

5

第五章 核能是二氧化碳排放減量的最佳方案



百餘年來人類透過消費化石資源產生巨大能量，藉以推動工業與資訊革命，創造出繁榮的文明；可是貪婪而漫無節制的消費，造成資源耗竭、空氣污染、以及目前最受關注的氣候變遷。如果人類再不改變現有生活模式、採用對環境較友善的能源；數十年後，人類將因氣候變遷面臨空前浩劫。

改變人類未來的鉅變

聯合國跨政府環境變遷論壇（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）在2002年發表政策結論指出

- 1**：因溫室效應而造成的全球暖化（Global Warming）現象，已是不可迴避的事實。顯而易見的證據包括：
- 20世紀全球平均溫度已經升高了 0.6 ± 0.2 °C。這是過去1,000年來最高的一個世紀。更嚴重的是現在每10年平均溫度就會增加0.1 °C。
 - 自1750年以來，大氣層中二氧化碳濃度已經增加了31%，這個濃度是過去420,000年以來最高的紀錄。其中3/4的增加來自燃燒化石資源。大氣層中二氧化碳濃度目前以每年0.4%的速度不斷增加。
 - 降雨量增加，20世紀降雨量增加5%~10%。但表面逕流量（run off）增加30%，水荒機率反而增加。
 - 1950年代的天災僅造成全球40億美元損失，1982年就增加到81億美金，1999年的全球損失高達400億美金。
 - 公元2100年，估計全球溫度可能因溫室效應而升高1.4至5.8°C，海平面可能因此而上升0.09至0.88公尺，將威脅到人類的生存；以日本為例，有50%的人口與工業受到嚴重影響。
 - 森林植被將向極地退縮150~550公里，即影響全球1/3的森林分布。有5%~10%的熱帶森林生物會在2050年前滅絕。
 - 整個20世紀，極地冰帽覆蓋面積已減少10%。20世紀聖嬰現象（El Niño）、反聖嬰現象（La Niña）的頻率、嚴重性均大幅增強。
 - 全球暖化將擴大疾病傳播速度與範圍：瘧疾患者將每年增加10%、心肺疾病患者在2050年將增加1倍、登革熱患者增加31%~47%。
 - 溫帶亞州的水稻產量可能減產78%、小麥產量可能減產21%。糧荒情況會更嚴重。

新證據比以往更清楚顯示 **2**，氣溫升高主要是溫室效應增強與空氣汙染使然，而非太陽變化或其他自然因素所致。前英國氣象署署長霍頓指出，本世紀氣候變化的程度，比過去10,000年都大。

溫室效應氣體與全球氣候變遷

溫室效應氣體有很多種，其中影響最大的就是二氧化碳，又因為它在大氣圈裡的平均壽命可達50~200年，這種長期累積效應，會使氣候變遷的影響延長數百年之久。換言之，今天種下的惡因，自己與子子孫孫都得承擔苦果。坦白說，就算現在立即實踐《京都議定書》的要求，把二氧化碳的排放從此控制在1990年水準，長期效應還是會持續數百年：例如2100年海平面會上升10 - 88公分；至2500年，海平面將升高2.5 - 4.5公尺。

目前有越來越多的證據顯示，全球升溫速度越來越快，氣候變遷有加速惡化的趨勢。世界衛生組織 **3** 警告：2020年時全球有60萬人死於氣候變遷的影響、而2050年世界有20億人口沒有潔淨飲水，每年有500萬人因此死亡。

全球氣候變遷對台灣的影響

氣候變遷的衝擊是全球性的，台灣不但不能自外，而且影響更嚴重得多。聯合國跨政府環境變遷論壇曾特別警告：氣候變遷對於島嶼國家的影響，要超過大陸國家1倍以上。看看近年來台灣遭受氣候變遷的損失 **4 5**

6，包括：

1. 過去100年台北氣象站的平均溫度上升1.31℃，台中上升1.11℃，台南上升1.39℃，比IPCC所估計全球百年來溫度上升0.6℃還高出1倍。
2. 過去10年是台灣百年來溫度最高的10年。民國76到90年的14年中，台北市有12年溫度偏高、台中有11年，高雄及花蓮10年，從沒有低於正常值的情況。
3. 過去數十年的年平均降雨量並沒有太大變化，但降雨時間持續減少、降雨集中、降雨強度越來越強、豪雨發生機會明顯增加。
4. 台灣地區旱象發生週期從1950年代以後，有越來越短的趨勢，從原來的16年縮短到目前的12、13年。
5. 海平面只要上升1公尺，台南市安平區就有1半淹沒在海水中；氣溫上升也會對台灣的農漁業造成重大衝擊，年損失將超過台幣400億元，占GDP(國內生產毛額)1%。
6. 熱帶疾病如登革熱、心肺疾病、腸病毒等罹患率增加。孩童氣喘在20年之間增加8倍。

氣候變遷的傷害，現在才剛開始，展望未來，情況只會加速惡化。研究顯示⁷：

1. 台南市及宜蘭縣海平面如果上升1公尺，則台南市的安平與安南分別會有50%、23%土地會被淹沒；宜蘭縣五結則有27%遭到淹沒。僅台南與宜蘭就會造成上千億的損失，台南市共有28萬人受到影響。
2. 嘉南平原海平面上升1公尺，使台南沿海地區 119 平方公里土地面積會被淹沒，嘉義沿海地區52平方公里土地面積會被淹沒。
3. 氣候變遷加劇，使熱浪、暴雨、洪水及乾旱等天災更頻密且強度更大，死亡人數不斷上升。而炎熱的氣候可能使呼吸系統疾病與傳染病災情擴大，增加瘧疾、腦炎和其他感染，更會使死亡率節節上漲。

《京都議定書》

近年來地球氣候的極劇的改變，讓人們開始對大氣中日益累積的二氧化碳感到憂慮，也認為該對二氧化碳的排放有所限制。1994年，150個國家在紐約聯合國總部通過了「聯合國氣候變化綱要公約」(UNFCCC)，之後開始了每年一度的公約締約國大會(COP會議)，締約國大會為各個締約國進行談判磋商的平臺。1997年12月日本京都的「第三次締約國大會」(COP3)中提供《京都議定書》，規範38個國家及歐盟(即所謂附件一國家，以個別或共同的方式控制人為排放之溫室氣體數量以期減少溫室效應對全球環境所造成的影響。附件一國家必須在2008~2012年間將該國溫室氣體排放量降至1990年水準平均再減5.2%。《京都議定書》的生效條件為批准國必須達到55個，且工業國家排放總量達到基準年(1990年)排放總量的55%。2004年俄羅斯的下議院及上議院於10月22日及27日通過了批准《京都議定書》，總統普丁於11月5日正式依法簽署。《京都議定書》在聯合國收到俄羅斯批准之文件之後90天，也就是2005年2月15日生效。《京都議定書》並未對「非附件一國家」設定減量規範。

我國溫室氣體排放成長全球第一

根據我國溫室氣體排放清冊統計⁸：我國溫室效應氣體總排放量(詳如圖5.1)由民國79年的1.6億噸，增加為民國91年3.52億噸(二氧化碳當量)，12年間暴增2.2倍，成長率高居全球第一；是先進國家的10倍、更是世界平均成長率的20倍。

我國溫室氣體排放成長快速的原因，包括需求面的因素如：經濟成長快速、能源消費結構難以改變、節約能源難收成效；供給面因素如：再生能源難挑大樑，與未積極發展不會排放二氧化碳的核能發電。

