

壹、前言

現代軍事作戰依賴一系列的通訊裝備，用在廣範圍的電磁頻譜上，這允許武裝部隊彼此進行交談、傳輸資料、提供導航或及時訊息，以及指揮及管制世界上任何地區的部隊。同時也藉此瞭解敵人部隊在何處、做什麼，以及友軍在何處、武器取得何種效果。因此現代軍事單位都希望透過電子戰來主導電磁頻譜。可以說，若掌握電磁頻譜，就掌握戰場優勢。制電磁權的優勢包括：新式的感測系統、能夠快速掌握戰場環境、新式雷達、發展新一代雷達必要的電子、軟體、人工智慧等技術、空載式預警及管制系統、新一代電子戰環境，以及多領域的指揮管制等。

貳、新世代感測系統

感測系統是現代戰場的基礎，相關技術包括未來雷達系統、電子掃描雷達體系。未來雷達系統除運用新的半導體元件外，也應用機器學習、人工智慧等技術，同時也透過寬頻傳輸等技術，將多重感測器加以融合，使得新一代雷達的功能遠較過去舊式雷達強大，且更能掌握戰場的情況覺知。

一、未來雷達系統

由於微波、資訊、半導體、大型積體電路等各領域的發展快速，近年雷達系統發展快速，其工作頻率、頻寬、解析度都較過去提升，不僅是軍

* 舒孝煌，國防安全研究院中共政軍與作戰概念研究所助理研究員。

用，民用領域雷達發展也頗為快速，大量應用在交通、城市、物聯網、健康、民航、航海、安全等領域。另外，雷達領域也融入人工智慧，更先進的系統則可融合多種感測器，包括光學、紅外線、聲學、被動偵測系統等等，從而達成對周邊環境的 360 度不間斷監控。

目前雷達發展的主流是主動電子掃描雷達（AESA）拜半導體元件創新之賜，氮化鎵（GaN）元件可比矽以更高的效率傳導電子，並承受更高電場，因此已逐漸取代矽元件，運用在射頻系統上，特別是電子掃描雷達，因為此類型雷達的天線陣列必須包含上百甚至上千個天線單元，每個單元都具備獨立訊號發射及接收能力，每個發射及移相單元只負責掃描其指向區域，各單元可以分成不同區塊獨立發射波束，擔負不同任務，甚至可用來傳輸資料。由於其圖像解析度、發射功率更佳，目前主動電子掃描雷達已成軍用雷達的主流，在戰鬥機方面，如 F-22 的 APG-77、F-16E/F 的 APG-80、F-35 的 APG-81，以及最新的 APG-83 雷達，都是主動電子掃描雷達。而使用氮化鎵元件，可以縮小雷達的尺寸，並減少冷卻的需求，仍可確保最佳的輸出功率。¹

除了發射單元外，高速資料轉換器（High-Speed Data Converter），可以為雷達提供更高動態範圍及頻寬，使 5 代戰機如 F-35 能偵測更遠目標，實現低截獲率（low probability of intercept, LPI），並增加空間解析度；現場可程式化邏輯閘陣列（FPGA）技術運用機器學習（Machine learning）技術，可提升雷達對環境的感知能力，自動適應最佳工作參數，並實現對目標的自動識別。未來雷達也將運用高頻寬資料匯流排，以寬頻資料鏈將各感測器的資料集中處理，以進行各感測器的資料融合（Sensor Fusion），其典型即 F-35，其整合式核心處理器的資料來自多個感測器的資料，這可大幅提高飛行員對戰場情況覺察的能力。²

¹ “4 Game-Changing Underlying Technologies for Advanced Radar,” NATIONAL INSTRUMENTS, August 27, 2019, <https://www.ni.com/zh-tw/innovations/white-papers/18/4-game-changing-underlying-technologies-for-advanced-radar.html>.

² “4 Game-Changing Underlying Technologies for Advanced Radar,” NATIONAL INSTRUMENTS, August 27, 2019, <https://www.ni.com/zh-tw/innovations/white-papers/18/4-game-changing-underlying-technologies-for-advanced-radar.html>.

