

### 第三章 理論模型

1970 年代能源危機後，各國能源政策無不以「能源安全」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的耗竭性與對環境所產生之迫害，先進國家開始意識到須以能源使用之永續性與不迫害環境為能源政策的最終目標。近來由於溫室效應造成全球氣候嚴重變遷，各國政府對再生能源之推廣也更為積極。

價格政策(price-setting system)與數量政策(quantity-forcing system)為刺激再生能源生產最直接的方法，這些政策主要的目標都在推廣再生能源的產出，期望以更多的再生能源替代化石能源，然這類的政策在被制訂時，往往忽略了能源之所以被產出的意義。特別是現今再生能源生產技術尚處萌芽階段，許多技術之生產未能通過「能源分析」而尚處於研究發展時期，此時政府若以促進再生能源總(粗)產出為政策目標而獎勵能源生產，可能導致不效率技術被使用，當不效率的技術被使用於能源生產時，能源耗竭與環境問題也將隨之擴大。

使用效率的再生能源技術可以減緩化石能源的耗竭性與環境問題，而不效率的再生能源技術被使用時，會加速化石能源耗竭與擴大環境問題。因此效率的生產對社會而言有正的外部性，反之不效率的技術使用會伴隨外部成本的產生，外部性的存在也為政府介入市場提供最恰當的理由。下面本文將透過理論上的研究，探討現行政策可能存在的問題，並提出合理的再生能源獎勵政策應該以淨能源產出為指標。

本章中，我們首先透過理論模型的建立，在前兩節中說明能源投入與能源產出間的關係，並探討淨能源產出在經濟上的意涵。其次，在第三節中指出現行保證(躉購)價格政策與可交易權證制度的問題，並在第四節中提出合理的價格與數量政策應以淨產出為基礎。最後，我們認為再生能源產出也有外部成本存在，因此也應該把外部成本納入政策考量的範圍內。

## 第一節 能源產出

### 一、淨能源分析 (net energy analysis)

在決定能源產出前，淨能源分析的結果將帶給決策者相當重要的啟示。參考 Huettner (1976) 的文章，假設私人廠商之能源產出  $q$  為要素投入  $x_i$  的單調遞增函數，且函數形式為

$$q = f(x_1, \dots, x_n) \quad (3.1)$$

並假設生產函數為要素投入的凹函數，且二次可微

$$\begin{aligned} f_i &> 0 \\ f_{ii} &< 0 \end{aligned} \quad i=1, 2, \dots, n$$

其次，定義淨能源產出  $n$  為總能源產出與總能源投入的差。因此，當假定固定常數  $\alpha_i$  為生產要素  $x_i$  所需之能源投入使用量時，淨能源產出將表示為

$$n = q - \sum_i \alpha_i x_i \quad (3.2)$$

$\sum_i \alpha_i x_i$  即為總能源投入，淨產出最大化一階條件為

$$f_i = \alpha_i \quad (3.3)$$

一階條件之經濟意涵說明，當所有要素之邊際能源投入  $\alpha_i$  等於邊際能源產出  $f_i$  時，淨能源產量達最大。

### 二、利潤分析—生產函數

總利潤  $\pi$  為總收益與總成本之差，當假設能源市場完全競爭，且能源價格由化石燃料價格  $P_q$  決定時，以能源價格  $P_q$  與要素  $x_i$  的價格  $P_i$  所表示的利潤函數為

$$\pi = P_q q - \sum_i P_i x_i \quad (3.4)$$

$P_q q$  即為總收益， $\sum_i P_i x_i$  為總成本。前述我們提過， $\alpha_i$  為生產要素投入  $x_i$  所

需的能源使用量；因此，假設要素  $x_i$  的價格可分別以能源價格  $P_q$  與非能源價格  $P_n$  表示

$$P_i = \alpha_i P_q + P_n \quad (3.5)$$

將 (3.5) 式代入 (3.4) 式

$$\begin{aligned} \pi &= P_q q - \sum_i (\alpha_i P_q + P_n) x_i \\ &= P_q \left( q - \sum_i \alpha_i x_i \right) - \sum_i P_n x_i \end{aligned} \quad (3.6)$$

此時隱約可看出淨能源產出與利潤的關係，(3.6) 式清楚說明利潤為淨能源產值

$P_q \left( q - \sum_i \alpha_i x_i \right)$  與非能源投入成本  $\sum_i P_n x_i$  的差，且當淨能源產出  $\left( q - \sum_i \alpha_i x_i \right)$  小於

零時，能源生產將沒有任何意義可行。而 (3.6) 式利潤最大化之一階條件為

$$P_q f_i = \alpha_i P_q + P_n \quad (3.7)$$

利潤最大化一階條件說明，要素投入之邊際成本  $(\alpha_i P_q + P_n)$  等於要素投入之邊際產值  $(P_q f_i)$ 。當我們試著以下式重新表達一階條件時

$$P_q (f_i - \alpha_i) = P_n \quad (3.8)$$

由於非能源價格  $P_n$  與能源價格  $P_q$  皆不小於零，我們也可以推斷

$$f_i \geq \alpha_i \quad (3.9)$$

比對 (3.3) 與 (3.9) 式，可以了解能源產出其實是建立於淨能源分析的基礎之上。

### 三、利潤分析—成本函數

透過前述的結果說明，能源的生產首先要能夠通過能源分析（即能源投入必須小於能源產出），若簡單假設廠商生產所需之成本  $c(q)$  由能源投入成本  $c_e(q)$

與非能源投入成本  $c_n(q)$  組成，並假設  $g(q)$  代表生產所需的能源投入函數（即產出能源  $q$  單位，需投入  $g(q)$  單位的能源），且成本函數滿足  $c'(\bullet) > 0$ 、 $c''(\bullet) > 0$ 、 $c'_n(q) > 0$ 、 $c''_n(q) \geq 0$ <sup>6</sup>、 $g'(q) > 0$  和  $g''(q) \geq 0$  的特性，則廠商之成本函數在能源價格為  $P_q$  時，將表示為

$$\begin{aligned} c(q) &= c_e(q) + c_n(q) \\ &= P_q g(q) + c_n(q) \end{aligned} \quad (3.10)$$

同時，以  $q$  為變數表示之利潤函數為

$$\begin{aligned} \pi &= P_q q - c_e(q) - c_n(q) \\ &= P_q q - P_q g(q) - c_n(q) \end{aligned} \quad (3.11)$$

等號右邊兩式  $P_q q - c_e(q)$  表示淨能源總產值，所以與前述相同，利潤來自於淨能源產出的收益與非能源投入成本之差。而 (3.11) 式之利潤最大化一階條件為

$$\begin{aligned} P_q &= c'_e(q) + c'_n(q) \\ &= P_q g'(q) + c'_n(q) \end{aligned} \quad (3.12)$$

如同 (3.7) 式，利潤最大解為產出至能源產出的邊際收入  $P_q$  等於能源產出的邊際成本  $c'_e(q) + c'_n(q)$  為止。另外再將 (3.12) 表示為

$$P_q [1 - g'(q)] = c'_n(q) \quad (3.13)$$

與 (3.8) 式相同，因為  $c'_n(q)$  不小於零，所以一階條件要求以  $g'(q)$  表示之邊際能源投入小於邊際能源產出。比較不同的地方在於，邊際能源投入等於 1 為效率指標的分界點，當  $g'(q)$  大於 1 時，表示淨能源生產小於零，因此產出沒有利潤可尋；反之當  $g'(q)$  小於 1 時，廠商能透過淨能源的產出來創造利潤，所以此處

