

台灣能源安全指標 (一一〇年第一季暨未來展望)

研究單位：中央大學台灣經濟發展研究中心

研究成員：梁啟源研究員暨管理講座教授

110年6月28日

簡報大綱

- 一 台灣能源安全指標簡介
- 二 台灣能源經濟情勢
- 三 台灣能源安全指標編製結果
- 四 結論與建議
- 五 附錄：編製說明

台灣能源安全指標簡介

1. 研究緣起
2. 台灣能源安全指標架構

研究緣起

- 國際間正致力於控制溫氣體排放量，以減緩全球暖化現象，亦進行電力市場改革加速能源轉型，我國同樣提高再生能源發展目標、電業自由化等方式，推動能源轉型
- 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，故須建立一套指標系統：
 - 綜合考量初級能源供應、能源消費與基礎設施完善
- 讓大眾對我國能源安全程度可有一個全面清晰的感受。

台灣能源安全指標架構

參考世界能源大會(WEC)的能源脆弱度架構，予以**本土化**，並將能源安全指標定義為能源脆弱度的倒數。

■ 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。

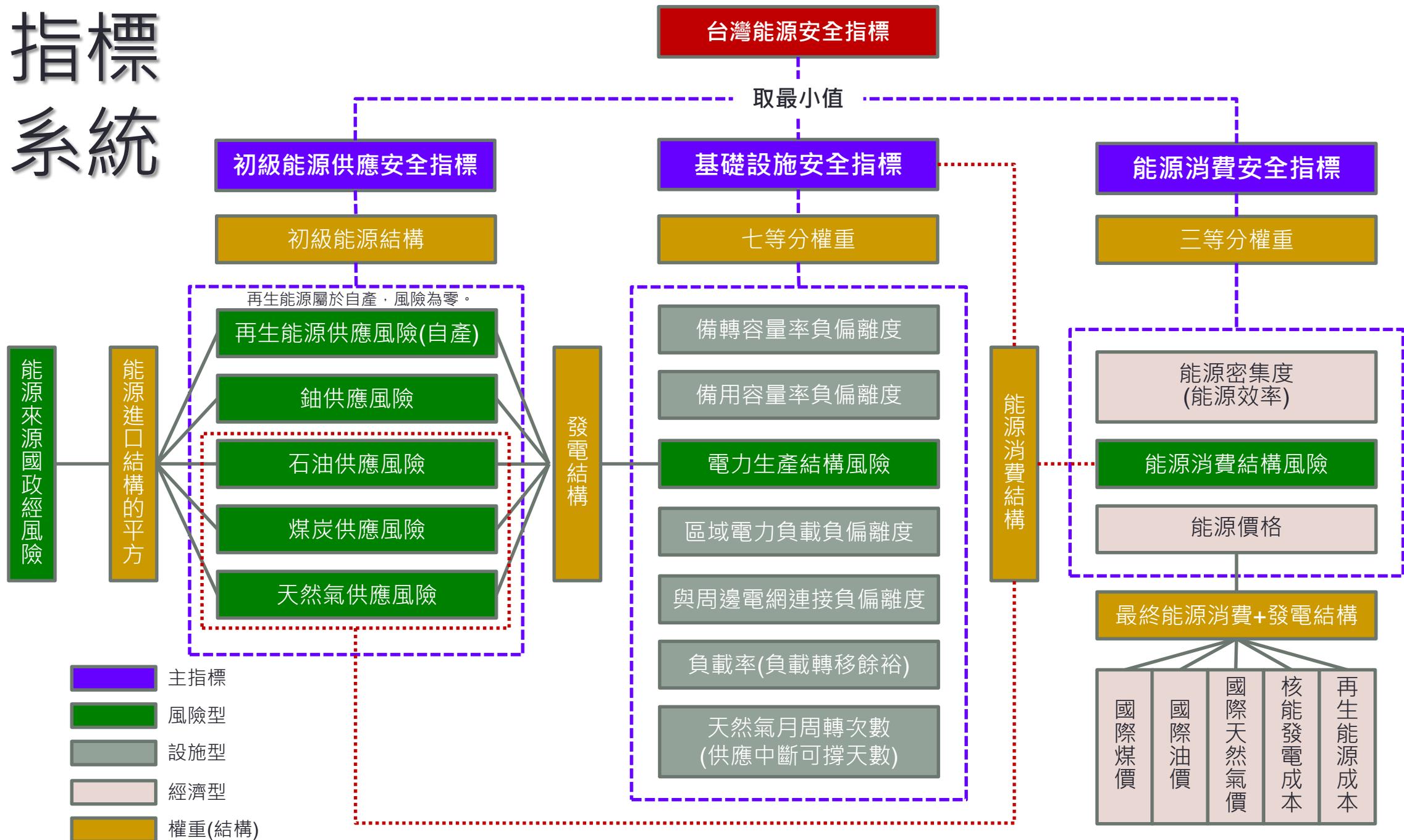
總能源安全指標

初級能源供應安全指標

基礎設施安全指標

能源消費安全指標

指標系統



台灣能源經濟情勢

1. 基礎設施面
2. 能源供應面
3. 能源消費面

1.1. 基礎設施面：電源開發規劃

- 核能及燃油機組陸續除役，新增燃煤、燃氣等機組，並自民國 115 年起，每年增設 1GW 太陽光電系統、1.5GW 離岸風力發電系統。



備註：興達3~4號機自113年底起，依環評承諾轉為備用機組。

機組類別：■ 燃氣 ■ 燃氣 ■ 燃油 ■ 核能 ■ 再生能源

資料來源：經濟部能源局《108-109年度全國電力資源供需報告》。

圖 108年至116年我國新增及除役機組時程規劃

1.2. 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之安全存量不足。

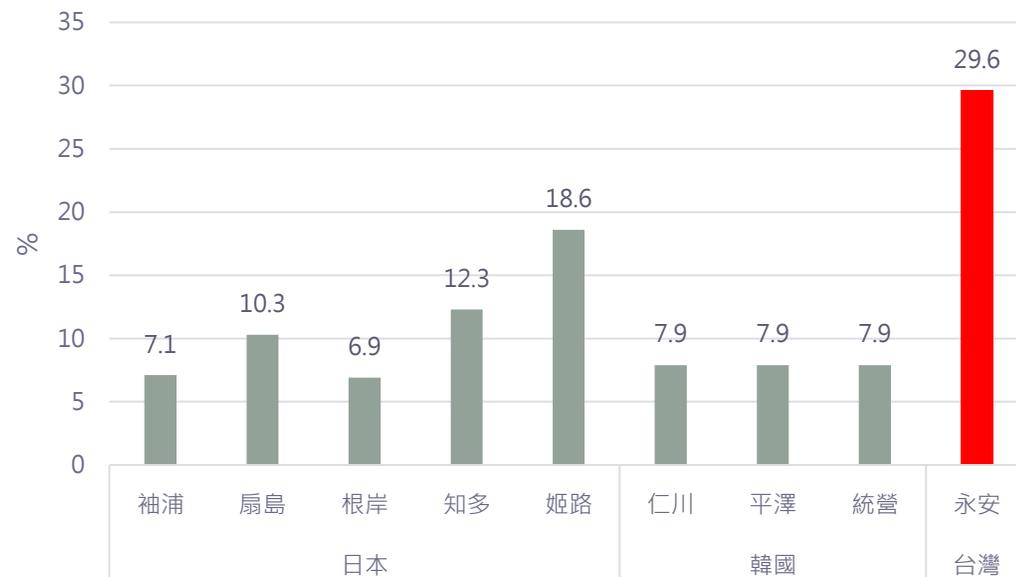
- 日本與韓國為全球前2大LNG進口國，其接收站利用率均低於50%。
- 我國僅有2座接收站，再氣化設備的利用率已超過100%

106年台灣與亞鄰國家天然氣接收站利用率

	台灣	日本	韓國	中國大陸
進口量 (萬噸)	1,651	8,352	3,717	3,780
接收站數量	2	34	6	13
規營運量 (萬噸/年)	1,600	19,700	10,100	4,900
利用率	103	42	37	77

資料來源：朱文成 (2018) · 「影響台灣供電安全、經濟和環保的因素」。

- 相較日、韓的低週轉率，我國LNG儲槽使用頻率偏高，長久之下會造成內槽金屬材質較易有疲勞現象，進而影響儲槽的設計使用年限。



週轉率定義為「年營運量(公噸) / 儲槽總容量(公噸)」

資料來源：台灣中油股份有限公司，「永安廠增建儲槽投資計畫可行性研究報告」。

圖 我國與日、韓天然氣接收站之週轉率比較

1.3. 基礎設施面：再生能源發展未如預期

- 我國雖持續大力發展太陽光電和風力發電等再生能源系統，然而，太陽光電和風力發電之實際值和目標值仍有落差：
 - 太陽光電106年之實際執行率僅達目標之73%，風力發電更僅有26%，107年與108年也未達標；109年的實際執行率約為77.1%(太陽光電)、0.9%(風力發電)。
 - 太陽光電僅能在日間發電，傍晚仍需由其他機組供電，隨著其設置量的提高，如何因應供給面的鴨子曲線和雙尖峰負載型態，將對系統穩定供電形成愈來愈大的挑戰。