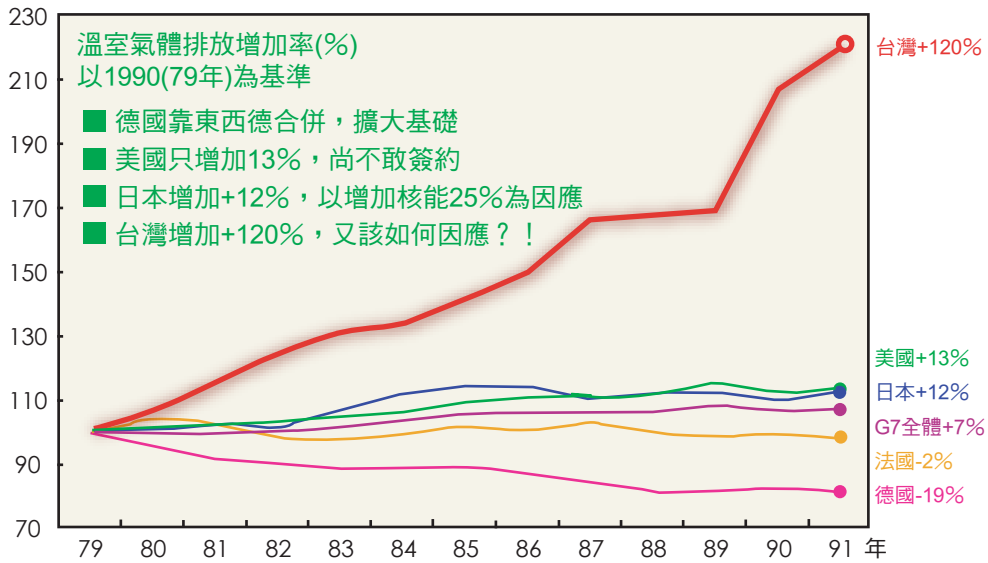


圖5.1 我國溫室氣體排放成長速度全球第一

經濟快速成長導致能源需求增加

主計處統計近20年⁹，我國國內生產毛額（GDP）從2.47兆元成長到10.21兆元，共成長4.1倍；同期能源總消費也增加3倍，二氧化碳排放量也同步增加。經濟成長造成能源需求增加，好像是理所當然；但值得我們警惕的是，最近幾年我國能源使用效率反而越來越差！

一般使用能源生產力（Energy Productivity¹⁰）評估能源的使用效率。如圖5.2所示，我國能源的使用效率自89年之後呈現快速下滑，直到去年才止跌回穩，民國93年能源生產力比17年前（民國76年）還低。能源生產力的下滑原因很多，但最主的原因為耗能工業的持續成長，例如石化、鋼鐵業、水泥業等。這種與世界趨勢悖離的發展，讓我們對於「維持經濟成長，同時還想減少能源消耗」的理想，實在很難有樂觀的期待。

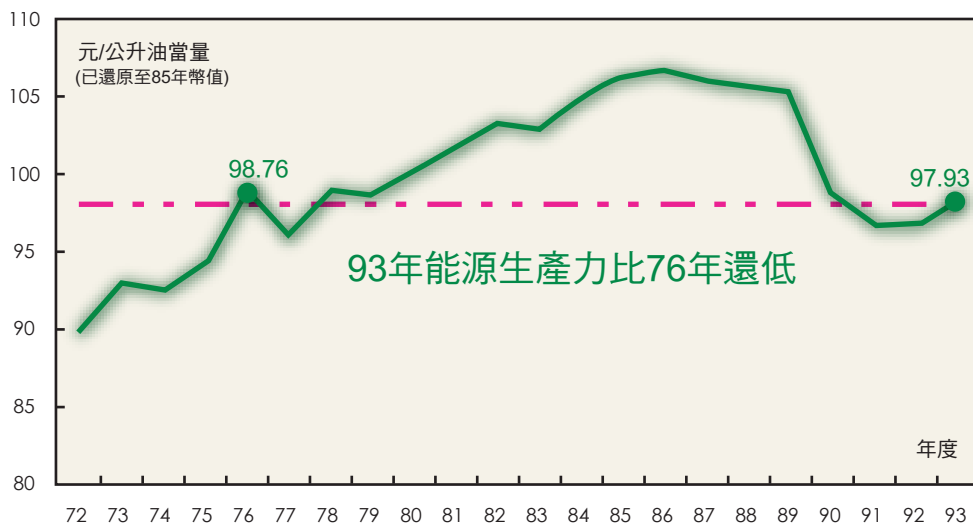


圖5.2 去年我國能源生產力比17年前還低

能源消費結構難以改變

圖5.3分析我國各部門能源消費結構¹¹，過去20年幾乎沒有變化：工業、運輸、住宅、能源與其他等5大部門，共消費近90%能源，但比例上卻是20年如一日；只有商業與農業部門略有升降。顯示我國能源消費結構極為穩定。以「調整產業結構」來提升能源使用效率，從實務面分析，幾乎毫無可能。根據工業局的預估，民國94~99年重大投資案所造成之二氧化碳排放增加量達3,700萬公噸¹²，為民國92年二氧化碳排放總量的14.4%。以「調整產業結構」來提升能源使用效率，似乎只是流於形式，並不存在於政府的政策。

產業結構的調整與國家經濟成長及財團的利益息息相關：君不見在全球都在討論如何因應《京都議定書》的同時，經濟部長還是得協調台塑與中油如何共同使用彰濱工業區的土地，可以同時興建大煉鋼廠與七輕裂解廠；據估計台塑一貫作業鋼廠二氧化碳年排放量為1,560萬噸。在同一時間，環保署卻以會增加二氧化碳排放為理由，否決台電公司彰工火力電廠的興建申請。這種因單位權責不同而必須做出相互矛盾決策的情形，顯現出政府面對《京都議定書》時的進退失據，甚至不知所措。

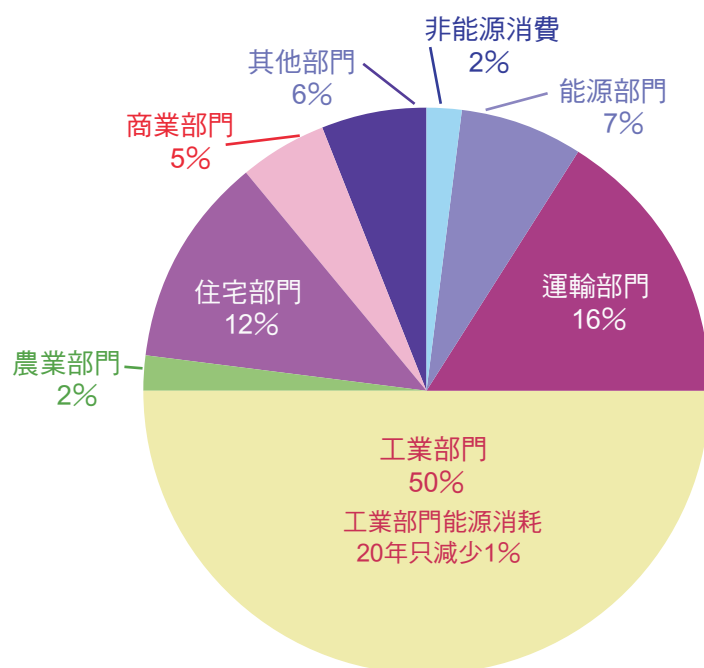


圖5.3 我國能源消費結構20年如一日，想透過調整產業結構減少排放幾無可能

提高服務業比重不能抑制排放成長

許多專家學者民國87年的全國能源會議¹³，建議透過提高服務業比重，間接提高能源使用效率。理由是服務業對於能源需求較低但產值高。「理論上」，可以用較低能源消費達成相同產值，也達到抑制二氧化碳排放成長的目的。但實際狀況並非如此：如表5.1所示，從75到92年，我國服務業佔產業比重從50%成長到63.4%、工業比重由43%降為34.2%，但同時期能源消費仍然成長2.6倍。所謂服務業能降低能源消費的說法，並沒有足夠證據。再者，我國屬出口導向國家，沒有高品質具競爭力的工業，爭取外銷市場；只靠以內需為主的服務業（像營造、批發零售、住宿餐飲、金融保險、不動產與租賃等），台灣的經濟到底能否維持，恐怕亦值得深思。民國92年我國服務業比重已達63.4%，未來還能有多少增長空間？即使台灣所有產業都變成服務業，又能夠減少多少排放？

