

國立交通大學

環境工程研究所

碩士論文

空氣污染排放交易抵換係數之適用性分析



**Applicability Analysis for Various Emission
Trading Offset Ratios**

研究生：何雅如

指導教授：高正忠

中華民國九十五年七月

空氣污染排放交易抵換係數之適用性分析

Applicability Analysis for
Various Emission Trading Offset Ratios

研究生：何雅如

Student : Ya-Zu Ho

指導教授：高正忠

Advisor : Jehng-Jung Kao



A Thesis

Submitted to Institute of Environmental Engineering
College of Engineering
National Chiao Tung University
In Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master of Science
in
Environmental Engineering
July, 2006
Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十五年七月

摘要

空氣污染排放交易是一個以市場誘因引導污染減量與技術提昇，且能兼顧經濟與環境保護雙重目標的政策。抵換制度乃是交易時排放權由賣方轉移至買方依一個抵換係數交易，以避免隨機交易，反而增加對環境及人們健康的衝擊。過去研究雖曾提出以污染源間之距離建立抵換係數，但並沒有分析其適用性，且未考量人口密度、環境品質及曝露風險，故本研究提出以人口密度、環境濃度、曝露風險等抵換因子建立抵換係數，並針對鄰近的上風污染源提出一個擴散影響修正函數，以反應對賣方區域增加的環境風險。環境濃度因子以未交易前之大氣污染物濃度為係數，此因子可避免特定區域因累積排放量而導致污染濃度過高。曝露風險因子為人口數與大氣中污染物濃度之乘積，此因子主要考量總曝露量，以減少交易後曝露量上升的情形。本研究建立一個交易模擬模式，依據不同抵換因子建立之抵換係數，以硫氧化物為案例污染物，分析不同抵換制度的差異，及探討各抵換因子的適用性。研究結果顯示，抵換因子並不能一體適用，不同抵換因子有其不同的適用情況，必須依據污染源之分佈及大小，選擇適當的抵換係數，方能有效改善空氣品質及曝露風險。

關鍵字：排放交易、抵換係數、適用性分析

Abstract

Air pollution emission trading (APET) is an economic incentive program that can effectively promote pollution reduction and technology advance. An offset ratio can be applied to reduce significant environmental and health impacts caused by inappropriate pollution load redistribution after implementing an APET program. Although an offset ratio determined based on the distances among emission sources was previously reported, population, ambient air quality and exposure risk were not considered. This study was thus initiated to explore and propose various offset ratio functions based on the distance and three essential factors of population density, ambient pollutant concentration, and exposure risk for reducing environmental and health risks after applying an APET program. The population density based function is proposed to avoid emission permits being transferred into highly populated areas. The ambient pollutant concentration based function is intended to avoid the occurrence of excessively high concentration areas due to cumulative impacts. And the exposure risk based function is used to avoid high human exposure for reducing health risk.

An APET simulation model was established to implement several hypothetical case studies and to evaluate the applicability of each offset ratio function. As demonstrated by the results obtained for the illustrative cases, different offset ratio functions are applicable for different pollution source and population distributions. Carefully assessing the patterns of pollution source and population distributions is essential for selecting an appropriate offset function to improve air quality and decrease exposure risk.

Keywords: emission trade, offset ratio, applicability analysis

誌謝

我在新竹，經歷了兩個寒暑，
存了許多感動與回憶，或許還會更多…

過去這段時間，讓我受益良多與最感謝的是指導教授 高正忠先生，除了不遺餘力的指導研究，他在做人處事上，給予學生的諄諄教誨，更是一生受用。另外，本校白曠綾教授、中央大學廖述良教授及中興大學望熙榮教授，在口試期間不吝於指導與建議，在此致上深深的謝意。

最讓人難以忘懷的，就是與研究室大夥相處的點點滴滴，這其中有歡笑和淚水，更有我尚未說出口的感謝。謝謝學長們：子欽、沛濠、涵翔、親民、志軍、坤興、立夫、阿泰、文馨在研究及生活上的教導與照顧；謝謝一路陪我的同學：彥超，和學弟妹們：宥禔、家豪、育農、力偉、世澤、子民，因為他們，讓我的研究生活增加很多樂趣。

而讓我能在這裡無憂無慮的生活，是從小到大一直都無怨無悔照顧我的爸爸媽媽，和陪我長大的姊姊弟弟，真的由衷地感謝他們；好朋友：智琦、小佩、秀珍、文睿、趴趴、老大、芳瑜、桂君、冰冰、怡吟、俊皓，及超好朋友：尤物的關心與支持，更是我一直堅持下來的原因，謝謝他們。

於此，獻上最真誠的祝福，並將此論文獻給所有我愛的家人與朋友。

何雅如 謹誌於交大

中華民國九十五年八月

目錄

摘要	i
英文摘要	ii
誌謝	iii
目錄	iv
表目錄	v
圖目錄	vi
第一章 前言	(一)-1
1.1 研究緣起	(一)-1
1.2 研究目的	(一)-3
1.3 研究流程	(一)-4
1.4 論文內容	(一)-5
第二章 文獻回顧	(二)-1
2.1 排放交易及抵換制度	(二)-1
2.2 排放交易抵換因子	(二)-4
2.3 交易制度模擬	(二)-5
2.4 影響及曝露風險分析	(二)-6
第三章 研究方法	(三)-1
3.1 抵換因子及係數公式	(三)-1
3.2 排放交易抵換制度之模擬模式	(三)-5
3.3 適用性分析方法	(三)-8
第四章 結果與討論	(四)-1
4.1 案例說明及抵換交易模擬原則	(四)-1
4.2 距離因子之適用性分析	(四)-2
4.3 人口密度因子之適用性分析	(四)-4
4.4 環境濃度因子之適用性分析	(四)-6
4.5 曝露風險因子之適用性分析	(四)-9
4.6 綜合討論	(四)-12
第五章 結論與建議	(五)-1
5.1 結論	(五)-1
5.2 建議	(五)-3
參考文獻	(參)-1
附錄	(附)-1

表目錄

表 2.1 國外已發展之排放交易抵換制度	(二)-7
表 2.2 國內法令硫氧化物排放標準演進之比較	(二)-9
表 2.3 污染物濃度與污染副指標值對照表	(二)-9
表 4.1 各案例交易結果	(四)-15
附表 1.1 行業之排放源統計資料	(附)-3
附表 1.2 各行業之迴歸分析結果	(附)-3



圖目錄

圖 1.1 研究架構	(一)-6
圖 3.1 交易流程圖	(三)-10
圖 4.1 案例 1 原始排放源分佈圖	(四)-16
圖 4.2 案例 1 原始SO ₂ 濃度空間分佈圖	(四)-16
圖 4.3 案例 1 之 1:1 交易排放源分佈圖	(四)-17
圖 4.4 案例 1 距離因子抵換交易排放源分佈圖	(四)-17
圖 4.5 案例 1 之 1:1 交易SO ₂ 濃度空間分佈圖	(四)-17
圖 4.6 案例 1 距離因子抵換交易SO ₂ 濃度空間分佈圖	(四)-17
圖 4.7 案例 2 原始排放源及人口密度分佈圖	(四)-18
圖 4.8 案例 2 原始SO ₂ 濃度空間分佈圖	(四)-18
圖 4.9 案例 2 之 1:1 交易排放源及人口密度分佈圖	(四)-19
圖 4.10 案例 2 之 1:1 交易SO ₂ 濃度空間分佈圖	(四)-19
圖 4.11 案例 2 人口密度因子交易排放源及人口密度分佈圖	(四)-19
圖 4.12 案例 2 人口密度因子抵換交易SO ₂ 濃度空間分佈圖	(四)-19
圖 4.13 案例 3 原始排放源分佈圖	(四)-20
圖 4.14 案例 3 原始SO ₂ 濃度空間分佈圖	(四)-20
圖 4.15 案例 3 之 1:1 交易排放源分佈圖	(四)-21
圖 4.16 案例 3 環境濃度因子抵換交易排放源分佈圖	(四)-21
圖 4.17 案例 3 之 1:1 交易SO ₂ 濃度空間分佈圖	(四)-21
圖 4.18 案例 3 環境濃度因子抵換交易SO ₂ 濃度空間分佈圖	(四)-21
圖 4.19 案例 4 原始排放源及人口密度分佈圖	(四)-22
圖 4.20 案例 4 原始SO ₂ 濃度空間分佈圖	(四)-22
圖 4.21 案例 4 原始曝露風險空間分佈圖	(四)-22
圖 4.22 案例 4 之 1:1 交易排放源及人口密度分佈圖	(四)-23
圖 4.23 案例 4 曝露風險抵換交易排放源及人口密度分佈圖	(四)-23
圖 4.24 案例 4 之 1:1 交易SO ₂ 濃度空間分佈圖	(四)-24

- 圖 4.25 案例 4 曝露風險抵換交易SO₂濃度空間分佈圖(四)-24
- 圖 4.26 案例 4 之 1:1 交易曝露風險空間分佈圖(四)-24
- 圖 4.27 案例 4 曝露風險抵換交易曝露風險空間分佈圖(四)-24
- 圖 4.28 案例 4 交易前後總曝露風險值圓柱圖(四)-25



第一章 前言

1.1 研究緣起

台灣地區工商業發展快速，空氣污染源與量隨之增加，空氣品質環境負荷亦逐年加重，環保署已訂定長程目標改善空氣品質(環保署，2005)。為達到環境品質的改善，較直接的方法是採用更嚴格的排放標準，或進而採用總量管制的手段來達成，然而這些方式均可能顯著提高污染防治成本，且無法鼓勵排放源主動提昇防治技術，為了使資源能更有效的利用並達到污染減量之目的，因此，在既有管制基礎上引用具彈性且積極的經濟誘因制度，已是各先進國家共同之趨勢。排放交易即是一個具經濟誘因且常被使用及討論的制度。

美國(USEPA,1992)1975年提出排放交易制度(Emission Trading Policy, ETP)管制固定污染源之空氣污染物排放。ETP為以市場導向的空氣品質改善措施，提供污染源較大之選擇彈性，節省污染防治成本。ETP一般的運作方式乃是由行政管制層面決定環境品質標準，依照此標準研擬容許排放總量，容許排放量確定後，污染物排放權即可藉由一定的原則或拍賣方式分配予排放源且容許排放權在排放源間交易。此制度經過持續修正發展出四種較具彈性之交易制度，分別是總量管制(Bubble)、抵換(Offset)、淨值(Netting)及保留(Banking)，而其中抵換制度下，污染源在進行排放交易時，將交易量乘上一個大於1之抵換係數(Tietenberg, 1985; 陳，1998)，雖可使交易後之總排放量逐步下降，但無法確實改善空氣品質、調整污染分佈公平性及降低風險，因此本研究在交易中，加入適當之抵換係數，以改善抵換制度。

由於不同之抵換係數將會影響污染分佈及交易結果，故抵換係數之決定應考量一些重要因子。在過去研究中，加州曾提出以距離(Tietenberg, 1985)定義之抵換係數，主要是避免污染散播至較遠的地方。郭(2001)以距離與人口密度為抵換因子進行抵換交易，其模擬結果顯示交易中加入距離

及人口密度等抵換係數，可減緩空氣品質不良率升高的幅度及達到經濟效益的雙贏效果。由於空氣污染防治一般主要是希望減少高污染區域及保護敏感區域，故交易前的大氣環境濃度可作為決定抵換係數的一個重要因子，以避免造成某特定區域因排放量累積而導致污染濃度過高。由於交易後污染物的分佈將與交易前不同，為了保護人體的健康，對人體的曝露風險亦應列入考量。本研究因而以人口數與大氣中污染物濃度之乘積作為計算曝露風險量之依據，並作為決定抵換係數的一個因子。此外，由於排放源鄰近區域的上風污染源，亦會影響該排放源所在區域，故本研究針對排放源鄰近區域的上風污染源，提出擴散影響修正函數，修正抵換係數，以避免交易之結果增加賣方區域之環境風險。由於交易區域內污染源及人口分佈情形之不同，所適用之抵換制度亦會有所差別，因此本研究亦分析探討各抵換係數所適用之污染源及人口分佈情形。

本研究參考郭(2001)之模式，建立排放交易抵換制度模式，以硫氧化物為污染物，並依據各抵換因子決定抵換係數，模擬不同污染源及人口分佈之示範案例，分析各抵換係數對於交易前後污染分佈之變化，並探討各抵換係數所適用的情況。

1.2 研究目的

本研究依據不同抵換因子所決定的抵換係數建立排放抵換交易制度，並說明不同抵換係數的適用情況，提供決策者作為建立適當 ETP 抵換係數之參考依據。主要研究目的如下：

- 一、探討抵換因子並建立抵換係數：本研究以距離、人口密度、環境濃度及曝露風險等為抵換因子，進一步訂定適當的抵換係數。另外以擴散影響修正函數修正抵換係數。
- 二、建立 ETP 抵換制度模式並進行模擬：本研究建立 ETP 抵換制度模式，可用以交易模擬，並分析抵換交易制度之交易結果。
- 三、分析不同抵換係數之適用性：本研究依據不同之排放源及人口分佈情況，建立示範案例區，進行不同抵換係數之 ETP 模擬。以交易後之結果與空氣品質變化，探討距離、人口密度、環境濃度及曝露風險等因子決定之抵換係數之適用情況，所得結果可協助決策者評估抵換係數的適用性。



1.3 研究流程

本研究主要研究流程如圖 1.1 所示之七項工作，以下分別簡述各項工作之內容：

一、資料收集：

收集的資料包括有 ETPs、抵換制度、抵換因子及係數、影響及曝露風險分析等國內外相關文獻，並收集案例資料、法令及污染防治規劃等相關資料。

二、決定抵換因子：

參考過去研究及環境品質、風險等考量決定抵換因子，有距離、人口密度、環境濃度、曝露風險等。

三、擬定抵換係數：

依據前述之抵換因子，建立不同之抵換係數，並以擴散影響修正函數修正係數，以進行排放交易模擬。

四、建立示範案例

依照不同之排放源分佈及人口分佈情形，建立示範案例，以說明各種抵換係數的適用情形。

五、建立排放交易模擬模式

修改郭(2001)之 ETP 模式，建立 ETP 抵換制度模式，以進行交易模擬。

六、進行各抵換係數之排放交易模擬

依據不同之抵換係數進行排放交易模擬，以探討抵換係數之適用情形。

七、探討抵換係數之適用情形

本研究以環境濃度空間分佈顯示空氣品質之狀況，並以示範案例說明各抵換係數之適用情形。

1.4 論文內容

第二章介紹空氣污染排放交易及抵換制度、抵換因子、交易制度模擬、影響及曝露風險之相關文獻回顧；第三章為研究方法，說明如何建立抵換因子及係數公式、排放交易抵換制度模擬模式，並分析抵換係數之適用性；第四章為結果與討論，包含距離因子、人口密度、環境濃度、曝露風險之適用性分析，及綜合討論；第五章對本研究作一總結並說明建議事項。



