

瑞典的能源政策—— 由再生能源電力到無化石燃料電力

吳珮瑛

台灣國際研究學會 理事長

摘要

瑞典 1980 年全國性核能公投、決議至 2010 年逐步淘汰核能，因而，於 2016 年《能源政策框架協議》設定 2040 年達成「100%再生能源電力」，2045 年為淨零年。然 2009 年開始發展再生能源之一的陸域風機，民眾抗爭由「不要在我家後院」轉變成「不要在任何人家後院」，發展所受到的阻力與障礙超過預期；而太陽因輻射量低、加上無大型儲能設施，又與農地競爭土地是發展太陽光電最大問題；而最關鍵因素是發電業外的其他各部門電氣化的推動，使得電力需求大於預期，將由 2024 年之 1,700 億度倍增至 2045 年 3,000 億度。因而於 2023 年修正為「100%無化石燃料電力」，使電力得以成為支援其他產業與部門電氣化之重要支援。此一修正使核能重回能源結構一環，主要是以「是否排放碳」為衡量指標之「技術中立」原則下的選擇。根據國際能源總署 2024 最新資料顯示，電力消費來自水力、風力和太陽光電、生質能與廢棄物及核能總共為 99.52%，已幾近 100%無化石燃料，這是包括 29.29%核能提供之電力。此外，瑞典善用其高碳稅稅率收入進行「綠色稅收移轉」，針對壞財貨如 GHG 課碳稅、移轉至所得減稅少及投資抵減，因此得享有減少 GHG 及經濟發展雙紅效果。最後，觀察一單位能源投入作為電力與熱力的能源消費耗損率，可得知一國能源消費密集度（效率），瑞典 1990-2023 年平均能源消費耗損率為 35.73%，耗損主要源自電力遠距離多方傳輸至歐洲各國線損。而台灣同時期耗損率則為 53.42%，主要是台灣能源有大量的化石燃料，損失來自燃燒化石燃料產生電力伴隨廢熱的損失。

關鍵詞：用過核燃料、無化石瑞典、潔淨能源惠及所有歐洲人、核能廢棄基金、綠色稅收移轉、雙紅效果、能源消費耗損率

壹、前言

瑞典是天然資源豐富的國家，歷史上主要的能源是以木質燃料為主¹，二次世界大戰後，因經濟發展需要、先是仰賴煤、繼而開始大量使用石油，1965 年為避免油價高低起伏變動的不確定性，同時要確保能源安全及供電穩定，因此開始籌劃興建核電廠（Kaijser & Högselius, 2019）。1970 年代、瑞典整體能源消費有 75% 來自石油、其中電力則有 25% 仰賴石油的情況下，石油危機的發生更加速核電廠興建計畫的推力，第一座大型商業用核電廠於 1972 年開始運轉（World Nuclear Association, 2025）。然 1979 年美國三哩島核外洩事件（Three-mile Island accident）的發生，瑞典因此成為全世界第一個於 1980 年以全國性公投決定核反應爐逐步淘汰（phase-out）的國家；在此事件之前，核電廠的運轉並非沒有爭議，運轉數年後核廢料的處理也成為世界處理核能政治議題的國家（Roßegger & Ramin, 2013），至 1977 年立法通過核廢料的妥適處理方式²，奠定了瑞典在世界管理核廢料的領先地位（World Nuclear Association, 2025）。公投後又發生 1986 年烏克蘭的車諾比核事故（Chernobyl nuclear disaster），促使人們進一步更重視核反應爐淘汰的問題，瑞典政府雖未因此加速淘汰核反應爐，然於 1988 明確決定 1995 年起開始逐步淘汰，以能在 2010 年完全淘汰（Nohrstedt, 2008）。由此可見，電力部門因經歷核能公投逐步淘汰所產生的不確定性，雖未強制推行核能淘汰計畫，但也同意不補助核電；因此，在更多形式的再生能源進入電力系統取代核電之前，

¹ 所謂木質燃料（woodfuel）就是生物燃料（biofuel）主要是以樹木或是樹木的某些部分為燃料（Hillring, 1998）。瑞典目前最新 2024 年的能源組合中，生質能及廢棄物仍提供總能源供給的 26.43%（這是以兆焦耳能量單位衡量的能源供給，1 兆焦耳（terajoule，以下簡稱 TJ）等於 277,778 度電），這些是利用瑞典龐大的林產業生產固體生物質的木質燃料，主要用於供熱和發電，而液體生物柴油等液體生物燃料則用於交通運輸，至於廢棄物則生產一些沼氣用於電力生產、加熱及運輸燃料等（IEA, 2024a）。

² 瑞典 1977 年頒布的《核反應爐特殊許可法》（瑞典語：“Villkorslagen”，意思為《條件與條款》（The Terms and Conditions），規定新建核反應爐在投入運行前，所有者必須證明有能力安全管理所有放射性廢棄，然這是一項政治妥協，隨後即被 1984 年頒佈的綜合性《核子活動法》（1984 Act on Nuclear Activities）取代，此一安全立法之法案、是透過許可證制度正式確立廢棄物的處理責任，其基礎是許可條件和監督系統；此法規定核子活動應以符合安全之方式進行，並履行瑞典為防止核武擴散而簽署的國際協議之規定與義務（Organisation for Economic and Co-operation Development, 2003）。

維持電力系統的穩定依舊是重要課題。

因此，自 2003 年以來、瑞典以「綠色憑證系統」(green certificate system, 以下簡稱 GCS, 或稱為 electricity certificate system, 以下簡稱 ECS) 鼓勵使用再生能源產生的電力，讓再生電力發電者除了有電力的銷售收入外、還有綠色證書交易收入，此種方式是對再生能源電力供應者的一種補貼，並藉此實現歐洲聯盟 (European Union, 以下簡稱 EU) 所主導的再生能源目標，使瑞典為國際能源總署 (International Energy Agency, 以下簡稱 IEA) 成員國中、僅次於瑞士，為非化石燃料電力佔比第二高的國家。瑞典在 2016 年跨黨派的《能源政策框架協議》(Framework Agreement on Energy Policy) 共識，作為 2018 設定 2045 年為碳排放淨零 (net zero) 目標年基礎，此一協議積極面是廢除瑞典阻止核反應爐發展³所課徵的核容量稅 (nuclear capacity tax)，消極面既未強制逐步淘汰現有核電產能，卻也沒有禁止新建核電產能，當時設定目標是使瑞典至 2040 年實現「100% 再生能源 (renewable energy) 電力」(IEA, 2019)。然以此方式使再生能源佔據主導地位，其他新的但沒有補貼的低碳技術幾乎沒有發展空間，又如果電力需求成長未如預期，再生能源電力如成長過快、對電價將構成壓力，如此乃促使瑞典攜手其他北歐國家協調能源政策與氣候變遷減緩政策 (IEA, 2019)。

然再生能源發展的阻礙超過預期、又電力需求遠大於預期，為因應增加的電力、瑞典乃於 2019 年依據 EU 於 2018 年通過《能源聯盟與氣候行動治理條例》(Regulation (EU)2018/1999) 戰略框架，第一次遞交所有 EU 成員國需制訂為期 10 年的《國家能源與氣候計畫》(National Energy and Climate Plan, 以下簡稱 NECP)，以維持與 EU 的「55 套案」(fit for 55) 一致。為解除再生能源發展的障礙、並提供超乎預期之電力需求的成長；進而於 2023 年宣布由原定 2040 年實現「100% 再生能源電力」改為「100% 無化石燃料 (fossil-free) 電力」(World Nuclear Association, 2025)，此一改變主要是納入核能；於此同時、EU 永續活動分類 (EU

³ 瑞典自 1984 年課徵的核能稅，原是依據核能所生產的電力所徵收，此種稅收課徵的目的是要減少核能的消費、不過度仰賴核能；而 2000 年後則將此改為核容量稅，主要是基於核反應爐發電的熱功率徵收，不管實際所產生的電力，這種課徵則是更積極的限制核電廠的興建及核反應爐之運作 (Ministry of Climate and Enterprise, Government Offices of Sweden, 2025)。

taxonomy for sustainable activities) ⁴也將核能投資納入「綠色」範疇，如此使核能在瑞典新階段能源政策中具有決定性角色 (European Commission, 2022)。至此，瑞典永續能源的組合除了國內原本豐沛的水力資源外，其他就是核能與生質能及廢棄物 (IEA, 2026q) ⁵。如此，使得電力的產生主要來自水力、核能、成長中的風力能源與生質能與廢棄物等潔淨能源⁶，讓瑞典與瑞士兩國來自這些潔淨能源發電佔總發電比幾乎毫無差異的分別為 99.69%及 99.52%⁷ (IEA, 2026j; IEA, 2026av)。此外，運輸也是二氧化碳 (carbon dioxide, 以下簡稱 CO₂) 的另一個主要排放部門，不含國內航空的運輸部門至 2030 年需降至比 2010 年低 70% (IEA, 2024); 再者即是工業部門，透過 2015 年所設定的無化石瑞典 (Fossil Free Sweden, 以下簡稱 FFS) 計畫，不設定工業部門的統一減碳比例，CO₂ 減量比例與途徑則是由 22 個不同行業 (如鋼鐵、水泥、採礦) 各自訂定 (Fossil Free Sweden, 2021)。

自核能加入後，使其在瑞典能源組合中一舉提升至 1984 年的 40%，所取代的是原本高達 75% 的水力能源、隨之降至 55%，石油能源的比例也下降 (Wickman, 1988)。減少石油能源的使用除降低價格波動的不確定性可能產生的風險外，在現今看來主要的貢獻是減少 GHG 及伴隨的空氣污染之排放 (Riekkola, et al., 2011)。進而，在淨零目標下、除維持重工業的低碳地位外，主要策略是擴大末端

⁴ EU 永續活動分類主要目的是引導投資至最需要的經濟活動，以符合《歐洲綠色政綱》(European Green Deal) 目標；此一分類系統主要定義是為了達 2050 年淨零排放路徑之氣候與其他更廣泛環境目標經濟活動所設定的標準 (European Commission, 2025)。

⁵ 所謂生物能源是指利用植物有機物質 (即生物質, biomass) 所獲得的能量，也稱為生質能源，生物質中含有植物經由光合作用吸收的碳，當生物質用於發電時，燃燒過程中碳會釋放出來並返回大氣，這使得現代生物能源成為一種低排放燃料 (IEA, 2026bg)。詳細討論在第貳節的第三小節「水力、風力、太陽光電再生能源及生質能與廢棄物燃料的發展」中有詳細討論。

⁶ 基本上並無潔淨能源 (clean energy) 的單一定義，此處是依據 IEA 的說明，泛指控制升溫不超過 1.50C 下的低 GHG 排放或無溫室氣體 (greenhouse gas emission, 以下簡稱 GHG) 排放及其他空氣污染物的排放，同時遠離不使用煤、油及天然氣之化石燃料的能源類別均涵蓋在內；包括再生能源類 (renewable energy) 的太陽光電、陸域及離岸風力、水力、地熱及生質能；或是運作過程中僅有低 GHG 排放的核能或能源效率 (energy efficiency) 的提升都算潔淨能源 (IEA, 2021a)。

⁷ 瑞士在最新 2024 年資料顯示來自各式潔淨能源分別為生質能 (1.31%)、廢棄物 (2.73%)、核能 (29.06%)、水力 (59.09%)、太陽光電 (7.29%) 及風力 (0.21%) 等佔總發電比為 99.69% (IEA, 2026av)；而瑞典則分別為生質能 (4.11%)、廢棄物 (2.52%)、核能 (29.29%)、水力 (37.70%)、太陽光電 (2.41%) 及風力 (23.49%) 等佔總發電比為 99.52% (IEA, 2026j)。

用電產業的電氣化，因此，建立在高比例潔淨能源組合基礎上的電力，才能擴大瑞典其他用電產業電氣化、協助其他部門的脫碳（IEA, 2026j）。2024 年最新的資料顯示，瑞典能源總供給量（total energy supply, 以下簡稱 TES）中來自各式潔淨能源合計佔 TES 的 75.01%，核能在 TES 中已超過水力能源（IEA, 2026q）。而電力產生自各式潔淨能源佔總電力的供給，在最新的 2024 年更高達 99.52%（IEA, 2026j）。事實上，瑞典潔淨能源所生產的去碳化電力、除了期間核反應爐的運作因公投而有所變動，加上近 10 年再生能源的陸上風力發電、稍取代水力及核能貢獻一些潔淨能源於電力生產上，另外就是這三種潔淨能源產生電力的成本都屬於有競爭力，其中水力最便宜、陸域風力次之，核能則為成本有競爭力的第三便宜潔淨能源（Rosner & Fields, 2021）。

相對於其他國家、瑞典得天獨厚的水力資源而有一個好的起始點，再生能源類的陸域風力（onshore wind power）或離岸風力（offshore wind power）及太陽光電，於近 5 年合計約以年增 1% 的速度貢獻於 TES，而這些再生能源電力以風力發電為主，佔了總發電來源約四分之一（IEA, 2026j）。而瑞典的核能、由興建、他國核意外產生的反核、核容量稅課徵無獲利關閉；產業對於能源這項重要生產要素來源選擇的成本考量，是促使核反應爐再度興建、運轉的另一重要因素，是 2016 年產業呼籲「淘汰一種清潔、廉價且高效的能源類別是壓垮駱駝的最後一根稻草」（Faber, 2023）。然對於核能再度復甦亦有人持不同觀點，認為避免大規模核事故發生需要徹底疏散和安置、在經濟上是不划算的（Javid, et al., 2025）。除前述瑞典相關能源供應與使用的重要轉折外，瑞典能源署（Swedish Energy Agency）亦制訂 2035 年的發展規劃，並提出四個未來願景，願景之一是能源是實現氣候適應型成長的跳板，瑞典因而致力成為氣候解決方案和環境技術領域的全球先驅，建構永續的全球能源體系，能源政策的重點在於氣候智慧型研究和創新，以及在廣泛領域內的示範和商業化（Melin & Kronlid, 2019；Söderholm & Pettersson 2008；Swedish Energy Agency, 2016）。

瑞典各階段的能源使用均有對應的管理政策，於 1957 年因政府財政短缺引入了能源稅（energy tax），1970 年代石油危機後，稅收制度確立為推動國家能源政策的手段。1970 年代和 1980 年代能源政策主軸是導入其他燃料取代石油；至 1990 年來自能源的相關稅收則賦予環境屬性與對應功能，如今這些稅收可說是

減少 CO₂ 排放的最有力工具。如果特別聚焦於 GHG 排放的管理⁸，瑞典的能源稅是基於碳稅（carbon tax）和燃料能源稅的組合。瑞典是僅次於芬蘭及波蘭於 1990 年課徵碳稅後，於 1991 年成為全世界第 3 個課徵碳稅的國家，進而於 2005 年又成為 EU 碳排放交易機制（emission trading scheme, 以下簡稱 ETS）的交易國之一，可說是兩種減碳政策並存。瑞典當今的能源政策在減少 GHG 排放上可說極具野心，政治及大眾有共識，因此訂 2045 年為達成淨零目標年，也就是至 2045 年必須將國內的 GHG 排放量降至比 1990 年水準少 85%⁹，至最新的 2023 年的 IEA 記錄已降至比 1990 年水準低 38%（IEA, 2024）。

由此顯見，瑞典核能的使用、除其他國家核反應爐突發事件造成的波動外，存廢的擺盪也來自穿插其中的政治角力（Nohrstedt, 2005）。然而、讓核能在瑞典得以彈性增減與其他能源形成多元組合¹⁰，最關鍵的是瑞典民意，自 2006 年以來每年的調查顯示，瑞典民眾對核能的支持率很高、少則為 45%、最高則為 75%

⁸ GHG 氣體包括 CO₂、甲烷（methane, 以下簡稱 CH₄）、氧化亞氮（nitrous oxide, 以下簡稱 N₂O）、水氣（water vapor, 以下簡稱 H₂O）及氟化氣體類的氫氟碳化物（hydrofluorocarbons, 以下簡稱 HFCs）、全氟碳化物（perfluorocarbons, 以下簡稱 PFCS）、六氟化硫（sulfur hexafluoride, 以下簡稱 SF₆）與三氟化氮（nitrogen trifluoride, 以下簡稱 NF₃）等共 8 類；其中 CO₂、CH₄ 及 N₂O 分別佔 80%、10% 及 6%。因各種氣體 1 噸的排放量對全球暖化潛勢（global warming potential, 以下簡稱 GWP）影響差異極大，比如分別排放 1 噸 CO₂ 和 1 噸甲烷，甲烷 1 噸的 GWP 為 25-28 噸，而 CO₂ 排放 1 噸的 GWP 就是 1 噸，如統一以 1 噸的 CO₂ 為一單位，各排放 1 噸的 CO₂ 及 CH₄ 則為 26-29 噸 CO₂e，其他類型的 GHG 排放同樣也可轉換成與 CO₂ 比較，亦即以 CO₂e 表示是一種比較的指標，將各種 GHG 的排放量轉換為等效的 CO₂ 量，以能對整體氣候影響進行統一評估，同時便於比較、以能掌握各 GHG 類氣體的減量管理（SWEEP, 2025）。而如果是僅考慮排放比例最高的 CO₂，則以 CO₂ 表示即可。本文沒有特別區分 GHG 或是 CO₂，如果是討論瑞典能源政策或 IEA 料與減碳有關之資料時，因相關文獻或資料均寫 CO₂，參閱此類文獻則同樣以 CO₂ 說明，這可能源自於 CO₂ 是所有 GHG 中佔比最高的氣體，因而選擇先行處理比例最高的氣體；然如果是本文的一般性論述，則以 GHG 指稱，沒有特別強調針對哪一類氣體時，不排除兩者是互通使用。

⁹ 至 2045 年並沒有正好將 GHG 降至 1990 年的水準，剩下 1990 年 15% 未去除的 GHG 排放量，則由森林與土地或生質能源與碳捕獲及儲存（bioenergy with carbon capture and storage, 以下簡稱 bio-CCS 或 BECCS）的額外吸存（additional absorptions）與海外減量（reductions abroad）來完成（IEA, 2024a）。

¹⁰ Millot et al. (2020) 比較法國和瑞典在能源轉型上的優劣，指出法國一直以來都以高度集中的方式規劃其能源投資，而瑞典的能源體系主要是各市鎮規劃能源之使用，兩個國家 CO₂ 排放雖都有顯著的減少，然法國未來在提高發電量、降低天然氣的使用等面對的挑戰會比瑞典多。

(World Nuclear Association, 2025 ; Viklund, 2004)。IEA 建議瑞典下一階段能源轉型應利用其低碳電力系統，透過電氣化實現其他部門的脫碳，至最新的 2024 年為止，瑞典的電力能源 99.52%來自潔淨能源、已幾近完全的去碳化(IEA, 2026j)，此時，需要的是進一步調整部門改革以適應能源轉型帶來的電力系統變革(IEA, 2024)。雖然電力系統是瑞典能源轉型的基石，然面對長遠未來工業電力需求的成長，加上對快速去碳化的實現，尚須考慮能源技術特質的成本、複雜度及安全性(Vinichenko, et al., 2023)。在未來轉型待開發的風力發電及其他再生能源，能否突破一如諸多國家面臨的繁瑣審核而得以順利發展；又現有與新建核能廠的不確定性，比如，鈾是否可穩定供應及降低核廢料長期的影響與減緩處理的挑戰，均是影響轉型能否順利的關鍵因素(IEA, 2024 ; Krayem & Thorin, 2019 ; Qvist & Brook, 2015)。

要瞭解瑞典進入下一階段能源轉型，首先需掌握過去至今能源政策在各階段施行的背景，依此方可得知瑞典如何在先天條件加上後天政策的配合下而產生今日之結果。而瑞典能源轉型中各種成果的表現，可觀察 TES 來自各種來源的組合在歷年的變動、不同能源組合對應所產生的 CO₂ 排放總量、人均 CO₂ 排放量及部門別排放量、電力來自各能源之組成及電力的進出口量；除呈現瑞典的相關成果外，尚可與台灣對應結果相互比較、必要時亦對照瑞典所屬北歐 5 國(the Nordic countries) 整體，即丹麥、芬蘭、冰島、挪威及瑞典本身及世界整體的異同。最後、必然是回頭看看台灣能源政策可借鏡處。

貳、瑞典能源政策的變革

一、由「100%再生能源電力」轉向「100%無化石燃料電力」的意涵

瑞典自 1990 年左右、將氣候變遷與其他環境問題並列看待，重點是透過污染減量目標來減少污染，因此，自 1988 年以來，穩定 CO₂ 排放一直是瑞典的政策目標，瑞典在減少能源相關 GHG 排放方面常被視為是「氣候進步型」(climate progressive) 的國家(Keskitalo, 2010)。EU 於 2018 年通過《能源聯盟與氣候行動治理條例》(Regulation (EU)2018/1999) 戰略框架，此一框架要求 EU 所有成員

國要制定一份為期 10 年的計畫，而每 5 年進行大幅度修訂，以能維持與 EU 的「55 套案」(fit for 55) 一致。瑞典依據此一戰略框架，因而於 2019 年遞交第一份 NECP 計畫給 EU，此一計畫共有 5 個面向，分別為 GHG 排放減量（包括再生能源）；能源效率；能源安全；國內能源市場；研究、創新和競爭力；能源政策的總體目標是創造條件，實現高效率、永續的能源利用，同時減少對健康、環境和氣候的負面影響，並促進生態永續社會的轉型，而這些能源目標與 EU 兼顧能源供應安全、競爭力以及環境永續性的能源三大支柱目標是相契合；而在此一 NECP 計畫則將 2018 年於《瑞典氣候法》(The Climate Act) 所訂的淨零明訂 2045 年為淨零目標年放入其中，淨零是屆時 GHG 排放將降至比 1990 年低 85%，其餘 15% 可以增加森林和土地的碳吸收、利用生物質燃燒進行碳捕獲和儲存，以及支持其他國家碳排放的減少等計畫來完成（Ministry of Climate and Enterprise, Government Offices of Sweden, 2024）。

在 NECP 計畫提出前，瑞典的目標即是在 2040 年實現 100% 的電力生產來自風力、太陽光電、水力及生質能源之再生能源。2019 年首次提出 NECP 計畫時，更明訂電力願景至 2040 年要實現「100% 再生能源電力」目標，是以發展風力與太陽光電為主，當時雖未立即關閉所有核電機組，但在此一目標上並不將核能視為長遠發展的重點（IEA, 2024）。這是 1990 年公投後消極禁止核能、實施碳稅和推行能源效率提升計畫的綠色能源政策以來，被視為大膽能源決策的一環（Fischer & Berglund, 1994）。而 2015 年啟動醞釀的 FFS，使瑞典成為全球第一個無化石燃料福利國家的願景，FFS 是瑞典政府為加快氣候轉型步伐而發起的一項倡議，並作為政府、產業和地方政府等利害關係者的平台，其目標是支持瑞典各部門擺脫對化石燃料依賴的脫碳行動，設計了 22 個部門與產業的路徑以作為實現無化石燃料努力的基石（Fossil Free Sweden, 2021）。由此可見，瑞典的能源政策可說是圍繞特定燃料或能源來源做考量，因此，各階段持續關注的特定燃料、只要運作良好，提供夠多的無化石燃料 TES、瑞典就繼續將這種「漸進式燃料中心主義」當作政策制訂的手段（Fischer & Berglund, 1994）。

然而，瑞典至最新 2024 年 6 月提交給歐盟委員會的更新版 NECP 的核心，已將能源效率（energy efficiency）由 TES 轉向以 TES 與國內生產毛額（gross domestic product, 以下簡稱 GDP）之比的能源密集度（energy intensity）來衡量，

能源密集度至 2030 年要比 2005 年提升 50%，同時與 EU 的再生能源和能源效率目標要有更強的連結。此外，NECP 更新版中明確載明，瑞典能源政策的轉型、不僅是瑞典本身到 2045 年要實現淨零目標，同時還要塑造一個永續的福利社會，激勵其他國家也走同樣路徑；因此，FFS 倡議延續至 2023 年，2024 年更新 NECP 計畫中則明示 2040 年的電力政策目標由「100%再生能源電力」修正為「100%無化石燃料電力」，之前設定「100%再生能源電力」主要是將核能排除在外，而修正為「100%無化石燃料電力」則是讓核能成為能源結構的一環，如此的轉變、主要是各部門電動化、電力需求預計至 2045 年將倍增，總電力需求將由 2024 年的 1,700 億度增加至 2045 年的 3,000 億度 (IEA, 2024)，如此的轉變表示瑞典政府不再區分發電手段 (風能 vs. 核能)，僅以「是否排放碳」作為唯一衡量指標的「技術中立」(technology neutrality) (IEA, 2019)¹¹。至最新 2024 年資料顯示，瑞典能源來自水力、風力和太陽光電等再生能源、生質能與廢棄物及核能分別佔 TES 的 11.58%、9.72%、26.43%及 27.28%，TES 來自非化石燃料合計為 75.01% (IEA, 2026q)。而同樣最新 2024 年資料呈現，電力來自非化石燃料的水力、風力、太陽光電、生質能、廢棄物及核能分別佔 37.70%、23.49%、2.41%、4.11%、2.52%及 29.29%，來自所有非化石燃料之潔淨能源提供之電力佔了 99.52%，由此可見、幾乎已達無化石燃料電力 (IEA, 2026j)。

¹¹ 技術中立最早是瑞典 2006 年正式實施的『幫浦法』(Pump Act) 正式名稱為《可再生燃料供應義務法》(Act on the Obligation to Supply Renewable Fuels，實施此一法案目的是提高可再生燃料供應的可得性以減少 CO₂ 排放，2009 年規定 1,000 立方公尺的汽油或柴油加油站都必須裝設 85%乙醇汽油或生物甲烷氣(biogas)，但由於 85%酒精汽油泵浦裝設成本遠低於生物氣設施，因此絕大多數加油站均安裝 85%酒精汽油泵浦，使該法案變相補貼酒精技術，而非真正的技術中立，因此，後續在 2016 年的《能源協議》(Energy Agreement) 中，瑞典意識到減量義務僅強制硬體安裝，可能不如對產出 (碳排) 定價來得有效，然此一法案的施行，意外使瑞典成為全世界 85%乙醇站最密集的國家 (Committee on Transport and Communications, Swedish Parliament, 2009)。

二、核能政策的轉折

(一) 核能由確保能源安全、充分自給至逐步淘汰公投

1965 年瑞典在 TES 高比例的用油年代，為了避免油價變動的不確定性、以能確保能源安全並掌握充足的能源自給，開始規劃興建核反應爐；此後，1967、1973 及 1978 年陸續發生的石油危機更強化了此一規劃，於是、1964 年開始有小型區域供暖 (district heating, 以下簡稱 DH) 核反應爐之運轉，而第一座大型商業用核反應爐乃於 1972 年正式商轉，至 1984 年核能一舉提升至 40% 的瑞典電力來源，取代了核電廠建置前水力佔有的近 75% 電力來源中的 25% (Wickman, 1988)。然美國三哩島 1979 年核洩漏事件 (Three Mile Island accident)，導致瑞典於 1980 年舉行公投，決定核反應爐的淘汰方案，絕大部分選民決議興建中的核反應爐可以繼續，只要運作仍具有經濟效益，在正常 25 年壽命使用下、最慢需於 2010 年找到替代能源，以關閉所有 12 座核反應爐。在核能沒有新增投資、CO₂ 的排放依舊需控制，而其他替代能源尚未出現之前，電力供給減少、電價在無核時代不可避免將上漲 (Andersson & Håden, 1997; Bergman, 1988)。瑞典議會除執行公投所有核電廠應需 2010 年前逐步淘汰外，同時也決定降低國家對石油的依賴¹²，而設定能源使用的長期目標，首要提高能源效率，進而，基於永續、最好是使用再生和本土能源及對環境影響小的能源系統為轉型標的 (Kaijser, 1992)。基於此、瑞典議會同步立法可在原廠址設新反應爐以取代原來之反應爐，即便如此，4 座核反應爐依舊陸續於 2020 年關閉 (World Nuclear Association, 2025)。

由此顯見、在不違反公投議決、也不浪費已規劃興建並繼續運轉可用核反應爐之情況下，瑞典的核反應爐仍面臨關閉，迫使核反應爐關閉的主要原因是，來

¹² 2010 年，瑞典在新的核能政策決議的辯論中，瑞典民主黨/保守黨 (Sweden Democrats/Conservative Party)、中間黨 (Centre Party)、瑞典社會民主工人黨 (Swedish Social Democratic Workers' Party) 和綠黨 (Green Party) 最活躍，投票結果為 174 票贊成，172 票反對，因為核能被視為氣候潔淨 (climate clean) 能源，為能源結構中不可或缺的一部分，中間黨以往持反核立場，視核能為氣候潔淨而改變其對核能的態度 (Edberg & Tarasova, 2016)。瑞典核能議題的爭論不僅發生在政治人物，比起其他國家、如巴西、日本及美國，因為諸多相關爭論使瑞典民眾因此對核能有較多的認識，比如相對高比例的瑞典民眾知道核能有較少的 CO₂ 排放 (Reiner, et al., 2006)。

自部分對核反應爐有高度意見的鄰國丹麥，巴塞貝克（Barsebäck）核電廠位於瑞典南部，距離瑞典第三大城馬爾默（Malmö）約 30 公里，而距 83% 居民反對核能的丹麥首都哥本哈根僅 20 公里，而丹麥其他地區平均也有高達 70% 居民反對核電廠的設立（Löfstedt, 1996a）。當然，瑞典人現在認為，1980 年的逐步淘汰核電的決定是親核一方為了安撫核能反對派、爭取時間所採取的策略性退讓（Kaijser, 1992）。此外，瑞典政治人物對能源轉型的願景，取決於其政黨在政治光譜中的位置，而對核能的不同立場及各政黨後天建構的意識形態，後續，因對核能立場不同的政黨執政，2010 年的辯論是瑞典能源轉型過程中的重要里程碑（Edberg & Tarasova, 2016）。此外，Sonnsjö（2024）歸納 2010 至 2022 年的 1,000 則新聞報導中，發現核能屬於無化石類能源是可同時顧及能源永續性、供電安全性及考慮供電成本價格競爭力的一項能源；然一項調查 5,200 個瑞典人的大規模研究發現，當風力或核能發電設施建在居民住宅附近時，具有傳統、威權、民族主義（traditional, authoritarian, and nationalistic）價值觀和右傾政治意識形態的人群，對這兩種能源的支持都會降低，即「不要在我家後院」的「鄰避效應」（not in my backyard, 以下簡稱 NIMBY）對這些人特別顯著，如此可能使瑞典低碳能源投資（如核電廠和風力發電設施）會遭遇一些阻力，但是當要求人們評斷已位於自身住宅附近的能源項目時，政治動機的影響會降低，人們或許會考慮其他直接影響他們的政策措施，比如經濟補償和社區福利，表示這些政策措施能夠影響人們對風力等的接受度（Liebe, et al., 2017; Knauf, 2022），但其對核能接受度的影響尚不明確；因此，認識不同能源選擇的社會、心理及能源系統的社會和規範是重要且必要（Lindvall, et al., 2025）。

1980 年公投後、1986 年又發生烏克蘭的車諾比核事故，人們對核反應爐淘汰的問題更佳重視，然瑞典政府並未因此加速核反應爐的淘汰（Nohrstedt, 2008），僅於 1988 明確決定 1995 年起開始逐步淘汰，以能在 2010 年完全淘汰，但在工會壓力下，1991 年推翻了此一決定，再加上政府任命的委員會評估 2010 年全面淘汰核能在經濟和環境層面為不可行的結論下，所有核反應爐未必可在 2010 年限期內逐步淘汰（World Nuclear Association, 2025）。如此表示，公投後政治風向有所轉變，但車諾比核事故不可否認更進一步提醒民眾和政界人士核風險的存在；各國也因車諾比核事故對核能支持度亦各不相同，支持度比較高的是美國、英國、

芬蘭、法國和俄羅斯，以及一些中東歐新加入 EU 的成員國；至於德國、瑞典、比利時、西班牙和其他一些歐洲國家則屬於相對謹慎的國家，這些國家有些原本已決定停止核能進一步擴大，甚至關閉現有核電廠的國家，在 2010 年修改了這些決定、比如瑞典，而促成這些國家由反對核能轉變成支持核能的主要因素是氣候變遷及對化石燃料能源進口的高度依賴（Högselius, 2011）。然一如 Lindström（1992）所言，無論是否依賴核能、政治意願和能力都是瑞典能源體系發展的關鍵，只要逐步淘汰核能決策的可信度存在不確定性，各種能源技術的未來也將面臨相當大的不確定性，由於存在相關的不確定性，如此則促使核能支持者抱持希望認為各種能源技術不受核能影響，相反的、反對者則擔憂核能會阻礙其他能源技術的發展。

（二）核電廠的設立與風險溝通

在瑞典由於大部分政策的制定是政黨協商產生，極少由公眾參與產生，因此，風險溝通視為彌補公眾參與的不足，而對於能源部門產生 GHG 多寡的不同燃料之使用亦不例外，因此，產生相對少 GHG 排放核能使用的溝通亦不例外（Löfstedt, 1993）。巴塞貝克在 1980 年瑞典核能公投期間，因發生過大規模示威遊行、因此被稱為「核能選舉」（nuclear elections）地點，丹麥人自這座核電廠建好就相當不滿，認為不僅影響瑞典人口近 25 萬的馬爾默、更影響丹麥首都哥本哈根當時的 130 萬人口，因此，丹麥立法要求關閉此座核電廠（Löfstedt, 1996a；1996b）。瑞典政府雖試圖與丹麥人進行風險溝通，然瑞典政府採取的是「老派」的風險溝通方式，直接說服持懷疑態度的丹麥決策者和大眾，讓他們相信該核電廠是安全的；然相關研究指出，此種溝通方式被認為一來缺乏信任，再者並非由丹麥掌控核電廠，進而，大眾對電廠不熟悉、而有看不見的恐懼，因此，溝通方式不僅未嘗試瞭解人們害怕電廠的原因，更帶有溝通者的傲慢和社會放大的風險導致失敗（Löfstedt, 1996a）。因此兩座反應爐機組分別於 1975 年和 1977 年開始運行，終究於 1999 年 11 月和 2005 年 5 月關閉（World Nuclear Association, 2024a）。

1980 年的全民公投是針對該以何種方式關閉核反應爐詢問，並未就瑞典是否繼續推展核能計劃進行調查。此後，瑞典政府每年都會調查民眾對核能的看法，每年的結果都顯示、瑞典民眾對核能的支持度基本上都很高，最新 2024 年調查

結果有高達 75% 民眾支持核能，遠高於歐洲整體的 44% 及同屬北歐 5 國的鄰國芬蘭之 52% 及能源消耗大國美國的 54% (World Nuclear Association, 2025)。如以性別社經變數區分，在 1986-2011 年瑞典一系列的調查中，發現男性對核能的支持度較女性高，依然有相當比例女性支持核能，但女性反對核能的比例變化不大，且年紀越高支持率越大 (Sundström & McCright, 2016)。Viklund (2004) 針對核能風險認知的調查發現，瑞典民眾普遍認為他人面臨的風險大於自身面臨的風險，而對於不同能源生產系統的風險認知，瑞典民眾認為以核能為能源生產系統的風險即便大，然以石油和煤炭的能源系統風險則更大，這或許可解釋瑞典民眾比其他國家有更高核能接受比率的原因之一。核能是否會再度興盛，或許是源自人們日益對氣候變遷的關注所致，也可能是取決於公眾和政治人物對核能的支持度影響下的結果 (OECD, 2010)。

瑞典即便普遍核能的支持度是高的、然仍於 2015 年至 2020 年陸續關閉一些核反應爐，主要原因是瑞典政府在 1990 年起開始課徵核容量稅，讓使用核能相對於其他能源成為一種懲罰，且容量稅的稅率逐階段提升、最高使核電業者年繳 45 億瑞典克朗高成本，再加上以核能和水力為主的便宜電價，核反應爐難獲利因而逐一關閉 (Schipper & Price, 1994)。在核反應爐陸續關閉後，瑞典工會和產業都對此影響深感擔憂，因電力是產業的重要生產因素，電力成本自然成為產業選擇電力能源的關鍵考量，核電包括廢棄物處理、基礎建設和退役費用總成本每度約為 1.7 至 2.0 歐元，任何替代能源成本都比此一成本來得高，如天然氣每度為 2.85 歐元 (World Nuclear Association, 2025)。當風力、太陽供電等再生能源尚不普及的情況下，根據 IEA 的評估，核能是僅次於水力發電第二低碳排放電力來源 (IEA, 2026a)，因此，至 2023 年、當瑞典由原定 2040 年實現「100% 可再生能源電力」能源政策目標改為「100% 無化石燃料電力」後，瑞典又啟動新階段核電廠建計劃。

瑞典的核能在一系列政策變動中，由核能提供 TES 的比例或是作為電力能源來源的比例可見，瑞典在核能上的彈性伸縮，在核能佔 TES 中，由有完整記錄的 1990 年之 37.53%、期間持續維持在 30% 至 40% 之間，此一高比例主要取代了以石油為燃料的 TES。直至 2020 年核能提供 TES 方低於 30%、為 27.70%，這已是在 1980 年公投決定至 2010 年核能需完全淘汰後的結果，而核電裝置容量雖然

自 2016 年下降了 29%，但卻仍提供瑞典總發電量的 40.45%（IEA, 2026j），至最新 2024 年核能佔 TES 依舊維持在 27.28%，表示 2010 年逐步淘汰核能決議不僅未落實，又更進一步於 2019 年取消抑制核反應爐裝設的核容量稅，並大幅提升核能之無化石燃料發電比例，規劃至 2035 年前新建 2 座大型反應爐，至 2045 年新建 10 座包括小型之核反應爐，使得核能仍舊佔 TES 及電力能源供給都接近 3 成的比例，加重核能角色以實現 2045 年淨零目標（World Nuclear Association, 2025）。

（三）用過核燃料的處理與處置場址的選擇

核能除了運轉可能存在的風險外，核廢料能否適當處置經常也是爭議的焦點，一般通稱的核廢料事實上包括用過核燃料（used nuclear fuel）與無用的核廢料。而所謂用過核燃料也稱為乏核燃料（spent nuclear fuel）常被誤稱或簡稱為核廢料。核能關鍵且獨一無二的特點是，用過核燃料是有價值的裂變材料，過去 50 年來，處理用過核燃料的主要目的是回收用過核燃料中未使用的鈾以及暫時用處較小的未使用鈾，透過化學方法分離（再加工）回收為新燃料，以實現燃料循環，同時從原始鈾中獲取約 25-30%的額外能量，除有助於國家能源安全外，鈾庫存得以成為燃料來源，以降低對鈾礦的開採，減少廢物量擴大資源的使用（International Atomic Energy Agency, 2000）。此外，用過核燃料處理後、可將高放射性廢棄物的處置量減少至原來的五分之一左右，後處理剩下的廢棄物放射性水準遠低於過用核燃料本身，且大約 100 年後、放射性衰減速度也遠比用過核燃料本身快。除瑞典外、歐洲國家如瑞士、芬蘭、德國、法國、比利時、美洲的美國和加拿大及亞洲的日本，都制定了用過核燃料後處理政策，已累積相當經驗，然仍有許多國家尚未轉變觀念、一律將用過核燃料視為廢棄物而非資源（World Nuclear Association, 2024b；Zhang, et al., 2009）。北歐有核能的芬蘭和瑞典，即便被公認是對用過核燃料處置為全球最先進國家，由於各國民事法規的差異，全世界並無統一的用過核燃料處置模式，又兩國並未給公民社會參與留下空間，然芬蘭和瑞典相較下、瑞典除了是積極尋求最終處置庫的國家之一外，相關作為同時揭示其他國家未來也會遇到最終處置庫的監管難題，然瑞典的公民社會組織（civil society organizations）在用過核燃料比芬蘭有更多參與評鑑的機會（Kari, et al.,

2021；Kojo, et al., 2020；Litmanen, et al., 2017；Rosner & Fields, 2021）¹³。

而用過核燃料是否再加工主要取決於經濟和政治因素，前者是取得鈾的開採、運送等等成本、而後者是鈾是否可能被挪用於核武的擔憂（Sanders & Sanders, 2019）。因此，各國對用過核燃料再處置方式各不相同，瑞典早期的再處置是暫擱置，而 1977 年至 1983 年間則少量出口至法國和英國，目前則在瑞典直接處置，1992 年啟動地質處置庫（geologic repository）的選址、經過數年的調查，2009 年完成選址、最終選定福斯馬克（Forsmark）¹⁴為全國用過核燃料的最終處置場址，2011 年向瑞典輻射安全局（Swedish Radiation Safety Authority）及土地與環境法院（Land and Environment Court）提交該處置庫的建造申請（International Atomic Energy Agency, 2014）。選址過程中、瑞典核燃料處理公司（瑞典語：Svensk Kärnbränslehantering AB，以下簡稱 SKB）¹⁵以自願參與為基礎，當中有抗爭也有自願參與但公投並未通過的城市，瑞典地質調查局（Geological Survey of Sweden，以下簡稱 SGU）也同步對瑞典全國進行調查以找尋潛在合適地點，最後，SKB 決定在厄斯特哈馬爾市（Östhammar）和奧斯卡港（Oskarshamn）進行全面的場地勘測和試鑽，勘測工作由 2002 年至 2007 年，內容涵蓋地質、水文、生態及社會影響等多方面，同時將調查結果整理成場地模型，展示了場地現狀及其隨時間推移的變化，這兩個城市都支持未來興建乏核燃料處置庫，經過分析和評估，最後選定地層岩層堅實，裂縫較少，水流難以滲透的厄斯特哈馬爾市的福斯馬克

¹³ 公民監管是公民參與（civil participation）的一種形式，因此，公民參與在用過核燃料的「參與式」管理流程至關重要（Elam & Sundqvist, 2011）。

¹⁴ 福斯馬克位於瑞典東岸中部斯韋阿蘭（Svealand）的舊省烏普蘭區（Uppland region），屬厄斯特哈馬爾市、是瑞典地理文化區域，包含現在的烏普薩拉（Uppsala）和首都斯德哥爾摩（Stockholm）的一部分，瑞典首都斯德哥爾摩及烏普薩拉大學城就位於此區，是瑞典人口最稠密、發展最完善的區域之一，在首都斯德哥爾摩北部、相距約 120 公里，主要以福斯馬克核電廠（Forsmark Nuclear Power Plant）和鋼鐵廠而聞名，坐落在波羅的海沿岸，同時也是放射性廢棄物處理設施的所在地（SKB, 2025a）。

¹⁵ SKB 英文是 Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company，這是一家由瑞典核電產業（包括私人企業和國有企業 Vattenfall）共同擁有的公司，肩負公共使命，依法負責管理和處置瑞典的用過核燃料，其資金來自核電廠生產的電力所繳納的費用，相關費用進入「核能廢棄物基金」（Nuclear Waste Fund），用於資助用過核燃料的安全管理和瑞典核電廠的拆除工作，SKB 基本上是一家私人企業、用此相關基金承擔至關重要的公共服務責任，並在政府嚴格的監管和資金機制下運作（SKB, 2025b）。

(Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co., 2012)。瑞典政府於 2022 年給予 SKB 許可，進而於 2024 年獲得土地與環境法院的環境許可證及瑞典輻射安全局的批准後施工 (SKB, 2025a)。至於台灣燃料再處置於 1976 年在美國壓力下正式放棄，目前是直接處置當成廢棄物，地質處置庫預計 2032 年才會確定，而對於用過核燃料再處理和出口仍持續關注 (Högselius, 2009)。在核能又獲得瑞典重視後，如何確保能源安全供應的同時、一併實現未來的氣候目標，且減少核武材料庫存是瑞典持續關注的課題 (Grape, et al., 2014)。

即便解決了核廢料安全議題、由於反核情緒依舊存在且公投已決定至 2010 年需逐步淘汰核能，瑞典政府乃順勢於 2000 年將原本在 1984 年以生產為課徵基礎的核能稅 (nuclear power tax)，轉變成全球獨一無二的核容量稅、以阻止核反應爐的發展與擴展¹⁶，且稅率逐階段調升。在核容量稅的徵收及低核能價格下，2008 年整體核容量稅約 4.35 億歐元¹⁷，佔了瑞典核電營運成本的四分之一，使得數個核反應爐運轉無利可圖而關閉 (Ministry of Climate and Enterprise, Government Offices of Sweden, 2025)。為了核能得以順利逐步淘汰，課徵容量稅看似一個加速核反應爐關閉的有效工具。而瑞典針對用過核廢料的處理的特色是監管與執行分離，由產生、運輸、貯存到最終處置每一個環節的監管都有法可依循，用過核燃料的監管並不依循《一般廢棄物法》，而是依監管更嚴格的《核能活動法》(Act on Nuclear Activities) 及《輻射防護法》(Radiation Protection Act) 等製定一套廢燃料和其他放射性廢棄物管理和處置方案；而執行單位則由瑞典核燃料與廢棄物管理公司 (Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company) 負責，這是由瑞典 4 家核電公司合資成立的單位，負責執行技術開發與設施營運；SKB 運作資金完全來自「核能廢棄物基金」(Nuclear Waste Fund)，也就是核電公司每發 1 度電，就必須撥一定瑞典克朗放入基金，由 SKB 估算未來的處置成本，將後端環境成本內部化 (internalization)，內部化後的環境成本納入電價中，政府不

¹⁶ 瑞典自 1984 年課徵的核能稅，原是依據核能所生產的電力所徵收，此種稅收課徵的目的是要減少核能的消費、不過度仰賴核能；而 2000 年後則將此改為核容量稅，主要是基於核反應爐發電的熱功率徵收，不管實際所產生的電力，這種課徵則是更積極的限制核電廠的興建及核反應爐之運作 (Ministry of Climate and Enterprise, Government Offices of Sweden, 2025)。

¹⁷ 在 2008 年歐元對美元年平均匯率約為 1.47121 下，約為 6.4 億美元 (Titan FX Limited, 2023)。

使用一般稅收支出，也不補貼處理費用(World Nuclear Association, 2025)。而 SKB 位於奧斯卡港以冷卻與過渡用過核燃料的中繼儲存場(瑞典語：Centralt mellanlager för använt kärnbränsle, 以下簡稱 CLAB)，自 1985 年起處理瑞典全國用過核燃料、而仍有高放射性燃料棒的主要中繼儲存場，容量由最初 5,000 噸、經過數次擴充、目前容量擴大至 11,000 噸，以容納目前瑞典所有反應爐產生的用過核燃料。用過核燃料在地下岩洞中水下儲存 40-50 年；之後用過燃料封裝在帶有鑄鐵結構的銅罐中，裝入 500 公尺深的花崗岩處置庫，並用膨潤土填充。2025 年 Forsmark 最終處置場正式動工，而這是早在 2011 年就已提出申請，經過 14 年取得許可後才可動工，完工後、目前在 CLAB 中繼儲存場的用過核燃料，將於 2030 年移至 Forsmark 最終處置場(IEA, 2022b; World Nuclear Association, 2025)。

