

因應國家適當減緩行動(NAMAs) 調整能源結構之經濟、能源及環境分析

劉婉柔^a、陳彥霖^b、陳彥豪^c、左峻德^d

台灣經濟研究院

摘要

第十五屆聯合國氣候變遷會議(COP15)後，聯合國氣候變化公約(UNFCCC)已於今(2010)年公布「哥本哈根協議重點暨締約方配合行動(Action Taken by the Conference of the Parties)」，會議結論重點之一為附件一國家應提交經濟層面量化之 2020 年排放目標，非附件一國家則須提出國家適當減緩行動(National Appropriate Mitigation Actions, NAMAs)。台灣雖非公約締約國，但為避免未來企業遭到制裁，並且利用此一機會向國際宣示台灣氣候政策說帖，行政院亦於會後宣布台灣溫室氣體減量目標與期程：全國二氧化碳排放量於 2020 年回到 2005 年之水準，並於 2025 年降至 2000 年之水準。為落實此一預期減量目標，經濟部能源局也訂定再生能源推廣目標：2020 年時再生能源發電裝置容量將達 6,388MW，2025 年達 8,968MW，2030 年應達 10,858MW。

故本研究以此再生能源推廣目標作為分析之情境，利用「台經院動態 3E 模型」作為分析工具，探討發電結構改變後之經濟、能源及環境所受到之影響。預測結果顯示：改變發電能源組合，與基準情境相比，至 2020 年 CO₂ 排放量將會減少約 5.51 百萬噸，而 2025 年則將會減少 14.23 百萬噸；再生能源（含水力）佔發電比例從 2011 年的 2.5% 將增加至 2020 年的 4.0%，2025 年則佔 5.3%，故化石燃料仍然是主要的電力供應來源，至 2025 年其比重仍高達 77.49%；總體實質變數之水準，受到發電成本提高所帶來的衝擊，其成長率皆較基準情境為低，但負面影響並不十分明顯。由於至 2025 年高碳能源之使用比例仍高達 77.49%，故如何將高碳能源低碳使用，是目前在能源科技研發所面臨的關鍵問題。此外，增加再生能源發電的使用對減量目標之貢獻度僅約 4%，距離原定之排放目標，仍有其減排缺口存在，故需配合其他二氧化碳的減量政策，如：提高發電效率、碳權經營、提高能源效率等，來彌補減量缺口。低碳社會所需的能源科技發展與新興能源產業的商機亦需被同時考量，又能源結構與產業政策之調整期一般需 10 至 15 年，故及早因應與規劃，可降低經濟衝擊。

關鍵字：國家適當減緩行動、再生能源發電結構、二氧化碳減量、可計算一般均衡模型

^a 台灣經濟研究院助理研究員, email: d25687@tier.org.tw

^b 台灣經濟研究院助理研究員, email: d27580@tier.org.tw

^c 台灣經濟研究院副研究員, email: d25818@tier.org.tw

^d 台灣經濟研究院研究員, email: d1948@tier.org.tw

1. 背景說明

2007 年聯合國氣候變化綱要公約（UNFCCC）於峇里島聯合國氣候大會暨京都議定書第 3 次締約國會議（COP13/MOP3）中通過設立長期合作行動問題特設工作組（AWG-LCA），討論如何落實峇里行動計畫（Bali Action Plan）之要項，包括長期合作行動之共享願景、減緩、調適、融資與技術。2009 年 6 月，AWG-LCA 的第 6 次會議於波昂展開，會中草擬之協議文定義開發中國家基於共同但有差異的責任，可以藉由國家適當減緩行動（Nationally Appropriate Mitigation Actions, NAMAs）自願性並有助於國內永續發展的情形下來貢獻全球的二氧化碳減量，而開發中國家應獲得來自於已開發國家以可量測、可報告和可查證（Measurable, Reportable, and Verifiable, MRV）的方式所提供之技術、資金與能力建構（Technology, Finance and Capacity Building, TFCB）的支持與協助。有別於已開發國家的排放減量量化承諾和目標，NAMAs 是建立在自願的基礎上，不同於已開發國家具有法律約束力的義務。第十五屆聯合國氣候變遷會議（COP15）亦於 2009 年 12 月在哥本哈根舉行，雖然「哥本哈根協議」沒有確定各國的減排目標，但附件一國家應提出其 2020 年之量化減量目標，而非附件一國家則需提出國家適當減緩行動。依據 UNFCCC 秘書處於 2010 年 3 月 22 日的統計，194 個締約國中計有 74 個國家¹繳交溫室氣體（Greenhouse Gas, GHG）排放減量承諾與行動，涵蓋全球約 80% 的 GHG 總排放。

「哥本哈根協議」雖然沒有簽署具有強制法律約束性之減量目標與期程，台灣也不是公約締約國之一，但溫室氣體減量全球同步，以出口為導向的台灣產業，未來出口之產品將被要求加入溫室氣體排放限制等基本條件，如不遵行可能還會遭受到國際制裁，如：罰款或貿易制裁等，將使產業蒙受損失。此外，為配合減量要求，業者須進行相關研發、修改製程，除生產成本將提高，產業發展也可能受到抑制。倘若政府不及早因應公約並提出能源結構與產業政策相關之規劃，將對國內經濟造成衝擊。有鑑於此，行政院於會後宣布了台灣溫室氣體減量目標與期程：全國二氧化碳排放量於 2020 年應回到 2005 年之水準，並於 2025 年降至 2000 年之水準。依此減量目標，環保署提出了「國家節能減碳總計畫」及其「十大標竿計畫」，統籌規劃及推動包含產業、運輸、住宅以及生活等各層面的具體行動，是我國符合「哥本哈根協議」要求制訂溫室氣體「國家適當減緩行動」的主要政策。其中，與再生能源發展有關的項目為推動「再生能源新紀元計畫」，以太陽能、生質能和風力發電為主要發展項目，輔以推動其他再生能源發電如地

¹附件一國家（計 41 國），包括：澳洲、白俄羅斯、加拿大、克羅埃西亞、歐盟（含 27 會員國）、冰島、日本、哈薩克、列支敦士登、摩洛哥、紐西蘭、挪威、俄羅斯、瑞士、美國。非附件一國家（計 33 國），包括：亞美尼亞、貝南、不丹、波札那、巴西、中國、剛果、哥斯大黎加、象牙海岸、衣索比亞、厄利垂亞、加彭、喬治亞、迦納、印度、印尼、以色列、約旦、馬達加斯加、馬爾地夫、馬紹爾群島、茅利塔尼亞、墨西哥、蒙古、摩洛哥、巴布亞新幾內亞、韓國、摩爾多瓦、獅子山、新加坡、南非、馬其頓、多哥。

熱、水力、海洋能等，以建構我國節能減碳之路徑。此外，經濟部能源局也提出「再生能源年度推廣目標及配比」，積極發展無碳之再生能源推廣使用，已為達成「永續能源政策綱領」中，再生能源於 2025 年佔發電系統 8% 以上之目標。

故本文將以此「再生能源年度推廣目標及配比」作為分析之情境，利用台經院所開發之「經濟、能源與環境 (Economy-Energy-Environment, 3E)」模型作為模擬之工具，探討發電結構改變後對國內經濟、能源及環境之影響。以下將就台灣經濟、能源與環境發展現況、台經院 3E 模型理論與資料庫架構、再生能源發電政策之模擬情境設計、政策模擬之結果分析等議題進行說明與分析。

2. 台灣經濟、能源與環境發展現況

(1) 能源供應安全之挑戰

台灣為一自產能源不足且能源進口依存度高達 99.25%。近幾年來，國際能源價格持續飆漲，不但引發國內物價大幅波動、加重民眾的生活負擔，並提高國內產業生產成本，對國內經濟穩定造成極大衝擊。石油、煤炭及天然氣為目前國內能源需求的主要能源種類，以 2009 年為例，整體能源供應中有 91.64% 為化石能源，其中石油佔 51.14%，煤佔 32.11%、進口液化天然氣 8.11%、自產天然氣 0.28%。而非化石能源佔整體能源供應之 8.36%，其中核能約佔 7.97%、傳統水力佔 0.29%，太陽熱能、太陽光電及風力發電等新能源則佔 0.10%。

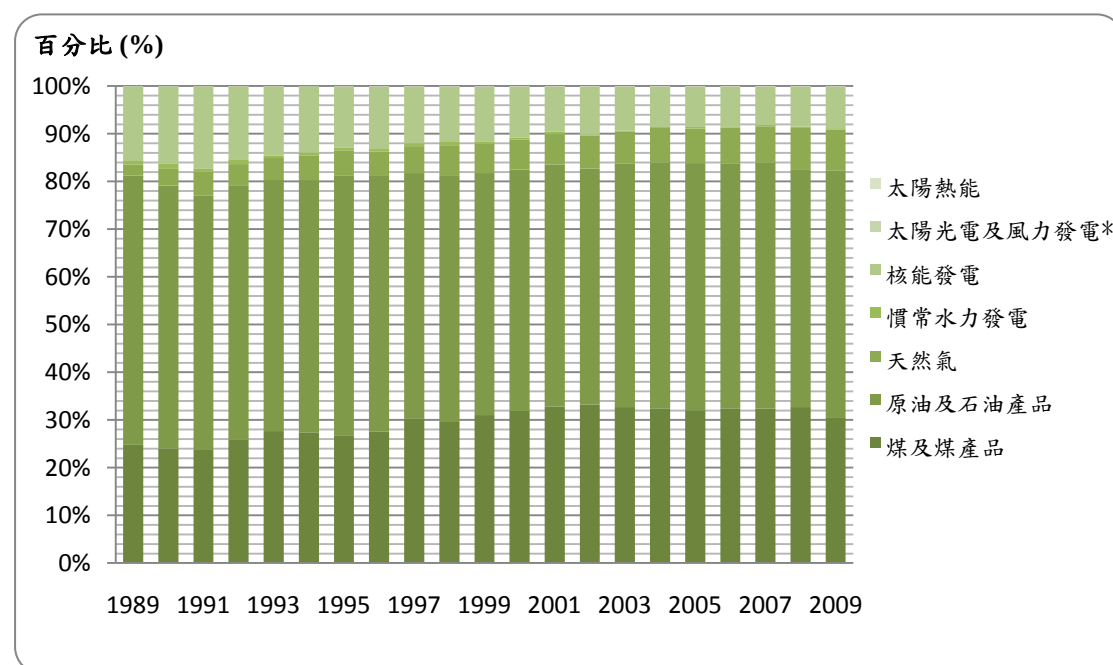


圖 1、我國歷年能源供給結構百分比

註：*迄 1994 年為地熱發電；自 2000 年起為太陽光電及風力發電。

資料來源：中華民國 98 年能源統計手冊，經濟部能源局；本研究整理。

台灣由於天然資源及能源蘊藏貧乏，傳統高碳能源供應多來自國外，能源進口依存度高。故國內的油電價格與供應易受到國際需求、產量變動、價格波動和國際能源政治角力的影響。2000 年以來因國際能源價格上揚，台灣對外採購能源支出大幅成長，從佔 GDP 的 3%成長至 2009 年的 10%，2008 年甚至一度高達 15.3%（如圖 2）。除長期新興國家對能源的需求推動能源價格高漲外，國際能源供應近年來受國際金融體系動盪之影響，石油、天然氣與高熱值煤等價格波動幅度變大。而過去價格相對穩定的燃煤，則因中國和印度經濟迅速增長，其發電業和煉鋼業對煤炭的需求大增，使燃煤價格從 2007 至 2008 年為止翻升 1 倍，而石油一年內價格更可波動達數倍。

