

## 第二章 文獻回顧

### 第一節 能源、經濟與環境

人類社會的發展與能源使用有著密不可分的關係，尤其在工業革命後，從森林資源濫伐至化石能源大量的使用更帶動經濟快速成長。綜觀人類社會發展歷程，多以燃燒自然資源的方式消費能源，時至今日仍有百分之八十八的能源消費以燃燒化石燃料（石油、煤與天然氣…等）的形式取得，而化石能源的使用更把「碳」能源時代推入另一個高峰期。

能源之所以如此重要，除了難以替代的特性外，在經濟活動中能源更扮演著要素投入、原料投入與消費財的角色（Velthuisen and Worrell, 1999；Boulding, 1973），因為這樣的重要性，隨著經濟的成長，人類對能源的依賴度也愈來愈高。然而生活品質的提升與人口不斷的成長（人口每年平均成長百分之二），造成人類社會對能源需求愈來愈惡化，若以當前的消費模式來看，估計至 2050 年人口將成長一倍，而能源需求將成長 1.5—3 倍，最主要的成長來自於開發中國家邁入工業化國家之需求（IEA, 2005）。

然而自然資源並非取之不盡，任何不當的資源使用都會產生耗竭性的問題。除此之外，當前能源消費主要以燃燒化石燃料取得，這類的能源取得方式雖然大大地降低能源使用成本，卻也直接或間接造成環境污染的問題，羅馬俱樂部（The Club of Rome）曾以”成長的極限”（Limits to Growth）提出警告「自然資源的耗竭與使用自然資源所造成的污染，最終會限制世界人口與經濟的成長」。因此，即使當前化石能源擁有供給上之優勢，但能源產業未來數十年仍得面對化石能源耗竭、能源安全、環境與滿足世界能源需求成長等問題（Dorian et. al, 2006）。

資源耗竭與環境污染問題愈趨嚴重，人們愈開始重視永續發展的課題，永續發展的定義為「在不危及滿足下一代需求的情況下，發展迎合現況的需求」。

達成永續發展的方式有許多，其中最重要且不可或缺的條件為充分且永續的能源供給。所以如何提供永續又有效率的能源供給，已成為經濟持續發展之重要課題，可再生能源也在這種資源再生與永續發展的前提下逐漸受到重視。

## 第二節 簡介再生能源

根據聯合國環境規劃署 (United Nations Environment Programme, UNEP) 的定義，「再生能源」係指理論上能取之不盡的天然資源，過程中不會產生污染物，例如太陽能 (solar energy)、風力 (wind energy)、地熱能 (geothermal energy)、水力能 (hydro energy)、生質能 (bioenergy) 等，都是轉化自然界的能量成為能源，並在短時間內 (幾年之內，相對於億年以上才能形成的石化燃料) 就可以再生。主要的再生能源技術包括：

- 太陽能：能源供給易受天候影響，有能源供給穩定上的問題。太陽光電與太陽熱能發電 (離網或併網)、太陽能熱水器、太陽能冷氣與太陽能熱泵系統等。
- 風力：雖然具有乾淨的特性，但風力大小變幻莫測，而有能源供給穩定上的問題。這類的設備包括，陸上型及離岸型的風力系統 (離網或併網)、機械式風能抽蓄系統 (mechanical wind pumping) 等。
- 地熱能：來自含水層、蒸氣層 (steam well)、熱乾燥岩石層 (hot dry rock) 的地熱能。
- 水力能：包含小型的水利系統至大型的水壩，不過大型水力的永續性近來持續受到關注與討論。
- 生質能：生物(動、植物及微生物)來源之有機體稱之為生質(biomass)，而可以由生質轉化成之能源稱之為生質能。
- 其他再生能源：更多的再生能源諸如波浪能與潮汐能等。(吳榮華與黃韻勳, 2004)

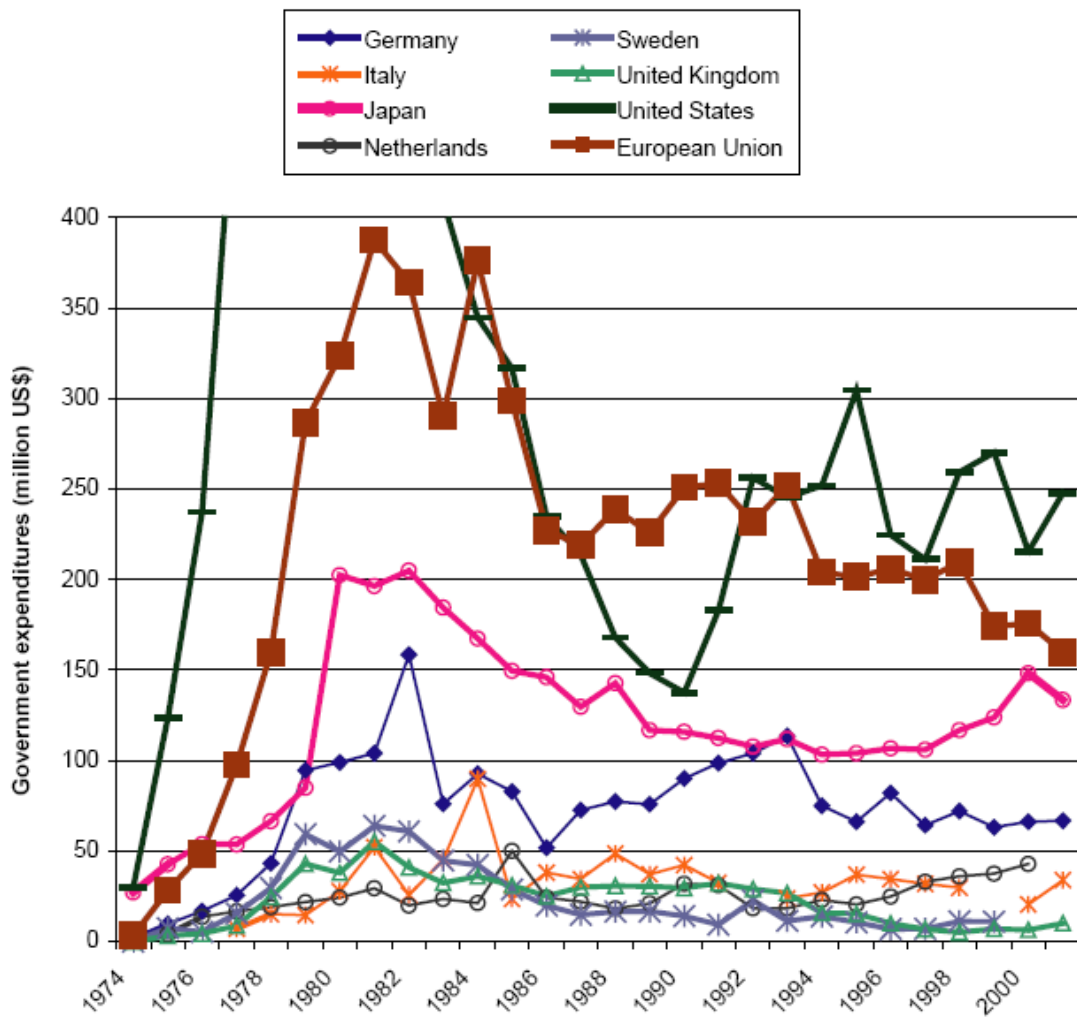
### 第三節 再生能源政策的發展

隨著經濟與人口快速的成長，能源所扮演的角色也愈加重要，尤其在第一次石油危機 (oil crisis, 1973-1974) 爆發後，更突顯出能源在經濟與戰略上的重要性。1970 年代能源危機後，各國能源政策無不以「能源安全」(energy security) 為首要考量，因此政策目標旨在尋求更廣泛的能源供給種類與來源。此後考慮到化石能源之耗竭性與對環境所產生之迫害，先進國家開始意識到須以永續性與不迫害環境為能源政策最終目標。近來由於溫室效應 (greenhouse effect) 造成全球氣候嚴重變遷 (climate change)，各國政府對再生能源之推廣也更為積極。

受到石油危機的影響，各國能源政策於 1970-80 年代以「能源安全」為首要考量，因此歐洲、美國與日本等先進國家無不致力於再生能源之研究、發展與示範 (research, development and demonstration, RD&D) 的工作上，政府於此方面之支出更於 1980 年左右達高峰 (圖 2-1)，此後再生能源政策轉而著重於促進市場的發展，因此研究與發展上的支出便一路下滑，最近 15 年歐盟國家與美國政府等研究發展之支出大致都穩定在 2 億美元左右。1970 年代末許多國家更陸續以投資抵減、租稅誘因與補貼等不同政策獎勵再生能源產業發展。