三、水力、風力、太陽光電再生能源及生質能與廢棄物燃料的發展

瑞典由於地理和氣候條件以及相對較低的人口密度，再生能源資源供給遠大於總能源需求，而三種再生能源供給主要來自水力、生質能及風力(Nilsson, et al., 2004)。水力發電是瑞典電力系統的支柱，水庫可用於儲能、其儲能容量相當於全國年用電量的 25%，使水力發電成為一種可調度的電源(IEA, 2024)。而結合瑞典與挪威的水庫，則佔了全歐洲約一半的水庫蓄水能力，因此稱為「北方水力發電廠」(hydroelectric battery of the north)，也稱為「歐洲綠色電池」(green battery for Europe)(Heineman, 2011)。儘管瑞典擁有豐富的水資源，但由於少數幾條大型河流受到法律保護，水力發電的未來擴張受到限制，因此，水力佔 TES 自 2000 年以後，則由原本約佔 15% 下降至最新 2024 年的 12%(IEA, 2026q)，而小型水力發電因對相關小溪流的環境影響而備受爭議；因此，就資源、政策投入和影響而言，生質能和風力顯然是瑞典迄今最重要的再生能源來源(Wang, 2006)。瑞典擁有龐大的木材加工業，木質燃料是其副產品，生物質和廢棄物燃料中佔比最大的是初級固體生物質燃料，例如木片，而生物質和廢棄燃料約佔 DH 總量的三分之二，而 2003 年推出的 GCS 也間接支持了 DH 中生物質燃料的使用(IEA, 2019)。

瑞典在逐步淘汰核能、也未增加水力的情況下，以末端能源使用效率的提升或以再生能源為基礎，一樣可以達到減少 GHG 排放的目的(Gustavsson, 1992)。而再生能源的發展因核能自 1980 年公投後的不確定性而受阻，由於人們普遍認

為核能淘汰會對工業競爭力產生負面影響，因此是否逐步淘汰核能的不確定性下，生質能與風力雖是再生電力的主要選擇，連帶使生質能與風力在 2000 年前僅貢獻不到 2% 的比例於電力生產上（IEA, 2026j）。當核能面對諸多不確定狀況時，又核能並非是減少 GHG 排放的唯一可行方案，為達到永續發展目標、雖有提議以再生能源取代核能，然電力結構並非透過再生能源取代核能就能實現，一般認為以再生能源既不經濟也不環保，特別是對已擁有豐富核能技術經驗的瑞典，核能無疑是經濟可行且環保的選擇（Hong, et al., 2018）。在此種情況下，瑞典風力與太陽光電等再生能源的發展尚有諸多努力空間！

1980 年代初，瑞典政府即開始資助再生能源技術和能源效率的研發項目，這些資助對取代核能的技術發展具有重要的戰略意義，然而，1983 年電價下跌和 1985 年世界石油市場價格下跌，使得新技術的商業化市場環境相對不利，以致 1980 年代後半期，這些研發逐漸萎縮（Kaijser, 1992）。瑞典風力發電在 GCS 機制下，再生電力以一般電力市場之價格出售，有些電力的使用被要求必須是新建的綠色電力，費用則由電力消費者負擔，如此則為風力發電者帶來額外收入；挪威則於 2012 年 1 月直接加入瑞典現成的 GCS 而成為聯合挪威-瑞典 GCS（joint Norwegian-Swedish GCS）（Bergek & Jacobsson, 2010；Bergek & Mignon, 2017；Fridolfsson & Tangerås, 2013；Gullberg & Bang, 2014；IEA, 2017；Lundberg, 2022）。瑞典和芬蘭在生物能源有所合作，雙方強調各自的國家利益，而這些利益並不會妨礙兩國在 EU 對生物能源問題永續標準的認定（Kilpeläinen, 2020）。這些資助與機制看似對瑞典的風力發電有所助益，然根據瑞典憲法，地方政府負責地方事務，包括空間規劃和建設許可，這賦予了地方政府對轄區內再生能源專案開發擁有管轄權，未料此種行政規劃卻成為瑞典風力發電及其他再生能源發展的潛在阻礙。

近年來，地方政府否決風機裝設與風力發電計畫不斷增加，區域風機支數遭否決的比例由 2018 年的 18% 上升至 2021 年的 78%，而以全國風力計畫計算則更高達 90% 風力裝設計畫遭否決，風機裝置被視為 NIMBY。Niskanen, et al. (2024) 分析瑞典 290 個城市於風力發電的成長期，在 2009-2022 年 4,100 則媒體有關風力發電的報導，發現自 2009 年 10 年風力發電裝設由 NIMBY 轉變成「不要在任何人家後院」（not in anyone's backyard, 以下簡稱 NIABY），這是瑞典風力再生能

源發展受阻的主因 (Moskal, 2025)。而瑞典能源局預估，在 2030-2035 年電力倍增的情況下，陸域風力與太陽能需擴增以因應中短期的電力需求，而長期則需仰賴離岸風力風機與核能 (IEA, 2024)。然為了解決地方政府對風力設施申請的否決權，瑞典於 2026 年起將開發商應繳的房地產稅由 0.2% 提升至 0.5%，且此一稅率盡量與設置核電廠和水力發電設施相同，過去稅率 0.2% 下的稅收是繳給中央政府，而 2026 年起較高稅率的房地產稅收入則直接給地方政府，預估將有 3.7 億至 4 億瑞典克郎的稅收，這些稅收將噪音、景觀損失轉化為地方政府的長期稅收，讓地方政府用於當地福利的提升，也就是採利益分享 (benefit sharing) 方式，也可說是中央政府幫地方政府創造稅收，同時推動居民入股或直接享有電價折扣，強調風力設施是「社區共同擁有」，適當連結「綠能開發紅利」與「地方政府財政」，此一作法是希望降低地方政府對風力設施興建的否決權 (EY Sweden, 2026)。

與風力發電相比，太陽光電的成長相對有限，主要是瑞典的太陽輻射量比較低，而冬季卻又是電力需求相對高，儘管如此，瑞典仍寄望大規模太陽光電儲能計畫，能於未來的無化石燃料發電目標上有所貢獻 (IEA, 2024)。瑞典即便於 2021 年取消了 GCS/ECS，為實現 2040 年「100% 無化石燃料電力」，太陽光電原本就不是再生能源重點發展項目，因此瑞典沒有設定太陽光電裝置目標，然 2021 年推出的「綠色技術稅收減免」(green deduction) 仍提供一般住戶太陽光電裝置成本 20% 的稅收抵免，每人每年最高可抵扣 50,000 瑞典克朗 (Lindahl & Öhgren, 2026)。由於瑞典的水力及風力發電主要在北部，而人口及工業重鎮則在南部，2019 及 2020 年南部幾個核反應爐陸續關閉，北方水力發電在 2020 年即便雨水豐沛、電力卻無法有效輸送到南方，引起南北電價差異，因此，在 2023 年湧入大量太陽能板的裝置 (Swedish Energy Markets Inspectorate, 2021)。除了對家戶屋頂裝置太陽能板有補助外，自 2015 年以來，瑞典也對小型太陽能發電公司將餘電賣回電網，給予每瓩時 0.6 瑞典克朗的補貼，然瑞典政府於 2026 年 1 月 1 日將此項補貼取消 (Lindahl & Öhgren, 2025)。除取消小型電廠的補貼外，家戶屋頂太陽能板裝置成本自 2025 年 7 月 1 日起也將抵免比例從 20% 降至 15%，往後將逐步調降；因為瑞典政府希望太陽能板裝置不是經由補貼或抵稅而來，長期可以回到市場機制。另瑞典政府也意識到太陽光電的儲能是保障電力供應安全的關鍵組成，與太陽能發電同等重要，雖然太陽光電對視覺景觀的影響沒有風機大，

然而大型太陽能發電的儲能設施也可能面臨與風力發電相同的問題，地方政府同樣以儲能為 NIMBY 或 NIABY 設施理由拒絕裝置，又太陽光電與農業的土地競爭，對糧食安全造成的影響，瑞典政府為了保護寶貴的農地，曾停止該國原本最大太陽能發電園區，因此如何平衡再生能源擴張與保障糧食生產農業用地的關係、恐遠比解決 NIMBY 或 NIABY 問題更棘手（Lindahl & Öhgren, 2025；Oller Westerberg & Lindahl, 2023；PVknowhow, 2025）。

而有關生質能源，IEA（2026bg）曾估算是當今全球最大的再生能源來源，不包括傳統利用、已佔再生能源總量近 55%，佔全球 TES 的 6%以上，IEA 以 2050 年淨零排放的情境假設，到 2030 年、生質能源的使用將迅速成長以取代化石燃料，2010-2023 全球每年以 4%的比例增加，且維持上升的趨勢，預估 2023-2030 年間每年將增加 8%。瑞典能源轉型過程中、生質能源的使用增加主因瑞典人與自然資源深厚的連結，又地方政府對良好環境的重視，使用生物質燃料的優點在於可取代污染嚴重且不健康的煤與油；在瑞典生質能源主要是利用豐富的森林資源殘餘物，並由地方政府控制支出，此一轉型與社會主流價值相契合（Malone, et al., 2017）。然也有持相反意見者，認為森林殘餘物雖是煤炭與油的合理替代品，然因環境成本估算具有地域性，也就是生質能或是瑞典豐富森林殘餘物燃燒所產生的能源，對局部區域造成的空氣污染及其他環境相關污染應該密切監測，因此產生的成本與效益必須有效掌控，因並非所有環境影響均可貨幣化（Miranda & Hale, 2001）。然反對用森林殘餘物為生質能之意見並未起太大作用，因為以森林殘餘物為主的生質能佔瑞典電力總發電度數由 1990 年的 1.30%微幅提升至最新 2024 年的 4.11%，雖然比例增加不多、然在瑞典「100%無化石燃料電力」的目標中，貢獻了比太陽光電相對多的燃料作為電力生產用（附表 5）。

又瑞典的運輸燃料結構中生質能源燃料佔比很高，在 2022 年為 25%，此外，電動車銷量在 2023 年佔比也高達 60%，這些都有助於大幅減少對石油產品的需求（IEA, 2024）。另有研究評估指出，瑞典生質能源燃料主要來自伐木殘餘物、樹樁和工廠副產品的森林生物質，總乾重約為 575 萬噸、相當於瑞典年能源最終總消費量（total final consumption, 以下簡稱 TFC）的 2%，以及瑞典煤炭和焦炭消費量的 60%，雖然利用這些龐大數量的森林生物質需要高額成本，然考慮到 EU 及瑞典的低碳或無化石燃料電力的能源政策目標，付出這些成本是值得的（Agar,

et al., 2020)。森林殘餘物除作為生質能源供其他部門使用外，事實上森林殘餘物最主要的使用者是林業內部¹⁸，而 DH 或區域製冷(district cooling, 以下簡稱 DC)則是第二個主要使用部門，DH 或 DC 是透過中央熱源廠產熱水或冷水，再經由絕緣良好的地下管道網絡，將熱水或冷水輸送至整座城市或社區的建築物中，瑞典的 DH 與 DC 技術同樣都處於世界領先地位，DH 最普遍的是輸送至一般住宅、各式辦公大樓與商場等，而 DC 則主要提供數據中心、醫院及辦公室等。而不論是 DH 或 DC 所用的燃料能源相當多元，如來自大量生活垃圾廢棄物的燃燒；來自森林產業的副產品如木屑及樹皮的生物質(biomass)；還有回收數據中心、工廠或大型超市製冷系統產生的工業餘熱等等，這些都屬於生質能與廢棄物的能源消費(IEA, 2024)。而提供作為 DH 的生質燃料不僅包括來自國內外林業的木質燃料，還包括廢舊木材(used wood)。

由於瑞典 1990 年代 DH 對生質能燃料的需求，形成了生質能燃料進口的驅動力，而在此之前、對生質能的需求主要仰賴國內木材供給(Ericsson & Werner, 2016)。此同時也帶動了不屬於生質能燃料的固體再生燃料(solid recovered fuel, 以下簡稱 SRF)的進口¹⁹，由於 SRF 在燃料市場上相對較新，由於生物燃料和廢棄物在瑞典均免徵環境稅，因此，瑞典政府沒有強烈的動機歸類 SRF 這種灰色地帶的燃料，如此，也帶動 SRF 的進口，而 SRF 的貿易流向受制於各國處理產能與環保法規的約束(International Organization for Standardization, 2021)。對企業而言，SRF 不僅是降低燃煤成本的技術選項，其在法規上的「再生能源地位」更是決定其市場吸引力的核心；而唯有達到嚴格的排放標準與品質分級，SRF 才能在國際綠能市場中確立其經濟價值(Ericsson & Nilsson, 2004)。而瑞典的生質能

¹⁸ 林業部門為森林殘餘物最大使用部門，主要是樹枝或樹梢、不論是無法或不願移走而成為生質能源，留在林地內部有多重角色，比如可維持生態平衡、土壤保護、棲地維護與調節為氣候等等；然過渡移除、可能導致土壤貧瘠因而需額外施肥，也可能干擾特定物種棲地，因此如何權衡適當的森林殘餘物移除是一個需要探討的議題(Emilsson, 2006)。

¹⁹ SRF 包括含有鹵代有機化合物或重金屬的廢舊木材，包括塑膠、橡膠、紙張以及所有這些物質的混合物，其中也包括廢棄木材，由於難以將生質燃料與廢棄物完全分離，因此，ISO 21640 的用意是建立一套分級制度，用來篩選出哪些廢棄物「夠乾淨」、可以被當作生質燃料使用；然因為生質來源的廢棄物(如木頭、植物纖維)通常就比一般的工業垃圾更乾淨，這使得高等級的 SRF 正好能與生質能源的應用對接，讓企業在尋求高品質替代燃料的同時，也獲得了生質能的減碳效益(International Organization for Standardization, 2021)。

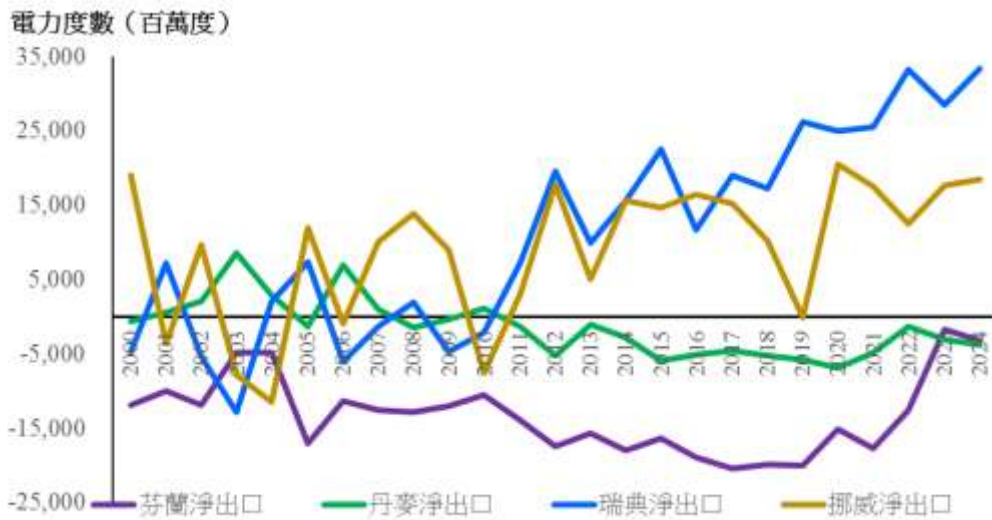
與 SRF 在 2023 年提供約 6.63%作為電力生產的燃料，而電力 TFC 中住宅部門在 2023 年又佔了約 33%，表示生質能與廢棄物提供作為無化石燃料電力雖然不高，然其中的三分之一則用於住宅部門的電力消費，而這些又以用於 DH 及 DC 電力的消費為最大部分 (IEA, 2024；IEA, 2026j；IEA, 2026ba)。

四、瑞典潔淨電力惠及北歐電力市場成員國及其他歐洲國家

1991 年由挪威開始、北歐各國逐步放鬆了對國家電力生產和銷售的管制，也就是由以往的管制治理方式邁向電業自由化²⁰，而北歐 5 國除了冰島外、其他各國逐步將其電力批發市場合併為一個共同的北歐電力市場，瑞典於 1996 年加入，芬蘭於 1998 年加入，丹麥西部和東部分別於 1999 年和 2000 年加入 (Amundsen & Bergman, 2007；Fridolfsson & Tangerås, 2009；Högselius & Kaijser, 2010；Midttun, 1996；Milciuviene & Tikniute, 2011)。瑞典成為北歐電力市場的一部分後，協調統一與挪威、芬蘭和丹麥以及波蘭、德國鄰國的互聯，並與這些國家形成電力合作傳統，主要是季節性電力盈餘的交換；又進一步延伸至波羅的海之愛沙尼亞、拉脫維亞和立陶宛三國，這三國由於電力產能不足，使這三國高度依賴電力貿易，如此才能應對可能出現的電力短缺，其中立陶宛於 2015 年與瑞典連線，對瑞典而言、電力貿易範圍的擴充可迎接新型態的國際化，向歐洲大陸電力市場出口大量電力，可獲得更高的價格 (Hirth, 2018；IEA, 2019；Kaijser, 1992；Mignon & Rüdinger, 2016)。其中同屬北歐國家的冰島並未參與北歐電力市場，因此沒有電力的進出口，瑞典與挪威、芬蘭和丹麥等 4 國在 2000-2024 年電力的進出口度數如表 1、相互比較結果如圖 1 所示，由圖 1 清楚可見，芬蘭和丹麥目前基本上是電力的淨進口國，其中芬蘭的電力主要正是進口自瑞典，芬蘭因致力於核能及再生能的發展，政府預計在 2030 年成為電力淨出口國，最新 2024 年的資料顯示，芬蘭的電力來自核能及各式再生能源 (水力、太陽能、風力、生質能及廢棄物) 已佔總發電量的 96.09%，來自潔淨能源產生的電力比例遠高於 1990 年的 64.79% (IEA, 2026g)，因此芬蘭政府預計在 2030 年要成為電力淨出口國 (Olkuski &

²⁰ 如果擴大至整個歐洲，歐洲放鬆電業管制，邁向自由化的第一個國家開始於 1980 年代末期的英國，特別是英格蘭和威爾斯，於 1989 年制訂《電力法》(Electricity Act) (Marino, et al., 2019)。

Zubić, 2024)；至於挪威即便多數年份是電力淨出口國，然電力淨出口度數在大多數年份沒有瑞典來的多。



來源：本文計算自 IEA (2026b；2026c；2026d；2026e)。

圖 1：瑞典與其他北歐國家 2000-2024 年電力淨出口變動與比較

當 EU 透過 2019 年通過的《清潔能源惠及所有歐洲人》(Clean Energy for All Europeans) 立法引入「能源社區」(energy communities) 概念，預計在 2030 年將 GHG 排放減少至少比 1990 年低 40%，「能源社區」已成為 EU 能源戰略的重要組成，旨在讓社區參與永續且穩健的能源轉型 (Vardanyan, 2025)。而屬 EU 的瑞典在能源轉型至低碳的階段，EU 的此一立法也考驗瑞典在提供電力給鄰國及追求低碳時、如何在能源選擇間取得平衡 (Farsaei, et al., 2022；Farsaei, et al. 2020)。此外，2004 年瑞典加入歐洲共同電力市場 (common European electricity market)，意味著瑞典的電價將因跨國交易的增加可調整至歐洲相對高的電價，而正經歷能源轉型的瑞典電力，因此而產生較低的 CO₂ 排放量，於是由瑞典輸出相對乾淨電力的外部成本相對低，因此，以來自瑞典的發電量取代外部成本較高的歐洲電力，將使得歐洲的使用電力的外部成本隨之降低 (Trygg & Karlsson, 2005)。由此可見，瑞典所提供的潔淨電力，不僅可以讓瑞典在 2045 年達到淨零，身為歐洲主

要電力出口國，瑞典潔淨電力的輸出正是 EU 通過《清潔能源惠及所有歐洲人》的具體實踐。

表 1：瑞典與北歐其他國家 2000-2024 年電力買賣量^{ab}

年	瑞典電力進出口			丹麥電力進出口			芬蘭電力進出口			挪威電力進出口		
	進口	出口	淨出口 ^c	進口	出口	淨出口 ^c	進口	出口	淨出口 ^c	進口	出口	淨出口 ^c
2000	18,308	13,630	-4,678	8,417	7,752	-665	12,206	326	-11,880	1,474	20,529	19,055
2001	11,164	18,454	7,290	8,199	8,774	575	11,769	1,810	-9,959	10,745	7,174	-3,571
2002	20,110	14,754	-5,356	8,939	11,010	2,071	13,464	1,539	-11,925	5,335	15,046	9,711
2003	24,287	11,457	-12,830	7,023	15,568	8,545	11,882	7,030	-4,852	13,422	5,548	-7,874
2004	15,646	17,750	2,104	8,673	11,545	2,872	11,667	6,797	-4,870	15,309	3,854	-11,455
2005	14,576	21,968	7,392	12,943	11,574	-1,369	17,948	933	-17,015	3,653	15,695	12,042
2006	17,537	11,497	-6,040	6,767	13,702	6,935	14,118	2,717	-11,401	9,801	8,947	-854
2007	16,052	14,736	-1,316	10,427	11,377	950	15,419	2,862	-12,557	5,285	15,320	10,035
2008	12,754	14,715	1,961	12,815	11,360	-1,455	16,107	3,335	-12,772	3,412	17,275	13,863
2009	13,765	9,080	-4,685	11,208	10,874	-334	15,460	3,375	-12,085	5,651	14,634	8,983
2010	14,931	12,853	-2,078	10,599	11,734	1,135	15,719	5,218	-10,501	14,673	7,124	-7,549
2011	12,481	9,714	2,767	11,694	10,374	-1,320	17,656	3,804	-13,852	11,254	14,329	3,075
2012	11,682	31,255	19,573	15,920	10,706	-5,214	19,089	1,645	-17,444	4,191	22,006	17,815
2013	12,674	22,676	10,002	11,459	10,377	-1,082	17,591	1,876	-15,715	10,135	15,141	5,006
2014	13,852	29,475	15,623	12,702	9,847	-2,855	21,622	3,655	-17,967	6,347	21,932	15,585
2015	9,294	31,894	22,600	15,644	9,733	-5,911	21,459	5,122	-16,337	7,371	22,016	14,645
2016	14,287	26,022	11,735	14,976	9,919	-5,057	22,110	3,159	-18,951	5,740	22,151	16,411
2017	11,896	30,888	18,992	15,218	10,655	-4,563	22,204	1,779	-20,425	6,111	21,276	15,165
2018	12,202	29,425	17,223	15,633	10,409	-5,224	22,548	2,612	-19,936	8,339	18,488	10,149
2019	9,070	35,231	26,161	15,981	10,171	-5,810	23,938	3,896	-20,042	12,353	12,309	-44
2020	11,827	36,824	24,997	18,593	11,711	-6,882	21,774	6,670	-15,104	4,496	24,968	20,472
2021	8,341	33,909	25,568	20,119	15,251	-4,868	24,492	6,724	-17,768	8,235	25,818	17,583
2022	6,181	39,400	33,219	18,752	17,389	-1,363	19,397	6,880	-12,517	13,271	25,791	12,520
2023	7,330	35,822	28,492	19,830	16,697	-3,133	9,644	7,920	-1,724	13,240	30,977	17,737
2024	5,703	39,138	33,435	25,166	21,455	-3,711	8,716	5,535	-3,181	14,685	33,124	18,439

資料來源：本文計算自 IEA (2026b；2026c；2026d；2026e)。

註 a：表中所有單位為百萬度。

註 b：北歐國家中冰島在 2000-2024 年間沒有電力買賣。

註 c：淨出口為各國出口量減進口量。

五、GHG 排放減緩政策

為了 GHG 排放的降低，瑞典除了鼓勵或規範不同部門能源類型的使用外，如 2023 年設定電力至 2040 年要達「100%無化石燃料電力」目標，因此，針對無化石燃料電力的生產，除以補貼或抵稅方式鼓勵外，對於任何能源及燃料本身或部門使用會產生 GHG 則施行兩種碳定價機制 (carbon pricing scheme)，一種是依瑞典《能源消費稅法》(Swedish Act on Excise Duties on Energy)、在健全稅收體系下，於 1991 年開始針對各部門使用的化石燃料課徵碳稅 (carbon tax)，此一碳

稅與能源稅 (energy tax) 的組合是為達成財政、能源效率及氣候之目的 (Ministry of Finance, Government Offices of Sweden, 2022)，另一種則於 2005 年參與 EU 的 ETS 之市場交易機制，執行此二種碳定價機制主要是直接針對 GHG 排放之減緩，以能更積極達成淨零目標。瑞典的碳稅可說是整個稅制改革的一部分，於 1991 年引入碳稅時、同步則取消其他形式的大多數能源稅，如此才能在減緩碳稅對經濟的負面影響下，同時提供減碳的誘因 (IEA, 2024)。在 1991-2004 年期間的碳稅，1991 年的稅率為 250 元瑞典克郎 (約為 26 美元)，稅率採雙軌制，也就是住宅、運輸與服務業部門付全稅率，而為維持工業部門的國際競爭力，工業及農業部門僅付 25% 的稅率，至 1997 年工業部門則提升支付全稅率的 50%，以此作為激勵工業部門效率提升的誘因 (Jonsson, et al., 2020)；而在 2004 年之前，電力生產 90% 以上的來源是水力與核能，因此發電業部門沒有課徵碳稅 (IEA, 2026j)。

而 2005 年 EU 開始執行另一種碳訂價 ETS 之後，身為 EU 成員國的瑞典也是 EU ETS 的交易國，因此，自 2005 年至今，瑞典可說是兩種碳訂價政策併行。而 2005 年參與 EU ETS 之後，碳稅的課徵及 EU ETS 交易要確保同一部門沒有重複繳交 GHG 排放相關的支出。自 2005 年後、碳稅課徵對象是道路運輸、住宅加熱、小型工業及農業共 40% 的 GHG 排放；而 EU ETS 則涵蓋發電業、大型工業製造業及新增的海運及國際航空之 GHG 排放佔了 30%，又涵蓋在 EU ETS 的工業部門、則不用再繳交碳稅，而這兩個碳定價政策合併，針對比例最高、且相對容易掌握的 CO₂ 則佔了 95%；另有 30% 排放 CH₄ 及 N₂O 的農業及廢棄物等尚未涵蓋於任一碳定價政策中 (OECD, 2025；Jonsson, et al., 2020)。而基本上不對生質燃料徵稅碳稅，然到 2018 年 7 月、瑞典推出全國減排義務計畫，其中有一項強制將生質燃料摻入汽油和柴油的法規，此後，才對混和生質燃料課徵與化石燃料相同碳稅稅率 (Government Offices of Sweden, 2026)。2022 年、瑞典 GHG 最大排放源是交通運輸部門、佔 30%、其次是工業部門、佔 28%、而能源部門、佔 17%；而碳稅及 EU ETS 執行至 2022 年，這些部門 GHG 排放已分別比 1990 年降低 30%、29% 及 21%，另住宅及廢棄物更顯著的比 1990 年降低 80% 及 77% (European Commission, 2023)。當然這些部門 GHG 的降低未必全是這兩個碳定價政策所造成，然這段時間有這兩個碳定價政策的施行，合理情況下、這兩個政策對 GHG 排放減少必然有一定的貢獻。

瑞典碳稅稅率一開始即訂在高稅率，而各部門的 GHG 排放也都有顯著減量，因此，每年也都有相當的碳稅收入，這些碳稅收入在 2024 年約為 230 億瑞典克郎，而預估最新 2025 年在每噸為 1,500 元瑞典克郎的稅率下，碳稅收入預估為 220-250 億瑞典克郎，約為瑞典年度總稅收的 1% (Jonsson, et al., 2020)。此外，瑞典並沒有將碳稅收入「指定」(earmark)於綠色項目與計畫的收入循環 (revenue recycling) 使用的專款專用，而是將碳稅收入當成一般預算 (general budget)，因此保留 1%-2% 收入用於醫療與教育；瑞典政府善於利用這種「財政空間」(fiscal space) 實施所謂「綠色稅收移轉」(green tax shift) (Ministry of Finance, Government Offices of Sweden, 2022；OECD, 2025)。此種移轉的核心是針對壞的財貨，比如排放 GHG 的燃料課稅，而對好的財貨、如所得稅減稅或投資抵減，亦即碳稅收入的使用雖沒有明確以立法連結與環境直接相關的項目，然政府利用一般預算資助與該收入相配合的氣候相關措施，然實質上與收入循環使用的目的相同。以更有彈性的「綠色稅收移轉」將碳稅收入擴大移轉至所得稅降低、投資抵減等項目上，如此使碳稅稅率調升空間及碳稅的課徵有政治可接受度外、也達成技術移轉的目的，經濟也得以在碳稅的課徵下持續成長 (Pierrehumbert, 2016)。由此可見，碳稅除了是一種增加財政收入的工具外，還能引導燃料使用朝向少 GHG 排放的無化石燃料使用、邁向氣候目標發展等一舉多得的政策工具。

碳稅的課徵是抑制 CO₂ 或是 GHG 的排放，然一般也擔心如此將抑制經濟發展、使得經濟成長趨緩甚至停滯。Pao 與 Chen (2019) 分析瑞典及其他 3 個對核能高度倚賴的高所得國家，瑞士、法國及比利時 1987-2016 的資料發現，這些國家降低能源消費與減少 CO₂ 排放，並不會損害其經濟發展，亦即核能是可讓經濟發展和 CO₂ 排放脫鉤的重要能源之一，也就是經濟發展一般會帶來 CO₂ 排放量的增加，所謂脫鉤是指經濟發展的好財貨與環境受損的壞財貨無關，表示經濟的發展、並不會增加 CO₂ 的排放量，亦即經濟發展不會以犧牲環境或是 CO₂ 排放量的增加為代價，而是可以同步有經濟發展的好財貨又有好的環境或是較低的 CO₂ 排放量 (Mazzai, 2022)。IEA (2022b) 的資料顯示、自 1990 年以來，全是界核電廠每年減少了 15 億至 20 億噸 GHG 排放，又如果沒有核電，1971 年至 2018 年間，能源相關 GHG 排放總量和電力生產 GHG 排放總量將分別多約 6% 和 20%，由此可見，核能在實現淨零或碳中和目標方面所發揮的重要作用。Pan, et al. (2023)

的研究也進一步顯示，核能有助於瑞典減少來自 CO₂ 排放所造成的環境惡化，且核能與 CO₂ 排放之間的雙向因果關係可以相互預測，也就是要降低 CO₂ 排放及改善環境品質，核能可以成為傳統能源的可行替代方案，而有核能即有潛力幫國家能源部門升級成低碳部門。

而 Karlsson (2021) 與 Lindgren, et al. (2023) 的研究發現，瑞典能源政策的目標重點並非在現有水準上降低能源消耗，而是避免增加能源消耗，此不僅與能源充足的策略不同、也與 EU 具野心的節省能源消耗的計畫走向不同，此外，至目前為止、瑞典大多數生質燃料尚不受碳稅約束，此也是碳稅稅率在 1991 年雖已超過每噸 100 元美金，屬於全球碳稅稅率相對高的國家，然 2025 年最新資料呈現每噸稅率雖仍是北歐國家中最高，然與 2000 年的碳稅稅率相比並無顯著變動²¹，相對於北歐其他國家、則成為碳稅稅率增加幅度最小者。因此，瑞典過去被科學界公認是氣候相關技術之領導者，然是否真的為「氣候進步型」國家、也受到一些挑戰。此外，亦有研究批評、1990 年至 2008 年間儘管瑞典許多企業減少 CO₂ 之排放，但佔瑞典碳排放量 70% 至 75% 的大型污染企業，如鋼鐵、混凝土等建築材料製造商、實際上並未減少、甚至可能增加排放，造成此一結果主要是這些企業在碳稅開始課徵、還沒有 EU ETS 時，為維持這些企業的國際競爭力且短期內也不可能立刻減少排放，於是、並未繳全額碳稅稅率、甚至免繳碳稅，評

²¹ 瑞典自 1991 年課徵碳稅以來每噸稅率即是全世界最高，在最新的 5 年 (2021-2025) 記錄中，稅率分別為 US\$ 136.10 (瑞典克朗 SEK 1,200)、US\$ 129.89、US\$ 125.56、US\$ 123.70 及 US\$ 144.62 (SEK 1,450)；而丹麥則為 US\$ 27.92 (丹麥克朗 DKK 177)、US\$ 26.37、US\$ 26.29、US\$ 28.40 及 US\$ 108.43 (DKK 750)；芬蘭為 US\$ 90.44 (歐元€ 76.49)、US\$ 85.10、US\$ 83.74、US\$ 99.98 及 US\$ 66.89 (歐元€ 59.26)；冰島為 US\$ 35.36 (冰島克朗 ISK 5,098)、US\$ 3.61、US\$ 36.11、US\$ 36.51 及 US\$ 60.06 (ISK 8,000)；挪威則為 US\$ 80.35 (挪威克朗 NOK 591)、US\$ 96.31、US\$ 94.49、US\$ 107.78 及 US\$ 133.92 (NOK 1,405) (World Bank, 2026a)。其中丹麥由 2025 年起將課徵碳稅原不在 EU ETS 範圍內之部門，由每噸 712 丹麥克朗起，至 2030 年 1 月止逐年提升至每噸 3,558 丹麥克朗，期能在 2030 年 GHG 排放減少 70% (Aither, 2026)。各國碳稅稅率必須同一年比較，不能跨年比較，如此才能維持各國在同一年與美金的匯率比；而列出第 1 及第 5 年的各國或通用幣值，是為避免各國碳稅稅率高低是源自與美金匯率的差異所造成，如此才能觀察瑞典稅率在最新的 5 年、是否為北歐 5 國之中變動最小，而芬蘭碳稅是能源稅的一部分，而能源稅中尚有「能源含量稅」(energy content tax) 及用於國家能源安全保障的「戰備儲費」(security supply fee)，因 2019 調整能源稅的計算基礎，使得碳稅這部分的稅率下降外 (Clarke, 2023)，瑞典雖是北歐 5 國之碳稅稅率在 2021 年中最高者、然經過 5 年碳稅稅率提升的幅度確實是最小。

論認為如果對所有排放者適用較低的稅率，而不是目前如此高的稅率加上各種豁免，或可激勵所有污染者減少排放，使碳稅課徵更有效，因此，在瑞典加入 EU ETS 後，則逐步將豁免企業取消 (Jonsson, et al., 2020)。

參、瑞典能源政策下相關成果表現與台灣/北歐 5 國/世界的比較

一、觀察「100%無化石燃料電力」政策效果的架構

瑞典能源政策的效果、除可觀察瑞典由過去至今的表現外，尚可橫向比較特定時間點與關切的國家、比如與台灣表現的異同，必要時則與瑞典所屬的北歐 5 國或是世界整體進行比較。觀察分析的角度、分成三大部分，首先，瑞典有完整資料年的 1990 年起，TES (能源總供給量) 及 TFC (能源最終總消費量) 的差異，TES 是指一國自產或是進口、扣除出口及儲存的能源後，即是 TFC；理論上，TES 和 TFC 應該相等，然通常有幾個理由造成二者有差異，一為各種燃料提煉過程中的漏失、以油管、氣管或電網傳輸過程中燃料、電力或熱力的損失、電廠為產生電力或熱力自用部分燃料能源、另一則是以各種形式存在各式產品，比如石化產品 (petrochemicals) 之石腦油、乙烷和液化石油氣以及用於生產塑膠、樹脂、合成橡膠和纖維的天然氣；工業還原劑，如煉焦煤及非能源產品，包括瀝青、石蠟及潤滑劑等非作為能源用的產品 (IEA, 2025)。本文在討論 TFC 中的電力來自各種燃料能源使用的所產生的 CO₂ 時，TFC 中包括非能源使用項目，以能涵蓋 TFC 各種末端能源消費，在短期會產生的 CO₂ 排放與非能源使用項目的各種石化產品潛在會排放的 CO₂。因站在物質生命週期的觀點，這些非能源物資其實是「儲存的能源」(embodied energy)，這些非能源使用項目雖暫時為材料固碳 (material sequestration) (Patel, et al., 2005)，然這些物質終究會進入焚化爐產生熱能，另一觀點是非能源使用項目也應包括在 TFC 中。因此，TFC 包括非能源使用項目，其與 TES 的差異，代表由 TES 投入成為末端使用的漏失率外、尚包括石化產品暫時將碳儲存在產品的固碳率。而以能源消費密集度觀察能源效率時，為觀察由 TES 能源投入至末端使用 TFC 在技術上的效率表現或能源耗損，TFC

中不包括非能源使用項目。

其次，不論是 TES 與 TFC，不同的能源政策自然會有不同燃料能源的組合，而 TFC 除了電力這一項外²²、其他絕大部分的燃料能源類別都與 TES 相同，而 TFC 中的電力是諸多部門都需要的能源，在 IEA 部門的分類、發電業屬於工業部門，因此，在 TES 中、發電業與其他各式大小工業製造業使用的各種燃料源是合併一起，因此，需進一步檢視產生電力的各種燃料能源之組合，及各部門別在電力的使用比例，如此才能明確得知，當減碳將焦點大力提倡並移轉至電氣化或電動化之際，各部門除了直接使用煤、石油、天然氣或不同類型之再生能源作為生產消費之用時，增加使用由相同燃料能源所產生之電力、事實上是間接增加使用各種燃料能源，各部門直接加間接所使用的燃料能源稱未必因此減少，如果電力的來源仍是以傳統的化石燃料為主，增加電力的使用可說是「偽裝虛假」的減碳。此外，當特別要觀察瑞典「100%無化石燃料電力」成果，更要掌握瑞典在達成此目標時電力的燃料來源組成的變動。瑞典自 1990 年至最新的 2023 年，總電力最後消費基本上沒有改變，約維持在 433,000 兆焦耳，台灣則由 1990 年的 276,000 兆焦耳，顯著提升至 2023 年的 929,000 兆焦耳，最新資料已超過瑞典電力總消費 2 倍有餘，此說明台灣整體經濟及產業結構持續發展改變中，然更值得關注的是，不論瑞典不變的電力總消費及台灣成長 3 倍有餘的電力總消費，產生電力的燃料來源有何變動？

最後，由於各種燃料能源除一國國內直接用於產業生產消費外，絕大部分用於電力或熱力的生產，供其他相關部門使用（IEA, 2026a），因此，觀察自 1990 年起、瑞典、台灣、相關國家或世界整體的 CO₂ 排放量或是每人平均 CO₂ 排放量，是初步瞭解各國、區域或是全世界整體 CO₂ 排放量的全貌，而其中特別針對瑞典和台灣，深入比較產生不同 CO₂ 排放量的變動趨勢或是人均 CO₂ 排放量及各國直接使用來自各種燃料能源產生 TES 的關係；此外，亦需掌握使用來自間接排放

²² 雖然「100%無化石燃料電力」的目標本身是電力，但它也是供暖的「骨幹網路」（backbone），因瑞典住宅部門相當依賴熱泵（pump）和電鍋爐（electric boiler），因此，當建構一個無化石燃料的電網提供電力時，同時也會自動降低該國大部分供暖需求的碳排放，因此，本文觀察電力的燃料能組成之變動，事實上也間接得知無化石燃料電力對供暖排碳的局部貢獻（IEA, 2024）。

CO₂ 之電力燃料能源組成的變動與差異，將有助於掌握減緩直接或間接之 CO₂ 或 GHG 排放量的燃料能源組合。根據 IEA (2021b) 統計全世界在 2021 年由各種燃料燃燒產生的 CO₂ 排放，有 44% 是來自煤、32% 來自石油、另有 22% 來自天然氣，表示使用這些化石燃料即佔了 98% 的燃料燃燒所產生的 CO₂ 排放，當這三大類化石燃料、也稱為非潔淨能源 (non-clean energy) 仍佔有 90% 以上的 TES 主要來源之際，水力、核能、風力、太陽光電與太陽能熱的再生能源及生質能與廢棄物的潔淨能源 (clean energy)²³，該如何翻轉其角色、已成為各國政府的重要課題。如要進一步觀察特定部門別之能源使用與 CO₂ 排放多寡的表現，則可以使用該部門的 TFC，如此即可以掌握特定部之 TFC 所產生之範疇 1 之 CO₂ 或 GHG 直接排放的關係²⁴，再者、客觀條件是 IEA 資料庫中僅有各燃料別、而沒有各部門別的 TES，因此無法有各部門別的 CO₂ 排放與所使用燃料多寡直接對應 (IEA, 2025)。前述的三大部分分析架構則彙整如圖 2，以下則依序討論前述 TES 與 TFC 各燃料能源佔比，電力的燃料能源佔比及瑞典總 CO₂ 及人均 CO₂ 排放量與各燃料能源使用自 1990 年至最新的 2022 或 2023 年的變動趨勢與關係，以此觀察瑞典設定的「100%無化石燃料電力」在相關面向上的表現是否確實優於台灣甚至全世界？

二、TES 與 TFC 的差距及二者差異的漏失/固碳率

要觀察瑞典在各階段能源使用的表現，雖然理論上 TES 和 TFC 應相等，因前述所提及的因素，使 TFC 小於 TES，當 TES 和 TFC 差距越大，表示越多的 TES 是沒有成為任何部門作為任何用途的最終能源使用，如此表示 TES 漏失/固碳越多，即便暫時保存為各種類型的石化產品，然各種燃料自開採的第一時間，

²³ 太陽光電 (solar photovoltaic, 以下簡稱 solar PV) 是利用矽電池釋放電子，將太陽光直接轉換為電能；而太陽能熱 (solar thermal) 發電則捕捉太陽光產生熱量，利用集熱器加熱流體，主要是用於熱水或空間的加熱。

²⁴ 所謂範疇 1 (scope 1) 排放是指公司或組織直接排放的 GHG 或 CO₂，包括公司車輛排放、來自設備直接燃燒或基礎設施洩漏或任何自有或控制來源的逸散性排放；而範疇 2 (scope 2) 排放是指公司或組織透過購買和使用電力、蒸汽、暖氣和冷氣而間接排放的 GHG 或 CO₂；而範疇 3 (scope 3) 則為公司或組織由其供應商購買產品或服務，到客戶使用其產品或服務所造成的供應鏈上下游的 GHG 或是 CO₂ 排放，範疇 3 的排放量通常是三個範圍中最大者，其關係也相對複雜、不易掌握 (Climate Impact Partners, 2024)。

即產生了 CO₂ 或 GHG 排放量，因此，後續要觀察各種 TES 與 CO₂ 或是 GHG 排放量的關係，以 TES 才不會低估對應所使用的燃料能源量及對應 CO₂ 或 GHG 排放量(IEA, 2025)。圖 3 首先呈現台灣、瑞典、北歐其他 4 國及北歐 5 國整體 TES，以產生之能量或熱量焦耳為單位，圖 3 對應個別國家、區域及全世界詳細 TES 資料如附表 1，可以看出台灣由 1990 年至 2023 年，TES 成長約 119%，而瑞典自 1990 年起，中間雖有所增減，然整體而言幾乎持平，至於北歐整體 5 國 2023 年也僅比 1990 年增加約 11%，且北歐 5 國整體的 TES 也僅比台灣多 14%。圖 3 代表北歐 5 國紅色區塊由 1990 年近 5 百萬兆焦耳成長至 2023 年的 5.3 百萬兆焦耳，而藍色區塊的台灣 TES，自 2004 年一躍提升至 4.5 百萬兆焦耳，此後則持續維持近 5 百萬兆焦耳，至於全世界 TES 並未呈現在圖 3 上，因為數值太大，無法和其他個別國家並列觀察，由 1990 至 2023 年全世界 TES 基本上一路增加，前後則增加約 71%，表示同時間、全世界整體 TES 增加幅度尚不及台灣，此代表台灣經濟持續發展，然另一方面台灣也需為這部分的增加付出代價。

即便 TES 是增加、但增加的 TES 未必全部成為 TFC，因 IEA 資料沒有呈現造成任何國家二者間差距為前述的任一理由及數量，如果沒有特別理由認定未成為 TFC 的 TES 都是石化產品，則 TES 與 TFC 的差距，就可能是電力以任何形式傳輸過程或電廠自用造成的漏失量，然燃料開採事實已發生，站在產生能源熱量的燃料之立場，相關 TES 即便不是作為電力熱量能源用途、而是成為各種非能源使用的石化產品，非能源使用的 TFC 則藉由石化產品而有固碳量。因此，觀察歷年台灣與瑞典 TES 與 TFC 的差距，比較兩個國家這種漏失/固碳比例的大小，漏失/固碳比例越高表示燃料能源損失越多。由表 2 可得知，自 1990 年以來，台灣 TES 的漏失/固碳率均超過三成，且每年均比瑞典高，將台灣與瑞典兩國在 1990-2023 年間的 TES 與 TFC 以圖 4 呈現，明顯看出兩國的 TFC 均比 TES 低，而台灣 TES 的漏失/固碳量則一路提升、瑞典則幾乎未外改變，不論兩國 TES 與 TFC 的差異是來自漏失量或固碳量，表示台灣自 1990 年以來漏失量/固碳量不僅沒有改善、漏失/固碳量反而日益增加，瑞典的漏失/固碳率雖比台灣低，然過去 34 年以來也都漏失/固碳 3 成左右的 TES，似乎也未讓漏失/固碳率獲得改善。整體而言、自 1990 年起至最新的 34 年中，台灣 TES 的漏失/固碳率平均為 37.63%、比瑞典的 31.60% 高。根據 IEA (2023) 以全球相關權威 (global gold standard) 統

