

台灣能源安全指標 (一一〇年第三季暨未來展望)

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12月27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。

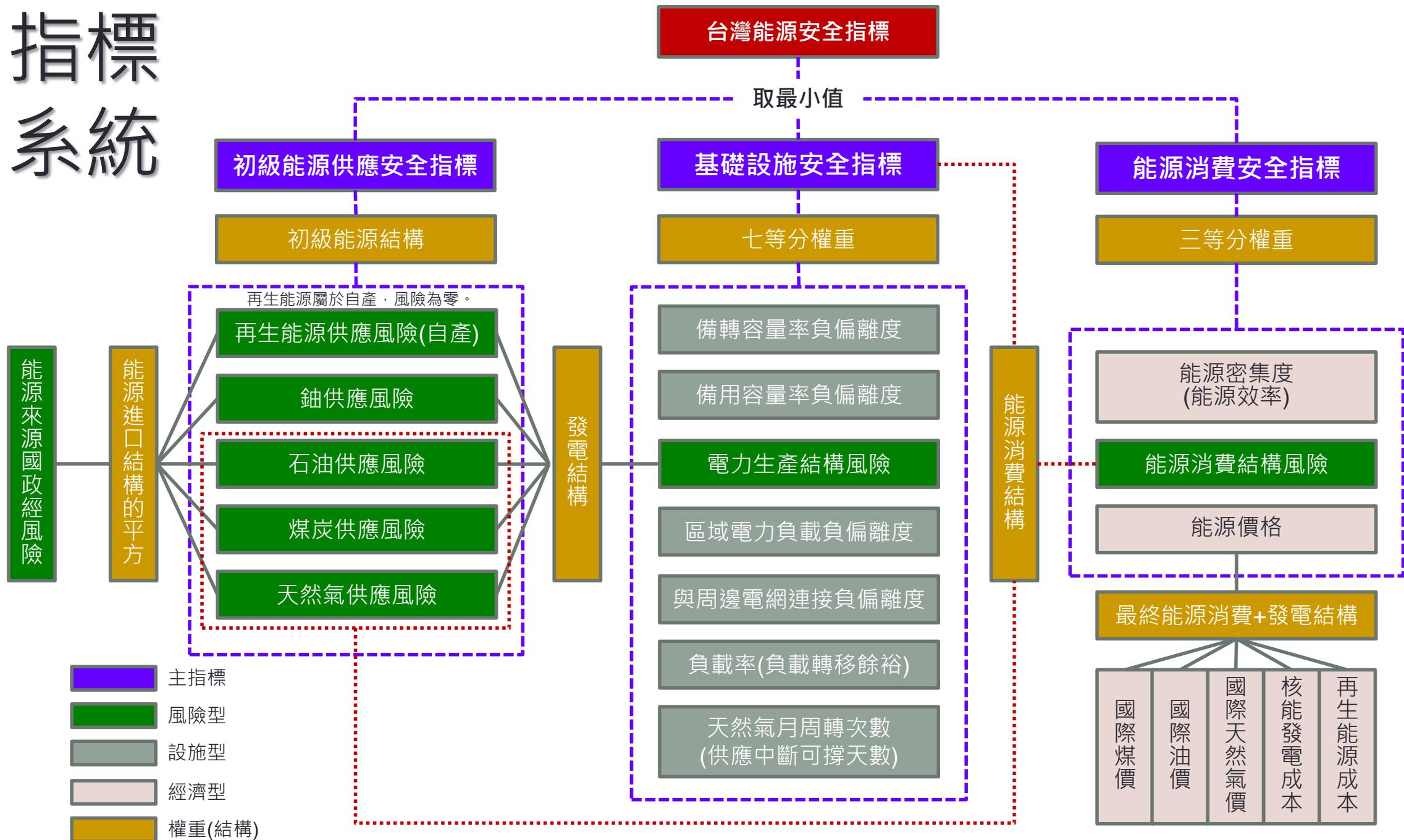
總能源安全指標

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。
- 今(110)年台電向獨立發電廠 (IPP) 之燃氣機組電力採購計畫數次流標，恐影響民國114年後之燃氣機組建置進程。就民國114年而言，預計採購150萬瓩，最後僅一家業者得標60萬瓩，尚存缺口90萬瓩。



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：■ 燃煤 ■ 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。

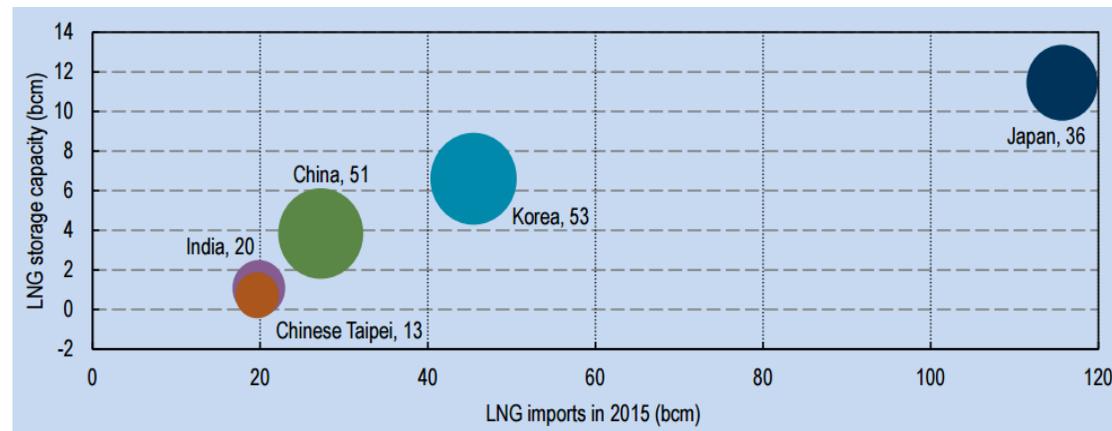
- 日本與韓國為全球前2大LNG進口國，其接收站利用率均低於50%。
- 我國僅有2座接收站，2017年設備利用率約103%，2020年時已達108%。

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」。

亞洲國家104年LNG儲存容量、進口量與週轉天數



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

- 另和亞鄰國家比較安全存量，相較日、韓，我國天然氣儲槽的年均周轉次數僅有13天。
- 再依我國「天然氣事業法」，目前國內天然氣安全存量僅7天，考量天然氣主要自國外進口，若遇颱風或相關事件導致運輸中斷，恐面臨「斷氣」風險。

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：
 - 太陽光電及風力發電於106年至110年間無一年達標；110年迄10月份的實際執行率約為44.3%(太陽光電)、40%(風力發電)，且預計於110年併網之遴選離岸風場均未如期併網。
 - 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。

