



(Source: USMC/ Alexander Quiles)

● 作者/Greg Hadley ● 譯者/李永悌 ● 審者/黃坤銘

確保核心任務遂行： 能源永不匱乏

Let There Be Light

取材/2021年9月美國空軍月刊(*Air Force Magazine*, September/2021)

電力為美空軍基地內設施的命脈，在極端氣候肆虐及全球化浪潮下，日益頻繁的天然災害及網路攻擊儼然成為遂行核心任務之絆腳石，強化能源韌性更加刻不容緩。



全面電力中斷的恐怖畫面，促使美空軍及太空軍正視及審慎評估其所帶來的嚴重後果。一場逼近空軍基地的風暴可帶來強風、豪雨及閃電，亦可能造成分區停電，備用發電機恐無法維持基地運作。加上電網或鄰近石油及天然氣管線所遭受的網路攻擊，復原工作恐耗時數週——甚至更久。

這宛如噩夢的場景，讓吳麥可(Michael Wu，音譯)輾轉難眠。美空軍能源韌性(Energy Resilience)前高級顧問吳麥可表示：「當你自混亂且迴異的戰略環境中重整旗鼓時，頑強的敵人……會試圖計算這些(網路)攻擊需要持續多久」。

在此情況下，美空軍與太空軍的能力將面臨嚴重挑戰。數位軍種如何能在缺乏動力的情況下作戰？若無電力，先進感測器網路是否還能滿足全

面作戰需求？

吳麥可表示：「檢視空軍執行的核心任務，就會發現任務期間供電不可中斷。太空、無人飛機，或是任何情報、監視與偵察能力——這些任務都須仰賴支援全球作戰行動的國內供電設施」。

過去數年，連續電力供應系統曾面臨多次挑戰，包括日益惡劣的氣候及網路攻擊。專家希望這些事件能敲響警鐘，讓美空軍與一般民眾確保電力系統具備災後復原能力。

現代化空軍能源結構

2021年5月19日，美空軍環境、安全與基礎設施副助理部長柯瑞爾(Mark A. Correll)在參議院撥款委員會軍事工程小組(Senate Appropriations Subcommittee on Military Construction)書面證



2018年，加州范登堡(Vandenberg)空軍基地裝設2,800萬瓦的太陽能光電陣列。此陣列供應基地35%的電力，而且不易遭受網路攻擊。(Source: USAF/ Clayton Wear)

詞中表示：「空軍任務『成也設施，敗也設施』。而設施就是指武器系統」。

隨著新科技問世與美空軍現代化，美軍境內基地能夠——或必須——遂行及支援與日俱增的任務，對美太空軍而言更是如此。

目前擔任美國企業研究院(American Enterprise Institute)非常駐資深研究員美陸軍法拉利(John G. Ferrari)備役少將表示：「如今作戰行動皆仰賴情報、參數及無人機——美國境內設施及遍布全球的基礎設施(可支援前進部署部隊、飛行員、戰機與場站的作戰需求)實際上是作戰資產，而非戰略資產。追根究柢，這些資產都與作戰有關」。

既然涉及作戰，加上美空軍不斷現代化，設施優勢與弱點將被放大檢視。而其中一項致命弱點就是過度依賴電力。

吳麥可表示：「現今社會日益緊密相連，衍生對電力新的鏈結及依賴——特別是通信網路，對重要基礎設施也變得不可或缺」。

2021年1月，美空軍設施能

源戰略計畫(Installation Energy Strategic Plan)指出，在任務中阻斷上述架構中任一節點「將造成級聯效應(Cascading Impact)，衝擊遠在數哩外任務執行的進程」。尤有甚者，專家認為這些威脅與日俱增且迫在眉睫。

極端氣候

科學家認為極端氣候因氣候變遷而日益頻繁出現，近期已造成嚴重浩劫，並造成數十億美元損失。2018年，颶風麥可(Hurricane Michael)導致佛羅里達州廷德爾(Tyndall)空軍基地近乎全毀；2019年，內布拉斯加州奧福特(Offutt)空軍基地經歷洪災；2021年初，冬季風暴烏里(Winter Storm Uri)席捲全美28處空軍設施，有數處設施甚至斷水斷電。

