

臺灣化學材料製造業能源效率變動趨勢分析

吳大任^{1*} 歐冠昕²

摘要

本研究從生產理論的觀點，以資料包絡分析法(DEA)與Hu & Wang (2006)提出的總要素能源效率指數(TFEE)等模型分析1990年至2012年臺灣化學材料製造業之能源效率發展趨勢與改善潛力。研究結果發現化學材料製造業的能源結構以電力為主，研究期間約維持在總能源使用的50-60%之間，對於原油及石油的使用皆呈現遞減趨勢。以傳統能源效率模型、DEA模型、與TFEE模型為基礎之實證結果發現，各種模型在整體研究期間而言所估計出的趨勢大致相同，皆呈現遞增趨勢，顯示臺灣化學材料製造業的能源效率確實隨著時間而改善。

關鍵詞：能源生產力、傳統能源效率、資料包絡法、總要素能源效率

1. 緒論

隨著經濟快速發展，能源供給是國家經濟發展的關鍵資源，也是推動企業成長最重要的生產投入要素。事實上，已有研究顯示能源消費與經濟成長間呈現正向關係(Abosedra *et al.*, 2009; Narayan *et al.*, 2010)。能源節約提供有形與無形的技術進步和生產力成長(Berndt, 1990; Narayan & Wong, 2009)。但與此同時，能源的開發與利用亦常常帶來環境面的負效果，例如溫室氣體等環境問題的主要來源(Herring, 1999; Jinke *et al.*, 2008; Miketa & Mulder, 2005; Sari & Soytas, 2009)。而能源安全的疑慮尤其在日本311福島核災事件發生後讓全球更重視能源使用安全這項課題。

在電力的供給結構中，主要可分為基載、中載、尖載等三個部分。基載為可全天候持續運轉，提供穩定且低成本之電力(如煤、核能)；中載電源須兼具可穩定供電，可直接受調

度的特性(如燃氣)；尖載具起停快速特性(如再生能源)等。核能為臺灣能源供給基載的基礎設施，相對於燃煤發電而言較能達到環保減碳的訴求，也是較穩定的電力供給來源，因此面對未來核一、核二、核三廠的除役，讓政府在面對核能安全議題與停建核四及非核家園之訴求時，遲遲無法允諾。

降低CO₂排放為全球共同的責任與義務，亦影響各國產品碳足跡與產業國際競爭力，因此為達成國際減碳承諾，主要國家皆將之列為重點能源政策。自1973年第一次石油危機以來，許多已開發國家紛紛提出改善能源效率與減少能源消費的相關政策(Geller *et al.*, 2006)。雖然各國制定的政策秉持在不損害經濟體績效前提下改善能源使用效率，有些可能是不切實際或不理想的(Tolón-Becerra *et al.*, 2010)，尚待未來的研究檢驗。但可以確定的是能源效率的改善會是這些政策目標之間所必須共同做的努力，歐洲聯盟委員會指出提高能源效率將會減

¹ 國立中央大學經濟學系教授

² 國立中央大學產業經濟研究所碩士

*通訊作者, 電話: 03-4227151#34701, E-mail: drwu@mgt.ncu.edu.tw

收到日期: 2014年11月13日

修正日期: 2015年03月26日

接受日期: 2015年04月23日

少溫室氣體的排放、提高能源的穩定性、降低能源成本並增強經濟體的競爭力。而Boyd & Pang (2000)指出改善能源效率決定於總要素生產率的改善。Blomberg *et al.* (2012)與Clinch *et al.* (2001)將能源效率定義為能源是否反映出被有效使用。

近年來臺灣在經濟高度發展的帶動下，能源消費量大幅增加，臺灣地區自產能源向來十分匱乏，對外依存度很高。為了因應國際間能源供給的不確定性以及減少能源短缺所將導致的衝擊，充分掌握能源消費變動與使用效率遂成為重要課題。而了解產業目前對於能源的使用概況，更是當務之急。張四立和謝維晃(2009)以臺灣非製造業能源查核資料為基礎，應用系統性分析方法，建構我國商業與服務業部門之能源效率指標因素分解分析與DEA評估模型，並據以進行2004年至2008年間臺灣非製造業部門之節能績效與節能潛力的估計。應用因素分解法之研究結果顯示，1982年至2007年臺灣能源密集度(能源消費量/GDP)最低的業別為「批發及零售業」與「金融保險及不動產業」。DEA模型之研究結果顯示，「醫療保健及社會工作服務業」的效率歷年均較高；而「批發及零售業」最低、其次為「不動產業」、及「公共行政及國防業」。

梁弘(2011)使用迪氏指數因素分解法與DEA探討2003年至2008年臺灣服務業之能源效率。迪氏指數因素分解法將經濟面能源密集度指標中的各產業之附加價值變動、產業結構變動拆解出來，以觀察研究期間整體和各部門之能源效率；DEA和統計分析則進一步討論研究期間服務業各業別在能源使用上之特性和各業別的相關節能潛力。研究發現服務業能源效率有所提升，主要是物理面能源密集度改善與附加價值提升所造成，而能源價格是物理面能源密集度降低的主因。而能源價格調漲對服務業能源密集度的下降雖有助益，但仍須配合管

制，才能更有效的提升該業別的能源效率，如最低電器能源效率標準的訂定和能源效率分級制度的建立等。

Fang *et al.* (2013)使用投入導向變動規模報酬-資料包絡分析法(VRS-DEA)，評估2001年至2008年期間臺灣服務部門的純技術效率(PTE)、總要素能源效率(TFEE)和經環境調整後總要素能源效率(EATFEE)。研究發現最有能源效率的服務產業是金融、保險及不動產部門，其中平均TFEE為0.994和EATFEE為0.807，兩者皆得到服務部門中的最高分。最後以EST (Energy-Saving Target)為應變數，利用隨機效果Tobit迴歸模型檢驗能源效率中資本-勞動比率假說。研究發現服務產業有過度使用能源的狀況；在資本-勞動比率方面有顯著的正效果顯示臺灣高技術服務業使用無效率耗能設備，導致能源使用無效率。而時間趨勢變數對EST有顯著的負效果，顯示隨著臺灣服務部門的資本投資，過度使用能源的狀況也隨著節能技術的發展而下降。

我國農業、工業、運輸業、服務業四大部分門中以服務業之GDP比重最高，其次是工業、運輸業、農業。然而，以經濟部能源局所出版之「臺灣能源平衡表-C類」為基礎之資料顯示，工業部門的能源耗用情況佔了總能耗的一半左右。而工業部門裡，於2000年以來佔臺灣能源耗用10%以上的能耗部門依序為化學材料製造業、電腦通信及視聽電子產品製造業³與基本金屬製造業(表1)。因此本研究特別針對化學材料製造業，採用傳統能源效率分析法、資料包絡分析法(Data Envelopment Analysis, DEA)與總要素能源效率法(Total Factor Energy Efficiency, TFEE)進行分析，並與電腦通信及視聽電子產品製造業與基本金屬製造業兩大耗能產業比較，希望深入瞭解臺灣化學材料製造業的能源使用效率趨勢與改善情況。

³ 能源平衡表之產業分類將電腦、電子製品及光學製品製造業與電子零組件製造業合併為電腦通信及視聽產品製造業

表1 2012年佔能源消費量10%以上之產業，前三大能源消費產業時間趨勢表

年度	化學材料製造業	金屬基本製造業	電腦通信及視聽電子產品製造業
1990	0.188	0.135	0.046
1991	0.184	0.136	0.047
1992	0.194	0.140	0.046
1993	0.192	0.147	0.048
1994	0.199	0.143	0.050
1995	0.203	0.145	0.057
1996	0.206	0.142	0.063
1997	0.201	0.162	0.072
1998	0.207	0.177	0.083
1999	0.214	0.168	0.100
2000	0.237	0.162	0.117
2001	0.256	0.153	0.125
2002	0.262	0.152	0.133
2003	0.264	0.151	0.135
2004	0.270	0.154	0.146
2005	0.267	0.147	0.167
2006	0.276	0.149	0.175
2007	0.296	0.143	0.181
2008	0.282	0.142	0.199
2009	0.297	0.132	0.204
2010	0.289	0.146	0.205
2011	0.274	0.150	0.212
2012	0.272	0.146	0.219

