

本月專題

2020 年能源技術展望特別報告-潔淨能源技術創新

工研院 綠能與環境研究所

摘要

國際能源總署(IEA)於 2020 年 7 月發布 2020 年能源技術展望特別報告-潔淨能源技術創新(Energy Technology Perspectives (ETP) Special Report on Clean Energy Innovation)，其中強調全球應加緊腳步，朝向淨零排放前進。長期來看，有四項技術在達到淨零排放路徑上扮演關鍵角色，分別是最終消費部門電氣化、碳捕獲、低碳氫及合成燃料、永續生質能。本報告亦針對潔淨能源技術創新之現況與需求進行闡述，而 Covid-19 疫情雖對潔淨技術發展造成衝擊，然對政府亦是一種機會，若配合經濟復甦發展潔淨技術創新，可有助於創造經濟效益與就業。最後，IEA 提出實現淨零排放的五項關鍵要素，並鼓勵決策者應該將潔淨能源技術創新納入政策擬定之重要考量。

一、前言

無庸置疑的，全球能源部門若欲達到淨零排放，需要致力於推動潔淨技術創新，過去我們曾見證太陽光電、風力渦輪發電機與鋰電池技術進程快速進展。在這過程中，我們了解到技術的進步有賴於創新發生的速度與新技術部署的規模均發生重大變化。

目前全球能源創新所面臨之挑戰為各部門幾十年來未有重大變化，且也沒有商業化可行的低碳選項，另外在一些在低碳化剛開始起步的新興經濟體，也需要技術組合的快速革新。國際能源總署(International Energy Agency, IEA)於 2020 年 7 月發布 2020 年能源技術展望特別報告-潔淨能源技術創新(Energy Technology Perspectives (ETP) Special Report on Clean Energy Innovation)，該報告提出最迫切

需要創新的領域，更重要的是，它建議各國政府將潔淨能源創新整合納入其能源政策制定之核心。以下針對報告內容進行摘述與研析

二、潔淨能源技術創新與關鍵角色

IEA 提出 4 項主要技術面向包含：最終部門電氣化、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，每個群體均有其重要性。其中政府的角色特別重要，其可提供廣泛的協助，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等。政府需要介入創新之主因為新技術難以快速獲得市場投資者的關注，然有一派說法認為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需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(photovoltaic)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 疫情對於潔淨技術發展可能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。目前許多國家正在訂定大規模的經濟復甦計劃，這為政府帶來支持潔淨能源技術創新就

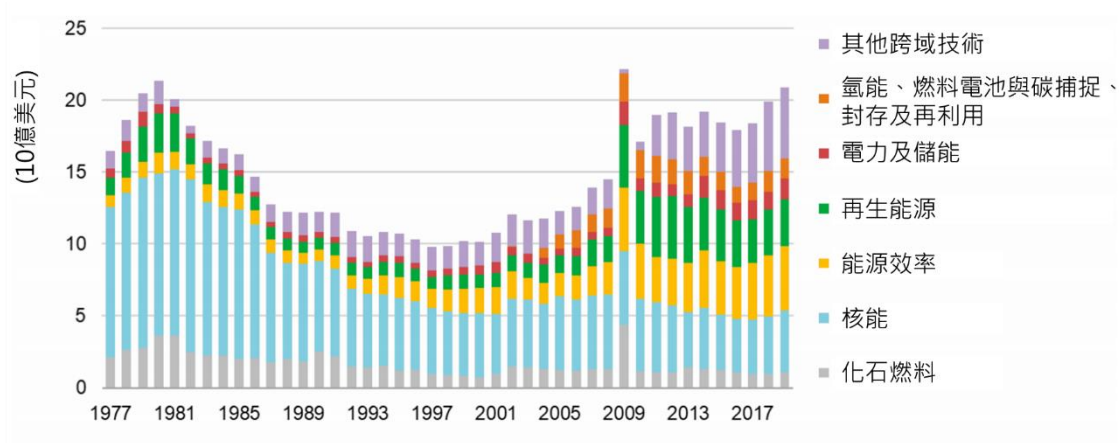
業與加速技術進步的機會，研究顯示潔淨能源技術創新可以帶來經濟效益，如針對汽車行業研究發現，潔淨能源技術創新所帶來的生產力提高比其他技術創新還來得多，另新技術產品的研發投入會帶來就業人口增加。而潔淨能源技術創新亦可為納稅人帶來效益，經檢視美國自 1975 年以來的六項公共能源研發計畫，發現計畫投資報酬率有 27%，效益成本比高達 33:1。

