

K-12

能源科技教育 種子教師培訓教材

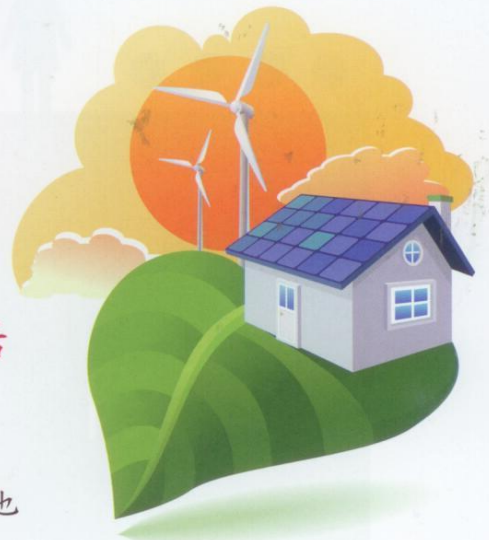
能源對經濟社會 與環境的影響

大專能源科技人才培育資源中心



國立政治大學綠色能源財經研究中心彙編

2013年7月



周麗芳主任的話

能源，帶來的變革關乎人類的文明生活、社會經濟、文化習慣。人早已不能自外於能源所帶來的影響而生活，也因此在本世紀談論能源有其重要性。

聯合國大會將2012年定為「國際永續能源年」(International Year of Sustainable Energy for All)，將能源的價值從科學技術、生活所需，提升至整體經濟、社會與環境的合理使用與生產，進而達到能源永續、社會永續、環境永續。本教材之內涵亦呼應國際之能源趨勢。

本教材為「教育部能源國家型科技人才培育計畫」下的K-12(高中至國中/小)能源教育培育計畫項目之一。能源牽動一國之經濟發展，台灣倚賴進口能源高達98%，且缺乏天然資源可開採，每每國際油價波動，台灣經濟亦隨之起伏。又因日本福島事故，衍生出核能存廢的探討聲浪，讓台灣人開始重視能源帶來的社會影響，並思考新的能源生活方的可能性。

每天日常生活都需要使用油、電、天然氣、煤等能源的台灣人，不能僅限於能源技術的發展，尤其能源在自由競爭市場中，集結諸多特殊性的產品特色，左右能源價格，進而左右我們所處之社會生活，極需了解台灣與能源的未來發展與動向。

政治大學綠色能源財經研究中心為教育部底下所設立的「能源經濟管理科技人才培育資源中心」。本資源中心特別為教材邀請到臺北大學、臺灣綜合研究院、臺灣中油、臺灣電力、崇越科技股份有限公司、北區高中職能源科技教育推動中心—國立龍潭農工、政治大學等產官學界之能源經濟專家，針對「能源對經濟、社會與環境」作一全面性討論。

政治大學綠色能源財經研究中心集結臺北大學、佛光大學、世新大學、東吳大學、臺北商業技術學院等六所學校，期望以人文社會的軟實力，達成培育能源專業人才、驅動綠色經濟、邁向永續社會之目標，讓將能源素養深根於台灣教育的土壤中，預見未來成長茁壯的豐美果實結果台灣各處。

政治大學財政學系教授暨綠色能源財經研究中心主任

周麗芳





編輯團隊

- 周麗芳 國立政治大學財政系特聘教授
國立政治大學綠色能源財經研究中心主任
- 林良楓 國立政治大學會計系副教授
國立政治大學綠色能源財經研究中心副主任
- 李堅明 國立臺北大學自然資源與環境管理研究所所長
- 葛復光 行政院原子能委員會核能研究所簡任副研究員
- 林唐裕 臺灣綜合研究院所長
- 陳玟如 臺灣綜合研究院組長
- 洪紹平 臺灣電力公司主任
- 林淑娟 臺灣中油公司組長
- 曾瓊瑤 臺灣中油公司企劃控制師
- 馬公勉 崇越科技股份有限公司研究員
- 王政瑜 國立龍潭高級農工職業學校主任



目錄

第一章 能源消費統計..... 1

- 1.1 台灣能源消費統計..... 1
- 1.2 國際能源消費量與供給量現況與趨勢..... 8

第二章 能源價格影響因素..... 22

- 2.1 能源價格定價機制..... 22
- 2.2 台灣進口能源價格影響因素..... 24
- 2.3 台灣產製能源價格影響因素..... 32

第三章 能源價格變動對經濟社會影響..... 52

- 3.1 能源價格變動對產業及民生之影響..... 52
- 3.2 電價變動對台灣經濟社會影響..... 56
- 3.3 油電價格變動對台灣經濟社會影響..... 60

第四章 再生能源的經濟與環境思考..... 65

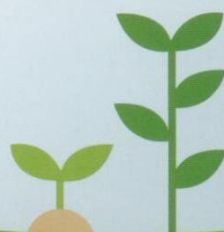
- 4.1 再生能源經濟課題..... 66
- 4.2 再生能源環境思考..... 81

第五章 核能發電的角色與爭議..... 85

- 5.1 發電階段的無碳排放..... 87
- 5.2 興建、營運及除役成本..... 90
- 5.3 核電廠安全..... 93
- 5.4 輻射污染的環境衝擊..... 98

第六章 能源服務的型態與影響..... 108

- 6.1 電力的特性與影響..... 108
- 6.2 煤炭的特性與影響..... 119
- 6.3 油氣的型態與影響..... 129



目錄

第七章 全球能源的跨國貿易..... 149

- 7.1 石油..... 149
- 7.2 天然氣..... 155
- 7.3 煤炭..... 162
- 7.4 電力..... 168

第八章 低碳綠色經濟發展..... 176

- 8.1 綠色經濟意義與實踐..... 176
- 8.2 低碳綠色經濟監測與衡量..... 183
- 8.3 低碳綠色經濟發展策略..... 189

第九章 低碳城市..... 196

- 9.1 低碳城市的定義..... 197
- 9.2 低碳城市的衡量指標..... 198
- 9.3 國內低碳城市推動政策..... 199
- 9.4 低碳城市的實例..... 201

第十章 台灣能源永續發展策略..... 221

- 10.1 能源永續發展之意義..... 221
- 10.2 能源永續發展推動策略..... 227
- 10.3 台灣能源永續發展策略..... 235



第一章

能源消費統計



第一章 能源消費統計

2012 年為聯合國的「國際永續能源年」(International Year of Sustainable Energy)，聯合國並期待全球於 2030 年達到三項目標：(1)全球均可享有現代能源服務；(2)倍增能源效率提升目標；及(3)倍增再生能源發展目標等。由此可知，掌握能源消費與供給狀態，將是提升能源效率與發展再生能源的基礎。

能源消費統計以國內外最新能源消費與供給狀況為主，透過能源消費與供給統計，可以掌握國內外能源消費成長趨勢及能源消費結構變化趨勢，進而，瞭解能源與國家經濟發展、國民生活福祉及全球暖化之關聯性。據此，可以知道維護能源永續利用的重要性，以及提高能源效率(energy efficiency)是核心策略。本節首先介紹台灣能源消費統計，第二節分析全球能源消費統計。

1.1 台灣能源消費統計

1.1.1 台灣部門能源消費特性的差異

由於部門經濟活動特性差異，呈現不同部門之能源消費型態與占比的特色，分述如下：

1.工業部門

鍋爐燃燒化石燃料是工業部門的主要生產動力來源，然而，隨著工業部門朝向電力化(包括照明、空調、資訊、清潔、熱能、烹調及其他動力)生產模式，對電力的依賴度不斷提高，因此，電力消費占比逐年增加，已成為工業部門的主要能源消費型態。

以我國工業部門能源消費型態占比為例，電力消費占比為 68%，化石燃料消費占比為 32%，電力消費占比已超過化石燃料消費占比兩倍有餘，詳見圖 1.1-1。

2.運輸部門

公路運輸是運輸部門的主要能源消費部門，其中，又以小客車能耗是公路運輸的主要能源消費來源(約占 90%以上)，因此，呈現運輸部門高化石燃料占比的現象。以我國運輸部門能源消費型態占比為例，化石燃料消費占比為 98%，電力消費占比僅為 2%，詳見圖 1.1-2。

3.住商部門

住商部門的能源消費型態呈現較多元化，包括電力、化石燃料及天然氣(或瓦斯)。由於住商部門的主要能源來自相關電器用品與設備，因此，電力是住商部門的主要能源消費型態。以我國住商部門能源消費型態占比為例，電力消費占比為 86%為最大宗，天然氣(或瓦斯)消費占比為 8%，化石燃料消費占比則僅為 6%，詳見圖 1.1-3。

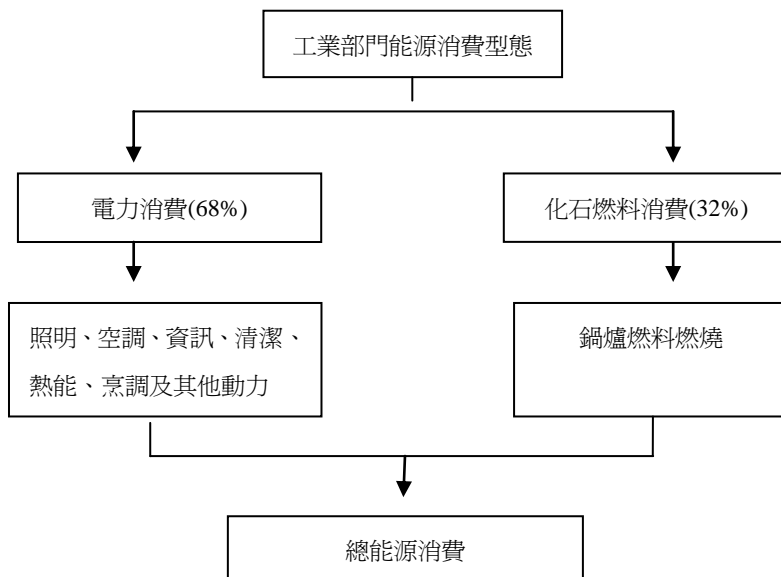


圖 1.1-1 工業部門能源消費型態占比

資料來源：能源經濟管理資源中心自行繪製

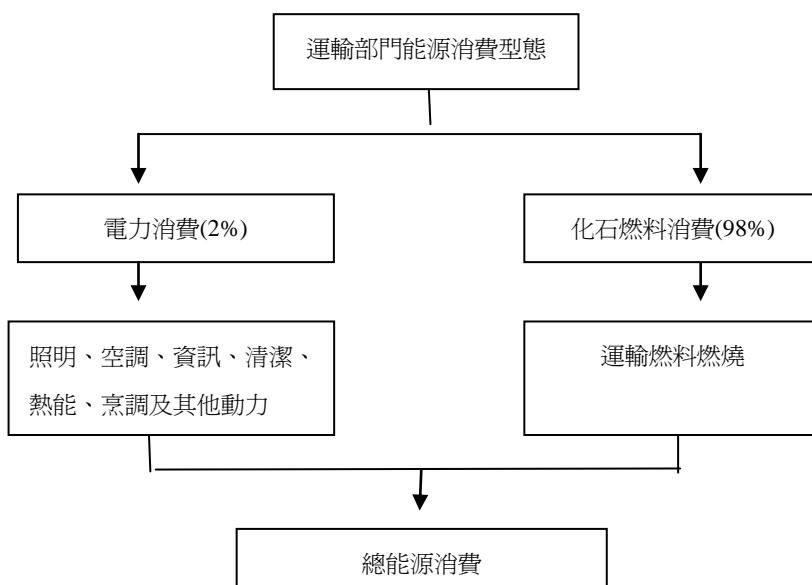


圖 1.1-2 運輸部門能源消費型態占比

資料來源：能源經濟管理資源中心自行繪製

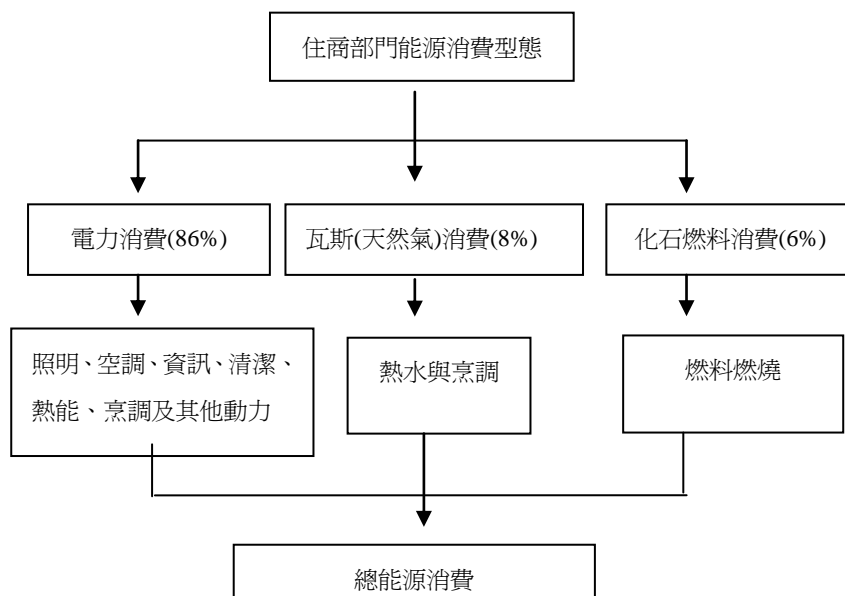


圖 1.1-3 住商部門能源消費型態占比

資料來源：能源經濟管理資源中心自行繪製

1.1.2 台灣能源消費量與供給量現況與趨勢

台灣能源消費者量呈現穩定成長趨勢，由 1991 年的 53,248 千公秉油當量，成長至 2011 年的 111,918 千公秉油當量，近十一年(1991-2011)來，大約成長 110%，詳見圖 1.1-1。台灣能源供給量由 1991 年的 58,329 千公秉油當量，穩定成長至 2011 年的 138,236 千公秉油當量，近十一年(1991-2011)來，大約成長 137%，詳見圖 1.1-4。

由圖 1.1-4 可以看出，近十一年(1991-2011)來，台灣的能源供給均維持大於能源消費量的現象，顯示，台灣能源沒有短缺問題，隱含有助於台灣產業發展及人民生活品質的維護。

若進一步，考量台灣人口成長，則可統計，近十一年(1991-2011)來，台灣平均每人能源消費量由 1991 年的 2,603 公升油當量，成長至 2011 年的 4,849 公升油當量，大約成長 86%，詳見圖 1-5。反觀人均用電量，十一年(1991-2011)來，台灣平均每人用電量由 1991 年的 4,566 度，成長至 2011 年的 10,495 度，大約成長 130%，詳見圖 1.1-5。由圖 1.1-5 可知，人均電力消費成長率高於人均能源消費成長率，顯示，台灣逐漸朝向電力依賴的現象。

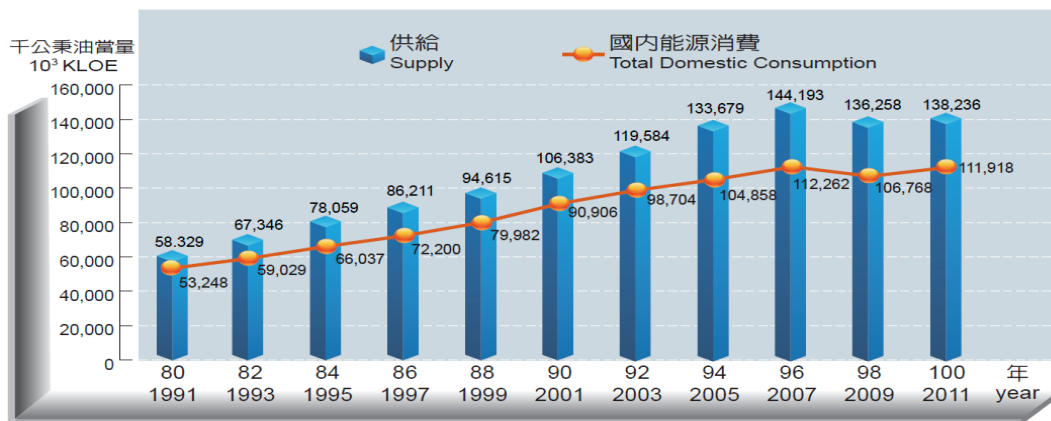


圖 1.1-4 台灣(1991-2011)能源供給量與需求量變化趨勢

資料來源：經濟部能源局 (2012)，能源統計手冊 2011。

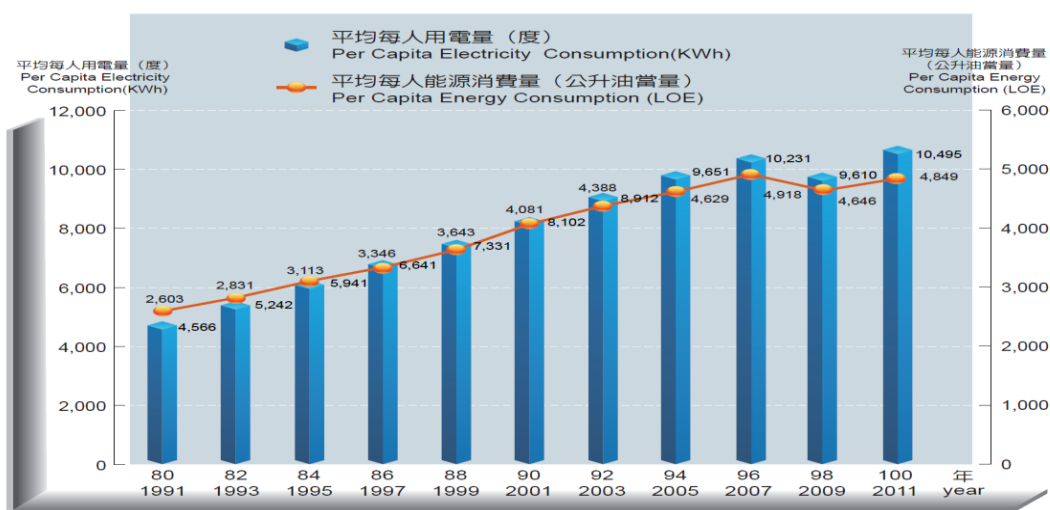


圖 1.1-5 台灣(1991-2011)人均用電與人均能耗變化趨勢

資料來源：經濟部能源局 (2012)，能源統計手冊 2011。

1.1.3 台灣能源供需結構概況

1.1.3.1 台灣能源供給結構

近十一年(1991-2011)來，原油及石油產品是最主要的能源供給產品，以 2011 年為例，約占 41.7%；依序為煤及煤產品，約占 31.38%；天然氣約占 11.78%；核能約占 8.82%；生質能源及廢棄物約占 1.38%；慣常水力發電約占 0.28%；太陽光電、熱能及風力發電約占 0.11%，詳見圖 1.1-6。

由此可知，台灣的能源供給結構以化石燃料(包括煤及煤產品、原油及石油產品及天然氣)為主，合計約占 89.33%，反觀再生能源(包括生質能源及廢棄物、慣常水力及太陽光電、熱能及風力)供給，合計僅占 1.77%，非常微量。

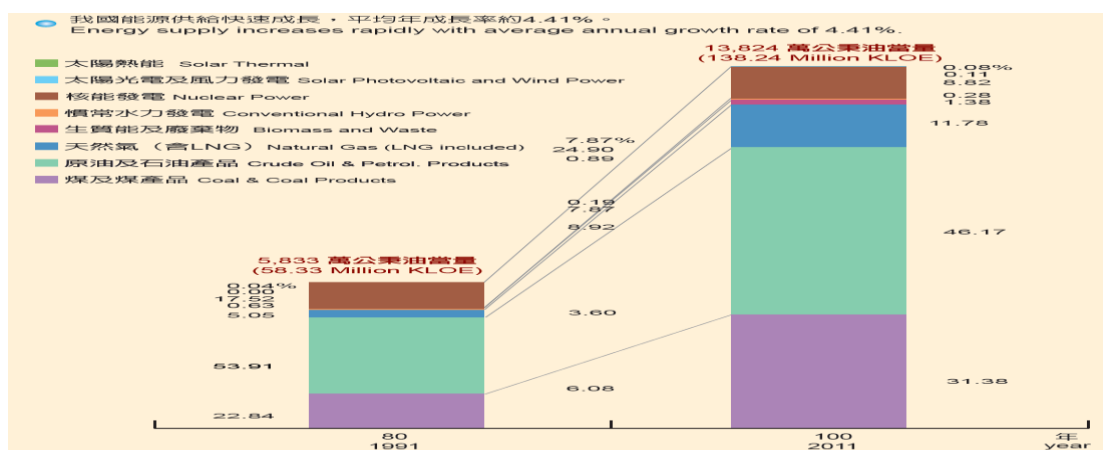


圖 1.1-6 台灣(1991-2001)能源供給結構變化趨勢

資料來源：經濟部能源局 (2012)，能源統計手冊 2011。

1.1.3.2 台灣能源需求結構

近十一年(1991-2011)來，電力是最主要的能源需求占比，以 2011 年為例，約占 49.79%；依序為石油產品，約占 38.22%；煤及煤產品約占 8.37%；天然氣約占 3.06%；生質能源及廢棄物約占 0.17%；太陽熱能約占 0.1%，詳見圖 1.1-7。

若以用電部門來看，台灣 2011 年部門能源需求占比以工業部門最大，約占 38.56%；依序為運輸部門，約占 12.08%；住宅部門約占 11.16%；服務業部門約占 11.06%；能源部門自用約占 7.22%；農業部門約占 0.86%；其餘為非能源消費(如石化原料等)約占 19.05%，詳見圖 1.1-8。

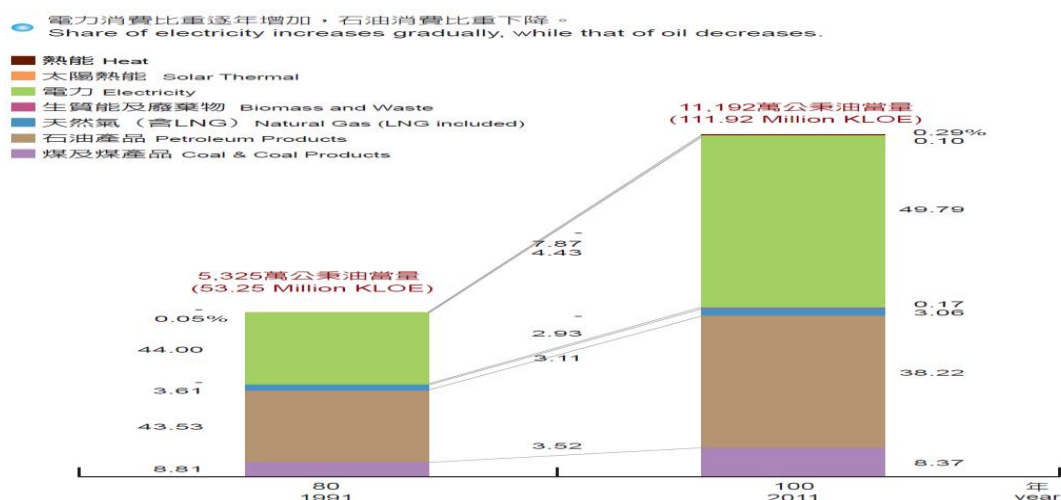


圖 1.1-7 台灣(1991-2001)能源需求(能源別)結構變化趨勢

資料來源：經濟部能源局 (2012)，能源統計手冊 2011。

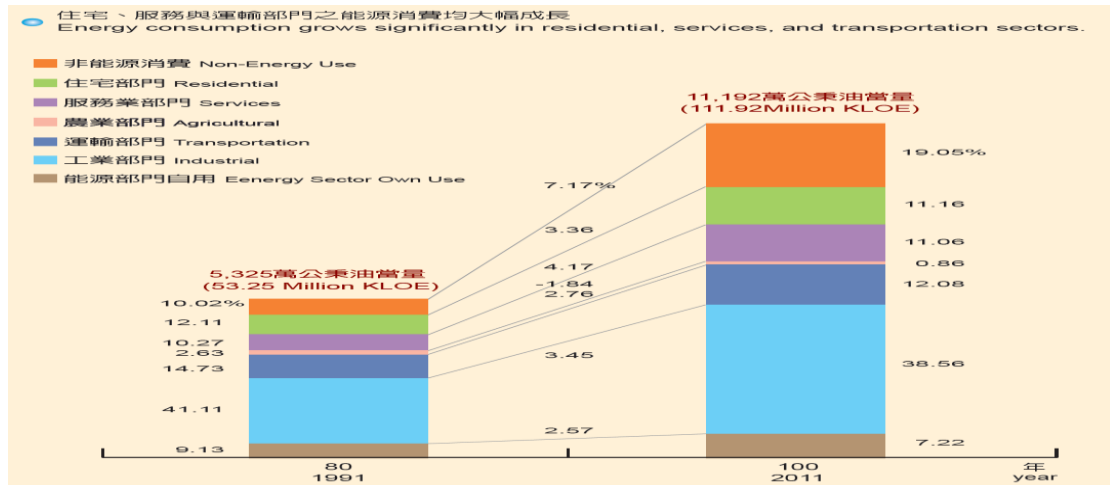


圖 1.1-8 台灣(1991-2011)能源需求(部門別)結構變化趨勢

資料來源：經濟部能源局 (2012)，能源統計手冊 2011。

1.1.3 台灣能源消費彈性與生產力

1.1.3.1 台灣能源消費彈性¹

近十一年(1991-2011)來，台灣能源消費成長率與實質 GDP 成長率呈現相同變化趨勢，因此，國內能源消費彈性呈現正值且小於 1 的現象，隱含實質 GDP 成長率是影響能源消費成長率的最主要因素，詳見圖 1.1-9。進一步統計，2011 年經濟成長率 4.03%，然而，能源消費成長率為-1.29%，呈現負值，表示 2011 年呈現經濟成長與能源消費脫鉤(decoupling)的現象。

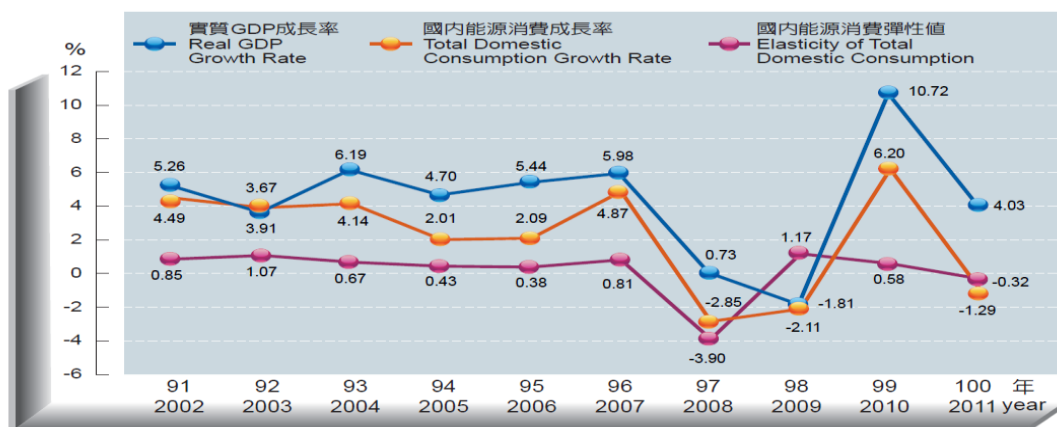


圖 1.1-9 台灣(1991-2011)能源需求彈性變化趨勢

資料來源：經濟部能源局 (2012)，能源統計手冊 2011。

¹國內能源消費彈性係指國內實質 GDP 變動 1%，能源消費將變動多少%。

1.1.3.2 台灣能源生產力

能源生產力(energy productivity)係指一單位能源可以創造多少 GDP，其倒數成爲能源密集度或能源強度(energy intensity)。近十一年(1991-2011)來，台灣能源生產力(或能源強度)逐年增加(下降)，詳見圖 1.1-10，反應台灣整體能源效率逐年提昇的現象。

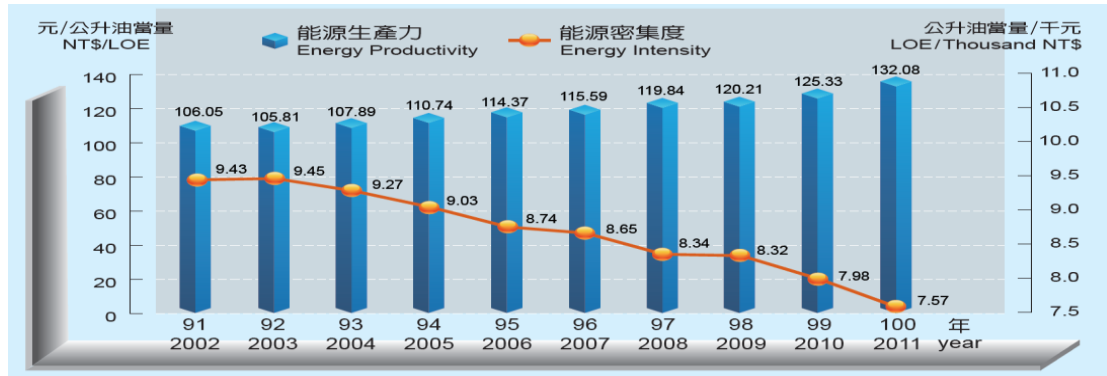


圖 1.1-10 台灣(1991-2011)能源生產力(或密集度)變化趨勢

資料來源：經濟部能源局 (2012)，能源統計手冊 2011。

1.1.4 台灣發電與消費結構

近十一年(1991-2011)來，台灣發電結構逐步由燃油發電，轉向燃煤發電。以 2011 年爲例，電力裝置容量以燃煤發電爲主，約占 39.5%；依序爲燃氣發電，約占 32.54%；核能發電，約占 10.55%；燃油發電，約占 7.70%；抽蓄水力發電，約占 5.34%；慣常水力發電約占 4.19%；廢棄物發電，約占 1.28%；風力發電約占 1.07%，詳見圖 1.1-11。

由圖 1.1-11 可以看出，我國的發電結構以化石燃料爲主，以核能爲輔，再生能源發電占比非常微小。

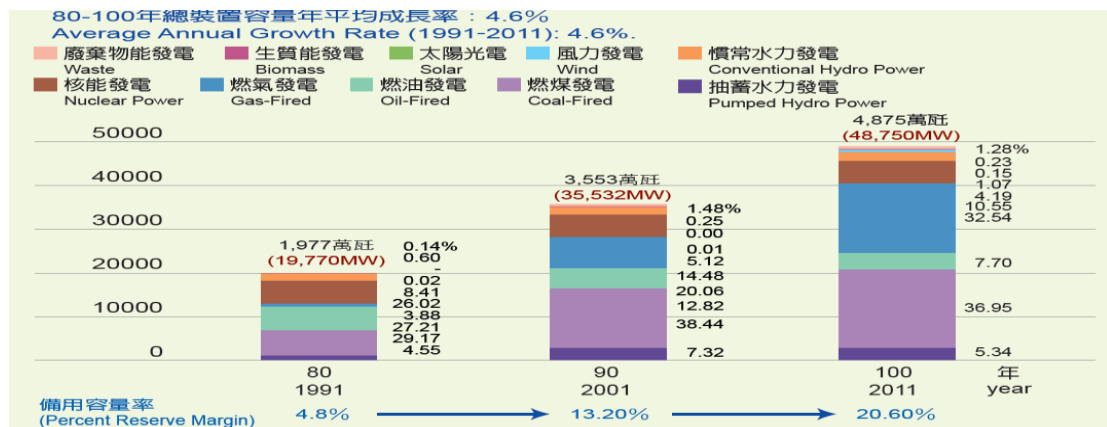


圖 1.1-11 台灣(1991-2011)發電燃料結構變化趨勢

資料來源：經濟部能源局 (2012)，能源統計手冊 2011。

1.1.5 台灣電力消費概況

近十一年(1991-2011)來，工業部門是最主要的電力消費部門。以 2011 年部門電力消費占比為例，工業部門占比最大，約占 52.75%；依序為服務業部門，約占 19.35%；住宅部門約占 18.34%；能源部門自用約占 7.95%；農業部門約占 1.13%；運輸部門約占 0.50%，詳見圖 1.1-12。

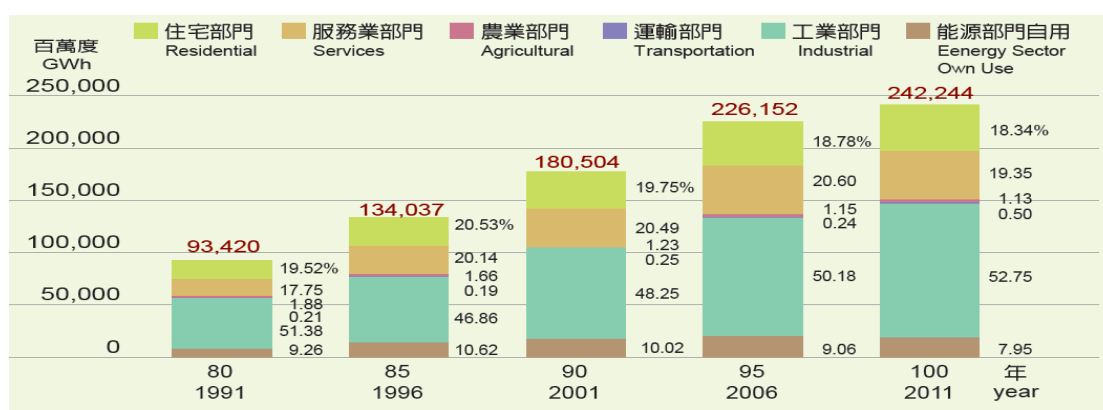


圖 1.1-12 台灣(1991-2011)部門電力消費結構變化趨勢

資料來源：經濟部能源局 (2012)，能源統計手冊 2011。

1.2 國際能源消費量與供給量現況與趨勢

1.2.1 全球總初級能源供應之燃料別歷史趨勢

依據國際能源總署(International Energy Agency, IEA,2012)的全球總初級能源(total primary energy, TPE)歷史趨勢，詳見圖 1.2-1。由圖 1.2-1 可知，從 1971 年至 2010 年，各項初級燃料的總供應量，均呈現成長趨勢，其中，生質能源與廢棄物能源及天然氣的成長速度最快。

圖 1.2-2 顯示，全球總初級能源由 1973 年的 6,107 百萬噸油當量(Million ton oil equivalent, Mtoe)，成長至 2010 年的 12,717 百萬噸油當量，近三十年來，大約成長 108%。其中，石油占比最高，由 1973 年的 41%，下降至 2010 年的 32.4%，然而，天然氣占比由 1973 年的 10%，下降至 2010 年的 21.4%。顯示過去三十年，全球初級能源供應的變化情況。

單位：百萬噸油當量

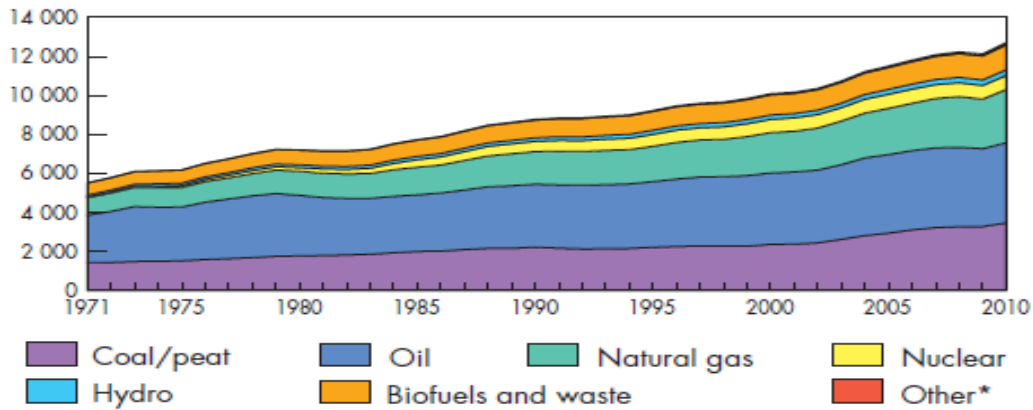


圖 1.2-1 全球 (1971-2010)總初級能源供應燃料別歷史趨勢

資料來源：IEA (2012)，Key World Energy Statistics 2012.

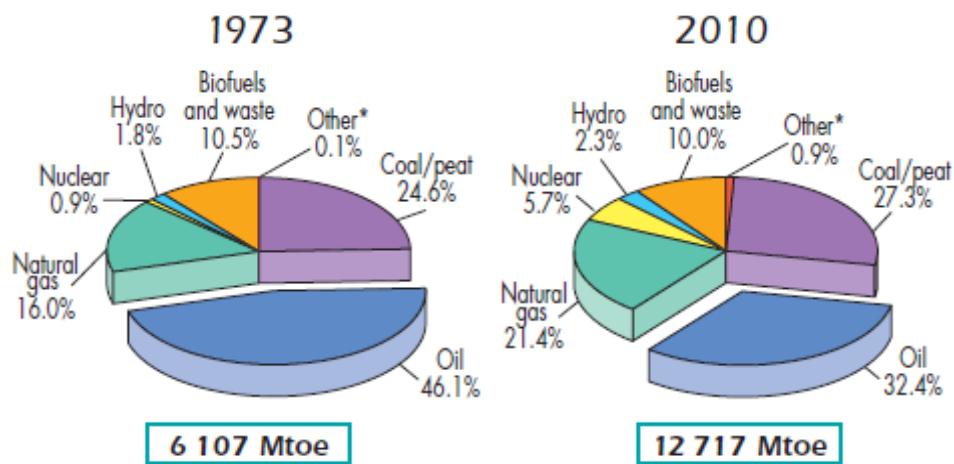


圖 1.2-2 全球 1973 年與 2010 年總初級能源供應占比比較

資料來源：IEA (2012)，Key World Energy Statistics 2012

1.2.2 全球總初級能源供應之區域別歷史趨勢

全球總初級能源區域別歷史趨勢，詳見圖 1.2-3。由圖 1.2-3 可知，從 1971 年至 2010 年，每一區域的總初級能源供應量均呈現成長趨勢，其中，受到經濟快速發展的影響，中國大陸總初級能源供應的成長速度最快。

圖 1.2-4 顯示，OECD 國家的總初級能源供應占比最高，然而，其占比呈現下降趨勢，由 1973 年的 61.4%，下降至 2010 年的 32.4%，反觀中國大陸，其總初級能源占比呈現快速增長趨勢，由 1973 年的 7.0%，成長至 2010 年的 19.1%。顯示過去三十年，全球初級能源供應呈現區域變化現象。

單位：百萬噸油當量

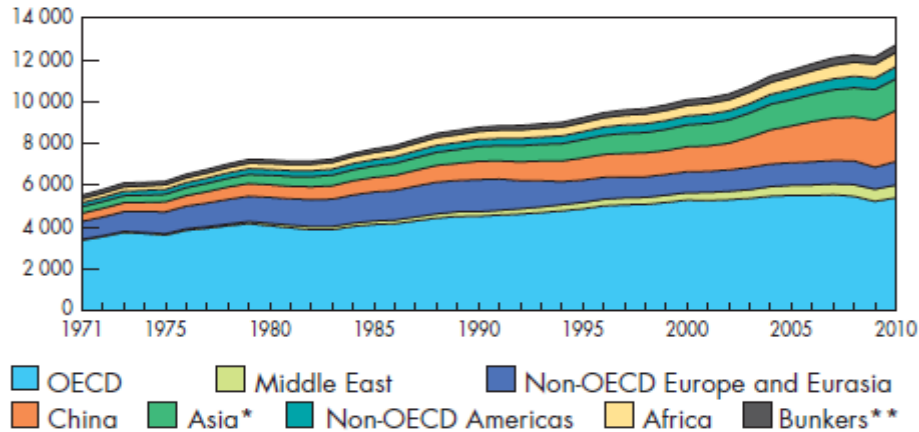


圖 1.2-3 全球 (1971-2010)總初級能源供應區域別歷史趨勢

資料來源：IEA (2012)，Key World Energy Statistics 2012.

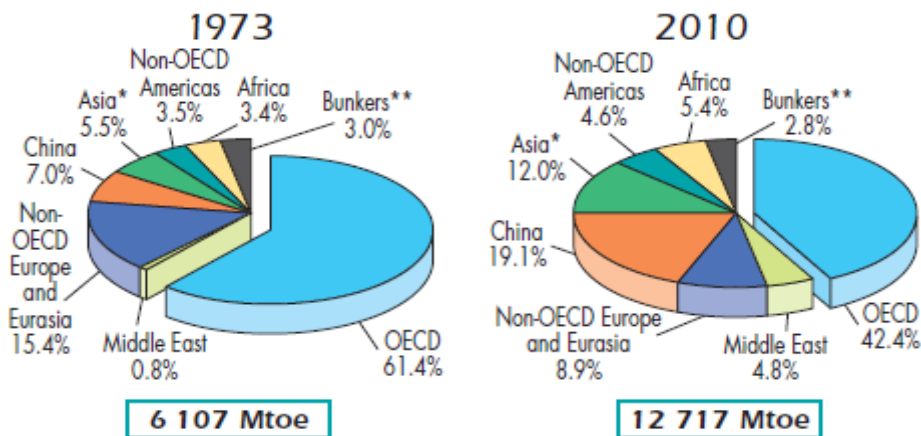


圖 1.2-4 全球 1973 年與 2010 年總初級能源供應區域別占比比較

資料來源：IEA (2012)，Key World Energy Statistics 2012.

1.2.3 全球石油生產區域歷史趨勢

全球石油生產區域別歷史趨勢，詳見圖 1.2-5。由圖 1.2-5 可知，從 1971 年至 2010 年，每一區域的石油生產均呈現成長趨勢，其中，中東地區是全球最主要的生產區域。圖 1.2-6 顯示，全球石油總生產量由 1973 年的 2,869 百萬噸(Million ton, Mt)，成長至 2010 年的 4,011 百萬噸，大約成長 39.8%。其中，中東地區石油生產占比最高，然而，其占比呈現下降趨勢，由 1973 年的 37%，下降至 2010 年的 32.2%，其次是 OECD 國家，石油生產占比，由 1973 年的 23.9%，成長至 2010 年的 21.4%。

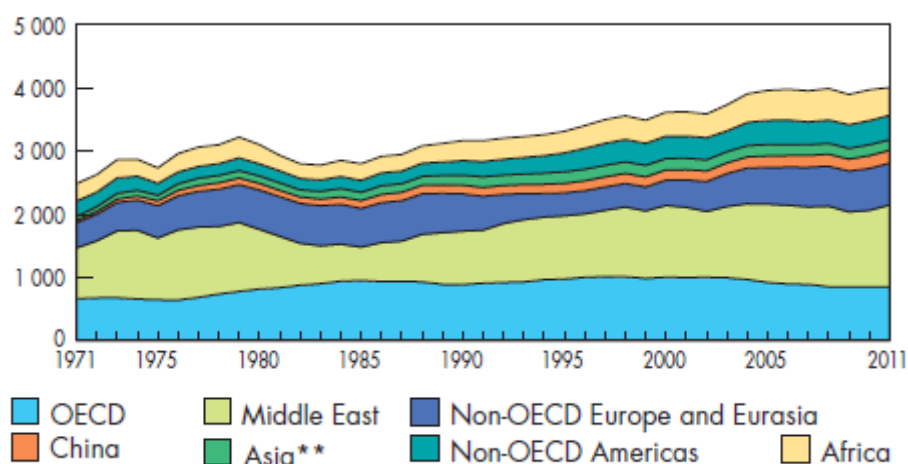


圖 1.2-5 全球 (1971-2010) 石油生產區域別歷史趨勢
資料來源：IEA (2012)，Key World Energy Statistics 2012.

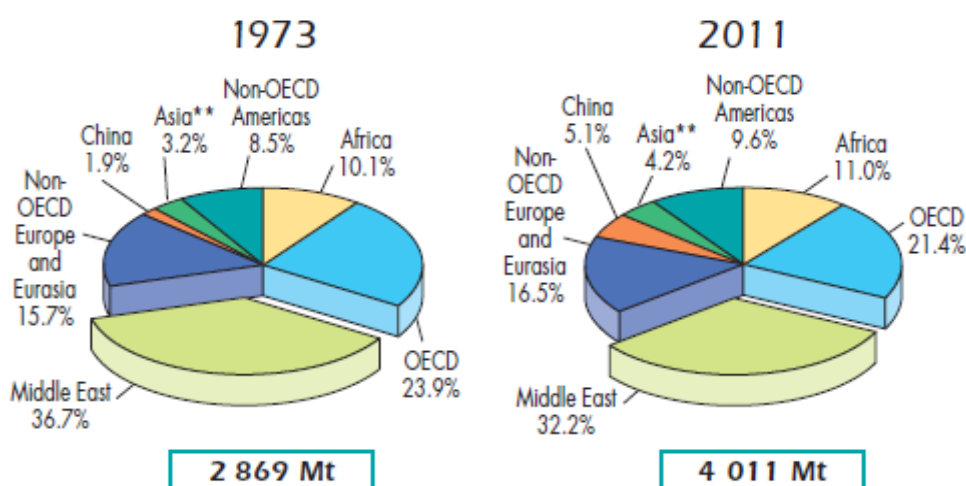


圖 1.2-6 全球 1973 年與 2010 年石油生產區域別占比比較
資料來源：IEA (2012)，Key World Energy Statistics 2012.

1.2.4 全球天然氣生產區域歷史趨勢

全球天然氣生產區域別歷史趨勢，詳見圖 1.2-7。由圖 1.2-7 可知，從 1971 年至 2010 年，每一區域的天然氣生產均呈現快速成長趨勢，其中，OECD 國家天然氣為是全球最主要的生產區域。圖 1.2-8 顯示，全球天然氣總生產量由 1973 年的 1,226 十億立方公尺 (billion cube meter, bcm)，成長至 2010 年的 3,388 十億立方公尺，大約成長 173%。其中，OECD 國家的天然氣占比最高，然而，其占比呈現下降趨勢，由 1973 年的 71.3%，下降至 2010 年的 35.6%，下

降幅度非常大。中東地區的天然氣生產占比，則快速增加，由 1973 年的 2.1%，成長至 2010 年的 15.4%，是最主要取代 OECD 生產份額的區域。

單位：十億立方公尺

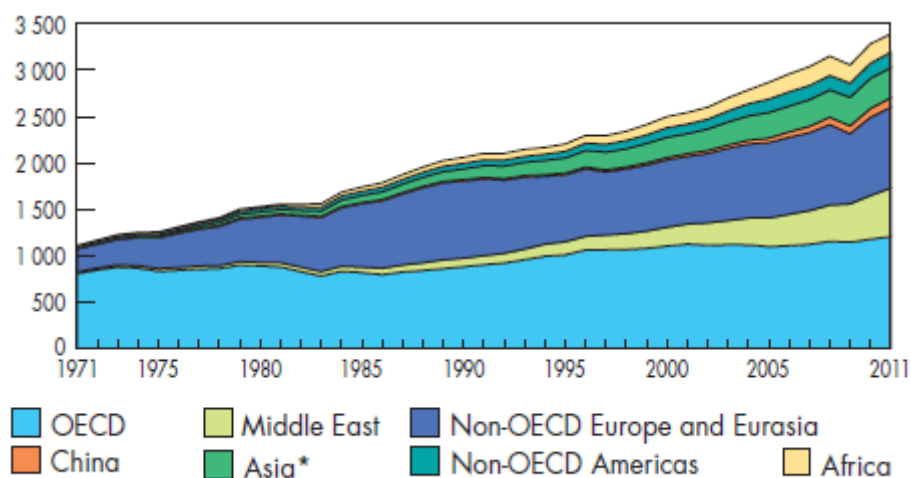


圖 1.2-7 全球 (1971-2010)天然氣生產區域別歷史趨勢

資料來源：IEA (2012)，Key World Energy Statistics 2012.

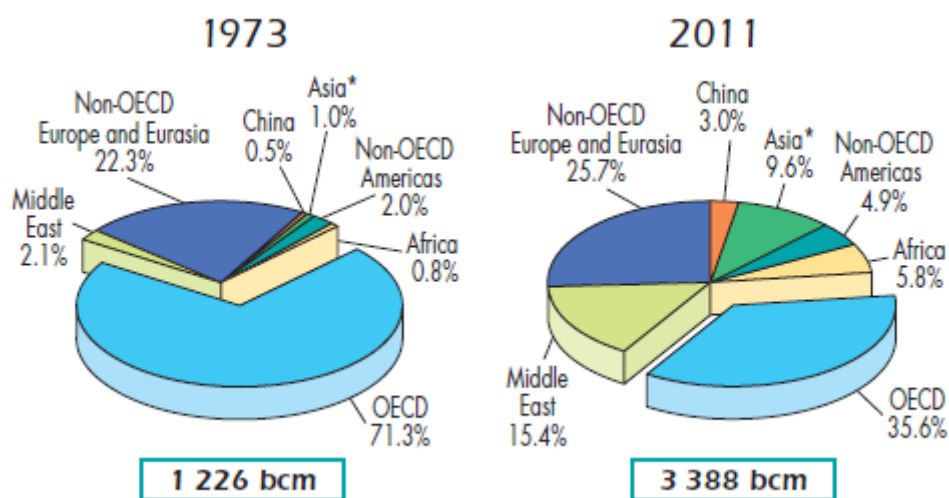


圖 1.2-8 全球 1973 年與 2010 年天然氣生產區域別占比比較

資料來源：IEA (2012)，Key World Energy Statistics 2012.

1.2.5 全球煤炭生產區域歷史趨勢

全球煤炭生產區域別歷史趨勢，詳見圖 1.2-9。由圖 1.2-9 可知，從 1971 年至 2010 年，除了 OECD 國家及東亞 OECD 國家之外，其他區域的煤炭生產均呈現快速成長趨勢，特別是中國大陸，已成為全球最大的煤炭生產國。圖 1.2-10 顯示，全球煤炭總生產量由 1973 年的

3,041 百萬噸，成長至 2010 年的 7,783 百萬噸，大約成長 150%。其中，中國大陸的煤炭生產量占比，由 1973 年的 13.7%，快速成長至 2010 年的 45.9%，成為全球最大的煤炭生產國。

單位：百萬噸

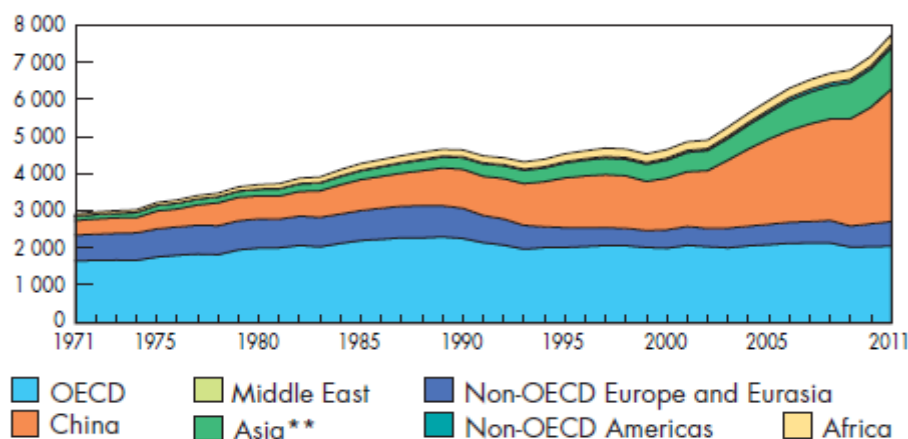


圖 1.2-9 全球 (1971-2010)煤炭生產區域別歷史趨勢

資料來源：IEA (2012)，Key World Energy Statistics 2012.

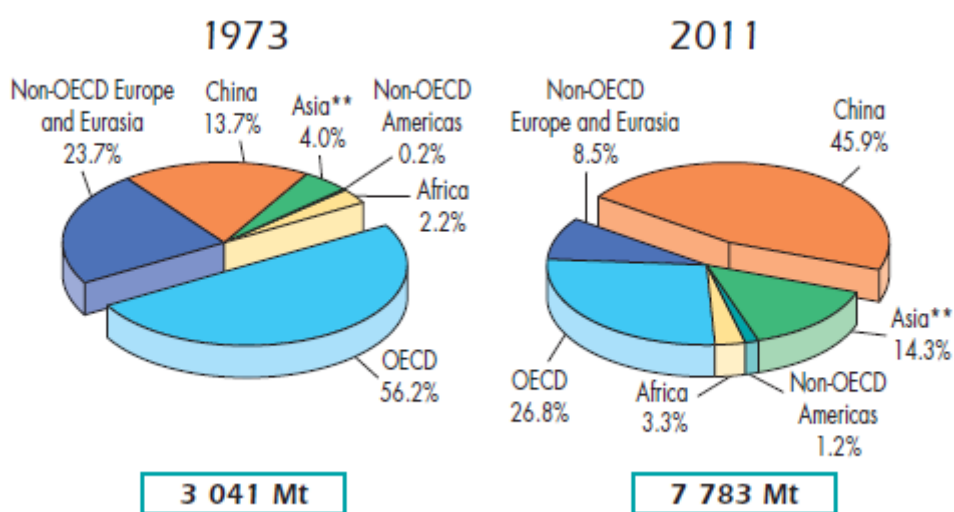


圖 1.2-10 全球 1973 年與 2010 年煤炭生產區域別占比比較

資料來源：IEA (2012)，Key World Energy Statistics 2012.

1.2.6 全球核能發電區域歷史趨勢

全球核能發電區域別歷史趨勢，詳見圖 1.2-11。由圖 1.2-11 可知，從 1971 年至 2010 年，核能發電呈現快速成長趨勢，主要生產國家為 OECD。圖 1.2-12 顯示，全球核能總發電量由 1973 年的 203 兆瓦小時(Trillion kilo-wart hour, TWh)(相當於十億度)，成長至 2010 年的 2,756 兆瓦小時，大約成長 12.5 倍。其中，OECD 國家核能發電占比高達八成以上。

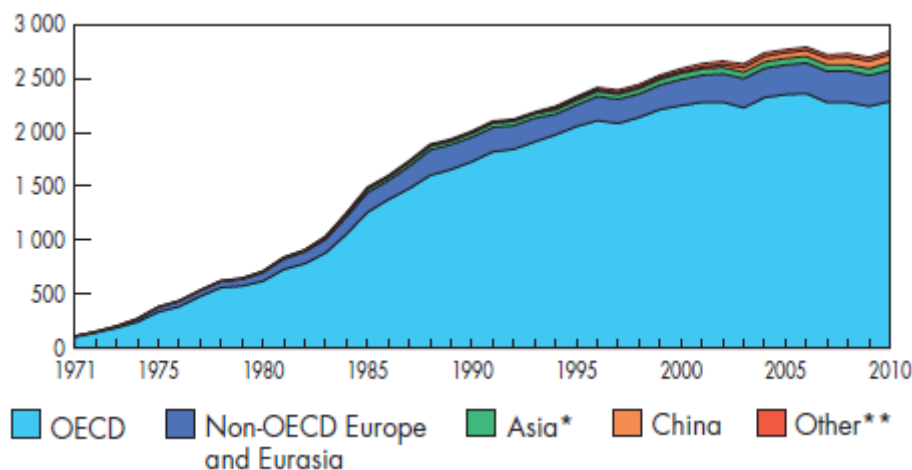


圖 1.2-11 全球 (1971-2010)核能發電區域別歷史趨勢

資料來源：IEA (2012)，Key World Energy Statistics 2012.

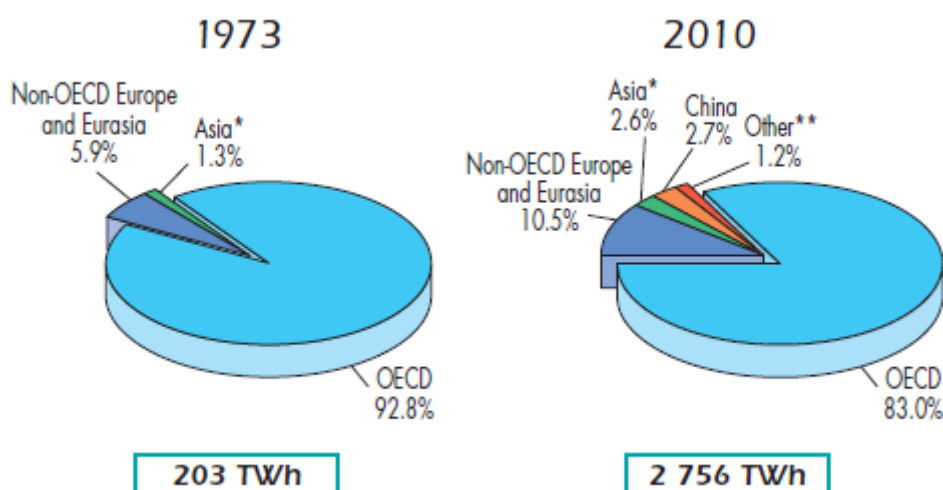


圖 1.2-12 全球 1973 年與 2010 年核能發電區域別占比比較

資料來源：IEA (2012)，Key World Energy Statistics 2012.

1.2.7 全球水力發電區域歷史趨勢

全球水力發電生產區域別歷史趨勢，詳見圖 1.2-13。由圖 1.2-13 可知，從 1971 年至 2010 年，水力發電生產呈穩定速成長趨勢，主要生產國家為 OECD，然而，中國大陸與非 OECD 美洲國家的成長最快速。圖 1.2-14 顯示，全球水力發電由 1973 年的 1,294 兆瓦小時(相當於十億度)，成長至 2010 年的 3,516 兆瓦小時，大約成長 171.7%。其中，OECD 國家水力發電占比最高，然而，由 1973 年的 71.9%，下降至 2010 年的 40.5%。反觀中國大陸，由 1973 年的 2.9%，快速成長至 2010 年的 20.5%。

單位：兆瓦小時

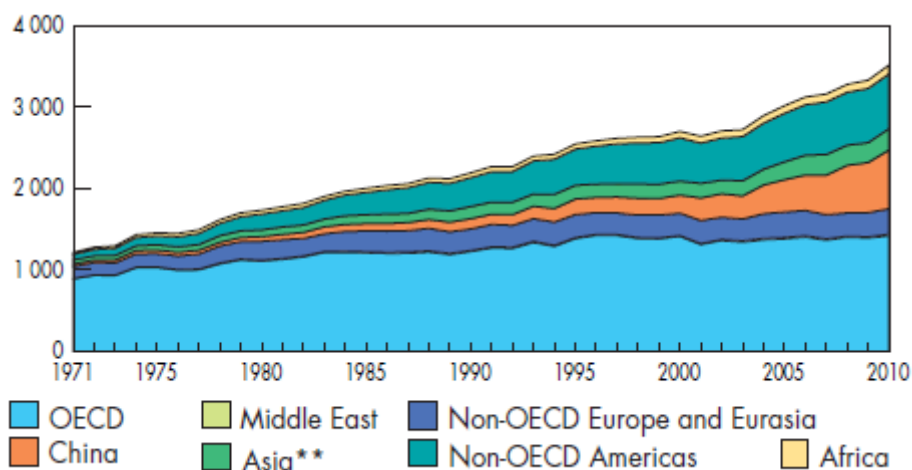


圖 1.2-13 全球 (1971-2010)水力發電區域別歷史趨勢

資料來源：IEA (2012)，Key World Energy Statistics 2012.

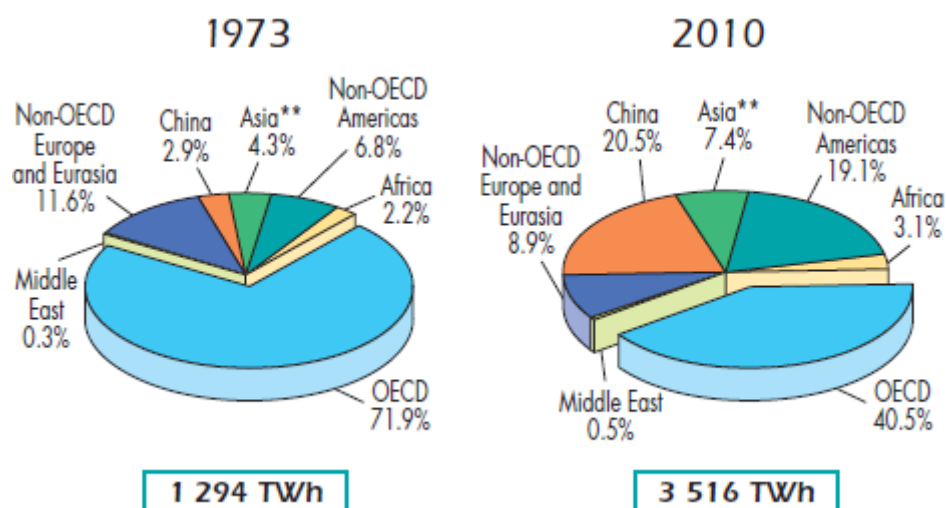


圖 1.2-14 全球 1973 年與 2010 年水力發電區域別占比比較

資料來源：IEA (2012)，Key World Energy Statistics 2012.

1.2.8 全球發電燃料型態歷史趨勢

觀察圖 1.2-15 可知，化石燃料(包括煤炭、石油與天然氣)、水力與核能是三種主要發電燃料，隨著時間，呈現成長趨勢。圖 1.2-16 顯示，全球發電量由 1973 年的 6,115 兆瓦小時(相當於十億度)，成長至 2010 年的 21,431 兆瓦小時，大約成長 2.5 倍。其中，煤炭是最主要的發電燃料，由 1973 年的 38.3%，下降至 2010 年的 40.6%；其次是天然氣占比，由 1973 年的 12.1%，大幅成長至 2010 年的 22.5%。值得一提得是石油，受到油價高漲影響，石油占比大

幅萎縮，由 1973 年的 24.7%，大幅下降至 2010 年的 4.6%。

國人所關心的核能發電占比，亦呈現成長之勢，由 1973 年的 3.3%，快速成長至 2010 年的 12.9%，大約成長四倍。

單位：兆瓦小時

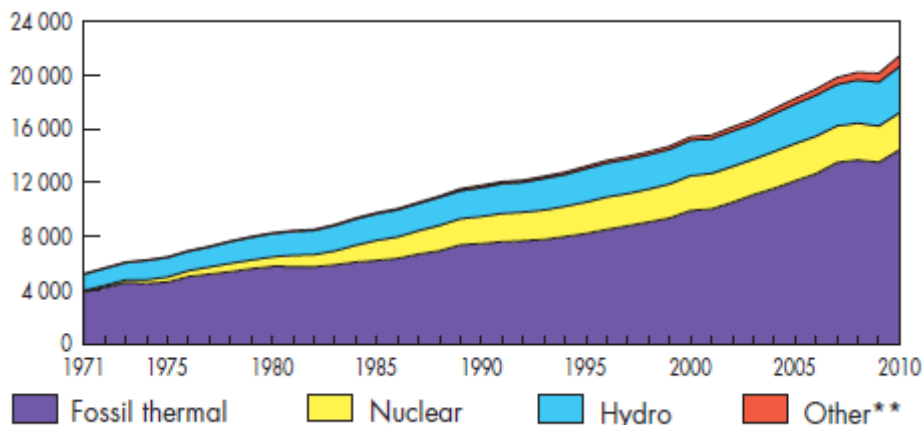


圖 1.2-15 全球 (1971-2010) 發電燃料型態歷史趨勢

資料來源：IEA (2012)，Key World Energy Statistics 2012.

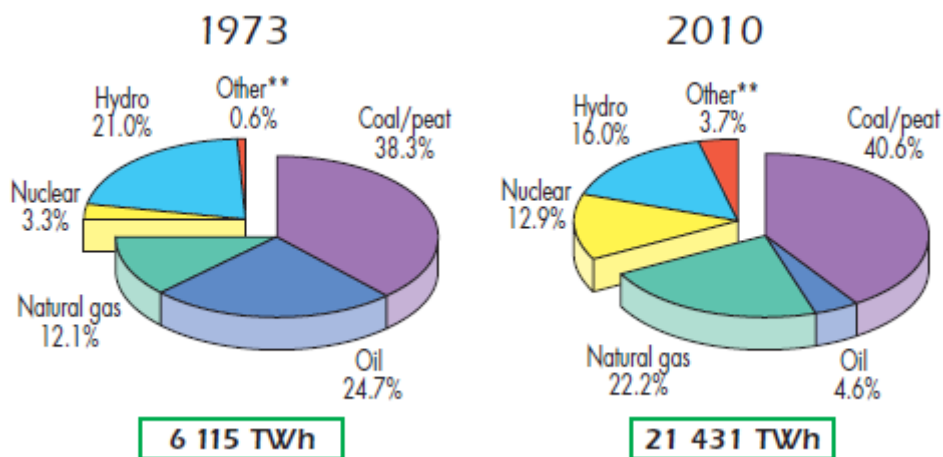


圖 1.2-16 全球 1973 年與 2010 年發電燃料型態占比比較

資料來源：IEA (2012)，Key World Energy Statistics 2012.

1.2.9 全球最終能源消費歷史趨勢

觀察圖 1.2-17 可知，最終能源消費(包括煤炭、石油、天然氣、生質能源及電力)呈現穩定成長趨勢。圖 1.2-18 顯示，全球最終能源消費量由 1973 年的 4,672 百萬噸油當量，成長至 2010 年的 8,677 百萬噸油當量，大約成長 87%。其中，石油是為主要的最終能源消費型態，然而，其消費占比卻由 1973 年的 48.1%，下降至 2010 年的 41.2%，顯示其重要性逐漸下降。

電力則呈現大幅成長趨勢，由 1973 年的 9.4%，大幅成長至 2010 年的 17.7%。

單位：百萬噸油當量

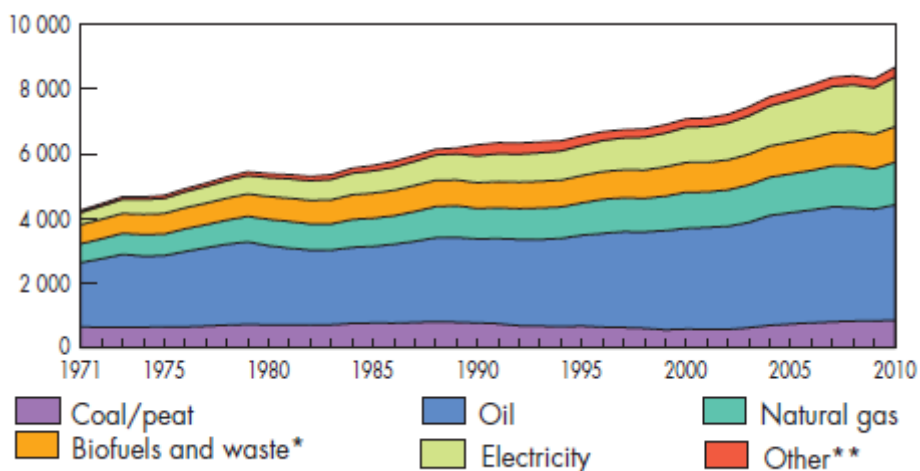


圖 1.2-17 全球 (1971-2010) 最終能源消費型態歷史趨勢

資料來源：IEA (2012)，Key World Energy Statistics 2012.

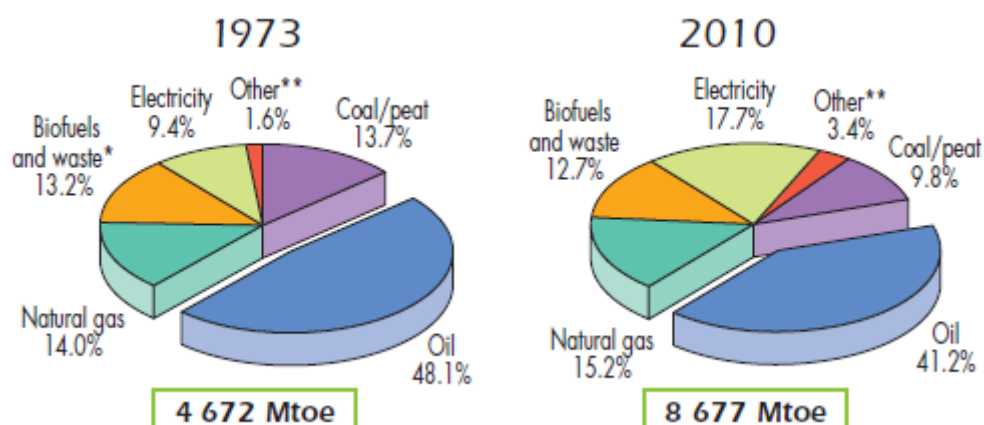


圖 1.2-18 全球 1973 年與 2010 年最終能源消費型態占比比較

資料來源：IEA (2012)，Key World Energy Statistics 2012.

1.2.10 全球石油消費(部門別)歷史趨勢

觀察圖 1.2-19 可知，除了工業部門之外，運輸部門與其他部門(包括住商與農業部門)之石油消費均穩定成長。圖 1.2-20 顯示，全球石油消費量由 1973 年的 2,252 百萬噸油當量，成長至 2010 年的 3,570 百萬噸油當量，大約成長 58.5%。其中，運輸部門是最主要的石油消費部門，其消費占比由 1973 年的 45.4%，成長至 2010 年的 61.5%；工業部門的石油消費占比則由 1973 年的 19.9%，大幅下降至 2010 年的 9.0%。

單位：百萬噸油當量

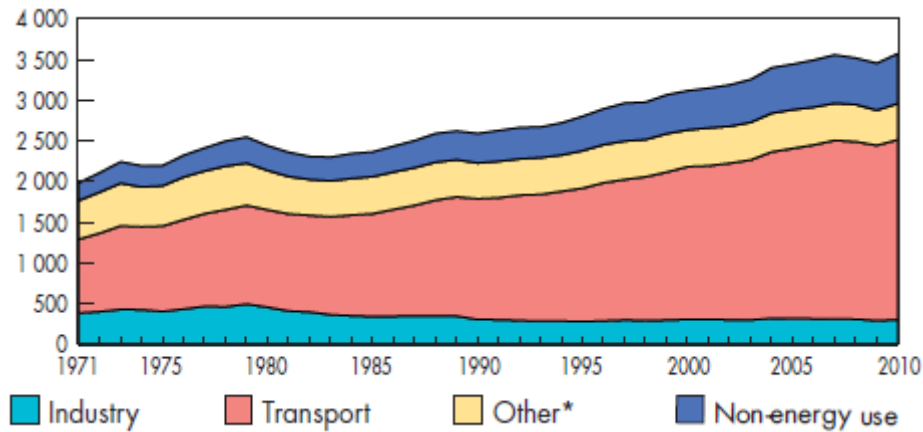


圖 1.2-19 全球 (1971-2010)部門石油消費歷史趨勢

資料來源：IEA (2012)，Key World Energy Statistics 2012.

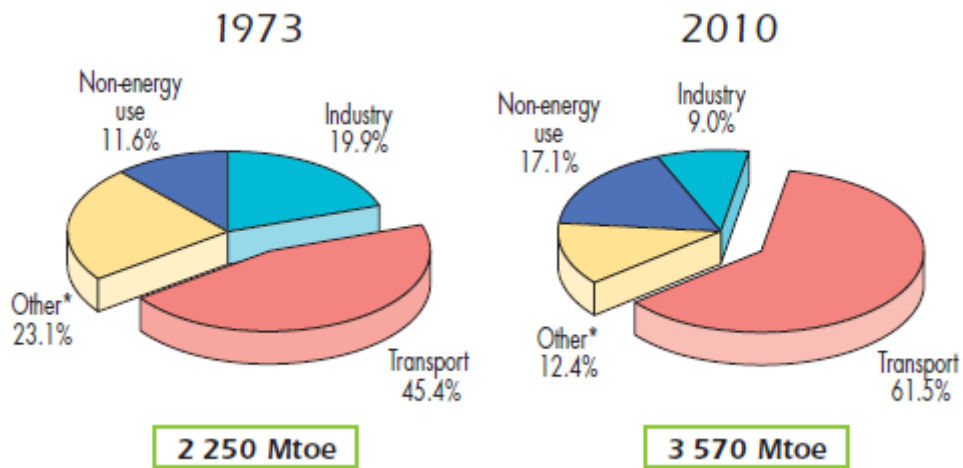


圖 1.2-20 全球 1973 年與 2010 年部門石油消費占比比較

資料來源：IEA (2012)，Key World Energy Statistics 2012.