資料來源：經濟部能源局 臺灣能源平衡表

2. 臺灣化學材料製造業

根據行政院主計處第九版「中華民國行業標準分類」及經濟部第十五版「工業產品分類」，化學材料製造業之主要類別定義與相關產業分類如表2所示。

以2006年為基期(2006=100)所估計的生產量指數趨勢顯示(圖1)，臺灣化學材料製造業除了2008年與2011年分別受到金融風暴與歐洲債信危機的影響，而略顯衰退疲態外(分別較前年同期衰退度達6.882%、6.542%)，整體而言，在1990至2012年研究期間呈現持續上升的趨勢。

其中六個小業別裡又以人造纖維製造業的波動幅度最大，其次是肥料製造業，都呈現明顯先增後降的趨勢(如圖2)。人造纖維製造業由研究期間1990年的76.67快速竄升到2002年的156.43最高點，後再衰退至2012年的99.04。而肥料製造業則由1990年研究期間起始的98.03到1997年達到最高點118.63後於2012年衰退至92.32。其餘四個小業別雖然在研究期間亦也起伏，但整體而言呈現上升趨勢，基本化學材料業由1990年的31.98至2012年的103.51，增幅達

表2 化學材料製造業之行業定義與產品定義

業別	行業定義	產品分類
基本化學材料製造業	從事以化合、分解、分餾、蒸發、萃取等物理或化學反應方法產生基本化學原料之行業。	化學元素及工業氣體類、無機酸類、氫氧化合物類、氧化物類、硫酸化合物類、其他金屬及無機鹽類、有機原料類、再生能源類、電子化學材料類、其他雜項
石油化工原料製造業	從事以石油或天然氣產製石化基本原料及中間產品之行業。	無環烴(烷烴、烯烴、炔烴)、烴衍生物、環氧化物及醚類、醛酮化合物、醇化合物、酚及化合物、有機酸酸酐及其酯類、合成胺及脲化合物、其他石油化工原料
肥料製造業	從事以化學方法製造化學肥料與土壤改進劑等行業。有機肥料之製造亦歸入本類。	複合肥料、微生物肥料、有機肥料
合成樹脂及塑膠製造業	從事合成樹脂及塑膠製造之行業。	熱可塑性塑膠、熱固性樹脂、其他合成樹脂、工程塑膠
合成橡膠製造業	從事以化學合成方法製造合成橡膠或彈性物質之行業。	合成橡膠業
人造纖維製造業	從事以化學方法製造合成或再生纖維棉及絲之行業。	合成纖維、再生纖維、碳纖維

資料來源：行政院主計處第九版「中華民國行業標準分類」；經濟部第十五版「工業產品分類」

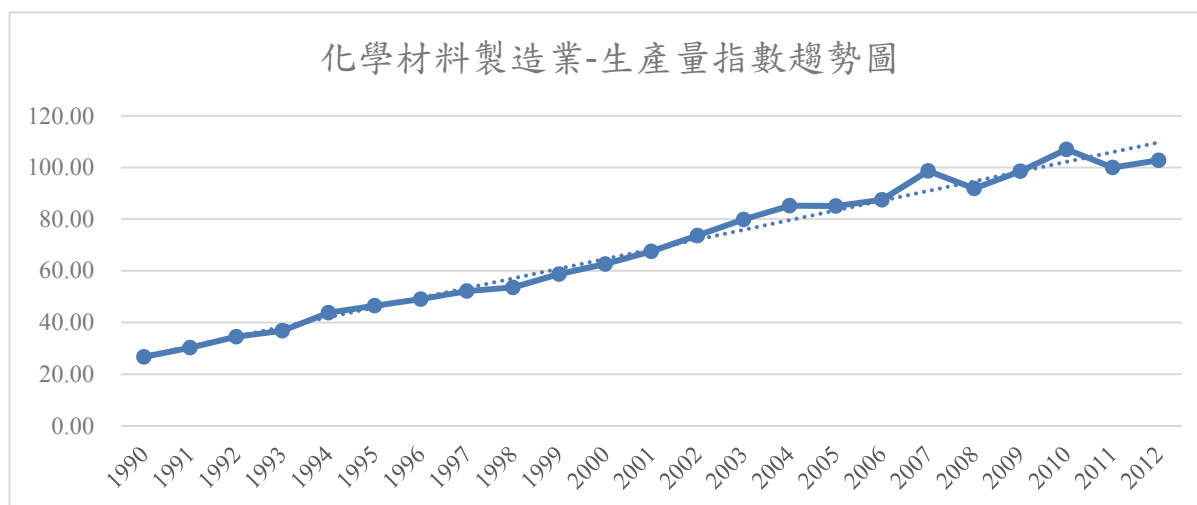


圖1 化學材料製造業—生產量指數趨勢圖

資料來源：經濟部統計處「工業產銷存動態調查(業別統計)」，本研究繪製

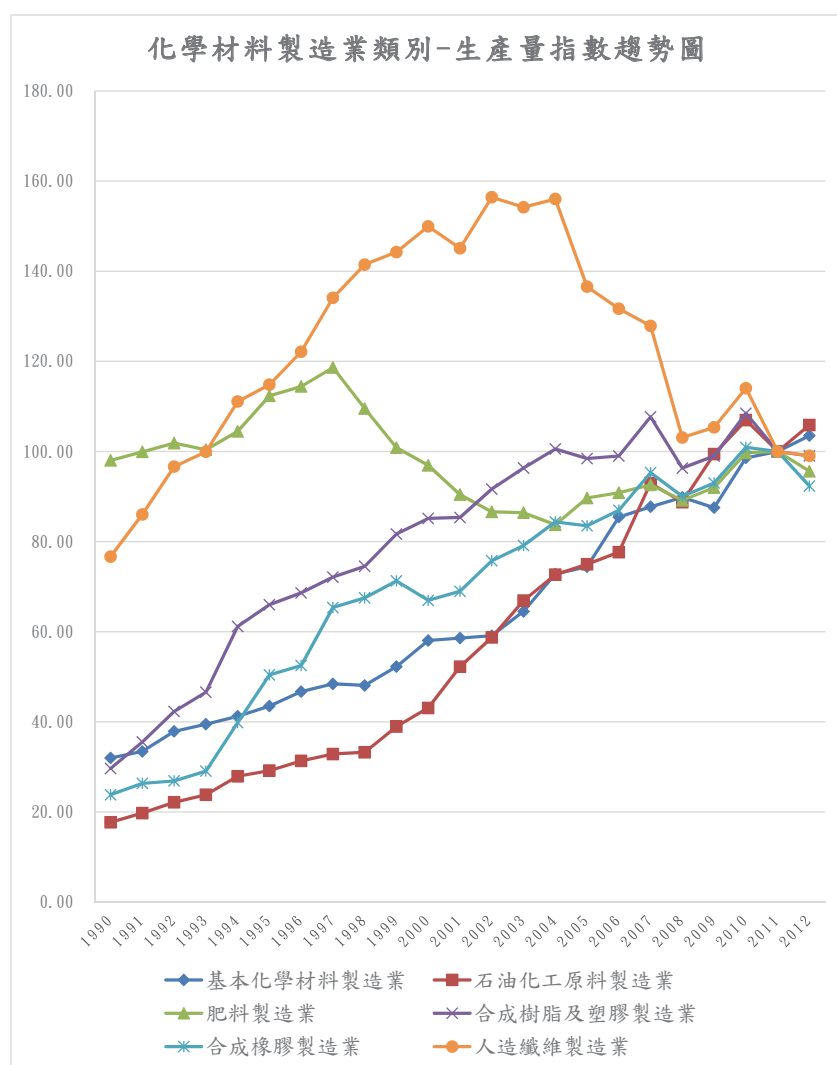


圖2 化學材料製造業小類別之生產量指數趨勢圖

資料來源：經濟部統計處「工業產銷存動態調查(業別統計)」，本研究繪製

224%；石油化工原料製造業由1990年的17.71至2012年的105.88，增幅達498%；合成樹脂及塑膠製造業由1990年的29.64至2012年的99.02，增幅達234%；合成橡膠製造業由1990年的23.82至2012年的92.32，增幅達288%。

表3顯示化學材料製造業能源使用結構以電力為主，在整個研究期間佔化學材料製造業之總能源消費量的50%以上，電力之能源消費量約維持在該產業總能源消費量的50%至56%之間。而煤及煤產品的需求用量日趨增加，由化學材料製造業研究初期總能源消費量的二成增加至後期的三成半，研究期間約分布於17%至35%之間。原油及石油產品之用量日趨下降，由研究初期的三成降至研究後期的一成，在研究期間約分布於8%至31%之間。天然氣之

