quad (29)$$

公式(25)至公式(29)假設安裝光達之風力機不會出現橫搖誤差，或該誤差在量測活動開始前已修正。

透過比較光達光束受干擾方向與鄰近障礙物及風力機方向，可在量測扇形區域(11.3)之一致性檢查期間實現風力機橫搖失準的一致性檢查。

圖 11 顯示一個鄰近風力機及另一個障礙物之量測扇形區域計算示例。



備考：在此示例中，需排除之總扇形區域為24.07°至112.04°。

圖 11　因鄰近風力機尾流及顯著障礙物而需排除之扇形區域示例

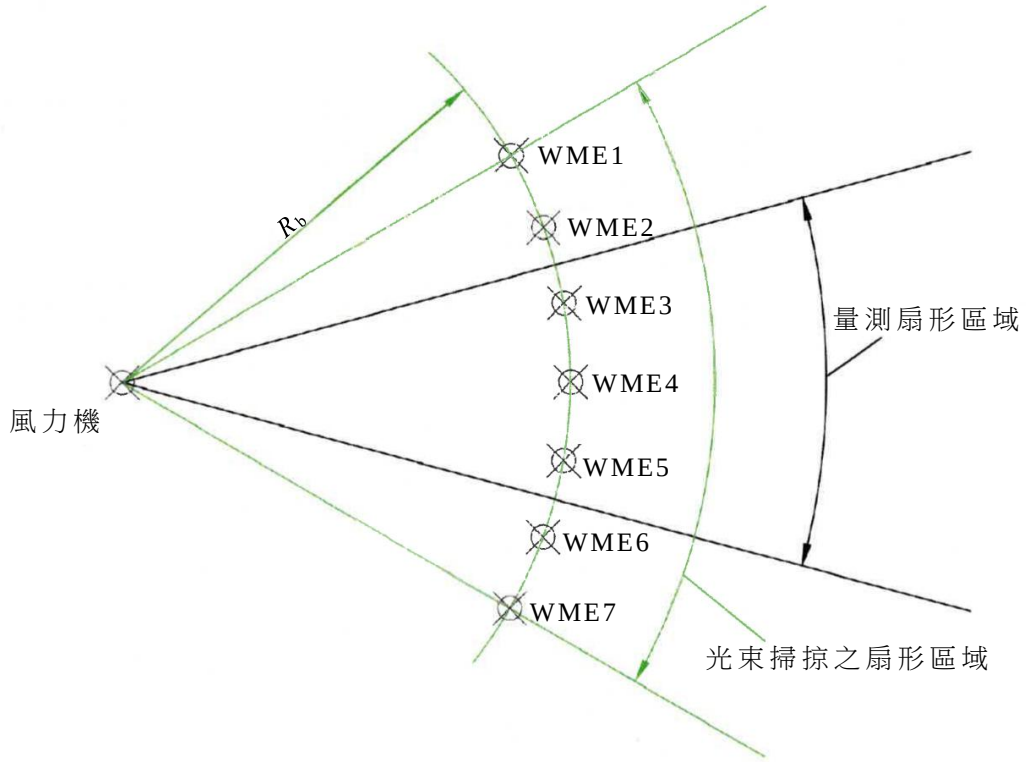
10.4.3 地形評鑑

地形海拔評鑑應依據 IEC 61400-12-1:2017 附錄 B 進行，並修改如下述且遵循之：

- 應考慮二個最大水平分離之 LOS 探測體積中心的位置，以取代 WME。此每一個探測體積均假設為一個一維段(即垂直於 LOS 探測體積之尺度假設可忽略不計)。
- 對於 NML，〝被測 WTG 與量測設備間之距離〞近似為 R_b，參照公式(24)

所定義。

- 應使用 IEC 61400-12-1:2017 表 B.1 評估安裝光達之 WTG 周圍環境及探測體積周圍環境。
- 探測體積隨著機艙橫搖運動而不斷地移動。因此，應針對量測扇形區域內各種可能之位置對探測體積周圍環境進行評鑑，如下所示：
  - 在量測扇形區域內量測時，光達光束掃過之全方向扇形區域(包括其末端)應離散 10°。
  - 對於可能之光束方向的每 10°樣本，應使用 IEC 61400-12-1:2017 表 B.1 及光達量測範圍 R_b，參照圖 12。



備考：IEC 61400-12-1:2017表B.1，以點WME1至WME7為中心進行評鑑。

圖 12　全方向扇形區域離散之示例

- 若對於給定之量測扇形區域，地形不完全符合 IEC 61400-12-1:2017 表 B.1 對 WTG 或 WME 位置之要求，則該地形定義為〝複雜地形〞，至少對於此量測扇形區域而言是如此，且本標準不適用。但允許縮小扇形區域以達到符合 IEC 61400-12-1:2017 表 B.1 中所有準則之情況。
- 應記錄在量測扇形區域(圖 12 示例中從點 WME1 到 WME7 之弧線)量測風時，光達光束掃掠之扇形區域內距離 R_b 處的地形海拔剖面。若沿著該弧線之海拔變化超出使用案例給出之限制或導致違反 WFR 假設時，則應減

少量測扇形區域或依據 11.8 進行修正。

11. 量測程序

11.1 一般

量測程序之目標是定義一套明確準則，以確保機艙光達收集之量測資料是準確的、可重複且可重現。

11.2 WTG 運轉

整個量測活動期間 WTG 之運轉模式應依據 SMC 要求決定，且機器組態不得改變。

橫搖系統應正常運轉，機艙位置應依據 10.3.3 進行校正。

在整個量測期間，應進行 WTG 之正常維護，但此類工作應在試驗日誌中記錄。應避免任何可能影響機艙光達風速量測或風力機響應之維護。

需要檢查機艙光達之安裝不會影響 WTG 之運轉性能(例：導致橫搖誤差)。附錄 D 說明調查潛在影響之方法及如何記錄此等影響。此等方法亦可用作 WTG 橫搖訊號之健全性檢查。

建議定期檢查安裝光達機艙蓋之狀況及傾斜角度，以檢測機艙蓋是否可能出現劣化(因為機艙蓋之設計可能未考慮到光達裝置)。

11.3 有效量測扇形區域之一致性檢查

需要檢查，對於依據 10.4 定義之量測扇形區域，光達光束/LOSs 不會受到鄰近風力機或障礙物尾流之干擾。此可偵測到

- 以光達估算之相對風向的突然變化(參照圖 13)。或
- LOS 擾流強度(定義為 LOS 速率 10 min 標準差與 LOS 速率 10 min 平均之比)在不同 LOS 方向之差異隨橫搖方向發生突然變化(參照圖 14)。

