



● 作者/Justin Roger Lynch

● 譯者/張彥元

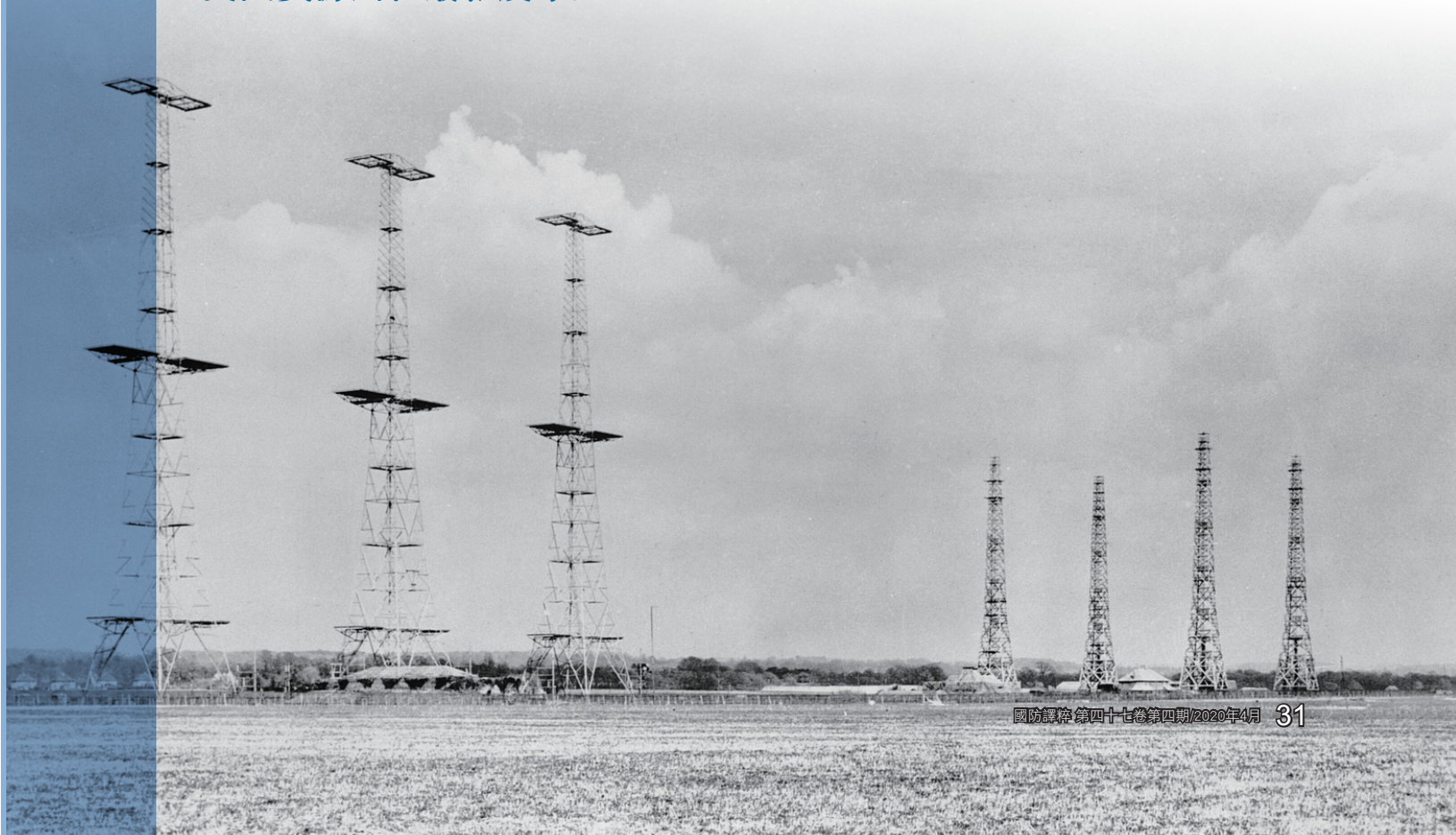
● 審者/馬浩翔

軍事創新典範： 英國「連鎖之家」預警雷達系統

The Chain Home Early Warning Radar System:
A Case Study in Defense Innovation

取材/2019年第四季美國聯合部隊季刊(*Joint Force Quarterly*, 4th Quarter/2019)

