

# 台灣排放權交易制度之儲存機制設計 之探討－以硫氧化物管制為例\*

廖肇寧\*\*

為賦予廠商在污染減量策略上有更大的彈性，許多排放權交易制度皆設有儲存機制，但儲存機制卻可能使環境品質產生較大的波動，此也隱含該機制所提供的減量彈性與環境品質穩定性間存有某種程度的抵換關係，故某些交易制度會透過儲存係數的設定，僅允許部分儲存的排放權移至未來，用以在兩者間取得適度的平衡，因此如何在推行排放權交易制度之初，設計出一個適切的儲存規則，乃是管制者需積極面對的課題。本研究建立一個排放權交易模型，並在允許儲存係數間可以不存在任何系統性關係的情況下，以台灣高屏空品區的硫氧化物管制為例，模擬政府若採用目前規劃的儲存機制或是直接沿用其他各國正在運行的機制，對於減量成本與環境品質可能產生的影響，進而協助管制者規劃適合台灣的儲存制度。本研究模擬發現，在一個假設為期五年且減量標準較為寬鬆的交易市場中，台灣若採用目前規劃的儲存機制或是其他正在運行的儲存機制，都不會對於空氣品質變異造成明顯的影響，故政府此時應以追求最大的減量彈性為目標，仿效美國的酸雨交易制度讓未用完的排放權全數無限期的儲存至未來，但當管制標準趨於嚴格時，不同儲存機制的影響變得顯著，此時政府應採芝加哥的 Emission Reduction Market System，僅讓未用完的排放權全數儲存一年，但無論管制標準為何，現行台灣環保署規劃的儲存機制在減量彈性與維持環境品質穩定兩方面的表現都不是最佳的。

**關鍵詞：**排放權交易、儲存機制、儲存係數

---

\* 作者感謝匿名評審提供的寶貴意見與指正。本文同時得到科技部研究補助（計畫編號：102-2410-H-007-008-）與國立清華大學低碳能源中心協助，在此一併致謝。

\*\* 國立清華大學經濟學系副教授，新竹市東區光復路二段 101 號，TEL：03-5162138，FAX：03-5629805，E-mail：liaocn@mx.nthu.edu.tw。

## I、前言

排放權交易制度為經濟誘因式 (incentive-based) 管制工具的一種，該制度在近 30 年來被大量應用在污染管制中，許多結果也顯示，該制度相較於命令式 (command and control) 的管制制度而言，能以較低的成本達到政府管制的目標 (Tietenberg, 1985)。隨著時間的演進，排放權交易制度也經歷了許多的演化，使其更能滿足管制者或是廠商的需求，儲存機制 (permit banking) 即是其中的一項，儲存機制能讓廠商將污染減量的責任分散到不同的時點上，使其有更大的減量彈性，但對管制者而言，儲存制度卻對環境品質的穩定性有著不利的影響，這是因為當廠商同時大量將過去儲存的排放權拿出來抵銷某季的污染排放時，環境品質將有可能瞬間產生惡化，以硫氧化物 (sulfur oxide, 以下簡稱  $SO_x$ ) 為例，其除了會導致人類的眼疾或刺激呼吸系統外，若空氣中的  $SO_x$  濃度突然急遽升高時，也會使罹患心臟病及呼吸系統疾病的機率大幅增加。有鑒於此，現行的排放交易制度皆會透過「儲存係數」的設定，來規範廠商在當期未用完的排放權。

以台灣環保署規劃在高屏空品區施行的排放權交易草案為例 (行政院環境保護署, 2002)，廠商在將當年度未使用完的排放權移至下一年度前，均需進行 20% 的扣抵，亦即廠商若在當年度存下一單位的排放權，則此單位的排放權在新的年度中無論是自用或售出，都僅能抵消 0.8 單位的污染排放，若此來自前一年度的排放權再度被廠商儲存，則至下一年度時 (總共儲存了二年)，其可抵銷的污染數量將僅剩下 0.64 ( $=0.8^2$ ) 單位，此隱含儲存一年的排放權將面對 0.8 的儲存係數、儲存滿兩年的排放權將面對 0.64 的儲存係數、儲存滿三年的排放權將面對 0.51 ( $=0.8^3$ ) 的儲存係數；在「加州低排放汽車管理計畫 (California's Low-Emission Vehicle Program, 以下簡稱 LEV)」中，首度被儲存的排放權同樣會進行一個八折的折扣，但此折扣僅

會被執行一次且經折扣過的排放權可以全數地被無限期留用，此隱含首度儲存滿一年的排放權將面對的儲存係數為 0.8，儲存二年以上的排放權，儲存係數則全部回到 1 的水準（California Environmental Protection Agency，2012）；美國的「經濟燃料管制（Corporate Average Fuel Economy Regulations，以下簡稱 CAFE）」則允許汽車製造商將排放權儲存至多至三年（Klier & Linn，2011），在這三年內，儲存的排放權是完全不會經過任何折扣的，亦即在此種機制下，儲存一年、二年與三年的排放權將面對的儲存係數為 1，但儲存超過四年以上的排放權將面對的儲存係數則為 0；在管制芝加哥地區揮發性物質的「排放降低市場系統（Emission Reduction Market System，以下簡稱 ERMS）」裡，當期末用完的排放權可全數保留一年，但這些儲存的排放權在次年中仍未用完，則將自動失效（Illinois Environmental Protection Agency，1996），這代表儲存滿一年的排放權將面對的儲存係數是 1，儲存超過二年以上的排放權所面對的儲存係數則是 0。上述這些儲存制度基本上都希望同時提供減量彈性與維護環境品質穩定，但在歷史悠久的「美國酸雨交易市場（Acid Rain Trading Program）」裡，廠商可以將當年度未用完的排放權全數留到未來使用，且這些儲存的排放權並未設有任何的年限限制，亦即這些儲存的排放權是永久有效的（Ellerman *et al.*，2000），因政府並未將這些儲存的排放權進行抵扣且廠商可將未用完的排放權全數無期限保留至未來，故無論排放權被儲存多久，其面對的儲存係數皆為 1；在另一個全球交易範圍最大的「歐盟排放交易市場（European Union Emission Trading System，以下簡稱 EU ETS）」中，受管制廠商在同一個「承諾期」（compliance period）期間內，亦可將未用完的排放權全數儲存至未來外（Gulli，2008），因此，該制度對於同一個承諾期中所儲存的排放權，其儲存係數亦全被設定為 1，由這兩個儲存係數皆設定為 1 的交易制度來看，管制者應是希望賦予廠商最大的減量彈性；但在「區域清淨空氣誘因市場計畫（Regional Clean Air Incentives Market，以下簡稱 RECLAIM）」中，因管制

者將環境品質的穩定度視為一重要指標，故該制度是完全不允許排放權儲存的 (Johnson & Pkelney, 1996)，此也隱含該制度中的所有儲存係數都為 0。

由於儲存制度所提供的減量策略彈性與環境品質的穩定性間存有抵換的關係，故我們可知，在較不具彈性的管制環境中，廠商所需額外付出的成本正是維持環境品質穩定性的代價，更進一步來看，管制者對於儲存排放權所設定的抵扣方式與維持環境品質穩定性是習習相關的，故如何在兩者間進行取捨便是設計儲存機制時所需面臨的重要課題。本研究將以台灣高屏空品區廠商的  $SO_x$  污染排放為例，並由政府的角度出發，比較台灣環保署草擬之儲存機制與現行國際運作的儲存機制之優劣，進而協助政府規劃出最適宜台灣的儲存係數。高屏地區為台灣二級產業的主要聚集地，故如何控制當地的空氣品質一直是台灣環保署的主要工作項目之一，環保署雖曾規劃自西元 2006 年度起，選定高屏一帶做為台灣首度推行空氣污染排放權交易制度的地區，並將  $SO_x$  的排放總量降低至合理水準，但因諸多原因，國內的排放權交易制度遲未上路，仍停留在草案規劃階段，故本研究在模型設定上，將著重於台灣環保署規劃的儲存規則，並比照其他國際上正在運行的排放權交易制度進行相關的模擬，關於台灣草案中的一些細節部分，如利用洗掃街道、收購舊車等來獲得排放權的方式、或廠商退出市場時之排放權處理等，將暫時排除在模型之外，同時也為使此處比較的基準能和國外制度一致，我們假設排放權是以許可權 (allowance) 的方式運作，並以溯往法則 (grandfathering rule) 分配給廠商。

