

美國聯邦調適及災害減緩方案—支持社區電力韌性投資方案以因應極端天氣

一、前言

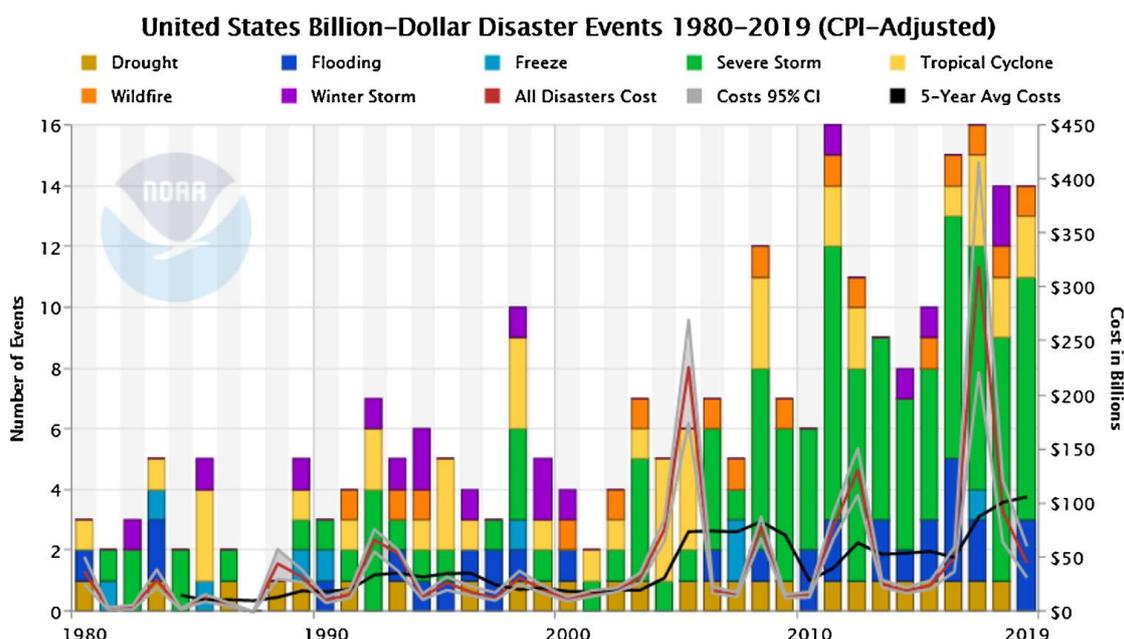
可負擔且潔淨的能源是聯合國 2030 年永續發展目標之一。然而，可負擔的、可靠的和具韌性的電力系統不僅對於國家的經濟和安全相當重要，就社區而言，電力系統更是國民基礎維生系統的關鍵。然而，電力系統容易受到許多極端天氣威脅的影響，包括颶風和嚴重暴風雨、洪水、海平面上升、極端熱和冷事件、乾旱和野火等等，這些因氣候變遷所帶來的威脅，可能導致電力系統基礎設施的損壞，而且代價昂貴。

Zamuda & Ressler (2020)分析美國聯邦政府支援社區對於電力韌性投資的作法，作為社區電力系統因應氣候變遷的參考。Zamuda & Ressler (2020) 介紹了美國聯邦撥款方案，這些方案可用於幫助社區減少電力系統的脆弱度並增強對極端天氣事件的回復能力。

二、背景

Zamuda & Ressler (2020)闡明兩項重要的背景資訊，首先是美國極端天氣事件所致的災害事件越趨頻繁，並且破壞了電力基礎設施；其次，現行電力系統的回復力已有韌性解決方案及相關創新技術，可供選擇。

首先是美國極端氣候和天氣所致的災害事件，根據美國國家海洋暨大氣總署(NOAA)統計，自 1980 年以來，美國共發生 258 次天氣災害，總損失成本達到或超過 10 億美元，而這些事件的累計直接成本超過 1.75 兆(萬億)美元，美國歷年氣候和天氣相關的災害事件類型與損失，如圖 1 所示。



