

能源安全之意義內涵、測度 衡量與應對政策

研究五所 陳詩豪 副所長



中華民國106年8月10日

簡報目次

壹、能源安全議題的濫觴

貳、能源安全之意義與內涵

參、能源安全之測度衡量

肆、台灣能源安全課題與因應

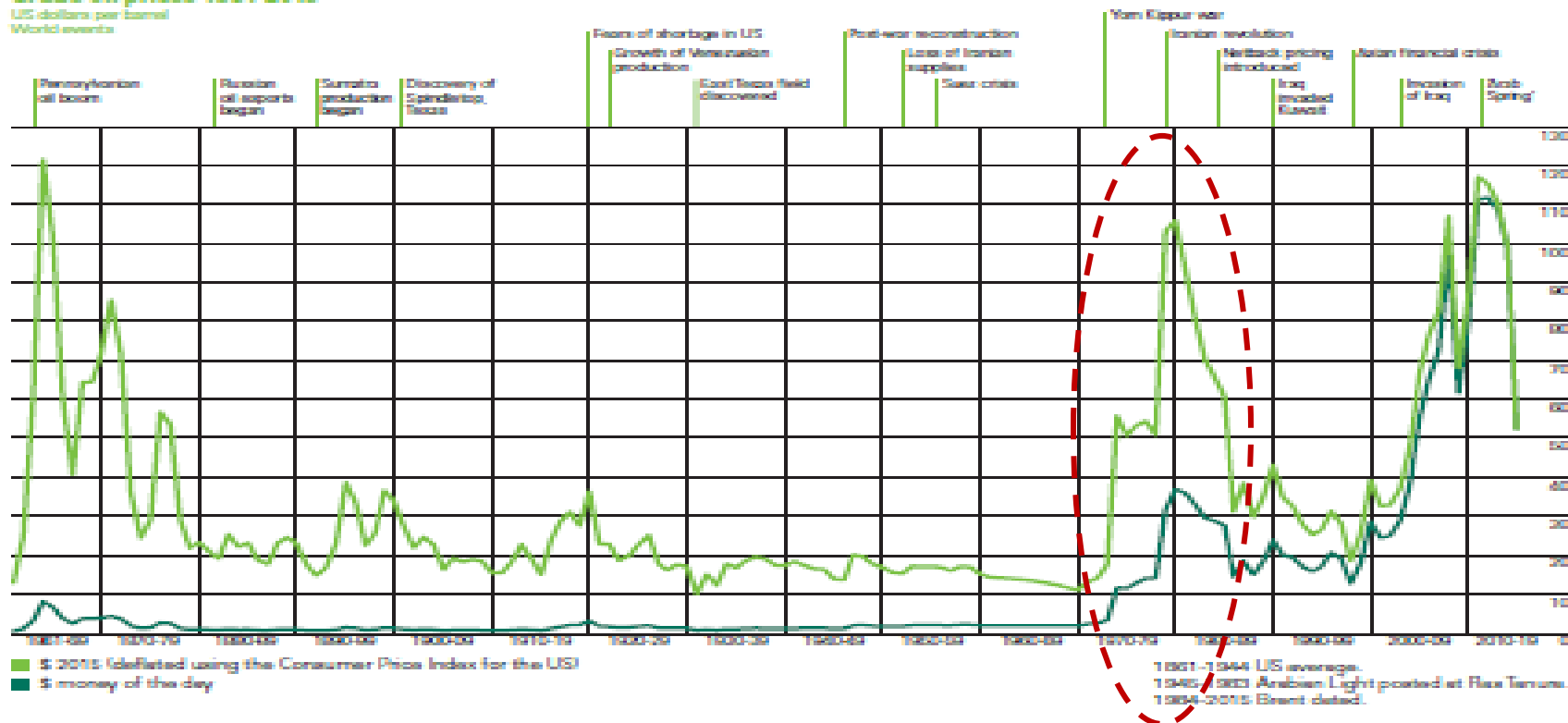
伍、結語

壹、能源安全議題的濫觴

- 一、能源安全〈Energy Security〉開始被視為國家經濟安全的重要部份，是在1973年中東爆發以阿戰爭，導致石油危機之後。1974年國際能源組織〈IEA〉成立，遂正式提出以穩定原油供應和價格為核心的能源安全概念。

Crude oil prices 1861-2015

US dollars per barrel
World events



- 二、能源安全的內涵，隨著不同階段的國際情勢發展而有很大變化。譬如，受到能源生產國地緣政治關係格局的制約、國際恐怖主義襲擊威脅、中國大陸和印度等大國經濟崛起造成對能源的需求擴充、頁岩油氣開採技術革新、巴黎協議的生效實施等，已使得能源安全的範疇更擴大到取得安全、運輸安全、使用安全。
- 三、能源安全已成為非傳統安全的重要課題之一，並成為各國經濟永續成長的關鍵因素之一。

貳、能源安全之意義與內涵

一、IEA對能源安全的定義

(一) IEA能源安全之定義

- 國際能源總署(IEA)將能源安全定義為能源資源在可負擔的價格下，可持續取得能源來源。(the uninterrupted availability of energy sources at an affordable price.)
- 長期而言，能源安全須針對經濟發展及環境保護等層面考量下對能源供給適時投資。(long-term energy security mainly deals with timely investments to supply energy in line with economic developments and environmental needs.)
- 短期來說，能源安全則聚焦於能源系統面對供需突然失衡的反應能力與韌性。(short-term energy security focuses on the ability of the energy system to react promptly to sudden changes in the supply-demand balance.)

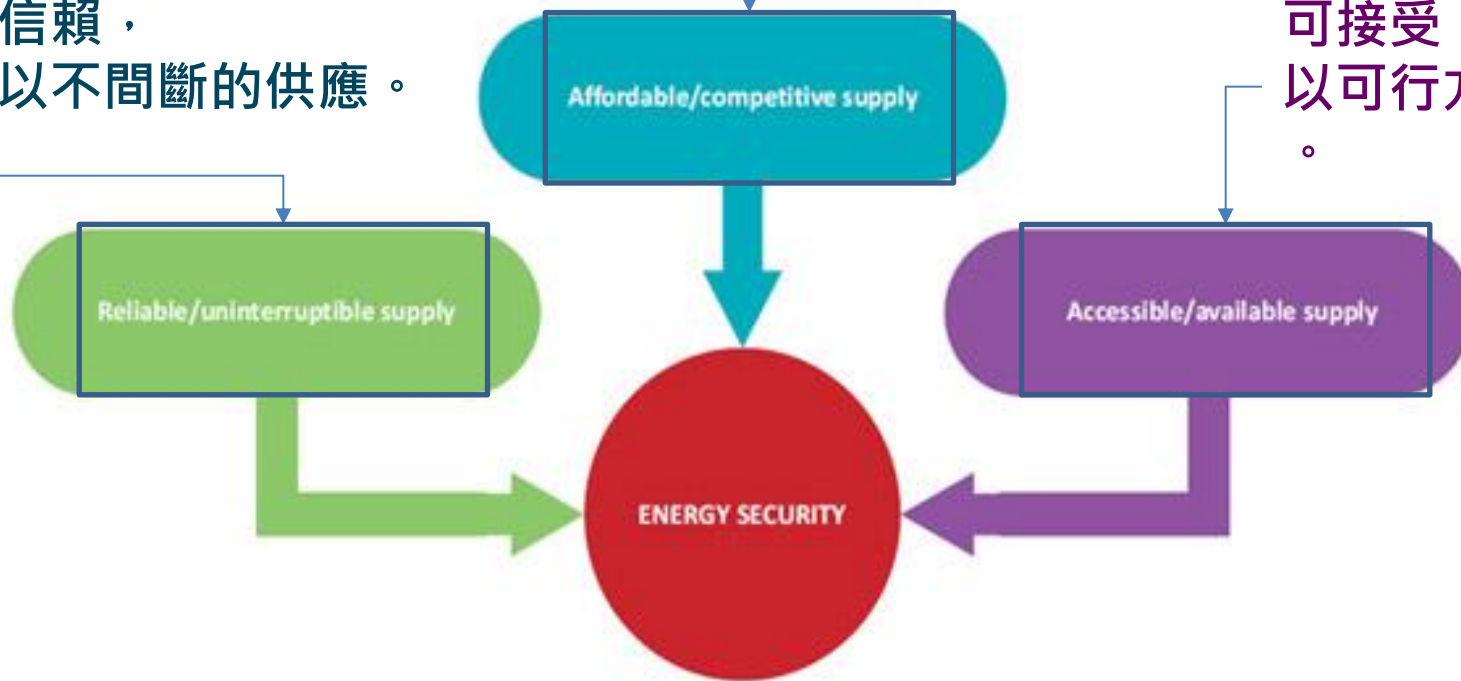
(二) IEA對能源安全之觀察構面

Figure 1.1 Defining energy security

可信賴，
可以不間斷的供應。

可負擔，
有競爭力的供應。

可接受，
以可行方式的供應。



Note: unless otherwise indicated, all tables, figures and boxes in this chapter derive from IEA data and analysis.

