



● 作者/Timothy Renahan ● 譯者/趙炳強 ● 審者/馬浩翔

理解美國軍事基地 對能源的依賴

Realizing Energy Independence on U.S. Military Bases

取材/2021年第四季美國聯合部隊季刊(*Joint Force Quarterly*, 4th Quarter/2021)

現今資訊網路發達，美國的競爭對手經常運用暢行無阻的網際網路試圖控制，甚或癱瘓為美軍軍事設施提供服務之民營電廠與電網，而作為用電大戶的國防部，亦開始思考採用可由軍方獨力運作的能源生產設施。

(Source: DVIDS/Josef Cole)

「具有政治動機的網路攻擊日益增加，許多外國行為者都在偵察並發展對美國關鍵基礎設施系統的接觸方式，倘若對手意圖轉為敵對，這些系統便可能迅速遭利用以進行破壞之舉。」

美國國家情報總監(Director of National Intelligence)¹ 克萊佩(James Clapper)

美國國防部是美政府機關中能源消耗最鉅者，目前其下轄各機關及單位之供電，均仰賴各軍事基地周邊地區的配電系統和電網。² 美陸軍已經意識到，依賴區域能源網將引發國安問題。俄羅斯和中共等實力與美相近之競爭對手，正致力利用美國老化的基礎設施，在未來可能發生的衝突中取得優勢，並破壞日常運作的穩定。³ 伊朗和北韓等流氓國家，則採取非對稱優勢的攻勢網路行動，破壞美國在經濟上持續向其施壓的能力。⁴ 因此，軍事基地應具備獨立能源生產方式，以避免喪失戰力，並且在地區能源網路受損時提供應急服務。國防部刻正探索可再生能源與核能計畫的可能性，例如小型模組化反應爐(Small Modular Reactor，下稱SMR)技術，提供可擴充且環保的能源獨立選項。本文重點置於美國國內軍事基地以及與地區電網相關的能源弱點；前線部署地點或海外軍事基地不在本文討論範圍內。隨著能源技術發展，現在正是時候投資未來資金，以強化

國內軍事基地遭受攻擊時的脆弱，並確保能源獨立。

國安風險

美國國防部已公開指出，軍事基地的重大漏洞，便是地區能源基礎設施。⁵ 各軍事設施目前都在部署實體和網路安全措施，但非法行為者毋須滲透基地才能進行破壞。⁶ 將提供基地電力的外部配電系統當作攻擊目標，與直接攻擊基地同樣具有破壞性。在2019年，全國有超過12間公用事業公司曾經變成網路攻擊目標。⁷ 此種非法行為者持續向電力節點等基礎設施施壓的模式將會持續，至少方興未艾。⁸

美國能源部報告稱，電網多年來一直遭受外部威脅考驗。僅在2014年，能源部門就提出46起獨立事件，其中很大一部分是高階的持續性威脅。⁹ 俄羅斯和中共等實力伯仲的競爭對手，試圖操縱美國老化的基礎設施，俾利在未來可能發生的衝突中取得優勢並且破壞日常運作動能。¹⁰ 恐怖



2019年1月31日，維吉尼亞級(Virginia)核動力快速攻擊潛艦北達科他號(North Dakota)經由泰晤士河駛入位於康乃狄克州格羅頓(Groton)的母港新倫敦(New London)潛艦基地。(Source: USN/Jason M. Geddes)

分子和跨國犯罪組織等非國家行為者也在攻擊電網設施，以此挑戰人民對美國治理和穩定的認知和信心。¹¹ 使問題更形複雜的，是電力管理和監控方式：聯邦能源管理委員會(The Federal Energy Regulatory Commission)「管轄整體電網的可靠性」，但配電工作則是由各州負責。¹² 此種分工造成跨能源平臺上的安全標準問題，並且可能暴露出相互支援安全戰略中的漏洞。

能源消耗和方案

國防部向來是美政府中最大的能源消耗者，並且極度仰賴地區電網系統提供電力。¹³ 軍事設施

須不間斷使用電力和其他公用設施，以確保戰備程度並且維持關鍵服務。倘若失去持續供電，可能會對軍事基地，以及其所能提供緊急勤務和支援關鍵任務的能力產生重大不良影響。¹⁴ 軍事基地的外部基礎設施支援所引發的安全問題，已促使各軍種進行評估和測試。