---

<sup>6</sup> 本文往後作圖時假設非能源投入之邊際成本  $c'_n(q)$  為正的常數，此一假設將方便我們進行圖形分析，且不影响模型結果。

$g'(q)$  可視為 EROI 的倒數。

#### 四、淨能源分析與利潤分析之間的關係

本節最後以圖形來表示淨能源分析與利潤分析之間的關係。首先，前述說明廠商追求淨能源產出最大就等同於追求最大淨能源總產值，即

$$\max q - \sum_i \alpha_i x_i = \max P_q \left( q - \sum_i \alpha_i x_i \right) = \max P_q q - c_e(q)$$

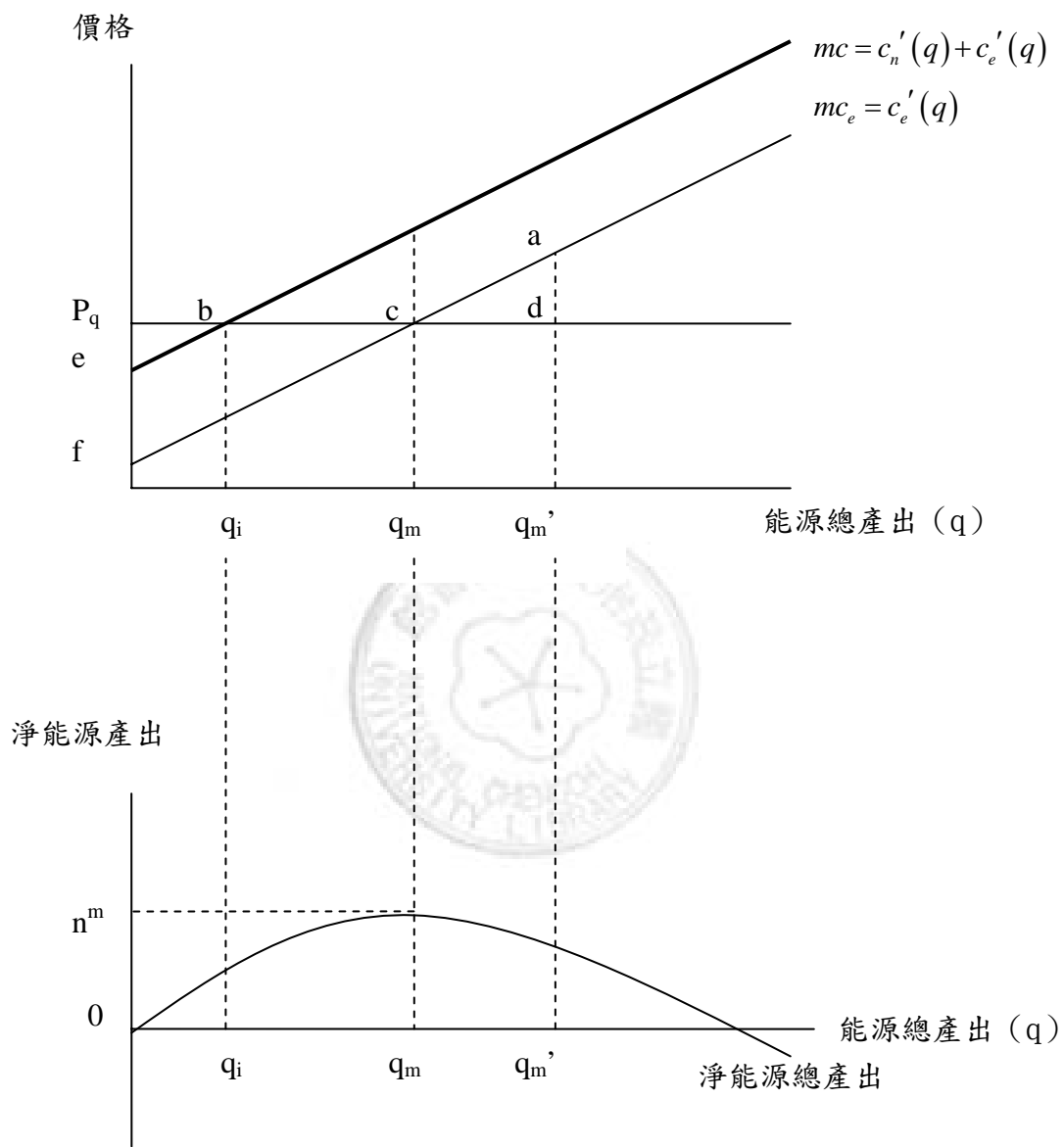
因此淨產出最大化一階條件為，淨能源邊際產值  $P_q$  等於能源投入的邊際成本  $c_e'(q)$ 。

$$P_q = c_e'(q) = P_q g'(q) \quad (3.14)$$

(3.14) 式與 (3.3) 式有相同的意涵，此條件表示投入一單位的能源等於產出一單位的能源，特別是將  $P_q$  消去時，淨產出最大化一階條件為  $g'(q)$  等於一時。

如圖<sup>7</sup>3-1 所示， $mc$  代表廠商之邊際成本， $mc_e$  為能源投入的邊際成本，所以  $mc$  與  $mc_e$  的差即為非能源投入的邊際成本。圖型顯示，廠商依據競爭的能源價格  $P_q$  與邊際成本  $mc$  決定能源產出為  $q_i$ ，大於  $q_i$  的產量則因為邊際收入小於邊際成本，不會是廠商產出上的選擇。其次，以成本函數表示淨能源最大產量的一階條件如 (3.14) 式，所以淨能源最大產量  $n^m$  為能源投入的邊際成本  $c_e'(q)$  與能源價格線  $P_q$  交點之  $q_m$  處，此交點亦表示產出已達  $g'(q)$  等於一之限制，而價格線與能源投入的邊際成本線之差即為淨能源最大產值  $\Delta P_q cf$ 。

<sup>7</sup> 基於方便性與文章的一致性，全文皆以成本函數而非生產函數進行圖形分析，此將不影響本文之研究結果。



資料來源：本研究。

圖 3-1 淨能源分析與利潤分析的比較

當產量大於  $q_m$  至  $q'_m$  時，由於資源的限制等外生變數的影響，產出已達  $g'(q)$  大於一，此時在技術限制下，產出增加會使得能源投入的邊際成本大於邊際收益 ( $mc_e > P_q$ ) (或邊際能源投入大於邊際能源產出)，此時總產出的增加反而造成總淨產出的下降， $\Delta adc$  即為邊際能源產出小於邊際能源投入時所增加的能源成本。

更進一步分析，利潤函數所隱含之邊際成本為  $mc = c'_n(q) + c'_e(q)$ 。在能源價格  $P_q$  所表示的邊際產值下，私人利潤最大的產量決策為  $q_i$ ，此時總利潤為  $\Delta P_q be$ 。因此，在非能源成本限制下，利潤最大產量  $q_i$  將小於淨能源最大產出  $q_m$ ，這也如同 (3.3) 式與 (3.9) 式所表達的訊息，利潤首要建立於淨能源分析的基礎之上。

## 第二節 再生能源淨產出與環境的關係

如同前述，能源的生產也需要以能源為要素投入因子，所以真正能夠替代化石能源的是再生能源淨產量，而不是被一般大眾所誤解的再生能源總產量。因此在外部性的部分，本文首先探討以再生能源淨產出替代化石能源之溫室氣體減量效益，第六節再進一步說明再生能源生產時，其他可能存在的外部性。

