

第四章 基本理論模型

繼 Huettner (1976) 對淨能源做了基本定義以及林益豪 (2007) 以靜態模型說明政府獎勵再生能源的政策需以淨能源產出作為基礎，而非傳統以總能源產出作為基礎之後，本文首度以動態最適控制理論證明，在長期下，考慮了溫室氣體具有累積的性質以及化石能源會逐漸耗竭的問題後，獎勵再生能源的基礎，不管是數量政策抑或價格政策，都應以淨能源產出作為基礎。

淨能源產出即指總能源產出扣除能源投入。不止生產再生能源本身需要投入化石能源以供機器運轉，就連生產再生能源時，維持勞工生產時的體力都需耗用能源，另外，運輸能源作物、工人通勤等亦需要能源。這些投入的能源在長期下，亦會造成溫室氣體的累積與加速化石能源之耗竭，所以雖然看似再生能源之總產出(未扣除能源投入之能源產出)能替代部分化石能源的使用，但真正能替代化石能源的部分僅為再生能源總產出扣除生產再生能源時，能源投入的部分，即淨能源產出。以生質能源產出做為例子，從生質能源作物開始栽植起，所有的能源投入都要從總能源產出中扣除。這些能源投入包括勞工種植作物、維持體力所必須耗用的能源、肥料之施用、運輸、增蓋廠房、酒精發酵所需的能源等。

基於以上說明，本章首先探討基本淨能源產出與廠商利潤模型，接著將社會最適情形與政府價格政策及數量政策作一比較，來說明獎勵再生能源的基礎，應是淨能源產出，而非總能源產出。

第一節 淨能源產出與廠商利潤

本節主要分兩部分，一是基本的淨能源產出模型介紹，以數學來呈現淨能源所代表的意義，二是以淨能源產出的概念，來表達廠商的利潤函數。

一、淨能源產出模型

本文之淨能源產出模型乃結合 Huettner (1976) 以及林益豪 (2007) 對淨能源所設的模型加以延伸。首先，假設在完全競爭市場下， m 家再生能源廠商中，第 i 家廠商的再生能源總產出 Q_i 為各種要素投入 x_1, x_2, \dots, x_l 的單調遞增函數，在生產函數為要素投入之凹函數、且二次可微的假設下，將再生能源總產出(即未扣除能源投入之總再生能源產出)之生產函數設為：

$$Q_i = f(x_1, x_2, \dots, x_l) \quad f_x > 0, f_{xx} < 0 \quad (4.1)$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

$$d = 1, 2, \dots, l$$

式(4.1)後半部說明，要素投入所貢獻的邊際產出雖然增加，但增加的幅度卻成遞減之勢。其次，定義第 i 家廠商的淨能源產出 N_i 為其總能源產出減去總能源投入之差。並假定 a_d 為競爭市場下所決定的每單位投入要素所使用直接、間接的能源。舉例而言，如果 x_d 是勞工，則 a_d 表示勞工維持體力以生產、通勤至工作場所、生火吃飯時所需耗用的能源；如果 x_d 是機器，則 a_d 表示使機器運作所需之能源，如果 x_d 是土地，則 a_d 表示要維持地力，所需施用之肥料耗用的能源。我們可將淨能源產出 N_i 表示為：

$$N_i = Q_i - \sum_{d=1}^I a_d x_d = Q_i - g(Q_i) \quad (4.2)$$

式(4.2)即是將能源投入 $\sum_{d=1}^I a_d x_d$ 表示為總產出 Q_i 的函數 $g(Q_i)$ 。假設技術並未進步(技術進步容後討論)，則投入之邊際報酬遞減，或邊際投入遞增，即 $g_Q = g'(Q_i) > 0, g_{QQ} = g''(Q_i) \geq 0$ 。

以圖 4-1 說明粗能源、淨能源與能源投入之間的關係，首先，由於其他要素固定，能源投入的邊際生產力遞減，所以能源產出一投入函數為一遞增但遞增幅度漸趨平緩的函數，而淨能源則為總能源產出減去能源投入。隨著能源投入增加，淨能源產出先增加，然後減少，最後可能為負值，這是因為其他要素投入固定，而能源投入的邊際報酬遞減的緣故。

