

2017 能源技術展望—促進能源技術轉型重點解析

—須加速推動低碳技術及政策行動，以達成能源部門的低碳轉型

張素美

國家能源發展策略規劃及決策支援能量建構計畫

工業技術研究院 綠能與環境研究所

摘要

21 世紀以來，氣候暖化的態勢未曾停歇。為遏止暖化趨勢所帶來的風險與衝擊，全球共 195 國於 2015 年底簽署了巴黎協定，為致力於將全球均溫升幅控制在 2°C 之內而努力達成共識。然而根據國際能源總署(International Energy Agency, IEA)分析資料指出，儘管跡象顯示自 2014 年以來能源相關的碳排放一直保持穩定，但全球能源部門的碳排放量在過去十年中仍然上升了近 25%。為此，IEA 在 2017 年的能源技術展望(Energy Technology Perspectives 2017, ETP2017)中，從全球及能源供需部門的角度，分析如何從現實情況(參考情境 Reference Technology Scenario, RTS)，透過對可行技術的整合發展應用、部署及創新，加速能源部門的低碳轉型過渡，以達到 2°C 情境(2DS)，甚至超越 2°C 情境(B2DS)，到 2060 年實現碳中和(carbon neutrality)。

關鍵字：能源轉型、潔淨能源、超越 2°C 情境(B2DS)、碳捕獲與封存

一、前言

全球能源系統正在發生變革。隨著世界各地的生活水平提高，消費電器和電子設備的需求正在上升，更多的人連接到電網。電動汽車，自主知識產權等新型創新型交通運輸技術也在推升電力需求的增長。這個趨勢以及能源領域的技術進步，將在未來數十年期間影響能源安全和環境的可持續性發展。

越來越多能源領域的決策也將能源安全、空氣品質、氣候變化以及經濟競爭力等因素納入到決策過程當中。然而，根據國際能源總署(International Energy Agency, IEA)的分析，目前的政府政策還不足以實現長期的全球氣候目標。IEA 最新出版的「2017 能源技術展望：促進能源技術轉型(Energy Technology Perspectives 2017: Catalysing Energy Technology Transformations, ETP 2017)」透過模型分析了在三種情境(RTS、2DS、及 B2DS)下，全球能源部門到 2060 年的展望結果。IEA 並指出，目前全球的努力和展望的結果之間仍有巨大的差距，要達到 2DS 已經極具挑戰，若要推進到 B2DS，則必須透過全球性的、前所未有的加速低碳技術推動以及政策行動才可達到。

二、全球低碳技術展望

2014 年全球能源二氧化碳排放量約為 322 億噸，若包括工業製程排放，則能源部門二氧化碳排放總量增加到 343 億噸左右。其中主要來自四個部門：電力（40%）、工業（24%）、運輸（22%）及建築（8%）。

根據 ETP2017 指出，目前的能源和氣候承諾代表了從過去“一切如常”(business as usual, BAU)方式的實質性轉變，但並不足以實現長期目標。在參考情境（RTS）中，能源部門二氧化碳排放量將在 2050 年左右達到峰值；到 2060 年能源部門碳排放量將較 2014 年高約 16%。全球平均氣溫到 2100 年將上升 2.7°C，並將繼續上升且不可能穩定下來。相較之下，2DS 需要 CO₂ 排放在 2020 年之前達到頂峰，並在 2060 年左右降至 2014 年的 1/4 左右。若要從 RTS 到 2DS，到 2060 年累計需減少 40% 碳排放量。建議採用的技術組合(圖 1)包括能源效率和再生能源分別占 40% 和 35%，碳捕獲與封存(carbon capture and storage, CCS)和創新過程對後期的貢獻有所增加，累計貢獻 14%，而燃料轉換貢獻與核能分別為 5% 與 6%。

