

# 德州冬季風暴斷電事件對能源韌性國際合作的影響與我國因應對策

趙文衡 台灣經濟研究院

2月13-17日，北美地區受到冬季冰風暴的襲擊，幾乎大部分的美國地區均被冰雪覆蓋。位處美國南部的德州也受到暴風雪的猛烈襲擊。由於多重因素的作用使得德州成為此次風暴受害最嚴重的地區。向來炎熱的德州氣溫驟降至零下18度C，並引發大斷電，將近400萬人無電可用，同時暴風雪使得天然氣管線爆裂，市區供氣成為問題，部分地區供水也因管線結冰而中斷。同時，身為頁岩油氣生產重地的德州，也因此次風暴導致生產停頓，嚴重影響全球能源市場的供給。

德州冬季風暴對電力系統所造成的損害，堪稱極端氣候影響與因應的關鍵案例，預料將受到各國國際組織與國家的重視，也會影響我國在APEC參與及與美國的雙邊合作。本文將首先探討德州冬季風暴造成斷電的原因及因應過程，以及這些原因及過程相關經驗對國際能源韌性合作的啟示與影響，最後提出我國在國際合作的建議。

## 一、冬季風暴致使德州斷電的原因

一般認為，此次冰風暴是因為極圈的氣候變暖使噴射氣流(Jet Stream)減弱，降低其圈阻極地漩渦的功能，導致極地漩渦冷空氣向南外溢，<sup>1</sup>另一種說法是，北極上空的平流層突然變暖(Sudden Stratospheric Warming, SSW)，導致極地漩渦遭到干擾，而使冷空氣外溢。<sup>2</sup>不論哪種說法都與氣溫上升及極地漩渦遭到干擾有關。然而，儘管突然且劇烈，美國的許多州，甚至加拿大，均未如同德州般在電力供應上遭到如此巨大的損害。此次德州大斷電事件雖源於冬季風暴，

---

<sup>1</sup> “A Glimpse of America’s Future: Climate Change Means Trouble for Power Grids”,  
<https://www.nytimes.com/2021/02/16/climate/texas-power-grid-failures.html>

<sup>2</sup> “Media reaction: Texas ‘deep freeze’, power blackouts and the role of global warming”,  
<https://www.carbonbrief.org/media-reaction-texas-deep-freeze-power-blackouts-and-the-role-of-global-warming>

但真正導致其嚴重侵害電力系統多數是人為因素。

### (一)電力需求突然大幅上升

由於天氣酷熱，德州的用電尖峰一般在夏季，冬季出現嚴寒的情況相當少見。德州曾經在 2011 年和 2014 年也發生過寒潮來襲，電網運營商早就知道冬季的電力需求也有激增的可能。但此次的冬季風暴達到創紀錄的低溫，超過了所有預期的用電尖峰需求，並將電網推向了極限。<sup>3</sup>據估計德州的尖峰需求約為 67GW 左右。但在暴風雪初期，由於禦寒的需要，電力需求激增，早已超過電力負荷，在 2 月 15 日，實際需求超出「極端尖峰負載」情境約 45%，<sup>4</sup>許多家庭依賴老舊而無效率的電暖器取暖，因而消耗更多的電力。<sup>5</sup>

### (二)發電設施癱瘓

隨後，嚴重的暴風雪癱瘓了電力系統，導致總共 30GW 的煤電、天然氣發電、與核電癱瘓，16GW 的風力與其他再生能源發電無法運作<sup>6</sup>。有許多德州地方政治人物將缺電歸咎於風力發電。的確有許多風力渦輪機因凍結而無法運行，這是因為在德州的風力發電商沒有為風機裝上防凍設備。事實上，在緯度更高的明尼蘇達州和愛荷華州經常面對嚴寒天氣，因備有在冰凍條件下運行的風力發電設備，嚴寒來襲時風機仍可正常運行。德州風電商應是認為，在氣候炎熱的德州，並不需要花費額外費用裝設防冰措施。

儘管如此，真正導致德州大缺電並不是風機喪失功能，而是燃氣電廠的癱瘓。德州發電的主力是天然氣，2020 年占整體發電的 40%，風力發電僅占 23%，煤電占 18%，核電占 11%。<sup>7</sup>根據 ERCOT(Electric

---

<sup>3</sup> “A Glimpse of America’s Future: Climate Change Means Trouble for Power Grids”, <https://www.nytimes.com/2021/02/16/climate/texas-power-grid-failures.html>