1.2.11 全球天然氣消費(部門別)歷史趨勢

觀察圖 1.2-21 可知，全球天然氣消費呈現快速成長趨勢，特別是其他部門(包括住商與農業)。圖 1.2-22 顯示，全球天然氣消費量由 1973 年的 652 百萬噸油當量，成長至 2010 年的 1,318 百萬噸油當量，大約成長 102.1%。其中，工業部門天然氣消費占比由 1973 年的 54.8%，下降至 2010 年的 35.2%；其他部門的天然氣消費占比則由 1973 年的 39.7%，大幅成長至 2010 年的 44%。

單位：百萬噸油當量

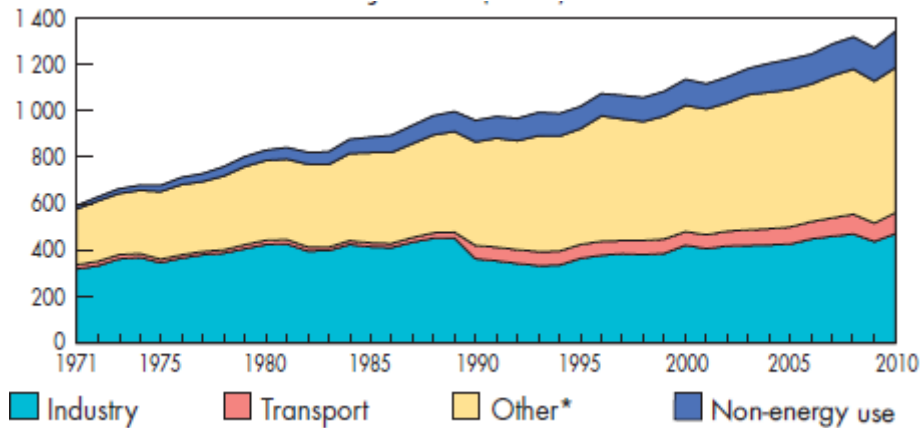


圖 1.2-21 全球 (1971-2010)部門天然氣消費歷史趨勢

資料來源：IEA (2012)，Key World Energy Statistics 2012.

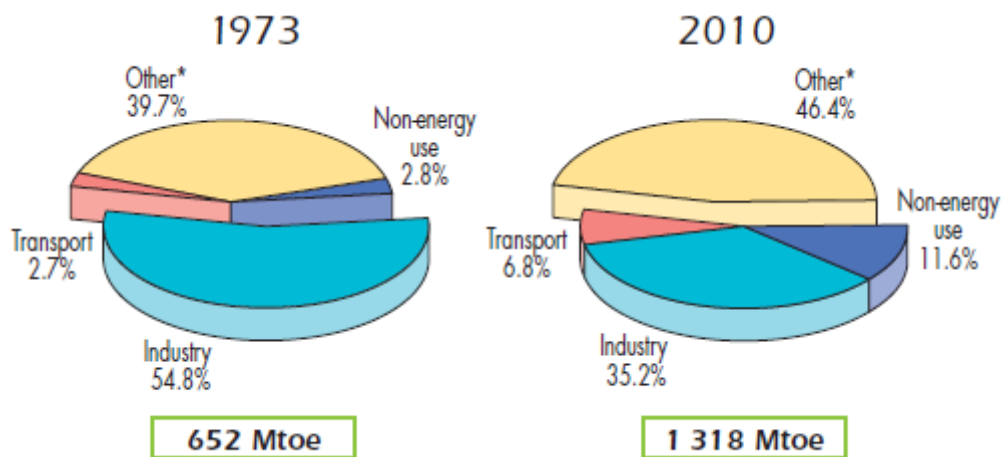


圖 1.2-22 全球 1973 年與 2010 年部門天然氣消費占比比較

資料來源：IEA (2012)，Key World Energy Statistics 2012.

1.2.12 全球電力消費(部門別)歷史趨勢

觀察圖 1.2-23 可知，工業與其他部門(住商部門)是全球最主要的電力消費部門，且近三十年來，呈現快速成長趨勢。圖 1.2-24 顯示，全球電力消費量由 1973 年的 439 百萬噸油當量，成長至 2010 年的 1,536 百萬噸油當量，大約成長 2.5 倍。其中，工業部門電力消費占比由 1973 年的 53.5%，下降至 2010 年的 41.5%；其他部門(住商部門)的電力消費占比則由 1973 年的 44.1%，大幅上升至 2010 年的 59%。

單位：百萬噸油當量

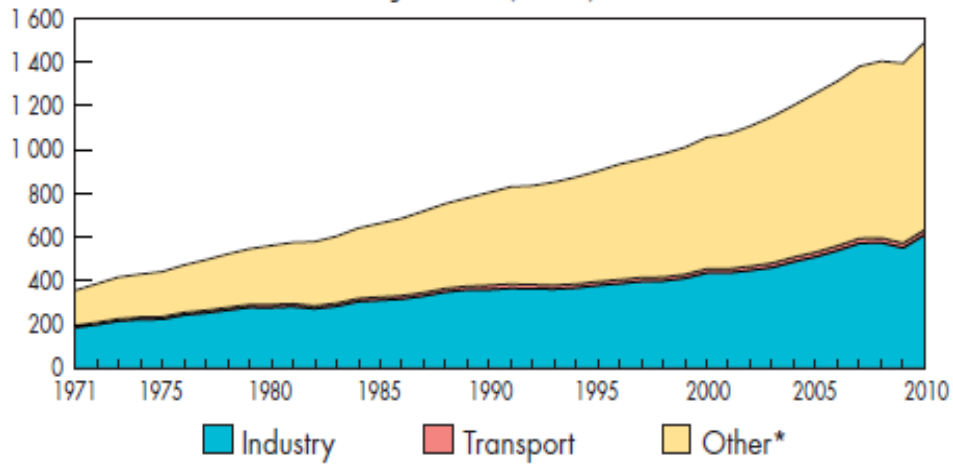


圖 1.2-23 全球 (1971-2010)部門電力消費歷史趨勢

資料來源：IEA (2012)，Key World Energy Statistics 2012.

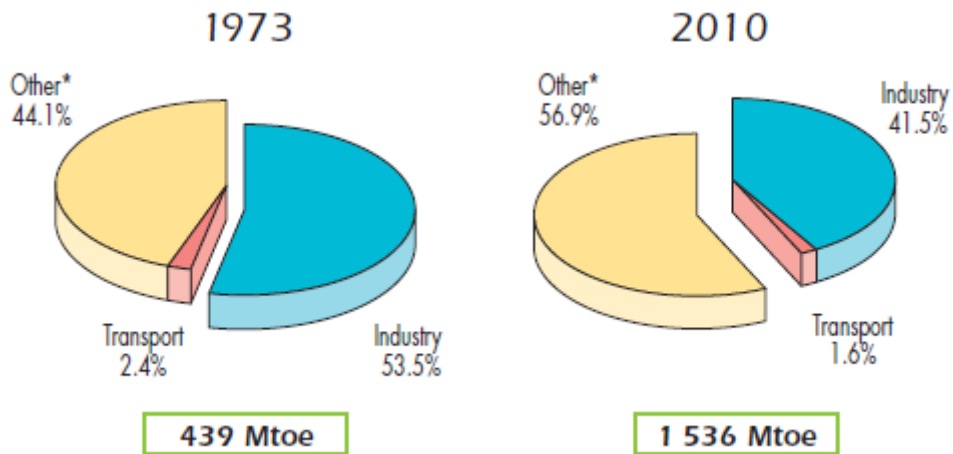


圖 1.2-24 全球 1973 年與 2010 年部門電力消費占比比較

資料來源：IEA (2012)，Key World Energy Statistics 2012.

參考文獻

1. 經濟部能源局 (2012), 能源統計手冊 2011。
2. IEA (2012), Key World Energy Statistics 2012.
3. REN21(2012),” renewables 2012 global report.”

第二章 能源價格影響因素

在經濟學理論中，自由競爭市場之產品價格係由供需雙方共同決定，但能源產品按其供應環節上的技術密集、資本密集、自然獨占市場、區域性市場等特性差異，個別能源之價格影響因素有所差異，加上部分能源（如電力、石油）屬於人民生計及產業發展必需品，政府往往會介入管制價格，此類能源之價格影響因素則再添政府政策一項。

以下先說明不同市場下之能源定價機制，再按台灣進口能源及台灣產製能源之供給與消費路徑說明其價格影響因素及歷年價格走勢。

2.1 能源價格定價機制

在自由市場經濟中，價格是由商品的供給與需求雙方共同決定，當生產者願意且能夠提供的數量等於消費者願意且有能力的購買數量，此時的價格即為均衡價格；亦即自由市場下，原則上產品價格並非僅由單方決定，當產品價格低於預期時，供給端可降低產量緩解供給過剩情形，使價格維持在一定水準；反之，當產品價格高於預期時，在消費端有降低使用量空間或替代商品供選條件下，可降低需求緩解需求旺盛情形，使價格不致居高不下，亦即消費者具備產品的議價能力。

在獨占及寡占的市場中，理論上價格應由生產者決定。能源產品屬民生及產業發展必需品，且具備資本及專業技術密集之產業特性，多為此例，政府往往扮演干預者之角色。

一般市場定價法包括成本導向定價法(平均成本定價法、邊際成本定價法、成本加成定價法、目標收益定價法、損益平衡定價法)、競爭導向定價法(市場行情定價法、產品差別定價法、投標競價定價法)、顧客導向定價法(價值定價法、需求差異定價法、逆向定價法)，以能源而言，常見的定價方式為成本導向定價法，說明如下。其餘定價方式適用在特定能源市場，在此不多做說明。

一、平均成本定價法(Average Cost Pricing)

平均成本定價法是以產品的總成本加上合理利潤，除以總產量計算平均成本。優點為可回收預計財務上所發生之成本、計算簡易；缺點為缺乏促進消費端提高能源使用效率之誘因，

亦即能源使用較多者支付之單位能源成本與使用量較小者一致，消費者較不會因而節省能源用量。

平均成本定價法適合用於能源生產過程屬單一化者，例如煤炭、石油產品、天然氣等。

二、邊際成本定價法(Marginal Cost Pricing)

邊際成本定價法是以生產最後一單位的產品所需增加的成本，加上一定利潤後計算產品價格。優點為可達到資源最佳配置、用戶增加之能源使用費等於增加能源供給之邊際成本、產品價格可精確反映生產成本，促進消費端能源使用效率提升；缺點為邊際成本必然大於平均成本，廠商將獲取超額利潤，須加入不同使用時段進行調整。

邊際成本定價法適合用於多元生產過程但產出能源型態單一者，例如電力。消費端所使用的電力是由核能、火力機組、抽蓄水力及再生能源等發電方式生產，進入台電電網再送至產業或家戶，以目前的電力系統架構尚無法區分所使用的每度電是單純來自核能機組或火力機組產出，但可將發電機組分為基載、中載及尖載機組，用電量較少時段的電力供給來源多為基載機組及部分中載機組，發電成本較低，用電量較多時段的電力供給來源除基載及中載機組，尚包括高成本的尖載機組，故同樣一度電在不同時段之生產成本存有差異。由於台電公司開發電源及輸、變、配電等設施建設日益困難，導致未來供電設備成本逐年上揚，形成邊際成本超出平均成本而為一遞增之曲線。倘依平均成本定價無法回收未來公司發生之較高供電成本，致邊際用電增加之電費將低於電業增加供電之成本為電力費率。此法的計算，主要乃以因增加一單位電力時而改變發電燃料成本、輸電損失及操作控制的費用為基礎，並同時考慮發電機和輸電線容量的限制，來計算電力價格。

能源市場競爭程度，可按供給者與需求者的多寡關係，區分為完全競爭市場、部分競爭市場、寡占市場及獨占市場，個別市場之實際案例、主要定價機制與價格影響面向如表 2.1-1 所示。

完全競爭市場與部分競爭市場之主要定價機制為市場行情定價法與投標競價定價法，影響價格面向為供需基本面、事件消息面及具有期貨市場之能源商品甚至會受到非實質交易的投機客炒作而影響價格，完全競爭市場之案例包括國際煤炭市場、國際石油市場，部分競爭市場之典型案例為國際天然氣市場，管線天然氣(PNG)及液化天然氣(LNG)因輸送方式迥異，

形成歐美地區天然氣以 PNG 市場為主，亞太地區以 LNG 市場為主，兩個市場的天然氣價格可以差異數倍以上。另外，寡占市場與獨占市場之主要定價機制為成本加成定價法，影響價格因素包括供應成本及政府介入干預，寡占市場之案例為台灣石油批售市場，獨占市場之案例為台灣電力零售市場。

表 2.1-1 各類市場型態之價格影響面向

市場型態	生產者	消費者	舉例	■ 定價機制/ ◇ 價格影響面向	備註
完全競爭市場	多	多	國際煤炭市場 國際石油市場	<ul style="list-style-type: none"> ■ 市場行情定價法 ■ 投標競價定價法 ◇ 供需基本面 ◇ 事件消息面 ◇ 期貨市場 (投機炒作,石油) 	石油期貨價格主要受非實貨交易的投機客主導
部分競爭市場	多 /區域性	多 /區域性	國際管線天然氣市場 亞洲液化天然氣市場	<ul style="list-style-type: none"> ■ 市場行情定價法 ■ 投標競價定價法 ◇ 供需基本面 ◇ 事件消息面 ◇ 期貨市場 (投機炒作,PNG) 	管線天然氣(PNG)及液化天然氣(LNG)因運輸方式迥異，形成部分市場區隔特性
寡占市場	少數	多	台灣石油批售市場	<ul style="list-style-type: none"> ■ 成本加成法(Cost Plus) ◇ 供應成本 ◇ 政府干預 	石油批售市場之需求端議價能力低
獨占市場	唯一	多	台灣電力零售市場	<ul style="list-style-type: none"> ■ 成本加成法(Cost Plus) ◇ 供應成本 ◇ 政府干預 	電力零售市場之需求端為價格接受者，但可透過民意促使政府介入干預

資料來源：能源經濟管理資源中心整理

2.2 台灣進口能源價格影響因素

台灣自產能源貧乏，多仰賴進口能源；2011 年台灣能源進口依存度高達 97.68%。台灣進口能源種類主要包括燃料煤(無煙煤、亞煙煤、煙煤等)、原油及石油產品、液化天然氣及鈾燃料。在國際或亞洲能源市場上，台灣扮演標準的消費者，對價格的議定能力較小，屬於價格接受者(Price Taker)。

瞭解國際能源價格影響因素，可洞悉此類因素之變化情形，擬定因應策略，以減緩國際能源價格波動對台灣之衝擊及風險。以下說明國際煤炭及海運費價格、石油及天然氣之價格影響因素。

2.2.1 國際煤炭及海運費

一、國際煤炭進口路徑及價格影響因素分析(煤價與海運費關係密切)

煤炭之生產過程需透過礦區開採、產煤國內陸運輸送至出貨港口，再經由散裝貨輪送至煤炭需求國港口後，最後從內陸運輸送到發電廠或終端使用，我國煤炭終端消費者包括燃料煤用於產業及發電廠，與煉焦煤用於鋼鐵業（以煉焦煤煉製焦炭，再以焦炭作為還原劑將鐵礦中的鐵還原出來，亦即冶鐵），見圖 2.2-1。

一般而言，描述煤炭價格按交易點可分為離岸價格 FOB(Free On Board)及到岸價格(Cost insurance and Freight, CIF)，FOB 價格表示買方僅支付賣方煤炭貨品價格，運輸及保險由買方另行規劃支付，國際上常見的煤價報導提及澳洲煤炭 Newcastle(6700kcal/kg, GAD)95 美元/公噸，即是指煤炭(氣乾基高位熱值 6700 kcal/kg)的 FOB 價格為 95 美元/公噸。進口煤炭的另項重要費用為海運費，到岸價格(CIF)則是由煤炭 FOB 價格、海運費及比例相對極小的保險費組成。以我國財政部關務署之海關統計資料基礎即為到岸價格(CIF)，假設 2010 年台灣進口煤炭 CIF 平均價格為 100 美元/公噸，則大致可拆為 FOB 價格 85 美元/公噸及海運費 15 美元/公噸。

到岸價格 CIF = 離岸價格 FOB + 海運費 + 保險費(比例極小)

在甚麼情況下，我國進口煤炭價格會受到影響呢？當整個國際煤炭供給及需求環節無重大事件發生時，煤炭價格不會出現明顯波動，但實務上，舉凡煤炭礦區因天候異常、礦區災變等天災因素及罷工事件、政治戰爭等人為因素；經由內陸運輸至出口港的陸運受阻或塞港事件，均可導致供給減少而推升煤價；另外因煤炭需求國的煤需因景氣、國家減碳政策或能源替代等影響而變化，也會影響煤價波動。而裝運煤炭的貨輪為乾散裝船，其運送貨品除了煤炭，尚包括鐵礦砂(最大宗)、穀物等散裝物資，其價格主要受海運市場供需影響，供給面

因素包括散裝船噸之增建及拆解數量，天候因素或裝卸港口設施不足導致塞港事件，需求面因素包括鐵礦砂、穀物等大宗物資之運輸需求，如穀物收成季節對運輸需求提高。而前述的煤炭市場與海運市場之關聯原則上煤炭市場價格不受海運市場影響，而由於煤炭為海運市場運輸需求之一，海運市場將受煤炭運輸需求影響。

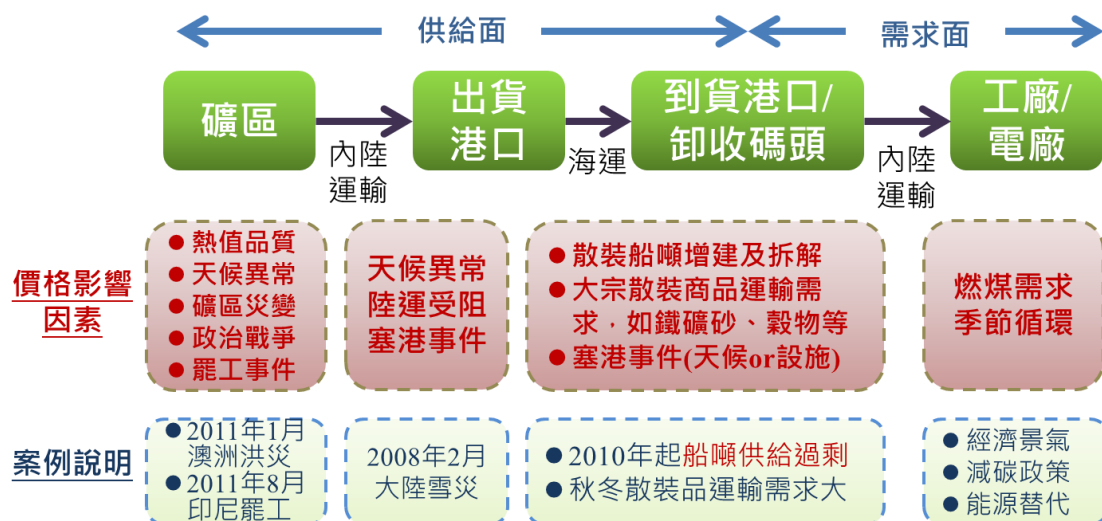


圖 2.2-1 煤炭進口路徑及價格影響因素分析

資料來源：能源經濟管理資源中心整理

二、燃料煤價格走勢

回顧過去國際煤炭價格趨勢，2004 至 2007 年澳洲 Newcastle 每公噸價格約在 40~60 美元間，2007 年起煤價開始反彈，2007 年 1 月至 2008 年 7 月澳洲 Newcastle 出口燃煤月均價由每公噸 52.05 美元上漲至 182.17 美元之歷史高點。2008 年上半年由於國際油價高漲，帶動替代能源價格上漲，主要產煤國家因國內需求增加及天候異常衝擊，減少煤炭出口；2008 年下半年後則因國際金融及經濟緊縮，煤炭需求減少，煤價於 2009 年 3 月回跌至低點 61.27 美元水準。

此後，因經濟復甦，再加上 2011 年因中國大陸與歐美暴風雪天寒關係，煤炭需求大增；此外，澳洲為全球最大海運煤出口國，但因澳洲洪水導致礦場接連停工，導致平均煤價上揚至 2011 年 1 月的 132.08 美元，至 2011 年 3 月受日本東北震災影響，日本各家電廠接收東北電力公司及東京電力公司轉單而存量充裕影響，需求趨弱，導致煤炭平均價格跌至 2011 年 5 月 119.43 美元/公噸。爾後，隨日本災後重建，煤價於高低震盪間，逐漸走向高位，後再隨全球景氣受歐債危機持續低迷影響，煤價約在每公噸 110 美元上下盤整。2012 年因歐債危機，

煤價再度走跌，2013 年 1 月煤價為 90.49 美元，見圖 2.2-2。

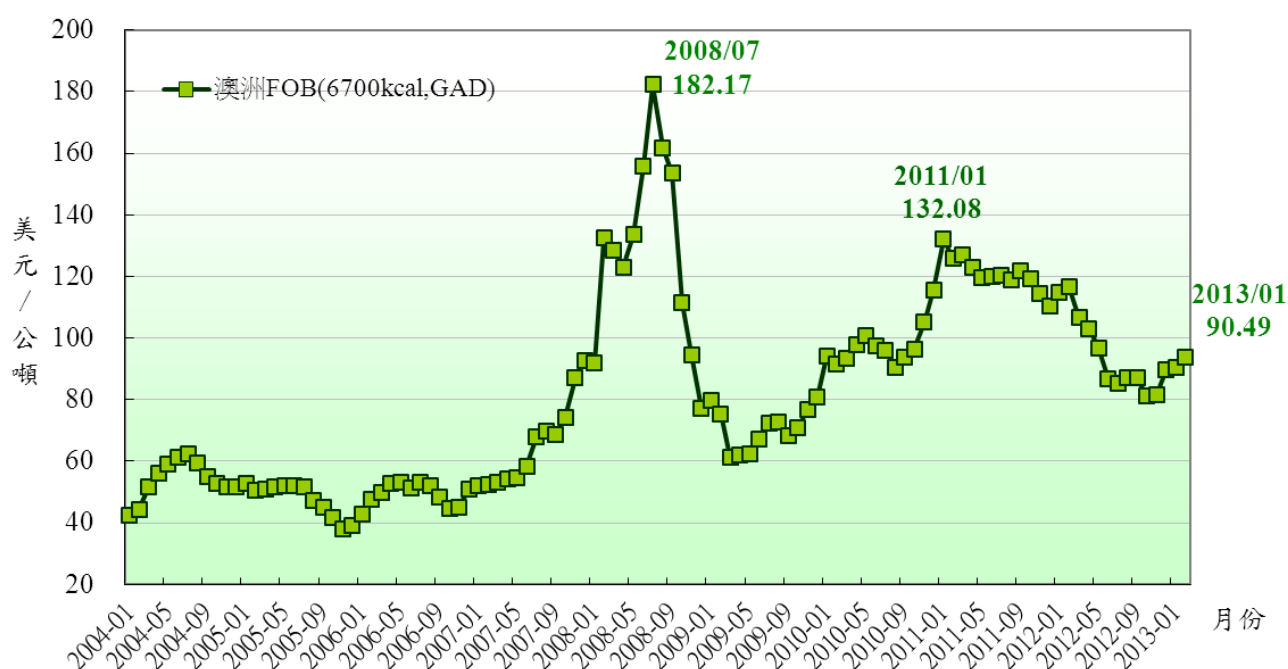


圖 2.2-2 2004.01~2013.01 國際煤炭 FOB 價格

資料來源：Argus Coal Daily International，2013.02；經濟部能源局，能源統計月報，2013.02；
能源經濟管理資源中心繪製。

三、海運費價格走勢

波羅的海乾貨指數（BDI, Baltic Dry Index）指數代表整體散裝航運業景氣之榮枯，目前已成爲全球散裝航運運價之重要報價指標。海運市場，包括亞洲市場在內，連同世界經濟在經歷了 2004 年以來最大且持續最久的榮景後，也無可避免隨著 2007 年 8 月的美國次貸危機，2008 年的房貸危機等金融失控現象持續發生，2008 年下半年，國際間發生金融海嘯，重創全球經濟，大宗散裝乾貨的物流量急速萎縮，導致運費市場，自 2008 年 9 月份起更急速下挫。以 BDI 指數爲例，自 2008 年 5 月下旬的 11,793 點歷史最高後，逆轉挫至 12 月底之 774 點，下挫近 11,000 點。

自 2009 年起，中國已正式由煤炭淨出口國轉變爲淨進口國，除使中國大陸自身的進口量成長快速帶動煤炭運輸需求增加外，原本向中國大陸進口煤炭的其它東亞國家，勢必得增加從澳洲、俄羅斯或印尼等地的進口來替代，將使煤炭的運輸距離拉長，從而消耗較多的散裝航運運能，且因 2009 年中因中國大陸鐵礦砂進口需求疲弱，船舶供給過剩的情況漸行嚴重，

參雜 2009 年 11 月份中國大陸、日本和歐洲對鐵礦砂的需求逐漸回溫，亞洲國家對美國穀物需求強勁，煤炭運輸需求也受旺季效應影響而上升，加上中國和澳洲塞港情況加劇，以及國際熱錢重返航運衍生性商品市場炒作，助長 BDI 漲勢重回 4,000 點。2011 至 2012 年運價約在 700 至 2,000 點低檔區狹幅盤整，見圖 2.2-3。

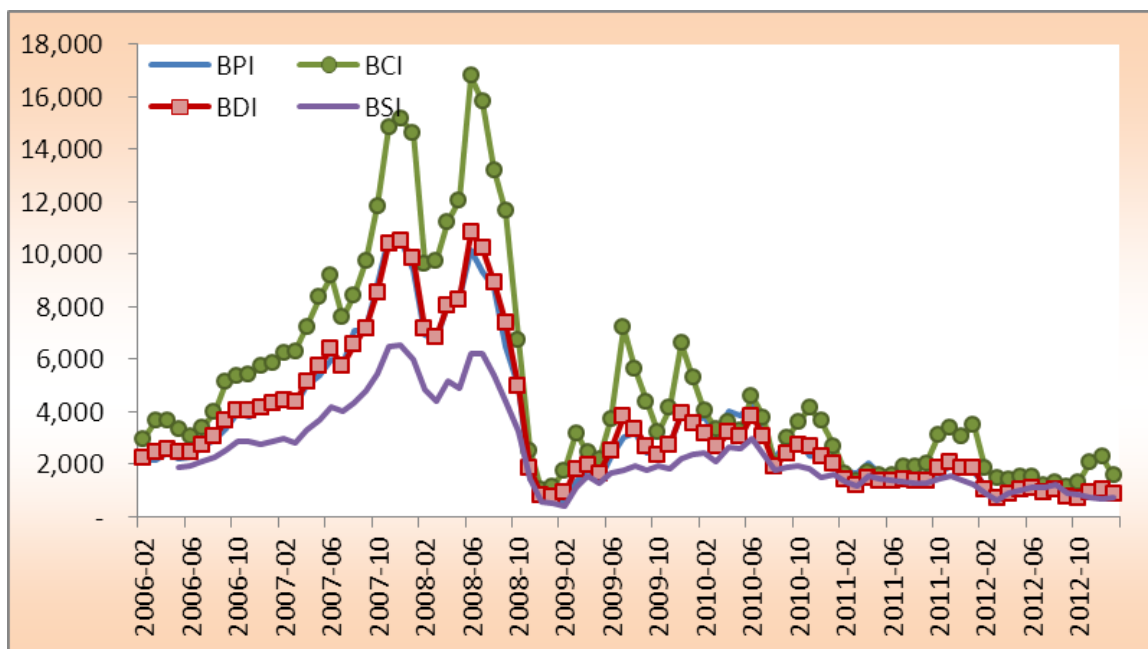


圖 2.2-3 2001~2013.01 波羅的海航運運費指數

資料來源：商品行情網，2013.02；能源經濟管理資源中心繪製。

2.2.2 石油及天然氣

一、原油及石油產品進口路徑及價格影響因素分析

石油從油井開採而得，為石油產品煉製原料，所以也稱為原油。原油之生產過程需透過油井開採、產油國輸送至出貨港口、再經由油輪送至油品需求國港口後，透過輸油管送到煉油廠煉製。石油產品則為原油經煉製(裂解重組或蒸餾分離)後之產物，包括氣體、液體及固體，見圖 2.2-4。

與煤炭相同，石油價格按交易點也可分為離岸價格(FOB)及到岸價格(CIF)。

而在甚麼情況下，我國進口原油或石油價格會受到影響呢？當整個國際石油供給及需求環節無重大事件發生時，石油價格不會出現明顯波動，但實務上，舉凡油井開採區因天候異

常、災變等天災因素，以及罷工事件、政治戰爭或石油輸出國家組織(Organization of the Petroleum Exporting Countries, OPEC)產量政策等人為因素，均可導致供給減變動而影響油價；另外因原油需求國的煉油廠預期檢修或非預期事件減少煉製量，石油需求之能源替代等因素，也會影響原油價格波動。

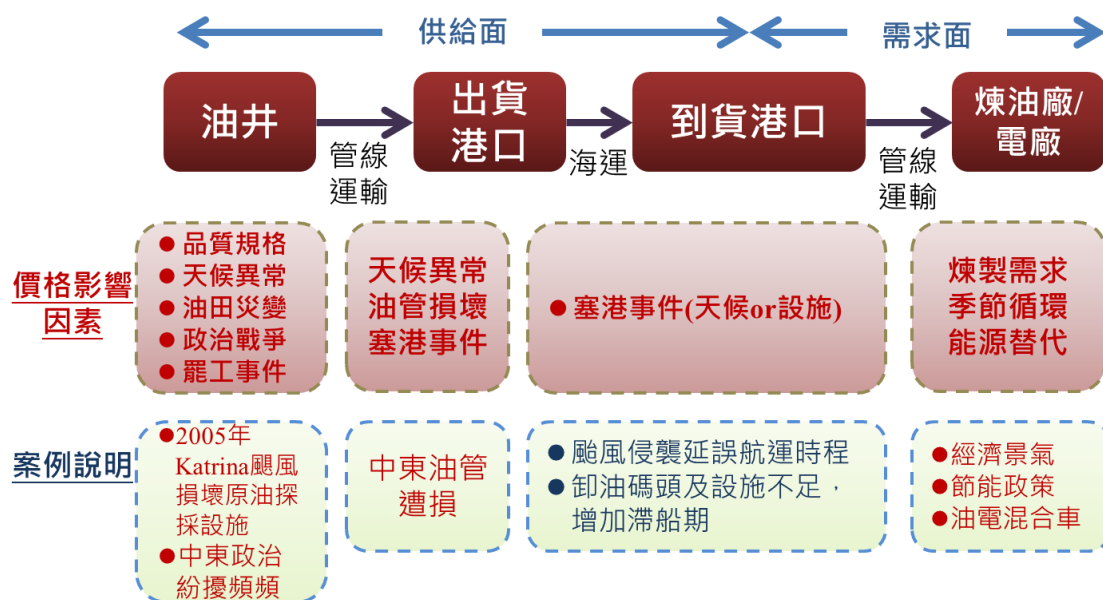


圖 2.2-4 原油及石油產品進口路徑及價格影響因素分析

資料來源：能源經濟管理資源中心整理。

二、國際原油價格走勢

2008 年以來，因美國次級房貸風暴的影響，美國經濟成長出現停滯加上在美元持續走貶、產油基礎設施成本不斷提升、OPEC 不願提高產量、部分產油國動盪造成產量不穩、以及投機基金不斷的炒作下，國際原油價格持續創下歷史新高 6 月均價為 133.93 美元/桶。2008 年 7 月 3 日 WTI 紐約商品期貨價格一度收盤在 145.29 美元/桶高點，然次貸風暴逐漸影響全球金融，油品需求緊縮下油價急速下跌，7 月中旬起，油價出現急速降溫，連續 4 個月的下跌走勢來到 10 月 WTI 現貨月均價 76.2 美元/桶。

2009 年起開始反彈，6 月 WTI 均價 69.68 美元/桶，10 月份杜拜漲至 73.15 美元/桶，全球經濟逐步復甦，12 月份 WTI 漲至 74.41 美元/桶。2010 年起 WTI 價格約在 70-90 美元間盤整，同年 12 月突尼西亞示威並開啓中東示威潮，導致原油產量減少，造成 WTI 均價激升至 2011 年

4 月均價 109.86 美元/桶。受全球經濟疑慮擴大、歐債務危機、國際能源總署（IEA）於 6 月 23 日突然宣佈釋出 6,000 萬桶戰備儲油，以及美國經濟持續低迷之影響下，致油價重跌至 9 月均價 85.55 美元/桶。爾後，WTI 供油管線破裂，導致原油供應量減少；再者受感恩節影響，歐美經濟景氣轉佳，以及歐美對伊朗進行經濟制裁伊，使得伊朗和西方世界緊張情勢升高，恐危及這個石油輸出國家組織（OPEC）中第 2 大產油國的供給，2011 年底油價又回復至近 100 美元/桶水準。2012 年則因希臘債務危機、美國財政赤字及地緣政治等因素，油價於 100 ~120 美元/桶之間盤整，見圖 2.2-5。

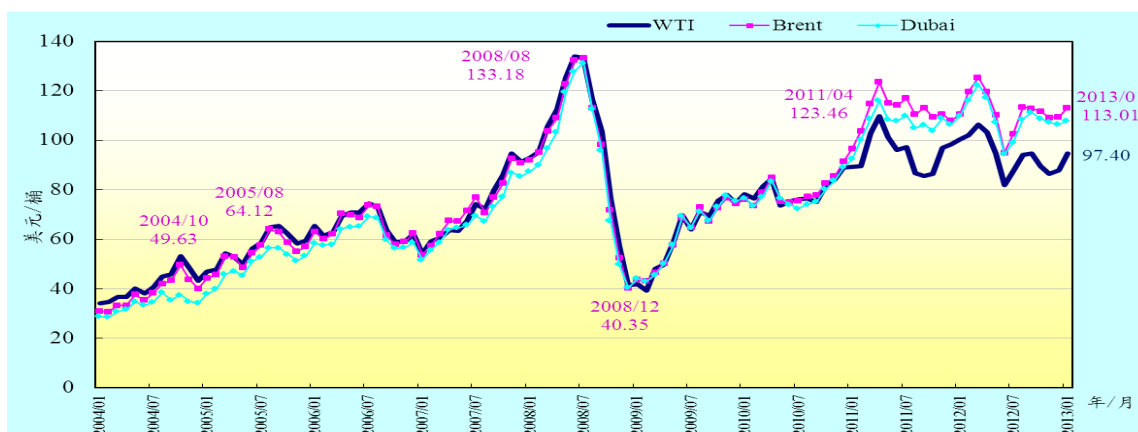


圖 2.2-5 2004.01~2013.01 原油價格走勢

資料來源：台灣綜合研究院，102 年度「國內外石油議題諮詢分析專案」，(2/3)，2013；能源經濟管理資源中心繪製。

三、液化天然氣進口路徑及價格影響因素分析

天然氣生產過程需透過開採，經由輸氣管線送至消費端使用，或經低溫高壓方式壓縮為液化天然氣(Liquid Natural Gas, LNG)，透過液化天然氣船運送至跨越海洋的需求國，再經由 LNG 接收站卸收，再氣化為氣態天然氣，經由管線輸送至消費端，我國天然氣主要消費者為燃氣發電廠、住宅用戶以及作為肥料業之原料。而亞洲地區為全球液化天然氣需求最大之區域，2011 年消費量約占全球進口量的 63%，見圖 2.2-6。

天然氣價格按交易點也可分為離岸價格(FOB)及到岸價格(CIF)，但實務上 LNG 的船運費用多與商品價格綁在一起，以 CIF 為計價基礎。

而在甚麼情況下，我國進口天然氣價格會受到影響呢？因目前液化天然氣合約計價公式

多數參考原油價格訂定，故當國際原油價格波動或天然氣供給及需求環節發生重大事件時，舉凡氣田開採區因天候異常、災變等天災因素，以及罷工事件、政治戰爭等人為因素或非傳統能源之開採(如頁岩氣)，均可導致供給減變動而影響氣價；另外因天然氣需求國的發電廠預期檢修或非預期事件減少燃料投入量，天然氣需求之能源替代，減碳政策等因素，也會影響天然氣價格波動。

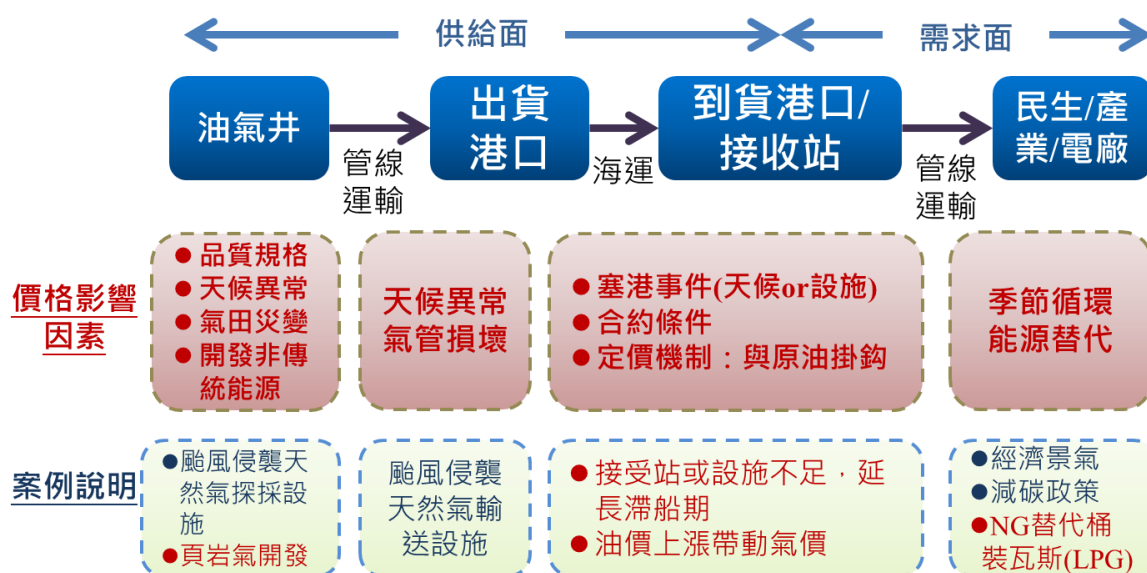


圖 2.2-6 液化天然氣進口路徑及價格影響因素分析

資料來源：能源經濟管理資源中心整理。

四、亞洲液化天然氣進口 CIF 價格走勢

亞洲液化天然氣市場價格走勢中，2008 年 10 月之前 LNG 進口價格多數以台灣最高，韓國次之，日本最低。其主要因素為 LNG 合約簽訂時點(油價水準差異及當下為 LNG 買/賣方市場)及合約計價公式差異。惟自 2008 年第 4 季起台灣開始輸入卡達天然氣(長約)，其單價較現行我國與印尼及馬來西亞 LNG 長約進口價格明顯便宜，此後我國液化天然氣進口均價多次低於日本及韓國。

觀察我國液化天然氣進口價格走勢，2008 年 8 月我國進口液化天然氣價格每公噸上漲至 875.06 美元，而後持續下跌至 2009 年 1 月的 3244 美元，接著全球景氣逐漸回溫，隨油價波動數月震盪，2011 年 12 月份價格為 733.68 美元、2012 年 12 月價格為 7383 美元，見圖 2.2-7。

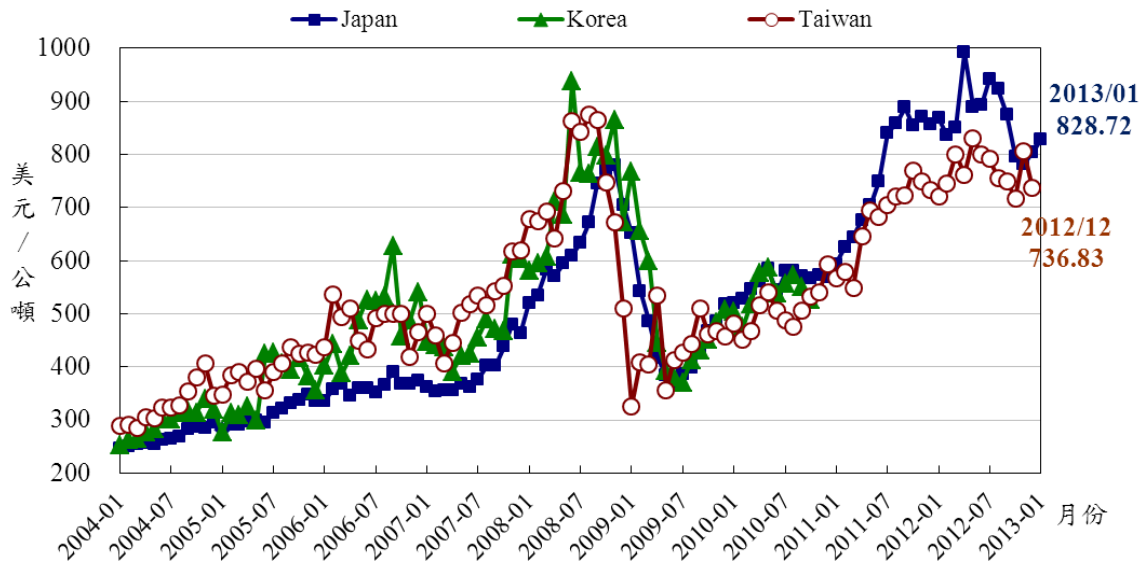


圖 2.2-7 2004.01~2013.01 亞洲液化天然氣進口 CIF 價格走勢

資料來源：經濟部能源局，2013.02；日本海關資料，

http://www.customs.go.jp/toukei/shinbun/happyou_e.htm；能源經濟管理資源中心繪製。

2.3 台灣產製能源價格影響因素

能源進口到台灣後，透過初級能源的煉製或加工過程，產生次級能源供最終消費使用，台灣主要產製能源及生產過程如下：

1. 石油產品：進口原油，透過煉油設備煉製成汽油、柴油、燃料油...等石油產品。
2. 天然氣：進口液化天然氣，透過 LNG 氣化設備產生氣態天然氣。
3. 電力：燃料煤、燃料油、柴油、天然氣等燃料投入各類型發電機組，產生電力。

台灣產製能源之價格影響因素則可從能源的成本結構及是否受政府管制分析之，價格影響因素大致可區分為內外因素，內在因素屬事業體可掌握者，如人事成本，外在因素則是事業體無法掌握者，如燃料成本。以下分就石油產品、天然氣及電力，說明其國內市場概況、成本結構、價格表、價格走勢、價格調整機制等。

2.3.1 石油產品

一、 台灣石油產品市場概述

我國油品市場自由化係採漸進方式以與國際接軌，分階段自下游的油品銷售業先行開放後，再開放油品煉製業，最後於「石油管理法」於 2001 年 10 月 11 日公布施行後，開放油品進口業，石油市場變遷沿革，見圖 2.2-8。

目前國內石油煉製業為有二，分別為台灣中油公司及台塑石化公司；石油輸入業則自 1999 月開放燃料油、航空燃油及液化石油氣進口後，除台灣中油公司及台塑石化公司外，另有李長榮化工、乾惠工業及中華全球石油等公司分別取得液化石油氣及汽柴油輸入許可執照。加油站業：政府於 1987 年 6 月起許可民間設置加油站，經營汽、柴油之銷售業務，截至 2012 年 12 月底，全國設站數達 2,493 站。加氣站業：為改善都會區空氣品質，減少車輛廢氣排放，政府已開放油氣雙燃料車上路，至 2012 年 12 月底，已開業加氣站已達 62 站，對油氣雙燃料車加氣已具便利性。

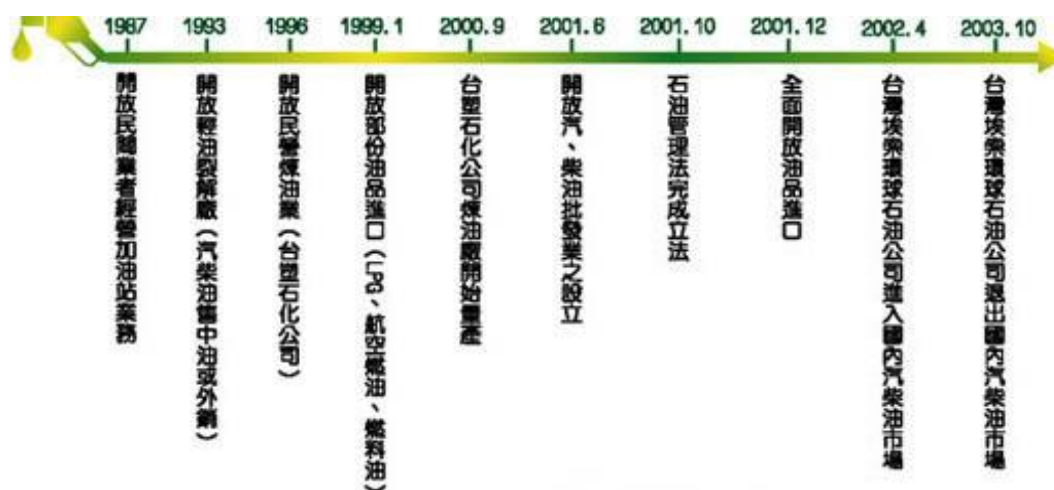


圖 2.2-8 台灣油品市場變遷沿革

資料來源：經濟部能源局(2010)，健全油市場管理。

二、 台灣石油產品成本結構

石油產品成本包括銷貨成本、行銷管理成本、輸儲財務成本、其他成本，其中銷貨成本主要為原油進口成本，受到國際石油市場影響，屬事業無法掌握之價格外在因素；而行銷管理成本、

輸儲財務成本、其他成本及利潤，為事業可掌握之價格內在因素；另外石油產品價格尚包括貨物稅、空汙費、土汙費、石油基金及營業稅等相關稅費，該些稅費由政府制定，石油業者須依法繳納。在此特別將成本結構連結到影響價格因素區分為內在可控因素及外在不可控因素，主要是為銜接後文將提及的價格調整機制，說明其調整範圍僅限成本占比較大者及成本屬外在不可控因素者，以下續提的天然氣價格及電力價格之邏輯亦同。石油產品成本結構示意圖見圖 2.2-9。

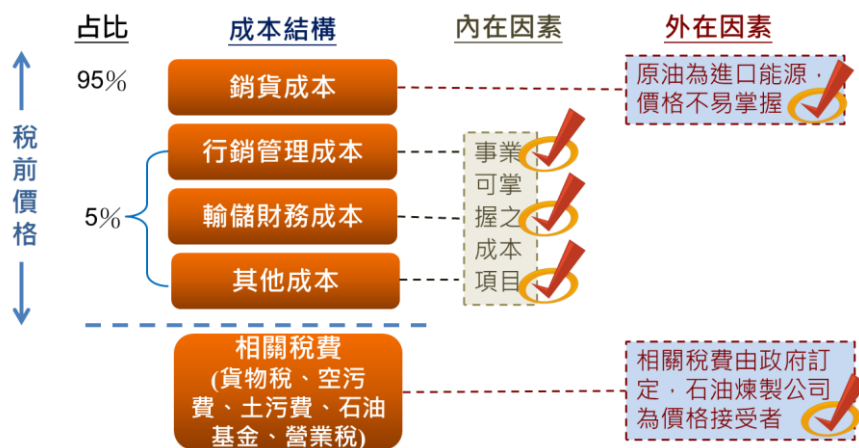


圖 2.2-9 石油產品成本結構示意圖

資料來源：成本占比數據為 2011 年決算資料(台灣中油公司，2012)；能源經濟管理資源中心整理。

三、主要石油產品價格表

表 2.2-1 為台灣中油公司「汽柴油零售」參考牌價表，以民眾最熟悉的 95 無鉛汽油為例，在 2013 年 5 月 20 日至下次調價前，價格為 34.1 元/公升(含稅)，在該牌價水準之下，各加油站可按其銷售策略，採用特別時間降價優惠、滿額現金折扣或送贈品等促銷方式，吸引顧客上門，故每個加油站之 95 無鉛汽油售價可能有所差異。

表 2-2.1 台灣中油公司「汽柴油零售」參考牌價表*²

產品名稱	銷售對象	交貨地點	計價單位	參考牌價	營業稅
98 無鉛汽油	一般自用客戶	中油加油站	元/ 公升	31	5%
95 無鉛汽油	一般自用客戶	中油加油站	元/ 公升	34.1	5%
92 無鉛汽油	一般自用客戶	中油加油站	元/ 公升	32.6	5%
酒精汽油	一般自用客戶	中油加油站	元/ 公升	34.1	5%
超級柴油	一般自用客戶	中油加油站	元/ 公升	31.4	5%
高級柴油	一般自用客戶	中油加油站	元/ 公升	31.4	5%
海運輕柴油	車隊卡合約客戶	中油漁船站	元/ 公秉	31,400	5%
海運重柴油	一般自用客戶	中油漁船站	元/ 公秉	30,900	5%

四、台灣石油產品價格走勢

(一) 汽柴油

2007 年前，國內汽柴油價格相較國際油價波動緩和；實施浮動油價調整機制後，國內油價與國際油價波動較一致，見圖 2.2-10。

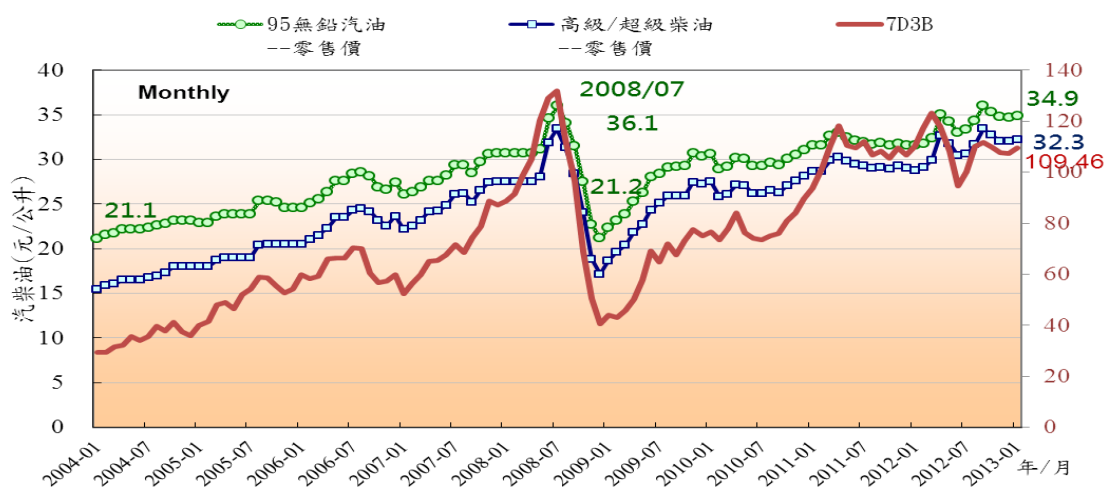


圖 2.2-10 2004.01~2013.01 汽柴油與指標油價走勢

資料來源：台灣中油公司網站，2013.02；能源經濟管理資源中心繪製。

²註：1. 2013 年 5 月 20 日 0 時 0 分起實施。

2. 本表牌價已含營業稅。

3. 本表價格為參考牌價，實際售價則以各營業地點公告為準。

(二) 低硫燃料油

2007 年前，國內汽柴油價格相較國際油價波動緩和；浮動油價機制實施後，國內牌價大致呈現落後一個月之價格追隨型態，見圖 2.2-11。



圖 2.2-11 2004.01~2013.01 低硫燃料油與指標油價走勢

資料來源：台灣中油公司網站，2013.02；能源經濟管理資源中心繪製。

五、台灣石油產品價格調整機制

為使市場機能充分發揮，原先授權台灣中油公司調整油價之油價公式，隨台塑石化公司油品上市已於 2000 年 9 月廢止。自 2005 年下半年起，由於國際油價波動甚大，經濟部遂於 2007 年初授權台灣中油公司汽柴油價格採行浮動價格機制，並應維持為亞鄰競爭國家最低價之原則，汽柴油每週調整，燃料油每月調整。而該浮動價格調整機制所允許調整部分即為前述石油產品成本結構中屬事業體無法掌握之外在因素，使其隨國際指標油價波動。

(一) 汽柴油

- 指標油價：我國進口原油加權價格(70%Dubai+30%Brent,簡稱 7D3B)
- 調整頻率/調幅：每週調整/反映指標油價 8 成漲幅
- 啟動門檻：計算後調額達 0.1 元/公升，始調整
- 其他因子：考量匯率變化，稅前價格不得高於亞鄰國家最低價

(二) 低硫燃料油

- 指標油價：新加坡 HSFO180 價格

- 調整頻率/調幅：每月調整/完全反映指標油價漲幅
- 啟動門檻：計算後調額達 100 元/公秉，始調整
- 其他因子：考量匯率變化，稅前價格不得高於亞鄰國家最低價

2.3.2 天然氣

一、台灣天然氣市場概述

考量天然氣為民生必需品及具備公用通路(Common Carrier)規模經濟之特性，屬公用事業，仍維持獨占市場，天然氣輸入業由台灣中油公司一家專營，政府介入管制價格。

國內天然氣供應路徑是由台灣中油公司躉售給公用天然氣事業(瓦斯公司)，再由各區瓦斯公司配送給家庭用戶，全國 25 家瓦斯公司，亦即天然氣銷售商，各有不同經營之供氣區域。

二、台灣天然氣成本結構

天然氣成本結構與石油產品相似，政府為鼓勵天然氣這類淨潔低碳能源使用，在相關稅費方面，貨物稅、空汙費及土汙費均免繳納，僅需繳納營業稅。天然氣產品成本結構示意圖見圖 2.2-12。

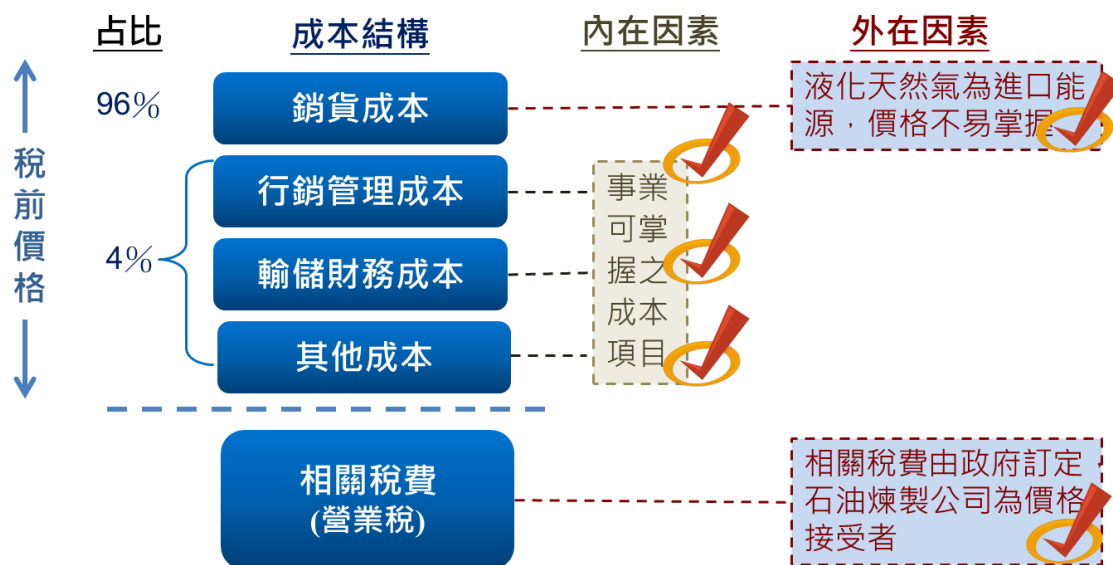


圖 2.2-12 天然氣產品成本結構示意圖

資料來源：成本占比為 2011 年決算資料(台灣中油公司，2012)；能源經濟管理資源中心繪製。

四、台灣天然氣牌價表

天然氣價格按產地來源概分為自產天然氣(1)與進口天然氣(2)，單位熱值分別為 8,900 千卡/立方公尺與 9,700 千卡/立方公尺，自產天然氣熱值較低，兩者價格差異係按熱值比例換算；另外價格按銷售對象也存有差異，以工業用戶氣價最高，瓦斯公司、汽電共生用戶依序次之，純發電用戶氣價最低。以天然氣最大用戶發電業而言(使用高熱值天然氣(2))，台灣中油公司將天然氣牌價區分為冬月、夏月及其他月，其中考量夏月為發電尖峰、用氣量大增及國內天然氣庫存有限，價格最高，其次為其他月，冬月屬天然氣消費量離峰月份，價格最低，按 2013 年 4 月 2 日實施之天然氣牌價表，得知發電用戶之氣價依序為夏月 20.4805 元/立方公尺、其他月 20.4195 元/立方公尺及冬月 20.3127 元/立方公尺。

至於家庭用戶之天然氣價為何？首先需先瞭解家庭用戶使用之天然氣為低熱值之天然氣(1)，全國 25 家公用天然氣事業(瓦斯公司)，各有不同經營之供氣區域，因其區域內之用戶普及率、輸氣管線鋪設密度及其他相關設備等不同，致其經營成本差異，售予用戶之氣體單價亦不相同，按 2013 年 4 月 2 日實施之天然氣牌價表，瓦斯公司天然氣售價是以中油公司售予瓦斯公司的單價 19.7 元/立方公尺，加上瓦斯公司營運成本及合理利潤訂定之。另新竹苗栗地區配氣管線供應範圍，由中油公司直接供氣之家庭用戶，天然氣單價為 20.88 元/立方公尺，見表 2.2-2。

表 2.2-2 台灣「天然氣」參考牌價表*³

產品名稱	銷售對象	交貨地點	計價單位	參考牌價	營業稅
天然氣(1)	工業用戶		元/立方公尺	20.1289	5%
天然氣(1)	公用氣體燃料事業(瓦斯公司)		元/立方公尺	19.7	5%
天然氣(1)	合格汽電共生系統用戶		元/立方公尺	19.3614	5%
天然氣(1)	本公司直營家庭用戶	新竹苗栗地區配氣管線供應範圍	元/立方公尺	20.88	5%
天然氣(2)	工業用戶		元/立方公尺	21.9382	5%
天然氣(2)	公用氣體燃料事業(瓦斯公司)		元/立方公尺	21.47	5%
天然氣(2)	合格汽電共生系統用戶		元/立方公尺	21.1017	5%

³註：1.2013 年 4 月 2 日起實施。

2.冬月：1、2、3、12 月；其他月：4、5、10、11 月；夏月：6~9 月。

天然氣(2)	發電用戶(冬月)	永安廠 輸氣幹線配氣站	元/立方公尺	20.3127	5%
天然氣(2)	發電用戶(其他月)	永安廠 輸氣幹線配氣站	元/立方公尺	20.4195	5%
天然氣(2)	發電用戶(夏月)	永安廠 輸氣幹線配氣站	元/立方公尺	20.4805	5%

資料來源：台灣中油公司網站，2013.01。

四、台灣發電用天然氣價格走勢

正因為台灣中油公司之天然氣參考牌價區分為冬月、夏月及其他月，因為夏月高價；冬月低價，使得 2008 年前發電用戶之天然氣月價格走勢呈現有趣的「倒 U」型，且隨著國際石油及天然氣市場價格上漲逐年向上遞移。2008 年 12 月起，台灣中油公司天然氣牌價採用新的氣價結構，電力用戶之季節天然氣價格為氣源成本加上供應成本乘以 50.11%再乘以調整因子（氣價 $GC+SC \times 50.11\% \times \text{調整因子}$ ），該調整因子各為夏月 104%，其他月 100%、冬月 93%，使得發電用戶之冬月、其他月及夏月用氣價格價差明顯縮小，故「倒 U」型的價格走勢在 2009 年起變得不明顯，見圖 2.2-13。



圖 2.2-13 2004.01~2012.12 發電用天然氣價格

資料來源：台灣中油公司網站，2013.02；經濟部能源局，2013.02；能源經濟管理資源中心繪製。

五、台灣天然氣價格調整機制

2008 年 12 月起實施「國內天然氣價格調整機制」，而該浮動價格調整機制所允許調整部分即為天然氣成本結構中屬事業體無法掌握之外在因素，使其隨 LNG 進口成本波動。重點規範如下：

- 氣價應反映金額 = 全年 LNG 進口成本 - 預算 LNG 進口成本。
- 以上合計應反映金額，依各類用戶預算銷量及氣價結構計算調整幅度。
- 調價幅度若「單月調幅在 3% 以內及連續 3 個月累積調幅在 6% 以內」，由台灣中油公司自行公布調價結果，若超出此範圍，則由台灣中油公司陳報經濟部核定。

在此價格調整規範下，自 2011 年 3 月以來，台灣中油公司則將原先受政策壓抑未反映之天然氣成本以連續 2 個月各調漲 2.99%，間隔 1 個月不調整之方式，2011 年各於 3、4、6、7、9、10、12 月進行 2.99% 調漲，調漲次數達 7 次，11 月調降 1%，2011 年累計調幅為 22%。

另外，配合穩定物價政策及照顧民生，政府也會適時介入市場抑制能源價格上漲。台灣中油公司依據 2012 年 10 月 22 日立法院經濟委員會決議 2012 年 10 月、11 月、12 月家庭用天然氣價格不予調漲，供應瓦斯公司之家庭等民生用戶之未反映金額暫由中油公司吸收，並於未來天然氣價格下跌時持續回補。

2.3.3 電力

一、台灣電力市場概述

考量電力為民生必需品、產業生產要素之一、高度專業技術密集，以及具備公用通路 (Common Carrier) 規模經濟特性，目前台電公司為我國唯一發電、輸電、配電垂直整合之綜合電業，亦為國營事業，其營業區域包括台、澎、金、馬地區。在發電業方面，1980 年代政府雖鼓勵產業設置自用發電設備，並於 1995 年開放民營發電業者 (IPP) 設置，但產業自用發電設備之總熱效率及有效熱能比若符合法規規定基準，則可申請登記為合格汽電共生系統，其產生電力除供應廠商自用外，餘裕電力需回售台電；而民營發電業者 (IPP) 形同台電公司的

衛星電廠，其產生電力全數躉售台電公司，統一由台電公司經由電網系統銷售給各類用電戶，亦即國內電力零售市場係由台電公司專營，其他發電業雖可經申請許可後設置，但無法自尋客戶進行電力銷售行為，故國內電力零售市場屬獨占市場型態。我國電力市場結構，見圖 2.2-14。

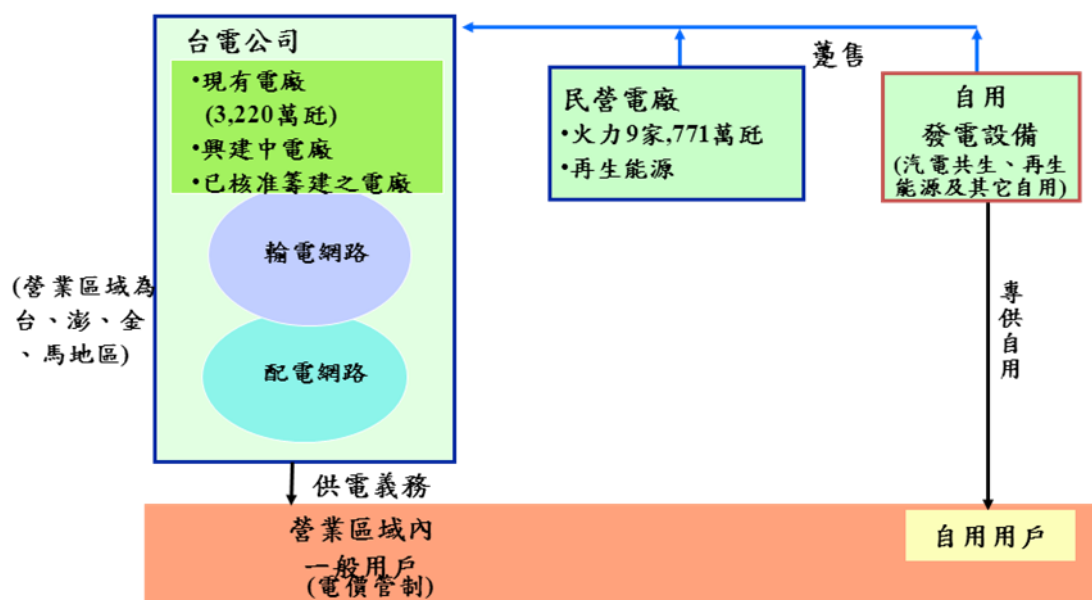


圖 2.2-14 我國現行電力市場架構

資料來源：經濟部能源局(2012)。

二、台灣電力成本結構

台電公司供電成本項目按「職能別」可分為發電成本、購電成本、輸電成本、配電成本、行銷、管理及其他，其中以發電及購電成本占比最大，2011 年合計約為 82%。另外，亦可按「用途別」區分為燃料費用、購電費用、維護費用、折舊、人事及其他成本，其中占比最大者為燃料及購電費用，2011 年占總成本比例為 70%，而細究該項成本內涵主要為燃煤、燃油、燃氣、鈾燃料等成本，我國為能源稟賦缺乏國家，仰賴進口的能源成本隨國際能源市場起伏，為電業無法掌握，屬影響價格之外在因素，且近年來國際能源價格隨著景氣循環、能源供需漲跌互見，大致上仍呈現向上攀升走勢，使得燃料及購電費用占比相對於其他變動較和緩之成本項目，出現逐年遞增現象。電力成本結構示意圖見圖 2.2-15。

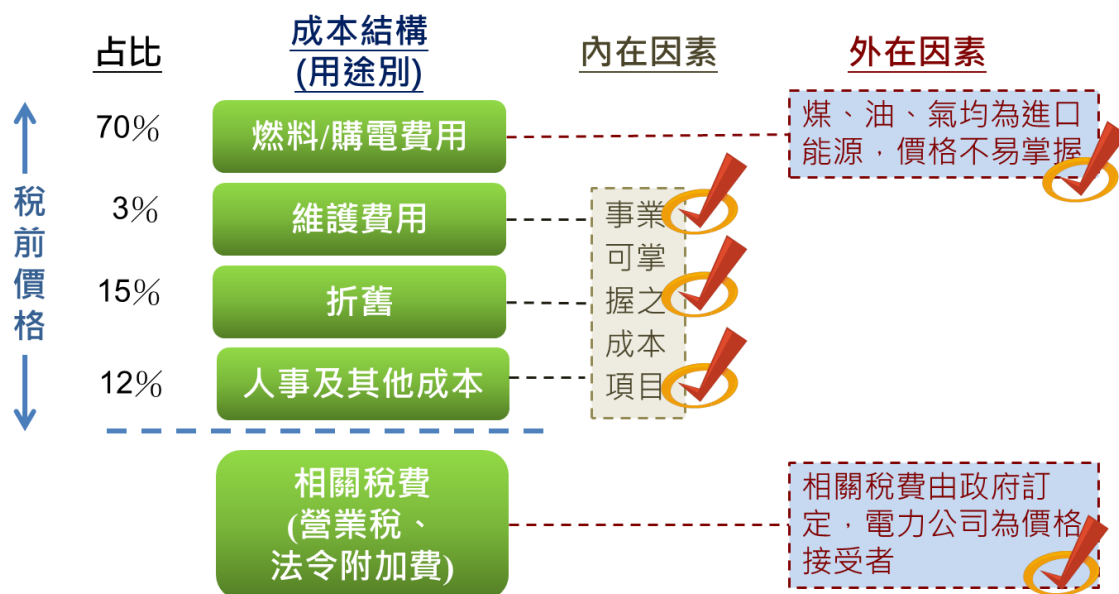


圖 2.2-15 電力成本結構示意圖

資料來源：成本占比為 2011 年資料(台電公司，2012)；能源經濟管理資源中心繪製。

三、台灣電價表

以目前技術而言，因電力無法大量儲存，需即發即用，而我國電力負載曲線並非全天候全年度持平變異小，而是呈現季節差異(夏天氣溫高，用電多)及一天 24 小時當中的尖峰時段(上班日的 7:30~22:30 用電多)與離峰時段用電差異大，使得單一電力產品需要不同負載特性之發電機組發電供應以適應負載起伏變動，維持電力供應穩定。

所以在電價表中除按電壓別區分用戶類別為包燈、表燈營業、表燈非營業(住宅用電)、低壓電力、低壓綜合營業、低壓綜合非營業、高壓電力、特高壓電力等 8 大類用戶，電價種類又分為累進計價與時間電價兩大類，相較單一費率的石油價格、及僅季節差異的天然氣價格而言，明顯複雜許多。以下以住宅用電及特高壓用戶說明電價表之內容。

(一) 住宅用電電價表

在台電公司電價表中，表燈非營業用戶即為家庭住宅用戶，其電價分為非時間電價及時間電價兩種，開放用戶自行選用契約形式。其中，非時間電價將電價區分為夏月及非夏月費率，夏月因全電力系統用電量較大，須啟動發電成本較高機組供應電力，故夏月費率較非夏月約高出 13%~25%(不種用電級距差異幅度不同)；此外，電價也隨用電量級距增加而遞增，

亦即用電量越多者，應負擔越高的電價，稱為累進計價，藉此一來達到用電高者負擔較高的邊際供電成本之公平，二來可鼓勵節能。以夏月為例，每個月用電量在 120 度以下者每度 2.10 元，第 121 到第 330 度者每度 3.02 元，第 331~第 500 度每度 4.39 元，第 501~第 700 度每度 4.97 元，第 701 度以上每度 5.63 元，同樣用 1 度電落在不同級距需支付不同價格，以 2012 年每月平均用電量 350 度的家庭，最後 1 度電每度 4.39 元，若每個月用電量 701 度以上之家庭，最後 1 度電每度 5.63 元，見表 2.2-3。

另外，住宅用戶中用電負載率較高者，且用電量可控制集中於離峰時段使用，則可透過台電公司協助評估是否適合選用住宅時間電價。該電價計費方式需收取基本電費及流動電費，流動電費按尖峰時段、半尖峰、離峰時段收取不同費率，促使用電移轉至離峰使用，以抑低尖峰用電。對用戶而言，於離峰用電可享較低之費率，節省電費支出；對電力公司而言，則可減緩電力公司增建發電機組之財務支出，堪稱雙贏設計。

惟多數住宅用戶因不知道可選用住宅時間電價、擔心選用後電費更高或產生超約罰款等因素，僅少數選用(截至 2011 年僅 2,100 戶選用，占 1,140 萬住宅用戶的 0.018%)，其餘用戶則選用住宅非時間電價，其中應不乏適用住宅時間電價者，此有待能源主管機關及台電公司按當下各時段電力供給配置情形，評估是否強力推廣住宅時間電價，並檢討擬定對電力公司有利、具民眾誘因之費率，以及相關配套措施，以達電力有效使用。

表 2.2-3 住宅用戶電價表

(一)非時間電價				
分 類			夏 月 (6 月 1 日至 9 月 30 日)	非夏月 (夏月以外時間)
非營業用	120 度以下部分	每 度	2.10 元	2.10 元
	121~330 度部分	每 度	3.02	2.68
	331~500 度部分	每 度	4.39	3.61
	501~700 度部分	每 度	4.97	4.01
	701 度以上部分	每 度	5.63	4.50
營 業 用	330 度以下部分	每 度	3.76	3.02
	331~700 度部分	每 度	4.62	3.68
	701~1500 度部分	每 度	5.48	4.31
	1501 度以上部分	每 度	5.92	4.64

(二)時間電價(二段式需量契約)					夏月 (6月1日至9月30日)	非夏月 (夏月以外時間)
分 類						
基本電費	按戶計收	單相	每戶每月	129.10元		
		三相	每戶每月	262.50		
	經常契約		每戶每月	236.20	173.20	
	非夏月契約		每戶每月	—	173.20	
	週六半尖峰契約		每戶每月	47.20	34.60	
離峰契約		每戶每月	47.20	34.60		
流動電費	週一至週五	尖峰時間 07:30~22:30	每度	3.62	3.53	
		離峰時間 00:00~07:30 22:30~24:00	每度	1.80	1.71	
	週六	半尖峰時間 07:30~22:30	每度	2.65	2.56	
		離峰時間 00:00~07:30 22:30~24:00	每度	1.80	1.71	
	週日及離峰日	離峰時間 全日	每度	1.80	1.71	

註：離峰日，如下表所列日期。

中華民國開國紀念日	1月 1日	勞 動 節	5月 1日
春 節	農曆 除夕~ 1月 5日	農 曆 節	5月 5日
和 平 紀 念 日	2月 28日	農 曆 節	8月 15日
兒 童 節	4月 4日	農 曆 節	10月 10日
民 族 掃 墓 節	4月 4日或4月 5日	中 國 慶 節	

資料來源：台電公司，2012.010 實施。

(二) 高壓/特高壓用戶電價表

電力用戶(產業)因用電量大，及用電量可按製程特性調整於特定時段使用，故全數選用時間電價，其時間電價除二段式時間電價，還有三段式時間電價，甚至因應用戶特定需求，提供尖峰時間可變動之契約條件，使電價工具與負載管理目標充分結合，有效運用。

從表 2.2-4 發現，特高壓用戶電價較高壓用戶便宜，是因特高壓用電量較大，享有電價優惠嗎？如此豈不違反前述用電量越大者應負擔較高電價之原則？當然，理由不是如此，其真實原因為，完整電力供應路徑為發電、輸電、配電至用戶端，供應特高壓(69kV 以上)用戶之電力送路徑為發電系統經輸電系統(由超高壓 345kV 變電降為一次輸電電壓 161kV、再降為二次輸電電壓 69kV)，直接到特高壓用戶，只需分攤發電及輸電系統成本；而供應高壓(11.4kV 以上)用戶之電力，除上述路徑外，尚需經過配電系統(由 69kV 再降壓為 22.8 kV /11.4 kV)才到高壓用戶，其分攤成本包括發電、輸電、及局部配電系統成本，所以不論在基本費率或流動費率，特高壓用戶均因電力供應路徑所涉成本項目較少，而理應適用較低費率。

四、台灣電價走勢

(一) 台灣電燈及電力價格走勢

近 10 年來，台電公司電價分別於 2006 年 6 月、2008 年 7 月及 10 月、2012 年 6 月調整，調幅均未全數反映應調金額；下一波電價調整預計於 2013 年 10 月實施，惟民眾對電價調漲作法及影響物價穩定之認知度仍有諸多疑慮，未來政府應加強政策宣導，以消彌一般民眾及企業之疑慮，見圖 2.2-16。

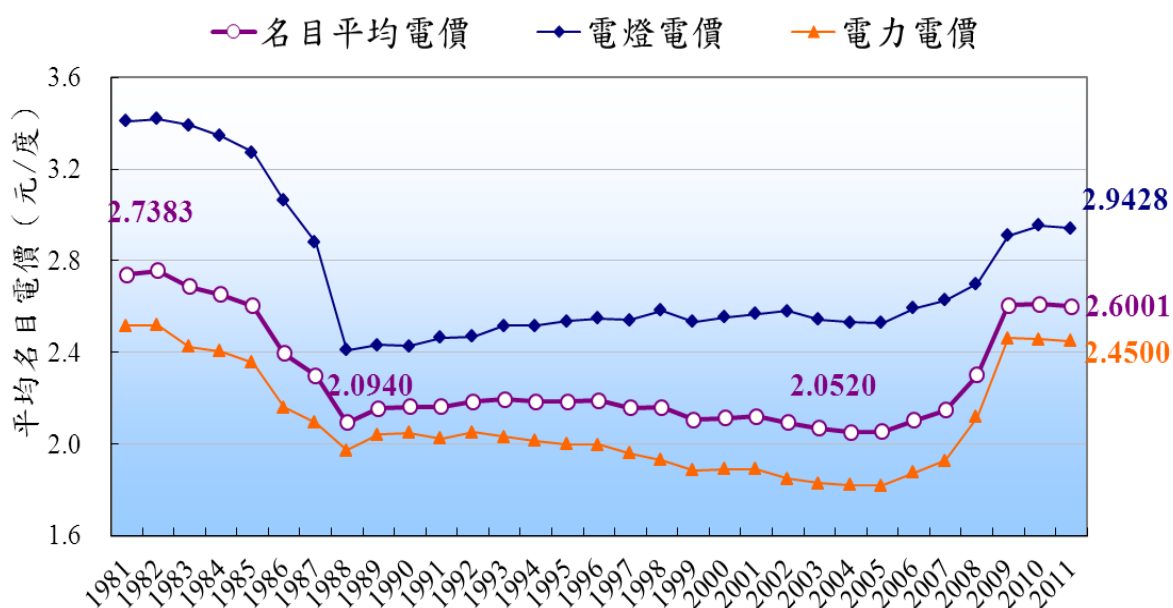


圖 2.2-16 1981-2011 電燈及電力價格

資料來源：台電公司，2011 年台電統計年報(2012)；能源經濟管理資源中心繪製。

(二) 國內外電價水準比一比

台灣電價到底貴不貴？以下按 2012 年 6 月 10 日調價前後費率進行比較，見表 2.2-5。

1. 調價前：依國際能源總署(IEA) 統計之 2010 年資料(臺灣與韓國為 2011 年資料)，與亞鄰國家比較，臺灣工業用電於該資料係排名第 1 低，住宅僅次於馬來西亞，排名第 2 低；與臺商在大陸重要聚落之上海、深圳地區比較亦低。
2. 調價後：本次電價調整後，假如其他國家及大陸上海、深圳地區均未調整電價，臺灣住宅電價排名第 2 低，工業電價排名均為第 3 低。

然而電價訂定以反映供電成本為原則，而供電成本又受到發電能源結構配比、燃料成本變動、配合政策法令等影響。各國電價水準雖受上述眾多因素影響而有不同，惟主要仍取決於各國是否自產能源、發電能源結構配比及政府是否管制之差異。一般而言，天然資源豐富、發電能源配比佳或電價受管制的國家，電價較低。經分析電價較我國為低之國家，其背景可分為以下三類：

1、天然資源豐富者

美國的礦產資源十分豐沛，挪威、紐西蘭則擁有豐富的水力資源，相較於99.4%的能源須仰賴進口的我國，供電成本自然較低。

2、低成本能源發電占比較高者

南韓天然資源雖並不充裕，惟其發電結構配比中，成本較低的核能發電占29%（我國僅19%），高成本油氣發電占24%（我國為32%），供電成本相對較低。

3、政府管制程度較高者

南韓近年電價雖有調漲，惟受該國通膨管制政策之影響，住宅及工業電價仍維持低水準。

表 2.2-5 我國與亞鄰各國及大陸上海、深圳地區電價比較

單位：新臺幣元/度

台電調價前電價排名				台電調價後電價排名			
住宅用電		工業用電		住宅用電		工業用電	
國別地區	平均單價	國別地區	平均單價	國別地區	平均單價	國別地區	平均單價
馬來西亞	2.5762	臺 灣	2.3536	馬來西亞	2.5762	南 韓	2.3701
臺 灣	2.7568	南 韓	2.3701	*臺 灣	2.8830	馬來西亞	2.6487
大陸上海	2.8837	馬來西亞	2.6487	大陸上海	2.8837	*臺 灣	2.6523
南 韓	2.8862	泰 國	2.8174	南 韓	2.8862	泰 國	2.8174
泰 國	3.1545	香 港	3.2023	泰 國	3.1545	香 港	3.2023
大陸深圳	3.1781	大陸深圳	3.7763	大陸深圳	3.1781	大陸深圳	3.7763
香 港	4.1421	大陸上海	3.8303	香 港	4.1421	大陸上海	3.8303
新加坡	5.2500	新加坡	3.8960	新加坡	5.2500	新加坡	3.8960
菲律賓	1095	菲律賓	4.3273	菲律賓	1095	菲律賓	4.3273
日 本	7.3409	日 本	4.8729	日 本	7.3409	日 本	4.8729

註：1.臺灣電價係按 2012 年 6 月 10 日調價後估算之 2012 年平均電價。

資料來源：台電公司。

我國除自產能源貧乏外，近年來受到國際燃料價格大漲及潔淨能源結構配比增加的影響，供電成本自然比天然資源豐沛的國家為高；惟受到政府照顧民生經濟政策的影響，電價未能合理反映供電成本，致平均電價反低於煤或天然氣資源豐富的德國、英國、荷蘭、波蘭，及核能發電占比高之法國等自產能源豐沛或發電結構較佳的國家。

而長期低廉電價，不僅造成政府推動節能減碳政策之誘因不足，亦難誘導用戶養成節約能源習慣及讓企業積極投資節能設備以改善能源使用效率，甚至導致我國人均排碳量高居亞洲第一。根據 2008 年台灣綜合研究院進行之「電價與所得對電力負載需求之影響分析」調查結果，若電

價調漲 10%，第 1 年用電量降低比率為 2.3%~3.7%。因此，合理電價調整將有利節約用電，對國家整體能源之規劃配置、能源效率之提昇、環境的保護，以及促進產業朝低耗能方向調整等有正面的效益。

五、台灣電價調整機制

2005 年起國際燃料價格屢屢上揚，為使電價可適度反映燃料成本，經濟部責成台電公司於 2008 年底提出「電價燃料條款機制」，逐季檢討事業體無法掌握之外在因素，化石燃料成本變動情形，相較於基準電價，若調幅達 1%以上，應予調價，惟逐季追蹤迄今，仍處持續觀察，未具體落實。

案例討論(能源成本結構知多少)

■ 電價常見疑義釐清

Q1.電價為何不能像油價以單一費率收費?

