

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

汙染管制不完全執行下之水汙染防治成本函數估計

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2415-H-032-017-

執行期間：91年12月01日至92年07月31日

執行單位：淡江大學產業經濟系(所)

計畫主持人：洪鳴丰

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 92 年 11 月 1 日

摘要

本研究考量現實中污染管制無法完全執行的情形，估計各水污染物之污染防治成本函數，改進既有文獻對於水污染防治成本函數估計的一些缺點，例如：(1) 沒有考慮污染廠商的行為目標；(2) 以污染廠商為單位之水污染防治成本函數實證研究不足；(3) 以放流水污染濃度高低而非污染減量做為污染防治的產出；(4) 假設污染管制都能夠完全執行。我們並特別強調，在污染管制無法被完全執行的實況下，污染廠商會有匿報污染排放量的行為發生，從而如果直接使用污染廠商我申報的資料進行估計，將會造成污染防治成本函數的低估。因此，本研究在傳統的隨機誤差項外，加入一非負的誤差項 u ，以抓住污染廠商對污染排放量的匿報效果，並以最大概似法進行估計，此估計結果具一致性與漸近效率性。

關鍵詞：水污染、不完全執行、防治成本函數、匿報、隨機邊界分析

Abstract

In this research, we propose to estimate the water pollution abatement cost functions where the pollution regulations are not perfectly enforced. A number of estimation problems in the existing literature are improved, including: (1) failure to rely on data from behavioral objective of polluting firms; (2) lack of the use of plant-level data to estimate abatement cost functions; (3) pollution concentration rather than pollution reduction load to be the output of abatement activity; and (4) implausible assumption of perfectly enforceable regulations. In particular, we stress that under imperfectly enforceable regulations, estimates of the abatement cost function are biased upward if self-reporting data are used to estimate directly. To improve the estimation, we add a nonnegative component u into the error term (in addition to the traditional random one) to catch the unobservable effect of concealment on emitted pollution. The resulting maximum-likelihood estimators are consistent and asymptotically efficient.

Keywords: water pollution, imperfectly enforceable regulations, abatement cost function, concealment, stochastic frontier analysis

一、研究動機與研究目的

水污染防治成本函數的實證估計非常重要，就水污染管制工具（如水污費、管制標準）而言，我們需要知道水污染防治的邊際防治成本，才能設定最適的水污費水準以及管制標準；就防治工具間之成本有效性比較、污染管制對相關產業的衝擊衡量、以及對環境破壞的損害評估而言，我們都需要防治成本函數的訊息才能進行各項估計與模擬的工作。然而，水污染防治成本函數的估計，並沒有像其他一般財貨的成本函數般，獲得廣泛的研究。

既有文獻的一個問題是污染廠商的行為目標（如污染防治成本極小化或利潤極大化）常遭忽略，政策分析與防治工具的設計往往依據工程模型的估計結果進行，結果，因為工程模型的設定與現實情況差異性大，從而使得分析的結果與工具的設計不甚理想。Dasgupta et al. (1996) 與 Hartman et al. (1997) 研究指出，美國政府使用工程模型所預測的 SO₂ 排放許可證交易價格，大概是許可證實際交易價格的十倍，差異巨大。因此，本研究的第一個目的，乃是明確設定水污染廠商在污染防治面的行為目標為在其既定之污染防治技術下，極小化其總污染防治成本，並據此推導出水污染防治成本函數，進行計量估計。基本上，此估計之防治成本函數，應該具有邊際防治成本遞增以及規模經濟的性質。

本研究的第二個目的，是使用以污染廠商為單位的資料，進行個別水污染物的水污染防治成本函數估計。大部分的水污染防治成本函數研究都使用污水處理廠的資料進行，例如 Rossi et al. (1979)、Fraas and Munley (1984)、McConnell and Schwarz (1992)、Schwarz and McConnell (1995)、黃宗煌（1996）、黃宗煌等（1997）、Fu and Huang (2002)、以及 Chen and Chang (2002) 等。究其原因，可能是污水處理廠的水污染防治相關資料，較易於蒐集而且資料品質較佳的緣故。

