

IEA 世界能源展望的特別報告「能源與氣候變遷」

—全球燃料燃燒排放二氧化碳得以在 2020 年前達到尖峰

洪嘉業

工業技術研究院 綠能與環境研究所

摘要

國際能源總署(International Energy Agency, IEA)認為在今(2015)年底於法國巴黎舉行的聯合國氣候綱要公約締約國大會(COP21)將是影響未來全球氣候變遷的重要關鍵，不僅是要求各國在會議前提交未來(後 2020 年)的減碳貢獻，並且針對全球減碳訂定方向。而由於能源部門所排放的溫室氣體已經占整體溫室氣體的 2/3 以上，因此對抗氣候變遷的首要對象在於能源相關的二氧化碳排放。基於此，IEA 對於能源部門提出四大關鍵支柱[1]，用以實現全球低碳化的目標。而根據 IEA 提出的銜接情境(Bridge scenario)¹，全球燃料燃燒排放二氧化碳總量可望在 2020 年前達到尖峰。

一、前言

依據美國能源資訊局(EIA)、英國石油公司(BP)等有關全球化石燃料二氧化碳排放之資料分析[2]，將全球主要排放二氧化碳的國家之化石燃料使用量及其排放進行統計。統計結果顯示 2014 年中國大陸的二氧化碳排放占全世界的比重達 27.5%，其次為美國的 16.9%。臺灣排名 21，排放量占比約為全球 0.94%，如圖 1 所示。

根據美國國家海洋和大氣管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)的最新資料顯示，近年來全球地表溫度有逐年上升的趨勢[3]。今(2015)年已有許多月份創下有史以來(統計自 1880 年)最炎熱的月份²。根據其分析指出，存在於大氣中的

¹ 銜接情境(Bridge scenario)是介於 450 情境與 INDC 情境中間的過渡情境

² 包括二月、三月、五月、六月

溫室氣體，包括二氧化碳、甲烷、一氧化氮等都在 2014 年達到歷史尖峰。大氣中二氧化碳濃度在 2013 年五月已經達到 399.76ppm，爾後每個月的監測發現，幾乎維持在 400ppm 以下，直到 2014 年四月突破 400ppm，2014 年的二氧化碳平均濃度來到 398.55ppm。近年來二氧化碳濃度幾乎是以每年 1.9ppm 的速度增長，使得 2014 年的地表年均溫達到有史以來的最高。根據分析指出 2014 年地表年均溫相較 1981-2000 年均水準還要高出 0.27-0.29℃。

