

聚焦能源轉型建構我國淨零永續之未來

研究五所 郎若帆副研究員

壹、前言

鑑於氣候變遷對於環境、人類生存和國家安全的威脅愈來愈大，迫切性愈來愈高，全球已有 130 多國提出「2050 淨零排放」的政策宣示與相關行動方案。而臺灣也無法自外於全球淨零排放趨勢，面對氣候變遷、能源安全和永續發展等多重挑戰，國發會提出我國 2050 邁向淨零路徑發展的整體規劃與策略方向，針對淨零碳排目標進行各面向的減緩與調適，揭示未來將以 4 大策略方向，包括能源轉型、產業轉型、生活轉型、社會轉型推動淨零，並以 2 大治理基礎，包括科技研發與氣候法制，為淨零轉型打下基礎(圖 1)。另外，提出 12 項關鍵戰略，針對電力、建築、運輸、工業等產業部門提出階段性工作，以達到臺灣邁向 2050 年淨零轉型的目標。



圖 1 臺灣 2050 淨零轉型策略

資料來源：游振偉，「能源轉型-啟動淨零永續新世代」，經濟部能源署，2023 年 12 月 7 日。

為了因應全球暖化、氣候危機，減碳、淨零排放的目標變得比以往更加重要。而要阻止地球持續升溫，其中一大關鍵就是要在 2050 年前將全球碳排降至 2005 年的水準。「淨零排放」指在特定時間內，全球人為造成的溫室氣體排放量扣除人為移除的量後等於零。因此，淨零並非完全不排放，而是以極大程度減少人為造成的溫室氣體排放，並透過再生能源發展、能源轉型、廢棄物循環再利用等方式抵銷碳排；難以抵銷的部分則以負碳技術、自然碳匯等方式抵銷排放額度。

若以我國 2022 年的燃料使用 CO₂ 排放比例來看，工業部門以占比 48.90% 居首，能源部

門則以 14.22% 排名第二，其他依次分別為運輸部門之 13.77%、住宅部門之 11.40% 及服務業之 10.55%（圖 2）。因此，不論由碳排或能源轉型策略涉及之再生能源發展等均鎖定在能源部門，是以本文主要聚焦於我國能源部門因應世界淨零排放趨勢及轉型策略方向。