資料來源：Zamuda & Ressler (2020)

圖 1、每年災損數十億美元與氣候和天氣有關的災害事件類型

在 2017 年期間，美國經歷了歷史性的天氣災害之年，共發生 16 次災損達十億美元以上的獨立災害事件，總損失成本超過 3,000 億美元。2019 年，美國發生了 14 次災損達十億美元以上的獨立災難，總事件發生數量排名第四，年度成本達 450 億美元略高於平均水平；2019 年的十億美元以上的災害包括：3 次內陸重大洪水、8 次嚴重風暴、2 次熱帶氣旋

和 1 次野火事件。2019 年也是連續第五年(2015-19 年)，美國受到 10 個或更多災損十億美元獨立災害事件衝擊。

極端天氣會嚴重破壞國家的電力系統，極端降水事件、颶風強度和洪水的增加以及極端高溫事件，乾旱和野火的增加等，對美國許多地區的電力資產和運營產生了不利影響。這些危害以及海平面上升和風暴潮(storm surge)，破壞了電力基礎設施並破壞了公用事業的營運。

斷電是極端天氣損害特別昂貴的原因，與天氣相關的停機成本，估計每年為 250 至 700 億美元；到本世紀末，隨著極端天氣災害的發生頻率和嚴重性將持續增加，全美國的破壞和恢復的費用預計也會增加。隨著美國各地極端天氣事件變得更加頻繁和激烈，國家需增加電力系統的韌性，以承受目前和預期的極端天氣事件。

其次，有關現行電力系統的回復力方面，Zamuda & Ressler (2020)指出，減緩(意指災害減緩)行動可以減少電力系統對極端天氣事件的脆弱性，而有效的韌性解決方案的成本和長期有效性各不相同，其中包括：(1)抬升變電站和系統控制室的高度；(2)為不能抬升高度的電廠和基礎設施修建防洪牆；(3)用能更好抵抗強風或野火的金屬、混凝土或複合材料桿取代木桿；(4)在易損害的電線桿上安裝拉線或其他結構支撐；(5)使用能更好抵抗強風、碎屑雜物和野火的材料來升級輸、配電線路；(6)關鍵電線地下化；(7)維護活動，例如：積極的植被管理。

電力系統的回復力融合了越來越多創新技術，例如智慧電錶和自動開關設備等，可以更快地從斷電中恢復，並採用能有效降低能源需求的措施。在停電期間，在主電網外形成孤島的社區可以選擇微電網及分散式發電和儲能技術。韌性選項的採用正在緩慢地進行，並且通常側重於災後的恢復和重建工作，而不是更具成本效益的預防方法，以避免或最大程度地減少損害和斷電。

三、聯邦方案的角色

儘管存在韌性解決方案，但是社區因為資金缺乏、極端事件的不確定性、決策的困難、電力系統與地區預算資金的競爭排擠效應及短期效益的觀點等，導致現階段社區地方層級難以投資於電力系統韌性建設的情形。Zamuda & Ressler (2020)認為這剛好是聯邦參與電力系統韌性建設的機會，聯邦資金可以幫助社區實施積極且具有成本效益的投資策略，以增強電力系統的基礎設施；透過為災前和災後耐災力投資提供資金，聯邦政府可以鼓勵改善電力系統基礎設施，而不僅僅是在災害發生後「重新點亮」社區。

(一)方案及職權分析

Zamuda & Ressler (2020)在此節概述了支持在災前和災後電力韌性方案中投資的關鍵聯邦方案，這包括與自然災害直接相關的方案，以及刺激基礎設施和社區更廣泛的回復力的融資機會，摘譯如表 1 所示；表 1 所描述的方案雖然具有