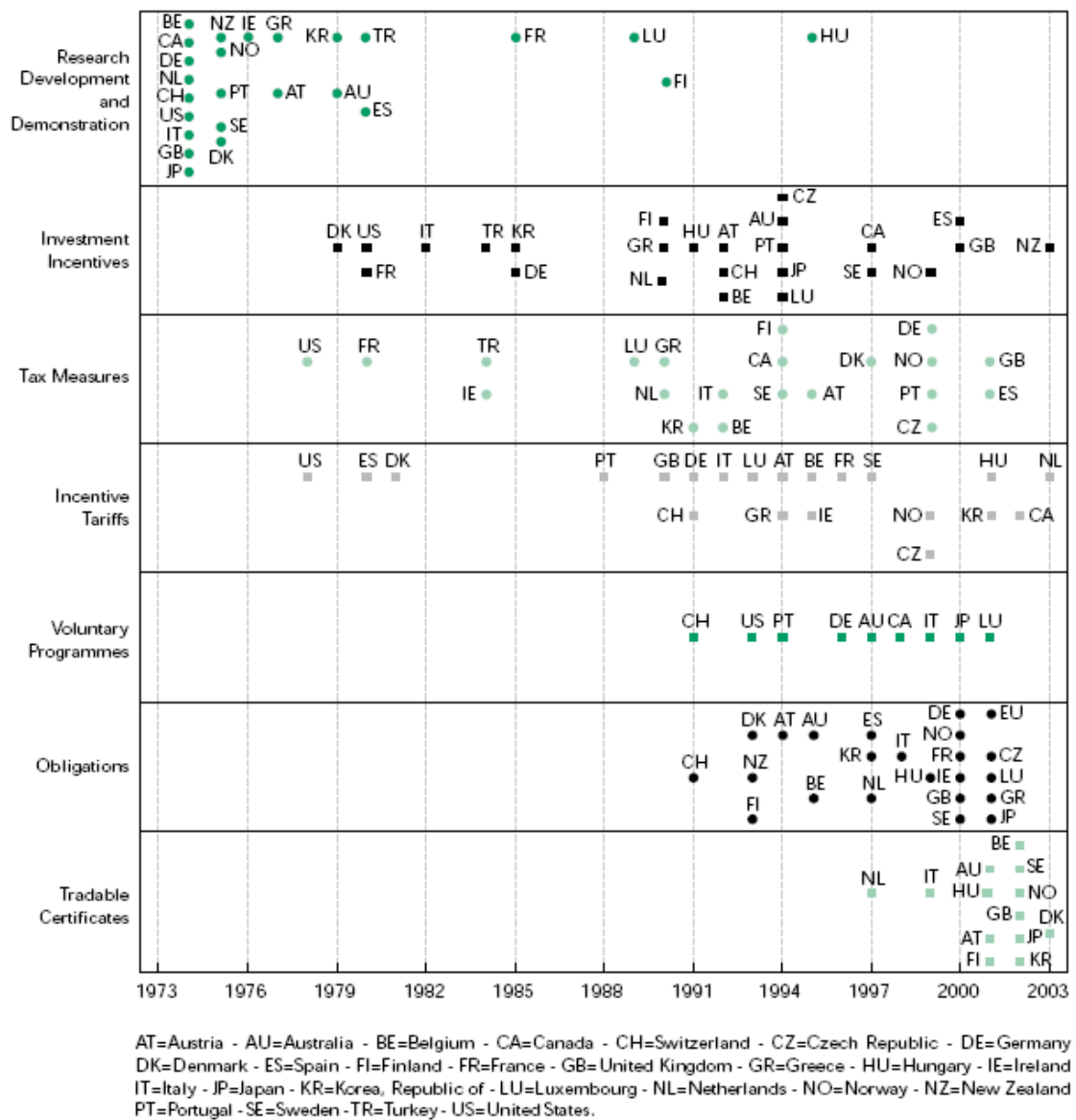
圖 2-2 說明過去 30 年來國際能源總署 (International Energy Agency, IEA) 各主要國家再生能源政策的轉變，由縱軸可以看出政策走勢從最早期石油危機後的 1970 年代起，各國政府開始從事再生能源的研究、發展與示範工作。丹麥、芬蘭與德國是最早投入再生能源研究、發展與示範的國家，隨後美國、英國與日本等也都相繼投入再生能源研究、發展與示範的行列。

當研究發展有一定的成果後，到了 1980 年左右，美國、丹麥、法國、西班牙與義大利等相繼施行投資誘因 (investment incentives)、稅收優惠 (tax measures) 與價格優惠 (incentive tariffs) 政策，獎勵市場對再生能源進行投資。美國最早於 1978 年發布公用事業管制政策法 (Public Utilities



資料來源：Guest Editorial, 2006。

圖 2-1 先進國家支出於再生能源研發上的趨勢圖



資料來源：IEA, 2004。

圖 2-2 各主要國家導入再生能源政策的時間表

Regulatory Policy Act, PURPA)，該法最早規定躉購費率（feed-in tariff）的措施，其要求公用電業有收購小型再生能源發電的義務。其後，丹麥也對風力發電設置提供資本補貼。1980年，西班牙發布節約能源法（Energy Conservation Law），透過行政管制保障再生能源發電進入電網，並享有由政府設定的價格契約保障優惠。

1990年代開始，自願性的計畫（voluntary programmes）、義務性的政策（obligations）與可交易權證（tradable certificates）等這些較新的政策相繼被施行。1990年，英國施行 NFFO（Non Fossil Fuel Obligation, NFFO）政策，其透過競標制度保證得標者於契約年內享有得標價的能源價格優惠。而自願性計畫最早由瑞士於1991年實施。

雖然圖 2-2 顯示出過去 IEA 主要國家於再生能源政策發展上的趨勢，但這樣的趨勢在政策指標上並沒有太大的意涵，因為隨著資源稟賦、經濟結構與能源目標等的不同，適合各國家的再生能源政策結構也將不一樣。

## 一、獎勵再生能源發展的主因

### （一）再生能源發展可能的貢獻

一般認為再生能源產業發展對環境、經濟與能源供給將有所貢獻（van Dijk et al., 2003；Komor and Bazilian, 2005；Sawin and Worldwatch Institute, 2004；吳榮華與黃韻勳, 2004）。

#### ■ 環境的貢獻

主要在於透過再生能源替代化石能源的使用，以降低二氧化碳排放量並減緩溫室效應的發生，且排放硫氧化物與氮氧化物所引起之環境酸害過程也可以獲得舒緩。

#### ■ 經濟的貢獻

從經濟面的角度觀之，再生能源產業的發展可以增加就業、促進經濟成

長，地區性的能源使用也同時能降低能源取得成本，並減少架構大型電網的資本支出。

## ■ 能源供給的貢獻

除了能源安全的考量外，隨著再生能源占總能源供給比重的增加，能源價格將更不易受化石燃料價格左右。因此在能源目標下，再生能源發展預期會更穩定市場能源價格。

## (二) 阻礙再生能源發展的因素

儘管發展再生能源可能有許多潛在的利益，但這些效益通常未能反映於再生能源的價格上，且能源市場更存在著許多阻礙，最主要的問題在於化石能源稅賦不公，導致傳統能源價格無法反映真實的社會成本。而未成熟的再生能源技術與未規模化生產，也使得再生能源生產成本高於傳統能源。另外，能源市場未自由化與資訊上的阻礙（如對舊技術有不好的評價）也都增加技術與投資上的風險（Sawin and Worldwatch Institute, 2004；吳榮華與黃韻勳，2004）。Beck 與 Martinot (2004) 更詳細的將這些阻礙分為三大類：

### 1. 成本與價格面

#### (1) 對傳統能源的補貼

根據世界銀行 (World Bank) 與國際能源總署 (IEA) 估計，全球每年對化石燃料的補貼約在一千至兩千億美元，這類的公共補貼 (public subsidies) 包括直接的預算移轉 (direct budgetary transfers)、租稅優惠 (tax incentives)、研發支出 (R&D spending)、租賃 (leases) 與保障融資風險等。雖然對化石燃料大量補貼讓消費者得以較低的價格使用能源，但相同的補貼如果沒有反映於再生能源上，反而會降低再生能源的市場競爭力。

