



檢驗技術簡訊 92

INSPECTION TECHNIQUE

「專題報導」或「儀器介紹」 第 92 期

2026 年 10 月出刊

每季出刊 1 期

◆ 專題報導

再生能源水電解產氫確查證機制探討

工業技術研究院 副工程師 郭欣諾
工業技術研究院 助理工程師 林軒如
工業技術研究院 助理工程師 丁新恩
工業技術研究院 副組長 馬先正
經濟部標準檢驗局 科長 張彥堂
經濟部標準檢驗局 技士 李璟昇
經濟部標準檢驗局 技士 詹宇瑄

測風塔及氣象式光達比對技術發展

財團法人金屬工業研究發展中心 副組長 邱信豪

◆ 儀器介紹

車用電池耐火性試驗系統簡介

財團法人金屬工業研究發展中心 陳處長鍾賢
電資技術科 林簡任技正良陽

出版資料

出版單位 經濟部標準檢驗局檢驗技術組

聯絡地址 臺北市中正區濟南路 1 段 4 號

聯絡電話 02-23431700 分機 3129

傳 真 02-23921441

電子郵件 allen.yen@bsmi.gov.tw

網頁位置

<https://www.bsmi.gov.tw/wSite/lp?ctNode=8849&CtUnit=325&BaseDSD=7&mp=1>

發行人 黃志文

工作小組

主 持 人 楊禮源

召 集 人 李瑋堉

總 編 輯 顏士雄

編 輯 張舒媛（化性技術領域）

林妤珊（綠能技術領域）

陳明峰（電磁相容領域）

昌衛利（物性技術領域）

黃舜國（電氣技術領域）

總 校 訂 顏士雄

網頁管理 黃勝雄 吳文正

印 製 顏士雄

G P N 4710003764

再生能源水電解產氫確查證機制探討

工業技術研究院 副工程師 郭欣諾
工業技術研究院 助理工程師 林軒如
工業技術研究院 助理工程師 丁新恩
工業技術研究院 副組長 馬先正
經濟部標準檢驗局 科長 張彥堂
經濟部標準檢驗局 技士 李璟昇
經濟部標準檢驗局 技士 詹宇瑄

一、前言

依據我國 2050 淨零轉型規劃，氫能發電占比預計達 9%至 12%，顯示氫能未來將在能源供應體系中扮演重要之角色。隨著能源轉型及產業減碳需求持續提升，碳排強度較低之氫能（低碳氫）勢必將成為我國推動低碳能源發展及產業減碳之重要選項。目前國際間積極發展多元低碳氫生產技術，例如再生能源水電解產氫以及天然氣重組產氫結合碳捕捉與封存等技術，以擴大低碳氫之市場應用。隨著低碳氫生產技術發展，如何客觀辨識氫氣來源及其環境特性，已成為低碳氫推動之重要課題。我國正規劃建立低碳氫來源證明制度，其中，確查證機制為確保低碳氫來源證明制度公正性之重要基礎，本文將針對低碳氫生產技術中最具代表性之再生能源水電解產氫進行確查證機制探討，並提出規劃建議。

二、再生能源水電解產氫簡介

氫氣之碳排放強度主要取決於產氫技術類型及能源使用。低碳氫係以全生命週期之碳排放強度作為評估基準，目前我國初期導入低碳氫來源證明制度，故初步將以示範計畫進行，並以製程階段之碳排放強度作為評估基準，意即產氫過程中碳排放量低於特定門檻值之氫氣即可視為低碳氫。其範疇並不侷限於單一製程技術，涵蓋天然氣重組產氫結合碳捕集與封存（CCS）、工業副產氫，以及再生能源水電解產氫等途徑。其中，以再生能源電力驅動水電解生產之氫氣，因具備近乎零碳排放之環境特性，被視為推動淨零轉型最具代表性與發展潛力的技術方向。

再生能源水電解產氫係利用再生能源供應產氫系統所需之電力，以再生能源電力驅動電解槽，使水分解為氫氣（主產品）與作為聯產品之氧氣（co-product）。水電解產氫系統製程邊界涵蓋能源供應以及水處理、電解、氣體純化、乾燥、冷卻及壓縮等製程單元，簡要流程如圖 1 所示[1]。

