

臺灣與美國的能源安全風險指標建構比較分析

—我國偏向供給面指標分析，美國則涵蓋環境永續性和需求合理性

周桂蘭

工業技術研究院 綠能與環境研究所

摘要

能源安全風險指標建立不但可提供政策執行的長短期檢核機制，不斷作滾動式管理修正，另一方面可即時採取因應措施，避免或降低國家因能源不可預期的狀況而產生重大損失。美國 21 世紀能源研究機構(Institute for 21st Century Energy)每年出版能源安全風險指標，以評估政策執行或其他因素對美國能源安全的正面或負面影響。2014 年美國能源安全風險指標評估報告主要提供的資訊包括過去的回顧(1970~2013 年)及未來展望(2014~2040 年)，主要追蹤 37 個指標，決策者及能源專家可以透過指標追蹤美國動態的能源安全及新政策潛在的衝擊。目前，我國經濟部能源局委託台經院建構的能源安全風險指標包含三大構面：穩定、可負擔、均衡供需，共 12 項指標。本研究透過比較美國及臺灣的能源安全風險指標建構的差異，借鏡美國能源安全風險指標的優點，提出強化我國未來能源指標建構的方向與能力等相關建議，期望透過更健全的能源安全風險指標建構，加強社會大眾對國家能源安全的理解與共識，並隨時掌握國家能源安全發展動態，促進國家能源政策的有效溝通與執行。

一、前言

過去能源安全風險議題主要聚焦在以石油為主的穩定供應為主軸。然而，隨著國際情勢及經濟發展不斷變遷，核能發電的爭議、再生能源及非傳統油氣來源的興起，使得有些國家或國際機構對於能源安全的重視及涵蓋範圍也不斷的調整，並積極建構可量化衡量的能源安全風險指標，建立國家能源安全管理及監測機制。尤其是當經濟合

作暨發展組織(OECD)國家逐漸增加天然氣發電，使得電力與天然氣之間的安全問題形成密切連結關係。能源安全的議題不再只侷限於石油，廣義的定義已經逐漸放寬包括天然氣、電力安全供需管理。依據國際能源總署(IEA)對能源安全的定義[2]：在可負擔得起的價格下，可持續取得能源來源(The uninterrupted availability of energy sources at an affordable price)(圖 1)。至於 IEA 對於能源安全議題的範疇分為長期及短期二個面向。長期能源安全議題聚焦在因應經濟及永續環境發展需要的能源供應及時投資(timely investments)；短期能源安全議題則以建立因應突發性供需平衡的能源系統反應能力(ability of the energy system to react)為討論主軸。

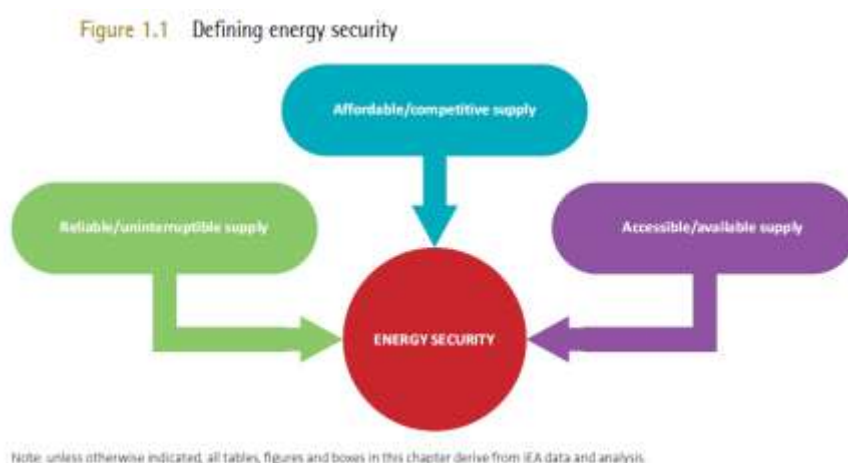


圖 1、IEA 能源安全定義[2]