表5.1 我國歷年產業結構變化情況

年代	產業比重 (%)		
	農業	工業	服務業
65年	11.5	39.6	48.9
75年	6.0	43.6	50.4
92年	2.4	34.2	63.4

節約能源成效不彰

能源生產力降低的另一個原因為節約能源成效不彰。87年全國能源會議，將提升能源效率作為減少排放重要工具，並訂下極具企圖心的政策目標，包括：

1. 民國86至99年：每年提昇12% 效率，將能源生產力由88.75元/公升油當量(80年幣值) 提升至102.9元/公升油當量；亦即累計之能源效率提升為16%。
2. 民國99至109年：每年提昇1.0%效率，將能源生產力進一步提升到113.72元/公升油當量；亦即累計之能源效率提升為28%。

圖5.4以能源生產力為指標，比較當年政策目標與實際能源消費之間的落差；如提所示，93年度目標與實績間有19.3%的嚴重落差。民國87年訂定的政策，推行了7年，能源效率不昇反降；我們要如何能相信民國109年的目標可以順利達成。政府在規劃《京都議定書》的因應政策時，必須考慮政策的可執行程度與所付出的成本，不能以數字掩耳盜鈴自欺欺人。即使我們可以不計成本的達到能源節約的目標，並不能改變我國能源進口的比例；我們仍然極端的依賴進口能源，我們仍然受制於國際能源的供需平衡與價格。

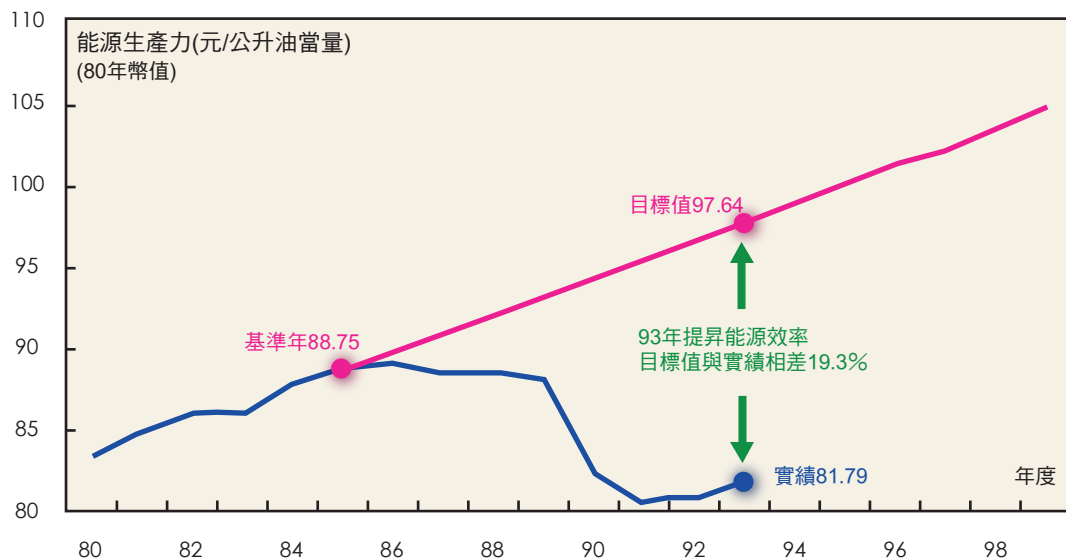


圖5.4 提升能源效率政策目標與實績間有重大落差

全島種滿樹，也只能吸收十分之一排放量

許多學者倡議，以擴大森林與綠化面積吸收二氧化碳，達到減量目的。但根據我國國家通訊 14 分析，我國現有各種森林總和面積2,1千公頃(21,000平方公里)，相當於全國面積 58%，總共吸收二氧化碳2,260萬噸。以此推估，就算把台灣島完全種滿了樹，最多只能吸收3,900萬噸，約佔我國去年(93年)排放量的11%。雖然森林可以吸收二氧化碳，但無法成為主要的減量方法。

潔淨能源的發展

從能源消費與需求面探討所有可能減量方案，發現無論是減緩經濟成長、調整產業結構、提高服務業比重、節約能源、甚至增加森林面積，都無法有效抑制排放成長；是否可能從提升潔淨能源比重達成減量目標呢？

所謂的潔淨的能源是指天然氣、再生能源、與核能。天然氣是低碳能源，再生能源與核能為無碳能源。大規模依賴天然氣除會影響能源供應安全、加速資源耗竭外；高昂與不穩定的價格也會影響台灣的國際競爭力。台灣地轉人稠，再生能源的發展有主觀的限制，對於抑制排放不會有明顯的效果，只有核能才能有效抑制台灣二氧化碳排放的快速成長。

我國再生能源發展空間有限

再生能源從不是新鮮話題。幾千年來人類也一直善加利用。譬如我們熟悉的鑽木取火、水車灌溉、風車碾麥…等等。工業革命後，再生能源已不能滿足現代化社會大產能、高效率的要求。「積極發展再生能源」一直是政府達成二氧化碳減量目標的希望所繫，但受限於先天環境，再生能源未來不可能成為我國主要能源形式。

根據世界能源協會(WEC)的定義，再生能源包括：

風力：主要是風力發電。

太陽能：包括太陽熱能與太陽光電（就是俗稱的太陽能電池）。

生質能（biomass）：包括「傳統生質能」，如鑽木取火、劈柴燒炭；與沼氣發電、焚化廢棄物、燃燒酒精等「現代生質能」。

海洋能量：包括潮汐發電、溫差發電

水力發電：主要是穿流式小水電（通常容量小於2萬瓩）。在世界能源協會(WEC)的定義中，大型水壩與水庫不屬於再生能源¹⁵。

分析2000年世界能源供應情況（圖2.1），再生能源號稱供應全球13.8%的能源，但是其中大部分屬於「傳統生質能」，也就是燃燒垃圾、木炭、劈柴燒飯。落後國家，如南亞、非洲的國家，生質能使用比例可以高達全國能源消耗量的50%，他們對能源唯一的需求就是劈柴燒飯。這種再生能源使用的模式，幾乎佔了全球全部再生能源使用量的80%！

扣掉了高估的生質能，再生能源對於能源的貢獻，就只剩下了3.5%。其中以水力最大宗，但是全球90%的水力發電都來自水壩與水庫，嚴格定義下並不算再生能源。總合起來，全世界只有1.5%屬於真正的再生能源。

再生能源發展最大瓶頸，就是受限於自然環境與開發成本。所有再生能源的能源密度都很低，除了須有適當的自然條件外，還必須使用非常大的土地面積、較龐大的機械裝置、與較高的建造成本。

圖5.5分析我國93年能源供應比例。國內再生能源的使用主要為水力發電、生質能發電（垃圾焚化爐）、及太陽熱能；風力及太陽能光電尚在起步階段。太陽熱能利用部份，目前國內每年新增安裝面積8萬平方公尺以上，為世界第八大市場；截至93年12月底累計安裝面積達131萬平方公尺，為世界第十大安裝利用國；若以土地面積計算安裝密度，則為世界第三大安裝利用國。