然而，僅有污水處理廠的污染防治成本函數估計並不夠，因為污水處理廠的污染防治技術和設備可能和其他污染廠商者相當不同，所以我們不能用污水處理廠的函數估計結果來代替其他產業的水污染防治成本函數。此外，依據「廢（污）水排放收費辦法」，國內計算事業應繳之水污染防治費是對各污染物項目進行徵收，因此本研究乃以污染廠商為單位的資料，進行個別水污染物的防治成本函數估計。

本研究的第三個目的，是把水污染防治活動的產出明確界定為污染減量，而非放流水的污染濃度高低。Goldar et al. (2001) 批評既有使用放流水污染濃度高低做為防治產出並進行防治成本函數估計的計量研究並不適當（見該文之 104-5 頁），此處，我們同意 Goldar et al. (2001) 對既有文獻的批評，並以污染減量為防治活動的產出。根本而言，污染防治成本與污染減量間的關係直接而明確，進流和放流廢水之污染濃度間的關係、以及防治成本和放流水濃度高低間的關係，則既不清楚也非必然。

本研究的第四個目的，是把真實世界中不可避免的管制不完全執行情況納入考量。這是本計畫所特有的貢獻。所有既存文獻均在假設污染管制能夠完全執行、污染防治資料正確的情況下，進行水污染防治成本函數的估計。然而，這種

假設值得商榷，如同 Kwerel (1977) 所言：「除非管制制度能夠設計得使管制者和行為者的目標完全一致，否則自利的行為者，在管制者要求他們顯示相關訊息時，他們會有系統地欺騙管制當局。」^{1,2} 很明顯地，在污染管制方面，污染廠商的行為目標和環境管制者並不相同：雖然管制者要降低污染，污染廠商則要降低其污染防治成本，因此可能會有匿報污染排放量的欺騙行為發生。

由於真實世界中，污染管制沒有辦法被完全執行，管制者沒有辦法查到所有的匿報者並且予以有效懲罰，因此自利的廠商在不完全執行的污染管制下將會選擇低報其污染排放量或高報其污染減量，以降低自己的防治相關成本，從而，污染廠商自我申報的資料是有系統性偏誤的。因此，如果我們直接使用污染廠商的調查資料進行防治成本函數的估計，估計結果將有偏誤，並且根據這些估計結果所進一步進行的相關評估以及設定的污染費率或管制標準等，也是有所偏誤而無法達成管制目標的。

以下，本研究即針對前述四項目的：(1) 明確設定水污染廠商在污染防治面的行為目標；(2) 使用以污染廠商為單位的資料，進行個別水污染物的防治成本函數估計；(3) 明確界定水污染防治活動的產出為污染減量，而非放流水的污染濃度高低；與 (4) 把真實世界中不可避免的管制不完全執行情況納入考量，對水污染防治成本函數進行研究與估計。

二、研究方法

首先，我們解釋在污染管制不完全執行下，廠商匿報行為發生的原因，接下來進行水污染防治成本函數的基本計量模型設定，然後，探討在污染管制不完全執行下，計量模型應該如何改進以修正匿報行為造成的系統性偏誤問題。

(一) 為什麼在污染管制不完全執行下，廠商會匿報污染排放量

真實世界中，有很多種原因造成污染管制不能完全執行，例如：管制者和受管制廠商間的非對稱性訊息問題、管制者和管制執行者間的主人代理人問題 (principal-agent problem) 廠商對管制執行者的賄賂行為、以及完全執行之鉅額行政和執行成本等。而在不完全執行的污染管制下，自利的廠商便可能會匿報他們的污染排放量，為什麼呢？以下，我們設定一個一般的管制情境，並且使用簡單的數學比較，以理解廠商為什麼不誠實申報污染排放量，並且解釋不完全管制會造成什麼樣的資料偏誤。

假定有一個廠商，他面對污染管制標準 e_s ，並且被管制者要求要自我申報其

¹ 見 Kwerel (1977)，第 595 頁，"unless a system can be designed which makes the objectives of individual agents coincide with the regulator's objectives, self-interested agents will systematically deceive the regulatory authority when asked to reveal their information."