1930年代，由於納粹德國空攻日甚且空軍戰力強大，英國爲了因應威脅，決定將有限資源投注發展防衛本土島嶼系統，也終於在不列顛戰役爆發前，完成建置「連鎖之家」預警雷達系統，保全英國資源用在最終反擊上。





德軍目標鎖定在打造有利於跨海峽兩棲登陸的條件，俾利入侵英國進而結束戰爭……水雷純屬防禦性角色，僅能阻止可能之入侵並給予英國喘息之機……英軍必須拒止敵軍制空以達成反制目標。

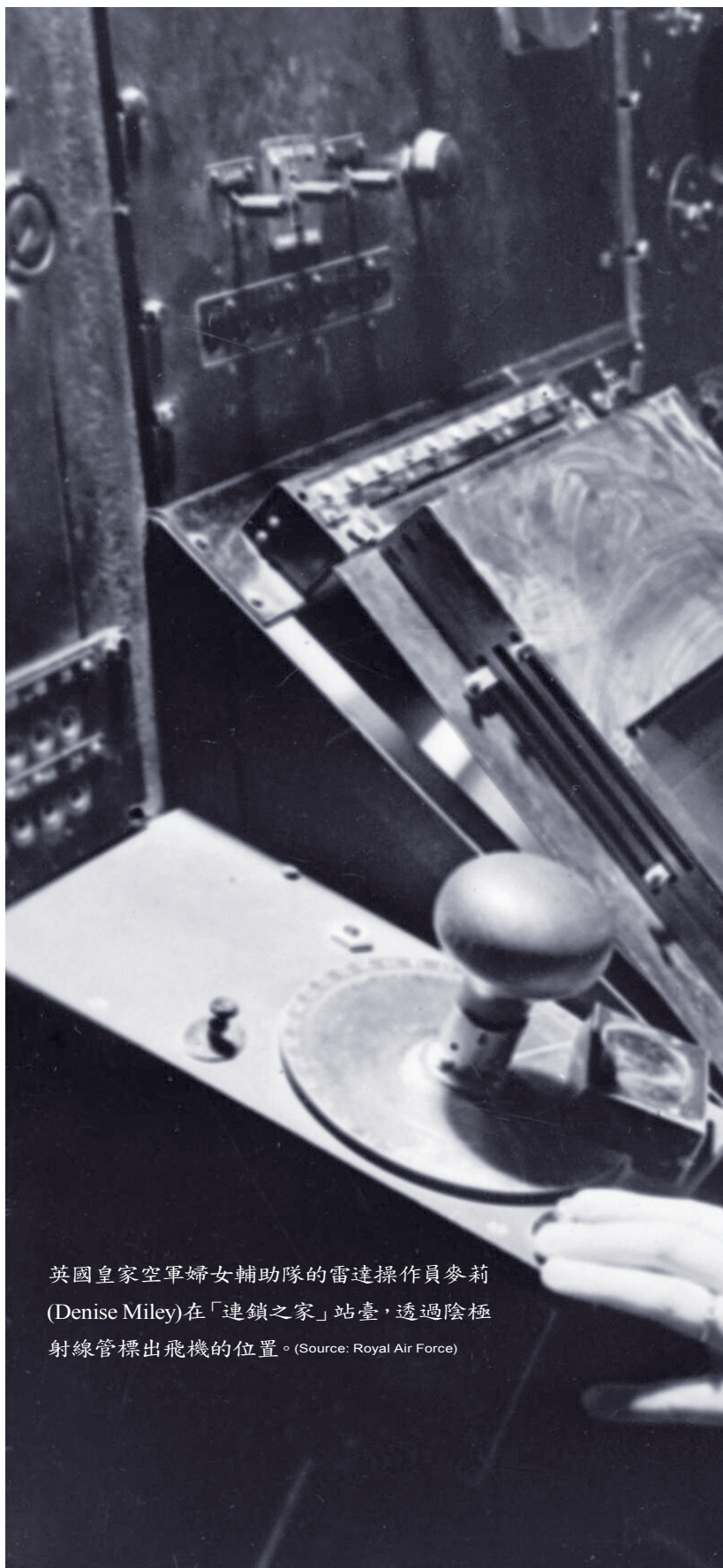
——英國皇家空軍上將道丁

英國於困窘處境下展開不列顛戰役。在法國陷落及敦克爾克大撤退後，英國自然憂慮德國下一步行動，及其發動攻擊英國的可能性。幸而當納粹德國空軍(Luftwaffe)來襲時，英國政府已經建構完成世界第一套整體防空系統。