理論上通常假設廠商在短期的生產限制下，邊際成本將隨著產出的增加而上升；而本文也假設邊際成本的上升來自於非能源投入的邊際成本與能源投入的邊際成本增加所引起，不過在圖中我們已假設非能源投入的邊際成本為正的常數，所以圖中邊際成本增加是能源投入的邊際成本上升所引起，因此邊際能源淨產出隨著再生能源總產出的增加而遞減是理論上的假設限制。

邊際能源淨產出遞減的假設在理論上是說得通的，舉風力發電的例子來說，廠商總是會將風力發電機設置於風場較強的地區，但當這些風力資源較豐富的地區都被使用完時，廠商便必須考慮往風力資源較次級的地區發展，在需要相同投

入成本的限制下，將導致邊際淨產出遞減的現象發生。

暨此，假設短期單位化石能源使用所造成的環境成本為固定常數時，再生能源替代化石能源之外部效益也如同淨能源產量一樣，總效益將呈現先遞增後遞減的趨勢。

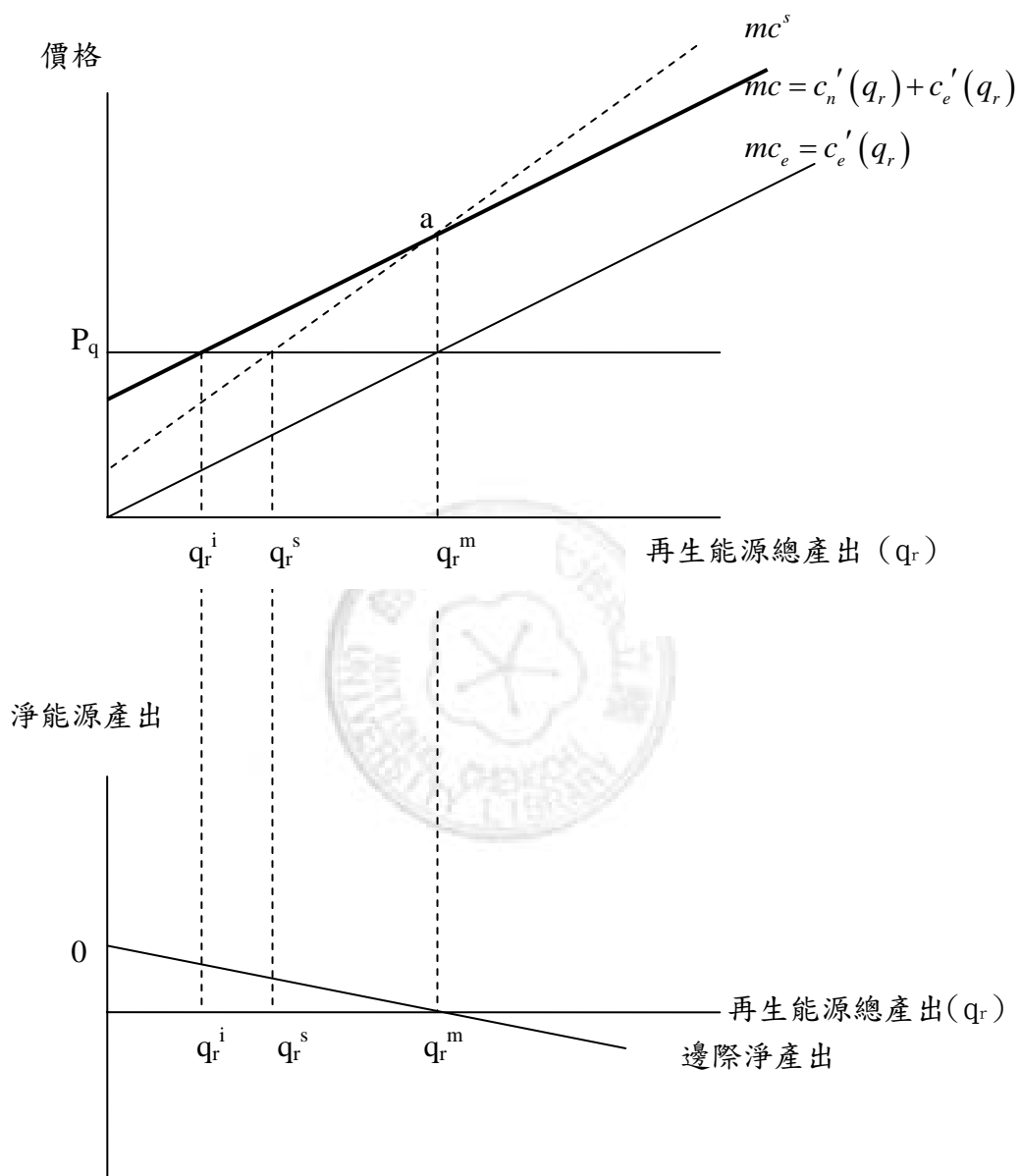
如圖 3-2，我們知道能源投入的邊際成本  $mc_e$  與價格線  $P_q$  的交點為能源淨產出之分界點（即  $g'(q)=1$  之分界點），廠商於  $mc_e < P_q$  的階段產出時有正的能源淨產出，在  $mc_e > P_q$  的階段則有負的能源淨產出。當有正的淨產出發生時，我們認為正的再生能源淨產出能替代化石燃料而具有外部效益；當負的淨產出發生時，則會加速化石能源的耗竭並產生外部成本。因此，能源投入的邊際成本  $mc_e$  與價格線  $P_q$  交點下之  $q_r^m$  產出，除了是淨產出的分界點外，也是外部效益與外部成本的分界點。

最後，反映外部性之社會邊際成本線也將如圖 3-2 之  $mc^s$  線所示，產量小於  $q_r^m$  因為存在正的淨產出之外部效益，而有較低的社會邊際成本；反之當產量大於  $q_r^m$  時，在反映外部成本的情況下，會有較高之社會邊際成本；當產出等於  $q_r^m$  時，因為邊際淨產出等於零而沒有外部性發生。因此，合理的社會邊際成本線將如圖 3-2 所示，會由下往上通過邊際成本線，兩線交叉處即表示技術達邊際能源產出等於邊際能源投入的階段。最後，也因為初期產出階段具有外部效益，所以廠商社會最適產出應該為  $mc^s$  與價格線  $P_q$  交點之較大的  $q_r^s$  產量。