若偵測到其中一條光束受到尾流干擾，則應透過移除額外觀察到之受干擾扇形區域減少可用的量測扇形區域，並在該受干擾扇形區域之二端額外加上 5°。

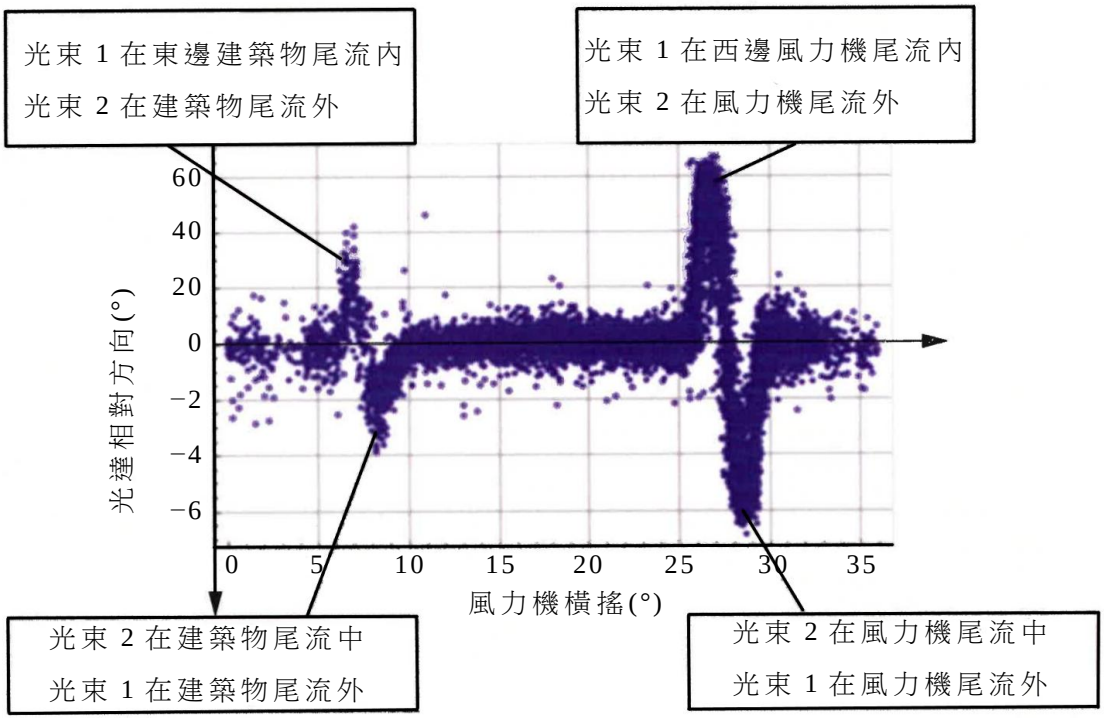
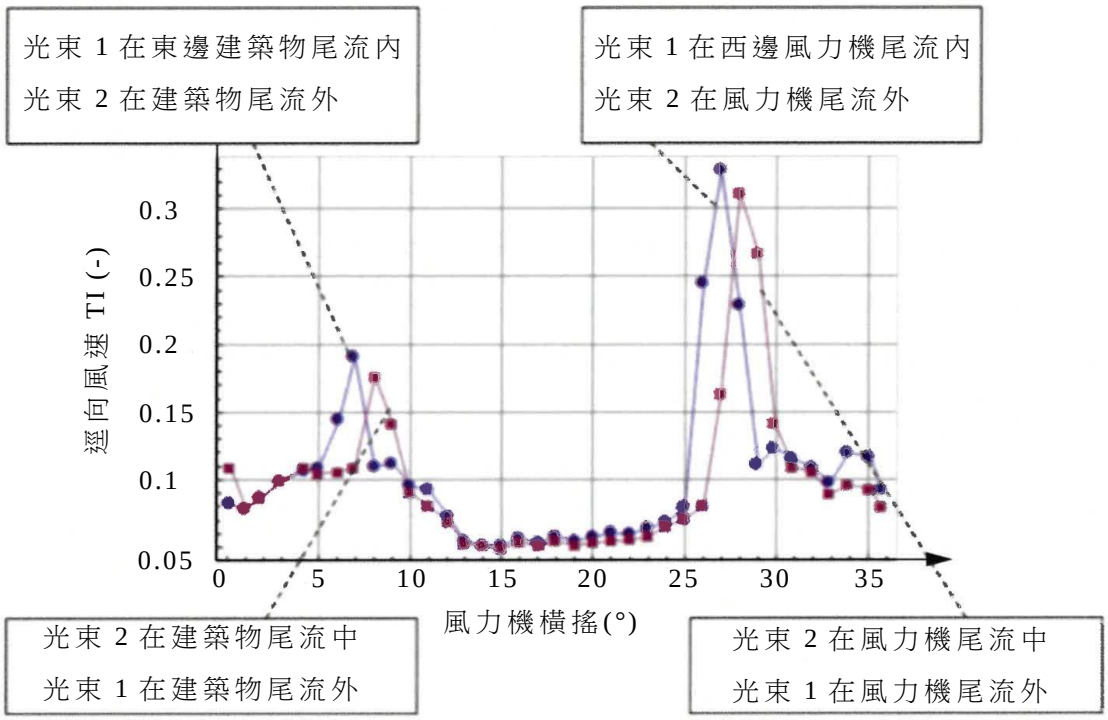


圖 13　二光束機艙光達之光達相對風向與風力機橫搖的關係圖[Wagner R, 2013]



備考：每個點/方塊對應於一個區間平均值，例：區間寬度為10°，但亦可套用5°區間寬度。藍點：光束1，紫色方塊：光束2 [Wagner R, 2013]。

圖 14　二光束機艙光達之 LOS 擾流強度與風力機橫搖的關係圖示例

11.4 資料收集

應依據光達製造商使用說明之採樣率連續收集資料。葉片通過(blade-passing)對有效量測之採樣率產生影響。樣本之效度應遵循光達製造商的使用說明。應記錄每一筆紀錄收集多少個有效量測樣本。由於轉子速率會影響每一個記錄之有效樣本數，因此需要繪製每一個記錄之樣本數與風速或轉子速率的關係圖。此外，建議記錄有效量測點在每一個 10 min 統計值中隨時間分布之情況。

機艙光達資料擷取系統應儲存：

- 取樣資料，或
- 10 min 內有效資料及資料恢復或有效資料指標之統計(平均、標準差、最大及最小)。

通常需要整合來自個別資料擷取系統之資料(例：通常需要但可能無法直接量測之風向或橫搖位置的風力機訊號)。在此等情況下，機艙光達資料擷取系統時鐘應與其餘資料擷取系統同步在 1 %以內，或在收集 10 min 時段資料情況下同步在 6 s 以內。在整個量測活動期間應檢查並保持此同步。

資料可能由中間值(即 LOS 速率)及/或最終值(即水平風速)組成。基於 SMC 需求，可能亦需要進一步之資料。所選資料組應基於 10 min 時段。

11.5 資料剔除

資料剔除準則應遵循 SMC 要求。一般原則為在下列情況下，宜將資料組從資料庫中排除：

- WTG 未處於 SMC 希望之運轉模式。
- 量測設備失效或性能下降。
- 風向位於 10.4 定義之量測扇形區域之外。
- 光達資料可用性低於閾值(例：由於葉片通過或大氣條件)，無法對 10 min 時段進行充分特性化。

上述最後一點中，可用性可能至少受到量測距離、光達類型及光達在機艙上位置所限制。目前，尚無關於固定可用性值之明確指導綱要。相反，其應由使用者定義，以確保在特定組態及應用具足夠資料可用性。

所有剔除準則均應清楚地報告。若可能，宜對每一個過濾器執行靈敏度分析，以決定量測結果是否有任何影響或偏差。例：若機艙光達為每一個紀錄提供訊號可用性值，則宜調整用於過濾訊號可用性之閾值，以決定是否使用特定閾值對風速引入任何偏差。

11.6 資料庫

資料庫要求應遵循 SMC 要求(例：IEC 61400-12-1:2017 功率性能量測)。

11.7 WFR 演算法之應用

重建演算法宜應用於 LOS 速率 10 min 平均[4]。

註[4] 在某些機艙光達組態(例：簡單之二光束組態)中，嘗試依據瞬時重建風速

(純量平均)計算平均速率將導致誤差，因為掃描位置間之任何速率差異均會導致光達明顯超速。在光達光束掃描速率為 1/s 之數量級時，在任何擾流中，光束掃描位置間總是會存在明顯之速率差異(相隔 100 m 之數量級距離)。隨著擾流強度增加，此影響所導致之誤差會變得非常顯著(百分比之數量級)。相反，建議依據 LOS 速率之 10 min 平均值重建水平風速。當對此一較長之時間時段進行平均時，更合理的假設是，感測到之平均風速是相同的，且不會發生固有之超速現象。

建議盡可能多地記錄有關機艙橫搖位置之資訊。此資訊可包括 10 min 平均橫搖位置、橫搖位置之標準差及橫搖馬達活動(5)。

註(5) 對於記錄向量平均之機艙光達，平均時段內之恆定橫搖失準不會影響平均風速。同樣，平均橫搖失準(風力機橫搖及風向間之差異)不會影響向量平均風速。然而，假設風速大小恆定，風向在平均值附近之擾動，理論上會導致對向量平均值之低估。誤差量取決於擾動幅度及其持續時間。最糟之情況是平均時段中途風力機失準出現階躍變化(例：風向改變但風力機橫搖延遲)。簡單之計算顯示，對於 10 min 平均時段中途發生 10°橫搖位置階躍變化，報告之向量平均值將比正確值低 0.4 %。因此建議盡可能多地記錄有關機艙橫搖位置之資訊。

11.8 量測高度變化

在量測期間中，需要考慮機艙光達光束與地面或海平面之高度變化。無論地形如何，光達均會隨著機艙移動，對轉子之推力做出反應，此會導致量測高度變化。修正海拔變化可作為 WFR 過程之一部分，亦可應用於後過程。應記錄如何量化及解釋地形變化及機艙移動。

- 若在整個量測扇形區域內，風力機位置及量測位置間存在恆定之高度差，則依據 10.4 在設定機艙光達傾斜度時應考慮該高度差。
- 若量測扇形區域內之地形海拔差異超出使用案例給出之限制時，則宜直接在 WFR 演算法中或依據 10 min 平均重建風速修正風速誤差。應記錄修正方法，並應依據 9.4 加上附加不確定度項。若在量測扇形區域之一部分符合使用案例要求時，則可調整量測扇形區域以符合量測高度之要求，亦參照 10.4。
- 與地形變化類似，由於光達傾斜超過使用案例限制而導致之量測高度變化，應直接在 WFR 中或在重建風速中進行修正。應記錄修正方法，並應依據 9.4 加上附加不確定度項。

在任何情況下，均應在整個量測活動期間監測光達傾斜角，並至少報告每一個 10°方向區間及 0.5 m/s 水平風速區間之平均值。

11.9 光達量測監測

應評鑑及確證整個量測期間光達風速量測之一致性。若在量測期間觀察到偏差，則應加上附加不確定度項。報告中應說明監測方法及相應之不確定度評鑑。作為

監測之替代方案，可對光達進行後校正，並依據 SMC 之準確度要求與預校正進行比較。

12. 報告格式－特定於機艙光達之相關圖表

12.1 一般

報告應滿足 SMC 之要求(例：對於功率性能測試，報告應滿足 IEC 61400-12-1:2017 第 10 節之要求)及 12.2 至 12.7 中列出之機艙光達特定資訊。任何與本標準所述程序不同之情況均應報告。