在不列顛戰役期間，本島連鎖之家預警雷達系統(Chain Home early warning radar system，下稱「連鎖之家」)在島上防衛方面扮演重要角色。該系統能向英國皇家空軍預警納粹德國空軍即將來襲，使英國得以恢復與歐洲大陸諸國相當程度的隔絕，進而有助於抵抗甚至最後擊敗納粹德國。許多「連鎖之家」的故事已是眾所皆知。時至今日，這個系統的創建誠可作為軍事革新的一個研究案例。它顯示將戰略落實於軍備採購過程、迅速調整戰力以順應戰時需求，以及由適合的團隊管理發展與執行等事宜有多麼重要。

背景緣起

英國科學家係於攻守相對戰力強弱有所消長之際，創建了「連鎖之家」預警雷達系統。



英國皇家空軍婦女輔助隊的雷達操作員麥莉(Denise Miley)在「連鎖之家」站臺，透過陰極射線管標出飛機的位置。(Source: Royal Air Force)





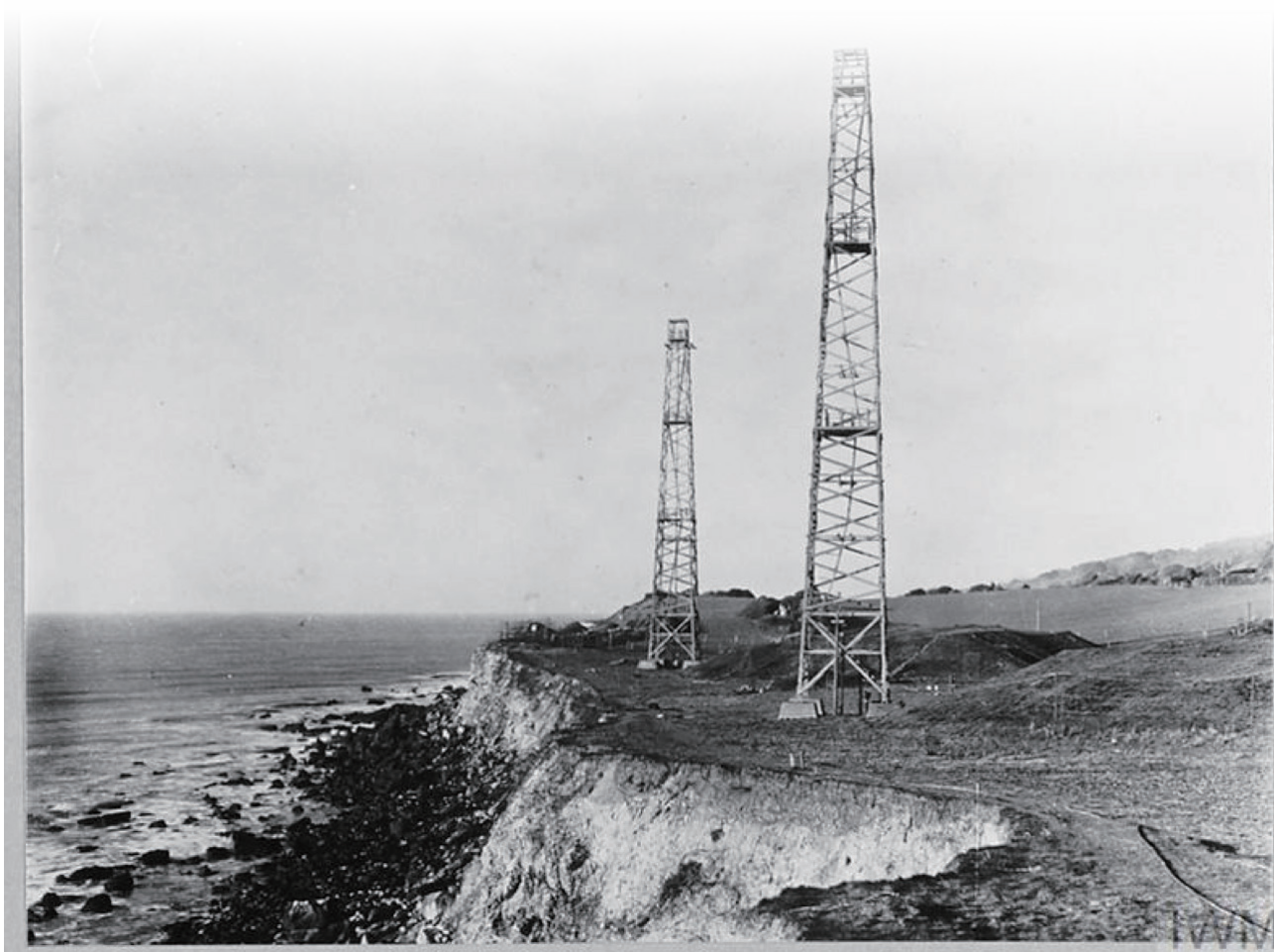
第一次世界大戰期間，壕溝戰對當時的後勤形成挑戰，難以在戰術上大獲全勝，因而導致軍隊在大部分戰爭期間無法取得決定性結果。¹ 在戰間期(inter-war period)，部分理論家認為，具備強大戰力的轟炸機問世，將使空軍得以繞過敵軍和地理邊界，因而讓攻擊方重獲優勢。²