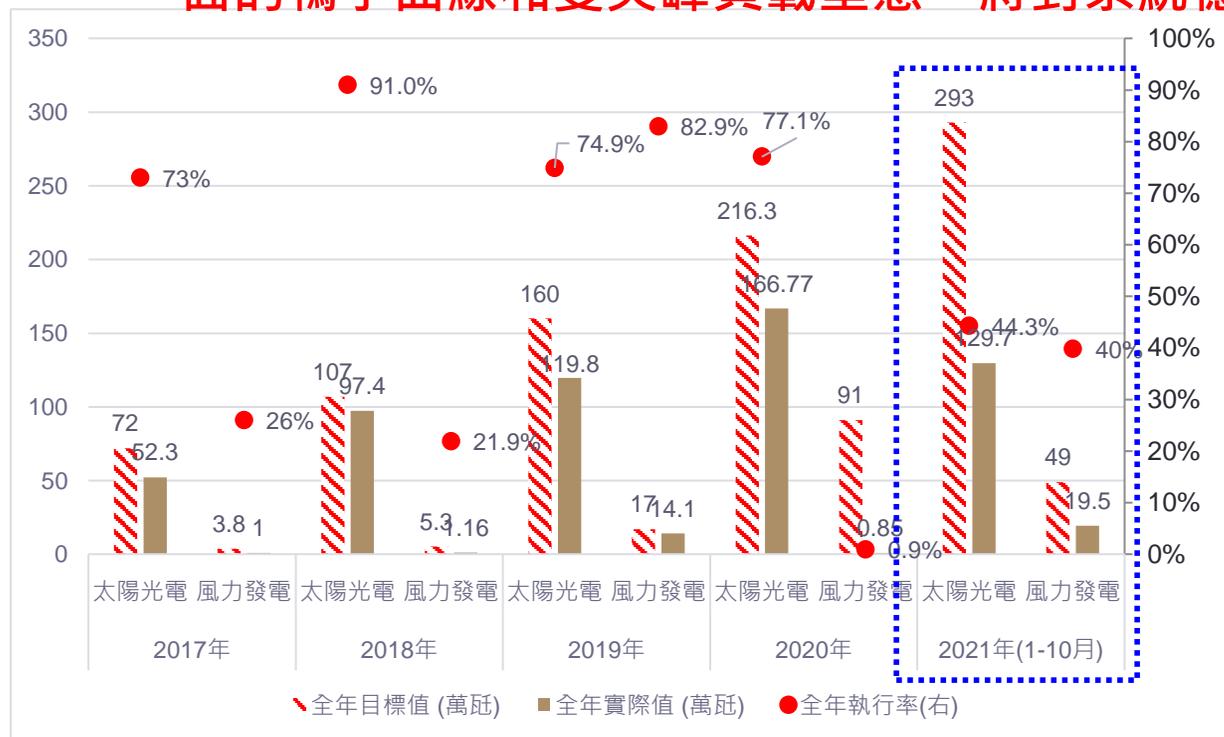


圖 2017-2021年10月份規劃值與實際值比較

資料來源：經濟部能源局《能源統計月報》。

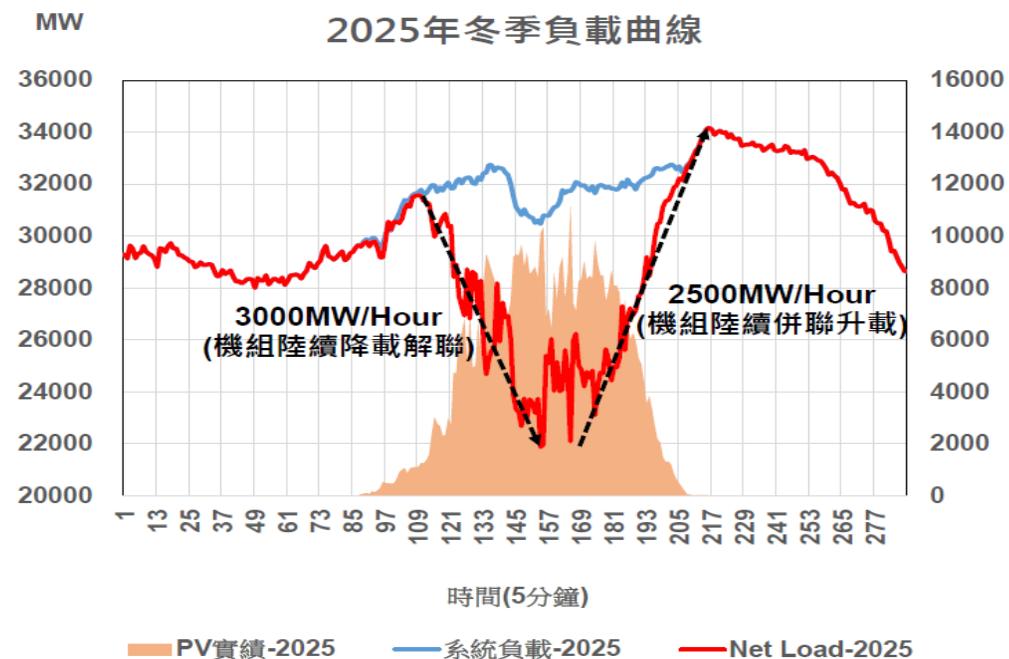
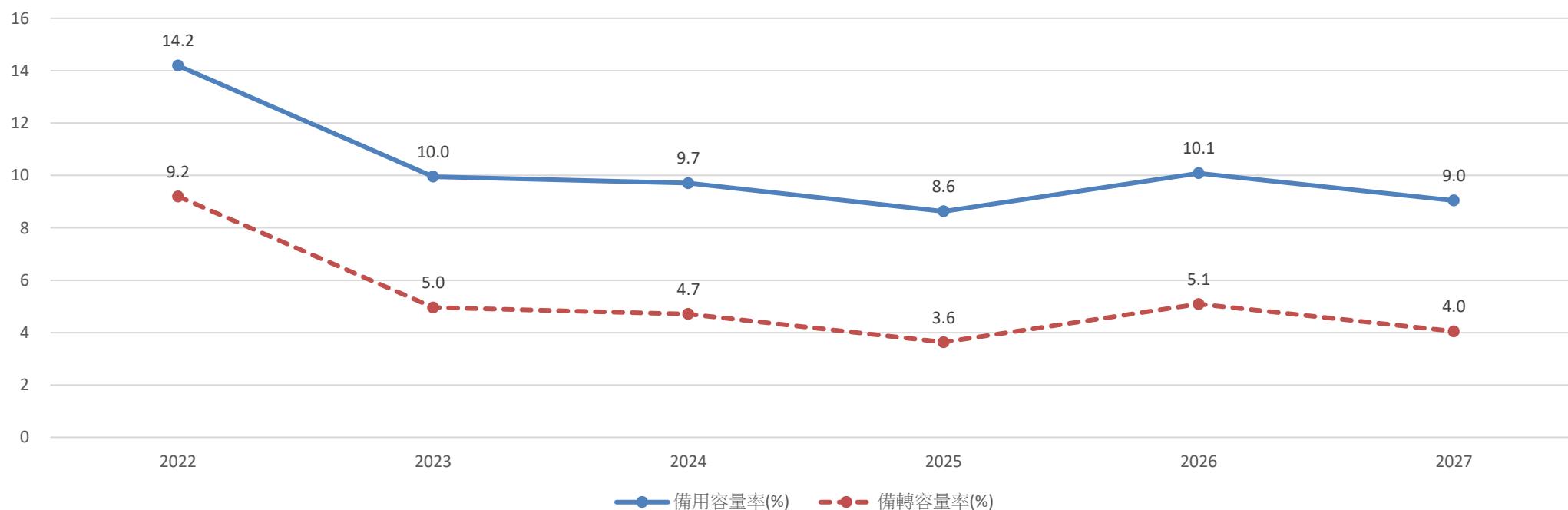