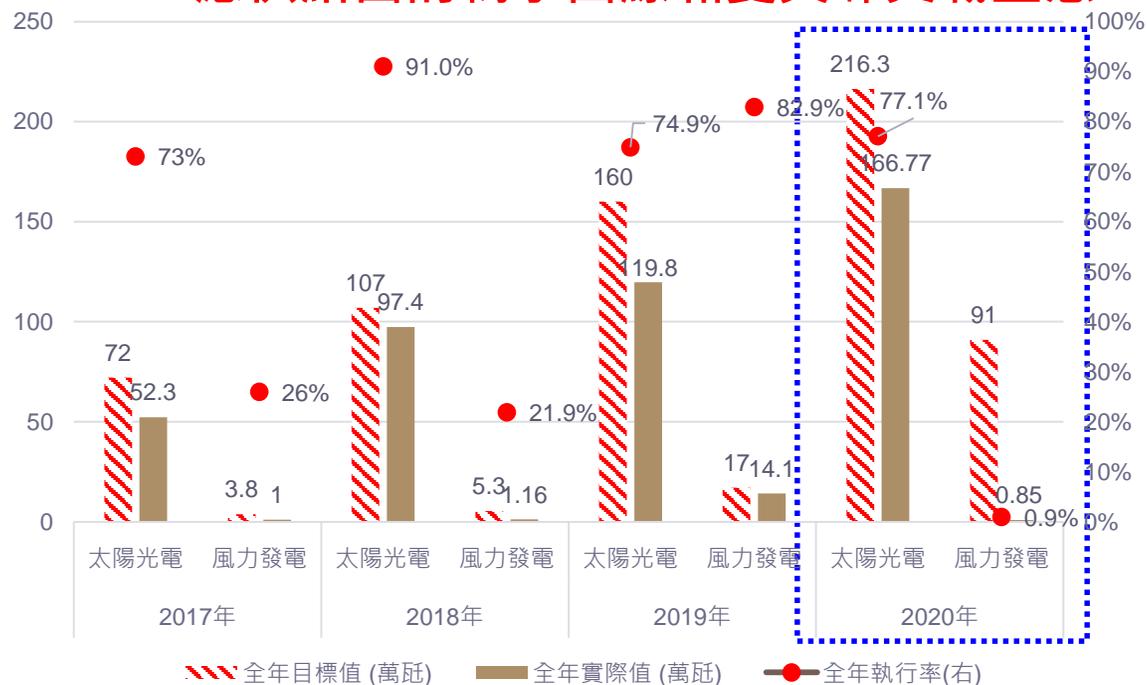


圖 2017-2020年再生能源規劃值與實際值比較

資料來源：經濟部能源局《能源統計月報》。

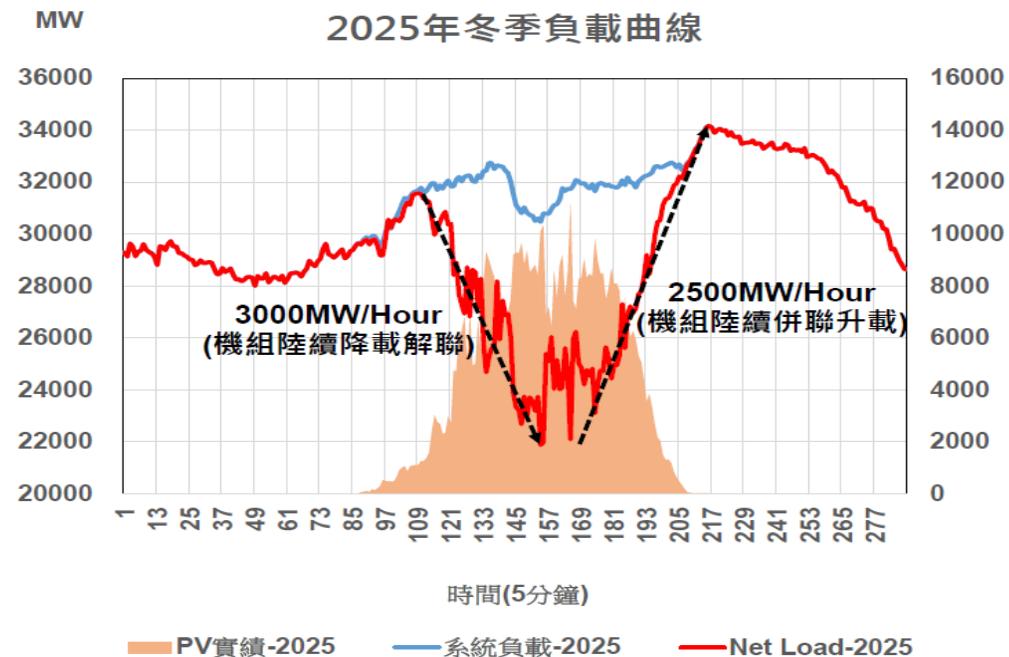
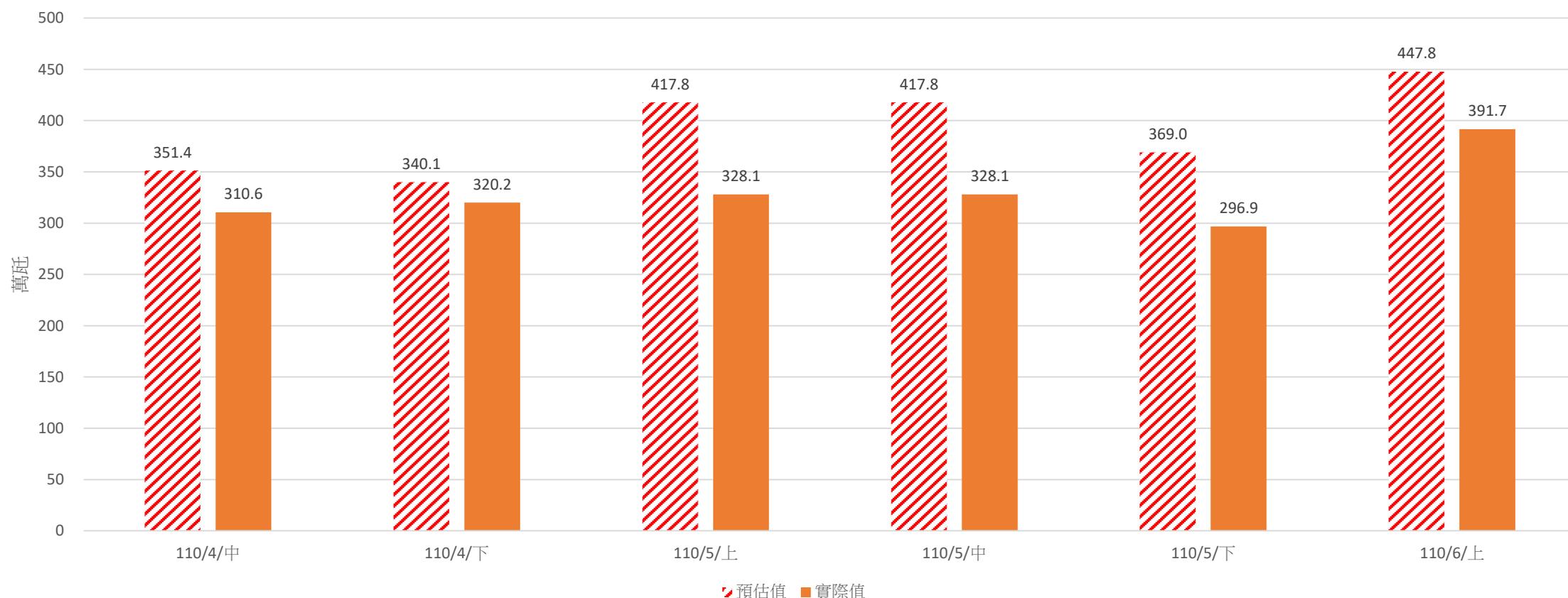


圖 我國2025年冬季之可能用電曲線

資料來源：吳進忠(2018)。

1.4. 基礎設施面：對供電能力過於樂觀

- 比對台電對未來兩個月供電能力的預測值和實際值後發現，**實際值均小於預測值**，顯見台電對供電能力過於樂觀。五月上旬和下旬的誤差，更將近90萬瓩，約當一部通霄新燃氣複循環機組