美陸軍已與國防部共同進行數次能源韌性整備演習，即刻意切斷軍事基地電源，並且測試在僅提供緊急電源能力下的反應和穩定性。¹⁵ 到目前為止，喬治亞州的史都華堡(Fort Stewart)、阿拉斯加州的格里利堡(Fort Greely)、肯塔基州的諾克斯堡(Fort Knox)、北卡羅來納州的布拉格堡

(Fort Bragg)等均已透過該演習完成測試。¹⁶ 陸軍從中汲取許多教訓，找出罅隙並確立改進措施，並透過「韌性」方案和設施能源與水源計畫來推展相關工作。¹⁷

部分軍事設施也在試驗「微型電網」(Microgrids)，俾利緊急情況下提供備用能源並減少碳足跡。¹⁸ 沼氣、太陽能 and 風力相關計畫，都在創造方法以減少對碳基電力和地區電網的需求。¹⁹ 可惜的是，由於僅靠低排放能源技術無法提供必要

電力，目前微型電網還是必須以柴油和天然氣發電機作為輔助。這些發展中的工作，對創造綠色替代能源很重要，但短期內這些設施仍須持續依賴柴油和天然氣。²⁰

國防部也在研究軍事基地的核能選項。透過戰略能力辦公室(Strategic Capabilities Office)和國防部採購及維護次長(Under Secretary of Defense for Acquisition and Sustainment)所開展的兩項作業中已建立實驗計畫，並與私人能源公司簽約，

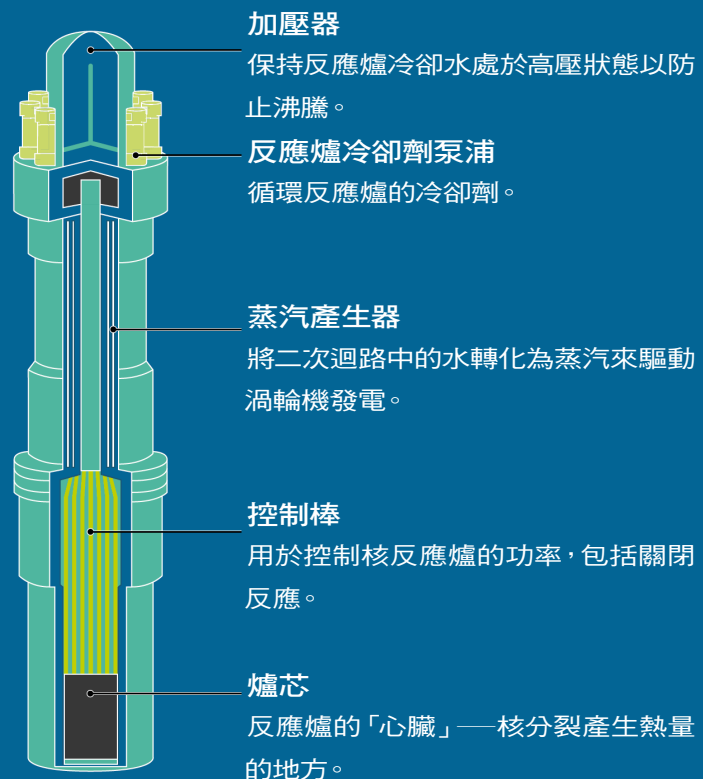
設計用於軍事設施的小型核子反應爐。²¹ 這兩項計畫均仰賴商用技術和製造支援的發展和可行性。儘管國防部對微型反應爐技術最感興趣，但SMR將會先行商業化，而微型反應爐則可能要等到2030年代才能跟進。²²