資料來源：<https://www.iea.org/topics/energysecurity/subtopics/whatisenergysecurity/y>.

二、國際組織對能源安全的看法 貳、能源安全之意義與內涵

(一) 盤點國際組織對能源安全之看法

| 組織 | 闡述 |
|---------------|---|
| 國際能源總署 IEA | <p>能源安全為一多層次之概念：長期而言，能源安全在於適時對能源供給挹注投資，以因應經濟發展及環境永續層面的需求。短期而言，則在於能源供應系統，在保持供需平衡的前提下即時因應突發狀況：如能源供應中斷、價格波動過於劇烈。</p> |
| 歐盟 | <ol style="list-style-type: none"> 1.能源供應安全措施應保障經濟體系的正常運作，在無中斷的能源供給下，確保能源價格在可接受之程度。 2.能源供應安全措施不在於追求降低經濟對進口能源的依賴，而是在管理其衍生的風險。 |
| APEC | <ol style="list-style-type: none"> 1. 能源安全議題最早出現在2000年APEC汶萊領袖會議，呼籲APEC會員體共同穩定石油市場、以降低石油價格波動對消費者生產者的衝擊。 2. 後續由能源工作小組通過「能源安全倡議」，其中提到，短期需因應能源供應中斷、提升全球原油市場的透明度、能源運輸安全；長期促進能源設施投資與技術發展、能源效率、再生、低碳能源之相關技術與應用(碳蒐集與儲存)以促進分散與有效率的能源組合，避免國際原油市場的變動對於經濟所造成的風險。 |

(二) 晚近相關能源研究機構之看法

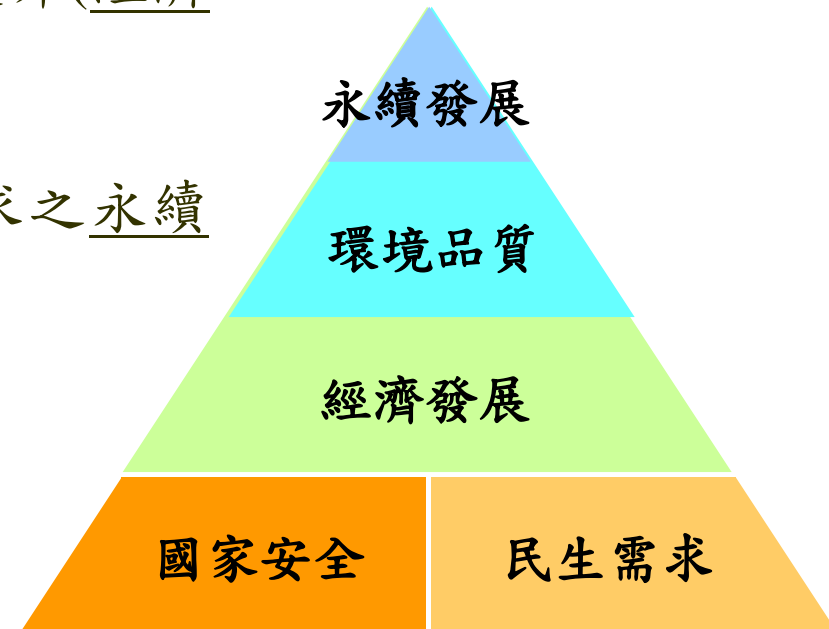
| 組織 | 闡述 |
|------------------|--|
| 日本經產省資源能源廳METI | 在對 環境友善 的方式下，以 合理的成本 確保能源穩定供應 |
| 日本能源經濟研究所 IEEJ | 為健全及 永續的經濟成長及社會發展 ，以 合理的價格 確保必要數量的能源供給 |
| 美國21世紀能源研究所 USCC | 能源安全應當同時考慮能源供給的 可靠性 、 地緣政治 、 經濟形勢 、與 環境 等諸多方面。 |
| 亞太能源研究中心 APERC | 能源安全為一個經濟體以 永續 、 即時 的方式確保能源在 不會影響經濟表現的價格 下 穩定供應 的能力。 |

三、能源政策與能源安全

(一)能源安全的影響層面

能源安全的多面向層次：

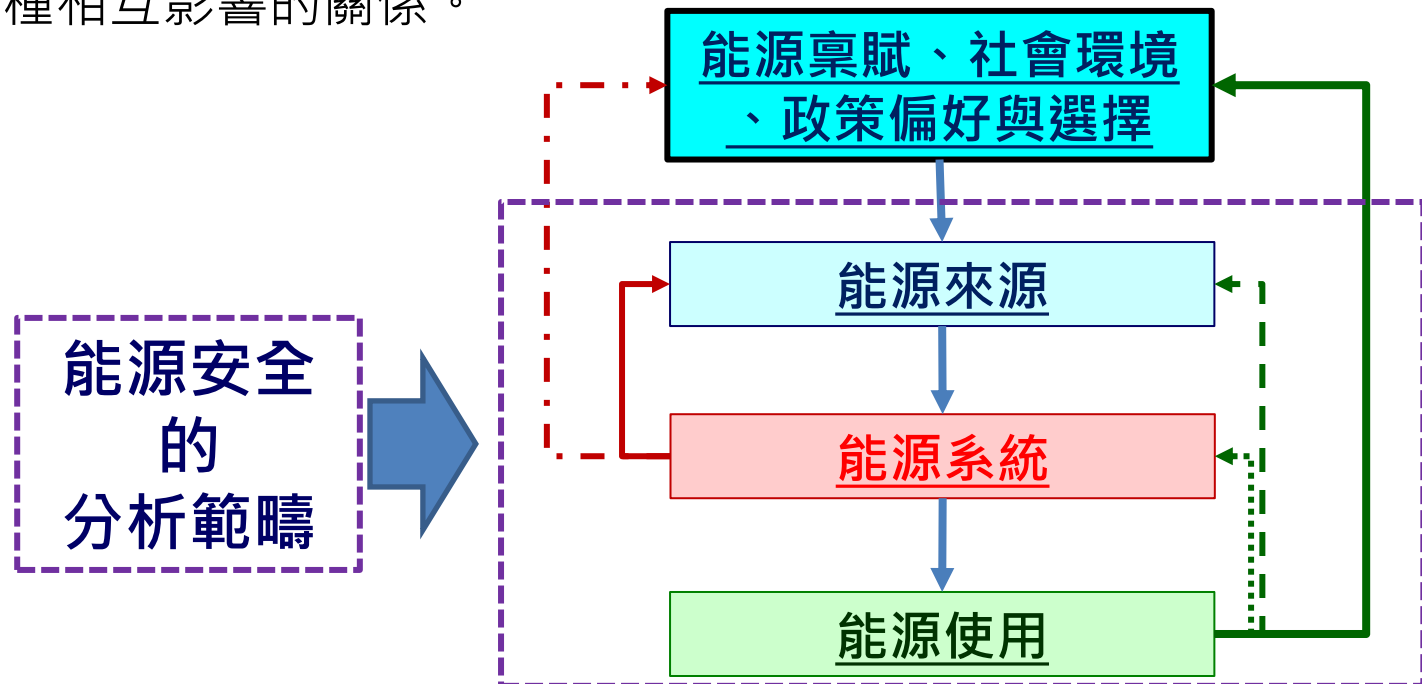
- 能源供應與國家安全及民生需求息息相關。
- 能源供應須滿足追求生活水準提升(經濟發展)之能源需求。
- 能源供應須兼顧環境品質改善。
- 能源供應需考量跨世代能源需求之永續發展。