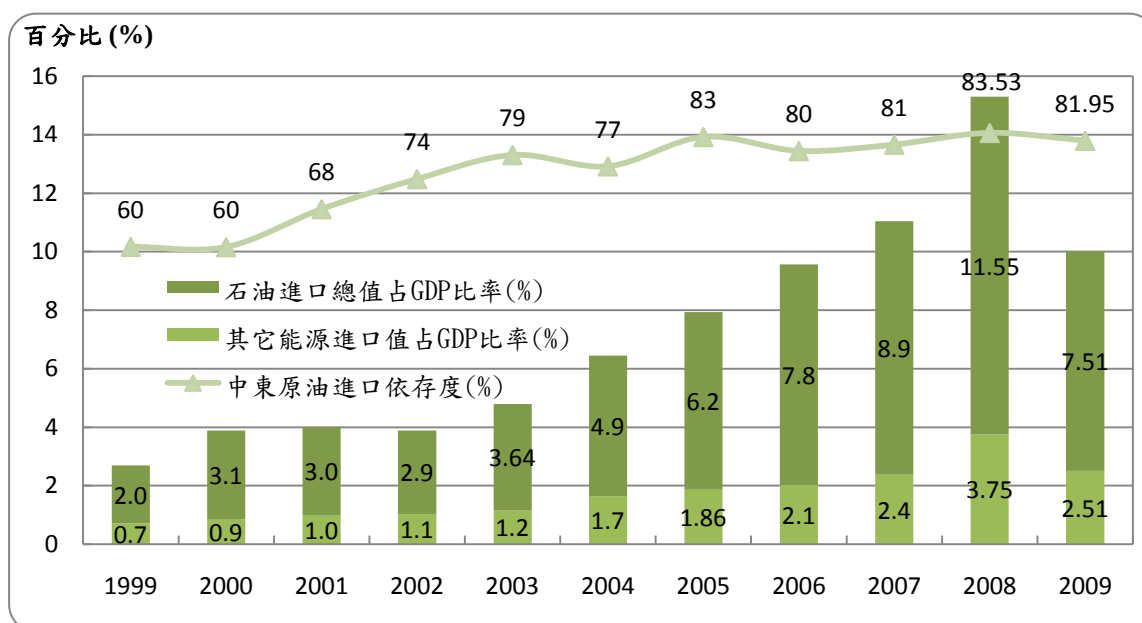


圖 2、1999~2009 年我國對外採購能源支出與中東原油依存度

資料來源：中華民國 98 年能源統計手冊，經濟部能源局；本研究整理。

這種能源價格的波動對台灣而言，所造成的衝擊將較國際間為高。主因在於台灣購買能源的價格和國際間相比其採購成本較高。分析美國和台灣的天然氣和燃煤的採購成本，我們可以發現台灣自 1990 年以來，液化天然氣（LNG）及煙煤的進口價格平均皆約為美國的 1.5 倍（如圖 3），2009 年液化天然氣進口價格甚至是美國的 2 倍以上，煙煤進口價格也仍然為美國的 1.64 倍。從整體波動來看，1990 年至 2009 年間，台灣液化天然氣進口價格為美國的 1.02 倍至 2.08 倍，而煙煤為 1.15 至 2.10 倍。2008 年上半年能源價格的大幅波動更對國內經濟造成衝擊，不但造成物價上漲，也造成中油與台電的數百億大幅虧損，影響所及足以動搖國本。這種過去前所未見的能源價格波動對全球經濟發展、與國家能源安全造成重大危害。

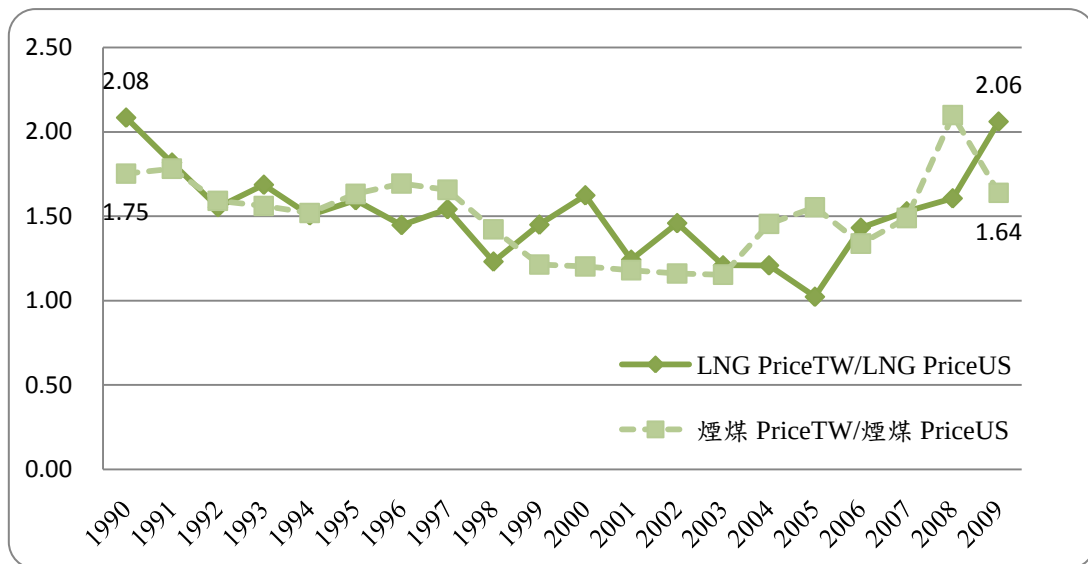


圖 3、台灣與美國進口能源價格比較

資料來源:國際貿易局進出口貿易統計、U.S. Energy Information Administration (EIA)；本研究整理。

(2) 二氧化碳排放對環境負荷之課題

台灣的產業結構中製造業佔比高，消耗大量化石能源，使得經濟成長與二氧化碳排放量無法脫勾。如圖 4 所示，台灣的二氧化碳排放量從 2000 年的 219 百萬公噸，逐漸增加至 2007 年的 269 百萬公噸，年平均成長率為 3.2%。然而，2008 年與 2009 年呈現下滑的趨勢，年增率分別為-3.2%與-6.6%，推測其原因為 2008 年間的金融海嘯以及台灣政府的節能減碳政策逐漸開始出現成效。人均二氧化碳排放量也有相同的趨勢，從 2000 年的每人 9.84 公噸，到 2007 年的每人 11.71 公噸，以及 2009 年的每人 10.52 公噸。此外，2000 年至 2007 年的年平均成長率為 2.7%，2008 年與 2009 年分別為-3.5%與-6.9%（Chen et al., 2010）²。

若以部門別來分析台灣的二氧化碳排放，2000 年至 2009 年六大部門（能源、工業、運輸、農業、服務業、住宅部門）的二氧化碳排放量如表 1 所示。其中，能源部門與服務業部門佔總排放量的比例呈現遞增的趨勢，另外四個部門分別的佔比則是逐漸下降。能源部門是六大部門中第一大排放來源，從 2000 年佔 60% 逐漸增加至 2009 年的 67%；工業部門佔 15%~19%；運輸部門佔 13%~15%；另外三個部門合計約佔 4%~6%。

² Chen et al. (2010)利用部門方法以及能源局在 2010 年 4 月公布的最新能源平衡表計算 2000 年至 2009 年台灣的二氧化碳排放量。

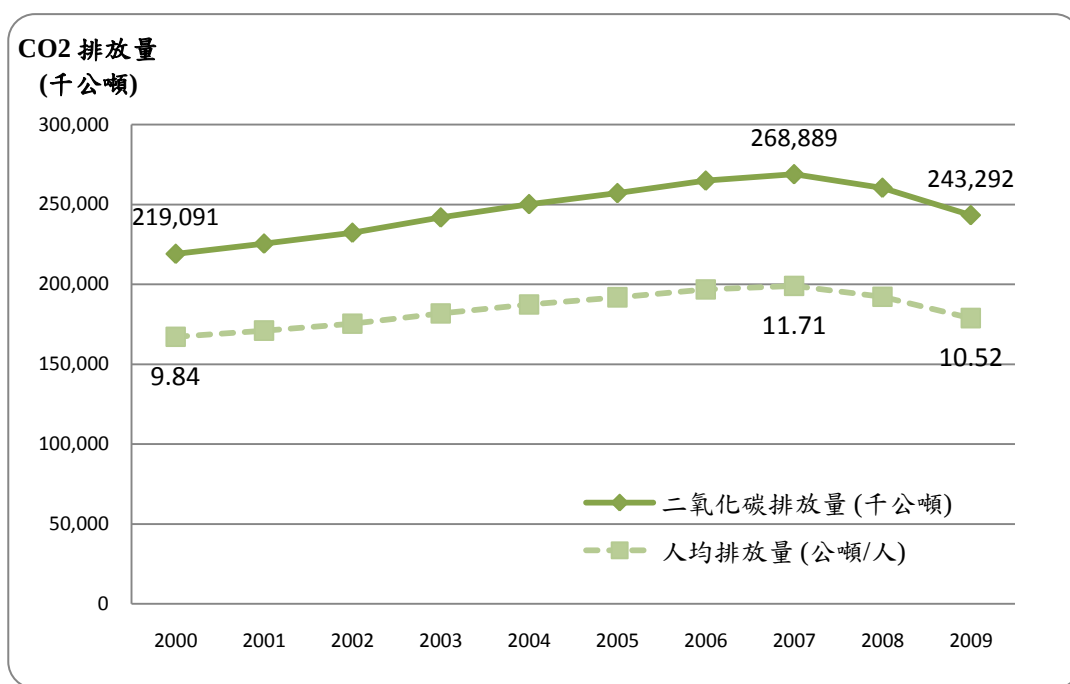


圖 4、二氧化碳排放量與人均排放量之趨勢

資料來源: (Chen et al., 2010)

