

焦點評析

全球碳戰略政策概況與各國能源發展之關聯

An Overview of Global Carbon Strategy Policies in Relation to Energy Development in Various Countries

金士懿 *Shi-Yi Jin*

開南大學國際企業管理學系助理教授

*Assistant Professor of Department of International Business
Kainan University*

一、前言

能源短缺危機和氣候變遷加劇使得全球範圍內必須實現碳中和目標。在追蹤環境中的碳源時，一般有直接碳和間接碳。前者是現場化學反應直接釋放的碳，如燃料燃燒（如原油、石蠟、煤炭和天然氣）、有機材料的分解、發酵、腐爛和變質、化學產品生產（如石油和煤炭）、後者主要來自場外隱含碳。碳排放的根源在於能源，¹ 碳中和的主要任務高度依賴能源的清潔和高效利用。² 帶動整個社會運作的能源消耗領域有建築、交通、工業三個。碳中和任務涉及跨學科、跨領域的研究，突破專業障礙。

¹ Kai Fang, Yiqi Tang, Qifeng Zhang, Junnian Song, Qi Wen, Huaping Sun, Chenyang Ji, Anqi Xu, "Will China peak its energy-related carbon emissions by 2030? Lessons from 30 Chinese provinces," *Applied Energy*, 2019, Vol.255, Issue C.

² Shu Zhang, Wenying Chen, "Assessing the energy transition in China towards carbon neutrality with a probabilistic framework," *Nature Communications*, 2022, Vol.13, Article number 87.

國家能源結構在永續發展目標中扮演重要角色。在減碳策略包括經濟成長放緩、共享煤炭、能源和碳強度下降。³ 基礎設施、能源結構和普惠金融之間的相互聯繫要求擴大金融活動在能源結構優化和基礎設施投資方面的活動。⁴ 根據《巴黎協定》，與 2015 年中國碳排放水準相比，2050 年煤炭佔比需下降至 13%~32%，非化石能源佔比需上升至 40%~63%。⁵ 核能和再生能源是脫碳的驅動力。⁶ 在碳中和轉型方面，需要注意幾個研究問題：1) 沒有規定各種節能和再生能源技術在不同氣候地區或國家的基本作用和優先順序；2) 政府政策對能源/碳市場和碳中和脫碳策略的影響不明確；3) 全球國家能源戰略對於國家低碳轉型尚不成熟。

二、各國碳中和轉型的能源政策

具有社會科學的交易和成本效益分配的碳市場。政府政策與商業模式的互動包括企業家的循環商業模式優化、技術創新對政策制定者的強制力、政策制定者的支持。必須對碳高峰和碳中和過渡的政策管理進行了全面審查，包括行動、優先任務和政策措施。世界各國政府發布並不斷更新低碳政策，Martin 和 Rice 深入分析了再生能源供應的目標、⁷ 政策、行動和障礙。達哈

³ Dabo Guan, Jing Meng, David Reiner, Ning Zhang, "Structural decline in China's CO₂ emissions through transitions in industry and energy systems," *Nature Geoscience*, 2018, Vol.11(8).

⁴ Muzzammil Hussain, "Measures to achieve carbon neutrality: What is the role of energy structure, infrastructure, and financial inclusion," *Journal of Environmental Management*, 2023, Vol.325, Part B.

⁵ Sheng Zhou, Qing Tong, Xunzhang Pan, Min Cao, Hailin Wang, Jin Gao, Xunmin Ou, "Research on low-carbon energy transformation of China necessary to achieve the Paris agreement goals: A global perspective," *Energy Economics*, 2021, Vol.95(2).

⁶ Muhammad Usman, Magdalena Radulescu, "Examining the role of nuclear and renewable energy in reducing carbon footprint: Does the role of technological innovation really create some difference?" *The Science of The Total Environment*, 2022, Vol.841.

⁷ Nigel Martin, John Lewis Rice, "Developing renewable energy supply in Queensland, Australia: A study of the barriers, targets, policies, and actions," *Renewable Energy*, 2012, Vol.44, pp.119-127.

