

# 我國能源安全指標研討會

## 台灣能源安全指標之建構

---

研究單位：財團法人中技社、財團法人中華經濟研究院

研究成員：梁啟源講座教授(中央大學)

王鈺鎔主任、郭博堯組長、劉致峻副工程師(中技社)

鄭睿合分析師、呂易恂輔佐研究員(中經院)

2017年8月10日

# 簡報大綱

- 一 台灣能源經濟脆弱度簡介
- 二 台灣能源經濟現況
- 三 台灣能源經濟脆弱度編制結果
- 四 結論與建議

# 研究緣起

- 我國在能源供應、消費與基礎設施等面向都面臨不同難題：
  - 再生能源土地需求及供電穩定度
  - 核四封存、核電廠安全考量、除役與核廢料
  - 火力電廠汙染及溫室氣體排放
  - 能源儲發輸設施建設不易
  - 國際能源價格波動
- 傳統的能源安全指標多半僅衡量供給面因素，流於獨立呈現，欠缺系統性觀點
- 中技社及中經院合作發展一套指標系統：
  - 綜合考量能源供應、能源消費與基礎設施完善
- 讓大眾對我國能源經濟脆弱度能有一個全面清晰的感受。

# 台灣能源經濟脆弱度的架構

參考世界能源理事會(WEC)的能源脆弱度架構，予以本土化及趨勢分析。

■ 考量各類能源之進口(來源)集中度、進口(來源)國風險和初級能源結構。

■ 考量電力和天然氣基礎建設的品質和可靠度。

■ 考量能源消費結構、使用效率與價格對用戶的影響。

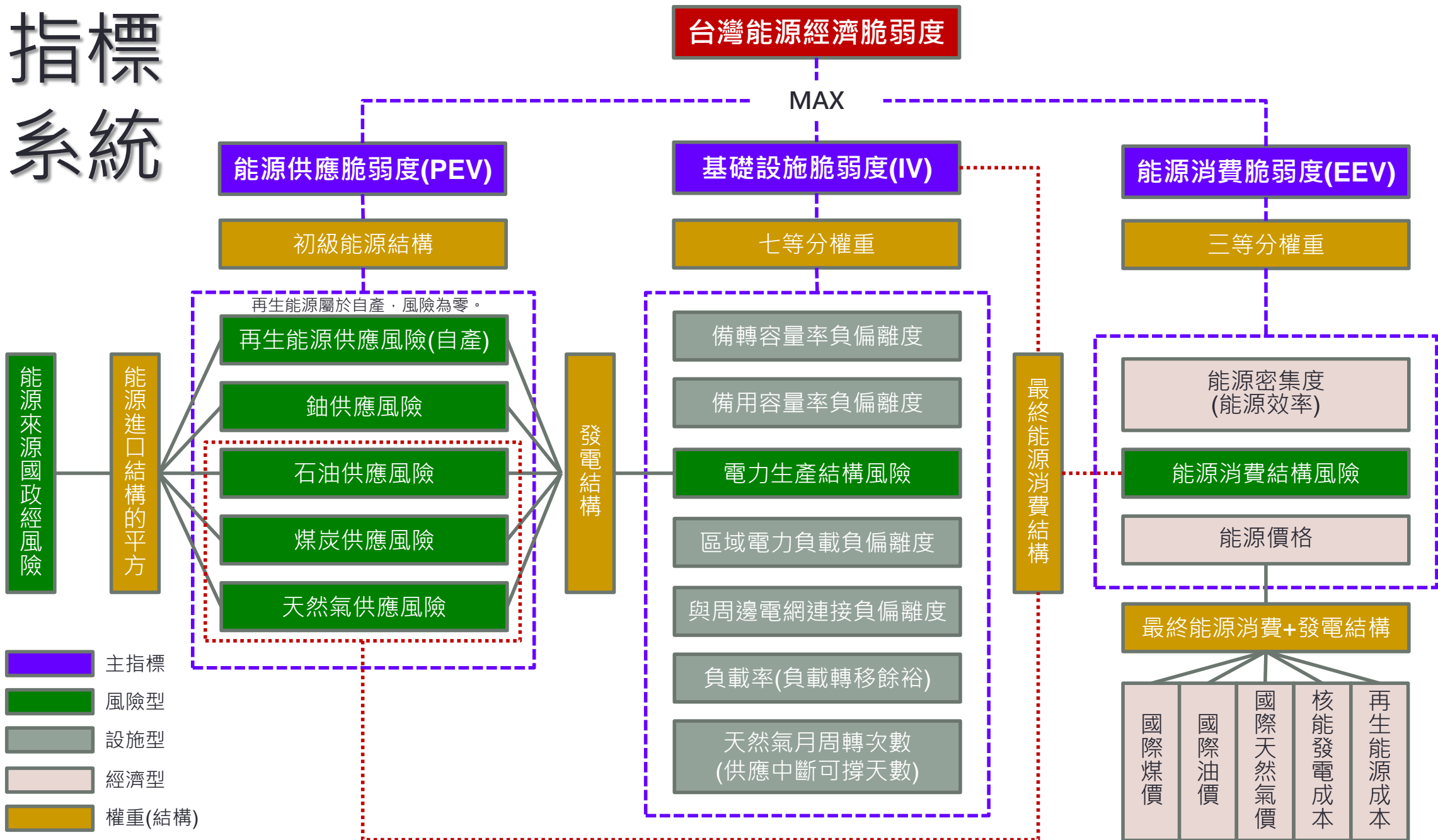
台灣能源經濟脆弱度

能源供應脆弱度

基礎設施脆弱度

能源消費脆弱度

# 指標系統



# 指標編製過程

- 0~100標準化

- $$I_{qt} = \begin{cases} (X_{qt} - Base) / (Top - Base), & \text{if } X_{qt} \leq Top \\ 1, & \text{if } X_{qt} > Top \end{cases} \times 100$$

