



FOCUS

專題報導

● 作者/John A. Tripak ● 譯者/趙炳強 ● 審者/馬浩翔

重拾電磁頻譜戰場優勢

Dominating the Spectrum

取材/2022年3月美國空軍月刊(*Air Force Magazine*, March/2022)

美空軍在1990年代放棄專用電戰平臺。這些功能現在已裝備於F-22、F-35上，很快F-15也將配備鷹式被/主動預警暨生存系統。(Source: USAF/Jacob Wongwai)

美國過去30年致力於中東與西亞地區的反叛亂、反恐作戰，俄羅斯與中共卻已悄悄在電磁頻譜作戰領域追平甚至超越美軍技術，美空軍正在尋求重掌該領域優勢，嚇阻對手輕舉妄動，維護美國與戰略合作夥伴之安全。





美 空軍參謀長布朗(Charles Q. Brown Jr.)上將指出，空軍在過去30年中推進電磁頻譜(EMS)戰法的方式，已乏善可陳到可以用「怠忽職守」來形容。

過去30年間，美國專注在中東的反叛亂作戰，未能適當掌握以頻譜作戰決定勝負的對等戰爭。

不過隨著俄羅斯與中共的先進技術崛起，美國現在正努力迎頭趕上，且不得不考量在電磁頻譜戰中占據主導地位的替代戰略，同時開發新武器與系統來反制競爭對手的進步。

2021年4月，美空軍核准一項新的電磁頻譜優勢戰略，而空戰司令部則在2021年夏天成立了

空軍的電戰先鋒

為能遂行電磁頻譜戰略，空軍需要硬體設施配合。1990年代後期，空軍放棄專用之電戰機EF-111渡鴉式和F-4G。此後，其功能即被F-16 Block 50 野鼬式、EC-130羅盤呼叫式以及與F-22和F-35等機型整合之許多其他戰術平臺、莢艙和系統所取代。

在2020年代後半期，空軍的戰術電戰作為，將主要由配備AN/ASQ-239電戰系統的F-35 Block 4，和配備AN/ALQ-250鷹式被/主動預警暨生存系統(Eagle Passive/Active Warning and Survivability System，以下簡稱EPAWSS)的F-15戰機擔任。EPAWSS實際上是根據F-35的套件研製，而製造商貝宜系統公司(BAE Systems，以下簡稱貝宜公司)預計，到2030年代中

期，貝宜公司將能生產兩套系統共用的模組，從而大幅降低維護成本，同時最大化提升軟體工作能力。空軍和波音公司正在決定是否採用這種方法。

無論是空軍還是貝宜公司都無法進一步透露EPAWSS具體的運作方式。傳統上，此類系統會使用高能量干擾敵方雷達，讓敵方無法看到電子雲(Cloud of Electron)中的目標；或者使用傳送逆波(Inverse Wave)來欺騙敵方雷達，使敵方以為其不存在；或者操縱回波訊號來欺騙敵方雷達，使敵認為飛機在其他位置。

廣義而言，這是一種非莢艙式的內部系統，可以快速感知並蒐集發射至機身的電磁能量，即使是來自低截收率攔截雷達(Low Probability Intercept Radar，LPIR)的能量也能識

別，可為飛行員創造一個全面的威脅視圖。貝宜公司表示，EPAWSS與F-15的干擾絲熱焰彈投放器整合在一起，還可以與F-15的主動電子掃描陣列(AESA)雷達互相配合，使其可以在不干擾自身雷達或雷達預警接收器的情況下，干擾敵方雷達。

貝宜系統副總裁兼電子戰總經理沃茲(Jerry Wohletz)表示，EPAWSS具有模組化的開放式系統架構，因此即便技術層次較簡約的小型企業也能對該平臺輕易上手。雖然他無法說明EPAWSS偵測威脅並回應的速度有多快，但會是「有史以來部署速度最快的系統」。

沃茲說，「我們正在使用基礎數學和物理……不追求運用人工智慧或機器學習」而是「以原始、暴力的方式來制壓對手可以快速部署的東西」。他說這替

第350頻譜作戰聯隊(350th Spectrum Warfare Wing)。秋季，空軍將電磁頻譜戰業務整合到「情報、監視、偵察和網路效果處」(Intelligence, Surveillance, Reconnaissance and Cyber Effect directorate)下。2022年春，空軍和海軍向國會提交一份有關加速研究和部署利用機器學習的「認