三、潔淨能源技術創新現況

潔淨技術創新之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，自 2010 年起全球能源研發資金投入維持穩定水準，而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，但能源技術研發的公共投資占整體 GDP 的占比並沒有增加，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：

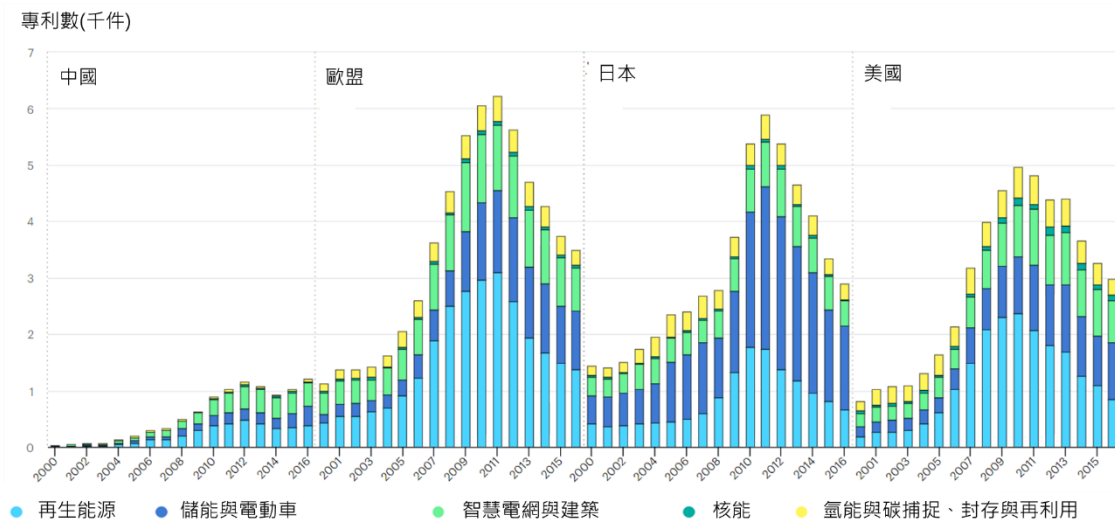
過去十年間，民間企業在能源研發支出上成長了 40%，其中再生能源技術投入的成長相較其他能源技術來的快許多，其研發支出成長了 75%。各類低碳技術中，車輛技術的研發投資遠高於其他能源相關部門，主要驅動力包括政策方向與市場競爭壓力，使其更致力於燃油效率改善與電動車相關技術研發。若由各項技術研發投入之於該產業整體收入的比例而言，車輛技術亦為最高(2019 年為 4.4%)，其次為航空技術、太陽光電、航運、鋼鐵業，其他重工業與發電技術的研發投資占其收入比皆未達 1%，然而這些產業的創新低碳技術發展，卻可能是未來欲達到淨零排放目標的重要突破點。

(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，為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。由下圖 2 的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。其中，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。