過去已經有許多學者提出關於排放權儲存制度與污染減量成本之間的關係，例如 Rubin 與 Kling (1993) 就曾指出，若廠商能將當期未用完的排放權儲存至未來使用，則交易制度所需的減量總成本能夠進一步的降低，而類似的論點也出現在 Cronshaw 與 Kruse (1996) 與 Rubin (1996) 的研究中。在實證上，Ellerman 與 Montero (2002) 以美國酸雨交易市場為例發現，政

府最初所提供的初始排放權中，廠商至少將 30% 的排放權儲存至未來使用，此點也證明儲存制度卻實能將廠商的污染減量責任分攤到不同的時點，進而增加廠商的污染減量彈性並達到減少廠商污染減量成本的目的。儲存機制不僅能夠改變廠商污染行為外，還能夠穩定排放權的價格，Godby 等人（1997）指出當排放權不能進行儲存時，市場上的排放權價格時常會有波動的發生，但是當排放權制度加入儲存機制後，能夠使市場中的排放權價格波動趨於平緩，較不會有劇烈的變化產生，Fell、MacKenzie 與 Pizer（2012）除了有類似的發現外，他們的研究也指出允許儲存交易制度的社會福利會高於禁止儲存的交易制度。雖然儲存機制能夠穩定排放權的價格，但是儲存也可能造成排放權價格偏低的情形，Alberola 與 Chevallier（2009）就指出儲存是造成 EU ETS 排放權價格過低的原因之一，大量廠商在 EU ETS 運作初期因從事了大量的減量行為，並將排放權儲存起來，故導致後來發生大量的排放權在市場流通，最終導致排放權價格過低情形發生。此外，Phaneuf 與 Requate（2002）的研究發現，在市場存在不確定性且機器設備的投資具有不可回覆的前提下，儲存機制能增加廠商投資新技術或是購買新污染防治設備的誘因，Requate（1998）、Leiby 與 Rubin（2001）及 Innes（2003）等人，也對儲存制度與廠商污染減量行為之影響，有詳盡的討論。

上述關於儲存制度的討論面向雖然相當的多元，但這些研究皆有一個共同的特色，那就是這些文獻所使用的分析架構都假設各個儲存係數間皆存有一定的比例關係，例如前述的 EU ETS、台灣環保署規劃的交易規則與美國的酸雨交易制度，儘管 RECLAIM 制度不允許儲存，但因該制度下的各年度儲存係數都為 0，故我們也可視 RECLAIM 中的儲存係數也存有特定的比例關係。需要此比例關係的主因在於使研究者能夠應用微分工具來處理儲存機制下的最適化問題，此外，比例關係的假定也能讓模型中僅需使用一個參數就來代表所有不同儲存年度排放權所需面對的儲存係數，同理，這些模型也僅需利用一個變數來紀錄儲存排放權的數量，這種一個儲存係數搭配一個儲

存數量變數的方式能方便讓決策者進行比較靜態分析，探討儲存係數的改變對於廠商減量行為與儲存數量的影響，但這也代表上述文獻的研究方法都無法分析 ERMS、CAFE 與 LEV 制度的儲存機制，儘管這三個交易市場主在管制區域型的污染，但分析工具的限制也間接導致過往文獻無法對其進行量化的討論。有鑑於此，本研究將捨棄以往文獻中，以一個參數與一個變數來處理儲存係數與儲存排放權數量的設定，改利用非線性規劃模式（non-linear programming，以下簡稱 NLP）的技巧，視各個不同年度的儲存係數與排放權儲存數量為個別的參數與變數，且各儲存係數間不需先假設有任何特定關係的存在，用以解決某些交易制度在設計之初，就已將儲存係數規劃在無任何系統性關係的情況。由於污染廠商可能會因自身減量規畫，將當期未用完的排放權進行時間長度不一的儲存，本研究對於儲存相關變數的設定方式能讓這些儲存下來的排放權根據其被儲存時間的長短，對應到管制者所預先設定且不具特定關係的儲存係數，這種能讓不同「年紀」的儲存排放權正確找到其該對應的外生儲存係數之機制，為本文主要貢獻之一。再者，利用交易制度來管理污染已成為各國政府的政策工具選項之一，台灣雖相對起步較晚，但如能由本文的模型來探討引入各國儲存機制對台灣廠商減量成本與環境品質可能的影響，我們就可借鏡他人在排放權儲存設計的經驗，用以降低未來台灣推行交易制度所需的成本。

## II、經濟模型

本研究之經濟模型係由社會決策者（或政府）的角度出發，假定決策者欲利用排放權交易制度的成本有效特性來達成某減量目標時，不同的儲存機制對於排放權交易市場與廠商污染減量行為的影響。在經濟模型中，我們除假設排放權交易市場是完全競爭外，為了使經濟模型能處理可能不存在任何系統性關係的儲存係數，並使已經被儲存且儲存期間長短不一的排放權都能

正確對應到應面對的儲存係數，本研究在模型中設立了三個虛擬的排放權交易市場，用來處理新發行、剛被儲存或已經被儲存超過兩年以上的排放權，這些虛擬的市場分別稱為「當期交易市場」、「新鮮儲存排放權交易市場」、「老舊儲存排放權交易市場」，所謂「當期交易市場」，主要是針對每一年度政府所新發放的排放權進行交易，而「新鮮儲存排放權交易市場」主要針對儲存恰好一年的排放權，最後「老舊儲存排放權交易市場」則是針對那些已經儲存兩年或兩年以上的排放權。廠商可以根據手中持有排放權的型態（例如新發行的、自己去年存下來的或自別人手中買入已經儲存兩年的），自行選擇在所對應的這三個市場中進行污染減量或買賣交易排放權來滿足政府的減量要求，雖然我們在模型中設定了這三種市場進行交易，但這些設定目的只是為了能讓經濟模型在運算求解過程中，能明確的辨認出每一單位的排放權是何時被發行或是已經被儲存了多久時間，根據這些相關的時間資訊，方便我們對應不同的儲存係數到不同的排放權上。

在上述這些設定條件下，我們首先建立了一個為期五年的排放權交易市場模型，但決策者可依自身的需要，依循相同模式將模型擴展到任意的時間。在模型中， $i$ 代表廠商； $j$ 代表時間；而 $m$ 代表另一個時間的變數，主在用來標記排放權發放的時間， $m$ 的維度會與 $j$ 相同，例如在一個為期五年的交易市場中， $j$ 的最大值是5，則此時 $m$ 的最大值也是5，除了 $m$ 外，另外再設立一個與時間有關的下標 $j$ 是為了註記排放權發行與實際交易年度間的時間差，以便能讓儲存年度長短不一的排放權，能正確對應到其該面對的儲存係數； $\delta$ 是折現率，在模型中設定為為5%； $s$ 代表廠商所使用的污染防治技術； $g$ 為政府針對每個廠商所設定的年污染減量管制目標比率； $X_{m,i,j}$ 則是廠商 $i$ 在 $j$ 年度的污染減量； $C_{is}(X_{m,i,j})$ 為廠商 $i$ 使用設備 $s$ 進行減量工作所需面對的成本函數； $h_i$ 為廠商 $i$ 在基準年的歷史污染排放量，亦為廠商在未受任何管制時的實際污染量，每個廠商在模型考量的五年交易期間內，此數值皆會維持相同的水準； $(h_i - X_{m,i,j})$ 則代表是廠商 $i$ 在年度 $j$ 所實際排