知」電子戰聯合報告。

然而，即便空軍致力將這些改革全部付諸實施，中共和俄羅斯仍繼續投資並強化其能力。在烏克蘭、臺灣或其他地方醞釀的衝突，可能不會給美國足夠時間迎頭趕上，美軍可能不得不接受與頻譜優勢相關性低的「相互拒止」措施。雖



EPAWSS將可讓老式F-15攜帶更多武器以接近敵方防空系統，使其持續投入作戰。該系統將於2024會計年度在F-15EX(圖右)投入使用。

(Source: Savannah Bray)

決策提供優勢：「如果你的速度比對手更快，要贏過他們就有如探囊取物」。

他說，該系統將替無法匿蹤的1970年代老式F-15在競爭空域中提供「機動自由」。F-15將在敵方防空系統「有效射程攻擊內」使用大量武器，「因此他們可以在非常廣泛的戰鬥範圍內……使用所有這些武器」。空軍表示，如果沒有EPAWSS，大約在2025年之後，F-15便無法在競爭空域取得優勢。

EPAWSS不依賴預置的戰術

資料庫，而是提供「綜合運用不同手段」的形式，挑戰對手在可用時間線上處理資料的能力。

沃茲說，此系統若建置於F-35上，則EPAWSS和F-35都能夠利用軟體與更新的投資來取得優勢。

「EPAWSS正在回饋至(F-35) Block 4的升級作業中……我們將把它提升到一個新境界，並在系統中推動更多互通性，希望未來有一天能達到讓這些模組在不同機型間通用互換的理想狀態」。這是關鍵，因為「國

防部高層已經表示，『我們正在煩惱支援問題』」，他說。通用模組可以提供更多現場可更換元件加以簡化維護，並透過大量生產來降低成本。

沃茲說，主要軟體更新可依6至12個月的間隔進行，但在開發期間每年可以進行多達五次的軟體更新，這表示如有必要，更新其實可以更頻繁。

沃茲說，EPAWSS在開發初期遭遇嚴重挫折，但貝宜公司投入非常多心血，在很大程度上解決這些問題。美國國防部作戰測試和評估署(Director of Operational and Evaluation)在其2022年度報告中指出，空軍現在正在測試EPAWSS，並將分別在2023與2024會計年度開始在F-15E和新的F-15EX上部署該系統。



然美國在電磁頻譜方面的技能，在西南亞的長期反叛亂戰鬥中已經衰退，但中共的實力卻足以與之分庭抗禮甚至超越美軍。美空軍「未來主義學家」，同時也是戰略、整合和需求參謀次長希諾特(S. Clinton Hinote)中將，在2021年12月「國際電戰協會」(Association of Old Crows)的演講中表示：

「那是一個不重視電子戰、電子攻擊、電子防禦、電磁頻譜機動的時代，他們研究我方作戰……同時研究在座許多與會者與你們的工作，並盡最大努力想方設法來對抗各位在電磁頻譜戰中所做的努力」。

因此，今日中共可以從他們的雷達發送「次次不同」的脈衝訊號，希諾特說「沒錯，這是現在正在發生的事」。

希諾特指出，中共在此期間變得如此擅長電磁頻譜戰，以至於今天「他們絕對相信(電磁頻譜)優勢是致勝的先決條件」，這表明若阻斷中共使用頻譜，便可能足以阻止其繼續戰鬥。他說，「也許我們阻斷中共使用電磁頻譜就夠了……用電磁能量填滿無線電波中的空隙，密集到甚至你可以走在上面的程度……讓電磁頻譜作戰變得異常困難，到最後就變成一個相互拒止的空間」。

就像第一次世界大戰中，敵對戰壕之間的「無人地帶」(No Man's Land)一樣，將頻譜領域變成一個雙方都占不到優勢的區域。「完全填滿，讓中共在該領域中的作戰能力戒慎恐懼」。