圖 我國2025年冬季之可能用電曲線

資料來源：吳進忠(2018)。

1.4. 基礎設施面：核能除役和新機組未能依原定時間併網，不利供電穩定

- 在核能機組如期除役但各項新增機組未能如期併網，加上用電成長較高的情況下，預期**2024-2025年夜間備轉容量率將低於6%**。

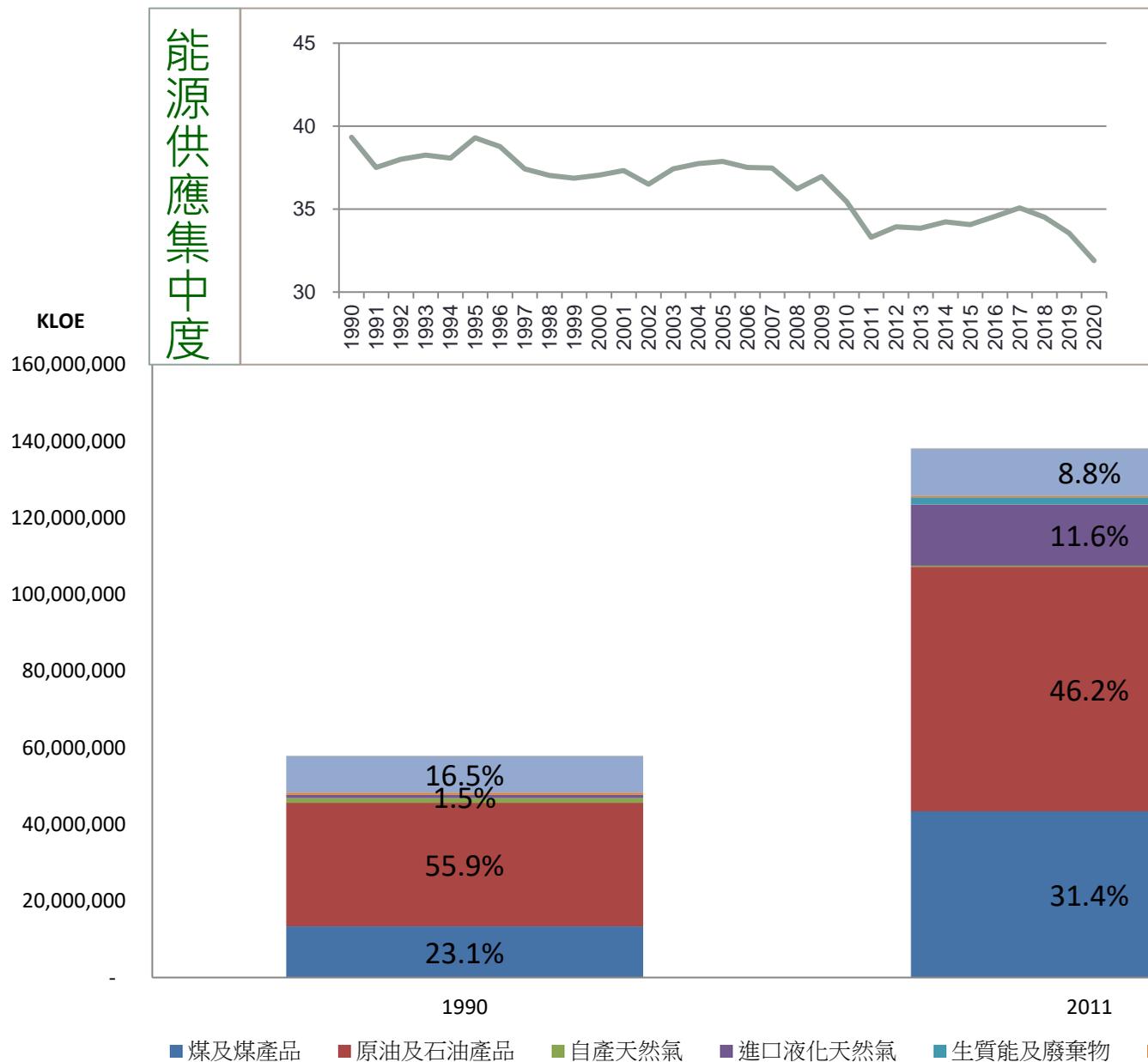


假設：

- 台電採購民營燃氣發電「僅1家投標」、協和與四接延遲，2025-2027年新增燃氣電源受限
- 再生能源達成率僅為原規劃之50%
- 2022-2027年尖峰負載再以原規劃成長率輔以經濟成長率估計
- 2023-2024年受燃料限制影響，淨尖峰供電能力下降
- 依據歷史資料，備用容量率及備轉容量率大約差距5%

