

國際電網韌性發展趨勢對我國能源合作的啟示

趙文衡 台灣經濟研究院

在氣候變遷加劇下，異常災變頻繁發生，對電力基礎設施造成挑戰。近幾年來，全球多處均發生因為氣候災變或其他因素導致電力供應中斷，致使人民生命財產遭到損失。例如 2012 年珊迪颶風侵襲美國東部，導致紐約大規模的停電。日本 311 地震造成全日本電力供應出現嚴重問題。在我國，2017 年，亦因自然災害與人為疏失發生數起斷電或限電危機，包括颱風吹垮和平電廠鐵塔與 815 的大潭電廠斷電事件等，除此之外，今（2018）年全台尚發生數起跳電事件，威脅各地區的供電穩定。這些事件促使我國不得不認真思考如何防止與因應電力中斷問題。

由於整體電力系統龐大，包括發電、輸配電與儲能等環節。本文選擇與輸配電相關的電網韌性作為探討標的。一般而言，電網在電力系統中，脆弱性較高，因電網損壞而造成斷電的情形較為普遍。本文將藉由瞭解國際間強化電網韌性的作法，結合我國特殊條件，提出可與其他國家合作方向與建議。

一、導致電力中斷因素與因應對策

電力是經濟發展的命脈，攸關國計民生。然而電力系統欲維持正常運作而不中斷相當不易。尤其對電網而言，不但距離長，且多數暴露在自然環境中，易受各種環境因素的影響。近來更受到極端氣候的衝擊，增加其維運的難度。本部分將探討導致電力中斷的因素以及相關的提升電網韌性的策略。

(一) 導致電力中斷因素

導致電力中斷的因素大致可區分為人為設備因素及自然因素兩類。人為設備因素包括實體與網路攻擊事件、人為疏忽、設備老舊與

故障等，其中設備老舊所導致的電力中斷亦可能與自然因素有關，原因是老舊的設備易受到自然災害的摧毀。

在自然因素方面，主要是源於氣候變遷所造成自然災害使電力供應中斷，可區分為五類因素：¹

- 極端氣候事件：例如颶(颶)風、土石流、海嘯、洪水、極端氣溫等事件影響能源生產與傳輸，導致供給中斷。
- 降雨量變動：降雨量變動會影響能源的生產與運作。若降雨量不足，水力發電首先受到限制。生質能、一些太陽能發電以及熱能發電(核能或化石燃料)的生產或運作過程亦需用到大量的水。另一方面，過多的降雨將會對電力基礎建設造成損害。
- 不尋常的季節溫度：氣溫變動將會改變人們對電力的需求型態。夏季氣溫增高將會增加對使用冷氣的電力需求，過高的尖峰負載則需額外的電力產出，亦可能導致電力過載而使電力中斷。
- 上升的海平面：海平面上升將影響海岸周邊或離岸的電力基礎設施。如果導因於天然災害則影響更大。
- 其他自然因素：例如地震、火山爆發、雷擊、磁爆等也會導致電力供應中斷。

上述各項自然及人為設備因素對電力供給產生的影響不容忽視，尤其是由氣候導致的電力中斷。以美國為例，氣候相關的因素所引起的電力中斷時數高於其他設備與人為因素甚多，對於經濟所造成的損失每年高達 250 億至 700 億美元。其中電網設備對於颶(颶)風、洪水等極端氣候的脆弱性很高。颶(颶)風不但會吹倒電塔造成大規模停電，

¹ 請參考“ Making the energy sector more resilient to climate change”, https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/COP21_Resilience_Brochure.pdf

尚有可能因樹木倒塌而損害配電系統。洪水除了會直接衝擊位於地面的變電設備與低電壓開關外，若產生土石流，尚會造成高壓電塔的損毀或傾倒。對臺灣而言，地震是造成電力中斷的另一個重要的自然因素。在地震後或地震期間，電力系統經常因地層搖晃及後續的土壤液化所導致的損害而中斷。一般而言，地震對於配電系統、傳輸電塔以及位於不穩地層的變電設備影響較大。此外，極端高溫將使電力負載上升，也會對整個電力系統產生壓力。

在人為設備方面，目前較受重視的主要有網路攻擊及設備老舊所導致的電力中斷。一般認為，未來網路攻擊具有潛在嚴重性，需加以謹慎防範。網絡威脅表示電網中存在漏洞，可歸類為無意或故意。前者包括在升級軟體或維護時不慎導致電力中斷；後者包括個人或團體的蓄意攻擊。在設備老舊方面，主要是由於設備的功能因時間而逐漸退化，若退化至接近設計的極限將導致運轉中斷。多數輸配線上故障所導致的電力中斷通常是暫時的，但若是輸配線受到實體損害則無法快速恢復。