使用比率整體而言略微上升，介於0%至3%之間。

整體而言，化學材料製造業之能源結構來源有些許轉變由早期的電力(50%)>原油及石油產品(31%)>煤及煤產品(19%)>天然氣(0%)，於1999年反轉為近年來的電力(53%)>煤及煤產品(35%)>原油及石油產品(8%)>天然氣(3%)。顯示化學材料製造業於近年來以煤及煤產品替代原油及石油產品之趨勢。

3. 研究方法

針對化學材料製造業，本研究採用傳統能源效率分析法、資料包絡分析法(Data Envelopment Analysis, DEA)與總要素能源效率

表3 化學材料製造業能源使用結構表

單位：油當量

	煤及煤產品	比率	原油及石油產品	比率	天然氣	比率	電力	比率	總計
1990	719,895	19%	1,186,488	31%	6,328	0%	1,904,363	50%	3,817,074
1991	667,663	17%	1,232,892	31%	17,101	0%	2,118,793	52%	4,036,449
1992	952,383	21%	1,192,108	27%	32,500	1%	2,256,793	51%	4,433,784
1993	1,012,182	23%	1,167,639	26%	33,358	1%	2,262,136	51%	4,475,315
1994	1,048,374	22%	1,315,049	27%	44,598	1%	2,417,465	50%	4,825,486
1995	980,177	19%	1,509,830	30%	63,488	1%	2,560,468	50%	5,113,963
1996	1,075,804	20%	1,524,092	28%	92,887	2%	2,686,778	50%	5,379,561
1997	1,049,622	19%	1,567,126	28%	84,504	1%	2,936,398	52%	5,637,650
1998	1,346,486	22%	1,456,811	24%	76,109	1%	3,145,096	52%	6,024,502
1999	1,443,257	22%	1,519,949	23%	78,539	1%	3,602,574	54%	6,644,319
2000	2,080,607	26%	1,583,214	19%	75,490	1%	4,391,337	54%	8,130,648
2001	2,396,370	28%	1,487,494	17%	62,137	1%	4,701,411	54%	8,647,412
2002	2,478,071	26%	1,838,515	19%	94,862	1%	5,078,699	54%	9,490,147
2003	2,432,871	25%	1,705,168	18%	120,251	1%	5,448,593	56%	9,706,883
2004	2,634,697	25%	1,851,166	18%	153,840	1%	5,730,852	55%	10,370,555
2005	2,583,719	25%	1,852,603	18%	144,829	1%	5,745,492	55%	10,370,225
2006	2,982,112	27%	1,950,875	17%	141,367	1%	6,004,259	54%	11,149,869
2007	3,828,952	31%	1,919,771	15%	143,407	1%	6,503,147	52%	12,481,053
2008	3,701,574	32%	1,438,079	13%	136,411	1%	6,130,780	54%	11,429,633
2009	3,525,757	31%	1,370,165	12%	215,356	2%	5,920,819	53%	11,195,188
2010	4,044,470	33%	1,335,072	11%	285,601	2%	6,307,625	52%	12,175,036
2011	4,123,165	35%	1,141,277	10%	306,664	3%	6,054,356	51%	11,820,068
2012	4,029,539	35%	911,809	8%	331,666	3%	6,109,627	53%	11,585,509

資料來源：經濟部能源局 臺灣能源平衡表，本研究整理

法(Total Factor Energy Efficiency, TFEE)進行分析。傳統衡量能源效率分析主要以單一能源投入要素生產力進行估計，即Patterson (1996)提出的指標法。若需探討變動效果之來源則可使用結構分解分析法(Structural Decomposition Analysis, SDA)或指數分解分析法(Index Decomposition Analysis, IDA)等方法進行分析。其他分析方法敘述如下：

投入導向CRS-DEA (CCR模式)

假設一個產業有N個決策單位(DMU)，每個DMU都有K項投入及M項產出⁴。若要以投入導向DEA評估第i個DMU之效率，即為在DMU_i既定之產出水準($y_{1i}, y_{2i}, \dots, y_{Mi}$)下，將該DMU之每一項投入使用量與其投入導向邊界投入量進行比較，求出每一項投入能同時減少的比例。N個DMUs所觀察到的數據，以下假設可以由生產可能集合 $S = \{(x, y) : y \text{ 是可以從 } x \text{ 的投入生產的量}\}$ 來表示(Mukherjee, 2008；黃鏡如等, 2009)：

假設1：可行性(Feasibility)，所有DMU已觀察到之生產組合均在PPS內。

$$(x_j, y_j) \in S; (j = 1, 2, 3, \dots, n)$$

假設2：PPS具有弱單調轉換(weak monotonicity)性質，可自由處置投入與產出。

$$(x_0, y_0) \in S \text{ and } x_1 \geq x_0 \rightarrow (x_1, y_0) \in S$$

$$(x_0, y_0) \in S \text{ and } y_1 \leq y_0 \rightarrow (x_0, y_1) \in S$$

假設3：凸性(Convexity)，DMU間任何非負線性組合均為技術上可生產的組合。

$$(x_0, y_0) \in S \text{ and } (x_1, y_1) \in S$$

$$\rightarrow (kx_0 + (1-k)x_1, ky_0 + (1-k)y_1) \in S; 0 \leq k \leq 1$$

假設4：生產技術為滿足固定規模報酬(CRS)之特性。

$$(x_0, y_0) \in S \text{ and } t(x_0, y_0) = (tx_0, ty_0) = (x_1, y_1) \\ \rightarrow (x_1, y_1) \in S; t \geq 0$$

在CRS假設下，隱含所有可行的投入與產出組合，以射線的方式擴張或收縮(非負)也是可行的。且CRS假設下之投入導向技術效率估計值會等於產出導向技術效率估計值(Lovell, 1993)。根據假設，則以投入為導向衡量的第i個DMU之效率，其比例形式DEA是由產出的加權組合除以投入的加權組合，而權重(u_m 和 v_k)視為未知並由線性規劃模式來決定，以使效率值即大。使用此線性規劃模式時，常加入常態化限制⁵使其投入與產出之比值不得大於1，模型可表示如下：

$$\begin{aligned} \max_{u, v} \quad & \mu = \frac{\sum_{m=1}^M u_m y_{mi}}{\sum_{k=1}^K v_k x_{ki}} \\ \text{subject to} \quad & \sum_{k=1}^K v_k x_{ki} = 1; \\ & \frac{\sum_{m=1}^M u_m y_{mn}}{\sum_{k=1}^K v_k x_{kn}} \leq 1, n = 1, 2, \dots, N \\ & u_m \geq 0, v_k \geq 0; m = 1, 2, 3, \dots, M; \\ & k = 1, 2, 3, \dots, K \end{aligned} \quad (1)$$

y_{mi} ：第i單位的m項產出值

x_{ki} ：第i單位的k項投入值

u_m ：第m產出項之權數

v_k ：第k投入項之權數

μ ：相對效率值

n ：決策單位數

m ：產出項個數

數學上CCR模式投入導向CRS-DEA模型，求解最適同儕權數(λ)及從DMU_i投入至邊界投入間之射線距離(θ)，即在求解下列最適化條件：

$$\begin{aligned} \min_{\theta, \lambda} \quad & \theta \\ \text{subject to} \quad & \sum_{n=1}^N \lambda_n y_{mn} \geq y_{mi}, m = 1, 2, \dots, M \\ & \sum_{n=1}^N \lambda_n x_{kn} \geq \theta x_{ki}, k = 1, 2, \dots, K \end{aligned} \quad (2)$$

⁴ 本研究中使用三項投入(K=3)分別為勞動、資本、能源。單一產出(M=1)為各產業之國民生產毛額。

⁵ 虛擬投入值(加總)等於1(黃鏡如、傅祖壇、黃美瑛, 2009)。

投入導向VRS-DEA (BCC模式)

此模式是由Banker *et al.* (1984)提出故被稱為BCC模式，取消CCR模式固定規模報酬的假設前提，使各決策單位的規模報酬可為遞增、遞減、或固定之變動規模報酬(VRS)，並將CCR模式的總技術效率(OTE)進一步細分為純技術效率(Pure Technical Efficiency, PTE)與規模效率(Scale Efficiency, SE)，亦即[OTE=PTE*SE]。