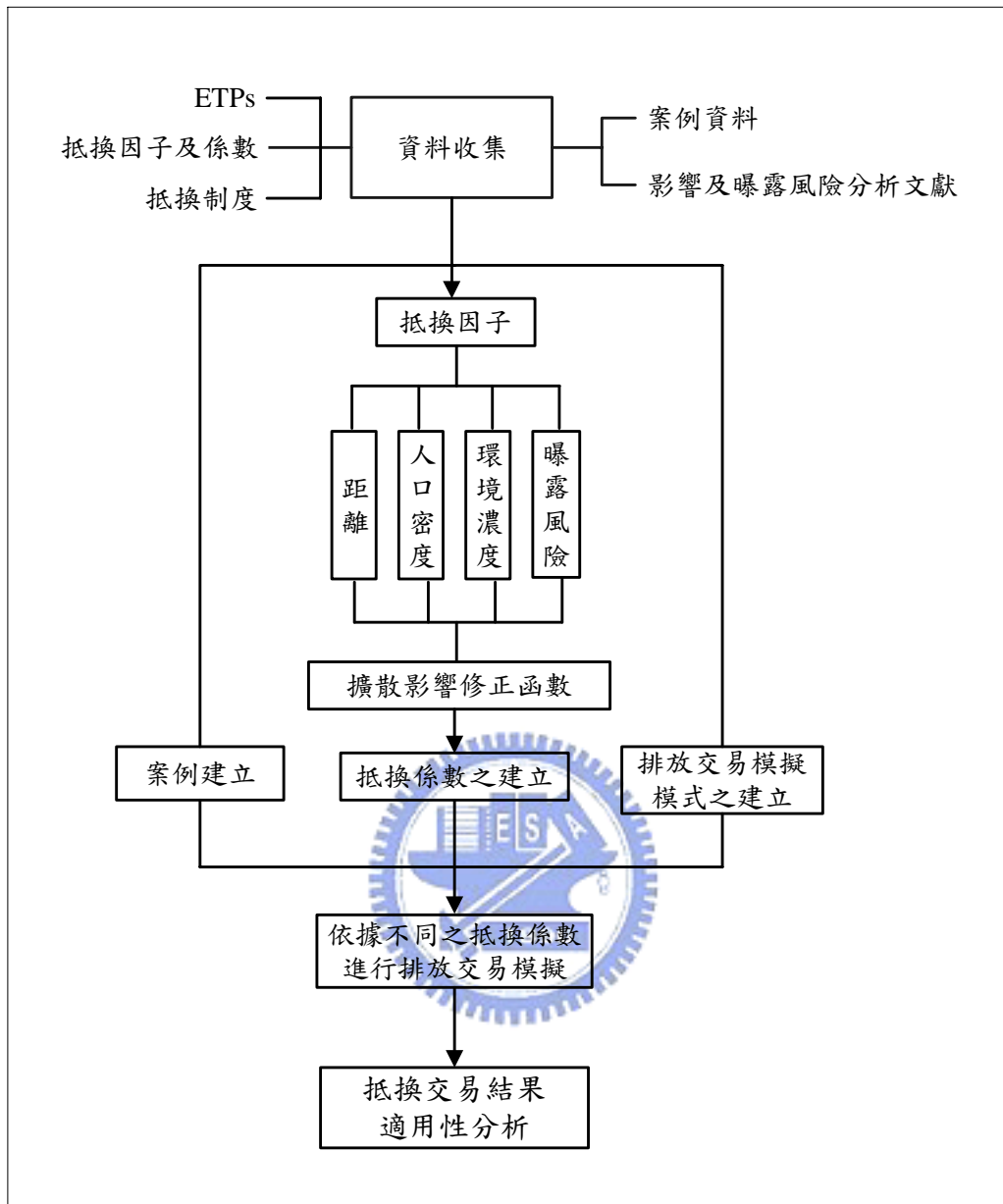


圖 1.1 研究架構

第二章 文獻回顧

本章將回顧及討論研究相關重要文獻。以下將以：(1)排放交易及抵換制度；(2)排放交易抵換因子；(3)交易制度模擬；(4)影響及曝露風險分析等四個部分進行說明。

2.1 排放交易及抵換制度

隨著科技的進步、社會的發展，加上民眾教育程度普遍提昇，環保意識覺醒，對於自身周遭的環境不再漠不關心，尤其對於空氣品質的要求更為積極。嚴格的排放標準及總量管制的手段可達成環境品質的改善，卻可能提高污染防治成本，故在既有管制基礎上引用具彈性且積極的經濟誘因制度，目前為先進國家共同的趨勢。

美國的空氣污染排放交易系統在 1970 年間進行了多次的修定。在 1986 年，美國環保署公佈了空氣污染排放交易的最後版，且定義了可交易的標準污染物如：二氧化硫、一氧化氮、及可能造成地面臭氧產生的物質。此系統包括總量管制(bubbles)、抵換(offsets)、淨值(netting)、保留(banking)。以下分別說明總量管制、抵換、淨值及保留。

1. 總量管制(Bubbles)(USEPA, 1992; Tietenberg, 1985; 陳, 87 年)

總量管制制度建立在 1979 年，總量管制容許把既存且需要達到排放限制的污染源將其排放量以總量方式來限制，也就是將數個排放點源當成是一個排放源來限制排放。總量管制的對象包括有一個公司擁有的一個設施，或是各公司的所有設施，但是受總量管制的排放點必須在同一個已達到空氣品質標準的地區或是未達到空氣品質標準的地區。

總量管制計畫必須經過修正且認可後才能成為一適當的州執行計畫(State Implementation Plan, SIP)。在 1986 年未定下最後版本以前，美國環保署已通過及待通過的總量管制計畫接近 50 件。此外，有 34 件已經通過州政府認可的總量管制計畫章程是美環保署認可為通用性的章程。在 1986

年以前的總量管制計畫估計可以省下 30 億美元的傳統控制花費，其中額外 13.5 億是經由州一般性的總量管制計畫所省下的。在 1986 年後，有關額外省下的花費已無法計算。

2. 抵換(Offsets) (USEPA, 1992; Tietenberg, 1985; 陳, 87 年)

抵換在 1976 年發展而成，它的出現使得在空氣品質不合格的地區，在經濟成長與空氣品質改善的衝突減低。若沒有抵換政策的實施，則位於空氣品質不合格地區中，主要的新工廠設置及主要的舊廠擴充的機會就會變得沒有可能了(此處“主要的”是指平均年污染量超過 100 噸以上的工廠而言)。在 1990 年的 Canadian Academic Accounting Association (CAAA) 中設下在臭氧不合格的地區採較高抵換比率。在抵換政策的實施下，可以允許主要的新廠及需整修的舊廠由已經存在的舊廠得到排放減量權的抵換後，可以在空氣品質不合格的地區進行擴充工廠。

3. 淨值(Netting) (USEPA, 1992; Tietenberg, 1985; 陳, 87 年)

淨值從 1980 年在美國開始實施，在既存污染源表示工廠內的排放並沒有顯著增加的狀況下，淨值允許污染源在修正後可以避免新設污染的再調查。淨值政策是在排放交易的活動中最常被使用的一項。在 1984 年中，接近有 900 個污染源使用淨值的預備措施。利用這一年污染估算量來推測自 1974 年約有 5000 到 12000 污染源使用淨值的估算量。

4. 保留(Banking) (USEPA, 1992; Tietenberg, 1985; 陳, 87 年)

美國環保署在剛開始的抵換政策中並不允許將貯存的排放減量權留待將來時再使用或賣出。1977 年時在 CAAA 中，加入貯存，當作是抵換的預備措施。雖然環保署通過好幾個貯存處，但是只有限制用於預備措施。有報告提出一相關性的限制，公司所貯存減量排放權可以被州政府挪用，使得所需的排放減量得以達到空氣品質標準。

抵換對於空氣品質排放交易的整體性影響是屬於較中性的。在理論上，將抵換的比率設定在一比一以下，可以確定在污染上有一定量的削減；然而，淨值策略使污染量產生空間上的轉移，可能會造成空氣污染會有一點小幅度的增加。

空氣污染排放抵換制度自 1970 年以後逐漸萌芽，歷經二十年於 1990 年後被廣泛運用，其目的在於減緩環保政策對經濟及新投資事業之衝擊，近年來美國成功運用經濟誘因的排放抵換交易機制，已有效削減硫氧化物、氮氧化物及鉛的排放量。歐洲國家亦開始將排放交易抵換制度運用於跨國間之各項污染減量措施，有關國外發展的排放交易制度說明如表 2.1 所示，藉由各交易制度可有效削減污染量。

而在排放交易抵換制度上，更可思考以適當的抵換係數來改善環境正義(Solomon and Lee, 2000)，提升污染源分佈公平性，並使空氣品質提高。

表 2.2 為國內硫氧化物排放標準法令演進。表 2.3 為污染物濃度與污染副指標值對照表，空氣污染指標(行政院環保署，2005)為依據監測資料將當日空氣中懸浮微粒測值、二氧化硫濃度、二氧化氮濃度、一氧化碳濃度及臭氧濃度等數值，以其對人體健康的影響程度各換算出該污染物之污染副指標值，再以當日各副指標值之最大值為該測站當日之空氣污染指標值(PSI)。指標值在 100 以下者，即表示該測站當日空氣品質符合美國環境空氣品質標準中之短期(24 小時或更短)之平均值，指標值在 100 以上之日，依美國環境保護署之研究，對身體不好而較敏感的人會使其症狀更加惡化。

2.2 排放交易抵換因子

過去研究曾以距離因子及平均人口密度差因子改善交易公平性及改善交易後之環境問題，說明如下。

在 Los Angeles(Tietenberg, 1985; USEPA, 1992)，曾經考量距離因子來設定 offset ratio，公式如下，利用此因子之抵換係數會比用法令使得污染源減少的更多：

$$\text{Offset ratio} = a + b \times d$$

其中，a 為 1.2；d 為買者方間的距離(公里)；當 d 在 8 公里以內時，b 為 0.0，若 d 超過 8 公里以上，則 b 為 0.01。

另外，郭(2001)為預防及避免污染物濃度人口曝露量及損害函數，因排放交易而有升高的狀況發生，提出以平均人口密度差定義出之抵換係數計算公式，修改抵換制度模擬模式，結果顯示此因子確實可改善污染物濃度人口曝露量及損害函數。

因此，本研究除探討以上因子之結果與適用性。並思考其他適當因子，建立抵換係數，以提升空氣品質、降低風險及增加公平性。

2.3 交易制度模擬

為探討上節所述之抵換係數，其抵換交易後之結果與適用性，則需建立交易模擬模式，以進行交易模擬。Alan(1983)提出”污染抵換”的制度，污染抵換可符合初始排放許可權配置，成本最小的交易平衡(Kling, 1994)，亦可降低行政成本。因此污染抵換制度為排放源及行政管理當局最適合執行方法，且可以知道其現實削減量最小成本的涵容力。

另外，Albert(1985)使用 Baltimore 空氣品質控制區域內 TSP 的排放模型，模擬出一套較 CAC(command-and-control)能改善空氣品質並減少污染源成本的可交易許可權。由政府定義區域內任一處的標準都相同，在不違反標準情況下，許可權可自由交易。

而郭(2001) 假設交易行為主要是受成本效益所影響，亦即以污染防治邊際成本(Marginal Cost, MC)與可交易許可的單位價格的差異所產生的經濟誘因(Gersbach, and Glazer, 1999)，來直接決定買進與賣出，若市場中交易者均朝著最節省成本的方式進行買賣，則邊際防治成本最高的會向邊際成本最低的公司買進排放權，進而降低成本。本研究參考上述說明，建立抵換交易模擬模式，以瞭解抵換係數之適用性。

2.4 影響與曝露風險分析

過去研究對空氣污染之政策影響及風險分析，主要以污染濃度分佈圖、人口壓力分佈地圖、健康風險及人口資料作為分析有害的情況。如以下說明。

Sengupta et al. (1996) 將孟買地區所得到的空氣品質指標值內插得到污染濃度分佈地圖，再考慮人口成長及人口密度對地區造成的人口壓力分佈地圖，利用 GIS 為工具，算出孟買五個風險較高的地區，針對此五個地區建立不同空氣污染物的管理制度。

WHO(1982) 定義曝露評估是一種以空間及時間的污染物分佈函數來表示人體影響、計算人體健康風險的方法，Ricci(1985)的研究指出，可以用造成疾病或死亡的污染物，在每人吸入的污染量中表示濃度與健康效應的關係，設定一個已知的健康終點(如生病、死亡)畫出不同污染劑量時的反應機率曲線圖來表示曝露劑量與人體反應間的關係。

Cowell (1996)利用人口資料作為研究 SO₂ 煙囪排放的風險指標；Beer and Ricci (1999)之研究是根據一個簡單的曝露－反應函數，結合某一區域的曝露頻率(area-specific frequencies of exposure)來求得健康風險的分佈，不只模擬有害健康的效應及不同標準的狀況，並設定了不同的健康終點來研究其關聯性。

因此，本研究以環境濃度、曝露風險作為分析的依據，探討交易結果，並分析各抵換交易制度之適用性。

表 2.1 國外已發展之排放交易制度

項目	新設污染源排放交易抵換制度 (美國)	汽油含鉛量排放交易制度 (美國)	臭氧層破壞物質排放交易制度 (美國)	酸雨計畫 (美國)
實施時程	此制度自 1977 年起迄今，為最早實施的交易制度	自 1982 年開始至 1987 年 12 月 31 日結束	自 1988 年 8 月 12 日起實施	自 1993 年起
實施目的	新設污染源若位於空氣不符合標準之地區，不僅需符合最佳可行控制技術，其新增排放量必須強制向同區域其他污染源購買差額排放權 (ERC)，使該區污染物排放量不會因新設污染源而使空氣品質更為惡化	依據各煉油廠含鉛汽油的產量，逐年計算核配該廠的鉛排放權，至 1987 年底之後即不再核配任何的鉛排放權	期達成蒙特婁議定書所規定各締約國必須分階段按既定時程削減臭氧層破壞物質，為保護臭氧層而共同努力	針對酸雨問題制定酸雨防制計畫
實施範圍	新設污染源	汽油含鉛量	列管物質計有氟氯碳化物、海龍、其他全鹵化氟氯碳化物、四氯化碳、1, 1, 1-三氯乙烷、溴化甲烷、氟氯烴類及氟溴烴類等八大類物質	對全國較大型電力設施的氮氧化物及硫氧化物進行總量管制
實施內容	新增污染量必須抵換大於一倍以上的既存污染源排放減量，促使該區域污染排放逐漸減少	有部份煉油廠能改善製程，提早降低汽油含鉛量，若實際製造汽油所含鉛量總合小於核發的鉛排放權者，其過剩鉛排放權即能販賣給其他未能達成規定的煉油廠	個別核配製造者逐年的生產量上限或消費使用者逐年的使用量上限，至使用期限為止即不再核配生產量或使用量，並禁止任何製造或使用	環保署每年年初發給指定污染源硫氧化物及氮氧化物之允許排放權，其間允許污染源自由買賣或儲存，年終時各污染源所持有排放權必須大於或等於全年規定的排放量限值
目標及成果	允許新事業發展、促成經濟成長且可有效改善空氣品質不良地區之空氣品質	本制度促成業者提早降低汽油含鉛量的動機及誘因，根據資料統計，全國合計至少節省 2 億 6 仟萬美元的成本，而且迅速降低鉛排放量，並提早達成管制目標	根據至 1993 年 9 月資料顯示，生產量或使用量之交易非常熱絡，已達到所有核配量的百分之十	1997 年 6 月為止，此項措施已削減 40% 以上的硫氧化物排放量

表 2.1 國外已發展之排放交易制度(續)

項目	加州區域清空誘因市場計畫 (加州)	移動污染源排放交易制度 (美國)	州際臭氧傳輸委員會之氮氧化物抵 換交易方案(美國東岸十一個州)	全球溫室氣體管制策略 (三十八個工業國與歐洲聯盟)
實施 時程	起始年為 1994 年	1993 年推動此制度	1998 年開始規劃推動此制度	1997 年開始推動此制度
實施 目的	污染源每年應至少削減 8.3% 硫氧 化物排放量及 6.8% 氮氧化物排放 量，此各年所允許排放權將詳細登 載於許可證上，以利污染源確實遵 循	改善移動污染源之污染量	解決跨州之間的光化學煙霧問題	削減且管制溫室氣體排放量
實施 範圍	硫氧化物或氮氧化物排放量大於 4 公噸/年且依規定應設置連續自動 監測設施之指定污染源	汰換老舊車輛者、自願定期檢修保 養者或開發乾淨車輛製造商	大於 250mmBtu/小時之電力設施、 15MW 以上汽電共生設備及大型蒸 氣鍋爐	管制六種溫室氣體，CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O 管制基準年為 1990 年，而 HFCs、 PFCs 與 SF ₆ 為 1995 年
實施 內容	污染源若能進行削減，且實際年排 放量低於核定限值者，其差額得與 未能符合允許排放權之污染源進行 排放交易	以上說明之污染源，得檢具車輛排 氣實測資料、尚可行駛里程及空氣 污染物淨削減量，申請差額排放 權，其差額排放權得與其他污染源 進行排放抵換交易	以污染源歷年平均排放量為基礎， 分別核定個別污染源之氮氧化物允 許排放權	允許認可議定書國家，彼此可以進 行碳排放權交易
目標 及 成果	本措施則為區域政府推動經濟誘因 管制措施典型成功之案例，這個計 畫名稱為「區域清空誘因市場計 畫」，係由加州南岸空氣品質管理局 (SCAQMD) 所建制。資料顯示， 1994~1999 年約削減 30% 之污 染量，2000~2003 年約削減 50% 之污 染量	加州即依本項措施於 1993 年汰換 8,000 輛車齡在 1971 年以前的老 舊車輛。	第一階段預計自 1999 年 5 月開 始，氮氧化物排放總量管制目標為 219,000 公噸，第二階段預計自 2003 年開始，氮氧化物排放總量管 制目標為 143,000 公噸	三十八個工業國及歐洲聯盟的溫室 氣體排放量必須削減且管制，即在 公元 2008~2012 年時，將其溫室氣 體排放量控制在各國 1990 年的水 準，平均再削減 5.2%

