

國立交通大學
工學院工程技術與管理學程
碩士論文

混合行政管制與課徵水污費之誘因機制探討
-以中部科學工業園區台中園區為例

A Study on Policy of Employing a Hybrid Mechanism of Effluent
Standard and Effluent Charge Incentives for Water Pollution Control
- in Taichung Park of Central Taiwan Science Park

研 究 生：莊志峰
指 導 教 授：陳春盛 教 授

中華民國 九十八年 六月

混合行政管制與課徵水污費之誘因機制探討
-以中部科學工業園區台中園區為例

A Study on Policy of Employing a Hybrid Mechanism of Effluent Standard
and Effluent Charge Incentives for Water Pollution Control
- in Taichung Park of Central Taiwan Science Park

研 究 生：莊志峰
指 導 教 授：陳春盛

Student : Chih-Feng Chuang
Advisor : Chun-Sung Chen

國立交通大學
工學院工程技術與管理學程
碩士論文

A Thesis
Submitted to Institute of Engineering Technology and Management
College of Engineering
National Chiao Tung University
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
in

Program of Engineering Technology and Management

June 2009

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 九十八年六月

摘要

事業水污染防治成本函數的實證估計對於適當水污染管制工具的選用(如水污費費率，或是管制標準的訂定等)，能提供極佳之資訊，此外，若須評估管制標準改變對事業的衝擊，或是對環境破壞的損害評估等，都可藉由事業水污染防治成本函數來進行估計與模擬。

中部科學工業園區台中園區自 94 年起通過第一家廠商的水污染防治許可證開始有廠商操作生產，污水處理廠亦於同年開始操作營運，迄至民國 97 年底已完成徵收 13 次污水下水道納管廠商下水道使用費之徵收，加上園區訂有納管水質標準，實為行政管制與課徵水污費混合機制之最佳實例，但因目前園區水污費收取標準的計算主要依據污水下水道系統的建設與維護成本而來，是否能促使廠商減少污染排放量仍有研究之必要，因此本研究的目的在於估計中部科學工業園區台中園區內事業的水污染防治成本函數，並評估不同事業別是否存在無效率，做為下水道使用費率訂定之參考。

本研究採用 Battese 與 Coelli(1995)之隨機邊界分析法(stochastic frontier analysis, SFA)，以多角度進行事業水污染防治成本函數之估計，以及其效率分析，樣本來源為民國 96 年上半年～民國 97 年上半年中部科學工業園區下水道納管事業水污染防治措施每半年申報資料共 280 筆，含原水及放流污水水質水量、各項固定及變動成本資料，資料以平行數據(Panel data)並以 Cobb-Douglas、Semilog、Translog、Quadratic 四種函數形式呈現，使用 Frontier 4.1 軟體中隨機邊界模型(stochastic frontier model)計算園區廠商前處理設備的邊際污染防治成本函數。

透過函數實證結果分析比較，並進一步以概似比檢定(LR-test)後發現以 Cobb-Douglas 函數模式為此平行數據下估計台中園區的事業水污染防治成本之最適當選擇。根據污染防治成本函數估計結果，園區事業在 SS(懸浮固體物)污染量的削減，及污染防治設備容積利用率的提升，均造成污染防治成本的增加。

比照現行收費標準，對光電業而言，提升單位 SS 收費費率並無明顯的誘因促使其降低污染量，但對半導體業而言，卻有誘使減量之效果，也表示，對 SS 的去除而言，半導體業仍有改善的空間，這也與技術無效率因子分析的結果吻合，因此若提高下水道使用費率，對園區 SS 污染量減量，半導體業存在經濟誘因。顯示在光電業與半導體業的比較中，半導體業的污染防治工作較無效率。

邊際污染防治成本模式估計結果並發現，水污染防治邊際成本隨污染去除量之增加而遞減，且台中園區事業單位呈現出在 SS 削減量於 50 噸/半年時達規模削減量，未達規模削減量前，廠商可增加 SS 削減量，以避免有增減削減量需求時，成本會大幅波動。

針對台中園區現行污水下水道使用費費率公式，本研究模式實證結果推論，欲降低 SS 的排污量，可以增加每單位污染量下水道使用費的方式，促使目前 SS 削減無效率的事業在前處理時加強 SS 的削減效率，但又不會大幅增加目前已有高 SS 削減效率事業之負擔。

ABSTRACT

The estimation of the water pollution abatement cost function has been shown that the information of abatement cost can affect not only the choice of but also the levels of different control instruments. It is important for environment policy implications.

The purpose of this study is to analyze the costs of water pollution abatement in Central Taiwan Science Park. We adopt Battse and Colli's model of stochastic frontier function to evaluate the water pollution abatement cost function and the inefficiency from different industries.

By using the computer program, FRONTIER 4.1, uses the firms' water pollution control measures and test reporting data collected from the Central Taiwan Science Park in the first half of 07' ~ the first half of 08'.

Our empirical results are summarized as follows:

The Cobb-Douglas function is an appropriate model specification for the panel data set considered.

1. The marginal abatement cost is increasing on the quantity of Suspension Solid abatement.
2. The technical inefficiency cause by semiconductor industries factor tends to be higher than LCD industries.
3. Raising the usage fees of CTSP sewer system, the economic incentive to abate the effluent quantities of suspension solid will rise in semiconductor industries.

誌謝

感謝指導教授陳春盛博士，因有老師細心指導及研究方向引導，得以順利完成本論文，老師對做學問的嚴謹及待人處事態度皆是我輩學習典範。

感謝中科台中污水廠蔡宜宸廠長及江佩珊組長，二位學進對於污水處理、污水水質及下水道稽查管制等專業知能令人佩服，除提供最完整協詢外，另對於相關資料收集及研究方法指導亦鼎力相助，銘感在心。

感謝老婆大人茜如，因為有妳所以我有一個最溫暖的家及活潑健康的絜仔、博鈞。

最後，謹以此文獻給我敬愛的雙親。

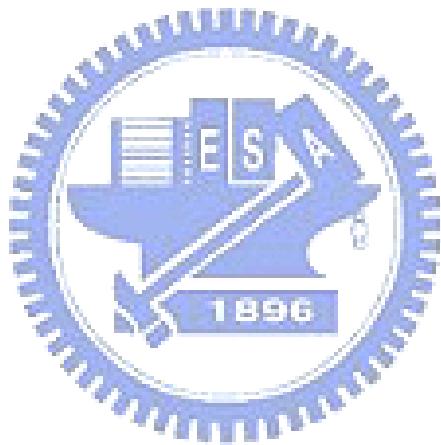
莊志峰 謹誌

98.06.30

目錄

中文摘要	I
英文摘要	III
誌謝	IV
第 1 章 緒論	1
1.1 研究動機與目的	1
第 2 章 文獻回顧	4
2.1 研究背景	4
2.1.1 科學園區之形成	4
2.1.2 中部科學工業園區概況	5
2.2 中部工業科學園區產業特性與污染來源	8
2.2.1 園區產業特性	8
2.2.2 半導體產業污染來源與排放特性	9
2.2.3 光電產業污染來源與排放特性	10
2.2.4 高科技產業廢水污染防治技術	11
2.3 行政管制—國內外高科技污染管制法規	16
2.4 經濟誘因—水污費相關法令發展與徵收沿革	26
2.4.1 水污染防治法之制定	26
2.4.2 水污費徵收之源起	27
2.4.3 水污費徵收辦法制定依據	27
2.5 科學園區污水下水道使用費之制定與收費現況	31
2.5.1 科學園區污水下水道使用費之制定與收費原則	31
2.5.2 科學園區污水下水道水污費收費現況	35
2.5.3 中部科學工業園區污水下水道系統污染收集量	39
第 3 章 水污費計算相關理論基礎	40
3.1 邊界效率	40
3.2 生產函數	45
3.3 成本函數	47
3.4 水污費計算函數設定	52
3.4.1 函數型式	52
3.4.2 資料型態	57
第 4 章 資料處理與函數選用	60
4.1 資料收集與變數選用	60
4.1.1 資料處理與變數設定	61
4.1.2 函數選用	66
第 5 章 實證分析	68
5.1 成本函數分析	68
5.2 概似比最適模型檢定	73
5.3 成本函數分析	75
5.3.1 總成本與污染產出量之關係	75

5.3.2	總成本模式估算結果與現行費率之關係探討.....	77
5.3.3	邊際成本函數計算與分析.....	82
第 6 章	結論與建議.....	87
6.1	結論.....	87
6.2	建議.....	88
第 7 章	參考文獻.....	89



表目錄

表 2.1-1 中部科學園區台中園區概述	6
表 2.1-2 中部科學園區虎尾園區概述	6
表 2.1-3 中部科學園區后里園區概述	7
表 2.2-1 中部科學園區產業污染特性	15
表 2.2-2 光電製造業使用有機溶劑之相關特性	15
表 2.3-1 德國半導體製造業管制項目	20
表 2.3-2 國內高科技產業於放流水中行業別標準	20
表 2.3-3 國內三大科學園區納管水質標準及放流水標準列表	23
表 2.3-4 國內外高科技產業廢水管制標準比較	25
表 2.5-1 污水下水道系統及污水處理廠營運管理成本架構及推估方式說明	32
表 2.5-2 園區污水下水道系統及污水處理廠年總成本與「合理」總成本計算	33
表 2.5-3 現今各科學工業園區公告之污水下水道使用收費標準之差異	36
表 2.5-4 現今各科學工業園區公告之污水下水道使用收費單價費率之差異	38
表 2.5-5 中部科學工業園區下水道系統污染收集量	39
表 4.1-1 2007 年郵政儲金匯率折現利率計算	63
表 4.1-2 事業每半年防治成本計算設備折舊率資本還原因子計算基期	64
表 4.1-3 變數資料統計描述	65
表 5.1-1 Cobb-Douglas 函數實證參數結果	69
表 5.1-2 Quadratic 函數實證參數結果	71
表 5.1-3 Semilog 函數實證參數結果	72
表 5.1-4 Translog 函數實證參數結果	73

圖目錄

圖 3.1-1	技術效率與配置效率的衡量	41
圖 3.1-2	隨機邊界生產函數	45
圖 3.2-1	邊際防治成本與污染排放當量之關係圖	46
圖 3.3-1	水質與 MAC 關係圖	48
圖 5.3-1	台中園區事業 SS 污染削減總成本函數	77
圖 5.3-2	光電業 A 公司 SS 污染防治總成本與水污費支出比較圖	79
圖 5.3-3	光電業 A 公司在 SS 削減處理總支出金額分析圖	79
圖 5.3-4	半導體業 B 公司 SS 污染防治總成本與水污費支出比較圖	81
圖 5.3-5	半導體業 B 公司在 SS 削減處理總支出金額分析圖	82
圖 5.3-6	放流水量邊際污染防治成本函數	83
圖 5.3-7	設備容積利用比邊際污染防治成本函數	84
圖 5.3-8	COD 削減量邊際污染防治成本函數	85
圖 5.3-9	SS 削減量邊際污染防治成本函數	86
圖 5.3-10	SS 削減量邊際污染防治成本函數(局部)	86



第1章 緒論

1.1 研究動機與目的

近幾十年來世界上的產業趨勢除了高科技產業的發展，環保議題亦同時受到矚目。全球皆意識到經濟層面的提升亦須顧及環境的永續發展，故開始推動環境保護相關政策。

環境政策的起步階段，首先著重於污染排放量的管控，以限制污染排放端的污染濃度與總量試圖維護環境品質。以水污染防治的歷程探討環境議題的發展，近年來逐漸發現後端的限制排放僅能減緩環境惡化的速度，環境保護與環境品質提升需要更全面性的監控。現階段環境議題的解決方案將目標放在污染源頭管控。人們逐漸意識到在生產過程中的污染源頭產生端就尋求減污減廢的作業流程，再配合末端污染排放量的管控，方能有效降低經濟發展對環境造成的負擔，此即「綠色產業」的發展概念。

台灣地區自水污染防治法施行以來，各種家庭、事業廢水管制作業的規劃與執行，如水污染防治許可制度、事業廢污水申報制度等，已成為水污染防治最主要的管制方式之一。此類制度的主要目的是，環保主管機關可透過申報資料管控事業製程原物料使用情形、廢水處理流程及原廢水與放流水的水質水量等資訊，並作為政策制定與行政作業規劃的重要參考資料。水污法並已推行至以收取水污費的經濟誘因促使事業積極減污減廢的階段。目前水污費的收取仍以工業區及科學園區污水下水道納管廠商之下水道使用費為主要對象。

科學園區污水處理廠設置的目的主要為處理廠商生產過程中產生的事業廢污水，統一收集處理至確保符合放流水標準後再一起排放，並透過水質水量定期定檢申報、不定時水質稽查作業、抽驗水質作為計費標準等多管齊下的管制方法，控制廠商排放水質穩定度，以維持污水廠進流水質穩定，維護污水廠處理功能。而下水道使用費的徵收，其主要目標即以大容量的處理設備收集處理廠商廢污水中的污染物质，降低廠商前處理設備的設置成本與操作處理成本。

污水下水道納管廠商以支付下水道使用費來降低巨額的前處理設備設置與操作維護費用，而污水廠處理廠則以維持收支平衡為原則向下水道納管廠商收取污水下水道使用費，其費率以排放的水質水量計算，並以水質分級收費規範廠商落實廢污水前處理作業。

中部科學工業園區台中園區污水處理廠自民國 94 年度開始操作營運，中科管理局並於同年公告下水道納管廠商下水道使用費收費辦法，民國 94 年第四季開始徵收污水下水道使用費，至 97 年底業已完成徵收 13 季污水下水道使用費，同時自 95 年上半年度起已完成 6 次的半年度廠商申報資料審核。政策制度推行至今，廠商進駐率已明顯升高並皆已完成污水納管，下水道使用費收費辦法訂定之初是以推估之污水廠綜合進流水質水量為設計標準，當今在廠商已大致完成進駐並多數穩定生產排水之時，實需針對下水道使用費的費率訂定是否合理、有無調整之必要性做全盤的討論，釐清廠商污水前處理設備所投入的污染防治成本對應其排出的水質水量可否與下水道使用費的繳納做合理的分配，並藉此評估污水下水道使用費之費率及分級制度有無調整之必要。

基於上述研究動機，參酌前人文獻使用的研究方法，本文的研究目的如下：

1. 估計中部科學工業園區台中園區事業水污染防治成本函數，並探討影響防治成本的重要變數及其背後的經濟意涵
2. 衡量中部科學工業園區台中園區事業水污染防治成本的效率面，判斷影響事業防治成本效率差異的因素
3. 探討現行行政管制機制下台中園區水污費徵收費率是否對園區廠商提升污染削減率具經濟誘因及可行之調整方式



第2章 文獻回顧

2.1 研究背景

2.1.1 科學園區之形成

台灣地區在民國六十年代以重化工業為經濟主軸，但隨著世界經濟趨勢逐漸轉向電腦化自動化，國際能源危機及經濟發展迅速使人力成本提高等種種因素之下，勞力密集的重化工業以及下游的石化傳統產業已逐漸無法獨擔台灣的經濟重擔。政府逐漸體認唯有發展附加價值高、技術層面高、能源需求量低、市場廣大的高科技產業方能確保台灣不被世界經濟洪流淹沒。民國 65 年行政院正式決定將成立「科學工業園區」，民國 68 年 7 月 27 日頒布「科學工業園區設置管理條例」規範園區中各項行政管理規章，並在民國 69 年 12 月 15 日正式設立新竹科學工業園區。科學工業園區的主要功能是將電子、資訊、精密機械工業集中發展，配合關稅優惠等政策成功將整體高科技產業上下游串聯整合，由於成效卓越，自此台灣經濟主軸正式升級為高科技產業。三十多年來依循新竹科學工業園區的成功模式，已接連設置多個科學園區，其中包含民國 86 年成立的南部科學園區、94 年成立的中部科學工業園區，及各園區的附屬園區如竹科的竹南、銅鑼園區，南科的高雄園區，中科的虎尾、后里基地等。

2.1.2 中部科學工業園區概況

中部科學工業園區於民國 89 年在地方政府大力推動下獲得國科會及經建會的同意及提案，在 92 年動工開始興建各項建設，廠商亦採同步建設方式進駐興建開發。由於位處台灣中部地區，可串聯南北產業有極佳的商務便利性，鄰台中都會地區，生活機能良好使高科技人才進駐意願提高，交通運輸上鄰近台中港、清泉崗機場、中山高、南二高、中彰快速道路及高鐵，無論是商務往來與貨運進出口皆極為便利，設立初期即引進國際性的旗艦大廠廠商如友達光電、華邦電子、茂德科技等光電業、IC 半導體業進駐設廠，因此上下游週邊廠商進駐踴躍，發展極為迅速。中科的設立使大台中地區成為未來台灣科技發展的新興重要區塊，帶動中部地區在高科技產業生根與發展，並使中部地區的產業與經濟活絡，對中部地區的產業結構與生活模式的影響力佔有舉足輕重的地位。目前中科擁有四個園區，跨越台中縣、台中市、雲林縣及規劃開發中的彰化縣二林園區，並成功整合整個中部地區的產業發展網絡。

中科各園區之概述如表 2.1-1、表 2.1-2、表 2.1-3。

表 2.1-1 中部科學園區台中園區概述

面積	413 公頃，位於台中縣大雅鄉及台中市西屯區交界處。
交通	台中園區交通便利，包括： 公路系統：可連接中山高、中二高南下北上； 鐵路系統：鄰近台鐵，及高鐵； 航空系統：清泉崗機場；海運系統：台中港。
生活機能	臨近大台中都會區、工商業發達。
區位優勢	位居中部地利之便，適宜物流中心設立與運作。
引進產業	光電、精密機械、半導體產業。

資料來源：中部科學工業園區網站

表 2.1-2 中部科學園區虎尾園區概述

面積	96 公頃，位於虎尾鎮西北側。
交通	鄰近中山高、台1、台17、東西向快速道路，交通便利。
生活機能	東側緊鄰高鐵雲林車站特定區。
區位優勢	位處台南與台中二園區之中心點，可作為該兩園區聯繫之重要地。
引進產業	光電、生物科技產業。

資料來源：中部科學工業園區網站

表 2.1-3 中部科學園區后里園區概述

面積	共 246 公頃，位於后里鄉都市計畫區南、北兩側，涵蓋台糖后里農場(134 公頃)及七星農場(112 公頃)二塊基地。
交通	臨台 13 號道路，經由國道 4 號、中山高至台中園區。
生活機能	臨近豐原市都會商圈。
區位優勢	距離台中園區約 11 公里、20~30 分鐘車程。
引進產業	光電、半導體及精密機械。

資料來源:中部科學工業園區網站



2.2 中部工業科學園區產業特性與污染來源

2.2.1 園區產業特性

由於每個科學園區的發展背景及產業願景與期待皆不盡相同，因此各園區原則上皆有不同的條件限制，依科學工業園區設置管理條例第三條第二項說明：科學工業應為依公司法組織之股份有限公司或其分公司，或經認許相當於我國股份有限公司組織之外國公司之分公司，其投資計畫須能配合我國工業之發展、使用或能培養較多之本國科學技術人員，且投入研發經費佔營業額一定比例以上，並具有相當之研究實驗儀器設備，而不造成公害，並合於下列條件之一者為限：

- 
- 一、具有產製成品之各項設計能力及有產品之整體發展計畫者。
 - 二、產品已經初期研究發展，正在成長中者。
 - 三、產品具有發展及創新之潛力者。
 - 四、設有研究發展部門，從事高級創新研究及發展工作者。
 - 五、生產或研究開發過程中可引進與培養高級科學技術人員，並需要較多研究發展費用者。
 - 六、對我國經濟建設或國防有重大助益者。

綜合上述之園區產業情形及條件形成園區產業之特性，造就了每個園區的產業特性差異，充份展現了專業分工、國際化、技術創新等主流趨勢，而在各個科技產業製程中化學物質使用種類相當繁多，主要的污染源則為此類化學物質之排放或溢散，而污染物之排放特性則呈現量少但種類繁多的特性。目前中部科學工業園區依產業別而言，主要為光電業、晶圓積體電路產業及精密