² 在理論的研究方面，有很多文章研究廠商在不完全執行下的行為，並且提出各種管制工具設計，意圖引導廠商誠實申報其污染排放量或減少匿報的程度，例如 Kwerel (1977), Harford (1978, 1987, 1991), Harrington (1988), Kambhu (1989), Gabel and Sinclair-Desgagné (1993), Malik (1993), Kaplow and Shavell (1994), Huang (1996), 以及黃宗煌、楊東海 (1997) 等。

污染排放量。假設他的始初污染排放量是 e_0 ，自我申報排放量是 e_r ，而真實排放量是 e_a 。對於違反管制標準以及匿報的廠商，管制者會予以處罰，以促使廠商達到污染管制標準並且誠實申報。首先，對於廠商申報的污染排放量超過管制標準的部分 ($e_r - e_s$)，每一單位都會被處以 f 元的罰款；其次，若污染廠商被發現匿報 ($e_a - e_r > 0$)，則會被處以 N 元懲罰，不過因為管制無法完全執行，所以廠商只有 P 的機率會被發現匿報。我們假設 P 和 N 都是匿報量 ($e_a - e_r$) 的遞增函數，亦即匿報量愈大時，越容易被發現匿報，並且被發現後的懲罰也越高。為求符號的簡化，在下面的說明中，我們將此二函數表達為 $P(\cdot)$ 與 $N(\cdot)$ 。

在此管制情境下，如果廠商誠實申報其污染排放量 ($e_a = e_r$)，則他所面對的成本為：

$$C(e_0 - e_a) + f \cdot (e_a - e_s), \quad (1)$$

其中， $C(e_0 - e_a)$ 是廠商的防治成本， $f \cdot (e_a - e_s)$ 是廠商違反管制標準的罰款。

如果廠商匿報其污染排放量 ($e_a > e_r$)，則其期望成本是：

$$C(e_0 - e_a) + P(\cdot)[f \cdot (e_a - e_s) + N(\cdot)] + [1 - P(\cdot)][f \cdot (e_r - e_s)], \quad (2)$$

式中，第二部分指的是此廠商有可能被發現匿報（機率 P ），並且被懲以違反標準以及隱匿不報的兩種處罰，而第三部分指的是該廠商也有可能匿報但沒被發現（機率 $1-P$ ），從而只須支付他所承認的違反標準部分之罰款即可。

污染廠商會比較這兩種成本的大小，以決定如何申報，例如如果匿報的期望成本低，則決定匿報，反之，則誠實申報。從數學來看，如果我們用(2)式減(1)式，得到差額

$$\{P(\cdot)[N(\cdot) + f \cdot (e_a - e_r)] - f \cdot (e_a - e_r)\}, \quad (3)$$

則

$$\frac{\partial}{\partial (e_a - e_r)} \{P(\cdot)[N(\cdot) + f \cdot (e_a - e_r)] - f \cdot (e_a - e_r)\} \geq 0, \text{ 且 } \frac{\partial}{\partial (e_a - e_r)} \{P(\cdot)[N(\cdot) + f \cdot (e_a - e_r)] - f \cdot (e_a - e_r)\} < 0, \text{ 且 } \frac{\partial}{\partial (e_a - e_r)} \{P(\cdot)[N(\cdot) + f \cdot (e_a - e_r)] - f \cdot (e_a - e_r)\} = 0.$$

在污染管制完全執行的情況下 ($P=1$ 且 $N>0$ 、或 $N = \infty$)，我們可以看到該差額一定大於零，所以廠商一定會誠實申報。但是在污染管制不完全執行下，只要匿報的成本比誠實申報者低，廠商就會隱匿其污染排放量。此外，當廠商匿報被發現的機率 (P) 或者匿報的懲罰 (N) 降低時，匿報的情況會更嚴重；而提高違反標準的罰款 (f)，如果沒有同時提高發現匿報的機率以及匿報罰款，也會造成匿報更嚴重（此可由(3)式對 f 微分之導數小於或等於零看出）。

