

IEA 能源效率 2021 報告

(Energy Efficiency 2021)

2021 年 12 月 9 日

摘要

一、能源密集度改善幅度需要提升兩倍

過去 5 年全球平均能源密集度改善率為 1.3%，相較 2011-2016 年改善率 2.3% 的表現下滑。在 COVID-19 的影響後，IEA 預期 2021 年改善率可回復至 1.9%，但仍遠低於達到淨零排放目標下，2020-2030 間所需達成的能源密集度每年下降幅度 4%。

二、政府政策有助於增加建築物部門的能源效率投資

政府政策鼓勵能源效率投資，2021 年總投資額接近 3,000 億美元，若要達到淨零排放目標，至 2030 年在能源效率的投資額需增加 2 倍。政府推動能源效率改善對策與經濟振興計畫，帶動建築部門投資。近兩年建築部門能源效率投資達到高峰，2020 年歐洲建築物部門能源效率投資達到 1,800 億美元，預計在 2021 年更增加達 1,900 億美元。

三、2021-2023 年，全球能源效率投資金額占永續復甦投資總額的三分之二

IEA 統計指出，2021-2023 年每年投資於潔淨能源與永續復甦計畫金額將達 4,000 億美元。每年 2,600 億美元將用於改善能源效率，如建築物、工業、以及低碳運輸(電動車充電設施、都市交通基礎設施)等。

四、能源效率投資預期額外帶動 400 萬相關就業機會

在淨零情境中，由於增加對於高效率電器、汽車及新建或改造建物等項目的投資支出，可創造新的工作機會，能源效率投資預期額外帶動 400 萬相關就業機會。

五、關注經濟復甦後對於原物料供應端的壓力

2021 年經濟復甦後增加商品需求，推升了原物料價格。因此高效能產品的成本將提高，進而減少能源效率投資誘因。全球經濟復甦也使得建築業對於能源與建材需求增加。如美國 2021 年第 2 季木材價格比 2019 年 1 月高 120%。2021 年 8 月鋼鐵價格比 2019 年 1 月高超過 60%。在某些市場，建築業的工資增加了 13%。

六、能源效率為快速且具成本效益的解決方案之一

淨零情境下，能源效率、電氣化與行為改變等措施，將使 2030 年全球能源密集度較現況改善 35%，使全球經濟相較現況成長 40%情況下，能源使用仍可減少 7%。電力設備不僅能效高且可利用再生能源供電，如熱泵的能效高於化石燃料鍋爐 3~4 倍。行為改變也很重要，包括調整冷、暖氣及熱水溫度設定，運具移轉及增加回收等。

七、能源效率里程碑

淨零情境的達成，涉及與能效相關的 44 個里程碑：(1)至 2030 年期間將以建築節能措施為主。包含 2030 年 20%既有建築達淨零，以及 2025 年禁售燃油與燃煤鍋爐，且燃氣鍋爐需使用氫能或其他低碳燃料。(2)運輸部門包括電動車、充電樁佈建、重型車燃料效率提升等，其中 2035 年需禁售燃油客車。(3)工業部門包括各類製程的能源與材料效率提升。至 2030 年工業部門能源使用將提升 8%，但同時鋼鐵、水泥、化學品等產品產量亦將提升。

八、能源效率標準可協助降低關鍵電器能源消費量

超過 120 個國家針對電器產品制定強制性標準或標章，預計可使主要耗能設備的能源使用減半，對消費者也具節能效益，而加速舊設備的更換是讓強制標準發揮效果的重要手段。

九、節省電力相當於風力及太陽能發電

2018 年在中國、歐洲、美國和日本等 9 個國家中，因設立能效標準和標章所節省的電力消費超過 1.5 兆度電，相當於這些國家當年度風力和太陽能發電總量。2021 年 11 月 IEA 與 COP26 主席團發起 COP26 產品效率行動呼籲(COP26 Product Efficiency Call to Action)，倡議透過能效標準加嚴，提升 4 項關鍵設備(空調、照明、馬達、冰箱，預計占 2030 年全球 40%能源使用)能效翻倍以協助氣候目標達成。

附件、報告各章節重點分析

一、歷史趨勢

(一)能源密集度歷史趨勢

預計 2021 年能源密集度改善幅度為 1.9%。要達成 2050 年淨零排放，需要提升兩倍，達 4.2%。過去 2011-2016 年間，平均能源密集度改善幅度為 2.3%。

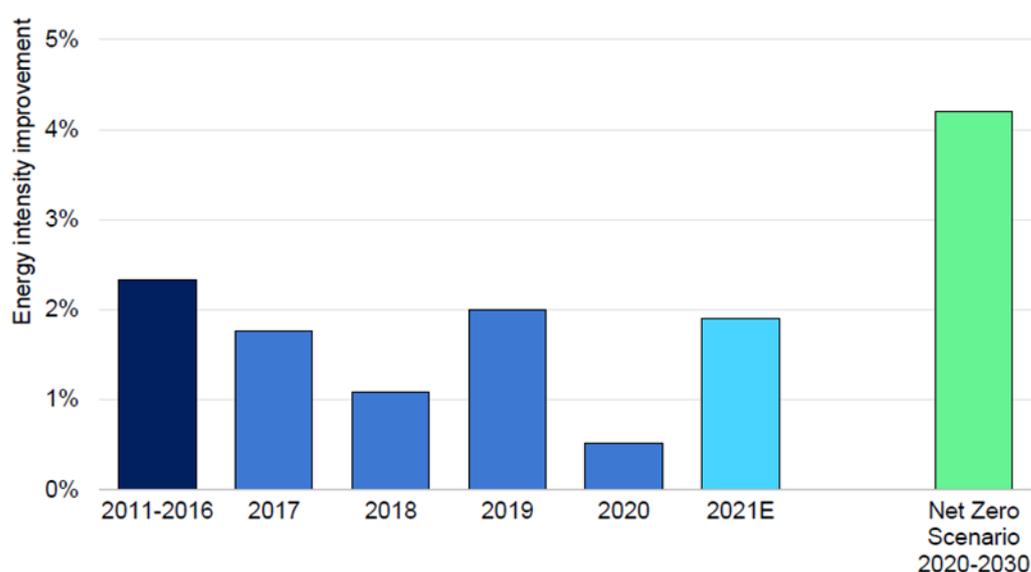


圖 1、2011-2021 年能源密集度改善幅度

2019 年以前能源效率改善幅度已趨緩。主因為經濟結構往高能源密集度產業發展，油品轉為電力使用步調趨緩，以及能源技術改善趨緩。2020 年能源需求減少 4%，並且該年全球 GDP 減少 3.5%，使得該年度能源效率只有提升 0.5%，為近幾年最低。主要原因為高能源密集產業活動增加，能源效率技術改善遲緩，以及低能源價格等因素。隨著各國經濟活動逐步復甦，預計 2021 年全球能源需求將提高 4%。

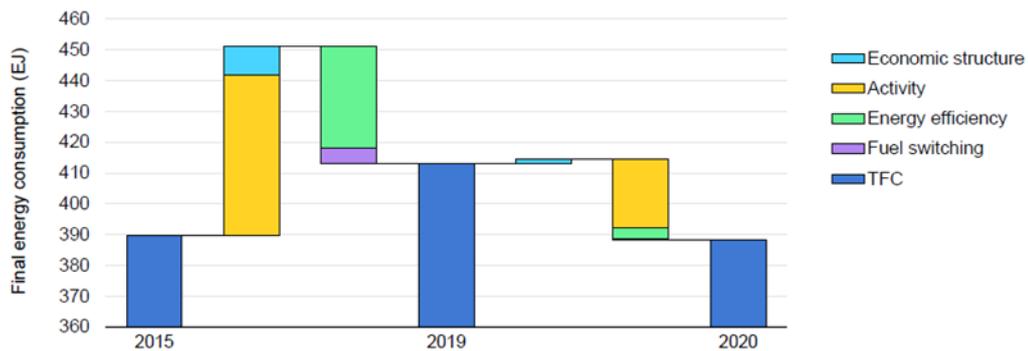


圖 2、2015-2020 年全球總能源消費變化量拆解

2015-2019 年以前全球能源消費年均成長 1.9%，其中運輸部門年成長 2%、建築物部門成長 1.5%、以及工業部門成長 1%。2020 年運輸部門能源消費大幅減少 14%。飛機、火車、以及大眾運輸量大幅減少，也讓運輸部門能源使用效率大幅減少。然而 2020 年電動車銷售量表現良好達到 300 萬台，約占全球銷售量 5%。

為避免 COVID-19 擴散，各種隔離政策大幅影響能源使用效率。使得餐廳、醫院、以及娛樂等服務業經濟活動大幅停擺，經濟活動轉為能源密集產業。而建築物部門能源消費受到影響最小，大約減少 2%。建築物部門可再區分為住宅與服務業部門來看，在 2020 年因居家上班需求增加，美國住宅部門電力需求上升 2%，而服務業部門電力需求減少 6%。2020 年工業能源消費減少 3%。

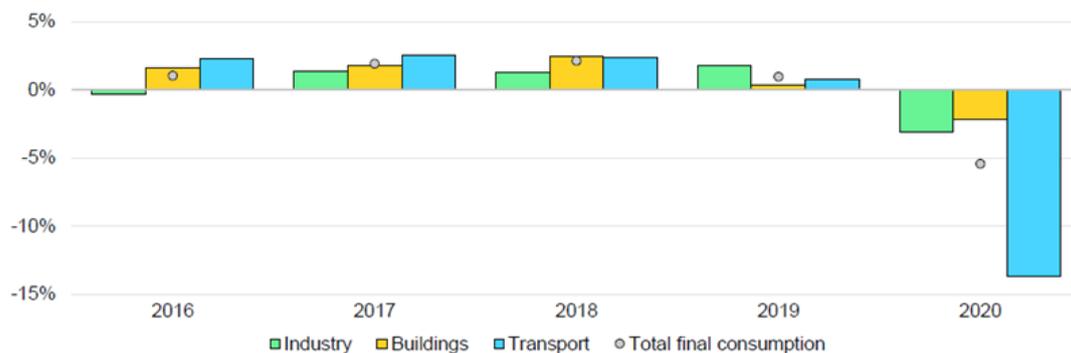


圖 3、2016-2020 年全球部門別能源需求變化率

(二)能源效率與投資

■ 近兩年建築部門能源效率投資達到高峰

政府推動能源效率改善對策與經濟振興計畫，帶動運輸與建築部門投資。即使 COVID-19 帶來重大經濟影響，2020 年全球能源效率投資維持 2,700 億美元，2021 年全球能源投資達 2,900 億美元。其中建築部門投資金額上升彌補運輸部門投資減少。即使建築部門建設在 2020 年萎縮，而 2020 年以前施行的能源效率政策逐步發酵，歐洲建築物能源效率投資卻逆勢成長 11%，達到 1,800 億美元。相較 2019 年，建築物部門能源效率投資預計在 2021 增加 20%，整體投資達 1,900 億美元。而運輸部門 2021 年投資金額比 2019 年減少 9%，能源效率投資金額為 600 億美元。同期間工業部門能源效率投資金額維持 400 億美元。

其他地區的建築能源效率支出呈現減少或成長趨緩。例如美國 2020 年並沒有提供新資金進行能源投資。在亞洲方面，日本、韓國、以及中國建築部門能源效率支出持續增加。而在印度 2020 年建築部門活動減少 15%。