機械業，並有少數生物技術產業，但若以廢(污)水排放量而言，則以光電業與半導體業為主要來源，因此，有必要深入了解其廢(污)水的特性。

2.2.2 半導體產業污染來源與排放特性

半導體工業因產品不斷研發而製程亦隨著更改，從以往所採用之濕式製程到現在採用減壓後之氣體乾式製程，及目前興起之化合物半導體研究也正迅速發展中。隨著這些技術之革新，半導體製造時所使用之酸鹼溶液、有機溶劑、特殊氣體材料之種類及數量均在增加之中，而這些製程原料大部份都具有毒性，所以應特別注意並加以防範與控制。以下乃針對此產業各類生產流程，說明廢水污染來源，以期能掌握各項污染物之排放。

半導體產品相關製程繁雜多樣，且製程中所使用之化學物質種類亦相當繁多，產生之製程廢水主要分為酸鹼廢水、氟系廢水以及研磨廢水，有機廢液多為委外清運，未形成單股有機廢水，故亦無生物處理單元。酸鹼廢水之處理方式目前多以酸鹼中和的方式進行處理，氟系廢水方面則以氯化鈣、聚氯化鋁及高分子絮凝劑加藥混凝沉澱處理。而研磨廢水則約有七成是併入氟系或酸鹼系廢水處理，約三成的廠商是單獨將研磨廢水以化學混凝方法進行處理，或者是利用薄膜技術進行處理；僅有少部分廠商為研發製造砷化鎵化合物半導體磊晶片，於其製成之中主要產生砷系廢水、氟系廢水與酸鹼廢水及部分生活污水。

產生的廢氣依其特性大體分為酸性、鹼性、有機性及一般廢氣。機台端的製程排氣一般會先經過附屬的濕式洗滌塔處理後，

再排放到廠務端的中央廢氣處理系統。在廠務端，排氣中佔最大比例的酸、鹼性廢氣，廢氣處理方式大部分是採用濕式洗滌塔作為處理設備，經過洗滌塔處理後的氣體，再經過煙囪後直接排放到環境的大氣中，而濕式洗滌塔的最終產物還有洗滌後產生的廢水，亦為廢污水來源之一。

2.2.3 光電產業污染來源與排放特性

光電業製造過程會產生高污染物質包括：高濃度有機物，包括微影製程所使用的光阻劑與顯影劑、去除光阻時所使用的去光阻劑、清洗時所使用的酸鹼與有機溶劑等。無機物部分則包含蝕刻時所使用的酸鹼液，清洗時所排出之重金屬等。一般廠商會將高濃度之廢液先貯存於桶槽內，在委由清運處理之廠商進行清運；而低濃度之廢液則會排放至廠內之污水處理廠進行廢水處理後再行排放或進入園區之污水處理廠。光電業之污水處理流程，通常依照廢水來源特性區分為無機廢水處理與有機廢水處理流程。無機廢水之來源為蝕刻廢液與氫氟酸，無機廢水之特性主要偏酸性；而有機廢水之來源包含了顯影劑廢液、洗劑廢液及有機廢液等，其特性為高有機物濃度、高有機氮及偏鹼性。

廢氣部份，光電產業在酸、鹼性廢氣亦多採用洗滌塔進行處理，而洗滌塔之廢水亦排入污水處理系統處理後排入污水下水道。面板製程之 VOCs 廉氣最常使用沸石濃縮轉輪搭配熱焚化爐處理，處理技術也隨業者經驗累積及設備精進而日益提昇。

1. 廢水污染來源與污染特性

光電業所產生之廢水而言，依性質可區分為清洗製程產生之氟系廢水、蝕刻製程產生之酸鹼無機廢水、清洗、曝光、顯影、剝離及固膜等製程產生之有機廢水和一般生活污水等，光電業之酸鹼廢水具不定時之批次排放特性，使得 pH 跳動劇烈，中和系統加藥困難；往往因而造成不同處理槽體間酸鹼接續加藥，導致藥劑之浪費及水中導電度上升。

(1) 氟系廢水

主要來自濕式蝕刻及清洗製程，常見之藥品包括 HF 和 NH₄F 等，目前多以高和低濃度分流，加入氯化鈣等形成氯化鈣後，再以高分子絮凝劑等藥劑混凝沉澱處理。

(2) 酸鹼無機廢水

主要是蝕刻及清洗製程所使用之雜酸及大量超純水所產生，一般常用之雜酸包括硫酸、硝酸、鹽酸和氟酸等。

(3) 有機廢水

有機廢水主要為清洗、曝光、顯影、剝離及固膜等製程中所產生，一般常見之有機物包括有機溶劑、光阻劑、去光阻劑及顯影劑等。

(4) 生活污水

此為廠區員工所產生之一般沖廁及生活污水，性質與一般都市污水相似。

2.2.4 高科技產業廢水污染防治技術

高科技產業製程會產生大量的廢水，必須小心地處理，以免危害環境。一般而言，廢水的來源可以分成製程廢水、超純水的

製造排水與排氣洗淨水等三大類。如果依性質分類可以分成酸鹼廢水、含氟廢水、氰化物廢水、研磨廢水與重金屬廢水等五大類。

(1) 酸鹼廢水

酸鹼性廢水的污染物較為單純，處理方式可以先經調勻槽將水量與水質加以調勻之後，再送至中和池加藥調節 pH 值於中性即可以放流。

(2) 含氟廢水

有關含氟廢水的處理上，目前常使用處理的方法可分為化學沉澱法、化學沉澱混凝法與離子交換法。

1.化學沉澱法：化學沉澱法為利用化學藥劑與溶解的離子發生化學反應產生不溶解性沉澱物，含氟廢水的處理即利用鈣離子與氟離子發生反應結合成氟化鈣粒子沉澱去除之。

2.化學沉澱混凝法：此方法與化學混凝方法的不同之處，為於化學沉澱過程中同時加入混凝劑，以凝聚氟化鈣晶體成為較大膠羽而加速沉澱，所形成的膠羽也能吸附其他的污染物。

3.離子交換法：在一固體(樹脂)與液體(水溶液)之間進行可逆的相互交換反應，即不溶性的固體樹脂顆粒可從電解質水溶液中將正電荷或負電荷的離子吸收，同時將其他等當量的相同電荷離子釋入水溶液中，以達到離子與水溶液分離的目的。

2. 氰化物廢水

氰化物廢水的處理方法，大部份均以氧化處理為主。大概可以分為五種氧化處理方法，氯氧化法、次氯酸根氧化法、臭氧氧化法、電解氧化法與濕式氧化法。

(1) 氯氧化法：

就是使用氯來氧化含氰化物的廢水，於鹼性的條件下加氯能將氰化物轉換成毒性較低的氰酸鹽，再度加氯氧化，就能轉變為無毒的 CO_2 及 N_2 氣體的最終產物。

(2) 次氯酸根氧化法：

就是使用次氯酸氧化氰化物，分成兩階段進行，最初反應氰化物先生成氯化氫及氰酸鹽，而最終則生成無毒的 CO_2 及 N_2 氣體。

(3) 臭氧氧化法：

臭氧的氧化力極強，而且由其還原性生成物是氧分子這方面看來，臭氧實在是很良好的氧化劑選擇。

(4) 電解氧化法：

此方法即利用電極氧化處理含氰化物的廢水。最大特點為在使安定的氰化物錯離子完全的分解，其中包括一般化學方法無法處理的鐵氰化物與亞鐵氰化物離子在內。

(5) 濕式氧化法：

此方法為將高濃度氰系廢液及空氣在高壓(70~150 大氣壓)與高溫($200\text{--}340^\circ\text{C}$)的密閉反應器中通入蒸氣，使其在液相內加速其反應的方式。

3. 研磨廢水

研磨廢水中最主要的污染物就是矽晶粉末，其他還有一些金屬剝落物等等，去除的方法與重金屬廢水相同，為化學混凝沉澱去除法。

4. 重金屬廢水

含重金屬的廢水多是採用重金屬混凝法，於廢水之中添加 NaOH 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 等鹼劑，利用酸鹼中和的原理，調整酸鹼值使廢水之中的重金屬離子形成不溶性的氫氧化物後，再加入助凝劑使形成粗大的膠羽，再以沉降分離的方式加以去除。目前此法算是最為實用與普遍的處理方法。

光電業所使用及可能排放之主要化學物質種類繁多（詳如表 2.2-1 所示），其中去光阻劑之主成份 DMSO（dimethyl sulfuroxide）、MEA（methyl ethyl amide）和 NMP 是屬於硫類和銨類之有機物，其沸點高，屬在高溫下較不穩定之有機溶劑，且具有惡臭特性。



表 2.2-1 中部科學園區產業污染特性

業別	次產業別	廢水種類	廢水中主要污染物
積體電路產業	晶圓及晶片半導體相關產業製造	氫氟酸系廢水、刻蝕液、酸鹼系廢水、清洗廢液、研磨廢水、切割廢液、生活污水	氫氟酸、鹽酸、硫酸、硝酸、醋酸、氫氧化銨、過氧化氫、含矽廢水、懸浮微粒、CN ⁻
光電產業	TFT-LCD	氟系廢水、酸鹼無機廢水、有機廢水、生活污水	氫氟酸、NH ₄ F、硫酸、硝酸、鹽酸、氟酸、有機溶劑、光阻劑、去光阻劑、顯影劑、懸浮微粒
	LED	酸鹼廢液、研磨廢液、生活污水	SS、COD、pH、As、Ga。
	電池組裝	生活污水	SS、油脂、COD
精密機械業	零組件製造	研磨廢液、生活污水	SS、油脂、COD、pH、重金屬。
	組裝	生活污水	SS、油脂、COD
生物科 技產業	藥劑研發	生活污水	SS、油脂、COD
	藥劑封裝	生活污水	SS、油脂、COD

資料來源：本研究整理

表 2.2-2 光電製造業使用有機溶劑之相關特性

溶劑品名	化學式	物理狀態	密度 g/mL	沸點 (°C)	自燃溫度 (°C)	作業環境容許濃度	AALG (Ambient Air Level Goal) (g/m ³)
甲醇	CH ₃ OH	Liq	0.792	64.5	—	200 ppm	3010
異丙醇	(CH ₃) ₂ CHOH	Liq	0.786	82.4	399	400 ppm	19600
PGMEA	C ₆ H ₁₂ O ₃	Liq	0.957	146	333	200 ppm	3300
PGME	C ₄ H ₁₀ O ₂	Liq	0.915	120	286	100 ppm	1500
2-EEA	C ₆ H ₁₂ O ₃	Liq	0.97	156	238	5 ppm	90
乙酸丁酯	CH ₃ CO ₂ C ₄ H ₉	Liq	0.883	126	—	150 ppm	2400
DMSO	(CH ₃) ₂ SO	Liq	1.095	189	215	—	—
MEA	CH ₃ (CH ₂) ₂ NH ₂	Liq	1.018	172	410	3 ppm	25
NMP	C ₅ H ₉ NO	Liq	1.02	204	269	—	—
TMAH	(CH ₃) ₄ NOH	Liq	1.02	102	—	—	—

(廖等，1999)

2.3 行政管制—國內外高科技污染管制法規

一、國外相關廢水管制標準

針對美國環保署、美國各州、日本、韓國和中國大陸等國家對上述兩個主要高科技產業廢水管制方式與標準亦進行探討與分析如下：

(一) 美國

美國半導體製造產業廢水之排放標準依據 40 CFR 469 (Electrical and Electronic Components)，規範 pH、TTO (Total Toxic Organics) 和氟三項水質項目，其單日最大之管制標準 (Maximum for any 1 day) 分別為 6.0~9.0、1.37 mg/L 和 32.0mg/L；30 日之平均管制標準 (Average of Daily Values for 30 Consecutive Days) 則僅針對 pH 和氟兩水質項目，管制標準分別為 6.0~9.0 和 17.4 mg/L，TTO 部份則未加規範。

(二) 日本

日本的廢(污)水排放標準管制，係依「水質污濁防治法」第三條之法令授權，水質污濁防止法於平成 13 年 6 月開始進行管制硼、氟、總氮和亞硝酸鹽氮等，然因部分事業不易達成一律排水基準，故而有水質污濁防止法暫定標準，放寬相關管制標準，但於 2007 年 6 月 30 日後，硼及其化合物、氟及其化合物、氨、胺化物、亞硝酸鹽氮、硝酸鹽氮等排放標準，回歸至一律排水標準。一律排水基準中除了管制總氮和總磷外，尚管制多氯聯苯、氯乙烯、四氯乙烯、二氯甲烷、四氯化碳、1,2-二氯乙烷、1,1-二氯乙烯、硒及其化合物、氟化物、硼及其化合物等有害物質。

環境省於昭和 53 年修訂水質污濁防治法，針對封閉性水域實施總量管制規定，針對 COD、N 和 P 等項目(稱作指定項目)之管制值來指定難以達成水質環境基準的水域(稱作指定水域)及與該水域水質有關之地區(稱作指定地區)，制定相關基本方針來削減指定項目之污染負荷總量；都道府縣政府需遵照此方針，以削減指定地區的污染負荷量為執行目標，目前以東京灣、伊勢灣及瀨戶內海(大阪灣)為指定水域。平成 21 年(2009 年)為第 6 次總量管制規定的目標年，以 COD、N、P 等為指定項目，推進全面性污染負荷管制對策。日本環境省針對 COD、氮和磷部分，特別採取總量管制，且於各縣府，可因應轄區內之水質性質，對 COD、氮、磷訂定較嚴之標準。

(三) 韓國

韓國目前針對半導體和光電產業並無特別訂定廢水管制標準，相關排放標準係依據其水質保育法，該法主要目的是為了要使得全國人民有健康以及舒適的生活環境，保護潛在危害、公共健康以及環境免於受到水污染的傷害。水質保育法第二章為廢水排放標準之相關規定，包括第 8 條之可允許污染物排放標準。以下茲針對韓國現行廢水排放標準加以說明：

依據韓國環保部資料顯示，韓國廢水排放標準依時程訂定不同標準，此外針對不同區域與廢水量大小亦訂定不同管制標準(BOD、COD 和 SS)，其中以特殊區域管制最嚴格，特殊區域係指為環保部認定之工業廢水處理區域。除了傳統項目外，尚管制砷、鉻、鎘等重金屬，以及酚、多氯聯苯、三

氯乙烯和四氯乙烯等有機物，於 2008 年，除砷和鉛兩項管制濃度加嚴，更增列苯與二氯甲烷兩管制項目。

(四) 新加坡

新加坡於 1999 年 4 月 1 日正式開始執行環境污染控制法案(EPCA)，其中於水污染控制方面，目前新加坡全部工業和絕大部分住宅區的廢水均納入其公共污水下水道系統，工業廢水需經過前處理至特定標準才可排放至下水道或河道中(無公共污水下水道之地區)，該標準係用於保護下水道系統、污水處理廠和水體生態環境。事業廢水需先申請放流水排放許可，依據其 BOD 和 SS 含量超過容許限值之程度，繳納公共污水下水道處理費。

(五) 新加坡

新加坡公共污水下水道納管標準和放流水標準，工業廢水納入公共污水下水道之 SS、BOD 和 COD 容許限值分別為 400、400 和 600mg/L；若自行處理排入地面水體者，區分為一般水體和控制水體兩部份，一般水體 SS、BOD 和 COD 容許限值分別為 50、50 和 100mg/L，控制水體 SS、BOD 和 COD 容許限值分別為 30、20 和 60mg/L；公共污水下水道納管標準尚包含氯離子、硫酸鹽、TDS、色度、硫化物、氰化物、界面活性劑和油脂等水質管制；至於直接排入承受水體部分，針對硝酸鹽和正磷酸鹽有不同管制限值。此外，針對砷、鋅、錫、鐵、鉛、硼、錳、鎘、總鉻、銅、鉛、汞、鎳、硒、銀、鋅、鈣、鎂等重金屬有不同之納管或放流水標準，並針對鎘、總鉻、銅、鉛、汞、鎳、硒、銀與鋅等重金屬濃度總和規範「總重金屬」濃度限值 (環保署，2007。)。

(六) 中國大陸

中國大陸在執行污水排放時，以行業別為優先標準，當行業別未獨立規範時，方適用污水綜合排放標準。目前中國大陸地區已具備國家行業排放標準包括：造紙工業、船舶工業、海洋石油開發工業、紡織染整工業、肉類加工工業、合成氨工業、鋼鐵工業、航太推進劑使用、兵器工業、磷肥工業、燒鹼/聚氯乙烯工業等。

目前中國大陸半導體和光電產業廢水仍依據「污水綜合排放標準」管理，該標準依其排入水體之不同，區分為三級標準。

此標準將排放之污染物依其性質和控制方式分為第一類和第二類兩種污染物，其中第一類污染物不分行業和污水排放方式，也不受承受水體的功能類別限制，不管建設時間先後，均須遵守一定管制標準；第二類管制之污染物種類與標準，則依據建設時間不同，有不同管制標準項目與濃度，1998年1月1日後建設之相關單位，有機物管制項目較先前多，計有三氯甲烷、四氯化碳、三氯乙烯、四氯乙烯、苯和甲苯等。

(七) 歐洲國家(以德國為例)

歐盟執委會對晶圓及半導體等產業之廢水管理措施政策，係由各會員國自主辦理，歐盟執委會不特別另訂規範管理。

以德國為例，依聯邦環境、自然保育和核能安全署之廢水排入水體相關法令條例，相關規定中針對不同行業廢水有不同管制項目與限值，其中針對「半導體元件製造」有特別

訂定規範，該項係含括半導體元件和太陽能電池前處理、中間處理和處理後之廢水，與其他廢水混合前，必須符合表2.3-1所列之相關規範，該規範項目包含砷、苯以及含鹵素有機化合物等。

表 2.3-4 係針對國內外高科技產業廢水管制標準進行簡單之比較一覽。

表 2.3-1 德國半導體製造業管制項目

	合格限定隨機樣品或2小時混合樣品(mg/L)	隨機樣品(mg/L)
有機性吸附鹵化物(AOX)	—	0.5
砷	0.2	—
苯及其衍生物	0.05	—

資料來源：德國聯邦環境、自然保育和核能安全署(Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety)網站，<http://www.bmu.de/english/aktuell/4152.php>。

二、 國內相關廢水管制標準

依水污染防治法事業分類，目前台灣地區科學園區商排放之放流水其主要污染物排放標準列於表 2.3-2，因應不同的行業別其分別需符合之條件與標準，甚至檢測之規範也有些許之差異。

表 2.3-2 國內高科技產業於放流水中行業別標準

項目 行業別	化學需氧量 (COD)	懸浮固體物 (SS)	生化需氧量 (BOD)	真色色度
最大 限值	半導體製造業	100	30	--
	印刷電路板製造業	120	50	50
	光電業	100	30	550

資料來源：環保署，高科技產業廢水水質特性分析及管制標準探討計畫(2007)

目前我國半導體產業廠商之分布狀況而言，大部分廠商集中於科學工業園區，依「科學工業園區污水處理及污水下水道使用管理辦法」第五條規定：「園區內公營事業及機關學校之廢(污)水符合下水道可容納排入之水質標準(以下簡稱容許標準)者，始得排入污水下水道；未符合容許標準者，應設置預先處理設施，處理至符合容許標準後，始得排入污水下水道，前項容許標準由管理局擬訂，報請縣(市)主管機關核定後公告之」；亦即園區內事業單位應先自行將廠區內所產生之廢水處理至符合園區下水道可容納排入之水質標準後，才能將廢水排入園區之污水下水道。而且現階段國內三大科學園區皆已設有污水處理廠，因此對於放流水之水質控制部份也較可為大眾所接受，水質之排放亦皆委託特定之代操作廠商定期進行查核與檢驗，對環境之污染衝擊自然較傳統產業或中小型工業低。目前國內新竹科學工業園區、中部科學工業園區、南部科學工業園區三大科學工業園區的下水道容許排放最大值(納管標準)及水污染防治法所公告的放流水標準比較詳列於表 2.3-3。