由於空中武力之攻擊性不斷增強，英國的全般戰略態勢也因而改變。在過去的衝突中，英國憑藉著英吉利海峽與皇家海軍成功防阻強大的歐陸軍隊入侵。海峽天險結合海軍戰力形成一道屏障，數世紀以來牢不可破。³ 英國艦隊於1588年保護英格蘭免受西班牙無敵艦隊

攻擊，1805年於特拉法加爾角(Trafalgar)粉碎了拿破崙進軍英國本土的意圖，並於第一次世界大戰中，阻擋了德國地面部隊的入侵。然而，空中武力則讓敵軍可能飛躍英吉利海峽、繞過艦隊，使英國傳統防禦變得全無用武之地。擁有強大空軍的敵人將能夠直接鎖定百姓、工業

英國連鎖之家雷達系統沿海岸建置，能夠獲得敵國飛機的預警情資。

(Source: Imperial War Museum)



以及基礎設施，這也使英國在某種程度上回到自中世紀以來從未經歷過的脆弱狀態。

於此同時，納粹德國文攻日甚且空軍戰力強大，也讓英國深信必須針對最可能對其構成之威脅發展一套防衛系統。⁴ 納粹空軍此前於西班牙內戰期間轟炸格尼卡(Guernica)，已展現出其所擁有之潛力。⁵ 德、英兩國間若發生戰爭，德國必然會採取類似行動。1930年代晚期，德國曾規劃入侵英格蘭，以納粹空軍為主力摧毀英國的防禦設施，並透過恐怖轟炸擊潰民心士氣。⁶ 因此，英國開始研發一套抵禦飛機攻擊的自我防衛系統，效果幾乎跟海峽與皇家海軍針對來自陸、海攻擊時，所能發揮的防禦能力不相上下。⁷

建立「連鎖之家」預警雷達系統

英國政府自1935年1月起開始投注大量資源發展雷達，並向英國國家物理實驗室(National Physical Laboratory)的科學家華生瓦特(Robert Watson-Watt)探詢可否打造無線電死光(radio death ray)。同年2月，華生瓦特的團隊進行了達文特裡實驗(Daventry experiment)。他們在商用廂型車車頂架裝了英國廣播公司的發射機和接收機，然後沿著轟炸機飛行路線發射無線電波，進而觀察飛機是否會造成無線電波偏轉。⁸ 他在實驗後的報告中表示，死光不太可能成功，然而無線電波可偵測到飛機。⁹ 6月間，他展示了雙向式連續波(bistatic continuous wave)雷達；該雷達區分開發射機與接收機，讓物體在兩者間飛行時能產生干擾訊號。這雖然是往前跨一步，然而雙向式連續波雷達在實際應用中時仍有太多限制。9月

間，華生瓦特的團隊提出「連鎖之家」預警雷達系統最後所採用的脈衝雷達偵測方案。¹⁰ 收到華生瓦特報告的某位政府官員對此回應，表示「英國再度成為一個島嶼。」¹¹

在政府核准建立海岸雷達系統之同時，研究仍繼續進行。英國政府係於1935年9月，亦即華生瓦特對脈衝雷達偵測進行測試的同月間核准了該系統。政府隨後在12月通過6萬英鎊經費，用以建造5座雷達站。¹² 每一座發射站均有兩座高100公尺的鋼塔，並以兩個雙極天線陣列懸掛於鋼塔間的鋼索上。接收站則是分別由東西向和南北向延伸的偶極子天線，安裝於高約245英呎的木塔上。¹³