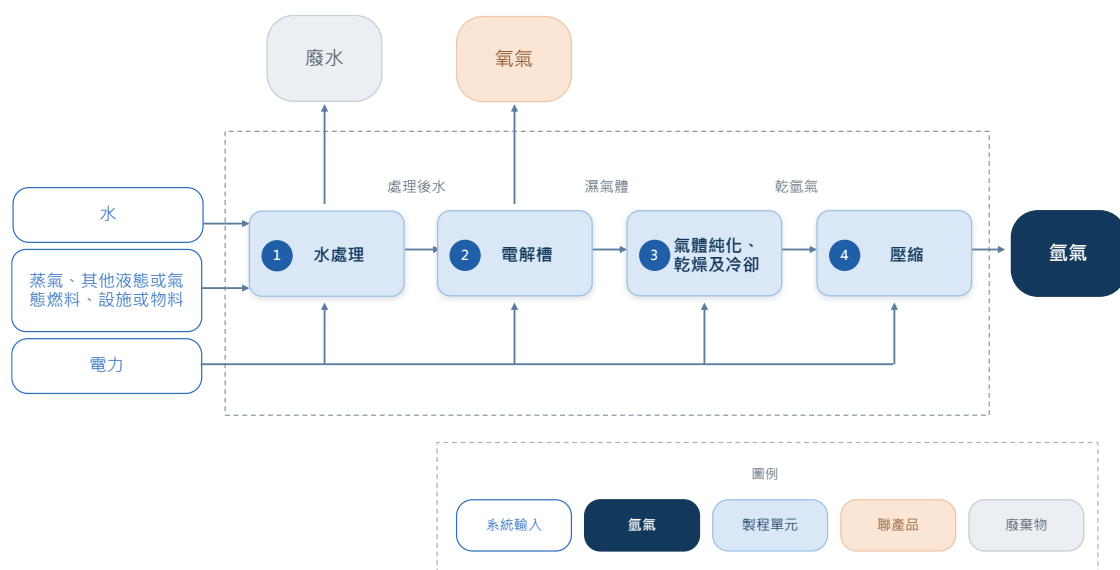


圖 1 水電解產氫製程流程圖

資料來源：ISO 19870-1 annex E 與工研院研究

三、歐盟低碳氫來源證明制度（CertifHy）查證機制

國際間已建立多項低碳氫來源證明制度，其中歐盟低碳氫來源證明制度（CertifHy）為各國主要參考對象之一。由於不同製程技術所生產之氫氣於物理性質上無法區分，CertifHy 透過建立電子化憑證系統記錄氫氣來源資訊，並證明特定氫氣產品從油井至大門(well-to-gate)之環境特性符合低碳氫要求[2]。

為確保憑證核發之公正性與可追溯性，CertifHy 採用「憑證核發機構」與獨立「查證機構」雙軌分工之產氫製程設施註冊與查證流程，如圖 2 所示。組織提出產氫製程設施註冊申請，經憑證核發機構初審後，組織再委託第三方查證機構進行產氫製程設施稽核，經查證機構確認該產氫製程設施可穩定生產低碳氫後，查證機構將出具稽核報告，再提交稽核報告予憑證核發機構完成製程設施註冊。組織以註冊之製程設施進行低碳氫生產一段時間後，向查證機構提出申請，進行後續產氫作業查證，確認該區間內之低碳氫實際生產量。



圖 2 CertifHy 製程設施註冊與查證流程圖

資料來源：CertifHy 與工研院研究

四、再生能源水電解產氫確查證機制建議

為確保氫生產過程符合低碳氫要求，本文針對再生能源水電解產氫技術，參考 CertifHy 製程設施註冊與查證流程，建議規劃具公正與一致性之再生能源水電解產氫確查證機制。組織須經過確證（Validation）與查證（Verification）後，方得依查證結果申請來源證明。確查證機制主要作為低碳氫來源之確認依據，以確保低碳氫來源證明核發結果之公正性及可追溯性。

再生能源水電解產氫確查證機制建議分為「產氫製程技術確證」及「產氫作業查證」兩階段。第一階段為產氫製程技術確證，主要針對產氫製程設計及相關技術規格進行確認，確保該製程技術能長期穩定生產低碳氫；完成製程技術確證後，始得進行第二階段之產氫作業查證，本階段核實經確證後之製程技術，與後續產氫作業期間之實際低碳氫產量。兩階段作業相互銜接，作為低碳氫來源證明制度之基礎，整體建議流程如圖 3 所示。

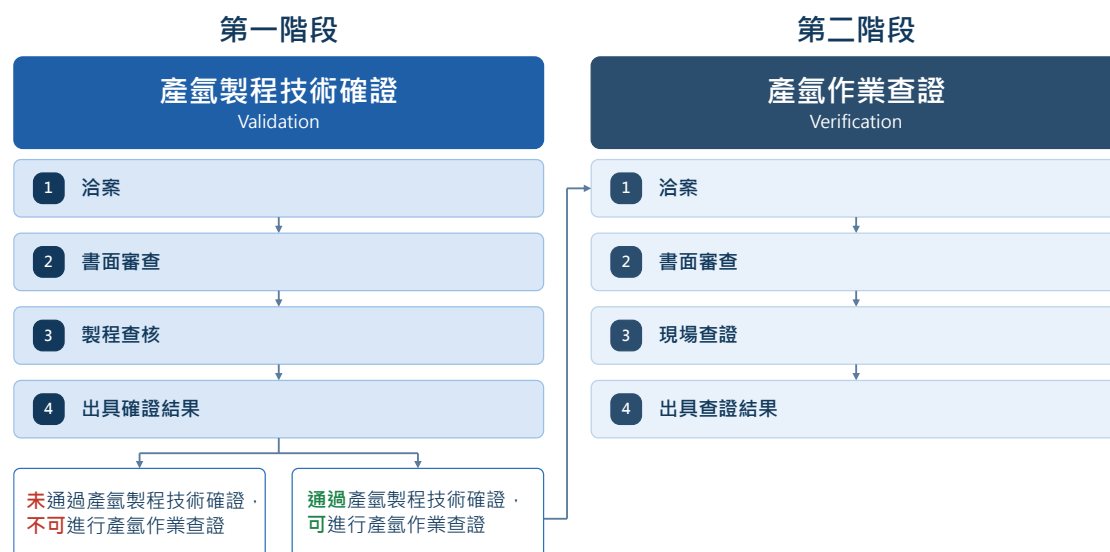


圖 3 再生能源水電解產氫確查證機制建議流程圖

資料來源：工研院研究

(一)再生能源水電解產氫製程技術確證

產氫製程技術確證流程包含洽案、書面審查、製程查核及出具確證結果。洽案階段自組織向查證機構提出產氫製程技術確證申請開始，查證機構依據申請內容審核申請範圍及製程技術類別，檢視申請文件是否齊備，確認組織符合受理條件，再進入書面審查程序。若有影響公正性、獨立性或其他不宜承接之情形，查證機構將不承接該申請案件。

書面審查階段將確認申請文件內容之完整性。審查內容涵蓋製程流程、製程邊界、設備配置、產品規格、再生能源投入及相關技術文件等內容。確認申請組織提交之資料已充分揭露製程資訊，並具備足夠之佐證資料，作為後續製程查核之依據。

通過書面審查後，查證小組應根據申請文件內容，擬定製程查核計畫。查核計畫應說明查核目的、範圍、查核項目、查核方式及重點。查核重點包含製程設計、製程單元是否與申請文件一致、產品規格及生產批次資訊完整性、電力使用與憑證資料，同時，需檢視設施維護與操作紀錄、量測設備校正紀錄及其他技術佐證資料，以確認製程設計及相關技術條件符合低碳氫製程技術確證要求，並可長期穩定生產低碳氫。

