

## 2.1 前言

根據本建議書 1.2 節所述之我國溫室氣體排放概況，能源部門溫室氣體排放量在 2019 年約占全國總排放量 91%，而發電用途約占總排放量 48.6%，顯示能源，特別是電力部門，為我國減碳十分關鍵的部門；此外，隨著人類科技的發展，及國際減碳趨勢，目前大部分仰賴化石燃料燃燒供給的能源（熱能）將轉為電力供給，國際能源總署(IEA)估計 2050 年全球電力約占總能源消費的一半<sup>1</sup>，而我國因工商業發展程度高且冬季熱能需求少，故電力消費占比將可望更高（國際能源趨勢詳見附錄 2A；我國能源部門減碳挑戰詳見附錄 2B），這也代表著未來的電力需求將持續成長。大量電氣化的策略除了讓使用者更方便運用能源之外，碳排問題也集中於固定排放源，較易處理。但如此一來，一方面將減碳問題單純化——許多部門之減碳選項可能就是「電氣化、電動化」，另一方面卻也大幅增加電力部門的壓力和急迫性。故「如何創造足夠的零碳電力」將是淨零路徑中，挑戰最大的關鍵課題。

電力供應足夠與否取決於未來的電力需求，目前我國電力多用於工業、民生住宅用、商業，以及其他用途，未來的電力需求變動還包含幾個可能因素，例如：產業轉型降低工業用電、廠商擴廠增加工業用電需求、人口減少降低民生住宅用電需求、服務業更加發達便利增加商業用電需求、電氣化造成其他能源轉換為電力消費等等因素。前面幾項因素取決於我國未來社會經濟發展情境，估算這些電力需求增減幅度不確定性大，難有明確量化定論。此外，亦有學者主張我國應檢視整體需求，並予以調整控管，但是這個因素更是難以量化，因此，本建議書初步僅針對電氣化這個策略選項，進行電力需求之估算，其餘影響電力需求之社會經濟因素暫不納入考慮。

我國於 2019 年發電量為 2,741 億度，當年度電力排碳係數為 0.509 kg CO<sub>2</sub>eq/kWh，故可以得到該年我國電力部門碳排量為 139.6 Mton CO<sub>2</sub>eq，占總排放量

---

<sup>1</sup> IEA (2021) Net Zero by 2050 : a roadmap for the global energy sector.  
[https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroby2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector\\_CORR.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroby2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf)

48.6%。除發電之外，能源部門其他能源使用（直接燃燒）的碳排量則占總排放量 42.4%，此部分若能以零碳電力替代，將顯著減少我國碳排量。因此，若先假設總能源需求不變的狀況下，僅將 50%直接燃燒的部分電氣化，我國就約須增加發電量至 3,937 億度；而若將 90%直接燃燒的部分電氣化，我國則約須增加發電量至 4,893 億度<sup>2</sup>。這表示我國在維持現況能源需求（不增也不減）的情境下，僅就「電氣化」的燃料轉換，我國電力需求便有增加 43.6~78.5%的可能性，若再加上其他社會經濟發展因素可能增加的電力需求，我國未來電力需求甚至可能成長一倍。

欲更細部計算各部門電氣化對電力需求的變化，可從能源的供給及消費量來探討。根據經濟部能源局資料<sup>3</sup>，2019 年我國能源總供給達 1 億 4,840 萬公秉油當量(Kiloliter of Oil Equivalent, KLOE)，能源總消費達 8,491 萬公秉油當量，差值即為能源耗損（圖 2.1.1）。其中，化石燃料（石油、煤、天然氣）占能源總供給的 91%，這些化石燃料，除了製成化學品、塑膠、纖維、柏油外，其餘最終均經由燃燒而產生二氧化碳(CO<sub>2</sub>)。

以個別化石燃料而言，石油產品為大宗，總供給 6,955 萬公秉油當量，其中超過三成用於「非能源消費」（2,412 萬公秉油當量），如潤滑油、柏油、溶劑油等非用於燃燒之石油產品、出口（2,178 萬公秉油當量）、運輸部門（1,340 萬公秉油當量），及少數工業部門的能源使用。煤炭主要用於發電，亦有部份直接提供工業部門做為能源使用。天然氣則主要用於發電，及少部份工業及住宅部門使用。

---

<sup>2</sup> 因其他非發電之能源使用（直接燃燒）之燃料不一，排碳係數皆有所不同，本政策建議書假設其他非發電之能源使用（直接燃燒）之排碳係數與電力排碳係數相同，由其碳排量等比例粗估電力量，因此，50%直接燃燒的碳排部分即為總排放量 21.2%，使得電力碳排量增為總排放量 69.8%，再換算成電力，約為 3.937 億度；而 90%直接燃燒的碳排部分即為總排放量 38.2%，使得電力碳排量增為總排放量 86.8%，再換算成電力，約為 4.893 億度。