為了因應複雜的國家能源安全管理，有些國家或區域已建構能源安全風險指標系統。能源安全風險指標建立的目的除了可提供政策執行的長短期檢核機制，不斷作滾動式管理修正，另一方面可即時採取因應措施，避免或降低國家因能源不可預期的狀況而產生重大損失。

美國 21 世紀能源研究機構(Institute for 21st Century Energy)隸屬於美國商會(U.S. Chamber of Commerce)的智庫，主要任務是統合決策者、管制者、企業領袖、社會大眾對能源策略認知，透過政策推動、教育與倡議，促進美國能源安全、繁榮與潔淨。該機構每年出版能源安全風險指標，以評估政策執行或其他因素對美國能源安全的正面或負面影響。2014 年出版的評估報告內容除了反應歷史資料的趨勢及

短期能源安全風險預測外，該份報告的最大特色是結合美國能源部能源資訊局(EIA)出版的 2014 年能源供需展望報告，加入 20 種來自 EIA 的每年能源展望報告(AEO)不同情境的“Side Case”選擇，為了評估每種政策情景對未來能源安全的變動影響及經濟衝擊，以及建構長期不同情境下的能源安全長期風險指標。另外，該機構除了每年定期出版美國境內的能源安全風險指標，2012 年開始出版國際能源安全風險指標，作為美國與其他能源生產大國的能源安全趨勢的比較參考。

美國能源安全風險指標完整建構一個系統化及嚴謹的國家能源安全資訊的整合，並透過網路互動平台工具(interactive web tool)公開透明化與相關利害關係人溝通，以達到一致的能源安全狀態及趨勢共識。自 2010 年起，台經院開始建構能源安全風險指標，其間經歷多次內容架構修改，最終依據我國經濟部能源局 2012 年行政院核定的「能源發展綱領」中明定我國的能源安全目標為建立可負擔、低風險之均衡能源供需體系，確立能源安全風險指標內容架構。因此，本研究的主要研究目的是透過比較美國及臺灣的能源安全風險指標差異，借鏡美國能源安全風險指標持續建置及改良的優點，提出強化我國未來能源安全風險指標建構的規劃方向與能力建置等相關建議。

二、美國能源安全風險指標建置

美國能源安全風險指標涵蓋的範圍包括地緣政治(Geopolitical)、經濟(Economic)、可靠性(Reliability)及環境(Environmental)等四個面向的風險。在這四個風險面向下的指標內容包括：1 個總指標、4 個子指標、9 大指標分類、37 個衡量指標。(圖 2)



圖 2、美國能源安全風險指標架構[1]

2014 年美國能源安全風險指標評估報告主要提供的資訊包括過去的回顧(1970~2013 年)及未來展望(2014~2040 年)，主要追蹤 37 個指標。決策者及能源專家可以透過指標追蹤美國時間動態的能源安全及新政策潛在的衝擊。美國能源安全風險指標建置的方法及重要概念如下：

(一)基準年設定：為了提供相對潛在風險資訊，以 1980 年為指標比較基準年(1980=100，因為 1980 年是美國歷年來能源安全風險最糟的一年)，當風險指標超過 100 時，即表示該項指標達到高風險程度。貨幣衡量基準年為 2010 年。

(二)資料特性篩選準則：指標項目建置的準則在於資料的特性需要滿

足下列的要件：合於情理(Sensible)、可靠的(Credible)、公開可取得(Accessible)、推導透明化(Transparent)、資料完整及可溯性(Complete)、可展望性(Prospective)、可每年定期更新(Updatable)。

(三)指標加總方法：由於每個指標衡量的單位不同，為了將 37 個衡量細項指標加總為分類子指標及總指標，需將各個衡量細項指標予以標準化(normalized)，也就是需要計算 1980 年為基準年的相對比例值(proportional value related to 1980 value)。另外，有的指標顯示風險高低的方向不同於一般的認知，這也需要再作額外的轉換程序，使所有指標方向代表相同的意義。

