

IEA 2020 年世界能源展望(WEO 2020)

2020 年 10 月 22 日

重點摘要

- 一、WEO 2020 納入 COVID-19 疫情影響，以 4 種可能情境探討其未來 10 年發展路徑。這些情境依復甦速度與潔淨能源技術導入強度進行假設：
 1. 政策情境(STEPS)：反映既有宣示政策，受疫情影響較小。
 2. 延遲復甦情境(DRS)：與 STEPS 政策措施假設相同，但經濟延後回穩。
 3. 永續發展情境(SDS)：達到巴黎協議永續能源目標，全球 2070 達淨零排放。
 4. 淨零排放情境(NZE2050)：全球 2050 達淨零排放目標。
- 二、WEO 2020 預估 2020 年全球能源需求較 2019 年下降 5%，其中，以煤與油下降 7%與 8%最高，再生能源是唯一逆勢上升的能源(成長 3%)。此外，能源相關排放下降 7%、能源投資下降 19%(降幅最大在於石油產業)。
- 三、疫情使 2019-2030 年能源需求成長率由原先預估的 12%，下降至 9% (STEPS)，甚至 4% (RDS)。開發中國家能源相關使用與設施投資(如建築、家電、車輛等)均將減少，且受疫情衝擊資源排擠影響，電力普及率將惡化。
- 四、再生能源在各情境均快速成長，以成本大幅降低的太陽光電為最。STEPS 情境中至 2030 年，再生能源可滿足 80%電力需求增加量，而在 SDS 與 NZE2050 情境中再生能源與核能的減碳貢獻更大。
- 五、受能源需求下降、減煤政策、天然氣競爭及再生能源發展，持續抑低全球煤炭使用，STEPS 情境中燃煤發電占比由 2019 的 37%下降到 2030 的 28%、於 SDS 情境則下降至 15%。
- 六、石油需求成長趨勢預計在 10 年內會由正趨於平緩，但仍取決於經濟復甦速度與形式。潔淨車輛的發展與疫情對運輸需求的衝擊，抑低了全球石油需求，然而開發中國家運輸發展與長途貨運仍存在對石油的潛在需求。
- 七、WEO 首次預估 STEPS 的已開發國家天然氣需求到 2040 年將略微下降。在此情勢下，天然氣產業須思考長期發展問題。若多數國家實現淨零排放時，

IEA 認為天然氣產業可以轉而發展替代氣體(如生質甲烷和低碳氫)與 CCUS 技術。

八、因 COVID-19 影響，且復甦時機仍存在不確定，IEA 下修石油和天然氣價格與需求，認為未來相關產值可能減少近 1/4。大多油氣生產國與企業也多在再生能源項目進行多角化投資，以因應可能困境。

九、COVID-19 雖能抑低排放，但緩慢經濟成長無益於能源系統結構性改變。IEA 於今(2020)年 6 月提出永續復甦計畫，以促進經濟成長、創造就業機會與建立更彈性潔淨的能源系統為三大目標，為經濟復甦計畫提供可行措施。

十、即使積極避免新的排放，但既有基礎設施仍維持目前的運作方式，未來溫升將被鎖定在 1.65°C。因此，必須對既有基礎設施(如燃煤電廠、鋼鐵廠、水泥廠)採取減排措施，否則無法實現氣候目標。

十一、 能源轉型除電力部門之外，過往認為減量潛力有限的工業和運輸部門(如鋼鐵業、航空業等)亦需承擔責任。為讓 2030 年後保持強有力的減量力道，需不懈地關注(1)能源與材料效率、(2)電氣化、(3)低碳燃料(如生質甲烷、氫氣)。

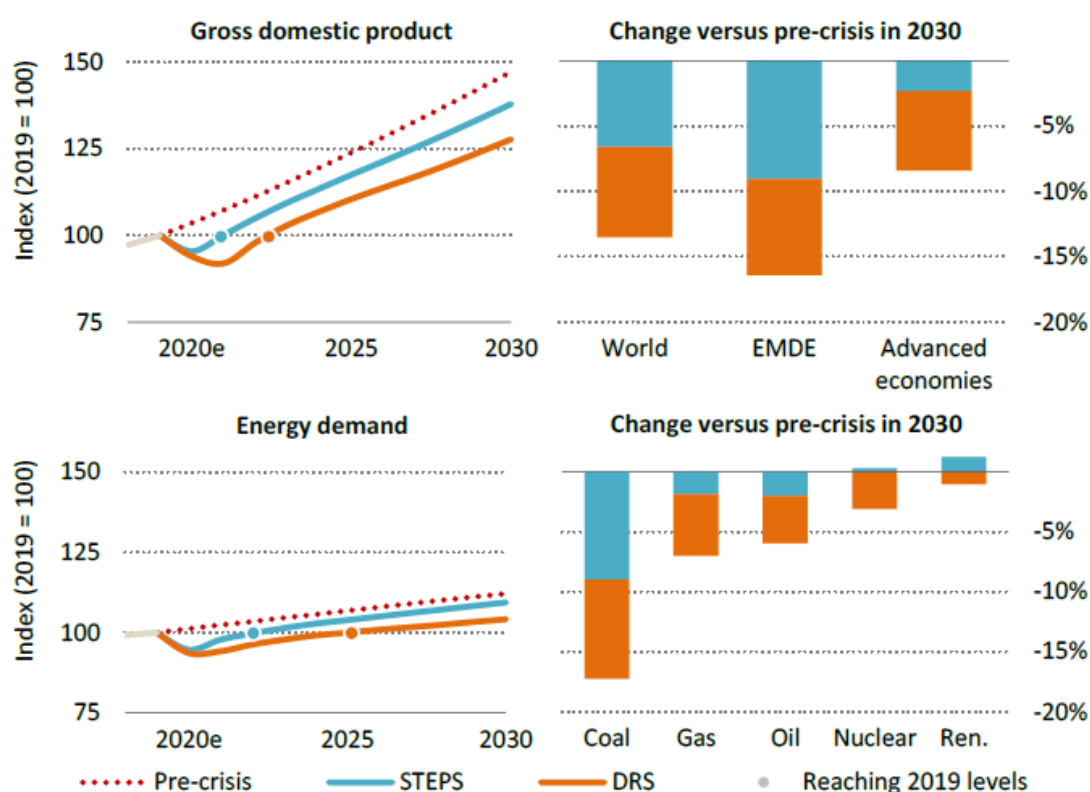
十二、 要達成全球 2050 年淨零排放願景，未來十年的需要依賴於各國政府與企業果斷採取一系列有企圖心的行動。如低碳氫和 CCUS 技術須積極創新與擴大布建。

附件、報告各章節重點分析

一、概覽與重要發現

WEO 2020 有三大項關鍵主題，COVID-19 對能源部門衝擊與能源轉型加速的願景。這兩項關鍵主題是相互關聯，並提高近期不確定性。因為疫情的持續期間與嚴重程度，IEA 關注後續復甦階段如何影響經濟發展、如何建構永續能源環境。於是，WEO 將著重於未來 10 年發展路徑的探討。

受 2020 年疫情影響，預估全球能源需求較 2019 年下降 5%，其中，以煤與油下降 7%與 8%最高，再生能源是唯一逆勢上升的能源(成長 3%)。此外，能源相關排放下降 7%、能源投資下降 18%。



Notes: 2020e = estimated values for 2020 ; Ren. = renewables ; EMDE = emerging market and developing economies. The pre-crisis trajectory is represented by the WEO-2019 Stated Policies Scenario projection.

資料來源：IEA(2020)

圖 1、全球 GDP 與初級能源需求

政策情境(STEPS)假定 2021 年將控制住疫情，全球 GDP 於 2021 年回到疫情前水準，全球能源需求則到 2023 年初回復，不過細看燃料別則有很大差異。再生能源在各情境均快速成長，以成本大幅降低的太陽光電為最。STEPS 評估未來 20 年間，再生能源可滿足 80%電力需求增加量，全球能源消費占比到 2040 年提升至 22%；而煤炭的全球能源消費比例到 2040 年低於 20%，將創近代能源史上新低紀錄。

在延遲復甦情境(DRS)中，全球 GDP 於 2023 年回到疫情前水準，全球能源需求則到 2025 年初回復。石油需求趨於平穩，每日需求量略低於 1 億萬桶，較政策情境(STEPS)少 4 百萬桶 (mb/d)左右。疫情引起的行為改變影響了未來石油需求的發展，不過，延遲復甦情境(DRS)和政策情境(STEPS)一樣，尚未明確顯示石油需求達到峰值。

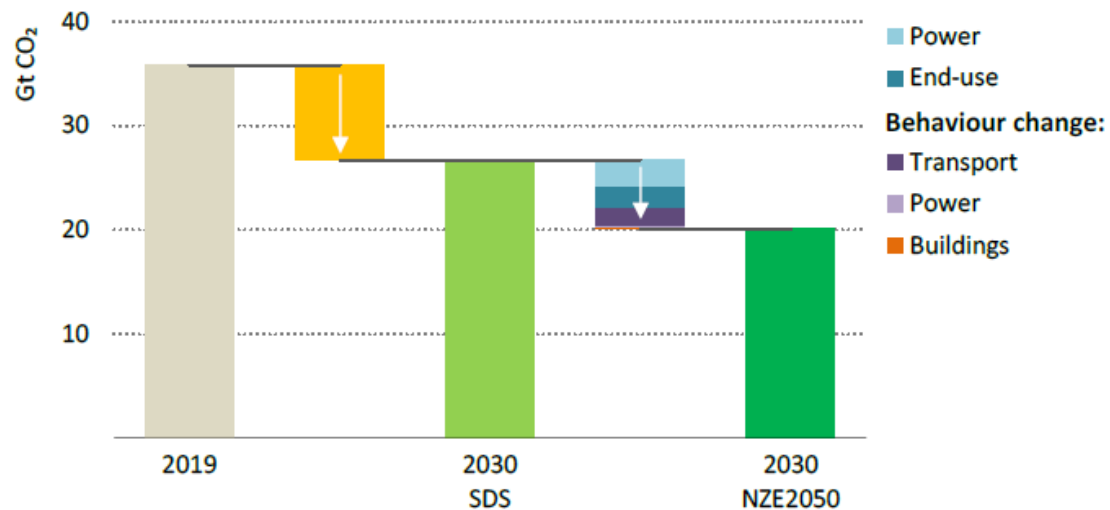
相較於 2008-09 金融危機，政策情境(STEPS)與延遲復甦情境(DRS)下的碳排反彈緩慢得多。不過，這是由於經濟活動減少造成，不是因為能源消費或生產方式有結構性變化，也就是說沒有決定性的改變全球碳排趨勢。以及，IEA 提醒不要誤以為經濟成長減緩是氣候變遷的解決方案。

能源部門要結構性的轉型需要新增龐大投資，投資在更有效率與潔淨的資本上。依據 IEA 的永續復甦計劃，永續發展情境(SDS)預期未來十年將投資在許多潔淨能源技術。除了抑低新的排放，促使既有基礎設施(如燃煤電廠)採取積極行動減少碳排放，這可以讓 2019 年明確成為全球碳排放的的峰值年。永續發展情境(SDS)中，2030 年碳排放量將比政策情境(STEPS)降低近 10 百萬噸，而且減少空污排放，讓空氣較 2020 年大封鎖期間還要潔淨許多。

普遍取得電力和潔淨烹飪的進度有可能減慢或反轉，特別是在撒哈拉以南的非洲。許多主要國家的貸款成本長期維持很低的水準，在延遲復甦情境(DRS)中，許多發展中國家的融資管道可能會受到更大的限制，這使能源投資前景變得更加複雜。

疫情加劇石油和天然氣行業面對的不確定性。由於石油和天然氣市場的供應明顯過剩，以及美國頁岩油氣和全球能源需求前景的不確定性，預估 2020 年投資金額下降 1/3，尚不清楚未來反彈的時機和程度。同時，該行業對能源轉型將會如何影響其營運和商業模式，面臨的壓力越來越大，他們需要弄清楚未來如何在減碳壓力下做出貢獻。

永續發展情境(SDS)提出一條有企圖心的能源轉型路徑，路徑內涵包括目前已宣誓的 2050 年(及之前)淨零排放承諾。而 WEO 首次探討「淨零排放情境(NZE2050)」，為促使全球實現 2050 年淨零排放目標，建議未來十年需要採取額外措施，包括加快布建潔淨能源技術及擴大行為改變的範圍(參圖 2)。



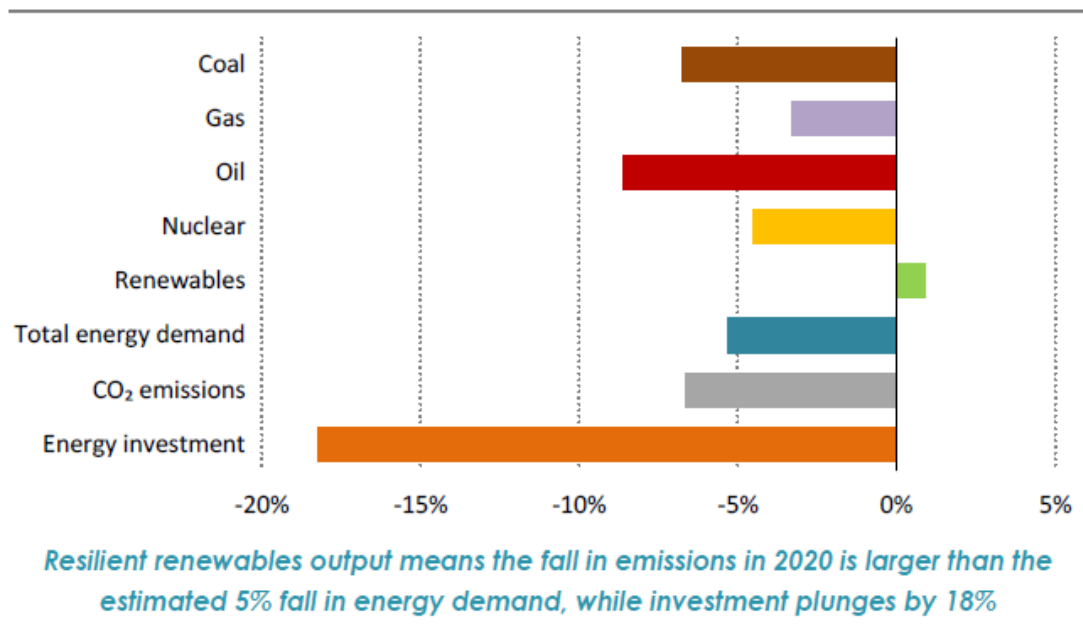
資料來源：IEA(2020)

圖 2、永續發展情境(SDS)與淨零排放情境(NZE2050)的碳排減量潛力(2019-2030)

二、 COVID-19 封鎖下的全球能源現況與 WEO 情境假設說明

(一)COVID-19 對總體及個別能源的影響

COVID-19 全球大流行至今對全球能源部門已造成重大影響，IEA 預估 2020 年全球能源需求較 2019 年下降 5%，其中，以煤與油下降 7%與 8%最高，再生能源是唯一逆勢上升的能源，相較 2019 年成長 3%。整體而言，能源相關碳排放較 2019 年下降 7%，能源投資金額則下降達 18%，降幅最大在於石油與天然氣供應鏈的投資，預計對未來幾年的能源市場發展帶來重要的影響(圖 3)。



資料來源：IEA(2020)

圖 3、2020 年相較 2019 年全球能源需求、碳排放與能源投資變動比例預估

表 1、個別能源受 COVID-19 疫情影響重點

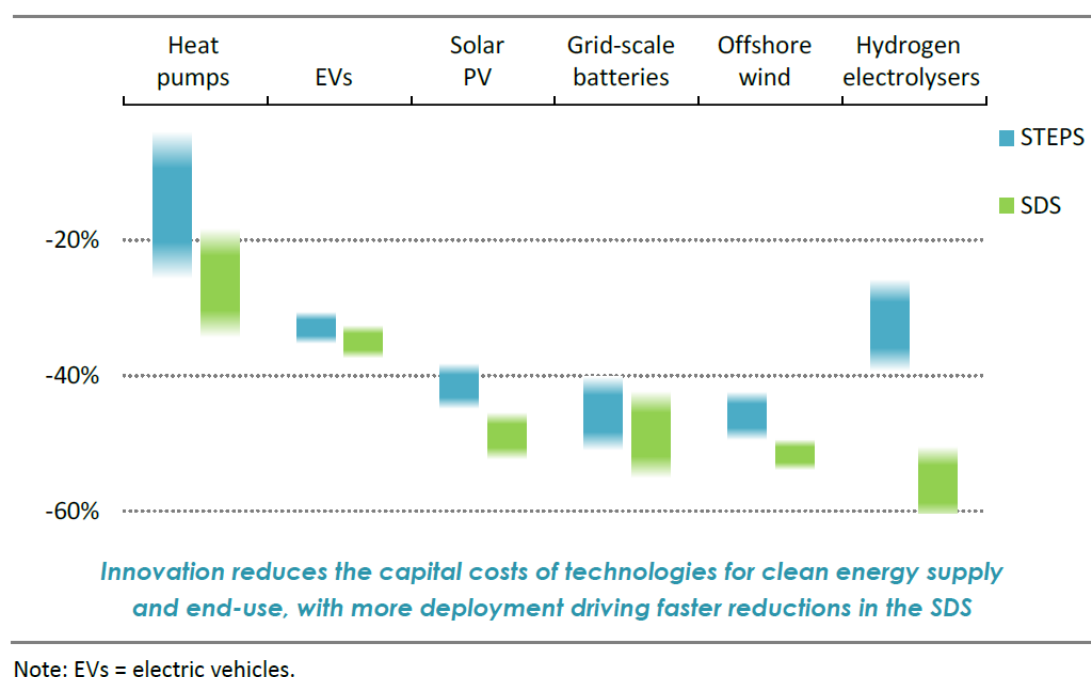
能源類別	影響重點
油品	- 受疫情影響顯著，2020 年全球消費量預計較 2019 年減少 8%，衝擊主要在公路運輸與航空部門(原占全球油品消費量的 60%)。 - 油品需求自年初即逐漸下降，自 4 月達低點後呈現反彈現象，但預計短期內仍無法回到既有水準。 - 供給端自 4-5 月間 OPEC+提出減產協議後亦大幅下降，預期疫情將持續影響相關產業的投資與就業。
電力	- 預計 2020 年全球電力消費相較 2019 年下滑 2%，然各國情形不同。多數國家電力需求受疫情負面衝擊，然中國電力消費成長幅度雖亦下滑，然而相較去年仍有 2%成長。 - 近年全球電力消費成長率為能源消費成長率的 2 倍，而疫情影響下，電力消費下滑幅度亦不及總能源消費下滑幅度的一半，顯示電力在全球現代化進程的重要性。 - 電力供給方面，燃煤發電受需求減少影響最大，再生能源則因其低運轉成本與優先併網的優勢致使占比提升。許多國家紛紛創下

	再生能源占比歷史新高，同時提早測試各國電力系統對高再生能源併網的因應能力。
天然氣	• 2020 年預計全球需求較 2019 年下降 3%，除了受疫情影響外，亦包括暖冬導致之暖氣用氣需求減少等長期趨勢因素。 • 上述長期趨勢因素致使對天然氣需求已趨緩，故疫情對供給端衝擊不若石油產業劇烈，然對整體供應鏈的影響仍逐漸浮現。
煤	• 預期 2020 年全球消費量較 2019 下降 7%，僅次於石油降幅。 • 全球 2/3 的煤作為發電用，在電力需求下降情況下，尤其在天然氣價格低的地區，作為邊際資源的燃煤發電通常優先被削減，這也導致燃煤電廠利用率過低與提前除役的現象。 • 中國占全球煤消費量的一半，其受疫情衝擊後的經濟反彈減緩了煤炭需求減少的現象。目前預期中國 2020 年的煤炭使用相較 2019 年將不會減少，且新的燃煤電廠經縣案仍持續進行中。
再生能源	• 整體受 COVID-19 影響小，其中 2020 年發電用途的再生能源預計較 2019 年成長 5%，比直接燃料用途的再生能源發展更佳(下降 2%)，另，油品需求下降也同時衝擊到直接燃料用途的生質燃料。 • 發電用途的再生能源中，電廠等級的再生能源因通常具合約保障(如雙邊合約 PPA、保證收購 FIT 等)與優先併網的優勢，不受電力需求下降的影響；然而小規模的分散式再生能源(以屋頂型太陽光電為主)布建通常更取決於家戶或小型企業的支出，其受疫情影響則較顯著。
核能	• 受電力需求下降影響，預計 2020 年全球發電量較 2019 年下降 4.5%，然核電在疫情封鎖期間提供了系統一定程度的操作彈性。 • 整體而言，疫情致使電業營收縮減仍對核電投資產生影響。已開發國家中，2019 下半年至 2020 上半年間共有 12 座核電廠關閉，僅 1 座開始動工興建。
能源效率	• 全球經濟萎縮直接影響節能投資意願，使得節能技術導入速度趨緩，不利於全球能源轉型的推進。 • 各國的振興計畫中如何獎勵或規範節能商品及措施導入，將成為影響未來整體能效提升速度的關鍵。

資料來源：IEA(2020)

(二)WEO 2020 分析情境設定說明

為探討 COVID-19 對全球能源部門發展的不確定性，WEO 2020 著重在未來 10 年內的能源情境探討。盤點 COVID-19 流行下影響能源部門的關鍵議題主要分 6 大項：1)疫情影響時程、程度與面向；2)各國振興方案內涵與納入永續發展思維的程度；3)疫情對全球節能投資的衝擊與影響能源轉型進程的程度；4)疫情對能源價格的影響；5)企業因應疫情致使經營方向改變(包括永續經營策略與供應鏈型態等)；6)生活型態的改變(遠距工作、線上購物等)。WEO 本次透過情境分析，納入疫情影響下的社經條件、政策、能源價格與投資情形等。值得一提的是，WEO 評估考量各技術改善之學習曲線，亦即當一創新技術具競爭力與有效性時，會促使政策支持技術的發展，提升技術的市場需求，進一步提供技術創新的誘因，形成一正向循環，而當技術大量布建與流通時，會使其成本下降速度加快，更增加了技術的市場競爭力。因此，許多創新關鍵技術在 SDS 情境中的成本下降速度較 STEPS 情境來的快速(圖 4)。



資料來源：IEA(2020)

圖 4、STEPS 與 SDS 情境中 2040 年相較 2019 年各類能源投資成本下降幅度

本次 WEO 報告考量上述疫情影響關鍵因素，利用情境分析探討未來不同條件假設下的能源發展情形，各情境主要假設說明如下：

1. 政策情境(Stated Policies Scenario, STEPS)：假設 2021 年起全球疫情受到控制，使全球經濟穩定復甦，此情境納入各國既有或已宣示政策措施與目標，包括巴黎協議之排放目標、各國復甦與振興計畫的相關措施，以及有宣示淨零排放目標國家的相關政策措施等。
2. 延遲復甦情境(Delayed Recovery Scenario, DRS)：與 STEPS 情境之政策措施假設相同，但假設經濟回穩速度更慢，2040 年全球經濟規模小於 STEPS 情境達 10%。在此情境下，國家、企業與個人因疫情致使財務壓力增加，使能源轉型的資本投入受排擠。
3. 永續發展情境(Sustainable Development Scenario, SDS)：與 STEPS 情境疫情受控與經濟復甦時程假設相同，但須達到永續發展目標(包括抑制升溫在 1.5°C 的氣候目標、潔淨空氣與能源普及)。此情境下的短期措施參考 IEA 先前提出因應疫情的永續振興計畫(Sustainable Recovery Plan)，在促進經濟復甦的同時朝向潔淨與具彈性能源系統發展。達到永續發展目標的關鍵措施涵蓋電力、運輸、工業、建築、燃料和新興低碳技術等六大領域。在 SDS 情境中，需要多數已開發國家最晚在 2050 年達到淨零排放目標，全球則在 2070 年達到淨零排放。
4. 淨零排放情境(Net Zero Emissions by 2050 case, NZE2050)：全球 2050 達到淨零排放目標，IEA 首度詳細模擬達到全球 2050 淨零排放所需的措施與發展路徑。

三、建構於永續振興之上的能源展望

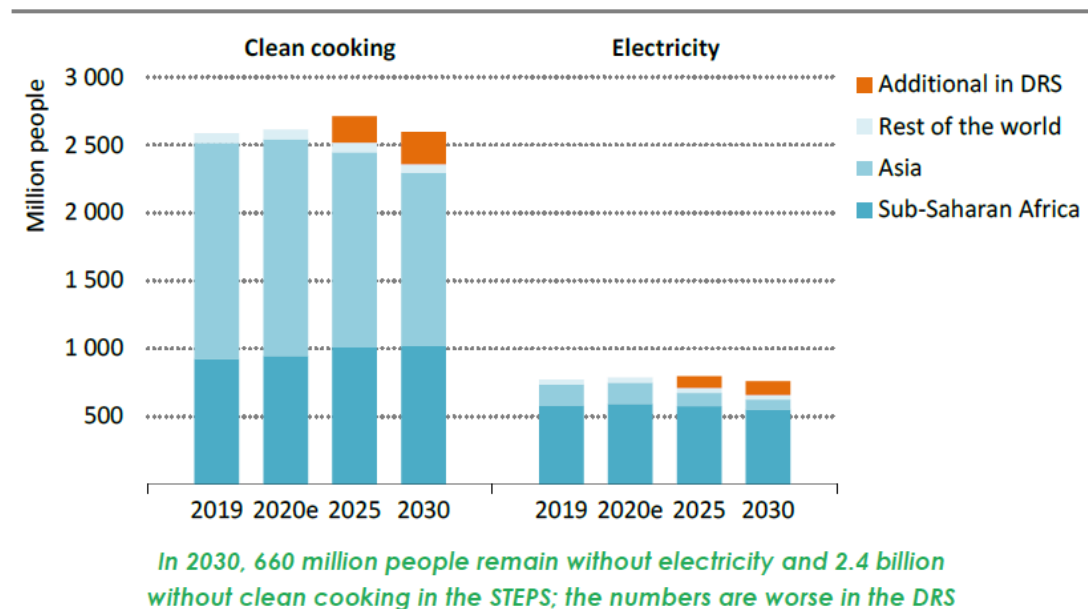
COVID-19 疫情發展至今，對全球能源部門發展已產生長遠的影響。各國政府在公共衛生與防疫的支出，排擠在潔淨能源發展的資金投入，便宜的化石能源價格也降低了節能與能源轉型的誘因；然而這些現象可能也帶來一些正面的機會，例如低廉的化石能源價格帶給各國政府取消化石燃料補貼的契機，而電力需求下降帶給火力電廠的營運壓力也可能加速這些電廠的除役時程，創造潔淨能源進場機會。

(一)COVID-19 對 STEPS 與 SDS 情境的影響

COVID-19 的流行預見對全球永續發展目標(Sustainable Development Goals, SDG)進程產生長期的影響。以下就 SDS 情境三大發展目標說明疫情可能造成的衝擊與機會。

1. 潔淨可負擔能源的普及化

IEA 估計疫情將惡化能源普及的進程，預計非洲地區無能源可用的人數在連續 6 年下降之後，於 2020 年將反轉增加；此外在非洲及亞洲地區，受疫情衝擊導日收入縮減，預計將造成約 2 千 5 百萬人口落入嚴重貧窮情形，失去負擔基本電力服務的能力，其中 2/3 位於非洲地區，約占該區域目前有電可用人口的 3%；此外 IEA 估計約有 8 千 5 百萬人口(主要在亞洲)貧窮程度將惡化，僅存基本電力使用負擔能力。IEA 估計在 STEPS 情境中，至 2030 年仍有 6 億 6 千萬人口無法使用電力服務，此外約 24 億人口無法使用潔淨能源烹煮食物，這個估算較 2019 年 WEO 報告分別增加了 3 千 5 百萬與 6 千萬人口，而在 DRS 情境中 2030 年潔淨能源普及情形更差(圖 5)。SDS 情境中設定各國政府在振興計畫中致力於能源普及程度，包括推動偏遠地區或貧窮區域的太陽能設備與液化石油氣設施，促進潔淨且可負擔的能源的普及使用。



Note: 2020e = estimated values for 2020.

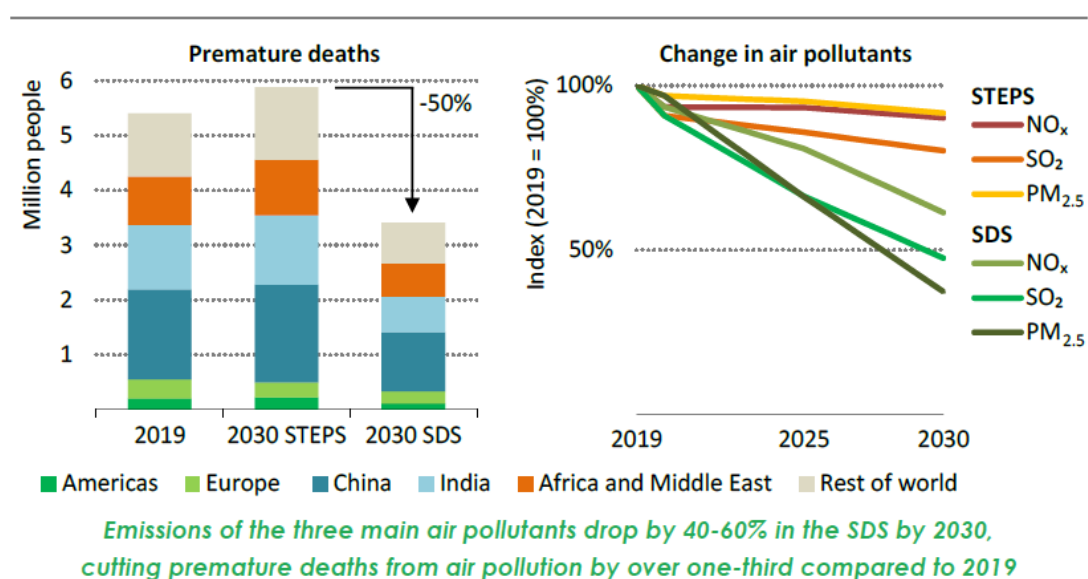
Sources: IEA analysis; WHO (2020).

圖 5、STEPS 與 DRS 情境中無能源可使用的人口數量變化情形

2. 潔淨空氣

COVID-19 的封鎖政策顯著提升全球各地區的空氣品質，如歐洲 2020 年 4 月 NO_x 與 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度較去年同期下降 40% 與 10%；然而反彈效應也逐漸浮現，疫情使人們傾向使用私人運具，造成歐洲即便仍在封鎖階段，部分城市的 NO_x 濃度已偵測到幾乎回復疫情前水準，中國的 SO_2 和 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度更是超越疫情前水準。

在 STEPS 情境中，即便預計至 2030 年 NO_x 與 SO_2 濃度將較 2019 年下降 10~20%，但因都市化人口增加，更多人口暴露在空氣污染下，預計 2030 年將增加 50 萬空污暴露致死案例，達到將近 600 萬致死案例，以中國與印度情形最為嚴峻，其中約 6 成致死來自環境空氣污染，4 成則來自食物烹調燃料造成的室內空氣污染。在 SDS 情境中，潔淨能源的推動促使 NO_x 、 SO_2 、 $\text{PM}_{2.5}$ 三種主要空氣污染物相較 2019 年減量 40~60%，相較於 STEPS 預計可避免約 250 萬空污暴露致死，逐年累計可避免約 1200 萬的空污暴露致死(圖 6)。



Note: Americas includes South America, Central America, North America and the Caribbean.

Sources: IEA analysis; International Institute for Applied Systems Analysis.

