

# IEA 能源技術展望特別報告-潔淨能源技術創新

郭瑾璋、周裕豐、溫珮伶、李孟穎、吳易樺

財團法人工業技術研究院

## 重點摘要

- 一、欲達到淨零排放的目標，除了既有技術推動外，須仰賴潔淨技術創新發展與投資。而技術創新過程中，政府扮演至關重要角色，包括人才教育、提供研發資金、基礎設施、智慧財產權保護、支持與鼓勵出口貿易、購買新產品、幫助中小企業、塑造公共價值，以及為市場和財務建構監管機制，過往如太陽光電技術、鋰電池技術均為政府加速技術發展的最佳範例。
- 二、為瞭解技術發展進程是否符合邁向淨零排放的長期目標，IEA 透過五個面向追蹤全球潔淨能源技術創新發展情形。
  1. 政府研發資金：2010 年起全球能源研發資金投入於再生能源與能源效率的成長趨勢最為顯著，而儲能、氫能與其他跨域技術亦有顯著成長；
  2. 私部門研發資金：各類低碳技術中，車輛技術的研發投資遠高於其他部門；若由各項技術研發投入之於該產業整體收入的比例而言，除車輛技術最高外，其次為航空技術、太陽光電、航運、鋼鐵業；
  3. 創業投資：創新能源技術的創業投資金額自 2018 年有大幅度成長，但潔淨能源創業投資占全球創投總額比例是下降的，因此政府如何在創投階段扮演適當的投資或輔助角色，是近年關注議題；
  4. 專利：再生能源專利為潔淨能源創新專利的最大宗，顯示整體技術已趨於成熟；但在尚未成熟的重要低碳技術(包括先進生質燃料、新型太陽光電、地熱、海洋能等)專利核准數並未成長；且低碳產品供應鏈中，各項技術發展速度不一，為潔淨能源技術推動的隱憂。
  5. 國家政策支持：不同經濟體通常透過不同的手段來促進創新技術的商業化，如歐盟碳定價、日本能效標準推動、中國電動車與 LED 推動都是可借鏡的案例。
- 三、IEA 永續發展情境(Sustainable Development Scenario, SDS)提出達成淨零排放 3 項關鍵脫碳策略，其中(1)運輸、工業與建築電氣化發展，結合電力部門再

生能源發電的推廣，至 2070 年相對既定政策情境(Stated Policies Scenario, STEPS)占累計減量的 40%；(2)移轉至更永續的替代燃料與原物料，如生質能、氫能及氫能合成燃料，減碳貢獻占 20%；(3)碳捕獲、利用與封存系統，包括負排放與低碳氫能生產，占減量 15%以上。但達到 IEA 永續發展情境，僅 25% 減碳貢獻是來自現階段已成熟技術、40%需依賴尚未在市場大模型商業化推廣的技術，剩餘 34%減量則來自目前仍處於示範或原型階段的技術。因此，創新是永續發展情境達成淨零排放的核心，要實現各關鍵策略，需將各策略價值鏈中的所有關聯技術商業化。

- 四、依過往經驗，新能源技術從最初的原型製作到實現實質化(即占全國市場 1%)約需 20 年至 70 年的時間，如太陽光電及電動汽車的鋰電池從原型到可商業化花費近 30 年的時間，從進入市場後再到占全國市場 1%，太陽光電用了近 25 年時間，鋰電池用了 6 年時間。但政策支持、溢出效應與技術屬性可縮短技術商業化時間，如 LED 因為基於半導體技術，加上早期推出主要仰賴於政府照明效率標準與法規，在最初原型製作到進入市場僅用了 10 年的時間。
- 五、COVID-19 為潔淨能源技術創新同時帶來機會與風險。IEA 以永續發展情境(SDS)探討創新加快或延遲的可能影響。結果顯示創新加快情境(Faster Innovation Case)至 2050 年相較 SDS 減量超過 75%，此情境下關鍵技術至少要在 6 年內進入到商業化階段，技術進程是 SDS 的 2 倍，重要技術包括先進高密度電池的化學材料、氫能/氫能衍生燃料應用於工業高溫熱、運輸部門，及負排碳關鍵技術，如直接空氣捕捉 CO<sub>2</sub> 技術(direct air capture, DAC)與生質能與碳捕獲和儲存(bio-energy with carbon capture and storage, BECCS)等。
- 六、IEA 提出五大要素作為促進低碳技術發展關鍵：1) 確立優先發展技術，設定管考機制與動態調整目標；2) 透過公共研發與市場機制，提升公共與私部門 R&D 創新；3)強化價值鏈(value chain)連結，確保各環節均衡發展；4)完善基礎設施佈建，降低期初投資風險以促進更多創新發生；5)透過國際合作與經驗共享，加速克服技術發展挑戰。
- 七、COVID-19 肆虐重創經濟成長。能源技術創新可提供振興經濟機會，減緩全球暖化嚴重性，維持 75 萬能源 R&D 就業機會。若減少能源投資，短期雖減少研發成本，但長期恐難達到節能減碳目標。

## 附件、報告各章節重點分析

### 一、潔淨能源技術創新與政府重要的角色

淨零排放能源系統需要發展創新技術，但很多技術目前仍是在發展初期階段。技術創新過程充滿不確定性，很多技術都因沒有競爭力而淘汰。IEA 提出 4 項主要技術面向包含：需求部門電氣化、碳捕獲、利用與儲存、氫能、以及生質能，可讓目前尚缺乏具有規模減碳技術的部門，如長途運輸、重工業，加速發展創新技術的速度。

技術創新過程會有很多角色參與其中，如政府、研究人員、投資者、企業主與公司以及社會大眾等。政府所扮演的角色特別重要，包括人才教育，提供研發資金，基礎設施，智慧財產權保護，支持與鼓勵出口貿易，購買新產品，幫助中小企業，塑造公共價值以及為市場和財務建構監管機制。政府需要介入創新的理由是因為新技術無法很快獲得市場投資者的關注。而有一派說法是政府研發投入可能排擠私人部門對於新技術的投資，但其實政府對於能源新技術研發投入反而會刺激私人部門的投資。而各國政府除了提供研發資金外，政府所宣示的總體國家目標和優先事項，都有著至關重要的作用。

太陽光電技術發展為政府可加速技術發展的最佳範例，驗證技術創新從研發到逐步擴大利基市場都須要政府支持的重要性。另外潔淨能源創新技術發展也需要透過世界各國的合作，如共同合作將 PV 從實驗室帶到全球市場商業化，讓 PV 技術接受現實社會與市場的考驗，如此一來使得 PV 技術發展可隨著學習曲線繼續發展。重要的是，儘管個別國家因政策變化而減緩 PV 需求成長速度，但全球市場因世界各地不同國家的激勵措施下仍可維持成長。另外鋰電池技術發展經驗類似於 PV 發展，如加拿大，中國，日本，挪威及美國等持續支持鋰電池技術發展。

COVID-19 對於潔淨技術發展帶來重大且超乎預期的挫折，根據 IEA 調查，企業認為因疫情影響而投入淨零排放技術的研發預算會減少。現在，許多國家正在訂定經濟復甦計劃，這是潔淨能源技術創新並加速技術進步的機會，而且迫切性都高於以往。研究顯示潔淨能源技術創新可以帶來經濟效益，有針對汽車行業研究發現潔淨能源技術創新所帶來的生產力提高比其他技術創新還來得多。另新技術產品的研發投入會帶來就業人口增加。潔淨能源技術創新可