其他新一代的雷達或通訊技術，包括發展新型的專利微波射頻積體電路，可以在業界領先的頻率下運行，以開發軟件定義的無線電的高級應用程序。³ 這種「軟體定義無線電」（Software Defined Radios, SDR）將幫助改變軍事態勢感知的速度，從而加快決策和行動的速度。SDR 藉著將軍方各種頻譜資產上的資料、語音和視訊等通訊的方式加以數位化，並融合到一個通信設備中，從而使作戰空間中的指揮官和作戰人員同時可以使用這些模式。軍方希望 SDR 的應用，能包括性能更好的訊號情報（SIGINT），情監偵（ISR）和通訊技術，但這就需要軟體開發人員，在不依賴硬體情況下，便能使用低於 6 吉赫或高於 30 吉赫的頻率，若無此能力，SDR 的運用會受限制。

二、空載有人及無人感測器平台

地面雷達系統常受制於地形地貌，或是地表曲率限制，無法涵蓋完整空域情況，需依賴部署在空中的早期警戒雷達。許多國家常配備電子偵察機或多用途巡邏機，執行偵察、電戰、空中預警、巡邏等任務，通常是以民航客機、運輸機或是轟炸機等進行改裝，或發展專門載台執行任務，如 E-2、P-3 等。現今因為無人機普及，與有人機相較，機組乘員有執行任務的時間限制，無人機則僅有其自己的航程限制，可以長時間滯空，地面站的操作人員可以輪班，因此空中巡邏任務便可延長至 24 小時以上甚至更久，使用國可以對其周邊海、空域不間斷的空中監控，這些任務可以包括空中預警、反水面戰、反潛作戰、人道救援、災難救助、搜索救援、空中執法、海洋安全、空載反水雷任務，端視其所搭載的任務莢艙或系統而定，其任務又不限於軍事，執法單位、科學研究單位也常使用無人機執行任務，例如 MQ-9A「收割者」（Reaper），除獵殺任務（Hunter-Killer）外，也可執行情報、監視及偵察等軍事任務；更大型的 RQ-4「全球鷹」

³ “More Bandwidth for Software Developers Means Better Apps for SIGINT/ISR/Comms,” Breakingdefense, October 28, 2020, <https://breakingdefense.com/2020/10/more-bandwidth-for-software-developers-means-better-apps-for-sigint-isr-comms/>.

（Global Hawk），配備合成孔徑雷達、紅外線／光電模組（EO/IR），主要任務即是對廣大空域進行長程、長時間的監控，海軍版的 MQ-4C 海神（Triton，希臘神話中人身魚尾的海神），主要任務則在搭配 P-8 海神（Poseidon），進行廣範圍的海上監視任務，機上配備 AN/ZPY-3，為一種 X 波段操作的多功能主動電子掃描雷達，採用商規開放式架構，並配備自動偵測及迴避系統，以便偵測及迴避其他飛機。

以國軍即將獲得的 MQ-9B 海洋守護者（Sea Guardian）為例，使用客戶即包括美國航空太空總署（National Aeronautics and Space Administration, NASA），用於科學研究，如太空船返航觀測、次軌道科學實驗，也協助進行森林火災觀察；美國海關及邊境保護局（U.S. Customs and Border Protection, CBP），擁有 9 架 MQ-9A，配備合成孔徑雷達及光電偵蒐系統，用於邊境巡邏，查緝非法走私、非法移民或恐怖分子的偷渡行動，另也配備 MQ-9B，以其機上的 SeaVue 海上搜索雷達執行海上目標搜索；美國中央情報局（Central Intelligence Agency, CIA），用於偵察及監控，其他使用者尚包括英國、法國、荷蘭、澳洲、印度、日本等國。

在有人機的空中巡邏部分，軍用的 E-3「哨兵」（Sentry）是以波音 707 客機為基礎發展，737「楔尾」（Wedgetail）則以 737 客機為載台，海軍的 E-2「鷹眼」（Hawk Eye）則是為艦上起降而發展。不過近年的趨勢則是使用商務機或中小型區間客機作為載台，考量到任務效率及飛行成本，機體比大型民航機要小、飛行操作較靈活、操作成本較低，新一代商務機具備數位化座艙，已在民間公司擁有豐富使用經驗，而且機體改裝彈性大，成為改裝新一代電偵或巡邏機的適當選項。

