

出國報告（出國類別：開會）

水、廢棄物和永續能源管理國際會議
(8/26~8/27)

能源效率、再生能源和替代能源國際會議
(8/28~8/29)

服務機關：台灣電力股份有限公司

姓名職稱：白崢鈺（主管）

派赴國家/地區：荷蘭

出國期間：113年8月24日至113年8月31日

報告日期：113年10月15日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：水、廢棄物和永續能源管理國際會議以及能源效率、再生能源和替代能源國際會議

頁數 37 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力股份有限公司人力資源處/翁玉靜/02-23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

白崢鈺/台灣電力股份有限公司/環境保護處/主管/02-23667207

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 開會 6 其他

出國期間：113 年 8 月 24 日至 8 月 31 日

派赴國家/地區：荷蘭

報告日期：113 年 10 月 14 日

關鍵詞：淨零排放、能源轉型、再生能源、水資源、循環經濟

內容摘要：(二百至三百字)

氣候變遷已成全球最關注的環保議題，各國陸續提出「2050 淨零排放」之宣示與行動，我國自 2016 年起推動能源轉型，以無碳再生能源、低碳燃氣發電作為發電主力，未來要達到 2050 國家淨零的目標，需深入探討能源效率、再生能源和替代能源系統等。因此透過參加此兩個荷蘭國際研討會(水、廢棄物和永續能源管理國際會議以及能源效率、再生能源和替代能源國際會議)，可獲得歐洲先進之水處理、廢棄物處理、能源管理系統、再生能源和替代能源等的最新發展資訊、策略及技術等，並深入了解歐洲的環境保護與再生能源之創新領域，以提供本公司作為能源轉型參考，朝建構綠色企業願景邁進，並落實環境友善的經營使命。

本文電子檔已傳至公務出國報告資訊網 (<https://report.nat.gov.tw/reportwork>)

目錄

頁次

壹、出國緣由與目的	3
貳、出國行程.....	5
參、參加會議心得	6
一、 水、廢棄物和永續能源管理國際會議.....	6
(一) 荷蘭水資源管理及因應氣候變遷作法	7
(二) 荷蘭廢棄物之永續管理.....	13
(三) 荷蘭循環經濟-永續建築	16
二、 能源效率、再生能源和替代能源國際會議	19
(一) 荷蘭風力發電的政策.....	20
(二) 荷蘭再生能源的發展趨勢與挑戰.....	24
(三) 再生能源發電創新技術.....	25
(四) 再生能源發電與電網整合的挑戰.....	32
肆、心得與建議	35

壹、出國緣由與目的

氣候變遷與淨零排放已成全球最關注的環保議題，各國陸續提出「2050 淨零」之宣示與行動，我國自 2016 年起推動能源轉型，以無碳再生能源、低碳燃氣發電作為發電主力，未來要達到 2050 國家淨零的目標，需深入探討能源效率、再生能源和替代能源系統等。因此擬透過參加相關研討會，可獲得歐洲先進之最新發展資訊、策略及技術等，並深入了解歐洲的環境保護與再生能源之創新領域。此兩個研討會均是在阿姆斯特丹的國際會議廳舉辦(詳圖 1)，本次係透過參加兩個國際研討會(水、廢棄物和永續能源管理國際會議以及能源效率、再生能源和替代能源國際會議)，獲得歐洲先進之水處理相關資訊，如荷蘭水管理政策、及其對當地生態系統影響及相關因應氣候變遷作法，廢棄物循環處理之永續管理，並探討有機生質廢棄物處理方法對其土地的影響，從生活廢棄物應用至土地碳源之研究，以及當地永續建築資訊；另外也著重於探討荷蘭風力發電政策現況、再生能源與氫能發展趨勢及挑戰、創新技術以及如何與當地電網整合相關資訊。



圖 1 研討會會議場地

本次研討會深入了解歐洲的淨零碳排、永續能源、再生能源之相關環境保護策略、技術、現況及推動情形，以提供本公司作為能源轉型參考，朝建構綠色企業願景邁進，並落實環境友善的經營使命。

貳、出國行程

前往國家：荷蘭阿姆斯特丹

出國日期：113 年 8 月 24 日至 113 年 8 月 31 日

起迄日	前往國家城市	工作內容
113 年 8 月 24 日至 8 月 25 日	台北→阿姆斯特丹	去程
113 年 8 月 26 日至 8 月 27 日	阿姆斯特丹	參加 ASAR「水、廢棄物和永續能源管理國際會議」
113 年 8 月 28 日至 8 月 29 日	阿姆斯特丹	參加 IITER「能源效率、再生能源和替代能源國際會議」
113 年 8 月 30 日至 8 月 31 日	阿姆斯特丹→台北	返程

參、參加會議心得

一、 水、廢棄物和永續能源管理國際會議

本會議是由荷蘭科學與學術研究協會(ASAR)舉辦，參與本次會議之核發出席證書詳圖 2，ASAR 是根據印度信託法（1882）註冊的印度最大的非營利專業協會，旨在促進工程和技術領域的研究開發和推廣。ASAR 在全世界各地舉辦技術會議與論壇，主要由專業和海外技術領袖組成，不遺餘力地加強科學、工程和技術領域的發展，已成為其高品質同行評審期刊、論文集和研究雜誌上發表研究論文的領先出版商之一。



圖 2 ASAR 水、廢棄物和永續能源管理國際會議出席證書

針對會議發表內容及相關討論議題，特別是跟荷蘭相關的水資源管理，及其對當地生態環境影響及氣候變遷作法，生質廢棄物之永續與能源管理及循環經濟等發展議題，彙整相關資料說明如下：

(一) 荷蘭水資源管理及因應氣候變遷作法

荷蘭位於歐洲西北部，地勢低窪，地形平坦，只有約 50% 的土地海拔超過 1 m，是一個典型的三角洲地區，有三條主要河流分別為萊茵河、默茲河和斯海爾德河會同流入北海。荷蘭的北半部和西半部以黏土為主要（佔 8000 平方公里）和泥炭土（佔 3000 平方公里），並且該地區大部分地區的地下水位較淺。中部、南半部和東半部以沙子為主要（佔 14,000 平方公里）和黃土（佔 900 平方公里），地下水位較淺至相對較深。目前，大約 50% 的表面積是農業用地，20% 是「半自然」區域和森林，15% 是城市和基礎設施區域，10% 是地表水。

荷蘭是一個以水為主的國家，擁有豐富的水資源，包括河流、湖泊、運河和濕地，這些水體不僅是人類生活和經濟活動的重要基礎，也對當地生態系統的健康和穩定起著至關重要的作用。但同時也面臨著水災的威脅，這個國家的水資源管理系統是世界上最先進的之一，結合了技術創新、政策制定和社會參與，以應對氣候變遷和水資源短缺的挑戰。開墾土地被視為荷蘭人克服水患的勝利，並在 18 世紀後開始與民族認同緊密相連，展現出一種自豪感和對於「與水