符合產氫製程技術確證要求之申請案，查證機構應出具確證通過結果，作為後續辦理產氫作業查證之依據；未符合要求者，查證機構應出具不通過結果，載明不符合事項及判定依據，供組織辦理補正或重新申請時參考。

(二)再生能源水電解產氫作業查證

產氫作業查證係於完成產氫製程技術確證後辦理，依據特定產氫批次或連續生產期間之實際生產資料進行查證，確認實際製程運作情形並核實產氫量。查證重點包括生產期間產氫計量之真實性、邊界內再生能源投入適切性，以及關鍵量測設備之有效校正狀態，確認該氫氣產量之合理性。

產氫作業查證流程包含洽案、書面審查、現場查證及出具查證結果等步驟。產氫作業查證係以實際產氫作業期間之生產資料為查證對象，於完成書面審查後據以辦理現場查證。

查證機構應依據申請文件及申請查證期間之實際生產情形擬定查證活動計畫，並據以執行現場查證。查證重點包括確認產氫製程技術與確證內容一致，並查證製程單元、產品規格、再生能源投入、電力使用情形、設備維護操作紀錄及量測儀器校正紀錄等內容，以確認查證期間實際產氫量之合理性。

完成產氫作業查證後，查證機構將依據查證內容及相關佐證資料，針對經查證後之產氫量出具查證結果報告，作為組織後續申請「低碳氫來源證明」之依據。

五、結語

因應淨零排放目標及能源轉型趨勢，低碳氫將逐步由技術研發階段邁向產業應用，於能源體系中扮演重要的角色。隨著低碳氫生產、供應及應用規模逐步擴大，低碳氫來源證明制度亦應配合產業發展逐步建立。本文就低碳氫生產技術中最具代表性之再生能源水電解產氫技術，提出確查證機制規劃建議，期待國內在建立低碳氫來源證明制度時，透過具公正性及一致性之確查證機制，有效確認低碳氫之來源，提升低碳氫來源證明制度之公正性，支持我國低碳能源發展及能源轉型目標。

六、參考文獻

1. ISO 19870-1:2026 Hydrogen technologies — Methodology for determining the greenhouse gas emissions associated with the hydrogen supply chain — Part 1: Emissions associated with the production of hydrogen to production gate.
2. CertifHy EU RFNBO Voluntary Scheme: Registration & Certification Procedure, 2026, CertifHy, 取自 <https://www.certifhy.eu/certifhy-eu-voluntary-scheme-documents/> (115/8/13)

測風塔及氣象式光達比對技術發展

財團法人金屬工業研究發展中心 副組長 邱信豪

一、前言：

隨著全球氣候變遷加劇及永續淨零共識，推動綠能轉型已成為各國具共識的目標。在眾多再生能源中，風力發電憑藉技術成熟度高、單機容量及場域開發規模大、不分日夜間驅動，以及商業化健全等優勢，成為各國再生能源政策大力發展選項之一。然而，風力發電的開發與營運高度依賴精準的風場資源評估，傳統上，風力觀測主要依賴測風塔(Meteorological Mast)，透過細長型桁架結構在不同高度安裝杯狀風速計(Cup Anemometer)與風向計(wind vane)來收集數據。然而，隨著風力發電機組走向大型化與離岸開發，現代風力機的輪轂高度(Hub Height)已普遍超過 100 至 150 公尺，葉片直徑更動輒突破 200 公尺。面對如此龐大的結構，傳統測風塔在建造高度、成本、海域施工風險以及維護性上面臨巨大的實務限制與挑戰。

為了克服傳統測風塔的侷限性，「氣象式光達」(Meteorological Lidar)技術因應而生，並迅速成為風能觀測領域的新革命。光達技術利用雷射遙測原理，不僅可輕易覆蓋現代大型風力機的整個葉片掃掠區域，更具備低成本、高機動性、放置設定極快與低環境破壞性等優點。本文呈現氣象式光達的核心運作原理(包含其都卜勒原理基礎及運算式)、其在多元領域中的潛在實務應用，並系統性梳理國際主流機構(如 IEA、Carbon Trust、MEASNET 及 IEC)在推動光達技術標準化與商業化應用上的發展，以及探討其前瞻應用擴展與標準測風塔數據溯源之議題。

二、氣象式光達原理摘要與應用發展

(一) 氣象式光達運作原理

氣象式光達 (Meteorological Lidar) 是一種光學遙測技術，其核心原理是向大氣中發射調諧的雷射光束，並接收大氣中懸浮微粒(如氣膠、水滴、塵埃等)隨大氣風場移動時產生的散射光訊號。此處所應用的物理基礎為都卜勒效應(Doppler Effect)。

1. 都卜勒頻移基本公式

當頻率為 ν_0 、波長為 λ 的雷射光束發射向大氣中的移動懸浮微粒時，微粒相對於雷射源運動，會先「接收」到一次頻移訊號；隨後，微粒將光束向外散射，此散射光再次相對於接收器產生第二次頻移。雷射源與接收器通常為一體化(同軸系統)，因此接收到的回波訊號頻

率 v_R 與發射頻率 v_0 之間的多卜勒頻移 (Doppler Frequency Shift, Δv) 可表達為：

$$\Delta v = v_R - v_0 = \frac{2 \cdot v_r}{\lambda} = \frac{2 \cdot v_0 \cdot v_r}{c}$$

其中：

- v_r 為懸浮微粒沿著雷射光束方向的徑向風速(Radial Velocity)(遠離雷射源為負，靠近為正)。
- c 為光速(約為 3×10^8 m/s)。

透過精準量測 Δv ，即可直接解算出單一光束方向的徑向風速 v_r ：

$$v_r = \frac{\Delta v \cdot \lambda}{2}$$

2. 多卜勒風束擺動技術(Doppler Beam Swinging, DBS)

