

國立臺北大學公共事務學院  
自然資源與環境管理研究所  
碩士論文

揮發性有機物空污費的減量效率評估－以印刷業為例  
**Efficiency Evaluation on air Pollution Control Fee of  
VOCs for printing Industry**



指導教授：張四立 博士

研 究 生：周玉娟

中華民國一〇〇年七月



# 國立臺北大學

自然資源與環境管理研究所碩士在職專班

99 學年度第 2 學期畢業生論文

研究生：周玉娟 撰

業經本委員會審議通過

題 目：揮發性有機物空污費的減量效率評估——  
以印刷業為例

論文考試委員：

召集人

陳秋揚

委員

李育明

委員

張四立

委員

指導教授

張四立

系（所）主任

嚴元勳

論文口試及格日期：

中 華 民 國 100 年 7 月 12 日

## 謝 誌

很高興地重回校園，再體驗一次做學生的樂趣，在本所進修期間，是個令人難忘具有意義的日子，讓我體會到，時間管理的重要每天像支蠟燭三頭燒，兼顧工作、家庭及課業做好各角色的本份，在這每個階段，謝謝老師們、好同事們給予協助與鼓勵才能完成，雖然歷程辛苦，但滋味咀嚼在心頭，特別的甘甜。

本論文研究期間，承蒙指導教授張四立博士的指導與勉勵，尤其在研究論文遇到瓶頸時，給予關鍵性的指正與建議，亦是使論文能夠付梓的推手，至表謝忱。此外，也要感謝論文口試委員李育明教授和陳秋楊教授撥冗詳閱，不吝指正與建議，惠賜精闢見解，使得論文更加完整，以及龐元勳老師、李堅明老師、錢王蘭老師、顧洋老師，拓展學生的知識，諄諄教誨。同時在這三年一起修業的同學們，因為有你們，使我研究生生涯，增添許多歡樂、溫馨與鼓勵。

感謝產基會主管呂祥濱副董、林萊娣總經理及陳見財副總，給予個人再次進修的機會，開啟了另一個視野，建立新的價值觀。另鄭清宗博士、莊敏芳經理、許國榮經理、馬聖雄經理、孫偉碩經理、林建志副理、粘愷峻博士、司洪濤副理、陳志銘副理、郭志軍副理、孫國書、莊國揚、等諸位同事的鼓勵與協助，在此向各位大德致上最高的謝意。

同時感謝同們師兄師姐們：吳銘峰、黃軒亮、李育儒、謝維晃、溫盛淼、賴雅雯、梁弘，在軟體操作上的協助與鼓勵，使論文能順利進行。亦特別感謝在研究室并肩齊努力的雲茗、育慈、元立同學，相互扶持共渡瓶頸在此衷心感謝。

最後，感謝我的家人這段時期的包容與支持，僅將此論文獻給支持與愛護我的人分享。

## 摘 要

空氣為生態系統運行之要素之一，且影響國民之健康至巨。台灣地區隨著經濟發展與人口增加，使空氣環境之負荷日重，因此，空氣品質管制向為環保署重要之環保施政之一。我國之空氣污染防制策略早期均採取行政管制措施，如各種固定及移動源污染排放標準、污染行為管制等。但隨著經濟的持續發展與污染源的增加，僅依賴單獨的行政管制措施，已不足以抑制空氣品質之惡化，或因應國民對空氣品質提升之期望。因此在既有管制基礎上導入更具彈性且積極之經濟誘因管制措施，如徵收空氣污染防制費及總量管制等，已成為進階的空氣污染防制策略。在眾多空氣污染物中，揮發性有機物(VOCs)除了會藉由光化學反應產生臭氧問題外，亦對於人體健康造成潛在之危害，因此成為空污費徵之標的污染物之一。本研究乃由 VOCs 空污費的徵收政策與實績表現，針對期中印刷業的 VOCs 減量效果進行經濟效益分析，期望研究成果能提供政府環保政策及業者因應策略之參考。

**【關鍵字】** 空氣污染防制費、揮發性有機物(VOCs)、印刷業

# **ABSTRACT**

## **Efficiency Evaluation on air Pollution Control Fee of VOCs for printing Industry**

by

Yu Chuan-Chou

July 2011

ADVISOR(S): Dr. Chang, Ssu-Li

DEPARTMENT: INSTITUTE OF NATURAL RESOURCE MANAGEMENT

MAJOR: NATURAL RESOURCE MANAGEMENT

DEGREE: MASTER OF ARTS

Air, one of the key elements of the ecosystems, is crucial to human health. The air quality has deteriorated due to the rapid economic development and population growth in Taiwan. Thus, the air quality control has become one of the major environmental policies of Environmental Protection Administrator (EPA). The air pollution control strategy in the early stage was focused on administrative control measures, such as the setup of emission standards for a variety of fixed and mobile sources of air pollution and the control on pollution behavior. However, following the continuous economic development which accompanied with the increasing of air pollution sources, the administrative control measures alone are not sufficient to inhibit the deterioration of air quality or to meet the expectations of air quality improvement from the general public. Therefore, it has become an advanced air pollution control strategy to introduce on the basis of the existing control measures some more flexible and proactive control measures with economic incentives, such as the levy of air pollution fees and setting total emission cap on air pollutants, etc. Among the many air pollutants, volatile

organic compounds (VOCs) are known to cause not only ozone problems through photochemical reactions but also potential hazard to human health. Thus, VOCs has become one of the main pollutants to be levied air pollution fee. This research focus on the study of the policy and effectiveness of levying air pollution fee on VOCs emitted by the printing industry. The results of the cost-effectiveness analysis on VOCs mitigation will provide valuable information to the environmental authority as well as the printing industry on formulating the related policies and strategies.

**【Keywords】** Air pollution fees, Volatile organic compounds (VOCs), Printing industry



# 目 錄

<b>第一章 緒論.....</b>	<b>1</b>
第一節 研究背景 .....	1
第二節 研究動機與目的 .....	6
第三節 研究流程與論文架構 .....	7
第四節 本研究限制 .....	9
<b>第二章 文獻回顧.....</b>	<b>11</b>
第一節 國外空氣污染總量管制的理論基礎與管制制度 .....	11
第二節 國外空污費徵收制度 .....	17
第三節 國外揮發性有機物(VOCs)管制分析 .....	18
第四節 國內揮發性有機物防制相關法規沿革 .....	24
<b>第三章 研究方法與設計.....</b>	<b>35</b>
第一節 績效之評估方法 .....	35
第二節 資料包絡分析法(DEA)之概述與探討 .....	39
第三節 資料包絡分析法(DEA)模式探討 .....	49
第四節 研究架構及受評單位之選取 .....	62
<b>第四章 實證分析.....</b>	<b>73</b>
第一節 整體效率分析 .....	73
第二節 差額變數分析 .....	79
第三節 VOCs 減量效率之指標分析 .....	85
<b>第五章 結論與建議.....</b>	<b>95</b>
第一節 研究結論 .....	95



第二節 研究建議 .....	96
第三節 未來研究方向 .....	97
<b>第六章 參考文獻.....</b>	<b>99</b>
(一) 中文文獻 .....	99
(二) 西文文獻 .....	102
(三) 網路資料 .....	103



## 表 目 錄

表 2.1-1	各國空氣品質管制情形列表 .....	14
表 2.2-1	各國空污費徵收方式及費率水準彙整 .....	18
表 2.3-1	歐盟各國限定 4 種污染物國家排放量限值 .....	19
表 2.3-2	英國國家計畫四種污染物排放限制對象及排放限值 .....	20
表 2.3-3	中國大陸非甲烷總碳氫化合物(NMHC)排放標準 .....	22
表 2.3-4	德國揮發性有機物排放標準 .....	24
表 2.4-1	第一期程(2007~2009 年)VOCs 空污費徵收計量方式 .....	27
表 2.4-2	第二期程(2010 年起)VOCs 空污費徵收費率表 .....	27
表 2.4-3	廠內有機溶劑流佈符號說明與質量相關表 .....	29
表 2.4-4	常用 VOCs 清潔生產及管末處理技術彙整表 .....	32
表 3.1-1	績效評估方法比較表 .....	38
表 3.2-1	資料包絡分析法(DEA)理論之重要文獻彙整 .....	39
表 3.3-1	應用 DEA 法之相關文獻整理 .....	61
表 3.4-1	印刷及資料儲存媒體複製業 2008 年 VOCs 全廠排放量及其繳 交空污費統計表 .....	65
表 3.4-2	2008 年投入與產出項之相關係數矩陣表 .....	68
表 3.4-3	投入及產出變數彙整摘要及定義表 .....	69
表 3.4-4	2008 年印刷業個案廠商之投入產出項資料表 .....	70
表 3.4-5	2008 年印刷業個案廠商之投入產出變數之敘述統計量 .....	71
表 4.1-1	2008 年印刷業個案廠商總效率分類表 .....	74
表 4.1-2	19 家印刷業個案廠商總效率值與標竿學習對象 .....	77
表 4.1-3	2008 年印刷業個案廠商總效率分類表 .....	78

表 4.2-1	2008 年印刷業個案廠商差額變數分析表.....	80
表 4.2-2	2008 年印刷業 VOCs 減量績效佳之標竿廠單位指標比較表....	82
表 4.2-3	2008 年 19 家印刷業個案廠商 VOCs 減量效率指標之指數分 析表 .....	87
表 4.2-4	2008 年 19 家印刷業個案廠商 VOCs 減量效率指數低於平均 值之彙整表 .....	89
表 4.2-5	2009 年 19 家印刷業個案廠商 VOCs 減量效率指標之指數分 析表 .....	91
表 4.2-6	2009 年 19 家印刷業個案廠商 VOCs 減量效率指數低於平均值 之彙整表.. .....	93



## 圖 目 錄

圖 1.1-1	全國近年空氣品質不良率( $PSI>100$ )變化趨勢 .....	4
圖 1.1-2	全國及七大空品區空氣品質不良站日數比例變化趨勢 .....	5
圖 1.2-1	國內製造業染料、顏料、塗料、油墨的生產量 .....	6
圖 1.3-1	研究流程圖 .....	8
圖 2.3-1	英國四大空氣污染物排放之變化趨勢 .....	21
圖 2.4-1	揮發性有機物相關管制法規時程圖 .....	25
圖 2.4-2	質量平衡計量方式示意圖 .....	29
圖 3.2-1	DEA 與迴歸分析 .....	42
圖 3.2-2	受評單位 DMU 之投入產出效率 .....	43
圖 3.2-3	投入導向之技術效率與配置效率 .....	44
圖 3.2-4	產出導向之技術效率與配置效率 .....	46
圖 3.3-1	CCR 等量線效率衡量圖 .....	51
圖 3.3-2	BCC 等量線效率衡量圖 .....	56
圖 3.4-1	DEA 研究設計架構圖 .....	63
圖 3.4-2	2007~2010 年各行業別之 VOCs 空污費徵收額及淨盈餘 .....	64
圖 3.4-3	2007~2010 年各行業別之 VOCs 空污費繳費額及營業額 .....	64
圖 3.4-4	投入、產出要素與評估流程圖 .....	67
圖 4.1-1	2008 年印刷業個案廠商之效率值比較圖 .....	75
圖 4.2-1	2008 年印刷業個案廠商差額變數投入減少比例圖 .....	81
圖 4.2-2	2008 年 19 家印刷業個案廠商 VOCs 減量效率指標比較圖 .....	88
圖 4.2-3	2009 年 19 家印刷業個案廠商 VOCs 減量效率指標比較圖 .....	92

# 第一章 緒論

本章針對研究動機與目的，分別以研究背景、研究方法流程與論文架構，說明與闡述。

## 第一節 研究背景

台灣過去因經濟發展成長快速，隨著工商業界發展及生活水準之提高，能源消耗量亦不斷成長，因此導致對相關廢氣排放量亦隨之增加，政府為掌握空氣污染物排放總量之結構與時空變化，進而作為研訂相關管制架構及實施方案之基礎，乃於 1998 年開始執行台灣地區區域性空氣污染排放量之推估，並在民國 1997 年將台灣地區劃分成 7 個空氣品質區（以下簡稱空品區）以進行監測與管制之用途。

空氣污染防制策略主要區分為行政管制措施及經濟誘因措施，各國在空氣污染管制初期，係純以行政管制措施為主，如管制生煤使用、訂定管道排放標準、交通工具排氣管制標準、限制污染行為等，管制範圍由工廠及交通工具，逐漸擴及至各項污染排放源。但是單純之行政管制措施，已不足以抑制空氣品質之惡化，因此在既有管制基礎上，導入更具彈性且積極之經濟誘因管制措施，如空氣污染防制費徵收制度及總量管制（指定削減、差額認可、排放抵換、儲存及排放權交易制度等），已是各先進國家逐漸採取之環境政策，共同的趨勢。

我國於 1992 年修正發布之空氣污染防制法中，納入徵收空氣污染防制費之規定，並自 1995 年 7 月 1 日正式開徵硫氧化物空污費，1997 年 7 月起開徵營建工程粒狀污染物空污費，1998 年 7 月開徵氮氧化物空污費。為進一步管制對國民健康及環境危害之揮發性有機物(Volatile Organic Compounds, VOCs)，遂於 2007 年 1 月開徵 VOCs 空污費。

根據行政院環境保護署公告「揮發性有機物空氣污染管制及排放標準」中的定義，揮發性有機物(Volatile Organic Compounds, VOCs)，係指在 1 大氣壓下，測量所得初始沸點在攝氏 250 度以下有機化合物之空氣污染總稱。但不包括甲烷、一氧化碳、二氧化碳、二硫化碳、碳酸、碳酸鹽、碳酸銨、氰化物、硫氰化物等化合物(環保署，2011)。

由於揮發性有機物(VOCs)的種類複雜，不同產業及製程所使用的有機溶劑成分及比例差異性相當大，其特性亦有諸多不同，不論於高溫或常溫製程下，皆會揮發排放至大氣中，並具有滲透、脂溶等特性且多數污染物具化學活性，在強烈日照及氮氧化物存在下，將進行一連串光化反應而產生臭氧等二次污染物，會刺激人類的眼睛、皮膚，進而引起呼吸系統的疾病，故極易經由皮膚接觸及呼吸系統而對人體造成危害。近來這類有機化合物更被視為是引起癌症主要的原因。大部分之 VOCs 其臭味閾值較低，少量之 VOCs 就會產生臭味，所以會造成臭味之問題(經濟部工業局，2007)。

揮發性有機化合物排放主要來自大自然與人為因素，前者大多數來自自然生物，少數則來自採煤區、油田天然氣及自然火災，而自然生物亦可產生較複雜的碳氫化合物(經濟部工業局，2007)。

目前國內常用之有機溶劑如下所述：(經濟部工業局，2007)

1. 醇類：甲醇、乙醇、異丙醇、1-丁醇、2-丁醇、丁醇、異丁醇等。
2. 酯類：乙酸乙酯、乙酸丁酯、乙酸戊酯、乙酸乙二醇單乙醚(乙酸賽路蘇)等。
3. 醚類：2-乙氧乙醇(賽路蘇)、2-丁氧乙醇(丁賽路蘇)。
4. 酮類：丙酮、丁酮、甲基異丁基酮、環己酮等。

5. 含氯溶劑：三氯甲烷、四氯化碳、三氯乙烯、四氯乙烯、1,2-二氯乙烷、三氯乙烷、二氯甲烷等。
6. 烴類：a. 芳香烴類：甲苯、二甲苯、油漆溶劑，b. 脂肪烴類：石油溶劑(油、煤油)。
7. 其他：二甲基甲醯胺、乙二醇醚、甲酚、正己烷、氟氯碳化物等。

有機化合物愈來愈多，不單只是簡單有機化合物，許多是複雜的高分子有機化合物，一般具有惡臭，若以行業別觀點加以分類，則可分成工業、商業、住宅、車輛等；若依其排放特性加以區分，則可歸納為不完全燃燒、製程排放、油品揮發、溶劑使用及生物作用等五大類(經濟部工業局，2007)。

由於近代有機合成工業與石油化學工業的發展，進入大氣中有毒害作用，不但對人體各個器官有刺激作用，尚有致癌物質存在。有的毒性迄今未清楚，有的由於在空氣中含量極微，目前測試技術尚無法進行鑑定。他們的來源不但來自工業廢氣，且有的是工業排出的污染物質進入大氣後，所發生一系列複雜反應，形成刺激性更強、毒性更大的污染物質(經濟部工業局，2007)。

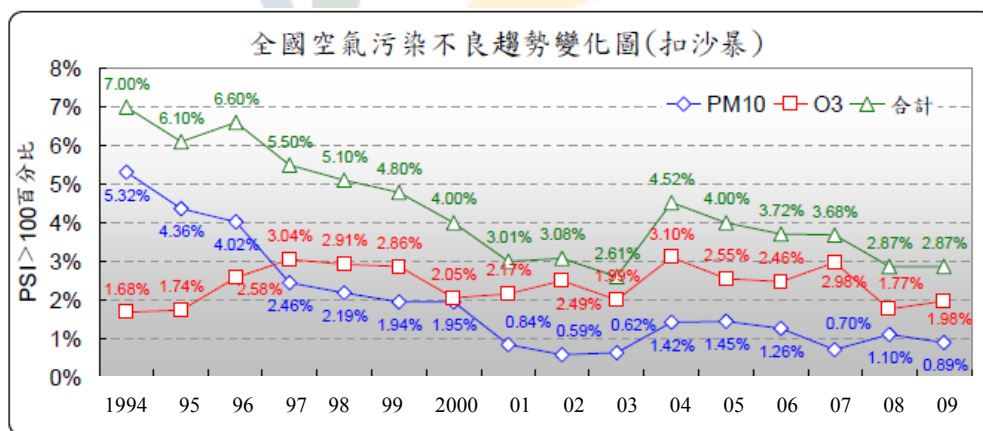
為促進我國企業永續經營、經濟發展與環境保護兼容並蓄之目標，重大投資案如陸續設廠後，VOCs 之總排放量有持續增加之趨勢。政府相關單位，針對雲嘉南產業為優先，中部及高高屏地區的產業為次之，積極推動產業 VOCs 減量計畫，促使業者改善製程、更新污染防制設備及進行減量工程規劃等，以協助產業達成揮發性有機物 VOCs 削減量；協助業者降低產業因 VOCs 空污費繳交所造成之衝擊。

近年來臭氧( $O_3$ )已逐漸取代懸浮微粒(TSP)，成為導致空氣品質不良之主要原因；而臭氧( $O_3$ )係由氮氧化物( $NO_x$ )、揮發性有機物(VOCs)經光



化反應所衍生之二次污染物。環保署近年來，除了加強氮氧化物( $\text{NO}_x$ )及揮發性有機物(以下簡稱 VOCs)管制法規之制定外，並於民國 2007 年第一階段開徵揮發性有機物空污費，優先開徵管制對象較明確且具減量空間之固定污染源，民國 2010 年第二階段則擴大至全面開徵，納入如民生使用之消費性商品等面源排放之徵收作業，承上啟下亦採分階段方式逐步擴大徵收物種之完備性，以期加速提升國內空氣品質。

我國空氣品質雖然已有逐年改善之趨勢，空氣污染指標( $\text{PSI}>100$ )大於 100 之不良日數比例，從 1994 年的 7% 已降至 2003 年的 2.61%，但從 2004 年微幅上升至 4.52%，而後又逐漸下降至 2007 年的 3.66%，顯示空氣品質狀況仍處於不穩定狀況，必需持續改善，以符合不良日數比例達 100 年降至 1.5% 的目標。



資料來源：環保署，2010

圖 1.1-1 全國近年空氣品質不良率( $\text{PSI}>100$ )變化趨勢

各空品區歷年空氣品質不良率之變化亦有類似趨勢，且以高高屏、雲嘉南及中部空品區之污染情形較為嚴重，分別說明如下：

1. 全國：由 1994 年之 7% 逐漸降低至 2003 年之 3.08%，2005 年微幅上升



至 4%，而後又逐漸下降至 2009 年之 2.87%。

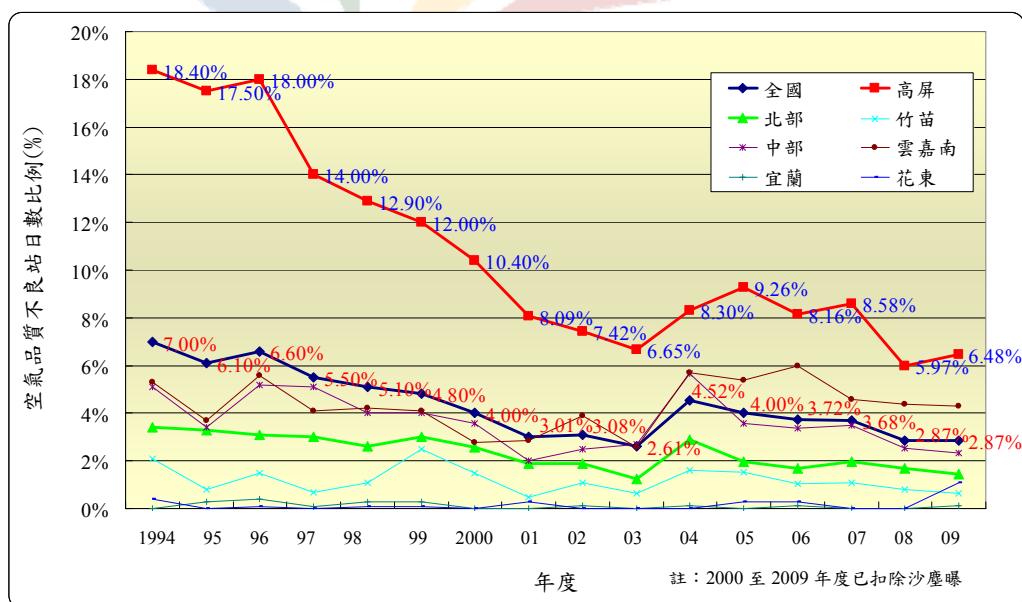
2. 高高屏空品區：由 1994 年之 18.40%逐漸降低至 2003 年之 6.65%，2005 年微幅上升至 9.26%，而後又逐漸下降至 2009 年之 6.48%。

3. 雲嘉南空品區：由 1994 年之 5.50%逐漸降低至 2000 年之 3%，2004 年微幅上升至 5.98%，而後又逐漸下降至 2009 年之 4.3%。

4. 中部空品區：由 1994 年之 5.5%逐漸降低至 2001 年之 2%，2004 年微幅上升至 5.98%，而後又逐漸下降至 2009 年之 2.87%。

5. 竹苗空品區：由 1994 年之 2%逐漸降低至 1998 年之 1.6%，1999 年微幅上升至 2.1%，而後又逐漸下降至 2009 年之 1.4%。

6. 北部空品區：由 1994 年之 3.5%逐漸降低至 2003 年之 1.7%，2004 年微幅上升至 2.64%，而後又逐漸下降至 2009 年之 1.7%。

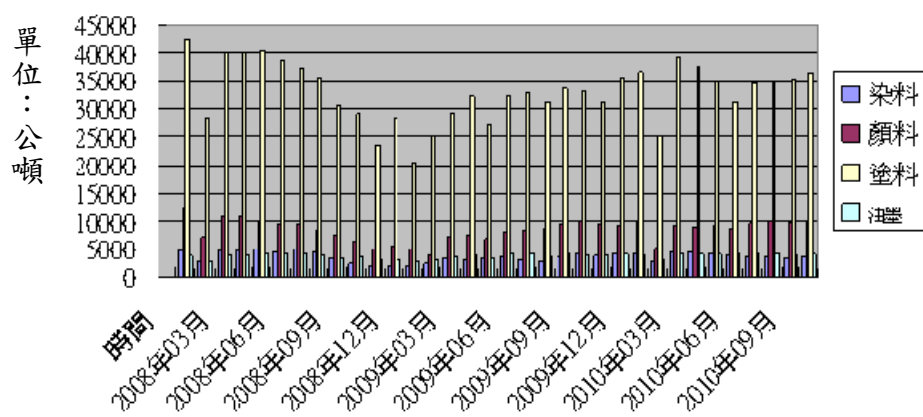


資料來源：環保署，2010

圖 1.1-2 全國及七大空品區空氣品質不良站日數比例變化趨勢

## 第二節 研究動機與目的

由於國內重大投資案(台塑大煉鋼廠、國光石化、三輕更新、六輕擴建)陸續增建設廠，有機合成工業與石油化學工業的發展，所排出的工業廢氣進入大氣中，產生一系列的複雜反應，在不同行業別之製程與產業廢氣特性，亦不盡相同，各項空氣污染物(含 VOCs)之增量將造成空品區整體排放量增加之現象，期能在積極推動法規管制同時，同步反應「污染者付費」之公平性，藉由「經濟誘因」機制，提高業者污染減量意願，以達空品改善雙贏成效。然而產業在無減量資訊之情形下，將繳交龐大金額的空污費，空污費的開徵對於產業界的影響不容忽視。依歷年統計資料顯示，工業界於製程中使用有機溶劑之數量相當大(如圖 1.2-1 所示)，VOCs 逸散至大氣中的機會也相對提高。為因應此一 VOCs 管制趨勢，進行污染減量成為產業界必須重視的課題。



