

台灣能源安全指標 (一一二一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

112年6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，我國同樣過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。

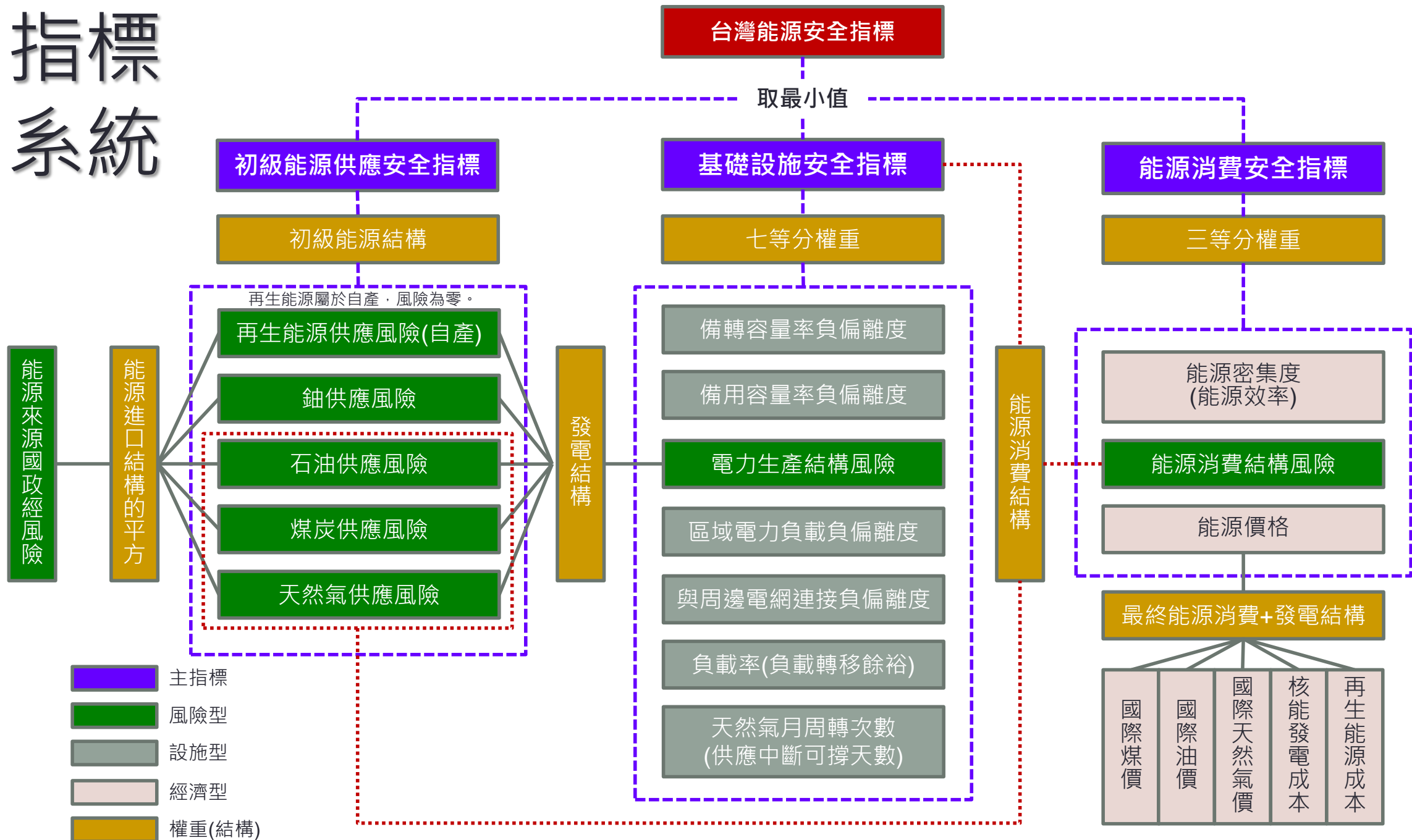
總能源安全指標

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

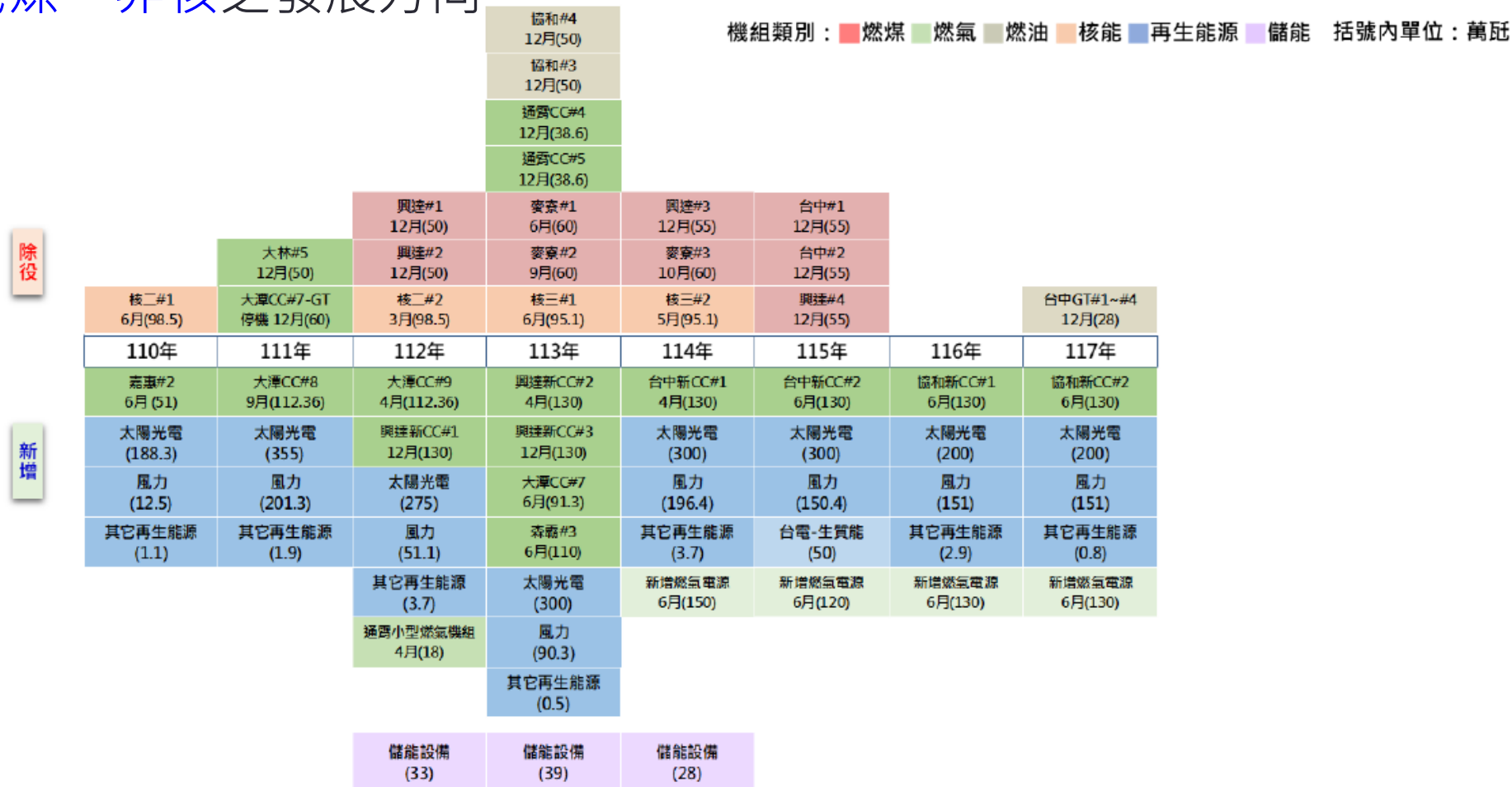


台灣能源經濟情勢

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

- 能源局於111年7月公布《110年度全國電力資源供需報告》，持續推動展綠、增氣、減煤、非核之發展方向。



資料來源：經濟部能源局(2022)，《110年度全國電力資源供需報告》。

圖 民國 111~117年 未來電力供給規劃

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，其接收站負載率都僅有3到4成，中國大陸約60%，國際水準在5到6成為正常
- 我國僅有2座接收站，負載率由2016年的99%逐年飆高為2021年的118%
- 國內目前安全存量天數約9至11天，遠低於中國大陸、韓國的50天和日本的30天，若遭遇海運運輸受阻，恐造成國家安全問題