單一光束僅能提供單一維度的徑向風速，為了重新構算出大氣中真實的三維風向量 $\vec{V} = (u, v, w)$ ，其中 u 為東西向水平風速， v 為南北向水平風速， w 為垂直風速。

地面垂直型光達最常採用 DBS 技術，DBS 通常使用 3 到 5 個光束。以主流的 5 光束 DBS 掃描機制為例，系統依序向垂直方向發射一個光束，並向東西南北四個基點方向偏轉一個固定的半頂角 (Half-cone Angle, θ ，通常取值為 $15^\circ \sim 30^\circ$)。

假設大氣風場在光達量測的水平圓周錐體範圍內是均勻的 (Homogeneous Wind Field Assumption)，則四個傾斜光束與一個垂直光束量測到的徑向風速分別為：

- 東向徑向風速： $v_E = u \cdot \sin\theta + w \cdot \cos\theta$
- 西向徑向風速： $v_W = -u \cdot \sin\theta + w \cdot \cos\theta$
- 南向徑向風速： $v_S = v \cdot \sin\theta + w \cdot \cos\theta$
- 北向徑向風速： $v_N = -v \cdot \sin\theta + w \cdot \cos\theta$
- 垂直向徑向風速： $v_Z = w$

透過聯立方程組的幾何向量運算，即可精準解算出大氣的三維風速分量：

- 水平東西風速： $u = \frac{v_E - v_W}{2 \cdot \sin\theta}$
- 水平南北風速： $v = \frac{v_S - v_N}{2 \cdot \sin\theta}$
- 垂直風速 (可透過傾斜光束或直接由垂直光束 v_Z 交叉驗證)： $w = \frac{v_E + v_W}{2 \cdot \cos\theta} = \frac{v_S + v_N}{2 \cdot \cos\theta} = v_Z$

最終，整體的總水平風速(Horizontal Wind Speed, U_h)與風向

(Wind Direction, Φ)可定義為：

$$U_h = \sqrt{u^2 + v^2}$$

$$\Phi = \tan^{-1} \left(\frac{u}{v} \right) + Offsets$$

(二) 氣象式光達應用層面

氣象式光達在現代科技進步與推動下，已跨越單一觀測用途，從風電領域廣泛進入到氣象觀測、飛航與國防等應用中：

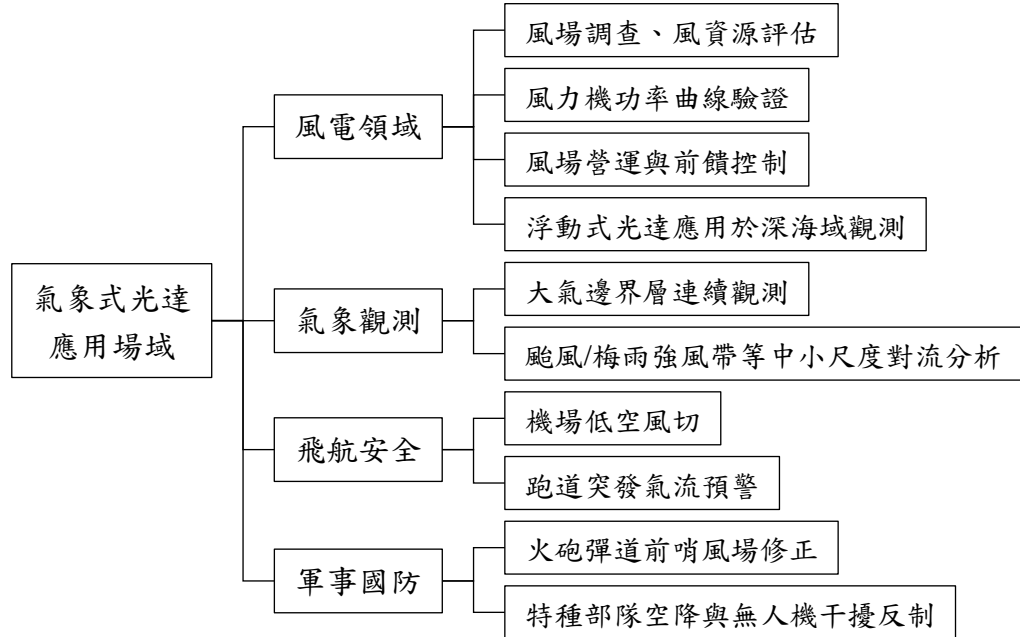


圖1 氣象式光達應用場域樹狀圖

1. 商業風電領域的多維度應用前期風資源評估，在海域動輒數十公里的大型風場中，光達可作為獨立觀測設備。例如，浮動式光達系統(Floating Lidar System, FLS)係將光達安裝於海上浮標平台上，部署於深水海域，透過內建的慣性量測單元(IMU)及時捕捉波浪引起的六自由度姿態運動(如俯仰 Pitch、滾轉 Roll)，並利用數學演算法對徑向風速進行運動補償，藉以蒐集離岸測風數據；另可執行風力機功率曲線驗證(PCV, power curve verification)，當風場完工進行風力機機組交付時，如需驗證實際發電量是否符合預期，可設置機艙型光達(Nacelle Lidar)於風力機機艙頂部，水平朝向迎風面發射雷射光束，可量測風力機前方 2 至 3 倍葉片直徑距離處、未受風力機旋轉干擾的流入風場(Inflow)，提供功率曲線評估精確風速數據；此類機艙型光達，亦能即時偵測前方極端陣風，傳回風力機控制系統作為輸入，使風力機葉片可提前調整變槳角度(Pitch angle)或偏航角度(Yaw angle)，做為前饋控制(Feed-forward Control)，可有效降低風力機結構承受疲勞載荷，以及對準來風方

