

# 澳洲能源轉型面臨的能源安全挑戰與策略

## —建立供給面與需求面兼顧的系統化與彈性化的新電力系統服務

周桂蘭

國家能源發展策略規劃及決策支援能量建構計畫

工業技術研究院 綠能與環境研究所

### 摘要

臺灣自 2016 年新政府上台後，國家能源政策朝向非核家園及低碳經濟發展。在臺灣能源轉型的過程中，遇到一些過渡性的轉型障礙，我國在核能發電限縮下，夏季面臨氣候變遷高溫異常的用電量激增，冬季面臨空氣品質惡化的紅害限煤降載發電，使得我國電力系統近年來頻頻出現備轉容量 6% 以下的限電警戒狀態。如何在低碳能源轉型過程中，建立減緩脆弱性的輔助措施，降低對國家能源安全的風險，是目前能源轉型國家面臨的重要挑戰。本研究整理國際能源總署(IEA)於 2018 年 2 月出版的澳洲能源政策檢視 (Energy policies of IEA countries Australia 2018 reviews) 研究報告，該報告主要針對澳洲在能源轉型過程中面臨的能源安全挑戰，提出解決策略分析。臺灣與澳洲二國能源貿易往來密切，因此，本研究透過澳洲因應能源轉型的能源安全策略探討，一方面評估澳洲的電力穩定供應策略是否可提供我國能源轉型的能源安全策略思維參考，另一方面分析澳洲的能源安全策略對我國進口能源風險的影響。

關鍵字：能源轉型、能源安全

## 壹、前言

能源轉型一般是指能源系統的長期結構改變。隨著溫室氣體減量的國際議題發酵，再生能源、高效率能源器具及電池儲能等技術成本持續下降，老舊燃煤電廠關閉，愈來愈多國家正在加速進行低碳能源轉型，尋求永續能源發展路徑。然而，在低碳能源轉型的過程中，常常引發既有的能源系統是否能穩定運轉的能源安全問題。目前許多國家政策焦點多集中在能源轉型目標達成的策略組合路徑，忽略探討這些目標達成的策略組合，有可能引發能源系統潛在的脆弱性風險。例如：2016 年 9 月南澳的黑電(Blackout)及 2017 年初的熱浪侵襲，讓澳洲在低碳能源轉型過程中，面臨電力系統安全出現警訊。

能源安全定義分歧且多面向，能源安全構面隨著環境與時間演變，目前並沒有一致性的共識達成廣泛可接受的定義，是一個高度內文相關的概念(context-dependent concept) [1]，也就是在特定的社會、經濟、資源秉賦等背景下，能源系統對非預期事件表現出易受傷害或損失的面向及程度也會有所不同。2018 年 3 月世界經濟論壇(World Economic Forum, WEF)發佈「促進有效的能源轉型」(Fostering Effective Energy Transition)研究報告，提出「有效的能源轉型」定義：在不損害能源三角(能源安全、經濟發展、環境永續)平衡的情況下，全球能源系統朝向包容(inclusive)、永續(sustainable)、可負擔(affordable)及安全(secure)的及時性轉型，這樣的能源轉型可以解決未來能源相關挑戰與問題，同時又可以創造商業及社會價值。

臺灣與澳洲的能源系統顯著不同，臺灣為能源匱乏的進口國而澳洲為能源豐富的出口國，然而，二國的目標皆朝向低碳的能源轉型，皆面臨電力系統不穩定與天然氣市場變動風險。臺灣自 2016 年新政府上台後，國家能源政策朝向非核家園及低碳經濟發展。在臺灣能源轉型的過程中，遇到一些過渡性的轉型障礙，我國在核能發電限縮下，夏季面臨氣候變遷高溫異常的用電量激增，冬季面臨空氣品質惡化的紅害限煤降載發電，使得我國電力系統近年來頻頻出現備轉容量 6% 以下的限電警戒狀態。