爾等強調再生能源政策對城市規模碳中和的重要性，⁸ 並呼籲採取能源政策措施，如建築中的分散式再生能源供應、區域供暖中的可再生能源整合、需求面能源利用、再生能源生產的預算和補貼、和社會認可的提高。碳抵消策略，即碳捕獲、利用和儲存（CCUS）將在直接捕獲碳並轉化為有機燃料方面發揮重要作用。此外，透過利用跨國或跨地區脫碳成本差異，碳交易可以促進脫碳路徑。能源/碳交易與逆向推動脫碳策略之間的相互聯繫和相關性尚不清楚。各國政府能源/碳市場政策在實現碳中和方面的作用不明確；國家能源戰略尚不成熟，必需要在全球進行調整或重組。未來跨地區脫碳的前沿指導方針尚未得到很好的概述。希望在建立一個跨學科平台，突破碳中和轉型的學科障礙。制定了自下而上和自上而下的方法，下層是技術進步，上層是先進的全球政策。根據中期（2030 年）和長期（2050 年或 2060 年）預設目標對能源/碳交易和流量進行分析。提供脫碳策略與能源/碳交易之間的相互聯繫和相關性，以清楚地展示脫碳行動的經濟潛力。發現先進脫碳政策的作用，較能適應碳中和時代；對跨區域和國家的全球脫碳路線圖進行了解，方便確定最關鍵因素並立即採取脫碳行動。能源效率、再生能源、碳交易和先進的能源政策在全球碳中和轉型中發揮重要作用。進行了全面、系統性的回顧，報告了現狀、技術挑戰和未來前景，總體框架包括全球能源結構和能源消耗、實現碳中和目標的能源策略、能源/碳交易策略以及未來脫碳的政策和前沿指南。首先，回顧了世界能源結構和能源。其次，回顧了實現碳中和目標的能源策略。然後提出能源/碳交易策略和政策，包括點對點（P2P）能源交易策略和區域碳交易。提供了未來跨地區脫碳的前沿指南，以促進 2060 年之前的碳中和轉型。

三、國家能源結構與戰略中再生能源利用的全球比較

⁸ Karna Dahal, Sirkku Juhola, Jari Niemelä, “The role of renewable energy policies for carbon neutrality in Helsinki Metropolitan area,” *Sustainable Cities and Society*, 2018, Vol.40, pp.222-232.

本節旨在比較不同國家的能源結構和再生能源途徑。目的是從成功國家中汲取重要經驗教訓，並為其他國家的脫碳轉型提供有用的指導。

(一)、澳洲再生能源主要包括水力發電（42.8%）和風能（30.9%）。

(二)、美國，多種再生能源分佈均勻，例如風能佔 26%，水力發電佔 22%，木材佔 18%，生物燃料佔 17%。

(三)、英國，66.15%來自生物能源，其次是風能，佔 22.1%。

(四)、中國發電量表明，電力供應來自火電，達 5045 太瓦時（68.9%），其次是可再生能源，達 1931.4 太瓦時（26.4%）和核能為 348.7 太瓦時（4.7%）。在再生能源中，水能、風能和太陽能所佔比重分別為 67.4%、21% 和 11.6%。

(五)、歐盟的發電量表明，電力供應來自再生能源，為 1115 太瓦時（34.6%），核能為 821 太瓦時（25.5%），天然氣為 699 太瓦時（21.7%）。在再生能源中，風能和水能所佔比重分別為 13.4%和 10.8%。

世界能源比較顯示：

(一)、煤炭、石油、天然氣等傳統能源在總能源結構中的比重仍然較高（中國 92.7%，英國 82%，歐盟 69%），澳洲為 94%，美國為 79%。

(二)、能源消耗主要集中在建築、運輸和工業領域。

(三)、與其他國家相比，中國能源種類多元化程度較低，再生能源佔比略低。

(四)、中國能源使用情況不明（4.8%）低於歐盟 28 國（25.5%）。

因此，各國都在力拼增加生物燃料、再生能源、水力等能源類型的多樣性和均衡比例，提高再生能源在國家能源結構中的比例，是各國碳中和轉型的有效途徑重要選項。生質氣化與發電聯合技術是最有前景大規模商業化的技術。⁹ 總結了全球生物質各種應用的政策，例如歐盟的交通運輸、中國、

⁹ Dennis Y.C. Leung, Xiuli Yin, C.Z. Wu, "A review on the development and commercialization of biomass gasification technologies in China," *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2004, Vol.8, Issue 6, pp.565-580.