能源獨立解決方案

SMR技術已進行至最終測試階段，預計可在2026年投入使用。²³ 倘若地區電網受損，SMR可以視需要提供軍事基地電

SMR如何運作？

1. 核電廠透過從反應爐爐芯的核分裂過程產生熱量。當原子分裂成更小的原子時會釋放能量並產生熱。該過程透過完全受控制的連鎖反應重複發生。
2. 由中子吸收材料製成的控制棒插入爐芯，以調節連鎖反應所產生的熱。
3. 反應爐冷卻水從反應爐爐芯吸收熱量。反應爐冷卻劑泵浦透過蒸汽產生器循環熱水，蒸汽產生器將二次循環中的水轉化為蒸汽。
4. 蒸汽用於驅動渦輪機來發電。
5. 在整個過程中，加壓器使反應爐冷卻水維持在高壓狀態，以防止其沸騰。





力。與微型反應爐相比，這些小型化(模組化)核子反應爐的占地面積更小，並且可根據所有能源需求進行擴充。²⁴ 雖然目前尚未確定，但生產SMR的成本，可能比建造如核電站的成本低15%至40%。²⁵ SMR將協助美軍提升戰備，減少碳足跡、降低能源浪費，同時比其他乾淨能源占用更少實體空間。²⁶

軍事基地也能提供額外安全、保障和支援。自1950年代以來，美軍便擁有核動力艦船、基地核能支援和獨立核能設施，且從未發生任何事故。目前美海軍擁有約「5,400座反應爐，且多年來均無肇生運轉事故」。²⁷ 從1957年到1973年，美陸軍甚至在距華盛頓特區僅數哩的維吉尼亞州貝爾沃堡(Fort Belvoir)營運核能設施，且從未發生任何事故或警報事件。²⁸

缺點和限制

除了潛在大量初始投資外，將核能引進軍事基地的最大障礙是「核能」這個用語。儘管核能事故極為罕見，但「車諾比」(Chernobyl)事件的擴及面向和長期影響仍讓民眾感到恐懼。2019年的民調顯示，僅49%的美國人贊成將核能作為乾淨能源替代方案，與2010年的62%的高比例相比大幅下降。²⁹ 目前，部分州對核電的政治反對立場也可能是一項考量因素，尤其是在碳基能源或天然氣企業比比皆是的地方。

對軍事基地而言，可能會發生的恐怖攻擊和/或網路攻擊始終是威脅。但是，目前海軍和空軍設施未曾發生核能事故，充分顯示實體和網路安全措施已臻完備並持續更新。³⁰ 如此有力紀錄證

明，確實有完善流程存在，並且可以在國防部所屬單位間移轉，成為未來在軍事設施中設置核電設備的參考。核能發電所需之物料，在基地或運送至處理設施過程中的保護和運輸成本可能會提高。國防部目前評估核電選項作為中應考量這些成本，俾利瞭解營運反應爐所需的總費用。

建議

隨著能源技術不斷發展，現在是時候將未來國防資金，挹注在建立有能力獨立提供能源之軍事基地。SMR將是第一種可以支援軍事基地關鍵能源需求的商用技術。³¹ 目前資料顯示，儘管微型反應爐與SMR兩個選項都在籌獲和基礎設施建構方面須花費鉅額初始成本，但相較微型反應爐或其他核電選項，SMR的實作成本來得更低。國防部應繼續開發並且研究可再生能源的能力(太陽能、風能、水力)，但也應優先考慮核能解決方案，俾利向軍事基地提供獨立於地區電網的電力來源。

投資SMR將能提供更快速、更具成本效益的獨立電力選擇，以強化國內軍事基地。SMR可以產生足夠能源來運作重要基礎設施並且維持戰備水準；SMR將可比微型反應爐技術早近十年投入商轉。³² 在軍事基地設置規模更小且可擴充的SMR，也讓國防部能有效依照各基地與設施需求，來規劃個別能源基礎設施。國防部應與能源部協調，優先在軍事設施進行部署和測試、與當地設施合作進行教育與規劃，並在計畫目標備忘錄(POM)中納入研究、開發與採購費用，並且/或者申請資金，因應未來可能推出之環境相關法案，在特定設施中購買並安裝部分SMR。³³

作者簡介

Timothy Renahan中校在就讀美陸軍戰爭學院期間撰寫本文，並榮獲2021年參謀首長聯席會議主席戰略論文比賽戰略文章類獎項。

Reprint from *Joint Force Quarterly* with permission.