#### (2) 較高的期初投資成本

再生能源的期初投入成本較傳統能源來的高，而有較高的投資風險，這樣的情況也造成投資者籌資上的困難與有較低的投資意願。

### (3) 燃料價格風險難以評估

未來燃料價格具有相當的不確定性，因此一般新設電廠的評估通常假設未來燃料價格將會穩定的增加，所以未來價格上的風險往往被予以忽略。然而隨著能源市場自由化，再生能源的使用可以避免傳統燃料發電的成本（生質能除外），進而減少燃料價格波動的風險。但是避免燃料價格風險所帶來的效益也因為評估上的困難而常常被忽略，更確切而言，燃料成本僅為發電投入要素因子，價格風險最終常由消費者承擔，因此投資決策也往往不將燃料價格風險納入考量。

### (4) 不理想的電力價格標準

當再生資源提供電力進入電網系統後，可能無法得到同等電力價值的回饋，主要有兩個因素。首先，與傳統集中式發電相比，再生能源產出多為地區性資源的使用，可以降低傳統生產所須的遠距輸配電服務與傳輸過程中的能源流失率，但輸配電業者往往以零售電率計算再生能源業者提供的電力，使得地區性的價值（降低輸配成本與電力流失）無法被反映出來。其次，再生能源屬於間歇性（intermittent）的資源，產出必須依賴天然資源提供的豐富度（如風力發電依風力強度決定產出多寡），無法由廠商自行決定，這種不穩定的能源特性也會降低再生資源的市場價值。

### (5) 交易成本（transaction costs）

再生能源計畫通常較傳統能源規模還小，而這些計畫的執行都須要許多資訊、時間等附加的交易成本，這樣的成本可能使得再生能源平均每度電的交易成本較傳統能源來的高。

### (6) 環境外部性（environmental externalities）

化石能源的使用對環境造成損害，並增加許多社會成本。與傳統能源相較，再生能源則具有「乾淨」的特性，而這樣的外部性若不能透過經濟工具予以內部化，決策者在投資時也通常不會考慮到外部性的因素。



## 2. 法律與管制面 (legal and regulatory)

### (1) 缺乏電業自由化的法律制度

在許多國家，電力公用事業握有電力生產與輸配的獨占權，公用事業在這種法律制度的保護下，私人業者通常不能在市場上進行投資與買賣的行為，而阻礙電力市場的發展。

### (2) 區位與建造上的限制

風力發電機、太陽能熱水器、太陽能光電板與生質能等再生能源設備可能受到建築上的限制，特別在城市地區更重視建築美觀、設備安全與噪音等特性，使得小型再生能源設備在設置上受到限制。而須要設置於風場較大之海岸的風力發電機，可能也會因為影響到候鳥遷移的路徑而受到限制。據此，再生能源設備的使用通常也得面臨土地競爭上的問題。

### (3) 銷售通路上的限制

傳統能源業者可能不歡迎競爭性的再生能源進入其通路，就電力市場而言，傳統發電廠商可能不願提供再生能源發電業者輸配電的服務，或以較高的價格收取輸配電費用，不利再生電力的發展。

### (4) 電網互聯的需要

在允許私人發電與電力公司進行電力借貸的情況下，如果沒有專業的電力公司或輸配電業者的協助，家計單位或商業單位使用的小型發電系統很難有機會與電網併聯，因此需要統一政策的標準，明訂電網聯結成本的義務所在。

## 3. 市場績效面 (market performance)

### (1) 缺乏貸款的機會

消費者或投資者可能因為缺乏擔保品、較低的信譽或資本市場扭曲，而無法於金融市場貸款投資再生能源設備。對鄉村地區的消費者而言，更少有機會以小額貸款的方式購買再生能源設備。也因為現行再生能源投資具有諸多的不確定性，一些大型計劃的投資者在融資貸款上也有一定的困難度。

## (2) 對技術績效的遲疑

由於欠缺足夠的市場運作經驗，再生能源技術常給人高投資成本與高投資風險的偏見，即使技術具有成本有效性，這種先入為主的偏見也常遲緩市場發展的速度。

## (3) 缺乏專業人才與資訊

再生能源市場發展需要多方面的配合，而需要大量的專業人才。投資者在資金的調度上需要專業金融人才的協助；在營運上，需要許多安置、運轉、操作維護與具商務技巧的專業人才。另外，減少資訊不對稱與降低資訊取得成本更可加速再生能源市場化的目標。

## (三) 再生能源之外部成本

雖然前述許多問題都嚴重地影響再生能源產業的發展，但再生能源的生產與消費並非零污染，只是許多再生能源技術對環境的污染較低並符合污染標準，而常常被予以忽略。可是近來逐漸受到各國政府推廣的生質燃料，在環境與經濟上的貢獻卻備受質疑，由表2-1可看出混合酒精<sup>4</sup>在空氣污染上的貢獻並非全是正的。

首先，在主要空氣污染物上，使用混合酒精在一氧化碳 (carbon monoxide, CO)、碳氫化合物 (hydrocarbons, HC)、懸浮微粒 (particulate matter) 與二氧化硫 (sulphur dioxide, SO<sub>2</sub>) 上雖然有排放減量的效果，但是在氮氧化物 (NO<sub>x</sub>) 與揮發性有機氣體 (VOC) 上的排放量卻高於傳統汽油；而在其他空氣污染物上，混合酒精也並非全然較傳統汽油來的乾淨。其次，雖然表中顯示混合酒精相對傳統汽油在空氣污染減量上有不錯的成效，但即使是純生質酒精 (E100) 也無法在這些排放物上達成完全減量的「零污染」目標，這樣的結果更顯示生質酒精的使用有其外部成本存在。

---

<sup>4</sup> 混合酒精為生質酒精與傳統汽油之混合燃料，E100 稱為純生質酒精、E20 即為含有 20% 生質酒精與 80% 傳統汽油之混合燃料。

表 2-1 混合酒精與傳統汽油在空氣污染上的比較

混合酒精 vs. 傳統汽油	
常見管制空氣污染物	
一氧化碳 (CO)	—
氮氧化物 (NO <sub>x</sub> )	+
揮發性有機氣體 (VOC)	
氣壓排出 VOC (Evaporative VOC)	+
尾排 VOC (Tailpipe VOC)	—
總影響 (VOC)	+
懸浮微粒 (Particulate matter)	—
二氧化硫 (sulphur dioxide)	—
其他有害空氣污染物	
乙醛 (Acetaldehyde)	+
苯 (Benzene)	—
1,3-丁二烯 (1,3 Butadiene)	—
硝酸基過氧乙酸 (PAN)	+
異丁烷 (Isobutene)	—
甲苯 (Toluene)	—
二甲苯 (Xylene)	—

註：加號 (+) 代表有排放減量效果，減號 (-) 則表示有高於傳統汽油的排放量。

資料來源：IEA, 2004。

除了使用過程造成空氣污染的問題外，在 UN-Energy (2007) 的報告裡也提到，生質燃料 (biofuel) 之生命週期 (life cycle) 有許多社會、經濟與生態永續性的問題。首先，生質燃料的大量使用可能會使得農作物價格上升，進而導致糧食安全 (food security) 問題的發生。糧食價格上升的問題可從兩方面來討論：第一，以農作物為原料的生質燃料將會排擠土地的使用，特別是當市場大量生產生質燃料時，勢必要使用更多的土地去種植燃料作物，而排擠其他非燃料作物耕作的機會，造成糧食價格上升的隱憂。第二，以燃料作物為能源產出的原料時，勢必造成食用價格與能源投入價格間競爭搶料的問題發生，造成燃料作物市場價格的增加，而這樣的情況現在已經反映在原料玉米與甘蔗糖近來高漲的價格上。另外，對那些貧窮又不握有糧食資源的人而言，糧食價格高漲將更不利他

們的生存。

其次，農作物的成長除了依靠土地、水與空氣等這類天然資源之外，現代化的農事耕作都免不了要使用肥料，甚至是除蟲劑等以幫助作物生長；而這類的化學原料被使用時，也都會直接或間接的污染土地、水與空氣等環境資源，進而迫害生物多樣性 (biodiversity) 的發展。除此之外，土地資源的取得也造成了環境與生物多樣性的問題發生，這樣的情況發生在熱帶地區的農民身上，許多農民為了取得更多的棕櫚油，而大量的濫伐森林以種植棕櫚樹，進而造成環境的迫害。

最後，當諸多國家在倡導再生能源的美好時，我們必須提醒這些決策者，再生能源的發展除了效益面外，也有其外部成本存在。特別從聯合國的報告中 (UN-Energy, 2007)，說明生質燃料的生命周期有許多社會、經濟與環境的問題，所以決策者在制定再生能源政策時，不應該只考慮效益面的因素，還要合理的將外部成本納入考量。

