

燃煤電廠溫室氣體減量設備投資之效益評估

曾信超

長榮大學經營管理研究所副教授 EMBA 執行長

黃先鋒

長榮大學經營管理研究所博士候選人

李昀真

長榮大學經營管理研究所博士候選人

摘要

本研究應用 TAIGEM-D 模型之模擬情境方法，從環境管理成本探討燃煤電廠溫室氣體(SO_x 及 CO₂)減量設備投資策略是否具有經濟效益。首先，設計出三種減量模擬情境，分別為：模擬情境(A)：節省環境成本最小值(為悲觀狀況)；模擬情境(B)：節省環境成本最大值(為樂觀狀況)；模擬情境(C)：為模擬情境(B)加上空氣污染稅。並以台電某燃煤電廠作為實證研究對象。研究結果：SO_x減量設備投資方案濕式石灰石(石膏法)之節省環境成本模擬情境(A)、(B)、(C)分別為 0.0137(元/度)、0.0099(元/度)及 0.1071(元/度)，經濟效益模擬情境(A)、(B)、(C)分別為 0.0073(元/度)、0.0035(元/度)及 0.1007(元/度)，顯示 SO_x減量設備投資方案較濕式石灰石(石膏法)具有顯著經濟效益，值得投資。CO₂減量設備投資方案海洋儲置 CO₂固定技術之節省環境成本模擬情境(A)、(B)、(C)分別為 0.0144(元/度)、0.0103(元/度)及 0.1477(元/度)，經濟效益模擬情境(A)、(B)、(C)分別為 0.0069(元/度)、0.0028(元/度)及 0.1402(元/度)，顯示 CO₂減量設備投資方案較海洋儲置 CO₂固定技術具有顯著經濟效益，值得投資。

關鍵字：環境管理成本、經濟效益、模擬情境

通訊作者:黃先鋒

電子信箱:u215881@taipower.com.tw

壹、緒論

環境管理會計制度 (Environment Management Accounting System) 又稱綠色會計 (Green Accounting)，係一種經由管理的機制結合環境保護與會計作業之一種資訊制度，其重點在將企業現有環境活動對財務的影響，透過此項制度予以衡量、處理及揭示(Roger,2004)。換言之，企業由於此制度所產生的資訊，可以對過去與未來有關環境的任何規劃及發展議題，均能從財務面，作完整及充分的分析與檢討，進而有效提昇國家及企業永續發展的決策品質。回顧過去台灣經濟發展的過程，電力產業發展不僅是帶動經濟成長的主要手段，亦是奠定經濟奇蹟的基石。早期電力工業之經營，由於當時尚未具備環保的概念，因而對於環境保護之議題並未加以重視。隨著我國經濟的逐漸發展，以及地球環境問題日趨嚴重，包括溫室效應、全球暖化、臭氧層破壞、熱雨林消失、生物多樣性減少、資源過度消耗，更直接、間接地影響社會安全，使得環境保護意識受到重視。自 1997 年聯合國氣候變化綱要公約(Framework Convention on Climate Change, FCCC)第三次締約國大會(COP3)簽署通過「京都議定書」(Kyoto Protocol)以來，對世界各主要國家具體落實溫室氣體減量已構成相當大的經濟、政治與社會壓力(徐世勳、李慧琳、李秉正、黃宗煌，1998)，如何研擬適當的因應對策，期能以最少的社會成本達到減量目標，已成為各國施政的重要課題之一。

長久以來，企業並未對其環境資料作妥善的收集與整理，亦未能充分了解企業資源規劃投資效益，僅認為環境投資只會增加企業經營成本，而錯失許多可藉由投資環境保護所獲取的效益(Shunrong,2005)。換言之，企業財務資訊中對於環境成本部份，目前尚潛藏在其他科目中無法清楚地辨認，以致於企業投資決策過程對於永續發展關鍵問題無法得到妥善的處理，而增加污染清除等社會成本(Dunk,2002)。傳統的成本效益分析，企業常使用單一成本制度，但難以衡量環境成本負擔，也無法辨識環境投資決策對環境永續性及社會責任的具體效益，引發本研究從環境管理會計角度探討燃煤電廠環境溫室氣體減量策略設備投資之效益評估。

因為燃煤火力發電大量使用能源，造就了經濟快速發展，但也大量釋放硫氧化物(SO_x)及二氧化碳(CO₂)的氣體，造成臭氧層衰竭，產生溫室效應(由大量二氧化碳、甲烷及氧化亞氮所導致的現象)。因此能源效率的改善、製程改善、節約能源技術研發、產品組合改變與附加價值提高等是空污排放減量的重要途徑

，亦是國營事業因應 SO_x 及 CO₂ 排放減量應重視的經營管理策略。

有鑑於此，本研究以台灣電力公司某燃煤發電廠排放 SO_x 及 CO₂ 個案研究為對象，從環境管理會計觀點考量環境成本，並參考台灣一般均衡動態模型(Taiwan General Equilibrium Model-Dynamic，簡稱 TAIGEM-D)之減量策略，設計出以下三種之減量模擬情境：模擬情境(A)：取節省環境成本最小值（悲觀狀況）；模擬情境(B)：取節省環境成本最大值（樂觀狀況）；模擬情境(C)：搭配模擬情境(B)之能源使用效率提升策略，對煤炭燃料能源課徵碳稅(空污稅)。本研究利用上述三種模擬情境，計算 SO_x 及 CO₂ 減量設備投資方案之經濟效益(節省環境成本-資產成本)，以構建適合於燃煤電廠投資 SO_x、CO₂ 減量設備投資策略評估模式，作為電力公司日後興建燃煤電廠評估採用 SO_x、CO₂ 等空氣污染減量防治設備，作為減少製程對環境影響，改善環境績效等重要資訊之工具，或進一步應用於成本分攤、投資分析(財務評估)、製程設計等更具潛力的應用上。

貳、文獻回顧

一、環境管理會計制度之建置

我國環保署自 2000 年起，進行我國第一套建立產業環境會計制度的研究計畫，研究計畫中擬推動的環境支出共計有 38 項，是參考日本環境廳於 2000 年發展之「發展環境會計系統 2000 年報告」中列示之項目，並於 2002 年底前建置我國第一套環境會計制度，確立產業環境會計制度架構（沈華榮，2002）。2003 年起，實施我國第一套產業環境會計制度，建立我國環境相關之資訊網路，作為衡量企業對環保貢獻的客觀依據（經濟部工業局，2001）。

國內企業所使用的環境成本分為六大類及其他小項（沈華榮，2003）。六大類為：

- 1、企業營運成本：污染預防成本、全球性環境成本、資源循環成本。
- 2、供應商及客戶之上下游關連成本：在上游或下游與生產和服務相關之活動的環境衝擊成本。
- 3、管理活動成本：人員接受環境教育訓練所衍生費用，為發展、執行環境管理系統及取得驗證所衍生費用，為監測環境影響衝擊所衍生費用、環境損害有關之保險費、人力費用或其他費用、環境規費。

- 4、研究發展成本：因環境保護所研究、開發產品之衍生費用，製造階段為減低及控制環境衝擊而衍生之研究費用，銷售階段為減低環境衝擊而衍生之研究費用。
- 5、社會活動成本：用於自然保護、綠化環境等環境改善所衍生費用、提供基金贊助社區居民環境公益活動之費用、贊助環保團體等所衍生費用、公告及宣導環境資訊與資料等衍生費用、其他環境活動。
- 6、損失及補償成本：土壤污染整治費用、環境問題和解、補償、罰鍰及訴訟等所衍生費用、水污染所衍生之費用、空氣污染所衍生之費用、水土保持整治費用。

綜合以上國內之環境管理會計的建置發展，台灣以個案研究之經驗累積，作為環境會計推動之藍圖。因此本研究採用台灣電力公司某燃煤電廠個案研究，作為環境會計成本研究之對象。

二、環境會計成本分類

環境成本一般來說，分成內部環境成本與外部環境成本兩大類，又簡稱內部成本與外部成本。內部成本是公司已付出與環境相關的成本，含環境保護、公害防治、廢棄物處理、環境回復等成本(Gary,1993)。長期被隱藏在其他不同會計項目下的環境相關成本，可經由會計管理原則依環境會計的意涵，歸入相關的製程或產品成本內，以了解其真實的環境成本，作為環境管理及環境績效提升的重要決策參考。而真實環境成本把與環境有關的活動分類，轉換成設計的架構，再與會計、財務、資訊系統結合，即可了解成本與效益，例如投入環保設備後，檢視節省能源及二氧化碳、硫化物減量成效，透過環境會計的量化資料，可以評估成本與效益，進一步協助決策者有效處理。

(一)內部環境成本

由於環境成本是除了傳統成本之外，要再辨識一些可能被忽略的間接項目，所以內部環境成本除了直接成本外，尚包含其他的項目：

- 1.直接成本：又稱傳統成本，指傳統財務分析的資金支出，例如原料、設備等。
- 2.間接成本：又稱潛藏成本，指不直接與產品、程序或設備有關之成本，包括前期性成本、污防設備操作成本，以及後期性成本。

- 3.偶發成本：指將來可能發生之成本，包括因環保意外疏失所招致意外賠償、罰金及清除成本等。
- 4.形象與關係成本：指與公司形象及公關有關而導致收益改變之成本，例如與消費者、投資者、原料供應商、鄰近社區的認知、員工士氣及與政府之關係。包含公司出版環保刊物及年報、贊助社區相關環保活動，或頒發給環保有功人員獎金等。

(二)外部環境成本

外部環境成本是企業在傳統財務上無法掌握的部份，例如企業對環境和社會的衝擊等。Japan Environmental Agency (2005) 則將外部環境成本分為四大類：

