

嘉南藥理科技大學專題研究計畫成果報告

以乘數效應評量台灣地區產業能源與 CO₂ 之關連分析

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：CNEV92-30

執行期間：92 年 1 月 1 日至 92 年 12 月 31 日

計畫主持人：張翊峰

共同主持人：

計畫參與人員：洪春守

執行單位：環境工程與科學系

中華民國 93 年 2 月 27 日

摘要

本文以投入產出結合乘數分析探討 1999 年台灣地區產業的能源與 CO₂ 之關連效應，並以群落分析法將產業之前後關連效果及乘數效應予以歸類。由於乘數分析可一併考量產業對能源耗用及環境污染所引起的直接與間接的效果，較一般的能源或污染密集度更適合作為評鑑產業的能源效益及污染強度的方法。其中，其他化工原料、石化原料、陸上運輸、水泥業及鋼鐵等產業的能源效益最差，即這些產業所需的直接與間接單位能源需求量最大。而能源乘數較高的產業通常其 CO₂ 污染乘數亦高，包括其他化工原料、水泥、陸上運輸、鋼鐵及其他非金屬等產業之 CO₂ 乘數較高。而由群落分析亦可顯示，其他化工業與水泥業之污染乘數及能源乘數皆甚高，屬於典型的高耗能、高污染產業，且產業關聯效果歷年來有降低趨勢，未來宜限制或縮減其產業規模，尤其水泥業產值與耗能比例偏低，不宜在國內繼續擴充。

一、前言

由於能源使用與產業發展及污染物排放有相當複雜的互動關係，若單是考量某一產業的能源耗用或污染排放量作為改善依據，並無法完全分析各產業與能源及環境系統間的關聯性，因為在產業發展過程中除需要能源的投入外，其他生產要素常需相關產業的直接或間接的配合生產。本研究先以能源與污染乘數分析 1999 年台灣地區產業能源耗用與污染排放量的關聯性，再以綜觀的角度探討目前各產業發展時對能源及環境所帶來的衝擊，其目的為提供相關單位及企業界探討各產業發展之能源耗用及環境污染的特性，作為規劃改善高耗能、高污染性產業的參考。

二、研究方法

Wright 於 1974 年引入能源乘數(energy multiplier)的觀念，定義直接能源係數為商品的能源成本，並比較此種投入產出分析方法的優缺點。Miller 及 Blair 以投入產出的架構，應用能源乘數與污染乘數的觀念，分析能源使用與環境污染及經濟結構之間的關係。Breuil 以投入產出分析法 1986 至 1989 年 SO₂ 及 NO_x 的排放量，並與一般污染推估模式作比較。Huang 將現行環境投入產出分析模式分為三大類，並建立環境之工業商品模型(Commodity-by-industry model)應用在區域固體廢棄物之減量規畫。國內相關的研究，王塗發曾就投入產出分析方法的類型，對產量、所得及就業乘數及關聯分析

做詳細介紹，並以台灣地區作實證分析。許志義等以投入產出法求算台灣地區能源及所得乘數，並藉以探討台灣地區能源消費與產業發展的關係，其中各產業的直接能源係數為使用權數推估而得，與由實際各產業能源耗用所得之能源係數有所不同。林素貞等利用乘數及群落分析為架構，評估我國主要產業油品耗用與環境污染的關聯性。

由於產業的直接係數並未包括產業在發展過程中對帶動相關產業引起的能源耗用與污染排放的間接衝擊，故需要以乘數分析顯示產業對能源與污染排放的直接與間接衝擊。本研究的目的即是將能源及環境的考量引入投入產出分析架構中，以逆矩陣 $(I-D)^{-1}$ 為基礎，求算整體產業之「能源乘數」及「污染乘數」並加以分析探討。在此研究中，乘數 M_j 代表 j 產業最終需求變動一單位時，所引起的能源或污染的總變動效果，包括直接效果、第二次、第三次……等所有產業配合 j 產業增產時所造成的效果變動量，可用下式表示：

$$M_j = R(I - D)^{-1} = \sum_{i=1}^n (r_i \times b_{ij}) \dots \dots \dots (1)$$

其中， r_i ： i 產業單位產值的能源耗用或污染排放量。

b_{ij} ：為 $(I-D)^{-1}$ 矩陣中之元素。

以下就能源及污染乘數效果的定義及算法簡述如下。

1. 能源乘數

$$EM_i = E_i(I - D)^{-1} \dots \dots \dots (2)$$

其中

E_i : $1 \times n$ 階之*i*能源直接係數向量，向量內各元素單位為 10^7 千卡/新台幣百萬元。
 EM_i : $1 \times n$ 階之*i*能源乘數向量，向量內各元素單位為 10^7 千卡/新台幣百萬元。
 $(I-D)^{-1}$:以國產品交易表為基礎所求得之里昂提夫逆矩陣。

