

# 台灣能源安全評估

林師模\*、馮君強\*\*

經濟發展對能源的依賴甚深，而確保能源的穩定供應也一向是各國經濟發展政策中最重要的一環。當面臨供應短缺的風險升高，或是購買的成本大幅提升時，將使其得以維持一定成長目標的難度增加，甚至導致經濟的衰退。這種經濟成長受到明顯負面衝擊的現象可能在某種程度上已反映在其「能源安全度」的變化上面。本文從預防及適應的角度來看待所謂的能源安全度，以經濟承載能量為重心，並以台灣為例，檢視台灣歷年幾個時點的能源安全狀況。透過對供應量中斷及價格上漲的模擬，本文發現相對於 1990 年代，台灣 2000 年以後之能源安全度已明顯下降，經濟體系承載能源供應中斷及價格上漲衝擊的能量下降了。這點與台灣之產業結構一直無法擺脫朝向能源密集產業結構發展的方向有關，也與世界各主要國家發展的趨向背道而馳，是一個相當值得關注的現象。未來台灣的能源及產業政策如果無法做更大的調整，將越來越無法承受可能面臨的衝擊。

**關鍵詞：**能源安全、可計算一般均衡模型、產業結構

---

\* 中原大學國際貿易學系教授。本文之通訊作者。

\*\* 國立中央大學產業經濟研究所博士候選人。

農業經濟叢刊 (Taiwanese Agricultural Economic Review), 15:2 (2010), 99-131。

臺灣農村經濟學會出版

## I、前言

近年來中東產油地區動亂不歇，新興國家對能源需求不斷攀升，再加上國際炒家在金融、商品期貨市場的刻意炒作，導致國際能源價格持續高漲，終致對全球經濟的結構面及成長動能產生了不容輕忽的影響（註1）。能源的供應吃緊及價格攀升，對高度仰賴進口能源的國家是一項揮之不去的夢魘，因為能源安全度會受到很大的衝擊，進而影響到經濟的長期發展（Blyth & Lefèvre, 2004）。由歷史的發展軌跡來看，經濟發展對能源的依賴甚深，而確保能源的穩定供應也一向是各國經濟發展政策中最重要的一環。當面臨供應短缺的風險升高，或是購買的成本大幅提升時，將使其得以維持一定成長目標的難度增加，甚至導致經濟的衰退。這種經濟成長受到明顯負面衝擊的現象可能在某種程度上已反映在其「能源安全度」的變化上面（註2）。也就是說，如果透過觀察一些可以適度反映「能源安全度」指標的變化狀況，便可以大致掌握一個經濟體的經濟成長在面臨國際能源環境變遷時，所可能產生的反應，進而視需要採取必要之因應政策及措施。

過去文獻在探討一國之能源安全議題時，多係著重在：（1）單一能源安全指標的建構與跨時及跨國比較，如進口能源依存度、進口能源分散度、進口能源集中度、能源脆弱度等（Sterling, 1999）；（2）綜合性能源安全指標的建構與跨時及跨國比較，如以多個指標加權計算、整併後之能源安全度（何賢杰等，2006）；（3）特定面向的能源安全議題，如僅著重在供給面及供應數量的石油供應安全指標（張四立、陳彥尹，2004）。這些指標的建置及分析均能夠在某些特定的面向或角度詮釋了一經濟體在特定時點能源安全的狀況及過去隨時間演變的路徑，不過，卻也都對一經濟體究竟能夠承載、吸收多大的衝擊沒有太多的著墨。事實上，數量（如供應量）的變化及價格的波動是兩個改變能源安全狀況的主要起源，而所有會影響到數量變化及價格波動的因素都會直接或間接影響到能源安全的狀況。不過，除了這些以

外，經濟體在產業結構、消費習慣、科技發展、及政策環境等方面的發展也會影響到其承受上述數量及價格變化的能力，進而有不同於單純以數量、價格或相關指標計算所反映出來的能源安全狀況。

基於上述原因，本文從一個預防（Pre-Cautionary）及適應（Adaptation）的角度來看待所謂的能源安全度（註 3），以經濟承載能量（Carrying Capacity）為重心，並以台灣為例，檢視台灣歷年幾個時點的能源安全狀況。本文建構了台灣 1991、1996、2001、及 2004 等幾個年度之可計算一般均衡（Computable General Equilibrium，以下簡稱 CGE）模型，並在模型中區分了各主要初級能源（原油、煤、天然氣）的主要進口地區，也設定了必要之替代機制，更納入了一些消費偏好及選擇的機制，然後再搭配各種模擬情境的設定，藉由模型產生及事後設算的一些指標（Proxy Measures）（註 4），探討台灣過去的能源安全狀況及演變。本文的結果顯示，台灣的能源安全狀況與單純的能源供應分散度或集中度所呈現的結果有一些差距，應該更能夠反映台灣潛在的能源安全狀態。

本文共分六節，除前言外，第二節概略說明能源安全的定義及衡量的方法，第三節說明本文衡量能源安全的想法及做法；第四節為台灣近年以一些基本指標衡量的能源安全狀況；第五節為應用本文衡量方法計算所得之台灣過去幾個特定年度之能源安全度，以及這些能源安全度與傳統能源供應安全指標計算所得結果間之比較；第六節則為結論與建議。

## II、能源安全的意義及衡量

### 2.1 能源安全意義

一般而言，能源安全與否反映的不外乎是一種狀態或是能力，狀態指的是透過一些數字或是文字表達一個經濟體系相對的能源依賴程度，而能力指

的則是透過一些量化或是非量化指標具體反映一個經濟體系因應及吸納、承受能源衝擊時的承載能量。準此，能源安全所涵蓋的範疇多而複雜，包括供應安全、消費安全、生產安全、產業安全、生態安全、環境安全…等，而影響能源安全的因素也相應的變得極為複雜，包括資源稟賦、經濟狀況、政治態勢、軍事互動…等。這些因素有些容易預測或可以適度掌控，有些則完全無法預知及預防，僅能被動接受。

2006年在印度由世界各地的政治領袖與專家所召開的「Hydrocarbon Vision - 2025」會議中，將能源安全的定義重新完整的分為六個面向（圖1）。然而，在能源政策的制定過程中，尋求這些面向間的平衡還是一個相當困難的任務，而且這些面向之中的權重會隨著國家與時間的不同而改變（Alhajji，2008）。這六個面向所涵蓋的內容概述如下：

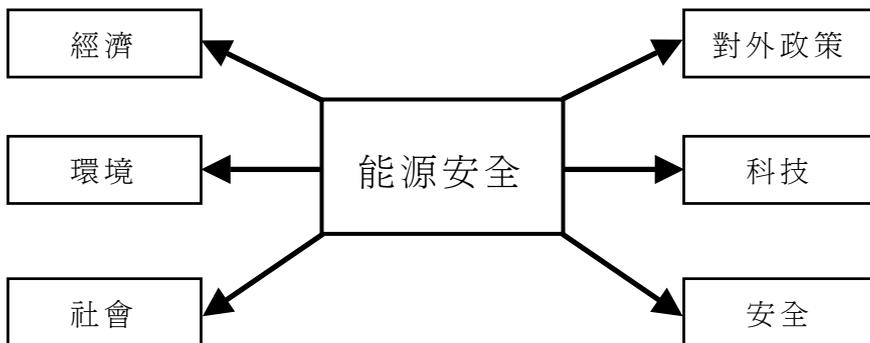


圖 1 能源安全的六個面向

資料來源：Alhajji（2008）。

1. 經濟面向：高經濟成長通常仰賴高能源消費與高能源進口，而能源安全的經濟面向就是要確保能源供應的穩定，避免延緩經濟的成長、增加通膨、提高失業率、削減國際收支餘額與減低貨幣的價值。
2. 環境面向：能源消耗量減少雖會較少污染排放，但是將會犧牲經濟面向的能源安全，所以只有提高運輸工具及機械設備的能源效率才能同時達到減

少污染與經濟成長的目標。因此，能源安全的環境面向不只是與能源本身有關，還與使用這些能源的科技也有關，所以政府應該將產業與科技政策與能源政策作有效的整合。

3. 社會面向：任何會增加所得與能源不均度的因素都會對社會產生威脅，因此，能源安全的社會面向強調的是貧困國家取得能源的能力，以及其以價格控制或是補貼來彌補這項缺口的能力。
4. 對外政策面向：石油與政治是互相糾纏影響的，一國在擔心能源短缺的情況下，可能必須要與其他的產油國家合作，這也強迫其在某些重要的國際議題或是政策原則上必須要向這些產油國妥協合作。
5. 科技面向：當政府藉由提升科技來改善再生能源的產量進而提高能源安全時，也可能同時降低了能源安全。例如，一些清潔碳科技的發展需要進口更多額外的石油與煤氣，所以反而會提高能源的價格，進而影響到經濟與社會面向的能源安全。
6. 安全面向：此一向與兩個議題有關：能源設備的安全及國家所需能源與國內能源生產活動安全的保護。

