

# 世界能源展望報告

—若要達成減碳目標，則年均能源密集度下降幅度需達 2.4%

趙家緯

工業技術研究院 綠能與環境研究所

## 摘要

國際能源總署於最新的《世界能源展望》報告首次將分析與預測的時間尺度延伸到 2040 年，考量各國近期研提中但尚未施行的相關政策提出新政策(New Policy Scenario, NPS)，指出未來全球年均能源密集度下降幅度可達 1.8%，能源需求量的成長幅度可抑制至 1.37 倍，化石燃料於能源結構之占比將由 82% 降至 74%，燃煤發電於電力結構之占比將由當前的 40.5% 降至 30.5%。然若要達成減碳目標，則年均能源密集度下降幅度需達 2.4%，化石燃料占比需降至 59%，再生能源占比則須提升至 30% 左右，於電力結構之占比更需達到 51% 以上。而若要促成此轉型，2040 年時潔淨能源投資金額須達到當前的 6.8 倍。另亦就未來核能整體發展提出分析，指出低核能情境將會導致能源自給率的下降、化石燃料進口量的增加、全球二氧化碳排放量增加，但核電未來的發展，取決於社會接受度，且時間尺度均較其他發電技術為長，因此長期的政策指引極為重要。

## 一、前言

國際能源總署 (International Energy Agency, IEA) 於 2014 年 11 月 12 日發表最新的《世界能源展望》(World Energy Outlook) 分析報告，指出全球能源系統因政治情勢危機四伏，如中東地區出現自 70 年代石油危機以來少見的動盪，而俄羅斯與烏克蘭間的衝突，更突顯歐洲天然氣供應安全的脆弱。核電的發展對於某些國家的能源安全具有重要的戰略地位，然在福島事故發生後，其未來發展面臨極高的不

確定性。在能源系統所衍生的環境問題方面，全球溫室氣體排放量仍持續成長，而 2015 年氣候談判的成效，依目前進展不容樂觀。

雖然過往因能源效率提升，並藉由技術創新導致太陽光電等新興能源技術成本的下降，削減了能源系統所承受的壓力。但若要增進全球能源系統的安全性與永續性，需藉由持續性的政策作為方能達成。因此，《世界能源展望》報告首次將分析與預測的時間尺度延伸到 2040 年，以期可協助全球能源系統逐步達成政策目標，而非僅是受限於突發事件的衝擊。

## 二、2040 能源結構預測

IEA 於此次的世界能源展望分析中，考量各國近期研提中但尚未施行的相關政策，如美國的潔淨電力計畫（Clean Power Plan）、歐盟的 2030 能源與氣候政策綱要等，提出新政策(New Policy Scenario, NPS)，分析在此趨勢下，到 2040 年時的能源需求量及供給結構的變化。另亦以模擬達成減碳目標下，所需採行的政策，提出「二氧化碳濃度 450ppm 情境」（450 情境），以分析現行政策與達成減量目標時的政策差距。

在能源需求量上，伴隨著 IEA 預估未來年均 GDP 成長率達到 3.4% 的社經展望下，既有政策僅能將 2040 年的能源需求量抑制至 2012 年的 1.5 倍，但若將近期宣布的政策措施納入時，則可將能源需求量的成長幅度抑制至 1.37 倍，然若欲達到減碳目標，則 2040 年時的能源需求量須控制在 2012 年的 1.17 倍以下，能源密集度需削減至 2012 年的 50%。

在能源結構上，現行化石燃料占比為 82%，新政策情境下僅能將其占比於 2040 年時削減至 74%，其中煤與油的占比分別由 29% 與 31%，降至 24% 與 26%。而另一方面，再生能源占比則由 13.5% 提升至 18.9%。然若要達到減碳目標，則 2040 年時化石燃料占比需降至 59%，其中煤的占比更需降至 16%，再生能源占比則須提升至 30% 左

右，其中太陽能、風力等新再生能源占比須達 10%，方能使能源碳密集度較當前削減 30%。但若欲藉由提升潔淨能源占比，達到減碳目標，潔淨能源投資需達到當前的 6.8 倍，較新政策情境增加將近一倍。