外部性決定於淨能源產出的形式，淨能源產出為正時有外部效益存在，淨能源產出為負將導致能源浪費使用而產生外部成本，因此假設考慮外部性之社會總利潤函數  $\pi^s$  為

$$\pi^s = P_q [Q_r - G(Q_r)] - C_n(Q_r) + e [Q_r - G(Q_r)] \quad (3.15)$$





資料來源：本研究。

圖 3-2 淨能源產出與外部性的關係

其中， $Q_r$  為社會再生能源總產出， $G(Q_r)$  代表社會生產所需的總能源投入函數， $C_n(Q_r)$  仍為社會非能源投入之成本函數。在假設短期淨能源單位產出外部性為固定正值常數  $e$  的情況下，外部成本與外部效益完全決定於淨產量之形式。如同私人利潤函數，社會總利潤函數也說明淨產出小於零的生產是沒有意義的，而 (3.15) 式之最大化一階條件為

$$(P_q + e)[1 - G'(Q_r)] = C'_n(Q_r) \quad (3.16)$$

一階條件說明社會最適產量絕不落在邊際能源投入大於邊際能源產出處，技術不效率使用的情況也不會發生。社會最適產出條件仍決定於淨能源分析的基礎之上，最適產出將要求淨能源產出的邊際成本等於其市場價值。如 (3.17) 式，等號右邊即表示多增加一單位的淨能源產出，所需要額外增加的成本，且社會邊際成本即如 (3.18) 所示。

$$P_q + e = \frac{C'_n(Q_r)}{1 - G'(Q_r)} \quad (3.17)$$

$$MC^s = P_q G'(Q) - C'_n(Q) + e[1 - G'(Q)] \quad (3.18)$$

比較 (3.13) 與 (3.16) 式，由於此部分我們僅考慮外部效益的存在，因此私人產出決策在未納入外部項  $e$  的情況下，私人利潤最大化產量小於社會最適產出。而私人社會最適產出之一階條件會是

$$P_q + e = \frac{c'_n(q_r)}{1 - g'(q_r)} \quad (3.19)$$

因為外部性造成社會資源分配上的扭曲，所以政府通常希望透過法規或管制的手段來解決此一問題。雖然現今有與多國家都以外部效益為理由，積極透過政策獎勵再生能源產出，但是卻忽略了外部性存在的本質，進而對能源使用分配造成更大的扭曲，這樣的問題我們將在下一節予以指出。

### 第三節 以再生能源總產出為政策目標可能存在的問題

比較 (3.13) 與 (3.16) 式，由於私人產出決策未納入外部效益，因此私人利潤最大化產量小於社會最適產出。面對這種最適解不一致的問題，政府通常可以透過政策的介入來解決。

透過前述的說明我們知道，邊際淨產出遞減導致廠商在不同的產出階段有不同的外部性存在。具有效率技術的廠商於生產初期雖然因正的淨產出而有外部效益發生，但是當產量過大時，可能會因為資源等的限制，導致邊際淨產出小於零，並產生外部成本。不過前述模型也提及，利潤來自於正的淨產出，所以在市場自由運作的情況下，廠商完全不會在淨產出小於零的地方生產，只是其產出通常小於社會最適量。

也由於效率廠商在不同的產出階段有正反兩極不同的外部性，所以決策者在制定政策時應該更加小心，避免獎勵廠商在具有外部成本的階段產出。然而，當前影響價量之政策工具都以市場再生能源總（粗）產出為決策目標，這類的決策方式雖然方便市場總產量快速達到政策目的，卻也可能獎勵廠商在具有外部成本的生產階段產出，除了造成資源不恰當地分配使用，更會造成生產上浪費能源使用的情況發生。

#### 一、價格政策—保證（躉購）價格

回首 (3.11) 式，當政府以  $P_q + S$  之保證價格收購再生能源產出時，廠商的單位收入除了市場能源價格  $P_q$  外，尚額外增加了政府所給予的補貼  $S$ ，廠商  $i$  的利潤函數與最大化一階條件為

$$\begin{aligned}\pi_i &= (P_q + S)q_{ri} - c_{ei}(q_{ri}) - c_{ni}(q_{ri}) \\ &= (P_q + S)q_{ri} - P_q g_i(q_{ri}) - c_{ni}(q_{ri})\end{aligned}\quad (3.20)$$

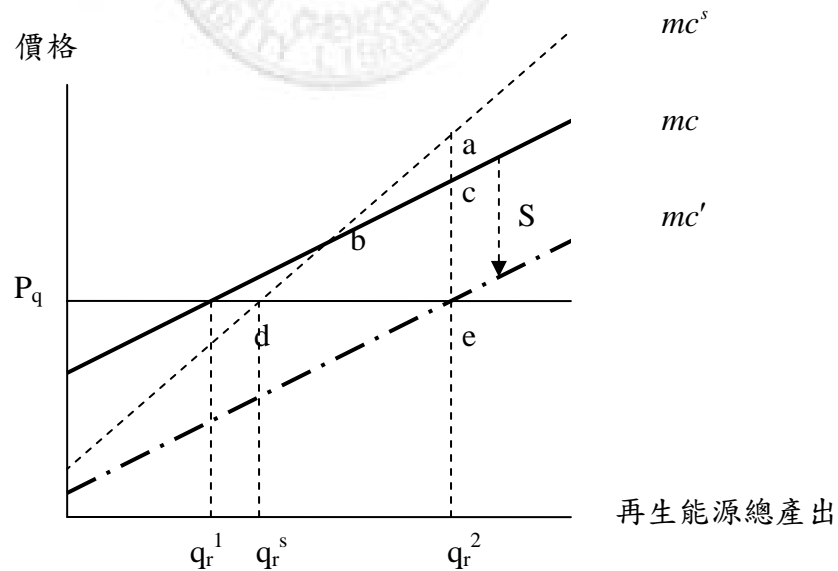
$$foc \quad P_q + S = P_q g'_i(q_{ri}) + c'_{ni}(q_{ri}) \quad (3.21)$$

(3.21) 式偏離 (3.19) 式的私人社會最適一階條件，再將其整理為

$$P_q [1 - g'_i(q_{ri})] + S = c'_{ni}(q_{ri}) \quad (3.22)$$

(3.22) 式明顯可得出，邊際能源產出大於邊際能源投入 ( $1 \geq g'_i(q_{ri})$ ) 不再是能源產出的唯一指標，且只要補貼的數額夠大 ( $S > c'_{ni}(q_{ri})$ )，則廠商願意生產至邊際投入大於邊際產出階段 ( $1 < g'_i(q_{ri})$ )，進而浪費能源使用。

如圖 3-3，當能源競爭價格為  $P_q$  時，在  $mc$  的私人邊際成本與  $mc^s$  的社會邊際成本下，廠商將生產再生能源總產量  $q_r^1$ ，並小於私人的社會最適產量  $q_r^s$ 。當政府以  $P_q + S$  之保證價格收購再生能源產出時，廠商的邊際成本曲線由  $mc$  下降  $S$  單位至  $mc'$ ，在能源價格不變的情況下，廠商為賺取更多的利潤而擴大生產至  $q_r^2$  水準，而此時產出大於社會最適量，且有外部成本發生。

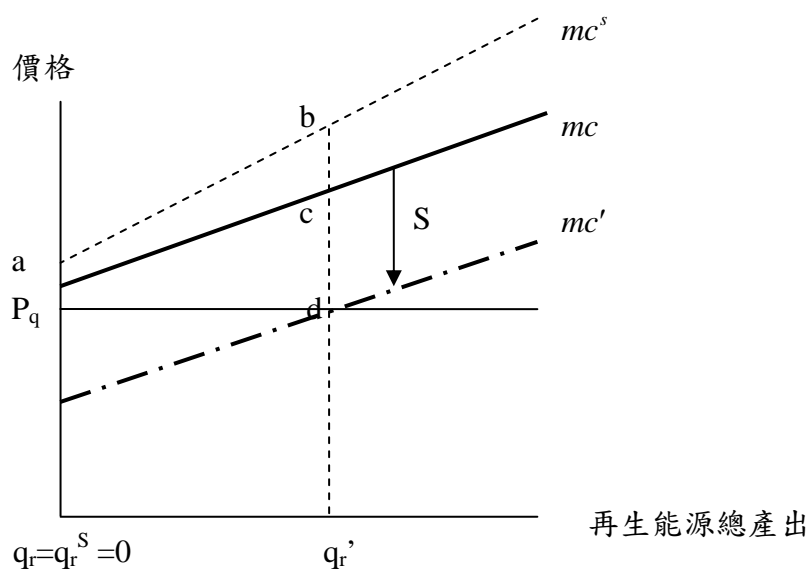


資料來源：本研究。

圖 3-3 保證（躉購）價格政策對再生能源產出的影響（1）

從社會的觀點來看，在能源價格  $P_q$  與社會邊際成本  $mc^s$  下，由於高出競爭價格  $S$  單位的補貼，造成額外的社會總成本  $\triangle aed$  發生，這樣的社會成本包括， $\triangle acb$  為浪費能源使用所造成之外部成本與  $\square bced$  為浪費能源與其他經濟成本之內部成本。