圖 6、STEPS 與 SDS 情境下空污排放與空污暴露致死案例變化情形

3. 抑制升溫在 1.5°C 的氣候目標

IEA 估計受疫情影響，2020 年能源部門碳排放將下降 2.4Gt，然而依據歷史經驗，經濟衰退造成的碳排放下降通常會伴隨反彈效應。本次 WEO 報告在 SDS 情

境完整納入 IEA 稍早提出的全球永續振興計畫，假設潔淨能源投資力道相較過往 WEO 評估要來的強，促使 SDS 情境整體碳排放相較過往版本更低，同時亦於 2070 年達到全球淨零排放目標。

本次 WEO 報告進一步探討既有或興建中的能源設施，若仍依既有使用模式並屆齡除役，則單計這些能源設施使用的碳排放即幾乎等同於 SDS 情境的總碳排放量，顯示既有技術使用造成的碳鎖定效應造成減碳的挑戰。在 SDS 情境中透過各種方式，包括電力部門新的電力調度模式、碳捕捉、應用與封存(Carbon Capture, Utilization, and Storage, CCUS)、燃煤電廠提前除役，以及住服部門促進設備汰換等，抑低既有技術的碳排放。此外在 SDS 情境下，透過強化低碳技術導入，以及循環經濟、生活行為改變等永續轉型措施，合計至 2030 年相較 STEPS 情境全球碳排放可降低約 9.4Gt(圖 7)。

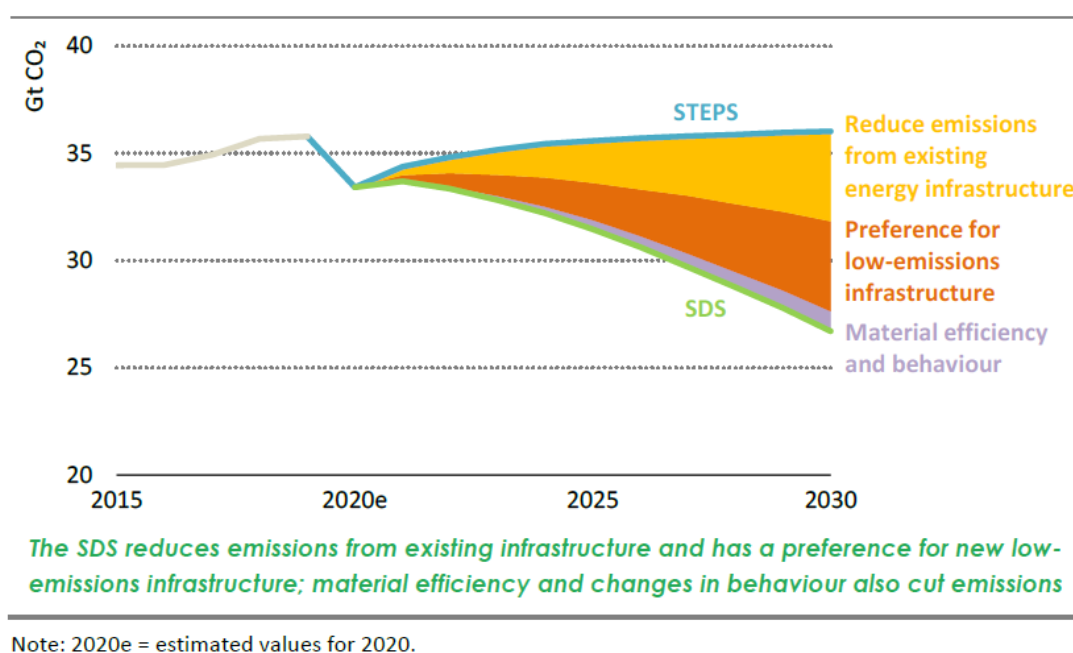
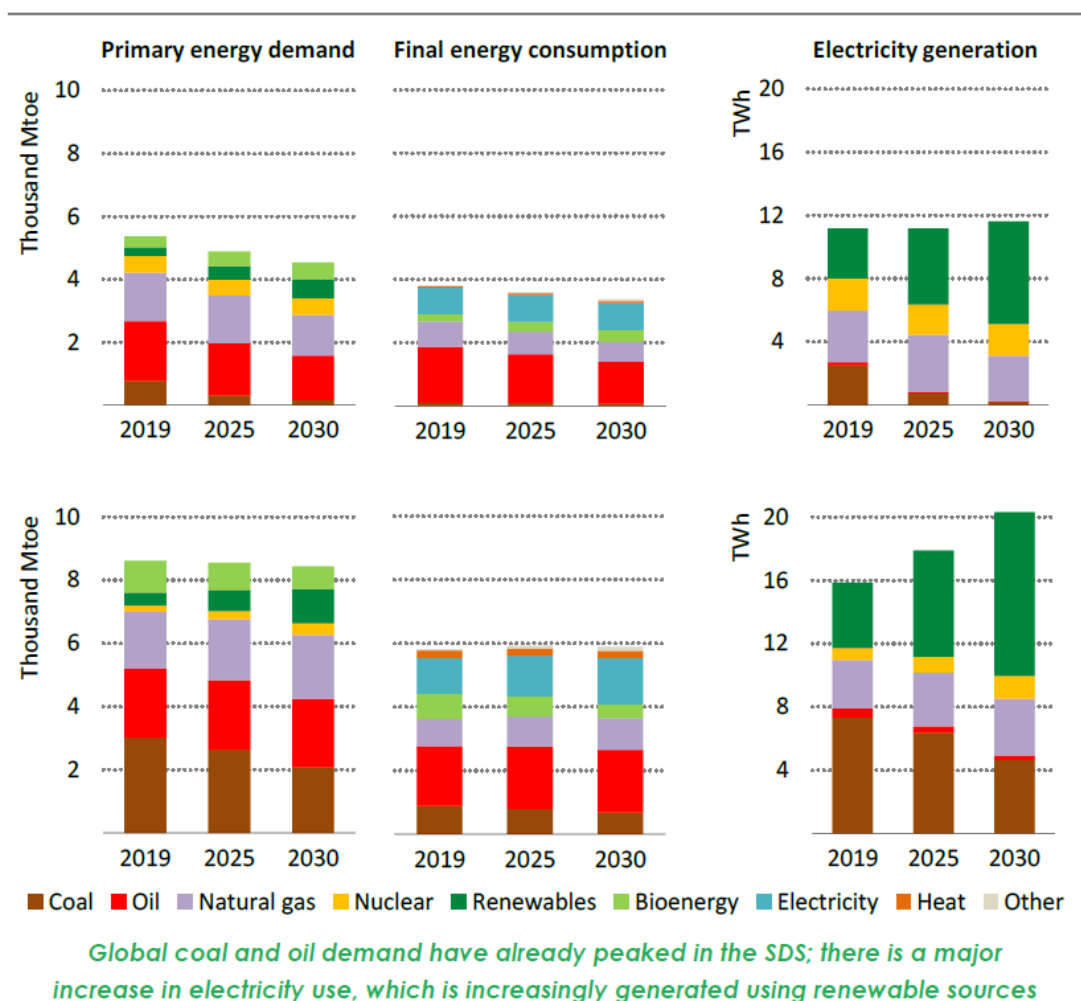


圖 7、SDS 相較於 STEPS 情境的關鍵減量措施與貢獻量

(二)SDS 情境的能源轉型路徑

本年度 WEO 著重探討各情境自 2019 至 2030 年間的能源發展路徑。由整體能源消費趨勢而言，在 SDS 情境中初級能源供應已於 2019 年達到峰值，而後逐年下降，全球估計 2030 年初及能源相較 2019 年下降 7%，已開發國家更是下降了 15%，在此期間已開發國家初級能源密集度每年下降幅度達 3%，相較過去 10

年年均下降 2% 更多。化石燃料在 2030 年初級能源中的占比由 80% 下降至低於 70%，其中全球煤炭供應降低 40% (在已開發國家中降低 75%)，主要抑低貢獻來自電力部門減煤；油與天然氣的需求下降則主要來自於低碳技術的節能與燃料替代效果。SDS 情境下 2030 年全球電力需求較 2019 年增加 20%，使其餘最終能源消費的占比由 19% 增加到 24%。全球再生能源發電占比由 2019 年的 25% 增加至 2030 年的 50%，仍以太陽光電為主；燃煤發電占比則由 37% 下降至 15% (圖 8)。



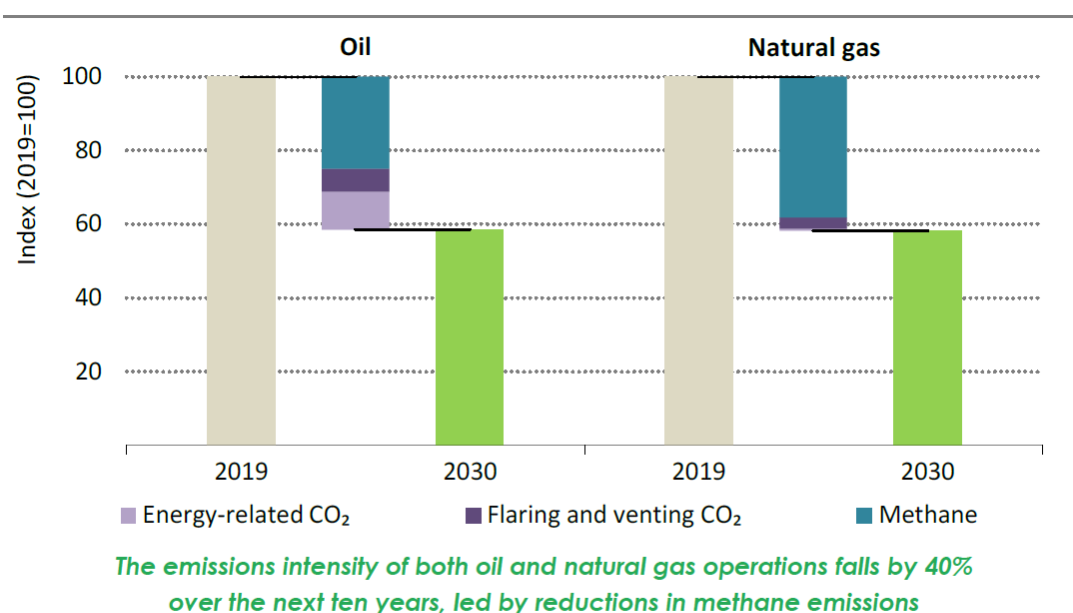
Notes: Mtoe = million tonnes of oil equivalent; TWh = terawatt-hours.

資料來源：IEA(2020)

圖 8、SDS 情境未來 10 年初級能源供應、最終能源消費與電力供給趨勢

1. 燃料供應部門

油氣開採、處理與運送造成的溫室氣體排放約占全球能源部門排放量的 15%，其中半數以上的排放來自於甲烷，依既有的減量技術(如衛星探測甲烷洩漏點)可減量油氣開採處理過程中的甲烷排放約 75%，碳定價的推動可有效提供油氣開採業者導入減量措施的誘因，其他包括 CCUS 於礦場的應用、處理程序所需電與熱由再生能源提供、降低廢氣燃燒量等措施，預計 SDS 情境下 2030 年相較 2019 年可降低油氣開採碳排放密集度約 40%(圖 9)。



Note: Includes CO₂ and methane emissions from production, processing and transport, but excludes combustion emissions.

資料來源：IEA(2020)

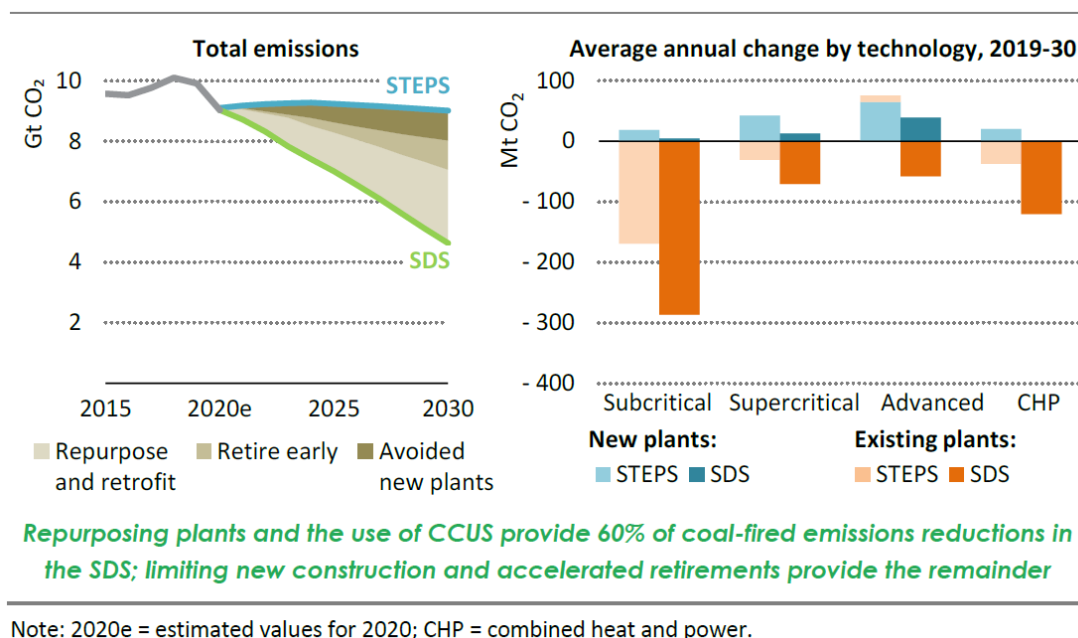
圖 9、SDS 情境燃料供應部門排放密集度變化情形

2. 電力部門

電力部門為全球二氧化碳最大排放源，且在經濟發展與電氣化趨勢下預期電力需求將持續成長。在此情況下，電力部門減碳程度為邁向全球氣候目標的關鍵。在 SDS 情境中預計 2030 年全球電力部門碳排放將較 2019 年下降 40%，即便電力需求成長了 20%，主要的減量貢獻來自於再生能源、核能與 CCUS 的使用。未搭配 CCUS 的燃煤以及效率較低的燃煤機組發電占比則快速下降。

在 SDS 情境中，燃煤電廠 2030 年排放量相較 2019 年可減量達 50%，主要透過電廠改善(包含設備調整以增加其調度彈性、汰舊換新提升機組效率、增設 CCUS

設備、生質燃料混燒等)、既有機組提前除役、以及避免未裝設 CCUS 的機組新建等措施，使燃煤電廠 2030 年碳排放量可以由 STEPS 情境下的 9Gt 下降為 SDS 情境不到 5Gt。這些措施不僅促進電力部門排放抑低，更使燃煤發電維持在一定比例，以利維持電力系統可靠度(圖 10)。



資料來源：IEA(2020)

圖 10、STEPS 與 SDS 情境燃煤電廠碳排放與各類燃煤機組排放量增減趨勢

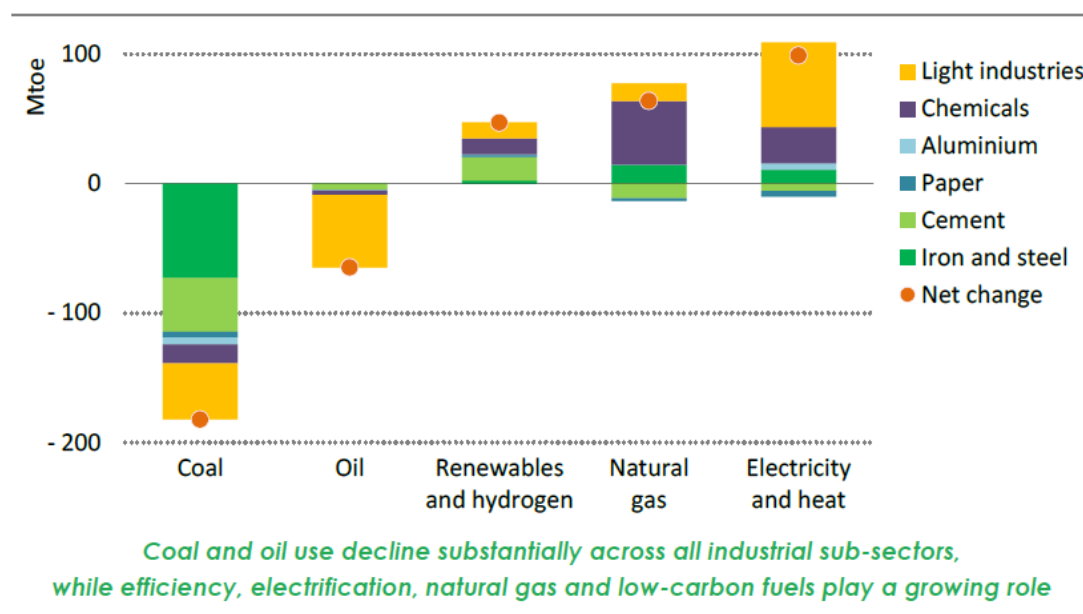
在 SDS 情境下，燃氣電廠在未來 5 年發電占比將略微提升，除了減煤趨勢下的替代電源外，其提供電力系統彈性的能力在高再生能源占比趨勢下也越形重要。而在 IEA 永續振興計畫中，低碳電力的投資持續上升，預計 2019-2030 年每年達到 6500 億美元(2015-2019 年平均每年 3400 億美元)，其中再生能源投資占 90%，太陽光電與風力合計占全球發電量由 2019 年的 8% 提升至 2030 年的 30%，水力與生質能則提供了變動性再生能源大量併網所需的系統彈性，約占全球低碳能源投資額的 20%。核電僅次於再生能源為全球第二大低碳電源，雖然新建電廠成本高，但既有核電廠延役相較其他主要低碳電源(PV、風力等)具成本競爭性。在發展中國家，2030 年 SDS 情境的核電發電量相較 2019 年翻倍，尤其在中國、俄羅斯、印度、中東地區皆有核電興建的規劃。

在高再生能源占比趨勢下，電力系統彈性越受重視，未來 10 年全球預計每年投入 4500 億美元在電網升級與智慧化，包括火力電廠更新設備改建提供系統

彈性、儲能設備與需求端管理措施等，至 2030 年，SDS 情境下的電池儲能容量將由 2019 年的 11.5GW 提升至 220GW。

3. 工業部門

2019 年工業部門貢獻全球 8.5Gt 碳排放(約占全球碳排放 25%)，在 SDS 情境下 2030 年排放量相較 2019 年下降 15%(STEPS 則微幅上升)，主要減碳貢獻來自於鋼鐵、水泥及其他輕工業。整體而言，工業的煤炭與油品使用在主要產業顯著下降，再生能源、氫能、天然氣及電力與熱能需求則顯著上升(圖 11)。工業部門的減碳路徑以電氣化與能效提升兩大措施貢獻最大，其他措施包括材料效率提升、氫能使用以及工業 ccus 等。永續振興計畫使工業部門節能投資大幅提升，應用範圍包括設備能效提升、電氣化、以至於工廠能源管理系統的布建。



資料來源：IEA(2020)

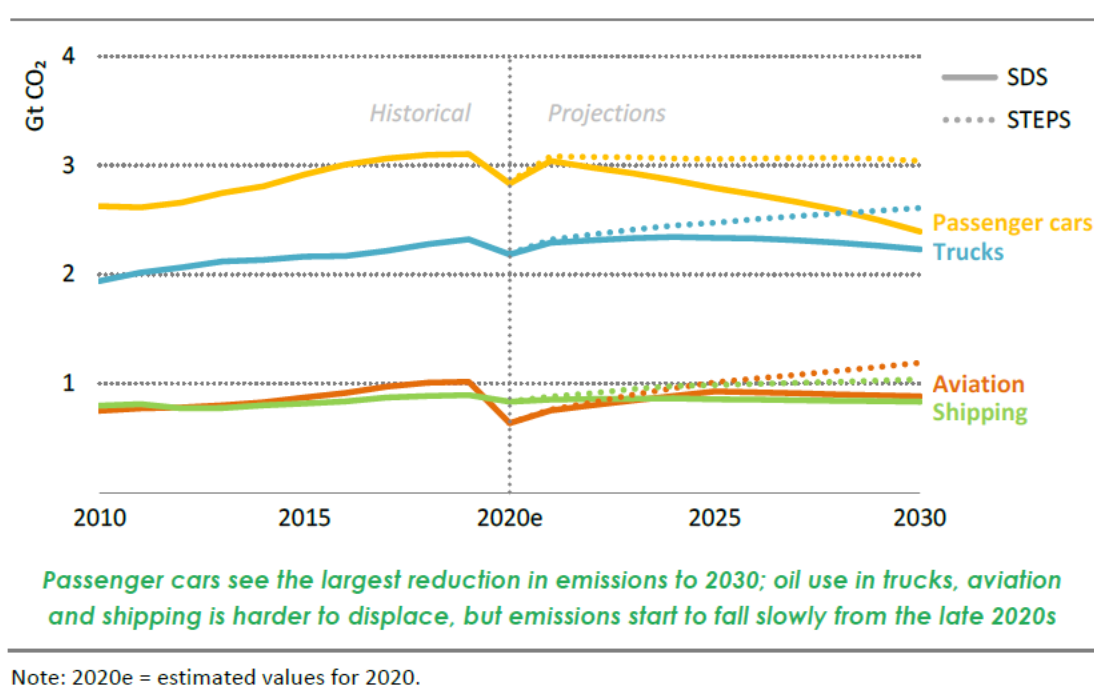
圖 11、SDS 情境工業部門各類能源使用量變化情形

4. 運輸部門

2019 年運輸部門貢獻全球 8.5Gt 碳排放(約占全球碳排放 25%)，在 SDS 情境下 2030 年排放量相較 2019 年亦下降約 15%(STEPS 則上升約 5%)。由於未來 10 年全球運輸服務需求持續成長，且長程負重運輸的低碳技術發展困難，運輸部門

減量相較其他部門更具挑戰。主要部門減碳措施包含低碳燃料使用、高效率運具推動以降低運輸活動需求。

在永續振興計畫中，未來三年全球需投資 1500 億美元在電動車與高燃油效率車輛上，另外 900 億美元投資於長程運輸減碳、300 億美元在電動運具基礎設施布建。因此至 2030 年小客車效率平均較 2019 年提升 30%、貨車提升約 20%。此外，2030 年電動小客車市占率將達 40%(2019 年為 2.5%)，電動二輪與三輪車是占達 70%、電動巴士則達 30%，市售大貨車則有 10%電動化與 5%為氫能車。另外，SDS 情境對於大眾運輸的投資，促使 2030 年 SDS 情境的私人運具需求較 STEPS 情境減少 5%。



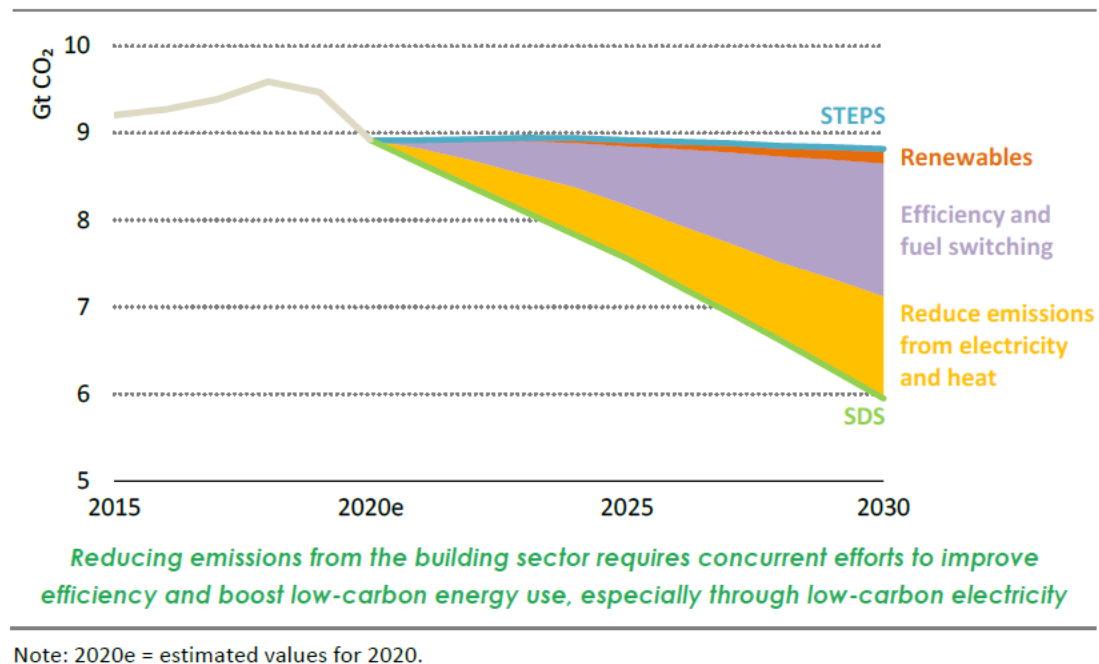
資料來源：IEA(2020)

圖 12、SDS 情境運輸部門各類運具排放變化趨勢

5. 建築部門

2019 年建築部門貢獻全球 9.4Gt 碳排放(3Gt 來自直接燃料燃燒、6.4Gt 來自電力使用)，在 SDS 情境下 2030 年排放量相較 2019 年將下降約 3.5Gt (降幅約 33%)。建築部門最主要減量貢獻來自於供暖設備電氣化以及電力低碳化，此外包括既有建築翻新、設備能效標準加嚴、以及燃料轉換(如應用再生能源或燃氣取代高碳排放燃料)等(圖 13)。永續振興計畫提供建築部門設備汰換的誘因，並協助製造商

建立高能效設備的產能。在 SDS 情境中，未來 10 年每年將有 2700 億美元挹注於建築能效改善，遠高於過去五年每年 1400 億美元的金額。

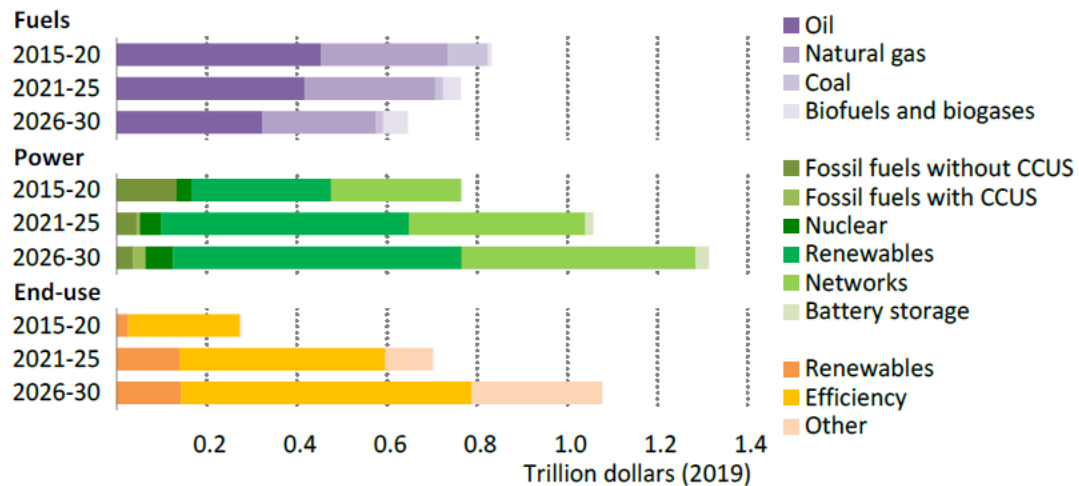


資料來源：IEA(2020)

圖 13、SDS 相較於 STEPS 情境的建築部門關鍵減量措施與貢獻量

(三)SDS 情境下的能源投資

在永續振興計畫下，SDS 未來 10 年平均每年能源投資金額較過去 5 年增加 60%，其中在 2025-2030 年，超過 3/4 年均投資金額(3 兆美元)挹注於潔淨能源與電網布建。再生能源年投資額翻倍，達到每年超過 6000 億美元，而相應的電網布建與現代化、儲能設備等投資亦成長，另外核能投資亦成長 80%。需求部門方面，主要投資金額挹注於設備能效提升，此外電動車、CCUS 等投資亦用以支持運輸與工業部門減碳(圖 14)。而針對能源普及率的改善，未來 10 年每年挹注 350 億元於促進潔淨可負擔電力，以及 60 億元於烹煮食物用的潔淨能源普及化。



Investment in fuels and power is marked by a major reallocation of capital towards renewables and electricity networks; demand-side investment increases substantially

Note: Other end-use includes CCUS in industry, spending to meet the incremental cost of EVs and investment in private EV charging infrastructure.