資料來源：(1)經濟部主計處，2010;(2)本研究彙製

圖 1.2-1 國內製造業染料、顏料、塗料、油墨的生產量

有鑑於此，本研究藉由，蒐集 96、97 年「雲嘉南地區產業揮發性有機物減量輔導計畫」中，共計 170 餘家工廠，篩選具有 VOCs 削減空間之工廠，為評估對象，由於印刷業淨盈餘較低之緣故，並為下階段主管機關進行行業別法規 VOCs 排放加嚴管制之對象，在相同經濟條件之下印刷產業，成本負擔較大。本研究蒐集各廠檢測資料、空污費繳交情況，探討工廠 VOCs 減量成效分析、可行技術及其經濟效益評估，並彙整常用 VOCs 清潔生產技術，供業者參考之減量技術。

因而本研究之主要目的如下：

1. 蒐集各廠商 VOCs 減量相關數據，探討工廠配合環保署之 VOCs 減量措施上，所達成之 VOCs 削減量及空污費繳交金額之經濟成本效益分析。
2. 以包絡分析(DEA)方法建構工廠 VOCs 減量績效評估模型，探討 VOCs 減量績效對空污費繳交金額之影響。
3. 以差額變數分析了解工廠投入相關資源，針對 VOCs 減量績效較差之廠商，分析投入資源需做何種改善，並提出相關之建議。
4. 經由實證分析探討後，以 VOCs 減量績效佳之標竿工廠，為學習的示範工廠，找出產業在 VOCs 減量方面所能改進之方向與願景。
5. 本研究再發展指標指數系統評估，雙重檢視分析 19 家個案廠商之 VOCs 減量效率。

### 第三節 研究流程與論文架構

本研究之流程為先行確立研究動機與目的，其次訂定研究流程架構及界定研究內容範疇，再依相關基礎理論與標準程序之文獻回顧，並建

構 DEA 模型及 VOCs 減量效率的評估模式；於整體研究過程中，進行相關資源投入與 VOCs 削減量資料彙整，而後經過投入產出要素的選取及選用合適的 DEA 方法，分析整體效率，經差額變數分析找出 VOCs 減量之影響程度，並提出研究結論與建議，整體研究流程如圖 1.3-1 所示。

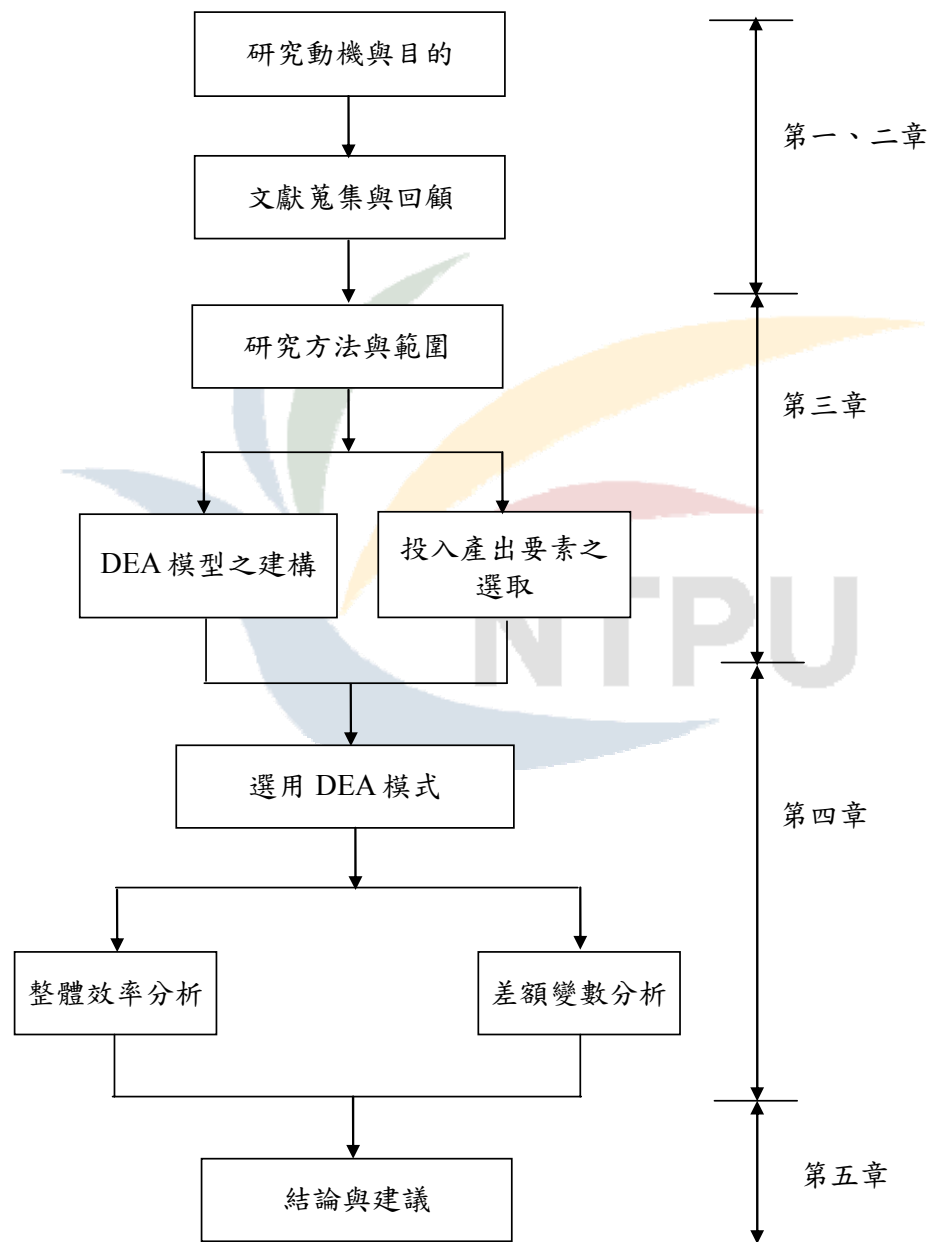


圖 1-3.1 研究流程圖

## 第四節 本研究限制

本研究之研究對象的營運資料來自 2007 至 2008 年「雲嘉南地區產業揮發性有機物減量輔導計畫」中，篩選印刷業具有 VOCs 削減空間之 19 家個案廠商，做為分析的對象，蒐集彙整其各廠現有 VOCs 控制設備設置成本、年操作費用、物料用量(公噸/年)及推估潛在節約成本及 VOCs 削減空間(公噸/年)。因此本研究彙整幾點研究限制，如下所述：

- 一、僅對 2007 年及 2008 年之短期資料做研究，無法反映其他時間 VOCs 削減成效之影響。
- 二、蒐集 2007 至 2008 年「雲嘉南地區產業揮發性有機物減量輔導計畫」中，僅對彙整後資料篩選雲嘉南地區較為完整之 19 家代表性工廠，做為研究對象，無法完全反映整體印刷業 VOCs 之削減量與本產業之關聯性。
- 三、印刷業個案廠商現有 VOCs 控制設備設置成本、年操作費用、原物料用量(公噸/年)，投入變數項之資料來，來自於個案廠商所提供，並非政府機關之統計資料，唯削減量空間之認定，是來自工程現場評估及工業主管機構敦聘專家委員所認可，所以可信度相當高。
- 四、為避免研究過度複雜化，僅針對工業主管機關輔導資料庫年排放量(公噸)及預估改善後排放量之差，做為減量效率(公噸)計算基準。
- 五、所有投入與產出的資料必須是明確且可衡量的數據，因此 DEA 所衡量出來的效率是「相對效率」而非「絕對效率」。



## 第二章 文獻回顧

本章係針對前章所提及之基礎理論、標準程序及相關研究方法進行文獻回顧與闡述。首先，回顧國外空氣污染總量管制的理論基礎與管制制度。第二節 國外空污費徵收制度。第三節 國外揮發性有機物(VOCs)管制分析。第四節 國內揮發性有機物防制相關法規沿革。

### 第一節 國外空氣污染總量管制的理論基礎與管制制度

根據國外在空氣污染總量管理之執行經驗，如何有效地運用以經濟誘因為餌(driving force)之磁吸力及命令與控制(command and control)行政管制措施之推力，藉由企業追求利益之立基以促使工廠有效地改善空氣污染問題。簡言之，就是紅蘿蔔與棍子的理論，主張績效表現好時給予獎賞；當表現不好就給懲罰，達到雙軌管制策略之功效，因此，將對空氣污染總量管制的理論基礎與管制制度概述如下：

#### 一、空氣污染總量管制的理論基礎

首先奠定經濟誘因理論基礎的是英國福利經濟學大師皮古(Arthur C. Pigou)，而在經濟誘因的談論則是以美國學界最為活躍；皮古於其大作「福利經濟學(Economics of Welfare)」中，利用社會與私人淨產值之歧異，闡釋以利潤體系提供社會公益上，卻發現異於常理之處如：甲乙雙方訂立合約，甲方依合約給付乙方，雙方履約並獲取互惠給付，但在給付的過程中意外，卻額外另一種有利或不利的給付丙方(第三方)，契約給付條文內容，並未相應地反應對丙方的意外給付進行賠償(葉俊榮，1988)。

皮古認為對以上所述情況意外地給付於丙方(第三方)，政府應以稅捐



的方式加以規範。爰此，所謂的皮古稅(Pigouvian tax )已逐漸被引用於與污染防制治相關的環境經濟學上(葉俊榮，1988)。

空污費的理論來自皮古稅一對產生外部性的行為，依據其邊際外部成本課稅，使社會資源配置達到最適，係指污染量之多寡對生產者課徵與外部成本對等的租稅，藉由人類自利的動機，空氣污染防治之經濟分析係建立在價格的誘引之下，使得空氣資源可有效率地配置和運用，來解決空氣污染問題，因此，以下將對行政管制措施與經濟誘因加以探討(葉俊榮，1988)。

### (一) 行政管制措施

由於行政管制大多是需要政府訂定及執行，是最早且最普遍被使用為固定污染源管制之重要政策工具，直接對產業、廠商或地區的污染行為、排放管制標準、排放濃度標準、空污排放總量、環境品質及污染防制技術進行管制。十九世紀中期各先進工業國家對於自產業革命以來的工業化與都市化所帶來之越來越嚴重之環境問題，行政管制大多是需要政府訂定及執行，是最早且最普遍被使用為固定污染源管制之重要政策工具，直接對產業、廠商或地區的污染行為加以禁止規範，空污法制訂亦加以延續，針對各地區依污染情況劃分不同的防制區，並採取不同的標準規範，嘗試透過各種環境政策與行政管制等方式來尋求解決之道(鄭福田，2006；環保署1988)。

### (二) 經濟誘因 (economic incentives)

經濟學家試著以經濟學的角度，針對改善環境問題無效率缺失，提供政府許多改善之方法，這些方法可以稱之以「經濟誘因」(economic incentives)解決環境問題；其中較具代表性的即是透過費用



的徵收來對於環境使用或環境污染訂價格，使其能納入市場機能的運作，以更有效率地解決環境污染問題(葉俊榮 1988；蕭代基 1992)。

在既有防制策略上採用更具彈性且積極之經濟誘因，如污染泡、空氣污染防制費、排放權交易及總量管制等，政府提供賞罰的誘因，使污染源頭主動的進行污染防制，為有效解決台灣地區存在以久之空氣污染問題，以落實「污染者付費」原則，達到公平有效之施政目標，也有助於減少空氣污染排放之效用，這已是各先進國家逐漸採取的環境政策趨勢(葉俊榮 1988；蕭代基，1992；國科會，2003)。

## 二、總量管制制度

近年來總量管制制度配合經濟誘因工具之交易制度已被世界各國所採用，在污染物對象上，除成功應用於 SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub> 及鉛之削減外，更運用於全球溫室氣體之管制策略，而跨境跨國或跨污染物間的總量管制與交易則仍在試行或是研究中。本研究為瞭解空污總量管制制度規劃內容之合理性，已完成蒐集國外(包括美國、歐盟、日本、韓國及中國等)空污總量管制推動作法，及尚未推動總量管制國家(如新加坡、香港及俄羅斯)之空氣品質管理作法(如表 2.1-1)，俾利與我國現行規劃內容進行合宜性比較。其中，美國主要針對大型電廠管制 SO<sub>x</sub> 及 NO<sub>x</sub>(如：酸雨計畫及 CAIR 等)，或由各州政府自行指定污染源進行排放量削減(如：RECLAIM 等)，以美國之推動經驗最為豐富且成功；歐盟由會員國自行研擬國家減量方案；日本對工業都市要求既存污染源減量；韓國則對工業區進行總量管制(環保署，2008；經濟部工業局，2010)。

(1) 總量管制作法

表 2.1-1 各國空氣品質管制情形列表

國家	計畫名稱	總量管制項目	策略期程及重點說明
美國	酸雨計畫	SO <sub>x</sub> 、NO <sub>x</sub>	<p>第一階段：1996 年起，書面減量階段，依列管工廠減量單位輸入熱值分配排放總量限值，對大型電廠進行總量管制，每年發給允許排放權，其間允許買賣或儲存，設有「排放權管制系統」。允許排放權的發放係採用各廠在 1985-1987 年間所耗用能源之年平均值來加以計算。</p> <p>第二階段：2000 年起，實質減量階段，指定削減管制對象更多、排放量削減更嚴格。</p>
	新設污染源排放抵換制度(NSR)		1977 年迄今，設於空品不合格地區，需符合 BACT 或最低可排放率，並強制向該區域購買差額排放權(ERC)，抵換係數需大於一倍以上。
	加州區域清空誘因市場計畫(RECLAIM)	SO <sub>x</sub> 、NO <sub>x</sub>	<p>1.因地理條件使空污擴散不易，總量之核定依據 1988-1992 最大活動強度(指產能、原物料量或燃料量)為基準，規定每年允許排放權；起始年為 1994 年，目標年為 2003 年，排放權詳登於許可證。</p> <p>2.污染源在符合管制要求之排放限制下，若能在排放量上加以削減而減低排放限制所產生之差額，即可為差額排放權(ERC)之發放依據。</p> <p>3.因歇業、停工或減產所產生之減量，並不允許交易。</p> <p>4.未使用完之排放權或減量額度產生後將其保留儲存(banking)，可作為日後抵換新增排放量、因應未來加嚴管制標準或交易買賣。</p>
	NO <sub>x</sub> 總量管制計畫(NBP/ NO <sub>x</sub> SIP Call)	NO <sub>x</sub>	<p>第一階段：baseline year=1990，臭氧傳輸委員會(1999-2003)負責推動 NO<sub>x</sub> 抵換交易制度，實施於美國東岸 21 州，內容包括適用範圍、管制期限、NO<sub>x</sub> 允許排放權、排放監測、紀錄申報等。管制對象為電力設備、鍋爐等。以年平均排放量為基礎，分別核定個別污染源之 NO<sub>x</sub> 允許排放權。</p> <p>第二階段：baseline year=1995，自 2003 迄今，納入 NO<sub>x</sub> SIP 計畫自 1999 年推動排放權交易計畫，訂定排放量目標。第三階段自 2003 年訂定更低之排放量目標。</p>

國家	計畫名稱	總量管制項目	策略期程及重點說明
	清淨空氣跨州條例(CAIR)	SO <sub>x</sub> 、NO <sub>x</sub> 、PM <sub>2.5</sub> 、O <sub>3</sub>	自 2005 年迄今，實施於美國東部，CAIR 主要提供以電廠為主要管制對象，由 EPA 提供 BACT 之法案，採區域管理及排放交易並存的方式。
	移動污染源排放量抵換制度		推動移動污染源排放交易制度。
	汽油含鉛量排放總量管制制度	Pb	1982-1987 年，規範煉油廠鉛排放權，1987 年起不再核配任何鉛排放權。
歐盟	國家排放量限值 (National Emission Ceiling, NEC)	SO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 、VOCs、NH <sub>3</sub>	1.因考慮會員國眾多，故以區域管理角度，訂定各會員國污染物排放不超過 NEC，再由各會員國依國情及行政制度自行管制。 2.2001 會議指令規範於 2010 年 15 個會員國需制訂減量計畫。2006 年通過各會員國分配排放總量，自行訂定全國性減量行動計畫，2008 年提出行動計畫由歐盟環保署 (EEA)審核後實施。
日本		SO <sub>x</sub> 、NO <sub>x</sub>	1.分為燃料對策、設備對策及監測對策，區分不同管制區，訂定「一般排出基準」及「特別排出基準」。 2.削減計畫中新污染源之設置也受到總量管制基準之限制，同時因環評中必須面對地方公聽會，有較多機會進行總量協商，因此法規並未對新污染源總量有其他的限制。
韓國		SO <sub>x</sub>	1.對策為燃料改善、加強取締工廠、增加設置重大污染源監測系統等。 2.主管機關除中央及地方兩級外，有區域環境中心執行區域綜合計畫業務，最高指導機關為內閣閣員所組成之國家環境保護諮詢委員會，執行重大開發環評報告，以及區域綜合計畫之最後決策。 3.重大污染源都設在工業區，故採行工業區總量管制法規，對無法達成空氣品質標準的地區，法規一方面以單一之排放標準進行管制，一方面將新污染源或舊污染源擴大的申請排放量，限制在既有廠的減量範圍內，以便對工業區總量予以限制。
英國	英國國家計畫	SO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 、VOCs、NH <sub>3</sub>	排放交易系統分為溫室氣體及傳統污染物。傳統污染物方面，管制目標希望 2010 年達成歐盟(NECD)目標。
中國	十一五國家計畫 (第十一個五年國家計畫)	SO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub>	1.2006 年訂定，環保指標計 7 項，與空品相關為「SO <sub>2</sub> 排放總量」及「重點城市空氣品質符合標準的天數」 2.加強重點行業 NO <sub>x</sub> 總量控制，主要為電廠管制；SO <sub>2</sub> 以監測結果、質量平衡、係數推估等方式提交減量執行成果。

國家	計畫名稱	總量管制項目	策略期程及重點說明
			3.2006 年公布重點城市 SO <sub>2</sub> 總量目標，以 2005 年為基準年，2010 年為目標年實施總量管制成效檢討。 4.中國環保部 2008 年 10 月新設「污染物排放總量控制司」。 5.「主要污染物總量減排」資訊平台。 6.十二五國家計畫 NO <sub>x</sub> 總量控制以電力行業先行，並強化機動車 NO <sub>x</sub> 的排放控制，發展綠色公共交通，限制市區汽車行駛總旺，重點控制 NO <sub>x</sub> 環境影響較嚴重之區域。
	臭氧層破壞物質		1988 年 9 月簽署。迄今締約國已增至 160 餘個。氟氯碳化物、海龍、其他全鹵化氟氯碳化物、四氯化碳、1,1,1-三氯乙烷、溴化甲烷、氟氯烴類及氟溴烴類等 8 大類物質。
	CO <sub>2</sub> 、CH <sub>4</sub> 、N <sub>2</sub> O、HFCs、PFCS、SF <sub>6</sub>		內容含溫室氣體總量排放之碳權交易制度，仍在規劃階段。

資料來源：(1)經濟部工業局，2002；(2)環保署，2008；(3)本研究彙整

## (2) 非總量管制作法

國家	策略期程及重點說明
加拿大	各級政府在加拿大環境委員會(CCME)於 1998 年之合作協定架構下，配合全國各地標準(CWSs)一致下彼此合作，CCME 視個案狀況指派適於執行之最有效率政府層級，各政府層級在合作協定下仍可維持其原有法定權限。
新加坡	1.主要透過管制標準限制車輛 Pb、SO <sub>x</sub> 、NO 及 PM 之排放。 2.工廠管制主要透過排放標準及鼓勵設置空污控制設備等方式，以維持空氣品質。
香港	1.主要空污來源為車輛及電廠問題，1999 年起推行車輛廢氣管制計畫，已明顯改善 TSP 及 NO <sub>x</sub> ，但受珠江三角洲地區工業開發，產生區域性空污背景值惡化之問題。 2.2002 年起，結合廣東政府，採行各項排放減量措施，期望於 2010 年前，將區域內 SO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 、PM <sub>10</sub> 及 VOCs 排放量，以 1997 年為參考基準，分別減少 40%、20%、55%、55%。 2.2006 年與中國大陸合作，制訂「珠江三角洲區域火力發電廠排放量交易試行計畫」。
俄羅斯	1.依據最大允許濃度(MPC)訂定最大允許排放量(MPE)及暫時允許排放量標準(TAE)。 2.若空品大於 MPC，則按空品與 MPC 比值劃分區域，各區內之 MPE 或 TAE 則按該區空品與 MPC 比值調降，或按工廠對總濃度貢獻比例、工廠對國家經濟貢獻重要性等因素，考量減產、關閉、遷廠或更改污染源設置計畫等因應對策。
台灣	總量管制實施時程規劃中，制度簡述： 1.依中央主管機關訂定總量管制計畫。 2.環保署得依地形、氣候條件，將空氣污染物互相流通之縣市劃為總量管制區。 3.符合空氣品質標準者，訂定污染物容許增加最大限值，避免空氣品質明顯惡化。

國家	策略期程及重點說明
	4.不符合空氣品質標準者，訂定總量管制區削減總量、區內各縣市應削減總量及改善期限計畫。 5.地方主管機關訂定空氣污染防制計畫。 6.新設污染源污染增量應取得既存污染源減量差額，抵換後始得設置。

資料來源：(1)經濟部工業局，2002；(2)環保署，2008；(3)本研究彙整

經比較，國內對於既存固定污染源指定削減部分，並未參採任何國家之作法，係由環保署自行規劃之管制方式；另對於新設或變更達一定規模以上之固定污染源，其增量抵換原則主要係參考美國新設污染源審議制度(New Source Review, NSR)精神訂定。

## 第二節 國外空污費徵收制度

本節主要係蒐集彙整具空污費徵收經驗之先進國家，如美國(聯邦政府、南加州、德州及賓州)、歐盟(瑞典、丹麥、義大利及德國)、日本及中國等，依各國徵收之費基、計費方式及費率等項目彙整比較，得知費基大致可分為三類型，如表 2.2-1 所示。

第一類型 費基隨燃料徵收的國家有：德國、義大利、等國家。

第二類型 費基隨污染排放量徵收的國家有：美國。

第三類型 費基隨 SO<sub>x</sub> 排放量徵收的國家有：日本及丹麥等國家，NO<sub>x</sub> 依污染排放量徵收的國家有：瑞典。各國申繳報頻率，以每年乙次為原則。(行政院環保署，2007)



表 2.2-1 各國空污費徵收方式及費率水準彙整

國家(區域)別	費基	費率(台幣)	計算方式	申繳頻率
德國	隨燃料徵收	2(元/公升)	固定費率	每年 1 次
義大利	隨燃料徵收	6.3(元/公升)	固定費率	每年 1 次
美國(南加州)	污染排放量	Sox：7-18(元/公斤) NOx：6-15(元/公斤)	累進費率	每年 1 次
美國(德州)	污染排放量	0.8(元/公斤)	固定費率	每年 1 次
美國(賓夕法尼亞州)	污染排放量	1.2(元/公斤)	固定費率	每年 1 次
日本	SOx 排放量	24~371(元/公斤)	固定費率	每年 1 次
丹麥	SOx 排放量	55~110(元/公斤)	固定費率	每年 1 次
瑞典	含硫量 NOx 排放量	燃料油：0.12(元/公升) NOx：179(元/公斤)	固定費率	隨燃料徵收 依排放量徵收
中國大陸	公告物種之前三 大污染當量	2.4(元/污染當量)	固定費率 (0.6)	由環保部門寄發 繳費通知

資料來源：行政院環保署，2007

### 第三節 國外揮發性有機物(VOCs)管制分析

本研究為了解國外針對空氣污染防制費徵收制度，蒐集並彙整各國收費情形及國家排放量限值(National Emission Ceiling)，包括：歐盟、英國、中國、日本、韓國，德國等，皆陸續推動或規劃相關管制策略，其資料彙整簡述如下：

#### 一、歐盟

##### (一)國家排放量限值(National Emission Ceiling)

歐盟「清淨空氣策略」委員會在 2001 年推動之空氣污染防制策略(Thematic Strategy on Air Pollution)，為歐洲清淨空氣(CAFE)方案之一部分，期能透過立法方式，改善目前之空氣品質。目標設定為

2020 年前降低五大主要污染物 PM (PM<sub>2.5</sub> 及 PM<sub>10</sub>)、NH<sub>3</sub>、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub> 及 VOCs 之排放量。

歐盟 2001 年「Directive 2001/81/EC of the European Parliament and of the Council」指令中對 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、VOCs 及 NH<sub>3</sub> 四種污染物訂定國家排放量限值，規範會員國須在 2010 年自行制定全國性減量計畫，使污染排放量不超過排放量限值。如表 2.3-1 所示。

表 2.3-1 歐盟各國限定 4 種污染物國家排放量限值

國家	二氧化硫 SO <sub>2</sub> (千噸)	氮氧化物 NO <sub>x</sub> (千噸)	揮發性有機物 VOCs (千噸)	氨氣 NH <sub>3</sub> (千噸)
比利時	99	176	139	74
保加利亞	836	247	175	108
捷克共和國	265	286	220	80
丹麥	55	127	85	69
德國	520	1,051	995	550
愛沙尼亞	100	60	49	29
希臘	523	344	261	73
西班牙	746	847	662	353
法國	375	810	1,050	780
愛爾蘭島	42	65	55	116
義大利	475	990	1 159	419
塞普勒斯	39	23	14	09
拉脫維亞	101	61	136	44
立陶宛	145	110	92	84
盧森堡	4	11	9	7
匈牙利	500	198	137	90
馬爾地	9	8	12	3
荷蘭	50	260	185	128
奧地利	39	103	159	66
波蘭	1,397	879	800	468
葡萄牙	160	250	180	90
羅馬尼亞	918	437	523	210
斯洛維尼亞	27	45	40	20

