

瑞士取代核能發電之其他發電成本需 330 億美元

蕭國鑫

工業技術研究院 綠能與環境研究所

摘要

福島核子事件後，瑞士政府決定於 2034 年全面停核，不足的電力將依據歐盟訂定的能源組合措施，發展再生能源予以補充。而瑞士政府依據建模評估結果，2034 年全面停核後對經濟發展影響有限，且在能源利用與效率上的投資將大幅節省能源進口；同時瑞士政府希望到 2030 年時，發展再生能源(水力除外)約可增加 54 億瓩小時的電力，而更新水力發電廠的設備與增加發電容量後，推估水力能源亦可增加約 200 億瓩小時的電力供應；但因為決定往後不再興建新的核能電廠，額外增加興建再生能源發電的相關設施，到 2050 年為止，估計約需增加 330 億美元的費用。

我國的龍門核四廠若能於 2017 年穩定商轉，且運轉中的三座核電廠依規劃時程如期除役，則評估 2023 年、2025 年與 2030 年各需增加 65.3 億度、215.8 億度與 192.9 億度的發電量(換算為再生能源裝置容量各約需增加 2.29GW、7.58GW 及 6.77GW)；而政府規劃到 2020 年、2025 年及 2030 年時，我國再生能源裝置容量分別增加 2.54GW、6.45GW 與 5.73GW，顯示規劃增加的再生能源裝置容量明顯不足。另我國要大量發展再生能源有其困難性，例如陸域風機的基址面臨場址設置不易及風力發電的噪音引發民眾抱怨問題；對於離岸風力的開發，除了需要建立相關技術外，尚需經過如人工島嶼、環評審查、漁業權、國防、航運等法規，以及行政障礙等離岸風場籌設前置作業程序；對於太陽光電大量推展地面型大容量的設置，亦需面臨的土地取得不易的問題。上述均為 2030 年時，我國推展再生能源發電是否能達到預定目標的關鍵所在。

關鍵字：核能電廠、核能廠除役、能量包

一、前言

目前瑞士聯邦境內有 5 部核子反應爐，年發電量約為 270 億度(27 TWh)，約占瑞士 39.5%的電力；但在 2011 年日本福島核災後，瑞士議會

即通過決議於 2034 年完全非核，且未來不再興建新的核能電廠。其中的 5 部核子反應爐，預計在 2019 年與 2021 年先關閉 Beznau 1 與 Beznau 2 兩部反應爐(合計裝置容量 730 MWe)，2022 年關閉 Mühleberg 反應爐(裝置容量 372 MWe)，2029 年與 2034 年再關閉 Gösgen 和 Leibstadt 核子反應爐(裝置容量分別為 985 MWe 與 1,165 MWe)。

為了彌補停核以後不足的電力，瑞士的環境、交通、能源與通訊部門(Department of the Environment, Transport, Energy and Communications；DETEC)共同制定的新能源政策，並建立模型推估未來的電力供應；而依據建模評估結果，2034 年瑞士全面停核後對經濟發展影響有限，且在能源利用與效率上的投資將大幅節省能源進口。雖然未來因為提高能源效率與減少電力需求而降低國內的投資意願，但是再生能源發電的投資發展仍是必需的，所以未來將依歐盟訂定的能源組合(energy package)措施推行，例如增加再生能源發電量等；且這些措施將配合國際情勢的變化和科技的發展，不斷地進行監測與改進，以便能隨時輔以其他相關措施。另外到 2050 年為止，因為不再建立新的核電廠，所以額外增加投資興建再生能源發電的相關設施，估計約需 300 億瑞士法郎(約 330 億美元)的費用。

瑞士的能源組合預計從 2015 年開始生效，並從現在到 2020 年、2035 年、2050 年分三個階段推行；依據 DETEC 推估結果，2020 年以前對整體的最終能源消費和電力不會有衝擊，但由現在到 2050 年時，推估必須降低約 700 億瓩小時(70 TWh)的能源消耗量，而電力消費量亦需要下降 210 億瓩小時(21 TWh)。

二、 瑞士的核能發電、水力發電與其他再生能源發電

如表 1 所示[9]，1973 年瑞士全國的總發電量為 380 億瓩小時(38.0 TWh)，其中核能年發電量 63 億瓩小時，占年總發電量的 16.58%；1980 年時核能年發電量增加到 143 億瓩小時(占年發電量 29.06%)；1990 年核能年發電量達到 236 億瓩小時(占年總電力生產 562 億瓩小時的 41.99%)；2000 年核能年發電量再增加到 264 億瓩小時(占當年度發電量 39.11%)；2000 年~2010 年間，核能年發電量在 233~277 億瓩小時之間，約占年發電量的 39.09~40.43%(如圖 1)。圖 2 與圖 3 分別為 1973~2010 年瑞士的電力指標與各類別電力使用情形[9]，由圖 2 顯示電力能源相對於最