資料來源：今周刊 (2021) · 經濟部能源局(2022)。

——日、韓、中接收站負載率



註：日、韓、中為2017年數據。 資料來源：GIIGNL (2018)

1.3. 基礎設施面：燃氣機組上線及接收站建置時程嚴重落後、機組大型化也為隱憂

原定於111年9月併網的大潭八號燃氣機組，迄今仍未上線

受疫情攪局 大潭8號機組6月底完工恐跳票

12:04 2022/03/31 | 工商 | 邱琮皓

疫情延宕大潭8號機組進度 台電拚最快3月底點火併聯

中廣新聞網
2023年2月8日

大潭電廠8號機疫後趕工 5月底點火拚6月併聯發電

中廣新聞網
2023年5月16日

大潭8點火再延6月中 次長曾文生發怒

04:10 2023/06/04 | 中國時報 | 王玉樹

依預定時程，中油第三天然氣接收站要在2022年供應大潭電廠50萬噸天然氣，2023年全量300萬噸供應大潭8、9號機組，迄今仍在進行各項工程，尚未建置完成

新規劃的燃氣機組均在100萬瓩以上，若遇停機事件難以有其他機組提供備援

1.4. 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年至111年的預期目標量和實際設置量均未達標；截至111年底，實際執行率約為57%(太陽光電)、24%(風力發電)。

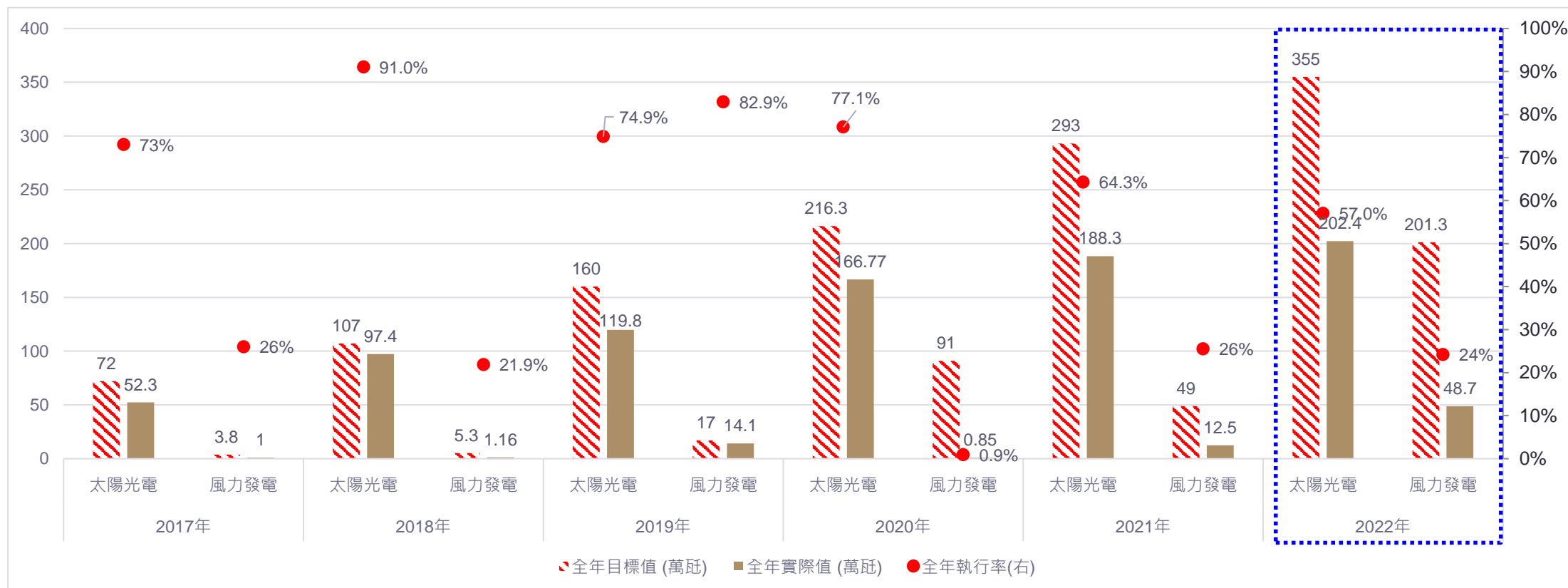
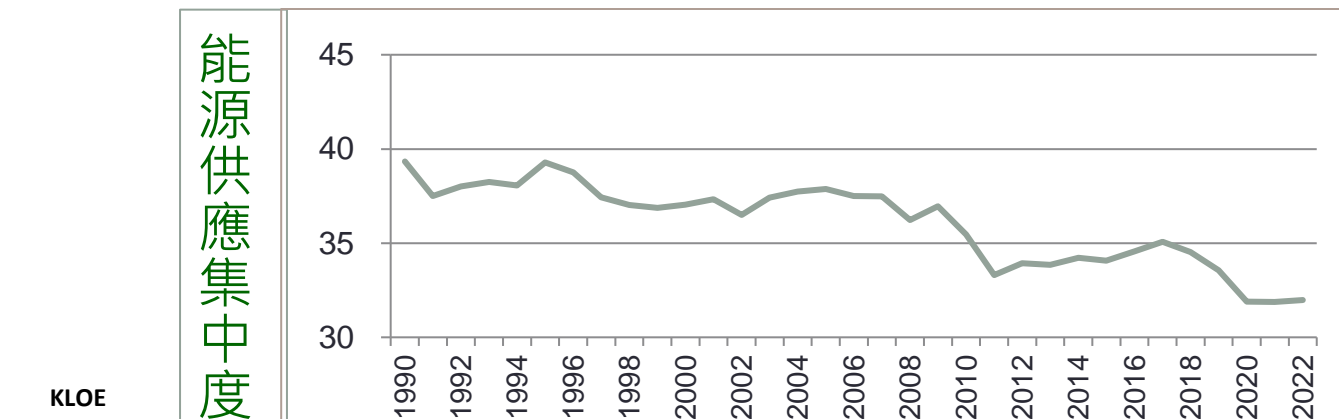