BCC模式之投入導向比例形式即將前節CCR模式引入新變數 u_0 為判斷規模報酬的指標，當 $u_0 > 0$ 表示規模報酬遞減，隱含DMU在超過最適規模狀態下生產；當 $u_0 < 0$ 表示規模報酬遞增，隱含DMU在小於最適規模狀態下生產；當 $u_0 = 0$ 表示規模報酬固定，隱含DMU在最適規模狀態下生產。模型可表示如下：

$$\begin{aligned} \max_{u, v} \quad & \mu = \frac{\sum_{m=1}^M u_m y_{mi} - u_0}{\sum_{k=1}^K v_k x_{ki}} \\ \text{subject to} \quad & \sum_{k=1}^K v_k x_{ki} = 1; \\ & \frac{\sum_{m=1}^M u_m y_{mn} - u_0}{\sum_{k=1}^K v_k x_{kn}} \leq 1, \quad n = 1, 2, \dots, N \\ & u_m \geq 0, \quad v_k \geq 0; \quad m = 1, 2, 3, \dots, M \end{aligned} \quad (3)$$

數學上，將DEA-CRS模型之固定規模報酬(CRS)模式再加上線性組合之凸性限制式($\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_N = 1$)，即可建立變動規模(VRS)下之投入導向線性規劃模式。投入導向DEA模型可以表示如下：

$$\begin{aligned} \min_{\theta, \lambda} \quad & \theta \\ \text{subject to} \quad & \sum_{n=1}^N \lambda_n y_{mn} \geq y_{mi}, \quad m = 1, 2, \dots, M \\ & \sum_{n=1}^N \lambda_n x_{kn} \geq \theta x_{ki}, \quad k = 1, 2, \dots, K \\ & \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_N = 1 \\ & \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N \geq 0 \end{aligned} \quad (4)$$

效率分析

效率分析主要分為技術效率、純技術效率、規模效率三大項，其定義分述如下：

●技術效率(OTE)：指給定一產出水準下，最小的要素投入量。

根據CCR模式下的CRS-DEA模型，計算受評單位的效率表現值，並用以評估決策單位(DMU)對投入變數的使用是否有效率，技術值愈趨近1，表示對於投入變數的使用愈有效率。反之，則愈無效率。

●純技術效率(PTE)：指在同一規模的給定產出水準下，最小的要素投入量。

根據BCC模式下的VRS-DEA模型，計算受評單位的效率表現值，並用以評估整體技術無效率之決策單位(DMU)當中，純技術無效率所佔之比重。試圖分析在生產效率邊界上，投入產出項之配比效率是否有改善的空間。當效率值小於1時，表示無純技術效率。

●規模效率(SE)：指在生產效率邊界上，生產規模之最適生產活動。

由技術效率(TE)除以純技術效率(PTE)得之，試圖分析整體投入量過多或產出項太少。當決策單位(DMU)處於規模報酬遞增時，表示應該擴大生產規模並增加生產投入之使用；若決策單位(DMU)處於規模報酬遞減時，表示應該縮小生產規模並同時減少生產投入之使用。

三種效率之關係可以表示如下：

$$\text{總技術效率(OTE)} = \text{純粹技術效率(PTE)} * \text{規模效率(SE)}$$

總要素能源效率(TFEE)

Hu & Wang (2006)提出的能源效率指數(TFEE)概念，以DEA模型為基礎，透過線性規劃計算識別無效率DMU的最適能源投入量，並以此為目標(target)能源投入量之參考。其中調整值分為「射線式(radial)調整值」與「差額

調整值」。對於第*i*個DMU而言，「射線調整值」表示從無效率點投影在邊界上的投影點，透過射線調整其投入水準距離 $(1-\theta)x_i$ 稱之；而「差額調整值」則於非參數邊界分段線性形式中，從投影點轉移到邊際實際最低投入點上的第二階段，其沿著邊界而移動之間的距離稱之。以圖3為例，

●總調整量=單純「射線調整值」：

如點B是實際的投入集、點B'是投影在邊界上的投影點(為DMU B的目標值)，透過減少射線式調整BB'以改善其效率。

●總調整量=「射線調整值」+「差額調整值」：

邊界需要透過第二階段調整的分段線性形式，以確定實際的最小點對投入。如邊界上之點A'為DMU A之目標投影點，可以透過減少射線調整值AA'達到目標投入量。在點A'之投入水準下可以進一步降低至投入水準C點，同時保有相同的產出水準。CA'是點A'應進一步沿著生產邊界調整的差額調整值。因此，為了達到DMU的最適生產效率的投入總調整量(CA)為射線調整值(AA')與差額調整值(CA')之和，可能隱含效率的改善需要同時提升技術水準和生產製程的調整。

當生產函數結合能源為投入，則能源投入

的目標水準稱為「目標能源投入」，代表能源投入的實際最低水準，以呈現最適能源效率。能源投入總調整量將視為無效率的能源消費量，隨著能源投入總調整量的增加，表示所耗用的能源消費量的無效率。若能源投入總調整量為0，則代表該地區在目標能源投入量下生產，為產出極大化下的最適能源耗用。總要素能源效率(TFEE)是根據總要素生產力的觀點所建立，定義為最適能源投入對實際能源投入量之比值，如下所示：

$$TFEE(i, t) = \frac{\text{目標能源投入}(i, t)}{\text{實際能源投入}(i, t)}, \text{第} t \text{年第} i \text{個業別}$$

TFEE指數表示地區能源效率的效率水準，目標能源投入是極小化能源投入水準，因此實際能源投入會大於或等於目標能源投入，因此TFEE指數得分會介於0和1之間。當DMU的實際能源投入水準等於目標能源投入水準時， $TFEE = 1$ 。反之，若TFEE效率值愈趨近於0表示愈無效率。

4. 實證模型分析

4.1 樣本、數據和變數說明

本研究針對臺灣化學材料製造業，選取

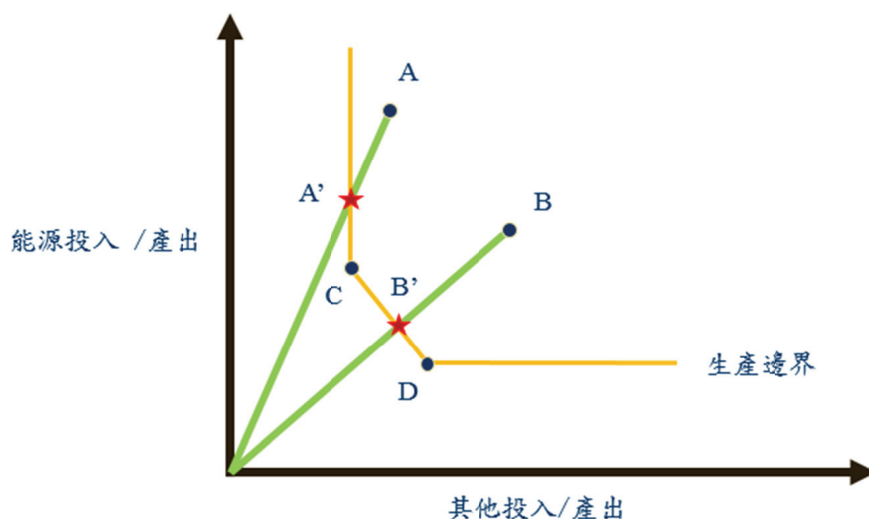


圖3 CRS-DEA投入導向之射線調整與差額調整示意圖
資料來源：Hu & Wang (2006)，本研究整理繪製

1990年至2002年為研究期間，以國內各業生產毛額為產出變數，並假定生產過程中需要勞動、資本、能源等三項投入要素，進行產業能源效率分析。相關投入產出變數的說明如下：

- (1) 實質產出：選擇三個耗能產業的生產毛額(產業附加價值)作為實質產出，再利用總體統計資料庫之GDP平減指數轉化為2006年之價格。
- (2) 勞動投入：採用三個耗能產業的當期受雇員工人數作為勞動投入，不考慮勞動的種類和勞動素質等其他因素。
- (3) 資本投入：採用資本存量為資本投入的代理指標。但由於無法取得完整的資本存量數據，所以採用Hu & Wang (2006), Li (2003)所提出的方式進行估計，再利用GDP平減指數轉化為2006年之價格。全年固定資本主要包括設備投資、土地、宿舍、廠房及其他營建工程等，計算公式如下：

$$\text{當期資本存量} = \text{資本存量(前一期)} + \text{固定資本形成(當期)} - \text{固定資本消耗(當期)}$$
- (4) 能源投入：由能源平衡表中三個耗能產業的總能源消費量為能源投入，其中主要包括煤炭、石油、天然氣、電力等四大類。由於C類能源平衡表之估計單位為油當量熱值單位，利於數據的處理故採之。

