

排放權市場交易資訊成本分析—— 以高屏空品區氮氧化物管制為例

廖肇寧*、謝忠政**

空氣污染的改善將會對工業、農業及家計部門產生正面的影響，因而本文以環保署預計在高屏地區所推行的氮氧化物排放權交易制度為例，探討因市場資訊不充分而衍生的交易資訊成本為何？本研究首先利用成對及連續交易之方式來模擬廠商在市場的交易狀況，並設定數種可能交易情境來估計達成污染管制目標所需之社會總減量成本，並將此與完全競爭市場架構下的成本進行比較。研究結果顯示，當減量目標設定為民國 89 年排放水準的 90% 時，社會總減量成本在完全競爭結構下為 2,593 萬元，而在成對及連續交易方式中，以「邊際成本最高廠商與最低者優先交易」之情境可達較低的總減量成本，但仍有 3,292 萬元，而兩者間的差距 699 萬元則可歸因於廠商在交易過程中因資訊不充分所衍生的額外成本，因此政府應藉由揭露更公開的各產業減量成本資訊及排放量資料，來誘導邊際減量成本差距大的廠商優先進行交易，以降低廠商在排放權交易市場中的減量成本。

關鍵詞：可交易排放權、氮氧化物、成對及連續交易、資訊成本

* 國立成功大學經濟學系副教授。本文之通訊作者。

** 國立成功大學政治經濟學研究所碩士。

作者感謝諸位匿名審查人之寶貴意見，唯文中若有任何疏失之處，當屬作者之責。

農業經濟叢刊 (Taiwanese Agricultural Economic Review), 14:2 (2009), 159-195。
臺灣農村經濟學會出版

I、前　言

空氣污染對於人類的影響是全方位的，它除了危害人體健康及造成景觀破壞，亦會降低農業的生產。在一個污染的環境中，植物（包含農業作物）受到的傷害有可能較動物為劇，這是因為植物大都直接暴露於空氣中，對於污染毫無退卻的餘地，李貽華與李國欽（1985）就曾指出，生產過程中產生的二氧化硫，可以硫酸根的型態藉由土壤進入植物中，並經由破壞植物細胞膜後，讓其產生病徵，最後影響農民的產出。而由中國大陸的經驗亦顯示，工廠二氧化氮的排放改變了酸雨的結構，間接對農作物產生危害。因此，空氣污染狀況的管制與改善所創造出的利益，亦有可能透過農業部門來反饋到整體社會中，故污染改善的利益亦和其所造成的傷害一樣，是全面性的。近三十年來，台灣地區空氣品質惡化程度隨著經濟成長而日益嚴重，導致受污染區域周遭的環境受到極大的威脅。以南部高雄屏東地區為例，由於當地為台灣化工、鋼鐵、石化、發電及水泥等重工業之聚集地，致使該地區為台灣空氣品質不良率最高的區域。為改進此一現象，環保署自民國 89 年 7 月起開始積極推動實施「高屏空品區空氣污染總量管制示範計畫」，並希望透過排放權交易制度的建置來達成管制氮氧化物（Nitrogen Oxide，以下簡稱 NO_x ）（註 1）、硫氧化物（Sulfur Oxide，以下簡稱 SO_x ）（註 2）、總懸浮微粒（Total Suspended Particulates，以下簡稱 TSP）（註 3）及有機化合物（Volatile Organic Compounds，以下簡稱 VOCs）（註 4）的排放問題。利用可交易排放權制度（Tradable Pollution Permit）來控制空氣污染，是為全球空氣污染防治策略發展的趨勢，而該制度在美國已行之有年，並被廣泛的運用在防治各種不同的污染中，結果也顯示排放權交易對於污染防治具有卓越的成效。（註 5）有鑑於此，現今國際上已逐漸朝向利用該制度做為解決全球溫室效應問題的工具之一；而我國在 1998 年召開的「全國能源會議」所做的結論（工業技術研究院，2007），以及修訂通過之「空氣污染防治法」中，都明

確表示未來將運用排放權交易制度作為污染防治的重要工具（行政院環境保護署，2007），然因目前高屏地區多數廠商對於該制度仍存有眾多疑慮，故使交易制度至今仍無法順利推行。

排放權交易制度在理論及實務上皆被證實有其優越性。在理論部分，Montgomery（1972）證明當廠商具有完整資訊（Full-Information）且交易市場是完全競爭（Perfect Competition）的前提下，利用排放權交易進行污染管制將具有成本有效性（Cost-Effective）特點，且起始排放權的分配將不會影響社會總福利。在實證部分，Atkinson 與 Lewis（1974）及 Johnson 與 Pekelney（1996）皆曾利用一減量成本極小化模型來進行排放權市場的實證分析，其結果指出，排放權制度能以較低的成本達成管制目標，而其他如 Krupnik（1986）、O'Neil *et al.*（1983）等人的研究皆有類似的結果。雖然這些研究皆證實排放權在污染問題上可省卻大量的管制成本，但此結論卻是建構在交易市場為完全競爭、且交易成本為 0 的假設下，在此交易環境中，所有交易皆同時發生（Simultaneous Trading Process），因此所有排放權買賣皆在一個均衡交易價格下完成且排放權市場完全的結清，不存在任何供需失調的問題，此種交易方式，雖便於模擬的進行，但可能低估了排放權交易過程中所需的交易成本，使得利用排放權進行污染管制所需之成本可能與理論所宣稱的成本有效性有所差距。在現實環境中，廠商往往在不同時間進入交易市場，且在資訊不完全情形下，以不同的價格分批陸續買入或賣出排放權，亦即排放權的實際買賣過程，較為接近股票市場的成對及連續交易（Sequential and Bilateral Trading Process），因此排放權市場應存在多個交易價格而非單一的均衡價格，同時市場亦可能因為資訊的不完全而存在供需失調的現象，故廠商可能在交易過程中衍生極高的交易成本（Transaction Cost）。有鑑於此，本研究便以高屏空品區之氮氧化物排放為例，模擬排放權交易實施後，市場因資訊不完全而可能衍生的交易成本，以作為政府未來推動該制度時之政策參考。

由於交易成本的高低將影響排放權政策仍否具有成本有效性的特點，因此 Atkinson 與 Tietenberg (1991) 及 Burtraw、Harrison 與 Turner (1998) 由排放權交易的方式出發，並假定排放權交易不再是在具有完全訊息下進行，其模擬結果顯示，若交易是成對且連續時，排放權管制所需的總成本將較理論上為高。Netusil 與 Braden (2001) 也曾利用成對及連續交易來探討美國伊利諾州 (Illinois) 因農業活動對於小型水域所產生之化學污染，結果也顯示此交易方式將增加排放權的管制成本；Burtraw、Harrison 與 Turner (1998) 則模擬歐洲在成對連續交易下進行 SO_2 的排放權交易，亦發現減量成本將大幅度高於預期中的最小成本，但透過交易制度的改善，減量成本可有效下降。Stavins (1995) 指出，假設交易成本為零將使得排放權交易制度的成本有效性被高估 (Exaggerated)，他認為交易成本主要有三個來源，分別為 (1) 搜尋及資訊成本 (Search and Information)：廠商在市場上尋找買方或賣方時的成本，或廠商在市場上缺乏如價格資訊、污染減量相關技術資訊所衍生的成本；(2) 議價和決策的成本 (Bargaining and Decision)：交易者對於價格和數量的議價過程及相關的決策成本；(3) 監測和執行成本 (Monitoring and Enforcement)：管制者在排放權制度中的監測和執行成本等，但此成本主要針對管制者而言，不存在交易過程之中。

國內目前針對排放權交易的研究也已十分豐碩，但就屬性而言，某些集中於制度的介紹（例如李堅明，1999、2001），而某些著重於排放權相關理論的推導（例如黃宗煌與李堅民，2001），而其他則是由法律的層面來探究該制度（例如鄭崑山，2000），儘管有許多研究著重於實證分析，但這些分析仍是在完全競爭且無交易成本的環境中進行（例如劉惠綺，2002；王振中，2006；劉志陞，2007；廖肇寧與張村品，2007），仍無相關交易成本的分析，而由 Stavins (1995) 的歸納可得知，交易成本的重要來源之一為資訊成本，因此本研究將以此為分析重心，探討我國在施行交易制度後，廠商因資訊不足而可能衍生的交易成本為何。

II、研究方法

排放權在運作方式上可分為許可（Allowance）制及信用交易（Emission Credit）制，雖然同一個制度中仍可能存在不同的運作規則，但整體而言，許可制的精神在於政府賦予廠商某種程度的污染權力，廠商可將此權力出售，而在信用制中，廠商唯有在實際污染減量超過政府所要求的減量水準後，才能將差額售出，儘管我國排放權交易制度已初步取得法源依據，但相關的運作細則，諸如違反交易制度的罰則、初始排放權的分配方式（或廠商的污染應減量水準）及應納入管制廠商名單等，皆尚未拍版定案，故本研究在模型的設定上僅能考量國外已運行之交易制度基本精神，並假定未來高屏地區的排放權交易市場將會依循許可制的架構來運作，以利相關模擬的進行。在納入管制的廠商方面，為避免小廠商在交易過程中可能面臨大廠商的競爭及降低交易成本，我們假設 NO_x 年排放量超過 30 噸以上的廠商才需納入該制。在將小廠商排除後，我們假定排放權發放的方式將比照美國芝加哥的揮發性有機污染物（Volatile Organic Materials）的「污染排放物減量市場交易機制」（Emission Reduction Market System，以下簡稱 ERMS），採用廠商歷史排放量紀錄的溯往原則來分配排放權，並將排放權發放總量控制在廠商民國 89 年（基準年）總排放量的 90%（廠商需減少基準年污染排放的 10%），由於高屏地區的空氣污染問題較其他地區嚴重，故此處假設逾期之排放權亦將仿效美國洛杉磯（Los Angels）地區的區域清淨空氣誘因市場（Regional Clean Air Incentives Market，以下簡稱 RECLAIM）制度自動淘汰，即所有排放權不論自用或買賣，都僅限於該年度內使用，不得儲存至下一年。