義大利和馬來西亞的工業、泰國的國家能源戰略、歐盟的冷熱電聯供 (CCHP)。全球風能上網電價補貼政策。一般來說，風電上網電價補貼是視具體情況而定的，並且與各種變數相關，例如額定容量、合約時間等。需要確定風電上網電價補貼標準，以便保證市場份額和用戶接受度。

通常，海洋能資源包括風能、波浪能、潮汐能和熱能，其間歇性、波動性和不可預測性給穩定發電、終端用戶高滲透率和傳統電網併網帶來了巨大挑戰。包括熱/電能轉換、抽水力發電、壓縮空氣和氫氣儲存。前沿指南可以促進海洋能源的利用，實現碳中和轉型。

科學家海默研究了促進澳洲海洋能源的有效策略。¹⁰ 結果表明，不同部門和措施之間有必要進行強有力的協調，以支持成長。查克拉博蒂等人探討了印度海洋能發展的六大因素。¹¹ 改進措施，包括改革海洋再生能源基金、細化上網電價和補貼政策、引入可交易的再生能源證書、制定專門法律和加強宣傳活動。Esteban 和 Leary 預測，¹² 到 2050 年，海洋能可生產全球總電力的 7% 左右，儲能一體化可實現調峰填谷。透過對來自投資界、設備開發商和行業人士的現場深入採訪，Leete 等人明確指出了英國海洋再生能源投資的障礙，¹³ 包括投資者態度的變化、成本的不可預測性、技術開發的時間長度等。Dalton 和 Gallachóir 從創新、¹⁴ 製造和部署的角度研究了愛爾蘭和丹

¹⁰ Mark Hemer, Richard Manasseh, Kathleen McInnes, Irene Penesis, Trancey Pitman, "Perspectives on a way forward for ocean renewable energy in Australia," *Renewable Energy*, 2018, Vol.127, pp.733-745.

¹¹ Sankhadeep Chakraborty, Prasoom Dwivedi, Sushanta K. Chatterjee, Rajesh Gupta, "Factors to Promote Ocean Energy in India," *Energy Policy*, 2021, Vol.159, Issue C.

¹² Miguel Esteban, David Leary, "Current developments and future prospects of offshore wind and ocean energy," *Applied Energy*, 2012, Vol.90(1).

¹³ Simeon Leete, Jingjing Xu, David Wheeler, "Investment barriers and incentives for marine renewable energy in the UK: An analysis of investor preferences," *Energy Policy*, 2013, Vol.60, Issue C, pp.866-875.

¹⁴ Gordon J. Dalton, Brian O. Gallachóir, "Building a wave energy policy focusing on innovation, manufacturing and deployment," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2010, Vol.14(8), pp.2339-2358.

麥波浪能政策的成功。他們表示，政策改革和策略包括增加年度波浪能預算、波浪能併網電網規範、資本補助投資補貼、降低企業稅率(前3年稅率為0%，以後稅率為3-5%)。從第4年到第10年)，上網電價補貼從0.22 歐元/千瓦時增加到0.30 歐元/千瓦時或0.40 歐元/千瓦時，標準化波浪能裝置等。然而，海洋能源並不可靠，對商業活動來說可能不經濟。儘管全球範圍內有許多上網電價補貼計畫來吸引投資者對再生能源系統進行資金投資，但在提高再生能源比例方面卻難以取得突破。根本原因可能包括市場的外部因素，例如政治風險、監管風險、交易對手風險和/或貨幣風險。再生能源系統上網電價補貼計畫的另一個關鍵問題是納稅人或地方政府的退款或追償。新的公共資助計畫可能有助於減少政府對有限財政預算的焦慮。西班牙上網電價改革的成功，呈現出再生能源更多參與電力市場、鼓勵長期投資、相互衝突的政策標準之間的平衡以及利益相關者之間互動的特徵。

作為天然氣的有效零排放替代品，氫氣作為能源載體，基於現有天然氣網路基礎設施，可以成為解決環境問題的有前景的解決方案之一。此外，如果氫氣是由再生能源產生的，資源將會豐富。然而，氫能面臨的主要問題包括設備成本高、能源轉換效率低、高壓儲存的安全隱患等。要增加氫能的市場並逐步取代傳統化石燃料，需要政策補貼和經濟誘因。不同國家的氫氣現況。採取了多種激勵措施，包括投資氫氣進口]、用於間歇性可再生能源滲透的氫氣基礎設施]、用於區域供熱的H₂ 燃料電池]等。H₂ 已應用於各種場景，例如太空供暖、氫能汽車加氫、再生氫能建設等，實現低碳氫化合物經濟。

四、各國脫碳戰略規劃概況

基於未來脫碳各種技術的系統概述，也觀查了每個國家的概況資訊。國家能源系統脫碳的整體框架，涉及能源供應、傳輸、儲存和分配。從能源供給面來看，天然氣、太陽能、風能、海洋能、核能、垃圾發電等多種碳排放因子較低的能源是值得選擇的。為了確保能源供應的可靠性和穩定性，可以設計儲能裝置，如儲熱、儲電、儲氫等。然後能源將分配給最終用戶，如建