向進而發揮最大效能。

2. 交通部中央氣象署大氣觀測中，高空氣象係以大氣探空氣球(Sounding balloon)進行觀測，為全球統一每 12 小時施放一次，時間解析度低，且長期須定期成本消耗，偶爾遇到探空氣球於高空因壓力降低爆炸後，氣流吹送掉落殘骸的問題。中央氣象署已逐步引進垂直光達系統，實施大氣邊界層(Planetary Boundary Layer, PBL)連續觀測。光達可提供分鐘級、連續的高空風場變化數據，對於梅雨鋒面強風帶、颱風過境時的低空流場、以及都市熱島效應引發的中小尺度局部對流系統，或是如熱氣球活動等，可提供高時空解析度的關鍵數據資料，有助於精進了數值天氣預報(Numerical Weather Prediction, NWP)的初始場域校正以及即時預報。
3. 民航飛航安全之機場低空風切(Low-Level Wind Shear)是飛機起降時的隱形風險，臺灣桃園國際機場與高雄小港機場因海陸風交會與周邊地形(如大屯山、中央山脈群等)干擾，極易發生風切現象。傳統微波氣象雷達對晴空無雨大氣的回波訊號弱，而掃描式都卜勒光達(Scanning Lidar)恰好利用大氣中的氣溶膠作為散射體，在晴空下亦能展現極佳的觀測效果。其透過 PPI(平面位置顯示)與 RHI(範圍高度顯示)掃描模式，能即時構建出滑行道與跑道延伸線上的風場切變，自動發出微突發氣流(Microburst)預警，提升航班安全。
4. 在現代國防中，低空風場的微小變化會對非制導武器(如火砲、火箭彈)的彈道產生偏移。軍用輕量化光達設備可於陣地前方進行前哨風場觀測，將不同高度層的風速向量即時輸入控制計算機中進行彈道修正。此外，如特種部隊執行低空傘降突擊、或中大型無人機(UAV)在複雜地貌起降時，光達亦能前瞻性地偵測強側風與亂流渦旋，防範墜機與人員傷亡等事故。

三、國際機構介紹與技術標準演進

氣象式光達應用之初，係以風電領域為主，特別在於取代傳統測風塔且能蒐集到精確風況以作為風場評估等用途。而要達到與傳統測風塔相同的商業信賴度(Bankability)，則必須克服量測不確定性(Measurement Uncertainty)的議題。為此，全球各大能源與標準化機構陸續制修訂了一系列的技術資料、修訂指南與國際標準。

(一) 國際能源總署 (International Energy Agency, IEA)

國際能源總署(IEA)透過其風能合作計畫(IEA Wind TCP)，由各國專家組成 Task 32 工作小組 (Lidar Systems for Wind Energy Deployment)。該小組自 2012 年成立以來，致力於推動光達技術在風能領域的應用推廣與經驗分享。

IEA Task 32 定期發佈並修訂建議作法(Recommended Practices)，針對光達的分類、校正、不確定性評估以及在複雜地形中的應用提供指引。特別在光達設置於複雜地形中，因假設為均勻風場(Homogeneous Wind Field)將會導致更顯著的量測誤差，因此 IEA 提出的技術指南詳細規範了如何利用計算流體力學(CFD)模型進行誤差修正，為產業提供了實務操作的依循。

(二) Carbon Trust (碳信託)

Carbon Trust 是英國成立的獨立專家組織，在推動離岸風電技術普及上具有舉足輕重的地位。其針對離岸風電最核心的「浮動式光達系統(FLS)」，制定了全球公認的技術指引-Carbon Trust OWA (Offshore Wind Accelerator)，此指引發布了 *Carbon Trust OWA Roadmap for Commercialization of Floating Lidar Systems*，將浮動式光達的商業化成熟度明確分為三個階段：

1. Baseline (基準階段)：光達設備具備基本功能，並完成基礎的陸域或近岸測風塔比對確認。
2. Pre-commercial (準商業化階段)：光達設備需在離岸環境下與固定式測風塔進行至少 3 至 6 個月的比對，證明其數據可用率與精確度符合於標準。
3. Commercial (商業化階段)：光達設備必須在不同海域有多個成功部署案例，累積長期穩定運轉的紀錄，且量測不確定性控制在範圍內。

此指引協助規範出第三方驗證流程，使得金融投資機構(如銀行)願意採信光達蒐集的離岸風資源數據，奠定了離岸風電無測風塔開發的商業基礎。

(三) MEASNET (國際風能計量網絡)

MEASNET (International Network of Wind Energy Measurement Institutes) 是一個由全球頂尖風能試驗室與權威計量機構(如德國 DEWI、丹麥 DTU Wind Energy、西班牙 CENER 等)組成的國際組織。在風能評估量測領域，MEASNET 代表了極高標準的品質控管與各機構成員間的「相互認證體系(Mutual Recognition)」。

傳統上，各家光達製造商會提供自主出廠校正報告，但其校正環境、演算法與參考基準缺乏第三方監督。MEASNET 推出了嚴格的 *Measurement Procedure - Evaluation of Site Specific Wind Conditions* 與專屬的光達校正程序規範，任何計量單位欲頒發 MEASNET 風速計或光達校正證書，必須通過 MEASNET 組織的盲測與交叉比對(Round Robin Test)，確保所有成員機構在不同國家、不同設備下做出的量測具備完全一致的技術水準。

根據 MEASNET 的光達比對規範，光達在移置到風場現地量測之前，必須在通過認證的標竿測試場(符合標準要求的測風塔)旁進行為期至少數週的現地比對，要求包括：

1. 前置篩選：嚴格剔除環境異常數據(如大霧導致能見度低於 50 公尺、或持續降雨導致雷射被雨滴嚴重散射的時段)。
2. 回歸分析：將光達在各高度層量測到的數據，計算出 10 分鐘平均風速，與測風塔上經校正的等級一(Class 1 Calibration)杯狀風速計進行回歸分析。MEASNET 要求其線性回歸斜率(Slope)必須在 0.98 ~ 1.02 之間，決定係數 R^2 通常必須大於 0.98。
3. 不確定性分析：詳細計算因風切變(Wind Shear)、紊流強度(Turbulence Intensity)與配置空間誤差等所引致的「系統不確定性(Systematic Uncertainty)」與「隨機不確定性(Random Uncertainty)」。