三大園區納管水質項目之標準差異不大，較特別的為南部科學工業園區將水質化學需氧量、生化需氧量、懸浮固體物濃度訂定較嚴格的標準為 450 mg/L、250 mg/L、250 mg/L，相較於竹科及中科都加嚴了 50 mg/L 的濃度範圍。南科並將光電廠廢水中常出現的氫氧化四甲基銨(TMAH，顯影劑)訂出納管水質標準 60 mg/L，限制此項目亦可同時控制水質氨氮濃度。竹科未限制水質透視度及真色色度，中科及南科則是訂定了相同的納管標準分別

為 15 公分及 550 mg/L；在農藥等有機化合物項目中，竹科多以未定標準，或不得檢出作為規範，而中科及南科則多以字面上較為嚴苛的「完全禁止」訂定標準。整體而言，由於竹科設立較早，廠商入駐時間較早期，因此在低濃度的毒化物部分及水質外觀的納管水質標準較中科南科為寬鬆，而中科設立在南科之後，納管水質標準多以南科為參考目標，但設計了處理能力足夠的污水處理廠，在 COD、BOD、SS 三項放流水質一般最常關注的項目中，廠商端納管標準則遵循竹科的標準。在 TMAH 的納管標準訂定中，南科對於園區中光電廠所排放的較大量顯影劑及相對產生的高濃度氯氮有了較先覺的預防措施，訂定了納管標準。中科與南科都有相似的進流水質狀態，即都以光電廠排放水為最大宗，但目前尚未針對 TMAH 定出管制標準。

而各科學園區由於污水處理廠處理功能的規劃設計，除 SS、COD、BOD 等項目具有處理效能之外，其餘重金屬等物質並不具加強處理的效能，因此針對重金屬及特殊物質部份，目前三大科學園區的納管水質項目皆大致與放流水標準相同，主要仍依賴廠商端的前處理。

表 2.3-3 國內三大科學園區納管水質標準及放流水標準列表

水質項目	下水道可容許排入最大限值			放流水標準 ^[1]
	新竹科學工業園區	中部科學工業園區	南部科學園區	
水溫(℃)	35	35	35	38(5-9 月)、 35(10-4 月)
氫離子濃度	5~10	5~10	5~10	6~9
生化需氧量	300	300	250	30
化學需氧量	500	500	450	100
懸浮固體	300	300	250	30
陰離子界面活性劑	10	10	10	10
油脂(正己烷抽出物)	25	25	25	10
酚類	1	1	1	1
銀	0.5	0.5	0.5	0.5
砷	0.5	0.5	0.5	0.5
鎘	0.03	0.03	0.03	0.03
六價鉻	0.5	0.5	0.5	0.5
銅	3	3	3	3
溶解性鐵	10	10	10	10
總汞	0.005	0.005	0.005	0.005
鎳	1	1	1	1
鉛	1	1	1	1
硒	0.5	0.5	0.5	0.5
鋅	5	5	5	5
總鉻	2	2	2	2
溶解性錳	10	10	10	10
氰化物	1	1	1	1
氟化物	15	15	15	15
硫化物	1	1	1	1
硼	1	1	1	1
甲醛	3	3	3	3
硝酸鹽氮	50	50	50	50
氨氮	-	-	-	10 ^[2]
正磷酸鹽	-	-	-	4.0 ^[2]
總有機磷劑	0.5	0.5	0.5	0.5

水質項目	下水道可容許排入最大限值			放流水標準 ^[1]
	新竹科學工業園區	中部科學工業園區	南部科學園區	
總氨基甲酸鹽	0.5	0.5	0.5	0.5
氫氧化四甲基銨	-	-	60	-
真色色度	-	550	550	-
透視度	-	15公分以上	15公分以上	-
除草劑	-	1	1	1
安殺番	-	0.03	0.03	0.03
安特靈	-	不得檢出	不得檢出	0.0002
靈丹	-	不得檢出	不得檢出	0.004
飛佈達及其衍生物	-	不得檢出	不得檢出	0.001
滴滴涕及其衍生物	-	不得檢出	不得檢出	0.001
阿特靈、地特靈	-	不得檢出	不得檢出	0.003
五氯酚及其鹽類	-	不得檢出	不得檢出	0.005
毒殺芬	-	不得檢出	不得檢出	0.005
五氯硝苯	-	不得檢出	不得檢出	不得檢出
福爾培	-	不得檢出	不得檢出	不得檢出
四氯丹	-	不得檢出	不得檢出	不得檢出
蓋普丹	-	不得檢出	不得檢出	不得檢出
有機汞	不得檢出	不得檢出	不得檢出	不得檢出
多氯聯苯	不得檢出	不得檢出	不得檢出	不得檢出
有毒物質	不得檢出	完全禁止	完全禁止	-
易燃或爆炸性物質	不得檢出	完全禁止	完全禁止	-
放射性物質	完全禁止	完全禁止	完全禁止	-
動物羽毛	大於1毫米孔徑所篩出之動物羽毛，不得超出85 mg/L	完全禁止	完全禁止	-

註：[1] 適用範圍為事業、污水下水道系統及建築物污水處理設施之廢污水。

[2] 氨氮與正磷酸鹽(以三價磷酸根計算)之管制僅適用於排放廢(污)水於水源水質水量保護區內。

[3] 除氫離子濃度指數、真色色度、放射性物質和易燃或爆炸性物質外，其餘未註明單位者皆為 mg/L。

[4] 資料來源：科學工業園區管理局、中部科學工業園區和南部科學工業園區網站。

表 2.3-4 國內外高科技產業廢水管制標準比較

資料來源：環保署，高科技產業廢水水質特性分析及管制標準探討計畫(2007)

國別	美國	日本	韓國	新加坡	歐盟(德國)	中國大陸	台灣
事業定義	產業歸類於「電腦及電子產品製造業」	產業歸類於「電腦及電子產品製造業」	產業歸類於「電子零組件、收音機、電視和通訊設備製造」	產業歸類於「電子產品和零組件製造」	半導體元件製造產業歸類於「半導體元件製造業」等	無特別歸類	產業歸類於「電子零組件製造業」
相關管制標準	40 CFR Part469 半導體及電子晶體元件製造業管制標準	目前無針對半導體及光電產業放流水之環保法規	目前無針對半導體及光電產業放流水之環保法規	目前無針對半導體及光電產業放流水之環保法規	針對不同行業有不同管制項目，如半導體元件製造業管制標準	依污水綜合排放標準	水污染防治法-放流水標準共同管制項目晶圓製造及半導體製造業管制項目
與產業廢水性質相關之管制項目	TTO、氟、砷、pH、SS	COD、pH、SS、氟、硒、砷、硼、總氮、總磷、烯類和烷類有機物	COD、pH、SS、氟、砷、總氮、總磷、三氯乙烯、四氯乙烯	COD、pH、TSS、硒、砷、硝酸鹽、磷酸鹽、TDS	砷、苯及其衍生物、有機性吸附鹵化物(AOX)	總汞、總鉻、總鎘、六價鉻、總砷、總鉛、總鎳、總放射性等重金屬及放射性物質	COD、pH、SS、氟、硒、砷、氨氮、硝酸鹽、正磷酸鹽

2.4 經濟誘因—水污費相關法令發展與徵收沿革

2.4.1 水污染防治法之制定

台灣地區自民國 63 年 7 月 11 日制定實施水污染防治法，可說是在環境保護政策上的一個重要里程碑，此時立法目的為防治水污染，確保水資源之清潔，維護生活環境，增進國民健康。此階段污染源管控對象僅為工、礦業，相關罰則只限於行政罰。

民國 72 年水污染防治法第一次修正，增加都市污水下水道之規定，無罰則(姜，2005)；直至民國 80 年水污染防治法第二次修正，共有五章六十三條。此時開始納入生態保護精神並擴大污染源管制對象。

水污染防治法的第二次修法亦初步將污染源有效管理制度明列入法規中，建立總量管制制度、增訂排放許可制度、增訂水質管理之申報制度、加重處分開始增加刑罰，並首度確立污染者付費原則。同年並公告放流水標準(馬及溫，2003)。其中放流水標準自發佈後，經 1991、1997、1999、2000、2001 年共七次檢討修正後，2003 年環保署為考量法令可執行性，修正製革業及畜牧業之化學需氧量最大值，然有關工業區污水下水道系統之各項污染排放限值仍維持 1998 年之放流水標準(姜，2005)。此時工業區污水下水道系統之放流水標準為化學需氧量 (Chemichial Oxygen Demand, COD) 最大限值 100 mg/L、懸浮固體 (Suspend Solid, SS) 最大限值 30 mg/L。

2.4.2 水污費徵收之源起

世界各國為解決環境污染，如水污染、空氣污染等問題，大體可分為行政管制(Command-and-control)與經濟誘因制度(Economic incentive system)兩種管制措施(鄭，1994；王，2003)。

台灣地區由於水資源逐漸短缺與水質惡化，水污染防治為今日環保工作上相當重要之議題。依我國水污染防治法之規定，國內對於水污染防治應採用「行政管制」與「經濟誘因」並行之政策。

行政管制以規定放流水標準及違規處罰等行政措施為主，所需總防治成本較高，缺乏彈性，使得排放者無更新污染防治技術設備的空間及誘因，且無法提供排放者適當的誘因去盡力減少污染總量之排放，在污染源負荷較高的情況下無法達到預期之管制目標。因此，具經濟誘因的污染防治政策成為近年來各國將採用的輔助措施，例如排放權交易制度(Emission Trading)、補貼制度(Subsidy)及污染排放費制度(Effluent Charge)等(邱，2006)。針對水污染排放者收取水污費亦屬經濟誘因之一環，目的為以收費水質項目及水量作費率上的訂定，使廠商在繳納水污費之成本考量主動落實污水前處理工作，此為經濟誘因之政策取向。

2.4.3 水污費徵收辦法制定依據

1. 下水道相關法令

台灣地區下水道之建設最遠可追溯至民國46年中興新村污水下水道系統之建設，迄今已超過五十年。中央政府於民國73年12月21日制定公佈「下水道法」，開宗明義即表示

為促進都市計劃地區及指定地區之建設與管理，以保護水域水質，特制定此法。科學園區所設下水道系統屬法規中所定義之「專用下水道」。下水道法第二十六條規定，用戶使用下水道，應繳納使用費。同時依據「水污染防治法」第十一條第一項之規定，中央主管機關對於排放廢(污)水於地面水體之事業、污水下水道系統及家戶，應依其排放之水質水量或依中央主管機關規定之計算方式核定其排放之水質水量，徵收水污染防治費，故我國之水污染防治費係一種從量費，為主管機關針對一定單位的污染排放量，訂定費率進行徵收(鄭，2003)。

科學園區之設立，尚有一特點即為園區中所有產業所排放之廢污水皆集中處理排放，經由各園區之下水道用戶水質納管標準之訂定限制廠商廢污水之排放水質，並依「水污染防治法」與「科學工業園區污水下水道使用管理辦法」，衡量污水處理廠涵容處理能力後訂定區內污水水質排放標準與污水排放費收費辦法。對整體環境而言，污水處理廠對於廠商排放之事業廢水可集中處理並有較廠商端更大的緩衝處理空間可確保做第二道處理更為完善，集中處理集中排放對於環境品質之提升有極大助益；對產業而言，繳納污水排放費(或稱下水道使用費)雖提高固定支出成本，但優點為園區專用下水道尚有污水處理廠可進行第二次處理，園區下水道用戶納管標準中所訂定之特定水質項目會低於放流水標準，將廢污水納管至園區污水下水道可大幅減少廠內水污染防治設備之設置營運成本，並減少對環境直接產生衝擊之可能性，有助

於提昇企業形象。若是污水排放費徵收繳納之計算方式合宜，可謂雙贏之制度。國內各園區的收費標準視區內污水處理廠操作營運成本、區內產業特性與排污量、污染物特性而有所差異，但整體大方向而言皆是配合水污染防治之發展沿革與政策之推行重點而修訂，因而即使收費細項規定有所出入，架構上仍十分相近。

2. 科學園區依「促進產業升級條例」第六十五條之規定：「依第六十三條第二項設置之管理機構，得向區內各使用人收取下列費用：

- (1) 一般公共設施維護費。
- (2) 污水處理系統使用費。
- (3) 其他特定設施之使用費或維護費。」



自 2002 年通過水污染防治法修正草案後，明定水污費徵收對象為事業、污水下水道系統、及家戶三大類，科學園區由於設有專用污水下水道系統屬第二類，「科學工業園區污水處理及污水下水道使用管理辦法」中亦明載，「園區內之公民營事業及機關學校應依其排放廢(污)水量、水質向管理局按季繳交污水下水道使用費。前項污水下水道使用費之收費項目、單價、計量、水質、分級、分級費率及計算公式由管理局擬定後，報請縣(市)主管機關核定」。

各園區依此法訂定區內廠商污水納管標準與污水排放處理費用收費計算公式，目前國內科學園區之污水收費統一皆稱為「污水下水道使用費」。

立法院在水污法第四次修法審議水污費徵收辦法時附帶決議「環保署對水污染防治費之徵收，初期應以事業為徵收對象」，環保署徵收水污染防治費之時程，第一階段自2006年1月起向事業、工業區污水下水道系統徵收，第二階段預定自2009年1月起向家戶、社區專用下水道、公共污水下水道系統等徵收（姜，2005）。目前執行階段為第一階段，針對事業及工業區污水下水道系統徵收，以下將針對科學園區污水下水道使用費的制定與現行收費方式做較深入之介紹。



2.5 科學園區污水下水道使用費之制定與收費現況

2.5.1 科學園區污水下水道使用費之制定與收費原則

一、成本估算

除了「使用者付費」及「收支平衡」的基本原則外，費率研擬過程中，亦須將「公平性」及「合理性」納入決策之準則，期能兼顧經濟發展及環境保護。因此，費率訂定除需考量「收入」及「支出」兩大項目平衡外，亦需掌握「管制項目收費處理難易度」、「分級收費經濟誘因」等因素。

其中「收入」為廠商依其排放之水質水量與收費費率計算所需繳納之污水處理費，「支出」的項目包括與污水下水道工作有關之服務費用、材料及用品費用、折舊、折耗及攤銷費用及其他費用等「年總成本」。在「收支平衡」之前提下，污水廠最後支出的成本必須與其收費額相等，亦即：

『污水下水道系統營運年總成本=污水下水道系統年使用收費』

根據科學工業園區管理局作業基金勞務成本說明，園區污水下水道系統及污水處理廠廢水營運管理之年總成本提列項目及計算基準，主要包括：1.服務費用、2.材料及用品費用、3.財產折舊、折耗及攤銷、4.其他費用等四類成本支出，如表 2.5-1 所示。

表 2.5-1 污水下水道系統及污水處理廠營運管理成本架構及推估方式說明

年總成本之估算架構及項目		推估及估算方式
1.服務費用	水電費	專業服務費包括 1.委託污水下水道系統操作維護費用 2.環保業務審查及監督計畫 3.環境品質監測計畫 4.環評追蹤及監督計畫 5.其他環保相關計畫等。
	郵電費	
	旅運費	
	印刷裝訂與廣告費	
	修理保養及保固費	
	保險費	
	專業服務費	
	公共關係費	
2.材料及用品費	使用材料費	
	用品消耗	
3.折舊、折耗及攤銷	土地改良物折舊	以污水下水道系統(含污水收集管線、抽水站、污水處理廠及放流專管)各項工程建設預算(或決算)金額分年折舊攤提數計算
	房屋折舊	
	機械及設備折舊	
	什項設備折舊	
4.其他費用	租金、償債與利息	
	稅捐與規費	

資料來源：行政院國家科學委員會中部科學工業園區管理局(2008)

其中，財產折舊、折耗及攤銷成本項目，包括污水下水道系統及污水處理廠之各項建設成本及儀器設備折舊攤提。惟，由於園區基地營運初期若干年內，考量廠商進駐及實際量產之納管廢水水量皆遠低於設計處理水量，若全然將已建設完成建設之全部工程之建設成本之每年財產折舊、折耗及攤銷成本由營運初期之少數現有納管廠商全部分攤並非合理之「收支平衡」計算；且亦將引起少數現有納管廠商之反彈。因此，根據上述說明，費率計

算所考慮之年「合理」總成本應將該年實際(或推估)之納管水量與設計水量之比例(d)予以提列如表 2.5-2 所示。

推估園區營運初期若干年間之平均日納管水量可採下列方式之一決定之：

- (1) 由該園區進駐廠商各年預估量產之平均日廢水量總和計算之。
- (2) 或參考其他類似產業性質之園區各年污水處理廠平均日廢水水量。

表 2.5-2 園區污水下水道系統及污水處理廠年總成本與「合理」總成本計算

成本項目	金額(元/年)
1.服務費用	【A】
2.材料及用品費用	【B】
3.財產折舊、折耗及攤銷	【E】
污水下水道系統總工程預算數	【F】
每年之折舊攤提數，N 為攤列年數	【E】 = 【F÷N】
該年納管水量與設計水量比例 d	
「合理」財產折舊、折耗及攤銷	【C】 = 【E】 ×d
4.其他費用	【D】
年總成本	【A】 + 【B】 + 【E】 + 【D】
年「合理」總成本	【A】 + 【B】 + 【C】 + 【D】

資料來源：行政院國家科學委員會中部科學工業園區管理局(2008)

二、 費率估算

科學園區之污水下水道使用費收費標準之制訂原則首要目的考量污水廠營運處理之成本。現行科學園區污水廠以公辦民營為主要方式，污水處理成本、營建成本、設施維護成本、人員薪資成本等皆是維持污水處理廠正常營運的基本要件，需考量政府補助款以外不足部分，以下水道使用費徵收之方式維持收支平衡。

收費費基之訂定依廢(污)水排放費收費辦法第五條：

$$\text{費額} = \text{總污染當量} \times \text{費率}$$

$$\text{總污染當量} = \sum (\text{污染當量})_i$$

$$\text{污染當量} = \text{放流水水質} \times \text{放流水水量} \times \text{污染當量換算值}$$

$$i = \text{徵收水污費之污染物項目}$$

其中污染當量換算質係由政府考量污染物對環境之衝擊、陸域及海域地面水體之水質標準所訂定，此一數值為一常數，每一個應繳水污費的污染物項目皆制定各別的污染當量換算值，且此數值適用於所有產業(王，2003)。目前科學園區訂定收費辦法時將污染當量換算值以單價與分級費率依不同污染物的個別考量表示。

再者，下水道使用費之徵收尚有一重要目的，即以各項收費水質標準之訂定限制廠商污染物質的產出量，促進全體環境品質之提升。污水處理費的徵收雖能有效牽制廠商控制放流水水質於一定範圍內，施行徵收至目前為止卻無明顯提升園區廠商整體水質的效果，對於污染物質的總量或特定物質之排放量管控亦未出現明顯削減之成效。

藉由探討現行收費制度施行之成效與缺失，檢視廠商污染物質管控之不足處，除現行計費標準之懸浮固體濃度、化學需氧量二者以外，探討是否需增加重金屬、氨氮等項目之收費方式，以經濟誘因控制各種經常產出，容易造成明顯環境危害且目前正開始廣受矚目的污染物質。

2.5.2 科學園區污水下水道水污費收費現況

為順應水污費開徵第一階段針對工業區污水下水道系統用戶之收費，新竹科學工業園區於民國 92 年公佈區內下水道用戶收費標準，收費項目包含水量、懸浮固體濃度、化學需氧量及 16 項有害污染物質，由表 2.5-3 顯示，新竹科學工業園區、南部科學工業園區已於 96 年陸續以多年來收費損益平衡執行的狀況予以重新評估、檢討；並且同時將環保署之針對事業及工業區污水下水道系統需繳納水污染防治費之規定，一併納入調整與修訂污水下水道使用費匯率考量之內；故將使用費收費項目於原有水量、化學需氧量、懸浮固體外，再增加有害性污染物質項目(竹科)或特定物質(南科)。同時就其有害性污染物質項目或特定物質之收費以異常日起至廠商報請管理局複驗完成改善日止之污水排放量合理予以收費；然而中部科學工業園區目前則尚未針對其各園區之收費項目考量增加有害性污染物質項目或特定物質。此外，新竹科學工業園區、南部科學工業園區亦已公告並註明將管理局及園區宿舍區住宅用戶之污水下水道用戶排除予以免收使用費（行政院國家科學委員會中部科學工業園區管理局，2008。）。