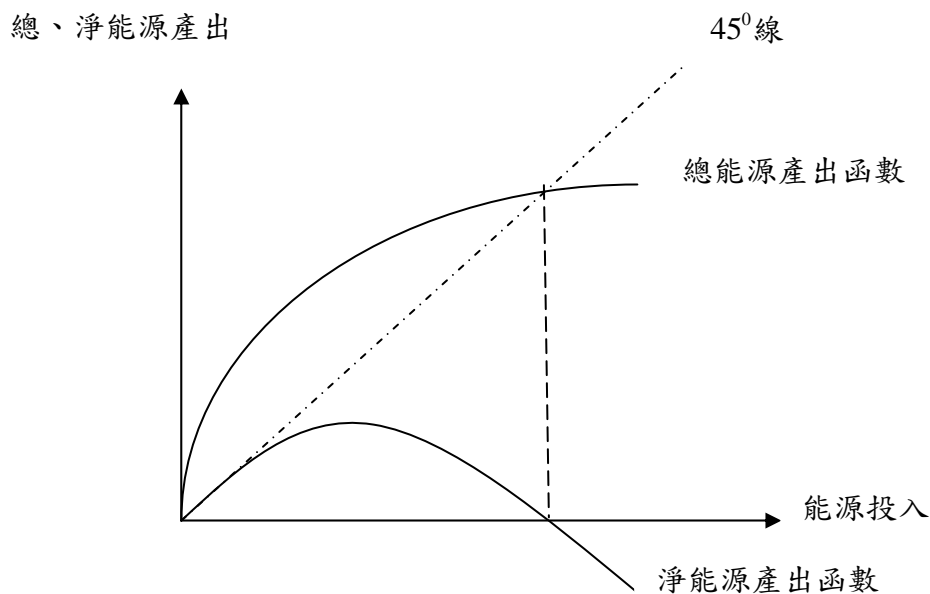


圖 4-1 總能源、淨能源與能源投入間的關係

資料來源：本研究

二、廠商利潤－生產函數與成本函數

第 i 家廠商總利潤 π_i 為其總收益減去其總成本之差，現假設能源價格為 P ，即能源投入與能源產出之價格相同，則其利潤函數可寫為：

$$\pi_i = P \cdot [Q_i - g(Q_i)] - c(Q_i) \quad (4.3)$$

其中， PQ_i 為第 i 家廠商總能源產出所造成之總收益， $Pg(Q_i)$ 能源投入成本，而 $c(Q_i)$ 為非能源投入成本，並假設非能源成本為產出之遞增凹函數，即 $c'(Q_i) > 0, c''(Q_i) > 0$ 。式 (4.3) 表示第 i 家廠商生產再生能源之利潤 $\pi_i = P \cdot [Q_i - g(Q_i)] - c(Q_i)$ 為總收益 PQ_i 扣除能源投入成本 $Pg(Q_i)$ 與非能源成本 $c(Q_i)$ ，而式中之 $Q_i - g(Q_i)$ 即為淨能源。最後，由式(4.3)中，我們也可看出，在沒有政府介入的情況下，個別廠商若要生產再生能源，一定會保證再生能源之淨產出 $Q_i - g(Q_i)$ 為正，否則廠商利潤為負，這樣的生產即無意義。