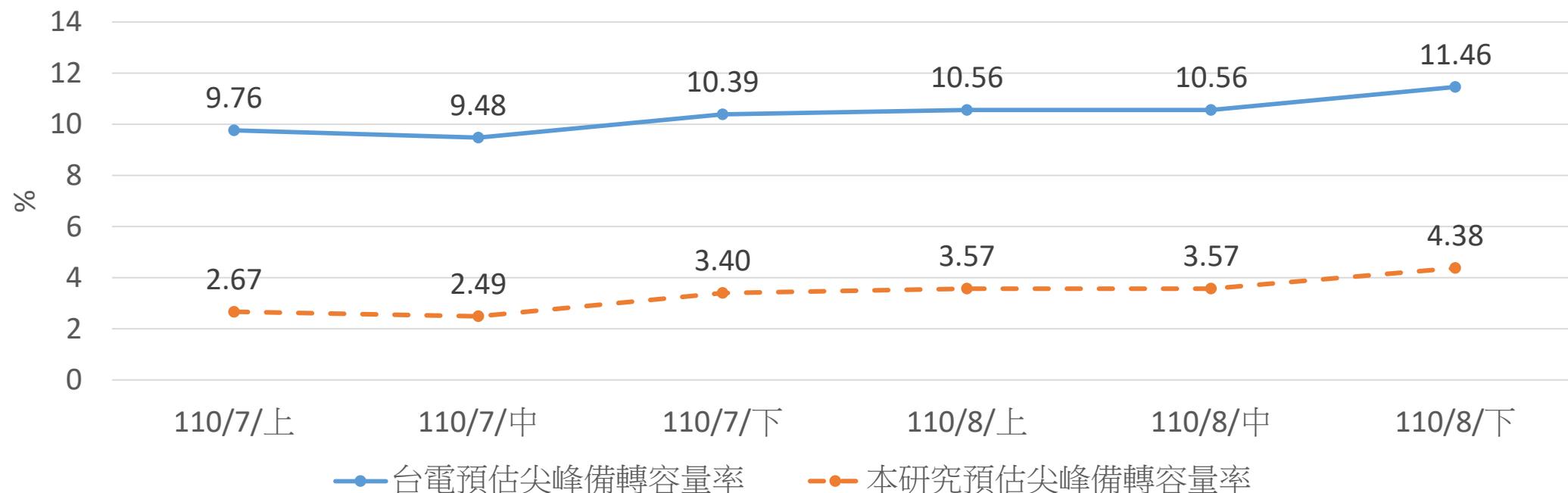


資料來源：台灣電力公司。

圖 台電供電能力預測值和實際值之比較

1.5. 基礎設施面：停限電與備轉容量率燈號

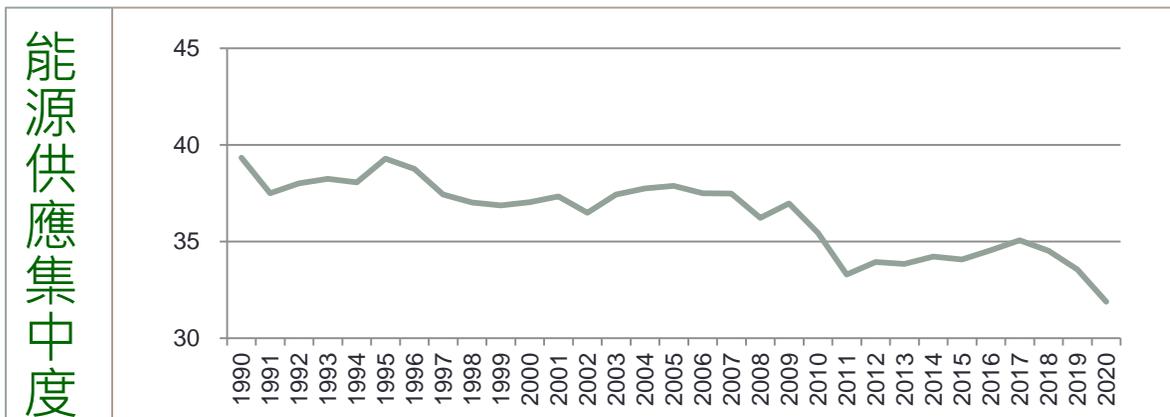
- 2021年5月13日及5月17日兩度發生停限電事件。其中，**5月17日的備轉容量率為3.84%，備轉容量仍有143.7萬瓩，高於備轉容量率燈號50萬瓩的限電準備標準，卻依舊宣布採取停限電措施**
- 本研究將夜間太陽光電未能運作、水力發電不足，和核二廠一號機提前除役等因素列入考量，比較台電對2021年7月和8月的備轉容量率預測值，發現備轉容量率可能遠低於台電估計，且接近5月17日水準，**恐無法避免停限電壓力**