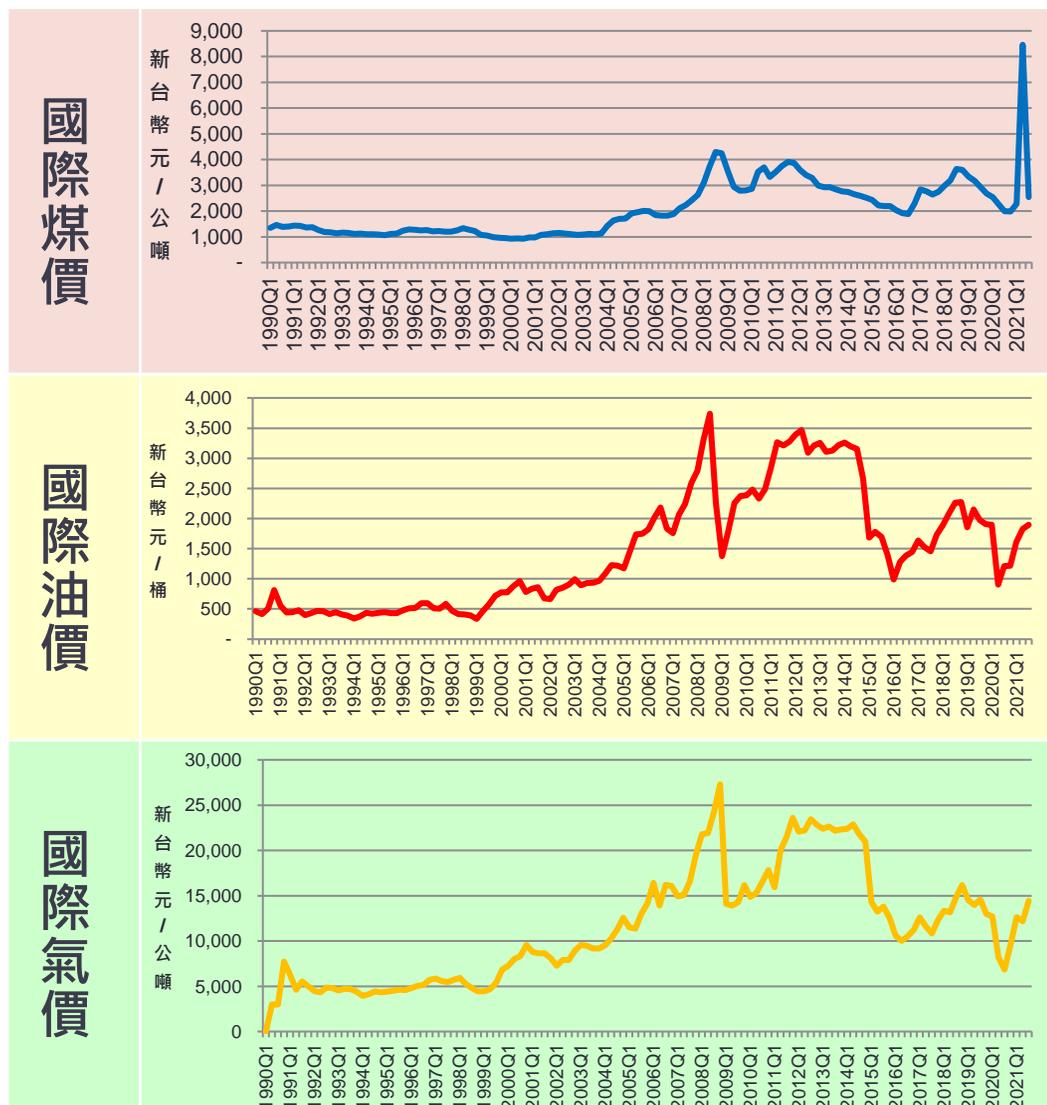
圖 預估未來備用容量率及備轉容量率趨勢

2.1 能源供應面：初級能源供應結構



- 石油加煤炭占比維持約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**。

3.1. 能源消費面：氣候異常與國際碳中和趨勢等，加劇能源價格波動

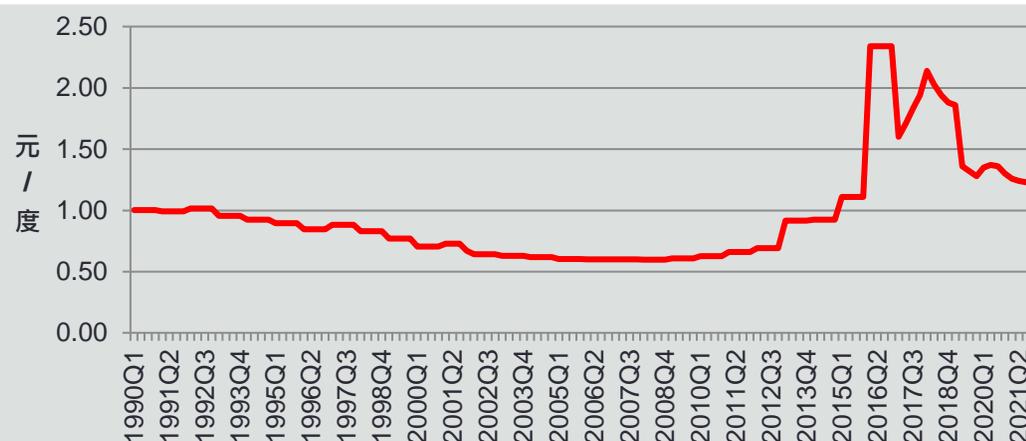


- 隨著全球疫情逐步獲得控制、經濟活動回溫，以及產油國間的減產協議有效控制供給量。
- 同時因氣候異常破壞油氣生產設施，以及全球碳中和趨勢促使各國對天然氣之需求提升，加劇能源價格波動
 - ✓ 原油價格上漲帶動煤價、氣價及其他相關大宗物資商品價格走高，進而可能帶動整體物價上揚。
 - ✓ COP 26達成之各國聯合削減甲烷排放之協議，恐導致原油、煤炭及天然氣開採成本增加，則造成原油價格上漲風險。

3.2. 能源消費面：國內零碳發電成本走高

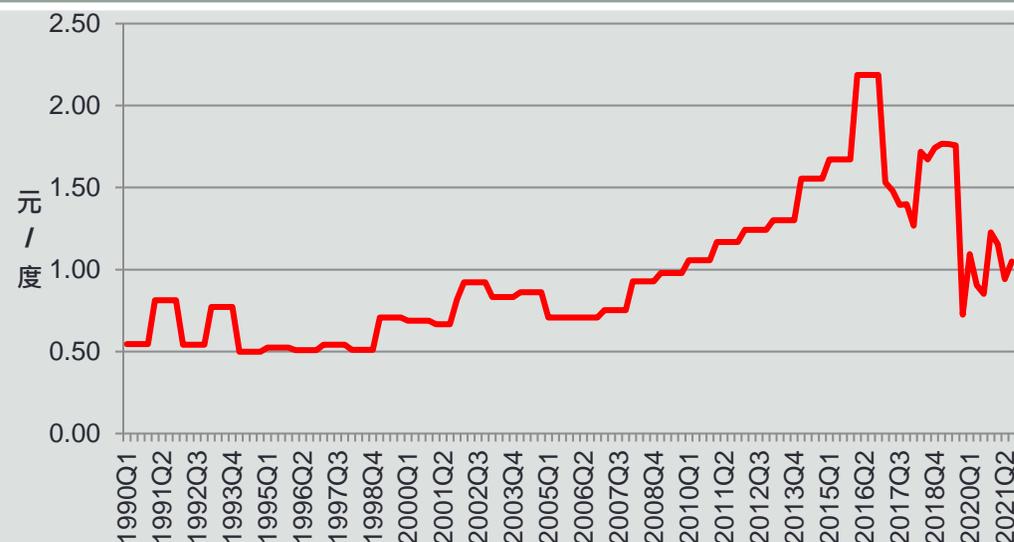
- 再生能源發電量易受氣候條件影響，例如降雨較少將使水力發電量較低導致成本提升；隨著太陽光電與風力發電量增加，再生能源整體發電成本逐漸走高。