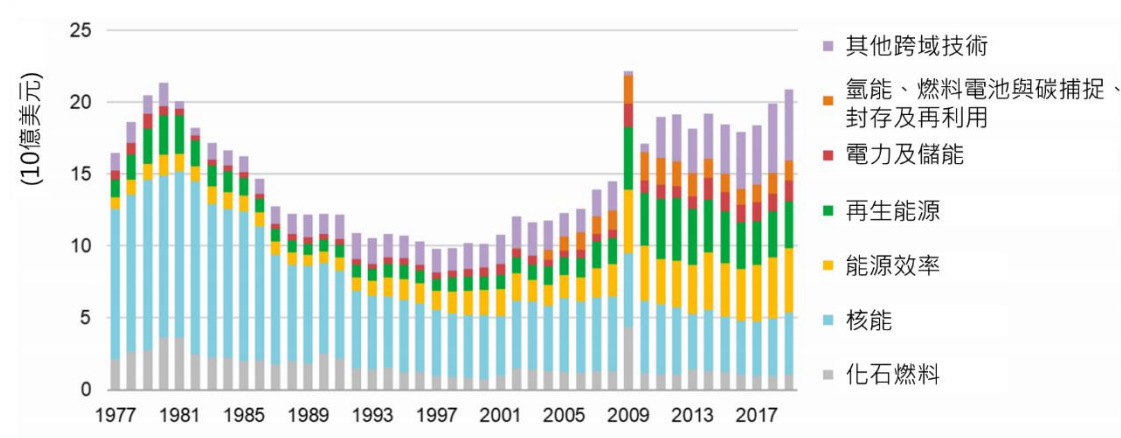
為納稅人帶來效益，經檢視自 1975 年以來美國六項公共能源研發計畫，發現計畫投資報酬率有 27%，效益成本比高達 33:1。

潔淨能源技術創新需要大量勞動力投入，IEA 保守估計目前全球有超過 75 萬人從事能源研發工作，如何能讓這些人繼續維持專業技能是非常重要的，未來才有辦法面對能源系統的各種挑戰。為因應疫情影響，目前各國紛紛提出經濟復甦計畫，2020 年下半年正是加速潔淨能源技術創新的好機會。

## 二、2020 年全球潔淨技術創新現況

儘管潔淨技術創新之於氣候變遷的重要性無庸置疑，然而其發展進程是否符合邁向淨零排放的長期目標，可由投資環境健全程度、各類能源技術的投資與創新研發趨勢、政策如何達到支持與推動的角色、以及積極的國際合作等角度探討。IEA 為此建立了針對潔淨能源創新投資的評估方法，透過以下五個面向追蹤全球與各國在技術創新發展的情形。

(一) 政府研發資金：對於尚未進入市場的創新研發，政府挹注的研發資金是重要的支持基礎。全球政府在能源研發的資金投入近年成長較為持平，2019 年成長 3%達到 300 億美元，其中約有 80%應用在低碳能源技術。觀察歷史趨勢可知，2010 年起全球能源研發資金投入維持穩定水準。由整體投資的項目組合可知，針對再生能源與能源效率的成長趨勢最為顯著，而儲能、氫能與其他跨域技術亦有顯著成長(圖 1)。主要國家中，中國 2019 年低碳技術研發資金較前一年成長了 10%，主要在能源效率與氫能技術研發上，而歐盟與美國公共能源研發資金亦成長了 7%，高於過往成長趨勢。雖然各國資金投入多較過去成長，但能源技術研發公共投資占整體 GDP 的比例多為持平或下降，且其占政府公共研發支出比例仍遠低於其他主要領域(如國防、醫療衛生等)。



資料來源：IEA(2020)

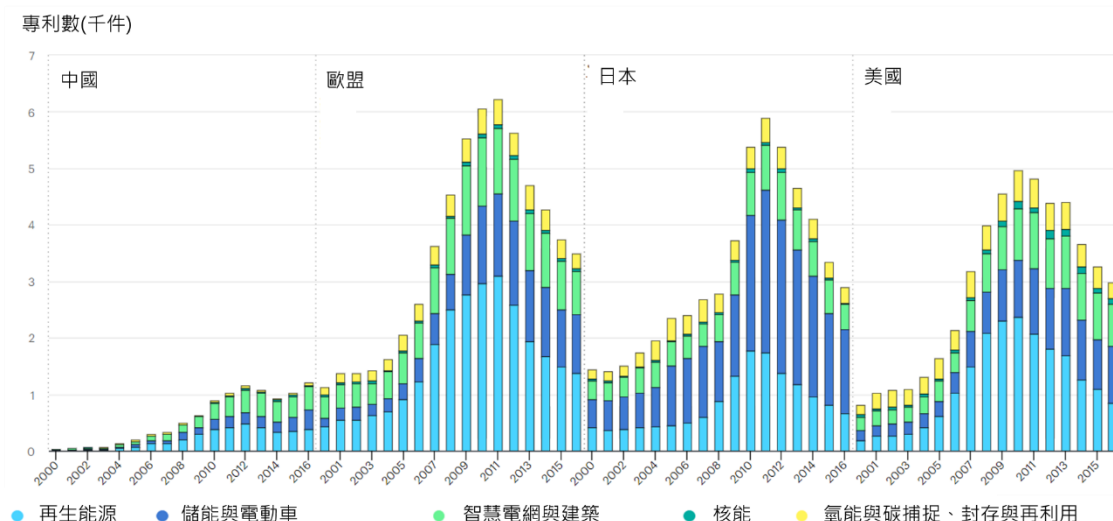
圖 1、全球歷年政府能源技術研發與示範計畫支出

(二) 私部門研發資金：過去十年間，能源技術部門的能源研發支出成長了 40%，其中再生能源更成長了 74%在其技術改進研發。各類低碳技術中，車輛技術的研發投資遠高於其他部門，主要驅動力包括政策方向與市場競爭壓力，使其更致力於燃油效率改善與電動車相關技術研發。若由各項技術研發投入之於該產業整體收入的比例而言，車輛技術亦是最高的(2019 年為 4.4%)，其次為航空技術、太陽光電、航運、鋼鐵業，其他重工業與發電技術的研發投資占收入比皆未達 1%，然而這些產業的創新低碳技術發展，卻可能是未來欲達到淨零排放目標的重要突破點。

(三) 創業投資：創新能源技術的創業投資金額自 2018 年有大幅度成長，顯示投資者對低碳技術市場潛力的看好，這對於高風險的新興低碳技術發展是有力的支持，也可降低政府資金支援的需求。然而若與其他領域(如生物科技、資訊技術等)相比，潔淨能源的創業投資占全球創投總額比例是下降的，代表其對投資者的吸引力不如其他領域，因此政府部門如何在創投階段扮演適當的投資或輔助角色，是近年各國探討的議題。

(四) 專利：潔淨能源創新相關的專利申請資料，可以做為創新技術走向商業化的趨勢指標。由主要國家專利核准數資料可知，再生能源專利占各類技術的最大宗，於 2010 年前後達到最高峰而後下降，顯示了其整體技術已趨於成熟；日本的儲能與電動車專利核准數則較再生能源更多(圖 2)。專利趨勢隱含了兩個隱憂：1)尚未成熟的重要低碳技術(包括先進生質燃料、新型太陽光電、地熱、海洋能等)專利核准數並未成長；2)低碳產品供應鏈中，各項技術發展