終整體能源消費(TFC, total final electricity consumption)的比例逐年增加，且平均每人每年的電力消費(Eelc./Popu.)亦增加，但電力密集度(Elec./GDP)則變化不大；另瑞士的電力生產總值通常足夠國內的用電需求，即電力生產相對於電力消費(Pord./Cons.)比值大於 1.0，但在 2005 年時，因為當年的總發電量只有 596 億瓩小時(平均年發電量約為 685 億瓩小時)，其中的水力與核能發電約減少了 50 與 30 億瓩小時，所以當年從鄰國多進口了 60 億瓩小時的電力(表 1)；另由圖 3 顯示瑞士近幾年各類別的用電量，如工業、商業、運輸部門及住宅的年用電量均逐年增加中。

表 1、2010 年瑞士總結電力生產和消費統計 [9] (單位:TWh)

種 類	1973	1980	1990	2000	2005	2008	2009	2010 e
核能發電	6.3	14.3	23.6	26.4	23.3	27.7	27.7	26.7
水力發電	29.1	33.9	31.0	38.2	33.1	37.9	37.5	37.8
太陽光電			0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
風能發電								
燃煤發電		0.1	0.0					
石油	2.6	0.5	0.4	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
天然氣		0.3	0.3	0.9	0.9	0.7	0.7	0.8
生質燃料& 廢棄物		0.2	0.8	1.7	2.1	2.4	2.4	2.8
總 計	38.0	49.2	56.2	67.5	59.6	68.9	68.5	68.3
電廠自用	0.9	1.1	1.7	2.0	1.8	2.1	2.1	
抽蓄耗能	1.7	1.5	1.7	2.0	2.6	2.7	2.5	2.5
傳輸消耗	2.9	3.2	3.7	4.1	4.2	4.3	4.2	
進口電力	7.0	8.5	20.8	24.3	38.3	31.6	31.4	33.4
出口電力	10.5	16.7	22.9	31.4	32.0	32.7	33.5	32.9
最終消費	29.0	35.3	47.0	52.4	57.3	58.7	57.5	

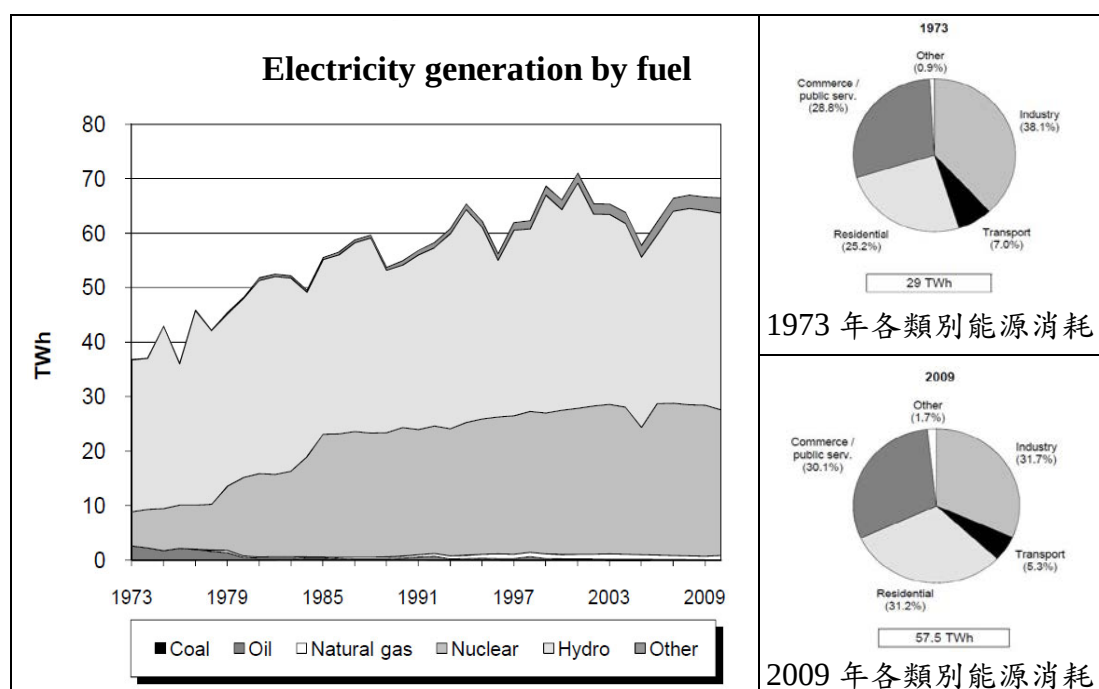


圖 1、1973~2010 年瑞士的電力發電情形 [9]