核能(含核後端)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)。

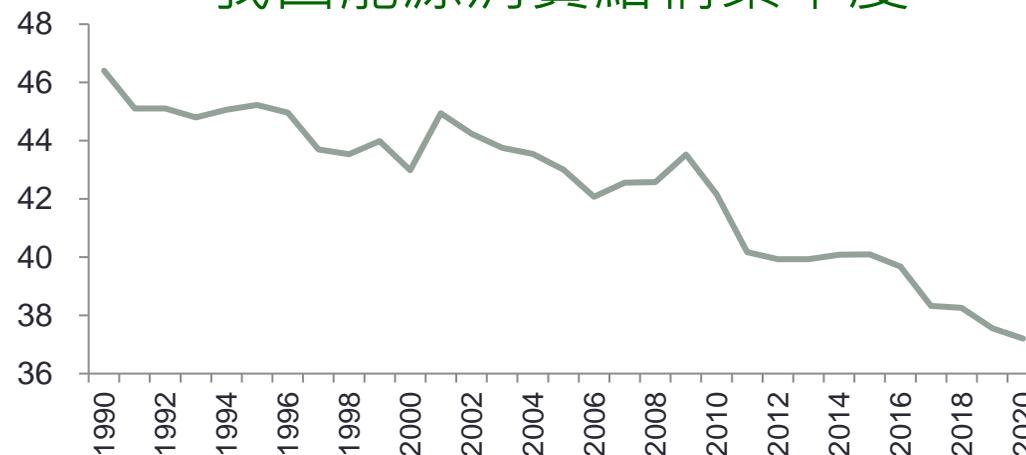
再生能源(含水力)發電成本



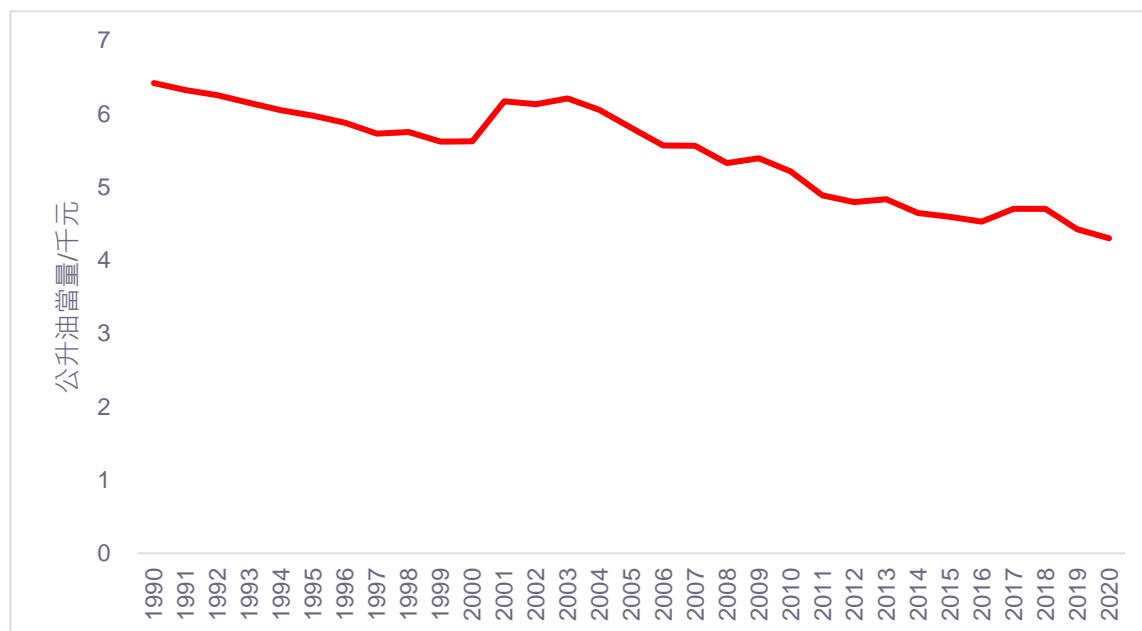
3.3. 能源消費面：能源效率改善 & 消費結構分散化

- 能源消費結構走向分散化。
- 能源密集度持續改善。

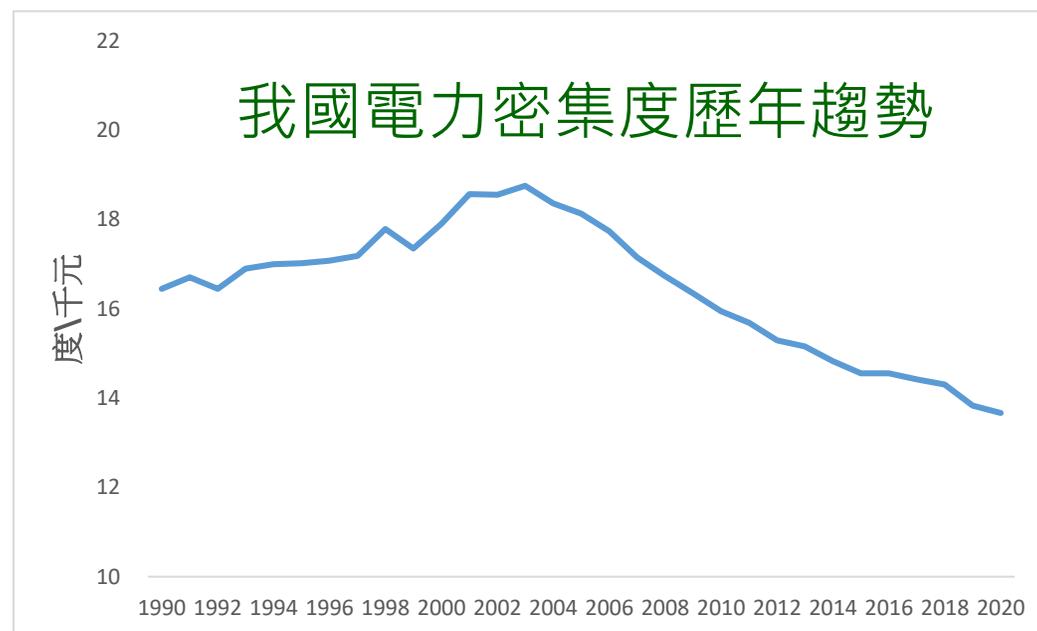
我國能源消費結構集中度



我國能源密集度歷年趨勢



