

# 港務公司化之船舶空氣污染管理對策

郭彥廉 國立成功大學經濟學系副教授  
黃柏凱 國立成功大學經濟學系碩士

## 摘要

船舶的空氣污染對港市的空氣品質產生顯著的影響，但目前卻僅針對其排放粒狀污染物進行管制，且未如其他移動源課徵空污費。本文比較航商、港務公司與航港局、及社會三者對於三種船舶空氣污染防治制度-命令管制、課稅、及保證金-之成本最小化時的最適條件。首先，印證在港務公司化的條件下，保證金制度仍可以達到社會最適污染防治水準。其次，當考量保證金制度下主動稽查機率較命令管制與課稅高時，相較

於命令管制與部分退款保證金制，全額退款保證金制度能達到與課稅制度相近的較高妥善處置水準，且港務公司與航港局投入污染防治業務較多。最後，因空氣污染排放量及船舶使用燃油種類不易查核，課稅(空污費)困難。近岸更換燃油及減速等措施可以全額退款保證金制度達成。

關鍵字：船舶、空氣污染、課稅、保證金制度、港務公司

JEL: H23, K32, K42, Q53, Q58

## 一、前言

2013 年底至 2014 年初，黃色小鴨在基隆港展出，黃色小鴨幾天內變成髒小鴨。根據自由時報 2014 年 1 月 9 日報導，行政院環境保護署(以下簡稱環保署)認為港區船舶黑煙是主要污染源之一，已經與交通部、港務公司研議，向進港船舶收空污費。台灣以出口產業為導向，因此商船之進出量龐大。2013 年基隆港便有 12,468 艘次，將近 2000 萬噸位進出，高雄港有 34,593 艘次，7.8 億噸位進出。船隻在

港口停靠時可能產生許多的污染，而這些污染對於港口周圍環境可能產生不良的影響。環保署民國 101 年出版的高屏地區總量管制計畫(初稿)分析高屏空氣品質區中，船舶貢獻移動源的氮氧化物(NOx)排放 15%，硫氧化物(SOx)96%，顯見船舶排放空氣污染對港埠地區的影響。交通部出版的「臺灣綠色港埠建置」研討會論文集(2011)指出，近年來許多國際商港，包括中國天津港、日本大阪港、美國長提港、

澳洲雪梨港與荷蘭鹿特丹港，也開始重視港口的污染，開始了綠色港埠計畫，所謂的綠色港埠計畫之核心為平衡環境挑戰與經濟需求，意即在重視港埠之經濟效益外，以塑造低環境污染、高生物多樣性、環境復育、結合周邊社區利益等港市環境。

目前針對船舶產生的空氣污染，環保署雖依空氣污染防治法制定交通工具空氣污染物排放標準，但該標準僅對船舶排放粒狀污染物進行管制，不僅對其他空氣污染物未有管制，也未如固定污染源或汽機車收取空氣污染防治費(以下簡稱空污費)。2013 年發生日月光公司污染後勁溪事件，可知在修法前水污染防治法數十萬的罰則仍無法遏阻固定污染源廠商違法，屬移動源的船舶污染除目前命令管制及

提高罰則等方式以外，如空污費或保證金制度是否可行？此外，交通部參照國際先進海運國家採取「政企分離」之航港管理作法，於 2012 年將原分屬於各港的經營業務，合併成立臺灣港務股份有限公司(以下簡稱港務公司)，而航務行政業務則另整合成立交通部航港局。過去污染防治制度研究主要著重在不同制度下污染者(廠商)行為，而管制者因為政府機關而不討論其經濟誘因。然而，港務公司為具有利潤極大化特性的營利事業。本文討論在此商港環境中空氣污染防治制度達到社會最適的條件，以及應用較高妥善處置比率制度於特定防治措施—換用低硫燃油、降低航速、岸電系統等的方式。

## 二、文獻回顧

以下先回顧國際與國內對船舶空氣污染的相關規定，再者，回顧評估管制船舶空氣污染措施文獻，最後，回顧以經濟模型比較污染管制制度之文獻。

### 一、船舶污染之國際公約與國內法規

國際間對於船舶污染的主要管制是「防止船舶污染國際公約」(International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, MARPOL)，該公約其中一個附件為空氣污染(Air Pollution)。管制方式是針對新船舶不同功率柴油機所產生的 NO<sub>x</sub> 進行限制，透過在部分航行區域及使

用燃料含硫量的限制減少 SO<sub>x</sub> 排放。由於國際公約為多數國家簽屬同意，規範的是最低的要求。台灣也在船舶法第 101 條直接採納國際公約標準，規定船舶主管機關對船舶技術與管理規則或辦法參照有關國際公約或協定及其附約所訂標準、建議、辦法或程式。商港法第 75 條也規範主管機關對於商港安全及管理事項涉及國際事務者參照國際公約或協定及其附約所定規則、辦法、標準、建議或程式。因此，已生效之國際公約均內國法化。

國內對於船舶污染主要由商港法及海洋污染防治法(以下簡稱海污法)

進行規範。根據商港法，商港的管理機關為港務公司，執法機關為交通部航港局，目前多數違規處罰是由民眾、航商、海巡等檢舉或通報後查處。商港法的規範僅限於商港內，實務上以離海岸線三海浬為範圍。海污法的主管機關在中央為環境保護署，在地方為地方政府，執法機關為海岸巡防署，其工作以商港內與商港外之巡邏任務，以及登記船隻港口進出記錄為主，同時針對違法事項進行搜證，由主管機關對違法事項處罰，而當有污染發生時，除罰款外，港務公司及海岸巡防署亦會協助清理。海污法管理範圍為本國之海岸線至領海，因而與商港法規範區域重疊，但過往因機關之間相互協調不曾發生一罪二罰之情況。在船舶空氣污染方面，則如前述僅針對船舶粒狀污染物進行規範。