國家	二氧化硫 SO <sub>2</sub> (千噸)	氮氧化物 NO <sub>x</sub> (千噸)	揮發性有機物 VOCs (千噸)	氨氣 NH <sub>3</sub> (千噸)
斯洛伐克	110	130	140	39
芬蘭	110	170	130	31
瑞典	67	148	241	57
英國	585	1,167	1,200	297
27 個會員國排放限值	8,297	9,003	8,848	4,294

資料來源：(1)Directive 2001/81/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2001 on national emission ceilings for certain atmospheric pollutants. Amended by: Council Directive 2006/105/EC of 20 November 2006.;(2)行政院環保署，2006

### 三、英國

英國在傳統污染物管制方面，配合歐盟國家排放量限值指令，依國家排放清冊資料，透過主要污染佔比，列出優先管制之排放限制對象及個別被分配之排放限值，希望在管制目標 2010 年時，能如期達成 歐盟指令(National Emissions Ceiling Directive, NECD)規劃國家目標，限制對象包括：能源供應商業、交通運輸、民生及住家、公共設施、農業、森林及土地利用 如表 2.3-2( 經濟部工業局，2010。)

**表 2.3-2 英國國家計畫四種污染物排放限制對象及排放限值**

限制對象 \ 污染物種	SO <sub>2</sub> (千公噸)	NO <sub>2</sub> (千公噸)	VOCs (千公噸)	NH <sub>3</sub> (千公噸)
能源供應	364.0	293.0	270.0	0.2
商業	163.0	252.0	469.0	18.1
交通運輸	31.0	483.0	108.0	5.0
民生及住家	20.0	100.0	321.0	10.6
公共設施	4.0	10.0	11.0	0
農業、森林及土地利用	3.0	28.0	19.0	263.0
總排放限值	585	1,166	1,198	297

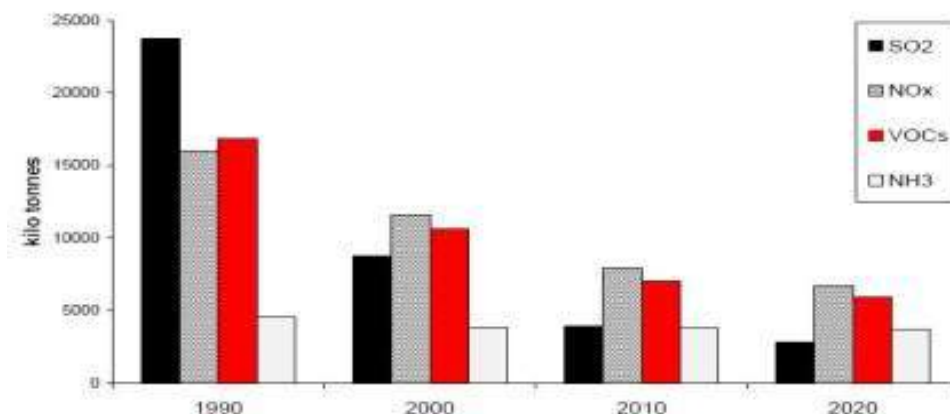
資料來源：(1)UK national programme to combat acidification, eutrophication and ground\_level ozone (In accordance with the National Emissions Ceiling Directive(2001/81/EC)), 2007.02; Department for Environment, Food and Rural Affairs . [www.defra.gov.uk](http://www.defra.gov.uk).(2)經濟部工業局，2010。



主要污染源之減量方式包括：

- (一) 能源供應：英國能源供應業者，在統計2003年污染物排放清冊發現，該產業對全國VOCs之貢獻量仍高達全國排放量之23%，故國家計畫中希望能源供應產業可以持續進行更新高效能設備及製程改善，減少VOCs之排放。
- (二) 商業：VOCs主要加強管制溶劑使用及化學製程等。
- (三) 交通運輸：車輛管制方面將加嚴廢氣排放標準及研擬強制安裝觸媒轉換器相關規則。
- (三) 民生及住家：一般住家裝潢材料，建議採用低VOCs含量之家用漆料塗料，有助益VOCs削減及逸散。
- (四) 農業、森林及土地利用：來自於農業堆肥之VOCs排放量佔總排放量1.5%。而大部分NH<sub>3</sub>來自於農業及家畜，故將列為主要管制與輔導對象。

預估英國四大污染物排放變化趨勢如圖 2.3-1 所示。



資料來源：(1)歐盟Directive 2001/81/EC OJ L 309, 27.11.2001, (2)經濟部工業局，2010)

圖 2.3-1 英國四大空氣污染物排放之變化趨勢

#### 四、中國大陸揮發性有機物管制標準

中國大陸揮發性有機物管制標準為世界主要國家中起步較晚的一例，依中國環境保護局實施制定有機物相關之污染物質為非甲烷總碳氫化合物(NMHC)，規定其排放濃度及依煙道高度分三級管制其排放標準，並將污染源分為既存污染源及新設污染源，按污染源所在環境及功能，將既存污染源分為三級，將新污染源分為 2 級的管制標準，其級別之分類為如表 2.3-3 所示：（環保署，2008；林秀銘，2007）。

- (一) 第一類：此類區為空氣保護區，依一級標準管制，執行為現有污染源擴建及改建。
- (二) 第二類：依二級標準管制，此類區為空氣品質符合環境標準者(含既存污染源或新污染源)。
- (三) 第三類：依三級標準管制，此類區為空氣品質不符合環境標準者(含既存污染源或新設污染源)。

表 2.3-3 中國大陸非甲烷總碳氫化合物(NMHC)排放標準

項目	最高允許排放濃度(mg/m <sup>3</sup> )	最高允許排放速率(kg/hr)				無組織排放監控	
		排氣筒高(m)	一級	二級	三級	監控點	濃度(mg/m <sup>3</sup> )
既設污染源	150 (使用溶劑汽油或其它混合烴類物質)	15	6.3	12	18	周界外濃度最高點	5.0
		20	10	20	30		
		30	35	63	100		
		40	61	120	170		
新設污染源	120 (使用溶劑汽油或其它混合烴類物質)	15	-	10	16	周界外濃度最高點	4.0
		20	-	17	27		
		30	-	53	83		
		40	-	100	150		

資料來源：林秀銘，2007

## 五、日本揮發性有機物管制標準

日本在鋼鐵及半導體產業發展，在國際上與我國，亦相互為競爭之國家，其主要係採以對石化燃料課徵環境稅之方式徵收，而石化燃料徵收對象包含工業用之石化燃料，如煤碳、天然氣、重油、輕油、燃料油等發電燃料，另對於電氣或電力業之發電用燃料、氣體製造燃料等亦屬課稅範圍。在管制揮發性有機物之運用略策，係針對危害性較高之成分，管制其總排放濃度外，尚無管制個別成分之排放濃度(環保署，2008；林秀銘，2007)。

## 六、韓國揮發性有機物管制標準

韓國在鋼鐵及半導體產業發展，在國際上與我國，相互為競爭之國家，韓國之空氣污染物徵收物種以硫氧化物、粉塵、氟化物、氯化物等為主，並未開徵一般性或特定行業別之揮發性有機物(VOCs)之空污費，僅就其大氣周界及氣體的排放標準訂定規範(環保署 2008；林秀銘 2007)。

## 七、德國

德國係為我國石化業發展之競爭國家之一，在揮發性有機物(VOCs)管制法規外，對其國內相關業者亦提出較嚴格之排放管道管制標準，同時設置焚化處理設備之排放管道，並加嚴揮發性有機物(VOCs)濃度限值，及在清淨空氣環境保護政策(Clean Air Policy)下，課稅之對象包含空氣、廢水及廢棄物，但其中空氣方面之徵收方式主要係針對燃料類物質進行課稅，如電力、柴油、輕/重質燃油、汽油、天然氣及液化石油氣等。政府係以「技術基準」來制定 HAPs 之管制標準，對不同污染源類別及污染物進行一致性管理規範。依「空氣品質管制技術指導手冊」

中，將污染物區分為致癌、有機物與無機物，並據其毒性、生物累積性或致癌性訂定三類標準，詳如表 2.3-4 所示（環保署，2008；林秀銘，2007）。

表 2.3-4 德國揮發性有機物排放標準

級別	級別主要物質	排放標準
致癌物質	苯	5 mg/m <sup>3</sup> (排放量≤100 g/hr)
I	醛類	20 mg/m <sup>3</sup> (排放量≤100 g/hr)
II	二甲苯、甲苯	100 mg/m <sup>3</sup> (排放量≤2 kg/hr)
III	丙酮、乙酸乙酯、烷基醇類、甲基、乙基酮、異丙醇	150 mg/m <sup>3</sup> (排放量≤3 kg/hr)

資料來源：林秀銘，2007

#### 第四節 國內揮發性有機物防制相關法規沿革

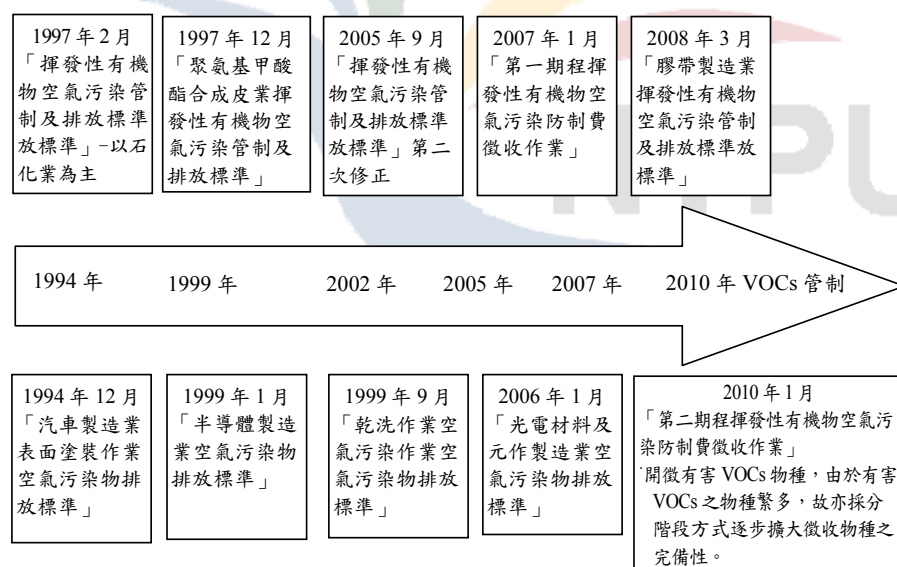
揮發性有機物（VOCs）為我國空氣污染管制之重點物質，行政院環境保護署逐步頒訂揮發性有機物的排放標準，於 1997 年公佈「（VOCs）揮發性有機物空氣污染管制及排放標準」，其後又針對各行業公佈個別的管制方式與排放標準，本節將概述國內揮發性有機物防制相關法規沿革。

##### 一、揮發性有機物相關管制法規

我國揮發性有機物空氣污染管制標準之制訂大多參考自美國 EPA 現行的管制標準。揮發性有機物空氣污染管制及排放標準最早於民國 1997 年 2 月 5 日行政院環境保護署（86）環署空字第 02385 號令訂定發布全文二十七條，嗣經多次修訂，最近一次為 2011 年 2 月 1 日修訂後全文四十四條。其中以民國 1994 年 12 月「汽車製造業表面塗裝作業空氣污染

物排放標準」、1997 年 2 月「揮發性有機物空氣污染管制及排放標準放標準」-以石化業為主、1999 年公告的「半導體製造業空氣污染管制及排放標準」等及民國 2006 年公告之「光電材料及元件製造業空氣污染管制及排放標準」頗受相關產業關注，而聚氨基甲酸酯合成皮業揮發性有機物空氣污染管制及排放標準、汽車製造業表面塗裝作業空氣污染物排放標準、乾洗作業空氣污染防制設施管制標準等，也陸續規範了相關行業的揮發性有機物排放。

由於揮發性有機物(VOCs)的排放，大多只在在煙道中形成處理後排放，有部份污染源來自製造過程、原物料的使用、煙道或廢水等不同管道下逸散，所以通常以清潔生產方式，從其收集效率、製程改善、原物料配方及回收等方向來研訂 VOCs 適用之控制對策。台灣地區歷年來揮發性有機物相關管制法規時程重點內容彙整如圖 2.4-1 所示。



資料來源：新竹市環保局專案計畫統計，2008，本研究彙整

圖 2.4-1 揮發性有機物相關管制法規時程圖

環保署鑑於國內臭氧濃度逐年升高，對於臭氧產生之前驅物質 VOCs 應加速改善，以減緩臭氧之污染程度，並鎖定 VOCs 排放減量為管制重點，自 2007 年 1 月起第一期程徵收揮發性有機物(VOCs)空污費，97 年金融海嘯襲擊全球之影響，經濟尚未完全復甦之情況下，對產業界而言，無疑更是雪上加霜，因而衍生大量之 VOCs 減量需求及於 2010 年 1 月起開徵第二期揮發性有機物空污費，以求徵收情形較能符合實際狀況，並納入如民生使用之消費性商品等面源排放之徵收作業。且基於考量有害 VOCs 污染物對人體健康之危害性，故一併開徵有害 VOCs 污染物。由於有害 VOCs 之污染物繁多，故亦採分階段方式逐步擴大徵收污染物之完備性。其主要變革項目包括徵收費率、公告係數及計量方式調整，另採「分年優惠費額」方式徵收，說明如下：

#### (一) 徵收費率調整

基於污染者付費之公平性原則，依據揮發性有機物空氣污染物空污費徵收制度已順利於 2007 年 1 月 1 日進行開徵。將固定源 VOCs 收費制度調整為兩期程實施，第一期程（2007~2009 年）不分 VOCs 污染物，採每公斤徵收 12 元之單一均化費率（如表 2.4-1）制進行徵收，有效降低業者衝擊，並鼓勵業者將部分費用挪至排放調查及自廠污染改善作業。第二期程（2010 年後）在一般 VOCs 污染物部分，採不同空品區三級累進費率，每公斤徵收 15~30 元，另額外加徵 13 項個別污染物(如苯、甲苯、二氯甲烷…)等，每公斤加徵 5~30 元（如表 2.4-2），但環保署規劃第二期程所增加之費率優惠，由 99 年(0%)、100 年(30%)、101 年(60%)至 102 年(100%)恢復原訂規劃，不再使用優惠係數。



表 2.4-1 第一期程(2007~2009 年)VOCs 空污費徵收計量方式

適用對象	計量方式
<b>■屬行業別法規管制有規定排放量計算方式者(非指排放量申報)</b> 一 汽車表面塗裝業(單位產品面積排放量) 一 PU 合成皮業(單位底塗總面積排放量)	<b>■依申報規定方式計量</b>
<b>■石化製程</b> 一 石化製程定義：指以化學或物理操作產製各類石油產品、石化基本原料、石化中間產品或石化產品之製造程序、包括產製各類有機化學品、樹脂、塑膠、橡膠及合成纖維原料等產品。	<b>■依公告行業製程排放係數計量</b> <b>■製程廢氣完全收集至管道排放者：可依檢測結果計算製程 VOCs 排放量</b> <b>■依環評審核通過之排放係數計量</b> <b>■個廠排放優於公告係數者，可依核定之自廠係數計量</b>
其他本次收對象且季排放量達 1 公噸以上者。	

資料來源：環保署，固定污染源管制網

表 2.4-2 第二期程(2010 年起)VOCs 空污費徵收費率表

一般 VOCs(分三級累進費率徵收並納入防制區差別費率)		
	O <sub>3</sub> 屬二級防制區	O <sub>3</sub> 屬一、三級防制區
第一級(49 公噸/季以上)	25 元/公斤	30 元/公斤
第二級(6.5~49 公噸/季)	20 元/公斤	25 元/公斤
第三級(6.5 公噸/季以下)	15 元/公斤	20 元/公斤
個別物種(因應市場售價，加徵費率調整為兩類)		
甲苯、二甲苯	5 元/公斤	
其他 11 種(包括苯、乙苯、苯乙烯、二氯甲烷、1,1-二氯乙烷、1,2 二氯乙烷、三氯甲烷(氯仿)、1,1,1-三氯乙烷、四氯化碳、三氯乙烯、四氯乙烯)	30 元/公斤	

資料來源：環保署，2010，固定污染源管制網

## (二) 公告係數調整

環保署依 2007~2008 年 VOCs 空污費徵收及查核經驗，於 2009

年進行公告係數之研修，修正項目包括「行業製程係數」(公告係數、管道排放、自廠係數、行業法規)、「操作單元係數」(儲槽、裝載操作、廢氣燃燒塔、廢水處理單元、設備元件)及「控制效率」，如：修正公告係數與許可證製程名稱之差異、修正公告係數計量基礎之單位、修正操作單元逸散量之計算公式、修正活性碳塔吸附效率等。

修正影響範圍包括全國產業公(協)會、垃圾焚化爐等計 189 個單位及其會員廠商。在一般物種部分共修正 86 個製程係數，在個別物種部分，藉由彙整國外排放係數資訊(如：美國環保署 AP-42、SCC-code、Fire 及 Speciate 資料庫等)、國內歷年相關研究成果、個別物種實廠流佈調查作業成果、許可核定排放量及產品產量等資料，增訂 109 個製程係數。

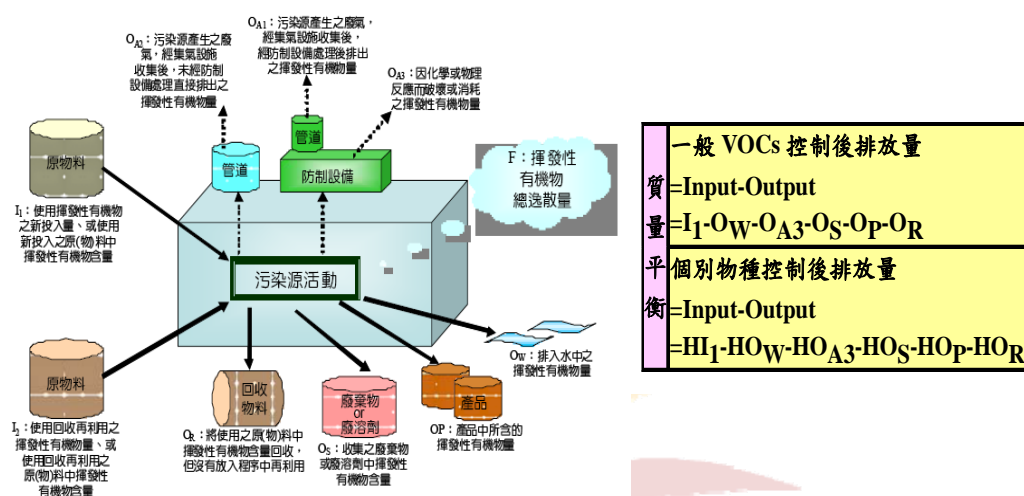
### (三) 計量方式調整

環保署為簡化產業計算全廠之 VOCs 排放量之計量方式，中央主管機關公告訂定「公私場所固定污染源申報空氣污染防制費之揮發性有機物之行業製程排放係數、操作單元(含設備元件)排放係數、控制效率及其他計量規定」，(以下簡稱公告係數)，產業申報 VOCs 空污費，係依公告之排放係數為計量之主要依據，為了避免工廠產生認定上之差異，若公告係數不適用之情況下，則可申請自廠排放係數，並經中央主管單位認可後，可適用於計量、申報。

環保署為簡化產業計算全廠之 VOCs 排放量，在第一期程(2007~2009 年)中訂有 5 項計量方式，並於 2009 年進行第二期程(2010 年 1 月 1 日起)公告係數修正，將部分製程別修正為「質量平衡」與「公告係數」並行之計算方式。凡公告係數規定應採行質量



平衡計量者(即係數值為 1,000V 者) (V：原物料中含揮發性有機物之重量百分比)，或符合「空氣污染防制費收費辦法」第 14 條第 1 項第 4 款之對象(即中央主管機關依排放量查核結果與公私場所採用公告係數計算所得季排放量差異達 10 倍以上且季排放量差異達 7.5 公噸以上者)，應以質量平衡計量方式，進行污染物排放量計算，如圖 2.4-2 所示。(經濟部工業局，2010)



資料來源：經濟部工業局，2010

圖 2.4-2 質量平衡計量方式示意圖

表 2.4-3 廠內有機溶劑流佈符號說明與質量相關表

符號	分類項目	代表函意	質量相關性
$I_1$	輸入	使用揮發性有機物之新投入之原(物)料中揮發性有機物含量	高
$I_2$	輸入	使用回收再利用之揮發性有機物量、或使用回收再利用之原(物)料中揮發性有機物含量	中(高)
$O_{A1}$	輸出	污染源產生之廢氣，經集氣設備收集後，經防制設備處理後排出之揮發性有機物量	低
$O_{A2}$	輸出 (逸散)	污染源產生之廢氣，經集氣設備收集後，未經防制設備處理，直接排出之揮發性有機物量	中(高)
$O_{A3}$	輸出	因化學或物理反應而破壞或消耗之揮發性有機物量	高
$O_W$	輸出	排入水中之揮發性有機物量	低

符號	分類項目	代表函意	質量相關性
O <sub>S</sub>	輸出	收集之廢棄物或廢溶劑中揮發性有機物含量	中
O <sub>P</sub>	輸出	產品中所含的揮發性有機物量	低
O <sub>R</sub>	輸出	將使用之原（物）料中，揮發性有機物含量回收，但沒有放入程序中再利用	低
F	逸散輸出	揮發性有機物總逸散量	低

資料來源：環保署，2009

#### (四) 分年優惠費率徵收

因 97 年第三季金融海嘯襲擊全球，影響整體產業經濟發展及產能變化，(環保署，2009「第二期程 VOCs 空氣污染防制費徵收事宜研商會」)，針對原訂第二期程(2010 年後)VOCs 空污費徵收方式，提出「分年優惠費額」方案，並於 2010 年 1 月起正式公告實施。其徵收方式係將原訂徵收費額與第一期程之差額分年折扣，計算公式為：「第二期程 VOCs 空污費＝第一期程 VOCs 收費費額＋(第二期程 VOCs 收費費額＋個別物種收費費額－第一期程 VOCs 收費費額)×優惠係數」。其中優惠係數由 2010 年(0%)、2011 年(30%)、2012 年(60%)至 2013 年(100%)後恢復原訂規劃，不再使用優惠係數。

#### (五) 空污費空污基金管理運用方式

代收金融機構將固定污染源所繳納之空污費，依中央 40%、地方 60%之比例，分別直接解繳中央空污基金、各直轄市及縣市政府所設立之空污基金專戶。中央空污基金主要運用於加強移動污染源管制、溫室氣體減量策略推動、總量管制計畫、室內空氣品質管理計畫及都市綠美化等環境保護有關之公共服務。地方環保單位除協助執行空污費查核外，對於未繳費或補繳空污費之公私場所，辦理催補繳及補件作業(環保署，2009)。

## (六) 削減量認定原則

本研究，透過執行單位「現場減量追蹤輔導」及「工程改善專案輔導」，針對 VOCs 污染排放量較大之工廠，彙整加以分類。另，配合工業主管機關，歷年之削減量認定，係依督導委員會確認，其建議原則分述如下：

1. 增/改建裝置空氣污染防制設備(如：集氣效率提升等)之減量。
2. 採用低污染清潔生產製程(如：原物料替代、製程設備調校、廢氣流向調整及原物料回收等)。
3. 定期申報之VOCs排放量及空污費(排放量申報、自廠係數申報)之減量。
4. 改善建議推估等方式進行削減量認定。
5. 污染源存在或消失情形(如：關廠、停工或減產)。

## 二、常用 VOCs 清潔生產及管末處理技術

由於 VOCs 之種類複雜，產業在進行 VOCs 減量時，除著重集氣效率及尾氣處理技術外，亦應同時考量原物料替代、製程減量等污染預防技術之可行性，國內外常見之 VOCs 清潔生產可分成原物料源頭減量、設備或技術提升及製程效率提升等三大類；而 VOCs 控制技術包括燃燒式控制(直接焚化法、觸媒焚化法)及非燃燒式控制(冷凝法、吸附法、吸收法及生物處理法)二大類。

若以對 VOCs 之去除效率而言，仍以熱焚化之處理方式最高，一般去除效率皆可 >95% 以上；而活性碳吸附方式則需視活性碳之裝填量，及各項設計、操作參數而定，一般也可達 90% 以上去除效率，但需定期

更換活性碳，或另外連接冷凝或焚化設備，進行回收或破壞去除，而生物處理及冷凝回收之處理效率比較低，但亦可達到 70% 之效率。

各項不同的處理技術，依其原理及特性各有不同的前處理，包括稀釋、預熱、除濕、冷卻、以及干擾物質(粒狀物、高沸點物質、毒化物、矽化物)之去除，以避免影響後續處理技術之正常運轉及處理效率。不同技術也會有不同的二次污染產生，其中直燃式及蓄熱式焚化等高溫處理技術，會因高溫所產生 NO<sub>x</sub> 問題，而其他如觸媒焚化法、吸附法、生物處理法之二次污染物以廢棄物為主，分別為廢棄之觸媒、活性碳等，而吸收法與生物處理法則分別以水為洗滌液與增濕，不免會有排放廢水之處理問題。表 2.4-4 為彙整國內外已具商業化且經常採用之 VOCs 清潔生產及管末處理技術。