放的污染量； $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、 $\theta_3$ 與 $\theta_4$ 分別指的是已被儲存一年、二年、三年及四年排放權所需面對的儲存係數，這些係數皆由管制者外生設定； $l_{m,i,j}$ 是政府在年度  $j$  對廠商  $i$  所設定的年污染應減量目標，舉例而言，若廠商  $i$  在未受管制時的污染排放為 1000 單位 ( $h_i=1000$ )，且當政府將減量目標水準訂為 10% ( $g=10\%$ ) 時，則意味著該廠商的污染應減量目標 ( $l_{m,i,j}$ ) 為 100 單位 ( $100=1000\times 0.1$ )，因此政府每年會發放 900 ( $900=1000\times 0.9$ ) 單位的排放權給予此廠商，若廠商減量超過 100 單位，則其實際污染排放量將低於 900 單位，其會有多餘的排放權可以用來出售或是儲存，反之，當污染減量少於 100 單位，即污染排放超過 900 單位時，該此廠商必須向其他廠商購買排放權或用過去所儲存的排放權來滿足政府所規範的減量要求 ( $l_{m,i,j}=100$ )，在本研究中，政府所發放的排放權是依據各廠商歷史污染量為基準，故政府每年發給廠商  $i$  的初始排放權數量等於  $(1-g)\cdot h_i$ 。

$B_{m,i,j}$  是廠商  $i$  在年度  $j$  中，於「當期交易市場」所儲存的排放權數量，由於此變數僅在衡量各年度新發放的排放權中，有多少排放權被儲存下來， $B_{m,i,j}$  的值只有在  $j=m$  時才可能為一正數 (註 1)，此也隱含當  $j\neq m$  時，該變數是沒有任何意義的，亦即  $B_{m,i,j}=0$ ； $D_{m,i,j}$  是廠商  $i$  在年度  $j$  中，在「當期交易市場」所購買的排放權，當  $j\neq m$  時， $D_{m,i,j}$  亦會因沒有任何意義而被假設為 0； $S_{m,i,j}$  是廠商  $i$  在年度  $j$  中，於「當期交易市場」所賣出的排放權，且當  $j\neq m$  時， $S_{m,i,j}$  會等於 0； $B1_{m,i,j}$  指的是廠商  $i$  在年度  $j$  中，於「新鮮儲存排放交易市場」中所儲存的排放權數量，在此市場中，排放權都是源自於廠商在「當期交易市場」中所儲存下來的排放權，故此變數代表著來自「當期交易市場」的排放權在本年度中仍未被使用下，而要繼續往下年度儲存的數量， $B1_{m,i,j}$  的值只有在  $j>m$  且  $j-m=1$  (註 2)，才可能為一正數，若  $j-m\neq 1$  時，則  $B1_{m,i,j}=0$ ； $D1_{m,i,j}$  是廠商  $i$  在年度  $j$  中，於「新鮮儲存排放交易市場」所購買的排放權，這些排放權也都是源自於「當期交易市場」所儲存下來的，同樣在  $j-m=1$  時，才可能為正數，意即  $j-m\neq 1$  時， $D1_{m,i,j}=0$ ； $S1_{m,i,j}$  是廠商  $i$  在年度  $j$  中，於「新鮮儲存排放交易市場」所賣

出的排放權數量，只有當  $j - m = 1$  時，才可能為正數。 $B2_{m,i,j}$  是廠商  $i$  在年度  $j$  中，於「老舊儲存排放權交易市場」中所儲存的排放權數量，此市場中的排放權全數來自廠商於「新鮮儲存排放權交易市場」中，未使用完的排放權，由於這些排放權都儲存至少二年以上，故  $B2_{m,i,j}$  的值只有在  $j - m \geq 2$  時（註 3），才可能為一正數，若  $j - m < 2$  時，則  $B2_{m,i,j} = 0$ ； $D2_{m,i,j}$  是廠商  $i$  在年度  $j$  中，於「老舊儲存排放權交易市場」所購買的排放權，而這些排放權都是由「新鮮儲存排放權交易市場」所儲存下來的，同樣需要  $j - m \geq 2$  時，才可能為正數，意即  $j - m < 2$  時， $D2_{m,i,j} = 0$ ； $S2_{m,i,j}$  是廠商  $i$  在年度  $j$  中，於「老舊儲存排放權交易市場」所賣出的排放權，同樣在  $j - m \geq 2$  時，才可能為正數。

$L1_{m,i,j}$  是廠商  $i$  在年度  $j$  且  $j - m \geq 2$  時，於「當期交易市場」中自行選擇的污染減量目標水準； $Fl_{m,i,j}$  是廠商  $i$  在年度  $j$  中，於「新鮮儲存排放權交易市場」中所選擇的污染應減量水準，由於此市場不可能在第一年中出現，故此變數要在  $j \geq 2$  時（第二年開始）且  $j - m = 1$ （儲存恰好滿一年的情況），才可能為一正數； $Ol_{m,i,j}$  是廠商  $i$  在年度  $j$  時，於「老舊儲存排放權交易市場」中所選擇的污染應減量水準，依循前面所述，此變數需在  $j - m \geq 2$  時（儲存恰好滿兩年或以上），才可能是正數，反之其值為零。在排放權制度開始施行的第一年（即  $j = m = 1$  時），因為市場中沒有任何過去儲存下來的排放權，故「新鮮儲存排放交易市場」與「老舊儲存排放權交易市場」都尚未開始運作，廠商僅能在「當期交易市場」進行排放權的買賣或污染減量來滿足政府所設定的污染應減量目標水準  $l_{m,i,j}$ ，但自第二年或第三年後開始（即  $j = m \geq 2$  時），廠商可在另外虛擬的「新鮮儲存排放交易市場」或「老舊儲存排放權交易市場」中，購入排放權來滿足政府的管制需求，故其多了滿足年減量目標  $l_{m,i,j}$  的管道，因此  $L1_{m,i,j}$  在  $j = m \geq 2$  時才能為一正數，且  $L1_{m,i,j}$  的數值可以比  $l_{m,i,j}$  來得低。變數  $L1_{m,i,j}$  因僅與「當期交易市場」有關，因此必須要在  $j = m$  時才能使其有成為正數的可能，舉例而言，當廠商

在「當期交易市場」中，選擇將減量目標（ $L1_{m,i,j}$ ）設定在低於政府所規定的減量目標水準（ $l_{m,i,j}$ ）時，其可將不足的應減量水準分配到「新鮮儲存交易市場」和「老舊交易市場」的應減量水準  $Fl_{m,i,j}$  和  $Ol_{m,i,j}$  中，但廠商自行選擇的  $L1_{m,i,j}$ 、 $Fl_{m,i,j}$  和  $Ol_{m,i,j}$  數量加總必須大於等於政府對該廠商的年減量目標水準（ $l_{m,i,j}$ ），亦即所有廠商無論在那個市場活動，每年這三個市場最後達到的污染減量工作總和需至少高於或等於政府年污染減量目標。