因運具銷售大幅減少，運輸部門 2020 年能源效率投資比 2019 年減少 26%。而中國與歐洲電動車銷售增加。歐洲電動車銷售額度超越中國。

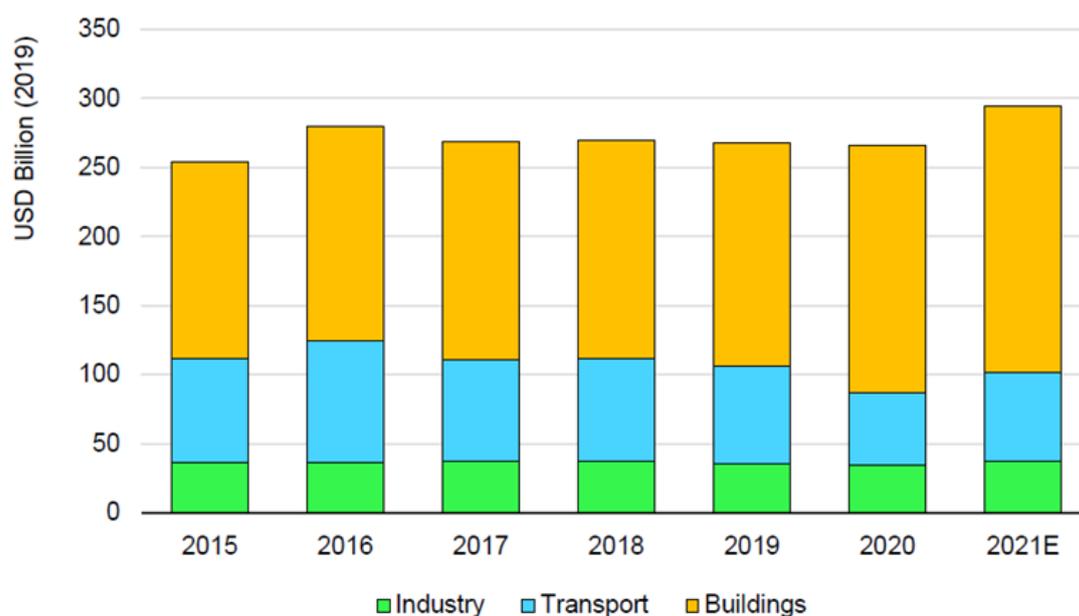


圖 4、2015-2021 年全球部門別能源投資金額

■ 能源效率投資占新能源投資三分之二

IEA 統計指出，2021-2023 年每年投資於潔淨能源與永續復甦計畫金額將達 4,000 億美元。每年 2,600 億美元將用於改善能源效率，如建築物、工業、以及低碳運輸(電動車充電設施、都市交通基礎設施)等。其中公部門能效支出達 700 億美元、而私部門達 1,900 億美元。能源效率投資占新能源投資的 2/3。

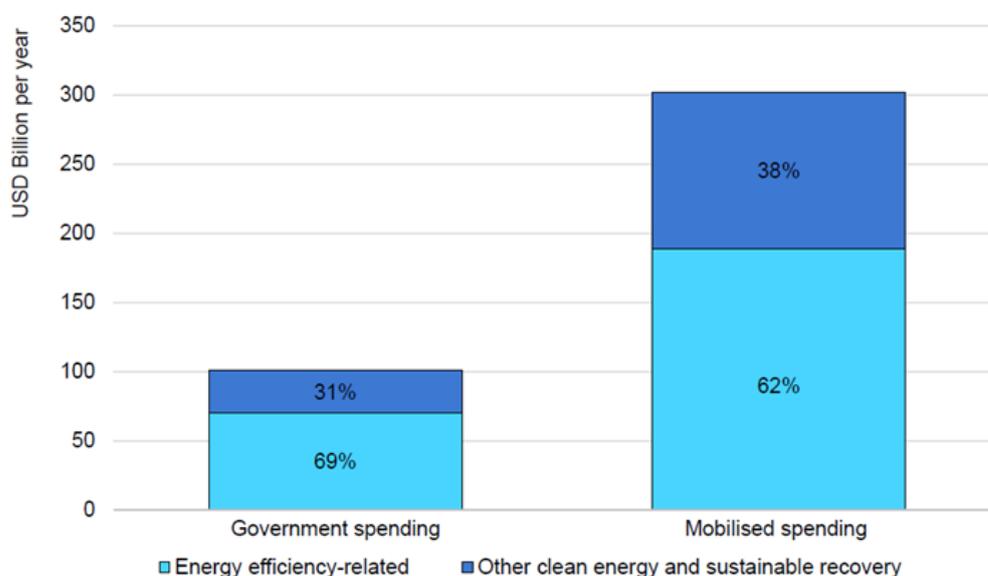


圖 5、2021-2023 年能源效率投資與其他潔淨能源振興計畫投資

依 2021 年 10 月政府支出規劃，2021-2023 年政府能源效率支出大約為 3,100-3,150 億美元。其中 55%用於運輸、建築物占 30%、工業部門占 10%、以及能源效率相關支出占 5%。

政府大約花費 1,700 至 1,750 億美元改善運輸部門能效。其中低碳與提高能源效率、以及基礎建設大約占 2/5。軌道運輸以及大眾運輸將占整體投資金額一半左右。大約 950 億美元用於建築物與設備能效改善，以及建築物翻新。

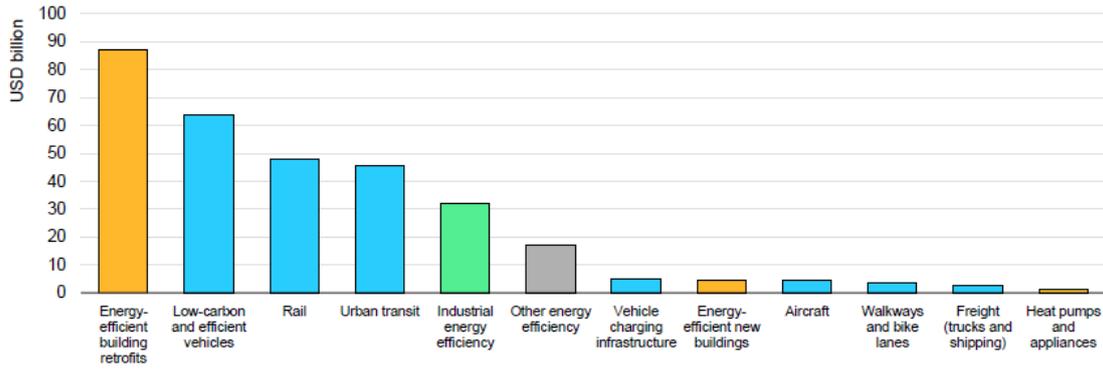


圖 6、2021 年到未來與能源效率有關政府投資

■ 政府支持運輸與工業部門能源效率研發投資

公營企業近年大幅增加能源效率研發投入。其中 2020 年投資達 55 億美元，與 2015 年相比增加 2/3，相較 2000 年相比增加 3 倍。主要進行運輸與工業部門投資。2020 年政府對能源研發投資占能源效率支出的 27%。

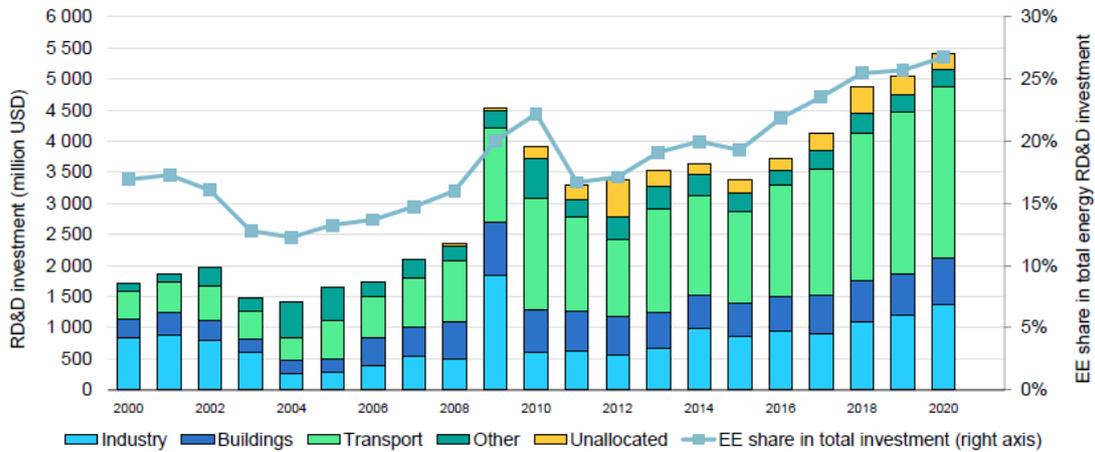


圖 7、2000-2020 年 IEA 會員國政府能源效率研發支出

■ 中國能源服務公司快速成立

能源服務公司(energy service companies, ESCOs)提供企業能源供給與需求面建議。ESCO 提供消費者評估工具、融資、以及計畫執行建議。透過建議減少企業能源支出負擔，與加速商業融資可行性。

ESCO 市場規模在 2020 年成長 6%，達 330 億美元。主要是中國 ESCO 企業成長 12%。其他如美國、歐洲、以及新興國家的 ESCO 市場維持現狀或萎縮，主要是 COVID-19 所帶來經濟活動遲緩。

中國 ESCO 聯盟表示，ESCO 已轉為線上服務，以維繫客戶的需求。2020 年主要利用智慧工具與技術，提高客戶的商業模式效率。除此之外，中國政府也提供 ESCO 的租稅減免政策，以提供發展誘因。

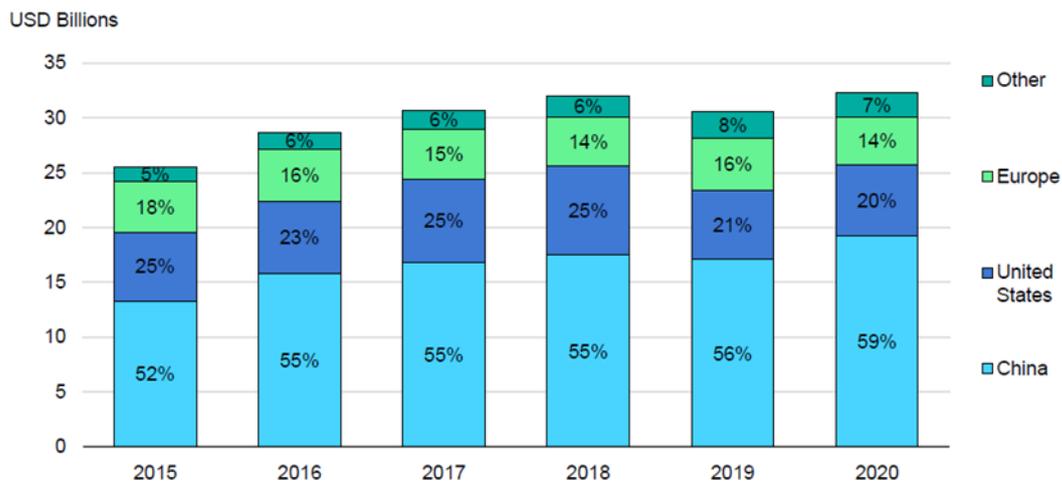


圖 8、2015-2020 年 ESCO 市場規模

(三)政策面

■ 歐盟 Fit for 55 計畫

歐盟執委會於 2021 年 7 月 14 日公布一系列有關再生能源、能源效率、交通運輸、財稅政策、碳交易機制等議題的立法修法提案。提案目的是希望整體制度能更加有助於《歐盟氣候法》(European Climate Law) 中所設定減碳目標達成，於 2030 年減少相當於 1990 年 55% 的排碳量，故被稱為「Fit for 55」。其中，包含修改能源效率指令(Energy Efficiency Directive)，相對 2007 年，目標設定 2030 年最終能源消費減少 36%，初級能源消費下降 39%。2024 年到 2030 年，歐盟成員國的能源使用量平均每年要降低 1.5%，是目前 0.8% 的 2 倍 (能源密集度平均每年下降 3.2%)。並要求每年翻新公部門建物至少 3%，與高比例使用再生能源。

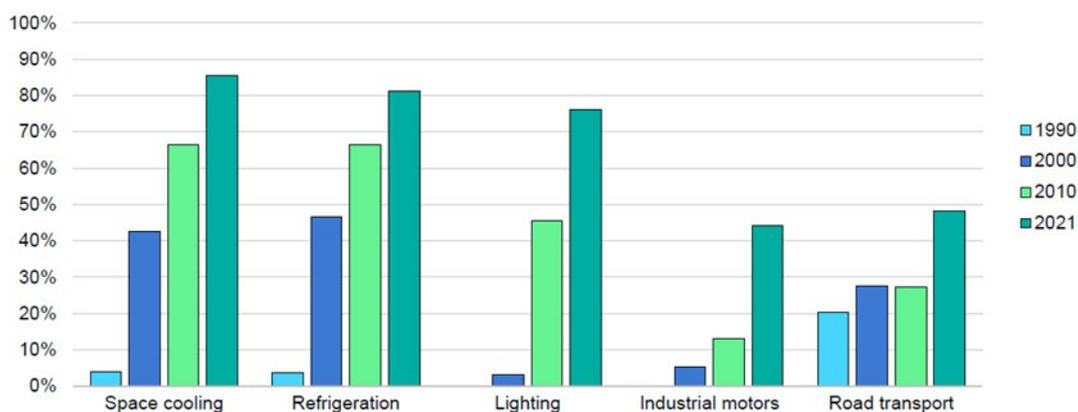
■ 能效標準與能效標章是能源效率政策的基石

意識到能效標準與能效標章有龐大的節能潛力，百餘國已實施強制性的能源效率標準/或能效標章，包括對冷氣機、冰箱、燈具、工業馬達及小客車。但在家電器具快速增加的國家地區，相關政策仍不足，目前有 20 餘國(主要位於亞洲和東南非)正在發展或擴充其能效管制範圍。

目前在商業、住宅與工業部門使用的 100 多種用電器具與設備，都有其適用的能效標準與能效標章。然而，全球相關政策對產品的覆蓋率仍偏低。舉例來說，僅 40-50 國對洗衣機、洗碗機或電視實施最低容許耗用能源基準(Minimum energy performance standard, MEPS)。提高覆蓋率將能進一步驅動能效貢獻。而透過國際合作，有經驗的已開發國家可以幫助新興或開發中國家採取最佳的能效措施。

根據過去幾十年的經驗，如果能效標準與能效標章能適時依技術進步更新，將對能源消費的抑低有顯著效果。例如，近期歐盟更新了一系列產品的能效標章分級制度(A 到 G 級)，並導入 QR code，方便消費者可透過智慧型手機鏈結到歐盟的能效標章產品登記處(European Product Registry for Energy Labelling)。

Global energy use coverage of mandatory standards or comparative labels for key end uses, 1990-2021



IEA. All rights reserved.