4.2 敘述統計與相關性分析

本研究針對1990年至2012年共23年度之化學材料製造業進行分析，並將研究結果與基本金屬製造業、電腦及通信產品製造業另外兩大耗能產業，以及總製造業的相對情況做比較。根據敘述統計分析結果(表4)，化學材料製造業無離群值⁶問題，而投入變數和產出變數之標準差相當大，反映出產業之生產規模存在極大的差異性。而變數變動率則反映出產業變數隨時間序列推演的變化。

進行實證分析前，檢視其投入與產出變數是否符合DEA生產效率實證分析之單調性原則(isotonicity)假設。由相關系數矩陣分析之結果(表5)，發現變數間均呈現正相關。且單變數OLS迴歸呈現出，自變數對應變數的效果皆呈現出顯著影響的結果。

4.3 實證結果

本節分別採用傳統能源效率指數分析法CRS-DEA模型VRS-DEA模型與TFEE模型進行實證分析，並將分析結果分述如下。

傳統能源效率指數分析法

根據傳統能源效率指數之定義本研究以單投入(能源)衡量結果如表6所示。製造業在整個採樣期間平均效率指數是93.299。化學材料製造業之平均效率(107.05)高於製造業整體之平均；基本金屬製造業之平均效率(86.39)與電腦

表4 化學材料製造業之敘述統計量

化學 N = 23	平均數	標準差	最小值	最大值
c_igdp	146,026.43	57,190.08	63,434	240,372
c_labor	62,997.17	3,538.42	59,396	71,048
c_capital	628,675.09	174,626.43	299,197	890,368
c_energy	8,214,796.91	3,071,436.49	3,817,074	12,481,053

其中，化學 = 化學材料製造業、c_igdp = 化學材料製造業之附加價值(單位：元)、c_labor = 化學材料製造業之勞動雇用人數(單位：人)、c_capital = 化學材料製造業之資本投入(單位：元)、c_energy = 化學材料製造業之能源投入(單位：元)。

資料來源：本研究彙整

⁶ 受評樣本大於或小於三倍標準差。

表5 化學材料製造業之相關係數

化學 N = 23	c_igdp	c_labor	c_capital	c_energy
c_igdp	1			
c_labor	0.157	1		
c_capital	0.653	0.526	1	
c_energy	0.975	0.141	0.731	1

其中，化學 = 化學材料製造業、c_igdp = 化學材料製造業之附加價值(單位：元)、c_labor = 化學材料製造業之勞動雇用人數(單位：人)、c_capital = 化學材料製造業之資本投入(單位：元)、c_energy = 化學材料製造業之能源投入(單位：元)

資料來源：本研究彙整

表6 傳統能源生產力指數分析表(index 2006 = 100)

年度	Y/E 製造業	Y/E 化學	Y/E 金屬	Y/E 電腦	年度	Y/E 製造業	Y/E 化學	Y/E 金屬	Y/E 電腦
1990	83.322	98.250	77.652	54.129	2002	78.382	95.725	94.350	66.650
1991	81.148	98.374	75.905	53.662	2003	84.844	97.652	96.648	81.293
1992	79.755	95.474	77.104	55.823	2004	89.460	97.634	97.384	84.456
1993	79.831	99.999	81.629	58.843	2005	95.524	102.068	96.404	88.763
1994	81.033	112.188	83.236	64.391	2006	100.000	100.000	100.000	100.000
1995	82.236	110.134	79.277	71.024	2007	105.337	101.894	102.893	110.438
1996	83.051	113.201	79.680	72.786	2008	110.755	101.651	104.337	113.752
1997	81.756	114.674	81.486	71.826	2009	113.906	112.544	110.422	120.444
1998	81.110	109.849	75.362	71.705	2010	127.770	114.948	113.688	139.518
1999	81.341	113.965	79.836	68.862	2011	133.100	109.058	106.406	146.159
2000	79.615	97.847	80.909	69.865	2012	137.432	122.662	107.819	150.852
2001	75.171	91.746	81.990	62.005	平均	93.299	107.05	86.39	79.71

其中製造業 = 總製造業、化學 = 化學材料製造業、金屬 = 基本金屬製造業、電腦 = 電腦通信及視聽電子產品製造業

資料來源：本研究彙整

及通信產品製造業之平均效率(79.71)則低於製造業整體之平均；其中平均而言又以電腦及通信產品製造業的表現最差。研究期間，三大耗能產業與製造業整體之能源效率普遍隨著時間而改善，電腦及電信產品製造業之改善幅度最明顯、金屬製品製造業改善幅度位居第二，而化學產品製造業之效率則有較明顯的起伏趨勢(於1994至1999年間有較高的能源效率，1999年後開始下跌，直到2001年開始緩步上升)。總製造業中之能源效率，雖然在研究期間有明顯的進步趨勢，但在1990年至2001年之間呈緩步下跌趨勢，而2001年後能源效率始顯著上升。

各產業之整體表現分述如下：總製造業以2001年效率之表現最差(75.171)，以2012年之效率表現最佳(137.432)；化學材料製造業以2001年之效率表現最差(91.746)，以2012年之表現最佳(122.662)；金屬製品製造業以1998年之效率表現最差(75.362)，以2010年之效率表現最佳(113.688)；而電腦通信及視聽電子產品製造業以1991年之效率表現最差(53.662)，以2012年之效率表現最佳(150.852)。

製造業與三個耗能產業個別能源使用份額如表7所示。製造業在整個期間的平均能源使用份額是1.4%，其中能源使用份額最高的是化

表7 總製造業與三大耗能產業之能源份額

年度	製造業 _{ES}	化學 _{ES}	金屬 _{ES}	電腦 _{ES}	年度	製造業 _{ES}	化學 _{ES}	金屬 _{ES}	電腦 _{ES}
1990	0.015	0.060	0.037	0.010	2002	0.016	0.062	0.031	0.008
1991	0.015	0.060	0.038	0.010	2003	0.014	0.061	0.030	0.006
1992	0.015	0.062	0.038	0.009	2004	0.014	0.061	0.030	0.006
1993	0.015	0.059	0.036	0.009	2005	0.013	0.058	0.030	0.006
1994	0.015	0.053	0.035	0.008	2006	0.012	0.059	0.029	0.005
1995	0.015	0.054	0.037	0.007	2007	0.012	0.058	0.028	0.005
1996	0.015	0.052	0.037	0.007	2008	0.011	0.058	0.028	0.005
1997	0.015	0.052	0.036	0.007	2009	0.011	0.053	0.026	0.004
1998	0.015	0.054	0.039	0.007	2010	0.010	0.051	0.026	0.004
1999	0.015	0.052	0.036	0.007	2011	0.009	0.054	0.027	0.004
2000	0.015	0.060	0.036	0.007	2012	0.009	0.048	0.027	0.003
2001	0.016	0.064	0.035	0.008	平均	0.014	0.056	0.035	0.007

其中製造業 = 總製造業、化學 = 化學材料製造業、金屬 = 基本金屬製造業、電腦 = 電腦通信及視聽電子產品製造業

資料來源：本研究彙整

學材料製造業(5.6%)，其次是基本金屬製造業(3.5%)，最後才是電腦及通訊產品製造業。觀察時間趨勢的變化，可以發現化學產品製造業與基本金屬製造業在整個研究期間的能源份額皆高於總製造業。而電腦及通信產品製造業在研究期間之能源份額皆低於總製造業。其中又以化學材料製造業的能源份額波動幅度最大。

CRS-DEA模型

我們在模型中只放入同一期資料。Ray (2004)指出CRS下的生產力與效率估計是等價的，且投入導向技術效率值會等於產出導向技術效率值。年度投入產出之組合包含產業內所有廠商“全部的”投入產出組合，表8表示模型中的射線技術效率。θ值表示可以在不減少產出的情況下，所有投入(包括勞動、資本、能源)最大的收縮比例。總製造業在1990至2012年間樣本的平均效率為0.69，隱含總製造業可以透過平均減少31%的能耗來生產所觀察到的產出。其中化學材料製造業與基本金屬製造業之技術效率高於總製造業之平均，而電腦及通訊產品製造業低於總製造。觀察跨業別的時間趨

