

我國再生能源躉購之社會成本效益評估

劉致峻

台灣綜合研究院

摘要

目前我國的再生能源推廣目標是否可兼顧我國能源、環境與經濟發展目標甚至於社會公平，有賴一完整的再生能源躉購之社會成本效益評估模型建構。故本研究除進行再生能源躉購對我國電價、物價、產業產出與二氧化碳排放之影響評估之外，亦針對再生能源躉購之社會成本效益進行評估試算。

在本研究所假設條件下，初步分析社會成本效益的結果：由於目前部份再生能源之設備成本依舊偏高，導致相關電能躉購、設備補貼之金額龐大，若再考量再生能源無法提供備載容量之成本及經濟減緩等外部成本，即使將再生能源所帶來諸如 CO₂ 減量、產業帶動效果、自產能源對供電安全性的效益與躉購費率低於迴避成本等外部效益納入，尚存在**負社會淨效益**。

故在部分再生能源成本尚有明顯下降空間的狀況下，初期發展目標似宜以較和緩的「漸進目標」來取代初期發展目標較高的「積極目標」，以兼顧能源安全、再生能源產業之投資發展、經濟效益及社會公平之均衡發展。

中文關鍵字：再生能源推廣目標、躉購費率、社會成本效益評估。

Key Words : Renewable Energy Targets, Feed-in Tariff, Social Cost and Benefit Analysis.

壹、前言

一、研究緣起

為推廣再生能源利用，增進能源多元化，改善環境品質，帶動相關產業及增進國家永續發展，我國於98年7月8日頒布「再生能源發展條例」，明定政府得衡量國內再生能源開發潛力、對國內經濟及電力供應穩定之影響，自本條例施行之日起二十年內，每二年訂定再生能源推廣目標及各類別所占比率；再生能源發電設備獎勵總量為總裝置容量650萬瓩至1,000萬瓩，又當其獎勵之總裝置容量達500萬瓩時，中央主管機關應視各類別再生能源之經濟效益、技術發展及相關因素，檢討依第四條第三項所定辦法中規定之再生能源類別。

該條例藉由再生能源躉購費率審定委員會審定通過之再生能源發電躉購計算法式及費率，使躉購費率不得低於國內電業化石燃料發電平均成本，以提供再生能源設備設置者合理利潤的獎勵，並每年檢討修正。

此外，該條例要求經營電力網的電業應併聯、躉購再生能源所生產之電能，並規範電業按非再生能源發電之總發電量繳交再生能源基金，提供電價、設備與示範推廣等之基金來源，再由立法院通過相關預算的方式，來進行穩健、有計畫的再生能源發展投資，以推動達成再生能源發電設備獎勵總量目標。

藉由此條例的通過，我國再生能源的發展將邁入一個新紀元。舉例來說，經濟部在99年3月26日「新能源發展推動會第一次會議」及99年8月16日「新能源發展推動會第二次會議」中，建議99及100年個別新增太陽光電發展目標為64及70 MW、至2030年累計發展目標上調達2,500 MW。而根據99年11月初能源局統計資料顯示，99年1-10月我國太陽光電新增裝置容量已有8.4 MW，使太陽光電累計裝置容量由98年底的11 MW增加到99年10月的19.4 MW。

然而政府在整體規劃時，除了要協助排除推動再生能源的障礙、帶動再生能源產業的發展，也要考率到對經濟及對電力穩定供應的衝擊。再對經濟的衝擊面來說，目前多數再生能源發電成本仍相當昂貴，如果大量使用再生能源並將成本轉嫁一般消費者，將造成電價上漲而衝擊經濟，因此，如何妥善規劃再生能源的發展目標，以兼顧再生能源投資、產業發展、經濟效益及一般消費者的負擔，

是政府要妥為因應的挑戰。故宜以社會成本效益進行評估，以求兼顧推廣再生能源利用，溫室氣體減量及經濟發展效益。

二、 研究目標

故本研究目標即為建構完整的再生能源躉購之社會成本效益評估模型，針對目前經濟部所提出的再生能源推廣目標，進行再生能源躉購對我國電價、物價、產業產出與二氧化碳排放之影響評估，與再生能源躉購之社會成本效益之評估試算。以在往後再生能源推廣目標或相關產業發展策略之檢討時，可做為客觀評估衡量之工具。

貳、研究方法

再生能源推廣目標與電能躉購費率之執行，將會提高我國電業之售電成本，造成電價之上漲。故本研究首先將以經濟計量分析方式進行資料之分析，了解再生能源獎勵推廣目標及躉購費率執行後對我國長期電價之影響。進而評估電價上漲後對我國之經濟、能源消費與二氧化碳排放的影響。接著再採用「社會成本效益評估法」將再生能源躉購產生之外部成本與效益一併內化，進而求出社會淨效益。研究方法與流程詳述如下：

一、 基本假設與參數設定

經濟參數

1. 2010 至 2030 年名目 GDP 預估：參考民國 99 年 10 月國民所得統計之名目 GDP 資料並與 2001 至 2009 年之我國名目 GDP 成長率相乘而得。
2. 折現率則參考 99 年中央銀行發行之二十年期公債加權平均利率 2.1955%。

再生能源推廣目標

本研究根據 99 年 8 月 16 日經濟部所提出的新版再生能源推廣目標建議，希望推動我國於 2030 年達成 10,858 MW 之再生能源發電總裝置容量(其中 3,652

MW 為非獎勵量)。其中，本研究將目標年間之各年規劃累計裝置容量目標採「等量」差額成長的方式推估，以決定目標年間之各類再生能源各年累計裝置容量的獎勵目標。(詳見附表 1)

未來發售電成本預測

本研究為預測未來我國發售電成本變化，係參考台綜院 (2010)¹所建立燃料價格預測模式 (包括 ARIMA 模式、ARIMAT 模式、貝氏整合模式及數量分析)。將不同的燃料²的長期燃料價格預測結果，依我國未來再生能源目標裝置容量與經濟部能源局 98 年「長期負載預測與電源開發規劃」的「核能機組延役情境」中除了再生能源以外之裝置容量所修正之結構進行加權，求得：