商務機或區間客機改裝電偵機或巡邏機，主要是針對中小型國家，不具備特異新潮的設計或前瞻概念，而是以實用化與成本效益出發。不過因電子技術進步，已經可以配備先進的雷達與光電感測系統，或以戰鬥機用的電子掃描雷達改裝的莢艙，例如以 APG-80 或 APG-81 雷達為主體的監視系統莢艙，除執行海洋巡邏，執行反恐或查緝走私，以及搜救、環境保護、災害監控等多樣化任務。

美國陸軍的「空載偵察目標發現多任務情報系統」(Airborne Reconnaissance Target Exploitation Multirole Intelligence System, ARTEMIS)，就是這種電偵機最新的一種，今年7月首度部署在印太司令部轄區。這是陸軍第一種空載情監偵飛機，目前仍處於實驗性部署性質，驗證其作戰能力。⁴

ARTEMIS 以龐巴迪 (Bombardier) 公司的挑戰者 (Challenger) 650 商務機為載台，這型機或其衍生型也普遍用於其他類型的載台。其動力為2具渦輪扇噴射發動機，時速893公里，航程遠達7,400公里，巡航高度3萬7,000呎，可搭載12名乘員。

ARTEMIS 由美國陸軍航空計畫執行辦公室 (Program Executive Office Aviation) 負責，但是由民間公司操作，屬「合約商擁有及操作」(COCO) 模式。用以提供由高高度對鄰近地區敵方目標的即時偵測能力，並彌補多領域作戰 (Multi-Domain Battle) 的情監偵能力缺口。長程火力是陸軍多領域作戰概念中六項優先發展計畫的第一項，美國陸軍希望發展其遠程打擊能力，在太平洋地區擔負「由陸制海」的角色，未來甚至可能配備射程500公里的精確打擊飛彈，或1,000公里以上的極音速武器，但需要一種能夠自主控制，越地平線進行目標蒐獲及標定的偵測平台，不需依賴海空軍的情監偵平台。⁵

ARTEMIS 機上搭載高精確度偵測及運用系統 (High-Accuracy Detection and Exploitation System, HADES)，結合強力對地掃描雷達，以及敏感的電子情報接收器，這是美國陸軍多領域感測系統的一部分。雷達可用以發現地面移動目標如戰車等，亦可能用於偵測海面船艦。在4萬呎高度時，這些感測器可在數百英哩外進行全方位掃描。⁶ HADES 系統將可

⁴ 舒孝煌，「美國陸軍在西太平洋部署電偵機意涵」，國防安全研究院，2020年9月8日，https://indsr.org.tw/tw/News_detail/2235/%E7%B8%8E%E5%9C%8B%E9%99%B8%E8%BB%8D%E5%9C%A8%E8%A5%BF%E5%A4%AA%E5%B9%B3%E6%B4%8B%E9%83%A8%E7%BD%B2%E9%9B%BB%E5%81%B5%E6%A9%9F%E6%84%8F%E6%B6%B5。

⁵ “U.S. Army Deploys its New ARTEMIS ISR Aircraft to Indo-Pacific Region,” *Defpost*, August 14, 2020, <https://defpost.com/u-s-army-deploys-its-new-artemis-isr-aircraft-to-indo-pacific-region/>。

⁶ “A New Spy Plane Could Spot Targets For The U.S. Army’s Thousand-Mile Weapons,” *Forbes*, August 2020, <https://www.forbes.com/sites/davidaxe/2020/08/13/a-new-spy-plane-could-spot-targets-for-the-us-armys-thousand-mile-weapons/?sh=fca90842b876>。

滿足美國陸軍對於支援多領域作戰的「深度感測」（Deep Sensing）需求。

陸軍預計從 2023 年開始採購此型電偵機，不過最終使用的機體載台還未正式決定，或許會改用更大的飛機，例如波音 737 或灣流 550（Gulfstream 550）。