<sup>4</sup> “The real story behind the Texas power outages”, <https://www.popsoci.com/story/environment/texas-power-outages/>

<sup>5</sup> “A Glimpse of America’s Future: Climate Change Means Troubles for Power Grids”,

<sup>6</sup> “Texas weather: Are frozen wind turbines to blame for power cuts?”, <https://www.bbc.com/news/world-56085733>

<sup>7</sup> “Why Is Texas Experiencing Power Outages?”, <https://www.wsj.com/articles/texas-weather-power-outage-11613425923>

Reliability Council of Texas)資料，天然氣、煤炭和核能系統的故障所導致的電力中斷，幾乎是再生能源的兩倍。<sup>8</sup>而離線最大的電力也是天然氣，主要是因為電廠設備無法在嚴寒中運行以及天然氣供應短缺所致。天然氣供應短缺的罪魁禍首是天然氣管道冰堵。身處亞熱帶地區的德州，缺乏預防控制天然氣冰堵的意識，未裝設管道溫濕度控制設備，也缺乏預防管道冰堵的監控措施，最終導致在寒潮中，天然氣管網中斷。<sup>9</sup>此外，核電廠水源系統因天寒而結凍，致使供水幫浦故障，核電廠停止發電運轉，也是缺電的重要原因。

### (三)獨立電網與監管

德州電力系統相對獨立，也是無法及時恢復供電的原因之一。美國本土大致分為三大電網系統管轄：東部聯合電網、西部聯合電網，以及獨立的德州電網。德州電網並未與其他電網連結，一旦電力出現故障，德州無法直接從東部或西部電網借電，這也就造成德州大面積停電，其他各州卻難以支援。德州擁有自己電網的主要目之一的是要避免聯邦能源管理委員會的管轄，而可由德州地方機構 ERCOT 直接監管。由於德州擁有豐富的化石能源與再生能源電力可以自給自足，因此獨立電網之前並未對德州造成不便，反而可以自己掌控電力發展，免去聯合法規的限制。但是，相對的，若真的遇到缺電，也無法得到他州的援助。

### (四)電力市場法規鬆綁

德州電力市場是一個自由化市場，州政府對電力市場大幅度的鬆綁法規，使得發電廠競相提供最低價格、提高效率並確保降低成本。這就是為什麼德州通常具有美國最低的電價的原因。1990 年代，德州決定去除電廠必須有一定數量的備用電力的規定，而讓市場力量

---

<sup>8</sup> “Media reaction: Texas ‘deep freeze’, power blackouts and the role of global warming”, <https://www.carbonbrief.org/media-reaction-texas-deep-freeze-power-blackouts-and-the-role-of-global-warming>

<sup>9</sup> 「全面解讀！專業解析！美國大停電根本原因！」，<http://www.nengyuanjie.net/article/46328.html>

決定電網的運作。<sup>10</sup> ERCOT 不能強迫電廠建立更多的安全容量，只能藉由調整激勵措施引導電廠設置。建立自由市場產生了一些副作用，為了追求低價，對電力基礎設施的投資很少。市場結構造成投資不足，導致電網設施老舊<sup>11</sup>，因而無法抵擋這場暴風雪的侵襲，同時也沒有更多的備用容量可供緊急調配。在此機制下，供應商也不會花費資源在提升能源韌性的基礎建設上。<sup>12</sup>

## 二、政府因應措施

### (一)聯邦層級

在聯邦層級，處理能源相關的緊急災難事是由能源部轄下的「網路安全、能源安全與緊急事故因應辦公室」(Office of Cybersecurity, Energy Security, and Emergency Response, CESER)負責。然而，由於德州電網不歸聯邦管轄，且為獨立電網，無法協調他州緊急供應，故 CESER 在整個危急期間只能採取以下四項措施：<sup>13</sup>

1. 結合產業、機構和州合作夥伴力量，提升相關人員與機構對情勢的掌握與認知(Situation Awareness)，並支持復原工作。
2. 每日與電力、石油和天然氣合作夥伴進行協調，並定期聯繫北美電力可靠性公司(North American Electric Reliability Corporation)。
3. 能源部電力市場處與客戶、可靠性協調人和電網平衡當局合作，

---

<sup>10</sup> “A Glimpse of America’s Future: Climate Change Means Trouble for Power Grids”,  
<https://www.nytimes.com/2021/02/16/climate/texas-power-grid-failures.html>