代表性，但並不全面，美國聯邦還有許多其他的籌資機制(例如稅收抵免、能源技術研究、開發和部署)可用於鼓勵對回復力的投資。

關於美國聯邦在災前和災後電力回復力解決方案方面的法源依據，Zamuda & Ressler (2020)指出，「斯塔福德法案(Stafford Act)」可能是支援備災、減災、因應和災後恢復的最重要的聯邦授權，該法案為聯邦災難因應和恢復活動提供了主要框架，並賦予聯邦緊急事務管理局(the Federal Emergency Management Agency, FEMA)負責協調聯邦因應活動的權力，並授權方案補充州和地方的因應與恢復工作；表 1 中源自「斯塔福德法案」的四個主要 FEMA 方案，使社區可以投資於電力部門的韌性建設。

災前減緩補助金方案(斯塔福德法案第 203 條)及其後繼者--建築抗災基礎設施和社區(Building Resilient Infrastructure and Communities, BRIC)方案，重點是災前減災。減災補助金方案(第 404 節)、公共援助方案(第 406 節)和公共援助方案的替代程序(第 428 節)著重於災後應變和災後恢復，只有在總統宣布重大災難後才能啟動。其中，BRIC 方案和替代程序是表 1 中最新添加的內容，是在修訂斯塔福德法案時，通過 2018 年災難恢復改革行動(the Disaster Recovery Reform Action, DRRA)和 2013 年珊迪颶風災後恢復法案後而訂定的方案。

(二)災前減緩/ BRIC 補助金方案(斯塔福德法案第 203 條)

由斯塔福德法案第 203 條授權的主要災前韌性措施方案

--災前減緩撥款方案（Pre-Disaster Mitigation, PDM）及其後繼項目 BRIC 方案是一項年度競爭性撥款方案，FEMA 對社區減輕潛在自然災害影響的方案和計畫予以撥款。目前，災前減緩撥款的資金需仰賴國會撥款，而 BRIC 方案的創建是為了擺脫這種被動式的災難支出，而轉向積極主動和研究支持的社區韌性計畫。BRIC 方案將透過救災基金(除重大災難支出外)獲得 6%的資金，這將使該方案獲得可靠的、指定的社區減緩方案資金。根據斯塔福德法案，公有公用事業(例如：州和市政公用事業)和一些非營利性私人事業(例如：公用事業合作社)都有資格獲得 PDM 資金。一般而言，單位組織只要在其區域內確定了潛在的自然災害危害區域，並顯示出利用公私合作夥伴關係減輕這些危害的能力，便具有資格。投資者擁有的公用事業(Investorowned utilities, IOUs)不是合格的贈款接受人，儘管他們可以從合格的一方獲得資金。

在 2019 年，PDM 為 PDM 計畫分配了超過 2.5 億美元，每年每個州和領地都會收到 57.5 萬元或年度撥款的 1%，並且大部分資金以競爭性方式分配給符合條件的申請人。

表 1 支援電力韌性投資關鍵聯邦方案案例

| 聯邦方案 | 資金機制/成本分擔 | 取決於 災害聲明 | 有資格的申請者/接受者 | 合格的因應措施案例 |
|-------------------------|---------------------------|-------------|--------------------|--|
| FEMA 災前減緩 (PDM) | 年度撥款/75%聯邦/25%非聯邦 | 否 | 州、部落、領地/地方政府 | 損壞和未損壞的基礎設施/減災規劃 |
| FEMA 建立韌性基礎設施和社區(BRIC) | 每年用於救災的資金的6%:75%聯邦/25%非聯邦 | 是 | 州、部落、領地/地方政府 | 損壞和未損壞的基礎設施/減災規劃/技術援助 |
| FEMA 災害減緩補助金 | 補充撥款/75%聯邦/25%非聯邦 | 是 | 州、部落、領地/地方政府 | 損壞和未損壞的基礎設施/減災規劃 |
| FEMA 公共援助 | 補充撥款/75%聯邦/25%非聯邦 | 是 | 州、部落、領地/地方政府、私人非營利 | 受損的基礎設施，包括能源資產 |
| 公共交通緊急救援方案 | 年度和補充撥款 | 是 | 公共交通營運商 | 與公共交通系統相關的損害 |
| 『小企業法』第 7B 節“災難貸款援助” | 低利息貸款 | 是 | 私人個體、非營利組織和小型企業 | 藉由改善電力來防止財產損失或經濟損失。 |
| 州能源方案、能源政策和節約法 | 無成本分擔 | 否 | 州、部落 | 先進能源方案，以實現能源安全、回復力和緊急準備 |
| 天氣化援助方案、能源節約與生產法 | 無成本分擔 | 否 | 州 | 支持對房屋效率進行能源評估並提高效率(例如，安裝隔熱材料，改善暖通空調系統以及更高效率的照明和電器) |
| 鄉村電力服務電力方案，1936 年鄉村電氣化法 | 無成本分擔 | 否 | 鄉村電力批發和零售供應商 | 發電、輸電和配電基礎設施 |