第二節 社會最適模型

本節社會最適模型主要探討當考慮了溫室氣體累積以及化石能源存量耗竭兩項因素後，社會最適之再生能源總產出量。

生產出之再生能源總產出雖可替代傳統廠商部分化石能源的使用，但再生能源本身之生產過程卻也會耗用掉化石能源。且生產再生能源時，燃燒化石能源投入亦會造成溫室氣體累積，因此，整個再生能源生產過程，從能源投入到能源產出以供替代，對於溫室氣體 C 變動量 \dot{C} 的貢獻為：

$$\dot{C} = \alpha[(E - Q) + g(Q)] - \delta C \quad (4.4)$$

其中， α 為化石能源與溫室氣體排放轉換係數，表示化石能源的耗用與溫室氣體排放之間有一線性關係、 E 為傳統廠商總能源需求，當沒有再生能源時，傳統廠商的總能源需求即為其化石能源需求，為外生給定、 $Q = \sum_{i=1}^m Q_i$ 為 m 家再生能源廠商所生產出的再生能源總產出(供給)，其使用本身不會產生溫室氣體、 $g(Q) = \sum_{i=1}^m g(Q_i)$ ，為 m 家再生能源廠商生產再生能源時之總能源投入(需求)，而 δ 為溫室氣體自然衰減率。

再生能源之總能源產出 Q (供給)可代替其他傳統廠商部分化石能源的使用(需求)，即傳統化石能源廠商雖然總能源需求 E 不變，但其現在實際燃燒之化石能源量變為 $E - Q$ ，而生產再生能源總產出，也使得所有再生能源產業燃燒 $g(Q)$ 的能源以為投入(需求)，所以真正替代總化石能源燃燒的部分實為再生能源之淨產出 $Q - g(Q)$ 。也可以說，有了再生能源廠商後，總化石能源需求才由原先的 E (傳統廠商的化石能源需求)變成現在的 $(E - Q) + g(Q)$ (傳統廠商的化石能源需求再加上再生能源廠商的

化石能源需求)，又可改寫成淨能源替代化石能源的形式，即 $E - [Q - g(Q)]$ 。我們因此可再將式(4.4)的溫室氣體累積量狀態方程式修改成如式(4.5)，表示只有再生能源之淨產出，才能替代化石能源的使用，而其所造成的溫室氣體累積量的變動量，會受到再生能源淨產出多寡的影響。

$$\dot{C} = \alpha \{E - [Q - g(Q)]\} - \delta C \quad (4.5)$$

另一方面，生產再生能源雖可替代掉部分化石能源的使用，其本身之生產過程卻也耗用能源，造成化石能源耗竭，因此，化石能源存量 S 之變動量 \dot{S} 為：

$$\dot{S} = -[(E - Q) + g(Q)] \quad (4.6)$$

此狀態方程式(4.6)說明化石能源存量之變動，式中各項代號解釋同上， E 為傳統廠商之能源需求， Q 為 m 家再生能源總產出，此總產出可代替其他傳統廠商部分化石能源的使用，傳統化石能源廠商實際耗用之化石能源，每期都使化石能源存量減少了 $(E - Q)$ 。但生產此再生能源總產出，卻也耗用 $g(Q)$ 的能源投入，所以真正替代化石能源使用的部分實為再生能源之淨產出 $Q - g(Q)$ 。也因此，我們再將式(4.6)化石能源存量耗竭之狀態方程式改為式(4.7)，表示唯有再生能源淨產出，才能減緩化石能源存量之耗竭。

$$\dot{S} = -\{E - [Q - g(Q)]\} \quad (4.7)$$

由是，社會規劃者之極大化目標即在於一段時間 T 內，極大化社會效益。社會效

益即指消費者剩餘與生產者剩餘之加總，但這裡假設：一、化石能源廠商利潤不變，只需考慮再生能源廠商之利潤即可，為一「部分均衡」模型。二、市場上能源價格主要是由傳統廠商化石能源均衡供需所決定，而再生能源產出(供給)以及其對化石能源之需求相對於傳統廠商之化石能源需求過於渺小，故能源之價格只受到傳統廠商化石能源均衡供需的影響，而不受再生能源產出(供給) 以及其廠商對化石能源需求的影響，故購買再生能源產出無消費者剩餘。讀者可將此模型視為以台灣的角度來切入：台灣的再生能源產出，無法影響世界傳統廠商化石能源需求，也無法影響到能源的價格。簡言之，此模型中，社會規劃者已簡化至只需極大化所有再生能源廠商之利潤以及生產再生能源淨產出，使溫室氣體存量較少的外部效益。當有生產再生能源淨產出時的溫室氣體累積量 C 小於沒有生產再生能源淨產出時的溫室氣體累積量 C_1 時，便有溫室氣體累積量較少的外部效益 $b(C - C_1)$ 。此外部效益函數可用價值表示，由於每年都有不同的溫室氣體流量，就有不同的外部效益，故需折現以後相加。但是，如果在有生產再生能源淨產出的情況下，溫室氣體存量增加一單位，此外部效益會減少，也就是 $b_c(C - C_1) < 0$ 。