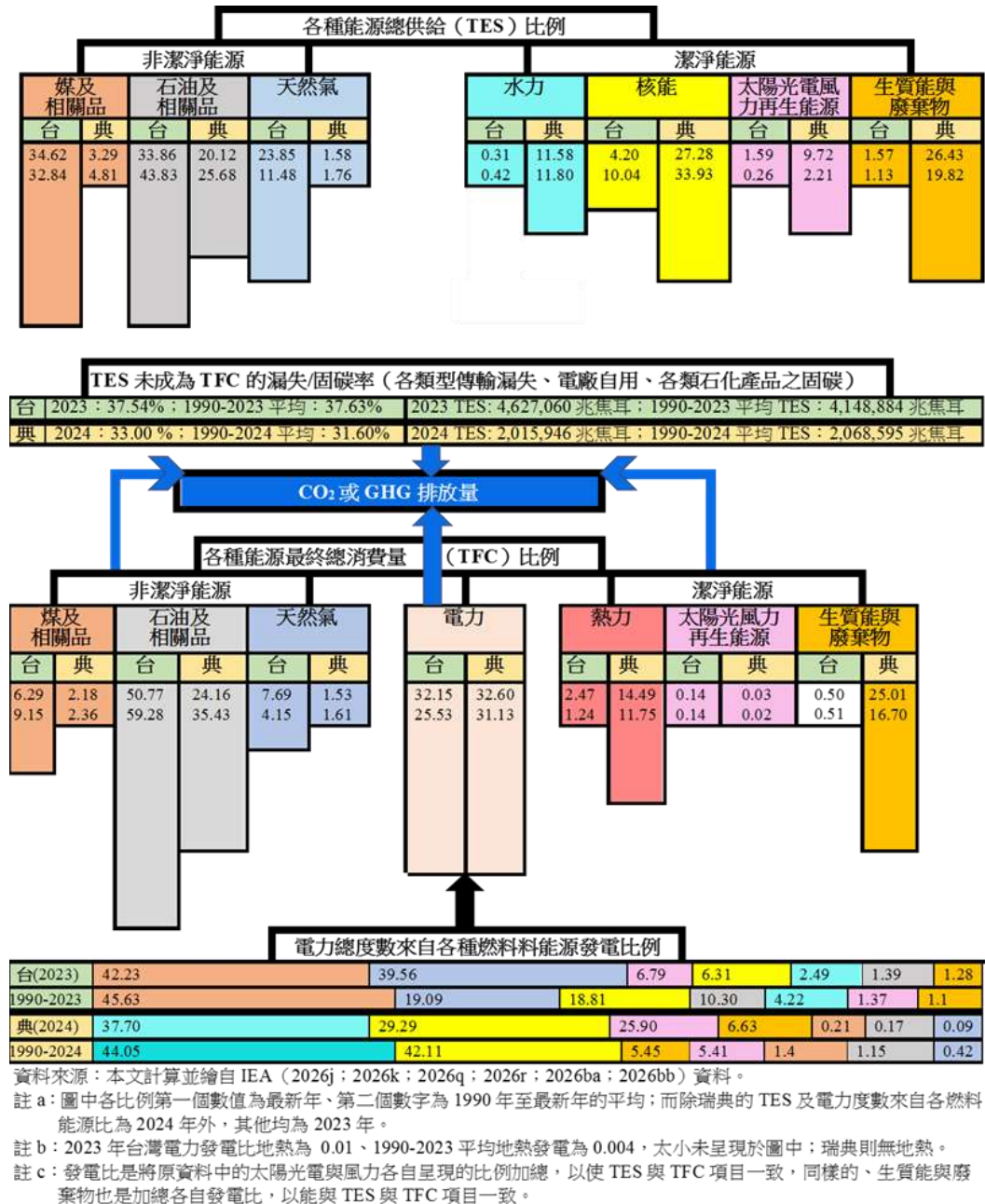


圖 2：台灣與瑞典 TES 與 TFC 能源項目別及比例與各燃料能源別佔總電力發電度數比之比較

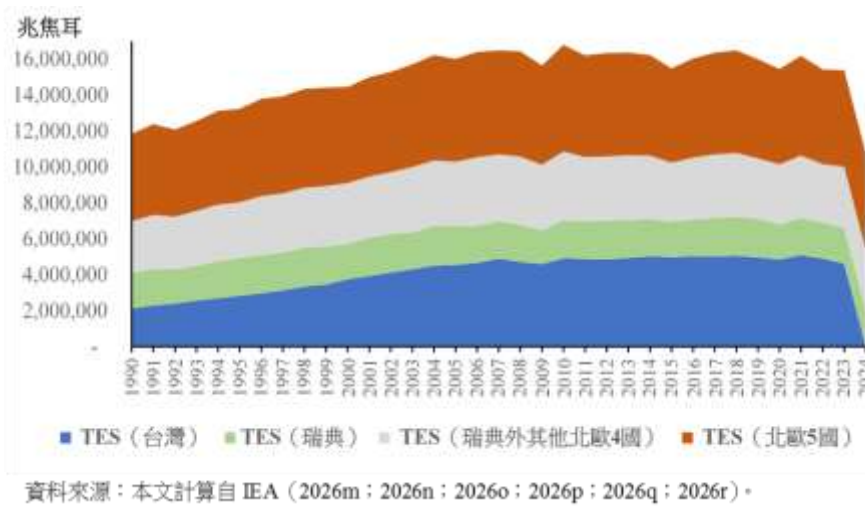
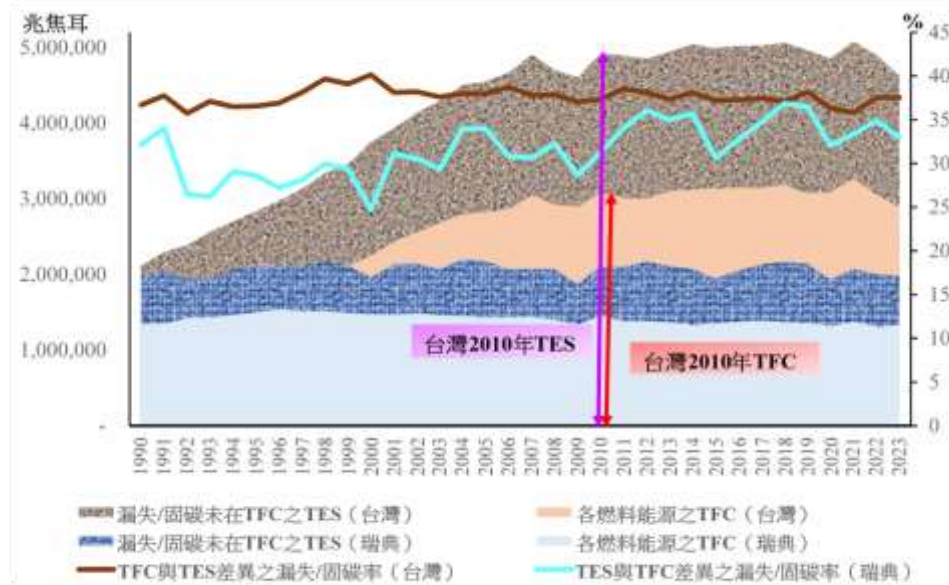


圖 3：台灣、瑞典與北歐五國 1990-2023 年來自各種類型的 TES

計，不論是來自漏失/固碳的 TES，平均而言漏失/固碳率為 25%-35%屬正常，因此，過去 34 年，瑞典漏失/固碳率屬於正常範圍內，台灣則稍高。而進一步得知，台灣最大的漏失/固碳量是產生自火力發電廠在進口的煤和天然氣轉換成電力的過程中或之前、就以熱能的形式消失，以致無法成為 TFC 的任何使用（經濟部能源局，2025）；當然還有相當比例來自台灣相對高非能源使用的石化產品。至於瑞典雖有全世界最有效率的電網傳輸高比例潔淨能源所生產的電力，然漏失/固碳的發生是這些電力的傳輸經過瑞典擁有全世界極長電網所造成（IEA, 2019）。而台灣漏失/固碳率比瑞典高出 6.03%，如以台灣最新 2023 年 TES 為 4,627,060 兆焦耳來算，表示漏失/固碳了 279,011.718 兆焦耳熱量能源，如果這些全作為電力的生產，相當於 775 億度電，約佔台灣一年總用電度數 2,800 億度電的 28%，在電力稀有、珍貴的台灣，是相當可觀的數量。

進一步可觀察台灣及瑞典在 1990-2023 年 TES 是由哪些類別的燃料能源所提供，相關燃料能源分成以煤及相關產品、石油及相關產品與天然氣等化石燃料類的非潔淨能源，其他則屬潔淨能源。在這段期間這兩大類能源、提供作為這兩個國家 TES 總數量，由附表 2 及附表 3 可看出，台灣顯著的由 1990 年約 200 萬兆焦耳提升至 2023 年 2 倍有餘的 460 萬兆焦耳，而瑞典則穩定維持在 200 萬兆



資料來源：本文計算自 IEA (2026q ; 2026r ; 2026ay ; 2026az)。

圖 4：台灣與瑞典 1990-2023 的 TES 與 TFC 及二者差異的能源漏失/固碳量與比例之變動與比較

焦耳左右。而附表 2 及附表 3 亦分別計算出台灣與瑞典各燃料能源別佔 TES 之比例，如果不看個別燃料能源細項，僅將相關項目加總為潔淨能源及非潔淨能源比，附表 2 及附表 3 資料可明顯看出，台灣 TES 來自化石類燃料比，在 1990-2023 年間從未低於 80%，最新 2023 年資料、尚且高達 90% 以上，使得來自潔淨能源 TES 不到 10%，此所呈現的正好與當前減碳工作需要使用的燃料能源類別相反。而瑞典自 1990 年起，潔淨能源即佔了 TES 的 60% 以上，最新年更高達 75%。

相關資料以圖 5 呈現，除可以看出台灣與瑞典的 TES 中潔淨能源與非潔淨能源佔比的大小外，更可以看出兩國的這兩大類能源佔比、在 1990-2023 間的變動。圖 5 顯示、台灣的潔淨能源佔 TES 比例遠低於非潔淨能源，且非潔淨能源佔比有逐步上升的趨勢；反之、瑞典的潔淨能源比遠高於非潔淨能源比，在潔淨能源佔比高於非潔淨能源筆的情況下，潔淨能源比如再逐漸提升、而非潔淨能源比逐年下降，則兩個比例的走向就如圖 5 中的瑞典，兩個比例在此種大小關係下、

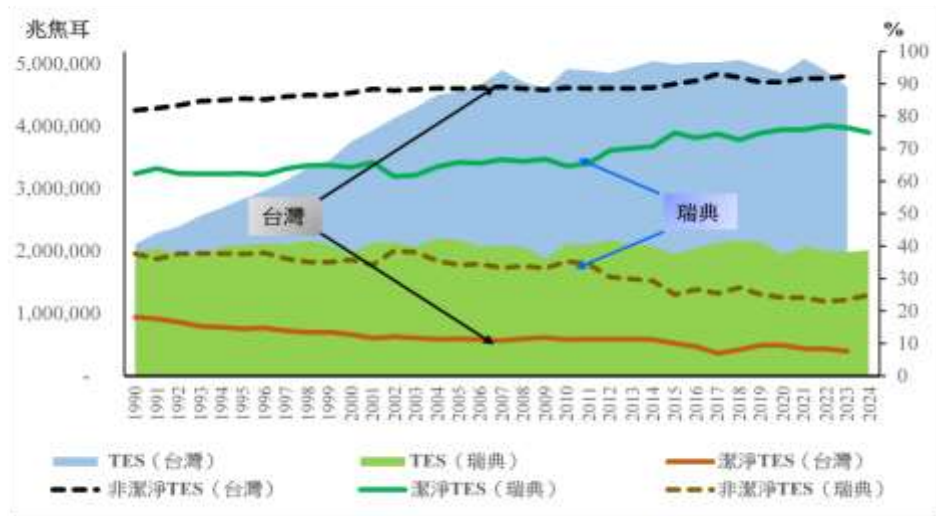
表 2：台灣與瑞典 TES 與 TFC 燃料能源料及 TFC 未使用之 TES 漏失/固碳率

年	台 灣			瑞 典		
	各種燃料能源 之能源總 供給量 TES A	各種燃料能源 最終總消費量 TFC* B	TFC 與 TES 差異之 漏失/固碳率 C=(A-B)/A*100	各種燃料能源 之能源總 供給量 TES D	各種燃料能源 最終總消費量 TFC* E	TFC 與 TES 差異 之漏失/固碳率 F=(D-E)/D*100
1990	2,116,926	1,340,329	36.69	1,982,326	1,344,692	32.17
1991	2,292,929	1,427,047	37.76	2,043,190	1,347,033	34.07
1992	2,390,205	1,536,061	35.74	1,943,057	1,427,421	26.54
1993	2,566,496	1,614,474	37.09	1,935,417	1,428,636	26.18
1994	2,694,662	1,711,267	36.49	2,066,671	1,465,615	29.08
1995	2,835,916	1,798,834	36.57	2,099,979	1,499,103	28.61
1996	2,974,469	1,876,695	36.91	2,120,766	1,542,459	27.27
1997	3,134,407	1,939,475	38.12	2,103,835	1,512,592	28.10
1998	3,342,812	2,016,199	39.69	2,166,811	1,517,206	29.98
1999	3,459,147	2,106,621	39.10	2,116,726	1,494,529	29.39
2000	3,752,351	2,245,937	40.15	1,965,051	1,477,823	24.79
2001	3,934,720	2,434,521	38.13	2,134,561	1,470,413	31.11
2002	4,133,366	2,554,619	38.20	2,142,036	1,487,415	30.56
2003	4,300,567	2,682,839	37.62	2,069,582	1,461,661	29.37
2004	4,507,903	2,795,366	37.99	2,205,473	1,455,401	34.01
2005	4,549,904	2,822,563	37.96	2,173,584	1,434,552	34.00
2006	4,670,807	2,862,154	38.72	2,069,809	1,431,474	30.84
2007	4,903,816	3,051,116	37.78	2,076,369	1,440,102	30.64
2008	4,710,111	2,926,394	37.87	2,073,503	1,404,692	32.26
2009	4,603,393	2,899,171	37.02	1,876,057	1,338,460	28.66
2010	4,919,833	3,081,023	37.38	2,118,474	1,455,993	31.27
2011	4,895,133	3,007,012	38.57	2,104,574	1,387,377	34.08
2012	4,852,424	3,004,393	38.08	2,169,166	1,386,440	36.08
2013	4,943,082	3,097,391	37.34	2,108,373	1,370,732	34.99
2014	5,043,546	3,121,942	38.10	2,075,263	1,334,327	35.70
2015	4,994,542	3,135,606	37.22	1,947,275	1,350,765	30.63
2016	5,021,186	3,149,696	37.27	2,051,400	1,379,477	32.75
2017	5,023,338	3,141,324	37.47	2,134,252	1,393,888	34.69
2018	5,065,753	3,187,595	37.08	2,168,434	1,369,044	36.86
2019	4,961,880	3,066,739	38.19	2,142,815	1,361,339	36.47
2020	4,856,811	3,092,066	36.34	1,937,419	1,316,023	32.07
2021	5,084,971	3,264,167	35.81	2,070,301	1,379,745	33.36
2022	4,897,575	3,058,806	37.54	2,008,949	1,308,077	34.89
2023	4,627,060	2,889,846	37.54	1,983,380	1,328,845	33.00
2024	-----	-----	-----	2,015,946	-----	-----
平均	4,148,884	2,586,450	37.63	2,086,595	1,414,804	31.60

資料來源：本文計算自 IEA (2026q ; 2026r ; 2026ba ; 2026bb)。

註*：台灣與瑞典的 TFC 均包括各式非能源使用的石化產品。

差異越來越大則是好的趨勢；反觀台灣、非潔淨能源比遠大於潔淨能源比之際，此時兩個比例的差異如也是越來越大，如圖 5 中台灣目前之關係，基本上是令人擔憂的走勢。



資料來源：本文計算自 IEA (2026q; 2026r)。

圖 5：台灣與瑞典 1990-2023 年之 TES 與潔淨 TES 與非潔淨 TES 比例之變化與比較

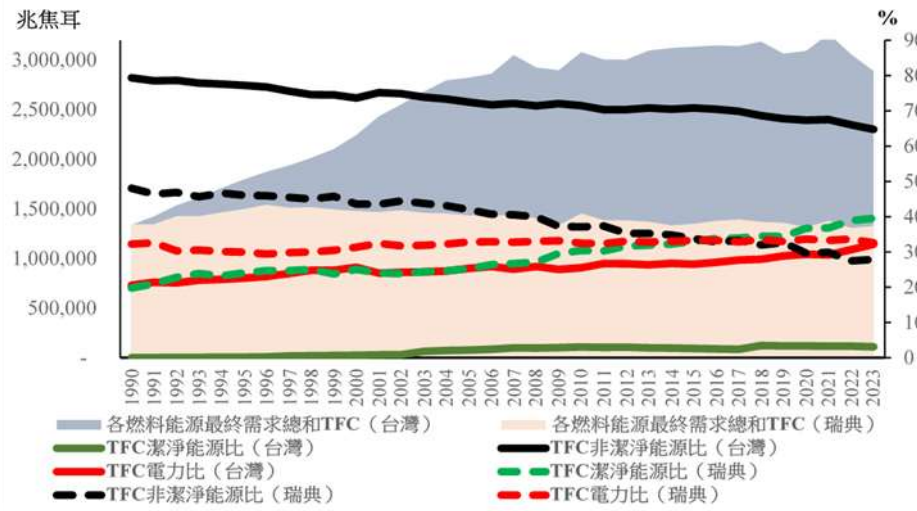
三、邁向 100% 無化石燃料電力的燃料能源別

台灣與瑞典一年的 TES、扣除漏失/固碳量，最後則是各部門的 TFC，如附表 2 及附表 3，除了兩國每年之 TES 來自各燃料能源別外，同時列出台灣和瑞典各燃料能源別的用於 TFC 的比例，在 TFC 方面，大多數燃料能源別與 TES 相同，然 TFC 中沒有水力和核能、而多了熱力及電力，其中電力是很多部門都需要使用的能源，然電力的生產基本上是使用一個國家提供 TES 的各種燃料能源而來，至於各燃料能源組成之多寡，則是各國的條件及政策而有不同。因此，觀察台灣與瑞典 TFC 的各燃料能源比例時，分成潔淨能源、非潔淨能源與電力，使用電力成為各部門間接使用各種燃料能源的來源，於是站在部門別的立場，直接使用如化石燃料類別的能源用於燃燒、供暖、製冷則有很明顯的 CO₂ 或 GHG 排放量，

一般認為是不佳的燃料能源，然化石燃料也可以生產電力供其他部門使用，其他部門移轉至使用電力、這些部門名目上猶似減少 CO₂ 或 GHG 的排放，然電力是屬工業部門中的發電業所生產，因此，移轉各部門別至電力的使用，站在國家立場，化石燃料的使用未必減少，因可能僅是末端消費者改變使用更多化石燃料所產出的電力而已。瑞典設定 2040 年要達「100%無化石燃料電力」目標，相當程度即是要防堵各部門移轉至電力使用，如不重視產生電力的燃料能源別，僅是移轉 CO₂ 或 GHG 排放的部門別、難以真正減碳。

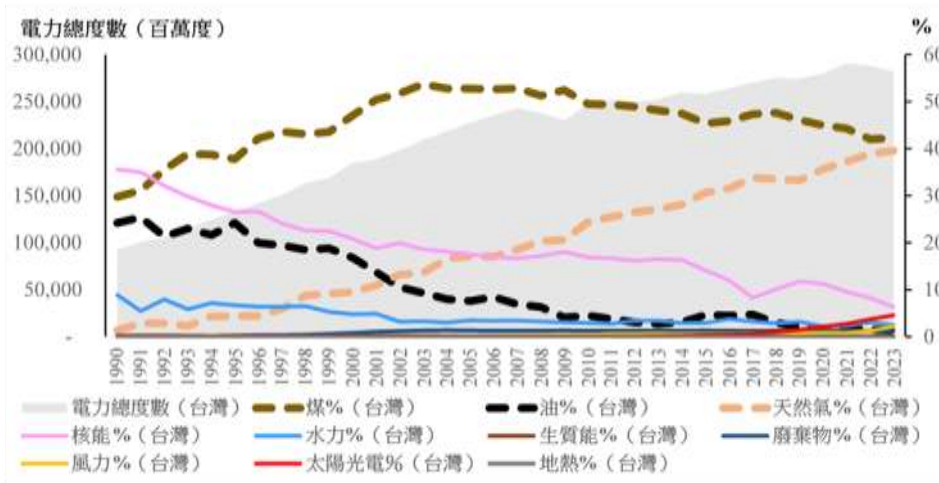
1990-2023 年台灣與瑞典在潔淨能源、非潔淨能源及電力佔 TFC 比例的變動及差異如圖 6，潔淨能源、非潔淨能源各項目及電力各年的詳細佔比如附表 2 及附表 3 所示。由圖 6 的趨勢可看出，台灣和瑞典自 1990 年以來、非潔淨能源佔 TFC 的比例均逐漸下降，然台灣 TFC 下降約 15% 的非潔淨能源佔比則移轉電力，電力佔比由 1990 年約 21% 提升至 2023 年的 32%，而瑞典則移轉再生能源，潔淨能源佔 TFC 比例由 1990 年的 20% 提升至 2023 年的 40%。在這段時間，台灣潔淨能源僅微幅提升至 3%，而對應的、瑞典電力佔比則穩定維持在 TFC 的 32%。如此表示，自 1990 年以來至最新 2023 年的 34 年，台灣非潔淨能源佔 TFC 比例的下降是以電力使用的增加換來，而瑞典則以各式潔淨能源的增加為替代，而各式潔淨能源中以生質能與廢棄物增加 11%、熱力增加約 9% 最為明顯，由此可見，末端的燃料能源使用方面，瑞典善用既有廢棄自然資源，台灣則是移轉表面看來沒有 CO₂ 或 GHG 排放的電力，如此更須進一步檢視台灣電力由哪些燃料能源組合生產而來。

附表 4 和附表 5 是台灣和瑞典在 1990-2023/2024 年發電總度數各燃料能源佔比，結果分別呈現於圖 7 和圖 8，由兩個圖可以看出兩國用於發電的燃料能源的明顯差異，台灣的年總發電度數主要來自化石燃料能源的煤、石油或天然氣所提供，這三大類化石燃料能源在過去 34 年平均分別提供了發電燃料 45.63%、10.30% 及 19.09% 於總發電度數，也就是來自化石燃料能源所提供的總發電度數佔了 75.02%；反之，在瑞典這些化石燃料能源則僅分別提供 1.40%、1.15% 及 0.42%，表示瑞典這 35 年平均總共僅有 2.97% 的總發電度數是由化石燃料所提供，而在最新的 2024 年總發電度數則僅有 0.48% 是使用化石燃料能源，此已非常接近瑞典所設定的無化石燃料電力目標，因為來自潔淨能源的無化石燃料提供發電總度



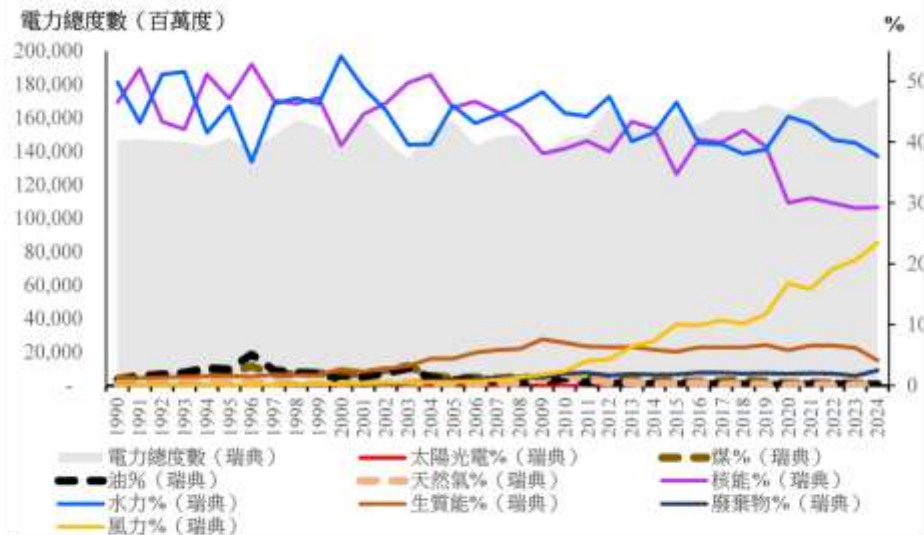
資料來源：本文計算自 IEA (2026ah ; 2026ai)。

圖 6：台灣與瑞典 1990-2023 年 TFC 來自潔淨能源、非潔淨能源與電力比之變化與比較



資料來源：本文計算自 IEA (2026k)。

圖 7：台灣 1990-2023 年各年電力總度數及電力來自各種燃料所產生之度數比例變動



資料來源：本文計算自 IEA (2026j)。

圖 8：瑞典 1990-2024 年各年電力總度數及電力來自各種燃料所產生之度數比例變動

數在 2024 年為 99.52%、幾已達 100%。而發電總度數來自水力的潔淨能源基本上穩定維持在 40%-45%之間，核能也是另一支柱，1990 年公投後、核能在消極未強制淘汰、也未限制興建的矛盾糾葛中，提供總發電度數漸漸降低，然至 2023 年宣布於 2040 年實現無化石燃料電力後，核能重新納入潔淨能源行列中，但這些轉變後的成果尚未呈現於資料中。至於風力再生能源提供於總發電度數的佔比，至 2015 年之後才突破 10%的比例，太陽光電至 2024 年才佔總發電度數的 2.41%，顯見瑞典對這些再生能源的使用遠不及核能，然保持亦步亦趨的發展。

而台灣的總發電度數整體而言，除仍極端仰賴化石燃料能源外，發電總度數來自化石燃料的比例自 1990 年來逐年增加，主要是來自天然氣增加的比例遠大於煤降低的比例，站在 CO₂ 或 GHG 排放的立場，天然氣在發電產生的 CO₂ 雖然比煤少，但天然氣的主要成分是甲烷，甲烷對全球暖化潛勢 (global warming potential, 以下簡稱 GWP) 的影響是 CO₂ 的數十倍 (SWEEP, 2025)，因此，即便由煤轉改用較多「乾淨的煤」對 CO₂ 的影響是否降低、仍有相當的爭議；另一方面，台灣潔淨能源佔總發電度數的燃料能源比，自 1990 年的 45%逐年降至最新

2023 年約 17%，在早期達到 45% 比例、其中核能則佔了約 35%，而核反應爐在近年逐漸關閉後，來自潔淨能源所提供的發電佔比則顯著的降低，而其他如生質能、廢棄物及各種再生能源的發展有限的情況下，電力的來源自然與瑞典相反，成為「無化石燃料不可」的情況下，各部門的末端消費者不論是轉換至使用更多的電力、或者產業結構朝向使用更多電力的發展，對台灣整體而言、僅是將所有部門推向成為全國燃燒最多化石燃料能源的台電或所有民營電廠的末端消費者。

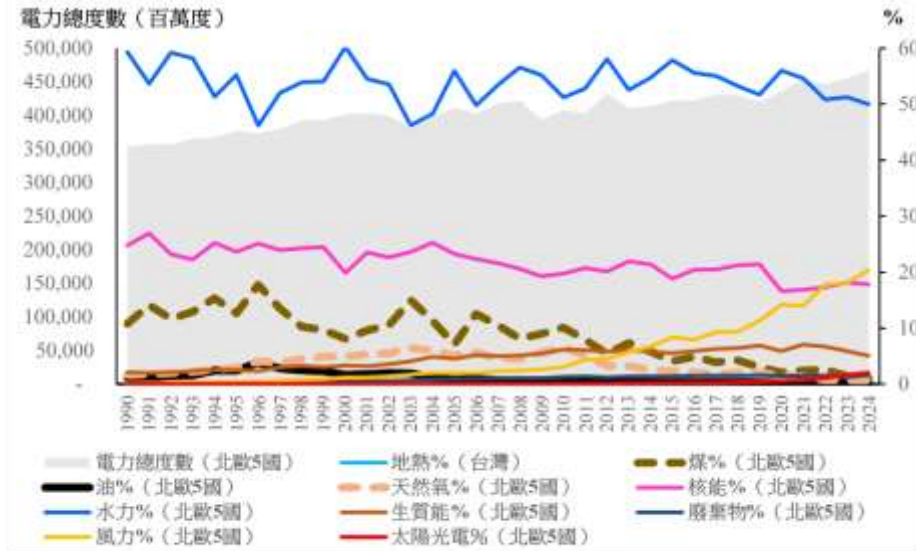
如果擴大觀察瑞典所屬的北歐 5 國各燃料能源在年總發電度數佔比、詳細資料如附表 6，北歐 5 國整體在 1990-2024 年平均，煤、石油與天然氣提供總發電度數分別佔 8.47%、1.10 及 3.42%，合計來自化石燃料的非潔淨燃料能源電力佔比僅為 12.99%、因此，來自潔淨燃料能源合計平均為 87.01%，其中水力平均更高達 53.78%、比瑞典還高，然與瑞典相同，都是非化石燃料的潔淨燃料能源中穩定供電來源，核能整體平均佔 21.68%、沒有瑞典高，這兩項即提供了總電力燃料能源約 75%，因北歐 5 國中有核能的芬蘭和瑞典、而瑞典又因公投而有前述的影響，因此核能提供北歐 5 國於總發電量的佔比至 2015 年之後才呈現出下降的趨勢，此外，水力也至 2000 年之後有明顯的下降，而核能與水力佔比的下降則由風力來彌補。由此可見，自 1990-2024 年、瑞典與北歐 5 國整體提供總發電度數，不僅潔淨燃料能源佔比與非潔淨燃料能源比例的變動趨勢非常雷同，各大類項目下之細項的變動趨勢也相同，顯見瑞典總電力燃料能源的組成與北歐其他國家有相同走勢，北歐 5 國的趨勢可能源自北歐 5 國對發電燃料能源與瑞典相同作法的結果，當然也可能是瑞典 35 年來的平均總發電度數佔北歐 5 國 38%，因此，瑞典發電燃料組合相當程度足以影響北歐 5 國整體發電燃料能源的使用組合，所以圖 8 的瑞典各發電燃料能源佔比的趨勢與圖 9 的北歐 5 國非常近似，化石燃料比例在這段時間均在極低的比例，且有越來越低的趨勢。

又進而再更擴大範圍、觀察提供全世界總發電總度數的燃料能源比之組成，趨勢如圖 10，詳細資料如附表 7，過去 34 年全世界總發電量來自煤、石油及天然氣平均佔 38.61%、6.16% 及 19.70%，其中煤的比例幾乎沒有更動，而石油比例下降、取代的是來自天然氣的增加，至最新的 2023 年已佔了超過五分之一的 22.10%，使全世界發電量來自化石燃料能源佔了 64.47%，此一趨勢與台灣相同、然台灣此一比例尚比全是界高，如此更凸顯、台灣以化石燃料提供作為電力來源

的比例確實相當高、高於瑞典或許在預期中、高於全世界整體則令人意外，如此乃表示台灣以潔淨燃料能源為電力燃料佔比則低於世界整體，潔淨燃料能源中，很多潔淨燃料能源細項平均比例均低於 1%，如暫且不看這些發展尚不成熟或區域性特殊的潔淨燃料能源項目，潔淨燃料能源中最主要的核能及水力，台灣 34 年來核能發電比例比全世界高、而水力比例則低許多，而全世界發電來自水力至最新 2023 年比平均有小幅降低至 14.62%，台灣由原本佔有近 9%更降至 2.49%，而在 2023 年核能於 IEA 資料庫中仍有 6.31%，然台灣目前由核能為發電來源已降至 0，由此可預期，在其他潔淨燃料能源無法於短期內快速補上核能騰出的發電缺口時，化石燃料是可及時發電之燃料來源。

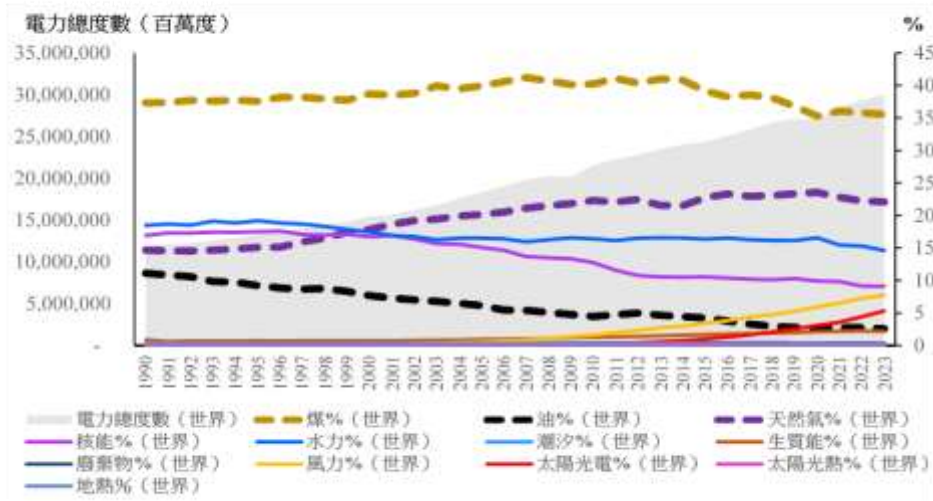
將前述相關結果彙整，比較與對照台灣、瑞典與世界總發電量來自潔淨燃料與非潔淨燃料能源佔比的變動與大小比較，結果呈現如圖 11。由圖中可看出，僅有瑞典是潔淨燃料能源比用於發電的比例比台灣和世界高。而台灣與世界，都是非潔淨燃料能源比例高於潔淨燃料能源，然台灣的非潔淨燃料能源佔比與潔淨燃料能源佔比差距卻遠比世界差距大，如此表示，非潔淨燃料能源佔比過大、就是潔淨燃料能源佔比太小，以過去 34 年的平均而言。非潔淨燃料能源佔比約為潔淨燃料能源佔比的 3 倍，而世界以非潔淨燃料能源發電展比約為潔淨燃料能源的 1.8 倍；而最新資料 2023 年，此一倍數、台灣則提升至 5 倍，世界則降至約 1.5 倍，如此表示台灣不僅未能與世界接軌，發電所用的燃料越趨仰賴非潔淨的化石燃料能源，此不僅表示台灣在減碳工作上反其道而行，對人民健康的影響日趨嚴峻。

前述依序分析台灣與瑞典、或瑞典所屬的北歐 5 國、再擴大至全世界，電力的產生所用的各種燃料能源佔比，進而將所有燃料能源歸類為潔淨燃料能源及非潔淨燃料能源，由這些分析除了可以掌握所關切的國家、區域或是全世界，在鼓勵電氣化或電動化的情況下，是否真能一如預期，電力使用越多、CO₂ 或 GHG 的排放就越少，由前面分析可知，需視產生電力燃料能源之種類。再進一步分析包括發電業部門所有部門 CO₂ 或 GHG 排放量與各部門 TFC 的關係前，先觀察所關切的國家、區域或全世界之 TES 中潔淨 TES 及非潔淨 TES 佔比的多寡，是否與電力的潔淨燃料與非潔淨化石燃料能源比有關，也就是一國 TES 中非潔淨 TES 佔比高，對應的電力是否產生自非潔淨化石燃料能源比例就越高，如以全世界提



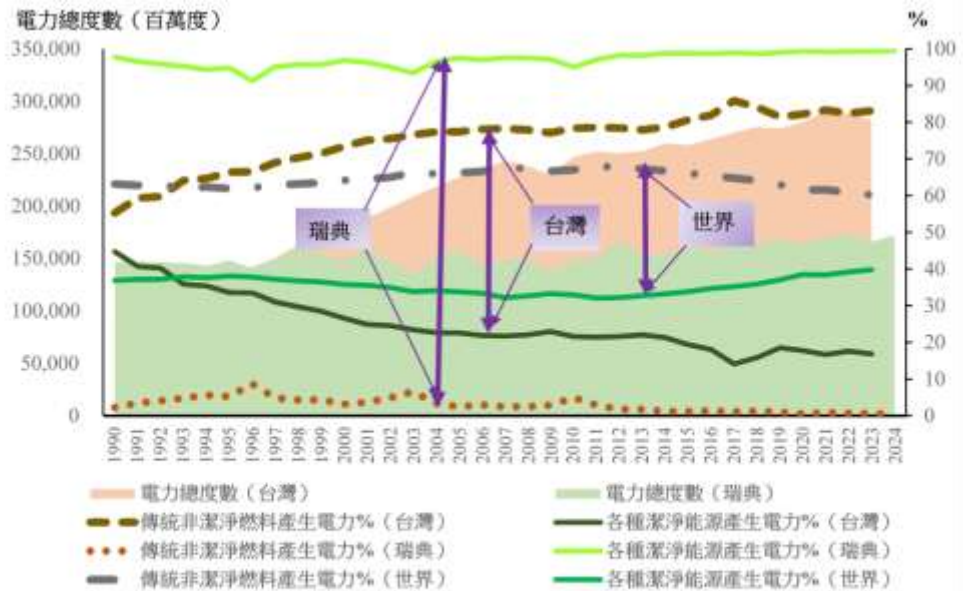
資料來源：本文計算自 IEA (2026f ; 2026g ; 2026h ; 2026i ; 2026j)。

圖 9：北歐 5 國 1990-2024 年各年電力總度數及電力來自各種燃料所產生之度數比例變動



資料來源：本文計算自 IEA (2026i)。

圖 10：世界 1990-2023 年各年電力總度數及電力來自各種燃料所產生之度數比例變動



資料來源：本文計算自 IEA (2026j ; 2026k ; 2026l)。
 註：因為世界每年電力總度數數值太大，如將個別國家台灣與瑞典與世界劃在同一個圖上，個別國家電力總度數將無法呈現，所以圖中沒有世界電力總度數，此處重點是兩大類型燃料產生電力比之對照。

圖 11：台灣、瑞典與世界 1990-2023 年電力總度數來自潔淨燃料及非潔淨燃料比的比較

供電力生產的潔淨燃料能源與非潔淨化石燃料能源佔比為基準，圖 12 分別為北歐 5 國、瑞典與台灣之潔淨與非潔淨 TES 的佔比，每個國家或區域的面積累積為 100%，淺的顏色為潔淨 TES 佔比，深的顏色為非潔淨 TES 佔比，北歐 5 國和瑞典的 TES 中，潔淨 TES 佔比整體而言都比非潔淨 TES 佔比高，且潔淨 TES 佔比處在持續上升的趨勢。而台灣、很明顯的是非潔淨 TES 佔比遠比潔淨 TES 高許多。

對應的、北歐 5 國及瑞典來自潔淨燃料能源所生產的電力佔比就比非潔淨化石燃料能源佔比高，可能是因潔淨能源 TES 比例高，因此電力就有高比例來自潔淨燃料能源，當然也可能鎖定電力的生產需來自潔淨燃料能源，因此才有較高比例的潔淨 TES。畫出電力產自潔淨燃料能源佔比及非潔淨化石燃料佔比的差距，前者高的如北歐 5 國及瑞典，則以綠色呈現在世界為基準的右邊；反之，後者比較大的如台灣，則以紅色呈現在世界為基準的左邊，這是以不同方式呈現台灣在

潔淨及非潔淨 TES 及電力燃料來源比，與瑞典及北歐 5 國甚至世界的比較與對照，以能掌握台灣在相關面向上的表現。除了觀察產生電力的潔淨燃料與非潔淨化石燃料能源佔比，在一國、區域或世界的整體表現外，尚可觀察這些電力在各部門的電力消費比，因為發電廠為了生產電力供各部門使用，燃燒來自煤、石油或天然氣的燃料能源，和工業部門為生產製造產品而使用煤、石油和天然氣沒有不同，因各部門電力的消費即代表各部門間接排放的 CO₂ 或 GHG 量，也應該與各部門直接排放的 CO₂ 或 GHG 合計，如此才能看出各部門直接間接使用的各種 TES 與 CO₂ 與 GHG 排放量之關係。

如果特別觀察台灣與瑞典在 1990-2023 的各部門別的電力消費，由附表 8 可看出，台灣的電力消費量在最新的 2023 年比 1990 年成長約 237%，瑞典幾乎沒有改變，而台灣總電力消費需求最主要的部門是工業部門，平均佔 56.59%，其次為住宅部門及商業及公共服務部門，平均各佔 20.80%及 13.20%；而瑞典電力消費同樣是工業部門，平均佔 41.81%，接續同樣是住宅及商業及公共服務部門，然電力消費佔比均比台灣高，分別為 33.49%及 21.89%，相關結果如圖 13 所示。這些電力使用間接的 CO₂ 及 GHG 排放的來源，此將併入下一小節的分析。在進入各類型能源使用或消費及其與 CO₂ 或 GHG 排放的關係分析之前，比較影響台灣、瑞典和世界的電力排碳係數的差異，因電力生產所產生的 CO₂ 或 GHG 排放量差異、除了使用不同燃料能源別所造成的外，另一原因是相關燃料能源別之電力排碳係數的差別，附表 9 是台灣、瑞典和世界在 1990-2022 年的電力排碳係數值，這些數值是以 2000 年為基準年，如此可讓台灣、瑞典和世界同樣以 2000 年為對照基準、方便比較，相關結果呈現於圖 14，由圖中可見，瑞典的電力排碳係數自 1990 年以來至 2022 年明顯的下降，表示每生產一度電，在瑞典所排放的碳、非常明顯的下降了 36%，而台灣與世界整體差不多，下降幅度約 12%，僅為瑞典的三分之一。作為產生電力的發電業部門，此一係數的大小除反應使用不同類型能源組合（燃料結構）而有不同 CO₂ 的排放量外，發電機組效率與燃料品質等因素同樣也會影響電力排碳係數的大小，顯然台灣所有影響電力排碳係數的相關因素都有待改善之處，特別在既定的發電能源類型組合下，改善發電機組效率與使用更優質的同類型燃料品質，是降低電力排碳係數的可行作法。

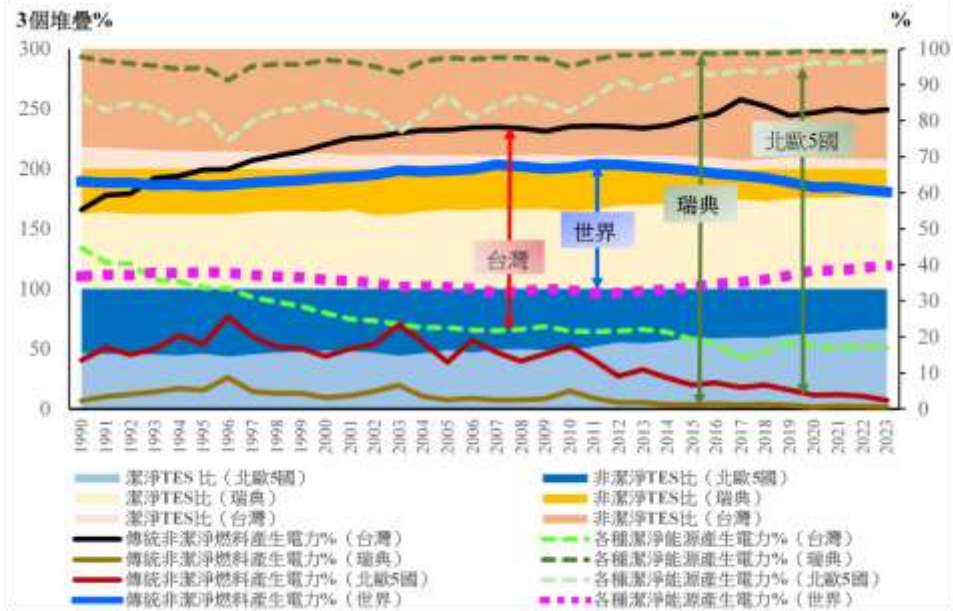


圖 12：台灣、瑞典、北歐 5 國及世界潔淨與非潔淨 TES 比與總電力來自潔淨與非潔淨燃料電力佔比之關係及比較

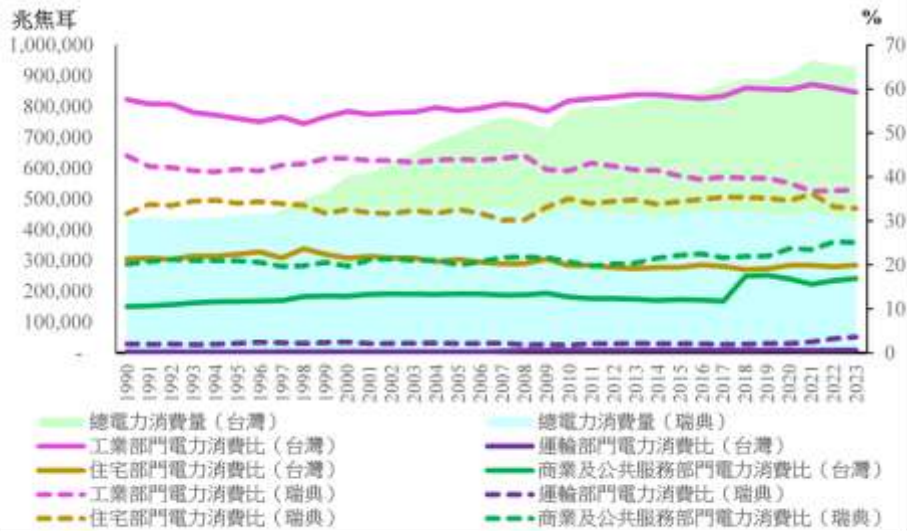


圖 13：台灣與瑞典 1990-2023 總電力消費量及主要部門電力消費佔比

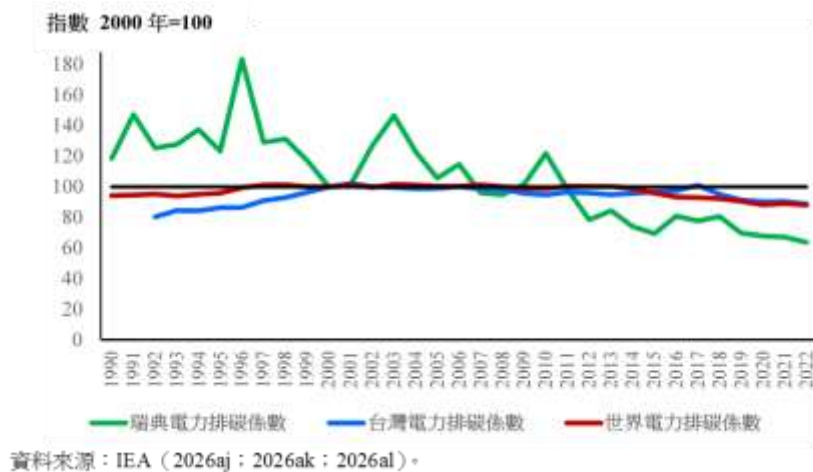


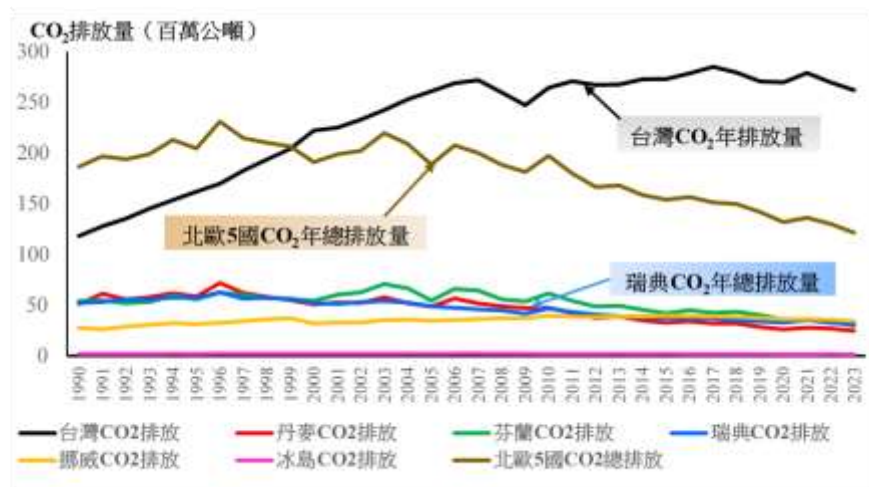
圖 14：台灣、瑞典與世界 1990-2022 年電力排碳係數變動與比較

四、各種 TES 燃料能源組合及 TFC 使用的 CO₂ 排放表現

進而可觀察提供一國、任何相關國家或世界整體所有燃料能源別的 TES，不論用於任何部門與用途及其與 CO₂ 或是 GHG 排放量的關係，此時可選擇 IEA 資料庫中瑞典、台灣、相關國家或世界整體來自各種燃料能源之 TES，因為站在國家的立場，並非各部門提供各自所需的 TES，而是國家政策決定不同 TES 的燃料能源組合，因此，在 IEA 資料中、僅有燃料能源別、而無各部門別的 TES。然如果要分析瞭解各部門別真正使用各種燃料能源的量，則需各部門別直接和間接使用各燃料能源的 TFC，因此，觀察特定部門之 TFC，則可以掌握不同部門別使用各燃料能源產生在 CO₂ 或 GHG 的差異，國家方可依此擬定減緩各部門 CO₂ 或 GHG 排放的相關政策。