12.2 特定量測活動場地說明

(a) WTG 坐標(包括基準系統及基準。例：UTM、WGS 84)。

(b) 扇形區域限制風力機及障礙物之坐標。

(c) 依據 10.4 選定之量測扇形區域，並依據 11.3 查證預期不受其他風力機或障礙物影響。

(d) 離岸：平均潮汐及浪高、場地正常海平面之定義。

(e) 陸上：

- 依據 10.4.3 進行之地形評鑑結果。
- 地形資料庫及解析度。
- 沿半徑等於光達量測範圍 R_b 之弧線的地形高度(參照 10.4.3)。

12.3 機艙光達資訊

(a) 機艙光達型號、序號、操作軟體版本。

(b) 機艙光達之光束數量及掃描模式之幾何說明(包括相關角度)。

(c) 安裝在機艙上之光達的所有設定細節，包括在機艙之位置、操作軟體之組態、量測範圍、傾斜角及滾轉角及其監測。

(d) 參考 7.8 中之校正報告。

(e) 參考中間值之靈敏度分析結果(8.2)，並參考依據 8.4 支持採用 WFR 中可忽略之不確定度貢獻的證據基礎。

(f) 光達報告之擾流強度與杯型風速計量測之擾流強度(TI)間之關係。

(g) 光達風速量測一致性之評估結果及所採用方法之說明(參照 11.9)。

12.4 WTG 資訊

除 SMC 報告要求另有規定外，應報告有關 WTG 之下列資訊。

(a) 品牌、型號、生產年份。

(b) 輪轂高度及用來決定輪轂高度之高度基準。

(c) 轉子直徑。

(d) 風力機控制(即俯仰或失速控制)及轉子轉速作為水平風速之函數。

(e) 整個風速範圍，推力負載作用下之動態傾斜角。

(f) 橫搖訊號之定義(範圍、轉數、代數符號、北偏移度數及查證方法)。

(g) 橫搖訊號校正報告(參照 10.3.3)。

(h) 時間戳基準之定義。

(i) 提供狀態訊號之定義。

(j) 依據 11.2 檢查機艙光達之安裝不會影響 WTG 運轉性能(例：引入橫搖誤差)。

12.5 資料庫

(a) 量測期間。

(b) 量測期間之系統可用性。

(c) 變更日誌

- 光達之改變。
- 風力機之改變。
- 進行之服務/定期維護與觀察。

(d) 記錄不同資料獲取系統(如風力機訊號或 SCADA 及安裝在機艙之光達)間之同步情況，包括同步方法及整個活動之監控(參照 11.4)。

(e) 資料分析說明，包括：

- 關於光達樣本效度之資訊(參照 11.4)：
  (1) 用來決定樣本效度之準則。
  (2) 繪製每一個記錄有效樣本數與風速之關係圖。亦建議繪製與轉子速率之關係圖。
  (3) 建議記錄有效樣本在每一個 10 min 統計值中隨時間分布之情況。
- 應清楚報告所有資料剔除準則(參照 11.5)。應報告刪除資料組之總數。可選地，亦可報告透過應用過濾器單獨或累積刪除之資料組數量。

(f) 依據量測 LOS 速率計算水平風速及相對風向之方法的一般性說明(WFR 方法)。

(g) 過濾後之環境條件(依據 8.2 識別之不可忽略變數)。

(h) 說明用於評鑑光達量測一致性之監測方法(11.9)，若觀察到之不一致性導致額外的不確定度，則說明與該方法相關之不確定度計算。

12.6 圖

(a) 光達傾斜角與水平風速關係之散布圖(包括平均、標準差、最小及最大)。

(b) 光達滾轉角與水平風速關係之散布圖(包括平均、標準差、最小及最大)。

(c) 若相關，WFR 高度與所需量測高度之偏差散布圖，作為水平風速之函數(包括平均、標準差、最小及最大)。

12.7 不確定度

應報告光達最終變數之詳細不確定度評鑑(依據第 9 節)，參照附錄 A 中之示例。

附錄 A
(參考)
二視線 WFR 重建參數之不確定度計算示例

A.1 示例介紹

本附錄介紹採用基於二個 LOS 風速量測之 WFR 方法的光達不確定度分析。此 WFR 是固定光束幾何光達之典型應用，但亦用於其他類型之掃描光達。然而，在後一種情況下，亦須考慮動態定位不確定度，於此不再贅述。

在此示例中，假設光達在部署前已經依據第 7 節進行校正，且二個 LOS 已使用相同之參考儀器(水平風速之杯型風速計及風向之風向標)相繼進行校正。

下面的角括號中表示 10 min 時間序列之平均，橫線表示代表 10 min 平均但非依據高頻資料計算所得平均之變數。2-LOS 之 WFR 方法計算水平風速的公式為

$$\overline{V_{\mathrm{x}}}=\frac{V_{\mathrm{L}}+V_{\mathrm{R}}}{2\cos(\beta/2)\cos(\tau)} \tag{A.1}$$

$$\overline{V_{\mathrm{y}}}=\frac{V_{\mathrm{L}}-V_{\mathrm{R}}}{2\sin(\beta/2)\cos(\rho)} \tag{A.2}$$

水平風速$\overline{V}_{2\mathrm{LOS}}$為縱向及橫向風速分量之平方和開平方。

$$\overline{V}_{2\mathrm{LOS}}=\sqrt{\overline{V_{\mathrm{x}}}^2+\overline{V_{\mathrm{y}}}^2} \tag{A.3}$$

相對風向 $\theta_{2\mathrm{LOS}}$ 為縱向及橫向風速分量之二參數反正切。

$$\overline{\theta}_{2\mathrm{LOS}}=\mathrm{atan2}(\overline{V_{\mathrm{y}}};\overline{V_{\mathrm{x}}}) \quad ? \quad \overline{\theta}_{2\mathrm{LOS}}=\tan^{-1}2(\frac{\overline{V_y}}{\overline{V_x}}) \tag{A.4}$$

此等變數表示下列量：

V_x：縱向風速分量。

V_y：橫向風速分量。

V_{L}：從光達後面看之左 LOS 的 LOS 速率。

V_{R}：右側 LOS 視線之 LOS 速率。

β：二 LOS 間之角度。

τ：傾斜角。

ρ：滾轉角。

A.2 透過 WFR 演算法之傳播不確定度

在此情況下，WFR 演算法是具分析性的及明確的，因此可應用 GUM 方法。依據 GUM，組合不確定度之一般公式為：

$$U_c^2=\sum_{i=1}^{K}\left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 U_i^2+2\sum_{i=1}^{K-2}\sum_{j=i+1}^{K} r_{i,j}\left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)\left(\frac{\partial f}{\partial x_j}\right)U_i U_j \qquad (A.5)$$

式中， $f(x_1, x_2, \ldots x_N)$ ：組合因變數 x_i 之函數

U_i ：組合因變數 x_i 之不確定度

此種形式允許不確定度項之間存在非零相關性，以 $r_{i,j}$ 表示。在此示例中，此等項很重要，因為左側 LOS 上之許多不確定度項與右側 LOS 上之相應項相關。

在此示例中，水平風速近似為風向量之縱向分量，而橫向分量被忽略，此相當於零橫搖誤差。因此 f 由下列公式給出：

$$f(V_L,V_R,\beta,\tau)=\overline{V_x}=\frac{V_L+V_R}{2\cos(\beta/2)\cos(\tau)} \qquad (A.6)$$

半開角 $\beta/2$ 及傾斜角之不確定度可忽略不計，因其比 LOS 速率不確定度之不確定度低幾個數量級。公式不包括任何可能具自身不確定度之參數($u_{WFR,par}=0$)。

因此，組合不確定度僅取決於沿著二個 LOS 速率量測不確定度中包含之項。不同之不確定度項視為完全相關($r_{i,j}=1$)或不相關的($r_{i,j}=0$)。此外，相關不確定度項對於二個 LOS 視為具相同值，而不相關項對於每個 LOS 可能具不同之值。表 A.1 給出每一個不確定度項之解釋。

基於此等考慮，每一個 LOS 的不確定度可分解為不相關及完全相關之不確定度項。

$$u_L^2=\sum_{i=1}^{M} U_{L,i}^2+\sum_{j=1}^{N} C_j^2 \qquad (A.7)$$

及

$$u_R^2=\sum_{i=1}^{M} U_{R,i}^2+\sum_{j=1}^{N} C_j^2 \qquad (A.8)$$

式中，不確定度分量 $U_{L,i}$ 及 $U_{R,i}$ 在 LOS 之間不相關且不相等，而不確定度項 C_j 在 LOS 之間相關且假定相等。索引〝L〞及〝R〞表示左、右 LOS。注意在一個光束內，沒有任何項是相關的。

重建風速 $u_{V,WFR}$ 之組合不確定度為

$$u_{V,WFR}^2=\left[\frac{1}{2\cos\left(\beta/2\right)\cos\tau}\right]^2\left[\sum_{i=1}^{M}(U_{L,i}^2+U_{R,i}^2)+4\sum_{j=1}^{N} C_j^2\right] \qquad (A.9)$$