資料來源：摘譯自 Zamuda & Ressler (2020)

PDM 資金廣泛適用於電力業，它可被應用於為涉及電網(例如：發電、輸電和配電)和燃料(煉油廠/燃料加工、燃料存儲、管道、燃料分配、和海上石油平台等)。如果發電機保護關鍵設施且與減輕危害直接相關，則與發電機有關的計畫和發電機設備的購買即為合格的 PDM 方案活動。從電力相關資金的規模來看，截至 2017 年，FEMA 已為 488 多個發電機項目提供了超過 2.12 億美元的 PDM 資金。近年來，PDM 還資助了一些與地下配電線路有關的計畫，以減輕洪水氾濫所帶來的衝擊。

PDM 資金應用的案例，例如位於南卡羅來納醫藥大學校園的大學醫院和兒童醫院供電的關鍵發電機，最初位於海平面以下 13 英尺處，處於 100 年洪氾區之內。以 PDM 資金將現有七台發電機提升至海拔 23 英尺，並在更高的海拔高度建造新的能源工廠；幾年後，這些減災活動取得了成功，在 2015 年 Joaquin 颶風期間引發風暴潮，雖當時造成創紀錄的降雨，但並沒有造成電力中斷。

在 BRIC 方案方面，美國國會在 2018 年以 DRRA 第 1234 條進行了重大修改，而修訂了斯塔福德法案第 203 條，包括在災難發生前加大對減緩的投資。新的 FEMA 方案(即 BRIC)取代了現有的災前減緩(PDM)方案，以支持州、地方社區、部落和領地，因為它們開展了減緩計畫，降低了他們從災難和自然災害中面臨的風險。BRIC 與 PDM 方案在幾個方面有所不同，包括 BRIC 確定了明確的優先重點，這些重點聚焦

於關鍵生命線、支持建築法規、支持創新計畫以及促進共同承擔責任和建立夥伴關係；例如，一個創新計畫可以從一系列私營和公共部門的利益相關者那裡獲得多種資金來源或物質資源，或者除了降低風險的效益外，還可以為社區帶來多種收益。BRIC 還將透過提高資金上限和允許預先支付費用來支持大型計畫，從而支援能力建構活動、技術援助和更大的靈活性。FEMA 估計，BRIC 方案通常每年將獲得 3 至 5 億美元的資助，而在承擔巨大災難義務時，這筆款項的數額將大大增加。

Zamuda & Ressler (2020)指出了美國聯邦在支援備災、減災、因應和災後恢復等因應極端天氣事件的法源依據、法案修訂的演進與專責機構 FEMA，進而介紹先後所執行的 PDM 方案及 BRIC 方案，推動計畫方式由災後援助、災前補助，演進至 BRIC 的競爭性、優先重點式及創新性方案，以鼓勵州、部落、領地/地方政府規劃及推動調適及災害減緩相關計畫。

四、災害減緩撥款方案

Zamuda & Ressler (2020)針對各種災害減緩撥款補助之方案做說明，茲分別摘要於下：

(一) FEMA 災害減緩撥款方案

FEMA 的災害減緩撥款方案(Hazard Mitigation Grant Program, HMGP)已根據斯塔福德法案第 404 條的規定提供資

金，為社區因應未來的自然災害做好準備。與斯塔福德法案授權的其他災後方案一樣，HMGP 由國會撥款資助，在總統宣布災難後分發給州、地方、部落和領地的政府和私人非營利組織；