(四)細項衡量指標的加權平均數：由細項衡量指標加總為子項或總指標的過程，需要對每一項細項衡量指標依照重要性設定加權平均數，主要目的是反應每個細項指標本身的特性，而且也可以提供各群組指標之間的平衡性問題。在指標衡量期間的加權平均數設定維持固定常數。

(五)網路互動平台工具(interactive web tool)：公開透明化與相關利害關係人溝通，以達到一致的能源安全狀態及趨勢共識。

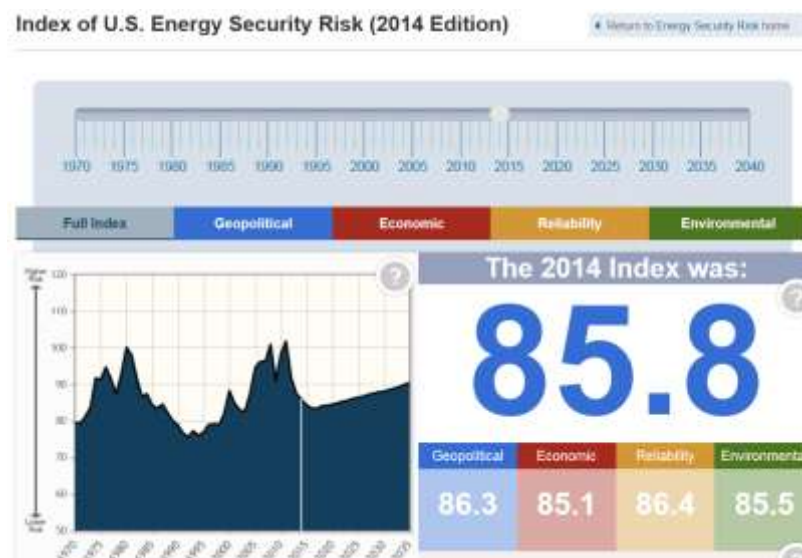


圖 3、美國能源安全風險指標網路互動平台(interactive web tool) [1]

三、美國能源安全風險指標分析結果

新出版的 2014 年美國能源安全風險指標評估報告顯示由於美國

境內非傳統的油、氣增產，使得能源安全風險指標持續朝向正面趨勢發展。2013 年整體指標為 87.4，是自 2004 年以來首次降至指標 90 以下。2014 年估計再下降至 85.8。另外，在 37 個指標中顯示，有 14 個指標風險下降 1% 以上；有 10 個指標風險增加 1% 以上；有 11 個指標風險持平維持於 2013 年水準。其中，因為非傳統的油、氣增產，大大的改善能源支出、價格波動及進口等風險（圖 4，指標愈低表示風險愈低）。從四大群組指標中也顯示下降至 90 以下，其中，在環境安全風險指標改善最明顯，已接近歷史的低點值（表 1）。

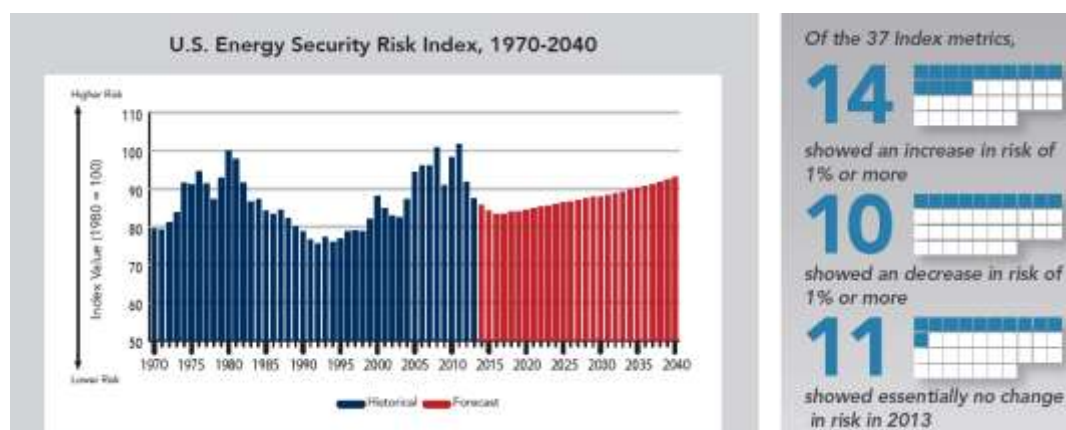


圖 4、2014 年美國能源安全總指標趨勢[1]