Note: Coverage for space cooling, refrigeration and lighting is shown for residential sectors.
Source: IEA analysis based on [CLASP Policy Resource Center](#) and other sources.

圖 9、全球主要耗能設備與器具的能效標準與能效標章的覆蓋率(1990-2021 年)

(1)冷氣機(Space cooling)

全球強制性的冷氣機能效標準覆蓋率，相較 2010 年的 67%，已經提升到 85%。目前有 20 餘國正在制定冷氣機 MEPS。另外，澳洲、巴西、中國和印度最近在強化標準和標章。印度在 2020 年在小型商用冷氣機導入自願性的能效標章。迄今，採用 MEPS 的國家有 83 國、能效標章有 75 國。

印度的能源效率服務公司(Energy Efficiency Services Ltd)最近在執行一個超級冷氣機計畫(Super-efficient Air Conditioning programme)，目的在提供大量採購服務，以可負擔的價格，讓一般民眾購買比能效標章 5 級效率高出 20%的冷氣機。目前該公司已批量購買 5 萬台冷氣機，安裝實績超過 1 萬台。

(2)冷藏(Refrigeration)

家用冰箱的能效標準與能效標章的覆蓋率近幾年維持穩定。實施相關節能政策的 76 國大約涵蓋全球 80%的冰箱用能 (2010 年時約 67%)。配合冰箱技術進步，歐盟在 2021 年 3 月時更新其能效標準與能效標章規範。歐盟新的能效標準比 10 年前提高 75%，新的能效標章讓消費者容易識別能效優良的冰箱產品，以及，新的能效標章也擴充到商用冰箱和自動販售機。

(3)照明

有 89 個國家實施照明能效標準 MEPS，61 國使用能效標章。2010 年照明 MEPS 的全球覆蓋率約 30%，目前覆蓋率超過 75%。歐盟於 2021 年 9 月開始實施新的能效標準與能效標章，規劃下一次更新在 2023 年，屆時將淘汰鹵素燈、傳統日光燈。

(4)建築能效規範(Building codes)

建築能效規範可以明確促使建築物能效改善。該政策可以針對新建築設定最低能效標準，也可以對舊建築的翻新進行提升能效。通常就建築物內的能源使用進行規範，也會對建造(或翻新)過程中的排放進行規範，以達成淨零建築的要求(zero carbon ready standards)。

到 2021 年 11 月底，80 個國家有實施強制性或自願性的建築能效規範。全球約還有 2/3 的國家還未製訂強制性的建築能效規範，也就是 2020 年建造的 30 億平方公尺沒有被強制規範(等於韓國全部的建築存量面積)。

表 1、全球新建築能效規範一覽表

Tracking energy codes for new buildings

Regions	Mandatory	Voluntary	In development	No known code	Total
Africa	4	3	8	39	54
Americas	6	2	12	15	35
Asia	21	6	6	13	46
Europe	35		1	7	43
Oceania	3		3	10	16
Total	69	11	30	84	194

(5)道路運輸(Road transport)

不同於小型器具與工業馬達，比較多國家偏好輕型客車實施能效標章制度(45 國)，相對燃油效率標準(40 國)。然而，2017 年以來，沒有出現新的車輛能效規範。雖然實施燃料效率標準的國家不多，受到燃油效率標準管制的主要汽車市場，已包括近 90% 的輕型客車新車銷量和 80% 的重型車新車銷量。對比重型汽車在 2016 年的覆蓋率僅為 50%，這表示車輛能效已取得重大進展，尤其目前韓國及一些新興國家正在研擬貨車的能效標準。

然而，由於每年車輛舊換新的需求相對小，新規範對車輛庫存(total vehicle stock)的政策效果需要時間。以小客車為例，燃油效率規範覆蓋率從 10 年前的 50%，目前僅上升到 2/3。

燃油效率與標章已比較廣泛地應用在二/三輪機車。例如，越南在 2020 年開始對機車實施標章制度(最早如此做的國家)。中國在 2020 年 7 月開始強制實施燃油效率標準。

一旦實施車輛的燃油效率規範，就有逐步強化的潛力。近年包括中國、日本、韓國、歐盟、以及美國都對輕型客車設定目標。車輛每年需要的燃油效率改善率有從 2.9%(日本)、4%(歐盟)、4.4%(中國)到 5.5%(美國)。但需要注意的是，改善率有計算基準的差異，以燃油效率標準(絕對值)來看，歐盟規範是最嚴格的。

(5)工業電動馬達(Industrial electric motors)

目前強制性能效標準的全球覆蓋率約 40% (10 年前約 15%)。57 國中，有 3/4 的國家在 2010 年代實施最低能效要求。巴基斯坦是第 1 個對二手馬達改造導入能效標準與標章的國家，雖然一開始是自願性參加，2023 年才開始強制要求。

目前僅有 11 國強制性標示能效，目的在鼓勵購買更有效率的馬達，8 個家採用自願性的標章制度。和其他關鍵設備與器具相比，馬達效率規範主要是跟隨國際水準，如國際電工委員會(International Electrotechnical Commission, IEC)公告的 IE1 到 IE4 標準。

目前多數國家都追隨歐盟規範。如中國、哥倫比亞和歐家國家，2021 年下半年後所銷售的馬達，能效至少達到 IE3 標準。2023 年以後，在歐盟、挪威、瑞士、土耳其、以及英國，某些類型的馬達需符合 IE4 標準。

■ 捉住機遇提升工業能源效率

能源管理系統，已在多國被證實可以幫助企業確認應採取何種能效改善技術。然而，在能源管理系統、能源查核機制與馬達能效規範外，工業部門卻少有強制性的能效管理規範。雖然工業部門已經邁出能源效率路上的第一步(指前述措施)，為能提供更清晰與明確的方向，重要的是建立子部門(sub-sector)目標，亦可以結合監管、信息措施和激勵措施的一籃子政策創造促進能源效率的環境

印度的「執行、實現、交易計畫(Perform Achieve Trade Scheme, PAT Scheme)」，則是透過指定能源密集產業的節能憑證(Energy Saving Certificates, ESCerts)交易機制，來達到工業部門能源效率提升之目的。若工廠節能大於目標值，即可獲得節能憑證，而透過超額節能量所產生的可交易憑證，以市場機制達到提升能源效率之目的。PAT 第一期計畫(PAT Cycle-1)(2012-2015)適用產業：電力、鋼鐵、水泥、化肥、造紙、製鋁、紡織及氯鹼業等 8 個能源密集產業，共 478 個能源指定用

戶。第一期計畫節能成效達 5.3%，優於原目標 4.1%。PAT 後續擴大到其他產業，甚至是小用戶。

中國政府的『重點用能單位“百千萬”行動』(China's “100,1 000,10 000” industrial enterprises programme)，主要為強制設定能源密集度改善目標，該項政策於 2006 年導入，更於 2011 年和 2017 年擴大實施，目前仍在早期推動階段。中國的節能政策以具有強制性的指標層層分解到各省、市、縣、區、大企業(被管制的企業主要是生產製造產業)，支持機制包括由能源服務公司來協助改善能效。

■ 能源效率義務規範已覆蓋 1/5 全球能源使用

能源效率義務機制(美國電業節電義務中，稱之為能源效率資源標準)，是基於市場機制，要求能源公司達成能效目標。通常會藉由各樣的政策目標、設計或執行方式，來設定節能目標量。

全球有 24 國使用能源效率義務制度來驅動能效改善，包括歐盟 14 個國家和澳洲、加拿大和美國的地方計畫。這些計畫加起來覆蓋全球近五分之一的能源使用量。執行時間最長的計畫在其生命週期內大幅減少能源消耗。

歐盟 2014 年生效的能效指令(2014 年至 2020 年)導入能效義務的政策工具。然而，歐盟成員國可以選擇替代措施。新修訂的能效指令(2021 年到 2030 年)，在過去經驗上，預設能效義務為政策工具。然而，丹麥在 2021 年將其能效義務替換為基於招標的工業、服務業和建築能效改進計畫。澳洲地方能源效率義務的最新發展包括維多利亞計畫的新目標和新南威爾士州引入的尖峰需求減少計畫。

Countries with energy efficiency obligation schemes, 2000-2021

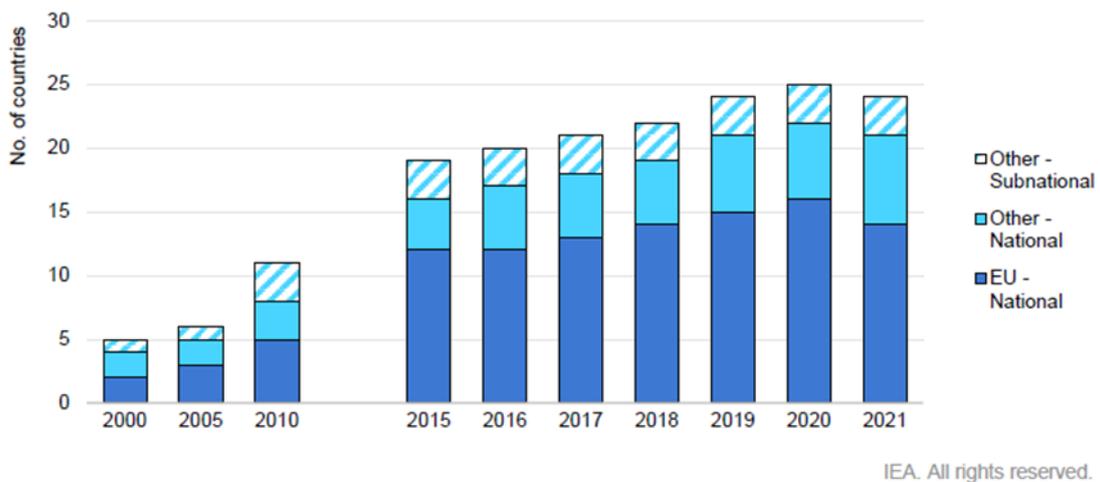


圖 10、全球實施能效義務的國家數(2000-2021 年)

■ 促進能源效率的國際合作

新能源效率中心(New Energy Efficiency Hub)將促成更多的參與。能源效率中心成立於 2019 年，是促進能源效率國際合作的工具。中心秘書處為國際能源署。該中心的成員包括阿根廷、澳洲、巴西、加拿大、中國、丹麥、歐盟、法國、德國、日本、韓國、盧森堡、俄羅斯、沙特阿拉伯、英國和美國。該中心將專注於成員國感興趣的議題、共享數據、研究和最佳實踐的任務組開展工作。2021 年，成立了第一個任務組，包括數位化工作組(Digitalisation Working Group)和前十名任務組(Top Tens Task Group，致力於找尋最佳可用技術和措施)。中心還包括超高效設備和電器布建倡議(Super-Efficient Equipment and Appliance Deployment Initiative)，是潔淨能源部長級會議的一項倡議，由 IEA 協調，這將在推進 COP26 產品效率行動呼籲方面發揮重要作用。