## 二、再生能源政策工具簡介

解決能源市場扭曲的問題，通常要透過政府政策的介入加以改善。政府會根據不同的政策目標與地區資源條件，以決定政策工具與再生能源技術的種類。以下我們整理 Beck 與 Martinot (2004)、IEA (2004) 與 IEA 的網頁”Global Renewable Energy Policies and Measures Database”，對主要的政策工具做簡單的介紹。

### (一) 再生能源獎勵政策 (renewable energy promotion policies)

#### 1. 價格與數量政策 (price-setting and quantity-forcing policies)

##### (1) 保證 (躉購) 價格 (guaranteed price / feed-in tariff)

政府明確規定再生能源的市場價格，並且強制要求傳統能源業者有義務全數收購，對於生產數量多寡則不設限，表 2-1 列出施行保證 (躉購) 價格政策的主

要國家。就過去的經驗來看，施行保證（躉購）價格政策的國家在促進再生能源生產與使用上都有不錯的成效，而當前台灣地區也開始試行保證（躉購）價格政策，並要求電力公司（台灣電力公司）有義務向再生能源業者收購電力，收購價格為每度電兩塊錢新台幣（經濟部能源局）。

表 2-2 施行保證（躉購）價格政策的地區

年份	累計數量	當年新增的地區
1978	1	美國
1990	2	德國
1991	3	瑞士
1992	4	意大利
1993	6	丹麥、印度
1994	8	西班牙、希臘
1997	9	斯里蘭卡
1998	10	瑞典
1999	13	葡萄牙、挪威、斯洛維尼亞
2000	14	泰國
2001	16	法國、拉脫維亞
2002	21	奧地利、巴西、捷克、印度尼西亞、立陶宛
2003	27	塞浦路斯、愛沙尼亞、匈牙利、韓國、斯洛伐克、馬哈拉斯特拉邦（印度）
2004	33	意大利、以色列、尼加拉瓜、愛德華王子島（加拿大）、安得拉邦和中央邦（印度）
2005	40	土耳其、華盛頓（美國）、愛爾蘭、中國、印度（卡納塔克邦、北安查爾邦、北方邦）
2006	41	安大略湖（加拿大）

註：2006 年為年初數據。

資料來源：REN21, 2006。

## (2) 競標系統 (bidding system / tendering system)

由政府代表大眾對電力供應者公開招標，一般由出價最低的業者依序往價高的業者得標，直至目標量完成為止。再生能源電力業者將依得標價格取得特定額度的生產契約，再生能源發電價格高於一般市場電價的部分通常由政府財政、消

費者或能源基金付擔。

### (3) 配比義務 (obligations)

大部分的義務以最終財(如發電量、油量等)為基準，也有少部分以裝置容量(capacity)為基準。再生能源配比義務 (renewable energy portfolio standard, RPS) 為一般所熟知的數量政策，是一種強制性的政策法規，其要求能源供應商有一定比例或特定數量的能源銷售來自於再生能源，而配比義務若搭配可交易權證使用，可降低許多政策上的執行成本，主要施行地區如表 2-2。

表 2-3 施行再生能源發電配比義務的地區

年份	累計數量	當年新增的地區
1997	1	麻薩諸塞州 (美國)
1998	3	美國 (康乃迪克州和威斯康辛州)
1999	7	緬因州 (美國)、新澤西州 (美國)、德州 (美國)、意大利
2001	12	美國 (亞歷桑那州、夏威夷、內華達州)、法蘭德斯 (比利時)、澳大利亞
2002	16	美國 (加州和新墨西哥州)、瓦隆尼亞 (比利時)、英國
2003	20	明尼蘇達州 (美國)、日本、瑞典、哈拉斯特拉邦 (印度)
2004	34	美國 (科羅拉多州、馬里蘭州、紐約、賓夕法尼亞州、羅德島州)、加拿大 (新斯科舍、安大略和愛德華王子島)、印度 (中央邦、卡納塔克邦、安得拉邦和奧里薩邦)、波蘭、泰國
2005	38	美國 (哥倫比亞特區、蒙大拿州和德拉瓦州)、古吉拉特邦 (印度)

資料來源：REN21, 2006。

### (4) 可交易權證 (tradable certificates)

又稱再生能源權證 (renewable energy certificate)、綠色權證 (green certificate / green labels)。可交易權證提供認證與追蹤生產來源的機制於電力市場上，權證將實質電力與再生電力對社會的貢獻區隔開來，再生電力的綠色價值將反映於權證的價格上 (van der Linden et al, 2005)。可交易權證通常由認證機關發出，依發電量或裝置容量認證，並以特定的度數(如 1,000

度)為單位(有些地區如威斯康辛州,規定再生能源電力超過其義務的部分才給予權證)。權證可與電力一起兜售,或將兩者分割於權證市場與電力市場交易。雖然權證本身並不能促進市場的供給與需要量,但當搭配數量政策共同使用時,可提高政策執行上較大的可行性。

## 2. 成本減量政策 (cost reduction policies)

成本減量在於透過政策,降低再生能源業者與消費者的成本,這類的政策主要有:

### (1) 補貼與退款 (subsidies and rebates)

政府對購置再生能源設備的消費者提供某個百分比的消費補貼或退款,降低消費者的購買成本,並增加家計單位與企業的購置意願。在台灣地區除了早期就施行的太陽能熱水器補助設置外,近來政府也對裝置容量達一峰瓦以上的太陽能光電系統給予補貼(經濟部能源局)。

### (2) 稅賦優惠 (tax relief)

美國、歐洲與日本等許多國家都有稅賦優惠政策,這類的政策有:

#### A. 投資抵減 (investment tax credits)

政府允許投資於再生能源資產的一部分得以抵減應繳的稅賦,在美國依據地方規定的不同,企業或家計單位得以 10% 至 35% 不等的投資金額扣抵稅額。

#### B. 加速折舊 (accelerated depreciation)

加速折舊法允許再生能源設備於較短的時間內提列折舊完畢。傳統直線折舊(straight-line depreciation)的方法約須攤提折舊資產 15 年至 20 年不等,但加速折舊法允許資產於 5 年內攤提完畢,也由於短時間內須攤提大量投資費用的結果,導致使用加速折舊法的廠商短期內雖然利潤較低,但因折舊費用得以扣抵稅額,廠商也得到延期支付稅賦的效果。

#### C. 產出抵減 (production tax credits)

產出抵減每年給予再生能源投資者或設備擁有者稅賦優惠,通常給予每

單位產出固定金額的稅賦抵減，例如丹麥允許每度再生能源電力產出扣抵稅額 0.1 丹麥幣，而產出抵減的效果也與產出補貼相同。

#### D. 財產稅優惠 (property tax incentives)

在美國至少有 24 個州提供再生能源資產之財產稅優惠，給予再生能源部分或全部資產不在財產稅的評價內之優惠。

#### E. 銷售稅優惠 (sales tax incentives)

在美國至少有十六個州提供銷售稅優惠政策，免除再生能源消費之零售稅率，降低消費者成本。

#### F. 污染稅的減免 (pollution tax exemptions)

以荷蘭的例子來看，當地的消費者消費傳統電力通常要被加徵化石燃料污染費用，但若是消費再生能源電力則可免除此一稅額的課徵，可間接促進消費者對再生能源的需求。

#### G. 其他 (other tax policies)

其他稅賦優惠政策諸如，再生能源收入之所得減免、再生能源設備之貨物稅或銷售稅減免與再生能源設備進口稅率的減免等。

### (3) 補助 (grants)

現今許多國家都有提供廠商再生能源資本成本上的補助，通常補助會隨著時間而遞減。例如丹麥政府於 1979 年開始提供再生能源資本補助，補助最高可達 30%。

### (4) 貸款 (loans)

投資於再生能源的風險通常較傳統能源高，因此再生能源計畫的貸款利率往往也比傳統能源來的高，所以政府常常在資本融資上給予較低的利率優惠補貼。

## 3. 公共投資與有助於市場的活動

### (1) 共同基金 (public benefit funds)

美國與歐洲地區皆有類似的政策，在美國，此基金費用是附加在電力價格



上，歐洲地區則附加於化石燃料使用上，收取費用所成立的基金將用於獎勵再生能源發展。

#### (2) 政府採購 (government procurement)

政府採購除可增加再生能源消費外，對產業而言更是一種投資誘因，現今已有許多國家在學校或其他公共設施上購置太陽能系統。

#### (3) 公眾認知 (public awareness)

藉由教育與資訊傳播，增加公眾對再生能源的認識，進而提升對再生能源的需求與供給。

### (二) 生質燃料政策 (transport biofuels policies)

巴西、美國與歐盟及許多國家都已逐漸地在推廣生質燃料政策，這類的政策通常要求運輸用的化石燃料必須添加固定百分比的生質燃料，其他相關的政策還包括稅賦優惠或政府購買等等。台灣當前也著手試行小規模的生質燃料示範計畫，大部分的產出由政府收購予公車、垃圾車等的運輸載具使用（經濟部能源局）。