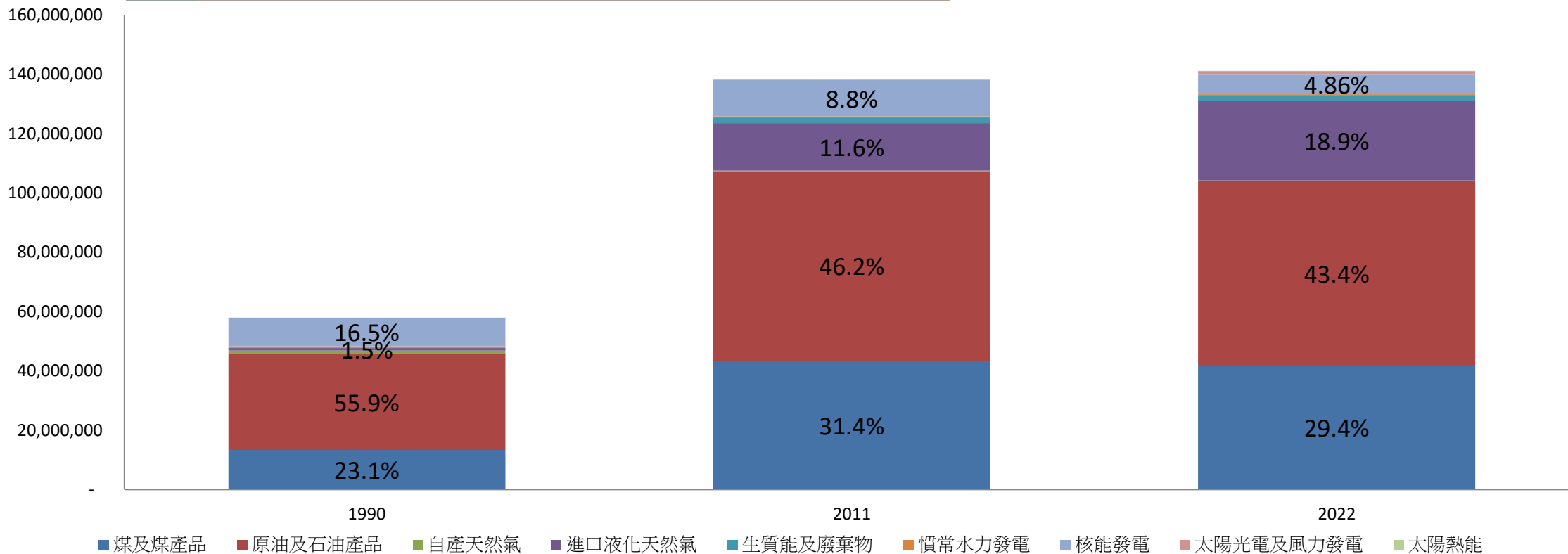
圖 2017-2022年再生能源規劃值與實際值比較

資料來源：經濟部能源局《能源統計月報》。

2.1 能源供應面：初級能源供應結構



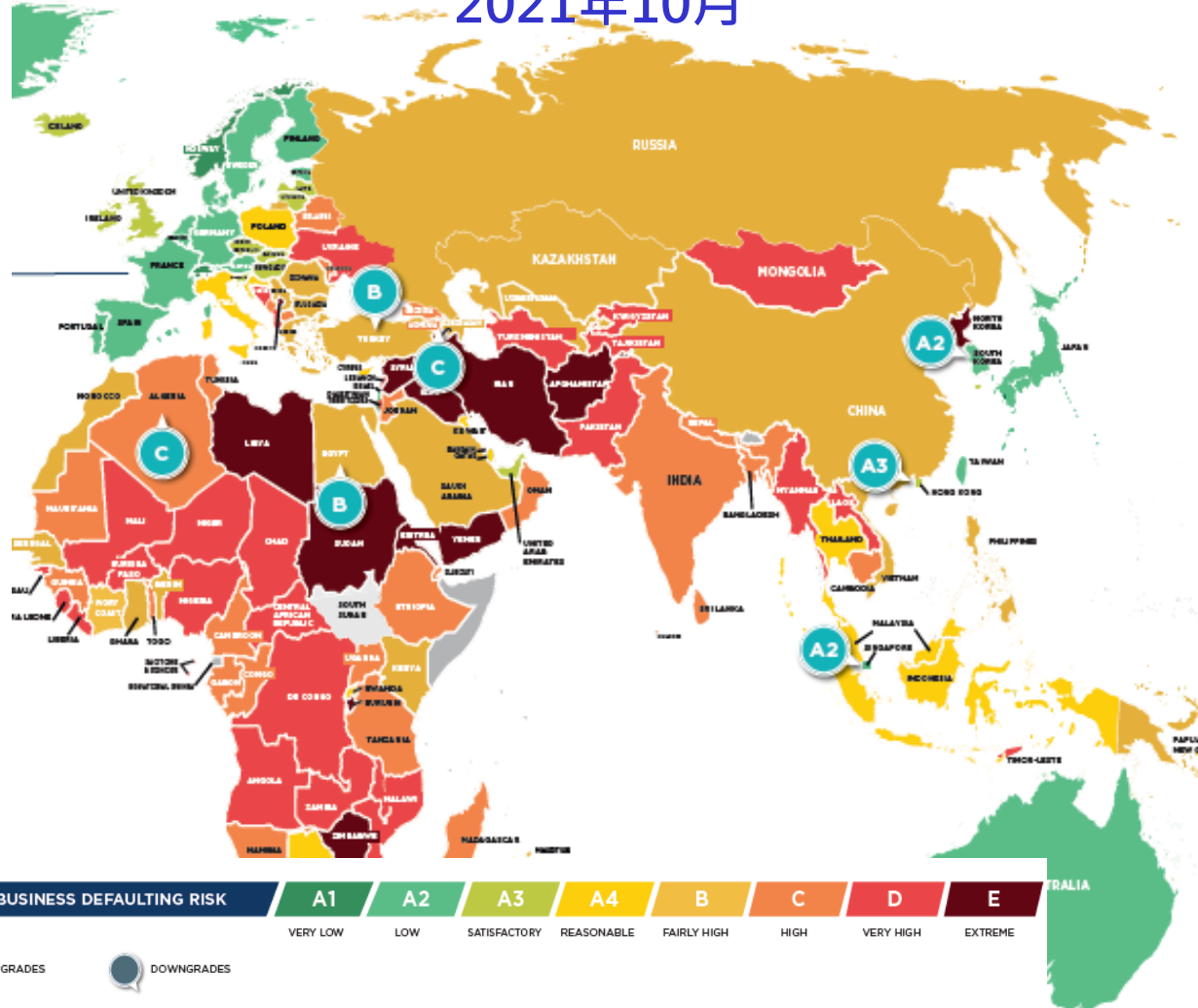
- 石油與煤炭占比仍超過70%。
- 天然氣比重明顯增加，核能發電占比大幅減少。
- 政府雖大力推動再生能源，惟當前**再生能源占比為2.6%**。