<sup>11</sup> “Media reaction: Texas ‘deep freeze’, power blackouts and the role of global warming”,  
<https://www.carbonbrief.org/media-reaction-texas-deep-freeze-power-blackouts-and-the-role-of-global-warming>

<sup>12</sup> “Media reaction: Texas ‘deep freeze’, power blackouts and the role of global warming”,  
<https://www.carbonbrief.org/media-reaction-texas-deep-freeze-power-blackouts-and-the-role-of-global-warming>

<sup>13</sup> “Extreme Cold & Winter Weather Update 1-6”,  
[https://www.energy.gov/sites/prod/files/2021/02/f82/TLP-WHITE\\_DOE%20Situation%20Update\\_Cold%20%20Winter%20Weather\\_%231.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2021/02/f82/TLP-WHITE_DOE%20Situation%20Update_Cold%20%20Winter%20Weather_%231.pdf)

以在其服務區域內提升可靠性。

4. 在 2 月 14 日，能源部收到 ERCOT 的正式請願書之後，代理能源部長根據《聯邦電力法》第 202(c)條發布緊急命令，授權 ERCOT 派發更多區域內的可用發電機組，以確保可靠性。這使 ERCOT 可以調度必要的發電機組，以滿足 2021 年 2 月 14 日至 19 日的電力需求，即使這些機組在二氧化硫、氮氧化物、汞、一氧化碳或廢水排放超出限值，都將予以豁免。

## (二)州層級

在 2011 年冬季風暴造成德州停電後，聯邦官員曾提出警告，德州電廠無法在嚴寒的情況下可靠的生產電力，並建議要求電廠強化因應極端氣候的措施以抵禦極端寒冷。隨後，德州議會進行相關的立法，但並未強制性要求電廠升級設備以因應極端低溫，電廠僅需「自願性」的增設這些措施。<sup>14</sup>大多數電廠並未將氣候適應力納入其計畫，導致州電廠對於嚴寒氣候仍處在一個毫無防備的狀態。

在此次災害中，ERCOT 是因應此次電力中斷的最重要單位，負責降低電力設備損害與維持電力正常運作，並防止因損害而導致的電力中斷或盡可能縮小停電範圍，以及在中斷事件發生後，儘快重新恢復供電。ERCOT 是一個非營利的非政府機構，受德州政府的公共事業委員會與州議會監管。作為一個獨立系統調度機構 ISO (Independent System Operator)，主要負責範圍內電網運行和管理競爭性電力批發市場。ERCOT 所轄區域覆蓋了德州 75%的面積和 90%的負荷，並管理著 2,400 萬德州用戶。<sup>15</sup>其董事會成員主要包括轄下每個分區的消費者、獨立成員與代表所組成。

在此次事件中，ERCOT 並未成功的防止電力中斷，主要原因是

---

<sup>14</sup> Decades of electricity disasters should prompt Texas to finally embrace energy efficiency, <https://www.dallasnews.com/opinion/commentary/2021/02/22/decades-of-electricity-disasters-should-prompt-texas-to-finally-embrace-energy-efficiency/>

<sup>15</sup> 「德州電業改革歷程」, <https://km.twenergy.org.tw/ReadFile/?p=KLBase&n=201612199454.pdf>

電廠與電網防凍措施不足、缺乏備用容量、以及不能歸責於 ERCOT 的天然氣供應短缺。在恢復供電上，由於德州是獨立電網，鄰近各州無法提供緊急支援。儘管如此，ERCOT 仍採取一些緊急措施，以儘可能恢復電網供電。

2 月 15 日，ERCOT 發布第三級能源緊急狀態警示(Energy Emergency Alert)，並指示電廠進行卸載與執行管制停電。2 月 17 日，ERCOT 宣稱已恢復 8GW 的電力，以每小時 1GW 的速度恢復。2 月 19 日，ERCOT 將警示狀態降為第一級。2 月 19 日早上，依然有部分地區停電，主要是風暴對電網造成損害、供電必須手動恢復，以及工廠設施自願性的離線等因素。<sup>16</sup>20 日早上，停電數已由先前的 4 百萬降低至 78000，備轉容量則達到可接受的範圍。ERCOT 開始與大型的工業用戶合作重啟電力。21 日，電力供應幾乎完全恢復。