表 2.4-4 常用 VOCs 清潔生產及管末處理技術彙整表

項目		技術/原理	VOCs 減量效率	適用/VOCs 濃度 (ppm)
清潔生產	原物料源頭減量	使用低或無有機溶劑型油墨/塗料	高固型油墨/塗料 40~60% 以上	適用於印刷、塗裝製程
			水性油墨/塗料 90% 以上	
			粉體油墨/塗料 95% 以上	
	設備或技術提升	使用高塗佈效率印刷/塗裝設備	靜電塗裝 60~80%	適用於印刷、塗裝製程
			電著塗裝 90%	
			浸漬塗裝 90%	
			粉體塗裝 100%	
	製程效率提升	改用高效率生產流程或製造方法	60~95%	適用排放 VOCs 之各行業製程
管末處理	燃燒/焚化	直燃法	高溫破壞碳氫化合物成為 CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	100~2,000
		觸媒焚化	配合觸媒以較低的溫度破壞碳氫化合物成為 CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	100~2,000
		蓄熱焚化 (RTO)	以高溫破壞碳氫化合物成為 CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O，並利用蓄熱材將廢熱回收	100~1,000m

項目			技術/原理	VOCs 減量效率	適用/VOCs 濃度 (ppm)
		蓄熱觸媒 (RCO)	配合觸媒以較低的溫度破壞碳 氫化合物成為 CO <sub>2</sub> +H <sub>2</sub> O，並利 用蓄熱材將廢熱回收	95~99%	50~1,000
		轉輪濃縮+ 焚化	利用轉輪將低濃度 VOCs 廢氣予 以濃縮，再將脫附之高濃度廢 氣予以焚化	>95%	20~1,000
		轉輪濃縮 +RTO	待補	>95%	100~1,000
	吸 附	固定床活 性碳	以固定床活性碳吸附吸附 VOCs 廢氣	90~95%	20~5,000
		流體化床 活性碳吸 附	以流體化床活性碳吸附吸附 VOCs 廢氣	70~95%	300
	濕式洗滌		以洗滌液將 VOCs 廢氣吸收至水 相	10~20%	50~3,000
	生物處理		以生物濾床(Bio-filter)將廢 氣中的 VOCs 去除	70~80%	10~1,000
	冷凝回收		將廢氣降溫使 VOCs 冷凝成液 相，並將冷凝液予以回收再利 用	50~95%	>5,000

資料來源：經濟部工業局，2007



### 第三章 研究方法與設計

#### 第一節 績效之評估方法

績效評估（performance evaluation）的概念，起源於十九世紀初期，並用以考核員工的工作表現或企業對於某策略目標所能達成的程度，使個人績效與企業目標相結合，對於績效的衡量方式會因資料取得的難易程度及認知價值觀不同而對衡量構面有所差異，發展至今演進成為知識經濟時代中，經營者衡量企業競爭力的策略重要工具之一，並將單一績效指標轉向多重績效指標。

績效分為「效率」、「效能」及「品質」三種不同衡量觀點(陳澤義，2005)。若以「效率」為觀點之績效衡量，是注重投入與產出的關係；以「效能」為觀點之績效衡量，則是由投入與產出結果、影響效果之間的比值；以「品質」為觀點之績效衡量，是注重在某種特定品質下投入與產出的比值，來判斷績效。而國內對於 VOCs 減量經濟成效分析之研究文獻，大都是以 BACT 最佳技術「效率」觀點來衡量 VOCs 削減量績效，而本研究彙整分析六種常用於衡量效率的方法摘要大致如下所述：(謝維晃，2007；溫盛森，2010)

針對比率分析法（ratio analysis）、財務比率分析法（financial ratio approach）、迴歸分析法（regression analysis）、平衡計分卡、多準則決策、及資料包絡分析法等六種評估方法比較之後（詳表 3.1-1），可發現資料包絡分析法較適合用來評估製造業之 VOCs 削減量之經濟成效。

##### 一、比率分析法（Ratio Analysis）

比率分析法為較常被應用的方法之一，從投入項及產出項中找出一



些比率值，以作為效率值。但當一個組織之投入項與產出項並非各只有一項時，不易將所有影響效率之因素一一找出，雖再用數學測度方法，個別賦予不同的權重之效率值，但仍過於主觀，無法提供管理者改進之方向，也無法代表組織效率，因此，此方法在實務應用上也受到些許的限制(吳濟華、何柏正，2008)。

## 二、財務比率分析法 (Financial Ratio Approach)

此種方法是以財務觀點切入之經營績效分析，其分析應用方式，通常可從二方面著手：一為將同一企業目前的各種財務比率，與以往或預期的數值當基準年作比較，從其中的好轉或惡化，進而探索出該企業問題之所在；另一種分析方式，則將某一企業各種財務比率，分別與同期類似的同業或產業之平均數加以比較，從其偏高或偏低之表徵，加以分析問題所在。除了可以評估企業過去之經營成果外，還可據以診斷營運上的問題，作為經營決策與改進方向之參考。然而，財務指標所能提供的資訊，無法涵蓋各企業在社會、經濟方面所產生的整體績效(張石柱等，2004)。

## 三、迴歸分析法 (Regression Analysis)

迴歸分析法是要找出自變數及應變數間的關係，計算某個投入項對產出項的影響程度，而可從投入項預測產出項的大小，這是此法的優點。迴歸分析法應用的領域相當廣泛，它能同時評估多投入與多產出。本方法雖較比率分析法為優，但在分析組織效率時，還是會遭遇到問題且仍有下列之限制條件(吳濟華、何柏正，2008)：

(一) 前提必須假設其生產函數為線性的、二次的或其它函數型態。

(二) 每次只考量一個產出項(應變數)，對於多產出的組織而言，無法同時

將所有的產出項放入模式中分析，也就無法真正代表整個組織的績效。

(三) 迴歸線是一「平均生產函數」，只能靠主觀認定，無法準確得到效率值。

(四) 在迴歸模式中，自變數若有高度的相關性，則參數的估算會呈不穩定的現象。

#### 四、平衡計分卡（Balanced Scorecard）

此種方法是提倡管理及評估績效應由財務面、顧客面、內部程序面、學習與成長面等四種構面來衡量。可將所有關鍵性因素一併納入考量，整合組織相關資訊，並將運作績效，作為內部溝通及學習工具。是多項投入單一產出，產出需由專家給予績效評估的分數，所以較主觀(張石柱等，2004)。

#### 五、多準則衡量分析法（Multicriteria Analysis）

此種方法是認定組織的投入與產出係由多種因素所組成，故將評定的準則設定為多屬性或多目標的各種形式，較符合實際狀況，此法不失為衡量多項投入與多項產出的好方法，也經常為學界所使用，惟仍存在若干限制，例如，各個準則的權重如何訂定是較困難且不易客觀的(吳濟華、何柏正，2008)。

#### 六、資料包絡分析法（Data Envelopment Analysis ；DEA）

DEA 分析法，最早是由 Charnes、Cooper 與 Rhodes(1978)根據 Farrell(1957)之效率模型所提出。可以同時處理不同計量單位、應用在多項投入多項產出的效率問題上，由於 DEA 所得出的效率前緣，是由各受

評單位(DMU)最佳條件下的組合線，此效率前緣線可作為其他單位衡量之目標，易於做效率比較(謝維晃 2007；溫盛焱 2010)。

綜觀以上六種常見的績效評估方法後，彙整其優缺點如表 3.1-1 所示，可以看出選用 DEA 評估模型為基礎，適合本研究處理多投入多產出的資料特性，進行 VOCs 削減量績效之影響評估，而有關 DEA 之原理與特性相關探討，將在第三節做更詳細闡述。

表 3.1-1 績效評估方法比較表

評估方法	優點	缺點	適用時機
一般均衡分析	課稅措施複雜時，考慮因素較為周密，相對分析結果準確較高	考慮因素較多，增加其分析的困難度。	分析政府某一課稅對整個社會帶來的衝擊，偏向預算政策所引起的實質資源負擔或財貨的相對價格。
比率分析法	可用數學測度方法，從投入項及產出項中找出一些比率值	過於主觀、無法確認資源的應用是否有效率，也無法提供管理者改進之方向。	多項投入及多項產出之問題
財務比率分析法 (Financial Ratio Approach)	計算方法簡單容易，可藉由標準差區分效率。且相關數據取自財務報表，經由分析比率，簡單明瞭，可明確分辨好壞。	無法代表整體作業效率及應用在複雜系統分析。	適用於單一投入與單一產出之問題
迴歸分析法	1.將多項投入當自變數，並以產出當依變數，藉以預測生產力。 2.受限制條件少，具統計學理論基礎，結果較科學化。	1.自變數與依變數間須具有線性函數之關係，否則效率值將不準確。 2.只能設定一個依變數，無法處理多產出問題。 3.結果須經主觀認定，無法準確得到效率值。	適於評估多項投入與單一產出之問題。
平衡計分卡(Balanced Scorecard)	可將所有關鍵性因素一併考量，整合相關資訊，並將組織運作成果作內部溝通、學習工具。	必須透過專家賦予績效評估指標的分數，較不客觀。	適用於多項投入與單一產出之問題
多準則決策(Multiple Criteria Decision Making, MCDM)	評估效率時可考量多屬性、多目標，符合實際狀況，並解決不確定的因素。	準則間之權重值決定較為困難，且無法提供改善的建議。	處理多項投入與多項產出之決策性問題
資料包絡分析法(DEA)	1.易於處理不同衡量單位的多項投入與多項產出之效率衡量。 2.投入、產出項的權衡由數學規畫模型產生，較為客觀，並可提供效率改善資訊。	1.處理龐大的投入與產出項資料，且樣本不足時容易把無效率單位當成有效率單位。 2.受評單位之間要求「同質性」，亦即，性質不同或是規模不同的各種單位，不宜相互比較。 3.投入及產出的數據資料要非常明確，因此，不適於虛假	適用於評估多項投入與多項產出之問題

評估方法	優點	缺點	適用時機
		變數(Dummy Variable)，否則評估的結果將有偏差。	

資料來源：(1)孫遜，2004；(2)溫盛森，2010；(3)本研究整理

## 第二節 資料包絡分析法(DEA)之概述與探討

資料包絡分析法(DEA)基本構想，是同時考量多項投入與多項產出之多元評估準則，起源於 1957 年，由 Farrell 教授所提出，以「非預設生產函數」代替常用的「預設函數」來推估效率值，被認為是屬於無母數方法 (Non-parametric approach)，並經 Charnes、Cooper 與 Rhodes 三位學者，於 1978 年延續發展出 CCR 模式，從固定生產規模討論生產效率問題；又於 1984 年 Banker、Charnes 與 Cooper 繼 CCR 模式後，又提出 BCC 模式，不僅考量固定生產規模，並將變動生產規模也納入考量，藉以衡量評估技術效率與規模效率。爾後許多學者亦提出不同修正模式，但大部分的學者仍以 DEA 的基本分析模式－CCR 與 BCC 模式為主。有關資料包絡分析法(DEA)理論之重要文獻彙整如表 3.2-1 及相關名詞解釋、基本理論、模式分析模式及結果分析概述如下：

表 3.2-1 資料包絡分析法(DEA)理論之重要文獻彙整

年代	作者	文獻內容	貢獻事項
1957	Farrell	首先提出「非邊界參數分析法」為基礎，代替「預設函數」，並建立數學規劃模式予以計算，來推估效率值，被認為是屬於無母數方法。	提出效率衡量之理論基礎。
1978	Charnes、Cooper 與 Rhodes(CCR)	延伸 Farrell 之觀念，建立一般化之數學規劃模式，從固定生產規模報酬下多項投入/產出、討論生產效率問題。	提出 DEA 模式
1984	Banker、Charnes 與 Cooper(BCC)	考量固定及非固定生產規模，將投入項與產出項運用數學模式求得效率前緣，較無效率的單位皆在此邊緣之內。	DEA 模式改良
1985	Charnes、Cooper、Lewin, Morey & Rousseau	首先提出 DEA 之敏感度分析	敏感度分析

年代	作者	文獻內容	貢獻事項
1989	Charnes & Neralic	對 DEA 之敏感度提出分析	敏感度分析

資料來源：(1) Farrell, M. J., 1957；(2) Charnes, A., W. W. Cooper and E. Rhodes, 1978；(3) Banker R.D., Charnes A. and Cooper W. W., 1984；(4) Charnes, A., Cooper, W. W., Lewin, A. Y., Morey, R. C. and Rousseau, J., 1985；(5) Charnes, A. and Neralic, L. 1989；(6)歐陽國舜，2001

## 一、DEA 名詞解釋

(一) 決策單位 (Decision Making Unit, DMU)：DEA方法用以評估衡量經營相同業務並具有同質性的營運單位。

(二) 投入 (input)：決策單位資源的使用量，例如污染防治設備費用、操作成本、原物料、員工人數等。

(三) 產出 (output)：經由投入項，將結果轉換成產出項。

(四) 技術效率 (Technical Efficiency, TE)：係指生產者能夠在生產效率邊界上從事生產活動，衡量生產單位是否能有效的利用生產要素，以最少的投入資源來達到最大的產出，藉由減少投入資源的浪費而使目前的技術效率提升，其效率值介於0與1之間。技術效率為純技術效率與規模效率之乘積。

(五) 配置效率 (Allocative Efficiency, AE)：又稱價格效率 (Price Efficiency, PE)，生產者能使投入生產的資源之邊際收益與邊際成本相等之組合，用以生產財貨或勞務。在既定的價格比率與技術效率下，以最小成本及最大效益的投入組合來從事生產，使目前的配置效率達到最大，其效率值介於0與1之間。

(六) 總效率 (Overall Efficiency, OE)：總效率為技術效率與配置(價格)效率之乘積，其效率值介於0與1之間。



- (七) 純技術效率 (Pure Technical Efficiency, PTE) : 表示生產者能在生產效率的邊界上進行生產活動，而此時的投入組合為最適。
- (八) 規模效率 (Scale Efficiency, SE) : 代表生產者能在生產效率邊界上從事生產活動，而此時之生產規模達到最適 (陳澤義, 2004)。
- (九) 規模報酬 (Returns to scale, RTS) : 係指生產要素比例變化時，其生產項變動的情況處於最適生產規模時，仍採用相同的投入技術條件，可使平均產出達到最大。
- (十) 固定規模報酬 (Constant Returns to Scale, CRS) : 長期生產函數產量增加的比例會與同時增加所有要素的比例相等。固定規模報酬遞增、固定規模報酬遞減。

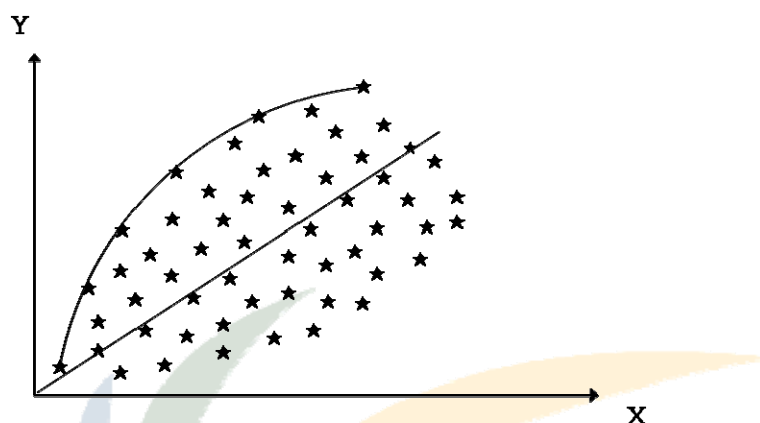
## 二、DEA 理論基礎

DEA 是一種以生產前緣 (production frontier) 衡量效率的概念，首先由 Farrell (1957) 所提出，藉由比較各受評單元的投入與產出量，所形成的包絡曲線，替代了個體經濟學的生產函數，這就是 DEA 評估效率時的理論基礎。其基本假設條件如下：

- (一) 生產前緣是由最有效率之 DMU 所組成，此前緣下方為較無效率之 DMU。
- (二) 固定規模報酬。
- (三) 生產前緣凸向原點，其上各點之斜率皆為負斜率。

資料包絡分析法(DEA)，是由受評估的單位中，以一個單位與所有其他受評單位逐一比較，選出現有資源下最佳的單位(DMU)，如圖 3.2-1 所示，以 X 代表投入項，Y 代表產出項，最大可能產出邊緣單位(DMU)所

組成一條包絡曲線，凡落在此生產前緣之包絡曲線上者，就是相對有效率的單位(DMU)，而所謂的「相對」效率，係指受評估單位(DMU)的組成分子若改變，則其效率值就會隨著變化。相反的，若落在包絡曲線以內者，即為相對無效率，最後再以線性規劃求出相對無效率單位的各種效率值與應改善的方向。



資料來源：Charnes, Cooper, Lewin & Seiford (1997)。

圖 3.2-1 DEA 與迴歸分析

評估單位之總效率可由實際產出與其潛在最大產出水準之比來加以衡量，雖然學者們對於效率的衡量，皆有獨道的論點，但大致都以估計生產邊界為重心，主要有二種方法分述如下：

- (一) 參數邊界法 (Parametric Approach)：係指透過統計方法估計邊界函數，其特徵在預先設定生產函數之型式，以及對殘差項預設若干假設。
- (二) 無參數邊界法 (Nonparametric Approach)：於1978年由Charnes、Cooper及Rhodes (CCR)，延伸Farrell效率評估之觀念，建立一般化之數學規劃模式，從固定生產規模報酬下多項投入/產出、討論生產效率問題，且提出資料包絡分析法 (Data Envelopment Analysis，簡



稱DEA)。

相對於參數邊界法，DEA 無須預設生產函數之型式，亦無須估計函數之參數。由於 DEA 在衡量效率上，係建立於柏拉圖最適邊界之效率觀念上。即為指無人可在不損及他人的情況下，而增加另一個人的利益，因此依柏拉圖最適境界之觀念下，受評單位 DMU 達到效率境界時，該受評單位 DMU 即為相對有效率之單位。舉例說明，若假設有八個 DMU 接受評估，投入項有兩項 ( $X_1, X_2$ )，產出項有一項  $Y$ ，如圖 3.2-2 表示。

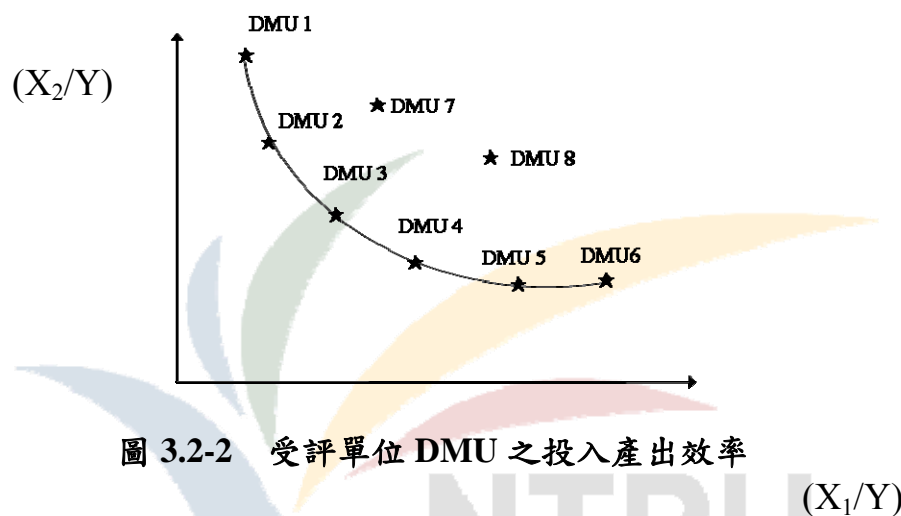


圖 3.2-2 受評單位 DMU 之投入產出效率

由圖 3.2-2 分佈情形，得 DMU1、DMU2、DMU3、DMU4、DMU5、DMU6 所組成之效率邊界，其效率值定義為"1"，大於 1 表相對無效率，決策單位 DMU7、DMU8 因在邊界外，故被認為是無效率的單位，此種表達方式代表每生產一單位 ( $Y$ ) 所需投入之平均成本 ( $X_1/Y, X_2/Y$ )；反過來說，若以 ( $Y/X_1, Y/X_2$ ) 之型式來衡量，表示每一單位投入 ( $X_1, X_2$ ) 其平均產出是多少 ( $Y/X_1, Y/X_2$ )，此時，有相對效率值之廠商定義為 1，小於 1 者表示相對無效率之單位。

由此可知 DEA 效率評估模式在運作時，事先無須做投入項與產出項之間的關係，故屬於"無母數方法"的一種。同時 DEA 不要求所有的 DMU 都以同一生產函數來運作，故它具有"多元最適化原理 (Principle of

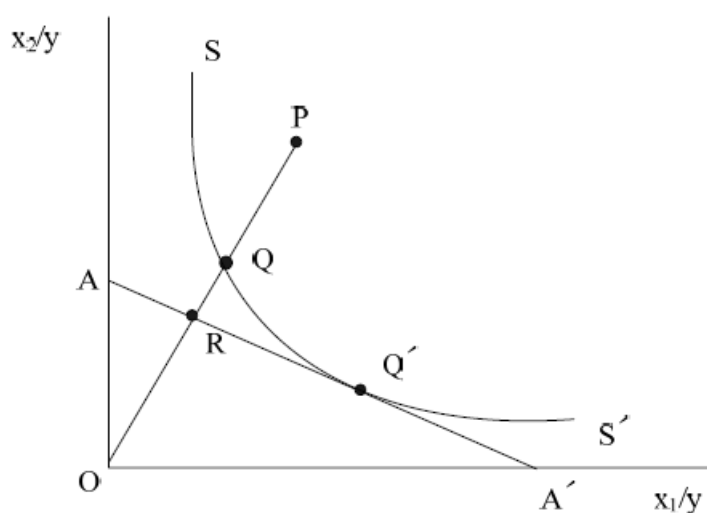
multiple optimization) "的優點，每一 DMU 皆可以調整本身之生產結構而達到最大化之效率，因此 DEA 之方法與一般之數量方法求"單一最適化 (single optimization) "有顯著不同。

Farrell 更進一步把生產效率分成技術效率 (TE) 與配置效率 (AE)。技術效率係指被評估單位，在既定的投入量下達到最大產出的能力；配置效率則指在特定投入價格下廠商力求成本最小化的能力，即在衡量既定產出下，該廠商是否使用最適的投入組合。而總效率 (OE) 就等於上述的技術效率與配置效率的乘積，如式 3-1 所示：

$$OE = TE \times AE \quad \dots\dots\dots(3-1)$$

透過 DEA 來衡量效率時，又可以分成「投入導向」與「產出導向」兩種不同的角度，以及純技術效率與規模效率，概分述如下：

(一) 投入導向：在相同產出水準下，比較投入資源的使用情形，投入量越少則效率越佳，如圖3.2-3所示：



資料來源：Coelli, Rao, and Battese, 1998, P.135

圖 3.2-3 投入導向之技術效率與配置效率

在固定規模報酬的前提下，假設廠商 I 擁有兩種投入  $x_1$  及  $x_2$ 、一種產出  $y$ ；等產量曲線  $SS'$  上任一點，代表在既定產出規模下的最小投入組合。因此有效率廠商的生產組合均會落在  $SS'$  曲線上，無效率廠商的生產組合則落於該曲線右上方。假設該廠商生產一單位  $y$  使用投入量為  $P$  點，則  $QP$  間距離稱為技術無效率，透過效率改善後，可將該部分投入完全減少而不會影響產出水準；而  $OQ$  間的距離代表廠商目前所具備的技術效率。因此投入導向的技術效率可以列式為：

$$TE_I = \frac{OQ}{OP} \dots\dots\dots(3-2)$$

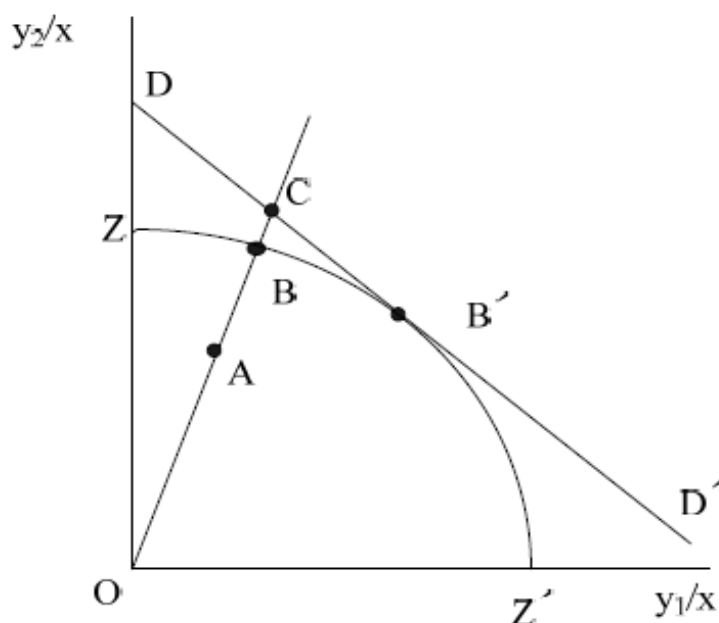
由式 3-2 所計算之技術效率值，恆介於 0 與 1 之間。效率值為 1 代表該廠商有效率；若效率值小於 1，則代表該廠商未達技術效率。若將投入要素間的價格比率，以圖 3.2-3 中之等成本線  $AA'$  斜率絕對值表示，則可進一步求出投入導向的配置效率：

$$AE_I = \frac{OR}{OQ} \dots\dots\dots(3-3)$$

在圖 3.2-3 中， $RQ$  的距離代表配置無效率，是指廠商可透過改變投入要素之間的比率而降低部分生產成本。倘若能在  $Q'$  點生產， $RQ$  配置無效率情形即可以除去。結合式 3-2 和式 3-3，可求出投入導向的總效率為式 3-4：

$$OE_I = TE_I \times AE_I = \frac{OQ}{OP} \times \frac{OR}{OQ} = \frac{OR}{OP} \dots\dots\dots(3-4)$$