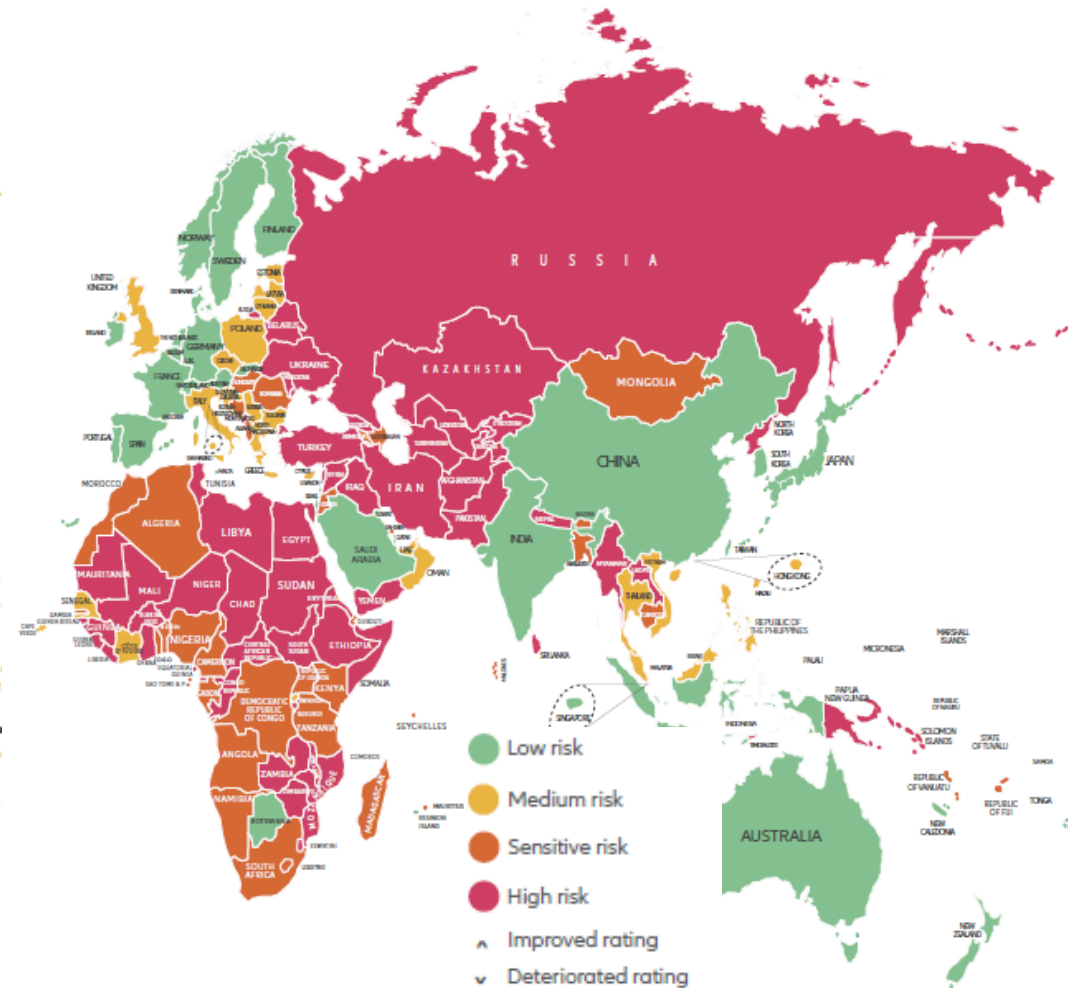
2.2. 能源供應面：地緣政經風險

- 化石能源出口國之地緣政治風險仍高，不利全球能源供需市場及抑制價格

2021年10月

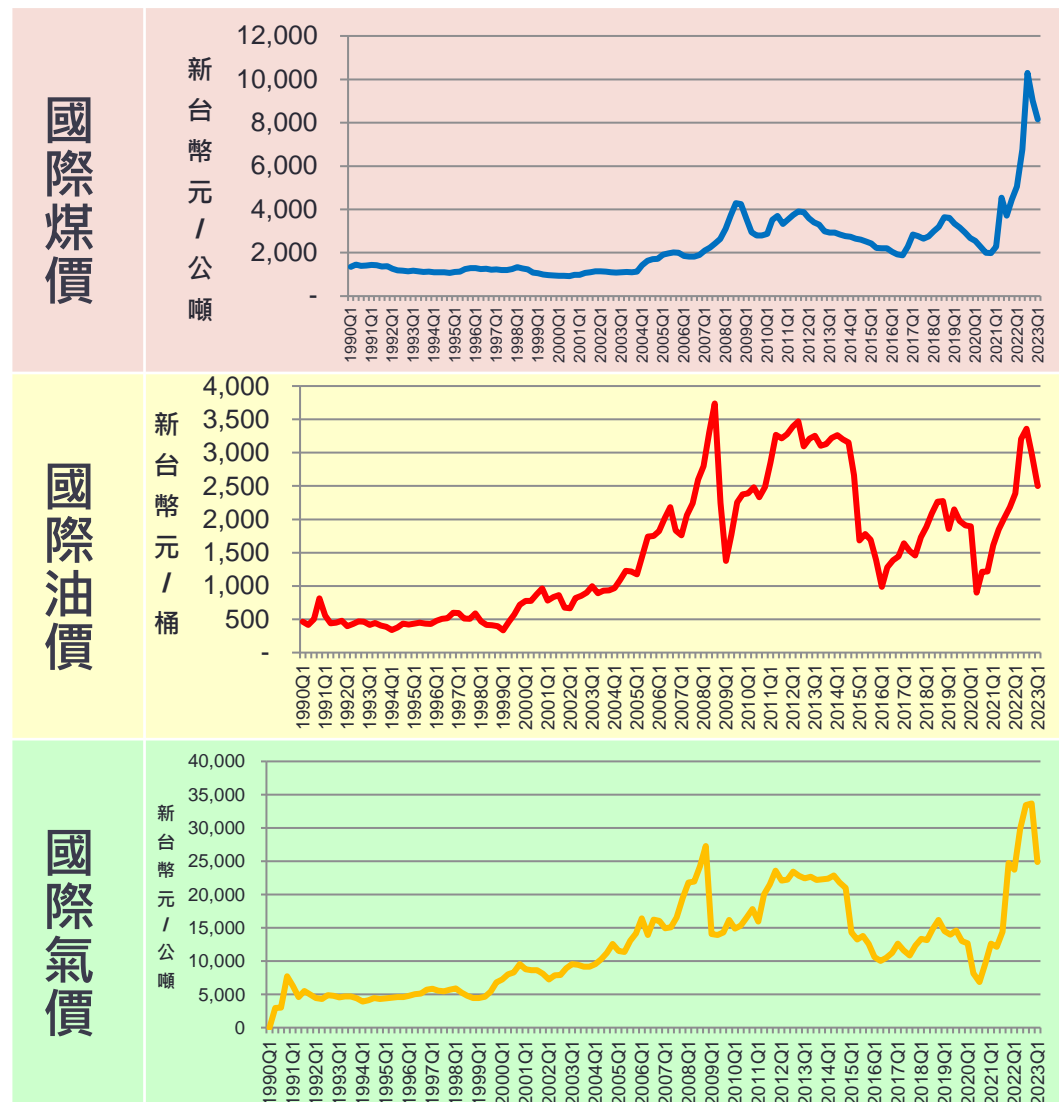


2023年第一季



3.1. 能源消費面：國際能源價格波動

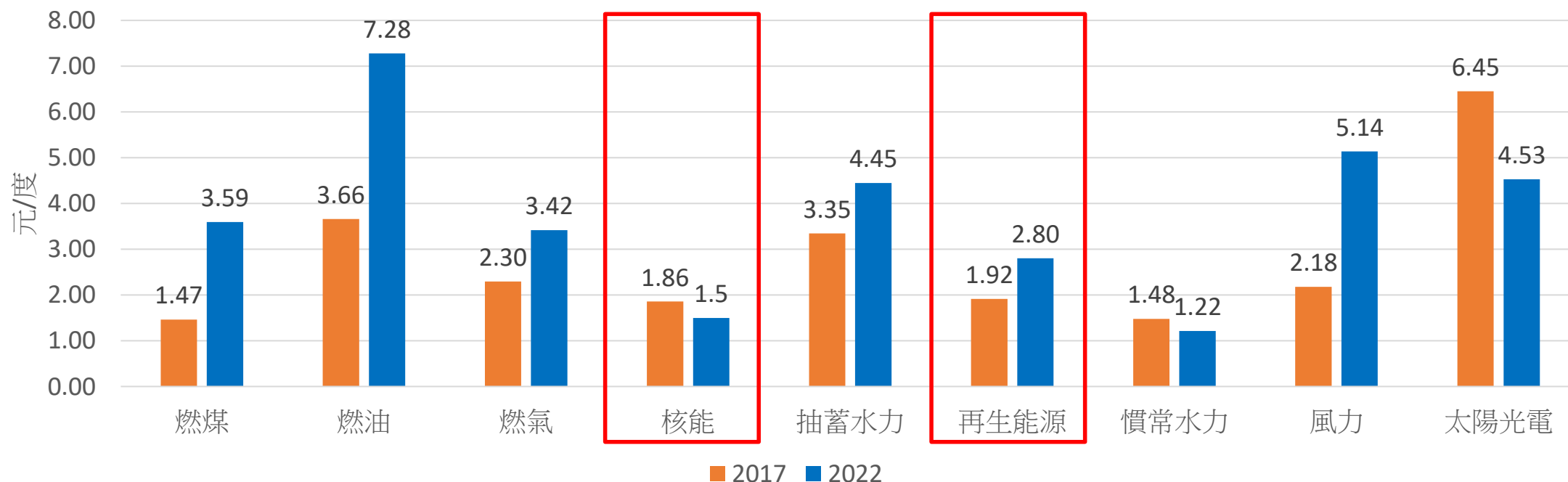
- 由於氣候因素及經濟成長放緩，降低全球能源需求，使國際能源價格略微走跌，惟仍在相當高的水準。



- ✓ 2023年3月我國原油進口價格為82.45美元/桶，較去年同期(92.6美元/桶)下跌將近11%。
- ✓ 2023年3月我國LNG進口價格為686.8美元/公噸，較去年同期(770.1美元/公噸)下跌將近11%。
- ✓ 近期煤價雖走跌，但2023年3月(262.6美元/公噸)相較去年同期(191.2美元/公噸)，漲幅仍達37.3%。
- ✓ 能源價格下降可適度減輕產業及民生負擔。