瑞典在減緩氣候變遷作為先驅者的角色，在氣候和能源政策上力圖凸顯其「以身作則」的雄心，以實現經濟與環境雙贏，相關作法確實使瑞典在減少排放有顯著的進展，雖然，這種做法曾受到能源密集型產業的擔憂，特別在瑞典核電爭論之時 (Sarasini, 2009)。由圖 15 先觀察台灣、瑞典及北歐 5 國整體自 1990 年至最新 2023 年的 CO₂ 排放總量，台灣自 1990 年來即持續上升，台灣 34 年平均 CO₂ 排放量為 231.73 百萬噸、而瑞典僅有 46.20 百萬噸，總排放量僅為台灣的五

分之一，而如果觀察自 1990 年以來至最新年的 CO₂ 增減變化，台灣增加了約 122%，而瑞典最新 2023 年則是比 1990 年減少約 40%，而整個北歐 5 國也減少約 35%，世界整體則增加約 69%，表示台灣比世界整體增加的比例更多，更不用說與排放量下降的瑞典相比，由此顯見瑞典在減少排放確實以身作則。

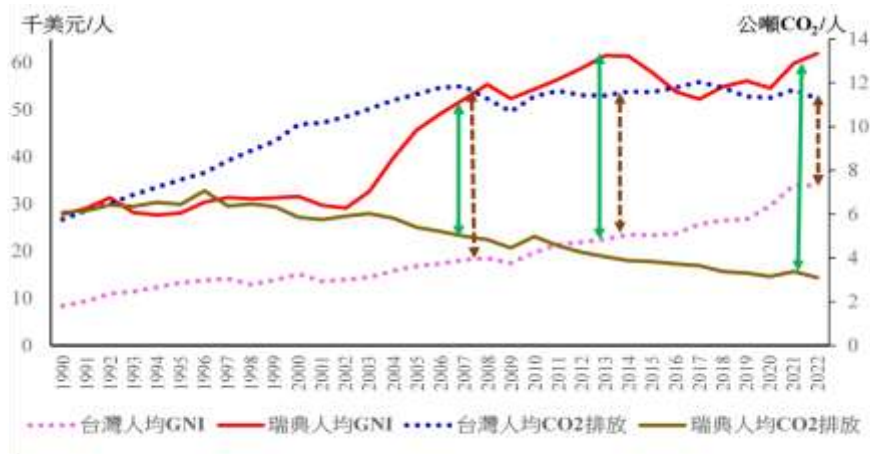


資料來源：IEA (2026t；2026u；2026v；2026w；2026x；2026y)。

圖 15：台灣、瑞典與北歐 5 國整體 1990-2023 年 CO₂ 排放量變動與比較

然各國的 CO₂ 總排放量大小差異極為懸殊，以台灣及瑞典而言，台灣 2023 年的 CO₂ 排放近 2.6 億噸，而瑞典僅有約 3 千萬噸，差了 8-9 倍之多，即便擴大至瑞典所屬的北歐 5 國，最新 2023 年 5 國的總排放量合計約為 1.2 億噸、不到台灣排放量的一半，遑論北歐其他個別國家的 CO₂ 排放量必然更遠低於台灣，如考量排放量多寡除與經濟體大小及人口數有關，因此，可以人均 CO₂ 排放量表示、或許是更適當的指標，一來可納入人口變動的因素，再者可免除總量差異過大導致難以觀察變動趨勢之缺點，台灣、瑞典、北歐其他國家及世界的人均 CO₂ 排放量一樣放在附表 10。由這些人均 CO₂ 排放量可看出，台灣的人均 CO₂ 排放量過去 33 年的平均為每人每年 10.14 噸，不僅遠高於瑞典的 5.08 公噸，更高於北歐任一個國家，也是世界平均 4.08 公噸的兩倍有餘，而自 1990 年至 2023 年，人均 CO₂ 排放量則增加約 95.87%，世界也是增加的、然僅增加 10.7%，而北歐 5 國除

挪威是微幅增加外，其他各國的人均 CO₂ 都是減少，瑞典更減少 49.13%。

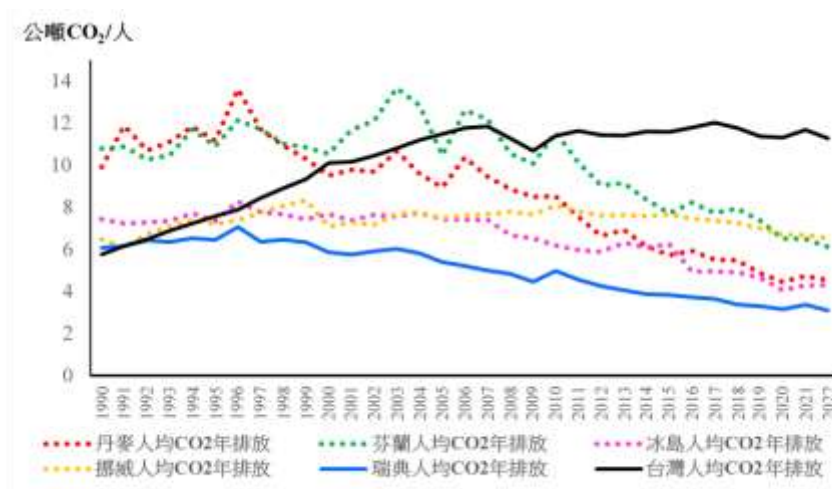


資料來源：中華民國統計資訊網（2026）；IEA（2026ae；2026af）；World Bank（2026b）。

圖 16：台灣與瑞典自 1990-2022 年人均 GNI 與人均 CO₂ 排放脫鉤程度比較

要觀察 CO₂ 排放與經濟發展的關係，代表經濟發展成果常用的指標是國民所得 (gross national income, 以下簡稱 GNI)，然各國經濟規模大小差異很大，因此，數值大小難以比較，常用的指標是 GNI 除以總人口數的人均 GNI。因此，以人均 GNI 及人均 CO₂ 排放量關係，可觀察台灣及瑞典對 CO₂ 排放抑制的相關政策是否會影響經濟發展。圖 16 顯示瑞典的人均 GNI 比台灣高許多，而兩國的人均 GNI 至 2022 年仍維持上升的趨勢；反之，台灣人均 CO₂ 排放量遠高於瑞典，而瑞典的人均 CO₂ 排放量，自 1990 年以來至 2022 年一路下降。台灣在 2007 年以前的人均 CO₂ 排放量為遞增，表示在 2007 年以前、某種程度人均 CO₂ 排放量的增加是人均 GNI 增加的代價之一，而 2007 年之後的人均 CO₂ 排放量則呈現上下波動，沒有明顯的上升或下降趨勢，而此一階段，人均 GNI 仍持續遞增，顯示在此一階段的經濟成長、人均 CO₂ 排放量未必增加，表示二者已有些微的脫鉤，然此種脫鉤現象沒有瑞典來得顯著。而瑞典的人均 GNI 與人均 CO₂ 排放量自 1996 年起，前者即持續增加，後者顯著下降，二者的差距越來越明顯，如圖 16 中的實線箭頭越來越大，虛線箭頭線為台灣人均 CO₂ 排放量與人均 GNI 的差距，人均 CO₂ 排放量下降至一定程度且人均 GNI 上升至一定水準時，二者越過大小交叉點

後，人均 GNI 再持續增加、人均 CO₂ 排放量轉為漸減，台灣則會變成與瑞典自 1996 年以來相似，人均 GNI 的增加不再以人均 CO₂ 排放量的增加為代價，而真正呈現出經濟發展與 CO₂ 排放量確實有脫鉤。圖 16 的詳細資料如附表 11。

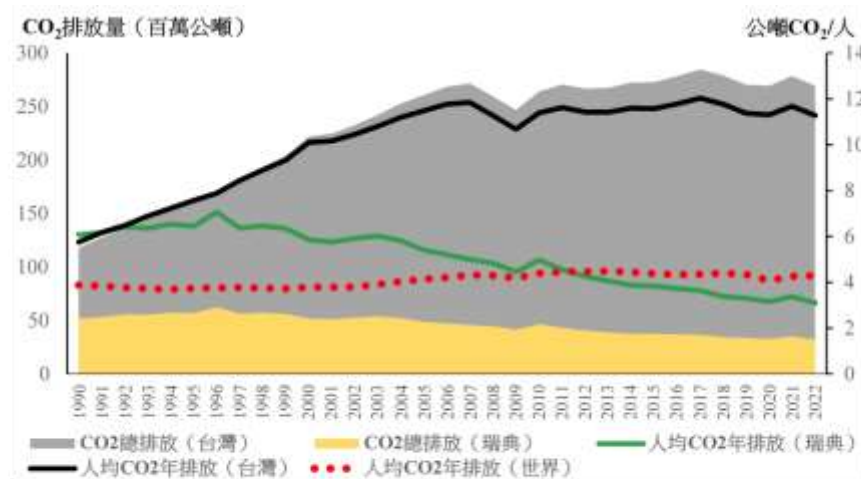


資料來源：本文計算自 IEA (2026aa ; 2026ab ; 2026ac ; 2026ad ; 2026ae ; 2026af)。

圖 17：台灣、瑞典與北歐其他 4 國 1990-2022 人均 CO₂ 排放量之變動

在觀察台灣與瑞典經濟發展所顯現出的人均 GNI 及貢獻於經濟發展各種生產及消費的人均 CO₂ 排放量的關係，兩國的人均 GNI 在觀察期間內均呈現上升的趨勢，而瑞典顯著呈現出人均 GNI 與人均 CO₂ 排放量的脫鉤現象，亦即，經濟發展造成人均 GNI 的增加、人均 CO₂ 排放量反而顯著的下降，此是否為瑞典獨有的表現，抑或與瑞典同為北歐 5 國的其他 4 個國家亦是如此。圖 17 為台灣、瑞典與其他北歐 4 國自 1990 年至資料最新 2022 年的人均 CO₂ 排放量，由圖 17 可看出，丹麥、芬蘭、冰島與挪威等國的人均 CO₂ 排放量與瑞典相同，在這段時間均逐年下降，僅是各國下降的幅度不相同，如此表示，北歐 5 國的人均 CO₂ 排放量與台灣不同，台灣在最新資料年仍未明顯下降，表示台灣的經濟發展依舊以 CO₂ 排放的增加為代價，不論是直接用於製程或是用於電力的生產，也可能是消費過程製造的 CO₂ 排放、比如各類型的運輸工具，圖 17 詳細資料如附表 10。如果擴大範圍觀察全世界整體人均 CO₂ 排放量如圖 18，台灣的人均 CO₂ 排放量不

僅比瑞典高、甚而比全世界整體也高許多，而台灣與全世界整體相同的是人均 CO₂ 排放量尚未顯示下降的趨勢，圖 18 的詳細資料如附表 10。



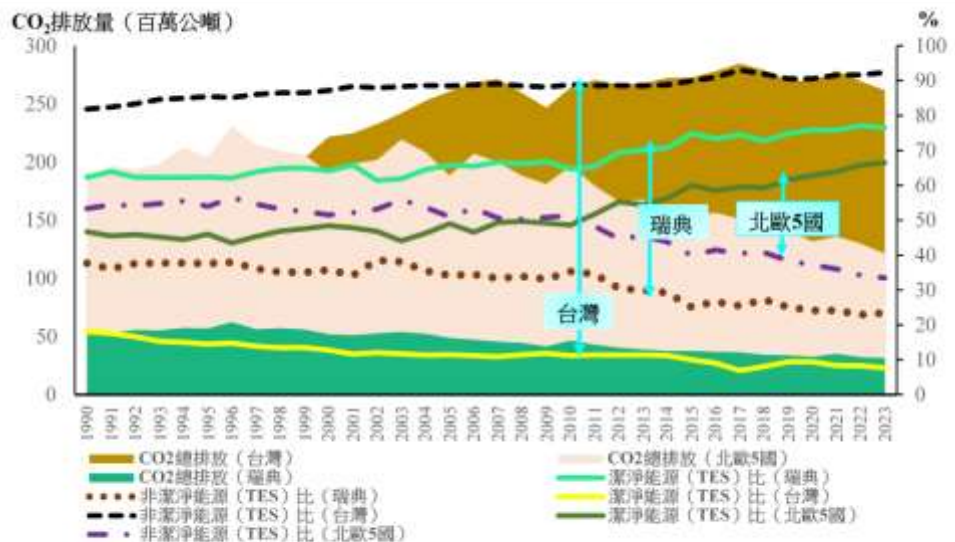
資料來源：IEA (2026x : 2026y ; 2026ac : 2026af : 2026ag)。

註：世界 CO₂ 排放量如畫在圖中，因其數值過大，台灣和瑞典數值則無法顯示。

圖 18：台灣、瑞典與世界 1990-2023 年人均年 CO₂ 排放量與 CO₂ 年總排放量的關係與比較

瞭解台灣、瑞典、北歐 5 國及世界 CO₂ 總排放量與人均 CO₂ 排放量自 1990-2022/2023 年以來的變動，及前後的增減幅度後，進一步分析這些關切國家或區域的 CO₂ 排放總量是否與其 TES 中潔淨能源佔比與非潔淨能源佔比多寡有關，一般預期、關切的國家或區域的 TES 中非潔淨能源佔比越高則 CO₂ 排放量則越多，圖 19 呈現台灣、瑞典及北歐 5 國自 1990 以來、CO₂ 總排放量和潔淨能源佔比和非潔淨能源佔比變動趨勢關係。就 CO₂ 排放量而言，台灣比北歐 5 國整體還高，而造成此一結果主要是台灣的 TES 中來自非潔淨能源比例高於潔淨能源比例；反之，瑞典，因潔淨能源佔比自 1990 年以來即遠高於非潔淨能源比例，因而，CO₂ 排放量自 1990 年起即逐步下降，而北歐 5 國在 2010 年前，都是非潔淨能源佔比稍高於潔淨能源，因此，CO₂ 排放量沒有明顯都是在 2 億噸上下起伏，沒有下降的趨勢，直至 2011 年之後，潔淨能源佔比高於非潔淨能源佔比，此後 CO₂ 排放量才有明顯的下降，降至 2023 年的 1.2 億噸，已遠低於台灣的 2.6 億噸。

前述圖 19 相關資料列於附表 12。



資料來源：本文計算自 IEA (2026m；2026n；2026o；2026p；2026q；2026r；2026t；2026u；2026v；2026w；2026x；2026y)。

圖 19：台灣、瑞典與北歐 5 國 1990-2023 年 TES 中潔淨能源比與非潔淨能源比與對應總 CO₂ 排放量比較

如果進一步比較台灣和瑞典各部門所排放的 CO₂ 佔比，以能依此對不同部門施行 CO₂ 不同減量政策，附表 13 為各部門別 CO₂ 之排放量佔比，IEA 資料庫中部門別的 CO₂ 排放量共分為 9 個部門，分別為發電業、運輸、工業、住宅、商業及公共服務、農業與森林、漁業、其他能源工業及非特定（其他）部門，由附表 13 資料得知，不論是台灣或是瑞典，發電業部門、所有工業（合計工業與其他能源工業）部門與運輸部門都是 CO₂ 排放的主要來源，而其他的 5 個部門之 CO₂ 排放佔比相對小很多，因此，可以先比較台灣與瑞典在發電業、運輸及所有工業部門及合併其他 5 個部門（住宅、商業及公共服務、農業與森林、漁業及非特定其他）CO₂ 排放佔比在 1990-2023 年的差異，結果如圖 20。由圖中可看出，台灣發電業的 CO₂ 排放佔比有顯著的增加，由 1990 年的 35.26%、增加至 2023 年的 62.22%；瑞典則是運輸部門，由 1990 年的 38.13% 增加至 43.75%。而台灣所有工業部門 CO₂ 的排放佔比則微幅下降，其他則無明顯的升降，瑞典所有工業部門由

1990 年的 25.97% 提升至 2023 年的 32.21%。而台灣和瑞典、發電業、所有工業及運輸部門外的其他所有部門 CO₂ 的排放量佔比，台灣變動不大，瑞典則由 20.30% 顯著降至 5.95%，主要是來自住宅部門 CO₂ 排放佔比下降而來，這與瑞典一系列針對 DH 的措施有關。

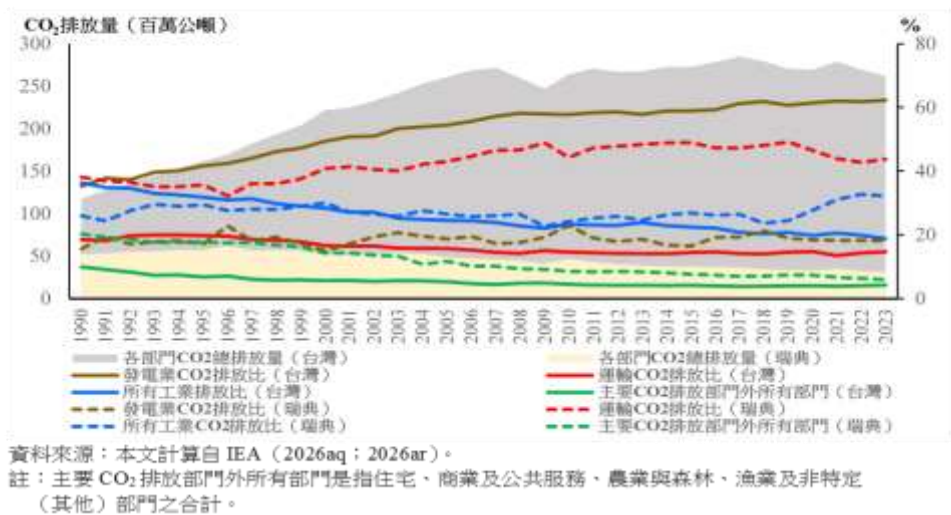
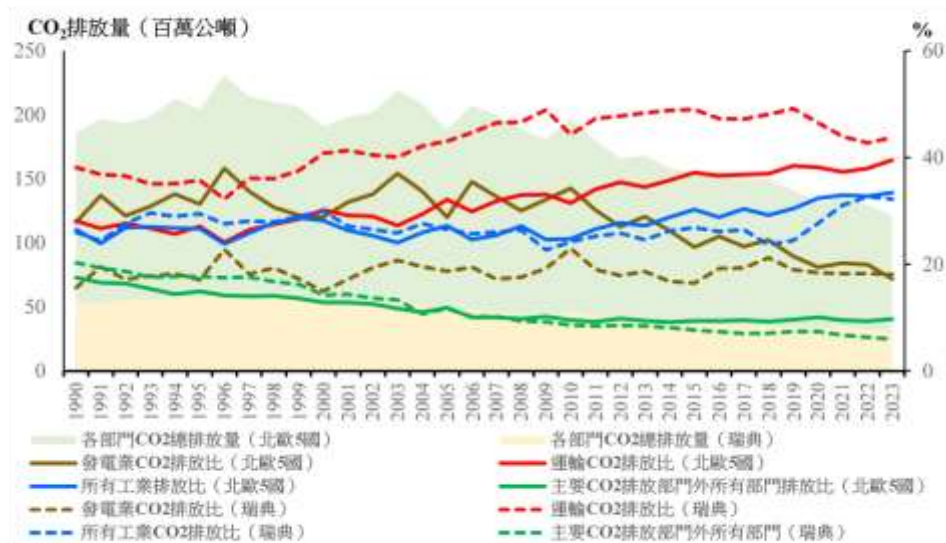


圖 20：台灣與瑞典各部門 1990-2023 年 CO₂ 總排放量及主要部門排放量佔總排放量比之變動

而北歐 5 國整體 CO₂ 最主要排放的部門與瑞典情況相似，北歐 5 國整體排放最多的也是運輸部門，由 1990 年的 28.15% 提升至 39.53%、比平均佔比 31.87% 還高，而運輸部門在 1990-2023 年都是 9 個部門中 CO₂ 排放比最高的部門，其次是發電業部門，由 1990 年的 27.85% 降至 17.27%，此基本上反應其中主要國家除瑞典發電業使用更多潔淨無化石燃料的結果外，其他 4 個北歐國家的發電業對燃料的使用也有相同趨勢，另一則是所有工業部門，排放由 1990 年的 26.53% 增加至 33.45%。北歐 5 國的 9 個部門歷年 CO₂ 排放佔比列於附表 14。觀察瑞典與北歐 5 國整體主要 CO₂ 排放部門佔比在 1990-2023 年間的變動趨勢如圖 21，運輸、發電業、所有工業及合併其他所有 5 個部門的 CO₂ 排放部門，自 1990 年至今變動趨勢相似，運輸部門 CO₂ 排放佔比增加最顯著，其次為所有工業部門，而發電業

部門則下降，這部分與台灣的趨勢正好相反，顯見，北歐整體致力於潔淨燃料能源於發電的選擇而有利於 CO₂ 排放量的降低。同樣在附表 14 的世界整體而言，主要排放 CO₂ 的部門，也是集中在發電業部門、所有工業部門及運輸部門，平均佔比為 40.80%、23.20%及 23.72%，即便世界整體，發電業的 CO₂ 排放佔比，也不至於高到如台灣過去 34 年平均的 52.8%，且仍持續上升，事實上自 2003 年發電業的 CO₂ 排放量就比過去 34 年的平均高，顯見、發電業 CO₂ 的排放量在過去 20 年不僅佔所有部門 CO₂ 排放比最高，過去 20 年的排放量也是有增無減。而台灣所有工業及運輸兩個部門的 CO₂ 排放量分別佔比 25.77%及 16.08%，三大部門就佔了全部 CO₂ 排放量的 94.62%之多，世界整體亦不遑多讓，合計佔了 87.72% 的 CO₂ 排放量。



資料來源：本文計算自 IEA（2026am；2026an；2026ao；2026ap；2026aq）。

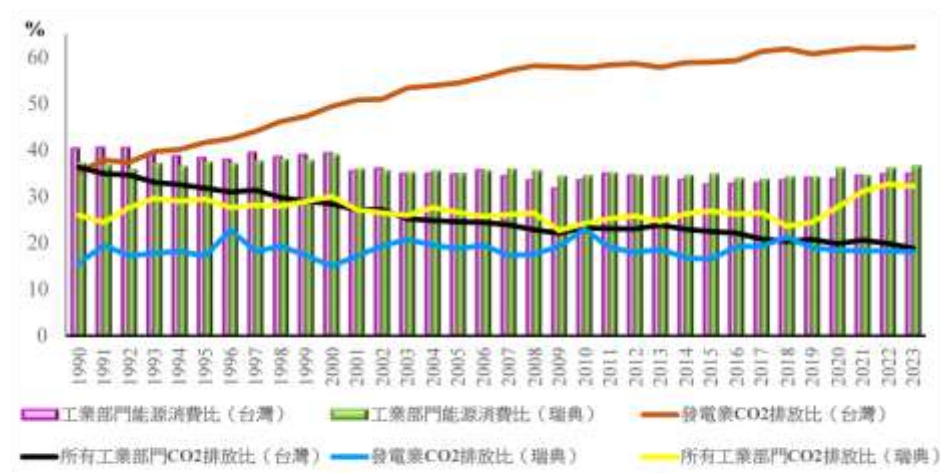
圖 21：瑞典與北歐 5 國各部門 1990-2023 年 CO₂ 總排放量及主要部門排放量佔總排放量比之變動

最後，觀察台灣與瑞典各部門 CO₂ 排放佔比與歷年 TFC 的關係，前面已掌握各部門歷年 CO₂ 排放佔比，要觀察其與各部門能源消費量的關係，由於這是各部門能源消費後的表現，因此以各部門的能源 TFC，IEA 資料中有共分成 8 個部

門別的能源 TFC，分別為工業、運輸、住宅、商業及公共服務、農業與森林、漁業、非能源使用及非特定（其他）部門，附表 15 列出 1990-2023 台灣與瑞典工業、運輸、住宅與商業及公共服務 4 大部門的能源 TFC，這 4 個主要能源消費部門在台灣於 1990-2023 年佔了總能源 TFC 介於 65%-80%，34 年的平均為 70.9%、而最新 2023 年則稍高於平均為 71.0%；瑞典，同樣此 4 個部門的能源 TFC 合計佔了 90%以上，平均為 91.7%，表示能源 TFC 在瑞典的消費比台灣更集中於這 4 個部門。而由這 4 個部門的能源 TFC 所產生的 CO₂ 排放量，不論是台灣或瑞典，均高達 97%。檢視 4 個主要能源 TFC 部門及其所排放的總 CO₂ 排放佔比顯示，台灣工業部門的能源 TFC（發電業涵蓋在能源 TFC 的工業部門中）平均佔 35.7%，最新 2023 年為 34.8%，而所有工業與發電業兩個部門的 CO₂ 排放量平均則高達 78.6%，最新 2023 年更高達 81.0%，顯見工業、運輸、住宅與商業及公共服務 4 大部門 CO₂ 的排放量，主要集中於所有工業部門與發電業兩大部門。

由於能源消費 TFC 中的工業部門是涵蓋發電業部門及其他所有工業部門的能源消費，而 CO₂ 的排放記錄則將發電業部門的 CO₂ 排放量和其他所有工業部門的 CO₂ 排放量分開記錄，因此，結合此二資料，可以得知能源消費 TFC 多寡及對應 CO₂ 排放來自發電業部門及其他所有工業部門的佔比及變動，依此可以看出通常佔有一國佔有最大能源消費 TFC 的工業部門，CO₂ 排放量主要是來自發電業或是各式工業製造業部門能源消費的 TFC 所產生，由也可以得知，在 CO₂ 排放的管理上，TFC 用於發電業或是其他各式工業生產是要關注的焦點。圖 22 為台灣與瑞典 1990-2023 年工業部門的 TFC，及對應的發電業部門與其他所有工業部門 CO₂ 排放佔比的變動趨勢。由圖可看出，台灣和瑞典的工業部門的 TFC 佔比，34 年來變動幅度不大，台灣和瑞典的工業部門之 TFC 佔比維持 35%；然其中台灣的發電業之 CO₂ 排放佔比由 35%約翻倍提升至 62%，而其他有工業部門則由 36%約減半至 19%，反之，瑞典的發電業僅由 16%微幅提升至 18%，其他所有工業部門則由 26%提升至 32%，表示在 1990-2023 年間，涵蓋發電業在內的所有工業部門使用的能源，發電業的 CO₂ 排放在瑞典控制相對得宜。反之，在台灣，所以其他工業部門的 CO₂ 排放佔比，即便顯著降低、然所降低的比例則是移轉至發電業，此乃因產業移轉至用電相對高的工業部門所致。此外，氣候變遷對發電業影響相對大，因為發電業對生產條件的變化十分敏感，因此對電力、供暖和製

冷需求的變化反應敏銳 (Strandberg, et al., 2024)。如此表示，如何選擇發電業所用的燃料能源類型在台灣相對重要。台灣工業部門的 TFC 造成的發電業 CO₂ 排放比大增的現象、與發電業燃料能源來源已幾近 100%無化石燃料電力的瑞典有如此落差，或許不足為奇，而如果對比全世界、台灣是否也有相同現象。



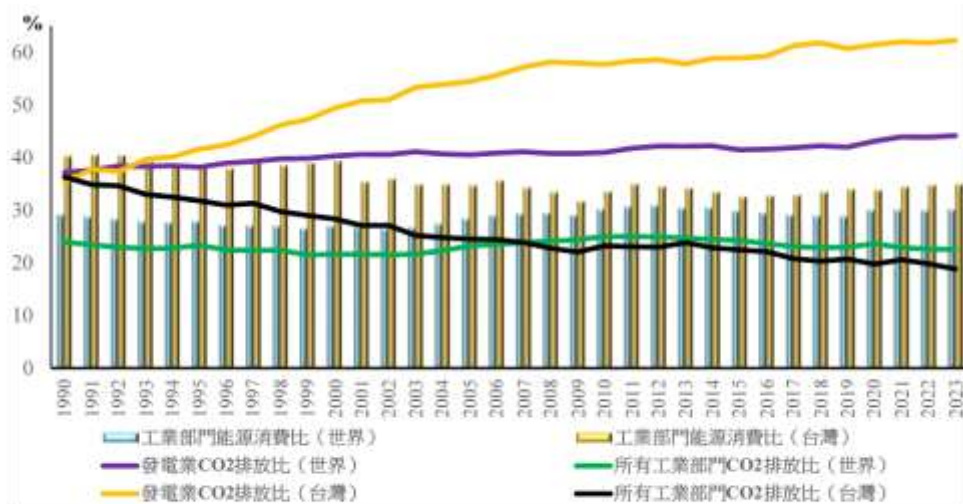
資料來源：本文計算自 IEA (2026aq ; 2026ar ; 2026ay ; 2026az)。

註：因 IEA 資料的 TFC 中的工業部門是包括工業部門及發電業部門合計的能源消費；而所有工業部門 CO₂ 排放比是包括工業部門和其他能源工業部門的所有 CO₂ 排放。

圖 22：台灣與瑞典工業部門能源消費比與其中發電業與所有工業部門 CO₂ 排放比

圖 23 為台灣與全世界 1990-2023 年工業部門的 TFC，及對應的發電業部門與其他所有工業部門 CO₂ 排放佔比的變動與比較，由圖 23 的資料在附表 15 及附表 16 可看出，台灣工業部門(發電業和其他所有工業)使用的 TFC 佔比為 36%、遠高於世界佔比的 29%，而這些能源的使用所產生的 CO₂ 排放佔比，台灣的發電業則佔了總 CO₂ 排放的 62%、而其他所有工業則為 19%，表示台灣發電業和其他所有工業用了 36%的 TFC，產生高達 81%的 CO₂ 排放比，而其中發電業的 CO₂ 排放佔比更是其他所有工業的 3 倍有餘；反之，世界整體發電業的則佔了總 CO₂ 排放的 41%、而其他所有工業則佔了 23%，二者 CO₂ 排放佔比合計為 64%、低於台灣的 81%。造成此一結果的原因則可以再檢視一次台灣發電業所用的燃料類

型，台灣自 1990 年至最新的 2023 年使用各式非潔淨化石燃料佔比平均為 75%，而最新年則更提升至 83%，表示電力來自化石燃料的使用是漸增的（附表 4），而同樣在 1990-2023 年、世界整體使用非潔淨化石燃料類於發電上佔比平均為 65%，最新年降為 60%（附表 7），因此更不用說瑞典 1990-2024 年提供電力來自各式非潔淨化石燃料能源佔比僅為 3%，而最新 2024 年總發電度數更僅有 0.5%來自化石燃料（附表 5），已非常接近 2023 年設定預計於 2040 年達 100%無化石燃料電力之目標。



資料來源：本文計算自 IEA (2026ar ; 2026as ; 2026az ; 2026ba)。

註：因 IEA 資料中的能源消費中的工業部門是包括工業部門及發電業部門合計的能源消費；而所有工業部門 CO₂ 排放比是包括工業部門和其他能源工業部門的所有 CO₂ 排放。

圖 23：台灣與世界工業部門能源消費比與其中發電業生產與所有工業部門 CO₂ 排放比

五、瑞典、台灣與世界各種能源效率與能源消費耗損率的比較

IEA 認定能源效率的技術性提升是實現清潔能源轉型的脫碳、保障能源安全及實現經濟成長的「第一燃料」(first fuel)，在轉型過程中需加強並推廣能源效率的提升，以更少的能源獲得相同的成果；而能源密集度 (energy intensity) 則是指一個國家或經濟體整體每單位的產出所投入的能源 (IEA, 2024b)。而觀察

能源效率的指標有多個層面，可由直接最容易觀察的一國整體產出的 GDP 所使用的能源總量 (TES)，亦即以 TES/GDP 為指標，此一指標比較貼近能源密集度，此一指標數值越低表示一國 GDP 的產出對能源的依賴度越低，當然，此一指標變低、未必表示技術效率的提升，也可能是產業結構的改變，比如由工業製造業轉變至服務業。因此，如搭配各產業別的效率指標觀察，可進一步掌握來自各產業技術效率的變動，然台灣這部分的資料在 IEA 的資料庫終於 2022 年版才納入 (IEA, 2022a)，因此，難以如前述相關資料，與瑞典或世界併行比較歷年來的變動。此外，此一指標因涉及各產業，而台灣與瑞典的產業差異極大，如要逐年比較，需要深入剖析兩國產業的變動、遑論如要對照世界的產業，如此才能深入不同國家或區域各產業結構的改變與對應的能源效率變動，這些關係相對複雜，必須另文探討。

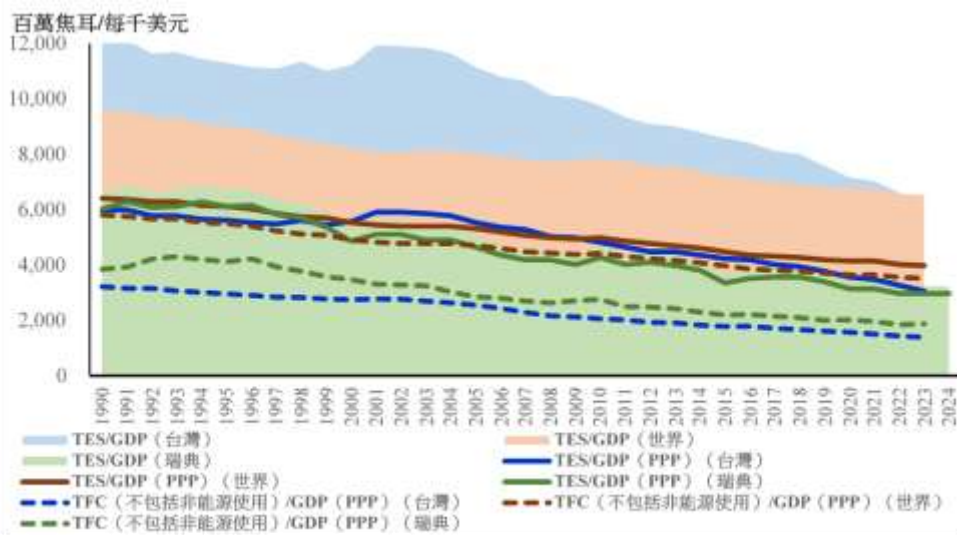
因此，當前首先以資料最可得、結果最直覺的 TES/GDP 能源密集度指標作為能源效率的代表之一，此一指標適合做為跨國與跨時間的比較，此一指標除了是許多國家定義的能源密集度外，聯合國永續發展目標 7.3 (sustainable development goal, 以下簡稱 SDG 7.3) 也是使用此一指標，因此此一指標所反應的是一國為了產出 1 單位的 GDP 所耗費的總能源，也就是包括煉油及各種傳輸管道的漏失，所以使用 TES 比較恰當，因此是國際公認的標準代理能源效率指標 (proxy indicator) (IEA, 2024b)，後續為區別各種不同能源效率指標的不同，則稱此為「能源供給密集度 (TES/GDP)」，然而此一指標的缺點是無法反應各國產業結構差異 (如工業與服務業差異)、緯度高低與國家面積大小所需的住宅設施與交通運具對能源需求的差異、及匯率與購買力對 GDP 影響造成的差異，由於此一指標受產業結構與能源組合影響，因此指標數值的變動、未必是受純技術層面能源效率的影響。如將 GDP 以購買力 (purchasing power parity, 以下簡稱 PPP) 平減，修正為 TES/GDP (PPP)、則可消除不同國家匯率及購買力的影響，以能在相同基礎上比較 (IEA, 2014; Patterson, 1996)，因此，TES/GDP (PPP) 為第二個要觀察的能源效率指標，後續稱為「平減能源供給密集度 (TES/GDP/(PPP))」指標。

由圖 24 可看出，台灣在 1990 年代的為生產每千美元 GDP (也就是 TES/GDP)，比瑞典消耗的能源多，甚至比世界整體都還高，可能源自台灣勞力

密集的傳統產業轉向資本密集，加上石化與鋼鐵等能源密集產業的擴張，而資訊電子與半導體產業崛起，這些使得 1990 年代整體對能源需求顯著成長；然不論對台灣、瑞典或世界，以 TES/GDP 表示的能源效率指標由 1990 年至今基本上是逐年下降，表示以「能源供給密集度」顯示的能源效率都逐漸變好。而如果將能源密集度中的 GDP 以特定年的物價指數平減成為「平減能源供給密集度 (TES/GDP (PPP))」，此一指標在台灣降低非常明顯，在 2000 年前甚至比瑞典還低、也比世界低，表示在 1990-2000 這段時間、能源的使用在台灣創造出來的 GDP 效率相對的高，2010 年後至今、TES/GDP (PPP) 仍優於世界整體，然已落後瑞典。圖 24 的詳細資料如附表 17。

進而、如要觀察能源在各部門終端消費的效率表現，則可以進一步以 TFC/GDP (PPP) 觀察能源效率，然 TFC 因為包括非能源使用部分，比如石化工業原料、油漆、瀝青等民生工業用品等等，這些能源消費並非為了動力或熱力的生產，而是作為產品原料，由於要觀察的是衡量能源轉化效率與技術水準，因此非能源使用項目則需由 TFC 中刪除。當然如果考量所有能源終將進入最終消費，在生命週期的觀點，又關切的是國家經濟對燃料與原料的總體需求，TFC 中可以包括非能源使用項目。因此，以下分別計算 TFC(不包括非能源使用)/GDP(PPP) 及 TFC(包括非能源使用)/GDP(PPP) 兩種指標，分別稱之為「能源消費密集度 (TFC(不包括非能源使用)/GDP(PPP))」及「總能源消費密集度 (TFC(包括非能源使用)/GDP(PPP))」²⁵。

²⁵ 能源消費密集度」及「總能源消費密集度」都是用 GDP (PPP) 平減過，但不稱為「平減能源消費密集度」及「平減總能源消費密集度」，是避免名詞過於壘贅，因最原始能源密集度是能源供給除以 GDP，另將能源密集度除以平減過的 GDP (PPP)，為區別二者的差別，才稱為「平減能源供給密集度」，而與能源消費面相關的指標，無此問題，因此省略平減二字，要與能源供給密集度比較對照的能源消費密集度，必然都是以 GDP (PPP) 平減過的能源消費或總能源消費密集度指標。

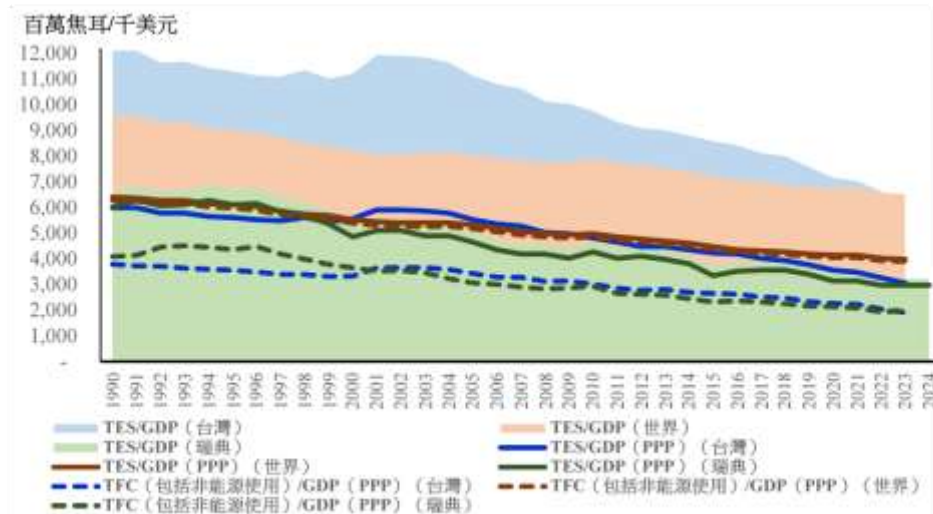


資料來源：本文計算自 IEA (2026q; 2026r; 2026s; 2026ay; 2026az; 2026ba; 2026ba; 2026bc; 2026bd)。

圖 24：台灣、瑞典與世界 1990-2023 年能源供給密集度、平減能源供給密集度及能源消費密集度比較

圖 25 是台灣、瑞典及世界自 1990-2023 年 TES/GDP、TES/GDP (PPP) 與 TFC (不包括非能源使用)/GDP (PPP) 三種廣義的能源效率指標的變動與比較，而 TFC (不包括非能源使用)/GDP (PPP) 將非能源使用項目由 TFC 中刪除，因這一部分台灣的數值很大，佔整個 TFC 的比例約 25.30%，表示台灣進口的能源總量有四分之一是作為石化業等等原料用，此與瑞典極不相同，瑞典的最終能源消費中僅有 0.3% 不是供動力與熱力消費的非能源使用 (附表 15 的註 a)。因此，TFC 中僅涵蓋作為動力與熱力的生產的能源，可以貼近衡量能源技術性效率的升降。而圖 24 中的 TFC (不包括非能源使用)/GDP (PPP) 是產生每單位實質產出、各種能源在末端使用上的效率，這些是扣除 TFC 中石化業的非能源使用總量，也就是佔了約四分之一左右的 TFC 由 IEA 的 TFC 資料中扣除，TFC (不包括非能源使用)/GDP (PPP) 則是反應各種能源的燃燒與用電消費的效率，台灣表現優於瑞典與世界整體。然如果將 TFC 中的非能源使用加入，表示瑞典雖然給人高能源效率的印象，但因為其國內物價極高，導致其每一單位的能源投入所換取的實質 GDP (PPP) 其實並沒有想像中的多，此一結果如圖 25 所示，圖中

台灣、瑞典與世界的 TFC (包括非能源使用)/GDP (PPP) 各年數值如附表 17。



資料來源：本文計算自 IEA (2026q ; 2026r ; 2026s ; 2026ay, 2026az, 2026ba; 2026bb ; 2026bc ; 2026bd)。

圖 25：台灣、瑞典與世界 1990-2023 年能源供給密集度、平減能源供給密集度及總能源消費密集度比較

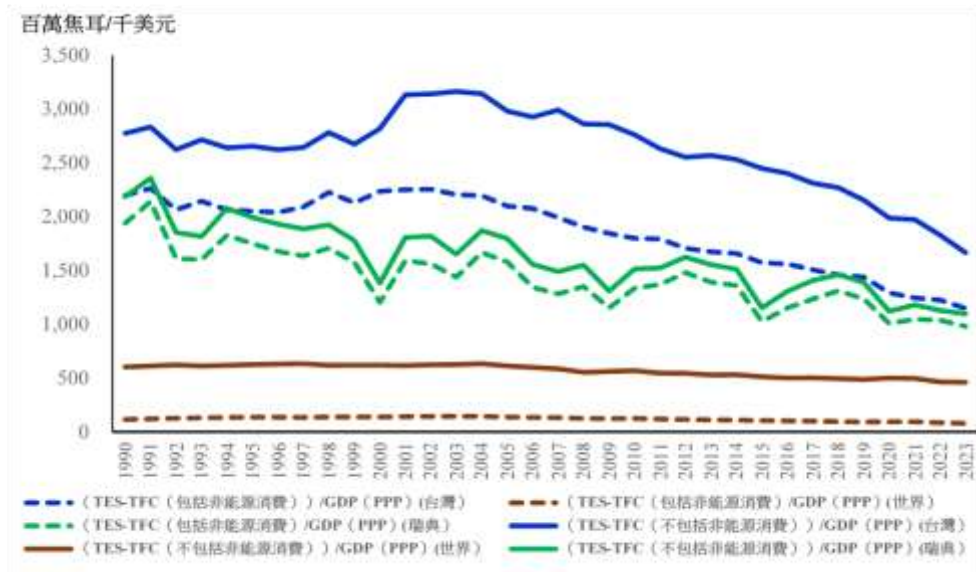
最後，衡量一個國家為了支撐其經濟產出，在能源供應體系內部所消費或損失的能源總量，損失包括發電廠轉換損失 (transformation losses)、能源產業自用 (energy industry own use) 及電網傳輸與分配損失 (transmission and distribution losses)，因 IEA 資料中包括非能源使用項目，因此，要扣除這些非供動力及熱力消費的非能源使用項目，使 TFC 中僅保留真正用於動力及熱力生產用的能源，於是「能源消費耗損」為「平減能源供給密集度」(TES/GDP (PPP)) 與「能源消費密集度」(TFC (不包括非能源使用)/GDP (PPP)) 的差所構成 (Ang, 2006)。相對的、也可計算 IEA 之 TFC 中所包括的所有項目、計算「總能源消費耗損」，此一指標是「平減能源供給密集度」(TES/GDP (PPP)) 與「總能源消費密集度」(TFC (包括非能源使用)/GDP (PPP)) 的差所構成，比較這二個能源部門密集度，可以得知若未將非能源使用由 TFC 中刪除，對能源部門密集度指標造成的潛在偏誤。又以「總能源消費耗損」主要是觀察國家整體產業對初級能源的依賴度；而透過「能源消費耗損」(扣除非能源使用的能源) 重點是聚焦於電力與熱力

系統的轉換效率；此一做法符合 IEA 能源平衡表之核心邏輯，主要是掌握 GDP 成長背後，能源部門自身所產生系統性負擔的大小 (IEA, 2025)。

由圖 26 可看出，台灣、瑞典與世界的 TFC 不包括或包括非能源使用，可分別算出的「能源消費耗損」及「總能源消費耗損」，發現台灣「能源消費耗損」比瑞典高，表示台灣為了維持產生每年的實質 GDP 產出、能源系統本身消費掉的能源數量比瑞典高，這是因為台灣高度依賴火力發電，石化加工自用，又提供產業所需的電，能源部門本身耗損的能源量比瑞典高，瑞典相對低是因為瑞典是以水力及核能發電為主，所以能源部門耗損極低。如果再回顧台灣的「平減能源供給密集度」指標 (圖 24) (TES/GDP (PPP)) 幾乎與瑞典差不多，表示投入的能源資源效率與瑞典差異不大，而最後產出的「能源消費密集度」指標 (TFC (不包括非能源使用)/GDP (PPP)) 效率也優於瑞典，表示末端的能源使用也是相對有效率，然最後結果「能源消費耗損」卻是比瑞典高，如此顯示台灣的能源由 TES 轉換至專供末端動力與熱力的轉換效率仍有相當改善的空間。而如果 TFC 包括所有非能源使用項目，而台灣最終的「總能源消費密集度」(TFC (包括非能源使用)/GDP (PPP)) 在 1990-2000 期間也都比瑞典為佳，台灣的「總能源消費耗損」自 1990 年起雖緩慢下降，然至今仍比瑞典高。由此可見，一般認為台灣能源效率差是因為石化業太發達，然即便不包括石化原料及相關產業在內的能源消費，「能源消費耗損」依舊高於瑞典，表示可改善能源供給的結構性以降低能源消費耗損。