## 2.2 能源安全衡量

在能源安全的衡量方面，通常很難有單一的方法或指標可以將上述的六個面向都涵蓋進來，也因此，多數國家或學者在衡量一個經濟體系能源安全狀態時會僅著重在某一或是某幾個特定層面，而通常採用的觀測指標有可能是：(1) 單一能源安全指標，以及該指標之跨時及跨國比較，這些指標包含進口能源依存度、進口能源分散度、進口能源集中度、能源脆弱度等；(2) 綜合性能源安全指標，以及該指標之跨時及跨國比較，此一綜合性指標會以一些方法篩選出多個涵蓋不同面向的指標，再透過一些決定權重的方法進行加權計算、整併，以形成最終之能源安全度，如何賢杰等（2006）所建構的中石油安全指標；(3) 特定面向及特定能源安全指標，如僅著重在供給面及

供應數量的石油供應安全指標(張四立、陳彥尹, 2004)。Sterling (1999) 曾針對能源分散度的一些相關衡量法做有系統的回顧與整理, 張四立與陳彥尹(2004) 則是使用 Shannon-Weiner 指標(以下簡稱 S-W Index) 針對六個 APEC 會員國家(南韓、台灣、日本、中國、菲律賓、泰國) 比較其原油進口分散的情況。Shannon-Weiner 指標的計算公式如下:

$$SW = -\sum_i X_i \ln X_i \quad (1)$$

其中,  $X_i$  為自  $i$  國進口量佔總進口量的比例, 數字越大代表能源的進口越分散。

如果加入政治穩定度至指標裡, 則成為 Adjusted S-W 指標如式(2):

$$SW1 = -\sum_i X_i \ln X_i b_i \quad (2)$$

其中,  $b_i$  為  $i$  國的政治穩定度。

如果再加入自產比例的話, 則 Adjusted S-W 指標如式(3)所示:

$$SW2 = \langle -\sum_i X_i \ln X_i b_i \rangle (1 + g) \quad (3)$$

其中,  $g$  為自產佔總消費量的比例。

張四立的分析結果顯示, 如以「進口國」為來源計算 S-W 指標來看, 台灣在 1995 至 2001 年期間都優於其他的國家, 而整體來說台灣、日本、韓國在所有期間都是相當穩定的。但是改以「進口地區」為來源計算的話, 中國則幾乎優於其他的國家, 台灣僅次於中國。而如果將政治風險與自產比例納入考量的話, 其結果也有相當大的變化, 基本上六國的值都下降了, 而下降的幅度又以台灣與菲律賓為最大, 因為這兩國進口較多的西非原油, 而西非的政治穩定度又相當的差。

S-W 指標只能評估能源供應的安全，並沒有考慮到需求面等其它因素。Blyth 與 Lefèvre (2004) 為改善此種情況，將地緣政治、氣候變遷及電力系統的可靠度納入考量。Blyth 與 Lefèvre 採用地緣政治市場集中度風險 (Geopolitical Market Concentration Risk, 以下簡稱 GMC) 指標來反映能源安全，此指標係由 Herfindahl-Hirschman 指標擴充而來 (註 5)。GMC 指標介於 0 與 1 之間，越靠近 1 代表此市場越接近獨佔市場，反之則越接近完全競爭，GMC 指標公式如下：

$$GMC = \sum_i (S_{if})^2 \quad (4)$$

其中， $S_{if}$  為自出口國  $i$  的進口  $f$  能源佔一國總進口量的比例，而考慮政治風險度後的 GMC 指標公式為：

$$GMC = \sum_i r_i (S_{if})^2 \quad (5)$$

其中， $r_i$  為第  $i$  出口國的政治風險評比。

由於上述的 GMC 指標也只能評估供應面的能源安全，有鑑於此，Blyth 與 Lefèvre 更進一步在原公式加入市場流動性與市場風險：

$$GES = \sum_f \left[ \left( \sum_i r_i * (S_{if})^2 \right) * e^{(1/P_f)} \right] * C_f / TPES \quad (6)$$

其中， $GES$  (Geopolitical Energy Security, 以下簡稱  $GES$ ) 為地緣政治能源安全度， $P_f$  為  $f$  能源在市場的總供給， $C_f$  為  $f$  能源在市場的總消費量， $TPES$  (Total Primary Energy Supply, 以下簡稱  $TPES$ ) 為所有初級能源的總供給。在 Blyth 與 Lefèvre (2004) 之後，吳剛等 (2006) 也是利用市場集中度 Herfindahl-Hirschman Index 來評估歐盟、美國、日本及中國大陸 2001 年至 2003 年的能源供應安全，也同樣加入進口地區的風險權數。惟吳剛等人所定義的能源安全度略有不同：

$$R = \sqrt{\sum_i w_i^2 S_i^2} \quad (7)$$

其中， $R$  為能源安全度， $w_i$  為第  $i$  個進口地區的風險權數。在評估進口地區的風險權數方面，吳剛等人使用層級分析法對相關領域之專家做問卷調查（註 6）。

綜合而言，雖然 Blyth 與 Lefèvre（2004）加入了需求面至能源供應安全指標中，改善了傳統指標只能評估能源供應安全的問題，但是卻忽略了供應中斷也會影響能源安全，所以在該指標中仍無法有效反映當某個進口國供應中斷對於能源安全的影響。

在上述的方法之外，資產組合模型也能用於捕捉能源的進口風險，不過，不同於吳剛等人所定義之進口風險，資產組合理論主要想捕捉的是價格風險。這類的應用稍早有 Lesbirel（2004）用於估計日本在 1970 至 1999 年間的能源進口風險。Lesbirel 認為傳統的能源安全指標像是能源依存度，忽略了風險的存在，其將進口能源當作各種風險性資產，再根據資產組合理論把各種不同的能源風險區分為系統風險與特殊風險。系統風險定義為國際能源市場所造成的風險，當此一風險發生時，整個國際能源市場都會被影響，所以無法藉由多樣化來降低風險。特殊風險也可稱為非系統風險或是可分散風險，此種風險只會影響部份的供給者，像是能源生產國政治的動盪、罷工、或是種族衝突等所造成的風險。透過資產組合理論可以將這些不同資產所產生的風險加總成總風險。

Awerbuch 與 Berger（2003）與 Awerbuch *et al.*（2004）同樣應用資產組合理論對最適能源結構作研究，結果顯示包括太陽光電及風力發電在內的再生能源具有獨特之價格風險管理的優勢特性，是傳統的能源評估技術所忽略且無法掌握的。張四立與陳彥尹（2006）參考其架構，也使用資產組合理論探討台灣電力部門所面對的發電能源選擇議題與相關爭議，特別是再生能源與核能在發電能源的配比問題。近期，Lin *et al.*（2008）則是進一步應用實質

選擇權方法 (Real Options Approach) 於能源安全的探討。而江易宸 (2006) 也利用 Sharpe (1963) 的單一指數模型加上 Toman 與 Macaule (1986) 所考慮消費者風險態度的想法，將價格風險和數量風險捕捉進口能源的不確定性。這些基本上都可歸類於應用財務理論於能源安全的方法及研究。

有別於以上的指標及方法，Green 與 Ahmad (2005) 認為石油的依存對美國已經成爲一個重要的問題，然而石油依存不只是進口量的多寡而已，它更表示整個經濟體系在遭遇油價變動的時候的脆弱程度。準此，Green 與 Ahmad 將重點放在評估石油依存的經濟成本，其定義石油依存爲原油生產國對市場定價策略的改變而產生的經濟成本，並把成本分爲直接經濟成本與間接經濟成本，直接經濟成本則包括財富移轉成本、潛在 GDP 損失、總體調整成本等。此一方法因爲使用簡單的彈性來估算經濟成本，文獻中可以取得相當多的資料供參考計算，缺點則是沒有考慮許多市場間的交互影響，也沒有考慮到政治、軍事和間接成本。