因應環保署新增法規要求與營運成本上漲，新竹科學工業園區依收支平衡原則重新計算調整，於民國 2007 年公佈分兩階段實行調整後的收費標準。以總收廢水量 10.5 萬噸/天計算，調整後自 2008 年 1 月 1 日起，水量單價為 14.3 元/噸，製程污水單價為 6.8 元/噸、COD 單價 24.9 元/公斤、SS 單價 26.4 元/公斤、COD 單價 24.9 元/公斤、COD 單價 24.9 元/公斤，各項單價漲幅約在 7~14% 之間，另有特殊污染物質之收費為每公斤 1000 元。

表 2.5-3 現今各科學工業園區公告之污水下水道使用收費標準之
差異

名稱	適用園區	最新公告 日期(修定 次數)	用戶種類及其收費項目	備註
新竹科 學工業 園區	新竹園區	96/10/3(2)	1. 無製程廢水廠商及機關：僅 以水量為收費項目 2. 具製程廢水廠商：使用費收 費項目為水量、化學需氧 量、懸浮固體及有害性污染 物質	有註明管理 局及園區宿 舍區住宅用 戶免收使用 費
	竹南園區	92/10/27(1)		
	龍潭園區	—		
南部科 學工業 園區	臺南園區	96/3/22(2)	1. 公民營事業用戶如僅排放生 活污水或經管理局同意者： 僅以水量為收費項目 2. 公民營事業用戶：收費項目 為水量、化學需氧量、懸浮 固體及特定物質	有註明管理 局及園區宿 舍區住宅用 戶免收使用 費
	高雄園區	96/3/22(1)		
中部科 學工業 園區	臺中園區	94/10/1(0)	1. 機關學校：僅以水量為收費 項目 2. 公民營事業用戶：收費項目 為水量、化學需氧量、懸浮 固體	未註明管理 局及園區宿 舍區住宅用 戶免收使用 費
	虎尾園區	96/12/1(0)		

資料來源：行政院中部科學工業園區管理局，2008。

中部科學工業園區污水下水道系統之收費於 2005 年 10 月 1 日由當時之籌備開發處公告下水道納管水質標準及收費辦法後開始實施。其中水量單價每噸 17.6 元，製程污水單價為 8.4 元/噸、COD 單價 26.2 元/公斤、SS 單價 37.8 元/公斤。至 97 年度總收費水量約為 3.5 萬噸/天。

目前中部科學工業園區污水下水道之營收由於廠商進駐及擴建計劃尚未完全，而費率之訂定是以未來較大水量預估，因而尚可維持收支平衡。但為因應未來環保法規之趨勢，其他水質項目如氨氮應需及早考量加入計費項目之可能性與預定計費方式，而自收費初期即未加入之特殊有害物質加收費用辦法，考量園區納管事業種類眾多，廢污水前處理設施的效能維護功效不一，為避免特殊污染物質之異常排放，也應盡速加入此項之收費以經濟誘因有效限制管控區內廠商之排放水質。

為進一步針對現今各科學工業園區公告之污水下水道使用費費率及單價差異整理如表 2.5-4 所示；由其中可知，現行中部科學工業園區之使用費費率單價與南部科學工業園區之使用費費率單價較接近，二者皆屬費率單價較高園區。此外，整體而言，新竹科學工業園區中之竹科及竹南園區其下水道使用費費率單價則較中科與南科為低。

表 2.5-4 現今各科學工業園區公告之污水下水道使用收費單價費率之差異

收費項目及費率		科學工業園區及各園區			
		新竹	竹南	龍潭	南科 (臺南及高雄)
單一水量費率(元/m ³)	14.3	12.9	12.9	18.0	17.6
污水量單價(元/m ³)	6.8	6.0	6.0	8.6	8.4
COD 單價 (元/Kg)	24.9	21.9	32	26.7	26.2
SS 單價 (元/Kg)	26.4	24.7	129	38.4	37.8
有害性污染物或特定物質單價(元/Kg)	總汞	1,000	1,000	1,000	31,250
	鎘	1,000	1,000	1,000	6,250
	總鉻	1,000	1,000	1,000	1,250
	六價鉻	1,000	1,000	1,000	—
	鉛	1,000	1,000	1,000	625
	鎳	1,000	1,000	1,000	625
	銅	1,000	1,000	1,000	625
	砷	1,000	1,000	1,000	1,250
	TMAH	—	—	—	1,000
	鋅	1,000	1,000	1,000	—
	氰化物	1,000	1,000	1,000	6,250
	銀	1,000	1,000	1,000	—
	硒	1,000	1,000	1,000	—
	氟化物	1,000	1,000	1,000	2,000
	陰離子界面活性劑	1,000	1,000	1,000	—
	油脂	1,000	1,000	1,000	—
	酚類	1,000	1,000	1,000	—

2.5.3 中部科學工業園區污水下水道系統污染收集量

依 2.3 節所說明的行政管制手段（表 2.3-3），配合 2.5.2 小節進行水污費的收費，以目前混合方式的管制下，本研究統計了由 96 年至 97 年上半年三個時期的下水道系統污染收集量（表 2.5-5），不論是懸浮固體物（SS）負荷量、化學需氧量（COD）負荷量以及生化需氧量（BOD）負荷量，均以 96 下半年時為最高，這些污染的排入量，會隨著生產量、管制效率等不同而隨之變化，但重點是，目前水污費計算之結構，正如同 2.5.1 小節裡所描述的方式一樣，主要考量服務費用、材料、設備折舊等支出下，進行計算而得，並未考量誘使事業降低排污量的因素，因此，對整體社會之成本計算而言，仍有所不足之處，這也是本研究所要探討的方向之一。

表 2.5-5 中部科學工業園區下水道系統污染收集量

時期	SS負荷量 (kg)	COD負荷量 (kg)	BOD負荷量 (kg)
96上半年	442,394	575,254	254,278
96下半年	667,759	689,209	437,971
97年上半年	396,930	571,198	250,759

在本研究當中，希望能求得適當的園區內事業污染防治成本函數，與目前水污費的收費費率進行比較，探討是否能利用水污費費率的調整，誘使事業減少污染量的排出。

第3章 水污費計算相關理論基礎

3.1 邊界效率

經濟學上所稱「規模經濟」是指生產的成本可呼應出產量，或可解釋為產量需求越大時，因固定成本的支出相對之下所佔的比例較小而使所有成本的總和下降，相對獲利提高，此情形稱此廠商具有規模經濟。規模經濟的整體生產效率可用經濟效率表示之。

事業生產所需成本其中一項為廢水處理，因此事業廢水處理所對應出的整體產量可用邊界效率衡量整體生產效率。就生產過程中所有的資源配置上，據 Farrell(1957)首先以效率概念探討生產效率的衡量，即廠商在現有技術水準下，給予固定的要素投入，若生產達到其潛在的最大產出水準，則為最有效率之生產點如以此投入要素對應最有效率生產點的各點連接起來，則形成生產邊界(production frontier)，若生產未能達到此生產邊界，則為無效率(inefficiency)，可得一邊界效率模型曲線如圖 3.1-1 中 IQ 曲線，亦稱為等量曲線(isoquant)。Farrell 並將效率分為技術效率(technical efficiency, TE)及配置效率(allocation efficiency, AE)。

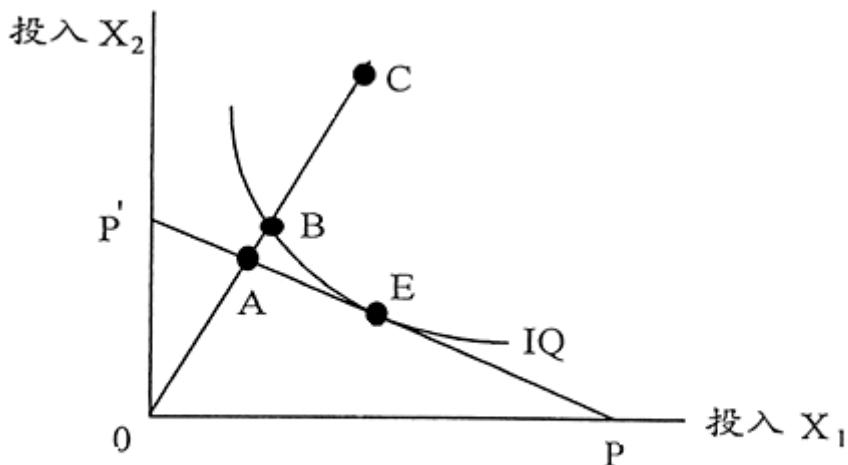


圖 3.1-1 技術效率與配置效率的衡量

技術效率是指廠商在既定的要素投入下所得之產出，技術效率越高則產出越大，而若是在技術效率不變的情形下，產量必和投入量呈正相關，且欲增加單一項的產量，需增加投入量，或使其他項產品的產量下降；如欲減少單一項要素投入量，則需增加其他項的投入量，或使產量下降。如此的生產行為可稱已具技術效率。當具規模經濟的廠商達到規模報酬技術時等量曲線可表示為圖 3.1-1 中之 IQ 曲線，投入組合(即觀察到的生產組合)落在等量曲線上時代表具技術效率，不落在等量曲線上的投入組合則代表不具技術效率。當實際觀察到的生產組合越接近等量曲線時，代表其技術效率越高，且根據 Farrell 之技術效率指標(TE)所求得之數值越趨近於 1，因此 TE 越大代表技術效率越高。

配置效率是指廠商在既定的生產技術及生產要素價格下最適要素比例的投入，投入量越少則配置效率越高，亦稱為價格效率。

技術效率與配置效率的乘積即為經濟效率 (economic efficiency, EE)，即以固定生產技術及要素價格下可達成的產出量稱為經濟效率，或稱生產效率、成本效率。

茲列出如下式：

$$TE = b/a$$

$$AE = a/c$$

$$TE \times AE = (b/a) \times (a/c)$$

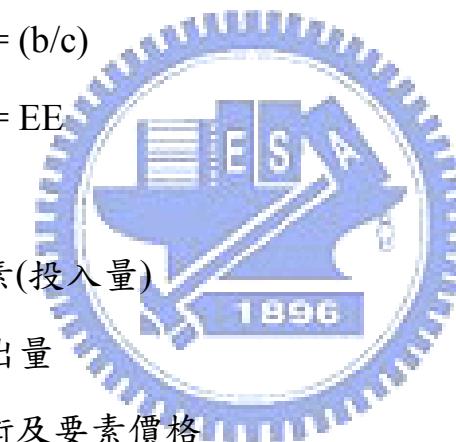
$$= (b/c)$$

$$= EE$$

a:投入要素(投入量)

b:最大產出量

c:生產技術及要素價格



邊界效率模型大致可分為確定性與隨機性兩類，其中確定性模型又分為確定性非參數邊界模型、確定性參數邊界模型及確定性統計邊界模型。

一、確定性邊界模型

Farrell(1957)雖提出以效率估計的概念，但其研究方法是以非參數的型態不用任何參數做估計，即確定型非參數邊界模型的雛型，不易將模式一般化。Afriat(1972)將統計的觀念

導入邊界模型，將誤差項(u_i)視為兩參數的貝他分配(two-parameter beta distribution)，並以最大概似法(maximum-likelihood estimation, MLE)估計模型參數，其研究結果認為誤差值越大，則生產越無效率。

Aigner 與 Chu(1968)提出了參數邊界模型的概念，以Cobb-Douglas 參數邊界生產函數為估計式，不僅預先設立生產函數形式，並假設所有產出的差異均是由技術無效率造成，而不考慮配置無效率。此法的優點在於，將生產邊界以一般化的 Cobb-Douglas 生產函數表示，可對生產水準之假設加入限制，因此在估計過程中也估計了生產函數中的參數，稱為較完整的確定型參數邊界模型。

二、資料包絡分析法

Charnes, Cooper and Rhodes (1978)將 Farrell 的效率衡量概念將之擴展為不需事先設定函數型式，以多元投入產出的效率衡量概念，並定名為資料包絡分析法(Data Envelopment Analysis, DEA)，將效率評估觀念推展至多元產出的模式。從生產函數角度看，此模型是用來研究具有多個輸入、特別是具有多個輸出的生產部門，同時為”規模有效”與”技術有效”的研究方法。此法乃利用數學規劃法將所有決策單位的投入項、產出項投射在空間中，客觀的給予所有受評估單位最有利的權數值，以尋找最大產出或最小投入為邊界，若某受評估的決策單位落在邊界上時，則此一決策單位為技術效率(TE)單位，若不在邊界上時，則該決策單位可視為技術無效率單

位(黃，1996)。DEA 法的優點是，不需事先設定目標函數型式，所以可以免除在估計時，函數型式設定錯誤的可能性；缺點則是，DEA 法假設隨機誤差項不存在，把所有殘差都歸因於無效率，則可能導致無效率被高估的問題，因此目前的研究已逐漸朝向具有隨機性質的 DEA 發展(陳，2004)。

三、隨機型邊界模型

隨機型邊界模型是近代學者對於確定型邊界模型的修正，他們認為確定型估計法沒有將估計誤差可能影響與干擾邊界的其他因素考慮進去，且將所有的邊界誤差都視為技術無效率的結果並不合適，因此發展出隨機邊界分析法(陳，2004)。他們認為除了人為可控制的無效率因子(u_i)外，應該對隨機邊界生產函數額外再放入一個隨機誤差項(v_i)，代表人為無法控制的隨機誤差項，此誤差項可正可負，用以表示估計誤差或其他隨機干擾因素，如此便可解決確定性邊界法與 DEA 估計的技術無效率偏差問題。Battese 與 Coelli(1995)表示，變數的參數估計的確影響技術無效率效果的水準

藉由圖 3.1-2 可以更清楚了解隨機邊界模型的設定，其中橫軸代表投入，縱軸代表產出， $y=\exp(x\beta)$ 代表隨機模型的確定山產函數，並假設為規模報酬遞減。

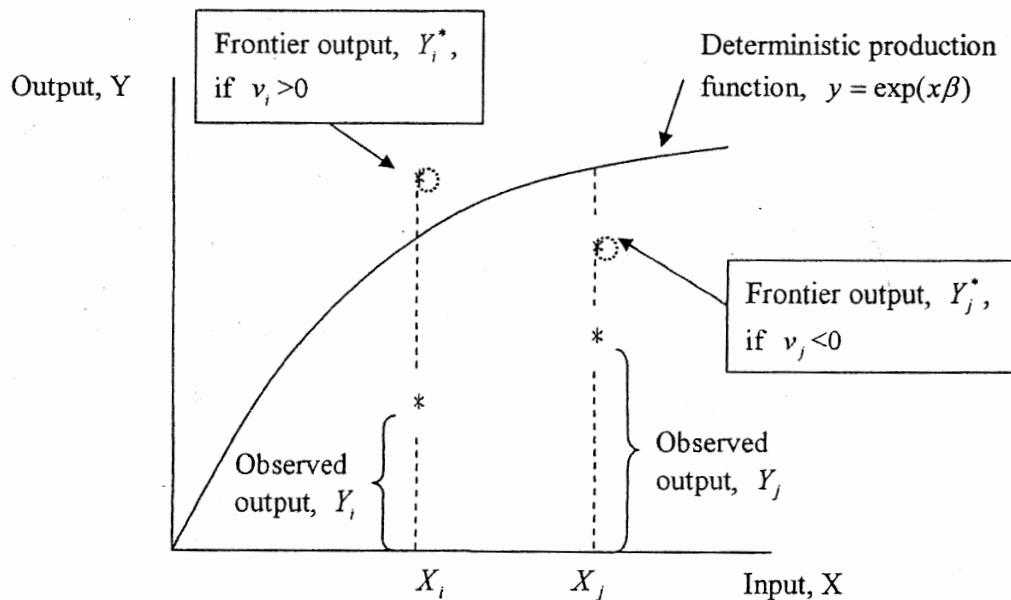


圖 3.1-2 隨機邊界生產函數

3.2 生產函數

生產函數是經濟學上一個重要的基礎函數，表示在一定的時間和技術條件下，生產要素的某種組合所可能產出的最大產量。事業生產過程中如有事業廢水的產生，則其中必有不同程度污染物質的排放，如欲預估污水處理所需支付的成本，首先要了解生產規模中污染物質的產出量及排放量，可稱之為污染排放量需求，配合實際進場處理的污染排放量與處理成本，方能更精準訂定最適污水處理費費率。

以產生污染排放量為自變數、所需付出的污染防治成本為應變數的函數模型稱為生產函數，或稱需求函數。

吳(1996)表示，在訂定最適費率時，除了考量處理廠之處理成本函數外，同時也須了解各廠商對污染物之排放量的生產函數。

以所有納管廠商之排放總和為排放總生產函數可得一曲線，用以代表廠商在各種不同處理量下願支付的最高價格，故可稱為廢水處理的邊際願付價格(marginal willingness to pay, MWTP)。

王(2005)也曾以經濟學角度發表相似的函數如圖 3.2-1。

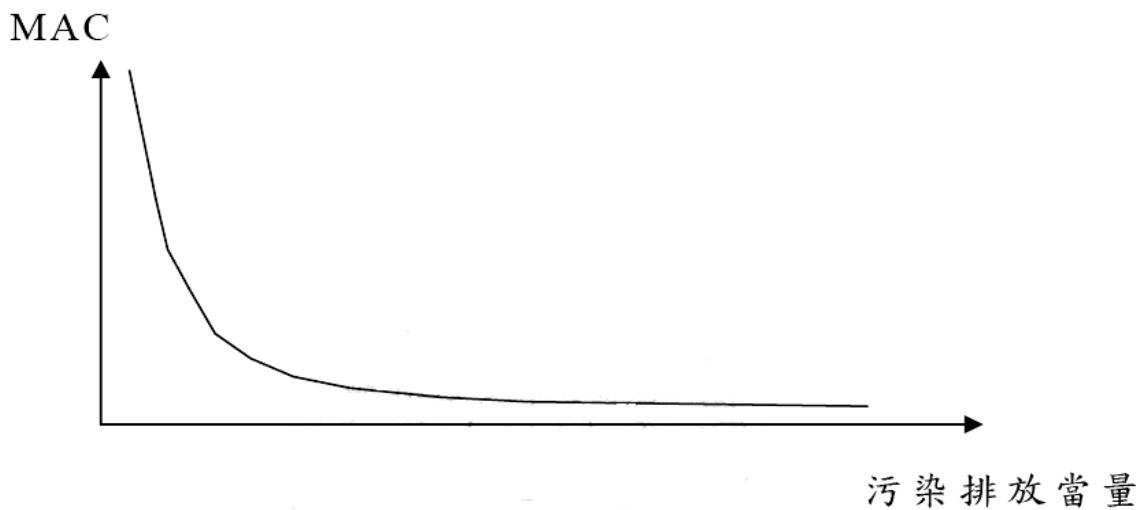


圖 3.2-1 邊際防治成本與污染排放當量之關係圖

其中所指邊際防治成本(marginal abatement cost, MAC)定義與邊際願付價格意義相似，而污染排放當量之定義與排放需求定義相似。兩函數結果皆顯示，廠商污染排放量越低時，願付出的最高價格也越低。換言之，廠商前處理效能如不斷提升，願意支付以抵銷污水廠營收之金額也越少。