除了前述法規直接對船舶污染進行管理，主管機關可以對港務公司進行處罰，例如在港務局尚未改制成港務公司時，曾經因為在港區施工時進行不當海拋，而遭到海洋局處罰。海污法亦有授權機制，如第 11 條規範各類港口管理機關應依本法及其他相關規定採取措施，以防止、排除或減輕所轄港區之污染。各類港口目的事業主管機關，應輔導所轄港區之污染改善。第 27 條更賦予港口管理機關對海洋環境有造成污染之船舶禁止其航行或開航。第 28 條規範港口管理機關或執行機關於必要時，得會同中央主管機關查驗我國及外國船舶之海洋污染防治證明書或證明文件、操作手冊、油、貨紀錄簿及其他經指定之文件。

第 29 條規範各類港口管理機關應設置污染物之收受設施，並得收取必要之處理費用。由此可知，港務局與港務公司有依據環保法令在港區內進行污染防治的責任，同時可以採用命令管制或收費等方式管理。

## 二、船舶空氣污染與減量評估

目前已有許多文獻估計港區船舶空氣污染，以及船舶污染減量措施之效果。例如 Chang and Wang (2012) 以高雄港為例，評估船隻進港時可透過下列辦法減少港區內空污：

1. 低硫燃油的使用，使二氧化硫( $\text{SO}_2$ )與懸浮粒子(PM)分別減少 63% 與 65.7%，然而換用低硫燃油會比原來成本高出 37.2%，在短期下難以讓航商產生更換的經濟誘因。
2. 若將進港航速控制在 11 至 12 海浬，可讓燃油使用量最小化，達到減少成本的效果，同時可分別將二氧化碳( $\text{CO}_2$ )、PM、氧化氮( $\text{NO}_x$ )、 $\text{SO}_2$ 與碳氫化合物(HC)排放量減少 68.5%、68.3%、68.3%、55.4% 與 68.3%。
3. 若船隻停靠時使用岸電系統，則船隻不需要使用任何燃油，可以分別讓  $\text{CO}_2$ 、PM、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{SO}_2$  與 HC 排放量減少 57.2%、39.4%、49.2%、63.2% 與 29.2%。但是岸電系統造價昂貴，航商配合意願不高。

Chang and Wang (2012) 亦指出，目前較可行之方法為進港減速，同時減速區範圍的規定，也會影響到減少廢氣污染排放的效果，將減速區距離設定在 20 海浬時可以達到最好的效果，可以達到估計值的 71% 至 91%。

Berechman and Tseng (2012) 估計



高雄港港區內船隻與卡車排放的廢氣污染量及其造成之環境成本。根據高雄港 2010 年所記錄的船隻資料進行分類，並估計各類型船隻與卡車產生之廢氣污染排放數量，再進而計算環境成本。各種污染之環境成本總和，船隻會造成 1 億 1 千 9 百萬美元的環境成本，卡車則會造成 420 萬美元的環境成本，而整體空污量以 $CO_2$ 為最大宗，但其單位環境成本非常小，因此佔總成本的小部分，但細懸浮粒子( $PM_{2.5}$ )與可吸入懸浮粒子( $PM_{10}$ )之單位環境成本非常大，因此佔總成本大部分。

McArthur and Osland(2013)也嘗試使用與 Berechman and Tseng (2012)相同的方法去估計挪威卑爾根港的廢氣污染排放量，採用 2010 年卑爾根港之船隻資料，但使用了不同的方式去估計環境成本，其估計之總環境成本為 10 萬歐元至 21.5 萬歐元，而其廢氣污染排放量也是以 $CO_2$ 為大宗。

### 三、污染管理制度比較

運用經濟學原理對法律或制度進行分析，即慣稱法律經濟學，可以追溯到 Posner (1973)及 Becker (1974)。其概念是當人在面對法律或倫理道德規範時，仍會遵循著效用極大化的原則，將違反規範的成本與效益進行比較，近而決定因應作為。然而，運用經濟模型對污染管制制度進行比較的文獻不多，Fullerton and Kinnaman (1995)比較廢棄物收費及保證金制度，他們指出當固態廢棄物的處理方式只有丟棄與回收時，前者的最適收費為丟棄過程使用的資源成本，包括勞力、資本與土地掩埋場，再加上固態廢棄物

所產生的外部成本。如果加入第三種處理方式，非法棄置焚化時，由於無法被課稅，因此最適收費方式將會不同。他們認為應該採用保證金制度，對於所有產品皆課稅，如果之後有採取適當的處理方式，如丟棄與回收時，將會退回稅金。

Palmer et al. (1996)利用模擬的方式比較保證金制度、預徵處理費(即產品生產時先收廢棄物處理費)與回收補貼制度，若希望廢棄物能減量 10%，保證金制度每噸需 45 美元，預徵處理費每噸需 85 美元，回收補貼每噸需 98 美元。保證金制度在執行效益上是較好的，但他們也指出，如果保證金退款行政成本過高可能會改變這個結果，反而使得預徵處理費更有吸引力。

葉繼開與蕭代基(2004)則針對未妥善處置會有高度危害的有害事業廢棄物比較命令管制與保證金制度。保證金制度將舉證的責任移轉給污染者，此舉提高了管理者發現污染者任意處置污染物質的機率，也讓污染者在任意處置污染物質時需要冒更大的風險。若在現行命令管制制度中加入保證金制度，可提供足夠的經濟誘因使廠商將有害事業廢棄物妥善處置。

前述三個對廢棄物管制制度進行的經濟分析，均是以污染者(多為設定為廠商)效用極大化或成本極小化進行分析，假定管制者即政府單位會為了達到最有效的管制採用各種制度，是否能達成社會最適也缺乏論證。此外，葉繼開與蕭代基(2004)的文章未將課稅制度納入比較。本