表 2.2 國內法令硫氧化物排放標準演進之比較

64 年公告	81 年公告	88 年公告
<p>硫氧化物(SO_x)：</p> <p>1. 硫氧化物濃度：1 小時值之各平均值須在下列之限值以下，且全年間須符合下列各條件</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 1 小時值 一般地區：0.3ppm 工業地區：0.5ppm ● 1 小時值之日平均值 一般地區：0.1ppm 工業地區：0.15ppm ● 1 小時值之年平均值 一般地區：0.05ppm 工業地區：0.075ppm <p>2. 硫氧化物累積量：對 100cm²捕氣面積於任何連續 30 天以三氧化硫之累積量論，須在下列限值以下 (單位： mg (SO₃) /100cm²/ 30 天)</p> <ul style="list-style-type: none"> 一般地區：60 工業地區：90 	<p>壹、 二氧化硫(SO₂)：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 小時平均值：0.25ppm ● 日平均值：0.1ppm ● 年平均值：0.03ppm 	<p>貳、 二氧化硫(SO₂)：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 小時平均值：0.25ppm ● 日平均值：0.1ppm ● 年平均值 0.03ppm

資料來源:行政院環保署空氣污染防制法規(88 年 9 月)

表 2.3 污染物濃度與污染副指標值對照表

PSI 值	PM10： 24 小時平均值	SO ₂ ： 24 小時平均值	CO:8 小時平均之最大值	O ₃ ： 小時之最大值	NO ₂ ： 小時之最大值
	單位:µg/m ³	單位：ppb	單位：ppm	單位：ppb	單位：ppb
50	50	30	4.5	60	-
100	150	140	9	120	-
200	350	300	15	200	600
300	420	600	30	400	1200
400	500	800	40	500	1600
500	600	1000	50	600	2000

第三章 研究方法

本研究之流程如第一章之說明，除了資料收集及探討抵換係數之適用情況，主要包括擬定抵換因子及係數公式、建立排放交易抵換制度之模擬模式、分析適用情況等三大項工作，以下一一說明及討論各項工作所採用的方法。

3.1 抵換因子及係數公式

排放交易抵換制度乃是於交易時，將排放許可權乘上抵換係數後才進行交易(Atkinson and Tietenberg, 1987)，抵換係數值一般為大於 1，係數值愈大，表示交易後可抵換的許可量愈小。採用適當的抵換因子及抵換係數可讓排放許可量分佈較分散均勻且減少總排放量，進而改善空氣品質及降低曝露風險。本研究分別探討以距離、人口密度、環境濃度及曝露風險等作為抵換因子，建立適當的抵換係數，並以擴散影響修正函數修正各抵換係數。以下分別說明各抵換係數及擴散影響修正函數。

1. 距離

Tietenberg (1985)提出以距離作為抵換因子進行排放交易抵換制度，當排放許可被交易至較遠的地區，可提升賣方排放源之空氣品質，卻可能造成買方排放源所在區域的空氣品質顯著變差，因而藉由限制排放源交易距離，降低長距離之買賣誘因，可避免以鄰為壑的情形發生。Tietenberg(1985)曾提出以下依據距離因子所建立之抵換係數公式：

$$S_d = a + k_d \times d \quad (1)$$

其中 S_d 為依買賣方排放源間距離而定之抵換係數； d 為排放源之間的距離(km)； a 、 k_d 為常數。當排放源間的距離越大，則抵換係數越大，買到的排放許可量越少，此係數之設定將可減少長距離之抵換交易。本研究將探討距離因子之適用情況。

2. 人口密度

依據郭(2001)之研究，交易許可由低人口密度賣到高人口密度的地區時，污染物濃度人口曝露量及損害風險會有升高的狀況發生，為預防及避免此狀況，需考量人口密度。本研究建立抵換係數公式如下列：

$$S_p = a + k_p \times (P_b - P_s) \quad (3)$$

其中 S_p 為依買賣方排放源所在區域平均人口密度差而定之抵換係數； $(P_b - P_s)$ 為買方與賣方排放源所在位置之平均人口密度的差異(人)； a 、 k_p 為常數；當 $(P_b - P_s)$ 越大，抵換係數 S_p 越大，則抵換交易後之排放許可越少。考量人口密度因子之抵換交易，可避免污染物濃度人口曝露量及損害風險顯著升高。

3. 環境濃度

為避免某特定區域交易後，因排放量累積而導致污染濃度過高、空氣品質降低，及減少高污染區域，本研究提出以交易前污染物於環境之濃度為抵換因子，並建立抵換係數公式，藉由此抵換係數，於排放交易時，分散污染分佈及提升交易區域之空氣品質。抵換係數公式如下列所示：

$$S_c = a + k_c \times (C_b - C_s) \quad (2)$$

其中 S_c 為依買賣方排放源交易前大氣之環境濃度差而建立之抵換係數； a 、 k_c 為常數； C_b 為買方所在位置大氣環境中污染物(如 SO_2)濃度， C_s 為賣方所在位置大氣環境中污染物濃度。當買賣雙方所在位置大氣環境中污染物濃度差異越大，則抵換係數 S_c 越大，可抵換之排放許可量越少，可避免原本位於低 SO_2 環境濃度之排放源因抵換交易後，污染量增加太多，並限制原為高環境濃度排放源取得更多排放許可。

4. 曝露風險

為了同時保護人體健康及提升環境品質，污染物對於人體的曝露風險應列入排放交易時之考量。本研究的曝露風險乃參考 Erkut and Verter(1995) 所提出之毒性物質風險評估曝露公式，為環境濃度與人口數之乘積，如下列：

$$E = C \times P \quad (4)$$

其中 E 為排放源鄰近區域之曝露風險； C 為排放源所在位置之環境濃度 (ppb)； P 為排放源所在位置之人口數(百萬人)。

依據曝露風險作為抵換因子所建立抵換係數公式如下列：

$$S_e = a + k_e \times (E_b - E_s) \quad (5)$$

其中 S_e 為依買賣方排放源交易前之曝露風險差異而建立之抵換係數； a 、 k_e 為常數； E_b 、 E_s 分別為買方、賣方排放源所在區域之曝露風險。當買賣雙方排放源鄰近區域之曝露風險差異越大，抵換係數 S_e 越大，抵換交易之排放許可則越少，如此，可避免曝露風險較高之地區風險升高，並可分散及降低風險。

5. 擴散影響修正函數

由於排放源鄰近上風處污染源，可能會造成排放源之污染提高，故本研究針對排放源鄰近區域之上風污染源，依據高斯煙流模式(Gaussian Plume Dispersion Model)，提出擴散影響修正函數，當買方排放源位於賣方排放源之上風影響範圍內，需以此函數修正抵換係數，以避免增加交易後之環境風險。擴散影響修正函數如下所示：

$$F = a + k_f \times d \quad (6)$$

其中 F 為擴散函數抵換係數， F 值介於0和1之間，若買方排放源位於上風影響範圍內，則抵換係數需除此函數作為交易之抵換係數； a 、 k_f 為常數； d 為買賣方排放源之間的距離。當買賣方排放源距離越小， F 值越小，抵換係數越大，抵換交易之排放許可則越少，可避免交易後環境風險上升的情況發生。



3.2 排放交易抵換制度之模擬模式

為了解各種抵換係數的適用性，本研究以排放交易模式模擬不同抵換係數的交易情形，並分析各種抵換交易結果。郭(2001)曾建立排放交易模擬模式，該模式假設交易主要是以污染防治邊際成本(Marginal Cost, MC)與可交易許可的單位價格的差異所產生的經濟誘因(Gersbach, and Glazer, 1999)，進行交易行為，決定買進與賣出之排放源及數目，以降低成本。在交易市場中，為了降低成本，一般由較高邊際防治成本的排放源向低邊際防治成本的排放源買進排放權，以降低總成本。本研究採用上述模式理論，分別以前一節所列之抵換係數進行排放交易抵換制度之模擬，亦進行抵換係數為1之交易行為模擬，以分析各種抵換交易結果之適用情形。

在交易制度中，首先決定各排放源可交易的量，可用基準排放許可的方式設定污染源之容許污染量，及排放原容許賣出買進之許可量，本研究以基準排放量(Grandfathering or baseline emission)，即根據排放源過去之排放量訂立排放許可，並依據大氣涵容能力分配基準排放量，此方式須以模式模擬將進行排放交易空品區的空氣品質，以了解大氣的涵容能力，做為基準排放量的分配準則(McGartland and Oates,1983)。

交易區域之排放源排放許可決定後，則進行交易模擬，交易流程如圖3.1所示，交易模擬模式及交易行為之執行步驟如下列說明：

1. 成本函數：

在利用各排放源的邊際防治成本進行模擬交易前，須先定義各排放源的防治成本函數，成本函數因不同的防治設備、不同的行業別與不同的污染規模，會有不同的污染防治成本函數。

交易的開始，交易區域中之各排放源依據以上之防治成本函數，進行邊際成本函數之計算。接著，將對各排放源進行篩選的動作，選出符合下列限制之排放源，以進行交易。

2. 交易者排放權買賣的限制：

排放源需符合以下各項限制，才能進行交易。

- (1) 排放源處理效率：設定每一排放源應至少達到某一基本去除效率。未符合此限制即不容許其參與交易。
- (2) 決定終止交易之條件：以可交易排放源中的最高與最低 MC 值差額小於一定值，即不具交易誘因，而停止交易。MC 值依據排放源之排放量及成本函數估算。
- (3) 若某對排放源之前已曾交易且目前買賣角色與之前交易時互換，則限制此情形發生，以免發生買回原賣出之排放權。且買賣雙方均需滿足步驟(1)，(2)所定之條件限制，否則不進行交易。
- (4) 若不足一個單位的量，則不進行交易。

符合以上限制之排放源則進入交易池中，進行以下的交易步驟。

3. 決定買賣方：

將交易池中之排放源依照 MC 值大小進行排序，以最節省成本為目標，取目前市場中 MC 值最大的一方作為買方。

買方決定後，計算各排放源之 MC 值乘上抵換係數之值，此數值最小，即與買方 MC 值之差異最大者，作為賣方。

4. 決定交易價格：

一般排放權的交易價格應介於買賣方邊際防治成本間，才會使排放源產生誘因進行交易。Goldenberg(1991)拍賣的方式，排放許可交易的價格以最高被拒絕的價格作為交易價格，本研究站在賣方之立場，選擇可交易之次高邊際防治成本作為交易價格，若有交易競爭者，則只要賣方能出比次高邊際成本高的價格，在合理情形下即無其他排放源能參與競價，故以次高邊際成本為交易價格。若兩者 MC 值間無其他 MC 值，則以買賣雙方 MC 平均值為交易價格。

5. 交易量：

交易行為模擬買方排放源依距離、人口密度、環境濃度及曝露風險等抵換係數(如 3.1 節說明)乘上一個單位的量，向賣方排放源抵換一個單位的排放許可量。而無抵換係數之交易行為模擬，每次交易買賣方排放源交換一個單位的量。

6. 進行交易並重新計算 MC 值：

依據以上步驟決定交易價格，並將交易後之排放量依據成本函數重新計算 MC 值，重覆 2.至 6.步驟進行交易模擬至無滿足交易條件的買賣方時結束模擬。



3.3 適用性分析

此節將說明如何模擬各種抵換排放交易制度之結果，並分析抵換交易之適用性，研究步驟包含空氣品質模擬，影響與曝露風險分析，及適用性分析，以下一一說明之。

1. 空氣品質模擬

進行空氣污染排放抵換交易後，各污染源之排放量會改變，大氣中之污染物濃度亦會因而不同，為了解各交易情況對於大氣濃度之影響，本研究應用 ISC3 模式，針對交易前與各種抵換交易後之排放量分佈情形，進行空氣品質模擬，分析不同交易情形下，環境濃度空間分佈情形。本研究將案例區劃分為 1 公里×1 公里之網格區域，以進行 ISC 模式模擬。模擬結果將以網格等濃度分佈圖呈現。

2. 影響與曝露風險分析

交易後，污染物排放量將改變，在空氣中的濃度亦將改變，而隨著濃度分佈不同，對不同區域將有不同程度之影響。本研究以排放量分佈圖分析各抵換交易結果，並以濃度及曝露風險等空間分佈圖，探討交易前與各種抵換交易之 ISC3 模擬結果，如以下說明。

排放量分佈

以排放量分佈圖呈現交易前與各種抵換交易後之排放量變化，並探討各種抵換交易制度之污染排放量空間分佈情形。

環境濃度

以 ISC3 模式模擬交易後大氣中污染物濃度分佈情形，所模擬之環境濃度將以空間性 GIS 圖層呈現交易後案例區之濃度分佈情形，探討各種抵換交易後，各案例區環境濃度的變化與適用性。

曝露風險

採用 Erkut and Verter(1995)所提出毒性物質風險評估曝露公式，本研究曝露風險定義為環境濃度與人口數之乘積，乘積越大者曝露風險越高。環境濃度為 ISC3 模式模擬交易後之大氣中污染物濃度。本研究以交易前與各種抵換交易後之曝露風險空間分佈情形，探討抵換係數之適用情形。曝露風險計算公式如下所示：

$$E = C \times P \quad (1)$$

其中 E 為網格之曝露風險；C 為網格之環境濃度(ppm)；P 為網格之人口數(百萬人)。

3.適用性分析

由於各種抵換係數所要解決的環境問題並不一致，而適用之案例區域亦不相同，故本研究以不同之排放源分佈與大小，建立不同之示範案例區，以分析各種交易結果之排放量分佈情形、環境濃度空間分佈及曝露風險空間分佈變化情形，探討抵換係數適用之交易區域及改善效果。

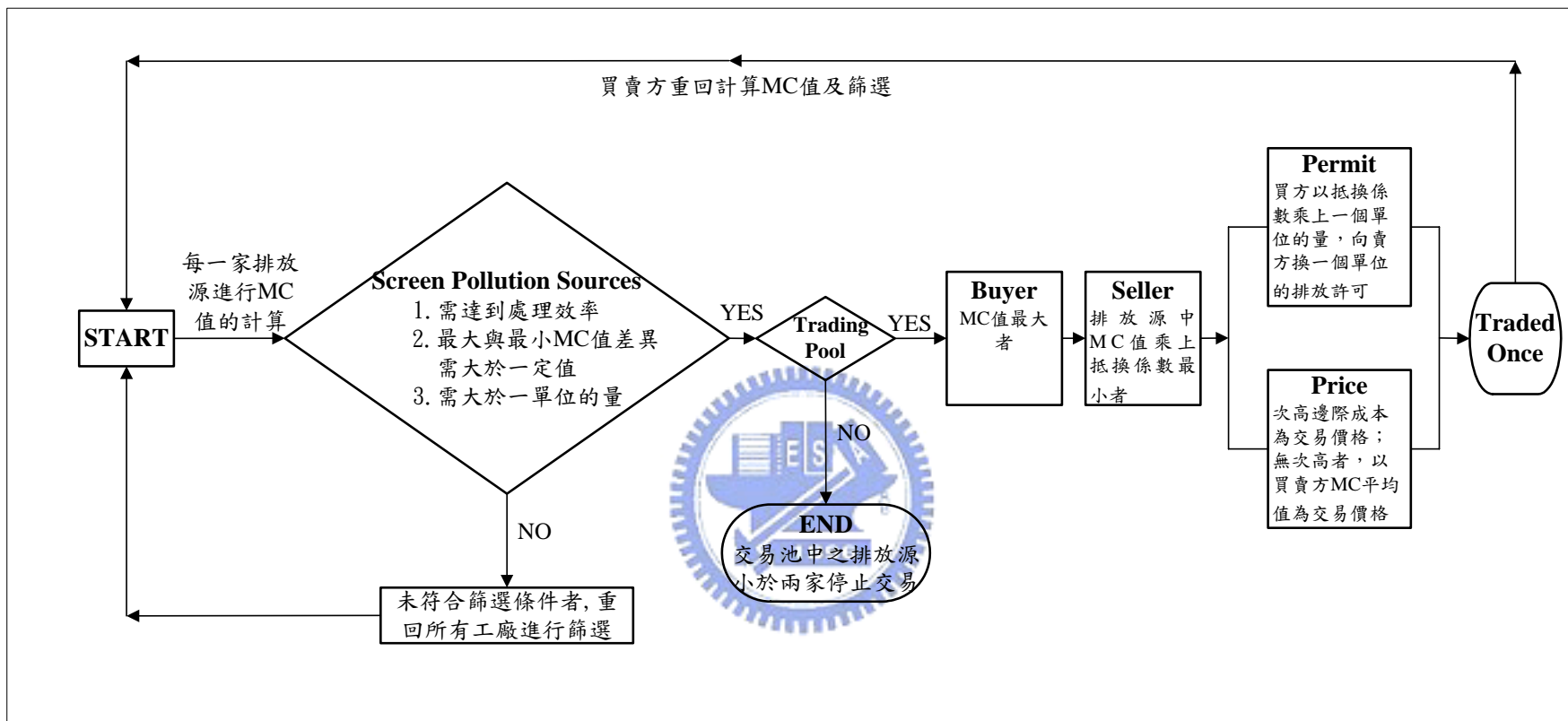


圖 3.1 交易流程圖

第四章 結果與討論

本章主要為說明案例及抵換交易模擬原則，並探討各抵換係數之適用性，最後進行綜合討論。

4.1 案例說明及抵換交易模擬原則

本研究以桃竹苗空品區為案例基礎，分別篩選不同之排放源分佈大小及不同之人口密度分佈，建立 4 個示範案例，案例區之大小為 70.5 公里×90 公里。假設案例區域主要風向為北風，以二氧化硫為案例污染物，應用 ISC 3 模式模擬 24 小時之空氣品質。