在 2DS 中電力部門在 2060 年已經幾乎脫碳，而工業和運輸部門在 2DS 終期成為最大的排放源。在 2DS 中，到 2060 年的累積排放量主要來自於工業、電力及交通運輸。這些剩餘排放量代表 B2DS 路徑的減碳任務更為困難。在 B2DS 中，CO₂ 排放量達到高峰後迅速下降並在 2060 年達到零排放。從 2DS 朝 B2DS 轉變採用的技術組合中，圖 2 顯示能源效率貢獻最大，達到 34%，CCS 為 32%、燃料轉換 18%、再生能源 15% 及核能 1%。在整體政策行動方面的建議則包括快速導入相關措施填補和積極目標之間的差距，以避免排放密集基礎設施的鎖定，而長期技術需求的近期行動和政策目標的協調一致、以及增加能源技術創新的投資將有助於能源部門的可持續轉型。

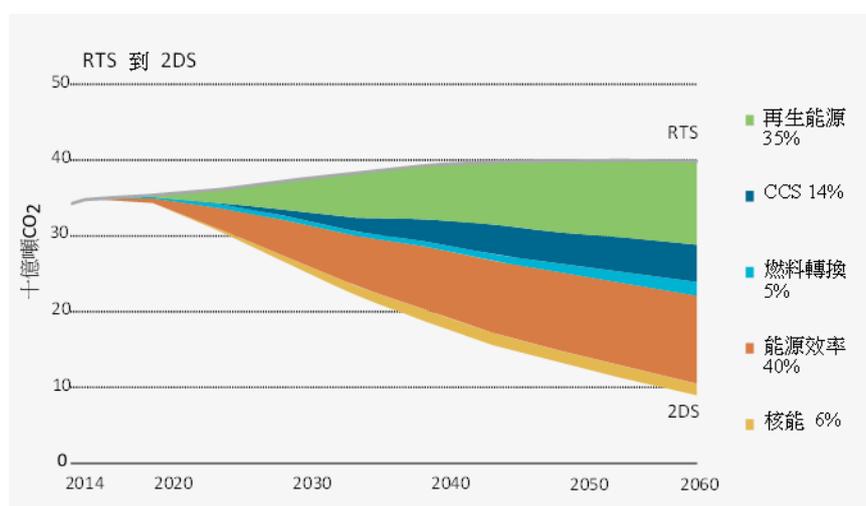


圖 1、RTS 到 2DS 各減量技術之貢獻度[1]

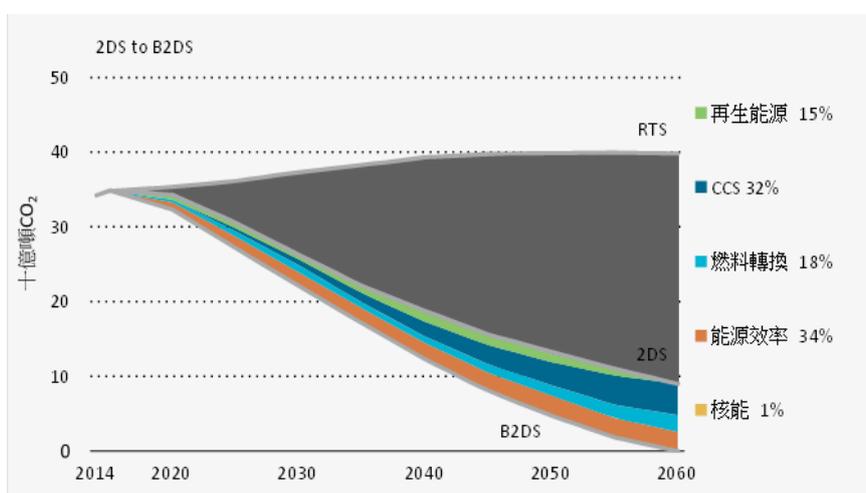


圖 2、2DS 到 B2DS 各減量技術之貢獻度[1]

另外，ETP2017 也提供了其每年對潔淨能源技術和市場發展的評估。結果顯示，26 項調查技術中只有 3 項正在實現可持續能源轉型，如電動汽車（EV）、能源儲存和更成熟的變動性再生能源：太陽光電（PV）和陸域風力等。而這些技術能順利在轉型的軌道上，實有賴於所有其他技術也在轉型中發揮作用，但目前情況並非如此。另外，有 15 項技術只取得一些進展，8 項技術顯著偏離軌道(表 1)。