勢，可以發現不同業別之間的趨勢有很大的不同。總製造業之技術效率值介於0.547-1之間，其中電腦及通訊產品製造業之變動幅度最大(技術效率值介於0.356-1之間)，而研究間化學產品製造業之改善程度則較小(技術效率值介於0.748-1之間)。本研究之技術效率是根據跨期邊界(intertemporal frontier)所架構，研究期間越後面的年度顯示越高的技術效率值隱含這些業別歷經了技術進步或經營管理效率改善，使得產業技術效率值顯著提升。

● 參考群體分析

表9針對效率值進行等級分類，整體受評單位中有5%屬於「強勢效率單位」年度，其中每個業別皆涵蓋2012年之DMU，表現最佳；有2%屬於「邊際效率單位」之年度，且集中於基本金屬製造業；有30%屬於「邊際無效率單位」之年度，其中以化學材料製造業所佔比例最大；有62%屬於「明顯無效率單位」之年度，其中以電腦及通信產品製造業的20家表現最不理想，而化學材料製造業只有6家，表現相對理想。由強勢效率單位皆集中於研究期間之後幾年，而明顯無效率單位幾乎分布於研究期

表8 CRS-DEA技術效率與參考群體分析表

	CRS_te m_dta	參考 次數	排名	CRS_te c_dta	參考 次數	排名	CRS_te b_dta	參考 次數	排名	CRS_te e_dta	參考 次數	排名
1990	0.694	0		0.801	0		0.683	0		0.359	0	
1991	0.590	0		0.802	0		0.668	0		0.356	0	
1992	0.635	0		0.778	0		0.678	0		0.379	0	
1993	0.602	0		0.815	0		0.718	0		0.390	0	
1994	0.590	0		0.915	0		0.732	0		0.427	0	
1995	0.598	0		0.898	0		0.697	0		0.635	0	
1996	0.604	0		0.923	0		0.701	0		0.482	0	
1997	0.595	0		0.935	0		0.717	0		0.476	0	
1998	0.590	0		0.896	0		0.663	0		0.475	0	
1999	0.592	0		0.929	0		0.702	0		0.456	0	
2000	0.579	0		0.798	0		0.721	0		0.463	0	
2001	0.547	0		0.748	0		0.721	0		0.411	0	
2002	0.570	0		0.78	0		0.899	0		0.442	0	
2003	0.617	0		0.796	0		0.907	0		0.539	0	
2004	0.651	0		0.796	0		0.946	0		0.560	0	
2005	0.695	0		0.835	0		0.868	0		0.588	0	
2006	0.729	0		0.851	0		0.983	0		0.663	0	
2007	0.790	0		0.949	0		1	1	2	0.732	0	
2008	0.806	0		0.873	0		1	1	2	0.754	0	
2009	0.829	0		0.955	0		0.977	0		0.798	0	
2010	0.969	0		1	6	2	1	20	1	0.925	0	
2011	0.995	0		0.916	0		0.947	0		0.969	0	
2012	1	22	1	1	20	1	0.948	0		1	22	1
mean	0.69			0.869			0.821			0.577		

其中，CRS_te = 固定規模報酬總技術效率、m_dta = 總製造業、c_dta = 化學材料製造業、b_dta = 基本金屬製造業、e_dta = 電腦通信及視聽電子產品製造業

資料來源：本研究分析彙整

表9 效率分類表

效率分類	製造業	化學	金屬	電腦	DMU合計	占比
強勢效率單位	1	2	1	1	6	5%
邊際效率單位	0	0	2	0	2	2%
邊際無效率單位	4	15	8	2	59	30%
明顯無效率單位	19	6	12	20	64	62%

其中製造業 = 總製造業、化學 = 化學材料製造業、金屬 = 基本金屬製造業、電腦 = 電腦通信及視聽電子產品製造業

資料來源：本研究彙整

間前半段(化學材料製造業除外)，顯示出各業別之效率有隨時間改善之趨勢。

VRS-DEA模型

我們在模型中只放入同一期資料。實證分析結果指出1990年至2012年之研究期間，總製造業與三個中業別的平均純技術效率(PTE)分別為0.985、0.972、0.959、0.867，而平均規模效率分別為0.7、0.893、0.853、0.673 (詳見表10)。各效率強度之年度代表分述如下：

1. 技術效率值等於1，且純技術效率與規模效率皆等於1之DMUs：

表示投入項目以最有效的方式運用，且產業以最適規模發展，代表為產業相對有效之DMUs。本研究中以總製造業之2012年、化學材料製造業之2010年與2012年、基本金屬製造業之2007-2008年及2010年、電腦及通信產品製造業之2012年為代表，表示其為相對有效率之年度(DMUs)。

2. 技術效率值小於1，純技術效率值等於1，規模效率值小於1之DMUs：

表示投入項目已做最有效之運用，但因為規模相對無效率而導致總技術效率無效率。由表10可看出此類DMUs皆處於規模報酬遞增

表10 VRS-DEA技術效率(VRS_te)與規模效率(scale)分析表

	CRS_te m_dta	VRS_te m_dta	scale m_dta		CRS_te c_dta	VRS_te c_dta	scale c_dta		CRS_te b_dta	VRS_te b_dta	scale b_dta		CRS_te e_dta	VRS_te e_dta	scale e_dta	
1990	0.694	1	0.694	irs	0.801	1	0.801	irs	0.683	1	0.683	irs	0.359	1	0.359	irs
1991	0.590	1	0.590	irs	0.802	1	0.802	irs	0.668	0.987	0.677	irs	0.356	1	0.356	irs
1992	0.635	1	0.635	irs	0.778	0.98	0.794	irs	0.678	0.937	0.724	irs	0.379	1	0.379	irs
1993	0.602	1	0.602	irs	0.815	0.992	0.821	irs	0.718	0.928	0.774	irs	0.390	1	0.390	irs
1994	0.590	0.982	0.601	irs	0.915	1	0.915	irs	0.732	0.934	0.784	irs	0.427	0.971	0.440	irs
1995	0.598	0.994	0.602	irs	0.898	0.983	0.914	irs	0.697	0.892	0.782	irs	0.635	1	0.635	irs
1996	0.604	1	0.604	irs	0.923	0.994	0.929	irs	0.701	0.905	0.775	irs	0.482	0.922	0.523	irs
1997	0.595	0.993	0.599	irs	0.935	1	0.935	irs	0.717	0.892	0.804	irs	0.476	0.866	0.550	irs
1998	0.590	0.988	0.597	irs	0.896	0.978	0.916	irs	0.663	0.889	0.745	irs	0.475	0.812	0.585	irs
1999	0.592	0.979	0.604	irs	0.929	0.976	0.952	irs	0.702	0.926	0.758	irs	0.456	0.799	0.571	irs
2000	0.579	0.955	0.606	irs	0.798	0.863	0.924	irs	0.721	0.922	0.781	irs	0.463	0.746	0.621	irs
2001	0.547	0.992	0.551	irs	0.748	0.871	0.859	irs	0.721	0.972	0.742	irs	0.411	0.733	0.560	irs
2002	0.570	1	0.570	irs	0.780	0.91	0.858	irs	0.899	1	0.899	irs	0.442	0.740	0.597	irs
2003	0.617	0.986	0.626	irs	0.796	0.939	0.848	irs	0.907	1	0.907	irs	0.539	0.741	0.727	irs
2004	0.651	0.962	0.677	irs	0.796	0.954	0.834	irs	0.946	1	0.946	irs	0.560	0.709	0.790	irs
2005	0.695	0.958	0.726	irs	0.835	0.987	0.846	irs	0.868	0.971	0.894	irs	0.588	0.729	0.807	irs
2006	0.729	0.956	0.763	irs	0.851	0.997	0.854	irs	0.983	1	0.983	irs	0.663	0.752	0.881	irs
2007	0.790	0.954	0.829	irs	0.949	1	0.949	irs	1	1	1	crs	0.732	0.791	0.925	irs
2008	0.806	0.956	0.843	irs	0.873	0.992	0.879	irs	1	1	1	crs	0.754	0.807	0.935	irs
2009	0.829	1	0.829	irs	0.955	1	0.955	irs	0.977	1	0.977	irs	0.798	0.892	0.895	irs
2010	0.969	1	0.969	irs	1	1	1	crs	1	1	1	crs	0.925	0.966	0.958	irs
2011	0.995	1	0.995	irs	0.916	0.951	0.963	irs	0.947	0.951	0.996	irs	0.969	0.974	0.995	irs
2012	1	1	1	crs	1	1	1	crs	0.948	0.953	0.995	irs	1	1	1	crs
mean	0.69	0.985	0.7		0.869	0.972	0.893		0.821	0.959	0.853		0.577	0.867	0.673	