- Top為歷史最高點；Base為零

- Time Span：1990Q1~2017Q2

- Bottom-Up

- 由最底層的指標開始計算

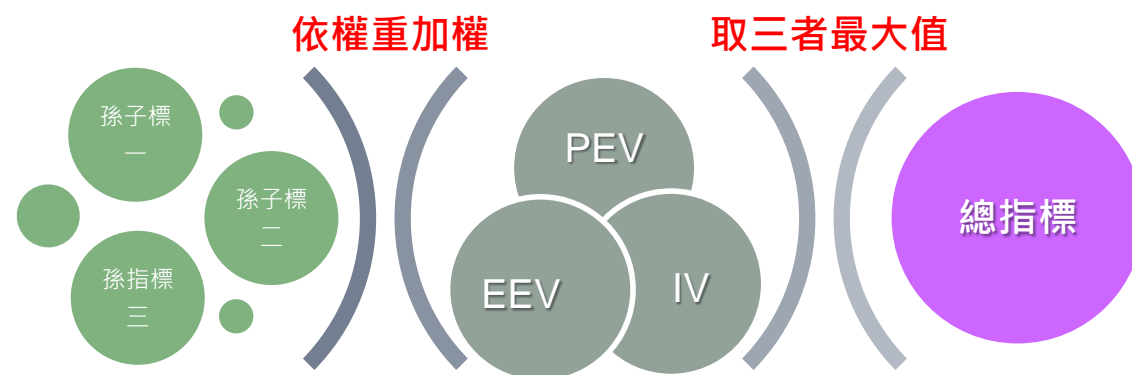
- 權重

- 依進口占比平方、或供給、發電與消費結構分別給予權重

- 或採等分固定權重

- 總指標計算方式

- 取當期PEV、IV和EEV三者間之最大值，視為當期總脆弱度

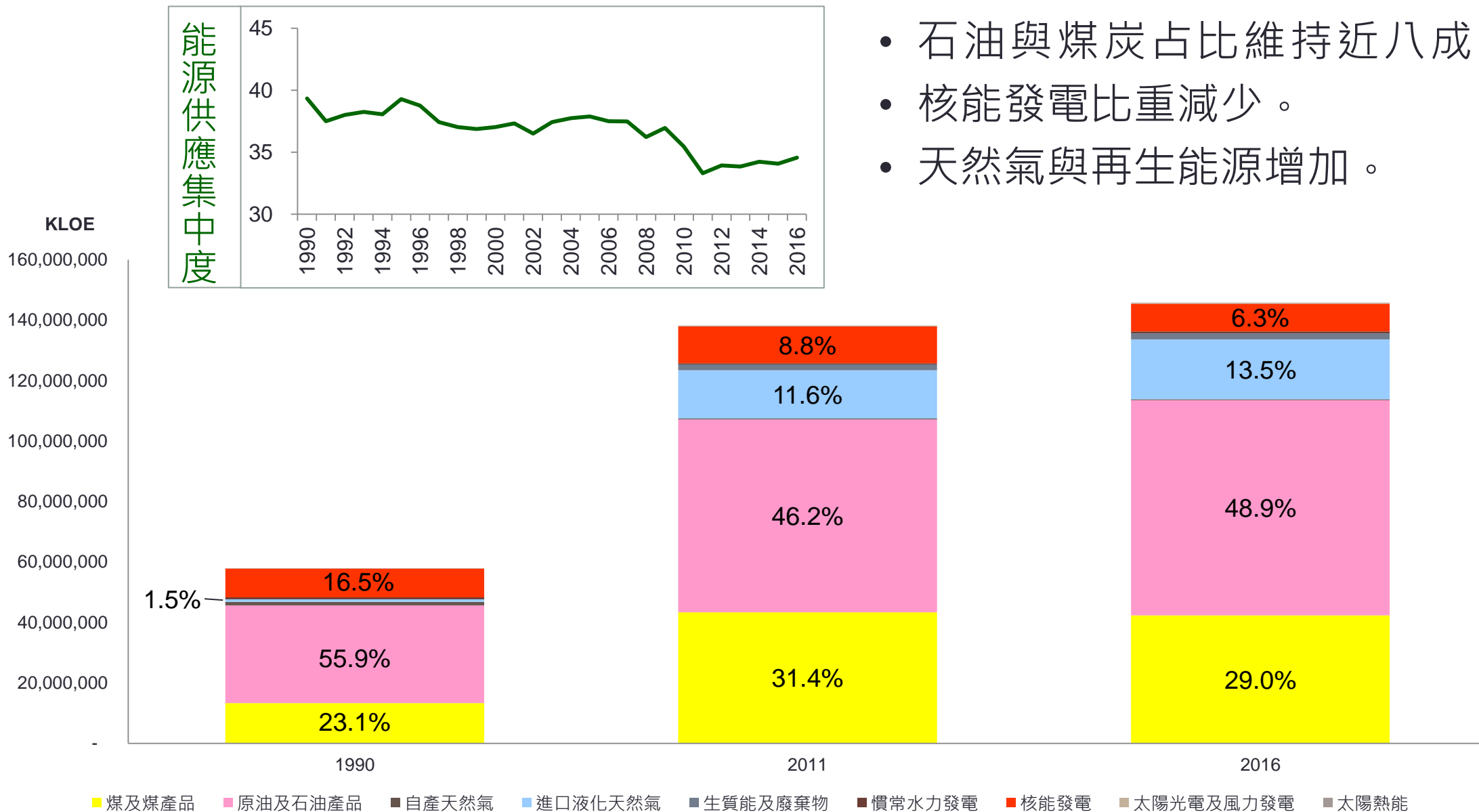


# 台灣能源經濟現況

---

1. 能源供應面
2. 基礎設施面
3. 能源消費面

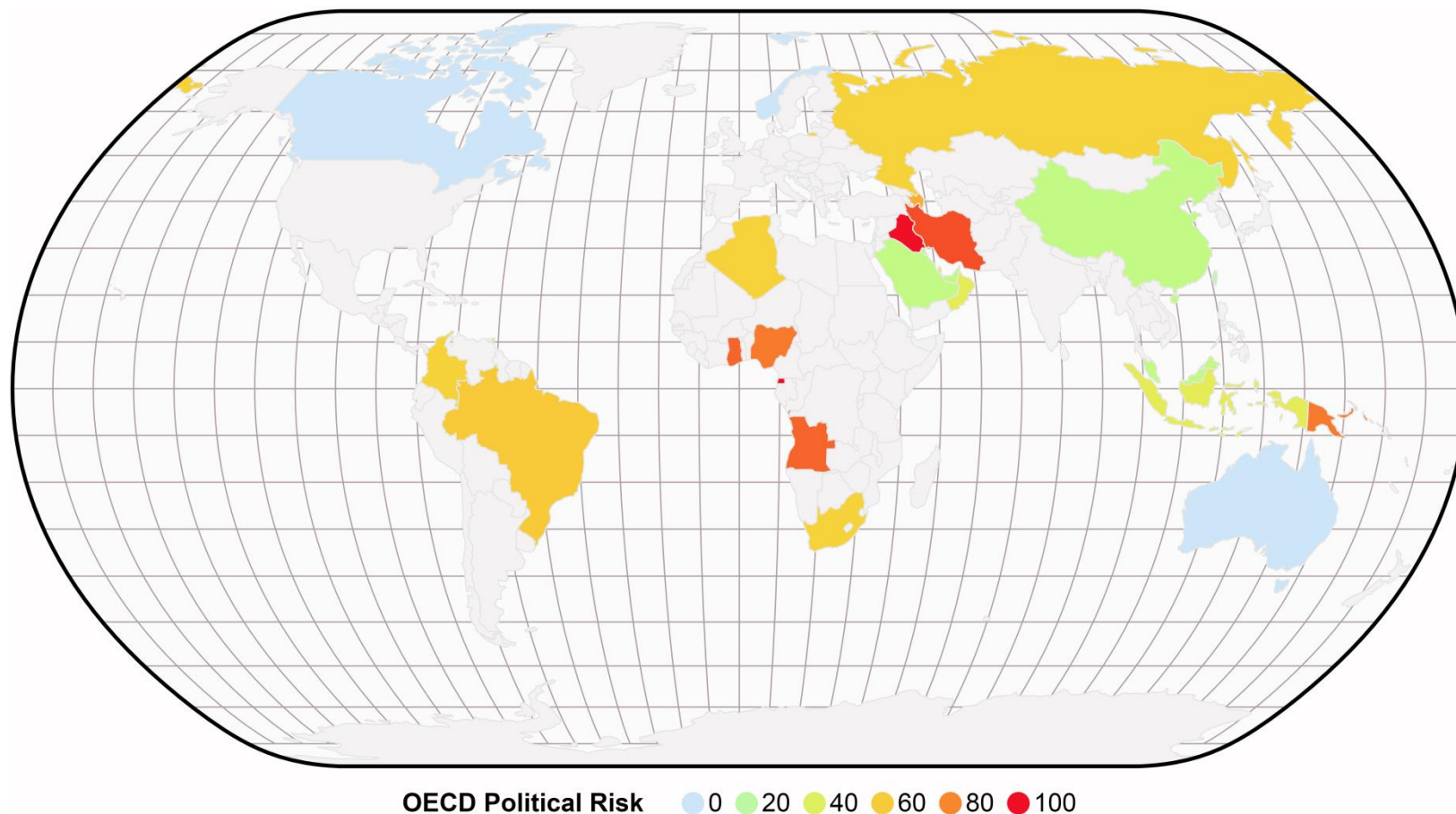
# 1.1 能源供應面：初級能源供應結構



- 石油與煤炭占比維持近八成。
- 核能發電比重減少。
- 天然氣與再生能源增加。



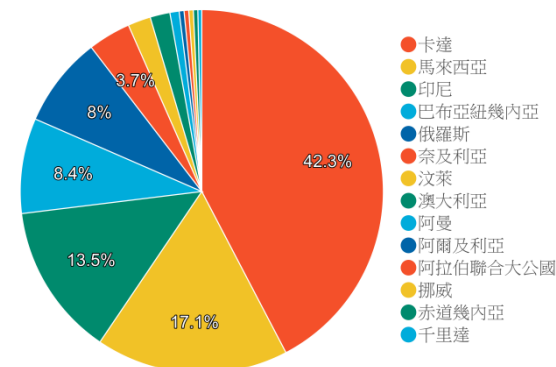
# 1.2. 能源供應面：地緣政經風險



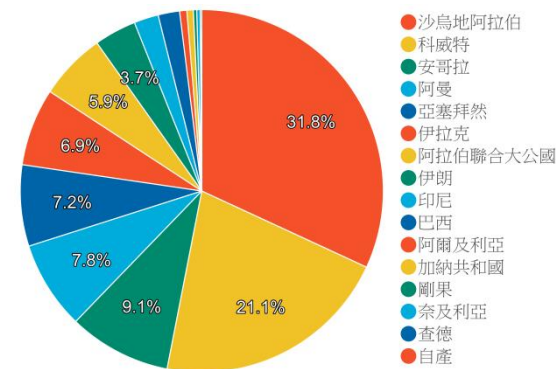
資料來源：OECD Country Risk Classification (20 April 2017)

我國液化天然氣最主要進口國—卡達，近期被中東各國斷交，政經風險增加，後續情勢值得關注。

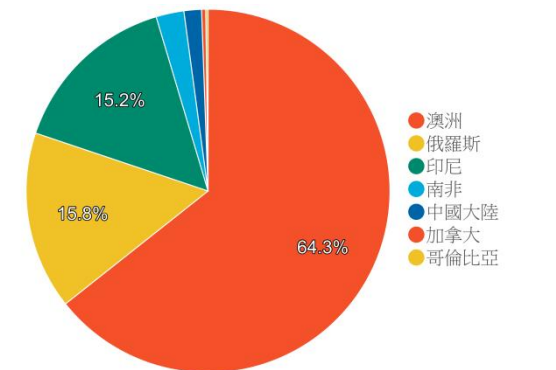
天然氣進口來源



石油進口來源



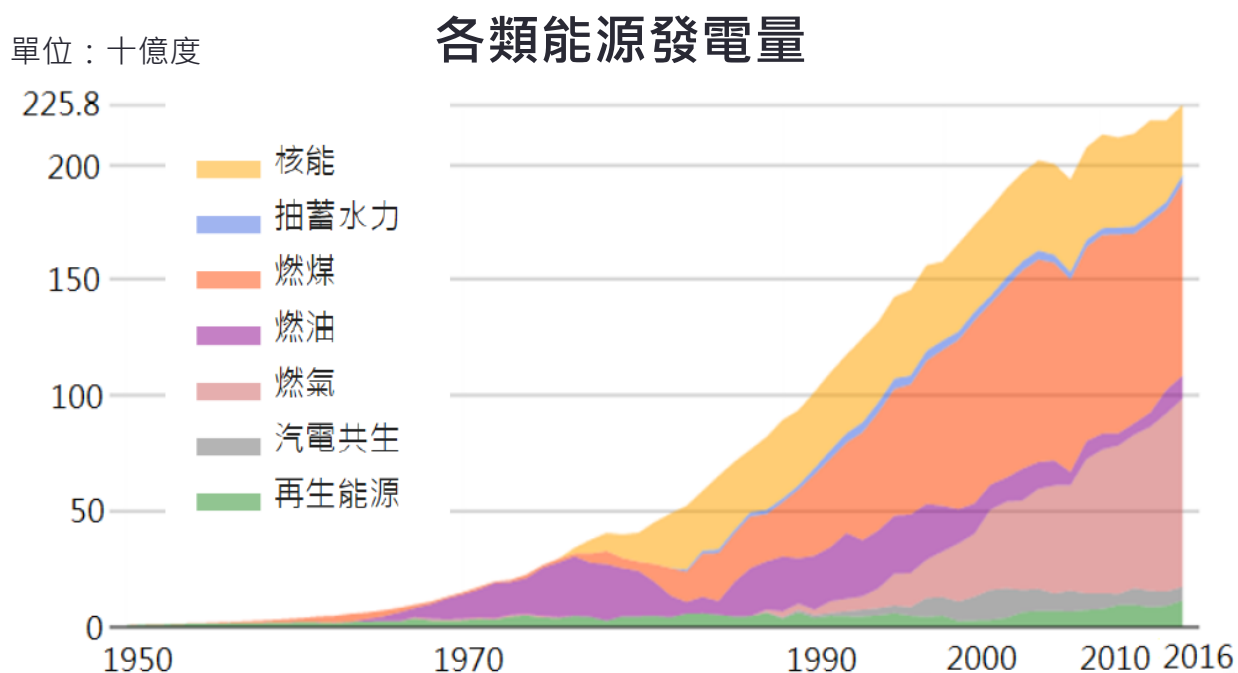
煤炭進口來源



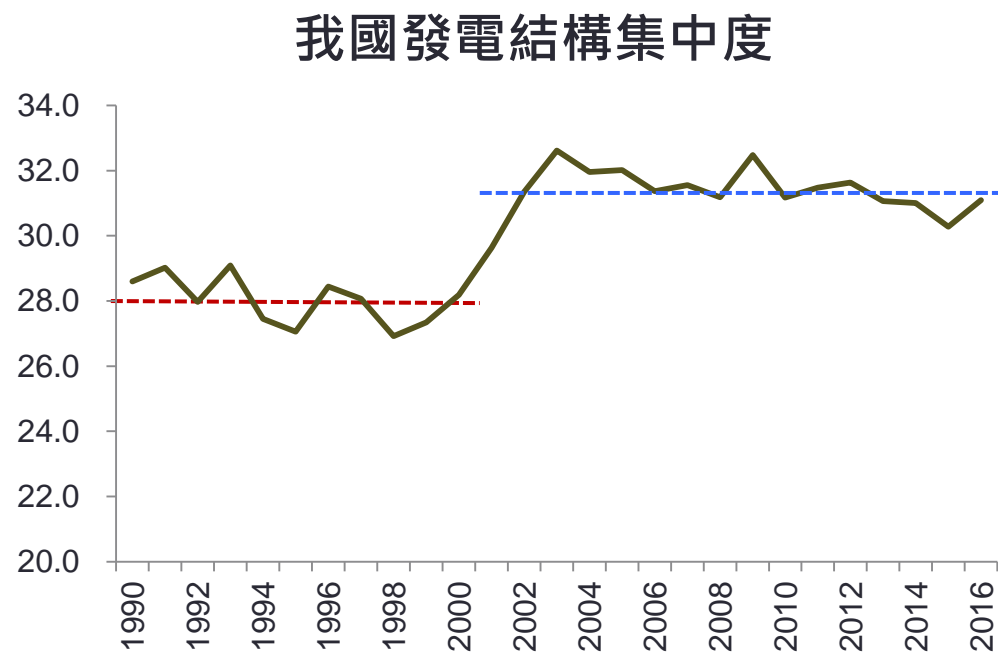
資料來源：整理自能源統計月報，唯其中的其他項目則根據進出口統計月報之資料做細部國家拆分。