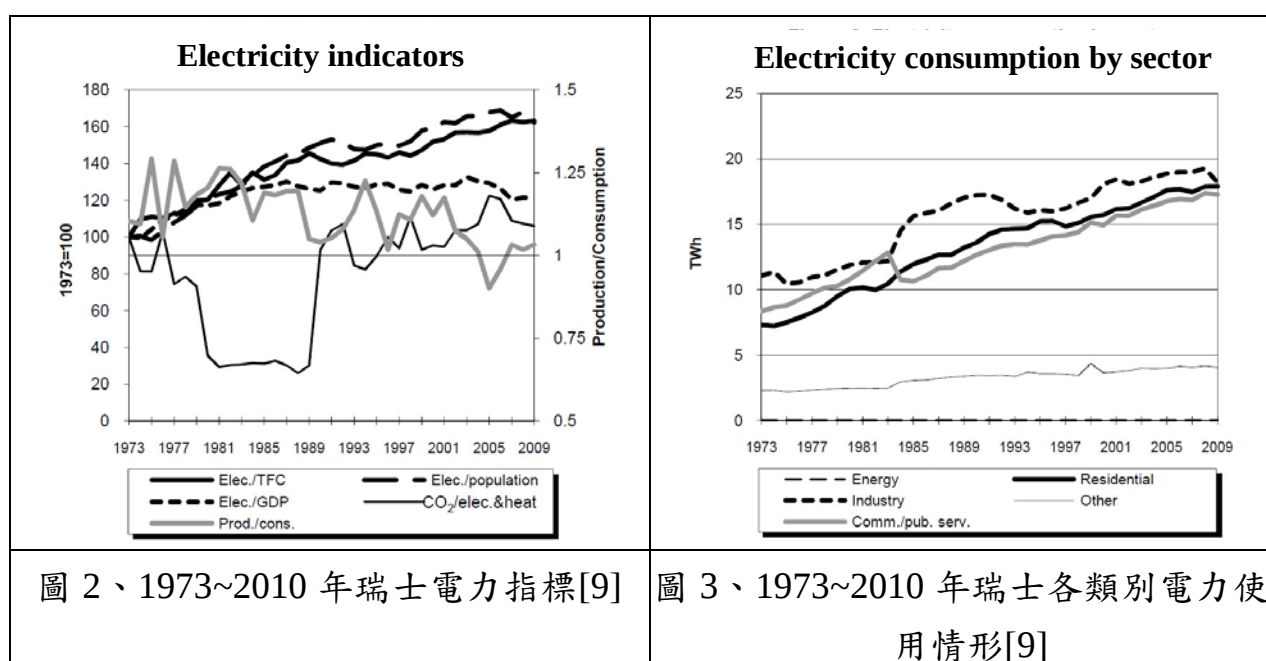


圖 2、1973~2010 年瑞士電力指標[9]

圖 3、1973~2010 年瑞士各類別電力使用情形[9]

由於瑞士具有獨特的地形和相對較多的水資源，非常有利於水力發電的發展；所以 1945~1970 年間，在平地地區建造了許多新的大型水庫及水力發電廠，特別是 20 世紀 70 年代初，水力發電幾乎占了瑞士電力生產的 90%；當瑞士的核能電力投入生產後，水力發電比例才慢慢降低，但目前仍然有 56% 的發電比例，所以水力資源仍是瑞士國內最重要的再生能源。

瑞士境內有 556 座水力發電廠，平均每年約產生 358.3 億瓩小時的電力；其中 47%是利用川流式水力發電(run-of-river power)、49%是利用水庫蓄水發電(storage power)，另有 4%為抽水蓄能發電(pumped storage power)。目前水力發電市場價值每年約達 20 億瑞士法郎(提交給電廠的價格每瓩小時約 5 美分)[8]；未來瑞士聯邦政府希望能夠藉由各種措施，以促進更大程度的水力發電利用。

水力資源是瑞士重要的發電能源，但其他較新的再生能源，如太陽能、木材、生質能、風能、地熱和環境熱能亦具有相當的潛力；上述形式的再生能源約占瑞士總發電量的 5.7%左右(如生質能的木材和沼氣發電約占 3.72%、環境熱焚燒發電和廢棄物燃燒分別占 0.47%與 0.79%，太陽能和風能則只占 0.13%與 0.004%，其他占 0.58%)[8]。基於經濟因素，頗具潛力的太陽能發電與地熱能源發電尚未大力推展；木材和生質能發電已逐漸增加，而其他再生能源，如環境熱能已逐年增加利用，而風力發電若具有經濟效益，未來也會逐年推展；瑞士政府希望到 2030 年時，較新的再生能源(水力除外)約可以增加 54 億瓩小時的電力。