文比較在環保署為主管機關的海污法規範下，港區經營者及航商兩種

廠商對船舶污染選擇最有效(成本最低)的空氣污染防治制度。

### 三、船舶空氣污染防治制度模型比較

假設航商在處理污染物質時有兩種處置方式，可選擇「妥善處置」或是「任意處置(未處理排放到環境)」，兩種方式具有完全替代之關係，當航商增加一單位妥善處置的污染物質時，表示減少了一單位任意處置的污染物質，任意處置會對環境造成損害。假設 $W_T$ 為污染物質的總量， $W_G$ 表示妥善處置的污染物質數量， $W_B$ 表示任意處置的污染物質數量，因此 $W_T = W_G + W_B$ ，且 $0 \leq W_G \leq W_T$ 、 $0 \leq W_B \leq W_T$ ，航商妥善處置與任意處置污染物質具有完全替代的抵換關係，因此 $\frac{\partial W_B}{\partial W_G} < -1$ 。令 $C_G(W_G)$ 表示航商妥善處置污染物質之成本，假設航商妥善處置污染物質之邊際成本為正且遞增，表示 $\frac{\partial C_G(W_G)}{\partial W_G} > 0$ 、 $\frac{\partial^2 C_G(W_G)}{\partial W_G^2} > 0$ 。令航商任意處置污染物質之成本為零， $C_T(W_T)$ 表示航商處置污染物質之總成本。

依據商港法第 2 條規定港務公司為管理機關，航港局為執法機關，港務公司需要航港局的陪同才能登船，因此假設港務公司與航港局為一體，其權責範圍為商港內；依據海洋污染防治法第 4 條，環保署為中央主管機關，海巡署為執法機關，環保署在污染防治上需要依靠海巡署的協助，因

此假設環保署與海巡署為一體，其權責為經濟海域內。港務公司與航港局投入之資源可以增加主動稽查次數、稽查發現任意處置污染物質之機率與減少環境損害成本，環保署與海巡署投入之資源亦有相同作用。 $L_P$ 表示港務公司與航港局投入之資源， $L_E$ 表示環保署與海巡署投入之資源；令 $C_P(L_P)$ 表示港務公司與航港局投入資源之成本，令 $C_E(L_E)$ 表示環保署與海巡署投入資源之成本，假設港務公司與航港局以及環保署與海巡署投入資源之邊際成本為正且遞增，表示 $\frac{\partial C_P(L_P)}{\partial L_P} > 0$ 、 $\frac{\partial^2 C_P(L_P)}{\partial L_P^2} > 0$ 、 $\frac{\partial C_E(L_E)}{\partial L_E} > 0$ 、 $\frac{\partial^2 C_E(L_E)}{\partial L_E^2} > 0$ 。

令 $PC(W_B, L_P, L_E)$ 表示航商任意處置污染物質對環境造成之損害成本，假設航商任意處置污染物質對環境造成之邊際損害成本為正且遞增，表示 $\frac{\partial PC(W_B, L_P, L_E)}{\partial W_B} > 0$ 、 $\frac{\partial^2 PC(W_B, L_P, L_E)}{\partial W_B^2} > 0$ 。

假設港務公司與航港局以及環保署與海巡署投入資源對環境造成之邊際損害成本為負且遞減，表示 $\frac{\partial PC(W_B, L_P, L_E)}{\partial L_P} < 0$ 、 $\frac{\partial^2 PC(W_B, L_P, L_E)}{\partial L_P^2} < 0$ 、 $\frac{\partial PC(W_B, L_P, L_E)}{\partial L_E} < 0$ 、 $\frac{\partial^2 PC(W_B, L_P, L_E)}{\partial L_E^2} < 0$ 。

環保署基於海污法及航港局基於商港法之執法範圍有所不同，前者為

海岸線至領海，後者僅商港範圍，過往因機關之間相互協調不曾發生一罪二罰之情況。故分別考量商港內外情形。港務公司與航港局(商港內)以及環保署與海巡署(商港外)投入之資源可以增加主動稽查次數、稽查發現任意處置污染物質之機率，而妥善處置與任意處置污染物質數量也會影響稽查發現任意處置污染物質之機率，當任意處置污染物質數量愈多時，稽查發現任意處置污染物質之機率也愈高(表 $\alpha_2(L_E, W_B)$ 、 $\beta_2(L_P, W_B)$ )。令 $\beta_1(L_P)$ 表示港務公司與航港局主動稽查航商之機率，令 $\beta_2(L_P)$ 表示港務公司與航港局發現有任意處置污染物質之機率，令 $\alpha_1(L_E)$ 表示環保署與海巡署主動稽查航商之機率，令 $\alpha_2(L_E)$ 表示環保署與海巡署發現有任意處置污染物質之機率。

假設港務公司與航港局以及環保署與海巡署投入資源之主動稽查邊際機率與發現任意處置污染物質邊際機率為正且遞減，表示

$$\frac{\partial \beta_1(L_P)}{\partial L_P} > 0, \frac{\partial^2 \beta_1(L_P)}{\partial L_P^2} < 0, \frac{\partial \beta_2(L_P, W_B)}{\partial L_P} > 0$$

$$, \frac{\partial^2 \beta_2(L_P)}{\partial L_P^2} < 0, \frac{\partial \alpha_1(L_E)}{\partial L_E} > 0, \frac{\partial^2 \alpha_1(L_E)}{\partial L_E^2} < 0$$

$$, \frac{\partial \alpha_2(L_E, W_B)}{\partial L_E} > 0, \frac{\partial^2 \alpha_2(L_E)}{\partial L_E^2} < 0。$$

假設任意處置污染物質之發現任意處置污染物質邊際機率為正且遞增，表示

$$\frac{\partial \beta_2(L_P, W_B)}{\partial W_B} > 0, \frac{\partial^2 \beta_2(W_B)}{\partial W_B^2} > 0,$$

$$\frac{\partial \alpha_2(L_E, W_B)}{\partial W_B} > 0, \frac{\partial^2 \alpha_2(W_B)}{\partial W_B^2} > 0。$$