圖 3-3 反應補貼過大時，於追求利潤極大化的情況下，生產過多而導致社會成本不必要的增加。另一種補貼造成不效率技術使用的情況如圖 3-4 所示之不效率廠商。由於廠商生產技術不效率，能源投入量恆大於能源產出量（即  $1 < g'(q_r)$ ），因此其邊際成本線  $mc$  恆大於市場價格  $P_q$ ，且生產恆具有外部成本而導致有較高的社會邊際成本線  $mc^s$ 。在競爭的市場價格  $P_q$  下，廠商將不生產任何數量  $q_r = 0$ ，而處於社會最適產出階段；但是當政府以  $P_q + S$  之保證價格收購再生能源產出後，將使得廠商邊際生產線下降  $S$  單位，由  $mc$  下降至  $mc'$ ，在不變的市場價格下，廠商因為額外的價格補貼而有誘因進行  $q_r'$  的生產，進而造成能源浪費等社會成本  $\square abdP_q$  的發生，其中  $mc^s$  與  $mc$  的差即為外部成本之損失， $mc$  與市場價格  $P_q$  的差即為內部成本之損失。



資料來源：本研究。

圖 3-4 保證（躉購）價格政策對再生能源產出的影響（2）

除了造成不效率技術的使用，價格政策也無法保證各不同技術的生產皆會達社會最適產量。因為不同技術、不同廠商會有不一樣的成本函數與投入函數，所以決策者不可能以單一固定價格保證來解決外部性的問題。比較 (3.19) 與 (3.21)，現行政策欲達社會最適目標，則對每單位粗產出額外的價格補貼須滿足下式

$$S = e \times [1 - g'_i(q_{ri})] \quad (3.23)$$

但是滿足 (3.22) 式之補貼政策在實務上是不可行的。首先，如同前述，這種形式的粗產出補貼政策，政府必須面對市場上存在各種不同技術廠商的問題。其次，補貼將不再是單一固定價格的形式，而如同 (3.22) 所示，補貼為粗產出  $q_{ri}$  的函數（或邊際淨產出  $1 - g'_i(q_{ri})$  的函數），其表示補貼必須隨著產出變動而變動，然這種形式的補貼在實務上幾乎是不可行的。所以就上述的研究來看，粗產出補貼的價格政策要付諸實行是行不通的，深而言之，主要的問題在於價格政策基礎的錯誤，而我們將會在本章第四節中提出較恰當且可行的價格政策。

## 二、數量政策

相對於價格政策，數量政策下之可再生能源配比義務 (renewable portfolio standards, RPS) 與可交易權證 (tradable green certificates, TGC) 結合使用是當前較受各國政府歡迎的，其要求能源供給之一定比例來自於再生能源。數量政策通常由政府設定再生能源總量目標，要求市場提供或消費者購買此一目標數額，再由市場自由分配交易完成。

首先，假設再生能源市場總產能太小，且再生能源業者為價格接受者，因此產量多寡不會影響能源市場價格，而不同技術與不同廠商間的再生能源產量也不會互相排擠。若政府要求單一廠商每年需擁有相當於  $\bar{q}_r$  產量的再生能源權證數量時，在權證價格  $P_c$  下，個別廠商利潤最大化函數與一階條件為

$$\max P_q q_{ri} - P_q g_i(q_{ri}) - c_{ni}(q_{ri}) + P_c(q_{ri} - \bar{q}_r) \quad (3.24)$$

$$\begin{aligned} \text{foc } P_c &= mc_i - P_q \\ &= c'_{ni}(q_{ri}) + P_q g'_i(q_{ri}) - P_q \end{aligned} \quad (3.25)$$

(3.25) 式與價格政策下廠商之利潤最大化一階條件 (3.21) 式相似，特別是當權證價格等於補貼價格時 ( $P_c = S$ )，兩種政策將會有相同的效果。所以

(3.25) 式與社會最適一階條件 (3.19) 也不一致，正的邊際淨能源產出不再是生產指標。

在面對相同的權證價格  $P_c$  下，市場均衡要求各廠商最後一單位產出的邊際成本須相等，如 (3.26) 式，市場選擇由邊際成本最低的技術開始生產，均衡解要求所有廠商最後一單位產出的邊際產出成本須相等。

$$P_q + P_c = P_q g'_i(q_{ri}) + c'_{ni}(q_{ri}) = P_q g'_j(q_{rj}) + c'_{nj}(q_{rj}) \quad \begin{matrix} i=1, \dots, n \\ j=1, \dots, n \end{matrix} \quad (3.26)$$

以總（粗）產出為基礎之數量政策也無法避免不效率技術使用的問題，如 (3.25) 式，當權證價格夠高時 ( $P_c > c'_n(q_{ri})$ )，不具生產效率的技術或廠商則有誘因進入市場。但是從第二章第四節中我們也知道，權證價格的高低將決定於數量政策目標量的大小，當社會總義務量訂的越大時，權證價格則會越高。所以對決策者而言，如何訂定適當的目標量而能不誘使不效率技術進入市場生產將會是最大考驗。最後，更困難於價格政策的情況，欲使數量政策達最適目標，權證價格必須滿足 (3.27) 式，所有廠商的產量將都會是權證價格的變數；然而，我們並不需去考慮如此複雜的變數問題，如我們所知，數量政策下的決策變數為再生能源產量，權證價格並非數量政策下的決策變數。

$$P_c = e \times [1 - g'_i(q_{ri})] = e \times [1 - g'_j(q_{rj})] \quad \begin{matrix} i=1, \dots, n \\ j=1, \dots, n \end{matrix} \quad (3.27)$$

綜合前面的分析與結果來看，除非所有廠商擁有相同的生產技術與成本函數，不然決策者不可能僅依總產出與義務的制定來達成社會最適目標，而在下一

節我們也將提出較恰當且可行的數量政策。

## 第四節 以淨能源產出為再生能源政策目標

### 一、價格政策

第二節中我們已說明外部性決定於淨產出的形式，正的淨能源產出能夠替代傳統化石能源而減緩環境衝擊，負的淨產出將浪費能源使用而製造外部成本。就能源生產者而言，所須考量的是私人利潤極大，而非社會總效益極大；但利潤來自於正的淨能源產出與能源成本的差，因此在自由市場運作下，生產者除了不會在邊際能源投入大於邊際能源產出處生產外，這種包含外部效益的產出，也導致私人產量小於社會最適量。

解決私人與社會選擇不一致的方法，通常透過政策上的干預以達到目標；然當前促進再生能源生產之政策工具將造成另一種市場扭曲的現象，這類的問題如第三節的說明，主要造成社會最適再生能源總產量分配不恰當，而這類分配不適的問題更可能造成不效率技術的使用，進而浪費能源消費。