註釋

1. James R. Clapper, *Statement for the Record: Worldwide Cyber Threats, Before the House Permanent Select Committee on Intelligence*, 114th Cong., 1st sess., September 10, 2015, 3, available at <https://www.dni.gov/index.php/newsroom/congressional-testimonies/congressional-testimonies-2015/item/1251-dni-clapper-statement-for-the-record-worldwide-cyber-threats-before-the-house-permanent-select-committee-on-intelligence>.
2. Department of Energy, "Comprehensive Annual Energy Data and Sustainability Performance," June 1 2020, available at <https://ctsedwebweb.ee.doe.gov/Annual/Report/TotalSiteDeliveredEnergyUseInAllEndUseSectorsByFederalAgencyBillionBtu.aspx>.
3. Mission Support Center, *Cyber Threat and Vulnerability Analysis of the U.S. Electric Sector*, (Idaho Falls: Idaho National Laboratory, August 2016), 22, available at <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/01/f34/Cyber%20Threat%20and%20Vulnerability%20Analysis%20of%20the%20U.S.%20Electric%20Sector.pdf>.
4. Ibid., 22-23.
5. Aaron Mehta, "Pentagon Weighs New Requirements to Secure Military's Vulnerable Power Grid," *Defense News*, November 29, 2017, available at <https://www.defensenews.com/pentagon/2017/11/29/pentagon-weighs-new-requirements-to-secure-militarys-vulnerable-power-grid/>.
6. Don Snyder et al., *Improving the Cybersecurity of U.S. Air Force Military Systems Throughout Their Life Cycles* (Santa Monica, CA: RAND, 2015), available at: https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_reports/RR1000/RR1007/RAND_RR1007.pdf.
7. Rebecca Smith and Rob Barry, "Utilities Targeted in Cyberattacks Identified," *Wall Street Journal*, November 24, 2019.
8. Robert Walton, "U.S. Electric Grid More Vulnerable to Cyberattacks as DERs Increase Potential Targets, GAO Finds" *Utility Dive*, September 27, 2019, available at: <https://www.utilitydive.com/news/us-electric-grid-more-vulnerable-to-cyberattacks-as-ders-increase-potential/563860/>.
9. 這46起事件包括高階持續威脅和「狡詐的行為者」。See Mission Support Center, *Cyber Threat and Vulnerability Analysis*, 2.
10. Ibid., 22.
11. 同上，ii，包括破壞現有通訊協定的網路攻擊。
12. Daniel Shea, *Cybersecurity and the Electric Grid: The State Role in Protecting Critical Infrastructure*, (Denver: National Conference of State Legislators, January 2020), available at: <https://www.ncsl.org/research/energy/cybersecurity-and-the-electric-grid-the-state-role-in-protecting-critical-infrastructure.aspx>.
13. Department of Energy, "Comprehensive Annual Energy Data and Sustainability Performance."
14. Alex Beehler and JE Jack Surash, "Cutting the Cord to Test Energy Resilience," *U.S. Army* blog, April 13, 2020, available at: https://www.army.mil/article/234514/cutting_the_cord_to_test_energy_resilience.
15. Ibid.
16. Ibid.
17. 設施能源和水源計畫為刻正進行之工作要項，「概述關鍵任務需求，評估能源和水源之基礎條件，並為專案和作戰與維護活動制定優先辦法，以提高能源和水源彈性」。來源同上。
18. 轉向可再生能源係根據法律和行政命令，提高能源安全和永續性，並且提升可再生能源以滿足政府整體目標。See *DOD Renewable Energy Projects: Improved*



Guidance Needed for Analyzing and Documenting Costs and Benefits, GAO-16-487 (Washington, DC: Government Accountability Office, September 2016), available at <<https://www.gao.gov/assets/gao-16-487.pdf>>.