（二）公共援助(斯塔福德法第 406 條)

FEMA 的公共援助(Public Assistance, PA)永久性工作資金由斯塔福德法案第 406 條授權，並在總統宣布災難後向州、地方、部落和領地等之政府組織和私人非營利機構提供援助，這些機構提供大眾具有政府性質的基本服務。根據這些要求，公有公用事業以及一些私人非營利性公用事業(例如，農村公用事業合作社)都有資格獲得資助。投資者擁有的公用事業(Investor-owned utilities, IOU)將不具備直接獲得 PA 資助的資格，但是 IOU 可以從受贈人那裡獲得服務和支援的資金。PA 之資金只能用於已宣布災難的郡和受災直接破壞的設施，將 PA 資金用於改善設施回復力是被鼓勵的，但通常將重點放在那些可以減少對符合條件的設施造成「未來類似的災難性損害」可能性的活動。

（三）公共援助方案：替代程序(斯塔福德法第 428 條)

2013 年珊迪回復改善法在斯塔福德法中增加了第 428 條，以納入新的公共援助方案替代程序。FEMA 的其他與災難有關的方案之運作方式是補償受援助者的建築費用，但是在回復過程中的撥款審查帶來了帶來沉重的行政管理負擔。為了減輕這種負擔，替代程序授權合格的實體(政府實體和私人非

營利組織)，依據重建受災設施的總成本來估算提交計畫的固定成本。為「有限額計畫」分配的資金是靈活的，通常可用於將回復力納入最初提議的重建工作中；資金一旦獲得批准，如果計畫在預算範圍內完成，受援者可以將剩餘資金用於災害減輕計畫，不論設施是否因事故而受損及這些措施是否降低了同一類型的未來損害風險事件的發生。替代程序方案是一項自願示範計畫，儘管該方案的好處之一是可以保留剩餘資金，但受援者會有實際回復所需成本將超過固定成本資金的風險，而必須由社區來承擔差額。

(四) 社區發展整筆撥款方案 - 住房和城市發展部

除了由斯塔福德法案授權並由 FEMA 管理的主要方案外，還有其他幾個由其他聯邦機構管理的相關方案，例如住房和城市發展部 (HUD) 的社區發展整數補助 (Community Development Block Grant, CDBG) 方案就是其中之一；儘管 CDBG 方案與災難沒有特別關係，但該方案的資金可用於通過 CDBG 主要方案和災難回復與減災子方案，以支援社區電力部門之韌性。住房和城市發展部透過 CDBG 方案，按公式向都市、郡和州提供年度補助金，以改善中低收入家庭的生活；該方案由住房和社區發展法授權，資金是根據社區需要提供，並根據貧困程度、現有住房條件及人口規模進行考慮。符合條件的計畫必須使低收入人口受益，有益消除貧民窟、疫病或滿足緊急的發展需求。雖然，CDBG 方案的主要重點是增加負擔得起的住房並為低收入者提供更多的經濟機會，

但該資金的適用性非常靈活，可以用於電力韌性，可用於資助各種災難恢復活動或減災活動。

（五）公共交通緊急救援方案－聯邦運輸管理局

聯邦交通管理局的公共交通緊急救援方案，於 2012 年根據「邁向 21 世紀前進法案」(MAP-21) 獲得批准，在發生緊急情況或重大災難後，聯邦運輸管理局為公共交通營運商提供幫助。該方案每年資助一次，並為與公共交通系統相關的災害損失提供補償。作為以運輸為重點的方案，聯邦運輸管理局並非直接針對電力韌性，但是透過珊迪颶風，聯邦運輸管理局方案提供了一個示範性案例，以利用現有方案補充災難撥款和跨機構機制來解決跨部門相互依賴的問題。