依經濟學的觀點，管制政策可以

概分為命令管制、課稅、補貼、保證金等。當前述政策用於污染防治，課稅與補貼必定與污染量有關，命令管制與保證金的退還可與污染量有關，也可以僅與是否達成某些污染防治措施有關。因補貼制度不符合污染者付費、外部成本內部化原則，加以目前空氣污染固定源、汽機車排放均已徵收空污費，單獨對船舶空氣污染採補貼制不符合公平原則，本文不討論補貼制，以下僅針對現行的命令管制、課稅、保證金討論。

### 一、命令管制制度之經濟模型

在命令管制制度之下，航商必須依照環保主管機關的法令標準，將污染物質進行妥善處置，亦即規定船舶必須使用某種污染防制設施、某種處置方式、某種排放標準等均屬之。命令管制的特色在於只要違反規定的處置方式，也就是妥善處置方式，於查獲時便會給予罰款，目前絕大多數的命令管制，特別是環保法規，並沒有規定罰款必須與污染量有比例關係，雖法令中罰款多為一範圍，但實際上是以違法的情節決定，如初犯、惡意等，與污染量沒有關係，因而簡單假設為單一數值，令  $F$  代表航商若任意處置污染物質所可能受到的最高罰金。若罰金與污染量有關，則航商決策將類似課稅，於下節討論。令 $\beta_{1M}$ 代表命令管制制度下的稽查機率。航商只有在被稽查時且發現任意處置污染物質之事實時才會受到環保主管機關懲罰，航商面臨之期望罰金為 $\alpha_1 \alpha_2 F$ 與 $\beta_{1M} \beta_2 F$ ，依據航商違法發現之地點，若為商港範圍內則為前者，若於商港



外則為後者，可以用 $\alpha_1\alpha_2F + \beta_{1M}\beta_2F$ 表示航商的預期罰金。航商任意處置污染物質之成本為 $\alpha_1\alpha_2F + \beta_{1M}\beta_2F$ ，妥善處置污染物質之成本為 $C_G(W_G)$ ，因此航商之期望總成本為：

$$C_T(W_T) = C_G(W_G) + \alpha_1\alpha_2 + \beta_{1M}\beta_2F \quad (1)$$

航商可以透過選擇 $W_G(W_B)$ 的數量，來達到期望總成本極小化，並以二階微分檢驗是否存在極小值：

$$\frac{\partial C_T}{\partial W_G} = C_{GW_G} + \beta_{2W_G}\beta_{1M}F + \alpha_{2W_G}\alpha_1F = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial^2 C_T}{\partial W_G^2} = C_{GW_G^2} + \beta_{2W_G^2}\beta_{1M}F + \alpha_{2W_G^2}\alpha_1F > 0 \quad (3)$$

(2)式的經濟意義為，航商增加妥善處置污染物的邊際成本，等於減少來自港務公司與航港局及環保署與海巡署發現違法的邊際罰金（ $\beta_{2W_G}\beta_{1M}F + \alpha_{2W_G}\alpha_1F$ ）。因為 $W_T = W_G + W_B$ ， $W_G$ 與 $W_B$ 有反向關係，亦即 $\frac{\partial \beta_2(W_G)}{\partial W_G} < 0$ 、 $\frac{\partial^2 \beta_2(W_G)}{\partial W_G^2} > 0$ 、 $\frac{\partial \alpha_2(W_G)}{\partial W_G} < 0$ 、 $\frac{\partial^2 \alpha_2(W_G)}{\partial W_G^2} > 0$ ，表示妥善處置污染物質之發現任意處置污染物質邊際機率為負且遞增。因此，(3)式的三項均為正，總和為正，可以確認航商之成本存在極小化。

港務公司與航港局投入的資源成

本為 $C_P(L_P)$ ，收到來自於航商的期望罰金為 $\beta_1\beta_2F$ ，港務公司與航港局發生稽查不確實且被環保署發現的期望罰金為 $\alpha_1\alpha_2(1 - \beta_2)F$ ，因此港務公司與航港局的期望總成本為：

$$C_H(L_P) = C_P(L_P) - \beta_{1M}\beta_2F + \alpha_1\alpha_2(1 - \beta_2)F \quad (4)$$

港務公司與航港局可以透過選擇 $L_P$ 的數量，來達到期望總成本極小化：

$$\frac{\partial C_H}{\partial L_P} = C_{PL_P} - \beta_{1ML_P}\beta_2F - \beta_{2L_P}\beta_{1M}F - \beta_{2L_P}\alpha_1\alpha_2F = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial^2 C_H}{\partial L_P^2} = C_{PL_P^2} - \beta_{1ML_P^2}\beta_2F - \beta_{2L_P}\beta_{1ML_P}F - \beta_{2L_P^2}\beta_{1M}F - \beta_{1ML_P}\beta_{2L_P}F - \beta_{2L_P^2}\alpha_1\alpha_2F > 0 \quad (6)$$

(5)式的經濟意義為，港務公司與航港局可以透過選擇 $L_P$ 的數量，使來自於航商的邊際罰金與減少繳交給環保署的邊際罰金之總和等於投入資源的邊際成本。(6)式為確認港務公司與航港局之成本存在極小化的條件。

社會的期望總成本應當由航商的期望總成本、港務公司與航港局的期望總成本、環保署與海巡署的期望總成本與環境損害成本組成。因環保署與海巡署屬單純公部門，不存在成本極小化之誘因，但港務公司有。今