表 1、2014 年美國能源安全子指標趨勢[1]

Indexes of U.S. Energy Security Risk	2013 Score	1980 Baseline Score	Highest Risk		Lowest Risk		30-Year Average (1970-1999)
			Year	Index Score	Year	Index Score	
Total Composite Index	87.4	100	2011	101.7	1992	75.6	84.3
Sub-Indexes:							
Geopolitical	88.0	100	2008	103.1	1998	73.1	83.6
Economic	86.4	100	2007	102.9	1998	61.5	73.8
Reliability	89.3	100	2011	114.2	1992	75.2	86.0
Environmental	85.8	100	1973	110.7	2012	84.2	99.4

美國非傳統油氣開採，降低國內在能源價格波動的風險，2013 年原油價格及支出波動風險降低了 24%，反應在國內 GDP 的衝擊風險指標改善了 16 點（points），因此，創造美國景氣復甦的契機，使得能源支出、價格波動及進口等風險改善的幅度超過 10% 以上（圖 5）。

另一個在圖 5 值得關注的指標是聯邦政府能源及科技之研發(R&D)支出指標變動增加 12.6%，根據報告中的歷史資料顯示，除了美國總統歐巴馬在 2009 年「綠色新政」(Obama's Green Deal)中的 677 億美元的「清潔、效率美國能源」方案，用於提升能源效率、發展潔淨能源及交通節能等，在當年度有跳升現象，2010 年以後的聯邦政府每 1000 美元 GDP 花在能源及科技 R&D 支出的比率有愈來愈下滑的趨勢，若從風險指標來看呈現高風險趨勢(圖 6)。

Table 2. Energy Security Metrics Changing $>\pm 10\%$ in 2013			
Declining Risk		Rising Risk	
Metric	% Change	Metric	% Change
Energy Expenditure Volatility	↓ -23.8%	Federal Energy & Science R&D Expenditures	↑ +12.6%
Crude Oil Price Volatility	↓ -23.7%		
Oil & Natural Gas Import Expenditures per GDP	↓ -22.4%		
Oil & Natural Gas Import Expenditures	↓ -20.9%		
Security of U.S. Petroleum Imports	↓ -17.8%		
Security of U.S. Natural Gas Imports	↓ -15.9%		

圖 5、美國能源安全風險指標變動率超過 10%以上的項目[1]

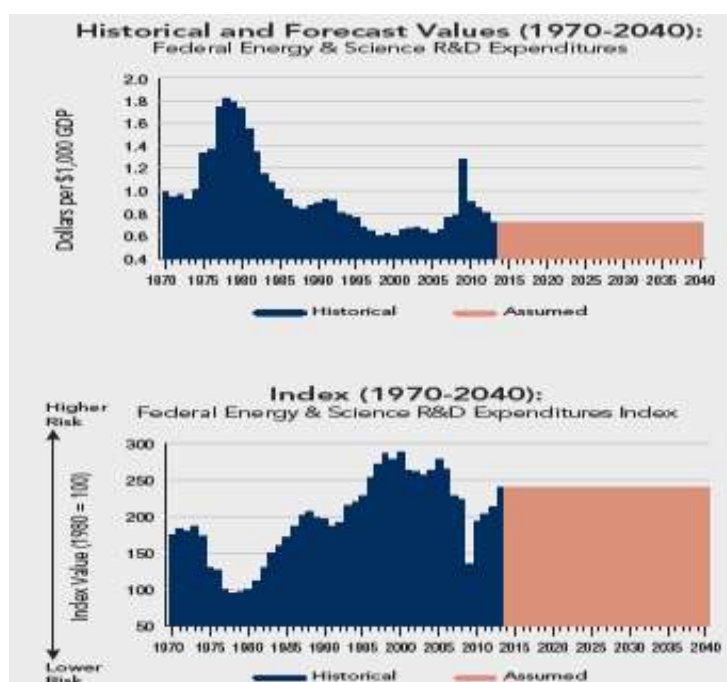


圖 6、美國聯邦政府能源及科技 R&D 支出趨勢與風險指標[1]