三、 歐盟能量包組合

3.1. 能量包組合內容

因應全球的氣候變化，以增加歐盟(European Union)地區的能源安全與加強競爭力，歐盟領導人於 2007 年 3 月提議，致力於歐洲成為一個高效節能、低碳經濟的地區，並於 2008 年 1 月歐盟委員會提出了擬具法律約束力立法措施，以確保歐盟能滿足較為嚴苛的氣候條件限制與能源規定的目標。此提案由歐洲議會和歐盟理事會於 2008 年 12 月和 2009 年 6 月正式成為法律；當啟動此一措施到 2020 年時，希望能滿足「20-20-20」的三大目標[10]。包括：

- (1) 歐盟溫室氣體排放量減少至少 20%，並低於 1990 年的排放量；
- (2) 歐盟能源消費的 20%來自再生資源；
- (3) 歐盟的能源效率提高 20%。

完成上述三大目標，除了可因應對氣候變化和能源挑戰，並有助於創造就業機會，進而產生“綠色”的增長和加強歐洲的競爭力。依據推估，若

能滿足 20%的再生能源目標，約可創造 41.7 萬個新工作機會，另在 2020 年實現了 20%的能源效率改善，約可提高 400 萬個就業機會[8]。而歐盟領導人甚至還提出了努力減少歐盟的碳排放量到 30%的目標，期望其他已開發國家或發展中國家的主要碳排放國，亦應在全球氣候協議的情況下，做好低碳經濟的承諾。

另能量包還包括補充立法的四項措施，包含：

1.改革歐盟的排放交易體系（EU ETS）

歐盟排放交易體系是減少工業溫室氣體排放最經濟有效地關鍵工具；而能量包的氣候和能源組合包括了歐盟排放交易體系的全面修訂與加強立法[7]。其中歐盟範圍的修訂適用於從 2013 年開始，主要是以單一歐盟範圍的排放上限取代現有的國家碳排放上限，使得 2020 年的碳排放量低於 2005 年的 21%。另各企業被允許排放的分配量可透過交易進行交換，此措施從供電部門開始，未來所涉及的部門和氣體種類將會逐漸增加。規定參與交易的產業如下：

- (1)階段一 (2005~2007 年)：電力、提煉業、鋼鐵業、玻璃業、造紙業及製陶業等，共 11,000 處的電廠與工業廠房參與，達到歐洲二氧化碳排放的一半。
- (2)階段二 (2008~2012 年)：階段一產業加上硝酸業。
- (3)階段三 (2013~2020 年)：階段一與階段二產業+石化業+阿摩尼亞+鋁業+航空業(德國、法國、英國和西班牙四國經濟部門官員於 2012 年 9 月 11 日表示反對航空業納入碳交易制度)。

2.非歐盟 ETS 排放量的國家目標

歐盟會員國雖然努力採取具有約束力的年度目標來減少其溫室氣體排放量(各會員國必須每年向歐盟監管機構報告其排放量)，涵蓋部門包括住家、農業、廢棄物和運輸(不包括航空)等；但是歐盟以外的國家所排放的溫室氣體總排放量約占全球的 60%；所以也希望到 2020 年時，非 EU ETS 國家的整體溫室氣體排放量能較 2005 年減少 10%[10]。

3.國家再生能源目標

根據再生能源決策目標，2020 年時歐盟各會員國對於具有約束力的國家，在能源消費中需要提高再生能源應用的比例；但各會員國的再生能源比例並非固定，而是依據各會員國的出發點和潛力加以訂定，如馬爾他共

合國的再生能源比例只需提高 10%，但瑞典就需要提高到 49%（總體仍以 2020 年時歐盟之 20% 為再生能源的目標）；因此，有效提高再生能源比例，將有助於未來減少溫室氣體的排放，並減少歐盟對進口能源的依賴。

4. 碳捕獲和封存(CCS)

歐盟亦嘗試以法律框架，來建立環境安全使用的碳捕獲及封存(CCS)技術的開發和安全使用。由於 CCS 是一種捕捉工業生產過程中排放的二氧化碳，並將其儲存在地下地質構造的一種技術(歐盟並規定適用於儲存地點的整個生命週期之需求)，它可以不導致全球變暖。雖然商業化規模的 CCS 技術已經在不同的地區開始運作，但要成為完整的成熟技術與是否具有經濟上的實質效益，其可行性還有待進一步評估；所以到 2015 年時，歐盟計畫建立 CCS 示範工廠，以測試其可行性與經濟效益，並希望在 2020 年左右，此 CCS 技術能夠商業化與隨時更新技術[10]；而依據歐盟的指導方針，也希望歐盟各國政府能提供財政支持 CCS 試驗工廠的建立。