比較 (3.13) 與 (3.19) 式可以發現，要解決外部性的問題必須朝淨能源產出著手，只要給予正的淨能源產出相對應的環境外部性補償，私人利潤最大化產出將達社會最適產量。就價格政策來看，假設政府以高於市場的價格  $P_q + S$  收購再生能源淨產出，則私人利潤函數與最大化一階條件為

$$\pi_i = P_q q_{ri} - P_q g_i(q_{ri}) - c_{ni}(q_{ri}) + S[q_{ri} - g_i(q_{ri})] \quad (3.28)$$

$$(P_q + S)[1 - g'_i(q_{ri})] = c'_{ni}(q_{ri}) \quad (3.29)$$

比較 (3.19) 與 (3.29) 式，當額外的價格補貼完全反應淨產出之外部性 ( $S = e$ ) 時，私人生產的結果將與社會最適產量一致。



## 二、數量政策

前述已說明現行數量政策可能存在的問題，接續我們仍提出以淨產出為基礎的數量政策，方為較佳的政策工具。當再生能源目標為市場總淨產出達社會最適時，政府將要求各廠商每年需生產或購買相當於 $\bar{n}$ 淨產量之權證數量。在理想的權證價格 $P_c$ 下，個別廠商利潤最大化函數與一階條件為

$$\max P_q q_{ri} - P_q g_i(q_{ri}) - c_{mi}(q_{ri}) + P_c [q_{ri} - g_i(q_{ri}) - \bar{n}] \quad (3.30)$$

$$P_c = \frac{c'_{mi}(q_{ri})}{1 - g'_i(q_{ri})} - P_q \quad (3.31)$$

當最適淨產出數量被決定時，在沒有交易成本的情況下權證價格將等於淨產出之外部性（ $P_c = e$ ），一階條件將與社會最適條件（3.19）相同，而以淨產出為數量管制標準，其市場將要求所有廠商最後一單位淨產出之邊際成本相同

$$P_q + P_c = \frac{c'_{mi}(q_{ri})}{1 - g'_i(q_{ri})} = \frac{c'_{nj}(q_{rj})}{1 - g'_j(q_{rj})} \quad \begin{matrix} i = 1, \dots, n \\ j = 1, \dots, n \end{matrix} \quad (3.32)$$

比較（3.26）與（3.32）式，產量分配不再以粗產出的邊際成本為選擇，而是以淨產出的邊際成本為依據，正的邊際淨能源產出仍是生產指標。因此以淨產出為政策目標不但可避免不效率技術的使用，更可使各技術生產達社會最適產量。

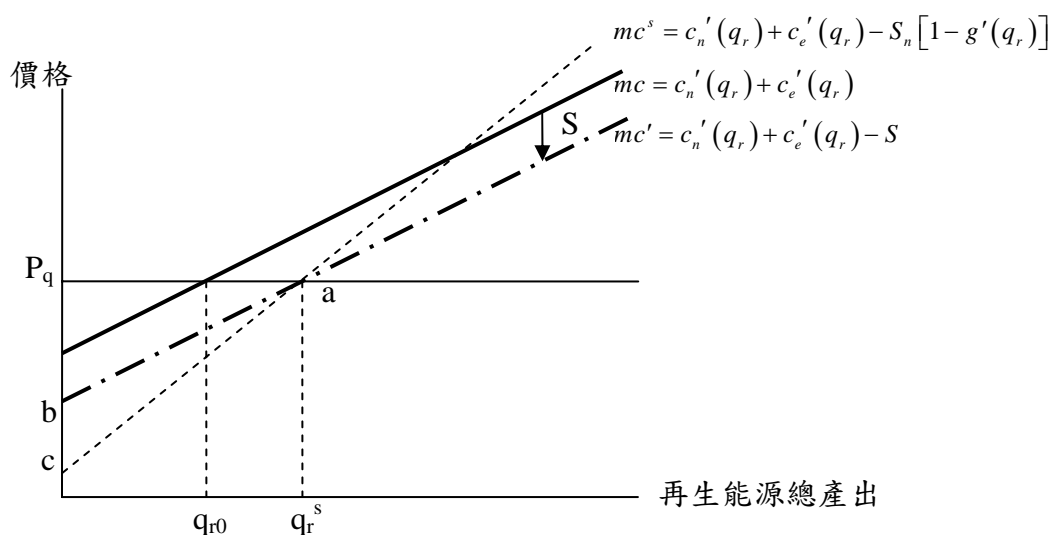
雖然數量政策能有效的達成最適目標，但是最適淨產出總量的認定卻有其困難存在。相較於價格政策，我們僅要審慎的評估單位淨產出在外部效益上所代表的貨幣價值，即可以判斷合適的補貼價格；但是就數量政策而言，每年要訂定社會最適淨產出總量，決策者除了須知道現有不同技術或不同廠商的淨產出能力外，更必須預測當年度或未來可能增加的設備產出。因此相較於價格政策，決策者需要更多的資訊來制定數量政策，也使得以淨產出為基礎的價格政策在執行與可信度較數量政策來的有效。

## 第五節 政策分析

### 一、粗產出政策與淨產出政策對利潤的影響（特例）

有別於過往，以淨能源產出為政策目標可使私人邊際成本線回歸至社會邊際成本線，進而促成私人與社會生產決策的一致性；除此之外，在相同的社會最適產量下，以淨能源產出為政策目標也會使廠商獲得更大的利潤。

如圖 3-5 所示，當能源競爭價格為  $P_q$  時，在  $mc$  的私人邊際成本與  $mc^s$  的社會邊際成本下，廠商將生產再生能源總產量  $q_{r0}$ ，並小於私人的社會最適產量  $q_r^s$ 。為了使再生能源達社會最適產出  $q_r^s$ ，政府對每單位粗產出額外補貼  $S$  金額，廠商之邊際成本線將由  $mc$  下降至  $mc'$ ，此時廠商產出由  $q_{r0}$  上升至  $q_r^s$ ，且總利潤為  $\triangle P_q ab$ 。相對而言，若政府以淨產出為補貼標的，且補貼額度為  $S_n = e$  時，將會使廠商面對的邊際成本線變為  $mc^s$ ，廠商並依能源價格  $P_q$  決定  $q_r^s$  產量。在相同的  $q_r^s$  決策產量下，廠商總利潤將擴大為  $\triangle P_q ac$ 。因此與粗產出政策相較，當政府以社會最適產量為目標時，淨能源產出政策可能給廠商更大的利潤報酬。