## 2.1. 基礎設施面：電源配比的結構性變化

- 燃煤及核能機組的發電比重降低。
- 燃氣機組發電量和占總發電量比率持續提升。
- 再生能源發電占系統比率提高。



資料來源：台灣電力公司，「台灣能源政策及台電電源開發規劃」



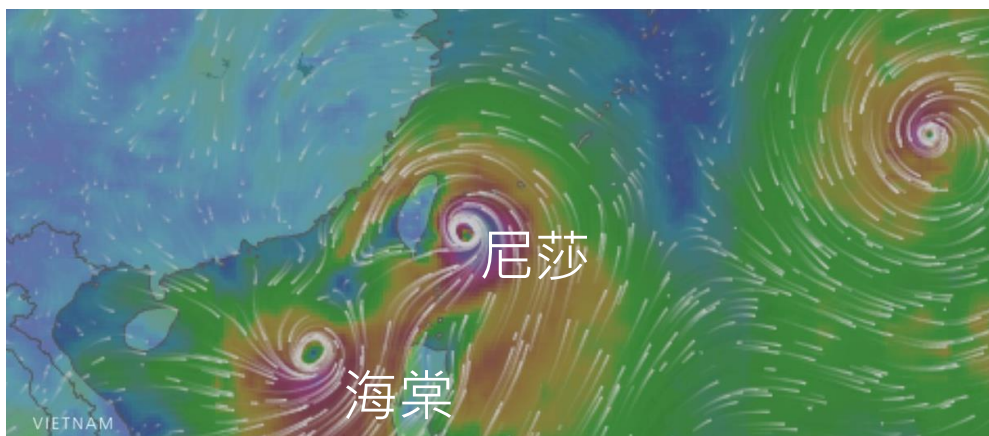
資料來源：能源統計月報

## 2.2. 基礎設施面：天然氣營運壓力偏高

和其他亞洲國家相比，我國LNG接收站營運壓力極大。

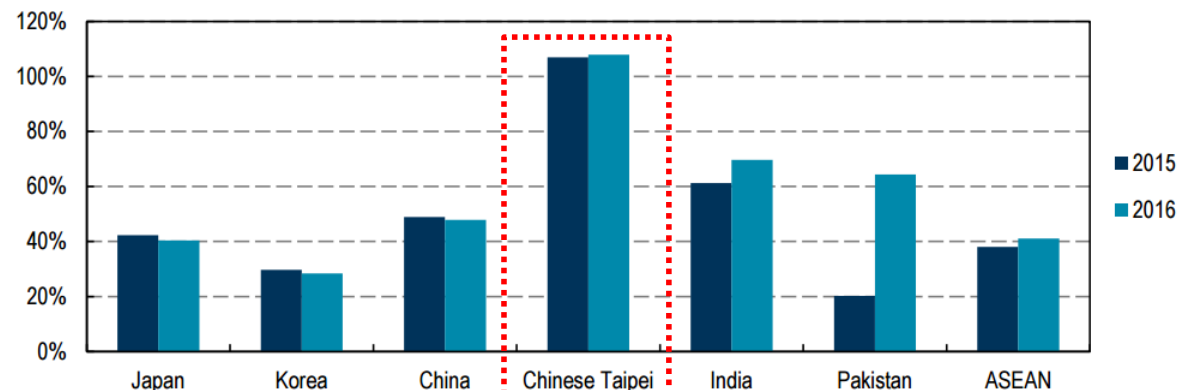
- LNG再氣化設備的利用率已超過100%，而韓國則僅34%。
- 相較日、韓，我國天然氣儲槽的年均周轉次數僅有13天，夏季則更可能降至6-7天。
- 進口來源若中斷，可撐天數偏低。

台灣夏季為颱風多發季節



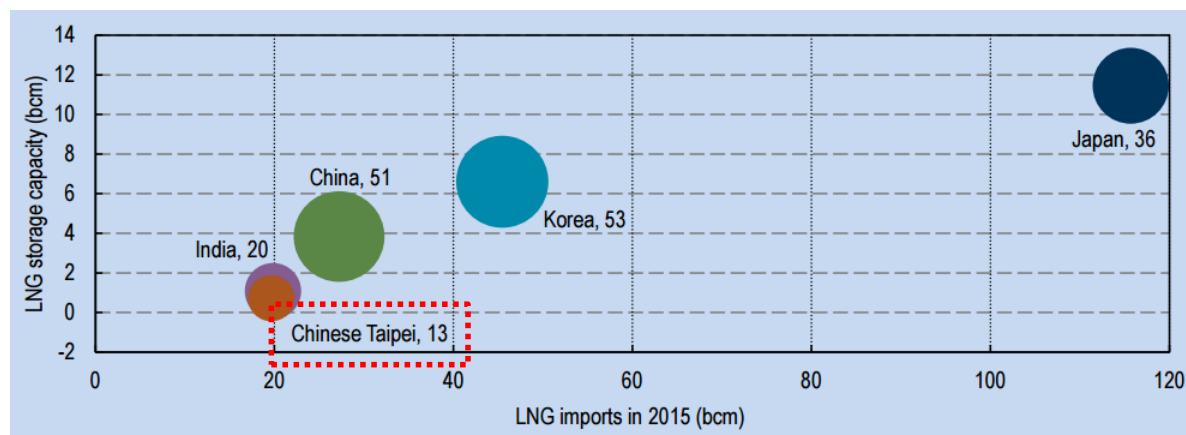
資料來源：Windy (2017/7/29)

亞洲國家2015/2016年LNG接收站再氣化設備利用率



資料來源：IEA analysis based on GIIGNL (2016), The LNG industry in 2015; ICIS (2016), ICIS LNG Edge; IEA estimates

亞洲國家2015年LNG儲存容量、進口量與週轉天數

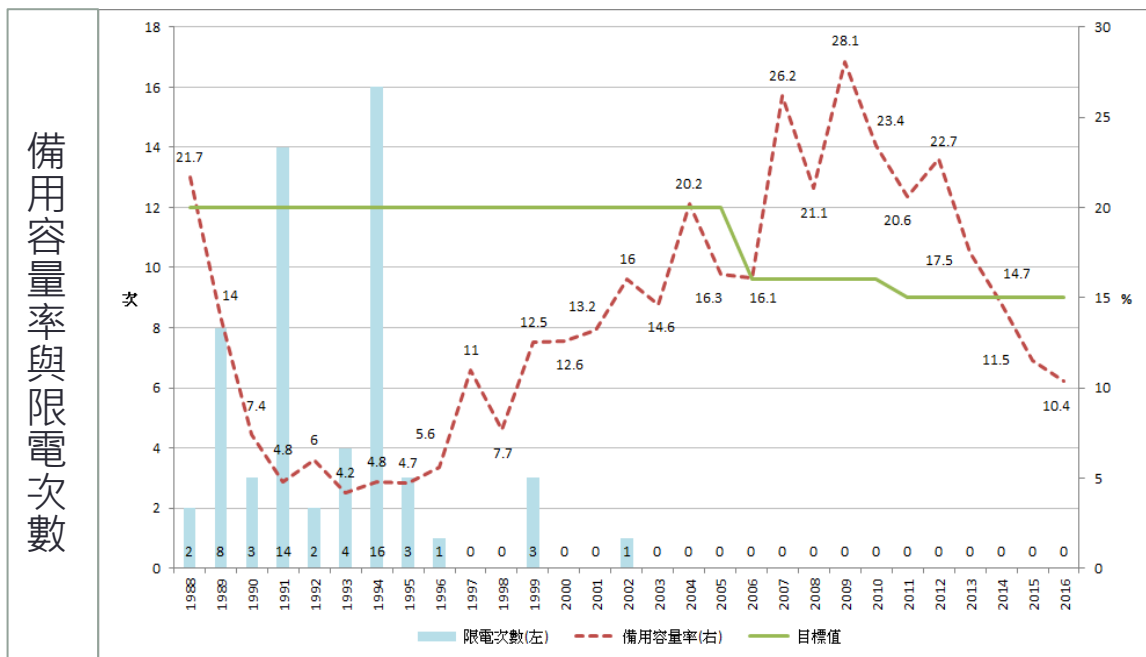


資料來源：IEA, Global Gas Security Review (2016)

## 2.3. 基礎設施面：電源供應餘裕下降

- 1990年代我國備用電源不足，限電次數共46次，1994年曾達16次。
- 2014年後，我國備用容量率降低至政策目標值以下。
- 2017年，**台電的備用容量率雖然仍能維持10%**，但**扣除核二廠二號機(目前處於歲修逾排程狀況)後**，備用容量率**僅7.3%**。