（六）經濟調整援助方案：商務部經濟發展局

商務部經濟發展局提供了一套經濟發展方案，以幫助陷入困境的州、地方政府及社區中的非營利組織社區增強其回復及韌性能力。通過經濟調整援助方案，經濟發展局幫助社區在發生重大自然災害等經濟衝擊後復甦，該方案是由 1965 年的「公共工程和經濟發展法」授權。

儘管經濟發展局的工作並不專注於能源韌性，但該方案通常尋求提供資金給將來可帶來「淨錢」(net money) 的合格區域計畫。因此，導入一個可帶來工作機會的能源計畫於一個陷入困境的地區，可能是有資格獲得經濟發展局的資金。

經濟發展局的資助機制包括策略和實施撥款，經濟發展局要求所有地區都提交「綜合經濟發展策略」，其中必須納入

對經濟韌性的考量。經濟發展局的策略撥款支援綜合經濟發展策略的開發和更新，實施撥款支援助地區的綜合經濟發展策略中所描述的活動，可用於場址收購、規劃、建築和相關活動，回復和韌性是重點工作之一，並且在整個籌資過程中都高度重視韌性的規劃。

(七) 災難貸款援助：小型企業管理局

災難貸款方案是由小型企業管理局管理，向個人、非營利組織和企業提供低息、長期貸款，該方案可幫助資金接收者重建受損的設施，並能夠申請額外的減災貸款，以保護受損的財產免受未來威脅的侵害。災害貸款是由「小型企業法」所授權的，並且是唯一由小型企業管理局所援助的方案，其接受者不僅限於小型企業，但政府實體和設施不符合該方案的援助條件。

儘管由總統宣布的災區中的社區自動有資格獲得援助，但小型企業管理局還擁有自己的災難宣告權，可宣布有資格獲得援助的地區。如果一個郡至少有 25 家庭或企業的無保險損失達到其市值的 40%或以上，則該州州長可要求小型企業管理局宣告該郡為災難地區。通常，減災貸款必須用於提高抵禦相同類型災難(例如洪水)的能力，並且通常只能用於防止財產損失或經濟損失。除已批准的災難貸款外，小型企業管理局還提供了減災貸款，其金額最高為財產實物損壞成本的 20%(最高 200 萬美元)。

(八) 州能源方案 - 能源部

能源部的州能源方案透過制定特定的州方案和活動來幫助各州和地區實施能源效率和再生能源計畫，這些具有競爭力的獎勵有助於各州在能源安全、韌性和緊急因應方面推動其能源倡議。州能源方案強調各州作為決策者和管理者的角色來支持各州主導的計畫，該方案由「能源政策和節約法」授權，2017年州能源方案獲得了約5,000萬美元的資金。每年州能源方案都有一些重點領域需要資助，2017年其中一個領域是「可提高能源承受能力、可靠性和韌性的機會-創新能源效率和再生能源實踐。」

(九) 耐候化(Weatherization)援助方案--能源部

能源部的耐候化援助方案向各州提供資金，以幫助低收入家庭通過提高房屋的能源效率來降低其能源成本，該方案由「節能與生產法」授權，資金每年分配給平均35,000戶家庭，儘管資金主要來自能源部，公用事業和各州也提供該方案的額外資金。通過該方案，耐候化工作團隊評估房屋的能源效率，然後在必要時通過安裝絕緣材料、改進空調(HVAC)系統，以及更高效的照明和電器來提高效率。因為檢查項目包括黴菌侵擾、空氣質量及一氧化碳濃度等，所以耐候化援助方案除了提高房屋的整體能源效率外，通常還可以改善居住者的健康和安全。

五、國家沿海地區管理方案和增強方案

國家海洋與大氣管理局經1972年「沿海地區管理法」授

權，國家沿海地區管理方案及強化方案支援與負責沿海地區的保護與發展。為了有資格獲得國家沿海地區管理方案及強化方案的資金，各州設計並定期審查一項成本管理方案，以鑑別高優先等級的改進需求，並提出解決這些問題的策略。