共生國家」的肯定。

1. 水資源及其生態系統相互影響

荷蘭的地理位置大部分土地位於海平面以下，這種獨特的地形使得水資源的管理成為國家首要任務。荷蘭擁有大量的河流、湖泊和運河，這些水體不僅提供了飲用水和灌溉水，也深切影響生態系統。

荷蘭的水資源管理與生態系統之間存在著密切的相互作用，這種關聯影響了生物多樣性、水質以及整體環境的可持續性。荷蘭的水資源為多種生物提供了棲息地，尤其河流和濕地是許多魚類、鳥類和水生植物的繁殖和生長場所。例如，濕地生態系統能夠支持各種水鳥的棲息和繁殖，這些鳥類在生態系統中扮演著重要角色，如控制昆蟲數量和促進植物授粉。此外，豐富的水資源也穩定土壤水分及許多礦物質，幫助保持生態系統的水分平衡，直接影響到周圍土地的生態環境，讓整個生態系統達到穩定及生物多樣性更豐富。

另外，荷蘭的水資源系統也提供多種附加的生態系統服務，包括水質淨化、洪水調節和碳儲存等。濕地生態系統提供水質淨化能力，吸收和過濾污染物，以保護水源的清潔。同時，這些生態系統可以作為洪水的緩衝區，減少洪水對人類社區的影響。水體和周邊生態系統也增加碳儲存能力，濕地和水生植物吸收二氧化碳，有助於減緩氣候變遷的影響。

2. 水資源管理政策

荷蘭的水資源管理歷史可以追溯到中世紀，由於荷蘭的低窪地形，洪水風險始終存在，隨著時間的推移，政府逐漸意識到有效的水管理對於防止洪水和保護土地的重要性，興建各種水利工程，如堤壩、排水系統等，並制定了應急計畫以應對可能的洪水災害。

荷蘭的水資源管理政策主要由幾個主要機構負責，包括 Rijkswaterstaat(RWS)、各地區水務局（Waterschappen）和地方政府，荷蘭也非常注重水資源研究，其中 Institute for Water Education(IHE) 是世界上最大的國際性學士後水教育機構之一(圖 3)，設於荷蘭台夫特，IHE 提供可授予學位的博士及碩士學程，並提供多樣的短期訓練課程，例如各種型式之防波堤、影響防波堤設計之各種邊界條件、防波堤斷面結構及尺寸之計算方法及水工試驗模型尺寸之計算等。自 1957 年來，已有來自超過 160 個國家，14,500 名以上專業人士在該機構受過教育或訓練。



圖 3 水資源研究教育機構

荷蘭水資源管理體制架構如圖 4，各政府相關部會相互交流並運用創新技術，制定相關法律規範於水資源系統中，這些機構共同制定了綜合的水資源管理計畫，涵蓋了水質、水量和水生態等多個方面。荷蘭政府亦對水質進行嚴格監測，有嚴格的標準，定期進行水質監測，以確保飲用水和生態系統的健康，並推行多項措施來減少農業和工業對水質的污染。荷蘭的水資源管理強調綜合管理，包括供水、雨水管理和廢水處理的整合，這些措施目的在減少傳統方法的侷限性，特別是面對極端天氣事件的影響。荷蘭同樣引入了如「海綿城市的概念」，致力於在城市設計中增強雨水的儲存與管理能力，

透過綠色基礎設施（如透水性路面和綠化屋頂）來減少排水壓力。荷蘭同樣以政策鼓勵將廢水視為資源，推動廢水處理廠向「能源和資源工廠」轉型，回收能量(沼氣)和營養物質（如磷酸鹽），主要在廢水處理設施逐步採用高效的回收技術，提升廢水的再利用率與多元化發展。

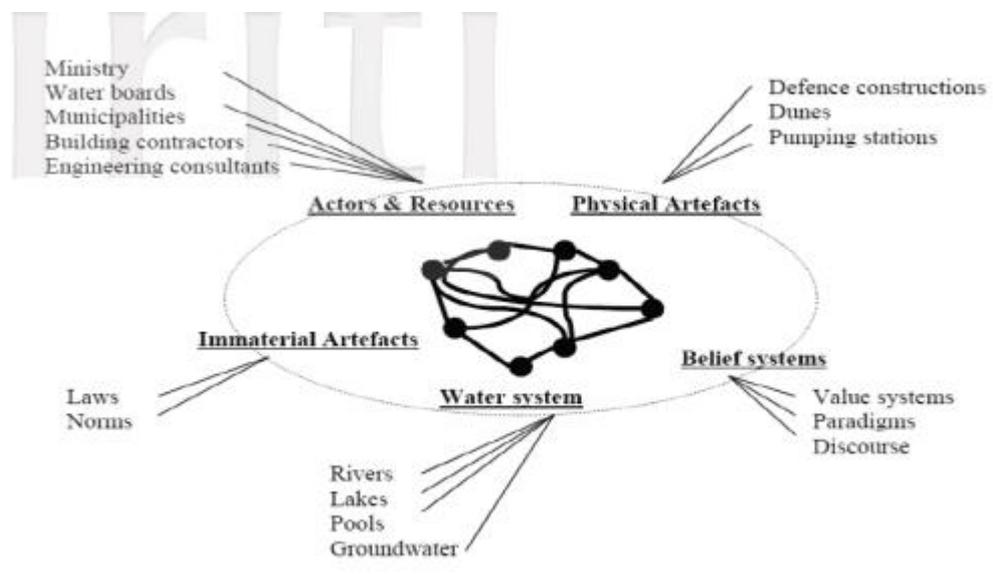


圖 4 荷蘭水資源管理系統

3. 因應氣候變遷作法

根據文獻資料顯示若海平面上升 1 公尺，則荷蘭全國境內約有 70% 的人口將受到生存危險，可能必須被迫遷移至他處。荷蘭 2050 年相對於 1990 年的氣候變遷情境分析指出，若氣候變遷狀況持續依照目前預測模型發展下去，至 2050 年時氣候狀況差異相較於 1990 年估計有 80% 的可能性荷蘭夏季的降雨量

(Precipitation) 將分別減少 10 %及 19%，潛在水氣蒸發量(Potential Evaporation)則分別增加 7.6% 及 19%，海平面絕對上升高度則介於 0.15~0.35 m 間。此結果突顯了兩個重大問題，即「不同季節間降雨量之差異擴大可能導致水資源分配無法滿足需求」及「海平面上升提高海水入侵之機率」。為解決前段所述因氣候變遷所可能帶來之危機，荷蘭近年持續在水資源管理上不斷進行技術與思維上的創新，並期望達到下列目標：

- (1) 提升水資源使用效率並另尋獲取水資源之管道。
- (2) 減少可能造成氣候變遷現象加劇之活動及因素。
- (3) 在氣候變遷不可逆之前提下，找出調適共存的方式。

荷蘭的水管理系統過去成功地防範了洪水，但面對未來氣候變遷的挑戰，仍需要進行結構性的調整，為了提高抵禦洪水和乾旱的能力，荷蘭需要設計更具預見性的水管理方案，這包括調整供水系統和治理架構，這一轉型不僅需要技術層面的改進，還需要在政策層面上促進利益相關者的參與，以確保公平和可持續的水資源管理。