能源安全的多面向層次

(二) 能源政策與能源安全的分野

- 能源政策是一種偏好與選擇；能源安全則是一種狀態與結果，係在於供需能否平衡的狀態。
- 能源政策決定了能源的種類與結構；能源安全則是在此一政策下，建構對應的能源來源與系統。
- 能源系統完成建置，能源使用與負擔水準就已成形，然能源系統與能源負擔的結果，亦即能源安全的程度會回饋影響能源的偏好與選擇，彼此之間是形成一種相互影響的關係。



(三) 能源供應鏈下的三大安全構面

01

能源來源要安全，即能源來源必須是社會普遍可以接受，且具有一定之蘊藏數量，包括能源的種類與結構占比。

能源來源

02

能源系統要安全，即能源系統的建置要能夠應付偶發性的事件衝擊與長期性的結構轉變，包括能源實體建設與法規制度。

能源系統

能源安全是要在
供應鏈的**三個構面**都要
符合**安全需求**

能源使用

03

能源使用要安全，即使用能源的付出，必須是社會能夠負擔的水準，包括經濟負擔與環境負擔，能源服務的品質等。

參、能源安全之測度衡量

一、能源安全量測之意義

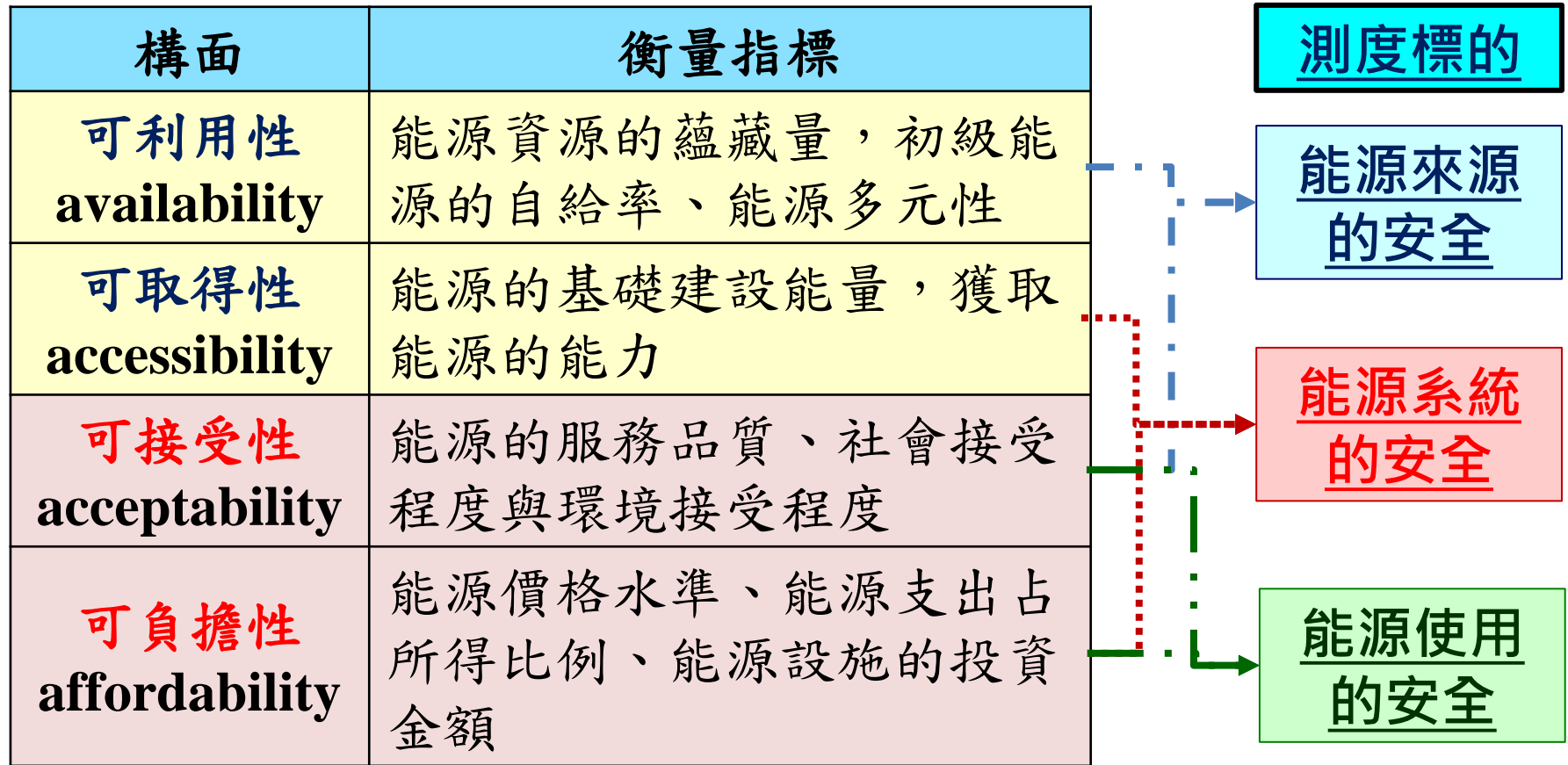
- 能源安全是回饋能源偏好與選擇的重要因子，有合理可行的量測方式，對能源政策的決定有極為重要的意義。
- 但對能源安全的量測，有不同國際組織/機構依照其目的，就不同偏重構面，發展除不同的量化方式，來客觀量測各國或區域的能源安全狀態。
- 能源安全測度衡量效益：
 1. 可以具象呈現國家或區域能源安全情勢，有利於政策的溝通與檢視；
 2. 掌握國家能源安全發展情資，並做為能源安全政策研擬的基礎；
 3. 能源安全政策的共識性促進與有效性提升。

二、能源安全的測度衡量

(一) APERC的4A構面



(二)能源安全4A的測度標的



資料來源：亞太能源研究中心(APERC)

- ❖ 影響能源安全除了能源蘊藏、實體建設之外，能否負擔，以及是否接受，社會層面的因素也是關鍵的測度構面。
- ❖ 分析能源安全，不僅就能源設施、能源價格等面向切入，能源使用引發的社會環境效應，例如能否接受，更是其中最為根本的核心。

三、國際能源安全指標系統盤點

(一) 國際主要能源安全指標系統

目前國際能源機構、研究單位多已建置能源安全測度方法或指標系統，透過定期更新，滾動式管理修正，以反應各國、區域內之長短期能源安全風險。

| 年度 | 發表機構 | 指標名稱 |
|------|--------------------|--------------|
| 2010 | 全球能源理事會(WEC) | 能源三難困境指標 |
| 2010 | 美國商會21世紀能源機構(USCC) | 美國能源安全風險指標 |
| 2011 | 歐盟執行委員會(REACCESS) | 社會經濟能源風險指標 |
| 2012 | 美國商會21世紀能源機構(USCC) | 全球能源安全風險指標系統 |
| 2013 | 世界經濟論壇(WEF) | 能源結構績效指標 |
| 2017 | 亞太能源研究中心(APERC) | 油氣安全指標系統 |

(二) WEC-能源三難困境指標

| Dimension | Weight | Indicator category | Weight | Indicator | Weight |
|--------------------------------------|--------|---|--------|--|--------|
| Energy security | 30% | Security of supply and energy delivery | 15% | Diversity of primary energy supply | 5.0% |
| | | | | Energy consumption in relation to GDP growth | 5.0% |
| | | | | Import dependence | 5.0% |
| | | Resilience | 15% | Diversity of electricity generation | 5.0% |
| | | | | Energy storage | 5.0% |
| Energy equity | 30% | Access | 10% | Preparedness (human factor) | 5.0% |
| | | | | Access to electricity | 5.0% |
| | | Quality of supply | 10% | Access to clean cooking | 5.0% |
| | | | | Quality of electricity supply | 5.0% |
| | | Affordability and competitiveness | 10% | Quality of supply in urban vs. rural areas | 5.0% |
| | | | | Electricity prices | 3.3% |
| | | | | Gasoline and diesel prices | 3.3% |
| Environmental sustainability | 30% | Energy resource productivity | 10% | Natural gas prices | 3.3% |
| | | | | Final energy intensity | 5.0% |
| | | GHG emissions | 10% | Efficiency of power generation and T&D | 5.0% |
| | | | | GHG emission trend | 5.0% |
| | | | | Change in forest area | 5.0% |
| | | CO ₂ emissions | 10% | CO ₂ intensity | 3.3% |
| | | | | CO ₂ emission per capita | 3.3% |
| Country context | 10% | Coherent and predictable policy framework | 2% | CO ₂ from electricity generation | 3.3% |
| | | | | Macroeconomic environment | 0.5% |
| | | | | Effectiveness of government | 0.5% |
| | | | | Political stability | 0.5% |
| | | Stable regulatory environment | 2% | Perception of corruption | 0.5% |
| | | | | Transparency of policy making | 0.7% |
| | | Initiatives that enable RD&D and innovation | 2% | Rule of law | 0.7% |
| | | | | Regulatory quality | 0.7% |
| Investability | 2% | Intellectual property protection | 0.5% | | |
| | | FDI & technology transfer | 0.5% | | |
| Air pollution, land and water impact | 2% | Capacity for innovation | 0.5% | | |
| | | Number of patents issued by residents | 0.5% | | |
| | | | | Foreign direct investment net inflows | 1.0% |
| | | | | Ease of doing business | 1.0% |
| | | | | Wastewater treatment | 1.0% |
| | | | | Air pollution | 1.0% |