表 1、潔淨能源技術進展摘要[1]

	潔淨能源技術		進展狀況	最近趨勢	備註
能源供給	再生能源		橘	+	<u>進展狀況</u> 紅：沒有進展 橘：有改善，但需更多努力 綠：有進展，但需要持續發展與政策
	1	PV 及陸域風力	綠	+	
	2	離岸風力及水力	橘	-	
	3	生質能、集中式太陽能、海洋能及地熱能	紅	~	
	核能		橘	~	
	天然氣發電		橘	~	
	燃煤發電		紅	~	
	碳捕獲與封存		紅	+	
能源需求	工業		橘	+	<u>最近趨勢</u> +：正向發展 ~：有限的發展 -：負向發展
	1	化學及石化業	橘	+	
	2	紙漿及紙	橘	+	
	3	鋼鐵	橘	+	
	4	鋁業	橘	+	
	5	水泥	橘	+	
	運輸		橘	~	
	1	電動車	綠	~	
	2	輕型車輛燃料	橘	-	
	3	卡車及重型車輛	橘	~	
	4	國際航運	紅	~	
	5	航空	橘	~	
	6	運輸生質燃料	紅	+	
	建築		紅	+	
	1	建築外殼	紅	~	
2	照明、電器及設備	橘	+		
整合能源	再生熱能		紅	~	
	能源儲存		綠	+	

電動車的銷售在 2016 年達到歷史新高，達 75 萬輛以上，使得全球累積數量達到 200 萬輛；儲存技術持續快速擴大部署使得 2016 年達到 1GW；太陽光電及陸域風力則由於歷史新低的長期合約價格使得亞洲、拉丁美洲及中東的年裝置容量強勁成長。核能方面新增的裝置容量亦創下自 1990 年以來新高；全規模的 CCS 計畫持續擴張；另外越來越多國家實施政策來改善建築能源績效，但自 1990 年以來全球建築部門的人均能源消費實質上仍然沒有改變。全球潛在地朝向再生能源發展是好現象，但是相關資源仍有很大部分尚未開發。在政策行動方面的建議包括需要有關技術部署和開發的詳細訊息以提供潔淨技術的選擇，透過以系統友好型部署和技術開發為重點的政策改進來實現再生能源發電的快速增長，需要有針對性的政策激勵措施來推動大型 CCS 項目的部署，以及透過全球合作以力求確保所有國家實施和執行現有建築物和新建建築物的能源法規和標準。

三、永續能源需求

所有終端消費當中，工業部門的能源需求、能源相關的 CO₂ 排放占了全球的 1/4。在 2DS 下 2060 年 CO₂ 排放需較 RTS 減量 50%，B2DS 則需較 RTS 減量 80%。在工業部門，尚未實現商業轉化的技術可以使 2DS 中累積的直接 CO₂ 排放量減少 18%，B2DS 中累積直接 CO₂ 排放量減少 36%。要將工業生產擴大與 CO₂ 排放脫鉤，需要大幅度改善材料和能源效率，部署最佳可行技術(best available technology, BAT)，轉向低碳燃料和原料，以及快速部署創新技術，包括 CCS(圖 3)。要達到 2DS 及 B2DS 路徑，將需要跨工業部門和地區的協同努力，以減少能源和二氧化碳排放的影響。政策建議包括實施能效設備及製程整合措施的績效標準及財務誘因，廢止化石燃料補貼及實施碳定價制度；研究發展、示範及部署；實施材料效率策略、整合評估地方能源的資源及需求模式以鑑別適地性、蒐集特定技術能源績效統計資訊，以強化部門能源及碳排的評估；及早進行跨部門合作及低碳轉