1. 化石燃料發電成本 (做為再生能源躉購費率下限)
2. 台電發電成本
3. 台電購電成本
4. 迴避成本³ (2009 年為 2.16 元/度，並以之後各年燃料發電與購電成本之變動進行調整)
5. 台電售電成本⁴。

未來需電量預測

而我國未來需電量之預測部份，則亦參考經濟部能源局 98 年「長期負載預測與電源開發規劃」。唯該報告之預測為 98 至 117 年，故本研究參考台電公司之 98 年統計年報進行調整修正，並以其最後兩年之自然成長率推估 118 及 119 年之需電量。(詳見附表 2)

躉購費率

本研究引用之 99 年躉購費率係根據經濟部 99 年 1 月 25 日所公佈之「中華民國九十九年度再生能源電能躉購費率及其計算公式」之再生能源電能躉購費

1 台綜院 (2010)，長期發電燃料價格預測諮詢服務，台灣電力公司燃料處委託計畫。

2 包括台電公司各進口煤源 CIF 價格 (澳洲、印尼、大陸)、WTI 原油現貨價格及天然氣統約氣價。

3 指電業自行產出或向其他來源購入非再生能源電能之年平均成本。

4 台電售電成本包含人事成本、燃料成本、購電成本、折舊及利息成本。

率。(詳見表 1)

此外，基於國內融資體系尚未完備之前，就 1 瓩以上至 10 瓩太陽光電設置案另外提供 5 (萬元/瓩) 設備補助 (本研究在此假設補助至 2015 年)。

表1. 再生能源電能躉購費率

項目	躉購價格 (元/度)
小水力 (川流式)	2.0615
風力發電	—
1 瓩以上至 10 瓩	7.2714
10 瓩以上	2.3834
離岸系統	4.1982
地熱發電	5.1838
太陽光電	—
1 瓩以上至 10 瓩	11.1883
10 瓩以上至 500 瓩	12.9722
500 瓩以上	11.1190
一般生質能發電	2.0615
沼氣發電	—
廢棄物發電	2.0879
氫能燃料電池	—
海洋能	—
其他	2.0615

資料來源：經濟部，「中華民國九十九年度再生能源電能躉購費率及其計算公式」。

後續各年的費率變化，因為再生能源發展條例第 9 條第 1 項規定「每年應視各類別再生能源發電技術進步、成本變動、目標達成及相關因素」，檢討調整再生能源躉購費率，故本研究參考 99 年 7 月 1 日行政院「新能源發展推動會」之「再生能源推廣目標」專案小組第一次會議簡報資料，設定「躉購費率遞減率」：

1. 再生能源下限費率為「發電所需之平均化石燃料成本」
2. 太陽光電躉購費率每年遞減 8%；然為避免下降太快，導致躉購後期之躉購費率等同下限費率，本研究另假設太陽光電躉購費率較「非太陽光電、氫能燃料電池與海洋能之再生能源平均躉購費率」為低時，其躉購費率等同「非太陽光電、氫能燃料電池與海洋能之再生能源平均躉購費率」

3. 海洋能之躉購費率於 2015 年設定為 14.5 (元/度)，並每年遞減 10%；同太陽光電，假設當海洋能躉購費率較「非太陽光電、氫能燃料電池與海洋能之再生能源平均躉購費率」為低時，其躉購費率等同「非太陽光電、氫能燃料電池與海洋能之再生能源平均躉購費率」。
4. 其他再生能源每年遞減 1%；

值得注意的是，2015 年起，氫能燃料電池之躉購費率假設為 2015 年後的 1 瓩以上至 10 瓩的太陽光電躉購費率。

二、 再生能源躉購造成之電價變動對我國經濟的影響評估

本研究參考 2009 年中研院梁啟源研究員運用 Liang-Jorgenson (2003) 台灣動態一般均衡模型 (Dynamic General Equilibrium Model of Taiwan, 以下簡稱 DGEMT 模型) 所完成能源價格波動對國內物價與經濟波動的影響之研究結果，來進行再生能源推廣目標及躉購費率執行後電價的變動對我國經濟與二氧化碳之影響分析。

在進行再生能源躉購造成之電價變動計算時，本研究係在「完全轉嫁」之前提下，將台電售電成本的增額，做為台電售電價格之增額，據以準確評估未來再生能源獎勵推廣目標及躉購費率執行後，因發售電成本提高對我國長期電價之影響。

本研究假設為「完全轉嫁」，其理由有以下三點：

1. 依據「再生能源發展條例」第七條之規定：電業及設置自用發電設備達一定裝置容量以上者，依規定繳交基金之費用，或向其他來源購入電能中已含繳交基金之費用，經報請中央主管機關核定後，得附加於其售電價格上。
2. 因為本研究所引用之 DGEMT 模型係假設面對「完全競爭」市場，其個別廠商所面臨之需求線的價格彈性並非為零，而是無窮大，在沒有超額利潤的情形之下，其成本的提高必須反映在其價格之上。雖然台電為獨佔廠商，但是為一個沒有獨占利潤的獨占廠商 (根據台電 99 統計年報，台電 97 年與 98 年之稅後盈餘分別為-752.2 億元及-134.1 億元)，故應可假設合乎完全競爭的情況。

三、 再生能源躉購的社會成本效益評估

本研究運用「成本效益評估法」進行再生能源躉購的社會「淨」效益的估算。其中「社會成本」之定義：包括為「躉購費率補貼額」、「設備補助額」、「行政成本」、「再生能源不能提供備載容量無法減省之容量成本」及「經濟減緩效果」。

至於「社會效益」之定義：包括「CO₂減量效益」、「太陽光電產業帶動效果」、「風力發電產業帶動效果」、「自產能源對供電安全性的效益」與「躉購費率低於迴避成本的效益」。