速度不一，例如電動車用電池發展迅速，但車輛輕量化相關的金屬製程技術則未能跟上。



資料來源：IEA(2020)

圖 2、主要國家或區域各類能源創新技術專利核准數趨勢

(五) 國家政策支持：要建立健全的投資環境，政府是否提供明確的政策目標與低碳策略規劃、政策工具的使用、技術發展藍圖、流通與透明的投資資訊等都是重要的支持力量。不同的經濟體通常透過不同的手段來促進創新技術的商業化，例如歐盟的碳定價、日本的能效標準推動、中國在電動車與 LED 推動上結合快速原型製造、公共採購、製程融資與內需市場等作法，都是可供借鏡的案例。

2020 年原先被視為重大潔淨能源創新技術發展的關鍵年，包括歐盟的展望歐洲(Horizon Europe)與創新基金(The Innovation Fund)的啟動，以及中國「十四五」能源計畫對創新技術研發的規劃，都是推動全球潔淨能源技術創新的重大事件，然受到 COVID-19 疫情與封鎖政策影響，對於整體供應鏈以至於未來發展進程的影響仍難以估計，但可以想見這些目前在創新研發已不如預期的重要低碳技術，其受關注程度與發展速度只會更加弱化。長遠而言，現階段的資金縮減，對於未來的創新技術發展進程、市場與就業都有連帶影響。這些衝擊需要透過各國政府在振興方案中的支持，去形塑未來 5 到 10 年的全球低碳技術發展。

### 三、永續發展情境下的創新需求

永續發展情境(SDS)提出 3 項關鍵脫碳策略，其中(1)運輸、工業與建築電氣化發展，結合電力部門再生能源發電的推廣，至 2070 年相對既定政策情境(Stated Policies Scenario, STEPS)占累計減量的 40%；(2)移轉至更永續的替代燃料與原物料，如生質能、氫能及氫能合成燃料，減碳貢獻占 20%；(3)碳捕獲、利用與封存系統，包括負排放與低碳氫能生產，占減量 15%以上。若要實現各關鍵策略，需將各策略價值鏈中的所有步驟都商業化，才能解決目前部門中仍未有具規模性低碳選項的問題。

#### (一) 關鍵技術成熟度與創新需求

因此，**創新**是永續發展情境達成**淨零排放**的核心。為此，IEA 在提出「潔淨能源技術評估指引」，其應用並延伸技術成熟度量化(TRL)表，探討 400 項能源相關技術的市場成熟度，指引中指出，欲達到 IEA 永續發展情境，僅 **25%減碳貢獻來自成熟技術**、**40%依賴於**尚未在市場大模型商業化推廣的**初期階段技術**，剩餘 **34%減量**則來自於目前仍處於**示範或原型階段**的技術，需進一步研發促使大規模使用。

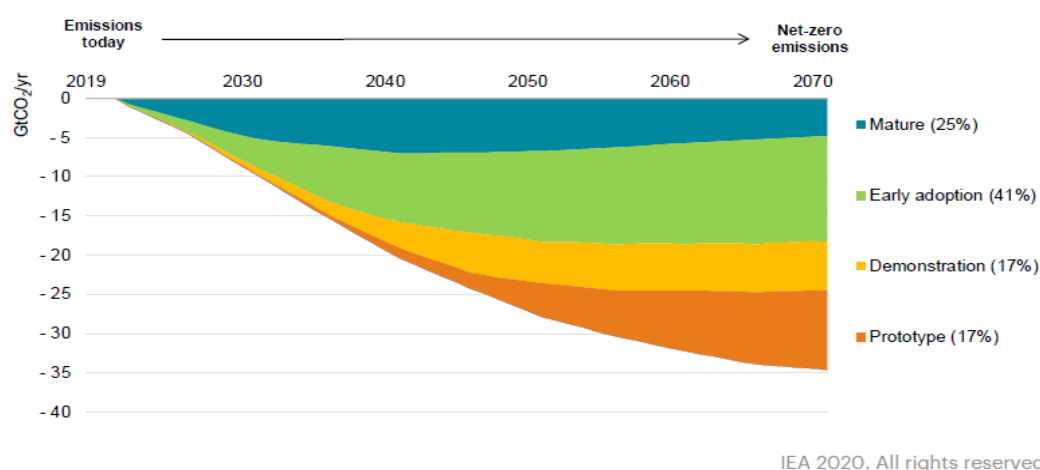


圖 3、永續發展情境下各技術成熟度減碳貢獻比例(能源部門 CO<sub>2</sub> 排放)

#### (1) 低碳電力價值鏈技術發展程度

低碳電力價值鏈中已有幾項技術成熟，包括水力、地熱、核能等，但仍有許多技術尚需加強研發，尤其是在終端應用技術，如重工業與長途運輸等應用較難以電氣化，技術仍處於小型原型階段。其他如有效整合低碳電力的電網技術重要

性逐漸增加，但現階段技術仍處於初期應用或大型原型階段。另，熱泵與電動汽車等技術雖已有市場銷售，但仍需進一步的技術創新以降低成本、改善效能，以大規模推廣至市場。

**表 1、低碳電力價值鏈技術發展程度**

技術發展階段	低碳電力	電力基礎設施	電力終端應用
技術成熟	水力、地熱、核能	機械儲能	電氣化火車、原鋁製造電氣化、烹調電氣化
初期應用	太陽光電、太陽熱能、風力、燃煤加裝 CCUS、海洋能、大規模熱泵	快速充電、需量反應、電池儲能	輕型公路電動車、重型公路電動車、熱泵、蒸發式冷卻空調系統、水電解氫
示範	燃氣加裝 CCUS、生質能加 CCUS、氫氣渦輪機	彈性高壓或交流電傳輸、動態充電	電動船舶
大型原型		超高壓電網、快速頻率響應、智慧充電	
小型原型			水泥/石化/粗鋼生產電氣化、固態冷卻

