



解讀『2015 世界能源展望』報告

一、能源需求持續成長，電力結構穩健邁向低碳化

劉家豪

工業技術研究院 綠能與環境研究所

摘要

國際能源總署(IEA)於最新的《世界能源展望》報告指出 2040 年燃煤發電於電力結構之占比將由當前的 41% 降至 2040 年的 30%，2015-2040 年再生能源投資金額高達 7 兆美元，發電占比增至 34.1%，成為最主要的電力來源，全球電力供給結構將穩健邁向低碳化發展。此外，終端能源使用效率改善的減碳貢獻占比高達 48%，以住宅及運輸部門為主，2030 年在照明、貨運載具等設施的單位能耗量可降低 11%。另亦就低油價情況提出情境分析，指出低油價將會削弱能源效率的投資效益，並抑制低碳高效率載具的發展進度，但對再生能源的持續擴建並無顯著衝擊，對二氧化碳排放亦影響有限。最後，本文針對近期世界能源展望報告進行比較，分析標的包含經濟與人口假設、能源價格、初級能源需求、發電量、減碳貢獻。

關鍵詞：電力供需、再生能源、能源效率

一、前言

國際能源總署 (International Energy Agency, IEA) 於 2015 年 11 月 10 日發表最新的《世界能源展望》(World Energy Outlook, WEO2015) 分析報告，採用 2013 年各國最新的能源統計數據，並納入當下最受矚目之能源議題作為情境參考，諸如國際油價持續低迷、中國大陸經濟發展趨緩、印度興起及各國的國家自定預期貢獻 (INDCs) 等外在因素之影響，延續前期報告將分析與預測的時間軸延伸至 2040 年，探討未來 25 年內全球能源發展趨勢。

WEO2015 的核心情境為新政策情境 (New Policies Scenario)，該情境主要考量範疇包含既有政策與尚未實施但已經宣布會實施的政策，而既有政策情境 (Current Policies Scenario) 則只是包含在 2013 年中以前已經實施的政策，450 情境 (450 Scenario) 則是大氣溫度上升不超過 2°C 的情境；此外，因應低油價的情況，本次報告另新增低油價情境 (Low Oil Price Scenario)，探討長期間低油價的狀態，對於全球市場、政策、投資及溫室氣體排放的影響。

二、全球能源需求趨勢

2013 與 2040 年全球初級能源需求與二氧化碳排放量如表 1 所示，IEA 指出不論在何種情境，初級能源需求仍持續上升，在既有政策、新政策及 450 情境下，2013-2040 年成長率分別為 45、32 及 12%，而化石能源直到 2040 年仍然為最主要的能源供給來源。在新政策情境，全球 2040 年能源需求將達到 17,934 Mtoe，所有能源需求的成長皆是來自於非經濟合作暨發展組織 (Non-Organization for Economic Co-operation and Development, Non-OECD) 的國家，而同期經濟合作暨發展組織 (OECD) 國家的能源需求預估將減少 3%，其中美國與歐盟在石油的需求將會顯著的下降。關於二氧化碳排放，既有政策情境下 2040 年二氧化碳排放年均成長率達到 1.2%，而在新政策情境，儘管能源部門已開始致力於低碳化發展，至 2040 年全球能源相關的二氧化碳排放預計仍緩慢成長，年均成長率略高於 0.5%，無法滿足全球溫升不超過 2°C 的目標。然而在 450 情境下，為了達到溫升不超過 2°C，大氣中二氧化碳濃度不超過 450 ppm 的全球總目標，透過提高再生能源發電比例、發展碳捕集與封存技術 (CCS)、擴大應用能源效率政策與運輸低碳化等方式，二氧化碳排放量可以每年約 2% 的速度下降，2040 年得以控制在 18.8 Gt。

表 1、2013 與 2040 年全球初級能源需求與二氧化碳排放[1]

單位：Mtoe	2013		2040					
			既有政策情境		新政策情境		450情境	
煤炭	3,929	29.0%	5,618	28.9%	4,414	24.6%	2,495	16.4%
石油	4,219	31.1%	5,348	27.5%	4,735	26.4%	3,351	22.1%
天然氣	2,901	21.4%	4,610	23.7%	4,239	23.6%	3,335	21.9%
核能	646	4.8%	1,036	5.3%	1,201	6.7%	1,627	10.7%
水力	326	2.4%	507	2.6%	531	3.0%	588	3.9%
其他再生能源	1,538	11.3%	2,344	12.0%	2,814	15.7%	3,801	25.0%
合計	13,559	100.0%	19,463	100.0%	17,934	100.0%	15,197	100.0%
二氧化碳排放 (Gt)	31.6		44.1		36.7		18.8	