再將成本與效益項目以淨現值（Net Present Value, NPV）進行加總計算，計算公式如下：

$$NPV = \sum_{t=0}^n \{ (R_t - C_t) / (1+i)^t \}$$

其中，NPV：淨現值

R_t：第 t 年之效益

C_t：第 t 年之成本

i：社會折現率

t：建設及營運年期

n：評估期間

個別成本與效益項目之計算方法則詳述如下：

（一） 社會成本

再生能源躉購、設備補貼成本與行政成本

本研究首先以前述之再生能源推廣目標，估計每年再生能源之發電量，再乘以前述之再生能源躉購費率與迴避成本之大於零之差額，估算所需之躉購費用。

其中，2015年前之太陽光電1瓩以上至10瓩設置案（其比率依據99年10月能源局統計資料，按99年10月前申請認可之容量假設為1.26%）提供5（萬元/瓩）設備補助。另本研究假設再生能源躉購與設備補貼成本之2%為行政成本。

1. 再生能源躉購補貼額=(i 類再生能源躉購費率與迴避成本之大於零之差額)
× i 類再生能源發電量
2. 2015年前太陽光電設備補助額=5(萬元/瓩)×(1瓩以上至10瓩太陽光電新增裝置)

再生能源無法提供備載容量之成本

本研究主要考量的是再生能源能否提供備載電力，。由於再生能源受限於自然環境因素，故我國的再生能源僅能提供能量效果而無容量減省效果，故無法據以向電力消費者要求容量費率。

故「再生能源不能提供備載容量之成本」為「每瓩的平均容量費率」與「每年再生能源的設備容量」

每瓩的平均容量費率估計方法：

台電高壓用電力的契約容量費率

夏 月(4個月) 213元/瓩月×4月

非夏月(8個月) 159元/瓩月×8月

合 計 2,124元/kw年

故全年合計的台電公司高壓用電力的契約容量費率即為2,124(元/瓩年)。

由此再假設各類再生能源淨尖峰發電能力：風力發電之淨尖峰能力為0%，小水力之淨尖峰能力為38.3%(依台電小水力裝置容量為12.053萬瓩，淨尖峰能力為4.6145萬瓩)，地熱、生質能及沼氣之淨尖峰能力為50%，而太陽光電則假設為75%。

其中，備載率=(淨尖峰供電能力-尖峰負載)÷(尖峰負載)

故「再生能源無法提供備載容量之成本」=2,124元/瓩×(風力發電裝置容量×100%+小水力裝置容量×61.7%+太陽光電裝置容量×25%+其他再生能源裝置容量×50%)

經濟成長減緩之社會成本估計方法

由前述之 DGEMT 模型模擬求出再生能源躉購造成之電價變動對我國經濟成長影響幅度，再乘上本研究將推算之我國 2010 至 2030 年名目 GDP 預估值。該 GDP 成長率設定為 2001 至 2009 年之我國名目 GDP 成長率。

(二) 社會效益

CO₂ 減量效益

本研究計算之再生能源 CO₂ 減量效益包括下列兩大部分：

1. 由於再生能源躉購電價補貼及設備補助反映在電價上，造成電價及能源價格上漲，從而減少各種能源的需求及對應的 CO₂ 減量，根據經濟理論還可進一步區分為所得效果（或產量效果）及替代效果兩種效益。其中，所得效果係指經濟成長減緩所帶來的 CO₂ 減量效果，而替代效果則直接取自 DGEMT 模型模擬結果。
2. 再生能源直接替代傳統能源的 CO₂ 減量效果。先計算 CO₂ 減量，再根據 Liang (2002) 求算出 CO₂ 單位減量成本（1,901 元/噸 CO₂ 至 1,949 元/噸 CO₂），求兩者之積。估計方法如下：
 - (1) 計算因擴大再生能源發電所得 CO₂ 排放量減量時，應扣除非獎勵發電量，再根據「再生能源裝置容量之年發電量⁵」計算出新增再生能源之年獎勵發電量。
 - (2) 其次，在計算新增再生能源累積年發電量所帶來的 CO₂ 減量成效方面，應估算未來我國之平均每度電所排放 CO₂。本研究參照經濟部能源局 98 年「長期負載預測與電源開發規劃」中「核能延役情境」，假設 2020 年台電公司電力排放係數為 0.540(kg CO₂/度)，2025 年為 0.530(kg CO₂/度)，及 2030 年為 0.540(kg CO₂/度)，目標年間則以自然成長率進行推估。
 - (3) 將此數值代入新增再生能源「累積」年獎勵發電量，即可得每年再生能源替代傳統能源發電所直接減少 CO₂ 排放量。

5 根據 98 年 12 月 18 日，再生能源電能躉購費率審定會 98 年度第五次會議簡報資料

躉購費率低於迴避成本的效益

由於迴避成本代表電業自行產出或向其他來源購入非再生能源電能之年平均成本。而部份再生能源（如：川流式水力）之躉購費率低於迴避成本時，代表躉購該類再生能源比電業自行產出或向其他來源購入非再生能源電能要便宜，故產生「躉購費率低於迴避成本的效益」。該效益為「迴避成本與該類再生能源躉購費率之差額」乘與「年新增之該類再生能源獎勵發電量」。

太陽光電與風力發電之產業帶動效果（考慮進口替代）

係由「太陽光電」與「風力發電」產業為滿足再生能源發展目標中「獎勵量」部份所需之年設備投資成本⁶依其「成本結構」（詳見表 2 與表 3）對應之部門（如太陽光電模組屬半導體業）乘以 95 年台灣產業關聯表的 $[I - (I - M)A]^{-1}$ 表中的「行」(column)再乘以生產價格投入係數表（A 表）「原始投入」的「列」（row）及最後再乘上本研究假設之太陽光電與風力發電產業相關部門之國內自製率（詳見表 2 與表 3）估算而得。

其中，太陽光電之成本結構係參考 99 年 10 月太陽光電發電系統商業同業公會在 99 年 10 月 16 日經濟部所召開 100 年再生能源躉購費率審定會第 1 次會議中提出簡報資料。而風力發電之成本結構則係參考澎湖中屯風力發電廠資料。