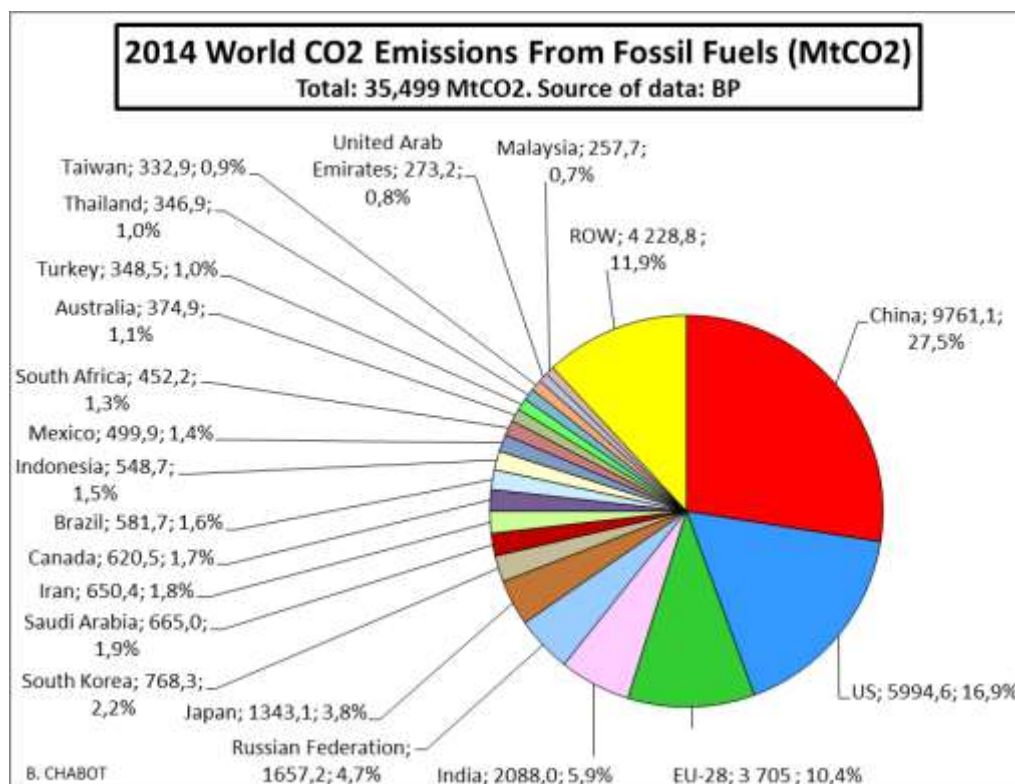


圖 1、2014 年全球化石燃料相關之二氧化碳排放占比[2]

2015 年逐月的資料更顯示 2-6 月的大氣中二氧化碳濃度均超過 400ppm，更使得今(2015)年的平均氣溫有可能創下有史以來的新高，如圖 2 所示。

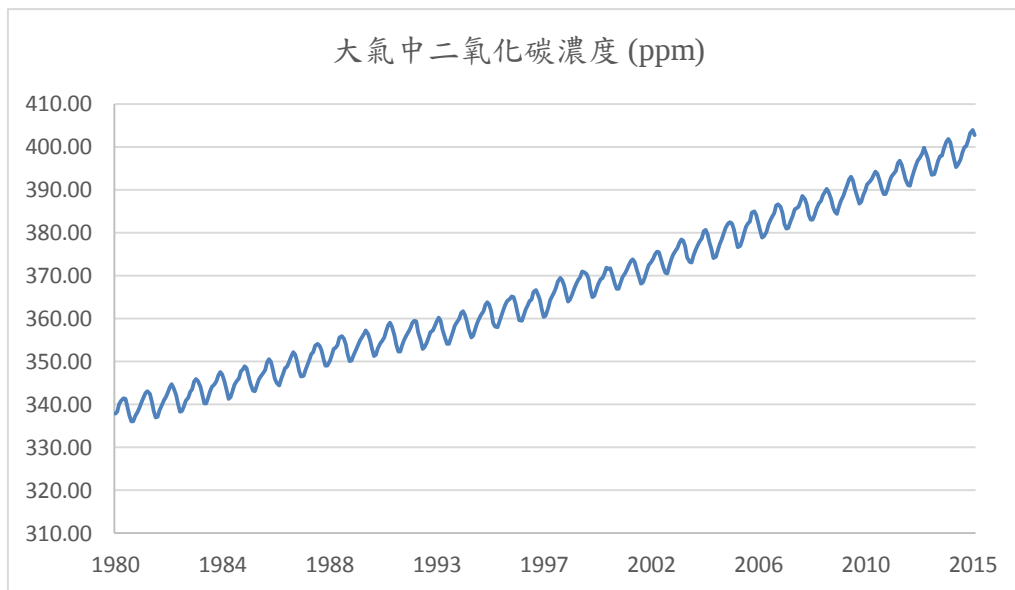


圖 2、大氣中二氧化碳逐月濃度變化趨勢[3]

近年來由於低碳能源的使用迅速增加，已有跡象顯示，經濟成長逐漸與能源相關的二氧化碳排放脫鉤。2014 年全球燃料相關二氧化碳排放達 322 億噸，幾乎與 2013 年相當，而 2014 年全球經濟成長率高達 3%。這幾乎是近 40 年來的首次，全球可以在經濟持續成長下，控制二氧化碳的排放量。