社會規劃者極大化社會福利之目標函數如下：

$$\max_{Q_t} \int_0^T e^{-rt} \{P(E)[Q - g(Q)] - c(Q) + b(C - C_1)\} dt \quad (4.8)$$

式(4.8)中，能源的價格 $P(E)$ 乃受到傳統廠商總能源(再生能源使用與化石能源使用總和)需求 E 的影響，而再生能源廠商之利潤則為價格乘於其總產出，減去能源投入的成本與非能源投入的成本，也就是能源價格乘於能源淨產出，再減去非能源成本。

溫室氣體存量與化石能源存量均有一初始值，但終期值條件卻不同。化石能源存量到 T 期時，有一最低限度，但溫室氣體存量卻不能給予設限，今寫下式(4.9)與式(4.10)，為溫室氣體累積量的初期值條件與化石能源存量的初期值條件和終期值條件。

$$C(0) = C_0, \quad (4.9)$$

$$S(0) = S_0, S(T) = \underline{S} \quad (4.10)$$

式(4.9)表示期初時，溫室氣體累積量為 C_0 ，而式(4.10)則說明，在期初時化石能源存量為 S_0 ，到了期末 T 時，化石能源存量剩下 \underline{S} 。合併式(4.5)、式(4.7)、式(4.8)、式(4.9)、式(4.10)，得到完整的最適控制模型如下：

$$\max_{Q_t} \int_0^T e^{-rt} \{P(E)[Q - g(Q)] - c(Q) + b(C - C_1)\} dt$$

$$\dot{C} = \alpha \{E - [Q - g(Q)]\} - \delta C$$

$$\dot{S} = -\{E - [Q - g(Q)]\}$$

$$C(0) = C_0$$

$$S(0) = S_0, S(T) = \underline{S}$$

接著將社會最適模型寫成 Hamiltonian 當期值(current value)函數：

$$H = P(E)[Q - g(Q)] - c(Q) + b(C - C_1) + \lambda (\alpha \{E - [Q - g(Q)]\} - \delta C) + \mu (-\{E - [Q - g(Q)]\}) \quad (4.11)$$

式(4.11)中，共狀態變數 λ 為溫室氣體存量的影子價格，其值為負，表示增加一單位的溫室氣體，人們的邊際願付價值為負值，而 μ 為化石能源存量之影子價格，表示增加一單位化石能源存量，人們的邊際願付價值為正值。有了 Hamiltonian 當期值(current value)函數後，接著看最適狀況下的再生能源總產出、溫室氣體累積量和化石能源存量之影子價格的變動量：

$$\frac{\partial H}{\partial Q_i} = 0 \Rightarrow [P(E) - \lambda\alpha + \mu](1 - g_Q) - c_Q = 0 \quad (4.12)$$

$$\dot{\lambda} = -\frac{\partial H}{\partial C} + r\lambda = -b_C(C - C_1) + (r + \delta)\lambda \quad (4.13)$$

$$\dot{\mu} = -\frac{\partial H}{\partial S} + r\mu = r\mu \quad (4.14)$$

$$\lambda(T) = 0 \quad (4.15)$$

式(4.12)中 g_Q 為 $g'(Q)$ 、 c_Q 為 $c'(Q)$ ，分別為邊際能源投入與邊際非能源成本。由式(4.12)之一階條件，即可得出短期下所應生產出的最適總能源產出 Q_i^* ，為邊際社會效益等於邊際社會成本處；此處需注意，不效率的廠商(也就是其邊際淨產出 $1 - g_Q < 0$)是不會加入生產的，因為在式(4.12)的一階條件下，此種生產並不具意義。式(4.13)與式(4.14)為溫室氣體累積量 C 以及化石能源存量 S 的共狀態方程式，說明溫室氣體影子價格之變動與化石能源存量影子價格之變動。而由於溫室氣體累積量沒有終期值的限制，其終端條件(Transversality condition)如式(4.15)。