為方便進行變數辨認，模型中只要英文變數帶有大寫者，皆為內生變數，不含英文大寫字母之變數則為外生給定，此外，為便利讀者閱讀，我們在附錄處將各變數名稱與定義做一簡要整理。在建構經濟模型後，我們便可藉由廠商實際污染排放資料與減量成本函數，對內生變數進行求解，以下是本研究所建構的模型：

$$\min \sum_m \sum_i \sum_j \sum_s (1+\delta)^{-j} C_{is}(X_{m,i,j}) \quad (1)$$

受限於

$$D_{m,i,j} + X_{m,i,j} \geq S_{m,i,j} + B_{m,i,j} + l_{m,i,j} \quad \text{對所有 } i \text{ 與 } j = m = 1 \quad (2)$$

$$D_{m,i,j} + X_{m,i,j} \geq S_{m,i,j} + B_{m,i,j} + L1_{m,i,j} \quad \text{對所有 } i \text{ 與 } j = m > 1 \quad (3)$$

$$D1_{m,i,j} + \theta_1 \cdot (B_{m,i,j-1}) \geq S1_{m,i,j} + B1_{m,i,j} + Fl_{m,i,j} \quad \text{對所有 } i \text{ 與 } j - m = 1 \quad (4)$$

$$D2_{m,i,j} + \theta_2 \cdot (B1_{m,i,j-1}) \geq S2_{m,i,j} + B2_{m,i,j} + Ol_{m,i,j} \quad \text{對所有 } i \text{ 與 } j - m = 2 \quad (5)$$

$$D2_{m,i,j} + \theta_3 \cdot (B2_{m,i,j-1}) \geq S2_{m,i,j} + B2_{m,i,j} + Ol_{m,i,j} \quad \text{對所有 } i \text{ 與 } j - m = 3 \quad (6)$$

$$D2_{m,i,j} + \theta_4 \cdot (B2_{m,i,j-1}) \geq S2_{m,i,j} + B2_{m,i,j} + Ol_{m,i,j} \quad \text{對所有 } i \text{ 與 } j - m = 4 \quad (7)$$

$$\sum_m l_{m,i,j} \leq \sum_m (L1_{m,i,j} + Fl_{m,i,j} + Ol_{m,i,j}) \quad \text{對所有 } i \text{ 與 } j > 1 \quad (8)$$

$$\sum_m l_{m,i,j} = h_i \cdot g \text{ 對所有 } i \text{ 與 } j \quad (9)$$

$$\sum_m X_{m,i,j} \leq h_i \text{ 對所有 } i \text{ 與 } j \quad (10)$$

$$\sum_i \sum_m (D_{m,i,j} + D1_{m,i,j} + D2_{m,i,j}) = \sum_i \sum_m (S_{m,i,j} + S1_{m,i,j} + S2_{m,i,j})$$

對所有  $j$  (11)

$$D_{m,i,j} \cdot S_{m,i,j} = 0 \text{ 對所有 } i \text{ 與 } j = m \quad (12)$$

$$D1_{m,i,j} \cdot S1_{m,i,j} = 0 \text{ 對所有 } i \text{ 與 } j - m = 1 \quad (13)$$

$$D2_{m,i,j} \cdot S2_{m,i,j} = 0 \text{ 對所有 } i \text{ 與 } j - m = 2, 3 \text{ 與 } 4 \quad (14)$$

$$X_{m,i,j}, B_{m,i,j}, D_{m,i,j}, S_{m,i,j}, B1_{m,i,j}, D1_{m,i,j}, S1_{m,i,j}, B2_{m,i,j}, D2_{m,i,j}, S2_{m,i,j},$$

$$L1_{m,i,j}, Fl_{m,i,j}, Ol_{m,i,j} \geq 0 \text{ 對所有 } i, j \text{ 與 } m \quad (15)$$

式(1)為目標式，衡量廠商在排放權交易制度下的減量總成本。式(2)為廠商在第一年度中，在「當期交易市場」裡的污染減量與排放權買賣情形，式子左邊係為廠商所購買的排放權量（ $D_{m,i,j}$ ）以及廠商的污染減量（ $X_{m,i,j}$ ），而式子右邊則是廠商所賣出（供給）的排放權數量（ $S_{m,i,j}$ ）、儲存的排放權數量（ $B_{m,i,j}$ ）以及在第一年度中所需達成的政府減量目標（ $l_{m,i,j}$ ），由於式(2)主在描述第一年的交易情形，因此所有相關變數的下標  $j$  與  $m$  均需為 1，當描述排放權來源的式(2)左手邊（買入之排放權加上自行污染減量）大於描述排放權去向（賣出與自行儲存的排放權數量加上政府污染應減量要求）的右手邊時，廠商即可滿足政府的年減量標準。式(3)描述「當期交易市場」在第二、第三、第四以及第五年中，廠商的污染減量行為和排放權的買賣情形（註 4），式(3)與式(2)的概念相似，唯一不同之處在於式(3)右手邊的減量目標水準（ $L1_{m,i,j}$ ）會是廠商可自行選擇的變數，因為廠

商自第二年起，可在「新鮮儲存排放權交易市場」中，購買其他廠商儲存下來的排放權來滿足政府污染應減量要求，廠商除了扮演購買排放權的需求者外，亦可在第二至第五年的「當期交易市場」中僅進行些許的污染減量，但透過自行選擇一個更小的減量目標水準（ $L1_{m,i,j}$ ）值，讓其有多餘的排放權可供出售（註5），此時廠商便可在「當期交易市場」中扮演排放權供給方的角色，雖然在「當期交易市場」中所設定的減量目標水準（ $L1_{m,i,j}$ ）可能遠低於政府所設定的減量目標（ $L_{m,i,j}$ ），但因自第二年度開始，市場上將有儲存的排放權可供廠商選擇，故廠商可以在排放權的儲存交易市場（新鮮儲存和老舊儲存交易市場）中，設定另一個較高的減量目標水準（ $Fl_{m,i,j}$ 和 $Ol_{m,i,j}$ ），來滿足政府的污染應減量需求（ $L_{m,i,j}$ ）。

式(4)描述的是恰好儲存一年的排放權在「新鮮儲存排放權交易市場」中的交易情形，由於該市場不牽涉到任何廠商的污染減量行為，故該式並不包含變數 $X_{m,i,j}$ ，該式左手邊第一項為廠商購買剛好儲存滿一年的排放權數量（ $D1_{m,i,j}$ ），和上一年度中自行儲存下來的排放權（ $B_{m,i,j-1}$ ），而這些排放權源自於(2)、(3)式中，廠商在「當期交易市場」中，進行污染減量或買入、且在「當期交易市場」中尚未用完而儲存下來的排放權，這些排放權須先經過儲存係數（ $\theta_1$ ）的折扣，才可在新的年度中繼續進行儲存、販售或用以抵銷污染排放。式(4)右手邊，代表儲存滿一年的排放權可能之去處，這些排放權可能被廠商賣出（ $S1_{m,i,j}$ ）、也有可能被廠商再度儲存到下一個年度（ $B1_{m,i,j}$ ）或是被用來滿足廠商在「新鮮儲存排放權交易市場」所自行設定的減量目標水準（ $Fl_{m,i,j}$ ），因本式僅考量儲存剛好滿一年的排放權，故式子中所有變數的下標 $j$ 與 $m$ 必須滿足 $j-m=1$ 的要求，亦即當 $j-m \neq 1$ 時，這些變數的值都會是0。

式(5)在描述儲存恰好滿兩年的排放權市場交易情形，該式左手邊包括了廠商買進恰好儲存滿兩年的排放權（ $D2_{m,i,j}$ ），以及前一年於「新鮮儲存排放權市場」未用完而繼續保留下來的排放權（ $B1_{m,i,j-1}$ ），由於「新鮮儲存排