表 2. 太陽光電成本結構與自製率

項目	產業關聯表部門分類	百分比	自製率
太陽電池模組	080 光電材質與元件	68.57%	本研究假設
DC 盤/AC 盤/Pipeline	089 發電輸電及配電設備	6.67%	61.99%
Inverter	093 其他電機設備	11.43%	本研究假設
PV 基礎/PV 骨架/工事費	118 其他營造工程	13.33%	86.76%

註 1：自製率係參考 95 年國產品交易表與生產者價格交易表之中間投入比值

	Inverter 自製率	太陽電池模板自製率
2010	10%	10%
2011	10%	10%
2020	60%	60%
2030	70%	70%

註 2：目標年間以自然成長率推估；考量發展初期國內廠商難以擴充產能，故多由國外進口。

6 同再生能源躉購費率遞減率，太陽光電設置成本 2010 年為 15（萬元/KW）以每年 8% 遞減，風力發電設置成本則為 5（萬元/KW）以每年 1% 遞減

表3. 風力發電成本結構與自製率

成本細目表(以澎湖中屯發電為例)	百分比	產業關聯表部門分類
風力機組	65.6%	089 發電輸電及配電設備
塔架及基礎	12.1%	118 其他營造工程
吊車費用	1.9%	118 其他營造工程
施工機具	1.0%	118 其他營造工程
監控系統	0.0%	083 電腦產品
風力通訊管線	0.2%	085 通信器材
PC 監控盤	0.1%	083 電腦產品
800KVA 變壓器	3.9%	089 發電輸電及配電設備
15KV 配電盤	3.1%	089 發電輸電及配電設備
廠內高壓管線	0.6%	090 電線及電纜
廠內低壓管線	0.3%	090 電線及電纜
電纜溝	0.5%	118 其他營造工程
11.4KV 輸電線	8.7%	090 電線及電纜
接地設施	0.2%	090 電線及電纜
照明及航空警示燈	0.2%	091 照明設備
消防及警報設施	0.1%	093 其他電機器材
電器室通風設備	0.0%	093 其他電機器材
備品	1.6%	093 其他電機器材

產業關聯表部門分類	百分比	自製率
083 電腦產品	0.11%	43.84%
085 通訊設備	0.22%	50.08%
089 發電輸電及配電設備(風力機組)	73.59%	同太陽光電 Inverter
090 電線電纜	9.89%	49.65%
091 照明設備	0.23%	69.41%
093 其他電機	0.17%	64.63%
118 其他營造	15.76%	86.76%

註1：自製率係參考95年國產品交易表與生產者價格交易表之中間投入比值

註2：考量發展初期國內廠商難以擴充產能，故多由國外進口。

自產能源對供電安全性的效益

再生能源屬於自產能源，故增加再生能源配比，有助於提升我國之能源安全，其效益視做降低能源安全儲存之成本。而「能源安全儲存的單位成本」為「法令對各種能源的安全儲存水準」與「能源別發電配比」之乘積。

能源安全儲存的單位成本之估計方法：

15 萬公秉原油（存四年）

油槽租金：37,064 萬÷4 年=9,266 萬/年

購油利息：43,597 萬（購油成本）×7.31%=3187 萬/年

Total：12,455 萬/年

故 1 公秉原油=830.33 元/年=1 公秉油當量

註：本研究參考梁啟源等（2004）「再生能源發展方案之社會成本效益分析」所引用之台綜院（2002）「政府儲油管理作業服務委辦計畫」之油槽租金資料；利率則參考民國 91 年台灣銀行一年期利率。

故將再生能源之獎勵發電量轉換成油當量單位後，乘以「能源安全儲存的單位成本」（國家安全儲油的成本約為 830.33 元/公秉油當量）即可獲得自產能源對供電安全性的效益。

參、實證研究

目標年間的各類再生能源分期獎勵推廣目標的累計裝置容量的規劃，以採「等量」成長決定在實務上較易執行，故本研究進行再生能源躉購電價補貼及設備補貼計算時亦採用如此假設。並得到我國未來再生能源躉購電價補貼、設備補貼及行政成本如表 4。

如表 4 所述，在依據經濟部新目標建議分析後，我國 2010 年至 2030 年再生能源躉購電價補貼將於 2029 年達到高點（因保證躉購年為 20 年，故 2010 年簽訂之再生能源躉購合約將於 2029 年終止），總金額則約為 2,732.69 億元，平均則為每年 130.13 億元。總補貼金額則為 2,790.04 億元，平均則為每年 132.86 億元。

表 4 分年再生能源躉購電價補貼及設備補貼

單位：百萬元

	躉購電價補貼額	設備補貼額	行政成本	補貼總額
2010	856.15	40.45	17.93	914.53
2011	1,724.80	44.25	35.38	1,804.42
2012	2,734.31	45.04	55.59	2,834.93
2013	3,649.91	45.04	73.90	3,768.85
2014	4,478.89	45.04	90.48	4,614.40
2015	5,246.17	45.04	105.82	5,397.03
2016	7,363.63	0.00	147.27	7,510.90
2017	9,307.95	0.00	186.16	9,494.11
2018	11,089.57	0.00	221.79	11,311.36
2019	12,718.30	0.00	254.37	12,972.67
2020	14,203.36	0.00	284.07	14,487.43
2021	15,600.86	0.00	312.02	15,912.87
2022	16,856.38	0.00	337.13	17,193.51
2023	17,979.26	0.00	359.59	18,338.84
2024	18,977.97	0.00	379.56	19,357.53
2025	19,860.31	0.00	397.21	20,257.52
2026	20,796.36	0.00	415.93	21,212.29
2027	21,625.66	0.00	432.51	22,058.17
2028	22,371.29	0.00	447.43	22,818.71
2029	23,042.01	0.00	460.84	23,502.85
2030	22,785.85	0.00	455.72	23,241.56
小計	273,268.97	264.85	5,470.68	279,004.49
平均	13,012.81	12.61	260.51	13,285.93