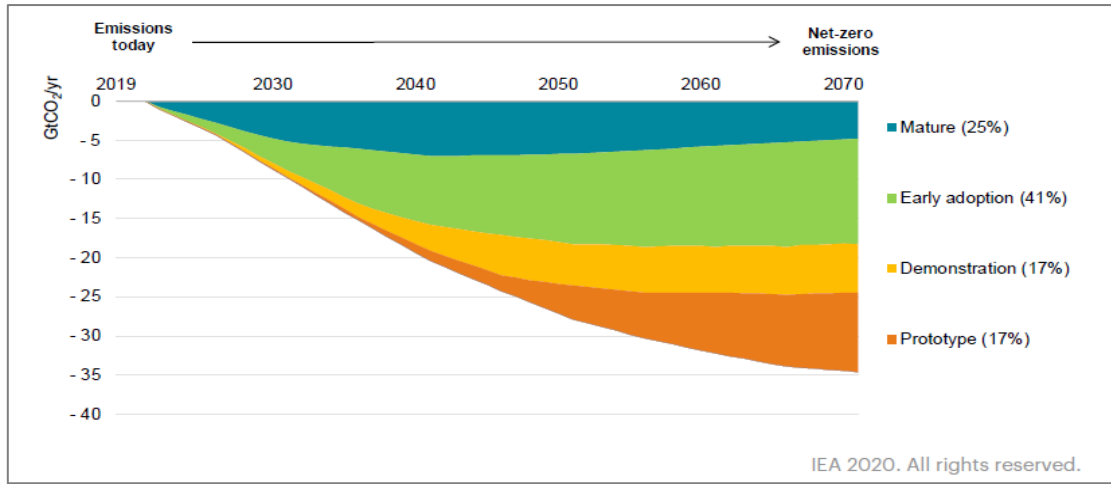
2020 年原先被視為重大潔淨能源創新技術發展的關鍵年，包括歐盟的展望歐洲(Horizon Europe)與創新基金(The Innovation Fund)的啟動，以及中國「十四五」能源計畫對創新技術研發的規劃，都是推動全球潔淨能源技術創新的重大事件，然受到 COVID-19 疫情與封鎖政策影響，對於整體供應鏈以至於未來發展進程的影響仍難以估計，但可以想見這些目前在創新研發已不如預期的重要低碳技術，其受關注程度與發展速度只會更加弱化。長遠而言，現階段的資金縮減，對於未來的創新技術發展進程、市場與就業都有連帶影響。這些衝擊需要透過各國政府在振興方案中的支持，去形塑未來 5 到 10 年的全球低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

四、潔淨能源技術創新現況

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

如前所述，創新為永續發展情境達成淨零排放的核心，為此，IEA 提出「潔淨能源技術評估指引(Clean Energy Technology Guide)」，其應用並延伸技術成熟度量表(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(如下圖 3 所示)，需進一步研發促使大規模使用。



資料來源：IEA (2020)

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 CO2 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，以利大規模推廣至市場。

2. CO2 捕獲、運輸、利用與封存(CCUS)價值鏈技術發展程度

CCUS 是否能成為關鍵脫碳策略，取決於整個流程中各階段技術是否可達到商業應用，及大規模發展運輸與儲存網絡的可能性。在 CO2 捕獲上，儘管部分行業及燃料轉化過程中，該技術已發展幾十年，然現階段才剛達商業化，仍有許多應用未能大規模發展，這些潛在新的應用均需量身制定各種 CO2 分離技術，在永續發展情境中，預期化學吸附為未來二十年中使用最廣泛的 CO2 分離技術。在 CO2 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 CO2 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 CO2 封存上，過往 50 年 CO2 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 CO₂ 捕獲與封存(Bioenergy with Carbon Capture and Storage, BECCS) 、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。

3. 低碳氫能價值鏈技術發展程度

低碳氫價值鏈目前尚未完全發展至商業化規模，整個價值鏈包括氫能生產、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。氫氣的使用受限於目前商業的可行技術，如輕型車輛、供暖、建築與分散式電力系統的供電(電池)，需等到氫氣應用於鋼鐵業、重型運輸以及低碳氫衍生之燃料等技術進入商業化規模的示範並進入部署，才有機會開發出低碳氫的大量潛在需求。

(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達成實質化(materiality) (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。