另外，荷蘭政府也積極推行雨水收集和再利用系統，以促進水資源的循環及可持續性利用。同時政府對當地生態系統也非常重視，避免城市、農業和工業的過度開發，導致水體的污染和生物棲地喪失，影響生物多樣性，在經濟發展和生態保護間盡可能取得平衡，例如積極推動綠色基礎設施的建設，建造雨水花園和生態溝渠，

以促進水的自然循環和生態系統的恢復，避免因氣候變遷影響造成生態失衡。

(二) 荷蘭廢棄物之永續管理

會議中亦針對荷蘭廢棄物管理討論，根據歐盟的垃圾填埋指令 (EU) 2018/850，自 2030 年起，垃圾填埋禁令將適用於所有材料或能源方面可回收或其他可回收的廢物。填埋和焚燒仍然是國際上使用的兩種主要都市有機殘渣廢棄物(DOR)處理方法，主要缺點是可能導致資源利用率低下(Agudelo-Vera et al., 2012)：殘留物中所含的資源，尤其是 DOR 中的大部分營養物質和碳，會被破壞或浪費，無法進行資源循環利用。此外，亦會導致環境問題，導致溫室氣體排放增加。

生活中有機殘渣廢棄物(DOR)之生物降解部分包括廚房和庭院殘渣以及廢水中的有機元素。荷蘭三種主要 DOR，包括家庭廚房殘渣 (KR)、庭院殘渣 (YR) 和廢水處理污泥 (WWTS)，均為生質物流，可藉由堆肥、厭氧消化和直接施用等方法直接運用到農田中。

另有學者(Liu et al., 2023)的研究指出 DOR 可提高土壤有機碳 (SOC) 水平的潛力，有效減少溫室氣體排放和促進可持續的土地利用，緩解氣候變遷。此外，SOC 指數的增加可以提高土壤肥力，間接提高土壤保水能力，增加土壤養分可用性，提高作物產量，並

減少對合成肥料的依賴，這對糧食安全、環境和經濟可持續性以及農業系統的整體效率產生正面影響。

有機殘渣廢棄物(DOR)被視為一個重要的碳來源，荷蘭管理系統指出 DOR 雖然無法在短期內完全滿足土壤有機碳需求，但仍然具有相當潛力，尤其在減少土壤有機碳損失方面。國際間已朝循環的 DOR 管理，特別是更多的堆肥和直接土地應用，而不是填埋和焚燒，而是提高 DOR 的源頭分離率(如圖 5 及 6)。此亦可作為本國 2050 碳中和的生質有機廢棄物碳(DOR-C)管理參考。

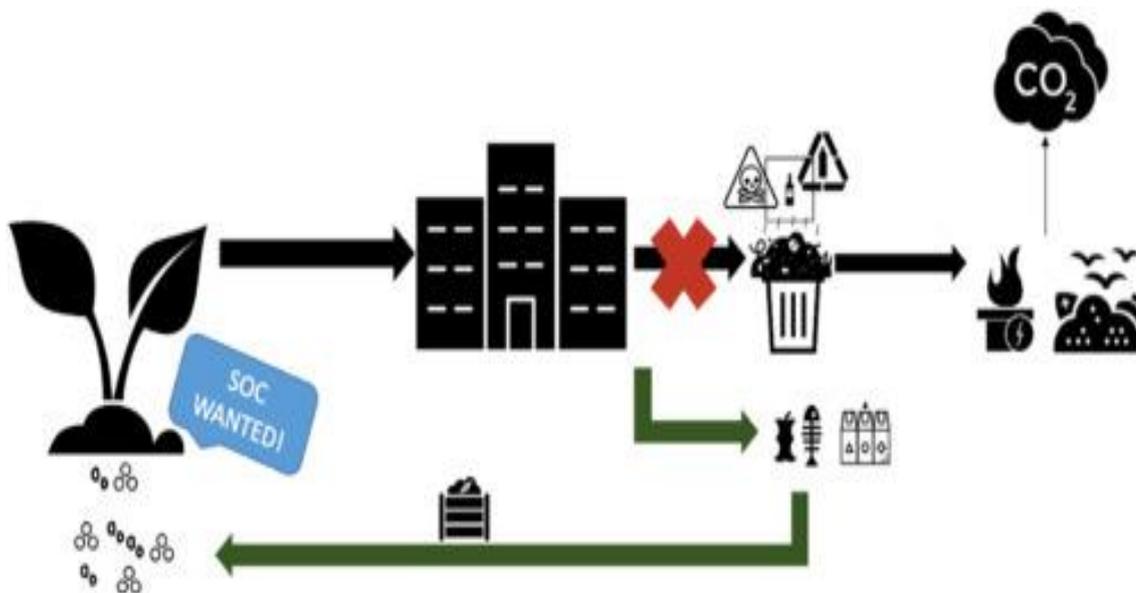


圖 5 有機殘渣廢棄物(DOR) 應用於土壤有機碳 (SOC) 的再利用

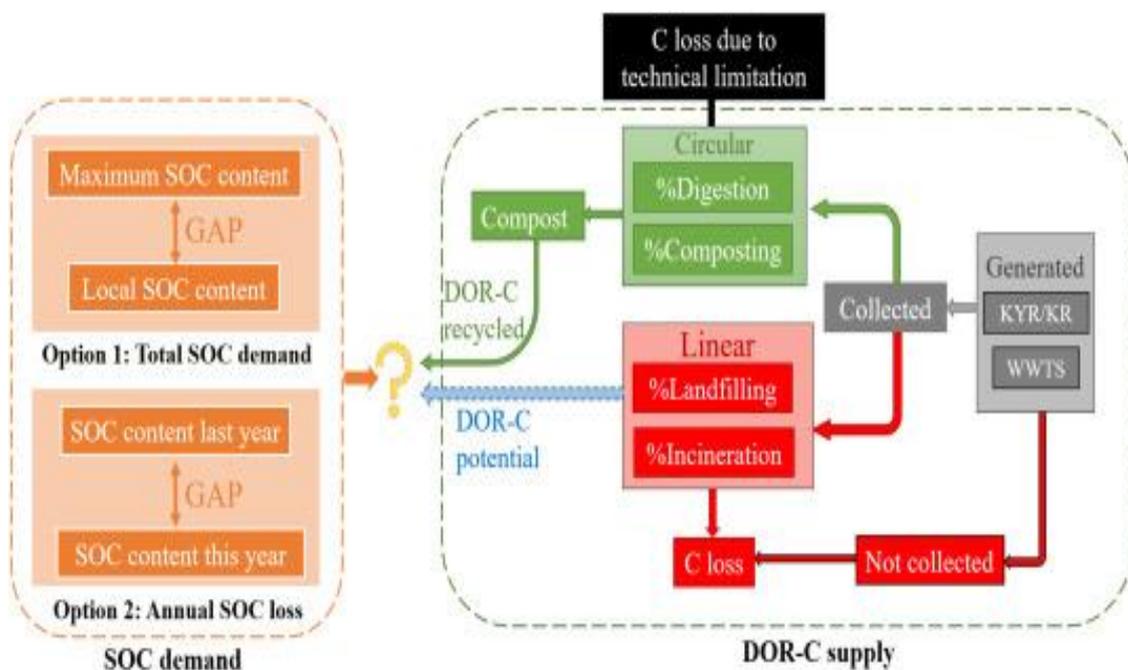


圖 6 源頭管理和技術限制有機廢棄物碳(DOR-C)含量

另外報中也研究中國、澳洲和荷蘭這三個國家的 DOR-C，結果顯示，中國的垃圾產生率最高，達 88%，但三個國家均超過 50%的 DOR-C 沒有被利用到而流失，澳洲和荷蘭的 DOR-C 回收率相似，分別為 57%及 53%。主要影響 DOR 回收率的原因為是否有源頭管理與有效的分離技術。