本研究假設交易行為主要以污染防治邊際成本(Marginal Cost, MC)與可交易許可的單位價格的差異所產生的經濟誘因(Gersbach, and Glazer, 1999)，建立排放交易模擬模式。進行模擬交易前，須先建立排放源的防治成本函數。交易模擬中使用的污染防治邊際成本函數，如式(1)所示，根據中鼎工程公司(中技社，1998)(中鼎，1999)所提供之排放源防治成本、排放量及防治去除效率等資料，以線性回歸統計方法，建立成本函數。

$$TC=a*V^b*E^c \quad (1)$$

其中，TC 為排放源防治總成本(萬元/年)；V 為排放源防治前排放量(噸/年)；E 為排放源防治去除效率(%)；a,b,c 為常數。詳細的污染防治邊際成本函數，請參考附錄。

本研究進行各種抵換交易模擬，均設定交易排放源的最高與最低邊際防治成本差額小於 2 千元/噸時，即終止交易，每次交易單位則依據不同的抵換係數而有所不同。設定每一排放源應至少達到 80% 的去除效率，未符合此限制即不容許其參與交易。若交易者不足一個單位的量，即一噸的量，則不進行交易。

4.2 距離因子之適用性分析

抵換係數

以距離因子作為交易依據之抵換制度，使用之抵換係數公式如下：

$$ratio = 1.1 + \frac{D}{250000} \quad (2)$$

其中，ratio 為抵換係數，買方排放源以此係數值，向賣方排放源抵換一噸的排放量；D 為買賣方排放源之距離(公尺)，當 D 小於 8000 公尺，ratio 設定為 1.1。

本研究以交易區域中各排放源距離為依據，定義出公式(2)。為使示範案例 1 中之抵換係數值介於 1.1 ~ 1.5 之間，因此設定公式(2)中之常數為 1.1 及 250000。當抵換係數值範圍越趨近於 1，則削減之總排放量越少，空氣品質改善程度較低，且無法確實達到設立此係數之目的。而抵換係數值越高時，可有效達成係數設立目的，但抵換之經濟誘因則降低，甚至無法促成抵換交易。本研究之抵換係數設定範圍，可使交易具經濟誘因，且可達到改善空氣品質與此係數設立目的，如以下結果說明。

交易結果

本研究以示範案例 1 作為說明，交易區域中有 35 家排放源，可交易總排放量為 3092 噸，交易前之案例區排放源分佈如圖 4.1 所示，排放源大小及分佈如圖中之圓圈大小與位置，大排放源分佈於案例區域之上方，小排放源則分佈於大排放源之下方。

交易結果如表 4.1 所示，1:1 之交易模擬結果共完成 1226 次交易，節省之總防治成本為 886 萬元，由此可知，排放交易確實可降低成本。而以距離因子抵換交易，共完成 1165 次交易，節省之總防治成本為 861 萬元，由於加上抵換係數之限制，故使得交易次數及節省成本較少，但兩者相差不到 5%，且在交易區域中，污染物總排放量有 8.1% 之削減，有助於空氣品質改善。

1:1 交易後之排放量分佈如圖 4.3 所示，交易使排放量分佈趨於均勻，大排放源之排放量變小，排放量轉移到案例區域之中下方。而加入距離抵換係數進行交易之排放量分佈如圖 4.4 所示，相較於 1:1 交易結果，距離因子降低遠距離之交易，限制上方之賣方排放量交易至下方買方排放源，而上方排放源大部分排放量多轉移至位於圖中之鄰近區域。

空氣品質模擬

本研究以 ISC3 模擬交易前後之空氣品質，交易前之 SO₂ 濃度空間分佈情形如圖 4.2 所示，顏色深淺代表環境濃度之高低，濃度高的情形多分佈於案例區域之上方。1:1 交易後之濃度空間分佈如圖 4.5 所示，交易使排放量趨於均勻，使賣方排放源之污染物濃度下降，但卻使距離較遠之買方排放源鄰近區域污染濃度升高。因此以距離因子抵換交易改善此狀況，交易後之濃度空間分佈如圖 4.6 所示，相較於原始污染物濃度分佈(圖 4.2)，抵換交易使原大排放源鄰近區域之污染物濃度下降，而相較於 1:1 交易後之濃度分佈(圖 4.5)，藉由距離因子之限制，可減緩較遠之買方排放源(如圖下方之排放源)鄰近區域污染濃度升高情形。

適用情況

考量距離因子之抵換制度，主要是降低長距離之買賣誘因，適用於交易區域中有長距離交易，且交易後賣方排放源空氣品質提升，卻使距離較遠之買方排放源鄰近區域空氣品質變差之情況。於本研究示範案例 1 中，賣方多位於案例區之上方，買方則於下方，兩者相距一段距離，以距離因子抵換交易，可限制遠距離之交易，排放量大部分轉移至大排放源之鄰近區域，並使大排放源鄰近區域之污染物濃度下降，避免較遠買方排放源鄰近區域污染濃度升高。

另外，若交易區中無長距離交易、無買方排放源鄰近區域空氣品質變差的問題、或買賣方分佈均勻，則距離因子無法於交易中產生明顯之功能。

4.3 人口密度因子之適用性分析

抵換係數

以人口密度因子作為交易依據之抵換制度，所使用之抵換係數公式如下：

$$ratio = 1.1 + \frac{P_b - P_s}{500} \quad (3)$$

其中，ratio為抵換係數，買方排放源以此係數值，向賣方排放源抵換一噸的排放量； P_b 、 P_s 分別為買、賣方排放源鄰近區域之人口密度(人數/平方公里)；當 $(P_b - P_s)$ 小於 0 人數/平方公里，ratio設定為 1.1。

本研究以交易區域中各排放源所在地區之人口密度為依據，定義出公式(3)。由常數 1.1 及 500 之設定，使得抵換係數在示範案例 2 中，交易之係數值介於 1.1 ~ 1.5 之間，此範圍設定如 4.2 節抵換係數部份之說明。

交易結果

本研究以示範案例 2 作為說明，交易區域中有 38 家排放源，可交易總排放量為 1956 噸。交易前之案例區排放源及人口密度分佈如圖 4.7 所示，排放源大小及分佈如圖中之圓圈大小與位置，大排放源分佈於案例中間區域，小排放源則分佈於案例區域上方及下方；人口密度分佈如圖中灰階表示，顏色之深淺代表人口密度之高低，高人口密度分佈於此案例區域之下方，低人口密度分佈於案例區域上方。

進行交易模擬後，交易結果如表 4.1 所示，1:1 交易模擬結果共完成 965 次交易，節省之總防治成本為 647 萬元，由此可知，排放交易確實可降低成本。而人口密度因子抵換交易制度，共完成 920 次交易，節省之總防治成本為 615 萬元，由於加上抵換係數之限制，故使交易次數及節省成本較少，但相差不到 5%，且在交易區域中，污染物總排放量有 7.0% 之削減，有助於空氣品質改善。

1:1 交易模擬之排放量分佈如圖 4.9 所示，交易使排放量分佈趨於均勻，大排放源之排放量變小，排放量轉移到案例區域上方與人口密度較高之下方。人口密度因子抵換交易後之排放量分佈如圖 4.11 所示，相較於 1:1 交易結果，加上人口密度因子之抵換交易，可限制排放量賣至高人口密度區域，排放量大部分轉移至案例中人口密度不高的區域。

空氣品質模擬

本研究以 ISC3 模擬交易後之空氣品質，交易前之 SO₂ 濃度空間分佈情形如圖 4.8 所示，顏色深淺代表環境濃度之高低，濃度高的情形多分佈於案例區域中間，污染量多位於人口密度不高之區域。1:1 交易模擬後之濃度空間分佈如圖 4.10 所示，交易使排放量趨於均勻，使原大排放源區域之污染物濃度下降，但卻使位於高人口密度地區之買方排放源鄰近區域污染濃度升高。因此，本研究以人口密度因子抵換交易改善此問題，交易後之濃度空間分佈如圖 4.12 所示，相較於原始污染物濃度分佈(圖 4.8)，此抵換交易使大排放源鄰近區域之污染濃度下降，而相較於 1:1 交易後之濃度分佈(圖 4.10)，藉由人口密度因子之限制，可避免高人口密度區域污染濃度升高。

適用情況

在抵換交易中，當排放量由低人口密度區域賣至高人口密度區域，高人口密度區域之污染量隨之升高，因此考量以人口密度為因子建立抵換制度，避免上述情形發生。於本研究示範案例 2 中，賣方排放源分佈於案例中間區域，買方排放源則分佈於案例區域上方及下方(高人口密度區)，以人口密度因子抵換交易，可限制排放量賣至高人口密度區域，排放量大部分轉移至案例中人口密度不高的區域，並可避免高人口密度區域污染濃度升高之情形。

若交易區域人口分佈平均，無須考量人口分佈問題，則人口密度因子無法於抵換交易中產生明顯之功能；若交易區域人口分佈不均，且有因交易而曝露風險升高的問題時，則需考量曝露風險因子，如 4.5 節說明。

4.4 環境濃度因子之適用性分析

抵換係數

以環境濃度因子作為交易依據之抵換制度，所使用之抵換係數公式如下：

$$ratio = 1.1 + \frac{(C_b - C_s)}{10} \quad (4)$$

其中，ratio為抵換係數，買方排放源以此係數值，向賣方排放源抵換一噸的排放量； C_b 、 C_s 分別為買、賣方排放源鄰近區域之環境濃度(ppb)；當 $(C_b - C_s)$ 小於 0 ppb，ratio設定為 1.1。本研究使用之 C_b 與 C_s 是以ISC3 模擬案例區域之排放量所得，建議實際交易，以排放源鄰近測站公布之 24 小時平均污染物濃度(ppb)為 C_b 、 C_s 值。

本研究以交易區域中各排放源所在地區之環境濃度為依據，定義出公式(4)。由常數 1.1 及 10 之設定，使得抵換係數在示範案例 3 中，交易之係數值介於 1.1 ~ 1.5 之間，此範圍設定如 4.2 節抵換係數部份之說明。

交易結果

本研究以示範案例 3 作為說明，交易區域中有 26 家排放源，可交易總排放量為 2306 噸。交易前之案例區排放源分佈如圖 4.13 所示，排放源大小及分佈如圖中之圓圈大小與位置，大排放源分佈於案例中間區域，小排放源則分佈於案例區域上、中、下各區。

進行交易模擬後，交易結果如表 4.1 所示，1:1 交易模擬結果共完成 1095 次交易，節省之總防治成本為 796 萬元，由此可知，排放交易確實可降低成本。而環境濃度因子抵換交易制度，共完成 1043 次交易，節省之總防治成本為 730 萬元，由於加上抵換係數之限制，故使交易次數及節省成本較少，但相差不到 5%，且在交易區域中，污染物總排放量有 7.4%之削減，有助於空氣品質改善。

1:1 交易模擬之排放量分佈如圖 4.15 所示，交易使排放量趨於平均分佈於各排放源，大排放源之排放量變小，排放量轉移到案例區域中上、中、下方。環境濃度因子抵換交易後之排放量分佈如圖 4.16 所示，相較於 1:1 交易結果，加上環境濃度因子之抵換交易，可限制排放量賣至原大排放源居多，且污染濃度較高之中間區域，分散排放量至案例區域之上方與下方。

空氣品質模擬

以 ISC3 模擬交易前後之空氣品質，案例區交易前之 SO₂ 濃度空間分佈情形如圖 4.14 所示，顏色深淺代表環境濃度之高低，濃度高的情形分佈於案例區域中間兩地區。1:1 交易模擬後之濃度空間分佈如圖 4.17 所示，交易使排放量分散於各排放源，但原為高污染濃度之中間區域，其污染物濃度卻無顯著降低。因此，本研究以環境濃度因子抵換交易改善此問題，交易後之濃度空間分佈如圖 4.18 所示，相較於原始污染物濃度空間分佈(圖 4.14)，此抵換交易使排放量分散於原污染濃度較低之區域，而相較於 1:1 交易後之濃度空間分佈(圖 4.17)，藉由環境濃度因子限制，可避免原污染濃度較高之區域排放量增加和污染濃度升高，使案例區域之環境濃度因交易而降低且更趨於平均。

適用情況

若某區域因交易後，排放量累積而導致污染濃度升高，則需以環境濃度為因子建立之抵換交易制度進行交易，可避免因交易而造成之空氣品質降低，及減少高污染濃度區域。於本研究示範案例 3 中，賣方排放源分佈於案例中間區域，買方排放源則分佈於案例區域上、中、下各區。以環境濃度因子抵換交易，可限制排放量賣至原大排放源居多且污染物濃度較高區域，避免原污染濃度較高之區域排放量增加和污染濃度升高，並分散排放量至其他區域，使案例區域之環境濃度因交易而降低且更趨於平均。

若交易區域無因交易而造成空氣品質變差之問題，則環境濃度因子於交易中無法產生顯著之功能；若交易區域需考量人口分佈不平均之情況，則須視交易狀況使用人口密度因子或曝露風險因子建立之抵換交易制度。



4.5 曝露風險因子之適用性分析

抵換係數

以曝露風險因子作為交易依據之抵換制度，所使用之抵換係數公式如下：

$$ratio = 1.1 + \frac{E_b - E_s}{50} \quad (5)$$

其中，ratio為抵換係數，買方排放源以此係數值，向賣方排放源抵換一噸的排放量； E_b 、 E_s 分別為買、賣方排放源鄰近區域之曝露風險值(ppb·百萬人/平方公里)，當 $(E_b - E_s)$ 小於 0 ppb·百萬人/平方公里，ratio設定為 1.1。

本研究使用之 E_b 與 E_s ，是以ISC3 模擬案例區域排放量所得之濃度值，乘上排放源所在區域之人口密度。建議實際交易以排放源鄰近測站公布之 24 小時平均污染物濃度(ppb)值，乘上排放源所在區域之人口密度作為 E_b 與 E_s 。

本研究以交易區域中各排放源所在地區之曝露風險值為依據，定義出公式(5)。由常數 1.1 及 50 之設定，使得抵換係數在示範案例 4 中，交易之係數值介於 1.1 ~ 1.5 之間，此範圍設定如 4.2 節抵換係數部份之說明。

交易結果

本研究以示範案例 4 作為說明，交易區域中有 27 家排放源，可交易總排放量為 2510 噸。交易前之案例區排放源及人口密度分佈如圖 4.19 所示，排放源大小及分佈如圖中之圓圈大小與位置，大排放源分佈於案例上方區域，小排放源則分佈於案例區域上、中、下方；人口密度分佈如圖中灰階表示，顏色之深淺代表人口密度之高低，高人口密度分佈於此案例區域之下方，低人口密度分佈於案例區域上方。