註 1：「成熟」表示隨著技術推廣，該技術/產品已逐漸成為主流，是新購的一般性選擇。

註 2：「初期應用」指技術與目前市場主流技術仍存在成本和性能上的差距，仍需政策關注或引導。

註 3：「示範」作為新技術首次以商業化規模的示範案例。

註 4：「原型」指將創新概念發展為設計，進而具體化到新設備的原型(prototype)。



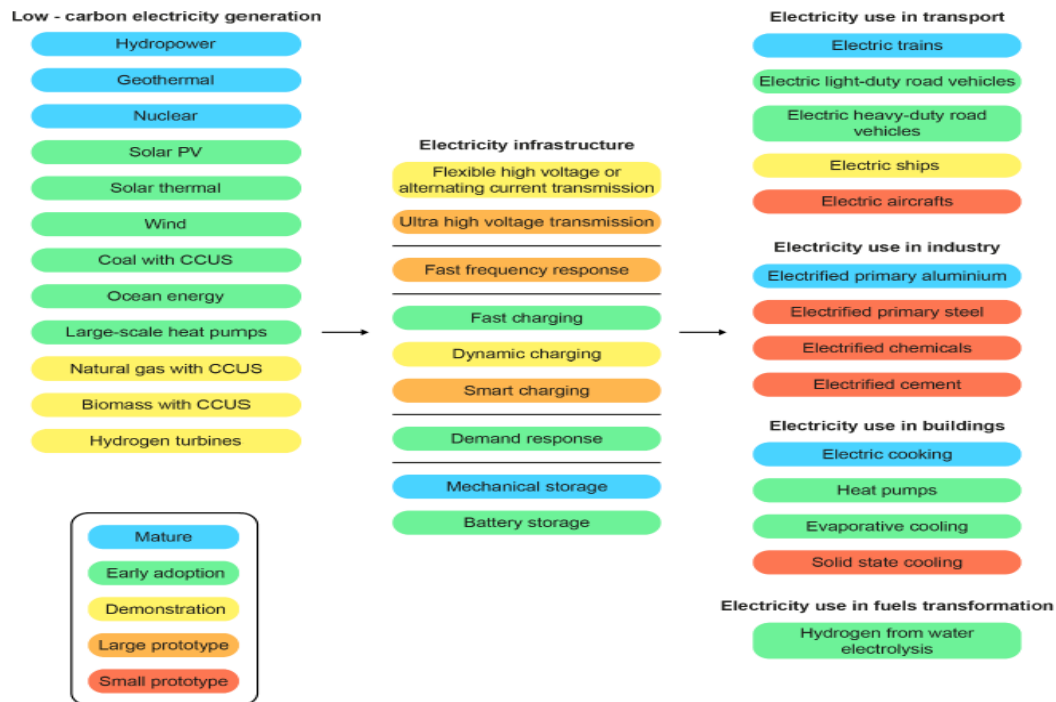


圖 4、低碳電力價值鏈技術發展程度

## (2) CO<sub>2</sub> 捕獲、運輸、利用與封存(CCUS)價值鏈技術發展程度

CCUS 為是否可以成為關鍵脫碳策略，取決整個流程中各階段技術商業應用，及大規模發展運輸與儲存網絡的可能性。在 CO<sub>2</sub> 捕獲，儘管部分行業及燃料轉化過程中，捕獲技術已發展幾十年了，但現階段才剛達商業化，仍有許多應用未能大規模，這些潛在新的應用均需針對每個應用量身制定各種 CO<sub>2</sub> 分離技術，在永續發展情境中，預期化學吸附未來二十年中使用最廣泛的 CO<sub>2</sub> 分離技術。在 CO<sub>2</sub> 利用中，目前已商業化應用於生產尿素和碳酸飲料，但這兩種應用 CO<sub>2</sub> 都只是暫時儲存，最後仍會釋放於大氣中，其他潛在應用發生在建築材料(提供長期但非永久性的儲存)及合成燃料的生產。在 CO<sub>2</sub> 封存，過往 50 年 CO<sub>2</sub> 已被用於增加原油產量，這相當是一種儲存形式，其他尚包括鹽水層及廢棄/耗竭油田。其他如基於生質能的 CO<sub>2</sub> 捕獲與封存、及直接空氣捕獲(Direct Air Capture, DAC)，都具有負排放能力，在長期規劃上具有相當大的減碳潛能，但這兩項技術都尚未大規模推向市場，目前仍僅有一些示範工廠。

表 2、CCUS 價值鏈技術發展程度

技術發展階段	捕獲	運輸	利用與封存
技術成熟	氨-化學吸附		封存：注入 CO <sub>2</sub> 增產原油 利用：生產尿素
初期應用	氨-物理吸附 甲烷-化學吸附 鋼鐵-化學吸附 煤-化學吸附	管線	封存：含鹽層 利用：混凝土
示範	甲烷/高值化學品、水泥、鋼鐵冶煉富氧製程-物理吸附 水泥、天然氣等-化學吸附	船舶-port to port	封存：廢棄油田 利用：甲烷、合成甲烷
大型原型	直接空氣補捉-固態/液態、碳捕獲製氫等	船舶-port to offshore	利用：合成液態碳氫化合物



圖 5、CCUS 價值鏈技術發展程度

### (3) 低碳氫能價值鏈技術發展程度

整個價值鏈包括氫能生能、運輸、儲存，以及低碳氫能應用相關技術，各項技術處於不同成熟階段，並面臨特定的技術挑戰。

**表 3、低碳氫能價值鏈技術發展程度**

技術發展階段	生產	基礎設施	應用
技術成熟		管線輸送、儲槽	以化石燃料製氫工業加裝 CO <sub>2</sub> 捕獲(Fossil-based ammonia with carbon capture)
初期應用	電解製氫、天然氣重組製氫-加 CCUS	氫儲槽、加氣站、儲存於鹽穴	以化石燃料製氫的煉油業加裝 CCUS、以化石燃料製甲烷加裝 CO <sub>2</sub> 捕獲、燃料電池車、氫能鍋爐、建築用燃料電池、發電用高溫燃料電池
示範		摻配在天然氣管線	合成甲烷、用於甲烷與氫電解、高濃度摻配於鋼鐵製程、重型車燃料電池車、燃料電池船、燃料電池火車、氫能熱泵(Hydrogen-driven heat pumps)
大型原型	煤氣化-加 CCUS、甲烷裂解	液態氫儲槽、液態有機氫能載具	合成液態碳氫化合物、氫還原鐵粉、氫燃料引擎車及船舶、以氫為燃料船舶、燃煤電廠混燒氫