廠商在現實世界中的交易方式與其面對的交易制度有關，舉例而言，美國歷史悠久的二氧化硫（Sulfur Dioxide，以下簡稱 SO_2 ）交易市場因為參與者眾，且管制範圍是全國性的，故廠商可透過環保署每年的拍賣會（Auction）、仲介商（Broker）或其他生產者進行交易，但無論廠商係透過

何種管道買賣排放權，皆須透過環保署設置的排放權管理系統（Allowance Management System，以下簡稱 AMS）來申報各筆交易狀況。（註 6）在 AMS 下，每位市場參與者皆擁有一個專屬的帳戶，來紀錄其每筆交易數量、交易日期及帳戶中現有的排放權數目，管制當局可藉由 AMS 來瞭解各廠商手上的排放權數量變化情形，以利其在進行年度查核時，確認廠商是否握有足夠的排放權來滿足其實際排放水準，而環保署也提供社會大眾查詢各筆排放權交易的數量、日期及買方與賣方的名稱，以利訊息流通。（註 7）在許多規模較小、並以區域空氣品質管制為目的交易市場中，並無類似前述的拍賣制度及仲介商服務，因而這些排放權制度中的廠商，都是以私底下互相交易（例如透過電話或面對面的方式）為主，但這些廠商亦需在交易完成後，向主管機關申報他們相關的交易數量及日期，芝加哥的 ERMS，洛杉磯的 RECLAIM 都屬於此種小規模交易市場，這類市場因大都以城市或州為管制範圍，故在成本的考量下，主管機關雖然也會透過網路公布已完成的交易資訊，（註 8）但不會去設置一個拍賣制度來提供排放權價格訊息，而大部分的仲介商對於媒介此類排放權的意願也較低。（註 9）台灣高屏地區的排放權交易市場是屬於地區性的，且未來參與廠商的數目應不會不多，故可預期廠商應仍以私底下互相聯絡為主，但隨著時間的增加，我們亦可預期將有更多的交易資訊會因口耳相傳或政府公告被揭露，屆時市場的交易會更趨近於公開市場交易，此時排放權管制的交易成本應會如同 Joskow、Schmalensee 與 Bailey（1998）研究之發現，隨著資訊的公開及累積而日益下降。

本文模擬廠商在排放權制度推行之初，因為資訊的不充分而在交易上所可能額外產生的成本，但因我們無法預知廠商在市場初進行時，會以何種方式尋求交易機會來滿足排放管制，故我們設定出數種廠商間可能的交易方式，並估計這些交易方式和廠商在具完全資訊下之減量成本有何差異。誠如 Stavin（1995）所言，直接與廠商排放權交易有關的成本計有搜尋及資訊成本、議價及決策成本，但本研究進一步假設兩兩廠商無論是在本研究所設定的何種交易方式下見面，交易廠商皆會依邊際成本均等法則（Equi-Marginal

Principle) 進行議價及決策，不會有任何討價還價行為，故當所有廠商皆遵循此一交易規則時，議價及決策成本將可假設不存在，這也使本研究可將重心放在估算排放權因交易資訊不充分而衍生之資訊成本。(註 10) 在此架構下，我們首先針對資訊不完全情況下，亦即交易是成對及連續時，整體社會中，廠商在數種可能與對方見面的方式下，進行污染減量所需之總成本進行估算，爾後，本研究利用完全競爭市場模型，再將交易是在資訊充分且無任何交易成本下，排放權制度所需之總減量成本求導出，而兩者之差距即為排放權制度所衍生之額外交易資訊成本。以下便針對實證模擬所需之研究方法分節進行說明。

2.1 排放權成對及連續交易流程——蒙地卡羅模擬技術及交易方式假設

排放權實際交易過程與股票市場之交易有些雷同，在股市交易中，若買賣雙方在交易價格及數量上達成共識則此筆交易即告完成，而排放權之成對及連續交易亦將遵循此理，本研究將根據此一模式，利用 MATLAB 軟體撰寫一模擬交易程式，(註 11) 並加總所有交易過程中的相關數據，以分析廠商在成對交易情況下的買賣行為。由於我們無法預知廠商會以何種方式在市場中尋求交易對象，因此我們將設定數種廠商在市場中可能碰面的方式，而在各個方式下，本研究模擬交易之流程如下圖 1 所示，在交易開始時，程式首先必須由本研究的所有廠商名單中選出任兩家廠商進行交易，當交易完成時賣方廠商如果賣出其全部想賣出的排放權數量，或買方廠商購得其全部想購入之排放權數額後，該廠商即從廠商名單中剔除，之後便儲存此次交易中如成交價格及廠商的減量成本等所有資訊。之後程式便檢查所有廠商名單之中是否還有廠商存在，如果有則重複上述之交易流程，若無則計算本次研究中所要的資訊總量並得出結論。

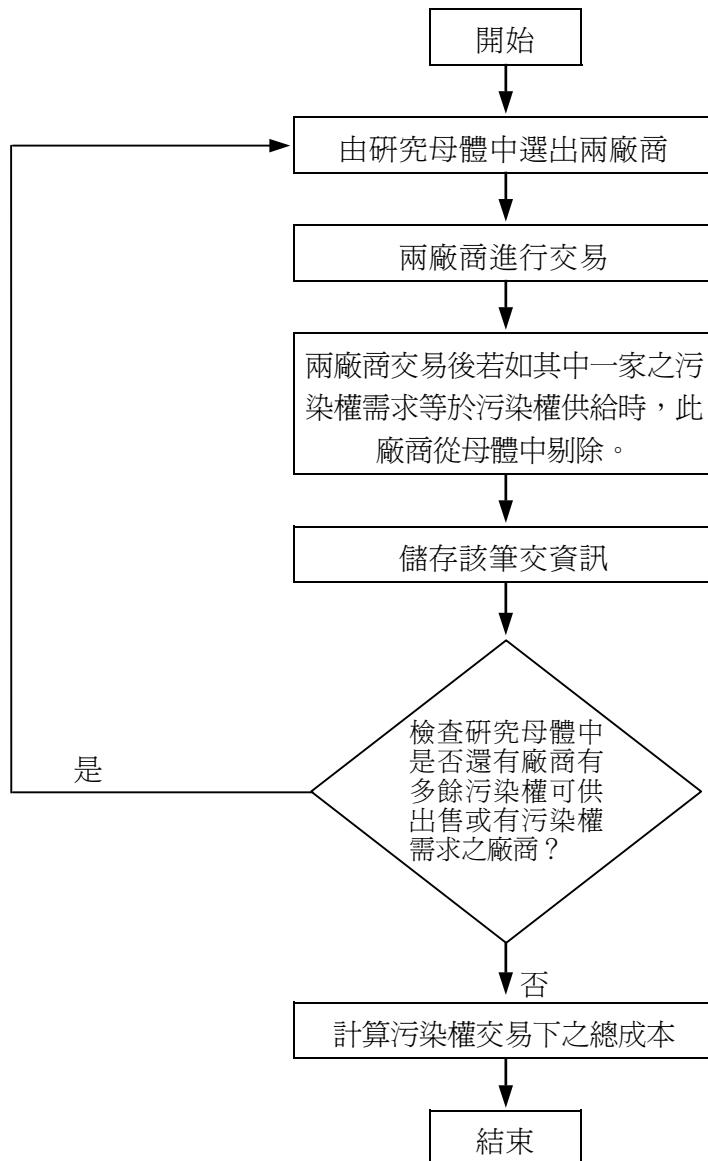


圖 1 排放權成對連續交易下之流程圖

資料來源：本研究。

以下進一步利用圖 2 及圖 3 詳細說明在上述圖 1 流程的第三個方塊中，兩兩廠商間如何完成交易。圖 2 假設有兩廠商（廠商 1 及廠商 2）在未管制

前，不進行任何減量行為，並各自排放 15 單位的污染，則社會的總排放量為 30 單位，若政府採排放權管制，並在將排放權發行總量設定為 15 單位後，無償發給 7 單位及 8 單位之排放權給予廠商 1 及 2，此時廠商 1 及廠商 2 則需共同將污染減少 15 單位，以符合管制水準。若我們將兩廠商可能的污染分擔數額繪於圖 2 橫軸，則在搭配廠商的邊際減量成本線後，我們可計算各不同的減量分擔中，廠商的污染減量總成本。舉例而言，當廠商 1 在未從事排放權交易時，需從事之污染減量為 8 單位，此時之邊際減量成本為 P_3 ，同理，廠商 2 需減量 7 單位，單位減量成本為 P_2 ，在兩廠商未交易前可知 $P_2 > P_3$ ，因此污染源 2 有誘因與污染源 1 進行交易。污染源 2 只要能以低於 P_2 的價格向污染源 1 購買排放權，則必能降低它的污染減量成本，當兩廠商之邊際減量成本相同時（即圖中的 E 點），此時廠商 1 賣出兩單位的排放權給廠商 2，廠商 1 因可得 $F+B$ 的面積的收入，其淨收入即為 F 的面積。同樣的，廠商 2 向廠商 1 購買兩單位的排放權，使其減量成本節省 $D+F+B$ 的面積，減去支付給廠商 1 的支出，可得淨利益為 D 面積。因此，當該兩廠商從事交易行為時，共可節省下 $D+F$ 的淨利益。由上例中可發現，當廠商的邊際減量成本不同時，廠商有動機進行排放權的交易，且交易會持續到兩廠商的邊際減量成本相等為止，符合邊際均等法則。在此情形下，廠商 1 及廠商 2 分別進行 10 單位及 5 單位的污染減量，因此兩廠商的實際污染排放分別為 5 單位及 10 單位，在初始排放權為 7 單位及 8 單位情形下，廠商 1 及 2 分別賣出及買入 2 單位排放權，而 P_1 則為交易價格。（註 12）此二廠商完成交易後，電腦程式將從剩餘的廠商中再挑選出另外兩個廠商進行交易，當新的廠商被選取時，我們根據其未受管制的排放量及初始分配量，可再計算出此二廠商的應共同負擔的減量水準，並依前述圖 2 的例子將可能分擔的減量水準置於橫軸，利用邊際均等法則求導出交易價格及交易數量。由於被選取的廠商減量成本可能有異，加以其需共同負擔的應減量水準將視未受管制的排放量及初始分配量而定，故我們可預期兩條邊際減量成本線所決定的價格及數量將呈現多樣的面貌。