資料來源：本研究。

圖 3-5 粗產出與淨產出補貼對利潤的影響

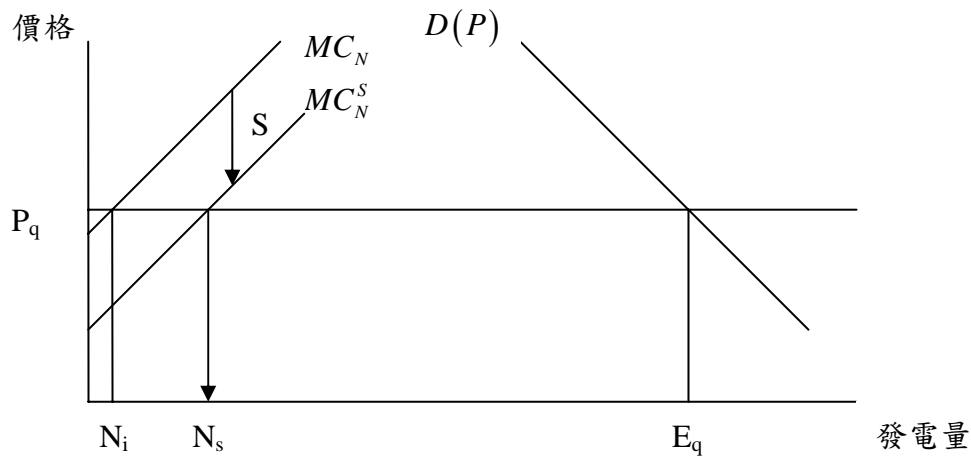
## 二、淨產出政策對能源市場的影響

1970 年代後各國政府陸續以研究發展、投資抵減、租稅誘因與補貼等不同政策獎勵再生能源發展，而這些政策的最終目的都在促進再生能源產量增加，以減緩對化石能源的依賴度，其中最常於電力市場推廣再生能源消費，並以再生能源配發電比為政策推動目標，主要在於提高再生能源發電佔總發電量之比例。下面本文簡單的說明數量政策與價格政策如何在市場機制下提高再生能源配發電比，不過最終仍建議較佳的政策為透過化石能源稅的課徵，讓能源價格充分反應其社會成本，經由能源價格上升來降低市場對能源的需求量，並提高再生能源供給量。

### (一) 價格政策與數量政策

圖 3-6 與圖 3-7 分別說明以淨能源為基礎的價格與數量政策對電力市場的影響，兩種政策最終都可增加市場再生能源淨產出，並使再生電力淨產出達社會最適。首先，當政府以價格政策額外補貼再生電力淨產出時，由於淨產出成本的下降，廠商將進一步擴大淨產量。如圖 3-6 所示，假設  $D(P)$  為市場對電力之需求函數， $MC_N$  為廠商再生電力淨產出供給曲線（即淨產出之邊際成本線<sup>8</sup>），在電力價格為  $P_q$  時，市場對電力的需要量為  $E_q$ ，包括  $N_i$  的再生能源淨產出供給與  $\overline{N_i E_q}$  的傳統電力供給。當政府補貼再生電力淨產出，且補貼價格充分反映外部性時，廠商面對之邊際成本線由  $MC_N$  下降  $S$  單位至社會邊際成本線  $MC_N^S$ 。由於補貼使得淨產出之邊際成本下降，再生電力廠商增加淨產量至社會最適產出  $N_s$ 。在不變的能源價格  $P_q$  下，市場電力總需求量仍為  $E_q$ ，但有部分的傳統電力供給量  $\overline{N_i N_s}$  將

<sup>8</sup>以淨產出為橫軸，成本為縱軸時，我們得出一遞增並後彎之邊際成本線；因此當以淨產出為變數時，在數學上無法以單一函數來表示淨產出的成本。然而在市場不被扭曲的情況下，廠商並不會生產至淨產出小於零的階段，因此繪圖上我們僅顯示經濟上可行之正斜率的邊際淨產出線段，而不繪出後彎的線段。



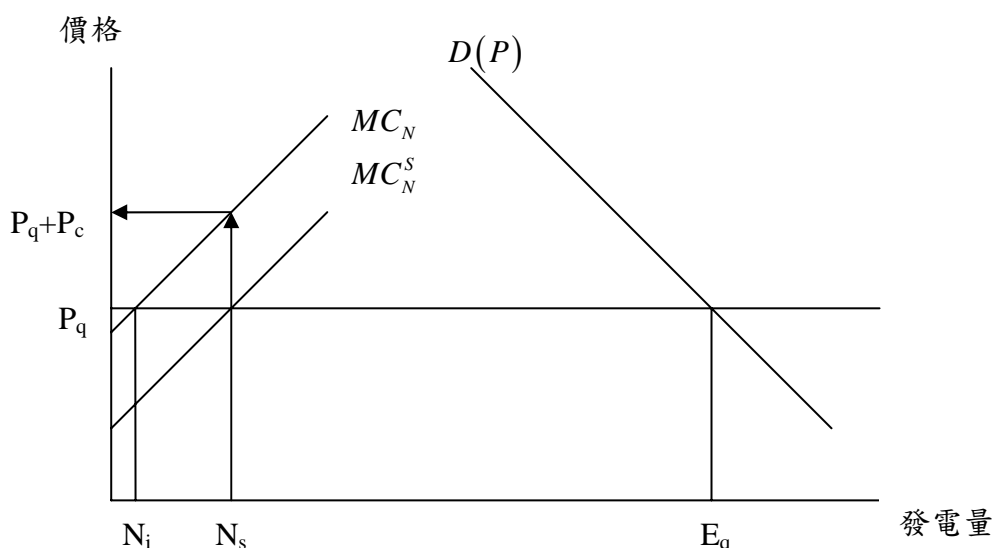
資料來源：本研究。

圖 3-6 淨產出補貼對電力市場的影響

由增加的再生電力淨產出取代。

圖 3-7 顯示以淨產出為基礎之權證制度對電力市場的影響。在電力價格為  $P_q$  時，依市場之需求函數  $D(P)$  決定電力需要量為  $E_q$ ，其中  $N_i$  的供給量來自於再生電力淨產出，剩下不足的部分由傳統電力提供。當政府依據社會最適邊際成本線  $MC_N^S$  與競爭電力價格  $P_q$  決定市場再生電力淨產量須達  $N_s$  之義務量時，表示市場需有等同於  $N_s$  產量之權證數量。在  $N_s$  產量下，淨產出之供給價格  $P_q + P_c$  為競爭電力價格  $P_q$  與權證價格  $P_c$  之和。如同第四節所述，價格上升的部分等同於淨產出外部效益之表現，此效益最終亦將完全反映在權證價格上 ( $P_c = e$ )。最後，數量政策與價格政策在理論上將有相同的效果。

價格政策與數量政策同樣可以使再生電力產出達社會最適產量，唯一不同的地方可能在於最終電力消費價格的影響。前述我們已提及價格政策將不影響競爭的電力價格，然政府最終仍須以其他形式的稅額來彌補政策上的支出，進而扭曲其他市場之價格。



資料來源：本研究。

圖 3-7 淨產出管制對電力市場的影響

不同於價格政策，雖然上述數量政策的說明（圖 3-7）我們仍假設淨產出之數量很小，不足以影響電力市場的競爭價格，但就實際情況而言，當市場所需之社會最適淨產量大到足以影響電力競爭價格時，權證所反映成本上升的部分，最終仍將平均表現於零售電力價格上。此時，增產再生電力所額外增加的成本將反映於市場零售電力價格，進而導致電價微幅上升，市場最終也將因電價的上升而減少電力總需求量，並增加再生能源配發電比。