以上研究結果說明，土壤有機碳(SOC)對於土壤的多種功能至關重要，包括水分保持和養分循環，對糧食安全有直接影響。國際趨勢呈現加強 DOR 管理及其分離技術的開發為重點，因此未來將多採用堆肥和生質碳(DOR-C)直接施用回歸土壤等循環管理策略，而非填埋和焚燒，以增加土壤中有機碳 SOC 含量及增進自然碳匯的功能，

對土地管理政策和農業實踐產生深遠影響。

(三) 荷蘭循環經濟-永續建築

「城市採礦」的概念強調了如何將報廢產品和材料視為新資源，尤其在建築和拆除廢棄物（CDW）的管理中。隨著歐盟對減少垃圾掩埋的重視，CDW 被確定為優先處理的廢物流，因為它的回收和再利用潛力很大。荷蘭在循環經濟及永續建築方面的發展可謂走在全球的前列，這不僅體現在政策層面，也在實際的應用到生活中。根據歐盟廢棄物框架指令（WFD），成員國必須到 2050 年實現 100% 的回收和再利用目標。例如在報廢混凝土的處理中，除了降級回收外，將混凝土再利用或回收成原材料是其他更高效的處理方式。特別是歐盟的政策推動了，C2CA 和 VEEP 項目，其主要在降低回收成本並提高再生混凝土骨材的質量。這些技術包括乾式回收系統和線上感測器，以確保回收產品的質量達到標準。

荷蘭首都阿姆斯特丹的目標也是在 2050 年達到完全循環經濟。從衣服、太陽能電池板到城市裡的每棟建築物，都要在閉環中循環再利用。除此之外，阿姆斯特丹還計畫，到 21 世紀末，要將該市非天然原材料使用量減少一半。其中，建築物是阿姆斯特丹重點改造的項目，因為市政府對於土地有直接掌握的權力，不像其他

如電子產品等物品在國外製造，倡導綠建築，使用環保、可回收、易分解的建材，除了需要對環境友善外，還須具備對人體無毒、低揮發，也同時兼顧到建物內人員的健康，也有要求廢棄物減量和提高回收比例，另外也因為大量採用自然採光(圖 7 及圖 8)，間接減少用電量，亦減少碳排。荷蘭在永續建築方面採取了多種策略，簡要分述如下：

1. 綠色建築認證：荷蘭有多種綠色建築認證體系，如 BREEAM（建築研究機構環境評估方法）和 DGNB（德國綠色建築委員會）。這些認證標準涵蓋了能源效率、水資源管理、材料使用等多個方面。

2. 能源效率：荷蘭的建築設計強調能源效率，許多新建築都採用了被動式設計原則，如良好的隔熱、自然通風和大量的採光日照利用，從而減少對傳統能源的依賴。

3. 再生材料的使用：在建築材料的選擇上，越來越多地使用再生材料和可回收材料，這不僅減少了對新資源的需求，還降低了建築過程中的碳排放。例如 Circl Pavilion 建築物，這是一座位於阿姆斯特丹的可持續建築，專為展示循環經濟理念而設計，它的結構由可回收材料建成，並且在建築過程中最大限度減少廢棄物。

4. 智能建築技術：荷蘭的許多建築採用了智能技術，如自動化控制系統，可以根據實時數據調整能源使用，從而提高運營效率。例如 The Edge 建築物，這座位於阿姆斯特丹的辦公大樓也被譽為世

界上最智能的建築之一，採用了多種可持續技術，如太陽能板、雨水收集系統等。

5. 綠色屋頂與城市綠化：荷蘭城市中越來越多地出現綠色屋頂和垂直花園，這不僅美化了城市環境，還有助於改善空氣質量和城市熱島效應。

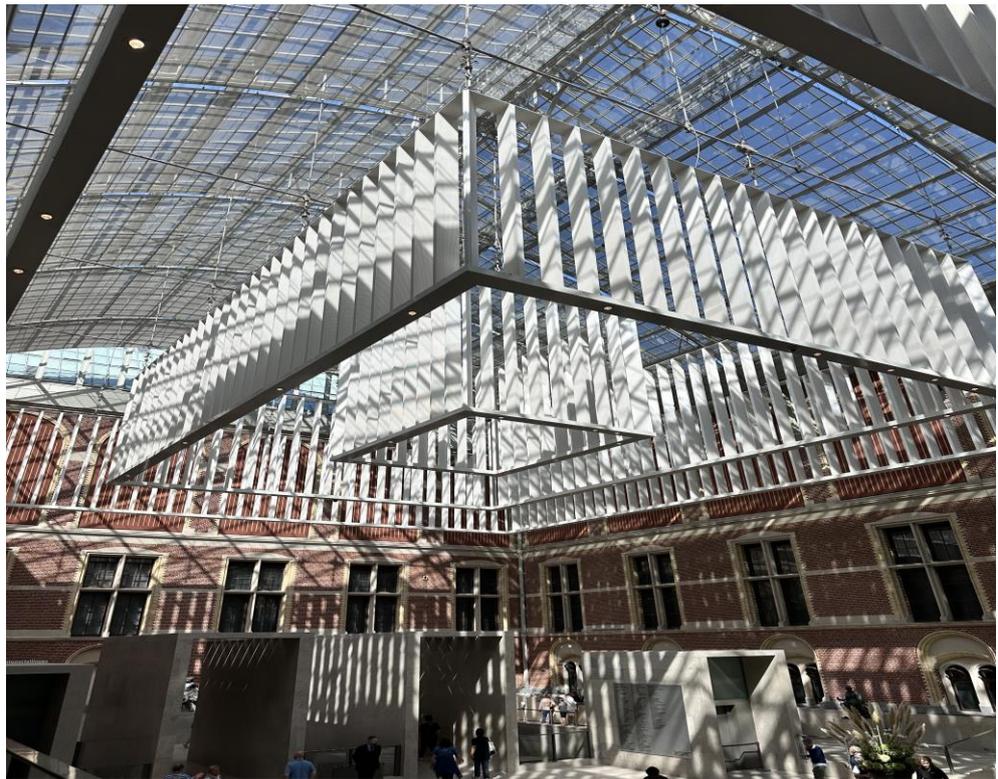


圖 7 荷蘭透光綠建築環保建材屋頂(1/2)