（二）提升電網韌性策略

電網基礎建設為國家電力供應的核心，基礎建設不足或脆弱性高，將會阻礙國家的電力供應，進而影響產業發展與人民生計。尤其是目前在氣候變遷加劇下，異常災變頻繁發生，對各國電力穩定供給造成威脅。一般而言，欲因應電網運作受到阻礙而導致的電力中斷，必須提升電網韌性。根據美國能源部的定義，所謂韌性為「預測、準備及適應條件變化，並抵擋、回應與迅速由電力中斷中復原的能力」。

目前各國提升電網基礎設施的韌性作法主要是從堅固性(Robustness)、資源豐富性(Resourcefulness)及回復力(Recovery)三個管道著手。在推動三種作法前，各國多必須先做好風險評估、預防及管理的規劃，包括蒐集天氣資訊、進行脆弱性評估、擬訂調適策略與計畫，並且訓練人員監測等。

1. **堅固性**：提升電網設備的堅固性可防止在緊急事件中受到損害。主要措施為制訂基礎設施的安全與效率標準、強化電塔與其他電網設備的更新與選址。此外，增強對天然災害的防禦工事(例如增設防波堤)、促進電網設備的周邊的維生基礎建設等亦能增加堅固性。其中，配電網位於電力系統末端，相對於主網更為脆弱，應優先提高現有配電網設計與建設標準，更新老舊設備作為首務。
2. **資源豐富性**：在緊急事件發生時，若電力設備受到損害，最要緊的是防止由損害導致電力中斷或盡可能縮小停電範圍。此需根據災害資訊和現有電網狀態，調整配電網運行方式，保持配電網持續供電的調控方式。要達此目的，需具有足夠且多種可用資源來防止電力中斷，包括充足的備用電力與輸配電容量、儲能設備與分散式的電網(微電網)。微電網與分散式電網提高系統的電網與電力餘裕與備用空間，且不受大規模事件的影響，當主電網供應中斷時，可持續運作供電，並可成為一種電網資源。隨著微電網容量增加，微電網可以在電網中扮演「虛擬饋線」(virtual feeder)的作用，有利於系統因應與回復，故採用分散式電網可以提升電網的韌性。
3. **回復力**：恢復措施是在電力中斷事件結束後，電網逐步恢復供電，使其盡快接近或者達到災前正常狀態的調控方式。主要措施為建設智慧電網。智慧型電網可以因應各式各樣的從外界傳入的干擾和攻擊，比傳統電網更有韌性，同時也能快速恢復供電。智慧電網技術是實現電網韌性的重要手段，不但具有協助事件發生後的回復，同時在事件發生前的預警與監測，以及事件發生中的電力調度，在各階段均可有效應對災害。除了智慧電網外，還需事先擬訂回復計畫，建立災後重建的能力，並從事跨國支援機制的合作。

二、 主要國家電網韌性政策

在主要先進國家中，面臨與我國相似情況，頻繁遭受天然災害襲擊而導致電力供應中斷，並已作出積極回應且達成相當成果的為美國

與日本。歐洲國家電網技術雖然先進，但無嚴重天然災害襲擊，使其電網技術主要注重在維持再生能源導入後的穩定性，而較少強調電網的防災韌性。

(一)美國

2012年，珊迪颶風橫掃美國紐約市及東岸周邊地區，導致800萬人口無電可用。2017年，艾瑪颶風侵襲佛羅里達州使得佛州陷入黑暗，創下580萬戶斷電的紀錄。惡劣的天氣和自然災害時常給美國電力供應帶來嚴重影響，陳舊電網更使得美國在保障供電可靠性上面臨巨大挑戰。美國70%的輸電線路和電力變壓器運行年限在25年以上，60%的斷路器運行年限超過30年。由於輸電投資不足，跨州、跨區電網聯繫薄弱，造成了輸電瓶頸，使擁有廉價電的州無法送至電力缺乏的州，所以美國亟須建設新的輸電線路。

1.基本政策

美國近期的電網韌性政策主要啟始於歐巴馬政府的兩項重要的指令與計畫。一為第21號總統政策指令，另一為氣候變遷行動計畫。2013年2月，白宮發布關於關鍵基礎設施安全與韌性的政策指令，將美國對於關鍵基礎建設的重點從免受恐怖主義侵害提升至抵禦所有危害，包括自然災害、恐怖主義和網絡事件等。指令中確認16個關鍵基礎設施部門，其中包括能源部門的電網基礎設施，並指定能源部為能源部門的主要負責機構。