進行交易模擬後，交易結果如表 4.1 所示，1:1 交易模擬結果共完成

1125 次交易，節省之總防治成本為 835 萬元，由此可知，排放交易確實可降低成本。而以曝露風險因子抵換交易制度，共完成 1088 次交易，節省之總防治成本為 803 萬元，由於加上抵換係數之限制，故使交易次數及節省成本較少，但相差不到 5%，且在交易區域中，污染物總排放量有 7.9% 之削減，有助於空氣品質改善。

1:1 交易模擬之排放量分佈如圖 4.22 所示，交易使排放量分佈趨於均勻，大排放源之排放量變小，排放量轉移到案例區域之各排放源。曝露風險因子抵換交易後，排放量分佈如圖 4.23 所示，相較於 1:1 交易結果，加上曝露風險因子之抵換交易，限制排放量賣至高曝露風險區域，排放量大部分轉移至曝露風險不高的區域。

空氣品質模擬與曝露風險

本研究以 ISC3 模擬交易前後之空氣品質，案例區交易前之 SO₂ 濃度空間分佈情形如圖 4.20 所示，顏色深淺表示污染濃度高低，濃度高的情形多分佈於案例區域上方，污染量多位於人口密度不高之區域；曝露風險空間分佈如圖 4.21 所示，顏色深淺表示曝露風險值之高低，高曝露風險多位於案例區之上方及下方。經過 1:1 交易模擬後，濃度空間分佈如圖 4.24 所示，交易使排放量趨於均勻，使原大排放源區域之污染物濃度下降，污染濃度分佈更平均，但卻未顯著改善空氣品質，而曝露風險空間分佈如圖 4.26 所示，排放量轉移至高人口密度地區，造成該地區之曝露風險上升。

因此，本研究以曝露風險因子抵換交易改善此問題，交易後之濃度空間分佈如圖 4.25 所示，相較於原始污染物濃度空間分佈(圖 4.20)，此抵換交易使大排放源鄰近區域之污染濃度下降，並分散交易區域整體污染濃度；曝露風險空間分佈如圖 4.27 所示，相較於 1:1 交易後之曝露風險空間分佈(圖 4.17)，藉由曝露風險因子之限制，可避免高曝露風險區域風險值升高，分散交易區域之曝露風險。

交易前後之總曝露風險變化如圖 4.28 所示，由於 1:1 交易未考量曝露

風險因子，排放量轉移至高人口密度區及高污染濃度區，因此總曝露風險上升 75%，而曝露風險抵換交易制度，交易後使總曝露風險降低 12%。由此可知，加上曝露風險因子可降低交易區域之總曝露風險值。

適用情況

在抵換交易中，當交易區域有人口分佈不均的問題，並欲改善環境品質，且交易後高人口密度或高污染濃度地區之曝露風險上升時，則考量以曝露風險因子建立抵換交易制度，避免上述交易問題。於本研究示範案例 4 中，賣方排放源分佈於案例上方區域，買方排放源則分佈於案例區域上、中、下方；高人口密度分佈於此案例區域之下方，低人口密度分佈於案例區域上方。加入曝露風險因子抵換交易，可限制排放量賣至高曝露風險區域，避免高曝露風險區域風險值升高，並使排放量大部分轉移至曝露風險不高的區域，分散交易區域之曝露風險。

若交易區域僅有人口分佈不均影響交易之公平性，則使用人口密度抵換交易制度即可；若只需考量環境品質的問題，則使用環境濃度抵換交易制度即可；以上兩種情形亦可適用於曝露風險抵換交易制度。

4.6 綜合討論

以下將針對以上各抵換制度之交易結果、空氣品質與曝露風險、適用情形及擴散影響修正函數進行討論。

交易結果

依據不同之抵換係數，於各示範案例下進行交易模擬，其交易次數與節省之總防治成本，和 1:1 交易制度相較，差異皆於 5% 以內，故於本研究中，加入抵換因子之限制，交易之經濟誘因與 1:1 交易制度相異不大。而各抵換因子在總排放量上，相較於 1:1 交易制度，有 7.0~8.1% 之削減量，皆有助於改善環境品質。

而 1:1 交易制度，可使排放量較平均分佈於各排放源，但未考量交易公平性，亦可能造成某區域污染上升及風險增高等問題，故以抵換因子進行改善。考量抵換因子之抵換制度，除了加入抵換係數之限制，仍具有分散排放量之功用。

於示範案例 1 中，為改善較遠買方排放源鄰近地區之空氣品質降低情形，以距離因子抵換係數降低遠距離之交易誘因，使賣方排放源之排放量多轉移至鄰近之買方排放源。示範案例 2 中，為保護多數人口健康，加入人口密度因子，以限制高人口密度區域之買方排放源購買過多排放量。環境濃度因子則應用於示範案例 3 中，此因子可限制排放量交易至污染濃度高之地區，使排放量分散至其他地區，進而提升交易區域整體之空氣品質。而示範案例 4 中，為避免排放量賣至高曝露風險地區，因此以曝露風險因子限制交易，分散排放量於其他地區，並降低總曝露風險值。

空氣品質與曝露風險

由交易後之排放量分佈，進行 ISC3 空氣品質模式模擬，結果得知，1:1 交易制度使排放量分佈更平均，但在污染濃度空間分佈上，卻可能造成問題，故須進一步以抵換因子解決交易問題。

在示範案例 1 中，原污染濃度較高地區可透過交易，使污染濃度降低，卻使距離較遠買方排放源之污染濃度上升，因而加入距離因子可改善此問題。示範案例 2，經由交易，使原污染濃度較高之地區提升空氣品質，但高人口密度區域污染濃度卻升高，經由人口密度因子之限制，則可避免此情形發生。而在示範案例 3 中，1:1 交易仍無法改善原污染濃度較高地區之空氣品質，故加入環境濃度因子之限制；結果顯示，此因子可使整體交易區域之污染濃度趨於平均。另外，在示範案例 4 中，1:1 交易使污染濃度分佈更平均，但卻使交易區域之總曝露風險增加，因此以曝露風險因子改善，結果說明加入此因子，可避免高曝露風險地區風險值上升，分散交易區域之曝露風險，並降低總曝露風險值。

適用情形

由以上，可知各抵換係數所要解決之環境問題並不相同，因此適用之案例區域亦不全然一致，如下列討論：

距離因子：

交易區域中有長距離交易，且交易後賣方排放源空氣品質提升，卻使距離較遠之買方排放源鄰近區域空氣品質變差之情況，如示範案例 1，則以距離因子抵換制度改善此問題。

人口密度因子：

當排放量由低人口密度地區賣至高人口密度地區，使高人口密度地區之空氣品質下降，如示範案例 2，則藉由人口密度因子改善。

環境濃度為因子：

當交易後，某地區因排放量累積而導致污染濃度升高，如示範案例 3，則需以環境濃度為因子建立之抵換交易制度進行交易，以避免該地區排放量增加和污染濃度升高。

曝露風險因子：

交易區域有人口分佈不均的問題，並欲改善環境品質，且交易後高人口密度或高污染濃度地區之曝露風險上升時，如示範案例 4，則以曝露風險因子建立之抵換交易制度進行交易，避免上述交易問題。

由以上討論可知，各抵換因子有其適用性，但亦有其不適用情況(參考 4.2~4.5 節之適用情況說明)，需以交易區域之排放源分佈與大小，及人口分佈情形作考量，選擇適用之抵換因子進行交易。



擴散影響修正函數

由於排放源鄰近上風處之污染源，可能會造成該排放源之污染提高，故本研究提出擴散影響修正函數，欲修正抵換係數。本研究建立之四個抵換係數，皆以該函數修正之，但因各示範案例之排放源大多位於其他排放源上風影響範圍外，故此修正函數於本研究案例中，效果不甚明顯。

表 4.1 各案例交易結果

案例	交易類型	交易次數	節省成本(萬元)	交易金額(萬元)	總排放量(噸)	削減量百分比
案例 1	1:1 交易	1226	886	902	3092	無
	距離因子抵換	1165	861	895	2842	8.1%
案例 2	1:1 交易	965	647	655	1956	無
	人口密度因子抵換	920	615	623	1819	7.0%
案例 3	1:1 交易	1095	796	804	2306	無
	環境濃度因子抵換	1043	730	742	2136	7.4%
案例 4	1:1 交易	1125	835	846	2510	無
	曝露風險因子抵換	1088	803	821	2311	7.9%