表 1、2000 年至 2009 年六大部門二氧化碳排放量

部門		能源	工業	運輸	農業	服務業	住宅	總計
2000	千公噸二氧化碳	132,456.97	42,469.86	33,202.64	2,360.69	3,236.86	5,364.20	219,091.22
	百分比 (%)	60.46	19.38	15.15	1.08	1.48	2.45	100.00
2001	千公噸二氧化碳	137,896.08	41,154.09	33,241.85	2,453.90	3,975.37	6,761.01	225,482.30
	百分比 (%)	61.16	18.25	14.74	1.09	1.76	3.00	100.00
2002	千公噸二氧化碳	142,319.58	44,349.19	34,536.72	2,457.58	3,508.85	5,121.43	232,293.34
	百分比 (%)	61.27	19.09	14.87	1.06	1.51	2.20	100.00
2003	千公噸二氧化碳	152,767.01	42,786.80	34,503.68	2,810.00	3,911.87	5,043.95	241,823.31
	百分比 (%)	63.17	17.69	14.27	1.16	1.62	2.09	100.00
2004	千公噸二氧化碳	159,177.09	42,968.30	35,854.28	2,975.66	4,048.68	5,158.63	250,182.65
	百分比 (%)	63.62	17.17	14.33	1.19	1.62	2.06	100.00
2005	千公噸二氧化碳	166,348.91	41,806.75	36,840.14	2,625.58	4,165.66	5,268.74	257,055.78
	百分比 (%)	64.71	16.26	14.33	1.02	1.62	2.05	100.00
2006	千公噸二氧化碳	173,931.80	43,218.77	36,767.01	1,646.06	4,192.20	5,109.28	264,865.12
	百分比 (%)	65.67	16.32	13.88	0.62	1.58	1.93	100.00
2007	千公噸二氧化碳	177,905.55	45,197.41	35,418.67	1,090.72	4,130.83	5,145.72	268,888.90
	百分比 (%)	66.16	16.81	13.17	0.41	1.54	1.91	100.00
2008	千公噸二氧化碳	172,551.12	43,834.73	33,431.19	1,369.23	4,163.34	5,058.46	260,408.06
	百分比 (%)	66.26	16.83	12.84	0.53	1.60	1.94	100.00
2009	千公噸二氧化碳	162,912.91	36,396.83	33,771.37	1,003.28	4,188.49	5,018.93	243,291.80
	百分比 (%)	66.96	14.96	13.88	0.41	1.72	2.06	100.00

資料來源: (Chen et al., 2010)

若依產業別將其排放量做排名，從 2000 年至 2009 年的前 10 大排放部門或產業大約涵蓋了總排放量的 85%~89%，其中包括以下 13 個部門或產業：「發電廠」、「公路運輸」、「汽電共生廠」、「鋼鐵基本工業」、「煉油廠」、「水泥及水泥製造業」、「住宅部門」、「紡織成衣及服飾業」、「基本化學工業」、「高爐工場」、「樹脂塑膠及橡膠製造」、「石油化工原料製造業」及「人造纖維製造業」。這 10 年間最大的排放源是發電廠，接著是公路運輸及汽電共生廠，三者每年的排放量共佔全體排放量的 68%~75%。此外，汽電共生廠自 2003 年起取代公路運輸成為第二大排放源。第四到第七大排放源分別是鋼鐵基本工業、煉油廠、水泥及水泥製造業、住宅部門，四者每年的排放量共佔全體排放量的 8%~12%，並且有逐年下滑的趨勢(台灣經濟研究院，2010)。

(3) 氣候變遷對臺灣經濟之影響

自從 1997 年京都議定書草案完成、2005 年生效之後，全球暖化和二氧化碳排放減量的問題不再局限於環境保護的範疇，很快的也變成影響國際貿易的經濟議題。台灣國產品外銷金額佔國內生產毛額之比例甚高（見圖 5），除 2009 年遇金融危機外，國產品出口佔 GDP 的比例逐年增加，主計處預測於 2010 年其比例將高達 75.26%。此外，自 2008 年以來，歐盟與美國倡議碳貿易限制，陸續表達有意對進口商品課徵碳關稅或要求進口商購買碳產品排放權，以緩和碳排放交易下本國商品因為負擔減量成本而遭受的價格競爭衝擊。我國對歐美外貿依存度高，出口金額約新台幣 2 兆元，同時對外貿易亦為我國經濟持續成長的主要動力。若我國未能降低外銷產品生產過程所產生的碳排放量，近 1/4 的外銷產品將面臨危機。故以經濟繁榮、能源安全、環境保育、國家社會文化與環境要素等構面，整體構思各種施政方針，尋找屬於自己最佳的永續發展的策略方向，以提升台灣之能源安全、確保國內經濟成長、保護環境永續發展為目前刻不容緩之事。

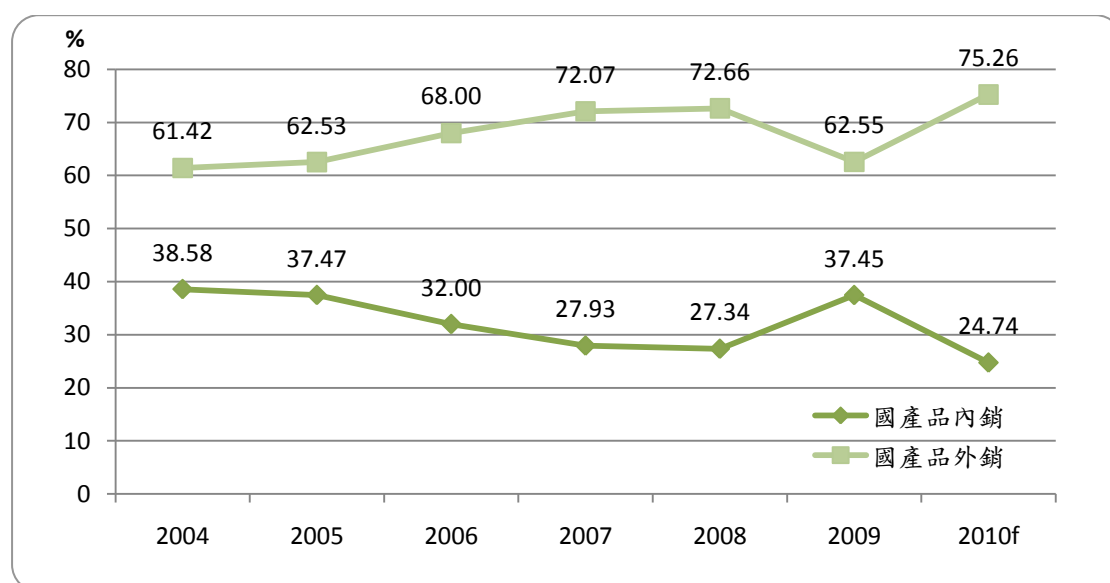


圖 5、國產品外銷金額佔 GDP 比例

資料來源:行政院主計處「國民所得統計」;本研究整理。

(4) 台灣經濟、能源與環境政策發展現況

台灣目前正處於能源結構改變的關鍵籌劃期，面對經濟、能源與環境政策的錯綜複雜，對於三者連動關係的了解，政府施政措施與相關法規設計，及能源科技的投入規劃格外重要。過去行政院於 2002 年 8 月通過「再生能源發展條例（草案）」，宣示我國加強推動再生能源發電決心，該草案主要是參考國外實行成效優良國家(如:德國等)作法而完成。該條例草案自 2002 年送立法院審議，然而由於再生能源法設計之難度與相關配套措施的複雜度，歷時多年，該法案終於 2009 年 6 月 12 日於立法院三讀通過，獎勵發電總量為 650 萬瓩至 1000 萬瓩。由於台灣為一海島型國家，對於氣候變遷所造成的衝擊影響將不可避免，推動溫室氣體減量絕對為「現在不做，明天會後悔的工作」。因此，行政院於 2006 年 2 月通過「溫室氣體減量法(草案)」，目前已送交立法院進行立法程序，溫室氣體排放總量管制與碳排放交易等機制皆納入草案中，象徵我國的溫室氣體排放將逐漸進入總量管制的階段。

行政院亦於 2008 年 6 月 5 日核定「永續能源政策綱領」，欲改變能源結構、提高低碳能源的比例，目標為再生能源（含水力）在發電能源中的比例要從 2007 年的 3.9% 增加到 2025 年的 8%，未來 8 年平均每年要提高能源效率 2% 以上，使能源密集度於 2015 年較 2005 年下降 20%，到 2025 年要減半，以加強能源供應面的「淨源」與能源需求面的「節流」，建構「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」之能源消費型態與能源供應系統。不僅如此，根據 2009 年全國能源會議各界結論，我國將擬訂「永續能源基本法」。

行政院節能減碳推動會及環保署在 COP15 會後也因應「哥本哈根協議」，規劃符合「國家適當減緩行動」內涵的主要政策，包括於今（2010）年 4 月 8 日經行政院院會通過的「國家節能減碳總計畫」及其「十大標竿方案」。「國家節能減碳總計畫」提出了全國二氧化碳減量排放目標，目標於 2020 年回到 2005 年排放量（約 257 百萬噸）、2025 年回到 2000 年排放量（約 218 百萬噸）、2050 年排放量回到 2000 年的一半之水準。十大標竿方案則包括目前行政院已推動的「綠色能源產業旭升方案」，致力發展綠能產業，投入關鍵技術的研發，選定太陽光電、LED 光電照明、風力發電、生質燃料、氫能與燃料電池、能源資通訊及電動車輛等作為重點產業，期望將我國從 IT（資訊技術）大國，推向 ET（綠能技術）大國。5 年內，我國將投入 250 億元推動再生能源與節約能源的設置及補助，並投入技術研發經費 200 億元。此外，與再生能源發展有關的項目為推動「再生能源新紀元計畫」，以太陽能、生質能和風力發電為主要發展項目，輔以推動其他再生能源發電如地熱、水力、海洋能等。

3. 台經院 3E 模型理論與資料庫架構

目前，在國際間屬「經濟、能源與環境模型」者主要分為兩大類：「由上而下」(Top-Down)與「由下而上」(Bottom-Up)兩類。其中「由下而上」方法詳細描繪能源使用技術，此類方法中的技術通常根據生命週期成本(life cycle costs)與熱力效率等工程資料、利用一組線型活動(linear activity)模型刻劃，因此可用以評估給定某一溫室氣體排放限制下，滿足最終能源需求時的最小成本技術組合。然而，由於模型中通常將能源與其他價格視為外生，所以無法準確評估因某一技術被廣泛使用後，能源價格改變的經濟效果(Ahmed, et al., 2007)。反之，「由上而下」的方法則使用平滑連續之經濟部門總合生產函數以刻劃技術，隱含投入間之替代為連續性。這類方法著重於市場與經濟體系全面性(economy-wide)的反饋與交互作用，但通常犧牲了「由下而上」方法中詳細刻劃技術的優點。大部分國家的共同作法是平行運用這兩大類的模型並儘量保持各模型的特色，評估政策對經濟的衝擊，比較其結果作為參考(台灣經濟研究院，2006)。