根據第21號總統政策指令，美國政府更新了國家基礎設施保護計畫，將安全與韌性列為聯邦關鍵基礎設施規劃的主要目標，並且對每個關鍵基礎設施部門設定一組廣泛的國家目標，指示每個負責機構據此更新其特定部門的計畫。能源部擬定的能源部門特別計畫，指出三項提升電網安全與韌性的優先工作，主要是針對私部門的因應能力的提升：

- 發展與部署相關的工具與技術，以提升對潛在電力中斷的認識
- 計畫與演練對電力中斷事件的整合因應
- 確認政府與產業間對威脅性資訊能作充分的溝通

另一方面，2013年6月，歐巴馬提出美國氣候行動計畫，在該計畫的三個支柱的第二項為因應氣候變遷的影響。在此之下羅列數項關於氣候韌性與準備的目標，包括支持地區氣候韌性的投資、提升抵禦能力以減少對自然災害的脆弱性、提升自然防禦極端天氣的方法以保護美國經濟和自然資源、提供工具包和氣候數據以協助地方和私營部門所需的氣候準備工具和資訊等。

2. 電網現代化倡議

根據上述兩項計畫與指令，能源部提出一項主計畫，電網現代化倡議(Grid Modernization Initiative, GMI)，此為一項全面提升美國電網品質並強化電網韌性的計畫。計畫範圍廣泛，主要目標在達成電網的韌性、可靠性、安全、可負擔、彈性與永續性等六項，聚焦於發展新的電網建構概念、工具與技術，以測量、分析、預測、保護及控制未來電網。整個計畫分為六大部分：1.儀器與整合系統測試；2.傳感與測量；3.系統運作、電流與控制；4.設計與計畫工具；5.安全與韌性；6.制度上支持。

在安全與韌性部分，主要達成的目標是：發展實體與網路安全的解決方案以促進電網的韌性；從事降低風險的影響評估；以及在危急時提供認知情勢的資訊以及支援。根據此一倡議，能源部尚發展各部分的多年期計畫，在安全與韌性共有五類計畫：

- (1) 促進辨識威脅與危險的能力：為促進電網設計者與運作者了解威脅與危險，將強化與其的溝通與連結，增加產業界的參與，並發展相關的感測、分析與測試工具。

- (2) 增加對威脅與危險的保護能力：為保護電網不受各種自然與人為的威脅危害，將訂立電網安全與韌性標準、提高電網零組件的強固性與韌性、發展韌性計畫的工具、建立電網韌性的監測系統。
- (3) 增加偵測潛在威脅與危險的能力：為提高檢測潛在威脅和危險的能力，能源部將促進資訊的獲取與交換、制訂基準運作概況以快速發現系統異常、透過資料分析早期快速偵測潛在威脅危險。
- (4) 促進因應事件的能力：為及時因應電力中斷，發展電力設備功能下降感知及調適系統、改善在因應流程中人的角色、以及促進網路安全因應。
- (5) 促進復原的能力：為了降低事件的損害並及時回復電力，發展先進的變電所與大型電力變壓器之設計與標準、促進變電所的復原計畫、先進的數據採集與監控系統(SCADA)及網絡復原、強化磁爆與電磁干擾的復原能力。

3.推動智慧電網

儘管智慧電網為電網現代重要部分，然而，美國智慧電網的推動卻早於電網現代化倡議。早在 2007 年的能源獨立安全法案(Energy Independence and Security Act)中即給予智慧電網立法支持。基於本法案，成立智慧電網諮詢委員會及聯邦智慧電網工作小組、制定智慧電網區域示範計畫、發展智慧電網互通性架構、制定智能電網投資成本聯邦配套資金。此外，尚推動「智慧電網投資補助」(Smart Grid Investment Grant, SGIG)與「智能電網示範計畫」(Smart Grid Demonstration Program, SGDP)，由能源部和產業界合作投入電網現代化、區域智慧電網示範及能源儲存示範計畫。²

在 2015 年的北美能源安全與基礎設施法案中，補助智慧電網用於新能源效率的科技，並要求能源部報告關於智慧電表的安全顧慮。

² 「美國智慧電網政策與近期發展」，<https://apecenergy.tier.org.tw/report/article1.php>

在 2017 年的能源分配示範法中，要求能源部建立補助智慧電網示範計畫，以及推廣建制智慧電網的技術，包括發電技術、需量反應、以及能源效率。

(二)日本政策

日本追求電網韌性主要是因 2011 年關東大地震，該地震使東京及東北電力公司的發電廠、變電所及輸配電線路遭受嚴重損害，尤其福島縣的第一與第二核能電廠機組跳脫，嚴重影響供電。除了地震外，日本的電力供應亦經常受颱風的威脅。例如，2017 年，泰利颱風侵襲日本沖繩及九州，造成多處電力中斷。這些因素都促使日本積極往電網韌性的方向邁進。