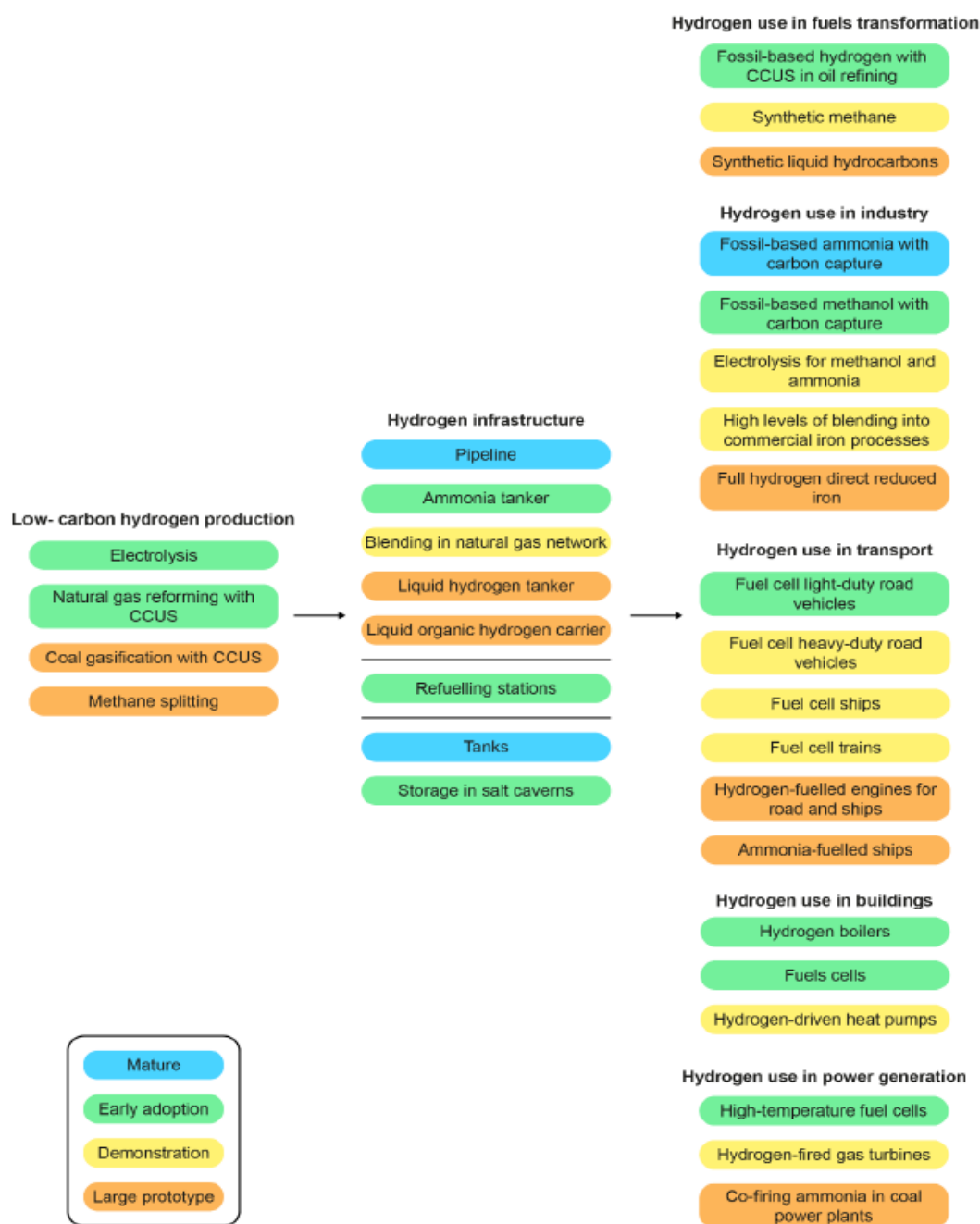


圖 6、低碳氢能價值鏈技術發展程度

## (二) 政策支持、溢出效應與技術屬性可縮短技術商業化時間

依過往經驗，新能源技術從最初的原型製作到實現實質化(即占全國市場 1%)約需 20 年至 70 年的時間，以最新成功的案例(太陽光電及電動汽車的鋰電池)為例，從原型到可商業化花費了約 30 年的時間，從進入市場後再到占全國市場 1%，太陽光電則又費了近 25 年時間，鋰電池用了 6 年時間。其他如建築用的 LED 照明，在最初原型製作到進入市場僅用了 10 年的時間，核電則用了 18 年，其中

LED 是因為基於半導體技術所建立，早期推出主要仰賴於政府照明效率標準與法規，而核電的推廣則是多個國家共同應與應用研發。由此可知，技術商業化時間，強而有力的政策支持、及跨部門/跨領域的技術溢出效應(spillover effect)可縮短技術開發到商業化的時間。

IEA 挑選永續發展情中關鍵技術，考慮技術背景及歷史趨勢，分析各技術由原型製作到實質化所需時間。因假設未來政策支持力道或較過往增加，且各部門間的協同作用與知識交流會更容易、有效，未來技術所需的商業化時間較過去觀察的時間要來得短。

可持續發展方案中選定技術的關鍵時刻

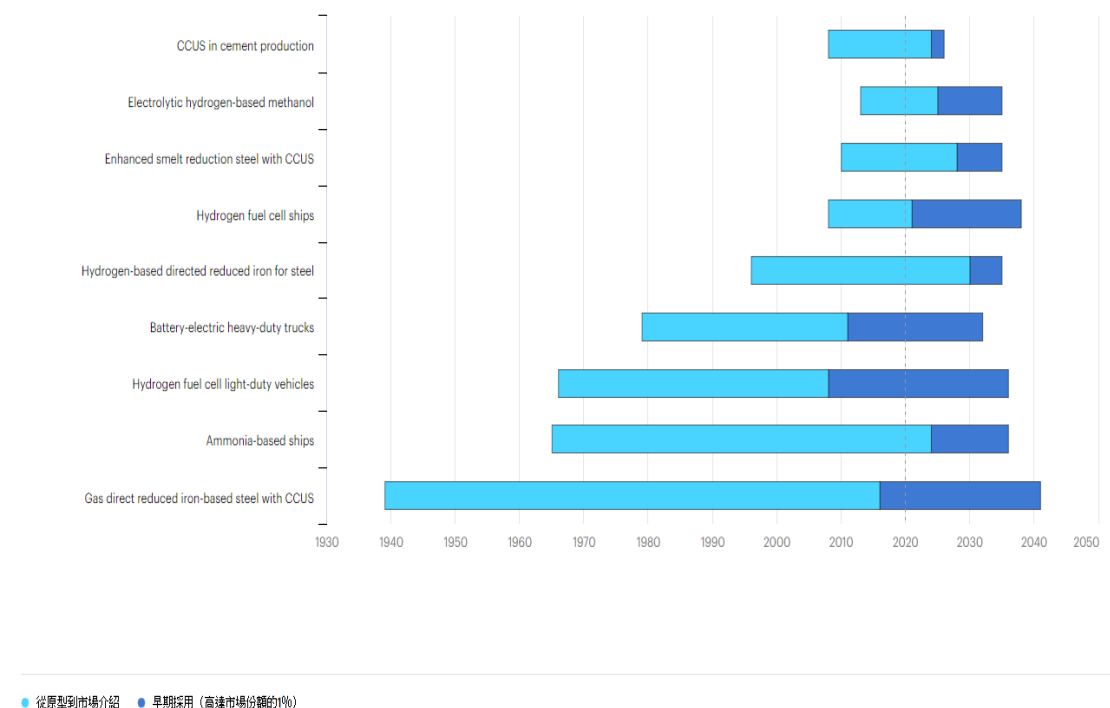


圖 7、永續發展情境關鍵技術發展商業化時間

此外，對於政府和投資者而言，了解不同技術設計的創新動力至關重要。在永續發展情境中，有許多屬性會影響技術學習與採用的速度，如(1)技術單位尺寸小，可快速進行成原型設計、測試與量產；(2)可模組化，其效果同尺寸小，但適用無法量產但易於標準化的大型設備；(3)可提供消費者重視的服務，初其會先應用在利基市場，少數消費者願意付出較高的價格購買，再藉由提供消費者聲譽或其他好處，從而帶動使用增加、學習、網絡效應及擴向新應用的良性循環；(4)溢出效應，藉由不同領域或部門間的研究共享，減少對專用能源研發的需求，電動車就是主要的例子；(5)可用於直接替換(drop-in replacement)或固定裝置，即不需

要更改相關設備或基礎設施，將可以更快的採用新技術；(6)可以數位化取代硬體或勞工的技術，近期能源領域有許多創新技術是將手動或類比製程替換為數據化，如自動化設備、聯網、共享車輛等；(7)對價值鏈中其他技術依賴最少的技術；(8)較不受當地條件影響的技術，如部分技術需要適應當地氣候條件將不易於新技術的推廣。