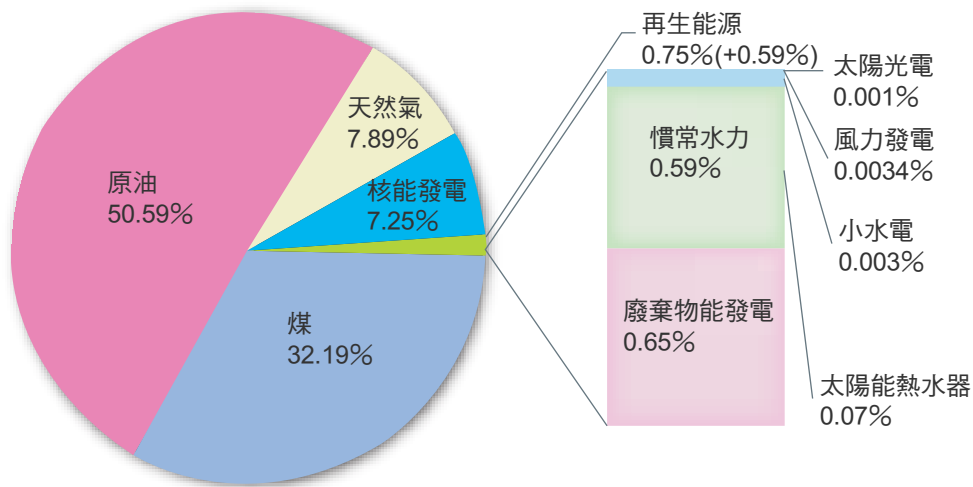


圖5.5 近年我國能源供應比例

與圖 2.1 之 2000 年世界能源供應比例相較，我國再生能源供應比例看起來與世界平均值有段差距；但事實並非如此：隨著經濟發展我國使用傳統生殖能的機會已經微乎其微，故圖 5.5 中的再生能源比例（0.75%），均屬於現代再生能源。即使我們能不計成本的全力發展再生能源，追上世界平均值的 1.5%，甚至超越數倍；但隨著經濟成長帶動的能源需求的成長，再生能源所佔的比例依然有限，仍然不足以擔當我國的能源供應的重責大任。

再生能源使用技術的開發與大規模的推廣是人類文明的必然趨勢，但是客觀分析的數字非常明白的告訴我們，大自然提供給我們可有效運用的能量是不夠我們揮霍的。

再生能源發電裝置無法全時使用

再生能源發電裝置的使用與氣候有關，故再生能源發電裝置無法全時的使用。再生能源發電裝置的設置容量更不等於其他發電裝置的設置容量，台電公司水力發電的裝置容量為 190.7 萬瓩（民國 93 年，不含抽蓄水力），但 93 年的總發電量僅為 31.9 億度，也就是說這些發電裝置因水量不足，每年只有 19% 的時間可以使用。發電系統中任何再生能源發電裝置，均須設置有其他使用非再生燃料之發電裝置，作為再生能源發電裝置因氣候不佳時的替代。備載容量的提昇代表投資的增加，這部份「隱藏」的成本，常常被忽略。當我們討論發展再生能源發電裝置時，必須留意再生能源這項先天上無法克服的事實；這些關鍵因素的混淆，非常容易誇大再生能源發展的想像空間。

水力發電開發已達極限

水力發電分為慣常水力與抽蓄水力兩種，只有前者勉強可以算是再生能源。圖 5.6 統計我國歷年慣常水力發電情況，容量因數（使用率）及佔總發電量比例，如圖所示兩者都有非常明顯的逐年下降趨勢。民國 93 年水力電裝置容量（190.7 萬瓩），比民國 75 年多 20%，但總發電量卻只有民國 75 年發電量的一半。大甲河流域水力發電廠在 921 地震後的歷次颱風均受到重創，是整體水力發電容量因數降低的部分原因。圖 5.6 所示的容量因數也反映出台灣水力發電量不夠穩定的特性。這種發電裝置容量不斷增加，但容量因數（使用率）卻不斷減少的現象，代表我們水力的開發已幾乎達到極限，及我們已在開發經濟價值不夠高的水力電廠。水力發電發展的限制因素包括：

1. 台灣水文環境隨氣候變遷而劣化，水力發電量從 87 年以來，逐年顯著減少，未來長期趨勢也不樂觀。

2. 超過95% 水電屬於水壩或水庫，嚴格來說不屬於再生能源。這些水力設施主要功能在於水源調度，發電只是附屬功能，旱季供水優先政策下，設備無法充分利用。
3. 水力資源早已飽和，一條長僅140公里的大甲溪就有7座水電廠，未來根本沒有開發空間。經濟部規劃民國109年時，慣常水力裝置容量還要比現在增加70萬瓩，卻還沒有詳細的開發規畫。
4. 水庫的興建會對生態帶來近乎毀滅性的衝擊，近年民衆對於興建大型水力設施抗爭劇烈，幾乎所有相關計畫都已凍結，未來擴充極度困難。立法院於94年5月的院會中，全數刪除台電公司花東西寶水力計畫
根據經濟部的樂觀規劃，民國109年時我國還要增設70萬瓩的水力電廠，就算真能達成政策目標，全國水力發電供電總量為45億度，只佔當年用電量的1.43%。總結我國未來水力發電發展受自然條件限制太多，且資源早已開發飽和、發電量逐年減少，前景很難樂觀期待。

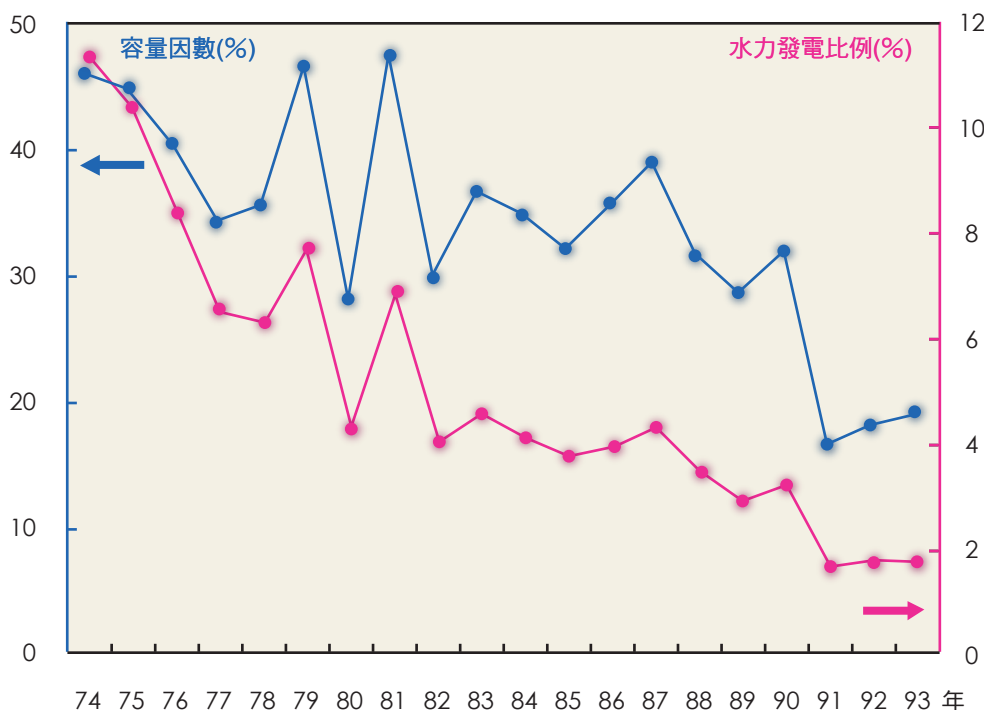


圖5.6 我國水力發電量與佔總發電量比例都明顯下降

風力發電無法紓解夏季用電尖峰

台灣的風在冬季東北季風時最強。「夏天等無風、等無電；冬天不需電，直直吹」就是台灣風力發電最真實的寫照。圖5.7顯示本島績效最好的麥寮風力電廠平均設備使用率與民國93年逐月平均負載變化比較。

台灣地區每年用電尖峰發生在6~8月，用電需求是最低的元月份的1.4倍。但6~8月卻是風力供電能力最低的時段，以麥寮風力電廠為例，設備使用率甚至更低到10%，只有元月份的1/5。這種供需間的嚴重不協調，是台灣風力發電發展的最大瓶頸。