1.基本政策

(1)戰略能源計畫

日本傳統政策較重視災害預防，在災後因應方面則較為欠缺。2011 年發生的關東大地震與海嘯使日本許多地區長時間的停電。此一事件後，日本開始尋求強化災後的復原能力。2014 年 4 月，日本通過第四版戰略能源計畫，提出 3E+S 的目標。其中，防災減災的思路轉變，將工作重點從災害預防轉移到增強電網恢復力，增強災害抵禦，提高緊急回應的速度與效率，並且增加供電結構的彈性。

(2)國土韌性基本法

2013 年，日本制定國土韌性基本法，該法制定的目的是建立提升國家面對大型天然災害韌性的基本原則及政府部門間的分工，並規範中央政府、地方政府、企業與公民的責任。該法強調災害防治與調適的重要，並認為基於關東大地震的教訓，日本需要培養災後快速重建與復原的能力。該法鼓勵提出促進國土韌性的倡議，但需符合以下原則：

- 需降低大型天然災害的對人民生命與財產的損害
- 需避免國家社會的重要功能受到致命的毀損
- 需致力於快速的復原與重建
- 需在災後迅速建立國土韌性體系
- 需結合自助、互助、公共援助，但中央政府需扮演核心角色。

該法尚規定中央政府需建立「國土韌性基本計畫」，以促進各種關於國土韌性的措施，並作為其他國土韌性計畫的指導原則。根據此一規定，日本政府制定「國土韌性基本計畫」，明文規定脆弱性評估的方式，並劃分不同的 15 個領域，提出個別領域的政策與措施。在能源領域，主要的政策為—強化能源供應設施的災害回應能力，並強化區域間的互相協調。

2014 年，日本並制定「國土韌性行動計畫」，在電網方面，規定應根據對自然災害的壓力測試和確保災後迅速恢復功能，擬定相關提升電力傳輸站、電網及整體電力系統回應能力的政策措施。其次，對於建立在易受地震影響的電桿與電力設施，應加強防護並強化地下設施的安全。

2. 智慧防災城與微電網

在上述國土韌性計畫中，微電網的建立成為強化電網韌性的主要計畫。由 2011 年至 2017 年中央政府約提供 450 億日圓的補助於微電網建置上。目前估計已建立約 40 個微電網。³微電網的佈建通常與在生能源發展同步，因此，再生能源的發電、傳輸與儲存，已與日本的國土韌性緊密連結。在日本，重要的微電網建置通常為智慧防災城的一部分，以下即提出兩個重要智慧防災城案例：

³ “The Resilience Programme: Changing Japan’s grid”, <https://www.power-technology.com/features/resilience-programme-changing-japans-grid/>

(1)東松島智慧防災生態城

在 2011 年關東大地震後所建立的第一個微電網社區即是在東松島市的智慧防災生態城。東松島市位於日本東北方海岸，在大地震後受到嚴重損傷，海嘯幾乎使 65%的城市陷入洪水中，並導致 1130 人死亡。在國土韌性計畫的補助下，東松島市開始重建的工作，積極布建太陽能發電，並在城市中所有設施安裝智慧電表。目前整個城市具有 460kWh 的太陽能裝置容量，以及 480kWh 的電池儲存容量。如果主電網失效，東松島市的微電網可持續供電數小時，若專門供應醫院或避難所用電則可維持數日。目前，整座城市的再生能源裝置容量持續成長，伴隨著微電網的布建，已經可以滿足 35%的需求。計畫在 2026 年再生能源可以產生 120%的需求電力。東松島市可謂日本災後微電網的旗艦計畫，由於其成功經驗，增加微電網在日本的普及度。2017 年 8 月，日本內閣宣布增加 24%國土韌性計畫的經費，更多的城市將會效法東松島市的經驗，建立設有微電網的生態城。⁴

(2)蘆屋市太陽能島

在國土韌性計畫的支持下，兵庫縣填海造陸之蘆屋市著手建設智慧城市，初期建造由 117 棟智慧建築的太陽能儲能微電網，後擴大建構為區域能源配送管理系統。太陽能已為本區域提供 80%的用電需求。專用的電力配線直接在住家與微電網建立連結，並透過智慧系統配送電力。社區的用電需求可以達到自給自足，即使該地區在緊急情況時與主電網斷聯，專用配電線也可通過特定電路繼續供電。不但增加電網韌性，並且可使電費減少 20%。由於計畫的成功，蘆屋市太陽能島已成為日本智慧城市的模範。