台經院始於 2006 年逐步發展 3E 模型，其根據澳洲 Monash 大學政策研究中心(CoPS)所開發的「ORANI-G 模型」為理論基礎，為一「可計算一般均衡模型」(Computable General Equilibrium model; 簡稱 CGE 模型)，屬「由上而下」的分析方法，並加上能源替代、二氧化碳排放、多產出的能源礦產和電力部門以及新能源產業部門等機制。此外，「台經院 3E 模型」之動態化主要參考同樣由澳洲 Monash 大學政策研究中心所研發的「MONASH 模型」中的動態機制所設計。其動態機制是藉由三種跨期預算限制來運作，即資本的累積、勞動市場的動態調整以及負債的累積。故目前「台經院 3E 模型」為一單國動態 CGE 模型，採遞迴動態分年衝擊分析之政策工具。以下各節將針對「台經院 3E 模型」之特色及其資料庫架構與編制做一重點介紹。

(1) 能源替代機制

「台經院 3E 模型」中允許非電力部門產業生產不同的產品，使用的生產投入包含國產商品與進口商品，不同勞動的組合、土地、資本、能源以及其他成本。另外出口商品與國內商品會有所區別。此種多種投入、多種產出的生產特徵均是根據可分割性假設(separability assumptions)而來。有別於「ORANI-G 模型」，「台經院 3E 模型」除了考慮勞動、土地、資本等初級要素以及其他成本的投入，還納入經濟個體能源替代行為的刻劃。

非電力部門產品的生產結構是由五層的巢式架構所組成，如圖 6 所示。每一層都是互相獨立的生產決策，在成本最小化的假設與該層生產函數的限制下，生產者決定最適的投入組合。第一層(level 1)為產業之產出，使用的生產投入

包含中間投入以及初級要素及能源總和投入，這些投入透過 Leontief 函數³進行加總成產業產出；第二層（level 2）各種中間投入之組合是由國產品和進口品透過 CES 函數⁴加總，能源與初級要素總和投入是由初級要素及能源總和透過 CES 函數加總；第三層（level 3）為初級要素總和與能源總和，初級要素是由勞動、土地和資本三種原始投入透過 CES 函數加總，而能源總和是由複合煤產品、複合油品、複合天然氣產品、電力和新能源五種能源投入透過 CES 函數加總；第四層（level 4）為複合煤產品、複合油品、複合天然氣產品、電力和新能源五種能源，複合煤產品是由煤礦產品及煤製品兩種投入透過 CES 函數加總，複合油品由汽油、柴油、燃料油及煤油四種投入透過 CES 函數加總，而複合天然氣產品則由煉油氣、燃氣及天然氣三種投入透過 CES 函數加總，複合新能源則以太陽電熱、太陽能、生質柴油、生質酒精、氫能及燃料電池等投入透過 CES 函數加總。第五層（level 5）為上述各種能源產品，各區分為國產品與進口品，國產品與進口品間也是透過 CES 函數進行加總。

由於採用 MONASH 模型的假設，故「台經院 3E 模型」的產出結構（圖 6 中之 Top Nest）允許各產業生產各種產品，而且一件商品要出口或是提供為供給國內需求則是透過 CET 函數來決定其應為出口品或是做為國內消費。

³ Leontief 函數表示生產投入會隨著產業產出成等比例的增減。

⁴ CGE 模型通常沿用 Armington 假設，將進口品與國產品視為異質，進口商品與國產品為不完全替代，可解釋產業內貿易（Intra-industry trade）現象。

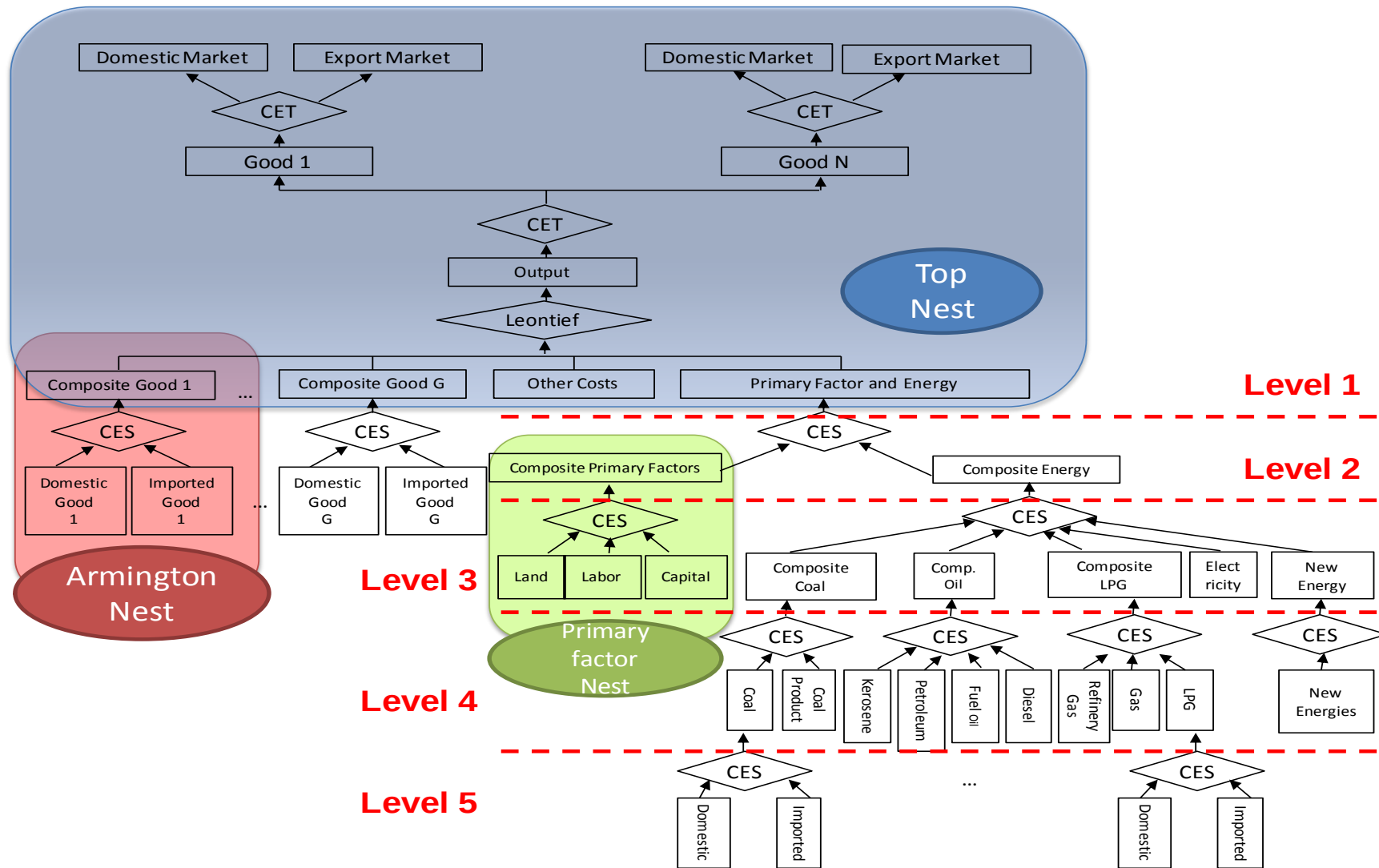


圖 6、非電力部門生產行為巢式結構圖

資料來源: (Hoadley et al., 2010)

(2) 技術配套機制

為凸顯電力部門在溫室氣體減量議題中的重要性，「台經院 3E 模型」參考澳洲 MEGABARE 多國模型、ORANI-E 能源經濟模型，引進技術配套(Technology bundle)法來刻劃電力部門的生產結構。技術配套法的引進，使得「台經院 3E 模型」一方面保留其原本「由上而下」模型中電力部門、能源部門與整個經濟體系各部門間互動回饋關聯，同時也部分擁有「由下而上」模型中對電力生產技術間替代選擇的反映。

模型中的技術配套法係透過一個 CRESH 函數將各發電技術的產出（也就是輸配電部門的要素投入）加總成輸配電部門的產出，而各發電技術發電所需之要素投入則與其電力產出成一固定比例，並假設各生產技術間存在不完全替代關係以反映各種生產技術隱含的特性⁵，輸配電部門在 CRESH 生產函數的設定下選擇其發電技術組合以極小化其生產成本⁶。因此，對於輸配電部門而言，當各發電技術間的相對成本變動時，輸配電部門可因應這樣的變動而調整其對各發電技術的電力需求。

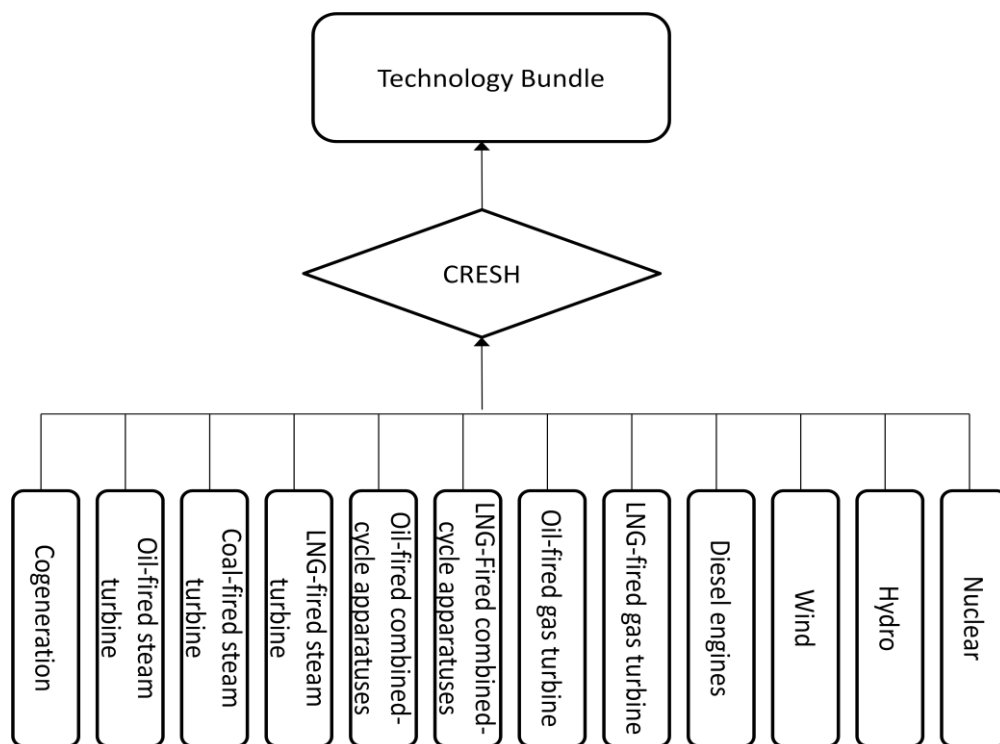


圖 7、電力部門技術配套結構圖

資料來源: (Hoadley et al., 2010)