放權交易市場」未用完的排放權進入新的年度後，其儲存時間恰好滿兩年，故我們須再將這些儲存下來的排放權（ $B1_{m,i,j-1}$ ）乘上另一個排放權儲存係數（ $\theta_2$ ）進行折扣，才可換算出儲存滿兩年的排放權在「老舊儲存排放權交易市場」中，所能折抵掉的污染排放數量。式(5)右手邊則是包括了廠商賣出之儲存滿兩年排放權（ $S2_{m,i,j}$ ）和不打算在當年度使用而又繼續儲存至下年度的排放權（ $B2_{m,i,j}$ ），和廠商在此一市場所設定的減量目標水準（ $Ol_{m,i,j}$ ）；式(6)為儲存恰好滿三年的排放權市場交易情形，式(6)的概念和式(5)相同，左手邊同樣包含廠商所購買的排放權數量和上一年度儲存下來，並經過折抵後的排放權（即乘上排放權儲存係數（ $\theta_3$ ）），此式右邊同樣包含了廠商所賣出的排放權、準備儲存到第四年的排放權及在「老舊儲存排放權交易市場」中，廠商自行選定的減量目標水準（ $Ol_{m,i,j}$ ）；式(7)係指儲存滿四年的排放權交易情形，其設定仍與式(5)跟式(6)相同，唯一不同的地方在於排放權儲存係數（ $\theta_4$ ）；由於在本模型中考慮的交易年限為五年，故我們須考量的排放權儲存期間最多僅為四年，不需考慮儲存排放權超過五年以上的情形，也不需要建立這些儲存超過五年的排放權之交易限制式，但若決策者有需要，也可探討交易市場將維持 10 年或是 20 年的情況，管制者只要依循式(5)的設定，透過增加限制式來容許「老舊儲存排放權交易市場」的排放權被存放至五年、六年或多年以上，並在各個新增的限制條件中設定相對應的排放權儲存係數即可。

式(8)為廠商自第二年起的污染應減量限制條件，此式右手邊為「當期交易市場」、「新鮮儲存排放權交易市場」和「老舊儲存排放權交易市場」中，廠商所自行決定的減量目標水準，式子左邊指的管制者對於廠商在每年度所設定的減量管制目標，當廠商在這三個虛擬市場中所選取之目標減量水準，其總和大於或等於政府所設定的減量目標水準時，廠商即能達成政府在各年度的管制標準；式(9)所描述的是政府對各廠商所設定的污染排放限制，該限制等同於各廠商的歷史污染排放量乘上政府設定的污染應減量比例。

式(10)係指廠商最大的污染減量數目並不會超過自身的歷史污染排放量；式(11)為排放權市場中的均衡限制，要求各年度的排放權總需求等於總供給，該限制式的影子價格（shadow price）正是每一單位排放權的均衡交易價格。式(12)至式(14)主在限制廠商在三個虛擬交易市場中的行為，這些式子要求廠商在每個年度中，不得在任一市場中同時進行出售和購買排放權，此一設定目的在禁止各廠商在同一年度中利用買賣排放權的行為來進行套利，並提供以 NLP 架構為基礎之模型有更多的資訊進行求解；式(15)要求模型中各內生變數必須為大於或等於 0 的數值。由於模型假設了一些虛擬的市場，也定義兩個時間下標變數  $j$  與  $m$  來紀錄時間差，故某些變數僅有在特定的時間差時才會有意義（或其值可允許是正數），這些會因為時間差的不同而有所限制的變數也是模型的限制條件，但受限於篇幅，我們僅在介紹變數與各限制條件時說明，不再此處一一列出。

### III、實證資料

本研究以高屏空品區的廠商作為研究對象，實證模擬所需資料包括各廠商的  $SO_x$  排放量和各廠商進行污染減量所需花費的成本。 $SO_x$  的排放資料係來自環保署全國性排放清冊（行政院環境保護署，2012）資料庫的空氣污染排放量查詢系統，但因高屏地區的廠商數眾多，因此本研究僅選取 2007 年在高屏地區  $SO_x$  年排放量大於 30 公噸的廠商，在此準則下，我們共納入了 42 家廠商，其中以石化產業 16 家為最多，其次為鋼鐵業 10 家，在未管制前，這些樣本廠商的  $SO_x$  排放量共有 76,567 公噸，約佔當地當年度污染總排放量的 80%。

各廠商的污染減量成本函數則是依據李育明（2000）的研究成果予以估算，李育明（2000）依照廠商可能使用的污染防治技術，將  $SO_x$  減量成本依產業別分為金屬基本工業、化學材料製造業、非金屬礦物製品與其他等四大

類。在以 1996 年為基期，並將物價水準調整至 2015 年的水準後，我們得出各產業的  $SO_x$  減量成本函數如表 1 所示，雖然該成本資訊距今已有 16 年之久，但因該研究是近年台灣現存唯一有系統且大規模針對污染廠商  $SO_x$  排放的減量成本資訊，故仍應有一定參考價值，若各產業的減量技術都能有相似的進步率，且加以本研究主在針對儲存機制進行比較，故除了總減量成本與價格資訊等名目變數可能產生偏差外，關於減量規模、交易數量、儲存數量等實質變數將不會造成影響，故也不會改變最終研究對於儲存機制所得到的相關結論與建議。

表 1  $SO_x$  減量成本函數

產業別	減量成本函數 <sup>1</sup>
金屬基本工業	$C = 13,989 \cdot X^{0.09}$
化學材料製造業	$C = 124,046 \cdot X^{0.39}$
非金屬礦物製品	$C = 65,558 \cdot X^{0.04}$
其他	$C = 22,274 \cdot X^{0.36}$

資料來源：本研究。

註 1：X 為  $SO_x$  減量（單位為千公噸），C 為減量總成本（單位為千元新台幣）。

## IV、模擬結果

在實證模擬中，我們將以現行全球正在運行的排放權儲存制度與台灣儲存設計進行比較，由減量成本、實際污染減量、儲存數量、環境品質可能產生的變化等面向出發，對於台灣目前規劃之儲存機制進行建議，因此我們除了台灣的儲存規則外，亦會模擬包括美國酸雨交易制度、ERMS、LEV、CAFE 與 RECLAIM 等之儲存規則若用於台灣時，對交易市場可能產生的影響。

將廠商的歷史排放量、政府減量管制目標、減量成本資訊與相關參數代入模型中後，我們利用 General Algebraic Modeling System 平台中的 CONOPT 演算方法針對模型中的內生變數進行模擬求解，該演算方法係由丹麥的 ARKI Consulting and Development 公司所開發，能處理變數眾多時的 NLP 問題 (Brooke、Kendrick & Meeraus, 1992)。表 2 為當政府將減量管制目標設定在 10% (排放權發行數量為樣本廠商於 2007 年之實際污染排放數量的 90%)、20% 與 30% 時，各不同儲存制度下之模擬結果，一如預期，無論減量目標為何，允許排放權可以全額儲存至未來的美國酸雨交易制度規則，能讓整體社會的總減量成本達到最低，而完全不允許儲存的 RECLAIM 制度則有相對最高的總減量成本，而允許排放權全額儲存三年的 CAFE 也比能讓排放權僅全額儲存一年的 ERMS 有著更低的減量成本。雖然表 1 顯示各廠商在減量上都有規模報酬遞增的特性，但來自化學材料製造業與發電業等排放量較大的廠商，其減量成本優勢更加的明顯，故在此所模擬的各種減量情境或儲存機制裡，這些產業的廠商都扮演減量與排放權賣方的角色，其他產業則是扮演排放權買方的角色。此外，為瞭解減量彈性與環境品質穩定度間的可能抵換關係，我們比較可以完全儲存排放權的酸雨交易制度與完全不允許儲存的 RECLAIM 機制下之社會總減量成本差距，結果發現，在 10%、20% 與 30% 的管制目標下，RECLAIM 機制的總成本會較酸雨交易制度高出新台幣 0.794 億元、2.244 億元與 10.82 億元，亦即 RECLAIM 的成本會較酸雨交易制度高出 5%、7% 與 21%，此也隱含管制標準愈高，維持空氣品質穩定之代價也愈大。表 2 倒數第二欄為五年內的排放權儲存數量總和，整體而言，愈有彈性的儲存機制會讓廠商有較高的動機進行儲存，而愈嚴格的減量管制 (或愈少的排放權發行數量) 除會提高每單位污染的平均減量成本外 (表 2 最後一欄)，也會使得交易市場較為熱絡 (表 2 倒數第三欄)。