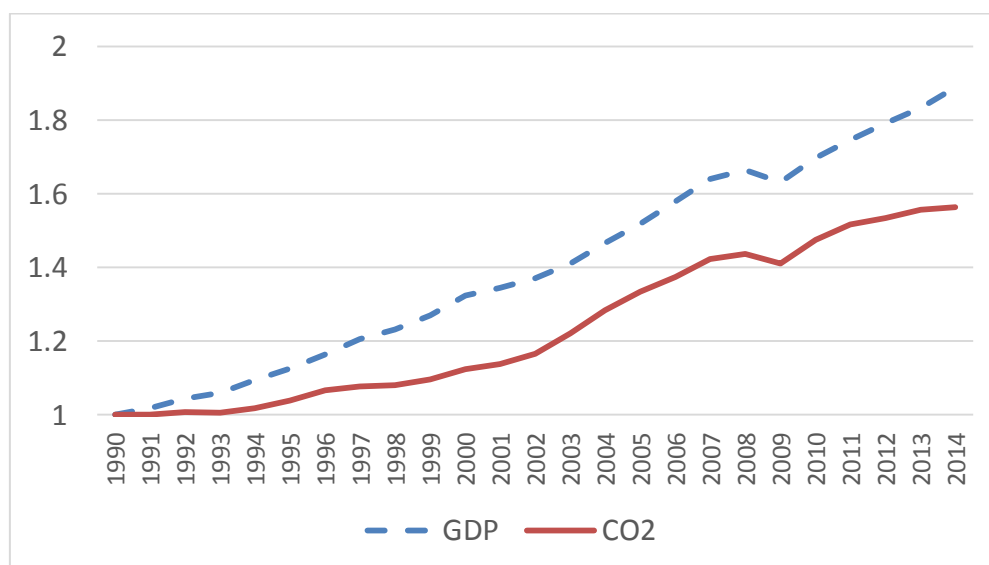


圖 3、1990-2014 世界經濟與二氧化碳排放趨勢(以 1990=1)[4][5]

二、INDC 情境下全球能源相關二氧化碳排放速度趨緩

2010 年第 16 次聯合國氣候變化綱要公約締約國大會做成決議(坎昆協議)，196 個會員國應盡速設定行動方案，以避免全球升溫幅度相較工業革命前超過 2°C。去(2014)年 12 月於利馬召開的第二十次締約國大會(COP20)中，明確的表示要求全球各國均須於今(2015)年提出 2020 年後的溫室氣體減量承諾，亦即國家自定預期貢獻(Intended Nationally Determined Contributions, INDC)。

IEA 針對 2015 年 5 月 14 日之前各國家遞交的 INDC，以及在這之前已經有發布相關新聞預告之國家的未來減碳承諾，進行彙整。結果發現即使各國認為其提交的 INDC 非常積極，但仍無法達到 450 情境³所規範的目標，預估在 2040 年就會用完 2°C 目標下的碳預算，僅比沒有 INDC 情境晚 8 個月，且若在各國的後 2030 年沒有更強烈的減碳承諾或行動，按照 INDC 情境發展，至 2100 年全球平均升溫將達到約 2.6°C，2200 年後達到約 3.5°C。

INDC 與 450 情境的初級能源總需求如圖 4 所示，兩者最大的差異在於 450 情境控制初級能源需求在 2013 至 2030 年間每年僅 0.5% 的速度成長，且其中速度成長幅度最快的是其他再生能源(不含水力與生質能)，使其在 2030 年初級能源需求的占比達 5.6%，而高排碳的煤炭與石油均呈現負成長，煤炭在 2030 年占比僅為 19.3%。反觀 INDC 情境，其初級能源總需求將以每年 1.1% 的速度成長，且每一種能源種類均呈現成長的趨勢，使得煤炭在 2030 年的占比仍然高達 25.1%。