表一、能源結構及二氧化碳排放量相關指標變動趨勢

		2012 年	新政策情境		450 情境	
			2020 年	2040 年	2020 年	2040 年
能源結構 (Mtoe)	煤	3,879	4,211	4,448	3,920	2,590
	油	4,194	4,487	4,761	4,363	3,242
	天然氣	2,844	3,182	4,418	3,104	3,462
	核能	642	845	1,210	859	1,677
	水力	316	392	535	392	597
	生質能	1,344	1,554	2,002	1,565	2,535
	其他再生能源	142	308	918	319	1526
	總能源需求	13,361	14,979	18,292	14,522	15,629
總二氧化碳排放量 (億噸)		316	342	380	325	193
能源密集度 (toe/GDP)		0.18	0.16	0.11	0.16	0.09
能源碳密集度 (tCO <sub>2</sub> /toe)		2.4	2.3	2.1	2.2	1.7
潔淨能源投資 (億美元)		3,550	7,090	12,380	8,810	24,110

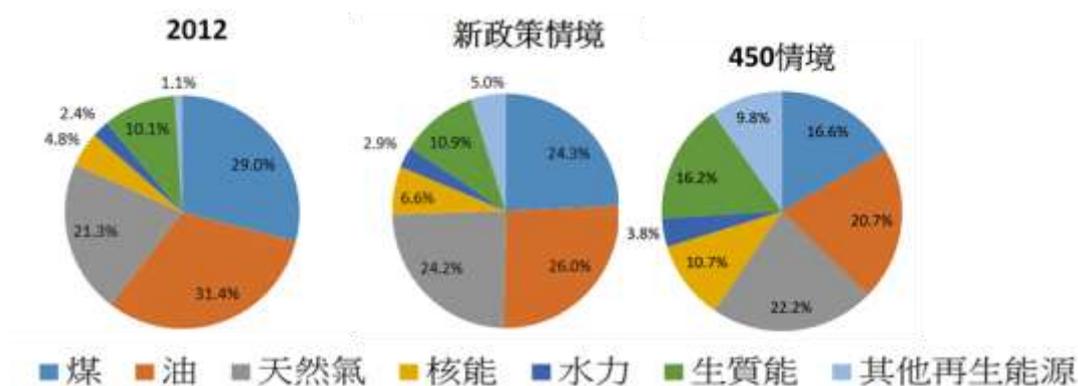


圖 1、各情境的能源結構變化 (2040 年 vs 2012 年)

### 三、全球能源效率展望

IEA 於此報告指出，相較於 2008 至 2010 間因金融海嘯的因素，導致能源密集度不降反升，而 2010 年至 2013 年間，能源密集度的平均降幅達到 1%，回歸歷史長期趨勢。而近期各國均提出能源效率提升政策，若可充分落實，將可削減化石燃料需求量達 15% 以上。在新政策情境下，未來全球年均能源密集度下降幅度可達 1.8%，為過往二十年的兩倍。然若要達到減碳目標，能源密集度下降幅度需達到 2.4%。

在能源密集工業的能源效率提升上，此報告分析顯示能源效率的提升有助於彌補因能源價格差異所流失的競爭力。如其指出歐盟的工業電價雖較美國高出 80%，但若可採行最佳可行技術，則可使其能源密集工業生產時的單位能源成本與美國間的差距，大幅縮減 10%~35%，有助產業競爭力的提升。此報告更建議藉由生產高附加價值產品、積極創新與生產製程中的回收與再利用，一方面可提升能源效率，另一方面亦可增加產業競爭力。

#### 四、電力結構展望

IEA 指出在整體電力結構上，2040 年時，在新政策情境下，燃煤發電占比將由當前的 40.5% 降至 30.5%，然而若要達到減碳目標，則其占比須進一步削減至 13.1%。而水力以外的再生能源，其占比將由 2012 年的 1%，增加至 17%，若要達到減碳目標，則占比需提升至 31%，其中以風力為主。核電方面，新政策情境下其占比僅會微幅增加，但若要達成減碳目標，則須提升至 18.4%。整體而言，2040 年時，含水力在內的再生能源將會成為占比最高的發電技術。

前述的能源轉型仰賴大規模的投資，IEA 預估在新政策情境下，2014~2040 年間每年電力系統的投資金額需達到 7,700 億美元，其中 42% 將花費在輸配系統的更新。而在發電端上，則以風力發電投資金額最高，水力與燃煤電廠次之。