英國政府在驗證這個概念後，開始建構一套完整的系統。海岸雷達系統於1938年春開始持續作業，到1939年9月時，已沿著英國東部海岸的大部分地區設置20個站臺，建立起「連鎖之家」。¹⁴ 英國以大約1,000萬英鎊創建一套系統；該系統偵測飛機的距離遠達120英哩，可提供約20分鐘的事前預警，且其所使用的技術於軍備籌獲過程開始之際尚未存在。¹⁵

早期的「連鎖之家」有兩個主要問題。第一個是它無法偵測低空飛行的飛機。原始系統可偵測之飛機高度約距離地面1,000英呎至2萬5,000英呎間，讓德國飛機有可能躲避偵測。為解決這個問題，英國皇家空軍新增了「連鎖之家」低空雷達系統(Chain Home Low)；該系統乃是一系列較低矮且可移動式塔架，可偵測飛在500英呎高的飛機。¹⁶ 第二個問題是判讀雷達訊號所需的技能。早期的雷達係以示波器作為雷達顯示幕，必須經過複雜的計算才能確定目標位置。¹⁷ 在成功



英國皇家空軍新增連鎖之家低空雷達系統，可偵測500英呎(約152公尺)的敵機。

(Source: Imperial War Museum)

研發平面位置指示器(Plan Position Indicator)後，目標位置顯示在陰極射線管地圖上，透過減少數字計算與更直白顯示來解決這個問題。¹⁸

「連鎖之家」很快就成為大不列顛島防衛的重要部分。該系統到位後，英國就能收到警訊。「連鎖之家」清楚看到德國戰機在法國境內集結準備

發動攻擊。¹⁹ 系統結合截獲德軍無線電通信所破譯之絕密情報(Ultra)以及觀測隊(Observer Corps)所獲情資，使英國皇家空軍得以有時間在納粹空軍轟炸其基地或國內百姓前進行攔截，讓資源得以保全並用作最終反擊。²⁰ 英國雖然還稱不上安全，但卻可利用隔離來保護其戰略基地免受德軍攻擊，並

在必要時以本島作為部隊赴歐洲大陸作戰的集結整備區，一如其在第一次世界大戰和拿破崙戰爭中所處的狀況。

軍事創新傳達的課題

「連鎖之家」預警雷達系統的發展，從中得到最重要的經驗教訓，乃是戰略必須指導作戰需求，從而落實在軍備籌獲

上。戰間期軍事科技產生急遽變化，在此期間國防預算負擔相對較輕。當時英國皇家空軍把重點放在建設戰略轟炸部隊。許多空軍領導人深信，轟炸機總是有能力穿越防空系統，僅憑藉戰略轟炸即可贏得戰爭。因此空軍其他部分如戰鬥機司令部，通常在預算決策中遭到忽略。²¹

隨後，英國皇家空軍和政治領導人決定必須防禦本島，使其免於再次經歷1917年和1918年的空中攻擊，²² 無須將自身有限資源投入最新科技或嘗試與潛在對手較量。他們的決心讓戰鬥機司令部獲得更多投資，而該部在其政治盟友的支持下，決定必須在敵空軍從歐洲大陸來襲時前獲得預警情資，以防止敵國奪得制空權，因此有必要建立「連鎖之家」雷達系統。²³

「連鎖之家」的發展也證明在戰爭中快速創新的重要性。該系統乃是對高效率轟炸機的問世、戰略轟炸概念的出現，以及希特勒侵略性言論等直接回應。這個系統於1935年1月時，仍僅是一個理論性的概念，而在1939年9月則已轉變成為一套實際運作的海岸防衛系統。²⁴ 凱瑟(Walter Kaiser)曾指出，「如此重大技術進步，還能在短時間內如此廣泛且成功完成部署，這很可能算是史無前例。」²⁵ 如果英國當時在釐清問題、展開研究或執行建設等行動上稍有遲緩，那麼在不列顛戰役爆發之際，這套系統可能尚未就緒。即便沒有「連鎖之家」，納粹空軍也未必能擊潰英國的戰鬥意志和能力；然而，倘若未能預警德軍戰機來襲，英國皇家空軍可能有更多架戰機在跑道上即遭摧毀，且納粹空軍恐在英國各城中投下更多炸彈。