³ 450 情境是指控制大氣中溫室氣體濃度在 450ppm 以內，讓本世紀末氣溫上升幅度不超過工業革命前平均溫度的 2°C 以內。

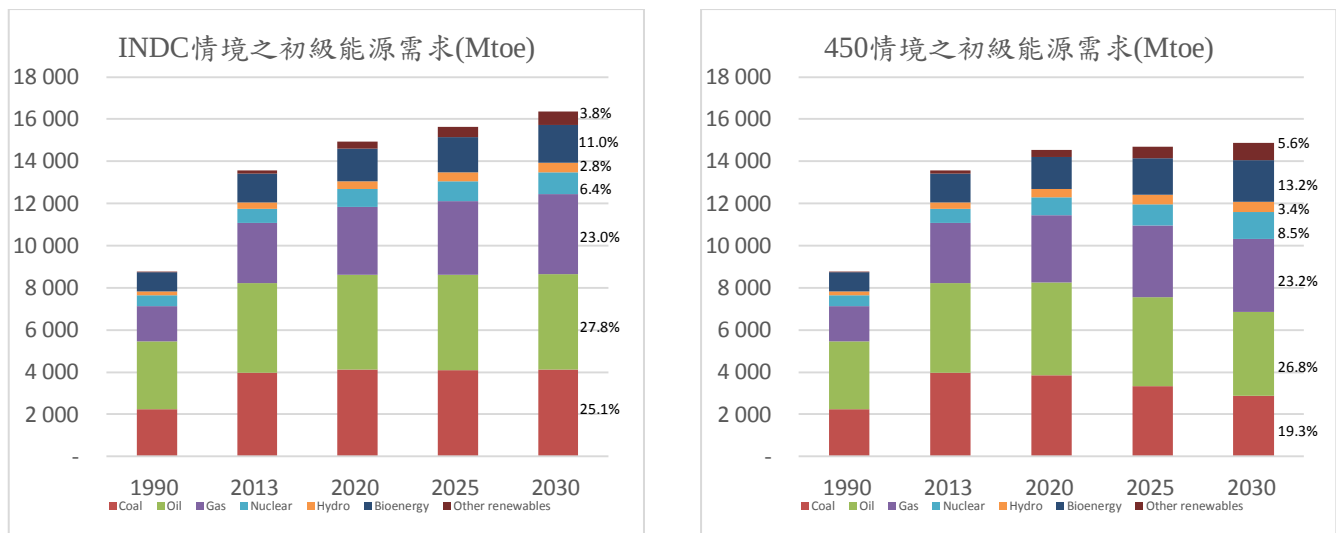


圖 4、INDC 與 450 情境下的全球初級能源總需求[1]

INDC 與 450 情境的發電結構配比如圖 5 所示，兩者最大的差異在於 450 情境抑低了未來的電力需求，使 2013-2030 年電力生產年均成長率控制在 1.5%，而 INDC 情境卻為 2.1%。450 情境中各類發電能源以再生能源的年均成長率為最高分別介於 7.1-25.6%，且為了達成減碳目標，核能發電的年均成長率為 4.1%，並且抑制燃煤發電，使其年均成長率為-3.1%，各種發電種類中燃氣的發電占比在 2030 年為最高，達 22.5%，其次是水力、燃煤、核能；INDC 情境中成長率最高者亦為再生能源，分別介於 5.9-21.8%，但燃煤發電仍然呈現小幅度成長，年均成長率為 0.4%，使得燃煤發電占比在 2030 年達到 30.8%，仍為所有發電種類的最高，其次為燃氣、水力、核能。

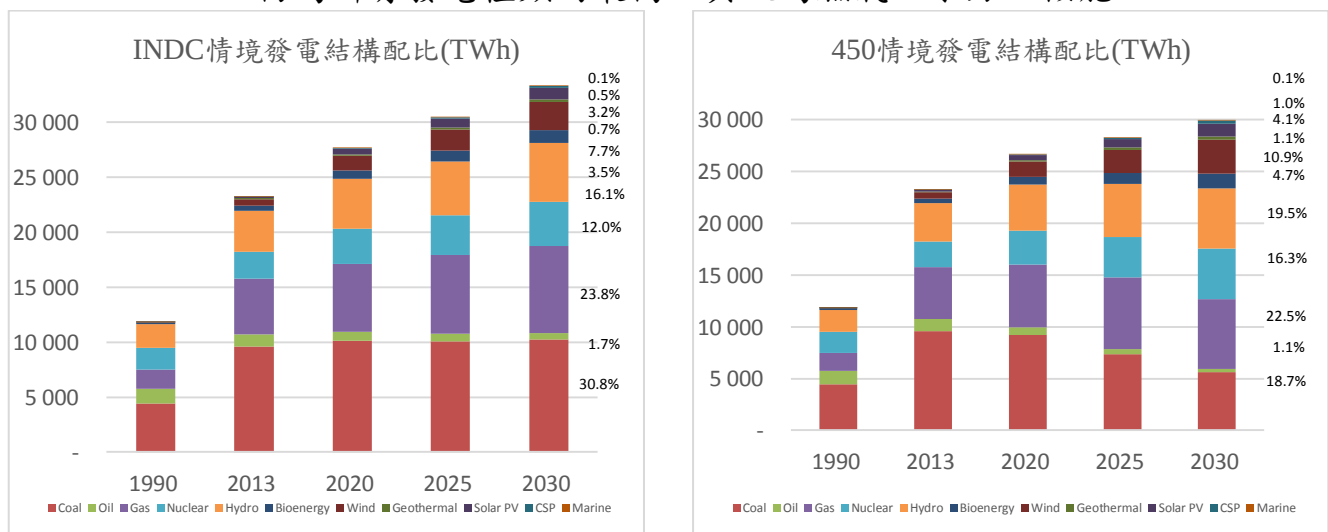


圖 5、INDC 與 450 情境下的各類發電能源配比[1]