從此公式中，可看出辨識相關項之不確定度項重要性，因為與不相關項相比，其權重是不相關項之 2 倍。因此，重要的是對校正不確定度預算中之相關項及不相關項及中間值對 EV 之靈敏度進行分別求和，以便能夠正確地組合它們。同樣重要的是，使用已應用之正確靈敏度係數進行求和，以便所有不確定度項均與 LOS 速率成比例。

表 A.1　本示例中不同 LOS 間之不確定度成分及其相關性

(A.9)公式中之符號	不確定度項	LOSs 間之不確定度相關性	解釋
C_1	校正不確定度 u_{cal}	1	基準杯型風速計之不確定度－假設完全相關，因為同一個杯型風速計用於校正二個 LOS 速率。
C_2	選擇性特性 u_{ope}	1	
C_3	安裝 u_{mast}	1	
C_4	資料擷取 u_{daq}	1	
C_5	場地效應 u_{terr}	1	由於基準地點效應而產生之不確定度－假設完全相關，因為二個 LOS 均在同一位置進行校正。
$U_{L,1}$；$U_{R,1}$	高度誤差 u_{vert_pos}	0	由於光束高度相對於基準儀器高度而產生之不確定度－假設為不相關，因其特定於每一個 LOS 校正。
C_6	量測範圍 u_{inc}	1	由於基準量測範圍造成之不確定度－假設完全相關，因在二個 LOS 之校正期間中範圍組態一直保持不變。
C_7	基準風向感測器 u_{θ}	1	由於基準風向標造成之不確定度－假設完全相關，因同一個風向標用於二個 LOS 速率校正。
$U_{L,2}$；$U_{R,2}$	LOS 之決定 $u_{\theta_{los}}$	0	LOS 之不確定度特定於每一個 LOS 校正－特別於此，因為假設它們已經接續進行校正，且光達光學頭必須在二個 LOS 校正之間移動。
$U_{L,3}$；$U_{R,3}$	投影誤差 u_{φ}	0	光束仰角之不確定度特定於每一個 LOS 校正－特別於此，因為假設它們已經接續進行校正，並且光達光學頭必須在二個 LOS 校正之間移動。
$U_{L,4}$；$U_{R,4}$	來自校正應用之殘差 $u_{residual}$	0	校正函數是針對每一個光束校正個別決定的。
備考：若使用不同之校正設定(例：若使用二組不同之基準儀器同時校正二個 LOS)，則此表格可能會有所不同。			

備考：校正產生之不確定度是 LOS 速率函數，需要將其轉換為水平風速函數。

A.3 光達及 WFR 演算法之操作不確定度

假設本示例中之光達類型符合 8.3 所有準則，以證明忽略由於環境對 WFR 影響而對量測不確定度之貢獻($u_{ope,lidar} = 0$)。

A.4 量測高度變化對不確定度之貢獻

依據 11.8，需要考慮量測期間機艙光達光束離地面或海平面之高度變化，並估算相關之不確定度。在此示例中，WFR 演算法[公式(A.1)至公式(A.4)]未考慮量測高度變化(即假設二個 LOS 在同一高度量測，與風力機機艙傾斜或橫搖變化無關)。因此，必須在後期處理中估算不確定度。

假設任何時候 LOS 之間無高度差，則重建之水平風速 V_{m} 的每 10 min 值可縮放至所需之量測高度(例：輪轂高度)，假設指數風切剖面 $V_{\mathrm{H}}=V_{\mathrm{m}}(\frac{z_{\mathrm{H}}}{z_{\mathrm{m}}})^{\alpha}$ 給予潛在之修正

$$\Delta V_{\mathrm{hor}}=V_{\mathrm{H}}-V_{\mathrm{m}}=V_{\mathrm{m}}\left[(\frac{z_{\mathrm{H}}}{z_{\mathrm{m}}})^{\alpha}-1\right] \quad \text{(A.10)}$$

式中， z_{H} ：希望之量測高度

z_{m} ：實際量測高度

若可用，宜從量測中取得風切指數 α，否則可假設一個對於地形而言是合理之常數，例：對於離岸應用，α= 0.1。

- 若水平風速未依據高度進行修正，則不確定度宜依據可能修正之最大範圍計算之，即使用公式(A.10)中之風切指數保守估算：

$$u_{\Delta V,\mathrm{measHeight}}=\frac{\Delta V_{\mathrm{hor}}}{\sqrt{3}} \quad \text{(A.11)}$$

- 若水平風速依據高度進行修正，則修正之殘餘不確定度可依據 GUM 對(A.10)中之 ΔV，對切變、量測高度及測得的風速進行微分而獲得。

$$u^2_{\Delta V,\mathrm{measHeight}}=\left[V_{\mathrm{H}}\ln(\frac{z_{\mathrm{H}}}{z_{\mathrm{m}}})u_{\alpha}\right]^2+\left[V_{\mathrm{H}}\frac{(-\alpha)}{z_{\mathrm{m}}}u_{z_{\mathrm{m}}}\right]^2+\left\{\left[(\frac{z_{\mathrm{H}}}{z_{\mathrm{m}}})^{\alpha}-1\right]u_{V_{\mathrm{m}}}\right\}^2 \quad \text{(A.12)}$$

式中， u_{α} ：風切之不確定度

$u_{z_{\mathrm{m}}}$ ：實際量測高度之不確定度

$u_{V_{\mathrm{m}}}$ ：實測風之不確定度速率($u_{V_{\mathrm{m}}}$ = $u_{\mathrm{V,WFR}}$)

例： 在典型應用中，可能會有 z_{H} =100 m、z_{m} =98 m、α=0.1 及 V_{m} =10 m/s，此會在量測結果經過修正後，由於量測高度變化而產生 $u^2_{V,\mathrm{measHeight}}=(0.2\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}u_{\alpha})^2+(0.01\frac{1}{\mathrm{s}}u_{z_{\mathrm{m}}})^2+(0.002u_{V_{\mathrm{m}}})^2$ 之殘餘不確定度。

量測高度 $u_{z_{\mathrm{m}}}$ 之不確定度可追溯至傾斜角量測之不確定度 u_{τ}。

$$u_{z_{\mathrm{m}}}=u_{\tau}R_{\mathrm{conf}}/(\cos\tau)^2 \quad \text{(A.13)}$$

式中，R_{conf}：量測範圍

由於光達光學頭滾轉引起之不確定度比由於傾斜引起之不確定度小幾個數量級。因此，此不確定度項可忽略不計。

A.5 風速一致性檢查

在此示例中，假設依據 11.9 對光達風速量測進行之一致性檢查，在量測期間未出現任何偏差，且無需增加不確定度。

A.6 組合不確定度

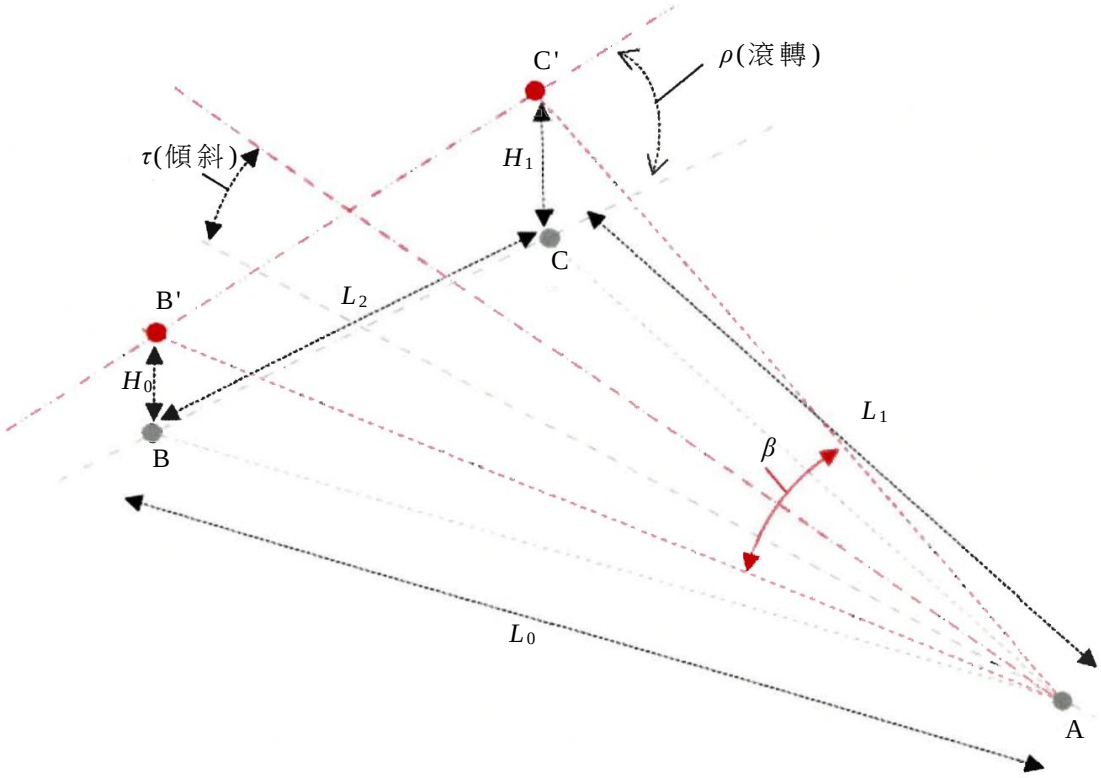
將所有項放在一起，本例重建水平風速之不確定度為：

$$u_{\mathrm{HWS}}^2 = u_{V,\mathrm{WFR}}^2 + u_{\Delta V,\mathrm{measHeight}}^2 \qquad \text{(A.14)}$$