基於此一量測程序及相關要求，通過 MEASNET 體系規範驗證的光達數據，歐洲風場量測並出具的風資源評估報告，才能被高標準的國際金融機構直接採信。

(四) 國際電工委員會(International Electrotechnical Commission, IEC)

1. 國際電工委員會(IEC)在1990年一帶，即展開61400系列風力機標準之制修定，在IEC 61400-12-1風力機功率性能量測標準中，定義及敘述測風塔、測風技術相關要求。於2017年的第二版(Ed. 2)中，IEC首次允許使用地面型遙測設備(Remote Sensing Devices, RSD，包括光達與聲達(Sodar))來輔助或取代部份測風塔量測，並詳細規範了RSD的分類與不確定性評估方法。
2. 為了因應測風技術多樣的形式和應用場景等，確保風電產業能夠一致地進行風測量及其不確定度評估工作，並能夠量化不確定度，且讓不確定度於可接受的範圍內，因此IEC展開了61400-50系列標準的制定，自2022年起陸續發行：
 - (1). IEC 61400-50：風力量測—概述，主要對可應用於風力量測之選項進行一般介紹，以及原始標準(61400-12-1)的調整說明，其他技術於系列標準其他部進一步詳細說明。
 - (2). IEC 61400-50-1：風力量測—安裝於氣象桿、機艙及鼻錐之儀器的應用，主要規定氣象桿、風力機機艙或風力機鼻錐上之風力量測儀器的安裝使用，包括校正之程序與要求、風速量測不確定度之評鑑及報告等相關要求。
 - (3). IEC 61400-50-2：風力量測—安裝於地面之遙感技術的應用，主要規範了地面型垂直觀測光達的分類之程序及要求，比對之程序及要求、相關附加檢查、風速量測不確定度等要求。本文及技術說明，即針對此一標準內容要求進行技術發展。

- (4). IEC 61400-50-3：風力量測－使用安裝於機艙之光達進行風力量測，說明使用安裝於機艙之風光達(簡稱機艙光達(水平前視型))進行風力量測之程序及方法，使其可應用於功率性能量測，以及確保一致性。
- (5). IEC 61400-50-4：風力量測－利用浮式光達系統進行風測量，僅限於浮標上或浮標內部的垂直剖面風能光達裝置，用以確保其品質足以滿足風資源評估的應用場合。

3. IEC/CNS 61400-50-2標準要求(摘要，仍以標準內容為準)：

(1). 資料擷取：

- A. 分類試驗基於量測應置於同一位置，以便可表徵相同空氣體積中之氣流。光達設備及與其進行比較的高基準測風塔同時量測。
- B. 光達設備及基準測風塔感測器應使用相同平均間隔：應記錄10 min平均。除10 min平均外，亦應記錄10 min時段內量測變數之標準差及極值(最大、最小)。
- C. 地點及量測分析方式應盡量減少對光達設備與基準測風塔間的額外影響，包括但不限於氣流擾動、固定回波及光達設備量測體積與基準儀器量測位置間之氣流的實際變化。
- D. 安裝在測風塔上之基準感測器應符合IEC/CNS 61400-50-1之要求。此特別適用於校正、分類及安裝。
- E. 基準測風塔在其高度上宜具恆定之橫截面及堅固性。如此，測風塔對儀器支架安裝風速計之影響隨高度保持恆定，且可更準確地比較測風塔與光達設備間之實測風切。
- F. 應擷取資料應以0.5 m/s區間予以區間化，且以0.5 m/s整數倍為中心。在4 m/s到16 m/s為中心(包括4 m/s及16 m/s)之每個風速區間中，記錄至少3對有效的同時間、同位置且已過濾之量測值，否則不應認為已滿足分類試驗之資料擷取要求。擷取之資料量應至少涵蓋180 h。

(2). 資料篩選整理：

- A. 應將資料予以過濾：
 - a. 基準測風塔應不受IEC/CNS 61400-12-5定義的風力機及障礙物之尾流影響。
 - b. 基準杯型風速計應不受IEC/CNS 61400-50-1定義的測風塔尾流、其拉索或避雷針之影響。
 - c. 基準杯型風速計應不受結冰之影響。此可藉由任何合適之方式實現，但方法及結果之要求應充分記錄。
 - d. 光達設備及基準感測器為每個平均間隔記錄的量測應

- 代表單一連續之運轉時段，其持續期間等於平均間隔。
- e. 一般情況下，不宜對降雨進行過濾。分類試驗中宜將降雨量視為環境變數。若光達設備製造商之指引規定參考降雨量之過濾，則宜遵循此等指引。若將參考降雨進行過濾，則過濾後之資料宜視為特殊資料組，光達設備之分類、校正及應用宜以與此一致之方式進行。
 - f. 應記錄及報告所使用之所有過濾準則及其各自對資料組之影響。

為直觀呈現這四大機構在技術資料、建議作法與標準上的分工與定位，以下將其整理為比對表格：

表1 四大機構在技術文件之定位

機構名稱	主要發布技術資料/標準	核心聚焦領域與規範重點
IEA Wind	Recommended Practices (建議作法)	光達技術前瞻應用、複雜地形誤差修正(CFD 模型應用)與跨國經驗整合。
Carbon Trust (OWA)	Floating Lidar Roadmap (浮動式光達發展路徑)	離岸浮動式光達(FLS)的商業化成熟度三階段分級，以及商業信賴度(Bankability)驗證流程。
MEASNET	Measurement Procedure - Lidar Verification	嚴格的現地比對校正程序、高標準數據品質控制，以及全球計量實驗室之間的交叉認證與互認。
IEC	IEC 61400-12-1 / IEC 61400-50 系列國際標準	將光達正式納入國際標準體系中，奠定光達商業應用及第三方驗證機構間通用的標準。