最近，Vivoda (2009) 針對能源進口國採取來源分散政策是否真的會提高其能源安全度做了一番探討，結論是來源分散政策也有一定的侷限性，因此也不應該當作提升能源安全的唯一依靠；另外，Löschel *et al.* (2010) 就能源安全的觀念也提出另一種看法，其認為能源安全衡量應該有所謂事後 (Ex Post) 及事前 (Ex Ante) 的區別，事後的衡量著重在檢視過去的能源安全狀況，而事前的衡量則是在研判未來可能的能源安全狀況變化。事後的衡量可以利用公布的資料進行分析，事前的衡量有一部分則需要仰賴對一些未來情況的假設，因此探討起來有一定的困難度。

### III、能源安全之建議衡量方法

前述之能源安全指標的建置及分析均能夠在某些特定的面向或角度詮釋了一經濟體在特定時點能源安全的狀況及過去隨時間演變的路徑，也就是

說，這些方法分析的結果都說明了經濟體系在特定時點的能源安全狀態，不過，從另一個角度看，除了 Green 與 Ahmad (2005) 之外，卻也都對一經濟體究竟能夠承載、吸收多大的衝擊沒有太多的著墨。如前所述，數量（如供應量）的變化及價格的波動才是兩個改變能源安全狀況的主要起源，而所有會影響到數量變化及價格波動的因素都會直接或間接影響到能源安全的狀況。理論上，經濟體在產業結構、消費習慣、科技發展、及政策環境等方面的發展都會影響到其承受上述數量及價格變化的能力，而當這些因素都納入考慮之後，分析所得結果應該會有不同於單純以數量、價格或相關指標計算所反映出來的能源安全狀況。

基於上述的考量，本文定義一經濟體的能源安全狀況為：「經濟體系因應及吸納、承受能源衝擊時的相對承載能量」，所涵蓋的範疇包括能源供應、能源消費、產業生產、產業結構、貿易結構、資源稟賦及分配…等，而用於分析台灣能源安全狀況的是以一般均衡理論為基礎的可計算一般均衡（CGE）模型，以期詳盡的掌握整個總體經濟與個體經濟體系多數的連鎖互動情形。本文所建構的 CGE 模型為單國靜態模型，透過編製台灣 1991、1996、2001、及 2004 等幾個年度之模型基準資料，並在模型中區分各主要初級能源（原油、煤、天然氣）的主要進口地區，以及設定必要之替代機制，並納入了一些消費偏好及選擇的機制，最後，再搭配各種模擬情境的設定，我們即可藉由模型產生及事後設算的一些指標，觀察台灣在上述幾個年度的能源安全狀況，提供主管機關及一般大眾有關台灣承受能源衝擊的潛在能量及變動趨勢。

## IV、台灣近年能源安全狀況

過去我國能源安全所面臨的最大問題是供應不穩定、價格波動過大以及對於單一進口來源過度依賴（許志義，1994），而目前我國的狀況依舊相

同。我國進口能源依存度自從 1993 年以來一直維持在至少 95% 以上，顯示我國相當缺乏自產能源，一直仰賴國外進口；而石油依存度除了相當穩定的維持在 50% 上下外，進口石油依存度更一直高達 99 % 以上，顯示我國對於進口的石油依賴度高於其他能源（見表 1）。

表 1 台灣地區能源依存度指標

年別	進口能源 依存度	石油依存度	進口石油 依存度	中東原油 進口依存度
1991	95.28	53.87	99.64	80.09
1992	94.92	53.34	99.78	79.98
1993	95.86	53.11	99.81	77.33
1994	95.33	52.83	99.82	73.84
1995	95.68	54.28	99.85	68.56
1996	95.52	53.44	99.86	63.07
1997	96.07	51.17	99.88	59.42
1998	96.14	51.34	99.88	61.50
1999	96.45	51.82	99.90	60.40
2000	97.33	50.99	99.93	60.34
2001	96.34	50.39	99.92	68.06
2002	97.64	49.22	99.90	74.16
2003	97.65	50.73	99.91	79.04
2004	97.94	51.00	99.92	76.74
2005	97.85	51.27	99.94	82.72
2006	98.24	50.91	99.96	79.85

資料來源：經濟部能源局。

根據表 1，如果以進口能源依存度作為主要的能源安全指標，則觀察 1991，1996，2001，及 2004 幾個年度的變化，可以認定台灣的能源安全度是逐漸下降的。不過，如前面之說明，單一指標僅反映了某一特定面向的能源安全，要掌握真正的能源安全狀況及演變，尚需有其他的指標。

## V、台灣能源安全衡量結果

### 5.1 衡量模型介紹

本文之模型與一般標準之 CGE 模型在理論及基本設定上差別不大(註 7)，最大的差別係在於初級能源的進口地區設定。至於在部門分類方面，本文模型為求四個年度模型的分類相同，故採取 1991 年的標準投入產出表 39 部門分類為基礎，再加上額外分出之能源部門。由於各年之 39 或 49 部門投入產出表係將石油、天然氣以及煤部門併入礦業部門裡，因此我們係依賴各年度細部門之投入產出表將這三種能源分解出來；整個分析模型最後共有 42 個部門。模型的主要特色說明如下：

1. 採用可分割 (Separability) 的假設，設定生產者、投資者以及消費者為單一產出、多投入之巢式 (Nested) 函數型式。
2. 援用線性求解方式及多步驟插補法來求解模型中的均衡解，因此模型中的各項方程式是以百分比變動形式來呈現，其優點是可大幅度減少需要校準的未知母數之個數，提高模擬求解速度。
3. 根據不同的模擬需要，設定所需的模型封閉準則 (Closure Rule)，來改變內外生變數的選取，方便政策效果的評估。
4. 引用了 Armington 假設 (Armington, 1969 & 1970)，可表現出國產品與進口品之間呈不完全替代之關係。另外，函數中也加入了偏好參數的設定，可用於設定不同之偏好情況 (註 8)。
5. 要素的生產及使用的方程式中都設定有技術變動參數，可用來探討要素使用的技術進步對產品的生產、產業的產品生產組合及產業資本形成之影響 (註 9)。

除了以上的特色外，本文模型更進一步的將能源進口來源國家區分為高替代與低替代彈性區域。一般來說，我們可以以合約的限制情況來區分替代彈性的大小。通常進口能源是依照雙方簽約內容來決定進口期間，理論上，

如果合約決定的進口年限越長的話，那麼要轉換從其他國家進口的彈性就越低，所以替代彈性也就越小；反之，如果合約決定的進口年限越短的話，那麼轉換自其他國家進口的彈性也就越高，所以會有較高的替代彈性。不過，在實際的情況下，合約的資料不易取得，所以在石油部份，本文只能概略將屬於石油輸出國家組織（Organization of Petroleum Exporting Countries，以下簡稱 OPEC）的國家歸於低替代彈性的區域，而非 OPEC 的國家則納入高替代彈性之區域（註 10）。而煤及天然氣也做類似的處理。區分進口地區的設定如圖 2 所示。

## 5.2 模擬分析

利用本文所建置的 CGE 模型，我們從探討影響能源安全的起因及衝擊幅度的角度，設定了一些模擬的情境，並在各個年度模擬求解後設算一些能源安全度指標，再比較各年的結果，以得到台灣能源安全度的變化趨勢狀況。

基於影響能源安全的主要起因為供應量及價格的變化，本文的模擬情境分為以下兩個主題：

1. 供應量中斷模擬：先個別對每個能源供應國做 50% 供應量減少的模擬，觀察對台灣實質 GDP 之影響，接著，再利用世界銀行所公佈的「政治穩定度」指標來計算個別能源自各輸出國進口能源之相對風險，以反映相對的供應中斷機率（註 11）。接下來，以此機率作為權重將個別能源進口國供應中斷對我國經濟面之影響做加權組合，以得到個別能源供應中斷對我國實質 GDP 的總影響。最後，再以個別能源占能源最終消費之比例為權重將所有能源的影響作加權平均，以得到各年度能源供應量中斷所可能帶來的總影響。
2. 價格上漲模擬：與供應量中斷模擬不同的是，能源價格通常是每個國家每個區域同時上漲，所以本研究係模擬所有能源所有進口國家共同上漲 50% 對我國實質 GDP 的影響。