(二) 水污染防治成本函數之基本設定

方法論上，污染防治成本函數與污染防治函數間有對偶性 (duality) 存在。

污染防治函數乃是設定污染防治投入（如資本、勞動、能源等）與污染減量之間的關係，此可以數學式表達為 $Y = f(X)$ ，其中 Y 是污染減量， X 是污染防治的投入。假設一個廠商在污染防治面的目標是極小化其污染防治成本，則在前述的防治函數設定下，我們可以推導出污染防治成本函數：

$$C = C(Y, W),$$

其中， C 是防治成本， W 是防治投入的價格向量。

如果我們假設水污染防治成本函數的形式是對數線性 Cobb-Douglas 形式，則我們可將其以數式表達為：

$$\ln C = \alpha_0 + \alpha_Y \ln Y + \sum_i \alpha_i \ln W_i, \quad (4)$$

其中， α_0 、 α_Y 、與 α_i 是我們要估計的參數，下註標 i 代表投入。

如果我們假設防治成本函數是超越對數型態，則模型設定如下（Christensen and Greene, 1976）：

$$\ln C = \alpha_0 + \alpha_Y \ln Y + \frac{1}{2} \gamma_{YY} (\ln Y)^2 + \sum_i \alpha_i \ln W_i + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \gamma_{ij} \ln W_i \ln W_j + \sum_i \gamma_{Yi} \ln Y \ln W_i, \quad (5)$$

其中， $\gamma_{ij} = \gamma_{ji}$ 。為了對應到合理的污染防治函數，此防治成本函數必須是價格的一次齊次函數，亦即給定一污染減量水準，防治成本必須隨價格的增加呈同比例增加。此隱含下列參數條件必須成立：

$$\begin{aligned} \sum_i \alpha_i &= 1, \\ \sum_i \gamma_{Yi} &= 0, \\ \sum_i \gamma_{ij} &= \sum_j \gamma_{ij} = \sum_i \sum_j \gamma_{ij} = 0. \end{aligned}$$

（三）污染管制不完全執行下之水污染防治成本函數設定

由前面的分析，我們知道在污染管制不完全執行下，污染廠商可能會匿報他們的污染排放量，因此 $e_a > e_r$ ，從另一個角度看，此即表示廠商申報的污染減量 $(e_0 - e_r)$ 大於他們真正的污染減量 $(e_0 - e_a)$ 。在圖一中， $L(\cdot)$ 代表污染減量的等產量曲線，在價格 W 下，廠商投入 X^a 防治污染，產出真正的污染減量 $Y^a (= e_0 - e_a)$ 。然而，因為匿報，所以此防治減量被誇大為 $Y^r (= e_0 - e_r)$ ，而污染防治投入亦被誇大為 X^r ，因此，直接以這些自我申報的資料估計污染防治成本函數，將得到高估的結果，此看法和 Goldar et al. (2001) 一致。³

針對這種因匿報造成的偏誤問題，在估計方法上，本研究係採用已經發展得

³ “Abatement cost data drawn from a survey of private sector firms may at times have an upward bias, because there is a strong possibility of the firms over-reporting their abatement costs in the belief that their responses will affect future regulation decisions.” Goldar et al. (2001), footnote 15.

相當成熟的隨機邊界分析 (stochastic frontier analysis) 方法⁴進行之，我們嘗試在傳統的隨機誤差項外，加入一個非負的誤差項 u 以抓住此匿報的偏誤，然後進行估計。例如，如果水污染防治成本函數是對數線性 Cobb-Douglas 形式，那麼等式(4)可以重寫為：

$$\ln C = \alpha_0 + \alpha_Y \ln Y + \sum_i \alpha_i \ln W_i + v + u, \quad (6)$$

式中， v 是傳統的雙邊干擾項 (two-sided noise component)，代表對防治成本函數的隨機干擾，像是難以預測的天氣變化、機器設備或電力的突發狀況等。 u 是單邊的非負誤差項，此處用來處理單邊的系統性匿報偏誤。此外， v 和 u 符合下列分配假設：