### (三) 排放減量政策 (emissions reduction policies)

京都議定書 (Tokyo Protocol) 為當前最主要的溫室氣體減量計畫，於 1997 年 12 月在日本京都由聯合國氣候變化框架公約參加國三次會議所制定。其目標是「將大氣中的溫室氣體含量穩定在一個適當的水準，進而防止劇烈的氣候改變對人類造成傷害」，主要的排放減量標的物包括，硫氧化物 (SO<sub>x</sub>)、氮氧化物 (NO<sub>x</sub>) 與二氧化碳 (CO<sub>2</sub>)，而這樣的排放減量政策通常能夠間接促進再生能源發展。

### (四) 分散式發電政策 (distributed generation policies)

分散式發電系指較靠近負載端且發電容量較小之小型發電設備所組成的系統，其優點在於減少遠距供電損失、增加發電容量、提升供電品質與穩定度與

建置成本較低等（黃奕儒，2002）。

#### 1. 淨計量系統（net metering）

政府要求電力公司建立併網系統，所謂併網系統是指使用者能將再生能源發電之多餘電力賣回給電力公司，此項措施能鼓勵家庭或企業裝設再生能源系統。

#### 2. 即時電價（real-time pricing）

即時電價係按供電邊際成本定價，能切實反映不同時段（通常以一小時或半小時為計價單位）的供電成本。尖峰時段的電價很可能是離峰時段電價的十倍，甚至數十倍。在此情況下，將有助於各種負載管理設施或尖峰發電機組（尤其是分散型發電系統或所謂「在地發電機組」（on-site generation units）加入市場競爭（許志義，1999）。

#### 3. 互連互通政策（interconnection regulations）

互連互通政策主要透過法律與行政管制，要求輸配電業者有義務提供再生能源業者合理且公平的輸配電服務。

### （五）鄉村（離網地區）電力政策（rural electrification policies）

對電網無法連結到的偏遠地區而言，地區性再生能源的使用能實現鄉村電氣化的發展。例如，中國地區於2005年止，已利用再生能源替一千多個沒有電力的鄉鎮實現再生能源電力供給；泰國則計畫到2006年時，透過太陽能系統為20萬戶偏遠地區的居民提供電力服務（REN21，2006）。

## 第四節 再生能源政策工具理論基礎

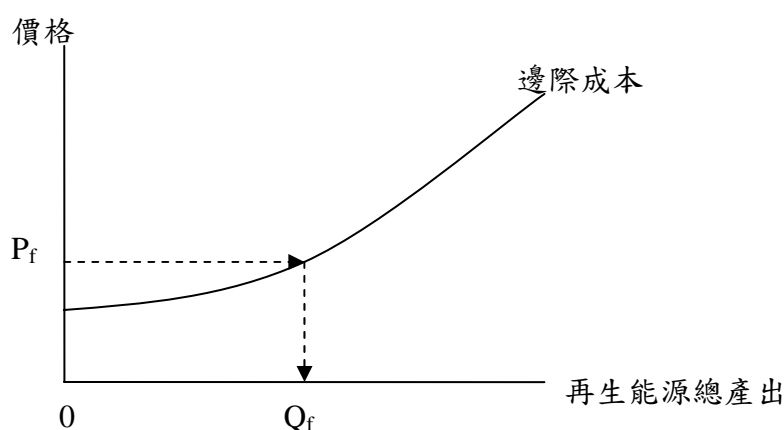
價格政策與數量政策為刺激再生能源生產最直接的方法，價格政策由政府設立適當的再生能源保證價格，並由市場自行決定產量或裝置容量；數量政策則相反，再生能源產量或裝置容量由政府決定，市場則根據目標量來決定價格。

主要廣為使用的價格政策有保證（躉購）價格（feed-in tariff），數量政策則有競標系統（bidding system / tendering system）與可交易權證制度（tradable certificate），這些政策主要的目標都在促進再生能源總使用量的增加，期望以更多的再生能源取代化石能源。就過去的記錄顯示，保證（躉購）價格制度對再生能源的建置與生產有較顯著的成果，而數量政策在推廣再生能源上就顯的比較不平穩。下面本文參考 Menanteau、Finon 與 Lamy（2003）的文獻，簡單的對數量與價格政策理論基礎做介紹：

### 一、價格政策（price-setting policies）—保證（躉購）價格（feed-in tariff）

政府規定能源業者有向再生能源業者購買的義務，並且每單位收購價格為政府規定之保證價格。保證價格通常高於一般市場價格，較高的成本將由一般消費者負擔、稅務支出負擔或消費者與稅務同時負擔。保證價格的高低和生產成本、避免成本（avoided external costs）或刺激投資的政策誘因有關，通常依照不同的技術將有不同的保證價格水準。

如圖 2-3 所示，在邊際成本表示的再生能源供給曲線下，市場的產量 $Q_f$ 將決定於保證價格 $P_f$ 的水準，而價格高於廠商邊際成本的部分就是再生能源業者所享有的「差異租」（differential rent）。



資料來源：Menanteau et al., 2003。

圖 2-3 保證價格市場

保證價格政策最大的優點在於，能給予廠商收入保障以降低投資上的風險 (Ackermann et al., 2001)。隨著區域與技術的不同而調整的保證價格政策，更可以避免集中補貼在資源較豐富的地區或生產成本較低的技術上。但是在訂出保證價格後，政府並無法預知有多少數量的再生能源會被供應到市場，且價格訂的太高時，則會給予廠商過多的報酬 (Menanteau et al., 2003； van der Linden et al., 2005)；不過這樣的問題通常可以透過價格的調整，引導市場進行適切的投資 (Morthorst et al., 2004；Ragwitz et al., 2006；Sawin and Worldwatch Institute, 2004)。

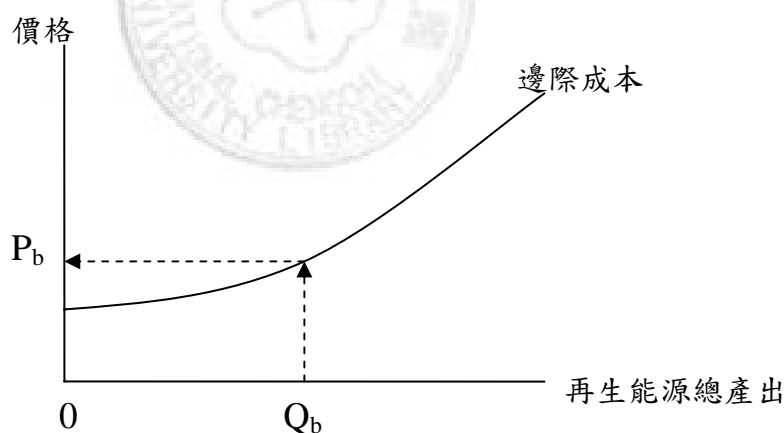
保證價格政策的缺點在於，價格與數量收購的保證導致廠商彼此間沒有競爭性，即使廠商可能透過研究發展與規模經濟降低生產成本，但這樣的成本下降只替廠商賺取更高的利潤，很少有利益會反映至消費者身上 (IEA, 2004； Ragwitz et al., 2006；Sawin and Worldwatch Institute, 2004)。

## 二、數量政策 (quantity-forcing system)

數量政策由 1990 年代開始導入，屬於較新的政策，因此相關的實證經驗較少，主要的政策有競標系統與可交易權證制度，但較少有國家施行競標性的政策，當前數量政策的主流以搭配再生能源配比義務的可交易權證為主：

### (一) 競標系統 (bidding system / tendering system)

競標系統由政府設定來自再生能源發電的最小數量(數量通常會隨著時間增加)，並對再生能源業者公開招標，藉由公開競標的方式使業者互相競爭，依序由價出最低者得標，直至目標量競標完成。此系統如一開放性的競爭市場，業者為了得標必須盡量壓低出價金額，導致競標價格幾乎等於邊際成本。如圖 2-4 所示，當再生能源目標數量決定 $Q_b$ 時，最後一單位的價格將為 $P_b$ ，政府僅給予市場邊際成本線以下的保證收入，而業者也不再享有差異租的報酬。



資料來源：Menanteau et al., 2003。

圖 2-4 競標市場

理論上，競標系統可以促進再生能源業者間的競爭性，而達成本效率與價格下降的成果。但就實務的經驗來看，競標性的政策並不比保證（躉購）價格政策來的成功。不成功的原因可能在於，斷斷續續的投標時程導致市場充滿著不確定性或複雜的投標程序所造成；另外，這種透過競標而壓低再生能源價格的方式，