2015 年至 2040 年全球能源部門的投資將達到 68 兆美元，相當於此期間全球 GDP 的 2%，其中 37% 投資在石油與天然氣供應、29% 投資在電力供應（包含輸配電力），另外有 32% 是投資在運輸與住宅等終端使用的能源效率上。相較於 WEO2014，WEO2015 估計全球在能源供給端的每年投資支出可降低 6%，主因包含原油與天然氣投資成本下降、天然氣預期需求減少、美國與歐盟之電力需求降低、燃煤電廠建設成本下降等。

在低油價情境，若近期全球經濟成長速度較低，中東局勢更加穩定，且石油輸出國家組織（Organization of the Petroleum Exporting Countries, OPEC）為了維持石油市場佔有率而不調整生產策略，2020 年國際油價約在 50-60 美元/桶，2040 年不超過 85 美元/桶。在交通運輸部門的推升之下，預期會刺激 2040 年原油需求增加至 107 百萬桶/日，比新政策情境高出 3.7 百萬桶/日，可能削弱能源效率的投資效益，並抑制如生質燃料、電動車、燃料電池車與其他高效率載具的發展進度。但在各國政策支持下，再生能源的持續擴建並無顯著衝擊，故對現在到 2040 年的二氧化碳總排放量影響非常有限，（相對新政策情境）僅微幅增加 0.3%。

能源補貼是另一個被關注的議題，2013、2014 年化石燃料補貼總額仍高於再生能源發電補貼的三倍以上，此舉拖慢了再生能源與節能

技術的推動進度，然而隨著化石能源蘊藏量日益枯竭，生產成本將逐漸攀升，相反地，再生能源技術發展邁向成熟，整體成本持續走低趨勢明顯，相關補貼預期將可支持更多投資計畫與新機組之設置。WEO2015 估計全球再生能源補貼金額將從 2014 年的 1,120 億美元增加至 2040 年的 1,720 億美元，累計超過 4,000 億美元的補貼用於進一步降低再生能源成本與提高電能躉購費率，期能強化再生能源於電力市場之競爭力。現階段，相較於火力發電，水力發電的單位成本不需補貼即具備市場競爭力，而水力以外的其他再生能源發電成本持續下降中，預計到 2040 年時發電量占比將可成長一倍。

三、電力供需展望

在新政策情境中，2013-2040 年電力需求成長超過 70%，以 Non-OECD 國家為大宗，其裝置容量預期將加倍擴增，特別以中國大陸及印度的成長幅度最顯著，但全球預估仍有 5.5 億人口居住在沒有電力供應的區域。面對如此強勁的需求成長力道，全球電力裝置容量預估將從 2014 年的 6,163 GW 成長至 2040 年達 10,570 GW，比過去 25 年增加的裝置容量還多三成以上，其中燃煤機組裝置容量將從 2014 年的 31% 減少至 2040 年的 23%，燃氣機組在 2014-2040 年間將新增約 1,000 GW，故於 2035 年將成為裝置容量占比最大的單一電力技術，而整體再生能源裝置容量將從 30% 提高到 44%，其變動趨勢如圖 1 所示。

在發電結構方面，2013 年與預估至 2040 年的全球各類能源發電量推估如圖 2 所示。IEA 指出全球燃煤發電量占比將從當前的 41% 降至 2040 年的 30%，亞洲以外地區的占比將下降至 13%，而 OECD 國家的燃煤發電比例從 1990 年的 70%，至 2013 年僅存一半，預期到 2040 年將再減少一半，僅剩下 17.5%。燃煤發電占比增加最多的國家是印度，其增加量大於中國大陸或是其他國家的總和。受到水力以外的再生能源持續成長與核能的穩定發展，全球低碳發電占比預計將從

目前的三分之一，至 2040 年成長為 47%，其中核能發電將維持在 10.6~12% 之間；整體再生能源占比由 21.9% 提高至 34.1%（以水力發電為主，占 15.7%），雖尚難完全取代傳統火力發電，但已成為最大的電力來源，預期在 2040 年時，歐盟有 50% 且中國大陸與日本亦有 30% 的電力供給來自於再生能源。

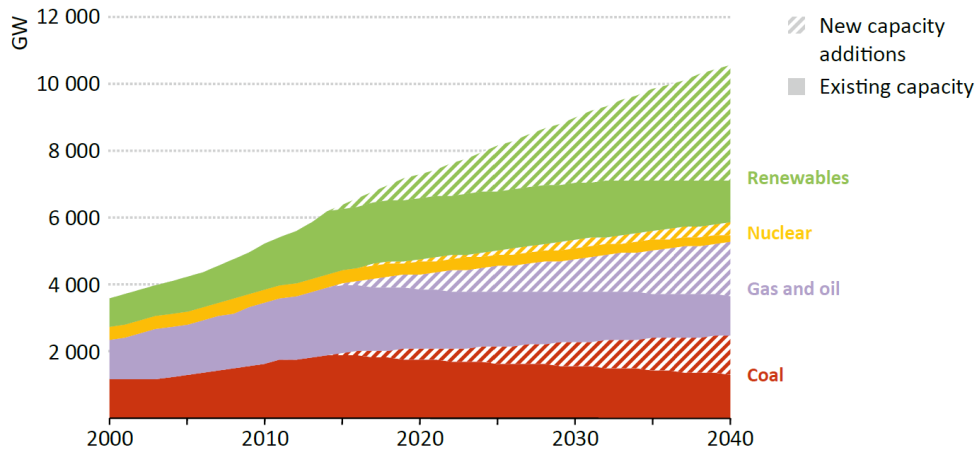


圖 1、全球電力部門裝置容量變動趨勢[1]