- 今年截至 7/31 止，已出現57天代表**供電警戒的橘燈**。
- 而 8/7 之後，連續兩天出現代表**限電警戒的紅燈**

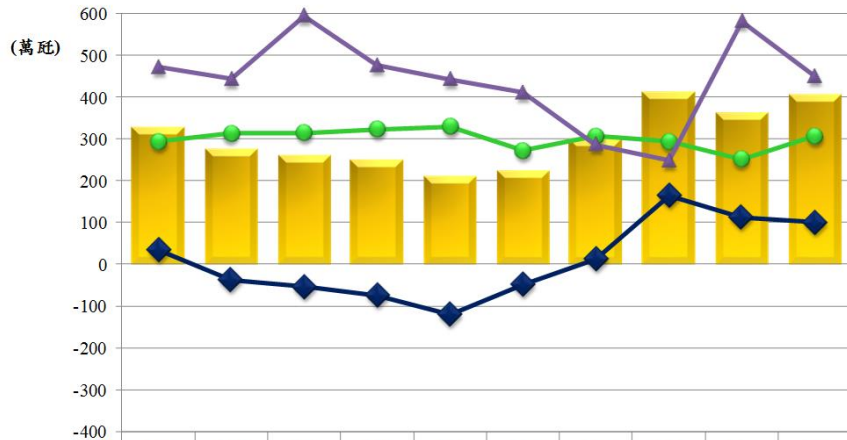


	 <b>供電吃緊</b> 備轉容量率 10%~6%之間 系統供電 餘裕緊澀	 <b>供電警戒</b> 備轉容量率 小於等於6% 系統限電 機率增加	 <b>限電警戒</b> 備轉容量 90萬瓩以下 限電警戒
2013	9	1	0
2014	53	9	0
2015	158	31	2
2016	161	77	3
2017.7.31	121	57	0

## 2.4. 基礎設施面：區域負載不均、負載轉移空間有限

- 108~112年北部地區的電源不足以支應負載。
- 若北部全面停用核能，加上協和電廠除役，將增加跨區送電之壓力。

- 我國過去五年平均負載率82%，優於各主要國家。
- 然而，高負載率亦表示我國負載轉移的餘裕有限。

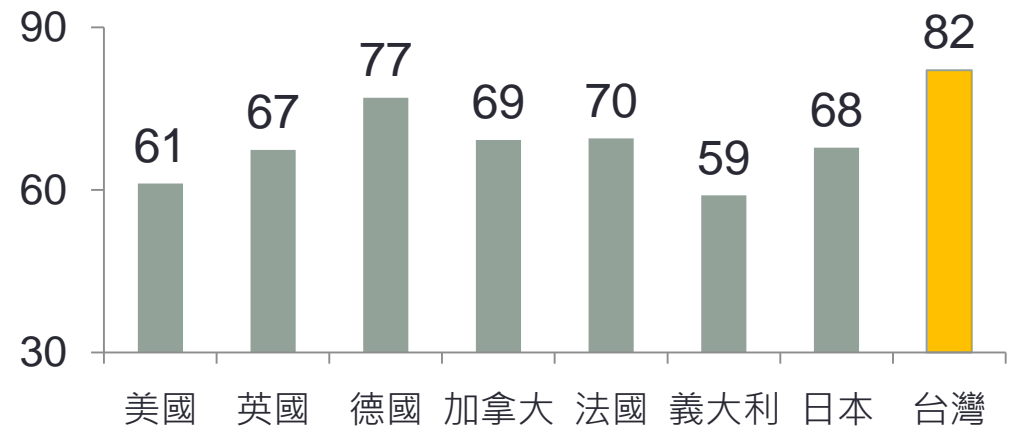


	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116
■ 北部供電裕度(A+B或A+C)	328	275	260	249	210	224	299	412	363	407
◆ 北部供需差異(A)	34	-38	-54	-74	-120	-48	13	164	112	100
● 中北主幹線N-2送電能力(B)	294	313	314	323	330	272	307	294	251	307
▲ 中南部供需差異(C)	472	444	594	476	442	411	286	248	581	450

資料來源：台灣電力公司。

主要國家負載率比較

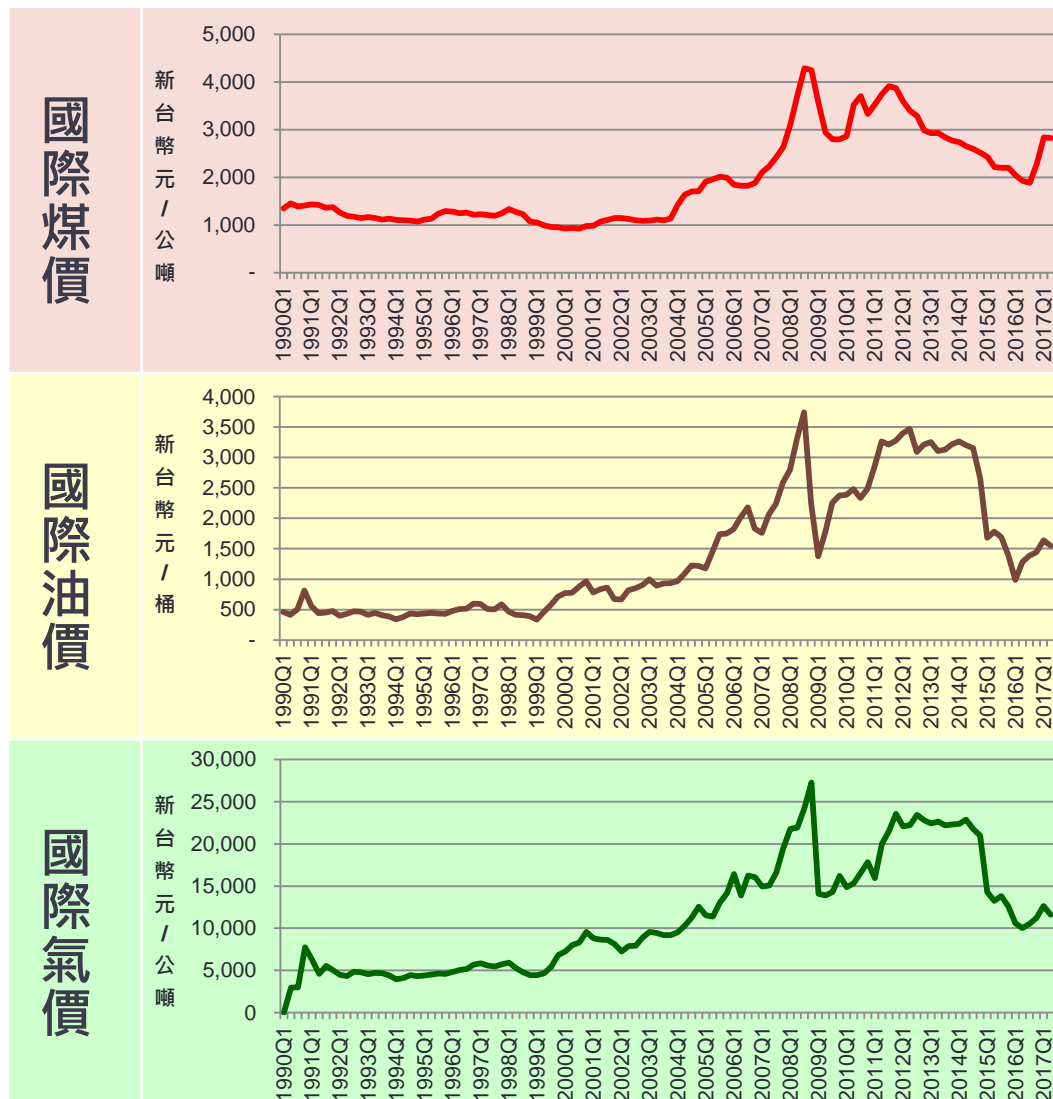
單位：%



資料來源：Electricity Review Japan (2015)；台電統計

註：我國數據為2012-16的五年平均值，其他國家則為1990-2011年的最高值。

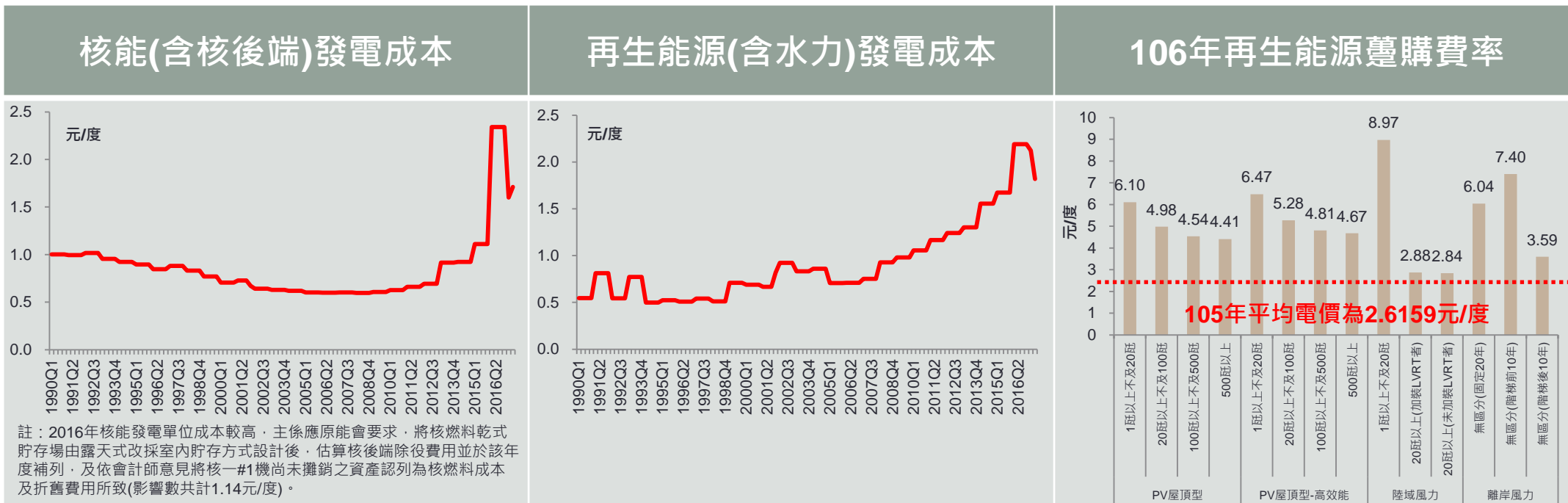
### 3.1. 能源消費面：國際能源價格波動



- 我國進口能源占比達98%，深受國際能源價格波動之影響。
  - 國際能源價格曾於2008年達到歷史高點；
  - 金融風暴之後，國際能源價格呈現巨幅震盪的態勢。
- 能源價格的劇烈波動，將對工業用戶及住商用戶的營運活動、生產規劃或者日常生活與支出造成影響

## 3.2. 能源消費面：國內零碳發電成本走高

- 早前國內再生能源僅水力發電，發電成本低。近年太陽能與風電增加，再生能源整體的發電成本逐漸走高。
- 近來核電廠多部機組停機，發電量減少，每度電攤提的核後端成本增加。