三、達成減碳目標的四大關鍵支柱

IEA 認為 COP21 僅為各國減碳雄心的基礎，能源部門需要有更清楚的目標與具體的行動方案，使人們對於全球追求低碳發展有更明確的預期。IEA 對此提出可以實現目標的四大關鍵支柱：設定排放尖峰、滾動式修正、鎖定願景、追蹤改變情形等，分述如下。

(一)排放尖峰(Peak in emissions)

在這次的報告中，IEA 提出了一個銜接情境(Bridge Scenario)，目的在於使全球燃料燃燒排放二氧化碳得以在 2020 年前達到尖峰。銜接情境包含 5 大項措施：

1. 提高工業、建築和運輸部門的能源效率

提升各部門的能源使用效率一直是各國家能源政策的主要特點，銜接情境建議應設定可追蹤的節能目標，並且透過最低容許耗用能源基準(MEPS)來規範產品效率，淘汰低能效的能源服務需求、更新老舊建物、提升產業製程能效等。

2. 逐步減少使用並禁止新建低效率的燃煤電廠

電力部門對於溫室氣體排放有著非常顯著的影響，IEA 認為應逐步降低低效率的燃煤機組運轉，並且逐漸限制新建低效率燃煤機組。

3. 增加再生能源技術的投資，由 2014 年的 2,700 億美元提升至 2030 年的 4,000 億美元

銜接情境對於電力部門的另一項建議在於提升再生能源技術的投資，尤其是當再生能源逐漸具備有成本競爭力的時候，應透過大量的投資再生能源來幫助電力部門減碳。

4. 2030 年前逐步減少終端使用者的化石燃料補貼

逐步減少化石燃料補貼有助於降低能源低效率的使用。

5. 減少石油和天然氣生產時的甲烷排放

銜接情境中假設可以使石油與天然氣開採時的甲烷洩漏獲得改善。

IEA 的銜接情境中，仍然將核能認定為減碳的選項之一，依照各國提交的 INDC 或是未來的電力開發方案，並且評估銜接至 450 情境的路徑下，IEA 認為未來核能的發電占比仍然需要提升，至 2030 年達到 540GW 的規模⁴。

在銜接情境中預計 2030 年的能源相關二氧化碳排放相較 INDC 情境再下降 48 億公噸，其中最主要的貢獻在於能源效率(49%)、其次是再生能源投資(17%)。依照 IEA 的估算，銜接情境可望使全球 2020 年前達到碳排放尖峰，詳如圖 6 所示。

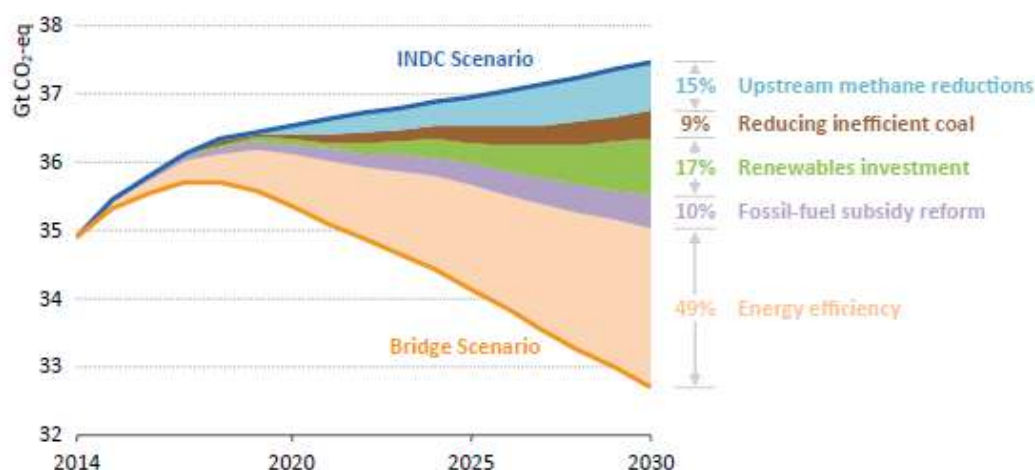


圖 6、INDC 情境與銜接情境的碳排放量差異[1]

