

# 聯合防空作戰之電子戰支援研究

高志榮、詹祥威

網路安全與決策推演研究所

## 壹、前言

隨戰爭型態改變，軍事事務不斷深入革新，以及科技發展支持下武器裝備日新月異，「聯合作戰」(joint operation)已成為戰爭理論及作戰思想共同發展趨勢；本世紀最具代表性的幾次戰爭中，無論是波灣戰爭與科索沃戰爭，以及後續美國出兵阿富汗與伊拉克等皆可看出，以美軍為首之盟軍的行動模式，係在開戰之初以飛彈、空中武力載台為主，對敵實施遠距精準打擊，摧毀敵軍防空火網，以期能有效支援地面部隊後續作戰。而在地面部隊勃發後，空中部隊仍持續支援與協調機動，基本此種作為即是「聯合作戰」之概念與運作，其中多軍、兵、種的「聯合防空作戰」為作戰防衛保存並發揮後續戰力之積極作為，實為至關重要。

現當前中國並未面臨外在軍事安全威脅，但共軍仍不斷增加軍備支出，不僅持續提升其彈道飛彈、空軍載台與陸海空綜合精準打擊能力，更藉由越界挑釁與環台繞行等方式襲擾我及周邊鄰國，對區域防空安全形成重大威脅。針對台灣，未來台澎防衛作戰，面對的場景極有可能是中共「多批次、多層次；不同方向，同一時間」的不對稱「空襲與反空襲」戰場景況，我軍如要確保用兵的行動自由，聯合防空戰力的發揮是部隊戰力保存及發揮之憑藉。

電子戰是 20 世紀通信電子科技運用於戰爭手段中衍生出之產物，隨著電子科技發展，電子戰也由戰爭中輔助的配角，演變成必要且不可或缺的要角；1991 年波灣戰爭聯軍能在短時間內擊潰伊拉克，除精良武器、先進指管系統及快速後勤外，電子戰所發揮的戰力是令人刮目相看，可說是「大軍未動、電戰先行」的典範。細數

通信電子，其基本可提供電子偵測、通訊、導航、指揮管制、防空預警、目標尋獲、飛彈導引、火力控制等軍事技術，手段涵蓋整個作戰期程，因此掌握電子戰優勢即能掌握主動，制敵機先。

## 貳、聯合防空之定義與詮釋

《國軍聯合作戰要綱》草案中，將「聯合作戰」定義為「凡兩個（含）以上軍種單位，不論其階層或指揮關係如何，在統一機構指揮管制下執行共同任務，達成同一作戰目的所遂行之作戰，謂之聯合作戰」。而按美軍的相關解釋，「聯合作戰」係指在不建立一個新的「聯合部隊」（Joint Force）前提下，聯合部隊以及以特定指揮關係受僱的軍種部隊之間，所共同執行的軍事行動。而所謂「聯合部隊」則是由在單一聯合部隊指揮官領導下作戰的兩個、或多個軍事部門分隊所組成的部隊。<sup>1</sup>

綜整上述二者之意涵，基本可知所謂「聯合作戰」即是由單一指揮架構下，不同單位間的協同聯合行動；而依此概念，所謂「聯合防空」自是以「防空」為任務核心，由不同軍、兵種單位之間的協同、聯繫以及共同應處作為，藉以發揮各單位防空軍兵力與武器系統，達成統合性作為，以確保整體空中安全，並進一步達成我方空中與後續相關兵力運用之指管通勤與運動順暢。

而整體防空作戰的概念，除「聯合防空」外尚有作戰區為主的「野戰防空」。例如，我國當前整體「聯合防空」由空軍作戰指揮部（JAOC）主責，下轄不同區域作戰管制中心（ROCC）、雷達中隊與雷達分隊等；但若有「防空作戰」的實際需求時，則由空作部協調指揮其他軍、兵、種如海軍防空艦艇，或陸基地對空之載台等，進入戰術位置並完成整體防空接戰的準備。而所謂「野戰防空」大多以陸軍為核心，以陸軍各戰區、軍團等單位針對作戰地為

---

<sup>1</sup> The US DoD, *Joint Operations 3-0: Joint Operations* (Joint Chief of Staff, 2018), p. ix.