G7 和 G20 國家在支持能源安全和淨零目標方面，強調能源效率和數位化。G7 在 2021 年高峰會上共同承諾到 2050 年實現淨零排放。在高峰會公報中，G7 提到 IEA 的 2050 年淨零排放路徑，並承諾加大在能源效率和其他潔淨能源技術方面的努力。公報中也提到 IEA 超高效設備布建計劃的目標，即 2030 年時市場上銷售的照明、冷卻、製冷和馬達設備的效率將提高一倍。

G20 於今(2021)年首次聯合召開能源轉型和氣候永續性工作組會議(Energy Transitions and Climate Sustainability Working Group Meetings)，表明需要迫切採取行動，加快潔淨能源轉型，以實現淨零排放，同時確保能源安全。

城市是 G20 優先推動主軸。為支持城市加速潔淨能源轉型，IEA 在其特別報告「為淨零未來城市賦能：解開彈性、智慧、可永續的城市能源系統」中，倡議各國政府應通過使用能源效率，並藉由數位化實現更加動態、高效、可靠和永續的電力系統，幫助城市實現減碳潛力。

另一個主要優先主軸是潔淨能源轉型和淨零排放路徑背景下的能源安全。2014 年 G20 布里斯本領袖峰會同意能源合作原則，當時的主席國義大利要求 IEA 研擬潔淨能源轉型下的安全性報告。IEA 於今(2021)年發布該報告(Security of Clean Energy Transitions)，說明安全達成潔淨能源轉型的第一順位能源(first fuel)。該報告強調加速採用高效率技術和措施的重要性，同時說明潔淨能源成功轉型需以人為本。

(四)其他國家趨勢

■ 新興企業能源效率成長可帶動技術發展

既使面對 COVID-19 的威脅，2020 年創投對於潔淨能源投資維持強勁。雖然新興企業能源效率投資相對較小，然而投資仍可推動企業發展新產品與服務，來達成淨零排放路徑。2020 年企業投資能源效率相關技術，例如建築、工業、電力部門、電網、運輸、以及運具電氣化等，投資金額大約成長 7%，達到過去十年新高峰 19 億美元。

新興電力部門大約增加 9 億美元投資。新興建築部門大約吸引 5 億美元投資。而工業部門 2020 年能源效率吸引較少投資，大約 1.25 億美元，然而投資金額較 2019 年增加一倍。而智慧電網與電廠在 2020 年所募集資金低於 2019 年，回到 2017-2018 年水準，約 3 億美元。創投基金集中對新興企業進行能源效率投資。2018-2020 年間，美國企業吸引 50%的融資、歐洲企業占 30%、而中國占 7%。新興企業通常會將營運範疇擴及海外，以擴張企業成長。但時間甚長，也充滿了風險。

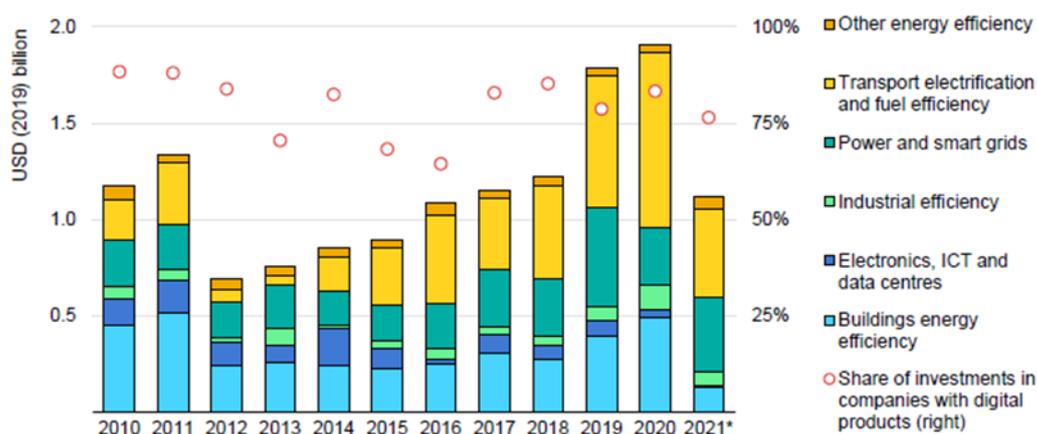


圖 11、2010-2021 年全球創投對新興能源效率與技術投資

■ COVID-19 對於建築部門能源使用影響

隨全球疫情嚴峻，其中限制個人活動以及建築物人員辦公，封鎖隔離政策也造成能源使用改變。居家上班也造成家庭能源需求上升。各地解封政策也存在差異性，即使逐步解封開放辦公室，也可能難以減少住宅部門能源需求。韓國電力需求減少 5%，並減少 11%天然氣需求。西班牙在封鎖隔離政策減少 13.5%電力消費。巴西封鎖隔離政策讓公眾建築物減少 38%能源使用，而小學與幼稚園的能源使用減少 50%。許多勞工也預期未來遠距工作會變成常態，44%英國勞動契約已規定每周在辦公室工作時間低於 3 天。在疫情之前大約 70%的全職人員會在辦公室工作，而疫情發生後降至 43%。大約 1/4 勞工將遠距工作。大約 37%的建築與商業管理階層將重新評估未來是否仍維持建物空間需求。為維持工作環境安全，需更多時間進行環境清潔，以及使用更多能源進行空氣交換與供熱。其他如工作空間隔離與區分工作時段、都可能增加能源使用。

建築通風率也影響 COVID-19 病毒在室內傳染途徑。不同建築物將使用不同方式通風，以及改善空氣流動率來保持空氣流通。高風險與公眾場合需提高通風程度以避免病毒擴散。

■ 電氣化政策提高熱泵設置量

熱泵為未來提高能源效率與汰除化石能源的重要技術。過去 5 年間，熱泵裝置量每年增加 10%，2020 年達到 1.8 億台。在淨零情境下，2030 年將達到 6 億台。

2019 年大約 2,000 萬家戶購買熱泵，主要用於歐洲、北美、以及亞洲寒冷地區作為供熱使用。2020 年歐洲熱泵銷售達到 170 萬台，增加 7%。2020 年德國家庭熱泵使用已超越天然氣。整體歐洲熱泵使用達到 1,486 萬台。

美國住宅型熱泵支出在 2019 年達 165 億美元。在美國熱泵為多戶家庭公寓所常使用的設備。而在 2020 年亞太地區熱泵投資成長 8%。

熱泵家電標準化運用為推廣該技術之關鍵。例如加州建築能源規範將高效率熱泵做為未來銷售標準。未來若沒有裝設熱泵，建築商可能面對更嚴苛能源規範。麻州也認為熱泵為達成高能效水準關鍵因素。西雅圖則限制化石燃料供熱，並改以電氣化取代。

■ 經濟復甦可能抑制能源效率

2021 年經濟復甦強化商品需求，雖提振生產活動，但電子晶圓供應短缺，並提升價格。因此高效能產品的成本將提高，進而減少能源效率投資誘因。面對經濟成長低靡，政府施行低利率與經建計劃以振興經濟。然而可能加速經濟生產壓力，提高物價並減少購買高效率產品誘因。其中對建築部門能效影響最大。例如居家辦公政策減緩建築部門活動。建築部門相關就業人數占整體就業 8%。全球經濟復甦也讓建築業加速建設，對於能源與建材需求增加也提高物價。當投資逐漸增加，須確保能夠維持生產品質，以及能如期執行能效標準。

例如美國森林大火、對住家翻新需求、以及關閉伐木場等原因讓 2021 年第 2 季木材價格比 2019 年 1 月高 120%。高木材價格將被轉嫁至建築業。除此之外 2021 年 8 月鋼鐵價格比 2019 年 1 月價格高 63%。水泥價格也比疫情前提高 7%。相較疫情以前，銅價格也提高 71%，影響電動馬達生產成本。除此之外製造電池原料如鋰、鎳、以及鈷等價格持續飆漲。其中 2021 年 1 月至 2021 年 8 月鋰價格提高 66%、以及鈷價格提高 27%。2020 年 5 月至 2021 年 8 月鎳價格提高 66%。

半導體產品為製造電動車與家電重要元件，但 2020 年後期需求持續飆漲。與前一年相比，2021 年 8 月特定晶片價格提高 50%。供應面短缺造成全球汽車生產減產，預估晶片短缺將使得 2021 年汽車減產 7.7 百萬台，造成 2.1 億美元利潤損失。2020 年的疫情延燒造成運輸成本大幅增加 400%。運輸成本上升大幅增加商品與建築價格，並使得相關建築物資運送遲緩。

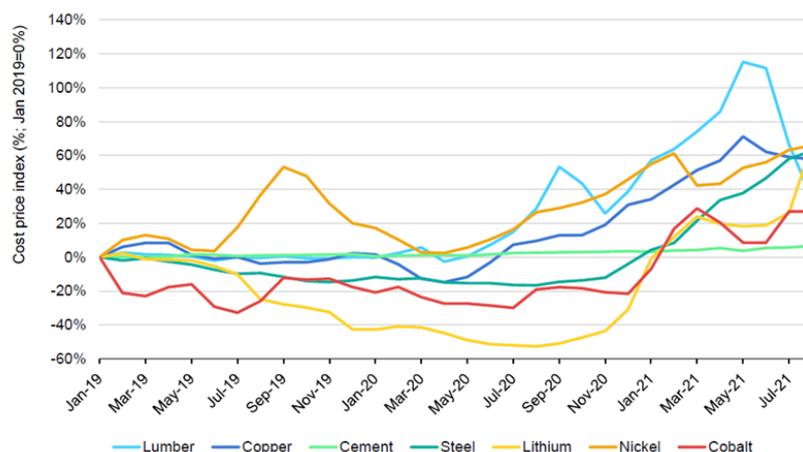


圖 12、2019 年 2 月-2021 年 8 月建築與能源效率設備相關原物料價格趨勢

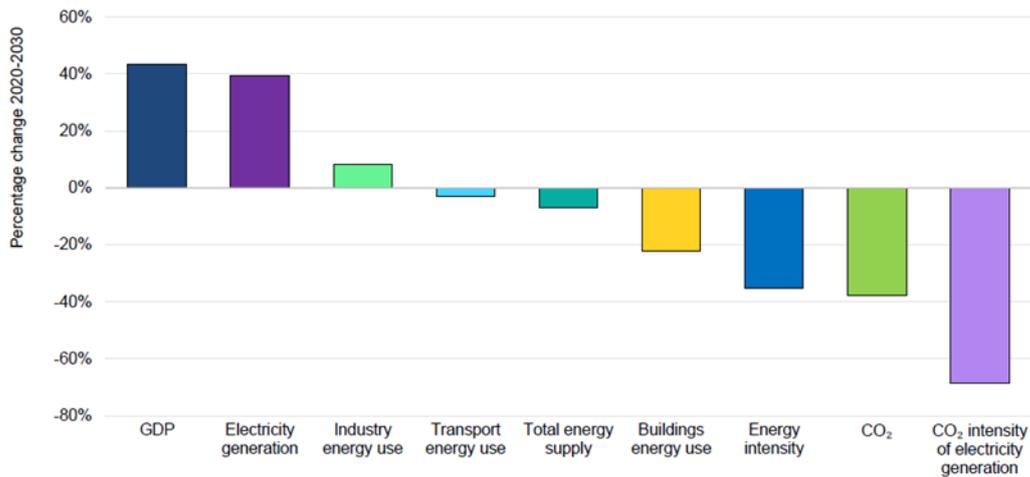
二、能源效率與 2050 淨零排放

(一)能源效率在淨零排放的角色

■ 至 2030 年能源效率提升三分之一

在 IEA 發布的淨零情境，能源效率是能源服務需求(demand for energy services)持續增長下，還可以讓潔淨能源增長更多的關鍵因素。在此情境下，至 2030 年因人口高度增長、收入成長，全球經濟將成長 40%，但初級能源供應卻能減少 7%。

為了在 2030 年達成全球能源效率提升 1/3、初級能源密集度下降 35%，相當於每年需提升 4%，且需要在建築、運輸和工業等領域進行大規模轉型，以提升能源效率。



說明：NZE 為 2050 淨零排放情境

圖 13、NZE 情境的總體經濟與能源指標 (2020-2030 年)

為達到能源效率提升，需啟動數位化、併網技術如智慧電表、智慧家電、智能設備等，對提升電力系統靈活性，以部屬更高的再生能源有至關重要性。

而運輸、建築供暖和工業低溫熱等電氣化也有其重要性，電力設備不僅能效高且可利用再生能源供電，例如，熱泵的能效高於化石燃料鍋爐 3-4 倍，而電動車如使用再生能源電力，以「油井到車輪 (well to wheel)」計算方式，能效更高。