附錄 B
(參考)
傾斜角及滾轉角量測之建議方法

以下程序同時提供傾斜儀之校正及二光束間之開角值[(6)]。圖 B.1 顯示二光達光束在水平面上精確調平之幾何(灰色點 ABC)，及在傾斜位移 τ 及滾轉位移 ρ 後之幾何(紅色點 A'B'C')。點 A 是光束之起點(在光達望遠鏡處)，點 B 是距離 L_0 處光束 0 之偵測位置，點 C 是距離 L_1 處光束 1 之偵測位置。二偵測光束位置 B 及 C 間之水平距離為 L_2。光達光束之(全)開角為 β。由於傾斜(角度 τ)及滾轉(角度 ρ)，光束 0 及光束 1 之位置分別提高高度 H_0 及 H_1。

註[(6)] 對於某些類型之光達，可使用與傾斜儀校正相同之試驗及量測設定，以決定 LOS 間之角度。在其他情況下，需要進行個別試驗。



說明

A：光束起點

B及C：光束0及光束1之偵測位置

圖 B.1　相對於參考位置(灰色)顯示之傾斜及滾轉的光達光束對(紅色)

由於傾斜及滾轉位移預計相對較小(出於實際原因)，CC'及 BB'近似於 ABC 平面垂直。然後，傾斜位移及滾轉位移由下式給出：

$$\tau = \operatorname{atan}\left[\frac{\frac{H_0}{L_0}+\frac{H_1}{L_1}}{2\cos(\frac{\beta}{2})}\right] \tag{B.1}$$

$$\rho = \operatorname{atan}\left[\frac{\frac{H_1}{L_1}-\frac{H_0}{L_0}}{2\sin(\frac{\beta}{2})}\right] \tag{B.2}$$

對於僅由二水平光束組成之光達幾何，實測之傾斜角及滾轉角為：

$$\tau_{measured} = \tau \tag{B.3}$$

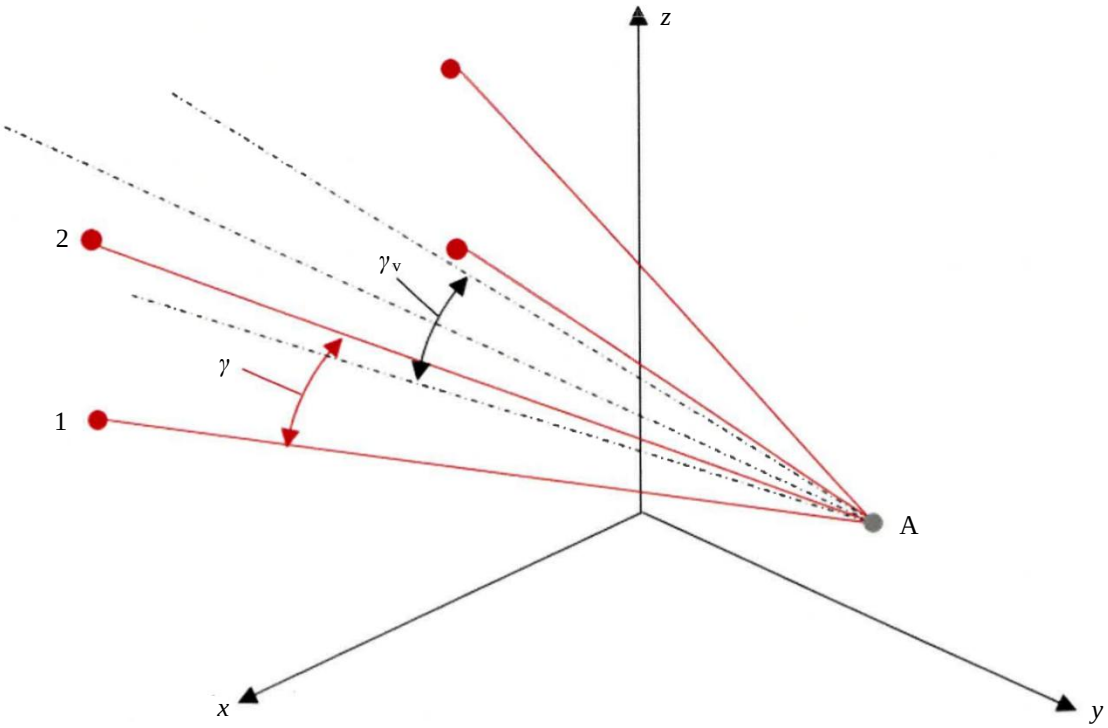
$$\rho_{measured} = \rho \tag{B.4}$$

對於由二個下光束及二個上光束組成、具垂直及水平對稱平面之光達幾何結構，實測之傾斜角及滾轉角為：

$$\tau_{measured} = \tau + \gamma_v /2 \tag{B.5}$$

$$\rho_{measured} = \rho \tag{B.6}$$

式中 γ_v 為 γ (二個光束關於水平面對稱之開角)在光達垂直對稱平面上之投影，參照圖 B.2。



備考：γ_v為LOS1及LOS2間之開角(γ)在YZ平面之投影。

圖 B.2　相對於水平面對稱之二光束間開角(γ)及其在光達垂直對稱平面上之投影(γ_v)

透過偵測掃描模式之二個不同方位角位置之光束，該程式亦可適應固定幾何之掃描光達。

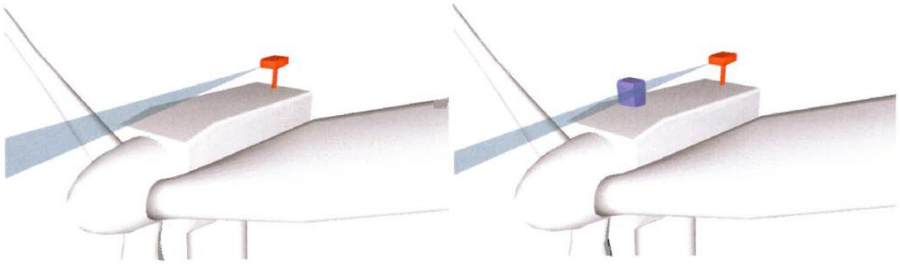
附錄 C
(參考)
在機艙上安裝光達之建議

C.1 光達光學頭在機艙上之定位

建議在安裝日前考慮遵循下述步驟，以決定光達光學頭及處理設備(若光達在機艙外部及內部各有獨立之處理設備)之安裝位置。

宜選擇光達盡量減少相對於風力機上儀器相互影響之位置。以下提供避免此類干擾之非詳盡建議清單：

- 為避免對光達造成干擾，建議以下述方式安裝光達：
  - 盡可能居中，以避免軌跡/幾何左側及右側光束可用性之差異。
  - 確保用於 WFR 之所有 LOS 均無障礙物(無法避免之葉片通過除外)，參照圖 C.1 及圖 C.2。



(a) (b)

圖 C.1　二光束光達之(a)良好位置及(b)不良位置示例

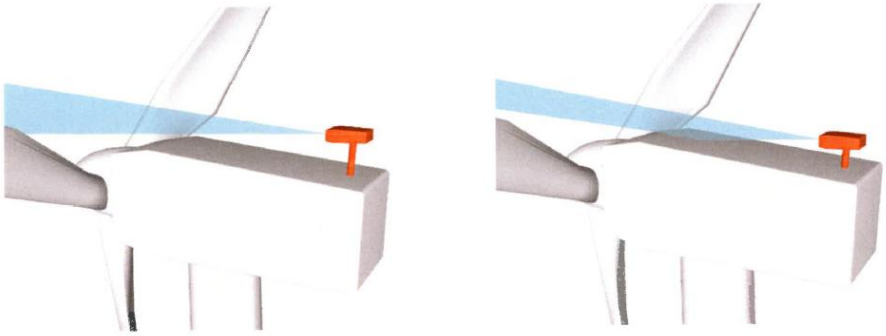


圖 C.2　四光束光達之(a)良好位置及(b)不良位置示例

- 在安裝光達之前，建議由OEM或獨立顧問製作工作說明書。若工作說明書由獨立顧問制定，則必須獲得OEM或風力機所有者核准。工作說明書將確保：
  - 執行光達安裝人員及執行風力機維護人員之安全。
  - 風力機之結構完整性。
  - 風力機性能完整性(例：光達光學頭不得干擾風力機)。

C.2 固定光束式光達之光達光學頭預傾斜

對於大多數使用案例，光達光軸宜瞄準轉子上游 2.5D 處之輪轂高度，此通常需要將光學頭稍微向下傾斜(參照圖 C.3)以補償：

(a) 光學頭高於輪轂高度(HOH)之高度：

$$\delta_{\mathrm{H}}=\tan^{-1}\frac{H_{\mathrm{OH}}}{L_{\mathrm{u}}+X_{\mathrm{OH}}}$$