3.智慧電網

日本電網原本即具備優良的穩定性和自我調適的特性，智慧電網

⁴ “The Resilience Programme: Changing Japan’s Grid”, <https://www.power-technology.com/features/resilience-programme-changing-japans-grid/>

在初期並沒有獲得足夠的重視。然而，關東大地震的發生衝擊日本的能源安全和能源效率。為了促進電網韌性、增進能源效率並納入再生能源，日本開始大力發展智慧電網。⁵

在 2011 年通過「能源供需安定行動計畫」中，即規劃 5 年內完成 70 萬戶高壓用戶與 6000 萬戶低壓用戶（約占 80%）的智慧電表建置，並於 2020 年全面導入⁶。同年，提出完整的「日本智慧電網」體系化概念，明確制定日本智慧電網發展的戰略目標和重點任務，由國家、區域和城鎮 3 個層面規劃體系架構。中央政府負責推動再生能源併網發電，強調構建能抵禦災害風險的堅強輸配電網絡，實現由集中式向分散式控制系統的轉變，並重視海外市場的開拓。在日本經濟產業省（METI）提出的日本電力改革的 4 個基本原則，其中一條即是構建需求面參與管理的下一代智慧電力系統。⁷目前，日本正積極智慧電表的布建，對於大型工業或商業用戶實施需量反應計畫，規劃擴大需量反應可用資源，並導入分時電價機制。截至 2017 年 3 月，智慧電表普及率達 35.3%。預計在 2024 年可以在全國裝設完成。

三、 國際組織相關準則發展

目前能源國際組織雖重視能源韌性，但主要是針對油氣供應中斷所應有的處置與防範。對於電力，能源國際組織較重視低度開發國家的電力可及性，並未重視電網韌性問題。在氣候變遷調適的討論中，電網韌性也僅是其中的一小部分，鮮少有專門的討論。本部分將選擇 APEC 與 IEA 作為探討標的，主要是因為 APEC 為我國所參與的最重要國際組織，且我國對 APEC 能源工作小組的參與十分積極，瞭解其在電網韌性的做法，有利於我國後續的參與。IEA 為國際間積極促進能源韌性的國際組織，亦對電網韌性曾提出相關的準則，可做為我國

⁵ 「日本智能電網的發展機制分析」，http://energy.ckcest.cn/upfile/zwpdf/日本智能电网的发展机制分析_陈志恒.pdf

⁶ 「日本智慧電網的發展現況」，<https://www.ansforce.com/blog/post/S1-p1012?sort=hot>

⁷ 「日本智能電網的發展機制分析」，http://energy.ckcest.cn/upfile/zwpdf/日本智能电网的发展机制分析_陈志恒.pdf

參考。

(一) APEC

APEC 過去主要針對油氣供應中斷探討能源緊急情勢的應變措施，近年來除了油氣供應外，也逐漸納入電力供應的議題。目前有關電網韌性的議題主要由能源工作組下的能源韌性任務小組負責。2015 年第 12 屆能源部長會議 (EMM12) 指示 APEC 能源工作組成立能源韌性任務小組(The Energy Resiliency Task Force, ERTF)，由美國與菲律賓共同領導，此任務小組的成立也獲得當年 APEC 領袖宣言之認可。能源韌性任務小組旨在促進會員體間在以下議題的討論：1.政策與法規；2.透過教育、訓練和研討會發展相關人力資源；3.能源韌性基礎建設之創新與技術發展；4.緊急情勢應變與因應計畫。在今(2017)年 4 月舉辦的第四次會議中，電網韌性也被確立為能源韌性任務小組未來的三大主要工作之一，由國際能源總署負責帶領發展。⁸

在能源韌性任務小組的架構下，APEC 發展兩項有關能源韌性與的準則，然而兩項均非與電網韌性直接相關，多與發電部門的韌性有關。「APEC 高品質電力基礎建設指導原則」(APEC Guideline for Quality Electric Power Infrastructure)主要針對火力發電廠的品質提升，該指導原則提出高品質電廠的六大要素：1.原始表現；2.穩定供給；3.順利停機與重啟的能力；4.環境與社會考量；5.安全性；6.生命週期成本。⁹