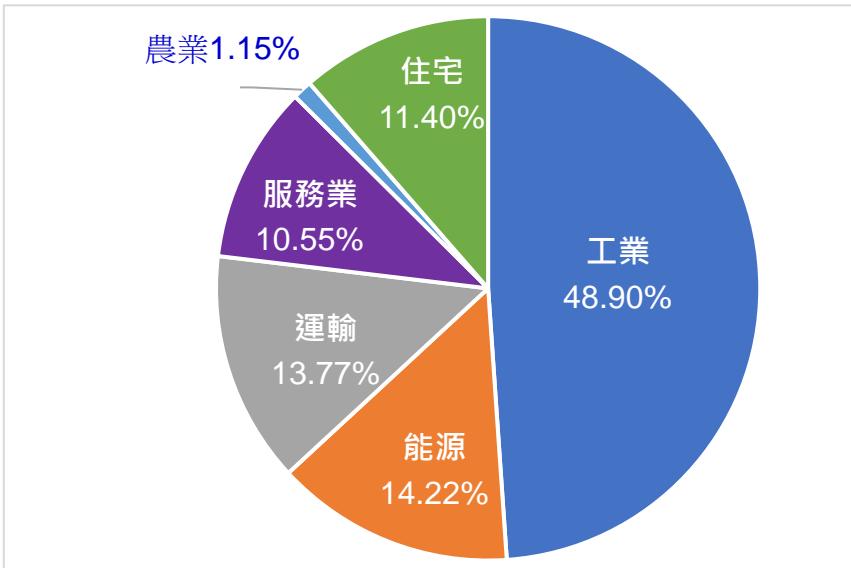


圖 2 2022 年我國燃料燃燒 CO₂ 排放結構

資料來源：本研究繪製。

貳、全球能源部門朝向淨零轉型發展邁進

1992 年聯合國通過「氣候變化綱要公約」，喚起全球對於減碳的重視，爾後陸續經過「京都議定書」、巴黎協定等國際公約的演進後，減碳遂成為世界各國無可避免的責任。隨著全球氣候變遷的日益嚴峻，各國政府紛紛制定了淨零碳排的目標，預計在 2050 年前實現淨零碳排。歐盟在 2020 年時提出了《歐洲綠色政綱 (European Green Deal)》，目標在 2050 年前實現歐盟淨零碳排，同時還制定了具體的行動計劃，包括 2022 年歐盟通過碳邊境調整機制法案 (CBAM) 並試行，讓國際間覺醒於主要國家透過貿易外交手段，影響各國加強氣候治理強度，促其朝向 2050 淨零排放邁進（圖 3）。美國也在 2021 年提出了實現 2050 年淨零碳排的目標，並透過政策、法律、技術等手段積極推動減排。