如果進一步要求動態效率(dynamic efficiency)，即所有資產或資源的報酬率都相同，則可將式(4.13)與(4.14)重新整理，得到式(4.16)與式(4.17)：

$$\frac{\dot{\lambda}}{\lambda} = (r + \delta) - \frac{b_C(C - C_1)}{\lambda} \quad (4.16)$$

$$\frac{\dot{\mu}}{\mu} = r \quad (4.17)$$

式(4.16)說明，溫室氣體累積量的影子價格變動率會一直增加的現象。但其絕對值增加的幅度小於沒有生產再生能源淨產出時的影子價格變動率，也就是有生產再生能源淨產出下的溫室氣體之影子價格之絕對值不會增加的如沒有生產再生能源下的

溫室氣體影子價格之絕對值增加率般快速(也就是生產再生能源淨產出時，溫室氣體之影子價格的絕對值之增加，小於沒有生產再生能源時，溫室氣體影子價格的絕對值之增加)，因為，在沒有生產再生能源淨產出時， $C = C_1$ ，沒有溫室氣體減量的外部邊際效益。

如果生產再生能源淨產出，造成的溫室氣體減量的邊際外部效益很大，超過其他投資所產生之報酬，那麼溫室氣體的影子價格的絕對值就會漸漸變小，表示溫室氣體問題獲得改善，因而使溫室氣體影子價格之終期值由負值變為零。而式(4.17)在說明，化石能源存量的影子價格之成長率，等於利率(資源用於其他投資所能獲得的報酬)，此即為 Hotelling 法則，也就是當自然資源擁有者從自然資源所獲得的報酬等於其他投資所獲得的報酬時，便是最適的自然資源開採率。

接著也可探討當溫室氣體以及化石能源存量的影子價格變動對最適產出之影響。將式(4.12)之一階條件對影子價格作比較靜態分析，得式(4.18)與式(4.19)：

$$\frac{dQ_i}{d\mu} = \frac{1 - g_Q}{\{[P(E) - \lambda\alpha + \mu]g_{QQ} + c_{QQ}\}} > 0 \quad (4.18)$$

$$\frac{dQ_i}{d\lambda} = \frac{-\alpha(1 - g_Q)}{\{[P(E) - \lambda\alpha + \mu]g_{QQ} + c_{QQ}\}} < 0 \quad (4.19)$$

式(4.18)與式(4.19)中， g_{QQ} 為 $g''(Q_i)$ 、 c_{QQ} 為 $c''(Q_i)$ 各為邊際能源投入增加的幅度與邊際非能源投入增加的幅度，上兩式說明，當化石能源的影子價格增加時，再生能源的產出就會增加，因為化石能源與再生能源是替代品；而溫室氣體的影子價格之絕對值減少時，表示溫室氣體累積量越不嚴重，再生能源產出應該減少。

第三節 價格政策

在不考慮廠商投資與技術進步的問題下，本節試圖探討個別廠商在跨期下求取利潤極大的情形。

再生能源之生產能減少溫室氣體存量與化石能源耗竭，帶來外部效益，其產量將少於最適規劃下之再生能源產量。因此，政府將以價格政策與數量政策來內部化此外部效益，導引廠商生產最適之再生能源淨產出。數量政策將於下一節分析談到，而價格政策則為對再生能源產出之補貼。在價格政策中，政府將給予再生能源產出一補貼，來內部化此溫室氣體減量所造成之外部效益。補貼的基礎有兩種，一為以淨能源產出為基礎之補貼，另一為以總能源產出為基礎之補貼。本節將證明，對於再生能源之補貼，應以淨能源產出作為補貼的基礎，而非傳統以再生能源總產出做為補貼的基礎。