<sup>3</sup> 經濟部能源局(2020) 108 年能源統計手冊。

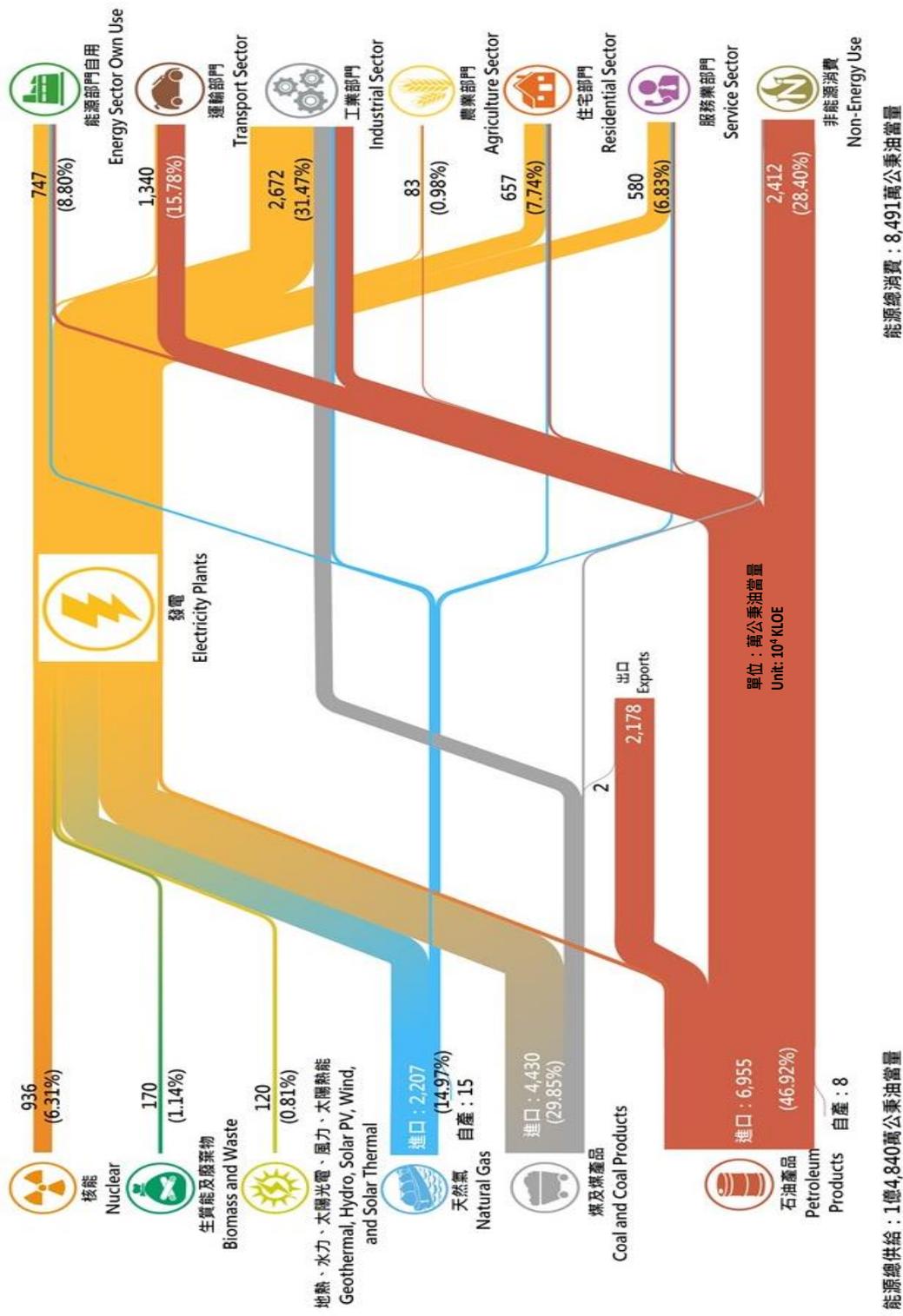


圖 2.1.1 我國 2019 年能源總供給與總消費圖

目前我國發電主要以煤及天然氣為燃料，綜合考量傳統機組與較新型技術機組，我國燃煤電廠的電力排放係數為 0.78~0.92 kg CO<sub>2</sub>/度，而燃氣電廠則為 0.38~0.42 kg CO<sub>2</sub>/度，因此，雖然燃氣並非是「完全無碳」之能源選項，但相較於「燃煤」、「燃油」，燃氣絕對是碳排相對低的燃料，故我國可依循國際趨勢，短期以天然氣取代煤先行減碳，但長期仍須以氫能發電、碳捕存利用技術(CCUS)等負碳技術作為減碳途徑(Box 2.1.1)。

### Box 2.1.1 同樣都是化石燃料，為何燃氣發電可做為轉型過渡選項？

化石燃料燃燒會排放二氧化碳，但是產生之二氧化碳量多寡取決於燃料本身的碳含量，而燃燒產生之能源（熱含量，Heat Content）則取決於燃料本身的碳與氫含量。天然氣（主要為甲烷，CH<sub>4</sub>）相較於其他燃料，擁有較高的能源含量，也因此，若使用不同化石燃料達到相同熱含量，天然氣所排放的二氧化碳較低。