資料來源：本研究分析彙整

階段，應擴大其規模。本研究中總製造業以1990-1993、1996、2002、2009-2011等年度為代表；化學材料製造業以1990-1991、1994、1997、2007、2009等年度為代表；基本金屬製造業以1990、2002-2004、2006、2009等年度為代表；電腦及通訊產品製造業以1990-1993、1995等年度為代表。

3. 技術效率值小於1，純技術效率值小於1，規模效率值小於1之DMUs：

投入項目並沒有以最有效的方式應用，且亦未以產業最適規模來發展，此類DMUs相對無效率之原因主要來自於純技術相對無效率與規模相對無效率。由表 10中可看出此類DMUs屬於IRS階段，需擴大其規模報酬。本研究中總製造業以1994-1995、1997-2001、2003-2008等年度為代表；化學材料製造業以1992-1993、1995-1996、1998-2006、2008、2011等年度為代表；基本金屬製造業以1991-2001、2005、2011-2012等年度為代表；電腦及通信產品製造業以1994、1996-2011等年度為代表。

TFEE模型

DEA模型改善傳統能源效率指數只考慮單一投入及單一產出的估計方式，允許多投入與多產出的應用，模型邊界亦由數學規劃法自行建構，但所估計出來的結果則為多項投入的最大收縮比例值，無法分離出能源投入的個別效果。TFEE模型因此針對DEA只能同時考慮多要素的最大收縮比例值做改進，以DEA模型基礎，進一步提出能源單一投入要素的最大收縮比例值。

由DEA法為基礎所估計之研究，可能會受到投入或產出變數選擇的差異，受到其他變數的影響從而導致不同能源效率的評估結果。因此本研究特別以TFEE指數法，分離能源投入變數之效率結果。於本章節進一步探討各業別的

總要素能源效率(TFEEs)之表現，表11顯示本研究三個耗能中業別之TFEE與能源投入總調整量。其中總製造業之2003年與2008年、化學材料製造業之2010年與2012年、基本金屬製造業之2007、2008、2010年、電腦及通訊產品製造業之2012年等，其總調整量為0且TFEE得分為1，與前述DEA之分析相呼應。

比較DEA法與TFEE法之結果，研究期間之估計值大致相同。但在某些年度DEA之趨勢高於TFEE。例如，總製造業1990-1993、2006-2007、2010-2011年間；化學材料製造業之2007年；基本金屬製造業2000、2002-2006年間；電腦通信及視聽電子產品製造業之1992、1995年間，DEA之估計值比TFEE估計值來的高，顯示出這些年度可能受到勞動與資本投入之影響，而有較高的效率。因此，顯示同時考慮多投入與多產出後之TFEE指數更能真實反映能源投入的效率。

由圖4可進一步觀察到傳統能源效率指標、DEA與TFEE等三種研究方法在衡量趨勢的變動上呈現出類似的結果⁷。進一步比較傳統能源效率指標與TFEE之趨勢變化，總製造業、化學材料製造業、電腦通信及視聽電子產品製造業之變動趨勢幾乎重合，唯總製造業與電腦通信及視聽電子產品製造業在研究期間的傳統能源效率指標趨勢上揚幅度略大，而基本金屬製造業在2005年之前趨勢大致相同，唯2005年後之趨勢略有差異。

2001年總製造業部門能源生產力下降，可能是受2000年網路科技泡沫加上2001年九一一事件之影響。由製程面來看，也可能是因為六輕擴廠陸續完工，初期生產測試階段能源效率偏低。近年來製造業感受到能源價格逐年上升，願意積極投資相關節能設備與尋求替代能源，導致2002~2010連續9年能源效率顯著提升。

化學材料製造業能源效率表現於研究期間

⁷傳統能源效率指標，因為選定2006年為基期(2006 = 100)，因此在所選定產業別的比較塗上會有較高的趨勢線，此問題可透過傳統能源效率指標相對變動指數的基期的選定或平移趨勢線而解決。

表11 總要素能源效率(TFEE)分析表

	TFEE m_dta	總調整量	TFEE c_dta	總調整量	TFEE b_dta	總調整量	TFEE e_dta	總調整量
1990	0.606	7,791,017	0.801	759,666	0.683	869,673	0.359	595,817
1991	0.590	8,760,429	0.802	799,262	0.668	989,019	0.356	656,770
1992	0.580	9,395,110	0.778	982,741	0.678	1,031,319	0.370	656,620
1993	0.581	9,545,985	0.815	826,852	0.718	970,914	0.390	679,205
1994	0.590	9,724,803	0.915	412,069	0.732	933,433	0.427	692,953
1995	0.598	9,874,908	0.898	522,309	0.697	1,103,833	0.471	754,372
1996	0.604	10,081,986	0.923	414,949	0.701	1,108,767	0.482	854,927
1997	0.595	11,146,599	0.935	367,124	0.717	1,286,144	0.476	1,065,065
1998	0.590	11,642,405	0.896	629,335	0.663	1,732,284	0.475	1,259,098
1999	0.592	12,405,259	0.929	471,088	0.702	1,556,280	0.456	1,685,812
2000	0.579	14,131,838	0.798	1,644,851	0.712	1,603,035	0.463	2,158,080
2001	0.547	15,004,176	0.748	2,179,545	0.721	1,445,172	0.411	2,487,128
2002	0.570	15,248,300	0.780	2,084,101	0.830	934,445	0.442	2,682,441
2003	0.617	13,810,808	0.796	1,979,210	0.850	831,043	0.539	2,286,891
2004	0.651	13,181,936	0.796	2,116,027	0.857	846,444	0.560	2,466,420
2005	0.695	1,1636,526	0.835	1,714,186	0.848	866,121	0.588	2,664,807
2006	0.728	10,826,143	0.851	1,658,115	0.951	295,065	0.663	2,384,444
2007	0.766	9,677,572	0.886	1,417,477	1	0	0.732	2,040,791
2008	0.806	7,726,606	0.873	1,456,088	1	0	0.754	1,984,393
2009	0.829	6,340,860	0.955	503,779	0.977	116,074	0.798	1,548,523
2010	0.930	2,912,729	1	0	1	0	0.925	649,462
2011	0.968	1,339,200	0.916	997,241	0.936	415,180	0.969	284,875
2012	1.000	0	1	0	0.948	321,220	1	0
mean	0.679	9,661,095	0.866	1,040,696	0.808	837,194	0.570	1,414,735

資料來源：本研究彙整

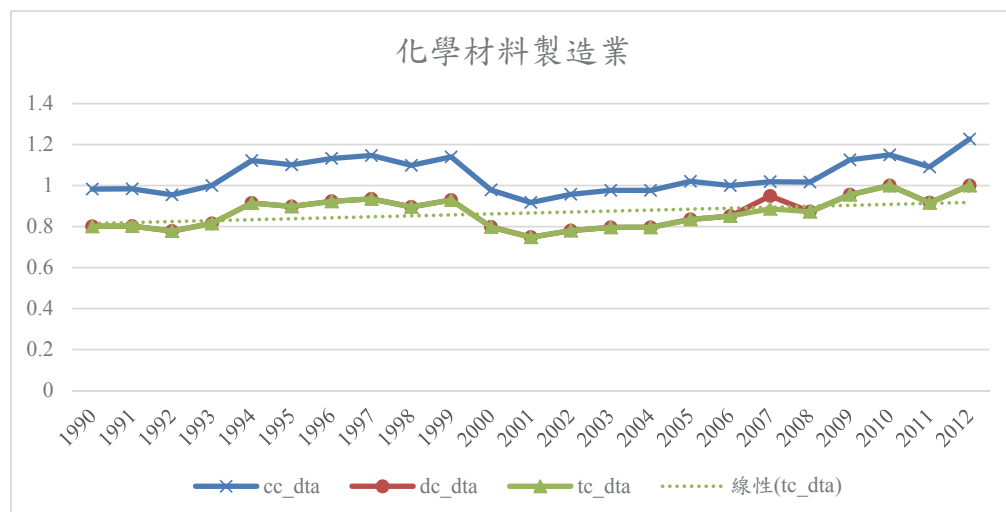


圖4 化學材料製造業之傳統能源效率、DEA效率、TFEE效率比較圖

資料來源：本研究整理繪製

其中cc_dta = 化學材料製造業之傳統能源效率、dc_dta = 化學材料製造業之DEA能源效率、tc_dta = 化學材料製造業之TFEE

波動較大。1999年之前能源生產力大致呈現逐年上升的趨勢，對製造業能源密集度的降低有相當貢獻。1999至2001年期間能源效率則為下降趨勢。當時，化學材料製造業面臨上游原料供應不足，下游業者外移，產業營收及獲利皆不甚理想。在設備使用率偏低的情況下，能源效率表現必然不佳。2011年能源效率下降可能與2010年簽訂ECFA的影響有關。