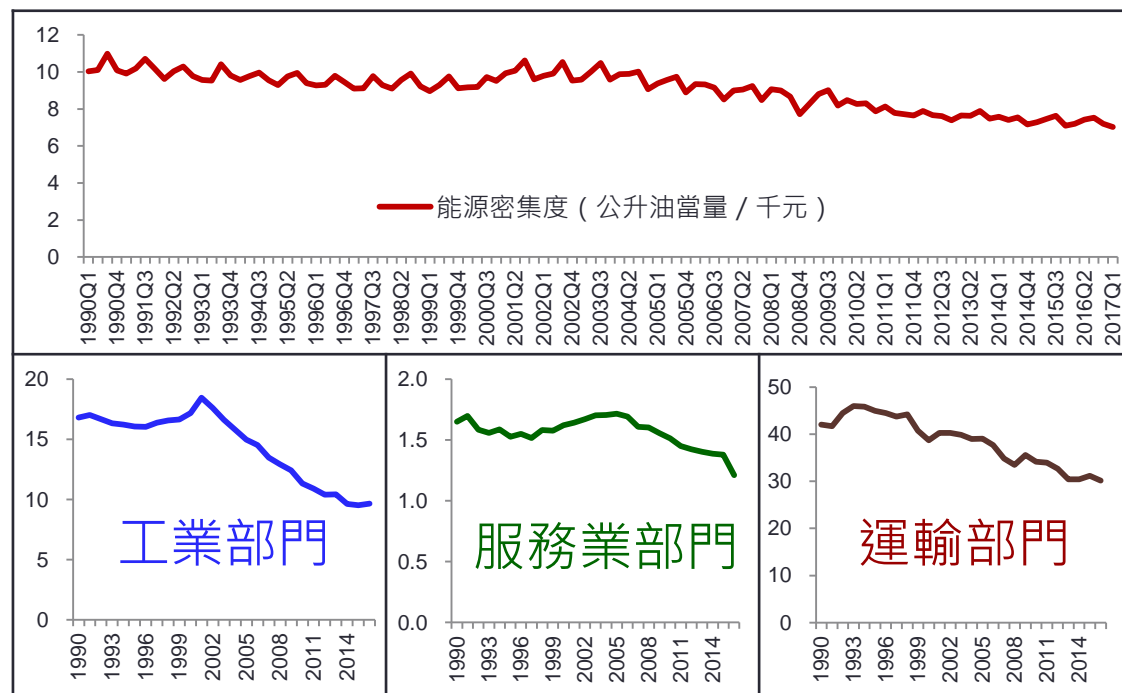


### 3.3. 能源消費面：能源效率改善 & 消費結構分散化

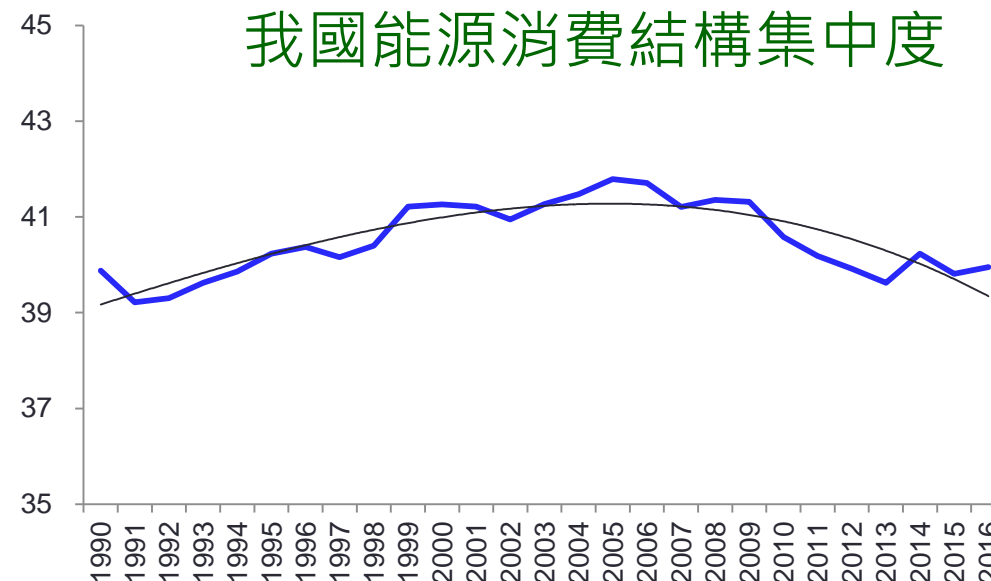
用戶因應能源價格波動的能力提高

- 能源消費結構走向分散化。
- 能源效率持續改善。

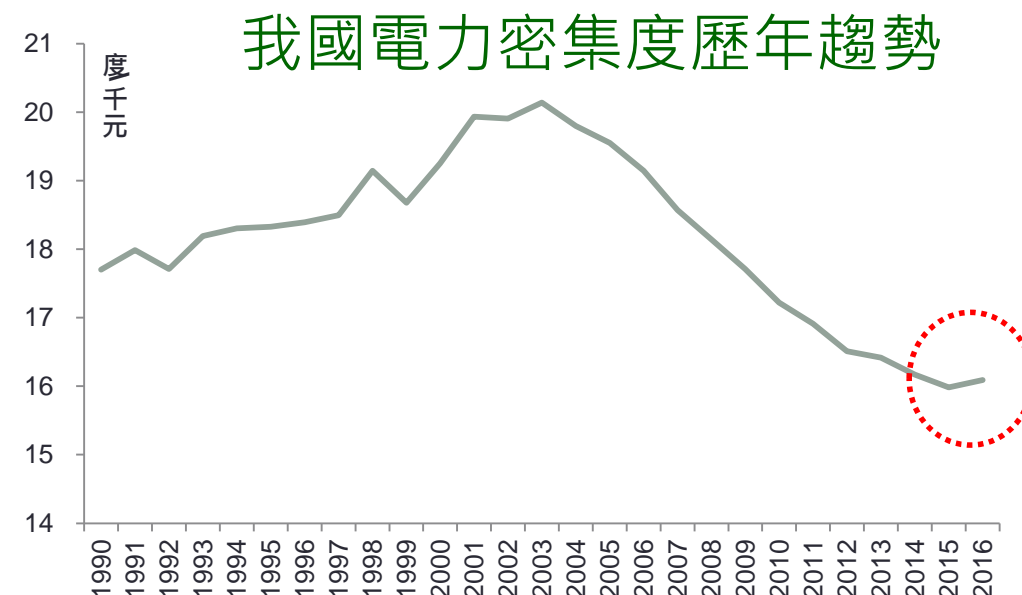
#### 我國能源效率歷年趨勢



#### 我國能源消費結構集中度



#### 我國電力密集度歷年趨勢



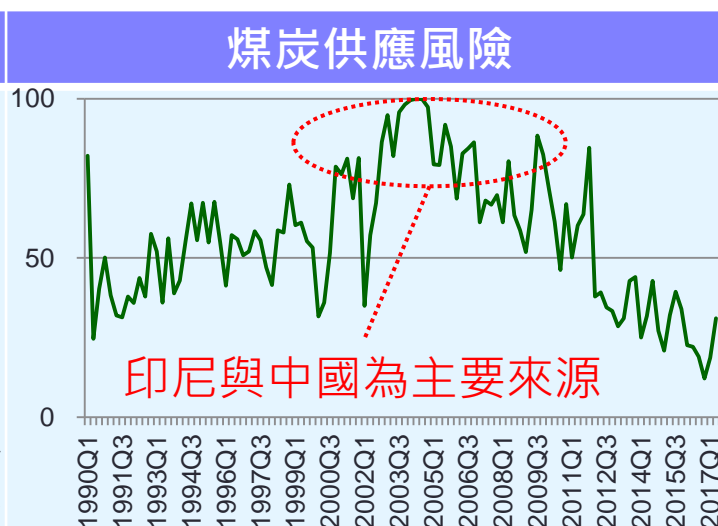
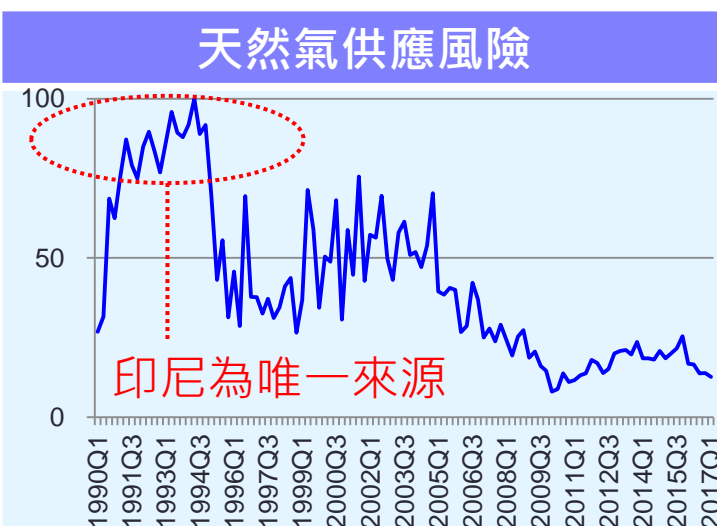
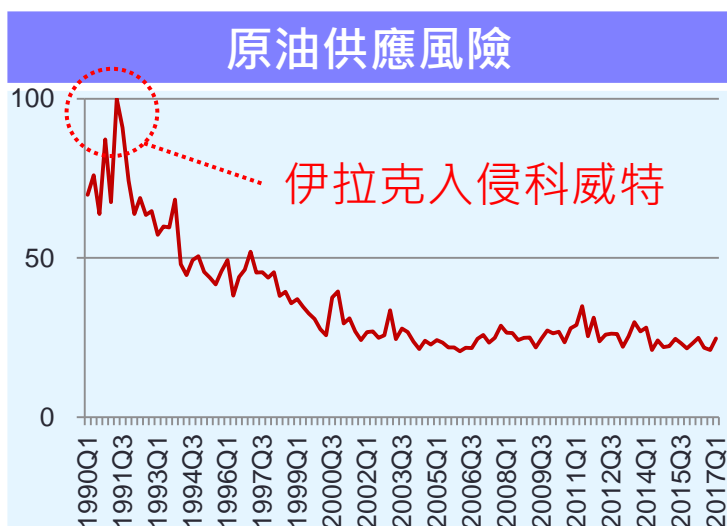
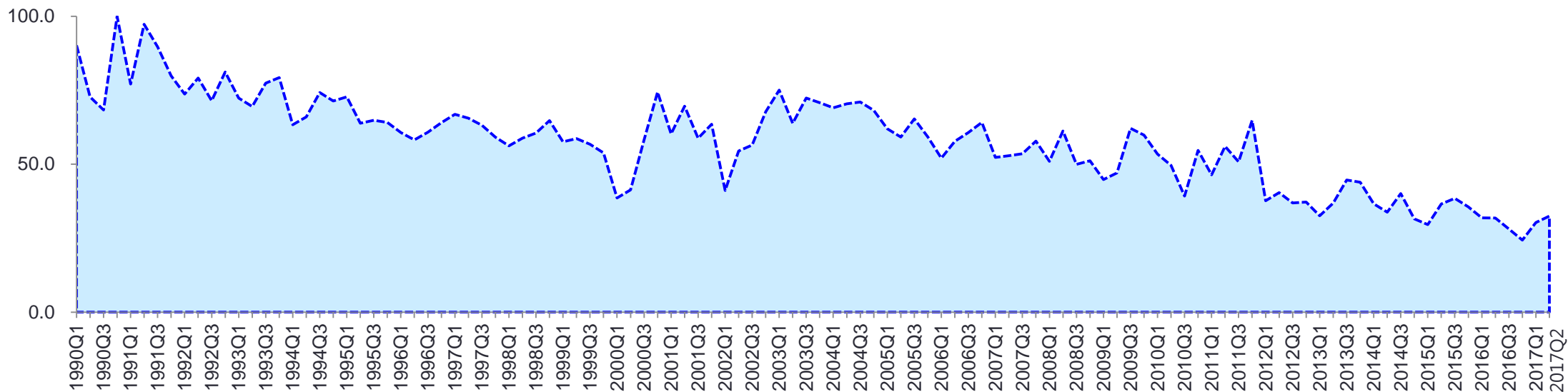