當風力發電量只佔系統小部分時，供需落差可以透過調度彌補；但當風電容量很大時，就必須由其他發電廠作備胎。如果民國109年風力發電真的高達150萬瓩，每年夏季至少要用掉大潭電廠1/3的發電容量來彌補風力機組的發電量。為了彌補3個月的供需落差，得投資興建更多的燃氣或燃煤電廠。一般人在考量風力發電成本時，並未考慮此隱藏的成本。根據經濟部規劃，109年時我國將設置150萬瓩的風力電廠，但是每年只能供電42億度，只佔當時用電量的1.34%。

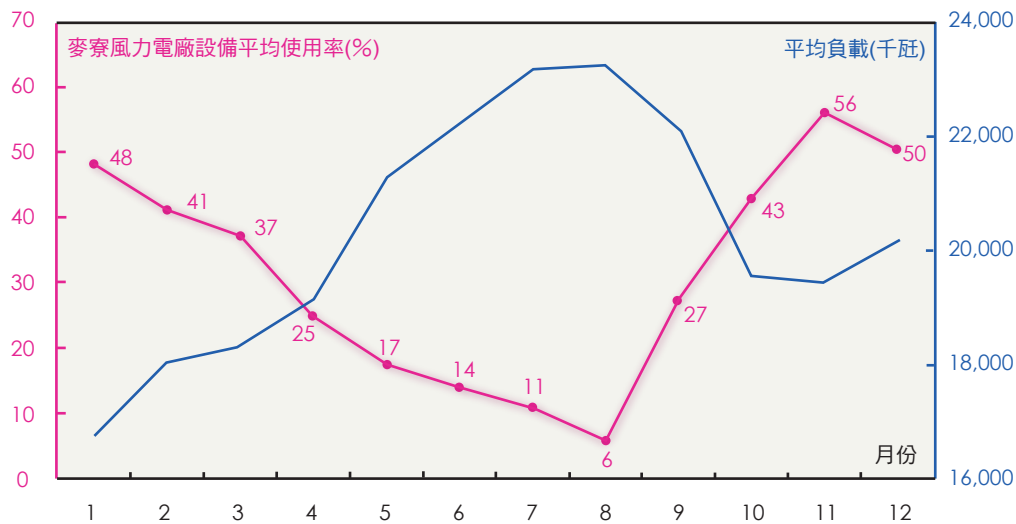


圖5.7 風力發電供需嚴重落差是發展最大瓶頸

天價的太陽能發電

太陽能發電最大特色就是天價的設備成本。如德國去年初才併聯，全球最新最大的Neustadt電廠，設備容量為2,000瓩（尖峰值），容量因數為10%，耗資3.3億元台幣，平均每度電發電成本高達13元台幣。單位發電成本是我國平均電價的6.5倍。經濟部何美玥部長在94年4月23日的行政院第二十五次科技顧問會議中提到，經濟部以六百萬設置了6瓩的太陽能光電板，平均每天發電12度，以台電售電價估算，每年產值不到一萬元。這個例子充分說明不是有太陽的地方就適合發展太陽能光電。

太陽能發電另一個瓶頸就是佔地太大。以Neustadt電廠為例 16，太陽能板總面積高達70,000平方公尺，相當於18個田徑場大，但是發電量卻只能供應700個家庭。換句話說，每戶用電要靠100平方公尺的太陽能光電板供應。當太陽光不足時，還得靠其他發電裝置來提供用電。

業者聚恆公司分析全國17個地點的歷年平均日照量 17，顯示各地日照量差距可達3倍，以雲林、嘉義日照最強烈。根據經濟部規劃，民國109年時我國將設置100萬瓩峰值（核四廠裝置容量的37%）的太陽能電廠，但是每年只能供電10億度，只佔當時用電量的0.32%。問題是這座太陽能電廠佔地廣達35平方公里、耗資6,700億台幣。有人認為國內在現有的半導體業的基礎上，發展太陽能晶片製造業，不但可以為台灣創造另一個賺取大量外匯的產業，也可以大幅度的降低太陽能發電的成本。也許台灣真的可以發展出領先的太陽能晶片製造技術，稱霸全球；但台灣地狹人稠，沒有足夠的土地面積可以讓太陽能發電扮演重要的供電角色。一個國家可以製造物美價廉的天然氣開採機械設備，如果這個國家沒有天然氣的蘊藏，也無法將天然氣變為自產能源。



圖5.8 德國Neustadt太陽能電廠有18座田徑場大，卻只能供應700個家庭用電（圖片：RWE SCHOTT AG）

資源回收太成功，垃圾生殖能發電難成長

垃圾焚化發電是目前我國最主要，也是唯一能穩定供應的再生能源，比重佔再生能源的39%。但因資源回收工作太成功，垃圾產量從87年的1.15公斤/人/日，下降到93年的0.91公斤/人/日，而且焚化率已經高達95.6%¹⁸，未來成長空間很有限。再者，目前所有垃圾焚化爐興建計畫，都受到嚴重抗爭而停止執行，未來很難有容量擴充空間。

再生能源對於抑低二氧化碳排放的成效有限

經濟部的《再生能源發展方案》極具企圖心，預計在民國109年將我國再生能源發電裝置容量提升到650萬瓩（佔總裝置容量的10%）；包括水力250萬瓩、風力150萬瓩、太陽能100萬瓩、垃圾生殖能55萬瓩、其他各項總和95萬瓩；希望能達到供應全國6%電力的目標，估算中假設發的裝置的使用率約為33.5%。基於以往實務經驗，這項方案頗有低估能源需求成長率¹⁹、高估再生能源可用率之虞²⁰。

即使這項極具挑戰的政策目的能夠不計成本的順利達成，民國109年再生能源將可以供應全國能源需求的3.1~3.3%。換句話說，再生能源在民國109年時可以減少二氧化碳排放量的比例也僅數個百分點；對於未來15年、每年以5%快速成長的二氧化碳排放而言，我們看不出來發展再生能源對於抑制二氧化碳排放成長有什麼顯著貢獻。

核能是唯一綠色答案

評估各種抑減二氧化碳排放手段，包括「節流面」的減緩經濟成長、調整產業結構、提高服務業比重、節約能源、甚至增加森林面積，都無法有效抑制排放成長；而「開源面」的發展再生能源與提高天然氣發電比重，都有自然條件限制或必須付出驚人代價。唯一的有效選擇，就是重用核能發電！

圖 5.9 比較各種能源生命週期的二氧化碳產量。燃煤是核能的63倍，天然氣比核能多32倍。核能在所有主要能源中二氧化碳排放最低，甚至比許多再生能源都低，是抑減二氧化碳排放最佳選擇²¹。