中心所進行的防空任務，例如中科院研發自製的陸基天劍二型與 40 快砲組成的野戰防空，即是作為戰區防空任務的主要裝備。即便現今整體科技與裝備的發展下，雷達偵蒐與武器打擊的範圍皆更為廣闊，但就野戰防空的威脅性質、裝備層次或防禦範圍仍然不及於聯合防空之裝備內容。

## 參、聯合防空作戰之威脅態樣

如同上述，隨科技、裝備日新月異，全球的聯合防空作戰威脅越趨增加，本段將以中國為例，以戰略層次至戰術層次做案例的示意分析。

從戰略面而言，衛星作為戰略性的武器是中國在 80 年代後大力發展的重點項目之一；中國發展北斗系列衛星已有多時，1986 年 3 月的「國家高技術研究發展計劃」中提出大力發展「航天」與「信息（資訊）」技術，開啟了中國資訊、電機與電腦工程的現代化的起始；隨後在 1989 年由陳芳允院士帶領，藉由兩顆衛星提供的定位展開「北斗」衛星的相關計畫，並且到 2010 年完成了第二顆衛星的發射與運行。<sup>2</sup>當前的北斗已進化至第三代，其第二代、第二號系統是一個包含 16 顆衛星的全球衛星導航系統，分別為六顆靜止軌道衛星、六顆傾斜地球同步軌道衛星、四顆中地球軌道衛星，2012 年 11 月，第二代北斗系統開始在亞太地區為用戶提供區域定位服務。

第三代的北斗三號系統，則由三種不同軌道的衛星組成，包括 24 顆地球中圓軌道衛星（覆蓋全球），三顆傾斜地球同步軌道衛星（覆蓋亞太大部分地區）和三顆地球靜止軌道衛星（覆蓋中國）。北斗三號於 2018 年提前開放了北斗系統的全球定位功能，其全功能的完整開通則於 2020 年 7 月 31 日完成。2014 年 12 月，央視公開探討的節目中，評論員則透露北斗軍用訊號基本已可達成全球覆蓋，

---

<sup>2</sup> 〈20 年磨一劍——北斗導航系統的發展歷程〉，《中國數字科技館》，2021 年 3 月 30 日，<https://bit.ly/44quaB4>。

並且可讓解放軍的多彈頭洲際飛彈接收訊號，依照各種跡象研判，此種所謂「覆蓋」應或是機動式覆蓋，並非全面性的持續覆蓋。而根據上述發展歷程揭露其目標，北斗衛星導航系統的「三步走發展規劃」，其中在 2004 年要實現「區域有源定位」、2012 年要實現「區域無源定位」，至 2020 年則要達成「全球無源定位」的目標。<sup>3</sup>亦即，2014 年所謂的「全球覆蓋」係指衛星的有限時限性覆蓋已達成全球性，但在區域上可提供「區域無源定位」。

2021 年 7 月 21 日「北京航天宏圖信息技術股份有限公司」（中國遙感衛星與北斗導航衛星應用服務商之一）公告委託「銀河航天」於 2022 年 3 月 5 日發射的「遙感」衛星應具備「合成孔徑雷達」（Synthetic Aperture Radar, SAR）的技術。SAR 衛星內建的「微波成像」（microwave imaging）雷達可穿透雲層，不受日夜與天候影響，產生地面高解析度影像，更可全天候偵測地面、地形與地貌，監測海面船隻、路面車輛、自然資源、環境、工程等活動，可預知中共將其視為軍事上，除上述北斗導航衛星外的情監偵等目的之重要工具。