# 脆弱度計算結果(1990Q1~2017Q2)

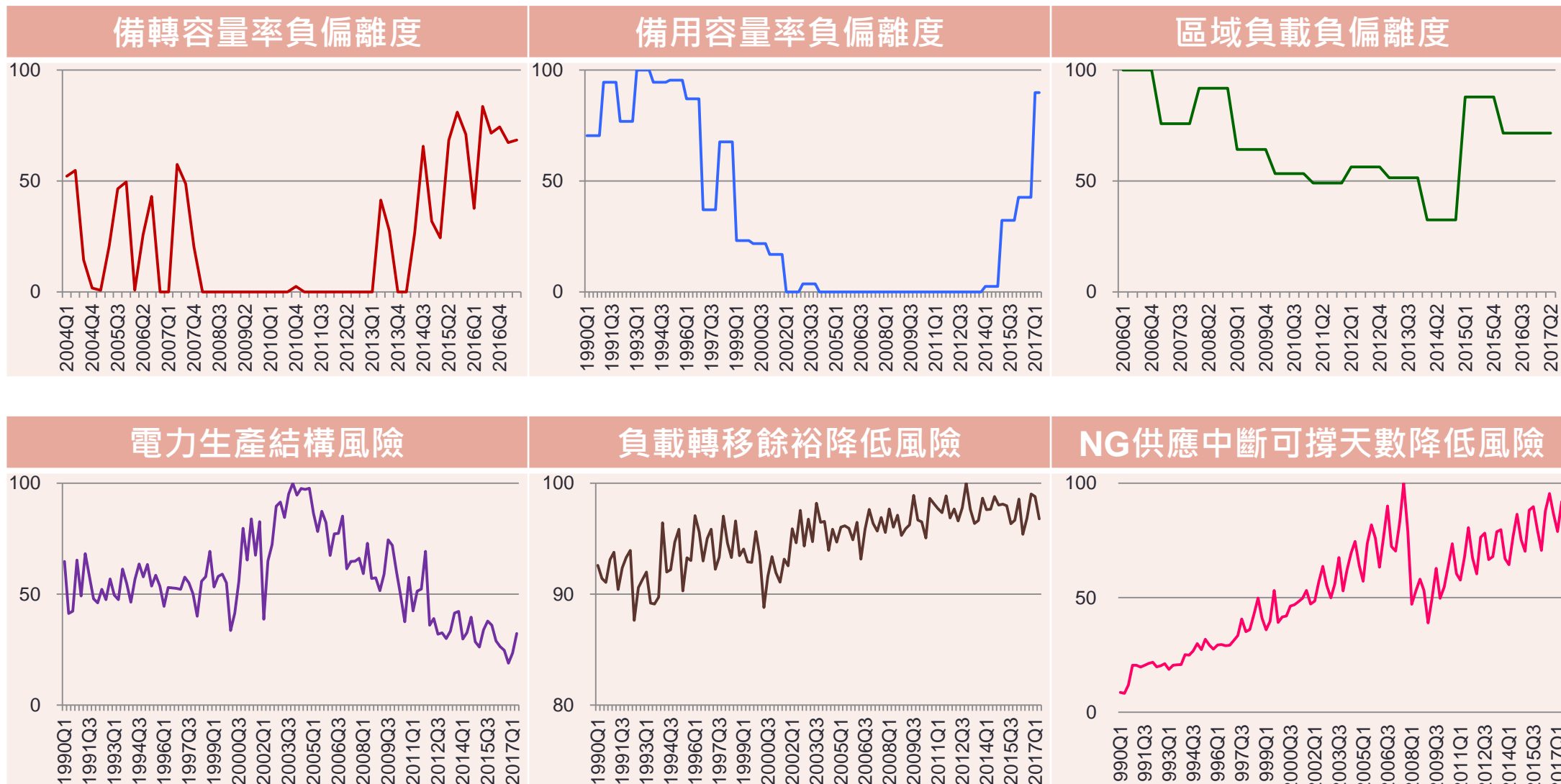
---

1. 初級能源供應脆弱度(PEV)
  2. 基礎設施脆弱度(IV)
  3. 最終能源消費脆弱度(EEV)
- 總能源經濟脆弱度

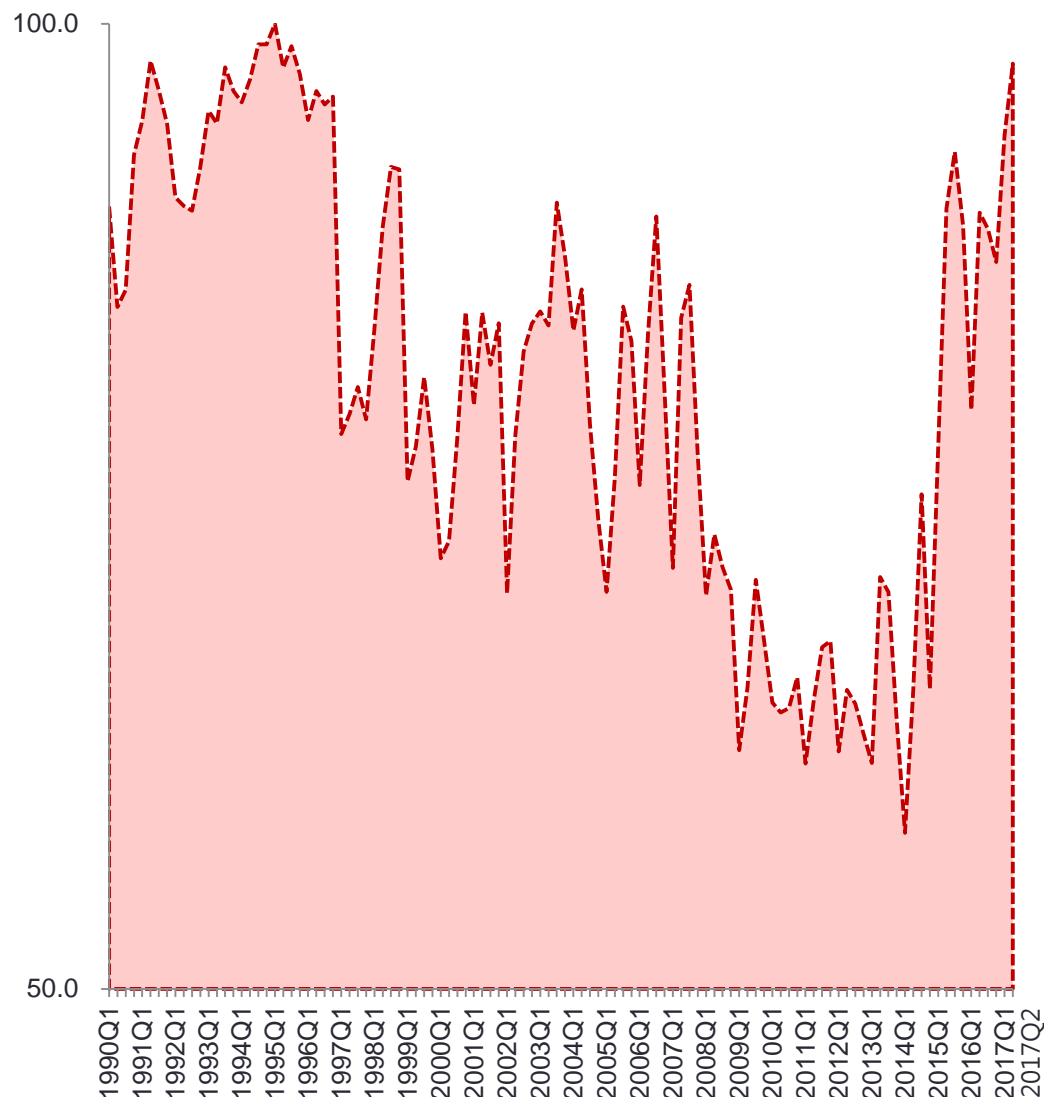
# 1. 初級能源供應脆弱度(PEV)