如何在低碳能源轉型過程中，建立減緩脆弱性的輔助措施，降低對國家能源安全的風險，是目前能源轉型國家面臨的重要挑戰。國際能源總署(IEA)於 2018 年 2 月出版的澳洲能源政策檢視 (Energy policies of IEA countries Australia 2018 reviews) 研究報告，該報告主要針對澳洲在能源轉型過程中面臨的能源安全挑戰，提出解決策略分析。臺灣與澳洲二國能源貿易往來密切，因此，本研究期望借鏡澳洲因應能源轉型的能源安全策略，一方面評估澳洲的電力穩定供應策略是否可提供我國能源轉型的能源安全策略思維參考，另一方面分析澳洲的能源安全策略對我國進口能源風險的影響。本研究分析的內容架構分成四大部分：(1)臺灣與澳洲能源系統比較與關聯性；(2)澳洲能源轉型過程中面臨的能源安全挑戰與策略；(3)臺灣能源轉型的能源安全策略盤點與借鏡分析；(4)結論與建議。

## 貳、臺灣與澳洲能源系統的比較與關聯性

### 一、臺灣與澳洲能源系統比較

#### (一)社會經濟條件

表 1 顯示澳洲土地面積是臺灣的 238 倍，但是，臺灣的總人口及人均 GDP(PPP\_2017)與澳洲相當。在 2017 年的產業結構占比方面，澳洲的服務業占比超過 70%，臺灣的服務業占比為 62%，略低於澳洲。臺灣的工業占比則高於澳洲。

表 1、臺灣與澳洲社會經濟條件比較(2017 年) [2]

國家	人口	GDP-per capita (PPP_2017)	產業結構占比			土地面積 (km <sup>2</sup> )
	(百萬人)	(美元/人)	農	工	服務	
臺灣	23.5	49,800	1.8%	36.0%	62.1%	32,260
澳洲	23.2	49,900	3.6%	26.1%	70.3%	7,682,300

## (二)能源系統指標比較

臺灣與澳洲在人口及人均 GDP 相當，但是能源系統指標顯示極大的能源使用差異性。表 2 顯示由於產業結構的差異，使得我國的能源密集度遠高於澳洲約 2.5 倍。然而，人均耗能量、平均每人 CO<sub>2</sub> 排放量、電力排放係數等能源指標，臺灣則優於澳洲，這意謂臺灣在節能及能源結構低碳化略優於澳洲。但是，在人均耗電量的指標顯示澳洲優於臺灣，此意謂臺灣在節約電力方面仍有改善的空間。

表 2、臺灣與澳洲能源系統指標比較[3][4]

國家	能源密集度 TPES/GDP (toe per thousand 2010 USD) (2016 年)	人均耗能量 TPES/population (toe per capita) (2016 年)	人均耗電量 Electricity consumption/popul ation (kWh per capita) (2016 年)	平均每人排 放量 (噸 CO <sub>2</sub> e/人) (2015 年)	電力排放 係數 (公斤/度) (2014 年)
臺灣	0.23	4.71	10117.93	10.7	0.52
澳洲	0.09	5.43	9990.8	15.8	0.73

## 二、臺灣對澳洲能源進口依存度

澳洲是一個能源資源豐富的國家，煤炭占全國總能源生產的 74.5%，天然氣占全國總能源生產的 18.8%，在全球能源出口市場扮演重要的角色，2015 年能源出口占澳洲全年總出口收益的 40% [6]。澳洲 2016 年的煤炭產量占全球 6.6%，排名全球第四位；天然氣產量占全球 2.6%，排名全球第七位 [5]。臺灣與澳洲主要的能源貿易為煤炭及液化天然氣進口。臺灣對澳洲的煤炭進口依存度自 2014 年開始超過 50%，圖 1 顯示過去十年澳洲一直是臺灣煤炭的主要進口來源國。