## 五、全球核電展望

核電於全球發電結構占比，已自 1996 年的高峰 18%，持續降至 2013 年的 11%，核電新增的速率，較其他發電技術為緩，然其仍是僅次於水力的第二大低碳電力來源。近期新增的核電計畫，多位於電價受管制的電力市場或是由國營電力公司出資興建。在完全競爭市場下，由於投資風險過高，故難以吸引到必要的投資。面對此情形，已有政府（如英國）提供相關補貼以降低核電廠興建與營運的財務風險。

表二、電力結構

發電類別	發電量 (TWh)			占比		
	2012 年	2040 年		2012	2040 年	
		新政策情境	450 情境		新政策情境	450 情境
燃煤	9,204	12,239	4,606	40.5%	30.5%	13.1%
燃油	1,144	494	251	5.0%	1.2%	0.7%
燃氣	5,104	9,499	5,777	22.5%	23.7%	16.5%
核能	2,461	4,644	6,435	10.8%	11.6%	18.4%
水力	3,672	6,222	6,943	16.2%	15.5%	19.8%
風力	521	3,345	4,953	2.3%	8.3%	14.1%
太陽光電(含 CSP)	102	1,648	3,140	0.4%	4.1%	9.0%
生質能	442	1,569	2,261	1.9%	3.9%	6.5%
地熱	70	378	557	0.3%	0.9%	1.6%
海洋能	1	66	119	0.0%	0.2%	0.3%
總發電量	22,721	40,104	35,042	100.0%	100.0%	100.0%

核電未來的發展，取決於社會接受度，而核安、核廢料管理、核武擴散、公共諮詢過程的透明度、氣候變遷及能源安全等因子對社會接受度影響甚鉅，對於核安管制體系與能力的信心亦相當重要。

在新政策情境下，核電裝置量將由 2013 年的 392GW 增加至 624GW，增幅約 40%，但電力結構占比僅會微幅成長至 1%。擁有營

運中的核電廠的國家數量將由 31 國增加至 36 國，未來新增核電廠中，則以中國大陸占比最高，達 46%，印度、南韓與俄羅斯合計約為 30%。但 IEA 於發表會上的簡報特別指出：「(新政策情境) 雖然裝置容量成長 60%，但並未見到核電復興的趨勢」(nuclear capacity grows by 60%, but nonuclear renaissance in sight)。

財務方面，若要達到新政策情境的發展目標，則 2014 年至 2040 年間，總共需投資 1.5 兆美元於新電廠的建造與既有電廠延役，針對燃料週期 (fuel cycle) 成本約達 1 兆美元 (包含提煉、用過核燃料處置、再提煉等)，另若以除役成本為新電廠興建成本的 15% 來估算時，亦須花費 1,000 億美元用於電廠除役。在發電成本上，2030 年時核能發電成本約為每千度 65~110 美元左右。

IEA 於此報告中亦特就若全球因福島核災的影響，導致後續核電發展受阻時對全球能源系統的影響。依據其提出的低核能情境 (Low Nuclear Case)，在全球既有核電不延役，OECD 國家完成既有興建中的電廠後停止興建新電廠的假設之下，2040 年時全球核電裝置容量將降至 366GW，較新政策情境減少 258GW。IEA 進一步假設所減少的核能發電量，可由 246GW 的再生能源、138GW 的燃氣電廠與 64GW 的燃煤電廠所替代。因此低核能情境將會導致能源自給率的下降、化石燃料進口量的增加，對全球二氧化碳排放量的影響約會增加 2% (表三)。

針對核電未來發展上，IEA 指出核電無論是在興建、營運與核廢料處理上，時間尺度均較其他發電技術為長，因此長期的政策指引極為重要。首先就既有核電廠之延役上，IEA 指出由於既有核電廠中，一半以上於 2040 年前均會面臨其原始除役年限，但無論是除役或是延役，均需相當規模的投資以及準備時間，故其建議各國政府應儘速研擬清楚的延役與除役的管制架構，方能因應此趨勢。再者則是核廢料處理議題，IEA 指出深層地質儲置 (deep geological repository) 雖已被廣泛認為是處理核廢料的最佳方法，但自第一座核電廠營運以來，