州政府在此次事件中，除了解決州民的基本生存需求及急難救助外，幾乎完全依賴 ERCOT，無力對電力中斷事件提供即時協助。州政府僅在 2 月 17 日表示，將在 21 日前，禁止所有德州生產的天然氣運送出州界，<sup>17</sup>並且增加管線暖化工程的人力。州政府真正可做的部分主要是檢討制度與後續的改革。

首先，州政表示將大力整頓 ERCOT，州議會已著手對 ERCOT 進行調查，已經有 ERCOT 五位董事去職以示責任。據州長 Abbott 的說法，ERCOT 曾經向州政府保證德州電網對於冬季風暴已做好準備。同時，州政府將同步對數家電廠進行調查，也下令德州居民不會因為付不出電費帳單而遭到斷電。州政府與議會將合作進行電力部門的改革，以增加可用的電力，並保證不會再缺電。州長呼籲州議會制訂強制要求電廠配備防凍設施，並請州議會立法補助電廠去做這些必要的

---

<sup>16</sup> “Extreme Cold & Winter Weather Update 4”,  
[https://www.energy.gov/sites/prod/files/2021/02/f82/TLP-WHITE\\_DOE%20Situation%20Update\\_Cold%20%20Winter%20Weather\\_%234%20.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2021/02/f82/TLP-WHITE_DOE%20Situation%20Update_Cold%20%20Winter%20Weather_%234%20.pdf)

<sup>17</sup> “Media reaction: Texas ‘deep freeze’, power blackouts and the role of global warming”,  
<https://www.carbonbrief.org/media-reaction-texas-deep-freeze-power-blackouts-and-the-role-of-global-warming>

改變，同時州議會亦將優先立法進行電力基礎建設的強化。

在接下來的幾個月，州政府與議會將對停電事件進行調查。此次事件顯示，德州在增加電網韌性上的投入嚴重不足。強化電網韌性的三根支柱：堅固性(Robustness)、資源豐富性(Resourcefulness)及回復力(Recovery)，德州電網均未建立起來。專家對未來德州電網的建議包括增加備用容量、強化防凍設備、擴展德州與其他州之間的連接、鼓勵安裝電池儲能系統等。<sup>18</sup>除此之外，德州需要將其他可能的極端氣候一併納入考慮，例如颶風、地震、洪水、海嘯等，以此說來，一個堅固電網非常重要。事實上，有些專家建議，德州不應依靠集中的大型發電廠，而須發展分散型電網。<sup>19</sup>

### 三、對國際合作的影響

德州發生此一嚴重且不尋常的極端氣候事件，引起國際大量關注，在炎熱的德州竟然發生如此劇烈的冬季風暴，不但震撼全球，也提供全球因應極端氣候的一項重要警惕。此事件涉及氣候變遷(氣候調適)、能源安全、與能源韌性等國際間極度關切的議題，且其解決方案中有部分並非國家可獨立完成，尤其對面對相似情形的開發中國家更是如此。相關重要的國際組織勢必會對此事件的意義與教訓進行討論，尋找國際間因應的經驗與作法。

與此次事件最直接相關的議題就是能源韌性。能源韌性一直是IEA、APEC、G20等國際組織所重視的議題，由於疫情關係，目前較強調自疫情中恢復的韌性，但德州的冬季風暴將會使國際組織的焦點重新轉移到因應極端氣候相關的能源韌性上。尤其是如何改善上述造成大停電的人為因素及政府相關因應措施將會是討論的焦點。

在APEC，近年氣候變遷挑戰愈加頻繁，抗災變之能源措施成為

---

<sup>18</sup> Lessons from Texas Freeze: 5 Ways to Strengthen US Energy Resilience  
<https://www.wri.org/blog/2021/02/strengthening-us-energy-resilience-texas-storm>

<sup>19</sup> Texas' frozen power grid is a preview of climate change disasters to come  
<https://www.cbsnews.com/news/texas-power-outage-storm-climate-change/>

APEC 區域關注之焦點。APEC 於 2015 年第 12 屆能源部長會議上正式指示於 EWG 下成立能源韌性任務小組，負責能源韌性相關議題之研究發展。目前由美國及菲律賓主導之能源韌性任務小組已制定其權責範圍及行動方案，包含電網韌性、能水交織、強化基礎建設與能源取得四大主軸。EWG 主席亦表示將邀請緊急應變工作組參與能源工作組會議與能源韌性任務小組會議。<sup>20</sup>在經過德州風暴後，預料在本年度的 APEC 會議中，各國可能會聚焦極端氣候的相關議題。