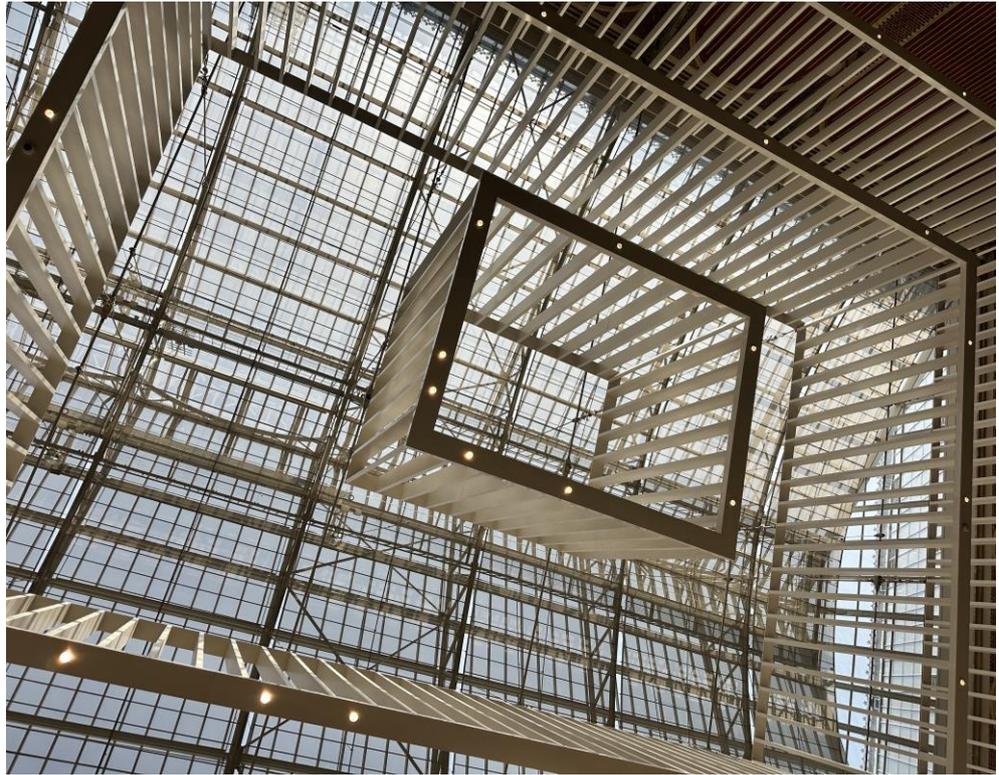


圖 8 荷蘭透光綠建築環保建材屋頂(2/2)

二、 能源效率、再生能源和替代能源國際會議

本會議是由荷蘭國際技術教育與研究學院 (IITER)於 2024 年 8 月 28 日至 29 日在荷蘭阿姆斯特丹舉辦，IITER 為知名國際技術教育組織，其舉辦的國際會議歷史悠久，該機構所舉辦之研討會可提供再生能源、替代能源、能源效率、氣候變遷、能源永續發展與企業永續等領域之相關先進技術，並由產、官、學與 NGOs 共同深入研討，其探討方向可供會員及外界瞭解，會議成員包括學者、學生、研究人員和行業專業人士，是國際再生能源專家學者與業者的交流機會，以達到更潔淨與環境永續的目標。參與本次會議之核發出席證書詳圖 9。



圖 9 IITER 能源效率、再生能源和替代能源國際會議出席證書

本次會議彙整與本公司相關之再生能源議題，如針對風力發電在荷蘭之政策發展、發展趨勢挑戰、創新技術以及再生能源在荷蘭的電網整合資訊，摘要如下所述：

(一) 荷蘭風力發電的政策

荷蘭政府制定 2030 年和 2050 年的再生能源裝機容量目標，2030 年的目標是 21GW 離岸風電裝機容量，而 2050 年長程目標則是 70 GW，設定具體目標不僅為荷蘭國內能源轉型擘畫方向，也為全球市場帶來技術和政策示範。荷蘭政府訂定了在 2023 年達成 16% 永續能源占比的目標，主要是風能及太陽能，其中風能更是積極推廣離岸風電，同時也積極推

動減少溫室氣體排放，至 2030 年目標為 70% 的電力必須來自永續能源。

荷蘭中央統計局(CBS)於 2024 年公布，2023 年荷蘭的電力來源有 48% 來自再生能源。比 2022 年增加了 21%，主要來自風力發電。煤炭和天然氣發電量分別減少了 38% 和 4%。由於陸地和海上風力發電機裝置容量都增加，2023 年整體風力發電機總容量年增 35%，其中風力發電主要包括陸域和離岸風電，荷蘭早期積極推廣陸域風機(如圖 10 及圖 11)，但常遭居民抗爭，發展限制較高，現政府以離岸風電為推廣首要目標，由政府進行環評、公告可開發場址，同時提供地質、風況、海況等基礎資訊，供業者進行先期研究，也是荷蘭能源轉型之關鍵。2023 年的陸上風電容量為 6,854 MW，產生了 7.96 TWh 的風能(2022 年為 5.14 TWh)；2023 年從海上轉送到陸地的風能為 11.54 TWh(2022 年為 7.91 TWh)，與上一年相比的增加主要是由於輸電系統營運商在 2023 年投入營運新的荷蘭北海岸(Hollandse Kust)離岸電網連接系統，以及相應的 2023 年離岸風場的擴建，於荷蘭北海的傳送能力增加到 4,666 MW。

近年荷蘭持續擴大及新建離岸風電，如 Borssele 風場(1400 MW)、南荷蘭海岸風場(1400 MW)和北荷蘭海岸風場(700 MW)。未來也進一步規劃在 2024~2030 年間載建置 7GW 的裝置容量，以達成 2030 年總計 11.5GW 的目標。荷蘭政府很支持當地離岸風電發展，具體作法如辦理前期籌備工作，包括許可同意書、電力基礎設施及環境影響評估，可減少開發商的負擔並降低社會成本，這一個項目很值得台灣借鏡，荷蘭

之環境影響評估的責任由當地政府承擔，這一改變有助於提高資源利用效率，有效推動離岸風電之發展。荷蘭政府透過補貼來促進離岸風電的發展，補貼計算方式是以得標商的競標價格減去平均電價，但隨著離岸風電技術的進步，風場開發成本逐年降低，這使得廠商競標價格逐年下降，荷蘭政府亦減少廠商的能源補貼，荷蘭政府希望最終能實現零補貼的風場開發。



圖 10 荷蘭阿姆斯特丹近郊陸域風機(1/2)



圖 11 荷蘭阿姆斯特丹近郊陸域風機(2/2)