資料來源：本研究計算。

註：行政成本按再生能源躉購電價補貼及設備補貼之 2% 計算

補貼金額將對台電的售電成本造成影響，將補貼總合除以本研究預估之台電年需電量，可得再生能源躉購補貼總和對售電成本增加額，在完全轉嫁的假設下，獲得再生能源躉購對我國長期電價影響。2010 至 2030 年間，再生能源躉購將對我國電價造成年均約 1.4863% 的增幅。(詳見表 5)

表5 再生能源躉購對我國長期電價影響

	需電量	售電成本	補貼總和 對售電成本增加	電價增幅
	百萬度	元/度	元/度	%
2010	188,102	2.7495	0.0049	0.1768
2011	194,314	2.7577	0.0093	0.3367
2012	200,831	2.7963	0.0141	0.5048
2013	208,053	2.8360	0.0181	0.6387
2014	215,670	2.8623	0.0214	0.7475
2015	224,865	2.8927	0.0240	0.8297
2016	236,224	2.9252	0.0318	1.0870
2017	247,525	2.9561	0.0384	1.2977
2018	256,567	2.9861	0.0441	1.4767
2019	264,086	3.0150	0.0491	1.6296
2020	270,585	3.0442	0.0535	1.7591
2021	276,856	3.0738	0.0575	1.8703
2022	283,309	3.1030	0.0607	1.9563
2023	289,409	3.1319	0.0634	2.0238
2024	295,547	3.1606	0.0655	2.0729
2025	301,669	3.1892	0.0672	2.1062
2026	308,288	3.2181	0.0688	2.1388
2027	315,053	3.2468	0.0700	2.1571
2028	321,967	3.2753	0.0709	2.1646
2029	329,032	3.3036	0.0714	2.1629
2030	336,252	3.3313	0.0691	2.0756
平均	—	—	—	1.4863

資料來源：本研究計算。

對再生能源躉購造成的電價變動對我國經濟影響之結果如表 6 所示。在 2010 至 2030 年間，再生能源躉購將對我國電價造成年均 1.4863% 的增幅的狀況下，平均物價亦隨之成長 0.0954%，整體經濟亦隨之衰退每年平均 0.0147%。

表 6 再生能源躉購造成的電價變動對我國經濟影響

單位：%

	電價變動	電價變動對物價的影響	電價變動對產出的影響
2010	0.1768	0.0136	-0.0021
2011	0.3367	0.0235	-0.0036
2012	0.5048	0.0341	-0.0052
2013	0.6387	0.0424	-0.0065
2014	0.7475	0.0492	-0.0076
2015	0.8297	0.0544	-0.0084
2016	1.0870	0.0704	-0.0108
2017	1.2977	0.0836	-0.0129
2018	1.4767	0.0948	-0.0146
2019	1.6296	0.1044	-0.0161
2020	1.7591	0.1124	-0.0173
2021	1.8703	0.1194	-0.0184
2022	1.9563	0.1248	-0.0192
2023	2.0238	0.1290	-0.0198
2024	2.0729	0.1321	-0.0203
2025	2.1062	0.1341	-0.0206
2026	2.1388	0.1362	-0.0209
2027	2.1571	0.1373	-0.0211
2028	2.1646	0.1378	-0.0212
2029	2.1629	0.1377	-0.0212
2030	2.0756	0.1322	-0.0203
平均	1.4863	0.0954	-0.0147

資料來源：本研究計算。

再生能源躉購除了造成電價上漲之外，亦會因其他替代初級能源需求的增加導致其他能源價格的上漲，從而減少各種能源的需求及對應的 CO₂ 減量。此種間接 CO₂ 減量還可進一步區分為所得效果（經濟成長減緩所帶來的 CO₂ 減量）及價格替代效果。

由表 7 即可見再生能源直接替代傳統能源的 CO₂ 減量效果與上述之電價變動對 CO₂ 排放的間接效果。約可於 2030 年達到 1697.3 萬噸的 CO₂ 減量。要注意本研究這邊僅計算再生能源「獎勵」發電量所帶來的 CO₂ 減量，而非再生能源「總」發電量所帶來的 CO₂ 減量。

表 7 再生能源躉購造成的電價變動對我國 CO₂ 影響

單位：千噸 CO₂

	直接替代傳統能源的 CO ₂ 減量	電價變動對 CO ₂ 排放的間接影響		總影響
		價格替代效果	所得效果	
2010	161	144	5	310
2011	356	277	10	643
2012	594	432	15	1,074
2013	844	576	20	1,486
2014	1,109	713	25	1,884
2015	1,395	839	29	2,262
2016	1,704	1,161	40	3,150
2017	2,084	1,468	50	4,006
2018	2,562	1,772	60	4,842
2019	3,183	2,075	71	5,663
2020	4,010	2,378	81	6,468
2021	5,112	2,684	91	7,913
2022	6,201	2,982	101	9,339
2023	7,294	3,276	111	10,754
2024	8,409	3,565	121	12,154
2025	9,562	3,848	131	13,540
2026	9,913	4,151	141	14,268
2027	10,295	4,448	151	14,992
2028	10,710	4,743	161	15,717
2029	11,164	5,036	171	16,442
2030	11,662	5,137	174	16,973

資料來源：本研究計算。

表 8 為 2010 年至 2030 年以「當期值」計算之再生能源躉購的社會總效益，包含 3,182.5 億元之「CO₂ 減量效益」、383.6 億元之「太陽光電產業帶動效果」、224.5 億元之「風力發電產業帶動效果」、5.1 億元之「自產能源對供電安全性的

效益」與 57.8 億元之「躉購費率低於迴避成本的效益」，共計約 3,853.5 億元。

可看出最大的再生能源之社會效益，來自 CO₂ 減量效益，其次是各別產業的產業帶動效果，因此，CO₂ 減量與單位減量成本的變動，以及各別產業帶動的成效，將對未來再生能源發展所帶來社會效益有重大影響。後續研究如果能對相關參數的未來可能變動趨勢及其不確定性進行分析，將有助於更周詳的掌握相關社會效益。