四、數據溯源與應用擴展之未來

氣象式光達技術的日趨成熟，不僅加速了全球風電基礎建設的步伐，也逐步改變了人們對於低空大氣邊界層的理解與認知。前瞻未來，氣象式光達的發展預期可聚焦於「計量學上的測風塔溯源與自主校正」以及「應用場域的進一步擴展」兩大核心課題。

在測風塔溯源與計量體系方面，IEC 61400-50 系列標準已賦予了光達標準化、設置到各式場合的應用地位。標準中，不論是地面型還是浮動式光達，其核心的比對校正方法與不確定性追溯，仍是回歸到「一座符合標準設計、安裝實體杯狀風速計，具備品質控管的測風塔」旁進行比對，藉由實體及物理量互相比對，仍是具信心及可靠的方法。

然而，當光達設備功率越來越強、科技持續突破，加上設置測風塔需要大範圍場域土地，吊車限制及建造技術瓶頸，以及越高的測風塔儀器設置及後續校正維護等人事物料成本高昂，將越來越難以建造出對應高度的實體測風塔供光達進行比對校正。

因此，國際產官學研界目前亦推動基於物理基體(如光譜、時鐘頻率標準)的自主溯源技術，係因雷射光達的風速量測本質上是基於光速、光學波長與都卜勒頻移公式，只要雷射波長與內部頻率計數器能精準溯源至國家計量體系(如原子鐘與標準雷射波長等)，理論上光達便具備「自我溯源」之潛力。但在雷射光元件衰減議題、自主溯源技術持續發展之際，將光達放置在測風塔旁的現地比對，仍是具共識的標準化方法。

在應用擴展方面，隨著全球離岸風電皆逐步邁向深海化，固定式水下基礎已不具經濟效益，取而代之的是「浮體式離岸風機（Floating Offshore Wind）」¹。在此趨勢下，浮動式光達(FLS)將不再僅僅用於前期的風資源評估，更將演變為長期風場維運、颱風警報期間風力機安全監控，甚至與大數據平台、人工智慧預測結合，成為離岸風電數位雙生(Digital Twin)系統的關鍵實體觀測節點，以提供前述各式系統之品質的輸入資料來源。此外，長程掃描式光達（Scanning Lidar）技術的精進，使單一陸域或離岸設備，能夠監測方圓 10 到 15 公里內的海域風場，這在大型風場的「尾流效應（Wake Effect）」²研究與風場間交互干擾分析、進一步擴展到各風力機控制，將展現出無可替代的價值。

綜上，氣象式光達基於雷射遙測原理，具低成本、相較於測風塔的高機動性、設定及調整極快速與低環境破壞性等優點，將持續擴展到風電以外的各種應用層面，如有散佈於各處或深遠海域中、具備可信度的設備與數據源，而其蒐集的數據將作為輸入資料，進入更多元的計算、分析甚至模型運算中，將可為人類綠能轉型與氣象科學研究，建構出更可見又更堅實的基石。

五、參考文獻

1. IEC 61400-50-1: Wind energy generation systems – Part 50-1 : 2022 Wind measurement – Application of meteorological mast, nacelle, spinner and lidar wind measurement technology.
2. IEC 61400-50-2: Wind energy generation systems – Part 50-2 : 2022 Wind measurement – Application of nacelle lidar wind measurement technology.
3. Carbon Trust. (2018). Carbon Trust Offshore Wind Accelerator (OWA) Roadmap for Commercialization of Floating Lidar Systems. Version 2.0.
4. IEA Wind TCP Task 32. (2020). Recommended Practices for the Selection and Use of Lidar in Wind Energy. IEA.
5. MEASNET. (2016). Evaluation of Site Specific Wind Conditions. Version 2.0.
6. MEASNET. (2021). MEASNET Procedure: Organisation, Round Robins, and Laboratory Quality Management for Wind Energy Measurements. MEASNET Certification Paper.
7. Thobois, L., & Girdwood, R. (2019). Application of Scanning Doppler Lidar for Airport Wind Shear and Wind Resource Assessment. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 36(8), 1421-1435.

8. 交通部中央氣象署. (2024). 《前瞻氣象觀測與遙測技術發展專案報告》. 台北：中央氣象署.
9. Courtney, M., & Wagner, R. (2016). Meteorological Lidar Calibration and Traceability. Technical University of Denmark (DTU Wind Energy).

儀器介紹

車用電池耐火性試驗系統簡介

財團法人金屬工業研究發展中心 陳處長鍾賢

電資技術科 林簡任技正良陽

一、前言：

隨著全球節能減碳及運輸載具電動化趨勢快速發展，電動車（Electric Vehicle, EV）成為汽車產業重要發展方向，電動車主要以可充電電能儲存系統（Rechargeable Electrical Energy Storage System, REESS）作為驅動能源，隨著續航里程、充電功率及電池能量密度持續提升，電池系統於交通事故及外部火災等極端環境下之安全性，已成為產品設計與法規驗證的重要課題。

鋰離子電池具高能量密度及高輸出功率等特性，但其內部含有具可燃性的電解液及活性材料。當車輛遭遇外部火災或長時間高溫曝露時，熱能可能透過電池外殼及結構傳遞至內部電芯，使電芯溫度持續升高，造成電解液分解、內部短路及熱失控（Thermal Runaway）等現象，嚴重時可能伴隨火焰、高溫氣體排放或爆炸等情形，對車輛乘員及周遭環境造成安全風險。

聯合國歐洲經濟委員會(UNECE)制定之UN Regulation No. 100(UN ECE R100)[1]，針對電動車高電壓系統及REESS訂定相關安全要求，其中耐火性試驗(Fire Resistance Test)主要用以評估REESS遭受車輛外部火源曝露時之安全性能。試驗透過外部火源，來模擬車輛自身或鄰近車輛發生火災時，電池系統可能遭受之高溫及火焰環境，以驗證REESS之耐火及安全防護能力。