一、以淨能源產出為基礎的價格政策

價格政策中，所謂「以淨能源產出作為補貼的基礎」即指政府對再生能源淨產出補貼，而非對再生能源總產出補貼。為了簡化分析，假設廠商並無投資行為與技術進步，在對淨能源產出做補貼的基礎下，廠商乃選擇最適之總能源產出，其目標函數為：

$$\max_{Q_i} \int_0^T e^{-rt} \{P \cdot [Q_i - g(Q_i)] - c(Q_i) + \tau \cdot [Q_i - g(Q_i)]\} dt \quad (4.20)$$

其中， τ 為再生能源之補貼率。即使不考慮廠商之投資行為，但化石能源存量固定，再生能源廠商使用化石能源時，依然會受到此固定存量的限制，即受限在式(4.7)下。在式(4.20)中，個別廠商在以淨能源產出作為補貼的基礎下，欲極大化本身利潤，將選出最適的再生能源總產出。在式(4.20)中必須說明的是，在淨能源的補貼政策下，

不效率的廠商並無誘因加入生產，因為就目標函數式(4.20)來看，不效率的廠商若加入生產，無利潤可言，而對淨能源產出之補貼形同課稅，故在淨能源政策下不效率廠商根本不會加入生產。將式(4.20)、式(4.7)與式(4.10)合併，得到如下動態模型：

$$\begin{aligned} \max_{Q_i} \int_0^T e^{-rt} \{ P \cdot [Q_i - g(Q_i)] - c(Q_i) + \tau \cdot [Q_i - g(Q_i)] \} dt \\ \dot{S} = -\{E - [Q - g(Q)]\} \\ S(0) = S_0, S(T) = \underline{S} \end{aligned}$$

在式(4.20)中，廠商利潤極大化之目標函數與式(4.7)下，廠商乃選擇最適之淨能源產出，其 Hamiltonian 函數如式(4.21)：

$$H = P \cdot [Q_i - g(Q_i)] - c(Q_i) + \tau \cdot [Q_i - g(Q_i)] + \mu(-\{E - [Q - g(Q)]\}) \quad (4.21)$$

一階條件為如式(4.22)，可求出短期下所應生產的最適再生能源產出：

$$(P + \tau + \mu)(1 - g_Q) - c_Q = 0 \quad (4.22)$$

將式(4.22)與式(4.12)比較，在淨能源的基礎下，當再生能源淨產出的補貼額等於生產再生能源，使得溫室氣體存量因而減少的影子價格 $-\lambda$ 再乘上排放轉換係數 α 時，亦即當補貼額 $\tau = -\lambda\alpha$ 時，即可引導廠商選擇最適之再生能源淨產出。

為了瞭解補貼率變動對於淨能源產出之影響，可以將式(4.22)做比較靜態分析，得到式(4.23)：

$$\frac{dQ_i}{d\tau} = \frac{-(1-g_Q)}{-(P+\tau+\mu)g_{QQ} - c_{QQ}} > 0 \quad (4.23)$$

式中 g_{QQ} 為 $g''(Q_i)$ 、 c_{QQ} 為 $c''(Q_i)$ 各為邊際能源投入增加的幅度與邊際非能源投入增加的幅度，在淨能源補貼的政策之下，唯有有效率的廠商才會加入生產，而不效率的廠商不會加入生產。對於個別有效率的廠商(其邊際淨產出為正)而言，淨能源的補貼增加會使其增加生產。

二、以總能源產出為基礎的價格政策

在以淨能源為基礎的價格政策下，只要政府當局將再生能源淨產出的補貼額設成等於溫室氣體存量的影子價格與排放轉換係數的乘積時，就可內部化此外部效益，引導廠商選擇最適之再生能源淨產出，但是，在以總產出作為基礎下的補貼制度下，廠商很難達成與社會最適下相同的最適再生能源淨產出，這是因為政府也對能源投入補貼的緣故，使得不效率的廠商也能加入生產。考慮以總產出補貼為基礎的情況下，廠商之利潤極大化模型，我們在總能源補貼的基礎下，一樣先使廠商選出利潤極大的總能源產出，即如式(4.24)。

$$\max_{Q_i} \int_0^T e^{-rt} \{P \cdot [Q_i - g(Q_i)] - c(Q_i) + \tau Q_i\} dt \quad (4.24)$$