電力部門是目前最大的碳排放源，2020 年電力部門排放量占全球能源相關與工業製程排放的 340 億噸二氧化碳排放量的 41%，而其中約 70%來自燃煤電廠。在淨零情境為滿足最終消費需求，發電量增加近 40%。此情境是建立在發電量大幅提升且最終能源消費緩慢下降的情況下，透過能效提升措施、運輸電氣化、行為改變等，到 2030 年最終能源消費下降 6%。

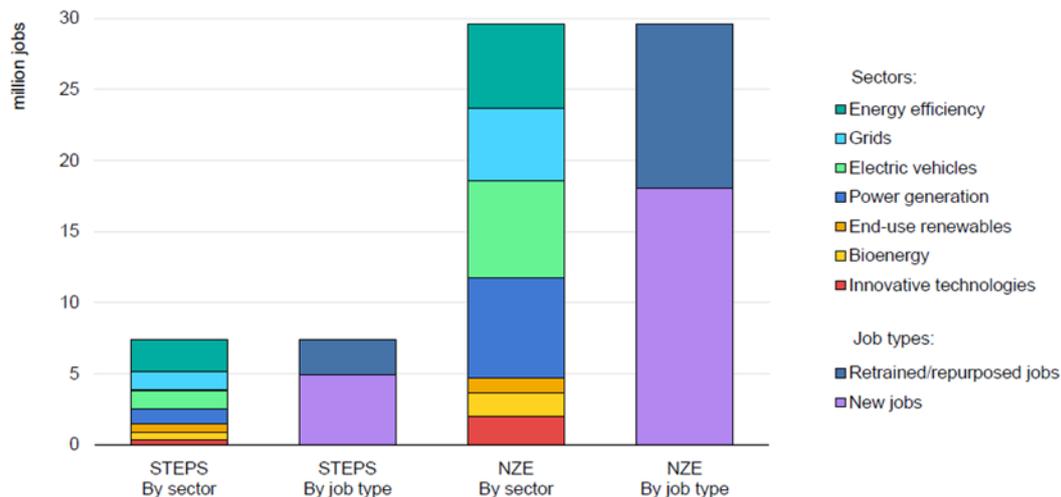
淨零情境納入了建築部門的政策及措施，特別透過符合零碳標準的大規模改造計畫，將能迅速且有效提升建築的能源效率。如此一來，即使至 2030 年全球住宅數量增加 15%、平均樓板面積增加 15%、商業大樓增加 18%，建築部門最終能源消費總量仍可下降 22%。

在運輸方面，儘管旅遊相關車輛延人公里數增加 11%、航空延人公里數增加 26%，卡車及船舶運輸延噸公里數分別增加 48%及 43%，然而透過能源效率、電氣化、行為改變等措施，至 2030 年最終能源消費仍能下降 3%。

在淨零情境下，2030 年工業能源消費量上升約 8%。即便如此，在材料和能源效率的貢獻下，2030 年仍可較 2020 年多生產 9%的鋼鐵、21%的石化產品、5%的水泥。若沒有能源效率、電氣化、行為改變的貢獻，至 2030 年，最終能源消費總量將高出 30%左右。

■ 強化能源效率支出至 2030 年可創造近 600 萬個工作機會

在淨零情境中，增加對於高效率電器、汽車及新建或改造建物等項目的投資支出，可創造新的工作機會。考量目前實施中或已宣布的政策，到 2030 年能源效率將提供超過 200 萬個額外工作機會，超過任何潔淨能源技術，若在淨零情境中，其就業機會幾乎高於其他技術 3 倍，創造了近 600 萬個就業機會。



說明：NZE 為 2050 淨零排放情境，STEPS(Stated Policies Scenario)為既定政策情境。

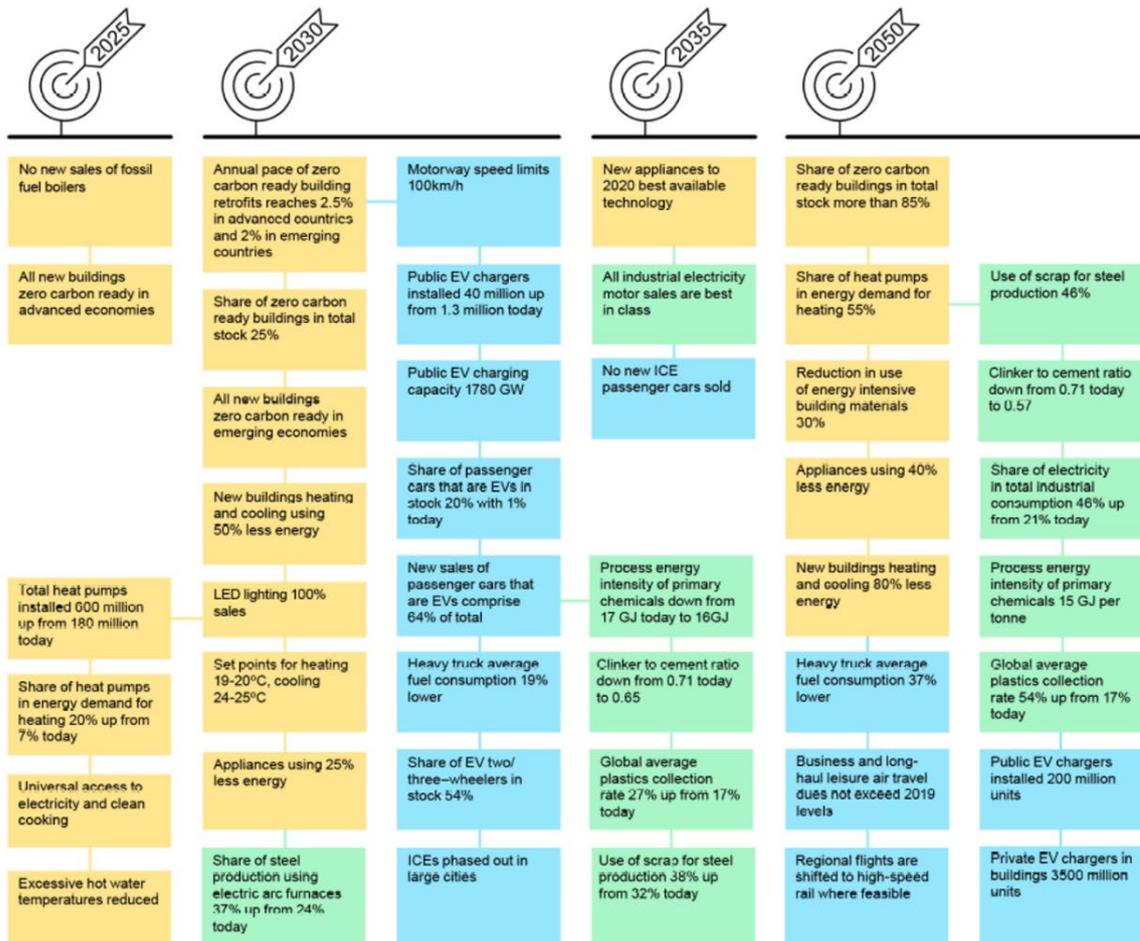
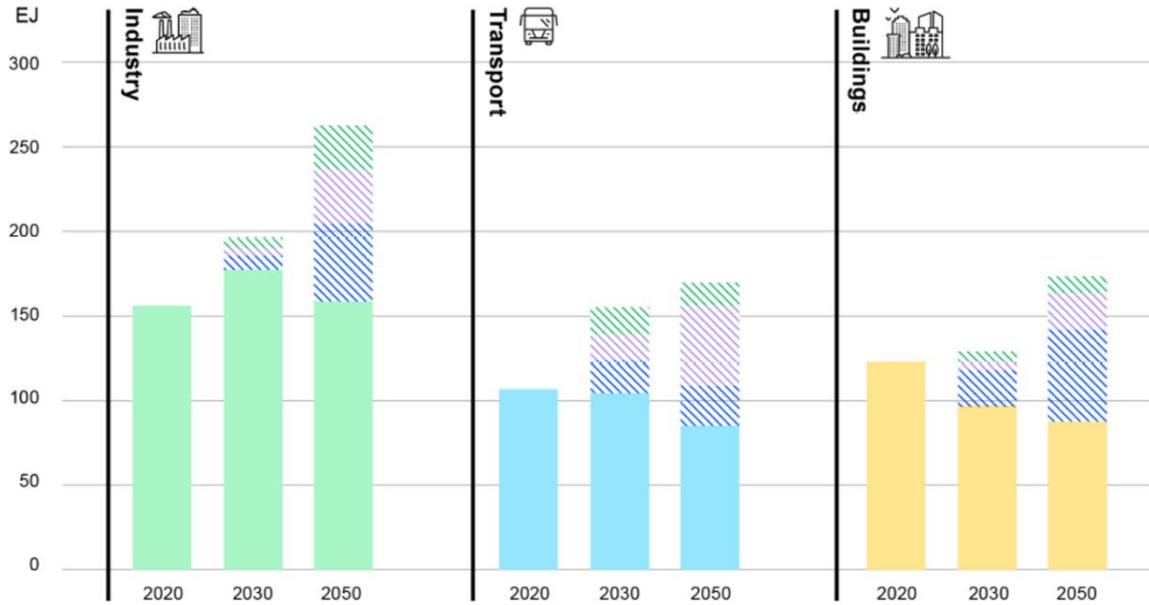
圖 14、NZE 及 STEPS 情境潔淨能源及相關新型態工作 (2030 年)

多數工作是需要運用既有建築及製造業中的技術勞工，然而，為滿足新建築及製造所需，需要擴大勞動力參與來應對更繁雜的工作任務，例如安裝熱泵而非傳統鍋爐，可能就需要一些特定的培訓，政府可透過支持培訓或贊助能源效率計畫，提供勞工獲得再培訓來提升技能的機會。

■ 確立超過 40 個能源效率里程碑

淨零情境涉及超過 40 個能源效率里程碑，其中包含可立即投入並快速擴大規模的技術成熟解決方案，未來十年，約 80% 的額外能源效率將能降低消費者的能源使用成本，有助於緩解能源價格波動帶來的影響，正因如此，能源效率被提前納入淨零情境政策組合中。

在淨零情境中，透過能源效率及相關措施來降低能源需求，完全符合聯合國政府間氣候變遷專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)的情境，這個情境在 IPCC 《全球暖化 1.5°C 特別報告》(Global Warming of 1.5°C)中提到，至少有 50% 的機會控制全球平均氣溫在 2100 年上升在 1.5°C 內，並在 2050 年實現能源部門和工業製程淨零排放。2050 年 IPCC 情境中最終能源消費總量介於 300 EJ 到 550 EJ，2020 年約為 410 EJ，淨零情境預測 2050 年的最終能源消費量為 340 EJ。然而，政府仍能在能源效率低於淨零情境預估狀況下實現氣候目標，但則需要確保更廣泛部署其他更昂貴的潔淨能源作為解決方案。



Key

- Demand avoided due to efficiency
- Demand avoided due to electrification
- Demand avoided due to behaviour

圖 15、淨零情境能源效率里程碑 (2020-2050 年)

(二)電器用品

■ 能源效率標準可協助減半關鍵電器能源消費量

電力是目前能源類別中最大二氧化碳排放源，佔 2020 年全球能源相關與工業製程排放 340 億噸碳排放量的 41%。在 2021 年，全球電力需求增加近 5%，電力部門碳排放量增加 3.5%，其中因化石燃料不斷增加導致電力部門碳排放量不斷上升，也意味著再生能源供應無法支應電力增長速度。

超過 40%的電力用於工業馬達系統、空調、冷凍冷藏(冰箱)、照明等 4 項終端應用，這 4 項每年也造成超過 50 億噸的碳排放量—相當於美國目前碳排放總量，這也突顯能源效率標準與標章對於減緩電力需求增長，以及以再生能源取代化石燃料的重要性，不僅僅只是一昧的滿足更高的電力需求。

隨著全球愈來愈富足、更都市化、人口更稠密，電器用品使用量不斷提升，如在可負擔的情況下會有愈來愈多新興經濟體增加對於空調的需求，預估 2020-2050 年間可能會增加兩倍。

長期以來電器用品相關能源效率政策已讓冰箱、空調、照明、電視、洗衣機等常用電器的能源使用減半，另外也導致這些電器用品價格每年平均下降 2-3%，顯示更嚴格的政策制定在減少碳排放量的同時也使消費者受益，例如美國能效標準與標章計畫，在 2020 年約節省了 400 億美元的燃料，並每年平均減少 320 美元的家庭燃料費用。