當前中共亦自有建構具規模的「合成孔徑雷達偵察衛星群（Synthetic-Aperture Radar Satellite）」「高分」（GaoFen）系列。根據美智庫 2049 計畫主持人 Mark Stoke 等人的報告分析，中國在 2013 年後至少發射了八枚高分衛星，而此些衛星除合成孔徑外尚配有高光譜傳感器（hyperspectral sensors）；<sup>4</sup>所謂「合成孔徑」如前所述，係一「主動」收集數據，傳感器產生自己的能量，然後記錄與地球相互作用後反射回來的能量之技術，<sup>5</sup>而「高光譜傳感器」則係一收集和處理電磁頻譜資訊，以獲得圖像中每個像素的頻譜技

<sup>3</sup> 〈20 年磨一劍——北斗導航系統的發展歷程〉，《中國數字科技館》。

<sup>4</sup> Mark Stokes, et. al., “China’s Space and Counterspace Capabilities and Activities,” *Project 2049 Institute & Pointe Bello*, March 30, 2020, p. 29, [https://www.uscc.gov/sites/default/files/2020-05/China\\_Space\\_and\\_Counterspace\\_Activities.pdf](https://www.uscc.gov/sites/default/files/2020-05/China_Space_and_Counterspace_Activities.pdf).

<sup>5</sup> Kelsey Herndon, et. al., “What is Synthetic Aperture Radar?,” *Earth Data Discovery*, <https://bit.ly/3NOBmQQ>.

術；基本可以處理光譜中大部分人類難以肉視的，從很長的無線電波、微波、紅外輻射、可見光、紫外線和 X 射線，到很短的伽瑪射線；<sup>6</sup>因此，中國透過結合上述二者而將高分 SAR 衛星運用在軍事用途並無可議。至於通訊與科研部份，則有 70 年代發展的「東方紅」低軌同步衛星。1970 年代晚期發展的軍用「遙感」偵察衛星尚有「尖兵」系列，其亦結合合成孔徑與光學傳感。



圖 1、圖-154 偵察機

資料來源：〈飛抵東海防空識別區？中國空軍偵察機遠海訓練或藏玄機〉，人民網，2017 年 12 月 06 日，<https://bit.ly/3KkD8Zh>。

說明：圖-154 偵察機（英語：Tu-154 Electronic Intelligence Aircraft）是中國人民解放軍空軍在蘇聯售予的圖-154 客機 M 型（英語：Tu-154M Airliner）的基礎上研製的電子戰偵察機，正式代號為圖-154MD。

中共於 2015 年 12 月 31 日編成戰略支援部隊，其中原為總參電子部（總參四部）負責之電子對抗，也改由戰略支援部隊負責，除衛星外中國亦長時發展其空中情監偵與電子戰的能力；盤點共軍空中具電子戰能力的單元，大致有殲-16D、電轟 6（轟 6G 攜掛電戰英艙）、電運 8（可掛載「長生一號」RPV）、電運 9、圖-154 等。

上述提及，由蘇聯客機 TU-154 改造而成的解放軍空軍圖-154MD（圖 1）為其當前較為主力的電偵機，從其外觀上分析，比

<sup>6</sup> “What is Hyperspectral Imaging: a Comprehensive Guide,” *Specim*, <https://bit.ly/3NNQUUV>.

照為改造的原型機加裝了多個雷達罩、天線和電子戰設備，裝備了一部合成孔徑雷達系統，該系統與美國空軍 E-8「聯合星」聯合監視及目標攻擊雷達系統相似。合成孔徑雷達系統妥善運用在高空偵察上，能夠明顯的提升中國空軍作戰飛機在一場「進攻性空中戰役」中的作戰效率，亦可能對戰術彈道飛彈提供訊號使彈頭導向目標。