上述四項措施並沒有直接涉及能源效率目標，因為提昇能源效率是藉由 2011 年歐盟通過的能源效率行動計畫施行。

3.2 瑞士取代核能發電的策略

2007 年時瑞士的能源政策是核能、能源效率與再生能源發展並重的，同時也規劃核能機組的運轉壽命可以達 50 年。福島事故後，瑞士議會決議於 2034 年完全非核，所以運轉中的核電廠除了依據時程除役外，目前的核電廠也需要通過歐盟所制定的壓力測試，以確定其安全性。由於瑞士為歐洲地區的內陸國家，並不擔心海嘯的風險，但是核電廠附近的水庫之大壩安全，則需要有更安全的防護措施。

瑞士政府推估，由於消費電力的需求增加與核電廠除役，推估到 2035 年，每年約有 250~300 億瓩小時的能源短缺，所以需要依靠大量推展再生能源發電與提昇能源效率來彌補電力不足的缺口[8]；因此，需要額外增加投資再生能源發電的相關設施，估計約需 330 億美元的費用。如果上述的措施仍然無法滿足電力需求，勢必依賴鄰國的電力進口或是以化石燃料發電予以補充。

為了增加再生能源的發展應用來達到歐盟的規定需求，瑞士聯邦政府希望能夠透過各種的配套措施來擴大水力發電的利用；例如在兼顧各種相關生態需求的情況下，更新水力發電廠的設備與增加發電容量，並且與所

有電網結合，以組合最佳化的發電應用效率；推估未來的目標最少可以增加約 200 億瓩小時的再生能源電力[8]。

瑞士政府希望到 2030 年時，較新的再生能源可以增加 54 億瓩小時。目前瑞士的太陽能發電的裝機容量只有 30 MW 左右(只占瑞士的 0.04%)，但瑞士政府希望到 2050 年時，太陽能發電占比能具有 20%的發展潛力。另對於頗具發展潛力的風力能源，2007 年時瑞士已有 30 座風力發電廠，總裝置容量為 14GWe，推估大力推展再生能源發電措施後，2030 年時瑞士的風力發電每年約可產生 600GWh 的電力。而瑞士的地熱發電潛力亦是非常高的(目前仍存在相當大的成本不確定性和可行性)；預計到 2030 年將建置十幾座地熱發電廠，且產生的電力約可達 800GWh 左右。

環境熱能(Ambient heat)亦是瑞士政府利用的能源之一，主要是應用在較低溫的地區，將儲存於空氣、土壤、地下水、湖泊或河流中的太陽熱量，經過處理後，有效地藉由熱泵將熱能傳輸到所要的地區，以提高周圍環境的熱能量；而隨著熱泵的廣泛使用，將可以顯著減少二氧化碳的排放量和消耗化石能源；目前瑞士正朝向推展大容量機型的研究與應用開發，未來並能結合地熱能源和儲熱能源，推估以節能 50%為目標[8]。

四、我國再生能源發展規劃與核電廠運轉情形

4.1 我國再生能源發展規劃

因應全球使用較為潔淨能源的趨勢，以減少二氧化碳的排放，我國政府亦努力推展再生能源的使用，包括擴大各類別再生能源推廣與提昇能源使用效率等；其中 2007~2010 年我國再生能源裝置量與占比如表 2 所示。

表 2、2007~2010 年我國再生能源裝置量與占比情形 [1]

類別	2007 年		2008 年		2009 年		2010 年	
	裝置量 (MW)	占比 %	裝置量 (MW)	占比 %	裝置量 (MW)	占比 %	裝置量 (MW)	占比 %
風力	187.7	0.4	252.1	0.54	376	0.78	477.6	0.98
慣常水力	1,921.2	4.18	1,937.9	4.17	1,936.9	4.03	1,977.4	4.06
太陽光電	2.4	0.0	5.6	0.0	9.5	0.01	22.0	0.04
生質能	772	1.68	772	1.66	825.5	1.72	825.5	1.69
合計	2,883.3	6.28	2,967.6	6.39	3,148.0	6.56	3,302.6	6.79