二、耐火性試驗系統介紹

耐火性試驗主要用於模擬電動車輛之REESS於車輛事故或鄰近火災情境下，遭受外部火源及高溫熱負荷之環境，評估電池系統在火焰曝露條件下的安全性與耐火能力。測試設備之基本架構主要是建立在CNS 16160[2](UN ECE R100)的檢測方法，耐火性試驗系統主要由燃油盤、防火磚台車、受測物台車、主電控箱等部分組成，整體測試系統示意圖如圖1所示。主要設備功能說明如下：



圖1 耐火性試驗系統示意圖

1. 燃油盤

燃油盤為耐火性試驗之核心設備，主要功能為建立符合試驗需求之火焰及熱負荷環境。依採用之試驗方式，可使用汽油池或LPG燃燒器產生外部火源，使受測REESS依規範設定條件接受火焰曝露，系統具備穩定燃燒及適當火焰分布能力，以提升不同試驗間之測試一致性與再現性。本設備採用汽油池方式進行測試，尺寸可依受測件水平投影範圍要求調整。

2. 受測物台車

用於固定 REESS 並模擬實際車輛安裝方向，使試件維持規定之曝火位置，承載平台具備足夠之機械強度及耐熱性能，並可依不同尺寸及結構之電池系統進行調整，以模擬REESS實際安裝於車輛上的配置狀態。

3. 防火磚台車

依試驗程序控制直接及間接火焰曝露條件，模擬不同階段熱負荷，防火磚材料須符合標準要求，規格如圖2所示，採用耐火性SK30，氧化鋁材料，開孔率為體積之20%至22%，密度為 $1,900 \text{ kg/m}^3$ 至 $2,000 \text{ kg/m}^3$ ，有效孔洞面積為44.18%，避免於高溫環境下產生明顯變形而影響試驗結果。

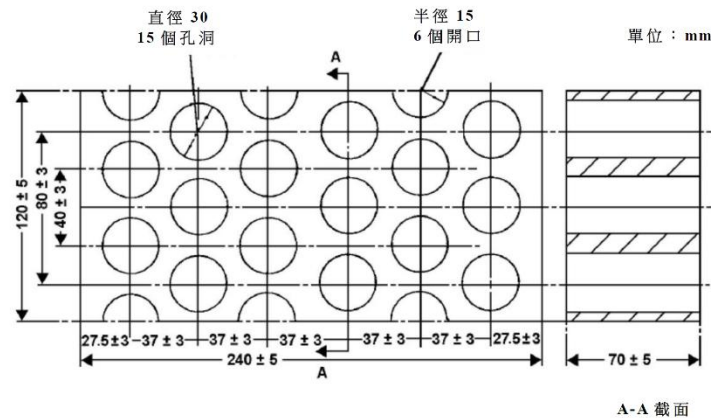


圖2 耐火磚之尺度及技術資料

4. 主電控箱

整合各子系統並可執行遠端操作，降低試驗人員曝露於高溫及火焰環境之風險，可控制受測物台車及防火磚台車前進後退，以及自動/手動啟動進行火焰曝露條件，控制面板操作畫面如下圖3所示。



圖3 控制面板操作畫面

試驗過程可透過影像監控系統，即時記錄受測REESS、火源及周圍環境之燃燒狀況，並觀察電池破裂、排氣、電解液洩漏、起火及爆炸等現象。試驗完成並移除外部火源後，仍須持續進行安全觀察，以掌握REESS是否發生延遲性熱反應或其他危害。

三、耐火性試驗系統測試操作說明

1. 先向上扳起控制箱內的無熔絲開關(NFB)，再於控制箱面板上順時針旋轉電源開關，此時，觸控面板通電；
2. 在受測物台車上放置待測物；
3. 依照待測物尺寸，放置適合的燃油盤於水盤內；
4. 在燃油盤加入燃油，並在水盤加水，並以陣列方式鋪設防火磚於防火磚台車上；
5. 接著將燃油點燃；
6. 點火後依據CNS 16160進行以下階段；
 - (1) 階段A：預熱

預熱時間60s後，將燃油盤置於待測裝置下方。

(2) 階段B：直接曝露於火焰

待測裝置曝露於燃油自由燃燒之火焰中70s。

(3) 階段C：間接曝露於火焰

耐火磚置於燃燒燃油盤與待測裝置之間，待測裝置應曝露於減弱的火焰中60s。

(4) 階段D：試驗結束

將覆蓋耐火磚之燃燒燃油盤移回階段A之位置，且不熄滅待測裝置。燃油盤移回後，觀察待測裝置，直到待測裝置之表面溫度已降至周圍溫度，或已降溫至少3h。

7. 試驗完畢，於控制箱面板上逆時針旋轉電源開關，此時，觸控面板斷電，最後再向下扳動控制箱內的NFB開關。

四、結論

隨著電動車產業快速發展，電池於異常或事故情境下可能面臨火災及高溫危害，因此耐火安全性能已成為電動車電池重要的安全驗證項目。為因應國際電動車電池安全法規及CNS 16160試驗要求，建置本套耐火性試驗系統，以建立電池系統於火焰曝露條件下之耐火安全檢測能力。透過耐火性試驗可評估電池外殼、隔熱材料、模組配置及整體結構於火災環境下之防護效果，並觀察受測系統是否產生火焰、結構破壞、熱失控或爆炸等現象。相關試驗結果除可作為UN ECE R100法規符合性驗證之依據，亦可提供電池製造商及整車廠進行REESS防火、隔熱與熱安全設計改善之參考，進而提升電動車電池系統於事故情境下之整體安全性。進一步保障電動車使用者及產品應用之安全。

五、參考文獻

1. UN Regulation No. 100 Rev.3，2022 年
2. CNS 16160，電動車輛電能動力系統及可充電儲能系統安全特定要求，2023 年