殲-16D 則為當前中共大力發展之電子戰攻擊飛機，基本構型係以俄國 SU-27 重型戰機開發的殲-16 為基礎，除機身塗有複合雷達吸收的塗料層外，尚配有主動電子掃描陣列雷達（AESA），並且可搭載 YJ-91 反輻射飛彈等；據信當前搭載最新的電戰莢艙，其電戰干擾功率已從 30~40 KW 大幅上升至與美軍當前的 EA-18G 所使用的 ALQ-99 電戰莢艙的 100 KW 相近，但由於殲-16D 並未公開相關數據且也未有實戰經驗，此數據之可信度遠不及實戰經驗豐富的 EA-18G，但基本已經可以判斷中共意識到並且從過去美國或聯軍的幾次重大戰爭學取經驗。中共當前既有的空戰電戰設備整理如表 1。

綜上，基本對整體聯合防空而言，包含衛星、空中以及地面的威脅為主要來源；而整體聯合防空的作戰構想，係以戰機、電戰、預警及防空飛彈（反飛彈及反飛機）等執行規範區域之整體防空，在遠程預警及多層攔截下，以防空飛彈先期攔截高、中空來犯之敵機，再以戰機實施防空作戰，對低空（2,000 呎~500 呎高度之空域）及超低空（500 呎高度以下之空域）敵機以小型輕便攜行防空飛彈執行攻擊，進行全縱深防空，確保空域之安全。

**表 1、共軍既有空戰電戰設備盤點**

共軍既有空戰電戰設備盤點		
戰略性		戰術性
衛星	遠程	戰機
北斗	轟 6	殲 16
高分	運 8	
尖兵	運 9	
東方紅	圖 154	

資料來源：作者依各方資料統整。

## 肆、電戰支援定義、詮釋與運用

電子作戰支援（Electronic Warfare Support，ES）其範圍擴及整體軍事行動所需要的各種相關電子作戰情報之參數，如頻率、脈波來復頻、雷達模式……等，並且依此對威脅來源進行分析辨識、定位，以供武器載台電戰版本編建威脅的參數、產生威脅符號顯示及干擾模式。

近代戰爭中最著名的電子作戰案例，莫過於聯軍對伊拉克執行的沙漠風暴。在開戰初期，美國空軍以 EF-111 烏鴉（Raven）電戰機作為壓制，搭配 F-117 以及 F-15E 針對伊拉克的雷達與機場進行低空突穿精準轟炸任務。在任務進行中，EF-111 為上述的轟炸任務偵蒐安全的飛行航道、在敵方防區外壓制敵方的地面防空設備，並且根據任務的需求對敵方的雷達等偵蒐設備進行干擾壓制，甚至可以投放實火彈藥攻擊偵蒐系統等。<sup>7</sup>藉由摧毀伊拉克防空的雷達與地對空反制武力，盟軍的空襲有效摧毀伊拉克的反擊能力，為後續地面大規模部隊的挺進排除了危險與障礙。除 EF-111 外，美軍尚有以 C-130 改裝的 EC-130H 羅盤呼叫（Compass Call），該機具有長時高空盤旋的能力，因此可在戰場執行長時任務；並且有效的干擾敵方指管通訊的相關訊號，使得伊拉克地面部隊難以呼叫轟炸或對空反制的相關能力。<sup>8</sup>

以當代美國空軍的電子戰相關設備盤點，上述的 EF-111 以及 EC-130H 皆已逐漸汰換，取而代之的是 RC-135W Rivet Joint、EA-18G 咆嘯者（Growler），以及正在開發中的 EC-37B 3 款。RC-135W Rivet Joint 此類飛機主要任務乃是蒐集雷達參數、監聽無線電頻率及通話內容及運用相位陣列雷達及合成孔徑雷達標定目標，並

---

<sup>7</sup> Directed by Eliot A. Cohen, “Gulf War Air Power Survey Volume IV Weapons, Tactics, and Training and Space Operations,” *Library of Congress*, pp. 94-96.

<sup>8</sup> Directed by Eliot A. Cohen, “Gulf War Air Power Survey Volume IV Weapons, Tactics, and Training and Space Operations,” pp. 96-97.

