

淨零下全球能源供給走勢分析



淡江大學經濟系教授 廖惠珠

- 化石能源超高使用率，使得全球溫室氣體排放連年增加，惡化氣候變遷問題。
- 而在近年氣候災變不斷發生下，不僅突顯了氣候變遷問題，也讓更多人願意改變能源使用方式。
- 2023年底COP28杜拜大會有了突破性進展，大會不僅提出能源效率加倍、再生能源3倍成長等論點，更破天荒地取得化石能源逐步降低共識。

世界經濟論壇（World Economic Forum）每年所定期出版的全球風險報告（The Global Risks Report），近年來已連續多年將氣候變遷列為全球最大風險因子之前茅。其2024年報告，極端氣候事件不僅是未來兩年的第2大，更是未來10年的第1大風險因子。究其因，實在是越來越頻繁的大型氣候災變，已是人們生活的常態，就算是先進國家也難以倖免。

化石能源（石油、煤炭與天然氣）的大量使用是今日氣候變遷的主因，依據聯合國溫室氣體排放落差報告（Emission Gap Report）顯示，化石能源二氧化碳排放占全球總溫室氣體排放的2/3。國際能源總署（International Energy Agency，以下簡稱IEA）指出，全球最終總能源消費高達442 EJ（1018焦耳），其中新興市場與開發中國家約占60%、已開發國家占36%，剩餘部分歸屬於跨國航海與航空運輸部分。若以能源別區分，化石能源占比2/3、電力占比1/5、生質能源1/10，其餘為其他各式各樣能源。化石能源是利用燃燒產生能量，因此使用時會排放出許多空污與溫室氣體。今日化石能源使用超高，使得全球溫室氣體排放年年增加，不斷惡化氣候變遷問題。

多年來氣象學家持續呼籲氣候變遷問題，近年在氣候災變連綿不斷發生下，終於讓更多人願意改變能源使用方式。其中，去（2023）年底COP28杜拜大會更有了突破性進展。大會不僅提出能源效率加倍、再生能源3倍成長等論點，甚至破天荒地取得化石能源逐步降低（phase down）共識。這些共識，讓IEA在2021年所提出2050年淨零排放口號更具可行性。

由於能源發展攸關淨零成效，更衝擊人類生存，因此網路上充斥著各式各樣2050年全球能源走勢分析報導。這些報導的觀點差異很大，光是2050年國際化石能源占比的推估，就有明顯差別。以國際能源圈兩大深具影響力的單位為例，美國能源部資訊署（Energy Information Administration，以下簡稱EIA）2023年所出版International Energy outlook數據

顯示，2050年時，化石能源仍高居70%，而IEA在2021年淨零規劃案（Net Zero Emissions by 2050，以下簡稱NZE），化石能源僅剩20%。此一明顯差異來自於IEA在NZE案有著較嚴苛，要努力朝向全球增溫不超過1.5°C的訴求與假設（例如不再新蓋化石能源發電機組），而EIA僅只依循一般經濟成本與技術進展等較鬆散的情境來進行分析。另外，政府間氣候變化專門委員會（The Intergovernmental Panel on Climate Change，以下簡稱IPCC），在其第六次評估報告（the Sixth Assessment Report，以下簡稱AR6）第六章能源系統（energy system）所呈現化石能源2060年的占比更只剩8%。

上述刊物雖都可由網路下載，但因涉及許多能源專業名詞，多數人不易理解。筆者盡可能在有限文字下摘錄重點，搭配其他相關文獻，綜整分析出2050年淨零目標下，全球能源供需走勢。由於EIA預測報告並未強調淨零規劃，不符合本文討論議題，故後續論述略之。另外，由於能源供需走勢大致相近，為了單純化討論議題，本文只偏重能源供給，不再多說明能源需求。以下先論述IEA在2021年版本，其次提出IPCC 2022年AR6內容，以及IEA 2023年修正內容，最後再綜整淨零目標下之全球能源供給大趨勢。

IEA 2021年全球能源淨零規劃內容

為減少讀者閱讀困擾，以下先簡單說明一些專有名詞，其次再說明IEA報告的假設前提與內容。

一、能源專有名詞簡介

1. 初級能源、次級能源與最終能源

本文後續所摘錄圖片，讀者可看到一些能源專有名詞，如圖1的total energy supply（總能源供給），圖2的primary energy、secondary energy carrier與final energy。這幾個名詞都是能源總量數據。以圖1 total energy supply而言，檢視IEA 2021年原著第37頁下面注釋，可知其total energy supply就是total primary energy supply（簡稱primary energy）。故上面4個英文名詞，真正只有3個，分別是primary energy（初級能源）、secondary energy carrier（次級能源載體）與final energy（最終能源）。其中，secondary energy carrier較不常見，多數文獻簡稱secondary energy。初級能源是指直接由自然界取得的能源，如原油、煤炭、天然氣，或太陽光電與風電；而次級能源則是將初級能源經過人為處理轉變而成的能源，如汽油（人為煉製轉變而成）或燃燒煤炭產生電力（利用發電設施轉變而成）；至於最終能源，則是將初級能源或次級能源運輸傳送至最終的使用者，如家庭所使用的汽油與電力。由於每次轉變或運送都會耗損少許能源，因此數據上，通常是初級能源大於次級能源，次級能源再大於最終能源。