(二)五年一次的滾動式修正(Five year revision)

隨著科技的演進，許多低碳技術成本和效率得以改善，因此需要有滾動式檢討機制，確保各國在低碳環境建構中的目標積極，亦確保各國的短期減碳目標與長期減碳路徑相同。

另一個需要五年定期滾動式檢討的目的在於，電廠的基礎設施使用年限長，且對溫室氣體排放量影響非常大，例如規劃在 2020 年前興建的電廠，將會持續影響溫室氣體排放量至少至 2040 年以後。因此滾動式修正檢討除了檢視當前溫室氣體排放量是否在 2°C 情境軌跡

⁴ 根據 World nuclear association 的資料顯示，統計至 2015 年 7 月底，全球運轉中的核電機組裝置容量約為 379GW，興建中的裝置容量為 70GW，約有四成集中在中國大陸。

上，另外仍需要檢討當前規劃的興建電廠，是否會使得往後幾十年難以達成減碳目標。以 INDC 與銜接情境至 2040 年而言，INDC 情境在 2020 年前新建的電廠較銜接情境多出 46 億噸的二氧化碳排放，而 2021-2025 年規劃興建的電廠甚至較銜接情境多出 193 億噸的二氧化碳排放，如圖 7 所示，這意味著其他的節能措施必須更為積極，否則將無法抵銷這近 240 億噸的二氧化碳排放。

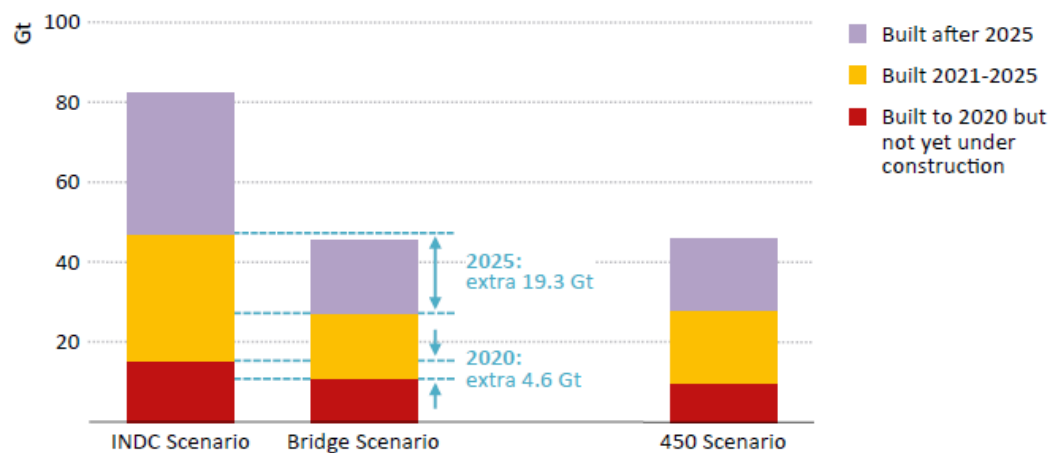


圖 7、新建電廠對二氧化碳排放的影響[1]

(三)鎖定願景(Lock in the vision)

IEA 建議確保全球平均溫度限制增加 2°C 的目標，仍應視為一個長期的溫室氣體排放量的目標，而確保長期目標有助於投資者有信心持續投資於低碳技術的研發。

如果各國願意採用銜接情境作為減碳目標，則全球的溫室氣體排放量將有可能在 2020 年前達到尖峰後，開始下降。

(四)追蹤改變情形(Track the transition)

無論最終 COP21 會議的決議為何，IEA 認為應該有一套機制和規則可以檢視各國提出的減碳目標，必要時可以針對未能達成目標的國家提出支援和協助。IEA 認為可以由供給與需求面向、各部門分別訂定可量化的指標，如表 1 所示，用以追蹤各國減碳成效。

表 1、低碳化指標[1]