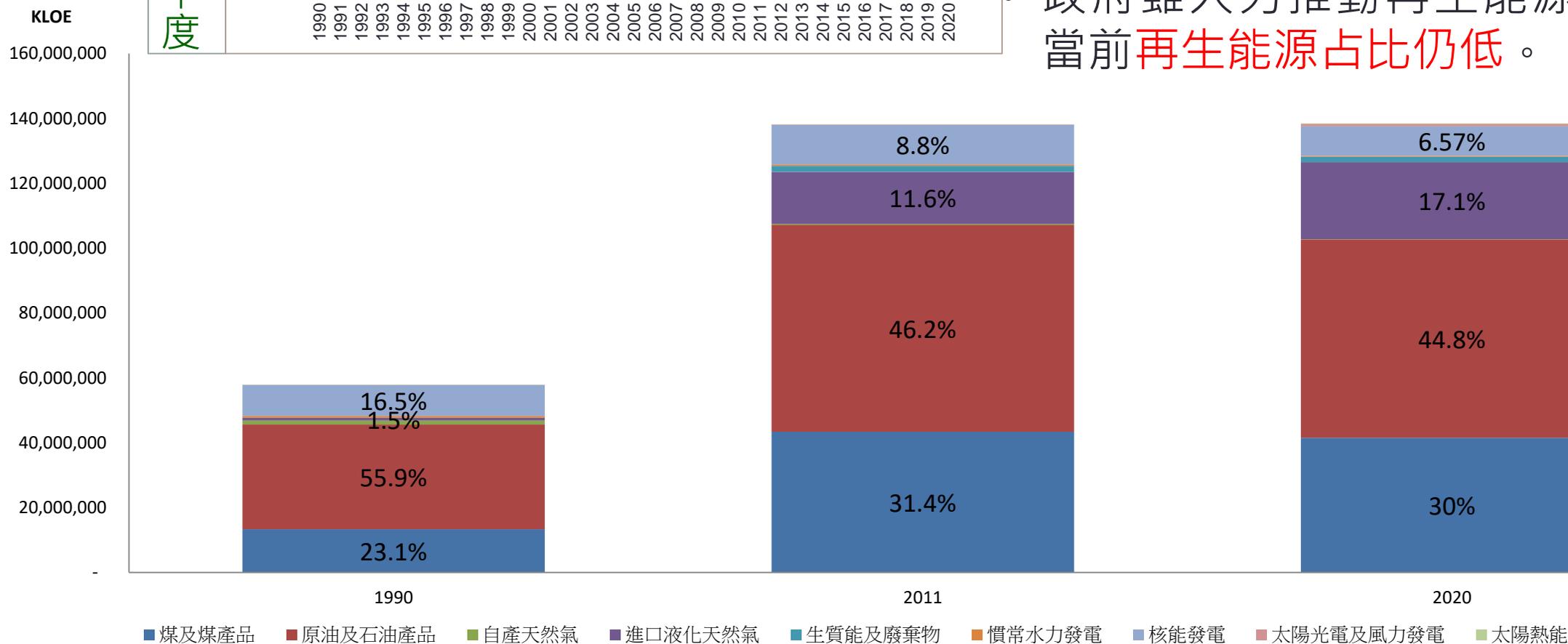
資料來源：台灣電力公司、本研究推估。

圖 2021年7月和8月備轉容量率預測值比較

2.1 能源供應面：初級能源供應結構

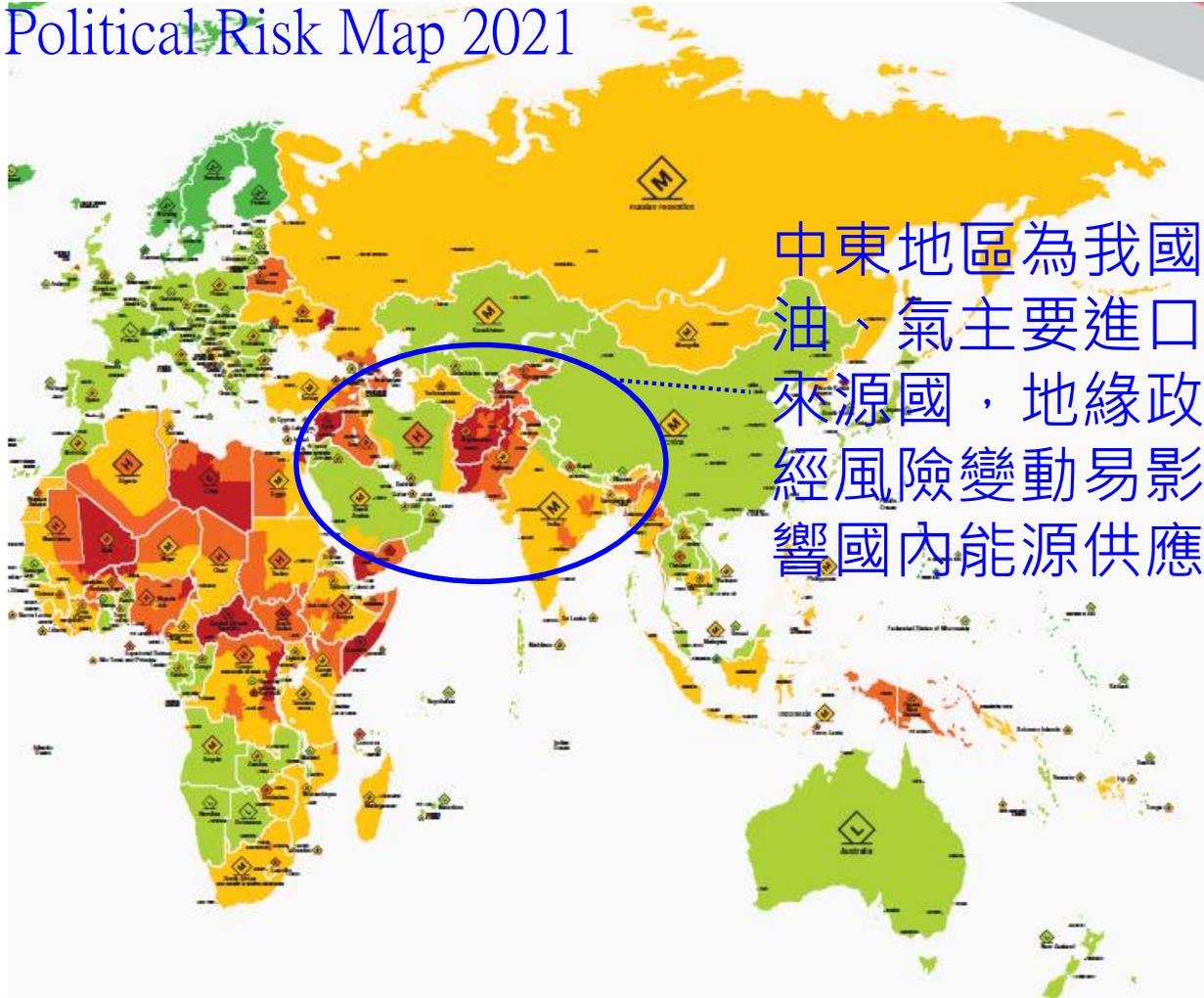


- 石油與煤炭占比維持約75%。
- 天然氣比重明顯增加。
- 核能發電占比大幅減少。
- 政府雖大力推動再生能源，惟當前**再生能源占比仍低**。



2.2. 能源供應面：地緣政經風險

Political Risk Map 2021



中東地區為我國
油、氣主要進口
來源國，地緣政
經風險變動易影
響國內能源供應



產油國間之減產協議

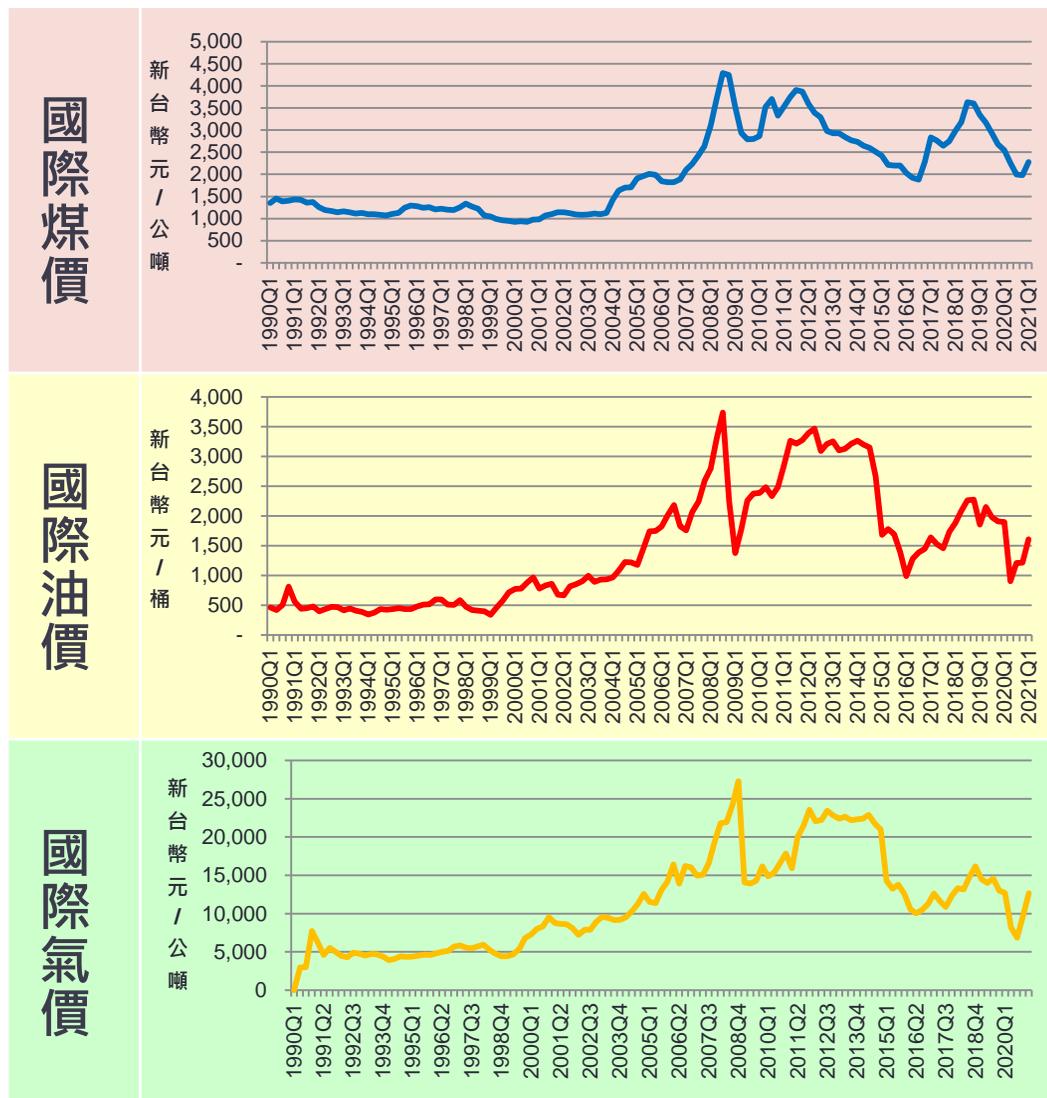
美國對伊朗制裁

美國與沙國之關係

沙烏地阿拉伯石油設施遭受攻擊

Covid-19疫情影響物流運輸

3.1. 能源消費面：國際能源價格波動



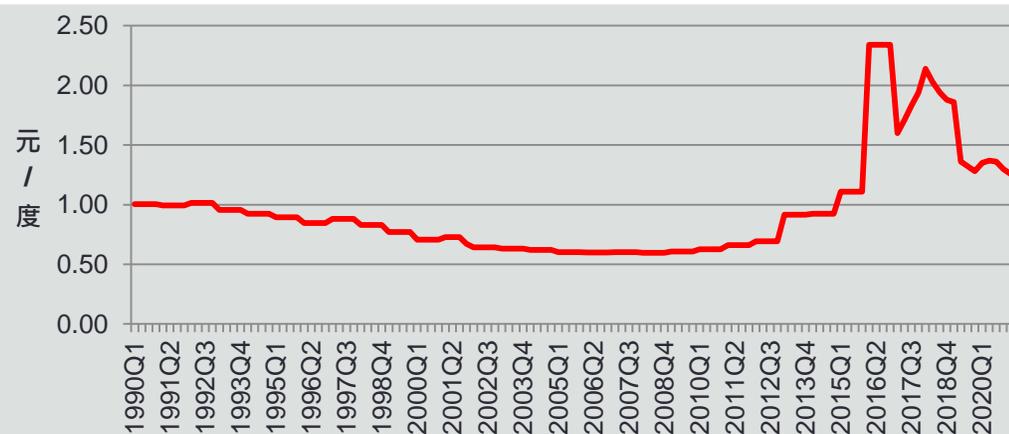
• 隨著全球疫情逐步獲得控制、經濟活動回溫，以及產油國間的減產協議有效控制供給量。

- ✓ 2021年3月之布蘭特原油價格已達65.39美元/桶，較去年同期(32.13美元/桶)漲幅已超過一倍。
- ✓ 2021年6月之布蘭特原油價格已超過70美元/桶，預計未來將達80美元/桶以上
- ✓ 原油價格上漲帶動煤價、氣價及其他相關大宗物資商品價格走高，進而可能帶動整體物價上揚。