2. 個別能源名詞說明

圖1右列多個能源名詞，多數人都相當熟悉，如renewables（再生能源）、Wind（風

力)、Solar (太陽能)、Hydro (水力)、Nuclear (核能)、Natural gas (天然氣)、Oil (石油), 以及Coal (煤炭) 等名詞, 故在此不再贅述, 僅簡述其他名詞。Traditional use of biomass (傳統使用的生質能), 是指人類長久以來所使用的動植物及其廢棄物等能源, 如木炭、木頭、枯枝、動物糞便、廚餘等常見燃料; 而Modern gaseous bioenergy、Modern liquid bioenergy, 以及Modern gaseous bioenergy則分別是現代化氣態、液態與固態的生質能源。這些生質能源的代表產品分別有沼氣(如養雞場糞便收集發酵後產生沼氣)、酒精汽油(例如將甘蔗製成汽油), 以及將廢棄物經過處理後, 製成不同型態的衍生燃料。另外, 圖3出現的unabated natural gas、oil與coal是指未採用碳捕捉、使用與儲存(Carbon Capture, Utilization and Storage, 以下簡稱CCUS)技術處理後的天然氣、石油與煤炭。很明顯這類化石能源的使用必然會排放許多二氧化碳。

二、IEA 2021年全球能源淨零規劃之假設前提

由於2050年距2021年過於久遠, 之間仍充滿許多不確定性, 實在很難去勾勒出2050的遠景, 故IEA在全球增溫不超過1.5°C的訴求下, 進行多個強制性假設, 方得繪出NZE下全球能源供給。IEA以圖示方式清楚列出自2020年起至2050年間, 各國每5年在建築物、交通、產業、電力與暖氣, 以及其他(如氫能與碳捕捉儲存等)應該採取的減碳策略(詳見該報告第20頁), 例如於2035年全球就不再銷售新的燃油汽車。依據這些減碳策略的假設前提, IEA估算出不同情境下全球能源樣貌。

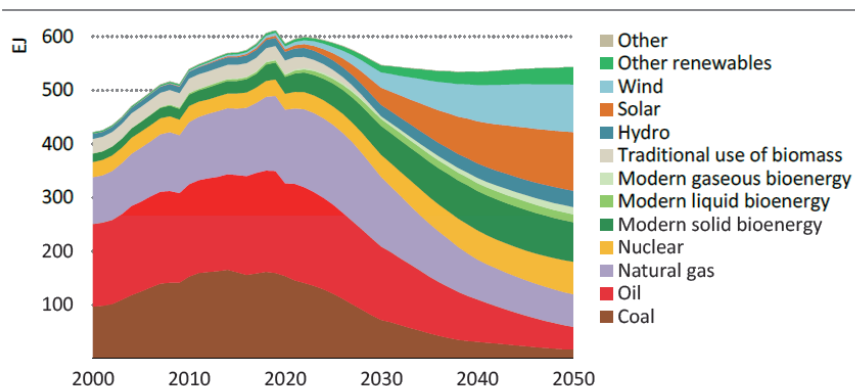
三、IEA 2021年全球能源淨零規劃內容

2021年版的IEA報告進行多項情境分析, 其中NZE情境下, 全球能源供應量如圖1所示。

為了忠於原著, 且讓讀者容易與原著比對, 本文由各報告所擷取之圖片皆仍保留原著圖片編號。另外, 在各圖下面的資料來源, 除詳述原著全名外, 也清楚寫上頁碼, 以利有興趣讀者追蹤更詳細內容。

圖1最左邊可觀得2000年全球不同能源總供給配比。彼時全球能源供給約80%為化石能源, 其中各能源占比分

Figure 2.5 ▶ Total energy supply in the NZE



IEA. All rights reserved.