表8 再生能源躉購的社會總效益（當期值）

單位：百萬元

	CO ₂ 減量效益	自產能源對 供電安全性的 效益	太陽光電 產業帶動	風力發電 產業帶動	躉購費率低 於迴避成本 的效益	總效益
2010	589.33	0.64	365.52	60.39	1.44	1,017.31
2011	1,223.64	1.43	1,152.46	259.06	1.44	2,638.03
2012	2,048.95	2.56	1,203.62	325.60	9.70	3,590.44
2013	2,838.83	3.69	1,200.26	371.98	17.82	4,432.58
2014	3,601.64	4.82	1,193.11	425.36	25.66	5,250.58
2015	4,329.97	5.95	1,197.43	490.08	38.07	6,061.49
2016	6,043.94	8.43	1,687.61	869.39	57.29	8,666.66
2017	7,702.82	10.92	2,859.47	1,165.14	75.90	11,814.24
2018	9,328.12	13.40	2,955.66	1,367.05	93.98	13,758.22
2019	10,925.30	15.88	3,084.01	1,611.38	111.50	15,748.07
2020	12,494.16	18.37	3,246.84	1,906.96	128.48	17,794.80
2021	15,323.53	23.62	2,942.18	1,467.74	232.59	19,989.66
2022	18,125.46	28.87	2,568.52	1,281.33	333.20	22,337.38
2023	20,910.34	34.12	2,388.92	1,286.41	430.39	25,050.18
2024	23,668.84	39.37	2,222.00	1,291.54	524.13	27,745.87
2025	26,401.03	44.62	2,066.83	1,296.71	614.46	30,423.66
2026	27,813.55	46.38	1,730.34	1,362.68	615.55	31,568.50
2027	29,216.63	48.14	1,192.34	1,394.33	616.60	32,468.04
2028	30,617.84	49.90	1,109.24	1,399.99	617.60	33,794.57
2029	32,019.21	51.66	1,031.98	1,405.70	618.56	35,127.11
2030	33,028.34	53.42	960.15	1,411.46	617.12	36,070.49
小計	318,251.45	506.18	38,358.48	22,450.29	5,781.47	385,347.88

資料來源：本研究計算。

表 9 則為 2010 年至 2030 年以「當期值」計算之再生能源躉購的社會總成本，包含 2,790.0 億元之「補貼總成本」(躉購費率補貼額、設備補助額、行政成本之和)、948.4 億元之「再生能源不能提供備載容量無法減省之容量成本」與 623.9 億元之「經濟減緩效果」，共計 4,362.3 億元。可看出最大的社會成本來自於再生能源的補貼金額，但提供備載所需成本及經濟減緩成本也不容忽視。由於再生能源設備成本變化常常相當大，如果設備成本下降速度很快，則補貼成本也可大幅降低很多。因此掌握更多相關成本變化的研究，將有助於更周詳的評估相關社會成本。

表 9 再生能源躉購的社會總成本 (當期值)

單位：百萬元

	補貼總額	再生能源無法提供備載容量之成本	經濟衰退成本	總成本
2010	914.53	190.97	277.16	1,382.67
2011	1,804.42	440.54	500.47	2,745.44
2012	2,834.93	710.65	747.27	4,292.85
2013	3,768.85	980.77	961.24	5,710.85
2014	4,614.40	1,250.88	1,151.53	7,016.81
2015	5,397.03	1,523.11	1,313.08	8,233.22
2016	7,510.90	2,040.31	1,756.83	11,308.04
2017	9,494.11	2,557.50	2,152.97	14,204.58
2018	11,311.36	3,074.70	2,520.41	16,906.46
2019	12,972.67	3,591.89	2,864.79	19,429.35
2020	14,487.43	4,109.08	3,187.37	21,783.88
2021	15,912.87	4,747.01	3,494.38	24,154.26
2022	17,193.51	5,384.93	3,770.26	26,348.70
2023	18,338.84	6,022.85	4,024.56	28,386.25
2024	19,357.53	6,660.77	4,254.22	30,272.52
2025	20,257.52	7,298.69	4,461.70	32,017.91
2026	21,212.29	7,815.89	4,676.59	33,704.77
2027	22,058.17	8,333.08	4,869.19	35,260.44
2028	22,818.71	8,850.28	5,044.61	36,713.60
2029	23,502.85	9,367.47	5,204.75	38,075.07
2030	23,241.56	9,884.66	5,160.83	38,287.06
小計	279,004.49	94,836.04	62,394.20	436,234.73

資料來源：本研究計算。

表 10 為以「當期值」計算之再生能源躉購的社會淨效益，其 2010 年至 2030 年之總合約為-508.9 億元；表 11 則為以「現值」計算之再生能源躉購的社會淨效益，本研究將表 10 之以當期值計算社會淨效益以 99 年中央銀行 20 年期公債加權平均利率進行折現，可得 2010 年至 2030 年之以現值計算社會淨效益總合約為-398.7 億元。

總體而言，在目前之再生能源推廣目標與躉購費率的假設條件下所估算之社會總成本比社會總效益大，故尚無法達到社會淨效益的平衡。

表10 再生能源躉購的社會淨效益（當期值）

單位：百萬元

	A 社會總效益	B 社會總成本	C=A-B 社會淨效益
2010	1,017.31	1,382.67	-365.36
2011	2,638.03	2,745.44	-107.41
2012	3,590.44	4,292.85	-702.41
2013	4,432.58	5,710.85	-1,278.27
2014	5,250.58	7,016.81	-1,766.23
2015	6,061.49	8,233.22	-2,171.73
2016	8,666.66	11,308.04	-2,641.38
2017	11,814.24	14,204.58	-2,390.33
2018	13,758.22	16,906.46	-3,148.24
2019	15,748.07	19,429.35	-3,681.28
2020	17,794.80	21,783.88	-3,989.08
2021	19,989.66	24,154.26	-4,164.60
2022	22,337.38	26,348.70	-4,011.32
2023	25,050.18	28,386.25	-3,336.06
2024	27,745.87	30,272.52	-2,526.65
2025	30,423.66	32,017.91	-1,594.25
2026	31,568.50	33,704.77	-2,136.27
2027	32,468.04	35,260.44	-2,792.40
2028	33,794.57	36,713.60	-2,919.03
2029	35,127.11	38,075.07	-2,947.97
2030	36,070.49	38,287.06	-2,216.57
小計	385,347.88	436,234.73	-50,886.85