(二) 產出導向：在相同投入水準下，比較產出之達成情形，產出量越大則效率越佳，如圖 3.2-4 所示：



資料來源：Coelli, Rao, and Battese, 1998, P.138

圖 3.2-4 產出導向之技術效率與配置效率

在固定規模報酬的前提下，廠商  $K$  擁有且兩種產出  $y_1$  與  $y_2$ ，且兩種產出的投入項  $x$  要素密集程度不同， $ZZ'$  代表生產可能前緣（production possibility frontier），即  $y_1$  與  $y_2$  所有可能生產組合的軌跡。圖 3.2-4 中  $A$  點位於生產可能前緣的下方，代表無效率廠商的生產組合， $AB$  距離代表著技術無效率；若效率獲得改善，則產出可得到提升而無須增加任何的投入。因此產出導向之技術效率可列式如下：

$$TE_K = \frac{OA}{OB} \dots\dots\dots(3-5)$$

在價格資訊明確的情況下，可繪製等收益線  $DD'$ ，即可求得產出導向的配置效率為式 3-6：

$$AE_K = \frac{OB}{OC} \dots\dots\dots(3-6)$$

在圖 3.2-4 中， $BC$  的距離代表配置無效率，而結合式 3-5 及式

3-6，可得出產出導向的總效率為式 3-7：

$$OE_k = TE_K \times AE_K = \frac{OA}{OB} \times \frac{OB}{OC} = \frac{OA}{OC} \dots\dots\dots (3-7)$$

從產出導向求得之各項效率值，和投入導向求出的效率值一樣會介於 0 與 1 之間；效率值為 1 代表該廠商有效率，若效率值小於 1，則代表該廠商無效率。

(三) 在 Banker、Charnes 與 Cooper (1984) 所提出的 BCC 模式中，進一步把技術效率分解成純技術效率 (PTE) 和規模效率 (SE)，如下表示：

$$TE = PTE \times SE \dots\dots\dots (3-8)$$

純技術效率的衡量是在既定產出水準下，比較廠商生產的投入量與技術邊際線上的投入量得出。廠商發生純技術無效率，乃管理失當所造成；反之，當廠商管理得宜時就會產生純技術效率。規模效率的衡量是在既定產出水準下，比較廠商生產的投入量與最適生產規模投入量得出。當生產規模過小時，將無法享有規模經濟的利益；反之，當生產規模過大時，意味資源未能充分運用而造成浪費。結合上列式-1 和式 3-8 後，可導得下列的關係：

$$OE = PTE \times SE \times AE \dots\dots\dots (3-9)$$

此式 3-9 所代表的即為總效率是由純技術效率、規模效率及配置效率三者所組成，解決 CCR 模式對於變動規模報酬之評估上的盲點。

### 三、資料包絡分析(DEA)之特性

DEA 在效率評估方法上，具有幾點特性，分述如下：

- (一) 是一個綜合衡量效率之指標，可以顯示各單位之績效表現狀況，提供管理者做決策參考分析，並提供效率改善之方向及程度。
- (二) 可以同時處理多投入項與產出項之效率估評問題，且效率的衡量不受投入項與產出項計量單位之影響。
- (三) 不需預設定權重，且不受人為主觀因素之影響，評估過程較具客觀性及合理性。
- (四) 不因計量單位的不同而無法進行評估。
- (五) 在資料處理上較具彈性，同時可處理定性及定量之資料，亦可同時處理比率尺度（ratio scale）資料及順序尺度（ordinal scale）資料。
- (六) 透過DEA估算受評估單位(DMU)之效率值，以了解資源使用及配置狀況，掌握最適效率之相關資訊。

#### 四、受評單位(DMU)之選擇

選擇受評單位 DMU，在作效率比較時，通常須以同質性(homogeneous)與同一市場條件(market condition)為標準來選擇所要評估比較的對象，否則將因各 DMU 之特質不同而失去評估的意義。其所謂「同質性高」是指 DMU 具有下述之特質：

- (一) 這些DMU 必須執行相同的工作任務，具有相似的目標。
- (二) 所有DMU 需在相同的市場條件下運作。
- (三) 各DMU 顯現出績效的投入、產出變數是相同的，不同的只是變數的強度或幅度。

### 第三節 資料包絡分析法(DEA)模式探討

#### 一、Farrell 模式

Farrell 的方法是利用規劃(programming)的技巧求出效率前緣 (efficiency frontier)，亦即效率生產函數，此前緣是屬於一般所謂的確定性無參數前緣(deterministic non-parametric frontier)。然後利用實際觀察點與此前緣的相對位置關係，求出技術效率(Technical Efficiency，TE)，若再考慮投入變數價格比，可測得價格效率(Price Efficiency，PE)。總效率 (Overall Efficiency，OE)等於上述技術效率與價格效率二者的乘積。

$$\begin{aligned} \text{Max. } h_k &= \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ik}} \\ \text{s.t. } \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} &\leq 1 \quad ; \quad \begin{matrix} j=1, 2, \dots, n \\ r=1, 2, \dots, s \\ i=1, 2, \dots, m \end{matrix} \end{aligned} \quad (3-10)$$

其中  $X_{ik}$  表示第  $j$  個組織的第  $i$  種投入  $Y_{rk}$  表示第  $k$  個組織的第  $r$  種產出（每個  $X_{ik}$  或  $Y_{rk}$  皆為觀察值且理論必須為正）

$U_r$  = 第  $r$  個產出項之組合權數

$V_i$  = 第  $i$  個投入項之組合權數

$h_k$  = 第  $k$  個 DMU(即目標 DMU) 之效率值

$\varepsilon$  為非阿基米得數 (Non-Archimedean Quantity)

由模式 (3-10) 可以了解 DEA 即是在求算當  $X_{ik}$ ,  $Y_{rk}$  為已知時，產出/投入比值模式中的輸入值，再根據所有受評估單位的解集合 (solution

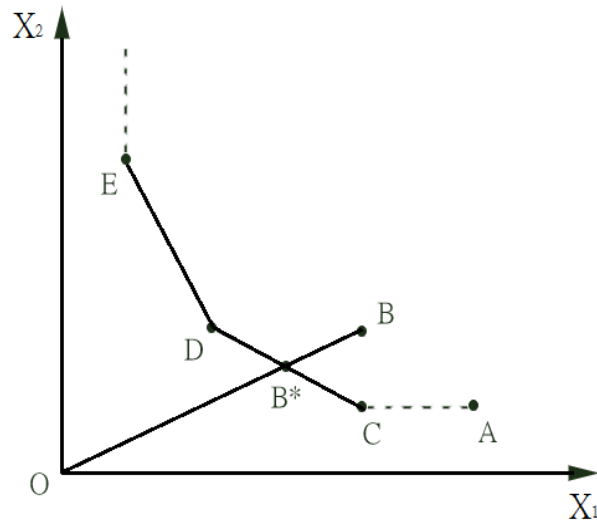


set)，尋找出各 DMU 最有利的  $X_{ik}$ ,  $Y_{rk}$  之加權值（即  $V_i$ ,  $U_r$ ），並儘量使各單位的效率值（ $h_k$ ）最大。其使用方法是每次均將一個 DMU 的投入、產出項當作目標方程式，而其他的投入、產出項則當做限制式，然後尋找使該 DMU 最有利的投入與產出項之加權值，使得在所有限制式下達到其最大可能的效率值。由於每個被評估的 DMU 都有一次機會被作為目標方程式，而每個 DMU 的目標方程式其對應的限制式也應完全相同，因此，可以大膽的假設 DEA 方法求出的各 DMU 其效率值是公平的，亦是一種相對的比例關係。

## 二、CCR 模式

Farrell 於 1957 年提出生產前緣的概念後，由於其評估模式僅限於單一產出情況，且其模式並非線性規劃（nonlinear fractional program），求解不易，因此 Charnes、Cooper 與 Rhodes（1978）依據 Farrell 效率衡量模式的觀點，結合了自然科學上以比率方式衡量，利用多項投入及多項產出效率衡量的概念，在固定規模報酬假設下，運用線性規劃模式，作為辨識效率的決策單位。

以圖 3.3-1 說明，假設有 5 個受評單位，分別為 DMUA、DMUB、DMUC、DMUD、DMUE，在 2 個投入變數  $X_1$ 、 $X_2$  及單一產出  $Y$  來評估。這 5 個決策單位的位置，凡是落於效率前緣線上面的點，皆為有效率，如 C、D、E 其效率值為 1。而無效率的 A 及 B 的效率值，則為決策單位到原點之距離與效率前緣線到原點之距離的比值，以 B 而言，所求得的效率值為  $OB^* / OB = 3 / 4$ 。



資料來源：李明德（2007）及本研究繪製

圖 3.3-1 CCR 等量線效率衡量圖

對於  $n$  個性質相近的決策單位(DMU)，每個決策單位各有  $m$  個投入項和  $s$  個產出項。若接受評估對象在既定的投入規模下，追求產出水準極大化之目標，目標 DMU（以下以  $DMU_k$  表示）的績效評估，可以使用「CCR 投入導向模式」來規劃，並檢討  $DMU_k$  的效率值大小。反之，若接受在既有的產出水準下，追求投入極小化之目標，則可用「CCR 產出導向模式」來進行績效評估。以下將就投入導向與產出導向兩種模式詳述。

### 1. CCR投入導向模式

#### (1) 分數規劃模式

$$Max. \quad h_k = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ik}}$$

$$s.t. \quad \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1 \quad ; \quad j=1, 2, \dots, n \quad \dots\dots\dots(3-11)$$

$$u_r \geq 0 \quad ; \quad r = 1, 2, \dots, s \quad \quad v_i \geq 0 \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$h_k$  = 第  $k$  個 DMU (即目標 DMU) 之效率值；

$y_{rj}$  = 第  $j$  個 DMU 之第  $r$  個產出項數量；

$x_{ij}$  = 第  $j$  個 DMU 之第  $i$  個投入項數量；

$u_r$  = 第  $r$  個產出項之組合權數；

$v_i$  = 第  $i$  個投入項之組合權數；  $n$  = DMU 數。

## (2) 線性規劃模式

由於式 3-11 之目標函數是一種分數規劃模式，求解不易且會產生無窮多組解的情形。為了把該分數規劃模式轉換為線性規劃模式，將式 3-11 目標函數式的分母  $\sum_{i=1}^m v_i x_{ik}$  設為 1，並加入限制條件中；而原式 3-11 中的限制不等式兩端同乘以  $\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}$ ，可得到修正後的線性規劃模式如式 3-12：

$$\begin{aligned} Max. \quad & h_k = \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} \\ s.t. \quad & \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} = 1 \\ & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0 \quad ; \quad j=1, 2, \dots, n \quad \dots\dots\dots(3-12) \end{aligned}$$

$$u_r \geq 0 \quad ; \quad r = 1, 2, \dots, s$$

$$v_i \geq 0 \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, m$$

### (3) 對偶命題

由於在式 3-12 中變數有  $s+m$  個，而限制式卻有  $n+s+m+1$  個；若把式 3-12 轉換成對偶命題 (dual)，將可以減少限制式的個數為  $s+m$  個，使得該模式的計算更為簡化 (Boussofiane, Dyson, &Thanassoulis, 1991)，如下式 3-13 所示：

$$\begin{aligned} \text{Min.} \quad & \theta - \varepsilon \left( \sum_{i=1}^m S_i^- + \sum_{r=1}^s S_r^+ \right) \\ \text{s.t.} \quad & \theta x_{ik} - \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - S_i^- = 0 \quad \dots\dots\dots (3-13) \end{aligned}$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - S_r^+ = y_{rk} ; \quad j=1, 2, \dots, n$$

$$\lambda_j, S_i^-, S_r^+ \geq 0 ; \quad r=1, 2, \dots, s, i=1, 2, \dots, m$$

$\lambda_j$  = 第  $j$  個 DMU 之權數 (為受評估的 DMU 提供所有產出項的上限和所有投入項的下限)；

$\theta$  = DMU<sub>k</sub> 所有投入項的最適減少比率；

$S_i^-$  = 第  $i$  個投入項之差額變數(Slack)；

$S_r^+$  = 第  $r$  個產出項之差額變數；

$\varepsilon$  = 非阿基米德常數(non-Archimedean constant)，即一個極小的正實數，有些學者建議  $\varepsilon=10^{-4}$  或  $10^{-6}$ ；

## 2. CCR產出導向模式

### (1) 分數規劃模式

$$\begin{aligned}
 \text{Min. } h_k &= \frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{ik}}{\sum_{r=1}^s u_r y_{rk}} \\
 \text{s.t. } \frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}}{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}} &\leq 1 \quad ; \quad j=1, 2, \dots, n \quad \dots\dots\dots (3-14)
 \end{aligned}$$

$$u_r \geq \varepsilon \geq 0 \quad ; \quad r = 1, 2, \dots, s$$

$$v_i \geq \varepsilon \geq 0 \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, m$$

## (2) 線性規劃模式

仿照式 3-12，把式 3-15 轉成線性規劃如下：

$$\begin{aligned}
 \text{Min. } h_k &= \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} \\
 \text{s.t. } \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} &= 1 \\
 - \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} + \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} &\leq 0 \quad ; \quad j=1, 2, \dots, n \quad \dots\dots\dots (3-15) \\
 u_r &\geq \varepsilon \geq 0 \quad ; \quad r = 1, 2, \dots, s \\
 v_i &\geq \varepsilon \geq 0 \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, m
 \end{aligned}$$

## (3) 對偶命題

仿照式 3-13，把式 3-16 轉成對偶式如下：

$$\begin{aligned}
 \text{Max. } \theta + \varepsilon & \left( \sum_{i=1}^m S_i^- + \sum_{r=1}^s S_r^+ \right) \\
 \text{s.t. } \theta y_{rk} - \sum_{r=1}^s y_{rj} \lambda_j + S_r^+ &= 0 \quad \dots\dots\dots (3-16)
 \end{aligned}$$

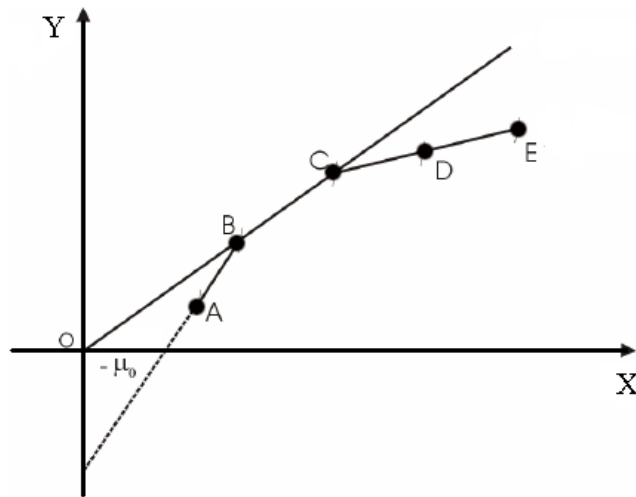
$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + S_i^- = x_{ik} ; \quad j=1, 2, \dots, n$$

$$\lambda_j, S_i^-, S_r^+ \geq 0 ; \quad r=1, 2, \dots, s, i=1, 2, \dots, m$$

### 三、BCC 模式

由於過去 CCR 模式乃針對固定報酬，此一模式將會造成評估上的盲點，技術無效率有可能是來自於運作規模的不當。當生產過程處於固定規模報酬時，其生產函數通過原點，而當不屬於此情形時，即不再適用以 CCR 模式於評估生產效率了。因此 Banker、Charnes 與 Cooper (1984) 提出了新的分析模式，在面對不通過原點的生產函數時，透過在 CCR 模式中加入了  $\mu_0$  項，便可以估算生產效率，解釋投入過多與產出不足的問題。

以圖 3.3-2 說明，假設有 5 個決策單位 A、B、C、D、E，其生產型態為一項投入 X 及一項產出 Y。如果生產過程為固定規模報酬，此 5 個單位所推估之生產前緣為通過原點之直線 O-B-C。若生產過程為變動規模報酬，則所推估之生產前緣為拗折線段 A-B-C-D。當生產規模為 A-B 階段時，屬於規模報酬遞增；當生產規模為 C-D-E 階段，屬於規模報酬遞減；當生產規模處於 B-C 階段時，則為固定規模報酬。



資料來源：高強、黃旭男（2003）及本研究繪製

圖 3.3-2 BCC 等量線效率衡量圖

由於各個生產單元的生產情形不同，規模報酬處於不同的階段，採 BCC 模式做績效評估較為適合。另外 BCC 模式的生產前緣受 DMU 為凸性組合的影響，故生產前緣為內凹的折線。與 CCR 模式相同，BCC 模式亦可分成「BCC 投入導向」與「BCC 產出導向」兩大模式類型來進行績效評估。

### 1. BCC投入導向模式

#### (1) 分數規劃模式

$$\begin{aligned}
 \text{Max. } h_k &= \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rk} - \mu_0}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ik}} \\
 \text{s.t. } \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \mu_0}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} &\leq 1 \quad ; \quad j=1, 2, \dots, n \quad \dots\dots\dots(3-17) \\
 u_r &\geq \varepsilon \geq 0 \quad ; \quad r=1, 2, \dots, s
 \end{aligned}$$



$$v_i \geq \varepsilon \geq 0 \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$\mu_0$  無正負號限制

## (2) 線性規劃模式

將目標函數式 3-17 的分母  $\sum_{i=1}^m v_i x_{ik}$  設為 1，並加入限制條件中，  
而原式 3-17 的限制不等式兩端同乘以  $\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}$ ，即可得 BCC 之線性  
規劃模式如下式 3-18：

$$\begin{aligned} \text{Max. } h_k &= \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} - \mu_0 \\ \text{s.t. } \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} &= 1 \\ \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \mu_0 &\leq 0 \quad ; \quad j=1, 2, \dots, n \quad \dots\dots\dots (3-18) \\ u_r &\geq \varepsilon \geq 0 \quad ; \quad r = 1, 2, \dots, s \\ v_i &\geq \varepsilon \geq 0 \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, m \\ \mu_0 &\text{ 無正負號限制} \end{aligned}$$

## (3) 對偶命題

式 3-18 的對偶命題，如式 3-19 所示：

$$\begin{aligned} \text{Min. } \theta - \varepsilon & \left( \sum_{r=1}^m S_r^+ + \sum_{i=1}^s S_i^- \right) \\ \text{s.t. } \sum_{r=1}^s \lambda_j y_{rj} - S_r^+ &= y_{rk} \quad ; \quad r=1, 2, \dots, n \quad \dots\dots\dots (3-19) \\ \theta x_{ik} - \sum_{i=1}^n \lambda_j x_{ij} - S_i^- &= 0 \quad ; \quad i=1, 2, \dots, m \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j &= 1 \end{aligned}$$

$$\lambda_j, S_i^-, S_r^+ \geq 0; \quad j=1, 2, \dots, s$$

$\theta$  無正負號限制

## 2. BCC產出導向模式

### (1) 分數規劃模式

$$\begin{aligned} \text{Min. } h_k &= \frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{ik} - v_0}{\sum_{r=1}^s u_r y_{rk}} \\ \text{s.t. } \frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - v_0}{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}} &\geq 1 \quad ; \quad j=1, 2, \dots, n \quad \dots\dots\dots(3-20) \\ u_r &\geq \varepsilon \geq 0 \quad ; \quad r=1, 2, \dots, s \\ v_i &\geq \varepsilon \geq 0 \quad ; \quad i=1, 2, \dots, m \\ v_0 &\text{ 無正負號限制} \end{aligned}$$

### (2) 線性規劃模式

$$\begin{aligned} \text{Min. } h_k &= \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} - v_0 \\ \text{s.t. } \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} &= 1 \\ \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - v_0 &\leq 0 \quad ; \quad j=1, 2, \dots, n \quad \dots\dots\dots(3-21) \\ u_r &\geq \varepsilon \geq 0 \quad ; \quad r=1, 2, \dots, s \\ v_i &\geq \varepsilon \geq 0 \quad ; \quad i=1, 2, \dots, m \end{aligned}$$

$v_0$  無正負號限制

### (3) 對偶命題

$$\begin{aligned} \text{Max.} \quad & \theta + \varepsilon \left( \sum_{i=1}^m S_i^- + \sum_{r=1}^s S_r^+ \right) \\ \text{s.t.} \quad & \theta y_{rk} - \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j + S_r^+ = 0 \quad ; \quad r=1, 2, \dots, s \quad \dots\dots\dots (3-22) \end{aligned}$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + S_i^- = x_{ik} \quad ; \quad i=1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j, S_i^-, S_r^+ \geq 0 \quad ; \quad j=1, 2, \dots, n$$

## 四、DEA 的分析方式

由 Farrell、CCR 與 BCC 模式了解 DEA 之運作方法後，對於解釋 DEA 之評估結果，可利用總效率分析、差額變量分析來探討，簡述如下：

### (一) 總效率分析 (Efficiency Analysis)

效率分析可以評估出總效率、技術效率與規模效率等三種效率值，藉以判斷評估單位是否具有效率。

總效率 = 技術效率 \* 配置(價格)效率

配置效率 = 技術效率 / 總效率

規模效率 = 技術效率 / 純技術效率

效率評估之結果，可依效率值將 DMU 分為兩類：

1. 當效率值為1時：從文獻資料探討關於實證分析，可以發現當效率

評估結果之效率值為1 的DMU 常常不只一個，若要進一步了解何者為最有效率時，則必須解釋其強度（robustness），其判別方法可以利用有關組合權數設限方法中之（CSW）法求出最有效率之DMU。

2. 當效率值小於1 時：可結合不同涵義之效率衡量模式，解釋造成無效率之可能的原因（技術效率、規模效率、價格效率等）。

## （二）差額變量分析（Slack Variable Analysis）

DEA 是利用拆線線性（piecewise liner）的方式，將各項前緣作為效率衡量的基礎，因此，可求出對各投入與產出項之差額變數的分析。經由各投入及產出項之差額變量分析，就可對資源使用狀況提出有效的相關資訊，了解受評估單位相對無效率，及可改善空間的大小及方向，也就是在了解投入資源與產出量上尚有多少的改善空間後，才能達到效率的境界。所以差額變量分析不僅可做為目標設定的基礎，亦可了解受評估之DMU 有多少改善空間。

## 五、DEA 的分析限制

DEA 能應用的範圍較廣，比較適用於一般的績效評估問題。當然，DEA 也免不了也有以下使用上的限制：

1. 投入及產出的數據資料要非常明確，因此，不適於類目變數(categorical variable)或是虛假變數(dummy variable)，否則評估的結果將有偏差。
2. 受評單位之間要求「同質性」，亦即，性質不同或是規模不同的各種單位，不宜相互比較。
3. DEA所評估出的結果，是各單位之間的相對效率，並非絕對效率，因此，不宜將所評估的「相對效率」作為絕對值使用。

4. 對於資料數據極為敏感，因此，所欲評估的資料應求正確無誤。

## 六、DEA 之應用

DEA 方法由 Charnes, Cooper, and Rhodes (1978) 提出之後，被廣泛應用於各行業，近兩年來國內外相關 DEA 應用之文獻更是積極累積，不勝枚舉，這也顯示此方法的普遍性。分析各行業包含製造業、金融業、醫療機構、物流業、教育機構與其他產業等，均有文獻發表。由於文獻相當多，本研究將近年來，應用 DEA 法相關文獻整理於表 3.3-1：

**表 3.3-1 應用 DEA 法之相關文獻整理**

應 用 產 業	作 者	內 容 概 要
金融業	中興大學 應用經濟學系所 Department of Applied Economics (2009)	台灣本土銀行經營效率比較分析：DEA、Malmquist 生產力指數及 SFA 方法之應用-探討 2000 至 2006 年間，22 家台灣本土銀行之相對經營效率。特將有無加入金融控股公司、有無合併金融機構，以及其股權狀況這些外在環境因素納入考量。具體言之，本文採用資料包絡分析法（DEA）比較 22 家銀行各年度之相對效率，並以 Malmquist 生產力指數觀察各銀行跨年度生產效率之變動。
金融業	吳國貞(2006)	我國金融改革經濟效益之研究-本論文之研究主要目的為瞭解我國金融業自 2001 年進行金融改革以來，其經營效率有否提升？其經濟效益又如何？擷取台灣經濟新報 2000 年至 2004 年間 金融業財務資料，以資料包絡分析法（Data Envelopment Analysis, DEA）及麥氏生產力指數(Malmquist Productivity Index)進行實證研究。
物流業	潘書麟(2006)	台灣物流業營運效率之比較研究-本研究探討民國 2003-2005 年間國內物流業者之經營績效，選定 5 個投入項與 1 個產出項，利用資料包絡分析法(Data Envelopment Analysis, DEA) 衡量業者間之效率值、參考集合分析、敏感度分析與差額變數分析，並提供無效率營業單位明確之改善方向與建議。
教 育 機 構	李朝賢、蕭景楷 (2009)	綜合高中經營績效分析-資料包絡分析法之應用-本研究應用資料包絡分析法（Data Envelopment Analysis；DEA）針對全國在 91 學年度以前成立，目前仍持續招生且 93 學年度已有畢業生之 122 間綜合高中進行經營績效分析。
醫 療 機 構	黃品嘉(2006)	因全民健保支付制度演進與醫院生產效率-本研究探討全民健康保險支付制度的演進對於醫院生產效率的影響。全民健保實施以來，支付制度是影響醫院收入的主要來源，其制度的設計，對於醫院生產行為具有不同的