展望至 2040 年，關於原油價格、可靠度等風險指標雖然在最近幾年會呈現下降，但自 2018 年開始風險指標預估將再上升，主要原因是雖然美國大量生產非傳統油氣，轉移世界原油生產版圖由中東到北美，但是，由於新興國家的用油需求仍然增加再加上中東政治仍然處於不穩定狀態。由於 EIA 發布能源展望報告(AEO)是在每年的 4~5 月，當時的國際油價尚在每桶 100 美元左右徘徊，但是，2014 年油價崩跌是在下半年(8 月以後)，所以，美國 EIA 對油價的預測是否會修正反應在 2015 年的 AEO 報告中，需要等報告出版後再追蹤油價可能發展趨勢是否對美國能源安全風險指標產生不同的趨勢變化。

因為美國政府規劃對燃煤電廠的汞及有害氣體污染設定管制目標，在 2020 年約有 60GW 的燃煤電廠容量關閉，使得電力多樣化風險指標一直保持持續上升趨勢，容量風險指標估計將由 2013 年的 94.3 升高至 2017 年的 112.7。

四、臺灣能源安全風險指標建置

我國自產能源缺乏，受到國際能源市場波動影響很大，因此，能源安全風險指標管理機制與監測是引導能源政策發展的重要參考指標。目前在能源局公告的統計資料，屬於能源安全的資訊共有五種：包括進口能源依存度、進口石油依存度、石油依存度、中東原油進口依存度及能源供應種類集中度。能源安全的管理範圍較偏重於石油的穩定供應。然而，依據前述國際間對能源安全的定義及範疇已經不侷限於石油類，也不只限於探討穩定供應議題。因此，能源局依據 2012 年行政院核定的「能源發展綱領」中明定我國的能源安全目標為建立「可負擔、低風險之均衡能源供需體系」，建構全面性的能源安全風險指標，主要參考美國 21 世紀能源研究機構發展的這套能源安全風險指標架構及方法。目前這套指標發展是由能源局委託台灣經濟研究院執行，預計在內部先運行二年進行細步修正，再考慮公布給社會大眾參考。

我國能源安全風險管理指標以「穩定」、「可負擔」、「均衡供需」三構面架構建置，各構面所涵蓋之指標範疇如圖 7 所示。共計 9

項主指標，12項子指標。接近IEA的定義範疇，較偏向供給面指標分析。我國能源安全風險指標建置的方法及重要概念如下：

(一)比較基準年：

1. 風險程度：以 2007~2014 年之 4 年移動平均(共 8 個數值)的最大、最小值間，區分為三等份，再與 2015-2017 年未來 3 年指標數值平均值比較，以瞭解未來風險會落在高風險、風險持平或是低風險區間，瞭解能源安全風險變化。
2. 風險趨勢：2017 年與 2014 年之指標數值比較，以瞭解未來能源安全風險趨勢是惡化或改善，若 2017 年推估之能源安全風險較 2014 年低，則趨勢改善；反之，趨勢惡化。