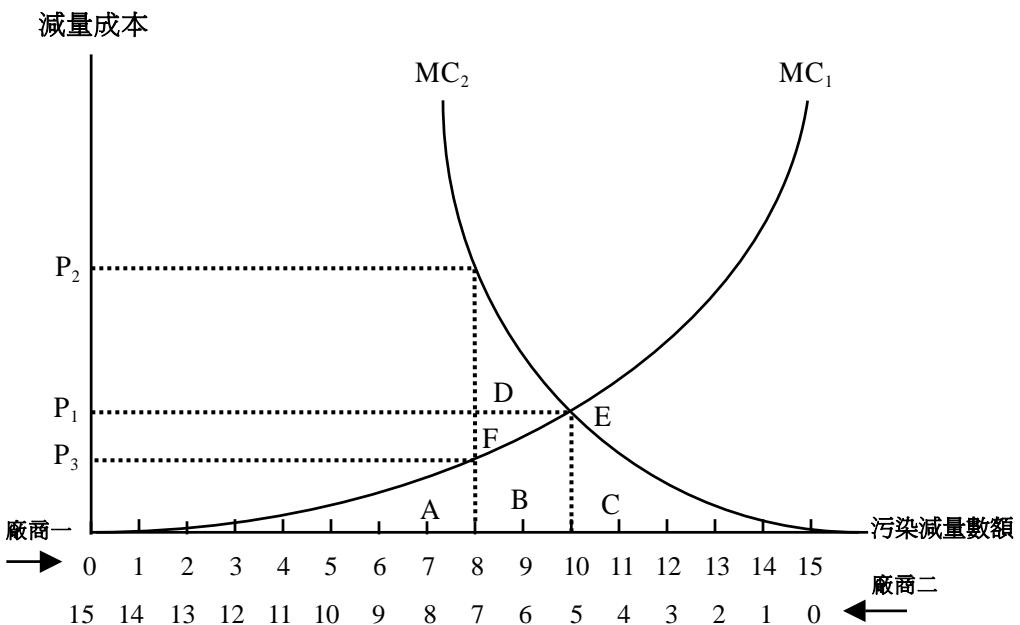


圖 2 邊際減量成本與交易量及交易價格

資料來源：本研究。

在上述例子中，買方所欲購買之排放權數量恰好在賣方所能提供的數量範圍內，故兩者交易完成後，此兩廠商便從本次模擬中剔除。但有時所選出之交易雙方可能產生賣方不足以全部提供買方所需之排放權數量，因此本研究將假設買方將留在市場中再與其他之廠商進行交易，暫時不予剔除。為方便說明此一可能狀況，茲舉另一實例並搭配下圖 3 說明：假設有兩廠商被電腦選出進行交易，廠商 1 之邊際減量成本函數為 $P=90Q$ (其中 Q 為污染削減量)，在未管制前該廠商排放 30 單位之污染量；廠商 2 邊際減量成本函數為 $P=10Q$ ，在未管制前該廠商排放 20 單位之污染量，故兩廠商總排放量為 50 單位。若此時政府要求各排放源需削減原排放量 50% 之數額，廠商 1 因而可排放 $30 \times 50\% = 15$ 單位之排放量 (亦即政府發給其排放權 15 單位)。而廠商 2 可排放 $20 \times 50\% = 10$ 單位之排放量 (亦即政府發給其排放權 10 單位)，兩者需共同負擔 25 單位的減量水準 (圖 3 之橫軸)。若根據前述圖 2

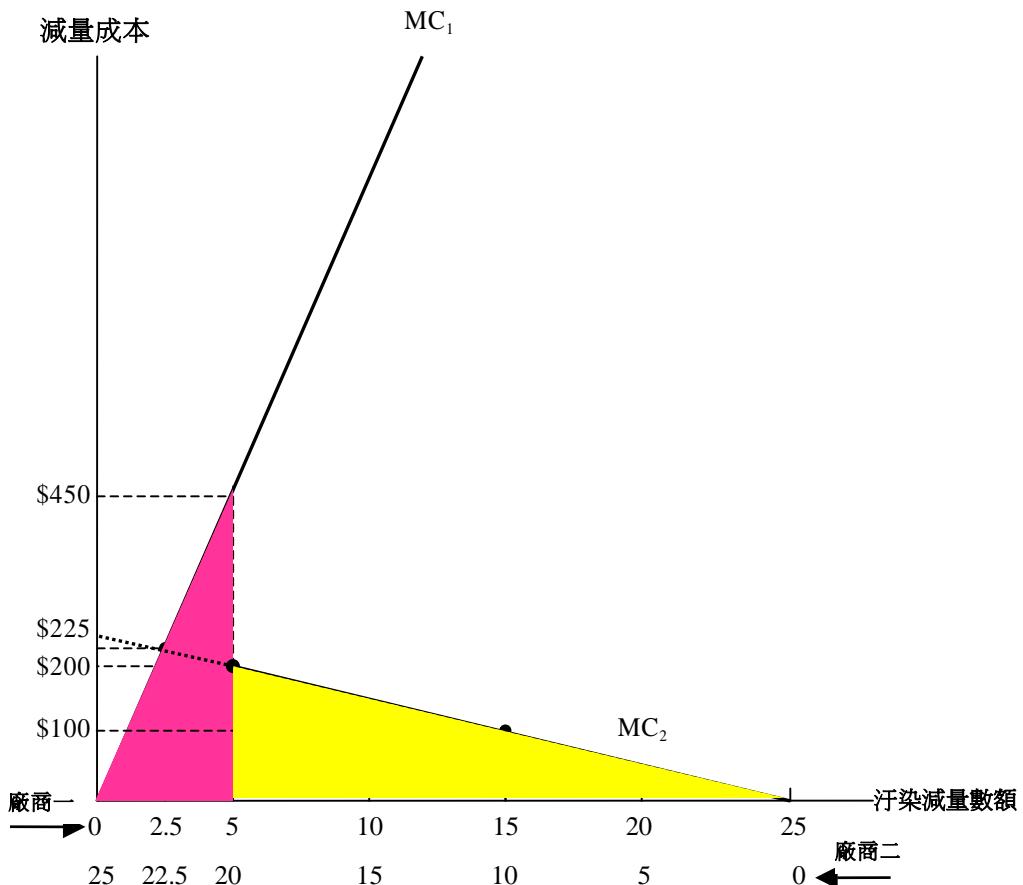


圖 3 買賣雙方無法經由單次交易滿足減量標準

資料來源：本研究。

之邏輯，當此二廠商被選出從事交易且不考慮賣方所能提供的排放權數量時，其雙方交易時成交價應為圖 3 中之 \$225，此時買方廠商所需之排放權數額為其本身所擁有之 15 單位加上欲購買之數額 12.5 單位，如此雙方可於圖中 A 點雙方交易完成，而廠商 1 只需負責減少 2.5 單位之污染減量即可。另一方面廠商 2 將賣出 12.5 單位的排放權。但問題在於 A 點並非為廠商 2 所能達到之點，因廠商 2 本身最多只擁有 10 單位的排放權可出售。在廠商 2 不足以提供足夠數量且交易模式為成對情形下，我們首先探討廠商 2 的減量行

爲，對該廠商而言，若其面對的排放權市場價格爲\$100 時（恰爲其減量 10 單位的邊際成本），其最適的策略是自行減量 10 單位，並自行使用政府所發放的 10 單位排放權（排放 10 單位的污染）以滿足政府管制，但當排放權價格升爲\$200 時，其有誘因自行減量 20 單位並將剩餘未使用的 10 單位排放權以每單位\$200 元出售，若價格高於\$300 時，其污染減量行爲與價格在\$200 時無異，故\$200 是廠商 2 在將污染全數減去後，並將手中持有排放權全數售出所願接受的最低排放權價格；再就廠商 1 而言，若其被選出與廠商 2 進行交易時，該 2 廠商爲達總減量 25 單位的可能情形之一爲廠商 2 減量 20 單位而廠商 1 減量 5 單位（如圖 3 所示），此時廠商 2 的污染減量成本爲圖中之淺色陰影面積，而在第 20 單位的邊際減量成本爲\$200 元，而廠商 1 的污染減量成本爲圖中之深色陰影面積，且廠商 1 減量第 5 單位的邊際減量成本爲 \$450 元，至於在兩廠商的交易價格方面，由於廠商 2 在減量 20 單位後，沒有任何污染減量的空間（其實際污染減量已等同於未管制前之原始排放量），故若社會欲要求此二廠商共同再增加微小一單位的污染減量時，該污染減量責任將由廠商 1 來承擔，而增加此一額外污染減量所增加之總成本即爲排放權交易價格，也就是廠商 1 在第五單位的邊際減量成本\$450 元，（註 13）亦即廠商 1 在自行減量 5 單位情形下，並願以\$450 的價格買入排放權。在此例中可發現，若兩廠商邊際減量成本甚大且賣方排放權不足以提供買方時，排放權有可能是以極高的價格成交，且此價格將高出賣方所欲接受的排放權價格甚多，雖然在成對及連續交易過程中，排放權買方的支出恰等於賣方的收入，故無論成交價格爲何，對此二交易廠商的管制成本總和並無任何影響（總管制成本仍爲兩廠商純來自污染減量的加總），但由於此二廠商是隨機或依據我們所設定的法則被挑出交易，加以本研究中各廠商的減量成本結構加上應減量水準間有極大的差異，（註 14）故可能產生買方以高於賣方願接受交易價格非常多的價格來進行交易，並使買方單方面面對非常大的管制成本，而這可能與實際上買方的心態不符，故爲使模擬更貼近於買方在市場上的可能狀況，此時我們假設買方願意付出較賣方願接受價格爲高但卻低於其