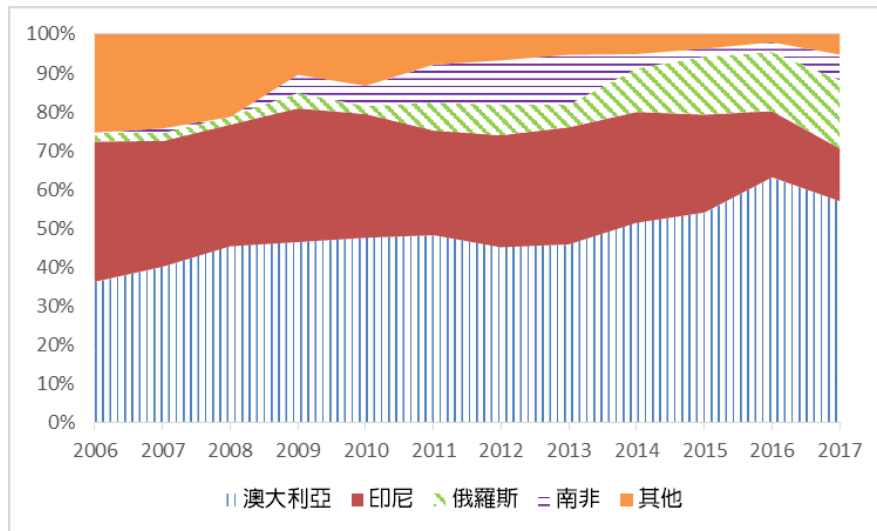


圖 1、臺灣煤炭主要進口來源國[4]

圖 2 顯示臺灣自澳洲進口液化天然氣的占比不高，平均進口依存度大約 2% 左右，但是，2017 年我國自澳洲進口的液化天然氣占比突然跳升至 6.1%，同時也增加來自俄羅斯的液化天然氣來源占比(10%)，相對來自卡達的液化天然氣占比過去近 50% 的進口依存度下降至 30.8%，此意謂我國的液化天然氣進口來源逐漸朝向多元化，以分散液化天然氣進口集中度風險。

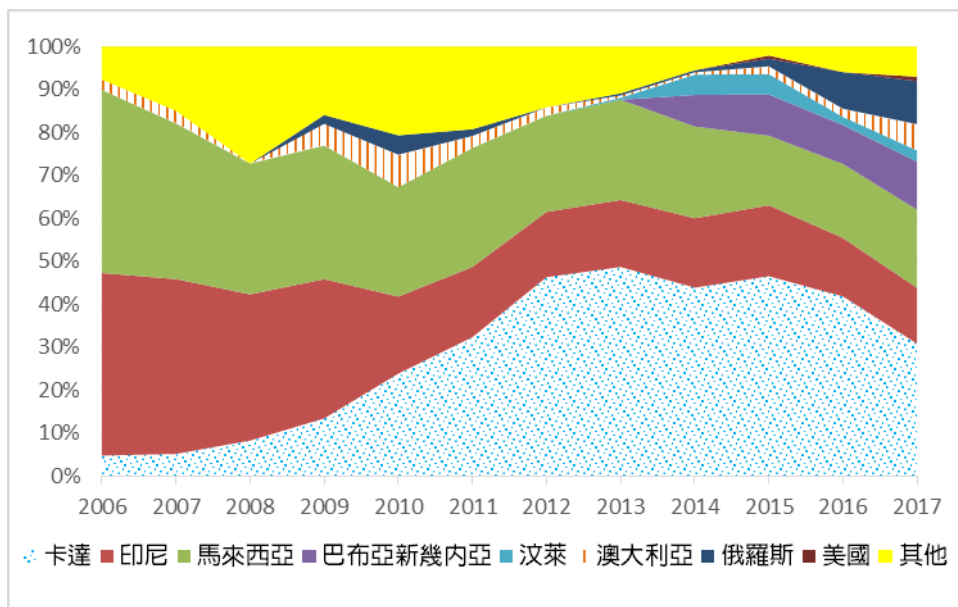


圖 2、臺灣液化天然氣主要進口來源國[4]

## 參、澳洲能源轉型過程中面臨的能源安全挑戰與策略

國際能源總署(IEA)於 2018 年 2 月出版澳洲能源政策檢視 (Energy policies of IEA countries Australia 2018 reviews)，內容主要針對澳洲在能源轉型過程中面臨的能源安全挑戰及策略分析。雖然，臺灣與澳洲的能源系統顯著不同，臺灣為能源匱乏的進口國而澳洲為能源豐富的出口國，但是，二國皆朝向低碳能源轉型的目標前進，同時也面臨電力系統不穩定與天然氣市場變動風險。因此，本研究針對澳洲在能源轉型過程面臨的能源安全問題及因應策略，整理如下，提供臺灣能源轉型的能源安全策略參考，包括二個重要的議題：一是維護電力穩定供應安全；二是天然氣在低碳電力轉型過程中的角色。