# 2. 基礎設施脆弱度(IV)

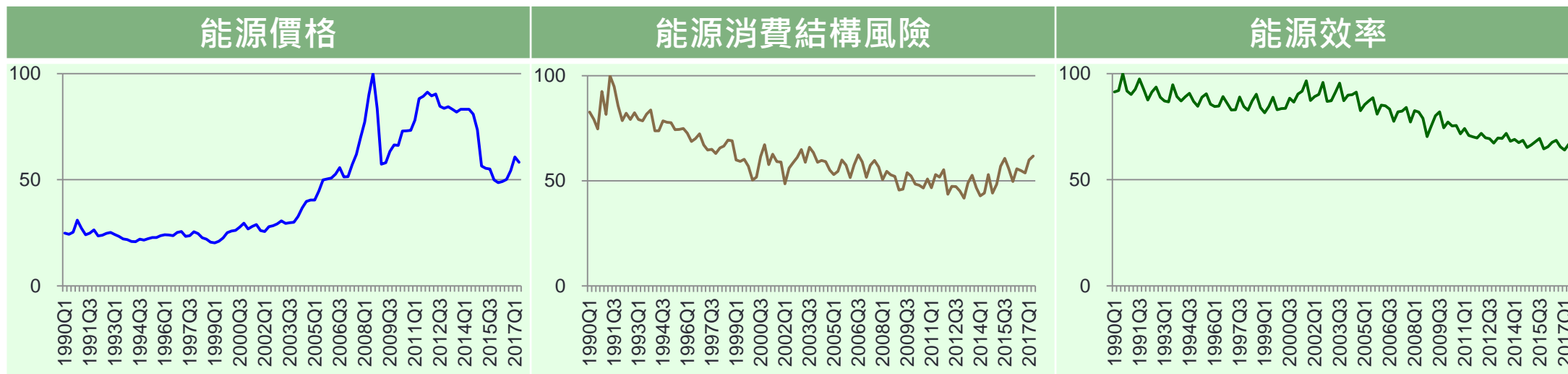
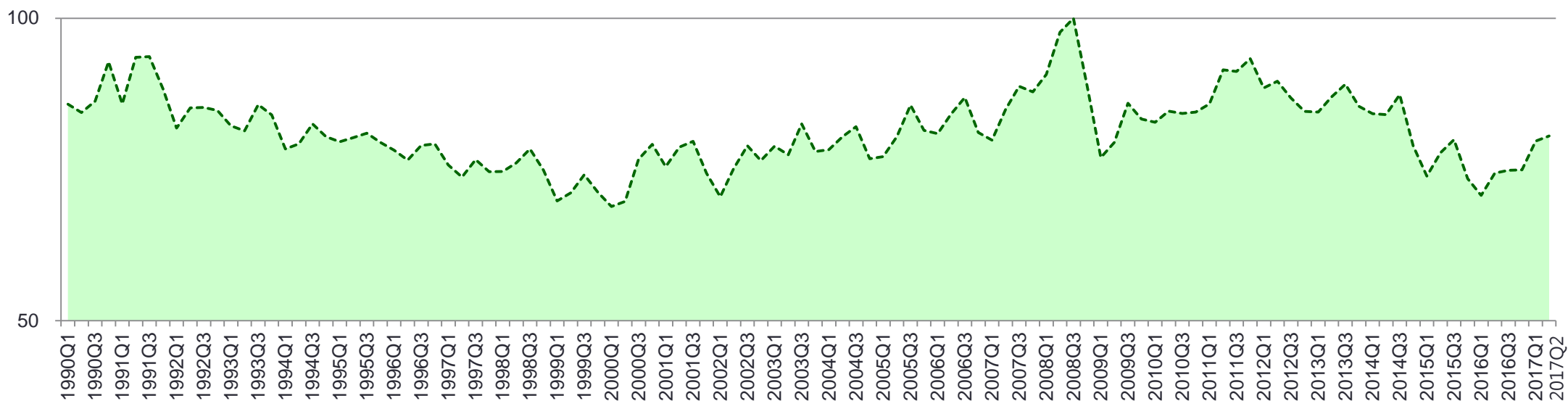


## 2. 基礎設施脆弱度(IV)



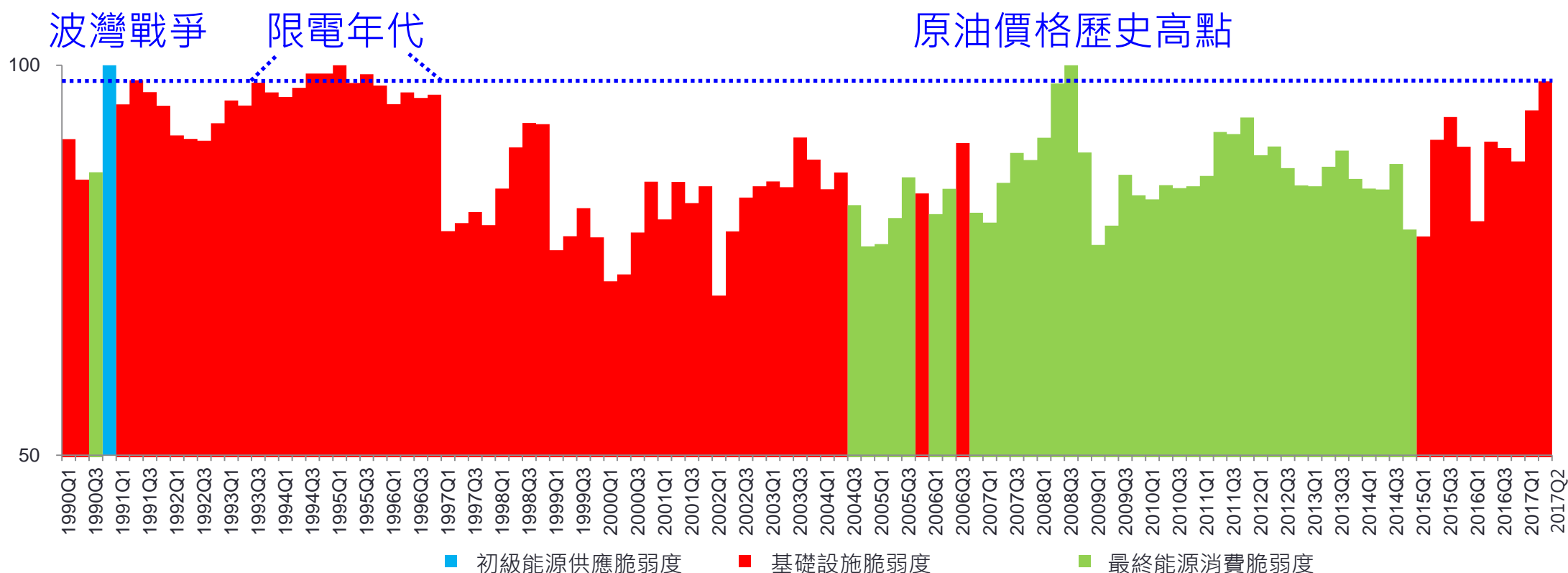
- 1990-2000年，我國實際備用容量率長期低於最適備用容量率，使得電力基礎設施風險居高不下
- 2000年後，我國備用容量率提升、電力管理能力改善，電力供應相對充裕，加上2006及2009年永安接收站儲槽擴建及台中接收站儲槽分別完工，有助於增加天然氣安全存量天數，進而有效降低基礎設施脆弱度。
- 然而，近年來北部電廠面臨停用與除役的限制，區域供電日益不均，備用與備轉容量率偏低，設備長期處於高運轉狀態，難以承受突發意外事故。加上液化天然氣設備利用率與周轉率遠高於他國，若來源中斷，夏季可撐天數僅餘六日。
- **在此狀況之下，目前我國的基礎設施脆弱度已臨近1990年代的限電狀態局勢。**

# 3. 最終能源消費脆弱度(EEV)



# 總能源經濟脆弱度

- 1990至2003年，除了波灣戰爭期間，多數期間的總能源脆弱度源自於基礎設施的不足。
- 2004-2014年間，則是偏高的國際能源價格，造成我國能源經濟脆弱度的惡化。
- 近年來，受到電源和天然氣建設的不足，基礎設施再度成為我國能源經濟脆弱度惡化的原因。並且目前的脆弱度已經接近過往幾次重大事件的高點。



# 結論與建議

---

# 結論

本團隊參考WEC的架構，建構了一套綜合評估能源供應、能源消費與基礎設施的脆弱度系統，並且發現：

1. 隨著進口來源國分散化，以及較低的來源國政治風險，**初級能源供應脆弱度逐年改善**
2. 近年來，**基礎設施脆弱度則因為天然氣與電源設備不足而急速惡化**
3. **最終能源消費脆弱度則呈現震盪態勢**

而相較於傳統僅考量供給面的能源安全指標，我們認為**台灣能源安全的弱點**主要是在**基礎設施的完備性**或者**能源用戶對於能源支出的負擔能力**上。



# 建議

能源基礎設施的增設往往需要長時間進行規劃、評估與建設。因此...

1. 政府宜務實評估能源轉型的方向、目標與期程
2. 要達成政策目標，政府宜保有彈性空間，來妥善運用各類型的發電機組。
3. 目前應對供電缺口的短期應變措施，仍應考慮投入成本與環境承受能力。
4. 加速增設天然氣接收及輸儲設施，以降低供氣中斷的風險。
5. 目前抑低尖峰負載的空間有限，加上長期存在的區域電力供需失衡的狀況，不能僅靠需求面管理，增加電力供應才是根本之道。
6. 為推動再生能源，宜早日投入分散式能源系統的建置，才能在充分運用各類再生能源的同時，降低對電力系統穩定性的影響。
7. 提升能源效率仍為降低最終能源消費脆弱度的有效方式，政府不宜再對能源價格進行補貼，透過能源價格合理化反映真實成本，才能有效導正能源用戶的消費行為，進而增進能源效率。

簡報完畢  
敬請指教

# 附錄：編制說明

---

附錄1. 2017年第2季料資更新和估計說明

附錄2. 指標項目

附錄3. 指標說明

3.1. 總初級能源供應脆弱度

3.2. 基礎設施脆弱度

3.3. 總最終能源消費脆弱度

# 附錄1. 2017年第2季資料更新和估計說明

- 因截止指標發布日，部份公開資料公布數值僅至5月，抑或為6月份初步數，故本研究針對第2季資料估計方式補充說明如下：

指標	項目	說明
初級能源供應 脆弱度	各類能源進口量/來源國	參考海關進、出口貿易統計6月份初步值
	OECD國家風險分類	參考OECD之Country Risk Classification Report
	初級能源結構	參考能源統計月報，以4月和5月均值为第2季結構值
基礎設施 脆弱度	天然氣儲月周轉次數	天然氣消費量採以與去年同期的成長率推算
	電力生產結構風險	參考台電「106年各月份淨發購電量及售電量(1-6)」資料
	備用容量率負偏離度	參考台電電源開發處預估2017年為8.7%，再扣除核一廠兩部機組後則為5.3%
	備轉容量率負偏離度	依台電統計資料更新
	區域負載負偏離度	無2017年數值，故仍用2016年數據
最終能源消費 脆弱度	負載率	採以與去年同期的成長率推算
	能源消費結構	採以與去年同期的成長率推算
	能源密集度	能源消費量採以與去年同期的成長率推算；實質GDP為主計總處預測值
	能源價格	海關進、出口貿易統計6月份初步值、台電「106年各月份淨發購電量及售電量(1-6)」、台電「各種發電方式之發電成本」

## 附錄2. 指標項目

- 初級能源供應脆弱度(PEV)
  - 天然氣供應風險( $PEV_{NG}$ )
  - 煤供應風險( $PEV_C$ )
  - 石油供應風險( $PEV_O$ )
  - 鈾供應風險( $PEV_U$ )
    - 100%進口自美國，且美國進口風險為零
  - 再生能源供應風險( $PEV_R$ )
    - 屬於自產能源，自產能源無進口風險
- 基礎設施脆弱度(IV)
  - 天然氣月周轉次數
    - 天然氣供應中斷時可撐天數縮短的風險
  - 備用容量率負偏離度
  - 備轉容量率負偏離度
  - 區域負載負偏離度
  - 負載率(平均負載/尖峰負載)
    - 捕捉負載轉移餘裕空間減少的風險
  - 與他國電網連接負偏離度
    - 目前無連結他國電網，屬於最高風險
  - 電力生產結構風險
- 最終能源消費脆弱度(EEV)
  - 能源消費結構風險( $EEV_C$ )
  - 能源效率(能源密集度)
  - 能源價格
    - 國際煤價
    - 國際油價
    - 國際天然氣價
  - 再生能源發電成本(含水力發電成本)
  - 核能發電成本(含核後端處理成本)