型政策行動，以支持創新低碳技術的快速擴展與布局。

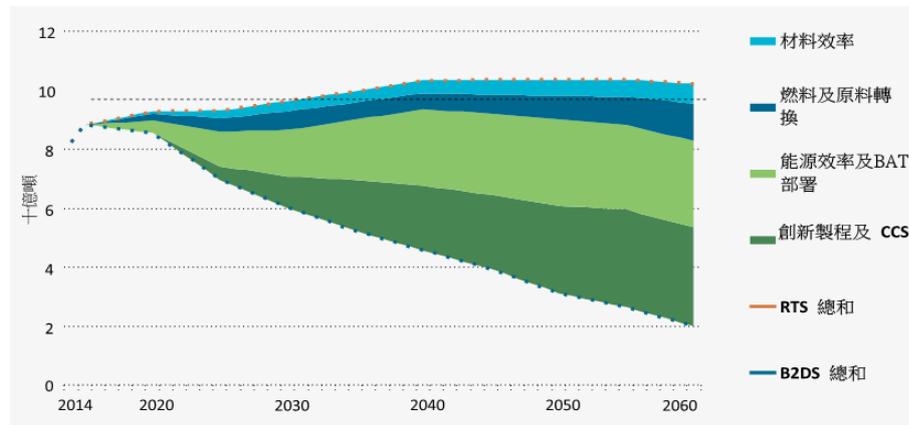


圖 3、工業部門從 RTS 到 B2DS 之減量策略[1]

在建築部門，2014 年全球建築物的最終能源消費占全球 30% 以上，電力消費則占全球的 55%，能源相關 CO₂ 排放占了全球的 1/4 以上。在 RTS 中，若無採取相關行動改善建築物的能源績效，則全球建築物的能源需求到 2060 年將增加到 160EJ，建築相關碳排放將成長至 100 億噸。在 2DS 透過積極的能效措施，建築相關的 CO₂ 排放將較 RTS 低了 85%。在 B2DS 則藉由快速推動能效措施使能源需求較 2DS 減少 12%，或較 RTS 減少 1/3 以上；需快速部署的節能低碳措施包括高效率照明、空調及器具、轉移化石燃料的使用、降低天然氣的需求並轉移至有效率、可再生能源、以及整合的解決方案等可大幅度降低到 2060 年的建築能源需求和排放量，同時也支持電力部門脫碳，需要實施策略性政策和市場激勵措施，以鼓勵建築部門廣泛採用可持續能源解決方案。建築部門的政策行動建議包括：國家和地方政府應緊急建立和執行強制性建築能源法規、逐步提高新建和現有建築物的能源效能標準；擴大現有的強化設備和建築技術的政策和規定；透過適當的政策方案和市場激勵機制提高節能低碳建築技術的使用。要達到 B2DS 則需要迅速的政策行動，包括適當的價格訊號，推動創新，並將市場迅速轉向低碳，高效技術和最佳建築實踐。

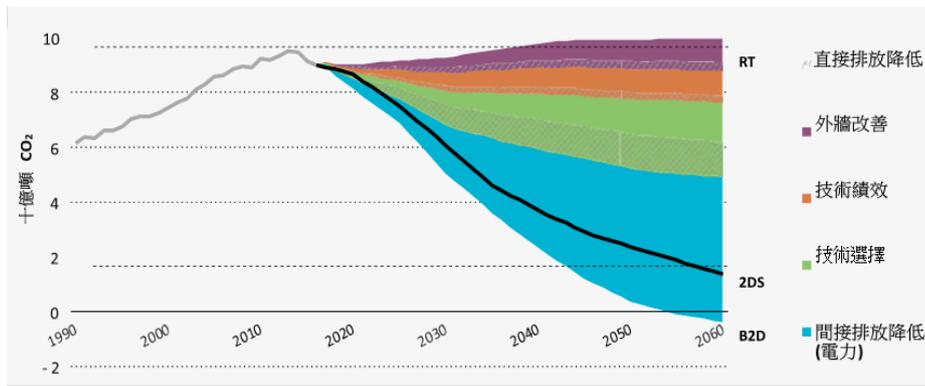
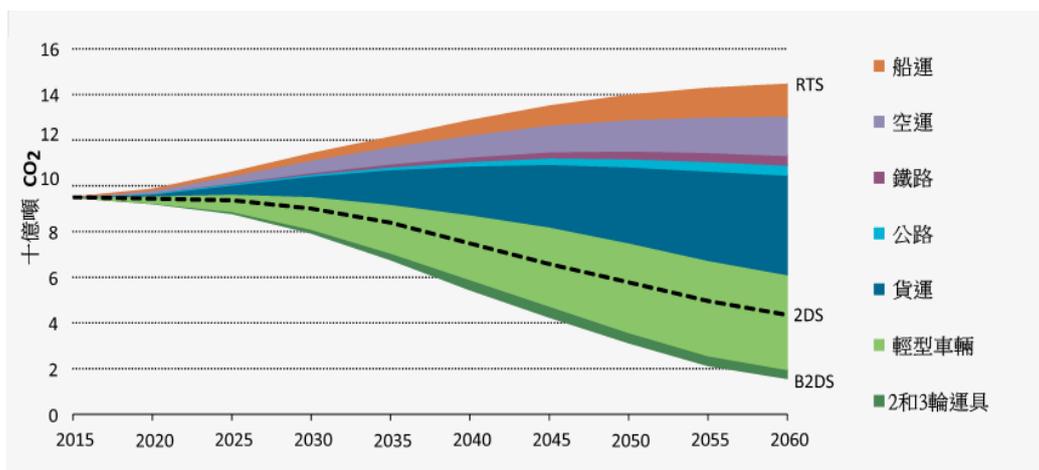