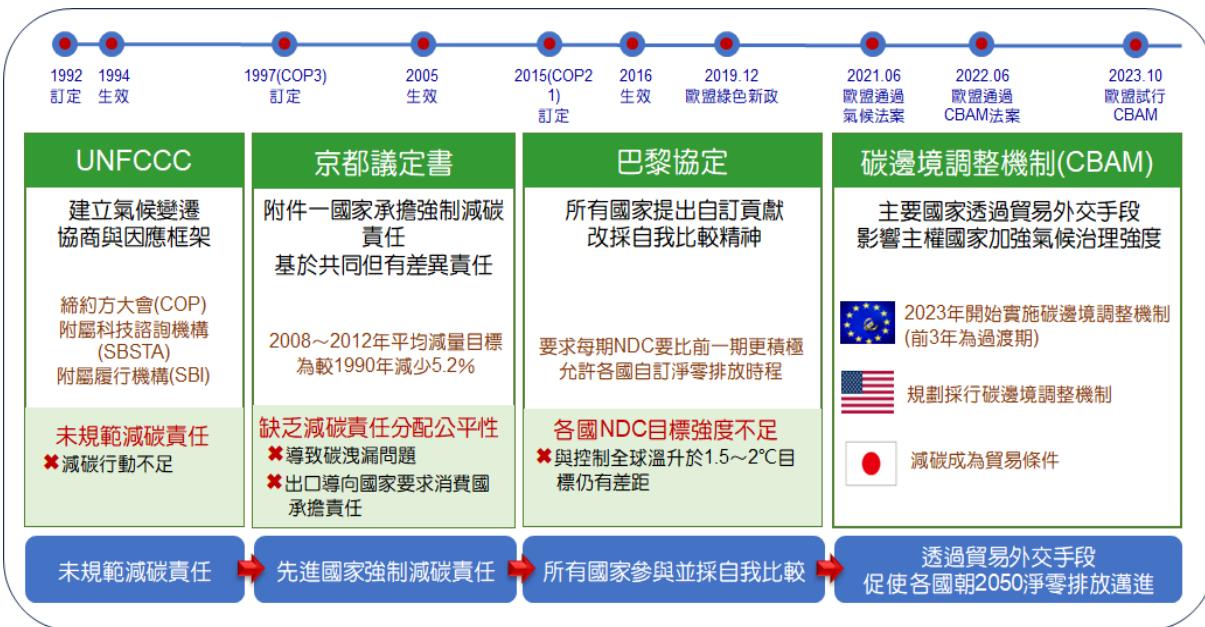


圖 3 國際氣候政治的演進過程

資料來源：本研究繪製。

近年來，由 COP26 到 COP28 會議內容主要在於呼籲全球共同承諾 2050 淨零排放目標，2023 年 12 月於阿聯酋杜拜召開之 COP28 會議，由歐美共同倡議全球再生能源裝置容量增為三倍，有 118 國同意參與，至此再生能源將成為減碳的重要工具之一(圖 4)。此外，隨著地球極端氣候的肆虐，各地氣候災害頻傳，淨零減碳的趨勢和浪潮不再僅止於國家政策宣示或入法的層面，而是透過外交及貿易手段逐步落實於產業面，國際間發起許多減碳倡議，並由企業自發性參與，即使企業未主動參與，仍須配合產業供應鏈客戶的要求，間接參與執行減碳措施。因此，鑑於全球淨零排放浪潮與歐美碳邊境調整機制趨勢，淨零轉型已經不只是環保課題，更是攸關我國產業國際競爭力之經濟課題。



圖 4 再生能源成為各國減碳的重要工具

資料來源：本研究繪製。

參、我國能源部門現況與發展方向

目前臺灣能源部門的發電結構主要仍以化石燃料為主，其中包括煤炭、石油和天然氣，2022年我國總發電度數為2,881億度，化石能源約占總能源供給之83%，其中主要以燃煤發電占42.00%，其次為燃氣發電之38.87%，燃油占1.54%（圖5）。此種高度依賴化石燃料的能源結構使臺灣在因應氣候變遷和能源供應上面臨著重大風險；同時國際能源價格波動和地緣政治的不確定性也使臺灣的能源安全面臨挑戰。因此，在能源結構調整方面由高碳到低碳、無碳能源及多元發電系統為能源部門轉型的重要課題。

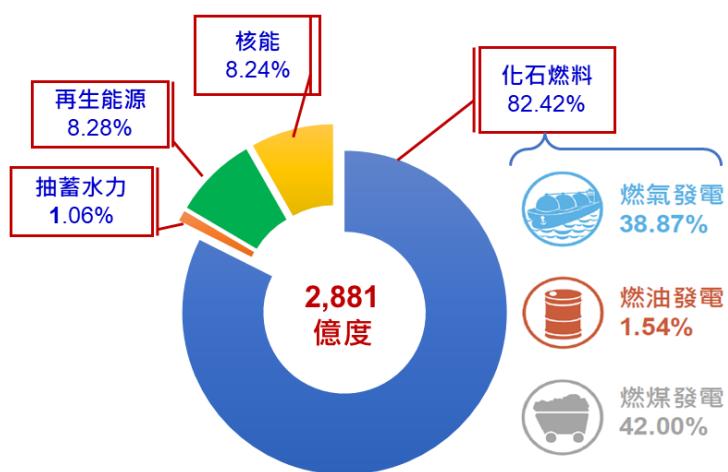


圖5 2022年我國發電結構

資料來源：本研究繪製。

2022年我國能源部門發展現況主要有以下情形：

一、再生能源的崛起

隨著能源轉型的推進，再生能源在2022年取得顯著的進展，太陽能和風能是其主要角色，此兩者在發電結構中的占比逐漸成長。政府通過補貼、發電裝置容量目標等政策，積極促進太陽能和風能的發展，以降低對傳統化石燃料的依賴。

二、天然氣發電的比例提升

2022年天然氣依舊是臺灣發電結構中的一大主力，其廣泛應用於發電、工業用途和居民生活，天然氣在能源轉型中扮演著轉換能源結構的關鍵角色。政府除積極拓展天然氣進口渠道，提高供應穩定性外，同時亦推動高效節能的天然氣發電技術。

三、核能減產與逐步淘汰

臺灣的核能發電在2022年仍然存在，但政府逐步減少核能的發電比例，並制定計畫逐步淘汰核能，推動國家能源結構多元化。

四、燃煤發電占比的調降

燃煤發電在 2022 年仍然是臺灣能源結構中的一部分，但政府積極推動高效低碳的燃煤發電技術，同時逐步淘汰舊有低效高污染的燃煤發電廠，以減少燃煤對環境空污和國民健康的不良影響。