假設港埠的主管機關—交通部希望透過選擇 $W_G$ 與 $L_P$ 的數量，來達到期望總成本極小化，社會的期望總成本為：

$$C_S(W_T, L_P) = C_G(W_G) + C_H(L_P) + C_E(L_E) + PC(W_T, L_P) \quad (7)$$

$W_G$ 與 $L_P$ 的一階與二階微分為：

$$\frac{\partial C_S}{\partial W_G} = C_{GW_G} + PC_{W_G} = 0 \quad (8)$$

$$\frac{\partial C_S}{\partial L_P} = C_{HL_P} + PC_{L_P} = 0 \quad (9)$$

$$\frac{\partial^2 C_S}{\partial W_G^2} = C_{GW_G^2} + PC_{W_G^2} > 0 \quad (10)$$

$$\frac{\partial^2 C_S}{\partial L_P^2} = C_{HL_P^2} + PC_{L_P^2} > 0 \quad (11)$$

(8)式與(9)式的經濟意義為，社會期望總成本最小化時，必須考量到環境損害成本，因此透過選擇 $W_G(W_B)$ 的數量，使妥善處置污染物質的邊際成本與減少邊際環境損害相等，亦透過選擇 $L_P$ 的數量，使投入資源的邊際成本與減少邊際環境損害成本相等。(10)式與(11)式是確認社會成本存在極小

化的條件。

為瞭解社會成本的最適配置是否與個體成本的最適配置相等，將社會成本的極小化與航商成本的極小化，以及港務公司與航港局的總成本極小化進行比較，即比較(2)式與(8)式以及(5)式與(9)式為：

$$\begin{aligned} C_{GW_G} + \beta_{2W_G}\beta_{1M}F + \alpha_{2W_G}\alpha_1F &= \\ C_{GW_G} + PC_{W_G} &= 0 \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} C_{PL_P} - \beta_{1ML_P}\beta_2F - \beta_{2LP}\beta_{1M}F - \\ \beta_{2LP}\alpha_1\alpha_2F &= C_{HL_P} + PC_{L_P} = 0 \end{aligned} \quad (13)$$

(12)式的經濟意義為，當社會成本與航商成本皆極小化，則航商任意處置污染物質的邊際罰金與社會的邊際環境損害成本相等，表示若要達到社會最適的 $W_G(W_B)$ 的數量，可以透過命令管制制度，使航商任意處置污染物質的行為被懲罰，因此有誘因將污染物質進行妥善處置，等於航商在進行決策時也必須考慮到邊際環境損害成本，以達到社會最適的配置。在(13)式中，因 $C_{HL_P}$ 即(5)式，故 $PC_{L_P} = 0$ 。(13)式表示，若無其他誘因，港務公司與航港局不會主動投入減少環境損害，僅透過稽查達到邊際成本等於邊際罰金收入與減少繳交給環保署的邊際罰金之總和(即(5)式)。

## 二、課稅制度之經濟模型

在課稅制度下，航商在商港內可以選擇將污染物質進行污染減量(妥善



處置)或是排放(任意處置),若選擇排放則必須詳細通報數量給港務公司與航港局,以方便課稅,因航商必須主動提出數量,同時環保署與海巡署會在港區內進行巡查,若發現有污染物質並未詳細通報給港務公司與航港局,則航商會受到環保署與海巡署懲罰,港務公司與航港局也會因為檢查不確實受到環保署與海巡署懲罰。

令  $T$  表示航商若任意處置污染物質所必須付出的單位稅金,總期望稅金為  $W_B T$ , 令  $F$  代表航商若排放污染物質且未詳細通報所可能受到的最高罰金,令  $\beta_{1T}$  代表課稅制度下的稽查機率。航商只有在被稽查時且發現排放污染物質且未詳細通報之事實時才會受到環保主管機關懲罰,航商面臨之期望罰金為  $\alpha_1 \alpha_2 F$  與  $\beta_{1T} \beta_2 F$ , 航商排放污染物質之成本為  $\alpha_1 \alpha_2 F + \beta_{1T} \beta_2 F + W_B T$ , 妥善處置污染物質之成本為  $C_G(W_G)$ , 因此航商之期望總成本為:

$$C_T(W_T) = C_G(W_G) + \alpha_1 \alpha_2 F + \beta_{1T} \beta_2 F + W_B T \quad (14)$$

航商可以透過選擇  $W_G(W_B)$  的數量,來達到期望總成本極小化,即以  $W_G$  對  $C_T(W_T)$  做一階微分,並以二階微分檢驗是否存在極小值。一階微分請參閱表 1。

在課稅制度之下,航商必須主動向港務公司與航港局提出妥善處置與排放的污染物質數量,因此會收到來自航商的稅金,同時若港務公司與航

港局發生檢查不確實且被環保署發現之事件,也會遭受到環保署的懲罰。港務公司與航港局投入的資源成本為  $C_P(L_P)$ , 收到來自於航商的期望罰金與稅金為  $\beta_{1T} \beta_2 F$  與  $W_B T$ , 港務公司與航港局發生稽查不確實且被環保署發現的期望罰金為  $\alpha_1 \alpha_2 (1 - \beta_2) F$ , 因此港務公司與航港局的期望總成本為:

$$C_H(L_P) = C_P(L_P) - \beta_{1T} \beta_2 F - W_B T + \alpha_1 \alpha_2 (1 - \beta_2) F \quad (15)$$

港務公司與航港局可以透過選擇  $L_P$  的數量,來達到期望總成本極小化,即以  $L_P$  對  $C_H(L_P)$  做一階微分,並以二階微分檢驗是否存在極小值。一階微分請參閱表 2。