圖 4、建築部門減量策略[1]

運輸占全球最終能源需求的 28%，由燃料燃燒引起的 CO₂ 排放量占全球的 23%。運輸部門 2014 年消耗了全球石油最終能源需求的 65%。最終能源需求大部分來自道路運輸車輛(輕型商用車輛(light commercial vehicles, LCVs)和卡車)(36%)，其次是乘用輕型車(passenger light-duty vehicles, PLDV)(28%)。在 2DS 及 B2DS 中，電氣化是交通部門最主要的低碳途徑。運輸部門去碳化需要改變運輸需求的性質和結構、大幅提高能源效率、載運工具使用的能源結構的快速轉型及基礎設施的布建。長途運輸方式-特別是航空、重型道路運輸和航運的減碳則需要重大的政策和技術發展。增加公共交通工具的占比和優化公路運輸的政策和技術可以降低車輛購置和相關的道路建設成本，大幅減少運輸部門減碳所需的投資。政策行動的建議包括廢除所有運輸模式及燃料的化石燃料補貼改課碳稅；制定能源使用和生命週期溫室氣體排放法規、促使迅速採用電動車(EV)等低碳車輛技術；透過對運輸課稅的方式支持轉型到超低排放或零排放的運具，另外實施如堵塞收費、低排放區、進出管制等監管措施，以及策略投資插電式電動汽車(PEV)公共充電站等可支持國家層級的政策，以達成在都會區零排放車輛的快速部署。另外，雖然國際航運和航空在國家和地區管轄範圍之外，但其活動的全球性則提供了全球合作與管理的機會和必要性。增加公共交通工具的占比和優化公路運輸的政策和技術可以降低車輛購置和相關的道路建設成本，大幅減少運輸部門減碳所需的投資。



Source: IEA (2017a), Mobility Model, March 2017 version, database and simulation model, www.iea.org/etp/etpmodel/transport/.

圖 5、不同情境下各種運輸模式之溫室氣體排放減量

四、低碳電力供給

電力領域的深度和快速減碳是實現 2DS 及 B2DS 策略的核心。一旦電力系統為低碳，電力也可以支持熱能和動力方面的脫碳。透過採用生質能源發電廠及碳捕獲與封存，電力部門可透過負排放來抵銷能源系統其他部分的排放。

電力部門目前的 CO₂ 排放占能源部門全年二氧化碳排放總量的 40% 左右。在 RTS 中，全球電力需求至 2060 年間增長了一倍以上，CO₂ 排放量在 2030 年後穩定在 15 億噸二氧化碳排放量的水平。CO₂ 密集度在 2060 年將為目前的一半。在 2DS 中，全球電力部門在 2060 年達到淨零排放。在此情景需要加強技術組合的應用，其中再生能源（包括 2% 的生質能源使用附加 CCS 技術 (bioenergy with carbon capture and storage, BECCS)）占 74%，核能 15%，7% 來自於附帶 CCS 的化石燃料，其餘來自沒有 CCS 的天然氣發電。在 B2DS 中電力部門在 2025 年以前的 CO₂ 排放需為 2DS 累積量的一半。