肆、我國能源部門轉型面臨挑戰與關鍵課題

臺灣目前正處於推動能源轉型的關鍵時刻，為因應全球氣候變遷、提升能源安全性，並擺脫對有限化石燃料的高度依賴，達成淨零排放的目標，能源轉型是重中之重。尤其，台灣是出口導向的經濟體，制定高效率淨零轉型策略為當務之急，轉型過程同時安全達標亦是關鍵。然而，在此轉型過程中面臨多重挑戰和關鍵課題，這些課題亟待政府、產業和社會共同努力，以確保能源轉型目標可以達成。

一、再生能源整合

淨零碳排的核心目標是阻止地球持續升溫。聯合國政府間氣候變遷專門委員會（IPCC）呼籲，全球若要將平均升溫控制在 1.5°C 內必須在 2030 年減排至少 43%、在 2050 年實現淨零碳排。國際能源總署 IEA (International Energy Agency) 則建議若要在 2050 年前實現淨零，2030 年全球必須有超過 60% 電力來自再生能源。

再生能源如風能、太陽能和水力能等在能源轉型中扮演著關鍵角色。然而，其不穩定性和再生能源發電與供電需求間的不匹配是一個重大課題。為了更良好地整合再生能源，儲能技術和智慧電網系統的發展布建、強化能源市場的靈活度，以應對能源波動和確保供電穩定是首要之務。此外，再生能源的開發和選址向來都有諸多爭議，所以綠能發展的社會溝通將會是當前重要課題。

二、能源效率提升

提升能源效率是實現永續能源目標的基石。在產業、交通、建築等領域，政策上需要制定更嚴格的節能標準，鼓勵企業和個人投資於節能科技，以減少能源浪費；同時透過智慧科技的應用，實現智慧城市和智慧交通，進一步提高整體能源使用效率。

三、能源科技創新

能源轉型需要技術的加持，包括新興技術的研發和應用，例如碳捕獲封存利用、氫能技術等。政府應該增加對能源科技創新的投資，建立更加有利於技術創新的政策環境，以提升臺灣在全球能源科技領域的競爭力。

四、社會參與和認知

能源轉型不僅是技術性的問題，還涉及社會參與和認知。在政策宣導方面，政府需加強對公眾的能源教育，提高對能源轉型的認識，並促使公眾對於能源政策制定和實施過程的參與度，畢竟社會共識和參與是實現能源轉型的關鍵。

五、法規和政策體系

建立健全的法規和政策體系是實現能源轉型的前提。政府需要制定明確、穩定和長期的能源政策，提供企業和投資者一明確清晰的方向，同時建立有利於再生能源發展的法規環境。此外，透過財政激勵和市場機制，鼓勵私營部門參與能源轉型。

伍、我國能源部門淨零轉型推動策略

針對 2050 年淨零排放的目標，我國能源轉型以減煤、增氣、展綠、非核之潔淨能源發展方向為規劃原則。迄至 2025 年前，在電力排放方面先朝低碳，再朝無碳邁進，以無碳再生能源及擴大使用低碳天然氣作為電廠進料，以逐步降低燃煤發電占比，加速低碳能源發展，確保電力供應穩定，兼顧降低空污及減碳(圖 6)。

