



「風、光、氫能源互補」 獨立電網與風力機組觀摩及 參訪 苗栗圓樓和北勢溪整治成果

照片及圖片提供：中華顧問工程司、英華威風力發電集團、張武訓、林合洲

張武訓／中國土木水利工程學會工程環境與美化委員會主任委員

馬俊強／中華顧問工程司研發主任

馬婉容／中國土木水利工程學會工程環境與美化委員會幹事

社團法人中國土木水利工程學會的「工程環境與美化委員會」，配合政府因應全球氣候變遷，落實環境正義的目標，舉辦苗栗赤土歧「獨立電網風、光、氫能源互補實驗與示範」觀摩及英華威風場參訪活動；藉以深入瞭解整合風力、氫燃料電池或太陽能設備併聯發電之現況、應用成果及未來發展性，同時感受圓樓歷史、文化涵養以及工程環境與工程美化成果，專業與知性兼容並蓄，共同為保護地球環境盡一己之力。

社團法人中國土木水利工程學會的「工程環境與美化委員會」，致力於推動工程環境與工程美化，且重視氣候變遷與再生能源發展。「工程環境與美化委員會」於 105 年 11 月 11 日舉辦活動，觀摩中華顧問工程司在苗栗赤土歧的「獨立電網風、光、氫能源互補實驗與示範」及英華威公司在竹南風場的機組，參與學員得以深入瞭解風力發電系統、太陽光電發電系統與製氫設備，藉以認識相關運轉問題與最佳之發電效益，行程中並安排學員實地感受中華傳統民居文化，及實地體驗工程環境與美化成果案例。

本次參訪活動首站由本學會「土木歷史與文化委員會」陳清泉主任委員，帶領學員參訪苗栗高鐵站旁「客家圓樓」。據查，分佈於大陸福建省的客家土樓群是世界獨一無二的大型民居，堪稱中華傳統民居的瑰寶，獲得列入世界文化遺產的行列，並成為公認最具客家文化代表性建築；苗栗「客家圓樓」仿自中國福建永定的土樓「振成樓」，佔地 1,385 平方公尺，樓板總面積 3,476 平方公尺，空間結構為地下一層、地上三層。「客家圓樓」的一樓主體為圓型展演劇場，二樓主



要為展示空間，規劃「客家戲曲館」、「客家音樂館」及「城市文化交流展」，三樓設置 DIY 研習教室與多媒體互動專區。樓內並設置販賣部，主打客家風味與在地特色創意商品。苗栗縣政府在後龍高鐵特定區興建土樓造型的「客家圓樓」，除了彰顯苗栗在地客家文化特質，並區域規劃整治臨近的北勢溪，成為「親水廊道」的美麗景觀。因為就在高鐵特定區內，學員在高鐵局鍾總工程司的說明中和高鐵苗栗站合影留念。

參訪活動第二站，親臨感受兼具工程環境與工程美化之「北勢溪環境營造計畫工程」成果。北勢溪因上游



畜牧、農作造成水質混濁，因此，於後龍溪上游老田寮溪、沙河溪匯流口，河床下約 5 公尺埋設集水管，汲取清澈伏流水，並設置約 4,200 公尺引水道，將水輸入北勢溪清水廊道，不僅可營造北勢溪親水遊憩功能，並亦可藉由設分支管至苗栗農田水利會的後龍圳，用以調節枯水期之農田灌溉，如此多目標引水取水功能，可謂水資源開發利用以及環境美化之成功案例，經行政院核定為都市生態水岸環境營造示範計畫。北勢溪環境營造計畫之工程內容包括北勢溪親水廊道環境改造、上下游自行車道串連、後龍溪引水取水工程及 7 個滯洪公園，內含客家圓樓遊客服務中心、閩南書院及植栽綠美化等；北勢溪親水廊道河道兩側設置臨水步道，右岸箱涵壁採面用抵石子美化，以 24 節氣搭配苗栗特色水果、客家圓樓及閩南書院為主題，設計 14 幅馬賽克磚拼圖，左

