



# 淨零碳排的歷史觀和多元思維

■ 林大惠 國立成功大學機械工程學系特聘教授

2022年11月15日全球人口數正式跨越80億，相較於1700年6億、1800年9.9億、1900年16.5億，300多年來全球人口增加約13倍。在二十世紀期間，全球人口數每增加10億所需的時間，逐漸從30年、15年，縮短到10年，未來人口數每增加10億所需時間可能會再縮短。全球人口數快速成長，意味著世界各國的經濟發展和民生需求將不斷提升，人類生存所需要、所消費的自然資源會更形龐大。

地球自然資源的耗用和衍生效應儼然成了二十一世紀人類需要審慎應對的重大難題，尤其是看似相左的兩大議題——驅動人類文明進步的能源利用和能源利用衍生的環境效應——如何在兩難中取得文明進步和環境保護兩相平衡，進而建構「淨零碳排」永續願景，是這世代人的挑戰與責任。

## 一、淨零碳排是個歷史議題

工業革命緣起於1784年瓦特改良蒸汽機，但是工業的實際發展卻有段近百年的靜寂時期，其中有名的熱力轉換原理，如卡諾循環（1824年）、朗肯循環（1859年）、鄂圖循環（1876年）、狄塞爾循環（1892年）等分別被提出，卻尚未能實現於實際的系統運作。一直到十九世紀中葉的煤炭開採，以及二十世紀初期石油與天然氣的開採利用，化石燃料開始被用來提供熱能於熱力轉換系統中，於是有愛迪生電燈公司的燃煤電廠（1882年）、萊特兄弟發明汽油動力飛機（1903年）、福特發明汽車（1908年）等各式重要的能源利用發展，化石燃料的開採與利用也因此大幅提升二十世紀的工業、民生發展。

化石燃料係利用燃燒過程將化學能轉換成熱能，釋出的熱能可以直

接用來加熱，如家用瓦斯爐或熱水器、煉鐵與煉鋼、煉油及工業加熱製程等，也可以經由熱力轉換系統轉換成電力、動力，因此家家有電、飛機能飛、汽車能跑、火箭升空。化石燃料的基本組成是碳氫化合物，與空氣中的氧氣燃燒化學反應，將熱能釋出後，所排放的兩大生成物是二氧化碳和水，它們是重要的溫室氣體，水蒸氣的溫室效應貢獻比例最高，二氧化碳其次。大氣中水蒸氣含量過飽和，就凝結下雨，再加上地表海洋的調節，可以維持大氣中水蒸氣含量的平衡，因此水蒸氣的溫室效應雖大，卻不會持續惡化；但是，大氣中二氧化碳的濃度遠低於它的飽和濃度，無法凝結移除，它的濃度會持續累積增加，所產生的溫室效應就持續上升。化石燃料所夾帶的雜質和燃燒不完全過程也會衍生對環境有害的汙染物，包括氮氧化物、硫氧化物、一氧化碳和粒狀物。

二十世紀是個大量使用化石燃料的世代，人們享有工業、民生發展，也逐步體認化石燃料所衍生的三大難題，包括化石燃料匱乏、空氣與水汙染，以及溫室氣體排放，這些難題一直延伸到目前二十一世紀全球捉襟見肘、窮於應付的窘境。依據 Worldometer 世界即時統計數據 (<https://www.worldometers.info/>)，以全球目前所知蘊藏量和開採率估算，煤炭、石油和天然氣剩餘可開採的年分，分別約為 400 年、40 年和 150 年。能源攸關國家資源與生存安全議題，公開的蘊藏資料未必全然正確可靠，但仍能顯示存在於地表的化石燃料是有限的，有枯竭、耗盡的一天。然而，截至目前為止，化石燃料仍占全球能源供應的 80%，人類還是大幅依靠化石燃料。

燃燒化石燃料產生的空氣與水汙染是二十世紀中、後葉開始被重視的環境議題，近 50 年的發展，降低及抑制空汙排放的技術開發，雖未達百分百的零汙染排放，但已有相當成效，諸如：靜電集塵設備、低氮氧化物燃燒器、脫硝和脫硫設備等，皆被廣泛應用於工業與發電系統。比較麻煩的反而是燃燒化學反應排放的二氧化碳，穩定且量大，對人體無害卻衍生溫室效應。二十世紀末期，物理學家發現地表溫度的變化扣合著大氣中二氧化碳濃度的變化，近百年來兩者不斷地同步上升 (Climate Matters, 2022)。相較於 1900 年，現在的地表溫度增加超過 1°C。人們開始明白二氧化碳的溫室效應明顯地帶來全球暖化的危