Renewables and nuclear power displace most fossil fuel use in the NZE, and the share of fossil fuels falls from 80% in 2020 to just over 20% in 2050

圖1、IEA 2021年NZE方案下全球能源供應走勢圖
圖片來源: Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5°C Goal in Reach, IEA report, 2021, p57

別為石油30%、煤炭26%，與天然氣23%。到了2050年時，IEA的NZE情境，整體化石能源占比將跌為20%。值得注意的是，NZE情境下化石能源占比並非為0。2050年化石能源主要用於石化產業之非能源用途，或是一些很難轉換成其他能源的重工業與長距離運輸。這些化石能源的使用會採用CCUS，或是選擇一些負碳排放的技術（如種樹或直接由空中捕捉溫室氣體），來抵消使用化石能源所產生的碳排放。注意由2000年至2050年間，煤炭使用量的削減速度最快，而天然氣最慢，此乃因煤炭的單位碳排放量是3大化石能源最高者，而天然氣最低，但無論是哪一種，在2050年時都仍然占有一些比例。2050年時其他80%的能源，最主要的是太陽能與風力，至於各式各樣的生質能、核能與水力也各占有一定的比例。

IPCC 2022年出版SR6的能源系統

IPCC每隔5至7年會出版其氣候變遷評估報告。由於能源的開發與使用是全球溫室氣體的最主要來源，故此評估報告一定會提及能源問題。最近一期出版於2022年AR6第六章能源系統。其中第6.7.1節就清楚描述低碳能源系統的能源轉型路徑。此節指出唯有重大改變能源的使用，方得控制地球的溫室效應。依照其分析，若2020年至2050年間可將能源部門的CO₂減少87-97%，會對應1.5°C (>50%) 的情境（增溫1.5°C的機率超過50%）；若只減少60-79%，則對應2°C (>67%) 情境。礙於篇幅限制，本文僅摘取與本土較相關的亞太地區2050年能源供需路徑（圖2），但僅說明最左邊的初級能源供給圖。

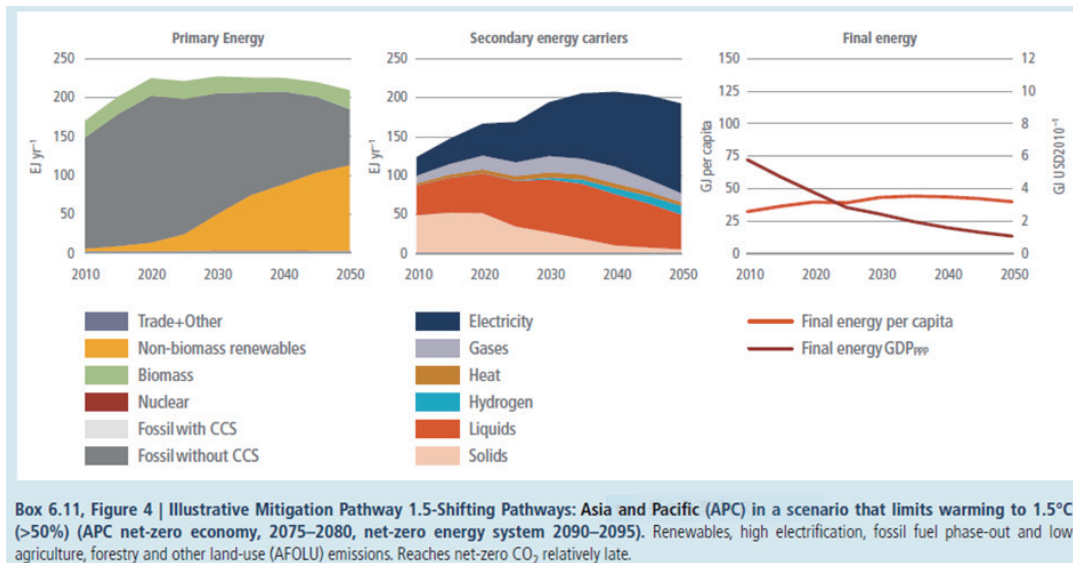


圖2、IPCC2022年AR6第6章模擬亞太地區能源供應走勢圖

圖片來源：IPCC (the Sixth Assessment Report, 2022, p691)

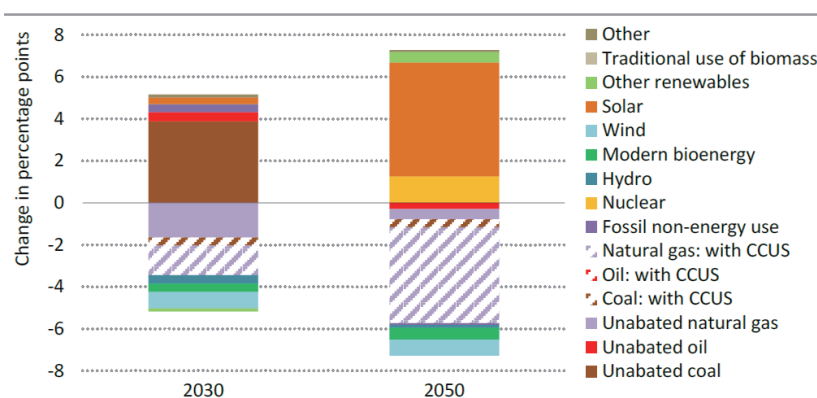
圖2描述亞太地區能源部門CO₂減少87-97%的1.5°C (>50%) 情境。2050年時，最左圖顯示亞太地區因為能源需求特多，必須仰賴其他地區能源進口（如圖中深灰色貿易與其他