在其他軍種部分，空軍準備淘汰老舊的 E-8C 聯合監視目標攻擊雷達系統（Joint Surveillance Target Attack Radar System, JSTAR），計畫改以發展先進戰鬥管理系統（Advanced Battle Management system, ABMS），建立聯合空中及地面的戰場情報蒐集網路，但美國國會反對將 E-8 退役，未來美國空軍可能也會發展一種較具經濟效益的飛機來取代 E-8。

其實美國海、空軍也在運用商務機作為電戰平台，美國海軍在 2018 年接收 NC-37B，供飛彈追蹤任務使用，機體為 G550；美國空軍在 2017 年將 EC-37B 改裝為電戰機，C-37 即為 G550 的軍用型號。

許多國家早以商務機改裝電偵或預警機，以色列航太（IAI）旗下的艾爾它公司（Elta）公司也以 G550 為載台，配備 ELW-2085 電達作為早期預警機；另有也是以挑戰者 650 改裝的 ELI-3360 海洋巡邏機；在電子情報上，也使用挑戰者 650 改裝，發展 ELI-3120 情報監視機及 ELI-3001 空載整合式電子訊號情報機。新加坡空軍早在 2009 年即以 G550 CAEW 預警機，取代從 1987 年即已服役的 E-2C，即使用以色列航空工業的 ELW-2085 適形相位陣列雷達，其航程達 6,750 哩，耐航時間長達 8 小時，除了長程空中監視及空域管制，也可作為空中及海上的指管通情（C4I）平台、網路化作戰，以及通訊節點。澳洲空軍也在 2019 年接收 4 架 G550 CAEW，賦予編號為 MC-55A 遊隼（Peregrine），作為其下一代電子戰平台。

除了商務機外，也有使用渦輪螺旋槳為動力的民航機作為改裝平台，包括歐洲的空中巴士，以 C295 作為平台，也使用艾爾它的 ELW2085 相位陣列雷達，但是以圓盤式裝置在機背上，能有比裝在機身兩側有更佳涵蓋範圍。C295 雷達內部其實是單片式天線，再加上一片獨立的敵我識別天線，以傾斜方式裝置在圓盤天線罩內，以比 E-2 快 2 倍的旋轉方式掃瞄。⁷

⁷ “A New Era for ASuW/ASW Airborne Platforms?” *European Security & Defence*, September 19, 2019, <https://euro-sd.com/2019/09/articles/14468/a-new-era-for-asuw-asw-airborne-platforms/>.

ATR (Aviones de Transport Regional) 公司也以 ATR 42 及 ATR 72 作為海洋巡邏機，配備 EOST 23 電子光學監視系統，Wescan 感測器轉塔，包括前視紅外線及長程電視攝影機，機腹下為雷神及德州儀器共同發展的 SV2022 360 度雷達，並使用 MIL STD 1553B/RS-422/ARINC429 資料匯流排。ATR72MP 已獲義大利空軍採用，被賦予 P-72A 的編號，以 ATR-72-600 雙螺旋槳區間客機作為平台，配備敵我識別、慣性及衛星導航、太康導航，感測系統包括 Star Safire 高解析度光電系統、李奧納多的 Seaspray7300E 電子掃瞄陣列雷達，及 ELT800V2 電子反制系統，任務包括海洋巡邏、水面船隻搜尋及追蹤、經濟海域巡邏、指揮管制、電子情報、搜索救援、海盜防範、毒品與人口走私查緝等。

另外，瑞典紳寶公司 (SAAB) 也以 SAAB340 及 SAAB2000 低單翼螺旋槳客機改裝，執行海洋巡邏任務，SAAB 2000 AEW&C 使用新一代 Erieye 雷達，可以掃瞄小型的空中及海面目標，掃瞄距離可達 450 公里；龐巴迪 Q400 與 Dash-8 巡邏機使用多用途的 ELI 3600 空載系統，一具海洋監視、繪圖及追蹤雷達，Dash-8 Q300MPA 是由加拿大的 Provincial Aerospace 公司改裝，作為海洋巡邏機，提供阿拉伯聯合大公國執行海洋交通安全任務。