另一重要指導原則為發展「APEC 離網區域能源韌性指導方針」(Guidelines to Develop Energy Resiliency in APEC Off-Grid Areas)，針對政策與法規、機構安排、項目與計畫、融資、能水交織以及婦女角色等六大領域進行探討，並提出相關建議。該項指導原則著重一般

⁸ 「從颶風影響探討 APEC 區域電網韌性之發展」，

<https://apenergy.tier.org.tw/report/article38.php>

⁹ APEC Guideline for Quality Electric Power infrastructure”，

http://www.meti.go.jp/policy/trade_policy/apec/img/APEC_Guideline_for_Quality_Electric_Power_In_frastructure.pdf

的能源供給，而未特別強調電網韌性。報告評估氣候變遷的影響與風險，探討氣候能源模型系當地化，同時也列舉能源韌性規劃工具和可用來改善能源基礎建設的能源韌性的具體措施。在電力部分主要也是針對發電部門，包括能源應急方案、將韌性概念整合入現有及新建的能源設施等。¹⁰

由上述兩個重要的指導原則可知，APEC 目前在電力韌性上，主要係針對發電部門，對電網韌性著墨較少。但由 2017 年電網韌性確立為能源韌性任務小組未來的三大主要工作之一，可知儘管能源韌性任務小組尚未對電網韌性作深入探討，但未來將可見到越來越多的相關活動與準則。

(二) IEA

IEA 於 2015 年「強化能源部門因應氣候變遷的韌性」(Making the Energy Sector More Resilient to Climate Change)的報告中，提出能源韌性的準則。該報告主要仍是針對整體能源部門，但有多項準則也適用在電網韌性上。該報告提供一個全方位的因應方式，由氣候風險評估到調適措施均列出相關因應方式。與電網韌性相關的主要有：

1. 管理與技術措施：修剪與管理鄰近輸配電設備的樹木；輸配設備地下化；採用非木製及強化型電桿；將電力設備遷移至脆弱性較低的地區
2. 科技與結構性措施：強化海岸、離岸、與易淹水地區的基礎設施，以對抗洪水及海平面上升；應用微電網提升韌性；強化區域間的電力支援。
3. 訓練與教育：由政府領導的能力建構計畫培訓緊急事故因應小組並訓練人員資料處理與災害預測能力

¹⁰ “Guidelines to Develop Energy Resilience in APEC Off-grid Area”, <https://www.apec.org/-/media/APEC/Publications/2017/5/Guidelines-to-Develop-Energy-Resiliency-in-APEC-Off-Grid-Areas/TOC/Main-Report.pdf>

4. 強化回復力與資源豐富性：輸配電公司需備有緊急事故應變與復原計畫；運用智慧電表與自動開關加速由電力中斷中復原。
5. 政府的角色：政府可以提供氣候資訊、擬定調適策略與計畫、促進機構間的合作、能力建構，在緊急事件的各階段扮演整合性角色。
6. 法規與財務面的措施：制訂設計與安全標準、規劃審核設備的座落區域、提供經濟誘因、創新與研發

四、我國電網韌性政策

我國目前電力中斷的發生，自然與人為因素皆有。在自然因素方面，我國位處颱風與地震密集區域，每逢夏季常受颱風侵擾，加上近年受氣候變遷影響，水災與土石流威脅大增，電力系統因天災而運作中斷的情形愈加頻繁。2017年7月，尼莎颱風襲台，民營和平電廠輸電鐵塔倒塌，電力無法輸進台電電力系統，台灣電力供應瞬間減少130萬瓩，導致北台灣發生限電危機。在人為設備因素方面，人為操作不當，或者電塔長期鏽蝕、電力零件老化，也會造成供電危機。2018年發生的多次跳電，電纜與饋線老化即是主要原因。解決之道即是提高電網韌性，此對正在進行能源轉型與電力改革的我國而言，具有重大的意義。

我國的電網有三大特色，皆與設計電網韌性政策息息相關。首先，我國電力屬於孤島系統，電力中斷只有靠自己的力量復原，無法藉國外資源供給緊急電力。其次，台灣為島嶼地形，受氣候變遷影響較為嚴重，極端高溫與降雨的情況將日趨頻繁。第三，我國電網在區域上長期存在負載不均的現象，北部電力供給不足，需將中南部電力北送，增加輸電系統長度，導致脆弱度提高。

目前我國在提升電網韌性上有幾項重要作法。首先，政府於2012年8月通過「智慧電網總體規劃方案」，其中即包括與電網韌性息息相關的輸配電自動化與強化電網結構與管理。其次，政府於2016年