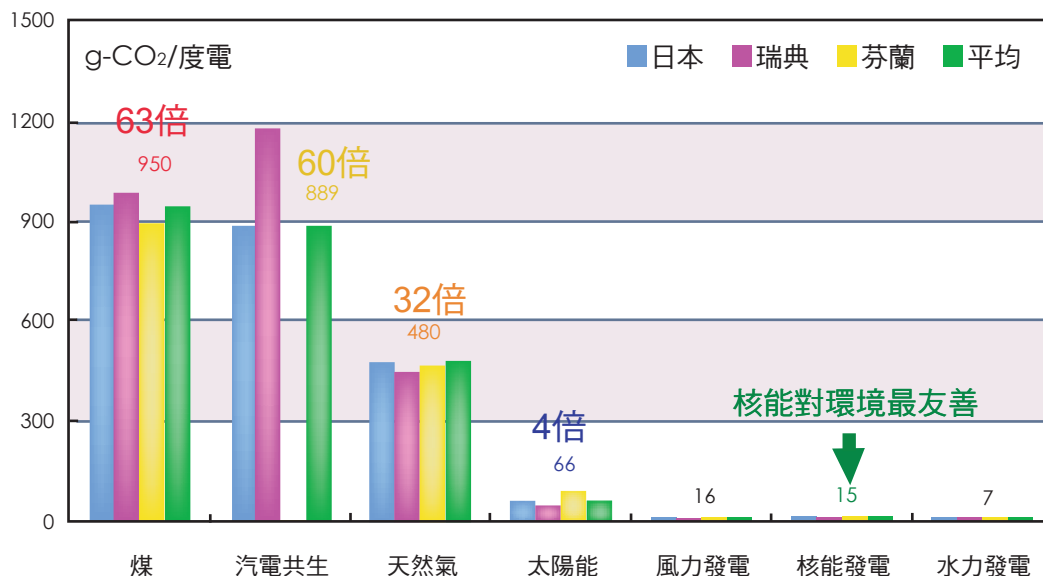


圖5.9 核能是二氧化碳排放最少的主流能源

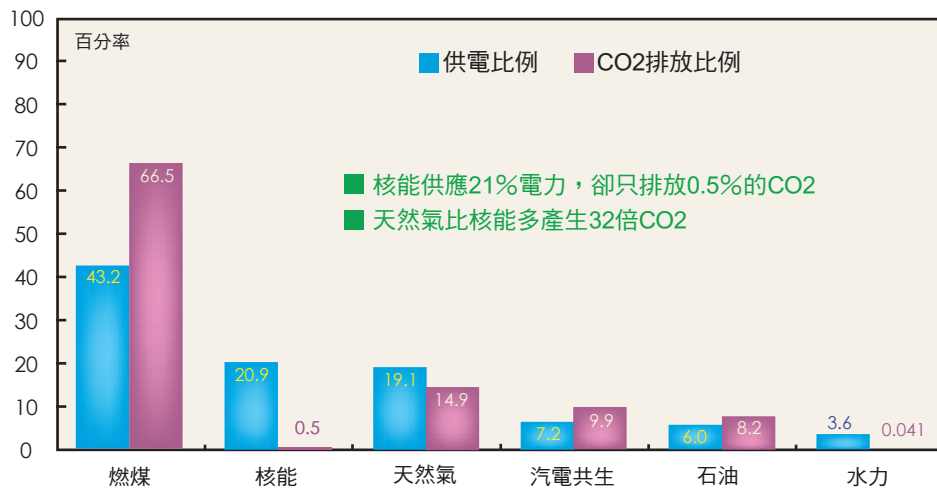


圖5.10 核能供應我國21%的電力，卻只排放0.5%的CO2

圖5.10比較我國各種發電方式的供電與二氧化碳排放比例。93年核能供應全國21%的電力，卻只排放0.5%的二氧化碳。核能發電每年為我國減少2,900萬噸排放^[22]。如果加上核四，每年可以為國家減少4,600萬噸排放，幾乎是13%的全國排放量。

我國自49至67年間，每百萬元GDP的二氧化碳產量，大致維持在28 - 30公噸的範圍，67年到76年由於核一、二、三廠的陸續併聯發電，二氧化碳產量直線下降至24公噸，甚至曾低至22公噸。圖5.11所示為民國73年至民國94年台灣電力公司核能發電比例與每度電的二氧化碳排放量。圖5.12所示為預測之民國95年至民國109年後台灣電力公司每度電的二氧化碳排放量；本項估計是依據台電9404之電源開發方案。