因此，如果 TFC 中包括非能源使用項目、如石化原料等等，誤將此認為是能源由投入至末端使用的能源損耗，損耗率因此變低，這是誤將能源轉換的技術效率與產業對整體產業的依賴度混為一談，合理的能源消費損耗率應該是 TFC 中僅包括純做為各部門動力與熱力所需的能源消費。至於世界整體，單獨觀察「能源供給密集度 (TES/GDP)」(圖 24)、「平減能源供給密集度 (TES/GDP (PPP))」(圖 24)、「能源消費密集度 (TFC (不包括非能源使用)/GDP (PPP))」(圖 24) 或「總能源消費密集度 (TFC (包括非能源使用)/GDP (PPP))」(圖 25) 等指標，與個別國家比較時，可以發現世界的「能源消費耗損」與「總能源消費耗損」(圖 26)，不論是能源消費或是總能源消費都比任一國家低，此與個別國家的數值差異極大。這是因為在全球的大尺度下、能源的供給與末端各部門的消費理論

上應該是一樣，個別國家因為各種密集度指標高低表現各不相同，而世界則是各國高低的平均，因此比個別國家高低差異顯著。

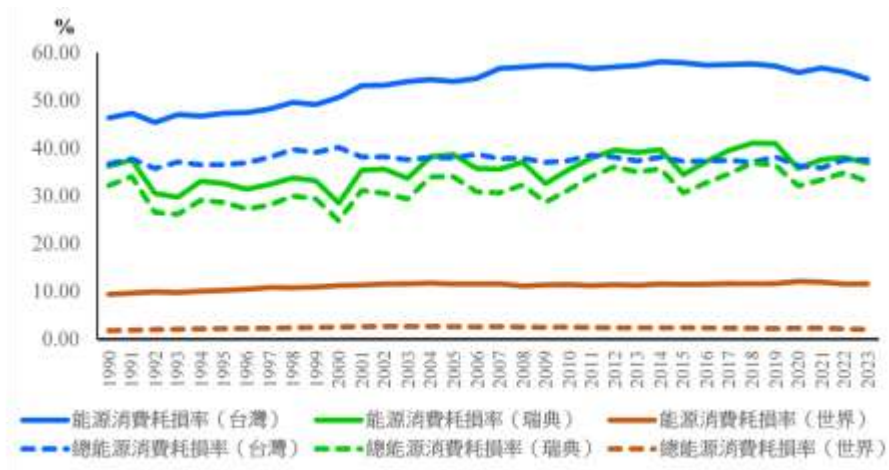


資料來源：本文計算自 IEA (2026q ; 2026r ; 2026s ; 2026ay ; 2026az ; 2026ba ; 2026bb ; 2026bc ; 2026bd)。

圖 26：台灣、瑞典與世界 1990-2023 能源消費耗損與總能源消費耗損比較

「能源消費耗損」及「總能源消費耗損」是以絕對值表示，或許難以感受個別國家或世界能源消費耗損的嚴重性，因而如以耗損率表示，也就是計算各國或世界能源消費耗損與總能源消費耗損佔平減能源供給密集度的比例，結果如附表 18，台灣 34 年平均能源消費耗損率為 53.42%，而最新 2023 年尚比平均能源消費耗損率還高，表示供電力與熱力使用的能源消費耗損率持續上升，而瑞典同期平均為 35.73%，世界在各國高低不同情況下則平均為 11.13%。造成台灣和瑞典能源消費耗損率的原因各不相同，台灣主要是能源中有大量的化石燃料，而燃燒化石燃料產生動力必然伴隨大量廢熱的熱損失；而瑞典則是電力遠距離多方傳輸至鄰近國家的線損。然如果將做為原料或產品的非能源使用項目合併在總能源消費中，依此同樣可以計算總能源消費耗損率，台灣、瑞典和世界各年對應的耗損率均降低，因此美化了能源耗損率，台灣各種非供電力或熱力使用的非能源使用、比例高達總能源消費 TFC 約四分之一，瑞典則僅有 3%，因此，納入非能源使用

項目，對台灣而言，總能源消費耗損率比能源消費耗損率降低達 16% 之多，瑞典則僅有 4% 左右的變動。然如果要觀察一單位能源投入作為電力與熱力的最終消費所產生損失，則這些非能源使用項目則不能納入能源消費中。由此可見，台灣作為電力與熱力消費的能源耗損率相當高，表示每單位能源投入動力生產、有一半以上是耗損而無法轉成最終動力或熱力使用。圖 27 則是台灣、瑞典與世界由 1990-2023 能源消費或總能源消費耗損率的變動與比較。



資料來源：本文計算自 IEA (2026q ; 2026r ; 2026s ; 2026ba; 2026bb; 2026bc; 2026bd ; 2026be ; 2026bf)。

圖 27：台灣、瑞典及世界 1990-2023 能源消費耗損率及總能源消費耗損率

肆、結語：瑞典能源政策對台灣的啟示

由 IEA 掌握的資料得知，2024 年全球電力需求強勁成長，主要得益於電氣化的推展，2024 年電力消費量年增 4.3%、高於 2023 年的 2.5%，並持續維持 3.9% 的成長，而預估 2025-2027 年新增電力需求將全部來自低排放技術所提供，而這段時間對電力需求的增加、主要是發展中經濟體，至於已開發經濟體、整體而言在 2021 至 2024 年期間基本上沒有改變，然 IEA 預估已開發經濟體如美國及 EU 等，電力需求自 2027 年將再次隨著經濟成長而上升，這與過去 15 年的趨勢相反，主要是由於電動車、空調、資料中心和熱泵等設備的用電量不斷成長與擴張所致 (IEA, 2026bj)。由此可見，瑞典早在 2015 年即已預估電力需求拉力的存在，因

而宣示成為全世界第一個「無化石瑞典」(FFS)的福利國家，進而於 2023 年更具體宣示至 2040 年，將「100%再生能源電力」修正為「100%無化石燃料電力」的務實方向，而成為 2045 年達淨零的能源政策重大轉向，距 2040 年尚有 15 年時間，最新 2024 年來自無化石燃料電力已達 99.52% (IEA, 2026)。

瑞典的能源自始即善用原有的水力資源及木材各種殘餘物的生質能與廢棄物，這些是用於寒冷氣候所需的住宅區域供暖及 CO₂ 排放大宗的陸上交通運輸工具；風力及太陽光電等再生能源的發展是 2015 年後才陸續出現，再生能源發展遇到民眾抗爭的阻力超乎原本預期，發展不到 10 年時間隨即很務實的由原本預計電力要 100% 來自再生能源，轉向 100% 來自無化石燃料，這是擴大提供電力的燃料能源來源與種類；由於此一轉變、使得原本在 1980 年因公投即將遭淘汰的核能又重新回到提供電力燃料能源的行列。鎖定電力燃料來源要達無化石燃料目標，主要是電力在所有能源最終總消費 (TFC) 來源中佔了近三分之一，且電力是提供其他所有非發電業者使用的間接燃料，而其他數量龐大的非發電業者 (主要是工業部門之中的各產業) 所需燃料能源別，則依產業發展選擇各自所需的燃料。然電力的提供不論是發電、輸電或配電的國營民營公司家數有限，站在管理的角度，管理家數有限的各型態電力提供者、遠比管理數量龐大的大小型工業部門相對容易。也因此，此一務實的作法得以讓瑞典在新一階段的能源轉型中不僅可以提供國內低碳電力，透過電氣化也得以讓其他產業實現脫碳，如此也促成國內產業改革、以適應能源轉型為電力系統之變革。此外，身為 EU 的成員國，瑞典的「100%無化石燃料電力」同時也具體落實 EU 在 2019 通過《潔淨能源惠及所有歐洲人》的提案，特別當瑞典是歐洲電力主要出口國時，「100%無化石燃料電力」正是供應者展現賣出之電力是優質的保證。

而得以達成「100%無化石燃料電力」關鍵燃料能源是核能，核能曾因公投而決議逐步淘汰，然公投議決至逐步淘汰期限的 30 年間，民眾、議會、產業的爭論持續不斷，因此，政府並未積極淘汰、也未鼓勵興建，具體作為僅針對原本以核能產量為課徵標的核能稅改為以核反應爐大小為課徵標的核容量稅，增加核反應爐的裝置成本，以此限縮核反應爐的成長。自 1980 年公投後、瑞典政府每年都調查瑞典民眾對核能的支持度，基本上都很高，最新 2024 年結果更高達 75% 民眾支持核能，遠高於歐洲整體的 44% 及同屬北歐的芬蘭之 52% 及能源消耗大國

美國的 54%，年複一年的支持度調查，正是政府向民眾溝通核能優缺點的管道與機會，導致瑞典民眾的高支持度、可能源自民眾認為以核能為能源生產風險即便大，然以石油和煤炭的能源風險則更大。核能再度成為電力能源，核能安全及用過核燃料的再利用及處置，自商用核反應爐於 1972 年開始運轉，瑞典於 1985 年即成為全球最早有用過核燃料中繼儲存場的國家之一，最終處置場於 2011 申請、2025 年動工，準備於 2030 年接手來自中繼儲存場之用過核燃料。由此可見，不論核反應爐是否公投決議淘汰，核能運轉的安全溝通、用過核燃料由產生、運輸、儲存到最終處置的工作準備，自核反應爐開始運轉、即不曾停止。

核能因公投決議要逐步淘汰期間，由於淘汰似有若無的不確定性，乃提議以再生能源取代核能，然一般認為以再生能源既不經濟也不環保，陸域風機發展因此不如預期，特別是對於有豐富核能技術經驗的瑞典，電力結構並非透過再生能源取代核能就能實現，考量核能擁有僅次於水力及陸域風機第三低的發電成本，再次讓核能成為電力燃料能源的選項，是瑞典政府為因應至 2045 年電力需求倍增、同時要達淨零目標，以排碳為衡量指標之「技術中立」下的選擇結果。又為解決地方政府對陸域風機裝設的否決權，自 2026 年起則提升風機開發商之房地產稅率、將稅收完全歸地方政府，以「利益分享」方式降低地方政府對風力設施興建的否決。而太陽光電原本就不是瑞典再生能源發展的重點，目前透過「綠色技術稅收減免」抵減部分裝置成本及太陽能公司餘電賣回電網的補貼，自 2026 年 1 月取消餘電回賣補貼，讓太陽光電裝設逐步回歸市場，然民眾視風力與太陽儲能設施由 NIMBY 到 NIABY，毫無疑問、已凸顯這類設施裝置的困難度將日益升高。此外，瑞典也善於利用現成廣大森林殘餘物發展生質能，這些殘餘物也以再生能源身份貢獻出比太陽光電更高比例於「100%無化石燃料電力」。

瑞典淨零年訂在 2045 年，目標是 GHG 排放降至比 1990 年低 85%，一般認為是因為夠高的碳稅稅率才得以達淨零目標，瑞典碳稅稅率自 1991 年起即是全世界最高，然這是由能源稅轉變而來，又高碳稅稅率下的稅收，並未以收入循環專款專用於綠色或特定計畫，而是以一般預算採取更彈性的「綠色稅收移轉」，將碳稅收入擴大移轉至所得稅的降低、投資之抵減，針對壞財貨課稅、好財稅減稅的模式，不僅使高碳稅稅率仍可獲得支持，同時在高碳稅稅率下仍可維持經濟的成長，因此，碳稅可說是同時擁有碳排減少與經濟成長的雙紅效果（double

dividend)。如以每一個特定年比較瑞典和其他課徵碳稅國家的碳稅稅率，瑞典確實都是最高，然如果觀察瑞典最近 5 年的碳稅稅率，瑞典碳稅稅率在北歐 5 國中增加的幅度為最小，因此，瑞典是否仍為「氣候進步型」國家也引發質疑。由此可見，瑞典今天達成的減碳成果，並非靠單一高水準碳稅稅率即可達成，而是針對能源及其他收入施行多種課徵、抵減、補助等政策結合的結果；當然最重要的仍是瑞典政府設定 2040 年「100%無化石燃料電力」目標、使核能再次成為電力燃料能源選項，讓核能對此目標的貢獻、可由目前電力已有 30%來自核能為起點。

瑞典能源政策的經驗，似乎是台灣當前及未來即可預見將面臨的問題，檢視台灣與瑞典自 1990 年至今 TES 與 TFC 的變動，兩國有相同處、而有更多的相異點。台灣的淨零目標年設在 2050 年，階段性減碳目標的主要戰略、基本上是由化石燃料轉向電力與氫能，而電力一則仰賴電力排碳係數的降低，再者是再生能源的大幅提升，至 2050 年、尚且規劃再生能源比可高到 60%-70%，屆時再生能源不僅取代核能、亦取代化石燃料。台灣 TES 中的水力、生質能與廢棄物及地熱過去數十年來均停留在 1%左右的比例，再生能源要達 60%-70%可依賴的就剩風力與太陽光電，瑞典土地面積是台灣近 13 倍、人口不到台灣的一半，瑞典在地廣人稀的土地上發展風力已困難重重，不知地狹人稠的台灣得以保握風力與太陽光電再生能源可以佔 TES 一半以上比例，使電力得以去碳化，而去碳化的電力方可以讓非電力部門去碳化。為加速電力外其他各部門的電氣化，仰賴再生能源讓電力去碳化已是不可能的任務，而非電力部門的電氣化又要倚賴不可能由如此高比例再生能源所提供的電力，此不折不扣正是重蹈瑞典 2019 年「100%再生能源電力」大膽決策的覆轍，瑞典體認到以風力與太陽光電為主要電力燃料能源、未將核能視為長遠發展的重點是不可能的任務，乃於 2023 年務實的修正為「100%無化石燃料電力」。

要確認台灣的淨零目標、總電力將有 60%-70%來自再生能源的可行性，先行檢視 1990 年至 2023 年的電力來源就有跡可尋。台灣 2023 年的總電力消費比 1990 年成長了近 3.5 倍，目前已為瑞典的 2 倍，而瑞典自 1990 年至今用電量幾乎未變；台灣用電成長、正面看待一則顯示經濟的活絡、再者可能源自產業結構的改變，然如何快速提供成長中的電力需求，而這些電力又是如何產生，1990 至 2023 年、台灣選擇 75%的化石燃料為電力燃料能源，而近 10 年此一比例更高達

82%，而最新 2023 年則有 83%的電力是來自化石燃料類，此一比例也遠高原世界平均的 64%，而台灣遞減的石油是由認定為乾淨的煤之天然氣快速增加所取代，殊不知天然氣對全球暖化影響是 CO₂ 的數十倍，煤則持續保持有增無減的比例。同期間，瑞典電力燃料來源僅使用 3%的化石燃料，而最新 2024 年電力燃料更僅有 0.48%是來自化石燃料，表示瑞典已極接近 2040 年所設定的「100%無化石燃料電力」目標。

這段期間、台灣電力來自各式再生能源的平均為 7%，即便是最近 5 年平均也僅 8%，以此速度、真可樂觀期待 2050 年再生能源電力將達 60%?如能源供給面難以提供規劃中之再生能源電力比例，必然使得發電業部門成為 CO₂ 排放的主要部門，因此，當工業移轉至以用電為主的產業時，再加上政府以各種方式鼓勵運具電動化，這些以電力為主產業之興起與/或電氣化/電動化在生活中的普遍性，如此僅是讓末端消費者誤認為自己沒有直接使用燃燒的燃料能源，殊不知身為台灣電力公司電力的末端消費者，依舊是化石燃料的（間接）消費者。台灣 34 年來核能發電比平均為 19%比全世界的 14%高，然因政府政策的選擇，2025 年完全去除核能在電力供應之行列，中短期因應之道就是以各種化石燃料填補電力燃料能源的空缺，核能的去除、無疑也增加其他燃料能源、特別是再生能源發電的壓力。而是否讓核能繼續貢獻於電力的生產，近年在台灣有不少的爭論，政府亦為此而有三次公投，分別是 2018 年「以核養綠」、也就是廢除 2025 非核家園期限公投，2021 年重起核四公投，2025 年重起核三公投，後兩者公投均沒有通過。

台灣 8 年來頻繁舉辦 3 次公投，然不論公投結果為何，政府依既定方向陸續除役各核反應爐，由於廢核走向的確定，如此則促使核能支持者抱持希望，認為在確定失去核能後，政府將被迫投入更多資源研發多元能源技術以填補缺口，也就是斷絕無核能的後路、能激發其他能源技術的突破性發展；相反地，核能反對者則擔憂若此時仍考慮讓核能重啟或延役，將會阻礙（排擠）其他能源技術獲得應有的發展資源，也就是沒有核能、才能移除阻礙其他再生能源技術的結構性障礙。然廢核的確定走向，並未如核能支持者所期待、政府投入更多資源研發多元能源技術。數據顯示、無核能後就是使用更多化石燃料，來自化石燃料的電力比由 79%提升至 83%。同樣的，廢核方向的確定，亦沒有一如核能反對者所預期，再生能源技術結構性障礙依舊存在，曾貢獻近 10%電力燃料能源的水力發電比日

益下降，而生質能與廢棄物毫無進展，再生能源的發展僅侷限於風力與太陽光電兩大項，將國家電力來源的六到七成比例壓在間歇性的風力與太陽能再生能源上，後果可能面臨台灣獨立電網不穩定、無法向四面求助電力所造成的產業浩劫與生活停擺災難，此與歐洲大陸陸域相連情況不同；此外，這類間歇性再生能源所需的儲能與電網設施極易超越發電成本，目前尚未計入完全儲存來自這些能源之設施與四通八達的電網成本，發電成本已是不合理的高，未來支付給這兩類再生能源所需成本恐不下於缺電對民眾生活所造成的危害。最後，在地狹人稠的台灣發展需佔地遼闊面積的風力與太陽光電，最大也是最致命的問題就是與農爭地、與漁搶地、進而破壞多元的生態棲地。即便風力與太陽光電再生能源長期可以成為台灣電力來源的主軸，想必無人樂見台灣屆時將成為生產完美再生能源電力的無人島。

由此可見，廢核方向的確定，亦即當核能被排除於電力燃料能源的來源後，政府並未因此投注更多資源於更多元能源技術的研發，即便核能確定廢除後、亦未積極與民眾清楚溝通用過核燃料真正潛在的危害，當然亦未見找尋或公開討論用過核燃料的中繼與最終處置場。台灣民眾將核電廠用過的燃料棒一律視為廢棄物，事實上、位於新北石門的核一廠一號機於 1978 年 12 月 10 日正式商轉時，核燃料再處置於 1976 年在美國壓力下已正式放棄，表示台灣核電廠尚未正式商轉前，美國已幫台灣決定用過核燃料不能再處置，自此、用過核燃料的產生即直接當成廢棄物，這是為避免再利用這些燃料不慎發展核武，將用過核燃料完全當成無用的核廢料，比日常可回收的牛奶瓶、鋁箔包飲料包還不如，民眾也都認定這些全都是廢棄物、且是有輻射的廢棄物，數十年來、既然無須再處置，自然完全未見公眾討論最終處置場該在何處。瑞典第一座商轉核電廠於 1972 年上路，而最終處置場選址於 1992 年啟動，至 2025 年動工，預計 2030 年將中繼處置場的核廢料移至最終處置場。而台灣第一座商轉核電廠始於 1978 年，至今仍未讓百姓得知或公開討論最終處置場的選址，而將可否妥善處理核廢料變成可否使用核能的條件，即便不再處理新生成的核廢料，過去已產出的用過核燃料或核廢料的中繼處置與最終處置也應該討論，否則如何一相情願的寄望尚未大規模普及商轉的小型模組化反應爐（small modular reactor）。台灣應避免讓民眾事前不知、事中不（無法）說、事後抗爭的「溝通」模式，仿效瑞典先採地方自願徵選、地方

公投、國家地質機構同步進行調查的遴選模式。

最後，台灣對比於瑞典、平減能源密集度指標，也就是 TES 以相對低物價平減衡量的 TES/GDP (PPP)，自 1999 年至 2023 均大於瑞典，而此後 10 年也高於世界，表示台灣能源供給端的效率不僅落後世界、更遠不及瑞典，如此使得能源消費耗損率遠高於瑞典，表示 TES 中的化石燃料成為電力能源來源的 TFC 時耗損極高。接續可以觀察 2024 年及之後以平減能源密集度指標為表示之能源效率的變動，理論上以平減能源密集度指標表示的能源效率將變差，這是因為以化石燃料替代核能的代價。而如果能源消費密集度以 2015 之 GDP 平減所代表的能源效率，也就是 TFC (不包括非能源使用)/GDP (PPP)，原本在 1990-2023 年間並不輸給瑞典，代表台灣的經濟發展、能源消費端已具備極高效率基礎，也就是台灣每單位實質 GDP 產出所消費的能源不僅優於世界、也與被視為高能源效率的瑞典差異不大，然 2025 年核能退出電力的供應後，能源消費端的高效率是否依然存在，值得觀察。由此可見，台灣的能源效率並非源於產業或任何消費端(TFC)的浪費，而是源於能源供應(TES)的結構，亦即台灣在承擔比瑞典更高的「能源消費耗損」及「總能源消費耗損」之際，依然能在消費末端效率與瑞典有雷同的表現，也就是涵蓋所有非能源使用項目的台灣產業總能源消費 TFC 效率已接近瑞典，由此可見，未來的節能空間無可避免必然需鎖定電力的低碳或無碳燃料能源結構與發電業部門能源供給之耗損。

參考文獻

- 中華民國統計資訊網，2026。「國民所得及經濟成長統計資料庫—國民所得常用資料：平均每人 GNI，名目，美金」，
(<https://nstatdb.dgbas.gov.tw/dgbasAll/webMain.aspx?sys=100&funid=qryout&funid2=A018101010&outmode=8&ym=7901&ytm=11309&cycle=42&outkind=11&compmode=0&ratenm=%u7D71%u8A08%u503C&fldlst=00000000010001&compmode=0&rr=q9513x&&rdm=R71949>) (2026/2/5)
- 經濟部能源局，2025。「中華民國 113 年能源統計手冊」。
(<https://www.esist.org.tw/attachments/handbook/2024/ebook/2024EnergyStaHandBook.pdf>) (2026/2/23)
- Agar, David A., Martin Svanberg, Ingemar Lindh, and Dimitris Athanassiadis. 2020. "Surplus Forest Biomass: The Cost of Utilisation through Optimised Logistics and Fuel Upgrading in Northern Sweden." *Journal of Cleaner Production*, Vol. 274, 123151 (DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.123151)
- Aither. 2026. "Denmark to Introduce Carbon Tax in 2025."
(<https://aither.com/update/denmark-to-introduce-carbon-tax-in-2025-2/>) (2026/2/3)
- Amundsena, Eirik S., and Lars Bergman. 2007. "Integration of Multiple National Markets for Electricity: The Case of Norway and Sweden." *Energy Policy*, Vol. 35, pp. 3383-94.
- Andersson, Bo, and Erik Håden. 1997. "Power Production and the Price of Electricity: An Analysis of a Phase-out of Swedish Nuclear Power." *Energy Policy*, Vol. 25, No. 13, pp. 1051-64.
- Ang, B. W. 2006. "Monitoring Changes in Economy-wide Energy Efficiency: From Energy-GDP Ratio to Composite Efficiency Index." *Energy Policy*, Vol. 34, pp. 574-82.
- Bergek, Anna, and Staffan Jacobsson. 2010. "Are Tradable Green Certificates a Cost-efficient Policy Driving Technical Change or a Rent-generating Machine? Lessons from Sweden, 2003-2008." *Energy Policy*, Vol. 38, pp. 1255-71.
- Bergek, Anna, and Ingrid Mignon. 2017. "Motives to Adopt Renewable Electricity Technologies: Evidence from Sweden." *Energy Policy*, Vol. 106, pp. 547-59.
- Bergman, Lars. 1988. "Energy Policy Modeling: A Survey of General Equilibrium Approaches." *Journal of Policy Modeling*, Vol. 10, No. 3, pp. 377-99.
- Clarke, Selina. 2023. "Background Report for the Economic Policy Council on Carbon Pricing in Finland." (<https://talouspolitiikanarviointineuvosto.fi/wp->

- content/uploads/2023/01/Background-Report-2-Carbon-Pricing-in-Finland-Selina-Clarke.pdf) (2026/2/16)
- Climate Impact Partners. 2024. “Scope 1, 2, and 3 Emissions Explained.” (<https://www.carbonneutral.com/news/scope-1-2-3-emissions-explained>) (2026/2/22)
- Committee on Transport and Communications, Swedish Parliament. 2009. “The Act on the Obligation to Supply Renewable Fuels: A Follow-up Report.” Summary of Follow-up Report 2009/10: RFR7 (<https://www.riksdagen.se/globalassets/05.-sa-fungerar-riksdagen/utskotten-och-eu-namnden/trafikutskottet/trafikutskottets-uppfoljningsarbete/summary-a-follow-up-of-the-act-on-the-obligation-to-supply-renewable-fuels.pdf>) (2026/3/12)
- Edberg, Karin, and Ekaterina Tarasova. 2016. “Phasing out or Phasing in: Framing the Role of Nuclear Power in the Swedish Energy Transition.” *Energy Research & Social Science*, Vol. 13, pp. 170-79.
- Elam, Mark, and Göran Sundqvist. 2011. “Meddling in Swedish Success in Nuclear Waste Management.” *Environmental Politics*, Vol. 20, No. 2, pp. 246-63.
- Emilsson, Stig. 2006. “From Extraction of Forest Fuels to Ash Recycling: International Handbook.” Swedish Forest Agency (<https://www.spalensky.com/files/other/recashhandbook.pdf>) (2026/3/13)
- Ericsson, Karin, and Lars J. Nilsson. 2004. “International Biofuel Trade: A Study of the Swedish Import.” *Biomass and Bioenergy*, Vol. 26, pp. 205-20.
- Ericsson, Karin, and Sven Werner. 2016. “The Introduction and Expansion of Biomass Use in Swedish District Heating Systems.” *Biomass and Bioenergy*, Vol. 94, pp. 57-65.
- European Commission. 2022. “Commission Delegated Regulation (EU) 2022/1214.” *Official Journal of the European Union* (https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2022/1214) (2026/1/19)
- European Commission. 2023. “Climate Action Progress Report 2023, Country Profile: Sweden.” (https://climate.ec.europa.eu/document/download/6c9066bd-0116-41dd-9ef0-1a76cfc72169_en?filename=se_2023_factsheet_en.pdf) (2026/3/19)
- European Commission. 2025. “EU Taxonomy for Sustainable Activities.” (https://finance.ec.europa.eu/sustainable-finance/tools-and-standards/eu-taxonomy-sustainable-activities_en) (2026/1/19)
- EY Sweden. 2026. “New Property Tax Rate for Wind Turbines.” (https://www.ey.com/en_se/insights/tax/new-property-tax-rate-for-wind-turbines)

(2026/3/13)

- Faber, Hugo. 2023. "How Does Falling Incumbent Profitability Affect Energy Policy Discourse? The Discursive Construction of Nuclear Phaseouts and Insufficient Capacity as a Threat in Sweden." *Energy Policy*, Vol. 174, 113432 (DOI: 10.1016/j.enpol.2023.113432)
- Farsaei, Anahita, Sanna Syri, Ville Olkkonen, and Ali Khosravi. 2020. "Unintended Consequences of National Climate Policy on International Electricity Markets: Case Finland's Ban on Coal-Fired Generation." *Energies*, Vol. 13, 1930 (DOI:10.3390/en13081930)
- Farsaei, Anahita, Ville Olkkonen, Xiaoming Kan, and Sanna Syri. 2022. "Electricity Market Impacts of Low-carbon Energy Transition in the Nordic-Baltic Region." *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, Vol. 10, No. 3, 1090407 (DOI: 10.13044/j.sdewes.d9.0407)
- Fischer, David W., and Elisabet Berglund. 1994. "The Greening of Swedish Energy Policy: A Critique." *Futures*, Vol. 26, No. 3, pp. 305-22.
- Fossil Free Sweden. 2021. "Roadmaps for Fossil Free Competitiveness: Follow-up 2021." (https://fossilfrittserverige.se/wp-content/uploads/2022/01/Roadmaps_follow_up_2021_ENG.pdf) (2026/3/11)
- Fridolfsson, Sven-Olof, and Thomas P. Tangerås. 2009. "Market Power in the Nordic Electricity Wholesale Market: A Survey of the Empirical Evidence." *Energy Policy*, Vol. 37, pp. 3681-92.
- Fridolfsson, Sven-Olof, and Thomas P. Tangerås. 2013. "A Reexamination of Renewable Electricity Policy in Sweden." *Energy Policy*, Vol. 58, pp. 57-63.
- Government Offices of Sweden. 2026. "Sweden's Carbon Tax." (<https://www.government.se/government-policy/taxes-and-tariffs/swedens-carbon-tax/>) (2026/3/19)
- Grape, Sophie, Staffan Jacobsson Svärd, Carl Hellesen, Peter Jansson, and Matilda Åberg Lindell. 2014. "New Perspectives on Nuclear Power: Generation IV Nuclear Energy Systems to Strengthen the Non-proliferation and Support Nuclear Disarmament." *Energy Policy*, Vol. 73, pp. 815-19.
- Gullberg, Anne Therese, and Guri Bang. 2014. "Look to Sweden: The Making of a New Renewable Energy Support Scheme in Norway." *Scandinavian Political Studies*, Vol. 38, No. 1, pp. 95-114.

- Gustavsson, Leif, Bengt Johansson, and Helena Below-Hübes. 1992. "An Environmental Benign Energy Future for Western Scania, Sweden." *Energy*, Vol. 17, No. 9, pp. 809-22.
- Heineman, Bjørn. 2011. "The Green Battery of Europe: Balancing Renewable Energy with Norwegian Hydro Power (<https://www.files.ethz.ch/cepe/top10/heineman.pdf>) (2026/2/14)
- Hillring, Bengt. 1998. "National Strategies for Stimulating the Use of Bioenergy: Policy Instruments in Sweden." *Biomass and Bioenergy*, Vol. 14, No. 15-16, pp. 425-37.
- Hirth, Lion. 2018. "What Caused the Drop in European Electricity Prices? A Factor Decomposition Analysis." *Energy Journal*, Vol. 39, No. 1, pp. 143-57.
- Högselius, Per. 2009. "Spent Nuclear Fuel Policies in Historical Perspective: An International Comparison." *Energy Policy*, Vol. 37, pp. 254-63.
- Högselius, Per, and Arne Kaijser. 2010. "The Politics of Electricity Deregulation in Sweden: The Art of Acting on Multiple Arenas." *Energy Policy*, Vol. 38, pp. 2245-54.
- Högselius, Per. 2011. "Chapter 9: Challenging Chernobyl's Legacy: Nuclear Power Policies in Europe, Russia and North America in the Early Twenty-First Century." in Yi-chong, X., eds. *Nuclear Energy Development in Asia. Energy, Climate and the Environment Series*, pp. 190-210. London: Palgrave Macmillan (https://link.springer.com/chapter/10.1057/9780230306332_9) (2026/3/12).
- Hong, Sanghyun, Staffan Qvist, and Barry W. Brook. 2018. "Economic and Environmental Costs of Replacing Nuclear Fission with Solar and Wind Energy in Sweden." *Energy Policy*, Vol. 112, pp. 56-66.
- International Atomic Energy Agency. 2000. "Recycle and Reuse of Materials and Components from Waste Streams of Nuclear Fuel Cycle Facilities." IAEA-TECDOC-1130. Austria: Vienna (https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1130_prn.pdf) (2026/1/21)
- International Atomic Energy Agency. 2014. "Planning and Design Considerations for Geological Repository Programmes of Radioactive Waste." IAEA TECDOC Series, IAEA-TECDOC-1755 (https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1755_web.pdf) (2026/1/21)
- International Energy Agency (IEA). 2014. "Energy Efficiency Indicators: Fundamentals on Statistics." (https://iea.blob.core.windows.net/assets/6862080c-8614-494e-a8aa-52c3c0d4291b/IEA_EnergyEfficiencyIndicatorsFundamentalsonStatistics.pdf) (2026/3/8)
- International Energy Agency (IEA). 2017. "Norway-Sweden Green Certificate Scheme for Electricity Production." (<https://www.iea.org/policies/3987-norway-sweden-green->

- certificate-scheme-for-electricity-production) (2026/2/2)
- International Energy Agency (IEA). 2019. “Energy Policies of IEA Countries: Sweden 2019 Review.” (https://iea.blob.core.windows.net/assets/abf9ceee-2f8f-46a0-8e3b-78fb93f602b0/Energy_Policies_of_IEA_Countries_Sweden_2019_Review.pdf) (2026/1/12)
- International Energy Agency (IEA). 2021a. “Security of Clean Energy Transitions.” (<https://iea.blob.core.windows.net/assets/f29e5cf4-bdef-44ac-a3a3-7a685f1fd560/G20SecurityofCleanEnergyTransitions.pdf>) (2026/1/10)
- International Energy Agency (IEA). 2021b. “Key World Energy Statistics 2021: Emissions, CO2 Emission by Fuel.” (<https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2021/emissions>) (2026/3/19)
- International Organization for Standardization (ISO). 2021. “Solid Recovered Fuels: Specifications and Classes.” ISO 21640, First Edition 2021-05 (<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/71309/83d2593faf44431faf9276f20aa30eff/ISO-21640-2021.pdf>) (2026/3/13)
- International Energy Agency (IEA). 2022a. “Energy Efficiency Indicators: Database Documentation.” December 2022 Edition. (<https://iea.blob.core.windows.net/assets/9044eb73-94c0-415e-9be6-77f583d99a0d/IEA-EnergyEfficiencyIndicatorsdatabase-DocumentationDecember2022.pdf#:~:text=Database%20description%20The%20Energy%20efficiency%20indicators%20database,cover%20the%20interval%202000%2D2020%2C%20unless%20otherwise%20specified.>) (2026/3/8)
- International Energy Agency (IEA). 2022b. “Nuclear Power and Secure Energy Transitions: From Today’s Challenges to Tomorrow’s Clean Energy Systems.” (Nuclear Power and Secure Energy Transitions From today’s challenges to tomorrow’s clean energy systems) (2026/3/19)
- International Energy Agency (IEA). 2023. “World Energy Balances: Overview.” (<https://www.iea.org/reports/world-energy-balances-overview>) (2026/2/23)
- International Energy Agency (IEA). 2024. “Sweden 2024: Energy Policy Review.” (<https://iea.blob.core.windows.net/assets/b80f421d-1e1c-4c73-bea4-acef5e60b3dd/Sweden2024.pdf>) (2026/1/10)
- International Energy Agency (IEA). 2025. “World Energy Balances: Database Documentation.” July 2025 Edition. (<https://iea.blob.core.windows.net/assets/2144706e->

- a521-4353-a9c0-2ff3b170669f/WORLDBAL_Documentation_July2025.pdf) (2026/2/17)
- International Energy Agency (IEA). 2026a. “Nuclear Power.” (<https://www.iea.org/energy-system/electricity/nuclear-power>) (2026/1/17)
- International Energy Agency (IEA). 2026b. “Electricity Imports and Exports: Trade in Electricity, Denmark.” (<https://www.iea.org/countries/denmark/electricity>) (2026/1/1)
- International Energy Agency (IEA). 2026c. “Electricity Imports and Exports: Trade in Electricity, Finland.” (<https://www.iea.org/countries/finland/electricity>) (2026/1/1)
- International Energy Agency (IEA). 2026d. “Electricity Imports and Exports: Trade in Electricity, Norway.” (<https://www.iea.org/countries/norway/electricity>) (2026/1/1)
- International Energy Agency (IEA). 2026e. “Electricity Imports and Exports: Trade in Electricity, Sweden.” (<https://www.iea.org/countries/sweden/electricity>) (2026/1/1)
- International Energy Agency (IEA). 2026f. “Energy Statistics Data Browser: Electricity Generation by Source, Denmark, 1990-2024.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=DENMARK&fuel=Electricity%20and%20heat&indicator=ElecGenByFuel>) (2026/1/1)
- International Energy Agency (IEA). 2026g. “Energy Statistics Data Browser: Electricity Generation by Source, Finland, 1990-2024.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=FINLAND&fuel=Electricity%20and%20heat&indicator=ElecGenByFuel>) (2026/1/1)
- International Energy Agency (IEA). 2026h. “Energy Statistics Data Browser: Electricity Generation by Source, Iceland, 1990-2024.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=ICELAND&fuel=Electricity%20and%20heat&indicator=ElecGenByFuel>) (2026/1/1)
- International Energy Agency (IEA). 2026i. “Energy Statistics Data Browser: Electricity Generation by Source, Norway, 1990-2024.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=NORWAY&fuel=Electricity%20and%20heat&indicator=ElecGenByFuel>) (2026/1/1)
- International Energy Agency (IEA). 2026j. “Energy Statistics Data Browser: Electricity Generation by Source, Sweden, 1990-2024.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=SWEDEN&fuel=Electricity%20and%20heat&indicator=ElecGenByFuel>) (2026/1/1)

statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=SWEDEN&fuel=Electricity%20and%20heat&indicator=ElecGenByFuel) (2026/1/1)

International Energy Agency (IEA). 2026k. “Energy Statistics Data Browser: Electricity Generation by Source, Chinese Taipei, 1990-2023.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=TAIPEI&fuel=Electricity%20and%20heat&indicator=ElecGenByFuel>) (2026/1/1)

International Energy Agency (IEA). 2026l. “Energy Statistics Data Browser: Electricity Generation by Source, World, 1990-2023.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=WORLD&fuel=Electricity%20and%20heat&indicator=ElecGenByFuel>) (2026/1/1)

International Energy Agency (IEA). 2026m. “Energy Statistics Data Browser: Total Energy Supply (TES) by Source, Denmark, 1990- 2024.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=DNK&fuel=Energy%20supply&indicator=TESbySource>) (2026/1/15)

International Energy Agency (IEA). 2026n. “Energy Statistics Data Browser: Total Energy Supply (TES) by Source, Finland, 1990-2024.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=FIN&fuel=Energy%20supply&indicator=TESbySource>) (2026/1/15)

International Energy Agency (IEA). 2026o. “Energy Statistics Data Browser: Total Energy Supply (TES) by Source, Iceland, 1990-2024.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=ISL&fuel=Energy%20supply&indicator=TESbySource>) (2026/1/15)

International Energy Agency (IEA). 2026p. “Energy Statistics Data Browser: Total Energy Supply (TES) by Source, Norway, 1990-2024.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=NOR&fuel=Energy%20supply&indicator=TESbySource>) (2026/1/15)

International Energy Agency (IEA). 2026q. “Energy Statistics Data Browser: Total Energy Supply (TES) by Source, Sweden, 1990-2024.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=SWE&fuel=Energy%20supply&indicator=TESbySource>) (2026/1/15)

- International Energy Agency (IEA). 2026r. “Energy Statistics Data Browser: Total Energy Supply (TES) by Source, Chinese Taipei, 1990-2023.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=TWN&fuel=Energy%20supply&indicator=TESbySource>) (2026/1/15)
- International Energy Agency (IEA). 2026s. “Energy Statistics Data Browser: Total Energy Supply (TES) by Source, World, 1990-2023.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=TESbySource>) (2026/1/15)
- International Energy Agency (IEA). 2026t. “Energy Statistics Data Browser: Total CO₂ Emission from Energy, Denmark, 1990-2023.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=DNK&fuel=CO2%20emissions&indicator=TotCO2>) (2026/1/12)
- International Energy Agency (IEA). 2026u. “Energy Statistics Data Browser: Total CO₂ Emission from Energy, Finland, 1990-2023.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=FIN&fuel=CO2%20emissions&indicator=TotCO2>) (2026/1/12)
- International Energy Agency (IEA). 2026v. “Energy Statistics Data Browser: Total CO₂ Emission from Energy, Iceland, 1990-2023.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=ISL&fuel=CO2%20emissions&indicator=TotCO2>) (2026/1/12)
- International Energy Agency (IEA). 2026w. “Energy Statistics Data Browser: Total CO₂ Emission from Energy, Norway, 1990-2023.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=NOR&fuel=CO2%20emissions&indicator=TotCO2>) (2026/1/12)
- International Energy Agency (IEA). 2026x. “Energy Statistics Data Browser: Total CO₂ Emission from Energy, Sweden, 1990-2023.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=SWE&fuel=CO2%20emissions&indicator=TotCO2>) (2026/1/12).
- International Energy Agency (IEA). 2026y. “Energy Statistics Data Browser: Total CO₂ Emission from Energy, Chinese Taipei, 1990-2023.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=TWN&fuel=CO2%20emissions&indicator=TotCO2>) (2026/1/12)

- International Energy Agency (IEA). 2026z. “Energy Statistics Data Browser: Total CO₂ Emission from Energy, World, 1990-2023.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=WORLD&fuel=CO2%20emissions&indicator=TotCO2>) (2026/1/12)
- International Energy Agency (IEA). 2026aa. “Energy Statistics Data Browser: CO₂ Emissions Per Capita, Denmark, 1990-2022.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=DNK&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2PerCap>) (2026/1/14)
- International Energy Agency (IEA). 2026ab. “Energy Statistics Data Browser: CO₂ Emissions Per Capita, Finland, 1990-2022.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=FIN&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2PerCap>) (2026/1/14)
- International Energy Agency (IEA). 2026ac. “Energy Statistics Data Browser: CO₂ Emissions Per Capita, Iceland, 1990-2022.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=ISL&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2PerCap>) (2026/1/14)
- International Energy Agency (IEA). 2026ad. “Energy Statistics Data Browser: CO₂ Emissions Per Capita, Norway, 1990-2022.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=NOR&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2PerCap>) (2026/1/14)
- International Energy Agency (IEA). 2026ae. “Energy Statistics Data Browser: CO₂ Emissions Per Capita, Sweden, 1990-2022.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=SWE&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2PerCap>) (2026/1/14)
- International Energy Agency (IEA). 2026af. “Energy Statistics Data Browser: CO₂ Emissions Per Capita, Chinese Taipei, 1990-2022.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=TWN&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2PerCap>) (2026/1/14)
- International Energy Agency (IEA). 2026ag. “Energy Statistics Data Browser: CO₂ Emissions Per Capita, World, 1990-2022.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=WORLD&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2PerCap>) (2026/1/14)
- International Energy Agency (IEA). 2026ah. “Total Final Consumption (TFC) by Source,

- Sweden, 1990-2023.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=SWE&fuel=Energy%20consumption&indicator=TFCbySource>) (2026/1/8)
- International Energy Agency (IEA). 2026ai. “Total Final Consumption (TFC) by Source, Chinese Taipei, 1990-2023.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=TWN&fuel=Energy%20consumption&indicator=TFCbySource>) (2026/1/8)
- International Energy Agency (IEA). 2026aj. “Energy Statistics Data Browser: CO₂ Intensity of Power, Sweden, 1990-2022.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=SWE&fuel=Electricity%20and%20heat&indicator=CO2IntensityPower>) (2026/1/8)
- International Energy Agency (IEA). 2026ak. “Energy Statistics Data Browser: CO₂ Intensity of Power, Chinese Taipei, 1990-2022.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=TWN&fuel=Electricity%20and%20heat&indicator=CO2IntensityPower>) (2026/1/8)
- International Energy Agency (IEA). 2026al. “Energy Statistics Data Browser: CO₂ Intensity of Power, World, 1990-2022.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=WORLD&fuel=Electricity%20and%20heat&indicator=CO2IntensityPower>) (2026/1/8)
- International Energy Agency (IEA). 2026am. “Energy Statistics Data Browser: CO₂ Emissions by Sector, Denmark, 1990-2023.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=DENMARK&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2BySector>) (2026/1/13)
- International Energy Agency (IEA). 2026an. “Energy Statistics Data Browser: CO₂ Emissions by Sector, Finland, 1990-2023.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=FINLAND&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2BySector>)

(2026/1/13)

International Energy Agency (IEA). 2026ao. “Energy Statistics Data Browser: CO₂ Emissions by Sector, Iceland, 1990-2023.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=ICELAND&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2BySector>)

(2026/1/13)

International Energy Agency (IEA). 2026ap. “Energy Statistics Data Browser: CO₂ Emissions by Sector, Norway, 1990-2023.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=NORWAY&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2BySector>)

(2026/1/13)

International Energy Agency (IEA). 2026aq. “Energy Statistics Data Browser: CO₂ Emissions by Sector, Sweden, 1990-2023.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=SWEDEN&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2BySector>)

(2026/1/13)

International Energy Agency (IEA). 2026ar. “Energy Statistics Data Browser: CO₂ Emissions by Sector, Chinese Taipei, 1990-2023.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=TAIPEI&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2BySector>) (2026/1/13)

International Energy Agency (IEA). 2026as. “Energy Statistics Data Browser: CO₂ Emissions by Sector, World, 1990-2023.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=WORLD&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2BySector>)

(2026/1/13)

International Energy Agency (IEA). 2026at. “Energy Statistics Data Browser : Electricity Generation by source, Switzerland, 1990-2024.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=SWITLAND&fuel=Electricity%20and%20heat&indicator=ElecGenByFuel>) (2026/2/17)

International Energy Agency (IEA). 2026au. “Energy Statistics Data Browser: Total Final Consumption (TFC) by Sector, Denmark, 1990-2023.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data->

browser?country=DNK&fuel=Energy%20consumption&indicator=TFCShareBySector)
(2026/3/4)

International Energy Agency (IEA). 2026av. “Energy Statistics Data Browser: Total Final Consumption (TFC) by Sector, Finland, 1990-2023.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=FIN&fuel=Energy%20consumption&indicator=TFCShareBySector>)
(2026/3/4)

International Energy Agency (IEA). 2026aw. “Energy Statistics Data Browser: Total Final Consumption (TFC) by Sector, Iceland, 1990-2023.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=ISL&fuel=Energy%20consumption&indicator=TFCShareBySector>)
(2026/3/4)

International Energy Agency (IEA). 2026ax. “Energy Statistics Data Browser: Total Final Consumption (TFC) by Sector, Norway, 1990-2023.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=NOR&fuel=Energy%20consumption&indicator=TFCShareBySector>)
(2026/3/4)

International Energy Agency (IEA). 2026ay. “Energy Statistics Data Browser: Total Final Consumption (TFC) by Sector, Sweden, 1990-2023.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=SWE&fuel=Energy%20consumption&indicator=TFCShareBySector>)
(2026/2/17)

International Energy Agency (IEA). 2026az. “Energy Statistics Data Browser: Total Final Consumption (TFC) by Sector, Chinese, Taipei, 1990-2023.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=TWN&fuel=Energy%20consumption&indicator=TFCShareBySector>)
(2026/3/4)

International Energy Agency (IEA). 2026ba. “Energy Statistics Data Browser: Total Final Consumption (TFC) by Sector, World, 1990-2023.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20consumption&indicator=TFCShareBySector>)
(2026/3/4)

International Energy Agency (IEA). 2026bb. “Total Energy Supply (TES) by GDP (PPP),

- Sweden, 1990-2024.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=SWE&fuel=Key%20indicators&indicator=TESbyGDPPPP>) (2026/3/8)
- International Energy Agency (IEA). 2026bc. “Total Energy Supply (TES) by GDP (PPP), Chinese Taipei, 1990-2023.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=TWN&fuel=Key%20indicators&indicator=TESbyGDPPPP>) (2026/3/8)
- International Energy Agency (IEA). 2026bd. “Total Energy Supply (TES) by GDP (PPP), World, 1990-2023.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=WORLD&fuel=Key%20indicators&indicator=TESbyGDPPPP>) (2026/3/8)
- International Energy Agency (IEA). 2026be. “Bioenergy: Tracking Bioenergy.” (<https://www.iea.org/energy-system/renewables/bioenergy>) (2026/3/13)
- International Energy Agency (IEA). 2026bf. “Energy Statistics Data Browser: Electricity Consumption by Sector, Sweden, 1990-2023.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=SWE&fuel=Energy%20consumption&indicator=ElecConsBySector>) (2026/2/17)
- International Energy Agency (IEA). 2026bg. “Energy Statistics Data Browser: Electricity Consumption by Sector, Chinese Taipei, 1990-2023.” (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=TWN&fuel=Energy%20consumption&indicator=ElecConsBySector>) (2026/2/17)
- International Energy Agency (IEA). 2025bh. “Electricity 2025: Analysis and Forecast to 2027.” (<https://iea.blob.core.windows.net/assets/7c671ef6-2947-4e87-beea-af0e1288e1d7/Electricity2025.pdf>) (2026/3/17)
- Javid, Reza, Mats Isaksson, Robert Finck, and Christopher L. Rääf. 2025. “Economic Aspects of Evacuation and Resettlement after a Radioactive Fallout in Sweden.” *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 201, No. 13-14, pp. 911-18.
- Jonsson, Samuel, Anders Ydstedt, and Elke Asen. 2020. “Looking Back on 30 Years of Carbon Taxes in Sweden.” Washington, D.C.: Tax Foundation (https://files.taxfoundation.org/20200929121706/Looking-Back-on-30-Years-of-Carbon-Taxes-in-Sweden-re.pdf?_gl=1*vjtq8c*_gcl_au*NzQxODk3NzIwLjE3Nm40TcwNTA.)