築、交通和工業。脫碳路線圖主要包括碳替代、碳減量、碳封存和碳循環。

舉例中國碳中和轉型面臨的主要挑戰包括：

- (一)、能源消耗和碳排放持續增加
- (二)、在中國停留時間比已開發國家短
- (三)、國家能源結構中化石燃料比重高，能源效率低
- (四)、零碳技術不成熟。中國的碳中和途徑包括：1·碳稅 2·碳捕獲 3·氫：2060 年從約 25 Mtpa 增加到約 170 Mtpa，建築和交通電氣化
- (五)、再生能源部署。2020 年中國碳強度較 2005 年下降 48.4%。碳中和轉型的關鍵步驟包括減少化石能源消耗、大規模部署負排放技術、發展和建立全國性「綠色市場」。此外，電力和氫系統在碳中和能源系統中占主導地位，同時基礎設施投資增加，煤炭產能減少。

未來可以做出的努力：

- (一)、氫稅和碳稅的新場景設定
- (二)、探討不同的節能製度和政策，如分區供冷替代分離式空調系統、不同發電來源的比例和能源效率提高率等。

又如 M. Salvia 建議歐盟實現《巴黎協定》中全球升溫 1.5°C 目標的雙重目標，¹⁵ 以及歐盟 327 個城市中 47% 的城市製定了碳中和計劃，以減少 47% 的溫室氣體排放。M.K. Nematchoua 透過建築翻新、¹⁶ 太陽能板和永續交通研究了淨零能源住宅區。結果表明，組合策略可以有效減少 90% 的能源消耗。F.J.W. Osseweijer 對歐洲國家的 BIPV 進行了比較研究，¹⁷ 得出荷蘭在支持

¹⁵ Monica Salvia, Diana Reckien, Filomena Pietrapertosa, et al, “Will climate mitigation ambitions lead to carbon neutrality? An analysis of the local-level plans of 327 cities in the EU,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, Vol.135, p.110253.

¹⁶ Modeste Kameni Nematchoua, Marie Reine Nishimwe, Sigrid Reiter, “Towards nearly zero-energy residential neighbourhoods in the European Union: A case study,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, Vol.135(C).

¹⁷ Floor J.W. Osseweijer, Linda B.P. van den Hurk, Erik J.H.M. Teunissen, Wilfried G.J.H.M. van Sark, “A comparative review of building integrated photovoltaics ecosystems in selected European countries,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, Vol.90,

計劃、家庭能源標籤、先鋒 BIPV 研究和 BIPV 設計審查委員會方面優於其他國家的結論。除了碳中和之外，氣候中和也得到了研究，探索有效的策略。認為能源效率、再生能源和電氣化是歐盟氣候中和的關鍵策略，並顯示氫作為多功能能源載體將發揮至關重要的作用。研究了氣候中和策略並得出結論，需求減少顯示出最大的潛力，其次是再生能源整合，如風能、太陽能和生質能。

五、結論

透過全球碳中和戰略途徑發現，提供並比較了不同能源來源、能源消耗分佈和溫室氣體排放的國家能源結構。作為碳排消費，提供了相關系統中的能源/碳流動和交易，分析了跨地區和國家的全球脫碳路線圖，以確定最關鍵的方面和脫碳的戰略規劃。關鍵結論總結如下：

(一)、世界能源比較顯示，傳統能源（如煤炭、石油、天然氣）在總能源結構中的比重仍然較高（如中國為 92.7%，英國為 82%，歐盟為 69%），澳洲為 94%，美國為 79%）。此外，中國的不明能源使用量（4.8%）相對低於歐盟 28 國（25.5%）。因此，增加生物燃料、再生能源、水力等能源類型的多樣性和均衡比例，提高再生能源在國家能源結構中的比例，是碳中和轉型的有效途徑。

(二)、零能耗需要清潔能源供應，需要政府和經濟市場的支持。然而，上網電價獎勵措施不足（再生能源市場滲透率低）與巨大的經濟壓力（再生能源系統投資高）之間的衝突需要採取權衡策略，將政府的經濟壓力僅分配給政府和最終用戶。此外，上網電價僅適用於太陽能光電和風力發電機，具體政策取決於地區。例如，香港的上網電價為 2.4-4.1 元/度，而中國大陸的上網電價僅為 0.3 元/度。風電方面，研究國家/地區中英國上網電價補貼最高，為 1.58 元/度，中國最低，為 0.75/0.85 元/度。

(三)、零碳的途徑很複雜，但需要明確明確並避免資源浪費。這項研究明確提出了節能的首要任務，然後是現場可再生系統，以及需求方靈活的建築。最終的策略是增加儲存和電網。