3.3 成本函數

陳(2004)將生產要素與產出之間的關係以生產函數表示如下式

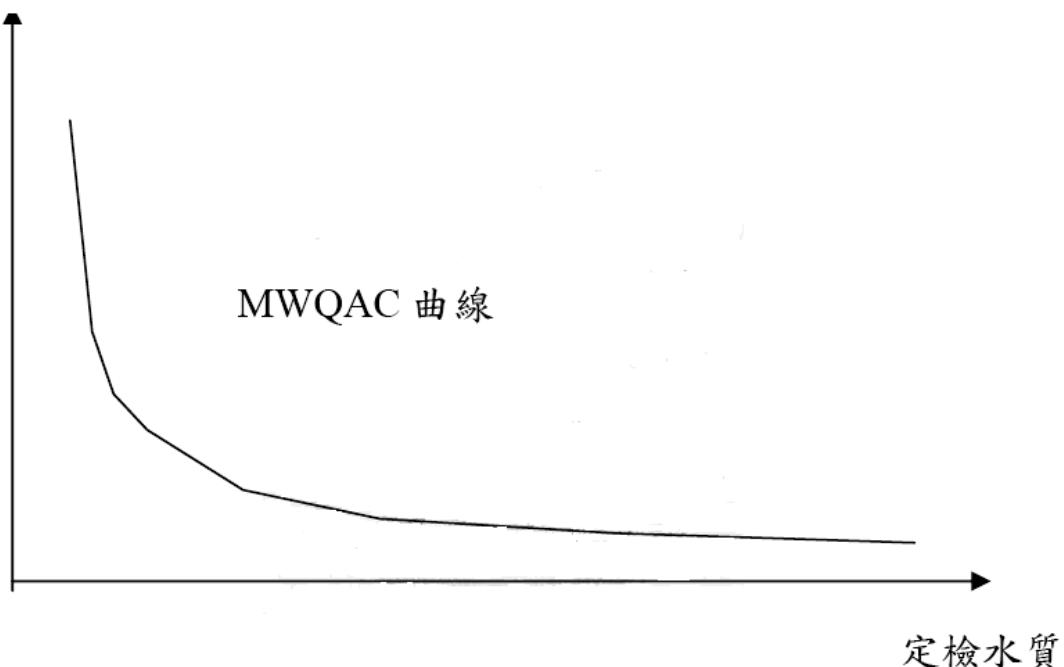
$$Y = f(X)$$

其中，Y 為產出，X 為生產要素。但由於生產函數在研究多重產出時會發生無法衡量的情形，僅能用於衡量單一產出點。

根據經濟學原理，當污染排放者處理污染物之邊際防治成本高於費率時，排放者會傾向繳納水污費，而不是降低污染排放量；當污染排放者處理污染物之邊際防治成本低於費率時，排放者會傾向自行提高污染處理量，即降低污染排放量(王，2005)。

王(2005)亦曾表示，由於污染排放者的排放量與排放水質呈正比關係，故污染排放量減少時水質亦會降低，故邊際防治成本會隨排放量減少而增加，同樣會隨排放水質降低而增高，故圖 3.2-1 可轉換形式如圖 3.3-1。

MAC



上圖所得之曲線即為 MWQAC 曲線，可得知費率與定檢水質之關係。

在建立一個定價模型時，須確實考量成本分攤方式的恰當與否，並須考慮各廠在營運上是否已達效率水準，否則較高的處理成本所推估出來的費率難免偏高，影響所及，自然不可忽視。此外，最適的費率之訂定亦須考慮廢水處理之供需平衡，否則只立基於成本面所訂定的價格難免有所偏頗(吳，1996)。

吳(1996)將污水處理費之計價法分為五種：

1. 利潤最大化訂價法：處理廠以追求利潤最大化(或損失最小化)為目標。

2. 收支平衡訂價法(又稱平均成本訂價法):以處理廠收支平衡為目標，亦即總處理成本須等於處理費的總收入。
3. 聯合剩餘最大化的訂價法：處理廠兼顧本身及廠商之剩餘，故以追求廠商納管後之「消費者剩餘」與處理廠之「生產者剩餘」之合的最大化為目標。
4. 處理容量充分利用訂價法:處理廠係以充分利用處理容量(或設計容量)為主要目標。
5. 社會淨利益最大的訂價法:在此一訂價法之下，處理廠不但兼顧納管廠商及自身的利益，同時也兼顧處理廠之廢水排放可能造成的環境損害成本，其目標乃在於扣除損害成本後之聯合剩餘的最大化。



對政府主導營運的公辦污水處理廠而言，營利並非主要目的，因此其中以第二種及第三種訂價法最合乎時宜，第四種訂價法由於通常高估污水廠實際處理量而易造成污水廠營運之虧損，第五種訂價法由於須考量之參數眾多，增加計算時的複雜度而使函數計算結果有較大變異。

在計算生產函數與成本函數的形式選擇時，陳(2002)整理出了Cave 與 Christensen 在 1980 年所發表的理論，提出在理論模型的函數選擇上，需考慮的特點有下列三項：(1)計算方便性(computational simplicity)：即函數形式應簡單化，且應對其所推估的參數為線型，俾便於計算之處理。(2)理論一致性(theoretical consistency)：即所選用的函數應具備經濟理論上的特性。如成本

函數須為要素價格的非遞減函數、要素價格的一階其次是要素價格的凹函數等。(3)限制彈性(constrained flexibility)：即函數本身所附加不必要的限制條件應越少越好，也就是讓自身價格彈性、交叉彈性、投入要素替代彈性等，在符合經濟理論的條件下，可為任意數值。

本研究的最終目的在於設計合適計算函數以估算園區污水下水道使用費收費的費率是否合理，其中需考量的因素眾多。

污水廠的處理成本亦主要分為兩類，一為固定成本，一為變動成本。其包含之種類如下：

$$\text{固定成本} = \text{設備費} + \text{土地費}$$

$$\text{變動成本} = \text{人事費} + \text{藥品費} + \text{電費} + \text{其他操作維護費}$$

(王，2005)

因此污水廠總處理成本應為固定成本與變動成本的總和。



吳(1996)針對污水廠成本函數的評估提出了變數選擇的看法，其中提出，廢水處理的過程中，主要的成本投入項為人員薪資費、資本設備費(包含折舊)、藥劑及維護費；產出項目則包含BOD、COD、SS、廢水等等，上述項目為自變數，並以總處理成本為應變數。

令廠商處理放流水水質濃度及水量的投入成本，與最終排放的放流水水質濃度及水量的關係為一 Translog 函數，透過二階泰勒展開式 (second-order-Taylor expansion form)，可表示為式 3.3-1

$$\begin{aligned}\log C &= \alpha_0 + \alpha_q \log Q + \sum_i \alpha_i \log P_i + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \beta_{ij} \log P_i \log P_j \\ &+ \sum_i \gamma_{iq} \log P_i \log Q + \frac{1}{2} \gamma_{qq} \cdot (\log Q)^2\end{aligned}$$

式 3.3-1

式中 C 為廠商現有的污染處理設備投入成本， Q 為廠商在現有的污染處理設備下，經污染減量後最終排放至地面水體的放流水水質濃度及水量組成的污染當量排放量， P_i 、 P_j 為各投入要素的價格， α_0 、 α_q 、 α_i 、 β_{ij} 、 γ_{iq} 、 γ_{qq} 為參數值。若資料屬於橫斷面，在一般情形下，污染防治投入要素的價格 P 將沒有變化，故可將 P 視為常數，此時，式 3.3-1 的 Translog 函數則縮減為

$$\log C = \alpha_0 + \alpha_q \log Q + \frac{1}{2} \gamma_{qq} \cdot (\log Q)^2$$

式 3.3-2

式中之 C 、 Q 分別為廠商現有的污染處理設備投入成本，及廠商在現有的污染處理設備下，經污染減量後最終排放至地面水體的放流水水質濃度及水量組成的污染當量排放量，而 α_0 、 α_q 、 γ_{qq} 為估計參數。而廠商投入的污染處理成本為其同時處理放流水水質濃度及放流水水量的總成本，因此 Q 為廠商進行污染防治後，排放至地面水體之每公升 COD 含量及放流水水量兩者經污染當量換算值轉換後的污染當量排放量。

然而理論上較常探討的污染防治成本曲線的產出即為污染去除量，求算的成本曲線意指廠商從事污染防治工作，將未處理前的放流水水質水量處理至某一水準時，所投入的污染防治成本，此時產出為污染去除量，而污染防治成本曲線會隨著污染去除量的增加而增加，污染去除量與污染防治成本為一正相關的關係。

但由 1998 年放流水標準及廢(污)水排放收費辦法可知，政府對廠商管制的污染項目為處理後排放至地面水體的放流水水質濃度及放流水水量，因此我們利用廠商經污染防治處理後排放至地面水體之定檢排放 COD 及定檢排放水量，經污染當量換算值轉換後的排放污染當量為產出，在廠商既定的污染防治成本下估算成本曲線，此條成本曲線隱含的意義為廠商若污染防治處理效果較差時，其排放至地面水體的污染當量則愈多，此時廠商在既定的污染防治設備處理下，面對政府放流水標準及水污費管制，所需負擔的污染防治成本會愈高。

我們可利用一般最小平方法進行迴歸分析推估式 3.4-2，得到廠商最終排放放流水水質濃度及水量至地面水體所必須付出的污染防治總成本與污染當量排放量的關係，廠商因處理污染減量所產生的污染總成本可由投入要素的原始資料計算，污染防治總成本主要來自兩大類，其一為污染防治設備的資本成本，另一項為使該設備正常運作所投入的操作及維護成本，亦即

$$\text{防治的資本成本} = \text{設備費用} + \text{資本利息}$$

$$\text{防治的維護成本} = \text{操作與維護費} + \text{人事費} + \text{藥品費} + \text{電費}$$

3.4 水污費計算函數設定

3.4.1 函數型式

1. 雙變量回歸模型估計

完整的雙變量函數內含有自變數 X 和應變數 Y，通常將已取得的各種數據稱為自變數 X，並將欲得到的數值稱為應

變數 Y ，可稱為條件期望值(conditional expected values)，因為他們取決於條件變量 X 的給定值。我們用符號表示為

$$E(Y | X_i),$$

稱為”給定 X 下 Y 的期望值”(Gujarati, 1978.)。

若以 $E(Y | X_i) = f(X_i)$ 表示，稱為總體回歸函數(population regression function, PEF)或稱條件期望函數(conditional expected function, CEF)或簡稱總體函數(PR)。函數中說明了 Y 的均值或平均對應質是如何隨 X 而變化的。

(1) 線性迴歸模型

同時具有 X 變量與隨機 Y 變量的函數， Y 的條件期望值是對應不同的 X_i 出現，且變量 X 皆以一次方的型態出現，稱為 Y 是 X 的線性總體迴歸函數，可以下列形式表達：

$$E(Y | X_i) = \beta_1 + \beta_2 X_i$$

其中 β_1 和 β_2 為未知但卻固定的參數，稱為回歸係數(regression coefficients)， β_1 為截距(intercept)， β_2 為斜率係數(slope coefficients)。

(2) 函數隨機誤差項

個別的 X_i 值所對應的 Y_i 值在函數圖形表示上，會圍繞著 X_i 均值所對應出的 Y_i 均值周圍，也就是圍繞著其條件均值。因此，可以將個別的 Y_i 值圍繞它的期望值的離差(deviation)表述如下：

$$u = Y_i - E(Y | X_i)$$

式 3.4-1

或

$$Y = E(Y|X_i) + u_i$$

式 3.4-2

其中的離差 u_i 項是一個可正可負的隨機變量，可稱為隨機干擾(stochastic disturbance)或隨機誤差項(stochastic error)，為非系統性成分，而 $E(Y|X_i)$ 代表系統中系統性或確定性成分。若回歸曲線通過式 3.4-2 之 Y 值為 $E(Y|X_i)$ ，表示 u_i 項為零。

隨機干擾項是整個模型中被省略，但卻集體影響 Y 變量的因子，不將這些項目加入模式中討論的原因通常在於，這些影響因子缺乏明確的數據、無法明確得知其在模式整體中所具的影響性，或影響性太小而將這些因子統一以 u_i 項替代不作討論。

2. Cobb-Douglas

Cobb-Douglas 生產函數是目前最常用的生產函數之一，此函數是由數學家 Cobb 與經濟學家 Douglas 於 1928 年所提出，由於此型態的生產函數使用起來非常方便，因此被廣泛運用於各種研究之中。此函數最簡單的形式如下。

$$Q = AK^\alpha L^\beta$$

上式中的 Q 代表產量，K 表示資本使用量，L 則表示勞動的使用量，其餘為固定常數，此指數函數形式可以複迴歸表示，再兩邊取對數後化成一次的函數型態。

$$\log Q = \log A + \alpha \log K + \beta \log L$$

此一函數上可代表生產因素的產量彈性值(Output Elasticity)，即所謂的生產因素的產量弧彈性(Arc Elasticity) (周，2001)。

過去有許多關於污染防治成本估計的研究也都使用了此函數，如 McConnell 與 Schwarz(1992)、 Schwarz 與 McConnell(1993)，但上述二者的研究結果都發現，自變數的選擇會造成排放污染的計算值與實際值有所差異，例如自變數設定的缺失，與是否考慮未知變數(虛擬變數)的影響。但鄭(2008)的研究也指出，就單一年的空氣污染資料而言，使用 Cobb-Douglas 函數估計的成本函數相較於 Translog 函數與 Quadratic 函數而言是較為恰當的。

3. Translog

Translog 函數形式是由 Christen *et al.*(1971)所推導出的，其優點除了可避免一些函數上的限制外，無論在間接效用函數、成本函數或生產函數的估計形式為何，它可以盡量接近真正的函數，使估計者不需使用建立在不合理假設限制下的函數。但也因此產生使 Translog 函數擁有大量的參數估計，增加運算上的困難。其函數形式表現如下(Christen 與 Greene，1976):

$$\ln C = \alpha_0 + \alpha_Y \ln Y + \frac{1}{2} r_{YY} (\ln Y)^2 + \sum_i \alpha_i \ln P_i + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j r_{ij} \ln P_i \ln P_j + \sum_i r_n \ln Y \ln P_i + \varepsilon$$

其中， $r_{ij} = r_{ji}$ 。為了對應到合理的污染防治成本函數，此 Translog 函數必須是價格的一次齊次函數，亦即給定一污染減量水準，防治成本必須隨價格的增加成同比例上升。

Goldar et al. (2001)嘗試修改一般的 Translog 函數，使其估計的參數減少而簡化，並經由大型廠商與小型廠商的邊際效應防治成本差異上明顯發現規模經濟的存在。李(2000)在針對空氣污染的研究上，分別以三種函數形式推估污染防治成本後發現，Translog 函數較適合描述台灣地區廠商之污染成本函數，其結果並與規模經濟相符。

4. Semi-Log

半對數(Semi-Log)函數的形式如下式

$$\log(Y) = \beta X + \mu$$

黃(1996)曾以修正後的半對數式之平均處理成本函數來導出廢水量分析工業區廢水處理收費之問題，並加入了污染物的處理濃度、容積利用率等變數，經過實證提出了多家污水處理廠的收費費率修正建議。

5. Quadratic

一元二次方程(Quadratic)在過去許多文獻中常被用以跟 Cobb-Log、Trans-Log、Semi-Log 之應用結果比較，但分析過後都顯示相較之下不適於解釋污染防治的成本分析。

3.4.2 資料型態

1. Cross-section

橫斷面資料(Cross-section)即不考慮時間因素下所蒐集使用的資料數據，或稱橫截面數據，如事業廢污水申報作業中，同一事業單位在每季或每半年所呈現的水質資料。橫截面數據指對一個或多個變量在同一時間點上收集的數據(Gujarati, 1978.)。使用橫斷面資料放入函數中，代表已假設廠商在不同時間中會一直以相同方式生產。這樣的假設顯然不符合實際狀況，廠商欲控制成本，必然會不斷進行效率改善。

2. Time Series Data

時間序列數據(Time Series Data)是收集以前各時間的資料來推估未來資料走勢的統計方法，也就是縱斷面資料，如工業區或科學園區在單一時間點針對所有事業單位進行放流水檢測所得數值。單就時間序列本身就有許多不同方法，每一種方法都有不同的使用時間，且針對不同產品、不同資料型態的推估都不盡相同，使用者必須對於研究資料及研究對象有很深的了解以找出最適方法。一個時間序列示對一個變量在不同時間取值的一組觀測結果。對於時間序列數據的回歸通常都能得到很高的回歸係數 r^2 值，但大多數使用時間序列數據分析之作，大多假設所依據的時間序列是平穩的，也

就是說，如果一個時間序列的均值和方差不隨時間而系統地變化，那它就是平穩的(Gujarati, 1978.)。

3. Panel Data

平行數據(Panel Data)或稱縱橫斷面資料是同時考慮了橫斷面與縱斷面的資料收集法，同時結合了縱橫斷面的資料特性，針對不同時間的橫斷面資料作連續觀測所得到的多維數據，由於這類數據有著獨特的優點，使平行數據模型目前已在計量經濟學、社會學等領域有較為廣泛的應用。平行數據模型能夠同時反映研究對象在時間與橫截面單元兩個方向上的變化規律及不同時間、不同單元的特性。

Battese and Coelli (1992)即考慮技術進步的影響，將時間納入無效率項，並將橫斷面資料加入估計，提出了技術效率的計算公式。

$$Y_{it} = X_{it} \beta + (V_{it} + u_{it})$$

$$i=1, \dots, N$$

$$t=1, \dots, T$$

Y_{it} ：表第 i 家廠商在第 t 期的產量(或成本)。

X_{it} ：為 $K \times 1$ 的變數向量，表示第 i 家廠商在第 t 期的各解釋變數。

β ：為 $K \times 1$ 的未知參數向量

$$v_{it} \stackrel{iid}{\sim} N(0, \sigma_v^2) \circ$$

$$u_{it} = \tau_u u_i = (u_i \cdot e^{-\tau(t-T_i)}) \quad , \quad \tau \text{ 為未知參數} \quad , \quad u_i \stackrel{iid}{\sim} N(\mu, \sigma_u^2) \circ$$

並在 1995 年進一步提出了考慮影響技術效率的變數，寫出一模型為

$$Y_{it} = X_{it}\beta + (V_{it} + u_{it})$$

$$i=1, \dots, N$$

$$t=1, \dots, T$$

Y_{it} ：表第 i 家廠商在第 t 期的產量(或成本)。

X_{it} ：為 $K \times 1$ 的變數向量，表示第 i 家廠商在第 t 期的各解釋變數。

β ：為第 $K \times 1$ 的未知參數向量

$$v_{it} \stackrel{iid}{\sim} N(0, \sigma_v^2)$$

u_{it} 服從截斷常態分配，其分配形式為 $N(m_{it}, \sigma_u^2)$ ， $m_{it} = z_{it}\delta$ ，

而 Z_{it} 為 $p \times 1$ 的 變數向量，可以影響某一廠商的效率。

δ 為一 $p \times 1$ 未知參數向量，須被估計之。

本模型與上一模型不同處在於對技術無效率項的分配設定不同，經濟含義也不盡相同。而 Battese 與 Coelli 針對上述兩個模型寫出了一套軟體可供實證分析，此軟體稱為 Frontier，可供研究者從生產函數或成本函數的角度來求導函數的參數估計值與效率值，並不論橫斷面資料或 panel data 皆可分析，甚至在模型中的效率值亦可設定為 time-invariant 或 time-varying，於求算廠商每期的技術效率值助益頗大。(蕭，1998)

第4章 資料處理與函數選用

4.1 資料收集與變數選用

本研究取得之數據包含，中部科學園區污水下水道納管廠商管制編號與產業類別、半年申報污水水質水量列表，其中含原水水量、排放水量、COD 值、SS 值、pH 值、採樣日期、收費水質、總收費金額、事業廢水各單一系統原水設計水質水量、污水處理設備每月用電量、設備每月電費、設置成本、加藥量、總成本等，中部科學工業園區部分共有 96、97 年度共 12 家廠商 280 筆資料進行成本函數與生產函數之分析，每筆資料皆包含前處理設備設置面積、前處理設備設置成本、藥品成本、原水水量、原水 SS 濃度、原水 COD 濃度、原水污染量、水污費、放流水量、放流水 COD 濃度、SS 濃度、污染總量、SS 污染削減量、COD 污染削減量、污染削減率、用電量、電費，刪除不合理資料，例如部分資料之污染削減量呈現負值。本研究針對成本函數部份，以 COD 削減量、SS 削減量、總處理水量、容積利用率反應出半年總處理成本的相對關係。由於中科台中園區主要廢水量來源為採生物處理的光電業 A 公司、半導體業 B 公司兩個放流口、半導體業 C 公司依個放流口共計三個半導體大廠放流口，在成本函數的模型中並加入是否為光電業、是否為半導體業、水污染防治設備設置面積三項虛擬變數探討此二因子對於處理成本的影響性。