表 3 為排放權的均衡價格，該價格資訊來自式(11)的影子價格。由於模型係為一 NLP 的架構，故除了管制愈趨嚴格時，排放權均衡價格會上升外，

排放權價格在不同的儲存機制下，沒有一個固定的趨勢。由於均衡價格是衡量放寬式(11)的限制條件時（或增加排放權供給額外微小一單位），目標式的總減量成本會下降多少，故當式(11)的限制條件放寬時，能夠因排放權增加額外一單位供給而不需要減量此一單位的污染廠商，其減量成本結構扮演極為重要的角色，因為此一廠商少減量此一單位所節省的邊際減量成本即為排放權的均衡價格，也因為這個不需要減少此一單位的廠商在不同的減量目標下可能是不同的，故造成不同減量目標下的價格變化沒有特定趨勢。

表 4 為各減量目標搭配不同儲存機制下，各年的實際污染排放量及實際污染排放量偏離各年度排放權發行數量的程度（以下簡稱環境品質變異數值）。環境品質變異數值係為實際污染排放偏離政府所設定排放量（或年度初始分配量）之比例，若環境品質變異數值為負數，則代表該年度的實際污染排放數低於該年度的排放權發行數，亦即廠商進行了較積極的污染減量工作，並將多餘的排放權儲存至未來，此也隱含環境品質會較政府預期規劃來得好，若環境品質變異數值為正，則是代表廠商在該年度使用了自己或買入他人儲存的排放權使用，故不需在實際減量上有積極的作為，導致當年度的實際污染排放數高於該年度的發行的排放權數量，也直接使得環境品質會較政府預期規劃來得差。模擬結果顯示，RECLAIM 制度由於不允許儲存，故不會產生實際污染排放量偏離年度排放權發行數量的情形，因此各年度的環境品質變異數值皆為 0。整體而言，各儲存機制的環境品質變異數值在減量水準低於 20% 時，不會有明顯的差異，最大的環境品質變異僅有 1%（例如 10% 的減量標準搭配酸雨交易制度規則），但在 30% 的減量水準下，酸雨交易制度規則與 LEV 的儲存規則都可能出現環境品質變異數值高達 6% 的情形，且這些環境品質較差的時間點都出現在交易制度的末期（第四年或第五年），這些時間點的出現與我們將交易期間設定在五年有關，為極小化減量總成本，廠商一定會傾向在交易末期出清手中持有過去儲存下來的排放權，但因我們所設定的交易模型可將交易年限任意的拉長，我們可以同樣預期類

似的环境品質變異數值出現在相同的儲存機制中。

由環境品質變異數值來看，若政府的減量標準較低時，除 RECLAIM 外，各項儲存機制表現的差異性並不大，故政府此時應以追求整體社會總減量成本最低為主要目標，此時的儲存機制設計不妨可以參考美國酸雨交易制度，讓所有未用完的排放權全額的保留到未來使用。當政府想要採用較為嚴格的管制標準時，儲存機制對於環境品質變異的影響就會較為明顯，由表 4 的模擬結果來看，在 30% 的減量管制下，CAFE 之儲存規則與酸雨交易市場儲存規則皆會造成環境品質較大的變異，而台灣環保署規則、ERMS 規則與 LEV 規則則沒有太明顯的差異，因為台灣環保署規則與 LEV 規則僅會在模擬的五年期間裡，出現一次實際污染排放數量高過政府排放權發行數量的狀況且僅偏離了 1% 的水準，而 ERMS 規則則完全不會出現有偏離超過 1% 的情形，基於此，我們接著由表 2 之結果來比較台灣環保署規則、ERMS 規則與 LEV 規則在總減量成本方面的表現，結果顯示，這三種儲存規則的總減量成本分別是新台幣 56.097 億、53.124 億與 54.024 億，亦即使用 ERMS 規則與 LEV 規則能比台灣環保署規則分別省下 6% 與 4% 的減量總成本，故將環境品質變異與總減量成本同時納入考量後，ERMS 規則應當是管制標準嚴格下，更適合高屏空品區的儲存機制，亦即在現行的減量成本結構下，政府可考慮將排放權儲存政策由不斷的進行八折折扣改為讓沒有用完的排放權全數的儲存一年。

## V、結論與政策建議

本研究模擬分析高屏空品區之  $SO_x$  減量管制在各種可能的排放權儲存機制下，對排放權市場交易情況、減量成本和環境品質變異間的影響，從而由現行的各個交易制度中，找尋出適合當地的排放權儲存設計。研究結果顯示，在允許排放權儲存的狀態下，不論減量管制標準或儲存機制為何，大部

表 2 模擬結果

排放權儲存規則 (儲存係數)	減量標準	總減量成本 (億元新台幣)	SO <sub>2</sub> 減量水準 (公噸)	排放權交易量 (公噸)	排放權儲存量 (公噸)	平均減量成本 (\$新台幣/公噸)
台灣環保署規則 (0.8,0.64,0.51,0.41)	10% 20% 30%	16.915 34.576 56.097	38,283 76,567 114,850	11,162 20,883 28,884	772 112 823	44,006 45,144 48,774
酸雨交易市場規則 (1,1,1,1)	10% 20% 30%	16.346 34.276 52.881	38,283 76,567 114,850	11,483 20,857 42,279	1,949 1,660 11,066	42,699 44,766 46,044
ERMS 規則 (1,0,0,0)	10% 20% 30%	16.581 34.319 53.124	38,283 76,567 114,850	10,993 20,910 30,125	557 265 340	43,312 44,822 46,255
LEV 規則 (0.8,1,1,1)	10% 20% 30%	16.406 34.282 54.024	38,283 76,567 114,850	11,704 21,046 29,894	840 610 376	42,856 44,773 47,039
CAFE 規則 (1,1,1,0)	10% 20% 30%	16.578 34.142 53.085	38,283 76,567 114,850	12,345 21,028 33,203	3,869 797 9,911	43,303 44,591 46,221
RECLAIM 規則 (0,0,0,0)	10% 20% 30%	17.140 36.520 63.701	38,283 76,567 114,850	10,738 20,213 27,711	0 0 0	44,771 47,697 55,465

資料來源：本研究。

表 3 排放權均衡價格

單位：\$新台幣/公噸

排放權儲存規則	減量標準	第一年	第二年	第三年	第四年	第五年
台灣環保署規則	10%	19,077	23,847	18,066	22,584	20,700
	20%	19,743	24,678	30,846	25,797	14,979
	30%	106,047	132,561	39,786	49,734	62,166
酸雨交易市場規則	10%	20,592	20,592	20,592	20,592	20,592
	20%	18,126	18,126	18,126	18,126	18,126
	30%	26,529	26,529	26,529	26,529	26,529
ERMS 規則	10%	32,430	20,214	20,214	20,214	20,214
	20%	24,021	17,829	17,829	16,206	16,206
	30%	81,552	81,552	81,552	16,173	15,402
LEV 規則	10%	18,747	17,370	17,370	17,370	17,370
	20%	45,831	17,388	17,388	17,388	17,388
	30%	58,500	63,888	63,888	17,631	17,631
CAFE 規則	10%	31,968	31,968	31,968	31,968	31,968
	20%	197,100	197,100	197,100	197,100	197,100
	30%	20,352	20,352	20,352	20,352	20,352
RECLAIM 規則	10%	19,077	19,161	30,597	28,605	20,991
	20%	22,680	55,218	22,713	65,625	15,108
	30%	62,151	134,598	41,871	26,946	52,620