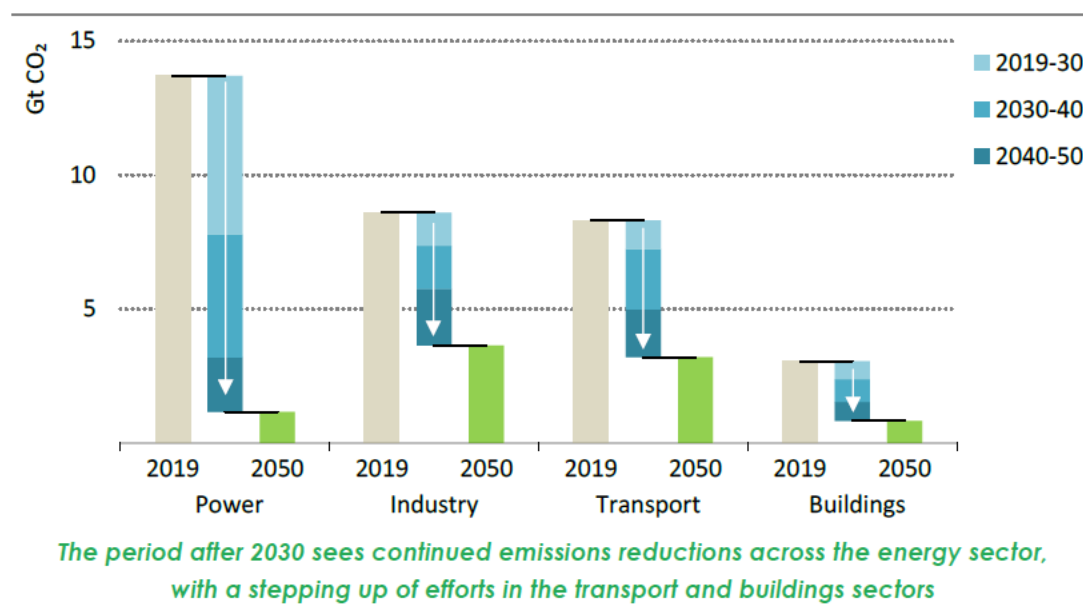
資料來源：IEA(2020)

圖 14、SDS 情境能源相關年均投資金額變化趨勢

SDS 情境整合了永續振興計畫，然而相關的政策措施是否能有效活絡低碳能源投資，並促使投資規模持續成長，以支持碳排放持續的抑低，是 SDS 情境中的重要挑戰。在 COVID-19 疫情下，開發中國家更容易面臨資金壓力，而截至目前各國宣布的振興計畫中，潔淨能源投資亦非多數國家的主軸，而適當的政策設計與公共資金，對於帶動私部門投資相當重要，在 SDS 情境中，約 70% 的潔淨能源投資來自於私部門，尤以建築與運輸部門為最。

(四)2030 之後的減碳路徑

SDS 情境下，2030 年之後全球碳排放預計持續以每年 840Mt 的速度持續下降，至 2050 年年排放量降至 9.8Gt。由圖 15 可知各部門直接碳排放以電力部門減量比例最高，至 2050 年電力與建築部門排放最低，而工業與運輸部門排放雖亦顯著下降，但因部分技術減量門檻高，預計至 2050 年工業與運輸部門排放各約占總排放達 35%(2019 年時占比僅 25%)。



資料來源：IEA(2020)

圖 15、2019-2050 年各部門直接燃燒碳排放下降幅度

2030 年之後的關鍵減碳措施仍然包括能源效率提升與電氣化。儘管人口與經濟持續成長，2030-2050 年間全球初級能源供應量下降約 5%，而全球電力需求持續以每年 2% 成長，大量的電氣化反應在市場上約 70% 小客車為電動車；電力供給結構亦持續邁向低碳，2030-2050 年間太陽光電和風力占 2/3 全球新增發電裝置容量。為維持 2030 年以前的減碳趨勢，除了需克服運輸與工業部門高減量門檻的技術外，新型低碳燃料(如氫能、生質甲烷等)的重要性也逐漸提升。最後，CCUS 是達到減碳目標的關鍵技術，在 SDS 情境下，每年碳捕獲量將由 2030 年的 850Mt 增加至 2050 年的 5000Mt，其應用範圍包括電力、工業與燃料供應部門。

四、2050 實現淨零排放

許多國家、司法管轄區和公司已宣示 2050 年實現淨零溫室氣體(GHG)排放的目標。儘管永續能源發展情境(SDS)假設未來可完全實現淨零目標，但越來越多的人開始質疑是否可以提前在 2070 年就實現全球範圍的淨零排放，且特別關注若 2050 年實現這一目標，對於全球能源部門而言所代表的意義及影響為何。

為此，IEA 今年展望報告新增一個情境對此進行研究，情境為 2050 年達淨零排放(NZE2050)，用以探討未來十年需要採行什麼措施以使 CO₂ 排放路徑邁向

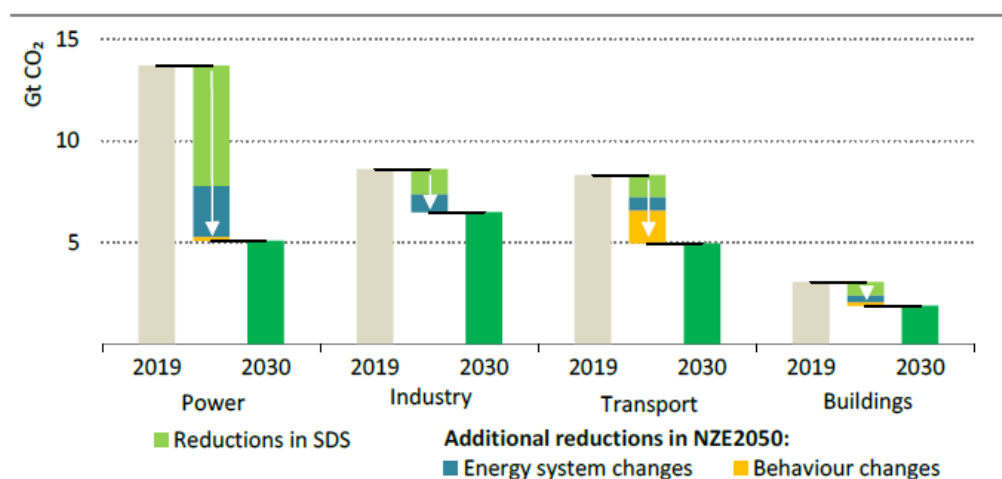
2050 前達全球淨零排放。該路徑雖極具挑戰性，且對於降低氣候變遷損害風險有明顯的差異，該路徑將帶來包括改善空氣品質、全球普及能源與發展新產業能其他效益。

本章研究三個特定主題，包括探討 NZE2050 情境下，實現這一目標能源部門轉型所需的努力，如潔淨能源技術布建率、需要的投資金額，以及對全球能源需求和燃料結構的影響；分析 NZE2050 情境下行為改變對二氧化碳排放的減量貢獻，IEA 研究 11 種人們可能改變的行為和生活方式對 CO₂ 排放的潛在影響，以及對 NZE2050 的影響；最後是從既有已宣示減量承諾達零淨排放的國家作法，提出建議。

(一)實現 2050 年全球淨零排放路徑

依政府間氣候變化專門委員會(IPCC)關於全球暖化 1.5°C 的特別報告(IPCC SR1.5)，若全球未有大量的淨負排放發生下，2030 年能源與工業製程 CO₂ 排放需介於 16.8-22.1 Gt (中位數約 20.1 Gt)，方有 50%的機會將全球平均表面溫度升高限制在 1.5°C 內。SDS 情境預計 2030 年二氧化碳排放量約為 26.7 Gt，因此 NZE2050 情境設計的出發點即是分析如何從 SDS 排放水準至 2030 年再減少 6.6 Gt 的二氧化碳排放。

Figure 4.2 ▸ CO₂ emissions reductions by sector in the NZE2050, 2019-2030



The power sector leads emissions reductions in the NZE2050, and helps to reduce emissions more widely as end-use sectors electrify; industry is the largest emitting sector in 2030

Note: There are around 0.2 Gt additional CO₂ emissions reductions in the NZE2050 compared with the SDS in agriculture and energy sector own use.

資料來源：IEA(2020)

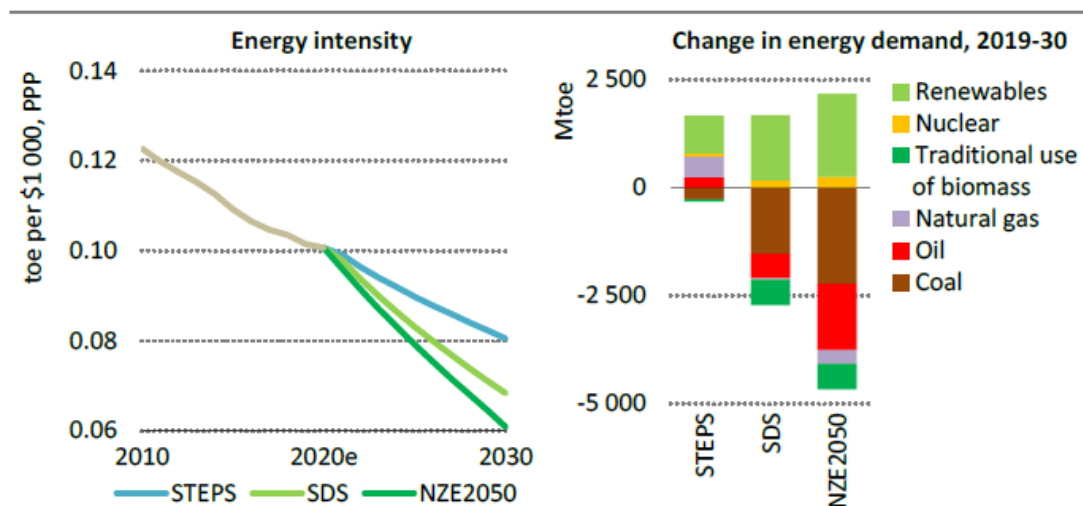
圖 16、2050 淨零排放情境(NZE2050) CO₂ 排放減量

IEA 考量最能填補這一空白的技術與行為改變，其中行為改變減少 NZE2050 情境中與能源相關的活動，使 SDS 排放量在 2030 年可再減少 2 Gt CO₂，剩餘 4.6 Gt CO₂ 則需要採取一系列較 SDS 已極具野心措施更深遠的行動，規劃電力部門可再減碳 2.5 Gt，而終端使用部門提供 2.1 Gt 的減量貢獻(圖 16)。

1. 初級能源需求與最終能源消費

儘管全球經濟增長兩倍，但 NZE2050 初級能源需求在 2019 年至 2030 年間將下降 17%，回到與 2006 年相似的水準，而實現這一目標的主要關鍵策略是電氣化、提昇能源與材料效率，及行為改變減少能源服務需求。此情境下，至 2030 年初級能源密集度(單位 GDP 初級能源需求)年下降 4.5%(圖 17)。2015 年至 2019 年間，全球初級能源密集度年下降不到 2%。

Figure 4.3 ▶ Primary energy demand in the scenarios



Energy efficiency improvements accelerate in the NZE2050, but shifts in the composition of energy demand are the major contributor to emissions reductions beyond SDS levels

Note: 2020e = estimated values for 2020; toe = tonne of oil equivalent; PPP = purchasing power parity.

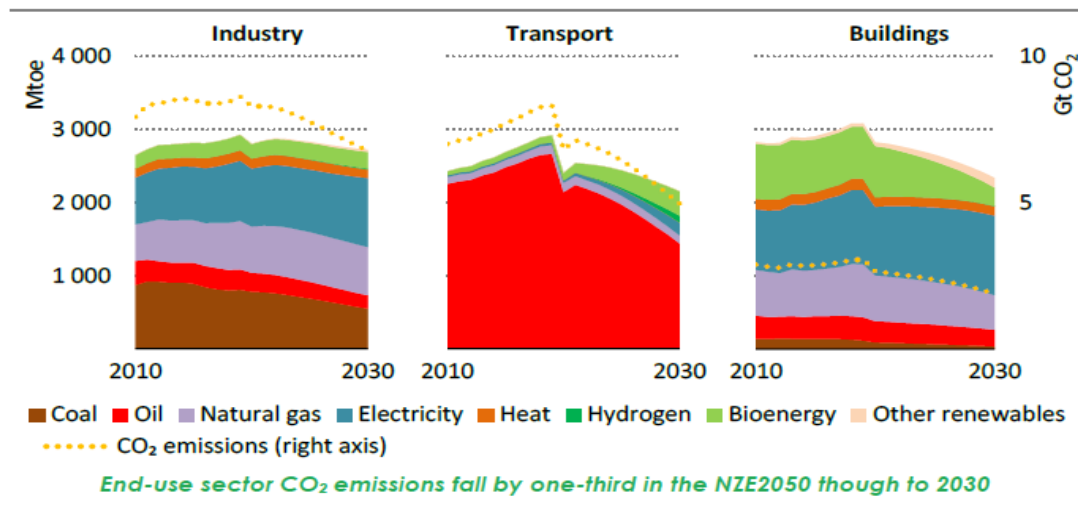
資料來源：IEA(2020)

圖 17、各情境初級能源需求

NZE2050 下 2030 年最終能源消費比 2019 年降低約 15% (圖 18)，部分減量來自於終端使用部門電氣化及由此帶來的效率提昇。在 NZE2050 情境，2030 年銷售的小客車中有 50% 以上是電動車，由於電動車效率是內燃機車輛的五倍，因此降低能源消費。而在建築部門，NZE2050 情境有近 1 億戶家庭使用電熱泵供暖

取代燃氣或燃油，而熱泵效率是化石燃料鍋爐的四倍以上。在工業部門，2030 年近三分之一的低溫熱需求(<100°C)是採用電力設備，而在工業上使用熱泵產生低溫熱能的效率是傳統鍋爐的五倍。總體而言，在 NZE2050 情境下，電力在最終能源消費占比從 2019 年的 19% 增加至 2030 年的 28%(SDS 在 2030 年達到 24%)。

Figure 4.4 ► Total final energy consumption by sector in the NZE2050

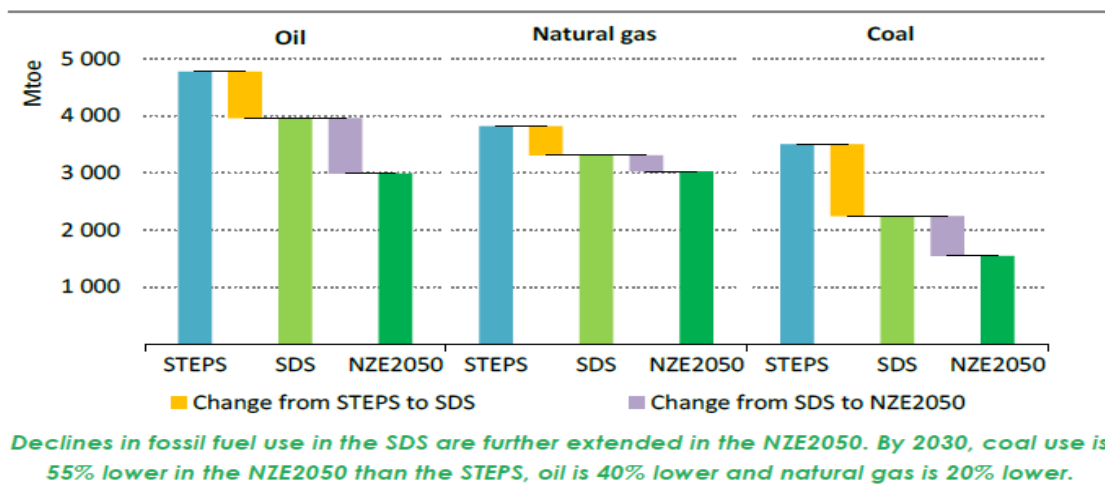


資料來源：IEA(2020)

圖 18、2050 淨零排放情境(NZE2050)各部門最終能源消費

NZE2050 情境能源需求減少導致未來化石燃料需求軌跡發生巨大變化(圖 19)。全球煤炭需求在 2019 年至 2030 年間下降近 60%，這使全球煤炭市場規模回到 1970 年代水準。煤炭需求下降 80% 以上是緣於電力部門對煤炭使用的減少，然這樣的減少速度可能造成煤礦業與燃煤電廠大量的工作機會流失，進而可能對當地經濟與社區產生更廣泛的社會影響。而潔淨能源技術投資可以創造大量新的就業機會(IEA，2020a)，此外燃煤電廠加裝 CCUS 將有助於避免大量燃煤電廠提前退役(IEA，2019a)。

Figure 4.5 ► Differences in fossil fuel demand in the scenarios in 2030



資料來源：IEA(2020)

圖 19、各情境 2030 年化石燃料需求

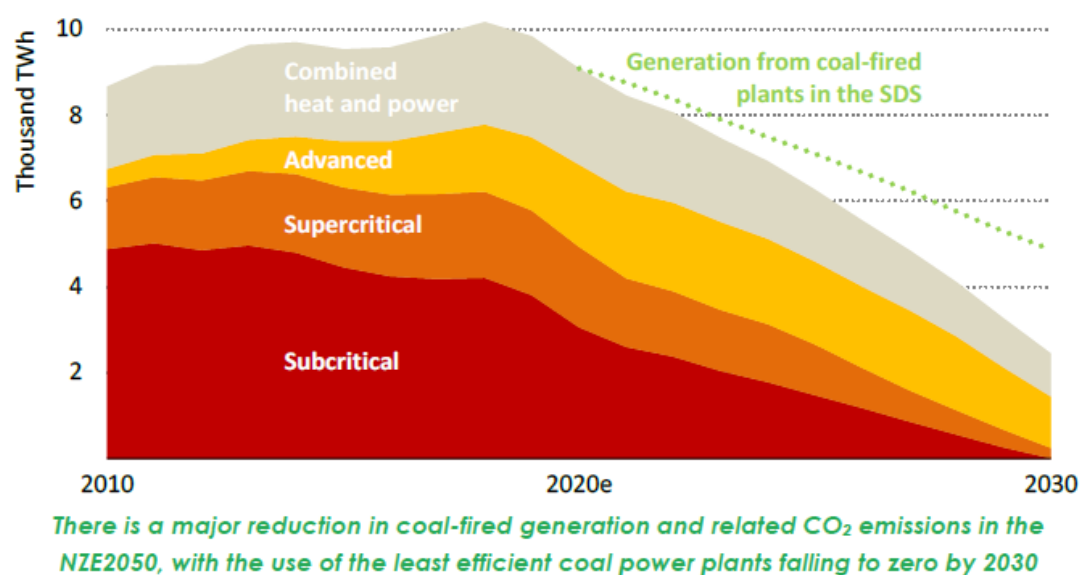
2. 電力供給

在 SDS 情境，2019-2030 年電力部門二氧化碳排放下降 5.9 Gt(2019 年約 13.7 Gt)。在 NZE2050 情境，利用低排碳技術取代大量既有發電廠，使排放量再減少 2.5 Gt(藉由行為改變，電力部門二氧化碳排放將再減少 0.2 Gt)，使 2019 至 2030 年電力部門二氧化碳排放量下降約 60%。

在 NZE2050 情境，因終端使用部門電氣化是減碳關鍵策略，所以快速降低發電排變成至關重要。電力部門最大減碳貢獻來自於燃煤發電快速下降，在 NZE2050 情境，2019-30 年間燃煤發電下降近 75%(圖 20)，燃煤發電下降主要來自中國、印度及東南亞等國。此外，CCUS 應用亦有助於減少既有燃煤電廠排放，但要在未來十年內部布署具規模的 CCUS 將極具挑戰性。因此，燃煤電廠減少碳排放大部分來自於減少發電與關廠。

在 NZE2050 情境，低排放技術的發電量甚至比 SDS 的發電量增加得更快，因此再生能源在滿足電力需求增加與迅速淘汰煤炭方面承擔著很大責任。迄今為止，2018 年全球再生能源發電量的單年最大增幅約為 440 TWh；但在 NZE2050 情境，2019-30 年間，再生能源年平均增加 1100 TWh。

Figure 4.7 ▸ Coal-fired electricity generation by technology in the NZE2050



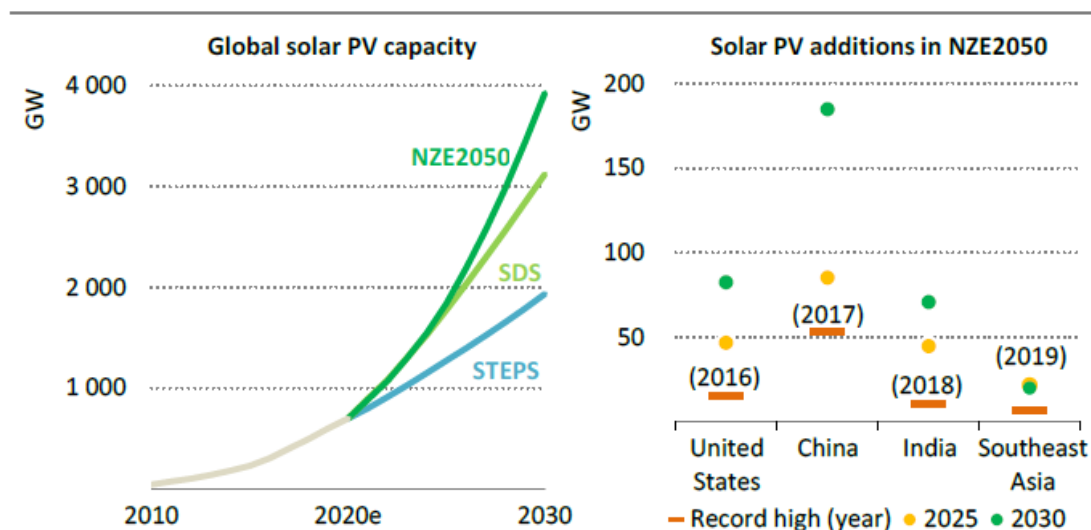
Note: 2020e = estimated values for 2020.

資料來源：IEA(2020)

圖 20、2050 淨零排放情境(NZE2050)各類燃煤發電技術變化趨勢

其中太陽光電扮演重要角色，低成本融資有助於新設太陽光電在大多數市場上與傳統發電廠競爭，因而可以快速新建。NZE2050 情境全球太陽光電至 2020 年代中期將超過 300 GW，至 2030 年將接近 500 GW。全球太陽光電裝置量從 2019 年至 2030 年間，每年以近 20% 的速度增長。此外，NZE2050 情境的風力發電也迅速擴大，全球風力發電容量年新增量從 2019 年的 60GW 增加到 2025 年的 160GW 和 2030 年的 280GW。而在核能方面，儘管大規劃核電設施完工時間長，一定程度上限制了核電發展的速度，但 NZE2050 情境下仍有一些範圍核電擴展比 SDS 更快。SDS 假設已開發國家中既有核電廠延長多數(不包括已計劃退休或不予許可延期的國家)可以延長使用壽命，且新興市場和發展中國家核能發電將增加近 90%。在 2019-30 年間，永續能源發展情境將增加約 140GW 的新建核電裝置量； NZE2050 預計再增加 40 GW。在 NZE2050 情境，電力部門的投資幾乎增加兩倍，從 2019 年的 7,600 億美元增加至 2030 年的 22,000 億美元。NZE2050a 電力系統彈性需求急速上升，因此包括電池儲能技術與需量反應等在 NZE2050 情境得到了大幅擴展，以確保電力供應的穩定性和安全性。

Figure 4.8 ▶ Global installed solar PV capacity by scenario, 2010-2030, and annual solar PV capacity additions in the NZE2050



Solar PV plays a key role in emissions reductions in the NZE2050, with major coal consuming economies, in particular, deploying solar PV at a pace well beyond previous records

Note: 2020e = estimated values for 2020.

資料來源：IEA(2020)

圖 21、2050 淨零排放情境(NZE2050)PV 年新增容量

3. 工業

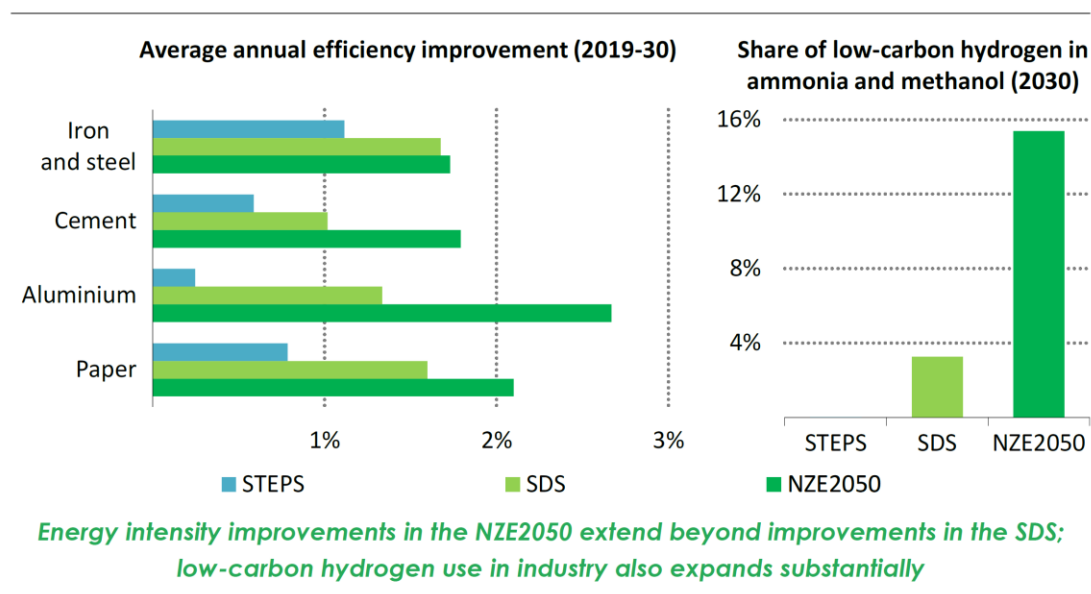
在 SDS 情境，工業部門 2019-30 年間能源與製程 CO₂ 排放量下降 1.2 Gt (2019 年為 8.6 Gt)，在 NZE2050 情境，此期間又再下降 0.9 Gt。在 NZE2050 情境，工業能源相關 CO₂ 排放額外的減少大多緣於效率提昇與電氣化，但氫能使用與 CCUS 也做出了重大貢獻(IEA，2020e)。

改善能源效率為 SDS 情境的主軸，2030 年全球工業平均能源密集度將比 2019 年降低 25%，這已接近全部技術的潛力，尤其是在已開發國家。因此，NZE2050 情境全球工業平均能源密集度僅比 SDS 下降一點，在 2019-30 期間下降約 30%，大多數額外的效率提昇集中在鋁業、造紙業及水泥業。與 SDS 情境相比，更多的低碳氫能混合至燃料供應中，雖然到 2030 年仍僅佔不到工業能源使用的 2%，但為氫提供了重要的早期市場(圖 22)。

輕工業排放量亦有所減少，這主要是使用熱泵替代化石燃料提供低溫熱能，及升級電力馬達，在 NZE2050 情境，銷售的所有電動機均達到 IE4 效率等級或更

高標準。此外，工業製程 CO₂ 排放量也大量減少，主要來自水泥與石化次產業，在 NZE2050 情境，製程排放些減少部分是加裝 CCUS，及在水泥生產中用熟料替代。

Figure 4.9 ► Efficiency improvements in heavy industry and share of low-carbon hydrogen used in ammonia and methanol production



資料來源：IEA(2020)

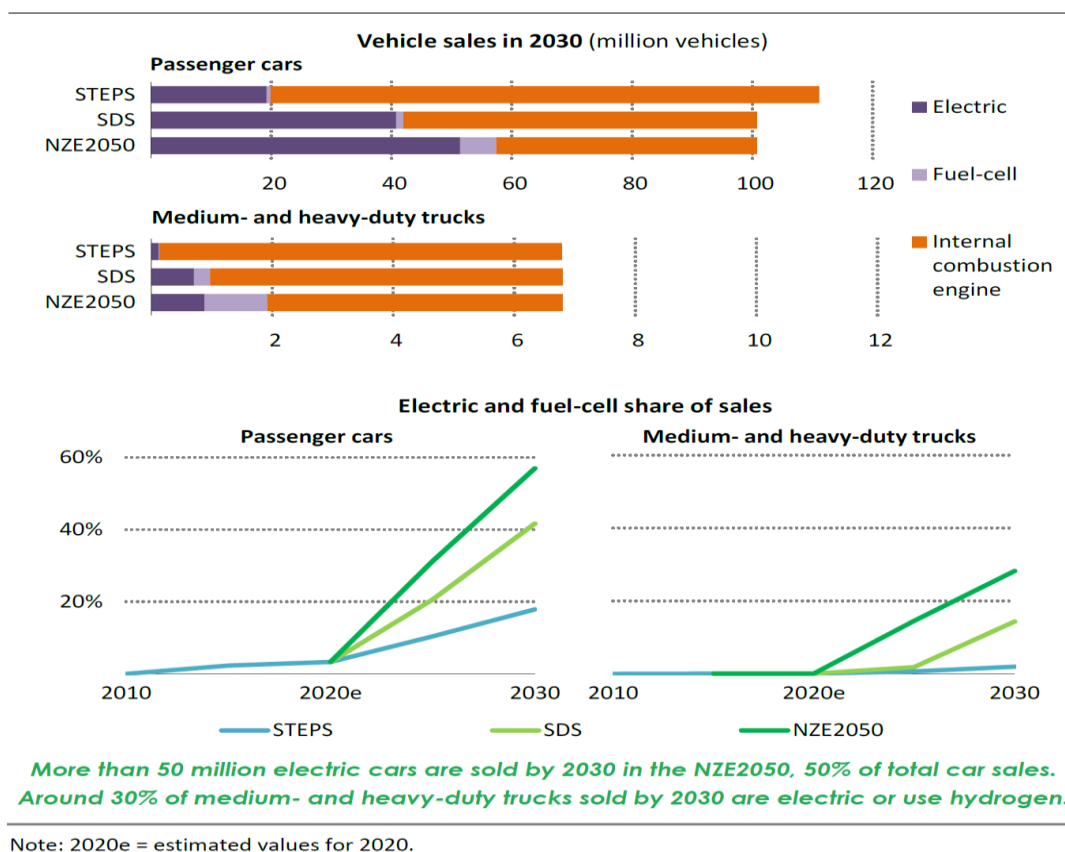
圖 22、重工業能源效率改善與低碳氫能在氨與甲醇生產的應用

4. 運輸

在 SDS 情境，2019-30 年運輸總二氧化碳排放量下降 1.1 Gt (從 2019 年的 8.3 Gt 下降)。在 NZE2050 情境，公路、航空及海上運輸的變化使的這期間排放量又下降 0.7 Gt (由於行為改變，運輸部門的二氧化碳排放量進一步減少 1.6 Gt)。這些額外的減碳量大部分來自小客車、小貨車、巴士及兩輪/三輪車輛。

NZE2050 情境下，2030 年銷售的小客車中有 50% 以上是電動車 (在 SDS 情境為 40%，在 2019 年為 2.5%)，至 2030 銷售電動車輛超過 5000 萬輛，其他零排放車輛 (如燃料電池車) 也迅速增加 (圖 23)。為確保電動車的增長率，需要大幅提升電池生產能力，並需要大幅提高供應鏈中提供關鍵材料的能力 (IEA, 2020c)。近年來，全球電池生產能力每三到四年翻一倍，而在 NZE2050 情境，全球電池生產能力則需要每兩年翻倍一次，氫氣生產和分配基礎設施也需大幅增加。其他如先進生質燃料技術與氫能合成燃料等，目前成本雖然昂貴，但在 2030 年重要性將逐漸增加。

Figure 4.11 ▸ Annual electric and fuel cell vehicle sales in the three scenarios



資料來源：IEA(2020)

圖 23、各情境電動車與燃料電池車年銷售量

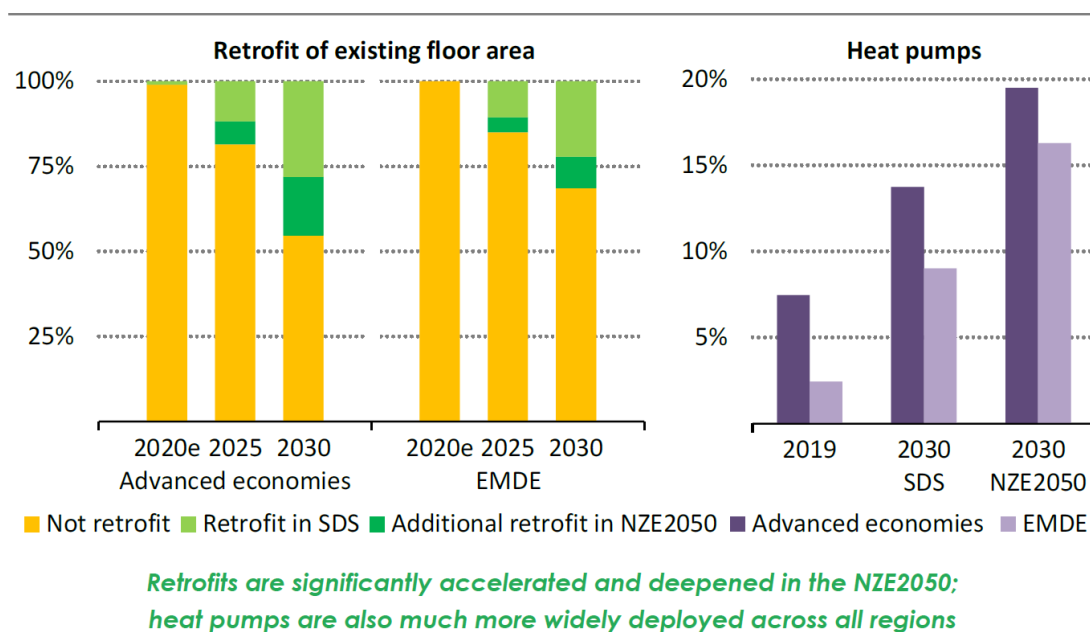
5. 建築

在 SDS 情境，建築部門直接排放在 2019-30 年間下降 0.7 Gt(2019 年為 3 Gt)。在 NZE2050 情境，提高既有建物翻修速度，超過 SDS 情境，使得直接 CO₂ 排放在此期間又下降 0.3 Gt(由於行為改變原因，建築部門可再減少 0.2 Gt)。在 NZE2050 情境，已開發國家中至 2030 年將近一半的房屋已進行翻修，而在其他地區則大約有三分之一的房屋進行改造翻修(圖 24)，2030 年後進一步努力將導致在 2050 年之前對全球所有既有建物完成翻修。

NZE2050 不僅需要大量增加翻修建物數量，且確保每次翻修都可以節能。這意味著天花板、地板及牆壁需增加頂級隔熱材料，安裝低輻射的三層或雙層玻璃，並儘可能整合供暖和供冷解決方案(GlobalABC, IEA and UNEP, 2020)。這些深度改造將減少 50%以上的熱能需求，同時也減少冷房需求。此外，在 NZE2050 情境，很快頒布禁止銷售新化石燃料鍋爐的禁令，並且快速汰換既有化石燃料鍋爐，因

此熱泵與儲電式熱水器滿足快速增長的供熱需求，在 NZE2050 情境，2030 銷售量超過 7500 萬台。

Figure 4.12 ▶ Retrofit of existing floor area (left) and share of heat pumps to meet space heating energy needs (right)



Note: 2020e = estimated values for 2020; EMDE = emerging market and developing economies.