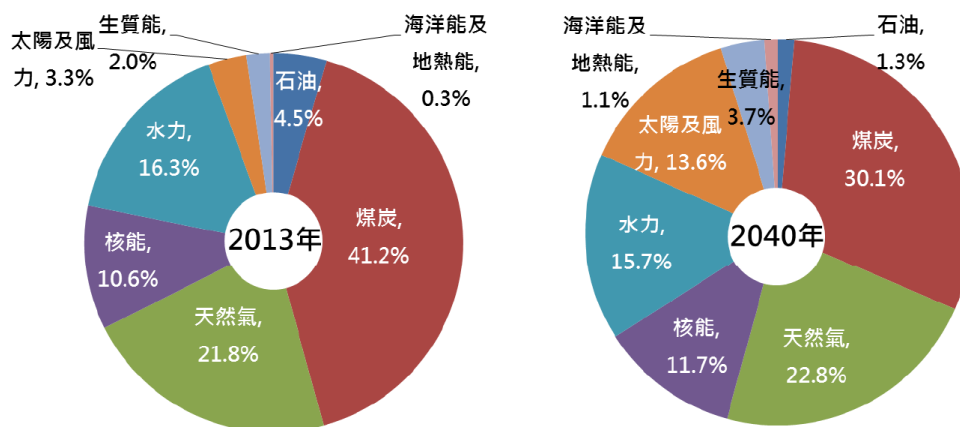


圖 2、2013 與 2040 年全球各類能源發電量推估[1]

在過去十年間，全球燃煤電廠的平均發電效率從 35% 提高到 37%，特別是中國大陸在十年間進步 6%，獲得重大的進展，超過 OECD 國家平均水準。然而，印度因使用品質較差的煤炭及存在大量的亞臨

界電廠，故發電效率始終較低。IEA 估計到 2040 年，全球燃煤電廠的平均發電效率將上升到 40%，而印度將可達到目前 OECD 國家和中國大陸的水平。全球至今仍有約三分之二的燃煤電廠使用亞臨界機組，其發電量占整體電力部門的 25%，二氧化碳排放量占全部電力二氧化碳排放量之 50%，預期到 2040 年時，亞臨界機組的發電量與二氧化碳排放量占比皆減少一半。

在 2015-2040 年間，全球在電力部門的投資總額估計將達到 19.7 兆美元，每年平均約 7,600 億美元，主要投資項目如圖 3 所示，包含約 11.3 兆美元用於興建 6,700 GW 的新電廠（62%為再生能源），約 8.4 兆美元用於建置總長度達 7,500 萬公里的電網基礎設施。長期而言，受到燃料價格與電廠平均建置成本提高的影響，各地區的電價亦隨之成長，其中美國約增加 18%、歐盟 14%、中國大陸 25%。