自行減量最後一單位之邊際減量成本的價格來交易，同時我們也賦予買方繼續留在市場中找尋其他賣方的選擇，以進一步降低買方的減量成本，由於在上述的例子中，\$450 及 \$200 區間內的價格都是可能的價格區間，但為避免討論此區間中何種價格才是兩廠商最後的成交價格，我們進一步假設若兩條邊際減量成本線能夠相交，該交點即是成交價格（如圖 3 之 A 點所示），因為此一交點所對應的價格必落在可能的區間範圍內，此設定也避免討論廠商間的議價成本，在此兩廠商依上述假設完成交易時，廠商 2 即自模擬廠商中剔除，而廠商 1 將留在市場中等待與其他廠商再行交易。此外，為簡化模擬，我們假設廠商所購得之排放權將僅供其自身折抵超額排放所需，將不會再行進入市場轉售來謀利。

由於廠商的交易行為模式不易刻畫，故本研究在交易過程中對於廠商行為進行了非常多的假設，雖然某些假設在限制交易的條件、某些假設在賦予廠商更大的減量彈性，但其目的皆在降低廠商的交易成本，這是因為本研究希望求導出在成對及連續交易模式下，廠商「至少」會產生多少的交易資訊成本，故這些假設最終是為求得一個相對較為保守的交易資訊成本估計值，以利政策的分析，這也是進行大規模實證分析所必須的。此外，當廠商被抽取出來進行交易時，其會按照邊際減量成本線的交點來決定買賣數量及價格，（註 15）故交易過程不會衍生任何的議價及決策成本，每當兩廠商進行交易時，本研究將依圖 1 的交易流程圖紀錄該筆交易的價格及買賣數量，例如當交易發生 20 次，我們也將產生 20 筆的交易價格及數量。

在資訊不完全的情形下，我們無法確知一旦排放權市場開辦後，廠商將會以何種方式在市場中尋求交易對象，故本研究將模擬五種廠商可能尋求交易對象之方式，並以這些方式作為程式中選取廠商交易的基礎，然後分別探討因方式不同所造成之影響。這五種方式中包含了「邊際成本最低者及邊際成本最高者優先交易」、「隨機由廠商母體中選取排放權買賣方」、「同產業中選出大廠和小廠先行交易」、「國營與國營，以及民營與民營先交易」及「廠商排放減量規模相當者先行交易」，這些交易方式在彼此的本質上，存

有某種程度的抵觸，(註 16) 但這是因為我們欲瞭解當所有廠商是抱持某一動機來找尋交易對象時，社會在此情形下的結果為何，而若廠商抱持另一動機時，社會的結果又為何。承前所述，廠商在五種可能的交易方式中，皆會遵循邊際均等法則，而每種交易方式都會依循圖 1 之流程進行一次。

在過往討論成對及連續交易的文獻大都採取兩種交易方式，其一為邊際成本最高者與邊際成本最低者優先進行交易，因為此交易模式在理論上可使兩廠商皆獲致最高的減量效益（例如 Atkinson & Tietenberg，1991；Burraw & Harrison & Truner，1998；Netusil & Braden，2001），而另一種方式則為隨機抽樣（例如 Netusil & Braden，1993；Netusil & Braden，2001），本文除此二交易方式外，另針對台灣的特性（如國營企業）設計了其餘三種可能的交易模式，以使模擬的結果更為完備。茲將五種方式的說明分述如下：

2.1.1 邊際成本最低者及邊際成本最高者優先交易

在此模擬下，我們先依各廠商之減量成本由高至低排序，再由所有廠商中，先挑選出邊際減量成本最低者，作為首位賣出排放權的廠商；另外挑選出名單中之邊際減量成本最高者，作為購入排放權的廠商。在此模擬基礎下，我們假設污染減量之邊際成本最低的廠商，因其減量成本低的優勢，可致力減量工作，而把多餘之排放權賣給所需排放權之廠商，以此獲利。另一方面，高污染減量成本之廠商，為了降低成本而於市場上尋求具有最低減量成本之賣方。而探討此種交易方式的文獻（例如 Netusil & Braden，1993）認為，排放權交易會使交易雙方皆獲益的來源即為雙方減量成本的差異性，若差異性愈大，則交易的動機將愈強，透過交易所導致的減量成本節省也最高。

2.1.2 隨機由廠商母體中選取排放權買賣方

隨機的交易方式係假設廠商對於在市場中該找誰進行交易毫無頭緒，而這也可能是部分廠商在初面臨一個全新交易市場所可能面對的問題，因此我們藉由電腦程式，隨機挑選兩兩廠商在市場見面進行交易，由於廠商交易是

被隨機挑選出來的，故減量成本及交易價格皆會因挑選出廠商的不同而產生變化，因此我們藉助蒙地卡羅的模擬技術，將交易流程模擬進行一百次，（註 17）而使用此技術的主要目的為平均其模擬結果，使之能趨於常態之均值。在此交易方式下，兩兩被選出之廠商，何者應扮演買方，而何者又應扮演賣方，端視他們的減量成本函數及污染應減量水準而定（如圖 2 及圖 3 的說明）。

2.1.3 同產業中選出大廠和小廠先行交易

此模式假設管制市場中的廠商僅對同產業的廠商較為熟悉，亦即在相同產業中，各廠商所需之污染減量設備及產業彼此的熟悉度比非同產業來的高，因此在交易時，可能會尋求同產業的先行交易。此外，在按照歷史排放記錄來分配排放權的許可制下，小廠會認為大廠會握有相對較多的排放權，故此一模式隱含小廠在尋找交易對象時，首先想到的是同業中握有較多排放權數量者，因此我們將使用程式選出同產業中排放量多較多之大廠商和排放權量較少之廠商優先來進行交易，而另一個考量大廠及小廠交易的原因在於大廠「也許」較小廠更有能力裝設新的減量設備，因此較可能扮演賣方的角色，當小廠亦有此想法時，兩者可能因此在市場中碰面。在模擬中，我們將年排放量超過 500 公噸者視為大廠，而其餘視為小廠，再將其依產業分類後，以隨機方式選取同產業之兩兩廠商來交易。高屏地區廠商的產業別較為集中，主要仍是以石化、發電及鋼鐵業為主，不似國外交易市場中，產業別非常多元，且各產業別下的廠商數目皆十分眾多，因此在資料處理上，若我們發現某產業僅存有一廠商時，則我們在模擬中將會把此廠商另歸類為其他產業來處理。

2.1.4 國營與國營，以及民營與民營先交易

龐大的國營企業乃是台灣產業結構中的一大特色，而高屏空品區中的排放大廠有極大部分是屬國營企業，故本研究相較於過往文獻，新增此一交易模式。國營事業體系中，其公文行政往來乃按一定之程序及規格，加以彼此

的體質架構相近，因此在交易之初時時，國營企業可能會優先選擇亦是國營的其他企業進行交易。此外，民營企業的決策模式較具彈性，故其可能優先傾向與民營企業交易，以加快交易流程，仿照前述交易方式（3），我們首先將國營及民營廠商進行分類，再以隨機抽取的方式來完成模擬。

2.1.5 廠商排放減量規模相當者先行交易

排放減量規模相當者先行交易之方式類似大廠與大廠先進行交易。一般而言，即便污染排放量小的廠商將其手中所握有的排放權全數賣出，通常也無法滿足污染排放量大的廠商，而污染排放大廠商為免於找尋交易對象的時間成本，會較希望能一次購足其所需之排放權。因此，廠商排放量相當者如能先行交易，較可能滿足一次購足情況，且可免於另尋其他廠商的成本，與前述「國營企業優先交易模式」不同之處在於此模式允許民營與國營排放大廠優先見面。在本模擬中，我們將廠商之年排放規模依小 100 公噸、介於 100 公噸至 500 公噸、介於 500 至 1,000 公噸及 1,000 公噸以上，來進行分類，爾後再利用隨機方式來進行廠商及廠商間的交易，廠商在交易中的買賣角色仍由前節圖 2 及圖 3 決定。

在本研究所採行的交易模擬設定上，「隨機由廠商母體中選取排放權買賣方」、「同產業中選出大廠和小廠先行交易」、「國營與國營，以及民營與民營先交易」以及「廠商排放減量規模相當者先行交易」等交易方式皆需透過隨機選取，故減量成本及交易價格高低會因選出廠商之不同而有所差異，為將此因隨機選出產生的偏差消除，故皆需使用蒙地卡羅模擬技術過程，然後取其平均值。（註 18）另外「邊際成本最低者及邊際成本最高者優先交易」方式因在交易廠商的選取上無任何隨機性，故不需使用蒙地卡羅模擬，因其在模擬過程中，我們將直接依此規則選取廠商，因此只需模擬一次即可。

在成對及連續的交易模式下，我們係站在一個社會管制者或決策者（Social Planner）的高度來進行相關模擬，故我們擁有各廠商的污染排放及減量成本資訊，但個別生產者則否（個別生產者僅瞭解自身的減量資訊或僅

對於其他亦受到管制的廠商有部分的瞭解），（註 19）因此管制者是假設在生產者不具完全資訊下，模擬各種可能交易方式中，社會利用排放權管制所需的總減量成本，而在下節所討論之完全競爭交易模式，則是隱含在社會決策者除擁有各項資訊外，並全權規劃各廠商污染減量決策時，社會可達最低的污染管制成本為何。

2.2 完全競爭市場之排放權交易分析

廠商在成對及連續交易下是不具有充分資訊的，且某二廠商在交易時，只考量「當下」能對彼此獲致最大的成本節省（邊際均等法則），不會考慮這筆交易是否能使整體社會的總減量成本達到最低，因此導致排放權的成本有效性遭高估，故為與成對及連續交易制度下之總減量成本進行比較，本研究在相同的廠商減量成本結構、污染排放量及管制水準下，依循 Montgomery (1972) 及 Johnson 與 Pekelney (1996) 等人之架構，假設另一完全競爭市場模型來模擬當排放權交易市場是資訊完全且無交易成本存在時，社會達成相同管制水準之總減量成本為何，而此成本與成對交易模式下的成本差距即為因資訊不完全所導致的交易成本。在完全競爭的模型中，交易方式為同時交易，意即所有的排放權交易，均在同一價格下完成。此外，該模型係由整體社會減量成本極小化為考量，因此在此角度之下，表示我們清楚地知道市場上關於廠商的全部資訊，例如：減量成本、可選擇的減量設備、減量設備之效率、和廠商被要求減少的污染量。但在實際狀況中，大都只有決策者（通常是政府）能夠達到上述的要求，因此，我們可將此模型稱為「社會決策者模型」。亦即我們在模型中假設政府具有充分的資訊，且其經過計算後，能規劃出最佳狀態下，每個廠商應減少的污染量和交易的排放量，而所有廠商在獲得政府所提供的相關減量訊息後，都將會依照政府所規劃的情況，來進行污染減量的活動與交易，而這也是文獻中（例如 Montgomery, 1972）用來求得完全競爭市場結構下，社會總減量成本的方