岸自然邊坡種植草皮與灌木，坡頂鋪設人行步道，河道中以塊石堆疊出 7 座石滬，石滬中設置景觀噴泉，同時分段疊砌 9 座塊石之擋水設施，營造出跌水流瀑景觀，並設置高矮景觀燈、壁燈、水岸燈、LED 燈，創造融合在地多元環境之河岸景觀，令學員流連忘返。

參訪第三站，來到苗栗後龍龍港工業區綠能示範屋。中華顧問工程司為模擬偏遠山區或離島與偏遠地區不便施工搭建結構物，且無法由公共電網接電之環境，特選定苗栗後龍龍港工業區設置獨立電網綠能示範屋。綠能示範屋選用 20 呎及 40 呎貨櫃屋裝載發電設備與家電用品，並規劃為可供人員生活起居之環境。貨櫃屋的優點在於可預先完成內部裝潢，再運至設置地點快速架設，而往後遷移吊掛亦極為方便，可降低建築與搬遷成本。綠能示範屋於 104 年 12 月開始整地動工，由於設置



地點近海邊，氣候較為潮濕，特加強貨櫃屋外牆之防鏽處理，另基於防潮及避免昆蟲入侵之考量，貨櫃屋底部予以架高，保持離地 15 公分之間距；歷經整地、貨櫃屋與風力機基礎施作、貨櫃屋內外裝修、結構體安裝、雨水回收、排水、空調等附屬工程及外部景觀等工作，於 105 年 3 月完成施作，屋頂設置太陽能板，除吸收日照進行發電外，亦兼具降低貨櫃屋室溫之效果。太陽能板、風力發電機與主貨櫃建物之基礎結構，須可承受 15 級風（風速 46.2 m/s ~ 50.9 m/s）吹襲仍保持完好之要求，同時於貨櫃屋周圍架設廣角網路攝影機（IP Camera），可透過網路遠端監看綠能示範屋外部設備運作狀況，綠能示範屋外觀如圖 1。20 呎貨櫃屋內部供擺放氫燃料發電機、製氫設備、儲氫設備、逆滲透純水濾水器、蓄電池模組、控制與監控模組及抽排風機，各項設備如圖 2。40 呎貨櫃屋內部則安裝日常生活所需之設施，包含電燈、循環扇、冷氣機、電冰箱、電視機、開飲機、咖啡壺、電腦及盥洗設備，可供人員與內部工作與居住，以模擬日常生活環境之用電需求，40 呎貨櫃屋內部設施如圖 3 所示。貨櫃屋上方特別設置集水天溝，可於降雨時匯集雨水並導入 1,000 公升之蓄水塔儲存，冷氣機之排水亦透

過集水器排放至集水天溝予以回收，透過逆滲透去離子濾水器可將雨水過濾為純水，以提供製氫設備進行水電解反應產生氫氣，蒐集儲存之雨水還可供應盥洗設備，亦可加以過濾提供飲用，達到自給自足目的，圖 4 為綠能示範屋之雨水與冷氣排水回收設施。

綠能示範屋於 105 年 3 月完工，即開始獨立運作，如圖 5 所示貨櫃屋上方各設置 5 kW 太陽能板，並朝南傾斜 13.5 度設置，以提高太陽輻射直射的機率，達到吸收最大太陽能以產出最多電量。兩組 3 kW 風力發電機則設置於太陽能板的北方，避免日照時產生陰影遮蔽太陽能板，而降低太陽能發電效率。太陽能板、風力發電機與主貨櫃建物之基礎結構，須可承受當地歷年最高風速之要求，持續發電供給各項電器設備之用電。為有效監控系統狀態，掌握設備運作情形，各項發電、製