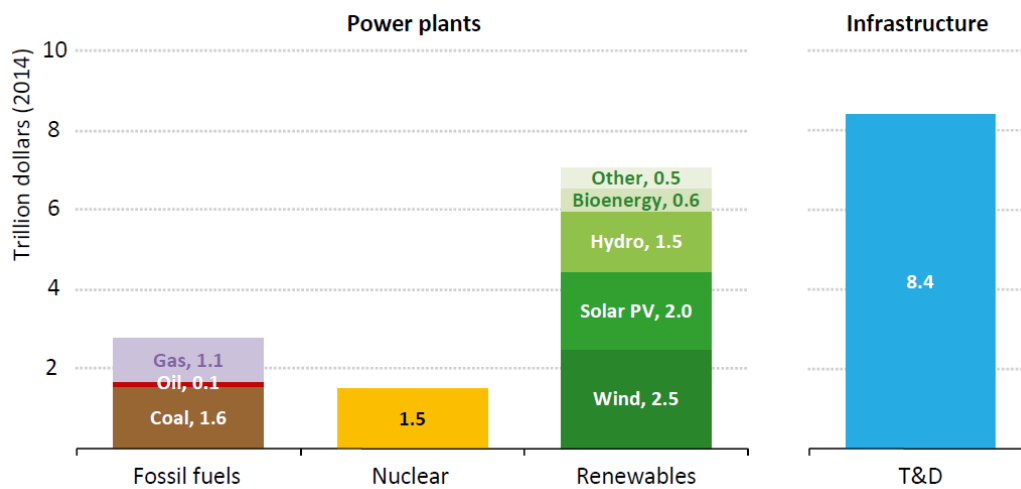
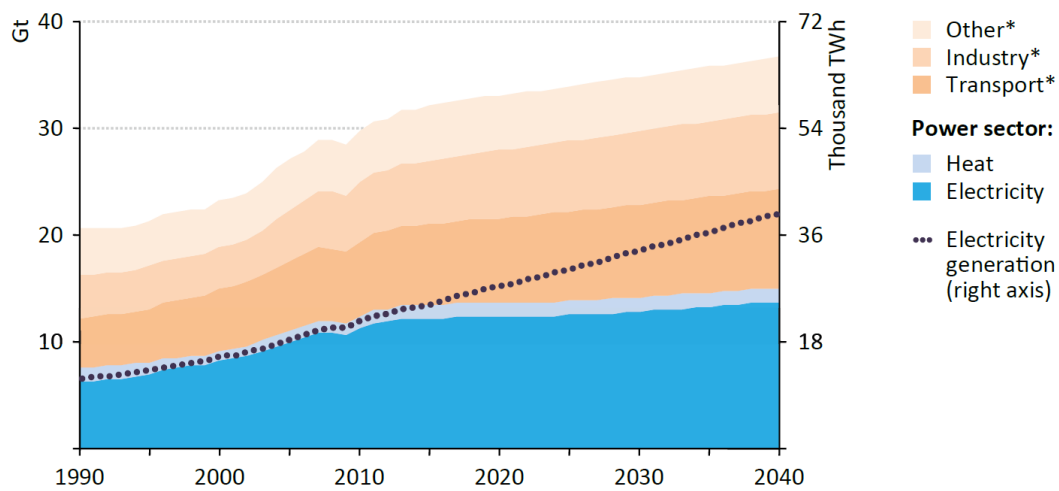


圖 3、2015-2040 年全球電力建設投資項目與金額[1]

由圖 4 可知，自 1990 年開始的二十年間，二氧化碳排放量與電力部門發電量的變動趨勢始終呈現緊密關連，二氧化碳排放增加約 5.9 Gt 而發電量增加約 11,500 TWh，然而 WEO2015 認為在新政策情境中，2013-2040 年間雖然受到電力部門低碳化及火力電廠效率進步

的驅動，二者出現相對脫勾現象，電力部門發電量將成長 70% (16,000TWh)，而二氧化碳排放量僅成長不到 15% (1.6Gt)，導致全球電力碳排放係數從目前約 520 gCO₂/kWh 降至 2040 年的 350 gCO₂/kWh。此外，圖 4 亦說明整體二氧化碳排放量在 2040 年前緩慢成長，沒有與經濟成長完全脫勾，新政策情境無法滿足全球溫升不超過 2°C，大氣中二氧化碳濃度不超過 450 ppm 的全球總目標。



* Includes only direct emissions in each sector.

圖 4、全球二氧化碳排放量與電力部門發電量變動趨勢[1]

四、再生能源展望

相較於 2013 年，再生能源在 2014 年已成為全球僅次於燃煤發電的第二大電力來源，總裝置容量達到 130 GW 的歷史高點。在新政策情境中，全球再生能源發電量預計從 2013 年的 5,105 TWh 增加到 2040 年的 13,400 TWh，占 2040 年總發電量的三成以上。各類再生能源發電量趨勢如圖 5 所示，水力發電量累計超過 6,000 TWh，而風力發電（含陸域及離岸）則是發電量增加幅度最大的電力來源。此外，在各國政策持續支持再生能源發展且燃煤電廠面臨日趨嚴格的環保法規的情形下，IEA 預估 2040 年再生能源將成為最主要的電力供給來源。

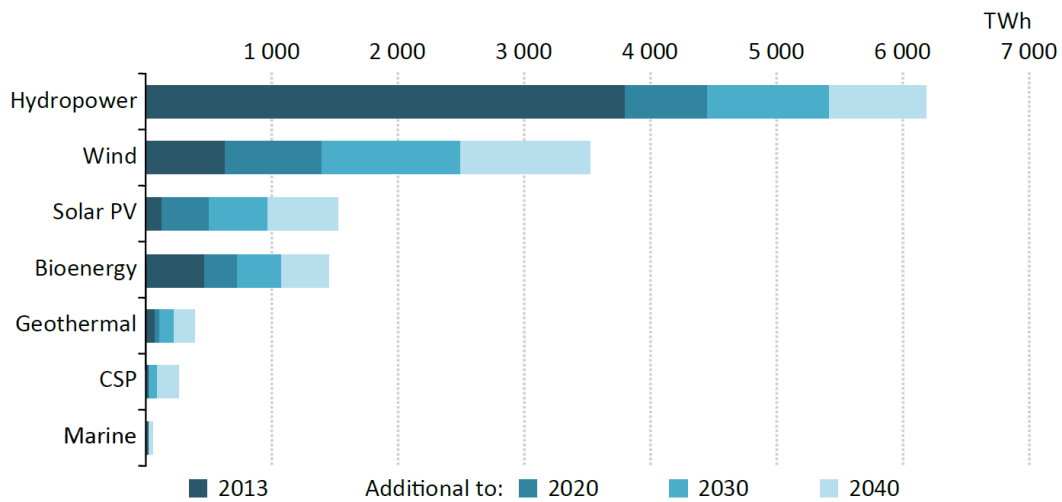


圖 5、2013-2040 年各類再生能源發電量趨勢[1]