- (i) $v \sim \text{iid } N(0, \sigma_v^2)$ ；
- (ii) $u \sim \text{iid } N^+(0, \sigma_u^2)$ ，即服從非負的半常態 (nonnegative half normal) 分配；
- (iii) v 和 u 彼此獨立，並且與其他解釋變數間亦是彼此獨立。

假設(i)是傳統的設定，假設(ii)則是基於合理的推論所設：因為匿報有被發現的風險，所以大部分的廠商並不會選擇匿報，因此眾數為零，並且因為對匿報的懲罰以及匿報被發現的機率是隨著匿報量而提高的，所以匿報的可能隨著匿報量的增加而減少。此外，做此非負的半常態分配之假設，還有一個原因是因為在在假設(i)和(ii)下，要推導 v 和 u 之差的分配較為容易 (Ritter and Simar (1997))。

此模型可以採用最大概似法 (maximum-likelihood method) 估計之，對數概似函數為：

$$\ln L = -\frac{N}{2} \ln\left(\frac{2}{\pi}\right) - N \ln \sigma - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{k=1}^N \varepsilon_k^2 + \sum_{k=1}^N \ln \Phi\left(\frac{\varepsilon_k}{\sigma} \lambda\right), \quad (7)$$

式中， $k=1, \Lambda, N$ 代表廠商， $\varepsilon_k = v_k + u_k$ ， $\sigma^2 = \sigma_v^2 + \sigma_u^2$ ， $\lambda \equiv \frac{\sigma_u}{\sigma_v}$ ， $\Phi(\cdot)$ 是標準常態的累積分配函數。 λ 所代表的是 u 和 v 對於殘差 ε 的相對貢獻，當 $\lambda \rightarrow 0$ ($\sigma_v^2 \rightarrow +\infty$ 或 $\sigma_u^2 \rightarrow 0$)，則殘差 ε 主要是由對稱的誤差項 v 所影響，並沒有匿報

造成的偏誤問題；當 $\lambda \rightarrow +\infty$ ($\sigma_v^2 \rightarrow 0$ 或 $\sigma_u^2 \rightarrow +\infty$)，則殘差 ε 主要是由單邊的誤差項 u 所影響，污染防治成本函數的偏誤，全部由匿報造成。此最大概似法之估計，可以使用電腦軟體 LIMDEP 8.0 之隨機邊界模型 (stochastic frontier models) 進行之，估計結果具備一致性與漸近效率性 (Aigner et al., 1977)。

三、資料描述

⁴ 有關隨機邊界分析的詳細介紹，可參考 Coelli, Rao, and Battese (1998) 與 Kumbhakar and Lovell (2000)。

⁵ 因為超越對數形式的防治成本函數之設定方式相同，不贅言。

本研究採用環保署民國 90 年之「事業廢水管理制度計畫—事業電腦檔案資料」進行水污染防治成本函數之估計。此資料集包括全國各縣市各產業廠商之水污染防治相關資料，內容相當詳細。

在水污染物方面，配合廢（污）水排放收費項目，資料集中包括化學需氧量（COD）、酚類、氰化物、鉛、銅、總鉻、鎳、鎘、以及懸浮固體（SS）等九種水污染物，各污染物之年實際最大總污染減量之敘述統計以及對應之有效樣本數如表一所示（酚類、鉛、鎘之樣本數太少，不予列出）。⁶其中，COD 與 SS 之污染減量最大，樣本數亦最多。

在污染防治成本方面，本研究首先利用資本還原因子（capital recovery factor）： $\frac{r(1+r)^T}{r(1+r)^T - 1}$ 將固定設備費用攤提到各使用年度（式中 r 代表實質利率，此處採用 5% 進行設算， T 為折舊年限），再加總年固定設備費用與年操作維護費而成總污染防治成本。表二所列為各污染物之總防治成本與年實際最大總污染減量之相關係數。