- 1.日常成本與營業成本 (usual cost and operating costs)：與產品結合的成本，如建物廠房、設備、材料、訓練、人工、能源的成本，大都屬直接成本。
- 2.隱藏性法規成本 (hidden regulator costs)：為遵循政府法令所發生的成本，如申報 (notification)、報告、許可、監督、試驗與檢查的成本。
- 3.或有負債成本 (contingent liability costs)：即偶發成本 (contingent costs)，包含未遵循環保法規所發生的成本，例如罰鍰、賠償、訴訟，例行工作的財產損失等。
- 4.較不具體成本 (less tangible costs)：或稱無形成本，藉減少或消除污染而製造具有環境親和性的產品所發生之成本。此成本能增進消費者滿意度、主雇關係與企業形象，也會增加收入或費用的減省。

環境成本依辨認程度區分為三個分類(Kennedy,1997)：

- 1.潛藏成本 (potentially hidden cost)：即為符合或自願性超越與環境活動相關法規的支出，包括營運前端、後端與加工的支出。
 - (1)法規本：與環保相關的法規支出，包含通告、報告、偵測、記錄、訓練、監控、防預性設備、環境保險、污染控制、廢棄物管理及規費等。其中許多支出常常被企業隱含在一般的營運管理成本。
 - (2)營運成本：包含為達環境保護的前端作業，如廠區分析、規劃、許可證明、研究發展及工程安裝等。這些支出很容易被列入間接成本，在決策或評估生產成本或製程時而被忽略。
 - (3)自願性支出成本 (超越法規要求)：尋求環保合格供應商、環境評估報告、回收利用、環境研究與其他環境計畫等。這部份的支出往往被列入營運管理成本中。

2.或有成本 (contingent cost): 將來可能發生的成本, 如違反環保法規的罰款或賠償, 環保意外疏失引發的賠償損失或法律成本。

3.形象及公關成本: 包括消費者、社區與非政府組織發展關係的成本, 包括組織形象、職工關係、上下游關係與社區關係等公關成本, 例如贊助或參加環保團體及活動等。這些支出並不容易覺察, 但卻對環境管理有助益。

企業透過環境會計制度的建立, 可以更完整地呈現與衡量環境的成本, 有助於經營績效的提升 (Mehenna and Vernon, 2004)。在內部效益方面, 可藉環境財務資訊了解與降低企業環境的風險, 以及降低環境衝擊與支出, 增加競爭力。在外部效益方面, 可以適時與正確的環境資訊, 強化企業的社會責任, 提升企業形象。

三、燃煤電廠環境成本分類

一般環境成本系統領域太廣, 對於環境成本分類有些項目並非一體適用, 而且台電燃煤電廠本身尚未有標準化之環境成本會計, 因此本研究參考國內外文獻, 將燃煤電廠環境成本項目歸類為: (一)直接環境成本: 分為對環境與人員直接衝擊所造成影響的直接成本, 如防止公害的環境污染管制成本及員工健康成本 (徐瑜青、王燕祥、李超, 2002)。(二)間接環境成本: 如敦親睦鄰的費用 (獎學金、專案補助、捐款等)、文宣活動 (溝通費、贊助社區活動費、文宣刊物、資訊公佈等)。(三)隱藏環境成本: 如偶發成本 (環保意外、罰款、賠償)、潛藏成本 (生態保護費、環境的研發、設計改善之費用), 如表 1 所示。

表 1 燃煤電廠環境成本項目之分類

直接環境成本	間接環境成本	隱藏環境成本
除灰作業成本	獎學金費用	罰款費用
灰場作業成本	專案補助費用	賠償金費用
水處理成本	捐款費用	意外處理費用
廢棄物處理成本	溝通費用	生態保護費用
空污防治成本	贊助社區費用	
環境綠化成本	改善之費用	
職工體檢成本	文宣刊物費用	
	資訊傳遞費用	
	環境的研發費用	
	設計費用	

資料來源：本研究整理

四、TAIGEM-D 模型

台灣一般均衡動態模型(Taiwan General Equilibrium Model - Dynamic，簡稱 TAIGEM-D)，不但可用以分析溫室氣體減量對個別產業(包括產量、產品價格、產業別就業量、減量成本等)和總體經濟的影響(包括物價、就業、產量、國際貿易、能源需求結構、經濟成長等)，而且亦能評估能源與環境政策所造成之社會成本，對協助企業研擬各項策略，均有相當大的助益(徐世勳、李慧琳、李秉正、黃宗煌，1999b)。TAIGEM 模型中較特殊之處即其對能源產品及電力部門的細分，以及其資料庫中，包括二氧化碳排放量、電力公司各發電機組發電量及其他能源產品之熱值含量等資料作有效的分析，亦可評估比較溫室氣體減量措施所造成之經濟效益。因此本研究應用 TAIGEM-D 模型探討燃煤電廠溫室氣體減量策略之經濟效益評估。

TAIGEM-D 模型用於分析溫室氣體減量議題均利用不同的動態機制，作溫室氣體排放的基線預測及相關減量政策的模擬。TAIGEM-D 模型在預測二氧化碳排放基線之動態機制，乃透過投資為內生給定的遞歸動態機制來運行。由於生產行為動態機制的設定，涉及產業的投資、資本存量的變動與預期的投資報酬率等的假設，因此本研究應用 TAIGEM-D 進行溫室氣體排放減量的預測，主要是透過產業生產投資行為的動態機制來運作。

TAIGEM-D 模型對能源部門有相當詳細的刻劃，尤其是對能源部門內用以生產其給定產出的各種可能生產技術的設定與選取採用了詳細的資訊。為凸顯電力部門在溫室氣體減量議題中的重要性，本研究應用 TAIGEM-D 模型技術配套 (technology bundle) 法來刻劃電力部門的生產結構，以整合「由下而上」模型及「由上而下」模型的長處(徐世勳、李慧琳、李秉正、黃宗煌，1999a)。技術配套法的優點在於確保各生產技術的要素使用型態與實際可行之生產技術的要素使用型態間的一致性，並且更實際地刻劃要素投入價格變化所牽動之要素使用型態的改變，而且在給定某一政策變動下，可以藉由技術配套法得知各種技術使用的消長變動情形。

本研究為了提昇資料處理的品質，應用 TAIGEM-D 模型在燃煤電廠二氧化碳排放係數時，不僅僅是考量了使用初級化煤炭能源的二氧化碳排放，並更進一步深入地追蹤能源轉換後，使用次級能源所造成的排放狀況。能源別的碳排放係數是來自於政府間氣候變遷專家小組 (Inter-governmental Panel on Climate Change; IPCC) 的報告 (USEPA, 2004)。本研究求算燃煤電廠二氧化碳排放係數之方法是將 TAIGEM 之模型資料庫中各燃煤電廠每部機組之能源使用價值轉換成各燃煤電廠每部機組最大發電量 (千瓦/小時)，乘上能源別二氧化碳排放係數之後，即可得到燃煤電廠每部機組之二氧化碳排放總量。

參、研究方法

本文從環境管理會計制度針對電力事業燃煤電廠對 SO_x 及 CO₂ 減量管制政策構建一套空氣污染防治環境會計成本與環境效益評估模式，提供企業對發電投資能更符合環保經濟效益。

一、模擬情境

透過減量情境之設計，以產生對二氧化碳排放量產生抑制效果之應用與直接管制措施等，均屬於各類型溫室氣體減量中最常被提起討論的議題，因此本文考慮下列四種減量策略：一是，能源效率提昇策略，屬於無悔策略(no-regret policy)；其次，能源替代策略，以低碳能源(如天然氣)取代高碳能源(如燃煤)；最後為經濟政策工具，如課徵碳稅或排放權交易。

實際上，減量策略之運用是可以互相搭配使用，因為策略運用目的是要將我國 CO₂ 排放量降至最低，因此本研究參考上述之三種減量策略，設計出以下三種減量模擬情境：

- (一)模擬情境(A)：節省成本最小值。
- (二)模擬情境(B)：節省成本最大值。
- (三)模擬情境(C)：搭配模擬(B)之能源使用效率提昇之策略，對燃煤電廠燃料能源課徵碳稅，亦即節省成本最大值再加排放 CO₂ 空污稅。

二、環境成本計算與效益分析

環境成本計算是使環境成本最小化，經濟價值最大化，以實現電廠可持續經營，電廠經營發電是營利事業亦是公用事業，因此在考量環境成本時，不但以單位個體的微觀環境會計，考量企業經營成本，更以國家經濟為對象的宏觀環境會計，負起社會企業倫理責任，例如政府課征空氣污染稅收項目，故本研究將電廠環境空污稅收成本，獨立出來做為另外環境成本計算項目。所以本研究依據前述定義之電廠環境成本項目，估算三種模擬情境因素環境成本，以探討 SO_x、CO₂ 減量方案投資是否有環境效益。

一般如日本、美國等開發中國家的電力公司營運策略及環境維護政策，在燃煤發電廠環境維護部份，其發電過程除了污染都要在合乎法規標準內，每年還必須投入包括間接環境成本及隱藏環境成本約為營運費用 8~15% (Al-Tuwaijri, Christen and Hughes,2004)。因此本研究根據開發中國家對燃煤電廠環境成本預算的標準，以及電廠歷年來投入有關於環境支出的費用情形加以推算，並針對台電公司燃煤電廠每年投入環保防治費用，預測估計 SO_x、CO₂ 減量設備投資前後的環境成本，如表 2 所示。