希諾特說，美空軍「相當擅長」在通信阻斷、感測器干擾和太空連線能力受阻的情況下遂行作戰。多年來，美空軍已在「無太空支援」(A Day

Without Space)演習中實踐此概念。他表示，「一般而言，我們必須能夠以分散方式進行戰鬥……對我們來說，一場雙方都分散兵力的戰爭，將會是個非常有趣的經驗」。

希諾特期許聽眾接受如此事實：取得全面優勢已是過去式。他敦促聽眾對相互拒止電磁頻譜的想法持「開放態度」，並接受可能不再出現的全面性優勢。

批評者則警告，對電磁頻譜領域採取焦土戰略、真空地帶等方法存在缺陷。備役少將以色列(Kenneth R. Israel)在2022年1月在美空軍協會智庫「米契爾航太研究所」(Mitchell Institute)發表的論文中寫道，「與我方對手進行電子對抗，會消滅例如『馬賽克作戰』(Mosaic Warfare)等創新作戰概念的所有優勢」。

他認為，美國的戰略應該是利用其所有技術能力，取得因應對手的決策優勢。

希諾特則反駁，表示答案與其說是放棄主導地位，不如說是縮小須聚焦這些優勢的時間與地點。

他說，「沒有人……可以真正相信美軍可以在所有地點、任何時間或高度上投射空優……」相反的，美國必須專注確保能在指定時間與地點控制空域的能力，相同的方法可以應用在電磁頻譜作戰上。

希諾特建議，在擁擠的戰場上，混亂可以帶來機會。考量戰場上將充斥著具有訊號收發功能的各式平臺，美國可以「利用軟體產生特定類型的導能」，並導入網路武器混合運用。由於相關細節是機密，因此他拒絕詳加說明，但他亦表示對此



在過去20年間，中共在電戰能力投入大量資金，也獲得相當回報。其中一項投資是配備電戰英艙的殲-16D 電戰機，如圖示。(Source: Ministry of Defense via CGTN)

感到非常興奮。

新投資

美空軍電磁頻譜優勢處(Electromagnetic Spectrum Superiority Directorate)處長克拉克(Tad D. Clark)准將向國際電戰協會表示，將「懷疑和猶豫」注入對手決策中至關重要。「此種混亂正在為我們取勝」如果對手可以被迫暫停並重新考量「機會是否對他們有利……那我們就可以延遲其決策矩陣」。

克拉克說，投資新的電磁頻譜能力將會有所回報，因為相

較動能武器，實現網路效果或頻譜阻斷的非動能攻擊，「能讓我們以較低成本獲得事半功倍的效果」。

第350頻譜作戰聯隊聯隊長楊(William E. Young)上校表示，他的工作是結合所有感測器、干擾器、導能武器與其他工具功能，並產生無數不可預測之組合。就像樂高積木一般，可以混合使用並整合入「隨需、臨時的擊殺網」中。透過建立難以預測的組合，讓這種複雜性變成敵人不可能破解的任務。

他說，這種「樂高式」方法標誌著另一大變革，即是將「平臺

等級」的整套系統，分散為「子系統等級」進行作戰。

根據希諾特的說法，美國在長波和短波頻率以及其他電磁頻譜作戰中仍然是「匿蹤信跡管理」的領導者。他說，匿蹤作戰「具有革命性，而目前依然如此……此種概念是無論從極低頻到高頻，你都可以管理信跡，可以在各方面做到此點，同時你也有能力在同一個平臺上減少紅外線發射，這些都是令人難以置信的進步」。目前，美軍平臺在無線電頻率和紅外線中展現的信跡，都能做到難以察覺的程度。



國防部也在迅速與商業部門建立合作夥伴關係，商業部門在開發自主系統和利用機器學習進行各種應用上的競爭非常激烈。這種自動化對下一代電子戰也產生巨大影響。

商業創新可能比國防需求更能推動這些進步，讓國防部更像是採用者而非開發者。相較之下，中共則需要商業開發者和軍事客戶間密切合作。

由於捕捉、操縱，同時非常快速重新傳輸脈衝信號幾乎沒有商業價值，所以軍方始終須將重點置於電磁頻譜作戰計畫。他說，「我們必須把軍事方面和商業方面相互結合……必須一心多用、左右開弓」。