圖 1 綠能示範屋外觀設置成果



圖 2 綠能示範屋 20 呎貨櫃屋內部設備



圖 3 綠能示範屋 40 呎貨櫃屋內部各項設備



圖 4 集水天溝與蓄水塔（左）及冷氣排水回收（右）設施



圖 5 貨櫃屋上方設置太陽能板

氫、蓄電、儲氫設備及負載設備耗能狀態之運作數據皆透過 RS-485 介面傳送至 40 呎貨櫃屋內之監控電腦，並且利用 LabView 軟體，以圖形化的介面即時呈現各項數據，包含風力發電機、太陽能板之發電功率、蓄電池之充放電狀態與端點電壓、氫燃料電池發電電壓、儲氫槽壓力與製氫機輸出流量及負載電氣設備的耗電功率。另亦於綠能示範屋外部安裝小型氣象站與日照儀，並將即時風速與日照量傳送至監控電腦，一併以 LabView 軟體呈現於監控畫面中。如圖 6 所示，透過網路遠端操作監控電腦，可即時監看綠能示範屋各項設備運作數據，並觀察不同氣候條件（風速、日照）對於風力發電機與太陽能板發電量之影響。各項運作數據亦加以儲存紀錄，可供未來研究分析使用。綠能示範屋外部亦架設四路廣角網路攝影機，可透過網路連線監看外部設備運作狀況，網路攝影機監看畫面如圖 7。

利用再生能源組成發電系統，併聯太陽能及風力機進行發電，所產生電力優先供應綠能示範屋內之生活及辦公用電器設備，多餘電力則透過水電解製氫設備產生氫氣，並加以儲存於鋼瓶。另設置雨水回收系統，經過濾淨化為純水後，可供水電解設備產製氫氣及日常生活使用。然而，風光發電實屬靠天吃飯，當風場及日照條件不足時，風光發電無法供應綠能

示範屋電器設備穩定運作時，則立即啟動氫燃料發電機，利用先前所儲存之氫氣接續發電，以供應電器設備用電，其系統運作構想如圖 4。統計每日系統運作數據，並針對氣候條件與發電、耗能結果進行比對，可獲得綠能示範屋系統之發電與儲能設備運作容量是否恰當。依 105 年 3 月份統計之數據（圖 8）可得知，該季節多雨且日照不足，太陽能發電效率不盡理想，但是較大的風速讓強風力發電機可扮演重要的供電角色；統計 105 年 5 月之數據（圖 9）則呈現相反現象，該季節日照天數增加且強度較強，太陽能板充分發揮，扮演主要發電角色；風力機則因風力微弱，發電效率不彰。偶遇負載設備耗電量超過太陽能與風力機之基載發電電量時，蓄電池模組及氫燃料電池便啟動供電，達到穩定、持續供電的目的。實際運作數據證明結合風、光及氫能源可達互補發電之目的。

中華顧問工程司根據美國太空總署（NASA）長期觀測紀錄全球氣候資訊，透過其大氣科學資料中心網站，輸入後龍示範場地坐標值（緯度：24.055°，經度：120.719°）可獲得該處每月平均風速（表 1）與每