北達科塔州米諾特(Minot)空軍基地也遭受冬季風暴侵襲。柯瑞爾在參議院撥款委員會書面證詞中提到，這場風暴造成該基地部分飛彈發射陣地電力中斷，必須仰賴備用發電機才能運作。這並非米諾特空軍基地核子飛彈發射井首度遭天候

影響——2011年，嚴重淹水亦導致七處發射設施無法操作。

此類復原工作需要經費、人力與時間，任務可能會因裝備損壞而受到影響，部隊也必須移防。

美國安全計畫(American Security Project)氣候安全高級研究員海恩斯(David R. Haines)指出，極端氣候與氣候變遷的衝擊在某些地區特別顯著。

他表示：「美國西部基地面臨野火肆虐與乾旱侵襲；沿岸基地受海平面上升及洪水所苦——包括晴天淹水(Sunny Day Flooding，譯註：又名漲潮淹水[Tidal Flooding])——以及常見的颶風侵襲，這些都是高風險地區。廷德爾空軍基地可能是極端氣候的典型苦主——損失達30億美元」。

美空軍發言人菲佑寇(Sarah Fiocco)指出，2020會計年度，美國《國防授權法》(National Defense Authorization Act, NDAA)要求空軍對其超過90處設施進行極端氣候與其他天然災害的初期威脅評估。空軍進行風險分類，依不同災害對個別基地的衝擊區分威脅等級。



2020年12月14日，合約商於猶他州希爾(Hill)空軍基地裝設太陽能光電陣列。此陣列可為基地增加再生太陽能源，並可納入微型電網實施整合。(Source: USAF/ Nial Bradshaw)

菲佑寇表示：「在上述威脅評估結果中，約有10%歸類為極高或高度風險，25%為中度，其餘則為低度風險」。

這些評估帶來改變。2021年7月，美空軍代理能源、設施與環境助理部長米勒(Jennifer L. Miller)告知國會小組，奧福特及廷德爾等空軍基地的重建計畫已依前述威脅進行調整；展望未來，各基地將於已規劃的五年週期內依據評估結果更新主計畫。

網路威脅

然而，天災並非唯一威脅。在美軍發展從基地遂行全球打擊能力時，敵人與心懷不軌者亦可透過網際網路反擊。

曾任參謀首長聯席會議應變行動組組長的法

拉利表示：「目前，美國花費70年建設國內基礎設施，並假設這些設施不會遭受破壞。而在許多方面，我們深信領土四周的護城河就是美國版馬奇諾防線(Maginot Line)。這讓我們產生固若金湯的錯覺，顯然大家尚未意識到，邊界重要性已不如過往」。

法國馬奇諾防線建在第一次世界大戰後，為抵禦德國侵略的堡壘且被認為牢不可破。一個世代後，德國改道入侵，數日後法國旋即投降。

2021年初，美國殖民管線公司(Colonial Pipeline)因勒索軟體攻擊停止營運，導致國內燃料短缺與東海岸沿線地區恐慌，此事件讓美國領教此類風險的可能後果。儘管當時軍方任務執行能力不受影響，但法拉利指出，此事件暴露「攸關存亡」之風險，若結合其他攻擊或威脅手段將造成

更大傷害。

法拉利表示：「順帶一提，若有人蓄意破壞電網，導致停電，燃油泵、管線無法運作，無法輸送燃料。抑或，殖民管線公司正常營運，但無燃料可用，試問發電機能撐多久？若同時短缺燃料及電力，則後果更不堪設想」。

「威脅恐為期數月」

2016年，時任美空軍部部長詹姆斯(Deborah Lee James)策頒《空軍政策方針》(Air Force Policy Directive)第90-17號，要求建立「能源與水資源管理架構」。詹姆斯要求各設施「建置獨立電網，提供重要基礎設施所需電力」，至少能滿足七日作業量或原任務調整前的電力需求，並將此納入空軍政策。