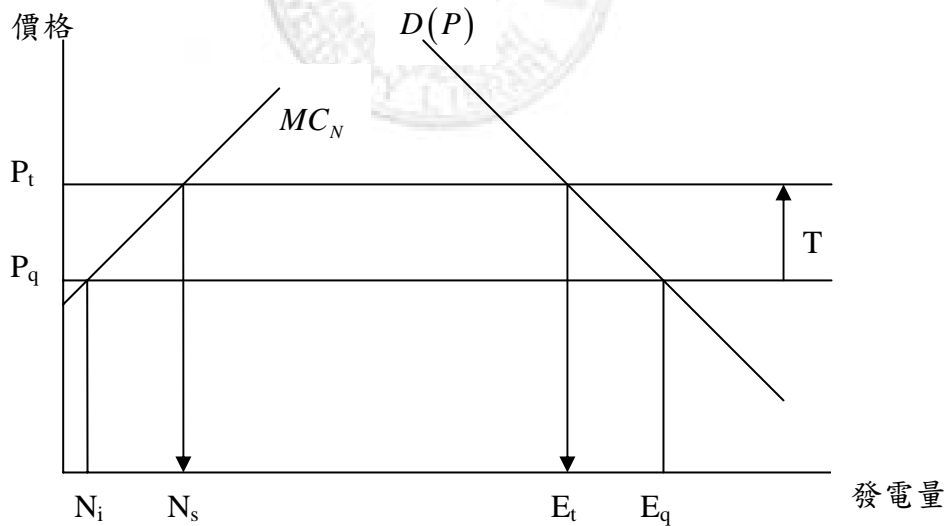
## （二）化石能源稅

促進再生能源發展最佳的政策工具莫過於化石能源稅的課徵，此稅賦的課徵能讓價格充分反映化石能源使用之社會成本，並於能源價格上升的同時增加再生能源供給量，降低社會對能源之需求量。過去我們認為，當化石能源價格無法反映其外部成本時，我們可以透過再生能源淨產出來替代化石能源，而減少化石能源的使用，並降低對環境的迫害。就此而言，再生能源外部效益乃避免成本之表現，避免成本在此解釋為”當多使用一單位的再生能源淨產出以替代化石能源需

求時，環境便可減少被一單位化石能源污染的機會”。

然而，最直接的問題在於化石能源價格無法充分反映污染成本而被低估使用。若政府透過政策將外部成本直接反映於化石能源的價格上時，我們與許多專家一樣認為，市場將因能源價格的提升而降低對化石能源的需要量，且價格提升更可增加再生能源市場的競爭力。

以圖 3-8 表示，政府不再獎勵再生能源淨產出，而是透過化石能源稅 (T) 的課徵直接反映化石能源發電之外部成本(此時化石能源稅應等於再生能源淨產出之補貼價格或權證價格，即 $S=P_c=T$ )，讓電力價格由 $P_q$ 上升至 $P_t$ ，且市場最終也將因價格的上升而降低對電力的需求(由 $E_q$ 至 $E_t$ )，並將再生電力淨產出供給由 $N_i$ 推升至 $N_s$ 。最後，與價格或數量政策相較，在相同的再生電力淨產出目標下，化石能源稅的課徵能完全反映化石能源使用之社會成本，而導致能源價格上升、需求量下降，更能夠使市場大幅提升再生能源配發電比。



資料來源：本研究。

圖 3-8 化石能源稅對電力市場的影響

## 第六節 再探外部性

在能源持續使用的前提下，一般認為利用再生能源替代化石能源可以減少對環境之衝擊。然而如同第二章第三節所述，生產與消費再生能源並非全然不會有外部成本的發生，通常諸如風力與太陽能發電，這類再生能源的生產與使用，因為符合環境標準而有較小的外部衝擊，並常常予以忽略其外部成本；但近來各國推廣之生質燃料（如表 2-1 之生質酒精），不論其燃料生產過程亦或燃料消費使用，外部成本都相對高於其他種類的再生能源，因此再生能源政策理應將外部成本考慮進去。考慮再生能源產出之外部成本，就單一廠商而言，其社會利潤函數為

$$P_q q_r - P_q g(q_r) - c_n(q_r) - c_a[A(q_r, \gamma)] + e_1[q_r - g(q_r)] - e_2 E(q_r, A) \quad (3.33)$$

$c_a(\bullet)$ : 排放量之減量成本函數

$A(\bullet)$ : 排放量之減量函數

$\gamma$ : 排放量管制標準

$e_1$ : 再生能源替代化石能源，避免溫室氣體增量之單位效益

$e_2$ : 排放量之單位外部成本

$E$ : 污染物排放量

其中  $c_a(\bullet)$  為污染物<sup>9</sup>之減量成本，在政府規定的環境標準  $\gamma$  下，廠商依再生能源產量決定其減量程度，因此決定社會最適產量之一階條件為

$$\underbrace{P_q + e_1[1 - g'(q_r)]}_{(1)} = \underbrace{P_q g'(q_r) + c_n'(q_r) + c_a'[A(q_r, \gamma)] A'(q_r, \gamma)}_{(2)} + \underbrace{e_2 \frac{\partial E(q_r, A)}{\partial q_r}}_{(3)} \quad (3.34)$$

一階條件表示社會最適產量要求產出之邊際收益等於邊際成本，當政府完全不介入市場時，私人生產一階條件將不存在 (1)、(2) 和 (3) 項。當僅有再生能源獎勵政策介入市場時，政策目的在要求私人產出的一階條件能反映第 (1) 項，將替代化石能源並減緩溫室氣體排放之效益納入廠商決策條件。第 (2)、(3)

<sup>9</sup> 污染物有許多種類，本文僅列以  $E$  項表示，且隨著污染物種類上升，函數也可以納入更多項排放減量成本函數。

項反映減少污染物之邊際減量成本與排放污染物之邊際外部成本，當產出具有外部成本時，政府就有義務讓外部成本反映在廠商的生產決策上，因此政府通常會透過行政管制決定管制標準（Y）或污染排放稅（T）的課徵來解決外部成本的問題。

表 3-1 為廠商在不同的政策下追求利潤最大的產量。據此，政府有兩種政策，一是反映淨產出外部效益之再生能源獎勵政策，我們以價格補貼 S 表示。另一種政策為外部成本管制政策，政府將同時透過行政管制與污染稅課徵的政策解決外部成本的問題。

表 3-1 顯示，當政府完全不介入時，私人產量  $q_r^i$  會小於淨產出政策下之產量  $q_r^n$ 。而社會最適產量則決定於邊際減量成本與邊際外部成本之大小，當 (2)、(3) 式之邊際成本加總小於 (1) 式之邊際效益時，社會最適產量將大於  $q_r^i$  並小於  $q_r^n$ ；反之，當 (1) 式之邊際效益小於 (2)、(3) 式之邊際成本，社會最適產量應低於  $q_r^i$ 。

最後再一次強調，再生能源產出並非屬於零外部性，政府在獎勵再生能源生產時，單一的價格或數量政策並無法幫助產出達社會最適。因此，如 (3.33) 式，較完善的政策應該同時將外部效益與外部成本納入考量，於獎勵再生能源外部效益的同時再針對外部成本課稅。



表 3-1 不同政策下私人再生能源的產量

	利潤函數一階條件	再生能源產量
政府完全不介入	$P_q [1 - g'(q_r^i)] = c'_n(q_r^i)$	$q_r^i$
淨產出政策 (補貼 $S=e_1$ )	$(P_q + S) [1 - g'(q_r^n)] = c'_n(q_r^n)$	$q_r^n$
淨產出與環境管制政策 (補貼 $S=e_1$ , 管制標準 $\gamma = \gamma_0$ , 污染稅 $T=e_2$ )	$(P_q + S) [1 - g'(q_r^s)]$ $= c'_n(q_r^s) + c'_a [A(q_r^s, \gamma_0)] A'(q_r^s, \gamma) + T \frac{\partial E(q_r^s, A)}{\partial q_r^s}$	$q_r^s$ (社會最適產出)

資料來源：本研究。