資料來源：全球能源理事會(World Energy Council)

建置目的：

針對125個國家，透過能源三難困境指數進行**能源安全風險排序**，俾利國際投資者掌握各國整體能源政策之永續性。

指標內容：

第一部分為**能源表現**，共分3個面向：**能源安全**、**能源公平**和**環境永續性**，分別又包含2~7個子指標。第二部分為**國家背景**，檢視制度、法規、投資環境等指標。

指標範疇與限制：

自**2010**年起始公布，每年更新一次，但是並未對未來進行推估，僅提供當年度評估。

(三)USCC-美國能源安全風險指標系統



建置目的：

本指標系統完整衡量美國整體能源安全，檢視能源供應鏈各環節，藉此為政策制定者提供評估依據與趨勢判讀。



指標內容：

共分四大構面：地緣政治 (geopolitical)、經濟 (economic)、可靠度 (reliability) 及環境 (environmental)。其下分9大類別、37項指標。

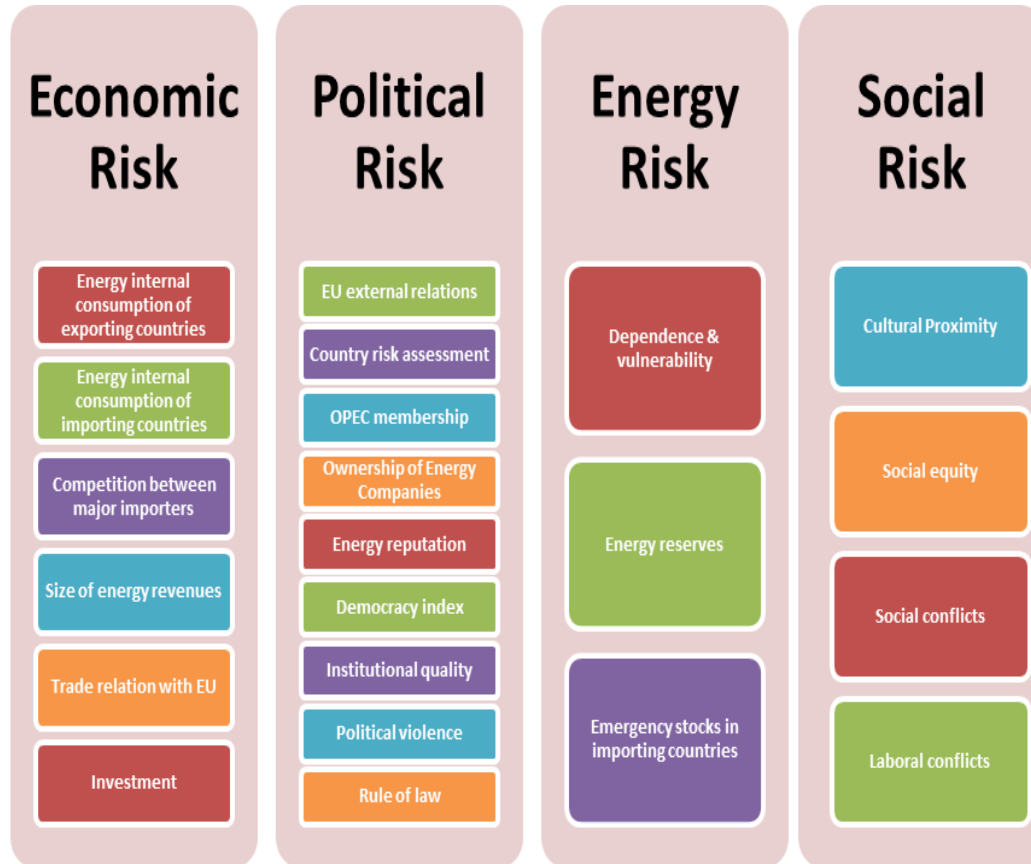


指標範疇與限制：

本系統自**2010年**始，定期**每年**更新，並提供對於未來直至**2040年**的長期預測。但僅針對**美國**。



(四) REACCESS-社會經濟能源風險指標



建置目的：

針對全球158個國家建立一能源走廊情境分析模型，為歐盟政策制定者檢視歐盟25國在2008年到2010年各構面之能源安全風險。

指標內容：

共四個構面：經濟風險、政策制度風險、能源內生性風險、社會風險。每一個構面各有3~9個指標，每個指標又各有至少2個以上的子指標。

指標範疇與限制：

2011年完成，僅包含3年，並無定期更新，或對未來之推估。運用因素分析對橫斷面數據得出最適權重，故不適用於須定期更新之指標。

資料來源：Energy security indices in Europe: Economic Challenges for Energy Workshop · February 7-8th 2011, Madrid。

(五)USCC-全球能源安全風險指標系統

建置目的：

參照前述美國能源安全風險指標構面，對**75**個國家進行比較分析，作為**國際投資者**之參考依據。



指標內容：

較美國能源全風險指標之構面更為簡化，共分**8**大構面、**29**項指標。



指標範疇與限制：

- 自**2012**年建置完成並公布，每**兩年**更新一次，但是並未對未來進行推估，僅提供當年度評估。
- 因各國資料蒐集之限制性，故並無研發構面。



Global Fuel 14%

| |
|---|
| Security of World Oil Reserves 2% |
| Security of World Oil Production 3% |
| Security of World Natural Gas Reserves 2% |
| Security of World Natural Gas Production 3% |
| Security of World Coal Reserves 2% |
| Security of World Coal Production 2% |

Fuel Import 17%

| |
|--|
| Petroleum Import Exposure 3% |
| Natural Gas Import Exposure 3% |
| Coal Import Exposure 2% |
| Total Energy Import Exposure 4% |
| Fossil Fuel Import Expenditures per GDP 5% |

Energy Expenditure 20%

| |
|-----------------------------------|
| Energy Expenditure Intensity 4% |
| Energy Expenditures per Capita 3% |
| Retail Electricity Prices 6% |
| Crude Oil Prices 7% |

Price & Market Volatility 15%

| |
|-----------------------------------|
| Crude Oil Price Volatility 5% |
| Energy Expenditure Volatility 4% |
| World Oil Refinery Utilization 2% |
| GDP per Capita 4% |

Energy Use Intensity 14%

| |
|----------------------------------|
| Energy Consumption per Capita 4% |
| Energy Intensity 7% |
| Petroleum Intensity 3% |

Electric Power Sector 7%

| |
|---|
| Electricity Diversity 5% |
| Non-CO2 Emitting Share of Electricity Generation 2% |

Transportation Sector 7%

| |
|-------------------------------------|
| Transportation Energy per Capita 3% |
| Transportation Energy Intensity 4% |

Environmental 6%

| |
|--|
| CO2 Emissions Trend 5% |
| Energy-Related CO2 Emissions per Capita 4% |
| Energy-Related CO2 Emissions Intensity 2% |