其他變數尚包括：縣市別、資本額、員工人數、年設計最大總污染減量、總廢水產生量實際最大量、總廢水排放量實際最大量、運作狀態、流域別等。

四、實證估計與結果分析

本研究以 Cobb-Douglas 以及超越對數模型設定進行水污染防治成本函數之估計，由於樣本為橫斷面資料，因此要素價格不變，前述之模型(4)、(5)可簡化為：

$\ln C = \alpha_0 + \alpha_Y \ln Y + v + u$ ：Cobb-Douglas 成本函數模型，以及

$\ln C = \alpha_0 + \alpha_Y \ln Y + \frac{1}{2} \gamma_{YY} (\ln Y)^2 + v + u$ ：超越對數函數模型。估計結果各如表三、表四所列。

表三中，COD、銅以及 SS 之污染減量，對總污染防治成本有顯著的正向影響，且 COD 與 SS 的防治具規模經濟特性，此可由其係數估計 < 1 看出；⁷ 銅之污染防治則沒有規模經濟。此外，觀察此三污染物之 λ 估計值均非常大，顯示殘差 ε 主要是由單邊的誤差項 u 所影響，亦即匿報的問題確實存在於樣本中，若無考慮此匿報偏誤，成本函數之估計將有所偏誤。至於表四之超越對數函數模型估計結果並不理想，污染減量之係數估計幾皆不顯著，嘗試加入廠商特性變數（如處理容量利用率、廢水處理量、行業別、流域別等），估計結果亦無獲得改善。

五、結論

⁶ 酚類一筆；鉛，七筆；鎘，26 筆，三者均不予進行其污染防治函數之估計以及相關說明。

⁷ $\frac{\partial \ln C}{\partial \ln Y} = \alpha_Y < 1$ ，則 MC（邊際防治成本） $<$ AC（平均防治成本），污染防治具規模經濟特性。

實證估計結果顯示，COD、銅以及 SS 之污染減量，對總污染防治成本有顯著的正向影響，且 COD 與 SS 的防治具規模經濟特性，並且匿報的問題確實存在於樣本中，殘差 ε 主要是由單邊的誤差項 u 所影響，因此若無考慮此匿報偏誤，成本函數之估計將有所偏誤。至於氰化物、總鉻、鎳之估計結果則並不顯著，對於此三種污染物，殘差 ε 主要是由隨機誤差項 v 所影響，匿報問題並不嚴重。

在樣本資料上，本研究所採用之環保署「事業廢水管理制度計畫—事業電腦檔案資料」，雖然內容相當詳細，包括全國各縣市各產業廠商之水污染防治相關資料，然因本研究取得之資料並非原始資料，因此估計過程頗受限制，例如資料集中，個別廠商僅對應其水污費徵收之污染物項目，因此無法進行多污染物之估計。

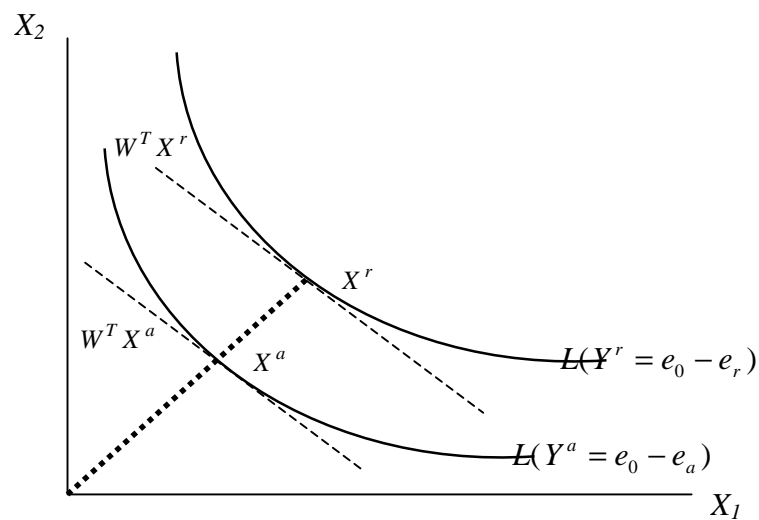
最後，本研究採用隨機邊界分析法於匿報下之防治成本函數估計，係基於前述理論之分析，認為匿報具單邊偏誤之特性，故適用之。然目前隨機邊界分析法在實證研究上，幾皆應用於生產或成本效率之估計，唯本研究以為，生產或成本效率之估計，只有在資料是正確的前提下方有意義，如果資料不正確，效率估計結果亦不正確。是以第一步驟應先消除資料之偏誤問題，至於要如何同時考慮匿報與成本效率兩種效果，在文獻上尚未有學者進行研究，是在計量分析方法上值得突破的研究題目之一。