提出「推動強化配電線路防災韌性計畫」，主要針對電桿韌性從事研究改善。第三；台電由工程面增加電網的強固性。第四，在 2018 經歷幾次跳電事件後，經濟部要求台電提出五年「配電系統強固計畫」，台電提出的計畫包括加速汰換老舊設備與饋線、布建智慧電表與配電自動化等。經濟部要求強化人工智慧的運用，導入人工智慧自動隔離故障，以迅速恢復其他部分的運作。

五、對我國能源國際合作的啟示

(一)建議合作領域

1.微電網技術與智慧防災生態城的建構

以微電網為主的分散式電網其運作不會因為部分主電網環節發生故障即導致全台大停電的情形發生，從而改善我國因集中式電網所導致的脆弱度問題。目前我國的微電網的發展還在起步階段，儘管核研所首座的百瓩級的龍潭實驗場已併聯成功，但在技術上仍可精進。在實際應用上，我國目前僅在七美島及東吉嶼之離島微電網以及在福山國小設置防災型微電網。國際微電網技術發展迅速，我國可與相關國家在關鍵技術上進行合作，例如微電網電力系統技術與能源管理及智慧控制技術等。此外，由於微電網的建構可納入整體智慧防災生態城的一部分，我國亦可觀摩參考先進國家的關於智慧防災生態城的建構。

2.智慧電網

智慧電網不只是節能減碳與發展再生能源的利器，更是因應電力中斷與實現彈性電網的重要手段。日前，經濟部要求台電的五年「配電強韌計畫」導入人工智慧以自動隔離故障，即是智慧電網中的輸配電自動化的一部分。過去，政府多將智慧電網納入節能減碳的網絡內，未來，我國應更加強調智慧電網的在電力韌性上的功能，尤其是輸配電自動化。在此部分，截至 2016 年，台電已更換 22535 具自動化開

關，規劃於 2020 前將達 24000 具，滲透率將達 80% 以上。然而，在階層調度自動化、資料採集與監控系統(SCADA)與國際主流標準導入上，仍需持續精進，也提供在這些領域上的國際合作的空間。

(二)建議合作國家與國際組織

如上所言，美國與日本為主要先進國家中，與我國相似情況，且對提升能源韌性已具有相當的成果，可以做為我國效法的對象。故我國的合作對象國應以該兩國為主。此外，APEC 為我國積極參與的國際組織，其能源韌性小組正在進行電網韌性的合作，故 APEC 為我國在電網韌性中的主要的合作國際組織。

1.日本：微電網與防災生態城合作

日本在 2011 年關東大地震後，即致力於將智慧電網與微電網運用在提升電網韌性與防災救災上，因而成為國際間的領導國家之一。此一發展尚早於美國。美國雖然很早就發展微電網，但將微電網運用在提升電網韌性上尚需等到 2012 年的珊迪颶風。事實上，早在 2009 年，日本即在宮古島進行微電網實證計畫，並於 2010 年即成立智慧社區聯盟，在豐田市、橫濱市、京都市與北九州市均有示範計畫。在 2011 年後，微電網的發展重點轉向防災，設計數個防災生態城。我國可與日本進行在微電網上的技術合作，並觀摩日本防災生態城的建構。由於日本相關技術主要的發展機構為 NEDO，可強化與 NEDO 在此方面的合作。

2.美國：電網現代化與微電網合作

美國真正對電網韌性的重視是在 2012 年珊迪颶風侵美後，其電網現代化倡議即是在此後提出。美國的電網現代化事實上融合智慧電網的輸配電部分，也是在智慧電網的架構下，只是更強調電網韌性。由於美國電網現代化在中央政府的部分主要是從事技術研發，多數是由能源部成立的電網現代化實驗室聯盟負責。我國欲與美國從事電網

現代化的合作，可尋求與該聯盟進行研發合作。除此之外，美國也有相當先進的微電網發展。美國於 1999 年即建立全球第一個微電網技術示範場域，並在加州、俄亥俄州與夏威夷州陸續成立示範場域。惟在微電網上，美國通常是以地方為主導、中央最多提供技術支援，故與美國在微電網上的合作可中央與地方並行。

3.APEC：電網韌性

由上述可知，目前 APEC 在電網韌性的發展才剛在起步階段。2017 年能源韌性工作小組將電網韌性列為未來三大發展重點之一，由 IEA 負責帶領。我國可透過積極參與 APEC 能源韌性任務小組的計畫與會議，強化與其他會員體以及 IEA 在電網韌性領域的資訊交流與能力建構。特別是美國與日本兩大電網韌性先進國均為 APEC 會員國，可積極促成兩國在 APEC 中分享其電網韌性的經驗，或支持兩國提出電網韌性的相關計畫。