在新政策情境下，因政策方向與資金支持，且系統成本持續降低，預計再生能源於初級能源需求占比將從 2014 年的 14%，成長至 2040 年的 19%。WEO2015 預估在 2040 年時，全球三分之一的電力將來自再生能源發電，六分之一的熱能供應取自再生能源，且公路運輸的動力來源有 8% 亦來自再生能源。在 2015-2040 年間，預估將會新增再生能源發電裝置容量達 3,600 GW，超過其他類型發電的總和，其中約 1/4 的裝置容量將來自於中國大陸，其次則為歐盟、印度及美國。IEA 指出 2015-2040 年全球在再生能源的投資金額將占全球電廠總投資額的 60%，高達 7 兆美元，投資比重如圖 6 所示，以風力及太陽能為主，此外亦預計將投資 3,600 億美元於再生能源併網的輸配電相關設備。

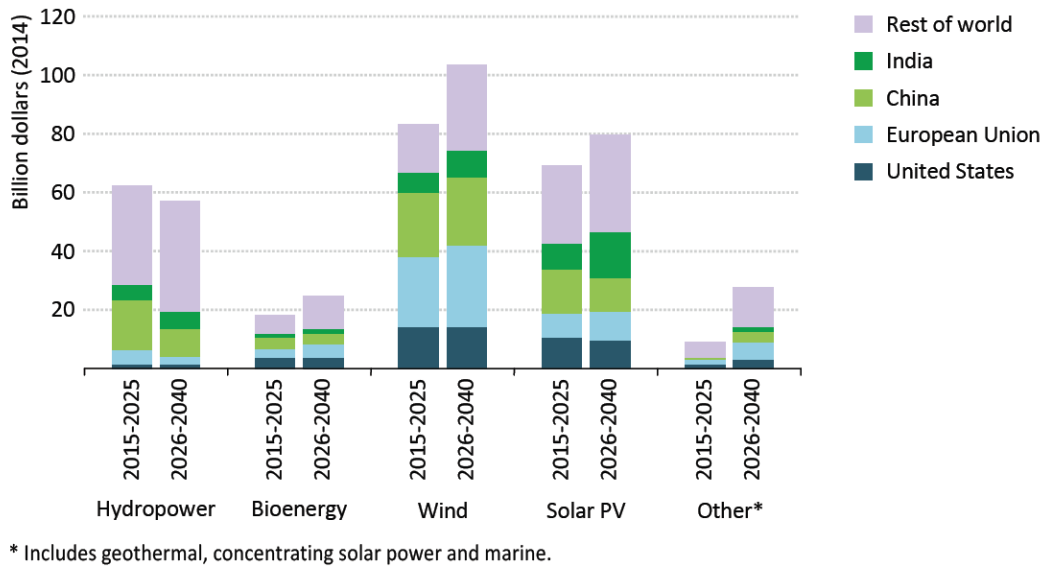


圖 6、全球主要再生能源技術之投資費用[1]

太陽能發電在全球電力系統的裝置容量迅速成長，從 2010 年的 39 GW 成長到 2014 年的 176 GW。過去五年，亞洲太陽能產業已逐漸稱霸全球市場，如圖 7 所示，2014 年全球有 90 % 的太陽能模組產自亞洲地區，中國大陸與臺灣即占全球產能的三分之二，而增產的太陽能模組大多數銷往美國和歐盟。WEO2015 認為隨著全球太陽能模組需求上升及其他地區難以企及的低生產成本，亞洲有望繼續其霸主地位。