參考文獻

- Aigner, D.J., C.A.K. Lovell, and P. Schmidt (1977), "Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models," *Journal of Econometrics*, 6, 21-37.
- Chen, H.W. and N.B. Chang (2002), "A Comparative Analysis of Methods to Represent Uncertainty in Estimating the Cost of Constructing Wastewater Treatment Plants," *Journal of Environmental Management*, forthcoming.
- Christensen, L.R. and W.H. Greene (1976), "Economies of Scale in U.S. Electric Power Generation," *Journal of Political Economy*, 84(4), 655-76.
- Coelli, T., D.S.P. Rao, and G.E. Battese (1998), *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*, Kluwer Academic Publishers.
- Dusgupta, S., M. Huq, D. Wheeler, and C. Zhang (1996), "Water Pollution Abatement by Chinese Industry: Cost Estimates and Policy Implications," Policy Research Working Paper 1630, World Bank, Washington DC.
- Fraas, A.G., V.G. Munley (1984), "Municipal Wastewater Treatment Cost," *Journal of Environmental Economics and Management*, 11, 28-38.
- Fu, T.T. and C.H. Huang (2002), "Efficiency Measurement and Multi-output Pricing of Waste Water Treatment in Taiwan," in Fu, T.T., C.J. Huang, and C.A.K. Lovell (eds.), *Productivity and Economic Performance in the Asia-Pacific Region*, UK: Edward Elgar, forthcoming.

- Gabel, H.L. and B. Sinclair-Desgagné (1993), "Managerial Incentives and Environmental Compliance," *Journal of Environmental Economics and Management*, 24, 229-40.
- Goldar, G., S. Misra, and B. Mukherji (2001), "Water Pollution Abatement Cost Function: Methodological Issues and An Application to Small-scale Factories in An Industrial Estate in India," *Environment and Development Economics*, 6, 103-22.
- Harford, J.D. (1978), "Firm Behavior under Imperfectly Enforceable Pollution Standards and Taxes," *Journal of Environmental Economics and Management*, 5, 26-43.
- Harford, J.D. (1987), "Self-Reporting of Pollution and the Firm's Behavior under Imperfectly Enforceable Regulations," *Journal of Environmental Economics and Management*, 14, 293-303.
- Harford, J.D. (1991), "Measurement Error and State-Dependent Pollution Control Enforcement," *Journal of Environmental Economics and Management*, 21, 67-81.
- Harrington, W. (1988), "Enforcement Leverage When Penalties Are Restricted," *Journal of Public Economics*, 37, 29-53.
- Hartman, R.S., D. Wheeler, and M. Singh (1997), "The Cost of Air Pollution Abatement," *Applied Economics*, 29, 759-74.
- Huang, C.H. (1996), "Effectiveness of Environmental Regulations under Imperfect Enforcement and the Firm's Avoidance Behavior," *Environmental and Resource Economics*, 8, 183-204.
- Kambhu, J. (1989), "Regulator Standards, Noncompliance and Enforcement," *Journal of Regulatory Economics*, 1(2), 103-14.
- Kaplow, L. and S. Shavell (1994), "Optimal Law Enforcement with Self-Reporting of Behavior," *Journal of Political Economy*, 102(3), 583-606.
- Kumbhakar, S.C. and C.A.K. Lovell (2000), *Stochastic Frontier Analysis*, Cambridge University Press.
- Kwerel, E. (1977), "To Tell the Truth: Imperfect Information and Optimal Pollution Control," *Review of Economic Studies*, 44(3), 595-601.
- Malik, A.S. (1993), "Self-Reporting and the Design of Policies for Regulating Stochastic Pollution," *Journal of Environmental Economics and Management*, 24, 241-57.
- McConnell, V.D. and G.E. Schwarz (1992), "The Supply and Demand for Pollution Control: Evidence form Wastewater Treatment," *Journal of Environmental Economics and Management*, 23, 54-77.
- Ritter, C. and L. Simar (1997), "Pitfalls of Normal-Gamma Stochastic Frontier