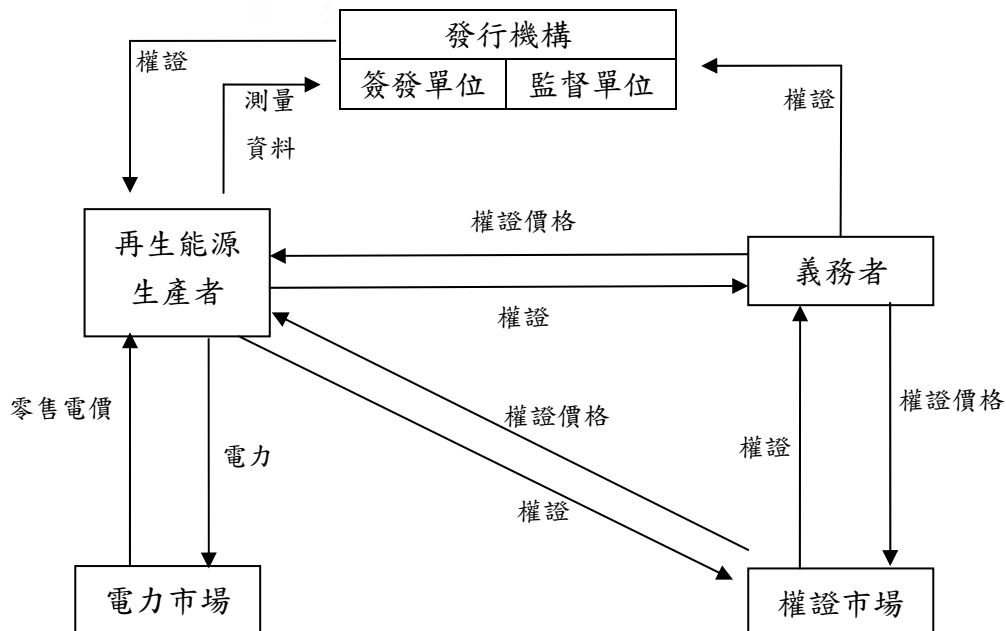
可能導致許多不具體的再生能源計畫被執行 (van der Linden et al., 2005)。

## (二)可交易權證 (tradable certificate)

於再生能源配比義務 (RPS) 下，為了使市場運作更有效率，通常會將義務與可交易權證搭配使用。此系統下，政府會設定當年度來自再生能源的最低發電量或裝置容量 (數量依最終目標或期限目標逐年增加)，並將義務數量分配至市場，如圖 2-5。義務量可加諸於發電業廠商、零售業者或消費者，並要求義務者於期限內達到規定量，義務者可透過下列方法達到政府的規定量 (Espey, 2001)：

- 從有資格的再生能源生產電力並取得權證。
- 跟其他有資格的再生能源業者同時購買電力與權證。
- 僅向有多餘權證的業者購買權證。

義務者可以透過上述的方法選擇最小成本的方式去達成目標量，而期限內未完成義務者將被課以懲罰性價格。

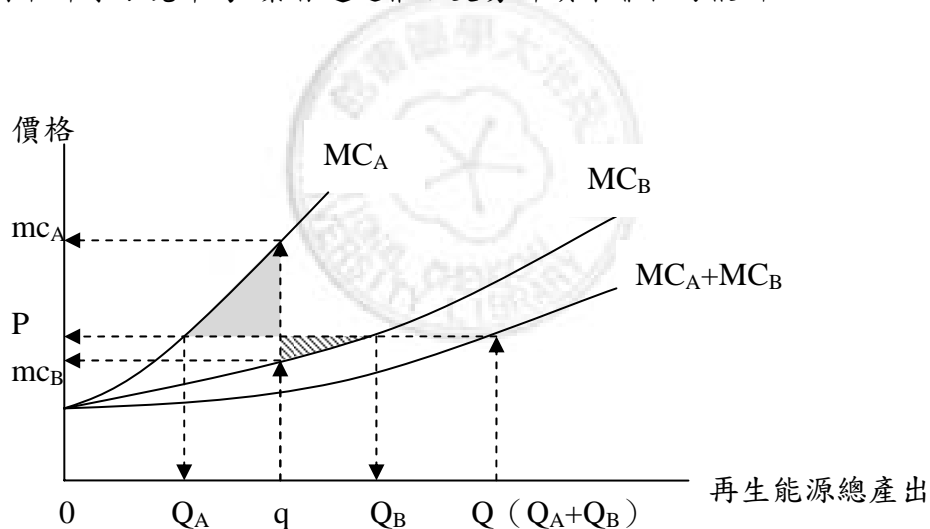


資料來源：van der Linden et al., 2005。

圖 2-5 可交易權證市場運作圖

透過權證制度，再生能源生產成本較高者，可以向生產成本較低的業者購買義務量，而成本較低的業者也可以透過權證的交易賺取差異租。如圖 2-5 所示，市場有 A、B 兩家業者，A 業者的邊際生產成本高於 B 業者的邊際生產成本。當政府規定 A、B 兩家業者都有義務生產再生能源電力至  $q$  數量時，若市場不存在可交易權證制度，A 業者將以較高的邊際成本  $mc_A$  生產與 B 業者相同的義務量  $q$ 。

若市場導入可交易權證制度，在總義務量  $Q$  下 ( $Q=2q$ )，透過市場總供給曲線 ( $MC_A+MC_B$ ) 決定市場生產的最低成本為價格  $P$ 。因此，A 業者得以生產至  $Q_A$  數量，義務量不足的部分 ( $Q_A$  至  $q$  的量) 則以市價  $P$  購得，並節省自己生產邊際成本高於市價的部份，圖中灰色方塊即為 A 業者透過權證交易所節省的成本；而 B 業者得以生產較高數量  $Q_B$ ，並將生產過剩的義務量以市價  $P$  賣給 A 業者，以賺取額外的報酬，圖中斜線方塊即為 B 業者透過權證交易所額外賺取的報酬。



資料來源：Menanteau et al., 2003。

圖 2-6 可交易權證市場

在此制度下，生產成本較高的業者，可以透過權證的購買來避免自己生產所需的高成本；而生產成本較低的業者，也得以透過權證的販售獲得部分的差異租，市場更可以因權證之交易而更有效率。因此，透過權證的交易通常可以達下列目的 (Berry, 2002)：

- 電力業者可能沒有生產再生能源的資源或設備，因此可以透過權證幫助達成義務。
- 非預期的資源短缺，如設備故障、氣候影響等，導致再生電力產出不足義務量時，可透過權證的交易達成義務，降低義務履行的風險。
- 透過權證的交易，廠商可進行長期的再生能源投資策略，除了可在權證購買與設備投資上做考量外，也有更多的資訊可與權證擁有者議價。
- 透過權證的交易可降低市場達成義務的總成本。
- 除去傳遞再生能源所需的傳輸成本，使義務者不用從外地購買再生能源至本地使用，只要從外地購買權證就好，讓再生能源電力就近被使用，減少傳輸成本與傳輸時造成的能源衰減。
- 可以克服無法實體傳輸之再生能源的交易，如太陽能熱水器很難透過能量的傳輸來交易使用，但可透過權證將其實體化，建立有用的再生資源產權。

雖然搭配權證使用之數量義務政策在理論上是較有效率的，但並不保證在實務上是可行的，主要原因在於可交易權證制度導入市場的時間不夠長久，且執行上相對其他政策也更加複雜 (van der Linden et al, 2005)。

除了有待時間考驗之外，許多不確定性也會影響權證的應用。在價格面，由於能源價格與權證價格有高度的關連性，權證價格將易受到能源價格波動的影響，這樣的波動會對再生能源業者的收益帶來許多不確定性，因此 Morthorst (2000)、Mozumder 與 Marathe (2004) 也提到，當權證市場允許儲存 (banking) 與借入 (borrowing) 時，可以降低權證價格的波動。於供給面而言，再生能源供給相當依賴於天然資源的豐富度，所以季節與天候等的變動將會影響再生能源供給，進而影響權證市場 (Mozumder and Marathe, 2004)。就需求面而言，當政府設定過高的再生能源目標時，較高的目標將耗費更多的社會成本去達成。此外，對真正需要綠色能源的消費者而言，可能無法接受不能提供實質電力的權證



商品；特別是當消費者覺得需要向其他地區購買權證時，也可能無法接受用當地住民的所得去補貼另一地區的再生資源，而無法獎勵在地再生資源的發展(Berry, 2002；Mozumder and Marathe, 2004)。