4.1.1 資料處理與變數設定

1. 資料處理

所有的資料以廠商水污染防治許可證管制編號為代號，並以申報期間為單位。原水水質水量之資料，考量申報資料中每月水質水量並未詳全，本研究以各事業水污染防治許可申報資料計算每半年度原水SS、COD污染量；放流水水質水量則以污水處理廠所提供之 96 年至 97 年各事業單月份平均水質水量換算每半年污染總量及污染總削減量，其中水質資料採用水污費計費之數值，並以各事業單季水污費詳細資料換算半年平均水污費支出，加入電費、藥品費等作為變動成本，再加入經資本折舊攤提的設置費用即為總成本。數值分別以 Panel-data 方式呈現。

2. 資料計算處理與變數設定

(1) 應變數：總污染防治成本

其中包含藥品費、電費、人員薪資、設備折舊費等固定及變動成本總和。

- i. 電費：事業申報之用電量乘上台電公告工業用電平均電價 1.82 元/度計算。
- ii. 水污費：台中園區徵收下水道使用費之收費金額每半年總和。
- iii. 設備折舊費：以水污染防治設備建置完造年為基期，在本研究中以水污染防治許可證通過該年度為建置完造年 ($t=0$)，將所有設置成本以折現率(i)複利計算成基期年的現值。參考陳(2003)計算防治設備折現率方法，並同時參酌

蕭等(1991)之研究指出實質利率通常有考量風險因素，所以會有高估的現象產生，為了消除此風險因素，折現率應以較低風險長期債券利率或銀行長期定期存款為基準，由於本研究使用資料以半年為一期，故參考郵政儲金公告匯率計算，以本研究所具備資料起始年 2007 年為基準，該年度定期利率共調整 5 次，平均為 1.878 %，並加入企業優惠機動利率 2.175 %，計算出全年平均折現率 4.053 %，因此半年折現率為 2.027 %計算，如表 4.1-1，計算出各事業每半年設備折現率所使用的資本還原因子計算基期如表 4.1-2。最終以萬元表示。

上述計算使用的是均化成本法(levelized-cost)攤提廠商所投入的固定污染防治成本，此法需假設每年的污染去除量相同，及營運期間每年的操作維護費等變動成本皆相同，接著以固定成本成以資本還原因子，加上變動成本即為總成本。資本還原因子(capital recovery factor ; CRF)計算方式如下式：

$$\frac{i(1+i)^T}{(1+i)^T - 1}$$

i：折現率

T：折現基期

- (2) 自變數：污染去除量、處理設備容積利用率、處理水量、
- i. 污染去除量：以原水水質水量、放流水水質水量分別計算出 SS、COD 污染總量每半年總和，並以公斤表示。
 - ii. 處理設備容積利用比：以實際處理水量與設計最大處理水量之比例表示。

iii. 排放水量：每半年排放水量總和，亦可代表處理水量，以萬噸表示。

(3) 無效率變數：以防治設備設置面積、是否為光電業、是否為半導體業(是為1，否則為0)做無效率因子的回歸分析。

表 4.1-1 2007 年郵政儲金匯率折現利率計算

月份	定期利率(%)	折現率(%)
4月	2	
6月	1.92	
9月	1.72	
12月	1.69	
2007 年平均	1.878	
加入優惠機動計息(%)		2.175
全年平均機動利率(%)		4.053
半年平均機動利率(%)		2.0265

資料來源：中華郵政全球資訊網

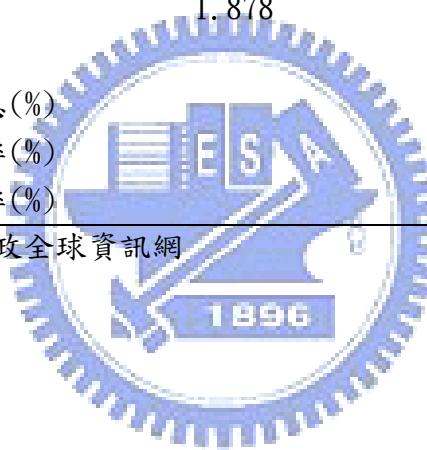


表 4.1-2 事業每半年防治成本計算設備折舊率資本還原因子計算基期

	防治設備設置年度	複利計算基期 T		
		96 上半年	96 下半年	97 上半年
A 公司	94	5	6	7
B 公司 1 號放流口	96	1	2	3
B 公司 2 號放流口	96		1	2
C 公司	94	5	6	7
D 公司	95	3	4	5
E 公司	95	3	4	5
F 公司	95	3	4	5
G 公司	95	3	4	5
H 公司	96	1	2	3
I 公司	96	1	2	3
J 公司	95	3	4	5

3. 樣本資料敘述統計

原始資料經過刪選後，所應用的統計資料如表 4.1-3。

- (1) 應變數：投入成本，樣本廠商最小值為 13,086.309 萬元，最大值為 24,516,574.412 萬元，平均值為 6,843,155.771 萬元。
- (2) 自變數：產出要素，分別有放流水量(萬噸/半年)、設備容積利用比、COD 削減量(公斤/半年)、SS 削減量(公斤/半年)、COD+SS 削減總量(公斤/半年)。
- (3) 成本無效率變數：將事業污染防治設備的設置面積(平方公尺)、是否為光電業、是否為半導體業作成本無效率項之分析，是為 1，否則為 0。

表 4.1-3 變數資料統計描述

	平均值	最大值	最小值	標準差	樣本數
應變數：					
總污染防治成本 (萬元/半年)	6,843,155.771	24,516,574.412	13,086.309	9,478,349.474	22
自變數：					
放流水量 (萬噸/半年)	73.006	383.225	0.043	122.264	22
設備容積利用比	0.506	0.949	0.139	0.215	22
COD 削減量 (公斤/半年)	4702645.35	4702645.35	-20780.29	1537240.97	22
SS 削減量 (公斤/半年)	610404.83	3803351.20	-104.70	1237254.59	22
COD+SS 削減總量 (公斤/半年)	1294270.27	8505996.55	7.08	2768423.22	22
成本無效率變數：					
防治設備設置面積 (平方公尺)	4070.95	22600.00	10.00	7846.95	22
是否為光電業	0.1429	1	0	0.3586	22
是否為半導體業	0.2857	1	0	0.4629	22

4.1.2 函數選用

1. 函數應用

本研究以多種函數形式分析，包含 Cobb-Douglas 、 Semilog 、 Translog 、 Quadratic 函數形式計算園區廠商水污染前處理設備污染防治成本的成本函數。以 Panel-data 計算，求出各函數結果中的無效率因子 β_1 ，用以推導總成本與總污染量之間的關係，進一步得到邊際污染防治成本函數。

以每半年總 SS 削減量、 COD 削減量及排放水量(處理水量)、設備容積利用率作為自變數，每半年總成本作為成本應變數，資料型態為 Panel data ，使用 Frontier 4.1 軟體中隨機邊界模型(stochastic frontier model) 計算出成本函數及無效率項。在計算時同時加入設置面積、是否為光電業 A 公司、是否為半導體業三項虛擬變數作為無效率項探討此三項因子對事業的邊際防治成本的影響程度。

2. 邊際成本函數之推導

基於 Cobb-Douglas 函數形式，我們可以推導出事業水污染防治行為的成本函數，為了簡化分析，在不考慮其他解釋變數下，我們可以推出總污染防治成本與污染去除量之間的關係，如下式所示

$$TC = \exp(\alpha_0 + \beta_1 \ln AE)$$

TC:總成本

AE:污染去除量

α_0 :常數

β_1 :污染去除量項係數

上式中無效率因子在隨機邊界模型函數計算中可求得，接著利用上式可求出常數與係數。再進一步將總污染防治成本除以污染去除量，以及對污染去除量作一階微分，就可得到邊際污染防治成本函數如下式

$$\begin{aligned}MC &= \frac{\partial TC}{\partial AE} = \frac{\partial \exp(\alpha_0 + \beta_1 \ln AE)}{\partial AE} = \frac{\partial \exp(\alpha_0 + \beta_1 AE)}{\partial(\alpha_0 + \beta_1 \ln AE)} \cdot \frac{\partial(\alpha_0 + \beta_1 \ln AE)}{\partial AE} \\&= \frac{\beta_1}{AE} \cdot \exp(\alpha_0 + \beta_1 \ln AE) = \beta_1 \cdot \frac{TC}{AE}\end{aligned}$$

將所有求得的係數與常數代入計算，便可計算出園區納管廠商的邊際防治成本函數。



第5章 實證分析

5.1 成本函數分析

本研究分別以 Cobb-Douglas、Quadratic、Semilog、Translog 四種函數形式估計中科台中園區納管事業水污染防治成本函數，其結果依序討論如下。

一、 Cobb-Douglas 函數實證結果

由表 5.1-1 可得知，此函數形式結果中，事業污染防治成本與容積利用率呈現正相關，SS 污染削減總量亦與防治成本成正比，以本實證模型的自由度 13 查表得知以 5 % 顯著水準下，t-ratio 顯著水平臨界值應在 1.7771，容積利用率與 SS 削減總量、污水放流量對防治成本的正比關係皆達到顯著水準，顯示本模型適用於估計台中園區的事業污染防治成本。在本線性模型中，設定防治設備設置面積、是否為光電業與是否屬於半導體業作為無效率項虛擬變數，結果顯示是否為光電業此變數在本實證結果中的參數值為 -0.27 呈現負相關，但 t-ratio=-0.098，並未達顯著水準，而是否為半導體業的參數值為 4.9 且 t-ratio=9.81，達到顯著水準，顯示半導體業在園區的污染防治成本模式中顯示技術無效率，半導體業的防治成本與污染處理的成效會明顯趨向無效率。

整體而言，以 Cobb-Douglas 函數模式估計台中園區廠商的污染防治成本結果顯示，污水放流量與 COD 削減量皆與污染防治成本成負相關，放流量越高、COD 削減量越大則防治成本會略降低，而 SS 去除量增加則防治成本增加，無效率項分析使用防治設備設

置面積也達效率水準，即設置面積是成本無效率的因子，在行業別無效率結果呈現上，是否為光電業對邊際防治成本無效率並無顯著影響，顯示但是否為半導體業則有顯著的正相關，表示半導體業顯著呈現成本無效率。整體結果顯示顯示台中園區的事業水污染防治成本明顯反應在 SS 削減量上，而放流水量及 COD 削減量與處理成本呈現負相關，此情況顯示，台中園區的事業防治設備操作上，如欲降低成本，則傾向將 SS 削減量的降低而提升 COD 的削減量及降低總放流水量，且半導體業者呈現技術無效率，顯示半導體業者的防治成效並不佳。

表 5.1-1 Cobb-Douglas 函數實證參數結果

變數	估計參數	t-ratio
常數	13.72	2.99*
污水放流量	-0.496	(-4.31)*
處理設備容積利用比	1.635	5.21*
COD 削減量	-0.273	(-2.43)*
SS 削減量	0.311	3.76*
處理設備設置面積	3.44×10^{-4}	2.7*
是否為光電業	-0.27	0.098
是否為半導體業	4.9	9.81*
LR test	35.89	

註：*代表在 5% 的顯著水準下具有統計顯著性

二、 Quadratic

由表 5.1-2 可得知，事業污染防治成本與設備容積利用率、 COD 與 SS 總削減量兩變數之間的關係結果呈現，防治成本與設備容積利用率成反比關係，但和 COD 與 SS 總削減量呈現正向相關。根據 t 檢定結果，本實證模型自由度 18，查表得知以 5 % 顯著水準下，t-ratio 顯著水平臨界值應在 1.734，而 COD 與 SS 總削減量此項變數的 t-ratio=4.45 達顯著水準，表示污染削減總量對事業防治成本是有顯著正向影響的；設備利用率之參數值為 -2.16×10^7 ，t-ratio= -2.13×10^7 達顯著水準，顯示以本函數模式估計防治成本，容積利用比越高則前處理污邊際污染防治成本會明顯下降。

此外，針對無效率項-污染防治設備設置面積的模擬結果，參數值為 110.21，與防治成本有正相關，但 t-test=0.239 未達顯著水準，本模式顯示設備設置面積並對防治成本並無特殊影響。

觀察另兩項無效率因子-是否為光電業、是否為半導體業二項，其中是否為半導體業的參數值為 0.133 為正向相關，是否為光電業則為-0.0138 負相關，表示半導體業者的污染防治成本傾向技術無效率，但兩者之 t-ratio 值分別為-0.0138、0.116，皆未達顯著水準，對模式整體而言此二變數均無顯著影響。

整體而言，以 Quadratic 函數模式估計台中園區廠商的污染防治成本結果顯示，防治成本隨 COD 與 SS 總削減量而增加，隨容積設備利用率上升而減少，若為半導體業的則呈現技術無效率，防治成本會有上升趨勢，若為光電業的防治成本則會有些微下降

趨勢，但此二項虛擬變數的 t-ratio 皆未達顯著水準而對防治成本無顯著影響。設備利用率的無效率性分析結果則未達顯著水準，對整體防治成本雖呈正相關但無顯著影響。

表 5.1-2 Quadrtic 函數實證參數結果

變數	估計參數	t-ratio
常數	$(-2.72) \times 10^5$	$(-2.72) \times 10^5 *$
處理設備容積利用比	$(-2.16) \times 10^7$	$(-2.13) \times 10^7 *$
COD+SS 削減總量	2.56	4.45*
處理設備設置面積	110.21	0.239
是否為光電業	(-0.0138)	(-0.0138)
是否為半導體業	0.133	0.116
LR test	0.926	

註：*代表在 5% 的顯著水準下具有統計顯著性

三、 Semilog

由表 5.1-3 可得知，本函數模式在所有變數的檢定結果中，僅設備容積利用率的檢定結果 t-ratio 值 = 2.408 超過本函數自由度 16 時查表得到的顯著水準臨界值 1.771，其餘函數及虛擬變數、無效率因子之 t-ratio 皆遠低於顯著水準，且概似比值(LR)無法呈現，顯示本函數模式並不適於估計台中園區的事業水污染防治成本。

表 5.1-3 Semilog 函數實證參數結果

變數	估計參數	t-ratio
常數	10.53	10.53*
污水放流量	0.041	0.041
處理設備容積利用比	2.41	2.41*
COD 削減量	$(-5.92) \times 10^{-6}$	$(-5.92) \times 10^{-6}$
SS 削減量	4.57×10^{-6}	4.57×10^{-6}
處理設備設置面積	3.29×10^{-12}	3.29×10^{-12}
是否為光電業	$(-1.64) \times 10^{-15}$	$(-1.64) \times 10^{-15}$
是否為半導體業	2.02×10^{-14}	2.02×10^{-14}
LR test	-	

註：*代表在 5% 的顯著水準下具有統計顯著性

四、 Translog

由表 5.1-4 可得知本函數模型實證結果設備容積利用率及 COD 與 SS 總削減量兩項變數，皆與污染防治成本呈負相關，且本模式在 5 % 顯著水平下的 t 分布臨界值 = 1.746，兩變數的 t-ratio 結果分別為 -7.92、-0.257 皆達顯著水準，顯示設備容積利用率增加、污染削減總量增加皆會趨向使防治成本下降，顯然並不合理。

在以設置面積為無效率項的分析中，t-ratio = -1.036 未達顯著水準，顯示設置面積並非解釋無效率的影響因子。

另兩項無效率因子是否為光電業及是否為半導體業的假設結果，半導體業者傾向成本無效率，但兩者的 t-ratio 皆未達顯著水平，不具明顯影響性。

綜合上述結果，本實證模型並不適用於討論台中園區的事業水污染防治成本。

表 5.1-4 Translog 函數實證參數結果

變數	估計參數	t-ratio
常數	7.29	7.31*
處理設備容積利用比	-7.87	(-7.92)*
COD+SS 削減總量	-0.239	(-0.257)
處理設備設置面積	3.45×10^{-5}	(-0.136)
是否為光電業	$(-9.82) \times 10^{-3}$	(-0.0098)
是否為半導體業	0.082	(-0.082)
LR test	5.53	

註：*代表在 5% 的顯著水準下具有統計顯著性

5.2 概似比最適模型檢定

以四種函數形式計算所得結果，採用概似比檢定(likelihood-ratio test, LR test)進行檢定。其方法是將 H_0 虛無假設模型(受限模型)與 H_1 對立假設模型(未受限模型)的概似函數對數值之差的兩倍，且該檢定屬卡方分配，自由度(df)代表限制式個數，也就是 H_1 比 H_0 多出來的估計參數，為此兩模型自變數的個數差表示如下式。

$$df = \text{觀察值個數} - \text{變數個數} - 1$$

$$LR = -2 \{ \ln[L(H_0)] - \ln[L(H_1)] \}$$

$H_0: \delta_1 = 0$ 無效率因子不是成本無效率的影響因子

$H_1: \delta_1 \neq 0$ 無效率因子是成本無效率的影響因子

此法之意義為，若模型新增了某自變數後，新增變數為零，則代表新增加的自變數對模型的估計不會產生影響，也就是此變數不適合用於此模型，反之則為顯著，拒絕虛無假設，代表此變數為成本無效率的影響因子。

鄭(2008)曾用以檢定是否為最適模型，其方法是將 H_0 虛無假設(受限制模型)與 H_1 對立假設(未受限制模型)相比較，透過概似比統計量的檢定，選擇最適的實證模型。將此方法應用於本研究可得下述結果：

1. Cobb-Douglas 函數模式

依據模式結果，四種函數形式中使用 Cobb-Douglas 函數所得之 LR 值為最高，有 35.89，由表可得知此模式之觀察值個數 18，使用變數 4 個，自由度(df)為 13，查表得知在另顯著水準(α)為 5% 時 $\chi^2_{13}(0.05) = 22.4 > LR$ ，顯示拒絕虛無假設(reject H_0)，可判定此模型適用於預估台中園區事業污染防治成本。

2. Quadratic 函數模式

依據模式結果 LR 有 0.926，由表可得知此模式之觀察值個數 21，使用變數 2 個，自由度(df)為 18，查表得知在顯著水準(α)為 5% 時 $\chi^2_{18}(0.05) = 28.9 < LR$ ，顯示接受虛無假設(accept H_0)，可判定本研究不適用於預估台中園區事業污染防治成本。

3. Semilog 函數模式

此函數形式無法由概似比檢定判斷是否拒絕或接受此函數模型，代表不適用於本研究之中。

4. Translog 函數形式

依據模式結果，所得之 LR 值有 5.53，由表可得知此模式之觀察值個數 21，使用變數 2 個，自由度(df)為 18，查表得知在顯著水準(α)為 5% 時 $\chi^2_{18}(0.05) = 28.9 < LR$ ，顯示接受

虛無假設(accept H_0)，可判定本研究不適用於預估台中園區事業污染防治成本。

上述結果顯示在本研究所具備之數據成本效率因子之探討過程中，使用 Cobb-Douglas 函數是較為適當的函數形式。

5.3 成本函數分析

以實證模型分析及概似比檢定結果，歸納出本研究針對中科台中園區事業水污染防治成本的估計，以 Cobb-Douglas 函數模型為最合理適當，以下將以 Cobb-Douglas 函數模型之結果探討事業之邊際防治成本函數。

5.3.1 總成本與污染產出量之關係

以 Cobb-Douglas 函數，以時間為橫斷面，放流水量、設備容積利用比、COD 削減總量、SS 削減總量為自變數，污染防治總成本為應變數之投入總污染防治成本-污染產出關係式如下