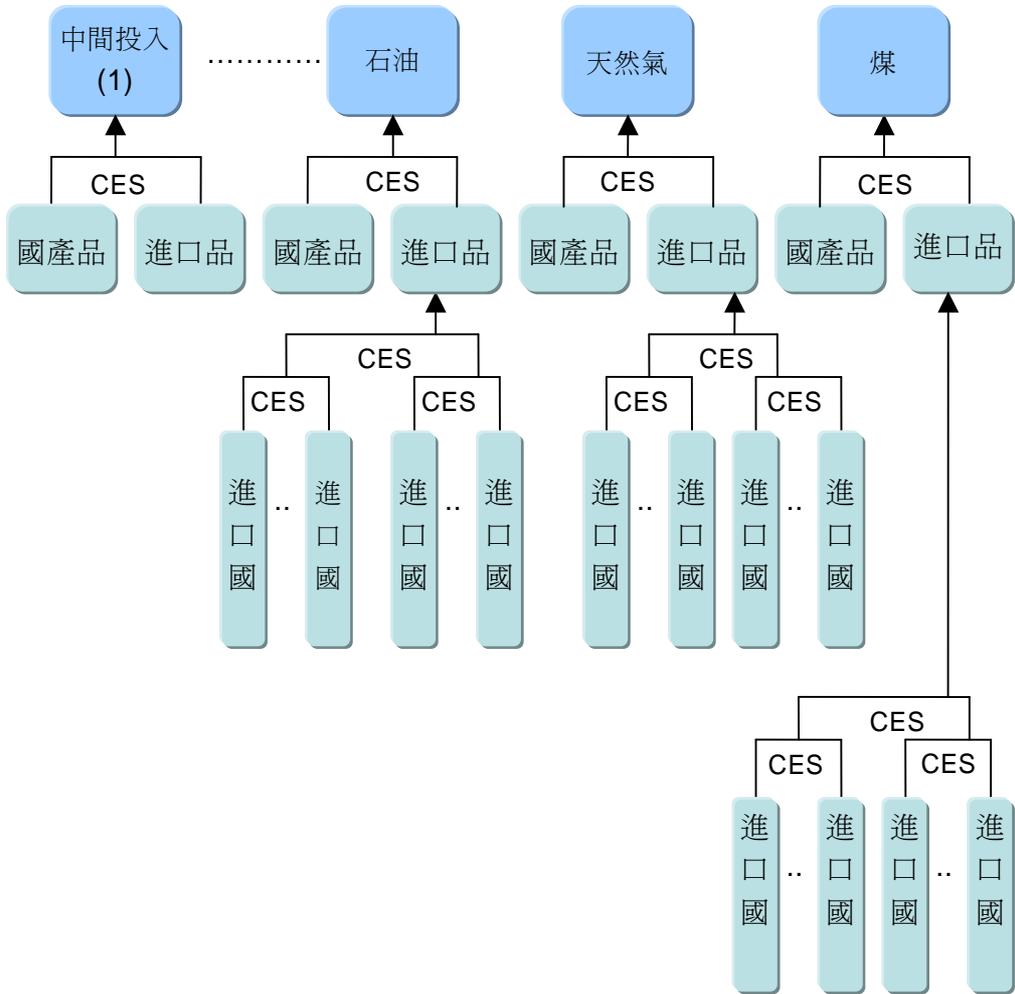


圖 2 區分進口地區之巢狀設定

資料來源：本研究整理。

在供應量之衝擊方面，有別於先前所介紹的能源安全指標只能反映當時的情況，係從一個預防以及適應的角度來發展新的能源安全度，也就是衡量經濟體系對潛在風險所能承載的能量。以下我們先模擬原油、煤、及天然氣之各個進口來源國個別發生供應量中斷 50%時，對我國實質 GDP 的影響，結果呈現於表 2、表 3 及表 4。

表 2 原油供應中斷 50%對我國實質 GDP 的影響

年度	1991	1996	2001	2004
印尼	-0.001191	-0.000141	-0.020441	-0.045857
伊朗	-0.001009	-0.000409	-0.131202	-0.335003
伊拉克	--	--	-0.035936	-0.104895
奈及利亞	--	-0.000235	-0.040217	-0.046204
沙烏地阿拉伯	-0.004946	-0.001141	-0.264620	-0.608966
科威特	-0.000078	-0.000498	-0.192381	-0.557588
阿拉伯聯合大公國	-0.001324	-0.000308	-0.049486	-0.096582
剛果	--	-0.000356	-0.110430	-0.152887
安哥拉	--	-0.000200	-0.065379	-0.148488
科沙	-0.000221	-0.000077	-0.038009	-0.095691
阿曼	-0.001217	-0.000167	-0.015434	-0.085868

資料來源：本研究整理。

註：“--”代表未從該國進口。

表 3 煤供應中斷 50%對我國實質 GDP 的影響

年度	1991	1996	2001	2004
印尼	-0.001022	-0.001654	-0.083408	-0.000030
美國	-0.006158	-0.000599	-0.000854	-0.000064
南非	-0.007066	-0.001342	-0.011102	-0.000834
澳洲	-0.009932	-0.002797	-0.099635	-0.233423
加拿大	-0.000936	-0.000264	-0.009394	-0.184144
中國大陸	-0.004370	-0.001231	-0.043839	-0.119808

資料來源：本研究整理。

表 4 天然氣供應中斷 50%對我國實質 GDP 的影響

年度	1991	1996	2001	2004
印尼	-0.341406	-0.341406	-0.148623	-0.205212
澳洲	--	--	--	-0.009400
阿曼	--	--	--	-0.013078
馬來西亞	--	-0.105408	-0.100873	-0.175326

資料來源：本研究整理。

註：“--”代表未從該國進口。

接下來，我們將各進口地區的中斷機率加入到上述所模擬的實質 GDP 變動率，以觀察能源安全潛在的變化情況。由於各進口地區的中斷機率通常與該國之政治情勢有較大的關係，本文乃參考 2007 年世界銀行發行之「1996-2006 年間全球各國的政府指標 (Worldwide Governance Indicators Governance Matters 2006)」，擷取其中「政治穩定度指標」作為能源進口的風險指標。由於本文分析年度中 1991 及 2001 兩年沒有政治穩定度的資料，所以我們係以 1996 年及 2002 年之政治穩定度來代替 (註 12)。表 5、表 6、表 7 分別為原油、煤、天然氣供應國之政治穩定度，數字越小代表風險越大。為了計算方便，我們先將各國政治穩定度由小排到大，並且同時相加某個數字使最不穩定的國家為 1，最後將全部的數字做倒數之處理，以約略推算各國發生供應中斷之機率 (見表 8、表 9、表 10)。

表 5 原油供應國之政治穩定度

年度	1996	2002	2004
印尼	-0.81	-1.62	-1.57
伊朗	-0.69	-0.82	-1.08
伊拉克	-2.90	-1.90	-3.07
奈及利亞	-1.63	-1.71	-1.81
沙烏地阿拉伯	-0.52	-0.47	-1.08
科威特	0.00	-0.01	0.06
阿拉伯聯合大公國	0.74	0.80	0.61
剛果	-0.83	-1.29	-1.09
安哥拉	-2.27	-1.42	-0.95
科沙	0.00	-0.01	0.06
阿曼	0.47	0.85	0.79

資料來源：本研究整理。

表 6 煤供應國之政治穩定度

	年度	1996	2002	2004
印尼		-0.81	-1.62	-1.57
美國		0.94	0.30	0.12
南非		-1.25	-0.42	-0.22
澳洲		1.10	1.17	0.89
加拿大		0.94	1.20	0.99
中國大陸		-0.27	-0.21	-0.17

資料來源：本研究整理。

表 7 天然氣供應國之政治穩定度

政治	年度	1996	2002	2004
印尼		-0.81	-1.62	-1.57
澳洲		1.10	1.17	0.89
阿曼		0.47	0.85	0.79
馬來西亞		0.64	0.39	0.26

資料來源：本研究整理。

表 8 原油供應國發生中斷之機率

	年度	1991	1996	2001	2004
伊拉克		1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
安哥拉		0.6135	0.6135	0.6757	0.3205
奈及利亞		0.4405	0.4405	0.8403	0.4425
剛果		0.3257	0.3257	0.6211	0.3356
印尼		0.3236	0.3236	0.7813	0.4000
伊朗		0.3115	0.3115	0.4808	0.3344
沙烏地阿拉伯		0.2959	0.2959	0.4115	0.3344
科沙		0.2564	0.2564	0.3460	0.2421
科威特		0.2564	0.2564	0.3460	0.2421
阿曼		0.2288	0.2288	0.2667	0.2058
阿拉伯聯合大公國		0.2155	0.2155	0.2155	0.2703

資料來源：本研究整理。

表 9 煤供應國發生中斷之機率

年度	1991	1996	2001	2004
南非	1.0000	1.0000	0.4545	0.4255
印尼	0.6944	0.6944	1.0000	1.0000
中國大陸	0.5051	0.5051	0.4149	0.4167
加拿大	0.3135	0.3135	0.2618	0.2809
美國	0.3135	0.3135	0.3425	0.3717
澳洲	0.2985	0.2985	0.2639	0.2890