(六) WEF-能源結構績效指標



建置目的：

代替政策制定者與企業領袖於全球127個國家於能源轉型過程中的能源系統訂定檢視基準，評估各項能源議題。

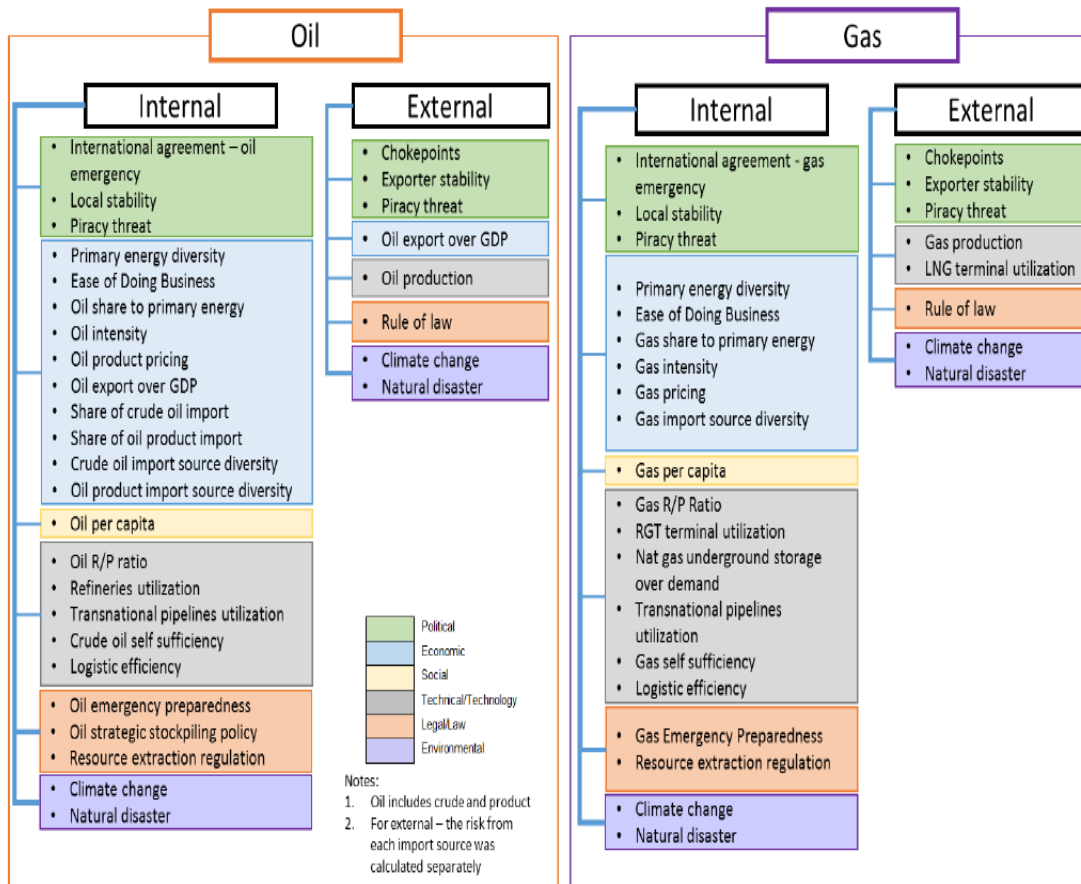
指標內容：

共三個構面：「經濟成長」、「環境永續」、及「能源取得與安全」，其下各有2~3個指標，每個指標又各有2~5個子指標。

指標範疇與限制：

自2013年起始公布，每年更新一次，但是並未對未來進行推估，僅提供當年度評估。

(七) APERC油氣安全指標系統



資料來源：Oil And Gas Security Indexation, Asia Pacific Energy Research Center

建置目的：

針對APEC區域內21個經濟體檢視各國內、外部影響原油、天然氣供給安全之因子。

指標內容：

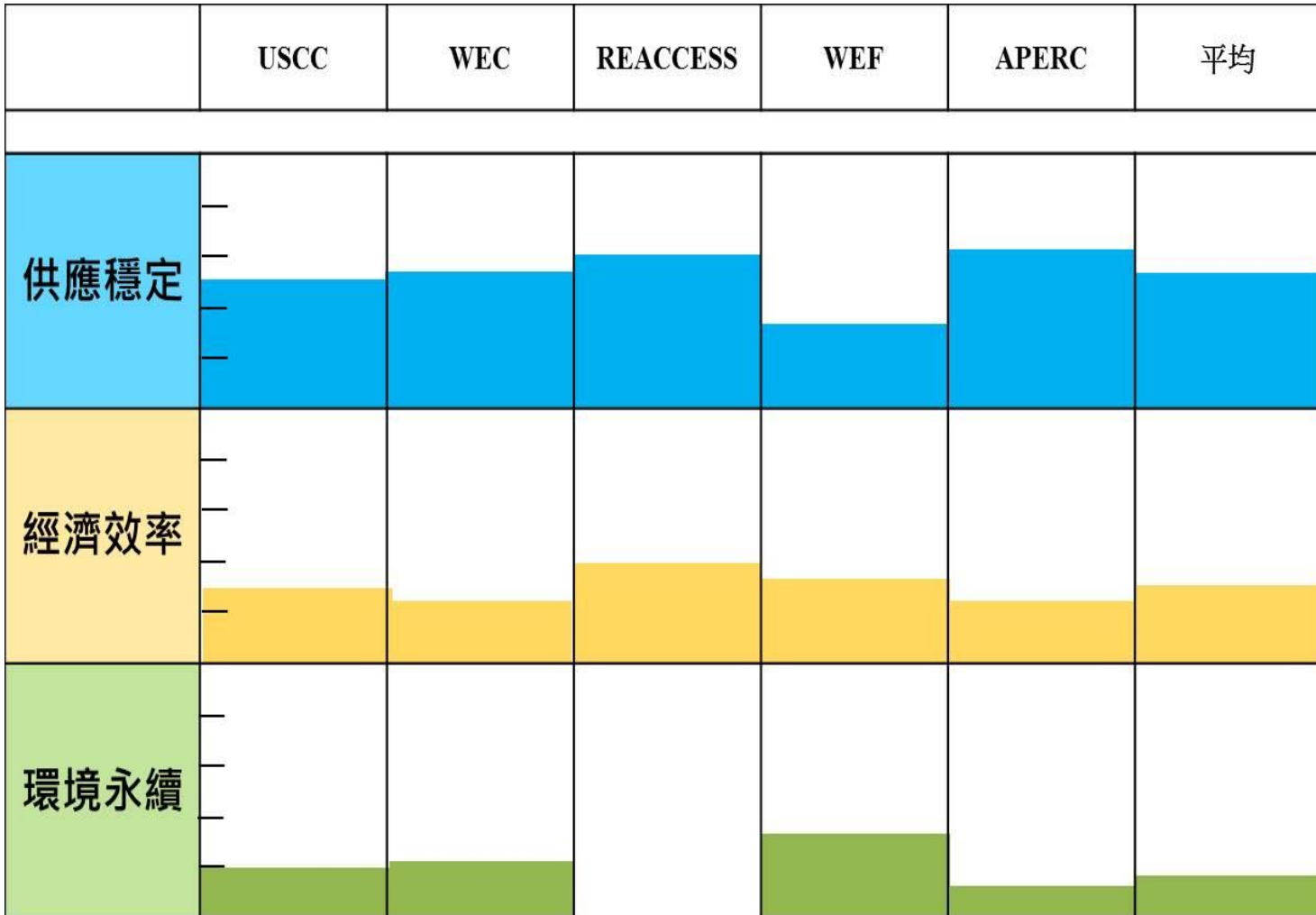
分別為石油、天然氣建置了六大構面：政治(Political)、經濟(Economic)、社會(Social)、技術(Technical)、法律(Legal)、環境(Environmental)，於其下涵蓋了共61個子指標。