3.2. 能源消費面：國內各類機組發電成本

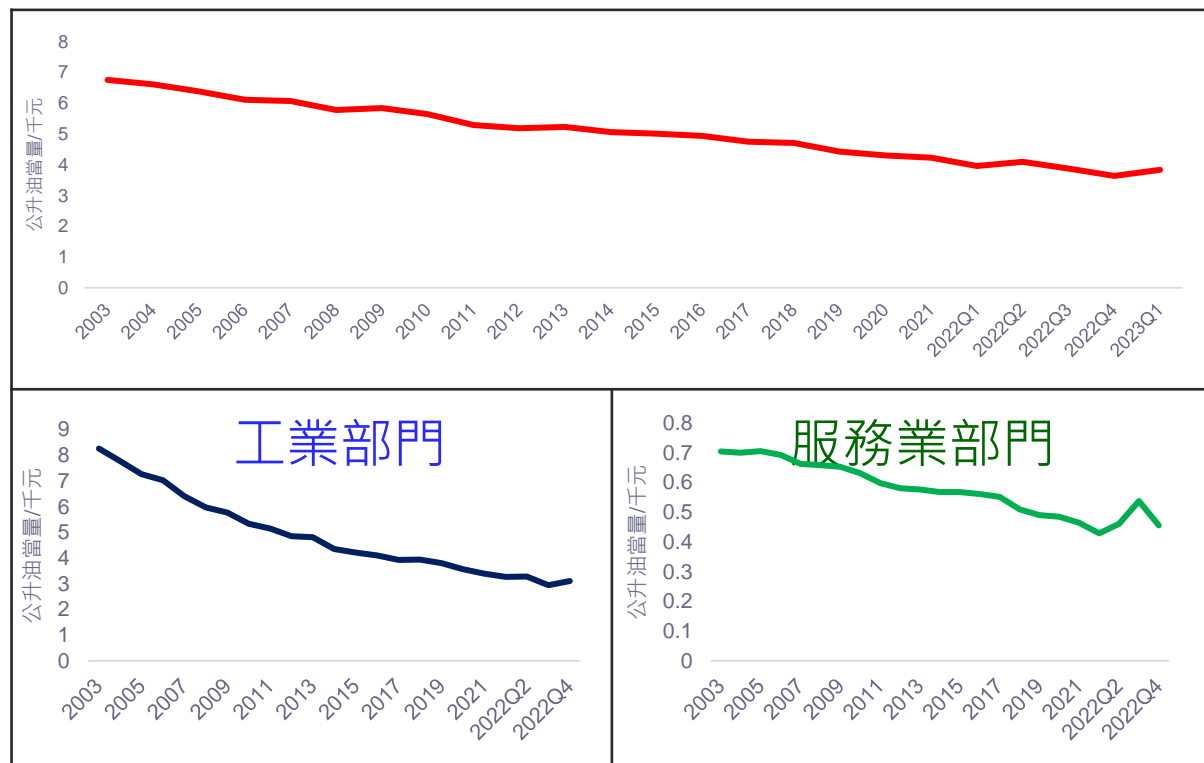
- 早前國內再生能源僅水力發電，發電成本低，惟隨著電力系統中的太陽光電與風電量(特別是離岸風力發電)增加，再生能源整體發電成本逐漸走高。
- 核能發電成本仍相對較低，可有效減輕燃料成本上漲壓力。



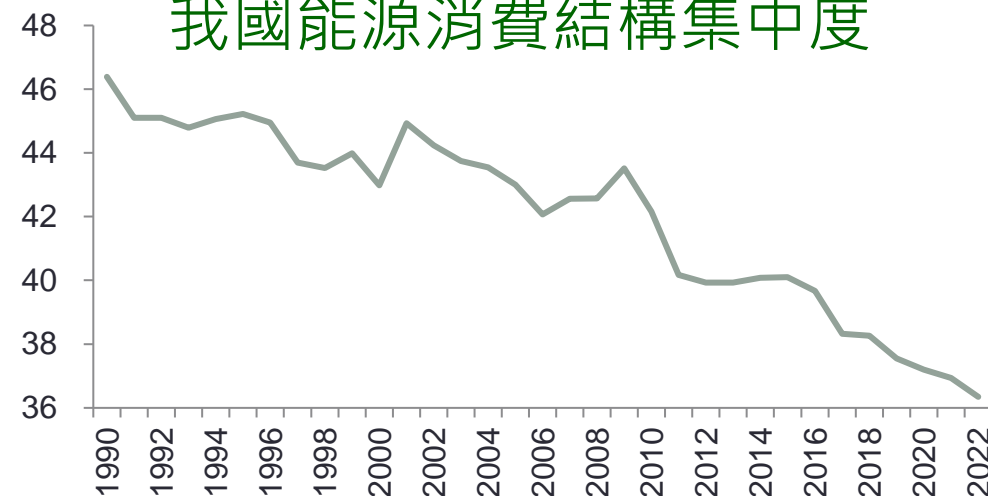
3.3. 能源消費面：能源效率變化 & 消費結構分散化

- 能源消費多元性提升下，能源消費結構持續分散化，有利降低能源消費面風險
- **2023年第一季相較2022年第一季，能源密集度及電力密集度均降低，表示能源/電力效率改善**