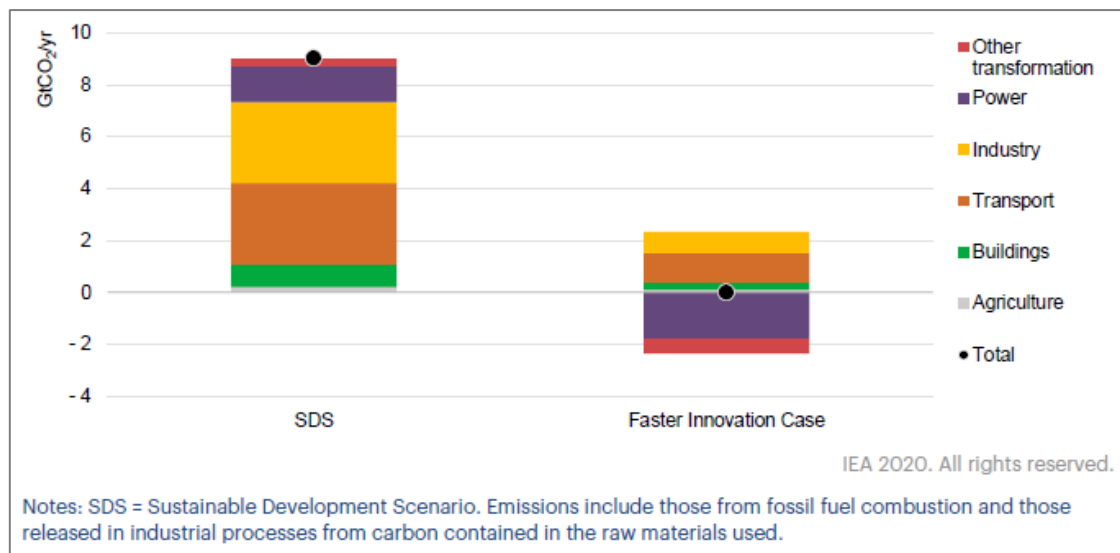
IEA 於永續發展情境中所挑選之關鍵技術，皆考慮該技術之背景及歷史趨勢，並分析各技術由原型製作到實質化所需時間，因假設未來政策支持力道或較過往增加，且各部門間的協同作用與知識交流會更容易、有效，未來技術所需的商業化時間較過去觀察的時間要來得短。

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，初期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、物聯網、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。

(三)潔淨能源技術進程應加快

COVID-19 疫情為潔淨能源技術創新同時帶來機會與風險，政府欲振興經濟，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，拖累潔淨能源技術創新的風險。

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 CO₂ 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。



資料來源：IEA (2020)

圖 4、2050 年全球排放(部門別)

五、潔淨能源技術創新現況

IEA 於 ETP 特別報告中指出，創新政策與能源政策應放在一起思考，而為達成淨零排放，決策者應將潔淨能源技術創新視為能源政策的核心要素，IEA 提出 5 項要素，認為是有效促進潔淨技術發展之關鍵，以下摘述整理以供我國後續低碳技術布局思考借鏡。

(一) 確立優先發展技術，設定管考機制與動態調整目標

對主要部門設定長期潔淨能源願景，並公開於社會大眾，提供大眾了解未來量化趨勢，並提供與各利益團體對話機會；評估達到未來技術發展目標所需投入之技術研發能量，並因地制宜設定 R&D 技術發展優先順序，以利產業群聚發揮規模經濟效益，最後，設立定期檢討機制並納入政策設計考量，並與大眾溝通能源技術發展願景，以獲得民眾支持。

(二) 提升公共與私部門 R&D 創新

為促進潔淨技術發展，公共與民間部門需投入更多資源，故應結合大眾資金，透過市場機制極大化民間資金貢獻，另外在技術發展各階段設計不同

競爭機制，以提升技術創新潛力，最後確保由公共資金支持發展的 R&D 成果可公開分享，極大化公共效益。

(三)強化價值鏈連結

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。其中要確認研究者在價值鏈的技術創新優勢，以強化其發展機會。而因整個生產價值鏈各項細部技術都有完善發展，材具備市場化條件，故應確保生產價值鏈所有環節都獲得足夠支持；最後應盡量進行跨國或跨區域合作，以提升研發效益。

(四)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。

(五)國際合作以利促成區域成功

氣候變遷為全球須共同面對之議題，而國際合作有助於提升技術創新效率，由於單一國家難以負擔高度的研發風險，導致關鍵技術無法順利發展，而跨國合作可促進資金整合，確保關鍵技術發展獲得足夠資金。此外，技術創新政策經驗的交流，有助於決策者確認技術發展優先順序以及政策工具之搭配。另外亦應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。

參考文獻

1. International Energy Agency (IEA) (2020), Energy Technology Perspectives – Special Report on Clean Energy Innovation.