2011 年時，我國再生能源總裝置容量為 3.5GW；其中再生能源之水力、風力與太陽能發電總發購電量為 55.5 億度，占年總發購電量 2,130.4 億度的 2.60% [2]。另政府於新能源政策中，已提高再生能源發展目標，並積極推展風力能源與太陽能發電的應用；同時規劃至 2025 年時，再生能源發電裝置容量可達 9.95GW，並希望到 2030 年時，再生能源的總裝置容量可以成長至 12.50 GW(占我國裝置容量的 16.1%)，且推估當年的發電量可達 356 億度。而依據 MARKAL 團隊的模型推估，2030 年再生能源的發電占比約為 9%(表 3)，約相當於 890 萬家庭用戶的年用電量(占全國家庭用電戶數的 78%)[3]。

表 3、推估我國 2010~2030 年再生能源裝置量與占比情形

類別	2010 年		2020 年		2025 年		2030 年	
	裝置容量 (MW)	占比 %	裝置容量 (MW)	占比 %	裝置容量 (MW)	占比 %	裝置容量 (MW)	占比 %
風力	477.6(陸域)	0.98	600(淺海) 1,200(陸域)	2.67	600(淺海) 600(離岸) 1,200(陸域)	3.57	600(淺海) 2,400(離岸) 1,200(陸域)	5.41
太陽光電	22.0	0.04	1,200	1.78	2,500	3.71	3,100	3.99
其他(慣常 水力、生質 能與其他)	2,802.9	5.73	3,042	4.52	5,052	7.51	5,202	7.00
合 計	3,302.6	6.79	6,042.0	8.98	9,952.0	14.8	12,502.0	16.1

(資料來源：能源局；工研院綠能所整理)

4.2 我國核能電廠運轉情形

(a)規劃核電廠運轉與除役日期

政府對於核能發電的政策，係以核能安全為最高指導原則；因此，龍門核四廠尚未安全且穩定商轉發電前，三座核電廠仍會依規劃運轉年份繼續營運(表 4) [4]，但絕不會延役；另龍門廠要在安全無虞情況下才會商轉，而按照規劃運轉年份，1 號機最遲在 2015 年以前有機會商轉，2 號機在 2017 年以前亦開始營運商轉[5]。

表 4、我國核能電廠商轉與規劃除役日期相關資料 [4,5]

	核能一廠	核能二廠	核能三廠	龍門核四廠
位 置	台北縣石門鄉	台北縣萬里鄉	屏東縣恆春鎮	台北縣貢寮鄉
商業運轉日期	# 1 1978 年 12 月	# 1 1981 年 12 月	# 1 1984 年 7 月	# 1 2015 年(預計)
	# 2 1979 年 7 月	# 2 1983 年 03 月	# 2 1985 年 5 月	# 2 2017 年(預計)
裝置容量	636 千瓩*2	985 千瓩*2	951 千瓩*2	1,350 千瓩*2
反應器類型	輕水式反應器 (沸水式)	輕水式反應器 (沸水式)	輕水式反應器 (壓水式)	輕水式反應器 (沸水式)
規劃除役年份	# 1 2018 年	# 1 2021 年	# 1 2024 年	預計運轉 40 年
	# 2 2019 年	# 2 2023 年	# 2 2025 年	

(b)核電廠發電情形

我國運轉中的核電廠年總發電量約為 400 億度左右(表 5) [6]；若依據表 4 所示的規劃除役年限除役後，並以再生能源發電補充，則 2019 年核一廠完全除役後，需要增加約 97.5 億度的再生能源發電量(占年發電量 4.58%)，核二廠與核三廠分別於 2023 年與 2025 年完全除役後，兩者合計需增加約 307.5 億度的發電量(合計約占年發電量的 14.44%)。

表 5、三座運轉中的核電廠歷年發電量 [6]

廠別 年代	核一廠 (億度)	核二廠 (億度)	核三廠 (億度)	合 計 (億度)
2006	98.53	147.72	136.92	383.17
2007	98.27	141.36	149.98	389.61
2008	83.86	156.9	151.85	392.61
2009	97.60	156.27	145.94	399.81
2010	97.52	149.47	153.29	400.28

4.3 我國核電廠除役後以再生能源取代發電的可行性

核一、核二與核三廠年發電量約占我國總發電量的 19.0%；若三座核電廠全部依規劃時程停役，所減少的電力優先以再生能源替代，不足部分再輔以燃氣電廠發電，或增購汽電共生系統餘電等措施做為因應，必要時再審慎考慮是否辦理第 5 階段民營電廠開放作業，以力求確保電力穩定供應。