19. Emma Foehringer Merchant, “U.S. Military Microgrids Are Using More Renewables and Batteries,” *Greentech Media*, November 9, 2018, available at <<https://www.greentechmedia.com/articles/read/for-the-u-s-military-energy-resilience-has-long-been-a-priority>>.
20. 綠能計畫目前還不夠穩健，無法提供基地運作所須的能源水準或提供可持續備援。來源同上。
21. 戰略能力辦公室計畫著重在部署到美國以外前線地點的微型反應爐，國防部採購及維護次長計畫則著重於小型核能反應爐，以滿足「至2027年實現永久性國內軍事設施」之要求。See Aaron Mehta, “Pentagon Awards Contracts to Design Mobile Nuclear Reactor,” *Defense News*, March 9, 2020, available at <<https://www.defensenews.com/smr/nuclear-arsenal/2020/03/09/pentagon-to-award-mobile-nuclear-reactor-contracts-this-week/>>.
22. Ibid.
23. David Roberts, “A Beginner’s Guide to the Debate over Nuclear Power and Climate Change,” *Vox*, updated December 19, 2019, available at <<https://www.vox.com/energy-and-environment/2019/9/6/20852313/december-democratic-debate-nuclear-power-energy>>.
24. 代表可以透過兩個或以上的機組協同運作獲得額外功率。See Office of Nuclear Energy, “Four Key Benefits of Advanced Small Modular Reactors,” Department of Energy, May 28, 2020, available at <<https://www.energy.gov/ne/articles/4-key-benefits-advanced-small-modular-reactors>>.
25. Piotr Dobrzyn ński, “Estimating the Cost of Small Modular Reactors” (master’s thesis, Paul Scherrer Institute, 2017), available at <https://www.psi.ch/sites/default/files/import/ta/PublicationTab/MSc_Piotr_Dobrzynski_2017.pdf>.
26. 改用核能發電也將減少軍事基地對環境造成的影響。See Office of Nuclear Energy, “Three Reasons Why Nuclear Is Clean and Sustainable,” Department of Energy, March 31, 2020, available at <<https://www.energy.gov/ne/articles/3-reasons-why-nuclear-clean-and-sustainable>>.
27. James Conca, “How the U.S. Navy Remains the Masters of Modular Nuclear Reactors”, *Forbes*, December 23, 2019, available at <<https://www.forbes.com/sites/jamesconca/2019/12/23/americas-nuclear-navy-still-the-masters-of-nuclear-power/#2a222f106bcd>>.
28. Army Corps of Engineers, “Army Nuclear Power Program—SM-1 at Fort Belvoir,” n.d., available at <<https://www.usace.army.mil/About/History/Exhibits/Nuclear-Power-Program/Fort-Belvoir/>>.
29. “U.S. Public Opinion Evenly Split on Nuclear”, *World Nuclear News*, April 1, 2019, available at <<https://world-nuclear-news.org/Articles/US-public-opinion-evenly-split-on-nuclear>>.
30. Conca, “Masters of Modular Nuclear Reactors.”
31. 就如何以有效且高效率的方式為軍事基地增添核電能力，國防部已向私人企業尋求建議。See Mehta, “Pentagon Awards Contracts.”
32. Ibid.
33. 拜登總統在2020年總統大選後發表的《氣候變遷和環境正義計畫》(*Plan for Climate Change and Environmental Justice*)，以及目前正在國會討論的《美國就業計畫》均包含對乾淨能源基礎設施的高度重視和資金支持。國防部有能力利用其挹注於軍民兩用技術方面的成功經驗，為小型模組化反應爐技術提供資金或請求資金。在著重環境議題的立法中進行內部規劃或申請資金，將使國防部能夠建立能源獨立設施，以支持國家氣候變遷目標，並推動未臻成熟的核能技術以投入未來的商業用途。支持模組化核能技術的研發，可以抵抗與環境相關的國安挑戰，並迴避可能針對國防部所實施的能源使用限制或預算縮減。See “The Biden Plan to Secure Environmental Justice and Equitable Economic Opportunity,” *JoeBiden.com*, 2021, available at <<https://joebiden.com/environmental-justice-plan/>>; and *Fact Sheet: The American Jobs Plan* (Washington, DC: The White House, March 31, 2021), available at <<https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/03/31/fact-sheet-the-american-jobs-plan/>>.