法。瞭解社會決策者模型依舊有其重要性，因為由該模型所求出的結果，能使我們了解排放權交易制度在最佳運作情況下，社會整體最小的減量成本。茲將社會決策者模型詳述如下：

$$\text{Min} \quad \sum_F C_F(X_F) \quad (1)$$

s.t.

$$D_F + X_F \geq S_F + h_F \cdot a_F \quad \text{對於所有 } F \quad (2)$$

$$\sum_F D_F = \sum_F S_F \quad (3)$$

$$X_F \leq h_F \quad \text{對於所有 } F \quad (4)$$

$$X_F \geq 0 \quad \text{對於所有 } F \quad (5)$$

模型中變數 X_F 為廠商 F 的污染減量； $C_F(X_F)$ 為該廠商之減量成本函數； D_F 及 S_F 分別為廠商 F 對於排放權的需求數量或供給量； h_F 為廠商在基準年的污染排放量； a_F 為政府所設定的污染減量比例；而 $h_F \cdot a_F$ 則為該年度廠商被要求必須減少的污染量。模型中(1)式為目標式，其代表社會整體的總污染減量成本必須極小，因此當個別廠商減量成本達到極小時，加總所得的社會總減量成本也將極小。此外，模型中外生給定的相關數據如廠商污染之基準年排放量與政府規定的減量比例等，均以小寫來表示。而大寫則表示模型將求解的內生變數，也就是廠商的污染減量及排放權的買賣數量。

(2)式代表廠商獲得排放權的來源，以及排放權運用的狀況，此式也代表廠商所面臨的政府污染減量規範情形。式子左邊為廠商排放權的來源，即廠商所擁有的排放權從何而來；排放權來源通常來自於兩方面，一為在市場上向其他的廠商購買而來，即 D_F ；其次就是自行從事減量而多出來的排放權，即 X_F 。(2)式右邊則表示排放權的流向，也就是廠商排放權運用的狀況。一般來說，廠商排放權的流向也有兩方面，首先，廠商可將多餘的排放

權賣給其他的污染者，即 S_F 。其次，用於滿足政府所要求的削減量，即 $h_F \cdot a_F$ 。(2)式表示廠商排放權的來源必須大於或等於排放權的流向，就廠商而言，這代表其所擁有排放權數量要大於或等於實際使用的量，此時整個社會的污染排放量會被控制在政府管制的水準內。(2)式中廠商被要求必須減少的污染排放量部份為 $h_F \cdot a_F$ ，其中即隱含著廠商所分配到的初始排放權數量。因為其每年被要求減少 $h_F \cdot a_F$ 單位的污染，換句話說，廠商每年被允許可以排放 $h_F \cdot (1 - a_F)$ 單位的污染，因此該數量即為廠商各年度，所被分配到的初始排放權數額。

(3)式為排放權市場均衡限制式，代表著整個排放權交易市場達到均衡。也就是來自於賣方廠商的排放權總供給，必須等於買方廠商的排放權總需求，而該限制式之影子價格（Shadow Price）也正是每一單位排放權交易的均衡價格。(4)式為個別廠商在污染減量上的限制，表示其從事減量活動所削減的污染排放量 X_F ，要小於或等於該廠商未受管制下的排放量 h_F ，因此(4)式隱涵個別廠商在排放權供給量上所受的限制，亦即每個廠商排放權可供交易的最大數量，不會超過其初始排放權分配的數量，(5)式則為一非負限制式。

III、資料來源與運用

受限於資料來源，本研究乃針對高屏地區的 38 家廠商（範圍涵蓋 15 種產業）共 44 個固定污染源（即 44 座工廠）進行分析。（註 20）而高屏地區為台灣石化和重工業所在的主要區域，因此我們所選定之固定污染源也以石化業居多，共 16 個污染源佔總固定污染源之 38.10%，其次則為軋鋼業共 6 個污染源，佔總固定污染源之 14.29%，而石油煉製業、鋼鐵冶煉業、和發電業則各有 3 個，各佔總固定污染源之 7.14%。在污染減量廠商的排放數據方面，由於台灣現行法令並未要求廠商定期對外公布其污染排放資料，加以廠商也常將此資訊視為商業機密，因此我們僅能根據中技社（2001）針對此

44 個污染源於民國 89 年的排放量調查為主，資料顯示這些污染源在當年度的排放量為 72,859.3 公噸，(註 21) 因此未來在 10%的減量標準下，當地最大的年排放量為 65,573.37 公噸，亦即 44 個排放源共需減少 7,285.93 噸的年排放量，故在排放權交易制度下，政府將發放 65,573.37 公噸的排放權數量。在此管制下，除台電興達電廠、中鋼、台電大林發電廠每年的削減量達 1,000 公噸以上外，尚有 7 家所需之削減量為每年需減 100 公噸以上，其餘 34 家廠商每年之污染應減量均低於百噸以下。

由前節說明可知，廠商污染減量邊際成本將在實證中扮演重要的角色，因此在資料處理上，我們需推估出各廠商的可能邊際減量成本曲線，但由於台灣目前缺乏大規模且有系統針對廠商 NO_x 減量成本之估計，因此在成本推估上，我們係透過其他的文獻，蒐集各個產業在某個特定的減量水準下，其可達到的最低減量總成本為何，作為推估成本函數的依據，這些文獻包括了經濟部工業局 (2002) 之「總量管制空氣污染物削減技術手冊」、朱信 (1999) 之「氮氧化物控制技術、效率及成本資料調查分析」外、國外學者如來源減量量廠、中鋼、台電大林發電廠達 Wulf-Schnabel (1998)、Krupnick (2000) 以及法國 CITEPA (2004) (註 22) 等研究報告。(註 23)

經由各報告中的數據整理，我們分別估計出石油煉製業、發電業、鋼鐵業 I、鋼鐵業 II、石化產業及其他等六條邊際汙染減量成本函數 (表 1)。在表中，我們進一步將鋼鐵產業的邊際減量成本函數區分為鋼鐵業 I 及鋼鐵業 II，其主要原因在於此產業之廠商規模大小差距甚大，為區別大小廠商在使用減量技術和設備上的不同，因此選擇分開估計。又由於模擬的廠商中，來自合成樹脂及塑膠製造業、鋁鑄造業、食用油脂製造業、清潔用品製造業、造紙業、合成橡膠製造業、水泥製造業、印染整理業及肥料業均僅一家，因此在成本估計上，我們將其全部歸類為「其他產業」處理，而由朱信 (1999) 之研究可得知，這些廠商均可能透過低氮氧化物燃燒器 (Low NO_x Burner，以下簡稱 LNB) 來進行污染減量，因此表 1 中關於其他產業的成本

主要是依據以不同規模之 LNB 來進行減量而得的資訊。整體而言，各產業邊際減量成本由小至大依序為發電業、鋼鐵業大廠、其他產業、石化業、石油煉製業及鋼鐵業的小廠。(註 24)

表 1 廠商邊際污染減量函數

產業別	邊際污染減量成本函數
鋼鐵業 I — 排放減量 > 100 公噸	$y = 0.0671x^{0.3267}$
鋼鐵業 II — 排放減量 < 100 公噸	$y = 0.7269x^{0.4208}$
發電業	$y = 0.0005x$
石化產業	$y = 0.5449x^{0.1774}$
石油煉製業	$y = 0.0167x^{0.9683}$
其他產業	$y = 0.0034x^{0.8726}$

資料來源：本研究。

註：邊際污染減量成本函數中之 y 代表邊際成本，而 x 為廠商排放減量。

IV、排放權交易模擬結果及分析

4.1 成對及連續交易

在 10%的減量管制及在成對及連續交易下，我們將所得之相關結果及數據資料整理如表 2 所示。結果發現，若各廠商以「邊際成本最低者及邊際成本最者優先交易」方式進行交易，社會總減量成本為 3,292 萬元，為各種模擬交易方式下之最低者，而這也與 Netusil 與 Braden (1993) 的實證研究相吻合。總減量成本次低者為「國營與國營，以及民營與民營先交易」的交易方式，為 4,228 萬元。此外，在五種交易方式中，總減量成本最高者為「同產業中選出大廠和小廠先行交易」的方式，其主因在於同產業中的減量技術

和使用的減量設備相當，故雖然同產業中之各廠商的最大可減量數額（廠商之排放基線）並非一致，但因各廠商的邊際減量成本變化並不大，使得同類廠商彼此交易所能獲致的成本減少幅度相當有限，連帶使得社會的總減量成本無法有效的降低。

表2 成對連續交易模擬結果

交 易 方 式	總成本 (萬元)	平均每噸 減量成本 (萬元)	交易 次數	總交易量 (公噸)	平均每筆 交易量 (公噸)	總交易量 佔總排放 權數百分 比%	平均交 易價格 (元)*
隨機由廠商母體中選取排放權買賣方	4,529	0.62	23	1,114.67	47.84	1.53%	10,879
同產業中選出大廠和小廠先行交易	5,296	0.73	23	1,334.26	58.52	1.83%	11,775
國營與國營，以及民營與民營先交易	4,228	0.58	23	1,458.15	64.52	2.00%	7,763
廠商排放減量規模相當者先行交易	4,359	0.60	22	1,520.92	68.82	2.10%	8,872
邊際成本最低者及邊際成本最高者優先交易	3,292	0.45	25	1,529.75	61.19	2.10%	6,555

資料來源：本研究。

註：由於廠商的邊際減量成本及初始排放量分配的不同，故每一次交易皆會產生一次交易價格，此欄未所列之交易價格為各次交易價格的平均值，欄位中關於平均每筆交易量的概念亦同。