A：原則上，只要商品能大量儲存，生產設備即可單一化，生產成本均同，價格自然單一化，如同國內石油產品存量均在 90 天以上(液化石油氣為 25 天)，天然氣則因安全存量有限，在最大用戶發電用戶之費率按季節有所差異，但受限於目前電力儲能技術尚未成熟，電力無法大量儲存，需即發即用，為供應電力負載曲線之季節差異及一天 24 小時當中的尖峰與離峰時段用電差異，需有不同負載特性之發電機組發電供應以適應負載起伏變動，維持電力供應穩定。

Q2.夏月費率為何較非夏月費率為高?

A：台灣夏季氣溫偏高，冷凍空調等季節性用電大幅增加，台電公司為供應夏月氣溫升高而激增之用電，必須啟動較高成本的發電機組因應，導致此一期間供電成本上升，為公平合理反映夏季與非夏季供電成本的差異，並促使民眾節約用電，乃參酌美、法、日、韓等國電業作法採行季節電價制度。

台電公司自 78 年起實施季節電價，係在維持全年電費收入不變之基礎下訂定，除調升夏月 4 個月電價外，另同時調降非夏月 8 個月電價，故季節電價並非漲價，台電公司並不因實施季節電價而增加電費收入。

Q3.工業用電為何較民生用電便宜?

A：同前述，特高壓用戶費率低於高壓用戶之理由。供應民生用電(220V 或 110V)之電力，除經發電系統、輸電系統、尚需經過配電系統(由 69kV 再降壓為 22.8 kV /11.4 kV，再續降為民生適用之低壓 220V 或 110V)，才能供應民生使用，其分攤成本包括發電、輸電、及完整配電系統成本，故工業用電較民生用電便宜之理由為電力供應路徑所涉成本項目較少，而理應適用較低費率。

參照各國電價水準，一般工業電價均較民生電價為低，僅少數如大陸、墨西哥與馬來西亞等國，由於政府大量補貼住宅用電，致民生電價低於工業電價，惟這些補貼除造成能源使用效率降低之外，並耗用政府大量財政資源補貼電業之虧損，亦排擠了政府其他支出。詳見表 2-6。

延伸閱讀

1. 台灣綜合研究院，「電價政策及機制之研究」，2011～2013 年，經濟部能源局委辦計畫。
2. 台灣綜合研究院，「合理電力價格指標之研究」，2010 年，經濟部能源局委辦計畫。
3. 台灣綜合研究院，「燃料成本變動對台電公司之影響評估及因應對策研擬」，2010 年，台電公司委辦計畫。
4. 台灣綜合研究院，「電價與所得對電力負載需求之影響分析」，2007 年，台電公司委辦計畫。

參考文獻

1. Argus, Argus Coal Daily International. (付費刊物)
2. 經濟部能源局，能源統計月報，取自 http://web3.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/web_book/WebReports.aspx?book=M_CH&menu_id=142，2013.02。
3. 商品行情網，取自 <http://cip.chinatimes.com/>，2013.02。
4. 台灣綜合研究院，102 年度「國內外石油議題諮詢分析專案」，(2/3)，2013。
5. 日本海關資料，取自 http://www.customs.go.jp/toukei/shinbun/happyou_e.htm
6. 台灣中油公司網站，取自 <http://www.cpc.com.tw/big5/content/index.asp?pno=43>，2013.02。
7. 台電公司，2011 年台電統計年報，2012。
8. 台灣綜合研究院，2012 年「電價政策及機制之研究(2/3)」，2012 年。

第三章 能源價格變動對經濟社會之影響

能源為產業發展、經濟成長及人民生計之必需品，一旦能源價格上漲，將對產業、民生產生影響，但究竟影響層面為何？影響幅度為何？以下先從理論面說明能源價格變動對產業及民生之影響路徑，舉一簡例試算影響幅度，並從 2012 年電價上漲實例，以 CGE 模型估算電價變動對總體經濟指標之影響。

3.1 能源價格變動對產業及民生之影響

首先，說明能源價格變動對經濟社會之影響路徑，當能源價格上漲，對產業及民眾首當其衝即是能源成本上升的直接影響，增加經營成本，接著產業便視各商品是否因能源成本上升而調整產品價格，將成本反映給下游消費者；一旦物價上漲，商品需求量下降，將影響產業產值，進行影響經濟成長。而能源價格上漲，一般民眾直接感受是天然氣帳單、電費單金額增加了，間接感受則是日常所需，舉凡食、衣、住、行價格似乎都蠢蠢欲動，在固定所得收入前提，將使民眾儲蓄減少。在能源價格上漲後，不論是產業或民眾之能源需求將有不同程度之降幅，促使能源使用更具效率，減少浪費情勢，同時亦可減少 CO₂ 排放量，見圖 3.1-1。

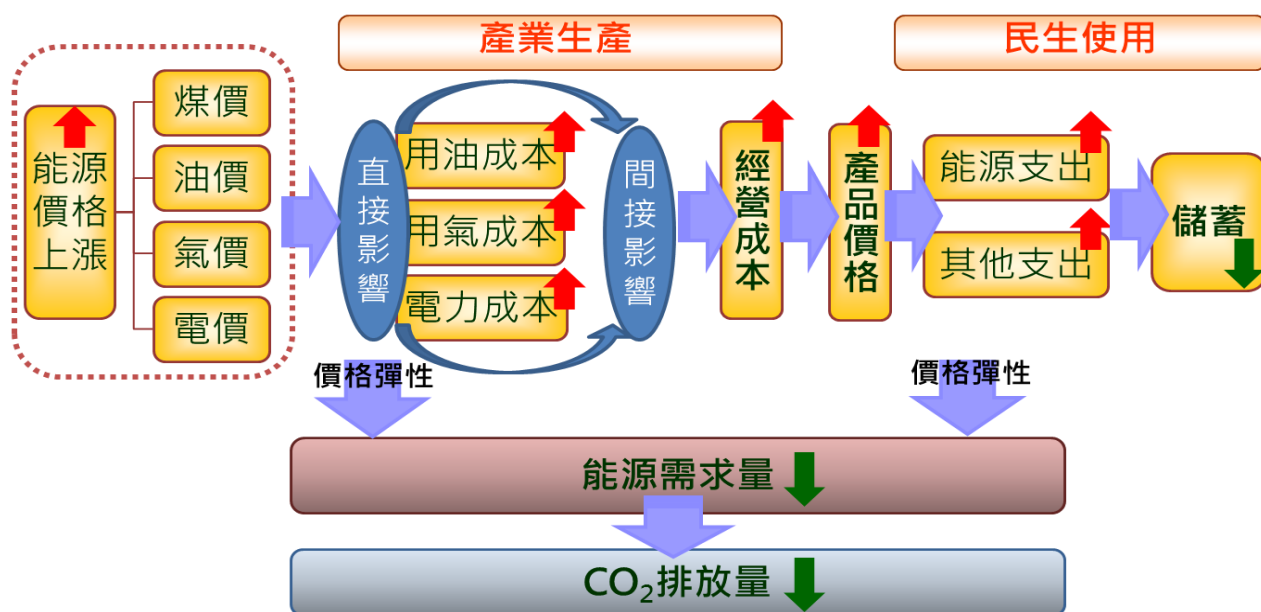


圖 3.1-1 能源價格變動對經濟社會影響路徑

資料來源：能源經濟管理資源中心。

3.1.1 能源價格變動對產業經營成本及物價之影響

一、能源價格變動對產業之影響路徑

能源為產業發展必需品，能源價格上漲後，各產業將同時面臨能源成本(燃煤、石油、天然氣及電力成本)增加的直接影響，接著反映至各商品價格，透過產業供應鏈連帶使得其他產業經營成本增加。產業經營成本增加後，將視能源產品特性(如價格彈性、產品被替代性)、利潤及其他經營考量，決定成本反映於售價之幅度，此即經由各項中間物料投入成本上升對產業之間接影響，物價隨而變動。

惟廠商調整產品價格時往往與多項因素同時反映，不易析離單純因能源價格變動之影響效果；實務上物價調幅多大於理論分析結果。

二、簡易計算

(一)假設前提

1. 假設 A~D 業能源成本占比為 5%，能源價格平均調幅 10%
2. D 業的投入係數為 A 業 0.2、B 業 0.2、C 業 0.3、能源投入 0.05、原始投入 0.25(稅費、薪資、利潤...不受能源價格影響)，合計為 1。

(二)計算結果

1. 能源價格平均調幅 10%(A、B、C 業僅估直接影響)，D 業之直接影響為能源成本增加 0.5%，間接影響為中間投入成本增加 0.35%，合計 D 業之直、間接影響為 0.85%，見圖 3.1-2。
2. 能源價格平均調幅 10%(A、B、C 估算直接+間接影響)，D 業之直接影響為能源成本增加 0.5%，間接影響為中間投入成本增加 0.60%，合計 D 業之直、間接影響為 1.10%。
3. 若成本增額全反映於售價，成本 1,000 元的產品售價將增加 11 元，見圖 3-2。

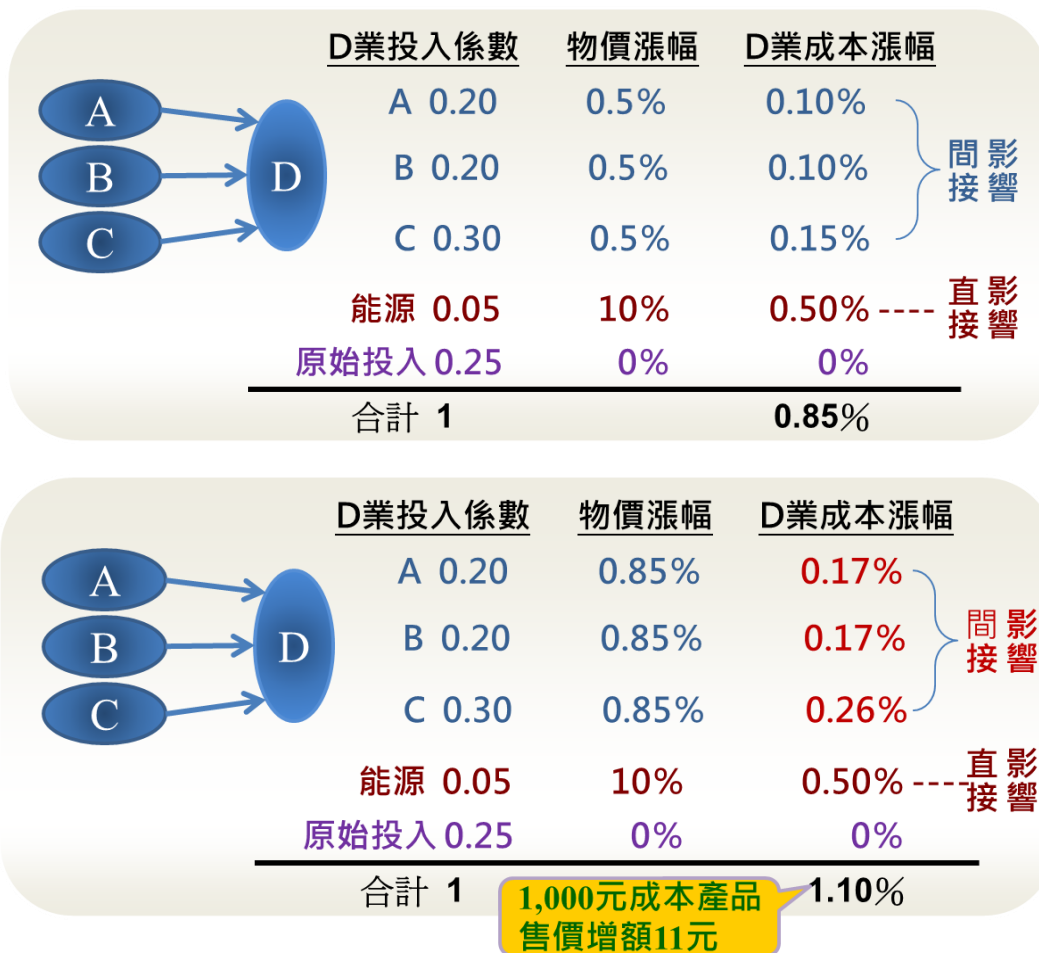


圖 3.1-2 能源價格變動對產業影響概算

資料來源：能源經濟管理資源中心。

3.1.2 能源價格變動對民生之影響

一、 能源價格變動對民生之影響路徑

能源價格變動影響產業經營成本及物價後，接續受影響的即為一般民生消費者。假設薪資水準不變，家戶所得維持原狀，但生活所需的食、衣、住、行、育、樂(內含能源支出)價格均跟漲，增加民生支出，儲蓄額度下降。

二、簡易計算：

承上計算結果，月支出 4 萬元的家戶，因能源價格上漲 10%，各項民生支出漲幅均為 1.1%，每月將增加 440 元支出。

3.1.3 能源價格變動對能源需求及排碳量之影響

一、能源價格變動與能源需求關係

分析產品的價格與需求關係，就得提到需求價格彈性，能源需求價格彈性(Price Elasticity)之定義為能源價格變動 1%，能源需求量之變動幅度，兩者呈反向關係。而影響能源需求價格彈性之因素包括節能潛力、能源可替代程度、調適期等。

1. 節能潛力越大者，當價格上升，需求量較有下降空間，價格彈性較大。
2. 能源可替代程度大者，當該能源價格上升，可轉用其他能源選項多，該能源需求量較具下降空間，價格彈性較大。以民生用電為例，電力替代品極少，價格彈性通常較小；亦即電價上漲，用電需求降幅有限。以汽油為例，民眾行為替代包括改搭大眾運輸，價格彈性可大可小，但通常較民生用電為大。
3. 能源需求價格彈性隨時間長短而差異，理論上，長期價格彈性高於短期彈性。短期主要以行為改變來降低能源需求，長期則可額外透過設備汰換或技術進步降低能源需求。

二、對產業能源需求及排碳量影響

理論上，當能源價格上漲，視能源產品別之替代品多寡、替代性強弱、能源支出占生產成本比例等特性，決定產業之能源需求價格彈性。能源需求價格彈性較大之產業，將抑制能源需求；排碳量隨之下降。但也可能存在能源需求下降，但排碳量上升之情形，亦即「節能不減碳」，當低碳能源天然氣價格上升，具備天然氣與煤炭之選用空間的產業轉而多用煤炭，雖有機會降低能源需求量並降低能源成本，但捨除低碳能源轉用高碳能源，無疑將增加排碳量，對環境是好是壞尚難判定。為避免該類情勢發生，政府可依其政策目的，導入碳稅等反映高碳能源外部成本之價格工具，制衡高碳能源之使用。

三、對民生能源需求及排碳量影響

當能源價格上漲使家戶能源成本增加，視能源產品別之替代品多寡、替代性強弱、能源支出占所得比例等特性，決定家戶之能源需求價格彈性。家庭用電受限於家電設備功能之替代能源較少，即便電價上漲，電力需求降幅有限；當能源支出占所得比例較大之家戶，較具抑低能源需求之空間(在基礎能源需求量以上之用量方有下調空間)。家戶抑低能源需求的同時，排碳量隨之下降。

3.2 電價變動對台灣經濟社會影響

經由上述能源價格上漲對產業、民生之影響路徑及簡單試算對產業經營成本之影響，在此就 2012 年「經濟部電價合理化方案」，以 TAIGEM-III 模型評估第一階段(2012 年 6 月 10 日)調價對台灣經濟社會影響。

一、經濟部電價合理化方案

(一)調價原則：依合理價格、節能減碳及照顧民生三項原則採取緩和漸進方式分三階段調整。

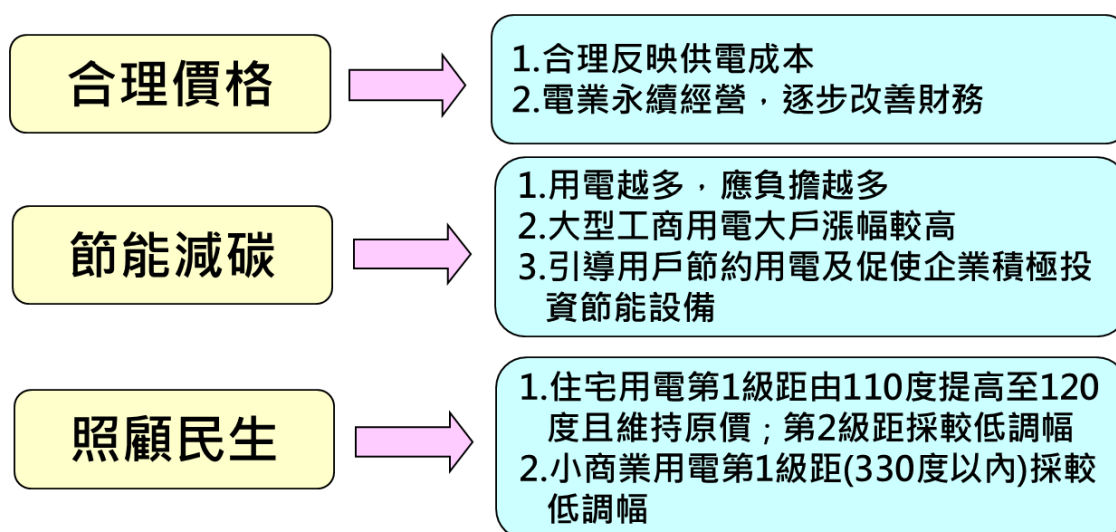


圖 3.2-1 2012 年電價合理化方案調整原則

資料來源：經濟部，「電價合理化方案」，2012.05.09；能源經濟管理資源中心整理。

(二)各部門電價調幅

- 1.電價表類別反映幅度：表燈非營業 < 表燈營業 < 低壓電力、包燈 < 高壓電力 < 特高壓電力
- 2.用電類別反映幅度：住宅 < 商業 < 工業

表 3.2-1 2012 年第一階段平均電價調幅

部門別	售電量 占比	平均單價(元/度)			調幅
		調整前	調整後	增減	
住宅	20.9%	2.7664	2.8830	0.1166	4.2%
商業	10%	3.2809	3.6452	0.3643	11.1%
工業	54.5%	2.3505	2.6523	0.3018	12.8%
其他	8.6%	2.6225	2.9074	0.2849	10.9%
合計	100%	2.6097	2.8815	0.2717	10.4%

資料來源：台電公司，2012.05。

3.2.1 對經濟社會之影響

- 評估工具：TAIGEM-III 模型
- 評估條件：2012 年 6 月 10 日第一階段電價調整，平均調幅 10.4%。
- 評估結果：電價調漲將導致實質國內生產毛額(GDP)下降 0.074%、實質工資下降 0.39 %，以及就業機會減少 0.114%，導致物價增加 0.173%，見表 3.2-2。

表 3.2-2 電價變動對經濟社會之影響

影響項目		電價調整幅度	第一階段平均電價調漲 10.4%
經濟面	實質 GDP		-0.074 %
	GDP 平減指數		0.131 %
民生面	物價		0.173 %
	實質工資		-0.390 %
社會面	就業機會		-0.114 %

資料來源：台灣綜合研究院，TAIGEM-III 模型模擬結果，2012.05。

3.2.2 對民生之影響

一、住宅用電電費負擔影響（直接影響）

(一)2011 年全國住宅月均用電量：夏月 427 度；非夏月 310 度；全年月均量 350 度。

(二)住宅用電計價方式：分級距累進計價，電量級距越大者，電價越高。

(三)住宅用電電價調整方向：考量國民生活水準提升及用電習慣改變，將第一組電量級距由 110 度提高至 120 度；330 度以下不調電價，331 度以上隨級距增調價格幅度。

(四)電費負擔影響：

1.住宅用電電價 330 度以下不調電價，2/3 以上住宅用戶電價不受影響。

2.以住宅月均用電量 350 度計算，夏月每月電費不增反減少 2 元，該類用戶共計 787 萬戶（占全體用戶 69.51%）；月均用電量 700 度者，夏月每月電費則增加 141 元（增幅 5.67%），符合用電量大者，負擔較多電費之原則，見表 3.2-3。

表 3.2-3 住宅用電各用電量級距之電費負擔比較

單位：元

項目 度數	電價調整前		2012.10 第一階段調整後			
	2012.5.31 前 (非夏月) A	2012.1 起 (夏月) B	2012.10 起 (夏月) C	電費增減 C-B	2012.10.1 起 (非夏月) D	電費增減 D-A
120	258	261	252	-9	252	-6
310	767	835	826	-9	761	-6
330	821	895	886	-9	815	-6
350	886	976	974	-2	887	1
427	1,138	1,288	1,312	24	1,165	27
500	1,377	1,584	1,633	49	1,429	52
700	2,087	2,486	2,627	141	2,231	144

資料來源：台電公司，2012.05。

二、 小商家用電電費負擔影響（直接影響）

(一)2011 年全國小商家月均用電量：夏月：1,754 度；非夏月：1,350 度；全年月均 1,485 度。

(二)小商家用電計價方式：分級距累進計價，電量級距越高者，電價越高。

(三)小商家用電電價調整方向：用電量級距越高，電價調幅越大。

(四)電費負擔影響

1.表燈營業電價 330 度以下不調電價，1/3 以上小商家用戶電價不受影響。

2.以小商家月均用電量 1,485 度計算，夏月每月電費增加 417 元（增幅 10%），見表 3.2-4。

表 3.2-4 小商家用電各用電量級距之電費負擔比較

單位：元

項目 度數	電價調整前		2012.10 第一階段調整後			
	2012.5.31 前 (非夏月) A	2012.1 起 (夏月) B	2012.10 起 (夏月) C	電費增減 C-B	2012.10.1 起 (非夏月) D	電費增減 D-A
330	997	1,241	1,241	0	997	0
700	2,263	2,831	2,950	119	2,358	95
1,350	4,843	6,146	6,512	366	5,160	317
1,485	5,379	6,835	7,252	417	5,742	363
1,500	5,439	6,911	7,334	423	5,806	367
1,754	6,447	8,207	8,838	631	6,985	538

資料來源：台電公司，2012.05。

3.2.3 對節能減碳之影響

以 2013 年全國需電量預測值（2,119 億度）為計算基準，根據 2012 年台灣綜合研究院進行之電價彈性問卷調查結果，估算第一階段電價調整（平均調漲 10.4%）之節能減碳效果，見表 3.2-5：

- 節電效益：相當於 2013 年全國需電量減少 462 億度。

- 減碳效益：CO₂ 排放變化量減少 2.50 百萬公噸，相當於 6,757 座大安森林公園 1 年 CO₂ 之吸收量。

表 3.2-5 電價調整之節電減碳效益*⁴

反映幅度 (%)	電價彈性	需電量變動率 (%)	減少需電量 (億度)	CO ₂ 排放變化量 (百萬公噸)	CO ₂ 排放變化量 (座大安森林吸量)
A	B	C=A*B	D=2,119*C	E=D*0.536/10	F=E*10 ⁶ /370
10%	-0.22	-2.20%	-462	-2.50	6,757
15%	-0.26	-3.90%	-82.64	-4.43	11,973
20%	-0.31	-20%	-131.38	-7.04	19,027
25%	-0.33	-8.25%	-174.82	-9.37	25,324

資料來源：1.台電公司，2011 年「未來電力供需分析與規劃研究(2/3)」。

3.3 油電價變動對台灣經濟社會影響

一、評估工具：TAIGEM-III 模型

二、評估條件：考慮國內油電價同時上漲情形，分別為油價上漲 11.57%，電價各上漲 25%、30%。

三、情境設計：使用比較靜態模型，配合長、短期情境假設，完成 4 組模擬結果，見表 3.3-1。

表 3.3-1 模擬情境設計

情境 油、電價格漲幅(%)	短期	長期
油 11.57%，電 25.00%	模擬 1	模擬 2
油 11.57%，電 30.00%	模擬 3	模擬 4

資料來源：台灣綜合研究院，TAIGEM-III 模型模擬結果，2012.04。

⁴註：1 座大安森林公園 1 年 CO₂ 吸收量為 370 公噸。

2.台灣綜合研究院，2012 年「電價政策及機制之研究(2/3)」，2012 年。

3.本研究將電力係數更新為 2012 年 0.536kgCO₂/度估算 CO₂ 排放變化量。

四、評估結果

(一) 總體經濟衝擊

以短期分析(模擬 1、模擬 3)為例，油電價格調漲，導致國內物價上揚，消費者物價指數分別上升 1.07%、1.20%，見表 3.3-2。

- 價格上漲，產品競爭力下降，出口大幅萎縮，分別下降 3.45%、3.63%。
- 實質 GDP 則減少 0.84%、0.91%。

表 3.3-2 油電價格變動對總體經濟之影響*⁵

類別	模擬 1	模擬 2	模擬 3	模擬 4
	油價上漲 11.57%，電價上漲 25.00%		油價上漲 11.57%，電價上漲 30.00%	
	短期	長期	短期	長期
實質 GDP	-0.835	-3.188	-0.905	-3.528
總消費	0.000	-2.716	0.000	-3.037
總投資	0.000	-3.404	0.000	-3.796
總出口	-3.448	-5.823	-3.631	-262
總進口	-2.264	-4.801	-2.342	-5.161
消費者物價指數	1.071	0.821	1.197	0.911

資料來源：台灣綜合研究院，TAIGEM-III 模型模擬結果，2012.04。

(二) 勞動就業影響

- 以短期分析(模擬 1、模擬 3)為例，產出下降會造成產業勞動需求減少(需求線左移)，導致勞動就業減少 1.06%、1.18%。
- 實質工資則下降 0.80%、0.88%。

⁵註：1.情境模擬中，除消費者物價指數外，長期衰退的情況皆比短期的效果大。主因為情境假設中短期資本存量固定且民眾無法預期油電價格調漲，使得長期衝擊大於短期情境。

2. 台灣為貿易導向經濟體，在價格沒有利基的情況下，出口明顯衰退。

表 3.3-3 油電價格變動對勞動就業之影響*⁶

類別	模擬 1	模擬 2	模擬 3	模擬 4
	油價上漲 11.57%，電價上漲 25.00%		油價上漲 11.57%，電價上漲 30.00%	
	短期	長期	短期	長期
總勞動	-1.060	-2.536	-1.179	-2.827
實質工資	-0.795	-1.902	-0.884	-2.120

資料來源：台灣綜合研究院，TAIGEM-III 模型模擬結果，2012.04。

案例討論(看懂電費單)

- 契約類別
- Q2、住宅用戶電費單之計費週期?
- Q3、當期用電量?
- Q4、電費如何計算?何謂累進費率?
- Q5、當期用電量較去年同期下降，是否應有電費優惠?
- Q6、當期用電量之 CO₂ 排放量為何?
- Q7、非夏月與夏月電價一樣嗎?
- Q8、如何節省用電?

⁶註：1.基本民生物資價格調升，使得廠商所生產的產品價格必須隨之調漲，面臨與國外商品的競爭力下降，使得總勞動就業減少。

2.產出下降導致勞動需求減少，進而造成侵蝕民眾實質工資，民眾日常生活支出負擔增加。

- Q1、契約類別：表燈非營業
- Q2、計費週期：101.05.11-07.11
- Q3、當期用電量：自家用電655度(2個月)
- Q4、電費：240度*2.1元/度+415度*(2.68元/度*21/61+ 3.02元/度*40/61)=1,708元
- Q5、日均用電量較去年同期下降享優惠：省電比例為27.9%·享電費折扣20%(相當於343元)
- Q6、當期用電量之CO₂排放量：655度*0.612公斤/度=401公斤



101年07月金融機構代繳用戶電費明細通知
電子帳單

宜蘭縣宜蘭市
楊

三段 巷 弄 號 樓

Q6 貴用戶本期用電排放CO₂約 401 公斤
敬請節約用電·以減少CO₂排放·降低地球暖化衝擊

先生/女士/寶號

本單僅做通知用，其他事項請參閱電子郵件說明。

電號 03-11- - 9-6

Q2 用電計費期間101年05月11日至101年07月11日

代繳帳號 099016221*****

本次電費扣繳日 101年07月17日

下次電費扣繳日 101年09月18日

下次抄表日 101年09月11日

Q1 用電種類：表燈 非營業用

輪流停電組別：B

饋線代號：DL12

計費內容：

底度 40
公共分攤戶數 84
Q3 經常用電度數 655
本期用電日數 61
去年同期用電度數 909
去年同期用電日數 61
Q5 省電比例(%) 27.9
較去年同期(度) -254

Q4 流動電費 1715.3元
分攤公共電費 293.3元
Q5 基本折扣 -343.0元
免印寄單據減收 -5.0元
應繳總金額 1661元
去年下期用電度數 1273
去年下期用電日數 59

參考文獻

1. Argus, Argus Coal Daily International. (付費刊物)
2. 經濟部能源局，能源統計月報，取自
http://web3.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/web_book/WebReports.aspx?book=M_CH&menu_id=142，2013.02。
3. 商品行情網，取自 <http://cip.chinatimes.com/>，2013.02。
4. 台灣綜合研究院，102 年度「國內外石油議題諮詢分析專案」，(2/3)，2013。
5. 日本海關資料，取自 http://www.customs.go.jp/toukei/shinbun/happyou_e.htm
6. 台灣中油公司網站，取自 <http://www.cpc.com.tw/big5/content/index.asp?pno=43>，2013.02。
7. 台電公司，2011 年台電統計年報，2012。
8. 經濟部，「電價合理化方案」，2012.05.09。
9. 台灣綜合研究院，2012 年「電價政策及機制之研究(2/3)」，2012 年。

第四章 再生能源的經濟與環境思考

自工業革命以來，化石能源（Fossil Energy）長期開發使用，不斷持續損壞天然環境及人類的健康與生活品質，1960 年代以前英國倫敦煙塵害造成多人因呼吸道疾病及併發症死亡，核幅射外洩造成的恐慌與環境永久的傷害。1960 年代以後科學家發現溫室氣體（Greenhouse Gas）排放所導致全球暖化（Global Warming），將帶來難以彌補的浩劫。

發展再生能源於永續發展世界高峰會議（World Summit on Sustainable Development, WSSD）達成共識，係未來全球追求永續發展的重要策略之一，主要好處包括：（1）強化能源安全：豐富及分散能源、增加能源的原生能力（降低能源進口依賴度）以及不具耗竭性；（2）降低全球及區域污染與溫室氣體排放；（3）提高特定能源需求（如基礎建設）的滿足度；（4）增加地方與區域的就業機會。歸納前述再生能源具備之功能特性，涵蓋能源安全、競爭力及社會發展等層面，可知發展再生能源是最符合永續發展特質的策略之一。

再生能源（renewable energy）顧名思義係指循環再生可永續利用之初級能源（primary energy），其種類繁多，普遍分成太陽能（solar energy）、風力（wind power）、生質能（biomass）、水力（hydropower）、地熱能（geothermal energy）與海洋能（marine energy）等六大類。傳統再生能源以水力與生質能應用較早，太陽能、風力等應用技術雖亦已問世，但直到 1970 年代以後在能源與環境議題發酵之下，各國積極尋求替代能源、研發新能源技術順勢興起。

本節內容主要探討再生能源發展的兩項核心課題：「經濟與環境」，透過掌握再生能源發展之經濟與環境課題，可以深化再生能源的認知。

4.1 再生能源經濟課題

4.1.1 全球再生能源發展現況

依據 REN21 報告指出，全球再生能源供給占總能源消費比例 17% ，其中新興再生能源占比為 8.2%，傳統生質能源占比為 8.5%，其中新興再生能源又以水力能與太陽熱能/生質熱能與地熱熱能應用占比最多，詳見圖 4.1-1 所示。

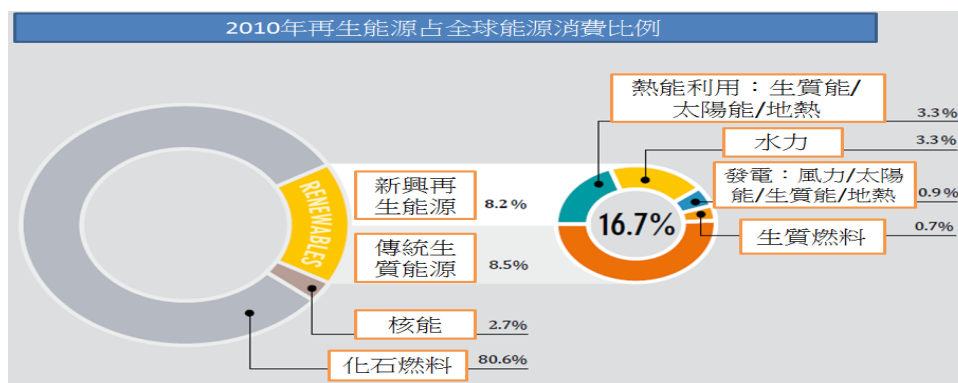


圖 4.1-1 2010 年再生能源占全球能源消費比例

資料來源：REN21(2012), “renewables 2012 global report.”

倘若以每年裝置容量的成長率比較，以太陽光電(PV)的成長率最高，以 2011 年為例，達到 74%，若就過去五年(2006-2011)的平均成長率計算，也高達 58%，詳見圖 4.1-2。其次是集中式太陽熱能發電(CSP)之 2011 成長率為 35%，若就過去五年的平均成長率計算，達到 37%。第三名為太陽熱水，2011 成長率為 27%，若就過去五年的平均成長率計算，也高達 17%。至於水力，則無論是 2011 年，抑或是過去五年的平均成長率，均為 3%。地熱仍未成熟，成長率僅為 1-2%。

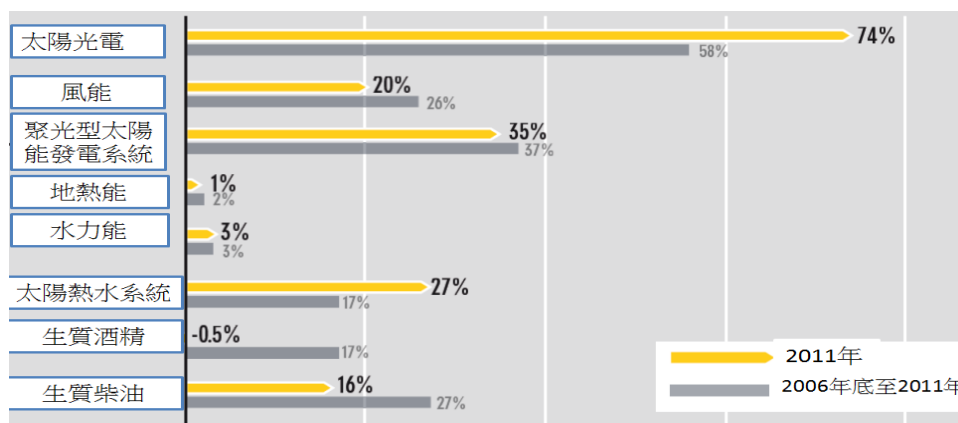


圖 4.1-2 全球(2006-2011)再生能源裝置容量成長率

資料來源：REN21 (2012), Renewables 2012 Global Status Report.

若以國家發展現況來看，2011年新設置數量第一名為中國、其次為美國、德國、義大利與印度。各類再生能源設置量來看，太陽能熱水器、水力發電與風力發電第一名均為中國，生質燃料發展最好則是美國，太陽光電第一名則為義大利，詳如下表 4.1-1 所示。

表 4.1-1 全球五大再生能源發展國家

排名	新設置容量	水力	太陽光電	風力	太陽熱能	生質柴油	生質酒精
1	中國	中國	義大利	中國	中國	美國	美國
2	美國	越南	德國	美國	土耳其	德國	巴西
3	德國	巴西	中國	印度	德國	阿根廷	中國
4	義大利	印度	美國	德國	印度	巴西	加拿大
5	印度	加拿大	法國	英國/加拿大	義大利	法國	法國

資料來源:REN21(2012), “renewables 2012 global report.”

4.1.2 再生能源科技發展階段

在再生能源科技發展項目中，以水力與生質能源最成熟，大部分已進入商業化發展階段，風力、太陽能及地熱也達到技術擴散階段，惟海洋能尚在示範階段，各類再生能源的技術發展進程詳如下表 4.1-2 所示。

表 4.1-2 再生能源科技發展階段

項目/階段	研發	示範	推廣	商業化
水力能		流體動力渦輪機		河流電站 水庫型電站 抽水式蓄能電站
生質燃料	水生植物衍生燃料	裂解生物燃料 纖維素糖機生物燃料	氧化基生物燃料 纖維素合成氧基生物燃料	鍋爐 家用熱能 厭氧消化 汽電共生 複循環發電系統
風能	高海拔風機	繩柱風車發電系統	海上大型風機	陸域大型風機 分散型小型風機 水和發電用風力機

太陽能	太陽能燃料電池	太陽能冷卻系統	聚熱型太陽能 聚光型太陽光電 集中式太陽熱能系統	太陽光電系統 低溫熱能系統 被動式太陽能建築
地熱能	海底地熱能	增強型地熱系統		地源熱泵 雙迴圈水循環系統
海洋能	海洋洋流	波浪 潮流 鹽分梯度 海洋熱能轉換		潮差

資料來源：UNEP(2011), Toward a Green Economy.

4.1.3 全球再生能源投資與就業創造

2011 年全球再生能源投資額為 2,570 億元，較 2010 年成長 17%，相較於 2004 年成長將近 6 倍總投資額 2,570 億元尚未包括 100 億元的太陽熱水系統與 250 億元的大型水力發電 (>50MW)的投資，詳如下圖 4.1-3 所示。

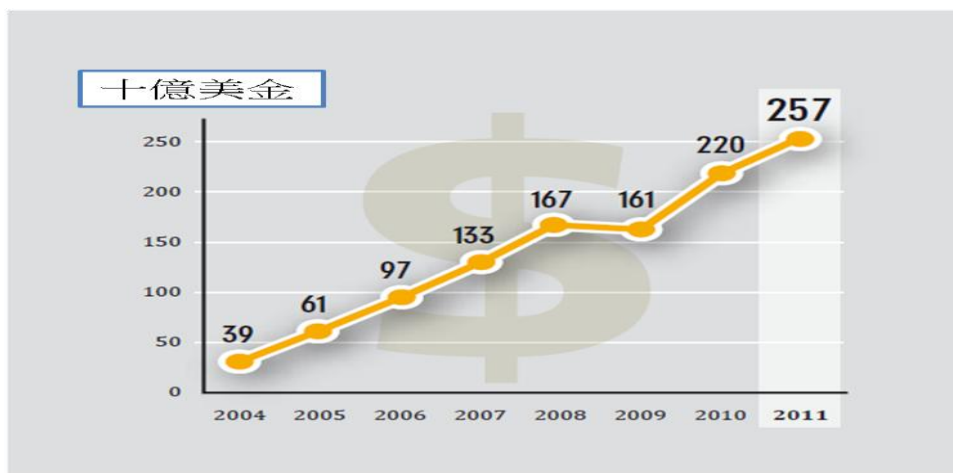


圖 4.1-3 再生能源投資趨勢

資料來源：REN21(2012), “renewables 2012 global report.”

再生能源市場同時也創造龐大的就業機會，以下區分技術別與國家別分析之(詳圖 4.1-4 所示)：

(一)技術別：至 2011 年止，全球再生能源市場約創造 500 萬就業機會，其中，生質燃料

市場創造就業量最大，約為 150 萬就業機會，其次是太陽熱能與太陽光電，分別創造 90 萬及 82 萬就業機會。然而，至於小型水力及 CSP 的就業創造量最小，分別僅為 4 萬人。由此可知，不同再生能源技術，其對就業市場的創造效果差異性相當高。

(二)國家別：歐盟創造就業量最多，約為 1.117 百萬人，其次是中國的 1.606 百萬人，巴西透過生質能源(生質酒精)創造約 88.9 萬就業量，排名第三。

科技	全球	中國	印度	巴西	美國	歐盟	德國	西班牙	其他
	工作機會(千個)								
生物質能	750	266	58		152	273	51	14	2 ⁸
生質燃料	1,500			889 ⁹	47-160	151	23	2	194 ⁹
沼氣	230	90	85			53	51	1.4	
地熱能	90				10	53	14	0.6	
小型水力	40		12		8	16	7	1.6	1 ⁸
太陽光電	820 ⁸	300 ⁸	112		82	268	111	28	60 ¹⁰
聚光型太陽熱能發電	40				9		2	24	
太陽熱能利用與製冷	900	800	41		9	50	12	10	1 ⁸
風能	670 ⁸	150	42	14	75	253	101	55	33 ¹¹
總計	5,000	1,606	350	889	392-505	1,117	372	137	291

圖 4.1-4 不同再生能技術型態之創造就業機會比較

資料來源：REN21(2012), “renewables 2012 global report.”

4.1.3 全球再生能源發電成本

下表 4-3 為不同再生能源技術型態之發電成本比較，由表 4.1-3 可以看出，太陽光電的每度發電成本最高，約 22-44 美分/度(相當於 6-13.2 元新台幣/度)(屋頂)及 20-37 美分/度(相當於 0-11.1 元新台幣/度)(地面)。其次是海洋潮汐發電及 CSP 的發電成本，分別為 21-28 美分/度(相當於 3-8.4 元新台幣/度)及 18.8-29 美分/度(相當於 5.6-8.7 元新台幣/度)。陸上風力、地熱及水力發電成本相對較便宜，最低可以達到 5 美分/度(相當於 0-11.1 元新台幣/度)。

表 4.1-3 再生能源發電成本

再生能源類別	細目內容	期初投資成本 (美金/kW)	均化發電成本 (美分/度電)
生質能發電 拋煤機鍋爐/蒸氣渦輪機/循環式流體化床發電鍋爐	設置容量：25~100MW 轉換效率：27% 容量因素：70%~80%	3,030~4,660	7.9~17.6
地熱發電	設置容量：1~100MW	Condensing flash	Condensing

	型態：複循環/自然蒸氣/ 容量因素：60%~90%	2,100~4,200 複循環 2,470~6,100	flash 5.7~8.4 複循環 2~10.7
水力發電(併網型)	設置容量：1MW~18,000+MW 型態：水庫型、河川 容量因素：60%~90%	規模>300MW <2000 規模<300MW 2,000~4,000	5~10
水力發電(離網型/ 農業)	設置容量：0.1kW~1,000kW 型態：河流、hydrokinetic、 diurnal storage	1,175~3,500	5~40
海洋能(潮差)	裝置容量： <1 to >250MW 容量因素：23%~29%	5,290~5,870	21~28
太陽光電(屋頂型)	3~5kW(住宅型) 100kW(商業屋頂) 500kW(工業廠房) 轉換效率:12%~20%	2,480~3,270	22~44(歐洲地 區)
太陽光電(地面型)	2.5~100MW 轉換效率：15%~27%	1,830~2,350	20~37(歐洲地 區)
聚光型太陽熱能發 電	型態： 太陽能盤/管/塔 容量： 50~500MW(太陽能管) 50~300MW(太陽能塔) 容量因素： 20%~25%(太陽能管) 40%~50%(太陽能管-六小時 儲存) 40%~80%(太陽能管 6~15 小 時儲存)	太陽能管(無儲存)： 4,500 太陽能管(六小時儲 存)：7,100~ 9000 太陽能管(六小時儲 存)：6,300~10,500	18.8~29
陸域風力發電	容量：1.5~3.5MW 風輪直徑：60~110+米 容量因素：20%~40%	1,410~2,475	5.2~15
離岸風力發電	容量：1.5~7.5MW 風輪直徑：70~125+米 容量因素：35%~45%	3,760~5,870	11.4~12.4
小型風力發電	<100kW	3,000~6,000(美國) 1,580(中國)	15~20(美國)

資料來源：REN21(2012), Renewables 2012 Global Status Report.

4.1.4 全球再生能源產業發展

(一)生質燃料

近 12 年(2000-2011)來，生質酒精(ethanol)的發展非常快速，生產量由 2000 年的 170 億公升，快速增長至 2011 年的 861 億公升，約成長 4 倍，成長相當驚人，詳見圖 4.1-5。至於生質柴油(biodiesel)的發展，則由 2000 年的 8 億公升，快速增長至 2011 年的 214 億公升，約成長 26 倍，成長率更可觀。兩者合計大約占現代再生能源消費量的 35%，凸顯生質能源產業發展對經濟活動的貢獻與價值。

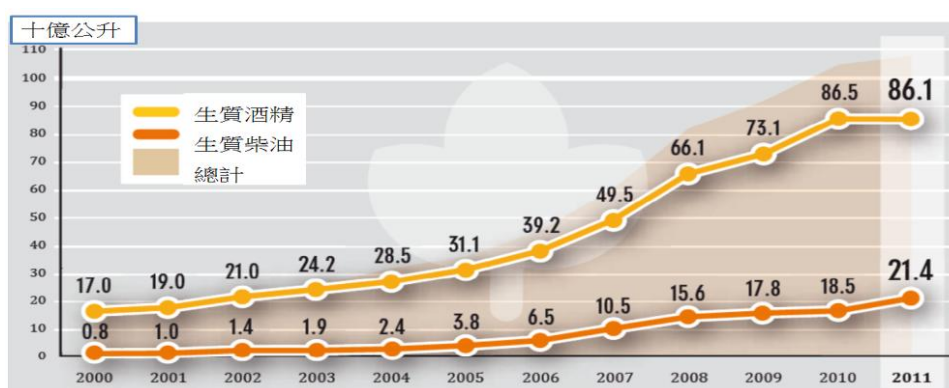


圖 4.1-5 不同再生能技術型態之創造就業機會比較

資料來源：REN21(2012), “renewables 2012 global report.”

(二)太陽光電

近 17 年(1995-2011)來，全球太陽光電裝置容量由 1995 年的 6 億瓦，快速成長至 2011 年的 700 億瓦，約成長 116 倍，詳見下圖 4.1-6。從 1995-2007 年間，成長速度相當平穩，然而，2007 年之後，成長的引擎快速啟動。由下圖 4.1-7 顯示，德國是目前全球太陽光電運轉容量最高的國家，約占全球總運轉容量的 35.6%，其次是義大利的 18.3%，日本占 7.1% 排名第三。由於日本與我國同處亞洲，且日本的緯度比我國高，然而，其太陽光電安裝容量如此之高，如何達成相當值得我國參考。此外，全球十五大太陽光電生產公司的總生產容量超過 40GW，其中，中國大陸占了 9 家，可見中國大陸在太陽光電產業發展十分活躍(詳下圖 4.1-8 所示)。

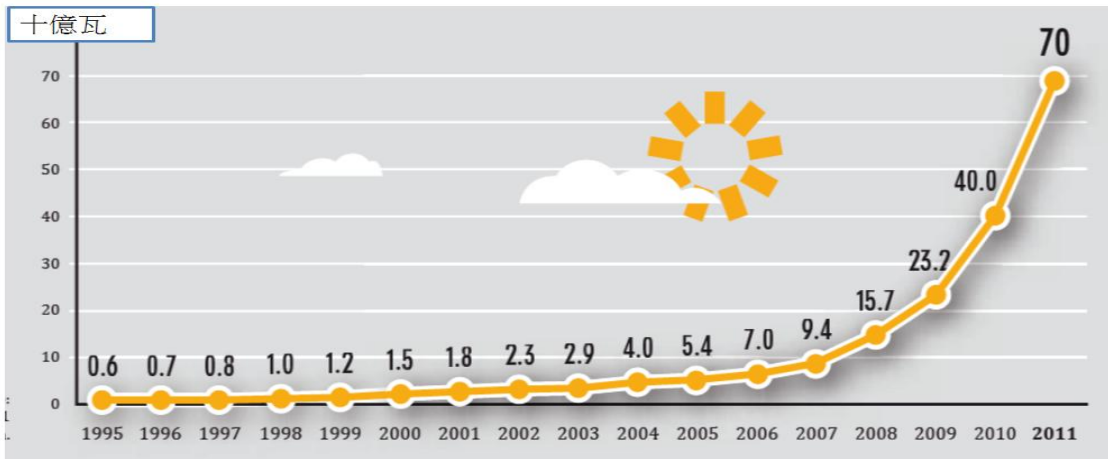


圖 4.1-6 全球(1995-2011)太陽光電發展趨勢

資料來源：REN21(2012), Renewables 2012 Global Status Report.

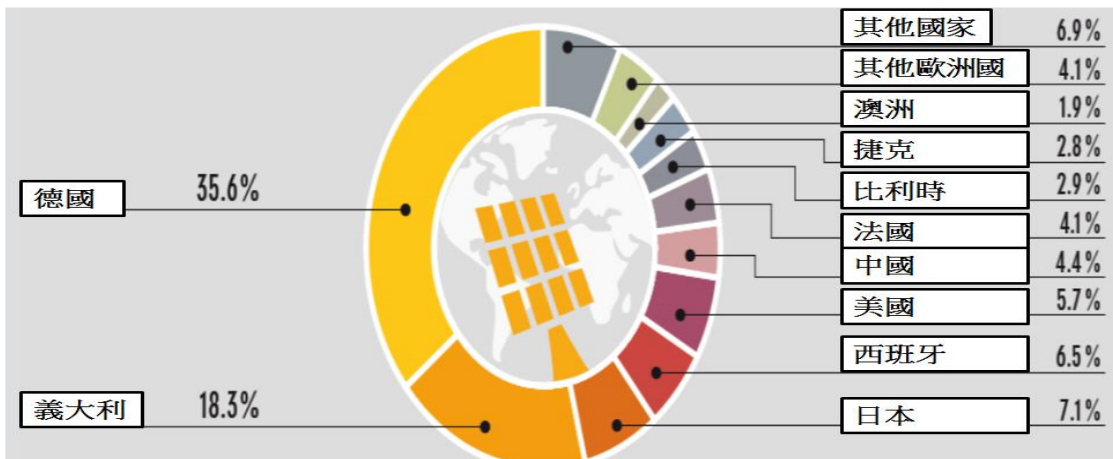


圖 4.1-7 全球(2011)太陽光電運轉容量最高前十名國家

資料來源：REN21(2012), Renewables 2012 Global Status Report.

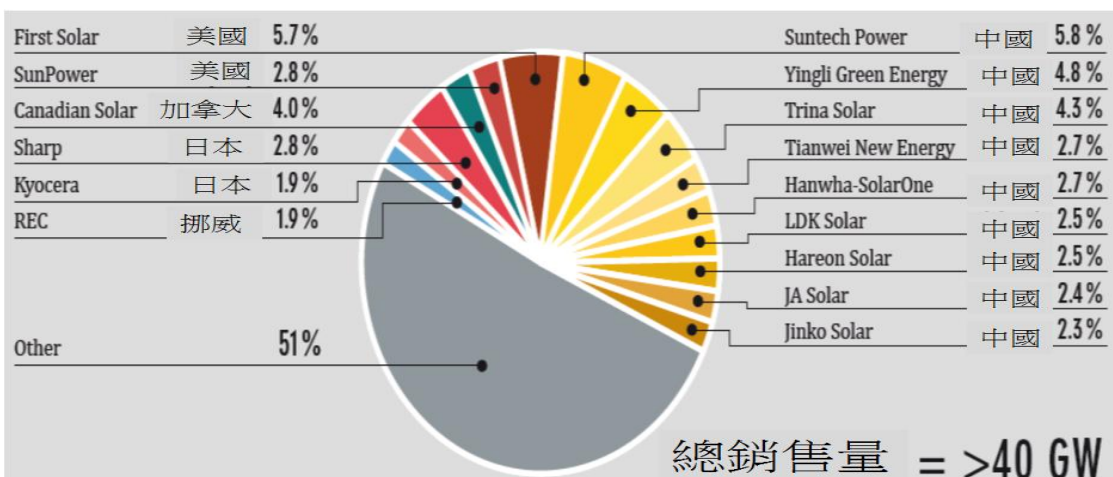


圖 4.1-8 全球(2011)前 15 大太陽能廠

資料來源：REN21(2012), Renewables 2012 Global Status Report.

(三)聚光型太陽熱能發電

聚光型太陽熱能發電(Concentrating Solar Thermal Power, CSP)技術發展的新當早(1984 年以前)，直到 1988 年之後，藉由技術突破，呈現第一次跳躍式成長，之後，即維持一段相當長(1988-2006)的平穩階段，2007 年之後，再次技術突破，呈現第二次跳躍式成長，2006-2011 年間平均年增長率為 37%，至 2011 年已達到 1,760 百萬瓦的裝置容量水準(詳見圖 4.1-9)。

單位：百萬瓦

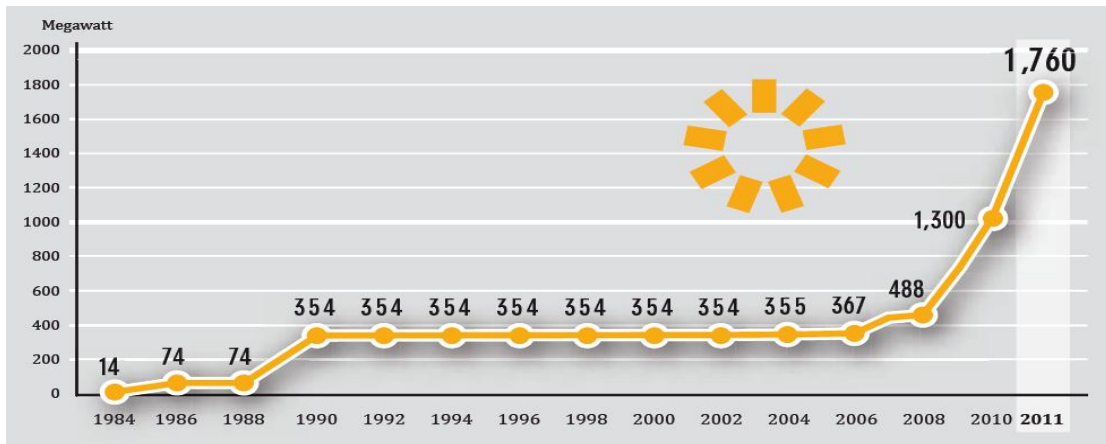


圖 4.1-9 全球(1984-2011)之 CSP 發展趨勢

資料來源：REN21(2012), Renewables 2012 Global Status Report.

(四) 太陽熱能

全球已有超過 200 百萬家庭裝置太陽熱水系統，主要裝置在中國大陸。中國大陸是目前全球發展太陽熱能最快速及成效最好的國家，以 2011 年為例，中國大陸新增加的裝置容量占全球 81%，獨占鰲頭，詳見圖 4.1-10。另外，由圖 4.1-11 可發現中國大陸的太陽熱能總裝置容量占全球 64.8%，顯示太陽熱能在中國大陸的成效十分卓越。

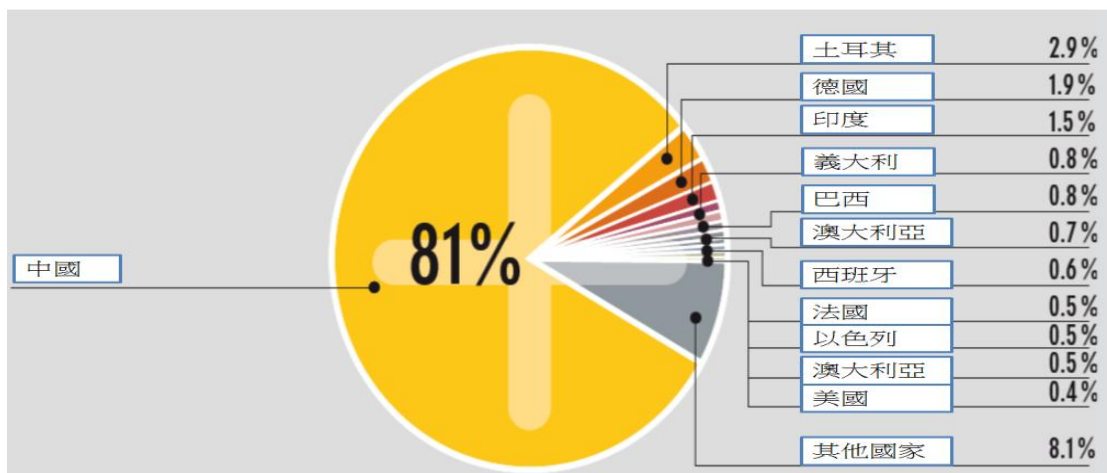


圖 4.1-10 全球(2011)太陽熱能新增加裝置容量最高前十二名國家比較

資料來源：REN21(2012), Renewables 2012 Global Status Report.



圖 4.1-11 全球(2011)太陽熱總裝置容量最高前十二名國家比較

資料來源：REN21(2012), Renewables 2012 Global Status Report.

(五)風能

近 16 年(1996-2011)來，全球風力發電呈現非常穩定的成長，裝置容量由 1996 年的 61 億瓦，成長至 2011 年的 238 億瓦，大約成長 3 倍，詳見圖 4.1-12。中國大陸是全球風力發電裝置量最大及成長速度最高的國家，圖 4.1-13 顯示，中國大陸於 2011 年的新增風力發電裝置容量為 176 億瓦，總裝置容量達到 650 億瓦的規模，領先全球。

單位：十億瓦

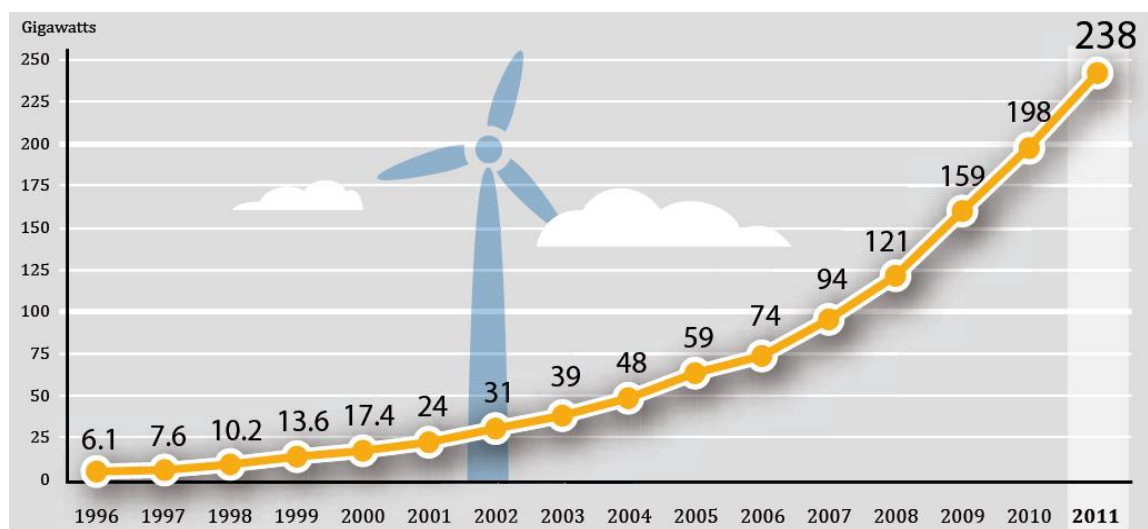


圖 4.1-12 全球(1996-2011)風力發電裝置容量成長趨勢

資料來源：REN21(2012), Renewables 2012 Global Status Report.

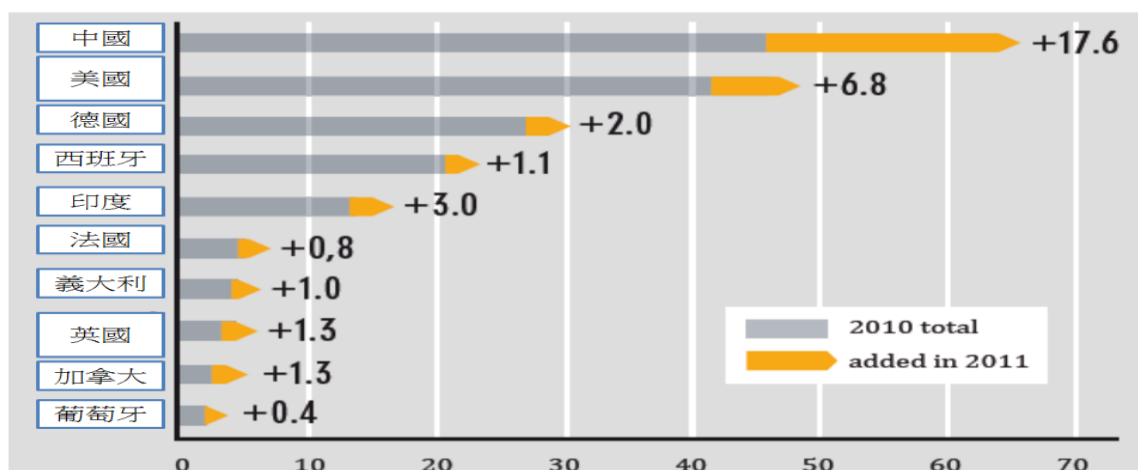


圖 4.1-13 全球風力發電裝置容量前十名國家

資料來源：REN21(2012), Renewables 2012 Global Status Report.

4.1.5 再生能源發展與政策

一、政策措施型態

歸納全球再生能源政策區分為三種型態：

A. 管制政策(Regulatory Policy)

管制政策型態包括：饋電價格(Feed-in Tariff, FIT)、再生能源發電義務(Renewable Portfolio Standard, RPS)、淨電表(Net Metering)、生質能源義務管制(Biofuel Obligation/Mandate)、熱能

義務管制(Heating Obligation/Mandate)及可交易綠色權證(Tradable REC)。

B.財政誘因(Fiscal Incentive)

財政誘因政策型態包括：資本補助(Capital Subsidy)、投資或生產的租稅抵減(Investment or Production Tax Credit)、減稅(包括銷售稅、能源稅、碳稅及附加價值稅等)(Reduction tax))及能源生產補助(Energy Production Payment)。

C.公共融資(Public Finance)

公共融資政策型態包括：投資貸款補助(Public Investment Loan Grant)及競標(Public Competitive Bidding)等。

(二)國際再生能源躉購制度比較

國際主要國家再生能源躉購制度主要可區分為價格管理制度與數量管理制度，數量管理係由政府透過立法規範電業或能源用戶之再生能源發電比例，價格的決定取決於市場機制，又稱再生能源配比義務(Renewable Portfolio Standard, RPS)。由於 RPS 制度屬強制性，因此如電力業者未達到要求目標時，須採行罰責制度。政府也透過競標機制(Tendering)，價格越低者得標，其特色為市場充分競爭，可降低收購價格，減少基金支出，且市場價格波動較大時，可及時因應，如中國針對太陽光電以及丹麥的離岸風力發電均採用競標制度。

價格管理制度係政府按不同再生能源發電技術來擬定各種再生能源固定收購電價稱 FIT (Feed-in Tariff)制度。

FIT 與 RPS 各有其優缺點(見下表 4.1-4)，需視各國情況來分析是否適用，FIT 制度提供再生能源業者長期穩定的投資環境，採 20 年固定費率讓業者可掌握每期現金流量，以利投資者決策規劃，降低營運的風險，此外，以能量費率及成本標竿的模式，有利於鼓勵再生能源資源較優之區域及經營效率較佳之業者優先進入市場，簡言之，所發的電越多或是成本越低相對投資回收年限越短，全球再生能源政策主要以固定電能躉購制度(FIT)與再生能源配比義務(RPS)為主，全球共 65 個國家與 27 洲採用 FIT 制度，全球將近 2/3 的城市均透過大幅提升再生能源設置來達到減碳目標。

由於 FIT 是全球最普遍採行的再生能源獎勵措施，且我國採行饋電價格政策，因此，比較全球不同再生能源技術之饋電價格水準，將有助於我國饋電價格水準修正之參考。由圖

4.1-14 可發現，小型風電(<100kw)的饋電價格差異性最大，最低為 10.9 美分/度(約 3.3 元新台幣/度)，最高為 73.5 美分/度(約 22 元新台幣/度)。其次是太陽光電饋電價格，最低為 21.8 美分/度(約 5 元新台幣/度)，最高為 77.6 美分/度(約 23.3 元新台幣/度)。

若比較不同再生能源技術饋電價格水準(以第 5 高為比較基準)，則以太陽光電的饋電價格最高，為 50.3 美分/度(約 15 元新台幣/度)，其次是風電的 42.1 美分/度(約 12.6 元新台幣/度)。然而，陸上風電的饋電價格水準最低，為 12.7 美分/度(約 3.8 新台幣/度)。此外，FIT 費率與成本息息相關，成本較高如太陽能與海洋能相對 FIT 費率亦較高

RPS 制度則因市場價格波動大，導致再生能源電業投資風險相對較高；就再生能源發展而言，FIT 制度係依據再生能源推廣目標量定期檢討調節電能躉購費率水準，引導技術進步以降低成本；RPS 制度則依據再生能源推廣目標調節配比義務高低，因市場偏好經濟效益較高之再生能源，經由市場競爭引導技術進步以降低成本。

表 4.1-4 FIT 與 RPS 制度比較

項目	FIT	RPS
再生能源發電電能收購費率決定	政府主導集合社會各界意見決定合理之躉購費率	價格取決市場供需且須建立電能或交易平台
再生能源投資風險	讓業者可掌握每期之現金流量，降低業者營運風險	電力市場價格波動大，投資風險難以掌握
電業義務	電業具強制躉購再生能源義務	電業具強制配比再生能源義務
電力市場適用性	無特殊限制	適用電業自由競爭市場
電價反映方式	增加成本可完全反映至電力消費用戶	增加成本依市場機制，由電業與電力消費吸收
制度特點	按各類再生能源發電成本訂定費率以固定費率方式，讓業者可掌握每期之現金流量，降低業者營運風險 利用躉購費率及成本標竿的方式，鼓勵再生能源資源較優之區域及經營效率較佳之業者優先進入市場，並給予業者提高發電量之誘因，以提昇再生能源之經濟效益。 3. 躉購費率定期檢討，具遞減傾向，引導技術進步以降低成本	1. 由電力市場供需機制決定收購價格 2. 須訂定未達義務之罰則 3. 藉由市場競爭引導技術進步以降低成本 4. 市場偏好較具經濟效益之再生能源

資料來源：台灣經濟研究院(2011)，「再生能源躉購及基金費率研析計畫。」

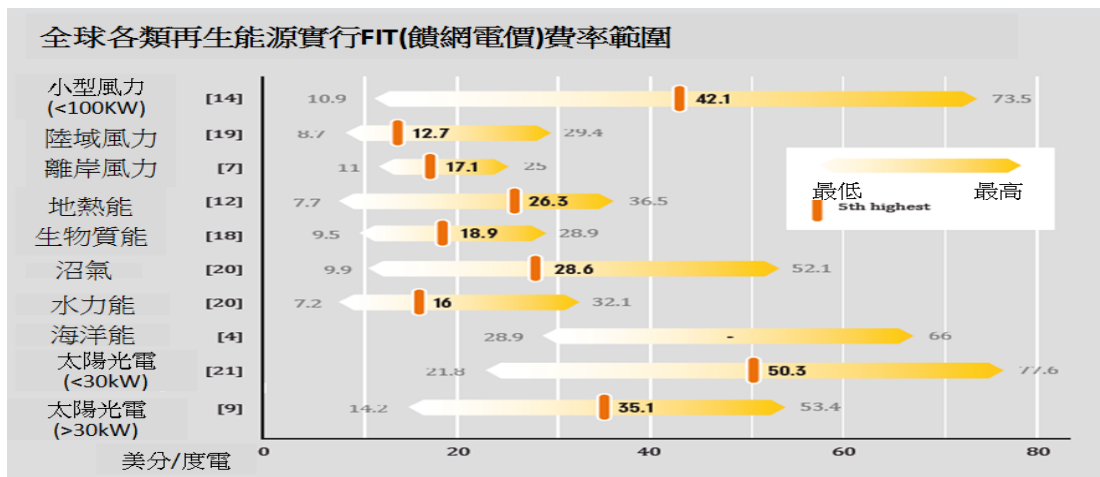


圖 4.1-14 全球各類再生能源實行 FIT(饋網電價)費率範圍

資料來源：REN21(2012),” renewables 2012 global report.”