資源管理方面，各州有資格獲得兩種類型的資金。首先，各州有資格獲得年度資助，該項金額由該州的人口和海岸線長度決定。其次，各州可透過沿海地區改善強化方案獲得單獨的資金，該方案為九個優先領域內的大型計畫提供資金。沿海地區改善強化方案資金主要用於支援規劃流程，包括規劃和收集基礎設施選址的數據，以及接收技術援助和培訓。鑑於許多電力資產都靠近海岸，並且容易遭受洪水氾濫侵襲，因此強化沿海地區韌性有助於電力系統韌性。國家海洋與大氣管理局幫助各州了解其與能源相關的漏洞，並提供規劃工具。

六、落差與改善的機會

多個聯邦當局和方案有助於對電力韌性的投資，但是 Zamuda & Ressler (2020)認為美國可以採取更多措施來鼓勵積極減災和增強電力的韌性。根據上述方案，Zamuda & Ressler (2020)提出以下落差和改善的機會，包括：(1)充分利用災前和災後的聯邦資金；(2)提高對聯邦資金方案和合格電力計畫的認識；(3)越來越強調電力系統與其他關鍵生命維持設施的相互依賴性；(4)加強基於韌性的設計規範和標準的開

發和採用，以建立更強大的基礎。

七、檢討與結論

顯著的破壞可能是展現社區對極端天氣事件脆弱的指標，但於災後挹注大量韌性相關資金時忽略了兩個重點。首先，研究顯示災前韌性投資與災後復原之效益成本比(B/C ratio)為 6:1，因此等到風暴來臨再來做減災努力可能在經濟上沒有效率。其次，隨著極端天氣事件變得越來越頻繁和嚴重，區域將變得越來越容易受到既有與新興極端天氣威脅的影響。當威脅隨著時間變化，將韌性資金用於災後復原可能會使社區和國家變得脆弱。

FEMA 的 2018-2022 年策略方案強烈強調增加聯邦對災前減災的投資，包括與國會合作制定方法，以將更多的聯邦資金用於減少風險和災前減災。FEMA 還規劃幫助私人和公共利益相關者在州和地方管轄範圍內，制定災前減災的投資策略。為了要讓聯邦資金更有力於直接和間接投入韌性能力的投資，還可能需要做出更多努力，同時還需要在聯邦、州及地方層級之間平衡災害前後的需求，以經濟有效的方式解決能源系統易受極端天氣影響的漏洞。

Zamuda & Ressler (2020)檢討現行聯邦方案的作法指出，首先是利害相關者並不總是了解當前政策和方案下的電力計畫資格，許多韌性方案(包括本文中討論的方案)擁有廣泛的權力來解決多個部門問題，沒有特別針對電力系統；但隨

著電力行業技術的日新月異而變得更加複雜，例如，目前還不清楚微電網、分散式能源和儲能等新興技術是否適用於現有的政策和方案指南。其次，儘管極端天氣威脅具有跨領域的性質，但相對較少強調跨部門的韌性能力活動，然而極端天氣造成的破壞可能會影響多個關鍵命脈。最後，缺乏以韌性為中心的設計規範和標準會弱化聯邦政府重建更強大基礎設施的倡議。

聯邦方案、公用事業、監管機構、研究機構和社區之間的合作，將有助於確保採用具有成本效益的整體方法來強化對極端天氣的回復能力，並利用積極的投資回報率來進行積極的韌性投資，以避免國家的電力系統遭受當前和未來的氣候威脅。

參考文獻：

1. NOAA, 2020a. 2010-2019: A Landmark Decade of U.S. Billion-dollar Weather and Climate Disasters.(Retrieved from: <https://www.climate.gov/news-features/blogs/beyond-data/2010-2019-landmark-decade-us-billion-dollar-weather-and-climate>)
2. Craig D. Zamuda and Anne Ressler (2020). Federal adaptation and mitigation programs supporting Community investment in electricity resilience to extreme weather, The Electricity Journal, Volume 33, Issue 8, 106825. <http://doi.org/10.1016/j.tej.2020.106825>