在排放權價格方面，經由我們模擬的結果可發現，各模擬方式下其平均的交易價格約為每公噸 6,555 元至 11,775 元之間，而此模擬價格亦可給予廠商在交易市場實際運行時之參考依據，亦即未來當廠商預期在添購設備並進行污染減量時之單位成本高於此模擬之價格時，可由從市場購得較自行減量成本還低的排放權。反之則廠商可自行減量，以出售手中之排放權來獲利。在市場規模及交易活絡度方面，當政府發放某一固定數額的污染排放權數量時，如當中有相當大的比例被廠商拿到市場中來進行交易，則將有助於污染排放權市場交易的活絡度增加並建立廠商對污染排放權交易制度的信心，此

點對於一個新興的排放權交易市場格外重要。反之，當各廠商鮮少進入市場中來進行交易時，將造成廠商心理上的疑慮，亦即潛在買方將擔憂無法在市場中購得所需的排放權數額，而賣方則擔心手中的排放權乏人問津，導致廠商對於污染排放權交易制度的信心便趨於薄弱，那麼政府對於排放權交易制度的設立反而不能有效降低廠商的減量成本。以 1981 年在美國威斯康辛州 (Wisconsin) Fox River 所推行的水污染排放權交易制度為例，由於交易之初的交易量過低（僅一筆交易），致使學者專家當初所預期交易可節省廠商 700 萬美元成本的效果未如預期出現，儘管導致此計畫交易量過低的因素很多 (Callan & Thomas, 2006, p. 363)，但過低的交易數量將阻礙市場制度運行。而在我們所做的模擬分析當中（表 2），以「邊際成本最低者及邊際成本最高者優先交易」、「廠商排放減量規模相當者先行交易」的總交易量較大，其總交易量分別為 1,529.75、1,520.92 公噸，而其排放權的流動率為可達到約 2.1%。也就是說政府平均每發行 100 個單位的污染排放權數量，將有約 2.1 個單位的污染排放權會在市場中交易，而在此種交易方式底下，排放權交易市場的規模將較為擴大。另外，表中我們也可得知，在「隨機由廠商母體中選出買賣雙方」及「同產業中選出大廠和小廠先行交易」的方式下，其排放權交易的流動比率分別為 1.53% 及 1.83%，在此種交易方式下，將造成排放權交易市場規模較於狹小，對於建立廠商對於排放權交易制度中的信心較無幫助。

政府目前雖將 NO_x 之排放減量目標設定為民國 89 年度的 10%，但若考量污染管制標準產生改變時，社會總減量成本及交易資訊成本會產生何種變化？故本節將進一步模擬當政府將減量標準設定在 5%、15% 及 20% 的情況，以此與先前 10% 排放減量做一比較。表 3 至表 5 的模擬結果顯示，當排放減量調整為 5%、15% 及 20% 時，可得到在五種交易方式下，仍以「邊際成本最低者及邊際成本最高者優先交易」的方式可得到最低的社會總減量成本，而其金額分別為 1,110、6,720 及 10,669 萬元，污染減量標準的改變將使社會整體總減量成本分別下降 66%、上升 104% 及 224%，而平均每噸減量

成本則成爲 0.3、0.61 及 0.73 萬元。此外，在「同產業中大廠和小廠先行交易」的方式下，當排放減量作相同改變時，將使得社會總減量成本分別成爲 1,693、10,642、18,166 萬元，社會整體總減量成本分別下降 68%、上升 101% 及 243%，而平均每噸減量成本分別達 0.46、0.97 及 1.25 萬元。經由以上模擬及比較年減量在 10% 的情況下可得知，不論年排放減量在 10% 或年排放減量在 15%、20% 下時，仍然以「邊際成本最低者及邊際成本最高者優先交易」的交易方式下可達到最低的社會總減量成本。而在遞增的邊際減量成本之下，隨著削減量的提升我們也可以發現，排放減量爲 15% 或 20% 時平均減量成本及平均的交易價格都將比排放減量爲 10% 還要高出許多。模擬結果亦顯示，當政府排放減量直接提高到原污染排放量 20% 時，其平均的交易價格爲 11,708 至 18,235 元之間，與 10% 減量標準相較，此交易價格高出了約 51%。另外，在總交易量和平均交易量上觀之，當管制水準設定在較嚴格的 20% 減量標準時，市場交易量將因廠商對於排放權需求的增加而有顯著的提升。

表 3 5%減量下成對連續交易模擬結果

交 易 方 式	總成本 (萬元)	平均每噸 減量成本 (萬元)	交易 次數	總交易量 (公噸)	平均每筆 交易量 (公噸)	總交易量 佔總排放 權數百分 比%	平均交 易價格 (元)
隨機由廠商母體中選取排放權買賣方	1,460	0.40	22	527.84	23.67	0.76%	6,489
同產業中選出大廠和小廠先行交易	1,693	0.46	22	639.80	28.95	0.92%	7,706
國營與國營，以及民營與民營先交易	1,355	0.37	22	773.72	35.01	1.12%	4,903
廠商排放減量規模相當者先行交易	1,413	0.39	22	699.38	31.79	1.01%	5,622
邊際成本最低者及邊際成本最高者 優先交易	1,110	0.30	23	754.17	32.79	1.09%	4,864

資料來源：本研究。

表 4 15%減量下成對連續交易模擬結果

交 易 方 式	總成本 (萬元)	平均每噸 減量成本 (萬元)	交易 次數	總交易量 (公噸)	平均每筆 交易量 (公噸)	總交易量 佔總排放 權數百分 比%	平均交 易價格 (元)
隨機由廠商母體中選取排放權買賣方	8,945	0.82	24	1,755.23	72.53	2.83%	13,823
同產業中選出大廠和小廠先行交易	10,642	0.97	23	2,033.56	86.83	3.28%	15,648
國營與國營，以及民營與民營先交易	8,988	0.82	23	2,203.20	95.21	3.56%	10,863
廠商排放減量規模相當者先行交易	8,613	0.79	22	2,400.93	108.15	3.88%	11,504
邊際成本最低者及邊際成本最高者	6,720	0.61	25	2,255.50	90.22	3.64%	9,083
優先交易							

資料來源：本研究。

表 5 20%減量下成對連續交易模擬結果

交 易 方 式	總成本 (萬元)	平均每噸 減量成本 (萬元)	交易 次數	總交易量 (公噸)	平均每筆 交易量 (公噸)	總交易量 佔總排放 權數百分 比%	平均交 易價格 (元)
隨機由廠商母體中選取排放權買賣方	14,603	1.00	25	2,449.16	96.69	3.82%	16,598
同產業中選出大廠和小廠先行交易	18,166	1.25	24	2,597.67	106.90	4.05%	18,235
國營與國營，以及民營與民營先交易	14,157	0.97	24	2,770.32	115.43	4.32%	12,848
廠商排放減量規模相當者先行交易	13,661	0.94	23	3,633.63	160.78	5.67%	12,811
邊際成本最低者及邊際成本最高者	10,669	0.73	27	3,508.92	129.96	5.47%	11,708
優先交易							

資料來源：本研究。

4.2 完全競爭下之排放權市場模擬分析

利用前述之廠商減量成本資訊，本節利用 GAMS 軟體並搭配(1)至(5)式之經濟模型來求導當市場所有廠商在同一時間和同一價格交易時之概況（註 25）。其結果顯示（表 6），當廠商的排放減量水準為基準年的 10%時，社會總減量成本為 2,593 萬元、排放權交易量為 2,678.56 公噸、排放權均衡交易價格為每公噸 0.69 萬元（註 26）。我們可發現，除排放權總交易量外，此結果和在成對及連續交易時且有最低總減量成本之「邊際成本最低者及邊際成本最高者優先交易」的方式相較，總減量成本下降了 699 萬元，而與「同產業中選出大廠和小廠先行交易」的成本相較，總減量成本更可下降高達 2,703 萬元。由於完全競爭市場中無任何的交易資訊成本，因此在高屏地區實行排放權交易時的交易資訊成本至少為 699 萬元，但若交易方式不為「邊際成本最低者及邊際成本最高者優先交易」，則此交易資訊成本將更高。另外，模擬結果亦顯示，當廠商的排放減量水準調整為 5%、15% 及 20%時，完全競爭市場結構下之社會總減量成本分別為 649、5,561 及 9,237 萬元，均較在成對及連續交易時，以「邊際成本最低者及邊際成本最高者優先交易」方式下的總減量成本為低，而在完全競爭市場中的均衡交易價格方面，當管制水準為 5%、15% 及 20%時，價格分別為每公噸 0.35、0.92 及 1.09 萬元。表 6 最後一欄則進一步估計各減量水準下，交易之資訊成本可能區間，此區間係由成對及連續交易中所可能產生的減量成本最大者及最小者與完全競爭市場下的成本相減而得，由表中可看出，當減量標準提高至 20%時，由於市場上交易量增加，連帶使得交易資訊成本可能高達 8,929 萬元，故在買賣雙方皆不具有充分訊息下，藉由排放權交易來管制污染的實際總減量成本可能較理論所能達成之成本高出兩倍，而此高出成本的部分尚不包括 Stavins (1995) 所定義的議價、搜尋成本及政府的管控成本，故整體社會在排放權制度下的成本應更高。政府在此狀況下應更積極在交易推行之初釋放更多相

關資訊予以廠商，期能降低這些因資訊不完全所可能衍生的額外管制成本，這些資訊包括了未來排放權市場的可能價格區間，各產業的實際污染排放數據及減量成本結構等，廠商則可藉此做出更有效率的污染減量決策。

表 6 完全競爭下之模擬結果

減量水準	社會總減量成本 (萬元)	廠商平均減量成本 (萬元)	總交易量 (公噸)	排放權交易均衡價格 (萬元)	交易之資訊成本區間 (萬元)
5%	649	0.18	1,828.99	0.35	461 – 1,044
10%	2,593	0.36	2,678.56	0.69	699 – 2,703
15%	5,561	0.51	3,964.24	0.92	1,159 – 5,081
20%	9,237	0.63	5,416.08	1.09	1,432 – 8,929