資料來源：本研究計算。

表11 再生能源躉購的社會淨效益（現值計算）
（以99年中央銀行20年期公債加權平均利率2.1955%折現）

單位：百萬元

	A 社會總效益	B 社會總成本	C=A-B 社會淨效益
2010	1,017.31	1,382.67	-365.36
2011	2,581.35	2,686.46	-105.10
2012	3,437.83	4,110.38	-672.55
2013	4,153.00	5,350.64	-1,197.65
2014	4,813.71	6,432.99	-1,619.28
2015	5,437.76	7,386.03	-1,948.26
2016	7,607.84	9,926.51	-2,318.67
2017	10,148.07	12,201.29	-2,053.22
2018	11,564.00	14,210.14	-2,646.15
2019	12,952.13	15,979.83	-3,027.70
2020	14,321.07	17,531.44	-3,210.37
2021	15,741.85	19,021.48	-3,279.62
2022	17,212.78	20,303.83	-3,091.05
2023	18,888.52	21,404.00	-2,515.48
2024	20,471.69	22,335.92	-1,864.23
2025	21,965.18	23,116.20	-1,151.01
2026	22,302.09	23,811.29	-1,509.20
2027	22,444.81	24,375.17	-1,930.36
2028	22,859.94	24,834.48	-1,974.54
2029	23,250.84	25,202.12	-1,951.28
2030	23,362.35	24,798.00	-1,435.64
小計	286,534.12	326,400.86	-39,866.73

資料來源：本研究計算。

再生能源的淨效益估算，不只僅取決於發展目標的規劃，還包括未確定的技術成本、技術成本遞減速率、自製率、產業帶動效果、燃料成本及溫室氣體減量的假設，然而由於相關各項假設條件的變化很大，或者尚未研究清楚以有效掌握，所以相關估算存在相當大的不確定性。舉例而言，海洋能、離岸風力及氫能燃料電池等技術，在我國都還未能商業化，故成本數據的不確定性較高；又例如太陽光電的社會成本效益分析中，假設太陽光電的發電成本以每年8%下降，但是今年占太陽光電總成本近半的太陽光電模組價格大幅下降，可能代表太陽光電

的發電成本也會大幅下降，則太陽光電費率與其補貼金額，可能將低於原假設所估算之費率及補貼金額。

肆、結論與建議

由於氣候變遷議題的發燒，大眾期待再生能源這種可永續利用之潔淨能源之加速開發與利用，可解決傳統化石能源逐漸的耗竭及溫室氣體及傳統空氣污染物排放對環境造成的衝擊。

再生能源雖然具有自產、低環境污染且理論上取之不盡、用之不竭之特性，然因再生能源普遍具有技術仍持續發展中、供應不穩定及經濟成本較高的情形，所以我國自「再生能源發展條例」頒布後，對於相關再生能源之開發利用與推廣，宜採穩健、有計畫、漸近式地推動。而要能做到上述原則，宜以社會成本效益的角度來進行分析，故本研究目標即為建構完整的再生能源躉購之社會成本效益評估模型，並在往後再生能源推廣目標或相關產業發展策略之檢討時，可做為評估衡量之工具。

本研究目前針對經濟部最新的各項再生能源發展目標所進行社會成本效益分析的初步結果，在本研究所假設條件下，即使將再生能源所帶來諸如 CO₂ 減量、產業帶動效果、自產能源對供電安全性的效益與躉購費率低於迴避成本等外部效益納入，尚存在負社會淨效益。

由於相關假設條件的不確定因素相當高，因此本研究未來將進一步以不同但合理的各類別再生能源之技術發展與成本趨勢假設條件進行研究分析，以確定不同假設條件是否可帶來明顯不同的結果。另外，本研究未來也將針對是否以初期發展目標較和緩的「漸進目標」取代初期發展目標較高的「積極目標」，分析其成本淨效益，以對再生能源推廣目標及各類別所占比率的再行調整提出建議，以有助於擬具未來我國的短中長期再生能源發展政策與目標。

伍、參考文獻

中文部分

台電公司，民國 99 年，98 年統計年報。

台綜院，民國 99 年，99 年長期發電燃料價格預測諮詢服務，台灣電力公司燃料處委託計畫。

台綜院，民國 91 年，政府儲油管理作業服務委辦計畫，經濟部能源委員會委託計畫。

經濟部能源局，民國 98 年，98 年長期負載預測與電源開發規劃。

梁啟源，民國 98 年，「能源價格波動對國內物價與經濟活動的影響」，中央銀行經濟研究處委託計畫。

梁啟源、吳再益、郭博堯、劉致峻，民國 93 年，「再生能源發展方案之社會成本效益分析」，經建會，台灣經濟論衡。

梁啟源，民國 90 年，「油電價格變動對節約能源之影響」，中央研究院經濟所，經濟部能源委員會委託計畫。

梁啟源，民國 89 年，「溫室氣體排放減量無悔政策研擬」，行政院環保署委託計畫，EPA-89-FA11-03-262。

梁啟源，民國 89 年，「核四廠與其他替代火力發電廠社會總成本之比較」，核四再評估委員會引言報告。

英文部分

Ho, Chin-sheun, Lin, Jeff Chien-fu and Wang, Jan-sho (2001), "The Econometric Analysis Trade Relationship in Asia Pacific Area", International Conference on Trade, Investment, and Industrial Policy in the Asia-Pacific Region.