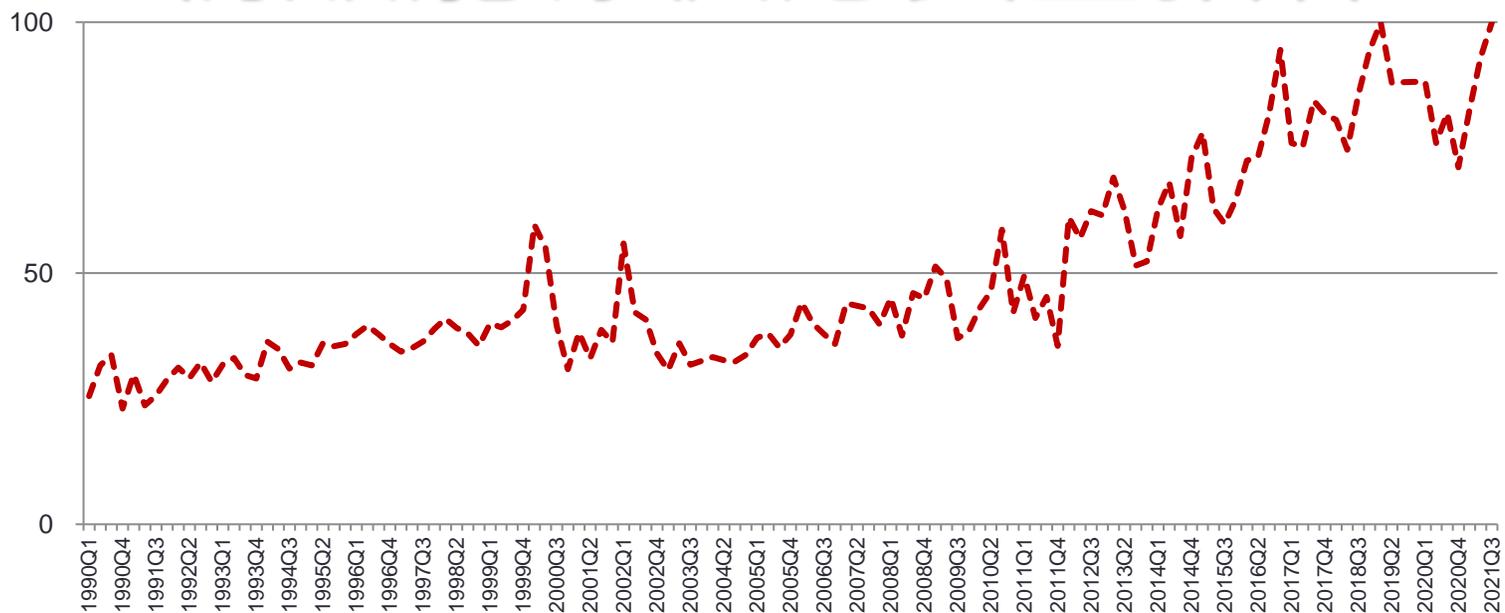
我國電力密集度歷年趨勢



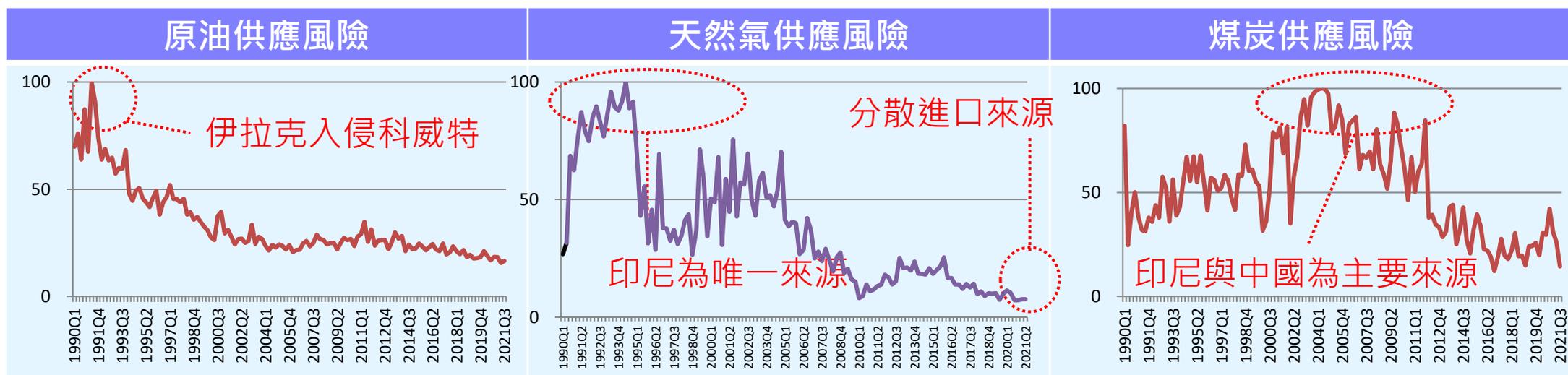
台灣能源安全指標編製結果

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



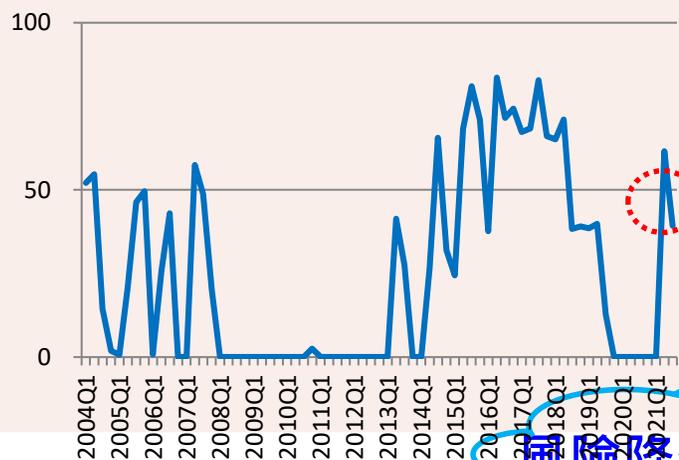
- 110年第三季（100）相較110年第二季（93）增加7點
- 110年第三季相較109年第三季（81.9）減少18.1點
- 持續分散採購各類能源，使安全度上升