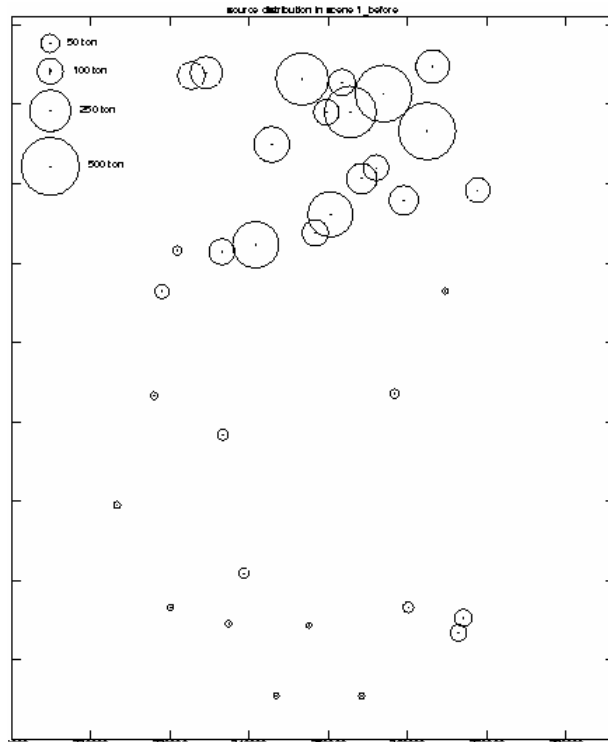


圖 4.1 案例 1 原始排放源分佈圖

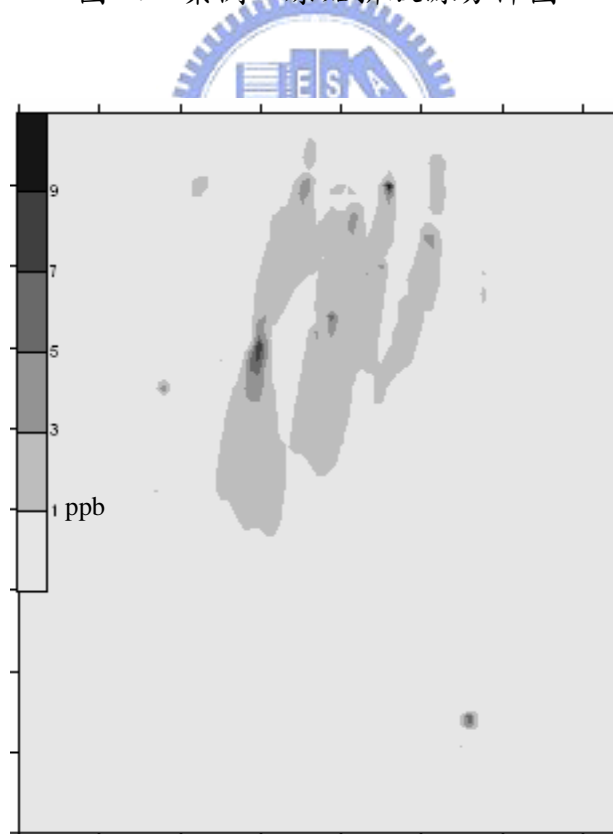


圖 4.2 案例 1 原始SO₂濃度空間分佈圖

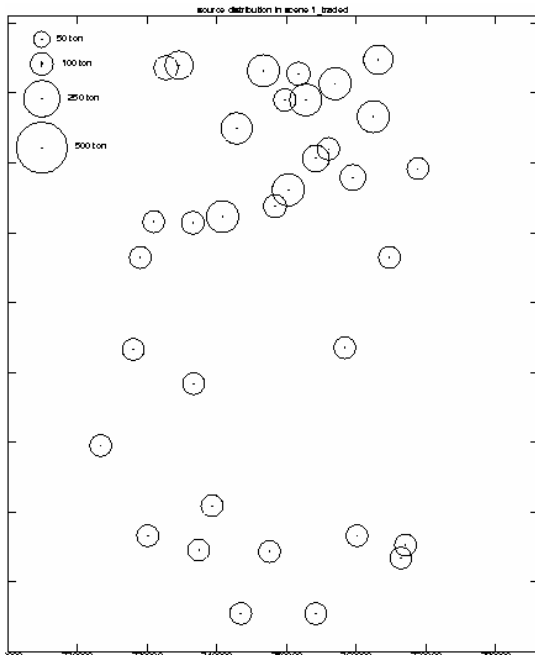


圖 4.3 案例 1

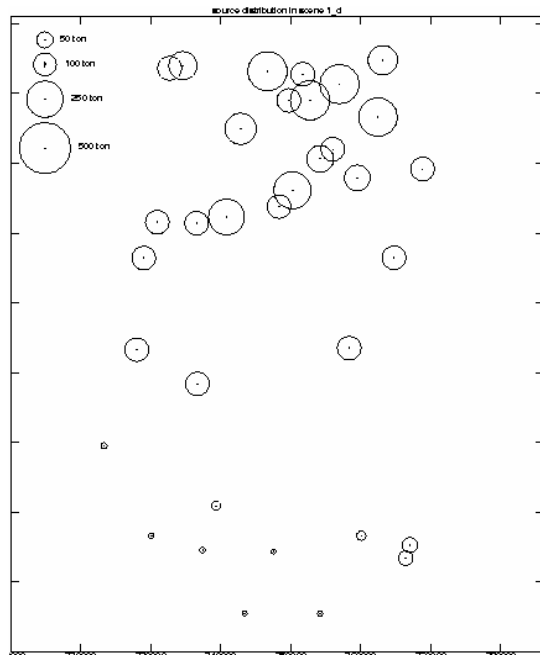


圖 4.4 案例 1

1:1 交易排放源分佈圖

距離因子抵換交易排放源分佈圖

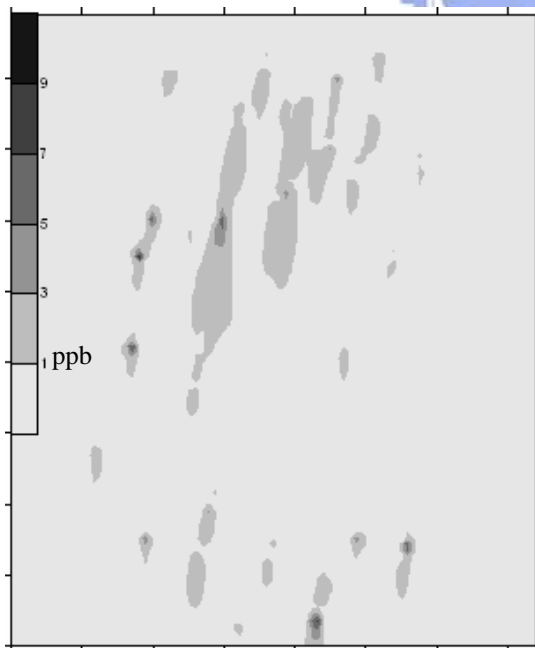


圖 4.5 案例 1

1:1 交易SO₂濃度空間分佈圖

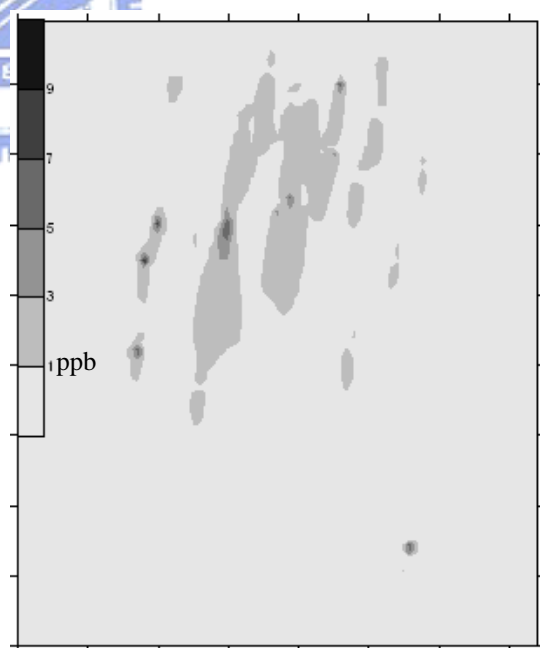


圖 4.6 案例 1 距離因子

抵換交易SO₂濃度空間分佈圖

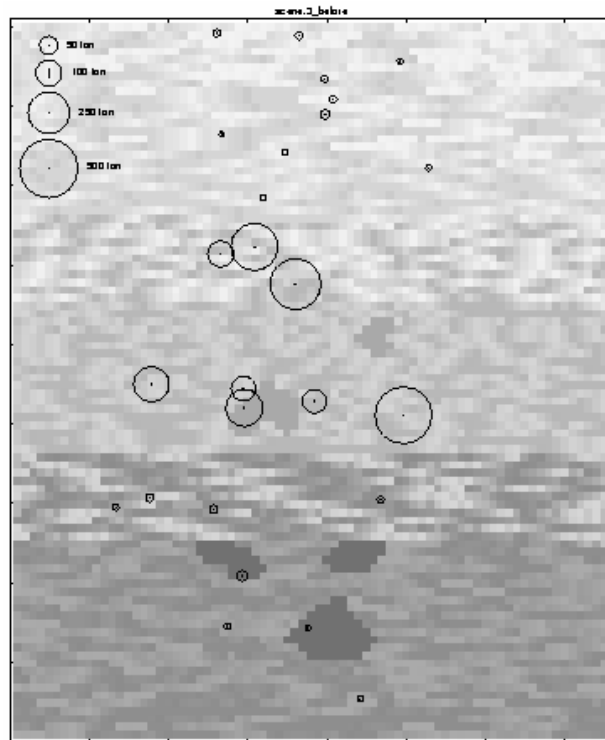


圖 4.7 案例 2 原始排放源及人口密度分佈圖

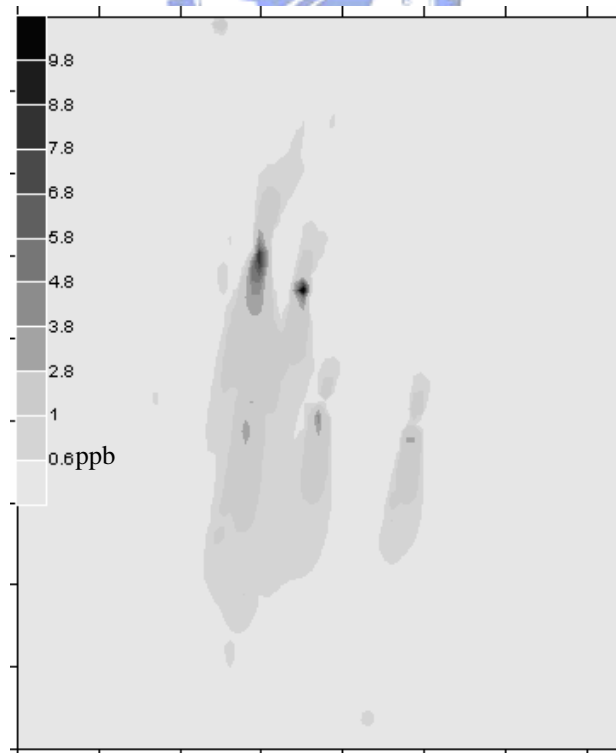


圖 4.8 案例 2 原始SO₂濃度空間分佈圖

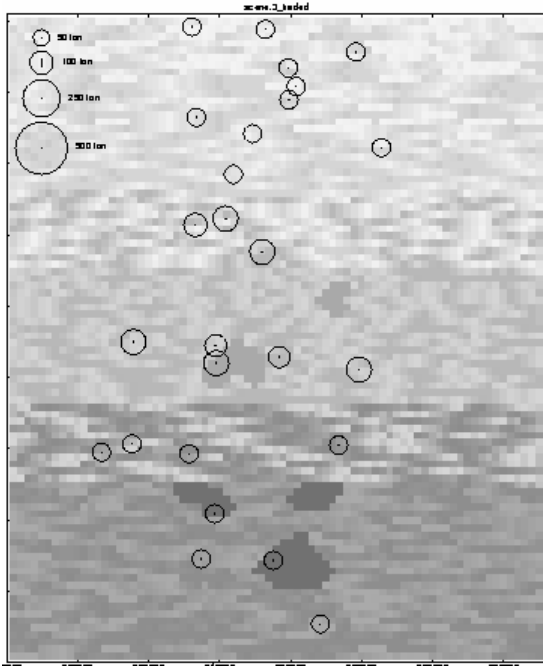


圖 4.9 案例 2

1:1 交易排放源及人口密度分佈圖

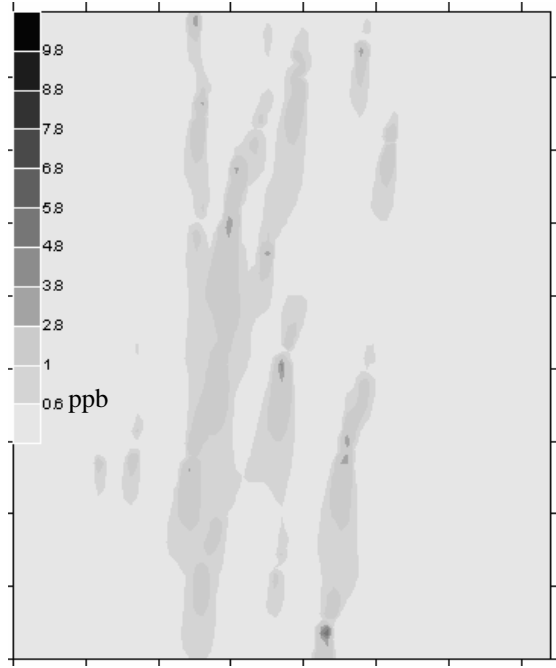


圖 4.10 案例 2

1:1 交易SO₂濃度空間分佈圖

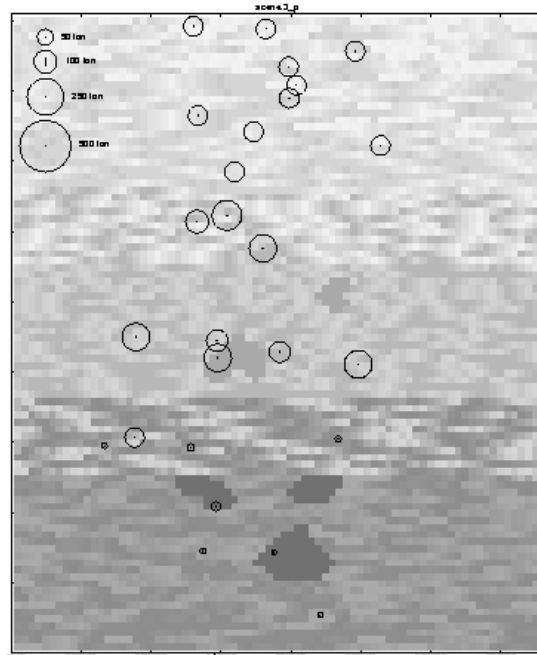


圖 4.11 案例 2 人口密度因子
抵換交易排放源及人口密度分佈圖

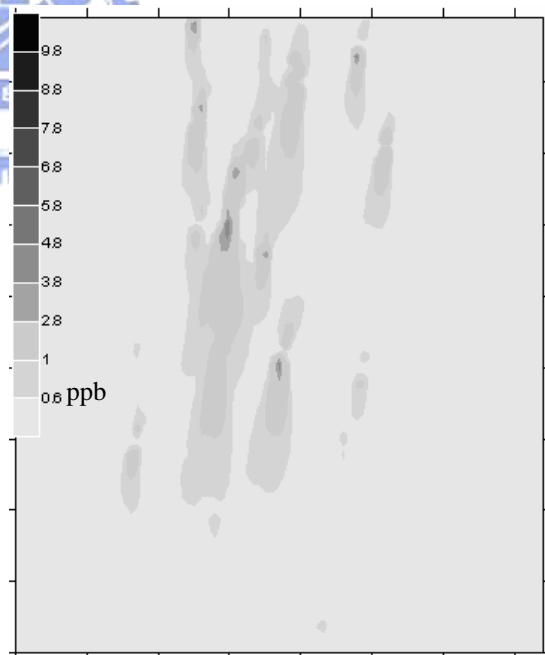


圖 4.12 案例 2 人口密度因子
抵換交易SO₂濃度空間分佈圖

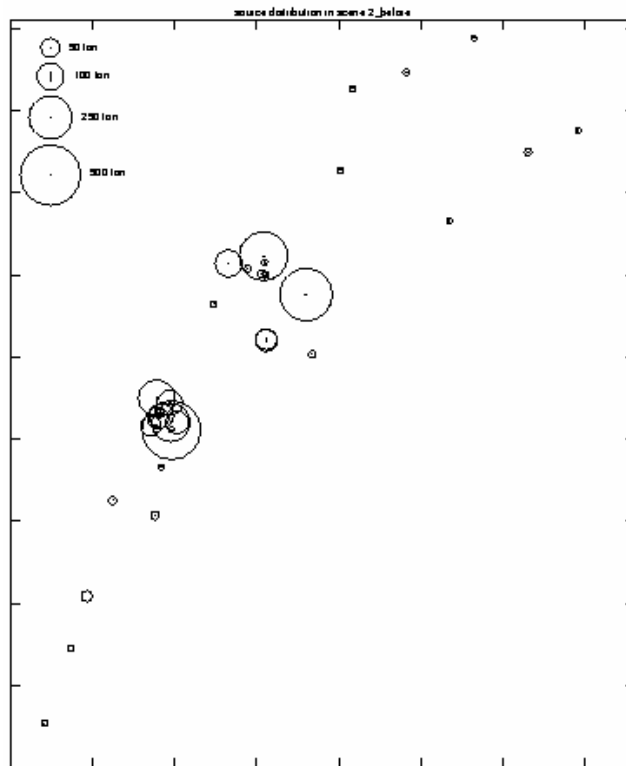


圖 4.13 案例 3 原始排放源分佈圖

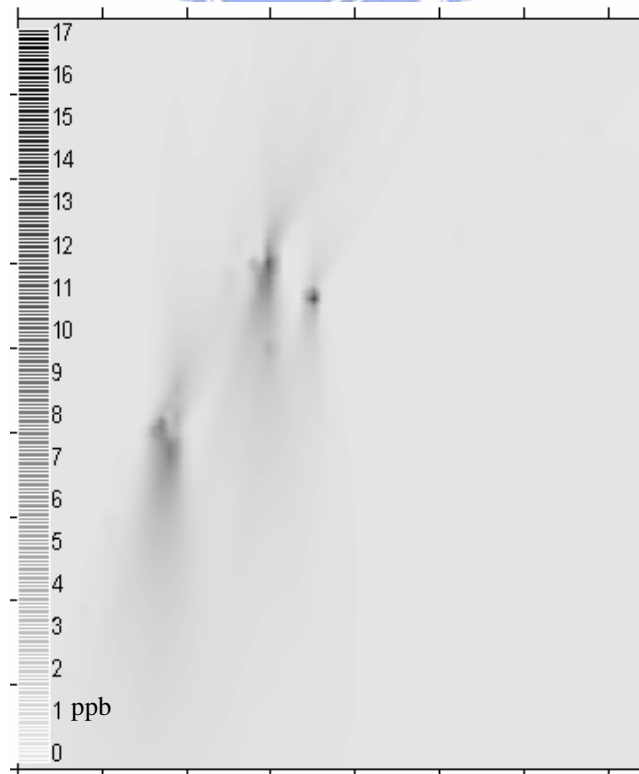


圖 4.14 案例 3 原始SO₂濃度空間分佈圖

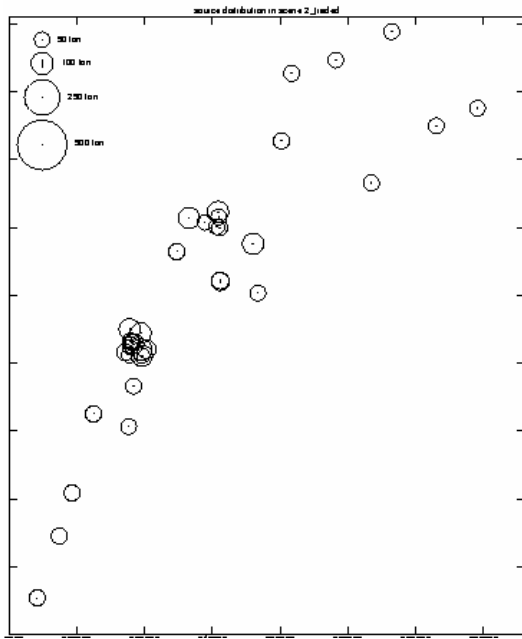


圖 4.15 案例 3

1:1 交易排放源分佈圖

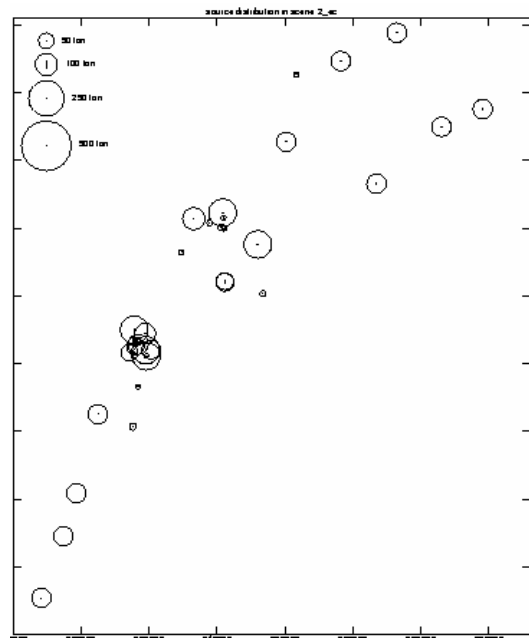


圖 4.16 案例 3 環境濃度因子

抵換交易排放源分佈圖

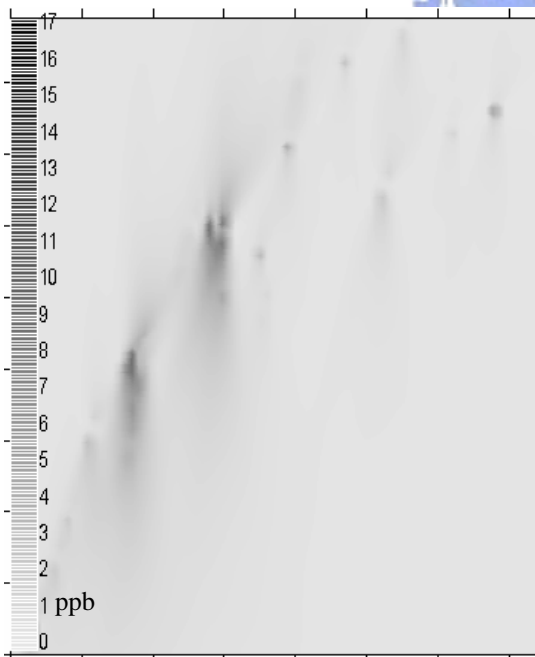


圖 4.17 案例 3

1:1 交易SO₂濃度空間分佈圖

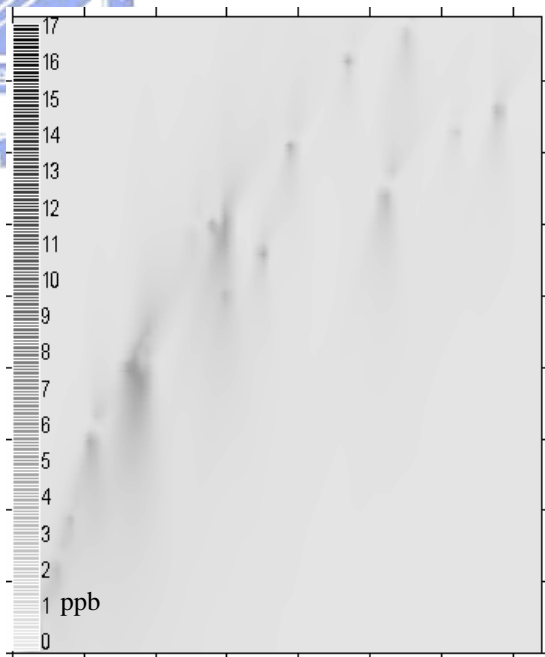


圖 4.18 案例 3 環境濃度因子

抵換交易SO₂濃度空間分佈圖

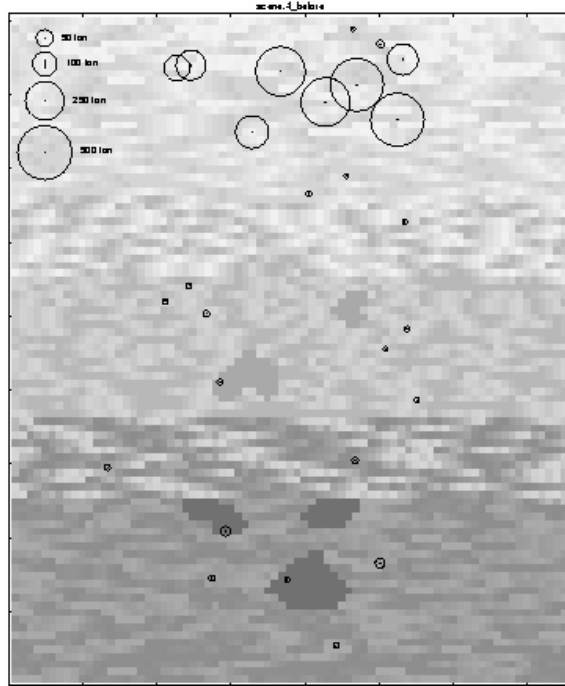


圖 4.19 案例 4 原始排放源及人口密度分佈圖

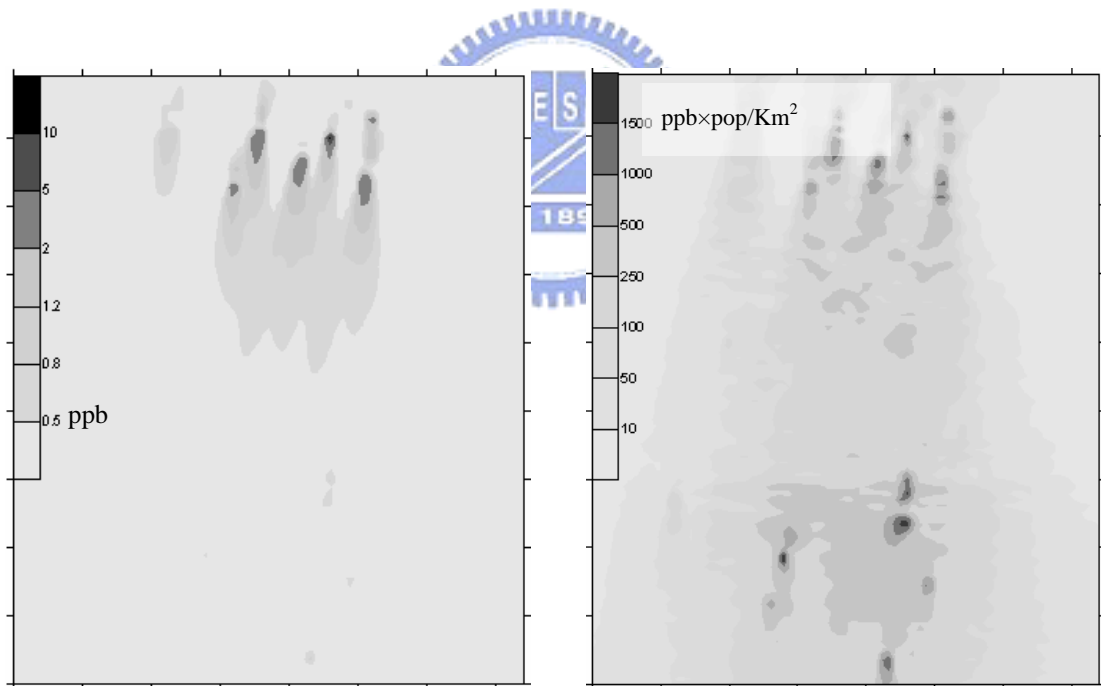


圖 4.20 案例 4 原始
SO₂濃度空間分佈圖

圖 4.21 案例 4 原始
曝露風險空間分佈圖

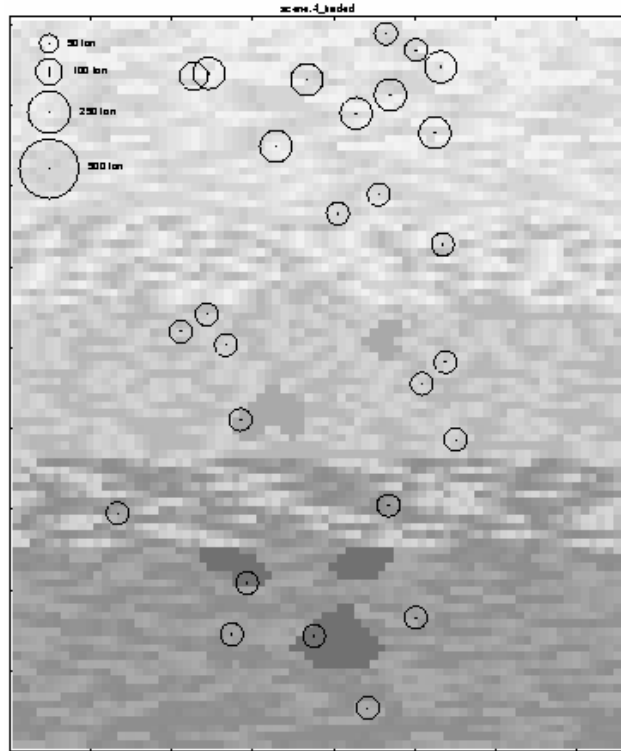