在總能源補貼之下，只要補貼的數額夠大，則不效率的廠商也會加入生產。在式(4.24)下，廠商一樣選擇對其利潤最大之淨能源產出，與式(4.7)配合，可寫出其 Hamiltonian 函數，如式(4.25):

$$H = P \cdot [Q_i - g(Q_i)] - c(Q_i) + \tau Q_i + \mu(-\{E - [Q - g(Q)]\}) \quad (4.25)$$

在一階條件下，追求利潤極大的廠商可求出其短期下之能源產出：

$$(P + \mu)(1 - g_Q) - c_Q + \tau = 0 \quad (4.26)$$

將式(4.26)之短期作比較靜態分析，得到式(4.27):

$$\frac{dQ_i}{d\tau} = \frac{-1}{-(P + \mu)g_{QQ} - c_{QQ}} > 0 \quad (4.27)$$

由式(4.27)中，可以得知，若以總產出作為補貼，則不管廠商生產是否有效率，補貼增加都會使廠商增加生產再生能源的總產出，如果廠商是一不效率廠商，其過多的產出反而對社會是一種負擔，解決不了溫室氣體的問題，反而使其益加惡化。注意式(4.27)與式(4.23)是不同的；在式(4.23)中，補貼增加只會使「有效率的廠商」產出增加，而在式(4.27)中，補貼增加將使「不效率的廠商」與「有效率的廠商」都增加生產。

第四節 數量政策

這裡要談的數量政策是指可交易綠色權證。數量政策一樣也可分為以淨能源產出為基礎的數量政策以及以總能源產出為基礎的數量政策。在現行的可交易綠色權證之下，政府規定再生能源廠商至少需生產一定的再生能源產量 \bar{Q} ，而廠商生產超過此一 \bar{Q} 數量的再生能源時，政府將就此超過規定產量的部分每單位配予一單位權證，供廠商於市場上交易，不足規定產出數者可購買權證，而超過規定產出數者則售出權證，獲取利潤。此數量政策之運作乃是以總產出為概念的運作模型，今將此數量政策改為以淨能源產出為基礎的模型，並與原先實施之以總能源產出為基礎之數量政策比較之。

所謂以淨能源產出為基礎的數量政策，意指政府規定廠商生產一再生能源淨產量 \bar{N} ，若廠商生產超過此 \bar{N} 的數量，政府當局便就每單位產出之淨能源核發可交易綠色權證以供其交易。這裡為了簡化分析，也假設廠商並沒有每期投資的行為，不過，化石能源存量有限，廠商在長期的生產下，利潤也會受到此存量的限制。

一、以淨能源產出為基礎之數量政策

在以淨產出為基礎之數量政策下，「有效率」的廠商極大化其利潤，則其目標函數如式(4.28)。

$$\max_{Q_i} \int_0^T e^{-rt} \left\{ P \cdot [Q_i - g(Q_i)] - c(Q_i) + P_c \cdot [Q_i - g(Q_i) - \bar{N}] \right\} dt \quad (4.28)$$

式(4.28)中， \bar{N} 為政府規定之淨能源產出數量， P_c 為可交易綠色權證之價格。個別廠商在規定的淨能源產出為基礎與存量限制之下，欲極大化本身利潤，將選出最適