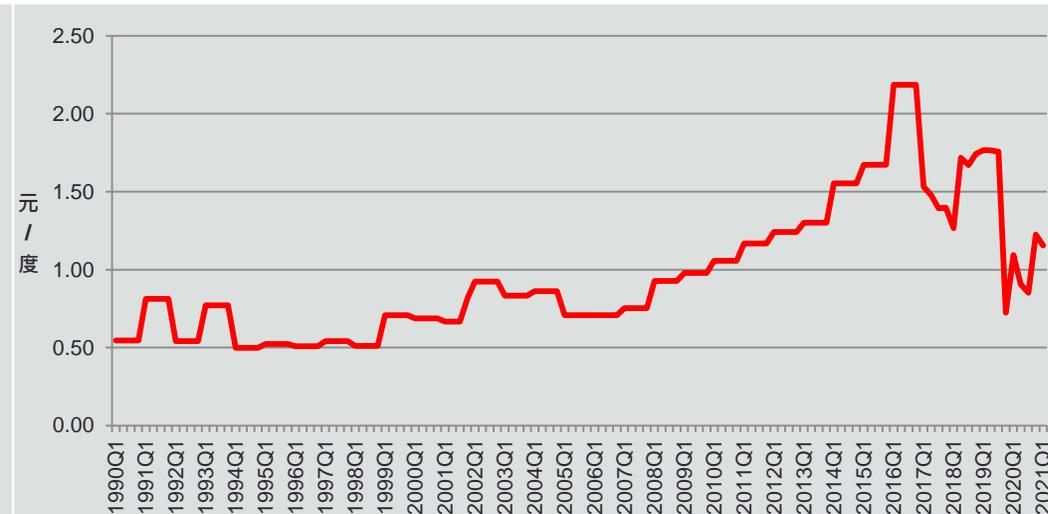
3.2. 能源消費面：國內零碳發電成本走高

- 早前國內再生能源僅水力發電，發電成本低，惟隨著電力系統中的太陽光電與風電量增加，再生能源整體發電成本逐漸走高。
- 預期隨著價格相對較高的離岸風力發電陸續併網商轉，將進一步帶動再生能源整體的發電成本上揚。

核能(含核後端)發電成本



再生能源(含水力)發電成本

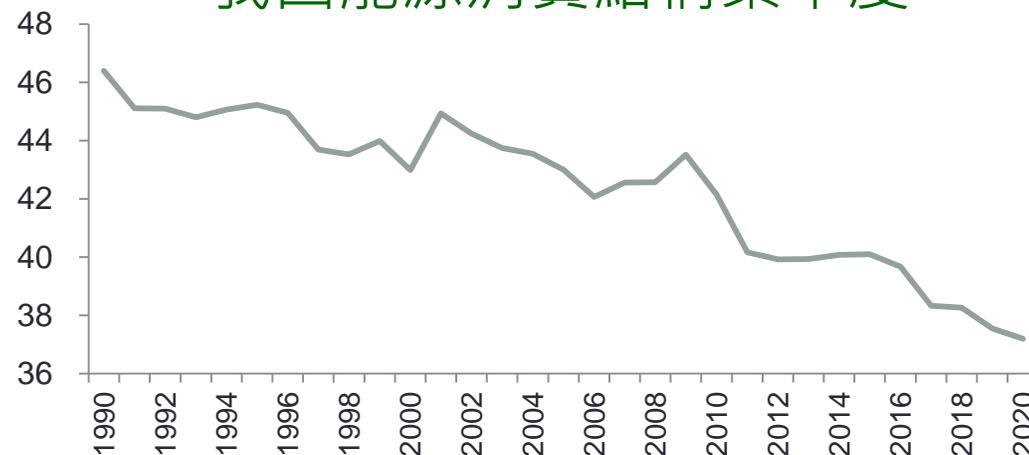


註：2016年核能發電單位成本較高，主係應原能會要求，將核燃料乾式貯存場由露天式改採室內貯存方式設計後，估算核後端除役費用並於該年度補列，及依會計師意見將核一#1機尚未攤銷之資產認為核燃料成本及折舊費用所致(影響數共計1.14元/度)。