依據國家新能源政策，預計龍門核四廠於 2017 年前可以穩定商轉；

因此，核一廠於 2017 年前提前除役的機會並不大，除非有不可抗拒的天然災害或重大人為疏失，導致核一廠緊急停轉。而核一廠兩部機組的年發電量約為 97.5 億度(表 5)，核四廠兩部機組的裝置容量合計為 2.7GW，假設營運初期運轉的容量因素為 0.75，則 2018 年時推估核四廠兩部機組合計年發電量約為 177.4 億度，所以尚可彌補再生能源占比不足的壓力(表 6)。但是到 2023 年核二廠完全除役後，若沒有興建以化石能源為燃料的火力發電廠，則需要增加再生能源發電約 65.3 億度的電力(約占當年發電量的 2.08%)；2025 年核三廠完全除役後，同樣的情況需要增加再生能源發電約 215.8 億度的電力(約占當年發電量的 6.65%)；2030 年時，假設核四穩定商轉，且容量因素提高到 0.85，則仍然需要增加再生能源發電 192.9 億度的電力(約占當年發電量的 5.46%)。推估若需要增加上述的發電量，則 2023 年、2025 年與 2030 年分別需增加再生能源發電裝置容量約為 2.29GW、7.58GW 與 6.77GW。

表 6、我國核電廠依規劃時程除役後推估需增加再生能源裝置容量

年代 廠別	2018 年	2023 年	2025 年	2030 年
核一廠	減少 97.5 億度	已除役	已除役	已除役
核二廠	不變	減少 157 億度	已除役	已除役
核三廠	不變	不變	減少 150.5 億度	已除役
核四廠	增加 177.4 億度 (容量因素 0.75)	增加 189.2 億度 (容量因素 0.80)	增加 189.2 億度 (容量因素 0.80)	增加 201.0 億度 (容量因素 0.85)
需增加再生能源發電量		需增加 65.3 億度 發電量(占年發電量 2.08%)	需增加 215.8 億度 發電量(占年發電量 6.65%)	需增加 192.9 億度 發電量(占年發電量 5.46%)
需增加再生能源裝置容量		約需增加 2.29 GW 裝置容量	約需增加 7.58 GW 裝置容量	約需增加 6.77 GW 裝置容量
推估當年用電量	用電量 2,798.4 億度	用電量 3,132.2 億 度	用電量 3,247.2 億度	用電量 3,530.4 億度

推估當年用電量資料來源：經濟部 100 年長期負載預測與電源開發規劃摘要報告

參考表 3 所示，我國規劃 2020 年、2025 年及 2030 年的再生能源裝置容量分別為 6.04GW、10.0GW 與 12.5GW，扣除 2011 年我國的再生能源裝置容量約為 3.5GW，因此，2020 年、2025 年及 2030 年的再生能源裝置容量分別需增加 2.54GW、6.45GW 與 5.73GW；而對比表 6 所示後，顯示

我國所規劃增加的再生能源裝置容量明顯不足。

事實上，我國要大量發展再生能源有其困難性存在，例如 2011 年已在陸域設置近 300 架風力機，累計裝置容量約為 530 MW；而評估我國陸域風力發最大潛能總量約為 1200MW，以單機 2~3 MW 計算，合計約可設置 450 座風力機電，但目前對於場址的設置與運轉已面臨重要課題，即可能有場址設置不易，或運轉時所發出的噪音引發民眾抱怨問題。另我國為海域國家，風力為重要的可利用資源之一，經濟部規劃於 2015 年先完成臺灣地區首座離岸風場開發，2020 年完成開發淺海風場 600MW，相當於 120 架風力機；後續再透過經濟規模區塊開發方式，推動大規模深海風場開發，以逐步達到累計裝置容量 3,000MW；但是我國的海域風機設置尚在規劃階段，除了需要建立相關技術外，還需經過離岸風場籌設前置作業程序，如人工島嶼、環評審查、漁業權、國防、航運等法規及行政障礙等(亦須考慮漁民的抗爭與電力傳輸技術等問題)；因此，是否能在 2030 年以前如期完成總計 4.2GW 的風力發電裝置容量，仍需審慎的思考評估。

我國對於太陽光電應用，考量現階段太陽光電發電成本較高，所以先以每年規劃開放設置容量上限方式逐步擴大成長，未來的發電成本大幅下降後再全面普及推展；因此，目前的模式為採取「先緩後快、先屋頂後地面」的策略。此外，考量我國地狹人稠，初期以推動建築物屋頂設置為主(陽光屋頂百萬座)，期望能達到家戶普及應用目標；在未來的太陽光電發電成本更具競爭力後，再推動地面型大容量設置，希望 2030 年時可推動太陽光電設置應用達 3,100 MW 的目標。但是要民眾設置陽光屋頂，需有極大的誘因與長期的配套措施，且 20 年的保證收購，對於國家財政亦是一大考量；另外對於地面型大容量的設置，由於土地取得不易，因此，2030 年時是否能達到預定目標，仍然需要進一步評估。