式中， X_{OH} ：光達光學頭與轉子平面間之水平距離

L_{u} ：轉子平面與上游量測位置間之水平距離

H_{OH} ：光達光學頭及轉子軸間之垂直距離

(b)風力機運轉及風力機靜止時，機艙傾斜角之差異(應透過數值模擬或量測獲得)：

$\delta_{\mathrm{Nac}} = \delta_{\mathrm{ope}} - \delta_{\mathrm{standStill}}$

(c) 傾斜儀校正中發現之修正值：δ_{Cal}。

總預傾斜角由下式給出：

$\delta_{\mathrm{tot}} = \delta_{\mathrm{H}} + \delta_{\mathrm{Nac}} + \delta_{\mathrm{Cal}}$

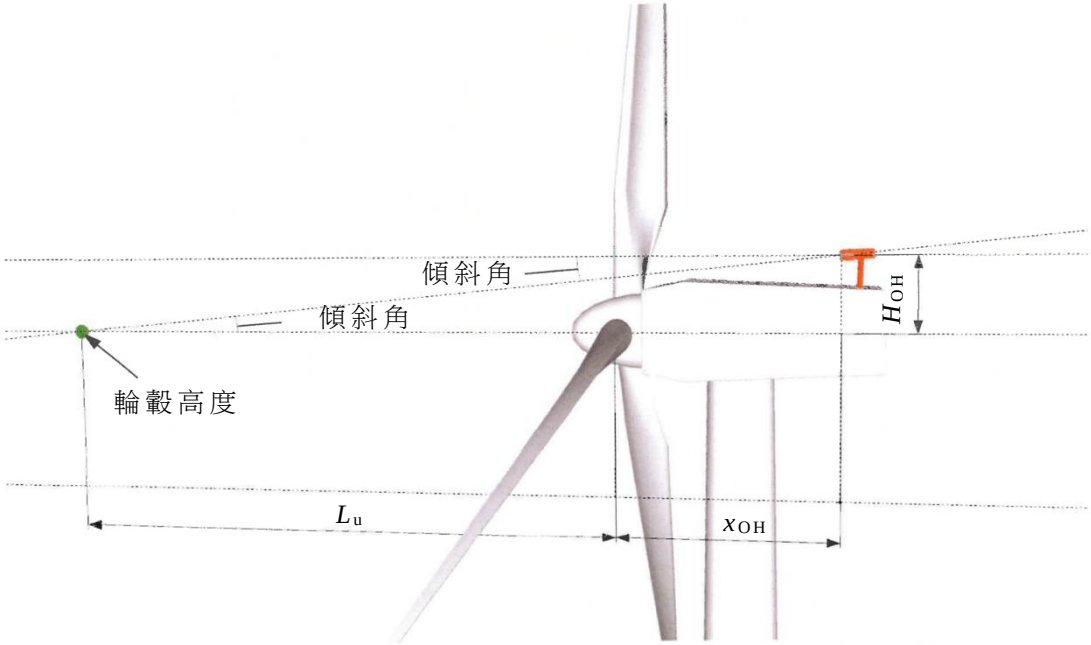


圖 C.3　光達光學頭向下預傾斜以量測輪轂高度之示意圖(二光束光達為例)

此種預傾斜主要與僅能在一個高度量測且未配備實時風力機艙運動補償之二光束機艙光達有關。對於能夠量測 2 個或更多高度風速之機艙光達(例：具 2 個以上光束之固定光束幾何光達或圓錐掃描光達)，應報告光達之實際預傾斜角，以計算垂直風切效應及希望量測高度之風條件。

C.3 光達連接點

定義連接點時至少應考慮以下建議：

- 在安裝光達之前，宜計算作用於機艙頂蓋之反作用力及動量。宜依據行業最佳實務檢查相應之安全儲備係數是否滿足。
- 光達之連接點宜置於結構中之某個位置，使得其材料特性不會因該位置本身而劣化或受到影響。
- 由於維修通道要求，不宜在安全錨固點所在處安裝光達。

附錄 D
(參考)
評鑑安裝於機艙之光達對風力機性能之影響

D.1 一般

風力機機艙上之光達可能會影響量測風速及風向的感測器，此等感測器通常置於機艙背面。此等訊號通常用於控制風力機，例：對於橫搖至主要風向，可能會出現光達影響機艙感測器量測值之情況，進而影響風力機性能。光達安裝之影響程度取決於使用情況。

影響程度取決於機艙儀器及光達之位置及尺度。遵循第 10 節之放置及安裝說明不會產生影響(或影響可忽略不計)。然而，建議依據具體情況，使用下述說明方法之一進行一致性檢查以查證此點。若在光達安裝後偵測到顯著變化，則宜另找光達新位置，或若此非一個選擇，則宜將二個階段間之差異視為風速量測之附加不確定度。宜於量測報告中報告差異。

D.2 建議之一致性檢查方法

D.2.1 一般

本標準介紹三種不同之方法，可依據可用資訊及設定進行選擇：

- 基於文件之方法：若 WTG 製造商對於某種 WTG 模型與特定感測器類型之結合具足夠之經驗，則建議採用此方法。在此情況下，將會出版工作說明文件，決定光達位置及安裝細節。
- 基於風場中並排放置 WTG 之資料的方法：該方法使用光達安裝前、後 WTG 之相對性能，以偵測其對機艙儀器之影響。二台相同類型之 WTG 處於相同風況下，無論內流條件如何變化，相對性能僅會出現很小之變化。除非獲得足夠之經驗以應用基於文件的方法，此方法始有望成為預設方法。
- 基於資料之方法，使用光達安裝前、後評鑑 WTG 之相對功率曲線：建議在無文件及附近無風力機之情況下使用此方法，例：在原型測試中。其需考慮內流條件變化並從風速及風向感測器收集資料。此可能需要在機艙上安裝額外之儀器。故預計僅在前二種方法無法應用時才會使用此方法。

D.2.2 基於文件之方法

對於特定情況(例：WTG 機艙尺寸、風速計放置、光達位置)，可使用照片及圖紙等相關文件作為證據，證明機艙儀器未受到干擾，不會影響 WTG 之性能。

D.2.3 使用鄰近 WTG 之基於資料的方法

D.2.3.1 一般

此方法之一般想法是比較安裝光達之 WTG 與沒有光達之基準 WTG 在安裝光達前、後之各種 WTG 參數(或代理)。

在光達安裝前後，基準 WTG 及具光達之 WTG 均需下述 10 min 之 SCADA 訊

號：

- 有效功率(kW)：平均及最小。
- WTG 可用性訊號。
- 環境溫度(℃)：平均。
- 機艙位置(°)：平均-宜校正及修正機艙位置訊號(若需要)，以提供相對於真北之值。
- 機艙風速(m/s)：平均。
- 機艙風向(°)：平均。

D.2.3.2 基準 WTG 之選擇

基準 WTG 應具未受干擾之扇形區域，類似於具光達之 WTG 的扇形區域。其亦應在光達安裝前、後以相同之操作設定運轉，且基準 WTG 及具光達之 WTG，對於此等設定應保持不變。分析中僅試驗及基準 WTG 之電網不受限制運作。

D.2.3.3 對 WTG 輸出功率影響之檢查

應評鑑基準 WTG 及具光達之 WTG 間的關係(例：線性回歸，參照圖 D.1)二次：

(a) 在安裝光達之前(即沒有光達之情況下)。

(b) 另一次，光達安裝之後。

基準 WTG 及具光達之 WTG 並發資料組的有效點宜符合下述準則：

- 共同未受干擾扇形區域內之平均風向。
- 平均功率在標稱功率之 3 %至 97 %範圍內。
- WTG 在 10 min 時段內可用性達 100 %。
- 最小功率 ＞0 kW。
- 平均環境溫度＞2 ℃。