Ho, Mun S., (2000), "Modeling Trade Policies and U.S. Growth: Some Methodological Issues", Chapter 12 in Econometrics, Volume 2., pp327-376, Lawrence J. Lau: MIT Press (eds.).

Jorgenson, D.W. and Wilcoxon P. J. (1993), "Reducing US carbon emissions: An

econometric general equilibrium", *Resource and Energy Economics*, Vol. 15, No. 1, pp. 7-25.

Jorgenson, D.W. and D.T. Slesnick (1983), "Individual and Social Cost-of-Living Indexes", in D.W. Diewert and C. Montmarquette (eds.) Price Level Measurement, Ottawa, Statistics Canada.

Jorgenson, D.W. and Chi-Yuan Liang (1985), "A Study on Energy-Economic Model of Taiwan", Project Report submitted to Energy Committee, Ministry of Economic Affairs.

Chi-Yuan Liang, Po-Yao Kuo, Chih-Chun Liu, (2004), "Social Cost-Benefit Analysis on Renewable Energy Promotion Schemes in Taiwan (2003-2020)", *Taiwan Development Perspective 2004*, National Policy Foundation.

Liang, Chi-Yuan and Dale W. Jorgenson (2004), "Effect of Energy Tax on CO₂ Emission and Economic Development of Taiwan, 1999-2020", Robert Mendelsohn, Daigee Shaw and Ching-Cheng Chang (eds.), *Global Warming in the Asian Pacific*, Edward Edgar Publishing Co.

Liang, Chi-Yuan (2002), "The Effect of Carbon Tax on the Economy of Taiwan", mimeograph, Institute of Economics, Academia Sinica.

Liang, Chi-Yuan (2002), "The Effect of Renewable Energy Price Supporting Policy on CO₂ Emission and the Economy of Taiwan", Submitted to 5th Annual Conference on Global Economic Analysis, held by National Tsing-Hua University and Purdue University, June 5-7, 2002.

Liang, Chi-Yuan (2000), "The Effect of Carbon Tax and Energy Tax on the Economy of Taiwan," *Journal of Applied Input-Output Analysis*, Vol. 6, pp. 79-105.

附表 1. 我國再生能源推廣目標

年度 類別	2009	2010		2011		2015		2020		2025		2030		
	累計	新增	累計	新增	累計	2012-15 新增	累計	2016-20 新增	累計	2021-25 新增	累計	2026-30 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)	-	2,502 (2,390)	
風力 發電	陸 域	436 (436)	70	506 (436)	100	606 (436)	260	866 (436)	150	1,016 (436)	100	1,116 (436)	40	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)	-	790 (790)	0	790 (790)	58 (18)	848 (808)	77 (-25)	925 (783)	444 (-418)	1,369 (365)	-	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 (3,200.2)	140.4 (0.07)	3,340 (3200.3)	231.2 (61.15)	3,571 (3261.7)	815.4 (65.7)	4,387 (3327.5)	2,001 (85)	6,388 (3411.5)	2,580 (-5)	8,968 (3406.5)	1,890 (245)	10,858 (3652)	

註：依 8 月 16 日經濟部於「行政院新能源發展推動會」第 2 次會議提報新版再生能源發展目標建議；()表非獎勵量。

附表 2. 民國 98~117 年全國長期負載預測

年 別	電燈用電		電力用電		用電量		廠用電量	需電量	
	億度	(%)	億度	(%)	億度	(%)	億度	億度	(%)
97	582.9		1,536.5		2,119.4		52.6	2,172.0	
98	578.9	-0.7	1,451.5	-5.5	2,030.4	-4.2	52.4	2,082.8	-4.1
99	584.4	1.0	1,524.7	5.0	2,109.1	3.9	53.5	2,162.7	3.8
100	602.3	3.0	1,575.1	3.3	2,177.3	3.2	54.9	2,232.2	3.2
101	621.0	3.1	1,627.7	3.3	2,248.7	3.3	56.3	2,305.0	3.3
102	641.7	3.3	1,685.4	3.5	2,327.1	3.5	57.7	2,384.8	3.5
103	663.4	3.4	1,745.8	3.6	2,409.2	3.5	59.1	2,468.3	3.5
104	689.4	3.9	1,817.9	4.1	2,507.3	4.1	60.5	2,567.8	4.0
105	721.4	4.6	1,904.6	4.8	2,626.0	4.7	62.0	2,688.0	4.7
106	753.4	4.4	1,990.7	4.5	2,744.1	4.5	63.5	2,807.6	4.5
107	779.1	3.4	2,060.2	3.5	2,839.3	3.5	65.0	2,904.3	3.4
108	800.8	2.8	2,118.8	2.8	2,919.6	2.8	66.6	2,986.1	2.8
109	819.5	2.3	2,170.1	2.4	2,989.6	2.4	68.1	3,057.7	2.4
110	837.1	2.1	2,216.4	2.1	3,053.5	2.1	69.0	3,122.5	2.1
111	855.0	2.1	2,264.6	2.2	3,119.6	2.2	70.0	3,189.6	2.1
112	871.8	2.0	2,310.4	2.0	3,182.2	2.0	71.0	3,253.1	2.0
113	888.6	1.9	2,356.4	2.0	3,245.0	2.0	71.9	3,316.9	2.0
114	905.3	1.9	2,402.2	1.9	3,307.5	1.9	72.9	3,380.4	1.9
115	921.1	1.8	2,447.7	1.9	3,368.8	1.9	73.6	3,442.4	1.8
116	937.0	1.7	2,492.8	1.8	3,429.8	1.8	74.3	3,504.1	1.8
117	952.9	1.7	2,537.7	1.8	3,490.6	1.8	75.0	3,565.6	1.8
98-117 平 均成長率		2.49		2.54		2.53			2.51

註：民國 97 年為實績；98 年除尖峰負載為實績值外，其餘皆為預測值。