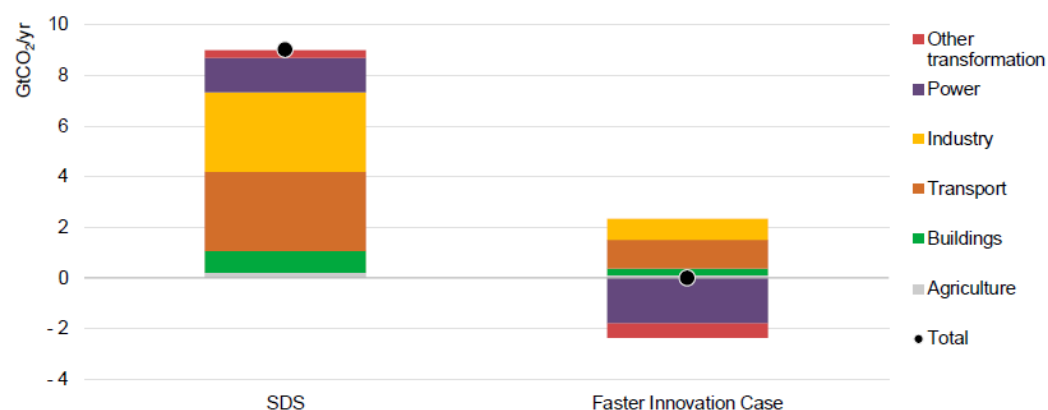
## 四、潔淨能源技術進程應加快

COVID-19 為潔淨能源技術創新同時帶來機會與風險。政府要振興經濟，潔淨能源技術研發與創新是重要關鍵，應優先鼓勵，這也提供機會以達成長期淨零排放的轉型。然而，也需面臨政府與企業預算緊收的風險，拖累潔淨能源技術創新。

IEA 以 SDS (Sustainable Development Scenario) 探討創新加快或延遲的可能影響。**創新加快**情境假設潔淨能源技術快速創新(包括目前僅在實驗室階段)；**創新延遲**情境假設目前籌備中的示範項目將推遲 5 年，潔淨能源技術的研發與應用都放慢速度。

2050 年，**創新加快情境(Faster Innovation Case)**的排放相較 SDS 減量超過 75% (剩餘排放由負排放抵消達成淨零排放，請參圖 8)，其中的 45%來自尚未商業化的技術。這表示重要的關鍵技術至少要在 6 年內進入到商業化階段，技術進程是 SDS 的 2 倍。

Figure 4.1 Global energy sector CO<sub>2</sub> emissions in 2050 by sector

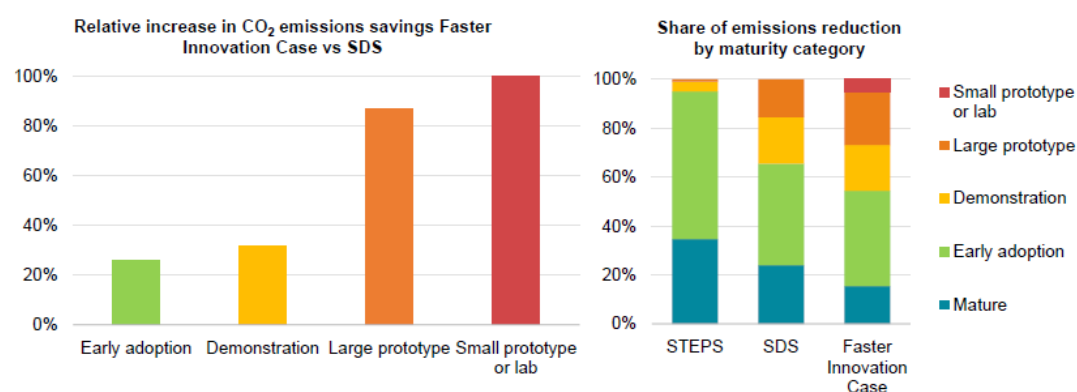


IEA 2020. All rights reserved.

Notes: SDS = Sustainable Development Scenario. Emissions include those from fossil fuel combustion and those released in industrial processes from carbon contained in the raw materials used.

圖 8、2050 年全球排放(部門別)

Figure 4.3 Global energy sector annual CO<sub>2</sub> emissions reductions by current technology readiness in 2050



IEA 2020. All rights reserved.

圖 9、創新加快情境中目前技術就緒水準與 2050 年排放減量貢獻

創新加快情境中，先進高密度電池的化學材料可更快擴散運輸電氣化，與工業部門廣泛應用氫氣提供高溫熱源（這些技術目前都在概念階段或早期原型 (prototype) 開發階段）。2050 年創新加快情境的氫和氫基燃料 (hydrogen-based fuels)則較 SDS 成長 25%，主要來自運輸和工業部門的轉型需求，如圖 10 所示。工業部門如既有鋼鐵廠需要快速變革，從現在到 2050 年，每月需新設兩座氫基鋼鐵廠(目前仍處原型階段)。由於運輸部門平均每月需要超過 80 艘大型船舶加入全球海運市場，創新加快情境中，認為其中 60 艘船舶需是氫氣船(氫基燃料)。

**Figure 4.4 World share of hydrogen and electricity in final energy demand by end-use sector (left) and selected adoption metrics of hydrogen technologies (right)**



IEA 2020. All rights reserved.

Notes: STEPS = Stated Policies Scenario; SDS = Sustainable Development Scenario. Final energy demand includes energy use for blast furnaces and coke ovens. Hydrogen includes direct demand of hydrogen and hydrogen-derived fuels for transport and buildings, and final energy demand required to produce hydrogen on-site for industrial processes. Typical size of steel plant considered at 1 Mt crude steel per year capacity. Typical maximum capacity for a large vessel considered is 50 kt of dead weight tonnage. Adoption rates show area average values for the period to 2050. Battery gigafactory capacity considered at 35 GWh/year.

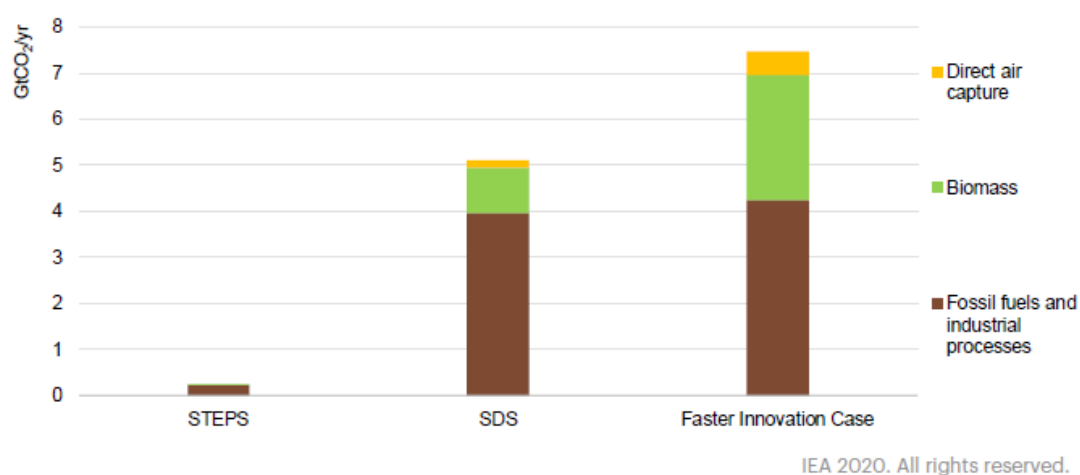
圖 11、最終能源消費部門的氫和電使用占比(左)和氫應用方向(右)

創新加快情境中，負排放技術的減量貢獻是 SDS 的 3 倍，全球碳捕獲與封存較 SDS 增加 50%，到 2050 年將達到每年 7.5 GtCO<sub>2</sub> 左右(儲存量是目前的 200