### 三、保證金制度之經濟模型

在保證金制度下,港務公司與航港局會先跟航商收取一筆保證金。保證金的退還有兩種方式,一為當航商妥善處置污染物質且提出證明時,即可將保證金完全領回,若航商被發現將污染物質任意處置,則保證金將會被沒收且必須接受環保主管機關的懲罰。令  $D$  代表航商繳交給港務公司與航港局的定額保證金。航商只有在被稽查時且發現任意處置污染物質之事實時才會受到環保主管機關懲罰,航商面臨之期望罰金為  $\alpha_1 \alpha_2 F$  與  $\beta_{1D} \beta_2 F$ , 亦有可能因為港務公司與航港局稽查不確實而將保證金退回給航商,即  $(1 - \beta_{1D} \beta_2) D$ , 因此其期望總成本為:

$$C_T(W_T) = C_G(W_G) + \alpha_1\alpha_2F + \beta_{1D}\beta_2F + D - W_TB - (1 - \beta_{1D}\beta_2)D \quad (16)$$

航商可以透過選擇 $W_G(W_B)$ 的數量，來達到期望總成本極小化，即以 $W_G$ 對 $C_T(W_T)$ 做一階微分，並以二階微分檢驗是否存在極小值。一階微分請參閱表 1。

港務公司與航港局投入的資源成本為 $C_P(L_P)$ ，假設保證金無利息收入，或利息收入將一起退回航商，僅收到來自於航商的期望罰金及違法而沒入的保證金為 $\beta_{1D}\beta_2(F + D)$ ，稽查不確實所退回給航商的保證金為 $(1 - \beta_{1D}\beta_2)D$ ，港務公司與航港局發生稽查不確實且被環保署發現的期望罰金為 $\alpha_1\alpha_2(1 - \beta_2)F$ ，因此港務公司與航港局的期望總成本為：

$$C_H(L_P) = C_P(L_P) - \beta_{1D}\beta_2(F + D) + (1 - \beta_{1D}\beta_2)D + \alpha_1\alpha_2(1 - \beta_2)F \quad (17)$$

港務公司與航港局可以透過選擇 $L_P$ 的數量，來達到期望總成本極小化，即以 $L_P$ 對 $C_H(L_P)$ 做一階微分，並以二階微分檢驗是否存在極小值。一階微分請參閱表 2。

另一種保證金的退還方式為，當航商妥善處置污染物質且提出證明時，依據妥善處理量領回保證金，假設保證金退回率為 $B$ ，航商希望領回 $W_TB$ ， $W_T = W_G + W_B$ 。令 $D$ 代表航商繳交給港務公司與航港局的定額保證金。航商只有在被稽查時且發現呈報妥善處

理量不實才會受到環保主管機關懲罰，航商面臨之期望罰金為 $\alpha_1\alpha_2F$ 與 $\beta_{1T}\beta_2F$ ，亦有可能因為港務公司與航港局稽查不確實而將所有保證金退回給航商，即 $(1 - \beta_{1D}\beta_2)D$ ，因此其期望總成本為：

$$C_T(W_T) = C_G(W_G) + \alpha_1\alpha_2F + \beta_{1D}\beta_2(F + D) - (1 - \beta_{1D}\beta_2)D \quad (20)$$

航商可以透過選擇 $W_G(W_B)$ 的數量，來達到期望總成本極小化，即以 $W_G$ 對 $C_T(W_T)$ 做一階微分，並以二階微分檢驗是否存在極小值。一階微分請參閱表 1。

港務公司與航港局投入的資源成本為 $C_P(L_P)$ ，假設保證金無利息收入，收到來自於航商未完全妥善處置的保證金，以及因稽查不確實所退回給航商的保證金為 $(1 - \beta_{1D}\beta_2)D$ ，港務公司與航港局發生稽查不確實且被環保署發現的期望罰金為 $\alpha_1\alpha_2(1 - \beta_2)F$ ，因此港務公司與航港局的期望總成本為：

$$C_H(L_P) = C_P(L_P) - \beta_{1D}\beta_2F - D + W_TB + (1 - \beta_{1D}\beta_2)D + \alpha_1\alpha_2(1 - \beta_2)F \quad (21)$$

港務公司與航港局可以透過選擇 $L_P$ 的數量，來達到期望總成本極小化，即以 $L_P$ 對 $C_H(L_P)$ 做一階微分，並以二階微分檢驗是否存在極小值。一階微分請參閱表 2。

#### 四、四種制度的比較

分別根據航商以及港務公司與航港局的成本極小化與社會總成本極小化，探討四種制度在成本極小化時，何者會有較強的經濟誘因使污染物減少。從表 1 可知四個制度下，都可以讓航商在成本極小化時，產生誘因將環境損害成本( $PC_{W_G}$ )納入考慮，使航商決策最適 $W_G(W_B)$ 數量時符合社會最適。在考量不同區域時，當某種汙染產生的外部成本較高時，例如高屏空氣品質區空氣品質不良日數較花東高，最適的高雄港船舶空氣污染的妥善處置比例應高於花蓮港。在同一區域內，有一最適污染防治水準，則各種制度效果是否有所差異。因 $\alpha$ 與 $\beta$ 均為機率值，介於 0 與 1 之間，首先，假設各種制度下稽查的機率相等，即 $\beta_{1D} = \beta_{1T} = \beta_{1M}$ ，以命令管制與課稅制度的一階條件比較為例。根據社會邊際效益等於社會邊際成本的效益極大化原則( $C_{GW_G} = -PC_{W_G}$ )，可以估計一個最適的污染防治水準，設為 $W_G^*$ ，在命令管制制度下為：

$$\beta_{2W_G^*}\beta_{1T}F + \alpha_{2W_G^*}\alpha_1F = PC_{W_G^*} \quad (22)$$

示妥善處置減少的外部成本需等於妥善處置所能減少的邊際罰金。在課稅

制度下為：

$$\beta_{2W_G^*}\beta_{1T}F + \alpha_{2W_G^*}\alpha_1F + T = PC_{W_G^*} \quad (23)$$