### 一、澳洲能源轉型目標及改革內容

澳洲聯邦政府根據 2015 年出版的能源白皮書進行能源改革，設定重要的能源轉型目標：

- (1) 國家能源生產力規劃(National Energy Productivity Plan, NEPP)設定 2030 年相對於基線 BAU，能源生產力改善 40%。
- (2) 國家溫室氣體排放目標:2030 年降低至 2005 年排放水準的 26~28%。
- (3) 2020 年再生能源目標設定來自大型再生能源發電量達到 33,000GWh。

為了達成上述的能源轉型目標，澳洲政府於 2015 年出版能源白皮書 (Energy White Paper, EWP) [6]，提出三大改革內容包括：(1) 提供消費者更多具競爭性及彈性費率結構的選擇，促使能源價格向下調整；(2)確保低成本的能源生產效率，刺激經濟成長；(3)促進創新投資及能源資源開發，以提高能源出口量。

## 二、能源安全挑戰及因應策略

澳洲是一個天然資源豐富的國家，過去數十年的能源安全一直很穩固。然而，在低碳能源轉型的壓力下，能源供應安全出現了新的挑戰。主要的挑戰及因應策略分述如下：

### (一) 電力系統安全

#### 1. 挑戰

- (1) 澳洲電網呈現放射狀及長距離傳輸網，電網間缺乏聯結性，一旦出現電網內傳輸中斷，包括發電機故障、連結容量不足、天然氣短缺或極端氣候，將導致區域電力被孤立的風險。
- (2) 澳洲國家電力市場的躉售可靠度標準很高，但是，各州的可靠度在近幾年卻常常無法達到標準，主要原因是老舊燃煤電廠除役比預期還快及變動性再生能源發電又遵循不一樣的可靠度標準。
- (3) 再生能源電力在國家電力市場(National Electricity Market, NEM)分散不均勻，2016年澳洲全國平均的變動型再生能源發電占比為7%，其中，南澳的再生能源電力的市場滲透率最高，達到48%，造成電力系統的韌性(resilience)面臨極大的挑戰。2016年9月南澳的黑電(Blackout)及2017年初的熱浪侵襲，意謂電力系統安全出現警訊。
- (4) 電力與天然氣的安全關聯性密切。

#### 2. 策略

- (1) 2017年6月由澳洲政府授權 Dr. Alan Finkel 首席科學家進行國家電力市場安全檢核並規劃維持國家電力市場安全與穩定的改革藍圖(“Finkle Review”)。
- (2) 面對高占比的再生能源發電，政府應該強化躉售及零售的電力市場，以保持電力供應穩定，主要措施包括：

- 升級技術及電網標準。
  - 電網基礎設施的協調規劃及適切的電網投資。
  - 建立一個更有彈性的新系統服務。
  - 提供區域平均佈局資訊並消弭變動再生能源發電的衝擊。
  - 系統化評估及強化電力系統的彈性，包括：既有的火力電廠容量彈性調度、需量反應、儲能、電網監控及管理。
- (3) 國家電力市場的能源安全需要各單位更大的協力合作，包括風險辨識及評估。澳洲電力市場營運商(Australian Energy Market Operator, AEMO)對能源展望與檢視愈來愈重要，應該要與澳洲電力市場委員會(Australian Energy Market Commission, AEMC)的可靠度審查小組(AEMC's Reliability Panel)合作。
- (4) 在能源轉型過程中確保電力可靠度及緊急應變機制，需要建立一個系統操作安全網(safety net)，包括輸配電營運規劃、需量反應及儲能。