二、我國再生能源發展政策

(一) 再生能源發展政策及主軸思維

我國再生能源發展政策之擬定，自 2002 年再生能源發展方案、再生能源五年示範推廣計畫、行政院挑戰 2008--國家發展重點計畫，以及全國能源會議、行政院產業科技策略會議、全球產業科技高峰論壇等多次重要會議討論後，歷經多年，政策方向與發展目標已愈趨明確。

民國 91 年經濟部提出再生能源發展條例草案，草案中提到至 2020 年再生能源發電裝置容量發展目標，訂為 6,500,000 瓩，94 年 6 月第二次全國能源會議，將目標修正為 2020 年達 7,000,000~8,000,000 瓩，2025 年為 8,000,000~9,000,000 瓩。96 年底於產業科技策略會議中，則下修風力發電推廣目標，短期內以太陽光電、生質能及風力發電為主要推動項目，並輔以地熱、燃料電池及海洋能為長期推動方向。民國 98 年 6 月再生能源發展條例通過，擘劃未來 20 年內，我國再生能源發電裝置容量將新增 6,500,000 瓩至 10,000,000 瓩，以大幅提升我國再生能源使用。

我國再生能源發展政策思維應建立在永續能源政策綱領之基礎下，永續能源政策的推動，將由能源供應面的「淨源」與能源需求面的「節流」做起，輔以完整法規基礎與相關配套機制，本諸無悔措施的概念，建構「二高二低」：「高效率-提高能源使用與生產效率」、「高價值-增加能源利用的附加價值」、「低排放-追求低碳與低污染能源供給與消費方式」及「低依賴-降低對化石能源與進口能源的依存度」的能源消費型態與能源供應系統，將台灣推向節

能減碳的社會。

根據永續能源政策綱領，在淨源方面，以積極發展無碳再生能源，有效運用再生能源開發潛力，於 2025 年占發電系統的 8% 以上為目標。但由於再生能源易受氣候與環境條件因素影響，加以，化石能源價格未能充分反映外部環境成本，導致再生能源產出成本相對偏高，造成再生能源應用的經濟障礙。民國 98 年 6 月 12 日由立法院三讀通過攸關我國未來能源發展的重要法案「再生能源發展條例」，至此，架構我國再生能源政策推動所需法規，已就位並蓄勢待發。

經濟部持續致力於推動各類再生能源發展，自民國 98 年「再生能源發展條例」通過至民國 101 年底，我國再生能源總裝置容量增加約 551MW，其中太陽光電裝置容量由條例前 9.5MW 增加為 222.4MW；風力發電裝置容量由條例前 374.3MW 增加至 571MW，再生能源總裝置容量較條例前(3,142MW)成長 17.5% 達到 3,697MW。我國規劃擴大各類再生能源推廣，於 2025 年裝置容量達 9,952MW，新增裝置容量 6,600MW，提早 5 年達成「再生能源發展條例」所定 20 年增加 6,500MW 目標，並於 2030 年進一步擴大成長至 12,502MW，屆時發電量將可達 355.6 億度，約相當 890 萬戶家戶之年用電量。

依「再生能源發展條例」規定，透過合理躉購費率及保障收購期間之獎勵誘因，有效提升設置量以達成推廣目標。至於再生能源目標量規畫原則係以技術成熟可行、成本效益導向、分期均衡發展、帶動產業發展及電價影響可接受等五大原則進行規畫。期望將逐步達成「永續環境」的願景目標，同時推動臺灣邁入綠色節能新世紀。

（二）我國再生能源躉購費率

「再生能源發展條例」歷經近 7 年的朝野協商與討論，終在民國 98 年 6 月 12 日於立法院完成三讀程序，於 7 月 8 日公布施行，最主要的措施是以制訂固定保障收購電價的方式，優惠收購再生能源發電設備的電力，提供設置者合理的投資報酬。民國 102 年再生能源電能躉購費率如下表 4.1-5 與 4.1-6 所示。

表 4.1-5 102 年再生能源電能躉購費率一覽表(非太陽光電類)

再生能源類別	分類	裝置容量級距	費率 (元/度)
風力	陸域	1 瓩以上不及 10 瓩	7.3562
		10 瓩以上*	2.6258
	離岸	無區分	5.5626
川流式水力	無區分	無區分	2.4652
地熱能	無區分	無區分	4.8039
生質能	無厭氧消化設備	無區分	2.4652
	有厭氧消化設備		2.8014
廢棄物(衍生燃料)	無區分	無區分	2.8240
其他	無區分	無區分	2.4652
*：未加裝低電壓持續運轉能力 (LVRT) 者，躉購費率為 2.5924 元/度			

資料來源：經濟部能源局(2012)，「經濟部公告 102 年再生能源電能躉購費率。」

表 4.1-6 102 年再生能源電能躉購費率一覽表(太陽光電)

分類	容量級距	第一期費率 (元/度)	第二期費率 (元/度)
屋頂型	1 瓩以上不及 10 瓩	8.3971	8.1836
	10 瓩以上不及 100 瓩	7.5432	7.3297
	100 瓩以上不及 500 瓩	7.1162	9027
	500 瓩以上	3334	5.9776
地面型	1 瓩以上	5.9776	5.6218
第一期：102.01.01~102.30 第二期：102.07.01~102.12.31 太陽光電採競標制度(>30kWp 方須競標) 電能收購費率=上限費率*(1-競標折扣率) 以完工日為費率適用基準			

資料來源：經濟部能源局(2012)，「經濟部公告 102 年再生能源電能躉購費率。」

(三) 我國再生能源發展潛力評估準則與發展現況

受到資源環境與技術之限制，國內推動再生能源使用，目前以太陽光電、風力發電、生質能發電及水力發電為主。各項再生能源發展潛力評估準則與發展現況如下表 4.1-7 示。

表 4.1-7 各項再生能源潛力評估準則與發展現況

再生能源別	潛力評估準則	發展現況
太陽能	日照條件（全年日照 1500hrs），周圍條件（遮蔽、腐蝕性）、設置空間大小（方位與空間大小）	自 89 年至 98 年共計核准設置 985 個系統，18,449 瓩，89 年 10 月底國內已完成 639 個系統，7,926 瓩，並推動偏遠離島、陽光電城等專案計畫。
風能	風速（大於 4m/s）（小風力機 3m/s）；一年四季風力平穩	台灣主要之風力潛能蘊藏區除澎湖等離島外，主要分布在西部沿海，至 98 年 10 月底已完工 200 台風機，裝置量共計 380,000 瓩，籌設施工中約 150 台，計有 314,000 瓩。
水力能	落差達 2.5m 以上、流量大於 6m ³ /s，一年四季水流平穩	台灣理論水力蘊藏量 1163 萬千瓦，可發水力能源約為理論值的 50%。
生質能發電	一般廢棄物、一般事業廢棄物、一般廢（污）水處理沼氣產生量達 5,000 Nm ³ /d 以上或發電系統之總裝置容量應達 300 瓩以上。 豬隻規模達 5,000 頭以上，其廢水處理沼氣產生量為 600 Nm ³ /d 以上且發電系統之總裝置容量應達 30 瓩以上。	目前台灣地區的生質能發電應用包括垃圾焚化發電、沼氣發電、農林廢棄物及一般事業廢棄物應用發電等，國內至 98 年 10 月底已設置 814,500 瓩。另有沼氣與 RDF 在設置中。
地熱能	溫度達 150℃ 以上；腐蝕性、酸鹼性	灣位處環太平洋火山帶，多處山區顯示具有地熱蘊藏，根據台灣地熱資源初步評估結果，全台灣地區有近百處顯示具溫泉地熱徵兆，但較具開發地熱潛能者有 26 處，理論蘊藏量約有 600,000 瓩，其中大屯山區擁有豐富的地熱資源，惟因係屬火山性地熱泉，其酸性成分太高，成為發電利用之瓶頸
海洋能	1.波浪：波浪進退時因高度密度而產生的動力（介於 1.7 瓩/m~ 15 瓩/m） 2.潮汐：1m 以上潮差即可發電 3.溫差：溫差達 20℃ 以上 4.海流：潮流寬度與流速須達一定標準	台灣地區可供開發海流發電應用之海流，以黑潮最具開發潛力，黑潮的厚度約為 200~500 公尺，寬度約 100 公里至 800 公里左右，其流速介於 0.5m/sec 至 1m/sec，理論上利用黑潮發電是可行的，但因深海用的水輪發電機尚屬研究階段，而水輪發電機如何在海中固定等施工技術亦有待驗證。目前國科會正推動辦理「黑潮潛能調查計畫」，若計畫順利執行完成，再據以推動下階段有關發電系統之評估計畫。

資料來源：台灣經濟研究院(2011)，「再生能源躉購及基金費率研析計畫」

4.2 再生能源環境思考

人類將再生能源轉化為能源的過程中，亦會對環境造成傷害，且隨著再生能源技術型態，其對環境衝擊效果與型態亦有不同。本節區分溫室效果與非溫室效應之環境衝擊，討論不同再生能源技術之環境思考問題。

4.2.1 溫室效應問題

雖然大多數的再生能源再運轉時，不會產生溫室氣體排放，例如風力及水力等，然而，製造再生能源器具與設備，則需要投入能源，因此，考量再生能源發電的生命週期(life cycle)溫室氣體排放，則不同再生能源技術之生命週期溫室氣體排放呈現差異性，如表 4.2-1 所示。由表 4-8 可知，生質能生命週期溫室氣體排放量相對較高，以固體生質能為例，溫室氣體排放量約為 21-42 公斤/千度；然而，氣體或液體生質能的溫室氣體排放量更高，約為 6-245 公斤/千度。

反觀水力發電的溫室氣體排放量最小，生命週期溫室氣體排放量約 6 公斤/千度。至於太陽能的溫室氣體排放量的差異性則很大，太陽光電版的生命週期溫室氣體量約為 45 公斤/千度，然而，聚焦太陽能的生命週期溫室氣體量則高達為 135 公斤/千度，約是太陽能光電的溫室氣體排放量的 3 倍。此外，風力、水力及太陽能等三種型態再生能源的溫室氣體排放主要來自間接排放，亦即來自機器設備製造階段。

表 4.2-1 再生能源溫室氣體排放量

再生能源型態	發電技術	溫室氣體排放(公斤/千度)		
		直接排放(煙囪)	間接排放	生命週期排放
生質能	固態生質能	6	15-36	21-42
	沼氣	5	1-240	6-245
風能	陸域風力	0	11	11
	離岸風力	0	14	14
水力	大型水力	0	6	6
	小型水力	0	6	6
太陽能	太陽光電	0	45	45
	聚光型太陽能	120	15	135

資料來源：UNEP(2011), Toward a Green Economy.

4.2.2 非溫室氣溫室效應問題

大多數再生能源技術其製造與運轉的特性差異，其對環境衝擊亦有所不同，以下簡述次同再生技術之環境衝擊問題。

一、太陽光電

太陽能發電設施在運轉過程中，並不會造成空氣污染，但是如以產品生命週期而言，在太陽電池製造過程中會產生有毒廢棄物。

二、水力發電

水力發電雖然不會排放污染物至外在環境，但水壩的建造會淹沒大片的土地，必須遷移許多居民與野生動物，水庫也會影響到附近及河川下游河川的生態。

三、地熱發電

利用地熱發電有數種不同的方法。如果是直接抽取地下的熱水會造成地層的下陷，而自地底抽出的水含有大量的礦物質，如不妥善的處理，會造成水污染。如果是利用水流注入地底加溫，成爲水蒸汽來發電，注入的水有可能引起地震，而自地底流出之水蒸汽有可能攜帶有毒的化學物質。利用地熱發電會造成地底放射性氫氣以及硫化氫的外釋。

四、大型風力發電

風力發電不會造成空氣污染，但有可能會對發電裝置附近的鳥類，特別是猛禽類造成傷害。美國 National Audubon Society 及 U.S. Fish and Wildlife Service 已發出呼籲，希望重新檢討於猛禽類較多的區域，開發風力發電的影響性。此外，風力發電會產生低頻噪音與陰影閃爍(shadow effect)，對於居住於風機裝置地點 200 公尺範圍內之居民恐會產生負面影響。

五、小風力發電

A.小型水平軸風力機(400W~50kW)：一般風機高速運轉大於 1000rpm，易產生噪音，並對飛鳥會造成影響。

B.垂直軸小風力機較水平軸噪音爲低，且安全性較高

六、生質能

利用生質能發電將需要大片的土地因此，產生水資源稀缺及污染土壤與地下水等環境問

題。此外，也可能產生能源不平衡問題，亦即為生產一單位生質能源，需要投入更多能源，造成能源生產無效率問題。

參考文獻

1. REN21(2012),” renewables 2012 global report.”
2. UNEP(2011), “Toward a Green Economy.”
3. 台灣經濟研究院(2011)。再生能源躉購及基金費率研析計畫。2012年3月。
4. 經濟部能源局(2012)。經濟部公告 102 年再生能源電能躉購費率。

第五章 核能發電的角色與爭議

1954 年莫斯科附近奧布寧斯克 (Obninsk) 核能電廠啓用，象徵全球核能產業的萌芽，而核電(圖 5-1)在 1968 年和 1970 年到達巔峰。由於核燃料採購一次可用一年半(註：國際能源總署視其為準自主能源)，1973 與 1974 年第一次石油危機各國皆努力設法降低對石油的依賴，改善國家能源安全，進而加速了核能發電的成長；其後由於成本上揚及工程延誤、1979 年美國三哩島事故與 1986 年烏克蘭車諾比爾核電廠事故，導致 1980-90 年代核能產業陷入低潮。2000 年中期因中國核電快速崛起，使得全球核電產業出現逆轉；此外許多國家進行核電廠功率提升，以增加發電量；國際經濟合作暨發展組織(OECD)中許多國家也對核電廠進行延役(安全評估後，延長現有核電機組的運轉壽命)。核電於 2010 年佔全球供電量的 13%，當年全球共有 16 部新核電機組動工，主要是滿足新興國家飆升的用電量及達到能源和環境政策的目標：減緩溫室氣體排放與提供安全、多元、平價的電力。2011 年日本因大地震及海嘯造成福島核電廠之複合性事故，再度驅使各國重行檢視核電的安全性及能源政策。

我國於民國 67 年開始有第一座核電廠商轉，其後核二廠及核三廠陸續於民國 70 年及 73 年商轉(圖 5-2)，核電佔比最高曾超過 40%(圖 5-3)，提供發電成本穩定的電力，對我國經濟成長扮演重要的貢獻；其後因 1986 年發生車諾比爾核電廠事故，造成我國繼續發展核電之疑慮，使得原訂規劃之核四廠暫緩，這段時間則主要興建燃煤電廠以提供電力。民國 87 年我國舉行第一次能源會議，決議擴大天然氣發電，至今其發電比例已達 26%。因此，近年我國發電結構是核能佔比日益減少，燃氣發電佔比逐漸增加，造成基載電力不足。福島事故後，我國於當年 11 月提出穩健減核之新能源政策。

曾有人說核能是必要之惡，必要是因它是現階段人類唯一已實證且可負擔之低碳(排碳與風電相當)基載電力，但核電的安全性與用過核燃料最終處置至今仍因個人的價值取向不同而具爭議性，正因如此，今年(2013 年)2 月行政院提出核四公投的想法，期能透過公投方式，確定核四廠是否續建；核能發電的角色與相關爭議點也都是本節討論的重點，包括(1)發電階段的無碳排放、(2)興建、營運及除役成本、(3)核電廠安全及(4)輻射污染的環境衝擊。

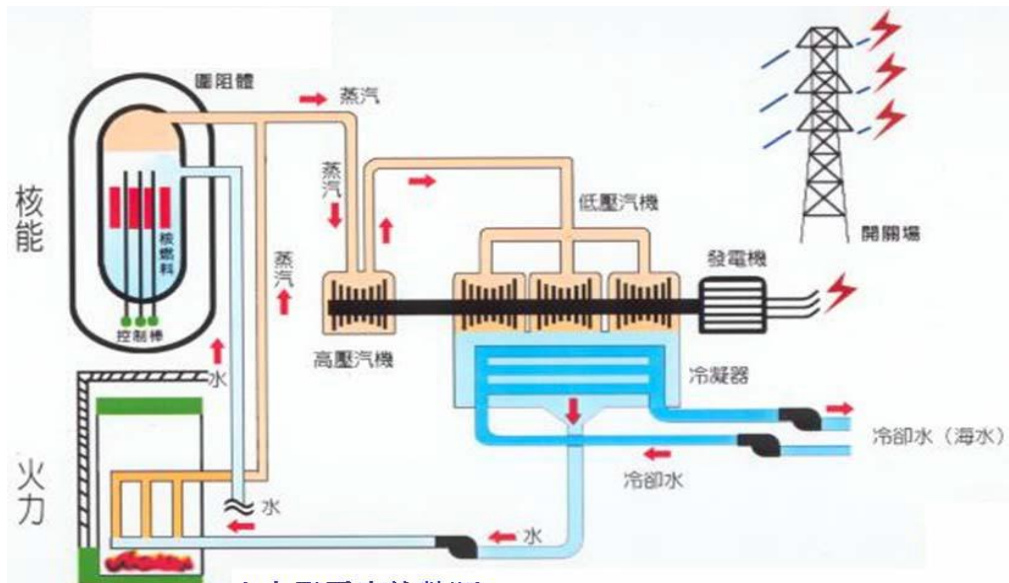


圖 5-1 核電廠與火力電廠系統圖

資料來源：台電公司訓練教材(2007)

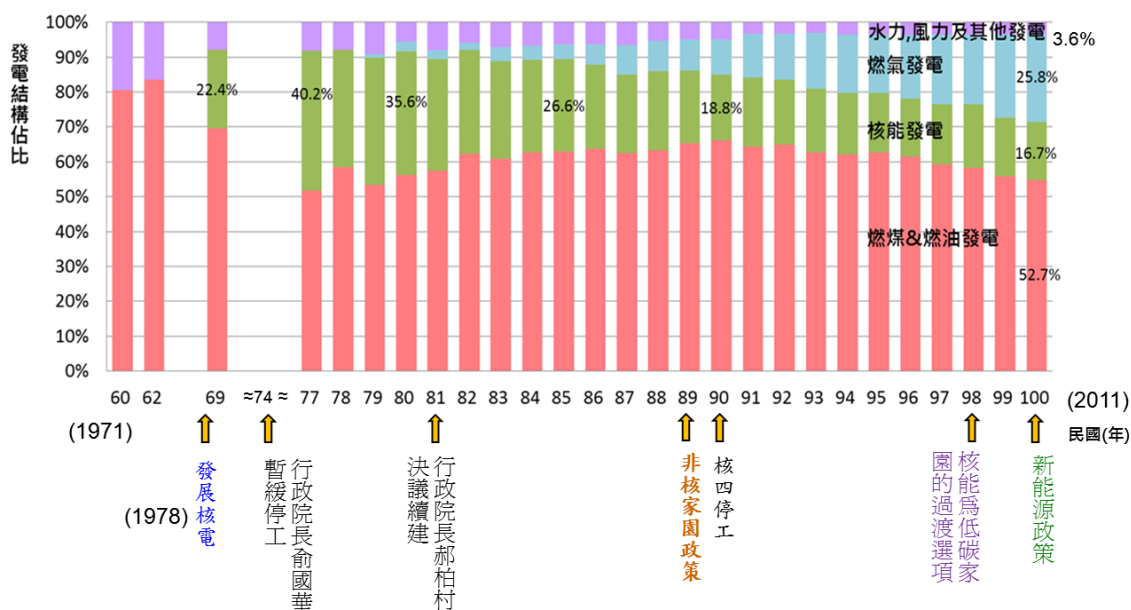
台電公司核能電廠位置圖

102.4.8更新



圖 5.2 台電公司核能電廠位置圖

資料來源：台電公司(2013)



面對新能源政策，核能佔比將日益減少，燃氣發電佔比增加

圖 5.3 台灣發電結構變動趨勢

資料來源：葛復光(2012)

5.1 發電階段的無碳排放

在分析各項電力的實際碳排放量時，常以整體生命週期 (Life Cycle Assessment, LCA) 溫室氣體排放量做為參考，其包含燃料開採、精煉、運輸、電廠興建、運轉、後端處理與除役等階段的能源消耗與 CO₂ 排放。2012 年國際經濟合作暨發展組織核能署(OECD/ NEA) 曾針對相關核能-低碳能源的議題進行了專案研究(OECD/NEA, 2012)，文中即指出 Storm van Leeuwen 採用了低品味鈾原礦與較高的土木建築耗能估算，導致該篇報告中 LCA 計算結果較其他類似報告為高。若根據 NEA 彙整了 20 份包含國際組織、政府機構與大學公開報告的結果顯示，各類電廠生命週期排放平均值 (CO₂eq/KWh) 如下：燃煤 888g、燃油 733g、天然氣 499g、太陽光電 85g、生質能 45g、核能 29g、水力與風能皆為 26g。值得注意的是，這些公開報告中，在核能部分已包含了各類鈾礦精鍊技術與額外安全設計的土木建築等。

表 5.1-1 生命週期溫室氣體排放

歐洲發電的能源技術-適中的燃料價格情境下							
能源	發電技術		生命週期溫室氣體排放				燃料價格 敏感度
			淨效率 2007	直接排放 kg CO ₂ /MWh	間接排放 kg CO ₂ eq/MWh	生命週期 kg CO ₂ eq/MWh	
天然氣	燃氣複循環 (NGCC)	-	58%	350	70	420	非常高
		CCS	49%	60	85	145	非常高
石油	內燃式柴油機		45%	595	95	690	非常高
煤炭	粉煤(PCC)	-	47%	725	95	820	中等
		CCS	35%	145	125	270	中等
	整合煤氣化 複循環 (IGCC)	-	45%	755	100	855	中等
		CCS	35%	145	125	270	中等
核能	核分裂		35%	0	15	15	低
生質能	固體生質能		24%-29%	6	15-36	21-42	中等
	沼氣		31%-34%	5	1-240	6-245	中等
風能	陸域		-	0	11	11	無
	離岸		-	0	14	14	
水力	大型		-	0	6	6	無
	小型		-	0	6	6	
太陽能	太陽光電		-	0	45	45	無

1. 假定燃油價格為 2007 年每桶 54.5 美元和 2030 年每桶 63 美元(均以 2005 年美元為基準)
2. 報告中的碳捕獲發電效率是指首個 2015 年開始運行的示範項目

資料來源：European Commission, 2008；UNEP(2011)；核研所重行繪製(2013)

另於 IPCC 可再生能源與減緩氣候變化特別報告 (IPCC, 2011) 中，亦將各種能源生命週期之不確定性清楚地呈現。若取其中位數 (50th percentile) 來看，核能發電生命週期 CO₂ 排放量為 16 g CO₂ eq/kWh，約為天然氣的 3.4%，太陽光電發電的 35%，燃煤發電的 1.6%，該結果與聯合國環境規劃署(UNEP)引述的結果(表 5.1-1)亦相類似。此時各類發電技術的 LCA CO₂ 排放量由少至多排列為：水力發電<海洋能發電<風力發電<核能<生質燃料<地熱發電<太陽能發電<天然氣<燃油<燃煤。

表 5.1-2 是 2010 年台灣能源供應及 CO₂ 排放指標與國際比較，可以看出台灣的能源安全、CO₂ 排放指標與國際比較，均未達 OECD 國家平均水準，其中 CO₂ 密集度與單位油當量排放亦顯示了我國產業高耗能、產品附加價值低等缺點。若再與國情類似的日、韓對照，可發覺

我國在人均排放與單位油當量排放上皆敬陪末座，均反映出因核能受阻所導致能源結構的扭曲與結果。

而若對照 IPCC 報告中所列第 75 百分位數(75th percentile)，核能發電排放量為 45 g CO₂ eq/kWh，約為天然氣的 8.21%，太陽光電發電的 56%，燃煤發電的 4.0%。各類發電技術的 LCA CO₂ 排放量排序由小至大為：水力發電<海洋能發電<風力發電<生質燃料<核能發電<地熱發電<太陽光電發電<天然氣<石油<燃煤。

表 5.1-2 2010 年台灣能源供應及 CO₂ 排放指標與國際比較⁷

指標項目		台灣*	台灣**	全球	OECD	日本	韓國	英國
排放總量(百萬公噸 CO ₂)		270.22		30326	12440	1143.07	563.08	483.52
每人平均排放(公噸 CO ₂ /人)		11.66		4.44	10.1	8.97	11.52	7.78
CO ₂ 密集度(公斤 CO ₂ /美元)		0.61		0.6	0.34	0.25	0.55	0.21
單位油當量排放(公噸 CO ₂ /toe)		2.47		2.38	2.3	2.3	2.25	2.39
自產能源比(%)	含核能	10.42%	11.86%	-----	71.76%	19.48%	183%	73.46%
	不含核能	1.96%	1.93%	-----	60.73%	4.36%	2.32%	65.47%
核能發電站發電量比(%)		17.65%		12.96%	21.14%	203%	30.19%	15.85%

資料來源：Key World Energy Statistics(IEA, 2012), OECD / non-OECD World Energy Balance Data，能源統計手冊(經濟部，2012)，核研所整理繪製(2013)

由 50%與 75%位數兩者比較得知，個別案例的差異將對分析結果造成直接之影響，然而綜合結果顯示，核能之生命週期碳排放係數與其他再生能源均相差不大，且小於太陽光電發電之碳排放係數。再以 IPCC 報告做為總結，各主要非化石燃料電力的 LCA (g-CO₂eq/kWh) 估算結果如下：核能(最小值：1~中位數：16~最大值：220)、太陽光電(最小值：5~中位數：46~最大值：217)、風能(最小值：2~中位數：12~最大值：81)、水力(最小值：0~中位數：4~最大值：43)與生質能(最小值：-633~中位數：18~最大值：75)。

⁷註：根據能源局資料，2010 年時我國自產能源與 IEA 不同，*為能源局資料、**為 IEA 資料

5.2 興建、營運及除役成本

核四廠興建預算最早於 1991 年編列 1697 億元，由於機組擴大，且近年國際原物料價格已遠高於當年，目前預計完工經費為 3300 億元，表 5.2-1 為核四廠成本追加說明。

表 5.2-1 核四廠數次預算追加時間與額度

時間 (年)	追加預算 (億元/四捨五入)	投資總額 (億元/四捨五入)	備註
1992		1,697	1. 1982 年原始核定計畫投資總額，立院三讀通過預算解凍 ⁸ 2. 原設計機組為 1GW×2
2004	190	1,888	機組擴大為 1.35GW×2
2006	448	2,336	契約修訂、反映物價、匯率、利率、工期調整與設計變更等
2009	401	2,737	反映工期調整致利息費用增加與國際原物料價格上漲等因素
2013	117	2,839	因應日本福島核能電廠核子事故，針對核四廠超出設計基準部分提出強化方案
2013	462 億(報載) ⁹	控制在 3,300 億 (報載) ¹⁰	進行『18 工項』改善，預計 6 月提出

資料來源：台電公司(2013c)

發電成本低為核能發電的主要優勢，表 5.2-2 為我國 2020 年完工之電力均化成本比較。若核電之折現率為 5%，則均化成本為 2.43 元/度，為相關技術中發電成本最低者；若核電之折現率改為 10%，則均化成本為 3.00 元/度，與陸域風力發電成本相當，均為相關技術中發電成本最低者；但台灣地狹人稠，能發展陸域風電之潛力實屬有限，其潛力約為 1.2 GW。若以燃氣發電取代核電，則發電成本增為 5.00 元/度；若以燃煤發電取代核電，則發電成本增為 2.7 元/度；若以太陽光電發電取代核電，則發電成本增為 5.1~5.9 元/度；若以離岸風電取代核電，則發電成本增為 4.8 元/度，由上述分析，可以明顯看出核電的經濟優勢，再加上其無碳(低碳)特性及能源安全效益，使得即便核電有其爭議性，仍獲得許多已開發及開發中國家的重視。

⁸ <http://lis.ly.gov.tw/npl/hot/answer/nuclear4/budget/69/69.htm>

⁹ <http://www.libertytimes.com.tw/2013/new/feb/21/today-fo4.htm>

¹⁰ <http://udn.com/NEWS/NATIONAL/NAT5/7703793.shtml>

在除役費用方面，根據最新之國際原子能總署統計資料，全球已有 17 部核能機組完成除役，其中美國 11 部、德國 3 部及日本、英國、比利時各 1 部，其除役費用(與我國同類型之輕水式反應器)介於 110-1100 億元/GW。根據美國核電廠除役之經驗，每部機組之除役費用在 300-500 百萬美元間(約 90-150 億元新台幣)。而依據台電對核後端基金各項經費之估算，核四全廠除役費用約 290 億元。

表 5.2-2 我國 2020 年完工之電力均化成本比較¹¹

設施設定	燃煤	燃氣	碳捕獲與封存	核能	太陽光電		風力發電		
					屋頂型		陸域		離岸
分類	-	-	-	-	屋頂型		陸域		離岸
級距	-	-	-	-	1kw-10kw	10kw-500kw	1kw-10kw	>=10kw	無區分
容量因素(%)	85	85	85	85	14	14	23	29	37
Efficiency (HHV)(%)	42.45	53.35	33.55	-	-	-	-	-	-
初始成本(USD/kW)	2784	900	5094	4074	2785	2421	5274	1912	4382
固定運維(USD/kW)	29.67	14.39	69.3	-	19	17	53	51	131
變動運維(USD/MWh)	4.25	3.43	8.04	-	-	-	-	-	-
燃料價格(USD/GJ)	5.792	19.62	5.792	-	-	-	-	-	-
核能參數設定	-	-	-	-	-	-	-	-	-
運維成本(USD/MWh)	-	-	-	12.2	-	-	-	-	-
核能燃料成本(USD/MWh)	-	-	-	18	-	-	-	-	-
核能後端成本(USD/MWh)	-	-	-	5.67	-	-	-	-	-
均化成本(TWD/kWh)	2.65	5.025	4.352	3.00	5.915	5.142	7.303	2.535	4.772
102 年度再生能源躉購費率	-	-	-	-	8.18-8.40	90-7.54	7.36	2.63	5.56

資料來源: 卓金和(2013)

¹¹註 1.天然氣價格乃根據 IEA(2012)之預測值調整，推算方式乃以 WEO 進口能源標的之歷史價格與我國進口能源價格進行迴歸分析，再根據歷史資料估計所得之迴歸係數配合 WEO 2012 預測值推算我國 2020 年進口價格。WEO 現有政策下 2020 年日本進口 LNG 價格:\$18.1/Mbtu，以迴歸估計結果 推算之燃料價格為\$19.62/ GJ。煤價格推算方式與天然氣價格估計類似，同樣根據歷史資料估計所得之迴歸推算燃料價格為\$5.792/ GJ。核燃料價格乃利用台電 2015 完工時之燃料價格 0.435 TWD/kWh，再運用每年 3% 成長率預估 2020 年燃料成本為 0.504 TWD/kWh。核能運維成本採用台電資料。台電公司假設通膨率為 2%。

註 2.除核能發電的折現率為 10%外，其他發電皆為 5%。本研究透過高折現率反映核能可能的建廠風險。核電廠初始成本假設為 3,300 億元。若核電折現率為 5%，則均化成本降為 2.43 元。

註 3. 表中燃煤為超臨界粉煤廠、燃氣為天然氣複循環發電廠。

註 4. 民國 97 年以後進口之風力機組多半皆已具備 LVRT(低電壓持續運轉能力)功能，故風力發電之初始成本係以含 LVRT 為計算基礎。

表 5.2-3 美國部分核能電廠除役費用預估與實際比較表

核能電廠名稱	廠商預估 (億美元，2010 幣值)	執照終止 (億美元，2010 幣值)
Maine Yankee	4.53	5.40
Trojan	4.06	3.14
Yankee Rowe	3.63	23
Haddam Neck	4.18	74
Rancho Seco	5.02	18
SONGS Unit 1	5.10	4.00

資料來源：邱太銘(2011)

近年來許多 OECD 國家在安全評估後，將現有核電廠更新執照以延長運轉年限。雖然電力公司需要投入龐大的資金，以升級廠房的安全規格，汰換老舊的設備以獲准延役，且延役後之運維成本大幅提高，但因前置資金成本已經完成折舊，得以較低的邊際成本提高產值。因此聯合國政府間氣候變遷小組(IPCC)第四次評估報告(IPCC, 2007)認為核電是有效的減碳選項，尤其是在延役及功率提升的情況下更是如此。

福島事故後，興建核電廠的經濟效益尚須考慮下列因素(王裕隆，2012)：

1. 龐大的資金
2. 高難度技術
3. 潛在技術、市場及法令規定風險
4. 融資條件可能更趨嚴格
5. 興建成本也升高，部分投資人甚至不再投資核電計劃
6. 更嚴苛的安全規定，可能延長施工的前置期（lead time），並增加施工及運轉成本，
OECD 估算：可能增加大約 5~10%
7. 相對於其他發電技術的優勢可能減少
8. 需面對來勢洶洶的反核運動

即便如此，由於其發電成本低，可在零碳排放的狀態下，提供大量基載電力，因此仍是因應全球暖化的重要發電選項。

5.3 核電廠安全

核電廠的安全設計理念是採深度防禦(圖 5.3-1)，第一層為陶瓷結構燃料丸、第二層為鋳合金燃料護套、第三層為反應爐壓力槽(20 公分厚的鋼板)、第四層為一次圍阻體、第五層為二次圍阻體。這樣的多重防禦設計理念，即便對嚴重的核子事故，仍能有效地將放射性物質屏蔽，保障周圍居民的安全；典型案例如三哩島事故，雖然爐心熔毀，但放射性物質仍被有效侷限於圍阻體內。三哩島事故處理方式及結果如下：

1. 為了民眾安全，賓州州長於三月三十日下令將電廠五英里內的學齡前兒童和孕婦撤離。
2. 事故之後，發現反應器爐心嚴重毀損，約有 20 噸的熔融二氧化鈾流到反應器壓力槽底部，大量的放射性物質釋放到圍阻體內。
3. 這些外釋的放射性物質所造成的最高輻射劑量約 0.37 毫西弗，比自然輻射背景值的 1.0 ~ 2.0 毫西弗還來的低。
4. 核電廠深度防禦中的最後一道防線-圍阻體在緊要關頭，確實發揮了功能，防止放射性物質的大量外釋。

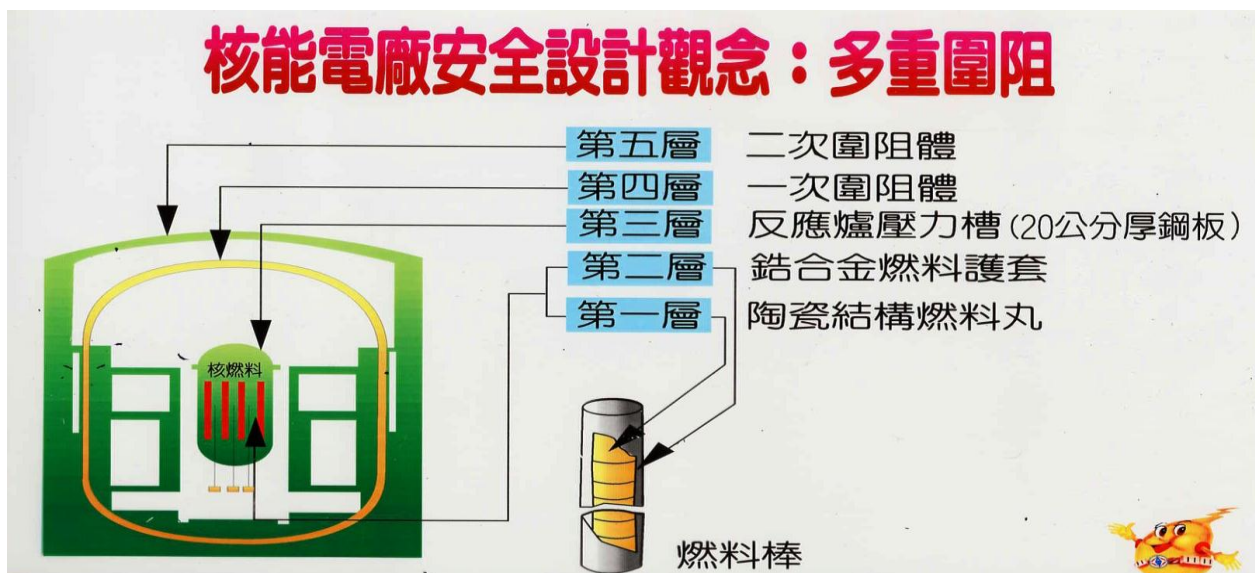


圖 5.3-1 核能電廠安全設計觀念：多重圍阻

資料來源：台電公司(2007)

第二次重大核災是車諾比爾事故，但由於其為石墨式反應器且無圍阻體，與西方之輕水式反應器設計理念完全不同，故安全性與屏蔽性均遠遠不如(表 5.3-2)。車諾比爾事故處理方式(清蔚園科學館，2013)如下：

1. 早期的處置目標主要是抑制石墨燃燒，以防止更多的放射性核種外釋。
2. 投入 40 噸的碳化硼，防止反應器再度達到臨界狀態；接著再投入 800 噸的石灰石以吸收爐心石墨燃燒所釋放的能量，並隔絕石墨燃燒所需的氧氣供輸；接著投入 2400 噸的鉛，以阻絕輻射線穿透，達到屏蔽的輻射效果；最後，投入砂和泥土滅火，以吸附放射性物質懸浮物。
3. 為解決爐心持續高溫的難題，於是安裝液態氮氣冷卻系統，以降低爐心溫度。
4. 在反應器廠房基座底部建造一套暫時性平臥式熱交換器，作為額外的熱移除機械裝置；整個工作在六月底完成。

表 5.3-2 三哩島事故與車諾比爾事故比較表

三哩島事故與車諾比爾事故比較表	
三哩島事件	車諾比爾事件
時間 1979年	時間 1986年
地點 美國賓州三哩島電廠	地點 前蘇聯烏克蘭車諾比爾電廠
型式 壓水式反應器	型式 RBMK石墨型反應器 ※石墨會燃燒
原因 設備故障及一連串操作錯誤	原因 基本設計危險及嚴重違反運轉規範
結果 外界可能接受最高劑量為37毫侖目 (約2次胸部透視劑量) 且無人傷亡 圍阻體有效隔絕輻射外洩	結果 大量放射性物質外洩 短期內 31人死亡 (大多是消防人員) 無圍阻體、救災人員遭受嚴重輻射曝露
研究顯示事件並未對當地民衆健康造成影響而另一部機組至今仍在運轉	全球環境均受影響 世界各國要求同型電廠關閉

資料來源：台電公司(2008)

2011 年發生的福島事故則為第三次重大核災，此複合性災害(地震及海嘯)以超過該電廠之設計基準，故造成嚴重核子事故，即便如此，並無人因放射性物質致死。日本核災大事紀要如下((JAIF, 2011；謝得志，2012)：

(一) 2011 年 3 月 11 日：

- 日本東北外海發生規模 9.0 地震，是 1900 年以來全球第 4 大地震。強震引發大規模海嘯，將太平洋沿岸小鎮村落夷為平地，造成約 1 萬 9000 人不幸喪生。(海嘯造成)
- 位於海岸邊的福島第一核電廠電力供應和反應爐冷卻系統受損，導致內部燃料過熱熔毀。政府令距離核廠 3 公里內的居民撤離。

(二) 3 月 12 日

- 工作人員開啓反應爐釋壓閥減壓，並排出內部輻射蒸汽。
- 1 號機所在建物氫氣爆炸(並非核爆)，事故後確認反應爐壓力槽部分受損及洩漏，一次圍阻體則疑似有受損及洩漏。
- 政府下令核廠方圓 20 公里的居民撤離。

(三) 3 月 14 日，福島核電廠 2 度爆炸，這次是 3 號機，事故後不確定反應爐壓力槽之完整性，一次圍阻體則疑似有受損及洩漏。(註：2 號機之結果類似)

(四) 3 月 15 日，核電廠 3 度爆炸，這次是 4 號機建物，幸而反應爐及一次圍阻體未受損。

(五) 3 月 25 日，在 4 座反應爐有問題的建築物中發現高濃度輻射廢水。

(六) 4 月 4 日，冷卻任務持續進行的同時，工作人員開始將約 1 萬 1500 噸輻射廢水排至太平洋。

(七) 4 月 12 日，日本上修核災嚴重度至國際最高的 7 級，和車諾比爾事故相當，但洩出的輻射量較少。

日本福島核電廠事故為何會發生且如此嚴重？主要是該電廠防海嘯設計不足，造成廠區嚴重淹水，安全冷卻/補水系統喪失(最終熱沈)與電力系統失效(電廠全黑)，核子燃料持續產生的熱量無法有效移除，而後續救災應變不及，造成事故擴大，導致放射性物質外釋造成鄰近海陸區域污染。

福島核電事故後，專家仍認為此事故可避免，因國際間在防禦電廠全黑、喪失最終熱沈、防禦嚴重洪水及海嘯風險評估方面均已有最佳慣例。為何這些慣例與作為沒有在福島電廠履行？因為該電廠管制品質與獨立性不足、忽略安全威脅、抗拒風險評估，最後是東電文化與

日本核能文化的問題。事實上，日本管制當局與東電若能有適當的先見之明，則福島事故可避免或預防(James M. Acton and Mark Hibbs, 2012)。日本福島事件國會調查報告也指出東京電力公司福島核電站事故是政府、管制機構和東京電力公司三方的集體失職和缺乏治理的結果。這三方實質上已經侵犯國家的權利：保護民眾的安全以避免核事故。因此，該報告的結論認為福島事故是明顯的「人爲」疏失，並認為根本原因是組織和管理系統支持判斷錯誤的決策與行動，而不是任何個人的能力問題 (National Diet of Japan, 2012)。

如果發生類似福島的事故，我們的核能電廠會比福島電廠安全。首先，我國核電廠原來就比日本福島電廠多提供緊急電源(圖 5.3-2)和水源的設施，而且在日本發生核災後，我們馬上進行核電廠安全總體檢，強化核電機組抗地震、防山洪、耐海嘯之能力，裝設更多的設施來強化安全和應變系統，把電廠全黑(喪失電源)的狀況降至最低，而且要求電廠制定「斷然處置措施」，以維護民眾安全和環境爲最優先。在因應福島事故之改善措施完成之條件下，如果台灣發生像日本福島一樣的災害，遇上斷電、斷水，我國運轉中三座核電廠都沒有問題，還是能安然存活，此點也獲得 OECD/NEA 籌組專家團隊的認同。

核電有其優點，並以「深度防禦」理念進行設計，但卻如所有工程一樣無法保證 100% 安全，仍有可能因人爲疏失或超過設計基準而造成事故(不表示會造成死亡或對廠區外有影響)，目前台電公司已規劃具體強化方案，並持續精進「斷然處置措施」，以避免讓核災擴散至廠外；此外台灣發展核電的環境並非十分優越，如台灣身處地震帶，核一、核二及核四廠也距離都會區較近，因此相關的設計及應變要求也都需要更嚴謹的考慮。

核能電廠安全設計觀念

多重多樣設備：電源系統

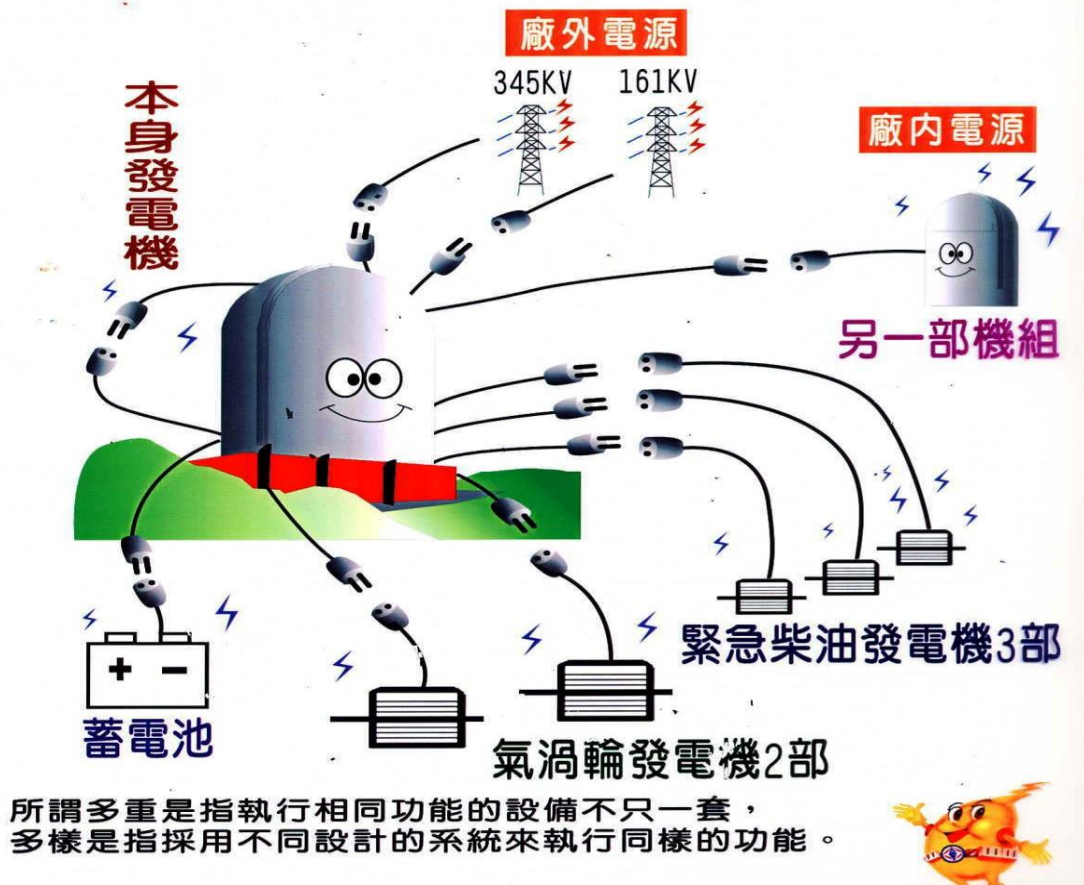


圖 5.3-2 核能電廠安全設計觀念

資料來源：台電公司(2007)

在核電廠風險方面，美國「反應器安全研究」是著名的核能風險評估報告(USNRC,1975)，該報告所指「爐心發生大核災機率為 10 億爐年一次」，如此低的機率所對應的核災後果為約 5 萬人立即因輻射死亡。核電運轉至今，實際發生了五次爐心熔損事故(三哩島 1 座、車諾比爾 1 座、福島 3 座)，此五次爐心熔損事故所造成的立即死亡人數，均相當有限，其後果遠低於前述 5 萬人死亡的嚴重程度，此與「反應器安全研究」的主要結論也相當貼近：「核電廠發生爐心熔損事故的機率比一般人想像為高，但後果遠比想像為低」。談論風險除了考量機率外，也應考量對應的事故後果，因此核電工業並未誇大核反應器的運轉安全。

5.4 輻射污染的環境衝擊

1986 年美國核管會為澄清民眾對於核能電廠安全的疑慮，特別擬定《核能電廠營運安全目標政策聲明》(USNRC, 1986)。提出了兩項量化的健康目標(Health Objectives)，作為核能電廠設計與運轉的基本準則：

1. 位於電廠界外 1 哩內的居民，因核子意外事故，而致個人急性死亡之風險，不應超過所有其他意外事故造成之個人急性死亡風險總合的 1/1,000。
2. 位於電廠界外 10 哩內的居民，因核能電廠營運所承受之癌症風險，不應超過所有其他原因造成之癌症風險的 1/1,000。

過去全球曾發生三次重大核災，其輻射外釋造成的影響簡述於下(張柏菁，2013)：

1. 三哩島事件

根據 ICRP-60 號報告結論推估由於三哩島事件之健康效應遠低於任何流行病學調查的可信範圍，所以美國國家癌症研究中心(NCI)非常確信：「三哩島事件對於附近居民的癌症發生率，沒有任何增加。」此外，發生事故之機組為二號機，事故後一號機停機超過 6 年，目前均正常運轉中，顯示當時事故之輻射外洩並未造成後需周邊之生活與工作。

2. 車諾比爾事故

2011 年聯合國原子輻射效應科學委員會 (UNSCEAR) 出版車諾比爾事故輻射之健康效應，其係源自車諾比爾事故後超過 20 年之實驗及分析研究。依 UNSCEAR 報告，電廠中之 600 名員工，其中 134 名接受極高劑量(0.8-16 戈雷)，遭受急性輻射病，其中 28 名於事故發生後 3 個月內死亡。另有二位死於與輻射非相關的疾病。11 位病患由於接受大於 10 戈雷之劑量，而引發消化道之傷害。事故 10 年間，另有 4 位死亡，但其死因與輻射傷害的確定效應無關。

3. 福島事故

在核災致癌及致死率方面，可以參考《能源與環境科學》(Energy and Environmental Science)期刊在 2012 年 7 月 17 日出版史丹福大學之福島核災致癌研究報告，全球健康

效應影響結果顯示，福島核災造成全球致癌病例的風險最佳估計值為 240 件；而罹癌致死病例的風險最佳估計值為 160 件。世界衛生組織也發表對於福島核事故的健康風險評估報告(WHO, 2013)，其結論是：對日本國內外的一般人群而言，預計風險很低，不會觀察到癌症患病率上升到高於基線水準。在具體癌症方面，對於居住在輻射污染最嚴重地區的人而言，預計風險增加情況如下：

- 所有實體腫瘤：受照女嬰風險增加約 4%；
- 乳腺癌：受照女嬰風險增加約 6%；
- 白血病：受照男嬰風險增加約 7%；
- 甲狀腺癌：受照女嬰風險最多增加 70%（通常情況下，女性一生患甲狀腺癌的風險只有 0.75%，而影響最嚴重地點受照女嬰的風險值只比基線值高 0.5%）。

部分人士認為核災致癌、致死人數將以百萬計，但顯然與美國三哩島核電廠、蘇聯車諾比爾核電廠及日本福島核電廠的經驗完全不相符。雖然上述事故之實際死亡人數相當有限，然而對反對者而言，任何事故都難以容忍，甚至認為嚴重低估死亡人數，因此，核電廠的安全性與事故影響也仍備受爭議。

在低放射性廢棄物處置方面，蘭嶼貯存場業於 100 年 11 月 26 日完成全數低放射性廢棄物(受放射性物質污染的物料，並非用過核子燃料及其經再處理所產生之萃取殘餘物)之檢整作業，俟低放射性廢棄物最終處置場建置完成，即可著手進行遷場作業。

在用過核子燃料方面，參照國際作法，台電公司將用過核子燃料依水池冷卻、乾式貯存、最終處置三階段處理。核一、二廠的用過核子燃料池可容納其運轉約 30 年、核三廠則可容納其運轉 40 年所產生之用過核子燃料。台電公司目前正推動核一、二廠乾式貯存設施興建計畫，以繼續提供核一、二廠運轉發電所需之貯存容量。(原能會，2013)

「最終處置」在各核電國家已有成熟作法並積極推展中，OECD/NEA 之放射性廢棄物管理委員會，在 2008 年發表地質處置共同聲明，認為經由地表及地下實驗室調查研究，對不同地質組成或工程材料進行廣泛試驗，累積所得的驗證數據及可靠的模擬分析結果，顯示用過核子燃料或高階核廢料的地質處置在技術上可行，已是全球性的科學共識。

目前美國、瑞典及芬蘭等國均有處理實績或正建造深層地質處置場中；日本、比利時及瑞士亦均有實驗性的地下貯存設施，相關的研究成果足以提供深層處置設施發展全尺寸的處置技術能力與安全可靠度驗證。台電公司除依「放射性物料管理法」持續推動地質調查與技術發展工作，亦平行追蹤國際發展，尋求國際合作處置或再處理之機會。

有關最終處置方案，國際上係採深層地質處置方式，藉由多重障壁的概念，將用過核子燃料或高放射性廢棄物置於地表下約 300 至 1000 公尺，以處置場所在之天然母岩，以及用過核子燃料容器、回填材料、處置場之工程結構體及處置母岩等工程障壁永久阻滯放射性核種之遷移，使其不會影響人類之生活環境。依 OECD 在 1991 年發表之報告，用過核子燃料之處置及安全分析技術均已具備；惟因其選址及開發所需時間較長，國際上核能發電國家均採放射性廢棄物處置計畫與核電廠運轉平行推動的方式辦理。

至於「高階核廢料之再處理方式」，係對用過核子燃料中所含約 97% 的有用核物料與放射性廢棄物進行分離並回收利用，殘餘的廢棄物經玻璃固化後，再另予貯存或最終處置。其優點為可提高資源利用率，減少放射性廢棄物處置體積，並降低其輻射壽命及強度，符合環境保護原則，其缺點為費用較直接處置方式高，目前暫不具經濟性(台電公司, 2013b)。

核廢料的處置爭議主要有：用過核子燃料最終處置之半衰期極長，將跨越許多人類世代，因此部分人士會認為無法保證未來之後代子孫能繼續維持處置之安全性；支持者則認為這些場址於地表下約數百公尺且可永久阻滯放射性核種之遷移，無需擔心。此外，目前全世界僅瑞典及芬蘭正建造深層地質處置場，其他國家雖使用核能發電，但卻仍無清楚確切的處置計畫；因此部分人士認為這是不負責的作法，但支持者則認為未來必有解決之道，若因現在無最終處置計畫就廢核，可能引發其他更嚴重的氣候變遷等環保問題。

5.5 小結

表 5.5-1 為全球各國政府在福島事故後，對於發展核能的態度。雖然德國及瑞士及比利時政策轉向，放棄發展核電，但大多數國家政策不變，持續發展核能；另有部分國家(含台灣)之核電政策方向不明或保留彈性。

表 5.5-1 全球各國政府在福島事故後，對於發展核能的態度

已經擁有核能電廠的國家，共 31 個國家	
政策不變，持續發展核能	美國、加拿大、法國、英國、俄羅斯、烏克蘭、捷克、韓國、中國、印度...等 25 國
核電政策方向不明或保留彈性	日本、台灣、瑞典
政策轉向，放棄發展核能的國家	德國、瑞士、比利時
計畫興建首座核能電廠的國家	
政策不變，依計畫興建首座核能電廠	沙烏地阿拉伯、阿拉伯聯合大公國、越南、土耳其、波蘭...等 14 國
政策不變，但興建首座核能電廠計畫延後	印尼、泰國
政策轉向，放棄興建首座核能電廠計畫	義大利

資料來源：王裕隆(核研所，2012)

核能在亞洲推估仍然會維持快速的成長，主要原因為核能是少數技術成熟、發電穩定、價格低廉以及燃料供應安全的低碳發電技術。以下介紹鄰近國家日本及韓國的發展趨勢。

日本是目前核電裝置容量的亞洲第一大國。福島事故後，高漲的反核民意，向政府提出廢止核能電廠的要求，但日本的安倍內閣會議仍然否決這項提案。經濟產業大臣茂木敏充於記者會表達「前政權所宣布 2030 年代達成非核家園的能源方針，有再檢討的必要」；「現在談論再生能源佔幾%，化石燃料佔幾%，是一件笨拙的行爲」；新政府會提出包含核能發電在內最佳組合的能源政策；「安全性確認無虞的核能電廠，會尊重原子力規制委員會的判斷，決定是否可再起動的責任仍在政府。」；「對於民主黨政府所制定，不再新設或增設核能機組能源政策，新政府會根據專家的意見，做出政治判斷」；未來有可能再新設或增設核能機組。由於問題複雜，日本核能政策在未來幾年內將仍是模糊的，自民黨則期望於十年內建立最佳永續發電組合。

亞洲第二個核能大國是韓國。韓國政府在完成核能電廠的安全檢查之後，今年再次宣示，韓國的核能電廠安全無虞，能源政策不變，會依其國家能源基礎規劃(National Basic Energy Plan, 2008-2030)，預計韓國的核能發電佔比，在 2030 年，將達到 59%。

圖 5.5-1 為台灣歷年各部門燃料燃燒 CO₂ 排放量，可以看出發電碳排放佔絕大多數且快速增加。圖 5.5-2 為我國溫室氣體減量目標，可以看出其減碳缺口極大。2012 年 11 月馬英九總統召開「能源政策」記者會，宣布核一、核二與核三廠將不再延役，興建中的核四廠則必須在「確保安全」的基礎下才會進行商轉，且若核四廠兩部機組均能於 2016 年前穩定商轉，核一廠將配合提前停運。總統也強調，政府會在「不限電、維持合理電價、達成國際減碳承諾」三項原則下，穩健減核，並於核四廠安全穩定商轉後，每四年進行通盤檢討，以積極、務實與負責的態度，逐步邁向「非核家園」。然而從圖 5.5-1 及圖 5.5-2 可以看出對資源有限且人口稠密的台灣，又要減碳又要減核實在是很難兼顧的政策。

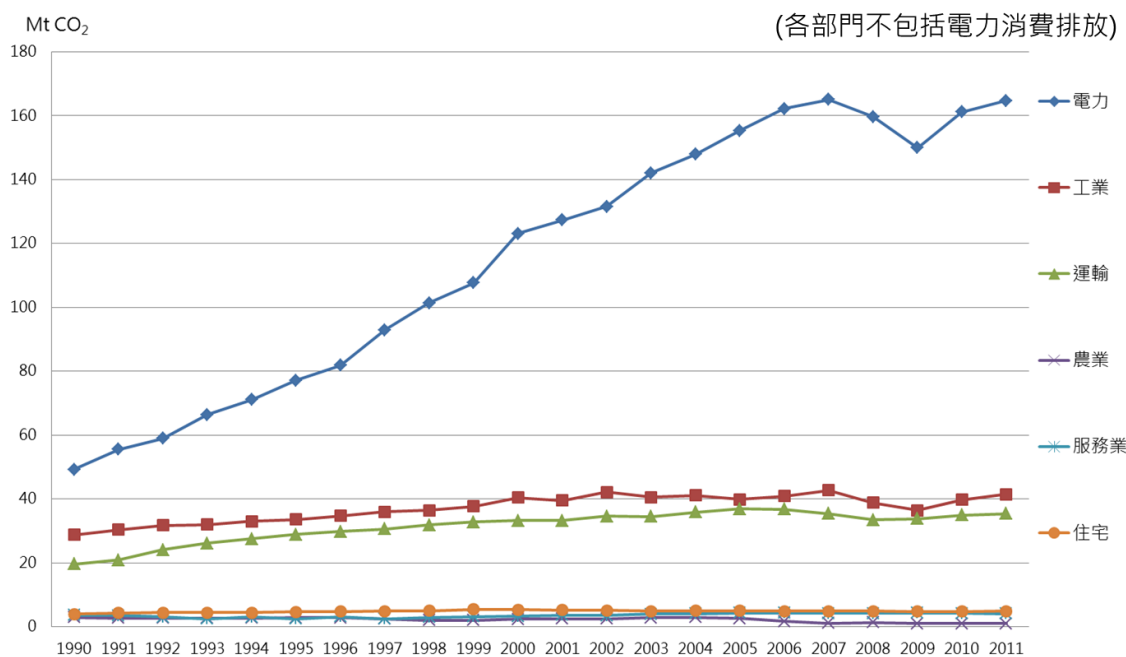


圖 5.5-1 台灣歷年各部門燃料燃燒 CO₂ 排放量

資料來源：核研所繪製(2013)；我國燃料燃燒 CO₂ 排放統計與分析，能源局，2012

行政院「節能減碳推動委員會」(2010/01/18)

- 短期 全國二氧化碳排放減量於2020年回到2005年排放量
- 中期 → 全國二氧化碳排放減量於2025年回到2000年排放量
- 長期 全國二氧化碳排放減量於2050年回到2000年排放量的一半

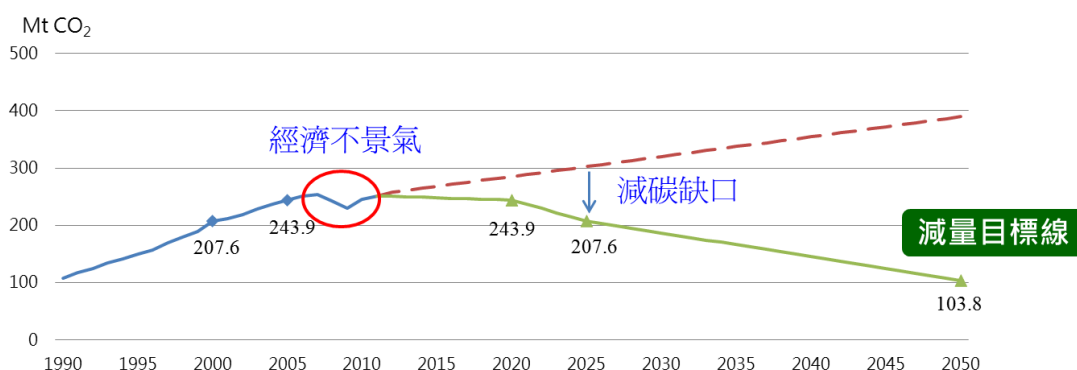


圖 5.5-2 我國溫室氣體減量目標

資料來源：核研所繪製(2013)；我國燃料燃燒 CO₂ 排放統計與分析，能源局，2011

表 5.5-2 顯示核能仍須扮演全球減碳關鍵的角色，在 450 情境(即溫室氣體濃度於 2050 年維持 450 ppm，可使地球溫升少於 2°C)時，OECD 國家非水力再生能源於 2035 年之發電佔比為 34%，而核電之發電佔比也須自 21% 增為 25%，故核電雖有其爭議性，但面對減碳壓力時，實在很難不將核電納入低碳發電選項。

表 5.5-2 核能仍須扮演全球減碳關鍵的角色

單位：TWh			新政策情境		現行政策情境		450 情境	
	1990	2009	2020	2035	2020	2035	2020	2035
OECD 國家	7629	10848	11910	13297	12153	14110	11470	12153
化石燃料	4561	6600	6629	6401	6981	7948	5931	3328
核能發電	1729	2288(21%)	2318	2460	2299	2240	2392(21%)	2982(25%)
水力發電	1182	1351	1486	1622	1474	1578	1521	1730
非水力再生能源	157	609	1477	2813	1400	2343	1627	4112
非 OECD 國家	4190	10560	16325	23340	17040	26255	15026	19595
化石燃料	2929	7847	11163	14528	12167	18882	9522	7159
核能發電	283	468	1125	1906	1099	1668	1209	2986
水力發電	962	2079	3027	4054	2916	3771	3137	4532
非水力再生能源	15	166	1010	2851	858	1934	1159	4918
全球	11819	21408	28235	36637	29194	40364	26497	31748

化石燃料	7490	14446	17793	20929	19148	26829	15453	10487
核能發電	2013	2756	3443	4366	3397	3908	3601	5968
水力發電	2144	3431	4513	5677	4390	5350	4658	6263
非水力再生能源	173	775	2486	5665	2259	4277	2785	9031

資料來源：IEA(2012)；核研所繪製(2013)

整體而言，核電有下列優缺點。

核能發電優點：

1. 核能電廠幾乎不會造成空氣污染，且二氧化碳排放量極少(無直接排放)。為減緩全球氣候變遷，核電仍不可或缺。
2. 核燃料能量密度比起化石燃料高上幾百萬倍，故核能電廠所使用的燃料體積小，運輸與儲存都很方便，可有效改善能源安全。
3. 一座 1000 百萬瓦的核能電廠一年只需 30 公噸的鈾燃料，核燃料採購一次可用一年半(能源安全)。
4. 燃料價格低，因此核能發電的成本較不易受到國際經濟情勢影響，故發電成本較其他火力發電穩定。
5. 具經濟效益，發電成本與燃煤發電相當。

核能發電之爭議處或負面印象：

1. 放射性廢料及核能安全均易讓民眾有疑慮。
2. 雖然事故發生機率低於百萬分之一，但民眾仍不易接受。
3. 核能電廠投資成本太大，電力公司的財務風險較高，通常需要政府補貼。常認為核電廠除役成本高，不經濟。
4. 核能發電廠熱效率較低，因此熱污染問題較為嚴重。
5. 經驗顯示，興建核能電廠易引發政治紛爭。

核電有其優點，並以「深度防禦」理念進行設計，但卻如所有工程一樣無法保證 100% 安全，仍有可能因人為疏失或超過設計基準而造成事故，且核一、核二及核四廠也距離都會區較近，其相關衝擊亦應納入考量。因此，每個國家在規劃能源政策時都得仔細評估自身的資源與條件、價值的選擇與需負擔的代價，其間勢必取捨，畢竟天下沒有完美的能源。

致謝

本文謹代表作者個人看法。作者感謝王裕隆博士、謝得志博士及施建樑專案主持人對原稿提供一些有價值的建議並提供參考資料使用。

參考文獻

1. 邱太銘(2011)。國外核子動力反應器設施除役概況 簡報，100 年 8 月 3 日，核能研究所。
2. 葛復光(2012)。碳捕獲與封存技術之發展趨勢及經濟分析，兩岸節能減碳之技術創新與產業發展研討會，台北，2012 年 11 月 24-25 日。
3. 王裕隆(2012)。福島事件後的世界核能發展趨勢，中華民國核能學會第 29 屆第 1 次會員大會及核能電廠運轉安全研討會，台北，2012 年 12 月 28 日。
4. 謝得志(2012)。福島事件與核能未來發展演講，台灣科技大學，台北，2012 年 4 月 19 日。
5. 原能會(2013)。放射性物料管理問答集。2013年3月26日，取自http://www.aec.gov.tw/輻射安全/輻射安全FAQ/放射性物料管理--4_37_345.html
6. 卓金和、孫廷瑞(2013)，我國2020年主要發電技術之均化成本估算，核能研究所。
7. 杜博文(2007)。核能電廠設計概念與BWR核能電廠系統介紹，台灣電力公司核二廠訓練中心。
8. 台電公司(2008)。三哩島與車諾比事故說明與比較，台灣電力公司。
9. 台灣電力公司(2013a)。資訊揭露。2013 年 4 月 24 日，取自
http://www.taipower.com.tw/content/new_info/new_info_in.aspx?LinkID=7
10. 台灣電力公司(2013b)。資訊揭露。2013 年 4 月 28 日，取自
<http://www.taipower.com.tw/content/news/news01-1.aspx?sid=99>
11. 台灣電力公司(2013c)。台灣電力公司 102 年度業務計劃及預算概要。
12. 清蔚園科學館(2013)。核電資訊相關展覽。2013 年 4 月 26 日，取自
<http://vm.nthu.edu.tw/science/shows/nuclear/safety/index.html>
13. 張柏菁(2013)。三大核電廠事故之健康影響，核能研究所。
14. IEA(2012), World Energy Outlook 2012 , Paris: OECD/IEA.
15. IPCC (2007), Climate Change 2007: Working Group III: Mitigation of Climate Change, Intergovernmental Panel on Climate Change.
16. IPCC (2011), Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation, Intergovernmental Panel on Climate Change.

17. JAIF(2011) 取自,
http://www.jaif.or.jp/english/news_images/pdf/ENGNEWS01_1316055611P.pdf(21, 05, 2013),
Japan Atomic Industrial Forum.
18. James M. Acton and Mark Hibbs (2012), Why Fukushima was Preventable, the Carnegie Papers.
19. National Diet of Japan(2012), The Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission.
20. OECD/NEA (2012), The Role of Nuclear Energy in a Low-carbon Energy Future, Paris: OECD/NEA.
21. USNRC(1975), Reactor Safety Study: An Assessment of Accident Risks in US Commercial Nuclear Power Plants., WASH-1400 (NUREG-75/014).
22. 22.USNRC (1986), Policy Statement on Safety Goals for the Operations of Nuclear Power Plants, U.S. Nuclear Regulatory Commission.
23. 23.UNEP(2011),Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication, United Nations Environment Programme, 2011.
24. 24.WHO (2013), Health risk assessment from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan earthquake and tsunami, World Health Organization.