此外，如果英國皇家空軍未能採用反覆開發流程(iterative development process)，則「連鎖之家」亦不太可能於事前完成整備。開發人員採用反覆開發流程，逐步進行產品修改，而非企圖從開始後一次到位，並嘗試創造一套完美的解決方案。每一次反覆作業都是一個學習機會，無法據以判定系統發展的潛力。因此該系統在開發上屢獲進展，雖不完美但均有改進，且於整體發展過程中得以定期進行實測，而非到最後關頭才測試整個系統。

相較於一開始就試圖尋求完美方式，反覆開發流程可更快創建有用系統。「連鎖之家」團隊採取逐步發展專案的方式，就算系統本身並非完美，只要新系統是現行系統的改良版，且這些缺點可能合理排除，依然予以開發建置。華生瓦特利用了為其他目的而設計之現有技術來測試其理論。²⁶ 經過6個月，他已經發展出一套原型，並且獲得所需經費去建立一套實際可運作的系統。²⁷ 第一套系統雖無法偵測低空飛行的飛機，且操作人員必須有相當的數學專業知識，然而這些問題並未使該系統停止生產，英國政府反而願意反覆檢視系統設計，願意接受不完美的設計以持續向前推動這項計畫，且在不列顛戰役發生前就先建立起「連鎖之家」預警雷達系統。

第三個由發展「連鎖之家」及其與戰鬥機司令部整合所獲之經驗，為體會到擁有合適團隊來促進並發展特定創新作為的重要性。思考創新作為的人很可能會認為，可獨立運作自身想法或計畫，進而滿足需求。然而不幸的是這種想法並不切實。卓越的發想與計畫很少能僅憑恃其優點，



就能克服官僚組織之慣性而付諸實現。各項計畫都需要能夠帶領其通過現行體系的領導人。這方面的專業能力、對官僚系統與交涉手腕的理解，以及自我情緒控制能力等，對落實計畫而言，與擁有戰術或技術專才同樣重要。創建「連鎖之家」的過程中，就有軍事領袖、企業家以及技術專家共同參與。²⁸

英國皇家空軍上將道丁(Hugh Dowding)乃是軍事領袖。他在軍事官僚體系中主張建構雷達，以確保軍事人員與工程師彼此合作，使雙方均確實瞭解作戰需求及系統可發揮的功能。他同時協助英國皇家空軍發展戰術，利用「連鎖之家」的戰力，特別是用在夜間空中攔截。華生瓦特是團隊中的企業家。他與政府單位和工業團體協商，提出雷達站的設置排列，最後形成「連鎖之家」系統鏈。他也協助獲得穩定的資金來源，將團隊想法付諸實現。帝澤德爵士(Sir Henry Tizard)則是技術專家。他的委員會協助預判該系統可能戰力及潛在問題，包括空中攔截限制、如何與空襲警報網通聯、訊息的品質管制，以及如何引導飛機航向目標。倘若他們三位沒有各自扮演好角色，則確認雷達潛能，獲取開發所需經費，以及將整合雷達與戰鬥機司令部等工作，均將益形困難。

團隊的組成或許會因為所開發的科技和研發的系統而有所不同，然而，每一個團隊都需要科技、軍事及官僚體系的專才。沒有技術專才，團隊將難以理解開發、採購、創建需求及維護新功能等作業之間的細微差異，從而可能導致產生不切實際的期望、研發不能達成預期設計功能的科技，甚至還有長期維護等問題。

軍事專家扮演多重角色。他們透過確認作戰需求、發現實際運作時可能的癥結所在，以及某一特定戰力如何與其他軍事層面結合，協助確認能有效應用科技。軍事專家連結其團隊與作戰部隊，提升執行效率。他們也有助於強化合法性，讓採購認真將該計畫當一回事。

官僚體系的專家乃屬必要，因為開發及採購係於一個牽涉廣泛且令人困惑的環境中進行，其中處處可見官僚作風。然而，對瞭解這個體系的人而言，此環境也充滿得以做出重大改變的機會。一位瞭解聯邦採購法規(Federal Acquisition Regulation)、其他交易授權(Other Transaction Authority)及許多相關規定、程序與人員性格的團隊成員，可協助團隊逐步完成採購流程，並專注於產品交付，而無須與官僚斡旋。