(二)資料特性篩選準則：

1. 具有能源安全的意義與代表性；
2. 具有與公共政策連結之意義；
3. 國際接軌之考量；
4. 資料取得之可行性與穩定性。

(三)建立風險燈號：透過國內歷史值及預測值之比較，針對我國未來之能源安全呈現風險燈號，提出預警。

(四)我國與OECD國家平均值比較：以可取得之最新權威國際組織資料進行OECD國家之平均值計算，與我國同年度指標數值比較，評估我國能源安全風險管理的水準參考。

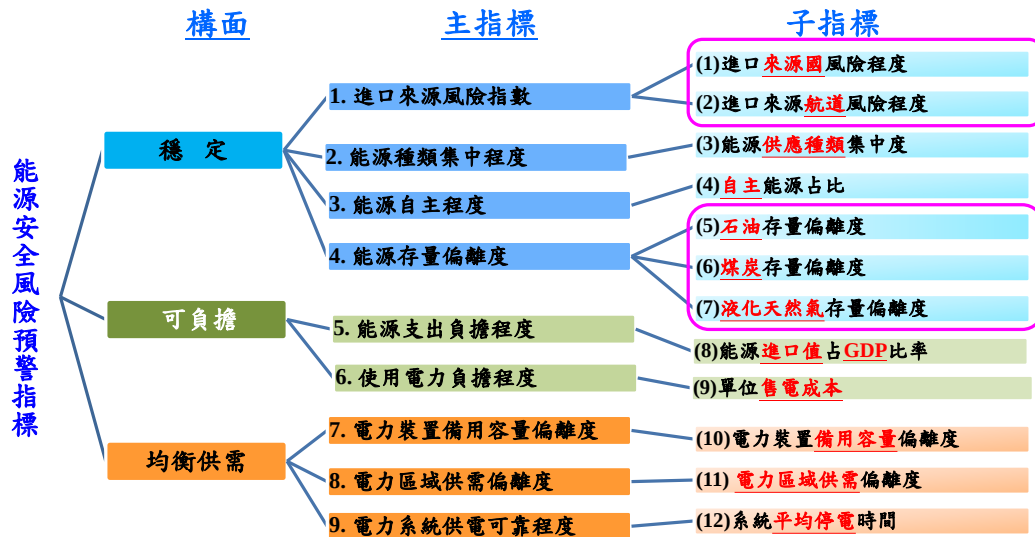


圖 7、我國能源安全風險指標[3]

五、臺灣及美國的能源安全風險指標建構比較

根據前述將臺灣及美國的能源安全風險指標建構進行比較分析，以發掘我國可借鏡之處。從能源安全風險指標定義範疇來看，我國較接近 IEA 的定義，範疇偏向供給面指標分析。而美國的能源安全風險指標的定義則趨向更廣義的定義，除了 IEA 的可靠性、可取得性及可負擔性外，還加入了環境永續指標，範疇除了供給面外，需求合理性也涵蓋在內。茲將二國的能源安全風險指標的差異處及可借鏡之處，整理說明於表 2 及表 3 中。

表 2、臺灣及美國的能源安全風險指標內容比較

IEA 定義	美國指標		臺灣指標	臺灣指標可借鏡之處
可靠性	可靠性	• 能源存量 • 電力部門容量及傳輸	• 能源存量 • 電力部門容量及傳輸	---
		• 運輸部門運量及效率 • 價格及市場波動 • 能源使用密集度	無	美國兼顧供給與需求，其中運輸部門影響石油供給可靠性，故特別加入觀測的指標群中。另外，能源市場的波動對於可靠性供應也是需要密切觀測國際發展動態。
可負擔	經濟性	• 單位 GDP 的能源支出 • 零售電價	• 單位 GDP 的能源支出 • 售電成本	---
		• 單位家計能源支出 • 原油價格 • 研發支出	無	• 單位家計能源支出可顧及社會公平分配問題。 • 臺灣能源缺乏，原油價格對物價及實質所得水準具有一定的影響力。 • 能源研發經費成長關係國家能源結構轉型的重要因素。
可取得	地緣政治	• 全球燃油、天然氣及煤炭供應 • 美國石油及天然氣進口量及支出	• 進口來源 • 進口種類 • 能源自主	---
無	環境	• 能源相關的碳及非碳排放	缺	放入能源相關的環境指標，有助於國家永續發展的實踐。