其他使用螺旋槳區間客機改裝的產品，尚有 C212 及 CN-235，越南海事警察曾採購 3 架 C212-400 巡邏機，用在海岸監視、非法捕漁、毒品走私等任務。印尼航太公司 (IAe) 發展的 CN235-220 MPA，因使用成本低廉，有二十餘國採用 CN-235 作為巡邏機，美國海岸巡防隊也使用 CN-235。商用機改裝的電偵機或巡邏機，除軍事用途外，也可用在國土安全、邊界保護、災害管理及緊急空中交通管制等平時任務，使用範圍極廣，這也是商用機改裝巡邏機的最大特點。

參、電磁作戰

電子戰是一種使用電磁能控制電磁頻譜 (electromagnetic spectrum) 並攻擊敵人的軍事行動，頻譜則指電磁波能量的範圍。電子戰也包括讓我

方軍事指揮官藉通訊指揮部隊，並阻止敵方藉電磁頻譜進行通訊，因此電子戰也被認為是反介入／區域拒止（A2/AD）戰略的一環。從雙向無線電被運用在軍事上以來，軍隊已越來越依賴電磁頻譜，現在幾乎擴大到所有武器系統，包括：與友軍部隊通訊、戰術資料鏈結，雷達和衛星通信的戰術微波、用於標定敵方的紅外線，以及各種運用在通訊、傳遞資料，甚至是摧毀敵人的雷射等均屬之。⁸

現代軍事作戰依賴一系列的通訊裝備，用在廣範圍的電磁頻譜上，因此現代軍事單位都希望透過電子戰來獲得電磁頻譜優勢。電子戰可以分為三大類：

一、電子保護

涉及採取行動，以保護我軍人員、設施、裝備，避免因敵軍或我軍使用電子手段使我方戰鬥能力被降級、中程或摧毀，這包括電磁頻譜管理、電磁強化、傳輸器管制等。

二、電子攻擊

使用電磁能來減少或拒止敵人電磁頻譜的使用，其中包括電磁干擾（如自我保護干擾裝置或是距外干擾）、定位、導航及即時拒止、電磁欺騙、直接能、反輻射飛彈、消耗性措施如熱焰彈、干擾絲等。

三、電子支援

尋找、識別、分類及標定屬於友好或敵方部隊的發射源，並分辨其威脅、目標、計畫，以保護我軍部隊，或發展拒止敵方運用電磁頻譜的計畫。這些項目彼此可以互相支持，電子支援裝備同時可以對友軍及敵軍的

⁸ “Defense Primer: Electronic Warfare,” CRS Report, December 30, 2019, <https://crsreports.congress.gov>.

電子發射裝置進行評估，這些資訊可以用來發展電子保護計畫，以維持對電子頻譜的運用，或是發展一項攻擊計畫，以拒止敵方的運用。例如雷達干擾可以產生保護效果，使友軍可以穿透具有良好防護的空域，並防止敵方獲得完整戰場圖像。⁹

電子戰已受到各國廣泛重視，由於電子及資訊技術的發展，電子戰的意義已被擴大。另外，俄羅斯及中國都在快速發展其電子戰技術，一方面電磁操作環境日益擁擠，而商業寬頻技術廣泛用於經濟增長及繁榮，進一步限制軍事上的使用。

美國參謀首長聯席會議 2020 年 5 月發布的《聯合電磁頻譜作戰》（*Joint Electromagnetic Spectrum Operations*）認為，就如同在真實或網路空間一般，部隊要在電磁頻譜中進行機動並作戰，以實現戰術、作戰及戰略優勢。在電磁頻譜中的機動與行動自由，對美國及多國作戰至關重要。《聯合電磁頻譜作戰》將確保在承平時與地主國協調，充分運用電磁頻譜，當危機升高至武裝衝突時，由協調轉為聯合軍事行動，以利用、攻擊、保護及管理電磁作戰環境。

另外，美國國防部 10 月也公布《電磁頻譜優勢戰略》（*Electromagnetic Spectrum Superiority Strategy*），指導如何發展電戰能力，並在複雜的電磁環境中獲致優勢。該《戰略》認為美國對手已經投資先進的干擾能力和定位系統，可以根據電磁頻譜的發射來瞄準部隊，這使大型指揮基地變得脆弱。該戰略列出 5 個目標，包括：