上述 E_i 向量內各元素代表各產業之“能源直接係數”，是以各產業每年*i*能源最終消費量分別除以各產業當年國內生產總值而得，定義為某產業單位產出所需*i*能源最終消費量； EM_i 向量係以 E_i 乘上 $(I-D)^{-1}$ 所得，其內之各元素代表各產業之“能源乘數”，定義為某產業產品最終需求變動一單位時，所導致*i*能源最終消費之總變動量，即包括直接與間接的波及效果，與能源直接係數僅包含直接效果有所差異。

2. 污染乘數

$$PM_j = P_j(I-D)^{-1} \dots \dots \dots (3)$$

其中

P_j : $1 \times n$ 階之*j*污染物直接係數向量，向量內各元素單位為公噸/新台幣百萬元。
 PM_j : $1 \times n$ 階之*j*污染物乘數向量，向量內各元素單位為公噸/新台幣百萬元。
 $(I-D)^{-1}$:以國產品交易表為基礎所求得之里昂提夫逆矩陣。

上述 P_j 向量內各元素代表各產業之“污染直接係數”，是以各產業每年*j*污染物產生量分別除以各產業當年國內生產總值而得，定義為某產業單位產出的*j*污染物產生量，本研究所討論的污染物種類包括CO₂等三種； PM_j 向量係以 P_j 乘上 $(I-D)^{-1}$ 所得，其內之各元素代表各產業*j*污染物之“污染乘數”，定義為某產業產品最終需求變動一單位時，所導致*j*污染物產生之總變動量，包括直接與間接的波及效果，與污染直接係數僅包含直接效果有所差異。

三、資料來源及處理

(一) 產業及能源分類

產業資料主要依據主計處編印1999年「臺灣地區產業關聯表」；而各產業的能源消費資料來自能委會的「臺灣能源平衡表」。為使產業及環境資料與能源平衡表的產業分類能取得一致，本研究將產業關聯表原有的160部門，參照能源平衡表的分類，歸納為34個產業作為分析的基礎。各產業

消費的能源資料，主要依據能源平衡表歸類方式分為煤及其產品、原油及其產品、天然氣及電力四大類來探討。

(二) 產業社經資料

模式中產業附加價值率為依據產業關聯表獲得，整體產業的GDP目標則依據經建會的國內生產毛額(2010年)的預測值。國產品投入係數(D)以88年臺灣地區產業關聯表作為基礎，再依據工業局的「產業政策白皮書」及能委會的「台灣地區整體能源計畫」，針對各個產業年平均成長率所做的預測，以RAS法推估2010年的產業投入係數矩陣(D)，代入模糊目標模型中進行模擬。

(三) 能源及 CO₂ 資料

各產業的能源投入係數依能源平衡表，綜合歸併為煤品、油品、天然氣、電力等四項，再除以產業關聯表得到的各產業的生產總值，即可得模式求算各產業的能源投入係數。能源供給上下限訂定取決於當達到GDP最大化目標或CO₂排放最小化目標時，當時的能源供給量作為極大或極小值。各產業CO₂的推估則依據IPCC的推估方法為準。

四、結果與討論

1. 產業能源乘數分析

能源乘數為產業最終需求增加一單位(以台幣一百萬元計)時，該產業直接與間接所需投入的能源(單位為 10^7 Kcal)，此值可代表該產業的能源使用效益，由式(9,10)可知影響乘數的關鍵因素包括：(1)能源直接係數(r_i): 產業本身單位產值的能源使用量，(2)乘數間接效果(): 為目標產業*j*向後關聯誘發所有產業的間接能源投入量。