終端消費的電氣化是 2DS 及 B2DS 的關鍵，而採用 BECCS 達到電力部門的負排放則是達成 B2DS 的重要途徑。在 B2DS，全球電力部門到 2050 年達到淨零排放，並在 2060 年達到淨負值，其中再生能

源的減碳貢獻為 53%、核能 12%、及附帶 CCS 的化石燃料為 9%。提早汰換燃煤電廠、增加系統的彈性以加速布建變動性再生能源 (variable renewable energy, VRE)、電網的擴建、升級及電力儲存設備的布建等，都是達成 B2DS 的要件，而積極的需求面反應將提高整合的彈性及降低成本。要達到 B2DS，電力部門需要投資 650 億美元，比 2DS 額外高出 40%。電力部門的低碳政策行動建議則包括配合發展階段的低碳電力技術的創新、實施強有力的碳定價政策、以再生能源為主的低碳發電系統、開發附加 CCS 的天然氣發電技術以增加彈性降低成本。促進高碳捕獲率的 CCS 的研發以及商業化規模的 BECCS 發電示範等。

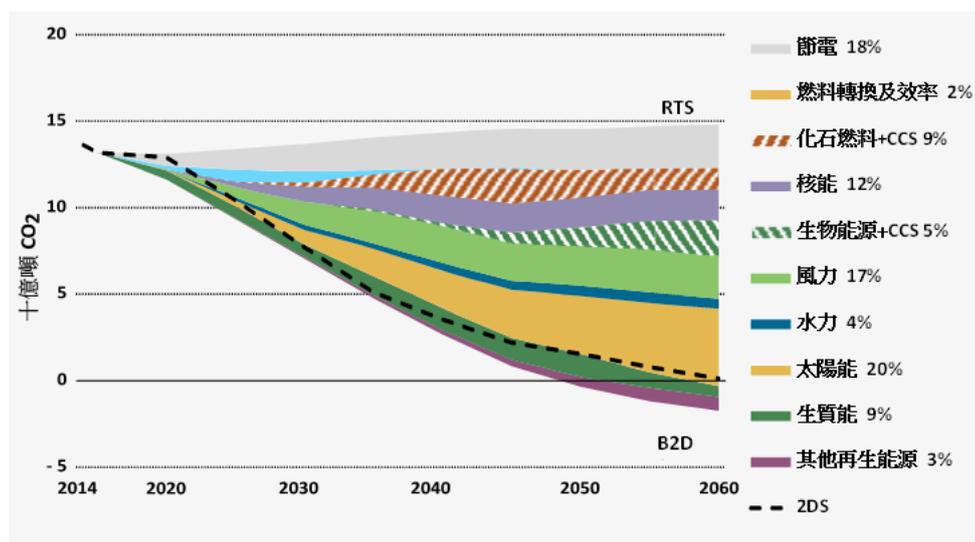


圖 6、電力部門減量技術之貢獻度[1]

五、低碳轉型與碳中和的關鍵-生質能源和碳捕獲與封存

生質能源和碳捕獲與封存技術在 2DS 及 B2DS 中扮演極重要的角色。生質能源在跨能源部門利用極為廣泛，包括可發電、為建築物和工業提供熱能，及為運輸部門提高能源多元化和能源安全。在 2DS 和 B2DS 中，都須仰賴生質能源的貢獻才能達成未來低碳能源轉型，而要擴大生質能源的作用尚須許多仍處於成熟初期階段的技術之開發示範及部署。

在 ETP2017 各情境中，隨著低碳目標的提高，負排放--特別是電力部門和燃料轉換的負排放變得極為重要。在 B2DS 中，這些負排放將影響能源部門能否在 2060 年實現碳中和，而生質能源使用附加 CCS 技術(BECCS)能夠抵銷能源系統其他方面的剩餘排放量，以促進 2060 年整體能源系統的碳排放中和。