- Models,” *Journal of Productivity Analysis*, 8(2), 167-82.
- Rossi, D., C.E. Young, and D.J. Epp (1979), “The Cost of Joint Treatment of Domestic and Poultry Processing Wastewaters,” *Land Economics*, 55(4), 444-59.
- Schwarz, G.E. and V.D. McConnell (1995), “Local Choice and Wastewater Treatment Plant Performance,” *Water Resources Research*, 29(6), 1589-1600.
- 黃宗煌 (1996), 「工業區污水處理廠處理收費費率的訂定」, *台灣土地金融季刊*, 33(1), 197-227。
- 黃宗煌、吳炳煌、蔣本基 (1997), 「污水處理收費之費率訂定—多元產出下的定價」, *台灣土地金融季刊*, 34(1), 1-27。
- 黃宗煌、楊東海 (1997), 「誠實且立即申報污染實況之誘因機制與環境政策的効果」, *經濟論文*, 25(2), 163-200。



圖一 真實與自我申報之污染減量的等產量曲線

表一 各污染物之年實際最大總污染減量之敘述統計

污染物	平均數 (噸)	標準差	最小值 (噸)	最大值 (噸)	樣本數
COD	154.7667	975.4586	1.0050	37463.5800	5577
氰化物	6.3775	7.4003	1.0260	30.5760	31
銅	9.5049	32.1073	1.0115	273.6000	93
總鉻	6.6735	16.7720	1.0312	109.6708	44
鎳	9.4104	30.2170	1.0043	222.3907	131
SS	3476.2164	16334.7540	1.0200	233782.3380	246

表二 各污染物之總防治成本與年實際最大總污染減量之相關係數表

污染物	相關係數
COD	0.363
氰化物	0.307
銅	0.376
總鉻	0.550
鎳	0.361
SS	0.086

表三 Cobb-Douglas 模型估計結果

變數	COD	氰化物	銅	總鉻	鎳	SS
常數項	13.720** (9.421)	5.163 (0.027)	5.754 (1.045)	-328.339 (-0.005)	-508.434 (0.000)	-9.001** (-7.350)
污染減量	0.121* (1.669)	2.737 (0.052)	3.576* (1.680)	-36.239 (-0.022)	26.507 (1.035)	0.483* (1.866)
λ	1034.504	2.503	20002441.400	0.262	0.040	3294653.232
σ	600.181	677.035	686.522	511.005	501.447	617.505
Log-likelihood	-39728.040	-224.546	-674.933	-335.912	-1000.308	-1759.256

註：刮號中數字為 t 值。 **表通過 5%顯著水準； *表通過 10%顯著水準。

表四 超越對數模型估計結果

變數	COD	氰化物	銅	總鉻	鎳	SS
常數項	12.594 (0.789)	-345.553 (-0.010)	5.173 (0.050)	-224.660 (-0.001)	-470.249 (0.003)	-999.002 (-7.504)
污染減量	1.047 (0.255)	-208.357 (-0.422)	5.610 (0.216)	-424.379 (-0.483)	-43.459 (-0.084)	-0.109 (1.000)
污染減量 ²	-0.118 (-0.119)	99.607 (0.473)	-1.006 (-0.120)	99.144 (0.456)	16.584 (0.086)	0.050 (0.021)
λ	17253153.170	0.263	1893877.884	0.072	0.035	1504777.654
σ	600.389	491.893	685.699	482.341	500.478	617.614
Log-likelihood	-39726.410	-235.481	-674.829	-334.221	-1000.070	-1759.256

註：刮號中數字為 t 值。 **表通過 5%顯著水準； *表通過 10%顯著水準。