資料來源：本研究。

表 4 各儲存機制下之實際年度污染排放情形

排放權儲存規則	減量標準	第一年	第二年	第三年	第四年	第五年
台灣環保署規則	10%	68,524 (-1%) <sup>1</sup>	69,219 (0%)	68,524 (-1%)	69,219 (0%)	68,910 (0%)
	20%	61,212 (0%)	61,216 (0%)	61,310 (0%)	61,253 (0%)	61,253 (0%)
	30%	53,390 (0%)	53,762 (0%)	52,985 (0%)	54,082 (1%)	53,600 (0%)
酸雨交易市場規則	10%	68,514 (-1%)	68,810 (0%)	68,794 (0%)	69,074 (0%)	69,357 (1%)
	20%	60,505 (-1%)	61,334 (0%)	61,759 (1%)	61,334 (0%)	61,334 (0%)
	30%	53,124 (-1%)	51,943 (-3%)	50,009 (-7%)	56,558 (6%)	56,350 (5%)
ERMS 規則	10%	68,910 (0%)	68,801 (0%)	68,739 (0%)	69,023 (0%)	69,078 (0%)
	20%	61,253 (0%)	61,137 (0%)	61,370 (0%)	61,105 (0%)	61,402 (0%)
	30%	53,472 (0%)	53,507 (0%)	53,811 (0%)	53,597 (0%)	53,597 (0%)
LEV 規則	10%	68,910 (0%)	68,517 (-1%)	69,023 (0%)	69,023 (0%)	69,023 (0%)
	20%	61,253 (0%)	61,137 (0%)	61,246 (0%)	61,008 (0%)	61,623 (1%)
	30%	53,597 (0%)	53,479 (0%)	53,714 (0%)	53,339 (-1%)	53,855 (1%)
CAFE 規則	10%	66,603 (-3%)	70,109 (2%)	69,775 (1%)	68,939 (0%)	69,123 (0%)
	20%	60,933 (-1%)	61,334 (0%)	61,334 (0%)	61,334 (0%)	61,331 (0%)
	30%	52,706 (-2%)	51,574 (-4%)	51,910 (-3%)	56,688 (6%)	55,105 (3%)
RECLAIM 規則	10%	68,910 (0%)	68,910 (0%)	68,910 (0%)	68,910 (0%)	68,910 (0%)
	20%	61,253 (0%)	61,253 (0%)	61,253 (0%)	61,253 (0%)	61,253 (0%)
	30%	53,597 (0%)	53,597 (0%)	53,597 (0%)	53,597 (0%)	53,597 (0%)

資料來源：本研究。

註 1：括號內數字為環境品質變異數值，該數值為實際污染排放偏離政府所設定排放量（或年度初始分配量）之比例。

分廠商皆是在第一與第二年採取高於政府所設定目標的減量行為，並進行排放權儲存，且在第四與第五年時使用這些儲存的排放權，但在管制標準較為寬鬆時，所模擬之儲存制度皆不會對空氣品質穩定度有明顯影響，當減量管制標準提高時，酸雨交易市場與 CAFE 等賦予廠商較大減量彈性的儲存制度將會造成環境品質較大的變異，這是因為在對儲存排放權較為友善的環境中，採行減量的廠商有更強的動機去利用規模經濟優勢在同一年度中大幅減量，連帶使排放權儲存數量會隨著管制目標趨於嚴格而增加，提高了環境品質變異的機會，這也顯示儲存機制對空氣品質穩定度的影響與管制標準的寬鬆有很大的關連。基於此，若將整體減量成本與環境品質變異度當成是選取儲存機制的指標時，我們發現在減量目標相對較為寬鬆時，因各個儲存機制都不會對空氣品質變異造成太大的影響，故政府應以總減量成本最低為考量，採用美國酸雨交易制度中的儲存機制，允許未使用完的排放權全數可儲存至未來使用，當環境管制標準提高時，最好模仿 ERMS 的儲存機制，僅讓當其未用完的排放權儲存一年，同時不進行任何的儲存抵扣。此外，我們也發現在減量管制目標越嚴格時，若想維持環境品質的穩定性，整體社會需要付出更大的代價，政府可根據此處之模擬數據進行減量目標訂定。

根據上述結論，本研究在此提供政府一些建議。首先，排放權儲存係數的設計可依據減量目標不同而做改變，且維持環境品質的穩定度可能需要付出額外高昂的代價，再者，雖然台灣環保署的儲存規則在管制標準寬鬆時，表現得中規中矩，但由實際運作的角度來看，目前環保署的儲存規則對於廠商來說仍顯得有些複雜，既然環保署的儲存規則由減量彈性與維持環境穩定度來看並沒有特別出色，政府實可考慮直接利用酸雨交易制度的儲存規則，不但可以節省下些許總減量成本，相同的儲存係數值也可簡化廠商的污染減量決策。熱點 (hot spot) 也是交易制度可能伴隨而來的問題，此問題也可能因儲存制度的存在進一步惡化，故政府可以仿效美國 ERMS 設立一個 Alternative Compliance Market Account 來負責在市場中扮演買回過多排放權

的角色，但因我們所模擬的交易市場是一完全競爭型態，故無法納入政府在市場中的角色，後續有興趣之讀者可以對此議題進行延伸。最後，廠商之污染排放量資料以及減量成本的相關數據，實為模擬排放權交易市場或是訂立收費費率時的重要依據，然而在本研究的資料蒐集過程中發現，台灣已有超過 15 年的時間沒有大規模且系統性的針對各行業  $\text{SO}_x$  減量成本進行調查，因此政府可積極建立此一方面的資料庫，除有利於管制政策的規劃外，亦有助相關研究的進行。

投稿日期：2016 年 12 月 21 日

接受日期：2017 年 04 月 17 日

## 附註

1. 因為  $j$  代表交易的年度， $m$  代表排放權所發放的年度，故  $j = m$  代表交易年度等同於排放權發放年度，亦即當變數下標沒有時間差時，故  $B_{m,i,j}$  在  $j = m$  時係指在某特定年被儲存下來的某單位排放權，一定是在那個年度新發行的。
2. 時間下標差  $j = m = 1$  代表著此排放權儲存滿一年。
3. 時間下標差  $j = m \geq 2$  代表著此排放權儲存滿兩年以上。
4. 第二、第三、第四以及第五年的「當期交易市場」主在交易政府在第二、第三、第四以及第五年所新發放給廠商的排放權。
5. 以式(3)來看，若某廠商在「當期交易市場」中選擇不買進或儲存排放權（亦即  $D_{m,i,j} = 0$  且  $B_{m,i,j} = 0$ ），但選擇自行減少一些污染（ $X_{m,i,j}$  為一正數），則當廠商選擇  $L_{m,i,j}$  為一比  $X_{m,i,j}$  更小的正數時， $S_{m,i,j}$  就會是個正數，此時即代表廠商在「當期交易市場」中有多餘的排放權可供出售。