最低容許耗用能源基準(MEPS)為市場上銷售的特定產品設定能源效率門檻，同時能效標章可以幫助消費者選擇更高效率的產品。在淨零情境下，2025 年已開發經濟體市面上銷售的電器、空調約有 80%已使用當今最好的技術，新興經濟體則在 2030 年達到這個里程碑。

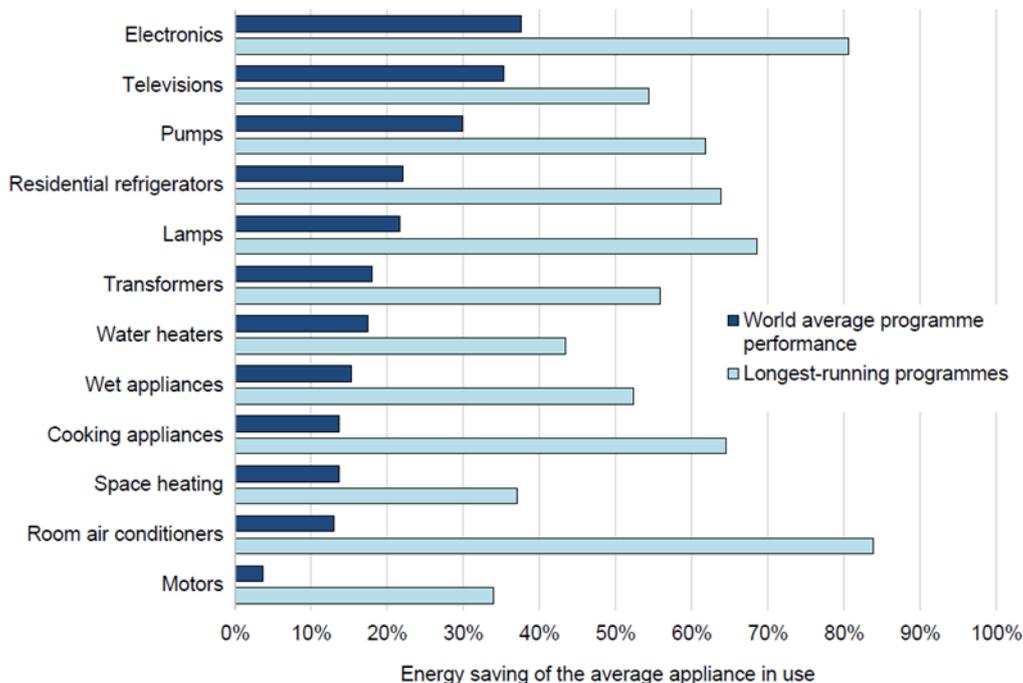
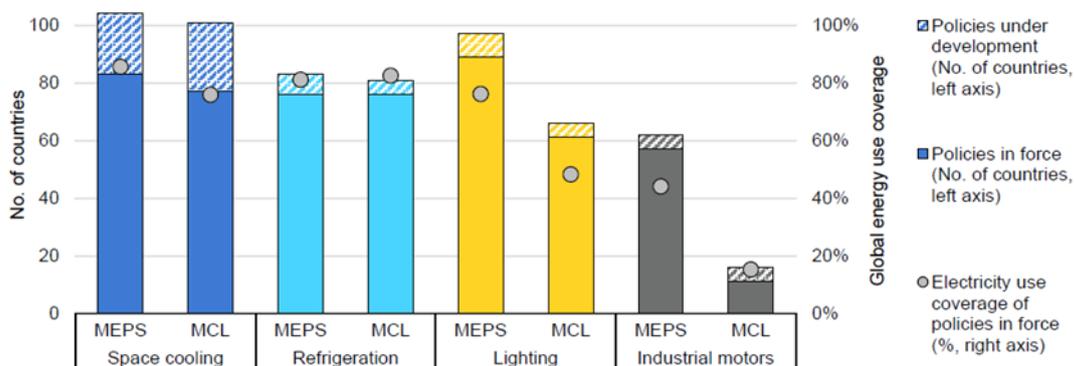


圖 16、能源效率標準與標章節能量

幾十年來，能效標準和標章計畫一直是許多國家能源效率政策的基石，目前有 100 多個國家針對空調、冷凍冷藏(冰箱)、照明或工業馬達採取強制性能效標準或標章，另有 20 個國家正在制定相關計畫，但在工業馬達有設立最低能源效率標準仍屬少數，例如，目前全球 80% 以上的空調和冰箱被納入最低能效標準，而不到一半的工業馬達有納入相關準則。



說明：Minimum energy performance standard, MEPS 最低容許耗用能源基準；Mandatory Comparative Label, MCL 強制性標章

圖 17、全球最低容許耗用基準與強制性標章適用範圍

■ 節省電力相當於風力及太陽能發電

如果設計及施行得宜，能效標準和標章計畫能以具成本效益的方式提高效率，IEA 與 4E 技術合作計畫(4E Technology Collaboration Programme)近期一項評估顯示，在 2018 年，在包括中國、歐洲、美國和日本等 9 個國家中，因設立能效標準和標章節省超過 1.5 兆度電，相當於這些國家當年度風力和太陽能發電總量。

因為這些產品佔總用電量極高比例，其能效當然也影響了電力需求，實施最低容許耗用能源基準時間最久的國家，每年節省的電力約占總耗電量的 15%，並減少國家能源相關碳排放量 7-10%。隨著舊且效率低的設備逐漸替換成符合能效標準的設備，每年可節省下來的數量會持續增加。

如果所有國家都能達成前述的 15%，那麼在 2020 年就可以將目前的電力消耗減少到每年 3.5 兆度電左右，相當約中國目前的總電力消費量的一半。

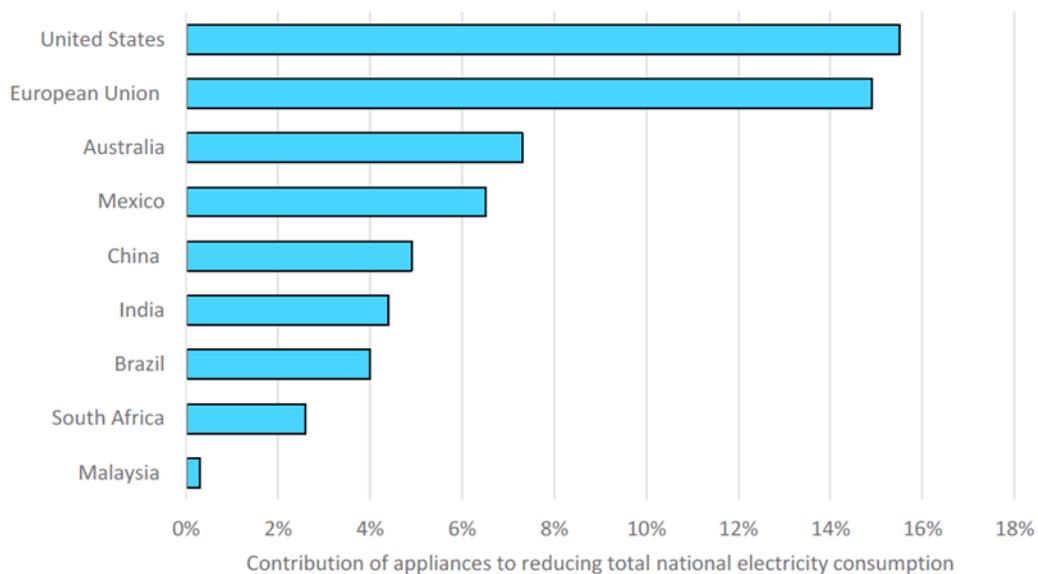


圖 18、各國/地區實施能效標準及標章的影響(2018)

■ 各國正攜手實現理想目標

超高效設備和器具部署計畫(Super-efficient Equipment and Appliance Deployment, SEAD)由 20 多個國家政府、國際能源總署和其他組織合作，為加速強化能源效率的設計與措施，特別是照明、工業馬達系統、空調和冷凍冷藏(冰箱)。SEAD 正與成員國及合作夥伴，透過知識與技術分享，來改善政策並促進對於高能效重要性的認知。

2021 年 11 月，IEA 和 COP26 主席國發起 COP26 產品效率行動呼籲(COP26 Product Efficiency Call to Action)，倡議透過能效標準加嚴，並幫助各國以更快、更簡易和更低成本的方式來達成目標。另 G7 國家在 2021 年於英國康瓦爾(Cornwall)所舉辦的領袖峰會表示對行動呼籲表示歡迎，行動呼籲的目標是：

- (1) 讓各國統一在 2030 年前將全球銷售的關鍵產品，包含工業馬達系統、照明、家用空調、冷凍冷藏(冰箱)等效率提高一倍。
- (2) 支持實現國家氣候變遷目標。
- (3) 為消費者和企業提供更高能效且具有成本效益的產品。
- (4) 刺激創新，為企業提供出口機會。
- (5) 促進減少冷凍冷藏(冰箱)設備中製冷劑的使用，使產品既節能又環保。

IEA 正在開發一個簡單的政策工具工具：能源績效階梯(energy performance ladder)，以幫助各國提高家電能效政策的雄心，階梯將不同的電器能效標準統一。SEAD 成員國鼓勵與支持運用階梯工具，以提升能效目標，該倡議旨在促進新的數位工具及商業模式來提升關鍵設備的能源效率，並擴大其影響力，帶動更多節能。

(三)建築

■ 至 2030 年建築能源效率可更大幅度的降低能源消費量

在淨零情境中，預計在 2020-2050 年間，全球每週增加的建築面積相當於巴黎的面積，其中 80%是源自於新興與開發中經濟體。因已開發經濟體的既有建築物數量較多，對於新建築的需求較低，預計至 2050 年既有建築仍還有一半的數量。

在此情境中，建築改造達「準零碳」(zero carbon ready)標準—即不需對建築或設備做改變即可在 2050 年達到完全零碳化—至 2030 年已開發經濟體達成建物改造速度每年需達 2.5%、開發中經濟體則每年 2%。此外，這個情境另有一個里程碑，即 2030 年後的新建築皆為準零碳建築。建築能效規範(Building codes)是達成目標的重點政策，然而目前全球僅 5%的建築符合這個標準。

根據案例分析，從宣布目標到訂定並實施相關建築能源法規需要 6 到 22 年。這表示，要訂定在 2030 年生效的零碳建築法規，包含政策、工具和能效建築措施，只剩 1 到 3 年的緩衝時間。另外也需要更新現有建築法規，大約也需要 2 至 5 年不等。如果是沒有強制性建築能源法規的國家面臨更大挑戰，不僅需制定法規，還需建立相關工具、培訓等系統，另建置建築與營造的材料供應鏈。