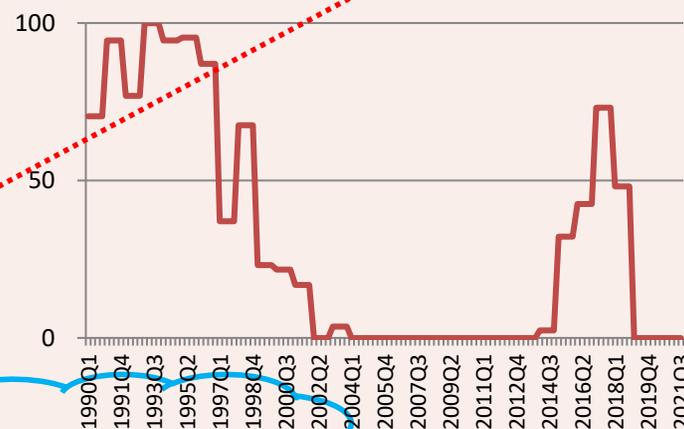
2. 基礎設施安全指標

風險增加、安全度降低

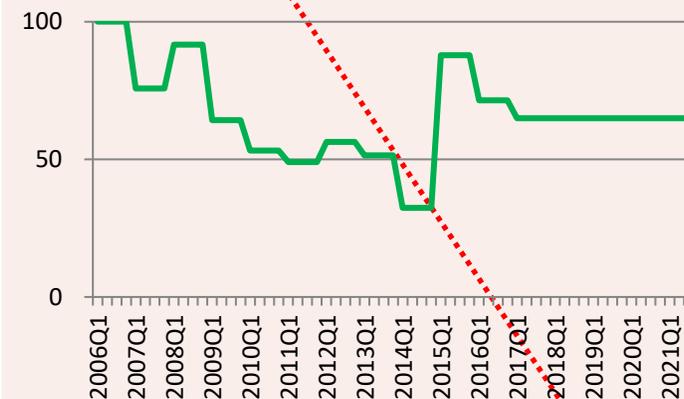
備轉容量率偏離風險



備用容量率偏離風險

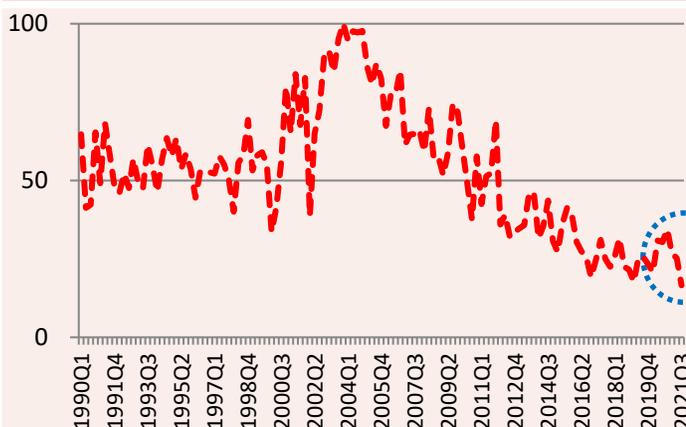


區域負載偏離風險

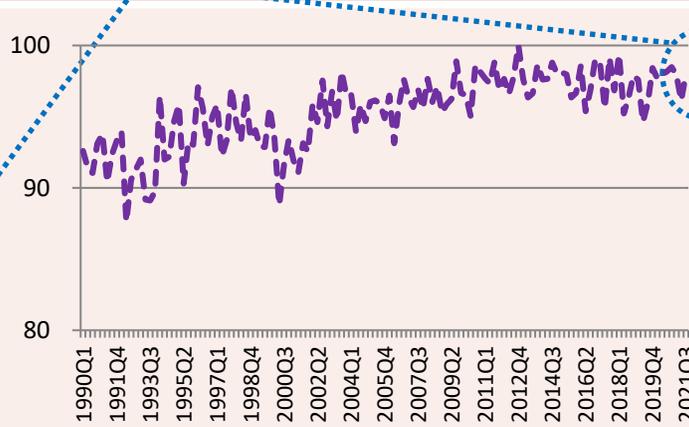


風險降低、安全度提高

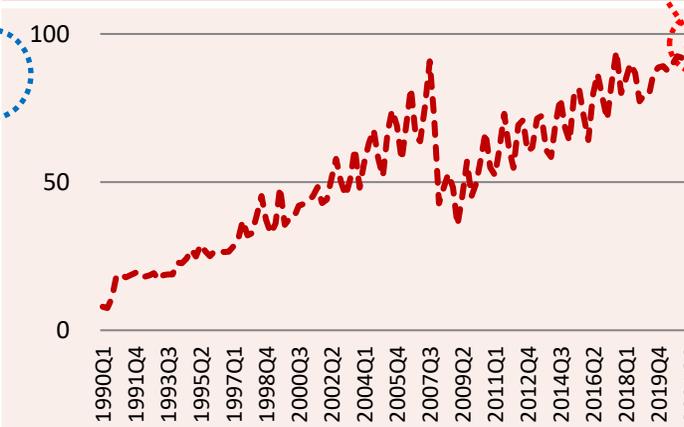
電源配比集中度風險



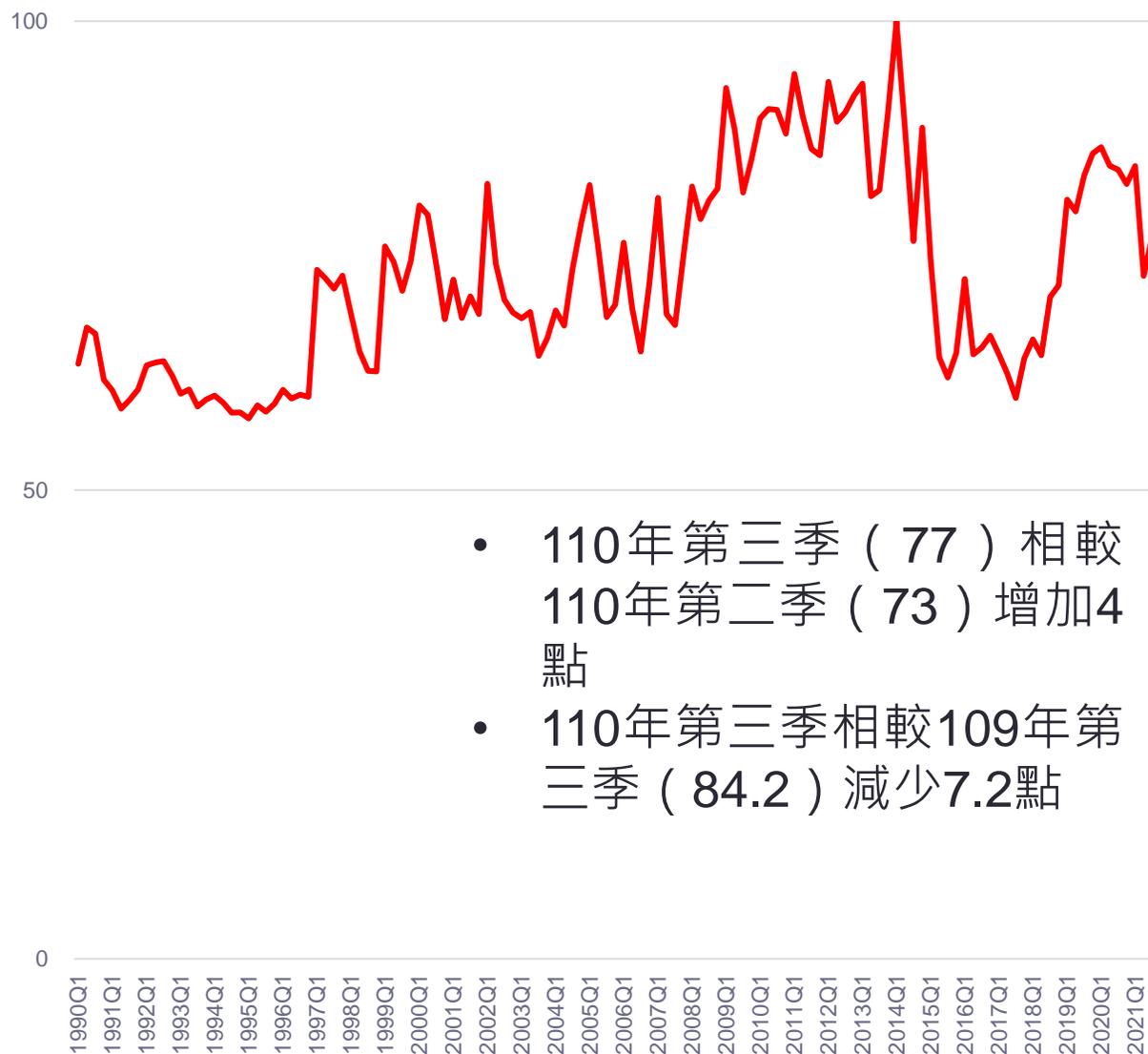
負載轉移餘裕程度



天然氣月周轉次數

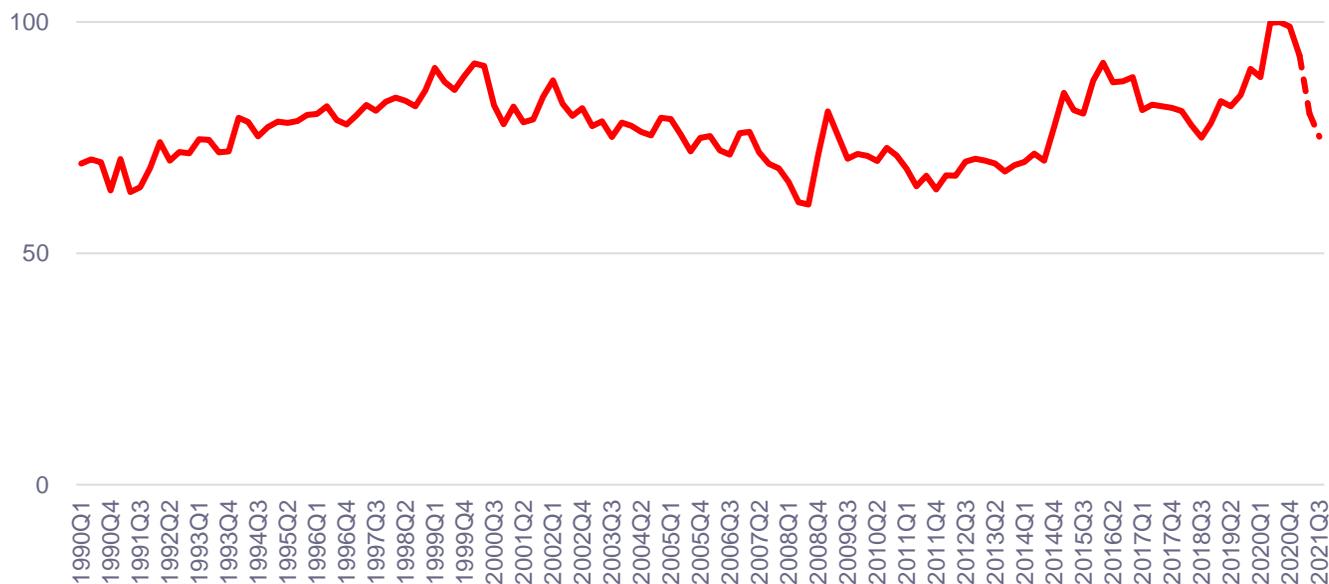


2. 基礎設施安全指標

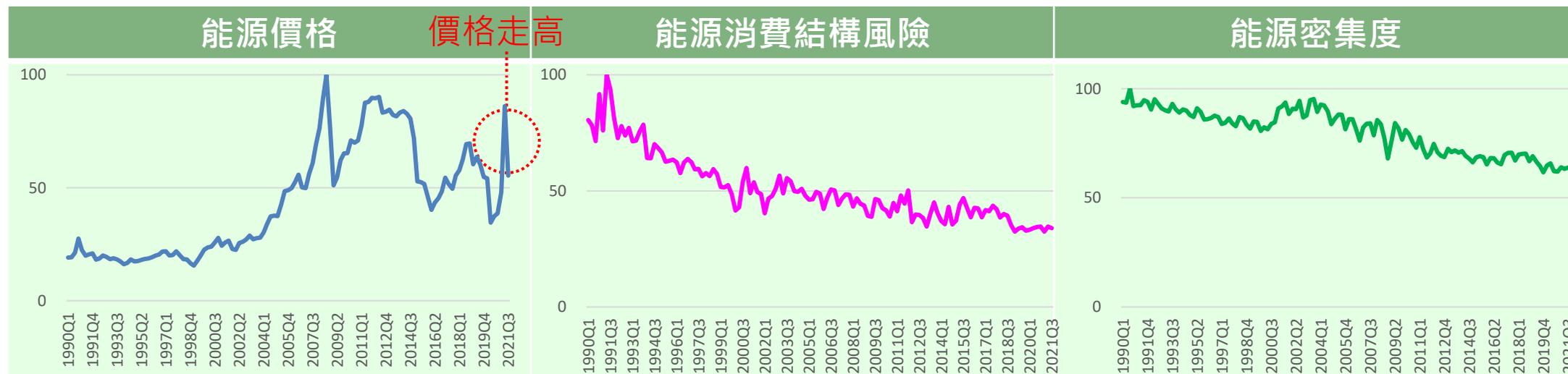


- 2021年第三季基礎設施安全度略微回升，原因包含電力結構分散、負載轉移餘裕程度稍微改善
- 然而，第二季與第三季備轉容量率最低值分別為3.84%、6.07%，低於最適水準(10%)，以及天然氣用量大幅上升，將不利於基礎設施安全
- 第二核能發電廠的一號機，原訂於110年年底屆齡除役，卻因燃料池容量不足，將提前至6月除役，一號機的裝置容量達98.5萬瓩，影響備轉容量率約為2.72%，若無其他替代供電來源時，恐影響基礎設施安全

3. 能源消費安全指標

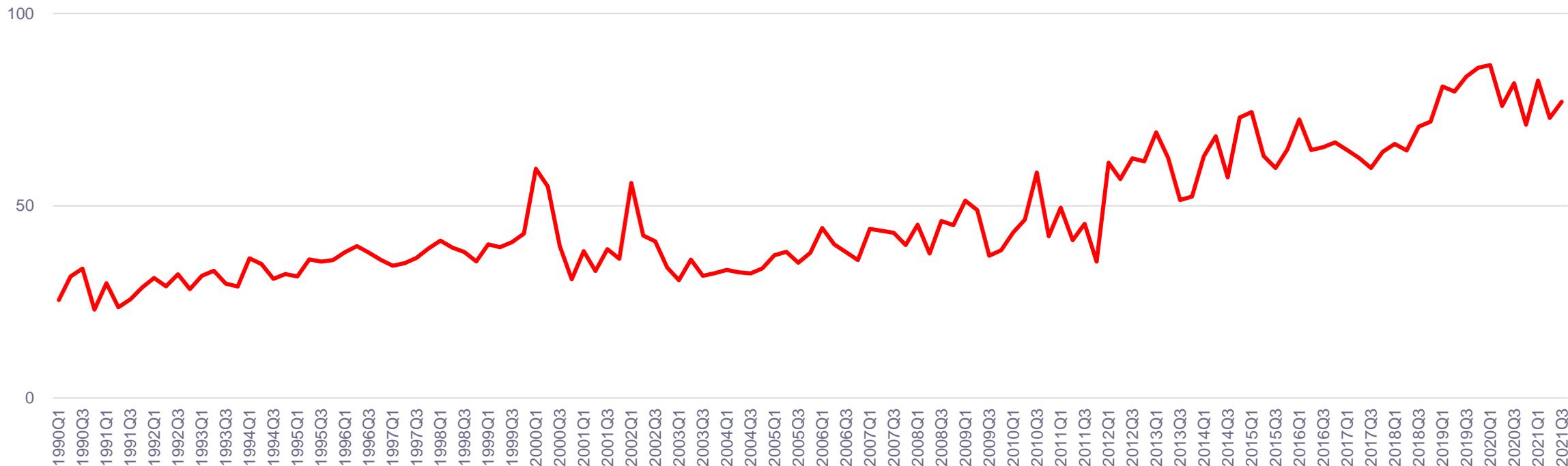


- 110年第三季（96）相較110年第二季（80）增加16點
- 110年第三季相較109年第三季（100）減少4點
- 國際能源價格波動幅度增大，使能源進口價格上升，不利能源消費安全
- 近期能源價格走緩及能源密集度改善，改善國內能源消費安全



總能源安全指標

- 110年第三季（77）相較110年第二季（73）增加4點；110年第三季相較109年第三季（84.2）減少7.2點。