對於其他之再生能源，如台灣地區慣常水力場址設置幾乎已屆飽和；而生質能與其他如地熱、海洋能等之能源，裝置容量要從 2010 年的 2.8GW 增加到 2030 年的 5.2GW(表 3)，亦需要有具體可行的方案才可以達成。

六、結論與建議

- 1.瑞士境內目前的水力發電與核能發電占比約為 56%及 40%(其他 4%)；福島核子事件後，瑞士政府決定於 2034 年全面停核，不足的電力將發展再

生能源予以彌補。而依據建模評估結果，2034 年瑞士全面停核後對經濟發展影響有限，且在能源利用與效率上的投資將大幅節省能源進口；同時瑞士政府希望到 2030 年時，水力除外的再生能源可以增加約 54 億瓩小時的電力；而更新水力發電廠的設備與增加發電容量後，推估水力能源亦可增加約 200 億瓩小時的電力供應。

2. 瑞士逐漸停核後，乃依據歐盟訂定的能源組合，規劃增加再生能源發電量；且配合國際情勢的變化和科技的發展，不斷地進行監測與改變。另因為決定往後不再建立新的核電廠，而額外增加投資興建再生能源發電的相關設施，到 2050 年為止，估計約需增加 330 億美元的費用。
3. 假設我國運轉中的核電廠如期除役，且核四廠能於 2017 年穩定商轉，則評估 2023 年、2025 年與 2030 年各需增加 65.3 億度、215.8 億度與 192.9 億度的發電量，經換算為再生能源裝置容量各約需增加 2.29GW、7.58GW 及 6.77GW。另我國規劃 2020 年、2025 年及 2030 年的再生能源裝置容量分別為 6.04GW、10.0GW 與 12.5GW，扣除 2011 年再生能源裝置容量約為 3.5GW，所以 2020 年、2025 年及 2030 年的再生能源裝置容量分別需增加 2.54GW、6.45GW 與 5.73GW，顯示我國所規劃增加的再生能源裝置容量明顯不足。
4. 我國要大量發展再生能源發電有其困難性，如 2020 年時，要在陸域合計設置 450 座風力機電，累計裝置容量達 1,200MW (目前已裝置近 300 架風力機)的規劃目標，評估未來的基址設置與風車運轉，可能有場址設置不易及噪音引發民眾抱怨問題。另對於離岸風力的開發，預計 2020 年完成開發淺海風場 600 MW，再透過經濟規模區塊開發方式，推動大規模深海風場開發(預計 2030 年累計裝置容量 3,000MW)；但是我國的海域風機設置除了需要建立相關技術外，尚需經過離岸風場籌設前置作業程序，如人工島嶼、環評審查、漁業權、國防、航運等法規及行政障礙等，2030 年以前是否能如期完成總計 4.2GW 的風力發電裝置容量，仍需要進一步評估。
5. 考量現階段太陽光電發電成本較高，所以政府對於太陽光電應用的策略，先以每年規劃開放設置容量上限方式逐步擴大成長，未來於發電成本大幅下降後再全面推展。但考量我國地狹人稠，初期以推動陽光屋頂百萬座為主，在未來的太陽光電發電成本更具競爭力後，再全面推動地

面型大容量的設置，預計 2030 年太陽光電設置達 3,100 MW 的目標；但是要民眾設置陽光屋頂需有極大的誘因與配套措施，而對於地面型大容量的設置，由於土地取得不易；因此，2030 年時能否達到預定的目標，仍需要審慎評估。

參考文獻

- [1]陽光屋頂百萬座、千架海陸風力機完成圖象，能源政策論述2-2-A-3，工研院綠能所。
- [2]經營績效_年產銷狀況，台電公司網站，<http://www.taipower.com.tw/#>。
- [3]德國核電廠關閉之衝擊與再生能源之發展，工研院綠能所。
- [4]電力與生活_台灣電力發展現況_核能發電，台電網站：<http://www.taipower.com.tw/>。
- [5]核四1號機最快2014年商轉，中央社，2011-11-03。
- [6]台電核能月刊 2006~2011年，台灣電力公司。
- [7] EU Energy Package, (<http://www.greenpeace.org/eu-unit/en/Publications/2009-and-earlier/eu-energy-package/>).
- [8] Hydropower, Swiss Federal Office of Energy SFOE, (<http://www.bfe.admin.ch/themen/00490/00491/index.html?lang=en>).
- [9] IEA Electricity Information, 2011.
- [10] The EU climate and energy package, (http://ec.europa.eu/clima/policies/package/index_en.htm).