資料來源：本研究整理。

表 10 天然氣供應國發生中斷之設算機率

年度	1991	1996	2001	2004
印尼	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
阿曼	0.4386	0.4386	0.2882	0.2976
馬來西亞	0.4082	0.4082	0.3322	0.3534
澳洲	0.3436	0.3436	0.2639	0.2890

資料來源：本研究整理。

接下來，我們以此中斷設算機率作為權重，與先前所模擬個別能源供應中斷 50%對我國實質 GDP 的影響相乘，得到最大可能中斷對我國實質 GDP 影響（表 11、表 12 及表 13），再將此影響相加總，最後以個別能源佔最終能源消費比例為權重（表 14），將各個能源之實質 GDP 變動率做加權平均，以得到能源供應安全度（表 15）。由表 11 至表 14 的結果可以發現，相對於 1990 年代，台灣 2000 年以後之原油供應安全逐漸下降，煤供應安全也相對較低，但情況較沒有原油嚴重；而天然氣則是相對較為安全。至於表 15 的綜合結果則顯示，整個能源供應安全是逐漸在下降，與能源依存度逐漸上升所反映的能源供應安全下降之結論一致（註 13）。

表 11 原油最大可能中斷對我國實質 GDP 影響

年度	1991	1996	2001	2004
印尼	-0.000385	-0.000046	-0.015969	-0.018343
伊朗	-0.000314	-0.000127	-0.063078	-0.112041
伊拉克	--	--	-0.035936	-0.104895
奈及利亞	--	-0.000104	-0.033796	-0.020444
沙烏地阿拉伯	-0.001463	-0.000337	-0.108897	-0.130121
科威特	-0.000020	-0.000128	-0.066568	-0.135009
阿拉伯聯合大公國	-0.000285	-0.000066	-0.013375	-0.020637
剛果	--	-0.000116	-0.068590	-0.051304
安哥拉	--	-0.000122	-0.044175	-0.047592
科沙	-0.000057	-0.000020	-0.013152	-0.023170
阿曼	-0.000278	-0.000038	-0.004116	-0.017668
總和	-0.002803	-0.001104	-0.467651	-0.681224

資料來源：本研究整理。

表 12 煤最大可能中斷對我國實質 GDP 影響

年度	1991	1996	2001	2004
印尼	-0.000710	-0.001149	-0.083408	-0.000030
美國	-0.001930	-0.000188	-0.000292	-0.000024
南非	-0.007066	-0.001342	-0.005046	-0.000355
澳洲	-0.002965	-0.000835	-0.026289	-0.067463
加拿大	-0.000293	-0.000083	-0.002459	-0.051726
中國大陸	-0.002207	-0.000622	-0.018190	0.049920
總和	-0.015171	-0.004218	-0.135685	-0.069678

資料來源：本研究整理。

表 13 天然氣最大可能中斷對我國實質 GDP 影響

年度	1991	1996	2001	2004
印尼	-0.341406	-0.341406	-0.148623	-0.205212
澳洲	--	--	--	-0.002717
阿曼	--	--	--	-0.003892
馬來西亞	--	-0.043024	-0.033513	-0.061953
總和	-0.341406	-0.384430	-0.182136	-0.273774

資料來源：本研究整理。

表 14 最終能源消費比例

年度	1991	1996	2001	2004
原油	0.75	0.77	0.76	0.78
煤	0.22	0.20	0.22	0.20
天然氣	0.03	0.03	0.02	0.02

資料來源：本研究整理。

表 15 模擬能源供應量中斷的安全度

年度	1991	1996	2001	2004
能源供應量中斷的安全度				
實質 GDP 變動率	-0.0145	-0.0128	-0.3893	-0.5489
能源價格上漲之安全度				
實質 GDP 變動率	-0.2143	-0.1652	-1.0473	-1.0760
新能源安全度				
新能源安全度	-0.2288	-0.1779	-1.4367	-1.6249

資料來源：本研究整理。

接下來，本文針對價格上漲的部份作模擬。前面已提及，與供應量不同的是，通常能源價格幾乎是所有國家或區域同時上漲，所以本文模擬所有國家以及所有能源同時上漲 50% 的情形，表 15 中間橫列部份為模擬之結果。

由表 15 可以發現，相對於 1990 年代，台灣 2000 年以後之能源安全度已明顯下降，經濟體系承載能源價格衝擊的能量下降了。這點與台塑六輕於 2000 年投產，導致原油需求大幅增加有關，也與台灣之產業結構一直無法擺脫朝向能源密集產業結構發展的方向有一定程度的關聯，而這點與世界各主要國家發展的趨向背道而馳，是一個相當值得關注的現象。由比較 1996 及 2001 兩個年度產業關聯表 39 個部門的石油煉製品及電力投入情況可以發現（見附錄表 3），化工原料業在石油煉製品的投入比例上有相當大的變化，雖然化工原料業的產值增加了 62%，但是在石油煉製品的投入金額上卻增加了將近 300%，而投入比例也從原先的 10.02% 上升到 24.36%；至於其他產業對於石油煉製品的投入比例與投入金額幾乎也都有明顯的增加。由於石油煉製品皆是由原油提煉而成，而台灣原油幾乎都是從國外進口，此項投入結構之改變對於我國能源安全必然有直接又顯著的影響。

除了觀察上述經濟結構與投入技術的變化之外，如果觀察 1996 及 2001 兩個年度的能源供需結構也可以發現（見附錄圖 1），2001 年相對於 1996 年，各種初級能源的供需量已有明顯的增加，對能源的依賴日深，自然也就更不易擺脫能源衝擊所可能帶來的負面影響。

最後，我們將量與價之模擬結果相加，分別在各個年度得到一個綜合供應量中斷及價格上漲的能源安全度結果（表 15 下方列），其中數字的絕對值越大代表我國經濟體系受到量與價衝擊後的影響越大，所以能源安全度越差。表中結果顯示，台灣在 2000 年代的能源安全度每況愈下。

以上所試算之能源安全指標，是以實質 GDP 來衡量當此經濟體系受到外生衝擊所受到影響之大小，但是除了實質 GDP 外尚其他的經濟指標可以衡量此衝擊的程度，像是就業、物價、進口、出口等等。基於此，本文接著延續以上的做法，觀察以就業、物價、進口與出口在衝擊下的變動率所估計得到的能源安全度，並且與之前以實質 GDP 變動率為單一考量的能源安全度做比較。圖 3 至圖 4 為將上述指標放在一起比較的結果，圖中愈往內影

響愈大。由這些圖可以發現，幾乎所有指標的結果一致，2000年以後所造成的影響明顯增加了。

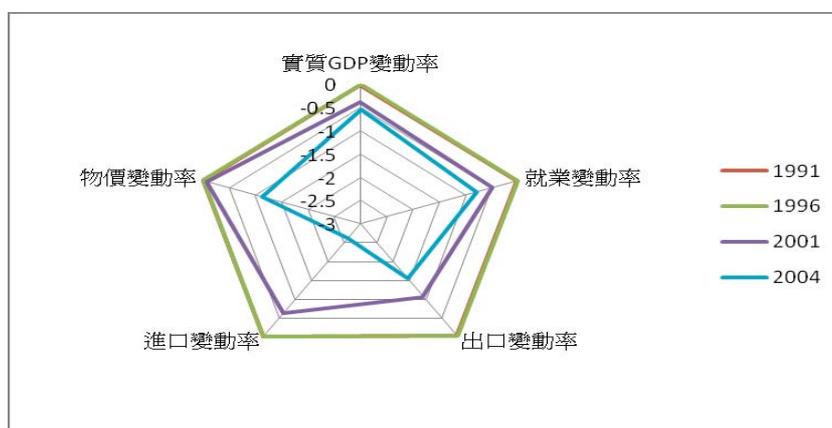


圖 3 能源供應量中斷的能源安全度－各個總體指標的年度比較

資料來源：本研究整理。

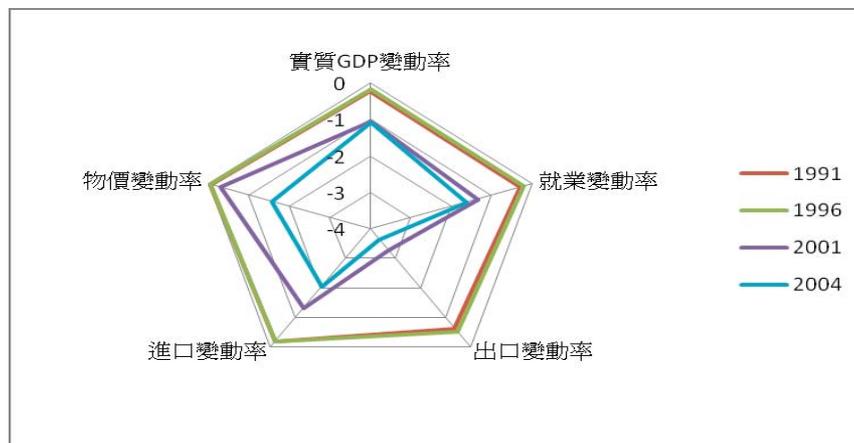


圖 4 能源價格上漲的能源安全度－各個總體指標的年度比較

資料來源：本研究整理。

最後，本文分別將各年度的五種總體指標結果加總，以得到每一年度的「綜合能源安全度」結果。將五種總體指標的結果加總將牽涉到每項指標該給多少權重的問題，而權重如何訂定往往是見仁見智。針對此，本文決定採