從表 2 得知，燃煤電廠環境防治成本，其估算不確定性高，環境成本預算範圍太大，最大值與最小值費用相差約有一倍，所以本研究將模擬情境假設為三種狀況：一為模擬情境 (A)：指節省環境成本最低值(ΔE_{min})，包括直接環境成本 (DEC_{min})、間接環境成本 (IEC_{min}) 及隱藏環境成本 (HEC_{min}) (悲觀狀況)；二為模擬情境 (B)：指節省環境成本最高值(ΔE_{max}) (樂觀狀況)；三為模擬情境 (C)：模擬情境 (B) 加空污稅 (APRC)。模擬之三種情境模式如表 3 所示：

表 2 AA 燃煤電廠環境防治成本估計費用分析表

環境防治費用分類 (EPct)	未設置減量設 備前投入成本	SO _x 減量設 備投入成本	CO ₂ 減量設 備投入成本
直接環境成本 (DEC) (億元/年)	0.91	1.35	1.11
間接環境成本 (IEC) (億元/年)	2.25	1.15	1.63
隱藏環境成本 (HEC) (億元/年)	4.35	1.82	2.24
合計(DEC+IEC+HEC)	7.61	4.32	4.88

資料來源：台電 AA 電廠 2006 年營業績效報表之整理

表 3 模擬情境 (A)、(B)、(C)

模擬情境 (A)	$\Delta E_{min} = \Delta DEC_{min} + \Delta IEC_{min} + \Delta HEC_{min}$
模擬情境 (B)	$\Delta E_{max} = \Delta DEC_{max} + \Delta IEC_{max} + \Delta HEC_{max}$
模擬情境 (C)	$\Delta E_{max} + APRC = \Delta DEC_{max} + \Delta IEC_{max} + \Delta HEC_{max} + APRC$

ΔDEC_{min} 、 ΔIEC_{min} 、 ΔHEC_{min} 、 ΔDEC_{max} 、 ΔIEC_{max} 、 ΔHEC_{max} 、 $APRC$ ，分別表示為 SO_x 與 CO₂ 減量設備投資前與後，直接環境成本、間接環境成本及隱藏環境成本等，所節省之最低與最高成本差額， $APRC$ 則表示未來國家可能課征之空污稅。

將模擬情境 (A)、(B)、(C) 換算為單位發電環保成本：

模擬情境 (A)： $\Delta UE_{min} = \Delta E_{min} / \text{年度機組發電量}$

模擬情境 (B)： $\Delta UE_{max} = \Delta E_{max} / \text{年度機組發電量}$

情境(C)： $\Delta UE_{max} + APRC = (\Delta E_{max} + APRC) / \text{年度機組發電量}$

其中， ΔUE_{min} ：環境成本最小差值

ΔUE_{max} ：環境成本最大差值

$\Delta UE_{max} + APRC$ ：環境成本最大差值加空污稅

$APRC$ ：空污稅

考量環境成本之後計算其投資減量方案之環境效益

$$\text{模擬情境 (A): } EB_A = (UE_{\min} + UBC) - UAC$$

$$\text{模擬情境 (B): } EB_B = (UE_{\max} + UBC) - UAC$$

$$\text{模擬情境 (C): } EB_C = (UE_{\max} + APRC + UBC) - UAC$$

其中， EB_i ：環境效益； $i = A, B, C$

UAC ：空污防治機組設備單位發電量平均投資成本

肆、研究結果

燃煤發電廠是台電公司重要生產電力工廠，本研究將以台電公司 AA 燃煤發電廠為分析對象，評估燃煤發電機組發電後其排放 SO_x 及 CO_2 煙氣對空氣之影響，其分析資料之取自 AA 燃煤火力發電廠 2006 年營運成本。AA 燃煤電廠共裝置 #1、#2 號機燃煤汽力機組，每部機組裝置發電容量為 500MW (50 萬度/小時)。

一、燃煤電廠投資 SO_x 及 CO_2 設備環境成本與環境效益評估

本研究依據國內燃煤電廠的實際運轉現況，構建燃煤電廠 SO_x 及 CO_2 空污設備， SO_x 減量設備投資方案為濕式石灰石—石膏法， CO_2 減量設備投資方案為海洋儲置 CO_2 固定技術，其環境成本與環境效益評估流程如圖 1 所示：

二、投資前後單位發電成本比計算

(一) 發電成本資料收集

收集 95 年度有關於發電成本，如燃料費、營運費、維護費、折舊、稅捐等加總後，除以發電量，可計算出發電成本，稱之單位發電成本 (UGC)。

(二) 環保防治成本

台電燃煤電廠目前尚未建立一套完整的環境會計制度，本研究參考國內外電業經營分析，一般如日本、美國等開發中國家的電力公司營運策略及環境維護政策，因此根據開發中國家對燃煤電廠環境成本預算的標準，再加上目前台電燃煤電廠的經營狀況，以及多年從事環保工程規劃的經驗，燃煤電廠每部機組每年投入環保防治費用，應以年度單一機組營運費用為合理的預算成本，環境成本項目明細估計可由表 4 所示。

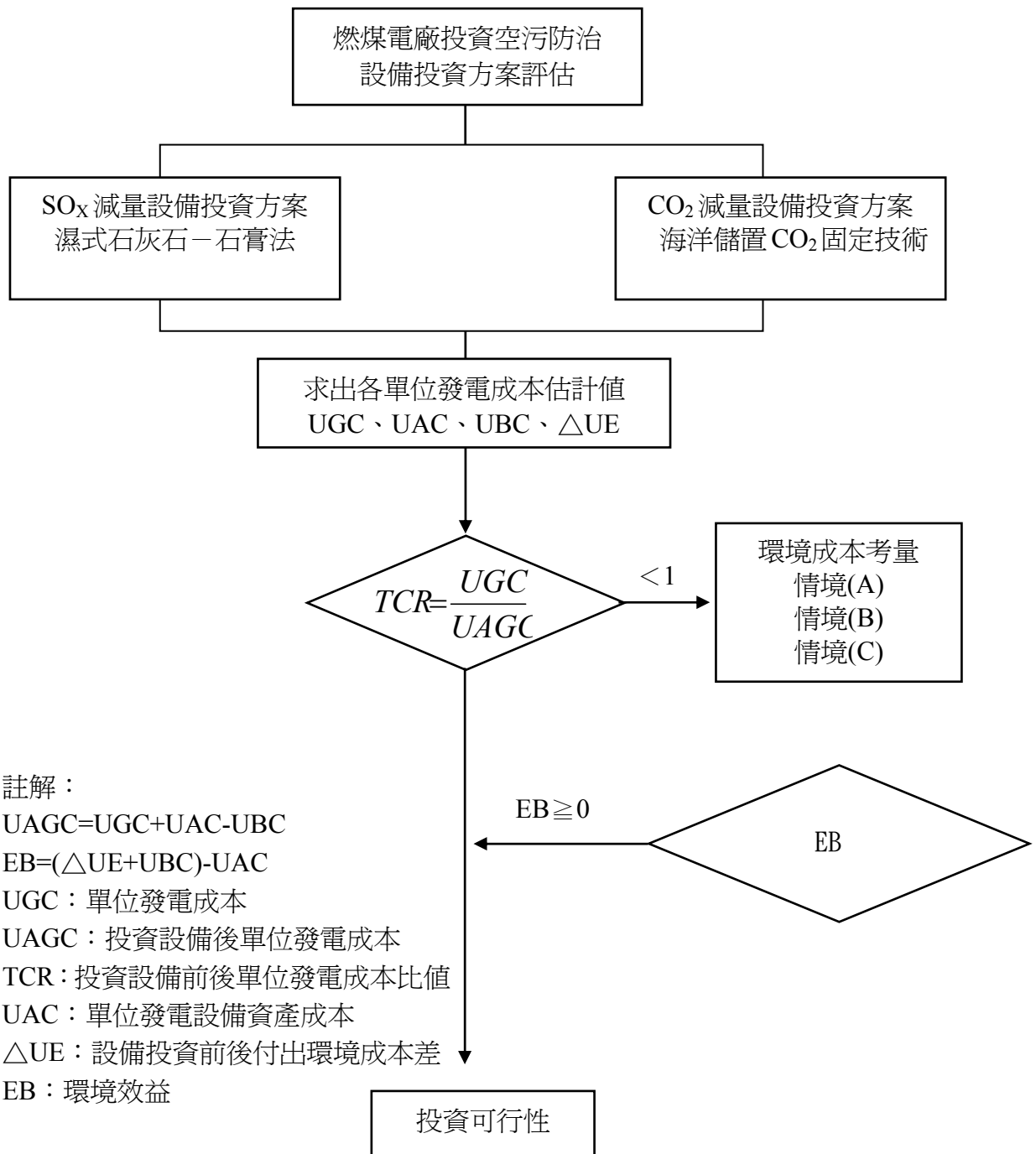


圖 1 燃煤電廠 SO_x 及 CO₂ 設備成本評估流程

表 4 AA 燃煤電廠未裝置 SO_x、CO₂ 設備環境成本估計表

污染防治成本及項目	環境成本(萬元/年)
直接環境成本	
飛灰清除作業	120
儲灰場作業	30
水處理	120
廢棄物處理	60
空污防治	120
環境綠化	390
職工體檢	60
小計(a)	900
間接環境成本	
獎學金	300
專案補助	390
捐款	420
溝通	120
贊助社區活動	390
文宣刊物	60
資訊傳遞	120
環境的研發	120
設計	90
改善之費用	240
小計(b)	2,250
隱藏環境成本	
罰款	450
賠償金	1,200
意外處理	1,500
生態保護	1,200
小計(c)	4,350
總計 (a+b+c)	7,500 萬元/年

資料來源：台電公司 95 年預算書

因為投資減量設備會造成廢棄物、廢水及煤灰量增加，所以會增加直接環境成本，但是會降低敦親睦鄰、居民抗爭、專案補助等間接環境成本；在隱藏環境成本之支出費用，例如意外處理、生態保護等也會降低很多。但因為其環境成本