機，暖化所形成的氣候變遷現象發生在全球各地，如極地融冰、海平面上升、異常乾旱、暴雨和酷寒等，近幾年帶給人類極大的生命與經濟損失。

地表溫度和大氣中二氧化碳濃度的變化曲線（Climate Matters, 2022），結合全球能源供應（或消費）量的變化曲線，以及全球人口增長的變化曲線，我們可以發現這四條曲線具備兩個共同特徵，一者是近百年來四條曲線的數據變化皆呈現急劇的上升，再者是急劇上升的轉折點都發生在 1900 年。四條歷史變化曲線告訴我們，人類文明的進步同步於能源的使用，偏重於化石燃料的能源使用導致大氣中二氧化碳濃度的上升，也因此地表溫度隨之上升。1900 年是關鍵的轉折點，那時煤炭開採達到初步高點，同時石油與天然氣的開採也開始揚起，化石燃料對地球環境的影響正式開始，而接續百年（二十世紀）的能源利用和工業、民生發展，使人類陷入難以克服的環境危機。銘記四條歷史變化曲線和 1900 年關鍵轉折點是我們面對「淨零碳排」永續願景的重要心態，人類歷史告訴我們：科技帶來進步，也帶出破壞；人類享受好處，也需要承受風險。

## 二、淨零碳排需要多元考量

「減碳」一直是二十一世紀當紅的議題，過去十多年以「節能減碳」為核心的推動成果，只是讓全球二氧化碳排放的增加趨勢減緩，並未呈現下降變化，顯見減碳效益不彰。近幾年則改以 2050 年「淨零碳排」作為永續發展的目標，凸顯出減碳議題的嚴峻和困難，多元考量是現階段有效減碳的必要手段。比較國際能源總署 (International Energy Agency, IEA) 在 2011 年和 2020 年分別提出的「2050 減碳情境預測」可以發現，在未來減碳貢獻比例上，能源效率提升仍占有 37% ~ 38%，具主要貢獻效益，再生能源開發則由 17% 增加到 32%，呈現倍數提升；相反地，二氧化碳捕獲與封存 (carbon capture and storage, CCS) 的貢獻由 2011 年預估的 19% 下降至 2020 年預估的 9%，同時增加二氧化碳再利用的選項，整合為二氧化碳捕獲、再利用及封存 (carbon capture, utilization and storage, CCUS)；至於

核能則由 6% 下修為 3% (IEA, 2011, 2020)。

國際能源總署 2020 年的「2050 減碳情境預測」將再生能源開發的未來減碳貢獻比例提高至與能源效率提升不分上下，顯現新能源開發的重要性；再者，再生能源利用主要是電力供應，因此，國際間針對工業加熱製程也開始將燃燒加熱改為電力加熱，或是先利用再生能源電力電解水來產製綠氫，再燃燒綠氫於工業加熱製程或發電系統。二十一世紀初期極力發展的二氧化碳捕獲與封存技術，雖然已有商業化捕獲技術，但礙於二氧化碳封存選址不易，且具高風險，目前將二氧化碳再利用產製醇類燃料或其他工業用途是為未來減碳的發展重點。

國際能源總署在 2021 年發表的〈邁向 2050 淨零碳排：全球能源部門的發展路徑〉(Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector) 一文中指出，以 2030 減碳目標而言，既有科技貢獻占比接近 80%，發展中科技貢獻占比 15%，而人類行為改變貢獻占比不到 10%；若延伸至 2050 減碳目標，前兩者分別為 50% 和 43%，後者貢獻占比還是不到 10% (IEA, 2021)。分析資料顯示，要達到 2050 淨零碳排所需的發展中科技需要 3 倍成長，簡言之，目前我們所擁有的科技不足以用來解決碳排問題，需要更多的創新研發，不僅是科技研發，多元減碳策略也需要投入發展。令人沮喪的是，國際能源總署對於人類行為改變對減碳的貢獻並不抱持希望；這是值得深思、檢討的問題——科技解決碳排問題有限，人類行為需要大幅改變。

### 參考文獻

- Climate Matters. (2022). *Peak CO<sub>2</sub> & heat-trapping emissions*. Climate Central. <https://www.climatecentral.org/climate-matters/peak-co2-heat-trapping-emissions>
- International Energy Agency. (2011). *Tracking clean energy progress report*. [https://infopetro.files.wordpress.com/2011/06/cem\\_progress\\_report.pdf](https://infopetro.files.wordpress.com/2011/06/cem_progress_report.pdf)
- International Energy Agency. (2020). *Tracking SDG7, The energy progress report 2020*. <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/>



Publication/2020/May/SDG7Tracking\_Energy\_Progress\_2020.pdf?rev=02eb03c2c0744f9fa9f87fc39d67798f

International Energy Agency. (2021). *Net zero by 2050: A roadmap for the global energy sector*. <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>