指標範疇與限制：

自2017年公布，回顧檢視2000年至2013年各會員體之油氣安全，並無提供未來推估。

四、能源安全測度評析

(一) 指標以多系統呈現供應穩定為主要構面



供應穩定仍為各系統考量之首要構面

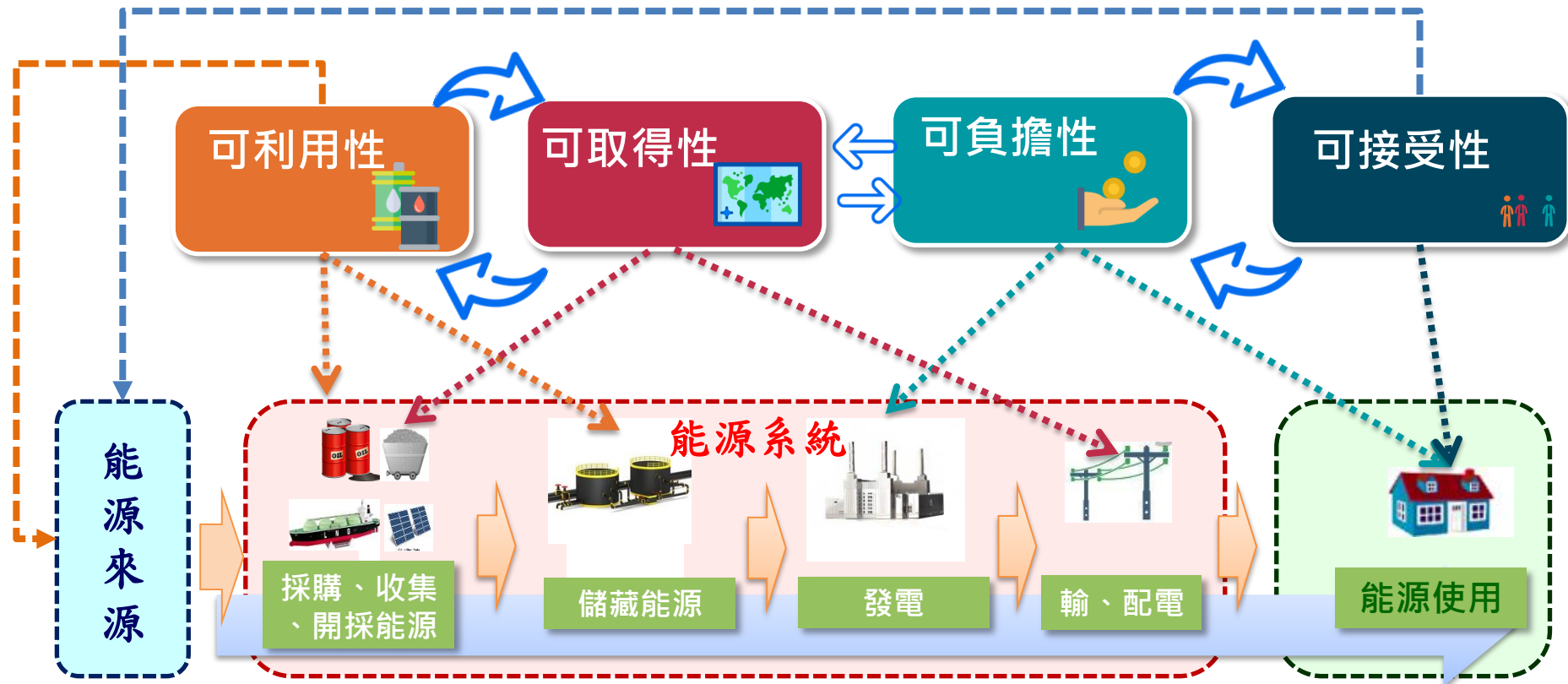
經濟效率亦獲各系統普遍重視

環境永續逐漸為各系統納入能源安全考量項目

(二) 指標系統與能源安全聯結度不高

1. 各組織所提出的指標系統並非僅與能源安全聯結，WEC、WEF的指標已擴及能源安全之外；USCC與APEREC之指標系統與能源安全程度之間的聯結仍有待驗證。
2. REACCESS社會經濟能源風險指標，針對各個構面值皆以風險形式表達，較為直接的呈現風險狀態。但是風險標的並非以供應鏈形式出現，也難以直接投射出能源安全的情境。
3. 除了指標的建構與相對水準的計算之外，未來可能必須進一步發展所未能源安全的絕對水準，如此才能針對能源的偏好與選擇等政策性因素，做出有效的回饋，使指標系統達成最大的效果。

(三) 能源安全的檢視標的與構面



- 全面性測度衡量能源安全，應將前述特性對應檢視能源供應鏈的各個環節，並檢視特性間相互的影響。
- 針對供應鏈加已測度，尤其是社會環境構面中的可接受度是關鍵，亦即要就能源來源的安全程度進行測量，才能完整詮釋能源安全構面。

肆、台灣能源安全課題與因應

一、能源爭議衝擊台灣能源安全

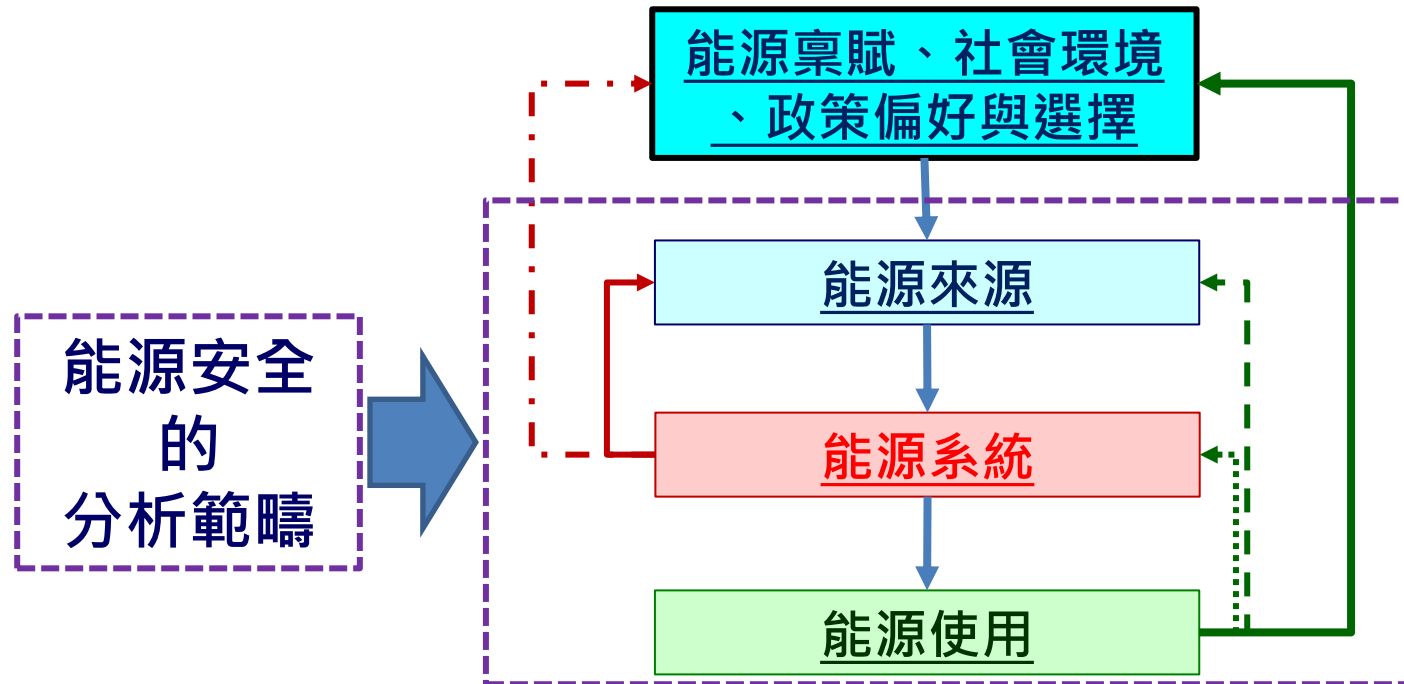
(一) 能源安全政策目標(106年核定版)

有效運用各類能源優勢，積極增加能源自主性與確保能源多元性，布建分散式能源，優化能源供給結構，推動能源先期管理及提升能源使用效率，以建構穩定、可負擔及低風險之能源供需體系。



(二)能源安全問題重重

- 穩定、可負擔及低風險之能源供需體系之下，套入能源供應鏈中，可以將台灣的能源安全目標詮釋為：**能源來源穩定、能源系統低風險與能源使用可負擔**。
- 可以就此三個面向觀察台灣能源的安全狀態，可以發現問題重重。