資料來源：IEA(2020)

圖 24、既有樓板面積翻修率(左圖)與熱泵供熱占比(右圖)

(二)行為改變在 NZE2050 淨零排放情境的角色

NZE2050 和 SDS 情境描繪的能源未來取決於人們的行為。因此，如果不改變能源的生產和消費方式，2020 年所見的減碳量將是短暫的現象，不久後將再次提昇。SDS 情境假設的行為改變包括轉為更多回收利用與增加使用大眾運輸，但這些變化在規模和範圍上都受到限制。NZE2050 情境的行為改變遠比 SDS 情境的更為廣泛，因為若僅靠能源部門的結構變化很難實現 2030 年 SDS 與 NZE2050 間 6.6 Gt 的二氧化碳排放差異。因此，行為改變對於實現 NZE2050 的減碳速度和規模至關重要，並且占 2030 年 SDS 和 NZE2050 間排放差異的 30%左右。

IEA 研究 11 項與行為有關的個別措施(表 2)，NZE2050 下這些措施至 2030 年合計使 CO₂ 排放量減少 2 Gt，其中主要減量貢獻來自於運輸部門。例如，採用低碳替代方案代替一小時以下的航班，或 3 公里以下旅運需求改以步行或騎自行車取代開車，以及將道路交通行駛速度降至 7 公里/小時。若這些措施今天就全面

實施，將使運輸部門二氧化碳排放量減少 20% 以上。雖然這些只是特定案例措施，並非所有人都能採用，但突顯行為改變對 NZE2050 的重要性以及所需規模。

表 2、NZE2050 情境行為改變措施與對 2030 減碳的影響

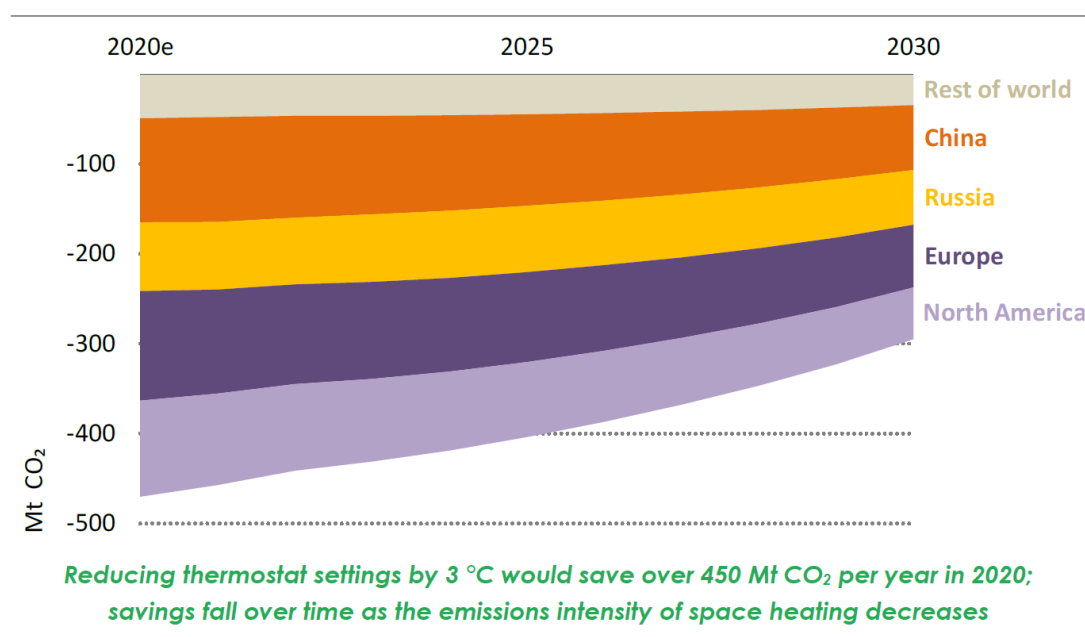
Behaviour change		Emissions savings (Mt CO ₂)			Cumulative savings (Mt CO ₂)	Share in 2030
		2021	2025	2030	2021-30	
Space heating	Reduce space heating temperature by 3 °C.	460 33%	400 23%	300 15%	4 340 23%	11% of residential emissions. % of total savings.
Space cooling	Raise air conditioning temperature by 3 °C.	95 7%	95 5%	45 2%	860 5%	2% of residential emissions. % of total savings.
Line-drying	Line-drying instead of tumble-drying during summer months.	65 5%	55 3%	30 1%	550 3%	1% of residential emissions. % of total savings.
Laundry temperature	Wash on average 10 °C colder.	30 2%	25 1%	15 1%	270 1%	1% of residential emissions. % of total savings.
Driving more slowly	Reduce driving speed by 7 km/h.	420 30%	400 23%	340 17%	4 280 23%	7% of road transport emissions. % of total savings.
Eco-driving	Avoid sudden acceleration, stops or idling; early upshifting.	30 2%	160 9%	290 14%	1 670 9%	6% of road transport emissions. % of total savings.
Ride-sharing	Share all urban car trips.	20 2%	100 6%	190 10%	1 100 6%	9% of passenger car emissions. % of total savings.
Cycling and walking	Cycle or walk all car trips that would take less than ten minutes to cycle.	15 1%	75 4%	140 7%	820 4%	7% of passenger car emissions. % of total savings.
Mobile air conditioning	Raise air conditioning temperature in cars by 3 °C.	120 9%	110 6%	90 4%	1 160 6%	4% of passenger car emissions. % of total savings.
Working from home	20% of global workforce works from home 3 days of the week. ⁷	80 6%	75 4%	55 3%	800 4%	3% of passenger car emissions. % of total savings.
Passenger aviation	Total passenger aviation.	50 4%	260 15%	520 26%	2 850 15%	60% of aviation emissions. % of total savings.
	Replace all flights less than 1 hour.	10	50	100	550	11% of aviation emissions.
	Replace three-quarters of all business flights.	25	120	240	1 340	28% of aviation emissions.
	Replace three-quarters of long-haul flights.	35	170	350	1 910	40% of aviation emissions.
Total		1 390	1 750	2 010	18 700	

資料來源：IEA(2020)

要實現 NZE2050 情境包含的行為改變，將需要政府的共同努力與民眾的積極參與。IEA 估計，行為改變產生的減碳量約 60% 受政府影響或強制執行。因此，所採取措施的細節及其處理方式將很重要，很明顯的，在任何情況下，並不是每個人都有能力或有意願實現 NZE2050 情境包含的所有行為變，如文化偏好、負擔能力與個人福利都將決定可以在哪裡實施以及在何種程度上實施。

根據多項研究顯示，降低室內空氣溫度設置可能會對排放產生重大影響，若將供暖溫度降低 1°C 可使供暖能源需求降低 6-9% (Verbraucherzentrale Hamburg, 2018；Faber et al., 2012；Cao and Deng, 2018)。根據現今建物存量與能源結構，如果所有建物都將其室內溫度降低 3°C，則全每年將減少超過 450 Mt 的二氧化碳排放。在 NZE2050 情境，隨著供暖效率提昇對與排放強度的降低，潛在減碳潛力將隨著時間的流逝而下降，但至 2030 年仍將達到每年 300 Mt(圖 25)。

Figure 4.17 ▶ Impact on CO₂ emissions from reducing space heating temperature settings by 3 °C in the NZE2050



Note: 2020e = estimated values for 2020.

資料來源：IEA(2020)

圖 25、供暖溫度調降 3 度對碳排放影響

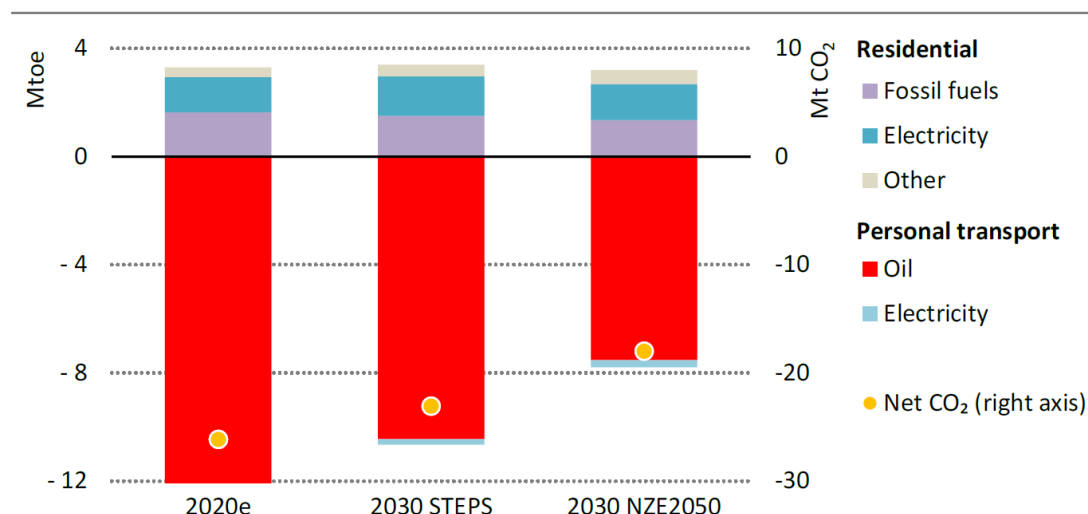
居家辦公所產生的二氧化碳排放量變化取決於避免上下班途中排放量減少與在家工對住宅能源需求可能造成排放增加間的權衡。居家辦公影響因地區而異，受平均通勤時間、通勤方式與民眾居家能源使用情形等影響(IEA, 2020f)，這意謂

著二氧化碳排放量變化明顯受季節性變化影響，如夏季車輛移動空調可以使通勤汽車的能源消耗增加 5-15%，而工作日對供暖的額外需求代表冬季住宅排放可能是夏季的三倍。

從全球平均來看，IEA 估計對於開車上下班的人來說，如果上班路程超過 6 公里，居家辦公可能會減少二氧化碳排放量。對於短途通勤或利用大眾運輸進行通勤，由於住宅能源消費增加，居家辦公可能會增加二氧化碳排放量。但平均而言，對於乘車上下班的人來說，上下班所減少的排放量是住宅排放量增加的三倍以上。至 2030 年，隨著汽車和住宅排放強度降低，STEPS 與 NZE2050 情境下居家上班減碳潛力都將減小(圖 26)。

現今全球約五分之一的工作可以在家完成，但不同地區情況差異很大，如在印度大約 13%的工作可以在家完成，而俄羅斯為 34%，最富裕的歐洲國家超過 45%。考慮到不同地區用於通勤的車輛類型差異，IEA 估計若每個能居家辦公的人採每週一天，2020 年全球將減少 25Mt 二氧化碳排放量，而 2030 年因能源結構改變，全球將減少約 18Mt CO₂ 排放。

Figure 4.18 ► Change in annual global energy consumption and CO₂ emissions from one day of home working per week



A day per week working from home would reduce CO₂ emissions for a household with a car commute, but increase emissions if public or active transport is used to commute

Notes: 2020e = estimated values for 2020. Using global fleet average efficiency and including indirect emissions from EVs. Global average one-way commute length = 12 km. Other = heat, modern biomass and other renewables.

資料來源：IEA(2020)

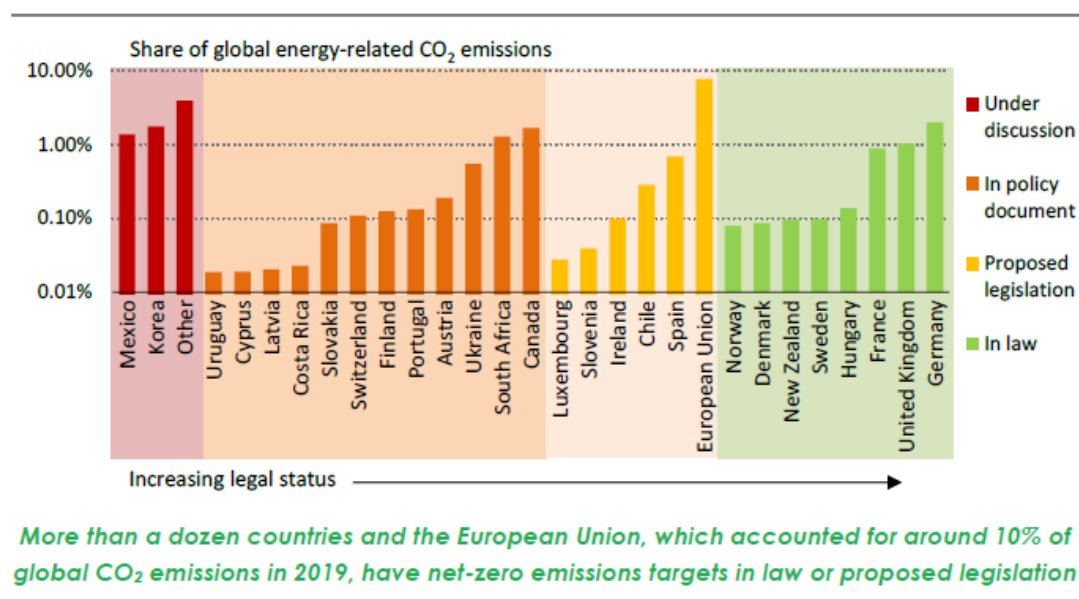
圖 26、每週居家上班一天對全球 CO₂ 排放影響

(三)零排放目標國家的經驗教訓

愈來愈多國家或司法管轄區宣布 2050 年將實現淨零二氧化碳或溫室氣體 (GHG) 排放的目標。NZE2050 與 SDS 情境將已完全納入這些目標。IEA 探討其中一些國家和司法管轄區預計如何實現這些目標，包括 SDS 情境歐盟如何達成目標。IEA 還同時提供其他政策決策者與產業如何尋求至 2050 的發展目標或邁向淨零排放的路徑。

截至 2020 年 8 月，已有 125 個以上的國家(包括歐盟)訂定或正積極考慮長期淨零排放目標(圖 27)，許多公司或投資人亦承諾將各自的排放量降為零。雖然多數國家設定 2050 達淨零排放，但有些國家設定更早達成，如烏拉圭設定 2030 年實現淨零排放，芬蘭則設定 2035 年達成。此外，部分國家納入所有溫室氣體，其他則僅包括部分溫室氣體(如 CO₂ 排放)。目前已宣示的淨零排放在 SDS 情境具關鍵影響，因它可加速減碳行動的推動、刺激創新，並為低排放產品與服務發展市場與法規。

Figure 4.20 ▸ Announced net-zero CO₂ or GHG emissions by 2050 reduction targets



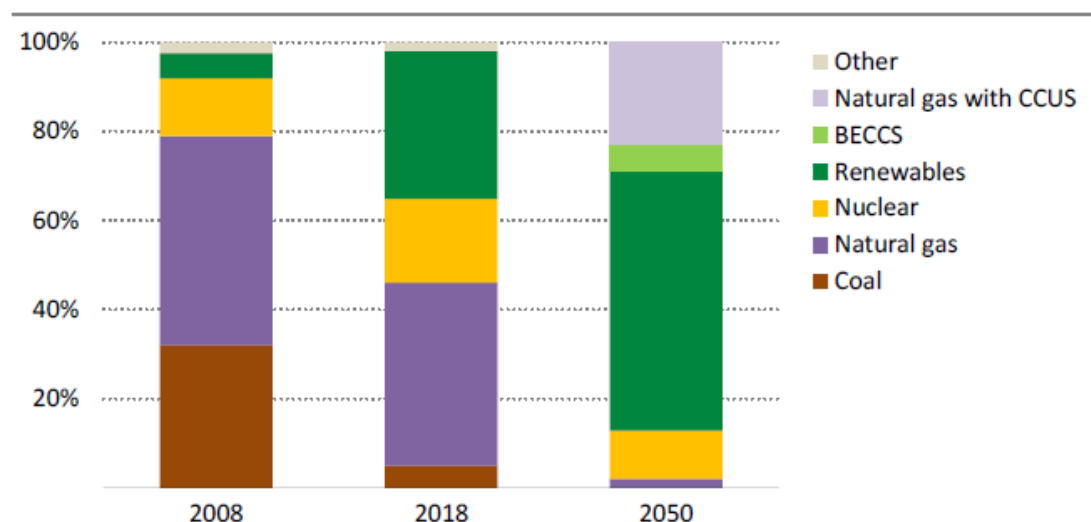
資料來源：IEA(2020)

圖 27、宣布 2050 CO₂ 或溫室氣體排放目標國家

英國是率先將淨零排放立法的國家之一，其氣候變化委員會(CCC)為此已制訂一系列詳細計畫實現此目標。主要的減碳貢獻來自電力部門，包括承諾 2024 年逐步淘汰燃煤電廠、2050 年 80%以上的電力供給來自於再生能源或加裝 CCS

的燃氣電廠，及使用 BECCS 技術，使電力部門 CO₂ 排放淨額為負。其他如電動車推廣、低碳氫能應用，及消費者行為改變。

Figure 4.21 ► Electricity generation in the United Kingdom historically and in the CCC's "Further Ambition" scenario in 2050



Between 2008 and 2018, the shares of electricity generation from coal and renewables were reversed. By 2050, the CCC projects renewables supplying 60% of electricity

Notes: CCC = Committee on Climate Change. Data for 2050 are based on the CCC's Further Ambition scenario.

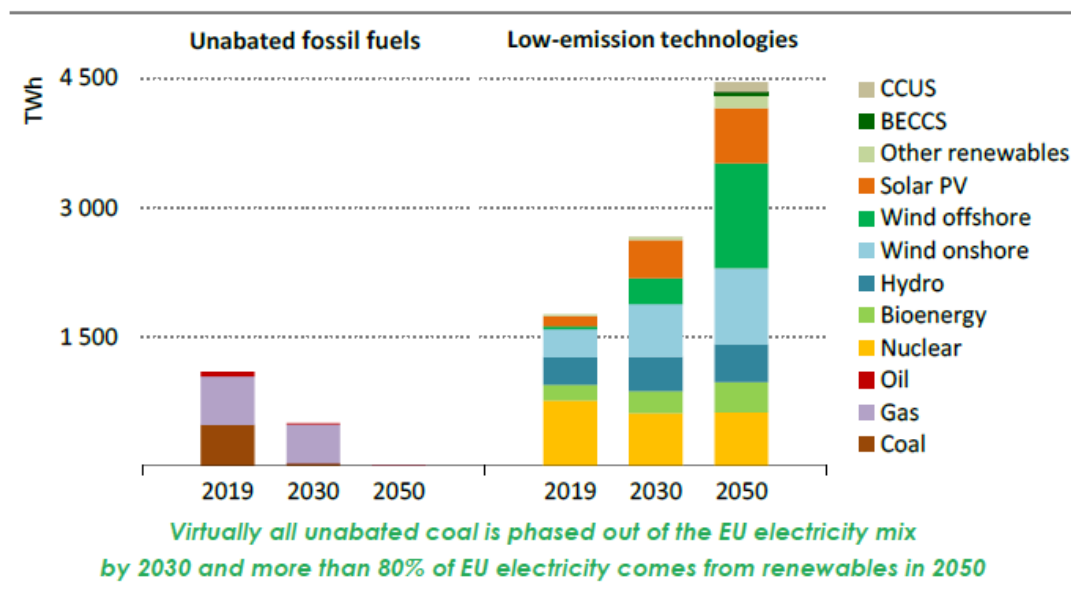
Source: CCC (2019).

資料來源：IEA(2020)

圖 28、英國 2050 淨零排放情境下發電配比

歐洲議會與歐洲理事會已簽署歐盟 2050 達淨零排放目標，此目標是研擬歐洲綠色新政的核心內容，此外新提議的歐盟氫能戰略也是受 2050 實現淨零排放而推動。在歐盟委員會近期建構的淨零排放路徑中，2050 年能源部門與工業製程 CO₂ 排放較 1990 年減少約 93%，其餘排放量則藉由使用 CO₂ 移除技術與製程來消除，此願景與 SDS 情境規劃相符。在 SDS 情境，歐盟平均電力排放係數將由 2019 年的 240 gCO₂/kWh，至 2030 年下降為 60 gCO₂/kWh，2045 年則低於 10 gCO₂/kWh。至 2050 年，再生能源將占新增發電容量的 75%，其中風能與 PV 占主導地位(圖 29)，2050 年離岸風力將成為最大的單一發電來源，提供超過四分之一的電力，其次是陸域風力、核能及太陽光電。

Figure 4.22 ▸ Electricity generation by source in the European Union in the Sustainable Development Scenario, 2019-2050

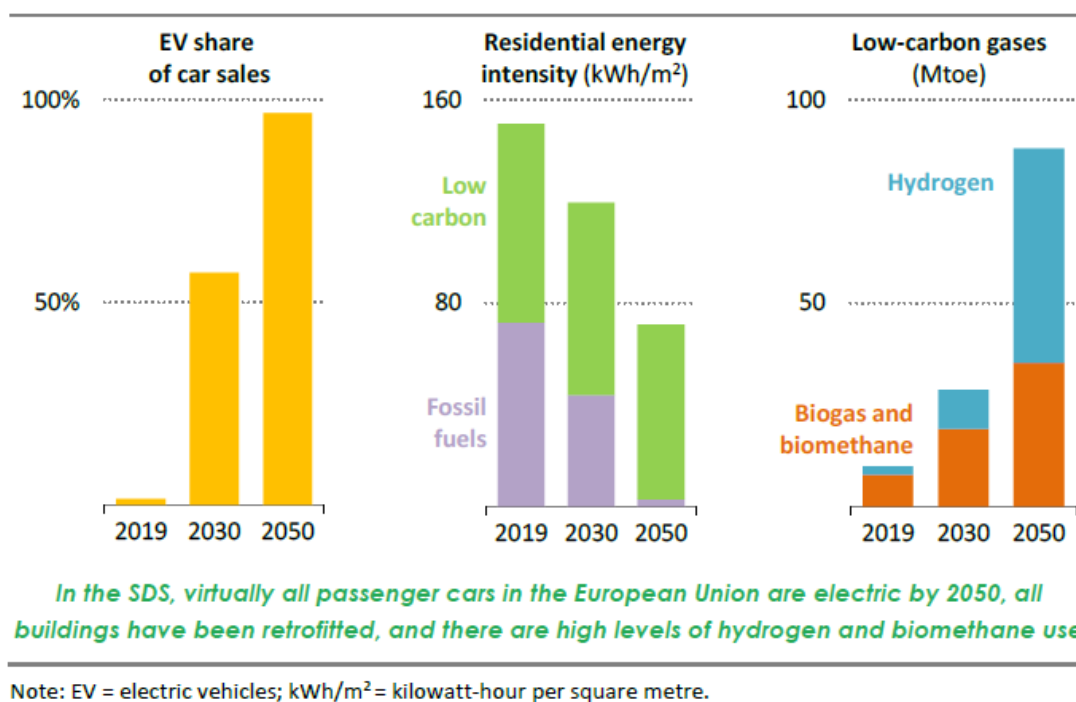


資料來源：IEA(2020)

圖 29、SDS 情境下歐盟 2019-2050 年各燃料別發電情形

低碳電力搭配電氣化推動對於終端使用部門減碳具有關鍵影響，因此 2050 年電力在最終能源消費占比由 2019 年的 21%提昇為 45%。市場上電動車銷售由 2019 年的 2%，至 2050 年超過 50%，2050 年則幾乎所有銷售車輛都是電動車，而輕型貨車、市區公車與機車也都轉為電動化，對重型貨車也有一定程度的影響。此外，建築藉由隔熱與翻修降低供暖需求、提昇電器效率等都有助於大幅減少建築能源消費。2019-2050 年間天然氣需求將下降近 80%，在 SDS 情境下，低碳氣體(如生質甲烷與氫氣)將占總氣體需求一半以上。低碳燃料對於難以電氣化部門減少 CO₂ 排放至關重要，如氫燃料電池貨車將在中型與重型貨車銷售總額中占 35%，而生質燃料與氫合成燃料等是航空與船運主要的低排放燃料。

Figure 4.23 ▶ Evolution of selected end-use technologies in the European Union in the Sustainable Development Scenario, 2050



資料來源：IEA(2020)

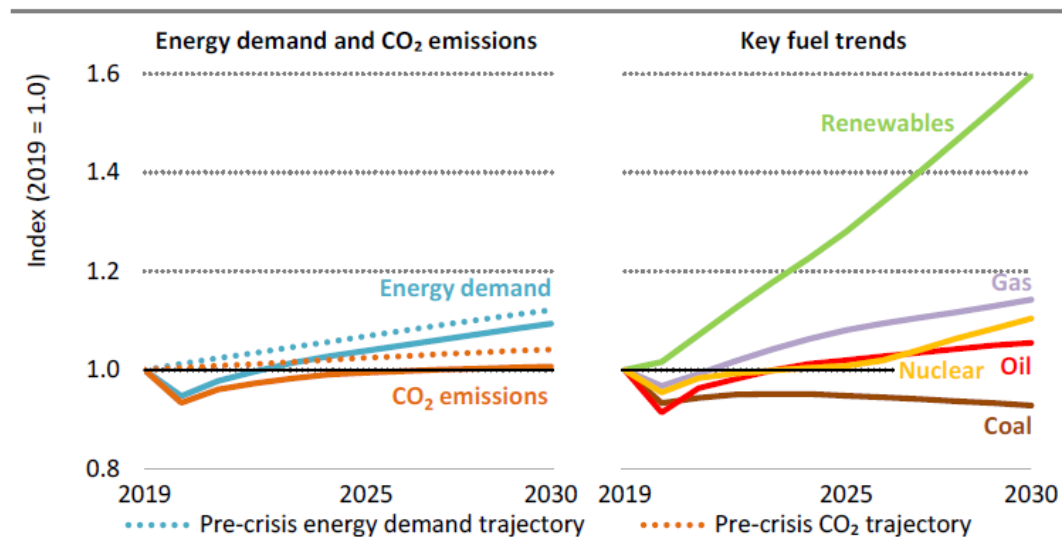
圖 30、SDS 情境下歐盟終端使用技術 2050 年應用情形

五、能源需求展望

在政策情境(STEPS)下，全球經濟預估在 2021 年回到 COVID-19 之前的水準，但長期來看還是比 WEO2019 年版本所預估的低了 7%。總能源需求約在 2023 年前期可以恢復至 COVID-19 之前，不過會因為個別國家情況不同而不同。已開發國家能源使用量在疫情之後微幅增加，但並沒有回到以前的水準，而在疫情有效控制的亞洲地區國家則是出現反彈效果。而疫情對於經濟發展與能源需求所造成負面影響在低所得國家會持續比較久，這是因為這類國家的政府無力抵禦疫情造成的衝擊，造成取得潔淨能源與潔淨烹調目標延遲。

雖然總能源需求約在 2023 年前期可以恢復至 COVID-19 之前，但全球 CO₂ 排放量預估到 2027 年才會超過 2019 年的排放量水準。這反應了能源組合的改變，再生能源在疫情復甦後展現了成長韌性與與其蓬勃發展，相較於煤炭需求在 2020 年快速下降，疫情後只稍稍反彈然後便穩定持續下降。在政策情境(STEPS)下，全球排放量在 2030 年增加至 360 億噸，比 WEO2019 年版本所預估的低。而

若是將永續發展情境(SDS)下政府對於減碳的努力都考慮後，將會使得能源發展路徑有所不同，全球排放量在 2030 年將會下降至 270 億噸。

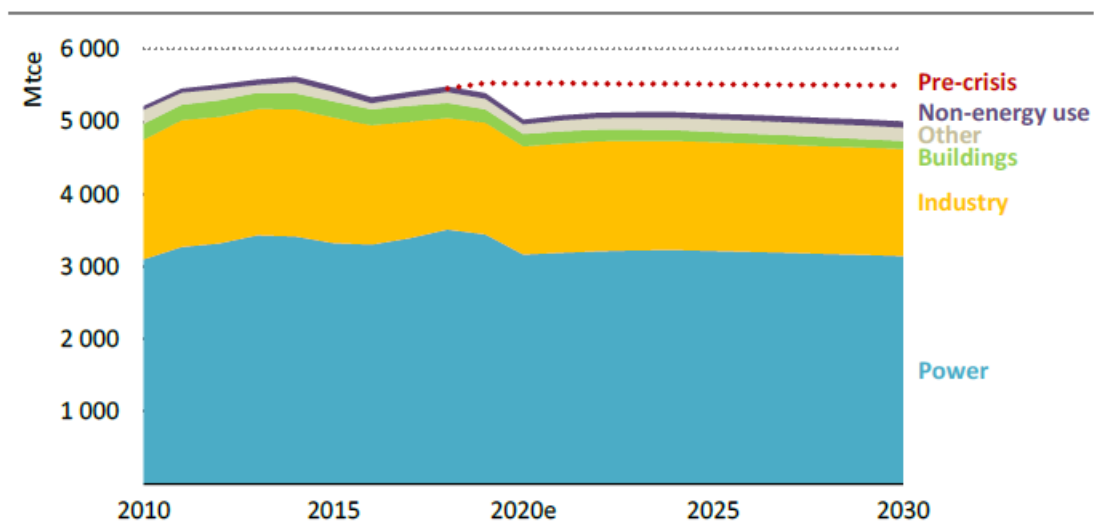


資料來源：IEA(2020)

圖 31、政策情境(STEPS)能源需求與排碳量趨勢

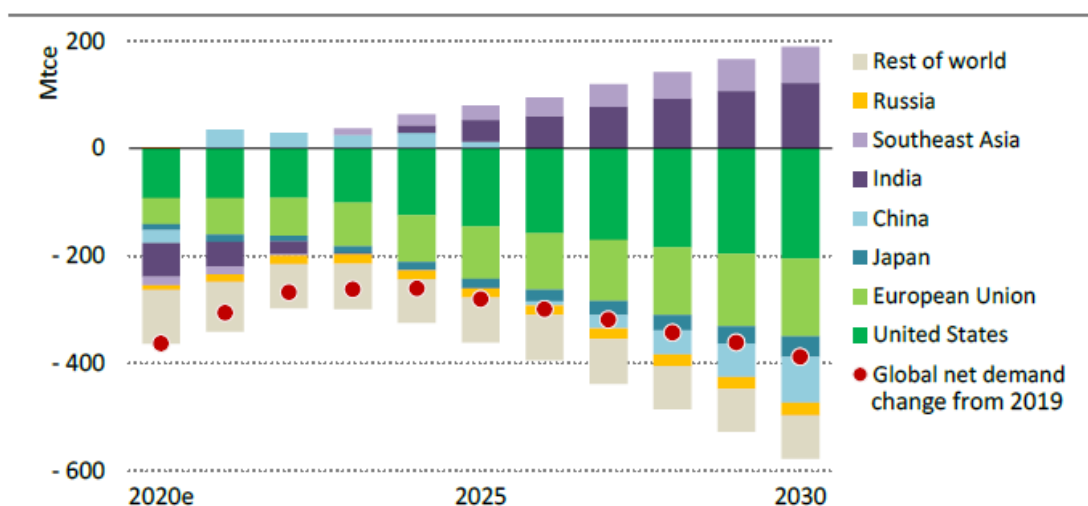
由於電力部門的大型太陽光電與風力發電發展，讓政策情境(STEPS)下使用再生能源增加。而再生能源在最終消費部門的使用更需要明確的政策支持，特別是在燃料價格偏低的环境下，不過預估在 2020 年的稍微下降後將穩定增長。