5. 結 論

本文以傳統能源效率指數、DEA與TFEE分析1990年至2012年間，臺灣化學材料製造業之能源使用效率議題，並與金屬基本製造業與電腦及電信產品製造業兩項耗能產業比較。DEA模型與TFEE模型之邊界效率由數學規劃法自行建構，並考慮多投入單產出，比較接近實際地生產情況。其中DEA模型只能同時考慮三種投入同時可變動的情況，因此所估計出來的結果可能受到勞動與資本投入的影響。TFEE則針對DEA的缺點加以改進，分離出能源單一要素的技術效率進行分析。研究結果顯示相對於TFEE分離出來的能源效率表現，DEA整體效率較佳。

另外，我們發現臺灣化學材料製造業無效率單位皆分布於研究期間前半部，有效率單位(或DMU之參考單位)則分布於研究期間後幾年，顯示化學材料製造業有一定程度的技術進步或經營管理效率改善，但能源效率改善情況不如金屬製品製造業與電腦及電信產品製造業。在能源效率改善與提升的過程中，化學材料製造業效率亦歷經了某些程度的波動且效率下降的期間大約維持在一年左右。技術效率和能源效率下降的結果，反映出當不景氣時生產力下降會引發能源效率下降，當產能利用率與設備利用率下降時，廠商需要時間調整生產結構，無法立即表現出有效率的生產，能源效率因此降低。

參考文獻

- 行政院主計處第九版「中華民國行業標準分類」
- 張四立、謝維晃，2009，「我國商業與服務業部門能源效率指標之建置與節約能源成效評估」，科技發展政策報導，4期，29-50。
- 梁弘，2011，「臺灣服務部門能源效率變動與改善潛力分析」臺北大學自然資訊與環境管理研究所學位論文。
- 黃鏡如、傅祖壇、黃美瑛，2009，「績效評估：效率與生產力之理論與應用」，新陸書局。
- 經濟部第十五版「工業產品分類」。
- 經濟部能源局 臺灣能源平衡表，http://web3.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/web_book/WebReports.aspx?book=B_CH&menu_id=145。
- 經濟部統計處「工業產銷存動態調查(業別統計)」，<http://dmz9.moea.gov.tw/gmweb/investigate/InvestigateDB.aspx>。
- Abosedra, Salah, Abdallah Dah & Sajal Ghosh, 2009, "Electricity Consumption and Economic Growth, the Case of Lebanon." *Applied Energy*, 86(4), 429-32.
- Banker, Rajiv D, Abraham Charnes & William Wager Cooper, 1984, "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis." *Management science*, 30(9), 1078-92.
- Berndt, Ernst R, 1990, "Energy Use, Technical Progress and Productivity Growth: A Survey of Economic Issues." *Journal of Productivity Analysis*, 2(1), 67-83.
- Blomberg, Jerry, Eva Henriksson & Robert Lundmark, 2012, "Energy Efficiency and Policy in Swedish Pulp and Paper Mills: A Data Envelopment Analysis Approach."

- Energy Policy*, 42(0), 569-79.
- Boyd, Gale A. & Joseph X. Pang, 2000, "Estimating the Linkage between Energy Efficiency and Productivity." *Energy Policy*, 28(5), 289-96.
- Clinch, J. Peter, John D. Healy & Ciarán King, 2001, "Modelling Improvements in Domestic Energy Efficiency." *Environmental Modelling & Software*, 16(1), 87-106.
- Fang, Chin-Yi, Jin-Li Hu & Tze-Kai Lou, 2013, "Environment-Adjusted Total-Factor Energy Efficiency of Taiwan's Service Sectors." *Energy Policy*, 63, 1160-68.
- Geller, Howard, Philip Harrington, Arthur H. Rosenfeld, Satoshi Tanishima & Fridtjof Unander, 2006, "Policies for Increasing Energy Efficiency: Thirty Years of Experience in Oecd Countries." *Energy Policy*, 34(5), 556-73.
- Herring, Horace, 1999, "Does Energy Efficiency Save Energy? The Debate and Its Consequences." *Applied Energy*, 63(3), 209-26.
- Hu, Jin-Li & Shih-Chuan Wang, 2006, "Total-Factor Energy Efficiency of Regions in China." *Energy Policy*, 34(17), 3206-17.
- Jinke, Li, Song Hualing & Geng Dianming, 2008, "Causality Relationship between Coal Consumption and Gdp: Difference of Major Oecd and Non-Oecd Countries." *Applied Energy*, 85(6), 421-29.
- Li, Kui Wai, 2003. *China's Capital and Productivity Measurement Using Financial Resources*. Economic Growth Center, Yale University New Haven, CT.
- Lovell, CA Knox, 1993. "Production Frontiers and Productive Efficiency." *The measurement of productive efficiency: techniques and applications*, 3-67.
- Miketa, Asami & Peter Mulder, 2005, "Energy Productivity across Developed and Developing Countries in 10 Manufacturing Sectors: Patterns of Growth and Convergence." *Energy Economics*, 27(3), 429-53.
- Mukherjee, Kankana, 2008, "Energy Use Efficiency in Us Manufacturing: A Nonparametric Analysis." *Energy Economics*, 30(1), 76-96.
- Narayan, Paresh Kumar & Philip Wong, 2009, "A Panel Data Analysis of the Determinants of Oil Consumption: The Case of Australia." *Applied Energy*, 86(12), 2771-75.
- Narayan, Paresh Kumar, Seema Narayan & Stephan Popp, 2010. "A Note on the Long-Run Elasticities from the Energy Consumption-Gdp Relationship." *Applied Energy*, 87(3), 1054-57.
- Patterson, Murray G., 1996, "What Is Energy Efficiency?: Concepts, Indicators and Methodological Issues." *Energy Policy*, 24(5), 377-90.
- Ray, Subhash C., 2004, *Data Envelopment Analysis: Theory and Techniques for Economics and Operations Research*. Cambridge University Press.
- Sari, Ramazan & Ugur Soytas, 2009, "Are Global Warming and Economic Growth Compatible? Evidence from Five Opec Countries?" *Applied Energy*, 86(10), 1887-93.
- Tolón-Becerra, A., X. Lastra-Bravo & G. F. Botta, 2010, "Methodological Proposal for Territorial Distribution of the Percentage Reduction in Gross Inland Energy Consumption According to the Eu Energy Policy Strategic Goal." *Energy Policy*, 38(11), 7093-105.

An Analysis of Energy-use Efficiency for Taiwan Chemical Materials Industry

Dachrahn Wu^{1*} Kuan-Hsin Ou²

ABSTRACT

This paper analyzes energy-use efficiency for Taiwan chemical materials industry during 1990-2012 by traditional energy-use efficiency approach, data envelopment analysis (DEA) and total factor energy efficiency (TFEE) approach. We find that electricity takes the largest part of energy consumption and the crude oil consumption is decreasing over time. The empirical results show that these approaches have similar outcomes: Energy efficiency of Taiwan chemical materials industry improves over time.

Keywords: Energy Productively, Trational energy efficiency, Data Envelopment Analysis (DEA), Total Factor energy efficiency (TFEE)

¹ Professor, Dept. of Economics, National Central University

² Master student, Graduate Institute of Industrial Economics, National Central University

* Corresponding Author, Phone: +886-3-4227151#34701, E-mail: drwu@mgt.ncu.edu.tw

Received Date: November 13, 2014

Revised Date: March 26, 2015

Accepted Date: April 23, 2015