另一個與德州風暴息息相關的議題為氣候變遷。儘管此次德州極端氣候事件是否源於人為引起的氣候變遷仍有爭論，但在目前的國際論壇中，極端氣候的確被視為氣候變遷下的一個子題，尤其是在極端氣候事件頻仍的情況下，因應措施的建立事實上與氣候調適議題高度重疊，因此預期此事件也會在國際氣候變遷論壇上引發關切與討論。

#### 四、對我國的啟示與因應

1. 預料 APEC 將因德州冬季風暴事件而提升對因應極端氣候能源韌性的重視，我國可研擬在 APEC 此領域的合作建議

近期在 APEC EWG 中，日本是引領能源韌性議題的主導國家，不但提出「APEC 能源韌性原則」，尚推動將能源韌性納入 APEC 能源效率與低碳子基金資助領域。美國在歷經德州冬季風暴事件後，預料亦會積極加入能源韌性的合作。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 在能源韌性領域的資訊交流與能力建構。特別是美國與日本兩個曾經遭受極端氣候侵襲的先進國家，我國可積極促成兩國在 APEC 中分享其能源韌性的經驗，或支持兩國提出能源韌性的相關計畫。

2. 能源韌性可能成為本年度臺美研討會的議題之一，我國可邀請美國處理本次事件的單位分享相關經驗

---

<sup>20</sup> 台經院，110 年度「強化 APEC 參與及雙邊與多邊能源國際合作之推動與研析」(3/3)計畫書。

在美國遭受德州冬季風暴此一令人意外的極端氣候事件後，許多國家會開始思考，類似的事件將來是否會發生在本國境內，因而亟需瞭解處理與因應方式。美國處理德州大停電的經驗值得各國參考借鏡。我國可藉臺美研討會的機會，邀請美國相關單位分享因應德州冬季風暴的經驗。若今年臺美研討會在 GCTF 架構下舉行，其他國家亦可獲取美國寶貴經驗，將可提高亞太國家對極端氣候的關注。

### 資料來源

1. “A Glimpse of America’s Future: Climate Change Means Trouble for Power Grids”, <https://www.nytimes.com/2021/02/16/climate/texas-power-grid-failures.html>
2. “Decades of electricity disasters should prompt Texas to finally embrace energy efficiency”, <https://www.dallasnews.com/opinion/commentary/2021/02/22/decades-of-electricity-disasters-should-prompt-texas-to-finally-embrace-energy-efficiency/>
3. “Extreme Cold & Winter Weather Update 1-6”, [https://www.energy.gov/sites/prod/files/2021/02/f82/TLP-WHITE\\_DOE%20Situation%20Update\\_Cold%20%20Winter%20Weather\\_%231.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2021/02/f82/TLP-WHITE_DOE%20Situation%20Update_Cold%20%20Winter%20Weather_%231.pdf)
4. “Lessons from Texas Freeze: 5 Ways to Strengthen US Energy Resilience”, <https://www.wri.org/blog/2021/02/strengthening-us-energy-resilience-texas-storm>
5. “Media reaction: Texas ‘deep freeze’, power blackouts and the role of global warming”, <https://www.carbonbrief.org/media-reaction-texas-deep-freeze-power-blackouts-and-the-role-of-global-warming>
6. “Texas' frozen power grid is a preview of climate change disasters to

- come”, <https://www.cbsnews.com/news/texas-power-outage-storm-climate-change/>
7. “Texas weather: Are frozen wind turbines to blame for power cuts?”, <https://www.bbc.com/news/world-56085733>
  8. “The real story behind the Texas power outages”, <https://www.popsci.com/story/environment/texas-power-outages/>
  9. “Why Is Texas Experiencing Power Outages?”, <https://www.wsj.com/articles/texas-weather-power-outage-11613425923>
  10. 「全面解讀！專業解析！美國大停電根本原因！」，  
<http://www.nengyuanjie.net/article/46328.html>
  11. 台經院，110 年度「強化 APEC 參與及雙邊與多邊能源國際合作之推動與研析」(3/3)計畫書
  12. 「德州電業改革歷程」，  
<https://km.twenergy.org.tw/ReadFile/?p=KLBase&n=201612199454.pdf>