資料來源：本研究。

V、結論與建議

本文雖以工業污染的排放管制為主，但排放權政策的執行，確有可能同時對於一般的家計部門及農業部門產生正向的影響，故儘管交易制度中的資訊不完全將提高污染管制的成本，但管制者仍可依本研究之成本數據與污染改善之益處進行相關的成本效益分析，來作為推動管制政策的參考，以下茲將本文所得的結果及相關結論分述如下：在排放權市場為完全競爭，且買賣過程不會衍生任何交易成本的假設下，利用排放權來達成污染管制目標雖在理論上具有成本有效性的特點，但在現實的交易環境中，買賣雙方是處於一資訊不對稱的狀態，且交易過程應為成對及連續的交易型態，因此實際的排放權管制成本必較理論所推估為高。本文以我國即將推行排放權交易制度的高屏空品區為例，並以五種可能的廠商交易方式，透過一更貼近實際狀況的成對連續方式來模擬各可能方式下，社會整體的減量成本，並以此與完全競爭市場架構下的總減量成本進行比較，來估算交易過程中可能衍生的交易資

訊成本，而本研究的最終目的，在於希望相關結論能做為未來推行排放權交易制度時，政府政策擬定及廠商減量決策的參考。

當排放減量設定為民國 89 年歷史排放量的 10% 時，模擬結果顯示，在「邊際成本最低者及邊際成本最高者優先交易」的方式下，我們可得之最低社會總污染減量成本為 3,292 萬元，其在排放權的流動率方面為 2.1%。然而與之對比的則是在廠商經由「同產業中選出大廠和小廠先行交易」的買賣方式下，其社會總體污染減量成本為高達 5,296 萬元，其在排放權的流動率方面為 1.83%，而在「隨機由廠商母體中選取排放權買賣方」的模擬方式下，其社會總體污染減量成本額為 4,529 萬元，然其排放權流動率偏低只有 1.53%。此結果隱含在成對及連續交易方式下，當廠商交易方式不同時，社會總減量成本的差距可達 2,004 萬元之多。另外，當政府調整污染應減量標準時，其結果仍顯示「邊際成本最低者及邊際成本最高者優先交易」的交易方式可以達到較低的社會總減量成本，但減量成本將隨管制標準的趨於嚴格而上升。因此，不論政府所要求的減量目標為何，其皆應誘導廠商遵循「邊際成本最低者及邊際成本最高者優先交易」的方式進行交易，以有效降低交易過程中所衍生的資訊成本。

根據本研究所模擬之 10% 的減量水準，廠商間因資訊不完全所導致的交易成本將可能高達 2,703 萬元，且此成本尚不包含買賣過程中的議價及搜尋成本或政府的管控成本，故運用排放權進行污染管制的實際成本數值必將較本文之模擬結果為高。在 20% 的減量水準下，僅考量資訊完全與否的成本差距就可能高達 8,929 萬元，故為降低因排放權交易而加諸於廠商的各項額外成本，政府未來在推動該政策時，應使廠商的減量成本資訊及排放量資料更為公開透明，使市場上潛在的買方或賣方能以最低的成本完成交易。據此，本研究建議應具體完成以下各項配套措施以利交易的進行。

（1）提供更公開的減量成本及排放量資訊給予廠商，以增進交易效率

由於在成對及連續交易方式下，以「邊際成本最低者及邊際成本最高者優先交易」的方式可使社會整體污染減量成本達最低且有最大的排放權流動率，因此政府應更積極委請學者專家來估計台灣現行各產業或廠商之污染減量成本結構，並引導廠商以此方式來從事交易，再者，目前廠商的年度排放量資料係被視為是機密而無法公開，因此政府應主動公布廠商的排放相關數據，便於作為廠商在市場中尋找潛在賣方或買方的資訊。本研究雖亦針對產業別來進行減量成本估算，但因受限於我國相關資料嚴重不足，故在資料來源上引用了許多國外的技術報告，這些資料是否適用於我國現行污染防治狀況是本研究一重要限制。

（2）建立更多公開及電腦化的交易場所以降低交易成本

儘管本研究將重心放在交易過程中所產生之資訊成本，其他如議價成本等，都可經由公開及電腦化的交易場所來降低這方面的費用，目前高屏地區目前已許多證券商的營業據點並擁有為數眾多的營業人員，因此政府可透過教育訓練甚或證照考試來推廣此一「污染」商品，並將其與其他股票般進行買賣，相信透過專業機構及仲介人的制度，交易成本必能有效降低。

（3）開放廠商以外的團體或個人參與交易以提升交易數量

為活絡市場交易，政府亦可開放除廠商外的民間團體或個人參與此一市場，以增加市場的交易量及強化廠商對交易市場的信心，且由國外的經驗可知，當許多環保團體積極參與市場買賣並將其所購得之排放權永久淘汰時，環境品質更可因此而提升，而一般民眾將排放權視為是一投資套利的理財工具時，更可激起對於環境相關技術的研究。

（4）排放權跨區交易

目前環保署僅預計於高屏地區推行排放權交易制度，而其他 6 個空品區則尚無任何交易機制的規劃，若環保署欲透過擴大交易規模來降低交易成本，則其應儘速訂立跨區排放交易的各項細則，例如跨區廠商污染交易的比例或是交易量上限的規定。

（5）建立公開拍賣制度（Auction）

由國外案例如美國 SO_2 交易市場可知，資訊成本雖會隨交易期間增加而下降，但在新管制推動之初，買賣雙方仍將因缺乏對於排放權的價格資訊而衍生極高的交易成本，因此美國的環保署在 SO_2 交易市場的制度中，每年都會保留部分排放權在市場進行拍賣，以釋放更多的價格訊息給廠商，台灣也可考慮此一模式，使交易更加順暢。再者，本研究中關於減量成本的估計都是假設了廠商皆已利用了最佳可行技術，但事實上可能並非如此，因此我們所獲致的交易資訊成本仍是一相對保守的數值。

高屏空品區為我國即將推行的第一個交易制度地區，因此該制度推行的成效不但關乎我國未來能否在其他各空品區順利推動類似的交易制度，同時也將影響排放權制度應用在其他污染物管制或資源管理的一個指標，因此政府應當盡其可能降低廠商在該制度下所可能衍生的各項成本，以提高廠商對於該制度的接受程度。本研究由於無法細微地刻畫廠商在成對及連續交易的買賣行為模式及可能的自身特殊考量（例如對於未來的價格預期），因此對於交易方式及行為進行了許多假設，儘管這些假設可能使估計出的數值產生偏誤，但這些假設均是朝向求導出一個最低的交易資訊成本出發，因此所得的結論仍具有一定的政策參考價值，政府可依此本研究之政策建議來規劃未來排放權的交易規則，以使排放權政策更得以發揮成本有效性的特點。

附 註

1. 包括一氧化氮和二氧化氮。
2. 包括一氧化硫和二氧化硫。
3. 懸浮於空氣中之微粒，包括 10 微米以上浮游粒子。
4. 有機化合物成分之總稱，但不包括甲烷、一氧化碳、二氧化碳、碳酸、碳化物、碳酸鹽、碳酸銨等化合物。
5. Tietenberg, T. H., *Emissions Trading: An exercise in reforming pollution policy*, (Washington, D.C.: Future, Inc., 1985)。
6. 關於 AMS 對外提供的資訊，可見美國環保署相關網站 (<http://camddataandmaps.epa.gov/gdm/>)。
7. 但目前 AMS 未提供各單筆交易的排放權價格資訊。
8. 例如 RECLAIM 的交易資訊可參見 http://www.aqmd.gov/RECLAIM/rtc_main.html。
9. 根據美國環保署網頁 (<http://www.epa.gov/airmarkets/trading/buying.html#broker>) 所提供部分仲介商資訊，絕大部分的仲介商主在媒介大範圍管制市場如 SO_2 及溫室氣體的交易，RECLAIM 則可能是少數的例外，因為部分區域型的仲介商在該市場中仍十分的活躍。
10. 因此本文模擬的交易有些類似「兩個學過經濟學的廠商在本研究所設定的方式下一見面，立刻顯示出他們的邊際減量成本函數，兩方並依兩條成本曲線的位置及各自的污染應減量決定何者為買方及賣方，爾後再依兩條成本線的交點所定之價格及數量進行交易，不會討價還價，兩方完成交易後就各自離開並向主管機關申報」。
11. MATLAB 乃由「矩陣實驗室」(MATrix LABoratory) 所合成，在二十一世紀的工程包含醫療、電子、金融、機械、土木、物理、化學、航太、遙測所需之工具如信號處理、影像處理、繪圖功能、數學函數及各種控制系統工具箱、類神經網路等均可借由 MATLAB 來完成。其是綜合程式語言亦是一個軟體環境，其中包含許多的軟體模組為工程及數理科學等計算與模擬的利器。因此此軟體乃被選定為本研究中撰寫模擬程式之應用軟體。
12. 關於為何廠商會依此法則進行交易的說明，可參考 Harris (2002), pp.330-335。