若以燃燒百萬 Btu（英熱單位，British thermal unit）的燃料比較（表 2.1.1），燃氣會產生二氧化碳最少，雖然碳排將取決於不同機組之轉換效率，但是，燃氣的碳排約為燃煤的一半。若再以電力排放係數（每單位發電量所產生的二氧化碳當量）來檢視，燃氣的碳排亦為燃煤的碳排的 45.4%（表 2.1.2）。

這些數據代表著，若不論這些化石燃料開採、運輸等過程之碳排，燃氣雖然並非是「完全無碳」之能源選項，但相較於「燃煤」、「燃油」，燃氣絕對是碳排相對低的燃料，因此，以燃氣替代燃煤在短期內便可減少燃煤發電碳排量的 40~60%，它也被視為一項過渡選項，以待 2030 年後新科技可銜接。如本建議書建議的開發「去碳燃氣」技術（詳述於 2.6 節），可將燃氣排碳進一步降低甚至消除。

**表 2.1.1 不同燃料燃燒排放之二氧化碳量比較**  
(kg CO<sub>2</sub> emitted per million Btu)

無煙煤 Coal (anthracite)	103.7
煙煤 Coal (bituminous)	93.3
柴油 Diesel fuel and heating oil	73.2
石油 Gasoline (without ethanol)	71.3
丙烷 Propane	63.0
天然氣 Natural gas	53.1

資料來源：US Energy Information Administration；本建議書轉換重量單位

**表 2.1.2 台灣電力公司火力機組之溫室氣體排放係數(kg CO<sub>2</sub>eq/kWh)**  
(2016、2018 年資料)

台灣電力公司燃油	0.770
台灣電力公司傳統燃氣/新式複循環燃氣機組	0.417/ 0.383
台灣電力公司傳統燃煤/新式超超臨界燃煤機組	0.918/ 0.775

資料來源：台灣電力公司、鄭睿合與鄭翔勻(2019)、劉澤懷(2020)

我國住宅商業部門熱能需求不若其他高緯度國家那麼大，多數皆已電力方式使用，因此電氣化將著重於運輸部門及工業部門。目前世界各國加速進行的作為即是運輸部門的電氣化/運具電動化，已有多個先進國家宣佈新售燃油車的日落時程。運輸部門的零碳化，將大量減少運輸燃油的需求，僅餘航空、長程貨運等不易電氣化之運輸需求。另一方面，工業部門的能源使用亦非全然可電氣化，輕工業之製程可能可研發電氣化技術，但是，煉鋼、煉油，水泥產製等重工業製程需高溫度的熱能，此需求難以現有電氣化技術取代，僅能以零碳氫能、生質能替代化石燃料，或是以碳捕存利用技術(CCUS)彌補，因此，這些技術的研發與應用對產業達到能源供給穩定與淨零排放是十分重要的。

運輸部門電氣化的計算，若以能源直接轉換為電力進行初估，運輸部門消費1,340萬公秉油當量，若60%電氣化，則須將804萬公秉油當量轉換為電力，再考量電動車能效，約需168.2億度電<sup>4</sup>。另一方法為以我國汽機車車輛總數及行駛里程數，估算若全面使用電動汽機車所需電能，每天約增加4,011萬度電，一年增加約146.4億度電<sup>5</sup>。

工業部門電氣化的計算，若以能源直接轉換為電力進行初估，工業部門消費約2,682萬公秉油當量，其中，煤及煤產品使用556萬公秉油當量、石油產品使用163萬公秉油當量、天然氣使用318萬公秉油當量。若60%電氣化，則須將622萬公秉油當量轉換為電力，約需651億度電。2019年我國發電量達2,741億度，若使用能源直接轉換法，合計運輸部門及工業部門60%電氣化約需819.2億度電，這代表著發電量需增加約三成，達到3,560億度。反之，若不電氣化，則須大幅加速工業部門運用零碳氫能、生質能、及碳捕存技術的研發及布建，運輸部門亦須思考其他非燃油低碳運具研發與其基礎設施建置(如氫能車與加氫站)，這不僅是不小的挑戰，對基礎設施投資而言，更是截然不同的路徑。

---

<sup>4</sup> 1公秉油當量=0.9公噸油當量；1公噸油當量=1.163x10<sup>4</sup>度；運輸部門804萬公秉油當量=723.6萬公噸油當量=8,415,468萬度=841億度；而因電車效率較油車約高五倍，因此約需168.2億度電。

<sup>5</sup> 環境資訊中心(2018) 2040 電動車化供電受影響？台電估：全部電動車化也不怕。https://e-info.org.tw/node/209501

由此分析可知，我國要達到 2050 淨零排放的目標，各技術選項都應考慮。但以目前技術發展成熟度評估，儘可能電氣化、再全力發展零碳電力仍為較易達成淨零排放的主要途徑，再配合氫能、生質能、及碳捕存技術的布建。惟我國零碳電力仍有其限制，也因如此，當我國極力創造零碳電力的同時，亦必須極力發展各部門節電行為、提高能源效率、經濟轉型，社會溝通等可降低電力需求之策略，方能達到電力供給與需求之間的平衡。本章先就我國可能發展之零碳電力選項及發電潛能，詳述於下。