因再生能源占比增加、天然氣價格較為便宜及減煤政策，至 2030 年煤炭需求量仍比疫情前少了 8%。已開發國家 2030 年煤炭需求已經比 2019 年少了 45%。印度、印尼與東南亞國家的電力與工業部門對於煤炭需求仍持續增加，但已比先前的預估來得低了許多。中國-目前全世界最大的煤炭消費國，短期來看，煤炭使用量有所回升，約在 2025 年達到使用高峰，之後逐漸下降。



資料來源：IEA(2020)

圖 32、政策情境(STEPS)部門別煤炭需求

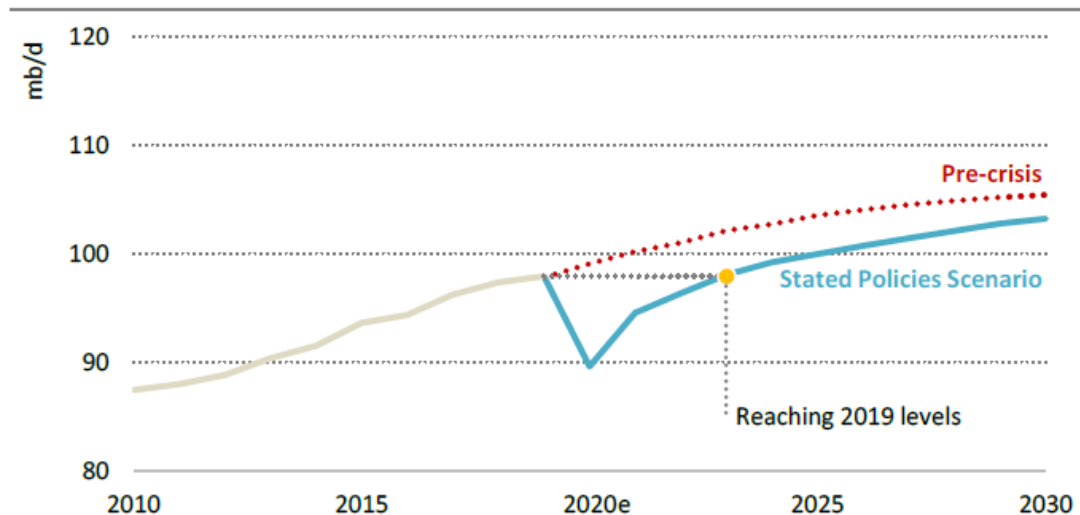


資料來源：IEA(2020)

圖 33、政策情境(STEPS)國家或區域別的煤炭需求變化量

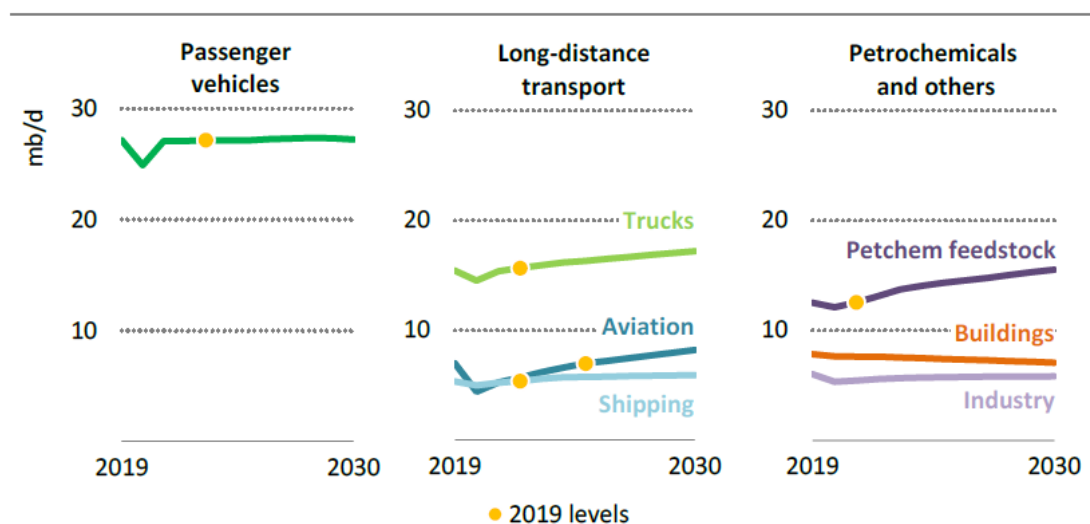
石油需求從 2020 年下跌後開始回升，政策情境(STEPS)下預估至 2023 年可以回到疫情前的水準。儘管如此，與 WEO2019 年版本相比，預計 2030 年需求將減少每天 2 百萬桶。汽車銷售量沒有增加，2020 年約有 9 百萬人延後購買汽車的時間點，但電動車銷售仍維持穩定。在過去 10 年間，公路運輸佔石油需求增長的 60%，而石油化工在未來 10 年預估佔 60%，主要是由於對塑膠原料(尤其

是包裝材料)的需求不斷增長。長期來看，2020 年消費者行為的改變對石油需求的影響有限，雖航空需要一段時間才能恢復到疫情前的水準。



資料來源：IEA(2020)

圖 34、政策情境(STEPS)石油需求量

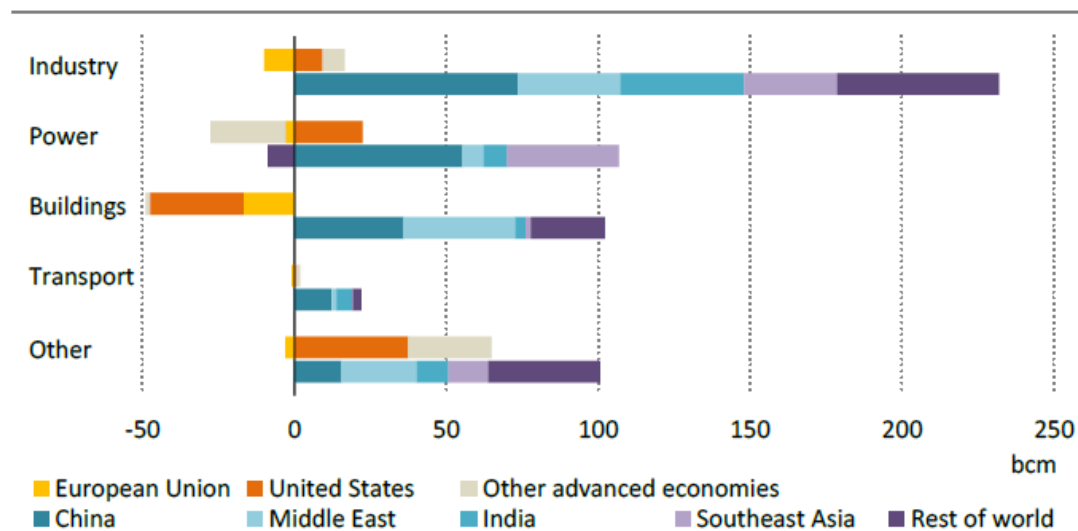


資料來源：IEA(2020)

圖 35、政策情境(STEPS)運輸與石化業的石油需求量

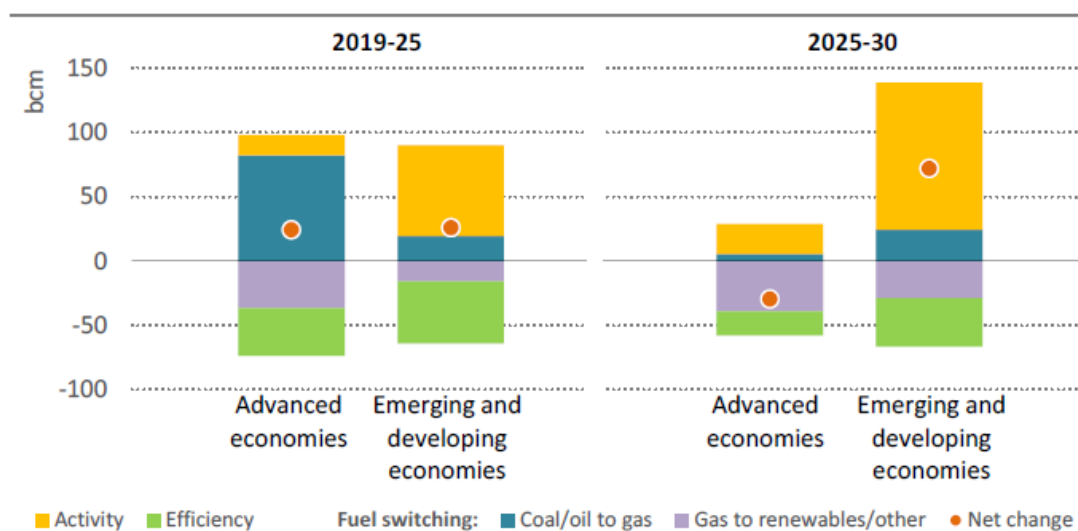
天然氣需求從 2020 年下降後快速回升。2021 年回升近 3%，至 2030 年約比 2019 年增加 14%，成長動力主要來自亞洲地區。儘管政策支持對於天然氣基礎設施的建設非常重要，但天然氣市場供應充足和創紀錄的低價更是刺激了對於價

格敏感天然氣市場的增長。到 2020 年代中期，煤轉氣的市場的競爭力已經逐漸消失，之後，更由於環境因素考量、再生能源競爭力、能源效率改善、最終消費的電氣化、以及更低碳替代燃料如氫能，都會影響天然氣發展。



資料來源：IEA(2020)

圖 36、政策情境(STEPS)部門別與區域別天然氣需求變化量



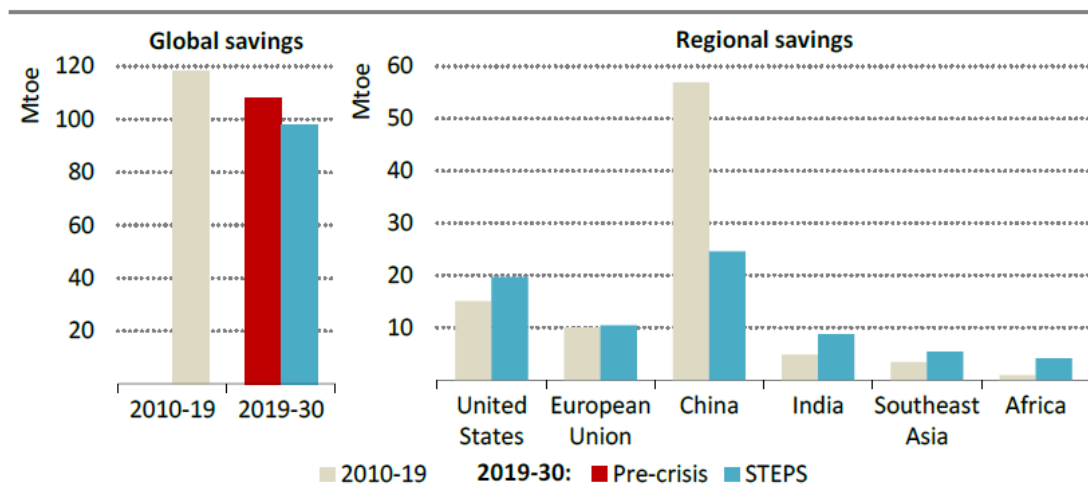
資料來源：IEA(2020)

圖 37、政策情境(STEPS)電力部門天然氣需求驅動因素與增減量

能源效率改善方面，由於燃料價格較低與疫情後重建資金排擠下，造成企業與個人不願意投資在能源效率改善上，像是延後購買新車、新設備或新的家電用

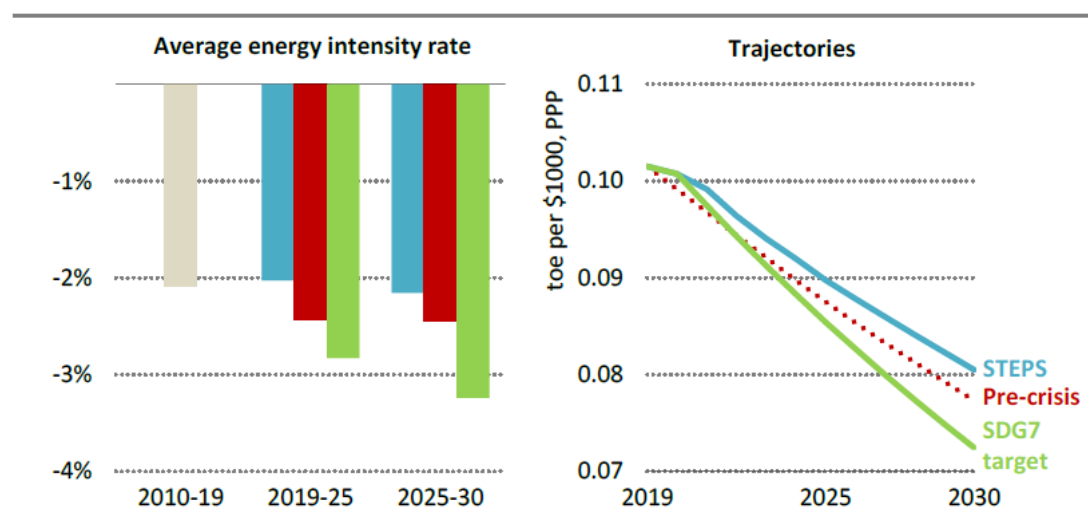
品。預估將導致年均能源效率改善比 WEO2019 年版本減少 10%。經濟危機也讓潔淨能源目標與解決能源貧窮的進展受到延遲。

疫情造成能源密集度下降幅度減緩，隨著經濟重回正軌，能源效率的提高和經濟結構的變化推動了能源密集度的改善。政策情境(STEPS)下 2019 到 2025 年能源密集度改善幅度為每年 2.0%，2025 至 2030 年為 2.2%。但是這樣的改善幅度小於 WEO 2019 的 2.4%，離達到永續發展目標下所需要的 3-4% 能源密集度改善幅度更是遙遠。



資料來源：IEA(2020)

圖 38、政策情境(STEPS)能源效率改善節能量比較



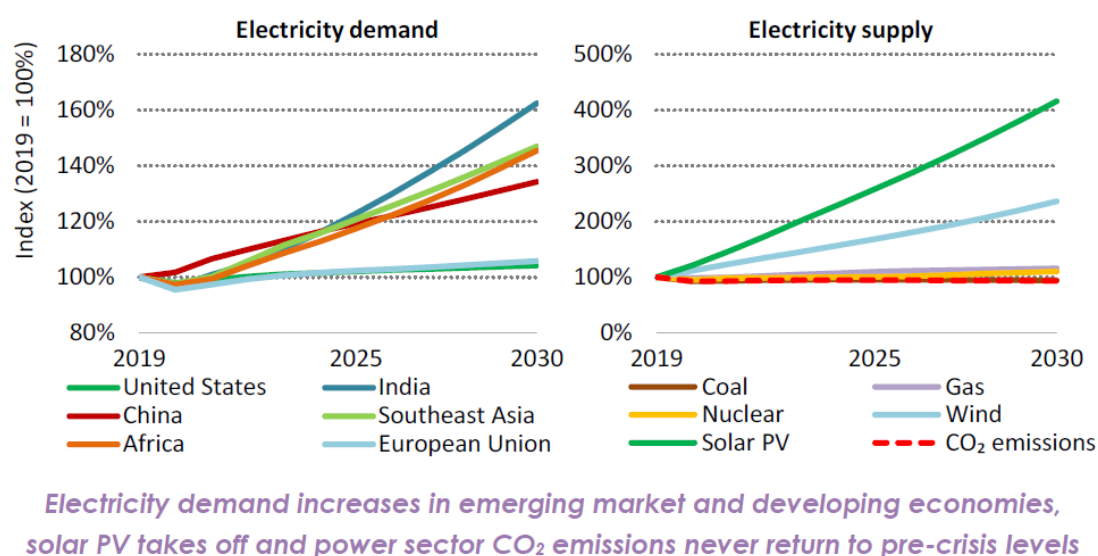
資料來源：IEA(2020)

圖 39、政策情境(STEPS)能源密集度下降幅度

六、電力展望

COVID-19 危機顯現出「可靠、負擔得起的安全電力供應」的重要性，電力供應需要能適應行為和經濟活動的突然變化，且同時繼續支持重要的健康和資訊服務。電力部門將在支持經濟復甦中發揮關鍵作用，並在提供世界所需的能源方面發揮越來越重要的長期作用。隨著時間的流逝，它看起來將發展成為具有更低碳排放、更強大的基礎設施和更高的靈活性的系統。

在國家政策情景(STEPS)中，全球電力需求將在 2021 年恢復並超過 COVID-19 之前的水準。印度到 2030 年的電力需求增長最快，其後在東南亞和非洲的增長最為明顯(圖 6.1)。全球電力需求增長超過所有其他燃料。到 2030 年，電力將滿足全球最終能源消耗的 21%。



資料來源：IEA(2020)

圖 40、在政策情境下 2019-2030 年電力展望

在已開發國家中，由於運輸和供暖的電氣化，電力需求到 2023 年恢復到危機前的水準，然後到 2030 年每年以 0.8% 的速度增長。在發展中市場和新興國家中，家用電器和空調的存量不斷提高，以及商品和服務的消費增加，為強勁的增長奠定了基礎，到 2021 年將超過危機前的水準。少數國家包括加納、肯尼亞、

塞內加爾、埃塞俄比亞及盧旺達有望在 2030 年前實現普遍用電，但在政策情境中，到 2030 年仍將有 6.6 億人無法用電，其中包括非洲 33% 的人口。

在 COVID-19 危機期間，再生能源一直具有彈性，並有望實現強勁增長。再生能源在未來十年將滿足全球 80% 的電力需求增長，到 2025 年將超過煤炭，成為主要的電力生產方式。到 2030 年，水力發電、風能、太陽能、生物能、地熱和海洋能將提供近 40% 的電力供應。

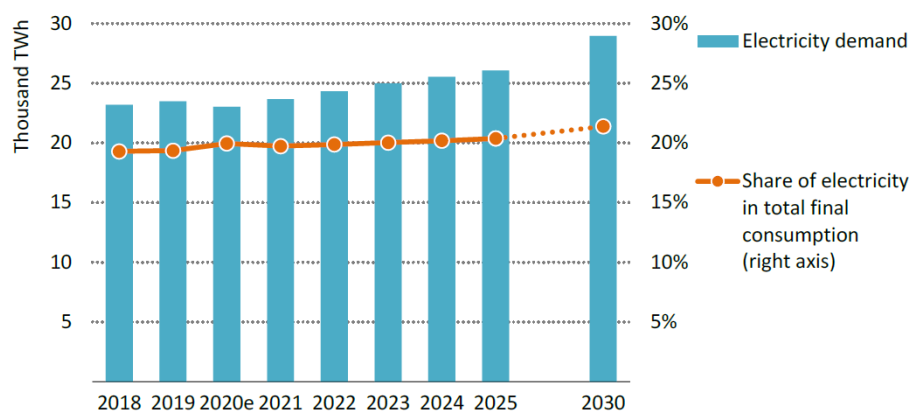
全球燃煤發電量已從 2020 年的 8% 下降中恢復過來，但並不會恢復到 2018 年的峰值。到 2030 年，政策情境的燃煤發電在全球發電的占比將從 2019 年的 37% 和 2020 年的 35% 下降至 28%。到 2025 年將使 275 GW 的燃煤電廠退役(占 2019 年總量的 13%)，包括美國的 100 GW 和歐盟的 75 GW，歐盟 27 個成員國中有 16 國逐步淘汰燃煤電廠。

然而，到 2025 年，全球退役的燃煤裝置容量幾乎被新增的燃煤機組所抵銷，目前正在興建中的 130 GW 裝置容量主要集中在中國、印度和東南亞。到 2024 年，全球電力部門的碳排放量將超過 13 Gt 並穩定維持此水準到 2030 年，但再也不會回到危機前的水準。但在永續發展情境中，2020 年到 2030 年的排放量將下降 38%。

靈活性是現代電力系統中電力安全的基石。電網在發電廠、儲能和需求端資源的靈活性中發揮了核心作用。許多輸配電系統營運商的收入到 2020 年將下降，如果他們不能迅速恢復，可能會帶來電力安全風險。在 STEPS 情境中，電網實現了現代化，擴展和數位化，到 2030 年電網投資將達到 4,600 億美元，比 2019 年增加三分之二。在未來十年中，STEPS 將增加 200 萬公里的輸電線路和 1,400 萬公里的配電線路，較過去十年增加 80%。

因疫情緣故，預計 2020 年全球電力需求將減少 2%，但在政策情境中，2021 年將增加 3%，意味著全球電力需求將超過疫情前的水準，隨著商業與工業活動回到疫情前的狀況，對於受疫情影響最多的產業將反彈的最為明顯。

至 2025 年，全球電力需求將比 2019 年增長 10% 以上，即超過 26,000 TWh。且至 2025 年後，全球電力需求將穩定增加，至 2030 年將達到 29,000 TWh。然而，疫情的延續或經濟結構的轉變，將有可能改變政策情境的預測。



Electricity has proven to be more indispensable than ever during the Covid-19 pandemic, and meets an increasing share of energy demand growth as economies recover

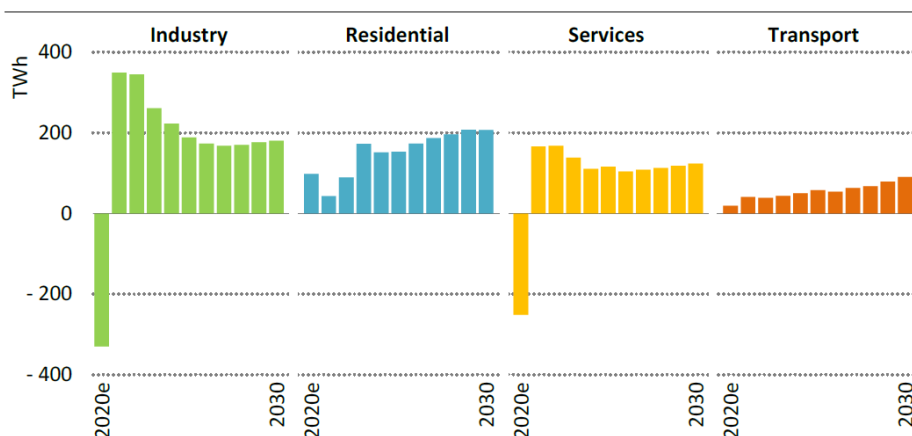
Note: 2020e = estimated values for 2020.

資料來源：IEA(2020)

圖 41、在政策情境下 2019-2030 年全球電力需求預測

電力在最終能源需求的占比，2025 年將達到 20.4%，2030 年將達到 21.4%，2040 年將超過 24%。永續發展情境(SDS)概述了一條途徑，其中電力將更加果斷地更快地移動到能源階段的中心，到 2040 年電氣化在最終能源需求中的比重將提高到 31%。

COVID-19 導致封鎖期間許多零售、酒店、旅遊、辦公和教育活動幾乎全部停產，並且亦使工業活動大大減少。到 2020 年，全球服務業的電力需求將約下降 5%(圖 6.3)，而歐盟主要國家的電力需求約下降 10%。



Demand in the industry and services sectors surges in the short term as economies recover, while higher incomes and electrification drive growth in electricity demand in the residential and transport sectors

Note: 2020e = estimated values for 2020.

資料來源：IEA(2020)

圖 42、政策情境 2019-2030 年部門用電預測

在工業部門，疫情造成的工廠停工抑制了需求，隨之而來的經濟危機和全球貿易中斷也是如此。因此，到 2020 年，工業用電需求將下降超過 3%，然後在 2021 年底之前逐步恢復到 2019 年的水準，不過，全球依地區還是有所差異。已開發國家約占 2020 年工業用電需求下降的 60%，但到 2021 年僅占增長的 20% 左右。在以中國為首的新興市場和發展中國家中，工業用電需求在 2020 年僅下降 2%，到 2021 年則增長超過 4%。

經濟復甦措施支持鋼鐵、鋁和化工等重工業的活動和電力需求的增長。儘管如此，輕工業的增長及其對電動馬達系統使用的增加才是到 2025 年電力需求增長的最大單一驅動力，占全球需求增長的四分之一。

政策情境中，住宅用電需求也將增加。2020 年的封鎖和活動限制導致居家時間更長，更多的遠距上班和更多地使用數位娛樂。預計 2020 年住宅的總電力需求將比 2019 年增長 1% 以上。疫情帶來的一些變化很可能會持久，例如在未來幾年內，在家工作的人數似乎很可能仍遠高於 COVID-19 之前的水準。到 2025 年，全球住宅用電需求量將增加 700 TWh，其中 80% 以上是新興市場和發展中國家中主要家用電器和空調數量的增長。

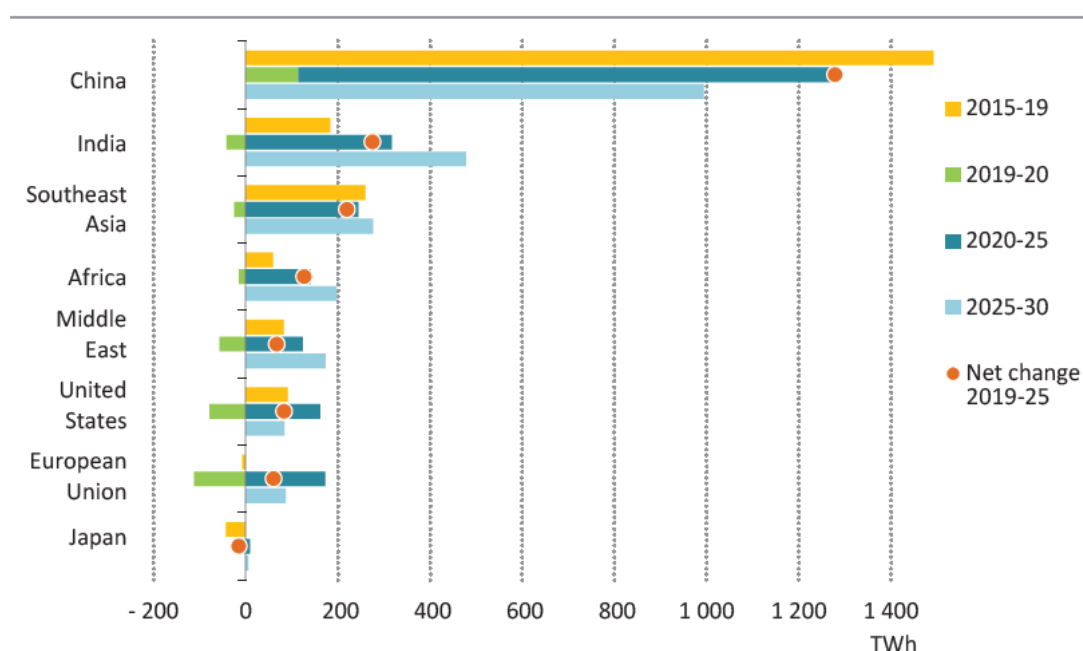
在運輸部門方面，預計 2020 年交通運輸業的電力需求將增長近 5% (20 TWh)。封鎖期間客運鐵路活動的減少，推低了鐵路的電力需求，儘管這已被道路運輸的電力需求增長所抵消。

此外，儘管當前的危機導致全球汽車銷量整體下降，但電動車的表現相對較好，預計銷量將從 2019 年的 200 萬輛增加到 2020 年的近 250 萬輛，占全球汽車銷量的 3%。

在政策情境中，電動車(小客車，公車，貨車和兩輪/三輪汽車)的使用繼續加速，到 2020 年至 2025 年，全球將增加 1.5 億輛電動車(包括 3500 萬輛電動車)，使電力需求增加約 150 TWh。到 2030 年，擁有 1.1 億輛電動車以及其他各種電動車的車隊，其需求量超過 500 TWh，運輸總電力需求超過 1000 TWh，占全球總需求量的 3.5%。

在 2030 年至 2040 年期間，全球電動車的數量增加了三倍，使電力需求增加了 450 TWh，使交通運輸的總電力需求超過 2,000 TWh，占 2040 年全球總電力需求的 6%。到 2040 年，該行業將占全球需求的近 11%。

若依區域別來觀察，在新興市場和發展中國家中，2020 年的電力需求下降似乎可能限制在 1%(140 TWh)，主要反映了中國需求的持續增長抵消了其他地區的下降。人口的快速增長和預期的經濟反彈將導致需求的迅速恢復，需求將在 2021 年超過 2019 年的水準，然後到 2030 年以每年超過 3% 的速度增長。



Electricity demand in emerging market and developing economies rapidly surpasses 2019 levels, while the impact of Covid-19 on demand is longer lasting in advanced economies

Note: Changes in electricity demand from 2019 to 2020 are based on most recent monthly data where available and are a modelled result where not available.