五年後，能源、設施與環境辦公室(Office for Energy, Installations, and Environment)令頒《設施能源戰略計畫》(Installation Energy Strategic Plan)，在計畫內以一至七天不等的能源中斷想定制定應變措施。

惟因威脅日益嚴重、恐造成長期影響且可能接踵而至，專

家與政府官員刻正針對長期性威脅研擬應變計畫。

吳麥可現為匯集策略公司(Converge Strategies)負責人，該公司與軍方及民間夥伴合作促進能源安全。他表示：「個人認為，空軍內部人員負責制定作戰計畫，關切並熟稔空軍與我國其他單位面臨的潛在風險及威脅，預判威脅將為期數週，甚至有可能長達數月。此類威脅確實存在」。

2018年，美空軍指令第10-208號《作戰連續性》(Continuity of Operations, COOP)律定作戰連續性計畫指導準則，要求各司令部作戰連續性計畫內容，須納入連續「一週、一個月或超過一季」的大停電情況。

停電數小時或數日，柴油發電機是可行備案；但若長期停電，燃料恐捉襟見肘。

吳麥可表示：「以柴油發電機作為重要設施備用電源，根本無法因應長期大規模停電的缺電窘境」。

的確，美空軍設施能源戰略計畫已將長期電力中斷納入考量。天然災害與網路攻擊皆可能導致連續停電三個月。在此

情況下，必須採取其他行動方案。

可能解決方案

依據2021會計年度美國《國防授權法》，國會要求國防部長確保「在2030會計年度，各項設施可提供99.9%重大任務所需能源」。

然而，此要求並未律定美國國防部達成目標的具體作法。專家一致認同理應如此。

海恩斯表示：「達成目標的方法必須量身打造，這就是《國防授權法》訂定各基地自力解決能源問題，卻未統一『能源供應手段』之因，因為必須因地制宜」。

法拉利以「南加州米拉瑪陸戰隊航空基地」(Marine Corps Air Station Miramar)為例，該基地利用附近垃圾掩埋場產生的甲烷氣體架設微型電網，即使該區停電，基地也能正常運作。

許多人認為微型電網(連接大型公用電網，但能在必要時斷開，成為獨立運作的小型能源系統)是增加能源韌性之關鍵。美空軍設施大多架設前述電網，抑或刻正規劃執行。



另一方案是小型模組化反應器(Small Modular Reactor, SMR)——此為縮小版核電廠：體積更小、成本更低、便於攜帶。美國前總統川普在卸任前頒布行政命令，指示國防部研發小型模組化反應器來滿足國防需求，米勒告知國會小組對此構想「極感興趣」。

米勒表示：「試行計畫雖才剛起步，但樂見其可提升美國本土設施的能源韌性，甚至進一步將上述反應器機動至其他地點」。

太陽能與風力發電仍為部分基地的替代能源。加州范登堡太空軍基地(Vandenberg Space Force Base)原為美空軍設施，2018年，該基地內的太陽能光電陣列可供應基地35%的電力。內華達州奈里斯空軍基地亦有太陽能光電陣列，可供應基地25%的電力。吳麥可表示，未來發展方向為將上述基地剩餘能源儲存於電池中。