2023 年荷蘭總發電量為 1,200 億度(kWh)，年增 1%，來自石化能源的電量為 580 億度，比前一年下降了 12%。煤炭和天然氣發電量分別減少了 38% 和 4%，而再生能源發電量則增加到 570 億度，主要來自風力發電。由於陸地和海上風力發電機裝置容量都增加，2023 年整體風力發電機總容量達 11 GW，發電量達 290 億度，年增 35%。太陽能發電量也達至 210 億度，比 2023 年成長了 24%，主要原因也是太陽能板裝置容量增加約 4.3 GW。

另外荷蘭在 2023 年的電力出口量也創紀錄達到 250 億度，比 2022 年增加約 10%，最大出口國分別是德國約 100 億度、比利時約 80 億度和英國約 40 億度，其中出口至德國的電力增加了 13%，部分原因是由

於德國最後一座核電廠關閉，促使德國須向鄰國進口電力。而荷蘭電力進口方面，在 2023 年的進口電力總量較前一年增加了 5%，約 190 億度，主要來自挪威的進口量最大，為 11 億度，原因為挪威水力發電量增加。

(二) 荷蘭再生能源的發展趨勢與挑戰

荷蘭政府承諾到 2030 年實現溫室氣體排放量減少 49% 的目標，即相較於 1990 年水平，至 2030 年將整體排放量減少 55%。此目標對荷蘭是一個重大挑戰，尤其是過去的電力結構都是煤炭和天然氣發電最為主要，且荷蘭在 2010 年還是歐洲主要的天然氣出口國之一，政府過去逐漸將天然氣田關閉，並朝向再生能源發展。

荷蘭的離岸風力發電已經成為歐洲最具競爭力的能源之一，得益於先進的技術和大規模的風電場建設。荷蘭已經啟動了一些大規模的離岸風電項目，如 Hollandse Kust 風電區，預計將在 2025 年完全投入運營。這些項目不僅提高了國內的風能產量，還帶動了相關技術創新，進一步降低了風能的發電成本。

另外，荷蘭再生能源也多元化發展，例如在太陽能和其他可再生能源技術上進行投資，促進能源組合的多樣化，增強能源安全及穩定性。

在發展再生能源轉型的同時，也面臨許多挑戰，彙整條列如下：

1. 加強基礎設施建設：

隨著再生能源容量的增加，因電網容量不足，需要加強電網基礎設施，以支持新建的風電場和太陽能設施的接入，這同時也是本公司

在面臨能源轉型同時在做的工作，需加強電網韌性與穩定性。

2. 環境與社會影響：

可能會對開發環境和社會造成衝擊與影響，例如海上風電對海洋生態系統的影響，以及土地使用變更也須獲得當地居民同意，以及地價變動等等。

3. 市場競爭與價格波動：

隨著再生能源市場的擴大，價格競爭可能會加劇，這可能影響到投資者的意願，以及隨著技術越來越進步，成本將降低，政府的補貼會越來越少，獎勵措施的優惠也會變少。

4. 技術挑戰：

雖然技術進步已經降低離岸風電成本，但仍需解決一些技術挑戰，例如提高風電和太陽能的效率，以及儲能技術的發展，以確保能源供應的穩定性。

總體而言，荷蘭在再生能源的發展上取得了顯著進展，但仍面臨多方面的挑戰，政府將持續支持並開發創新技術來克服這些挑戰。

(三) 再生能源發電創新技術

荷蘭離岸風電技術在無噪音打樁、浮動式風力發電和單樁安裝上已有重大突破，同時，也發展製氫技術使其能源系統更加永續與彈性。展望未來，該國將拓展無人駕駛技術，探索如何利用無人機和自動化技術執行離岸風電場的檢測和維護。荷蘭離岸風電的另一個技術亮點為持續增加風機

規模，風機葉片變得更長、渦輪機發電能力也持續提高，降低整體安裝和維護成本。此外，風電場的運營與維護，透過導入數位化技術應用，強化預測性維護，預判可能會出現的故障，減少設備停機時間並確保運作穩定。另外配套儲能技術，離岸風電場在能源需求低谷時將剩餘電力存儲起來，並在需求高峰時釋放，提升風力穩定性，以利未來做為基礎能源的使用。

荷蘭在離岸風電領域中的技術創新動向，與風電場的建設、安裝、營運和維護息息相關，致力於提升效率、降低成本以及減少環境衝擊。主要亮點技術如下：

1. 無噪音打樁技術

傳統離岸風電場建設工法，常使用打樁技術將風機基座固定於海床上，施工會產生強烈的噪音，對海洋生態系統造成衝擊。然而，藉由優化施工設備與工序，可有效減少施工過程中產生的噪音，降低對環境影響。例如，利用大型氣泡帷幕（big bubble curtain）能有效阻擋噪音傳播，進而保護海洋生物的棲息環境；以震動舉升技術（Vibro Lifting Tool, VLT）或水力方式，取代傳統撞擊的打樁方式，降低打樁的噪音。

2. 低成本單樁安裝（monopile installation）技術

單樁式是歐洲離岸風機支撐結構最常見的水下基礎形式，安裝技術直接影響風電場的成本和效率，能有效縮短施工時間，並降低整體基礎建設成本，提升整體效率。例如，滑接單樁技術(Slip joint monopile installation)，利用滑

動接頭避免傳統精確定位的需求，可容易在安裝過程中調整單樁與基座之間的相對位置；無轉接段的單樁配置(TP-less monopile configuration)，直接將風機安裝在單樁上，減少了連接部位的潛在風險及材料和施工成本。

3. 浮動式離岸風電

隨著離岸風電場設置地點越來越遠離沿岸，浮動式風電技術適用於遠洋地點，近岸較適合使用固定基礎技術，浮動式技術是將風力發電機安裝於漂浮平台上，使風電場可建設在風力更強更深的海域（水深超過 50 公尺的深海區域）(如圖 12)。例如：荷蘭創業公司 TouchWind 開發直徑 6 公尺的一體式轉子浮動式風力發電機，並使用由 3D 列印技術和當地材料製造的生態混合錨，Touchwind 的風機只有單支葉片，無複雜的主動變槳控制，除可降低成本，也可以抵擋更強大的風，創造更多的發電效益。