有效率發展與採購教會美軍的課題，更是與聯合部隊密切相關。2018年美國國防戰略報告中指出，在科技快速轉變以及許多其他因素所界定的環境中，「美國的軍事競爭優勢正逐漸消失」。²⁹ 確認實際與潛在之戰略威脅、界定戰力缺陷，以及創造解決方案等能力將是保持優勢的重要內涵。

今日的國防發展與採購系統可參考英國「連鎖之家」預警雷達系統發展。上述經驗雖有所裨益，然而最重要的部分或許是道丁上將、華生瓦特、帝澤德爵士及其團隊所展現之專注投入和願意承擔風險。當政府於1935年同意為雷達系統提供經費時，世界上並未有所謂的雷達系統存在。他們邁步向前，抱持著由戰略環境所產生的危機意識，以一個原型系統為基礎，並相信可透

過反覆研發與修改，創建一個成功系統。倘若欠缺類似態度，任何一個創新團隊都不太可能成功。

作者簡介

Justin Roger Lynch曾任美陸軍軍官，隨後轉任陸軍國民兵。在卸任軍職後，他於國家安全相關企業擔任過不同職務，包括以新興科技為主之工作。

Reprint from *Joint Force Quarterly* with permission.

註釋

1. John Keegan, *The First World War* (New York: Vintage Books, 2000), 174–182.
2. Giulio Douhet, “The Command of the Air,” in *Roots of Strategy: Book 4*, ed. Curtis Brown (Mechanicsburg, PA: Stackpole Books, 1987), 283.
3. Alfred Gollin, “England Is No Longer an Island: The Phantom Airship Scare of 1909,” *Albion* 13, no. 1 (1981), 43.
4. R.J. James, “A History of Radar,” *IEE Review* 35, no. 9 (1989), 344.
5. Russell A. Hart, *Clash of Arms: How the Allies Won in Normandy* (Boulder, CO: Lynne Rienner, 2001), 50.
6. William L. Shirer, *The Rise and Fall of the Third Reich: A History of Nazi Germany* (New York: Simon & Schuster, 1960), 760.
7. Walter Kaiser, “A Case Study in the Relationship of History of Technology and of General History: British Radar Technology and Neville Chamberlain’s Appeasement Policy,” *Icon* 2 (1996), 32.
8. James, “A History of Radar,” 344.
9. Kaiser, “A Case Study in the Relationship of History of Technology and of General History,” 35.
10. Merrill I. Skolnik, “Fifty Years of Radar,” *Proceedings of the IEEE* 73, no. 2 (1985), 182.
11. James, “A History of Radar,” 344.
12. Otto Kreisher, “Radar from World War II Until today,” *Naval Forces* 3 (2007), 71–72.
13. Ibid.
14. Skolnik, “Fifty Years of Radar,” 38.
15. Kaiser, “A Case Study in the Relationship of History of Technology and of General History,” 37.
16. Ibid., 38.
17. Kreisher, “Radar from World War II Until Today,” 70–71.
18. Kaiser, “A Case Study in the Relationship of History of Technology and of General History,” 39.
19. Kreisher, “Radar from World War II Until Today,” 71.
20. Joseph F. McCloskey, “British Operational Research in World War II,” *Operations Research* 35, no. 3 (1987), 454.
21. Hart, *Clash of Arms*, 37–38.
22. Williamson Murray, *Military Adaptation in War: With Fear of Change* (Cambridge: Cambridge University Press, 2011), 156–158.
23. Colin Gray, “Dowding and the British Strategy of Air Defense 1936–1940,” in *Successful Strategies Triumphing in War and Peace from Antiquity to the Present*, ed. Williamson Murray and Richard Sinnreich (Cambridge: Cambridge University Press, 2014), 241.
24. Skolnik, “Fifty Years of Radar,” 38.
25. Kaiser, “A Case Study in the Relationship of History of Technology and of General History,” 41.
26. James, “A History of Radar,” 344.
27. Skolnik, “Fifty Years of Radar,” 182.
28. Alan Beyerchen, “From Radio to Radar: Interwar Military Adaptation to Technological Change in Germany, the United Kingdom, and the United States,” in *Military Innovation in the Interwar Period*, ed. Williamson Murray and Allan R. Millett (Cambridge: Cambridge University Press, 1998), 282–283.
29. *Summary of the 2018 National Defense Strategy of the United States of America: Sharpening the American Military’s Competitive Edge* (Washington, DC: Department of Defense, 2018), 3.