加快腳步

以色列在他的論文中表示，美空軍向來擅長設定電磁頻譜作戰目標，但卻未能予以迅速實現。

他說，「我們無需一份野心勃勃，而是能夠付諸行動的文件，列出我們需要做的事，以及何時實現頻譜優勢……我們沒有餘裕或確保無虞的未來資源，來弭平我們的(電戰和)電磁頻譜作戰間的差距」。

以色列表示，空軍的電磁頻譜作戰專家太少，也沒有足夠獎勵方案來保留其擁有之專業知識，更不用說吸引新血進入該領域。

他說，我們必須快速重建和擴充我們的電磁頻譜作戰專業知識……空軍每年從海軍聯合作戰系統軍官學校(Navy's Joint Combat System Officers School)畢業的電戰軍官只有80名；人數太少，無法滿足需求。空軍所需人才，必須具備「一系列相互關聯、以頻譜為主的技術，包括人工智

慧、網路、5G、複雜波形、干涉測量、天線設計、微電子、相位逆轉現象、數位處理、雲端拓撲、中繼資料分析、加密、導能技術和其他形式與模式的電子戰」。

以色列表示，期望「主修社會研究或音樂的學生，能夠理解並輕鬆掌握認知和複雜訊號要領」是不合理的。

與其讓空軍在部隊建制中培育這些人才，倒不如直接招募訓練有素的業界專家，並將他們置於適當指揮層級。

以氏認為，「如果能將具備特殊技能的高學識人才引進國防部服務，我們就能導入高素質、經過商業培訓的電磁頻譜作戰專家，並給予其適當的……與其專業知識及訓練相稱的評等」他寫道。

如果沒有頻譜優勢，就不可能實現聯合全域指管機制所保證的主導地位。

希諾特同意這個看法。在國際電戰協會評論中，希諾特說，兵棋推演清楚表明，如果未能完全整合力量、所有領域都銜接在一起並協同作業，「結果並不樂觀……我們會吃敗仗」。隨著時間推移，「我們看到愈來愈多我軍未能實現目標的趨勢。而且事實上，我們也輸得更快」缺乏一套聯合全域的指管機制。「那不是我們任何人樂見的事」。

他說，一個簡單看待此事的態度是，「如果你在一個領域有漏洞，你可以在另一個領域運用優勢」予以彌補。兵棋推演中加入廣泛網路要素時，「實際上我們在應對最先進的威脅方面做得很好」但是，要將這些領域整合在一起，消除封閉思



為了在電磁頻譜作戰中迎頭趕上，空軍可能須從海軍聯合電戰學校增加其每年僅80名電戰軍官的訓額。備役少將以色列則認為是時候直接從產業界引進高階人才。(Source: John A. Tirpak)

維並付諸行動，便還有「很多工作要做」。美國愈是躊躇不前，就有愈多對手能利用其在此方面所做的投資「摧毀和破壞美國軍事指管」。

希諾特也表示，電子戰的進行方式正在發生天翻地覆的改變。那些指導我們如何最妥善應對既有威脅的舊方法資料庫，「可能無法像過去那樣協助我們」。我們將需要人工智慧和機器學習來加速評估並應對威脅。

「你將看到那些勢均力敵的對手……很快改變他們在電磁頻譜中展現的力量。為此我們必須保持敏捷」。

希諾特對電磁頻譜作戰的未來持樂觀態度，他說：「我實際上認為我們在競爭方面的表現做得非常好……我們當然不願意開打。我們只希望

做到嚇阻並保護自己以及合作夥伴和盟友的利益」。

希諾特警告，在與中共真槍實彈的對戰中，「沒有人會是贏家」。因此，「重要的是我們要實行有助完成戰略性防禦的戰略作為」，並體認到使用電磁頻譜「支援所有領域的防禦確實相當關鍵，並且有利於嚇阻」。

他說，這個競技場「已不斷隨著時間推移而受到侵蝕，我們也需要隨時間逐步重建，但我們現在必須馬上建構可立即派上用場的能力」。

版權聲明

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