圖 D.1 顯示二個鄰近風力風力機間同時有效功率資料之比較示例，式中前、後關係無明顯變化。應用此方法之經驗有限，因此本標準目前版本未建議任何特定準則。

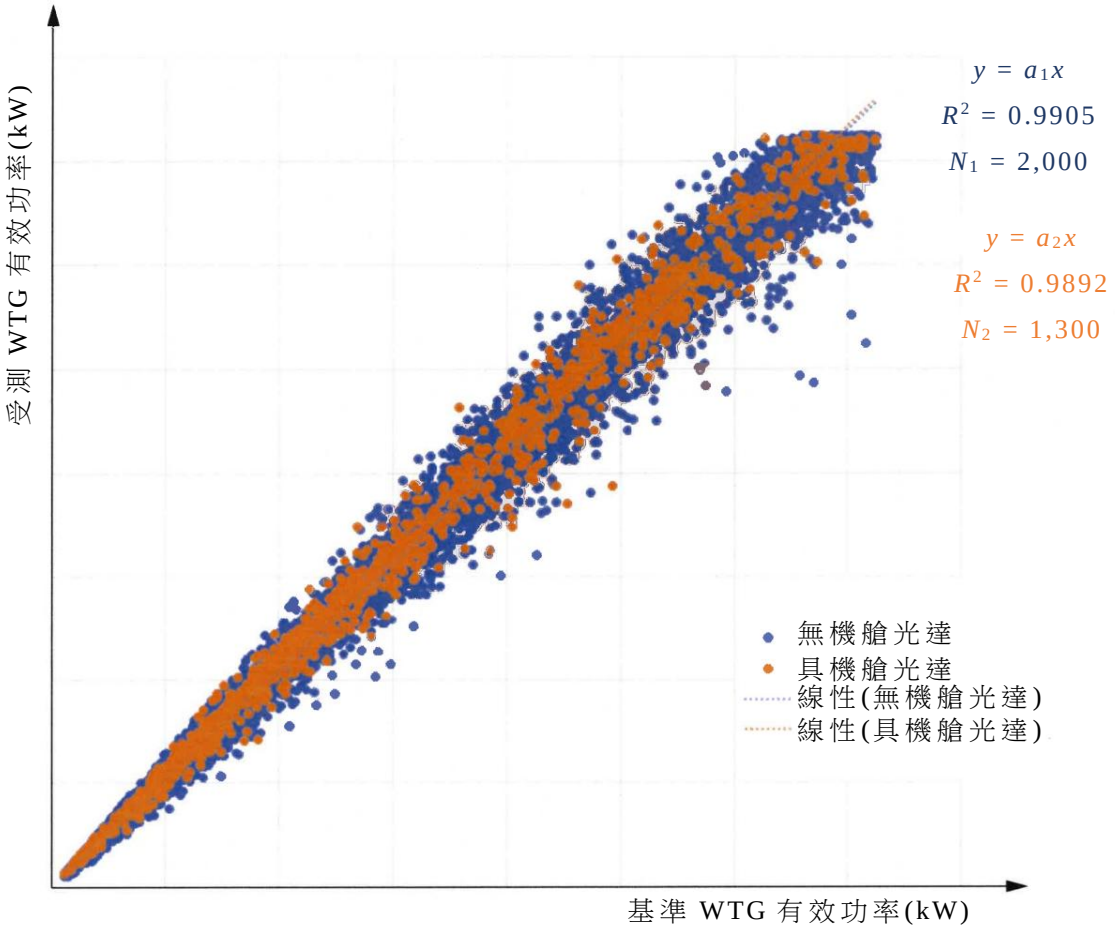


圖 D.1　並排比較報告示例

D.2.3.4　WTG 機艙位置影響之檢查

為調查光達之安裝是否影響 WTG 橫搖行為，宜繪製二個 WTG 之電功率比，作為同一台風力機之機艙位置訊號函數，在安裝之前及之後的二個時間段內繪製。圖 D.2 給出此關係之一個示例。對於二個時間段，分區範圍應保持相同，且感興趣區域中之點數量及點分布宜是可比較的。

若光達安裝影響風力機橫搖行為，則比值峰值之位置將相對於光達安裝前之峰值位置發生變化。因此，若峰值在安裝光達後保持在同一位置，則可得出結論，風力機之行為並未改變，且光達不會干擾用於風力機方位之感測器。任一方向上峰值位置之變化約為 1°至 2°，均在該方法之實驗不確定度範圍內，因此不視為有變化。

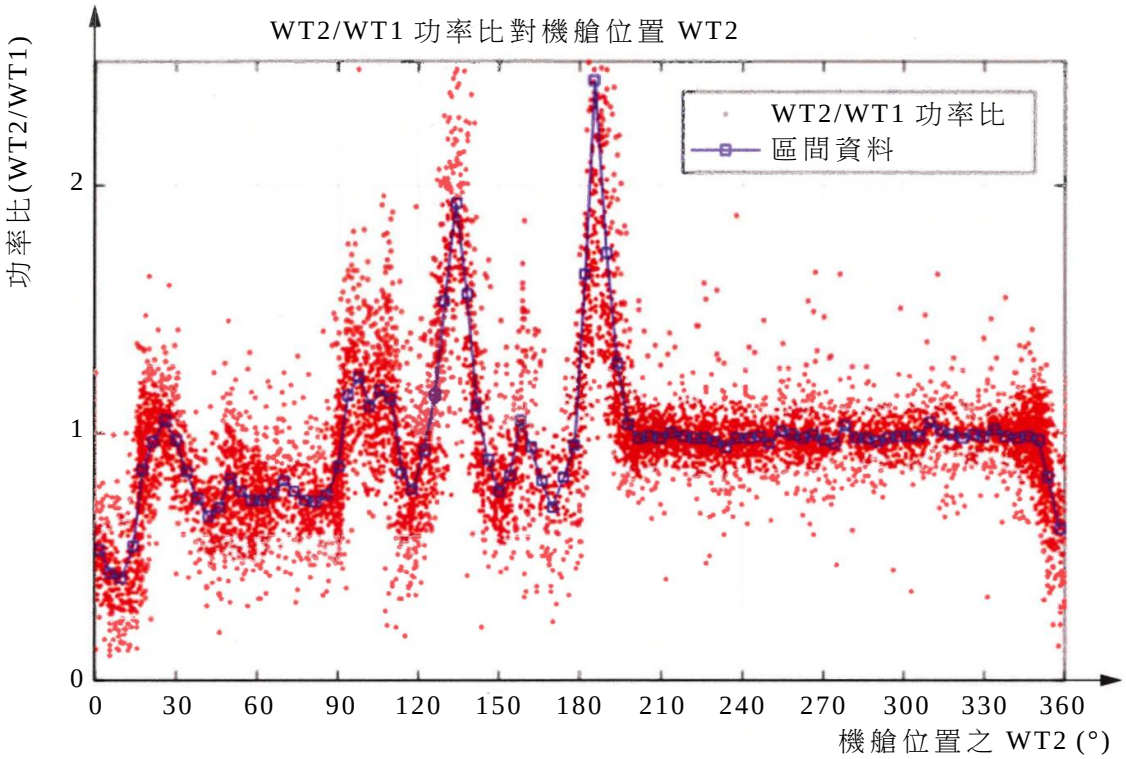


圖 D.2　二個鄰近風力機間之功率比示例

D.2.3.5 對 WTG 風速、風向感測器影響之檢查

另一種可選擇使用之方法為建立光達裝置是否影響風力機風速/風向感測器讀值，是在自由扇形區域，於安裝光達之前及之後檢查特定風速範圍內二個風速計/風向訊號與機艙位置之關係。若安裝光達對任何一個感測器均不存在影響，則在光達安裝前後，所涉及感測器間之關係將保持相似。

D.2.4 僅使用受評鑑之 WTG 的基於資料方法

D.2.4.1 一般

此方法旨在偵測機艙光達安裝前後二個機艙風向感測器量測之相對風向差異的顯著變化。圖D.3說明該方法。

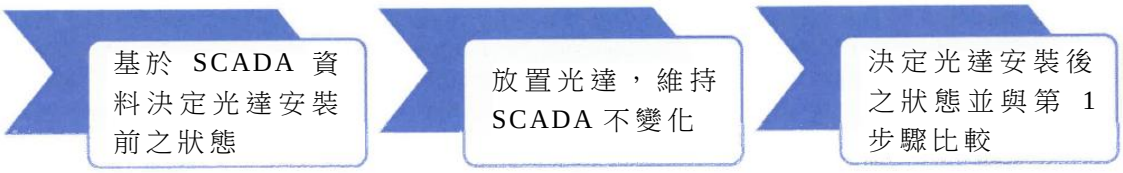


圖 D.3　一般過程概述

此方法假設基於對風力機控制產生不利影響唯一來源是機艙上之風向感測器所報告的相對風向變化。

D.2.4.2 要求之訊號

此方法需要下列風力機報告之訊號-由指數 TR 指示(無需進一步校正)：

- 機艙風速計風速，$V_{Nac,TR}$(m/s)。
- 主要機艙風向，$Dir_{1,Nac,TR}$(°)。
- 輔助機艙風向，$Dir_{2,Nac,TR}$(°)。
- 機艙位置，$Dir_{Yaw,TR}$(°)。

二個 $Dir_{k,Nac,TR}$ 訊號被理解為相對於機艙方位之風向訊號。運轉期間之典型量在±5°左右。許多 WTG 設計預設提供來自 $Dir_{k,Nac,TR}$ 二個感測器之單一訊號。由於該方法旨在偵測系統性氣流變化，因此該方法需要二個機艙風向感測器各自之單獨訊號。

光達安裝前、後之訊號處理必須保持相同。

由於機艙位置訊號用於選擇量測扇形區域內之 10 min 樣本，因此宜對機艙位置訊號進行校正及修正，以提供每 10 min 樣本相對於真北之值：

$$Dir_{TrueNorth} = (Dir_{Yaw,TR} + Dir_{OffsetCorr}) \bmod 360° \qquad (D.1)$$

式中 $Dir_{OffsetCorr}$ 為相對於真北校正 $Dir_{Yaw,TR}$ 之偏移角

建議在安裝 NML 之前一個月校正機艙位置訊號。由於橫搖編碼器可能會發生漂移，建議在安裝 NML 之前或/及之後重新檢查校正之有效性。

D.2.4.3 基線

在安裝光達之前需要收集基線資料組，所選資料組應符合以下準則：

- 量測扇形區域內之 $Dir_{TrueNorth}$(若對北對準之準確度有疑問，建議減少扇形區域)。
- 最小風速範圍：6 m/s 至 10 m/s。
- 最小樣本數：每 0.5 m/s 區間 12 個樣本(即 2 h)。