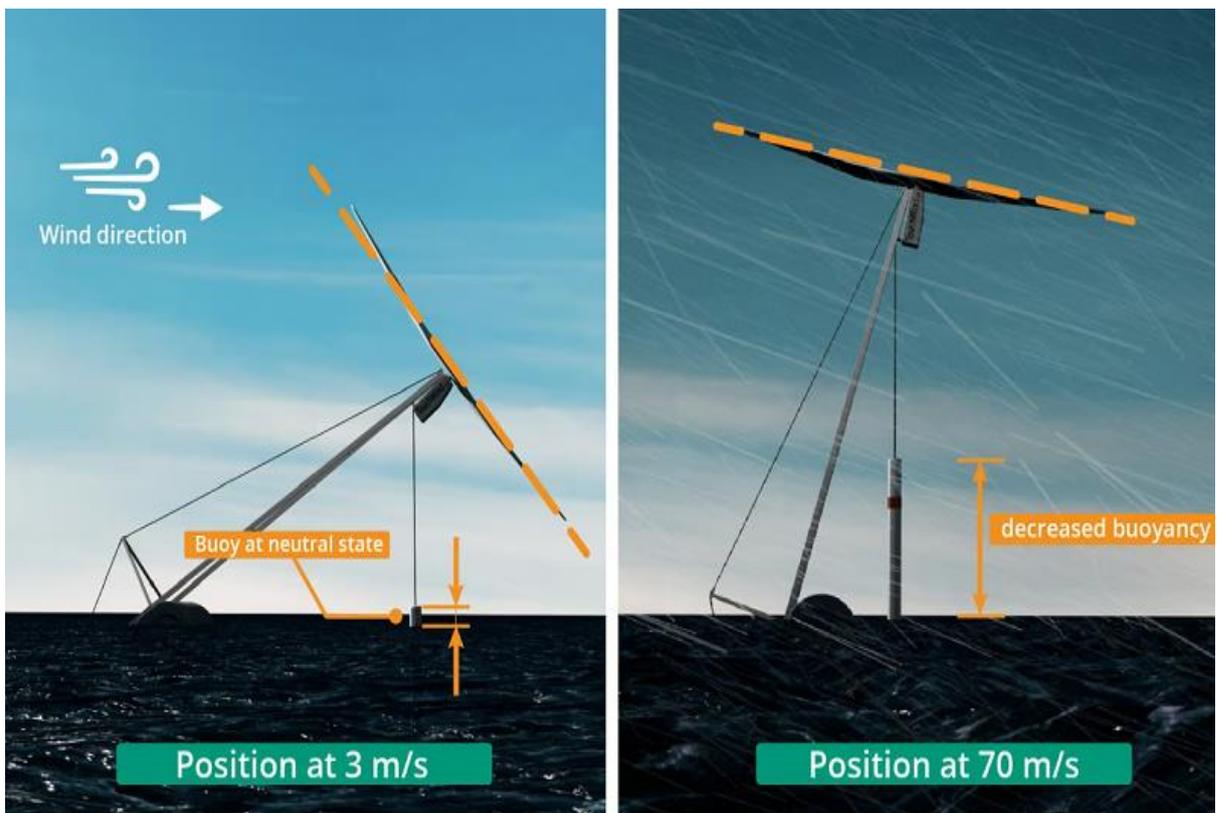


圖 12 順應風向被動調整葉片角度



圖 13 浮桶式浮標固定在海底

此新型風機的製造成本約是傳統風機的 30% 左右，不需安裝高價位的主動葉片變槳控制系統，一般風機基於安全考量下大約每秒 25 公尺的強風就得停機，但此新型風機額定速度可高達每秒 70 公尺，明顯大幅減少停機時間，運轉時間更長帶來更多發電量。

另外，葉片以微微斜上的角度固定在風機支架上，風機會因為垂吊的筒狀物向旁邊傾斜，在高風速下，風機葉片幾乎與地平線平行，葉片會快速旋轉。此時，浮標會被提升出水面(如圖 13)，成為對抗主葉片升力的壓載物，順應風向調整成最佳角度，有助減少海底錨的壓力，亦大幅降低葉片損壞機率。

4. 離岸型浮式太陽光電系統 (Offshore Floating Photovoltaic, OFPV)

除了致力於風電發展之外，荷蘭也積極將太陽能技術應用於離岸能源，與傳統的海上風電技術類似，OPFV 系統將光電模組安裝在抗風浪能力強的浮動平台上，部署於離岸水域，因離岸太陽能板可與風力發電機結合使用相輔相成，實現更加穩定的能源供應，尤其在風速較低的情況下仍能保持發電能力，提高整體發電系統的穩定性和效率。因風力發電通常受限於風速，離岸太陽能技術能夠截長補短，在風速低的時候提供補充能源，進而平衡電網供應。例如：荷蘭 SolarDuck 公司所提供 OFPV 浮台模組化設計，預計示範建置 5MW 海上浮動太陽能光電系統於 RWE 位於荷蘭海岸附近的 OranjeWind (Hollandse Kust West VI) 風電場內。而荷蘭 SolarDuck 公司已於北海海牙沿岸進行了 0.5 MW 的離岸浮動太陽能示範計畫。該項目經由 Bureau Veritas 認證，設計能夠承受高達 11.6 米的波浪和 21.5 米的水深環

境，其使用半潛式海洋工程平台的概念，採用鏈形錨固系統(如圖 14)。

SolarDuck 未來目標是到 2030 年部署超過 1 GW 的離岸太陽能。



圖 14 浮動太陽光電系統

5. 離岸風電製氫技術

荷蘭透過國家氫能計畫(Nationaal Waterstof Programma) 支持氫能在各領域的應用，荷蘭擁有超過 1,000 公里的專用氫氣管道，另有 136,000 公里的天然氣管道也在進行氫氣輸送改造，以便為工業和家庭輸送氫氣。荷蘭也在利用氫氣改造沿海航運，荷蘭北海地區的離岸風力發電能力估計可從 2023 年的 2.5 千兆瓦增加到 2030 年的 21 千兆瓦。離岸風力發電能力的大幅成長，加上荷蘭獨有的天然氣基礎設施，為荷蘭成為氫能中心提供了巨大機

會。2023 年，荷蘭政府宣布在瓦登群島北部（Ten Noorden van de Waddeneilanden）建置全球首座大規模離岸氫能生產基地，計畫到 2031 年建設完成。該項目預計將利用風電場生產氫氣，最終實現 500 MW 的製氫產能。製氫工序分為兩種方式：陸上電解和離岸電解（Onshore/ offshore electrolysis）。陸上電解是將風電通過電纜輸送到岸上，然後進行電解產生氫氣；而離岸電解則是在離岸風場附近直接進行製氫，以減少電纜傳輸過程中的能源損耗，並提高經濟效益。根據荷蘭的發展計畫時程，在 2030 年前，該國仍以陸上電解產氫為主。然而，隨著風電場逐漸遠離海岸，未來更多的氫氣生產將依賴於離岸電解系統。荷蘭製氫技術成果斐然，得益於能源政策驅動，政府除了為氫能技術研發挹注資金，亦積極推動相關基礎設施建設。該國國家電網運營商 TenneT 已提出了一項名為「目標電網(Target Grid)」的計畫，目標是離岸風電場與陸域電網以及未來的氫氣管道系統相連，落實更高的能源高效輸送與儲存。

此外，離岸氫能生產還兼具多重優勢，例如：氫氣可利用現有管道基礎設施進行輸送，較電纜輸送電力更具效益，再者，氫能的儲存與運輸方式相對彈性，能平衡風力和太陽能的間歇性。且氫氣製程不受季節變化影響，可全年穩定供應，隨著氫能技術臻于成熟，未來離岸風電場將不再僅侷限於提供電力，還可直接生產並輸送氫氣，大幅改變全球能源供應模式。荷蘭在風電與氫氣生產技術上的整合，奠定該國離岸風電創新穩健的領先地位，更為各國帶來正向引導作用及技術參考。