部門	指標	單位
能源部門	■ 碳密集度(base on 初級能源供給)	tCO ₂ /toe
	■ 能源密集度	toe/\$
	■ 於低碳能源供給和能效提升的新投資	\$
	■ 再生能源占最終能源消費比重	%
	■ 無使用電力的人口或占比	人, %
	■ 化石能源補貼	%, % of GDP
	■ 碳價格涵蓋的二氧化碳占能源部門二氧化碳排放的比重	%
	■ 公與私部門於低碳能源的研發投資	%, % of GDP
電力部門	■ 電力排放係數	g CO ₂ /kWh
	■ 化石燃料機組的平均效率	%
	■ 新增機組中低碳機組的占比	%
運輸部門	■ 客運：延車公里排放二氧化碳	g CO ₂ /v-km
	■ 貨運：延噸公里排放二氧化碳	g CO ₂ /t-km
	■ 二氧化碳排放密集度(base on 運輸部門總能源消費)	t CO ₂ /toe
建築部門	■ 住宅：平均住宅能源消費	kWh/dwelling
	■ 服務：單位樓地板面積的能源消費	kWh/m ²
	■ 既有建築物的翻新比例	%/year
工業部門	■ 每附加價值的二氧化碳排放	t CO ₂ /\$1,000
	■ 每生產一噸鋼鐵的二氧化碳排放	t CO ₂ /tonne
	■ 每生產一噸水泥的二氧化碳排放	t CO ₂ /tonne
化石能源系統	■ 天然氣生產過程中的損失	%
	■ 能源提煉過程中的溫室氣體排放	t CO ₂ -eq/toe

四、銜接情境過渡至 450 情境可能面臨的挑戰

由銜接情境過渡至 450 情境，需要有更多的技術支持，包括間歇性再生能源(如風力與太陽光電)、碳捕集與封存(CCS)以及替代燃料車輛。

當間歇性再生能源在電力系統中的占比提高時，即時的電力供給-需求平衡控制將成為電力調度業者很大挑戰，由於在無風無陽光的時刻，無法有效的供給電力，且電力系統每日都必須要面臨一次調度其他非太陽光電的機組快速降載以及快速升載的情況，以面臨日出與日

落時電力供給的變化。

但 IEA 認為間歇性再生能源占比提升所造成的挑戰可透過其他供給端(如電力互聯網、傳統機組、削減再生能源發電量)，以及需求端(智慧電網、儲電設備、需量反應)的相關措施，來調節電力系統升降載速度、整合能力、提升電力品質等，如表 2 所示。

表 2、解決高滲透率變動性再生能源的措施[1]

面向	措施	調節速度	整合能力	提升電力品質	可負擔
供給端	互聯網	◎	○	○	◎
	傳統機組				
	水力	◎	○	◎	◎
	燃煤	○	X	○	○
	燃氣複循環	○	○	○	○
	燃氣或燃油渦輪機	◎	○	◎	○
	再生能源削減	◎	◎	◎	○
供給需求	智慧電網	◎	○	◎	○
	能源儲存				
	抽蓄水力	◎	◎	◎	◎
	電池	◎	◎	◎	X
需求	需量反應	◎	◎	○	◎

◎：高度，○：中度，X：低度或無關

IEA 認為 CCS 是達到 450 情境中不可或缺的重要關鍵技術之一，但其最大的挑戰在於其成本仍高，相較於其他低碳發電技術而言，尚不具有競爭優勢；其次為儲存場址難覓。IEA 建議 CCS 在 2040 年後的重要性會逐漸提升，各國政府仍應建構足夠的誘因機制促使 CCS 技術更加成熟，降低成本。

而替代燃料車輛的主要挑戰在於高成本、低能源儲存密度以及缺乏充電站基礎設施。

五、結論

由於大量的低碳能源使用，使得目前全球經濟成長與能源相關二氧化碳排放已經有逐漸脫鉤的現象，但仍尚未達到 450 情境的軌跡

上。今(2015)年底在法國巴黎舉行的 COP21 會議將是後 2020 減碳承諾的重要會議，而各國提交的 INDC 將影響 COP21 是否成功的關鍵因素。但由於以目前各國提交的 INDC 來看，雖然各國以其自身條件，宣稱訂定最為積極的減碳承諾，但根據 IEA 彙整各國之 INDC 成為 INDC 情境來看，直到 2030 年全球二氧化碳的排放量仍然未能完全與經濟成長脫鉤，排放量呈現持續上升的趨勢，未能達到尖峰，這意味著離 450 情境越來越遠，如圖 8 所示。因此 IEA 設置了一個銜接情境，該情境介於 INDC 情境與 450 情境之間，且可以使全球能源相關二氧化碳排在 2020 年前達到尖峰。