圖 4.22 案例 4 之 1:1 交易排放源及人口密度分佈圖

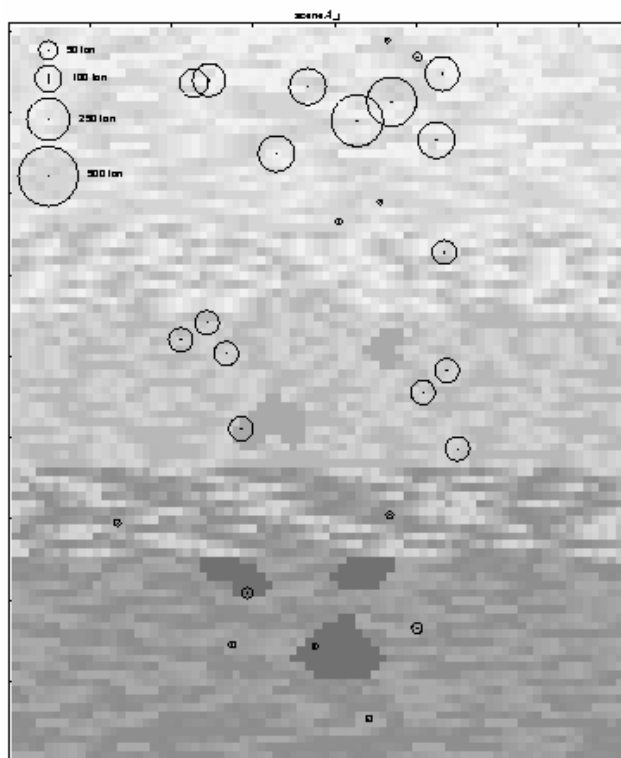


圖 4.23 案例 4 曝露風險抵換交易排放源及人口密度分佈圖

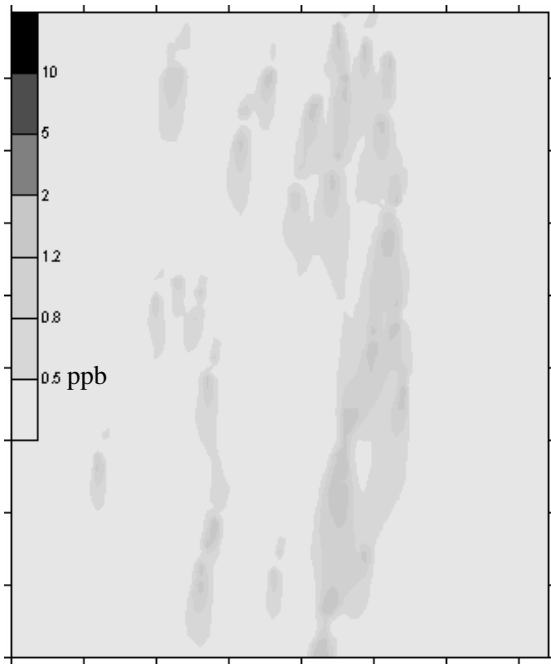


圖 4.24 案例 4 之 1:1 交易

SO₂濃度空間分佈圖

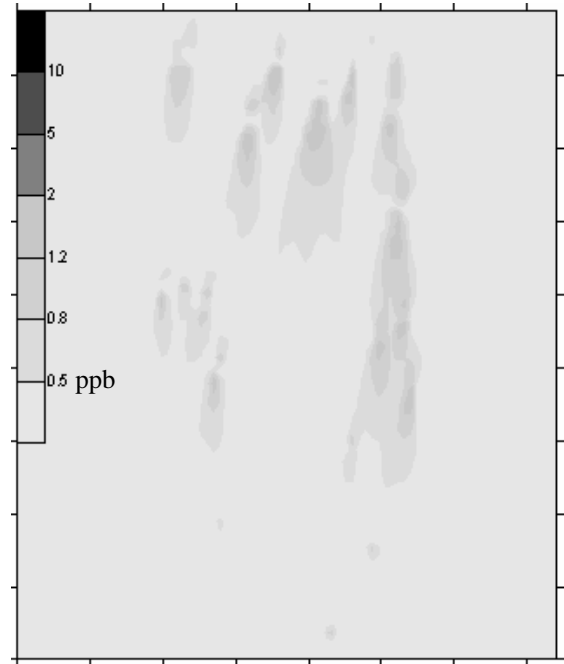


圖 4.25 案例 4 曝露風險抵換交易

SO₂濃度空間分佈圖

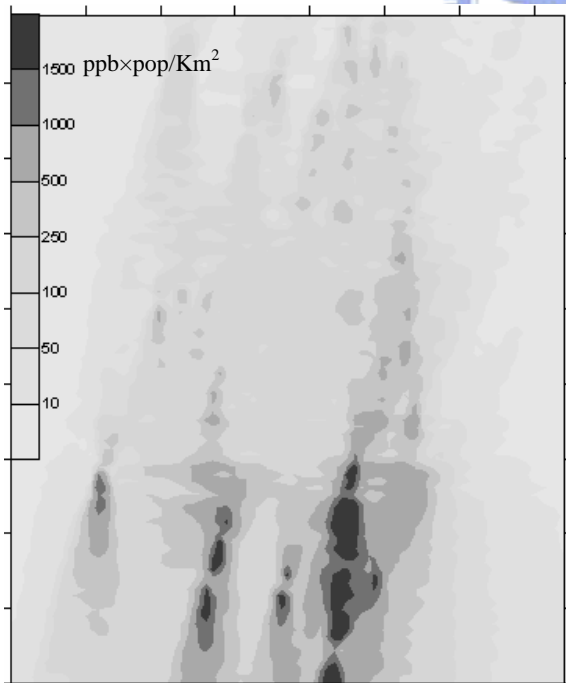


圖 4.26 案例 4 之 1:1 交易

曝露風險空間分佈圖

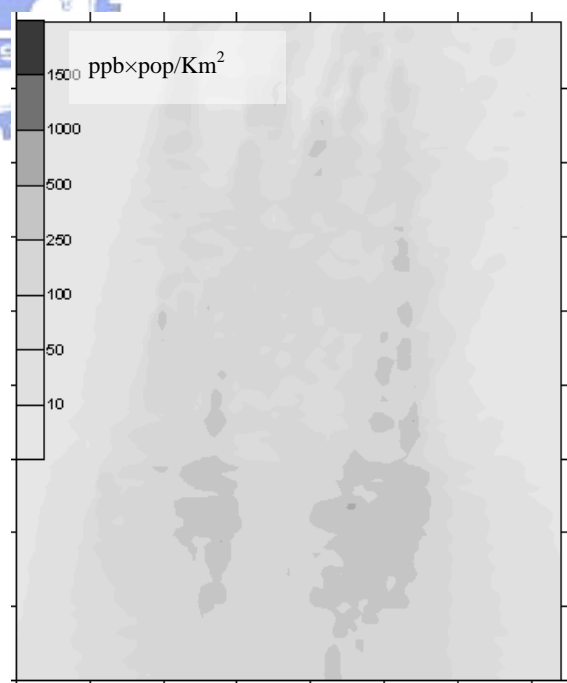


圖 4.27 案例 4 曝露風險抵換交易

曝露風險空間分佈圖

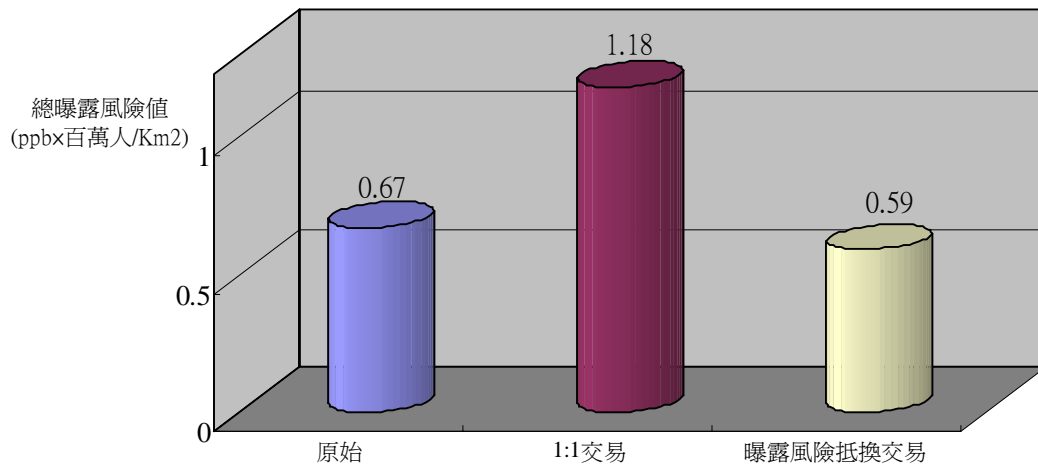


圖 4.28 案例 4 交易前後總曝露風險值圓柱圖

第五章 結論與建議

空氣污染排放交易主要是透過市場機制達到污染減量及降低成本的一個經濟誘因制度。然而由於自由交易可能導致交易後之結果增加對環境及居民之衝擊，故本研究探討適當的抵換交易制度來改善此問題，抵換交易時須先以抵換係數乘上交易量後，才進行交易，本研究基於距離、人口密度、環境濃度及曝露風險分別建立排放交易抵換係數，分析各抵換制度是否達到改善空氣品質、保護人口、降低風險等目標，並探討各抵換係數之適用性。以下為本研究之結論及建議。

5.1 結論

本研究由模擬交易結果，歸納出以下數點結論。

1. 各抵換因子建立之抵換交易制度，進行交易模擬後，其交易次數與節省之總防治成本，與 1:1 交易之差異皆於 5% 以內，而在總排放量上，亦有 7.0~8.1% 之削減量，可知，採用適當的抵換因子，仍具交易之經濟誘因，並有助於改善環境品質。
2. 1:1 交易可使排放量較平均分佈於各排放源，但未考量重新分配後之污染濃度分佈及曝露風險，造成某區域污染上升及風險增高等問題，則可以適當之抵換因子來改善交易制度。
3. 加入距離因子進行抵換交易，可避免排放量轉移至離賣方較遠之買方排放源，以免污染物轉移至原本污染濃度不高的較遠地區。適用於當交易區域中，主要買方位於污染量較少，且不希望有太多遠距離跨區交易的區域。
4. 人口密度抵換因子，可避免高人口密度區域污染濃度升高的問題，此因子可減少因交易而使高人口密度地區之空氣品質下降之區域，此抵換交易適用於買方距離高人口密度區較近時。

5. 環境濃度因子建立之抵換交易制度，可使整體交易區域之污染濃度趨於平均分佈，以避免某地區交易後，因排放量累積而導致污染濃度過度升高，此抵換交易適用於潛在買方位於環境濃度較高區域附近。
6. 加入曝露風險因子，可避免高曝露風險地區風險值上升，分散交易區域之曝露風險，並降低總曝露風險值，適用於高人口密度區域交易後之高污染濃度會有重疊的區域。
7. 由模擬結果發現，各抵換因子有其適用情形，進行抵換交易時，決策者需考量排放源分佈與大小，及人口分佈情形，選擇適當之抵換係數進行交易。



5.2 建議

本研究以距離、人口密度、環境濃度及曝露風險提出四種抵換因子，另有其他因子亦值得探討。此外，由於實際案例完整資料取得不易，本研究以示範案例作為說明，故在案例上仍有加強之空間，本研究之建議如下列幾點說明：