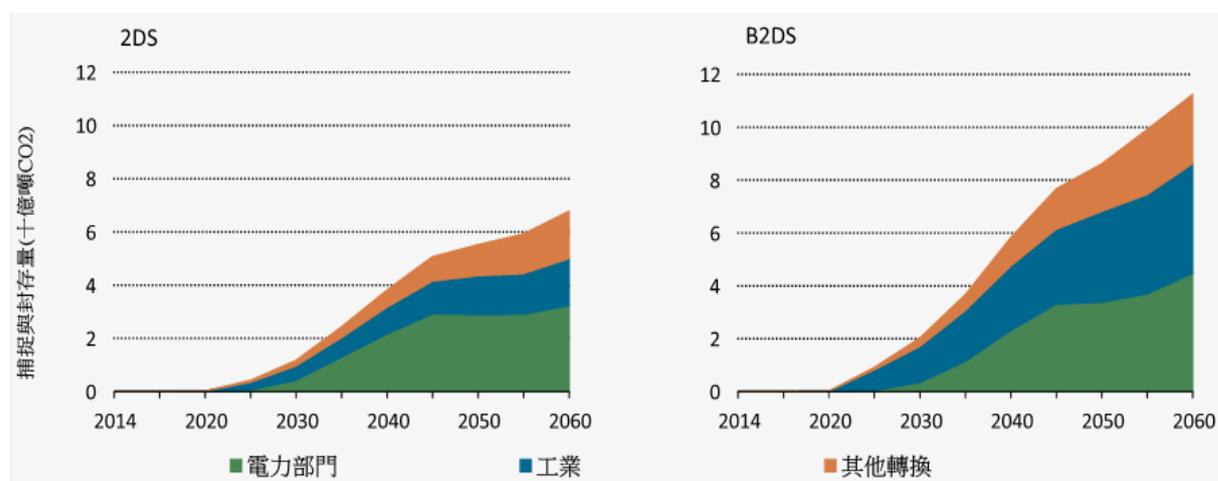


圖 7、CCS 在 2DS 和 B2DS 的部署率[1]

六、結論與建議

不同於以往的能源技術展望報告均以 2°C 情景為主要氣候情景，ETP2017 首次研究了當技術創新推到極限時，潔淨能源技術將如何推動能源部門以實現更高的氣候目標。分析顯示，技術創新能夠有效降低溫室氣體排放，而若有強力的政策支持，將可實現巴黎協定提出的目標範圍的中值水準。而無論能源部門的轉型依循的路徑為何，均需要加速採取政策行動，透過有系統地及協調的方式加速潔淨能源的布建，俾能實現其所帶來的多重經濟、安全以及其他效益。

目前我國正值能源轉型期，為建立一個低碳永續、高質穩定、效率經濟的能源體系，主要的政策方向包括逐步廢核、積極開發綠色新能源、擴大使用天然氣，並減少化石燃料的使用，期能達到 2025 年電力結構為再生能源 20%、燃煤 30%、及天然氣(含石油)50%的目標。政府並完成電業法修法，以提供能源轉型所需的市場結構與法制基

礎。在低碳轉型過渡期間，短中期仍需對化石能源有較高的依賴，為降低其所帶來的汙染與碳排放，政府可參考國際經驗，在電力供給面可從技術上提升減污減排設備；在能源需求面亦須更新到最新減污減排技術，並輔以立法管制、經濟誘因、及鼓勵投資完備電網等以提升潔淨能源的占比。這些均需透過政府跨部會跨領域一起集思廣益，整合規劃，從能源需求面與供給面、系統面及綠能發展各方面提出政策行動方案，並連結地方層級共同努力，才能在兼顧能源安全、環境保護及經濟發展下，達成低碳能源轉型。

七、參考文獻

- [1] IEA Energy Technology Perspectives 2017-Catalyng Energy Technology Transformations, OECD/IEA, 2017/06/06.