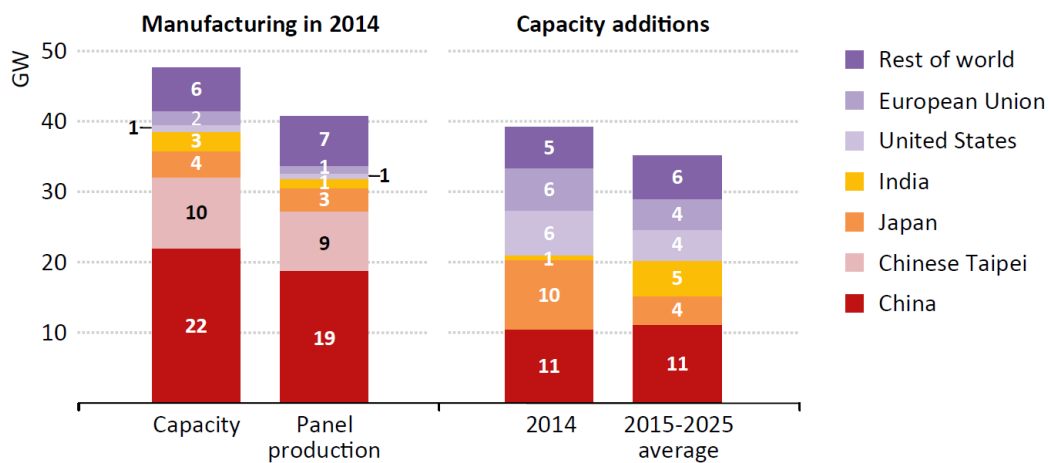
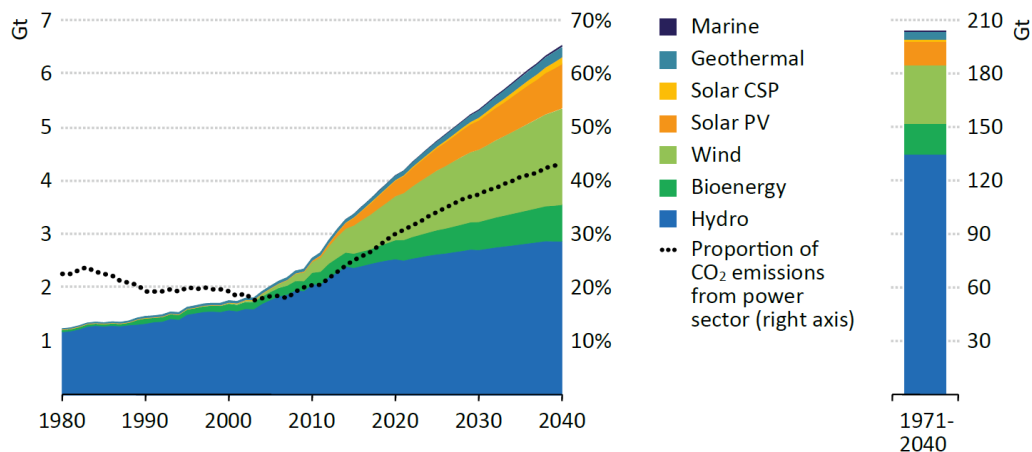


圖 7、全球太陽能模組產能與產量分布[1]

在新政策情境中，1971-2040 年全球再生能源發電可減少約 200 Gt 二氧化碳排放 (圖 8)，以水力發電貢獻度最高。而在 2014-2040 年期間，再生能源發電可減少約 135 Gt 二氧化碳排放，其中新建的再生能源可減少 50 Gt 排放量，而興建時期僅產生 1.3 Gt 二氧化碳。再生能源的推動不僅是為了持續降低二氧化碳排放，亦有助於改善空氣品質、加強能源安全、實現能源供給多元化。



Note: Estimates of avoided CO₂ emissions are calculated by assuming that renewables generation would be replaced by generation from all other sources, which are scaled-up based on their mix in the given year.

圖 8、各種再生能源技術之減碳貢獻[1]

五、能源效率展望

過去十年間，強制性的能源效率法規從 2005 年涵蓋 14% 的全球能源需求，至 2014 年已經成長為涵蓋 27% 的全球能源需求，其中工業部門能源消費在 2005 年僅 3% 受到約束，因為中國大陸及印度分別新增強制性的能源效率規範與標示，至 2014 年已擴大至 36%，運輸及住宅部門也分別擴大至 24% 與 31%。在 2014 年，透過能源效率進步有效地抑制全球最終能源需求增量減少三分之二，相較於 2013 年僅成長 0.7%，明顯低於過去十年的平均值 2%。

IEA 認為在新政策情境下，相較於既有政策情境，2040 年能源效率改善將可降低全球初級能源需求 1,275 百萬公噸油當量 (Mtoe)，

相當於 6% 的初級能源需求，同時減少電力消費約 3 兆度電，其中在 OECD 國家約可減少 40% 的電力需求。若加強提升能源使用效率，2030 年新售設備的單位能耗量預期最多可減低 11%，特別是在照明設備、貨運載具、中小企業製程設備，每多投資一塊錢於提升能源效率，未來將可省下五塊錢的能源消費支出。

WEO2015 在能源效率一節特別聚焦於鋼鐵、水泥、造紙等能源密集度較高的產業，指出透過輕量化、延長產品壽命、回收再利用等策略，在材料使用階段達到較佳之能源使用效率，可加倍擴大能源節約潛力，在 2040 年降低 330 百萬噸油當量的能源消費（圖 9），包含減少煤炭 190 百萬噸煤當量/年、原油 130 萬桶/日、天然氣 50 億立方公尺/年及電力 8,300 億度/年，控制該產業在 2040 年的能源需求約可維持於目前水準。上述策略對於中國大陸與印度等發展中國家或加速擴張高耗能產業的國家有較大影響。