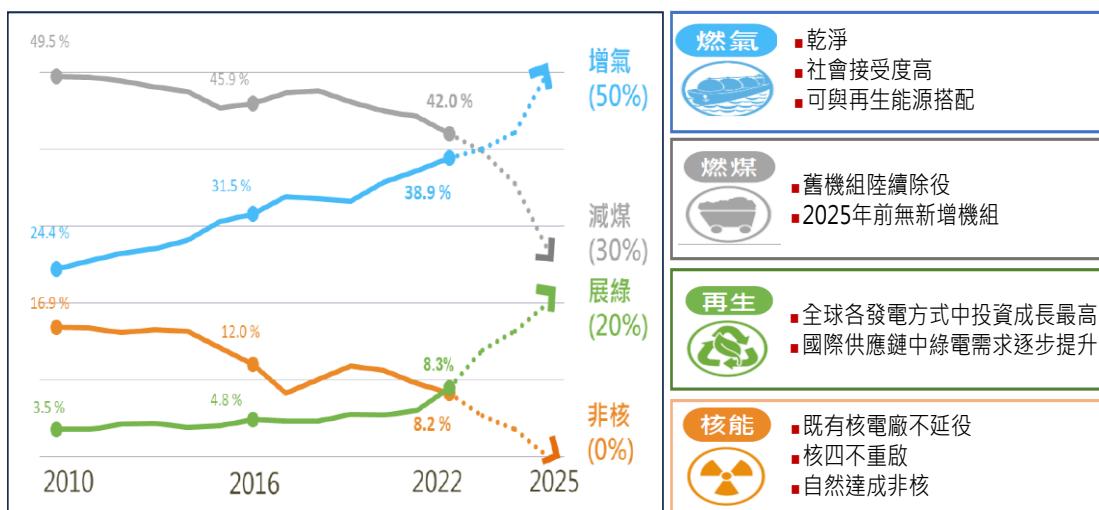


圖 6 我國能源轉型路徑(2016-2025)

註：2010~2022 年為實績值，2023~2025 為預估值。

資料來源：經濟部能源署(2023)，能源統計手冊。

綜整前述臺灣 2050 邁向淨零永續轉型 4 大策略分別為能源轉型策略、產業轉型、生活轉型、社會轉型；而 2 大治理基礎則是科技研發基礎以及氣候法制基礎。此外，政府提出臺灣邁向 2050 淨零轉型的 12 項關鍵戰略中，包括風電光電、氫能、前瞻能源、電力系統與儲能、節能、碳捕捉封存與利用、運具電動化與無碳化、資源循環無廢棄、自然碳匯、淨零綠生活、綠色金融、公正轉型，其中有 6 項與能源轉型有關(圖 7)。



圖 7 我國淨零轉型 12 項關鍵策略

資料來源：國家發展委員會，「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」簡報，2022 年 3 月 30 日。

依據我國 2050 淨零轉型中的能源轉型策略的規劃主要有 3 項子策略，分別是打造零碳能源系統、提升能源系統的韌性以及開創綠色成長。

一、能源轉型策略一-打造零碳能源系統

在打造零碳能源系統方面(圖 8)，包括再生能源最大化、發展低碳火力發電等。依據政策規劃預期至 2030 年前，再生能源方面先增加太陽光電、離岸風電等自產比例，2030 ~2050 年的長期目標是極大化自產再生能源；火力發電方面，迄至 2030 年的短中期目標為推動以燃氣換燃煤及氫氣混燒示範計畫，2050 年的長期目標是天然氣導入 CCUS、提高氫氣混燒比例或專燒，並將燃煤電廠轉為備用。此外，發展氫能、生質能等無碳燃料，建構無碳燃料供應體系，提供產業及運輸部門所需氫氣及生質燃料。



圖 8 能源轉型策略一-打造零碳能源系統

資料來源：國家發展委員會，「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」簡報，2022 年 3 月 30 日。

(一) 最大化再生能源

1.2030 年前：達成太陽光電 2025 年累計設置 20GW 與 2026-2030 年每年 2GW；離岸風電 2025 年累計設置 5.6GW 與 2026-2030 年每年 1.5GW 目標。

2.2030 年後：極大化建立裝置容量，預計 2050 年太陽光電設置裝置量達 40-80GW 與離岸風電設置裝置量達 40-55GW。此外，發展前瞻能源如地熱、海洋能、生質能等技術應用，規劃 2050 年前瞻能源設置裝置量達 8-14GW。