1. 開發優越的電磁頻譜能力。
2. 演變為敏捷且完全整合的電磁頻譜基礎架構。
3. 在電磁頻譜中尋求全面的部隊戰備。
4. 建立持久的合作夥伴關係以獲取電磁頻譜優勢。
5. 建立有效的電磁頻譜治理。

⁹ “Defense Primer: Electronic Warfare”, Congressional Research Service, December 30, 2019; Department of Defense, Joint Publication 3-13.1, Electronic Warfare, February 8, 2012.

美國陸軍在多領域作戰環境下，將會面對一系列複雜的傳統及非傳統目標，包括擴大範圍的網路和機動防空系統，以及拒止對手行動自由的中長程火力系統。為保持優勢，陸軍航空部隊必須保有一支先進的有人和無人飛機團隊，進行偵察、監視、目標獲取和殺傷力的現代化，這是其「未來垂直舉升」（Future Vertical Lift）現代化工程的一部分，這需要發展未來攻擊偵察直升機。此一作戰方式將能在敵方的反進入／區域拒止（A2/AD）環境下進行滲透、分解和利用，該環境包括整合式防空系統、監視和目標系統，命令和管制能力，以及通訊技術。它將通過一系列空載式裝備來達成，包括一系列大型和小型的無人機或已空投系統，能夠偵測、識別、定位和報告威脅，同時還提供非致命作戰效果。預計發展方向包括：

1. 電子戰任務的硬體。
2. 用於分散式協同團隊功能的硬體、軟體或技術，包括處理技術、網路保護和資料鏈，以實現對空射式的指揮管制。
3. 可以融合、處理、決策，並根據感測器數據採取行動的軟體或演算法，使空射效應可以自動做出反應並適應對策。
4. 多模組／多功能技術，由合成孔徑或移動目標標定雷達，或具有共同孔徑的聯合電子戰，雷達和通信功能組成。
5. 模組化開放系統架構。

肆、多領域指揮管制

作戰指揮官的夢想是能即時獲得最清晰的戰場情況，並且即時下定決策，當他需要資料時，可以像網際網路一般，直接找到他需要的資料，這些資料從所有可取得的感測器上下載，這樣可以將感測器—指揮者—射手間的連結速度更為緊密。

一、聯合全領域作戰概念的發展

「聯合全領域指揮管制」(Joint All-Domain Command and Control, JADC2)是美國國防部正在推動中的新作戰概念，其目標是連接分散在空軍、陸軍、海軍、陸戰隊和太空部隊等各軍種的所有感測器與射手(Shooter)，取代現有各領域及控制系統，建立一套單一系統，能將資料分發至所有領域，包括陸、海、空、太空、網路，以最佳方式提供必要資料，反應現有威脅。¹⁰ 未來，陸軍指管節點可以將目標資訊提供給更適合實施打擊的不同作戰飛機或船艦，透過一個名為「戰術情報目標介入節點」(Tactical Intelligence Targeting Access Node, TITAN)，藉使用 F-35 或是神盾系統的資料，陸軍使用一種新的戰術空間技術，可以改善在多領域作戰中的任務指揮，運用高高度、太空或地面的不同層次感測器，可以提供有用的資料供發射網路利用。

在美軍傳統上，各軍種都開發自己的戰術網絡，一個軍種的戰術網絡與其他軍種的網絡並不兼容，例如陸軍網絡無法與海軍或空軍網絡對接。現行的決策模式分析作戰環境並發布命令，可能需要數天時間，但未來衝突可能需要在數小時、幾分鐘，甚至幾秒之內做出決策。美軍現有的指揮管制架構不足以滿足國防戰略的要求。

「全領域作戰」(All Domain Operations)將使美軍在全球領域作戰時獲致極大優勢，這可使美軍具備在一次衝突或危機中無縫結合及有效指揮與管制所有領域的能力。「全領域作戰」結合太空、網路、嚇阻、運輸、電磁頻譜、飛彈防禦等，並將這些能力在全球結合起來，以與全球的競爭者在各領域競爭。這不僅需要新技術，還需要新的概念。這些概念在近幾年中迅速發展，從「多領域戰鬥」(Multi-Domain Battle)到「多領域作戰」(Multi-Domain Operations)，乃至現在的全領域作戰。