表1列出1999年各產業能源係數及乘數的分析結果，能源乘數最高的前六位產業依次為其他化工原料業、石化原料業、陸上運輸、水泥業、鋼鐵業及人造纖維業，顯示這些產業的能源總密集度相當高，即其能源效益在所有產業中列為倒數前六位者，而能源乘數最低的產業為倉儲通信業，其次為其他服務業、商品買賣業、電機業及電力供應業等。

由表3亦可看出能源乘數的排序與能源直接係數不盡相同，如其他非金屬礦物品及油氣煉製業的能源直接係數由排序第

五位及第六位下降為能源乘數的第八及第十位，主要因為乘數間接效果降低所致。而石化原料業、鋼鐵業及人纖業則因間接效果較高，使乘數排序上升，故若考量產業發展所帶動的間接能源投入效果，這些產業的能源效益有惡化的趨勢。以石化原料業為例，1999年的能源直接係數排名為第三位，而能源乘數排名提高為第二位，原因是石化原料業乘數之間接效果較高所致，而分析其間接效果的組成因素，由表4可知，石化原料業向後關聯係數向量中顯示，除本身配合的關聯度最高外，需要油氣煉製業投入量最高(0.15)，其次為電力供應業(0.08)、其他服務業(0.058)、其他化工原料業(0.04)、商品買賣業(0.031)。若進一步考量各產業的能源直接係數後，表4顯示乘數間接效果投入比例最高的產業依次為石化原料業本身(佔總間接效果69.4%)、油氣煉製業(13.9%)、其他化工原料(10.7%)、陸上運輸(2.5%)及鋼鐵業(0.7%)，而電力供應業、其他服務業及商品買賣雖然為主要支持石化原料業發展的重要產業，但因其直接係數甚低，故所佔的間接效果比例亦相當低。

另外，營造工程業的能源直接係數排位為倒數第二，而其乘數排名躍至第十三位，主因為此產業所需的中間投入極大(影響度排名第二位)，由於帶動其他產業的增產，故增加能源的間接投入量。同理，印刷業、機械業、非鐵金屬業、皮革及其製品及運輸工具業等為能源係數排位較低的產業，即直接能源效益較高，然經能源乘數評量後，其總能源效益的排名皆有惡化的趨勢。

由以上結果顯示，以能源乘數分析的方法計算各產業的直接與間接能源效應，可用來評鑑不同產業的能源總效益之優劣，進一步可提供產業發展與能源需求規劃之資訊。

2. 產業污染乘數分析

污染乘數為產業最終需求增加一單位(以台幣一百萬元計)時，該產業直接與間接影響所產生的污染量(單位為公噸)，此值可代表該產業的總環境效益。影響污染乘數的因素包括污染直接係數及污染間接效

果兩項，前者為產業增產一單位產品時使用能源所排放的污染物，後者為相關產業因受此產業帶動增產，而投入更多的原料及能源所產生的污染物，這些相關產業所產生的污染量即可視為此產業的間接污染效果，故以污染乘數計算產業的污染量較直接污染排放量更能代表該產業的污染強度。以下重點分析本研究擇定之污染物(CO₂)的乘數結果：

由表1顯示1999年CO₂乘數排名前六名的產業分別為其他化工原料、水泥業、陸上運輸、鋼鐵業、其他非金屬礦物製品及造紙業，與CO₂直接係數相比較，其他化工原料皆名列首位，其他各產業由於間接效果略有不同，而使排序互換。若就溫昇效應而言，可顯示這六個產業無論由直接係數分析或乘數分析皆為對CO₂排放影響最大的產業。以其他化工原料業為例，由表顯示，發展其他化工原料業除產業本身配合外，依序需電力供應業(0.129)、其他服務業(0.093)、石化原料業(0.085)、油氣煉製業(0.054)及商品買賣(0.044)等產業的投入。若考慮各產業污染直接係數後，投入其他化工原料業CO₂乘數間接效果投入的比例最高者為產業本身再配合投入(62.7%)、其次為石化原料業(9.3%)、油氣煉製業(6.9%)、陸上運輸(6.8%)及電力供應業(4.5%)等，其中陸上運輸業由於其直接係數甚高，故雖然其對其他化工業的向後關聯排序為第七位，但因其污染直接係數甚高，故當其配合水泥業增產時，使水泥業CO₂乘數間接效果佔有率大幅增加，這種情形亦發生在其他需要陸上運輸配合生產的產業。而電力供應業、其他服務業及商品買賣業則因直接係數甚低，故所提供的間接效果亦相對減少。