(三) 能源來源爭議，能源系統猶如建構在流沙之上

01 **能源來源**，台灣能源的種類與結構存在極大爭議，造成能源來源充滿不確定性，安全風險極高。



02 **能源系統**，由於能源來源風險極高，導致部分設施(如核電機組)無法使用，能源系統安全性降低，無法有效因應偶發性的事件衝擊。

03 **能源使用**，在國際能源價格處於低檔之下，台灣能源使用的經濟負擔風險較低；但因環境負擔上升，風險仍已升高。

(四)核能爭議—台灣能源安全困境的最大肇因

| 國家別 | | 美國 | 德國 | 英國 | 日本 | 韓國 | 台灣 |
|--------|----|------|------|------|------|------|------|
| 煤炭 | 蘊藏 | ★★★ | ★★★ | ★★★ | ★★★ | ★★★ | ★★★ |
| | 可及 | ★★★ | ★★★ | ★★★ | ★★★ | ★★★ | ★★★ |
| | 環境 | ★★ | ★★ | ★★ | ★★ | ★★ | ★★ |
| | 成本 | ★★★ | ★★★ | ★★★ | ★★ | ★★ | ★★ |
| 石油 | 蘊藏 | ★★ | ★ | ★★ | ★ | ★ | ★ |
| | 可及 | ★★★ | ★★★ | ★★★ | ★★ | ★★ | ★★ |
| | 環境 | ★★ | ★★ | ★★ | ★★ | ★★ | ★★ |
| | 成本 | ★★★ | ★★★ | ★★★ | ★★ | ★★ | ★★ |
| 天然氣 | 蘊藏 | ★★ | ★★ | ★★ | ★★ | ★★ | ★★ |
| | 可及 | ★★★ | ★★ | ★★★ | ★★ | ★★ | ★ |
| | 環境 | ★★★★ | ★★★★ | ★★★★ | ★★★★ | ★★★★ | ★★★★ |
| | 成本 | ★★★ | ★★ | ★★★ | ★ | ★ | ★ |
| 核能 | 蘊藏 | ★★ | ★★ | ★★ | ★★ | ★★ | ★★ |
| | 可及 | ★★★ | ★★★ | ★★★ | ★★★ | ★★★ | ★★ |
| | 環境 | ★★★★ | ★★ | ★★ | ★★★★ | ★★★★ | ★ |
| | 成本 | ★★ | ★★ | ★★ | ★★★ | ★★★ | ★★ |
| 新及再生能源 | 蘊藏 | ★★ | ★★ | ★ | ★ | ★ | ★ |
| | 可及 | ★★ | ★★ | ★★ | ★ | ★ | ★ |
| | 環境 | ★★★★ | ★★★★ | ★★★★ | ★★★★ | ★★★★ | ★★★★ |
| | 成本 | ★★ | ★★★ | ★★ | ★★ | ★ | ★ |

★★★表示安全性高 ★★表安全性中 ★表安全性低

資料來源：台經院，「能源穩定供應管理策略之可行性分析」期末報告簡報，97.01.04。

- 台經院2007年利用4A去檢視能源種類的風險，發現核能的可接受性低，環境風險極高影響整體能源安全。
- 2011年福島核災後，核能爭議進一步擴大，未能有效解決，使能源設施投資未能因應。
- 目前核四未能運轉，既有核能機組亦有停機的風險，能源安全陷入高風險。

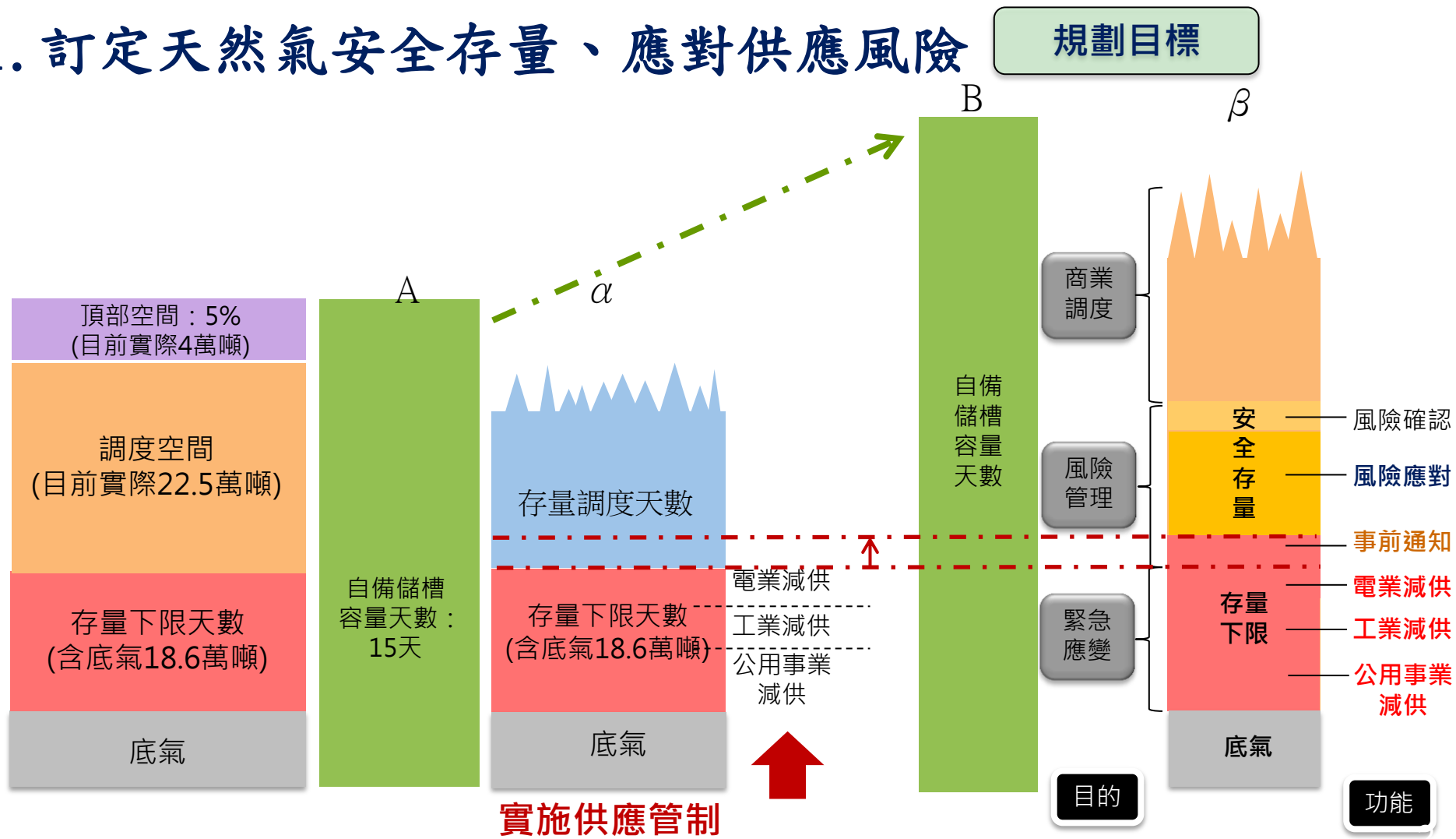
二、台灣能源安全應對措施

(一) 透過法制來弭平能源爭議，穩定能源來源

1. 應對能源來源風險，主要在於四個措施，即提高自主能源、多元化能源種類、分散進口來源與降低能源來源爭議。
2. 發展再生能源、分散進口來源與能源種類多元化，都是行之有年、耳熟能詳的政策措施。
3. 但就台灣的能源情勢，唯有降低能源爭議，才能使能源來源得以穩定，正是台灣目前亟待解決的能源安全議題。
4. 要消除爭議，除了透過溝通達成共識之外，更為重要的是要建構完整法制的做法，使能源來源可以穩定下來，才能維護的能源來源，甚至是能源系統的安全。

(二) 強化應變機制、擴大基礎建設投資、提升能源系統安全程度

1. 訂定天然氣安全存量、應對供應風險



2. 擴大天然氣接收站與電廠投資

✦ 臺中接收站

- ◆ 目前年營運量：450萬噸
儲量：48萬公秉
- ◆ 擴建計畫：興建3座16萬公秉儲槽及相關設施，提升年營運量至**600萬噸**，預計**2018年12月**完工。