透過對選定之資料應用以下步驟以獲得基線：

(a) 對於選定資料組內之每一個 10 min 樣本，評估二個機艙風向感測器間之差異：

$\Delta Dir_{Nac} = Dir_{1,Nac,TR} - Dir_{2,Nac,TR}$

(b) 將資料以 0.5m/s 之風速區間分區。

(c) 對於每一個區間，評估：

- 機艙風速之區間平均值 $V_{i,Nac,TR,\ before}$。
- 二個機艙風向感測器間之差異的區間平均值，$\Delta Dir_{i,Nac,\ before}$。
- 二個機艙風向感測器間之差異的區間標準差，$\sigma_{i,\Delta Dir,before}$。

(d) 以誤差棒方式，繪製 $\Delta Dir_{i,Nac,before}$ 與 $V_{i,Nac,TR,before}$ 關係圖(參照圖 D.4 示

例)。

$\Delta Dir_{\mathrm{i,Nac,before}}$ 函數理想情況下宜為接近 0°之常數值。

D.2.4.4 光達影響評鑑

一旦安裝光達，SCADA 系統之資料收集將繼續保持不變(即光達資料不作為輸送至風力機控制之資料流)。應依據與基線相同準則選擇新的資料組。$\Delta Dir_{\mathrm{i,Nac,after}}$, $\sigma_{\mathrm{i,\Delta Dir,after}}$ 及 $v_{\mathrm{i,Nac,TR,after}}$ 宜依據與基線對應參數相同之過程進行評估。光達安裝前、後之結果與區間平均及標準差顯示在同一張圖中(參照圖 D.4 示例)。

若至少 90 %之風速區間符合以下二個準則，則視為光達對機艙方向感測器無影響：

- 光達安裝前、後之平均差值 $\Delta Dir_{\mathrm{i,Nac}}$ 相差不超過 4°：

$$4° \leq \left| \Delta Dir_{\mathrm{i,Nac,before}} - \Delta Dir_{\mathrm{i,Nac,after}} \right| \qquad \text{(D.2)}$$

- 光達安裝後之區間平均差異 $\Delta Dir_{\mathrm{i,Nac,after}}$ 在 $\Delta Dir_{\mathrm{i,Nac,before}} \pm \sigma_{\mathrm{i,\Delta Dir,before}}$ 範圍內。

在圖 D.4 示例中，沒有發現系統性變化。預計具體細節將隨風力機設計而變化。

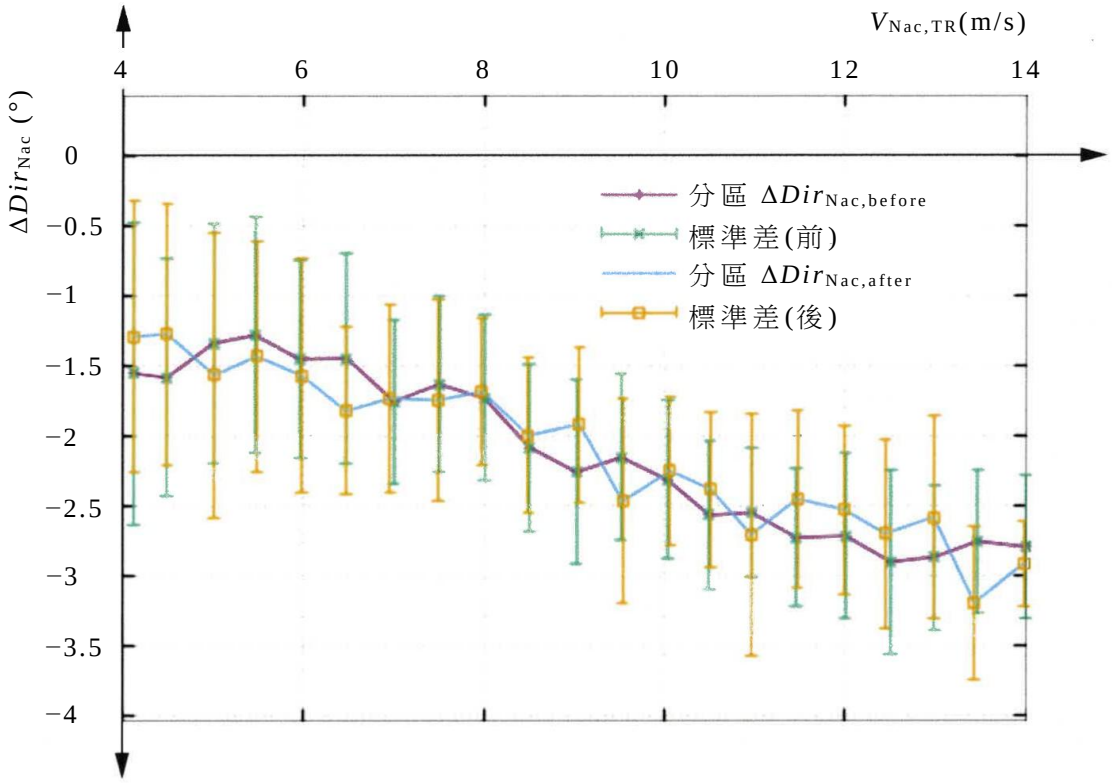


圖 D.4 光達未顯著影響二個機艙風向感測器報告訊號之設定中的分區 $\Delta Dir_{\mathrm{Nac}}$ 示例

參考資料

[1] IEC 61400-1:2019, Wind energy generation systems − Part 1: Design requirements

[2] ISO 28902-1:2012, Air quality – Environmental meteorology – Part 1: Ground-based remote sensing of visual range by lidar

[3] JCGM 100:2008, Evaluation of measurement data − Guide to the expression of uncertainty in measurement, (GUM 1995 with minor corrections),

[4] JCGM 101:2008, Evaluation of measurement data − Supplement 1 to the GUM − Propagation of distributions using a Monte Carlo method

[5] JCGM 200:2012, International Vocabulary of Metrology − Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM 3rd edition),

[6] CLIFTON, A. et al., 2018. IEA Wind Task 32: Wind Lidar. Identifying and Mitigating Barriers to the Adoption of Wind Lidar, Remote Sensing, Volume 10, Number 3, 2018

[7] WAGNER R, 2013, WAGNER R, RIVERA RL, ANTONIOU I, DAVOUST S, FRIIS PEDERSEN T, COURTNEY M et al. Procedure for wind turbine power performance measurement with a two-beam nacelle lidar. DTU Wind Energy, 2013. 28 p. (DTU Wind Energy E; No. 0019)

相對應國際標準

IEC 61400-50-3:2022 Wind energy generation systems − Part 50-3: Use of nacelle-mounted lidars forWind measurements

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 1140047「風力發電系統－第 50-3 部：使用安裝於機艙之光達進行風力量測」標準草案審查意見彙編

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、台灣電力股份有限公司綜合研究所	
財團法人工業技術研究院綠能與環境研究所	-	「10 min」應修正為「10 分鐘」並修正前後對應文字
	3.4	頁 5 之資料可用性(data availability)之定義建議修正為「在特定量測期間內，符合預定資料品質標準的有效量測點數，與理論上可取得的最大量測點數之比。」
臺灣御風能源股份有限公司	3.14	量測結果與被量測~~量~~真實值之間~~一致~~的接近程度。
財團法人工業技術研究院綠能與環境研究所	3.33	“頁 8 之 wind lidar 原譯「風光達」，建議可調整為「測風光達」降低誤解並更符合其使用目的。
臺灣御風能源股份有限公司	5.2	~~在撰寫~~在擬訂本標準時，未有足夠之 NML 經驗~~，~~用以評鑑不同環境條件如何影響 WFR。因此，在本標準目前版本中，採取務實之方法，在有證據證明某種類型之光達具足夠之量測準確度的前提下，將量測不確定度之此項分配為 0 值。
	6.2.2	6.2.2 安裝及操作文件 (e) 任何~~布~~佈纜要求之詳細資訊。
	7.1	在 SMC 開始之前，應對每一個光達設備進行機艙光達之校正。校正有效期限~~長度~~周期及該期限內允許之 SMC 數量，應依據與使用案例相關之指引及製造商建議而決定。
	11.9	11.9 光達量測之監測應評鑑及確~~證~~認整個量測期間光達風速量測之一致性。
	12.5	12.5 資料庫 (e) 資料分析說明，包括： － 應清楚報告所有資料剔除準則(參照 11.5)。應報告刪除資料組之總數。可選~~地~~擇~~，~~亦可報告，透過應用過濾器單獨或累積刪除之資料組數量。

意見彙編截止日：114 年 06 月 05 日

職場多元性別平等

~友善開放的世界　從改變職場開始~

—擁抱他人不同　打造多元性別友善社會—

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。

經濟部 廣告