(2026/3/19)

- Kajiser, Arne. 1992. "Redirecting Power: Swedish Nuclear Power Policies in Historical Perspective." *Annual Review of Energy and the Environment*, Vol. 17, pp. 437-62.
- Kajiser, Arne, and Per Högselius. 2019. "Under the Damocles Sword: Managing Swedish Energy Dependence in the Twentieth Century." *Energy Policy*, Vol. 126, pp. 157-64.
- Kari, Mika, Matti Kojo, and Markku Lehtonen. 2021. "Role of the Host Communities in Final Disposal of Spent Nuclear Fuel in Finland and Sweden." *Progress in Nuclear Energy*, Vol. 133, 103632 (DOI: 10.1016/j.pnucene.2021.103632)
- Karlsson, Mikael. 2021. "Sweden's Climate Act: Its Origin and Emergence." *Climate Policy*, Vol. 21, No. 9, pp. 1132-45.
- Keskitalo, E. Carine H. 2010. "Adapting to Climate Change in Sweden: National Policy Development and Adaptation Measures in Västra Götaland." In E. Carine H. Keskitalo, ed. *Developing Adaptation Policy and Practice in Europe: Multi-level Governance of Climate Change*, pp. 189-232. London: Springle.
- Kilpeläinen, Sarah. 2020. "Developing Nordic Cooperation in Renewable Electricity Policy: Exploring Views from Finland and Sweden." *Politics and Governance*, Vol. 8, No. 4, pp. 44-52.
- Knauf, Jakob. 2022. "Can't Buy Me Acceptance? Financial Benefits for Wind Energy Projects in Germany." *Energy Policy*, Vol. 165, 112924 (DOI: 10.1016/j.enpol.2022.112924)
- Kojo, Matti, Mika Kari, Tapio Litmanen, Tuuli Vilhunen, and Markku Lehtonen. 2020. "The Critical Swedes and the Consensual Finns: Leading Newspapers as Watchdogs or Lapdogs of Nuclear Waste Repository Licensing?" *Energy Research & Social Science*, Vol. 61, 101354 (DOI: 10.1016/j.erss.2019.101354)
- Krayem, Alaa, and Eva Thorin. 2024. "Sustainability Assessment of Sweden's Nuclear Power: Implications of the New Expansion Plans." *Environment, Development and Sustainability* (DOI: 10.1007/s10668-024-05219-8)
- Liebe, Ulf, Anna Bartczak, and Jürgen Meyerhoff. 2017. "A Turbine Is Not Only a Turbine: The Role of Social Context and Fairness Characteristics for the Local Acceptance of Wind Power." *Energy Policy*, Vol. 107, pp. 300-08.
- Lindahl, Johan, and Gustav Öhgren. 2025. "National Survey Report of PV Power Applications in Sweden 2024." IEA PVPS Task 1 (<https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2025/10/IEA-PVPS-Task-1-NSR-Sweden-2024.pdf>) (2026/3/14)

- Lindahl, Johan, and Gustav Öhgren. 2026. "National Survey Report of PV Power Applications in Sweden 2024." International Energy Agency (https://iea-pvps.org/national_survey/nsr-sweden-2024/) (2026/3/14)
- Lindgren, Oskar, Thomas Hahn, Mikael Karlsson, and Mikael Malmaeus. 2023. "Exploring Sufficiency in Energy Policy: Insights from Sweden." *Sustainability: Science, Practice and Policy*, Vol. 19, No. 1, 2212501 (DOI: 10.1080/15487733.2023.2212501)
- Lindström, Stefan. 1992. "The Brave Music of a Distant Drum: Sweden's Nuclear Phase out." *Energy Policy*, Vol. 20, No. 7, pp. 623-31.
- Lindvall, Daniel, Patrik Sörqvist, Sofie Lindeberg, and Stephan Barthel. 2025. "The Polarization of Energy Preferences: A Study on Social Acceptance of Wind and Nuclear Power in Sweden." *Energy Policy*, Vol. 198, 114492 (DOI: 10.1016/j.enpol.2024.114492)
- Litmanen, Tapio, Mika Kari, Matti Kojo, and Barry D. Solomon. 2017. "Is there a Nordic Model of Final Disposal of Spent Nuclear Fuel? Governance insights from Finland and Sweden." *Energy Research & Social Science*, Vol. 25, pp. 19-30.
- Löfstedt, Ragnar E. 1993. "Risk Communication in the Swedish Energy Sector." *Energy Policy*, Vol. 21, No. 7, pp. 768-72.
- Löfstedt, Ragnar E. 1996a. "Risk Communication: The Barsebäck Nuclear Plant Case." *Energy Policy*, Vol. 24, No. 8, pp. 689-96.
- Löfstedt, Ragnar E. 1996b. "Fairness across Borders: The Barseback Nuclear Power Plant." *Risk: Health, Safety, & Environment*, Vol. 7, No. 2, pp. 135-44.
- Lundberg, Fredrik. 2022. "Green Certificates a Swedish Success." March, Air Pollution & Climate Secretariat (<https://www.airclim.org/acidnews/green-certificates-swedish-success>) (2026/2/2)
- Malone, Elizabeth, Nathan E. Hultman, Kate L. Anderson, and Viviane Romeiro. 2017. "Stories about Ourselves: How National Narratives Influence the Diffusion of Large-scale Energy Technologies." *Energy Research & Social Science*, Vol. 30, pp. 70-76.
- Marino, Marianna, Pierpaolo Parrotta, and Giacomo Valletta. 2019. "Electricity (De)regulation and Innovation." *Research Policy*, Vol. 48, No. 3, pp. 748-58.
- Mazzai, Alessandra. 2022. "Decoupling (Emissions from Economic Growth)." Foresight-the CMCC Observatory on Climate Policies and Futures. (<https://www.climateforesight.eu/seeds/decoupling-emissions-from-economic-growth/>) (2026/1/31)
- Melin, Anders, and David Kronlid. 2019. "Energy Scenarios and Justice for Future Humans:

- An Application of the Capabilities Approach to the Case of Swedish Energy Politics.” *Nordic Journal of Applied Ethics*, Vol. 13, No. 1, pp. 39-54.
- Midttun, Atle. 1996. “Electricity Liberalization Policies in Norway and Sweden: Political Trade offs under Cognitive Limitations.” *Energy Policy*, Vol. 24, No. 1, pp. 53-65.
- Mignon, Ingrid, and Andreas Rüdinger. 2016. “The Impact of Systemic Factors on the Deployment of Cooperative Projects within Renewable Electricity Production: An International Comparison.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 65, pp. 478-88.
- Milciuvienė, Saule, and Agnė Tikniute. 2011. “The Reform of Electricity Companies in Lithuania.” *Engineering Economics*, Vol. 22, No. 4, pp. 380-91.
- Millot, Ariane, Anna Krook-Riekkola, and Nadia Maïzi. 2020. “Guiding the Future Energy Transition to Net-zero Emissions: Lessons from Exploring the Differences between France and Sweden.” *Energy Policy*, Vol. 139, 111358 (DOI: 10.1016/j.enpol.2020.111358)
- Ministry of Climate and Enterprise, Government Offices of Sweden. 2024. “Sweden’s Integrated National Energy and Climate Plan 2021-2030 (Updated Final Version).” Submitted to the European Commission, June 2024
(https://commission.europa.eu/document/download/26d2c93e-641d-489f-a160-a7052fde58bb_en?filename=SE_FINAL%20UPDATED%20NECP%202021-2030%20%28English%29.pdf) (2026/2/14)
- Ministry of Climate and Enterprise, Government Offices of Sweden. 2025. “Sweden’s Tenth National Report under the Convention on Nuclear Safety: Sweden’s Implementation of the Obligations of the Convention.” Stockholm, Sweden
(<https://www.government.se/contentassets/ca7bea49abbd46089da30a156fc4ddd1/swedens-tenth-national-report-under-the-convention-on-nuclear-safety-ds-202522-.pdf>) (2026/1/18)
- Ministry of Finance, Government Offices of Sweden. 2022. “Carbon Taxation in Sweden.” Ministry of Finance, Government Offices of Sweden
(<https://www.government.se/globalassets/government/bilder/finansdepartementet/carbon-taxes/220422-carbon-tax-sweden---general-info.pdf>) (2026/3/19)
- Miranda, Marie Lynn, and Brack Hale. 2001. “Protecting the Forest from the Trees: The Social Costs of Energy Production in Sweden.” *Energy*, Vol. 26, pp. 869-89.
- Moskal, Maja. 2025. “Municipal Veto Stalls Swedish Wind Power Projects in 2025.” Baltic Wind EU (<https://balticwind.eu/municipal-veto-stalls-swedish-wind-power-projects-in-2025/>) (2026/3/13)

- Nilsson, Lars J., Bengt Johansson, Kerstin Åstrand, Karin Ericsson, Per Svenningsson, and Pål Börjesson. 2004. "Seeing the Wood for the Trees: 25 Years of Renewable Energy Policy in Sweden." *Energy for Sustainable Development*, Vol. 8, No. 1, pp. 67-81.
- Niskanen, Johan. Jonas Anshelm, and Simon Haikola. 2024. "A Multi-level Discourse Analysis of Swedish Wind Power Resistance, 2009-2022." *Political Geography*, Vol. 108, 103017 (DOI: 10.1016/j.polgeo.2023.103017)
- Nohrstedt, Daniel. 2005. "External Shocks and Policy Change: Three Mile Island and Swedish Nuclear Energy Policy." *Journal of European Public Policy*, Vol. 12, No. 6, pp. 1041-59.
- Nohrstedt, Daniel. 2008. "The Politics of Crisis Policymaking: Chernobyl and Swedish Nuclear Energy Policy." *Policy Studies Journal*, Vol. 36, No. 2, pp. 257-78.
- Olkuski, Tadeusz, and Patrycja Zubień. 2024. "The Energy Security of Finland after Joining NATO." *Energy Policy Journal*, Vol. 27, No. 1, pp. 49-66.
- Oller Westerberg, Amelia, and Johan Lindahl. 2023. "National Survey Report of PV Power Applications in Sweden 2023." Task 1 Strategic PV Analysis and Outreach, Swedish Energy Agency (<https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2024/09/National-Survey-Report-of-PV-Power-Applications-in-Sweden-2023.pdf>) (2026/3/14)
- Organisation for Economic and Co-operation Development (OECD). 2003. "Nuclear Legislation in OECD Countries: Regulatory and Institutional Framework for Nuclear Activities, Sweden." Paris, France: Organisation for Economic and Co-operation Development (https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2006/03/nuclear-legislation-in-oecd-countries-sweden_g1ghb1da/9789264066595-en.pdf) (2026/1/18)
- Organisation for Economic and Co-operation Development (OECD). 2010. "Public Attitudes to Nuclear Power." Nuclear Energy Agency, OECD (https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2010/03/public-attitudes-to-nuclear-power_g1g128c3/9789264097933-en.pdf) (2026/3/17)
- Organisation for Economic and Co-operation Development (OECD). 2025. "OECD Environmental Performance Reviews: Sweden 2025." (https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2025/03/oecd-environmental-performance-reviews-sweden-2025_409c4061/91dcc109-en.pdf) (2026/3/19)
- Pan, Bohuang, Tomiwa Sunday Adebayo, Ridwan Lanre Ibrahim, and Mamdouh Abdulaziz

- Saleh Al-Faryan. 2023. "Does Nuclear Energy Consumption Mitigate Carbon Emissions in Leading Countries by Nuclear Power Consumption? Evidence from Quantile Causality Approach." *Energy & Environment*, Vol. 34, No. 7, pp. 2521-43.
- Pao, Hsiao-Tien, and Chun-Chih Chen. 2020. "Decoupling of Environmental Pressure and Economic Growth: Evidence from High-income and Nuclear-dependent Countries." *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 27, pp. 5192-5210.
- Patel, Martin, Maarten Neelis, Dolf Gielen, Jos Olivier, Tim Simmons, Jan Theunis. 2005. "Carbon Dioxide Emissions from Non-energy Use of Fossil Fuels: Summary of Key Issues and Conclusions from the Country Analyse." *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 45, pp. 195-209.
- Patterson, Murray G. 1996. "What is Energy Efficiency?: Concepts, Indicators and Methodological Issues." *Energy Policy*, Vol. 24, No. 5, pp. 377-90.
- Pierrehumbert, Raymond. 2016. "How to Decarbonize? Look to Sweden." *Bulletin of the Atomic Scientists*, Vol. 72, No. 2, pp. 105-11.
- Qvist, Staffan A., and Barry W. Brook. 2015. "Environmental and Health Impacts of a Policy to Phase out Nuclear Power in Sweden." *Energy Policy*, Vol. 84, pp. 1-10.
- Reiner, D. M., T. E. Curry, M. A. De Figueiredo, H. J. Herzog, S. D. Ansolabehere, K. Itaoka, F. Johnsson, and M. Odenberger. 2006. "American Exceptionalism? Similarities and Differences in National Attitudes Toward Energy Policy and Global Warming." *Environmental Science & Technology*, Vol. 40, No. 7, pp. 2093-98.
- Riekkola, Anna Krook, Erik O. Ahlgren, and Patrik Söderholm. 2011. "Ancillary Benefits of Climate Policy in a Small Open Economy: The Case of Sweden." *Energy Policy*, Vol. 39, pp. 4985-98.
- Roßegger, Ulf, and Ralf Ramin. 2013. "Explaining the Ending of Sweden's Nuclear Phase-out Policy: A New Approach by Referring to the Advocacy Coalition Framework Theory." *The European Journal of Social Science Research*, Vol. 26, No. 4, pp. 323-43.
- Rosner, Robert, and Sabrina Fields. 2021. "Is Nuclear Power Sustainable in a Carbon-free World? The Case of Sweden." *Bulletin of the Atomic Scientists*, Vol. 77, No. 6, pp. 295-300.
- PVknowhow. 2025. "Sweden Solar Project Block: 5 Shocking Implications for Renewable Energy, Sweden's Largest Solar Project Blocked over Agricultural Concerns." (<https://www.pvknowhow.com/news/sweden-solar-project-block-5-shocking-implications-for-renewable-energy/>) (2026/3/14)

- Sanders, Mark C., and Charlotta E. Sanders. 2019. "Chapter 3: Waste Management Techniques." In *Nuclear Waste Management Strategies: An International Perspective*, pp. 23-30. London: Academic Press
(<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/nuclear-fuel-reprocessing#chapters-articles>) (2026/1/21)
- Sarasini, Steven. 2009. "Constituting Leadership via Policy: Sweden as a Pioneer of Climate Change Mitigation." *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, Vol. 14, pp. 635-53.
- Schipper, Lee, and Lynn Price. 1994. "Efficient Energy Use and Well Being: The Swedish Example after 20 Years." *Natural Resource Forum*, Vol. 18, No. 2, pp. 125-42.
- SKB. 2025a. "How Forsmark Was Selected." (<https://skb.com/future-projects/the-spent-fuel-repository/how-forsmark-was-selected/>) (2026/1/21)
- SKB. 2025b. "Our Generation Must Take Care of the Swedish Nuclear Waste."
(<https://skb.com/about-skb/our-task/>) (2026/1/21)
- Söderholm, Patrik, and Fredrik Pettersson. 2008. "Climate Policy and the Social Cost of Power Generation: Impacts of the Swedish National Emissions Target." *Energy Policy*, Vol. 36, pp. 4154-58.
- Sonnjö, Hannes. 2024. "What We Talk about When We Talk about Electricity: A Thematic Analysis of Recent Political Debates on Swedish Electricity Supply." *Energy Policy*, Vol. 187, 114053 (DOI: 10.1016/j.enpol.2024.114053)
- Strandberg, G., P. Blomqvist, N. Fransson, L. Göransson, J. Hansson, S. Hellsten, E. Kjellström, C. Lin, E. Löfblad, S. Montin, E. Nyholm, A. Sandgren, T. Unger, V. Walter, and J. Westerberg. 2024. "Bespoke Climate Indicators for the Swedish Energy Sector: A Stakeholder Focused Approach." *Climate Services*, Vol. 34, 100486 (DOI: 10.1016/j.cliser.2024.100486)
- Sundström, Aksel, and Aaron M. McCright. 2016. "Women and Nuclear Energy: Examining the Gender Divide in Opposition to Nuclear Power among Swedish Citizens and Politicians." *Energy Research & Social Science*, Vol. 11, pp. 29-39.
- Swedish Energy Agency. 2016. "Four Futures: The Swedish Energy System beyond 2020."
(<http://large.stanford.edu/courses/2022/ph240/lalov2/docs/emh-oct16.pdf>) (2026/1/30)
- Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co. 2012. "Site Investigation Forsmark 2002-2007." (https://skb.se/upload/publications/pdf/Site_investigation_Forsmark_2002-2007.pdf) (2026/1/21)

- SWEEP. 2025. “Understanding Carbon Dioxide Equivalent (CO₂e)”
(<https://www.sweep.net/blog/understanding-carbon-dioxide-equivalent-co2e>) (2026/1/16)
- Swedish Energy Markets Inspectorate. 2021. “Sweden’s Electricity and Natural Gas Market 2020.” Ei R2021:10
(<https://ei.se/download/18.c87a6d817ce9d34579beee/1636974505777/Sweden's-electricity-and-natural-gas-market-2020-Ei-R2021-10.pdf>) (2026/3/14)
- Titan FX Limited. 2023. 「EURUSD 2008 年年匯率歷史：歐元/美元 2008 年年按月數據一覽」(<https://research.titanfx.com/zh-hant/historical-rates/eurusd/2008>)
(2026/1/18)
- Trygg, Louise, and Björn G. Karlsson. 2005. “Industrial DSM in a Deregulated European Electricity Market: A Case Study of 11 Plants in Sweden.” *Energy Policy*, Vol. 33, pp. 1445-59.
- Vardanyan, Yelena. 2025. “Energy Communities in Sweden: Barriers and Driving Forces.” *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*, Vol. 12, 10 (DOI: 10.1007/s40518-025-00257-w)
- Viklund, Mattias. 2004. “Energy Policy Options: From the Perspective of Public Attitudes and Risk Perceptions.” *Energy Policy*, Vol. 32, pp. 1159-71.
- Vinichenko, Vadim, Jessica Jewell, Johan Jacobsson, and Aleh Cherp. 2023. “Historical Diffusion of Nuclear, Wind and Solar Power in Different National Contexts: Implications for Climate Mitigation Pathways.” *Environmental Research Letters*, Vol. 18, 094066 (DOI:10.1088/1748-9326/acf47a)
- Wang, Yan. 2006. “Renewable Electricity in Sweden: An Analysis of Policy and Regulations.” *Energy Policy*, Vol. 34, pp. 1209-20.
- Wickman, Kurt. 1988. “The Energy Market and Energy Policy in Sweden 1965-1984.” *Energy*, Vol. 13, No. 1, pp. 83-96.
- World Bank. 2026a. “State and Trends of Carbon Pricing Dashboard: Download Data.” (<https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/about#download-data>) (2026/2/3)
- World Bank. 2026b. “GNI Per Capita, Atlas Method (Current US\$).” (https://data.worldbank.org/indicator/NY.GNP.PCAP.CD?locations=TW&name_desc=true) (2026/2/5)
- World Nuclear Association. 2024a. “Country Profiles: Nuclear Power in Sweden.” (<https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-o-s/sweden>) (2026/1/16)

World Nuclear Association. 2024b. “Processing of Used Nuclear Fuel.” (<https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/fuel-recycling/processing-of-used-nuclear-fuel>) (2026/1/21)

World Nuclear Association. 2025. “Nuclear Power in Sweden.” (<https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-o-s/sweden>) (2026/1/11)

Zhang, M., M. Takeda, H. Nakajima, M. Sasada, K. Tsukimura, and Y. Watanabe. 2009. “Nuclear Energy and the Management of High-Level Radioactive Waste in Japan.” *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 14, No. 11, pp. 1208-13.

附表 1：台灣、瑞典與北歐其他 4 國各國與整體及世界整體歷年能源總供給量 (TES) *

年	台灣	瑞典	丹麥	挪威	冰島	芬蘭	瑞典外其他 北歐 4 國	北歐 5 國	世界
1990	2,116,926	1,982,326	701,046	938,505	96,644	1,149,935	2,886,130	4,868,456	364,298,861
1991	2,292,929	2,043,190	813,126	920,237	88,411	1,179,259	3,001,033	5,044,223	366,625,129
1992	2,390,205	1,943,057	757,793	956,693	86,529	1,105,704	2,906,719	4,849,776	366,964,960
1993	2,566,496	1,935,417	787,772	1,013,241	92,534	1,164,241	3,057,788	4,993,205	370,750,453
1994	2,694,662	2,066,671	837,071	964,719	94,072	1,248,852	3,144,714	5,211,385	373,634,368
1995	2,835,916	2,099,979	815,006	1,007,127	94,123	1,180,578	3,096,834	5,196,813	383,136,907
1996	2,974,469	2,120,766	974,586	920,996	101,231	1,289,241	3,286,054	5,406,820	392,543,932
1997	3,134,407	2,103,835	877,792	995,162	99,633	1,323,236	3,295,823	5,399,658	396,651,866
1998	3,342,812	2,166,811	853,341	1,040,857	106,611	1,330,022	3,330,831	5,497,642	398,550,990
1999	3,459,147	2,116,726	811,207	1,110,547	120,244	1,318,999	3,360,997	5,477,723	407,292,162
2000	3,752,351	1,965,051	777,923	1,163,192	134,273	1,310,271	3,385,659	5,350,710	416,003,470
2001	3,934,720	2,134,561	806,558	1,111,284	130,349	1,352,663	3,400,854	5,535,415	419,460,220
2002	4,133,366	2,142,036	803,230	1,079,182	134,444	1,417,586	3,434,442	5,576,478	428,395,379
2003	4,300,567	2,069,582	872,295	1,105,128	134,458	1,522,755	3,634,636	5,704,218	443,866,195
2004	4,507,903	2,205,473	824,397	1,155,769	133,202	1,539,364	3,652,732	5,858,205	463,943,489
2005	4,549,904	2,173,584	785,568	1,265,351	135,134	1,374,990	3,561,043	5,734,627	477,281,544
2006	4,670,807	2,069,809	873,863	1,228,527	167,688	1,522,344	3,792,422	5,862,231	491,118,725
2007	4,903,816	2,076,369	832,504	1,190,510	198,126	1,494,422	3,715,562	5,791,931	504,475,044
2008	4,710,111	2,073,503	800,245	1,327,915	230,452	1,428,297	3,786,909	5,860,412	510,201,363
2009	4,603,393	1,876,057	775,439	1,284,284	239,182	1,350,844	3,649,749	5,525,806	504,860,136
2010	4,919,833	2,118,474	816,397	1,292,040	226,693	1,487,855	3,822,985	5,941,459	533,164,526
2011	4,895,133	2,104,574	745,745	1,150,638	242,571	1,417,945	3,556,899	5,661,473	541,593,205
2012	4,852,424	2,169,166	700,251	1,282,782	236,778	1,352,650	3,572,461	5,741,627	547,940,620
2013	4,943,082	2,108,373	718,913	1,300,324	246,878	1,335,618	3,601,733	5,710,106	556,367,521
2014	5,043,546	2,075,263	670,308	1,240,273	245,997	1,357,600	3,514,178	5,589,441	562,950,809
2015	4,994,542	1,947,275	656,240	1,118,960	234,220	1,293,145	3,302,565	5,249,840	564,029,095
2016	5,021,186	2,051,400	674,971	1,231,063	220,511	1,332,203	3,458,748	5,510,148	569,504,661
2017	5,023,338	2,134,252	682,541	1,303,240	233,416	1,318,713	3,537,910	5,672,162	582,221,545
2018	5,065,753	2,168,434	677,267	1,263,444	256,171	1,344,697	3,541,579	5,710,013	595,809,422
2019	4,961,880	2,142,815	649,948	1,163,712	252,112	1,313,156	3,378,928	5,521,743	602,288,356
2020	4,856,811	1,937,419	618,322	1,228,114	246,770	1,267,308	3,360,514	5,297,933	581,045,092
2021	5,084,971	2,070,301	656,704	1,257,400	246,107	1,319,382	3,479,593	5,549,894	615,309,478
2022	4,897,575	2,008,949	631,132	1,101,304	252,808	1,269,910	3,255,154	5,264,103	622,338,364
2023	4,627,060	1,983,380	604,473	1,186,046	253,273	1,356,893	3,400,685	5,384,065	633,700,470
2024	----	2,015,946	609,387	1,174,724	258,860	1,300,942	3,343,913	5,359,859	----

資料來源：IEA (2026m；2026n；2026o；2026p；2026q；2026r；2026s)。

註*：表中所有數值的單位為能量單位兆焦耳；1 兆焦耳為 277.8 千度電。

附表 2：台灣 1990-2023 年各種燃料能源總供給量 (TES) 及各種燃料能源總需求 (TFC) 與各種燃料能源最終總消費量 (TFC) 及各燃料能源佔比

年	各種燃料能源年供給量 (TES)			各種燃料能源總供給量 (TES) 佔比			各種燃料能源總需求 (TFC)			各種燃料能源總需求 (TFC) 佔比			各種燃料能源最終總消費量 (TFC)			各種燃料能源最終總消費量 (TFC) 佔比					
	煤及相關品	天然氣	水力	核能	太陽能	生質能	石油及相關品	非潔淨能源	潔淨能源	煤及相關品	天然氣	水力	核能	太陽能	生質能	石油及相關品	非潔淨能源	潔淨能源			
1990	2,116,926	22,65	3,11	1,05	16,94	0,04	56,11	18,13	81,87	1,340,329	10,85	65,40	3,10	0,06	20,59	0,00	0,00	0,00	0,06	79,35	20,59
1991	2,292,929	22,95	4,99	0,58	16,79	0,05	54,51	17,54	82,46	1,427,047	11,06	63,98	3,50	0,07	21,38	0,01	0,00	0,00	0,08	78,54	21,38
1992	2,390,205	25,61	4,94	0,96	15,45	0,06	52,83	16,62	83,38	1,536,061	11,25	63,76	3,64	0,09	21,25	0,02	0,00	0,00	0,10	78,64	21,25
1993	2,566,496	26,76	4,49	0,54	14,60	0,06	53,42	15,34	84,66	1,614,474	10,99	63,27	3,60	0,10	22,02	0,02	0,00	0,00	0,12	77,86	22,02
1994	2,694,662	26,56	5,62	0,62	14,12	0,07	52,82	15,00	85,00	1,711,267	10,46	63,50	3,64	0,11	22,26	0,04	0,00	0,00	0,15	77,59	22,26
1995	2,835,916	26,00	5,73	0,56	13,59	0,08	52,88	14,51	85,49	1,798,884	9,77	63,57	3,90	0,13	22,57	0,06	0,00	0,00	0,19	77,24	22,57
1996	2,974,469	28,05	5,73	0,52	13,86	0,08	51,39	14,83	85,17	1,876,695	9,66	63,16	3,92	0,13	23,03	0,09	0,00	0,00	0,22	76,75	23,03
1997	3,134,407	30,36	6,22	0,55	12,62	0,09	49,54	13,88	86,12	1,939,475	10,12	61,63	3,84	0,14	23,87	0,39	0,00	0,00	0,24	75,59	23,87
1998	3,342,812	30,78	7,29	0,62	12,03	0,09	48,48	13,45	86,55	2,016,199	9,87	61,00	3,71	0,15	24,82	0,46	0,00	0,00	0,26	74,57	24,82
1999	3,459,147	30,46	6,89	0,48	11,99	0,09	49,15	13,50	86,50	2,106,621	9,51	61,46	3,53	0,15	24,83	0,52	0,00	0,00	0,26	74,51	24,83
2000	3,752,351	33,31	6,95	0,45	11,19	0,09	46,96	12,78	87,22	2,245,937	10,16	60,23	3,27	0,14	24,65	0,55	0,00	0,00	0,26	73,66	24,65
2001	3,934,720	33,28	7,37	0,42	9,84	0,09	47,71	11,63	88,37	2,434,521	9,57	62,59	3,03	0,14	24,02	0,61	0,04	0,00	0,26	75,19	24,02
2002	4,133,366	34,44	7,95	0,21	10,44	0,09	45,56	12,05	87,95	2,544,619	9,76	62,03	3,10	0,14	24,26	0,67	0,05	0,00	0,26	74,89	24,26
2003	4,300,567	35,31	7,92	0,22	9,87	0,09	45,07	11,70	88,30	2,682,839	9,27	61,70	2,88	0,14	24,32	0,70	0,09	0,00	0,26	73,85	24,32
2004	4,507,903	35,13	8,89	0,23	9,56	0,09	44,98	11,36	88,64	2,795,366	8,92	61,39	3,02	0,14	24,59	0,69	0,12	0,00	0,26	73,33	24,59
2005	4,549,904	35,46	9,10	0,32	9,58	0,10	44,98	11,47	88,53	2,822,563	8,78	60,55	3,11	0,14	25,37	0,70	0,13	0,00	0,26	72,44	25,37
2006	4,670,807	36,25	9,31	0,32	9,31	0,11	44,32	11,20	88,80	2,862,154	9,13	59,48	3,08	0,15	25,87	0,72	0,15	0,00	0,26	71,69	25,87
2007	4,903,816	36,20	9,60	0,32	9,02	0,12	44,32	10,91	89,09	3,051,116	8,74	60,39	2,94	0,14	25,10	0,68	0,20	0,00	0,26	72,08	25,10
2008	4,710,111	36,02	10,68	0,33	9,46	0,14	43,28	11,48	88,52	2,926,394	8,58	59,75	3,07	0,16	25,85	0,75	0,18	0,00	0,26	71,40	25,85
2009	4,603,393	35,17	10,69	0,29	9,85	0,17	42,32	11,83	88,17	2,899,171	7,95	60,96	3,14	0,16	25,04	0,71	0,20	0,00	0,26	72,05	25,04
2010	4,919,833	35,35	12,53	0,31	9,23	0,17	40,91	11,21	88,79	3,081,023	8,81	59,34	3,31	0,16	25,52	0,75	0,21	0,00	0,26	71,46	25,52
2011	4,895,133	36,45	13,88	0,29	9,39	0,21	38,25	11,43	88,57	3,007,012	9,71	56,95	3,70	0,16	26,70	0,75	0,20	0,00	0,26	70,36	26,70
2012	4,852,424	35,81	14,62	0,42	9,09	0,22	38,23	11,34	88,66	3,004,393	9,56	56,64	4,12	0,16	26,66	0,76	0,21	0,00	0,26	70,33	26,66
2013	4,943,082	35,90	14,29	0,39	9,19	0,24	38,33	11,41	88,59	3,097,391	9,85	56,76	4,20	0,15	26,35	0,75	0,19	0,00	0,26	70,81	26,35
2014	5,043,546	35,61	14,88	0,31	9,17	0,24	38,31	11,19	88,81	3,121,942	9,18	56,81	4,48	0,15	26,78	0,71	0,19	0,00	0,26	70,46	26,78
2015	4,994,542	34,93	16,11	0,32	7,97	0,27	38,90	10,05	89,95	3,135,606	9,14	57,01	4,67	0,15	26,52	0,69	0,18	0,00	0,26	70,82	26,52
2016	5,021,186	35,18	16,75	0,47	6,88	0,28	40,00	9,02	90,98	3,149,696	9,28	56,24	4,93	0,15	27,03	0,61	0,17	0,00	0,26	70,45	27,03
2017	5,023,338	35,69	18,41	0,39	4,87	0,34	38,95	6,95	93,05	3,141,324	8,70	55,83	5,31	0,15	27,68	0,58	0,17	0,00	0,26	69,89	27,68
2018	5,065,753	35,57	18,43	0,32	5,96	0,40	37,92	8,08	91,92	3,187,595	7,29	55,56	5,68	0,14	27,94	0,57	0,17	0,00	0,26	68,61	27,94
2019	4,961,880	36,13	18,54	0,40	7,11	0,51	35,88	9,45	90,55	3,066,739	7,55	54,08	6,05	0,14	28,89	0,59	0,16	0,00	0,26	67,77	28,89
2020	4,856,811	34,47	20,45	0,22	7,06	0,71	35,63	9,44	90,56	3,092,066	7,24	53,79	6,23	0,14	29,33	0,58	0,16	0,00	0,26	67,34	29,33
2021	5,084,971	35,36	21,25	0,25	5,96	0,80	34,99	8,39	91,61	3,264,167	7,24	53,71	6,50	0,10	29,16	0,57	0,16	0,00	0,26	67,53	29,16
2022	4,897,575	34,64	22,87	0,43	5,29	1,14	34,17	8,32	91,68	3,058,806	6,77	52,02	7,22	0,13	30,65	0,64	0,16	0,00	0,26	66,08	30,65
2023	4,627,060	34,62	23,85	0,31	4,20	1,59	33,86	7,66	92,34	2,889,846	6,29	50,73	7,69	0,14	32,15	0,50	0,24	0,00	0,26	64,75	32,15
平均	4,148,884	32,84	11,48	0,42	10,04	0,26	43,82	11,86	88,14	2,586,450	9,15	59,27	4,15	0,14	25,53	0,51	0,24	0,01	0,26	72,58	25,53

資料來源：本文計算自 IEA (2026a; 2026a)。

註 a：表中 TES 及 TFC 單位的兆焦耳，其他所有數值均為 %。

註 b：TES 潔淨能源佔比(1)為(C)、(D)、(E)與(F)合計；而(2)為(A)、(B)與(G)合計。而 TFC 的潔淨能源佔比(3)為(A)、(B)、(C)與(H)合計；而(4)為(D)、(F)和(G)合計，而電力則另外再列一次。

附表 3：瑞典 1990-2024 年各種燃料能源總供給量 (TES) 及各種燃料能源總消費量 (TFC) 及各燃料能源佔比

年	各種燃料能源總供給量 (TES) 及各種燃料佔 TES 比										各種燃料能源總消費量 (TFC) 及各種燃料佔 TFC 比											
	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	(H)	(I)	(J)	(A')	(B')	(C')	(D')	(E')	(F')	(G')	(H')	(I')	(J')		
	各種燃料 能源年 TES	煤炭及 相關 產品	天然 氣	水 力	核 能	太陽 光電 風力 再生 能源	生質 能與 廢棄 物	油 及 相 關 產品	非潔 淨能 源 比	非潔 淨能 源 比	各種 燃料 能源 年 TFC	煤炭及 相關 產品	石油 及 相 關 產品	天然 氣	太陽 光電 風力 再生 能源	生質 能與 廢棄 物	電力 熱力	電力 熱力	電力 熱力	電力 熱力	非潔 淨能 源 比	非潔 淨能 源 比
1990	1,982,326	6.24	12.2	13.17	37.52	0.01	11.63	30.21	62.33	37.67	1,344,692	3.34	43.64	1.04	0.01	14.43	32.22	5.31	19.76	48.03	32.22	
1991	2,043,190	5.76	12.6	11.14	40.98	0.01	11.81	29.03	63.95	36.05	1,347,033	2.65	42.76	0.97	0.01	14.83	32.61	6.18	21.02	46.37	32.61	
1992	1,943,057	5.70	13.0	13.77	35.68	0.01	12.90	30.45	62.36	37.64	1,427,421	2.57	43.44	0.88	0.01	13.36	30.28	9.46	22.83	46.89	30.28	
1993	1,935,417	5.89	16.4	13.89	34.61	0.02	13.75	30.21	62.26	37.74	1,428,636	2.67	41.92	1.02	0.01	13.74	30.52	10.12	23.87	45.61	30.52	
1994	2,066,671	5.94	13.3	10.29	38.62	0.02	13.34	30.26	62.27	37.73	1,465,615	2.44	43.27	1.00	0.01	13.28	30.08	9.92	23.21	46.71	30.08	
1995	2,099,979	5.74	13.0	11.67	36.33	0.03	14.37	30.35	62.40	37.60	1,499,103	2.61	42.38	1.03	0.01	14.16	29.91	9.89	24.06	46.02	29.91	
1996	2,120,766	5.97	16.0	8.78	38.21	0.03	15.06	30.35	62.08	37.92	1,542,459	2.51	42.30	1.10	0.01	14.07	29.41	10.60	24.68	45.91	29.41	
1997	2,103,835	5.21	15.9	11.82	36.26	0.25	15.56	29.31	63.89	36.11	1,512,592	2.20	42.20	1.10	0.01	14.97	29.84	9.69	24.68	45.49	29.84	
1998	2,166,811	4.91	15.3	12.46	37.05	0.30	15.07	28.68	64.88	35.12	1,517,206	1.96	41.83	1.18	0.01	14.90	30.00	10.12	25.03	44.97	30.00	
1999	2,116,726	4.81	13.7	12.19	37.72	0.32	14.71	28.68	64.84	35.06	1,494,529	1.80	42.68	1.26	0.01	13.20	30.49	10.55	23.77	45.74	30.49	
2000	1,965,051	5.22	16.5	14.40	31.82	0.39	17.61	28.91	64.22	35.78	1,477,823	2.18	40.15	1.26	0.02	14.98	31.36	10.06	25.06	43.59	31.36	
2001	2,134,361	5.40	17.2	13.53	36.85	0.47	15.13	27.10	65.78	34.22	1,470,413	2.06	40.08	1.40	0.01	12.71	32.39	11.35	24.07	43.54	32.39	
2002	2,142,036	5.41	17.4	11.15	34.69	0.54	15.05	31.28	61.43	38.57	1,487,415	2.59	40.59	1.29	0.01	12.53	31.69	11.29	23.84	44.47	31.69	
2003	2,069,382	5.41	18.0	9.31	35.54	0.61	16.45	30.89	61.91	38.09	1,461,661	2.78	39.53	1.42	0.01	12.73	31.88	11.64	24.39	43.73	31.88	
2004	2,205,473	5.60	16.8	9.81	38.33	0.59	15.76	28.23	64.50	35.50	1,455,401	2.96	38.63	1.49	0.01	12.89	32.25	11.77	24.67	43.09	32.25	
2005	2,173,584	5.06	16.2	12.06	36.33	0.65	16.80	27.49	65.83	34.17	1,434,552	2.78	37.73	1.49	0.02	13.01	32.80	12.18	25.20	42.00	32.80	
2006	2,069,809	5.44	17.8	10.74	35.30	0.70	18.79	27.25	65.53	34.47	1,431,474	2.47	36.72	1.53	0.02	14.14	32.90	12.23	26.38	40.72	32.90	
2007	2,076,369	5.40	18.4	11.47	35.18	0.80	19.23	26.08	66.69	33.31	1,440,102	2.67	36.28	1.57	0.02	14.78	32.77	11.90	26.71	40.52	32.77	
2008	2,073,503	4.91	16.7	11.99	33.61	0.95	19.55	27.32	66.10	33.90	1,404,692	2.49	35.99	1.42	0.03	14.98	32.97	12.11	27.12	39.91	32.97	
2009	1,876,057	4.30	24.3	12.64	30.34	1.22	22.62	26.45	66.82	33.18	1,338,660	1.59	33.88	1.74	0.03	16.24	33.19	13.33	29.60	37.21	33.19	
2010	2,118,474	4.92	2.90	11.28	29.78	1.39	22.23	27.51	64.68	33.32	1,455,995	2.44	32.77	1.91	0.03	15.62	32.44	14.78	30.43	37.12	32.44	
2011	2,104,574	4.96	2.30	11.36	31.35	1.81	20.89	27.32	65.42	34.58	1,387,377	2.59	32.77	2.00	0.03	17.79	32.34	12.48	30.30	37.36	32.34	
2012	2,169,166	4.23	1.94	13.10	32.21	2.08	22.11	24.33	69.50	30.50	1,386,440	2.24	30.98	2.08	0.03	20.75	32.87	13.14	33.92	33.22	32.87	
2013	2,108,373	4.40	1.90	10.48	34.39	2.59	22.64	23.61	70.09	29.91	1,370,732	2.36	31.06	1.80	0.03	18.31	32.83	13.61	31.95	35.21	32.83	
2014	2,075,263	4.24	1.60	11.06	34.10	2.87	22.70	23.43	70.73	29.27	1,334,377	2.24	30.61	1.94	0.04	19.11	32.97	13.10	32.24	34.79	32.97	
2015	1,947,275	4.55	1.56	13.92	31.57	4.09	25.30	19.02	74.88	25.12	1,350,765	2.29	29.05	2.07	0.03	19.94	33.28	13.00	32.97	33.75	33.28	
2016	2,051,400	4.18	1.67	10.88	33.56	3.76	25.15	20.79	73.35	26.65	1,379,477	2.15	29.05	1.69	0.03	20.36	33.27	13.45	33.84	33.27	33.84	
2017	2,134,252	4.01	1.80	10.99	33.58	4.06	25.92	19.63	74.55	25.45	1,393,888	2.08	28.64	2.50	0.03	20.75	32.87	13.14	33.92	33.22	32.87	
2018	2,168,434	4.24	1.93	10.33	34.49	3.80	24.15	21.06	72.77	27.23	1,369,044	2.03	27.47	2.48	0.03	21.03	33.54	13.42	34.48	31.98	33.54	
2019	2,142,815	3.88	1.84	10.98	33.67	4.46	25.78	19.39	74.89	24.11	1,361,339	2.15	28.00	2.40	0.03	21.07	33.93	13.31	34.41	32.65	33.93	
2020	1,937,419	3.38	2.71	13.45	27.70	6.38	28.32	18.05	75.86	24.14	1,316,023	1.97	25.01	2.69	0.03	23.67	33.64	12.99	36.69	29.67	33.64	
2021	2,070,301	3.48	2.04	12.85	27.91	6.12	28.99	18.61	75.87	24.13	1,379,745	2.03	25.38	2.48	0.03	22.57	33.28	14.24	36.83	29.89	33.28	
2022	2,008,949	3.16	1.31	12.52	28.21	7.36	29.00	18.45	77.08	22.92	1,308,077	2.23	23.45	1.77	0.03	24.74	33.65	14.13	38.90	27.45	33.65	
2023	1,983,380	3.13	1.52	12.01	26.66	8.93	28.92	18.83	76.52	23.48	1,328,842	2.18	24.16	1.53	0.03	25.01	33.60	14.49	39.53	27.87	33.60	
2024	2,015,946	3.29	1.58	11.58	27.28	9.72	26.43	20.12	75.01	24.99	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
平均	2,068,595	4.81	1.76	11.80	33.93	2.21	19.82	25.68	67.75	32.25	1,414,804	2.36	35.43	1.61	0.02	16.70	32.13	11.75	28.47	39.40	32.13	

資料來源：本文計算自 IEA (2026q; 2026ah)。

註 a：表中 TES 及 TFC 單位的兆焦耳，其他所有數值均為 %。

註 b：TES 潔淨能源佔比(1)為(C)、(D)、(E)與(F)合計；而(2)為(A)、(B)與(G)合計。而 TFC 的潔淨能源佔比(3)為(A')、(B')與(C')合計；而(4)為 (D')、(E')和 (G')合計；而電力比則另外再列一次。

附表 4：台灣 1990-2023 年電力總度數來自傳統各類非潔淨燃料與各潔淨能源佔電力總發電度數比

年	電力總 度數 (百萬 度)	傳統各類非潔淨燃料發電 度數佔電力總度數比例 (%)				各潔淨能源發電度數 佔電力總度數比例 (%)							
		煤	油	天然 氣	合計	核能	水 力	生質 能	廢棄 物	風力	太陽 光電	地 熱	合計
1990	92,297	29.76	24.23	1.30	55.29	35.61	8.87	0.23	-----	-----	-----	0.00	44.71
1991	100,899	31.11	25.37	2.84	59.32	34.98	5.46	0.24	0.01	-----	-----	0.00	40.68
1992	105,529	35.59	21.30	2.86	59.75	32.07	7.91	0.23	0.03	-----	-----	0.00	40.25
1993	115,207	38.90	22.97	2.26	64.13	29.82	5.83	0.19	0.03	-----	-----	0.00	35.87
1994	124,637	38.73	21.60	4.32	64.65	27.98	7.13	0.17	0.08	-----	-----	-----	35.35
1995	133,117	37.81	24.22	4.39	66.42	26.53	6.67	0.20	0.18	-----	-----	-----	33.58
1996	141,962	42.20	19.94	4.39	66.52	26.62	6.37	0.18	0.31	-----	-----	-----	33.48
1997	150,486	43.62	19.44	5.96	69.02	24.10	6.36	0.18	0.34	-----	-----	-----	30.98
1998	163,229	43.10	18.47	8.75	70.32	22.59	6.50	0.15	0.44	-----	-----	-----	29.68
1999	169,064	43.56	18.79	9.14	71.49	22.48	5.29	0.16	0.58	-----	-----	-----	28.51
2000	184,840	47.05	16.79	9.55	73.40	20.83	4.80	0.16	0.81	0.00	-----	-----	26.60
2001	188,528	50.43	13.77	10.88	75.08	18.82	4.86	0.18	1.05	0.01	-----	-----	24.92
2002	198,686	51.75	10.53	13.20	75.48	19.91	3.20	0.21	1.20	0.01	-----	-----	24.52
2003	209,074	53.73	9.29	13.57	76.58	18.60	3.30	0.19	1.32	0.01	-----	-----	23.42
2004	218,395	52.81	8.01	16.56	77.37	18.08	3.00	0.16	1.38	0.01	0.00	-----	22.63
2005	227,510	52.76	7.56	17.11	77.43	17.57	3.48	0.14	1.34	0.04	0.00	-----	22.57
2006	235,529	52.67	8.43	17.03	78.13	16.93	3.40	0.14	1.30	0.12	0.00	-----	21.88
2007	243,109	52.84	6.92	18.52	78.28	16.68	3.44	0.12	1.30	0.18	0.00	-----	21.72
2008	238,304	51.28	6.31	20.36	77.95	17.13	3.26	0.11	1.30	0.25	0.00	-----	22.05
2009	230,035	52.46	4.09	20.55	77.10	18.07	3.07	0.10	1.32	0.34	0.00	-----	22.90
2010	247,059	49.52	4.51	24.39	78.41	16.85	2.94	0.11	1.27	0.42	0.01	-----	21.59
2011	252,165	49.36	3.76	25.46	78.58	16.70	2.74	0.09	1.27	0.59	0.03	-----	21.42
2012	250,367	48.90	3.04	26.48	78.42	16.15	3.44	0.10	1.27	0.57	0.06	-----	21.58
2013	252,342	48.13	2.70	27.10	77.94	16.50	3.41	0.09	1.29	0.65	0.13	-----	22.07
2014	259,962	47.49	3.08	28.11	78.68	16.31	2.86	0.10	1.28	0.58	0.20	-----	21.32
2015	258,143	45.39	4.64	30.61	80.64	14.13	2.91	0.10	1.31	0.59	0.33	-----	19.36
2016	264,108	45.90	4.50	31.54	81.95	11.99	3.73	0.08	1.29	0.55	0.42	-----	18.06
2017	270,252	47.35	4.71	33.84	85.89	8.31	3.25	0.07	1.24	0.64	0.62	-----	14.11
2018	275,534	47.64	2.97	33.54	84.14	10.05	2.85	0.07	1.29	0.62	0.98	-----	15.86
2019	274,177	46.10	2.13	33.24	81.48	11.79	3.19	0.06	1.33	0.69	1.46	-----	18.52
2020	279,990	44.97	1.58	35.68	82.22	11.23	2.21	0.07	1.28	0.82	2.17	0.00	17.78
2021	291,015	44.28	1.83	37.24	83.34	9.55	2.29	0.07	1.24	0.78	2.74	0.00	16.66
2022	288,149	42.01	1.54	38.87	82.42	8.24	3.09	0.06	1.25	1.23	3.71	0.01	17.58
2023	282,154	42.23	1.34	39.56	83.13	6.31	2.49	0.08	1.19	2.21	4.58	0.01	16.87
平均	212,231	45.63	10.30	19.09	75.02	18.81	4.22	0.13	0.97	0.50	0.87	0.00	24.97