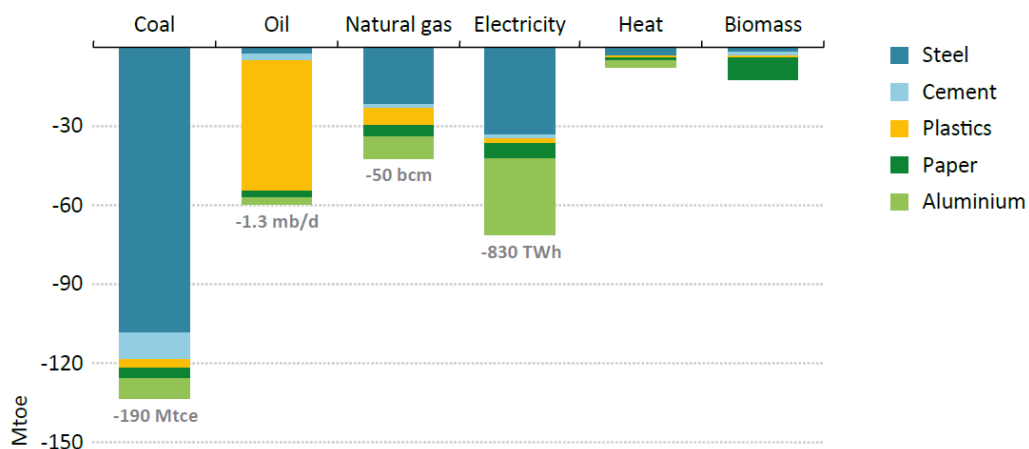


圖 9、2040 年全球高耗能產業透過效率提升可減少之能源消費量[1]

六、近期世界能源展望報告比較

在經濟成長與人口推估的假設，比較近二年的世界能源展望報告可發現其差異並不明顯，全球的 GDP 年均成長為 3.4~3.5%。能源價格則有較顯著的差異，在 WEO2013 與 WEO2014 中，針對 2020 年

原油的價格約在每桶 112 美元至 113 美元間，但受到 2015 年石油價格大跌的影響，WEO2015 則預估至 2020 年原油價格約為 80 美元/桶（新政策情境）。然而長期而言，2040 年的原油價格預測值變化不大，約在每桶 128-132 美元間。

在初級能源需求方面，依據世界能源展望近三年的推估，針對未來天然氣的需求推估有微幅的下降，在 2035 年天然氣於初級能源需求的占比，從 WEO2013 年推估達 23.7%，在 WEO2015 年則下降為 23.2%；而針對未來石油與核能的需求，近三年報告的推估，占比則有上升的趨勢。

在發電量的部份，受到能源效率提升的影響，近三年的能源展望有逐年下調未來電力需求的總量。針對 2035 年的推估，已從 WEO2013 年的 37,087 TWh，至 WEO2015 年下修為 36,392 TWh，其中水力以外的其他再生能源發電比重持續向上修正，在 WEO2015 中已增加至 16.67%，而燃煤發電在 2035 年的占比則從 WEO2013 年預估的 33.2%，在 WEO2015 下修為 31.22%，代表未來燃煤發電的重要性，有逐漸減少的趨勢，針對 WEO2013、WEO2014 及 WEO2015 的比較，整理如表 2 所示。

關於 2040 年各種減碳措施的貢獻，由近二年的比較（圖 10）可知，WEO2015（約 44.7 Gt）除了較 WEO2014（約 46 Gt）在總二氧化碳排放量降低約 1.3 Gt，更顯著的差異是 WEO2015 大幅降低供給端效率（Supply efficiency）的貢獻，而將其移轉至最終使用端效率（End-use efficiency）的貢獻，占比高達 48%，包含住宅部門(45%)、運輸部門(34%)及工業部門(21%)，主要原因是各國持續擴大需求端相關管理法規的覆蓋率，如逐步訂定『用電器具容許耗能基準』（Minimum Energy Performance Standard, MEPS），並持續擴大推動強制性能源效率分級標示及自願性節能標章，期望可以持續引導整體能源效率改善，降低二氧化碳排放量，若是經由產品設計改善與再利用，還可激發出龐大的節能潛力與商機。

表 2、近三年世界能源展望報告比較表[1]

分析標的	報告名稱		
	WEO 2013	WEO 2014	WEO 2015
經濟假設	2011-2035 年全球 GDP 年均成長 3.6%	2012-2040 年全球 GDP 年均成長 3.4%	2013-2040 年全球 GDP 年均成長 3.5%
人口假設	2011 年：70 億人 2035 年：87 億人	2012 年：70 億人 2040 年：90 億人	2013 年：71 億人 2040 年：90 億人
能源價格展望	IEA 原油進口價格 2020 年：113 美元/桶 2035 年：128 美元/桶	IEA 原油進口價格 2020 年：112 美元/桶 2040 年：132 美元/桶	IEA 原油進口價格 2020 年：80 美元/桶 2040 年：128 美元/桶
	煤炭進口價格 2020 年：106 美元/噸 2035 年：110 美元/噸	煤炭進口價格 2020 年：100 美元/噸 2040 年：110 美元/噸	煤炭進口價格 2040 年：108 美元/噸
初級能源需求			