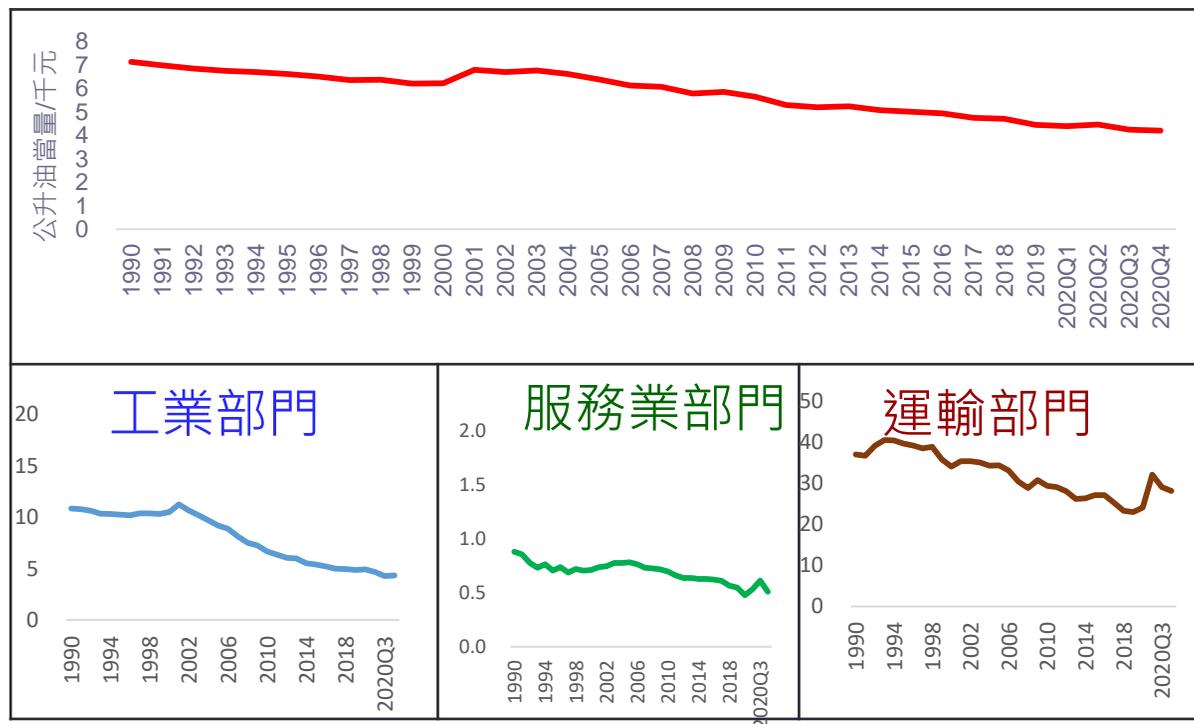
3.3. 能源消費面：能源效率改善 & 消費結構分散化

- 能源消費結構走向分散化。
- 能源密集度持續改善。
- **Covid-19疫情使工業及住宅用電明顯增加，惟在GDP亦成長下，電力密集度有所改善**

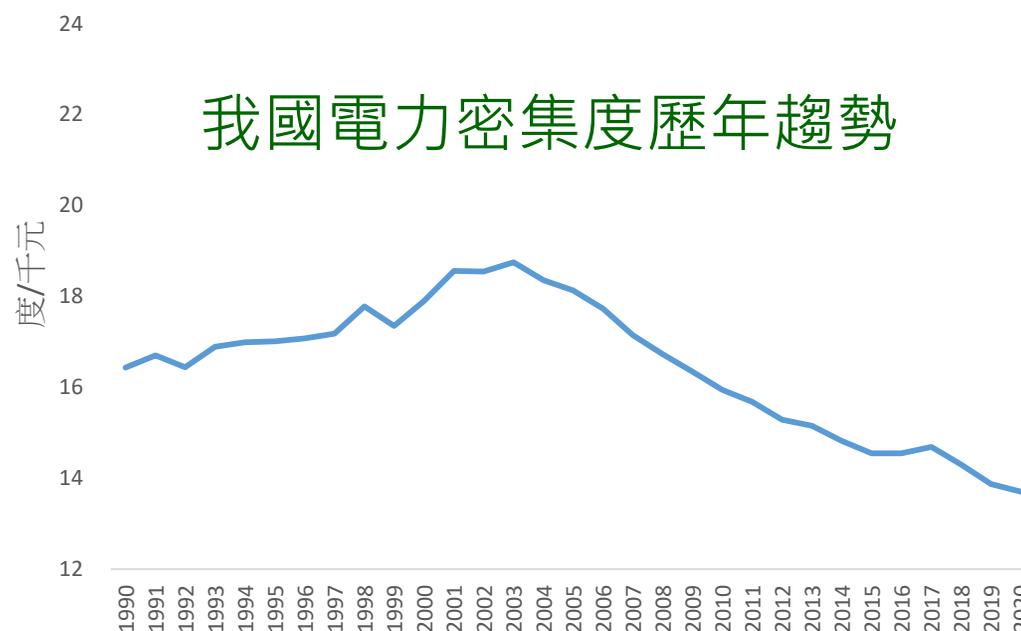
我國能源消費結構集中度



我國能源密集度歷年趨勢



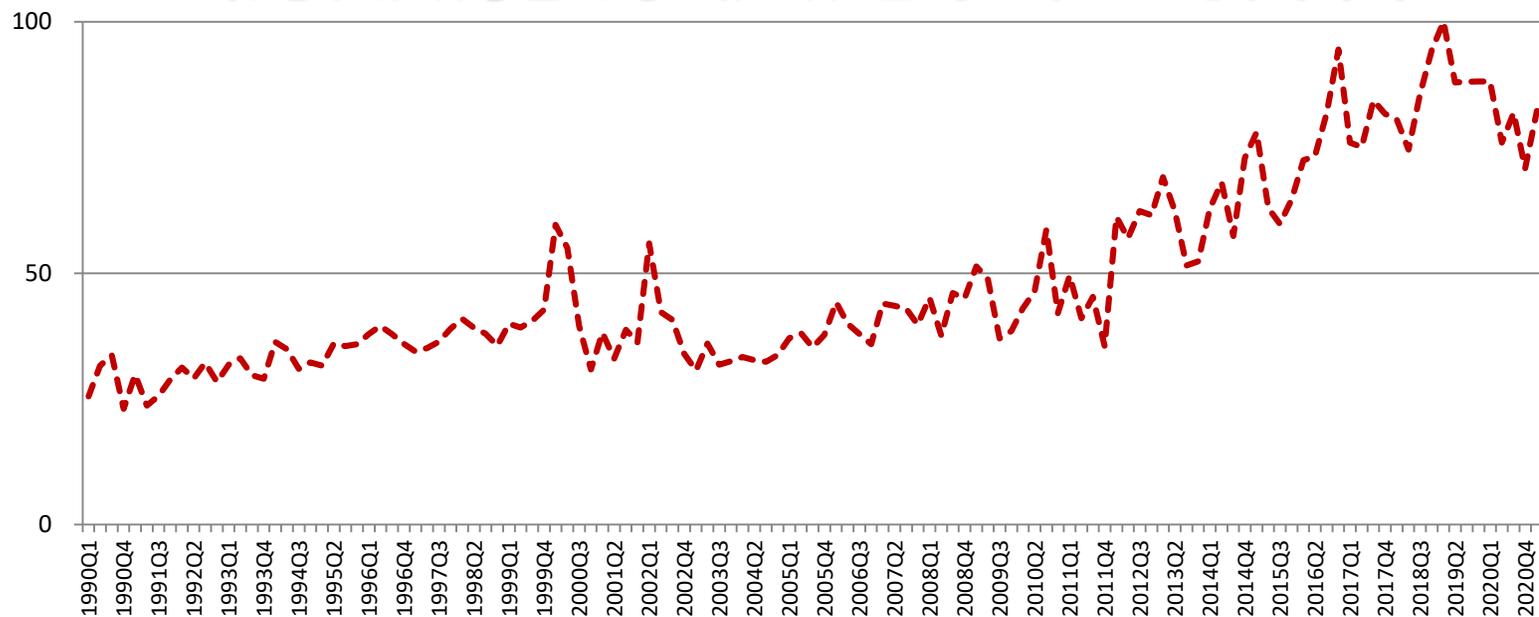
我國電力密集度歷年趨勢



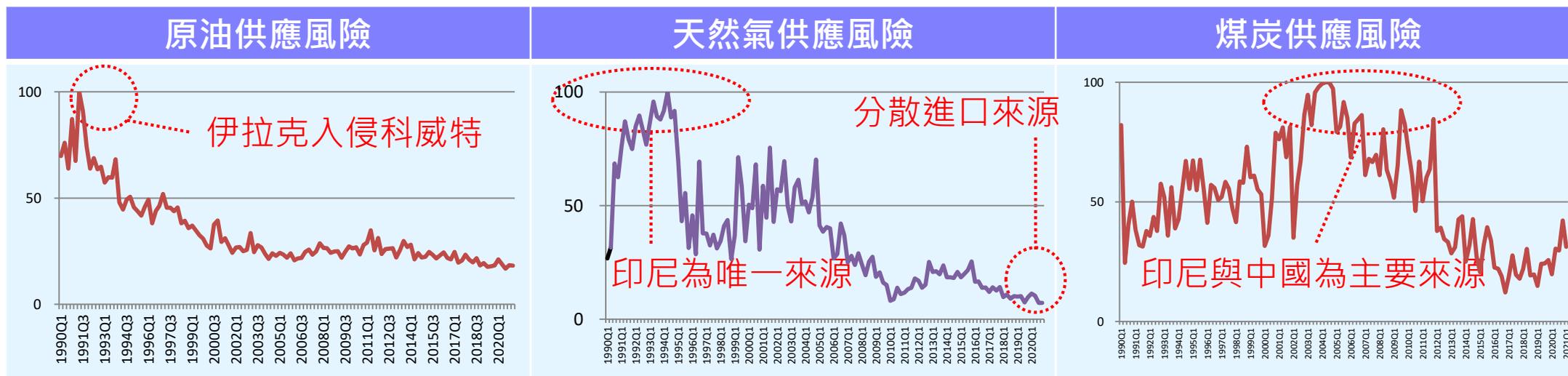
台灣能源安全指標編製結果

1. 初級能源供應安全指標
 2. 基礎設施安全指標
 3. 能源消費安全指標
- 總能源安全指標

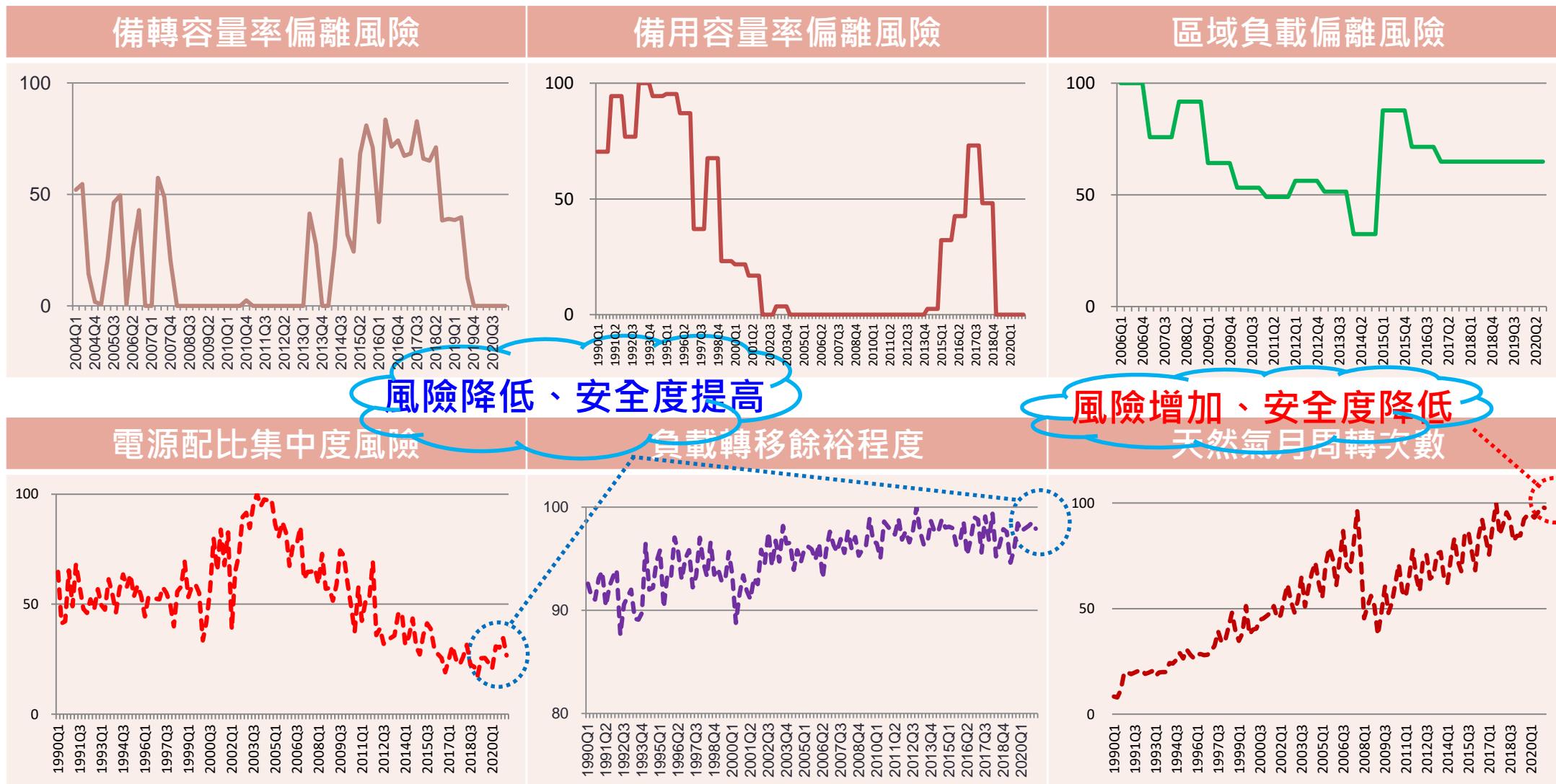
1. 初級能源供應安全指標



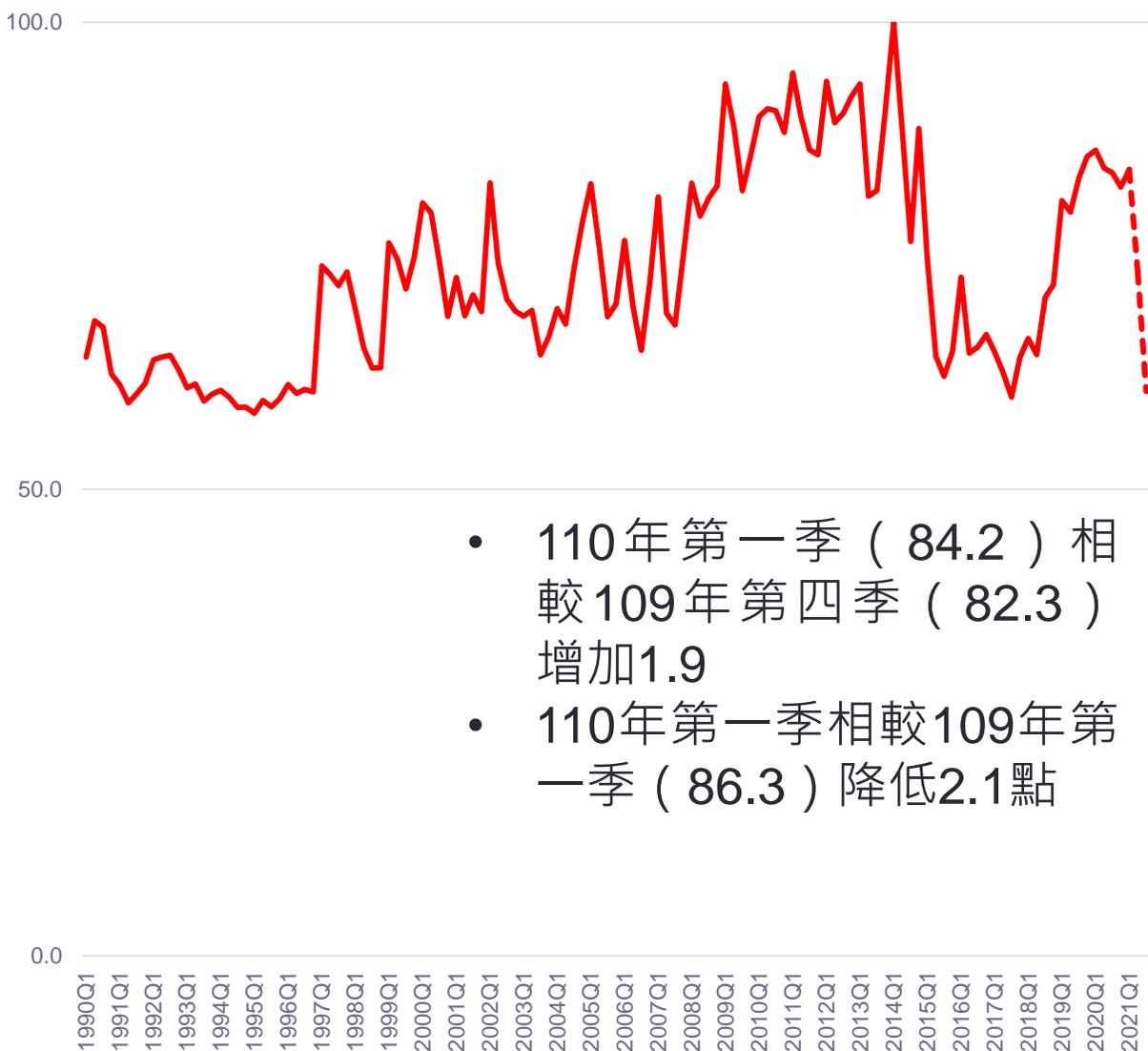