資料來源：本文計算自 IEA (2026k)。

附表 5：瑞典 1990-2024 年電力總度數來自傳統各種非潔淨燃料與各潔淨能源佔電力總發電度數比

年	電力總 度數 (百萬 度)	傳統各類非潔淨燃料發電度 數佔電力總度數比例 (%)				各潔淨能源發電度數佔電力總度數比例 (%)						
		煤	油	天然氣	合計	核能	水力	生質能	廢棄 物	風力	太陽 光電	合計
1990	146,514	1.09	0.89	0.27	2.24	46.54	49.85	1.30	0.07	0.00	0.00	97.76
1991	147,396	1.73	1.35	0.34	3.42	52.08	43.19	1.23	0.07	0.01	0.00	96.58
1992	146,465	1.83	1.79	0.45	4.07	43.39	51.11	1.34	0.07	0.02	0.00	95.93
1993	145,812	2.03	2.14	0.57	4.74	42.11	51.58	1.46	0.07	0.03	0.00	95.26
1994	143,053	2.26	2.89	0.51	5.65	51.14	41.56	1.53	0.06	0.05	0.00	94.35
1995	148,351	2.10	2.66	0.45	5.21	47.14	45.95	1.56	0.08	0.07	0.00	94.79
1996	140,662	3.19	5.13	0.41	8.73	52.80	36.81	1.47	0.09	0.10	0.00	91.27
1997	149,249	1.90	2.50	0.41	4.81	46.85	46.30	1.83	0.07	0.14	0.00	95.19
1998	158,831	1.92	2.12	0.27	4.31	46.33	47.25	1.71	0.21	0.20	0.00	95.69
1999	154,860	2.05	2.03	0.26	4.34	47.26	46.31	1.71	0.15	0.23	0.00	95.66
2000	145,266	1.75	1.06	0.32	3.12	39.46	54.12	2.76	0.23	0.32	0.00	96.88
2001	161,617	2.01	1.43	0.22	3.66	44.62	48.93	2.28	0.21	0.30	0.00	96.34
2002	146,735	2.53	2.01	0.35	4.89	46.42	45.25	2.77	0.26	0.41	0.00	95.11
2003	135,437	3.20	2.86	0.52	6.58	49.78	39.57	3.23	0.35	0.50	0.00	93.42
2004	151,738	1.65	1.29	0.49	3.44	51.07	39.66	4.42	0.85	0.57	0.00	96.57
2005	158,435	1.22	0.87	0.37	2.46	45.68	46.00	4.40	0.88	0.59	0.00	97.54
2006	143,416	1.39	1.16	0.41	2.96	46.70	43.13	5.43	1.09	0.69	0.00	97.04
2007	148,922	1.15	0.72	0.55	2.42	44.97	44.49	5.86	1.30	0.96	0.00	97.58
2008	150,038	1.49	0.58	0.40	2.47	42.58	46.13	6.04	1.44	1.33	0.00	97.53
2009	136,735	1.17	0.53	1.13	2.84	38.16	48.25	7.62	1.31	1.82	0.01	97.16
2010	148,548	1.80	1.19	1.94	4.93	38.93	44.77	7.05	1.97	2.35	0.01	95.07
2011	150,405	1.37	0.53	1.03	2.92	40.21	44.25	6.43	2.12	4.06	0.01	97.08
2012	166,561	0.84	0.39	0.54	1.76	38.45	47.47	6.32	1.69	4.30	0.01	98.24
2013	153,166	0.94	0.27	0.55	1.76	43.39	40.15	6.36	1.89	6.43	0.02	98.24
2014	153,663	0.72	0.20	0.27	1.18	42.22	41.57	5.90	1.79	7.31	0.03	98.82
2015	162,112	0.78	0.16	0.26	1.20	34.76	46.54	5.56	1.82	10.07	0.06	98.81
2016	156,010	0.67	0.26	0.40	1.33	40.45	39.83	6.29	2.10	9.92	0.09	98.67
2017	164,250	0.75	0.18	0.17	1.09	40.00	39.68	6.27	2.11	10.72	0.14	98.91
2018	163,400	0.86	0.19	0.23	1.28	41.95	38.10	6.28	1.97	10.17	0.25	98.72
2019	168,439	0.70	0.13	0.17	1.00	39.26	38.82	6.69	2.04	11.78	0.40	99.00
2020	163,833	0.40	0.09	0.06	0.55	30.03	44.22	5.82	1.95	16.80	0.64	99.45
2021	171,798	0.43	0.20	0.16	0.80	30.83	43.03	6.56	2.03	15.86	0.89	99.20
2022	173,159	0.37	0.26	0.08	0.71	30.00	40.41	6.57	1.97	19.20	1.14	99.29
2023	166,093	0.40	0.12	0.09	0.61	29.18	39.88	6.21	1.62	20.62	1.88	99.39
2024	172,091	0.21	0.17	0.09	0.48	29.29	37.70	4.11	2.52	23.49	2.41	99.52
平均	154,087	1.40	1.15	0.42	2.97	42.11	44.05	4.35	1.10	5.18	0.23	97.03

資料來源：本文計算自 IEA (2026j)。

附表 6：北歐五國 1990-2024 年電力總度數來自傳統各種非潔淨燃料與各潔淨能源佔電力總發電度數比

年	電力總 度數 (百萬 度)	傳統各類非潔淨燃料發電度 數佔電力總度數比例 (%)				各潔淨能源發電度數佔電力總度數比例 (%)						
		煤	油	天然 氣	合計	核能	水力	生質 能	廢棄 物	風 力	太陽 光電	地熱
1990	353,095	10.77	1.10	1.63	13.50	24.75	59.33	2.09	0.06	0.17	0.00	0.09
1991	357,332	14.09	1.18	1.76	17.03	26.94	53.64	2.01	0.09	0.21	0.00	0.08
1992	356,878	11.65	1.47	1.94	15.06	23.20	59.23	2.06	0.12	0.27	0.00	0.06
1993	365,594	12.89	1.58	2.19	16.66	22.24	58.21	2.35	0.17	0.30	0.00	0.07
1994	367,278	15.36	2.42	2.61	20.39	25.21	51.31	2.50	0.18	0.33	0.00	0.07
1995	377,186	12.66	2.39	2.95	18.00	23.64	55.22	2.52	0.20	0.34	0.00	0.08
1996	373,565	17.74	3.84	4.03	25.61	25.10	46.20	2.32	0.32	0.37	0.00	0.09
1997	379,826	13.50	2.78	3.82	20.09	23.91	52.00	2.99	0.34	0.57	0.00	0.10
1998	393,249	10.25	2.43	4.48	17.16	24.27	53.92	3.28	0.41	0.81	0.00	0.17
1999	392,969	9.63	2.28	4.90	16.81	24.47	54.06	3.05	0.43	0.88	0.00	0.29
2000	401,648	8.07	1.64	4.87	14.58	19.87	60.24	3.33	0.45	1.20	0.00	0.33
2001	403,397	9.59	1.78	5.35	16.71	23.52	54.52	3.17	0.51	1.21	0.00	0.36
2002	399,724	10.52	1.97	5.49	17.98	22.62	53.54	3.56	0.53	1.41	0.00	0.36
2003	381,372	14.96	1.90	6.45	23.31	23.64	46.25	4.07	0.65	1.72	0.00	0.37
2004	396,868	11.33	1.07	6.00	18.40	25.25	48.30	4.87	0.84	1.97	0.00	0.37
2005	411,564	7.10	0.80	5.10	12.99	23.24	55.92	4.54	0.91	2.00	0.00	0.40
2006	402,469	12.53	0.95	5.66	19.14	22.33	49.79	5.16	0.96	1.96	0.00	0.65
2007	418,223	10.47	0.69	4.59	15.74	21.61	53.46	4.99	1.02	2.31	0.00	0.86
2008	422,089	8.11	0.64	4.54	13.29	20.58	56.57	5.12	1.10	2.39	0.00	0.96
2009	393,424	8.99	0.63	5.65	15.28	19.24	55.17	5.44	1.06	2.66	0.00	1.16
2010	408,339	10.10	0.77	6.57	17.44	19.75	51.23	6.14	1.29	3.05	0.01	1.09
2011	403,525	7.91	0.51	5.09	13.51	20.73	52.80	6.03	1.38	4.37	0.01	1.17
2012	432,533	5.40	0.42	3.25	9.07	20.12	58.05	5.82	1.21	4.50	0.03	1.20
2013	410,809	7.37	0.35	3.19	10.90	21.92	52.56	6.08	1.37	5.75	0.14	1.28
2014	413,429	5.84	0.31	2.48	8.62	21.40	54.75	5.77	1.36	6.69	0.16	1.27
2015	422,411	4.10	0.29	2.28	6.67	18.84	57.87	5.51	1.40	8.36	0.17	1.18
2016	422,319	4.87	0.32	2.09	7.28	20.44	55.61	5.88	1.46	7.92	0.22	1.20
2017	430,783	3.91	0.29	1.78	5.97	20.47	55.05	6.27	1.51	9.30	0.24	1.20
2018	430,330	4.24	0.30	2.05	6.58	21.23	53.24	6.41	1.47	9.35	0.34	1.40
2019	420,399	3.00	0.26	1.97	5.24	21.41	51.69	6.89	1.60	11.31	0.43	1.43
2020	435,625	2.09	0.19	1.58	3.85	16.64	56.00	5.88	1.44	14.24	0.58	1.37
2021	453,857	2.40	0.26	1.31	3.97	16.87	54.62	7.06	1.48	14.01	0.71	1.28
2022	446,594	2.56	0.27	0.73	3.56	17.30	50.84	6.68	1.52	17.71	1.06	1.33
2023	455,796	1.47	0.15	0.73	2.36	18.16	51.26	5.87	1.24	18.13	1.66	1.32
2024	466,400	0.97	0.17	0.69	1.83	17.80	49.99	5.04	1.60	20.35	2.06	1.33
平均	405,740	8.47	1.10	3.42	12.99	21.68	53.78	4.59	0.91	5.09	0.22	0.74

資料來源：本文計算自 IEA (2026f ; 2026g ; 2026h ; 2026i ; 2026j)。

附 表 8：台灣與瑞典 1990-2023 總電力消費量及各部門電力消費佔總電力消費比例

年	台 灣					瑞 典										
	總電力消費量 (兆無 耳)	工業部門 (%)	運輸部門 (%)	住宅部門 (%)	商業及公服 務 (%)	農業及林 業 (%)	漁業 (%)	非特定 (其他) (%)	總電力消費量 (兆無 耳)	工業部門 (%)	運輸部門 (%)	住宅部門 (%)	商業及公服 務 (%)	農業及林 業 (%)	漁業 (%)	非特定 (其他) (%)
1990	275,919	57.65	0.26	21.39	10.54	0.29	1.81	8.06	433,247	44.83	2.06	31.65	20.24	1.21	0.00	0.00
1991	305,157	56.63	0.23	21.51	10.72	0.35	1.73	8.83	439,258	42.42	1.97	33.76	20.74	1.11	0.00	0.00
1992	326,449	56.38	0.26	21.26	11.02	0.27	1.57	9.03	432,164	42.17	2.06	33.50	21.30	0.97	0.00	0.00
1993	355,524	54.70	0.24	22.06	11.37	0.36	1.53	9.74	436,065	41.43	1.93	34.54	21.00	1.10	0.00	0.00
1994	380,887	54.12	0.22	22.01	11.67	0.33	1.47	10.19	440,886	41.22	2.02	34.72	20.99	1.07	0.00	0.00
1995	406,051	53.33	0.20	22.46	11.70	0.36	1.45	10.49	448,435	41.76	2.18	34.03	20.93	1.11	0.00	0.00
1996	432,166	52.55	0.21	22.97	11.83	0.37	1.48	10.58	453,612	41.40	2.43	34.38	20.63	1.16	0.00	0.00
1997	463,043	53.67	0.26	21.65	11.91	0.34	1.42	10.75	451,298	42.67	2.36	33.96	19.70	1.31	0.00	0.00
1998	500,360	52.10	0.27	23.70	12.84	0.78	0.71	9.60	455,178	43.00	2.21	33.61	19.85	1.33	0.00	0.00
1999	523,099	53.72	0.28	22.37	12.99	0.79	0.68	9.15	455,685	44.22	2.38	31.73	20.61	1.06	0.00	0.00
2000	576,097	54.91	0.28	21.59	12.91	0.77	0.65	8.90	463,407	44.23	2.48	32.64	19.72	0.92	0.00	0.00
2001	584,719	54.22	0.28	21.95	13.36	0.74	0.64	8.81	476,260	43.77	2.16	31.88	21.19	0.99	0.00	0.00
2002	619,679	54.63	0.28	21.61	13.46	0.74	0.61	8.68	471,335	43.74	2.19	31.68	21.39	1.00	0.00	0.00
2003	652,378	54.78	0.26	21.58	13.43	0.74	0.60	8.61	465,992	43.35	2.19	32.45	21.06	0.96	0.00	0.00
2004	687,424	55.80	0.27	20.73	13.35	0.74	0.57	8.54	469,297	43.87	2.29	31.74	21.14	0.96	0.00	0.00
2005	716,061	55.05	0.28	21.27	13.47	0.71	0.54	8.68	470,510	44.04	2.16	32.64	20.00	1.17	0.00	0.00
2006	740,564	55.66	0.29	20.64	13.45	0.75	0.51	8.69	470,899	43.84	2.21	31.72	20.75	1.49	0.00	0.00
2007	765,776	56.61	0.41	20.27	13.15	0.75	0.48	8.32	471,893	44.23	2.23	30.24	21.71	1.58	0.00	0.00
2008	756,440	56.21	0.54	20.32	13.21	0.78	0.46	8.48	463,134	44.82	1.84	30.26	21.84	1.23	0.00	0.00
2009	726,055	54.90	0.37	21.35	13.39	0.83	0.45	8.30	444,187	41.68	1.98	33.19	21.68	1.48	0.00	0.00
2010	786,171	57.35	0.55	19.89	12.73	0.79	0.41	8.29	472,379	41.45	1.83	35.04	20.72	0.96	0.00	0.00
2011	802,952	57.78	0.56	19.91	12.39	0.81	0.42	8.13	448,658	43.17	2.12	33.98	19.77	0.96	0.00	0.00
2012	800,890	58.22	0.57	19.43	12.40	0.80	0.41	8.16	458,227	42.48	2.11	34.50	20.22	0.69	0.00	0.00
2013	816,181	58.76	0.58	19.22	12.25	0.81	0.40	7.98	450,055	41.61	2.20	34.80	20.40	0.99	0.00	0.00
2014	836,129	58.73	0.59	19.45	11.97	0.82	0.40	8.03	439,885	41.52	2.14	33.80	21.56	0.98	0.00	0.00
2015	831,708	58.30	0.61	19.43	12.16	0.84	0.42	8.24	449,490	40.27	2.08	34.43	22.21	1.01	0.00	0.00
2016	851,412	57.88	0.60	20.01	12.07	0.83	0.41	8.20	458,983	39.44	2.09	34.92	22.54	1.01	0.00	0.00
2017	869,548	58.42	0.62	19.71	11.75	0.84	0.41	8.25	458,112	40.03	1.95	35.47	21.66	0.90	0.00	0.00
2018	890,574	60.22	0.61	18.95	17.47	0.80	0.40	1.56	459,221	39.76	2.02	35.33	21.96	0.93	0.00	0.00
2019	886,120	60.00	0.64	19.17	17.64	0.84	0.40	1.52	448,349	39.73	2.19	35.22	22.05	0.82	0.00	0.00
2020	906,942	59.84	0.63	19.92	16.85	0.89	0.41	1.47	442,744	38.61	2.15	34.62	23.76	0.86	0.00	0.00
2021	951,695	61.06	0.59	19.92	15.63	0.86	0.39	1.55	459,110	36.79	2.56	36.23	23.30	0.93	0.00	0.00
2022	937,668	60.23	0.64	19.57	16.47	0.86	0.39	1.82	440,169	36.92	3.24	33.23	25.30	1.30	0.00	0.00
2023	929,043	59.29	0.72	19.96	16.92	0.88	0.39	1.84	433,139	37.09	3.67	32.87	25.11	1.26	0.00	0.00
平均	673,261	56.59	0.42	20.80	13.20	0.69	0.74	7.57	453,861	41.81	2.23	33.49	21.89	1.08	0.00	0.00

資料來源：本文計算自 IEA (2026bf: 2026bg)。

附表 9：台灣、瑞典及世界 1990-2022 年電力排碳係數指數值*

年	電力排碳係數		
	瑞典	台灣	世界
1990	118.650	----	94.305
1991	147.279	----	94.515
1992	125.262	80.389	95.251
1993	127.688	84.438	93.972
1994	137.405	84.336	95.127
1995	123.297	86.357	95.945
1996	183.499	86.484	99.418
1997	129.035	90.971	101.206
1998	131.169	92.972	101.347
1999	117.140	96.411	99.952
2000	100.000	100.000	100.000
2001	101.472	102.089	101.330
2002	126.928	100.224	99.480
2003	146.582	99.497	101.563
2004	122.902	98.919	101.128
2005	105.716	99.017	100.282
2006	114.698	100.024	100.336
2007	95.990	98.640	101.335
2008	94.788	98.343	100.024
2009	101.660	95.813	98.983
2010	121.870	94.683	98.745
2011	98.355	96.579	100.362
2012	78.489	96.071	100.149
2013	84.374	94.788	100.140
2014	74.070	95.669	98.925
2015	69.388	96.720	95.877
2016	80.868	97.451	93.319
2017	77.634	101.074	92.947
2018	80.579	95.044	92.284
2019	69.778	91.359	90.490
2020	67.844	90.218	88.204
2021	67.222	90.430	89.110
2022	63.638	88.766	88.076

資料來源：IEA (2026l；2026m；2026n)。

註*：表中所有指數值是以 2000 年為 100。

附表 10：台灣、瑞典、挪威、北歐 5 國及世界 1990-2023 年 CO₂ 排放總量及平均每人 CO₂ 排放量

年	CO ₂ 排放總量 (百萬噸) ^a					平均每人 CO ₂ 排放量 (噸/人) ^b									
	台灣	瑞典	丹麥	芬蘭	冰島	挪威	北歐 5 國總和	世界	台灣	瑞典	丹麥	芬蘭	冰島	挪威	世界
1990	117.95	52.07	50.96	53.83	1.90	27.47	186.24	20,540.34	5.76	6.08	9.92	10.80	7.44	6.48	3.88
1991	127.62	53.10	61.22	54.56	1.87	25.96	196.70	20,672.03	6.17	6.16	11.88	10.88	7.23	6.09	3.84
1992	135.25	55.66	55.33	51.81	1.90	28.86	193.56	20,612.01	6.48	6.42	10.70	10.28	7.28	6.73	3.77
1993	144.99	55.41	57.71	53.10	1.94	30.53	198.70	20,724.85	6.89	6.36	11.12	10.48	7.36	7.08	3.73
1994	153.44	57.38	61.63	59.56	2.05	32.12	212.74	20,826.95	7.24	6.54	11.84	11.71	7.72	7.41	3.69
1995	161.82	56.93	58.40	55.71	1.96	31.41	204.42	21,401.10	7.58	6.45	11.17	10.91	7.35	7.21	3.74
1996	169.59	62.42	71.67	62.19	2.22	32.36	230.86	21,853.32	7.89	7.06	13.62	12.14	8.27	7.39	3.76
1997	182.55	56.28	61.91	60.17	2.11	34.12	214.59	22,251.16	8.45	6.36	11.72	11.71	7.78	7.75	3.77
1998	193.38	57.23	57.99	56.82	2.10	35.76	209.89	22,425.13	8.90	6.47	10.93	11.02	7.66	8.07	3.75
1999	203.87	56.13	54.80	56.03	2.05	37.22	206.23	22,572.92	9.34	6.34	10.30	10.85	7.41	8.34	3.72
2000	221.94	51.99	50.79	54.06	2.16	31.87	190.87	23,235.19	10.10	5.86	9.32	10.55	7.68	7.10	3.78
2001	224.83	51.17	52.38	60.09	2.10	32.92	198.66	23,584.08	10.17	5.75	9.78	11.68	7.38	7.29	3.79
2002	232.69	52.74	52.09	62.45	2.20	32.54	202.02	23,931.31	10.45	5.91	9.69	12.10	7.65	7.17	3.80
2003	242.24	54.00	57.48	70.74	2.19	35.11	219.53	24,964.87	10.81	6.03	10.67	13.67	7.56	7.69	3.91
2004	252.81	52.31	51.82	66.64	2.26	35.63	208.65	26,131.88	11.20	5.82	9.59	12.85	7.73	7.76	4.04
2005	260.70	48.77	48.47	54.44	2.20	34.55	188.43	27,084.84	11.48	5.40	8.95	10.47	7.42	7.47	4.14
2006	268.66	47.29	56.40	65.96	2.25	35.52	207.42	27,951.69	11.77	5.21	10.37	12.62	7.40	7.62	4.22
2007	271.58	45.72	51.64	64.15	2.31	36.09	199.90	29,005.29	11.85	5.00	9.46	12.19	7.41	7.66	4.32
2008	259.55	44.63	48.68	55.60	2.12	37.17	188.20	29,231.06	11.28	4.84	8.86	10.55	6.68	7.80	4.30
2009	246.85	41.50	46.95	53.52	2.08	37.03	181.07	28,775.51	10.68	4.46	8.50	10.07	6.52	7.67	4.18
2010	264.18	46.66	47.27	61.53	1.95	39.59	197.00	30,551.84	11.39	4.98	8.52	11.57	6.19	8.10	4.39
2011	270.58	43.09	42.05	54.13	1.87	38.53	179.67	31,435.14	11.63	4.56	7.55	10.13	5.97	7.78	4.47
2012	266.87	40.52	37.15	48.49	1.85	38.26	166.27	31,794.99	11.43	4.26	6.65	9.04	5.89	7.62	4.46
2013	267.40	38.99	38.88	49.27	2.01	38.81	167.95	32,439.66	11.42	4.06	6.93	9.14	6.31	7.64	4.49
2014	272.50	37.59	34.69	45.29	1.95	38.94	158.46	32,495.23	11.60	3.88	6.15	8.37	6.08	7.58	4.45
2015	272.78	37.58	32.54	41.95	2.03	39.79	153.90	32,373.70	11.58	3.84	5.73	7.73	6.25	7.67	4.38
2016	278.35	37.00	33.96	44.78	1.63	39.05	156.42	32,435.91	11.79	3.73	5.93	8.22	4.95	7.46	4.33
2017	284.81	36.64	31.76	42.20	1.67	38.90	151.17	32,979.00	12.03	3.64	5.51	7.73	4.96	7.37	4.35
2018	279.28	34.39	31.76	43.33	1.70	38.50	149.67	33,686.71	11.77	3.38	5.48	7.95	4.91	7.25	4.40
2019	270.44	33.93	28.35	40.23	1.64	37.44	141.59	33,628.22	11.38	3.30	4.87	7.37	4.66	7.00	4.35
2020	269.47	32.68	25.97	35.59	1.45	36.01	131.69	31,879.70	11.31	3.16	4.45	6.51	4.06	6.69	4.07
2021	278.69	35.16	27.75	35.47	1.55	36.19	136.12	33,754.63	11.68	3.38	4.74	6.49	4.29	6.69	4.27
2022	269.51	32.32	26.81	33.68	1.59	35.58	129.97	34,191.58	11.28	3.10	4.53	6.12	4.31	6.52	4.29
2023	261.75	31.45	24.54	29.42	1.55	34.29	121.24	34,691.69	11.28	3.10	4.53	6.12	4.31	6.52	4.29
1990 至 2023 變動比	231.73	46.20	46.23	52.26	1.95	35.12	181.76	27,533.34	10.14	5.08	8.65	10.12	6.60	7.37	4.08
1990 至 2023 變動比	121.92	-39.61	-51.86	-45.36	-18.10	24.81	-34.90	68.90	95.87	-49.13	-54.28	-43.29	-42.10	0.71	10.70
2023 變動比	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)

資料來源：本文計算自 IEA (2026t ; 2026u ; 2026v ; 2026w ; 2026x ; 2026y ; 2026z ; 2026a ; 2026ab ; 2026ac ; 2026ad ; 2026ae ; 2026af ; 2026ag)。

註 a : CO₂ 年總排放量單位為百萬噸 CO₂。

註 b : 人均年 CO₂ 排放量單位為噸 CO₂/人。

附表 11：台灣與瑞典 1990-2024 年人均 GNI 與人均 CO₂ 排放量

年	台灣		瑞典	
	人均 GNI (千美元/人)	人均 CO ₂ 排 放 (噸/人)	人均 GNI (千美元/人)	人均 CO ₂ 排 放 (噸/人)
1990	8.420	5.760	27.760	6.084
1991	9.372	6.172	29.110	6.162
1992	11.000	6.481	31.340	6.421
1993	11.448	6.890	28.200	6.355
1994	12.343	7.235	27.700	6.535
1995	13.315	7.577	28.090	6.450
1996	13.826	7.892	30.400	7.061
1997	14.163	8.447	31.400	6.362
1998	12.911	8.903	31.100	6.466
1999	13.929	9.335	31.310	6.336
2000	15.105	10.103	31.600	5.860
2001	13.647	10.169	29.710	5.752
2002	13.990	10.453	29.130	5.910
2003	14.481	10.805	32.690	6.028
2004	15.797	11.201	39.690	5.816
2005	16.846	11.482	45.690	5.401
2006	17.346	11.771	49.090	5.208
2007	18.189	11.845	52.180	4.997
2008	18.503	11.275	55.370	4.840
2009	17.460	10.684	52.390	4.463
2010	19.765	11.393	54.380	4.976
2011	21.410	11.628	56.450	4.560
2012	21.922	11.431	58.840	4.256
2013	22.552	11.417	61.530	4.061
2014	23.492	11.600	61.350	3.877
2015	23.367	11.580	57.900	3.835
2016	23.684	11.786	53.850	3.728
2017	25.745	12.030	52.240	3.643
2018	26.531	11.771	54.930	3.380
2019	26.759	11.375	56.100	3.301
2020	29.649	11.314	54.590	3.157
2021	33.987	11.683	59.840	3.376
2022	33.828	11.282	61.920	3.095
2023	33.526	5.760	60.300	6.084
2024	35.531	6.172	58.190	6.162

資料來源：台灣人均 GNI 來自中華民國統計資訊網（2026）；
 瑞典人均 GNI 來自 World Bank（2026b）；
 台灣與瑞典人均 CO₂ 排放量來自 IEA（2026ae；2026af）。

附表 12：台灣、瑞典、北歐五國與世界 1990-2023 年 CO₂ 總排放量、TES 來自潔淨能源與非潔淨能源佔比及電力總發電量來自各潔淨燃料能源與各類非潔淨燃料能源之佔比

年	年 CO ₂ 總排放量 (百萬噸)					能源總供給量 (TES)					電力總發電量								
	台灣	北歐 5 國	世界	北歐 5 國	世界	潔淨能源佔比 (%)					各種潔淨能源產生之電力 (%)								
						台灣	北歐 5 國	世界	北歐 5 國	世界	台灣	北歐 5 國	世界	北歐 5 國	世界				
1990	117.95	186.24	20,540	18.15	62.33	46.68	18.18	81.87	37.67	53.32	81.82	44.71	97.76	86.50	36.86	55.29	2.24	13.50	63.14
1991	127.62	53.10	196.70	17.54	63.95	45.55	18.56	82.46	36.05	54.45	81.44	40.68	96.58	82.97	37.20	59.32	3.42	17.03	62.80
1992	135.25	55.66	193.56	16.62	62.36	45.88	18.82	83.38	37.64	54.12	81.18	40.25	95.93	84.94	37.15	59.75	4.07	15.06	62.85
1993	144.99	55.41	198.70	15.34	62.26	45.21	18.98	84.66	37.74	54.79	81.02	35.87	95.26	83.34	37.88	64.13	4.74	16.66	62.12
1994	153.44	57.38	212.74	15.00	62.27	44.46	19.16	85.00	37.73	55.54	80.84	35.35	94.35	79.61	37.63	64.65	5.65	20.39	62.37
1995	161.82	56.93	204.42	14.51	62.40	46.03	19.22	85.49	37.60	53.97	80.78	33.58	94.79	82.00	38.07	66.42	5.21	18.00	61.93
1996	169.59	62.42	230.86	14.83	62.08	43.50	19.17	85.17	37.92	56.50	80.83	33.48	91.27	74.39	37.83	66.52	8.73	25.61	62.17
1997	182.53	56.28	214.59	13.88	63.89	45.34	19.06	86.12	36.11	54.66	80.94	30.98	95.19	79.91	37.18	69.02	4.81	20.09	62.82
1998	193.38	57.23	209.89	13.45	64.88	46.87	19.19	86.55	35.12	53.13	80.81	29.68	95.69	82.84	36.77	70.32	4.31	17.16	63.23
1999	203.87	56.13	206.23	13.50	64.94	47.55	19.18	86.50	35.06	52.45	80.82	28.51	95.66	83.19	36.50	71.49	4.34	16.81	63.50
2000	221.94	51.99	190.87	12.78	64.22	48.44	18.84	87.22	35.78	51.56	81.16	26.60	96.88	85.42	35.79	73.40	3.12	14.58	64.21
2001	224.83	51.17	198.66	11.63	65.78	47.84	18.69	88.37	34.22	52.16	81.31	24.92	96.34	83.29	35.53	75.08	3.66	16.71	64.47
2002	232.70	52.74	202.02	12.05	61.43	46.83	18.56	87.95	38.57	53.17	81.44	24.52	95.11	82.02	34.98	75.48	4.89	17.98	65.02
2003	242.24	54.00	219.53	11.70	61.91	44.12	18.07	88.30	38.09	55.88	81.93	23.42	93.42	76.69	33.79	76.58	6.58	23.31	66.21
2004	252.81	52.31	208.65	11.36	64.50	46.28	17.86	88.64	35.50	53.72	82.14	22.63	96.56	81.60	34.08	77.37	3.44	18.40	65.92
2005	260.70	48.77	188.43	11.47	65.83	49.02	17.73	88.53	34.17	50.98	82.27	22.57	97.54	87.01	33.77	77.43	2.46	12.99	66.23
2006	268.66	47.29	207.42	11.20	65.53	46.59	17.61	88.80	34.47	53.41	82.39	21.88	97.04	80.86	33.43	78.12	2.96	19.14	66.57
2007	271.58	45.72	199.90	10.91	66.69	49.40	17.20	89.09	33.31	50.60	82.80	21.72	97.58	84.26	32.22	78.28	2.42	15.74	67.78
2008	259.55	44.63	188.20	11.48	66.10	49.71	17.33	88.52	33.90	50.29	82.67	22.05	97.53	86.71	32.65	77.95	2.47	13.29	67.35
2009	246.85	41.50	181.07	11.83	66.82	49.19	17.60	88.17	33.18	50.81	82.40	22.90	97.16	84.72	33.30	77.10	2.84	15.28	66.70
2010	264.18	46.66	197.00	11.21	64.68	48.64	17.27	88.79	35.32	51.36	82.73	21.59	95.07	82.56	32.94	78.41	4.93	17.44	67.06
2011	270.58	43.09	179.67	11.43	65.42	51.76	16.82	88.57	34.58	48.24	83.18	21.42	97.08	86.49	32.06	78.58	2.92	13.51	67.94
2012	266.87	40.52	166.27	11.34	69.50	55.28	16.81	88.66	30.50	44.72	83.19	21.58	98.24	90.93	32.19	78.42	1.76	9.07	67.81
2013	267.40	38.99	167.95	11.41	70.09	54.48	17.06	88.59	29.91	45.52	82.94	22.07	98.24	89.10	32.74	77.93	1.76	10.90	67.26
2014	272.50	37.59	158.46	11.19	70.73	56.24	17.23	88.81	29.27	43.76	82.77	21.32	98.82	91.38	33.23	78.68	1.18	8.62	66.77
2015	272.78	37.58	153.90	10.05	74.88	60.04	17.48	89.95	25.12	39.96	82.52	19.36	98.80	93.33	33.82	80.64	1.20	6.67	66.18
2016	278.35	37.00	156.42	9.02	73.35	58.5	17.78	90.98	26.65	41.50	82.22	18.06	98.67	92.72	34.66	81.94	1.33	7.28	65.34
2017	284.81	36.64	151.17	6.95	74.55	59.53	17.89	93.05	25.45	40.47	82.11	14.11	98.91	94.03	35.20	85.89	1.09	5.97	64.80
2018	279.28	34.40	149.67	8.08	72.77	59.28	18.15	91.92	27.23	40.72	81.85	15.86	98.72	93.42	35.88	84.14	1.28	6.58	64.12
2019	270.44	33.93	141.59	9.45	74.89	61.56	18.45	90.55	25.11	38.44	81.55	18.52	99.00	94.76	37.04	81.48	1.00	5.24	62.96
2020	269.47	32.68	131.69	9.44	75.86	62.83	19.27	90.56	24.14	37.17	80.73	17.78	99.45	96.15	38.48	82.22	0.55	3.85	61.52
2021	278.69	35.16	136.12	8.39	75.87	63.94	18.97	91.61	24.13	36.06	81.03	16.66	99.20	96.03	38.38	83.34	0.80	3.97	61.62
2022	269.51	32.32	129.97	8.32	77.08	65.79	19.05	91.68	22.92	34.21	80.95	17.58	99.29	96.44	39.18	82.42	0.71	3.56	60.82
2023	261.75	31.45	121.24	7.66	76.52	66.52	19.25	92.34	23.48	33.48	80.75	26.60	99.39	97.65	39.77	83.13	0.61	2.35	60.23
2024	---	---	---	---	75.01	67.19	---	---	24.99	32.81	---	---	99.52	98.17	---	---	0.48	1.83	---

資料來源：本文計算自 IEA (2026f; 2026g; 2026h; 2026i; 2026j; 2026k; 2026l; 2026m; 2026n; 2026o; 2026p; 2026q; 2026r; 2026s; 2026t; 2026u; 2026v; 2026w; 2026x; 2026y; 2026z)。

附表 13：台灣與瑞典各部門 1990-2023 年 CO₂ 總排放量與各部門排放量佔總量排放比之變動

年	台灣 CO ₂ 總排放量與各部門排放量											瑞典 CO ₂ 總排放量與各部門排放量												
	各部門 CO ₂ 總排放量 (百萬噸)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	U	(2)	各部門 CO ₂ 總排放量 (百萬噸)	A'	B'	C'	D'	E'	F'	G'	H'	I'	(3)	(4)
1990	117,944	35.26	18.51	27.12	3.77	2.93	0.01	2.77	0.47	9.17	36.28	9.95	52,069	15.59	38.13	22.81	9.40	8.26	2.39	0.36	0.00	3.16	25.97	20.30
1991	127,618	37.83	18.19	26.67	3.69	2.62	0.01	2.34	0.46	8.20	34.87	9.11	55,095	19.50	36.84	21.38	10.22	6.40	2.33	0.33	0.00	3.00	24.38	19.28
1992	135,245	37.33	19.74	27.14	3.65	2.15	0.00	2.19	0.31	7.48	34.62	8.31	55,653	17.18	36.56	23.85	10.54	5.69	2.11	0.38	0.00	3.75	27.60	18.66
1993	144,990	39.68	20.00	25.65	3.34	1.65	0.00	2.04	0.27	7.37	33.02	7.30	55,409	17.77	35.08	25.91	9.85	5.52	1.91	0.26	0.03	3.68	29.59	17.57
1994	153,435	40.14	19.95	24.96	3.23	1.97	0.00	1.97	0.24	7.54	33.51	7.41	57,377	18.22	35.11	25.43	9.83	5.76	1.81	0.30	0.01	3.43	28.94	17.72
1995	161,831	41.64	19.79	24.40	3.16	1.49	0.00	1.90	0.23	7.08	30.96	6.77	56,931	17.11	35.73	26.00	8.11	7.40	1.84	0.32	0.05	3.44	29.44	17.72
1996	169,584	42.44	19.53	23.88	3.11	1.90	0.00	1.83	0.23	7.08	30.96	7.07	62,416	17.78	35.19	24.44	8.01	7.40	1.78	0.37	0.00	3.14	27.58	17.45
1997	183,477	44.04	18.50	23.88	2.95	1.35	0.00	1.80	0.22	7.42	30.74	6.03	56,271	18.38	36.03	25.06	8.05	7.24	1.97	0.30	0.03	3.04	28.10	17.88
1998	193,378	46.18	18.30	22.33	2.84	1.55	0.00	1.77	0.00	7.52	29.74	5.73	57,227	19.38	36.03	24.73	7.26	6.75	1.42	0.27	0.04	3.21	27.94	16.73
1999	203,867	47.20	17.86	22.05	2.95	1.56	0.00	1.11	0.25	6.96	29.91	5.87	56,120	17.26	37.54	25.44	6.29	7.80	1.84	0.28	0.03	3.52	28.96	16.25
2000	211,934	49.57	16.63	21.44	2.70	1.47	0.00	1.18	0.26	6.95	25.19	5.61	51,984	14.97	40.31	26.22	5.67	6.39	1.62	0.30	0.27	3.76	29.97	14.25
2001	224,829	50.75	16.44	20.32	2.56	1.62	0.00	1.21	0.29	6.80	27.12	5.69	51,161	17.18	41.32	23.84	5.58	6.59	1.81	0.22	0.15	3.32	27.16	14.34
2002	232,690	50.95	16.49	20.74	2.44	1.59	0.00	1.17	0.24	6.38	27.11	5.44	52,738	19.39	40.48	23.85	4.69	6.35	2.14	0.18	0.29	2.65	26.49	13.63
2003	242,232	53.36	15.83	18.89	2.31	1.79	0.00	1.29	0.21	6.31	25.41	5.61	55,995	20.71	40.08	22.63	4.33	6.44	2.15	0.17	0.24	3.24	25.87	13.33
2004	252,809	55.87	15.76	18.25	2.26	1.69	0.00	1.30	0.31	6.55	24.81	5.56	52,304	19.53	42.14	23.48	3.25	5.10	1.99	0.19	0.17	4.14	27.62	10.70
2005	260,700	54.44	15.70	17.43	2.23	1.79	0.00	1.11	0.19	7.09	24.52	5.34	48,762	18.72	43.05	22.07	5.00	3.08	1.18	0.32	0.12	4.46	26.54	11.70
2006	268,649	55.66	15.21	17.48	2.08	1.78	0.00	0.68	0.17	6.93	24.42	4.72	47,286	19.47	44.65	20.77	3.83	3.06	2.66	0.32	0.11	4.94	25.71	10.18
2007	271,570	57.19	14.49	17.03	2.06	1.76	0.00	0.44	0.16	6.42	22.81	4.83	44,623	17.56	46.50	21.55	3.33	3.25	3.16	0.37	0.10	4.50	26.05	10.20
2008	259,544	58.15	14.21	16.38	2.15	1.85	0.08	0.48	0.16	6.42	22.81	4.83	44,623	17.56	46.50	20.99	2.96	2.97	3.03	0.35	0.05	5.44	26.43	9.36
2009	246,845	57.94	15.08	15.70	2.26	1.94	0.08	0.45	0.19	6.35	22.06	4.92	41,493	19.23	48.91	16.61	2.95	2.73	3.03	0.41	0.07	6.06	22.67	9.19
2010	264,179	57.71	14.54	16.60	2.04	1.79	0.08	0.39	0.18	6.66	23.26	4.48	46,657	22.95	44.29	19.16	2.40	2.93	2.85	0.35	0.05	5.03	24.19	8.58
2011	270,572	58.32	14.38	16.50	1.97	1.62	0.08	0.38	0.18	6.66	23.26	4.48	43,088	19.02	47.28	19.99	2.20	2.93	2.96	0.35	0.00	5.27	25.26	8.44
2012	266,869	58.60	14.21	16.21	1.94	1.55	0.10	0.43	0.18	6.78	22.99	4.20	40,510	17.89	47.76	19.49	2.16	2.87	3.12	0.38	0.00	6.32	25.81	8.54
2013	267,400	57.80	14.15	16.46	1.86	1.62	0.12	0.42	0.18	7.39	23.85	4.20	38,984	18.64	48.35	19.03	2.12	2.67	3.18	0.44	0.00	5.56	24.60	8.41
2014	272,493	58.86	14.10	15.04	1.80	1.63	0.11	0.44	0.17	7.85	22.89	4.15	37,589	16.78	48.35	18.55	2.02	2.66	2.82	0.47	0.00	7.77	26.26	8.12
2015	278,346	59.26	14.61	14.50	1.81	1.51	0.09	0.42	0.17	7.78	22.46	4.16	37,576	16.47	49.00	19.10	2.03	2.52	2.82	0.31	0.00	7.77	26.87	7.67
2016	284,807	61.22	14.13	13.59	1.72	1.51	0.08	0.38	0.15	7.32	20.81	3.85	36,991	19.21	47.27	18.48	1.87	2.49	2.70	0.31	0.00	7.68	26.16	7.36
2017	284,807	61.22	14.13	13.59	1.72	1.51	0.08	0.38	0.15	7.32	20.81	3.85	36,991	19.21	47.27	18.48	1.87	2.49	2.70	0.31	0.00	7.63	26.47	7.03
2018	279,279	61.80	14.00	12.73	1.65	1.48	0.09	0.32	0.15	7.49	20.31	3.88	34,389	11.21	48.08	20.07	1.85	2.55	2.55	0.13	0.00	3.55	23.62	7.09
2019	270,436	60.68	14.56	12.76	1.70	1.54	0.09	0.35	0.15	7.99	20.74	4.02	33,924	18.98	49.16	20.68	1.81	2.68	2.80	0.12	0.00	3.77	24.45	7.40
2020	269,462	61.42	14.73	12.42	1.76	1.50	0.09	0.45	0.18	7.37	19.78	4.07	32,678	18.43	46.53	20.91	1.99	2.70	2.59	0.10	0.00	6.74	27.66	7.38
2021	278,685	62.01	13.57	12.09	1.66	1.50	0.09	0.44	0.19	7.62	20.60	3.87	35,157	18.27	43.93	20.31	1.93	2.26	2.26	0.27	0.00	10.78	31.09	6.71
2022	269,503	61.79	14.30	12.20	1.76	1.56	0.09	0.47	0.18	7.40	19.84	4.06	32,315	18.26	43.74	21.74	1.55	2.18	2.41	0.18	0.00	10.94	32.68	6.32
2023	261,743	62.22	14.69	11.43	1.75	1.81	0.09	0.56	0.05	7.14	18.83	4.26	31,444	18.09	43.75	22.33	1.42	1.92	2.42	0.18	0.00	9.88	32.21	5.95
平均	251,728	52.77	16.08	18.51	2.38	1.73	0.04	1.01	0.21	7.25	25.77	5.39	46,193	18.54	42.59	21.94	4.60	4.41	2.46	0.28	0.08	5.13	27.07	11.3

資料來源：本文計算自 IEA (2026a) 及 (2026b)。

註 a：表中「所有工業」排放比是將原資料中部門分類屬「工業部門」和「其他能源工業」排放比加總而來，亦即台灣的(I)是 C 欄與 I 欄加總；而瑞典則為 C 欄與 I 欄的加總為(3)欄。

註 b：表中「主要 CO₂ 排放部門外所有部門」排放比是將「住宅」、「商業與公共服務」、「農業與森林」、「漁業」及「非特定(其他)」排放比相對小的幾個部門之排放比加總而來，亦即台灣的(2)是加總 D、E、F、G 和 H 欄而來，台灣這 5 個部門在 1990-2023 年 34 年的排放比，平均分別佔 CO₂ 佔總排放量的 2.38%、1.73%、0.04%、1.02% 和 0.21%；而瑞典的(4)則是加總 D'、E'、F'、G' 和 H' 欄而來，瑞典的 5 個部門在相同 34 年的排放比，平均分別為 4.60%、4.41%、2.46%、0.28% 和 0.05%。整體比台灣高，然相對於電力與熱力生產、運輸等仍屬相對低比例 CO₂ 排放之部門。