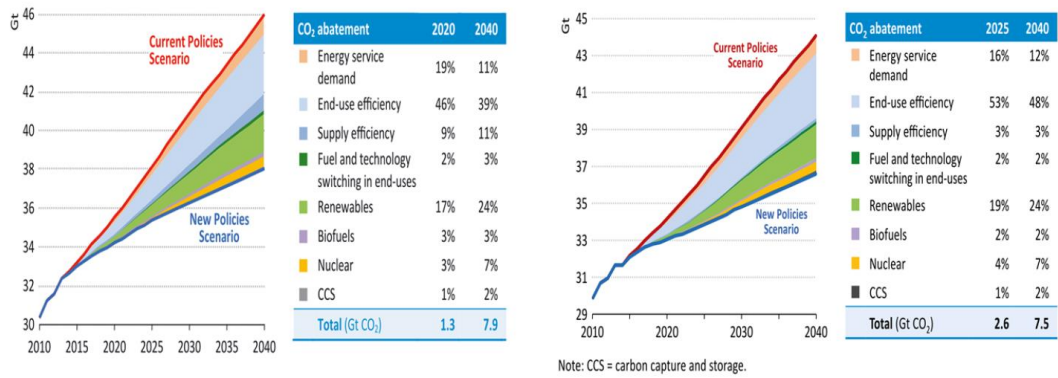


圖 10、各種減碳措施貢獻比較—WEO2014(左)與 WEO2015(右)[1]

七、對臺灣政策之意涵

綜合上述分析，《世界能源展望》對我國能源政策可供參考之處彙整如下：

(一) 電力結構變化趨勢—IEA 指出 2040 年燃煤發電占比將降至 30%，整體再生能源投資金額龐大，發電占比提高至 34.1%，成為最主要的電力來源，全球電力供給結構將穩健邁向低碳化發展。在此國際潮流下，我國已於 2014 年推動『綠色能源產業躍升計畫』，聚焦推動太陽光電、風力發電、LED 照明等主軸產業，考慮未來核能政策以『非核家園』為目標，現有核電廠延役與核四商轉已非選項，且再生能源推廣目標已再次擴大，2030 年目標裝置量達到 17,250 MW，故長期而言，再生能源發電量將顯著上升，因此有必要搭配更完善的智慧電網及儲能系統以增進電力系統穩定度，亟需擴大投資且加速進行相關研發與示範應用。此外，可快速反應的燃氣機組除了持續作為主要的基載電力，亦須要事先研擬如何作為緊急調度用途的標準作業程序。以上趨勢可為我國進行長期能源供需規劃時之參考。

(二) 能源使用效率與節能減碳—本期報告認為終端效率進步的減碳貢獻占比高達 48%，以住宅及運輸部門為主，若加強能源使用效率提升，2030 年在照明、貨運載具等設施的單位能耗量可降低 11%。目前政府在住商部門已推動「智慧節電計畫」，焦點放在機

關、住宅和服務業的用電上，並持續推動能源管理系統佈建，節電目標是 2%。建議可在建築用途別或行業別的框架下，細部執行與檢討各行業的節電計畫與成效，順勢推動產業升級及轉型，提升能源使用效率，確實降低能源需求。

(三) 減碳行動措施—本報告的核心情境『新能源情境』無法滿足全球升溫 2°C 的減碳目標，對全球治理面提出十分嚴正的警告，說明達到減碳目標的嚴峻性。然而 IEA 在 2015 年 6 月發布的 WEO 特別報告《能源和氣候變化》中，提出若要達成減碳目標可採行的建議措施，包含：(1)提高工業、建築業與交通運輸業的能源效率；(2)減少低效燃煤電廠的使用；(3)逐步取消對化石燃料的補貼；(4)增加再生能源技術研發投資。我國於 2015 年底提出「國家自定預期貢獻」(INDC)，宣示於 2030 年溫室氣體排放量為 BAU (business as usual) 減量 50%，上述措施或可作為未來研提減碳行動措施之參考基礎。

參考文獻

- [1]International Energy Agency. 2015. World Energy Outlook 2015. OECD/IEA, Paris.
- [2]International Energy Agency. 2015. Energy and Climate Change, World Energy Outlook Special Report. OECD/IEA, Paris.
- [3]International Energy Agency. 2014. World Energy Outlook 2014. OECD/IEA, Paris.
- [4]International Energy Agency. 2013. World Energy Outlook 2013. OECD/IEA, Paris.