第六章 能源服務的型態與影響

能源是推動國家發展及經濟活動的基本動力，其對人民生活及國家安全的重要性不可言喻。能源問題癥結不外乎是能源匱乏衍生之能源安全及能源使用所造成的環境問題。因此本章將探討能源服務使用提升生活品質與經濟發展下所帶來的正面影響與負面衝擊，至於能源使用所產生之國家安全之問題則不在本章論述。

能源服務需求（Energy Service Needs）係指最終能源消費者所需要之各類耗能技術與設備所能提供之服務（Services）。如住宅及服務業部門則為家電用品所提供的服務，包含冷氣機提供自室內移走的熱量（kcal）的服務（用稱為冷凍噸）。運輸部門所提供的服務則是運輸工具所提供的載客服務（如延人公里）或載貨服務（如延噸公里）（吳再益等，2010）。考量提供此類能源服務之能源型態不外乎以煤炭、石油、天然氣與電力等方式提供熱能或電能，以驅使器具運作，提供生活與產業所需之服務，故以下本章將分別由電力、煤炭與油氣等面向加以論述。

6.1 電力特性與影響

近年來由於民眾對生活自動化與電器化的需求提高，電力在日常生活的用途日益廣泛，已成為不可或缺的民生必需品。而隨著工業革命以來，產業發展逐漸由勞力密集走向自動化，其中電力亦扮演不可或缺之角色。以下將分別探討電力供給與需求之特性、電力消費的正面影響與伴隨而來的負面衝擊等議題。

6.1.1 電力的供給與需求特性

電力係透過不同的發電方式產生電力，但由於發電廠（包含核電廠、火力電廠、水力電廠等）均設於偏遠地區，所以必須藉助輸變電系統轉變電壓、傳輸電力，以供給用戶使用，而為提高輸電能力並減少損失，須先提高電壓以利長距離輸送，再依用電需要逐段降低電壓，

供配電系統提供用戶使用，下圖 6.1-1 為電力系統流程圖。

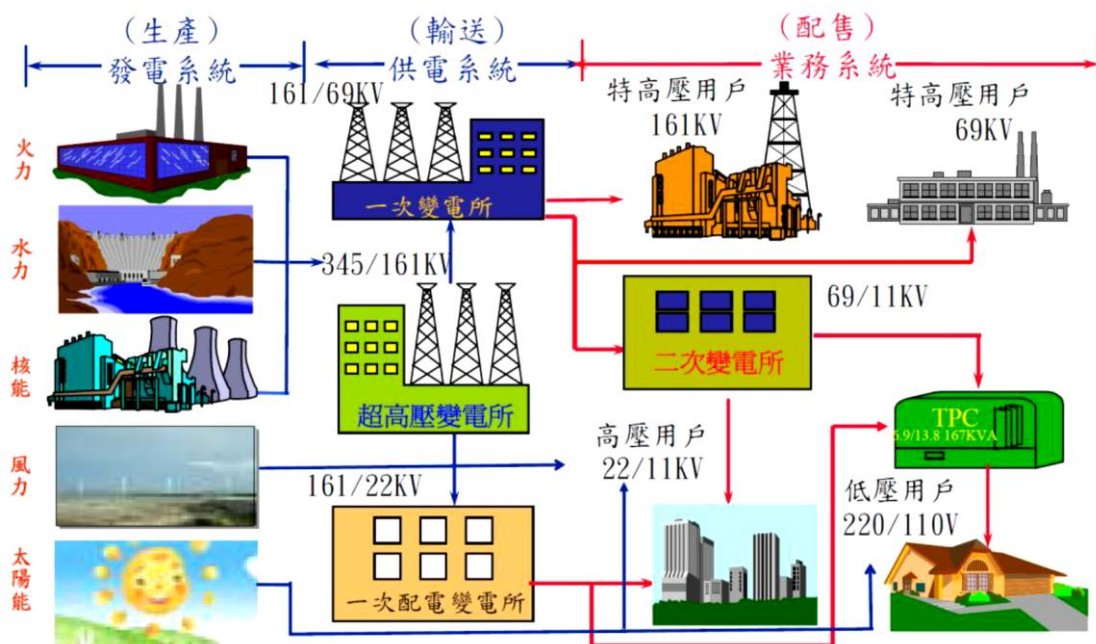


圖 6.1-1 台電公司電力系統流程

資料來源：台電公司網頁資訊 <http://www.taipower.com.tw/index.htm>

一、電力供給特性

電力需求因外在的環境因素如生活作息與 氣溫改變而不斷變動。為確保電力系統的穩與安全，及考慮各型機組運轉特性，系統所需之電源配比可分為基、中、尖載，下表為電力系統基、中、尖載之差異比較表，而下圖 6.1-2 為 101 年最高尖峰負載日(7/11)之各類機組發電供給情形。

表 6.1-1 基、中、尖載特性比較表

負載別	基載	中載	尖載
特性	滿足長時間運轉且變動成本低之特性。	介於基載與尖載特性之機組。	起、停快速，可適時提供電力之能力。
型式	風力、川流水力、核能及燃煤火力等。	調整池水力、燃油、複循環機組。	抽蓄水力、水庫式水力、氣渦輪機等。
理想占比	55%~65%	15%~30%	10%~15%

資料來源：台灣電力公司 http://www.taipower.com.tw/content/new_info/new_info01.aspx

二、電力需求特性

由於隨著民眾日常作息、產業製程、季節交替與經濟發展等眾多因素，電力需求會隨之瞬息萬變。而電力供應需發電與用電相當，若區域內發電不足以供應用電需求時，必須透過跨區電網輸電線輸送融通電力支援。下圖為 101 年北、中、南各地區尖峰負載及發電量比例圖。以 101 年北部地區為例，電源僅佔全系統 34%，用電量卻占 40%，電力供應明顯不足，需南電北送因應。

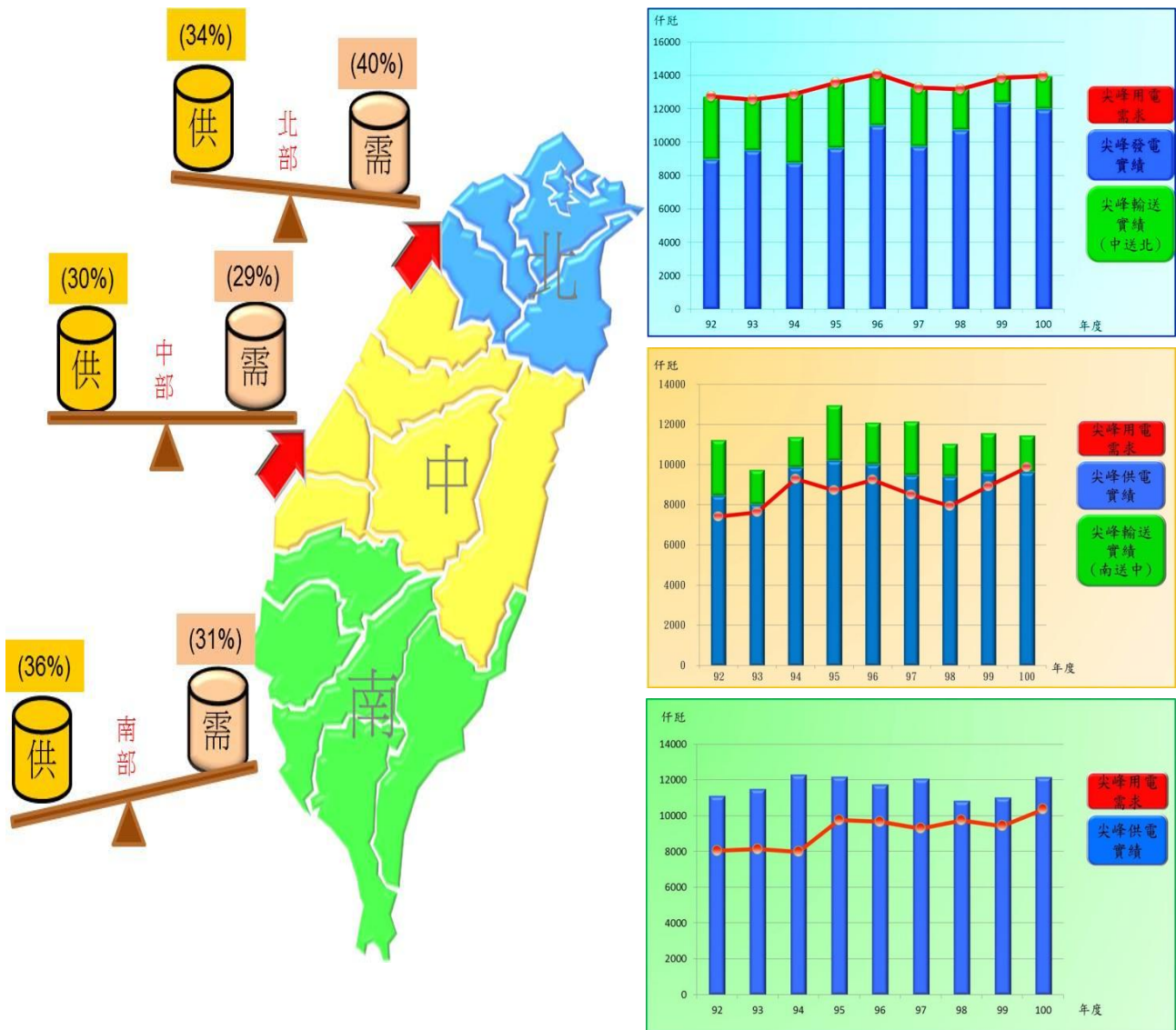


圖 6.1-3 101 年北、中、南各地區尖峰負載及發電量比例圖

資料來源：台灣電力公司

http://www.taipower.com.tw/content/new_info/new_info_in.aspx?LinkID=12

6.1.2 電力使用的正面效益

電力是現代化生活的基石，也是經濟發展的動力，不論是一般傳統產業或是新興高科技產業無不以電力為動力。電力具有以下幾點重要貢獻：

一、促進經濟發展，帶動相關產業

下圖為我國電力消費與國民所得示意圖，由圖中可見電力消費與國民所得大致呈現同向之變化，其中以工業部門用電最多，其次為商業部門與住宅部門。此外電力屬於技術密集，且其發輸配電為極具規模與複雜的系統工程，且其投資金額相當龐大，可帶動相關營建、化學材料、機與電機等產業之發達。此外，發展再生能源、需求面管理與智慧電網等，亦能帶動綠能產業與能源服務業之發展。

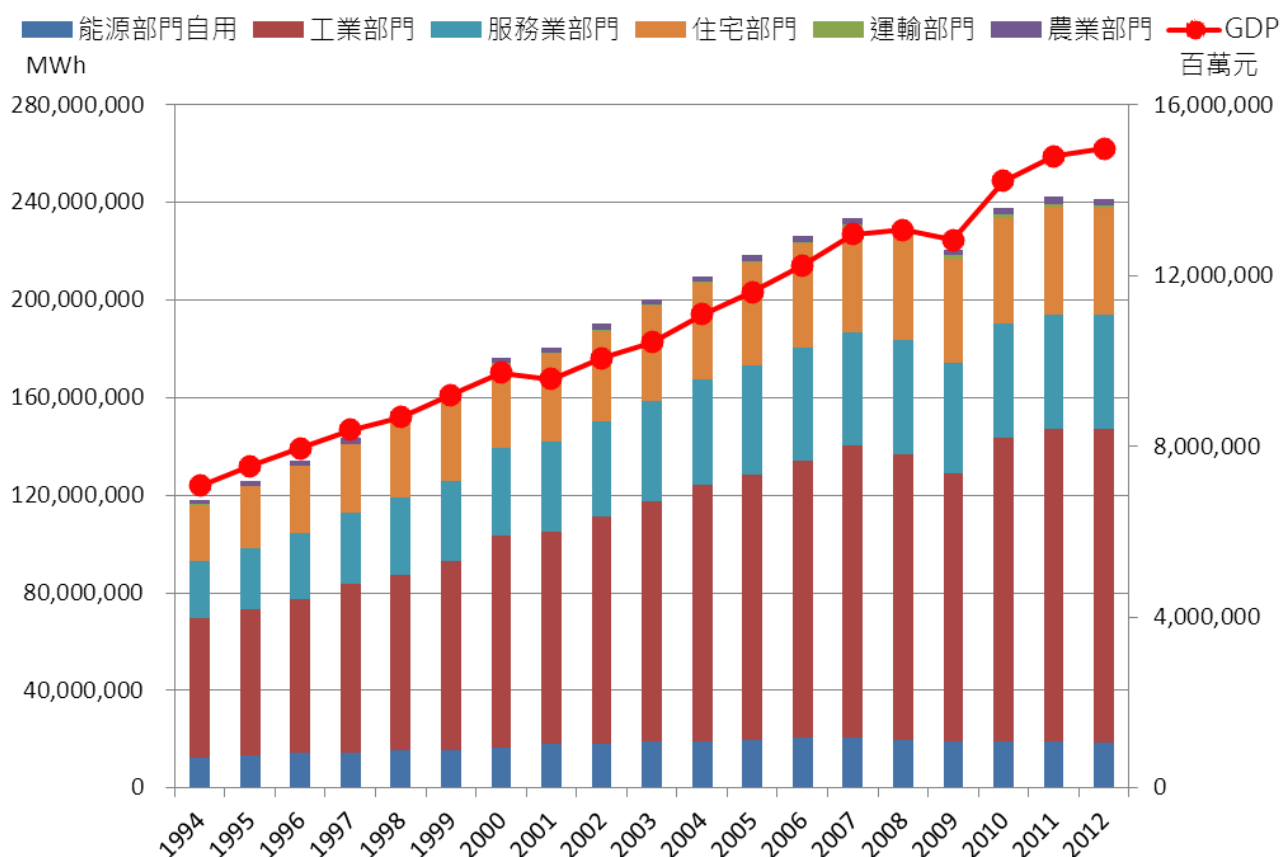


圖 6.1-4 1994-2012 我國國民所得與各部門用電情形

資料來源：(1)主計處，國民所得與經濟成長統計資料、(2)經濟部能源局、能源統計月報、
(3)本刊繪製

二、改善生活品質，促進社會繁榮

電力對使用者而言，由於具有清潔、方便、安全與高效率等需多優越性，故廣為人們所採用。在現代生活中，舉凡各種電氣化產品如電視機、電冰箱、冷氣機、洗衣機與電鍋等，都已成為民生必需品。根據主計處統計資料顯示，各類家用電器之普及率如下圖，2010 年資料顯示電視機之普及率已達 99.41%，洗衣機為 97.76%，冷暖氣機 89.05%，而家用電腦為 71.32%。

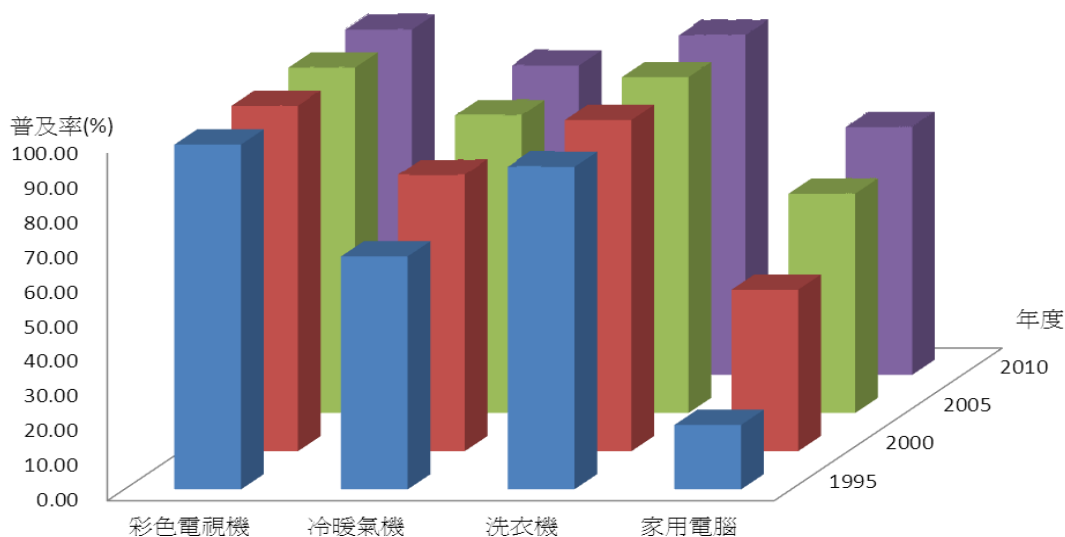


圖 6.1-5 我國家用電器普及情形

資料來源：(1)主計處，家戶統計資料、(2)本刊繪製

6.1.3 電力使用的負面影響

當我們享有電力所提供之便利性與繁榮的同時，產生電力與傳輸電力的過程中亦會產生負面的影響。如電磁波的問題。

發電廠的電皆為極高的電壓，必須經過數次由高壓鐵塔支撐著的輸電線路送入變電所將電壓給予降低，再經由電線桿支撐的配電線路送入變壓器，將電壓降至日常生活中常見的 110 伏特和 220 伏特，這樣才能送至各個家庭提供用電。然而因為變電所與高壓電塔等電力設備會產生電磁場，而其是否會對人體健康造成影響，已引起社會大眾的關心，近年來社會各地紛紛傳出反對興建變電所與高壓電塔等輸電設備的聲浪，針對此議題，全球各地在過去的 25 年間曾進行相當多的研究及調查，但是，截至目前為止，仍無法證明屬於極低頻的電力電磁

場暴露與健康兩者之間具有因果關係。

電磁場是電場與磁場的合稱。生活中常常會發現電場的存在，例如冬季脫毛衣發生的爆裂聲，接觸門的把手有觸電感覺，這些都是因摩擦而產生的靜電現象。在電力使用中，只要有電壓存在，電線或電器設備周圍就會有電場。電場一般是以千伏特/米(kV/m)作單位。而只要有電流通過，導線的周圍也會產生磁場。磁場的單位是以特士拉(T)或高斯(G)或毫高斯(mG)或微特士拉(μ T) 表示。



圖 6.1-6 電場與磁場示意圖

資料來源；台電公司網頁資訊 <http://info.taipower.com.tw/info3/main/what.html>

生活中許多電器，如常用的吹風機、電鬚刀、微波爐、電視、洗衣機等家電產品，距離身體越近，電磁場強度越強。根據英國國家輻射保護局(NRPB) 與德國聯邦輻射安全部公布之家電產品磁場資料如下圖 6.1-7。

	吹風機	電鬚刀	吸塵器	檯燈
距離 3公分	60~20,000	150~15,000	2,000~8,000	400~4,000
距離 1公尺	0.1~3	0.1~3	1.3~20	0.2~2.5

	微波爐	電視	洗衣機	冰箱
距離 3公分	750~2,000	25~500	8~500	5~17
距離 1公尺	2.5~6	0.1~1.5	0.1~1.5	<0.1

單位:毫高斯(mG)

圖 6.1-7 家用電器產品磁場示意圖

資料來源；(1) 英國國家輻射保護局(NRPB)、(2) 台電公司網頁資訊

任何導線，有電流通過，都會產生磁場，包括我們家裏的電線、電器或輸電線路都一樣有磁場，只是電流小或距離遠，磁場強度會相對減低。其中電場很容易屏蔽，如金屬的外殼、鋼筋混凝土、樹木及人體皮膚等都可以得到相當好的屏蔽效果。電力設備如變壓器、電纜等大多有金屬外殼，其外面幾乎沒有電場，屋內式變電所之所有設備都在鋼筋混凝土建築物內，對電場屏蔽更佳，又人體皮膚對電場有極佳的屏蔽(約衰減一億倍)，進入人體電場幾乎為零。因此世界上在電磁場對人體健康影響之研究(流行病學)，已將電場排除，而以磁場為主。磁場幾乎無法屏蔽，但方向相反、大小相同電流產生的磁場可以抵消，因此電流相同而採三相輸電的電力線較單相輸電的電力線產生的磁場會小得多。且電力公司輸變電設施在安裝前均經過設計且有一定的安全距離，故所產生的磁場已非常微弱。

6.1.4 電力相關議題

一、微電網

智慧電網旨在應用數位科技，結合先進電力電子暨自動化和資通訊技術，以電網為核心，最適化動態組合供給面資源(集中型發電、分散型發電和再生能源等)、需求面資源(需求面管理、需量反應等)和調節性資源(儲能系統、電動車等)，建構一個新系統架構、新運轉能力和最佳化資產管理能力之電力系統，朝向更具智慧化之發電、輸電、配電和用電之「強健性」電力基礎設施；俾能有效整合電能生產、電能管理、電能交易和電能服務，以利確保電力供需平衡因應未來氣候變遷減緩與調適之艱鉅挑戰，引領國家朝未來智慧化之低碳社會發展。

傳統電網的供電模式是由許多大型發電廠（如核能、燃煤、燃氣與燃油機組）輸送電力至用戶端，因電廠數量不多故可稱為集中式的發電，當電廠發生事故時，影響的範圍會相當廣大。但隨著再生能源的發展，許多家庭裝設太陽能或風機，此種分散式電源（Distributed Energy）分布各處供電，又可依區域獨立形成一個小型電網，又稱微電網（Micro Grid），未來希望當整體電網的某部分有事故發生時，各區域的微電網能自行運作，讓事故不再擴大。(林常平等，2011)。而微電網是智慧電網中區域能源管理的基礎單元。根據我國核能研究所指出微電網是電網及分散式電源加上資通訊及電力控制技術的結合，使分散式再生能源能順利併

入市電發電，或孤島運轉提供區域電網內負載電力平衡，如下圖 6.1-8 與 6.1-9 所示。微電網具備以下特點：

- (一)微電網是由分散式能源與負載所構成之區域電力系統，與大系統主要區別為為微電網具靈活的可調度性。
- (二)微電網中的能源可來自傳統電源與再生能源；負載可區分為敏感性/ 非敏感性、可控/不可控等類別，運用儲能設備、電力調度設備以及負載管理措施，微電網管理系統可維持電力系統之穩定運轉。
- (三)面對主電網的變化，微電網可選擇不同運轉方式。
- (四)微電網可自主電網輸入能量，必要時亦可微電網內發電設備向外輸出能量支援主電網。
- (五)微電網於一定條件下可獨立運轉，自行維持微電網中之供需平衡。

微電網的經濟性是其吸引用戶並得到推廣的關鍵之一，對用戶而言，經濟效益在於能源高效利用、環保、以及安全可靠的客製化電能服務，而最佳化資源配置和提供高效率能源則是微電網具有經濟效益的主因。

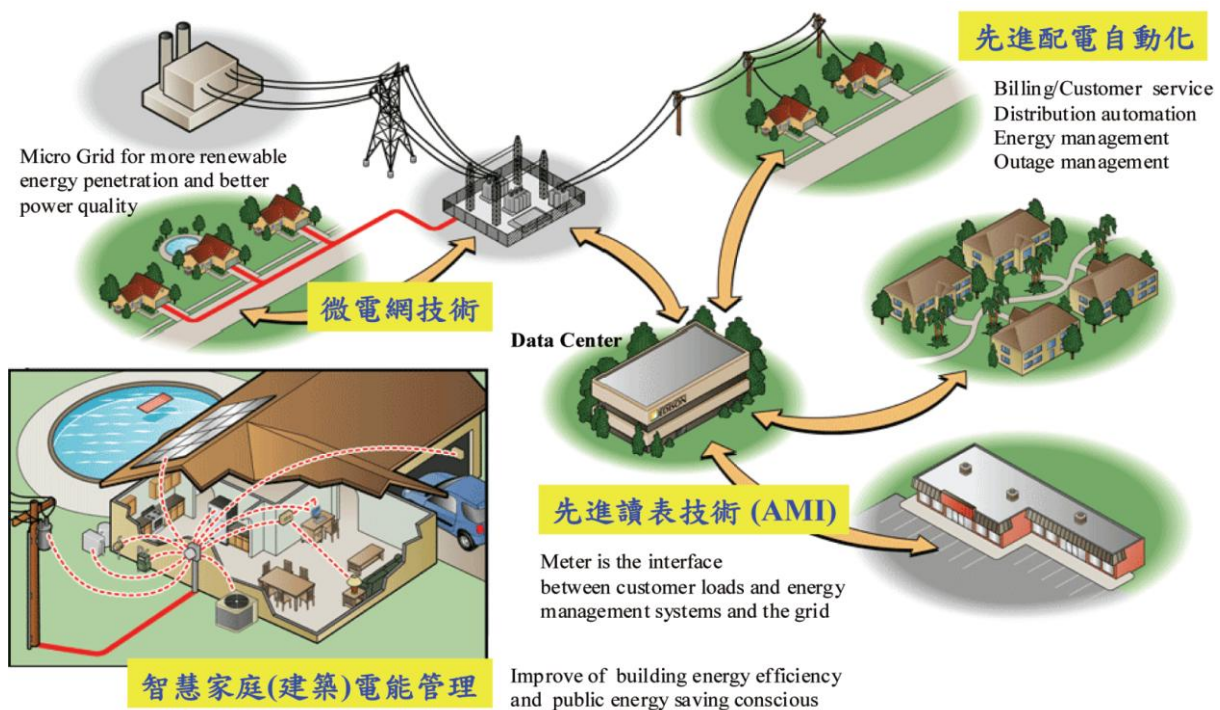


圖 6.1-8 智慧電網示意圖

資料來源；陳彥豪(2011)

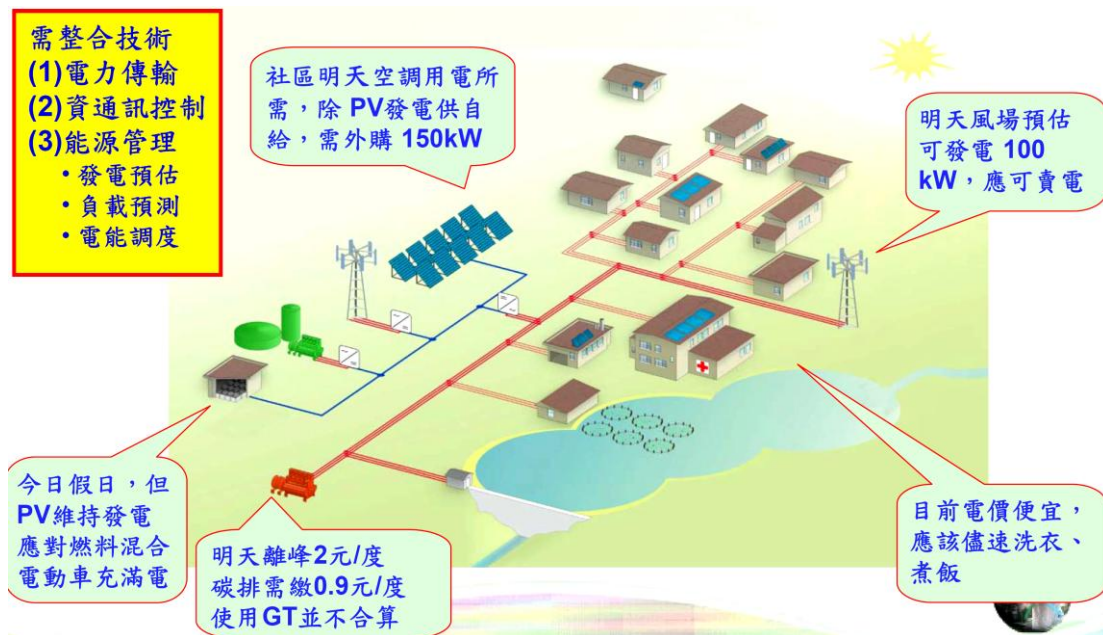


圖 6.1-9 微電網模擬情境圖

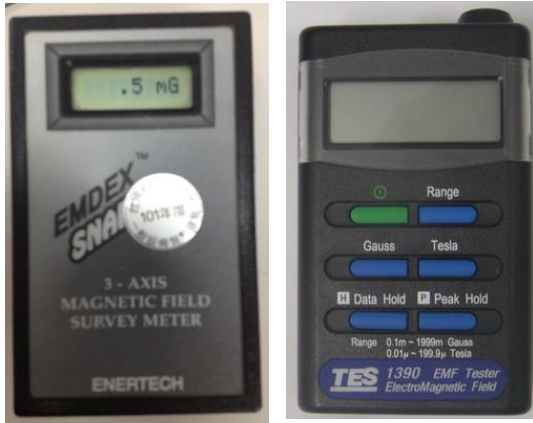
資料來源；張永瑞(2011)

如何量測電磁波??

一、了解電磁場/波

(一) 影片欣賞 (1) 生活中的電磁波 (30 秒) (2) 認識電磁場 (10 分 40 秒)

二、認識高斯計



圖片來源：(1)本刊拍攝、

(2)台灣電磁輻射公害協會

三、電磁波規範

多數國家所訂定的規範仍依循國際非游離輻射防護協會(International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP) 於 1998 年所訂定之準則;而該協會另於 2010 年針對 100kHz 以下公布最新準則,見下表。我國行政院環境保護署為更新並調和國際最新規範,因應立法院公聽會決議事項及環保團體訴求,乃綜合參酌 ICNIRP 1998 年及 2010 年所公告之曝露指引,於民國 101 年 11 月 30 日公告「限制時變電場、磁場及電磁場曝露指引」,適用非職業場所之一般民眾於環境中曝露各頻段非游離輻射。

表 國際非游離輻射防護協會於電力頻段之準則

機關名	發表年	60 赫建議值		說明
		電場	磁場	
國際非游離輻射保護委員會 (ICNIRP)	1998	8.3kV/m	420 μ T (4200mG)	職業人員
		4.166kV/m	83.3 μ T(833mG)	一般民眾
	2010	8.3kV/m	1,000 μ T (10,000mG)	職業人員
		4.166kV/m	200 μ T(2,000mG)	一般民眾

資料來源：台灣電力公司網頁資訊 <http://www.taipower.com.tw/index.htm#>

*「限制時變電場、磁場及電磁場曝露指引」：行政院環境保護署非屬原子能游離輻射管制網

http://ivyl.epa.gov.tw/Nonionized_Net/default.aspx

6.2 煤炭的特性與影響

煤的使用歷史非常悠久，是 18 世紀工業革命中的主要能量來源，提供主要工業和運輸動力之來源。於此蒸汽火車、蒸汽船等開始成為工業國家中的主要交通運輸工具。同時煉鋼業也需要大量的煤礦。城市的照明、暖氣和烹調等也需要使用煤氣。而英國在 18 世紀末發明了許多地下採煤的科技，從此採煤進入了大規模商業開採的時代。

根據國際能源總署(IEA)出版之「2012 世界能源統計(Key World Energy Statistics)」顯示在全球各類初級能源中，煤的使用比率高居第二位(約 27.3%)，僅次於石油(32.4%)；在全球發電類型中，煤更是最主要的電力產生來源(40.6%)。同時，在過去的連續幾年內，煤是消費成長最快的能源；展望未來，由於以中國、印度為首的開發中國家強大的電力需求，預估煤的消費成長相對於其他能源的消費成長將更為強勁(李綱信，2009)。

6.2.1 煤炭的種類與用途

煤炭依含碳量可將煤分為下列六種，最低級的煤炭為泥煤(peat)，摻有大量的水分。當泥煤深埋於地底後，地下的溫度和壓力，使水分、氧、氮含量減少，碳的含量增高；泥煤轉變成各種等級的煤：依次變為褐煤(brown coal)、亞煙煤、煙煤(bituminous coal)、亞無煙煤、最後形成無煙煤(anthracite)；無煙煤含碳量在 90%以上，幾乎沒有水分。

依據世界煤協會(World Coal Institute)的資料顯示：低等級的煤占全球煤儲量 47%，包含泥煤、褐煤及亞煙煤(Sub-Bituminous)。煤種較佳的煤稱為硬煤(Hard Coal)，占全球煤儲量 53%，其中又分為煙煤及無煙煤。而煙煤依照用途不同，分成燃料煤(Steam Coal)及煉焦煤(Coking Coal)，煉焦煤用於鋼鐵工業，燃料煤則用於發電、水泥、造紙及其他工業，下表 6.2-1 與 6.2-2 為煤炭的種類、特性與用途表。

表 6.2-1 煤炭的種類與特性

種類	含碳量	性質
無煙煤	含碳量約 92%，其中極大部分均是固定碳約占無煙煤的 90%	色黑而有金屬光澤，不易點火，燃燒時火力最大，且無煙，煤質最好
亞無煙煤	含碳量達 90%，固定碳量約占 90%	性質介於無煙煤和煙煤之間
煙煤	含碳量接近 90%，其中約五分之四為固定碳	色黑無光澤，易點火，燃燒時火力不如無煙煤大，且有煙
亞煙煤	含碳量約 75%，其中三分之二為固定碳	性質介於煙煤和褐煤間
褐煤	含碳量約 60%，其中三分之二為固定碳	呈褐色，質鬆，易點火，燃燒時火力很小，且發煙很多
泥煤	含碳僅約 50%，約一半屬於揮發成分，固定碳約占泥煤本身的 25%	形狀如泥，必壓乾或風乾，才可燃燒，火力最小，發煙最多

資料來源：http://content.edu.tw/junior/phy_chem/ty_lk/std/content/enage/cph17/coal.htm

表 6.2-2 煤炭的蘊藏量與用途

煤種	低等級煤種			硬煤		
	泥煤	褐煤	亞煙煤	煙煤		無煙煤
				燃料煤	煉焦煤	
全球蘊藏量	47%			53%		
用途	代柴薪作燃料	大部分為發電用途	發電、水泥製造、工業用途	發電、水泥製造、工業用途	鐵及鋼的製造	工業用途

資料來源：1.世界煤協會 <http://www.worldcoal.org/coal/what-is-coal/>、2.李綱信(2009)

6.2.2 煤炭的正面影響

一、蘊藏量豐富

根據英國石油公司(BP)統計報告(BP Statistical Review of World Energy)顯示煤炭之開採年限(Reserves-to-production (R/P) ratios)大約還可供全世界使用112年。以蘊藏量而言，煤的可開採量分布則較石油與天然氣分散，其主要集中於3個區域，依序為歐洲及歐亞大陸(35.4%)、亞太區域(30.9%)及北美區域(28.5%)。

二、價格低廉

相較於石油及天然氣，煤是資本密集度最低的能源，投資風險亦較低。萊茵集團電力(RWE

Power)公司根據IEA2003年全球能源投資展望之資料換算：將各類能源之探勘、發展、運輸及儲存等各生產環節成本加總，除以累加生產量，可算得各類能源每公噸煤當量成本。預估自2001年至2030年，煤成本為3.4美元/公噸煤當量，石油為15.4美元/公噸煤當量，天然氣為19.6美元/公噸煤當量(李綱信，2009)。

6.2.3 煤炭的負面影響

一、煤礦災變

(一) 煤礦災變種類

煤礦災變依其成因而言有三大類，先天者如瓦斯突出，保養管理失誤者如捲揚機鋼索斷裂等機電設備問題，人爲者如炸藥使用失當等。依其種類來看，分述如下(賴克富，2009)：

1. 落磐災變：落磐發生原因爲岩層因地壓或磐壓太大而發生裂縫，使岩磐或岩石脫落、崩塌。落磐災變是煤礦坑內發生頻率最高的災變，雖每次災變時死亡人數較少，但發生次數多時亦會嚴重影響礦場安全。
2. 埋沒災變：是指採煤面崩落，或是卸煤坑道堵塞，且在累積至一定重量後崩落所造成。
3. 瓦斯中毒或窒息災變：一氧化碳產生於煤礦坑內自然發火及坑內火災之煙霧中，甲烷及二氧化碳則經常積滯於坑內通風不良處。其中一氧化碳及二氧化碳氣體會導致坑內作業人員中毒或死亡。而甲烷則爲易燃氣體，稍有不慎易引起爆炸。
4. 爆炸災變：爆炸災變是煤礦最嚴重之災變，有瓦斯及煤塵爆炸二種。前者是因爲坑內通風不良，造成可燃性瓦斯積存，因遇火花或高溫而引爆。後者是指懸浮於空氣中的爆炸性煤塵，因遇高溫而引爆，其引發的火焰會在瞬間使礦坑內溫度飆升，並釋出大量一氧化碳及二氧化碳等有害氣體。
5. 瓦斯突出災變：係包藏於煤層中之甲烷氣體以強大之壓力突破煤壁而噴出，或煤層在被強大岩磐壓力所擠出時挾帶大量甲烷氣體及煤炭。瓦斯突出往往造成現場工作人員窒息及產生埋沒災變。
6. 機電災變：煤礦開採自進入機械化開採以來，坑內增加許多機電設施，而煤礦坑內又容易

堆積瓦斯，如遇火花，常釀成災變。此類災變以感電、發火及夾傷居多。

7. 運搬災變：此類災變以礦車逸走、脫軌、超捲居多，常會造成人員被撞的傷亡及坑道的落磐、坑道兩側的電纜、鐵管、鐵軌等的損壞。
8. 炸藥災變：此類災變以炸藥使用之管理、儲存、搬運、使用不當或爆破作業不慎、爆破時警戒措施不良引起者居多。
9. 水災：坑內水災大多是採礦工程進行中打通舊坑，使舊坑積水挾帶窒息性二氧化碳氣體大量流出，造成坑道淹沒及人員傷亡。
10. 火災：坑內火災及自然發火是煤礦最可怕的兩種火災，極易造成坑內工作人員中毒或瓦斯、煤塵爆炸。

(二) 礦坑災變案例

1. 台灣煤礦災變

臺灣礦坑災變自 1971 至 1985 年間發生多次重大災變。1971 年 12 月 1 日基隆七星煤礦災變,42 人死亡、2 人重傷、3 人輕傷。而 1984 年台灣發生多起重大礦災，共造成 289 人死亡。1984 年 6 月 20 日，當時台北縣土城鄉的海山煤礦發生災變，由於台車第 7 車和第 8 車的插哨沒有插好，造成台車滑落，又因撞擊到高壓電，引發火花和漫布在空氣中的煤粉接觸，引發爆炸，未在撞擊過程喪命的礦工，也因為空氣中布滿了一氧化碳而喪命，該次災變共有 74 人死亡。1984 年 7 月 10 日，當時台北縣瑞芳鎮的煤山煤礦因壓風機房坑壁頂磐崩落，且擊毀 220V 低壓 50 馬力電動機電源端，引發連續性的短路，短路的火花更點燃絕緣油起火燃燒發生坑內火災，造成坑內的 103 人窒息死亡，22 人輕重傷的災變，是台灣礦業史上最大災變。1984 年 12 月 5 日，台北縣三峽鎮的海山一坑發生不明原因的大爆炸，導致坑口坍塌，坑內易燃物迅速燃燒，正值礦工們交接班的時間，以致二班礦工計 95 人身陷一氧化碳迷漫的坑內，多數礦工罹難。共有 93 人死亡，在將近 5 天(93 小時)獲救的礦工周宗魯，是唯一生還者。

2. 國際煤礦災變

本溪湖煤礦爆炸是世界歷史上最嚴重的礦難，1942 年 4 月 26 日，處在日本統治下的滿洲國遼寧本溪湖煤礦（在今中華人民共和國遼寧省本溪市）發生瓦斯爆炸，日本礦主為了保存礦產資源停止向礦井下送風導致 1549 人死亡，佔當日入坑工作礦工的 34%。

表 6.2-3 國際煤礦災變案例

地點	時間	原因	後果
美國西維吉尼亞州 莫蒙加煤礦	1907 年	礦場氣爆	三百六十二名礦工罹難。
中國大陸昌源煤礦	2006/11/25	發生的瓦斯爆炸事故	致 32 人死亡，28 人受傷
美國西維吉尼亞州 馬賽能源(Massey Energy)公司所屬的 礦場	2010/4/6	礦坑氣爆的重大 意外事故	造成至少二十五人死亡，另有四人失蹤。由於坑道內充斥有毒氣體，致使救援工作中斷。這是自一九八四年以來美國最嚴重的礦災事故。
俄羅斯拉斯帕達斯卡雅 (Raspadskaya) 煤礦	2010/5/10	接連 2 起氣爆	已知 30 人死亡，另有 60 人仍受困礦坑內，生死未卜。當時有 370 人正在地下礦坑內工作。這起礦災造成 12 名礦工死亡、71 人受傷，其他 300 人奮力從坑內逃出，安全脫困。不過約 2 小時後，正當救難人員進入礦坑搜尋生還者、並將屍體運送至地面時，又發生第 2 起爆炸事故，還來不及逃生的礦工和救難人員本身都受困其中。
中國大陸夏拉煤礦	2011/3/16	發生煤與瓦斯突出事故	導致 9 人遇難
中國大陸富源煤礦	2012/12/5	煤礦一號井的煤與瓦斯突出事故	當班入井 66 人，49 人升井，17 人遇難。

資料來源：(1)新唐人電視台、(2)蘋果日報、(3)能源經濟管理資源中心自行彙整

二、二氧化碳與空氣污染物排放

依據我國能源局公布之100年能源統計手冊顯示，我國煤炭主要用途用在電力部門發電，約佔七成，如圖6.2-1。然而煤炭燃燒會產生直接或間接產生不同程度的污染排放物，此污染排放物包括了硫氧化物(SO_x)、氮氧化物(NO_x)、懸浮粒狀物及二氧化碳等。

煤炭消費 (按用途別)
Coal Consumption (by Use)

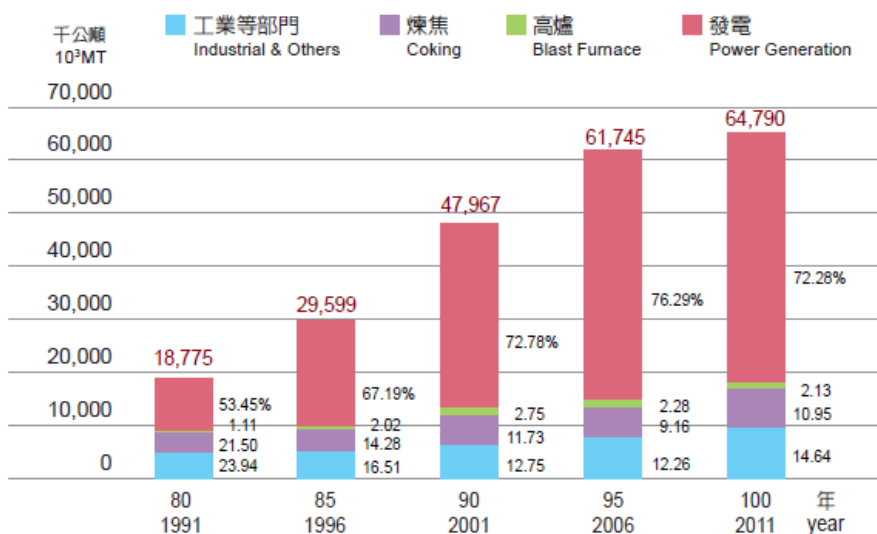


圖 6.2-1 我國煤炭消費用途別

資料來源：經濟部能源局(2012)，中華民國 100 年能源統計手冊

一、二氧化碳排放

聯合國組織的政府間氣候變遷小組(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)於 2006年發布之「國家溫室氣體清冊指南 (Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories)」計算方法及排放係數等相關規範，下表6.2-4為固定源CO₂排放係數彙整表，其顯示煤炭燃燒所造成之CO₂排放遠高於其他燃料油或燃料氣，故使用燃煤進行發電與產業生產都會造成我國二氧化碳排放量之大幅增加，對於未來面臨溫室氣體減量壓力或產品碳足跡等規範不利，然而考量其蘊藏量豐富與價格較為低廉之優勢，近年來希冀藉由先進發電科技(如超超臨界機組)，提升發電效率，發展淨煤技術(如氣化複循環發電技術(Integrated Gasification Combined Cycle, IGCC)等)以降低單位發電二氧化碳排放，並推動碳捕捉與封存技術(Carbon Capture and Storage, CCS)以減少燃煤發電所排放之CO₂。

表6.2-4 固定源CO₂排放係數

排放源類別	燃料別	IPCC 原始係數名稱	碳排放係數 (kgC/GJ)	CO ₂ 原始排放係數(kgCO ₂ /TJ)
煤	自產煤	Other Bituminous Coal	25.8	94,600
	原料煤	Other Bituminous Coal	25.8	94,600

排放源類別	燃料別	IPCC 原始係數名稱	碳排放係數 (kgC/GJ)	CO2 原始排放係數(kgCO2/TJ)
	燃料煤	Other Bituminous Coal	25.8	94,600
	無煙煤	Anthracite	28	98,300
	焦煤	Coking Coal	25.8	94,600
	煙煤	Other Bituminous Coal	25.8	94,600
	次煙煤	Sub-Bituminous Coal	22	96,100
	褐煤	Lignite	27.6	101,000
	油頁岩	Oil Shale and Tar Sands	29.1	107,000
	泥煤	Peat	28.9	106,000
	煤球	Patent Fuel	26	97,500
	焦炭	Coke Oven Coke and Lignite Coke	29.2	107,000
燃料油	石油焦	Petroleum Coke	26	97,500
	航空汽油	Aviation Gasoline (Jet Gasoline)	19.1	70,000
	航空燃油	Jet Kerosene	19.5	71,500
	原油	Crude Oil	20.0	73,300
	奧里油	Orimulsion	21.0	77,000
	天然氣凝結油(NGLs)	Natural Gas Liquids	17.5	64,200
	煤油	Other Kerosene	19.6	71,900
	頁岩油	Shale Oil	20.0	73,300
	柴油	Gas/Diesel Oil	20.2	74,100
	車用汽油	Motor Gasoline	18.9	69,300
	蒸餘油(燃料油)	Residual Fuel Oil	21.1	77,400
	液化石油氣(LPG)	Liquefied Petroleum Gases	17.2	63,100
	石油腦	Naphtha	20.0	73,300
	柏油	Bitumen	22.0	80,700
	潤滑油	Lubricants	20.0	73,300
其他油品	Other Petroleum Products	20.0	73,300	
燃料氣	乙烷	Ethane	18	61,600

排放源類別	燃料別	IPCC 原始係數名稱	碳排放係數 (kgC/GJ)	CO2 原始排放係數(kgCO2/TJ)
	天然氣	Natural Gas	15.3	56,100
	煉油氣	Refinery Gas	15.7	57,600
	焦爐氣	Coke Oven Gas	12.1	44,400
	高爐氣	Blast Furnace Gas	70.8	260,000
其他燃料	一般廢棄物	Municipal Wastes	25.0	91,700

資料來源：(1) IPCC，2006、(2) 經濟部能源局 能源產業溫室氣體減量資訊網

http://verity.erl.itri.org.tw/EIGIC/index.php?option=com_content&view=article&id=44&Itemid=28

二、SO_x、NO_x

台灣地區主要之供電來源仍以火力發電為主。火力發電是藉由燃燒煤炭、重油或輕柴油或液化天然氣等化石燃料而產生電力之發電方式，而在燃燒發電過程中，直接或間接產生不同程度的污染排放物，此污染排放物包括了硫氧化物、氮氧化物、懸浮粒狀物、二氧化碳及臭氧等等。

氮氧化物(Nitrogen Oxides, NO_x)係指一氧化氮(Nitrogen Monoxide, NO)及二氧化氮(Nitrogen Dioxide, NO₂)之合稱，大部分NO_x進入大氣時，都是NO型式，至於NO₂則是NO在大氣中被氧化而形成的。氮氧化物一般被認為是造成包覆地球之臭氧層產生破洞的氣體之一，導致太陽光中紫外線直射地球、產生光化學煙霧、硝酸雨等，進而對人體及環境造成極大危害，會造成呼吸障礙，肺部組織損傷，氣腫和支氣管炎。氮氧化物有助酸雨形成，水質惡化(優養化)和溫室效應等影響。

硫氧化物(Sulfur Oxides, SO_x)為二氧化硫(Sulfur Dioxide, SO₂)及三氧化硫(Sulfur Trioxide, SO₃)之合稱。在燃燒化石燃料過程中，燃料硫份會與氧反應，在高溫環境中產生二氧化硫(約99%)，而少量的三氧化硫(約1%)則在較低溫度下形成。SO₂為一具刺激臭味之無色氣體，易溶於水，與水反應成亞硫酸，具腐蝕性，且為引起酸雨的主要物質。

為了減少燃煤發電機組所造成之空氣汙染等問題，電力公司會加裝相關設備以減低空氣

污染物質，以達政府環保法規之標準。下圖為燃煤機組空氣品質控制系統，目前火力發電廠大型鍋爐對煙囪污染排放物之去除設備概分為下列五大項(張進發，2007)：

1. 抑減氮氧化物設備：

(1)低氮氧化物燃燒器(Low NO_x Burner)及火上風門(Over fire Air Port)。

(2)選擇性觸媒還原器(SCR：Selective Catalytic Reduction)。

2. 抑減鍋爐排煙溫度設備：空氣預熱器(AH：Air Heater)。

3. 粒狀物收集設備：靜電集塵器(Electrostatic Precipitator, ESP)或濾袋式集塵器。

4. 排放脫硫設備(Flue Gas Desulphurization, FGD)。

5. 降低單位面積落塵設備：高煙囪。

目前燃燒技術對抑減鍋爐氮氧化物排放量方式，可概分為抑制NO_x生成之燃燒控制及將已生成之NO_x減量的煙氣處理兩種，前者稱為「源頭減廢」；後者稱「末端處理」。源頭減廢如低氮氧化物燃燒器(LNB)、火上風門(OFA)、低過剩氧氣運轉(Low Excess O₂)、燃氣再循環(Gas Recirculation)等，末端處理如選擇性非觸媒還原法(SNCR)、選擇性觸媒還原法(CR)等。

目前使用之排煙脫硫方式可概分為乾式、濕式及半乾式三種而實際發展則有十幾種之多而台灣目前使用於大型鍋爐者僅濕式石灰石石膏法及海水除硫法兩種。台電公司的林口、興達、台中電廠及台泥集團之和平電廠鍋爐皆使用濕式石灰石石膏法，台塑集團之麥寮電廠鍋爐則是使用海水除硫法。

燃料燃燒過程中，會產生懸浮塵粒等微粒物質(PM：particulate matter)，若飄散到空氣中，其中含有一種懸浮微粒，因粒徑小於10 微米，所以可長時間懸浮在空氣中，對人體的危害甚大。要有效控制懸浮微粒，必須在其排入大氣之前，使用集塵裝置先予以捕集。一般使用的集塵器種類可以分為五種(1)重力集塵器(2)離心式(旋風)集塵器(3)濾袋式集塵器(4)濕式洗塵器(5)靜電集塵器。而大型火力發電廠為符合目前日趨嚴格的國家高環保標準，所以，通常以裝置濾袋式及靜電式集塵器為主。

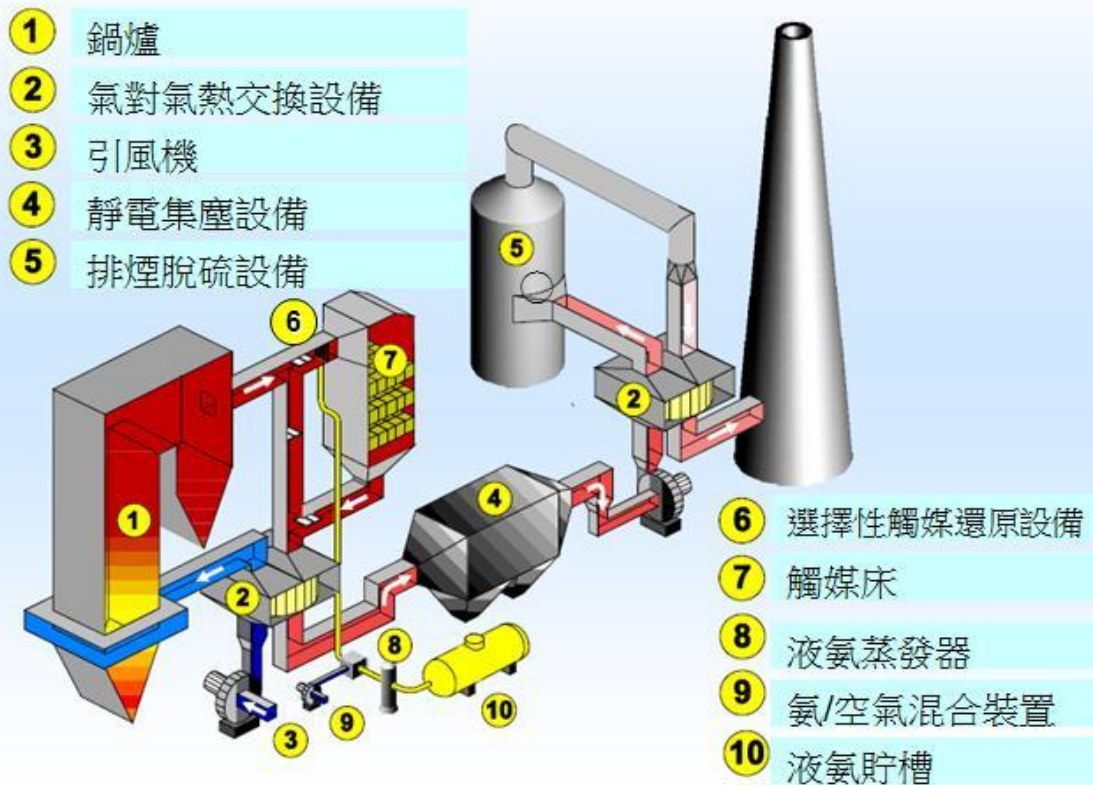


圖6.2-2 燃煤機組空氣品質控制系統

資料來源：台電公司 http://www.taipower.com.tw/content/new_info/new_info_in.aspx?LinkID=15

6.3 油氣的型態與影響

石油和天然氣都是蘊藏於岩層中，經歷數十年年至數千年生成可燃之礦產，從地底開採出來做為燃燒與石化之原料。各地所產原油因所在環境不同而有所差異，包括含硫量、酸度及重量等。以下分別就石油及天然氣之種類、特性、正面及負面影響說明。

(一) 石油的種類

石油蘊藏於沉積岩層中，經歷數十年年至數千年生成可燃之礦產，從地底開採出來做為煉油之原料，亦稱為原油。原油為黑褐色液體帶有刺鼻的臭味，各地所產原油因所在環境不同而有所差異，包括含硫量、酸度及重量等，目前國際上用以交易的指標原油包括杜拜(Dubai)、北海布蘭特(Brent)、美國西德州中級原油(West Texas Intermediate, WTI)、阿曼(OMAN)及杜里(DURI)等。WTI 價格是國際石油市場的一種基準價格，也是紐約商品交易所(NYMEX)石油期貨市場的交易標的，屬輕質原油，含硫量為 0.24%，API 為 40；Brent 為北海布倫特原油，是國際交易所(ICE)原油期貨的交易標的，產地為捨得蘭群島(Sullom Voe)，主產區則是

由北海的英國與挪威 15 個油田為主，主要在北歐加工提煉，也有小部分在美國東海岸以及地中海地區加工，屬北海輕質低硫原油，含硫量為 0.37%，API 為 38；以銷往亞洲地區的阿拉伯輕油係以 Dubai 與 OMAN 兩種原油均價為指標價格，含硫量高，又稱重油，價格相對低，API 為 31.05，不少亞洲地區(如台灣、韓國、日本等地)均有輸入中東地區的原油，含硫量高低排名為 Dubai、Brent、WTI，目前價格由高至低排名為 Brent、Dubai、WTI。

原油可提煉石油產品，包括氣體、液體及固體，油品種類及特性因煉製方法而有所差異。原油經過分餾製程，分為白油(Clean Oil)與黑油(Dirty Oil)，即蒸餾油(Distillate Fuel)及蒸餘油(Residual Fuel or Residual Oil)，一般消費者常使用的汽油、煤油、柴油等為蒸餾油(白油)，蒸餘油則為殘留於分餾塔下方、沸點較高的黑色油或介於兩者間混合而成之中間油品。油品的重量又可分為輕油(Light Fuel)及重油(Heavy Fuel)，兩者的差別在於黏度，重油為黏度較高，輕油如柴油，重油則是燃料油或介於燃料油與柴油間的油品。

(二) 石油的用途

原油除了可燃燒外，經過加工製造的煉油過程，可以產生各種不同石油產品，亦是眾所皆知的汽油、柴油、燃料油、煤油等各種油品。原油除了做為燃料用外，另一重要用途為石化工業使用，經由各種製程與加工後，可生產價格低廉且為生活所需的各種石化產品。石化工業可分為上游、中游及下游工業。上游和中游產業為石化基本工業，下游產業則為石化依賴工業，石化基本工業包括石化原料業、化學肥料業、人造纖維業、合成樹脂及塑膠業等，而石化依賴工業則與一般大眾生活所需關係較密切，如油漆、清潔劑、人造纖維、針織、橡膠製品等。另外，資訊業、汽車工業、電子工業等相關零件約有八成是來自石化工業，因此石化工業不僅能帶動其他工業之發展，亦是工業生產的火車頭，因此，油氣為民眾的生活帶來更多的便利，促進國家發展與提高國民之福祉。油品及石化產品的種類眾多，表 6.3-1 來為各種油品之種類及用途。

表 6.3-1 各種油品及其用途

油品名稱	種類	用途
汽油	車用汽油(Motor Gasline, Mogas)	車輛使用之燃料，分為高級汽油 (premium gasoline)及普通汽油(Regular Gasoline)。考量環保問題，不添加鉛，故可稱為無鉛汽油 (Unleaded Gasoline)。九二及九五無鉛汽油差別在辛烷值不同
	航空汽油 (Aviation Gasoline, Avgas)	航空使用之燃料，辛烷值不同分為 100/130 號航空汽油及 115/145 號航空汽油
	無鉛汽油	工業用之溶劑，不加入汽油精(即四乙基鉛)
石腦油(Naphtha)		沸點高於汽油而低於煤油之餾份，但沸點較此為低或較此為高者，亦稱石腦油，如各種溶劑
航空燃油 (Aircraft Turbine Fuel)	煤油型 汽油煤油型	噴射式飛機使用之燃油
煤油(Krosene)		閃火點多在 110°F 以上，沸點在 572°F 以下，用於照明、烹飪或做動力燃料及加熱
柴油(Desel Fuel)		發電機或柴油引擎使用
漁船油	甲種漁船油	漁船高速柴油引擎用
	乙種漁船油	黏度較高，為燒頭式引擎及低速柴油引擎使用。
爐用燃油(Fuel Oil)		加熱爐及鍋爐作燃料之用
加熱用燃油 (Heating Oil)		寒帶地區取暖用之石油產品，為煤油及柴油。
海運燃油 (Marine Fuel)		在港口供應遠洋輪船用之燃油，可分為輕柴油(即高級柴油)、重柴油(即普通柴油)、燃料油及中間柴油(由燃料油與柴油摻配)，輕柴油及重柴油為蒸餾油外，其餘均為蒸餘油
潤滑油脂	車輛與機動機械用潤滑油脂	交通運輸及工程使用，包括車用機油、齒輪油、潤滑脂及其他潤滑油(包括自動變速器油、液壓油、防震油、壓縮機油、煞車油等)
	工業機械用潤滑油脂	有減阻軸承用、齒輪用、液壓系統用、空氣壓縮機用、蒸汽渦輪機用、蒸汽機用、水輪機用、冷凍機用、金屬工具機用及加工作業用等。
	船舶用潤滑油脂	用於海運輸船
柏油類(Asphalt)		為含碳多之黑色固體或半固體之石油產品，包括鋪路柏油、塗料柏油、屋頂柏油、防水柏油、絕緣柏油及柏油漆。
溶劑類產品		多為工業溶劑與化學工業之重要原料，可分為通用溶劑、油漆滴劑、乾洗油、殺蟲劑溶劑、脫臭溶劑、橡膠溶劑、黏著劑溶劑、去漬油、揮發油、苯、甲苯、二甲苯、醋酸、乙酸乙酯
石油化學品		多為化學品使用，包括乙烯、丙烯、丁二烯、環

油品名稱	種類	用途
(Petrochemicals)		己烷、苯、甲苯、各種對二甲苯、一氧化碳、及合成氣等
其他產品		不屬於上述之石油產品，如石蠟、硫磺、碳煙、石油焦等

資料來源：台灣中油股份有限公司。

6.3.1 天然氣的種類與用途

(一) 天然氣的種類

天然氣和石油一樣，經過幾百萬年的溫度、壓力及地層的變化與細菌的分解，在開採原油時伴隨而產生之可燃性氣體，主要成份為甲烷，並含有微量的乙烷、丙烷、丁烷及戊烷等。天然氣經過液化製成後，為液化天然氣，也就是一般大眾日常生活所使用的瓦斯，分為天然瓦斯和桶裝瓦斯兩種。天然瓦斯即液化天然氣(Liquefied Natural Gas, LNG)，為無色、無臭的液體，經壓縮後其體積為氣態時的 1/600 左右，便於儲存及運送，經由輸氣管線輸送至一般用戶家庭中，使用上方便，其著火溫度較桶裝瓦斯高，比重較空氣輕，天然瓦斯發聲漏氣時，氣體會向空間上方逸散，因此，不容易著火安全性高。另一桶裝瓦斯亦稱為液化石油氣(Liquefied Petroleum Gas, LPG)，主要成份為丙烷與丁烷的混合物，桶裝瓦斯多為小吃攤使用，有些老式公寓沒有安裝天然瓦斯管線，故也使用桶裝瓦斯，其缺點是使用上不方便，常要請瓦斯行送貨，若無法及時送達，用戶可能會等到「斷氣」，由於 LPG 的著火點溫度較低，比重較空氣重，如果發生瓦斯外洩或氣爆，容易累積於空間的下方，稍有不慎容易著火，較不安全，因此在使用上必須格外小心。有關液化天然氣和液化石油氣之差異與比較見表 6.3-2。

表 6.3-2 為 LNG 與 LPG 之比較。

項目	液化天然氣 (LNG)	液化石油氣 (LPG)
製程	天然氣經低溫冷凍製成	原油煉製產品之一
主要成分	甲烷	丙烷(C3)及丁烷(C4)混合
比重	450 kg/m ³	579kg/m ³
著火點溫度	595°C	470°C
安全性	較高	較低
一般計量/價單位	熱值	公噸數

輸、儲設備	要求條件、投資金額較高	要求條件、投資金額較低
使用便利性	以管線供應用戶，較便利	以桶裝供應用戶，較不便利

資料來源：台灣中油股份有限公司。

(二) 天然氣的用途

天然氣除了可作為燃料使用外，在工業上常以天然氣作為原料使用。台灣的天然氣產量相當低，大多由國外進口，天然氣經液化程序後，成為液化天然氣再進口至國內供用戶使用。天然氣可分為壓縮天然氣(Compressed Natural Gas, CNG)、液化天然氣、燃料氣及煉油氣。一般天然氣經壓縮至 150kg/cm² 後，成為壓縮天然氣，主要供做車輛動力燃料；而液化天然氣，則是經過壓縮及冷凍後，成為液化天然氣，運輸方便，供一般家庭或電廠發電使用；燃料氣(Fuel Gas)及煉油氣(Refinery Gas)是裂煉、重組或其他煉油過程所產出之副產品，多數為甲烷、乙烷、丙烷及丁烷，含有少量的烯屬烴，其用途很廣，除了作為燃料使用外，亦是製造肥料、石油化學品及塑膠產品之重要原料。

6.3.2 輸油/輸氣管線的正面影響

(一) 油氣在能源供給中占有重要的地位

能源是經濟成長與發展之驅動力，而油氣是經濟發展的重要命脈。人類文明的發展史與能源有極密切的關聯。隨著工業發展，人類對能源的依賴與日俱增，而油氣在能源供給中占有重要的地位，人們因交通工具的運輸而縮短人與人之間的距離，減少許多寶貴的時間，社會大眾也因油氣帶來更多生活的便利。日常生活中與能源消費息息相關，石油產品除了作為交通工具燃料使用外，還有許多石化產品用於日常食、衣、住、行中。表 6.3-3 為台灣石化相關工業之產值，根據行政院主計處 101 年 11 月所發佈之統計，台灣製造業年產值從 98 年的 129,633 億元逐年增加至 100 年的 171,731 億元，當中石化工業的產值亦是逐年提高，100 年石化工業總產值(含紡織業、石油及煤製品製造業、化學原材料業、化學製品業、橡膠製品及塑膠製品業)占製造業產值的 31.2%，顯現石化工業在一國經濟發展中扮演相當重要的角色。

表 6.3-3 石化產品用於製造業之產值

單位：百萬元

年	98	99	100
製造業產值(基期年為 95 年)	12,963,329	16,677,477	17,173,153
紡織業	332,204	421,808	444,189
石油及煤製品製造業	1,076,402	1,224,090	1,350,726
化學材料製造業	1,680,424	2,266,432	2,321,386
化學製品製造業	194,700	237,040	243,514
橡膠製品製造業	83,907	107,892	119,753
塑膠製品製造業	285,516	340,825	353,256
石化工業合計	3,653,153	4,598,087	4,832,824

資料來源：行政院主計總處，2012.11.23。

(二) 國內的油氣分佈

台灣中油公司全台共有六座港口油庫，分別位於基隆、台中、台中港、蘇澳、花蓮輸油站以及深澳專用港，當油輪抵達港口並完成卸油後，必須利用輸油管運輸油料，油管運輸較安全且經濟，因此油管是大量輸油之動脈（如圖 6.3-1），油料經油管輸入油庫（站）的油槽後（如圖 6.3-2），管理人員必須嚴格監控油料的安全、品質的控制等，以確保儲油及發油順暢。台灣中油公司輸油管線分佈各地，總長度約 2,428 公里，共有九大油管形成一個便捷的油料運輸網路（見圖 6.3-3）；除了油管運輸外，另有環島油輪，油罐汽車及油罐火車等運輸方式。在天然氣輸送方面，天然氣經由液化後，冷凍至零下 162°C，液態體積將較氣態時縮減約 1/600，為維持其低溫狀態，必須用特殊冷凍船運送至天然氣接收站，再由輸送管線將天然氣輸送給消費用戶使用。目前，台灣中油公司兩座液化天然氣接收站，分別位於台中與高雄，台中液化天然氣接收站每年接收產能為 450 萬噸，永安接收站每年則為 900 萬噸，負責全台天然氣的輸送任務（見圖 6.3-4）。以下為台灣中油公司現有主要的油管系統，包括：

- 1.基桃油管：自基隆三十三號碼頭至桃園煉油廠。輸油作業油庫有基隆 油庫，八堵油庫，石門油庫，五股油庫等。
- 2.深澳－石門油管：自深澳輸油站至石門油庫。
- 3.桃新油管：自桃園煉油廠至新竹油庫。

4.新中油管：自新竹油庫至台中港油庫及台中港輸油站。

5.中一王油管：自台中港油庫，台中港輸油站至王田油庫。

南部油管：自高總廠至王田油庫，包括永康油庫，豐德油庫、嘉義油庫、雄油庫及王田油庫。

7.橋頭—高廠油管：自橋頭油庫至高雄煉油廠。

8.花蓮—北埔油管：自花蓮碼頭至北埔油庫。

9.蘇澳油管：自蘇澳碼頭至蘇澳油庫。



圖 6.3-1 輸油管線



圖 6.3-2 存放油料之油庫

資料來源：台灣中油股份有限公司

油庫的功能是儲油與灌裝發油，目前中油公司共有 22 處油庫（站），依港口、山區、平地及離島區域來分，位於港口區域油庫有基隆庫、深澳輸油站、蘇澳油庫、花蓮油庫、台中港油庫及台中港輸油站；位於山區之油庫有石門油庫、五股油庫、桃園油庫、王田油庫、民雄油庫、豐德油庫、北埔油庫及八堵油庫等；位於平地區域有新竹油庫、嘉義油庫、永康油庫、三民油庫、橋頭油庫、台東油庫及沙崙油庫；離島地區則只有一處湖西油庫。

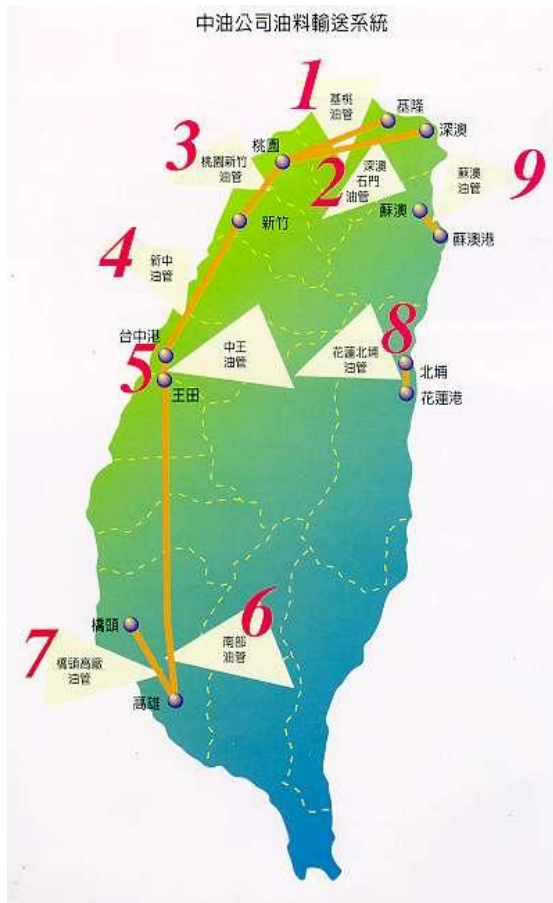


圖 6.3-3 台灣中油公司油管輸送圖



圖 6.3-4 台灣中油公司天然氣管線輸送

資料來源：台灣中油股份有限公司

6.3.3 輸油/輸氣管問題

6.3.3.1 輸油/輸氣管的安全問題

(一) 輸油/輸氣管爆炸、漏油、漏氣之原因

近年來，油氣價格不斷飆漲，尤其是中東地區，許多國家常發生盜油或竊油事件，因此昂貴的能源價格，易引發竊油動機，而造成油管破裂，盜油者稍有不甚，則引發油管爆炸，危害附近居民生命安全；油管/氣管使用年限有限，一旦老舊失修，容易出現裂痕與破損，也因為維修工作不易，長久易造成油管破裂漏油；管理人員疏於維護檢修，或是維修技術不純

熟，油管/氣管出現裂痕，容易發生工安意外事件；天然災害可能造成油管/氣管破裂，如颱風與地震。

(二) 輸油/輸氣管爆炸、漏油、漏氣之預防

台灣中油公司輸油及輸氣管線分佈各地，從北至南的油管長度約 2,428 公里，每天皆有巡管人員負責沿著管線進行巡管維護，目的是預防意外發生，當發現有異常時，巡管人員會立即通報油庫處理，此外，每月定期檢測油管陰極防蝕電位，分析油管最新的動態資料，這些措施都是為了確保輸油作業安全，避免意外發生。同樣的，對於輸氣管線，中油公司全線設有 23 個隔離站及 7 個開關站，進行氣管監控。

(三) 輸油/輸氣管爆炸、漏油、漏氣之處理

1. 採用沙土封堵：輸油管發生爆炸或漏油，會污染河道、水源等，兩端可利用沙土封堵河道，將洩漏的原油封死在河道內，減少漏油污染範圍。
2. 立即調度油罐車：應儘速以抽油管將洩漏原油抽入油罐車內，避免污染擴大。
3. 由空氣自由擴散緩解：空氣中的臭味，會隨時間逐漸消散，但缺點是附近居民必須忍受油污臭味。
4. 立即堵住漏油管道後，以吸油棉吸取大量油污，或者以攔油索圍住漏油範圍(見圖 6.3-5)，以降低對環境污染。



圖 6.3-5 吸油棉(左圖)及攔油索(右圖)

資料來源：大紀元、法新社(2010.5)

5. 當海上發生漏油時，可投入分散劑以清除浮油。分散劑清的作用是使海面的浮油沉入水中，能降低對海岸之威脅，缺點是當產生化學分解時，影響海中魚類生存，因此，

分散劑只適用於深海中。

6. 污染程度較輕之地塊，可用土壤焚燒方法進行修復。
7. 當天然氣漏氣時，應儘速關閉天然氣管道，疏散附近居民及工廠員工，加強員工教育訓練，並定期檢修。

(四) 油管爆炸意外事件頻傳，爆炸對環境造成嚴重的負面衝擊（見圖 6.3-6），包括：

1. 嚴重影響海洋生態

油污對海洋生物具有毒性，爆炸產生的有毒物質或致癌毒物，可能長久沈積於海岸的泥灘內，造成海洋缺氧，將嚴重影響海洋生態；而化學毒性物質存於在海洋底部污泥中，為各種海洋生物所吸食，如許多游浮生物、甲殼類、魚類或貝類所覓食，藉由食物鏈，將影響人類生命健康。

2. 威脅瀕危物種及其棲息地，對生物多樣性造成衝擊

受到污染存活下來的生物將受毒物影響，可能造成後代基因突變，對生物多樣性造成嚴重衝擊。

3. 對空氣、土壤及水資源影響

油管或氣管爆炸產生大量的濃煙，濃煙中含有致癌物質(如多環芳香碳氫化合物)，造成空氣污染；此外，洩漏的原油或燃油混入水中，流入地層，污染地下水；滲出的燃油流入土壤，影響農作物的生長，產生致癌物質，影響居民健康。

4. 威脅居民生命財產

當發生重大漏油、爆炸或漏氣事件，將會衝擊相關產業，造成經濟損失。如污染致海洋漁業(如養殖業)重大損失或消失；衝擊海上旅遊業、港口商業、船舶運輸和觀光旅遊，居民生命財產因而受到嚴重威脅。



圖 6.3-6 油管/氣管發生意外事故對環境之衝擊

資料來源：新華網(2010.6)、齊魯晚報(2011.12)、中國低碳(2011.11)、大紀元(2012.9)

(五) 近年開發油井造成地震事件

地震專家表示，過度挖鑿油井，每日會造成數千次的微小地震，以及 3 至 4 級的小地震。

1. 中國大慶油田 2005 年 7 月發生 5.1 級強震，12 人受傷，設備受損停產。
2. 2010 年 9 月至 2010 年 11 月間，美國阿肯色州中部因鑽鑿油井，造成 1.8 級至 4.0 級大小地震，雖未傳傷亡，但以對附近居民生活造成影響。
3. 美國俄克拉荷馬州有 18 萬 5 千座油井和數百座液壓井，每天發生不間斷且次數頻繁的小地震，2011 年發生規模 5.6 級地震，為該州目前最大強震。

(五) 近期油管爆炸、漏油及漏氣事件分述如下：

1. 2012 年墨西哥天然氣外洩

2012 年 9 月墨西哥國家石油公司位於墨西哥北方城市 Reynosa 附近的一處天然氣配輸中心發生天然氣外洩造成爆炸(見圖 6.3-7)，致 26 名工人死亡、46 人輕重傷，同時迫使附近居民撤離，並立即關閉天然氣管線。該爆炸事件肇因於天然氣意外洩漏引起。



圖 6.3-7 氣管爆炸

資料來源：大紀元(2012.9)

2. 2012 年秦京輸油管破裂漏油

2012 年 3 月，秦京輸油管道因年久失修，管道破裂造成原油洩漏，致河水及周邊的土壤被油層覆蓋發黑，並且污染附近水源(見圖 6.3-8)，濃烈的刺鼻味道，影響居民的健康及水質安全。當地的環保局與消防等部門，在河道兩岸鋪上吸油毯，並建造小型堤壩來阻