應 用 產 業	作 者	內 容 概 要
		經濟誘因。全民健保實施後，支付制度主要以論量計酬為主，在論量計酬下，醫院的收入完全取決於醫療服務量的多寡，而且醫療服務的單位價格不受服務 量多寡而改變，這將造成醫院提供較多醫療服務量的誘因。
航空業	余銘忠、郭恒志、耿怡(2008)	應用二階段資料包絡分析法衡量國內航空公司營運效率-應用二階段資料包絡分析法衡量國內航空公司營運效率
汽車業	吳明陽(2006)	資料包絡分析法於汽車零配件供應商績效評估-台灣的汽車零配件廠商眾多，大部分屬中小企業(Small Medium Enterprise, SMEs)，針對廠商眾多且規模小，政府積極推動的中衛中心體制已有多數，主要在促成中小企業間結合，增加產業上、中、下游合作。而中衛中心站在零件廠商輔導角色，同時廠商針對本身公司經營效率進行改善，兩者之間的互動甚為密切。有鑑於此，建立一適當績效評估方法重要性甚大。本研究嘗試以資料包絡分析法 (Data Envelopment Analysis, DEA)進行台灣汽車零配件廠商績效評估。
其 它 產 業	楊鈺池(2009)	應用資料包絡分析法來比較台、日、韓三國國輪船隊海運競爭優勢

## 第四節 研究架構及受評單位之選取

### 一、研究架構

本研究之主要目的在於探討由空污費徵收對揮發性有機物(VOCs)減量經濟效益之關聯性。由於研究是採用資料包絡分析法( DEA )來評估相對效率值，因此將依據文獻資料，選定投入項與產出項之變數，來進行相關的係數分析，再選擇合適的 DEA 分析法進行評估，最後歸納結果並提出建議，期能研究成果提供政府環保政策及業者因應策略之參考。

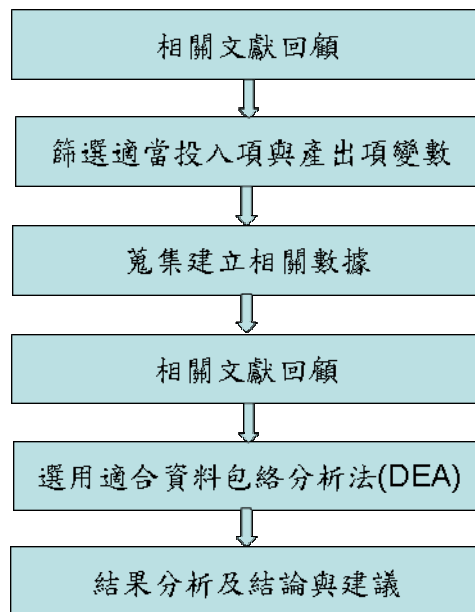
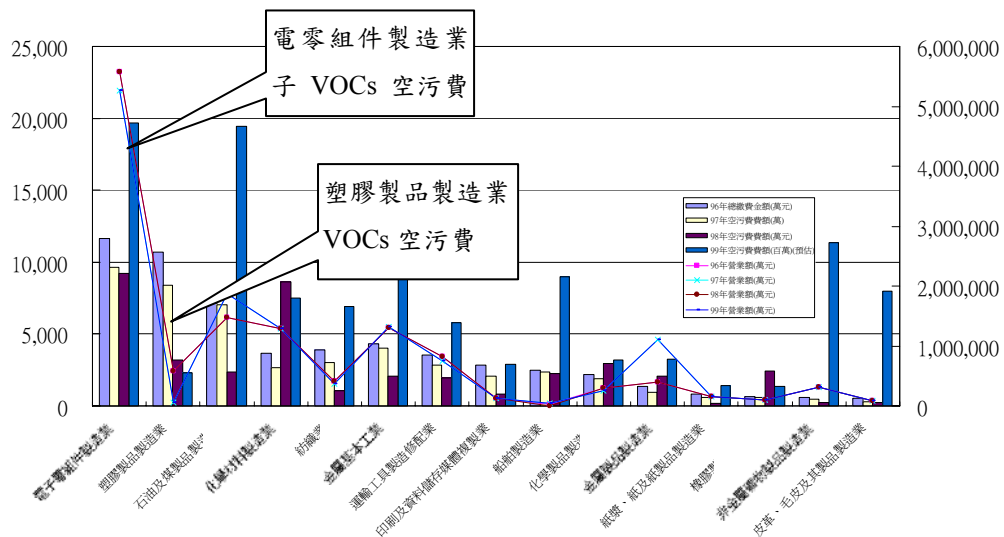


圖 3.4-1 DEA 研究設計架構圖

## 二、研究對象

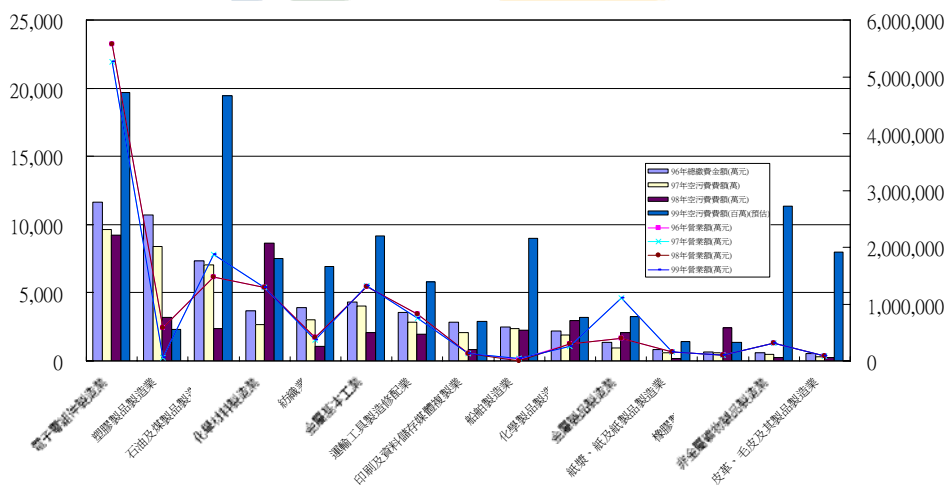
本研究蒐集彙整 2007~2009 年 VOCs 之總排放量與徵收費額前十五大行業別(如圖 3.4-2 所示)，電子零組件製造業、石油及煤製品製造業與化學材料製造業，為 VOCs 之總排放量與總繳費額為前三大行業，所占比例分別為 22.2%、13.5%、11.7%與 23.1%、14.8%、13.0%(環保署，2010)。其中，電子零組件製造業因民國 2008 年金融海嘯之衝擊，而有排放量突然遽降之情形，於民國 2009 年恢復產能後，排放量亦提升 14.5%，其餘行業製程別之排放量皆有逐年遞減之趨勢。





資料來源：(1)環保署，2010；(2)本研究彙製

圖 3.4-2 2007~2010 年各行業別之 VOCs 空污費徵收額及淨盈餘



資料來源：(1)環保署，2010；(2)本研究彙製

圖 3.4-3 2007~2010 年各行業別之 VOCs 空污費繳費額及營業額

本研究探討工業局 96、97 年「雲嘉南地區產業揮發性有機物減量輔導計畫」中，共計篩選 19 家印刷業，具有 VOCs 削減空間之工廠，做為評估的對象。

由於國內印刷業多屬於中小企業，亦為都會型工業，其與住所的結合緊密性高，故油墨使用所產生的異味問題日趨嚴重，引起居民關注，且印刷業 VOCs 之排放標準，為主管機構尚未納入規範之產業，目前正進行行業別法規之研訂，依照環保署 2009「第二期 VOCs 空污費費率研修規劃說明」簡報中，所提供 VOCs 空污費佔產業營運比例分析結果，各行業中以塑膠製品製造、印刷業及船舶製造業 VOCs 空污費費額佔該行業總營業額比例最高，介於 0.0185%~0.0858% 範圍，如圖 3.4-2 所示。印刷業由於產業淨盈餘較低之緣故，且盈餘產值比僅 0.05% 如圖 3.4-3，故在面臨 VOCs 空污費徵收之情況下，其成本負擔較大，比較相同經濟條件之印刷產業，其產業競爭力相較於未課徵空污費情況下，有顯著下降之趨勢。爰此，選定印刷業為本研究探討 VOCs 削減量成效之特定行業。

依行政院主計處，我國行業標準分類第 9 次修訂「行業分類標準」，二欄位產業代碼 16 為印刷及資料儲存媒體複製業，其包括了 161 印刷及其輔助業、1611 印刷業、1612 印刷輔助業、1620 資料儲存媒體複製，98 年 VOCs 排放量及所繳交空污費統計如表 3.4-1 所示，其中，資料儲存媒體複製業，所繳交 VOCs 之空污費佔比，微乎其微，可予以忽略。

**表 3.4-1 印刷及資料儲存媒體複製業 2008 年 VOCs 全廠排放量及其繳交空污費統計表**

行業名稱	VOCs 全廠排放量	比率	VOCs 金額(元)	比率
印刷業	1,887,791.67	0.87	15,060,976.00	0.85
印刷輔助業	270,838.93	0.13	2,651,400.00	0.15
資料儲存媒體複製業	445.65	0.00	0.00	0.00
合計	2,159,076.25	1.00	17,712,376.00	1.00

資料來源：(1)行政院環保署，2010；(2)本研究彙整

本研究篩選 19 家具有 VOCs 削減空間之印刷業，做為評估的對象，蒐集相關受輔導廠商之污染防制設備設置成本、年操作費用、物料(油墨及溶劑)使用量、及 2008 年 VOCs 申報量，將此數據做為投入與產出項資料，去除不符合 DEA 同向性 (isotonicity) 要求的項目，以進行相關係數分析，最後再選擇合適的 DEA 分析法進行評估，經由空污費徵收對印刷業 VOCs 減量績效的影響程度，以檢視各廠達到 VOCs 削減量最佳之標竿廠。

### 三、投入項與產出項變數之選取

投入與產出項變數的選定對 DEA 研究方法之重要性，除了考量議題特性及相關理論外，還需符合下列所述之原則；

- (一) Farrell (1957) 以經濟學中柏拉圖最適準則 (Pareto optima) 的觀念，認為若考慮太多的投入與產出變數，則將造成各 DMU 的效率值均為 1，則無法區分何者為相對有效率之 DMU，而如此將失去效率衡量的意義。
- (二) 需透過同量性檢驗如「敘述統計量」與「相關係數矩陣」，檢視投入變數間、產出變數間、以及投入與產出變數間的相關性。原則上投入與產出應具負相關性，以符合要求。
- (三) 各受評估單位 DMU 之資料篩選中，投入項之間的相關性應較低，而投入與產出項的關係應較高。
- (四) 受評估單位 DMU 之投入與產出項，選擇的差異會影響整體評估的結果，且投入與產出項選擇需考慮與 VOCs 削減之關聯性高之資料的性質，另外受評單位 (DMU) 之個數應至少為投入項個數與產出項個數總和之二倍，才符合鑑別能力。

經由初步篩選受評單位之投入與產出項，故選定投入項變數為資本額、員工人數、污染防制設備設置成本、年操作費、物料使用量(油墨及溶劑)、VOCs 申報排放量及產出項變數為 VOCs 削減量，作為本研究之 DEA 投入產出變數，透過統計相關分析，以檢定投入及產出項之間是否具有正相關，驗證其是否符合「Isotonicity」之假設(陳明華，2004)。如圖 3.4-4 所示。再應用相關係數分析後，得到表 3.4-2 之投入與產出項之相關係數矩陣表，投入項符合資料包絡分析法(DEA)應用時之原則，即 2008 年之投入項間與產出項具有正相關性，且投入項之間關聯性應較低。這也符合了 DEA 要求產出項而為正數的限制。

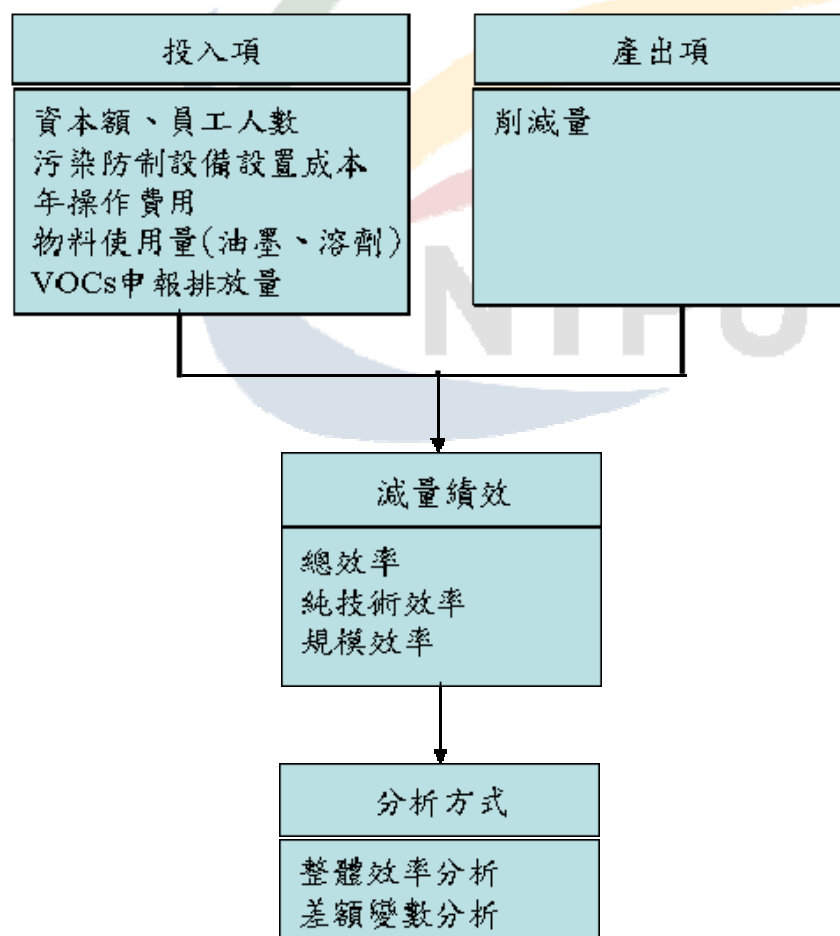


圖 3.4-4 投入、產出要素與評估流程圖

表 3.4-2 2008 年投入與產出項之相關係數矩陣表

變 數		投入項						產出項
相 關 係 數		資本額 (元)	員工人 數(人)	污染防制 設備設置 成本 (元/年)	年操作 費用 (元/年)	原物料 (油墨、溶劑) (公噸/年)	VOCs 排放量 (公噸/年)	VOCs 削減量 (公噸/年)
投入 項	資本額(元)	1.000						
	員工人數(人)	0.530	1.000					
	污染防制設備設置成本(元)	0.105	0.248	1.000				
	年操作費用(元)	0.502	0.679	0.207	1.000			
	物料(油墨、溶劑)使用量(公噸/年)	0.217	0.094	0.059	0.034	1.000		
	VOCs 排放量(公噸/年)	0.233	0.445	0.248	0.272	0.840	1.000	
產 出 項	削減量(公噸/年)	0.450	0.796	0.668	0.593	0.126	0.434	1.000

資料來源：本研究彙整

茲將各投入產出項之定義說明如下，並整理彙整摘要如表 3.4-3 所示。

#### (一) 投入項

1. 資本額(元)：係指企業預定用多少金額來經營公司營運，在營利事業登記證上要做登記的金額。
2. 員工人數(人)：係指企業投入生產函數中的勞動要素，而員工薪資，亦是營業費主要的部分。
3. 設置成本(元)：係指工廠在污染防治設備上，所投入之成本，也是固定資本的部分。
4. 年操作費用(元)：係指污染防治設備上，所投入之設備操作之工

時與耗材更換之費用。

5. 物料使用量(油墨、溶劑)(公噸/年)：針對印刷過程之主要VOCs之物料，如油墨、溶劑為主要之來源。目前印刷業中廣泛使用還是傳統的溶劑型油墨。溶劑主要使用在清洗及稀釋，這都是製程中主要溶劑的來源。

6. VOCs年排放量(公噸/年)：指工廠於生產製造過程中投入之含VOCs物料，透過逸散或管道等方式，自製程排放至大氣中的數量。

## (二) 產出項

1. 削減量(公噸/年)：係指工廠使用VOCs減量方法，改善前排放量(噸/年)減去改善後排放量(噸/年)。

**表 3.4-3 投入及產出變數彙整摘要及定義表**

類別	變數名稱	單位	定義
投入項	資本額	(新台幣：元)	係指企業預定用多少金額來經營公司營運，在營利事業登記證上要做登記的金額。
	員工人數	(人)	係指企業投入生產函數中的勞動要素，而員工薪資，亦是營業費主要的部分。
	設置成本	(新台幣：元)	係指工廠在污染防治設備上，所投入之成本，也是固定資本的部分。
	年操作費用(元)	(新台幣：元)	係指污染防治設備上，所投入之設備操作之工時與耗材更換之費用。
	物料使用量 (油墨、溶劑)	(公噸/年)	針對印刷過程之主要 VOCs 之原物料，如油墨、水槽液、溶劑為主要之來源。目前印刷業中廣泛使用還是傳統的溶劑型油墨。溶劑主要使用在清洗及稀釋，這都是製程中主要溶劑的來源。
	VOCs 97 年申報之排放量	(公噸/年)	VOCs 年排放量(公噸/年)：指工廠於生產製造過程中投入之含 VOCs 物料，透過逸散或管道等方式，自製程排放至大氣中的數量
產出項	削減量	(公噸/年)	削減量(公噸/年)：係指工廠使用 VOCs 減量方法，改善前排放量(噸/年)減去改善後排放量(噸/年)。

資料來源：本研究彙製

#### 四、投入及產出資料彙整

經選定投入產出項後，將各投入產出項之資料，依 2008 年資料整理如表 3.4-4 所示。

**表 3.4-4 2008 年印刷業個案廠商之投入產出項資料表**

編號	投入項						產出項
	資本額(元)	員工人數(人)	污染防治設備設置年均成本(元)	年操作費用(元/年)	物料使用(油墨、溶劑)(公噸/年)	VOCs 申報排放量(公噸/年)	VOCs 削減量(公噸/年)
A1	463,530,000	270	1,926,845.75	2,208,240	142.00	117.84	122.625
A2	16,000,000	30	48,902.69	15,000	16.76	8.50	2.131
A3	57,120,000	106	462,442.98	189,000	301.50	53.98	94.1
A4	368,000,000	65	944,154.42	189,000	241.90	55.93	43.57
A5	20,000,000	40	289,026.86	1,000,000	92.82	12.37	5.9856
A6	30,000,000	93	240,855.72	75,000	33.92	30.67	67.56
A7	24,000,000	10	578,053.73	1,140,000	103.94	22.22	5.043
A8	193,000,000	50	481,711.44	232,800	41.88	14.56	36.432
A9	35,000,000	60	192,684.58	342,100	533.74	113.09	18.83
A10	12,000,000	15	211,953.03	40,000	182.00	30.34	13.996
A11	50,000,000	37	289,026.86	30,000	68.00	17.36	2.053
A12	30,000,000	18	192,684.58	54,000	22.57	8.42	1.08
A13	40,000,000	65	96,342.29	50,000	59.20	34.90	42.57
A14	29,760,000	38	4,624,429.81	126,000	233.26	74.86	61.642
A15	40,000,000	50	240,855.72	237,420	609.02	190.49	59.2
A16	29,600,000	14	59,732.22	25,000	61.42	12.41	2.0
A17	27,000,000	30	745,947.37	394,000	63.70	16.12	9.247
A18	563,208,615	60	289,026.86	675,000	411.52	64.88	4.05
A19	280,928,090	40	215,610.75	440,613	170.56	24.55	4.84



根據 2008 年的投入產出項資料，運用 Excel 軟體進行 6 個投入項及 1 個產出項之基本敘述性統計分析，結果如表 3.4-5，其中產出項有不等幅度削減之情形。因選用之工廠樣本規模大小不盡相同，所以投入與產出項的變數最大值與最小值差距頗大，但並不會影響其結果，因 DEA 研究是以同一家工廠本身在投入與產出項，相互比較結果，所以同一家工廠的投入與產出變數才會影響其結果。

**表 3.4-5 2008 年印刷業個案廠商之投入產出變數之敘述統計量**

變數名稱		廠家數	最小值	最大值	平均數	標準差
投入項	資本額(元)	19	12,000,000	563,208,615	121,534,037	249,449,342
	人工數(人)	19	10	270	58	57
	污染防治設備置成本(元)	19	48,903	4,624,430	638,436	1,057,490
	年操作費用(元)	19	15,000	2,208,240	392,799	546,642
	原物料使用(油墨、溶劑)(公噸/年)	19	16.76	609.02	178.40	174
	VOCs 年申報排放量(公噸)	19	8.42	190.49	47.55	48
產出項	VOCs 削減量(公噸)	19	1.08	102.63	21.12	24.58

資料來源：本研究整理

綜觀表 3.4-5 可發現，所有的投入項與產出項之間都呈現正相關性，符合 DEA 統計上之相關性，而受評單位之個數至少應為投入項個數與產出項個數和之二倍，亦符合鑑別能力。依本研究所選出之投入與產出項共有 6 個，因此受評單位數量應至少在 12 個以上，此次受評單位共計 19 個，故符合 DEA 方法之要求條件。因此本研究將以此數據進行後續之實證分析。

## 五、DEA 分析模型之選取

經檢驗投入與產出項之相關性之後，再依狀況選擇適當之 DEA 模型進行整體效率評估及差額變數分析時，需先確認所考量兩種模型，一則是採用 CCR 模型或 BCC 模型，另一則是採用投入導向或產出導向 (output-oriented) 模型。下列闡述本研究所採用之分析模型：

(一) CCR 模型為「固定規模報酬」，CCR 的固定規模報酬 (CRS) 模型可評估總效率與技術效率之間的關係，另 BCC 模型為「變動規模報酬」，而 BCC 的變動規模報酬 (VRS) 模型，則可用以評估技術效率與規模效率。

(二) 規模報酬 (returns to scale) 係指在其他條件不變的情況下，企業內部當生產投入量等比例增加時，產出量也應等比例增加。企業的規模報酬變化可以分規模報酬遞增、固定規模報酬和規模報酬遞減三種情況：

1. 規模報酬遞增：係指產量增加的比例大於生產要素增加的比例。
2. 固定規模報酬：係指固定規模報酬產量增加的比例等於生產要素增加的比例。
3. 規模報酬遞減：係指產量增加的比例小於生產要素增加的比例。

規模報酬存在著遞增、固定和遞減三個階段，規模報酬變化的原因是由於規模經濟或規模不經濟所造成的。規模經濟 (economies of scale) 是指由於產出的擴大，或者說生產規模的擴大，以量制價而使得產品平均成本降低。此模型可評估技術效率與規模效率。

## 第四章 實證分析

### 第一節 整體效率分析

本研究採用 Farrell 對於總效率的看法，將總效率分解成技術效率、配置（或價格）效率，而技術效率又可再分為純技術效率與規模效率，本研究係採此種認定標準。

「技術效率」所衡量的是一組織是否在固定的產出下，使用最少的投入資源；「配置效率」係指衡量一組織在同樣的產出下，是否使用最適當的投入要素組合；「規模效率」則是衡量一組織是否處於最適當的經營規模，亦即該組織是否在固定規模報酬下生產。

本研究以 Win4Deap 做為計算各種效率值之軟體程式。在根據上述效率之陳述後，經由 DEAP 軟體將模式設定為「投入導向」狀態，採用經第三章第四節所選定之五個投入項（資本額、員工人數、污染防制設備設置成本、年操作費用、物料(油墨及溶劑使用量)）及一個產出項（2008 年 VOCs 空污費申報排放量），以 19 個 DMU（國內 19 家印刷業 2008 年之現場輔導資料）為受評估單位，藉由 CCR 模式（設定為 CRS）得到總效率，並由 BCC 模式（設定為 VRS）得到各 DMU 之純技術效率與規模效率，再經由 BBC 之規模報酬狀態來判斷各 DMU 之規模報酬，其各項結果整理如表 4.1-1。

表 4.1-1 各印刷廠受評單位之效率值及規模報酬狀態

編號	受評廠商 代號	總效率	純技術效率	規模效率	規模報酬
		2008 年	2008 年	2008 年	2008 年
1	A1	0.604	1.000	0.604	drs
2	A2	0.158	1.000	0.158	irs
3	A3	1.000	1.000	1.000	crs
4	A4	0.691	0.746	0.927	irs
5	A5	0.218	0.832	0.262	irs
6	A6	1.000	1.000	1.000	crs
7	A7	0.383	1.000	0.383	irs
8	A8	1.000	1.000	1.000	crs
9	A9	0.352	0.605	0.581	irs
10	A10	0.912	1.000	0.912	irs
11	A11	0.076	0.635	0.120	irs
12	A12	0.074	1.000	0.74	irs
13	A13	1.000	1.000	1.000	crs
14	A14	1.000	1.000	1.000	crs
15	A15	1.000	1.000	1.000	crs
16	A16	0.162	1.000	0.162	irs
17	A17	0.352	0.881	0.400	irs
18	A18	0.072	0.252	0.284	irs
19	A19	0.134	0.481	0.279	irs