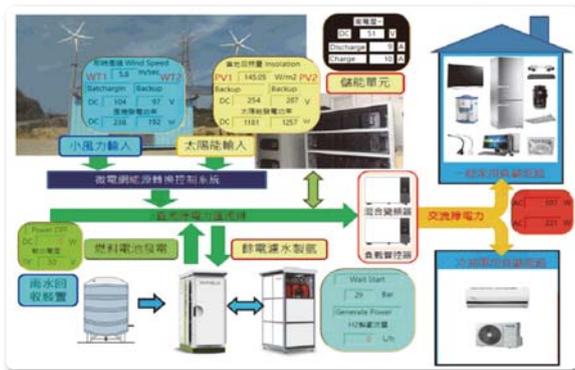


圖 6 綠能屋設備運作數據即時監控畫面



圖 7 綠能屋網路攝影機監看畫面



圖 8 綠能屋實際發、耗電統計（105年3月）



圖 9 綠能屋實際發、耗電統計（105年5月）

月太陽輻射平均照射量(表2)。其中每月平均風速為累計觀測10年所得每月平均風力強度,單位為m/sec;太陽照射量則為累計22年觀測週期所得之每月太陽輻射照射地表水平面之平均值,單位為W/m²。將以上各月之日照量與風力強度等數據分別帶入10kW太陽能辦與3kW風力發電機之發電曲線計算後,可估算出後龍示範場各月份之每日發電量。如圖10所示,可看出風力發電於冬季可獲的較大發電量,夏季則不盡理想,最大與最小發電量相差超過3倍;太陽能發電則恰好相反,夏季可達發電高峰,冬季日照少,太陽能發電表現不佳,最佳與最差發電量差異亦超過2倍。

本次參加學員以工程師居多,均對溫室氣體與節能減碳特別關心,尤其想深入了解再生能源互補的實作過程,共同主辦單位中華顧問工程司研發主任馬俊強先生特地安排熟悉風力發電與太陽能發電的耀能公司總經理蔡國隆先生講解上述的運作,學員分批面對風機、太陽能板和發電設備聽講發問。為讓學員目睹與能瞭解氫氣製作、儲存與氫電池發電的串聯過程,亦邀請美菲德公司林振生副總經理蒞場解說。至於「風、光、氫能源互補」的系統運作,即有關從規

劃、設計、測試、運作與累計數據的評估,則由馬主任現身說起。除有完整的報告,並有詳細的長短影片放映提供瞭解。為了體驗產生電力的生活效能,用化合的乾淨水,及自己發電的新鮮電力煮咖啡,藉即時的分享讓學員瞭解這套互補系統的救急功能。本學會感謝中華顧問工程司的用心特由張主任委員代表致贈會旗一面,並和全體學員合影留念。

參訪行程至此,已逾中午用餐時間。本學會在風光明媚的「崎頂新樂園」,席開四桌,全體學員與中華顧問工程司及英華威風力發電集團之協助導覽人員,共享物美價廉的超值桌餐。席間,學員分享彼此參訪心得與工作經驗、討論菜價高漲與主廚好手藝、閒話家常之間,不知不覺再添一碗飯。學員說:「哇~頭腦充飽電,肚子吃太飽,還能舒壓盡享明媚風光,真是不虛此行啊!」。

飽餐一頓之後,參訪英華威風力發電集團於苗栗縣竹南鎮崎頂海水浴場沿岸設置之風場。風場分布於苗栗縣竹南鎮龍鳳漁港北側的防風林邊緣,共有3部風力發電機組,於100年9月開始商轉,風場所發電力,全數供應台電公司電網。英華威風力發電集團為一致力於綠色能源發展及推廣的公司,於85年成立於德國,與其

表1 後龍示範場每月平均風速

Monthly Averaged Wind Speed at 50 m Above the Surface of the Earth (m/s)													
Lat 24.055 Lon 120.719	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
10-year Average	8.57	7.97	6.76	5.80	5.03	5.39	4.88	5.01	6.30	8.14	8.88	8.52	6.76

表2 後龍示範場每月太陽輻射平均照射量

Monthly Averaged Insolation Incident on a Horizontal Surface (W/m ²)													
Lat 24.055 Lon 120.719	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
22-year Average	109.6	125.4	147.1	177.5	203.3	237.5	278.8	254.6	212.9	171.7	129.7	111.25	180



圖10 風力發電(上)與太陽能板(下)各月份之每日發電量



姐妹公司 innoVent，已在全世界開發及興建超過 1,000 MW 風場，91 年在台灣落地生根以來，與學界、環保團體及其他再生能源業者共同推動「再生能源發展條例」立法；截至目前，英華威在臺灣已開發、興建、營運超過 350 MW 的風場及太陽光電發電系統，年發電量超過 8 億度、抵減超過 42 萬公噸二氧化碳。