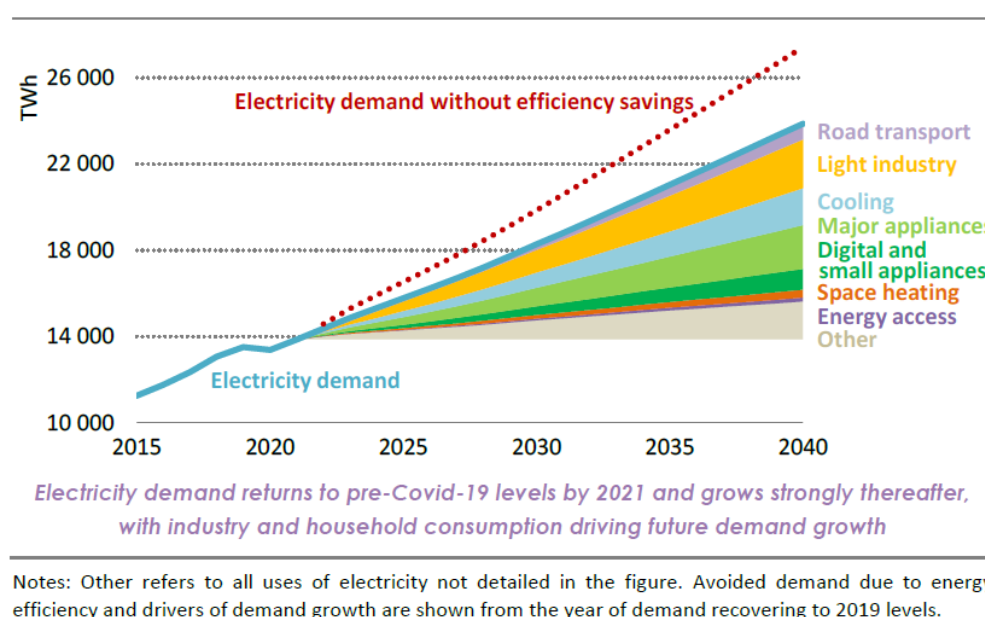
資料來源：IEA(2020)

圖 43、政策情境 2019-2030 年區域別用電預測

中國是唯一預計到 2020 年電力需求將高於 2019 年的主要國家。儘管防疫限制活動(如限制出行、關閉商家)導致 2020 年第一季度電力需求下降，但中國官方對 COVID-19 控制與產業主導的快速復甦，2020 年底電力需求將回到 2019 年水準。

幾個主要的不確定因素可能會影響中國的電力需求變化。目前，工業部門嚴重依賴出口市場，因此，全球總體經濟前景的下調暗示電力需求的風險。中國經濟復甦的延遲也可能會減少中國工業產出，從而降低電力需求增長。

在已開發國家中，2020 年預期電力需求下降 330 TWh(-3.3%)，其中有 60% 是服務業受到疫情影響所產生。服務業受到強烈衝擊，預估須到 2023 年才能恢復到 COVID-19 之前的水準。運具與供暖的電氣化，有增加電力需求的潛力，但起點低意味著尚需幾年才能看到明顯的影響：在已開發國家中，目前約有 20% 的家庭用電取暖，而只有不到 1% 的車輛是用電的。



資料來源：IEA(2020)

圖 44、政策情境 2019-2030 年已發開國家用電預測

美國的電力需求預計將在 2020 年顯著下降。由於封鎖和隨之而來的經濟危機，工業和服務業的急劇減少電力需求，儘管這部分被住宅供冷需求的增加所抵消。在 2009 年的金融危機之後，美國的電力需求在 2010 年反彈，然後在 2020 年之前基本持平，但許多地區的電氣化加速影響了前景。

自 2006 年以來，歐盟的電力需求一直處於持平狀態，預計在接下來的幾年中將保持疲軟，然後在 2023 年恢復到危機前的水準。隨著現有庫存逐漸被效率更高的新庫存取代，歐盟對消費品和工業設備的嚴格能效標準起著重要作用。到 2030 年，它們每年將產生大量節電(約 250 TWh)。

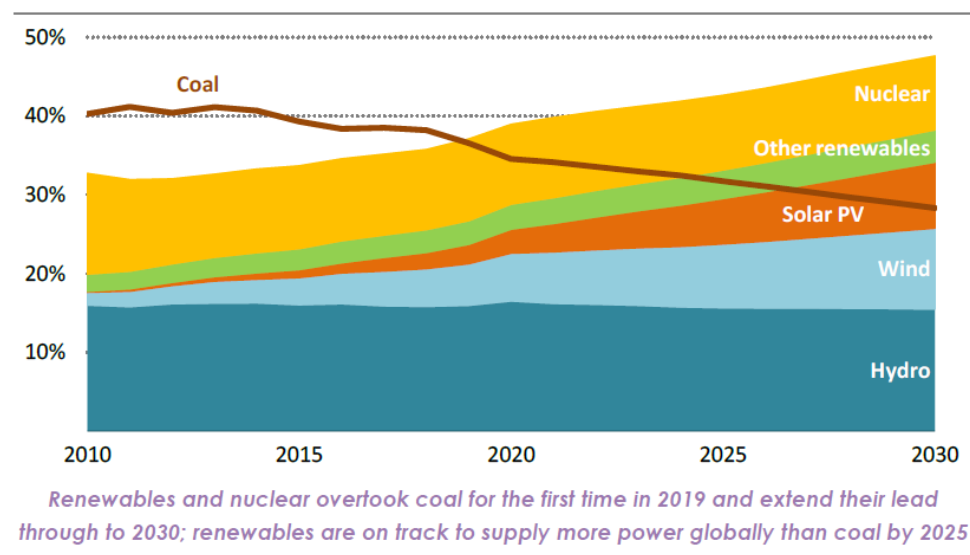
預計到 2020 年，電動車(EV)的銷量將增長兩倍，達到近 90 萬輛，占歐盟市場的 5%。到 2030 年，在 STEPS 中，電氣化對需求的影響越來越明顯，公路運輸增加了 70 TWh，熱電化又增加了 40 TWh，抵消了效率提高帶來的 40% 的需求減少。全面實施《歐洲綠色協議》和其他恢復計劃將看到效率提高和能源使用電氣化的加速，電解氫生產的快速增長計劃可能會大大增加需求。在 SDS 中，製氫用電量到 2030 年將增加到 200 TWh，而在 STEPS 中僅超過 5 TWh。

3. 電力供應前景

到 2030 年，再生能源和核電將在 STEPS 中提供近一半的全球電力供應。到 2025 年，再生能源的發電量將超過燃煤發電廠，太陽能發電和風能發電將帶動增長，這得益於成本下降，廣泛的資源可利用性和強有力的政策支持

在 STEPS 中，直到 2030 年，水力發電仍然是全球最大的低排放電力來源。其他再生能源在發電中的部署進展，如生物能、地熱、太陽能和海洋能源將有助於使電力供應多樣化。到 2030 年，核電將繼續提供約 10% 的全球電力供應。

2020 年，煤炭在全球電力結構中所占的比例提高了幾個百分點，從 2020 年的 35% 下降至 2030 年的 28%。



資料來源：IEA(2020)

圖 45、政策情境 2019-2030 年全球電力發電占比(依發電種類別)

在接下來的十年中，全球發電廠的建設將從燃煤轉向太陽光電和風電。新項目管道的減少意味著在 STEPS 中新建燃煤發電的速度大大降低，而到 2021 年太陽光電和風電將恢復到危機前的布建水準，並在此後加速增長。

隨著太陽光電產業規模的擴大，供應鏈的安全性和合適土地的可用性將變得越來越重要。在大多數情況下，不再需要直接為太陽光電提供財務支持，儘管穩定收入的支持性政策框架在加速部署和降低新項目的交付成本方面仍起著至關重要的作用。

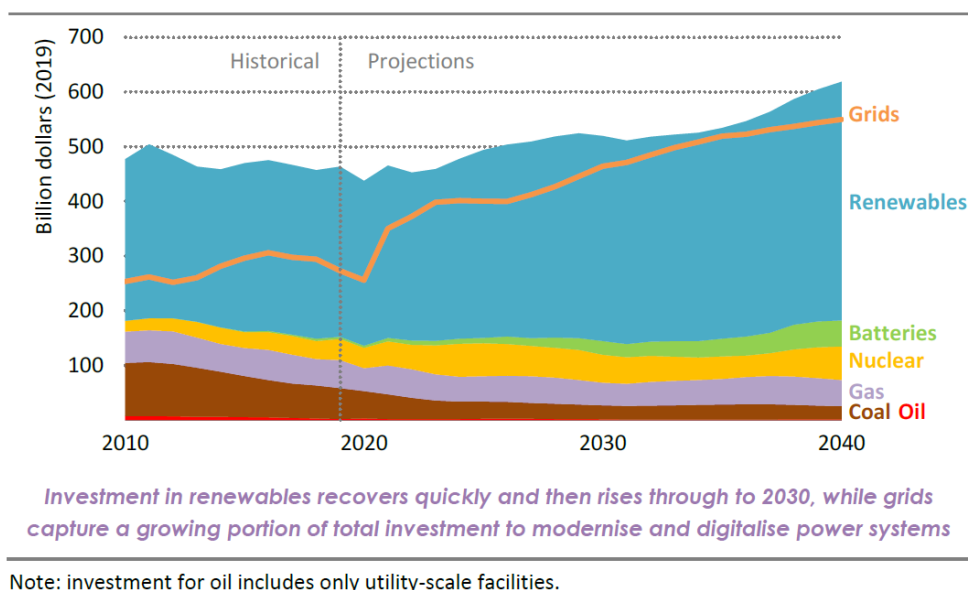
隨著全球經濟在 2020 年急劇下滑之後的復甦，全球電力產業投資將在 2021 年反彈至危機前的水準。電力產業總投資額上升至 2030 年將達到 9,800 億美元，比 2019 年增加 30%。在接下來的十年中，電力產業占能源供應總投資的近 40%，比上游的石油和天然氣投資高出 10% 以上。到 2040 年，電力產業的年度投資接近 1.2 兆美元。

再生能源和核電的投資在 2021 年達到危機前的水準，然後穩步增長，到 2030 年將超過 4,200 億美元。在未來十年中，再生能源和核電合計占發電總投資的 80%，其中絕大部分用於再生能源。到 2030 年，每年對太陽光電和風電的投資平均為 2,400 億美元：這與過去 7 年的投資水準相當，但成本下降意味著同等水準的投資會增加容量。

在未來十年中，每年平均將超過 500 億美元投資於核電，以建設新的大型項目並開始布建小型模組化反應爐，這比過去十年的支出水準有所提高。

燃氣發電投資保持穩定，每年接近 500 億美元，儘管市場條件充滿挑戰，而且在包括歐洲在內的某些市場難以獲得融資。電池儲能已成為電力系統靈活性的基礎，到 2030 年投資將增長六倍，達到 250 億美元。

電網的資本支出在 2020 年下降之後，2021 年開始反彈，到 2030 年將增至 4,600 億美元，比 2019 年的水準增長三分之二。輸配電網絡在電力產業總投資的占比不斷上升，這是因為它們的關鍵意義在支持現代電力系統和能源轉型中的作用。

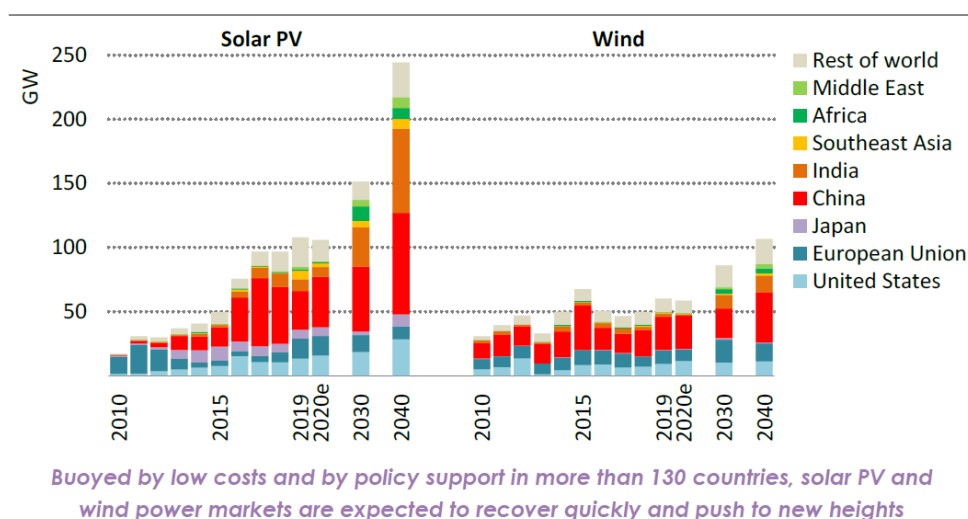


資料來源：IEA(2020)

圖 46、政策情境 2019-2040 年全球電力投資趨勢

再生能源方面，事實證明，面對 COVID-19 的鎖定措施，再生能源具有一定的彈性，並有望在 2020 年實現溫和增長。在 STEPS 中，到 2030 年再生電力供應將以每年 5% 的速度增長，其中太陽光電和風電為主要動力增長引擎。到 2030 年，再生能源發電量將接近 12,500 TWh，比 2018 年高峰時的燃煤發電量高 25%。水力發電仍是 2030 年最大的再生能源，儘管新項目主要限於中國、拉丁美洲和非洲。

太陽光電有望實現所有再生能源的最大增長。自 2010 年以來，太陽能的平均發電成本已經下降了 80%，並且在 130 多個國家/地區得到了某種形式的支持。風電同樣強勁增長。在過去十年中，全球風力發電成本平均下降了約 40%，它在約 130 個國家/地區獲得政策支持，其中 70 多個國家打算開發離岸風電。技術進步和低成本融資有望在未來五年內將離岸風電成本進一步降低至每兆瓦時 (MWh) 50 美元左右，約為新近完成項目成本的一半。



Note: 2020e = estimated values for 2020.

資料來源：IEA(2020)

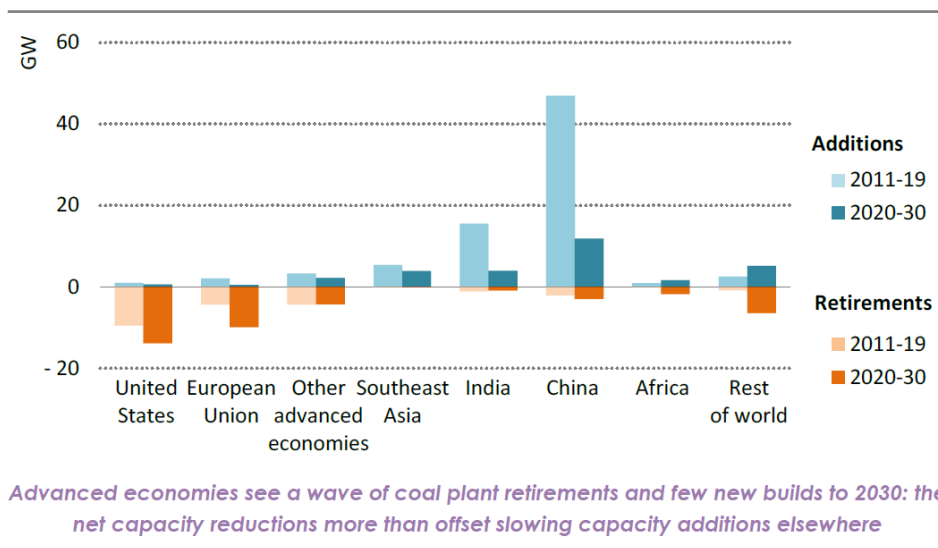
圖 47、政策情境 2019-2040 年太陽光電和風力發電容量增長趨勢

受電力需求下降，再生能源產量增加以及與燃氣發電廠的成本競爭加劇的擠壓，全球燃煤發電有望在 2020 年減少 8%，這是有史以來最大的減幅。2020 年，幾乎所有燃煤電廠的財務狀況都在惡化。對於在競爭性市場(例如美國和歐盟的那些市場)中營運的燃煤電廠，批發電價偏低和營運時間減少都降低了收入。在受監管的市場(例如中國、印度和東南亞)，發電成本固定，但收入隨電力需求下降而下降，使全球三分之二的燃煤電廠的財務狀況惡化。

在已開發國家中，燃煤發電的使用有望在 2020 年前所未有地下降 20%。這是在 2019 年創紀錄的下降 14% 之後，持續延續過去十年的下降趨勢。到 2030 年，STEPS 中的燃煤發電量將降至 2019 年水準的一半，比 2007 年達到的峰值低 70%。

在美國，隨著太陽光電和風電的擴大以及燃氣發電價格達到非常低的原因，老化的燃煤電廠面臨著極為嚴峻的市場條件。在這種情況下，許多燃煤發電廠已經虧損，對長期盈利能力的信心正在減弱，這使得電廠更新改建極為困難。

此外，美國各州或公用事業機構設定了雄心勃勃的潔淨能源目標，要求減少燃煤發電量。從 2021 年到 2030 年，STEP 中的燃煤電廠平均每年退休將近 15 GW，在過去十年中，平均增長了 50%。到 2030 年，美國整體燃煤發電能力比 2019 年下降 60%，到 2040 年下降 80%。



資料來源：IEA(2020)

圖 48、在政策情境下 2019-2030 年全球燃煤電廠裝置容量增減分布

在歐洲聯盟中，到 2030 年，燃煤發電量的年均淘汰量將翻倍，達到每年近 10 GW。到目前為止，歐盟 27 個成員國中有 16 個已經批准或已經開始考慮在未來幾十年內逐步淘汰燃煤，其中包括歐洲最大的煤炭消費國德國。這些國家/地區在 2019 年的燃煤發電量約為 100 GW (占歐盟燃煤電廠三分之二以上)。

在歐盟許多地方，燃煤電廠的經濟生存能力已大大降低。到 2020 年，煤炭產量將下降 20% 以上。一些歐盟成員國目前正在考慮加快淘汰時間表，其他公司則延遲或放棄了新的燃煤發電項目。2021 年生效的新的歐盟環境標準增加了煤炭的壓力。

在日本，2020 年 7 月宣布將逐步淘汰效率低的燃煤電廠。在營運的 140 家燃煤電廠中，有三分之二以上將被淘汰，這將有助於實現日本能源基本計畫的燃煤發電占比目標 (即 2030 年燃煤占比 26%)。

在 STEPS 中，新興市場和發展中國家在 2020 年至 2030 年之間將新增 300W 的新燃煤電廠；這占同期新燃煤電廠總產能的 90%。到 2030 年，全球營運的燃煤電廠中有近 85% 位於新興市場和發展中國家，高於 2020 年的 75%。

在天然氣方面，燃氣發電在 COVID-19 危機期間一直具有相對的彈性，並有望在 2020 年溫和下降 1%。天然氣在美國、加拿大、歐洲和亞洲的創新低價格增加了煤改氣的機會，在一定程度上保護天然氣免受較低的電力需求衝擊。

在 STEPS 中，全球燃氣發電量到 2022 年將恢復到危機前的水準，並且從 2020 年到 2030 年將增長 20%。其中，四分之三以上的增長發生在新興市場和發展中國家。在已開發國家中，燃氣發電的角色轉向提供靈活性。在電力結構中，天然氣在全球未來十年的占比穩定在 22-23%。在已開發國家中，天然氣是最大的單一電力來源，約占總發電量的 30%。在新興市場和發展中國家中，天然氣目前占發電量的近 20%，並且隨著需求的增長而逐步增加。

核能在 2019 年占全球電力供應的 10%，是僅次於水力發電的第二大低排放源。在新興市場和發展中國家中，從 2019 年到 2030 年，核電產量增長三分之二，將其發電量占比略微提高到 6%。到 2020 年初，正在建設的總容量為 42GW。到 2030 年，核電容量將從 110 GW 增加到約 180 GW。2020 年初，中國有 48 座核反應爐在運行，有 11 座正在興建中。中國是為數不多的在《巴黎協定》的國家自主貢獻中將核電與再生能源一起納入低排放策略的國家之一。

在已開發國家中，核電是 2019 年低排放電力的最大來源，但隨著反應爐老化和建造新項目的很少，從 2019 年到 2030 年，電力供給將下降 10%。在接下來的十年中，已開發國家將在 STEPS 情境中永久關閉 70 GW 的核電廠。到 2030 年將，有 120 GW 的電廠將因可能無法延長使用壽命而關閉。此外，約有 20 GW 的新核電廠正興建中，這些國家包含：芬蘭、法國、日本、韓國、斯洛伐克、土耳其、英國和美國等。

電力需求的形狀和可變性的變化以及太陽光電和風力發電的強勁增長共同增加了電力系統的靈活性需求，而靈活性正迅速成為電力安全的基石。在這種情況下，靈活性涵蓋了各種服務，涵蓋了從幾秒到幾小時，幾天和整個季節的時間尺度。

電網系統在全球範圍內擁有約 8000 萬公里的輸配電線路，是安全可靠的電力系統的骨幹。在 STEPS 情境中，由於電力需求增長，增加了新的再生能源發電能力以及開發智能電網的需要，在 2019 年至 2030 年之間對新的電網容量進行了大量投資。

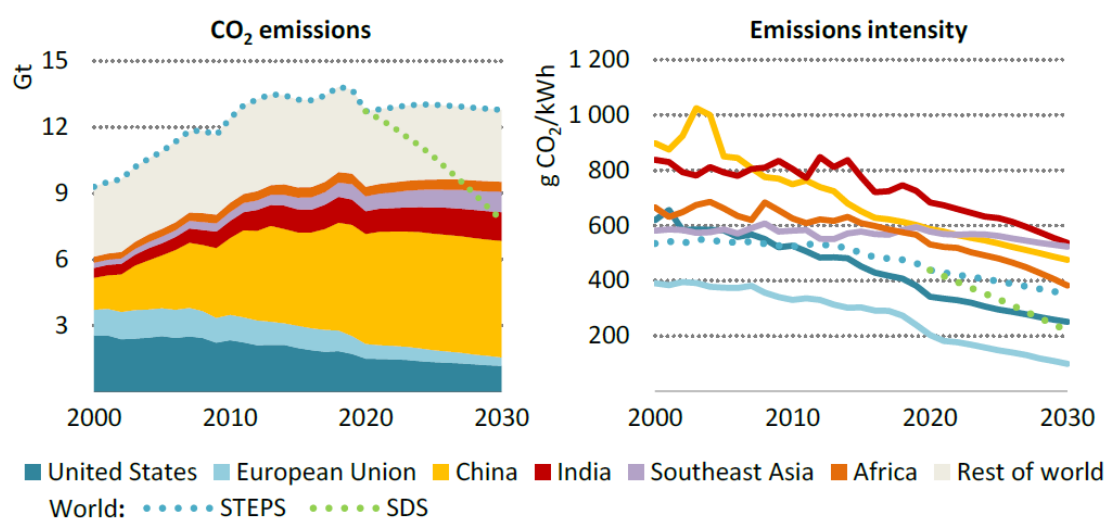
到 2030 年，電網擴展比過去十年增長了約 80%。輸電線路的增長約占 30%，配電網絡線路的增長約占 20%，這歸因於再生能源的增長。在 STEPS 中進行了電網的擴展和翻新，以增強電力系統對氣候變化和極端天氣現象的適應能力，

同時對電網靈活性的投資有助於提高可靠性和安全性，並可以降低發電、輸電和配電的成本。

智慧電網在支持變動性再生能源的普及方面發揮著至關重要的作用。它們還為更廣泛地使用工具(如需量反應措施)開闢了道路，以減少再生能源電力生產的減少並支持電動車的集成。在接下來的十年中，STEP 中需要替換或數位化大約 1600 萬公里的現有配電線路和 150 萬公里的傳輸線路，以及開關設備，變壓器，儀表和其他關鍵組件。在美國和歐洲聯盟等電力系統較舊的地區，目前大約五分之一的網絡需要更換或數位化

儲能一直是電力系統的中心部分，主要以水力發電庫的形式。隨著電力系統的發展以及再生能源提供了更大的電力供應，存儲的重要性越來越受到關注。2019 年，水力發電設施的全球總容量約為 160 GW，占全球儲能容量的 90% 以上。但是，鑑於合適的抽水蓄能地點和新的水庫水利工程的地理局限性，注意力正在轉向其他選擇。截至 2019 年，超過 10 GW 的電池已連接到電網。近十年來，電池儲能技術的年度安裝量在 2019 年首次出現下降，公用事業規模的存儲安裝量下降了約 20%。停工和供應鏈中斷。公用事業規模的電池投資增長預計將在 2020 年放緩，但鑑於再生能源和電池儲能市場的強勁增長，這種停頓可能是短暫的。

與 COVID-19 危機相關的電力產業的碳排放有望在 2020 年下降 7%，繼 2019 年下降 1% 之後，反映出由於電力需求下降、燃煤發電量下降、再生能源的增長和煤轉氣的效果。電力產業有望在 2020 年排放近 13 Gt 碳，占全球能源相關碳排放總量的 40% 以上。



資料來源：IEA(2020)

圖 49、政策情境 2019-2030 年各國 / 區碳排放和碳密集度分布

在許多地區，電力部門的二氧化碳排放量正在下降，這反映了市場狀況，技術創新和對再生能源的政策支持以及為減少不潔的燃煤發電而做出的努力。歐盟計劃 2030 年將電力部門的碳排放量減少至疫情前一半的水準，製定了雄心勃勃的再生能源目標，並在許多成員國逐步淘汰了燃煤發電。

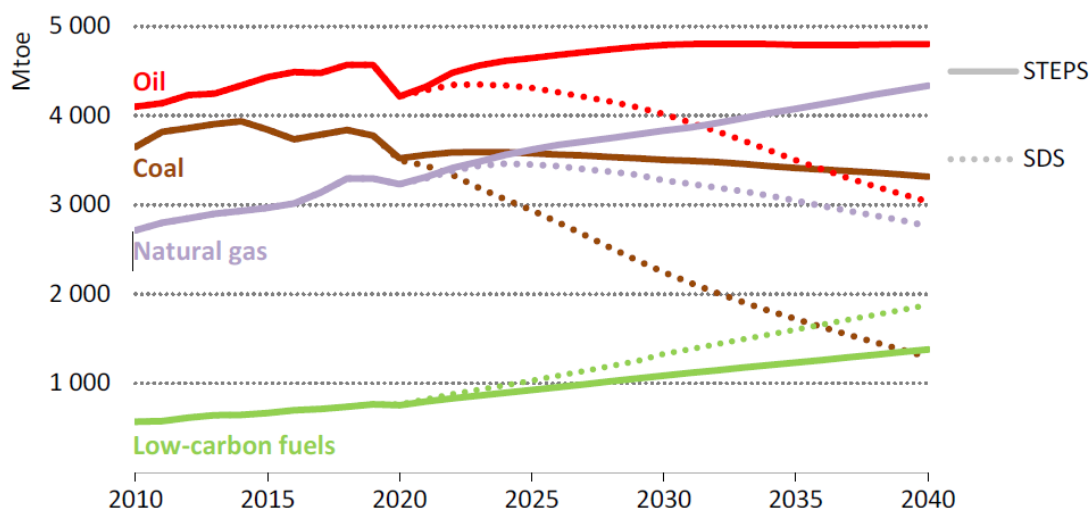
隨著能源最終用途的電氣化的增加，就全球氣候目標而言，降低電力供應的碳排放強度變得更加重要。到 2020 年，全球平均碳強度下降至 440 克碳排放每千瓦時(g CO₂ / kWh)，這是有記錄以來的最低水準，這歸因於煤炭發電占比的下降和燃煤發電量的上升。

電力部門還負責很大一部分的空氣污染物排放。中的步驟，控制技術在燃燒化石燃料的發電廠採用並減少化石 40% 二氧化硫的燃料使用在大多數地區降低電力部門的排放，圍繞 20% 的氮氧化物和到 2030 年這有助於為細顆粒物 30% 減少每年造成數百萬人過早死亡的空氣污染。

近年來，在新興市場和發展中國家中獲得電力的人們一直是全球年度電力需求增長的主要來源。初步影響評估表明，由於擴大供電的努力未能跟上人口增長的步伐，到 2020 年，無法獲得電力的人數可能會增加 2%。在 STEPS 中，到 2030 年仍有 6.6 億人無法用電。

七、燃料供應展望

COVID-19 大流行的影響給燃料市場帶來壓力，並加劇了燃料供應商面臨的許多長期挑戰。由於需求下降，所有市場都出現了明顯的過剩供應能力。由於對財務回報的擔憂和需求的不確定性，以及在社會和環境壓力不斷增加的背景下對商業模式的懷疑，投資預算緊張，價格較低，投資者對化石燃料行業的懷疑態度日漸增強。



資料來源：IEA(2020)

圖 50、全球燃料供應預測(依情境別)

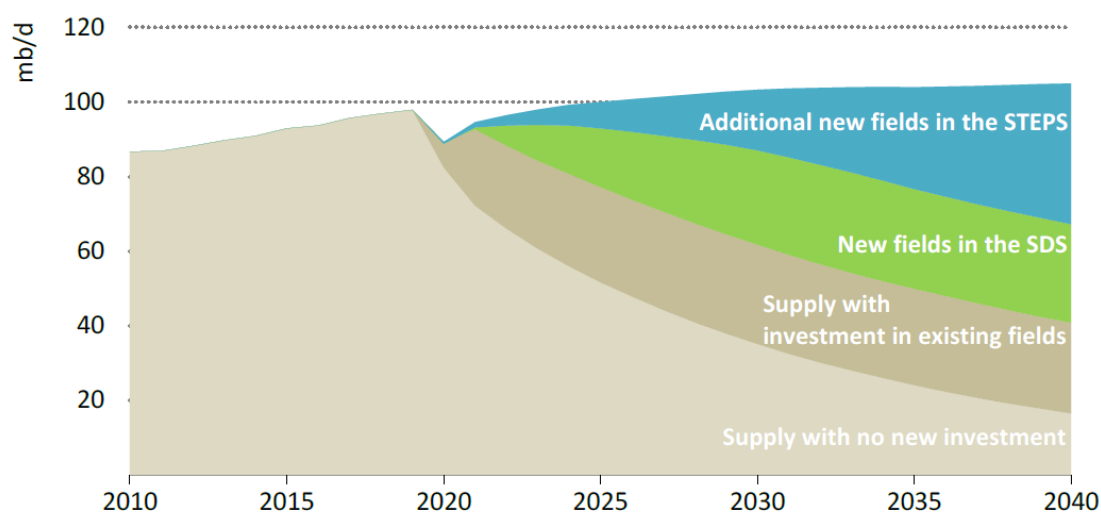
石油和天然氣供應鏈的一些主要因素受到了經濟下滑的沉重打擊。在過去的十年中，美國頁岩氣產業已經滿足了全球石油和天然氣需求增長的近 60%，但是這種增長在很大程度上是由債務推動的，投資者已經對該產業產生創紀錄的自由現金流的疲軟記錄感到沮喪。隨著市場狀況的惡化和信貸的枯竭，純頁岩油公司的破產率上升：截至 8 月底，2020 年的破產率比 2019 年同期高 50%。財務壓力也導致了主要的裁員。

本報告中的所有燃料市場都處於供過於求的狀態，對於需求恢復的速度或何時需要新的投資尚不清楚。最近的石油供應增長引擎(美國頁岩氣)已經停滯不前，但是許多常規生產商所承受的壓力意味著許多企業狀況不佳，無法加強自身的活動。

無論事情如何發展，各種燃料將對能源的未來至關重要。電力在全球最終消費中所占的 20% 占比正在增長，但是在能源服務需求不斷增長的背景下，電力無法獨自承擔能源系統的轉型。對於電力無法達到的應用，關鍵的問題是，該行業是否可以找到方法來提供碳氫化合物的能源系統優勢，而又不產生溫室氣體。

疫情給石油市場前景帶來了三大變化：需求前景的更大不確定性、均衡價格大幅度下降、增加了對石油廠商的財務壓力。需求確實在 STEPS 情境中恢復；儘管要到 2023 年才能恢復到 2019 年的水準(請參閱第 5 章)。然後，到 2030 年，

它每年將以每年約 75 萬桶的速度增長，隨後在 2030-40 年期間將以每年不到 100 萬桶的速度增長。這種低水準的需求增長意味著，未來在 STEPS 中幾乎需要的所有投資，以及對 SDS 的 100% 的投資，僅是為了彌補現有油田產量的下降



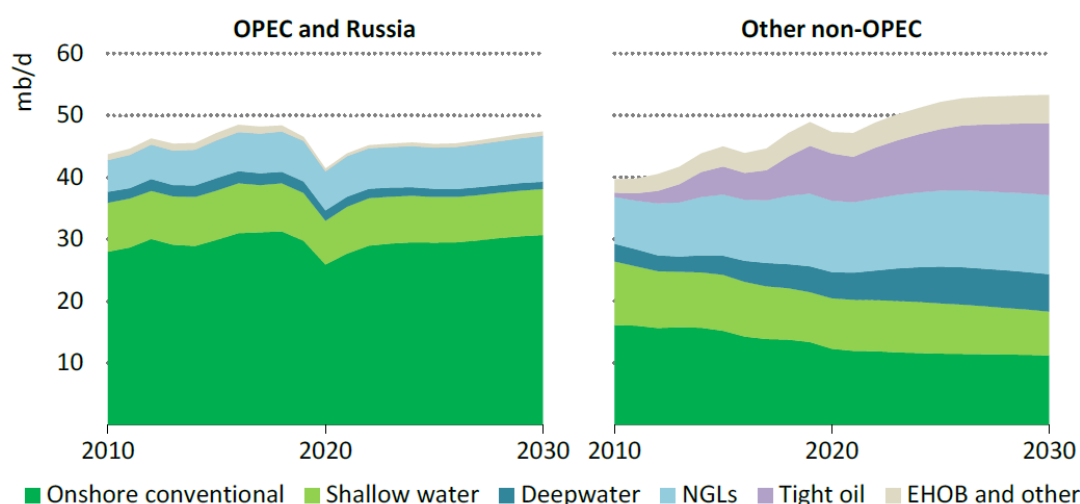
資料來源：IEA(2020)

圖 51、全球燃料供應預測(依情境別)