1. 除本研究中四種抵換因子外，可思考其他適當之抵換因子，如老弱人口、敏感區域等因子，並探討其適用性。
2. 本研究提出之抵換係數公式，為依據案例區域情況所設定，若應用於其他案例區，則可能需依實際情形作調整，如何依案例特性調整係數亦是一個值得探討的研究議題。
3. 本研究以示範案例說明抵換因子之適用性，可進一步收集真實案例資料，以實際情形探討抵換制度之適用性。
4. 本研究只針對SO₂作為交易污染物，可進一步以其他污染物或多重污染物進行交易模擬，分析空氣品質改善情形及適用性。
5. 本研究以排放量分佈、污染物濃度空間分佈及曝露風險空間分佈等分析模擬結果與適用性，可探討以其他風險定義、損害函數、空氣品質不合格率等來分析交易結果。
6. 本研究以單一空品區進行交易結果分析，可進一步模擬鄰近或其他受污染影響空品區之空氣品質，探討交易是否影響其他空品區。

參考文獻

- 中國技術服務社，(1998)，“固定污染源許可及總量管理制度執行計畫”，行政院環保署委託。
- 中鼎工程股份有限公司、中國技術服務社，(1999)，“空氣污染總量管制制度推行先期作業及空氣污染物排放量推估標準方法建立”，行政院環保署委託。
- 中興工程顧問股份有限公司，(1997)，“空氣污染排放調查、分析及總量管制、減量規劃”，行政院環保署委託。
- 方淑慧，(1991)，“新舊環境空氣品質標準比較與空氣品質現況分析”，環境工程會刊，二卷一期，pp. 54-70。
- 林陽聲，(1999)，”地理資訊系統運用於空氣品質異常分析之研究”，中興大學環工所，碩士論文。
- 紀子文、林盛隆、王一婷，(1997-1998)，“國外空氣污染管制策略分析探討”，私立朝陽科技大學，計畫編號：EPA-87-FA02-03-80。
- 袁中新，(1997)，“高雄都會區空氣品質管理與規劃”，環境工程會刊，八卷三期，pp. 14-33。
- 許永興，(2001)，“台灣地區電力設施排放氮氧化物抵換交易制度之研究”，台灣大學環工所，碩士論文。
- 張桂華，(1997)，”二氧化硫總量管制及排放交易之分析”，交通大學環工所，碩士論文。
- 莊秉潔、方富民、程萬里，(1995)，”台中火力發電廠空氣污染驗證考核計畫(二)-ISC 本土化煙流擴散模式之發展”，行政院環保署委託。
- 陳淨修，(1991)，“美國排放交易政策在台灣實施之可行性探討”工業污染防治，Vol. 39，pp. 21-32。
- 陳雄文，(1998)，“污排放權證制度之簡介”，行政院環境保護署委託。
- 郭政輝，(2001)，”SO_x排放許可交易制度之成本效益及風險分析”，交通大學環工所，碩士論文。

- 黃宗煌，(1997)，“溫室氣體減量策略之經濟評估(一)最適碳稅稅率及其經濟影響評估”，行政院環保署委託。
- 黃宗煌譯，(1984)，“環境經濟學與政策”，聯經出版社。
- 黃俊仁、高正忠、吳明洋，(1992)“總量管制政策分析及評估程序之建立”，交通大學環工所。
- 溫麗琪，(1997)，”第二階段固定污染源空氣污染防制費之費率、徵收方式及影響衝擊研究之計畫”，行政院環保署委託。
- 廖忠明、莊秉潔，(1995)，“空氣污染總量管制雜議—台中地區案例研究”，第十二屆空氣污染控制技術研究會論文專輯。
- 劉志堅、劉國棟、張璞，(1991)，“台灣地區空氣污染減量規劃技術之探討”，第八屆空氣污染控制技術研討會論文專輯。
- 劉國棟，(1999)，“台北市空氣品質改善計畫規劃整合暨成效評核計畫—工作計畫書”，台北市政府環境保護局委託。
- 鄭博雄，(1999)，“空氣污染防治成本函數之研究”，中興大學資源管理研究所，碩士論文。
- 鄭福田，(1998)，“南高地區空氣污染總量管制規劃—總計劃期末告”，行政院環保署委託。
- 蕭代基、吳珮瑛、鄭蕙燕、錢玉蘭、溫麗琪，(1998)，“減量對策之成本效益估算方法研究” 行政院環保署委託。
- Atkinson, S. E. and Tietenberg, T. H. (1987). “Economic implications of emissions trading rules for local and regional pollutants.” *Canadian Journal of Economics Revue canadienne d’Economie*, Vol. 87, pp. 370-386.
- Carlin, A. (1992). *The united state experience with economic incentives to control environmental pollution*. United States Environmental Protection Agency.
- Cason, T. N. (1993). “Seller incentive properties of EPA’s emission trading auction.” *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 25, pp. 177-195.
- Conrad, K. and Kohn, R. E. (1996). “The US market for SO₂ permits: policy implications of the low price and trading volume.” *Energy Policy*, Vol. 24, No. 12, pp. 1051-1059.

- Cowell, D. and Apsimon, H. (1996). "Estimating the cost of damage to buildings by acidifying atmospheric pollution in Europe." *Atmospheric Environment*, Vol. 30, pp. 2959-2968.
- Dudek, D. J. and Palmisano, J. (1988). "Emissions trading: why is this thoroughbred hobbled?" *Columbia Journal of Environmental Law*, Vol. 31, pp. 217-256.
- Dudek, D. J., Stewart, R. B. and Wiener, J. B. (1992). "Environmental policy for Eastern Europe: technology-based versus market-based approaches." *Columbia Journal of Environmental Law*, Vol. 17, pp. 1-52.
- USEPA (1992). *The United States experience with economic incentives to control environmental pollution*, EPA/230/R-92/001.
- USEPA (1995). *User's guide for the industrial source complex (ISC3) dispersion models*, EPA/454/B-95/003a.
- Erkut, E. and Verter, V. (1995). "A framework for hazardous materials transport risk assessment." *Risk Analysis*, Vol. 15, pp. 589-601.
- Rodriguez, F. (2000). "On the use of exchange rates as trading rules in a Bilateral system of transferable discharge permits." *Environmental and Resource Economics*, Vol. 15, pp. 379-395.
- Finn r. forsund and Eric naevdal. (1998). "Efficiency gains under exchange-rate emission trading." *Environmental and Resource Economics*, Vol. 12, pp. 403-423.
- Franciosi, R., Isaac, R. M., Pingry, D. E. and Reynolds, S. S. (1993). "An experimental investigation of the Hahn-Noll Revenue Neutral Auction for emissions licenses." *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 24, pp. 1-24.
- Fromm, O. and Hansjurgens, B. (1996). "Emission trading in theory and practice: an analysis of RECLAIM in Southern California." *Environment and Planning C: Government and Policy*, Vol. 14, pp. 367-384.
- Gersbach, H. and Glazer, A. (1999). "Market and regulatory Hold-Up program." *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 37, pp. 151-164.
- Goddard, H. C. (1997). "Using tradeable permits to achieve sustainability in the world's large cities." *Environmental and Resource Economics*, Vol. 10, pp. 63-99.

- Hecq., W. and Kestemont, B. (1991). "A model of emission trading for minimizing the cost of air pollution control form Belgian Power plants." *Journal of Environmental Management*, Vol. 32, pp. 367-382.
- Hennessy, D. A. and Roosen, J. (1999) "Stochastic pollution, permits, and merger incentives." *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 37, pp. 211-232.
- Jenkins, G. P. and Lamech, R. (1992). "Market-based incentive instruments for pollution control." *International Bureau of Fiscal Documentation*, November, pp. 523-538.
- Johnson, S. L. and Pikelney, D. M. (1996). "Economic assessment of the regional clean air incentives market: A New Emissions Trading Program for Los Angeles." *Land Economics*, Vol. 72, No. 3, pp. 277-297.
- Klaassen, G. (1995). "Trade-offs in sulfur emission trading in Europe." *Environmental and Resource Economics*, Vol. 6, pp. 191-219.
- Klaassen, G. (1996). "Acid rain and environmental degradation : the economics of emission trading." *New Horizons in Environmental Economics: International Institute for Applied Systems Analysis Laxenburg, Austria(IIASA)*.
- Klaassen, G. and Nentjes, A. (1997). "Sulfur trading under the 1990 CAAA in the US: an assessment of first experiences." *Journal of Institutional and Theoretical Economics*, Vol. 153, No. 2, pp. 384-409.
- Kling, C. L. (1994). "Environmental benefits from marketable discharge permits or an ecological vs. economical perspective on marketable permits." *Ecological Economics*, Vol. 11, pp.57-64.
- Kling, C. and Rubin, J. (1997). "Bankable permits for the control of environmental pollution." *Journal of Public Economics*, Vol. 64, pp. 101-115.
- Krumm, R. and Wellisch D. (1995). "On the efficiency of environmental instruments in a spatial economy." *Environmental Instruments in a Spatial Economy*, pp. 87-98.
- Krupnick, A. J., Oates, W. E. and Verg, E. V. (1983). "On marketable air-pollution permits: the case for a system of pollution offsets." *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 10, pp. 233-247.

- Kucera, V., Henriksen, J., Knotkova, D. and Sjostrom, C. H. (1993). "Model for calculations of corrosion cost caused by air pollution and its application in tree cities." *Progress in the Understanding and Prevention of Corrosion*, pp. 24-32.
- Lyon, R. M. (1982). "Auctions and alternative procedures for allocating pollution rights." *Land Economics*, Vol. 58, pp. 16-32.
- Maloney, M. T. and Yandle, B. (1984). "Estimation of the cost of air pollution control regulation." *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 11, pp. 244-263.
- Malueg, D. A. (1989). "Emission credit trading and the incentive to adopt new pollution abatement technology." *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 16, pp. 52-57.
- Mccann, R. J. (1996). "Environmental commodities markets: 'Messy' versus 'Ideal' worlds." *Contemporary Economic Policy*, Vol. 14, pp. 85-97.
- McGartland, A. M. and Oate, W. E. (1985). "Marketable permits for the prevention of environment deterioration." *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 12, pp. 207-228.
- Misiolek, W. S. and Elder, H. W. (1989). "Exclusionary manipulation of markets for pollution rights." *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 16, pp. 156-166.
- O'ryan, R. E. (1996). "Cost-effective policies to improve urban air quality in Santiago, Chile." *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 31, pp. 302-313.
- Pezzey, J. (1992). "The symmetry between controlling pollution by price and controlling it by quantity." *Canadian Journal of Economics*, Vol. 25, No. 4, pp. 983-991.
- Raufer, R. K., Feldman, S. L. and Jaksch, J. A. (1986). "Emissions trading and acid deposition control: the need for ERC leasing." *Journal of Air Pollution Control Association*, Vol. 5, No. 5, pp. 574-580.
- Rico, R. (1995). "The U.S. allowance trading system for sulfur dioxide: an update on market experience." *Environmental and Resource Economics*, Vol. 5, pp. 115-129.
- Rubin, J. D. (1996). "A model of intertemporal emission trading, banking, and borrowing." *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 31, No. 3, pp. 269-286.

- Seskin, E. P., Anderson, R. J. and Reid, R. O. (1983). "An empirical analysis of economic strategies for controlling air pollution." *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 10, pp. 112-124.
- Stavins, R. N. (1995). "Transaction costs and tradeable permits." *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 29, pp. 133-148.
- Solomon, B. D. and Lee, R. (2000). "Emissions trading systems and environmental justice." *Environment*, Vol. 42, no. 8, pp. 32-45.
- Stavins, R. N. (1995). "Transaction costs and tradeable permits." *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 29, pp. 133-148.
- Tietenberg, T. H. (1990). "Economic instruments for environmental regulation." *Oxford Review of Economic Policy*, Vol. 6, pp. 17-33.
- Tietenberg, T. H. (1985). *Emissions Trading*, Resources for the Future, Inc. Washington, D.C.
- Tietenberg, T. H. (1998). "Ethical influences on the evolution of the US tradable permit approach to air pollution control." *Ecological Economics*, Vol. 24, pp. 241-257.
- Y. Ikeda, R. Yasuda, H. Nakaminami, M. Tanaka, C. Lee and H. Higashino. (2001). "A mixed-integer optimization technique for developing a sulfur emission control strategy for China." *Water, Air, and Soil Pollution*, Vol. 130, pp. 265-270.
- Zipper, C. E. and Gilroy, L. (1998). "Sulfur dioxide emissions and market effects under the Clean Air Act Rain Program." *Journal of the Air & Waste Management Association*, Vol. 48, pp. 829-837.

附錄一 空氣污染防治設備成本函數之推估

一、污染防治成本函數理論

一般分析廠商防治成本可採行的研究方法主要分為(郭，2001)：

1. 迴歸與計量經濟分析(Economics Method)
2. 線性規劃法(Linear Programing)
3. 工程模擬法(Engineering Simulation)

本研究採用迴歸及計量經濟分析法，推估固定污染源於空氣污染防治設備成本函數，而使用的成本函數型式為 Cobb-Douglas 函數型。

其基本型式為

$$C = \alpha \Pi Q^{\beta} P_x^{\beta x}$$

轉換成對數型式為

$$\ln C = \ln \alpha + \beta \ln Q + \sum \beta x \ln P_x$$

式中 C 為成本， Q 為產出， P_x 為各項投入， α 、 β 、 βx 為參數。

二、污染防治成本之計算

本研究採用的污染防治成本為各排放源防治設備之投資成本及操作成本(中鼎，86年)。

總污染防治成本=總防治設備投資成本+總防治設備操作成本

年污染防治成本=年防治設備投資成本+年防治設備操作成本

年防治設備投資成本=總防治設備投資成本 $\times \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$

其中 i =折現率，本研究採用 7%

n =防治設備使用年限

年污染防治成本

$$= \text{總防治設備投資成本} \times \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} + \text{年防治設備操作成本}$$

因本研究所須推估的成本函數為 SO_x 污染物，但只有防治設備編號為 160 至 179 之控制設備才具有去除 SO_x 的處理效果，因此在計算排放源的年污染防治成本時，只有計算排放源含有防治編號為 160 至 179 的設備成本。

三、資料處理

本研究的資料來源為中國技術服務匯整各縣市固定污染源所得之資料，採用民國 86 年度資料進行分析。

針對不同行業(包括有紡織業，紙漿、紙及紙製品製造業，化學材料製造業，非金屬礦物製品製造業，電力供應業)進行 SO_x 空氣污染防治成本函數之推估。

在進行推估前，需先篩選出可分析的資料，所選出行業的排放源數、防制前排放量及防治後排放量的資料如附表 1.1。

四、迴歸分析

在進行污染防治成本函數推估時，本研究是以最小平方法進行迴歸分析，得到的結果如下：

$$\text{其原式為： } C = \alpha_0 Q^{\alpha_1} E^{\alpha_2}$$

$$\ln C = \alpha_0 + \alpha_1 \ln Q + \alpha_2 \ln E$$

其中 C 為年污染防治成本(萬元/年)

Q 為防治前排放量(噸/年)

E 為防治效率

$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$ 為迴歸參數值

各行業的迴歸分析結果如附表 1.2。其中因為電力供應業的資料只有三家排放源，所以本研究中有修改其參數，使其較合理化。

本研究於交易模擬中，所使用的邊際防治成本函數為

$$MC = \alpha_0 \alpha_1 Q^{\alpha_1 - 1} E^{\alpha_2}$$

附表 1.1 行業之排放源統計資料

行業別代碼	排放源數	防治前總排放量 (噸/年)	防治後總排放量 (噸/年)
紡織業	843	20858.28	19871.23
紙漿、紙及紙製品製造業	334	25036.12	24375.18
化學材料製造業	333	103203.08	53320.07
非金屬礦物製品製造業	1129	18333.83	13813.92
電力供應業	24	308220.32	147784.75

附表 1.2 各行業之迴歸分析結果

行業別代碼	α_0	α_1	α_2	R^2
紡織業	16.10757	0.261051	0.32713	0.025714
紙漿、紙及紙製品製造業	24.08956	0.143439	-0.041	0.000317
化學材料製造業	14.08275	0.641361	-0.15611	0.57271
非金屬礦物製品製造業	18.66938	0.221405	-0.27686	0.030691
電力供應業	2.96E-06	1.555816	-8.21705	