圖 6.3-8 河道遭汙染

資料來源：北京新浪網
(2012.3)

止油污蔓延。

3. 2012 年大潭電廠輸油管漏油

2012 年五月至七月間，台電大潭電廠柴油管線破損，短短三個月期間已連續發生三次漏油事件，附近小飯壠溪遭受嚴重污染，污染的溪水流入當地養殖戶的池塘，造成濱海養殖業損失慘重。大潭電廠表示，已用攔油索清理流入養殖業者池塘的柴油，污染範圍並不大。

6.3.3.2 輸油/輸氣管線意外案例

(一) 台灣油管破裂案例－竊油

2009 年年初，WTI 油價由每桶 44 美元，一路飆漲至現今每桶高達 90 多美元，高油價引發竊賊偷油的動機。2013 年 1 月台灣中油位於台中市清水區臨海路的地下油管遭偷油賊破壞，致大量柴油四處滲漏，當地居民聞到嗆鼻的油味，漏出的柴油不斷流入路旁的排水溝內，可能污染水源以及土壤(見圖 6.3-9)。中油公司立即關閉輸油管，抽取漏油。偷油將以竊盜和毀損罪送辦，並依據《水污染防治法》罰以 3 萬到 30 萬元罰款。



圖 6.3-9 竊油致大量柴油洩漏

資料來源：蘋果日報(2013.1)

(二) 台灣油管破裂案例－漏油

2012 年 5 月台中市烏日區一條通往清泉崗機場的軍用油管突然爆裂，疑挖路肇禍，軍方漏夜搶修漏出的燃料油，並出動消防車戒備。大量的燃料油流入溝渠和排水溝中，附近部分的農田遭受污染，禽鳥與魚群因水源污染而暴斃(見圖 6.3-10)，當地居民也因為刺鼻油味難以入眠。軍方緊急以吸油棉和攔油索鋪設在排水溝中，以阻止油管繼續漏油，並開挖馬路進行油管補修工作。台中市政府環保局將依違反《水污染防治法》向軍方開罰，並協助民眾向軍方求償。



圖 6.3-10 油管破裂致禽鳥與魚群暴斃

資料來源：自由時報(2012.5)

(三) 台灣瓦斯管氣外洩案例-工安事故頻傳

2011 年 9 月台塑六輕廠發生大火，這已是台塑一年內發生的第八起工安事故(見圖 6.3-11)。前 7 次事故，分別發生於台塑化烯烴 1 廠、台塑化煉製 2 廠(有 2 處)、台塑化和南亞共享管線、南亞管線、台塑化輕油裂解 1 廠以及台塑化煉製 3 廠。由於台塑六輕工安事故不斷，居民的生命財產飽受威脅。

六輕建廠多年，設備老舊已屆管線汰換期，加上維修人員對於檢修更換零件便宜行事，致使工安事件一再發生。此次，台塑麥寮六輕廠瓦斯管疑似氣體外洩，引發氣爆起火。事故發生後，當地空氣檢測出，氯乙烯、二氯乙烷濃度都超過標準，造成多家工廠跳車、停電。台塑緊急將管線遮斷、降溫，並立即停工檢修。

雲林縣環保局以違反空污法，各裁罰 100 萬元，並勒令停工，此次是史以來停工廠區面積最大的一次。面對一次又一次的工安意外，台塑除了公司的營運受到損失外，也讓該地區的居民再一次對其發出不信任的抗議與怒吼。



圖 6.3-11 台塑六輕廠發生大火

資料來源：新浪全球新聞(2011.8)、自由時報(2010.7)

6.3.3.3 海上/陸地油井漏油

(一) 近年重大海上污染事件

2010 年墨西哥灣石油洩漏災難對美國之影響，可以跟 911 恐怖襲擊相比，這將促使政府和人民重新考慮未來的環境和能源問題。茲將近期漏油事件分述如下：

1. 2001 年 1 月阿瑪斯號漏油事件

2001 年 1 月阿瑪斯號油輪於台灣南部海域墾丁國家公園境內的龍坑生態保護區發生漏油事件，油污遍布沿海礁石及岩縫。環保署組成跨部會應變小組，進行油輪漏油工作搶救規劃和後續相關處理事宜。由於事件發生時，正值東北季風期，海象惡劣難以進行海上清除作業，僅能以人力在岸上協助搶救，海岸油污撈除工作進行至至 6 月 12 日完成，清除工作未完成之前，屏東縣政府每日對船公司開罰新台幣一百五十萬元罰金，共計九十八日。該起漏油事件，造成龍坑生態保護區內的軟珊瑚及各種魚、蝦、蟹死亡，棲息該地附近的海鳥，也因為羽毛沾粘油污而瀕臨死亡，約 3.5 公里的海岸遭到污染，海岸及海域受污染面積達到 20 公頃，清理費用超過新台幣 9300 萬元。環保署長林俊義因輿論批評而請辭，由郝龍斌接任，所有阿瑪斯號船員依法遭到限制出境，至 8 月中，才解除阿瑪斯號船長及輪機長出境禁令，最後，船長卻獲得不起訴處分。然環保署委託法律與船公司協調，油污清除部分賠償 6133 萬元，然生態賠償部分因無法達成共識，環保署於 2003 年 1 月向屏東地方法院提出控告，並跨向海挪威法院提出告訴，要求賠償新台幣三億五千萬元。2005 年 1 月挪威法院判決船東須賠償台灣新台幣 953 萬元的生態監測費，但台灣政府必須分攤 1687 萬的訴訟費用，並駁回所有有關珊瑚復育、漁業復育、觀光及稅收損失之求償，環保署考量證據薄弱難獲勝訴及跨國訴訟所費不貲，因此改採庭外和解，總計獲得新台幣兩億八千萬元的賠償金。

2. 2010 年 4 月英國石油(BP)在墨西哥灣漏油

2010 年 8 月英國石油公司(British Petroleum, BP)位於墨西哥灣名為「深水地平線」(Deepwater Horizon)的外海鑽油平台發生故障而爆炸，洩漏的原油污染美國四州海岸，包括路易斯安那州、密西西比州、阿拉巴馬州和佛羅里達州海岸，此次外海漏油事件為石油工業史上最嚴重的海上漏油意外。這起事故發生原因在於用於加固油井的水泥出現問題，爆炸造成

11 名工作人員死亡及 17 人受傷。據估計每天平均有 1.2 萬到 10 萬桶原油洩漏至墨西哥灣，灣內至少 2,500 平方公里的海水被原油覆蓋，造成海灘和濕地嚴重污染，導致成千上萬的動物受到影響，專家們擔心漏油會導致一場環境災難影響多種生物，附近的海鳥受困，羽毛一旦沾上油污，可能中毒、溺斃或死亡，大量海中生物死亡，威脅瀕危物種及其棲息地，嚴重污染生態環境、響當地的漁業和旅遊業。BP 打造巨型金鐘罩以罩住漏油處，再將金鐘罩內的原油，抽回海上油輪中，由於深海水溫過低，金鐘罩內部累積大量的冰晶，該計畫宣告失敗；隨後，改以除油船進行油污清除作業，但效果不彰。2012 年 12 月 BP 與美國聯邦政府達成和解，支付 45 億美元罰金，若加上環境復育與地方賠償，估計 BP 將付出超過 180 億美元。

（二）近年重大陸地污染事件

近年陸地污染事件賠償金額多經法院判決或雙方協商，茲將近期漏油事件分述如下：

1. 中石化(Sinopec)集團旗下之勝利油田有限公司可能被徵收排污費，勝利油田已開採 40 多年，油井在生產過程中所形成之油泥累積估計高達 90 萬噸以上，先前東營市環保局以勝利油田違反《中華人民共和國環境影響評價法》，對每口油井處以 10 萬元罰款，共計 2,550 萬元。環保局也考慮對該油田開排污費徵收單，估計環境污染費高達 9 億元人民幣。

2. 2010 年安橋(Enbridge)位於密西根州的一條石油管道故障，發生漏油事故，Enbridge 立即關閉石油管道閘門，估計超過 300 萬公升原油流入底特律以西的卡拉馬祖河(Kalamazoo River)及其支流，破壞附近流域的生態及使當地居民財物遭受嚴重損失。美國運輸部油管暨危險性物質安全管理局(Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration- PHMSA)根據危險性液體輸送管路規定，對該公司開罰 370 萬元。

（三）1969 年-2010 年前十大海上平台漏油事件

圖 6.3-12 為 1969 年-2010 年前十大海上平臺漏油事件，以 2010 年 BP 位於墨西哥灣的「深水地平線」鑽油平臺漏油事件最為嚴重，約有 490 萬桶原油流入海中；其次為墨西哥石油公司所屬伊斯塔克 1 號平臺，因鑽機高速旋轉，壓力突然增加，引發爆炸，約 350 萬桶原油流入海中；第三為發生於 1983 年伊朗在波斯灣諾魯茲油田被伊拉克導彈擊中，致 190 萬桶原油噴出；接著分別發生於 1971 年波斯灣的伍德和 3 號、1978 年幾內亞灣的艾斯科拉弗斯、1980 年幾內亞灣的富尼瓦 5 號、1977 年北海的菲利普埃科弗克 B-14、1969 年年南加州的合石油平台 A、1980 年波斯灣隆的塔普米耶以及 1940 年位於墨西哥灣的雪佛龍(Chevron) 41C。

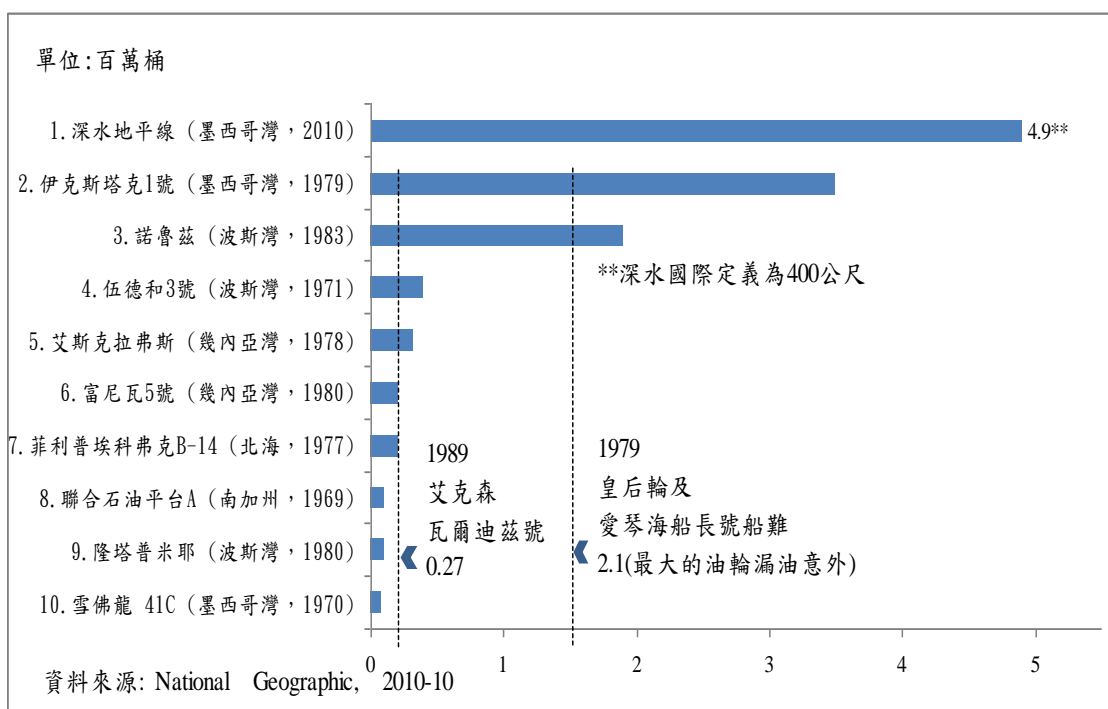


圖 6.3-12 1969 年-2010 年前十大海上平台漏油事件

資料來源：本研究整理

(四) BP 漏油事件之省思

美國總統歐巴馬 2010 年 6 月中旬發表講話時強調，美國要擺脫對石油的依賴，大力發展替代能源。在 BP 墨西哥鑽油平台漏油事件發生前一個月，歐巴馬於能源政策藍圖中表態支持擴大沿海油田鑽探，然而，在該事件發生後，新的沿海鑽探計畫恐將受阻或擱置。歷史上重大環境事件都可能對環境法產生影響，包括 1989 年埃克森事件催生了美國《石油污染法》及 BP 事件後影響正在參議院審議的《能源和氣候法案》。2010 年 7 月 23 日由於無法湊夠必

要票數，參議院將暫停運作了近一年的氣候立法。意味著美國短期內不會有全國性減排法律，美國向清潔能源經濟的轉型也將延緩。

小結

能源是國家發展與經濟活動的命脈，與我們日常生活，衣、食、住、行、育、樂息息相關，因此對人民生活及國家安全的重要性不可言喻。能源服務雖為我們帶來許多的便利，但也因能源匱乏而衍生能源安全及能源使用對環境帶帶多負面之衝擊。然而，這些負面的影響是可以預防的，只要事前做好監控與預防，將可降低許多意外災害發生，確保我們的環境安全與提升生活品質。

案例討論

◆ 卸油與輸油的作業如何進行？

當滿載油料的油輪入港後，在領港人員帶領下，駛進港口碼頭，此時，油庫的儲運人員負責將油輪繫泊卸油浮筒，再將浮蛇管接在油輪輸油管線上，進行卸油工作。當油輪完成卸油後，管線負責油料之輸送。



參訪建議

- ◆ 出礦坑礦場油礦開發陳列館
- ◆ 桃園煉油廠
- ◆ 石油展示館
- ◆ 石油夢想-3D影片(可上網或電話預約)

http://www.cpc.com.tw/big5/online_apply/index01.asp?pno=46&kind=1

參考文獻

1. 吳再益、葛復光、黃宗煌、謝智宸、曾禹傑、楊晴雯、林忠漢（2010）。工業、運輸、住宅及服務業部門能源服務需求長期預測。臺灣銀行季刊第六十一卷第四期。pp.133-176。
2. 台灣電力股份有限公司。取自 <http://www.taipower.com.tw/>
3. 台灣電力股份有限公司。資訊揭露取自
http://www.taipower.com.tw/content/new_info/new_info01.aspx
4. 台灣電力股份有限公司。取自
http://www.taipower.com.tw/content/new_info/new_info_in.aspx?LinkID=15
5. 行政院環境保護署。非屬原子能游離輻射管制網。取自
http://ivy1.epa.gov.tw/Nonionized_Net/default.aspx
6. 主計處。統計資料庫。取自 <http://ebas1.ebas.gov.tw/pxweb/Dialog/statfile9L.asp>
7. 經濟部能源局。能源統計月報。取自
http://web3.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/content/ContentLink2.aspx?menu_id=380
8. 陳彥豪（2011）。智慧電網的發展與應用。網路通訊國家型科技計畫簡訊。
9. 張永瑞（2011）。「核研所分散式發電及微型電網研發現況」簡報。行政院原子能委員會核能研究所。
10. 行政院衛生署國民健康局。漫談電磁波手冊。
11. 台灣電磁輻射公害協會。取自 <http://tepca.blogspot.tw/>。
12. 林常平、陳貽評（2011）。電網發展歷程與未來展望。能源報導。經濟部能源局。
13. 張進發（2007）。火力發電與污染防治。物理雙月刊。
14. 煤炭分類。取自 http://content.edu.tw/junior/phy_chem/ty_lk/std/content/enage/cph17/coal.htm
15. 世界煤協會。<http://www.worldcoal.org/coal/what-is-coal/>
16. 李綱信（2009）。全球煤市場之分析。經濟研究 第9期。行政院經濟建設委員會。
17. 經濟部能源局。能源產業溫室氣體減量資訊網。取自
http://verity.erl.itri.org.tw/EIGIC/index.php?option=com_content&view=article&id=44&Itemid=2

18. 經濟部能源局 (2012)。中華民國 100 年能源統計手冊。
19. 新唐人電視台。取自 <http://www.ntdtv.com/xtr/b5/2012/12/05/a809029.html>.-陸雲南富源煤礦發生瓦斯事故至 17 死.html
20. 維基百科。取自 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%85%A4%E7%9F%BF>
21. Intergovernmental Panel on Climate Change (2006)。 **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**。
22. 2 千公升柴油 狂噴嚇跑傻賊，蘋果日報，2013 年 1 月 27 日。取自 <http://www.appledaily.com.tw/animation/today/index/20130127/34797248>
23. 大連官員：清理漏油污染比大海撈針難，大紀元。2010 年 7 月 27 日，取自 <http://www.epochtimes.com/b5/10/7/27/n2977723.htm>
24. 大潭電廠 3 度漏油/害慘養殖場 池塘油污 1 米深，自由時報。2013 年 1 月 4 日，取自 <http://www.libertytimes.com.tw/2013/new/jan/4/today-life2.htm>
25. 六輕停工 台塑市值掉 2000 億，新浪全球新聞。2011 年 8 月 1 日。 取自 <http://dailynews.sina.com/bg/tw/twpolitics/chinapress/20110801/0139264870html>
26. 台灣中油股份有限公司，石油教室。取自 <http://www.cpc.com.tw/big5/content/index.asp?pno=108>
27. 防堵墨西哥灣漏油 油罩任務啓動，大紀元、法新社。2010 年 5 月 5 日，取自 <http://www.epochtimes.com/b5/10/5/6/n2899003.htm>
28. 國內各業生產總額，行政院主計總處，2012.11.23。
29. 墨西哥天然氣設施爆炸 26 人死，大紀元。2012 年 9 月 19 日，取自 <http://www.epochtimes.com/b5/12/9/19/n3686504.htm>
30. 秦京輸油管道年久失修破裂 千米河道土壤受污染，北京新浪網。2012 年 3 月 29 日，取自 <http://news.sina.com.tw/article/20120329/633181html>
31. 軍方輸油管破裂 農田、鴨鵝遭殃，自由時報。2012 年 5 月 12 日。 <http://www.libertytimes.com.tw/2012/new/may/22/today-life4.htm>
32. 英橋輸油管 又爆漏油，世界新聞網。2012 年 7 月 29 日。取自

<http://worldjournal.com/bookmark/19616158-%E8%8B%B1%E6%A9%8B%E8%BC%B8%E6%B2%B9%E7%AE%A1-%E5%8F%88%E7%88%86%E6%BC%8F%E6%B2%B9>

33. 空軍油管滲漏 污染台中農田，民視新聞。2012 年 5 月 21 日，取自

<http://news.ftv.com.tw/NewsContent.aspx?ntype=class&sno=2012521C21M1>

34. 六輕氣爆冒火 居民驚：以為末日真來臨，自由時報。2011 年 5 月 12 日，取自

<http://www.libertytimes.com.tw/2011/new/may/13/today-life7.htm>

35. 美密西根州境內石油管道發聲洩漏，多維新聞。2010 年 7 月 28 日。

<http://global.dwnnews.com/big5/news/2010-07-28/56274621.html>

36. 漏油事件解析/墨西哥灣浩劫 鑽新井解危，聯合報。2010 年 6 月 28 日，取自

http://mag.udn.com/mag/life/storypage.jsp?f_ART_ID=256481

37. 20 天不到 2 度失火/蘇治芬：六輕五期環評應暫緩，自由時報。2010 年 7 月 27 日，取自

<http://www.taiwanus.net/news/news/2010/201007270706111254.htm>

第七章 全球能源的跨國貿易

能源為工業民生之母，石油、天然氣、煤炭、電力與你我的生活息息相關，身處須仰賴貿易取得大部分能源的我們，實有必要對全球能源的跨國貿易與相關資訊，有一整體性的瞭解。以下將就各類能源之全球蘊藏、進出口貿易、交易市場、貿易與風險管理等面向，作一概略介紹與回顧，期待對讀者有正面幫助。

7.1 石油

7.1.1 原油蘊藏概況

石油是由地層或深海底下開採，為烴類的複雜混合物，一般多呈液態，通常將這未加提煉前的液態石油稱為「原油」(Crude Oil)。

表 7.1-1 2011 年全球原油蘊藏概況

依據 2012 年 BP 世界能源統計回顧(表 7.1-1)，2011 年全球原油蘊藏量(占全球比例)前 5 大國家依序為委瑞內拉 2,965 億桶(17.9%)、沙烏地阿拉伯 2,654 億桶(11%)、加拿大 1,752 億桶(10.6%)、伊朗 1,512 億桶(9.1%)、伊拉克 1,431 億桶(8.7%)。依據 2012 年 BP 世界能源統計回顧，2011 年全球原油蘊藏量(占全球比例)前 5 大國家依序為委瑞內拉 2,965 億桶(17.9%)、沙烏地阿拉伯 2,654 億桶(11%)、加拿大 1,752 億桶(10.6%)、伊朗 1,512 億桶(9.1%)、伊拉克 1,431

名次	地區/國家別	2011年底 蘊藏量 10億桶	占全球 比例 %	可產 年限 年
	OPEC	1,196.3	72.4%	91.5
	OECD	234.7	14.2%	34.7
	中東地區	795.0	48.1%	78.7
	中南美	325.4	19.7%	*
	歐亞	217.5	13.2%	41.7
	北美	132.4	8.0%	41.2
	非洲	141.1	8.5%	22.3
	亞太地區	41.3	2.5%	14.0
1	委內瑞拉	296.5	17.9%	*
2	沙烏地阿拉伯	265.4	16.1%	65.2
3	加拿大	175.2	10.6%	*
4	伊朗	151.2	9.1%	95.8
5	伊拉克	143.1	8.7%	*
	中國大陸	14.7	0.9%	9.9
	印尼	4.0	0.2%	11.8
	全球	1,652.6	100.0%	54.2

資料來源：2012 BP Statistical Reviews of World Energy

億桶(8.7%)。

雖然美國頁岩油氣、加拿大油砂及巴西深海油田等能源供給增加，有助已開發國家在 2030 年達到接近能源自給自足，但以中東地區原油蘊藏仍占全球 48.1% 判斷，其他地區，特別是亞洲，仍將因原油需求增加，加深對中東地區的依賴。

因國內頁岩油大量增產，美國能源部能源資訊署(EIA, DOE)預期不久的將來，美國石油產量，可望超越沙烏地阿拉伯(圖 7.1-1)；國際能源總署(IEA)更預測 2020 年美國將超越沙國，成為全球最大原油生產國。惟儘管美國油產大增，但受限於國內運輸與出口政策，將以供應國內需求為優先，身為 OPEC 領導國且擁有充裕閒置產能之沙烏地阿拉伯，未來仍將持續扮演穩定全球油市及經濟的關鍵角色。

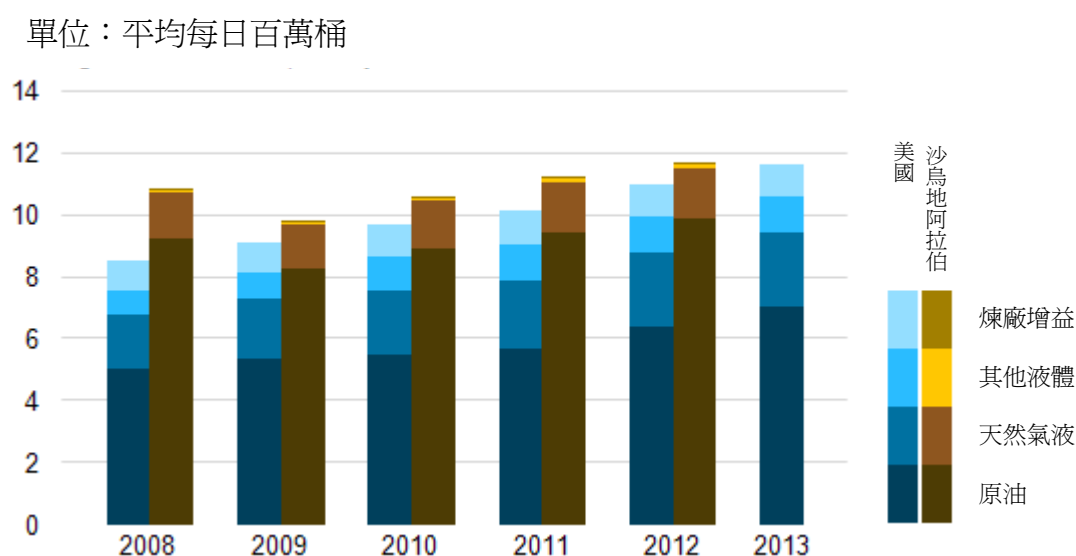


圖 7.1-1 美國與沙烏地阿拉伯石油產量比較

資料來源： Today in Energy, EIA, 2012.12.20

7.1.2 石油跨國貿易概況

1. 產油國與地區劃分

原油生產若以國家別區分，大致可分為石油輸出國組織(Organization of the Petroleum Exporting Countries, OPEC)所屬國家與 Non-OPEC 國家；OPEC 成立於 1960 年 9 月 10~14 日間，成員國目前計有伊拉克、伊朗、科威特、沙烏地阿拉伯、委內瑞拉(以上為 1960 年創始

國)、卡達、利比亞、阿爾及利亞、阿拉伯聯合大公國、奈及利亞、厄瓜多、安哥拉等 12 國。Non-OPEC 國家中，則以俄羅斯(前蘇聯)、美國、中國大陸、加拿大、墨西哥、巴西的原油生產較多。若以地理位置劃分，大致可劃為 6 大產油地區，即北海、西非、地中海、中東、遠東及美洲等。

2. 石油貿易與區域間流向概況

2011 年全球原油進口總量達 3,805 萬桶，進口最多地區(圖 7.1-2)前 3 名依序為歐洲(每日 932 萬桶)、美國(每日 894 萬桶)、中國大陸(每日 508 萬桶)，亞洲交易集散地新加坡排名第 7(每日 111 萬桶)；若再加計成品油，2011 年全球石油進口總量達 5,458 萬桶，進口最多地區(圖 7.1-3)前 3 名則依序為歐洲(每日 1,209 萬桶)、美國(每日 1,134 萬桶)、其他亞太(每日 729 萬桶)，亞洲交易集散地新加坡排名第 7(每日 315 萬桶)。

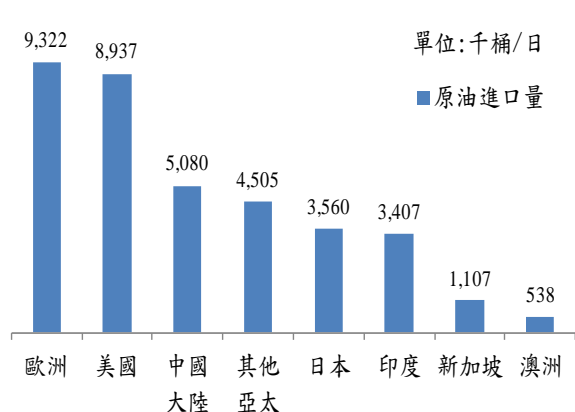


圖 7.1-2 2011 年原油進口量前 8 名地區

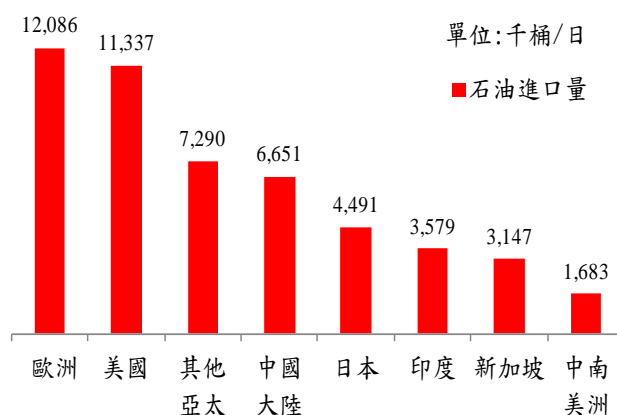


圖 7.1-3 2011 年石油進口量前 8 名地區

資料來源：2012 BP Statistical Reviews of World Energy

2011 年全球原油出口總量達 3,805 萬桶，出口最多地區(圖 7.1-4)前 3 名依序為中東(每日 1,766 萬桶)、前蘇聯(每日 641 萬桶)、西非(每日 450 萬桶)；若再加計成品油，2011 年全球石油出口總量達 5,458 萬桶，出口最多地區(圖 7.1-5)前 3 名則依序為中東(每日 1,975 萬桶)、前蘇聯(每日 869 萬桶)、西非(每日 466 萬桶)。

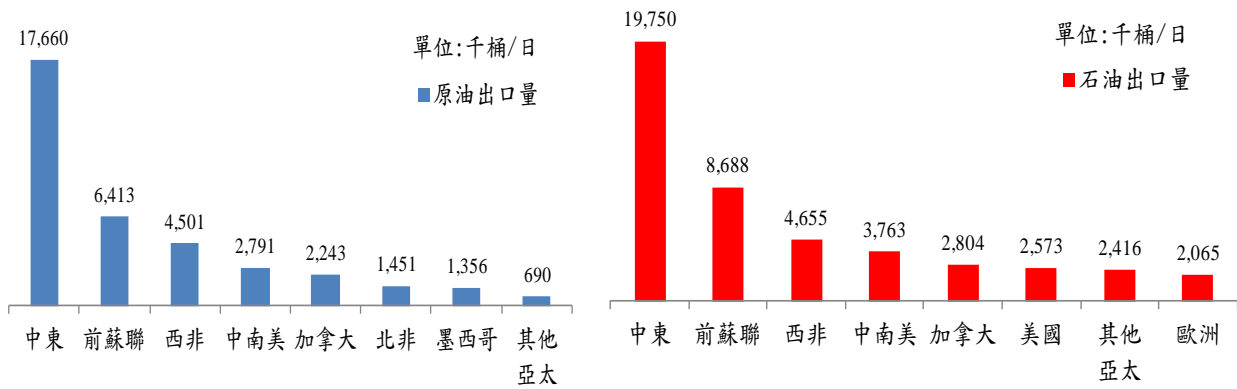


圖 7.1-4 2011 年原油出口量前 8 名地 圖 7.1-5 2011 年石油出口量前 8 名地區

資料來源：2012 BP Statistical Reviews of World Energy

在區域間貿易流向方面(如圖 7.1-6)，若以 2011 年石油消費量前 4 大國家之進口量及來源為例，2011 年全球最大石油消費國美國進口石油 5 億 5,980 萬噸，占該國消費量 8 億 3,360 萬噸之 67.15%，主要來自加拿大(1 億 3,380 萬噸)、墨西哥(5,980 萬噸)、中南美洲(1 億 1,120 萬噸)、中東(9,550 萬噸)、西非(6,830 萬噸)等地出口。緊跟在後的中國大陸進口石油 3 億 2,810 萬噸，占該國消費量 4 億 6,180 萬噸之 71.05%，主要來自中東地區(1 億 3,780 萬噸)出口。排名第 3 的日本進口石油 2 億 2,180 萬噸，主要來自中東地區(1 億 7,510 萬噸)出口。第 4 的印度進口石油 1 億 7,790 萬噸，主要來自中東地區(1 億 1,070 萬噸)出口。

單位：百萬噸

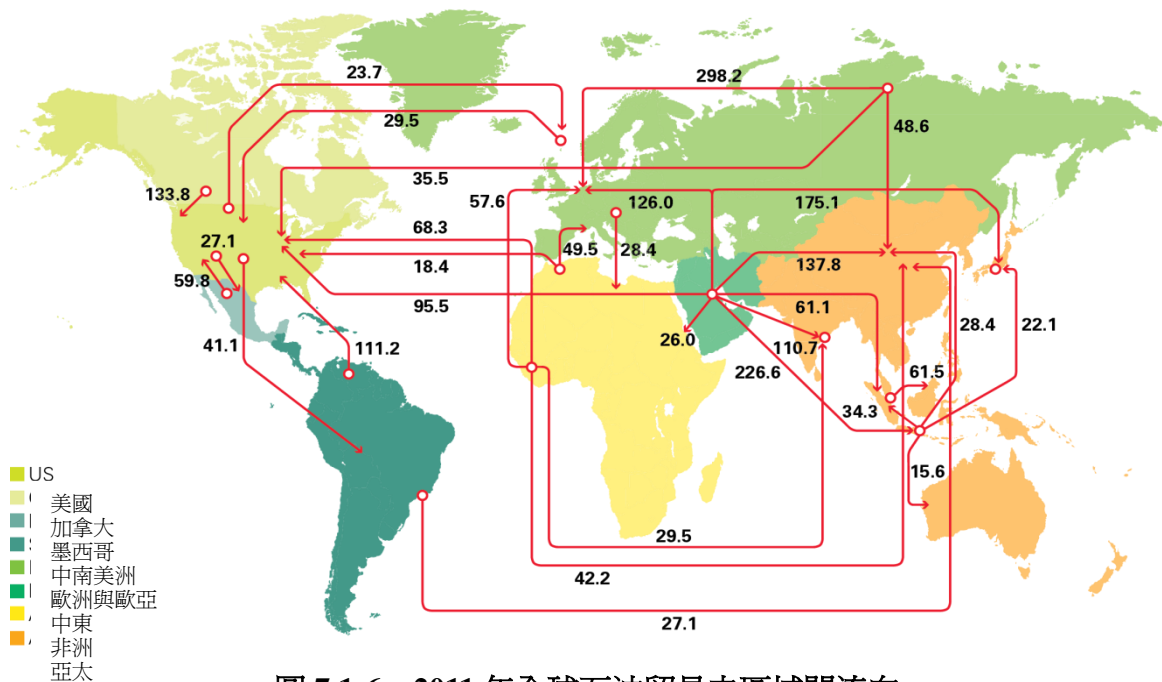


圖 7.1-6 2011 年全球石油貿易之區域間流向

資料來源：2012 BP Statistical Reviews of World Energy

7.1.3 石油交易市場

1.期貨簡介

期貨是一種契約，內容載明買賣雙方約定在未來的某一個時點所必須履行的義務，以約定的價格和數量，買進或賣出該項特定商品。期貨交易所爲了讓交易的買賣雙方對同一商品的競價基礎同相同，乃將每一個期貨合約加以標準化，如標的物、數量、交易月份、交割方式等，以明確地規範買賣雙方的交易內容，亦造就期貨市場的活絡。

2.現貨市場與期貨市場簡介

國際石油市場分爲石油現貨市場和期貨市場，在國際石油市場價格形成機制上，現貨市場價格和期貨市場價格同時影響市場走向，但是隨著石油期貨市場的發展，期貨市場的影響越來越大。據統計，全球 2012 年期貨市場石油交易量超過 540 億噸(計算自路透社資料庫)，其中透過現貨市場的實體跨國貿易量只逾 26 億噸(BP 世界能源統計回顧)，故大部分都沒有進行實物交割。

全球主要石油現貨市場有西北歐、地中海市場、加勒比海、新加坡、美國等；石油期貨市場則有紐約商品交易所(NYMEX)、倫敦洲際交易所(ICE)、新加坡期貨交易所(SGX)、東京商品交易所(TOCOM)等，依據 EIA 統計，亞洲已於 2010 年成爲全球最大石油消費地區。

石油價格上漲對能源業者衝擊甚大，因此國內、外能源公司常用期貨(Future)、選擇權(Option)、交換契約(SWAP)等避險工具穩定成本，避免原料或燃料價格波動侵蝕公司獲利。其中期貨因交易量大且流動性高，爲主要避險商品。以 ICE 交易所的 Brent 原油商品爲例，2011 年期貨交易量約爲 1.32 億口，是選擇權交易量 0.02 億口的 60 倍以上；2012 年期貨交易量約爲 1.47 億口(1 口=1,000 萬桶)，亦達選擇權交易量 0.09 億口的 16 倍以上。

3.原油價格影響因素

影響國際原油價格的因素眾多，茲列舉市場分析者常引用者分述如下：

(1).OPEC 國家動向與生產策略

爲使原油產量與價格得以有效控制，OPEC 所訂定的產量配額變動、遵守協議的態度，與市場佔有率的變化，均爲觀察油價變化之重要指標。

(2).Non-OPEC 國家探勘與煉製技術變化

近來美國頁岩油氣、加拿大油砂及巴西深海油田等能源供給增加，將有助於北美地區原油進口依存度降低；據美國能源部能源資訊老署(EIA, DOE)統計，美國原油進口量持續下滑，2012 年原油進口 31.08 億桶，較 2011 年 32.61 億桶減少 0.53 億桶或 4.7%，創 1997 年以來新低；全球最大用油國的進口市場萎縮，國際油價自然大漲不易。

(3).地緣政治情勢、經濟制裁與戰爭

中東地區為石油的主要輸出地區，卻因為政局極不穩定，為全球火藥庫，如伊朗因核問題與聯合國談判仍陷僵局，持續受歐美石油禁運及金融制裁，伊朗反制措施造成油價動盪。

(4).季節性因素

夏季為旅遊旺季，汽、柴油價格通常呈走高趨勢；受冬季取暖需求增加，熱燃油價格也有往上攀升的趨勢，均間接帶動原油價格上揚。

(5).全球經濟狀況及工業發展需求情形

全球若以經濟體來區分，大致可分為經濟合作暨發展組織（Organization for Economic Co-operation and Development, OECD）國家(俗稱已開發國家)與 Non-OECD 國家(俗稱開發中國家)。近年來 OECD 國家經濟成長緩慢，對原油的需求漸趨停滯。而 Non-OECD 國家，如中國大陸與印度等，因工業發展漸成全球經濟及原油需求成長的核心來源。

7.1.4 原油進口與風險管理

台灣 2011 年原油進口 2 億 9,006 萬桶，主要仍來自沙烏地阿拉伯 9,793 萬桶(33.8%)、科威特 6,689 萬桶(23.1%)、阿拉伯聯合大公國 1,726 萬桶(6%) 等中東國家為主。

因中東地區為世界火藥庫，為分散進口風險，亦積極拓展其他進口來源，如西非及亞太地區，2011 年原油進口自安哥拉與澳洲分別為 5,217 萬桶(18%)及 783 萬桶(2.7%)。

分散價格風險方面，在符合政府相關法令規範下，石油業者亦採取多通路原油採購，以及原油期貨交易等方式避險。

此外，為增加自有油氣資源，以穩定供應來源，降低風險，石油業者亦持續與國際大油

公司合作，爭取國外優良礦區，如中油公司規劃完成尼日及澳洲 Prelude、Ichthys 等 3 個油氣田併購計畫，預估可增加蘊藏量約 2 億桶油當量；另積極爭取美國、加拿大、剛果、伊拉克、緬甸及印尼等國外礦區合作機會，以期提升自主能源比例。

7.2 天然氣

7.2.1 天然氣蘊藏概況

天然氣為蘊藏在地層底下多孔隙岩層之氣態碳氫化合物，主要成分為甲烷，比空氣輕，具有無色、無味、無毒之特性，具可燃性，多在礦區開採原油時伴隨而出。天然氣是極方便、高效率的燃料，更被公認是地球上最乾淨的能源之一。液化天然氣(Liquefied Natural Gas，簡稱 LNG)，係為使天然氣便於運輸，先經淨化處理，再經一連串超低溫(-162°C)予以液化，俾利用天然氣船由產地輸送至各地。

表 7.1-2 2011 年全球天然氣蘊藏概況

名次	地區/國家別	2011年底 蘊藏量 兆立方公尺	占全球 比例 %	可產 年限 年
	OECD	18.7	9.0%	16.0
	中東地區	80.0	38.4%	*
	歐亞	78.7	37.8%	75.9
	亞太地區	16.8	8.0%	35.0
	非洲	14.5	7.0%	71.7
	北美	10.8	5.2%	12.5
	中南美	7.6	3.6%	45.2
1	俄羅斯	44.6	21.4%	73.5
2	伊朗	33.1	15.9%	*
3	卡達	25.0	12.0%	*
4	土庫曼斯坦	24.3	11.7%	*
5	美國	8.5	4.1%	13.0
	沙烏地阿拉伯	8.2	3.9%	82.1
	全球	208.4	100.0%	63.6

依據 2012 年 BP 世界能源統計回顧，2011 年全球天然氣蘊藏量(占全球比例)前 5 大國家依序為俄羅斯 44.6 兆立方公尺(21.4%)、伊朗 33.1 兆立方公尺(15.9%)、卡達 25.0 兆立方公尺(12.0%)、土庫曼斯坦 24.3 兆立方公尺(11.7%)、美國 8.5 兆立方公尺(4.1%)。因非傳統天然氣(如頁岩氣)產能增加，依據國際能源總署(International Energy Agency, IEA)估計，全球天然氣占初級能源之比例，將由 2010 年 21% 逐步提升至 2035 年 25%。

資料來源：2012 BP Statistical Reviews of World

依據 2012 年 BP 世界能源統計回顧，2011 年全球前 5 大天然氣生產國分別為美國、俄羅斯、加拿大、伊朗、卡達，生產量(占全球比例)依序為 6,513(20.0%)、6,070(18.5%)、1,605(4.9%)、1,518(4.6%)、1,468(4.5%)億立方公尺，其中美國與俄羅斯生產量合計占全球產量 38.5%。

7.2.2 天然氣跨國貿易概況

1.貿易運輸方式

天然氣依運輸方式可分為管道氣(Pipeline Natural Gas，簡稱 PNG)與液化天然氣。整體而言，北美與歐洲大陸貿易以 PNG 為主，亞洲地區貿易以 LNG 為主，中南美洲天然氣貿易量則是 PNG 略高於 LNG。

2.天然氣貿易與區域間流向概況

2011 年全球 LNG 進口總量達 3,308 億立方公尺，進口最多地區(圖 7.2-1)前 3 名依序為日本(1,070 億立方公尺)、南韓(493 億立方公尺)、英國(253 億立方公尺)，中國大陸(166 億立方公尺)與台灣(163 億立方公尺)分居第 6 及第 7；若再加計 PNG，2011 年全球天然氣進口總量達 1 兆 254 億立方公尺，進口最多地區(圖 7.2-2)前 3 名則依序為日本(1,070 億立方公尺)、美國(981 億立方公尺)、德國(840 億立方公尺)，我國貿易競敵南韓排名第 6(493 億立方公尺)。

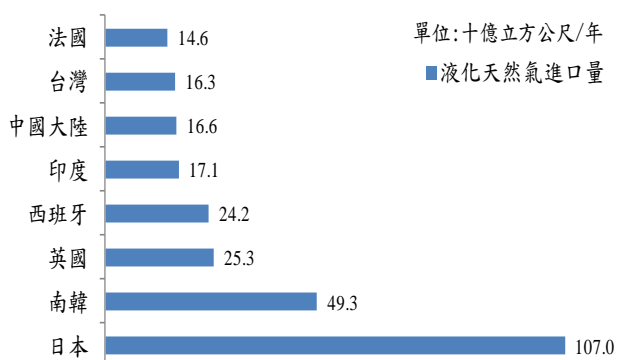


圖 7.2-1 2011 年 LNG 進口量前 8 名地區

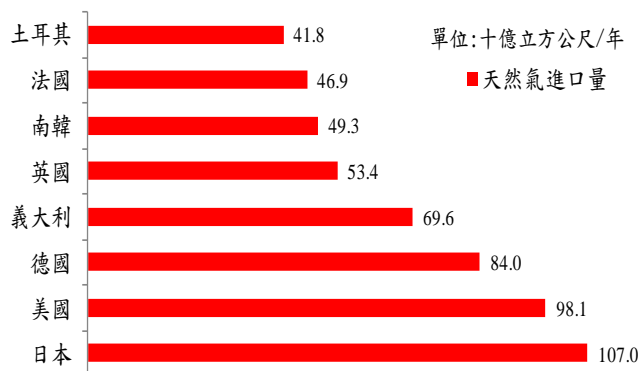


圖 7.2-2 2011 年天然氣進口量前 8 名地區

資料來源：2012 BP Statistical Reviews of World Energy

2011 年全球 LNG 出口總量達 3,308 億立方公尺，出口最多地區(圖 7.2-3)前 3 名依序為卡達(1,026 億立方公尺)、馬來西亞(333 億立方公尺)、印尼(292 億立方公尺)，台灣排名第 7(163 億立方公尺)；若再加計 PNG，2011 年全球天然氣出口總量達 1 兆 254 億立方公尺，出口最

多地區(圖 7.2-4)前 3 名依序為俄羅斯(2,214 億立方公尺)、卡達(1,218 億立方公尺)、挪威(968 億立方公尺)。

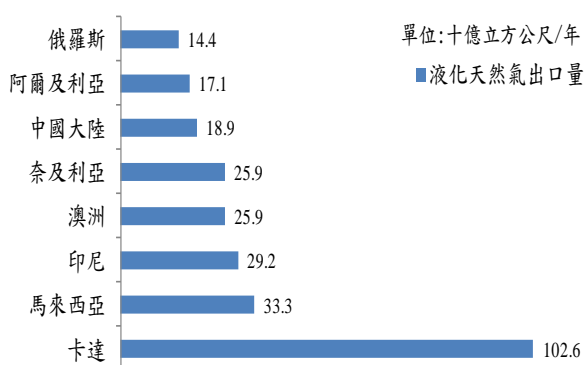


圖 7.2-3 2011 年 LNG 出口量前 8 名地區

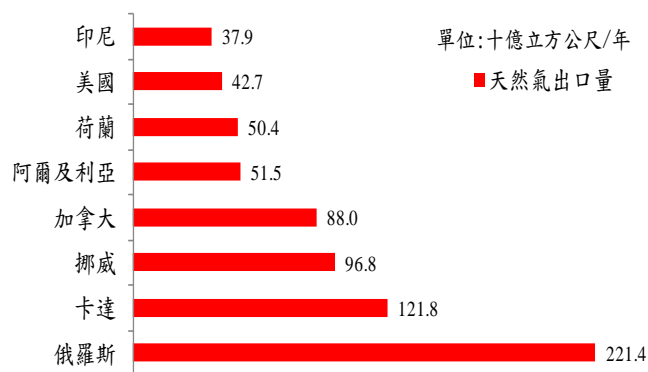


圖 7.2-4 2011 年天然氣出口量前 8 名地區

資料來源：2012 BP Statistical Reviews of World Energy

在區域間貿易流向方面(如圖 7.2-5)，若以 2011 年天然氣消費量前 4 大國家之進口量及來源為例，2011 年全球最大天然氣消費國美國進口天然氣 981 億立方公尺，占該國消費量 6,901 億立方公尺之 14.22%，主要來自加拿大(880 億立方公尺)管道氣出口。緊跟在後的俄羅斯進口天然氣 301 億立方公尺，占該國消費量 4,246 億立方公尺之 7.09%，主要來自哈薩克(114 億立方公尺)與土庫曼斯坦(101 億立方公尺)出口。排名第 3 的中國大陸進口天然氣 309 億立方公尺，占該國消費量 1,307 億立方公尺之 23.64%，主要來自土庫曼斯坦(143 億立方公尺)之管道氣出口。第 4 的日本進口天然氣 1,070 億立方公尺，主要來自卡達(158 億立方公尺)、澳洲(1,90 億立方公尺)、印尼(126 億立方公尺)、馬來西亞(203 億立方公尺)等地之液化天然氣出口。

單位：十億立方公尺

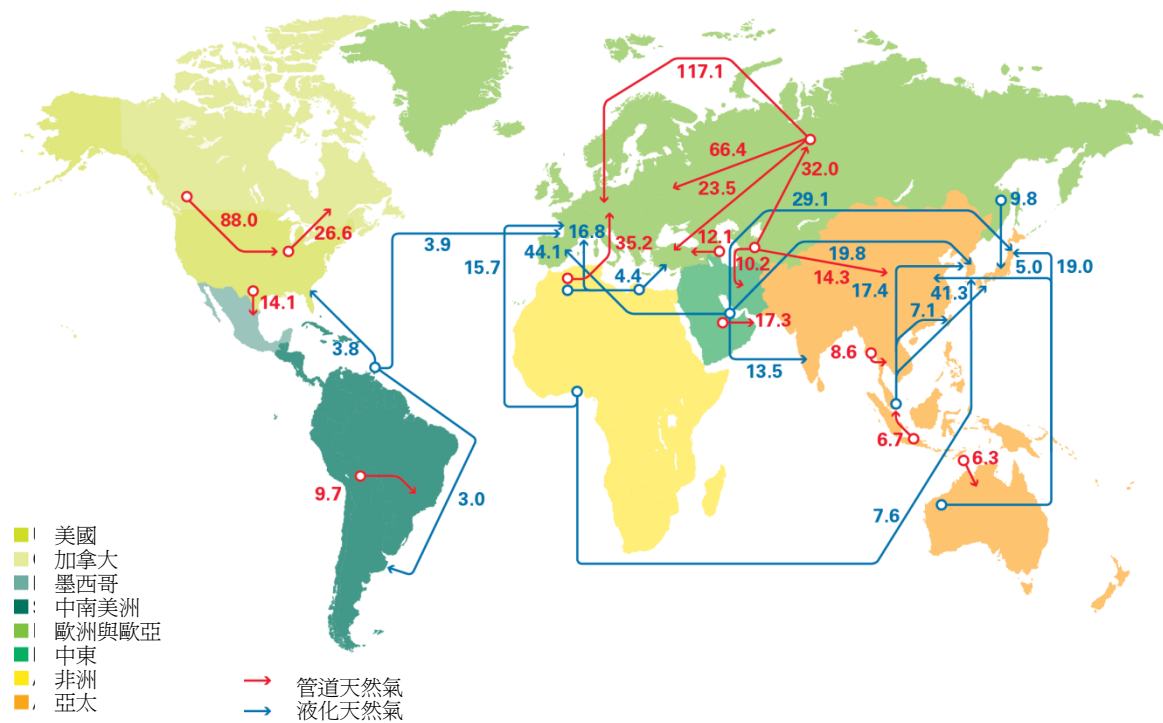


圖 7.2-5 2011 年全球天然氣貿易之區域間流向

資料來源：2012 BP Statistical Reviews of World Energy

7.2.3 天然氣交易市場

國際天然氣市場分為現貨市場和期貨市場，在國際天然氣市場價格形成機制上，並無國際統一計價指標，各有區域性價格，如美國 Henry Hub (HH)、英國 National Balancing Point (NBP)等，亞太 LNG 交易則以國際油價為計價指標。

現貨市場價格和期貨市場價格同時影響市場走向，但隨著期貨市場的發展，期貨市場的影響越來越大。據統計，美國紐約商品交易所(NYMEX)2012 年 HH 期貨交易量超過 26 兆立方公尺(計算自路透社資料庫)，其中透過現貨市場的實體跨國貿易量只逾 1 兆立方公尺(BP 世界能源統計回顧)，故大部分都沒有進行實物交割。在 LNG 方面，全球目前僅有現貨而無期貨商品。美國因頁岩氣崛起，逐漸減少進口並增加出口天然氣，2011 年天然氣淨進口量(進口量－出口量)每日僅逾 50 億立方英尺，已創 1992 年以來新低(圖 7.2-6)，僅約 2007 年高峰值每日逾 100 億立方英尺之一半。

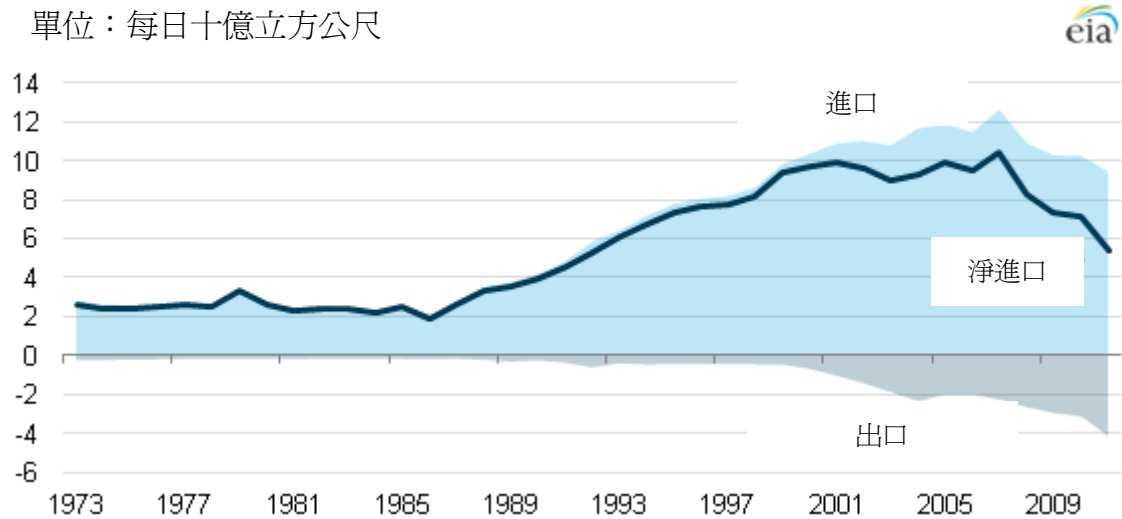


圖 7.2-6 美國天然氣進出口概況

資料來源：Today in Energy, EIA, 2012.3.15

7.2.4 天然氣進口與風險管理

台灣 2011 年 LNG 進口 159.86 億立方公尺，主要來自卡達(32.3%)、馬來西亞(27.7%)、印尼(13%)等國家為主，為達成「打造綠能低碳環境、逐步邁向非核家園」的新能源政策，政府規劃擴大使用天然氣，可望自 2011 年占初級能源配比 11.78%，逐步提昇。

為分散進口風險，穩定供應國內用氣，亦積極拓展其他進口來源，如西非及亞太地區，2011 年 LNG 亦從奈及利亞(5.5%)、赤道幾內亞(4.7%)、澳洲(2.8%) 等地進口。此外，為擴增自有氣源，提高能源供應穩定性，中油公司與 Shell Development (Australia) Proprietary Limited 合作油氣開發，2013 年 2 月 27 日取得該公司在澳洲西北海域 Prelude 天然氣田生產計畫 5% 權益，該礦區預估未來可年產 360 萬噸 LNG，預計 2017 年起，台灣自澳洲進口 LNG 比例可望大幅成長。

國際天然氣期貨市場之標的屬地區性，如美國 HH(Henry Hub)與英國 NBP(National Balancing Point)等，亞太地區 LNG 市場則以連動國際油價為計價指標，目前尚無 LNG 期貨之商品標的可供避險，故在分散價格風險上，台灣液化天然氣採購目前以簽訂長期契約為主，輔以現貨市場短期購氣合約。

因 LNG 主要交易市場在亞太地區，日本經產省於 2012 年 9 月 19 日首度舉辦全球性「LNG

產消會議」，會中宣示規劃創立全球首個 LNG 期貨市場，力求 2014 年於東京商品交易所 (TOCOM) 啓動交易，亦期待未來各國 LNG 業者積極參與該期貨交易，以促進亞太地區天然氣市場更活絡，價格更公開透明。

7.2.5 頁岩氣發展概況

非傳統天然氣(緻密沙岩氣、頁岩氣、煤層氣等)可採資源量豐富(圖 7.2-7)，開發關鍵在於成本是否貼近市場；頁岩氣為存在頁岩層孔隙中的的天然氣，成份以甲烷為主，主體位於暗色泥頁岩或高碳泥頁岩中，開採難度相對較大，但在技術不斷精進，使頁岩氣愈受重視；美國是最早探勘成功的國家，正大量實現商業開採。美國能源部能源資訊署(EIA, DOE)統計 2000 年美國頁岩氣的產量幾乎是零，但經過 10 年的努力，2011 年美國頁岩氣的產量已達 7.8 兆立方英尺，約占該國天然氣總生產量 33.9%，並預期 2040 年頁岩氣產量可望倍增至 17 兆立方英尺，約占該國天然氣總生產量 50.5%(圖 7.2-8)；且預期在 2020 年後，美國天然氣供給量會超過消費量，可望從天然氣淨入超國變成淨出超國。

全球頁岩氣蘊藏方面，EIA 在「2011 年全球頁岩氣資源初步評估」(World Shale Gas Resources: An Initial Assessment)報告指出，全球可採頁岩氣蘊藏量約 6,622 兆立方英尺，其中北美、亞洲(含澳洲)、南美、非洲及歐洲地區蘊藏量(占全球比例)分別為 1,931(29.16%)、1,800(27.18%)、1,225(18.50%)、1,042(15.74%)與 624(9.42%)兆立方英尺。另外，全球頁岩氣技術可採蘊藏量超過 200 兆立方英尺的國家共有 9 個，其中又以北美地區的美國頁岩氣蘊藏量 862 兆立方英尺，開採情況最受矚目。北美頁岩氣除蘊藏量豐富外，還具有開採技術、地主礦權、天然氣管網密佈及礦區接近市場等優勢。

市場臆測美國未來出口天然氣至亞洲地區的可能性不低，勢必對 LNG 市場的供需及價格產生一定程度的影響。惟美國目前天然氣出口設施如管線、加壓站與 LNG 船舶等仍不足，因此業者申請向未締結自由貿易協定國家出口的案件並不多，且未來是否能一如外界預期，出口天然氣至亞洲，亦須視美國國內能源出口政策而定。美國出口天然氣可望成為其外交上有力的政策工具，尤其是對能源供應嚴重不足的新興亞洲市場，可視為美國重返亞太地區的關

鍵籌碼。

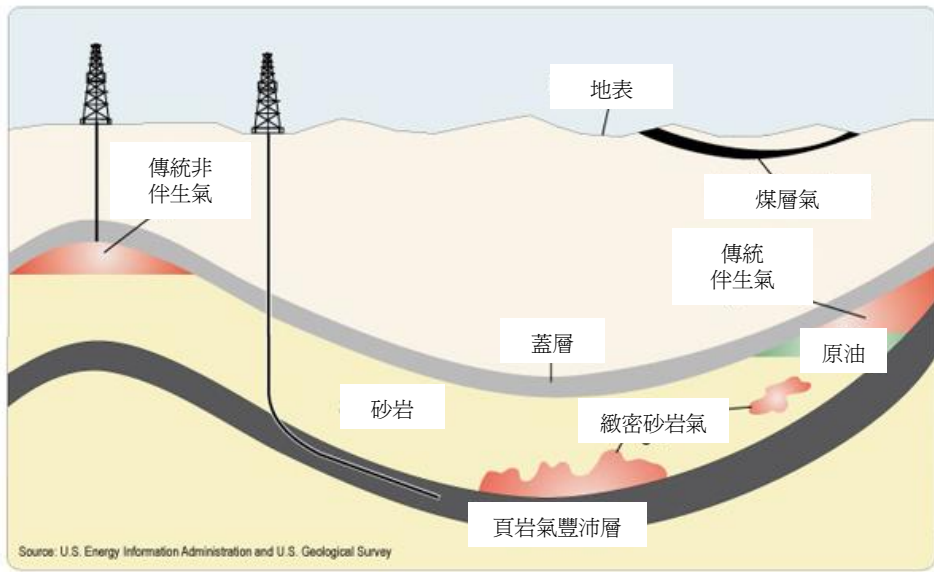


圖 7.2-7 天然氣資源地質概要

資料來源：Energy in Brief, EIA, 2012.12.5

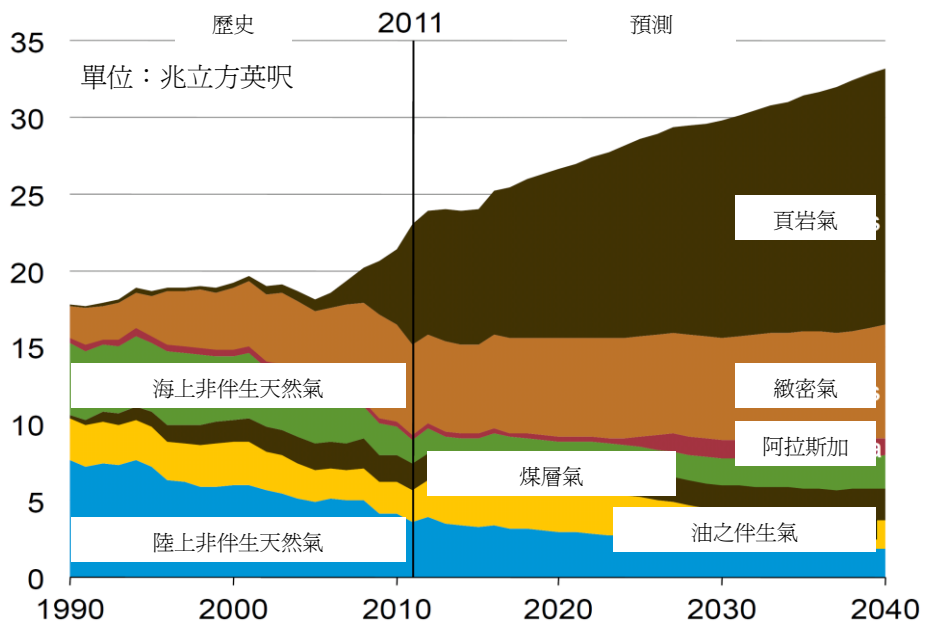


圖 7.2-8 美國天然氣生產來源

資料來源：Annual Energy Outlook 2013 Early Release, EIA, 2012.12.5

7.3 煤炭

由於煤炭分布全球各地，且各產區品質亦有差異，且煤炭為固體型態，易於運輸，故是最早用於能源貿易進出口之產品。煤炭貿易具有價格低體積大之大宗能源商品特性，其運輸成本占煤炭價格之比重相對較高。國際煤炭貿易主要是硬煤貿易，出口多仰賴遠洋運輸，部份亦運用鐵路運輸經由內陸邊境貿易。全球煤炭貿易隨著世界能源結構變化，依煤炭生產與消費情勢和遠洋航運市場的發展，逐漸形成太平洋和大西洋兩大區域市場，再加上印度洋市場。太平洋市場，主要從澳洲東海炭運往東亞等國，和從美國東海岸橫度太平洋運往東亞國家，以及從中國東部沿海運往日韓；大西洋市場，主要從美國西海岸橫度大西洋運往歐洲；印度洋市場，主要從南非橫越印度洋運往亞太地區，或由澳洲越過好望角運往歐洲。

7.3.1 煤炭的蘊藏狀況

根據英國石油公司(BP)統計報告(BP Statistical Review of World Energy)顯示煤炭之開採年限(Reserves-to-production (R/P) ratios)大約還可供全世界使用 112 年，而各區域分布亦有差異，如下圖 7.3-1。以蘊藏量而言，其主要集中於 3 個區域，依序為歐洲及歐亞大陸(35.4%)、亞太區域(30.9%)及北美區域(28.5%)，其他如中南美洲(1.5%)，中東與非洲(3.8%)。

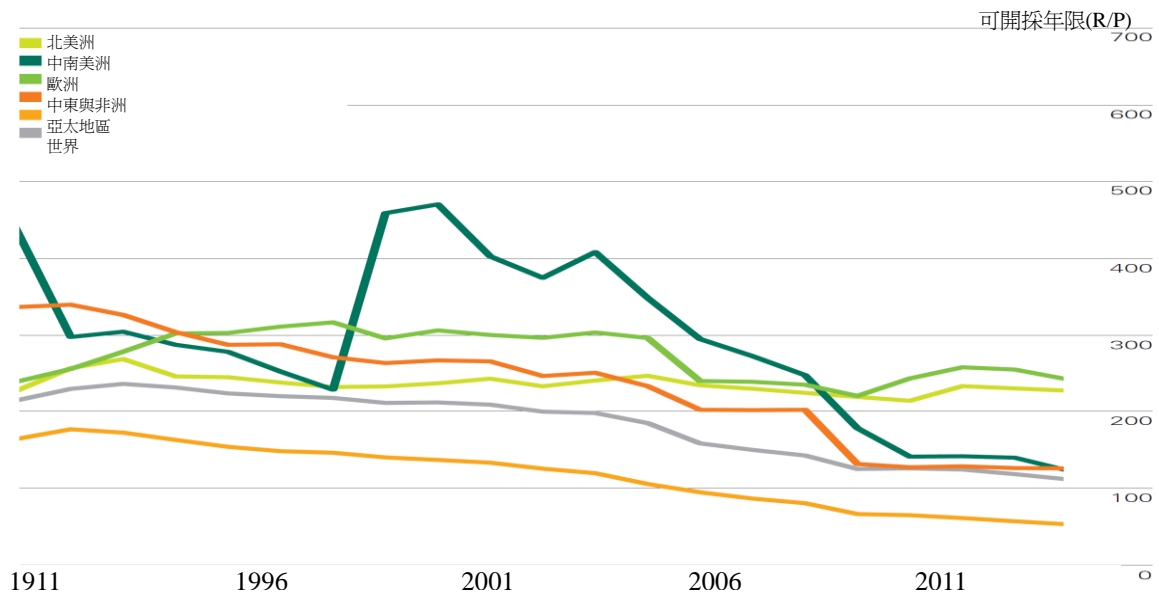


圖 7.3-1 全球各地區煤炭蘊藏可開採年限

資料來源：英國石油公司(BP)，2012

7.3.2 煤的進出口貿易

根據國際能源總署(IEA)統計資料顯示，2011 年全球煤炭生產和進出口貿易量如表 7.3-1 所列。全球煤炭總生產量為 7783 百萬噸，其中以中國 3576 百萬噸為第一，美國 1004 百萬噸為第二；總淨出口量為 1041 百萬噸，以印尼出口 309 百萬噸為第一，澳洲 385 百萬噸為第二；而全球總淨進口量為 1002 百萬噸，以中國 177 百萬噸為第一，日本 175 百萬噸為第二，台灣則為全球第五大煤炭淨進口國。

表 7.3-1 全球煤炭進出口貿易

生產者	百萬噸	占比	淨出口	百萬噸	淨進口	百萬噸
中國	3576	45.9	印尼	309	中國	177
美國	1004	12.9	澳洲	285	日本	175
印度	586	7.5	俄國	99	南韓	129
澳洲	414	5.3	美國	85	印度	101
印尼	376	4.8	哥倫比亞	76	台灣	66
俄國	334	4.3	南非	70	德國	41
南韓	253	3.3	哈薩克斯坦	34	英國	32
德國	189	2.4	加拿大	24	土耳其	24
波蘭	139	1.8	越南	23	義大利	23
哈薩克斯坦	117	1.5	蒙古	22	馬來西亞	21
其他	795	10.3	其他	14	其他	213
世界	7783	100.0	合計	1041	合計	1002

資料來源：IEA, Key World Energy Statistics, 2012

依我國能源局公布之 100 年能源統計手冊顯示，我國煤炭需求呈現成長之趨勢，且多依賴國外進口供應，近幾年來已無自產煤炭，如下圖 7.3-2 所示。而其中主要進口來源(100 年)，如下圖 7.3-3，包含澳洲(41.3%)、印尼(39.4%)、南非、俄羅斯、中國、加拿大、美國等國家。

煤炭供給 (按自產與進口別)
Coal Supply (by Indigenous & Imported)

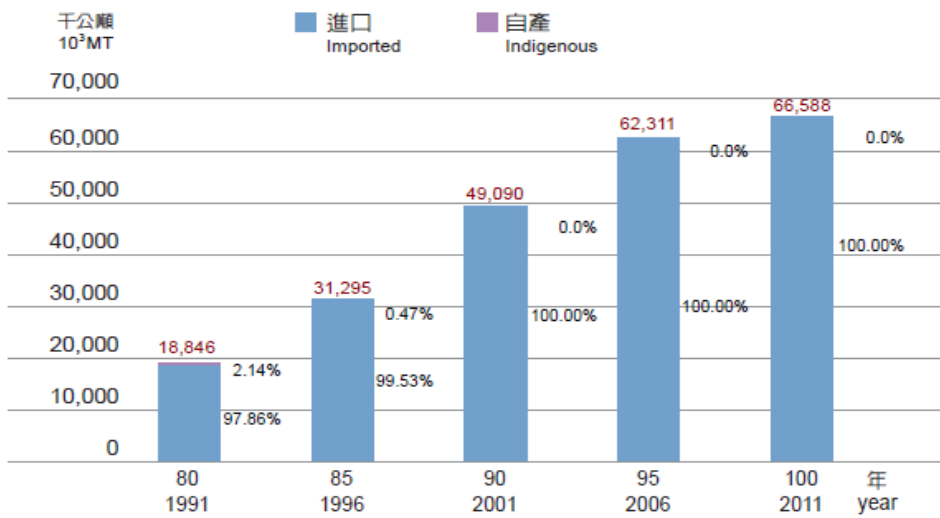


圖 7.3-2 我國煤炭供給來源

資料來源：經濟部能源局，2012，中華民國 100 年能源統計手冊

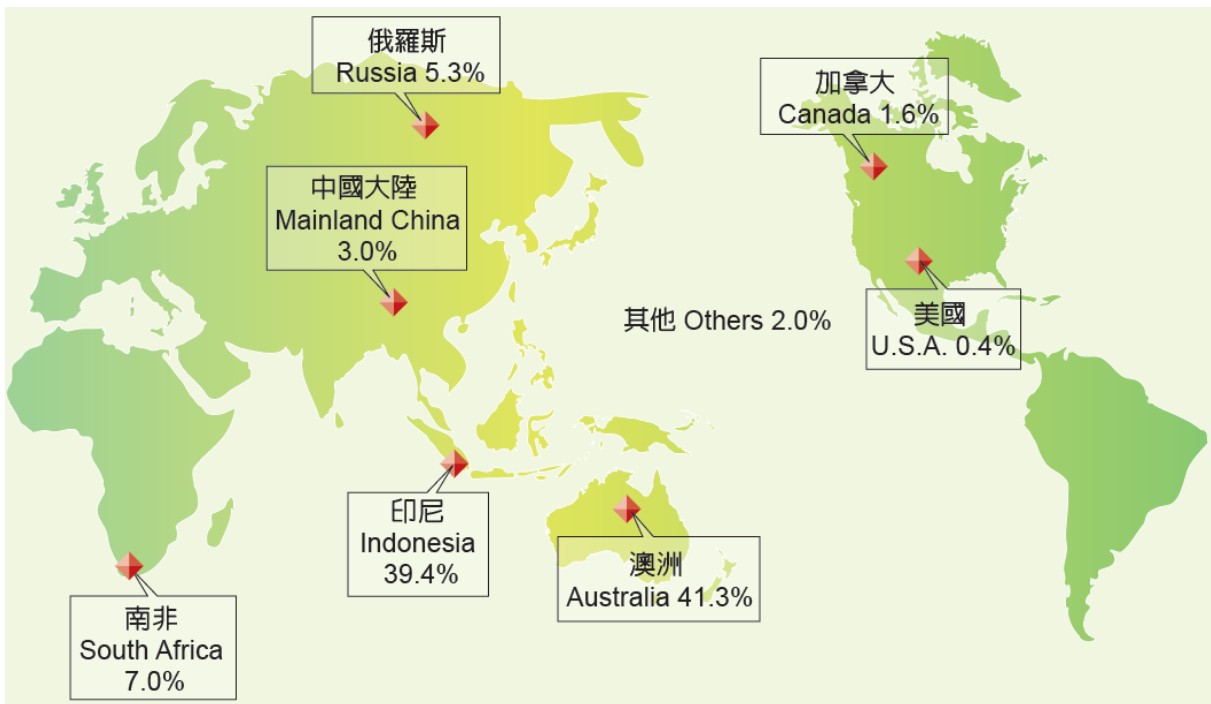


圖 7.3-3 我國煤炭供給來源

資料來源：經濟部能源局，2012，中華民國 100 年能源統計手冊

7.3.3 煤的交易市場

目前國際煤炭貿易已經形成了包括長期合約、現貨交易、期貨交易和場外交易在內的多層次市場體系。亞太、歐洲和北美三個區域市場都有各自煤炭價格指數體系以體現市場影響力。

在長期合約方面，爲了保證煤炭長期、穩定的供應，主要煤炭消費國與煤炭生產國政府之間會通過簽訂長期協議的方式，以一定的互惠條件開展煤炭貿易。除了政府間長期協議外，企業間也會通過長期協議建立長期、穩定的貿易關係，尤其是在發電、鋼鐵等用煤大戶和煤炭企業之間的長期協議，對於保障用煤大戶的穩定生產和煤炭企業避免短期價格波動，實現投資收益的長期穩定都具有非常重要的意義。爲了控制成本，這些用煤大戶往往還採取聯合招標議價的形式，通過多家煤炭企業之間的競爭來降低採購價格。

在現貨市場方面，目前國際上的煤炭現貨市場分布與全球煤炭生產消費格局一致，主要集中在歐洲、亞太、北美等地區煤炭消費國和澳大利亞、南非等煤炭出口國的港口，以及國際航運中心(新加坡等)或國際金融中心(倫敦等)。現在的煤炭現貨市場一般都是在公開撮合報價的電子交易平台上進行現貨議價和交易。

在期貨市場方面，全球煤炭期貨的發展歷史並不長，目前有影響力的煤炭期貨市場只有美國紐約商業交易所(NYMEX)和英國倫敦洲際交易所(ICE)兩家上市交易的煤炭期貨合約。此外，全球範圍內的煤炭場外交易市場(OTC)也有相當規模，包括隔月合約、遠期合約、價差合約等在內的煤炭場外衍生金融產品的交易也很活躍。