⁵以電力為例，水庫的最大儲水量、貯煤場及天然氣貯氣槽的大小及其與發電廠的距離、核能發電可能對環境造成的破壞等都是影響各發電技術間的替代可能性。因此，雖然各發電技術所生產出來電力產品都是齊質的，但是，各機組則因其生產上的特性而無法達到百分之百地完全替代。

⁶要素價格為完全競爭市場價格。

故在「台經院 3E 模型」中，我們將電力生產技術依不同的發電機組及不同的燃料投入分成 12 種，分別是：汽電共生、水力發電、火力發電-汽力機組-燃油、火力發電-汽力機組-燃煤、火力發電-汽力機組-燃氣、火力發電-複循環機組-燃油、火力發電-複循環機組-燃氣、火力發電-氣窩輪機組-燃油、火力發電-氣窩輪機組-燃氣、火力發電-柴油機機組、核能發電以及再生能源發電等既有之發電技術。各發電機組所產生的電力全部輸送至輸配電部門，再由輸配電部門統一銷售給其他的使用者。

綜合以上所述，技術配套法的優點在於更符合實際地刻劃要素投入價格變化所牽動之要素使用型態的改變。而由於技術配套法中設定產業生產之要素使用型態與實際可行之生產技術的要素使用型態一致，因此，技術配套法下因要素價格變動所引發的產出變動情形也會與「由上而下」模型中的產出變動情形不一樣，而與實際的情形比較相近。在給定某一政策變動下，我們可以藉由技術配套法得知各種技術使用的消長變動情形。相對地，典型的「由上而下」模型則只能知道政策變動下要素投入組合（例如：勞動、資本）的改變，但我們不易從這樣的要素組合變動得知各生產技術使用的消長變動情形。

(3) 動態機制

「台經院 3E 模型」動態化主要參考澳洲 Monash 大學政策研究中心所研發的單國動態可計算一般均衡「MONASH 模型」中的動態設計機制，透過三種跨期預算限制來運作，即資本的累積、勞動市場的動態調整、以及負債的累積。由於目前模型中的報酬率採靜態預期，故「台經院 3E 動態一般均衡模型」即是在靜態預期下進行遞迴動態分年衝擊分析之政策工具。以下為 3E 模型之動態機制說明。

1) 資本的累積

模型在進行模擬的計算求解時，是以第 t-1 期期末資本做為第 t 期期初資本，而影響各期資本存量因素為本期新增投資與資本損耗。意即，第 t 期期末資本為第 t 期之期初資本扣除折舊加上新增投資所求得。由於短期封閉準則中資本為外生變數，而投資報酬為內生變數，因此須設定資本成長率（KGR）與投資報酬期望（EROR）間之關聯。報酬率的高低則會影響投資者的投資意願，進而影響產業的資本存量的累積。在澳洲 MONASH 動態模型中設定其關聯為 ln 函數，關係式中最大、最小資本成長率（KGR_MAX, KGR_MIN）與資本成長率趨勢（TREND）需從各產業歷史資料取得。資本成長率如圖 8 所示，有其邊界性。

$$E(ROR) = RORN + \frac{1}{c} \ln \left\{ \left(\frac{KGR - KGR_MIN}{KGR_MAX - KGR} \right) \times \left(\frac{KGR_MAX - TREND}{TREND - KGR_MIN} \right) \right\} + FROR$$

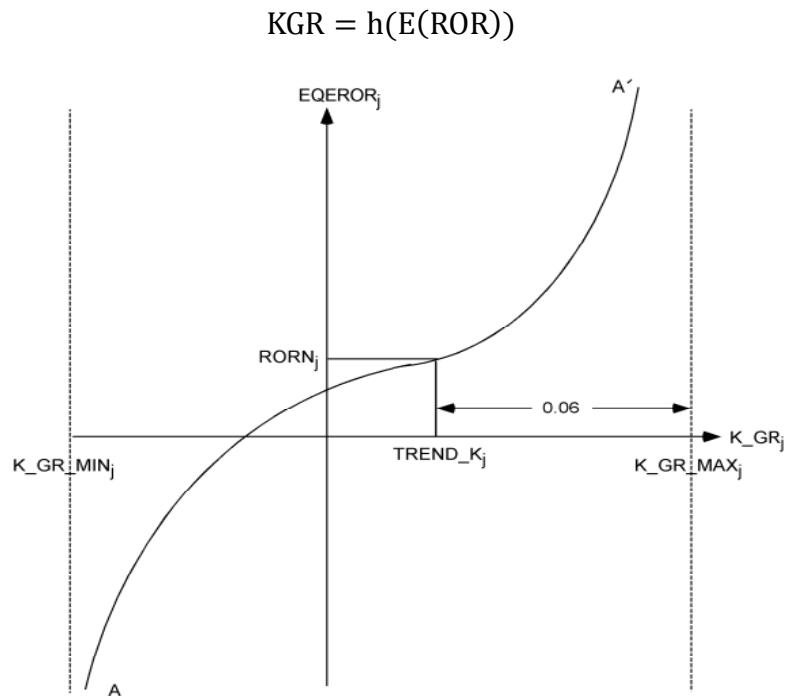


圖 8、資本成長率(KGR)與對投資報酬期望(EROR)關聯圖

資料來源: (Horridge, 2010)

2) 勞動市場的動態調整

「台經院 3E 動態模型」中設定實質工資與勞動力之間在短期符合工資僵固假設，故短期政策衝擊會增加就業與實質工資水準，但是長期而言經濟體會回復到古典模型所描繪的充分就業和工資可調整狀態。因此，短期而言實質工資為外生給定，長期而言勞動力僱用為外生給定，工資成長會逐漸趨緩。實質工資與勞動力之間相較於基礎情境變化關係式如下

圖 9。

$$\frac{W}{W_o} - 1 = \frac{WL}{WL_o} + \alpha \left(\frac{E}{E_o} - 1 \right)$$

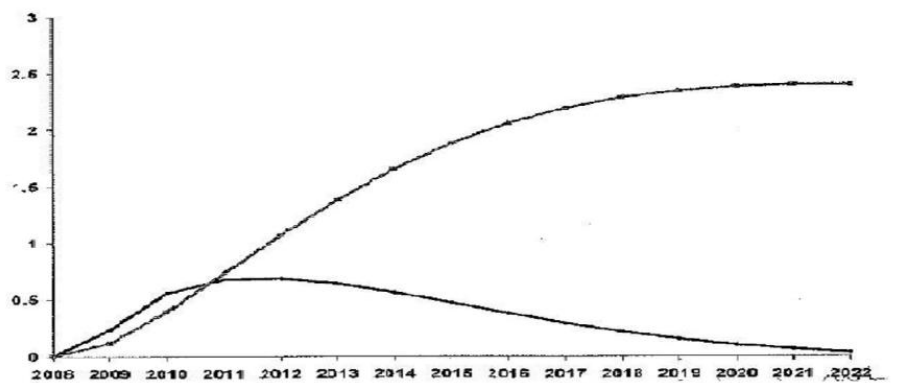


圖 9、實質工資與勞動力之間相較於基礎情境變化圖

資料來源: (Horridge, 2010)

3) 負債的累積

在進行動態分析時，各期之間的負債（包括經常帳赤字和預算赤字）累積需連續，意即第 t 期期初負債為第 $t-1$ 期期末負債，影響各期負債之因素為維持資本的投入扣除儲蓄。此外，經常帳赤字是由進口減去出口加上國外負債利息支出扣除國外資產的利息收益。在計算國外負債利息支出時，國外負債的計算是以期初與期末國外負債平均值為計算基礎，同理應用於國外資產利息收益計算。國外負債利率、國外負債匯率、國外資產利率、國外資產匯率等，在模型中為外生給定，而模型中亦假設期末國外資產和國內生產毛額比例為外生給定。

(4) 模型資料庫架構與編制

「台經院 3E 模型」資料庫（見圖 10）主要由三大部分組成：(1)投入產出矩陣；(2)二氧化碳排放矩陣；和(3)彈性係數值。其中，投入產出矩陣中又包含吸收矩陣（Absorption Matrix）、投資矩陣和生產矩陣（Joint Production Matrix）。投入產出矩陣是以產業關聯表為編制基礎，二氧化碳矩陣則佐以能源平衡表和 IPCC 排放係數求算出各部門之二氧化碳排放量。模型中之各彈性係數和參數部分之決定，則是利用計量方法及文獻回顧之方式所推得之係數，包括：(1)國產品與進口品替代彈性；(2)生產投入要素間替代彈性；(3)商品間的轉換彈性；(4)家計部門的需求價格與所得彈性。

1) 投入產出矩陣編製方法

「台經院 3E 模型」中的投入產出矩陣主要是以產業關聯表編製而成。因主計處隨著台灣產業結構之改變對於產業分類有所調整，故「民國 95 年產業關聯表」之分類相較於以往有重大的改變。現階段資料庫是根據主計處發布之「民國 95 年產業關聯表」中分類部門別（166 部門）來進行產業分類。為突顯能源部門的影響，本資料庫特將 012 石油及天然氣礦業及 015 其他非金屬礦產中的能源相關產業獨立出來；為探討發電業技術配套下，對各發電技術之投資，則將 108 電力及蒸汽中各發電技術獨立析出。產品分類與產業之拆解相仿，但再加上 049 石油煉製品之拆解。故資料庫修正後之新產業分類為 181 類，新產品分類為 190 類。

產業關聯表係由中間交易、附加價值及最終需要三部份組成。中間交易為關聯表主體，顯示經濟體系各種貨品與勞務的來源與去路，以及產業在生產技術相互依存的關係。其中，商品的流量資料（Commodity basic flows）是以生產者價格來計算，它包括了間接稅，也包括交易成本和運輸成本⁷。

⁷ 配合行政院主計處更新與公告內容，並評估我國經濟現況，有關運銷行為之分析，可由該產業之消長直接觀察，故「台經院 3E 模型」資料庫之處理方式，即將「ORANI-G 模型」資料庫中