1. 以放流水量為自變數 X_1 時

$$TC_1 = \exp(13.72 - 0.496 \cdot \ln x_1)$$

2. 以設備容積利用率为自變數 X_2 時

$$TC_2 = \exp(13.72 + 1.635 \cdot \ln x_2)$$

3. 以 COD 總消減量為自變數 X_3 時

$$TC_3 = \exp(13.72 - 0.273 \cdot \ln x_3)$$

4. 以 SS 總消減量為自變數 X_4 時

$$TC_4 = \exp(13.72 + 0.311 \cdot \ln x_4)$$

觀察模式估計之 SS 削減量與總防治成本之間的關係如圖 5.3-1 所示，當 SS 削減量在 500 噸/半年以下時，SS 污染防治成本明顯快速上昇，代表在 SS 削減量較少時，增加或減少 SS 的削減率，相對防治成本的波動暨大，表示 SS 削減量較少的園區事業，在符合行政管制許可濃度的前提下，比較會傾向使用降低 SS 削減率，來獲取較大的經濟利益，若在無經濟誘因（如收取下水道系統使用費）的情形下，社會利益將受到損害，而在園區目前有收取下水道系統使用費的情形下，也與下水道系統使用費的費率高低有關，當費率偏低時，可能並無法遏止事業偏向降低 SS 削減率來降低成本的做法，因此，適當的下水道系統使用費的費率，對維護社會的利益而言，是有其必要性，也就是說，單從下水道系統建造及操作成本計算下水道系統使用費的費率，並無法保證提供了必要的經濟誘因。

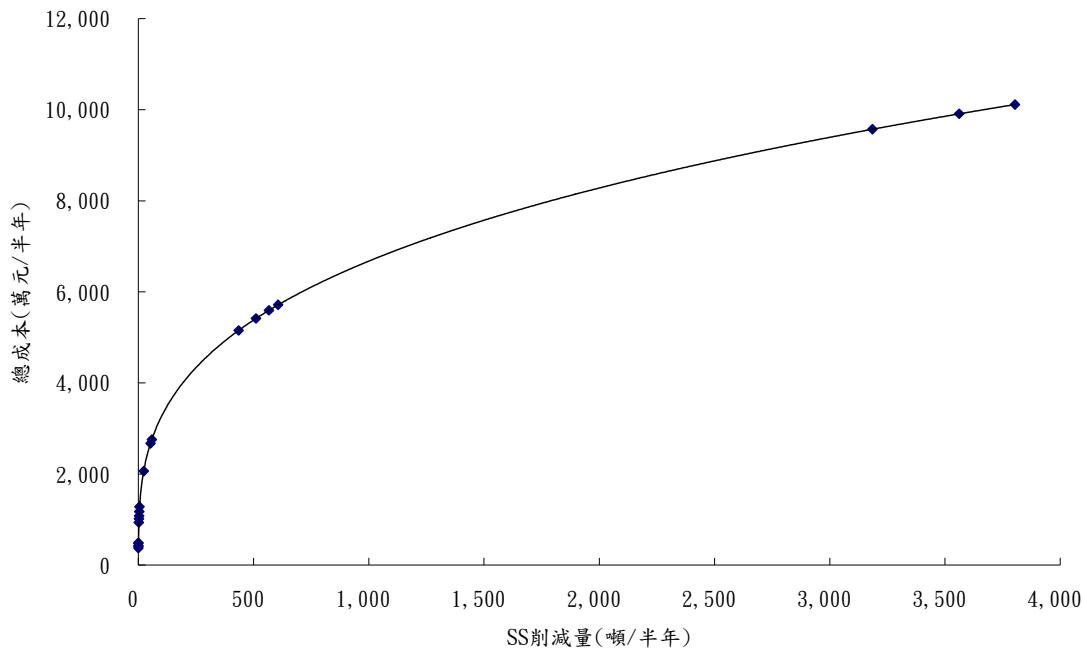


圖 5.3-1 台中園區事業 SS 污染削減總成本函數

5.3.2 總成本模式估算結果與現行費率之關係探討

以光電業 A 公司之水污染防治總成本函數為例，目前該公司 SS 削減量約在 3,800 噸/半年，我們嘗試調整 SS 收費單價為 75.6(元/kg)、18.9(元/kg)，與現行單價 37.8(元/kg)計算出削減 SS 污染總量付出的總成本，並與該削減量下排放 SS 污染所需負擔的下水道系統使用費比較如圖 5.3-2，由圖中可發現，由於該公司目前的污染削減量已經接近其原水的污染總量（原水的污染總量約在 4,000 噸/半年），對總污染防治成本而言，在此種污染削減量下，不論增加或減少污染防治量，其對總防治成本的影響，已經趨近平緩，也就是說，其邊際效應已經降低。另從技術效率的觀點而言，在本研究中，光

電業並不屬於造成技術無效率的顯著因子，也表示了目前在本園區光電業的污染防治成效已接近理論最佳值。

進一步將單位 SS 削減量總污染防治成本與該削減量下不同費率水污費之支出加總，則為該公司在 SS 污染成本上所須支出的總金額（圖 5.3-3），用以探討調整現行 SS 污染收費費率是否會對事業水污染前處理效率之加強形成經濟誘因，圖中可看出在現行收費單下 37.8 元/噸之下，該公司對 SS 削減的支出總金額隨著削減量增加而下降，若不進行污染削減對該公司而言並不合算，因為就算是將污染削減量降低至 500 噸/半年，其 SS 污染成本總支出仍大於作好 SS 削減下的成本，所以對該公司而言，目前費率已有效誘使該公司作好污染削減，若調高收費單價至 75.6 元/噸，對該公司污染削減量的提昇並無太大助益，而在降低收費單價時 A 公司總支出金額仍隨 SS 削減量上升而呈降低趨勢，將污染削減量降低至 500 噸/半年，也不會比作好污染防治有利，因此調整 SS 收費單價對 A 公司而言，由於其 SS 的削減量已經接近原污水中的 SS 總量，故無論降低或增高收費單價時，其經濟誘因均不高，就分析結果而言調整收費單價對光電業 A 公司加強前處理的效果實屬有限。

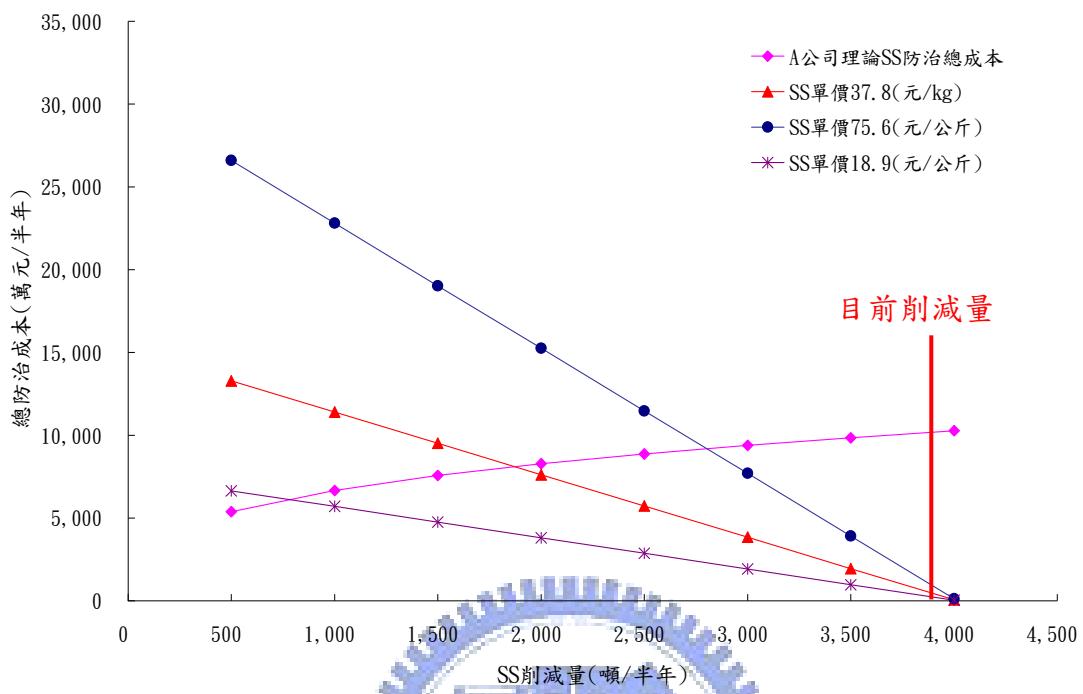


圖 5.3-2 光電業 A 公司 SS 污染防治總成本與水污費支出比較圖

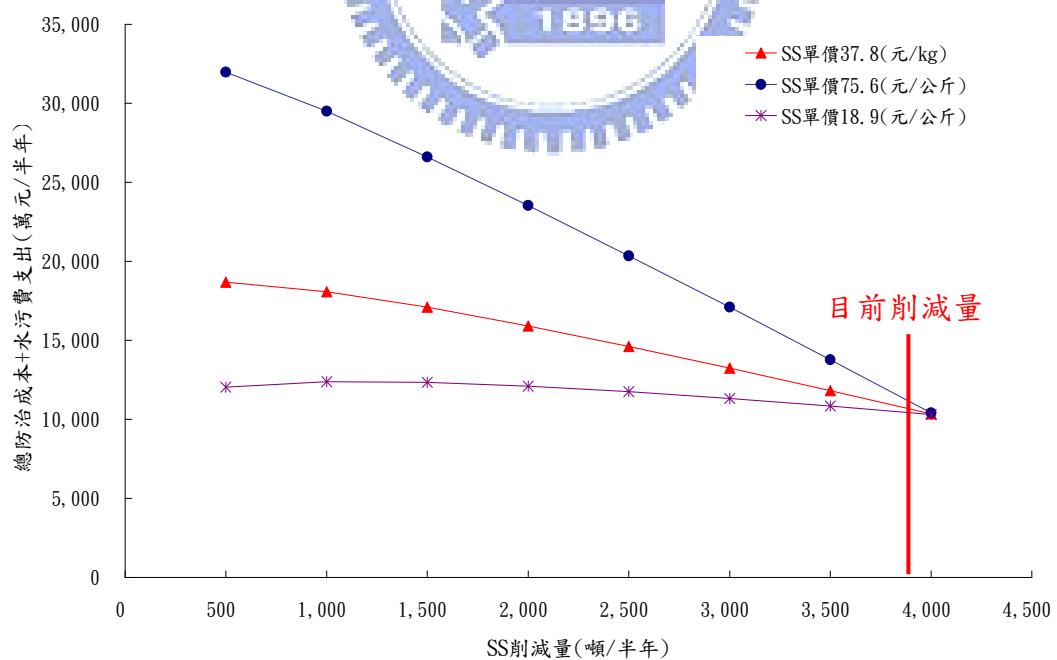


圖 5.3-3 光電業 A 公司在 SS 削減處理總支出金額分析圖

若以半導體業 B 公司之水污染防治總成本函數為例，限階段該公司 SS 削減量約為 500 噸/半年，並調整 SS 收費單價為 75.6(元/kg)、18.9(元/kg)，與現行單價 37.8(元/kg)計算出削減 SS 污染總量付出的總成本，並與該削減量下排放 SS 污染所需負擔的水污費比較如圖 5.3-4，若不考慮行政管制下的納管濃度限制，以及下水道系統使用費的收取，而只考慮污染防治成本的狀況下，依目前的 SS 削減量，降低在 SS 的削減量的努力，確有明顯的效益，且從營運成本的觀點而言，也可以理解該公司為何不提升 SS 去除效率(以目前的去除效率而言，僅有約 50%，因其原水的污染總量約在 1,000 噸/半年)，因為提升 SS 削減量，對其污染防治成本來說，會有明顯的增加。另從技術效率的觀點來看，在本研究中，半導體業屬於造成技術無效率的顯著因子，也驗證了其在污染防治的努力上，有改善的空間。

進一步將單位 SS 削減總污染防治成本與該削減量下不同費率水污費之支出加總，則為該公司 SS 污染成本總支出(圖 5.3-5)，我們可以看到現行收費單價 37.8(元/噸)下，在目前該公司的平均 SS 削減量 500 噸/半年附近，其 SS 污染成本總支出並不會因 SS 污染削減量部份的增加或減少，而有明顯的效益，因此也說明了該公司為何在現行的費率下，有保持目前 SS 污染削減量的傾向。

若費率降為 18.9 元/公斤，則在經濟因素的考量下，該公司可能會減少 SS 污染削減量，將污染防治系統操作在 SS 排放濃度接近行政管制限值附近，以求取最大利益。

若將費率提升兩倍為 75.6 元/公斤，雖然 SS 污染成本總支出均會比現行為高，但若將 SS 削減率提高至 90%以上，將有助於該公司 SS 污染成本總支出接近現行 SS 污染成本總支出，若配合部份減量措施與廠內改善，或有比現行 SS 污染成本總支出更低之可能，也將誘使半導體業 B 公司進行污染減量，同時也可減少園區環境成本之支出。

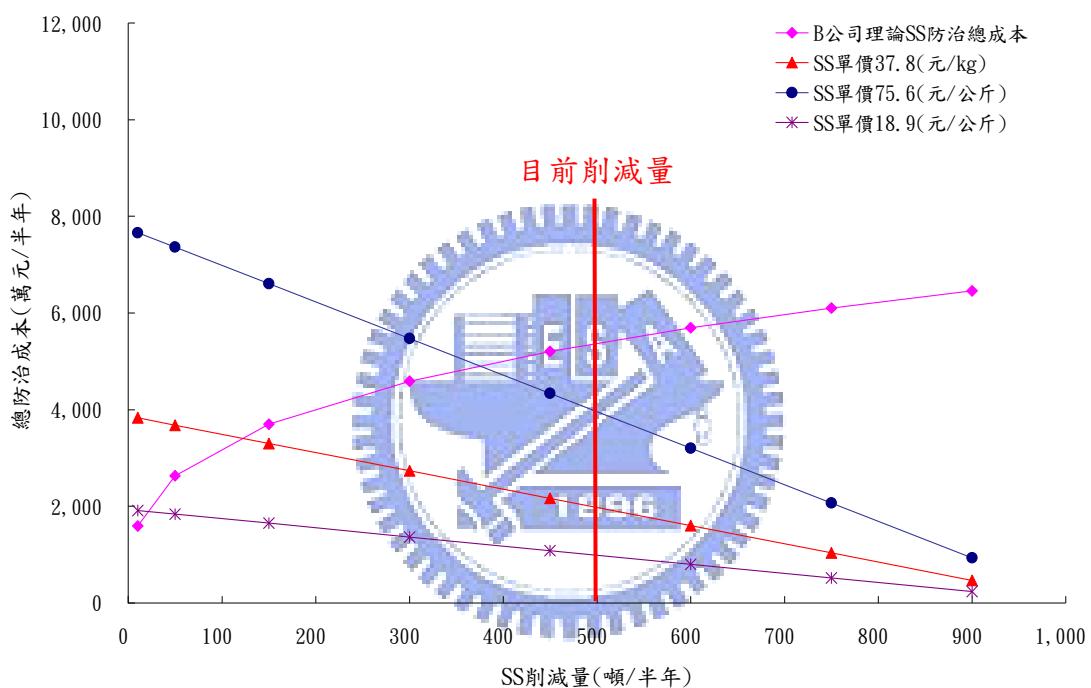


圖 5.3-4 半導體業 B 公司 SS 污染防治總成本與水污費支出比較圖

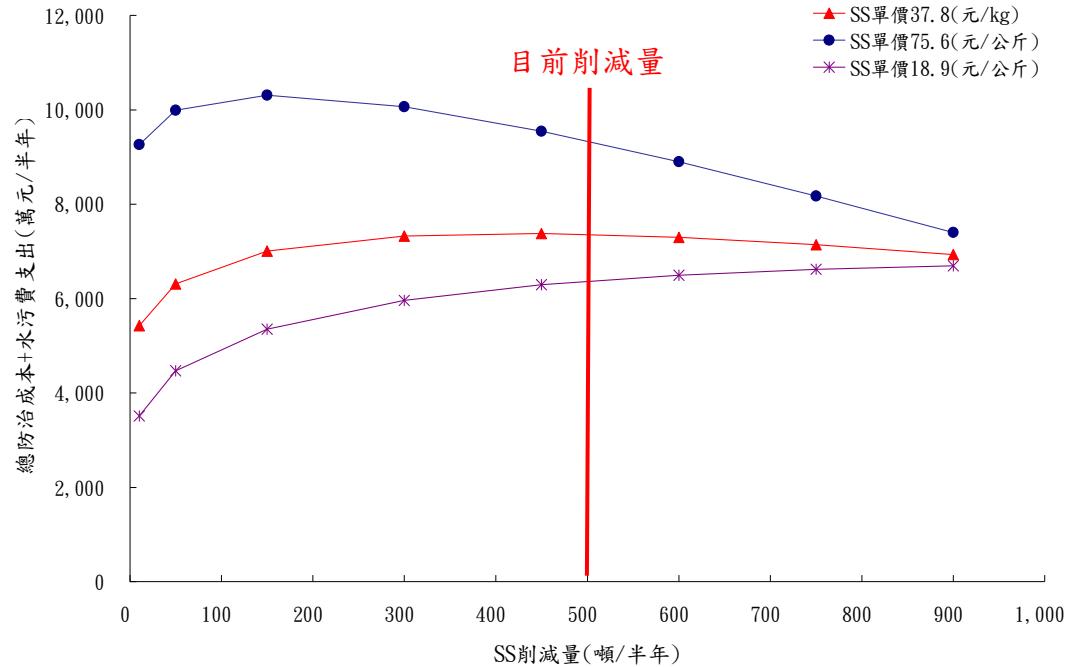


圖 5.3-5 半導體業 B 公司在 SS 削減處理總支出金額分析圖

5.3.3 邊際成本函數計算與分析

由 Cobb-Douglas 函數形勢所推導出的成本-污染產量關係可再推導出邊際污染防治成本函數如下：

1. 放流水量(x_1)邊際污染防治成本函數

$$\Rightarrow MC_1 = \frac{(-0.496)}{x_1} \times \exp(13.72 - 0.496 \cdot \ln x_1)$$

如圖 5.3-6 中可發現污水放流量與邊際水污染防治成本呈負相關關係，即放流水量越高則處理水量越大，單位成本越低，每單位污水放流量的變化，在污水放流量小於 5 萬噸/半年時，每增加一單位的放流量，對於防治成本的支出，有極顯著的降低效果，但超過 5 萬噸/半年時，每單位放流量的增加，對防治成本的支出就沒有顯著影響。

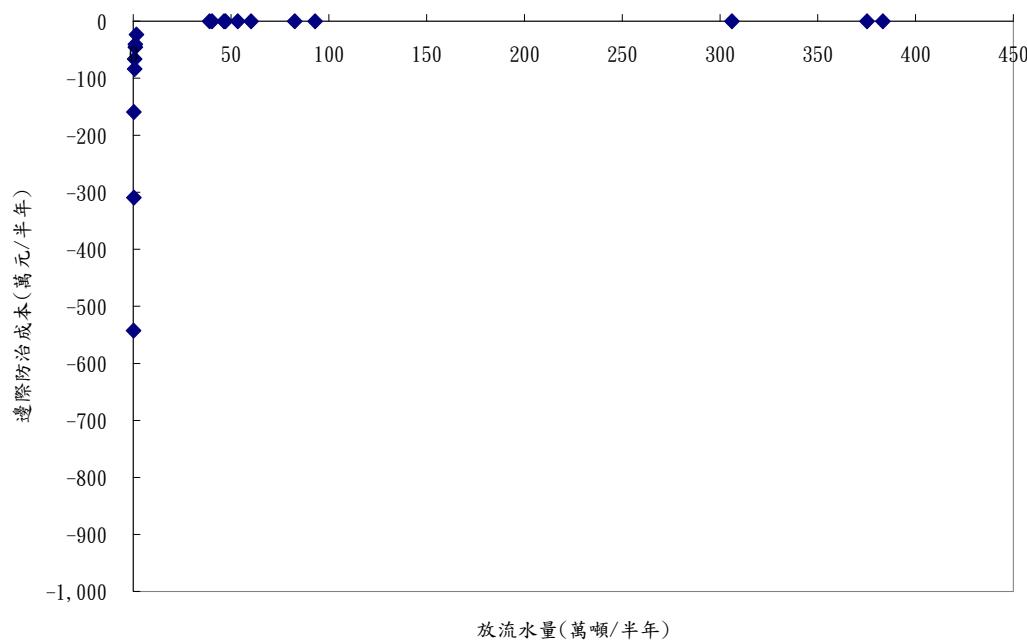


圖 5.3-6 放流水量邊際污染防治成本函數

2. 設備利用比(x_2)邊際污染防治成本函數

$$\Rightarrow MC_2 = \frac{1.635}{x_2} \times \exp(13.72 + 1.635 \cdot \ln x_2)$$



Figure 5.3-7 is a text-based description of the marginal pollution control cost function. It states that the function shows that as the utilization rate of equipment increases, the marginal pollution control cost also increases. This means that if equipment is set up in a safe manner, it may increase the setup cost, but it can save on operational and maintenance costs. The results show that when the utilization rate is high, increasing the utilization rate further leads to a higher increase in pollution control costs.