倍)(請參圖 12)。負排放關鍵技術有直接空氣捕捉 CO<sub>2</sub> 技術(direct air capture, DAC)與生質能與碳捕獲和儲存(bio-energy with carbon capture and storage, BECCS)等，是抵銷剩餘排放(來自長距離運輸和重工業生產)的關鍵技術。從現在到 2050 年，創新加快情境平均每年需要 16 座 DAC 廠(捕獲規模 1Mt)加入，而 SDS 每年約增加 5 座 DAC 廠。目前 DAC 廠每年處理量設計最大就是 1 Mt (首座百萬噸等級 DAC 廠在美國，規劃 2020 年中營運)，現今示範營運的規模僅有其 0.4%。以及，每年將需要近 90 座 1 Mt 捕集規模的 BECCS 廠，幾乎是 SDS 的 3 倍。CCUS 技術加速創新，可降低重工業直接排放。以水泥業為例，每月平均設置 5 座 1 Mt 捕集廠 (SDS 是每月平均設置 4 座)。

Figure 4.5 Global captured CO<sub>2</sub> emissions by source, 2050



Notes: SDS = Sustainable Development Scenario; STEPS = Stated Policies Scenario. Captured emissions include those from fuel combustion and those from emissions released in industrial processes from carbon contained in the raw materials used.

圖 12、全球 2050 年碳捕獲

創新延遲情境假設因 COVID-19，CCUS 技術發展速度放慢許多，在 2030 年、2040 年 CO<sub>2</sub> 捕獲量較 SDS 分別減少 50%、35%。全球碳捕獲與封存到 2040 年的累積量減少 8Gt。至少未來 20 年，CCUS 技術發展延遲將嚴重影響水泥業和電力業的碳捕獲 (如圖所示，水泥業和電力業約占兩情境碳捕獲落差的 80%)。因為相關技術發展延遲，做中學效果變差，2030 年化學吸附碳捕獲技術的成本較 SDS 增加近 5%；大規模 DAC 廠的成本在 2030 年更是比 SDS 高出 35%。

Figure 4.10 Reduction in captured and stored CO<sub>2</sub> emissions in the Reduced Innovation Case compared to the Sustainable Development Scenario, by sector

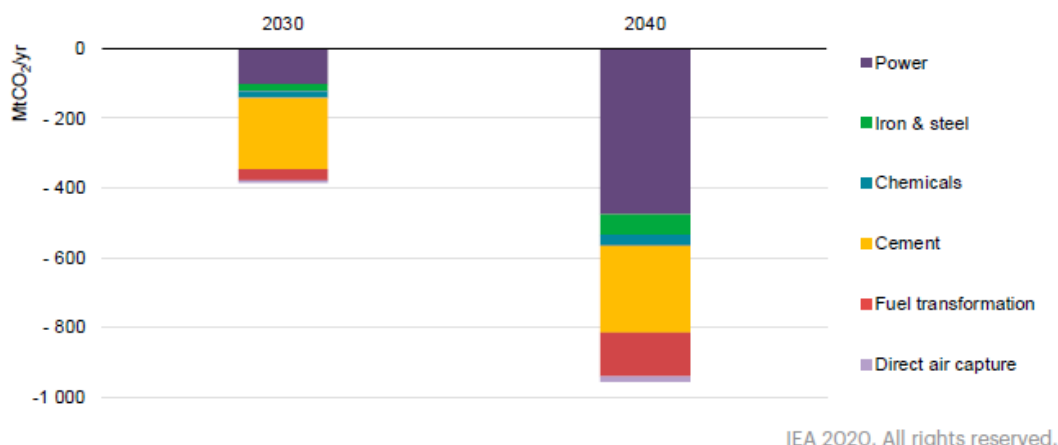
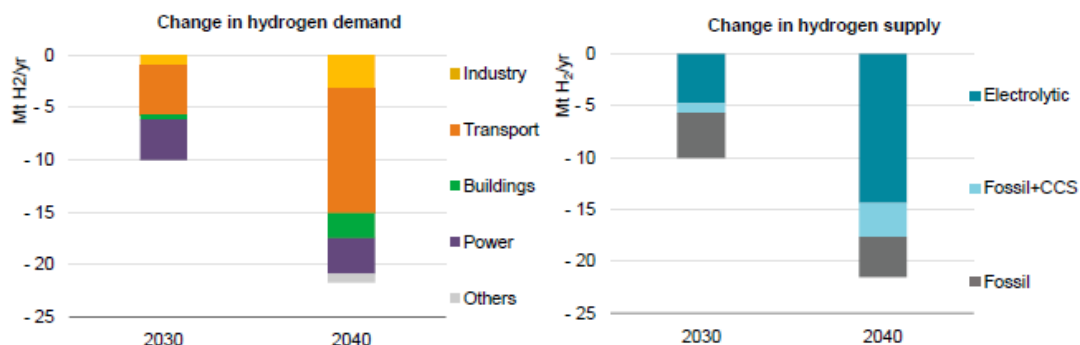


圖 13、創新延遲情境較 SDS 的碳捕獲落差

2019 年水解製氫累計裝置量創新紀錄，超過 25MW。日本 2020 年年初剛完工的世界最大再生能源製氫廠規模達 10MW，是 2010 年早期示範計畫平均規模的 20 倍。這些製氫廠生產的氫會用來轉換成燃料、化學品及與天然氣摻配進入氣網。受益於亞洲市場(包括巴士與小貨車需求)，2019 年燃料電池車(FCEV)存量較 2018 年增長一倍，加氫站數量也因此較 2018 年成長 20%。2020 年年初，法國和義大利分別實現摻配 20%、10%氫氣到天然氣管線的試驗計畫；以及，瑞典首次實現煉鋼廠高爐使用氫氣提供高溫熱源。

創新延遲情境描述製氫技術放緩，將減少氫氣需求(請參圖 14 圖)，在 2030 年、2040 年相較 SDS 約少 10Mt (9%)、22Mt (12%)。其中，2040 年運輸部門減少 12Mt 氫氣需求，此需求落差將導致重型 FCEV 和氨氣船的延遲發展，從而增加製氫廠與加氫站等相關投資的不確定性。所以，到 2030 年，相對 SDS 電解製氫(hydrogen electrolyzers)的投資成本增加近 10%。這類投資挑戰和融資成本的增加，減弱產業或廠商擴大生產(規模經濟)的能力，並需要政府提供更多的財政支持，直到技術變得有競爭力。

Figure 4.11 Reduction in global hydrogen demand and supply by sector and process route in the Reduced Innovation Case, relative to the Sustainable Development Scenario



IEA 2020. All rights reserved.

Note: H<sub>2</sub> = hydrogen; CCS = carbon capture and storage.