		吸收矩陣 (Absorption Matrix)					
		1	2	3	4	5	6
		生產者	固定資本形成	家計單位	出口*	政府支出	存貨
	Size	← I →	← I →	← H →	← 1 →	← 1 →	← 1 →
中間投入 (國產)	↑ C ↓	V1BAS	V2BAS	V3BAS	V4BAS	V5BAS	V6BAS
中間投入 (進口)	↑ C ↓	V1BAS	V2BAS	V3BAS	V4BAS	V5BAS	V6BAS
貨物稅 (國產)	↑ C ↓	V1TAX	V2TAX	V3TAX	V4TAX	V5TAX	N/A
貨物稅 (進口)	↑ C ↓	V1TAX	V2TAX	V3TAX	V4TAX	V5TAX	N/A
勞動報酬	↑ O ↓	V1LAB	C=商品別 I=產業別 O=1:勞動別 H=1:家計別				
資本報酬	↑ 1 ↓	V1CAP					
地租	↑ 1 ↓	V1LAD					
其他成本	↑ 1 ↓	V1OCT					

*註:僅出口國內商品

		生產矩陣 (Joint Production Matrix)	
Size		← I →	Total
↑ C ↓		MAKE	=sales row totals
Total		=column total absorption	

		二氧化碳排放矩陣 (CO ₂ Emission Matrix)
Size		← P →
↑ Bads x S ↓		CO ₂ Emission

P=二氧化碳排放者別

圖 10、台經院 3E 模型資料庫之架構

資料來源: (Hoadley et al., 2010)

最終需要包含固定資本形成、民間消費、政府消費、輸出及存貨變動等五項，顯示消費與投資部門對貨品與勞務的需求及輸出結構，若再扣除輸入，則為從支出面衡量的國內生產毛額。「台經院 3E 模型」中之吸收矩陣，其中的每一行代表一類需求者，即產業關聯表中之最終需要部分，分別為: (1)國內生產者（即中間投入，可細分為 181 類）；(2)投資需求（即固定資本形成，可細分為 181 類）；(3)國內居民消費總需求；(4)國外部門對本國出口產品的總需求；(5)政府需求；與(6)存貨變動。矩陣中的每一個元素表示這六類需求者所購買的產品和要素。其

的「運銷差距」矩陣，併回原始運輸服務部門之中。

中每一種產品都可以進口或在國內生產。產品按來源分類，可作為投入用於產品的生產和資本的累積，也可用於國內居民消費和政府消費，或是用於出口，亦或當作存貨。

附加價值則包括勞動報酬、營業盈餘、固定資本消耗與間接稅淨額，此即從所得面衡量的國內生產毛額。「民國 95 年產業關聯表」之附加價值部分如表 2 所示。其中，營業盈餘包括租金（地租）、利息、移轉支出和利潤。進口稅係指經由海關進口之貨物依法課徵之各種進口稅捐，包括關稅、貨物稅、菸酒稅及健康福利捐⁸。

表 2、95 年產業關聯表之附加價值部分

產業關聯表中分類代碼	名稱
167	勞動報酬
168	營業盈餘(租金、利息、移轉支出、利潤)
169	固定資本消耗
170	間接稅淨額
170-(1)	貨物稅淨額
170-(2)	進口稅淨額(關稅、貨物稅、菸酒稅、健康福利捐)
170-(3)	加值型營業稅
170-(4)	其他稅捐減補助金
171	調整項目

資料來源：「民國 95 年產業關聯表」，行政院主計處，2010。

在「台經院 3E 模型」中，當期生產所需要的三種主要要素為勞動、固定資本和土地以及其他要素支出。故需將「民國 95 年產業關聯表」之附加價值部分分別對應至 3E 模型資料庫中的勞動報酬、資本報酬、地租以及其他成本。根據 ORANI-G 之理論，土地僅考慮農業用地（Agriculture Land），故在資料庫中，僅考慮農業、漁業、牧業和林業之地租。由於「民國 95 年產業關聯表」並未將營業盈餘細分為租金（地租）、利息、移轉支出和利潤，故需自行計算地租金額。地租（V1LND）之資料來源如表 3：

表 3、各部門地租之資料來源

產業別	資料來源
農業部門	農產品生產成本調查報告（農糧署）
林業部門	公營資料（主計處代為提供數值）
漁業部門	漁家經濟調查年報（漁業署）
牧業部門	公營資料（主計處代為提供數值）

⁸民國 95 年進口品之商港建設費移至公共行政服務部門，民國 90 年進口品之商港建設費則包含在進口稅淨額中。

資料來源：本研究整理

吸收矩陣主要是以主計處發布之「民國 95 年產業關聯表」的資料為主。「國產品交易表」提供吸收矩陣中各種國產品之分配與需求之資料；「進口品交易表」則提供吸收矩陣中各種輸入品之分配與需求之數據。將國產品與進口品之數值加總，即為「生產者價格交易表」，而本模型資料庫之進口品按 C.I.F.計值。生產矩陣之資料來源為「購買者價格交易表」。編制的方法是將購買者價格交易表上之各商品投入合計，填入生產矩陣（MAKE）之對角線中，意即產業和產品間的關係皆是一對一的純化關係（one-to-one correspondence）。「台經院 3E 模型」為探討能源使用和生產技術間的替代關係，於資料庫中細分能源產品，故生產矩陣中石油煉製品部門為一多產出的部門。

2) CO₂ 排放矩陣編製方法

在資料庫中，有 15 種能源產品（以下簡稱 BADCOM）在使用過程中（主要為燃燒）會排放二氧化碳，包括 2 種初級能源產品（煤、天然氣）、12 種能源轉換業生產的次級能源產品、以及其他非金屬礦物製品⁹。12 種次級能源產品分別是車用汽油、柴油、航空燃油、燃料油、煤油、潤滑油、石油腦、煉油氣、瀝青、其他石油煉製品、焦炭及其他煤製品、燃氣。

15 種能源產品可依其使用途徑分為兩類：中間投入使用及最終需求使用。中間投入為所有產業部門在生產過程中所投入使用部分，最終需求包括投資者（固定資本形成）、家計部門消費、政府部門消費所使用的部分。而存貨變動以及出口（國外排放）不列入計算，因此在模擬分析中，我們只將用於台灣的自產及進口能源產品列入計算¹⁰。

最終的二氧化碳排放矩陣格式如

⁹ 主要成分是石灰石或碳酸鈣。

¹⁰ 台灣經濟研究院，「京都議定書經濟影響評估模型之建立、持續維護及調整 (1/5)」，行政院經濟建設委員會九十四年度委託研究計畫研究報告，94122202-01，2006。

表 4，為一 $15 \times 2 \times 184$ 的矩陣。15 代表 15 種能源產品，2 表示 2 種來源（自產及進口），184 代表 184 個使用部門（其中包括 181 產業部門及投資者、家計部門消費、政府部門消費等 3 個最終需求者）。

編製二氧化碳排放矩陣的原始資料來源為經濟部能源局提供之「能源平衡表」，「能源平衡表」提供了不同使用者的各種能源使用量數據，包括使用量的原始單位、熱值單位、與油當量單位三種表。

表 4、二氧化碳排放矩陣格式

	產業中間投入 (001, 002, ..., 181)	投資者	家計部門消費	政府部門消費
01520 煤				
01220 天然氣				
06990 其他非金屬礦物製品				
04910 車用汽油				
04920 柴油				
04930 航空燃油				
04940 燃料油				
04950 煤油				
04960 潤滑油				
04970 石油腦				
04980 煉油氣				
04991 瀝青				
04992 其他石油煉製品				
05000 焦炭及其他煤製品				
10900 燃氣				

資料來源：(台灣經濟研究院，2006)

在著手進行編製之前，部分能源局提供的資訊需要再做調整（合併加總或析出）。首先我們必須找出能源平衡表中哪些能源產品是符合模型中定義的BADCOM，並將屬於同一分類的予以合併。表 5 為「能源平衡表」中各類能源產品與模型定義之 15 類能源產品對照表，其中「能源平衡表」中並無其他非金屬礦物製品一項。模型定義中的其他非金屬礦物製品主要成分是石灰石，雖不具有熱值，但會在水泥及鋼鐵產業的製程中排放出二氧化碳（台灣經濟研究院，2006）。因此，我們必須另外計算其他非金屬礦物製品的二氧化碳排放量，但為了對照的方便性，接下來的二氧化碳排放矩陣中並不含其他非金屬礦物製品的二氧化碳排放量。

目前資料庫採用 EPA 的編制方法來計算二氧化碳排放量。此法和產業關聯表具有一致性，但卻和能源平衡表不一致，有可能高估或低估某些部門的二氧化碳排放量，造成不準確的情形出現。但為配合模型模擬，在我們蒐集到所有精確的相關資訊並解決不一致性的問題之前，目前依然先利用 EPA 的編製方法。

表 5、能源平衡表各類能源產品與模型定義之 15 類能源產品對照

台灣經濟研究院 3E 模型資料庫分類	能源平衡表分類
01520 煤	2 煙煤-煉焦煤
	3 煙煤-燃料煤
	4 無煙煤
	5 亞煙煤
01220 天然氣	38 (自產) 天然氣
	39 (進口) 液化天然氣
06990 其他非金屬礦物製品	N/A N/A
04910 車用汽油	22 車用汽油
04920 柴油	28 柴油
04930 航空燃油	24 航空汽油
	25 航空燃油-汽油型
	26 航空燃油-煤油型
04940 燃料油	29 燃料油
04950 煤油	27 煤油
04960 潤滑油	31 潤滑油
04970 石油腦	21 石油腦
04980 煉油氣	17 煉油氣
	18 液化石油氣
04991 瀝青	32 柏油
04992 其他石油煉製品	35 石油焦
	36 其他石油產品
05000 焦炭及其他煤製品	8 焦炭
	11 高爐氣
	12 轉爐氣
10900 燃氣	10 焦爐氣

資料來源: (台灣經濟研究院，2006)

首先找出能源平衡表熱值單位表中的 15 種能源產品消費總量。此處，

消費總量 = 發電廠及汽電共生廠的轉變投入 (14~17 列) + 能源部門自用 (19 列) + 能源消費 (31 列)。

用此消費總量以及產業關聯表¹¹中各部門使用 15 種能源產品的比例進行攤提，得到各產業的各能源產品使用量。再利用 IPCC 公布的二氧化碳排放量計算公式，將矩陣中各使用量換算為二氧化碳排放量。最後，將模型中屬於同一分類的二氧化碳排放量予以加總，得到各部門 15 種 BADCOM 的二氧化碳排放量，即為一 15*2*184 的二氧化碳排放量矩陣。

¹¹國產品交易表、生產者價格交易表(進口品按 C.I.F.計值)。

4. 再生能源發電政策之模擬情境設計

本文將依照今年由經濟部能源局所提出的「再生能源年度推廣目標及配比」，做為模擬情境，分析再生能源使用增加造成電力結構改變對經濟、環境及能源需求之影響，並利用「台經院動態 3E 模型」做為分析工具，進行政策模擬分析。在進行政策模擬分析之前，我們必須先建立基線預測（baseline forecasting）的基準情境（Business as usual, BAU），其作用主要在於產生各經濟變數的預測值，以建立對未來經濟狀況的基本情境。而政策模擬的作用則是在基線預測的情境（scenario）下，進一步分析相關外生變數未來的變動對經濟體造成可能的衝擊影響。