估算支出差額下限寬裕度 (Tolerance) 範圍太大，所以本研究以前面章節所探討的三種模擬情境，將其情境區分為：模擬情境 (A)：節省差額最小成本值；模擬情境 (B)：節省差額最大成本值；模擬情境 (C)：節省差額最大成本值加上空污稅。模擬情境 (A) (B) (C) 及方程式，如表 5 所示。

表 5 模擬情境環境成本估算分析表

模擬情境模式、意義與計算方程式
模擬情境 (A)：節省環境成本最小值 = 最小直接環境成本 + 最小間接環境成本 + 最小隱藏環境成本 $(\Delta E_{min} = \Delta DEC_{min} + \Delta IEC_{min} + \Delta HEC_{min})$
模擬情境 (B)：節省環境成本最大值 = 最大直接環境成本 + 最大間接環境成本 + 最大隱藏環境成本 $(\Delta E_{max} = \Delta DEC_{max} + \Delta IEC_{max} + \Delta HEC_{max})$
模擬情境 (C)：節省成本最大值加空污稅 = 最大直接環境成本 + 最大間接環境成本 + 最大隱藏環境成本 + 空污稅 (APRC) $(\Delta E_{max} + APRC = \Delta DEC_{max} + \Delta IEC_{max} + \Delta HEC_{max} + APRC)$

三、模擬情境估算

(一) TAIGEM-D 模擬分析課徵碳稅

依據環保署 1998 年所提議之二氧化碳減量目標為：在 2011 年時採取相關策略使我國在 2020 年的二氧化碳排放量回歸到 2000 年水準。因此，在此一情境下，本研究假設以 2011 年起課徵碳稅，而經由 TAIGEM-D 內生求解去觀察減量效果，模擬結果發現，當碳稅達每噸碳 3,564 元時，只能接近於 2010 年之水準。因此，本研究以目前的基準情境，以每噸碳課徵 3,564 元的碳稅為基準計算空污稅。

(二) TAIGEM-D 模型發電量與 SO_x 及 CO₂ 情境預測

TAIGEM-D 模型可透過基線預測封閉準則 (forecasting closure)，對未來 SO_x 及 CO₂ 排放量趨勢進行情境預測。由表 6 可得所推估的燃煤電廠 SO_x 及 CO₂ 排放基線預測，在表中可發現 TAIGEM-D 模型所進行的歷史模擬中，以發電量而言，皆與台電公司所公告之實際值相當接近。根據模型預測結果，在 2016 年 SO_x 排放量為 12.22 百萬公噸，CO₂ 排放量為 13.34 百萬公噸，由於該燃煤電廠於 2008 年裝設完成 SO_x 及 CO₂ 減量設備運轉，因此 SO_x 及 CO₂ 排放量於該年後呈現下降趨勢。

表 6 TAIGEM-D 模型發電量與 SO_x 及 CO₂ 排放基線預測

年	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
實際發電量	7,136	7,056	6,984	7,212	7,462**	7,335**	7,264**	7,179**
發電量 (TAIGEM-D)	7,050*	6,844*	6,635*	7,132*	7,306	7,689	7,286	7,012
SO _x 排放量	24.28	23.57	22.85	24.56	25.16	12.61	11.95	11.50
CO ₂ 排放量	30.26	29.42	28.52	30.64	31.86	13.76	13.04	12.55
年	2011	2012	2013	2014	2015	2016		
發電量 (TAIGEM-D)	7,258	7,432	7,632	7,541	7,369	7,457		
SO _x 排放量	11.91	12.19	12.51	12.36	12.08	12.22		
CO ₂ 排放量	12.99	13.30	13.66	13.48	13.19	13.34		

(單位：百萬度發電量；萬公噸 CO₂·SO_x)；*：2003 年至 2006 年為歷史模擬。

**：2007 年至 2010 年之發電量為台電公司之預測值。

(三)空污稅估算

$$\begin{aligned} \text{未裝置 SO}_x \text{減量設備前} &= [(24.28 + 23.57 + 22.85 + 24.56 + 25.16)/5] \times 3,564 \text{ 元} \\ &= 85,835 \text{ 萬元} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{裝置 SO}_x \text{減量設備後} &= [(12.61 + 11.95 + 11.50 + 11.91 + 12.19 + 12.51 + 12.36 + 12.08 \\ &\quad + 12.22)/9] \times 3,564 \text{ 元} \\ &= 43,295 \text{ 萬元} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{未裝置 CO}_2 \text{減量設備前} &= [(30.26 + 29.42 + 28.52 + 30.64 + 31.86)/5] \times 3,564 \text{ 元} \\ &= 107,419 \text{ 萬元} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{裝置 CO}_2 \text{減量設備後} &= [(13.76 + 13.04 + 12.55 + 12.99 + 13.30 + 13.66 + 13.48 + 13.19 \\ &\quad + 13.34)/9] \times 3,564 \text{ 元} \\ &= 47,246 \text{ 萬元} \end{aligned}$$

(四)未裝置 SO_x減量設備前模擬情境估算

SO_x 空污稅估計每年約 85,835 萬元/年，依據 500MW 機組裝置容量（發電量 500 萬度/小時），每年可產生 43 億 8 仟萬度電力（500 萬度/小時 × 365 天 × 24 小時 = 43 億 8 仟萬度）。由表 4 資料換算出燃煤電廠未裝置 SO_x減量設備前模擬情境 (A)、(B)、(C) 單位發電量環境防治成本，如表 7 所示。

表 7 未裝置 SO_x 設備前模擬情境 (A) (B) (C) 環境成本表

模擬情境	環境成本計算
模擬情境 (A)	最小直接環境成本 = 900(萬元/年) 最小間接環境成本 = 2,250(萬元/年) 最小隱藏環境成本 = 4,350(萬元/年) $SO_x \Delta E \min = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \Delta j E i \min$ = 最小直接環境成本 + 最小間接環境成本 + 最小隱藏環境成本 = 900 + 2,250 + 4,350 = 7,500(萬元/年) 單位發電成本 = $SO_x \Delta E \min$ / 年發電量 = 7,500(萬元/年) ÷ 438000(萬度/年) = 0.0171(元/度)
模擬情境 (B)	最大直接環境成本 = 900(萬元/年) 最大間接環境成本 = 2,250(萬元/年) 最大隱藏環境成本 = 4,350(萬元/年) $SO_x \Delta E \max = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \Delta j E i \max$ = 最大直接環境成本 + 最大間接環境成本 + 最大隱藏環境成本 = 900 + 2,250 + 4,350 = 7,500(萬元/年) 單位發電成本 = $SO_x \Delta E \max$ / 年發電量 = 7,500(萬元/年) ÷ 438000(萬度/年) = 0.0171(元/度)
模擬情境 (C)	最大直接環境成本 = 900(萬元/年) 最大間接環境成本 = 2,250(萬元/年) 最大隱藏環境成本 = 4,350(萬元/年) 空污稅(APRC) = 85,835 萬元./年 $SO_x \Delta E \max = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \Delta j E i \max + APRC$ = 最大直接環境成本 + 最大間接環境成本 + 最大隱藏環境成本 + 空污稅(APRC) = 900 + 2,250 + 4,350 + 85,835 = 93,335(萬元/年) 單位發電成本 = $SO_x \Delta E \max$ / 年發電量 = 93,335(萬元/年) ÷ 438000(萬度/年) = 0.2131(元/度)

(五) 未裝置 CO₂ 減量設備前模擬情境估算

CO₂ 空污稅估計每年約為 107,419 萬元/年。依據 500MW 機組裝置容量 (發電量 500 萬度/小時), 每年可產生 43 億 8 仟萬度電力 (500 萬度/小時 × 365 天 × 24 小時 = 43 億 8 仟萬度)。由表 4 資料換算出燃煤電廠未裝置 CO₂ 減量設備前模擬情境 (A)、(B)、(C) 單位發電量環境防治成本, 如表 8 所示。

(六) 裝置 SO_x、CO₂ 減量設備後環境成本分析

因 SO_x、CO₂ 減量設備各項目成本兩者之環境效益有異, 分別列出 SO_x、CO₂ 減量設備投資後各環境成本項目差異情形及明細, 如表 9 及表 10 所示。

(七) 裝置 SO_x 減量設備後模擬情境模式估算

SO_x 空污稅估計每年約為 43,295 萬元/年。依據 500MW 機組裝置容量 (發電量 500 萬度/小時), 每年可產生 43 億 8 仟萬度電力 (500 萬度/小時 × 365 天 × 24 小時 = 43 億 8 仟萬度)。由表 9 資料換算出燃煤電廠環境成本 SO_x 模擬情境 (A)、(B)、(C) 單位發電量環境防治成本, 如表 11 所示。

(八) 裝置 CO₂ 減量設備後模擬情境模式估算

CO₂ 空污稅估計每年約為 47,246 萬元/年。依據 500MW 機組裝置容量 (發電量 500 萬度/小時), 每年可產生 43 億 8 仟萬度電力 (500 萬度/小時 × 365 天 × 24 小時 = 43 億 8 仟萬度)。由表 10 資料換算出燃煤電廠環境成本 CO₂ 模擬情境 (A)、(B)、(C) 單位發電量環境防治成本, 如表 12 所示。