圖 14、創新延遲情境較 SDS 的氢能供需落差

## 五、重塑未來機會-機不可失

### (一) IEA 認為五大要素為促進低碳技術發展關鍵

#### 1. 確立優先發展技術，設定管考機制與動態調整目標

- (1) 對主要部門設定長期潔淨能源願景，並公開於社會大眾。與能源技術專家、社會大眾以及市場專家分析能源發展願景藍圖，提供大眾了解未來量化趨勢，並且提供與各利益團體提供對話機會。
- (2) 評估達到未來技術發展目標所需投入技術研發能量。公開潔淨能源發展藍圖讓既有技術與未來技術鏈結，以提升技術發展效率與降低研發成本，或促進跨產業技術連結。如第三章所提及 [ETP Clean Energy Technology Guide](#) 可達到此效果。
- (3) 因地制宜設定 R&D 技術發展優先順序：考量各地區專家專長、地區合適 R&D 議題、產業比較利益、以及技術外溢效果潛力來排定 R&D 發展順序。產業發展有地區性優勢，共同產業群聚一起可發揮規模經濟效果，擴大技術發展。小型經濟體政府偏好設定優先發展技術目標：如韓國電子產業群聚效果，韓國政府優先設定電池、太陽能、與電子零組件為產業發展目標。

- (4) **設立定期檢討機制並納入政策設計考量:**政府可利用完善資料與資訊評估政策推動潔淨技術執行效益。如加拿大與義大利蒐集私部門 R&D 資料，作為政策擬定參考。美國設定獨立評估計畫來管考各技術進展。
- (5) **與大眾溝通能源技術發展願景，以獲得大眾支持:**能源技術創新耗時，需各利益團體支持。需事前蒐集與大眾生活有關之技術，增加大眾認知能源技術重要性，並透明化技術發展。例如歐盟定期調查大眾對能源看法。

## 2.提升公共與私部門 R&D 創新

為達到淨零排放目標，公共與私部門需比現在投入更多資源促進潔淨技術發展。

- (1) **結合大眾資金，透過市場機制極大化私人資金貢獻:**技術草創發展時政府應給予協助，待技術成熟後由市場機制誘使技術持續發展。以太陽光電為例，在發展初期由政府大量投入資金以協助技術發展，而後逐步轉而鼓勵私部門創新壓低生產技術成本。如美國、加拿大、義大利以及中國大陸有許多政策工具誘導私部門投資技術新創。
- (2) **技術發展各階段設計不同競爭機制，以提升技術創新潛力:**多樣化發展與競爭性機制設計可提升技術發展，可衍生更多效益。
- (3) **確保由公眾資金支持發展的 R&D 可以於學術圈公開分享，極大化公共效益**

## 3.強化價值鏈(value chain)連結

單一公司並無法對整體價值鏈每個環節做出貢獻。若從整體價值鏈考量，可釐清哪個技術環節是最需受到支持，以加速完善整體發展進程。

- (1) **確認研究者在技術整體創新價值鏈優勢，以強化發展機會:**能源相關設備生產涉及全球產業，因此需確認研究人員比較利益與相對優勢，才能創造發展機會。
- (2) **確保生產價值鏈所有環節獲得足夠支持:**當整個生產價值鏈各項細部技術都完善發展，才具備市場化條件。較為成熟的技術，可往下階段層次提升，並協助剛萌芽技術發展。
- (3) **整個價值鏈中各元素創新者，與各國與各區域進行合作，以提升研發效益:**多元合作可加速研究發展，跨國合作可能獲取國際資金投入。

## 4.提供充分基礎建設

完善基礎建設可支持技術發展，發揮最大功效。如智慧電網、碳儲存基礎建設、以及聯網器具與運具通訊設備等。這些投資具備公共財特性，具自然獨占特性。基礎建設可提供技術創新平台，刺激新創意產生。若特定技術開發者需負擔基礎建設風險，可能阻礙研發誘因，因此政府需確保充足基礎建設以支持技術發展。

- (1) **提供誘因機制讓新技術在既有基礎建設上測試運用:**公眾事業往往被要求要減少風險，可能會降低這些基礎設施測試新技術。各國已逐漸設計新規範，促進基礎設施採用先進技術。
- (2) **大型示範區初期投資具高風險，需政府支持以提升規模經濟:**先進技術研發具高風險與高成本，待技術發展成熟才開始獲利。大型示範投資創新时期政府應投入大量資本，以創造低碳產品市場價值。

## 5.國際合作以提高區域成功機會

各國一起努力可提升技術創新效率，以對抗全球氣候變遷議題。

- (1) **跨國合作以確保關鍵技術發展獲得足夠資金:**單一國無法負擔高度研發風險，阻礙關鍵技術無法發展。國合作將促進國際資金整合，可提升資金運用效率。若限制國際合作，可能阻礙研發單位獲得足夠資源。各國技術研發經驗為可貴公共財，因為這些技術經驗加速技術突破。提供公眾資金投入 R&D，可帶來正面技術外溢效果。若技術研發涉及跨國研究，單一國家可能難以負擔高風險。
- (2) **能源技術發展政策決策者交換技術創新經驗:**技術發展優先性目前並無一致看法。進行跨國政策決策者經驗交流，可討論 R&D 技術發展優先順序、施行何種政策工具、以及績效評估設計等。
- (3) **建立研究人員知識交流平台:**透過跨國整合機制，加速技術發展與提升外溢效果。國際合作網路可提升知識交流，並且避免剽竊尚未被注意之技術。既有平台已促進深化國際合作，如 IEA technology collaboration programmes 提供 38 種技術合作。

## (二) 新冠狀病毒(COVID-19)帶來契機

**COVID-19 肆虐重創經濟成長。能源技術創新可提供振興經濟機會，減緩全球暖化嚴重性，維持 75 萬能源 R&D 就業機會。若減少能源投資，短期雖減少研發成本，但長期恐難達到節能減碳目標。**

1. 新冠狀病毒(Covid-19)爆發後讓經濟活動停滯，各國政府應立即採取經濟措施，刺激經濟成長。應持續對 R&D 發展支持，不宜停止支持潔淨能源技術示範計畫。推動市場機能導向政策可提升能源技術，以及提高發展進程。需搭配能源基礎建設，持續推動能源技術研發。
2. 振興經濟政策為能潔淨能源技術長期發展提供新機會。隨振興計畫施行，預計各國將重新檢討中長期技術發展政策。過去常遭忽略的重工業與長途運輸示範計畫，可能因此受到補助而加速低碳技術發展。因此對 R&D 投入與基礎建設發展，可加速能源轉型。

### 3. 建議施行方向

#### (1) 提高公部門對 R&D 支持，與推行市場機制的私人投資

- 完成既定 2020-2021 年潔淨能源 R&D 計畫。
- 未來 2021-2025 可能提高預算支出。如美國提高 47 億美元的能源 R&D 支出(增加 100%)，其他主要國家增加 18 億美元(增加 60%)。
- 建議強化能源資訊分享以提升 R&D 生產力:如研發成果可免費公開，以強化專業鏈結。
- 強化國際資金連結，避免新興市場與先進國家在 R&D 差異。
- 受創公司若能進行潔淨能源創新，則進行財務協助。提供企業貸款或租稅誘因，將促進企業進行能源 R&D，以促進採用新能源技術、投資基礎建設、或將企業利潤投入能源 R&D。

#### (2) 強化價值鏈連結

- 強化支持市場需求、生產技術、以及 R&D。如新鋰電池設計研發、電解技術、燃料電池、熱泵、以及其他高效能冷氣。
- 依照現行工具創造良善環境，避免繁雜行政程序。以吸引更多私人資金。
- 政府振興計畫優先採購低碳創新品項。

#### (3) 強化基礎建設

- 確保主要技術示範與大型試驗場能夠如期完成。基礎建設可吸引消費與創造就業。
- 電網投資、電動車充電設備、區域供熱等基礎建設往往具有經濟乘數效果，值得政府投資。