(四)、能源/碳交易將顯著影響再生能源的利用、最終用戶積極安裝再生能源系統或參與電動車互動的接受度。然而，能源/碳交易的廣泛應用還有很長的路要走。主要原因包括：i) 建築能源/碳交易原則尚未成熟；ii) 不同參與者之間的多向交易行為界線不明確；iii) 成本效益平等分配規則；iv) 節能活動、脫碳和碳交易效益之間的相互關聯。

(五)、全球範圍內的脫碳路徑在不同地區和地區之間存在很大差異。節能、再生能源供應、電氣化和 CCUS 的脫碳潛力不同應配合綜合脫碳戰略執行。此外，歐盟、日本和美國也出現了類似的趨勢，主要關注電力供應。日本在電力、工業、交通領域的碳減量幅度分別為 191 公噸（減少 42%）、176 公噸（減少 40%）、67 公噸（減少 32%）和 70 公噸。

碳中和還有很長的路要走。全球碳中和戰略轉型需要在能源效率、再生能源、碳交易和先進能源政策方面持續不斷的努力以及跨學科合作。未來研究可以關注的巨大挑戰主要包括：

- 1.政策、經濟誘因和補貼不足以促進碳中和轉型的能源儲存
- 2.財務不確定性和環境問題是相連通的兩個非常重要因素
- 3.碳交易措施不完善，如碳盤查、碳定價計算、碳認證、碳金融交易市場；

各國政府再基於氣候變遷因應是全球面臨的共同課題，以及國內減排具有技術與成本限制，需要全球合作解決。爰此，UNFCCC 鼓勵締約國應用《巴黎協定》（Paris Agreement）第六條，¹⁸ 促進各國提出具雄心的 NDC 目標。由

¹⁸ 《巴黎協定》第 6 條的國際碳市場：開創淨零排放契機，包括：(1) Article 6.2：使用國際轉讓的減緩成果（International Transfer Mitigation Outcomes, ITMOs）來實現國家自主貢獻貢獻(NDC)；(2)Article 6.4：參加永續發展機制(Sustainable Development Mechanism, SDM)的碳權開發。

於境外碳權抵換具雙重效益，企業抵換效益與國家抵換效益，因此，各國均善用《巴黎協定》第六條機制。在一項關於到 2045 年氣候投資總額需求的綜合研究中，統計德國能源與減碳的考驗，該國國家能源機構 dena 估計該費用總額約為 5 兆歐元，其中大部分必須用於運輸部門的轉型。國營開發銀行德國復興信貸銀行進行的 dena 分析顯示，與氣候相關的額外投資平均每年達 720 億歐元，到 2045 年，私人和公共基金的投資額將達到 1.9 兆歐元。該機構表示，到目標年，能源產業還需要投入 8,400 億歐元。在 2021 年的分析中，德國國家環境局（UBA）發現，德國光是 2018 年就在對環境有害的補貼上花費了約 654 億歐元，其中大部分用於能源和交通。瑞士推估 2030 年可減排 37.5%，為達成 2030 年減排 50% 的 NDC 目標，決定向秘魯購買 ITMOs，¹⁹ 抵銷不足的 12.5%。在全球淨零發展趨勢下，碳權將成為國家與企業發展的重要生產因子（production factor），且各國減碳稟賦（自然資源與技術等）差異性，因此，全球均依據國際貿易的比較利益原則（comparative advantage principle），依據自然稟賦條件，專業化減碳分工，以及布局碳權經營。例如森林與土壤碳權（Forest and land use credits）主要來自避免毀林及改變土地使用方式，產生碳權。2021 年，森林與土地使用改變碳權約占碳權發行總量的 1/3 以上，與 2020 年相較，約增加 159%。全球自然為本碳權約有 70% 來自亞洲（柬埔寨、印尼、中國），其餘來自拉丁美洲（巴西與秘魯）。因此，境外碳權經營，購買稟賦豐富國家碳權，亦是推動國家與企業境外碳權經營的重要意涵之一。僅一個國家在面對氣候變遷的壓力下所應對的財務支出如此巨大，更遑論各國面臨現今戰爭與運輸安全的雙重的艱鉅考驗中，與多元詭譎的政治紛擾下，各國政府都必須積極布局未來環境的考驗，是否會因此產生個更多的掠奪與競爭，必須端看各國政府的智慧去做長遠的戰略布局與規劃。

¹⁹ 瑞士政府（2020）投資 2 千萬歐元投資秘魯的森林保育計畫（Tuku Wasi 地區）。

責任編輯：鍾辰函