無論行動方案為何，依據2020年12月頒布的美空軍指令第90-1701號，空軍所有能源與水源計畫都必須將網路安全納入考量。

基地以外

許多能源韌性解決方案與構想均已完成規劃，並且具備一定程度的能源自主，讓基地除大型公用電網外，還可依靠獨立能源正常運作。

但專家與政府官員認為，過程中，即便公用電網不盡完善，網路安全措施亦未標準化，但基地仍無法完全與公用電網脫鉤。

吳麥可表示：「雖然談的是電力，但電力與其他重大基礎建設部門並非涇渭分明。例如，電力與天然氣系統相輔相成。電力、供水及污水處理

系統間也難以明確分割。因此，微型電網無法全數滿足基地內電力需求，仍須研議由鄰近社區支援重大基礎建設所需電力的可行性」。

菲佑寇認為，純粹從後勤的角度來看，美空軍設施目前都以某種方式連接到電網，也持續確保基地與鄰近社區電網正常連接。

冬季風暴烏里來襲期間，俄克拉荷馬州空軍基地可以透過備用發電設施來彌補公共電網的不足。2021年5月，柯瑞爾告知美國國會小組，空軍希望進一步深化基地與鄰近社區間的關係。

柯瑞爾表示：「美空軍不想成為停電時黑暗中的一盞孤燈，我們希望與社區攜手合作。因此，未來太陽能、風力及其他微型電網形式的分散電力系統，將以雙向系統為設計目標。如此一來，若社區需要電力，可由空軍設施供電至社區；若空軍需要電力，則由社區反向供應」。

「未來之路仍漫長」

2020年11月19日，紐澤西州麥奎爾·迪克斯·萊克赫斯特聯合基地(Joint Base McGuire-Dix-Lakehurst)停電，基地內所有建築物幾乎斷電超過12小時。

但是，造成停電的不是風暴，也不是勒索軟體攻擊，而是在執行能源韌性戰備演習(Energy Resilience Readiness Exercise, ERRE)——這是過去一年來，美空軍於各基地進行的演習。

能源韌性戰備演習有時被稱為「全黑啟動」(Black Start)演習，內容包括切斷整個基地電力，驗證單位人員、指揮官及備援系統的因應作為，並將演習結果納入設施能源計畫修訂。



新型的智能花(SmartFlower)太陽能裝置是一體成型、帶有花瓣形面板的太陽能裝置，採雙軸(Dual Axis)追蹤太陽。透過前述裝置所蒐集到的能源，可供電給德州聖安東尼奧聯合基地休斯頓薩姆堡(JBSA-Fort Sam Houston)華特街入口管制站(Walters Street Entry Control Point)的電子看板(如背景)。部分美軍基地選擇發展太陽能與風力發電，不過也必須發展其他替代能源。

(Source: USAF/ Thristin English)

2019年，時任美國國防部維持助理部長(Assistant Secretary of Defense for Sustainment)麥克馬洪(Robert A. McMahon)對國會小組表示：「軍方能在進行全世界模擬演練，但癥結點在於，實際斷電後才能瞭解真實情況」。

麥奎爾·迪克斯·萊克赫斯特聯合基地是能源韌性戰備演習的第三個參演單位。加州范登

堡空軍基地與麻薩諸塞州漢斯科姆(Hanscom)空軍基地已先行完成此項演習。接續規劃於俄亥俄州萊特·派特森(Wright-Patterson)空軍基地及阿拉斯加州艾爾森(Eielson)空軍基地執行。

米勒告知國會，此類演習可協助美空軍領導階層「發掘部分設施供電與供水系統的缺失，優先分配資源投入改善」。

吳麥可等外部觀察家則將這些不足，視為空軍在能源韌性之路的進展。

儘管已有正向進展，但吳麥可表示：「未來還有漫長的路要走」。他特別提到，美空軍必須更迅速積極獲得與測試新技術。

2021年5月19日，阿肯色州共和黨參議員博茲曼(John Boozman)在聽證中指出，能源韌性相關預算可能列入軍事工程範疇，而且「通常國防部會優先支應」。

不過，只要領導階層重視這個問題，海恩斯樂觀其成。

海恩斯表示：「個人認為，只要軍方嚴正以對，瞭解未來可能衝擊，以及在面對洪災、野火等天然災害時，確保能源安全與提升能源韌性的難度，就是走在正確的道路上。美軍僅須確保未來數年能繼續朝正確方向邁進」。

版權聲明

Reprinted by permission from *AIR FORCE Magazine*, published by the Air Force Association.