偵照成像，是電子作戰支援當中重要的裝備之一。EA-18G 則是由波音的 F-18 機身，由格魯曼軍火商（Northrop Grumman）製作電子戰英艙 ALQ-99 的攻擊式電戰機。

咆嘯者的主要任務基本是在行動開始前或早期階段，針對敵方發動電子攻擊（EA）和壓制敵方防空系統（SEAD）；Block 1 型號可搭載 3 個電子英艙，分別為 AN/ALQ-99 高輻射功率干擾發射器、AN/ALQ-218（V）2 數字雷達預警接收器，以及 AN/ALQ-227 通信對抗系統；Block 2 型號則有「被動探測模式和主動雷達抑制功能」的 APG-79 多模式雷達、AN/ALQ-218（V）2 數字雷達預警接收器等。APG-79 為先進戰術有源電子掃描陣列（AESA）雷達，可以提供空對空和空對地能力，其本身具有探測、瞄準、跟踪和保護等功能。AN/ALQ-218（V）2 數字雷達預警接收器主要為「被動對抗系統」，其功用係「提供威脅檢測、識別和定位等」。<sup>9</sup>

EC-37B 則係美國空軍用以取代 EC-130H 的次世代戰術干擾平台，主要機身以灣流 G550 為基礎，除具備前述 EC-130H 既有的相關能力外，並且可能搭載最新具機器學習能力的「憤怒小貓」ALQ-167（Angry Kitten）電戰英艙，可供執行「反指揮、控制、電腦、通訊、網路、情報、監視和偵察目標（Counter-C5ISR）」之相關任務。<sup>10</sup>但由於該型號仍在試飛階段，其實際的作戰能力與相關數據，須待日後觀察方才日漸明朗。

## 伍、聯合防空下的電子作戰支援

如前述，電子作戰貫穿整體作戰全程，包含前、中、後且持續循環，綜合前述分析，基本可依照以下程序理解。在作戰前階段，以電子作戰相關支援任務為主，平時已例行偵蒐之相關資訊，需在

---

<sup>9</sup> “EA-18G Growler Electronic Attack Aircraft, US,” *Naval Technology*, April 12, 2022, <https://bit.ly/44FYIV6>.

<sup>10</sup> Stefano D'urso, “A Closer Look At The EC-37B Compass Call, U.S. Air Force’s Future Tactical Electronic Attack Platform,” *The Aviationist*, June 1, 2023, <https://bit.ly/3JWRw9K>.

此階段進行行前確認，包含「地面電子偵蒐測站」所蒐整之敵方電子參數、航空器所掛載之偵蒐設備（如 E-2K、幻象戰機攜掛 ASTAC 莢艙…等），以及海軍船艦之偵蒐設備（如 AN/SLQ 電戰裝備）等方式，實施偵蒐並交叉比對與定位，對戰場應知之各種威脅，如敵方作戰系統及載台電子參數蒐整，並將蒐整的電子參數（如各裝備之頻率、脈波來複頻、波長…等）完成我方武器系統、載台電戰版本威脅符號，以及干擾模式等的資料編整與建置。例如，作戰前針對共軍 S-300 防空飛彈之雷達電子訊號參數進行截收、辨識、確認以及針對其佈署位置進行標定；上述之參數蒐整與編建，亦能用於平時電戰防護之加強與電戰攻擊任務的訓練。

在作戰過程中，由於已進入對敵交戰狀態，因敵作戰行動之需求，我方相關設備可蒐到敵方平時較難蒐整之參數，而上述戰前所蒐整之資料，亦可於作戰中進行交叉比對，完整我方電子參數數據庫與正確性；而更新後的參數版本亦可用於作戰過程中的對敵作戰戰術行動。在作戰後，我方設備、裝備勢必有所損傷，此時我方以尚可運用之陸、海、空兵力，調整佈署後共同實施電磁偵蒐及偵照，並定位敵方武器系統位置、參數，以便後續將既有資料庫參數與我方武器系統、載台版本比對、修調以重複運用至後續戰場，以利各軍兵種聯合作戰或協同作戰，如此持續循環運作。