## (二) 天然氣市場競爭程度

### 1. 挑戰

- (1) 燃煤電廠在未來幾年將陸續除役，預期天然氣將扮演能源轉型重要的角色。
- (2) 來自非傳統天然氣的相對生產成本提高。
- (3) 澳洲國內天然氣需求過去十年已經成長了 70%，特別是用於發電。
- (4) 澳洲是一個天然氣蘊藏豐富的國家，不管是傳統或非傳統的天然氣，皆有全球領先的專家進行相關開發。國內生產的天然氣主要供應出口合約，澳洲有三個天然氣市場(東、北、西三個市場沒有聯結)。隨著東部天然氣市場生產不足，液化天然氣出口持續上升，使得澳洲國內天然氣取得出現問題，天然氣價格上漲導致民生電價上升，這顯示澳洲國內天然氣市場競爭性不足及未來工業和住宅的天然



氣需求已經很難取得低成本天然氣合約。在這樣緊繃的天然氣市場下，任何突發的中斷供應或極端氣候事件，都需要有一個更健全的緊急應變機制。

## 2.策略

- (1) 澳洲政府已經查覺東岸天然氣市場的挑戰，2017年7月引進天然氣安全機制，作為風險評估及因應改善的工具，其中包括當市場導向的安全措施用盡後，才會開始限制 LNG 出口，以確保國內供應無慮。
- (2) 澳洲政府能源委員會已經著手進行全面性天然氣市場改革，朝向公開透明的天然氣定價及管線使用。

### (三)澳洲政府的能源政策管理

#### 1.挑戰

- (1) 澳洲聯邦政府的能源政策管理相當複雜而且片斷，主導政策方向及制度的聯邦層級機構經常變動。氣候政策因為不確定性而經常變動，如排放交易機制及碳稅，其中，碳稅在2014年由潔淨能源法案(Clean Energy Legislation Act)中止實施。
- (2) 各州(states)及領地(territories)有各自的再生能源及能源效率的政策執行，但是又要接受國家電力市場(NEM)的一般能源市場規則。澳洲共有三個地方層級的能源市場及網絡的監督管理機構：能源管制者(Energy Regulator)、能源市場委員會(Energy Market Commission)及能源市場經營者(Energy Market Operator)，這三個機構負責領域不但彼此之間重疊，也與聯邦機構(Clean Energy Regulator, Climate Change Authority)部分任務重疊，使得能源政策方向缺乏整體性。

#### 2.策略

- (1) 2017年能源安全局(Energy Security Board)提出建議設立一個合併機

制(combined scheme)\_國家能源保證(National Energy Guarantee)，要求電力零售業者要同時遵守減排及電力可靠度目標。

- (2) 基於低碳發展目標基礎下，設定一個國家層級，整合能源及氣候政策架構，清楚界定責任及角色，建立有秩序的能源轉型。
- (3) 因應國家能源安全風險，澳洲聯邦政府需要定期更新及出版國家能源安全評估(National Energy Security Assessment, NESAs)。
- (4) 政府應該持續的強化資料蒐集與報告，並在不同層級政府及機構間分享資料，以加強政策分析，及時有效的回應能源安全的疑慮。

#### 肆、臺灣能源轉型的能源安全策略盤點與借鏡分析

在全球低碳能源轉型的風潮中，高占比再生能源及擴大天然氣使用是目前低碳能源轉型目標達成的二個重要策略選項。臺灣與澳洲採取同樣的目標達成策略組合，同樣面臨能源轉型過程中的能源安全挑戰。本研究借鏡澳洲能源轉型的能源安全策略，進行臺灣能源轉型的能源安全策略盤點，提出我國未來面臨的能源安全挑戰及因應策略建議。

表 3 顯示依據 2018 年政府的能源轉型白皮書初稿規劃，在電力系統管理、天然氣供給管理及政府能源政策管理等三個能源安全管理構面來看，我國目前的能源安全策略規劃大致與澳洲的規劃方向一致，然而，澳洲有些執行面的措施可提供臺灣借鏡參考，例如：在電力系統管理方面，臺灣可強化“系統化評估電力系統的彈性”，也就是彈性調度模式不只是強調供給面的容量調度，同時也要考慮需求面的電力需求調度並搭配先進儲能與電網監控技術，才能創造出一個更有彈性的新電力系統服務。另外，可參考澳洲建立國家電力市場的能源安全風險辨識及評估，以確保能源轉型過程中的電力可靠度及緊急應變機制的落實。在政府能源政策管理方面，澳洲能源安全策略強調整合能源及氣候政策架構，清楚界定責任及角色，建立有秩序的能源轉型，並定期更新及出版國家能源安全評估報告，也是值得我國參考借鏡之處。