圖 5.3-7 中函數呈現容積利用率越高則水污染防治成本越高，亦即若處理設備在設置時，若採安全係數較大的設計，可能會增加設置成本，但在操作上，卻有節省操作維護費用的效果，因為由本模式的結果顯示，當容積利用率越高時，增加每單位容積利用率，污染防治成本的增加率也隨之提高。

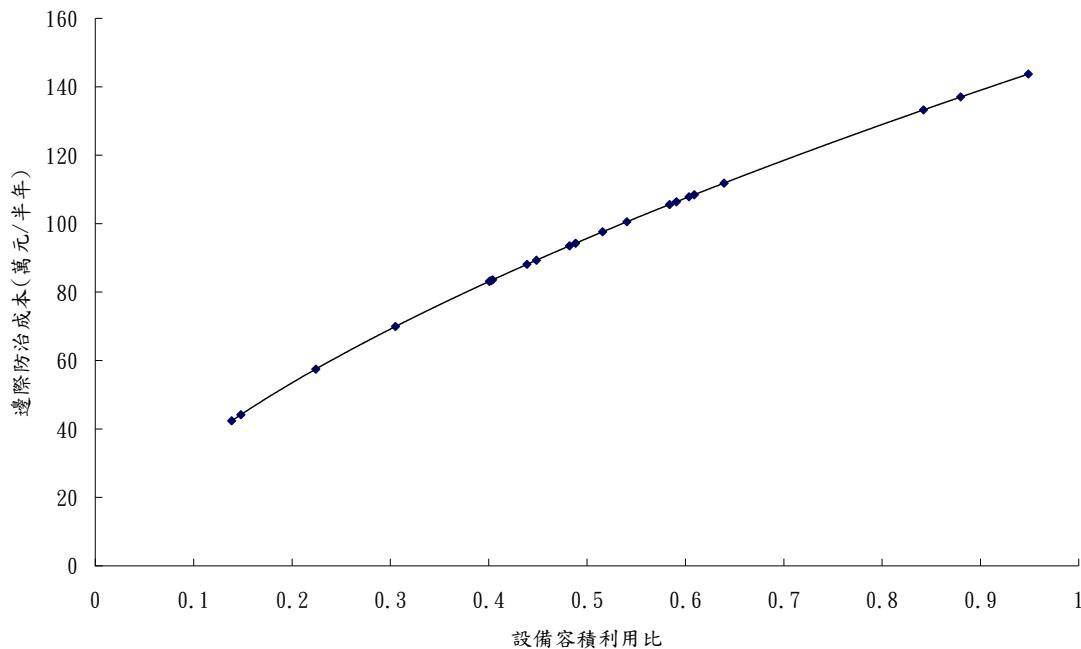


圖 5.3-7 設備容積利用比邊際污染防治成本函數

3. COD 削減量(x_3)邊際污染防治成本函數

$$\Rightarrow MC_3 = \frac{(-0.273)}{x_3} \times \exp(13.72 - 0.273 \cdot \ln x_3)$$

如圖 5.3-8。在 COD 的處理上，成本與削減量呈現了負相關，顯示 COD 的處理並不會增加前處理的單位成本，可能在處理 SS 及總處理水量的控制上已造成了 COD 的削減，每單位污水放流量的變化，在污水放流量小於 10 噸/半年時，每增加一單位的 COD 削減量，對於防治成本的支出，有極顯著的降低效果，但超過 10 噸/半年時，每單位 COD 削減量的增加，對防治成本的支出就沒有顯著影響。

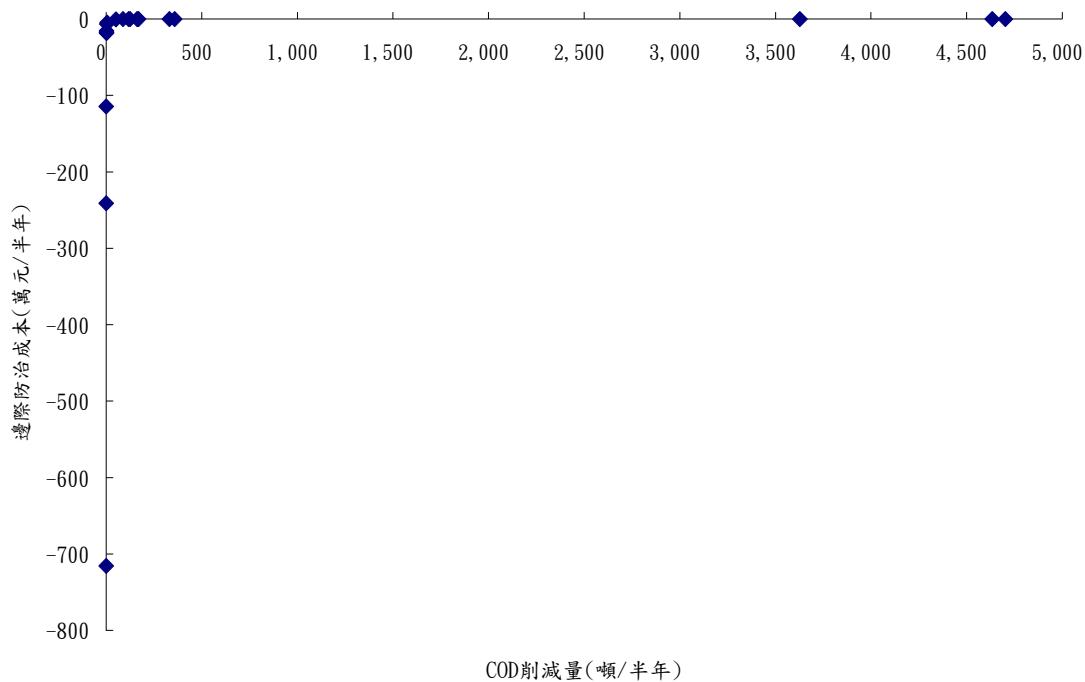


圖 5.3-8 COD 削減量邊際污染防治成本函數

4. SS 削減量(x_4)邊際污染防治成本函數

$$\Rightarrow MC_4 = \frac{0.311}{x_4} \times \exp(13.72 + 0.311 \cdot \ln x_4)$$

如圖 5.3-9。此變數在參數的呈現上並有明顯的統計顯著性，由圖中顯示，每單位 SS 削減量的變化，在 SS 削減量大於 50 噸/半年時，每增加一單位的 SS 削減量，對於防治成本的支出，沒有顯著影響，但小於 50 噸/半年時，每單位 SS 削減量的增加，對防治成本的支出會有顯著的增加率，也就是說，SS 削減量未達規模削減量前，廠商可增加 SS 削減量，以避免有增減削減量需求時，成本會大幅波動。

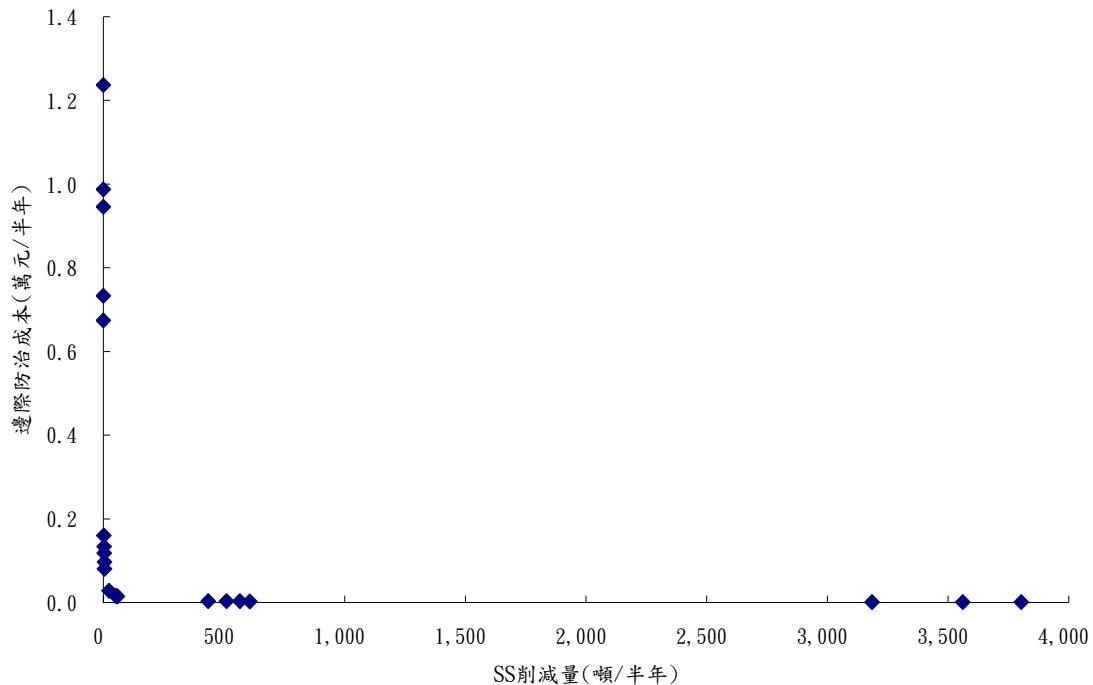


圖 5.3-9 SS 削減量邊際污染防治成本函數

若將上圖再局部放大（如圖 5.3-10），可以看出每單位
SS 削減量對污染防治成本增加率的轉折點約在 50 噸/半年。

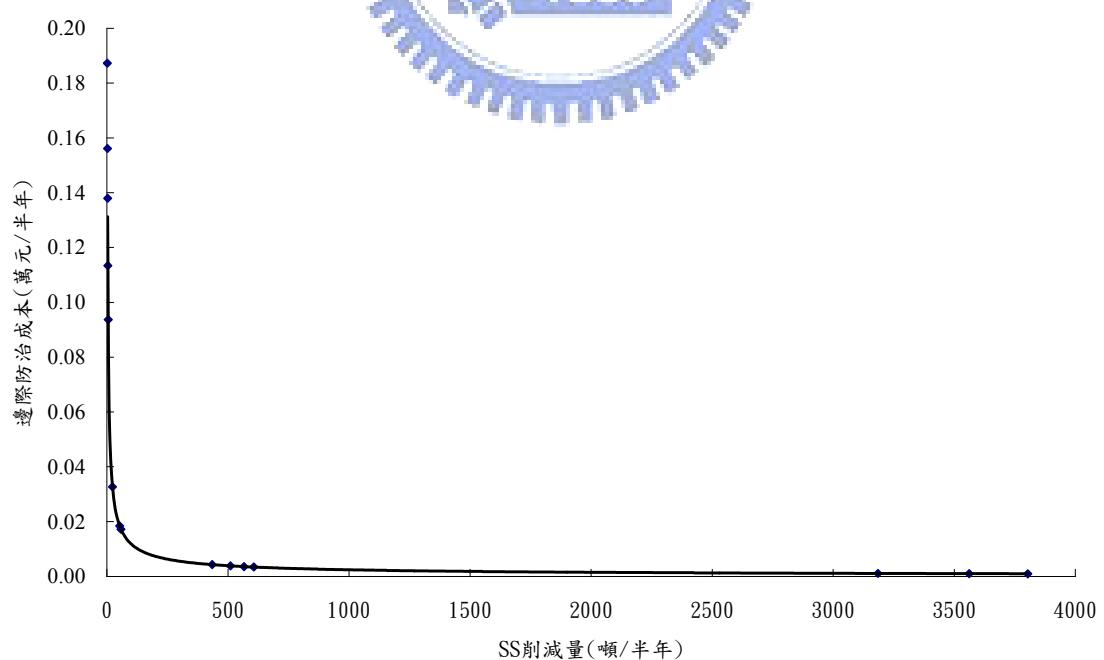


圖 5.3-10 SS 削減量邊際污染防治成本函數(局部)

第6章 結論與建議

6.1 結論

以中部科學工業園區台中園區污水下水道納管事業之前處理水污染防治成本之申報資料與污水處理廠稽查檢測水質水量並進行收費之資料計算討論，發現在 Cobb-Douglas、Translog、Semi-Log、Quadratic 四種函數形式中，以 Cobb-Douglas 函數形式、平行數據(Panel data)數據資料最適於估計台中園區的事業水污染防治成本。

在成本無效率的分析上，防治設備設置面積、半導體業者是台中園區事業污染防治成本無效率的因子，表示防治設備設置面積越大並不會使投入成本具技術效率；半導體業者在成本分析上屬於技術無效率，顯示半導體業者的防治成效並不佳。

估計事業 SS 污染防治總成本函數可發現，SS 污染防治總成本隨 SS 削減量增加而上升，以光電業 A 公司及半導體業 B 公司為例，加入以現行 SS 收費單價、調高至兩倍單價、降低至一半單價加入事業針對 SS 污染支出總金額之計算，發現對光電業 A 公司而言調整 SS 收費單價對其並無明顯的經濟誘因，也就是該公司不會因收費單價之提高而有加強前處理效率之強烈動機。但對半導體業 B 公司而言，提升收費單價會有經濟誘因使其提升 SS 污染削減量，因此如欲降低台中園區內總 SS 的污染量，可提升 SS 收費單價而使半導體業增加 SS 削減量。

邊際污染防治成本模式估計結果並發現，台中園區事業單位在呈現容積利用率越高則增減每單位容積利用率時水污染防治成本增加的幅度也越大，亦即若處理設備在設置時，若採安全係數較大的設計，

可能會增加設置成本，但在操作上，卻有節省操作維護費用的效果，因為由本模式的結果顯示，當容積利用率越高時，增加每單位容積利用率，污染防治成本的增加率也隨之提高。在 SS 削減量大於 50 噸/半年時，每增加一單位的 SS 削減量，對於防治成本的支出，沒有顯著影響，但小於 50 噸/半年時，每單位 SS 削減量的增加，對防治成本的支出會有顯著的增加率，也就是說，SS 削減量未達規模削減量前，廠商可增加 SS 削減量，以避免有增減削減量需求時，成本會大幅波動。

針對台中園區現行污水下水道使用費費率公式，本研究模式實證結果推論，如欲降低污水廠進流水總 SS 負荷，在行政管制限值不變的情況下，可配合經濟誘因提高 SS 收費單價，促使目前削減效率較差的事業提升 SS 污染前處理效率，但又不會增加目前 SS 削減效率已高事業之負擔。

6.2 建議

由於中部科學園區台中園區成立時間較短，園區事業依法申報的資料數量較少，加上剔除不具代表性的資料後，可供分析的資料量又進一步的縮小，因此，若未來資料收集量更為充分時，可利用本文的研究方式再行整理，將能提供更為充分之訊息，以供水污染防治費率訂定之參考。

未來可在本模式的基礎上，加入其他污染物質的削減量與增設污染防治費用間的關係，將可預估新增污染防治項目可能對廠商造成的衝擊，並進一步可供研擬園區納管標準增修時的依據。

第7章 參考文獻

1. Afriat, S. N., 1972. "Efficiency Estimation of production Function," *International Economic Review*. 13:568-598.
2. Aigner, and S. F. Chu, 1968. "On Estimating the Industry Production Function," *American Economic Review*. 5:826-839.
3. Battese, G. E., and T. J. Coelli, 1995. "A Model for Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data," *Empirical Economics*. 20:325-332.
4. Charnes, A., W. W. Cooper, and E. Rhodes, 1978. "Measuring the Efficiency of Decision Making Units," *European Journal of Operational Research*. 2:429-444.
5. Christensen, L. R., D. W. Jorgenson, and L. J. Lau, 1971. "Conjugate Duality and the Transcendental Logarithmic Production Function," *Econometrica*. 39:225-256.
6. Christensen, L. R., and W. H. Greene, 1976. "Economies of Scale in U.S Electric Power Generation," *The Journal of Political Economy*. 84(4):655-676.
7. Farral, M. J., 1957. "The Measurement of Productive Efficiency," *Journal of the Royal Statistical Society*. 120:253-281.
8. Golder, B., S. Misra, and B. Mukherji, 2001. "Water pollution abatement cost function: methodological issue and application to small-scale factories in an industrial estate in India," *Environment and Development Economics*. 6: 103-122.
9. Gujarati, 1978. 計量經濟學基礎。中國人民大學出版社。

10. McConnell, V. D., and G. E. Schwarz, 1992. "The Supply and Demand for Pollution Control : Evidence from Wastewater Treatment ,"*Journal of Environment Economics and Management*. 23:54-77.
11. Schwarz, G. E., and V. D. McConnell, 1993. "Local Choise and Wastewater Treatment Plant Performance," *Water Resources Research*. 29(6):1589-1600.
12. 王永嫻, 2005, 水污染防治費徵收對事業污染減量與經濟影響之評估, 國立台灣大學環境工程學研究所碩士論文。
13. 王詩君, 2003, 排放標準與誘因機制結合下之水污染防治政策-以污染當量為課徵基礎的方案比較分析, 國立台灣大學農業經濟學研究所。
14. 中華人民共和國國家環境保護總局, 2007, <http://www.zhb.gov.cn> 。
中華郵政全球資訊網, <http://www.post.gov.tw/post/index.jsp> 。
15. 台灣電力公司, <http://www.taipower.com.tw/index.htm> 。
16. 行政院國家科學委員會中部科學工業園區管理局。2008。中部科學工業園區后里基地污水下水道使用費費率及收費辦法之研擬。
17. 行政院環保署, 2005, 「水污染防治費徵收推動前置計畫」期末報告。
18. 行政院環保署, 2007, 高科技產業廢水水質特性分析及管制標準探討計畫。
19. 吳炳煌, 1996, 工業廢水處理效率及其收費原則之經濟分析, 國立清華大學環經濟系碩士論文。
20. 邱智慧, 2006, 徵收水污染防治費對河川水質之影響, 國立台灣大學環境工程學研究所碩士論文。

21. 周明道，2001，Cobb-Douglas 生產函數導入模糊數與模糊彈性值的應用，科學發展月刊。29。10：884-886。
22. 姜淑娟，2005，開徵工業區污水下水道系統水污費之成本分析，國立台灣大學環境工程學研究所碩士論文。
23. 馬念和、溫清光，2003，水污染防治策略及遠景，工程，76：3，P61-67。
24. 陳奕帆，2004，事業水汙染防治成本函數與效率分析之研究，淡江大學產業經濟學系碩士論文。
25. 黃宗煌，2006，工業廢水處理效率及其收費原則之經濟分析，國立清華大學經濟系碩士論文。
26. 新加坡環境署，2007，<http://app.nea.gov.sg>。
27. 經濟部工業局，1996，半導體製造業污染防治技術。
28. 廖大惟、張豐堂、沈克鵬、粘竺耕、葉智雄、林華宇，1999，光電業沸石濃縮轉輪處理系統效率提升改善實例探討，工業污染防治工程實務技術研討會論文。
29. 鄭啟政，2008，區位特性對台灣電子業廠商技術效率之影響分析，國立中央大學產業經濟研究所碩士論文。
30. 德國聯邦環境、自然保育和核能安全署(Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety)，2007，<http://www.bmu.de/english/aktuell/4152.php>。
31. 鄭欽龍，1994，空氣污染防治費政策之探討，污染防治之收費政策研討會，P25-37。
32. 鄭詩音，2003，水污染費經濟分析，國立中山大學經濟學研究所碩士論文。

33. 蕭代基、薛立敏，1998。「核能發電社會成本評估方法」。近代工程技術討論會核能發電對環境影響組。
34. 蕭仲晃，1998，工業區廢水處理廠的效率評估與訂價分析，國立清華大學經濟學系碩士論文。