✦ 永安接收站

- ◆ 年營運量：950萬噸
儲量：69萬公秉
- ◆ 擴建計畫：2024完成儲槽117萬公秉，年營運量**1100萬噸**



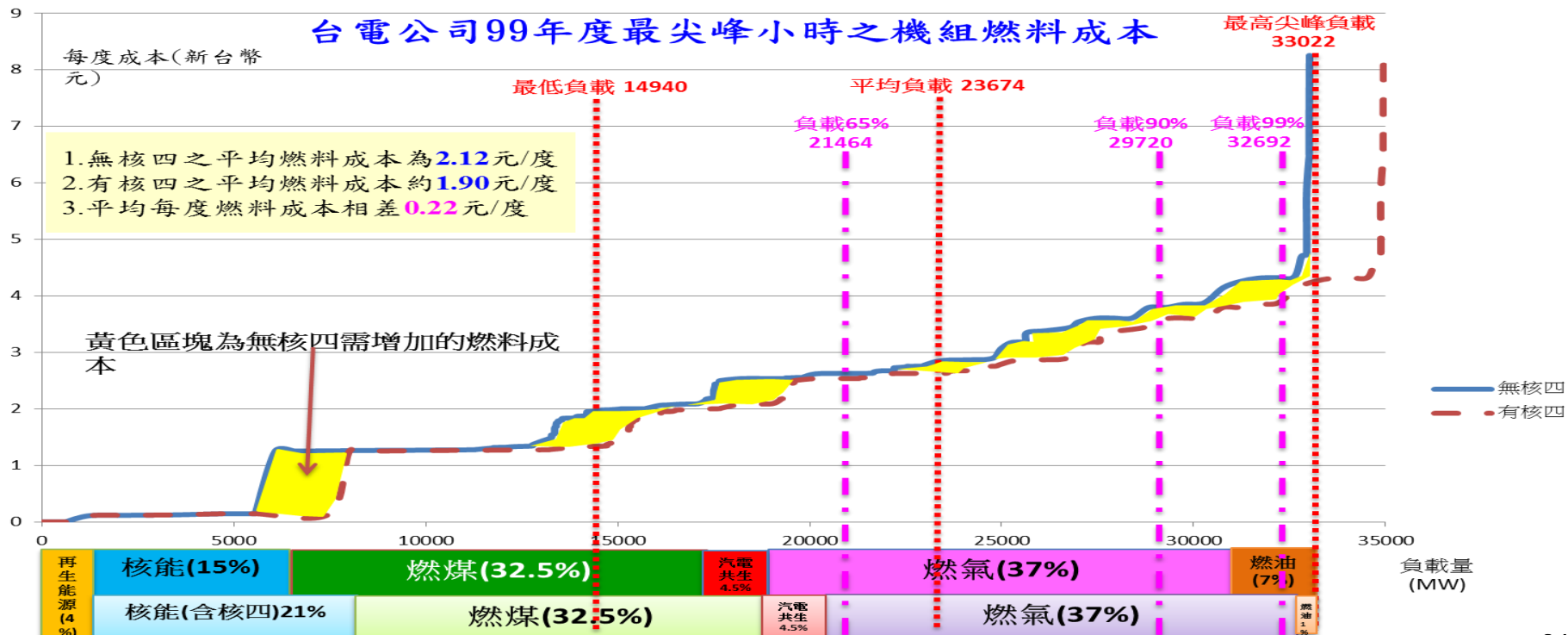
- ◆ 中油規劃第三接收站，2026年完成後之年營運量為**600萬噸**

- ◆ 台電規劃興建協和電廠接收站，獨力提供協和電廠轉型燃氣發電之用。

(三)合理價格結構、強化能源治理，提升能源負擔能力

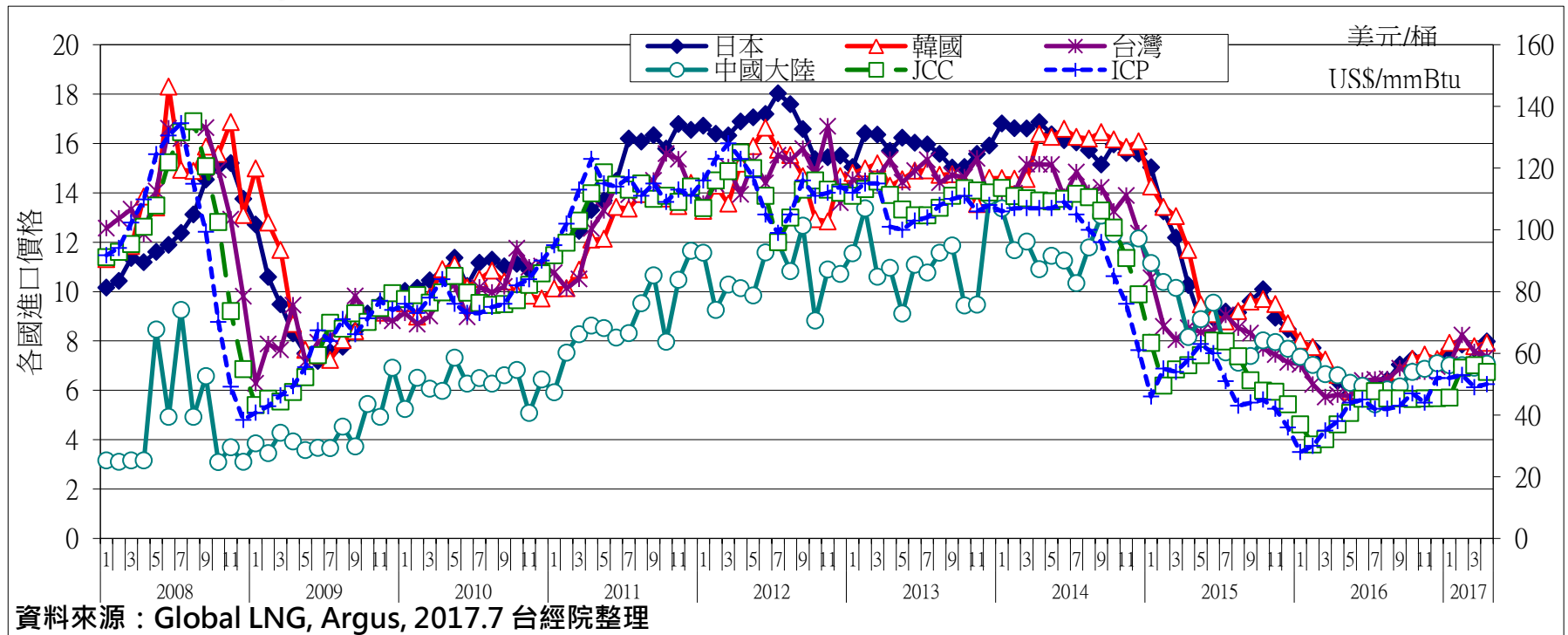
1.先進電價制度、妥善價格結構，提高可負擔能力

- 電力成本，受負載高低影響，價格設計應更多元，利用AMI讓電價制度由時間電價前進到負載電價，合理化能源價格結構。
- 能源貧窮是檢視能源負擔的重要指標，透過能源價格結構的合理調整可以降低能源平均價格提高，對於能源貧窮的衝擊。



2. 注意能源治理議題、避免能源成本不合理上升

- 台灣LNG、煤炭等進口價格較亞鄰國家低，提供台灣維持低廉能源價格的能量。
- 中油、台電皆為國營事業，能源治理受到嚴密監管，未來若市場結構有所轉變，必須有所因應，避免如日本LNG、煤炭進口成本較高之不合理現象。



註：JCC為日本進口石油平均價格，ICP為印尼指標油價，是亞太進口LNG的訂價指標

伍、結語

- 一、能源安全是國家安全非常重要的關鍵，世界各國皆視能源安全為能源政策中最為重要的核心議題，例如，美國的能源獨立、日本的能源自主、中國大陸的能源變革都是將追求能源安全視為最重要的能源政策。
- 二、台灣能源稟賦不足，與國際比較是屬相對脆弱的體系，但透過有效的能源安全管理措施，台灣能源供應一向安全穩定。但是，隨著環境變化，天然氣供應穩定與電價、排碳造成的壓力，是未來重要的能源安全課題。
- 三、能源政策也是公共政策的一環，世界上並沒有既便宜、又安全、也潔淨的能源，所以社會要共同去選擇成本、穩定、潔淨這三個面向都可以接受的能源組合。
- 四、能源安全就是在既有的能源組合之下，透過各種措施的推行，建構一個穩定、低風險、可負擔的能源體系。

報告完畢
敬請指教