2019 年秋天，美國 4 個軍種，以及參謀首長聯席會議為全領域作戰創建新的聯合作戰概念。此概念包括空中、陸地、海上、太空、網路，電

¹⁰ “Joint All-Domain Command and Control (JADC2),” MDAA, June 30, 2020, <https://missiledefenseadvocacy.org/defense-systems/joint-all-domain-command-and-control-jadc2/>.

磁頻譜，以及美軍未來需要運用的一切。與現況相較，最大區別是增加太空及網路，即太空司令部和網路司令部，可在任何危機或衝突中，在太空及網路這兩個領域中指揮作戰，而戰區司令部傳統上負責協調特定地區的空中、海上和陸地作戰。

全領域作戰概念包括全球火力，武器包括有形（如飛彈）及無形（網路），可以由戰區之外投射，另外再增加包括全球計畫（global plans）、非火力式的全球行動（global operations short of fires）、訊息傳遞的全球整合（global integration of messaging），以及全球嚇阻整合（global integration of deterrence）等 4 項新要素。全球計畫不僅是傳統作戰計畫，尚包括危機快速反應、不含火力的全球行動，亦即在承平及戰爭光譜中間的「灰色地帶」，軍隊均可以處理，包括以行動及言詞對盟邦提出保證，並嚇阻對手；全球整合式的嚇阻包括所有手段的運用，包括威脅使用核武，這將使潛在敵人在發動攻擊前需再三考量。

二、各軍種的全領域合作

美國陸軍與空軍在 2020 年時簽訂協議，定義數據共享和軍種介面的共同標準，在最「基本級別」上建立全領域聯合指揮管制。¹¹ 由國防部整合與需求辦公室（A-5）領導，陸軍未來司令部和空軍戰略辦公室將儘快向作戰人員交付全領域指管能力，並增進對這項概念和能力的共同理解。

未來作戰節奏將更快，聯合部隊將擁有更多的感測器，以及更多的射手，而且比以前更廣泛地分散。在全領域聯合指管概念中，美軍每一個軍種中都可可在「網狀網路」中連接感測器、射手及指揮節點，作戰指揮官可以有更多選擇，並更快速採取行動。各軍種則必須學習如何對接，並運用聯合網路蒐集的數據、偵察和情報。

¹¹ “U.S. Army, Air Force Sign Collaboration Agreement for CJADC2 Development,” Defpost, October 2, 2020, <https://defpost.com/u-s-army-air-force-sign-collaboration-agreement-for-cjadc2-development/>.

該計畫將把陸軍的「融合計畫」(Project Convergence)與空軍和太空軍的先進戰場管理系統(Advanced Battlefield Management System, ABMS)結合。這兩項計畫的目的,都在幫助更快地做出明智的戰場決策。「融合計畫」是陸軍合併其聯合部隊能力,並與技術變革保持同步的計畫。2020年時,美國陸軍已在亞利桑那州的猶馬試驗場完成「融合計畫20」演習,測試人工智慧的能力,以及從空中、太空和地面感測器傳輸訊息的能力。

空軍的「先進戰場管理系統」則是使聯合部隊能夠快速蒐集、分析和傳輸數據。「先進戰場管理系統」是軍隊的網際網路,操作者選擇重要資料進行傳輸,以及讓其他人能夠訂閱以獲取需要的訊息。各軍種、盟軍和夥伴都能連接網路,並以機器速度共享訊息。

隨著國防部強化改進聯合軟體的努力,空軍和海軍也以新的方式聯結作戰資產。海、空軍已在2019年簽訂類似合作協議,並進行一系列實驗,設法將未能結合的作戰能力結合在一起,包括經由太空將情報、監視、偵察與指揮管制以及射手相連結、編寫演算法、設置通用架構,使擊殺鏈中的機器與機器連結,而在這項循環中,操作武器的射手仍是由人員操作。