用可以較客觀決定權重的主成份分析法 (Principle Component Analysis) (註 14)，來決定各指標在各年度的權重 (註 15)。表 16 列出以四個年度、五項總體指標、及兩種衝擊 (供應量中斷及價格上漲) 進行主成份分析所得到之各主成份特徵值與解釋比例。由該表可以發現，兩種衝擊情況的第一主成份都解釋了五項指標超過 90% 的總變異，因此，第一主成份特徵值所對應之特徵向量應已足以用來作為計算綜合指標結果之權重係數。由表 17 的特徵向量結果我們可以看到，對供應量中斷衝擊而言，權重相對較大的是出口及進口的影響，而價格上漲衝擊下，權重相對較重的同樣也是出口及進口的影響；而雖然兩種衝擊的權重係數不相同，但因我們關心的是各年度間的差異，且兩種衝擊可以分開來看，因此並不影響本文的結論。

表 16 主成份分析之特徵值及解釋比例

	供應量中斷		價格上漲	
	特徵值	解釋比例 (%)	特徵值	解釋比例 (%)
第一主成份	4.6623	93.2457	4.6408	92.8159
第二主成份	0.3377	6.7534	0.3586	7.1728
第三主成份	0.0000	0.0009	0.0006	0.0113
第四主成份	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
第五主成份	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

資料來源：本研究整理。

我們接著利用表 17 的特徵向量，分別計算供應量中斷及價格上漲下各年度的綜合能源安全度，如表 18 所示。表 18 中的數字越大，代表經濟體系在受到外在衝擊時所受到的影響也越大，也代表該數字所對應年度在預防衝擊上需要有較多的作為，否則在面臨衝擊時將更難以承受。而如果從適應的角度來看，數字越大的年度，則代表該年度經濟體系之產業結構及消費結構更不利於面對能源衝擊。

表 17 第一主成份之負荷及特徵向量

	供應量中斷		價格上漲	
	主成份負荷	特徵向量	主成份負荷	特徵向量
實質 GDP 變動率	0.971641	0.121907	0.970958	0.227128
就業變動率	0.989584	0.176051	0.994183	0.332562
出口變動率	0.975224	0.347949	0.985405	0.768350
進口變動率	0.974053	0.557344	0.997435	0.424748
物價變動率	0.916014	0.234448	0.862403	0.290626

資料來源：本研究整理。

表 18 綜合各項總體經濟指標的各年度不同衝擊下能源安全度

	年度	1991	1996	2001	2004
綜合能源安全度 --供應量中斷		-0.0201	-0.0150	-0.8842	-2.4731
綜合能源安全度 --價格上漲		-0.7231	-0.5929	-3.8464	-4.9215

資料來源：本研究整理。

上述結果也可以與其他的能源安全指標，如 SW、SW1 與 GMC 指標，做比較。表 19 中之 SW 代表未加入政治穩定度的供應分散度指標，SW 結果顯示我國的供應分散程度自 1996 年開始至 2004 為止有略趨分散之情況，表示能源供應安全有愈趨上升的現象。另外，GMC 之供應集中度指標也顯示我國能源進口也是趨於分散，與 SW 指標估算所得結果相同。至於在 SW1 方面，加入政治穩定度的供應分散指標所呈現的是 2000 年以後之能源供應安全反而略有下降，與 SW 的結論不太一致（註 16）。在上述之外，表 19 中的 AI-Q 及 AI-P 分別為本文使用主成份分析法計算而得之兩種衝擊下的綜合能源安全度。由表中數字可以發現，本文所計算得到的綜合安全度結果與採用實質 GDP 變動率計算的結論一致，而與 SW 及 SW1 則均沒有完全一致的

結果。基本上，本文的結果告訴我們台灣的能源安全度其實是逐漸在下降的，台灣承載能源衝擊的能力相對於 1990 年代已下降許多，未來台灣的能源及產業政策應做更大的調整，以及早因應可能面臨的衝擊。

表 19 能源安全指標之比較

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
SW	1.4045	1.5177	1.6442	1.7255	1.7956	1.8366	1.7952
SW1	--	--	--	--	--	0.9858	--
GMC	0.2259	0.1885	0.1858	0.1577	0.1326	0.1139	0.1135
AI-Q	0.0201	--	--	--	--	0.0150	--
AI-P	0.7231	--	--	--	--	0.5929	--
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
SW	1.9564	1.9931	1.9646	1.9434	2.0675	1.9460	1.9614
SW1	1.2769	--	0.9241	--	1.0658	1.1027	1.1118
GMC	0.1009	0.0752	0.0930	0.1275	0.1188	0.1597	0.1408
AI-Q	--	--	--	0.8842	--	--	2.4731
AI-P	--	--	--	3.8464	--	--	4.9215

資料來源：本研究整理。

註：AI-Q 及 AI-P 數值係以表 20 數值取絕對值，以方便比較。

## VI、結論與建議

經濟發展對能源的依賴甚深，而確保能源的穩定供應也一向是各國經濟發展政策中最重要的一環。當面臨供應短缺的風險升高，或是購買的成本大幅提升時，將使其得以維持一定成長目標的難度增加，甚至導致經濟的衰退。這種經濟成長受到明顯負面衝擊的現象可能在某種程度上已反映在其「能源安全度」的變化上面。基於數量（如供應量）的變化及價格的波動是

兩個改變能源安全狀況的主要起源，而所有會影響到數量變化及價格波動的因素都會直接或間接影響到能源安全的狀況，且經濟體在產業結構、消費習慣、科技發展、及政策環境等方面的發展也會影響到其承受上述數量及價格變化的能力，進而有不同於單純以數量、價格或相關指標計算所反映出來的能源安全狀況，本文從預防及適應的角度來看待所謂的能源安全度，以經濟承載能量為重心，並以台灣為例，檢視台灣歷年幾個時點的能源安全狀況。本文建構了台灣 1991、1996、2001、及 2004 等幾個年度之可計算一般均衡（CGE）模型，並在模型中區分了各主要初級能源（原油、煤、天然氣）的主要進口地區，也設定了必要之替代機制，更納入了一些消費偏好及選擇的機制，然後再搭配各種模擬情境的設定，藉由模型產生及事後設算的一些指標，探討台灣過去的能源安全狀況及演變。

透過對供應量中斷及價格上漲的模擬，本文發現相對於 1990 年代，台灣 2000 年以後之能源安全度由於台塑六輕的投產，以及多數產業對石油煉製品等能源產品之依賴增加，已有明顯的下降，顯示經濟體系承載能源供應中斷及價格上漲衝擊的能量下降了。此一結果顯示，台灣之產業結構若無法擺脫朝向能源密集產業結構發展的方向，將與世界各主要國家發展的趨向背道而馳，在國家能源安全上也將面臨更大的風險，而未來台灣的能源及產業政策如果無法做更大的調整，將越來越無法承受可能面臨的衝擊。