資金成本是另一個特別重要的變因。對於許多公司而言，油價下跌不僅導致較低的收入，而且造成較低的信用評級。這意味著許多營運商，尤其是那些處於高收益債券市場的營運商，其借貸成本將增加，同時基於儲備金的貸款評估和可用於未來鑽探工作的可用資金也將減少。我們估計，頁岩油營運商的債務加權平均資本成本已從近年來的 8% 上升至 2020 年的 12% 以上，這意味著單位成本增加了約 5 美元/桶。

能夠更好地應對低價的生產商包括沙特阿拉伯，科威特和俄羅斯。儘管這些國家也面臨著嚴峻的經濟壓力和公共支出的縮減，但更大的財政緩衝給它們提供了更大的操作空間。在俄羅斯，盧布貶值和稅收制度也為公司提供了一定的庇護，稅收制度根據油價降低了對生產商的關稅。

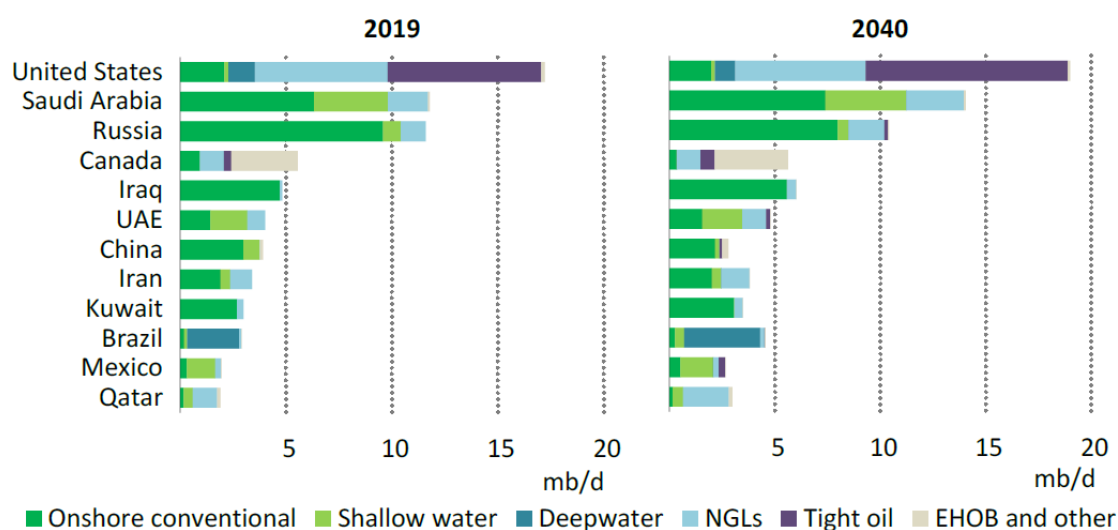
石油價格的下跌使成本較高的生產者處於極大的劣勢。多年來，中國和東南亞部分地區的產量一直在下降，包括美國在內的一些國家都在減產。在新的生產和投資前景有限的情況下，到 2030 年的這段時間裡，下降速度將繼續存在。對於這些國家來說，重要的考慮因素是如何安全地淘汰舊資產和基礎設施，以避免破壞產業環境，特別是如果當前營運商破產。



資料來源：IEA(2020)

圖 52、政策情境下全球石油產量變化(依種類和區域別)

展望未來，到 2040 年美國仍然是 STEPS 情境中最大的石油生產國。但到 2030 之後，其與沙烏地阿拉伯的差距開始縮小，美國的總產量在 2030 年至 2040 年之間下降超過 2 mb / d，而沙特阿拉伯正在逐步上升。沙特阿拉伯和 OPEC 其他成員國是 2030 年後 STEPS 生產增長的主要來源。在 2030 年至 2040 年之間，OPEC 的總產量將增加 3 mb / d。



資料來源：IEA(2020)

圖 53、2019 和 2040 政策情境下全球石油前 12 名產量變化

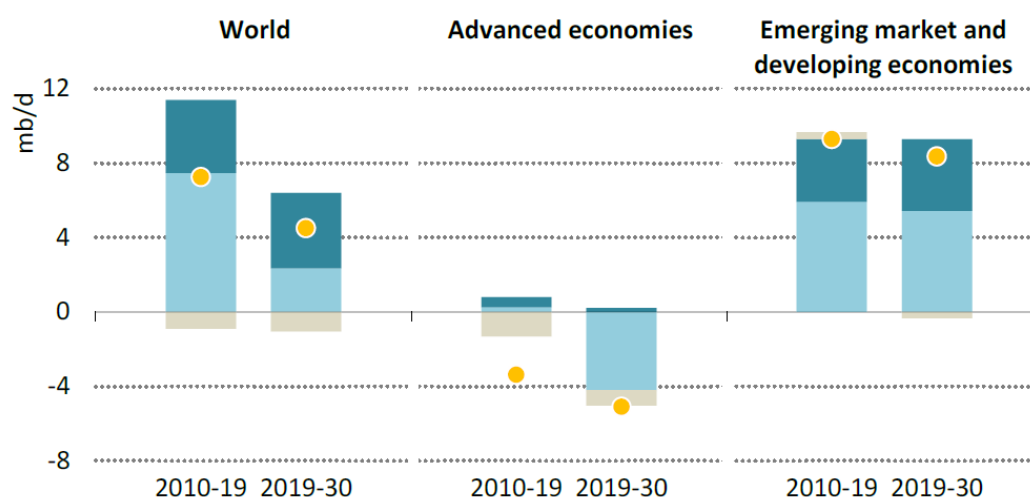
儘管 2030 年後石油需求的增長有限，但上游石油項目仍需要每年投資約 3,900 億美元。即使其中僅需要 10%，就能滿足在 2030-40 年間 0.9 mb / d 的石

油需求增長：其餘的資源對於維持現有油田的產量和開發新油田以抵消現有產量的下降是必不可少的。總的來說，在 STEPS 上游投資中約有 55% 用於開發新油田，而在現有資產上維持生產則需要 45%。

在 2030 年至 2040 年之間，SDS 情境下的石油需求將進一步下降約 20 mb / d。供應量的減少大部分來自非 OPEC 國家，在此期間，這些國家的總和下降超過 13 mb / d。OPEC 一些國家的產量也大幅下降。在此期間，大約 70% 的下降來自陸上生產。儘管需求迅速下降，但現有油田產量的下降速度甚至更快，這意味著在此期間，每年對 SDS 情境下的上游石油項目的投資仍約為 2,200 億美元。

危機之前，煉油業已經感受到需求增長放緩和產能過剩不斷上升的壓力，但對 2020 年的期望相對較高。煉油廠預計，國際海洋組織對航運業的新環境法規將導致柴油需求增加，但因為疫情的緣故，目前並沒有實現預期的利潤增長。疫情導致國際運輸需求大大減少，並且有足夠的燃料供應滿足新法規的要求。取而代之的是，該產業必須應對其他運輸燃料需求的歷史性下滑，而其他運輸燃料對汽油、柴油和航空煤油等最有利可圖的產品的影響尤其嚴重。

關鍵的結構性問題是煉油能力與煉油產品需求之間差距的擴大。近年來投資的飆升意味著 2019 年有超過 2 mb / d 的新煉油產能投產，這是 2010 年以來的最高水準，並且遠遠超過需求增長。這種不平衡將持續下去：到 2025 年，計劃將有超過 6 mb / d 的新產能開始營運，而即使在 STEPS 相對樂觀的世界中，需求到 2025 年也僅為 4 mb / d。



資料來源：IEA(2020)

圖 54、2019 和 2030 政策情境下石油產品需求變化

煉油廠規模和油品需求之間日益失衡的問題，給那些老舊且競爭力較低的煉油廠提出了特別困難的問題。傳統的煉油廠，主要是已開發國家，在 STEPS 情境上的市場占比繼續下降，而在世界其他地區，由於接近不斷增長的需求或廉價原料而受益。到 2030 年，已開發國家目前約有 14% 的煉油能力面臨利用率降低或關閉的風險。

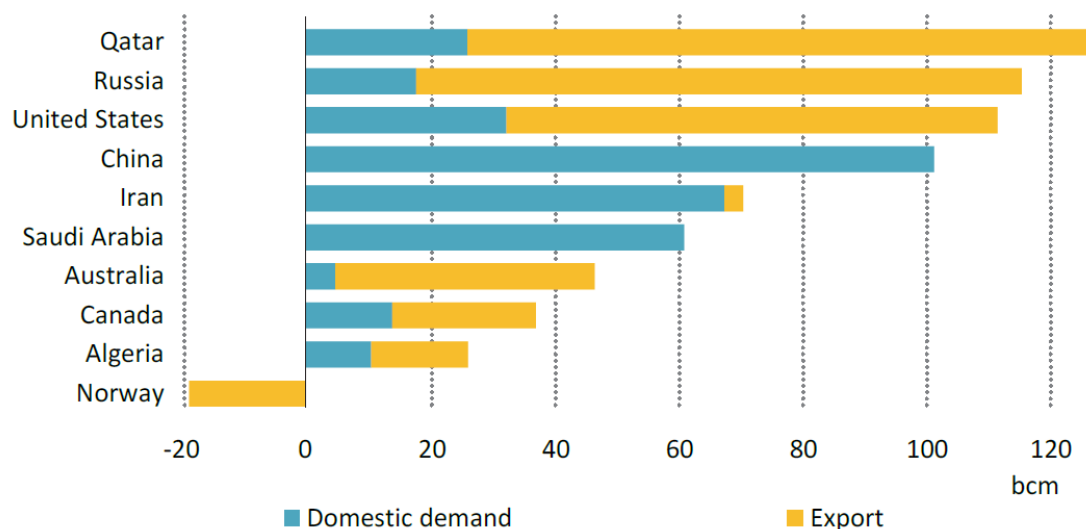
同時，亞洲和中東的新興市場和發展中國家繼續增加產能，並加強其在全球煉油產業的影響力。這些地區在過去五年中占全球煉油投資的三分之二，占目前正在建設中的煉油能力的 80% 以上。到 2030 年，這些新興的煉油廠將取代傳統的煉油廠，成為全球最大的煉油中心。

在 COVID-19 到來之前，全球天然氣市場就在尋求平衡。隨著買家越來越不願簽署長期承購協議，資金雄厚的石油和天然氣公司似乎願意承擔更大的營銷和價格風險，以推動新項目的發展。即使區域天然氣現貨價格跌至歷史低點，2019 年對液化天然氣的最終投資決定仍創下紀錄，這表明該行業對天然氣(尤其是 LNG)的長期需求增長充滿信心。

預計到 2020 年，全球天然氣產量將下降近 200 bcm。儘管迄今為止，天然氣對大流行的影響比煤炭或石油更具彈性，但總體經濟前景更為疲軟，導致 STEPS 情境下的供應預測下調 (與 WEO 2019 相比)，2030 年全球產量將下降 100 bcm 左右，2019-30 年的產量累計減少將近 1,000 bcm。主要生產商通過減少產量、營運成本最小化和推遲資本支出等方式來消化過剩產能。即便如此，2019-2040 年天然氣供應鏈的總投資將減少 7,000 億美元。

在全球天然氣供過於求的情況下，全球範圍內約有 150 bcm 的 LNG 合同將在未來五年內到期，因此買家可能希望在新合同的價格和數量上尋求重大優惠。WEO 2019 所有的情境都顯示，在疫情後的幾年內，液化天然氣市場供應仍充足，但情況在 2025 年開始出現分歧。在 STEPS 情境中，供應缺口在 2020 年代後期開始出現。

天然氣長期前景的一個主要問題是，長期供過於求的情形(以及隨之而來的較低價格)在多大程度上轉化為對新興國家和發展中國家的天然氣政策支持，從而奠定到 2030 年代強勁需求增長的基礎。



資料來源：IEA(2020)

圖 55、2019 和 2040 政策情境下前十大天然氣生產國產量變化

低成本的美國頁岩氣一直是液化天然氣的挑戰者，在 STEPS 情境中，對於尋求靈活、多樣化的供應組合的市場參與者而言，它仍然是一個有吸引力的選擇。STEPS 中，美國天然氣產量的幾乎所有增長都用於出口。

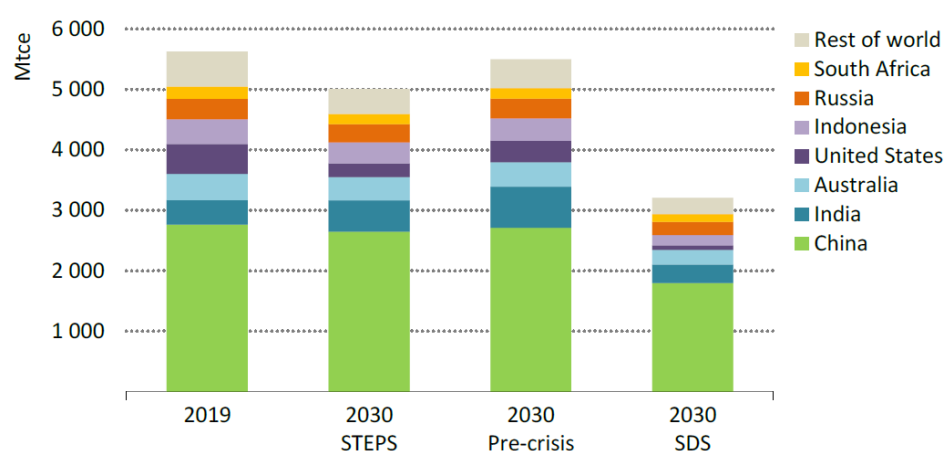
煤炭產業在 2020 年價格持續下降，儘管對大多數生產者而言仍然有利可圖。然而，由於各國目前雄心勃勃的氣候政策、與煤炭有關計畫的融資限制、投資者和股東對環境議題日益增加的關注，以及公眾對新舊燃煤電廠皆表示強烈反對等問題，可預期未來煤炭產業將烏雲滿布。更不用說，越來越便宜的再生能源和價格持續下探的天然氣價格帶來的競爭也給煤炭在電力市場中的地位施加了壓力。

在 COVID-19 大流行之前，為新的煤炭項目籌集資金在全世界皆已經是一個備受質疑的問題，目前宣布對煤炭開採和燃煤發電進行資金限制的金融機構數量已增加到 100 多家。

但也有部分地區的燃煤發電的融資限制尚未受到限制。2020 年上半年，中國是全球投資最多燃煤發電的國家，中國的國有事業在國有銀行的支持下新建了新的燃煤電廠。除中國之外，東南亞地區是新燃煤發電的主要地區，但這裡的前景受到國際財政金援的狀況影響較大。在過去五年中，東南亞地區批准的燃煤電廠中約有 60% 與中國、日本和韓國的資金有關。然而，這些借貸政策正在產生變化中，如 2020 年 7 月日本政府收緊其對煤電出口融資的政策。

由於某些國家正積極逐步淘汰使用煤炭，目前全球需求可能已達到頂峰，但現在宣布其消亡還為時過早，因為目前仍存在一些難以找到煤炭替代品的領域，例如鋼鐵生產等。

此外，鑑於現有的資源和基礎設施，疫情尚未使煤炭在某些主要新興市場和發展中國家中的地位發生根本變化。甚至在某些情況下，經濟低迷反而支撐了對使用煤炭的支持，使得煤炭產業在部分國家仍然是國內能源供應和就業的重要來源，像在一些能源較為緊缺的國家，例如印尼、巴基斯坦、孟加拉國、菲律賓和越南等。更不用說，煤炭在全球能源經濟的兩大巨頭中國和印度保持著強大的影響力。



資料來源：IEA(2020)

圖 56、2019 和 2030 個情境下燃煤產量變化

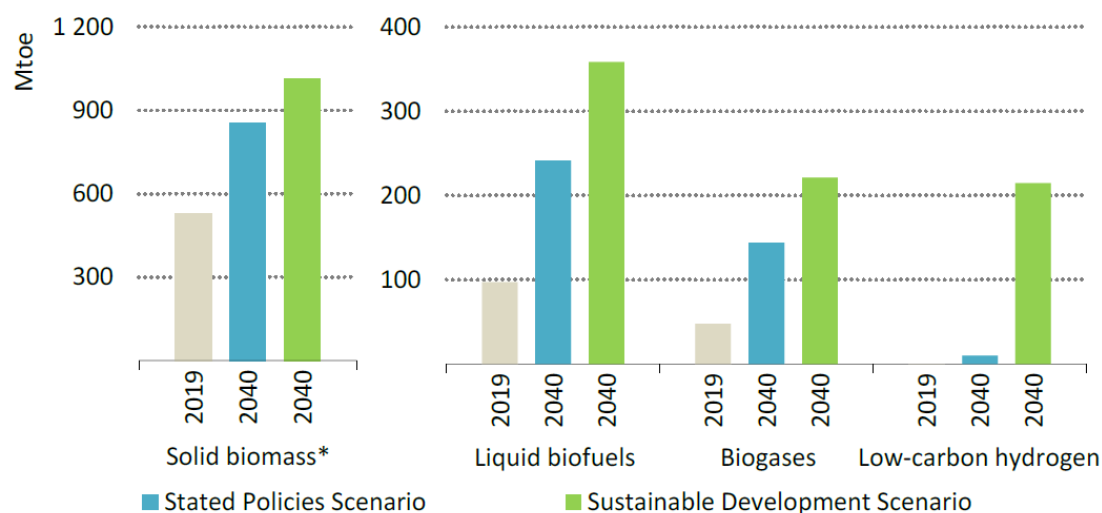
在 SDS 情境中，煤炭供應的條件更具挑戰性：到 2030 年，煤炭需求的暴跌超過 40%，這意味著所有生產地區的煤炭產量迅速下降。在這種情況下，到 2030 年，每年平均供應投資為 230 億美元，不到 STEPS 水準的一半，因為在中國和印度的投資案例在預測期內急劇下降，這與需求前景疲弱相符。

在 2019-30 年度的 STEPS 情境中，全球燃煤和焦煤的煤炭貿易量將下降約 15%。在未來十年中，印度的進口量幾乎不會恢復到疫情前的水準，因為大部分的煤炭需求增長都將由國內產量的增加來滿足。

在其他燃料部分，如今固態生質能和廢棄物的使用幾乎占再生能源需求的 40%(5.3 億噸油當量)。在 COVID-19 危機期間，這些燃料一直保持相對強勁，這得益於原料的多樣性、各種需求應用的多功能性以及持續的政策支持。工業應用

和商業熱能和電力生產占固態生質能和廢棄物的四分之三，其餘則用於建築物的空間和水加熱。

在過去的三年中，固態生質能和廢棄物的發電量每年增長 4% 以上，並在 2020 年的危機期間繼續增長。



資料來源：IEA(2020)

圖 57、2019 和 2040 各情境下全球低碳燃料供應變化

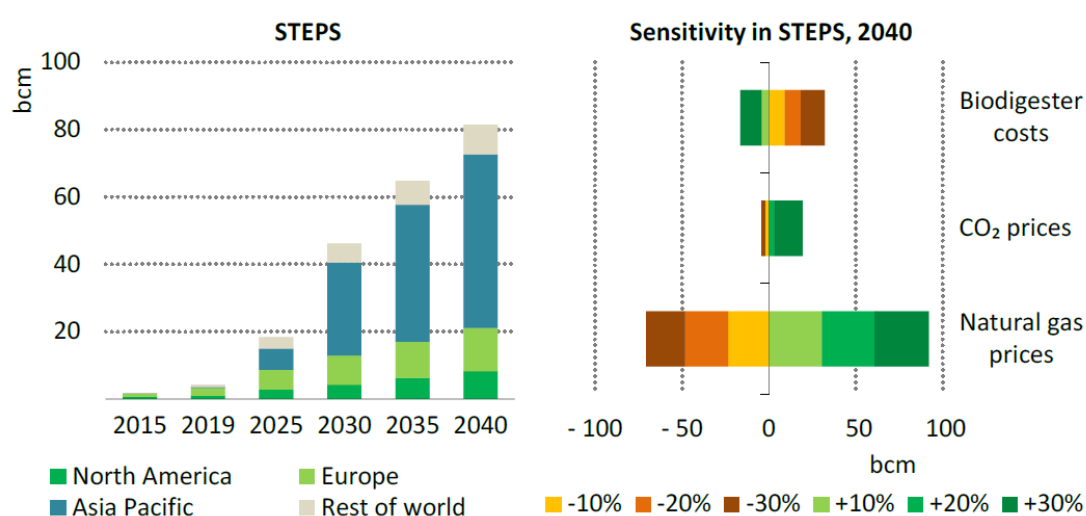
在液態生質能產業(主要生產乙醇和生物柴油)在 2020 年動盪不安，這是由於全世界運輸燃料的需求低迷和低油價，使液態生質能的供應恢復到了 2017 年的水準。較低的石油價格也拖累了液態生質能的價格：在美國，3 月份乙醇價格創歷史新低，為每升(L)0.16 美元，而 2019 年的平均價格為 0.33 美元/升。在 2020 年 4 月的石油市場上，美國幾乎有一半的乙醇產能被暫停。市場不確定性也是導致 2020 年液態生質能投資與 2019 年相比下降 12% 的一個因素。

政策是所有生質能前景的關鍵變量，尤其是在石油和天然氣價格較低的背景下。目前來看，有許多國家有陸續有推出看起來令人鼓舞的計畫，如美國的《Renewable Fuel Standard》，中國的 E10 計畫，歐盟和英國的交通再生能源目標，巴西的 Renovabio 計畫的推出等。

在 STEPS 中，全球生質能燃料的需求將在 2021 年恢復到 2019 年的水準，並強勁增長至 2030 年：需求在 2019-30 期間增加 1.5 mboe / d(每天百萬桶油當量)，並再增加 1.5 mboe / d 從 2030 年到 2040 年。在 SDS 中，假設採取更強有力的政策行動，到 2030 年生物燃料的使用量將增加 4.2 mboe / d，到 2040 年的

十年內將進一步增加 1.2 mboe / d。在 2019 年至 40 年的增長中，有一半以上來自先進的生質能。

在沼氣發電方面，與 WEO-2019 相比，STEP 中開發的沼氣量基本保持不變，因為要達到潔淨烹飪的目標還需要等量的產能才可能做到，而電力產業中的沼氣使用量在 2040 年將有約 3% 的小幅增長。總體而言，沼氣的直接使用量已從今天的 30 Mtoe 翻一倍，達到 70 Mtoe。



資料來源：IEA(2020)

圖 58、2019-2040STEP 情境下各區域生質能產能變化

在 STEP 情景中，沼氣的供應(沼氣已升級為近乎純淨的沼氣)迅速增加，但與 WEO-2019 相比已下調了約 10%。新興市場和發展中國家，特別是亞洲國家，是 STEPS 生質沼氣增長的主要推動力。但是，由於新興市場正面臨的資金緊張以及天然氣的低成本的衝擊，限制原本要進行的投資，是未來可能的不確定變因。

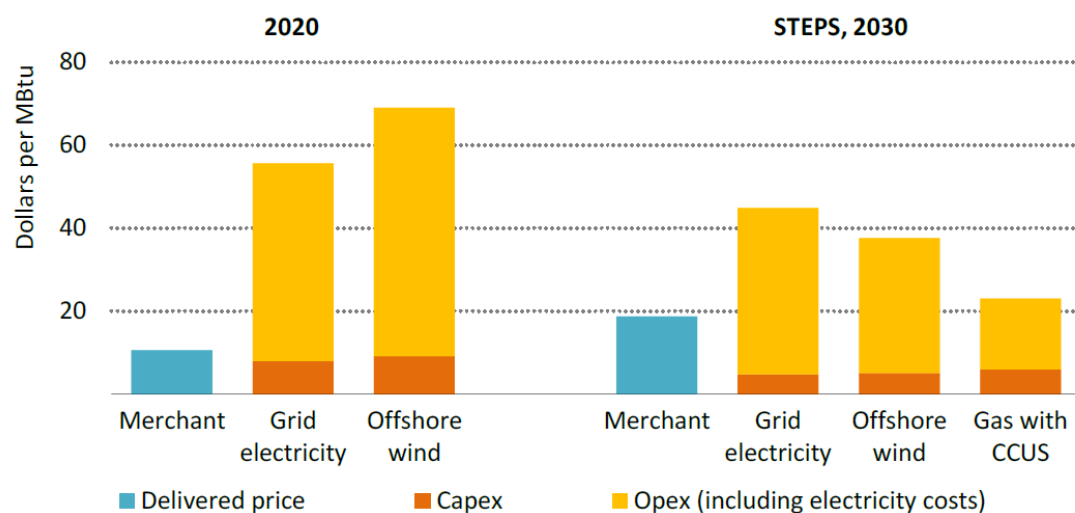
核能提供全球約 10% 的電力供應，是僅次於水力發電的第二大低排放能源。繼 2019 年核電產量創歷史新高之後，在 2020 年因疫情緣故，使全球電力需求下降，因此，在 2020 年核電產量預估將減少，但會在 2023 年恢復到疫情前的水準。

在核能發電的燃料供應方面，近年來一次鈾的過度供應導致鈾價格非常低。這些不利的市場條件導致開發新採礦的投資額急劇下降，並導致現有礦山的產量下降。儘管如此，已建立的鈾資源已足以滿足全球對反應爐的要求，直至 2040 年以後。

在低碳氫的部分，更具彈性的能源部門可以在各種應用中使用低碳氫，例如鋼鐵和化肥的生產、運輸和建築物用於取暖等。氫也可以用來存儲數週或數月的電力，並在必要的時候輔助發電來平衡電力系統。這種電力調度的靈活性加上其在解決難以減排的行業中的重要性，鞏固了許多國家當前支持低碳氫發展的政策。

與其他低碳燃料一樣，氫的前景取決於政府政策。如果要廣泛使用氫，就需要政策來扶持低碳氫的生產、存儲、運輸氫的基礎設施以及採取措施刺激短期機會最為重要的部門的需求。儘管如今低碳氫價格昂貴，但隨著產量的擴大和必要基礎設施持續擴張，成本在未來有望可有顯著的下降。

因此，鑑於氫需求何時將足以支持私人投資的不確定性，故低碳氫計畫籌集的資金可能嚴重依賴政府資金和獎勵措施。例如澳大利亞於 2020 年 5 月宣佈設立新的氫能發展基金，金額超過 2 億澳元。韓國在 2020 年 7 月的綠色新政宣布中包括了氫能基礎設施。日本再次承諾將氫能基礎設施用於其推遲的奧運會。加拿大計劃在 2020 年第三季度啟動一項國家氫策略。在歐洲，荷蘭於 2020 年 4 月發布了其《國際氫能策略》。德國於 2020 年 6 月宣布了一項 100 億美元的氫策略。法國 2020 年 9 月的經濟復甦計劃包括超過 20 億美元的低碳氫投資等。



資料來源：IEA(2020)

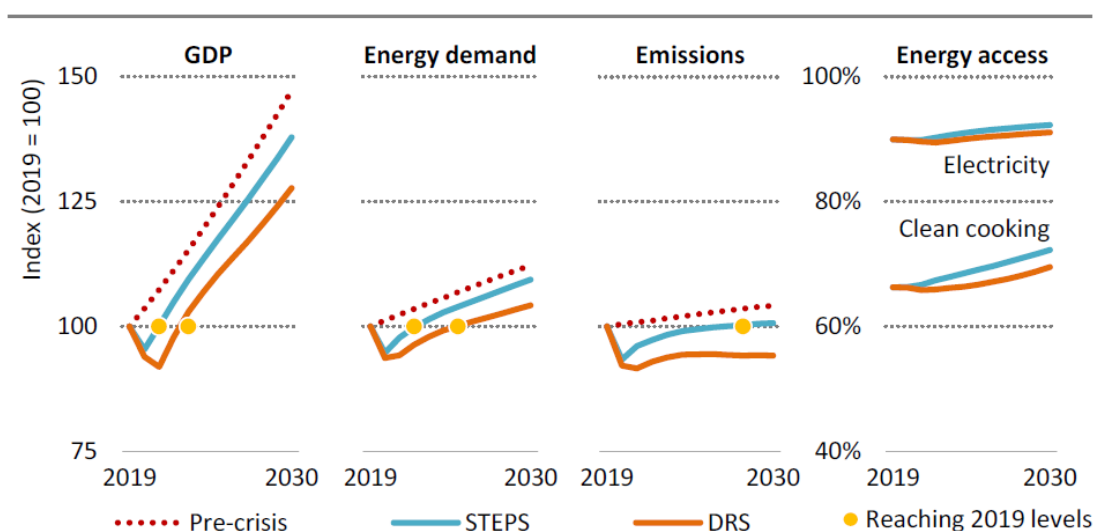
圖 59、2019-2030STEP 情境下低碳氫的成本差異(依來源別)

由上圖可知到 2030 年，各來源別產低碳氫的成本差距可能會大大縮小，甚至在某些地區可以用更廉價的再生能源來生產更低價格的低碳氫。

八、經濟延遲復甦對能源影響

在政策情境(Stated Policies Scenarios, STEPS)與永續發展情境(Sustainable Development Scenario, SDS)下，預計 2021 年全球可控制 COVID-19 擴散程度，因此全球經濟成長可持續復甦，預計 2025 年全球經濟比危機前僅低 5% 左右。然而可能這些假設仍太過樂觀，因此探討若未來發生延遲復甦情境(Delayed Recovery Scenario, DRS)，經濟復甦不如預期，遲滯經濟活動對能源將造成何種影響。

在延遲復甦情境下，全球經濟復甦力道大幅減緩。高失業率將大幅損害人力資本，並且造成銀行倒帳問題，這些結構性經濟層面改變也降低資本生產力。在延遲復甦情境下，2030 年以前全球經濟成長低於政策情境 10%。除此之外，經濟活動遲緩將減少能源需求與 CO₂ 排放，然而也將減緩能源部門採用潔淨能源速度。例如經濟發展遲緩企業將系統性減少採用新與潔淨能源技術投資，並且依賴既有舊資本使用。除此之外，經濟衰退將使得能源補助變少，全球能源不均度也將持續惡化，貧困族群減少能源使用管道。



資料來源：IEA(2020)

圖 60、經濟、能源、以及排放等指標趨勢

受到經濟衝擊影響與消費者行為改變，將大幅改變陸上運輸、海運、以及航空型態。其中 COVID-19 大幅減少公眾運輸需求，轉而增加對轎車使用偏好。因此運輸對原油需求下滑情況可能並不如預期。全球低原油需求使得原油價格直落，因此對原油與天然氣生產國造成不小經濟壓力，也減少這些國家多元經營規模。

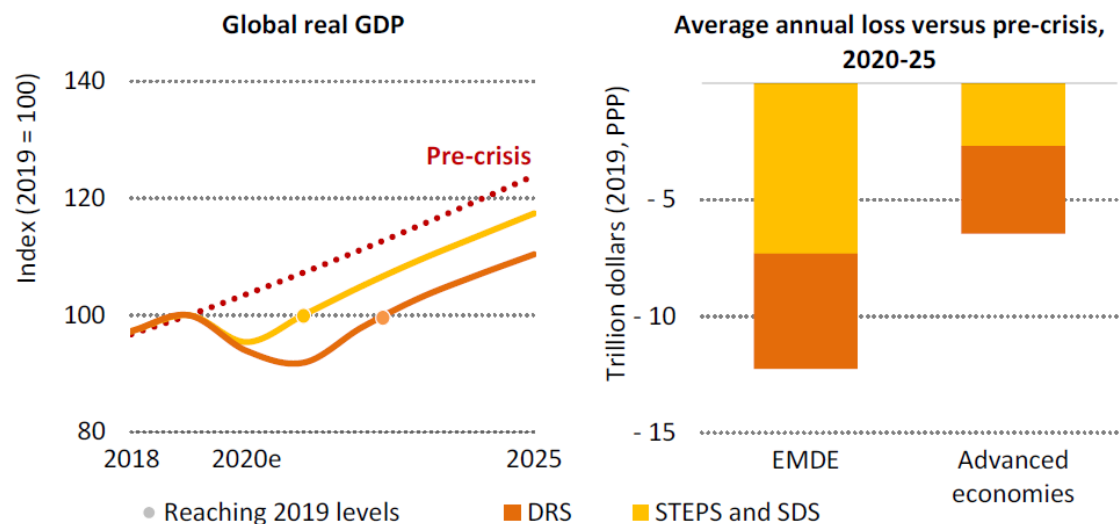
在延遲復甦情境下，電力需求比政策情境低 6%，其中僅些微提高再生能源發電占比。風力與太陽能裝置量雖穩健成長，再生能源發展仍然面對不小挑戰。為配合風力與太陽光電發展，需擴大對電網投資需求。然而在經濟發展不佳情況下，電網投資不足可能出現電力安全供應隱憂。