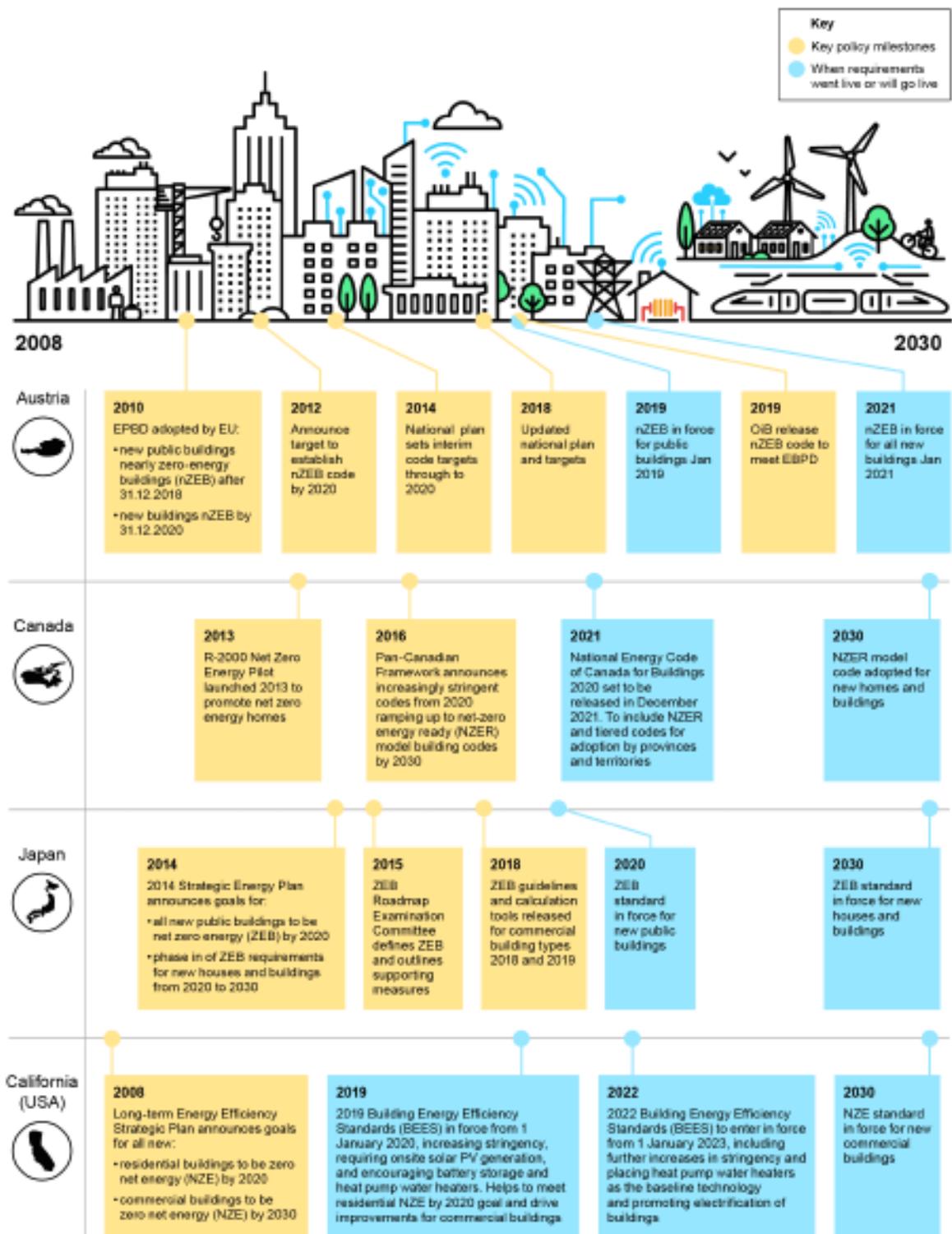


圖 19、零碳建築法規立法時間軸

■ 透過熱泵達成電氣化

提高建築效率和零碳化最重要路徑之一是將熱水與供暖從原來使用化石燃料鍋爐轉為使用電力，熱泵、電熱器及電熱鍋爐有些國家已在使用，但通常比用天然氣還昂貴。在淨零情境中，熱泵是讓供暖電氣化的關鍵技術，預估至 2030 年每月平均銷售量超過 300 萬台，目前約 160 萬台。

英國計畫逐步取消燃氣鍋爐銷售，作為實現準零碳建築的基準，包括法國在內的許多歐盟國家，將在未來幾年正式施行，如愛爾蘭自 2022 年起將禁止在新建築中安裝燃油鍋爐，自 2025 年起禁止安裝燃氣鍋爐。而這種政策在獲得許多國家支持，在 Covid-19 復甦計畫中納入建築改造時應該遵守的規範。

荷蘭已推出至 2030 年部署 200 萬台熱泵的計畫，並自 2024 年以補貼的方式鼓勵每年安裝 10 萬台熱泵，2020 年挪威透過 ENOVA 計畫向超過 2,300 戶家庭發放補貼，補助重點於增加區域供暖系統的高溫熱泵。

為了支持熱泵使用，重要考慮因素是透過升級絕緣材料和氣密窗來確保建築結構，以提升其供暖效果，避免不必要的擴大熱泵系統裝置量，也能減少能源需求，並降低一開始需要投入的初期投資成本。而部署熱泵的有效政策包括透過政府獎勵、能源定價及零碳建築標準等，並管制化石燃料供熱系統安裝等。

建築使用行為改變在達成 2050 淨零情境的里程碑中也有很大的作用，包括調低暖氣溫度設定改為 19-20°C，調高冷氣溫度設定改為 24-25°C，熱水溫度設定為 10°C，這些措施有助於在 2030 年之前減少近 2.5 億噸的碳排放量。在淨零情境中提到轉變為零碳建築將帶來許多好處，加強絕緣玻璃、防風、通風等，可使建築提高舒適度，對於溫度、濕度、噪音及空氣品質都有很大的改善，例如在學校，每改善 100lux 的照明就能提高學習效果 2.9%，每提低 1°C(28°C以上)，就能提高 2.3%。在醫療環境方面，醫院及護理室翻新並升級能源效率，將有助於減少平均住院時間 11%。

■ 降低新興經濟體投資成本促進取得潔淨能源與增加能源效率

在新興與開發中經濟體，預計到 2050 年將增加近 20 億人口。同時到 2020 年，全球仍有約 7.9 億人無電可用，其中大部分人生活在撒哈拉以南的非洲和開發中的亞洲，約 26 億人無法獲得潔淨的烹飪方式，例如電鍋。

為了達到淨零情境，許多新興國家需要克服投資問題，而這些國家也往往更依賴公共資源來提升能源效率和促進獲取能源的項目與資金。新興與開發中經濟體的融資成本明顯高於已開發經濟體，名目融資成本高於美國或歐洲的七倍，舉債融資成為發展潔淨能源與永續發展目標的阻礙。

營造業通常由中小型企業組成，特別在新興國家有融資及成本上的限制，對需要租賃設備的用戶而言，新的高效率設備前期投資成本是一個重大阻礙，此外，已開發經濟體公用事業部門以帳單上的融資等付款方式(on-bill financing schemes)也不太適用於新興經濟體。

印度在 2017 年更新《節能建築法規》，逐步成為全國強制性法規。自更新以來，新的商業建築能源密集度下降 7%，住宅建築下降 8%。印度綠建築協會(Indian Green Building council,IGBC)還在 2018 年制定了一個淨零耗能建築分級系統。

在哥倫比亞，2015 年通過得新建築法規和獲得 EDGE(Excellence in Design for Greater Efficiencies)保證，使當地銀行增加可用於綠建築籌集資金的預算，這得到世界銀行集團成員 IFC(International Finance Corporation)成立的 EDGE 認證。當地銀行已發行約 2.6 億美元的綠色債券，用於資助經 EDGE 認證的綠色住宅及商用大樓開發，透過發行綠色債券，也就是投資證券化，銷售給國際投資人，便可將資金引導到需資助的開發計畫。

國際組織的技術和財務支持可以幫助新興與開發中經濟體對其金融和能源系統進行必要的改革，以促進潔淨能源融資。例如，世界銀行自 1998 年以來透過提供資金和技術援助，包括設立貸款擔保計畫，在促進中國能源服務公司上市提供了極大的助益。

2015 年，墨西哥政府與美洲開發銀行 (Inter-American Development Bank)和潔淨技術基金合作推出節能保險(Energy Savings Insurance, ESI)，這是首次使用保險機制解決能源效率問題的計畫。墨西哥政府預計，到 2020 年，ESI 將刺激 190 個能源效率計畫，共計達 2,500 萬美元的投資額。ESI 正在其他 7 個拉丁美洲國家推動示範計畫，包括巴西、哥倫比亞和秘魯。如果在這 7 個國家全面實施，ESI 可以推動高達 1,000 億美元的投資，到 2030 年每年最多可減少 2.34 億二氧化碳排放量。

(四)運輸部門

■ 電氣化速度越來越快，但也必須提升各式車輛的效率

2020 年運輸部門最終能源消費量占總量的 25%，排放量約 70 億噸 CO₂，相較 2019 年降低了 10%。石油使用量佔了其中的九成。公路運輸則佔了整個運輸需求與排放的 75%。

在淨零情境下，2030 年運輸部門能源消費下降 3%，排放量下降 20%。到 2030 年，由於各種運輸方式的效率提高(包括電氣化)以及行為的改變，石油在運輸需求中的占比將下降到 80%左右。

不同的交通方式因為技術成熟度差異，脫碳速度也會不同。到 2040 年二/三輪機車排碳量就幾乎沒有，接著是汽車、廂型車及軌道在 2040 年代晚期也會脫碳。大貨車、船舶及航空運輸的排碳量在 2020 年到 2050 年間大約以每年平均下降 6%，到 2050 年排放量約 5 億噸 CO₂。

即便是淨零情境，到 2030 年仍有 80%的車輛是屬於傳統動力，因此提升內燃機引擎的燃油效率也是非常重要的。雖然目前已經有接近 90%輕型車輛與 80%的重型車輛都在燃油效率標準管制下，不過在淨零情境下會變得更嚴格，也有助於這類車輛朝向電動化發展。

在淨零情境，2030 年以前能源效率在節能上產生了非常重要的作用，占可避免的需求總量(avoided demand)的 50%，其次為電氣化與行為改變，約各占四分之一。在 2030 年之後，電氣化則扮演更重要角色，占可避免的需求總量(avoided demand)的一半左右，能源效率約 40%，行為改變則約 10%。

■ 大型車輛減緩了燃油效率提升幅度

汽車與廂型車的效率提升越來越緩慢，從 2017 到 2019 年全球平均燃料使用只有減少 0.9%，相較於 2010 年到 2015 年的 2.6%，顯得趨緩許多。主要原因為車輛外觀更大、更高，動力更大，像是休旅車。因為車輛重量更重，動力更大的緣故大約抵銷了在美國、歐洲及中國因燃油效率改善所節省燃料的 40%，在印度則是抵銷了 17%。全球休旅車在 2020 年已超過 2.8 億輛，而在 2010 年才不到 5 千萬輛。休旅車在相同里程下，大約比中型汽車平均多使用 20%的能源。

為了達成淨零情境，新輕型車輛的全球燃油消費量在 2030 年要比 2020 年少一半。也就是 2030 年要有一半以上的車輛是電動車，而且占新車銷售的 64%，貨車銷售量的 30%。

可以透過財務或其他措施鼓勵消費者選擇重量輕、小一點的車輛。為了限制休旅車銷售量，像是法國與挪威則是對於重量較重的車輛根據其重量另行課稅。日本則是透過價格與保險稅鼓勵更小型、更輕量的車輛，就是大家熟知的 kei-cars。印尼新的低碳排放車輛計畫在制訂稅率上不在是單純只根據引擎排氣量，也同時考慮到引擎效率和排放。在德國柏林，市政府目前正在考慮向 SUV 車主收取 590 美元以獲得停車許可證，費用比小型汽車多了 5 倍。加拿大溫哥華正在考慮類似的政策。

■ 2035 年淘汰傳統車輛，電動汽車與廂型車目標量要更多

運輸電氣化搭配 2035 年禁售燃油引擎車輛對於淨零情境非常重要。插電油電混合、純電動車及氫能燃料電池車銷售量必須增加，從 2020 年的 1,100 萬輛增加到 2030 年的 3.5 億輛。二/三輪機車的新車銷售量需在 2030 年達到有 85% 是電動車，在新興與開發中國家也是要有同樣的銷售量目標。目前新銷售的二/三輪機車僅有 35% 有受到燃油效率管制，所以讓這些沒有受到管制的車輛納入管制也是重要的政策。其他的效益包括降低空氣污染與噪音。

鼓勵使用電動車的相關政策越來越多。如英國 2030 年新車禁售汽油車，加拿大與歐盟有類似的政策，但時間為 2035 年，與 2050 淨零情境時程一致。為了讓燃油效率標準更完善，有些國家要求汽車製造商需銷售一定數量的電動車。在地化政策也是扮演重要角色，包括充電設備、優先進入該區的優惠，如低排放或零排放區域。

不同動力系統的效率與溫室氣體排放，不能僅僅只從引擎或是排氣量來看。這是因為電動汽車雖然運行效率更高，但使用的電力有可能主要是由化石燃料所產生的。因此，『油井到車輪 (well to wheel)』的分析提供更完整的視角，該分析評估了燃料供應和車輛操作過程中產生的二氧化碳排放。

表 2、平均碳排係數(以 well to wheel 分析)

Powertrain	CO ₂ -eq per kilometre 2019 STEPS	CO ₂ -eq per kilometre 2030 APS
Gasoline internal combustion engine vehicle	205	130
Diesel internal combustion engine vehicle	180	130
Compressed natural gas internal combustion engine vehicle	180	140
Hybrid electric vehicle	135	100
Plug-in hybrid electric vehicle	105	40
Battery-electric vehicle	70	30
Fuel cell electric vehicle	130	40