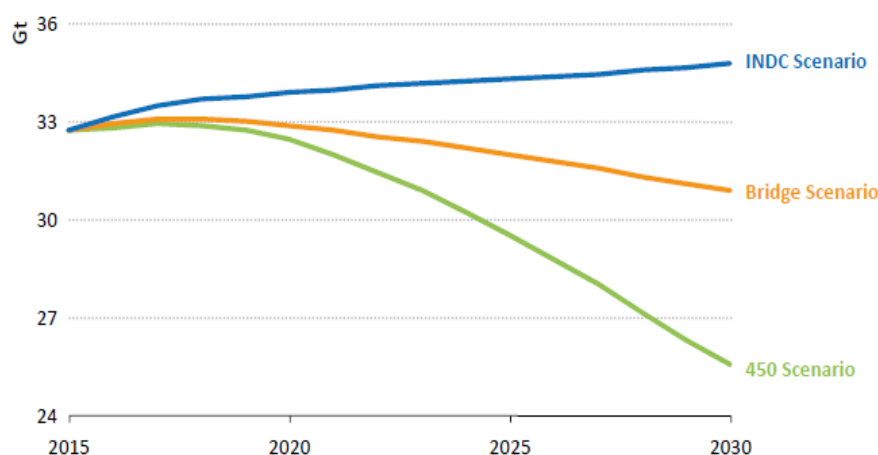


圖 8、INDC、銜接及 450 情境下的溫室氣體排放趨勢[1]

IEA 提出四大支柱用以幫助實現全球增溫不超過 2°C，分別為：訂定排放尖峰、五年一次的滾動式修正、鎖定願景以及追蹤改變情形。而 IEA 在本次報告中提出的銜接情境，用以作為由 INDC 情境過渡至 450 情境的措施。銜接情境包含 5 大措施：提高工業、建築和運輸部門的能源效率、逐步減少使用並禁止新建低效率的燃煤電廠、增加於再生能源技術的投資、逐步減少終端使用者的化石燃料補貼以及減少石油和天然氣生產時的甲烷排放。

而當銜接情境過渡至 450 情境時，仍需面臨如間歇性再生能源占比提升時造成電力系統不穩定、CCS 技術成本高且難覓場址以及替代燃料車輛的高成本、低能源儲存密度以及缺乏充電站基礎設施等挑戰。

我國雖非聯合國氣候變化綱要公約(UNFCCC)成員國，但基於全球減碳的共同承擔性，行政院已於今(2015)年 9 月提出我國的溫室氣體減量國家自定預期貢獻，積極的展現減碳企圖心。由於溫室氣體減量管理法中明文規範，我國 2050 年溫室氣體排放量需回到 2005 年排放水準的一半，鑑於此，行政院擬定 2030 年的中程排放目標為 2030 年溫室氣體排放量為現況發展趨勢(BAU)減量 50%，相當於 2005 年排放水準再減 20%。

統計至 9 月中，已提交 INDC 的國家中，已開發國家多以絕對減量做為目標(相對基準年的減量)，而開發中國家多以相對減量作為提交目標(相對 BAU 的減量)。而以 BAU 作為提交 INDC 減量目標的國家中位於非洲的葛摩訂定 2030 年相對 BAU 減量 84%最為積極，其次為加彭 2025 年相對 BAU 減量 50%。而南韓則訂 2030 年相對 BAU 減量 37%。因此我國的減碳目標可謂非常積極。

參考文獻

1. IEA, Energy and Climate Change, World energy outlook special report, 2015.
2. Bernard Chabot, Analysis of primary energy consumption and of CO₂ emissions from burning coal, oil and gas in main emitting and selected areas and countries, 2015.
3. NOAA National Centers for Environmental Information, State of the Climate: Global Analysis for June 2015, published online July 2015, retrieved on July 28, 2015 from <http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201506>
4. BP, Statistical review of world energy, 2015.
5. World Bank, World Economic Outlook database <http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2015/01/weodata/download.aspx>