同理，由表1顯示CO₂效益較佳的產業與前面探討能源較佳的產業十分類似，包括倉儲通信、其他服務、商品買賣及電機業等，而營造工程及機械業等亦因間接效果使乘數排序大幅上升，顯示此二產業為向後關聯度較高的產業。

五、結論及建議

能源為各種產業發展時所需的生產要素之一，能源耗用量及污染排放與產業的

結構及產業的關聯性有相當複雜的互動關係，而產業乘數分析可定量分析產業對能源耗用及環境污染所引起的直接與間接的效果，比較一般的能源密集度或污染排放量更適合作為評估產業的能源效益及污染強度的工具。由研究結果得知，其他化工原料、石化原料、陸上運輸、水泥業、鋼鐵業及人造纖維等產業的能源效益最差，即這些產業所需的直接與間接單位能源需求量最大。就環境觀點而言，本研究由於以能源使用的污染排放量作分析重點，故能源乘數較高的產業通常其CO₂污染乘數亦高，前六位者包括其他化工原料、水泥、陸上運輸、鋼鐵、其他非金屬及造紙業等產業。

氣候變遷問題為目前全球關注的環境問題，國際趨勢顯示，朝向低耗能、低污染及高附加價值的產業發展為各國努力的方向，為順應國際情勢及提昇國內產業能源與環境效益，產業升級與結構調整不容遲疑。有關單位對於高附加價值、低污染及低耗能的產業宜加強輔助，增加其產業配比；對於高耗能、高污染的上游型產業應列為優先改善對象，因其改善的效益最大。另外，對於高耗能、高污染且其前後關聯度較差之產業，則須適度削減其產業配比及加強污染防治措施，以有效控制其對相關產業的不良能源與環境的波及效應。

參考文獻

1. Wright, D., "Energy Budgets 3 Goods and Services: An Input-Output Analysis", *Energy Policy*, 2(4), p.307-315(1974).
2. Miller, Ronald E and Blair, Peter D., *Input- Output Analysis Foundation and Extension*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliff, New Jersey(1985).
3. Breuil, J.M., "Input-Output Analysis and Pollutant Emissions in France", *The Energy Journal* 13(3), p.173-184(1992).
4. Huang, G.H., Anderson, W.P. and Baetz, B.W., "Environmental Input-output Analysis and its Application to Regional Solid-waste Management Planning", *Journal of Environmental Management* 42, p.63-79(1994).
5. 王塗發,「投入產出分析及其應用—台灣地區實證研究」,台灣銀行季刊,第三十七卷,第一期,p.186-218(1986)。
6. 許志義,劉彩雲,「台灣地區能源消費與經濟成長之投入產出分析」,能源季刊,p.1-20(1989)。
7. 林素貞,呂信賢,張翊峰,「能源與環境政策分析—以石油消費結構對污染排放量影響為例探討產業發展策略」,中國環境工程學刊,第四卷第二期,p.89-98(1994)。
8. 行政院主計處,「中華民國八十年台灣地區產業關聯表(一五〇部門)」(1995)。
9. 行政院主計處,「中華民國行業標準分類」(1991)。
10. 經濟部能源委員會,「中華民國八十三年台灣能源平衡表」(1994)。
11. *Compilation of Air Pollution Emission Factors*, (AP-42), Fourth Edition(Includes Supplement A, Supplement B & Supplement C), U.S.EPA(1985).
12. 林素貞,「擬訂我國減緩溫室效應行動方案先期作業—數國行動方案之資料整理及資料庫建立」,行政院環境保護署(1995)。