■ 2035 年大型貨車將成為主要排放源

大型貨車預估至 2035 年之後會變成主要的碳排來源。在淨零情境，燃油引擎大貨車平均燃料使用量至 2030 年會減少 19%，2050 年則減少 37%。對於大貨車來說，能源節省來自於引擎效率提升、油電混合及輕量化。電動貨車即將上市，但是長途貨運路線上缺乏快速充電設施會是區域和長途卡車運輸業務的障礙。

與輕型客車一樣，更嚴格的目標對於實現氣候目標非常重要。在尚未實施相關政策的國家，透過制訂標準、財政和激勵措施的空間也很大。舉例來說，瑞士對於柴油貨車徵收道路稅，導致了燃料電池卡車的發展。在都市中設立零排放或低排放區域亦可達成鼓勵零排放貨車的發展。

■ 軌道與行為改變亦可有所作為

軌道運輸是最節能、碳排放最少的運輸方式之一，通過運具替代可顯著節約能源。在可行的情況下，淨零情境下航空運輸可由高速鐵路所取代，如法國與澳洲。軌道的電氣化更可以進一步改善效率與脫碳。軌道目前用電占比約 43%，在淨零情境，用電占比到 2030 年要增加到 65%，2050 年要到 96%，另包含部分使用氫能。在印度『electrify everything』已經變成軌道運輸的準則，目前有 71% 或四萬八千公里長度的軌道已電氣化。根據印度政府規劃預計 2023 年底完成電氣化，進一步能降低進口石油製品的依賴、提高能源效率並幫助實現綠色轉型。

在淨零情境下，航空與船舶運輸所排放的 CO₂ 會持續增加到 2020 年代中期，然後才開始減少，但減少速度是比小客車來得慢。與重型車輛一樣，能源效率改善措施在中短期是比較重要的。由於疫情影響，航空的碳排在 2020 年約減少三分之一，僅 6 億噸 CO₂，大約與 1997 年排放量差不多。航空運輸提昇效率的措施可以當航空業復甦時讓能源消費量降低。其中包括機身與引擎的燃油效率技術及空中交通管理等營運措施改進。船運的效率提昇方式有慢速航行與風力輔助技術。船運排碳量約占運輸部門總量的 12%，約全球能源相關的排放總量 3%。

淨零情境行為改變也是運輸部門脫碳的重要措施，到 2030 年可讓運輸部門減量 12%。行為改變涵蓋各種運具，但也特別強調客運與移轉至低能源密集運具。在已開發國家，行為改變如移轉至大眾運輸、增加車輛共乘將使得道路運輸的延人公里數到 2030 年下降 22%，在新興與開發中國家則是增加 35%。

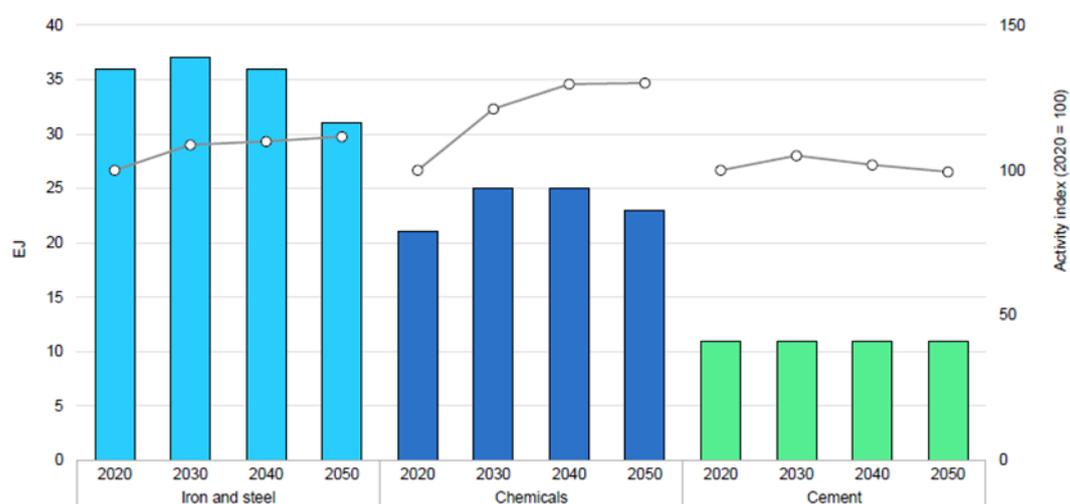
舉例來說，燃油效率可以透過修改速限與採行節能駕駛模式。美國能源部發現因為重型與輕型車輛的原地怠速，造成了 227 億公升的油品浪費。如果可以避免原地怠速，就可以減少 3,000 萬排碳量，就相當於少了 500 萬台汽車在路上移動的效果。紐約市現在禁止車輛暖車。市民可以檢舉與投訴。由於歌手參與類似活動，讓這些議題受到關注。

(五)工業

工業部門是僅次於電力部門排放量第二大的部門，2020 年排放量約有 87 億噸 CO₂。三個重工業-化學、鋼鐵及水泥業，就已占工業能源使用總量的 60%，碳排量的 70%。

在過去 20 年間，對於這些產業的產品需求明顯增加，鋼鐵增加 2.1 倍、水泥增加 2.4 倍、塑膠(化學業最主要產品)增加 1.9 倍。其中的 60-70%是新興與開發中國家所需，另外，中國 2020 年就占了全球鋼鐵與水泥產量的 60%。在淨零情境，到 2030 年鋼鐵產出僅增加 9%、化學製品增加 21%，水泥增加 5%。由於材料效率與能源效率提昇，能源消費到 2030 年維持類似的路徑，然後維持穩定或微微下降。

若沒有考慮能源效率提昇的部份，淨零情境工業部門能源消費到 2030 年會增加 16%，納入能源效率提昇則增加幅度縮小為增加 8%。工業部門能源密集度在淨零情境目標下，將從目前的 4.1 MJ/美元，降低到 2030 年的 3.1 MJ/美元，到 2050 年再降至 1.8 MJ/美元。



IEA. All rights reserved.

圖 20、淨零情境下重工業能源消費量與活動量

■ 水泥業尋求減少使用熟料與替代燃料

生產傳統水泥的平均能源密集度約 3.3GJ/t，每噸約排放 0.7 噸 CO₂，其中 50-60%來自熟料生產，其他排放則是來自燃燒像是煤、天然氣、石油、焦炭等燃料。熟料生產是水泥生產過程中能源與排放最密集的，因此在淨零情境將熟料-水泥比例降低 8%，從 2020 年的 0.71 降到 2030 年 0.65。

根據電力配比，水泥製造過程也會有間接的排放。水泥窯傳統上使用化石燃料，在淨零情境則是替代燃料越來越重要。替代燃料通常來自都市與工業廢棄物，都含有生質能。替代燃料在水泥生產過程具有雙重用途。除了提供能源外，另外殘留的灰分可以作為有機成分直接添加到水泥。

有很多材料可以用來替代熟料。其中有研磨後的石灰石，或來自其他行業的副產品，如鋼鐵生產的高爐礦渣或燃煤電廠的粉煤灰。但隨著燃煤電廠逐漸淘汰、鋼鐵生產方式改變與回收率的提升，這些副產品會越來越少。

可對於建築營建規範進行修改，在不影響安全與性能下，降低水泥混凝土中熟料的比例。短期到中期的降低排放方法有從濕式製程改為乾式製程，以及使用回收廢熱作為預熱之用。

延長建築物壽命也可以降低水泥需求，特別是增加對於建築改造和節能建築的投資。道路或地基常使用回收的混凝土，但應該可以再提高回收量。例如規定統一混凝土比例組成以供重複回收使用。透過某些方式將使用過混凝土的水泥從沙子或骨架中分離出來，就可以再利用作為生產水泥的低碳材料。

也可以使用建築替代材料來減少水泥消費，如木材。木材是最古老的建築材料之一。近年來由於技術進步，像是透過更小的木塊與不同的膠水可讓穩定性更高，現代化的塗層也提高防火安全。而木頭的熱傳導能力是優於混凝土。建築物使用越多木頭，就會讓建築物有碳匯效果。不過，砍伐森林也是會衍生出另一種問題，因此建築物改用木材替代需要謹慎看待。

■ 為了減少能源使用，鋼鐵業需要更多的廢鋼

鋼鐵為世界經濟活動所需要的重要基礎材料，約占能源相關總碳排量的 7%，全球能源需求的 8%。生產製程主要有兩種，一個是使用鐵礦石做為金屬原料投入，一般稱為初級生產(primary production)，另一種則是以投入廢料來生產，稱為次級生產(secondary production)。傳統的鋼鐵生產涉及以焦炭為投入的高爐來處理鐵礦石。高爐生產鐵水，然後將鐵水送入鹼性氧氣爐，通常搭配廢料一起注入氧氣以降低碳含量來生產鋼。以初級生產鋼鐵的方式有 90%是採用前述傳統製程，以產量看，約 70%都是採用傳統製程。若是採用最高的可行效率，該製程生產每噸鋼鐵約排放 1.8 噸 CO₂。

一種較新的替代製程是直接還原電弧爐生產，即在電弧爐中用氧氣和石灰熔化優質鐵礦石以煉鋼。當所使用的電力全數來自再生能源，此製程約生產每噸鋼排放 0.7 噸 CO₂，是前述傳統生產的一半。產量則占全球鋼鐵產量的 28%。

次級生產鋼鐵不需從鐵礦石中去除氧氣的精煉步驟，因此生產每噸鋼所需的能源減少了約 80-90%。然而，這種方法的一個關鍵限制則是在回收廢料的可用性。在淨零情境，到 2030 年既有的生產製程所排放的 CO₂ 需要減少 85%。主要措施之一就是增加回收量，以電弧爐使用回收廢料金屬來生產。

2019 年全球約 30% 煉鋼金屬原料來自回收廢鋼。鋼鐵業是屬於回收率很高的產業，全球鋼鐵回收率約 80-90%。回收主要來源為建築物，其中大約有 86% 的鋼鐵可回收。但是對於鋼鐵的需求仍是遠遠超過可取得的廢鋼量。

在淨零情境，原使用煤炭生產鋼鐵需被使用電力的電弧爐所取代，其中電力主要來自天然氣或電解氫。為了達成此項改變，需要提升回收率，讓廢鐵投入比例在 2030 年達到 40%。廢鐵來源包括老車、機器設備與電器用品。瑞典的 HYBRIT 示範計畫在 2021 年 8 月生產第一批零排放的鋼鐵，並設定目標為 2026 年能夠大規模生產。

就如同水泥業，鋼鐵業也可以使用替代燃料，如碳纖維。雖然生產碳纖維的能源密集度不低於鋼鐵，但若要維持同樣的穩定度，碳纖維需要的量會比較少。

■ 塑膠回收是化學業提昇效率的關鍵

每 8 桶原油就有 1 桶用於石油化工業，製造出了超過 173 百萬噸塑膠原料，塑膠是化學業最大宗的最終使用產品。塑膠製造產能從 2000 年以來已增加一倍。製造塑膠過程需要能源加熱與讓機器運轉，另外還要使用石油和天然氣作為原料的非能源用途。

材料效率與能源效率對於化學業減碳都很重要。透過增加回收、以生質材料取代塑膠、更有效率使用氮肥。改使用電力的蒸汽裂解器，或是電解化學反應都可改善效率。目前塑膠回收率約只有 14-18%。剩下的有 24% 被焚化，還有丟棄於掩埋場或非法棄置於自然環境，包括海洋。塑膠回收需要能源與運輸。有報告指出從原料生產塑膠的單位耗能約 83MJ/公斤，但透過回收方式再利用，就算加上運輸成本，單位耗能只有 11 MJ/公斤。

■ 輕工業能源效率提升可帶來很多效益

輕工業包括車輛製造、機械、食物、木材、紡織及其他消費性產品製造，另外還有營建業與礦業。相對於重工業，大多數可以應用於脫碳的技術都已經準備好了。這是因為輕工業的熱需求是低溫到中溫，都可以很容易的從化石燃料轉換到效率更好的電氣化設備，如熱泵。

因此，雖然輕工業能源足跡比較低，但節能潛力是比重工業還高的，預估有工業總節能量的 70%。這些節省下來的能源有很多好處，讓廠商在使用每一單位的能源消耗下，生產出兩倍的價值，也可以提升競爭力。

輕工業也提供很多就業機會，如紡織業是印度就業人口數第二大的，僅次於農業，就業者主要為女性。透過能源效率提升產業競爭力可因為該產業收益增加而增加就業機會。就業機會增加可以賦予女性權力，有助於降低女性失業率。提高能源效率還有許多其他好處，包括減少對其他資源的需求，如水資源。