英華威風力發電集團開放本學會會員參觀竹南二期風場，該風場採用之風力機組，為德國 ENERCON E-70 機型、單機裝置容量 2,300 kW，機組之機艙高度 64 公尺，葉片直徑 71 公尺，單座機組發電量相當於 1,500 戶家庭用電，每年可抵減二氧化碳量約 3,400 公噸，約當 14 座大安森林公園面積的造林效果。德國陸域風電至今已安裝超過 2 萬座，ENERCON 在母國的陸域風電市佔率達 50%，全球市佔率也長期保持前 10 名，穩定的高品質深受各界肯定；其造型特殊、極易辨認的蛋型機艙設計（圖 11），出自英國著名建築師諾曼·福斯特（Norman Foster）之手筆。

ENERCON E-70 機型機組之機艙上方設有測風儀及航空障礙燈，前者可偵測即時風向，隨時指引風機偏航、擷取最大風量；航空障礙燈則能警示行駛於該區域上空的飛機，風機所在的區域。臺灣是一個天然條件高

風險國家，偶而的地震與每年的颱風都難免造成災害，因此，風機低風速時不會轉動發電，超過極限風速也會自動煞停自我保護不發電，風速過大也可能造成風機構件的損壞，ENERCON E-70 之啟動風速為 2.5 m/s（每秒 2.5 公尺約當 2 級風），風速達 15 m/sec（7 級風）滿載發電，在風速超過 25 m/s 後（10 級風），發電機啟動暴風控制（Storm Control）保護系統，直到風速超過 34 m/s（12 級風、約中度颱風）才完全停下（詳如圖 12 功率曲線）；如何確保風機的可靠度，是風力發電上最大的挑戰。英華威是電力開發商，向供應商 ENERCON 採購風機，簽訂 15 年維運合約，風機供應商保證提供 97% 的妥善率，ENERCON 公司為此在臺灣培訓及常駐有 70 人服務團隊，可以 24 小時到場維護。以媒體號稱「地表最強」蘇迪勒颱風為例，暴風圈襲擊台灣西岸的 24 小時當中，英華威風場真正停機的累計時間約僅半小時左右，可見當代風電技術的進步。

參觀 ENERCON E-70 機型機組時，因為空間有限，分梯次進入，每次 5 位學員，由德國工程師尼爾斯先生英語解說，部分由本地工程師補充。由於進入機組瞭解風機運作是件難得的機會，學員把握機會討論激烈，本委員會林穎立委員特地兩次入機發問，活

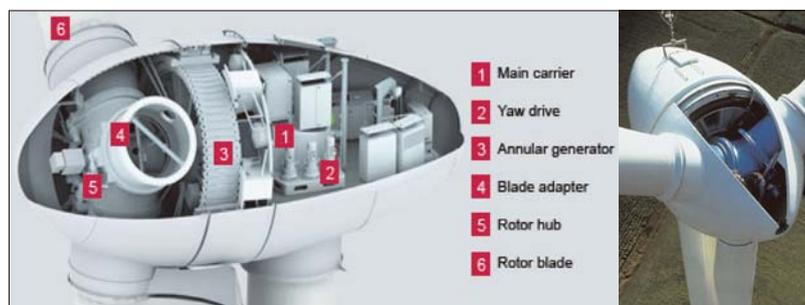


圖 11 德國 ENERCON E-70 機型機艙示意圖

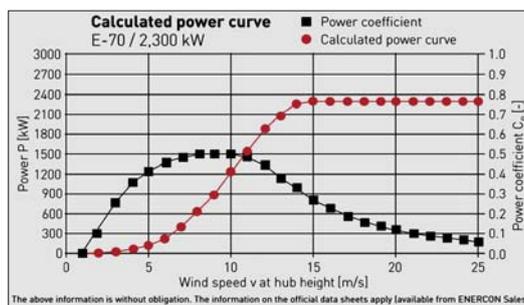


圖 12 德國 ENERCON E-70 機型功率曲線



動協辦單位台經院能員組林若秦博士也不落人後。對於機組裡的即時資訊都可從儀表中顯示，一組學員參訪的幾分鐘內的不同時段所拍攝的數據就有不同的現況和累積成果。大家亦好奇是否常爬直梯到機艙，以及攀爬一次需要多少時間等，尼爾斯先生說：「有一次花了 10 分鐘爬到頂，平時不會想爬。」，因為苗栗消防隊曾到風場作消防檢查與演習，所以可以看到機房貼有相關作業規定。承蒙英華威公司無私的開放和熱忱協助活動，張武訓主任委員代表學會特贈會旗感謝，由英華威公司葉文村總監與張雅婷經理代表接受。