資料來源：本研究

表 3、臺灣及美國的能源安全風險指標建構方法比較

	美國指標	臺灣指標	臺灣指標可借鏡之處
基準年設定	以 1980 年為指標比較基準年(1980=100)	- 由未來 3 年指標數值之平均值，落在歷史高/低風險區間，瞭解風險變化。 - 以最近一年實績年的指標數值為基準比較，瞭解未來風險趨勢。	臺灣的基準年設定每年浮動，美國的基準年設定固定及簡單明瞭，因此，臺灣指標也無法像美國指標可追蹤風險指標歷史趨勢軌跡。
資料特性篩選準則	- 合於情理 - 可靠的 - 公開可取得 - 推導透明化 - 資料完整及可溯性 - 可展望性 - 可每年定期更新	- 具有能源安全的意義與代表性 - 具有與公共政策連結之意義 - 國際接軌之考量 - 資料取得之可行性與穩定性	---
指標加總方法	設定主指標權數，同時將各個衡量細項指標予以標準化(normalized)，也就是需要計算 1980 年為基準年的相對比例值。	不針對主指標設定權重。	臺灣指標無法觀測整體國家能源安全的綜合資訊及狀況。
細項衡量指標的加權平均數	在指標衡量期間的加權平均數設定維持固定常數。	進口來源風險指標有 2 項子指標，以簡單算術平均數計算。其他主指標與子指標皆為一對一的關聯，不需要設定權數。	目前臺灣指標內容涵蓋範圍不廣，未來在資料可取得性及方法建置有更大的突破，可將能源安全系統指標擴大資訊範疇。
網路互動平台工具	公開透明化與相關利害關係人溝通，以達到一致的能源安全狀態及趨勢共識。	尚未建立。	以透明簡易及一目瞭然的圖像呈現方式，隨時掌握國家能源安全發展動態，可促進政策的溝通與執行。
國際指標比較	建立國際主要能源大國的能源安全風險指標比較分析	與 OECD 國家平均值比較	無法觀測與我國鄰近國家的能源安全動態及相對的能源安全措施。

資料來源：本研究

六、結論與建議

從前述的比較分析，建議我國的能源安全風險指標系統未來可參考美國的作法如下：

- (一)建立網路互動平台，以透明簡易及一目瞭然的圖像呈現方式，開放相關資訊給利害關係人及一般社會大眾，以加強社會大眾對國家能源安全的理解與共識。
- (二)目前網路資訊發達，由過去的 web1.0 的唯讀網路，進化到 web2.0 的互動及行動網路世界，資訊傳播的影響力已超出過去的百萬倍。我國政府應多加善用並強化來自網路背後的大數據計算的資訊內涵及分析，隨時掌握國家能源安全發展動態，促進國家能源政策的有效溝通與執行。
- (三)蒐集與我國地理資源條件相近的主要國家能源安全風險指標，並分析主要國家面臨的能源安全問題與改善策略作為。
- (四)美國 2014 年的能源安全風險指標開始加入能源展望報告資訊，因此，我國可以借鏡美國的作法，將我國的能源安全風險指標與經濟部能源局的能源供需展望報告結合，產生國家資訊互補及一致性的品質。
- (五)將能源安全風險指標系統與能源工程模型(例如：TIMES 模型或 2050 模擬器)進行連結，分析未來能源政策執行對能源安全風險指標的改善幅度，以評估政策的有效性及未來可行的能源安全戰略。
- (六)未來在資料可取得性及方法建置有更大的突破時，可擴大能源安全風險指標的資訊範疇，加入環境的永續性及需求合理性。
- (七)建立能源安全風險指標系統操作手冊(包括指標的公式計算、定義說明、重要性權數、資料蒐集與來源等)及定期更新維護機制(包括更新紀錄)，以建立未來公開給社會大眾參考的透明化基礎。
- (八)隨著天然氣發電在全球的占比逐漸提高，能源安全管理不應只侷限在石油產品，應擴及天然氣及電力供應的安全關聯性。因此，

未來若臺灣實現非核家園的願景，對於能源安全的管理範圍也需要進行調整，以維持整體國家經濟永續發展。

七、參考資料

- [1]Institute for 21st Century Energy, 2014 edition. Index of U.S. energy security risk. U.S. chamber of Commerce.
- [2] IEA, Energy supply security-emergency response of IEA countries, 2014.
- [3]台經院，2015 年第 1 季我國能源安全管理報告書，經濟部能源局委託計畫，2015.03。