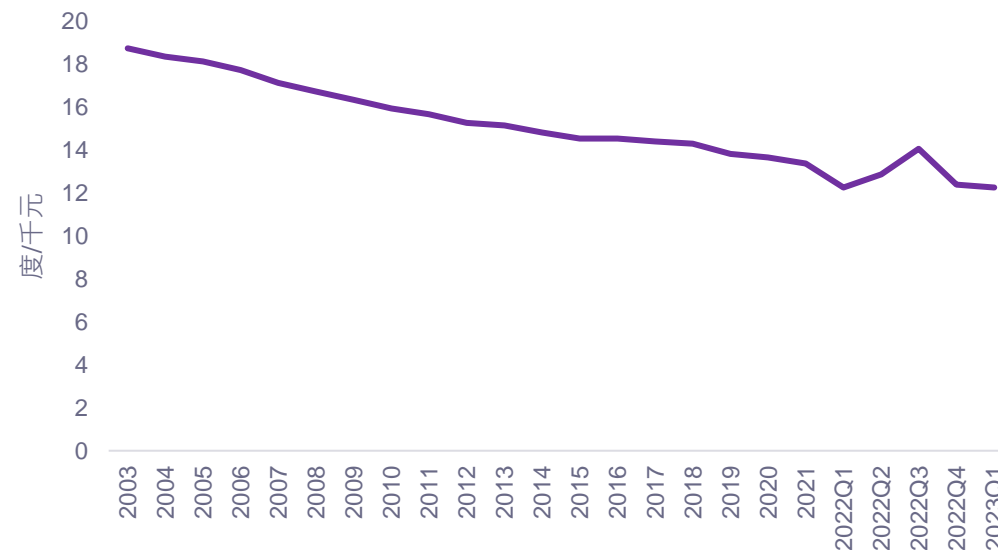
我國能源密集度歷年趨勢



我國能源消費結構集中度



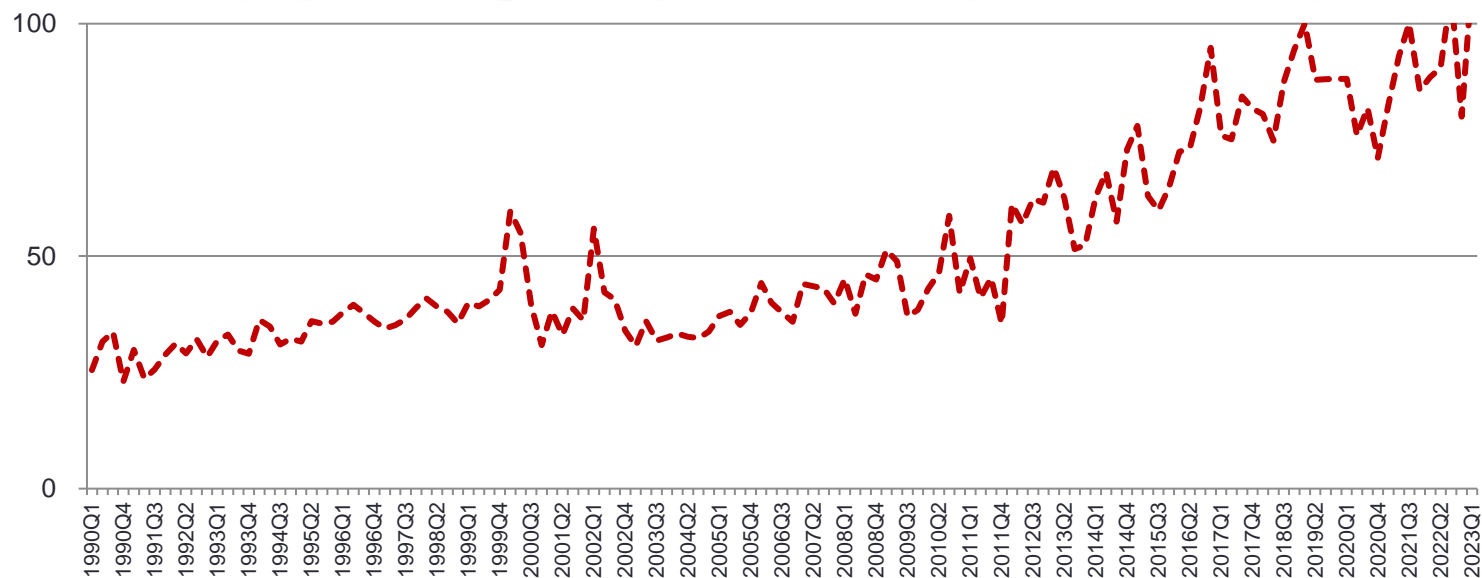
我國電力密集度歷年趨勢



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

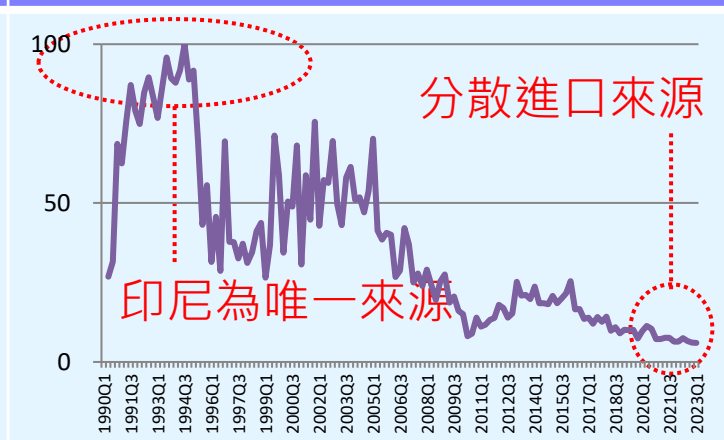


- 112年第一季 (100) 相較111年第四季 (80) 大增20點
- 112年第一季相較112年第一季 (88.6) 增加11.4點
- 俄烏戰爭後，我國大幅增加自澳、美及其他各國進口能源，降低對俄羅斯的依賴，顯著提升初級能源供應安全

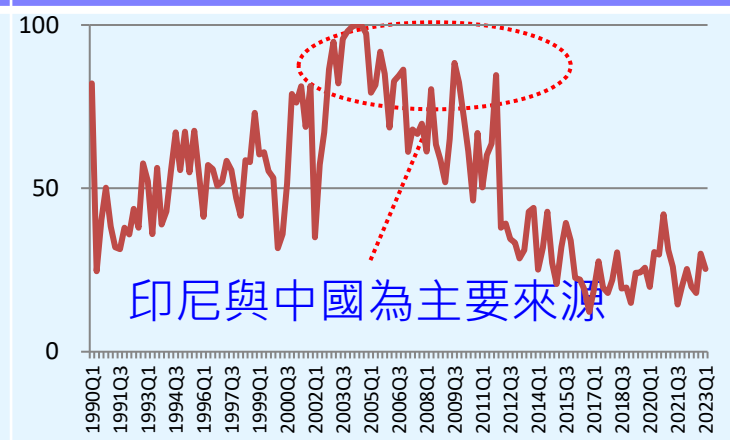
原油供應風險



天然氣供應風險

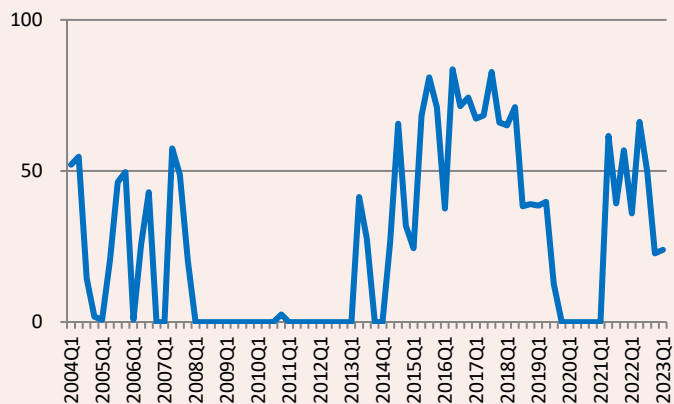


煤炭供應風險

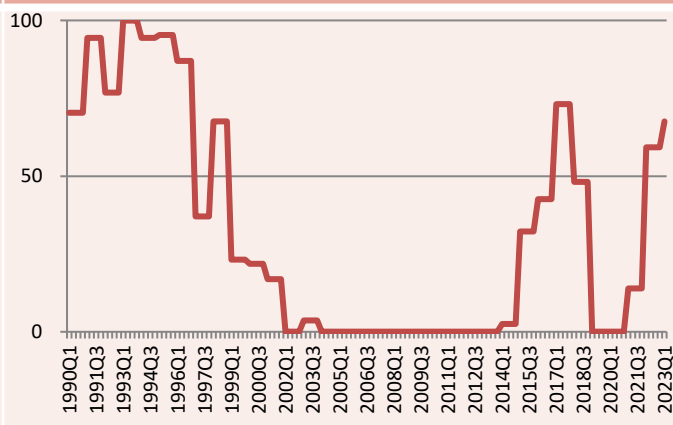


2. 基礎設施安全指標(風險增加、安全度降低)