資料來源：本研究整理。

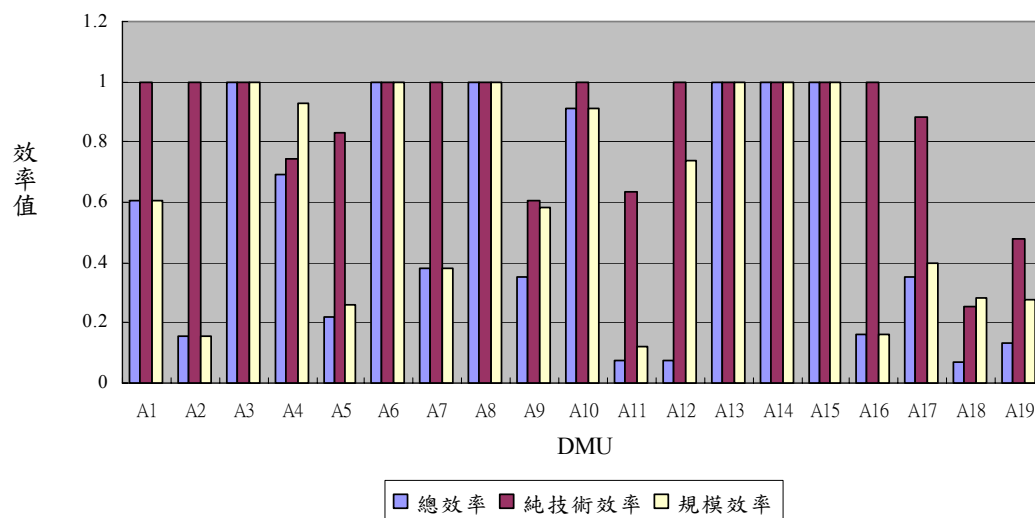
註：“crs”表示規模報酬固定、“irs”表示規模報酬遞增、“drs”表示規模報酬遞減。

## 一、總效率、純技術效率及規模報酬分析

### (一) 總效率分析

由表 4.1-1 可得知，當總效率等於 1 者為相對有效率，而小於 1 者，則為相對無效率，在 2008 年受評單位之 19 個 DMU 中，有 6 個(A3、A6、A8、A13、A14、A15)DMU 總效率值為 1，顯示其在 2008 年之 VOCs 削減結果是有效率的，而有 13 個 DMU 其效率值

小於 1，結果是相對無效率的，表示這 6 家受評單位(A3、A6、A8、A13、A14、A15)在 2008 年 VOC 削減效率優於其他 13 家受評單位。如表 4.1-1 及圖 4.1-1 所示。



資料來源：本研究整理

圖 4.1-1 2008 年印刷業個案廠商之效率值比較圖

## (二) 純技術效率分析

由表 4.1-1 可得知，當純技術效率值等於 1 者為有 12 個(A1、A2、A3、A6、A7、A8、A10、A12、A13、A14、A15、A16)，表示受評單位如果不考慮規模因素條件之下，在 VOCs 削減上是較有效率的。如表 4.1-1 及圖 4.1-1 所示。

## (三) 規模報酬分析

由表 4.1-1 可看出整體 DMU 之規模報酬狀態，在 2008 年中最適規模報酬之 DMU 共有 6 個(A3、A6、A8、A13、A14、A15)，而有 13 個 DMU 未達規模報酬；而未達規模報酬狀態又可區分為規模報酬遞增或是規模報酬遞減，各 DMU 之規模報酬狀態闡述如下：

### 1. 固定規模報酬 (constant returns to scale, crs)

如果DMU 規模效率等於1，表示該DMU 處於最適規模報酬之狀態，即在最適規模生產，有最理想之VOCs削減效率（產出），例如：A3、A6、A8、A13、A14、A15等6個DMU 均有此現象。

### 2. 規模報酬遞增 (increasing returns to scale, irs)

如果DMU 為規模報酬遞增 (irs)，則表示該DMU 可適度擴大其經營規模，增加投入項之投入，以提高其減量效率，例如：A2、A4、A5、A7、A9、A10、A11、A12、A16、A17、A18、A19等12 個DMU 均有此現象。

### 3. 規模報酬遞減 (decreasing returns to scale, drs)

如果DMU 為規模報酬遞減 (drs)，則表示該DMU 應減少投入資源，例如：資本額、員工人數、污染防制設備設置成本、年操作費用、物料(油墨及溶劑)使用等之投入，才會增加VOCs削減效率，例如：A1符合規模報酬遞減之現象。

## 二、效率單位之分類

在經過 DEA 評估後，本研究結果如表 4.1-2 所示，其中參考集合是指個別單位，若欲達有 VOCs 減量效率狀態時，所應參考之對象。爰此，被列為參考對象次數愈多的單位，即是相對有 VOCs 減量效率，也就愈能顯現 VOCs 減量效率狀態，優於其他受評單位。

表 4.1-2 19 家印刷業個案廠商總效率值與標竿學習對象

編號	工廠代號	CCR 效率	參考集合	被參考次數	名次
		2008 年	2008 年	2008 年	2008 年
1	A1	0.604	A1	0	
2	A2	0.158	A2	6	1
3	A3	1.000	A3	1	8
4	A4	0.691	A3、A8、A10、A14	0	
5	A5	0.218	A2、A6、A10	0	
6	A6	1.000	A6	3	3
7	A7	0.383	A7	0	
8	A8	1.000	A8	2	5
9	A9	0.352	A2、A6、A10、A15	0	
10	A10	0.912	A10	6	2
11	A11	0.076	A2、A16	0	
12	A12	0.074	A12	2	6
13	A13	1.000	A13	1	9
14	A14	1.000	A14	1	10
15	A15	1.000	A15	2	7
16	A16	0.162	A16	3	4
17	A17	0.352	A2、A6、A10、A12	0	
18	A18	0.072	A10、A13、A15、A16	0	
19	A19	0.134	A2、A8、A12、A16	0	

資料來源：本研究整理

依據表 4.1-2 之結果，引用 Michael Norman & Barry Stocker (1991) 所建議的四種效率強度標準來進行分類，如表 4.1-3 所示，並說明如下：



表 4.1-3 2008 年印刷業個案廠商總效率分類表

效率單位類型	年度	受評估單位	數量	占比(%)
強勢效率單位	2008	A3、A6、A8、A13、A14、A15	6	31.58
邊緣效率單位	2008	無	0	0.00
邊緣非效率單位	2008	A10	1	5.26
明顯非效率單位	2008	A1、A2、A4、A5、A7、A9、A11、A12、A16、A17、A18、A19	12	63.16

資料來源：本研究整理

#### (一) 強勢效率單位 (The Robustly Efficient Unit)

此 DMU 在效率參考集合 (comparisons) 中出現多次者，排除特殊因素，否則此 DMU 均可保持其有效率之穩健度 (robustness)，例如：A3、A6、A8、A13、A14、A15 等 6 個 DMU。

#### (二) 邊緣效率單位 (The Marginal Efficient Unit)

此 DMU 之效率值雖然為 1，但在其他受評單位之參考集合內未出現，隱含此 DMU 存在著若干與眾不同的特性，在 2008 年尚無符合此項之 DMU 存在。

#### (三) 邊緣非效率單位 (The Marginal Inefficient Unit)

此 DMU 的總效率值小於 1 但大於 0.7，因總效率值偏低，若可以在投入及產出項方面略做調整，便可以達到總效率值為 1 的狀態，例如：A10。

#### (四) 明顯非效率單位 (The Distinctly Inefficient Unit)

若 DMU 之總效率值小於 0.7，表示該廠之 VOCs 減量效率有待加強，例如：A1、A2、A4、A5、A7、A9、A11、A12、A16、A17、A18、A19 等 12 個 DMU。

## 第二節 差額變數分析

由差額變數分析，可進一步探討相對無效率的 DMU 欲達 VOCs 減量效率時，在其投入資源改善幅度大小之參考。當一個 DMU 達成到相對有效率狀態時，其差額變數都是 0，則表示現有之投入與產出量皆已達到最適配置狀態。相反之，若 DMU 之相對效率小於 1，則其差額變數至少有一項不為 0，出現在投入項的差額變數，表示投入資源過多，應該減少；若出現在產出項的差額變數表示產出項仍有 VOCs 削減的空間，則應該繼續努力增加削減量，以達到有效率的境界。表 4.2-1 及圖 4.2-1 為 2008 年相對 VOCs 削減無效率之 DMU 欲達相對有削減效率時，所應減少的資源投入量或比例。

就本研究而言，造成各廠家相對無效率的主因包括，資本額及員工人數因事業經營上過度投入，建議精簡這方面投入量；在污染防制設備設置成本方面，由於風量、濃度與污染防制設備初設成本為正相關，建議設備選用需重點考量，更新老舊污防設備，提升 VOCs 減量效率、改善管線集氣不佳或製程管理無效率狀況；年操作費用方面，建議檢視投入操作工時及耗材更換頻率，同時加強教育訓練提升工作人員對於空氣污染之觀念；物料(油墨及溶劑)使用量過高，建議使用低污染性替代物料或印刷油墨之減量或使用逐漸被商業化之黃豆油墨等環保油墨及針對所含溶劑之比例進行製程改善。各受評廠商可以經由差額變數為參考，衡量現有之 VOCs 削減目標後，針對造成 VOCs 削減無效率的因素加以檢討改善。

就以「VOCs 減量」之差額變數而言，2008 年有 A5、A11、A17 等 3 個 DMU，污染防制設備投入過多無效率資金，或設備老舊集氣不佳，是造成 VOCs 減量無效率的原因之一，建議評估適合之 VOCs 減量處理設

備，提高污染防制設備之使用成效，以提升 VOCs 削減效率。

而 A4、A5、A9、A17、A18、A19 等 6 個 DMU 是年操作費用投入過多的單位，顯示相對於其他單位無效率且浪費的，也造成 VOCs 削減無效率，換言之，年操作費投入量有進一步改善的空間。

而 A5、A9、A11、A17、A18、A19 等 6 個 DMU 是物料(油墨及溶劑)使用量，投入過多，顯示相對於其他單位無效率且浪費的，建議進行物料(油墨及溶劑)改善，使用水性油墨或替代性油墨，加強溶劑回收，選擇低污染環保油墨，以提升 VOCs 削減效率。

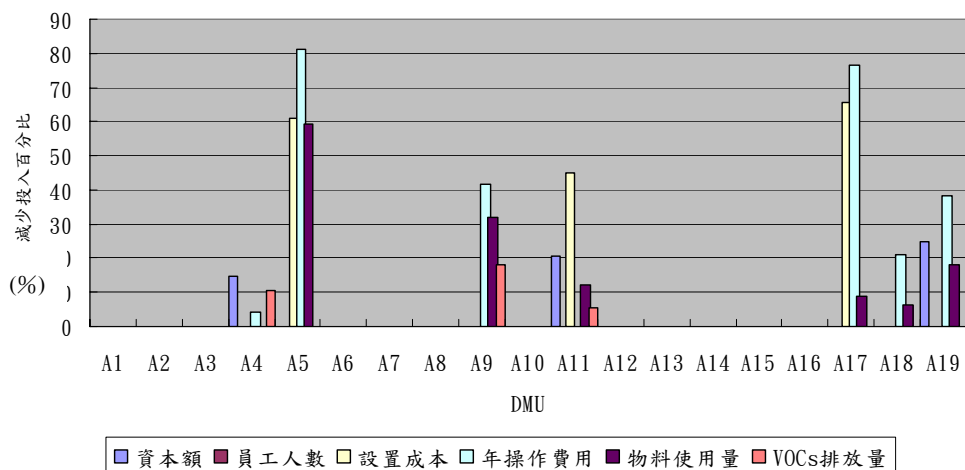
而 A4、A9、A11 等 3 個 DMU 是 VOCs 排至大氣中過多，可從製程改善、原物料替代或選用更適合之 VOCs 減量方法，以提升 VOCs 削減效率。

表 4.2-1 2008 年印刷業個案廠商差額變數分析表

編號	資本額(元)		員工人數 (人)		設置成本(元/年)		年操作費用(元/年)		物料使用 (油墨及溶劑) (公噸/年)		VOCs 排放量 (公噸/年)	
	潛在節約 成本 (元)	潛在節約 成本 (%)	潛在精簡 人數 (人)	潛在精簡 人數 (%)	潛在節約 設置成本 (元/年)	潛在節約 設置成本 (%)	潛在節約 操作成本 (元/年)	潛在節約 操作成本 (%)	潛在節約 物料使用 成本 (元/年)	潛在節約 物料使用 成本 (%)	潛在節約 排放量 (公噸/ 年)	潛在節約 排放量 (%)
A1												
A2												
A3												
A4	53519275.	14.54					7733.181	4.09			5.838	10.44
A5					176828.529	61.18	813411.893	81.34	55.044	59.30		
A6												
A7												
A8												
A9							141718.199	41.43	170.567	31.96	20.303	17.95
A10												
A11	10244705.	20.49			130318.859	45.09			8.313	12.23	0.942	5.43
A12												
A13												

編號	資本額(元)		員工人數(人)		設置成本(元/年)		年操作費用(元/年)		物料使用(油墨及溶劑)(公噸/年)		VOCs 排放量(公噸/年)	
	潛在節約成本(元)	潛在節約成本(%)	潛在精簡人數(人)	潛在精簡人數(%)	潛在節約設置成本(元/年)	潛在節約設置成本(%)	潛在節約操作成本(元/年)	潛在節約操作成本(%)	潛在節約物料使用成本(元/年)	潛在節約物料使用成本(%)	潛在節約排放量(公噸/年)	潛在節約排放量(%)
A14												
A15												
A16												
A17					488277.752	65.46	302362.012	76.74	5.665	8.89		
A18							140934.506	20.88	26.591	6.46		
A19	93540923.	24.77					168721.117	38.29	30.642	17.97		

資料來源：本研究整理



資料來源：本研究整理

圖 4.2-1 2008 年印刷業個案廠商差額變數投入減少比例圖

經檢視前表 4.2-1 及圖 4.2-1 DMU 總效率分類表之強勢指標篩選出 6 家(A3、A6、A8、A13、A14、A15)個案廠商，總效率值皆為 1 及出現在效率參考集合 (comparisons) 中，在這 6 家強勢效率個案廠商，再經由檢視其相關指標，如每單位 VOCs 削減所需之污染防制設備設置成本(元/公噸)、每單位 VOCs 削減所需之年操作成本(元/公噸)及每單位物料(油墨及溶劑)之 VOCs 產生量 (公噸/公噸)，彙整如表 4.2-2 所示，並依 6 家效率廠商分述如下：

表 4.2-2 2008 年印刷業 VOCs 減量績效佳之標竿廠單位指標比較表

廠商代號	物料 (公噸/年)	每單位 VOCs 削減所需之污染防制設備設置成本 (元/公噸)	每單位 VOCs 削減所需之年操作成本 (元/公噸)	每單位物料之 VOCs 產生量(油墨及溶劑) (公噸/公噸)
A3	油墨塗料(甲苯、乙酸乙酯、丁酮等揮發性有機物(VOCs))約 96 公噸	8,567.33	3,501.46	0.18
A6	聚酯 18 公噸/季、聚乙烯 48.6 公噸/季及聚丙烯 48.6 公噸/季、油墨 6 公噸/季、甲苯 0.75 公噸/季	7,853.37	2,445.46	0.90
A8	油墨 14.4 ton/yr、異丙醇 19.2 ton/yr 及紙張 3,600 ton/yr。	33,074.38	15,984.08	0.35
A13	油墨 11.82 公噸/年及甲苯 0.24 公噸/年	2,760.77	1,586.04	0.59
A14	油墨、接著劑、甲醇、OPP 溶劑約 170 公噸/年	61,770.75	1,683.04	0.32
A15	油墨 7.072 公噸/季、溶劑 5.092 公噸/季	1,264.39	1,246.35	0.31
最大值		61,770.75	3,501.46	0.90
平均值		19,215.17	4,407.738	0.44

資料來源：本研究整理

A3 廠，每單位 VOCs 削減所需之污染防制設備設置成本(元/公噸)及每單位 VOCs 削減所需之年操作成本(元/公噸) 指標皆低於平均值；每單位物料(油墨及溶劑)之 VOCs 產生量 (公噸/公噸)指標為最小值，本項為這 6 家效率廠中最佳標竿廠，其 VOCs 污染防制設備選用、製程及物料使用概述如下：

一、VOCs 污染防制設備選用：以蓄熱式焚化法(Regenerative thermal oxidation, RTO)處理最為經濟有效，RTO 對排氣中 VOC 的去除率為 98%。

二、物料使用概述：凹版印刷製程年使用油墨塗料(排氣組成為甲苯、乙酸乙酯、丁酮等揮發性有機物(VOCs))約 96 公噸。

A6 廠，每單位 VOCs 削減所需之污染防制設備設置成本(元/公噸) 指標、每單位 VOCs 削減所需之年操作成本(元/公噸) 指標及每單位物料(油墨及溶劑)之 VOCs 產生量 (公噸/公噸)三項指標皆低於平均值，其 VOCs 污染防制設備選用、製程及物料使用概述如下：

一、VOCs 污染防制設備選用：依據許可申請資料，使用塑膠圍幕進行圍封、氣罩收集將逸散廢氣導入活性碳吸附塔處理後排放至大氣中。

二、物料使用概述：主要生產塑膠袋、包裝紙。VOCs 產生相關主要原物料為聚酯 18 公噸/季、聚乙烯 48.6 公噸/季及聚丙烯 48.6 公噸/季、油墨 6 公噸/季、甲苯 0.75 公噸/季，製程包括印刷、塗膠、冷膠、裁切、製袋等程序。

A8 廠，每單位 VOCs 削減所需之污染防制設備設置成本(元/公噸) 指標及每單位 VOCs 削減所需之年操作成本(元/公噸)指標皆大於平均值，這二項為 6 家效率廠商中，效率待提升之個案廠；每單位物料(油墨及溶劑)之 VOCs 產生量 (公噸/公噸)指標小於平均值，其 VOCs 污染防制設備選用、製程、及物料使用概述如下：

一、VOCs 污染防制設備選用：裝設活性碳吸附塔。以吸附原理處理 VOCs 或惡臭物質，一般常用粒狀活性碳或活性碳纖維。因欲處理之廢氣成分可能極為複雜，故於吸附過程中，可藉活性碳之預行特殊含浸或表面處理，使吸附現象併含複雜的物理及化學反應，以達到去除 VOCs 或除臭效果。

二、物料使用概述：以操作許可證所核可之原料量為油墨 14.4 ton/yr、異丙醇 19.2 ton/yr 及紙張 3,600 ton/yr。



A13 廠每單位 VOCs 削減所需之污染防制設備設置成本(元/公噸)，指標為最小值；每單位 VOCs 削減所需之年操作成本(元/公噸) 指標低於平均值；每單位物料(油墨及溶劑)之 VOCs 產生量 (公噸/公噸) 指標為最小值，本個案廠商三項指標中，有二項指標為最小值，其 VOCs 污染防制設備選用、製程及物料使用概述如下：

一、VOCs 污染防制設備選用：設置印刷機台之 VOC 集氣設備，此集氣設備之集氣效率為 60%，可收集之 VOC 廢氣量約為 42 公噸。

二、物料使用概述：油墨 11.82 公噸/年及甲苯 0.24 公噸/年。

A14 廠，每單位 VOCs 削減所需之污染防制設備設置成本(元/公噸)，指標大於平均值；每單位 VOCs 削減所需之年操作成本(元/公噸)指標及每單位物料(油墨及溶劑)之 VOCs 產生量 (公噸/公噸)指標小於平均值，其 VOCs 污染防制設備選用、製程、及物料使用概述如下：

一、VOCs 污染防制設備選用：以蓄熱式焚化法(Regenerative thermal oxidation, RTO)處理最為經濟有效，排氣中 VOC 的去除率>95%，處理後排氣 VOC 濃度可降為<110 mg/m<sup>3</sup>，VOC 年排放量降為<3.16 噸。

二、物料使用概述：印刷製程年使用油墨、接著劑、甲醇、OPP 溶劑約 170 公噸，排氣組成為甲苯、乙酸乙酯、丁酮、異丙醇、甲醇等揮發性有機物(VOCs)，主要源自印刷、塗佈、貼合等製程。

A15 廠每單位 VOCs 削減所需之污染防制設備設置成本(元/公噸)指標、每單位 VOCs 削減所需之年操作成本(元/公噸) 指標及每單位物料(油墨及溶劑)之 VOCs 產生量 (公噸/公噸) 指標皆小於平均，其 VOCs 污染防制設備選用、製程及物料使用概述如下：



一、VOCs 污染防制設備選用：三座機台之圍封面積合計共  $54 \text{ m}^2$ ，圍封後並將現有集氣設備之抽風量皆各降低至  $80 \text{ m}^3/\text{min}$ ，因應提高揮發性有機物空氣污染費率後，並裝設活性碳吸附塔，將現有排氣導入新設之污染防制設施做處理。

二、物料使用概述：油墨 7.072 公噸/季、溶劑 5.092 公噸/季，排氣組成為乙酸乙酯、二甲苯、異丙醇等揮發性有機物。

本研究結果依表 4.2-2，其所代表之涵義有二點，因 97 年第三季金融海嘯襲擊全球，影響整體產業經濟發展及產能變化，三家效率廠商。其所代表之涵義有二點，所述如下：

一、在工廠 VOCs 削減目標執行面上，每單位 VOCs 削減所需之污染防制設備設置成本(元/公噸)、每單位 VOCs 削減所需之年操作成本(元/公噸)、每單位物料(油墨及溶劑)之 VOCs 產生量 (公噸/公噸)，檢視這三項指標同時能符合最小值之效率廠商，未能明顯篩選出具代表性之標竿廠。

二、應用 DEA 方法，得知在工廠經營管理層面上，「成本效率」及「VOCs 減量效率」二者是可同時未符合一致性，不足以代表具有相對 VOCs 削減效率之標竿廠，本研究再透過發展 VOCs 減量指標系統評鑑方法，再進行下列分析。

### 第三節 VOCs 減量效率之指標分析

由於 2008 年及 2009 年 19 家印刷業廠商，雖然皆進行 VOCs 減量，在議題上是有同質性，但由於其 VOCs 減量技術涵蓋生物濾床、焚化、吸附、集氣設備等，因此使用經 DEA 方法評估，所獲得之相對效率值，並尚未完全符合同質性。本研究再根據三項評估項目，包括 VOCs 削減

所需之污染防制設備設置成本、VOCs 削減所需之年操作成本及物料(油墨及溶劑)使用量，發展指標的指數系統，來評估 2008 年及 2009 年 19 家印刷業廠商，進行 VOCs 減量效率評估，其步驟如下所述：

一、將 VOCs 削減所需之污染防制設備設置成本、VOCs 削減所需之年操作成本及物料(油墨及溶劑)之使用量除以 VOCs 年申報排放量，求出每個案廠商成本指標及 VOCs 產出量指標。

二、將指標指數化，各項指標中，篩選出最大值及平均值，再以各指標除以最大值，求出每個案廠商各項指數。

三、求得指數介於 0~1 之間指數，當個案廠商之指數越趨近 0，表示單位成本越小，VOCs 排放量越少，VOCs 減量成本效率越佳。

依上述本研究彙整2008年19家印刷業個案廠商如表4.2-3、表4.2-4及圖4.2-2，篩選各項低於平均指數且具VOCs削減效率之廠商。

表 4.2-3 2008 年 19 家印刷業個案廠商 VOCs 減量效率指標之指數分析表

編號	每單位 VOCs 削減所需之污染防制設備設置成本指數	每單位 VOCs 削減所需之年操作費用指數	每單位物料(油墨、溶劑)所產生之 VOCs 量指數	VOCs 污染防制設備
A1	0.26	0.23	0.23	裝設生物濾床
A2	0.09	0.02	0.03	塑膠圍幕進行圍封活性炭
A3	0.14	0.04	0.50	蓄熱式焚化法
A4	0.27	0.04	0.40	生物濾床設備
A5	0.38	1.00	0.15	以水性塗料取代油性塗料
A6	0.13	0.03	0.06	裝塑膠幕並用原有洗滌、吸附塔處理(40%)
A7	0.42	0.63	0.17	啟用活性炭吸附設備並與水洗塔串聯
A8	0.54	0.20	0.07	活性炭吸附塔
A9	0.03	0.04	0.88	活性炭吸附塔
A10	0.11	0.02	0.30	活性炭吸附塔
A11	0.27	0.02	0.11	加裝集氣設備
A12	0.37	0.08	0.04	活性炭吸附塔
A13	0.04	0.02	0.10	加裝集氣設備
A14	1.00	0.02	0.38	蓄熱式焚化法
A15	0.02	0.02	1.00	加裝圍封設施及活性炭吸附塔
A16	0.08	0.02	0.10	加裝圍封設施及活性炭吸附塔
A17	0.75	0.30	0.10	生物濾床
A18	0.07	0.13	0.68	活性炭吸附塔
A19	0.14	0.22	0.28	活性炭吸附塔
平均值	0.27	0.16	0.29	