# 附錄3.1. 指標說明：總初級能源供應脆弱度

## i類能源供應脆弱度(PEVi)

指標意涵	指標公式
將「i類能源來源國的政治風險」以「i類能源自j國進口量占本國i類能源供應占比」為權數計算的加權平均值；風險值越高，i類能源供應風險越高。	$PEV_i = x_i^T \cdot R \cdot x_i = x_{id}^2 \cdot r_d + \sum_{j=1}^J x_{ij}^2 \cdot r_j$ <ol style="list-style-type: none"> <li><math>x_i = (x_{id}, x_{i1}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{iJ})</math>表示一國能源進口占比之矩陣；其中<math>x_{ij}</math>表示自j國進口i類能源占本國i類能源總供應占比；<math>x_{id}</math>代表i類能源於國內自產之比率。</li> <li><math>R</math>為能源出口國政經穩定度的風險矩陣；<math>r_j</math>即能源由來源地j供應之風險指標，而<math>r_d</math>為自產能源之供應風險，原則上以0計算。</li> </ol>

## 總初級能源供應脆弱度(PEV)

指標意涵	指標公式
將「i類能源供應脆弱度(PEV <sub>i</sub> )」以「i類能源供應量占該國總能源供應占比」為權數計算的加權平均值；風險值越高，一國能源供應風險越高。	$PEV = w^T \cdot X^T \cdot R \cdot X = w^T \cdot \Pi$ <ol style="list-style-type: none"> <li><math>w^T = (w_1, \dots, w_i, \dots, w_I)</math>表示一國各類能源供應占比之矩陣，故<math>w_1 + \dots + w_I = 1</math>。</li> <li><math>\Pi = X^T \cdot R \cdot X</math>為各類能源供應脆弱度矩陣；本矩陣的對角線<math>\pi_{ii}</math>即為i類能源供應脆弱度(PEV<sub>i</sub>)，故<math>\pi_{ii} = PEV_i = x_{id}^2 \cdot r_d + \sum_{j=1}^J x_{ij}^2 \cdot r_j \geq 0</math>。</li> </ol>

# 附錄3.2. 指標說明：基礎設施脆弱度 (1)

## 備用容量率負偏離度

指標意涵	指標公式
備用容量率衡量電力系統發電端供電可靠度。備用容量率如果低於最適值，則可靠度下降，甚至限電。故若負偏離度愈高，代表系統出現限電的可能性越高。	$\lambda_1 \times \frac{ \text{PRM}_t - \text{ORM} }{\text{ORM}} \times I(\text{PRM}_t > \text{ORM}) + \lambda_2 \times \frac{ \text{PRM}_t - \text{ORM} }{\text{ORM}} \times I(\text{PRM}_t < \text{ORM})$ <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>\text{PRM}_t</math> (Percent Reserve Margin) 為備用容量率實績。</li> <li>2. <math>\text{ORM}</math> (Optimal Percent Reserve Margin) 為最適備用容量率，設為15%。</li> <li>3. 公式的前項代表資源閒置，後項代表備用不足。</li> <li>4. <math>\lambda_1</math> 及 <math>\lambda_2</math> 為權數，目前分別設為0與1，亦即僅考慮電力供應可能不足的風險。</li> </ol>

## 備轉容量率負偏離度

指標意涵	指標公式
備轉容量率衡量每日電力系統的實際供電餘裕(扣除歲修、檢修及故障的機組裝置容量)。備轉容量率如果低於最適值，則可靠度下降。故若負偏離度愈高，代表系統出現限電的可能性越高。	$\lambda_1 \times \frac{ \text{POR}_t - \text{OOR} }{\text{OOR}} \times I(\text{POR}_t > \text{OOR}) + \lambda_2 \times \frac{ \text{POR}_t - \text{OOR} }{\text{OOR}} \times I(\text{POR}_t < \text{OOR})$ <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>\text{POR}_t</math> (Percent Operating Reserve) 為備轉容量率實績。</li> <li>2. <math>\text{OOR}</math> (Optimal Percent Operating Reserve) 為最適備轉容量率，設為10%。</li> <li>3. 公式的前項代表資源閒置，後項代表備用不足。</li> <li>4. <math>\lambda_1</math> 及 <math>\lambda_2</math> 為權數，目前分別設為0與1，亦即僅考慮電力供應可能不足的風險。</li> </ol>

## 附錄3.2. 指標說明：基礎設施脆弱度 (2)

### 區域負載負偏離度

指標意涵	指標公式
<p>電網分為北、中、南三區，區域內應維持發電與用電相當為最佳，若區域內發電不足以供應用電需求時，必須透過跨區輸電幹線輸送融通電力支援。故若負偏離度愈高表示各區域內電力供需愈不均衡，區域間電力輸送壓力較高。</p>	$\sum_i \left[ \left( \lambda_1 \times \frac{ S_{it} - D_{it} }{D_{it}} \times I(S_{it} > D_{it}) \right) + \left( \lambda_2 \times \frac{ S_{it} - D_{it} }{D_{it}} \times I(S_{it} < D_{it}) \right) \right]$ <p>1. <math>i = N, M, S</math>                  2. 公式的前項代表供大於需，後者代表需大於供。                  3. <math>\lambda_1</math>及<math>\lambda_2</math>為權數，目前分別設為0與1，亦即僅考慮區域間電力供應可能不足的風險。</p>

### 與他國電網連接負偏離度

指標意涵	指標公式
<p>我國的供電系統孤立，無法藉助鄰國輸電進行供需調節，故若負偏離度愈高表示電力系統自立求生的壓力越大。迄今我國與他國電網並聯度為0，壓力最高，若未來我國電網能與他國連接，將可降低風險。</p>	$\lambda_1 \times \left  \frac{\text{與他國並聯容量}_t}{\text{本國裝置容量}_t} - \text{最適連接度} \right  \times I \left( \frac{\text{與他國並聯容量}_t}{\text{本國裝置容量}_t} > \text{最適連接度} \right)$ $+ \lambda_2 \times \left  \frac{\text{與他國並聯容量}_t}{\text{本國裝置容量}_t} - \text{最適連接度} \right  \times I \left( \frac{\text{與他國並聯容量}_t}{\text{本國裝置容量}_t} < \text{最適連接度} \right)$ <p>1. 最適連接度依據歐盟建議設為10%。                  2. <math>\lambda_1</math>及<math>\lambda_2</math>為權數，目前分別設為0與1，亦即僅考慮我國與他國電網連接度低於歐盟建議最適值的風險。</p>



## 附錄3.2. 指標說明：基礎設施脆弱度 (3)

### 負載率

指標意涵	指標公式
表示平均負載與最高負載之百分比。一般而言，負載率代表設備利用率，越高越好。但是因為負載率具有極值(100%)，若太過接近極值代表所有機組都處於高運轉狀態，若電力需求突增，將容易導致跳電。另外，和主要國家比較，我國的負載率極高，代表未來再進行負載轉移的空間已所剩無幾，餘裕有限，故以此指標捕捉負載轉移空間餘裕降低的風險。	平均負載 <sub>t</sub> /尖峰負載 <sub>t</sub> 1. 平均負載：特定時間內(日、月、年)，平均每小時之輸出電力。例：全年發電量除以8760小時(一年小時數) 2. 尖峰負載：特定時間內(日、月、年)，每小時輸出電力之最高值。

### 天然氣月周轉次數

指標意涵	指標公式
表示天然氣最大儲存容量每月將用盡幾次。一般而言，周轉次數越高，存貨周轉率越高，從取得至消耗所經歷的天數越少，故也代表存貨管理效率越好。然而，由於液化天然氣載運船若在入港前後遇到颱風，須因安全因素遠離待命。因此，若天然氣進口來源中斷可撐天數小於3天，台灣即有可能因為颱風因素而斷氣。故以此月周轉次數捕捉天然氣進口來源中斷下可撐天數降低的風險。	天然氣當季最大月用量 <sub>t</sub> /天然氣可儲存容量 <sub>t</sub> 1. 天然氣每季最大月用量：當季天然氣月消費量最大值(能源統計月報) 2. 天然氣可儲存容量：全國天然氣接收站設計容量加總

## 附錄3.2. 指標說明：基礎設施脆弱度 (4)

### 電力生產結構風險

指標意涵	指標公式
<p>電力生產結構風險受一國電源配比和各類發電能源所對應之能源供給風險而定。若一國之電力資源組合集中於某一發電技術，且該發電技術所對應的能源供給風險偏高，將使該國電力生產結構風險較大，因此需以不同能源組合作為電力配比，藉由多元化和分散化方式來降低可能風險。</p>	<p><math>S_i \times</math> 各類發電能源對應風險<sub><i>i</i></sub></p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. <math>S_i</math>：各類能源發電量占總發電量比率</li><li>2. 各類發電能源對應風險<sub><i>i</i></sub>：例如燃煤發電、燃油發電所對應的能源供給風險即分別為燃料煤初級能源供給風險、石油初級能源供給風險。</li></ol>

# 附錄3.3. 指標說明：能源消費脆弱度

## 能源價格

指標意涵	指標公式
捕捉能源進口成本、各類再生能源發電成本、核能發電成本(含核後端成本)的變化對於能源用戶使用能源的壓力增減幅度。	$\sum_i S_{i,t} \times P_{i,t}$ <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>P_i</math>為標準化後的煤、油、氣國際價格、再生能源(含水力)發電成本、核能發電成本(含核後端成本)。</li> <li>2. <math>S_i</math>為依據煤、油、氣與電力占最終能源消費結構比重，以及煤、油、氣、再生能源(含水力)、核能占發電結構比重，所計算的煤、油、氣、再生能源、核能的結構占比</li> </ol>

## 能源密集度

指標意涵	指標公式
表示我國的能源使用效率。數值越低代表能源使用效率越高，當能源使用越有效率時，可提高能源用戶因應能源價格上漲的能力，進而減少能源消費脆弱度。	最終能源消費量 <sub>t</sub> /實質國內生產毛額 <sub>t</sub>

## 最終能源消費結構風險

指標意涵	指標公式
表示能源用戶消費各類能源的來源風險程度。數值越高表示該國越集中消費特定能源，風險程度越高，若能源消費的品項越分散，則能源消費的來源風險越低。	$EEV = \sum_i S_i \times EEV_i$ <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>EEV_i = (PEV_i, \text{基礎設施脆弱度})</math>表示一國<i>i</i>類能源消費的來源風險程度，其中，<math>S_i</math>為<i>i</i>類能源的最終消費占比。</li> <li>2. 電力項目採用基礎設施脆弱度；</li> </ol>