- 近期主要改善原因在於：
 - ✓ 第三季備轉容量率最低值高於第二季數值約3%、電力結構分散、進口能源來源國也較為多元，以及能源效率提升、國際能源價格走緩
- 然而，隨著核能發電機組陸續除役，新建機組大幅落後，加上天然氣基礎設施使用率超過100%及安全存量偏低，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

110年第三季（77）相較110年第二季（73）增加4點；110年第三季相較109年第三季（84.2）減少7.2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，2021年的執行率也遠低於預期，國內可能存在設置量提升之瓶頸，進而影響併網總量和時程，預期2025年太陽光電及風電累積裝置容量最多可分別達1,359萬瓩及376.7萬瓩，低於政府規劃。
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。因電力需求高於預期，加上三、四接延擱且開放民營燃氣電廠後僅達預期裝置量的六分之一(610萬瓩)，**預期2024-2025年夜間備轉容量率將低於6%**。
3. **國內天然氣接收站安全存量不足、儲槽週轉率偏高，影響基礎設施安全。**
4. 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. 近期雖有變種病毒事件，但市場已相對具備因應之信心和經驗，隨著疫苗接種率持續提高，經濟動能將逐步恢復，供應鏈問題將能改善，因此未來油、氣及煤價應會維持較高水準，將對能源消費安全造成衝擊。
6. 現有核二、核三的四部機組占發電量比重約為10%，2021至2025年間將完全除役。同時，燃煤占比亦將減少19%，若替代的再生能源及燃氣機組無法補上，且電力需求持續成長下除造成停限電外，缺電將使燃煤火力全開，碳排更加失控。**政府宜及時調整能源政策，讓核二及核三延役。**

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；