表 1 1999 年臺灣地區各產業能源及污染乘數分析結果

| | 能源係數 | 排序 | 能源乘數 | 排序 | CO2 係數 | 排序 | CO2 乘數 | 排序 |
|-----------------------|-------|----|-------|----|--------|----|--------|----|
| 1.農林漁牧業 | 2.71 | 15 | 5.56 | 21 | 9.40 | 16 | 18.89 | 23 |
| 2.能源礦業 | 1.10 | 24 | 3.82 | 27 | 4.29 | 24 | 13.10 | 28 |
| 3.食品煙酒業 | 1.29 | 22 | 5.15 | 24 | 5.08 | 22 | 18.20 | 25 |
| 4.紡織及成衣服飾業 | 2.75 | 14 | 9.92 | 12 | 11.45 | 13 | 33.42 | 13 |
| 5.皮革及其製品 | 0.56 | 29 | 3.78 | 28 | 2.28 | 30 | 12.85 | 29 |
| 6.木竹製品 | 0.74 | 26 | 3.46 | 29 | 3.90 | 26 | 12.62 | 30 |
| 7.造紙業 | 7.81 | 8 | 14.05 | 9 | 30.74 | 6 | 53.24 | 6 |
| 8.印刷業 | 0.28 | 34 | 5.20 | 23 | 1.39 | 33 | 19.23 | 21 |
| 9.油氣煉製業 | 11.84 | 6 | 13.05 | 10 | 30.55 | 7 | 34.26 | 12 |
| 10.煤製品業 | 3.96 | 11 | 6.26 | 18 | 20.82 | 10 | 28.90 | 15 |
| 11.石化原料業 | 28.79 | 3 | 41.60 | 2 | 25.68 | 9 | 45.84 | 8 |
| 12.塑膠原料業 | 4.84 | 10 | 18.81 | 7 | 20.66 | 11 | 39.41 | 9 |
| 13.人造纖維 | 6.17 | 9 | 19.77 | 6 | 27.16 | 8 | 51.97 | 7 |
| 14.塑膠製品 | 1.33 | 20 | 8.50 | 14 | 5.72 | 20 | 23.67 | 18 |
| 15.橡膠製品 | 3.28 | 12 | 10.42 | 11 | 12.89 | 12 | 35.31 | 11 |
| 16.其它化工原料 | 34.45 | 1 | 43.22 | 1 | 117.96 | 1 | 141.67 | 1 |
| 17.化學製品 | 1.97 | 16 | 8.35 | 15 | 9.01 | 17 | 24.94 | 17 |
| 18.水泥業 | 21.11 | 4 | 32.45 | 4 | 85.20 | 3 | 127.86 | 2 |
| 19.其他非金屬礦物製品 | 12.47 | 5 | 17.32 | 8 | 43.19 | 4 | 59.20 | 5 |
| 20.鋼鐵業 | 11.19 | 7 | 19.85 | 5 | 40.80 | 5 | 72.06 | 4 |
| 21.非鐵金屬業 | 0.62 | 28 | 5.45 | 22 | 2.36 | 28 | 19.34 | 20 |
| 22.金屬製品業 | 1.53 | 19 | 8.00 | 16 | 7.60 | 19 | 30.39 | 14 |
| 23.機械業 | 0.44 | 30 | 6.94 | 17 | 2.31 | 29 | 25.44 | 16 |
| 24.電機業 | 0.41 | 32 | 3.09 | 31 | 2.01 | 31 | 11.02 | 31 |
| 25.運輸工具 | 0.44 | 31 | 4.77 | 26 | 2.00 | 32 | 17.13 | 26 |
| 26.雜項製品 | 1.33 | 21 | 5.92 | 19 | 4.58 | 23 | 19.15 | 22 |
| 27.電力供應業 ³ | 1.54 | 18 | 3.41 | 30 | 8.32 | 18 | 14.35 | 27 |
| 28.自來水及煤氣供應業 | 1.85 | 17 | 4.95 | 25 | 10.33 | 14 | 20.96 | 19 |
| 29.營造工程 | 0.31 | 33 | 9.81 | 13 | 1.09 | 34 | 35.85 | 10 |
| 30.陸上運輸及運輸服務 | 30.95 | 2 | 33.85 | 3 | 91.05 | 2 | 99.56 | 3 |
| 31.其它運輸 | 2.83 | 13 | 5.73 | 20 | 9.42 | 15 | 18.40 | 24 |
| 32.倉儲通信業 | 0.82 | 25 | 1.76 | 34 | 3.97 | 25 | 7.18 | 34 |
| 33.商品買賣 | 1.15 | 23 | 2.66 | 32 | 5.68 | 21 | 10.67 | 32 |
| 34.其他服務業 | 0.69 | 27 | 2.23 | 33 | 2.85 | 27 | 8.11 | 33 |