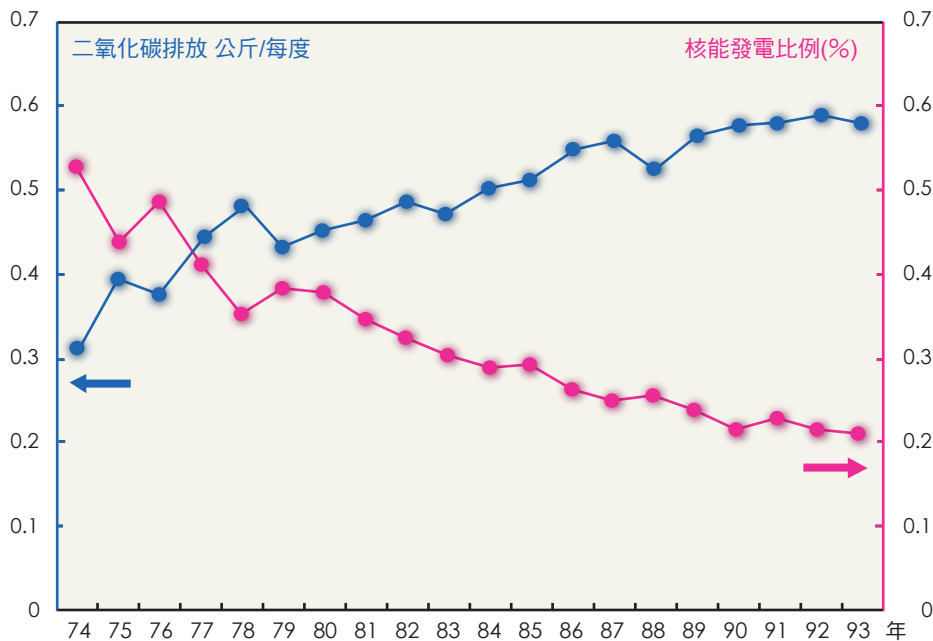


圖5.11 民國73年至民國94年台灣電力公司核能發電比例與每度電的二氧化碳排放量

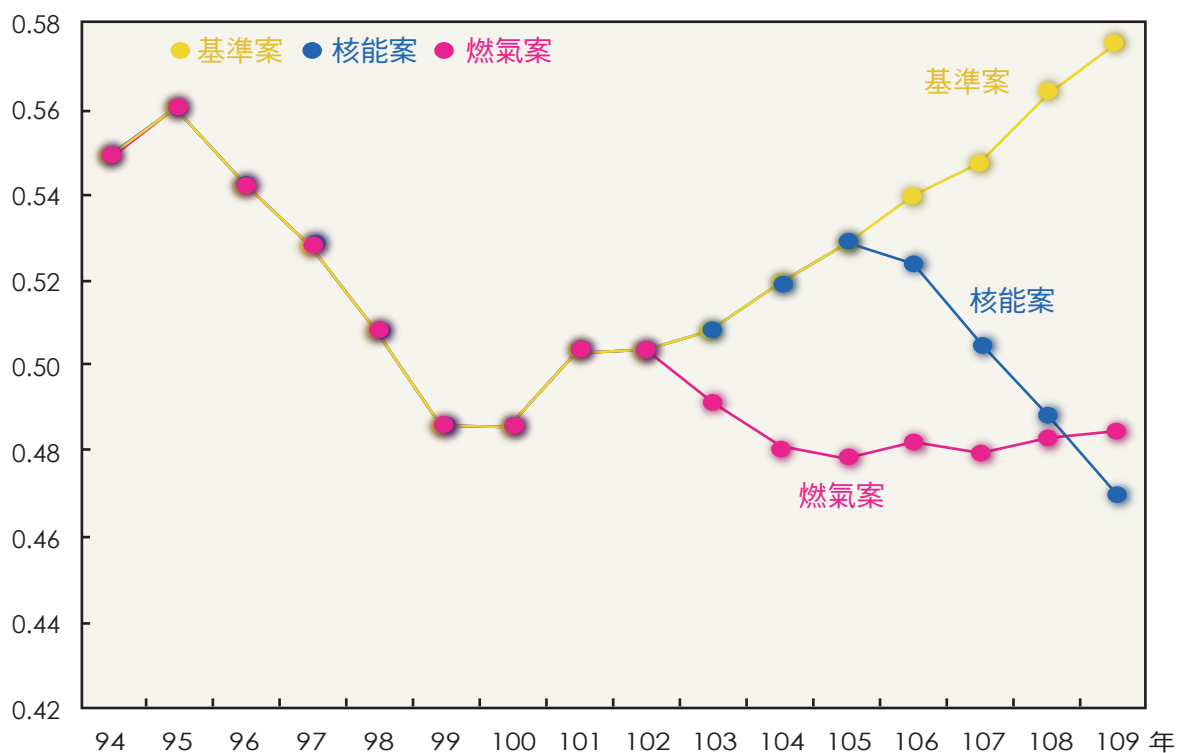


圖5.12 預測之民國95年至民國109年後台灣電力公司每度電的二氧化碳排放量

為了解各種策略對二氧化碳減量的影響，圖5.12亦顯示「天然氣案」及「核能案」的預測結果。「天然氣案」是以天然氣取代部份燃煤電廠，「核能案」增建四部核能機組取代燃氣電廠。如圖所示，民國95與99年之二氧化碳排放會因核四的商轉而降低；由於核電建廠須較長的規劃與興建期間，故即使現在著手規劃，到民國106年才有可能有新機組商轉，到那時二氧化碳排放量才有機會再度降低。表5.2所示為三個案例到民國109時，台灣電力裝置容量與配比、發電量與配比、二氧化碳排放總量、天然氣使用量、預估發電單位成本。民國93年我國的天然氣使用量為608萬噸。比較表5.2及圖5.12的資訊可以發現發展天然氣發電及核能發電都可以減少二氧化碳的排放，可是發展天然氣發電的成本遠大於核能發電，其單位發電成本的差異達10%，亦即會增加發電成本713.5億元。大幅提昇天然氣發電的比例也會影響到國家能源供應的安全，及能源價格的穩定性。如果將核能案中部份燃煤電廠以燃氣取代，可以將二氧化碳排放量更降低，但發電成本也會上升。我們可以興建更多的核能機組，但是核能機組的興建需要較長的前置期，故亦無法在短期間內大幅提昇核電比例。

表5.2 台電公司估計2020年發電量相關數據

	基準案	燃氣案	核能案
總裝置容量 (萬瓩)	6,536.4	6,532.4	6,563.6
核能(萬瓩, 占比)	657.2 (10.1)	657.2 (10.1)	1324.4 (20.2)
燃煤(萬瓩, 占比)	2829.7 (43.3)	1629.7 (24.9)	2189.7 (33.4)
燃氣(萬瓩, 占比)	1982.1 (30.3)	3278.1 (50.2)	1982.1 (30.2)
燃油(萬瓩, 占比)	114.2 (1.7)	114.2 (1.7)	114.2 (1.7)
抽蓄(萬瓩, 占比)	360.2 (5.5)	260.2 (4.0)	360.2 (5.5)
再生能源(萬瓩, 占比)	593.1 (9.1)	593.1 (9.1)	593.1 (9.0)
總發電量 (億度)	3394.83	3372.18	3397.25
核能(億度, 占比)	480.49 (14.2)	480.49 (14.2)	910.82 (26.8)
燃煤(億度, 占比)	1917.18 (56.5)	1184.01 (35.1)	1487.28 (43.8)
燃氣(億度, 占比)	630.02 (18.5)	1357.22 (35.1)	630.02 (18.6)
燃油(億度, 占比)	12.66 (0.4)	12.65 (0.4)	12.88 (0.4)
抽蓄(億度, 占比)	20.05 (0.6)	3.38 (0.1)	21.82 (0.6)
再生能源(億度, 占比)	207.58 (6.1)	207.58 (6.2)	207.58 (6.1)
汽電共生(億度, 占比)	126.86 (3.7)	126.86 (3.8)	126.86 (3.7)
預估平均電價 ¹ (元/度)	2.23	2.45	2.24
預估發電成本 ¹ (元/度)	1.38	1.52	1.39
天然氣使用量 (萬公噸)	876	1842	876
燃煤使用量 (萬公噸)	6598	3872	4990
CO ₂ 排放總量 ² (萬公噸)	19,601	16339	15947

表註

1 依台電公司近年之電源開發投資與發電成本預估，含燃料價格調整、核能後端營運費用。

2 不含汽電共生

核能是先進國家抑制排放最重要方案

行政院第二十五次科技顧問會議 (94年4月22~23日)中，美國麻省理工學院物理系教授莫里茲博士明白的指出：「如果在討論二氧化碳減量時，不考慮核能，即無法為這個問題找到解決方案 (If you exclude nuclear power from the solution, there is no solution)」。世界各主要國家 (如美國、英國、法國、俄國、加拿大、日本、韓國、及中國大陸) 都認同此項看法，也都以核能為控制二氧化碳排放的工具。

雖然沒有參與京都協議，美國對於抑減溫室氣體排放已在進行規劃與佈局。圖5.13顯示，核能是2003年美國能源部的志願減量制度最大貢獻者，總共協助全美減少13,200萬噸的二氧化碳排放，佔所有減量成績的35%²³；在電力部門，核能發電囊括76%的減量成效，但風力發電、太陽能與地熱，卻只貢獻了2%。分析資料²⁴指出，美國核能發電所減少的二氧化碳排放，相當於全美1億輛汽車的排放量。

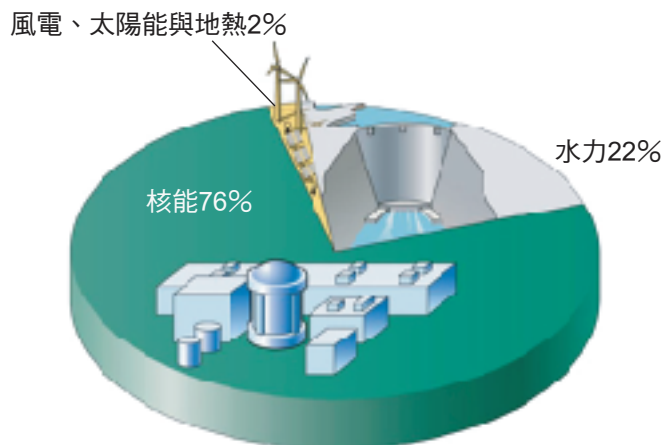


圖5.13 美國電力部門四分之三的CO₂減量是核能的貢獻

美國副總統錢尼說得最坦白：「如果你想要對二氧化碳排放問題做一些事，那你應該建核電廠，因為它們不會排放任何二氧化碳」。基於這項認知，美國核能工業界與電力公司已著手規劃興建新的核電廠，預計在2010年之前就有新核電廠問世。

此外，在新的核電廠還未興建前，幾乎所有核電廠都獲准提昇功率，提昇的總功率為439.4萬瓩，相當於我國核能發電量的9成。美國另一項推廣核電的具體措施為，核准將30座機組的營運轉壽限由40年延長為60年，總容量已超過全美1/3。美國只要花很少投資(遠低於新建電廠的成本)，即可以獲得大量不排放二氧化碳的廉價電力；但是我們卻要將運轉績效極佳、不排放二氧化碳的核能電廠提前除役，要說不是意識型態高於國家利益，恐怕很難找出其他解釋。

德國原子能協會指出，1999年核能發電提供了全德電力近1/3，相當於全德能源消耗的10%。30年來，核電減少了全德20億噸的CO₂排放。與我國鄰近的日本，2002年核能發電裝置容量佔19.2%，核能發電量佔31.2%；韓國2003年核能發電裝置容量佔28%，核能發電量佔40.2%。這兩個國家都還在積極的推展核能發電以滿足《京都議定書》的減量目標。日本與韓國在核能發電的長期投資，已對二氧化碳排放的抑制產生具體的成效。

2001年韓國與日本的「每單位能源二氧化碳排放量(公斤/10億焦耳)」分別為54.50與54.25，同年台灣為61.67；較日韓約高13.5%。我國每單位能量創造之GDP(美元/10億焦耳)較韓國為佳，分別約為106與83；代表在能源使用效率上，我們比韓國好；但是我國每人平均二氧化碳排放量(公噸/人)卻比韓國多，分別為10.3與9.4。原因無他，2003年韓國的核能發電量比例為40.2%，同年台灣為21.5%²⁵。