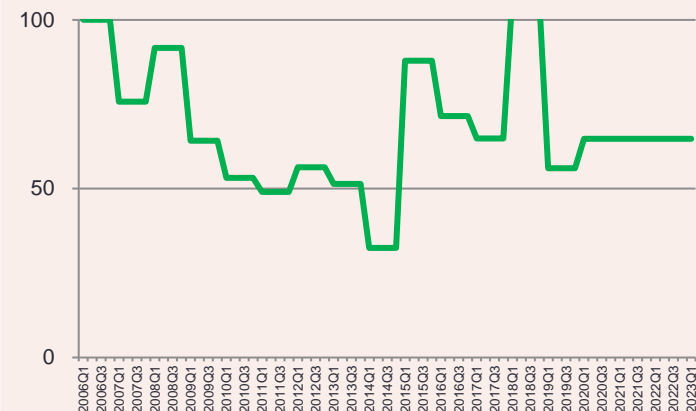
備轉容量率偏離風險



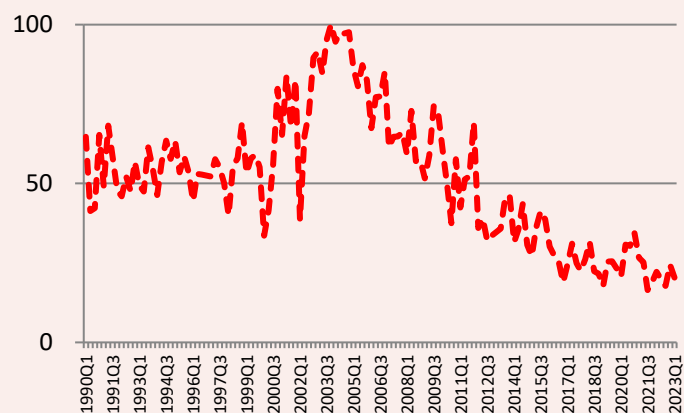
備用容量率偏離風險



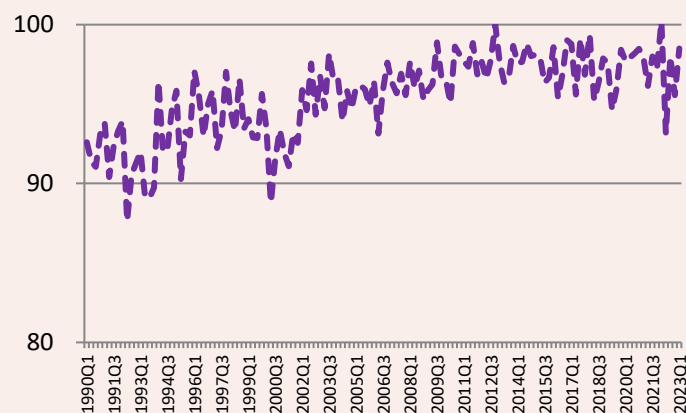
區域負載偏離風險



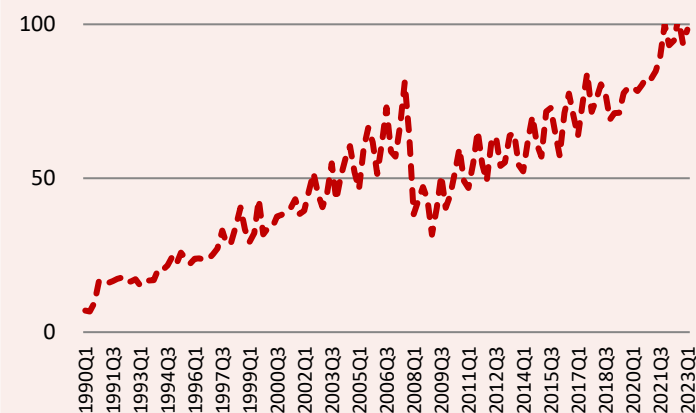
電源配比集中度風險



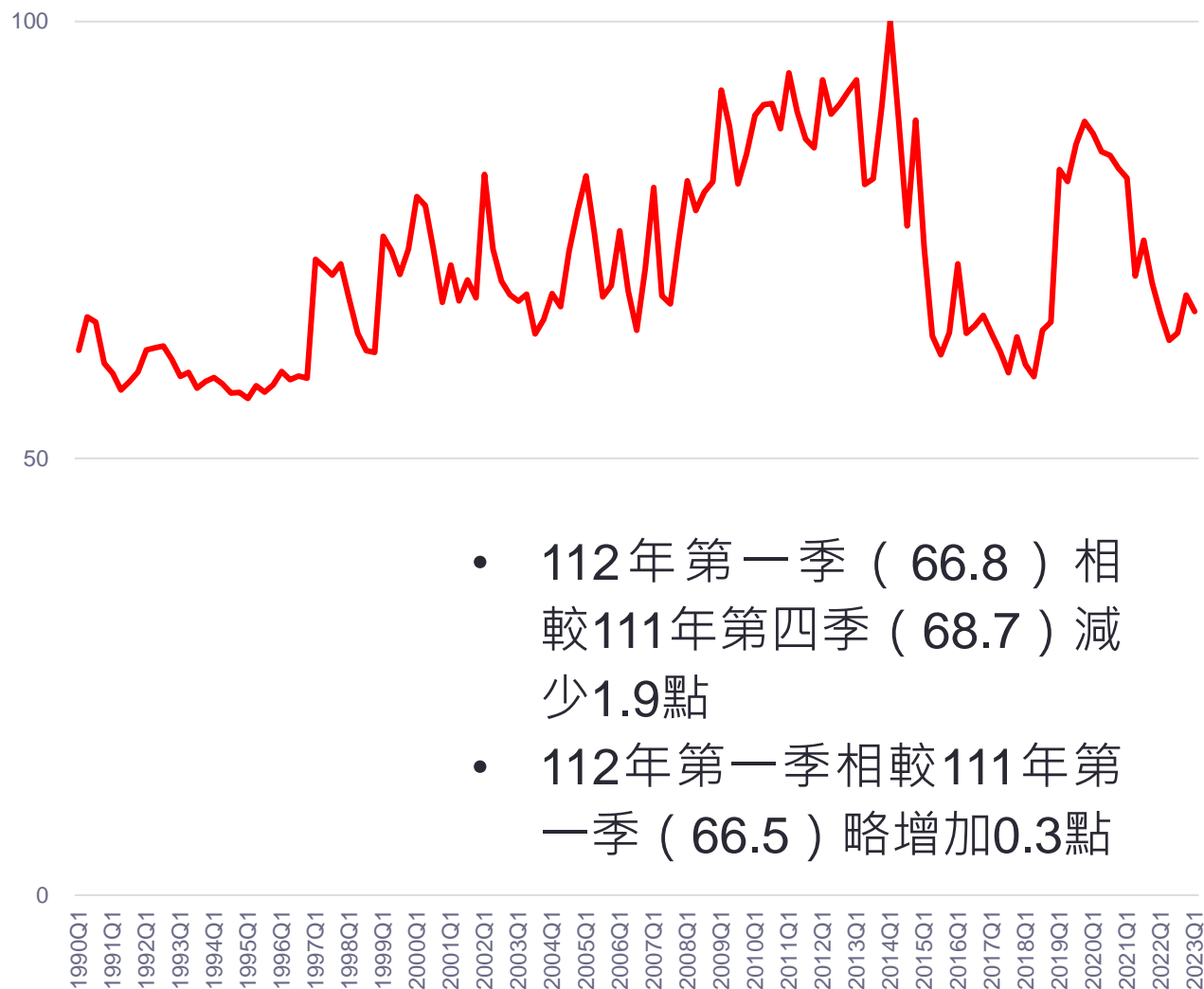
負載轉移餘裕程度



天然氣月周轉次數



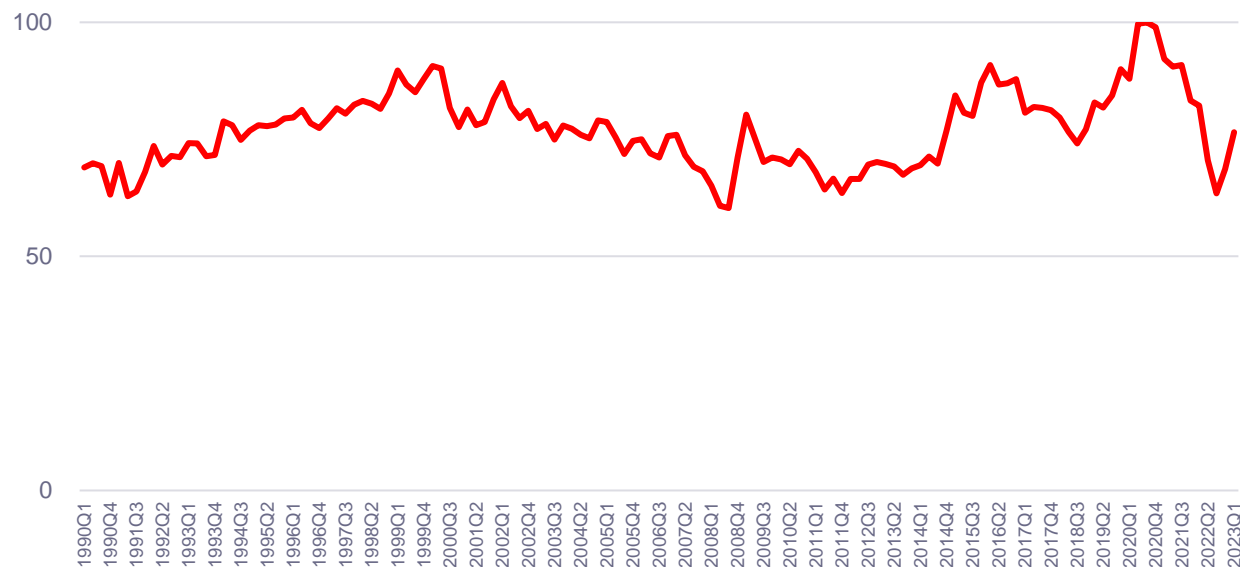
2. 基礎設施安全指標



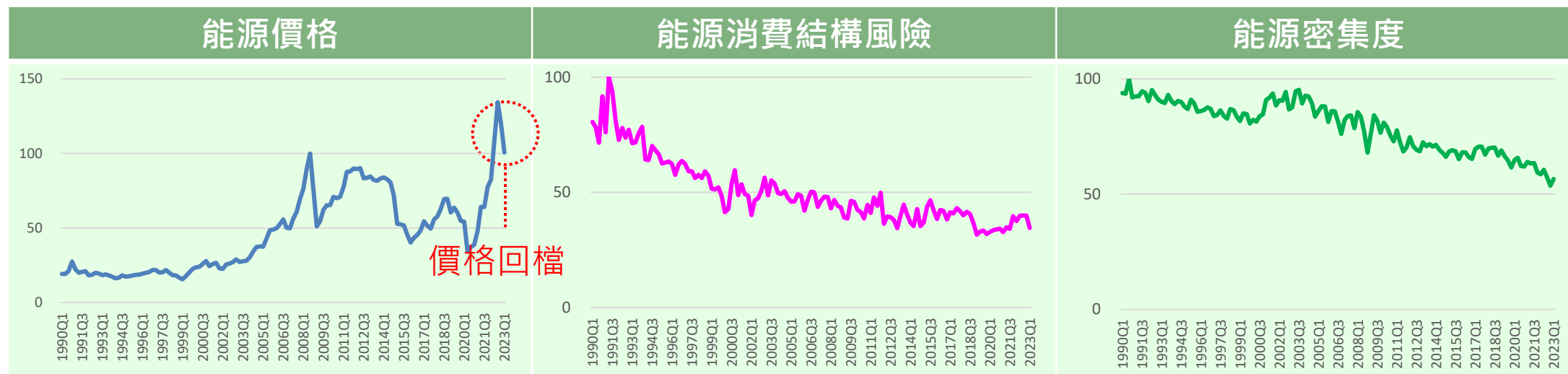
- 112年第一季（66.8）相較111年第四季（68.7）減少1.9點
- 112年第一季相較111年第一季（66.5）略增加0.3點

- 112年第一季基礎設施安全度相較111年第一季雖略微回升，但和去年第四季相較下降1.9點，原因在於備用容量率和備轉容量率偏離度增加，以及天然氣周轉次數上升
- 天然氣周轉次數持續提高，顯示國內天然氣基礎設施不足的隱憂
- 第二核能發電廠的一號機，已於110年年底屆齡除役，新增燃氣及再生能源機組未及建置，若用電需求持續增加且無其他替代供電來源時，恐嚴重影響基礎設施安全

3. 能源消費安全指標

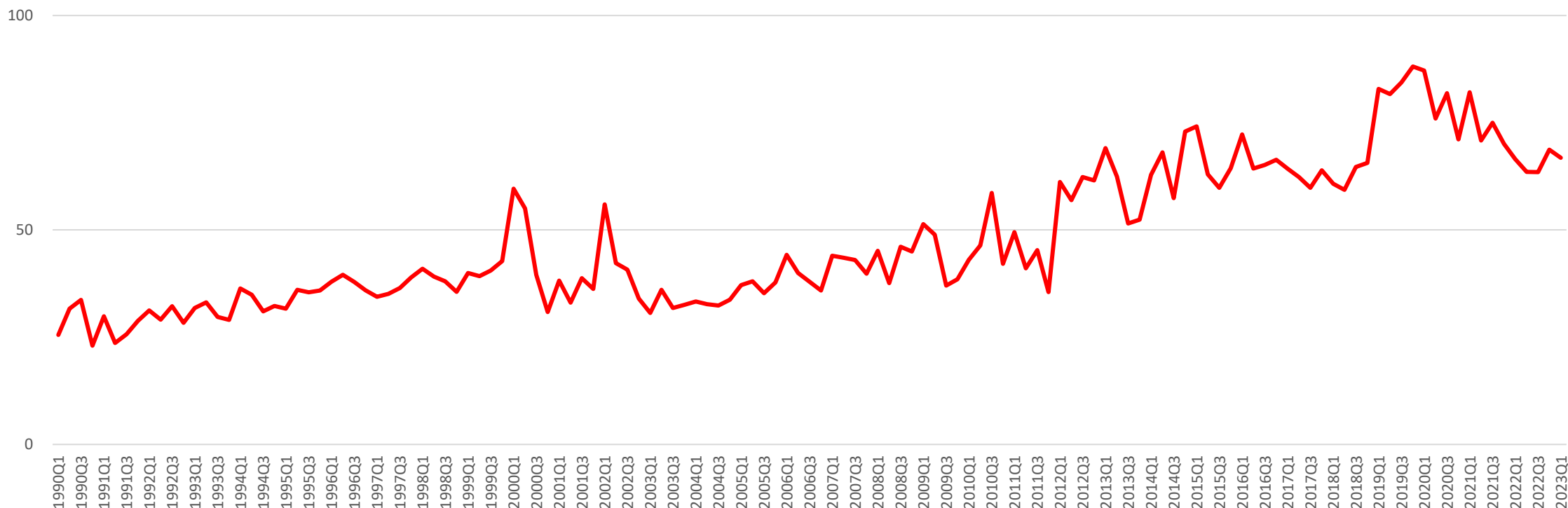


- 112年第一季 (84.2) 相較111年第四季 (72.5) 增加11.8點
- 112年第一季相較 111年第一季 (79.1) 略增加5.1點
- 國際能源價格走跌、能源密集度持續改善，促使國內能源消費安全提升



總能源安全指標

- 112年第一季 (66.8) 相較111年第四季 (68.7) 減少1.9點；112年第一季相較111年第一季 (66.5) 略增加0.3點。國際能源價格於111年第四季走跌後緩解能源進口成本壓力，但因國內電力基礎設施建置進度未如預期，不利總能源安全