總和數量政策，其主要的優點在於，政府會設定明確的生產數量，對未來達成政策目標較具有確定性，並可提供生產者穩定且可預測的市場。而透過權證或競標更可以讓再生能源市場具有競爭性，生產成本得以最小化，並壓低市場價格(Laubor, 2004；Morthorst et al., 2004；Ragwitz et al., 2006)。

但也由於競爭的結果，導致競標制度下的再生能源業者沒有充足的利潤進行研究發展；且在數量政策鼓勵較低成本技術的同時，業者更常有向國外購買新技術的動機，而無法有效扶植國內再生能源產業的發展。其次，數量政策也造成業者集中使用較具市場競爭力的技術或集中開發資源較豐富的地區，無法兼顧不同技術與不同地區的發展。最後，當數量政策目標訂的過高時，通常會給予再生能源過高的報酬及耗費更多的社會成本。(Espey, 2001；Laubor, 2004；Menanteau et al., 2003；Morthorst et al., 2004；Ragwitz et al., 2006；van der Linden et al., 2005)。

雖然數量政策鼓勵市場競爭，並能有效降低生產成本與市場價格，但就過去的記錄顯示，保證（躉購）價格制度對再生能源的建置與生產有較顯著的成果，而數量政策推廣再生能源的過程就顯的比較不平穩；更有證據指出，至少有部分的成本減量是由於廠商向那些有實施價格政策的國家購買技術的結果。可以預測的是，長期而言，小心仔細設計的數量政策與保證（躉購）價格政策將會有相同的效果，唯一不同的地方在於，數量政策主要依賴市場力量的運作，而保證（躉購）價格政策的運行則須相當依賴於政府財政上的支出（van der Linden et al., 2005）。

表 2-4 價格政策與數量政策的比較

	優點	缺點
價格政策	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 於再生能源市場、產業發展、達成經濟與環境目標，價格政策都有不錯的成果。</li> <li>■ 可隨不同技術與區域調整價格，政策執行上較簡單、具彈性；而能隨時間與廠商學習曲線調整的價格政策，更能有效降低社會成本。</li> <li>■ 能確保投資者穩定的報酬，有效降低投資所需的風險貼水 (risk premium)。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 依賴政府財政支出，而如果沒有隨著時間調整保證價格，會過度補貼再生能源的生產，造成政府或消費者更多的負擔。</li> <li>■ 無法促進廠商彼此間的競爭。</li> <li>■ 可能無法確保達成長期再生能源目標。</li> </ul>
數量政策	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 獎勵較低成本的計畫，有效降低市場生產總成本。</li> <li>■ 提供未來市場一個確定的需要量，較易達成政策目標。</li> <li>■ 市場較具競爭性，未來較容易與傳統能源市場接軌。</li> <li>■ 政府財政負擔較低。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 投資者必須面對較高的投資風險，導致廠商較不願進行研究發展的工作。</li> <li>■ 傾向支持大規模的計畫，不適合小額投資者。</li> <li>■ 集中使用較具市場競爭力的技術，或集中開發資源較豐富的地區。</li> <li>■ 數量政策在執行上相對價格政策更為複雜，而須要更多的執行成本與交易成本。</li> <li>■ 權證價格的波動充滿不確定性，連帶影響廠商收入的穩定性。</li> <li>■ 需要更多實務上的經驗來證明其可行性。</li> </ul>

資料來源：Ackermann et al, 2001；Berry, 2002；Espey, 2001；IEA, 2004；Laubor, 2004；Menanteau et al., 2003；Morthorst et al., 2004；Ragwitz et al., 2006；Sawin and Worldwatch Institute, 2004；van der Linden et al, 2005；van Dijk et al., 2003，本研究整理。

## 第五節 淨能源 (net energy)

### 一、簡介

在被最終消費使用之前，能源的開採、運輸或轉換過程都需另以能源為要素投入來源。因此，直覺告訴我們當能源的投入大於產出時，能源生產是不符合益本原則的。特別在 1970 年代能源危機後，各國政府在選擇新能源技術的發展時，許多技術常被質疑生產所需的能源投入大於能源產出，淨能源分析 (net energy analysis) 的概念也於此同時被提出，是許多學者倡議的技術選擇指標。淨能源的定義為，扣除能源生產過程中包括開採、提煉與運輸等所需的能源成本後，剩下能被最終消費的能源 (Gilliland, 1975)。這類的能源成本包括：

1. 直接性的能源成本 (direct energy cost)：即資源萃取、運輸及維護等，這些需要以能源為最終消費的投入。
2. 間接性的能源成本包括物質成本 (material cost) 與環境成本 (environmental cost)：
  - 物質成本 (material cost)：除了直接性的能源投入外，生產運輸用的交通工具與資本設備等這類投入要素所需的能源使用量。
  - 環境成本 (environmental cost)：將外部性的成本以能源的形式計算。

生物物理學家與生態學家 (biophysical and ecological economists) 認為，淨能源分析是一種評價能源稀少性的實質指標，可以避免因市場不完全造成的貨幣評價扭曲 (Gilliland, 1975)。最極端的淨能源分析愛好者更認為，以能源為價值衡量的指標，可以避免轉換為貨幣價值時所造成的扭曲。然而新古典經濟學家卻無法接受這種忽略偏好價值的分析方法，他們認為淨能源分析僅是一種提供決策者技術選擇的指標。

如同新古典經濟學家的看法，能源分析雖不是衡量價值的適當方式，卻是能源技術選擇的適當指標。由 Cleveland、Costanza、Hall 與 Kaufmann (1984) 提出的 EROI (energy return on investment) 或 EROEI (energy return on energy investment) 是能源技術評估廣為使用的指標，計算方式為

$$EROI = \frac{\text{能源供給數量(quantity of energy supplied)}}{\text{供給過程中使用的能源數量(quantity of energy used in supply process)}}$$

供給過程中使用的能源包括直接性的能源成本與間接性的能源成本，這些能源成本在計算過程中通常會被換算成以熱量 (British thermal unit, Btu) 來表示。EROI 可視為能源的投入產出率指標，也可解釋為每單位能源投入所產出的經濟功 (economic work)。所以當 EROI 愈低時，表示該能源產出的品質愈差，反之 EROI 愈高時，則能源產出的品質愈高。欲對淨能源進一步了解的先進，可參考 Cleveland 的「Net Energy Analysis」網頁。

其他衡量淨能源的指標包括，「energy balance, EB」、「net energy value, NEV」、「net energy gain, NEG」、「energy ratio, ER」與「net energy yield, NER」，這些指標在使用上通常也會以熱量 (Btu) 為計算的標準。EB 在不同的領域有不同的定義，但在能源產出上則與 NEV 和 NEG 相同，皆為計算能源淨產量多寡之毛指標，即計算能源總產出與總投入的差額。ER 與 EROI 同為衡量每單位能源投入所產出的經濟功，但 NER 則為產出報酬率的衡量指標，其僅是將 EROI 所欲表達的結果以報酬率的型式表示。

$$NB = NEV = NEG = \text{能源總產出} - \text{能源總投入}$$

$$ER = \frac{\text{能源總產出}}{\text{能源總投入}} = EROI$$

$$NER = \frac{\text{能源總產出} - \text{能源總投入}}{\text{能源總產出}} = 1 - EROI$$

雖然上述這些都是評估能源技術良好的指標，但能源的計算方式卻仍未有一致的結果，主要的問題在於間接能源成本的計算。除了本來就難以評估的環境成

本外，如何計算勞動者成本也備受爭議，有人認為勞動沒有能源價值，有人認為應以食物量來決定，其他研究者則認為應以勞動者消費的能源來計算(Gilliland, 1975)。

## 二、各能源技術之 EROI

在Cleveland、Costanza、Hall與Kaufmann (1984) 的研究中，各種能源技術的EROI如表 2-4 所示，非再生能源中石油、天然氣與煤這類主要能源的EROI都明顯高出其他形式的能源。原油生產的EROI於 1970 年代約為 23 左右，現今的EROI則約在 20 左右 (Cleveland, 2005)，而Abelard (2003)<sup>5</sup>則指出現今煤的EROI約在 25 左右。其中最受爭議的技術仍是再生能源技術，從表 2-4 的資料中可以發現乙醇與太陽能的EROI都很低，且乙醇生產可能有能源投入大於產出的情況 (EROI < 1)。

再生能源技術有較低的 EROI，可能是技術不成熟或物理上的限制。如表 2-5 所示，審視現今再生能源技術的 EROI，纖維素乙醇、太陽能發電技術與風力發電技術都已有不錯的 EROI，但玉米酒精在 EROI 的研究上則與過去差不多。