稅率(T)必須等於最適防治水準的邊際成本( $C_{GW_G^*}$ )，否則廠商不會達到此最適防治水準。因 $C_{GW_G^*} > 0$ ，23 式左邊除了T以外的兩項應小於 22 式左邊，所以課稅制度下妥善處置的水準應高於命令管制，因為越高妥善處理水準，其降低邊際罰金量越低。這表示課稅制度下的妥善處理水準或比例應高於命令管制制度，同時課稅制度下航商的總邊際成本將高於命令管制制度。運用以上的比較方式可以得到，四制度之經濟誘因大小，以部分退款保證金最強，因其妥善處置的成本可獲得退款，故總邊際成本最低，使廠商最有誘因將污染物質妥善處置，效果類似補貼制度，唯補貼金為廠商所繳。其次依序為命令管制、全額退款保證金、課稅制度。此結果與傳統環境經濟理論相符，對污染者而言，成本最低的制度為補貼，其次為命令管制、課稅(Downing, 1984)。因為在命令管制下，廠商只負擔達到最適污染水準的處理成本，補貼制度可以取得處理量的補貼，課稅制度下除處理成本還要在負擔剩餘污染的稅金。



表 1 航商在不同制度下的成本極小化比較

	成本極小化比較
命令管制制度	$C_{GW_G} + \beta_{2W_G}\beta_{1M}F + \alpha_{2W_G}\alpha_1F = C_{GW_G} + PC_{W_G} = 0$
課稅制度	$C_{GW_G} + \beta_{2W_G}\beta_{1T}F + \alpha_{2W_G}\alpha_1F + T = C_{GW_G} + PC_{W_G} = 0$
全額退款保證金制度	$C_{GW_G} + \beta_{2W_G}\beta_{1D}F + \alpha_{2W_G}\alpha_1F + 2\beta_{2W_G}\beta_{1D}D$ $= C_{GW_G} + PC_{W_G} = 0$
部分退款保證金制度	$C_{GW_G} + \beta_{2W_G}\beta_{1D}F + \alpha_{2W_G}\alpha_1F - B + \beta_{2W_G}\beta_{1D}D$ $= C_{GW_G} + PC_{W_G} = 0$

$\beta_1$  為港務公司與航港局主動稽查機率，因保證金制度下，航商為了取回保證金，將會主動受檢，意即  $\beta_{1D}$  會接近於 1。在命令管制及課稅制度下，航商不會主動受檢，意即  $\beta_{1D} > \beta_{1T} \cong \beta_{1M}$ 。在此條件下，部分退款保證金及命令管制總邊際成本較低，順序無法確定，再其次為全額退款保證金及課稅制度，兩者的順序同樣無法確定。因此，在  $\beta$  相同時，課稅制度較全額退款保證金佳(較高妥善處置比例)，在  $\beta_{1T}$  較小時將變成無法確定。

目前船舶空氣污染防治採用命令管制制度。雖然當罰金夠高時，可以讓航商有誘因將環境污染成本納入考量，但葉繼開與蕭代基(2004)指出環保主管機關的稽查人員相對於工廠數量而言是極度不足，因此主動稽查機率是很低的，要有效將主動稽查機率提高，聘請更多的稽查人員需要耗費相

當高的成本。2013 年高雄港的進出船隻達 34,593 艘次，目前在高雄港區域依據海洋污染防治法及商港法取締污染的案件，除了少部分是因為海巡署巡港發現，多數都是其他單位與民眾通報之後才會去稽查航商的污染情況，且幾乎全數是能以肉眼觀察的廢油污染。在不提高稽查頻率下，為了達到高妥善處置率，罰金可能會高到超過污染的外部性，恐引發處罰失去比例原則的批評。目前船舶排放粒狀污染物管制也是採用目視判斷排氣不透光率執行，其他空氣污染物，如  $SO_x$  與  $SO_x$  是無法使用目測判斷，因此，採命令管制與課稅制度恐有稽查機率低的情形。此情況根據前述分析，課稅制度與全額退款保證金制度效果將不相上下。

表 2 為港務公司與航港局在不同制度下的成本極小化比較。如同(13)

式的分析，社會最適可以忽略。假設各種制度下稽查的機率相等，即  $\beta_{1DL_P} = \beta_{1TL_P} = \beta_{1ML_P}$ ，則命令管制與課稅制度的一階條件相同，兩種保證金制度的一階條件相同。以全額退款保證金與命令管制為例，因全額退款保證金多了兩個減項  $(-2\beta_{1DL_P}\beta_2D - 2\beta_{2LP}\beta_{1D}D)$ ，表示另三減項

$(-\beta_{1DL_P}\beta_2F - \beta_{2LP}\beta_{1D}F - \beta_{2LP}\alpha_1\alpha_2F)$  之值較小，故在全額退款保證金制度下，港務公司與航港局投入污染防治業務水準較命令管制多，但總邊際成本卻較低，因為保證金制度下，當航商違法時港務公司及航港局可以沒收其保證金併罰款。

表 2 港務公司與航港局在不同制度下的成本極小化比較

	成本極小化比較
命令管制制度	$C_{PLP} - \beta_{1ML_P}\beta_2F - \beta_{2LP}\beta_{1M}F - \beta_{2LP}\alpha_1\alpha_2F = 0$
課稅制度	$C_{PLP} - \beta_{1TL_P}\beta_2F - \beta_{2LP}\beta_{1T}F - \beta_{2LP}\alpha_1\alpha_2F = 0$
全額退款保證金制度	$C_{PLP} - \beta_{1DL_P}\beta_2F - \beta_{2LP}\beta_{1D}F - \beta_{2LP}\alpha_1\alpha_2F - 2\beta_{1DL_P}\beta_2D - 2\beta_{2LP}\beta_{1D}D = 0$
部分退款保證金制度	$C_{PLP} - \beta_{1DL_P}\beta_2F - \beta_{2LP}\beta_{1D}F - \beta_{2LP}\alpha_1\alpha_2F - \beta_{1DL_P}\beta_2W_GB - \beta_{2LP}\beta_{1D}W_GB = 0$