進行基線預測時，2007 年至 2025 年主要經濟變數的外生成長率變動設定值如表 6，所引用之統計資料包括行政院主計處出版之「物價統計」、「中華民國統計月報」、「國民所得統計」、「家庭收支調查報告」、「人力資源統計」、「國民經濟動向統計季報」；勞委會職訓局「就業服務統計」；經濟部能源局「中華民國 98 年能源統計手冊」；國際貨幣基金（International Monetary Fund, IMF）「國際金融統計」（IMF, 2010）。其中，在就業、家庭戶數和消費者物價指數（CPI）成長率方面，本研究先行利用 ARIMA 模型進行預測，以做為 2011-2025 年此三外生變數成長率的設定值。

表 6、預測 BAU 之外生衝擊的設定值: 2007 年-2025 年

總體經濟變數成長率(%)	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011-2025 年
家計消費 (C)	0.43	-1.49	0.04	1.11	內生
總投資 (I)	0.55	-11.17	-11.06	17.10	內生
政府消費 (G)	3.53	2.85	2.85	2.20	內生
出口 (X)	10.12	3.63	-20.32	33.23	內生
就業	1.81	1.06	-1.2	1.84	外生*
家庭戶數	1.45	1.76	1.9	1.64	外生*
消費者物價指數	1.21	1.97	1.47	1.23	外生*

* 利用 ARIMA 模型進行預測，以做為 3E 模型之設定值。

資料來源：本研究整理

於政策模擬階段，將以改變發電結構做為外生衝擊，衝擊的程度則以經濟部能源局所提出的「再生能源年度推廣目標及配比」為依據。至 2009 年底，再生能源發電裝置容量已達 3,200 千瓩，約佔總電力裝置容量 8%，其目標為至 2020 年，再生能源累積設置容量應達 6,328 千瓩，至 2025 年累計裝置容量應達 8,908 千瓩，約佔總電力裝置容量 15.9%。整體新能源推動之期程與目標如表 7。

表 7、台灣再生能源推廣目標量

單位：MW

年度 類別	2009		2010		2011		2015		2020		2025		2030	
	累計		新增	累計	新增	累計	2012-2015 新增	累計	2016-2020 新增	累計	2021-2025 新增	累計	2026-2030 新增	累計
水力	1,938.7 (1,938.7)		6.34	1,945	61 (61)	2,006 (2,000)	46 (41)	2,052 (2,041)	60 (60)	2,112 (2,100)	390 (290)	2,502 (2,390)	0	2,502 (2,390)
風力 發電	陸域	436 (436)		70	506 (436)	70	576 (436)	230	806 (436)	150	956 (436)	100	1,056 (436)	100 1,156 (436)
	離岸	-		-	-	-	-	150	150	750	900	500	1,400	600 2,000
太陽 光電	11 (11)		64	75 (11)	70	145 (11)	285	430 (11)	820	1250 (11)	750	2,000 (11)	500	2,500 (11)
生質能 發電	廢棄物	790 (790)		0	790 (790)	0	790 (790)	58 (18)	848 (808)	77	925 (783)	444	1,369 (365)	0 1,369 (365)
	沼氣	24.5 (24.5)		0	24.5 (24.5)	0	24.5 (24.5)	4.7	29.2 (24.5)	0	29 (24.5)	2	31 (24.5)	0 31 (24.5)
海洋能	-		-	-	-	-	1	1	29	30	170	200	400	600
地熱能	-		-	-	-	-	4	4	62	66	84	150	50	200
氫能燃 料電池	-		0.07 (0.07)	0.07 (0.07)	0.15 (0.15)	0.22 (0.22)	6.7 (6.7)	7 (7)	53 (50)	60 (57)	140 (123)	200 (180)	300 (245)	500 (425)
合計	3,200 (3,200)		140.4	3,340	201.2	3,541	785.4	4,327	2,001	6,328	2,580	8,908	1,950	10,858 (3,652)

備註：()表非獎勵量

資料來源：再生能源年度推廣目標及配比，經濟部能源局，99年3月26日。

本文之模擬分析，短期運用凱因斯封閉（closure）準則，長期則利用新古典封閉為準則，以進行模擬再生能源使用增加的短期衝擊與長期影響。在凱因斯封閉法則當中，經濟體內的平均實質薪資是僵固的（rigid），因此勞動供給為完全彈性的供給，而各產業的勞動需求則可任意調整，即勞動雇用為內生決定，並且容許失業及過度就業。在短期內，除了以外在給定的方式所增加的投資之外，模型中假設資本量在短期內不易調整，即假設資本總供給量固定不變。在長期封閉法則當中，經濟體達到完全就業（full employment），平均實質薪資水準可以內生自由調整，使得勞動市場達成均衡。在資本財的處理上，也是假設資本財的總供給量為固定不變，資本財的租用價格可以內生自由變動，以保證資本財的總供需達成均衡。換言之，勞動力（employment）、技術進步（technology improvement）與報酬率（rate of return）為外生給定，實質工資與資本則為內生變數。

5. 政策模擬之結果分析

圖 11 為 2007 至 2025 年 BAU 情境和政策模擬情境下之實質 GDP 成長率預測值，並且和 IMF 所公布的台灣實質 GDP 成長率預測值作一對照。於 BAU 情境中，2007 年至 2009 年之實質 GDP 成長率為實績值，2010 年為主計處之預測值，2011 年至 2025 年則為模型內生求解而得。觀察 2011 年至 2015 年的 GDP 成長率可發現，「台經院動態 3E 模型」所模擬之實質 GDP 成長率預測值與 IMF 所公告之預測數據十分接近。另一方面，在 BAU 情境預測區間（2011-2025 年）內，隨著出口擴張以及家計和政府消費逐年增加，台灣經濟成長率可望至 2015 年達到 5.08%。長期來看，則因為隨著經濟體逐漸走向已開發國家之列，台灣經濟成長率至 2025 年收斂至 3.67%。

發電能源組合改變之後，實質變數之水準（如：GDP、民間消費、民間投資、政府支出、出口和進口）受到負面的影響，唯於 2019 年前，兩情境之實質變數成長率差距幅度不大。主因為經濟部所提出之「綠色能源產業旭升方案」（經濟部，2009），其選定太陽光能、風力發電、生質燃料、氫能與燃料電池、能源資通訊、電動車輛及 LED 照明等七大項目，於 2010 至 2015 年內將投入新台幣 200 億元技術研發資金，以及新台幣 250 億元推動再生能源與節約能源的設置和補助。此外，在 2019 年之前，再生能源佔整體發電能源之使用量與基準情境相比並未大幅度增加，故發電成本提高所帶來的負面衝擊並不十分明顯。

對再生能源產業而言，在政策的帶動之下，預估產值可由 2008 年 1,603 億元提高至 2015 年 9,862 億元，至 2025 年甚達 2 兆 9,734 億元。此外，於 2015 年可創造 137,800 人就業機會，至 2025 年，預估其就業人力將增加 269,049 人。

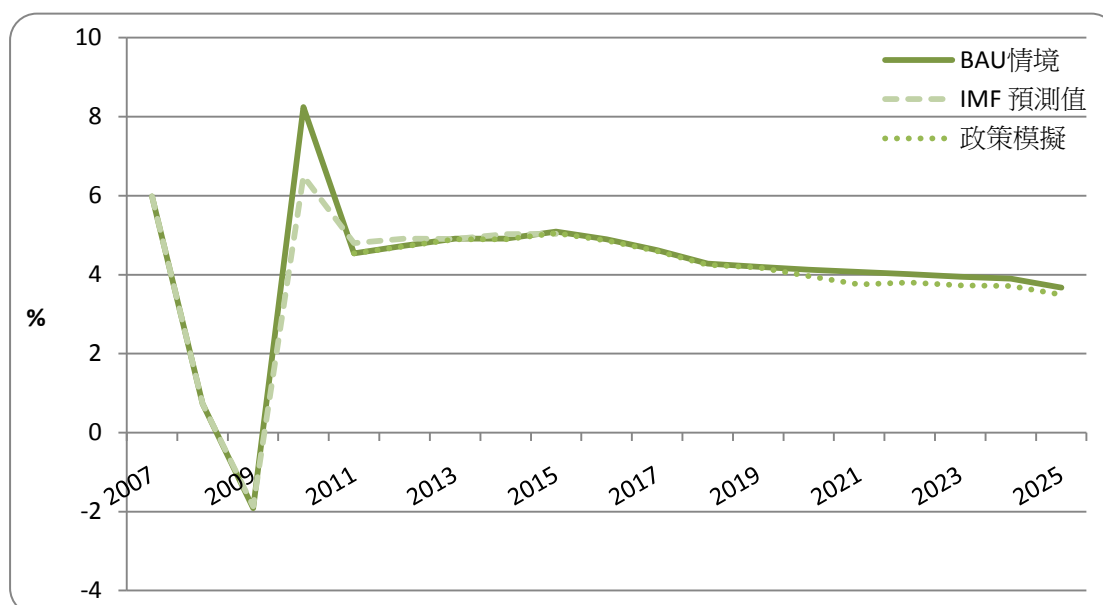


圖 11、實質 GDP 成長率預測值比較

資料來源：本研究

依照經濟部能源局所提出的「再生能源年度推廣目標及配比」，以 2020 年再生能源累積設置容量應達 6,328 千瓩，至 2025 年累計裝置容量應達總電力裝置容量 15.9%，作為外生衝擊，模擬出 2010 年至 2025 年發電結構的變化，如圖 12 所示。再生能源(含水力)佔發電比例從 2011 年的 2.5% 增加至 2020 年的 4.0%，2025 年則佔 5.3%，故化石燃料仍然是主要的電力供應來源，至 2025 年其比重仍高達 77.49%。值得注意的是，固然 2025 年累計裝置容量達總電力裝置容量 15.9%，但實際發電貢獻量僅佔 5.3%。