太陽能與風力發電之 EROI 的上升是技術進步的表現，但玉米酒精與纖維素酒精則受到物理上的限制而各有不同的結果。纖維素酒精的原料大多來自廢棄或回收木料，因此能源投入的計算可能就相對種植玉米投入來的低；不過即使利用種植樹木與種植玉米相比，纖維素酒精的能源報酬仍然較玉米來的高，原因除了種植樹木所需的肥料等投入都較玉米來的少之外，樹木所含的碳水化合物也比玉米來的高，因此在 EROI 的表現上能源密度高的纖維素酒精就較玉米來的好。另外，生質燃料之 EROI 在過去的研究中有著鮮明的差異，特別是 Pimental 的研究，生質燃料總有較低的 EROI，這是因為 Pimental 總給予種植作物較高的投入評價。

---

<sup>5</sup> Abelard (2003) 網路上的研究報告並未表明EROI資料的來源，然在Cleveland (2005) 的研究中則顯示煤的EROI仍有 80 之高。

表 2-5 各能源技術之 EROI

能源技術	EROI
非再生能源	
石油與天然氣 (國內井)	
1940 年代	探勘 >100.0
1970 年代	生產約 23.0 探勘約 8.0
煤炭 (坑口)	
1950 年代	80.0
1970 年代	30.0
油頁岩	0.7-13.3
煤炭液化	0.5-8.2
地壓氣	1.0-5.0
再生能源	
乙醇 (甘蔗)	0.8-1.7
乙醇 (玉米)	1.3
乙醇 (玉米殘渣)	0.7-1.8
甲醇 (木材)	2.6
太陽能暖氣	
平板式太陽能收集器	1.9
聚焦式太陽能收集器	1.6
電力生產	
煤	
美國平均	9.0 (27.0)
西部露天煤礦	
No scrubbers	6.0 (18.0)
Scrubbers	2.5 (7.5)
水力	11.2 (33.6)
核能 (輕水式)	1.0 (12.0)
太陽能	
太陽能發電衛星	2.0 (6.0)
太陽能功率塔	4.2 (12.6)
太陽能光電板	1.7 (5.1) -10.0 (30.0)
地熱	
濕式 (液狀)	4.0 (12.0)
乾式 (岩熱)	1.9 (5.7) -13.0 (39.0)

註：電力生產中括號內的數字包含以熱耗率 2646 kcal/kWh 為基礎的質量評價。

資料來源：Cleveland et al., 1984。

表 2-6 現今再生能源技術之 EROI

能源技術	資料來源	EROI	
乙醇 玉米	Ho, 1989	0.96	
	Marland and Turhollow, 1991	1.29	
	Pimental, 1991	0.74	
	Keeney and DeLuca, 1992	0.92	
	Morris and Ahmed, 1992	1.34	
	Lorenz and Morris, 1995	1.65	
	Shapouri et al., 1995	1.20	
	Pimental, 2001	0.74	
	Graboski, 2002	1.38	
	Shapouri et al., 2002	1.38	
	Pimental, 2003	0.84	
	Pimentel and Patzek, 2005	0.84	
	Kim and Dale, 2005	1.62	
	纖維素	Tyson et al., 1993	6.61
		Lynd and Wang, 2004	4.55
		Sheehan et al., 2004	4.40
Pimentel and Patzek, 2005		0.69	
太陽能光電	rooftop	10-12	
	ground		
	amorphous silicon	3.7	
風力	Resource Research Inst., 1983	12	
	Uchiyama, 1996	6	
	Kivisto, 2000	34	
	Gagnon et al., 2002	80	
	Aust Wind Energy Assn, 2004	5	

資料來源：Hammerschlag, 2006；Patzek, 2005；世界核能協會（World Nuclear Association, WNA），本研究整理。

### 三、EROI 在經濟上的意涵

從前面的研究中，我們知道 EROI 是相當重要且明確的效率指標，當 EROI 大於 1 時，代表能源產出大於能源投入，且 EROI 越高則淨產出越大；相反的，當 EROI 小於 1 時，則有負的能源淨產出，而決策者更應該避免使用 EROI 小於 1 的技術（特別是生質燃料），以減少能源浪費使用。

綜觀現今再生能源的發展，由於環境問題日益加重，特別是解決氣候變遷的問題已達刻不容緩之際，許多國家都積極推動再生能源獎勵辦法，以減緩全球暖化的危機。然而如前所述，再生能源技術的 EROI 高低之別相當懸殊，特別是 EROI 小於 1 的技術除了沒有節能的貢獻外，更會加速化石能源的消耗。暨此，決策者在制定再生能源獎勵政策（renewable energy promotion policies）時，應該避免獎勵技術在能源投入大於能源產出的階段生產。

雖然有些國家推動再生能源發展時，會對技術的獎勵資格進行審核，但就經濟學的觀點來看，任何技術的邊際產出將持續遞減。所以即使風力發電有不錯的 EROI，但當生產者持續擴大生產規模時，風力資源較豐富的地區也將逐漸被耗盡，而 EROI 也將持續隨著風力資源的遞減而呈下降的走勢。因此，政策首要避免獎勵廠商投資於 EROI 小於 1 的階段。

決策者該如何制定再生能源獎勵政策，以避免不效率的技術被使用是本文所要研究的目標所在。其次，外部性為獎勵再生能源產出的一項重要原因，這主要是認為化石能源價格與再生能源價格未受到公平待遇，而期望透過再生能源替代化石能源以減緩環境的惡化。如果外部效益為獎勵再生能源發展的重要因素，那麼 EROI 在外部效益的衡量上將有所貢獻；如此認定的原因在於，再生能源也需要能源投入才能達到產出的目的，因此總（粗）產出扣掉總投入後所得到的淨產出才是真正能夠替代化石能源的產量，所以本文認為應該以淨產出為衡量再生能源外部效益的基準。

然而，回顧過去對於再生能源獎勵政策的研究與現今多國施行之再生能源政



策，雖然都提到再生能源在替代化石能源上的貢獻，但他們都以總（粗）產出為能源政策方向（表 2-6 整理一些理論研究使用總產出為指標的文獻），而忽略了淨能源才是真正替代化石能源的本質，造成政策可能誘導不具生產效率的再生能源廠商於市場上生產，進而引發浪費更多能源的問題發生。在下一章，我們除了提出現今再生能源政策可能獎勵不效率技術（ $EROI < 1$ ）的問題外，更以淨能源替代化石能源的基礎，提出適當的再生能源獎勵政策應以淨產出為指標。



表 2-7 一些理論研究使用總（粗）產出為指標的文獻

資料來源	文獻主題與研究內容
Amundsen and Mortensen, 2001	<p>題目：The Danish Green Certificate System: some simple analytical results.</p> <p>內容：以比較靜態模型探討綠色權證與可交易排放許可權對丹麥電力市場的長短期影響。</p>
Fristrup, 2003	<p>題目：Some challenges related to introducing tradable green certificates.</p> <p>內容：研究丹麥電力市場導入綠色權證可能遇到的困難。</p>
Jensen and Skytte, 2002	<p>題目：Interactions between the power and green certificate markets.</p> <p>內容：以簡單的模型研究義務政策對權證價格、傳統電力價格與消費者價格的影響。</p>
Jensen and Skytte, 2003	<p>題目：Simultaneous attainment of energy goals by means of green certificates and emission permits.</p> <p>內容：探討可交易排放許可權與綠色權證對電力市場的影響。</p>
Menanteau et al., 2003	<p>題目：Prices versus quantities: choosing policies for promoting the development of renewable energy.</p> <p>內容：從理論與實證的觀點，研究再生能源價格與數量政策之成效。</p>
Morthorst, 2000	<p>題目：The development of a green certificate market.</p> <p>內容：探討丹麥導入綠色權證所需面對的挑戰。</p>
Morthorst, 2001	<p>題目：Interactions of a tradable green certificate market with a tradable permits market.</p> <p>內容：探討綠色權證與可交易排放許可權間交互影響的關係。</p>
Morthorst et al., 2004	<p>題目：Analysis of trade-offs between different support mechanisms.</p> <p>內容：完整且詳細的對各種再生能源價格政策工具、數量政策工具及排放減量政策工具進行探討。</p>
Mozumder and Marathe, 2004	<p>題目：Gains from an integrated market for tradable renewable energy credits.</p> <p>內容：以理論與實證說明美國各州若導入綠色權證，在達成再生能源配比義務（RPS）目標上有較佳的成效。</p>

資料來源：本研究整理。