- 110年第一季 (82.3) 相較 109年第四季 (70.8) 增加11.5
- 110年第一季相較109年第一季 (88.1) 降低5.8點
- 近期增加自美國採購原油和天然氣，使安全度上升



2. 基礎設施安全指標

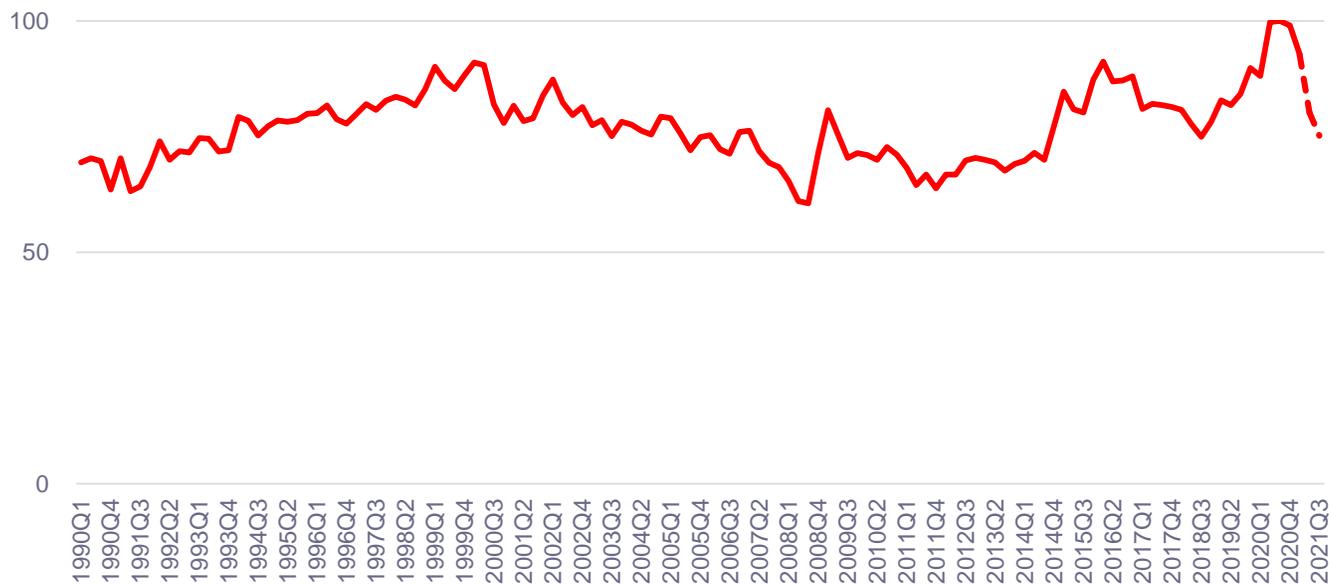


2. 基礎設施安全指標

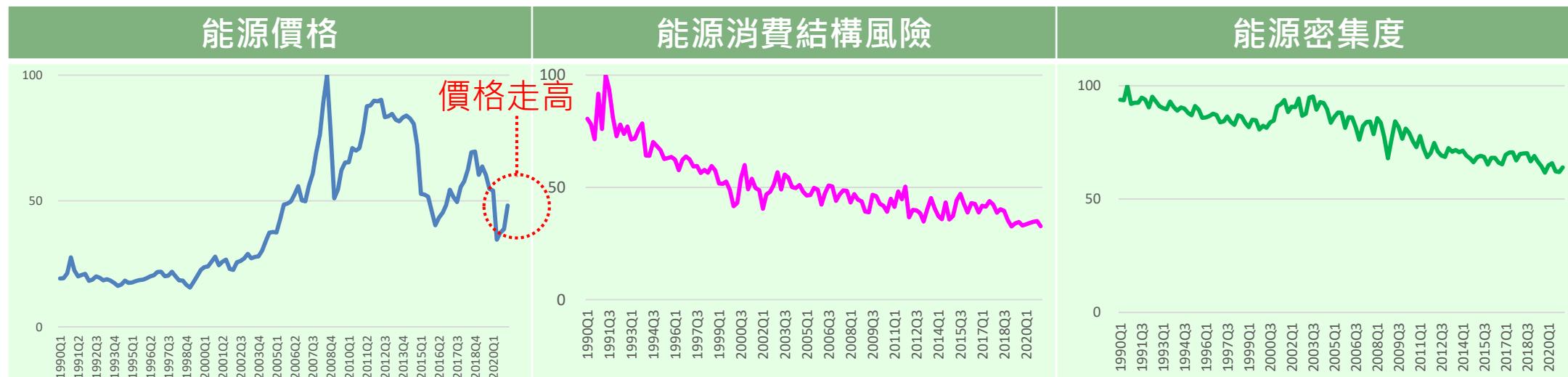


- 2021年第一季基礎設施安全度略微回升，主要原因包含核能發電量和占比增加、負載餘裕程度稍微改善
- 然而，第二核能發電廠的一號機，原訂於110年年底屆齡除役，卻因燃料池容量不足，將提前至6月除役，一號機的裝置容量達98.5萬瓩，影響備轉容量率約為2.72%，若無其他替代供電來源時，恐影響基礎設施安全
- 本研究考量夜間負載及太陽光電無法發電、水力不足情況下，2021年7月及8月備轉容量率將僅有2.82%、3.79%，使基礎設施安全度由第一季的84.2，降至第二季和第三季的73與60