目前國際煤炭市場已形成以中長期合同爲主導，招標採購爲輔，現貨和期貨等其他交易形式爲補充，場內、場外多種交易方式並存的局面。但是由於現有交易體系仍存在較大的局限性，目前還未能形成一體化的全球煤炭價格形成機制。

7.3.4 煤炭市場交易與貿易的風險管理

一、煤炭市場交易風險管理

期貨市場為煤炭業和電力、鋼鐵等行業提供新的價格風險管理工具。產煤商透過賣出期貨合約將未來幾個月計劃生產的煤炭收益固定在一定水平；電力、鋼鐵企業透過買進煤炭期貨合約為即將裝運的煤炭做了保值。同時，煤炭期貨市場對於穩定煤炭市場價格也起了非常重要的作用。此外，隨著煤炭現貨市場電子化交易平台的出現，國際煤炭市場中定價的不透明情況正在逐漸降低，而由少數跨國能源、礦業集團壟斷市場定價的情況亦有所改變。

二、購煤風險管理

為有效掌握煤源，以增進供應安全，定期煤約採取分散煤源與直接採購原則。為免煤源過度集中於特定國家，訂有各煤源國定期煤約數量佔定期煤約總採購量比例上限。至於現貨採購，則無煤源國限制，以達到採購價格的最經濟性為目標。

由於燃煤發電約佔我國總發電量的 49.6%(2012)，為確保我國電力供應安全，台灣電力公司購買煤炭之風險管理策略包含：

- (一) 分散煤源，包括考量(1)煤源國—戰爭、罷工、政府限制出口、氣候、地理位置，(2)出口港—塞港、因事故而封港、罷工、內陸運輸中斷，(3)燃煤供應商—災變、罷工、內陸運輸中斷、天災等。
- (二) 安全存量，包括考量(1)國家政策(法定安全存量)—最低要求，(2)燃煤供應時程=礦區至卸貨港時間+採購時間+傭船時間+船舶至裝貨港時間，(3)各電廠儲煤設施之限制—煤場容量、卸煤能力、用煤需求，(4)季節性因素—用煤需求、卸煤能力、環保考量等。
- (三) 簽訂長期採購合約—合約期限及數量方面，包括考量(1)煤礦蘊藏量，(2)煤商與煤源國的供煤能力，(3)煤炭市場的狀況
- (四) 直接投資煤礦—中長期、保險方面，包括考量(1)煤礦蘊藏量，(2)煤礦的開發與生產有無安全營運顧慮，(3)煤礦的經濟可行性，(4)合資企業(非法人型或法人型)、公司結構，(5)合作伙伴，(6)控制權。

7.4 電力

在輸電技術進步和經濟發展需求的推動下，電網互聯有很大發展，在世界範圍內形成了若干同步或異步連接的大型互聯電力系統，如北美互聯電力系統、歐洲互聯電力系統等。然而因為互聯網的建立，也促進各國間的電力貿易，以下將分別介紹電力跨國聯網、電力進出口貿易，以及電力交易的風險管理。

7.4.1 電力的跨國聯網

北美互聯電網是美洲最大的互聯電網，其服務人口 4.4 億、裝機規模 12.7 億千瓦。由東部電網、西部電網、德州電網和加拿大的魁北克電網四個同步電網組成。其中，東部電網裝機超過 7 億千瓦，覆蓋面積 520 萬平方公里；西部電網裝機 2 億千瓦，覆蓋面積 380 萬平方公里。

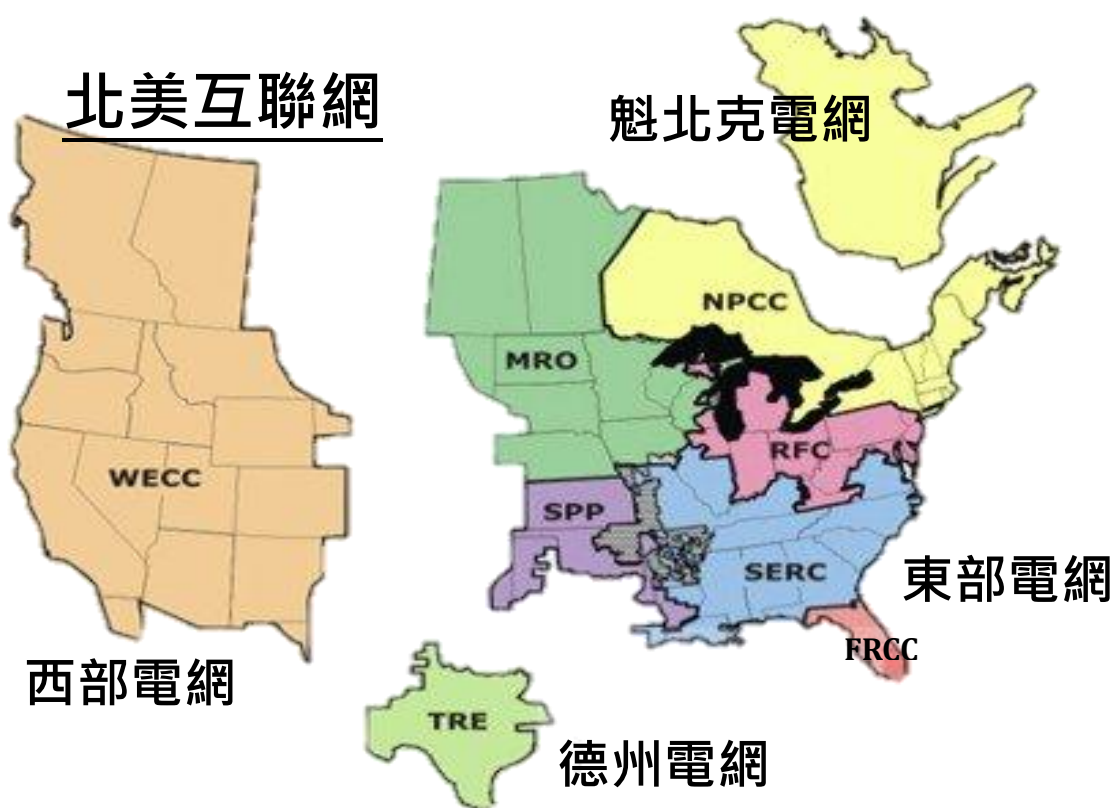


圖 7.4.1 北美互聯電網示意圖

資料來源：北極星電力網 <http://news.bjx.com.cn/html/20120614/366585.shtml>

歐洲電網主要由歐洲大陸電網、北歐電網、波羅的海電網、英國電網、愛爾蘭電網等 5 個跨國互聯同步電網，以及冰島、塞浦路斯 2 個獨立電力系統構成，其中歐洲大陸電網是世界上最大的同步電網之一，服務人口約 7.3 億，覆蓋歐洲 24 個國家，面積 450 萬平方公里，裝機規模達 7 億千瓦，見圖 7.4-2。

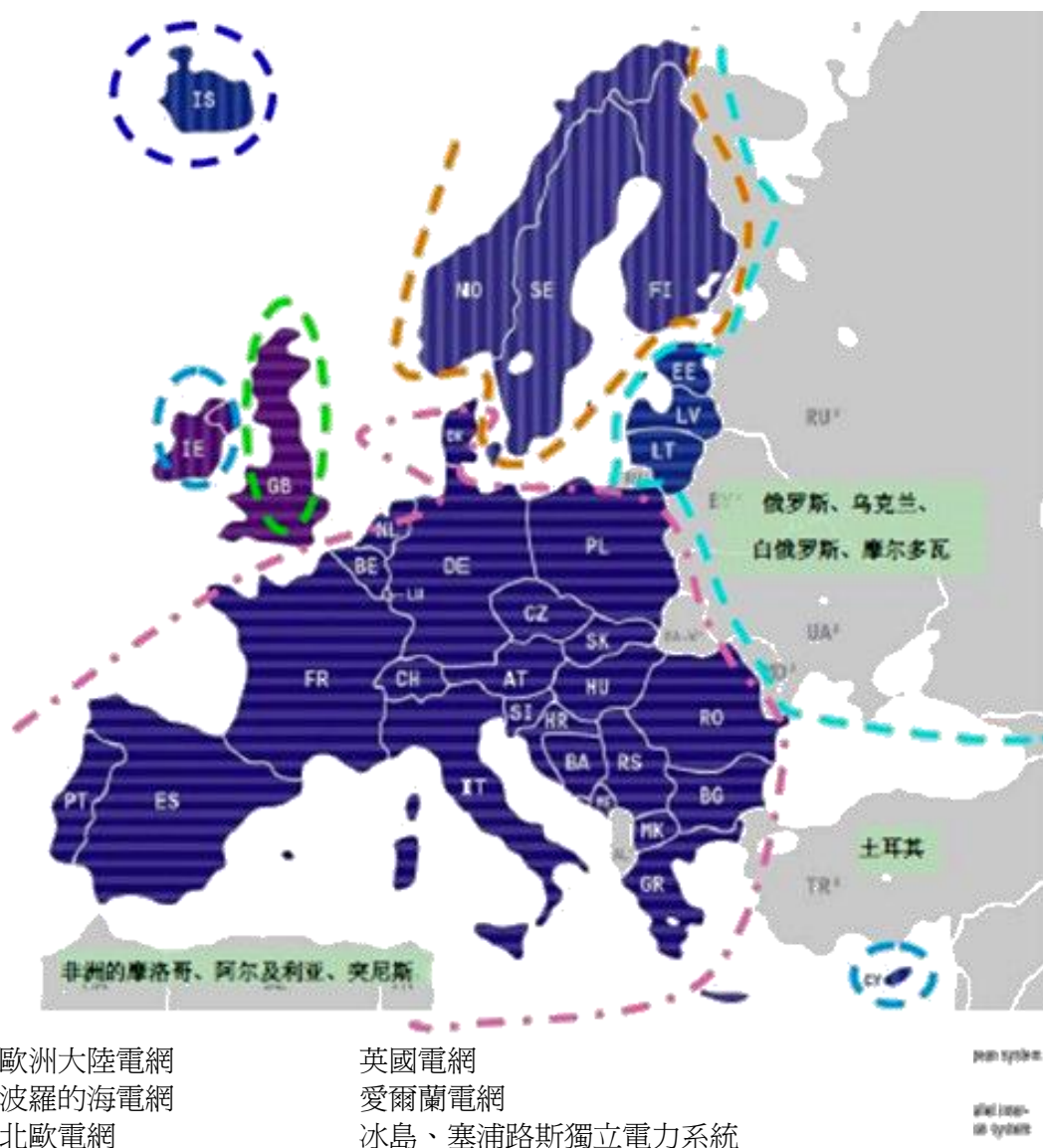


圖 7.4-2 歐洲互聯電網示意圖

資料來源；北極星電力網 <http://news.bjx.com.cn/html/20120614/366585.shtml>

前蘇聯跨國電網服務人口 2.8 億、裝機規模 3 億千瓦，聯接除亞美尼亞外的全部 11 個加盟國，覆蓋面積 1000 萬平方公里，見圖 7.4-3。

雖然我國目前並無跨國電力貿易，然而主要發電燃料多來自於國外進口。其中僅水力與其他再生能源為國內自產之電力來源，約佔 100 年發電量之 4.7%。而因應澎湖地區未來發展

及夏季用電尖峰需求，政府規劃於台灣(雲林)與澎湖間，以海底電纜相聯台灣與澎湖之電力網。並可配合再生能源發展條例之推廣，利用澎湖風力電能，透過海底電纜傳輸平台，平衡台灣、澎湖之供電調配，見圖 7.4-4。



圖 7.4-3 前蘇聯互聯電網示意圖

資料來源：北極星電力網 <http://news.bjx.com.cn/html/20120614/366585.shtml>

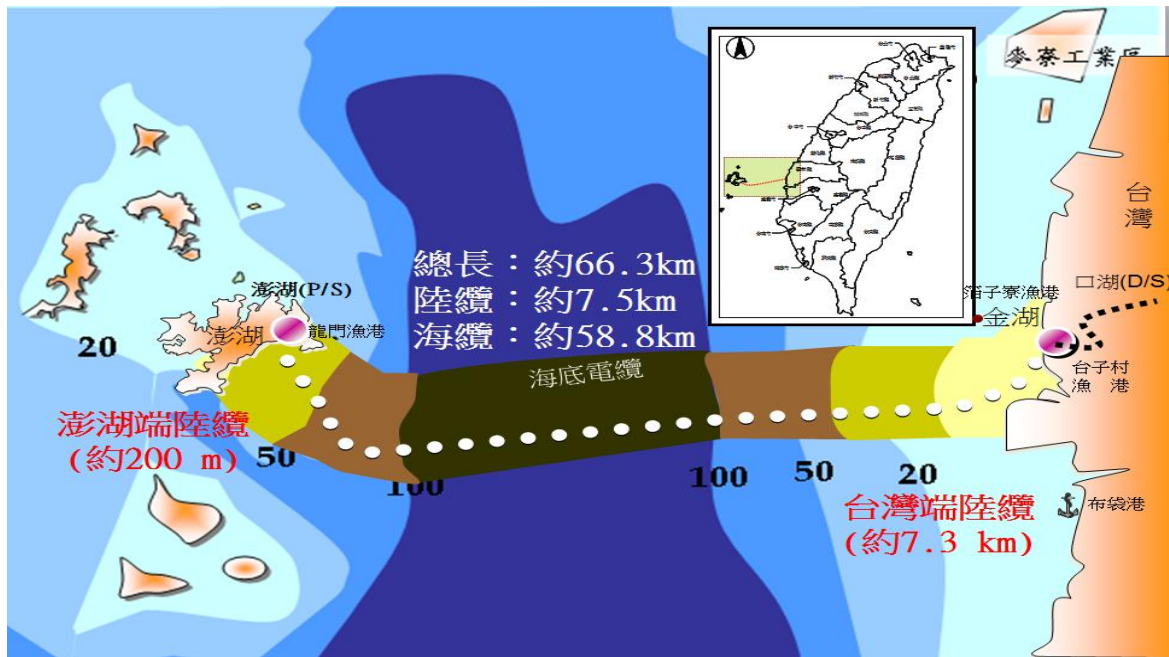


圖 7.4-4 澎湖與本島海底電纜路徑規劃示意圖

資料來源：台灣電力公司

7.4.2 電力進出口貿易

根據國際能源總署(IEA)之統計資料顯示，2010 年全球電力生產者、淨出口者和淨進口者之生產量和淨進出口量如表 7.4-1 所列。整體而言，全球電力生產量為 214,310 億度，淨出口量 2,350 億度，淨進口量 2,420 億度。在生產量方面，以美國 43,540 億度為最高，中國 42,080 億度居次；淨出口量，以巴拉圭 430 億度最高，法國 310 億度第二；淨進口量，以義大利 440 億度最高，巴西 350 億度居次。

表 7.4-1 全球電力進出口貿易量

生產者	十億度	占比	淨出口	十億度	淨進口	十億度
美國	4354	20.3	巴拉圭	43	義大利	44
中國	4208	19.6	法國	31	巴西	35
日本	1111	5.2	加拿大	26	美國	26
俄羅斯	1036	4.8	俄國	17	芬蘭	11
印度	960	4.5	德國	15	阿根廷	9
德國	622	2.9	捷克共和國	15	香港(中國)	8
加拿大	608	2.8	中國	14	挪威	8
法國	564	2.6	保加利亞	8	伊拉克	6
西班牙	516	2.4	西班牙	8	盧森堡	6
南韓	497	2.3	阿拉伯聯合大公國	8	希臘	6
其他	6955	32.6	其他	50	其他	83
世界	21431	100.0	總計	235	總計	242

資料來源：IEA, Key World Energy Statistics, 2012

有關跨國電力交易以歐盟為例，歐盟法律一般不允許限制跨國收購電力企業或對跨國電力投資，但是歐盟委員會會對電力企業的跨國併購是否違反市場競爭原則進行審查，一旦發現違規行為，可以命令有關企業停止相關行為，並採取必要措施恢復競爭。在電力跨國交易方面，2004 年 7 月 1 日生效的 1228/2003 法規確定了入網費率的制定、有關阻塞管理和提供

可用容量信息等跨國輸電入網規則，並提供了在公平、透明和無歧視條件下進行跟國輸電的監管框架。此外，2005年歐洲電力和天然氣監管機構(EREG)頒布了關於輸電收費和阻塞管理的導則草案。這些相關規的主要目的是規範跨國輸電行爲，提高經濟效益和促進競爭。

7.4.3 電力交易的風險管理

電力市場發展的不同階段，適用的電力衍生金融產品也不同，規避風險的效果也不一樣。電力衍生金融產品交易是不考慮輸電阻塞管理及輔助服務費用等在內的無約束電力交易。在發電競爭階段，由於只是在發電環節引入競爭機制，市場參與者面臨的風險主要是發電端電力價格的波動帶來不確定性，規避風險所採用的主要金融工具是電力互換合約(swaps)；在電力批發階段，由於輸電開放，配電商(及大用戶)獲得購電選擇權，同時市場參與者的範圍擴大，競爭更加激烈，需要承擔的電力價格波動風險也更大，而由於電力不能夠大規模、低成本本地儲存，只能通過導入電力遠期合約(Forwards)和差價合約(CFD)進行「虛擬」式儲存或支付轉移，來規避電力價格波動風險。

但是，電力批發市場的短期交易對於電力系統長期投資而言，其所包含的市場信息和價格信號並不明確，而中長期交易又多以雙邊交易形式進行，供需雙方的雙邊合同並不公開，議價過程的競爭也不充分，市場更是無法分享其交易信息，因此引入標準化的期貨、期權合約對於反映真實的價格水平和未來電力市場的供需狀況就具有非常重要的意義。

20世紀90年代以來，歐盟、美國、澳大利亞、紐西蘭等國家和地區相繼出現了電力衍生金融產品場外交易市場，並逐步發展出標準化的場內交易市場，並形成一套比較成熟的運作機制。其中，場內交易的合約包括期貨、期權合約等，場外交易的合約包括遠期、互換、期權和差價合約，此外還有較為特殊的擇動期權和價差權等合約。

小結

由於初級能源之全球分布不均，必須藉由國際貿易相互交換所需之能源或金錢，然而在現今能源對國家重要性日趨高升的時代，能源貿易對象與價格更是衝擊一國經濟與國家安全之重要因素之一，因此如何透過能源的國際貿易與相關金融市場的操作等作法，以達到維護國家安全與降低對經濟衝擊等目標，成爲各國首要工作之一。

綜觀前述各節，不論煤、油、氣等各類化石能源，因目前各國使用占比大，因此爲確保穩定供應與降低價格波動，所採用風險管理方式大致可歸納爲：

(一) 分散進口風險

- (1) 分散進口來源
- (2) 提高安全存量
- (3) 投資國外礦區，提升自有比例

(二) 分散價格風險

- (1) 以長期採購爲主
- (2) 輔以短期現貨市場
- (3) 利用期貨交易等方式調節

此外，新型能源的出現(如頁岩氣、頁岩油)，亦會衝擊能源市場使用量與價格，因此亦值得我們後續觀察。

再者電力跨國聯網產生之議題，雖然我國目前尙未與其他國跨國聯網，然而隨著時代的進步，或許有一天會藉由聯網方式以提高經濟效益與供電可靠度，然而其衍生的國家(能源)安全與環境保護等議題則需要我們加以思考與衡量。

議題討論

討論主題：美國油氣產出漸增，對全球未來的影響？

答案：美國可望藉由國內頁岩油氣開發逐步實現能源獨立，甚至出口天然氣至亞洲；美國出口天然氣，可望成爲其重返亞太地區之外交關鍵籌碼。

資料來源：Today in Energy, EIA

1.“U.S. petroleum product exports exceeded imports in 2011 for first time in over six decades.”

2012.3.7

2.“U.S. natural gas net imports at lowest levels since 1992.” 2012.3.15

3.“U.S. crude oil imports drop to lowest level since 1999 as domestic oil production rises.”

2012.3.19

4.“U.S. could become the world’s top liquid fuels producer, but how much does it matter?”

2012.12.20

5.“U.S. crude oil production tops 7 million barrels per day, highest since December 1992.”

2013.2.28

延伸閱讀：「低價石油來了」，田習如，財訊雙週刊第 412 期，2012.11.21

參考文獻

1. BP (2012)。 **BP Statistical Review of World Energy**。 2012.13
 2. EIA (2011)。 **World Shale Gas Resources: An Initial Assessment**。 June 2011
 3. EIA (2012)。 “**What is shale gas and why is it important?**” **Energy in Brief**。 2012.12.5
 4. EIA (2012)。 **Annual Energy Outlook 2013 Early Release**。 2012.12.5
 5. EIA。 **Today in Energy**。
 - (1). “Asia is the world's largest petroleum consumer.” 2012.2.24
 - (2). “U.S. natural gas net imports at lowest levels since 1992.” 2012.3.15
 - (3). “U.S. could become the world’s top liquid fuels producer, but how much does it matter?” 2012.12.20
 - (4). “U.S. crude oil production tops 7 million barrels per day, highest since December 1992.” 2013.2.28
 6. IEA (2012)。 **Key World Energy Statistics**。
 7. 中油公司全球資訊網。 **石油新聞小辭典**。 取自 <http://www.cpc.com.tw/big5/content/index.asp?pno=220>
 8. 中國石油股份有限公司 (2012)。 **中油公司 2012 年報**。
 9. 中國石油股份有限公司 (2013)。 「**中油公司取得澳洲海域 Prelude 氣田開發生產計畫 5% 權益**」。 中油公司新聞稿。 2013.3.7
 10. 元大寶來期貨資訊網。 **期貨介紹**。 取自 http://www.pmf.com.tw/newversion/prodclass/futures_1_a.php?ShowType=1
 11. 北極星電力網 (2012)。 取自 <http://news.bjx.com.cn/html/20120614/366585.shtml>
 12. 台灣電力公司。
 13. 林伯強、黃光曉 (2011)。 **能源金融**。 北京：清華大學出版社。
- 經濟部能源局 (2012)。 **中華民國 100 年能源統計手冊**。

第八章 低碳綠色經濟發展

為因應全球暖化與氣候變遷，追求綠色經濟(green economy)已成為各國重要的施政方針。聯合國環境規劃署(United Nations Environment Program, UNEP, 2011)為回應里約永續發展高峰會(Rio Sustainable Development Summit)後二十年(Rio+20)之全球永續發展的狀態，提出一份「邁向綠色經濟 - 永續發展與改善貧窮路徑」(Towards a Green Economy... Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication)報告，提供全球推動低碳綠色經濟政策與作法之參考。

低碳綠色經濟體現於國家綠色成長(green growth)，亦即經濟成長與溫室氣體排放脫鉤，簡言之，國家經濟是以低碳模式發展。基於此，如何衡量國家綠色成長，即成為國家是否邁向低碳綠色經濟發展的指標。瞭解國家綠色成長績效，以及政策回饋機制，OECD(2011)提出「邁向綠色成長監測指標系統」(Towards Green Growth...Monitoring Progress OECD Indicators)，提供各國參考。由於我國已制定積極減量目標，以及低碳社會發展策略，因此，如何檢視綠色成長績效，亦是我國政府施政的重要課題。基於此，分析 OECD 最新綠色成長監測指標內容，將可作為我國未來追蹤綠色成長之施政績效參考。

綠色能源與產業是低碳綠色經濟的核心產業結構，如何促進綠色產業發展，將攸關國家綠色成長或低碳綠色經濟的體現。聯合國環境發展規劃署(United Nations Development Program, UNDP, 2011)指出，全球未來會有超過 80%以上資本，用於氣候變遷的投資上，因此，如何引導金融體系資金流向綠色投資？即成為檢視綠色成長與綠色經濟發展的重要指標之一。

8.1 綠色經濟意義與實踐

8.1.1、何謂綠色經濟？

UNEP(2010)定義綠色經濟如下：「能夠顯著降低環境風險與生態稀少下，改善人類福祉與社會公平」，¹²易言之，綠色經濟必須體現於低碳(low carbon)、資源效率(resource efficient)與社會包容 socially inclusive)等狀態上。而上述狀態的達成，必須仰賴公、私部門在減少溫室氣體排放、降低空氣與水污染、提高能源與資源效率、及維護生物多樣性與生態系統的投資活動，並驅動經濟成長與創造就業。然而，上開投資誘因必須藉由政府部門的獎勵、及制度改革與管制措施等的政策措施的激勵。

綜合上述可知，邁向綠色經濟的關鍵課題在於政府的施政，如何平衡經濟成長、環境品質及社會正義與公平等。然而，如果環境品質提升與社會公平與正義有助經濟成長與國民福祉增加，則政府應建立環境品質與社會公平與正義準則，作為檢視公、私部門的投資活動，是否有達到該環境品質與社會公平與正義準則。換言之，應該改變以國內生產毛額(Gross Domestic Product, GDP)作為績效衡量指標的傳統觀念，而必須納入環境質損、資源折耗、生態系統生產力降低、以及自然資本減少對貧窮家庭的分配效果等因素，重新建構綠色經濟的新績效指標。

由前文的說明知，綠色經濟並不是要取代永續發展，而將綠色經濟作為永續發展的具體實現。接下來，將更深入探討綠色經濟與永續發展之關係。

8.1.2 綠色經濟與永續發展

聯合國常務會議(UN General Assembly)於 2009 年決定於 2012 年舉辦里約+20 會議，一方面紀念里約高峰會 20 年，另一方面，檢視過去二十年全球追求永續發展的狀態，同時期望藉由該會議提出未來全球推動永續發展策略，因此，本屆高峰會的主題有二，分別為：「邁向綠色經濟 - 永續發展與改善貧窮路徑」與「國際環境治理」(International Environment

¹² UNEP(2010)defines a green economy as one results in “Improved human well-being and social equity, while significantly reducing environmental risk and ecological scarcities”.

Governance)，主要目的即在於連結綠色經濟與永續發展的關係。

一般而言，提及永續發展均會以全球環境與發展會議(World Commission on Environment and Development, WCED, 1987)的定義為主：「滿足現世代需求的發展，不應折損未來世代追求他們自己需求的能力」。¹³經濟學家依據上開定義，很容易的將其轉換至常用的經濟語言，亦即永續發展的定義亦可以表示為：「增加今天人類福祉的活動，不應導致明天人類福祉的降低」，換言之，未來世代應該享有與現世代相同的發展機會(相同的經濟福祉)，亦即現世代的經濟發展必須確保未來世代能夠不低於現世代的福祉水準。Pezzey (1989)直接以人均福祉不應隨著時間而下降，作為永續發展的定義；Pearce et al.,(1989)則以維護經濟體系的總資本(包括自然資本)存量，解釋永續發展之觀念。

依據上述永續發展的觀念，可以瞭解到，整體社會追求永續發展面臨的首要課題即是如何善用現世代的總資本去創造經濟成果(如 GDP)，以及如何分配所創造的經濟成果於現世代(消費)與未來世代(投資)，簡言之，現世代必須儲蓄或累積多少資本，增進未來世代的福祉。然而，如何有效分配自然資本於現世代與未來世代，並不是一件容易的事。Pearce et al., (1989)是第一位嘗試將永續發展與綠色經濟連結的環境與資源經濟學者，¹⁴ Pearce et al., (1989)指出以目前的經濟發展型態，將無法達到永續發展目標，然而，綠色經濟將評估環境資本價值，且利用價格與管制措施，創造市場誘因，而且以環境資本調整 GDP 作為衡量施政績效傳統價值觀，從而可以兼顧現世與未來世代福祉的追求。Pearce et al., (1989)同時也指出，資本間是否具替代性？亦即人造資本是否可以取代自然資本？將是最關鍵性問題。完全替代與完全不替代均不符合實際，以完全替代為例，無法以大幅增加人造資本，取代自然資本(自然資本完全消失)，因為，自然資本仍是構成人類福祉的重要來源；完全不替代亦不可行，例如很多開發中或低度開發國家，擁有豐富的自然資本，如果無法以些微自然資本減少，促進經濟發展，同樣地，也無法真正提高該國人民福祉。

由於某些自然資本可以直接提供福祉，例如潔淨空氣與水資源，有些自然資本是間接提供人類福祉，例如生態系統。表 8.1-1 顯示自然資本價值，以生態系統之森林碳匯，降低溫

¹³ WCED(1987)defined sustainable development as “development that meets the needs of the present without compromising the ability of the future generations to meet their own needs”.

¹⁴ 參閱 Pearce et al., (1989)撰寫之”Blueprint for a Green Economy”報告。

室效應之淨現值約為 3.7 兆美元。然而，在人類開發活動下，自然資本具存在風險性，且具有(Dasgupta, 2008)：(1)快速折耗，且具不可復原性(irreversible)；(2)無法以新自然資本取代舊有自然資本之功能(例如創造人工濕地補償自然濕地的折耗)；(3)自然資本可能在無預警的情況下，產生巨大的崩解。綜合上述分析可知，資本間應可替代性，具但必須維持自然資本存量的一個適當門檻值。

綜合上述，綠色經濟與永續發展目標相連結，且是在維持一定水準之自然資本限制下，改善人類福祉。因此，各國應以將綠色經濟作為追求永續發展的重要施政議程，主要工作項目包括全球氣候變遷因應、強化能源安全、維護生物多樣性及社會公平與正義。

表 8.1-1 自然資本的價值

生物多樣性	生態系統生產力	經濟價值
生態系統	<ul style="list-style-type: none"> ● 遊憩 ● 水資源 ● 碳匯 	維持森林之降低溫室效應之淨現值約 3.7 兆美元
物種數與多樣性	<ul style="list-style-type: none"> ● 糧食、纖維與燃料 ● 啟發靈感 ● 授粉作用(pollination) 	昆蟲授粉增加農業生產價值約 1,900 億美元
基因	<ul style="list-style-type: none"> ● 醫療創新 ● 疾病防治 ● 調適能力 	基因資源創造價值約占 25-50% 美國製藥市場價值 (約 6,400 億美元)

資料來源：UNEP(2011), Towards a Green Economy... Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication.

8.1.3 邁向綠色經濟的路徑

一、全球距綠色經濟還有多遙遠？

過去二十五年，全球經濟發展的結果，提高數以百萬計家庭的經濟生活 (IMF, 2006)，然而，也大幅降低全球約 60% 的生態系統生產力 (Millennium Ecosystem Assessment, 2005)，例如目前估計全球僅剩約 20% 商業漁獲存量，其中約有 52% 魚種已完全被捕獲，而無法再復育，20% 過度補獲，以及 8% 完全耗竭 (FAO, 2009)。未來 20 年，估計全球僅能滿足 60% 水資源需求，水資源短缺問題，將日益嚴重 (McKinsey and Company, 2009)，為了農業生產，大幅使用化學肥料，導致土壤質化 (Muller and Davis, 2009)，同時大量砍伐森林，導致在 1990-2005 年

間，每年約有 13 百萬英畝森林面積流失 (FAO, 2010)。

全球目前約有超過一半人口居住在鄉村地區，然而，都市居民卻耗用全球約 75% 能源 (UN Habitat, 2009)，以及 75% 的碳排放 (Clinton Foundation, 2010)。此外，擁擠與污染等問題不斷攀升，降低勞動生產力與惡化健康，然而，更嚴重的是城鄉貧富差距不斷擴大。依據世界銀行(2010)統計，全球約有 50% 人口居住在新興經濟國家(emerging economies)，快速工業化與都市化發展結果，需要提高綠色城市規劃與交通運輸等基礎建設。

綜合上述分析可知，就生態系統與社會發展兩項指標日益惡化的情況來看，全球追求綠色經濟仍有一段漫長的路。圖 8.1-1 顯示，很多國家(如國歐盟、北美及部分亞洲國家)以犧牲自然資本方式(非常高的生態足跡)，例如排放大量溫室氣體與消耗自然資本方式，促進其發展。然而，這些國家仍存在許多邁向綠色經濟的機會與挑戰，亦即推動管制措施、經濟誘因政策工具、及補貼措施等，轉型現行依賴化石燃料、自然資源折耗與環境質損的褐色經濟體系(Brown economy)，從而，達到在不影響生活品質下，降低其生態足跡，逐步邁向綠色經濟。

UNEP(2011)指出，為發展綠色經濟，國家層級的政策與措施應包括：(1)改變財政政策；(2)改革或降低有害環境補貼(environmentally harmful subsidies)；(3)採行新市場誘因工具(如排放交易制度)；(4)制定關鍵部門的綠色投資目標；及(4)提高政府綠色採購等，此外，政策與措施推動的同時，必須檢視綠色經濟政策推動對環境是否存在負面衝擊。UNEP(2011)也指出，推動綠色經濟將有於國家長期競爭力與社會服務業的提升，主要理由彙整如下：

1. 推動有效與適當環境政策，包括管制措施與市場工具，反映環境資源使用者本，抑或將外部成本內部化，從而，淘汰不利環境的廠商與產業，長期提高資源使用效率，促進產業結構低碳化。
2. 政府制度環境目標時，將會提高資源價格，藉由資源相對價格(relative price)的引導，激勵潔淨資源(如再生能源)、人力資本、知識與研發等的發展與創新，並抑制不利環境之資源利用(如化石能源)。
3. 利用價格機制反映自然資源的稀少特性，提高資源使用效率，並促進有利環境的投資與研發活動，長期可以改變一個國家的發展基礎，邁向綠色與健康的經濟發展型態。
4. 資源價格提高的結果，有利環境投資的獲利逐步增加，激勵投資者，從而，促進全球綠

色產品市場發展。

綜合上述，政府推動適當的政策與措施，將徹底改變經濟體系的生產結構與型態，例如將增加研發、人力資本、及知識等投資與投入，奠立綠色經濟基礎。

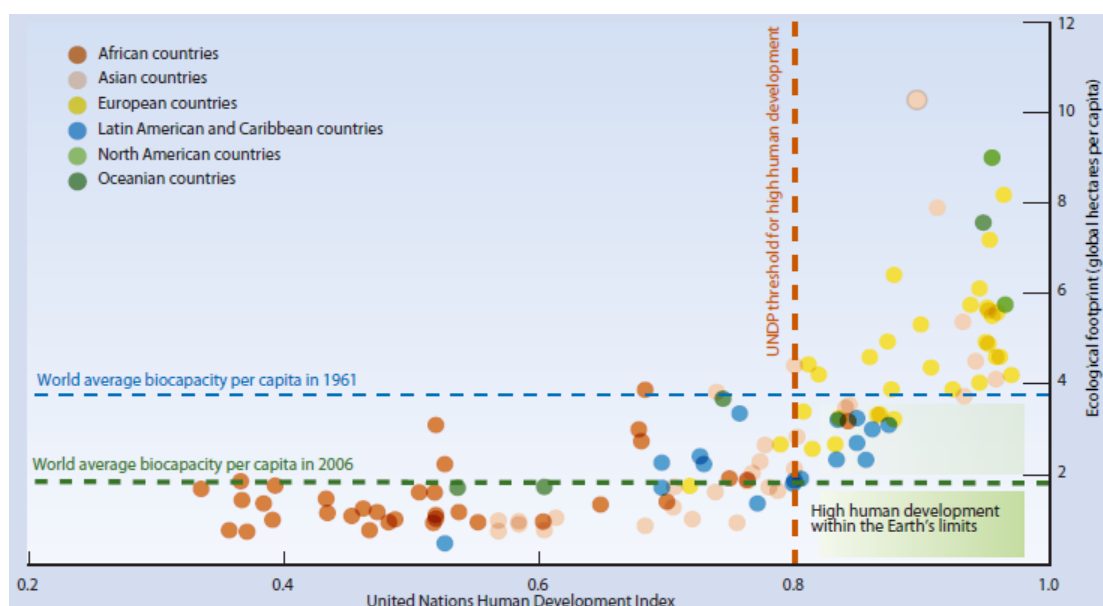


圖 8.1-1 邁向低碳經濟的挑戰

資料來源：UNEP(2011), Towards a Green Economy... Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication.

二、如何選擇綠色經濟衡量指標？

建立國家與部門層級之適當綠色經濟指標架構，將是正確與客觀衡量綠色經濟發展狀態的最佳工具之一。由於傳統 GDP 績效指標並沒有計入自然資源折耗與環境質損價值，因此，扭曲國家發展績效，並不是一個良好指標。圖 8.1-2 顯示，經濟成長將仰賴自然資源的投入，造成自然資源折耗，且支撐經濟成長的經濟活動將排放污染物至環境，造成環境質損。因此，應該利用聯合國統計局(UN Statistics Division, UNSD)發展的環境與經濟系統帳(System of Environmental and Economic Accounting, SEEA)，及世界銀行(2006)制定的國家淨儲蓄(National Savings)，評估自然資源折耗與環境質損價值，並納入 GDP 帳，獲得國家的綠色 GDP，並利用綠色 GDP 作為衡量國家層級之綠色經濟指標。

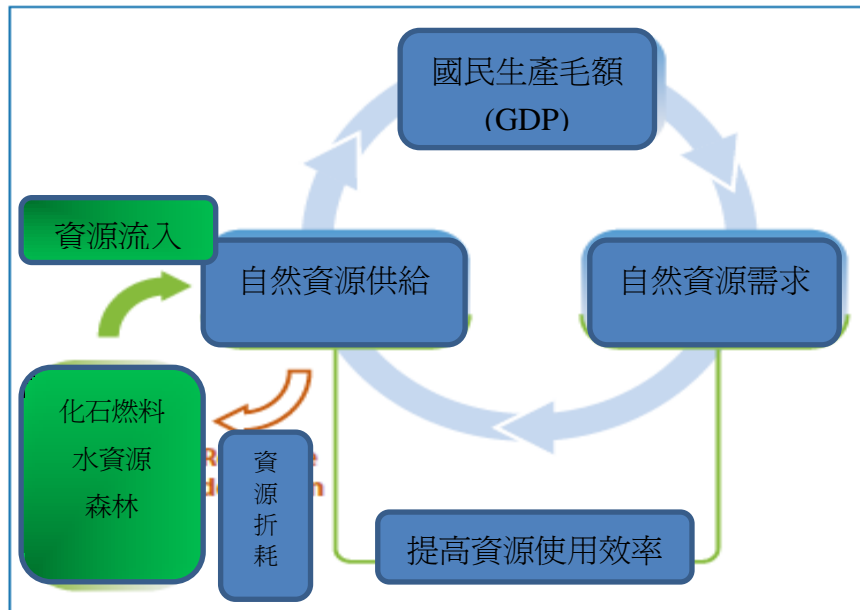


圖 8.1-2 經濟成長與自然資源之關係

資料來源：UNEP(2011), Towards a Green Economy... Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication.

(三)、如何衡量綠色經濟的動態績效？

首先建立國家綠色投資「基準情境」(Business as Usual, BAU)，再檢視國家實際綠色投資水準相較於 BAU 值的變化，作為衡量國家綠色經濟的動態績效。綠色投資項目包括：(1)自然資本投資：包括農業、漁業、水資源與森林等；(2)提高能源與資源效率投資：包括再生能源、製造業、廢棄物、建築物、運輸、旅遊及城市等。並建立總體經濟模型，衡量上開指標變化，可以作為衡量國家綠色經濟的動態績效。

UNEP(2011)利用「門檻 21 全球模型」(Threshold 21 World Model, 見圖 8.1-3)，評估全球綠色經濟發展狀態。T21-world 為系統動態模型，包括經濟、環境與社會三個構面，並建立兩個情境，分別為 BAU 與綠色情境，比較綠色情境與 BAU 情境脫鉤狀態，做為衡量綠色經濟動態發展績效的依據。

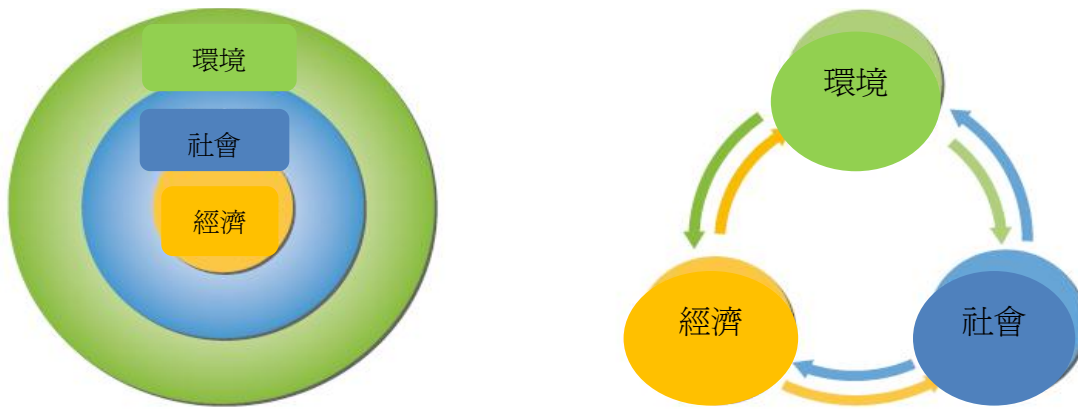


圖 8.1-3 T21-world 總體經濟模型架構與觀念

資料來源：UNEP(2011), Towards a Green Economy... Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication.

8.2 低碳綠色經濟監測與衡量

依據 OECD(2011)的定義，綠色成長係指在促進經濟成長與發展的同時，能夠兼顧自然資源的質與量，致能夠提供維持人類生活福祉的環境品質。¹⁵易言之，為實踐綠色成長，經濟體系必須促進投資與創新，厚實國家競爭力與持續成長力量，以及開創新的經濟機會。由此可知，衡量綠色成長，應包括關心與維護環境品質的基礎上，所衍生的綠色成長與新成長機會等不同面向。

8.2.1、綠色成長衡量架構(the measurement framework)

依據上開定義，衡量綠色成長應包括四個構面(或指標群)(見圖 8.2-1)：

一、環境與資源生產力

環境與資源生產力(environmental and resource productivity)主要反映單位自然資源服務投入的產出量，如果環境與資源服務生產力提高，意味著具有邁向綠色成長的必要條件。

要計算環境與資源生產力，必須先獲得需求基礎的環境服務(demand based environmental services)或污染排放量。所謂需求基礎的環境服務或污染排放量主要反映滿足國內最終需求的环境服務或污染排放，易言之，計算國內最終需求環境服務或污染排放量時，必須扣除國內出口商品之環境服務或污染排放量，以及加上國內進口商品之環境服務或污染排放量，例如

¹⁵ Green growth is about fostering economic growth and development while ensuring that the quality and quantity of natural assets can continues to provide the environmental services on which our well-being relies.(OECD, 2011)

以產品碳足跡(carbon footprint)衡量。

二、自然資源存量

由於環境與資源生產力的高低，受到自然資源存量影響，因此，邁向綠色成長的充分條件是維護自然資源資產存量。在永續發展的觀點下，自然資源資產應包括經濟資本、自然資本、及人力資本(或稱社會資本)等三個資本項目。

三、生活的環境品質

環境品質影響民眾身體健康，易言之，在經濟成長過程中，惡化環境品質(包括空氣與水污染等)，會如何影響民眾健康，即是生產的環境品質(environmental quality of life)意義。

四、考量環境品質衍生的新經濟機會

考量經濟成長對環境衝擊效果，從而，經濟體系將產生因應措施(包括環境稅、管制措施與補貼等)，此舉，將衍生新的經濟機會，例如為達成低碳化，必須提高能源效率，誘發綠色與節能科技發展，形成綠色產業發展機會，促進產業結構低碳與能源結構潔淨化。

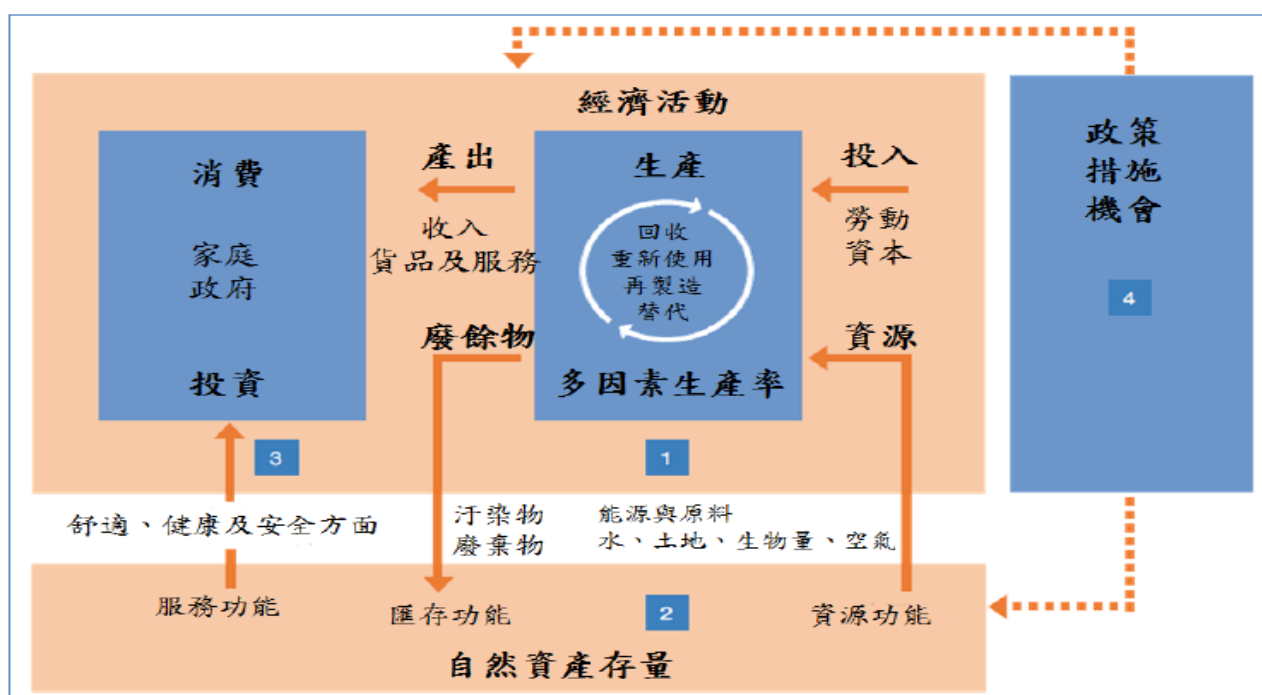


圖 8.2-1 OECD 綠色成長衡量架構

資料來源：OECD(2011)

8.2.2 綠色成長指標選擇原則

有效監測綠色成長的進展，選擇適當的指標項目，將是最關鍵因子。基於此，OECD(2011)提出三項基本原則：

(一)政策相關性(policy relevance)

指標選擇必須具清楚的政策意含，亦即應具有下列特性：

1. 應能夠涵蓋綠色成長的所有構面；
2. 容易解釋與透明性，亦即指標能夠清楚隨時間呈現明顯的變化趨勢；
3. 能夠做跨國比較；
4. 能夠深入分析，瞭解各國國情差異性。

(二)分析的完整性(analytical soundness)

藉由完整分析，取得共識，同時可以連結至經濟、環境與預測模型。

(三)可測量性(measurability)

資料必須可獲得性，抑或在合理成本下取得，同時應具有高品質，以及能夠持續更新。

8.2.3 綠色成長衡量標

依據前文綠色成長衡量架構，區分四個構面，本節將分述各構面細項指標，提供政府施政參考：

一、環境與資源生產力指標

環境與資源生產力指標(environmental and resource productivity)包括：碳與能源生產力、資源生產力及多因子生產力等三個層面，其中，碳與能源生產力區分生產基礎(production-based)與需求基礎(demand-based)兩項細項指標，以二氧化碳排放為例，需求基礎係指由生產基礎計算的排放量，扣除出口排放，再加上進口排放之淨二氧化碳。需求基礎主要目的在反映該國真正的二氧化碳生產力。

OECD 進一步將指標再區分兩種型態，分別為：(1)主要指標(main indicators)：當前已可取得資料；(2)代理指標(proxy indicators)：當前尚無法取得相關資料，以替代指標暫代之。此外，再針對指標意含，再區分為：(1)相關性(relevance)：如果指標與綠色成長相關性高，以「1」表示，；如果未來需要進一步評鑑，則以「3」表示；(2)分析合理性(analytical soundness)：「1」表示好(good)，「2」表示平均，「3」表示來需要進一步評鑑；可測量性(measurability)：如果短期可測量，以「S」表示，如果中期可測量，以「M」表示，如果長期可測量，以「L」表示。

有關環境與資源生產力指標項目內容，彙整如表 8.2-1 所示。

表 8.2-1 環境與資源生產力指標

層面	指標項目	型態	相關性	合理性	測量性
碳與能源生產力	CO ₂ 生產力				
	1. 生產基礎生產力(GDP/CO ₂)	M	1	1	S
	2. 需求基礎生產力(GDP/CO ₂)	M	1	2	S/M
	能源生產力				
	1. 能源生產力(GDP/TPES)	M	2	1	S
2. 部門能源密集度	M	2	1	S/M	
3. 再生能源發電占比	M	1	1	S	
資源生產力	物質生產力				
	1. 需求面務質生產力	M	1	3	M/L
	2. 廢棄物密集度與回收率	M	1	1	M/L
	3. 營養素流量與平衡	M	1	3	L
	水資源生產力(VA/水資源消費量)	M	1	1	M
環境服務生產力	反映環境服務的多因子生產力：有機物的貨幣價值	M	1	2	M/L

資料來源：OECD(2011), Towards Green Growth...Monitoring Progress OECD Indicators.

二、自然資源資產指標

自然資源資產指標(natural resource asset)包括：(1)再生能源存量：包括淡水資源、森林資源及漁業資源三項資產；(2)不可再生資源存量：礦產資源；(3)生物多樣性與生態系統：包括土地資源、土壤資源及野生動物資源等三項自然資源資產。

有關自然資源資產指標項目內容，彙整如表 8.2-2 所示。

表 8.2-2 自然資源資產指標

層面	指標項目	型態	R	S	M
再生能源存量	1. 淡水資源(可獲得量扣除抽取量)	M	1	1	S/M
	2. 森林資源(森林面積與數量；及存量變動)	M	1	1	S/M
	3. 漁業資源(在生態安全下的魚類存量比例)	M	1	1	S
不可再生資源存量	4. 礦產資源	M	1	2	M/L
生物多樣性	1. 土地資源	M	1	1	M/L

與生態系統	2. 土壤資源	M	1	1	M/L
	3. 野生動物資源(野生鳥類、瀕臨危險物種及物種豐富趨勢)	P	1	1	S/M

資料來源：OECD(2011), Towards Green Growth...Monitoring Progress OECD Indicators.

三、生活環境品質指標

生活環境品質指標(environmental quality of life)包括：(1)環境健康與風險：相關指標包括環境誘發的健康與成本及面臨自然災害與工業風險之人數等兩項；(2)環境服務與美質(environmental service and amenity)：相關指標包括享有污水處理人數與可持續享有安全飲水人數。

有關生活環境品質指標項目內容，彙整如表 8.2-3 所示。

表 8.2-3 生活環境品質指標

層面	指標項目	型態	R	S	M
環境健康與風險	1. 環境誘發的健康與成本(暴露空氣污染的人數)	M	1	3	L
	2. 面臨自然災害與工業風險的人數	M	1	2	L
環境服務與美質	3. 享有污水處理人數	M	2	2	S/M
	4. 可持續享有安全飲水人數		1	2	S/M

資料來源：OECD(2011), Towards Green Growth...Monitoring Progress OECD Indicators.

四、政策回應與經濟機會指標

政策回應與經濟機會指標(policy responses and economic opportunity)包括：(1)技術與創新與專利申請比例，前者包括再生能源研發支出占比、環境技術研發支出占比與所有企業研發支出占比等三項；後者包括環境相關與所有專利及環境相關專利結構等兩項；(2)環境財貨與勞務：附加價值占 GDP 比例與就業占比等兩項指標；(3)國際金融流動：相關指標包括官方發展援助、碳市場資金及國外直接投資等三項指標；(4)價格與移轉支付：包括環境相關租稅(稅收占比與稅收結構)、能源稅與價格及水價與回收成本率等。

有關政策回應與經濟機會指標項目內容，彙整如表 8.2-4 所示。

表 8.2-4 政策回應與經濟機會指標

層面	指標項目	型態	R	S	M
技術與創新	研發支出	M M		1	S/M
	1. 再生能源研發支出占比(能源相關)		1	1	S
	2. 環境技術研發支出占比(總研發支出)		1	1	S
	3. 所有企業研發支出占比(總研發支出)		1	1	S
	專利申請比例	M	1	1	S
	1. 環境相關與所有目的專利		1	1	S/M
2. 環境相關專利結構	1	1	S/M		
	所有部門環境相關創新	M			
環境財貨與勞務	環境財貨與勞務生產	M	1	2	S/M
	1. 附加價值占 GDP 比例				
	2. 就業占比(整體就業量)				
國際金融流動	國際金融流動占比(所有資金)		2	1	L
	1. 官方發展援助(ODA)		2	1	S
	2. 碳市場資金		2	1	S
	3. 國外直接投資		2	3	L
價格與移轉支付	環境相關租稅	M	2	2	S/M
	1. 稅收占比(總稅收)		2	2	S/M
	2. 稅收結構				
	能源稅與價格	M	1	1	S
	水價與回收成本率	M	1	2	S/M

資料來源：OECD(2011), Towards Green Growth...Monitoring Progress OECD Indicators.

註：管制與管理及訓練與技能發展兩層面指標尚未發展出。

8.3 低碳綠色經濟發展策略

8.3.1 國家氣候金融發展與需求

UNDP(2011)提出氣候金融(climate finance)，目的在於促進國家綠色成長，最終能夠邁入低碳綠色經濟社會。

一、氣候融資的需求

依據 UNFCCC 對附件一國家的調查，全球有超過 1,000 個溫室氣體減排政策與措施刻正推動中(OECD, 2009)。私部門為因應日益嚴格的溫室氣體減排政策，大幅增加潔淨能源投資，依據 The Pew Charitable Trust(2011)的研究顯示，私部門於 2010 年潔淨能源部門約成長 30%(相較於 2009)，達到 2,430 億美元的投資與融資水準，如圖 8.3-1 所示。如果政府持續支持潔淨能源發展，則預估至 2012 年可以達到 4,500 億美元投資與融資需求，至 2020 年則達到 6,000

億美元需求(2010)。

單位：十億美元

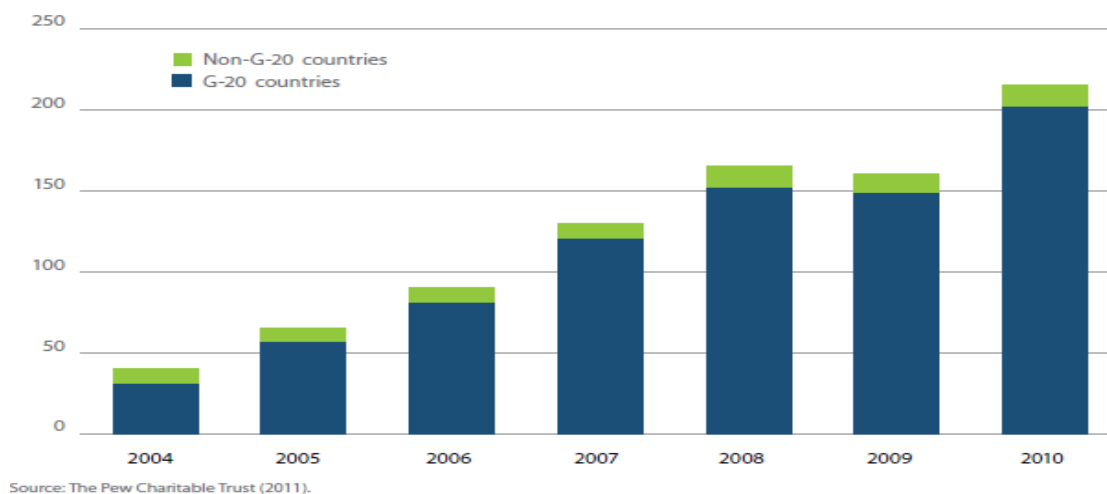


圖 8.3-1 私部門歷年(2004-2010)潔淨能源投資成長趨勢

資料來源：UNDP(2011), Climate finance.

8.3.2 UNDP 氣候融資四大步驟

如何決定適當的綠色投資計畫？是 UNDP(2011)氣候金融的主要重點。UNDP(2011)提出四大步驟，分別為：

1. 步驟一：界定減緩與調適技術選項優先順序(identify priority mitigation and adaptation technology options)

應依據減排技術成本與調適計畫的績效，作為氣候融資優先順序的參考。前者，如 McKinsey & Company 所推估之減量技術平均與邊際成本，作為融資之參考。

2. 步驟二：評估影響技術擴散因素之障礙(assess key barriers to technology diffusion)

五大評估項目：

- (1)資訊與行為的障礙 (information and behavioral barrier)：

資訊與行為障礙包括：知識缺口(knowledge gap)、缺乏對綠色科技的信賴(reliability concern)、缺乏綠色宣導(lack of green champions)及較高成本預期(higher cost perception)。

- (2)制度與技術障礙 (institutional barrier)

制度性障礙包括：形成綠色政策與策略的能力不足(limited capacity to formulate green policies and strategies)及執行能力不足(weak policy implementation and enforcement)。

- (3)管制障礙 (regulatory barrier)

管制障礙包括：傳統能源政策有利於化工燃料與核能、獨占的電力市場與電力購買協定、差異性的電網政策及行政管理障礙(如管制綠能的噪音、安全性及暴利等)。

(4)融資(或財務)障礙 (financial barrier)

融資障礙包括：較高的風險管理成本、補貼傳統燃料、較低投資報酬、較高投資成本及高交易成本等。

(5)技術障礙 (technical barrier)

技術障礙包括：缺乏技術技能(lack of technical skill)及缺乏驗證機構(lack of certification facilities)。

3. 步驟三：決定適當的政策搭配(determine appropriate policy mix)

適當的政策措施：

- (1) 能力建設 (capacity building)：例如綠色會計(green accounting)、生態與碳足跡評估、教育宣導、綠色標章及能源查核等。
- (2)管制工具 (regulatory)：制定最佳可行技術標準、強制性標章制度、建築節能標準、建立環境權、制定再生運輸燃料義務及總量管制。
- (3)財政機制 (fiscal mechanism)：取消化石燃料補貼、實施能源與碳稅、水價制度改革、及徵收廢棄物處理費。
- (4)早期市場發展機制 (early market development mechanism)：推動產業自願性投資與減排協議、作物驗證、及鄉親微小金額融資。
- (5)債務與債權融資機制 (debt or equity finance mechanism)：建立技術移轉基金、國家建設基金、出口貿易信用、農業保險及氣候指數。
- (6)環境市場交易機制 (environmental market trading mechanism)：建立碳交易制度、設立碳基金、建立水權交易制度、濕地減緩信用交易制度及自願性生物多樣性抵換。

適當政策搭配選擇準則：

I、從企業觀點：

- (1)有效(loud)：降低風險與創造利潤效果
- (2)長期(long)：政策穩定與長期性
- (3)合法(legal)：依法執行
- (4)簡易(light)：政策清楚與簡單

II、納稅人觀點

- (1)環境有效性(environmental effectiveness)：提高單位資源生產力。
- (2)成本有效性(cost effectiveness)：政策執行成本較低。
- (3)政治可行性(political feasibility)：政治成本低。
- (4)制度有效性(institutional effectiveness)：提高政策執行力。

4. 步驟四：選擇適當的融資，提高政策效果(select financing options to create enabling policy environment)

適當整合公共與私有資金，例如：

- (1) 公共資金(public funds)：較適合應用於國際氣候融資計畫
- (2) 環境的市場融資(environmental market finance)：較適合應用於國家與地方政府氣候融資計畫。
- (3) 私人資金(private funds)：同時應用於國際、國家與地方政府氣候融資計畫。

8.3.3 個案分析－以風力發電的饋電價格為例

一、確認減緩與調適技術的優先選項

由於使用傳統方式擴展現代能源及擴大國家電網的成效不大，而解決方案所生產出的能源既貴品質又低，也導致高排碳，並且因油價波動使地區的脆弱度提高。

推廣使用再生能源將可獲得以下三種正面的效果：1.減低窮人對能源服務的負擔；2.減低國家對能源進口的依賴；3.能源安全。¹⁶而離網(off-grid)再生能源的發展，加強了地區的能力，使其能處理因氣候變遷帶來負面影響。增加電力可取得的容易度，可改善唸書時的照明設備，使貧窮地區的孩童教育成就上升；也由於改善照明設備，省下了必須花在煤油和電池的成本，減低貧窮，也增加對抗氣候變遷的能力。未來 10 年，開發中及已開發國家的風力發電供電比例將大幅增加。

二、評估技術普及將面臨的關鍵障礙

評估技術普及將面臨的關鍵障礙，可分為制度、管制、技術、及金融/財務障礙四類來探討：制度上由於缺乏清楚的行政程序，在販賣電力許可證的取得上會有問題產生；管制上缺乏合適的法制和法規架構；在技術上缺乏專業知識，產生選址及技術問題，亦缺乏和安裝、操作與維持相關的基礎設施和技能；而金融風險上，因市場風險和未來電價的不確定性，使電費難以預測，對傳統燃料及電力的補貼，將對再生能源造成傷害等。

¹⁶能源安全包括能源供應的可靠性和能源設施的運轉與維護安全。

三、決定適合的政策搭配

國際間有許多推動再生能源發電的案例，這些國家各有不同的推動政策。其中，最常見的政策即為饋電價格(FiT)，以饋電價格做為基礎政策，藉此說明四大步驟中之第三步驟。

步驟三分為基礎融資與融資政策兩部分：可由本國或國際市場取得基礎融資所需的資金；融資政策的部分，對饋電價格法規的設計，必須提出技術援助，建置專業的能力，改變政策加速許可證的取得，及對電網普及的擔保等，如圖 8.3-2 所示。

即使是設計良好的饋電價格制度，也無法在缺乏資訊、法規和市場工具的情況下，催化對可再生能源的大型投資，所以設計完善的政策必須與法規搭配執行，才能達到所期望的政策效果。在開發中國家，推廣再生能源發電最大的障礙為資訊及專業技術不足，而只有在充分了解發展饋電價格政策的機會與限制之下，政策才能順利推行。

四、選擇適當的融資方式，提高政策效果

對再生能源溢價(RE price premium)而言，資金來源依國家的狀況改變，包含了混合和創新的來源，例如公共、私人、國際及本國資金。藉由饋電價格法規的發展與執行，可擴大工業化國家的可再生能源規模，而配套政策的配合亦可減低投資風險。饋電價格制度要達到成本有效性，需要許多條件相互配合，例如設計完善的清潔能源政策、強制執行政策的能力、及發展良好的國內金融市場等。

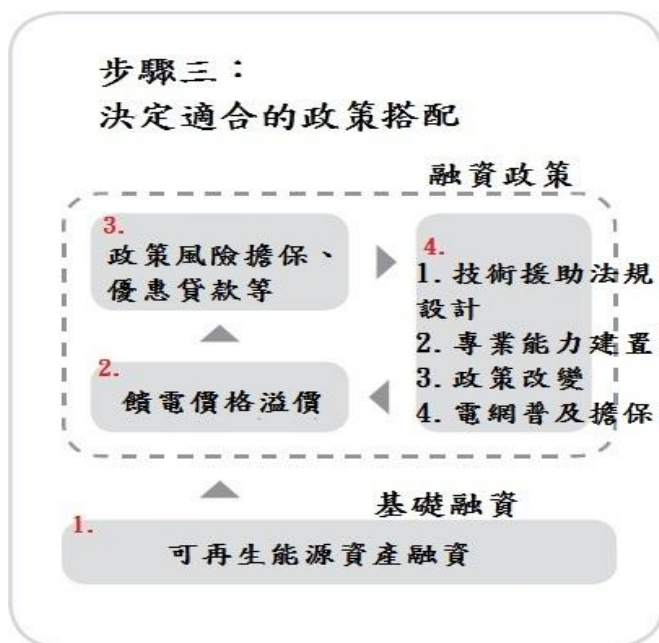


圖 8.3-2 選擇風力發電饋電價格之政策搭配

資料來源：UNDP(2011)

8.3.2 英國成立綠色投資銀行

英國政府(2011)為掌握未來綠色產業的龐大商機，接受英國氣候變遷委員會的政策建議，決定籌資 30 億英鎊，成立「國家綠色投資銀行」(National Green Investment Bank)，推動約 5,500 億英鎊的綠色投資需求，以滿足全球未來鉅額的綠色投資需求。

一、成立國家綠色投資銀行的緣由

歸納英國政府決定國家綠色投資銀行的主要理由如下：

1. 英國政府已宣布 2050 年減碳 60%(相較 1990 年排放水準，以及 2020 年低碳與綠色產業發展目標)。
2. 英國政府估計未來 10-20 年約有 2,000 億-1 兆英鎊的低碳與綠色投資資金需求規模，為降低投資障礙，確保投資資金到位，英國政府(2011)接受氣候變遷委員會的建議，成立「國家綠色投資銀行」，希望在 2012 年底以前可以開始運作。
3. 國家綠色投資銀行的成立目的，在於推動英國的「綠色新政」(Green New Deal)。

二、綠色投資項目

英國國家綠色投資銀行設定的主要綠色投資項目包括：

1. 大規模低碳計畫(Large Scale de-carbonization projects)：降低能源生產的碳密集度計畫或科技。
2. 中小企業節能計畫：中小企業綠色科技投資計畫。
3. 新科技創新與研發計畫：推動綠色科技示範與商業化。
4. 新核能計畫：新核能科技發電計畫。

三、綠色投資銀行的功能

英國國家綠色投資銀行界定如下三大主要功能：

1. 降低政治與管制風險(political and regulation risk)：私部門面臨政治與管制風險，將降低投資意願，透過綠色投資銀行可以排除相當障礙。
2. 促進英國電力市場改革：
 - (1) 碳價格補貼：促進低碳發電；
 - (2) 饋電價格(Feed-in Tariffs)；
 - (3) 產能補助(capacity payment)：補助備載容量；
 - (4) 排放績效標準：限制燃煤電廠碳排放。
3. 促進政府政策推動與成效落實：例如有助於英國政府 2050 年減碳 60% 目標的達成。

四、成立國家綠色投資銀行的優勢

國家綠色投資銀行(bank)與政府資助(funding)的性質不同，以銀行的型式，具有如下優勢：

1. 銀行能夠籌集自己的資金(a bank is able to raise its own finance)
2. 銀行能夠快速籌集資金(a bank is able to raise finance quickly)
3. 銀行具有專業能力與知識(a bank will bring in expertise)
4. 銀行意味獨立性與追求績效(a bank would signify independence and performance)
5. 銀行能夠提供更廣泛參與(a bank can offer a wider range interventions)
6. 銀行能夠填補政府發行公債籌募資金之市場資金不足與缺口(a bank would able to fill the gap in the market for government-backed bonds)。

參考資料

1. OECD(2011), Towards Green Growth...Monitoring Progress OECD Indicators.
2. UNDP(2011), Climate finance.
3. UNEP(2011), Towards a Green Economy... Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication..