(二) 零碳化火力發電

燃氣發電朝低碳、無碳化目標前進，短期推動係以提高天然氣使用降低燃煤占比，並導入氫能混燒，於興達燃氣機組進行示範；長期則以燃氣機組搭配 CCUS（碳捕捉、利用與封存）或是進口碳中和天然氣減少排放，且持續提高氫能混燒比例以及發展氫能專燒機組。

(三) 逐步去煤

燃煤發電逐步去煤、去碳之推動，短期係以燃煤機組混燒氣降低碳排，長期則擴大導入與提高混燒率或搭配 CCUS 技術降低排放。另外基於國安戰略考量，視低碳能源供給增加而將未屆齡燃煤機組轉成備用。

(四) 建構無碳燃料供應體系

建置國內外生質能料源供應鏈、集運系統，輔導廠商投入建構集中處理系統，推動設置專區應用。

(五) 適時導入先進技術增加零碳能源運用空間

掌握全球前瞻去碳能源技術趨勢，評估國內條件及需要，針對不具發展競爭優勢技術，透過國際合作引進，以增加中長期零碳能源（電力）供給量能及系統調度裕度。

藉由極大化佈建再生能源、零碳化燃氣發電、減少燃煤使用及積極投入技術開發如碳捕捉再利用及封存(CCUS)、氫能發電及運用技術等建構一零碳能源系統，逐步落實能源轉型，達到我國淨零排放之最終願景。

二、能源轉型策略二-提升能源系統韌性

其次在提升能源系統韌性方面(圖 9)，優先擴充再生能源電網基礎設施，包括擴大再生能源饋網容量、強化電網應變能力與系統整合；另外，擴大因應再生能源變動所需儲能等彈性資源規劃亦為強化供電網路韌性執行策略，包括精進再生能源發電量之預測技術，透過資通訊與物聯網技術，強化發電、儲能、用電端的資源整合，法規部分則需檢討電業法等相關法規明確定位儲能設備，並設計儲能商業模式以提供設置誘因。

優先擴充再生能源電網基礎設施

- 擴大再生能源饋網容量：因應未來再生能源占比提高，擴大再生能源饋線網路建置，並進行高壓直流電網佈建可行性研究
強化電網應變能力與系統整合
- 強化電網應變能力與系統整合
 - ⦿ 推動電網數位化，提升電力資訊掌握及應用能力，檢討強化輸配電系統規劃
 - ⦿ 增加電網操作彈性（彈性交流輸電系統(FACTS)、動態線路容量、固態變壓器等）
 - ⦿ 透過資訊與物聯網技術強化資源整合（如：虛擬電廠、微電網整合發電端、負載端、儲能資源等），提升電網韌性

擴大因應再生能源變動所需儲能等彈性資源規劃

- 精進再生能源預測技術，透過資訊與物聯網技術，強化發電、儲能、用電端資源整合
- 檢討電業法相關法規給予儲能設備明確定位，設計儲能商業模式以提供設置誘因

圖 9 能源轉型策略二-提升能源系統韌性

資料來源：國家發展委員會，「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」簡報，2022 年 3 月 30 日。

三、能源轉型策略三-開創綠色成長

能源轉型的策略三為開創綠色成長(圖 10)，首先為整合資源預算投入優勢技術研發、扶植零組建國產化打造綠能產業生態圈、培育綠色新創產業，以打造國內綠能生態系，扶植建立國產的綠能產業生態，並由國營事業帶頭，促進公私部門綠能投資、建立國際夥伴關係促進技術合作，以參與去碳投資的國際合作。

打造綠能生態系

整合資源預算投入優勢技術研發

- 依減碳潛力、成本、技術成熟度、產業競爭優勢等條件，篩選去碳能源關鍵技術，啟動多元關係人共同討論，建立短中長期本土優勢去碳能源技術發展路徑與策略藍圖。
- 整合資源預算投入具本土產業化潛力優勢技術研發，透過產學研合作，擴大研發能量。