## 附 註

1. 國際油價在 2007 年~2008 年期間大幅上漲，2008 年後期開始由於全球金融海嘯的影響，各國經濟成長力道大幅衰退，導致對能源需求減少，油價跟著下滑。不過，隨著全球經濟的慢慢復甦，能源需求將逐漸回復以前的水準，油價也預期會再度上升。
2. 經濟合作發展組織（Organization for Economic Cooperation and Development，以下簡稱 OECD）在 1974 年成立國際能源署（International Energy Agency，以下簡稱 IEA），主要是為了整合主要工業國家的力量對抗 1973 年的能源危機，而傳統的能源安全觀也在這個時候形成。近幾年來，能源安全此議題再度被人們重視，主要有四點原因：第一，石油與其他化石能源的消耗，導致大家陷於能源資源消耗殆盡的恐慌中。第二，資源缺乏國家對於國外資源的依賴日深。第三，地緣政治所導致的資源供應短缺問題日益明顯，像是恐怖主義等。第四，開發中國家對於能源的需求大量增加，大幅推升能源價格，像是印度與中國。
3. 所謂預防的概念是，就一個特定時點而言，衝擊沒有發生前事先評估若衝擊發生將帶來的影響，以作為制定因應措施之參考；所謂適應的概念則是，經濟體系具有自我學習及調適的能力，因此隨著時間演變，應該會因應外在環境的變化做了一定的消費模式及產業結構調整等。
4. 到底應該用什麼指標可以最正確地反映一個經濟體系的能源安全度，一直都是一個見仁見智的問題，而不管採用何種指標，基本上都是一種代理指標（Proxy Measures），可能僅涵蓋了某些層面的能源安全議題。
5. 此一指標通常用來分析廠商生產數量對單一市場的影響力，可以依 GMC 指標來判斷此一市場是否為獨占市場。
6. 該研究結果有幾項發現。第一，因為石油進口的特殊性，其集中度指數與進口風險權數並不成正比，歐盟就屬於這種情形。第二，雖然中東地區是世界上石油供應最不安全的地區，但是短期內任何石油進口國都無法擺脫它的進口依賴。第三，從美國與歐盟的結果發現，盲目的增加石油進口來源的數量並不能降低集中度指數與進口風險權數，只有降低高風險地區的進口量與增加低風險的進口量才能達到石油進口多元化與降低進口風險的最佳途徑。第四，由於中國大陸能源需求缺口增加，短期內還尚未找到合適的石油進口國，所以只能增加中東等高風險地區的石油進口量，所以在 2001~2003 年幾個主要石油進口國與地區中，只有中國大陸的石油進口風險在逐漸擴大。最後，美國、歐盟與日本對中國大陸及俄羅斯的石油進口逐漸增加，這代表著各主要石油進口國正逐步擺脫對 OPEC 石油進口的依賴，努力實現其石油進口的多元化目標。

7. 標準的 CGE 模型如澳洲的 ORANI-G 模型 (Horridge, 2003), 以及世界銀行的 DMR 模型 (Dervis *et al.*, 1982)。台灣建置 CGE 模型或應用 CGE 模型於政策分析也有許多年的歷史, 如林國榮等 (2001)、李堅明等 (2005) 之相關研究即是。
8. 若有國產能源, 一般均會優先使用, 而本文以 Armington 函數設定應已考量此一情況, 因為 Armington 函數的設定是使國產與進口能源之間的替代為不完全替代, 且替代彈性值的高低也會決定可能替代量的多寡。例如, 當國際能源價格下跌時, 國產能源價格若尚未相應下跌, 則進口能源會增加, 不過, 進口能源並不能夠完全取代國產能源, 且當替代彈性值並不高的情況下, 能夠替代的也有限。本文的國產與進口能源替代彈性值設定為 1.5, 而由於台灣幾乎沒有自產能源, 因此彈性值的高低基本上不至於影響本文之結果。
9. 此處所指稱之技術變動參數設定, 實乃當設定模擬情境中想要考量若技術變動偏離當年度實際情況時, 能源安全狀況可能的變化, 惟由於本文並未進行此類情境的模擬, 因此技術參數實僅反映各個資料年度的技術狀況。
10. 本文在低替代彈性區域內之替代彈性值係設定為 1.5、而高替代彈性區域內之替代彈性值係設定為 3.0。
11. 在這樣的處理下, 嚴格來說並不是真正的機率, 僅是一種相對會發生機會的大小比較。
12. 當然, 這是一個不得已的做法, 而此一穩定度數值若有變化將會略為影響到分析的結果。
13. 縱然如此, 本文的結果額外提供了對經濟影響的可能幅度。
14. 有關主成份分析方法的理論及應用介紹, 請參見林師模與陳苑欽 (2003)。
15. 如本文第二節第一小節所述, 能源安全大致可區分有六個面向, 然而這六個面向的重要性各自如何? 要決定並不是一件容易的事。基本上, 若這六個面向都可以得到量化的結果, 則也可以利用主成份分析來決定各個面向的權重。
16. 由於政治穩定度指標是從 1996 年開始公佈, 而且一開始為兩年公佈一次, 所以 SW1 指標並非每年都有。

## 參考文獻

- 江易宸，2006。「能源安全指標之建構與實證」。碩士論文，國立清華大學經濟學研究所。
- 何賢杰、盛昌平、劉增詰、胡小平、吳初國，2006。『石油安全評價指標體系初步研究』。北京：地質出版社。
- 吳剛、劉慈翠、范英、魏一鳴，2006。「基於 HHA 方法對主要石油進口國進口風險的分析」。刊於張中祥與柏云昌編。『海峽兩岸能源經濟與政策』。90-112。北京：中國環境科學出版社。
- 李堅明、林幸樺、林師模、黃宗煌、楊晴雯、蘇漢邦，2005。「溫室氣體減量模式、減量情境、減量成本及其影響評估」，『台灣經濟論衡』。3 卷，2 期，1-50。
- 林師模、陳苑欽，2003。『多變量分析—管理上的應用』。台北：雙業書廊。
- 林國榮、徐世勳、張靜貞、李秉正、黃宗煌，2001。「加入 WTO 對台灣農業就業衝擊之動態一般均衡分析」，『農業經濟叢刊』。7 卷，1 期，101-140。
- 張四立、陳彥尹，2004。「我國能源供應安全與分散油源政策之合理性分析—Shannon-Weiner Index 取向」，發表於永續能源發展與溫室氣體減量策略國際研討會。台北。10 月 12 日。
- 張四立、陳彥尹，2006。「台灣地區再生能源發展與能源供應安全之策略評估—投資組合理論之應用」。刊於張中祥與柏云昌主編。『海峽兩岸能源經濟與政策』。225-245。北京：中國環境科學出版社。
- 許志義，1994。『石油經濟學』。台北：華泰書局。
- 經濟部能源局，2009。『能源統計手冊』。台北：經濟部能源局。
- Alhajji, A. F., 2008. "What is Energy Security?" *Energy Politics*. 14, 62-82.
- Armington, P. S., 1969. "The Geographic Pattern of Trade and the Effects of Price Changes," *IMF Staff Papers*. 16: 176-199.
- Armington, P. S., 1970. "Adjustment of Trade Balances: Some Experiments with a Model of Trade among Many Countries," *IMF Staff Papers*. 17, 488-523.
- Awerbuch, S. and M. Berger, 2003. *Energy Diversity and Security in the EU: Applying Portfolio Theory to EU Electricity Planning and Policy-making*. Paris: IEA.

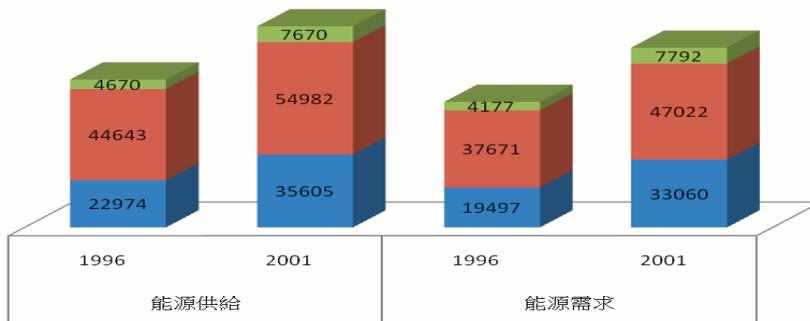
- Awerbuch, S., J. C. Jansen, and L. Beurskens, 2004. "Building Capacity for Portfolio-Based Energy Planning in Developing Countries," The Renewable Energy & Energy Efficiency Partnership (REEEP) and UNEP, London-Paris. ECN project number 77565. Final Report, London and Paris: REEEP and UNEP.
- Blyth, W. and N. Lefèvre, 2004. *Energy Security and Climate Change Policy Interactions: An assessment framework*. Paris: IEA.
- Dervis, K., J. de Melo, and S. Robinson, 1982. *General Equilibrium Models for Development Policy*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Green, D. L. and S. Ahmad, 2005. *Costs of U.S. Oil Dependence*. Oak Ridge, Tennessee: U.S. Department of Energy.
- Horridge, M., 2003. *ORANI-G: A Generic Single-Country Computable General Equilibrium Model*. Center of Policy Studies, Monash University, Melbourne, Australia.
- Kaufmann, D., A. Kraay, and M. Mastruzzi, 2007. *Governance matters VI: aggregate and individual governance indicators 1996-2006*. Washington: World Bank.
- Lesbirel, S. H., 2004. "Diversification and Energy Security Risks: The Japanese Case," *Japanese Journal of Political Science*. 5: 1-22.
- Lin, S. M., Y. C. Chen, and C. H. Tzeng, 2008. "A Real Options Approach to Energy Security Appraisal," Paper presented at the ESCC conference. Bangkok, Thailand, August 7-8.
- Löschel, A., U. Moslener, and D. Rubbelke, 2010. "Indicators of Energy Security in Industrialised Countries," *Energy Policy*. 38: 1665-1671.
- Sharpe, W. F., 1963. "A Simplified Model for Portfolio Analysis," *Management Science*. 9: 277-293.
- Sterling, A., 1999. *On the Economics and Analysis of Diversity*. Falmer, Brighton: SPRU Electronic Working Paper.
- Toman, M. A. and M. K. Macauley, 1986. "Risk Aversion and the Insurance Value of Strategic Oil Stockpiling," *Resource and Energy*. 8: 151-166.
- Vivoda, V., 2009. "Diversification of Oil Import Sources and Energy Security: A Key Strategy or an Elusive Objective?" *Energy Policy*. 37: 4615-4623.