- 今(112)年隨著核二廠第二機組除役，但天然氣新設機組未如期併網，以及再生能源建置落後，預期今(112)年備轉容量率將低於2.7%(日間)及2.3%(夜間)，停限電機率大增，勢將影響未來能源安全指標走低



結論與建議

結語

我國能源安全指標於**112年第一季 (66.8)** 相較**111年第四季 (68.7)** 減少**1.9點**；112年第一季相較111年第一季 (66.5) 略增加0.3點。展望未來仍有下列隱憂：

1. 國際能源價格雖於近期走跌，惟111年占電源配比仍達8.2%的核電即將在三年內全停。若加計中油補貼的燃氣成本，台電燃氣成本每度實達5.3元，比核電(1.5元/度)高3.8元/度，故以燃氣替代核電的非核成本今(112)年將達1030億元。114年之後每年更高達1640億元，電價上漲壓力極大
2. 歷年太陽光電和風電之實際設置值占新增量 (執行率) 已連六年(106-111)落後。111年實際執行率約為57%(太陽光電)、24%(風力發電)，政府對未來綠電發展顯然過於樂觀
3. 國內天然氣接收站負載率118%遠高於國際正常水準(60%)，安全存量(11天)則遠低於國際水準，夏天更低於8天，若遇海運受阻將不只有能源風險，更有國安風險
4. 今(112)年隨著核二廠2號機於3月15日除役，但計畫替補的天然氣新設機組 (大潭8及9號機) 至今仍未併網，且再生能源建置落後，預估今(112)年備轉容量率將為2.7% (日間) 及2.3% (夜間)，停限電機率大增，勢將導致今(112)年能源安全指標走低
5. 天然氣三、四、五接建置時程落後嚴重，且政府規畫的大多數新增燃氣機組共1187萬瓩確定無法如期運轉，即令只延擱一年，112-116年因夜間太陽光電無法發電，夜間備轉容量率將在0.4%與3.2%之間，即介於台電供電警戒的橘燈及限電準備的黑燈之間，非核能源政策亟待改弦更張

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；