以當前我作戰環境為例，平時我針對 S-300 與各殲擊機及水面作戰艦雷達電子訊號參數蒐整，並建置於我方戰機與相關設備之電子參數資料庫中。進入接戰狀態後，戰機可以既有編建之電戰系統版本，運用自身電戰裝備實施防護干擾，空中部隊亦可與指揮中心彼此提供威脅告警、交叉比對，以確保整體部隊安全，並將我方作戰效能發揮極致。

## 陸、結語

電子戰無法單獨運用其能力達成軍事作戰目標，然於現代戰場中各項武器裝備，均以電磁或光電作為發揮戰力之介質，於作戰初期破壞後，除有利於後續作戰行動外，並可降低作戰時之戰損，此模式已成為全球軍事方面努力之方向與重點。

就聯合防空作戰而言，電子戰支援之電磁資訊掌握，為支持作戰輔佐情報之重要一環，也為電子戰攻擊及防護之重要支撐依據，俄烏戰爭中可看出，情報之獲得及後續之軍事行動作法極為重要，無論是他國的情資提供，或是無人載具監視等，在在都需運用電磁波傳遞來達成，可見這運用電磁頻譜的電子戰，在現今作戰中何等重要。

中共已從波灣及俄烏戰爭中吸取經驗，並持續積極發展電子戰，期能儘速追上歐美水準；故掌握敵情務實全般了解，整體規劃研究評估，並落實精進，期能於未來衝突中能掌握或瞭解電子情資所衍生之作戰規劃作為，精進作戰效能。

本文作者高志榮為國防大學戰爭學院 98 年班，現為財團法人國防安全研究院網路安全與決策推演研究所委任助理研究員。主要研究領域為：戰爭指導、聯合作戰、電子戰。

本文作者詹祥威為淡江大學國際事務與戰略研究所博士，現為財團法人國防安全研究院網路安全與決策推演研究所政策分析員。主要研究領域為：地緣戰略、台日海洋安全、區域安全、日本網路安全政策。

# **Electronic Warfare Support in the Context of Joint Air-Defense Operations**

*Chih-Jung, Kao and Siong-Ui, Tsiam*

*Division of Cyber Security and Decision-Making Simulation*

## **Abstract**

The Gulf War of 1991 in which the US and its allies were the main protagonists, has become a paradigm for modern warfare, further validating the vital importance of "air supremacy" in overall ground operations. Air supremacy is also a critical prerequisite for dominating the battlefield. Integrating air assets, such as fighter jets, drones, missiles, and air defense systems, is the focal point in the fight for air supremacy. Consequently, joint air defense has become a crucial defensive measure emphasized by various countries in joint military operations today.

Electronic Warfare (EW) has become a decisive factor in the fight for modern air supremacy. The side with the advantage in EW will win the battlefield initiative, seize the initiative from the enemy, and be likely to achieve victory. Currently, EW can be roughly divided into electronic protection, electronic attack, and electronic warfare support.

Electronic Warfare Support (EWS) measures can be further divided into pre-battle, in-battle, and post-battle electronic warfare attack and electronic warfare protection. This study includes parameter collection required for various operations, development of EW versions for different platforms and equipment, and provision of standard information for threat localization and battlefield management. The aim is to enhance the armed forces' overall combat capabilities through EW capabilities.

The study discusses the role, principles, and application of EWS in the context of "joint air defense operations." It aims to provide a thoughtful

approach in response to increasing military threats and the rapid development of electronic equipment. Taking the EW developments of the leading country, the US, as an example, including aspects such as electromagnetic spectrum, electronic equipment characteristics, development and application status, and operational trends, encourages EWS measure oriented reflection and planning within the framework of joint military operations.

**Keywords:** Electronic Warfare, Air Supremacy, Joint Air-Defense Operations