## 附 錄

### 1996及2001年能源供需結構比較

(單位:千公秉油當量)

■ 天然氣 ■ 原油及石油產品 ■ 煤及煤產品



附圖 1 台灣 1996 及 2001 年能源供需結構比較

資料來源：經濟部能源局及本研究整理。

附表 1 模擬能源供應量中斷的安全度－各個總體指標的年度變動率

	年度	1991	1996	2001	2004
實質 GDP 變動率		-0.0145	-0.0128	-0.3893	-0.5489
就業變動率		-0.0175	-0.0093	-0.4856	-0.7969
出口變動率		-0.0246	-0.0215	-1.0718	-1.5543
進口變動率		-0.0114	-0.0072	-0.6461	-2.6185
物價變動率		-0.0014	-0.0012	-0.0777	-1.1333

資料來源：本研究整理。

附表 2 模擬能源價格上漲的安全度－各個總體指標的年度變動率

	年度	1991	1996	2001	2004
實質 GDP 變動率		-0.2143	-0.1652	-1.0473	-1.0760
就業變動率		-0.2845	-0.2048	-1.3368	-1.6150
出口變動率		-0.6313	-0.5183	-3.2785	-3.6623
進口變動率		-0.1976	-0.1861	-1.3257	-2.0609
物價變動率		-0.0371	-0.0343	-0.2817	-1.5510

資料來源：本研究整理。

附表3 台灣1996及2001各產業產值與能源投入

單位：新台幣百萬元

產業別	1996					2001				
	產值	石油煉製品		電力		產值	石油煉製品		電力	
		金額	投入比例	金額	投入比例		金額	投入比例	金額	投入比例
農畜產	413251	3630	0.88%	2083	0.50%	337553	3821	1.13%	1900	0.56%
林產	3658	30	0.82%	2	0.05%	2886	28	0.97%	3	0.10%
漁產	101020	6270	6.21%	1472	1.46%	91521	9439	10.31%	1395	1.52%
礦產	68539	5077	7.41%	1705	2.49%	81048	6393	7.89%	2207	2.72%
加工食品	525673	2201	0.42%	5881	1.12%	425711	3450	0.81%	6269	1.47%
飲料	96959	719	0.74%	727	0.75%	89316	925	1.04%	746	0.84%
菸	29495	28	0.09%	55	0.19%	27209	35	0.13%	57	0.21%
紡織品	434060	3109	0.72%	14268	3.29%	416585	5230	1.26%	15934	3.82%
成衣及服飾品	228135	882	0.39%	2184	0.96%	188044	1286	0.68%	2076	1.10%
木材及木製品	81586	383	0.47%	1599	1.96%	67052	494	0.74%	1620	2.42%
紙、紙製品及印刷出版	294901	3274	1.11%	14767	5.01%	304170	3999	1.31%	10618	3.49%
化工原料	224751	22520	10.02%	10674	4.75%	365758	89099	24.36%	17469	4.78%
人造纖維	122534	816	0.67%	4521	3.69%	120266	1275	1.06%	4192	3.49%
塑膠	218223	1911	0.88%	7052	3.23%	281529	2947	1.05%	11227	3.99%
塑膠製品	343798	2065	0.60%	9620	2.80%	430336	4734	1.10%	12552	2.92%
其他化學製品	248251	2378	0.96%	4097	1.65%	207006	2322	1.12%	2965	1.43%
石油煉製品	263053	9009	3.42%	6202	2.36%	446076	17570	3.94%	13746	3.08%
非金屬礦物製品	242143	8471	3.50%	8861	3.66%	194653	8484	4.36%	7364	3.78%
鋼鐵	543260	16066	2.96%	16184	2.98%	532572	19027	3.57%	14495	2.72%
其他金屬	111093	948	0.85%	2300	2.07%	109181	1325	1.21%	2289	2.10%
金屬製品	399866	2621	0.66%	7426	1.86%	435491	3959	0.91%	8095	1.86%
機械	447361	2210	0.49%	4829	1.08%	476839	3081	0.65%	4556	0.96%
家用電器	239103	665	0.28%	1966	0.82%	153964	569	0.37%	1223	0.79%
電子產品	1321295	1713	0.13%	11014	0.83%	2345982	3005	0.13%	22019	0.94%
電機及其他電器	275625	977	0.35%	3113	1.13%	298665	1915	0.64%	3362	1.13%
運輸工具	500722	1563	0.31%	3522	0.70%	467915	1938	0.41%	3643	0.78%
其他製品	221809	691	0.31%	2531	1.14%	205235	764	0.37%	2147	1.05%
營造工程	1013445	11419	1.13%	1852	0.18%	950678	21040	2.21%	1933	0.20%
電力	308627	33827	10.96%	42241	13.69%	383288	43224	11.28%	42761	11.16%
燃氣及自來水	57654	7825	13.57%	1360	2.36%	63821	12234	19.17%	1441	2.26%
運輸倉儲通信	865640	72400	8.36%	5798	0.67%	1152491	104730	9.09%	11733	1.02%
商品買賣	1561018	13507	0.87%	18320	1.17%	1959379	24414	1.25%	29233	1.49%
金融保險服務	765658	308	0.04%	2006	0.26%	1277524	1101	0.09%	3054	0.24%
不動產服務	1010886	728	0.07%	377	0.04%	1194891	844	0.07%	400	0.03%
飲食及旅館服務	215168	948	0.44%	5185	2.41%	299770	2000	0.67%	6536	2.18%
工商服務	400538	1732	0.43%	2120	0.53%	781118	4775	0.61%	4833	0.62%
公共行政服務	852936	8813	1.03%	5947	0.70%	964701	4816	0.50%	5860	0.61%
教育醫療服務	596517	1304	0.22%	8843	1.48%	840580	2264	0.27%	12246	1.46%
其他服務	699018	2905	0.42%	7881	1.13%	1029272	5489	0.53%	14404	1.40%

資料來源：主計處及本研究整理。

# Energy Security Assessment of Taiwan

Shih-Mo Lin<sup>\*</sup> and Jun-Chiang Feng<sup>\*\*</sup>

*Recent years have seen increasing attention being paid to the issue of energy security. While Taiwan relies heavily on imported energy, constantly assessing its energy security situation has become an extremely important task of the government agencies. While traditional energy security indicators either take only the supply side into account, or consider only part of the demand-side effect, the important interactions among the players of the whole economy have largely been neglected. This study makes use of the ORANI-G model, a famous and typical computable general equilibrium model, to assess the energy security for Taiwan. We distinguish sources of imported energy by making suitable changes to the model and assigning necessary substitution elasticity values. Simulations have been focused on the changes in energy price and quantity of energy supply. Our simulation results show that when a region or a specific oil-exporting country raises oil price, GDP will be affected negatively. In the case of oil supply disruption, reducing the oil supply from Saudi Arabia has the greatest effect on Taiwan's economy, since most of imported oil in Taiwan is from Saudi Arabia. The simulation results from the above analysis have also been used to modify the Shannon-Weiner index to create a new energy indicator to assess the energy security for Taiwan. The results show that the higher the import energy dependency is, the greater the impact Taiwan has to endure for a rising energy price or energy supply disruption.*

*Keywords: Energy Security, Computable General Equilibrium, Industrial Structure*

---

\* Professor, Department of International Trade, Chung Yuan Christian University.  
(Corresponding Author)

\*\* Ph.D. Candidate, Graduate Institute of Industrial Economics, National Central University.