表 8 未裝置 CO₂ 模擬情境 (A) (B) (C) 環境防治成本

模擬情境	環境防治成本
模擬情境 (A)	最小直接環境成本 = 900(萬元/年) 最小間接環境成本 = 2,250(萬元/年) 最小隱藏環境成本 = 4,350(萬元/年) $CO_2\Delta E \min = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \Delta_j E_i \min$ = 最小直接環境成本+最小間接環境成本+最小隱藏環境成本 = 900 + 2,250 + 4,350 = 7,500(萬元/年) 單位發電成本 = $SO_x \Delta E \min$ / 年發電量 = 7,500(萬元/年) ÷ 438000(萬度/年) = 0.0171(元/度)
模擬情境 (B)	最大直接環境成本 = 900(萬元/年) 最大間接環境成本 = 2,250(萬元/年) 最大隱藏環境成本 = 4,350(萬元/年) $CO_2\Delta E \max = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \Delta_j E_i \max$ = 最大直接環境成本+最大間接環境成本+最大隱藏環境成本 = 900 + 2,250 + 4,350 = 7,500(萬元/年) 單位發電成本 = $SO_x \Delta E \max$ / 年發電量 = 7,500(萬元/年) ÷ 438000(萬度/年) = 0.0171(元/度)
模擬情境 (C)	最大直接環境成本 = 900(萬元/年) 最大間接環境成本 = 2,250(萬元/年) 最大隱藏環境成本 = 4,350(萬元/年) 空污稅(APRC) = 107,419(萬元/年) $CO_2\Delta E \max = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \Delta_j E_i \max + APRC$ = 最大直接環境成本+最大間接環境成本+最大隱藏環境成本+空污稅(APRC) = 900 + 2,250 + 4,350 + 107,419 = 114,919(萬元/年) 單位發電成本 = $SO_x \Delta E \max$ / 年發電量 = 114,919(萬元/年) ÷ 438000(萬度/年) = 0.2624(元/度)

表 9 裝置 SO_x 減量設備後節省環境成本表

污染防治成本	項目	最小可節省環境成本(萬元/年)	最大可節省環境成本(萬元/年)
直接環境成本(△DEC)			
	除灰作業	-120	60
	灰場作業	-120	60
	水處理	-360	-180
	廢棄物處理	-60	-30
	空污防治	60	-30
	環境綠化	0	0
	職工體檢	0	0
	小計(a)	-600	-120
間接環境成本(△IEC)			
	獎學金	60	180
	專案補助	90	270
	捐款	90	210
	溝通	30	90
	贊助社區活動	30	60
	文宣刊物	0	60
	資訊傳遞	0	30
	環境的研發	60	120
	設計	30	90
	改善之費用	210	240
	小計(b)	600	1,350
隱藏環境成本(△HEC)			
	罰款	240	330
	賠償金	240	480
	意外處理	510	105
	生態保護	510	990
	小計(c)	1,500	1,905
總計(a+b+c)		1,500 萬元/年	3,135 萬元/年

註：負值表示 SO_x 減量設置後較設置前環境成本增加

表 10 裝置 CO₂ 減量設備後節省環境成本表

污染防治成本	項目	最小可節省環境成本(萬元/年)	最大可節省環境成本(萬元/年)
直接環境成本(Δ DEC)			
	除灰作業	0	0
	灰場作業	0	0
	水處理	-180	-30
	廢棄物處理	-150	-30
	空污防治	30	60
	環境綠化	0	0
	職工體檢	0	0
	小計 (a)	-330	0
間接環境成本(Δ IEC)			
	獎學金	60	120
	專案補助	60	120
	捐款	60	120
	溝通	30	60
	贊助社區活動	60	120
	文宣刊物	30	60
	資訊傳遞	0	0
	環境的研發	30	60
	設計	30	60
	改善之費用	90	180
	小計 (b)	450	900
隱藏環境成本(Δ HEC)			
	罰款	120	210
	賠償金	120	240
	意外處理	420	780
	生態保護	390	870
	小計 (c)	1,050	2,100
總計 (a+b+c)		1,170 萬元/年	3,000 萬元/年

註：負值表示 CO₂ 減量設置後較設置前環境費增加

表 11 裝置 SO_x 減量設備後模擬情境 (A) (B) (C) 環境成本表

模擬情境	環境防治成本
模擬情境 (A)	最小直接環境成本 = -600(萬元/年) 最小間接環境成本 = 600(萬元/年) 最小隱藏環境成本 = 1,500(萬元/年) $SO_x \Delta E \min = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \Delta_j E_i \min$ = 最小直接環境成本+最小間接環境成本+最小隱藏環境成本 = (-600) + 600 + 1,500 = 1,500(萬元/年) 單位發電成本 = $SO_x \Delta E \min$ / 年發電量 = 1,500(萬元/年) ÷ 438000(萬度/年) = 0.0034(元/度)
模擬情境 (B)	最大直接環境成本 = -120(萬元/年) 最大間接環境成本 = 1,350(萬元/年) 最大隱藏環境成本 = 1,905(萬元/年) $SO_x \Delta E \max = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \Delta_j E_i \max$ = 最大直接環境成本+最大間接環境成本+最大隱藏環境成本 = (-120) + 1350 + 1905 = 3135(萬元/年) 單位發電成本 = $SO_x \Delta E \max$ / 年發電量 = 3135(萬元/年) ÷ 438000(萬度/年) = 0.0072(元/度)
模擬情境 (C)	最大直接環境成本 = -120(萬元/年) 最大間接環境成本 = 1,350(萬元/年) 最大隱藏環境成本 = 1,905(萬元/年) 空污稅(APRC) = 43,295(萬元/年) $SO_x \Delta E \max = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \Delta_j E_i \max + APRC$ = 最大直接環境成本+最大間接環境成本+最大隱藏環境成本+空污稅(APRC) = (-120) + 1,350 + 1,905 + 43,295 = 46,430(萬元/年) 單位發電成本 = $SO_x \Delta E \max$ / 年發電量 = 46,430(萬元/年) ÷ 438000(萬度/年) = 0.1060(元/度)

表 12 裝置 CO₂ 減量設備後模擬情境 (A) (B) (C) 環境成本表

模擬情境	環境防治成本
模擬情境 (A)	最小直接環境成本 = -330(萬元/年) 最小間接環境成本 = 450(萬元/年) 最小隱藏環境成本 = 1,050(萬元/年) $CO_2\Delta E \min = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \Delta_j E_i \min$ = 最小直接環境成本+最小間接環境成本+最小隱藏環境成本 = (-330) + 450 + 1,050 = 1,170(萬元/年) 單位發電成本 = $CO_2\Delta E \min$ / 年發電量 = 1,170(萬元/年) ÷ 438000(萬度/年) = 0.0027(元/度)
模擬情境 (B)	最大直接環境成本 = 0(萬元/年) 最大間接環境成本 = 900(萬元/年) 最大隱藏環境成本 = 2,100(萬元/年) $CO_2\Delta E \max = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \Delta_j E_i \max$ = 最大直接環境成本+最大間接環境成本+最大隱藏環境成本 = 0 + 900 + 2,100 = 3,000(萬元/年) 單位發電成本 = $CO_2\Delta E \max$ / 年發電量 = 3,000(萬元/年) ÷ 438000(萬度/年) = 0.0068(元/度)
模擬情境 (C)	最大直接環境成本 = 0 (萬元/年) 最大間接環境成本 = 900(萬元/年) 最大隱藏環境成本 = 2,100(萬元/年) 空污稅(APRC) = 47,246(萬元/年) $CO_2\Delta E \max = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \Delta_j E_i \max + APRC$ = 最大直接環境成本+最大間接環境成本+最大隱藏環境成本+空污稅(APRC) = 0 + 900 + 2,100 + 47,246 = 50,246(萬元/年) 單位發電成本 = $CO_2\Delta E \max$ / 年發電量 = 50,246(萬元/年) ÷ 438000(萬度/年) = 0.1147(元/度)

(九) 未裝置與裝置後 SO_x 減量設備後模擬情境模式之比較

綜合前述未裝置與裝置後 SO_x 減量設備後模擬情境模式之模擬情境 (A)、模擬情境 (B)、模擬情境 (C) 之環境成本比較，如表 13 所示。

表 13 未裝置與裝置後 SO_x 減量設備後模擬情境模式之比較

模擬情境	未裝置 SO _x 減量設備前	裝置後 SO _x 減量設備後
模擬情境 (A)		
最小直接環境成本(萬元/年)	900	-600
最小間接環境成本(萬元/年)	2,250	600
最小隱藏環境成本(萬元/年)	4,350	1,500
節省環境成本最小值(萬元/年)	7,500	1,500
單位發電成本(元/度)	0.0171	0.0034
模擬情境 (B)		
最大直接環境成本(萬元/年)	900	-120
最大間接環境成本(萬元/年)	2,250	1,350
最大隱藏環境成本(萬元/年)	4,350	1,950
節省環境成本最大值(萬元/年)	7,500	3,135
單位發電成本(元/度)	0.0171	0.0072
模擬情境 (C)		
最大直接環境成本(萬元/年)	900	-120
最大間接環境成本(萬元/年)	2,250	1,350
最大隱藏環境成本(萬元/年)	4,350	1,905
空污稅(APRC)(萬元/年)	85,835	43,295
節省環境成本最大值(萬元/年)	93,335	46,430
單位發電成本(元/度)	0.2131	0.1060

(十) 未裝置與裝置後 CO₂ 減量設備後模擬情境模式比較

綜合前述未裝置與裝置後 CO₂ 減量設備後模擬情境模式之模擬情境 (A)、模擬情境 (B)、模擬情境 (C) 之環境成本比較，如表 14 所示。

表 14 未裝置與裝置後 CO₂ 減量設備後模擬情境模式之比較

模擬情境	未裝置 CO ₂ 減量設備前	裝置後 CO ₂ 減量設備後
模擬情境 (A)		
最小直接環境成本(萬元/年)	900	-330
最小間接環境成本(萬元/年)	2,250	450
最小隱藏環境成本(萬元/年)	4,350	1,050
節省環境成本最小值(萬元/年)	7,500	1,170
單位發電成本(元/度)	0.0171	0.0027
模擬情境 (B)		
最大直接環境成本(萬元/年)	900	0
最大間接環境成本(萬元/年)	2,250	900
最大隱藏環境成本(萬元/年)	4,350	2,100
節省環境成本最大值(萬元/年)	7,500	3,000
單位發電成本(元/度)	0.0171	0.0068
模擬情境 (C)		
最大直接環境成本(萬元/年)	900	0
最大間接環境成本(萬元/年)	2,250	900
最大隱藏環境成本(萬元/年)	4,350	2,100
空污稅(APRC)(萬元/年)	107,419	47,246
節省環境成本最大值(萬元/年)	114,919	50,246
單位發電成本(元/度)	0.2624	0.1147