(Trade + other) 處。為了達到淨零，這些進口能源主要為低碳或零碳的氫能、生質能或其他能源（如透過電網買到的零碳電力）。注意IPCC分析方式與IEA不同，IPCC採取更彈性做法，不僅依據各區域資源稟賦與社經狀況繪出其能源供需狀況，且容許各區達淨零年的差異。全球多數區域在2050前後都可達淨零，但亞太地區因能源需求量較大，且因中國與印度等諸多發展國家需要較長的調整時間，故達淨零年間特慢。圖2最下面英文文字說明，顯示亞太地區整體經濟需於2075-2080方達淨零，至於能源部門的淨零甚至可能延至2090-2095年。不過，此一報告產出於2022年，是在COP28重大化石能源降低宣言之前，因此，後續發展很可能又有一些變化。

IEA 2023年全球能源淨零規劃修正

現實社會總是計畫趕不上變化，2022年起，全球社經環境大變，除COVID疫情緩和引發經濟報復性成長外，俄烏戰爭造成全球能源危機，各國原擬除役的燃煤電廠又再度啟用。此全球大變化，讓IEA不得不於2023年提出2050淨零方案修訂版。透過圖3可看出，2030與2050年全球不同能源別供給量在2021年版本與2023年版本的差異。圖3 Y軸代表2023年版本較2021年版本增減差額，原點0（X軸）以上的能源是指2023年增加數量；反之，0以下則是減少數量。新版本顯示，2030年未使用CCUS等技術處理的天然氣、石油與煤炭會明顯增加。不過這些化石能源的使用量在2050年皆已消失不見，取而代之的是超大量的太陽能（圖中橘色部分）。整體化石能源的使用較2021年所規劃20%更低。注意此結果乃立基於2023年起，全球就不增加任何新興化石能源計劃案。另外，值得注意的是2050年核能也明顯增加許多（黃色部分）。此推估符合歐洲最近核電復辟風潮。今年年中義大利已向歐盟提交恢復核電計畫。

Figure 2.11 ▶ Changes in total energy supply by source in the 2021 and 2023 NZE Scenarios in 2030 and 2050



IEA. CC BY 4.0.

The 2023 NZE Scenario projects slightly higher coal use in the near term and lower use of CCUS, and a higher share of solar PV in total energy supply in the long term

圖3、IEA淨零下全球能源供應在2021與2023版本之差異分析圖

圖片來源：Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach 2023 Update, IEA report, 2023, p74

結語

綜言之，2050年淨零下，全球不同能源別供需數量之組合與現今組合將有明顯差異。雖然上述圖形所呈現不同能源組合乃立基於一些強烈的假設，而少部分假設（如2023年起全球不增加化石能源計劃案），明顯與近年實況有別，但一些頗具共識的能源供給大趨勢則相當明確，且摘錄如下：

1. 太陽能與風力等再生能源大爆發，2050年時，太陽能將是所有能源中占比最高的能源，其次為風力。近年儲能生產成本大降有利再生能源的發展。
2. 化石能源在2050年將縮小至20%以下，根據IEA最新的報導，石油於2030年每日將有800萬桶的過剩產能。天然氣黃金期風光年間亦有限，2030年後將漸漸萎縮。2050年化石能源主要用於如石化產業等非能源用途，或是一些很難替換成其他能源的重工業、長距離運輸等，且多會採用CCUS技術。
3. IEA2050零碳電力的達成，主要仰賴發電部門2022-2030年的4大關鍵因子：
 - (1) 全球的再生能源裝置容量成長3倍；
 - (2) 全球的電網投資增加2倍；
 - (3) 未經CCUS處理的化石能源減少95%；
 - (4) 核能增加2倍。

雖然上述結語，乃筆者綜整各大國際重要機構論點，但現今全球經濟環境變化萬千，讀者們參考就好，千萬別依據上述結論，放手大膽投資。面對惡劣經濟環境，仍宜採取保守措施。小心方能駛得萬年船。尤其是新當選的美國川普總統，一向主張大力開發美國的油氣田，未來將如何發展仍需多觀察。倒是今（2024）年底COP29巴庫會議結論，已開發國在2035年前每年將提出3,000億美元的氣候融資，以及通過有利全球碳交易運作的重要原則，肯定會促進低碳能源的發展。