至於天然氣供給管理方面，由於臺灣是天然氣進口國，而澳洲是天然氣出口國，因此，二國的天然氣能源安全策略的執行方向不同，但是有一個共通點是二國的燃煤電廠在未來幾年將陸續除役，預期天然氣將扮演能源轉型重要的角色，因此，臺灣與澳洲在能源安全策略管理方面，皆強調天然氣國內使用的風險評估及因應改善機制。然而，有一點值得我國注意的是澳洲的能源安全策略對我國進口能源風險的影響，臺灣自澳洲進口液化天然氣在過去幾年的占比不高，平均進口依存度大約 2% 左右，但是，2017 年我國自澳洲進口的液化天然氣占比突然跳升至 6.1%，此意謂我國的液化天然氣進口來源逐漸朝向多元化，以分散液化天然氣進口過度集中在卡達的風險。但是，在澳洲政府的能源安全策略中，已經查覺澳洲東岸天然氣市場出現短缺的能源安全挑戰，澳洲於 2017 年 7 月引進天然氣安全機制，當市場導向的安全措施用盡後，仍然發生天然氣短缺的現象時，澳洲會開始限制 LNG 出口，以確保澳洲國內供應無慮。因此，我國若要提高來自澳洲的液化天然氣進口來源時，應密切注意澳洲國內天然氣的供應動態，降低因澳洲限制 LNG 出口對我國天然氣供應中斷的風險。

表 3、臺灣能源轉型的能源安全策略盤點與借鏡分析

能源安全挑戰	臺灣因應策略規劃現況[8]		澳洲因應策略參考借鏡[7]
電力系統管理	滾動檢討電源結構，確保電源供應充裕	依天然氣接收站設置期程，滾動調整燃氣機組完工期程，透過長期電源規劃管理機制確保新設機組如期商轉。	進行 <b>國家電力市場安全檢核</b> ，以規劃維持國家電力市場安全與穩定的改革藍圖。
	因應中長期再生能源高滲透性之穩定電力策略	透過佈建智慧電網，大區域分散式電源與儲能系統之建置，達成在地規劃在地發電之目標。 強化再生能源所需之天氣資源預測機制。檢討火力與抽蓄水力機組升降載的彈性調度模式。	升級電網技術、基礎設施的協調規劃，以 <b>建立一個更有彈性的新電力系統服務</b> 。 <b>提供區域平均佈局資訊</b> ，消弭變動再生能源發電的衝擊。 <b>系統化評估及強化電力系統的彈性</b> ，包括：既有的火力電廠容量彈性調度、需量反應、儲能、電網監控及管理。
	建構電力排碳係數管理機制	配合「溫室氣體減量及管理法」相關減量期程之規定、國家能源及減碳政策，滾動檢討電力排碳係數基準，以落實國家減碳目標。	設立一個 <b>合併機制(combined scheme)</b> _國家能源保證(National Energy Guarantee)， <b>要求電力零售業者要同時遵守減排及電力可靠度目標</b> 。
	——	——	<b>國家電力市場的能源安全風險辨識及評估</b> 。