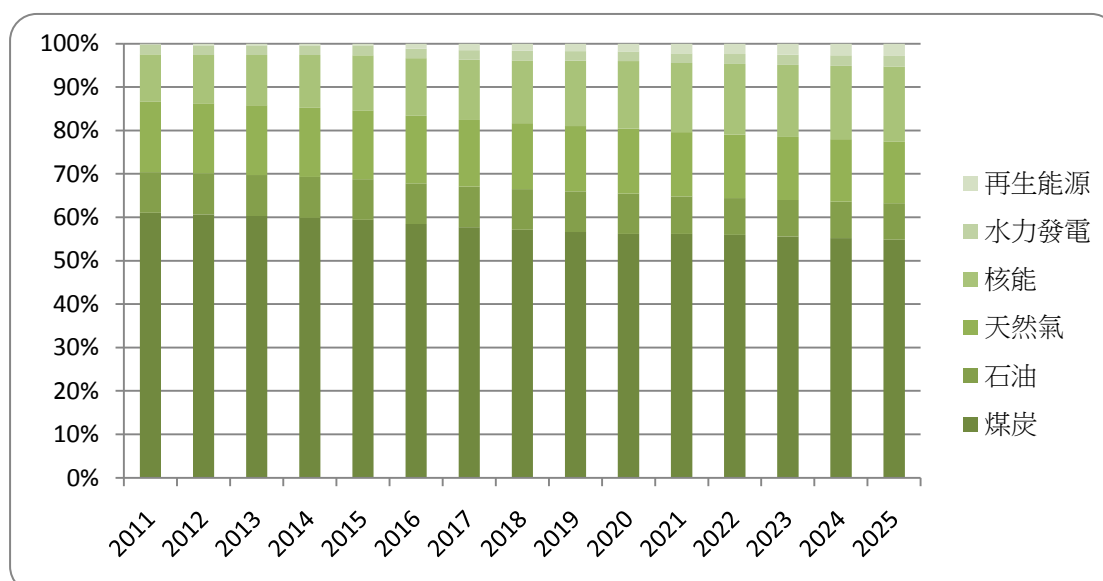


圖 12、發電結構預測值

資料來源：本研究

電力供應結構改變後，CO₂ 總排放量隨著再生能源使用增加而較基準情境之 CO₂ 總排放量為低。2020 年與基準情境相比 CO₂ 排放量將會減少約 5.51 百萬噸，而 2025 年則將會減少 14.23 百萬噸。依照「國家節能減碳總計畫」所提出之全國二氧化碳減量排放目標：2020 年回到 2005 年排放量（約 257 百萬噸）、2025 年回到 2000 年排放量（約 218 百萬噸）來計算減量效果，則模擬結果在 2020 年與 2025 年對整體二氧化碳減量貢獻比分別為 2.97%與 4.38%。

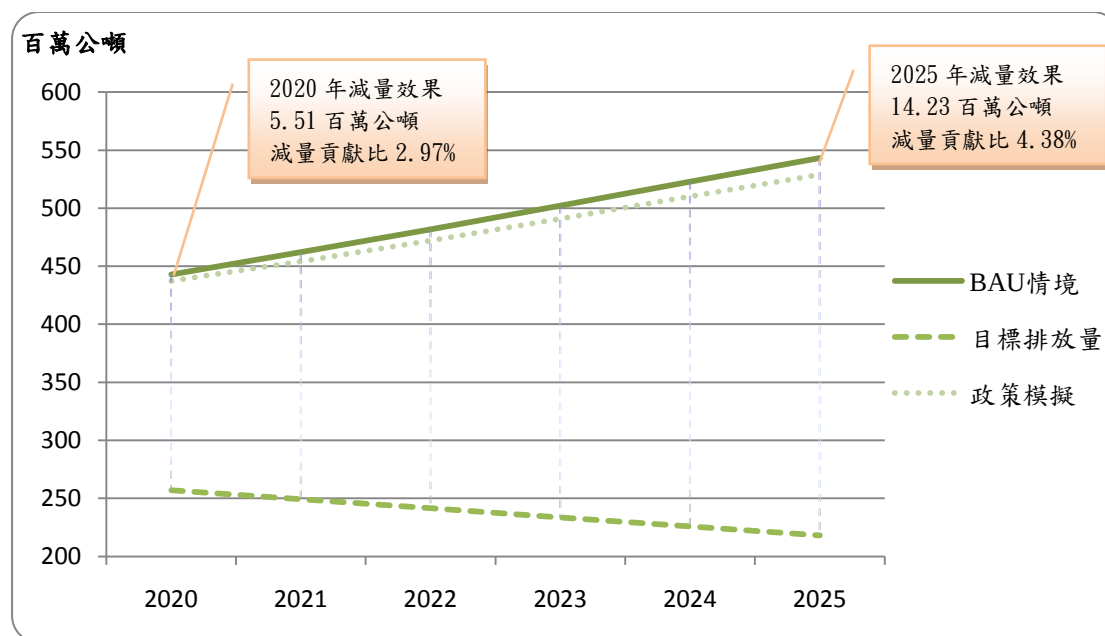


圖 13、二氧化碳排放量與減量效果之模擬

資料來源：本研究

各部門累計減量效果最顯著者依序為：「火力發電-汽力機組-燃煤」、「石油化工原料」、「生鐵及粗鋼」、「焦炭及其他煤製品」、「火力發電-汽力機組-燃氣」、「電力部門」、「其他陸上運輸」、「燃氣」以及「石油煉製品」。由於再生能源的使用，替代部分煤及原油的使用量，故使得大量使用此兩種傳統發電原料之產業部門之減量效果特別顯著。「火力發電-汽力機組-燃煤」部門之累計減量較 BAU 情境減少 23.08%，「石油化工原料」部門則減少 12.73%，「生鐵及粗鋼」和「焦炭及其他煤製品」部門各約下降 7.5%。

由上述模擬結果顯示，實施節能減碳策略如改變發電能源組合，能達到二氧化碳減量效果，但至 2025 年高碳能源之使用比例仍高，故如何將高碳能源低碳使用，是目前在能源科技研發所面臨的關鍵問題。目前被視為「關鍵技術」者包括：能源使用效率、供應端發電效率、再生能源、碳捕獲與封存及核能發電等（經濟部能源局，2010）。此外，增加再生能源發電的使用對減量目標之貢獻度僅約 4%，距離原定之排放目標，仍有其減排缺口存在，故需配合其他二氧化碳的減量政策，如：提高發電效率、碳權經營、提高能源效率等，來彌補減量缺口。

6. 結論與建議

第十五屆聯合國氣候變遷會議後，UNFCCC 協議非附件一國家須提出國家適當減緩行動(NAMAs)。台灣雖非公約締約國，但為避免未來企業遭到制裁，並且利用此一機會向國際宣示台灣氣候政策說帖，行政院亦於會後宣布台灣溫室氣體減量目標與期程：全國二氧化碳排放量於 2020 年回到 2005 年之水準，並於 2025 年降至 2000 年之水準。為落實此一預期減量目標，經濟部能源局也訂定再生能源推廣目標：2020 年時再生能源發電裝置容量將達 6,388MW，2025 年達 8,968MW，2030 年應達 10,858MW。

故本研究以此再生能源推廣目標作為分析之情境，利用「台經院動態 3E 模型」作為分析工具，推估發電結構改變後之經濟、能源及環境所受到之影響。預測結果顯示：改變發電能源組合，與基準情境相比，至 2020 年 CO₂ 排放量將會減少約 5.51 百萬噸，而 2025 年則將會減少 14.23 百萬噸；再生能源（含水力）佔發電比例從 2011 年的 2.5% 將增加至 2020 年的 4.0%，2025 年則佔 5.3%，故化石燃料仍然是主要的電力供應來源，至 2025 年其比重仍高達 77.49%；總體實質變數之水準，受到發電成本提高所帶來的衝擊，其成長率皆較基準情境為低，但負面影響並不十分明顯；對再生能源產業而言，在政策的帶動之下，預估產值可由 2008 年 1,603 億元提高至 2015 年 9,862 億元，至 2025 年甚達 2 兆 9,734 億元，並於 2015 年可創造 137,800 人就業機會，2025 年預估其就業人力將增加 269,049 人。

由於至 2025 年高碳能源之使用比例仍高達 77.49%，故如何將高碳能源低碳使用，是目前在能源科技研發所面臨的關鍵問題。此外，增加再生能源發電的使用對減量目標之貢獻度僅約 4%，距離原定之排放目標，仍有其減排缺口存在，故需配合其他二氧化碳的減量政策，如：提高發電效率、碳權經營、提高能源效率等，來彌補減量缺口。低碳社會所需的能源科技發展與新興能源產業的商機亦需被同時考量，又能源結構與產業政策之調整期一般需 10 至 15 年，故及早因應與規劃，可降低經濟衝擊。

參考文獻

1. IEA (2009), World Energy Outlook 2009.
2. IEA (2010), Energy Technology Perspectives 2010.
3. IMF (2010), World Economic Outlook 2010.
4. IPCC (2007), IPCC Fourth Assessment Report (AR4), Climate Change 2007: Synthesis Report.
5. UNFCCC (2010), Report of the Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action under the Convention on its tenth session, held in Bonn from 1 to 11 June 2010.
6. Ahmed, Vaqar and O' Donoghue, Cathal (2007), 'CGE-Microsimulation Modelling: A Survey.'
7. Chen, Yen-Lin, Chen, Yenhaw, Tso, Chunto (2010), 'The Analysis of Historical Carbon Dioxide Emission in Taiwan', The Global View of Economy, Energy and Environment after COP15 Workshop, August 27, 2010.
8. Hoadley, Eve, Chen, Yenhaw, Tso, Chunto (2010), 'An Analysis of Renewable Electricity Production Scheme in Taiwan under NAMAs', The Global View of Economy, Energy and Environment after COP15 Workshop, August 27, 2010.
9. Jaccard, M., Murphy, R. and N. Rivers (2004), 'Energy-Environment Policy Modeling of Endogenous Technological Change with Personal Vehicles: Combining Top-Down and Bottom-Up Methods,' Ecological Economics, V51, 31-46.
10. Horridge, M. (2010), ORANI-G: A Generic Single-Country Computable General Equilibrium Model, Centre of Policy Studies and Impact Project, Monash University.
11. 台灣經濟研究院 (2006),「京都議定書經濟影響評估模型之建立、持續維護及調整 (1/5)」,行政院經濟建設委員會九十四年度委託研究計畫研究報告, 94122202-01, 2006。
12. 台灣經濟研究院 (2010),「能源國家型科技計畫經濟、能源與環境 (3E) 政策評估模型之功能擴充、維護與應用計畫 (1/3)」,行政院國家科學技術發展基金管理會九十八年度補助計畫, NSC 98-3114-P-301 -001, 2010。
13. 經濟部 (2009),「綠色能源產業旭升方案」, 2009 年 4 月 23 日。
14. 經濟部能源局 (2010),「2010 年能源產業技術白皮書」, 2010 年 4 月。
15. 左峻德、陳彥豪、劉婉柔 (2009),「永續發展之經濟、能源與環境政策研究趨勢分析」, 碳經濟第 14 期, 2009 年 8 月。
16. 劉婉柔 (2010),「台灣再生能源推廣之經濟、能源及環境分析」, 台經月刊第 33 卷第 11 期, 2010 年 11 月。
17. 歐嘉瑞 (2010),「我國再生能源發展策略」, 經濟部能源局, 2010 年 7 月。