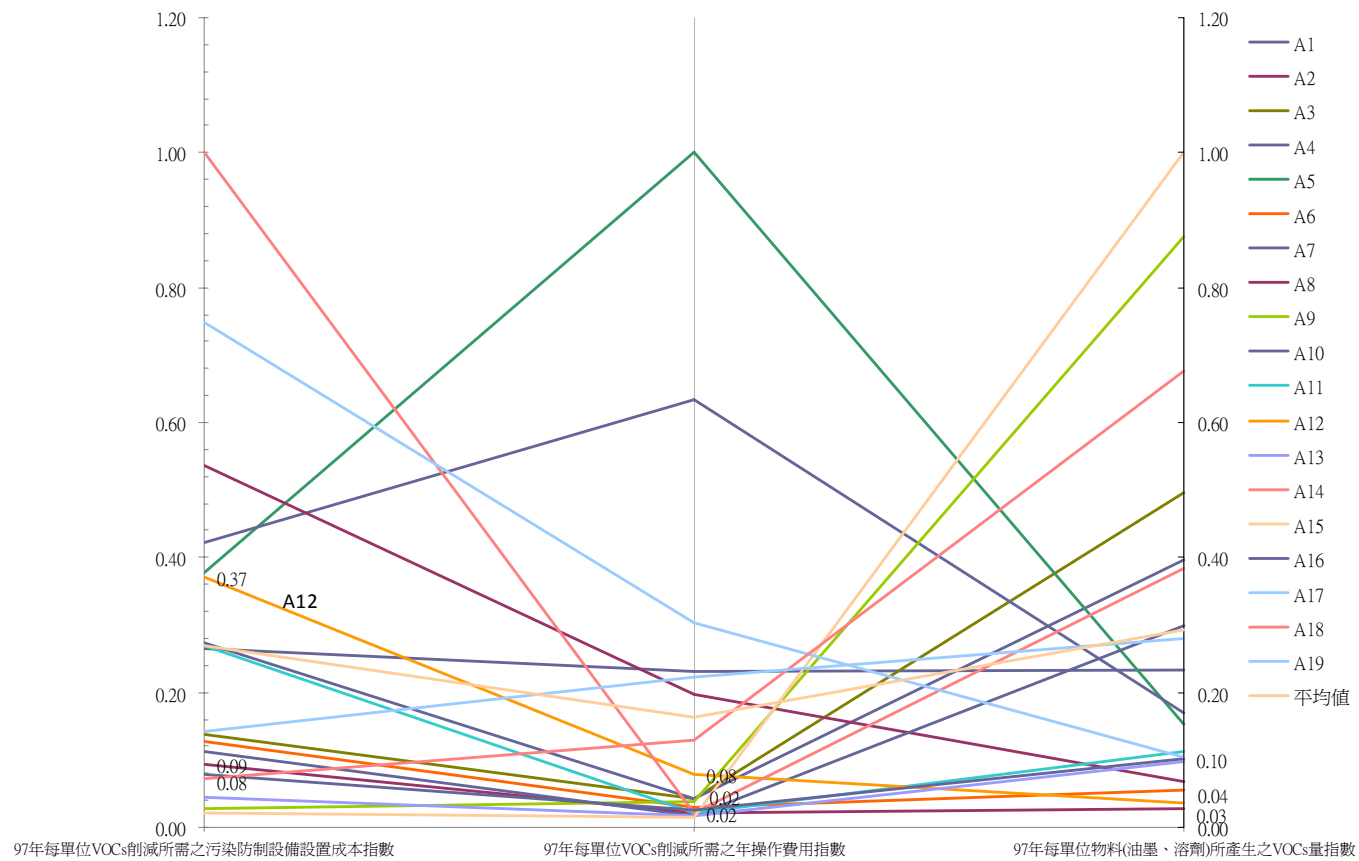


圖 4.2-2 2008 年 19 家印刷業個案廠商 VOCs 減量效率指標比較圖

表 4.2-4 2008 年 19 家印刷業個案廠商 VOCs 減量效率指數低於平均值  
之彙整表

編號	每單位 VOCs 削減所需之污 染防制設備設置成本指數	每單位 VOCs 削減所需 之年操作費用指數	年每單位物料(油墨、溶劑) 所產生之 VOCs 量指數
A1	*		*
A2	*	*	*
A3	*	*	
A4		*	
A5			*
A6	*	*	*
A7			*
A8			*
A9	*	*	
A10	*	*	
A11		*	*
A12		*	*
A13	*	*	*
A14		*	
A15	*	*	
A16	*	*	
A17			
A18	*	*	
A19	*		

本研究進行指標指數化探討VOCs減量效率，結果概述如下：

污染防制設備設置成本方面：由管理方面降低成本、機械維護保養、提高機械壽命、等VOCs減量效率佳之受評單位：A1(2008)、A2(2008)、A3(2008)、A6(2008)、A9(2008)、A10(2008)、A13(2008)、A15(2008)、A16(2008)、A18(2008)、A19(2008)、A1(2009)、A2(2009)、A3(2009)、A6(2009)、A9(2009)、A10(2009)、A13(2009)、A15(2009)、A16(2009)、A18(2009)、A19(2009)。

年操作費用成本方面：提升操作員人之訓練及技術，減少可能逸散VOCs情形，減量效率佳之受評單位：A2(2008)、A3(2008)、A4(2008)、

A6(2008)、A9(2008)、A10(2008)、A11(2008)、A12(2008)、A15(2008)、A16(2008)、A18(2008)、A1(2009)、A2(2009)、A3(2009)、A4(2009)、A6(2009)、A9(2009)、A10(2009)、A11(2009)、A12(2009)、A13(2009)、A14(2009)、A15(2009)、A16(2009)、A18(2009)。

物料(油墨、溶劑)方面：物料儲存、降低含溶劑比例製程的改善、原物料替代等方法，削減VOCs排放量績效佳之受評單位：A1(2008)、A2(2008)、A5(2008)、A6(2008)、A7(2008)、A8(2008)、A11(2008)、A12(2008)、A13(2008)、A16(2008)、A17(2008)、A19(2008)、A3(2009)、A4(2009)、A5(2009)、A7(2009)、A8(2009)、A9(2009)、A10(2009)、A11(2009)、A14(2009)、A15(2009)、A16(2009)、A17(2009)、A18(2009)、A19(2009)。

同2008年使用評估方法，本研究彙整2009年19家印刷業個案廠商如表4.2-5、表4.2-6及圖4.1-3，篩選各項低於平均指數且具VOCs削減效率之廠商。

表 4.2-5 2009 年 19 家印刷業個案廠商 VOCs 減量效率指標之指數分析表

編號	每單位 VOCs 削減所需之污染防制設備設置成本指數	每單位 VOCs 削減所需之年操作費用指數	每單位物料(油墨、溶劑)所產生之 VOCs 量指數	VOCs 污染防制設備
A1	0.18	0.10	0.87	裝設生物濾床
A2	0.08	0.01	0.41	塑膠圍幕進行圍封
A3	0.09	0.02	0.20	蓄熱式焚化法
A4	0.30	0.03	0.15	生物濾床設備
A5	0.31	0.54	0.11	以水性塗料取代油性塗料
A6	0.08	0.01	1.00	裝塑膠幕並用原有洗滌、吸附塔處理(40%)
A7	1.00	1.00	0.06	啟用活性碳吸附設備並與水洗塔串聯
A8	0.53	0.13	0.24	活性碳吸附塔
A9	0.03	0.03	0.14	活性碳吸附塔
A10	0.09	0.01	0.14	活性碳吸附塔
A11	0.49	0.03	0.10	加裝集氣設備
A12	0.36	0.05	0.27	活性碳吸附塔
A13	0.03	0.01	0.56	加裝集氣設備
A14	0.97	0.01	0.23	蓄熱式焚化法
A15	0.06	0.03	0.08	加裝圍封設施及活性碳吸附塔
A16	0.09	0.02	0.12	加裝圍封設施及活性碳吸附塔
A17	0.80	0.21	0.17	生物濾床
A18	0.06	0.07	0.13	活性碳吸附塔
A19	0.12	0.13	0.11	活性碳吸附塔
平均值	0.30	0.13	0.26	



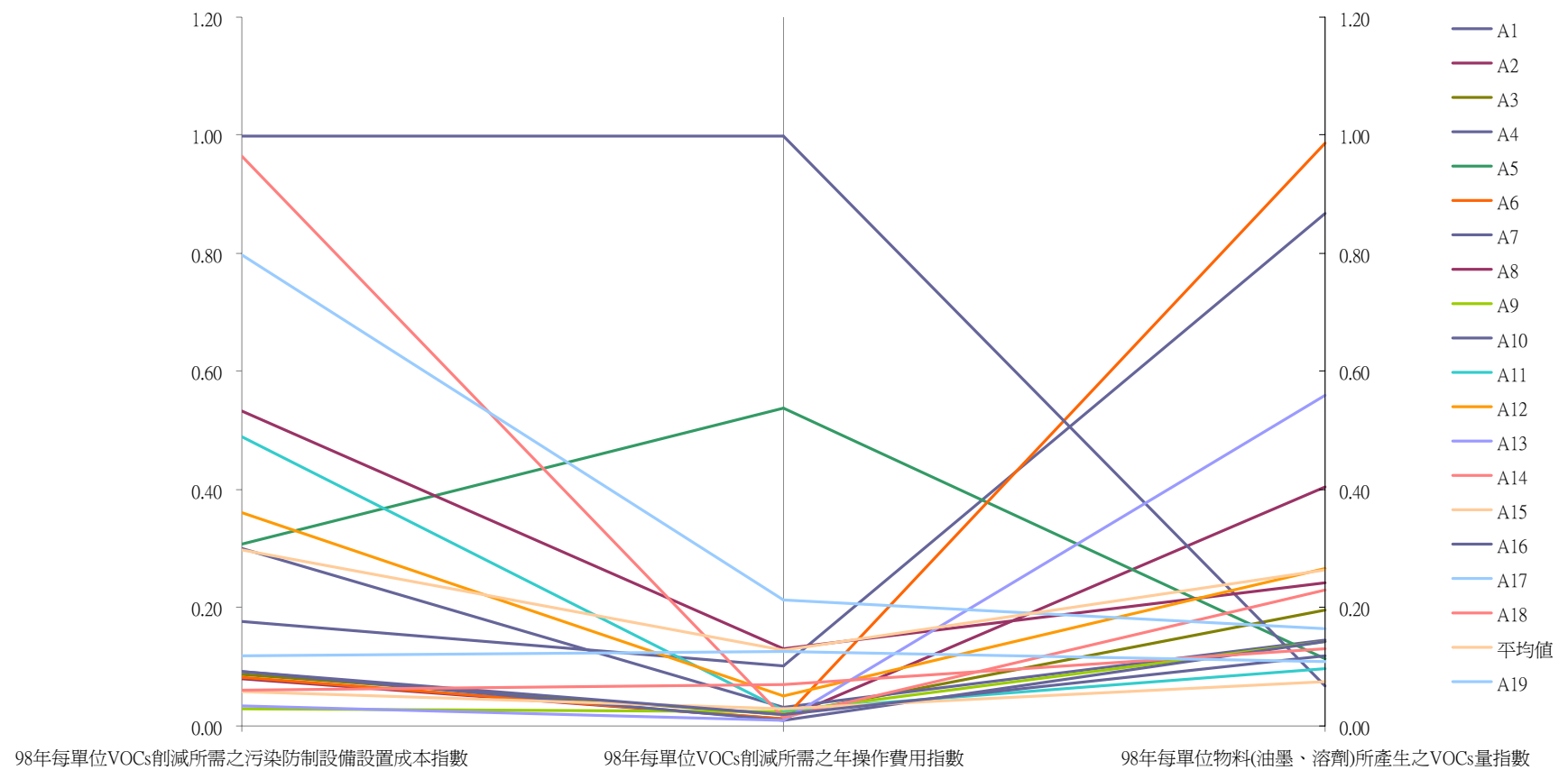


圖 4.2-3 2009 年 19 家印刷業個案廠商 VOCs 減量效率指標比較圖

表 4.2-6 2009 年 19 家印刷業個案廠商 VOCs 減量效率指數低於平均值之

彙整表

編號	每單位 VOCs 削減所需 之污染防制設備設置成 本指數	每單位 VOCs 削減所需 之年操作費用指數	年每單位物料(油墨、溶 劑)所產生之 VOCs 量指數
A1	*	*	
A2	*	*	
A3	*	*	*
A4		*	*
A5			*
A6	*	*	
A7			*
A8			*
A9	*	*	*
A10	*	*	*
A11		*	*
A12		*	
A13	*	*	
A14		*	*
A15	*	*	*
A16	*	*	*
A17			*
A18	*	*	*
A19	*		*



## 第五章 結論與建議

### 第一節 研究結論

本研究應用資料包絡分析法及指標評估方式，探討印刷業對 VOCs 減量之效率影響，以 2008 年「雲嘉南地區產業揮發性有機物減量輔導計畫」受輔導廠家中篩選 19 家為評估對象，進行 2008 年的總效率分析、差額變數分析，並利用 DEA 結果篩選出 VOCs 減量績效佳之強勢指標印刷廠，進一步以削減量個案檢視其 VOCs 減量效率與整體績效及進行 2009 年指標指數化分析，研究所得之結論如下：

- 一、雲嘉南地區 19 家印刷業廠商以 2008 年而論，就「總效率」而言，2008 年達到 1 者，只有 6 家(A3、A6、A8、A13、A14、A15)之 VOCs 削減績效較佳，並且技術效率的變動主要是來自於純技術效率的進步，印刷業廠商普遍有規模效率較差的現象；大部分的無效率廠商處於規模報酬遞增的狀態，顯示印刷業產出規模與 VOCs 污染防治設備其處理量能間具差異性，選用適當 VOCs 減量設備，以提升 VOCs 減量績效。
- 二、由差額變數分析，在 2008 年共有 19 個 DMU，其中 3 個(A5、A11、A17)DMU，在污染防治設置成本上，投入過多無效率資金，應仔細評估 VOCs 減量處理設備，以提升 VOCs 減量效率；6 個(A4、A5、A9、A17、A18、A19)DMU 在年操作費上，可改善投入過多無效率人力、操作技術及活性碳耗材更換頻率；6 個(A5、A9、A11、A17、A18、A19)DMU 在物料使用(油墨及溶劑)投入過多，顯示在物料耗用量上相對於其他單位是無效率且浪費的，也因此造成 VOCs 減量效率不佳，換言之，無效率原料投入量有進一步減少的空間；3 個(A4、A9、A11)DMU 在 VOCs 排放量上，建議從製程改善、原物料替代或選用更適合的 VOCs 減量方法，以提升 VOCs 減量效率。

三、經 DEA 方法評估 2008 年 19 家印刷業個案廠商，篩選 VOCs 減量效率佳之個案廠商有 6 家，分別為 A3、A6、A8、A13、A14 及 A15，在污染防治設備上皆使用活性碳吸附塔或蓄熱式焚化法，進行 VOCs 減量，本研究，再發展指標指數化系統，再進行檢視 2008 年 19 家個案廠商三項指標，結果得到效率廠商，分別為：A2、A6、A13 個案廠商，合計 3 家，其中 A6 及 A13 與 DEA 方法評估，結論是符合一致性，得到 A13 為標竿廠商。

四、再經由指標指數化系統分析，2009 年 19 家個案廠商，三項 VOCs 減量效率指數低於平均值，得到效率佳之廠商，分別為：A3、A9、A10、A15、A16、A18 個案廠商，合計 6 家，就 VOCs 減量效率家數而言，2009 年家數多於 2008 年，即 2009 年 VOCs 減量效率優於 2008 年。

## 第二節 研究建議

本研究主要以印刷廠使用油墨及溶劑為標的，探討所產生之 VOCs 排放及其衍生 VOCs 及空污費問題，蒐集提供完整之 VOCs 集氣及防制設備選擇重點及方法，並建議使用水性油墨，其具有對環境較友善、VOCs 揮發性低、及安全性好等優點。而在製程上使用的優點包括：色彩較鮮豔、不含溶劑成分及不會腐蝕版材、製程改變、產品良率等項目之影響，整體評估以環保油墨取代現有油墨之可行性，亦對於未來印刷業作業區 VOCs 之逸散及所衍生之臭氣問題之改善提供正確之方向，可節省廠商評估改善所需投入相關資源，一旦改善完成亦可有效減少 VOCs 之排放量及臭味問題，並降低面臨受 VOCs 空污費徵收之衝擊。

近年來，國內產業環保趨勢，已逐步往整合性方向進行，亦即整合製程管理及管末處理等系統面之各項問題，以積極方式減少污染物之產生，並配合適當之操作維護及文件化方式，除了可提升製程效率及污染減量成

效之持續改善外，亦使廠內各項污染防治經驗與文件能有系統的保留與傳承，有利於企業之永續經營。

我國在邁入全球化與國際化之際，國家的各項發展必須逐漸與世界接軌，以加速國家整體發展，並提升知識與技術的水準。在環境保護的領域方面，亦已演變至以追求全球永續發展為最高目標。近年來，國際社會基於共同維護地球生態及資源之理念，制定許多工安與環保國際公約，約束各國減少及預防高度經濟發展所造成的環境破壞。

### 第三節 未來研究方向

因本研究僅探討 VOCs 減量經濟效益評估分析，若後續可進行之研究方向建議如下所述：

- 一、本研究礙於資料樣本數不足（僅有 19 個受評單位）及資料樣本數為小型企業居多及無其他具有代表性之廠商、各廠產能、VOCs 減量處理效率百分比及製程中主要使用之物料為油墨，其中 VOCs 之含量及油墨成份表明細表等 13 種「個別物種」成份之重量百分比等之資料取得不易，後繼研究者若能補足之，將可獲得更臻完善及具有代表性之結果。
- 二、運用 DEA 分析，可更清楚地了解能成本效益與 VOCs 減量效率之間的關係，但首先必須收集完成各項投入資源的數據；以「生產效率」、「技術效率」、「配置效率」、「純技術效率」與「規模效率」作為應變數，以「VOCs 空污費申報量」作為自變數，經由假說與檢定，找到投入與產出項間的關聯性之影響程度。





## 第六章 參考文獻

### (一) 中文文獻

1. 環保署，2011，揮發性有機物空氣污染管制及排放標準（2011.02.01.修正）。
2. 經濟部工業局，2007，「揮發性有機物廢氣減量及處理技術手冊」更新版。
3. 經濟部工業局，2010，「中部地區產業空氣污染物減量輔導與總量管制因應計畫」。
4. 環保署，2010，「高高屏地區總量管制計畫(規劃中)」。
5. 葉俊榮，1988，「論環境政策上的經濟誘因」。
6. 蕭代基，1992，「無過失責任制與庇古稅制對環境污染防治效率之影響」，國家科學委員會研究彙刊：人文及社會科學，第二卷第一期，PP.35-44。
7. 鄭福田，2006，工業污染防治季刊第 100 期，「空氣污染防制回顧與未來展望」。
8. 環保署，1988，環境保護政策分析叢書(三)「空氣污染防制政策方針之策定研究」。
9. 環保署，2008，「推動總量管制計畫及空氣品質標準研修」期末報告。
10. 環保署，2009，「揮發性有機物空氣污染防制費徵收制度暨審查申報及現場查核之相關技術支援計畫」期末正式報告統計。
11. 環保署，2009，「總量管制計畫及細懸浮微粒管制策略規劃」期末報告。
12. 環保署，2009，「第二期 VOCs 空污費費率研修規劃說明」簡報。

13. 環保署，2009，「各縣市執行空氣品質改善維護計畫之成效彙整分析及協助考評工作推動計畫」期末報告。
14. 環保署，2006，「空氣污染防制費徵收執行績效暨策略方向調整評析」期末報告。
15. 環保署，2007，「固定污染源空氣污染防制費查核、分析暨連續自動監測設施查核比對計畫」期末報告。
16. 環保署，2007，「固定污染源空氣污染防制費申報資料建檔、初審、帳目核對暨分析計畫」期末報告。
17. 環保署，2007，「揮發性有機空氣污染物管制(含收費制度)研訂、推動及檢討計畫」。
18. 中鼎工程有限公司，1998，「揮發性有機物空氣污染管制及排放標準」。
19. 環保署，1997，「固定污染源空氣污染相關管制法規彙編」。
20. 經濟部工業局，2002，「總量管制空氣污染物削減技術手冊」。
21. 新竹市環保局，2008，「專案計畫統計」。
22. 溫盛淼，2010，「能源耗用對台灣數位遊戲產業經營績效影響之研究－資料包絡分析法的應用」，國立台北大學，自然資源與環境管理研究所碩士論文。
23. 洪海玲，2002，「以資料包絡分析法作製造業之營運效率分析」，國立成功大學工業管理研究所 碩士論文。
24. 謝維晃，2007，「能源耗用量對台灣國際觀光旅館業經營績效影響之研究-資料包絡分析法的應用」。國立台北大學，自然資源與環境管理研究所 碩士論文。
25. 歐陽國舜，2001，「資料包絡分析法評估物流業經營績效之研究」，逢甲

大學工業工程研究所 碩士論文。

26. 孫遜，2004，「資料包絡分析法－理論與應用（Data Envelopment Analysis－Theory and Application）」，揚智文化出版社。
27. 林秀銘，2007，「以濕式洗滌塔處理印刷電路板產業中乾膜及印刷製程揮發性有機物效率之探討」，國立中央大學環境工程研究所 碩士論文。
28. 童怡璇，2004，「台灣電子業技術效率分析－三階段資料包絡分析法之應用」，國立中央大學產業經濟研究所 碩士論文。
29. 楊智強，2009，「台灣 22 縣市之效率評估－Undesirable Output 之應用」東吳大學經濟研究所 碩士論文。
30. 蘇建州，2001「鋼鐵業自願性節約能源之績效評估研究－DEA 方法的應用」。國立台北大學，自然資源與環境管理研究所 碩士論文。
31. 高強、黃旭男、Toshiyuki Sueyoshi，2003，「管理績效評估－資料包絡分析法」，華泰出版社。
32. 陳澤義，2005，「科技管理：理論與應用」，華泰出版社。
33. 台東縣環境保護局，2008，「固定污染源稽查管制暨空污費徵收催補繳計畫」期末報告。
34. 環保署，2007，「固定污染源揮發性有機物自廠排放係數建置及規範要點」簡報。
35. 張四立、吳銘峰，2000，「國內產業部門能源效率指標之因素分解分析」，資源經濟、管理暨系統分析學術研討會。
36. 吳濟華、何柏正，2008，「組織效率與生產力評估」資料包絡分析法，前程文化事業有限公司。
37. 陳明華，2004，「應用 DEA 評估國民中學經營效率之研究-以高雄市為

例」，國立中山大學經濟研究所 碩士論文。

38. 張石柱等，2004，「以策略觀點探討新舊銀行之經營效率——結合平衡計分卡及資料包絡分析法」，當代會計第五卷第二期。
39. 楊智強，2009，「台灣 22 縣市之效率評估—Undesirable Output 之應用」，東吳大學經濟學系 碩士論文。

## (二) 西文文獻

1. 9. Banker R.D., Charnes A. and Cooper W. W.,(1984), "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis", Management Science, Vol. 30, No. 9, pp1078~1092.
2. Baumol, William J. and Oates Wallace E., The Theory of Environmental Policy, Cambridge University Press, 1988.
3. Charnes, A., W. W. Cooper and E. Rhodes, (1978), "Measuring the Efficiency of Decision Making Units", European Journal of Operational Research, Vol. 12, No. 6, pp429~444.
4. Charnes, A., Cooper, W. W., Lewin, A. Y., Morey, R. C. and Rousseau, J., (1985), "Sensitivity and Stability Analysis in DEA", Annals of Operations Research 2, pp139~156.
5. Charnes, A. and Neralic, L. (1989), "Sensitivity Analysis in Data Envelopment Analysis 1", Glasnik Mathematicki, 24(44), pp211~226
6. Farrell, M. J., (1957), "The Measurement of Productive Efficiency", Journal of the Royal Statistical Society, Series A, General, Vol. 120, part3, pp253~281.
7. Forsund, F. R. and Hjalmarsson, L., (1979), "Generalised Farell Measures of Efficiency: An Application to Milk Processing in Swedish Dairies", Economic Journal 89, pp249~315.
8. Farell, M. J. (1957), "The measurement of productive efficiency," Journal of

the Royal Statistical Society Series A Part III, pp. 253-290.

9. Färe, R., Shawna Grosskopf, C. A. K. Lovell, and Carl Pasurka (1989), “Multilateral Productivity Comparisons when Some Outputs are Undesirable: a Nonparametric Approach,” *Review of Economics and Statistics*, 71, 90-98.
10. Färe, R., S. Grosskopf, M. Norris and Z. Zhang (1994), “Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrialized Countries,” *The American Economic Review*, Vol. 84, No. 1, pp. 66-83.
11. Golany, B. and Y. Roll (1989), “An application procedure for DEA,” *Omega*, 17(3), pp. 237-250.
12. Pittman, R.W. (1983), “Multilateral Productivity Comparisons with Undesirable Outputs,” *The Economic Journal*, 93, 883-891.
13. Ron, J., “Commentary on ‘Determining Transfer Efficiency and VOC Emissions’,” *Metal Finishing*, 1993, Jun, 79.

### (三) 網路資料

1. 行政院環境保護署，空氣品質改善維護資訊網  
<http://taqm.epa.gov.tw/taqm/zh-tw/default.aspx>
2. 行政院環境保護署，空氣品質監測網  
<http://air.epa.gov.tw/Public/control-11.aspx>
3. 行政院環境保護署，環保專案查詢系統  
<http://epq.epa.gov.tw/mp.aspx>
4. 行政院環境保護署，環保法規  
<http://w3.epa.gov.tw/epalaw/>
5. 行政院環境保護署，固定污染源管制  
<http://stationary.estc.tw/meat.asp?ctNode=496>

6. 行政院主計處網站

<http://www.dgbasey.gov.tw/>

7. 中華民國統計資訊網

<http://www.stat.gov.tw/>

8. Air Quality management district

<http://www.aqmd.gov/>



## 著作權聲明

論文題目：揮發性有機物空污費的減量效率評估－以印刷業為例

論文頁數：104 頁

系所組別：自然資源與環境管理研究所

研 究 生：周玉娟

指導教授：張四立 博士

畢業年月：2011.8

本論文著作權為周玉娟所有，並受中華民國著作權法保護。