## 五、污染減量措施比較

前言提到環保署考慮對船舶課徵空污費，文獻回顧則提到綠港可採用近岸時更換燃油、減速等減量方法，以下分別討論。若針對船舶課空污費，以現行移動污染源的空污費費率做為參考，每公升柴油必需支付 0.2 元的空污費，因此使用柴油船舶必須支付每公升 0.2 元的空污費。因使用燃料油或重油排放更多污染，空污費率應更高，但船舶使用燃料種類與數量不易查核(稽查機率低)，若採用全額退款保證金

制度。設算低硫柴油與重油或燃料油的成本差距定為航商繳交保證金，船舶靠港後須提供更換燃油之證明方能取回保證金。舉例而言，若希望船隻使用低硫燃油，現行低硫燃油一公秉的價格約 20000 元，新加坡一般燃油一公秉價格約 18000 元，若採全額補貼的方式，港務公司必須支付每公秉 2000 元的補貼金給航商，才能使航商有誘因換用低硫燃油，此舉將增加港務公司負擔。亦可對非低硫燃油每公秉課徵 2000 元的污染稅/費，可以達到

一樣的效果，但會增加航商的負擔。若採全額退款保證金制度，則以每公秉 2000 元乘以應換用低硫燃油數量做為保證金，此舉可在不增加航商及港務公司負擔的情形下促使船舶使用低硫燃油。隨油徵收的空污費，或根據油價設定的保證金制度，可以促使船舶使用低硫燃油，但與燃油不相關的減量措施，如 Chang & Wang (2012)認為降低船舶空氣污染最可行的方案是進港減速，必須採類似固定源空污費制度衡量實際排放量方能以課稅方式促進減量，然而，如果船舶航速有可信記錄，則保證金制度仍可運行。

另一種更有效的船舶空污減量方法為使用岸電系統，此方式下在商港的外部成本將接近於零。使用岸電系統的邊際成本，及空污減量的邊際成本為電價，因夏月與非夏月，或尖峰與離峰時段電價不一，每度約 2 到 3 元，但根據葉雨松、邱永芳、陳桂清、柯正龍、盧志強與許真瑜(2013)的研究，

若航商採燃油發電，重油每度約 4 元，柴油每度約 6.2 元。可以發現岸電的邊際成本是可能比起燃油發電更低，航商應會主動使用岸電。然而，目前實際使用岸電的船舶很少，主因是有岸電的碼頭及船舶均不多，若平均電價設為每度 2.5 元，如果包含港口岸電建設成本，每度約 6.28 元，與柴油價格接近。若再加上實施移動源空污費且停靠該碼頭船舶均有岸電設施，則碼頭營運商可能會自行建設碼頭岸電系統並要船舶使用。然而，除新船外多數船舶必須改裝才能使用岸電，改裝成本每艘約 3000 萬，由於改裝成本高昂使航商改裝意願不高，如果希望推廣岸電系統減少空污，港務公司必須補貼岸電改裝成本，才能使航商有誘因使用，但因電費較低，港務公司可以收取略低於船舶燃油發電成本的使用費回收設備投資。若採命令管制方式推動岸電，恐需制訂相當高的罰金及/或稽查比例，方能達到高設置比例。

## 肆、結論與建議

本文比較航商、港務公司與航港局、及社會三者對於三種船舶空氣污染防治制度-命令管制、課稅、及保證金-之成本最小化時的最適條件。首先，印證在港務公司化的條件下，保證金制度仍可以達到社會最適污染防治水準，當環保主管機關可以對中間營利組織-港務公司-轄區內任意處置行為處罰中間組織時。其次，當考量保證

金制度下主動稽查機率較命令管制與課稅高時，相較於命令管制，全額退款保證金制度能達到與課稅制度相近的較高妥善處置水準，且港務公司與航港局投入污染防治業務較多。再次，因空氣污染排放量及船舶使用燃油種類不易查核，課稅(空污費)困難。近岸更換燃油及減速等措施可以全額退款保證金制度達成。保證金的設定須根



據污染減量措施，如近岸更換燃油，設算低硫柴油與重油或燃料油的成本差距定為航商繳交保證金，船舶靠港後須提供更換燃油或空污設備運轉之證明方能取回保證金。若減量措施為進港減速，則船舶須提出航速的可信記錄，以領回保證金。最後，更有效

的船舶空污減量方法為使用岸電系統，但設備成本高昂。在沒有對船舶空污課稅的情形下，港務公司需於碼頭興建相關設備，並且補貼舊船改裝，但因電費較燃油發電成本低，港務公司可以收取略低於船舶燃油發電成本的岸電使用費回收設備投資。

## 伍、參考文獻

### 一、中文部分

葉繼開、蕭代基，2004，「有害事業廢棄物管理之有效對策－保證金制度」，農業經濟叢刊，10:25-58。

### 二、英文部分

Becker, G.S., 1974, "A Theory of Social Interactions," *Journal of Political Economy*. 82: 1063-1093.

Berechman, J., and P.-H. Tseng, 2012, "Estimating the environmental costs of port related emissions: The case of Kaohsiung," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 17: 35-38.

Chang, C.-C., and C.-M. Wang, 2012, "Evaluating the Effects of Green Port Policy: Case Study of Kaohsiung Harbor in Taiwan," *Transportation Research Part D:*

*Transport and Environment*. 17: 185-189.

Downing, P.B., 1984, *Environmental Economics and Policy*. Little, Brown and Company: Boston/Toronto.

Fullerton, D., and T.C. Kinnaman, 1995, "Garbage, Recycling, and Illicit Burning or Dumping," *Journal of Environmental Economics and Management*. 29: 78-91.

McArthur, D.P., and L. Osland, 2013, "Ships in a city harbour: An economic valuation of atmospheric emissions," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 21: 47-52.

Posner, R.A., 1973, *Economic Analysis of Law*. Aspen Publishers.