美國空軍中央司令部及美國海軍已在2020年9月,於波斯灣合作進行一場海上水面戰(AOMSW)演習。¹²美國空軍參演部隊包括332空中遠征聯隊,派遣F-15E戰機參加,另包括空軍中央司令部聯合空中作戰中心;海軍作戰單位則包括F/A-18F「超級大黃蜂」(Super Hornet)戰機、MH-60R「海鷹」(Sea Hawk)和MH-60S「夜鷹」(Night Hawk)直升機,另外還包括勃克級飛彈艦邱吉爾號(USS Winston Churchill),P-8巡邏機則負責指揮管制,海岸巡防隊的艦艇也參加這項演習。

聯合全頻譜作戰是一項複雜的任務。這項演習驗證海空兩軍的多領域整合,以及快速指揮和管制。美軍已進行多次類似演習,但從指揮和管制

¹² “USAF, Navy Practice Joint Air Ops over Persian Gulf,” *Airforcemagazine*, September 29, 2020, <https://www.airforcemag.com/usaf-navy-practice-joint-air-ops-over-persian-gulf/>.

角度來看，這是規模最大也最複雜的一次，這使美軍艦艇、飛機和人員能在受限制的環境中，以更高的複雜度來實施協調的防禦戰術和機動。

目前美軍離全領域整合還有一大段距離。「聯合全領域指揮管制」可將所有感測器、通訊系統、運用資料融合（Data fusion）技術的發動機、潛艦、AH-64 攻擊直升機、F-35 戰機、P-8 巡邏機、水面船艦或是軌道衛星等各項作戰單元，都能回饋目標資料給任一武器，以確保對一項威脅實施最有效、最致命的反應。¹³

這項大膽構想可將美軍聯合作戰能力提升至新水準。在這之前，每一個軍種訓練、裝備及提供完訓部隊，接著由聯合參謀及戰區司令部加以結合，確保部隊、通訊、武器系統可以協同作戰，或至少可以兼容。美軍現在的聯戰機制已將陸、海、空軍整合，全領域作戰則建立在這項基礎上，「全領域作戰」是將現有的聯戰基礎擴充至陸、海、空，加上太空及網路空間。

美軍現在對太空和網路的運用方式雖有所不同，但就如同其他形式的軍事力量一樣，各有自己的交戰規則、特有的機動形式、自己對衝突產生影響的方式。雖然太空與網路和其他領域不同，但如果只看執行面，也就是武器指揮與管制的問題。

為釐清未來聯合作戰途徑，美國已進行兩次重要的兵棋推演，稱為「全球整合演習」，模擬與俄羅斯和中國的戰爭，不過並不清楚是涉及兩國的單一方案，抑或是兩個單獨方案。這些是全球性衝突，集中於世界的某個地區，涉及所有作戰司令部和所有領域，美軍可藉兵推查看其作戰領域的漏洞，並加以解決，或確知現行作戰方式尚無能力填補，這項「全球整合演習」兵推確實展示未來「全領域作戰」的重要性。

¹³ “Gen. Hyten On The New American Way of War: All-Domain Operations,” *Breakingdefense*, February 18, 2020, <https://breakingdefense.com/2020/02/gen-hyten-on-the-new-american-way-of-war-all-domain-operations/>.

伍、小結

新一代感測系統結合新電子元件及積體電路技術、寬頻傳輸、機器傳輸或人工智慧等技術，大幅提升雷達及感測器能力。新一代有人或無人空載平台，可執行偵察、電戰、空中預警、巡邏等任務，協助強化情監偵能力。這些情監偵載台的整合，是美軍推動全領域作戰重要一環，不僅僅使用單一載台，在共通的網路架構中，能快速運用所有感測器的資源，才能發揮多領域優勢，使用最有利的作戰單元，達成作戰目標。現代電子戰已獲各國重視，俄羅斯及中國都快速發展其電磁頻譜戰能力，美國為確保在全領域作戰的優勢，結合陸、海、空、太空、網路及電磁頻域等各作戰領域，以及全領域指揮管制的的能力，將各領域無縫接軌，使美軍聯戰能力再向前擴展，以確保其最大的作戰優勢。