3. 能源消費安全指標

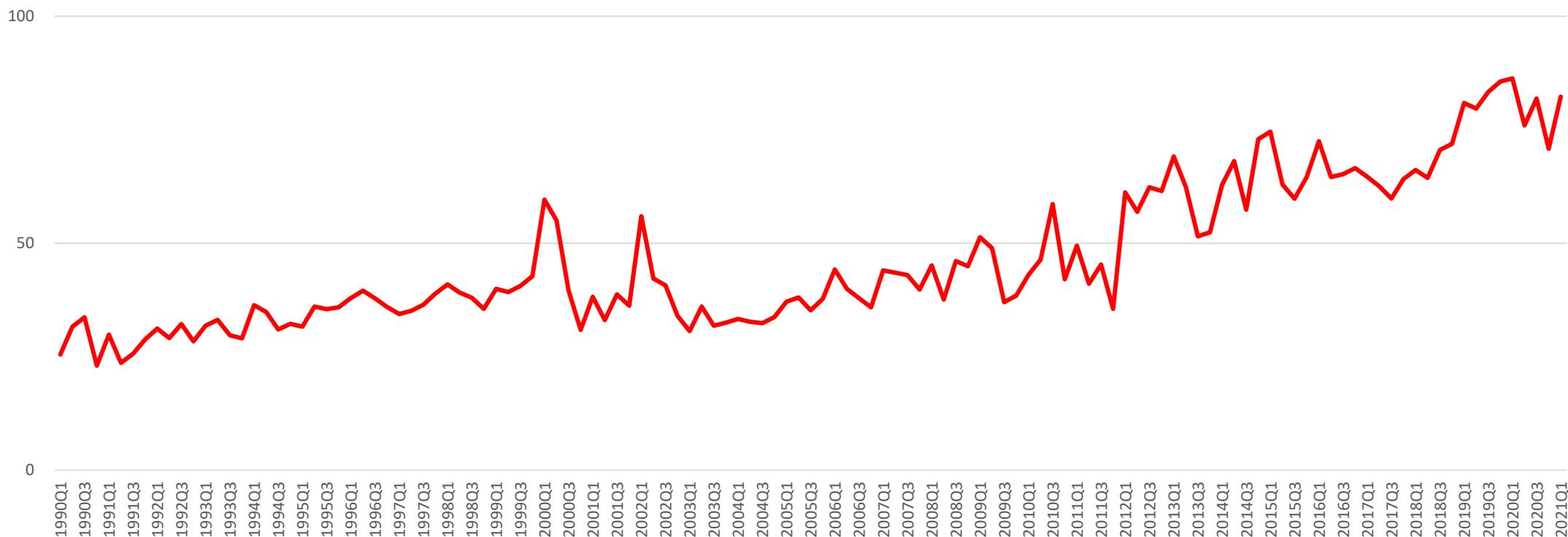


- 110年第一季 (92.7) 相較 109年第四季 (99) 降低6.3
- 110年第一季相較 109年第一季 (88.1) 增加3.6點
- 國際能源價格上漲，雖然新台幣亦升值，但能源進口價格仍大幅上升，使能源消費安全降低
- 預計未來國際能源價格仍將走升，不利於國內能源消費安全



總能源安全指標

- 110年第一季（82.3）相較109年第四季（70.8）增加11.5；110年第一季相較109年第一季（86.3）降低4點。
- 近期主要改善原因在於：
 - ✓ 核能發電量與占比增加、增加自美國採購原油和天然氣，以及能源效率提升
- 然而，未來核二廠一號將提前除役，且成本較高的離岸風電預計於年中併網，同時國際能源價格將走高，可能對我國基礎設施安全與能源消費安全造成衝擊。



結論與建議

結語

我國能源安全指標於110年第一季（82.3）相較109年第四季（70.8）增加11.5；110年第一季相較109年第一季（86.3）降低4點。展望未來仍有下列隱憂：

1. 歷年太陽光電和風電之實際值與目標值（執行率）仍有顯著落差，2020年兩者執行率分別僅有77.1%及0.9%，且對未來供電能力過於樂觀
2. 隨著太陽光電設置量增加，如何因應**供給面的鴨子曲線**和**雙尖峰負載型態**，將對系統穩定供電，特別是冬季，形成愈來愈大的挑戰。夜晚無太陽光電和水力不足的情況下，將使備轉容量率進一步降低
3. **國內天然氣接收站儲槽週轉率偏高，安全存量不足，影響基礎設施安全**
4. **2021年3月之布蘭特原油價格較去年同期漲幅已超過一倍，2021年6月之布蘭特原油價格亦超過70美元/桶，煤價和氣價也隨之大幅上漲，預計未來油價將達80美元/桶以上。隨著價格相對較高的離岸風力發電陸續併網商轉，將進一步帶動再生能源與整體發電成本走高，不利能源消費安全**
5. **將夜間太陽光電未能運作、水力發電不足，和核二廠一號機提前除役等因素列入考量，比較台電對2021年7月和8月的備轉容量率預測，發現備轉容量率可能遠低於台電估計，且接近5月17日水準，恐無法避免停限電壓力**
6. 應檢討及核實計算備轉容量和備轉容量率，每年五月至八月間，政府宜預測並公布白天及晚上之備轉容量和備轉容量率，且**應正視並及時調整能源政策**

簡報完畢
敬請指教

附錄：編製說明

附錄1. 台灣能源安全指標項目

附錄2. 台灣能源安全指標說明

2.1. 初級能源供應安全指標

2.2. 基礎設施安全指標

2.3. 能源消費安全指標

附錄1. 指標項目

• 初級能源供應安全指標

- 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

• 基礎設施安全指標

- 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
- 備用容量率偏離風險
- 備轉容量率偏離風險
- 區域負載偏離風險
- 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
- 與他國電網連接偏離風險
 - 目前無連結他國電網，屬於最高風險
- 電源配比集中度風險

• 能源消費安全指標

- 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2.1. 指標說明：初級能源安全指標

i類能源供應風險(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"> $x_i = (x_{id}, x_{i1}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{iJ})$表示一國能源進口占比之矩陣；其中$x_{ij}$表示自j國進口i類能源占本國i類能源總供應占比；$x_{id}$代表i類能源於國內自產之比率。 R為能源出口國政經穩定度的風險矩陣；r_j即能源由來源地j供應之風險指標，而r_d為自產能源之供應風險，原則上以0計算。

總初級能源安全指標(PEV)

指標意涵	指標公式
將「i類能源供應脆弱度(PEV _i)」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"> $w^T = (w_1, \dots, w_i, \dots, w_I)$表示一國各類能源供應占比之矩陣，故$w_1 + \dots + w_I = 1$。 $\Pi = X^T \cdot R \cdot X$為各類能源供應脆弱度矩陣；本矩陣的對角線$\pi_{ii}$即為i類能源供應脆弱度(PEV_i)，故$\pi_{ii} = PEV_i = x_{id}^2 \cdot r_d + \sum_{j=1}^J x_{ij}^2 \cdot r_j \geq 0$。

附錄2.2. 指標說明：基礎設施安全指標(1)

備用容量率偏離風險

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"> 1. PRM_t(Percent Reserve Margin)為備用容量率實績。 2. ORM(Optimal Percent Reserve Margin)為最適備用容量率，設為15%。 3. 公式的前項代表資源閒置，後項代表備用不足。 4. λ_1及λ_2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。

備轉容量率偏離風險

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"> 1. POR_t(Percent Operating Reserve)為備轉容量率實績。 2. OOR(Optimal Percent Operating Reserve)為最適備轉容量率，設為10%。 3. 公式的前項代表資源閒置，後項代表備用不足。 4. λ_1及λ_2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。

附錄2.2. 指標說明：基礎設施安全指標(2)

區域負載偏離風險

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. $i = N, M, S$ 2. 公式的前項代表供大於需，後者代表需大於供。 3. λ_1及λ_2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>

與他國電網連接偏離風險

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. λ_1及λ_2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2.2. 指標說明：基礎設施安全指標(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 _t /尖峰負載 _t 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 _t /天然氣可儲存容量 _t 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2.2. 指標說明：基礎設施安全指標(4)

電源配比集中度風險

指標意涵	指標公式
<p>電源配比集中度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，將使該國電源配比集中度風險較大，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>$S_i \times$ 各類發電能源對應風險_{<i>i</i>}</p> <ol style="list-style-type: none">1. S_i：各類能源發電量占總發電量比率2. 各類發電能源對應風險_{<i>i</i>}：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。

附錄2.3. 指標說明：能源消費安全指標

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"> 1. P_i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)。 2. S_i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

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 _t /實質國內生產毛額 _t

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"> 1. $EEV_i = (PEV_i, \text{基礎設施脆弱度})$表示一國<i>i</i>類能源消費的來源風險程度，其中，S_i為<i>i</i>類能源的最終消費占比。 2. 電力項目採用基礎設施脆弱度；