2004年歐盟以絕對多數讚揚核能發電對於減少二氧化碳排放的傑出貢獻²⁶，並明確指出：核能每年替歐盟減少3~5億噸的二氧化碳排放，相當於1995年時歐盟境內所有交通運輸工具的排放。如果沒有核能，不可能達成《京都議定書》的減量目標。

有些人士認為聯合國氣候變化綱要公約第六次締約國大會中，並沒有同意將核能發電列入「清潔發展機制(Clean Development Mechanism, CDM)」，代表締約國無法所接受核能。所謂的「清潔發展機制」是指已開發國家協助未開發或開發中國家降低之二氧化碳排放量，可以計算在已開發國家的減量績效中。《京都議定書》的條文並未限定締約國如何抑制二氧化碳排放量，各個國家發展核能發電抑制二氧化碳排放，其他締約國無權干涉。核能未被列入「清潔發展機制」，只能說是部份締約國不同意已開發國家可以在其他國家建核能電廠來達成自己的減量目標。事實上，這項協議已經受到俄國、加拿大及澳大利亞等國的質疑，要求重新檢討將核能排除在「清潔發展機制」之外的決定。由於各締約國的考量不同，將核能列為「清潔發展機制」會嚴重影響某些國家的商業利益，故這項協議的訂定及改變與否並不全然是以環境保護或核能是否可以接受為出發點。

沒有核能，一切免談

根據87年全國能源會議結論，以89年每人年平均二氧化碳排放量10.1公噸與總量2.23億公噸為基準，在未來20年間，我們必須：

1. 累計節約能源28%
2. 增加汽電共生容量2.4倍
3. 提高再生能源比率至3%
4. 大量推廣天然氣之使用成長達12倍
5. 還要增加核能機組(除核四外，在現有廠址增加4部機組)

即使我們不計成本也有能力完成前述5項規劃，預估可以把民國109年5.01億噸之二氧化碳排放量抑低至2.97億噸；再加上很大幅度的產業結構調整，期望能在民國109年控制在89年2.23億噸的排放目標。

全國能源會議規劃民國109年的能源結構，核能發電之裝置容量配比为19-20%、核能發電量佔全國能量使用的配比为13-15%。但台電現在之長期電源開發方案，假設核能機組運轉40年除役，就算核四商轉，民國109年時核能發電之裝置容量配比为10.4%，核能佔能源結構之6.7%，遠低於當年規劃。

根據94年全國能源會議分區座談會提供資料，對於當年全國能源會議所規劃的政策達成率為87%，但二氧化碳排量的成長趨勢未見減緩。最大的原因就是政府未尊重會議有關核能配比的結論，積極興建核能電廠。持續興建核能機組的確無法完全抑減二氧化碳排放，但沒有核電，一切免談。

《京都議定書》的生效代表國際對二樣化碳排放的抑制已經由規劃進入執行。雖然目前的減量責任均由已開發（或附件一）國家承擔，但相信未來一定會對開發中國家定出具體減量目標。我國雖然並非聯合國會員，也沒有簽署《京都議定書》，理論上我們可以不予理會；但作為具有經濟實力且已適度開發的地球村成員，其他國家一定不可能讓我們置身事外。我們必須具體規劃二氧化碳減量目標，與達成目標的具體政策與措施。

任何抑制二氧化碳排放措施的執行，都需要基礎建設的配合，也需要長時間的執行才能看到效果。同理，現在決策錯誤所造成的影響，可能再數年或十數年後才能看到，而衝擊產生時已來不及做任何的挽救！世界各主要國家，如美國、英國、法國、俄國、加拿大、日本、韓國、及中國大陸都利用發展核能為控制二氧化碳排放的工具；我們不應該受限於意識型態，將核能排除在抑制二氧化碳排放因應策略之外。沒有核能發電，台灣二氧化碳排放量將無法有效的抑低。

註

- 1 United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change (2002), Summary for Policymakers - Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability.
- 2 United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change (2001), Third Assessment Report, Climate Change 2001: The Scientific Basis – Summary for Policymakers.
- 3 World Health Organization (2003), Climate Change and Human Health - Risks and Responses.
- 4 蔡勳雄、郭博堯(2001), 全球氣候變遷加劇的現象, 國政研究報告, 永續(研)090-030號, 國家政策研究基金會.
- 5 中國時報(2004), 國科會研究發現：台灣乾旱週期有縮短跡象, 2004/02/09報導.
- 6 中央社(2005), 全球暖化 台灣加害 也受害, 2005/02/16報導.
- 7 C. M. Liu, M. C. Wu, et al (2001), Challenges in Managing Water Resources in Taiwan, in :10th Pacific Science, Inter-Congress, Guam.
- 8 工業技術研究院能源與資源研究所(2005), 「台灣溫室氣體排放統計」, in :氣候變化綱要公約資訊網 (<http://sd.erl.itri.org.tw/fccc/index.htm>)
- 9 行政院主計處(2005), 國民所得統計常用資料.
- 10 能源生產力 (Energy Productivity) 指產業在生產過程中，每耗用單位能源所創造之國內生產毛額(GDP)數額，通常用「元/公升油當量 (元/LOE)」來表示。
- 11 所有關於能源產生、消費統計資料均來自經濟部能源局「能源統計月報」
- 12 全國能源會議分區座談會資料, "工業部門因應策略", 成功大學, 陳家榮教授
- 13 經濟部(1999), 全國能源會議結論具體行動方案.
- 14 行政院環境保護署(2002), 聯合國氣候變化綱要公約國家通訊.
- 15 大型水力設施不算再生能源：世界能源協會 (WEC) 、歐洲再生能源協會 (European Renewable Energy Association, EREA) 、著名環保團體國際河網 (International River Net) 都認為小水力 (small hydropower) 才是再生能源。
- 16 RWE SCHOTT AG.(2004), 網頁資料：<http://www.renewableenergyaccess.com/rea/news/story?id=10357>
- 17 聚恆公司(2005), 聚恆能源網 - 系統電力計算網頁 (<http://www.hengs.com/calall.htm>)
- 18 行政院環保署(2005), 公務統計/廢棄物/表4.1. 垃圾清理概況
- 19 方案估計93-109年的總能源需求成長率為1.53-1.85%、需電成長率為1.87%。與過去10年實際需求成長率5% (總能源)、6.4% (需電量) 相差太大，在無法提升能源效率的事實下，很難解釋只有實績1/3的成長率如何達成？反觀台電公司以主計處對經濟長期預測為基礎，預估需電成長率為4%，似乎較接近事實。
- 20 根據經濟部規劃，109年時我國再生能源以慣常水力(35%)、垃圾焚化發電(12%)、風力發電(12%)與其他生質發電(15%)為最大宗。慣常水力在發電量逐年下降、開發已近飽和；垃圾焚化發電已達到109年發展目標，但是當年能源需求與預估有42%差距；風力發電與太陽能可用率高估、且成長倍數太大，很難進行有效評估。
- 21 World Energy Council (2001), A Better Understanding of Greenhouse Gas Emission for Different Energy Vectors and Application.
- 22 如果排除核能，以93年電力結構計算，每度電需排放0.768公斤的CO₂，核能的貢獻就是當年發電量 (380億度) × 0.768 公斤CO₂/度電 = 2,900萬噸CO₂。加計核四貢獻，可達4,600萬噸。
- 23 Energy Information Administration (2004), Voluntary Reporting of Greenhouse Gas 2003.
- 24 Nuclear Energy Institute (2004), Sources of Emission-Free Electricity
- 25 行政院第二十五次科技顧問會議 (94年4月22~23日)簡報資料，氣候變遷及京都議定書之對策，行政院國家永續發展委員會，葉俊榮執行長)。
- 26 European Economic and Social Committee, EESC (2004), OPINION of the European Economic and Social Committee on the Issues Involved in Using Nuclear Power in Electricity Generation, TEN/133.