四、個案研究結果

(一)SO_x 及 CO₂ 減量設備投資方案模擬情境節省環境成本估算

SO_x、CO₂ 減量防治設備投資方案，經過前述單位發電成本計算與導入環境成本後，計算模擬情境 (A)、(B)、(C)，綜合設備設置前後節省環境成本如表 15 所示：

表 15 SO_x 及 CO₂ 減量設置前後模擬情境 (A)、(B)、(C) 節省環境成本比較

項目	SO _x 裝置減量設備環境成本 (元/度)			CO ₂ 裝置減量設備環境成本 (元/度)		
	設置前	設置後	節省環境成本	設置前	設置後	節省環境成本
模擬情境 (A)	0.0171	0.0034	0.0137	0.0171	0.0027	0.0144
模擬情境 (B)	0.0171	0.0072	0.0099	0.0171	0.0068	0.0103
模擬情境 (C)	0.2131	0.1060	0.1071	0.2624	0.1147	0.1477

備註：情境 (A) = $\Delta IEC_{min} + \Delta DEC_{min} + \Delta HEC_{min}$
 情境 (B) = $\Delta IEC_{max} + \Delta DEC_{max} + \Delta HEC_{max}$
 情境 (C) = $\Delta IEC_{max} + \Delta DEC_{max} + \Delta HEC_{max} + APRC$ (空污費)
 環境成本效益 = 設置後環境成本 - 設置前環境成本，取絕對值最大者為
 效益最大。

由表 15 得知，SO_x 裝置減量設備後，其模擬情境 (A)、(B)、(C) 之節省環境成本分別為 0.0137(元/度)、0.0099(元/度) 及 0.1071(元/度)，其節省環境成本以模擬情境(C)最多 (0.1071 > 0.0137 > 0.0099)。CO₂ 裝置減量設備後，其模擬情境 (A)、(B)、(C) 之節省環境成本分別為 0.0144(元/度)、0.0103(元/度) 及 0.1477(元/度)，其節省環境成本以模擬情境(C)最多 (0.1477 > 0.0144 > 0.0103)。

(二)SO_x 及 CO₂ 減量投資設備資產成本估算

依據 500MW 機組裝置容量 (發電量 500 萬度/小時)，每年可產生 43 億 8 仟萬度電力 (500 萬度/小時 × 365 天 × 24 小時 = 43 億 8 仟萬度)。本研究假設 SO_x 以建立一座濕式石灰石(石膏法)排煙脫硫設備(FGD)，作為投資 SO_x 減量方案；CO₂ 以建立海洋儲置 CO₂ 作為投資 CO₂ 減量方案，其建造成本及投資設備資產成本，如表 16 所示。

表 16 SO_x 及 CO₂ 減量投資設備資產成本

項目	SO _x 減量設備投資方案 濕式石灰石(石膏法)	CO ₂ 減量設備投資方案海 洋儲置 CO ₂ 固定技術
建造成本	12.2(億元)	14.4(億元)
操作維護成本	0.4(億元)	0.3(億元)
使用年限	45 年	45 年
需要數量	1 座	1 座
SO _x 減量投資設備資產成本	12.6 億元 ÷ 45 年 ÷ 43.8 億度 = 0.0064(元/度)	
CO ₂ 減量投資設備資產成本	14.7 億元 ÷ 45 年 ÷ 43.8 億度 = 0.0075(元/度)	

(三)SO_x 及 CO₂ 減量設備方案投資模擬情境之經濟效益估算

SO_x、CO₂ 減量防治設備投資方案，經過前述節省環境成本計算與導入投資設備資產成本後，計算模擬情境 (A)、(B)、(C) 之經濟效益，如表 15 所示：

表 15 SO_x 及 CO₂ 減量設置前後模擬情境 (A)、(B)、(C) 經濟效益

可行性減量技術方案	節省環境成本(元/度) (ΔUE)	投資設備資產成 本(元/度)(UAC)	經濟效益 (EB)
SO _x 減量設備投資方案 濕式石灰石－石膏法	模擬情境(A)=0.0137	0.0064	0.0073
	模擬情境(B)=0.0099		0.0035
	模擬情境(C)=0.1071		0.1007
CO ₂ 減量設備投資方案 海洋儲置 CO ₂ 固定技術	模擬情境(A)=0.0144	0.0075	0.0069
	模擬情境(B)=0.0103		0.0028
	模擬情境(C)=0.1477		0.1402

備註：1.環境成本經濟效益評估=(節省環境成本-資產平均成本)

$$EB = \Delta UE - UAC$$

2.負值表示投資的減量方案不符合經濟效益。

由表 15 可知，SO_x 減量設備投資方案濕式石灰石(石膏法)模擬情境(A)、(B)、(C)之經濟效益分別為 0.0073、0.0035 及 0.1007，皆為正值，顯示此投資方案具有顯著經濟效益，值得投資。CO₂ 減量設備投資方案海洋儲置 CO₂ 固定技術模擬情境(A)、(B)、(C)之經濟效益分別為 0.0069、0.0028 及 0.1402，皆為正值，顯示此投資方案具有顯著經濟效益，值得投資。

伍、結論與建議

一、結果與討論

全球溫室效應的問題，已成為人類追求經濟上永續發展所必須考慮的因素，當各國普遍警覺到溫室效應所帶來的危害及嚴重性時，跨國性合作以抑制 SO_x 及 CO_2 減量排放的共識，我國基於地球村的一份子與國際公約之壓力，若 SO_x 及 CO_2 排放量不加抑制，將會受到國際議論，亦將不利於我國在國際間的經貿，所以如何既能維持經濟持續成長，又能保護吾人生存之環境不受危害，達到永續發展目標，已經成為我國當前重要議題。

本研究主要目的在進行燃煤電廠 SO_x 及 CO_2 減量排放投資設備策略規劃，應用 TAIGEM-D 模型進行投資濕式石灰石(石膏法)設備與海洋儲置 CO_2 固定技術設備之 SO_x 及 CO_2 減量排放基線預測，再以情境模擬的方式(A)(B)(C)，藉由模擬情境所呈現的結果來觀察減量投資策略對於電力公司燃煤電廠環境成本與經濟效益所造成的衝擊。最後，根據上述研究結果，研擬電力公司燃煤發電廠未來因應 SO_x 及 CO_2 排放減量的最適發展策略，供作各界參考。

由模擬的結果可知，在 SO_x 減量濕式石灰石(石膏法)設備投資策略中，模擬情境(A)的節省環境成本(0.0137 元/度)高於模擬情境(B)的節省環境成本(0.0099 元/度)；不過，若搭配經濟工具的使用，考慮經濟誘因的市場機制，如課徵碳稅或排放權交易則可增加模擬情境(C)的節省環境成本(0.1071 元/度)。另外，對於這三種模擬情境的經濟效益，模擬情境(A)為 0.0073(元/度)，模擬情境(B)為 0.0035(元/度)，模擬情境(C)為 0.1007(元/度)，其值皆為正，表示投資具有顯著性效益。

其次是在 CO_2 減量投資海洋儲置 CO_2 固定技術設備投資策略中，模擬情境(A)的節省環境成本(0.0144 元/度)高於模擬情境(B)(0.0103 元/度)；不過若搭配課徵碳稅或排放權交易則模擬情境(C)的節省環境成本增加為 0.1071 元/度。另外，對於這三種模擬情境(A)、(B)、(C)的經濟效益，分別為 0.0069(元/度)、0.0028(元/度)、0.1402(元/度)，其值皆為正，表示投資具有顯著性效益。另外由上述結果可知，對於電力公司燃煤電廠的經濟效益影響方面，以課徵碳稅的模擬情境(C)所帶來的衝擊最為顯著。

經過本研究評估結果顯示，未來 NO_x 及 CO_2 的空氣品質會因投資減量設備而有微幅改善（濃度減少）。兩項 SO_x 及 CO_2 減量投資方案皆有環境生態保護之效益，

是符合經濟投資。所以本研究之 SO_x 及 CO₂ 減量設備投資方案評估流程，不但適用於台電公司燃煤發電廠環境污染設備投資評估，而且評估模型在理論實務上也具備客觀性。值得注意的是，本文的課徵碳稅模擬情境，並未考慮稅收循環 (revenue recycling) 或綠色租稅 (Green tax) 的機制，有關實證分析所可能產生課徵碳稅雙紅利 (Double Dividends) 甚或參紅利 (Triple Dividends) 的效果，均將減輕課徵碳稅所帶來的衝擊。

本研究多層面比較 NO_x 及 CO₂ 減量策略與技術，分析其投資、能源、操作維護等成本，以用於經濟效益評價，更進一步量化為社會成本效益（貨幣化），則不僅投入的防治成本可以和最後所得到的社會成本相比較，而空氣污染物 NO_x、CO₂ 及溫室氣體減量的效益也可以整合。同時因為在轉換為社會成本的過程中，必須納入技術層面、經濟層面、社會層面的各種成本，故最後所得到的減量經濟效益即已涵蓋技術、政策、社會、經濟面的考量。如此在空氣資源管理決策時，外部的社會成本可被決策者完整地考慮，而且空氣污染物及溫室氣體的減量效益可以被有效地檢驗，提供為決策的重要參考依據。