扶植零組件國產化打造綠能產業生態圈

- 推動港埠風電專區，建立次世代離岸風力機關鍵零組件本土化開發能力，成為亞太離岸風電產業樞紐。
- 強化複合運用系統服務，輸出結合智慧科技的整合性綠能系統方案。

培育綠色新創產業

- 建立本土實證場域，營造新創生態系。
- 發展智慧能源產業商業模式，整合 IoT、大數據分析、能源即服務(EaaS)等技術，提供創新能源服務。

去碳投資國際合作

促進公私部門綠能投資

- 國營事業(中油、台電)帶頭，整合中下游廠商，投入能源系統淨零轉型投資。
- 對於淨零轉型技術研發與應用提供獎勵補助或租稅優惠，引領公私部門資金投入綠能市場。

建立國際夥伴關係促進技術合作

- 追蹤核心能源技術全球發展動態，建立雙邊合作管道，促進我國能源技術發展。
- 建立國際合作機制推廣我國優勢減碳技術與服務，開拓海外淨零商機。

圖 10 能源轉型策略三-開創綠色成長

資料來源：國家發展委員會，「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」簡報，2022 年 3 月 30 日。

推動 2050 淨零轉型，預期在 4 大策略推動下可使我國的能源轉型從高度仰賴進口，由 2021 年 97.4% 仰賴進口降至 2050 年的 50% 以下；至 2050 年因電氣化，電力需求預估

將增加超過 50%，預估到 2050 年年均成長 2%，約需 4,275 億度到 5,731 億度電，而在低碳、減碳策略下，電力結構產生變化，其中再生能源約佔 6~7 成，氫氣約占 9~12%，火力加裝碳捕捉封存利用 CCUS，約占 20 到 27%，水力約 1%；難以削減的溫室氣體排放則由碳匯抵減。

淨零路徑規劃方面，以 2030 年、2040 年、2050 年分階段達成里程碑，政府對電力、工業製造、建築、運輸產業，訂定不同階段目標。以電力為例，不再興建新的燃煤電廠，2030 年風力光電累積裝置容量達到 40GW，2035 年智慧電表布建達 100%，2040 年燃煤燃氣電廠導入 CCUS 碳捕捉封存，2050 年再生能源發電占比達到 6 成、智慧變電所布建達 100%。

陸、結語

臺灣正面臨能源轉型的重大挑戰，力求在氣候變遷、能源安全性和可持續性等多重因素的影響下，調整其發電結構，以再生能源及低碳天然氣為主軸，促進電力系統低碳化，提升能源系統的韌性，在達成淨零目標的同時兼顧穩定供電。儘管再生能源的發展有助於能源部門轉型，但面臨著能源存儲和再生能源供電間歇波動的挑戰，對於加強能源儲存技術的研究和應用，確保再生能源的穩定供應，及制定更加靈活和智慧的能源管理系統，以應對不同能源的協同運作，是能源部門轉型成敗的挑戰。此外，透過法規制度的檢討修正、獎勵誘因機制的建立、國際交流合作，建構臺灣相關能源技術的友善發展條件，極大化發展具本土優勢之再生能源及前瞻能源技術，帶動低碳綠色產業成長商機，逐步邁向 2050 淨零願景。

參考文獻

- 國家發展委員會、行政院環境保護署、經濟部科技部、交通部、內政部、行政院農業委員會、金融監督管理委員會，「臺灣2050淨零排放路徑及策略總說明」，2022年3月30日。
- 國家發展委員會、行政院環境保護署、經濟部科技部、交通部、內政部、行政院農業委員會、金融監督管理委員會，「臺灣2050淨零排放路徑及策略總說明」簡報，2022年3月30日。
- 游振偉，「能源轉型-啟動淨零永續新世代」，經濟部能源署，2023年12月7日。
- 遠見雜誌，一次看懂2050淨零排放路徑及策略，影響台灣未來30年的關鍵戰略
<https://www.gvm.com.tw/article/88501>