能源安全挑戰	臺灣因應策略規劃現況[8]		澳洲因應策略參考借鏡[7]
天然氣供給管理	研訂天然氣安全存量規範	採漸進式規劃逐年提高業者應儲存之安全存量與應自備之儲槽容積。 推動天然氣事業法修正，明定天然氣安全存量天數及事業義務之管理規範。 研議天然氣供應相關風險指標，作為業者提升供氣（特別是發電所需之供氣）可靠度之參考。	引進天然氣安全機制，作為風險評估及因應改善的工具。
政府能源政策管理	協助地方政府掌握能源資料並建構評估工具	協助地方政府制定符合在地條件的能源策略目標及發展藍圖。	不同層級政府及機構間分享資料，以加強政策分析，及時有效的回應能源安全的疑慮。
	中央與地方能源治理法規盤點與檢討	撰擬縣市能源治理策略規劃指引，使地方政府按部就班提出能源願景、藍圖、行動方案及推動組織等，並進行資源整合，導入公私協力機制。	設定一個國家層級，整合能源及氣候政策架構，清楚界定責任及角色，建立有秩序的能源轉型。
	強化能源資訊公開及提升開放資料品質	檢討能源資訊公開、資料取得及資料品質有關之法規、機制及提出改善建議，以確保在公共利益與政府資訊公開原則下可取得能源相關資料。	定期更新及出版國家能源安全評估報告 (National Energy Security Assessment, NESA)。

## 伍、結論與建議

臺灣自2016年新政府上台後，積極進行能源轉型政策推動，在非核家園及2025年高占比再生能源及天然氣發電目標下，面臨了與澳洲同樣的電力系統穩定性的能源安全挑戰。然而，一個國家的能源安全需建立在是否有足夠的結構彈性空間，以因應突發性的需求增加或供給中斷。面對來自供給面及需求面的能源結構轉型風險，2017年我國開始制定未來國家五年的能源轉型白皮書，以確保我國能源轉型可以維持能源系統穩定運作下，達成能源轉型目標。

綜觀我國目前進行的能源轉型白皮書的規劃內容，在電力系統安全、天然氣供應穩定及政府能源政策管理皆有相關措施進行，然而，在制度的整合規劃可借鏡澳洲之處如下：

- (1) 進行全面性國家電力市場安全檢核並規劃維持國家電力市場安全與穩定的改革藍圖。
- (2) 建立供給面與需求面兼顧的系統化與彈性的新電力系統服務。
- (3) 建立系統操作安全網(safety net)，包括輸配電營運規劃、需量反應及儲能。
- (4) 基於低碳發展策略基礎下，設定一個國家層級，整合能源及氣候政策架構，清楚界定中央及地方政府的責任及角色，建立有秩序的能源轉型。
- (5) 定期出版國家能源安全評估(National Energy Security Assessment, NESA)。

此外，我國應注意澳洲的能源安全策略對我國進口能源風險的影響，澳洲於2017年7月引進天然氣安全機制，當市場導向的安全措施用盡後，仍然發生天然氣短缺的現象時，澳洲會開始限制LNG出口，以確保澳洲國內供應無虞。因此，我國若要提高來自澳洲的液化天然

氣進口來源時，應密切注意澳洲國內天然氣的供應動態，降低因澳洲限制LNG出口對我國天然氣供應中斷的風險。目前亞洲國家及美國積極促使天然氣市場價格透明化及提高流動性交易，未來我國應該密切關注國際天然氣現貨市場發展狀況，才能取得有利的天然氣採購成本，尋求便宜及多元的替代供氣來源，一方面有助於降低我國能源安全進口來源風險；另一方面則有助於減輕使用低碳電力的負擔程度，提升我國整體能源安全。

### 參考文獻

- [1] B.W.Ang, W.L. Choong, T.S. Ng., Energy security: Definitions, dimensions and indexes, Renewable and Sustainable Energy Reviews. 42, 2015. P.1077-1093
- [2] The World Factbook  
<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/>
- [3] IEA World Energy Statistics and Balances  
<https://www.oecd-ilibrary.org/energy/data/>
- [4] 能源局統計資料  
<https://www.moeaboe.gov.tw/>
- [5] BP Statistical Review of World Energy, 2017.  
<http://www.bp.com/statisticalreview>
- [6] Australian Department of Industry and Science, Energy White Paper, 2015.04.
- [7] IEA, Energy policies of IEA countries Australia 2018 reviews.  
<http://www.iea.org/newsroom/news/2018/february/iea-commends-australias-commitment-to-affordable-secure-and-clean-energy.html>
- [8] 能源轉型白皮書，經濟部能源局。  
<http://energywhitepaper.tw/>