本學會舉辦苗栗赤土歧「獨立電網風、光、氫能源互補實驗與示範」觀摩及英華威風場參訪活動，讓學員實地欣賞圓樓歷史與文化涵養、讚美北勢溪工程環境美化成果，瞭解若單獨採用風力或太陽能發電設備，必須考量發電淡季之用电需求量，若能整合風力或太陽能兩種設備併聯發電，在冬季時利用風力強勁之特性，以風力機做為發電主力，夏季之強烈日照則可供太陽能板發揮最佳效率，兩者併聯發電之總發電量，可確保各月份之發電量不再有明顯差異，有效整合兩種發電設備，達到截長補短、發電互補之目的。政府目前刻正積極推動離岸風電，英華威風力發電集團亦響應政府政策，已著手規畫長期離岸風電計畫，希望能將母公司 wpd 於德國開發離岸風電的成功經驗與臺灣各界分享，盼除了增加未來綠能的供應量，亦有助於在地人才培育及產業鏈結合。有關本次活動之過程，歡迎利用臉書搜尋「工程景觀」社群，可瀏覽或自行下載已儲存的 200 多張活動

照片，並可知悉工程景觀委員會相關訊息，察知本次活動的臉書接觸人次已超過千次。



工程景觀粉絲專頁

後記

工程環境與美化委員會配合政府因應全球氣候變遷，落實環境正義的目標，善盡共同保護地球環境的責任，於 105 年共舉辦三場知性觀摩參訪活動，包括參訪「優良生態環境工程 — 和興炭坑園區」、「節能！減碳！綠生活！— 氫燃料電池與捷運大安森林公園站的對話」觀摩研討體驗活動，與本次苗栗赤土歧「獨立電網風、光、氫能源互補實驗與示範」觀摩及英華威風場參訪活動。為推廣生態教育，藉由「和興炭坑園區」學習活動，增加學員對生態工法、自然景觀及礦坑文化深度學習機會；為讓學員及民眾體驗潔淨綠能「氫燃料電池」，特別選擇具有節能生態概念及景觀規劃設計的捷運信義線大安森林公園站，在綠建築及公共藝術氛圍中，見證臺灣新能源發展；為進一步深入瞭解環保趨勢，讓學員貼身進入赤土歧及英華威風場，參訪風力及太陽能發電，仰頭舉目盡是無比讚嘆，尤其參訪當日天氣一掃陰霾，沿途風光明媚，客家圓樓、高鐵車站、北勢溪及風機，在藍天白雲與和煦陽光的映襯下，更加吸睛。如此知性的學習活動，學員反應熱烈，給予高度肯定與讚賞，紛紛囑咐本委員會幹事：「下次活動一定要記得通知我參加喔！」並熱心建議下次參訪主題與地點。本委員會感受學員高度的求知慾與熱情，大夥相聚的奇妙緣份，就如高鐵路吳科長

於英華威風場拾獲一顆開著貝殼花的奇石，如此奇特，值得珍藏！工程環境與美化委員會能按計劃達成舉辦各項活動之目標，最感謝學員們的支持，感謝協助單位的奉獻，感謝學會秘書處同仁和秘書長，感動本委員會各委員在籌畫及參與過程都能團結一致提供高品質的指導，兩位幹事馬婉容工程司和林合洲工程司無怨無悔成就使命，挑戰自我，至感敬佩。恭喜 105 年順利，敬祝 106 年快樂。🍀