## 參考文獻

- 行政院環境保護署，2002。『固定污染源空氣污染物削減量差額認可保留抵換及交易辦法』。台北：行政院環境保護署。
- 行政院環境保護署，2012。『台灣空氣品質監測網』，台北：行政院環境保護署。取自 <http://taqm.epa.gov.tw/taqm/zh-tw/Site/Pingtung.aspx>。
- 李育明，2000。「台灣地區廠商空氣污染防治成本函數之估計」，『國立臺北大學學報』。2期，1-27。
- Alberola, E. and J. Chevallier, 2009. "European Carbon Prices and Banking Restrictions: Evidence from Phase I (2005-2007)," *The Energy Journal*. 30(3): 51-79.
- Brooke, A., D. Kendrick, and A. Meeraus, 1992. *GAMS: A User's Guide*. South San Francisco, The Scientific Press, GAMS Development Corporation.
- Cronshaw, M. and J. Kruse, 1996. "Regulated Firms in Pollution Permit Markets with Banking," *Journal of Regulatory Economics*. 9(2): 179-189
- California Environmental Protection Agency, 2012. *Low-Emission Vehicle Program*. U.S.: California Environmental Protection Agency. 取自 <https://www.arb.ca.gov/msprog/levprog/levprog.htm>.
- Ellerman, A., P. Joskow, R. Schmalensee, J. Montero, and E. Bailey, 2000. *Markets for Clean Air: The U.S. Acid Rain Program*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ellerman, A. D. and J. P. Montero, 2002. "The Temporal Efficiency of SO<sub>2</sub> Emissions Trading," Working Paper, (02-003). Cambridge, MA: MIT Center for Energy and Environmental Policy Research.
- Fell, H., I. A. MacKenzie, and W. A. Pizer, 2012. "Prices versus Quantities versus Bankable Quantities," *Resource and Energy Economics*. 34(4): 607-623.
- Godby, R. W., S. Mestelman, R. A. Muller, and J. D. Welland, 1997. "Emissions Trading with Shares and Coupons When Control over Discharges Is Uncertain," *Journal of Environmental Economics and Management*. 32(3): 359-381.
- Gulli, F., 2008. *Markets for Carbon and Power Pricing in Europe*. Massachusetts: Edward

Elgar Publishing Inc.

Illinois Environmental Protection Agency, 1996. *Technical Support Document for VOM Emissions Reduction Market System*. Springfield, IL: Bureau of Air, Illinois Environmental Protection Agency.

Innes, R., 2003. "Stochastic Pollution, Costly Sanctions, and Optimality of Emission Permit Banking," *Journal of Environmental Economics and Management*. 45(3): 546-568.

Johnson, S. L. and D.M. Pikelney, 1996. "Economic Assessment of the Regional Clean Air Incentives Market: A New Emissions Trading Program for Los Angeles," *Land Economics*. 72(3): 277-297.

Klier, T. and J. Linn, 2011. "Corporate Average Fuel Economy Standards and the Market for New Vehicles," *Annual Review of Resource Economics*. 3: 445-462.

Leiby, P. and J. Rubin, 2001. "Intertemporal Permit Trading for the Control of Greenhouse Gas Emissions," *Environmental and Resource Economics*. 19(3): 229-256.

Phaneuf, D. J. and T. Requate, 2002. "Incentives for Investment in Advanced Pollution Abatement Technology in Emission Permit Markets with Banking," *Environmental and Resource Economics*. 22(3): 369-390.

Requate, T., 1998. "Incentives to Innovate under Emission Taxes and Tradeable Permits," *European Journal of Political Economy*. 14(1): 139-165.

Rubin, J. D. and C. Kling, 1993. "An Emission Saved is an Emission Earned: An Empirical Study of Emission Banking for Light-Duty Vehicle Manufacturers," *Journal of Environmental Economics and Management*. 25(3): 257-274.

Rubin, J. D., 1996. "A Model of Intertemporal Emission Trading, Banking, and Borrowing," *Journal of Environmental Economics and Management*. 31(3): 269-286.

Tietenberg, T., 1985. *Emission Trading: An Exercise in Reforming Pollution Policy*. Washington, D.C.: Resources for the Future.

## 附錄

變數	變數名稱
$i$	代表廠商之下標
$m$	代表時間之下標
$j$	另一代表時間之下標
$s$	代表廠商所使用的污染防治技術之下標
$h_i$	廠商 $i$ 在基準年的歷史污染排放量
$g$	政府針對每個廠商所設定的年污染減量管制目標比率
$\delta$	折現率
$X_{m,i,j}$	廠商 $i$ 在 $j$ 年度的污染減量
$D_{m,i,j}$	廠商 $i$ 在年度 $j$ 中在「當期交易市場」所購買的排放權
$S_{m,i,j}$	廠商 $i$ 在年度 $j$ 中在「當期交易市場」所賣出的排放權
$B_{m,i,j}$	廠商 $i$ 在年度 $j$ 中於「當期交易市場」所儲存的排放權
$l_{m,i,j}$	政府在年度 $j$ 對廠商 $i$ 所設定的污染應減量目標
$D1_{m,i,j}$	廠商 $i$ 在年度 $j$ 中在「新鮮儲存排放交易市場」購買的排放權
$D2_{m,i,j}$	廠商 $i$ 在年度 $j$ 中在「老舊儲存排放權交易市場」購買的排放權
$S1_{m,i,j}$	廠商 $i$ 在年度 $j$ 中在「新鮮儲存排放交易市場」賣出的排放權
$S2_{m,i,j}$	廠商 $i$ 在年度 $j$ 中在「老舊儲存排放權交易市場」賣出的排放權
$B1_{m,i,j}$	廠商 $i$ 在年度 $j$ 中在「新鮮儲存排放交易市場」儲存的排放權
$B2_{m,i,j}$	廠商 $i$ 在年度 $j$ 中在「老舊儲存排放權交易市場」儲存的排放權
$L1_{m,i,j}$	廠商 $i$ 在年度 $j$ 且 $j = m \geq 2$ 時，於「當期交易市場」中自行選擇的污染減量目標水準
$Fl_{m,i,j}$	廠商 $i$ 在年度 $j$ 中，於「新鮮儲存排放權交易市場」中所選擇的污染應減量水準
$Ol_{m,i,j}$	廠商 $i$ 在年度 $j$ 時，於「老舊儲存排放權交易市場」中所選擇的污染應減量水準
$\theta_1$	儲存滿一年排放權所需面對的儲存係數
$\theta_2$	儲存滿二年排放權所需面對的儲存係數
$\theta_3$	儲存滿三年排放權所需面對的儲存係數
$\theta_4$	儲存滿四年排放權所需面對的儲存係數

資料來源：本研究。

## An Economic Analysis of the Banking Design for the Permit Trading System in Taiwan: An Example of Sulfur Oxide Control\*

Liao Chao-ning\*\*

*In order to provide more flexibility of pollution control for firms under tradable permit systems, many trading programs have the banking design. However, the design would cause higher environment quality variations. It means that a tradeoff exists between the flexibility of emission control and the environmental quality stability under permit banking. Therefore, many programs have applied the saving coefficients to restrict the amount of banked permits that can be carried for the future use. The study builds an economic model that does not require a systematic relationship among each saving coefficient to analyze how different banking rules might affect the environmental stability and total abatement costs in Taiwan. Using the Sulfur Oxide control in the Kao-hsiung and Ping-tung areas as an empirical example, the simulation results show that the proposed banking rules by Taiwan and the banking rules currently adopted by other countries all only have minor impacts on the environmental stability when the regulation standard is low. Thus, we should use the rules from the Acid Rain Trading Program which imposes no penalty on the banked permits to reach the lowest total abatement costs while offering the highest emission control flexibility at this stage. When the standards are more strict, we should follow the rules by the Emission Reduction Market System in Chicago which let the permits banked for only one year. It*

---

\* The author would like to thank the referees for their valuable comments. This paper is funded by the Ministry of Science and Technology (NSC102-2410-H-007-008-) and the Low Carbon Energy Research Center at National Tsing-Hua University.

\*\* Associate Professor, Department of Economics, National Tsing-Hua University. No 101, Sec 2, Kuang-Fu Rd. Taiwan. Tel: 03-5162138, FAX: 03-5629805, E-mail: liaocn@mx.nthu.edu.tw.

*also implies that the current rules proposed by the Taiwan government do not perform well both in terms of the emission control flexibility and the environmental stability.*

**Keywords:** *Permit Trading, Banking Design, Saving Coefficient*