二、管理意涵

成本分析與管理會計在協助企業管理決策、規劃、控制、考核等問題上都扮演重要的角色。管理會計隨著不同企業型態的發展以及新的管理思維、成本分析的考量及降低成本的方法，企業正積極的研發創新管理技術，以提供企業的競爭力，邁向多元全面的考量，積極的推動企業邁向永續環境管理發展的目標。

而企業也將面臨越來越多的環保規範，如空污法、碳稅、土壤及地下水污染整治、廢棄物清理等問題，許多的環境成本長期被隱藏在不同的項目之下，且無法歸屬到相關的製程或成本內，反應真實的成本，因此管理成本會計系統的建置與環境管理項目的考量必須融入供應商、顧客及企業內部資源，達到真正企業加值與技術創新領先的效果。

環境成本會計是尋找、辨認及量化企業經營中，與環境相關的直接或間接成本，為評估產品及設備、減少產品或製程對環境影響，改善環境績效等重要資訊的工具。歐洲環境會報 Palekrassas 強調，綠色會計不僅是一種想法，亦對矯正經濟社會和技術的不平衡而言，是一種用途更廣的方法，一旦環境成本未能適當調整到產品及勞務的成本上，政府將透過稅捐或其他工具導正市場，換言之，政府

及民間的壓力才是環境成本成功的最重要動力。

三、研究限制與建議

本研究因受限於單一電廠模型的分析，所考慮的課徵碳稅模擬情境，是假設其他電廠情況不變，為本研究一項限制。期望後續研究者能結合多數燃煤電廠，將各燃煤電廠的溫室氣體減量策略(例如碳稅、再生能源)一併考慮，再透過與環境保護投資金額及成本的變動，合理周延的推估課徵碳稅對經濟效益之衝擊。

許多內部的成本一般會受到管理階層重視的是傳統成本，而環境成本除了存在於傳統成本之外，還可能隱藏在間接的處理、研發或成本不適當的分配而未顯現或被忽略的項目，如潛藏、偶發、義務責任或不確定成本，此項目在管理會計成本分析內必須做進一步合理的處理，也是未來研究管理會計必須努力的方向。另一方面積極的採取一些誘因或鼓勵來促成環保的實現，如 ISO 14000 環境管理系統是對產品製造廠商及產品的產生，所做管理及稽核的一種標準，因此如何將與環境相關的成本透過一套制度做合理的反映，並使決策者做出正確的判斷，也是環境管理研究者可以努力的方向。

在國外電力公司的 NO_x 及 CO₂ 減量作法上，目前最普遍的作法首推產業的自發性減量計畫，其次為排放權交易等彈性機制。不過不論採用哪種作法，參與企業或廠商都必須建立具有一致性、透明性及可信賴性之溫室氣體排放清冊，如此才能獲致實質成效。因此，為使國內產業自發性減量計畫目標能逐步達成，或因應未來可能參與的國際彈性減量機制，政府有關單位及產業公會應盡速確實且主動協助業界建立溫室氣體排放清冊與基線，然後由各企業具體研擬其 NO_x 及 CO₂ 減量行動方案與目標，並加以落實，才能使自發性減量計畫獲致具體成效。

參考文獻

1. 沈華榮，2002，環境會計制度的發展及國內規劃現況，新竹：國立交通大學。
2. 沈華榮，2003，台灣環境會計制度的發展與未來，新竹：國立交通大學。
3. 徐瑜青、王燕祥、李超，2002，環境成本計算方法研究，中國清華大學經濟管理學院會計系。
4. 徐世勳、李慧琳、李秉正、黃宗煌，1998，「提升能源使用效率之二氧化碳排放減量效果及其經濟影響評估」，發表於台灣經濟學會 1998 年年會。台灣經濟學會主辦，民國 87 年 12 月 19-20 日，中華經濟研究院國際會議廳。
5. 徐世勳、李慧琳、李秉正、黃宗煌，1999a，「考慮技術配套(Technology Bundle)的能源經濟 CGE 模型：以 TAIGEM 模型為例」，發表於能源與環保政策模擬模型之建立與應用研討會，中央研究院經濟研究所主辦，民國 88 年 1 月 22 日，中央研究院經濟研究所會議廳。
6. 徐世勳、李慧琳、李秉正、黃宗煌，1999b，「TAIGEM 動態模型的研發與應用」，發表於能源與環保政策模擬模型之建立與應用研討會，中央研究院經濟研究所主辦，民國 88 年 1 月 22 日，中央研究院經濟研究所會議廳。
7. 黃銀筆，1994，以單位發電成本趨勢模型來探討台電火力電廠營運效率，交通大學管理科學研究所碩士論文
8. 經濟部工業局，2001，「政府動態報導—環保署擬推動產業環境會計制度」，工安環保報導，第五期，90 年 1 月。
9. Al-Tuwaijri, S. A., Christen, T. E., and Hughes, K.E., 2004, The relations among environmental disclosure, environmental performance, and economic performance: A simultaneous equations approach. *Accounting, Organizations and Society*, 29(5/6), 447-471.
10. Dunk, A. S., 2002, Product quality, environmental accounting quality performance, *Accounting, Auditing & Accountability Journal*, Vol.15 (5), pp.719-732, May 2002.
11. Environment Agency, 2000, *Developing an environmental accounting system 2000 report*. Study Group for Developing a System for Environmental Accounting, Japan.
12. Gary, R., 1993, *Accounting for The Environment*, The Certified Accounting Educational Projects Ltd. , 1993.

13. Japan Environmental Agency,2005, *Environmental Accounting Guidelines*.
14. Kennedy,E.C.,1997,. *Total cost assessment for environmental engineers and managers*. New York: John Wiley and Sons, pp.6-7.
15. Mehenna Yakhou and Vernon P. Dorweiler ,2004, Environmental accounting: An essential component of business strategy, *Business Strategy and the Environment*, Mar/Apr 2004; 13,2: ABI/INFORM Global. P.135.
16. Roger , M. ,2004; Environmental management accounting: roadblocks on the way to the green and pleasant land, *Business Strategy and the Environment*, Jan/Feb 2004; 13, 1: ABI/INFORM Global. P.13.
17. Shunrong , A.S.,2005, *Efficiency, Productivity, National Accounts and Economic Growth with a Green View : Theory, Methodology and Applications* , University of Minnesota, 2005.4
18. USEPA,2004, *Treatment Technologies for Site Cleanup : Annual Status Report(Eleventh Edition*, pp.16-28, 2004.

【附錄】燃煤發電成本的計算公式

一、燃煤發電成本

燃煤電廠之費用支出常受用電尖峰(夏季)及機組歲修(冬季)之影響而各有不同，為求合理計算單位成本，計算期間以一年為單位，一年 12 個月中，每月之天數不盡相同，有 28 至 31 天不等，因此以每月計算產出之發電量時，必有所不同，故採用平均數方法計算單位成本，因為涵蓋一年期間，所以正可以克服上述問題。

(一)單位發電成本

本研究發電成本估計係將當期實際發生費用及機組廠房固定資產相加，依照合理分攤方法與相關法規及稅法，各期已發生及未發生之成本加以認定、分攤及歸類(包含營運費、維護費、燃煤費、折舊、利息、稅捐、後端處理預提準備等項目)，再依發電成本(元/度)，計算當年平均發電成本(元/度/年)，如圖 1 所示：

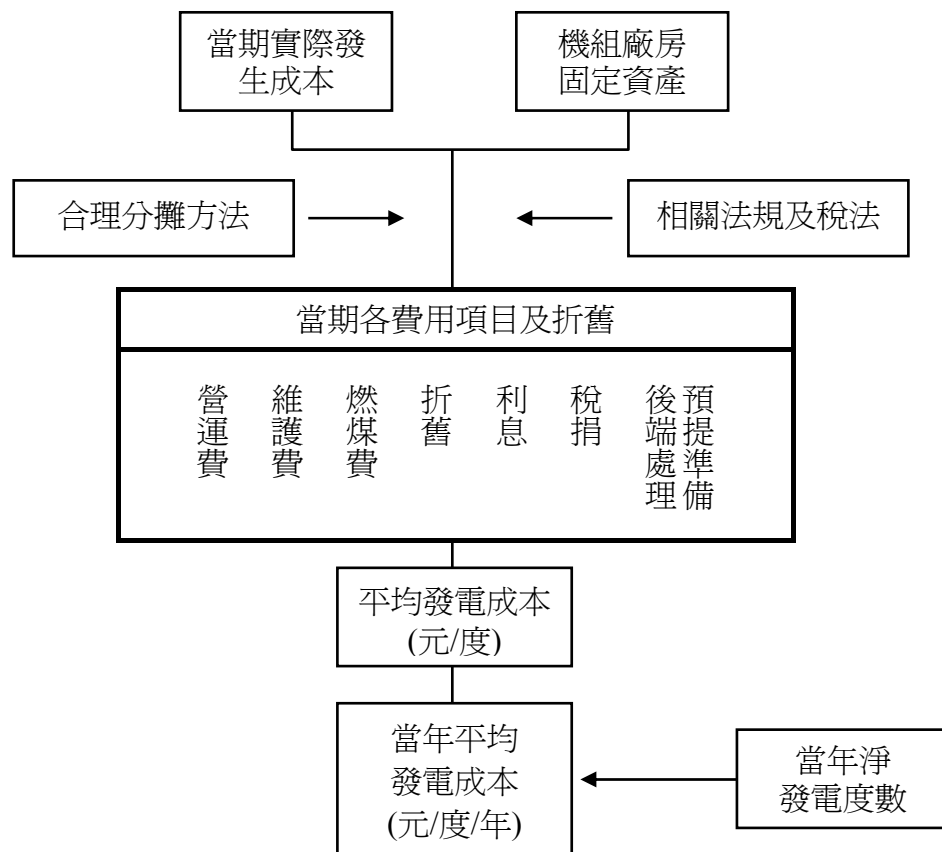


圖 1 單位發電成本之計算

燃煤電廠營運績效係以生產力作為衡量指標，生產力值愈大，代表營運效率越高。

$$\text{即 生產力} = \frac{\text{實際產出}}{\text{實際投入}}$$

上式中，電廠生產力之實際投入項可以營業成本來表示，實際產出則以（發電量×每度售價）計算，又電廠的實際產出只有發電量一項，因此可以單位發電成本衡量電廠營運效率。

假如單獨計算出每月的單位發電成本，變動太大顯得無意義，所以採用平均成本法，有關於電廠的投入及產出項可定義為實際營業成本、實際淨發電量、可用率營業成本、可用率淨發電量、容量因素營業成本、容量因素淨發電量等（黃銀筆,1994），將上述變數採用一年期間計算，則：