在延遲復甦情境下，2020 年煤炭消費比政策情境減少 10%，其中 2030 年煤炭發電減少 8%。除此之外減少新建燃煤電廠，有更多燃煤電廠及早除役或運轉更少時間。因發電與工業能源需求減少，大幅減少天然氣需求。天然氣供給過多情況將延續至 2030 年，也壓低各區域天然氣價格。過低天然氣價格也影響天然氣產國獲利，減少新投資計劃。在延遲復甦情境下，化石能源投資將比政策情境低 10%，此外化石能源投資下滑也將減少低碳技術發展投資。

在延遲復甦情境下，CO₂ 排放將低於政策情境，甚至低於 2019 年排放水準。然而即使排放降低仍無法達成改善氣候變遷，並且將帶來重大的社會與經濟成本。而 GDP 成長率下滑情況將增加減碳成本，估算延遲復甦情境與政策情境間，每減少 1 公噸排放之減碳成本達 6000 美元。

(一)延遲復甦情境與政策情境經濟成長設定

圖 61 顯示延遲復甦情境(DRS)、以及政策情境(Stated Policies Scenarios, STEPS)與永續發展情境(Sustainable Development Scenario, SDS)下經濟成長假設。在 COVID-19 危機發生前(Pre-crisis)，全球經濟成長將依過去趨勢持續上升。在政策情境與永續發展情境下，預計 2021 年可穩定控制疫情，因此經濟成長將在 2021 年開始回溫。然而在延遲復甦情境(DRS)短期難以控制疫情，因此全球經濟成長延續多年遲滯成長，後續才逐漸回溫。在政策情境與永續發展情境下，COVID-19 對先進國家經濟影響相對較小，影響較大為新興國家與發展中國家。然而在延遲復甦情境下，對先進國家與新興國家與發展中國家經濟影響接近。



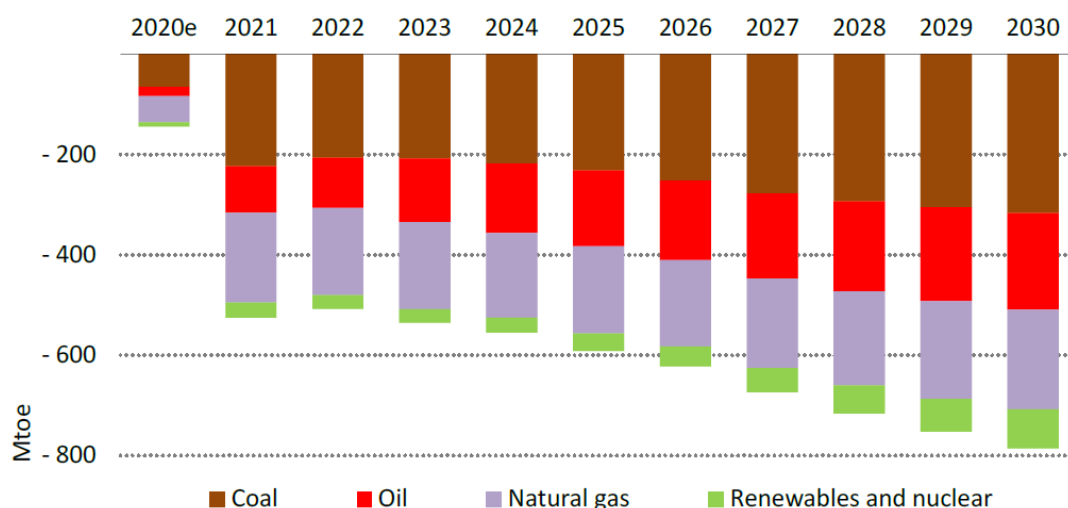
資料來源：IEA(2020) EMDE 表示 emerging market and developing economies · 新興與發展中經濟體系

圖 61、延遲復甦情境與政策情境對經濟成長假設

(二)延遲復甦情境對能源需求影響

延遲復甦情境下，全球大幅減少化石能消費。其中煤炭降幅最大，2030 年減少 30 百萬公噸油當量(Mtoe)。油與天然氣需求到 2027 年後才逐漸恢復。而再生能源並無大幅下降趨勢。

低迷經濟成長也抑制能源投資。在未來 10 年延遲復甦情境下累計能源投資額將比政策情境減少 2.2 兆美元，減少金額甚至高於 2019 年全年對能源部門投資額。其中對於化石燃料投資將減少 10%，而且並無增加低碳技術投資。政府稅收與企業營收減少，也抑低潔淨能源投資。因此相較政策情境，整體將減少 5% 低碳技術投資。



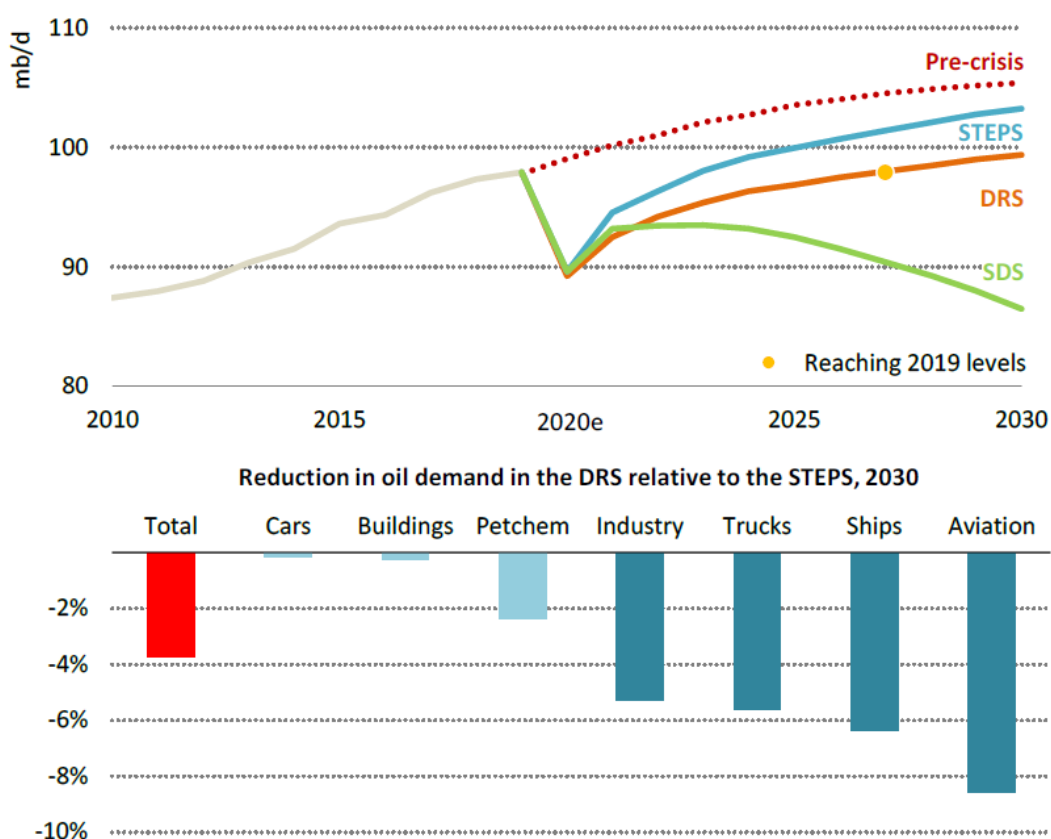
資料來源：IEA(2020)

圖 62、延遲復甦情境能源需求影響(與政策情境比較)

(三)延遲復甦情境對原油需求影響

延遲復甦情境造成經濟活動遲緩，使得原油需求大幅下跌，遠低於政策情境(STEPS)與危機前預測(pre-crisis)。然而延遲復甦情境造成原油能效低落，另外疫情造成私人汽車使用增加以替代大眾運輸，也產生原油需求正成長力道。而電動車銷售並未受到重大影響，然而其他能源運具使用卻呈現減少狀態。在延遲復甦情境下，原油需求在 2027 年才可能回到 2019 年的水準。在政策情境下，2023 年原油需求即可回到 2019 年水準。延遲復甦情境對汽車、建築、以及石化業原油需求影響較小。但對於製造業、陸上運輸、海運、航空等原油需求抑低程度較大。

在延遲復甦情境下，2030 年全球汽車需求較政策情境減少 3%。目前電動車仍仰賴政府強力推動才得以發展。在延遲復甦情境下即使油價下滑與經濟成長低迷，政府若維持相同強度電動車推動力道仍可支撐電動車成長。因此延遲復甦情境電動車銷售量並無太大降幅。

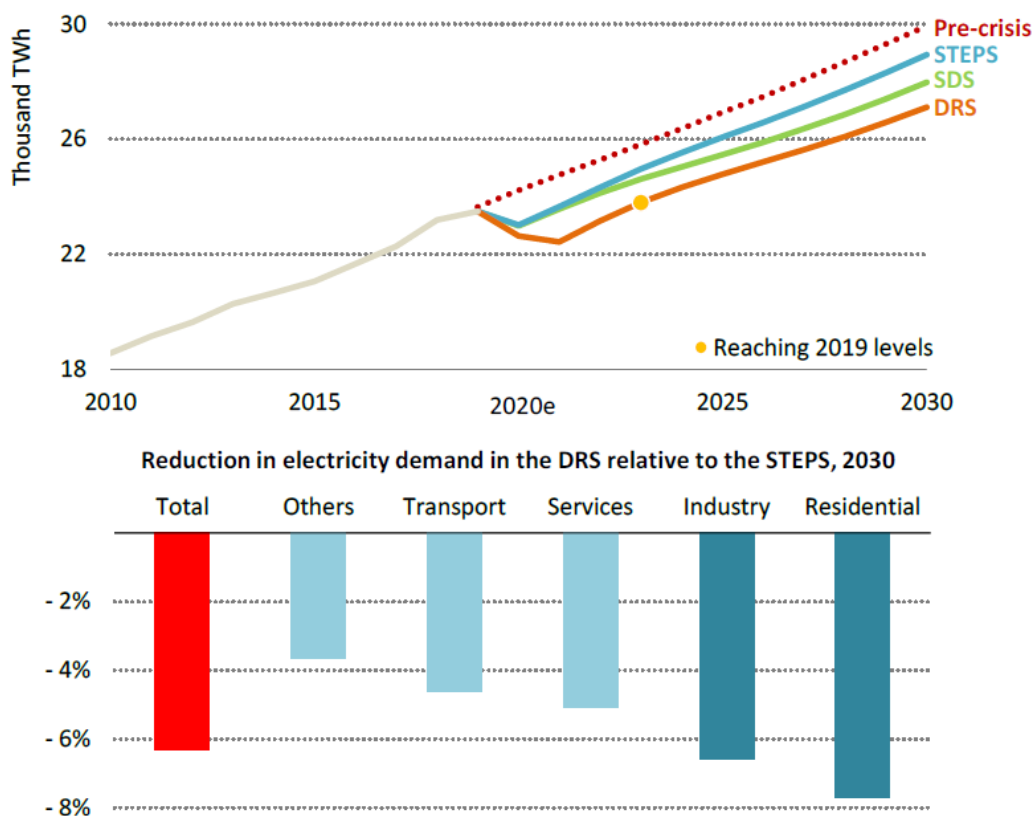


資料來源：IEA(2020)

圖 63、延遲復甦情境對電力需求影響(與政策情境比較)

(四)延遲復甦情境對電力需求與發電組合影響

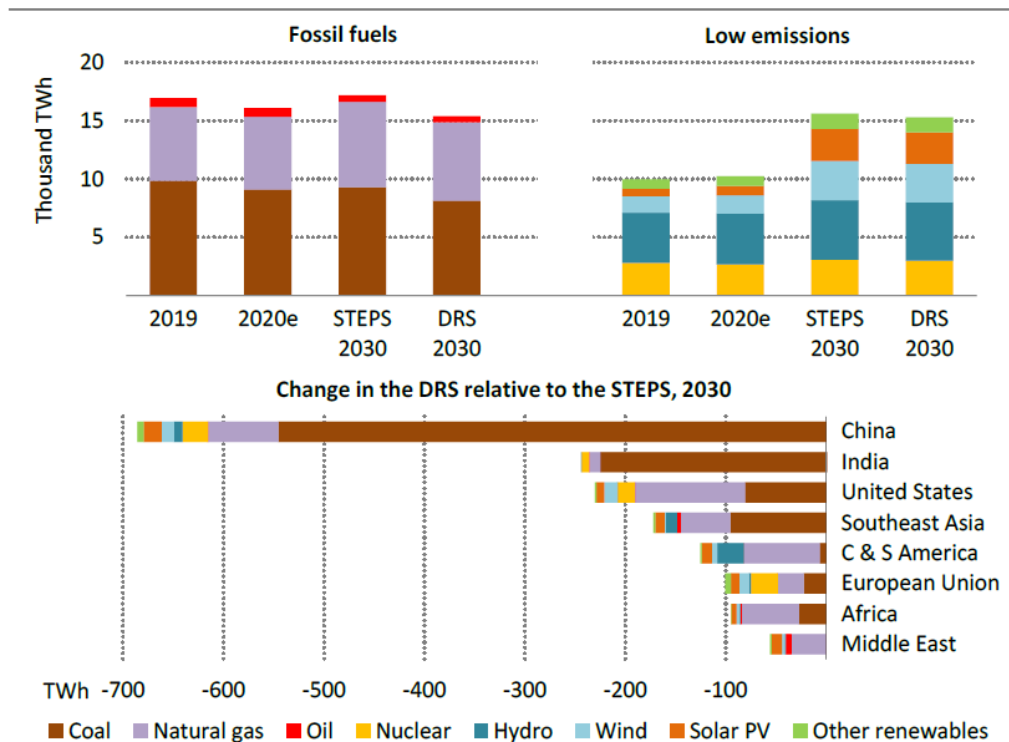
在長期經濟成長前景不樂觀情況下，對電力需求有重大影響。在延遲復甦情境下，未來電力需求呈現大幅度減少情況。2030 年全球電力需求達 27,000 TWh，比政策情境下滑 6%左右。電力需求減少主要因為經濟活動遲緩造成工業與服務業需求減少，家戶所得降低也減少能源消費，其中對於低所得群體的影響甚大。因居家上班的原因可能提升住宅用電，然而家庭所得減少整體住宅用電呈現減緩趨勢。在延遲復甦情境雖維持運輸電氣化政策力道，但所得低迷的情況下，只有所得影響較小族群才會有能力購買電動車。



資料來源：IEA(2020)

圖 64、延遲復甦情境對電力需求影響(與政策情境比較)

延遲復甦情境並未對再生能源發電占比造成重大影響，2020 年再生能源占全球發電 30%、而 2030 年將提高至 40%，約略低於政策情境。而延遲復甦情境下，再生能源在 2030 低碳發電占比將達 63%，約略低於政策情境的 66%。而風力與太陽能為未來再生能源推動主力，其中歐盟在 2030 年再生能源占最終能源消費目標 32%、日本目標為 22-24%、印度設定 60%裝置量占比目標。因此未來再生能源發電成本穩健減少，並且維持政策推動力道，不因經濟發展遲緩而大幅減緩再生能源發展。然而疫情發生後，造成再生能源製造端供應鏈短缺，可能對未來再生能源發展造成風險。同期間核能發電占比變化不大，而遲緩經濟成長造成能源需求下滑，讓燃煤與燃氣發電在 2020 年大幅減少。



資料來源：IEA(2020)

圖 65、延遲復甦情境對發電組合影響(與政策情境比較)

(五)延遲復甦情境對天然氣需求影響

在延遲復甦情境下，因為在電業與製造業並無重要因素可推升天然氣需求至原來水準，天然氣需求在 2024 年以前並未大幅恢復成長力道。與政策情境相比，兩者差異在 2040 年天然氣需求差異 6%左右。

在總體經濟不佳情況下，可能限制產業與公用事業對天然氣基礎設備投資。因此相較政策情境，延遲復甦情境下每年大約減少 70 億美元投資金額在天然氣運輸、氣化、以及運輸上。延遲復甦情境下對於產業的影響甚鉅，其中大幅減少鋼鐵與水泥業天然氣使用。

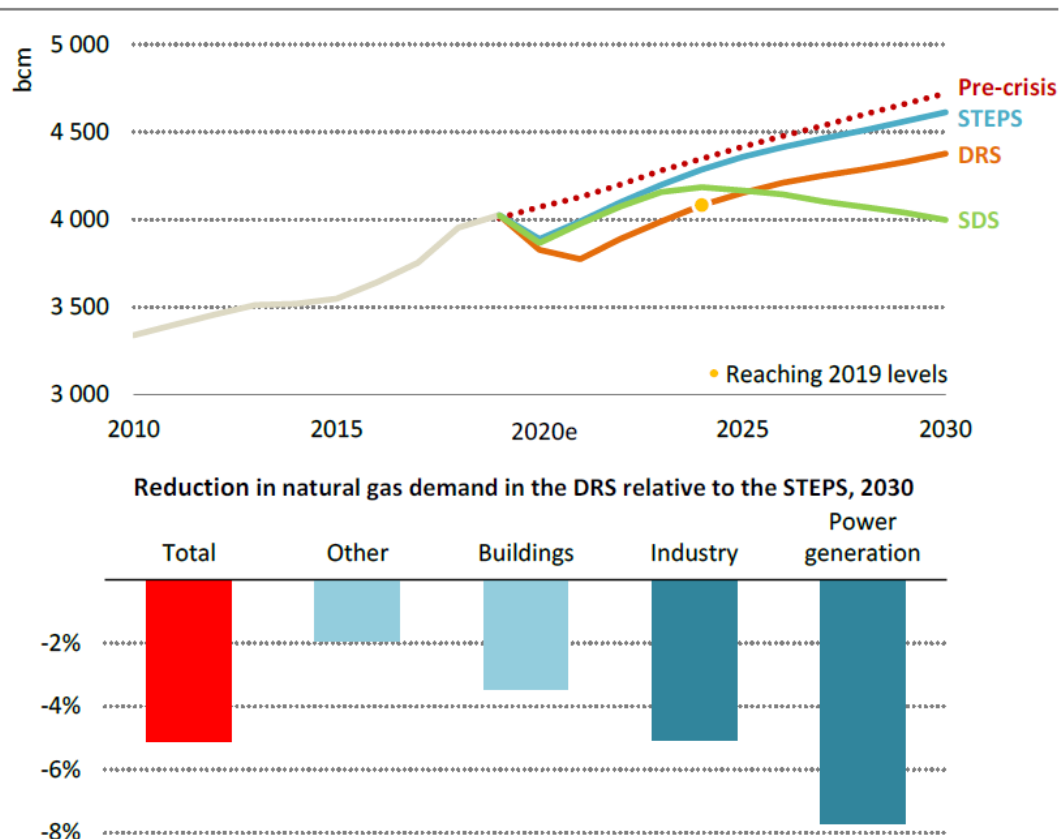
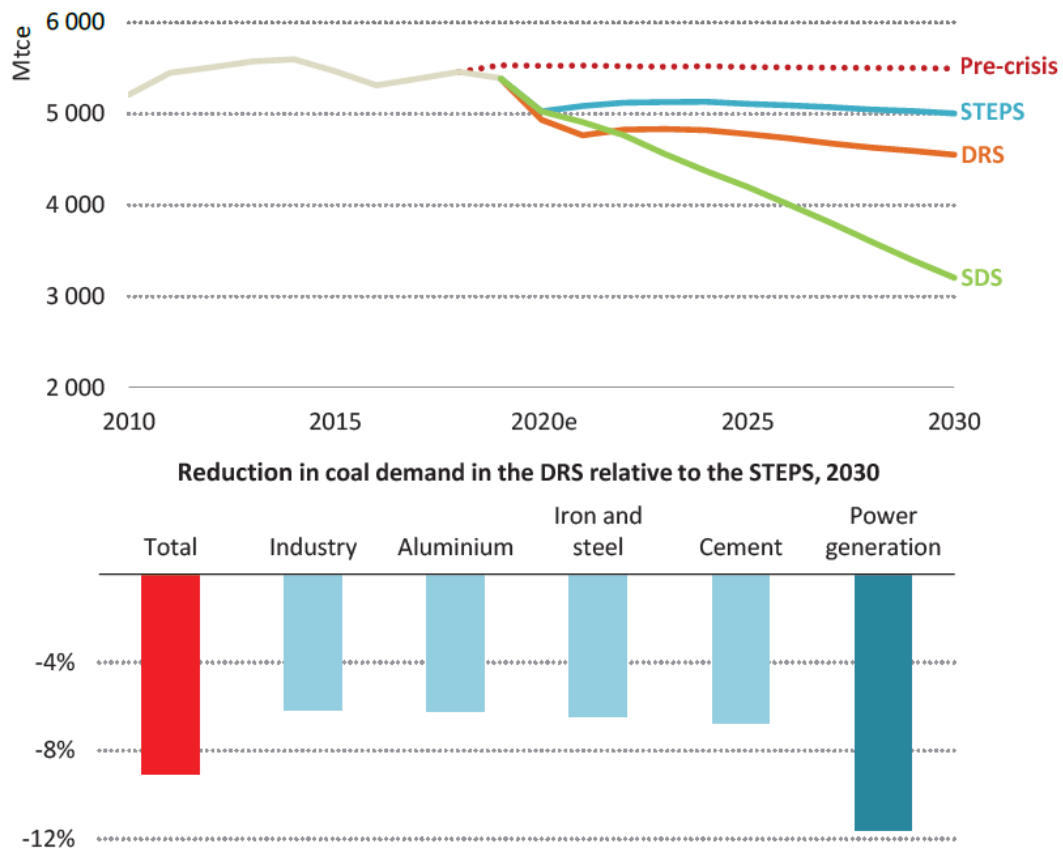


圖 66、延遲復甦情境與政策情境的天然氣需求

(六)延遲復甦情境對煤炭需求影響

延遲復甦情境加速全球減少煤炭使用，除南亞與東南亞地區有增加煤炭使用趨勢。2030 年延遲復甦情境全球煤炭使用達 45 億公噸煤當量，比政策情境低 9% 左右。延遲復甦情境對電業煤炭需求影響甚大，其中 2030 年比政策情境下滑 12%，而產業對煤炭需求減少 6%，其中以水泥業與鋼鐵業影響最大。

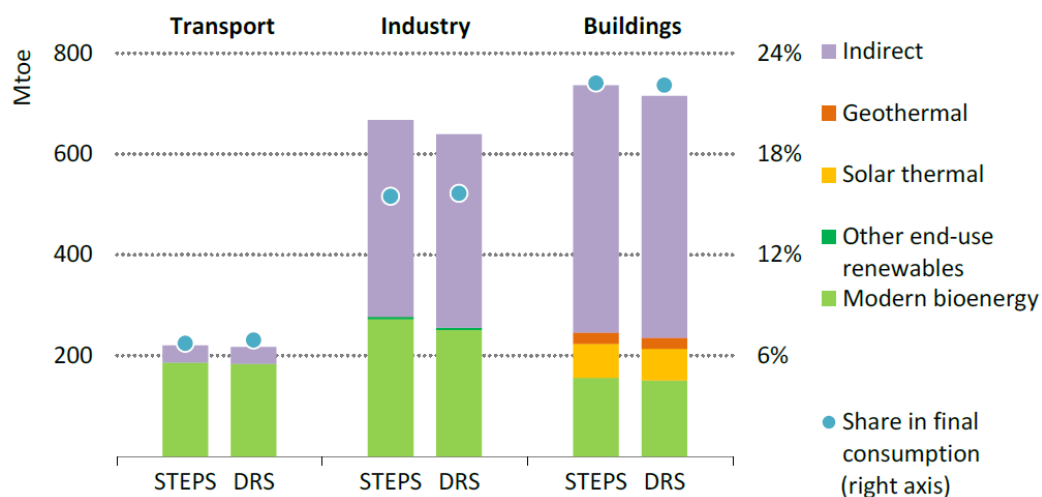


資料來源：IEA(2020)

圖 67、延遲復甦情境與政策情境的煤炭需求

(七)延遲復甦情境對再生能源影響

在全球油價低迷情況下，仍需政策推動持續支持再生能源發展，除維持電業大量使用再生能源，並可提升其他部門對再生能源的使用力道。然而建築、運輸、以及工業部門再生能源使用減少 4% 左右。在運輸部門方面，生質燃料使用在政策情境與延遲復甦情境並未差異太大，然而對航空與運輸生質燃料需求較低。在工業方面，工業在延遲復甦情境減少生質能使用。因為家庭所得減少與低化石能源價格的影響，建築物減少再生能源使用。



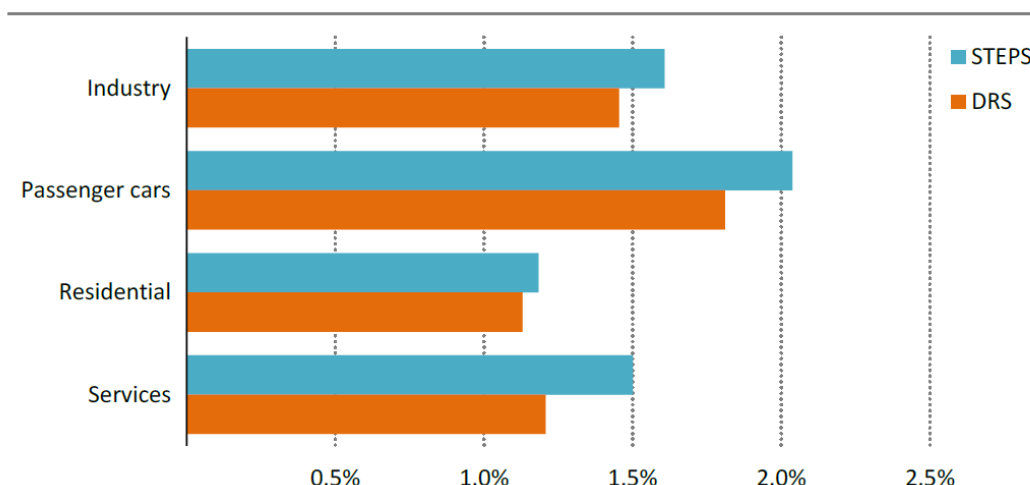
資料來源：IEA(2020)

圖 68、延遲復甦情境對再生能源影響(與政策情境比較)

(八)延遲復甦情境對能源效率影響

延遲復甦情境造成經濟衰退，無法持續改善能源效率。政府、企業、以及家戶將對新與高效率技術投資卻步。在缺少政策推動下，家戶電器、汽車、以及產業機器設備將延長使用期間。延遲復甦情境下，2030 年能源密集度為每 1000 美元為 0.083 公噸油當量(toe)，比政策情境惡化 3%左右。

經濟發展遲滯下，建築部門將延長使用低效率電器與設備，2030 年延遲復甦情境能源使用較政策情境高 1%。除此之外家戶也將延續使用舊型冷氣或使用低效率燃油或燃氣鍋爐。使用舊器具設備將阻礙新資本使用，降低能源效率改善幅度，2030 年將提高住宅部門 20 Mtoe 能源使用，其中提高 50TWh 電力需求，因此也增加低所得族群能源支出。運輸部門在景氣不佳情況下，也將延長使用既有車輛而延遲購買新運具，因此相較於政策情境，延遲復甦情境下運輸情境能源效率下滑 2%。在工業方面，中小型企業較具能源效率改善潛力。然而在景氣不佳下，企業財務表現不佳，因此減少投資能源效率改善。在 2019-2030 年間，延遲復甦情境能源密集度僅下滑 1.3%、而政策情境能源密集度下滑 1.5%。



資料來源：IEA(2020)

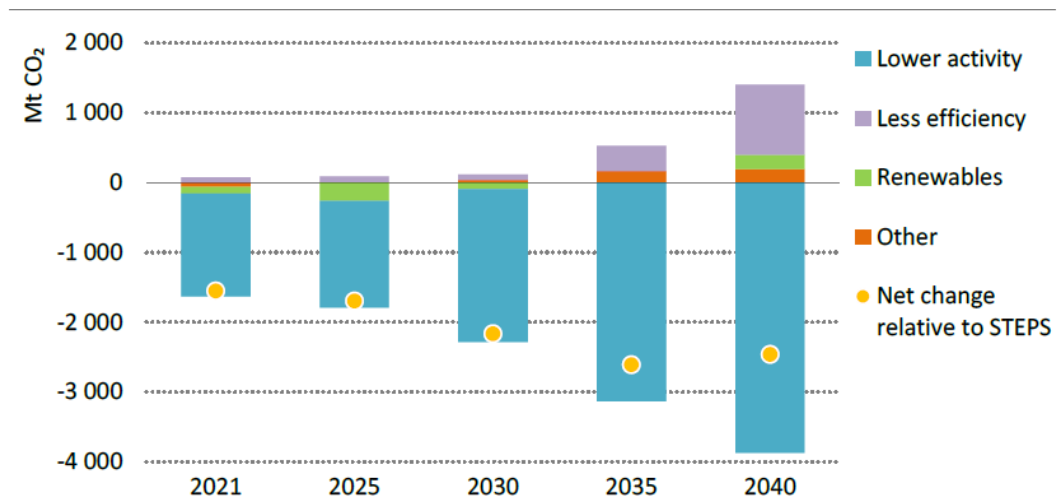
圖 69、延遲復甦情境對能源效率影響

(九) 延遲復甦情境對碳排放影響

在延遲復甦情境下 GDP 大幅衰退，2020 年 CO₂ 排放將低於政策情境(STEPS)與永續發展情境(SDS)，並在 2022 年回逐漸回到 2020 年排放水準。其中運輸部門將有更多排放，持續增加到 2025 年(相關排放量將比 2020 年高 0.6Gt)，運輸部門排放將維持此水準至 2030 年，爾後再逐步回到 2019 年水準。另一方面電力部門在 2019 至 2030 年減少 15%排放，主要是減少燃煤與燃氣發電占比。

在 2025 年延遲復甦情境排放將比政策情境低 1.7Gt，2030 年將低 2Gt。主要是低迷經濟活動減少能源需求，而非能源效率提升等結構性改善。相關估計政策情境與延遲復甦情境間，每公噸減量成本將高達 6,000 美元。

延遲復甦情境將大幅減少能源效率與再生能源投資。在未來 20 年延遲復甦情境能源效率緩慢改善，將使得延遲復甦情境 2040 年 CO₂ 排放較政策情境增加 1Gt。延遲復甦也減少再生能源投資，將未來將不利於再生能源發展，其中將逐漸減少碳捕捉、碳捕捉再利用等技術投資。因此即使經濟活動停滯減少整體排放，但對未來能源技術發展仍造成相當程度不確定性，影響中長期減碳成效。



資料來源：IEA(2020)

圖 70、延遲復甦情境對碳排放影響