這六十年間尚未有國家成功提出核廢料的最終處理方案，多只有中期儲置方案。而在新政策情境下，2040 年的高階核廢料量將為當前的兩倍，因此政府應確保核能發電後端營運基金的充足與妥善管理，可足以因應核廢料處理上的需求。此外 IEA 亦就提出廢核(phase out)時程表的國家提出確保替代方案的可行性，避免轉型過程與其他政策目標衝突以及維持充足的核安管制能力，並提醒在已設定廢核時程表的國家中，要吸引年輕的專業人員持續投入核電領域是極大的挑戰。

表三、新政策情境與低核能情境之比較

		新政策情境	低核能情境
2040 年核電裝置容量 (GW)		624	366
2040 年核電於總發電量占比		12%	7%
2040 年能源自給率	日本	31%	19%
	韓國	40%	34%
	歐盟	50%	46%
2040 年天然氣與煤進口金額(美元)	日本	2,001	2,389
	韓國	1,104	1,160
	歐盟	5,050	5,282
	中國大陸	3,446	3,589
2040 年低碳能源占比	全球	46%	43%
2040 年二氧化碳排放量 (億噸)	美國	41	42
	日本:	8	9
	韓國	4	5
	歐盟	23	25
	全球	低核能情境較新政策情境增加 8 億噸，約 2%。	
	電力碳排放係數	2040 年時，低核能情境將較新政策情境高 6% 左右。	
1971~2040 年間用過核燃料累積量(萬噸)		70.5	62.4

## 六、其他政策工具

IEA 於此報告中就化石燃料補貼情形加以分析，其指出 2013 年的全球化石燃料補貼額度達 5,480 億美元，較 2012 年下降 250 億美元。但此補貼額度仍高達全球在再生能源與節能投資總額的八倍以上。其中仍以針對油所提供的補貼占比最高。IEA 更以中東國家為例，指出該區域目前以燃油發電為主，但若可移除化石燃料補貼，則燃油發電的成本將較再生能源以及核能為高；而也因高額的化石燃料補貼，導致目前節能設備的回收期極長，IEA 指出若可移除化石燃料補貼，則中東地區的 LED 照明設備的回收期則可由 10 年降至 1.5 年，大幅提升再生能源以及節能技術發展的誘因。

## 七、對臺灣政策之意涵

綜合上述分析，此報告對臺灣能源政策可供參考之處彙整如下：

- (一) 電力結構變化趨勢—依據此份報告分析，若要達到減量目標，則 2040 年時，再生能源於電力結構之占比需提升至 51%，此比例低於 IEA 在 2014 年 5 月中所發表的《2014 能源技術展望》(Energy Technology Perspective 2014) 中所分析的 57%，主要差異在於對風力與太陽能兩再生能源成長幅度上的差異，本報告預測值僅為《2014 能源技術展望》的 80%。然而，兩者分析均指出若要達到減碳目標，電力結構中的再生能源占比均需於 2040 年時高於五成以上，因此整體電力結構亦須有相應的配套規劃，包括智慧電網的建置以及起停較易的燃氣火力機組作為主要的基載電力等。此趨勢可為我國進行長期能源供需規劃時之參考。
- (二) 能源效率與產業競爭力—此報告於能源效率展望一章上，強調能源效率的提升有助於彌補因能源價格差異所流失的競爭力，另亦指出能源效率的投資，對其他產業具有相當的帶動效果，有助總體經濟。前述兩觀點為國內目前分析工業部門的能源效率提升政

策以及整體節能投資時較未採行的分析視角。

- (三) 核電發展趨勢—IEA 於此報告中指出低核能情境將會導致能源自給率的下降、化石燃料進口量的增加，對全球二氧化碳排放量的影響約會增加 2%。另亦強調核能政策上的長時間尺度特性，無論是除役或是延役，均需相當規模的投資以及準備時間，故其建議各國政府應儘速研擬清楚的延役與除役的管制架構，方能因應此趨勢。國內面臨核電政策決策之時，目前方向雖朝向既有電廠延役與除役併行，但此兩方向所需財務資源與政策作為均極為龐大，故實難同時兼顧，宜參考此報告之建議，確認政策方向。

### 參考文獻

1. International Energy Agency. 2014. World Energy Outlook 2014. OECD/IEA, Paris.
2. International Energy Agency. 2014. Energy Technology Perspective 2014. OECD/IEA, Paris.