$$\text{實際成本(RC)} = \frac{\text{實際營業成本}}{\text{實際淨發電量}} \text{----- (1)}$$

$$\text{可用成本 (UC)} = \frac{\text{可用率營業成本}}{\text{可用率淨發電量}} \text{----- (2)}$$

$$\text{基本成本 (BC)} = \frac{\text{容量因素營業成本}}{\text{容量因素淨發電量}} \text{----- (3)}$$

$$\text{調度成本(CC)} = \text{實際成本(RC)} - \text{可用成本(UC)} \text{----- (4)}$$

$$\text{不可用成本(NUC)} = \text{可用成本(UC)} - \text{基本成本(BC)} \text{----- (5)}$$

其中不可用成本(NUC)主要為電廠因機組歲修、故障檢修，及加上其他因素等（不包括調度因素）而無法提供電力所付出的成本。

本研究採用公式(1)的實際成本(RC)作為計算發電成本，以平均實際營業成本，修正後為營業成本(PC)稱之輸入項；以平均實際淨發電量，修正後為發電量(GQ)稱之輸出項。

$$\text{單位發電成本(UGC)} = \frac{\text{營業成本(PC)}}{\text{發電量(GQ)}} \text{----- (6)}$$

上式(6)即為單位發電成本模型。

(二)防治設備資產平均成本計算

燃煤電廠 SO_x、CO₂防治空氣污染裝置是屬於發電之附屬設備，所以除了設備成本外，尚須投入龐大金額及配置工作人員，執行值班運轉及維修工作。因此空污防治設備須考慮固定資產，成本則以資產持有成本（Carrying charge）、固定運轉及維修成本（Fixed operation & maintenance cost）為主。資產持有成本係指發電輔助設備之硬體設施及其衍生之固定成本，包括設備折舊、資金成本、保險、所得稅、財產稅及後端處理預提準備等費用。固定運轉維修成本為操作及維護機組上的一些固定成本，平均成本要考慮經濟使用年限，所以總投資成本的現值須轉化每年應分攤的成本，且平均資產持有成本則維持不變。其公式如下：

平均資產持有成本(AC)：

$$AC = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{EC_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{1}{(1+i)^t}} + (M + O) \text{-----}(7)$$

單位發電量平均投資成本(UAC)：

$$UAC = AC / \text{發電量} \text{-----}(8)$$

其中，i：貼現率

n：空污防治設備經濟使用年限

I_Y：空污防治設備（Y）建廠投資成本

PC_Y：完工年投資金額現值

t：目標年

EC_t：平均資產持有成本

O+M：固定操作及維護成本

AC：每年平均發電量成本

(三)傳統單位發電成本計算

由營業成本（PC）以及發電量（GQ），經公式(6)計算後，得到每年單位發電成本（UGC），再加空污防治機組設備每年單位發電量平均投資成本（UAC），減去因設置減量設備所得到副產品營收，可將其利潤換算為單位發電量利潤（UBC），以上之成本單位全部都以（元/度/年）計算。

投資減量防治設備後之單位發電成本(TGC)：

$$TGC = (UGC + UAC - UBC) \text{-----}(9)$$

設備投資前後之單位發電成本比值(TCR)：

$$TCR = \frac{UGC}{TGC} \text{-----}(10)$$

其中，UGC：投資減量防治設備前單位發電成本

UAC：空污防治機組設備單位發電量平均投資成本

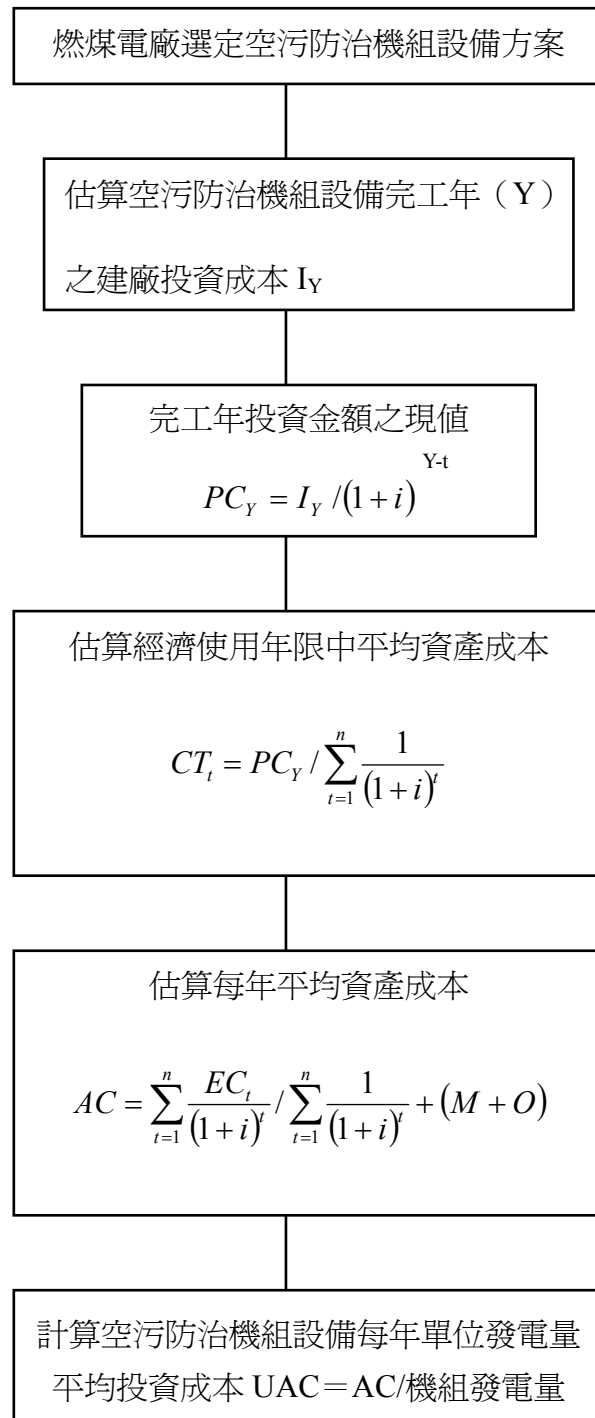
UBC：單位發電量生產副產品營收

TGC：投資減量防治設備後單位發電成本

TCR：設備投資前後單位發電成本比值

有關投資空污防治設備資產持有成本之分析流程，如圖 2 所示：

圖 2 單位發電量平均投資成本計



The Study Evaluates the Benefits for the Investment Portfolios of Greenhouse Gases Reduction in Fuel-Fired Power Plant

Hsing-Chau Tseng

EMBA Executive Director , Department of Business and Operation Management ,
Chang Jung Christian University

Hsien-Feng Huang

Ph.d. Candidate , Graduate School of Business and Operation Management , Chang
Jung Christian University

Yun-Chen Lee

Ph.d. Candidate , Graduate School of Business and Operation Management , Chang
Jung Christian University

Abstract

This paper used the scenario of TAIGEM-D (TAIwan General Equilibrium Model - Dynamic) to verify the existence of the economic benefits for the investment portfolios of Greenhouse Gases (SO_x and CO₂) reduction equipment in fuel-fired power plant from the view of environmental managerial cost. Firstly, the gases reduction is done in three scenarios: scenario (A): minimum of saving environmental cost “Pessimistic Situation”, scenario (B): maximum of saving environmental cost “Optimistic Situation”, and scenario (C): scenario (B) plus air pollution taxes. The empirical samples were selected from a fuel-fired power plant of Taiwan Power Company. The findings are as follows: the investment portfolios of SO_x reduction equipment using wet limestone-gypsum process to save the environmental cost of scenario (A), (B), (C) is NT\$0.0137/kwh, NT\$0.0099/kwh and NT\$0.1071/kwh, respectively while the economic benefits of scenario (A), (B), (C) is NT\$0.0073/kwh, NT\$0.0035/kwh and NT\$0.1007/kwh, respectively. Results indicated that the investment portfolios of SO_x reduction equipment using wet limestone-gypsum process which has the significant economic benefits is worth being invested in. The investment portfolios of CO₂ reduction equipment using marine CO₂ fixation to save the environmental cost of scenario (A), (B), (C) is NT\$0.0144/kwh, NT\$0.0103/kwh

and NT\$0.1477/kwh, respectively while the economic benefits of scenario (A), (B), (C) is NT\$0.0069/kwh, NT\$0.0028/kwh and NT\$0.1402/kwh, respectively. Results indicated that the investment portfolios of CO₂ reduction equipment using marine CO₂ fixation which has the significant economic benefits is worth being invested in.

Keywords: Environmental Managerial Cost ; Economic Benefits ; Scenario