附表 14：北歐 5 國與世界各部門 1990-2023 年 CO₂ 總排放量與各部門排放量佔總量排放比之變動

年	北歐 5 國 CO ₂ 總排放量與各部門排放量										世界 CO ₂ 總排放量與各部門排放量														
	各部門 CO ₂ 總排放 (百萬噸)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	(1)	(2)	各部門 CO ₂ 總排放 (百萬噸)	A'	B'	C'	D'	E'	F'	G'	H'	I'	(3)	(4)	
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
1990	186,320	27.85	28.15	20.26	9.58	3.65	3.29	0.07	6.25	23.91	17.49	20,540	37.17	32.48	19.20	8.93	3.79	1.94	0.09	1.63	4.78	23.97	16.38		
1991	196,686	32.86	26.69	18.20	9.48	2.83	3.29	0.85	5.71	23.91	16.54	20,672	37.64	32.53	18.71	8.95	3.81	1.94	0.09	1.60	4.72	23.43	16.40		
1992	193,542	29.07	27.66	18.98	9.42	2.71	3.32	0.89	5.89	26.87	16.39	20,612	38.41	33.10	18.12	8.81	3.47	1.86	0.10	1.29	4.84	22.96	15.53		
1993	198,688	30.83	26.76	18.83	8.76	2.62	3.11	0.80	6.18	27.01	15.40	20,722	38.30	33.17	17.77	9.07	3.43	1.83	0.09	1.39	4.96	22.72	15.80		
1994	212,726	33.14	25.67	18.58	8.20	2.51	2.82	0.76	6.01	26.80	14.39	20,837	38.40	33.47	17.75	8.63	3.43	1.83	0.09	1.30	5.03	22.76	15.20		
1995	204,408	31.28	27.11	18.93	8.08	2.07	2.93	0.77	6.09	25.68	14.93	21,401	38.20	33.52	18.31	8.68	3.41	1.88	0.09	0.87	5.05	23.36	14.92		
1996	230,945	37.98	24.10	17.13	6.99	3.00	2.76	0.75	6.65	23.78	14.14	21,833	38.97	33.98	17.40	8.58	3.58	1.67	0.09	0.69	5.05	22.45	14.60		
1997	214,369	33.69	26.45	17.82	6.82	3.43	2.94	0.77	6.06	25.85	14.02	22,251	39.27	34.26	17.19	8.43	3.41	1.83	0.09	0.70	5.20	22.39	14.46		
1998	209,872	30.65	27.49	18.97	6.80	3.32	3.14	0.77	6.07	27.76	14.10	22,425	39.77	34.82	17.05	7.85	3.22	1.79	0.08	0.62	5.36	22.41	13.57		
1999	206,213	29.23	28.46	19.14	6.22	3.58	2.88	0.85	6.07	28.70	13.61	22,573	39.86	34.26	16.25	7.97	3.34	1.79	0.08	0.66	5.25	21.50	13.83		
2000	190,846	28.83	30.17	19.26	5.27	3.18	2.23	1.62	5.54	8.91	28.17	12.83	23,235	40.31	24.87	16.44	7.87	3.09	1.45	0.08	0.67	5.21	21.66	13.16	
2001	198,638	31.62	29.17	17.69	5.24	3.22	2.21	1.50	6.68	8.66	26.36	12.84	23,584	40.62	24.63	16.28	7.81	3.09	1.45	0.08	0.69	5.35	21.62	13.13	
2002	201,996	33.17	28.96	16.82	4.83	3.28	2.23	1.53	6.66	8.52	25.34	12.54	23,931	40.58	24.91	16.07	7.64	3.12	1.44	0.08	0.68	5.49	21.56	12.96	
2003	219,506	37.01	27.26	15.71	4.42	3.01	2.08	1.39	6.80	8.32	24.04	11.69	24,965	41.32	24.38	16.16	7.52	3.14	1.39	0.09	0.70	5.51	21.67	12.83	
2004	208,630	33.67	29.37	16.81	4.14	2.67	2.11	1.39	6.70	9.14	25.95	11.01	26,132	40.71	24.37	17.06	7.27	3.08	1.44	0.09	0.69	5.31	22.37	12.56	
2005	188,414	28.80	32.13	17.05	4.79	2.23	2.59	1.53	7.73	10.15	27.20	11.87	27,085	40.55	24.03	17.99	7.01	2.98	1.48	0.09	0.66	5.22	23.21	12.21	
2006	207,394	35.45	29.88	15.06	3.93	2.03	2.26	1.32	6.55	9.45	24.61	10.06	27,952	40.33	23.83	18.27	6.71	2.86	1.44	0.08	0.67	5.27	23.54	11.76	
2007	199,882	32.69	31.85	15.38	3.70	2.05	2.37	1.32	6.61	10.04	25.42	10.04	29,005	41.10	23.68	18.58	6.41	2.81	1.38	0.08	0.66	5.30	23.89	11.34	
2008	181,175	30.04	33.99	13.00	3.50	1.98	2.49	1.33	6.56	11.63	27.19	9.80	29,231	40.79	23.51	18.79	6.47	2.92	1.36	0.07	0.74	5.34	24.13	11.56	
2009	181,980	34.25	31.46	14.43	3.59	2.16	2.39	0.96	6.44	10.32	24.75	9.55	30,452	41.00	22.98	19.59	6.21	2.80	1.30	0.07	0.62	5.42	25.01	11.00	
2010	196,848	30.17	34.02	15.32	3.19	2.08	2.50	0.98	6.47	11.26	26.58	9.23	31,455	41.77	22.69	19.74	5.89	2.70	1.29	0.07	0.56	5.29	25.03	10.51	
2011	166,780	27.02	34.39	15.40	3.33	2.24	2.70	1.02	6.40	12.30	27.79	8.80	31,795	42.20	22.49	19.66	5.69	2.64	1.27	0.07	0.59	5.28	24.94	10.27	
2012	167,930	28.93	34.45	14.92	3.11	2.11	2.58	1.11	6.49	12.31	27.79	9.40	32,440	42.16	22.72	19.38	5.80	2.71	1.27	0.07	0.60	5.30	24.68	10.44	
2013	158,438	26.33	35.75	15.36	2.87	2.10	2.58	1.15	6.49	13.44	28.80	9.15	32,495	42.13	23.06	19.53	5.69	2.63	1.26	0.07	0.59	4.93	24.47	10.15	
2014	153,876	25.19	37.17	15.62	2.86	2.13	2.68	1.22	6.40	14.63	30.25	8.40	32,374	41.48	23.87	19.23	5.78	2.67	1.27	0.07	0.58	5.05	24.26	10.17	
2015	156,402	25.21	36.60	15.04	2.83	2.18	2.60	1.14	6.52	13.79	28.83	9.36	32,436	41.59	24.32	18.73	5.87	2.67	1.27	0.06	0.38	4.91	23.64	10.45	
2016	151,153	23.30	36.83	15.90	2.80	2.30	2.66	1.17	6.56	14.48	30.38	9.49	32,979	41.88	24.50	18.20	5.96	2.64	1.30	0.06	0.33	4.92	23.12	10.49	
2017	149,655	24.55	36.96	16.10	2.67	2.37	2.54	1.23	6.46	13.12	29.22	9.26	33,687	42.23	24.58	18.05	5.93	2.59	1.26	0.06	0.49	4.81	22.86	10.32	
2018	141,575	21.49	38.45	16.81	2.62	2.48	2.75	1.27	6.51	13.62	30.43	9.62	33,628	41.98	24.86	18.10	5.84	2.58	1.22	0.06	0.46	4.91	23.00	10.16	
2019	131,663	19.44	38.16	17.73	2.64	2.48	2.86	1.40	6.67	14.62	32.35	10.05	31,880	43.10	22.72	18.78	6.16	2.59	1.26	0.07	0.46	4.87	23.66	10.52	
2020	136,094	20.21	37.31	17.90	2.46	2.51	2.58	1.49	6.47	15.07	32.97	9.51	33,755	43.82	23.14	18.13	5.88	2.51	1.21	0.06	0.40	4.78	22.88	10.06	
2021	129,952	19.92	37.97	17.82	2.09	2.48	2.72	1.49	6.57	14.94	32.76	9.35	34,192	43.87	23.70	17.86	5.66	2.41	1.21	0.06	0.40	4.78	22.64	9.79	
2022	121,221	18.77	39.53	17.70	1.91	2.50	2.83	1.70	6.81	15.75	33.61	8.67	34,692	44.19	23.86	17.76	5.39	2.32	1.18	0.06	0.45	4.78	22.54	9.41	
2023	181,470	28.86	31.87	16.93	4.78	2.62	2.66	1.37	6.43	10.68	27.61	11.67	27,533	40.80	23.72	18.09	7.02	2.98	1.47	0.08	0.73	5.11	23.20	12.28	

資料來源：本文計算自 IEA (2026am; 2026an; 2026ao; 2026ap; 2026aq; 2026as)。

註 a：表中「所有工業」排放比是將原資料中部門分類屬「工業部門」和「其他能源工業」排放比加總而來，亦即北歐 5 國的(1)是 C 欄與 I 欄加總；而世界則為 C' 欄與 I' 欄的加總為(3)欄。

註 b：表中「主要 CO₂ 排放部門外所有部門」排放比是將「住宅」、「商業與公共服務」、「農業與森林」、「漁業」及「非特定(其他)」排放比相對小的幾個部門之排放比加總而來，亦即北歐 5 國的(2)是加總 D、E、F、G 和 H 欄而來，北歐 5 國這 5 個部門在 1990-2023 年 34 年的排放比，平均分別佔 CO₂ 佔總排放量的 4.78%、2.62%、2.66%、1.17% 和 0.43%；而世界的(4)則是加總 D'、E'、F'、G' 和 H' 欄而來，世界的 5 個部門在相同 34 年的排放比，平均分別為 7.02%、2.98%、1.47%、0.08% 和 0.73%。

表 15：台灣與瑞典所有部門 TFC 及 CO₂ 排放總量與主要部門能源消費比及 CO₂ 排放比

年	台灣					瑞典							
	TFC 及主要部門能源消費比		所有部門 CO ₂ 排放總量及主要部門 CO ₂ 排放比		TFC 及主要部門能源消費比	所有部門 CO ₂ 排放總量及主要部門 CO ₂ 排放比		TFC 及主要部門能源消費比	所有部門 CO ₂ 排放總量及主要部門 CO ₂ 排放比				
	工業	住宅	商業及公共	運輸		工業	住宅		商業及公共	運輸	工業	住宅	商業及公共
(兆焦耳)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
1990	1,340,328	40.2	22.9	9.9	5.8	78.8	117,944	35.3	18.5	36.3	3.8	2.9	96.75
1991	1,427,045	40.4	22.9	10.1	5.6	79.0	127,618	37.8	18.2	34.9	3.7	2.6	97.19
1992	1,536,061	40.3	24.5	9.9	5.0	79.7	135,245	37.3	19.7	34.6	3.7	2.1	97.49
1993	1,614,472	39.1	25.3	9.9	4.6	78.9	144,990	39.7	20.0	33.0	3.3	1.6	97.69
1994	1,711,265	38.5	25.2	9.8	5.1	78.6	153,435	40.1	19.9	32.5	3.2	2.0	97.79
1995	1,798,832	38.2	25.1	9.9	4.6	77.8	161,821	41.6	19.8	31.8	3.2	1.5	97.87
1996	1,876,694	37.8	24.9	10.0	5.1	77.8	169,584	42.4	19.5	31.0	3.1	1.9	97.94
1997	1,939,473	39.3	24.7	9.9	4.7	78.6	182,527	44.0	18.6	31.3	3.0	1.3	98.28
1998	2,016,199	38.4	24.8	10.5	5.3	79.0	193,878	46.2	18.3	29.7	2.8	1.6	98.61
1999	2,106,619	38.9	24.4	10.4	5.4	79.1	203,867	47.3	17.9	29.0	2.9	1.6	98.63
2000	2,245,936	39.2	23.2	10.1	5.5	78.0	221,934	49.4	16.6	28.4	2.7	1.5	98.56
2001	2,434,521	38.3	21.5	9.3	5.5	71.6	224,829	50.8	16.4	27.1	2.6	1.6	98.50
2002	2,541,617	35.9	21.2	9.0	5.4	71.5	232,690	51.0	16.5	27.1	2.4	1.6	98.59
2003	2,682,837	34.8	20.2	8.8	5.7	69.5	242,232	53.4	15.8	25.2	2.3	1.7	98.39
2004	2,795,364	34.8	20.2	8.8	5.6	69.2	252,809	53.9	15.8	24.8	2.3	1.7	98.39
2005	2,822,559	34.7	20.5	8.9	5.9	70.0	260,700	54.4	15.7	24.5	2.2	1.8	98.69
2006	2,862,153	35.5	20.2	8.7	6.0	70.4	268,649	55.7	15.2	24.4	2.1	1.8	99.15
2007	3,051,117	34.2	18.3	8.3	5.7	66.5	271,470	57.2	14.5	23.9	2.1	1.8	99.40
2008	2,926,394	33.3	17.9	8.6	5.9	65.7	259,544	58.2	14.2	22.8	2.1	1.9	99.17
2009	2,899,170	31.6	18.3	8.7	5.9	64.5	246,845	57.9	15.1	22.1	2.3	1.9	99.28
2010	3,007,012	33.4	17.8	8.1	5.6	64.9	264,179	57.7	14.4	23.3	2.0	1.8	99.35
2011	3,007,013	34.4	18.5	8.4	5.6	67.4	270,572	58.3	14.4	23.1	2.0	1.6	99.35
2012	3,004,391	34.4	18.1	8.2	5.4	66.1	266,869	58.6	14.2	23.0	1.9	1.5	99.29
2013	3,097,391	34.1	17.5	7.9	5.4	64.9	267,400	57.8	14.1	23.9	1.9	1.6	99.28
2014	3,121,942	33.4	17.6	8.0	5.4	64.4	272,493	58.9	14.1	22.9	1.8	1.6	99.28
2015	3,135,604	32.5	17.9	7.9	5.4	65.7	272,777	58.9	14.5	22.5	1.8	1.6	99.29
2016	3,149,694	32.6	18.4	8.2	5.4	64.6	278,346	59.3	14.6	22.1	1.8	1.5	99.32
2017	3,141,323	32.8	18.2	8.2	5.4	64.6	284,807	61.2	14.1	20.8	1.7	1.5	99.38
2018	3,187,595	33.4	17.5	7.8	7.0	65.7	279,279	61.8	14.0	20.3	1.6	1.5	99.25
2019	3,066,740	33.9	18.3	8.2	7.3	67.7	270,436	60.7	14.6	20.7	1.7	1.5	99.22
2020	3,092,066	33.7	18.3	8.5	7.1	67.6	269,462	61.4	14.7	19.8	1.8	1.6	99.27
2021	3,264,167	34.4	16.4	8.3	6.6	65.7	278,688	62.0	13.5	20.6	1.7	1.5	99.29
2022	3,058,806	34.7	17.9	8.7	7.2	68.5	269,503	61.8	14.3	19.8	1.8	1.6	99.26
2023	2,889,847	34.8	19.0	9.2	8.0	71.0	261,743	62.2	14.7	18.8	1.8	1.8	99.30
平均	2,586,449	35.7	20.5	9.0	5.7	70.9	231,733	52.8	16.1	25.8	2.4	1.7	98.72
2026aq							214,804						
2026az							213						

資料來源：本文計算自 IEA (2026aq; 2026az; 2026ay; 2026az)。

註 a：比例合計不為 100%，瑞典與台灣的能源消費除所列 4 個主要部門外，尚有農業與森林部門、海業部門、非能源使用及非特定（其他）部門，自 1990 年至 2023 年台灣這 4 個部門佔能源使用分別為 0.24%、1.41%、25.30% 及 2.14%，也就是平均有 29.35% 的能源消費量未列在表中。而瑞典則為 2.07%、0.13%、0.03% 與 6.04%，因此，未列於表中的能源消費平均佔有 8.27%；由此可知台灣的能源消費量未列在表中，極大比例是用於石化產品，而所有部門 CO₂ 排放除所列的 5 個主要部門外，尚有農業與森林、海業及非特定（其他）的 3 個部門，台灣 1990-2023 年的平均為 0.04%、1.0% 及 0.2%，總計平均僅有 1.24% 的 CO₂ 排放未列在表中，而瑞典未列出的 3 個部門歷年的平均分別為 2.5%、0.3% 及 0.1%，表示僅有 2.9% 的 CO₂ 排放量未列在表中。

註 b：所有工業部門是將 IEA 原所列資料中的工業部門與其他能源工業部門 CO₂ 排放量的合計算出的比例。

表 16：北歐 5 國與世界所有部門 TFC 及 CO₂ 排放總量與主要部門能源消費比及 CO₂ 排放比

年	北 歐 5 國										世 界															
	TFC 及主要部門能源消費比					所有部門 CO ₂ 排放總量及主要部門 CO ₂ 排放比					TFC 及主要部門能源消費比					所有部門 CO ₂ 排放總量及主要部門 CO ₂ 排放比										
	TFC	工業	運輸	住宅	其他	所有部門 CO ₂ 排放總量	工業	運輸	住宅	其他	TFC	工業	運輸	住宅	其他	所有部門 CO ₂ 排放總量	工業	運輸	住宅	其他						
1990	3,618,971	34.8	20.7	32.9	10.3	88.6	186,120	37.9	38.1	36.5	9.6	1.6	95.7	258,372,311	29.1	25.5	33.4	7.3	85.3	30,540,934	37.2	22.5	24.0	8.9	3.8	96.4
1991	3,637,561	33.6	20.6	24.2	10.2	88.5	186,686	32.9	20.7	23.9	9.5	2.8	95.8	201,671,446	28.7	23.4	23.6	7.3	85.2	20,672,003	37.6	22.5	23.4	9.0	3.8	96.3
1992	3,704,263	33.1	20.7	24.3	10.6	88.6	193,542	29.1	27.7	23.9	9.4	2.7	95.8	260,759,473	28.2	26.1	23.7	7.3	85.3	20,612,000	38.4	23.1	23.0	8.8	3.5	96.8
1993	3,743,473	33.9	20.3	24.3	10.6	89.1	198,688	30.8	26.8	27.0	8.8	2.6	96.0	262,396,410	27.7	26.2	25.9	7.7	87.5	20,724,85	38.3	23.2	22.7	9.1	3.4	96.7
1994	3,846,053	34.3	20.3	24.0	10.3	88.9	212,726	33.1	25.7	26.8	8.2	2.5	96.3	263,707,414	27.5	26.6	25.4	7.8	87.3	20,826,95	38.5	23.5	22.8	8.6	3.4	96.8
1995	3,884,119	34.8	20.4	23.5	10.7	89.3	204,408	31.3	27.1	26.7	8.1	3.1	96.3	269,943,203	27.8	26.7	25.4	7.9	87.8	21,401,10	38.2	23.5	23.4	8.7	3.4	97.2
1996	3,985,546	34.2	20.0	23.7	11.6	89.5	230,845	38.0	24.1	23.8	7.0	3.6	96.5	274,331,633	27.0	27.3	25.4	8.2	87.9	21,853,31	39.0	24.0	22.4	8.6	3.6	97.6
1997	3,965,491	35.0	20.4	22.9	11.0	89.4	214,569	33.7	26.5	25.8	6.8	3.4	96.2	277,889,950	26.9	27.3	25.1	8.1	87.4	22,251,16	39.3	23.9	22.4	8.4	3.4	97.4
1998	4,036,294	35.6	20.4	22.8	10.9	89.6	209,872	30.7	27.5	27.8	6.8	3.3	96.1	278,413,251	26.9	27.9	24.8	8.1	87.7	22,425,12	39.8	24.3	22.4	7.8	3.1	97.5
1999	4,027,060	36.1	20.8	22.0	11.2	90.1	206,213	29.2	28.5	28.7	6.2	3.6	96.2	285,721,162	26.4	28.2	24.7	8.3	87.6	22,572,91	39.9	24.8	21.5	8.0	3.3	97.5
2000	3,998,324	37.3	20.6	21.0	11.4	90.3	190,846	28.8	30.2	28.2	5.3	3.2	95.7	290,023,567	26.9	28.4	24.4	8.1	87.8	23,235,18	40.3	24.9	21.7	7.9	3.1	97.9
2001	4,047,924	35.1	20.4	21.8	12.4	89.7	198,638	31.6	29.2	26.4	5.2	3.2	95.6	291,466,491	26.7	28.4	24.4	8.2	87.7	23,584,07	40.6	24.6	21.6	7.8	3.1	97.7
2002	4,072,423	34.7	20.5	21.5	12.5	89.3	201,996	33.2	29.0	25.3	4.8	3.3	95.6	296,457,565	26.3	28.7	24.1	8.2	87.3	23,931,31	40.6	24.9	21.6	7.6	3.1	97.8
2003	4,084,209	34.8	20.9	21.6	12.2	89.5	219,406	37.0	27.3	24.0	4.4	3.0	95.7	305,770,755	26.6	28.4	23.9	8.3	87.2	24,064,87	41.1	24.4	21.7	7.5	3.1	97.8
2004	4,107,614	35.4	21.3	21.0	12.0	89.7	208,630	33.7	29.4	25.9	4.1	2.7	95.8	319,724,935	27.4	28.4	23.1	8.2	87.1	26,131,88	40.7	24.4	22.4	7.3	3.1	97.9
2005	4,055,058	34.4	21.4	22.0	11.6	89.4	188,414	28.8	32.1	27.2	4.8	2.2	95.1	329,860,792	28.3	28.2	22.5	8.3	87.3	27,084,84	40.5	24.0	23.2	7.0	3.0	97.7
2006	4,114,448	35.1	21.6	21.4	11.6	89.6	207,395	35.4	29.9	24.6	3.9	2.0	95.8	338,573,640	28.9	28.1	22.0	8.2	87.2	27,951,68	40.9	23.8	23.5	6.7	2.9	97.8
2007	4,165,681	34.5	21.9	20.9	11.7	89.2	199,882	32.7	31.9	25.4	3.7	2.0	95.7	348,001,685	29.2	28.3	21.4	8.3	87.2	29,005,29	41.1	23.7	23.9	6.4	2.8	97.9
2008	4,100,613	34.4	21.9	21.0	11.9	89.2	188,175	30.0	33.0	27.2	3.4	2.0	95.6	350,623,571	29.3	28.3	21.5	8.6	87.7	29,231,05	40.8	23.5	24.1	6.5	2.9	97.8
2009	3,906,119	31.5	22.3	22.8	12.9	89.6	181,056	32.1	33.1	24.6	3.5	2.0	95.3	345,933,360	29.0	28.2	21.7	8.6	87.5	28,775,51	40.8	23.4	24.4	6.5	2.9	98.0
2010	4,197,778	32.5	21.5	23.8	12.8	90.5	196,880	34.2	31.5	24.7	3.6	2.2	96.2	365,074,263	30.1	27.9	21.1	8.4	87.5	30,551,83	41.0	23.0	25.0	6.2	2.8	98.0
2011	4,007,924	33.4	22.4	22.5	12.3	90.6	179,648	30.2	34.0	26.6	3.2	2.1	96.1	369,917,777	30.6	28.0	20.7	8.3	87.6	31,455,14	41.8	22.7	25.0	5.9	2.7	98.1
2012	4,001,809	32.7	21.9	23.5	12.8	90.8	166,250	27.0	35.4	27.8	3.3	2.1	95.7	373,934,775	30.8	27.9	20.3	8.3	87.3	31,794,99	42.2	22.6	24.9	5.7	2.6	98.0
2013	3,980,779	32.7	21.7	22.9	12.7	90.0	167,930	28.9	34.5	27.2	3.1	2.1	95.8	381,387,569	30.3	28.1	20.5	8.4	87.3	32,439,66	42.2	22.7	24.7	5.8	2.7	98.1
2014	3,901,149	32.8	22.2	22.1	12.6	89.8	158,438	26.3	35.7	28.3	2.9	2.1	95.8	386,199,940	30.4	28.3	20.2	8.5	87.2	32,495,23	42.2	23.1	24.5	5.7	2.6	98.1
2015	3,938,571	32.7	22.4	22.4	12.6	90.1	153,876	23.2	37.2	30.3	2.9	2.1	95.7	389,564,329	29.8	28.9	20.0	8.3	87.0	32,373,69	41.5	23.9	24.3	5.8	2.7	98.2
2016	4,033,572	32.2	21.9	22.8	12.8	89.8	156,402	25.2	36.6	28.8	2.8	2.3	95.7	394,489,513	29.4	29.2	20.0	8.4	87.0	32,435,91	41.6	24.3	23.6	5.9	2.7	98.1
2017	4,066,699	32.5	21.9	22.5	12.6	89.5	151,153	23.3	36.8	30.4	2.8	2.3	95.6	402,413,382	29.0	29.3	20.0	8.3	86.6	32,978,99	41.9	24.5	23.1	6.0	2.6	98.1
2018	4,065,526	32.9	21.8	22.2	13.0	89.9	149,655	24.6	37.0	29.2	2.7	2.4	95.9	411,234,221	28.8	29.5	20.1	8.4	86.8	33,686,70	42.2	24.6	23.9	5.9	2.6	98.2
2019	4,027,087	33.0	21.8	22.0	12.9	89.7	141,575	21.5	38.5	30.4	2.6	2.5	95.5	413,734,901	28.8	29.6	20.0	8.4	86.8	33,628,22	42.0	24.9	23.0	5.8	2.6	98.3
2020	3,877,051	33.9	21.1	22.2	12.8	89.9	131,663	19.4	38.2	32.3	2.6	2.5	95.0	395,781,091	29.9	27.0	21.1	8.2	86.2	31,879,69	43.1	22.7	23.7	6.2	2.6	98.3
2021	4,060,181	33.4	20.8	22.9	13.2	90.3	136,094	20.2	37.3	33.0	2.5	2.5	95.5	415,565,364	30.0	27.7	20.5	8.2	86.4	33,754,63	43.9	23.1	22.9	5.9	2.5	98.3
2022	3,850,845	33.7	21.6	21.7	13.4	90.4	129,952	19.9	38.0	32.8	2.1	2.5	95.3	422,120,120	29.9	28.4	20.1	8.1	86.5	34,191,58	43.9	23.7	22.6	5.7	2.4	98.3
2023	3,822,293	33.3	21.3	22.0	13.4	90.3	121,221	17.3	39.5	33.4	1.9	2.5	94.6	429,107,542	30.1	28.6	19.6	8.0	86.3	34,691,68	44.2	23.9	23.2	5.4	2.3	98.3
平均	3,968,603	34.0	21.2	22.5	12.0	89.7	181,740	28.9	31.9	27.6	4.8	2.6	95.7	357,020,518	28.6	27.9	22.4	8.2	87.0	37,533,34	40.8	23.7	23.2	7.0	3.0	97.7

資料來源：本文計算自 IEA (2026am ; 2026an ; 2026ao ; 2026ap ; 2026aq ; 2026ar ; 2026as ; 2026at ; 2026au ; 2026av ; 2026aw ; 2026ax ; 2026ay ; 2026az)。

註 a：比例合計不為 100%，北歐 5 國與世界的能源消費除所列 4 個主要部門外，尚有農業與森林部門、漁業部門、非能源使用及非特定（其他）部門，自 1990 年至 2023 年北歐 5 國的其他 4 個部門佔能源使用比分別為 2.8%、0.5%、0.6% 及 6.3%，也就是平均有 10.2% 的能源消費量未列在表中。而世界未列出的能源消費分別為 2.3%、0.1%、1.6% 及 9.0%。而所有部門 CO₂ 排放除所列的 5 個主要部門外，尚有農業與森林、漁業及非特定（其他）的 3 個部門，世界 1990-2023 年的平均為 1.5%、0.1% 及 0.7%，總計平均僅有 2.3% 的 CO₂ 排放未列在表中，而北歐 5 國未列出的 3 個部門歷年的平均分別為 2.7%、1.2% 及 0.4%，表示僅有 4.3% 的 CO₂ 排放量未列在表中。

註 b：所有工業部門是將 IEA 原始資料中的工業部門與其他能源工業部門 CO₂ 排放量的合計算出的比例。

附表 17：台灣、瑞典與世界 1990-2023 各種能源效率指標與能源消耗指標數值*

年	能源密度			平減能源密度			能源消費密度			TFC (不包括非能源使用)			TFC (包括非能源使用)			能源消耗損			總能源消耗損		
	台灣	瑞典	世界	台灣	瑞典	世界	台灣	瑞典	世界	台灣	瑞典	世界	台灣	瑞典	世界	台灣	瑞典	世界	台灣	瑞典	世界
1990	12,099.9	6,573.3	9,587.8	5,987.1	6,029.0	6,405.8	3,212.9	3,843.7	5,803.1	3,790.7	4,089.7	6,289.0	2,774.3	2,185.3	602.7	2,196.4	1,939.3	116.8	2,196.4	1,939.3	116.8
1991	12,099.9	6,866.4	9,545.9	5,987.1	6,280.2	6,363.9	3,154.8	3,920.8	5,751.1	3,726.2	4,140.4	6,242.9	2,832.4	2,359.4	612.9	2,260.9	2,139.8	121.0	2,260.9	2,139.8	121.0
1992	11,639.3	6,615.1	9,336.6	5,777.8	6,070.9	6,280.2	3,154.8	4,217.6	5,684.4	3,713.1	4,459.8	6,153.7	2,622.9	1,853.2	621.8	2,064.7	1,611.0	126.5	2,064.7	1,611.0	126.5
1993	11,681.2	6,698.9	9,294.7	5,777.8	6,112.7	6,280.2	3,061.7	4,297.2	5,667.0	3,634.6	4,512.1	6,148.6	2,716.1	1,815.5	613.2	2,143.2	1,600.6	131.6	2,143.2	1,600.6	131.6
1994	11,430.0	6,866.4	9,085.4	5,652.2	6,280.2	6,154.6	3,012.1	4,203.0	5,535.1	3,589.5	4,453.7	6,020.4	2,640.1	2,077.2	619.5	2,062.7	1,826.5	134.2	2,062.7	1,826.5	134.2
1995	11,304.4	6,998.9	9,001.6	5,610.3	6,112.7	6,112.7	2,955.7	4,121.3	5,486.6	3,558.6	4,363.7	5,976.8	2,654.6	1,991.5	626.1	2,051.7	1,749.1	135.9	2,051.7	1,749.1	135.9
1996	11,136.9	6,740.7	8,917.9	5,526.6	6,154.6	6,029.0	2,904.4	4,224.7	5,399.0	3,486.9	4,476.3	5,891.6	2,622.2	1,931.9	630.0	2,039.7	1,678.3	137.4	2,039.7	1,678.3	137.4
1997	11,095.0	6,363.9	8,708.5	5,484.7	5,819.7	5,861.5	2,841.6	3,954.0	5,227.4	3,393.8	4,184.1	5,725.7	2,643.2	1,855.7	634.1	2,090.9	1,635.5	135.8	2,090.9	1,635.5	135.8
1998	11,346.2	6,238.3	8,499.2	5,610.3	5,694.0	5,735.9	2,828.3	3,769.9	5,117.5	3,383.8	3,987.0	5,997.6	2,782.0	1,924.1	618.4	2,226.5	1,707.1	138.4	2,226.5	1,707.1	138.4
1999	11,011.3	5,861.5	8,373.6	5,442.8	5,359.1	5,694.0	2,768.5	3,480.6	5,072.9	3,314.7	3,783.8	5,555.7	2,674.4	1,778.5	621.2	2,128.2	1,575.3	138.4	2,128.2	1,575.3	138.4
2000	11,220.6	5,317.2	8,206.1	5,568.4	4,856.7	5,226.6	2,750.5	3,474.4	4,905.9	3,332.9	3,652.5	5,387.6	2,818.0	1,383.3	620.6	2,235.5	1,204.2	139.0	2,235.5	1,204.2	139.0
2001	11,932.4	5,568.4	8,080.5	5,903.4	5,107.9	5,442.8	2,770.3	3,301.5	4,825.7	3,652.6	3,518.6	5,300.2	3,133.1	1,806.4	617.2	2,250.8	1,589.3	142.7	2,250.8	1,589.3	142.7
2002	11,890.5	5,610.3	8,080.5	5,903.4	5,107.9	5,401.0	2,763.4	3,288.6	4,777.5	3,648.6	3,546.9	5,255.9	3,140.0	1,819.3	623.5	2,254.8	1,561.0	145.0	2,254.8	1,561.0	145.0
2003	11,848.6	5,359.1	8,122.4	5,861.5	4,898.6	5,401.0	2,698.1	3,247.6	4,774.6	3,656.6	3,459.6	5,255.7	3,163.4	1,651.0	626.3	2,204.9	1,438.9	145.2	2,204.9	1,438.9	145.2
2004	11,639.3	5,359.1	8,122.4	5,777.8	4,898.6	5,401.0	2,635.5	3,027.2	4,767.5	3,582.8	3,232.6	5,256.9	3,142.3	1,871.3	633.5	2,195.0	1,666.0	144.1	2,195.0	1,666.0	144.1
2005	11,136.9	5,066.0	8,038.7	5,526.6	4,647.3	5,317.2	2,544.9	2,850.3	4,703.7	3,428.4	3,067.2	5,178.9	2,981.7	1,797.1	613.6	2,098.1	1,580.1	138.3	2,098.1	1,580.1	138.3
2006	10,801.9	4,731.1	7,913.1	5,359.1	4,354.3	5,191.6	2,433.4	2,798.5	4,592.4	3,283.9	3,011.4	5,057.7	2,925.7	1,555.8	599.2	2,075.2	1,342.9	134.0	2,075.2	1,342.9	134.0
2007	10,634.5	4,563.6	7,829.3	5,275.4	4,186.8	5,066.0	2,284.4	2,696.5	4,478.9	3,282.3	2,903.8	4,932.8	2,991.0	1,490.3	587.1	1,993.1	1,283.0	133.2	1,993.1	1,283.0	133.2
2008	10,132.1	4,563.6	7,745.6	5,024.2	4,186.8	4,982.3	2,162.4	2,656.3	4,427.4	3,121.5	2,836.3	4,857.0	2,861.7	1,550.5	554.9	1,902.6	1,350.5	125.3	1,902.6	1,350.5	125.3
2009	10,048.3	4,396.1	7,787.4	4,982.3	4,019.3	4,940.4	2,125.8	2,709.9	4,378.6	3,137.8	2,807.6	4,817.3	2,856.5	1,309.5	561.9	1,844.5	1,151.8	123.2	1,844.5	1,151.8	123.2
2010	9,755.2	4,647.3	7,871.2	4,814.8	4,270.5	4,982.3	2,053.9	2,758.8	4,413.6	3,015.3	2,935.1	4,856.4	2,760.9	1,513.8	568.7	1,799.6	1,335.5	125.9	1,799.6	1,335.5	125.9
2011	9,336.6	4,396.1	7,745.6	4,647.3	4,019.3	4,856.7	2,014.7	2,493.3	4,310.6	2,854.8	2,649.6	4,737.7	2,632.6	1,524.0	546.0	1,792.5	1,369.7	119.0	1,792.5	1,369.7	119.0
2012	9,085.4	4,479.9	7,620.0	4,479.9	4,103.1	4,773.0	1,928.9	2,478.2	4,228.1	2,773.7	2,622.5	4,657.8	2,552.9	1,624.9	544.8	1,761.1	1,480.6	115.2	1,761.1	1,480.6	115.2
2013	9,001.6	4,354.3	7,536.2	4,479.9	3,977.5	4,689.2	1,911.5	2,422.8	4,159.8	2,807.1	2,585.9	4,576.2	2,568.3	1,554.7	529.4	1,672.7	1,391.6	113.0	1,672.7	1,391.6	113.0
2014	8,792.3	4,144.9	7,410.6	4,354.3	3,810.0	4,605.5	1,823.6	2,298.3	4,074.2	2,695.3	2,449.7	4,494.9	2,530.7	1,511.7	513.3	1,659.0	1,360.3	110.6	1,659.0	1,360.3	110.6
2015	8,582.9	3,684.4	7,201.3	4,228.7	3,349.4	4,479.9	1,781.5	2,193.6	3,966.5	2,654.8	2,323.4	4,373.4	2,447.1	1,153.8	513.3	1,573.9	1,026.0	106.5	1,573.9	1,026.0	106.5
2016	8,415.5	3,851.9	7,075.7	4,186.8	3,516.9	4,354.3	1,784.5	2,208.7	3,853.8	2,626.3	2,365.0	4,251.3	2,402.3	1,308.3	500.4	1,560.5	1,151.9	103.0	1,560.5	1,151.9	103.0
2017	8,122.4	3,893.7	6,992.0	4,019.3	3,558.8	4,312.4	1,708.4	2,151.2	3,809.9	2,513.5	2,324.3	4,212.3	2,311.0	1,407.6	502.5	1,505.9	1,234.5	100.1	1,505.9	1,234.5	100.1
2018	7,996.8	3,893.7	6,908.2	3,935.6	3,558.8	4,270.5	1,666.9	2,097.0	3,775.2	2,476.4	2,246.8	4,172.9	2,268.7	1,461.8	495.3	1,459.1	1,311.9	97.7	1,459.1	1,311.9	97.7
2019	7,578.1	3,684.4	6,782.6	3,768.1	3,391.3	4,186.8	1,613.9	2,002.2	3,699.7	2,328.9	2,154.5	4,093.9	2,154.2	1,389.1	487.1	1,439.2	1,236.8	92.9	1,439.2	1,236.8	92.9
2020	7,159.4	3,391.3	6,782.6	3,558.8	3,140.1	4,144.9	1,571.9	2,017.8	3,644.4	2,265.7	2,133.0	4,050.1	1,986.9	1,122.3	500.5	1,293.1	1,007.1	94.8	1,293.1	1,007.1	94.8
2021	7,033.8	3,433.2	6,740.7	3,475.0	3,140.1	4,144.9	1,501.4	1,959.6	3,648.5	2,230.7	2,092.7	4,050.1	1,973.6	1,180.5	496.5	1,244.3	1,047.4	94.8	1,244.3	1,047.4	94.8
2022	6,615.1	3,223.8	6,573.3	3,265.7	2,972.6	4,019.3	1,436.5	1,844.9	3,555.1	2,039.6	1,935.5	3,933.0	1,829.2	1,129.7	461.2	1,226.1	1,037.1	86.3	1,226.1	1,037.1	86.3
2023	6,154.6	3,223.8	6,531.4	3,056.4	2,972.6	3,977.5	1,391.0	1,874.9	3,516.1	1,908.9	1,951.6	3,897.1	1,665.3	1,097.7	461.2	1,147.5	981.0	80.4	1,147.5	981.0	80.4
2024	---	3,223.8	---	---	2,972.6	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

資料來源：本文計算自 IEA (2026q; 2026r; 2026s; 2026t; 2026u; 2026v; 2026w; 2026x; 2026y; 2026z; 2026aa; 2026ab; 2026ac; 2026ad; 2026ae; 2026af; 2026ag; 2026ah; 2026ai; 2026aj; 2026ak; 2026al; 2026am; 2026an; 2026ao; 2026ap; 2026aq; 2026ar; 2026as; 2026at; 2026au; 2026av; 2026aw; 2026ax; 2026ay; 2026az; 2026ba; 2026bb; 2026bc; 2026bd; 2026be; 2026bf; 2026bg; 2026bh; 2026bi; 2026bj; 2026bk; 2026bl; 2026bm; 2026bn; 2026bo; 2026bp; 2026bq; 2026br; 2026bs; 2026bt; 2026bu; 2026bv; 2026bw; 2026bx; 2026by; 2026bz; 2026ca; 2026cb; 2026cc; 2026cd; 2026ce; 2026cf; 2026cg; 2026ch; 2026ci; 2026cj; 2026ck; 2026cl; 2026cm; 2026cn; 2026co; 2026cp; 2026cq; 2026cr; 2026cs; 2026ct; 2026cu; 2026cv; 2026cw; 2026cx; 2026cy; 2026cz; 2026da; 2026db; 2026dc; 2026dd; 2026de; 2026df; 2026dg; 2026dh; 2026di; 2026dj; 2026dk; 2026dl; 2026dm; 2026dn; 2026do; 2026dp; 2026dq; 2026dr; 2026ds; 2026dt; 2026du; 2026dv; 2026dw; 2026dx; 2026dy; 2026dz; 2026ea; 2026eb; 2026ec; 2026ed; 2026ee; 2026ef; 2026eg; 2026eh; 2026ei; 2026ej; 2026ek; 2026el; 2026em; 2026en; 2026eo; 2026ep; 2026eq; 2026er; 2026es; 2026et; 2026eu; 2026ev; 2026ew; 2026ex; 2026ey; 2026ez; 2026fa; 2026fb; 2026fc; 2026fd; 2026fe; 2026ff; 2026fg; 2026fh; 2026fi; 2026fj; 2026fk; 2026fl; 2026fm; 2026fn; 2026fo; 2026fp; 2026fq; 2026fr; 2026fs; 2026ft; 2026fu; 2026fv; 2026fw; 2026fx; 2026fy; 2026fz; 2026ga; 2026gb; 2026gc; 2026gd; 2026ge; 2026gf; 2026gg; 2026gh; 2026gi; 2026gj; 2026gk; 2026gl; 2026gm; 2026gn; 2026go; 2026gp; 2026gq; 2026gr; 2026gs; 2026gt; 2026gu; 2026gv; 2026gw; 2026gx; 2026gy; 2026gz; 2026ha; 2026hb; 2026hc; 2026hd; 2026he; 2026hf; 2026hg; 2026hh; 2026hi; 2026hj; 2026hk; 2026hl; 2026hm; 2026hn; 2026ho; 2026hp; 2026hq; 2026hr; 2026hs; 2026ht; 2026hu; 2026hv; 2026hw; 2026hx; 2026hy; 2026hz; 2026ia; 2026ib; 2026ic; 2026id; 2026ie; 2026if; 2026ig; 2026ih; 2026ii; 2026ij; 2026ik; 2026il; 2026im; 2026in; 2026io; 2026ip; 2026iq; 2026ir; 2026is; 2026it; 2026iu; 2026iv; 2026iw; 2026ix; 2026iy; 2026iz; 2026ja; 2026jb; 2026jc; 2026jd; 2026je; 2026jf; 2026jg; 2026jh; 2026ji; 2026jj; 2026jk; 2026jl; 2026jm; 2026jn; 2026jo; 2026jp; 2026jq; 2026jr; 2026js; 2026jt; 2026ju; 2026jv; 2026jw; 2026jx; 2026jy; 2026jz; 2026ka; 2026kb; 2026kc; 2026kd; 2026ke; 2026kf; 2026kg; 2026kh; 2026ki; 2026kj; 2026kl; 2026km; 2026kn; 2026ko; 2026kp; 2026kq; 2026kr; 2026ks; 2026kt; 2026ku; 2026kv; 2026kw; 2026kx; 2026ky; 2026kz; 2026la; 2026lb

附表 18：台灣、瑞典與世界 1990-2023 能源消費耗損率與總能源消費耗損率

年	能源消費耗損率			總能源消費耗損率		
	(TES/GDP (PPP) -TFC (不包括非能源使用)/GDP (PPP))/TES/GDP (PPP) (%)			(TES/GDP (PPP) -TFC (包括非能源使用)/GDP (PPP))/TES/GDP (PPP) (%)		
	台灣	瑞典	世界	台灣	瑞典	世界
1990	46.34	36.25	9.41	36.69	32.17	1.82
1991	47.31	37.57	9.63	37.76	34.07	1.90
1992	45.40	30.53	9.90	35.74	26.54	2.01
1993	47.01	29.70	9.76	37.09	26.18	2.10
1994	46.71	33.08	10.07	36.49	29.08	2.18
1995	47.32	32.58	10.24	36.57	28.61	2.22
1996	47.45	31.39	10.45	36.91	27.27	2.28
1997	48.19	32.40	10.82	38.12	28.10	2.32
1998	49.59	33.79	10.78	39.69	29.98	2.41
1999	49.14	33.19	10.91	39.10	29.39	2.43
2000	50.61	28.48	11.23	40.15	24.79	2.52
2001	53.07	35.36	11.34	38.13	31.11	2.62
2002	53.19	35.62	11.54	38.19	30.56	2.68
2003	53.97	33.70	11.60	37.62	29.37	2.69
2004	54.39	38.20	11.73	37.99	34.01	2.67
2005	53.95	38.67	11.54	37.96	34.00	2.60
2006	54.59	35.73	11.54	38.72	30.84	2.58
2007	56.70	35.60	11.59	37.78	30.64	2.63
2008	56.96	37.03	11.14	37.87	32.26	2.51
2009	57.33	32.58	11.37	37.02	28.66	2.49
2010	57.34	35.45	11.41	37.38	31.27	2.53
2011	56.65	37.92	11.24	38.57	34.08	2.45
2012	56.99	39.60	11.41	38.08	36.08	2.41
2013	57.33	39.09	11.29	37.34	34.99	2.41
2014	58.12	39.68	11.54	38.10	35.70	2.40
2015	57.87	34.45	11.46	37.22	30.63	2.38
2016	57.38	37.20	11.49	37.27	32.75	2.37
2017	57.50	39.55	11.65	37.47	34.69	2.32
2018	57.65	41.08	11.60	37.07	36.86	2.29
2019	57.17	40.96	11.63	38.19	36.47	2.22
2020	55.83	35.74	12.08	36.34	32.07	2.29
2021	56.79	37.59	11.98	35.81	33.36	2.29
2022	56.01	38.00	11.55	37.54	34.89	2.15
2023	54.49	36.93	11.60	37.54	33.00	2.02
平均	53.42	35.73	11.13	37.63	31.60	2.36

資料來源：本文計算自 IEA (2026q ; 2026r ; 2026s ; 2026ay; 2026az; 2026ba; 2026bc ; 2026bd)。

The Energy Policy of Sweden: From “100% Renewable Electricity” to “100% Fossil-free Electricity”

Pei-Ing Wu

President, Taiwanese International Studies Association, Taipei, TAIWAN

Abstract

The nuclear power referendum of Sweden in 1980 decided to phase-out nuclear power by 2010. Thus, “Framework Agreement on Energy Policy” in 2016 sets target of “100% renewable electricity” by 2040 and 2045 is the net zero year. The barriers and obstacles in developing onshore wind turbine, one of the major renewable energies, since 2009, however, is much higher than expected. Due to low solar irradiance, the lack of large-scale energy storage facilities, and the competitiveness with farm land use is the largest problem in developing solar photovoltaics. The most crucial factor is the electrification of many sectors other than electricity generation sector has pushed the demand for electricity from 170 Twh in 2024 to 300 Twh in 2045. This has driven the policy switching to “100% fossil-free electricity” and enabling electricity to serve as a critical support for the electrification of other industries and sectors. Nuclear restored as one of the components in energy structure is the choice under the main principle of “technology neutrality,” i.e. whether there is GHG emission or not. According to the newest available data in 2024, the electricity is generated by hydro power, onshore wind turbine and solar photovoltaics, biomass and waster, and nuclear has already been 99.52%. This almost achieves 100% fossil-free electricity. Nuclear power has contributed 29.29% among all sources of electricity generation. Moreover, Sweden uses its high carbon tax for a “green tax shift”, i.e. taxing environmental bad such as GHG and shifting the burden toward reducing income tax and providing investment credits. This creates a 'double dividend' by cutting emissions while boosting the economy. Finally, it deserves to observe the energy transformation and distribution loss rate for one unit of energy input in electricity and/or heating generation. The loss rate represents the energy consumption intensity (efficiency). The average loss rate is 35.73% in 1990-2023 for Sweden. The loss is mainly from transmission and distribution losses across the European grids. The loss rate in the same period for Taiwan is

53.42%. This relatively higher rate mainly results from waste heat during fossil fuel combustion for electricity generation.

Keywords: spent nuclear fuel, fossil free Sweden, clean energy for all European, nuclear waste fund, green tax shift, energy transformation and distribution loss rate, double dividend