第九章 低碳城市

因溫室效應與全球暖化造成氣候變遷，極端氣候，人類生態系統也面臨嚴重破壞，使人類覺醒到社會低碳發展的重要性。根據行政院環保署（2012）我國低碳家園永續方案推動架構中指出自 2009 年起各國紛推行綠色新政(Green New Deal)，結合「潔淨低碳能源」、「低碳產業經濟」，及「建構低碳社會」，透過全民減碳，達成減碳目標。根據此一觀念綠色新政與因應氣候變遷發展趨勢及關係可用圖 9-1 加以說明如下：

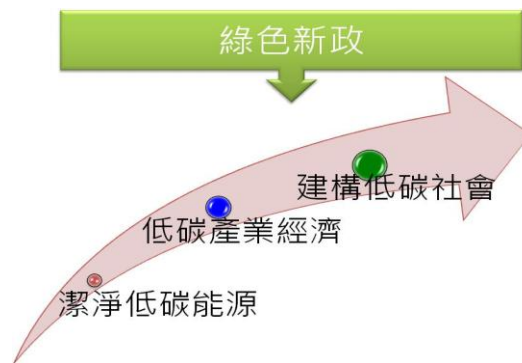


圖 9-1 綠色新政與因應氣候變遷發展

資料來源：能源經濟管理資源中心研究

由上圖可瞭解綠色新政首先需開發潔淨之低碳能源，其次引導低碳產業經濟，最終目的是建構一個低碳社會。而低碳社會的發展則有賴於社會中自個人開始實踐節能減碳，使日常生活中減碳成爲一個常態模式，我們生活中的城市才有可能成爲低碳城市，最後實現低碳社會的理想。因此低碳社會與低碳生活之關聯性可簡單用圖 9-2 加以表示。

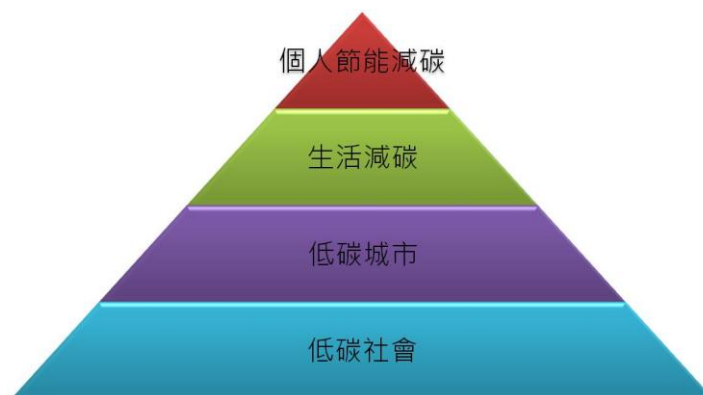


圖 9-2 低碳社會與低碳生活關聯性

資料來源：能源經濟管理資源中心自行繪製

個人及生活中之的節能減碳過去已有許多介紹，本節將別介紹低碳城市之定義、衡量指標、國內低碳城市之推動政策及分別以國內外實例低碳城市的特色。

9.1 低碳城市的定義

目前國際各主要城市不約而同推動「生態城市」、「健康城市」、「綠色城市」、「永續城市」或「低碳城市」，名詞雖異，建構理念卻相同；這類城市的發展重點包括：發展資源循環、節能減碳、生態保育、綠色消費、綠色生產、人口健康、社區發展及環境共生等；因此為減緩與調適全球氣候變遷衝擊，「低碳永續家園」成為全球共同追求的目標。

亞太經濟合作協會（Asia Pacific Economic Cooperation, APEC）在 2011 年提出 APEC 區域低碳城市（Low Carbon Town）報告指出所謂低碳城市是城市有明確二氧化碳減排目標，並可具體衡量其達成永續程度。該報告並指出，低碳城市發展方式有兩種方式分別為綠色區域發展（greenfield development），及棕色區域發展（brownfield development）。所謂綠色區域發展係指城市低碳發展規畫包括城市全部區域。而棕色區域發展則指對低碳城市發展規劃採用逐步開發方式分區進行。

相較於以往城市發展模式，低碳城市關注在城市永續發展過程之經濟發展模式、能源供應、生產和消費模式、技術發展、貿易活動、居民和政府部門的理念和行為等落實低碳化。因此，所謂低碳城市是指「在城市的能源、產業、建築、運輸、資源、及環境等硬體建設及政府政策能有效營造低碳生活方式等軟體機能的整體規劃，並符合低再使用（Reuse）、減量（Reduce）及再回收（Recycle）3R 標準之資源永續使用的城市統稱為低碳城市。」由此可知低碳城市的內涵在軟體上以低碳生活為核心，再搭配能源、產業、建築、運輸等硬體建設，建構成一個整體低碳城市生活圈。圖 9.1-1 說明了低碳城市整體內涵軟硬體建設之關係

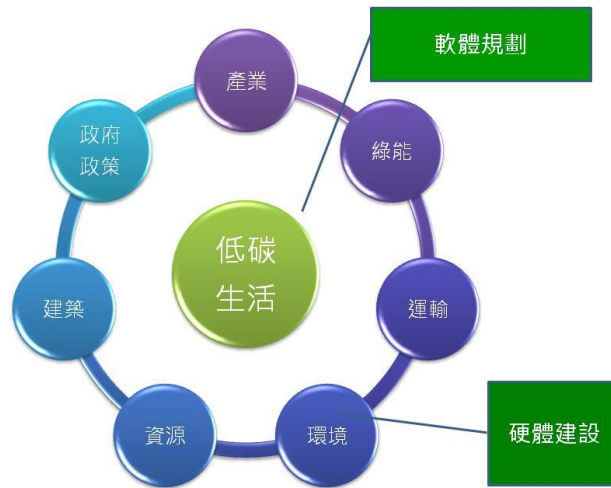


圖 9.1-1 低碳城市之整體內涵

資料來源：能源經濟管理資源中心自行繪製

9.2 低碳城市的衡量指標

至於符合什麼樣條件才可以稱為「低碳城市」？有無具體的指標可以加以衡量？最早提出低碳城市指標 Pamlin (2010)根據哥本哈根宣言（Copenhagen Declaration）的倡議提出一個低碳城市發展指標(Low Carbon City Development Index, LCCDI)，希望建構一個讓城市能衡量其對二氧化碳減排所做的貢獻的指標，該計畫目前還在進行中。指標內容包括：

1. 衡量城市直接及間接二氧化碳排放量。
2. 衡量城市提供的產品與服務和消費面環境影響影響。
3. 衡量因應綠色城市原物料和服務等需求對城市環境的影響。

另外根據行政院環保署在民國 99 年至民國 100 年間辦理「低碳示範城市競逐遴選」之評比，建構一個綜合性的距陣指標，分別由技術面、法律面、經濟面、財稅面、社會工具面、及區域發展面來衡量低碳城市之生態綠化、建築節能、設備節能、再生能源、綠色運輸、資源循環、低碳生活及防救災調適。¹⁷該指標可以用圖 9.2-1 說明如下：

¹⁷行政院環境保護署生態社區推動方案室，2012，我國低碳永續家園推動方案架構報告。



圖 9.2-1 低碳城市衡量指標

資料來源：本研究整理自行政院環境保護署生態社區推動方案室(2012)，我國低碳永續家園推動方案架構報告。

9.3 國內低碳城市推動政策

環保署根據 98 年全國能源會議決議，推動低推動低碳家園政策，預計在十年建構「低碳社區」、「低碳城市」與「低碳生活圈」的任務，未來民國 100 年每縣市完成兩個低碳示範社區，全國計 50 個低碳示範社區；民國 103 年要推動四個低碳城市¹⁸；民國 109 年完成北、中、南、東四個低碳生活圈。圖 9.3-1 說明低碳家園規畫。



圖 9.3-1 低碳家園規劃圖

資料來源：能源經濟管理資源中心整理自行政院環保署打造低碳家園-從低碳社區邁向低碳城市報告。

¹⁸四個低碳示範城市分別為新北市、臺中市、臺南市及宜蘭縣。

根據環保署之構想低碳家園推動可分成兩個步驟：

1. 以低碳社區作為低碳城市與生活圈之基礎。持續改善已建構之低碳社區，並維護管理，使達永續經營，並推動新社區加入。
2. 以低碳社區為根基，逐步擴展至周邊社區與鄉鎮，營造為低碳城市，進而形成低碳生活圈。

以上步驟可用圖 9.3-2 顯示如下：

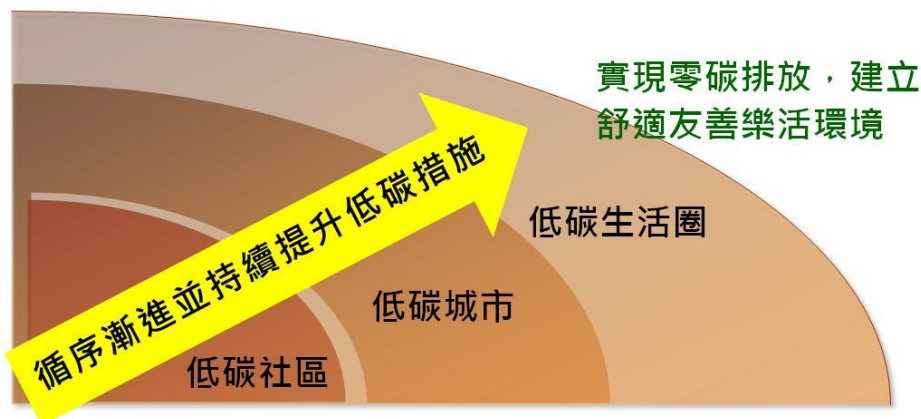


圖 9.3-2 低碳城市推動步驟

資料來源：能源經濟管理資源中心整理自行政院環保署打造低碳家園-從低碳社區邁向低碳城市報告。

所以環保署之推動低碳城市是以循序漸進的方式，逐步從低碳社區發展到低碳城市最後擴散到低碳生活圈，最後實現零碳排放，建立舒適友善之樂活環境。

9.4 低碳城市的實例

為說明低碳城市的特色本文特別以德國之弗萊堡市與弗班社區，以及新北市和澎湖低碳島之規劃來分別介紹低碳城市及其特色。

9.4.1 太陽能之都德國弗萊堡市

一、綠色交通建設理念

弗萊堡早在 1969 年就對其交通規劃政策提出首要目標，該目標為交通設施不能對城市發展和生態環境帶來負面影響。鼓勵使用對環境危害小的交通工具和設施。因此該市鼓勵民眾採用走路、騎自行車或大眾運輸系統作為主要交通的工具，該市並於 1995 年獲得「歐洲短距離交通獎」。

整個交通樞紐中心為弗萊堡火車站（見圖 9.4-1），該車站整合火車站、市區公車及捷運站，整合之目的為降低市區交通流量，使交通從城市外圍加速通過，並透過強化城市區域中心發展，使城市的發展集中於大眾運輸交通幹線發展，以增加民眾使用大眾交通系統。該市積極鼓勵民眾使用對環境污染的交通工具，例如：公共汽車、自行車、捷運甚至走路。



圖 9.4-1 弗萊堡市區交通樞紐火車、公車與及捷運站共構中心

照片來源：政治大學綠色財經能源研究中心提供

為了方便民眾使用低環境污染的交通工具如自行車，弗萊堡市在火車站除設有自行車停車站外（請參考圖 9.4-2），並提供方便的自行車租車服務。



圖 9.4-2 火車站旁自行車租車籍停車中心

照片來源：政治大學綠色財經能源研究中心提供

弗萊堡交通規劃政策的首要目標交通設施不能對城市發展和生態環境帶來負面影響。因此，在交通建設理念上以鼓勵使用對環境危害小的交通工具和設施。所以在市內交通網路的規劃就是以綠色導向運輸需求為主，所以從郊區到市區最方便的交通工具就是捷運或公共汽車，市內停車空間很少，到市區後除走路或改騎自行車外最方便的轉乘還是大眾交通工具。在這樣的交通理念下，根據弗萊堡 2008 城市手冊綠色弗萊堡 (Green City Freiburg)指出，從 1982 到 1999 弗萊堡自行車使用比率由 15%增加至 28%，使用大眾交通系統的民眾由 11%增加至 18%，而同一期間使用自用小客車者由 38%降至 32%。該市自用車的密度為每千人擁有約 423 部車，與德國其他主要城市比較相對低許多，與歐洲其他國家比較弗萊堡的汽車密度也是最低的¹⁹。顯示弗萊堡市的交通規劃理念有效的減少交通運輸對空氣污染的衝擊。

由於在弗萊堡市區內僅提供有限的自用小汽車停車區，為減少汽車在城市的使用，以及方便有臨時必要使用汽車的民眾，弗萊堡市以「分時租用汽車」方式來解決汽車的需要。凡是加入分時租車的會員，臨時需要使用汽車時，只要以手機即可上網預約及查詢特定位置是否有可使用之汽車即可，租車之帳單每月結帳一次即可。同時有許多出租汽車都採用電動車（請參考圖 9.4-3）。

¹⁹ 請參考 City of Freiburg im Breisgau Sustainability Office, 2008, Green City Freiburg.



圖 9.4-3 分時租用電動汽車

照片來源：政治大學綠色財經能源研究中心提供

二、太陽能補助政策

在弗萊堡，任何居民想在屋頂上加裝太陽能光電板，除了可獲得 10 年或 20 年不等的 3% 到 4% 低息貸款補助設備與施工成本，更可獲得 20 年保證收購太陽光電的優惠電價措施。跟據 City of Freiburg im Breisgau Sustainability Office (2008) 統計，20 萬人口的弗萊堡小鎮就聚集了 80 家大小不一的太陽能應用公司，提供上千名工作機會給弗萊堡市民。圖 9.4-4 顯示許多家庭及商業區都加裝太陽能面板。



圖 9.4-4 家庭及商業區屋頂加裝太陽能面板

照片來源：政治大學綠色財經能源研究中心提供

三、落實資源回收

城市近 80%的用紙為廢紙回收加工紙。城市採取各種物質刺激手段控制垃圾量，如果使用環保的可重複使用的紡織品尿布也提供補貼，對集體合用垃圾回收桶的住戶降低他們的垃圾處理費用，對居民自做垃圾堆肥進行補助等等。圖 9.4-5 顯示家家戶戶都有資源回收桶。



圖 9.4-5 住家資源回收桶

照片來源：政治大學綠色財經能源研究中心提供

四、空氣品質監測電話亭

早在 1990 年代，弗萊堡已建立廢氣排放紀錄系統。爲了要讓民眾隨時瞭解空氣品質，弗萊堡是德國第一個在市區各處設有“臭氧電話”的城市。臭氧電話亭由企業贊助，見圖 9.4-6。



圖 9.4-6 市區空氣品質監測電話亭



圖 9.4-7 被動式社會住宅

照片來源：政治大學綠色財經能源研究中心提供

五、低耗能的被動式社會住宅

弗萊堡市近年將一些老舊建築重新整修，提供給低收入者。根據德國法令，新建築的能源損耗率，每平方公尺每年不得超過 75kWh，但是一些被動式社會住宅（Passive House），每平方公尺能源損耗率，至少低於 65KWh, 甚至更少。

在這樣的標準下，社會住宅的最大特色就是不需使用要太多的能源即可維持舒適的溫度。

9.4.2 永續發展典範社區弗班

弗班區則位於弗萊堡南方約 4 公里處，在第二次世界大戰後這裡曾經是法國軍隊駐紮的營區，東西德合併之後，爲了抒解人口壓力，弗萊堡市政府決定將這裡開發爲住宅區。在弗萊堡市政府接手規劃時，就有將弗班發展成德國永續社區標竿的想法。爲了要達到這個目標，市政府決定嘗試以一種新形態的方式進行規劃--「學習型規劃」(Planning that learns)，這套結合民眾參與和共同治理的精神，讓市區規劃能夠有最大的彈性，同時也讓市民能夠進入決策過程，奠定了弗班區後續成功發展的基礎。



圖 9.4-8 弗班社區市議會大樓

照片來源：政治大學綠色財經能源研究中心提供

弗班生態社區裡，居民擁有汽車的比例也很低。每千人僅擁有 100 多輛汽車，約為德國平均數的 1/3。為了減少噪音及空氣污染，弗班居民的座車只能停在外圍停車場，這意外地又讓社區小孩有了安全的嬉戲空間。在開發弗班社區時，政府刻意保留了許多區塊，讓有意住在一起的民眾自行與建商磋商，住宅的格式。雖然磋商時間比較久，但是因為如此使得社區建築有許多的風貌，增加社區的特色。因此有許多人，願意多花一些成本加裝太陽能電池，要求社區中不能停車，減少車子對社區生活的干擾。為使社區有更好的空氣品質，以及提供更多的遊憩空間，弗班社區並規劃了三條綠色廊帶，貫穿社區。



圖 9.4-8 弗班社區不同的角落

照片來源：政治大學綠色財經能源研究中心提供

9.4.3 新北市低碳城市發展簡介

新北市在 2010 年為環保署選定之低碳城市之一，根據新北市之統計在 2012 年底之人口總數約 394 萬人，佔臺灣人口 17%)，面積為面積:2,025 平方公里，佔臺灣總面積 5%，為臺灣第二大商業城市，全區共分為 29 個區域（請參考圖 9.4-9）。然而多元的地理環境、新北市轄區內同時包括高山、丘陵、平原、海岸及海灣。新北市雖然幅源廣闊，各區地理環境、經濟發展、文化及社會環境差異頗大，但是新北市依據其區域差異與特色，分別建構不同低碳發展重點，成功的爭取成為國內低碳城市示範城市。

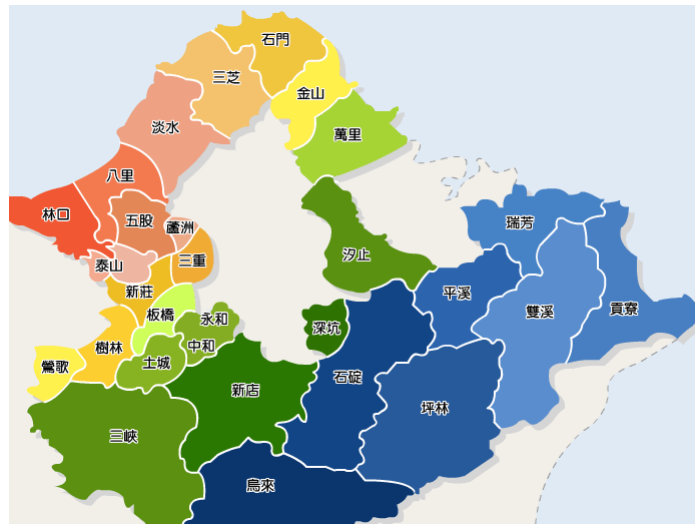


圖 9.4-9 新北市區域圖

圖來源：<http://www.sportmaps.ntpc.edu.tw/content/map/map01.aspx>

根據新北市政府（2011），新北市綠低碳城市建構計畫書，低碳城市發展策略上分成四項重點發展區域：

1. 八里資源循環結構區
2. 板橋綠色交通樞紐區
3. 新莊未來概念生活區
4. 坪林生態環境樂活區

圖 9.4-10 為新北市政府所規劃之低碳城市構想。為說明國內低碳城市發展實例，本單元將分別介紹新北市低碳城市發展策略與過程。

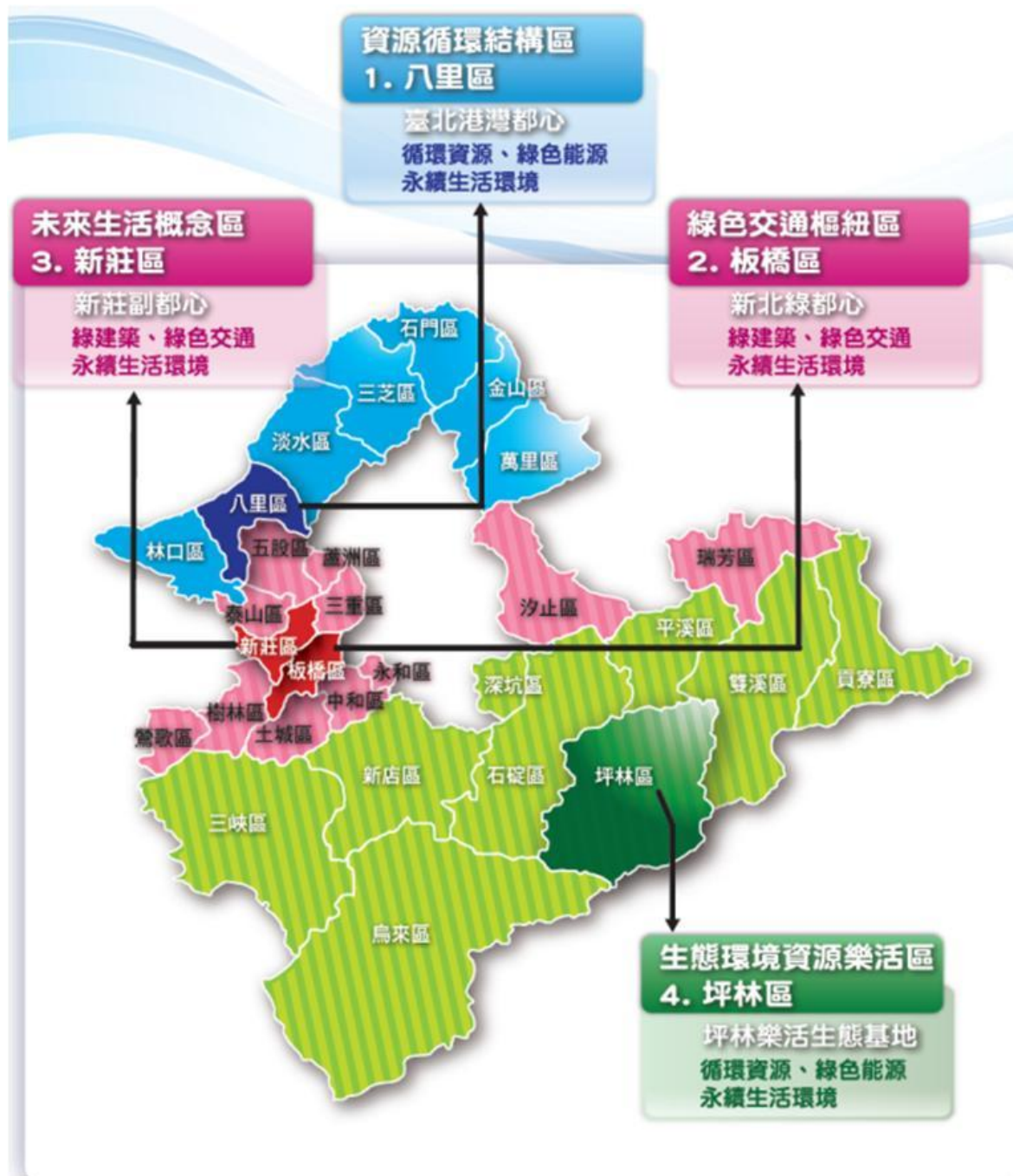


圖 9.4-10 新北市區域低碳城市發展策略圖

圖片來源：新北市政府（2011），新北市綠低碳城市建構計畫書

一、八里資源循環結構區

根據八里區公所簡介，八里名稱之由來是在明朝崇禎五年，西班牙人溯淡水河進入臺北盆地，降服武滂灣番社三大部落，規地南至竹塹(新竹)，東至宜蘭，據其舊錄所載，有地名

「Parecuchu」，是為八里區舊名八里窟社之譯音；另傳說早在西元 1358 年，盤據今八里地區之蕃人取名「Arieun」，是為八里坌之原名²⁰。

八里區雖然靠近淡水河出海口西側，但是過去有許多負公共財，像垃圾焚化場、垃圾掩埋場、污水處理廠等都設在該區。新北市為發展低碳城市，根據八里現有之地理環境，及這些原本鄰避設施成功結合淡水河岸，將相關設施整合成一個具有教育、環保及低碳的資源循環結構區，例如八里污水處理廠已轉型成生質能源中心，未來估計可提供八里區全年 90% 之用電。

八里區是一綠色資源循環區之起點，透過八里區成功之經驗，新北市將持續發展至鄰近之北海岸區域。

二、綠色交通樞紐區板橋及新莊區

為了朝永續城市發展，新北市特別強調綠色運輸觀念，新北市板橋區及新莊區就是此一綠色運輸的樞紐。所謂綠色運輸觀念係以大眾運輸為核心的低碳運輸系統，結合週邊行人，自行車道或其他大眾運輸系統，以減少個人交通運輸工具的需求。利用大眾運輸系統將過去以交通導向的運輸(Transit Oriented Transportation)方式，改成以綠色導向運輸(Green Transport Oriented Transportation)，綠色導向運輸強調由區家到工作場所盡量使用低耗能及低排放交通工具。例如從家裡到公司上班，如果不能一次搭乘交通工具到達，則可採用先由家裡以低碳方式(搭乘公車、騎自行車或走路)先到大眾運輸系統之轉運點，然後再轉乘大眾捷運系統到達工作或上班地點。圖 9.4-11 說明何謂綠色導向運輸觀念。

根據新北市之估計綠色交通計畫預期成果包括：

1. 大眾運輸系統使用率可提高到 40%。
2. 2016 年所有公車將換成電動車。
3. 電動機車的使用率到 50%。
4. 三環三線大眾捷運系統除了是可新北市內部的交通運輸網外，並將連結至台北市。估計可減少 12% 自用車使用者及 19% 的機車族改用大眾捷運系統，有效降低二氧化碳之排放量。²¹

²⁰資料來源：八里區公所網站：八里名稱由來 http://www.bali.ntpc.gov.tw/_file/2983/SG/40636/D.html

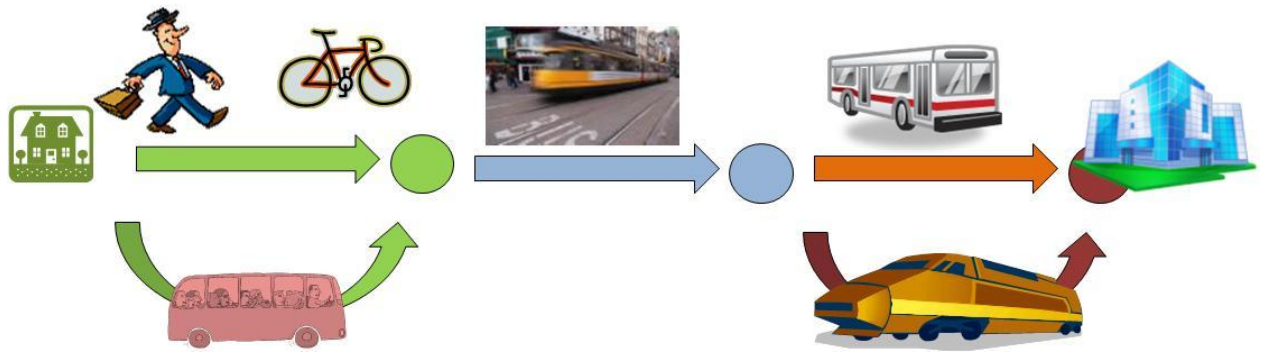


圖 9.4-11 綠色運輸導向概念圖

資料來源：能源經濟管理資源中心自行繪製

三、未來生活概念區-新莊區

隨著四鐵共構新莊及板橋區成爲綠色交通樞紐區，新北市也積極配合新莊副都心的發展，並以「未來生活概念區」爲發展重點。新莊區規劃目標將朝是以綠建築爲主的未來生活區發展，包括節水、節電的設備，學校也將增加雨水回收、太陽能發電等建設。同時將老舊之中港大排改造成河廊環境生活。此外，新北市政府並進一步推動「綠色星光計畫」，要求區域內之社區、政府機關、公共區域及交通轉運站的屋頂做綠色植被或裝設太陽能板，讓區域內成爲綠色屋頂及太陽能屋頂。圖 9.4-12 爲新北市政府規劃之綠色星光計畫示意圖。

四、生態環境樂活區-坪林區

坪林區面積 173.83 平方公里，是新北市的第三大區域。該區自明朝以來爲台北及宜蘭間往來重要的中途站。坪林由於位於北勢溪上游，翡翠水庫水源限建區，因此相關建築受到嚴格的管制。自民國 95 年 5 號高速公路通車後，宜蘭到台北時間由 3 小時減爲 30 分鐘，坪林也突然由一個重要的轉運點，沒落成不起眼的觀光區。交通樞紐不再、經濟沒落、觀光客大幅減少、水源地限建及青年人工流失到市區工作，自民國 97 年開始新北市政府及建構坪林爲低碳社區，並於民國 97 年底推出國內第一個低碳旅遊活動，並以此爲藍圖將坪林區規劃成生態環境樂活區。

²¹ 資料來源：新北市政府, 2011, 新北市綠低碳城市建構計畫書。



圖 9.4-12 之綠色星光計畫示意圖

照片來源：新北市政府(2011)，新北市綠低碳城市建構計畫書

坪林區位於翡翠水庫的上游居民約 3000 人，為保持水庫良好的水質，自民國 93 起即開始與環保署合作在北勢溪坪林段進行一系列的水質生態改善計畫，利用生態工法分別在坪林區設置了人工濕地，及植物緩衝帶，一方面改善水庫水質，一方面提供休閒遊憩，坪林區公所並配合低碳旅遊將該段整治成單車旅遊景點。圖 9.4-13 及 9.4-14 為水庫改善工程及人工濕地滯洪池。



圖 9.4-13 翡翠水庫水質改善生態工程示意圖



圖 9.4-14 北勢溪坪林段人工濕地滯洪池

照片來源：林良楓老師提供

為發展生態樂活的生活概念，坪林區自民國 99 年起及開始提供國內第一個零碳旅遊活動。根據新北市政府的推算由新北市政府到坪林自行開車旅遊一天，平均每人排放 23 公斤的二氧化碳。因此，新北市政府與坪林區設計零碳旅遊方式包括幾個重點：

1.以健行、騎車或搭乘大眾交通系統到坪林。因此，只允許 10 人以上小巴才能進入坪林旅遊區。進入坪林區後有專人以電動汽車導覽茶葉博物館及金瓜寮溪觀魚蕨步道，或自行使用自行車旅遊，坪林區在多個里內建置了多個自行車道，方便民眾騎自行車旅遊。同時鼓勵民眾騎電動機車旅遊，坪林區並免費提供電動太陽能機車加電站。圖 9.4-15~9.4-18 為相關旅遊圖片。



圖 9.4-15 北勢溪坪林瘋鐵馬自行車旅遊景點



圖 9.4-16 茶香生態村自行車道



圖 9.4-17 電動機車太陽能加電站

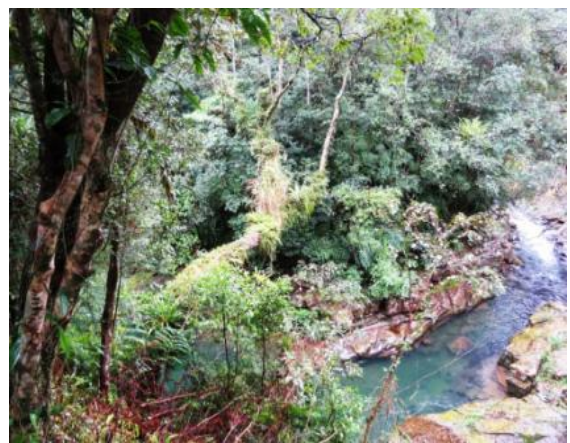


圖 9.4-18 金瓜寮溪觀魚蕨步道

照片來源：林良楓老師提供

2.標籤商店僅供應季節性及當地食物。區公所鼓勵觀光客到該區之「綠色標籤商店」消費，商店中僅提供季節性及當地食物，店內也不提供保麗龍餐具，免洗餐具及塑膠袋，以標榜低碳活動及提高環保意識。圖 9.4-19 為當地的綠色標籤商店之一。



圖 9.4-19 綠色標籤商店

照片來源：林良楓老師提供

3.發行碳匯券，提供種樹基金。為達到零碳的目標，遊客到坪林參加零碳旅遊之活動民眾，都發給一定金額之碳匯券，只要民眾持碳匯券到綠色標籤商店消費，每消費一元，商店將捐 10%的收入作為「種樹基金」。因為根據零碳旅遊設計內容，估計一個人可以減少 19 公斤的碳排放，距離減少 23 公斤的碳排放還少 4 公斤，因此，為中和這 4 公斤之碳排放，將以種樹方式來達成二氧化碳之排放。

4.其他相關設施。除了上述設計外，坪林區在低碳設計上，還設有全國唯一的太陽能環保示範公廁兩間，分別設於坪林國中旁及保仁宮之生態自行車道處。太陽能環保示範公廁共設有 6 組太陽能板，最大發電量為每小時 1200 瓦，儲備一天電量更可使用 3 天，儲備電量主要於公廁內照明及用水馬達使用。該公廁除能主動的蓄集太陽光能量外，在硬體建設部份採雙層節能網印玻璃屋頂，同時具有通風、高效隔熱功能及採光功能，因此更能主動的減少照明設備的使用，每座公廁估計每年將可減碳 756KG，圖 9.4-20 為示範廁所之外觀。此外，為配合生態環境樂活區的發展，新北市政府並計畫與法務部積極協商，採「以地易地」方式，將大部分空間閒置的坪林監獄交給縣府開發利用，除可利用監獄本身文史資料，傳奇故事，以及犯人所創作的手工藝，也計畫將現有之監獄改成「零碳樂園」。



圖 9.4-20 太陽能環保示範公廁

資料來源：林良楓老師提供



圖 9.4-21 坪林監獄

照片來源：新北市政府(2011)，新北市綠低碳城市建構計畫書

新北市低碳城市整體計畫預期在 2016 年減量目標 2,939,463 公噸 CO₂e，到 2026 年減量目標 10,988,686 公噸 CO₂e 低碳旅遊之預期效益。

9.4.4 澎湖低碳島

澎湖縣為台灣第一個再生能源生活圈之示範低碳島。澎湖低碳島推動之目標為將各種低碳技術、設備、措施、行爲、展示、服務及研發成果，包含綠色能源與資源回收再利用體系

等，全面導入應用，以打造潔淨生活，並結合觀光服務，擴大綠能產品應用，帶動相關產業發展，逐步延伸至建構低碳社區，及低碳城市發展。²²

一、澎湖低碳島建構願景

1. 低碳島具體規劃內容包括再生能源、節約能源、綠色運輸、綠建築、資源循環五大面向。
2. 再生能源為新設置大型風力發電 96MW、太陽光電 MW 級指標建物，使再生能源應用超過 55% 能源需求；
3. 節約能源部分為佈建智慧電錶、LED 路燈，推廣省電家電；
4. 綠色運輸為汰換二行程機車為電動機車、公車全數汰換成複合動力公車，全島 B2 柴油及 E3 酒精汽油；
5. 綠建築為新建公共建物及重大民間投資綠建築比例 100%，擴大綠化面積，資源循環：多元水資源開發(智慧水網、雨水貯存、省水器材、污水再生)，推動垃圾資源化，促使垃圾零廢棄。預期溫室氣體減量將達 62%。

二、澎湖低碳島預期效益

1. 2015 年碳排放較當年 BAU 減少 60% ，較 2005 年碳排放減少 50%
2. 再生能源發電量超過當地用電需求
3. 人均 CO2 排放由 5.4 噸/人-年（2008）降為 2.1 噸/人-年（2015）
4. 每年成本效益為新台幣 10.6 億元； 回收年限為 8 年。
5. 帶動觀光休閒產業發展。

²² 澎湖低碳島詳細內容請參考澎湖縣政府，2010，澎湖低碳島計畫，<http://www.re.org.tw/penghu/index.aspx>

小結

因此，由本節的介紹可知低碳城市之特色，為與城市相關之機能：如生活、運輸、生態、建築、能源、資源回收，防救災災調適的法律、技術、經濟、財稅、社會及區域發展都以低碳為考量的城市。本節所介紹無論是國外弗萊堡市及新北市之規劃都符合此一特色。在面臨氣候變遷，現今人類生態系統已面臨嚴重之破壞，為了人類的永續發展，城市的發展也將朝永續低碳發展，未來才能留給子孫生活與生存的空間。

活動設計

一、討論活動：建構低碳家園

讓同學就自己居住之社區提出構想如何能減少碳排放量。

例如：社區廚餘回收作為堆肥、上下班共乘、社區共用自行車、安裝太陽能板、增加綠地面積、屋頂花園等等。

二、團康活動：環保拼拼樂

1. 組隊方式：2-4 人一組(依小隊)
2. 場地：起點至拼圖區相距約 4 公尺。
3. 方法：聞開始訊號，2 人同時自起點至拼圖區，將垃圾強制分類、回收標誌、環保標章等 3 種拼圖，拼接完成後再回到起點。
4. 規則：
 - (1)3 分鐘內完成，每拼完一種，依難易程度（減碳量越高的越難分數越高）獲得若干分，3 種拼圖完整正確，另給予加分。
 - (2)時間超過 3 分鐘，仍未完成則無分數，。
 - (3)拼圖拼錯無分數，時間到看各組完成分數總和為多少。
5. 最後由老師分別說明每一環保標章之含意。



保標章



節能標章



省水標章

延伸閱讀

1. Salomon, D. and B. Dallmann, 2011, Green City Freiburg- Approach to Sustainability .
行政院環保署，2012，重大政
<http://www.epa.gov.tw/ch/artshow.aspx?busin=2157&art=2008110513502803&path=12050>
2. 行政院環境保護署生態社區推動方案室，2009，行政院環保署打造低碳家園-從低碳社區邁向低碳城市報告。
3. 徐仁全，2007年5月，向太陽巨人取經－弗萊堡的實踐3個舉世注目應用 綠旅館・綠住家・綠廠辦，遠見雜誌，251期。
4. 經濟部能源局，98年全國能源會議，
http://web3.moeaboe.gov.tw/ECW/meeting98/welcome/default.html?menu_id=78

參考文獻

1. 行政院環保署網站，取自 <http://www.epa.gov.tw>
2. 行政院環境保護署生態社區推動方案室，2009，行政院環保署打造低碳家園-從低碳社區邁向低碳城市報告。
3. 李育達(2008)，弗班區德國永續社區的標竿，台達環境電子報，20081月號，取自 http://lowestc.blogspot.tw/2008/01/blog-post_1.html
4. 徐仁全(2007)月，向太陽巨人取經－弗萊堡的實踐3個舉世注目應用 綠旅館·綠住家·綠廠辦，遠見雜誌，251(5)。
5. 陳立中(2009)，德國的太陽能名城--弗萊堡，以及郵局應用太陽能的實況，勞工藝文，取自 <http://www.tpwu.org.tw/periodical/392/1701.htm>
6. 陳怡茵(2011)，第一座太陽能公廁在坪林，每每網新北市資訊站報導，取自 http://travel.mtaipei.tw/index_m.php?ptype=news_view_from2&id=20844
7. 新北市政府(2011) 新北市綠低碳城市建構計畫。
8. 黃世欽(2009)，淺談水庫生態工程-以翡翠水庫水質改善生態工程為例，水利土木科技資訊季刊，44(6):21-28。
9. 新北市政府(2011)，新北市綠低碳城市建構計畫。
10. 經濟部能源局(2009)，98年全國能源會議，取自 http://web3.moeaboe.gov.tw/ECW/meeting98/welcome/default.html?menu_id=78
11. 澎湖縣政府(2010)，澎湖低碳島計畫，取自 <http://www.re.org.tw/penghu/index.aspx>http://web3.moeaboe.gov.tw/ECW/meeting98/welcome/default.html?menu_id=78
12. Import/Export Emission(2009) International Energy Workshop, Venice.
13. Boyd, B. and D. Mangalagiu(2009), Development of a Low Carbon City Index: the Issue of Accounting for Import/Export Emissions.
14. City of Freiburg im Breisgau Sustainability Office(2008), Green City Freiburg. 取自 <http://ecolocalizer.com/2011/02/16/world-leading-sustainable-community-in-germany-vauban->

district/

15. Low carbon cities Development Index , 取自 <http://www.lowcarbondevelopmentindex.net/>
16. Purvis, A(2008), Is this the greenest city in the world, The Observer, Sunday 23 March 取自 <http://www.guardian.co.uk/environment/2008/mar/23/freiburg.germany.greenest.city>
17. Salomon, D. and B. Dallmann(2011), Green City Freiburg- Approach to Sustainability .
18. Shahan, Z.(2011)World-Leading Sustainable Community in Germany: Vauban District, 取自 <http://pamlin.net/blog/2008/09/copenhagen-declaration-for-low-carbon.html>
19. Smart Cities(2012), Critical success factors for low carbon cities, 取自 <http://www.2degreesnetwork.com/groups/smart-cities/resources/critical-success-factors-low-carbon-cities/>.

第十章 台灣能源永續發展策略

能源於人類經濟活動中扮演相當關鍵的地位，促進經濟發展與提高人民的生活福祉。然而，隨著能源逐漸折耗，及其排放溫室氣體對氣候變遷的影響，攸關國家與全球永續發展，已引起世人開始注意，能源永續利用之問題。基於此，聯合國於 2002 年 8 月在南非約翰尼斯堡舉行第二屆世界永續發展高峰會議(World Summit on Sustainable Development, WSSD)，如何追求能源永續利用？即成為該次會議的重點議題之一。

我國缺乏自產能源，能源消費幾乎完全靠進口，因此，如何維護國家能源供給安全與國家競爭力同時，能夠兼顧環境品質，維護民眾健康，即成為台灣能源永續發展的主要施政策略。基於此，台灣於 2008 年提出「永續能源政策綱領」，制定全方位的能源永續利用策略與發展目標，即成為現階段台灣擘劃能源永續發展藍圖的依據。受到 2011 年日本福島核災影響，政府開始檢討核能功能與角色，並於 2011 年年底，政府再提出「新能源政策」，明確規劃我國未來能源供給結構的方向。

10.1 能源永續發展之意義

10.1.1 全球永續發展觀念歷程

聯合國於 1972 年在瑞典斯德哥爾摩召開的『聯合國人類環境會議』(UN Conference on the Human Environment)，並共同發表『人類宣言』，確立人類對於一個健康的且具生產力之環境的責任。此後，聯合國又召開了一系列會議，討論人類獲取充足的糧食、良好的住區、安全供水以及計畫生育的權利等問題。

進而，聯合國於 1975 年的貝爾格勒國際環境教育會議提出了「貝爾格勒憲章」(Belgrade Charter)，1980 年國際自然保育聯盟、聯合國環境規劃署、世界自然基金會共同發布了「世界保育方案」(World Conservation Strategy)；1987 年再提出「兩千年後的環境展望」(Environmental Perspectives to the Year 2000 & Beyond)，以及 1987 年聯合國的世界環境與發

展委員會(World Commission on Environmental and Development, WCED)出版了「我們共同的未來」(Our Common Future)等，上述均是從全球及跨代觀點衡量環境永續發展問題，並且呼籲全球要建立寬廣的環保視野，以前瞻性的行動關切全球性的環境危機。

1972 年到 1987 年間，全球環境的發展與因應之道在國際上經過不斷的討論，孕育出聯合國環境及發展委員會(UN Conference on Environment and Development, UNCED)的設立，以及 1992 年地球高峰會議(Earth Summit)的召開。這段期間內，國際自然保育聯盟在 1986 年發行了『關懷地球』(Caring for the Earth)，又在 1992 年發表了『全球生物多樣性保育策略』(Global Biodiversity Strategy)，這都是國際上重要的環境宣言。此外，1983 年，聯合國祕書長任命挪威工黨領袖布朗特蘭夫人(Gro Harlem Brundtland)為世界環境與發展委員會(WCED)主席，委員會在 1984 年 5 月召開組織會議，7 月成立祕書處，同年的 10 月 1 日至 3 日在日內瓦召開第一次正式會議，會議上委員會選擇八項關鍵議題做為工作重點，包括：(一)、人口、環境和永續發展的前景；(二)、能源：環境與發展；(三)、工業：環境與發展；(四)、糧食保障、農業、林業：環境與發展；(五)、人類居住：環境與發展；(六)、國際經濟關係：環境與發展；(七)、環境管理決策支持系統；(八)、國際合作。委員會以 2000 年及其以後的時間基準，從經濟、社會、部門政策等方面來審議上述八項議題。

1992 年 6 月，聯合國環境發展委員會(United Nations Commission on Environment Development, UNCED)在巴西里約熱內盧召開地球高峰會議，目的在於調整國際間的經濟秩序，改變不友善的生產與消費方式，並修正各國政策及加強國際間的約束及規範。這次會議希望能確保地球環境不再遭受進一步的破壞，且仍可提供後代子孫延續享有足夠的自然資源與生存環境。會中提出了五項重要文件與公約，說明如下：

第一項公約稱為里約宣言(Rio Declaration)又稱地球憲章(Earth Charter)，內容均屬原則性的宣示，共有二十七則條文，主要方針是要求各國在社會各個關鍵性階段和人民之間，開闢新的合作層面，從而建立一種新的公平的全球合作關係，並致力於達成尊重各方利益以及保護全球環境與發展體系的國際協定。

第二項公約是二十一世紀議程(Agenda 21)，在地球高峰會議中，這是供各國元首討論與簽署的主要文件之一。這份文件是全球(尤其是開發中國家)永續發展的行動綱領，這份綱領

有六百多頁，共四十章，包括全球社會經濟問題、資源的保育及管理、各主要團體角色與貢獻的發揮，以及各種實施方案等四大部分。二十一世紀議程可視為 1993 年到 2000 年之間執行永續發展的工作藍圖，並且規劃如何建立永續發展的全球合作關係。

第三份文件是氣候變化綱要公約(Framework Convention on Climatic Change, FCCC)，它的目的是在於控制大氣中溫室氣體的濃度，避免對氣候系統造成不利干擾。這份公約有二十六節、五項原則和十項協議內涵，透過執行公約內容，所有簽署國即可共同管制全球二氧化碳的排放量，也就是減少石化燃料的使用，並降低溫室效應。

第四份文件是生物多樣性公約(Biological Diversity Convention, BDC)，有四十二節，主旨在說明世界各國應該保存生態系、生物物種及基因庫的多樣性，使生物歧異度得以維持，並重新發覺傳統方法和知識、分享生物資源與技術、促進各國的永續利用，以滿足未來人類在生活、醫療等方面的需求。

第五份公約是森林原則(Forest Principle)，對所有類型森林的管理、養護和永續利用做成全球性的協議，但是它沒有法律約束力，只是權威性的原則聲明。內容分為十七條，包含維持森林、林地、例目的的多重角色與永續功能，以及永續經營並保育森林的方法。

以上這些公約促成了聯合國在 1992 年第 47 次大會通過設立『聯合國永續發展委員會』(United Nations Commission on Sustainable Development, UNCSA)。1993 年 UNCSA 的組織會議歸納出四點組織任務：

- 1.推動永續發展監督程序及對特殊方案的支援
- 2.對二十一世紀議程的履行報告
- 3.對永續發展財務來源的監督及認定
- 4.建立永續發展的有效架構及效率提昇；

UNCSA 屬於聯合國經濟與社會理事會下的正式機構，工作項目除了監督各國履行二十一世紀議程的狀況之外，尚包含貿易與環境、消滅貧窮、消費型態、人口變動、決策中環保與發展的整合、土地管理、抗森林消失、抗沙漠化、永續山林發展、永續農業、生物多樣性保育、生物技術管理、主要團體角色、經費資源、技術移轉、永續發展科學以及決策支援資訊等許多方面。聯合國其他與永續發展相關的組織機構還有跨機構永續發展小組、亞太經社

委員會、發展規劃署、環境規劃署、人類居所中心和農糧組織等。

10.1.1 能源與國家永續發展的關係

能源服務具有多樣供功能，例如提供經濟生產的動力，促進經濟成長，同時，提供民眾生活便利性，提高生活品質。然而，能源服務亦會排放空氣污染物(例如硫氧化物及氮氧化物等)及溫室氣體(如二氧化碳)，造成環境質損(environmental degradation)，影響人體健康及溫室效應(greenhouse effect)。綜合上述，可知能源服務對國家永續發展存在不確定關係，詳見圖 10.1-1。此外，我國能源進口依賴度高達 99.3%(2012)，能源供給高度脆弱，透過能源效率提升，將有助於維護國家能源安全(energy security)，詳見圖 10.1-2。

低碳綠色成長已成為國家追求永續發展的績效指標之一。為達到低碳綠色成長，國際先進國家之溫室氣體管理政策，主要包括：(1)調整能源(發電)結構：降低單位能源二氧化碳排放量(CO_2 /能源)；與(2)提高能源效率：提高能源生產力或降低能源密集度(能源/GDP)兩大核心政策，前者，又以發展再生能源與碳捕捉與封存(Carbon Capture and Storage, CCS)等策略為主；後者，則以提升能源效率與發展替代燃料(如生質能源)為主要策略，如式(1)所示，其中， E 代表能源(或發電量)； CO_2 為二氧化碳排放量； GDP 為國內生產毛額；²³因此， CO_2 / GDP 稱為 CO_2 密集度(intensity)；²⁴ CO_2 / E 稱為單位能源二氧化碳排放量(或電力係數)，用以反映能源的潔淨度； E / GDP 稱為能源密集度，用以反映能源效率。由式(1)可知，低碳綠色成長策略，主要透過發展低碳能源結構與節約能源，最終達到溫室氣體脫鉤(decoupling)目標。²⁵

$$(1) \frac{CO_2}{GDP} = \frac{CO_2}{E} \times \frac{E}{GDP}$$

²³ 所謂國內生產毛額(Gross Domestic Product, GDP)係指特定時間內(通常為一年)，一國國境內，所有最終財貨與勞務的市場價值。

²⁴ CO_2/GDP 下降稱為經濟成長與 CO_2 排放脫鉤(decoupling)，如果 GDP 正成長，而 CO_2 負成長，稱為「絕對脫鉤」(absolute decoupling)；如果 GDP 與 CO_2 均正成長，然而， GDP 的成長率高於 CO_2 成長率，稱為「相對脫鉤」(relative decoupling)。

²⁵ 所謂脫鉤係指經濟成長與溫室氣體排放呈現背道而馳的現象，其中，經濟呈現正成長，而溫室氣體排放呈現負成長，稱為「絕對脫鉤」(或強脫鉤)；如果經濟與溫室氣體均呈現正成長，且經濟成長率高於溫室氣體排放成長率，則稱為「相對脫鉤」(或弱脫鉤)。

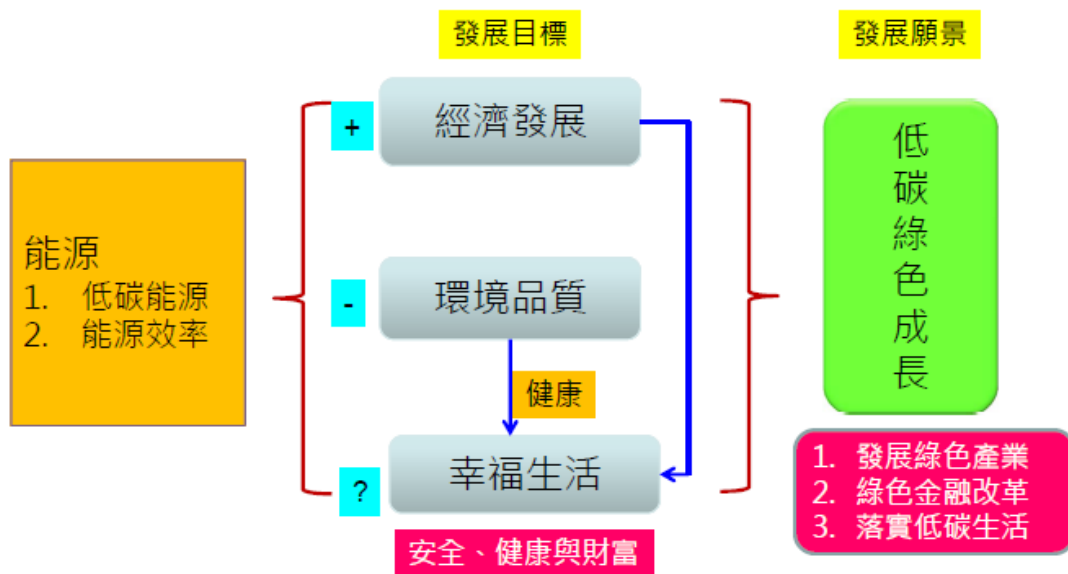


圖 10.1-1 能源與國家永續發展關係示意圖

資料來源：能源經濟管理資源中心自行繪製

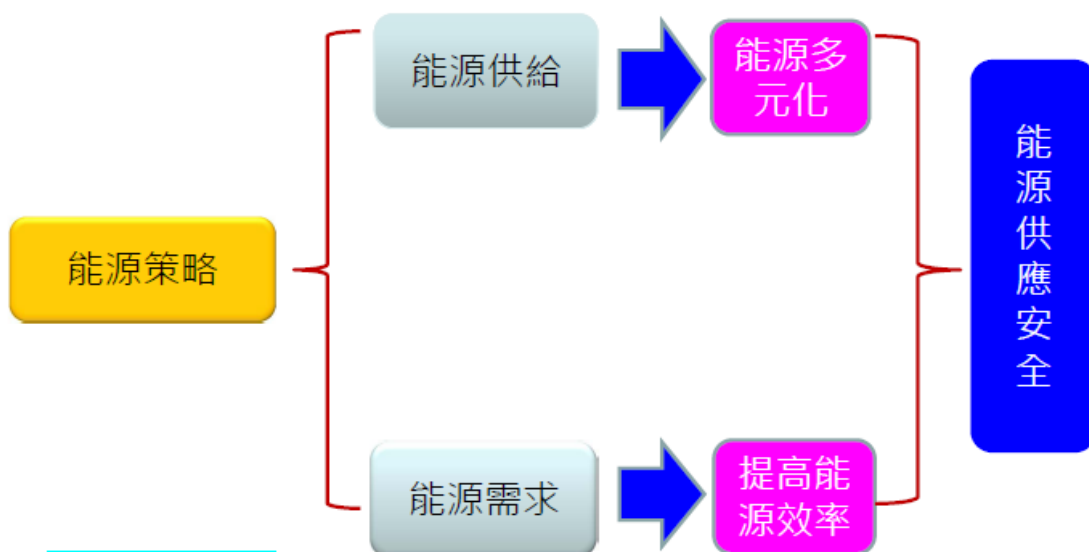


圖 10.1-2 能源效率與國家能源安全關係示意圖

資料來源：能源經濟管理資源中心自行繪製

10.1.2 能源永續發展課題

依據世界永續發展高峰會議(2002)之能源永續發展討論，獲得能源永續發展之相關課題如下：

1. 整合能源效率、能源可供給性及可獲得性等面向於社會經濟規劃方案之中，特別是應整體考量主要能源消費部門之相關政策措施、以及公共部門、運輸、工業、農業、都市土地利用及旅遊等之長期能源消費能力之規劃、運行與維護；
2. 發展及擴散替代能源技術，並提高再生能源的能源配比目標，提升能源效率及擴大先進能源技術的依賴度，包括較清潔的化石燃料技術，以及在滿足能源服務需求增加及長期達成永續發展目標的前提下，能夠永續利用傳統能源；
3. 藉由發展更清潔、更有效率、創新化石燃料技術及提升再生能源配比(至少 2%(2010 年相較於 2000 年))等措施，達成能源供應多元化目標，為達成上述目標，每一國家均應採行及執行較積極性的特定國家層級目標(specific national goals)；
4. 加強各種能源技術領域研發，包括再生能源、能源效率及先進能技術，如先進及較清潔之化石燃料技術，並透過國際合作，提升國家或區域研發可信賴、可供給性、具經濟可行、社會可接受性及環境友善之永續能源發展；
5. 消除市場扭曲之政策包括不當補貼及租稅結構以提高能源系統與永續發展之相容性，實際作法上，應提出消除上該市場扭曲力量之時間表，逐步排除不當能源補貼；

10.1.3 能源永續發展之構面

永續發展是一個廣泛的觀念，包括人類對於商品與勞務、就業、社會榮景(social aspects)、及環境維護等的基本需求，因此，具有永續發展的政策應該能夠照顧未來世代且同時能夠提供現世代的生活福祉及經濟競爭力。若從能源政策的觀點看，則必須體察到永續發展的能源政策應該兼顧三個能源政策的傳統目標，亦即(1)『供給安全』(security of supply)：提供能源供應安全及穩定；(2)『競爭力』(competitiveness)：支撐經濟、就業及福利的動態成長；(3)『關心環境』(concern for the environment)：維護環境及生態系統，前述任一個能源政策目標，均是構成社會追求永續發展不可或缺的一環。基於此，可以瞭解到『永續能源政策』(sustainable energy policy)的內涵為最大化一國居民長期福祉，並同時維持能源供應安全、能源服務競爭力及環境保護間的合理平衡。

據此，國際能源總署(International Energy Agency, IEA, 2002)提出能源永續發展應體現於下列十項工作項目：(1)能源安全(energy security)；(2)提升能源效率(improvement energy efficiency)；(3)提高再生能源使用配比(use more renewable energy)；(4)促進能源市場運行(making market work)；(5)技術的研發與推展(technology, including research, development and deployment)；(6)能源普及(access to energy)；(7)運輸部門(transportation)；(8)環境健康與安全(environmental, health and safety)等。

10.2 能源永續發展推動策略

能源永續發展八項主要工作內容概述如下：

10.2.1 能源安全

能源安全是一個相當廣義的觀念，其內涵包括具備有效率市場、投資上的安全結構、沒有扭曲性的訂價及整合環境考量及消費者與生產者間資訊的透明性。能源多元性(或分散性)是能源安全的堆基本要素，就短期言，即在於最小化風險，而長期則是部門間能源使用的多元性，意味著能源網路必須相當堅實。

就短、中期來看，傳統能源的耗竭速度，無法有效受到限制，然而，世界上超過一半的石油存量仍然儲存於中東地區，一半全球天然氣儲存俄羅斯及伊朗兩個國家。對於上開能源型態，其能源安全問題並不是表示於絕對量上的稀少性，而是反映在區域分配不均及穩定供給的層面上。此外，能源安全仍需仰賴大量的投資行為，帶來新產能(特別是天然氣)以及新的基礎設施。

面對全球化經濟，生產者與消費者已逐漸瞭解到藉由互相對話，以分享國際能源市場的利益的重要性。而且能源生產者與能源消費者已達到提升對話機制的協議。高能源價格影響所有能源進口國，而且對於開發中國家的傷害最嚴重，因為至目前為止，尚缺乏石油的替代品，因此增加進口能源費用的情況下，將惡化一國國際收支與物價水準。

為追求能源安全，IEA 國家考量如下：

1. 對於無法支撐經濟活動與提供社會服務的安全能源供給，不能稱其具有永續發展性；
2. 能源供給與輸配的多元性，包括能源型態與來源，是提升能源安全的重要措施，此外，加強再生能源使用以取代傳統能源的進口量，創造能源安全的利益；
3. 一國應增加其於全球能源市場的透明度，以及發展供給崩潰的因應機制；
4. 持續增加能源生產者與消費者之對話及合作資料。

10.2.2 提升能源效率

所謂能源效率係指能源產出(如電燈、熱氣及運具)與能源投入(如基礎能源)的比值，因此，提升能源效率在於降低能源消費量及製程改變，並藉由降低能源基礎設施之投資、降低燃料成本、增加企業競爭力與消費者福利，以提供更有利達成永續發展的工具。並透過降低溫室氣體排放及區域空氣污染，提升環境利益，此外，加強能源安全(透過降低能源依賴度)及能源服務，提升社會利益。

自 1970 年第一次石油危機以降，提升能源效率已成為重要的能源政策之一，且已獲得相當成效，據估計相較於 1973 年，能源密集度已降低約 45%，主要歸究於能源效率提升、經濟結構改變及消費者行為改變等因素。有效的市場力量及良好資訊交流，將有利於能源效率的提升，然而，若發生市場失靈的現象，則將抵消部分成效。基於此，政府對於市場機能的適當管理，將有利於能源效率的提升，政府的管理行為包括訂定標準、自願協議、特定的金融安排及投資組合等。

為提升能源效率，IEA 國家考量如下：

- 持續能源效率提升的推廣工作；
- 實施的策略包括：降低進口費用、發展共同標準、建立移除市場障礙機制及提升市場效率；
- 最小化能源績效標準以及對主要最終能源使用設備及工業生產設備採取能源效率標章。

10.2.3 發展再生能源

發展再生能源(包括太陽能、風力、生質能、地熱及水力)是本屆永續發展世界高峰會議(World Summit on Sustainable Development, WSSD)認定,未來全球追求永續發展的重要策略之一,其主要功能包括:(1)加強能源安全:豐富及分散能源、增加能源的原生能力(降低進口依賴度)以及不具耗竭性;(2)降低全球及區域污染與溫室氣體排放;(3)提高特定能源需求(如基礎建設)的滿足度;(4)增加地方與區域的就業機會。歸納前述再生能源具備之功能特性,涵蓋能源安全、競爭力及社會發展等層面,可知發展再生能源是最符合永續發展特質的策略之一。然而,高成本及不具市場競爭力,仍是現階段推動再生能源的最大障礙,基於此,本次大會特別針對如何降低再生能源成本及提升其市場競爭力,提出了相當具體的措施,以作為各國發展再生能源之參考。值此之際,我國亦積極推動再生能源發展條例,研擬再生能源發展策略,若能掌握國際發展再生能源的具體措施,將有利於我國發展再生能源政策的推動。

再生能源發展除了有利環境之外,兼具提高國家能源安全(energy security)的雙重利益(double dividend),而發展策略的基本精神在於反映再生能源的外部利益及擴大再生能源市場需求兩項。至於具體的作法,是調整三個再生能源的商業市場行爲,包括電力市場(utility power markets)、配電網路市場(distributed market)及無電力網鄉村(rural off-grid)等,分別說明如后:

(一)電力市場

就電力市場而言,主要策略如下:

- 發展現存電力市場的再生能源發電配比管制機制,如英國的無化石燃料義務(non-fossil fuel obligation)、德國及西班牙實施的電力法(electricity feed law)以及美國的再生能源組合標準(renewable energy portfolio standard);
- 其他配套措施,包括碳稅(瑞典)、排放稅(美國部分州)、投資租稅抵減(印度)、產品租稅抵減、綠色標章/憑證與綠色電力市場(如荷蘭及美國)以及再生能源裝置自願性協議(日本)

(二)配電網路

就配電網路而言,主要策略如下:

- 發展太陽能光電版、生質能技術及小型水力之再生能源事業配電系統;

- 尖峰電力分享機制；
- 建立整合系統及消費自行發電(eslf-generation)機制

(三)無電力網鄉村

就無電力網鄉村而言，主要策略是發展無電力網鄉村之再生能源發電系統，其直接利益(direct benefit)包括降低電池、LPG 及煤油的規避成本(avoiding cost)，間接利益則是方便、安全及空氣品質提升，此外，可以與自然鄉村永續發展策略相接軌。

綜合上述策略，產生之具體政策工具包括，加強研發、資本補助(capital grants)、租稅回饋(feed-in tariffs)、再生能源組合目標(portfolio target)、再生能源憑證(renewable energy certificates)以及碳或環境稅課徵等。相信上述先進國家最新再生能源發展策略規劃，對正積極發展再生能源的我國而言，可以提供管機關研擬推動策略之參考。

10.2.4 發展再生能源

所謂『能源市場改革』(energy market reform)係指將傳統由政府決策能源市場發展移轉為由市場機能完全決定，簡言之，即是市場自由化改革，因此，未來能源市場將趨向更開放及競爭方向。市場改革的結果，藉由透明性及社會責任的提升，加速能源產業技術研發，達到更具動態競爭力。此外，很多研究顯示，移除傳統能源的補貼將有利於溫室氣體的降低，以及產生國家經濟成長的附帶利益(ancillary benefits)。由於補貼具有特定的社會目標與部門經濟發展的特殊考量，倘若貿然取消將產生潛在的社會問題，除非政府於過度時期提供替代得社會計畫方案，以疏緩社會不利的衝擊效果。

各國政府均認知到，能源市場的改革將可提高效率及成本有效性目標之達成。然而，政府也體認到基於部分理由將促其繼續對能源市場進行必要的管理，例如長期市場不確定性，亦即市場效率的達成未必同時兼顧社會及環境目標，例如安全及健康等，因此，維護天然氣及電力傳輸網路的獨占性，將有利於解決氣候變遷問題。上述諸因素，提供了政府於未來期間，在能源市場持續扮演重要角色的基礎。

當能源價格無法充分反映其環境與社會成本時，消費者的選擇將受到扭曲，為解決此問

題，適當的經濟工具，如直接稅及交易許可(tradable permits)若能引進市場，將有利正確市場訊號提供，激勵合理能源使用及環境友善之財貨與勞務的提供，最終達成永續發展之目標。

為提升能源市場運行效率，IEA 國家考量如下：

1. 推動能源市場自由化，以達到維護環境及加強社會福利之目標，實施架構必須促使能源產業發展達到穩定、可預測、透明及提升競爭力；
2. 為達到能源市場的競爭性，價格應內部化外部成本，以充分反映能源使用成本，並透過降低貿易及關稅障礙，逐漸淘汰有害環境之補貼措施；
3. 透過誘因機制、管制措施以及標準訂定等方式，激勵有利永續發展的選擇行爲；
4. 加強執行再生能源創新的融資計畫。

10.2.5 能源技術發展或擴散

新技術及既存技術的擴散，是達成永續發展的關鍵因素。長期來工業化國家投入相關多的資金，積極進行新技術的研發工作上，然而，在市場失靈的情況下，將提供研發的反誘因，導致技術研發的不利發展。因此，政府有必要基於長期能源技術的研發，持續扮演其傳統管理者的角色，例如未來經濟發展與環境維護的脫鉤(decarbonised)的努力，其中無排放技術是未來技術發展重點。

透過已開發及開發中國家的技術移轉，藉由『技術學習』(technology learning)效果，將有利於成本降低及全球永續發展。社會基礎設施，如運輸系統、住宅、產業設備及能源供給網路等，將緩慢變遷，當前技術發展不利的結果，將導致長期有效率及較潔淨資本存量的誤置的機會成爲。此舉對電力部門的影響尤其重要，預估 OECD 以外國家至 2020 年將進行約全球三分之二的電力設施投資計畫。

為提升技術研發與擴展，IEA 國家考量如下：

- 研擬加速能源效率、儲存技術及輸配電技術的發展之方法；
- 提高全球潔淨能源的商業化及非化石燃料技術(如再生能源及氣電共生)發展；
- 加強對長期能源技術研發及擴展的支持，以及資訊(包括資料與統計)的交流與擴散，以激

勵商業上的應用與改變消費者行爲。

10.2.6 現代能源普及性

安全及可靠電力供給的普及是全球三分之一國家所關心的課題，特別是許多開發中國家中，由於電力成本過高，致仍存有相當高的比例於家計或城市，無法獲得足夠的電力供應。表 5 是未來全球各區域於未來二十年內，為滿足其國家或區域電力需求，所必須進行之投資水準，其中，開發中國家 1997~2020 合計約需投資 17,090 億美元獨佔鰲頭，約是 OECD 國家總投資金額的兩倍。

為達到此龐大投資水準，必須政府與私部門共同努力，才可望達成。其中，主要的措施包括開放市場、保護智慧財產權、環境友善法令及標準的訂定以及國際融資等。各國政府(特別是開發中國家)需要建制完成可執行的法律、財務、經濟與社會架構條件，然而，對部分國家而言，獲得足夠的財務融資是極大的挑戰。

就過去的經驗，已開發國家並沒有將適當且有效的技術移轉至開發中國家，符合開發中國家所需。至於有效技術移轉應包括，能源建置與知識移轉兩方面，後者包括政府、金融制度及勞動力的強力，以及技術擴散機制等。其中，創新的財務安排必須具有加速潔淨技術及增加能源普及之功能，此外，金融誘因機制也應納入潔淨能源生產及消費之項目。

為提升能源普及性，IEA 國家考量如下：

1. 透過全球參與方式，對於能源普及率低之開發中國家進行技術移轉與擴散，以及協助建制穩定與透明的法律、財務及能源政策架構等能力建置與知識移轉；
2. 優先排序協助開發中及經濟轉型國家之潔淨及有效率之能源投資，並鼓勵國際組織實施創新財務機制。

10.2.7 能源與運輸

由於運輸是高能源密集度部門，且其活動逐年穩定的成長，至 2020 年其能源需求量將超

過世界能源需求量一半的水準，且約造成全球 25% 的 CO₂ 排放量，以及區域的空氣污染問題，可見運輸部門成爲未來各國執行永續發展目標所關注的部門。此外，運輸部門成長的速度高於其他最終能源使用部門的成長速度，且非 OECD 國家成長速度估計約是 OECD 國家成長速度的三倍高。運輸部門之石油消費的快速成長，即成構成石油進口及其對環境衝擊之問題。然而改善運輸部門的快速成長，將具有其內在不克服的問題，包括運輸是經濟發展的核心地位、缺乏公眾支持、能源需求價格彈性低，以及基礎建設異動速度慢等。

開發中國家城市的新運輸需求正快速成長當中，然而，很多城市已存在交通擁擠及空氣污染的問題，因此提升大眾運輸系統即成解決上開問題的主要對策之一，而發展大眾運輸系統的方法包括重點發展成本有效之大眾運輸系統、提升轉運效率、加強公車制度、金融與管理，以及抑制低承載汽車政策。至於其他全面性的管理亦是整體運輸政策的重要環節，例如都市及區域規劃等，然而環顧全球運輸部門發展的問題，包括不佳的整合及調合政策、制度性問題、執行不力的管制措施及財務結構。

爲提升運輸部門效率，IEA 國家考量如下：

1. 推廣燃料效率提升策略，並透過先進技術及政策達成，例如訂價、收費制度、停車費及貨運管理等；
2. 發展適當的地方、區域及國家連結的制度結構；
3. 國際基金組織應優先提供開發中國家於有效之大眾運輸融資計畫。

10.2.8 環境、健康與安全

能源與環境之互動關聯性的管理是政府決策單位追求永續發展的重要課題，能源由生產、運輸、使用及消費等步驟均可以造成對環境的衝擊，目前已發現藉由能源管制或訂價結構是造成能源對環境嚴重衝擊的主要來源。化石燃料的燃燒約是造成人爲活動排放溫室氣體

的四分之三強，此外透過煤、石油及天然氣的燃燒，排放甲烷，以及藉由運輸排放 NO_x，見表 10.2-1。此外，地熱及放射性廢料的棄置，所造成的污染問題亦正快速成長之中。

OECD 國家近年來已積極進行降低地方或區域污染排放的計畫，包括懸浮微粒、SO_x、VOC 及 NO_x 等，並已獲得相當成效。然而，對於部分開發中國家而言，改善污染及其對健康的衝擊，仍舊充滿高度的挑戰。許多非 OECD 國家其城市空氣品質均高於世界衛生組織 (World Health Organization, WHO)訂定之標準，能源效率提升及燃料轉換可以在有限的成本下，有效達成污染改善之目標。能源部門於能源生產與運輸過程中，衍生之能源安全及意外事故防制之風波管理(risk management)，亦是未來各國面臨的重要問題。風險管理涉及能源生產與運輸過程中，所可能引發之健康及環境損害的評估，藉由該評估，以利最小化風波管理策略的研擬。此外，風險管理亦是政府重要的短期管理工具之一，因為短期能源服務包括熱氣、運輸、燈光及糧食供給的維護活動等，均涉及公安及環境影響的問題。

為維護環境、健康及安全，IEA 國家考量如下：

1. 國家應該訂定降低溫室氣體長期排放的行動計畫；
2. 有效控制地方能源生產與消費產生之污染物排放及廢棄物，將是提升環境品質及維護人類健康的重要措施；
3. 確定能源設備、工廠及設施操作與維護的高安全標準的必要性，以及採行適當的機制以因應潛在的意外，包括透過國際合作方式，提升能源設備破壞的防制成效。

表 10.2-1 不同能源污染物排放比較

	煤	油	氣	核能	再生能源
CO ₂	X	X	X	✓	✓
SO ₂	X	X	✓	✓	✓
NO _x	X	X	X	✓	✓
懸浮微粒	X	X	✓	✓	✓
Radio-isotopes	✓	✓	✓	X	✓

其他	X	X	X	X	X
----	---	---	---	---	---

資料來源：IEA(2002), Toward Solutions Sustainable Development in the Energy Sector.

10.3 台灣能源永續發展策略

10.3.1 永續能源政策綱領

一、政策目標

台灣永續能源政策綱領，主要立基於永續能源發展應兼顧「能源安全」、「經濟發展」與「環境保護」，以滿足未來世代發展的需要之政策主軸上。由於台灣自然資源不足，環境承載有限，永續能源政策應將有限資源作有「效率」的使用，開發對環境友善的「潔淨」能源，與確保持續「穩定」的能源供應，以創造跨世代能源、環保與經濟三贏願景。彙整永續能源政策擬達成的具體數量化目標如下：

1. 經濟目標

建立滿足未來 4 年經濟成長 6% 及 2015 年每人年均所得達 3 萬美元經濟發展目標。

2. 能源安全目標

(1) 未來 8 年每年提高能源效率 2% 以上，使能源密集度於 2015 年較 2005 年下降 20% 以上；
藉由技術突破及配套措施，2025 年下降 50% 以上。

(2) 發電系統中低碳能源(天然氣、再生能源與核能)占比由 40% 增加至 2025 年的 55% 以上

3. 環境保護

全國二氧化碳排放減量，於 2016 年至 2020 年間回到 2005 年排放量(294 百萬噸 CO₂)，於 2025 年回到 2000 年排放量(221 百萬噸 CO₂)。

二、政策原則與推動策略

(一)、政策原則

為達到永續能源政策綱領目標，政府擬定的政策如下：

1. 高效率：提高能源使用與生產效率；

2. 高價值：增加能源利用的附加價值；
3. 低排放：追求低碳與低污染能源供給與消費方式；
4. 低依賴：降低對化石能源與進口能源的依存度。

(二)、推動策略

1. 積極發展無碳再生能源，有效運用再生能源開發潛力，於 2025 年占發電系統的 8%以上。
(再生能源發展條例已於 2009/06/12 日立法通過)；
2. 增加低碳天然氣使用，於 2025 年占發電系統的 25%以上。
3. 促進能源多元化，將核能作為無碳能源的選項。
4. 加速電廠的汰舊換新，訂定電廠整體效率提升計畫，並要求新電廠達全球最佳可行發電轉換效率水準。
5. 透過國際共同研發，引進淨煤技術及發展碳捕捉與封存，降低發電系統的碳排放。
6. 促使能源價格合理化，短期能源價格反映內部成本，中長期以漸進方式合理反映外部成本。

參考文獻

1. 行政院(2008), 台灣永續能源政策綱領。
2. IEA(2002), Toward Solutions Sustainable Development in the Energy Sector.

3. WSSD,(2002), Extract from the future draft report of the Main Committee of the World Summit on Sustainable Development.

單元 章節	符號	英文	中文
2.1	AC	Average Cost Pricing	平均成本定價法
2.1	MC	Marginal Cost Pricing	邊際成本定價法
2.2	PNG	Piping natural gas	管線天然氣
2.2	LNG	Liquid natural gas	液化天然氣
2.2	FOB	Free On Board	離岸價格
2.2	CIF	Cost insurance and Freight	到岸價格
2.2	BPI	Baltic Panamax Index	波羅的海巴拿馬型指數
2.2	BCI	Baltic Capesize Index	波羅的海海岬型指數
2.2	BSI	Baltic Supermax Index	波羅的海超靈便型乾散貨指數
2.2	BDI	Baltic Dry Index	波羅的海乾散貨綜合指數
2.2	OPEC	Organization of the Petroleum Exporting Countries	石油輸出國家組織
2.2	IEA	International Energy Agency	國際能源總署
2.2	NG	Natural Gas	天然氣
2.2	LPG	Liquid Petroleum Gas	液化石油氣
2.2	WTI	West Texas Intermediate	西德州中質原油
2.2	Brent	Brent	布蘭特原油
2.2	Dubai	Dubai	杜拜原油
2.3	HSFO180	High Sulfur Fuel Oil 180 cst	新加坡高硫燃料油(流動點 180)
2.3		Common Carrier	公用通路
2.3	NG(1)	Natural Gas(1)	台灣自產天然氣
2.3	NG(2)	Natural Gas(2)	台灣進口天然氣
3.1	CO ₂	Carbon dioxide	二氧化碳
3.1		Price Elasticity	價格彈性
3.2	TAIGEM-III	Dynamic Taiwan General Equilibrium. Model -III	台灣動態可計算一般均衡模型
3.2	GDP	Gross Domestic Product	國內生產毛額
5	Btu	British thermal unit	英制熱量單位
5	J	joule	焦耳
5	ft	feet	英尺
5	lb	pound	磅
5	cal	calorie	卡(卡路里)
5	Cal	calorie	大卡
5	toe	tons of oil equivalent	油當量
5	hp	horse power	馬力

5	hr, h	hour	小時
5	kWh	kilo-Watt-hour	千瓦小時，度（電力計價單位）
5	s	second	秒
5	gal	gallon	加侖，美製加侖=3.785 L（公升）
5	bbl	barrel	桶（原油）
5	SCF	standard cubic feet	標準立方英尺
5	ton	tonne	公噸，1000 kg
5	g	gram	公克
5	kg	kilogram	千公克，公斤
5	l, L	liter	公升
5	km	kilometer	公里
2	bcm	billion cubic meter	10 億立方公尺
	Mmbtu	Million British Thermal Unit (BTU)	百萬英熱單位
7.1.2	MT	Million Tons	百萬噸
7.2.2	bcm	billion cubic meter	10 億立方公尺
7.2.2	bcf	billion cubic feet	10 億立方英尺

附錄表 2 人名中英文對照表


單元章節	英文	中文
4 7.1.2	British Petroleum, BP	英國石油
4	Chevron Corporation, Chevron	雪弗龍
4	Shell	殼牌
4	the China Petroleum and Chemical Corporation, Sinopec	中石化集團
4	Enbridge	安橋
4	Barack Obama	歐巴馬
7.1	Organization of the Petroleum Exporting Countries, OPEC	石油輸出國組織
7.1	Non-OPEC	非石油輸出國組織
7.1.1	New York Mercantile Exchange, NYMEX	紐約商品交易所
7.1.1	Intercontinental Exchange, ICE	倫敦洲際交易所
7.1.1	Singapore Exchange, SGX	新加坡期貨交易所
7.1.1	Tokyo Commodity Exchange, TOCOM	東京商品交易所
7.2.1	Henry Hub, HH	亨利港(美國)
7.2.2	Department of Energy, DOE	美國能源部
7.2.2	Energy Information Administration, EIA	能源資訊署
7.2.2	EIA, DOE	美國能源部能源資訊署

教育部能源國家型科技人才培育計畫


能源經濟管理科技人才培育資源中心


指導單位：教育部


計畫主持人：周麗芳 政治大學綠色能源財經研究中心主任


執行單位 資源中心： 政治大學

夥伴學校： 台北大學

 佛光大學

 東吳大學

 世新大學

 台北商業技術學院