(四) 再生能源發電與電網整合的挑戰

1. 電網電力供應不穩定

再生能源的不穩定性會造成電力供應不穩定，尤其是風力發電的波動性和間歇性是整合到電網中的最大挑戰，風力依賴於天氣條件，會隨時間和地區而變化，這導致風電產量難以預測和穩定。當風速過強或過弱時，風力渦輪機的發電量會顯著變動，造成電網電力供應的不穩定性，這可能引發電壓波動甚至電力不足的問題。

荷蘭正在探索多種方式來緩解這一問題，例如引入智能電網技術，通過即時監控和優化電力分配來平衡供需。此外，電池儲能技術的應用也有助於儲存多餘的風能，並在需求高峰時段釋放。

2. 電網容量和基礎設施壓力

隨著風力發電規模的擴大，特別是海上風電場的建設，荷蘭的電網面臨著更高的負載壓力，因此荷蘭大幅升級和擴展其電網基礎設施，以應對風力發電的不穩定供應，這包括建設更多的高壓輸電線路，以及提升電網變電站的處理能力。

3. 海上風電與陸上電網連接

如何將遠距離海上風電場的電力輸送到陸地電網需要複雜的連接技術和大規模基礎設施投資，從遠洋之海上風電場輸送電力需要建設

專門的海底電纜和變電站，這些設施的建設成本高昂且技術嚴格，且在長距離輸電過程中，電力損耗是一個不可避免的問題，這也使得如何提高輸電效率成為電網整合的一大挑戰。但同時荷蘭已經在研發和部署高壓直流輸電技術（HVDC），這種技術相較於傳統的高壓交流輸電（HVAC）在長距離輸電中效率更高，並可有效減少損耗。

4. 儲能設施

目前大規模儲能技術（如鋰電池、抽水蓄能）尚未達到完全應對大規模風力發電需求的水平。儲能設施的成本高、技術不夠成熟且容量有限，這使得風電與儲能的高效整合面臨挑戰。荷蘭正在積極投資研究和發展儲能技術，並且推動與歐洲其他國家的電力網絡互聯，以通過跨國電網的互補性來平衡能源供應。

5. 即時電力平衡與調度

傳統的燃煤、天然氣發電廠可以根據需求隨時調整輸出，但再生能源發電不確定相較高，例如，當風電輸出過高或過低時，如何即時調度其他備用電源以平衡供需成為難題。傳統電力調度系統往往需要提前計劃，而風能的不可預測性需要更靈活的調度機制。荷蘭的電網運營商正在使用先進的預測工具和算法，基於天氣預測來預計風電輸出量，並相應地調整其他電源的運行。此外，荷蘭正在推動電力市場的靈活化，允許更多即時交易，以提高電網應對波動的能力。

6. 跨國電網互聯

荷蘭與其他歐洲國家的電網互聯程度較高，這有助於在風能過剩或不足的情況下進行跨境電力交換，平衡電網供需。跨國電網互聯需要不同國家的電力市場、政策和技術標準的協調。各國之間可能存在政策不一致，這增加了跨國整合的難度。

因此荷蘭積極參與歐洲的能源聯盟計劃，與鄰國（如德國、丹麥、英國等）合作，擴展跨境電力交換能力，這不僅能提高風能的整合性，還能促進整個歐洲電網的穩定性。

肆、心得與建議

經本次參與荷蘭兩個環境與能源的國際研討會，茲就所得資料及參與心得提出建議如下：

- 一、在極端氣候下，荷蘭政府鼓勵將廢水視為資源，提升廢水的再利用率與多元化發展，積極推行雨水收集和再利用系統，以促進水資源的循環及可持續性利用，並建立各種學術機構與跨部門間的橫向交流機制，使當地水資源獲得更完善的管理與監控。相較於台灣，同樣面臨極端氣候，尤其乾旱期間，本國因水力發電及火力發電，均須使用大量水資源，屆時將會與其他用水形成競爭合作的關係。由此可見，建議應以荷蘭政府對於水資管理精神及相關措施管理作為借鏡，建立完整學術研究機構、水資源系統，更靈活智慧用水、完善之發電協商機制與調控模式，善用寶貴的每一滴水，避免衝擊電網與電力調度。
- 二、循環回收生質廢棄物碳(DOR-C)除能源回收外，其衍生生物碳應用於土壤有機碳(SOC)的補充對於土壤的多種功能永續性至關重要，包括水分保持、養分循環與氣候調適等，特別是對土地管理政策、農業實踐與糧食安全有直接影響，如何引入土壤及有效管理並回歸土地。本公司生質廢棄物主要應用在探討生質能發電，然而國際上已有其他永續管理應用面向，此亦可為我國未來可以參考的地方。
- 三、荷蘭首都阿姆斯特丹的目標是在 2050 年達到完全的循環經濟。城市裡的每棟建築物，都要在閉環中循環再利用。其中建築物是阿姆斯特丹重點改造

的項目，倡導綠建築，使用環保、可回收、易分解的建材。而本公司近年積極推動綠建築與智慧建築，荷蘭之綠建築已走在國際前端，其相關案例可作為本公司參考，結合在地生態特色，將節能減碳效最大化，以成為社會綠色企業最佳典範。

四、在荷蘭約有五成的電力來自再生能源，其中風力發電最為主要，現當地政府積極推廣離岸風電發展，具體作法如辦理前期籌備工作，包括許可同意書、電力基礎設施及環境影響評估，可減少開發商的負擔並降低社會成本，荷蘭之環境影響評估的責任由當地政府承擔，此部分有助於提高資源利用效率，更有效推動離岸風電之發展，同時政府也編列相關的補貼獎勵措施。此可提供我國主管機關推動離岸風力能源之參考，更加快落實能源轉型目標。

五、另外荷蘭離岸風電技術在無噪音打樁、浮動式風力發電和單樁安裝上已有重大突破，且該國將拓展無人駕駛技術，探索如何利用無人機和自動化技術執行離岸風電場的檢測和維護，並透過導入數位化技術應用，強化預測性維護，預判可能會出現的故障，減少設備停機時間並確保運作穩定。離岸風機的生態議題及後續的管理維護一直是本國非常關切的項目之一，然而現階段仍缺乏相關資源及專業技術能力人員，荷蘭在離岸風電上的先進技術發展可做為我國之借鏡參考。

六、隨著再生能源容量的增加，荷蘭同時也因電網容量不足，加強電網基礎設施，也提高風電和太陽能的效率，並應用儲能技術，以確保能源供應的穩

定性。本公司現因再生能源增加也同時興建更多變電所及相關輸變電線路，以加強整體電網韌性與穩定性，荷蘭案例亦可供本公司參考。

七、荷蘭透過國家氫能計畫支持氫能在各領域的應用，特別是離岸風電製氫技術，除可減少能源運輸的損耗外，更可以降低土地需求與鄰近居民的疑慮，減少溝通成本及增加時效性。此可作為國內提早規劃發展多元再生能源、以及與土地複合利用的協同發展。建議可由政府機關、學術界、民間產業共同合作，發展推動制度，並持續觀察其帶來之減碳成效與關鍵技術發展，並視國情引用參考及評估對減碳的成效。