13. 有關於為何交易價格是\$450 的討論，亦可見 Harris (2002) 於第 16 章關於排放權價格的說明；此外，我們亦可將此例視為當社會僅有此兩個廠商，而這兩個廠商在上述排放權初始分配、減量成本及應減量水準下，為達 25 單位污染減量管制目標，此二廠商所需付出的最低減量成本，但因買方的排放權交易支出恰等於賣方的收入，故最低的總成本為兩陰影面積的加總，但因此二廠商是被隨機或依各可能交易方式被選取，故此二廠商為達 25 單位污染減量的所謂“最低減量成本”概念僅止於此二廠商，因為當廠商有機會與其他廠商交易時，是存有其他以更低減量成本來達成同樣減量目標的可能性。
14. 各產業間的減量成本函數及相關討論將在後續之「資料來源與應用」小節中有更進一步之說明。
15. 廠商在市場中對於排放權的出價或願接受價格應受到非常多因素影響，這可能包括了其在市場上觀察到的價格、本身對於未來的價格預期等，但這些因素無法透過一個行為方程式來刻畫，故本研究依然延續過去成對及連續交易文獻中的方式，利用邊際減量成本曲線來作為廠商的排放權買賣行為準則。
16. 這些交易方式雖有所抵觸，但不是全然的互斥 (Mutually Exclusive)，例如在隨機的方式下，是有可能出現國營企業與國營企業先被隨機抽取出來交易的可能性。
17. 在作法上，我們先隨機選取出兩廠商進行交易，待交易完成後，令他們離開市場，而後再隨機挑選另外兩廠商，並在交易完成後同樣令其離開市場，依此概念繼續隨機抽取仍在市場的廠商，直到市場中沒有廠商為止。當市場中已完全沒有廠商時，則我們完成了一次模擬，並有此次模擬的各項交易價格、數量及減量成本紀錄，將此模擬進行一百次，則我們可得一交易價格、數量及減量成本的平均值。
18. 亦即這幾種方式會在圖 1 的流程中進行 100 次。
19. 例如在國營事業與國營事業優先交易的模式中，交易者在交易前已知對方是國營事業，此乃交易者可能擁有之「部分資訊」。
20. 以民國 89 年為例，本研究所選出之 38 家廠商約佔當地總排放量之 60%。
21. 資料中之國營事業共有 7 家（計 12 個污染源），民營事業有 31 家（計 32 個污染源），以污染排放量來看，排放量低於 100 公噸者，總計有 14 個污染源；排放量介於 100 公噸至 500 公噸者，總計有 18 個污染源；排放量介於 500 公噸至 1,000 公噸者，計有 2 個污染源；而排放量大於 1,000 公噸者，計有 10 個污染源。本文將排放量大於 500 公噸者視為大廠，而其餘視為小廠。

22. CITEPA 是 “Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmospherique” 的縮寫，該組織為法國以非營利而設立的技術中心，為一提供大氣汙染及汙染減量技術等相關資訊的研究單位。
23. 以石化產業而言，常使用的排放減量設備為低氮氧化物燃燒器（Low NO_x Burner，以下簡稱 LNB），而在減量規模較大時，廠商可能會採用選擇性觸媒還原法（Selective Catalytic，以下簡稱 SCR）或非觸媒還原法（Selective Non Catalytic，以下簡稱 SNCR），故我們在上述各研究報告中，蒐集廠商在各種不同減量水準下可達的最低總減量成本，並由小至大依序排列，並在假設該成本結構符合邊際減量成本為正且隨減量增加而呈遞增的型態下，利用蕭代基等（2002）所建議之成本估算方式進行邊際減量成本函數的求導，求導方式為將資料數據描繪在 EXCEL 的圖形上（橫軸為污染減量而縱軸為總成本），再利用其內設的函數功能找到其最適的函數配置，並選擇可以讓 R^2 平方可以達到最大的總污染減量成本函數，而後，我們再將污染減量成本函數對於污染減量進行一階微分後，求得如表 1 的污染邊際減量成本函數。
24. 將表一中之各函數繪於平面圖可發現，雖然各曲線會在污染減量極小時會呈現相交現象，但當污染減量增加時，發電業、鋼鐵業大廠、其他產業、石化業、石油煉製業及鋼鐵業小廠之大小順序就不會有任何改變，又因本研究納入之廠商為高屏地區排放量相對為大之廠商，故政府所要求的減量水準也相對為大，故此處亦依此順序來判定各產業的邊際減量成本大小。
25. GAMS 是 “General Algebraic Modeling System” 的縮寫，乃是美國 GAMS 開發公司（GAMS Development Corporation）所出版的一個處理最佳化問題電腦軟體。
26. 關於均衡價格的求得，可見 Takayama 與 Judge (1971) 關於線性規劃問題有關限制式的影子價格（Shadow Price）的說明。

參考文獻

- 中國技術服務社，2001。『高高屏地區廠商氮氧化物排放調查』。台北，財團法人中國技術服務社。
- 王振中，2006。「高高屏地區污染排放權分配之公平性研究」。碩士論文，成功大學政治經濟學研究所。
- 朱信，1999。「南高屏地區空氣污染總量管制規劃—F2 子計畫 氮氧化物控制技術、效率及成本資料調查分析」。行政院環境保護署補助研究計畫。
- 李貽華、李國欽，1985。「空氣污染對農作物之影響—SO₂ 的影響」，『科學農業』。33 卷，60-67。
- 李堅明，1999。「排放權交易制度之簡介」，『氣候變化網要公約資訊速報』。17 卷，1-3。
- 李堅明，2001。「國際排放交易制度的發展與比較」，『環保月刊』。1 卷，75-82。
- 黃宗煌、李堅明，2001。「排放交易、廠商最適投資決策及經濟成長」，『農業經濟半年刊』。70 卷，1-35。
- 工業技術研究院，2007。87 年『全國能源會議』結論報告 http://sd.erl.iti.org.tw/fccc/ch/dec_mk/ener_con/con_98.htm
- 行政院環境保護署，2007。空氣污染防治法 http://www.epa.gov.tw/b/b0100.asp?Ct_Code=05X0000203X0005244
- 經濟部工業局，2002。『總量管制空氣污染物削減技術手冊』。台北，經濟部工業局。
- 劉志陞，2007。「空氣污染總量管制政策對廠商防制設備投資行為之影響—以高屏空品區排放權交易市場為例」。碩士論文，成功大學政治經濟學研究所。
- 劉惠綺，2002。「空污費政策與排放交易制度合併推行之可行性評估：以氮氧化物為例」。碩士論文，交通大學環境工程所碩士論文。
- 廖肇寧、張村品，2007。「高高屏空品區空氣排放權初始配公平性之探討-以氮氧化物為例」，『公平交易季刊』。15 卷，2 期，149-172。
- 蕭代基、鄭蕙燕、吳珮琪、錢玉蘭、溫麗琪，2002。『環境保護之成本效益分析—理論、方法與應用』。台北：俊傑書局股份有限公司。

鄭崑山，2000。「可交易排放量之總量管制制度之比較研究」。台北：國科會／環保署
科技研究合作計畫期末報告。

- Atkinson, S. E. and D. H. Lewis, 1974. "A Cost Effective Analysis of Alternative Air Quality Control Strategies," *Journal of Environmental Economics and Management*. 1: 237-250.
- Atkinson, S. E. and T. Tietenberg, 1991. "Market Failure in Incentive-Based Regulation: The Case of Emissions Trading," *Journal of Environmental Economics and Management*. 21:17-31.
- Burtraw, D., K. W. Harrison, and P. Truner, 1998. "Improving Efficiency in Bilateral Emission Trading," *Environmental and Resource Economics*. 11:19-33.
- Callan, S. and J. Thomas, 2006. *Environmental Economics and Management: Theory, Policy, and Applications*, 3e, Thomson Press
- Centre Inter-professional Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique 2004. *Petroleum refineries for SO₂, NO_x and TSP*, Paris: CITEPA.
- Harris, J.M. 2002. *Environmental and Natural Resource Economics: A Contemporary Approach*, Houghton Mifflin Company Press
- Johnson, S.L. and D.M. Pekelney, 1996. "Economic Assessment of the Regional Clean Air Incentives Market: A New Emissions Trading Program for Los Angeles," *Land Economics*. 72: 277-297.
- Joskow, P.L., R. Schmalensee, and E. M. Bailey. 1998. "The Market for Sulfur Dioxide Emissions," *American Economic Review*. 88: 669-685.
- Krupnik, A.J., 1986. "Cost of Alternative Policies for the Control of Nitrogen Dioxide in Baltimore," *Journal of Environmental Economics and Management*. 13:189-197.
- Krupnick, A., M., V. McConnell, M. Cannon, T. Stoessell, and M. Batz, 2000. *Cost-Effective NO_x Control in the Eastern United States*, Washington, D.C.: Resources for the future, Inc..
- Montgomery, W. D., 1972. "Markets in Licenses and Efficient Pollution Control Programs," *Journal of Economic Theory*. 5: 395-418.
- Netusil, N.R. and J.B. Braden, 1993. "Market and Bargaining Approaches to Nonpoint Source Pollution Abatement Problems," *Water Science and Technology*. 28: 35-45.

- Netusil, N.R. and J.B. Braden, 2001. "Transaction Costs and Sequential Bargaining in Transferable Discharge Permit Markets," *Journal of Environmental Management*. 61: 253-262.
- O'neil, W., M. David, C. Moore, and E. Joeres, 1983. "Transferable Discharge Permits and Economic Efficiency: The Fox River," *Journal of Environmental Economics and Management*. 10: 346-345.
- Stavins, R. N., 1995. "Transaction Cost and Tradable Permits," *Journal of Environmental Economics and Management*. 29:133-148.
- Takayama, T., and Judge G., 1971. Spatial and Temporal Price and Allocation Models. Amsterdam: North Holland Publishing Co.
- Tietenberg, T. H., 1985. *Emissions Trading: An exercise in reforming pollution policy*, Washington, D.C.: Resources for the future, Inc..
- Wulf-Schnabel, J. and J. Loshe, 1998. *Economic evaluation of NO_x abatement techniques in the European Cement Industry*, Institute for Environmental Strategies, Hamburg, Germany.

Information Costs for Transaction in Tradable Permit Markets - A Case Study of Nitrogen Oxide Control in Kao-Shiung and Ping-Tung Counties

Chao-Ning Liao* and Chung-Cheng Hsieh**

Using a newly proposed tradable permit market for Nitrogen Oxide control in Kao-shiung and Pint-tung area as an example, this research tries to estimate the potential information costs for permit trading during the sequential and bilateral transaction process when firms are required to reduce their emission by 10% of the year 2000 baseline levels. The results show that the total costs governed by the rule where firms that have the highest and the lowest marginal abatement costs are managed to trade first could be \$6.99 million higher than the costs under a perfect competition market structure. The difference could be attributed to the incomplete information among participants in a new trading market. The control agency under this circumstance should try to close the gap through releasing more information of cost structure in each industry and emission records of firms.

Keywords: *Tradable permit, Nitrogen Oxide, Bilateral and Sequential Trading, Information Cost*

* Associate Professor, Department of Economics, National Cheng Kung University. (Corresponding Author).

** Master, Institute of Political Economy, National Cheng Kung University.
The authors would like to thank the anonymous referees for the valuable comments. If there are any careless mistakes in the article, the authors will be respondent for those.