的再生能源總產出。注意這裡一樣只有有效率的廠商才會加入生產，因為只有有效率的廠商才有利潤可言。

完整書寫此最適控制模型，可將式(4.28)與式(4.7)和式(4.10)合併，寫出如下式：

$$\begin{aligned} \max_{Q_i} \int_0^T e^{-rt} \left\{ P \cdot [Q_i - g(Q_i)] - c(Q_i) + P_c \cdot [Q_i - g(Q_i) - \bar{N}] \right\} dt \\ \dot{S} = -\{E - [Q - g(Q)]\} \\ S(0) = S_0, S(T) = \underline{S} \end{aligned}$$

在式(4.28)之廠商利潤極大化之目標函數與存量限制式(4.7)下，寫出其 Hamiltonian 當期值(current value)函數如式(4.29):

$$H = P \cdot [Q_i - g(Q_i)] - c(Q_i) + P_c \cdot [Q_i - g(Q_i) - \bar{N}] + \mu(-\{E - [Q - g(Q)]\}) \quad (4.29)$$

廠商乃選擇最適之淨能源產出，其一階條件如式(4.30)。

$$(P + P_c + \mu)(1 - g_Q) - c_Q = 0 \quad (4.30)$$

將式(4.30)與式(4.12)比較，在淨能源為基礎的數量政策下，藉由對淨能源數量的調整，使得再生能源權證價格，等於溫室氣體存量減少之影子價格與排放係數的乘積時，就可內部化此外部效益，引導廠商選擇最適之再生能源淨產出。

如同式(4.23)，我們可以藉由對式(4.30)短期下之產出作比較靜態分析，得到如果政策是以淨能源產出為基礎，則當權證價格增加時，有效率的廠商其能源產出將增加，即如式(4.31):

$$\frac{dQ_i}{dP_c} = \frac{-(1-g_Q)}{-[P+P_c+\mu]g_{QQ}-c_{QQ}} > 0 \quad (4.31)$$

二、以總能源產出為基礎之數量政策

在以淨能源為基礎的數量政策下，只要政府當局設定適合的再生能源淨產出，使得再生能源權證價格 P_c 等於溫室氣體存量減少的影子價格與氣體排放係數乘積時，就可內部化此外部效益，引導廠商選擇最適之再生能源總產出，但是，在以總產出作為政策基礎下的權證交易制度下，廠商之能源產出很難與社會最適下最適再生能源產出相同。這是因為不效率的廠商在此種制度下也加入生產。考慮以總產出做為基礎的數量設定情況下，廠商之利潤極大化模型，我們在總能源產出之數量設定基礎下，一樣先使廠商選出利潤極大的總能源產出，即

$$\max_{Q_i} \int_0^T e^{-rt} \left\{ P \cdot [Q_i - g(Q_i)] - c(Q_i) + P_c \cdot (Q_i - \bar{Q}_i) \right\} dt \quad (4.32)$$

在總能源數量受限制之下，廠商一樣選擇對其利潤最大之總能源產出，其 Hamiltonian 當期值(current value)函數如式(4.33)，此時，不管廠商有無效率，只要權證價格夠高，能使廠商獲利，則廠商將加入生產。

$$H = P \cdot [Q_i - g(Q_i)] - c(Q_i) + P_c \cdot (Q_i - \bar{Q}_i) + \mu(-\{E - [Q - g(Q)]\}) \quad (4.33)$$

在一階條件下，可求出此追求利潤極大之廠商短期下之能源產出：

$$(P + \mu)(1 - g_Q) - c_Q + P_c = 0 \quad (4.34)$$

如果想看權證價格增加，對於廠商能源產出的影響，可將式(4.34)做比較靜態分析，發現在以總能源產出為基礎的政策之下，不管廠商是否為效率廠商，只要權證價格增加，廠商都會增加生產，如式(4.35):

$$\frac{dQ_i}{dP_c} = \frac{-1}{-(P + \mu)g_{QQ} - c_{QQ}} > 0 \quad (4.35)$$

有效率的廠商增加生產故屬好事，但不效率的廠商也增加生產則會使溫室氣體累積量增加，無助於解決溫室效應的問題。同樣的，式(4.35)代表不管廠商有無效率，只要權證價格增加，其都會增加生產，而式(4.31)中，權證價格增加，僅有「有效率」的廠商會增加生產。