參考資料

1. “The Smart Grid: Status and Outlook”,
<https://fas.org/sgp/crs/misc/R45156.pdf>
2. “Resilience of the U.S. Electricity System: A Multi-Hazard Perspective”,
<https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/01/f34/Resilience%20of%20the%20U.S.%20Electricity%20System%20A%20Multi-Hazard%20Perspective.pdf>
3. “The Resilience Programme: Changing Japan’s Grid”,
<https://www.power-technology.com/features/resilience-programme-changing-japans-grid/>

4. “Lesson from Natural Disasters Spur New Microgrids in Japan”,
<https://microgridknowledge.com/microgrids-in-japan/>
5. “Making the energy sector more resilient to climate change”,
https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/COP21_Resilience_Brochure.pdf
6. “Resilience of the Energy Sector to Climate Change”,
<http://www.iea.org/topics/climatechange/subtopics/resilience/>
7. “Energy Security/Resiliency”,
https://energy.gov/sites/prod/files/2016/09/f33/campus_energy_security.pdf
8. “Federal Efforts to Enhance Grid Resilience”,
<https://www.gao.gov/assets/690/682270.pdf>
9. “About the Grid Modernization Initiative”,
<https://www.energy.gov/grid-modernization-initiative-0/about-grid-modernization-initiative>
10. “Grid Modernization Multi-year Program Plan”,
<https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/01/f28/Grid%20Modernization%20Multi-Year%20Program%20Plan.pdf>
11. “Basic Act for National Resilience Contributing to Preventing and Mitigating Disasters for Developing Resilience in the Lives of the Citizenry”,
https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kokudo_kyoujinka/pdf/khou1-2.pdf
12. “Lights out: The Risks of Climate and Natural Disaster Related Disruption to the Electric Grid”,
<http://www.indiaenvironmentportal.org.in/files/file/Lights%20out.pdf>

13. “APEC Guideline for Quality Electric Power infrastructure”,
http://www.meti.go.jp/policy/trade_policy/apec/img/APEC_Guideline_for_Quality_Electric_Power_Infrastructure.pdf
14. “Guidelines to Develop Energy Resilience in APEC Off-grid Area”,
<https://www.apec.org/-/media/APEC/Publications/2017/5/Guidelines-to-Develop-Energy-Resiliency-in-APEC-Off-Grid-Areas/TOC/Main-Report.pdf>
15. 「日本智能電網的發展機制分析」，
http://energy.ckcest.cn/upfile/zwpdf/日本智能电网的发展机制分析_陈志恒.pdf
16. 「日本智慧電網的發展現況」，
<https://www.ansforce.com/blog/post/S1-p1012?sort=hot>
17. 「美國智慧電網政策與近期發展」，
<https://apecenergy.tier.org.tw/report/article1.php>
18. 「彈性電網及其恢復力的基本概念與研究展望」，
<https://www.xueshu.com/dlxtzdh/201522/260454.html>
19. 「使電網服務中斷之氣候風險及氣候相關災害研究」，
<https://www.go-moea.tw/downloadmsg2.php?id=116>
20. 「智慧電網國際發展趨勢與台灣推動現況」，
<http://www.ee.ncu.edu.tw/~linfj/PDF/811.pdf>
21. 「各自為政的美國電網」，
<http://www.cec.org.cn/guojidianli/2014-03-28/119328.html>
22. 「打造具能源韌性的城市」，
<http://www.chinatimes.com/newspapers/20170716000144-260204>
23. 「低壓智慧電表推動計畫」，

<http://energywhitepaper.tw/upload/201711/151135385492268.pdf>

24. 「智慧電網國際發展趨勢與台灣推動現況」

<http://www.ee.ncu.edu.tw/~linfj/PDF/811.pdf>

25. 「以民眾安全為先 落實風災應變處置」，

<https://www.ey.gov.tw/Page/5A8A0CB5B41DA11E/82afb05a-c21b-42bb-89ea-c0f4278e6b40>

26. 「從颶風影響探討 APEC 區域電網韌性之發展」，

<https://apenergty.tier.org.tw/report/article38.php>

27. 「台電智慧電網未來規劃與運作」，[https://www.smart-](https://www.smart-grid.org.tw/userfiles/vip1/02)

[grid.org.tw/userfiles/vip1/02](https://www.smart-grid.org.tw/userfiles/vip1/02) 台電智慧電網未來規劃與運作_王金墩主任.pdf

28. 「微電網發展前景與技術剖析」，

https://km.twenergy.org.tw/Publication/thesis_down?id=78