

國際電子戰協會中華民國總會
第十二屆會員大會
暨人工智慧教育訓練研討會

專題演講(二)

電子戰創新發展與應用

單位：國家安全研究院
網路安全與決策推演研究所
職稱：委任助理研究員
姓名：高志榮
日期：民國 113 年 11 月 29 日

講師簡歷



姓名：高志榮

職稱：國防院委任助理研究員

專業領域：戰爭指導、空戰戰略、聯合作戰、
電子戰

學歷

空軍官校 80 年班、國防大學戰爭學院 98 年班

經歷

飛行官、電戰飛行官、作戰隊分隊長、司令部
首席作參官、教準部副處長、大隊長、飛安組
組長、聯隊參謀長、戰爭學院主任教官、淡江
大學整戰中心顧問

工作內容與進度

美軍空中攻擊葉門胡塞組織成功突破攔截之電
子戰研究
導航戰常態化對台海的啟示
美空軍「迅捷渡鴉」演習對國軍電戰整備之啟
示

國際電子戰年會心得

報告人:台灣智庫國防小組高志榮

資料時間:112年12月18日

一、前言

職於2023年12月11至14日赴美華盛頓參加「2023年國際電子戰協會」60周年年會，會議包括：頒獎給領域內著有功績人員，並規劃相關演講、報告研討分組議題及廠商展示參觀。個人計參加電子戰資訊及網路運用、實現聯合全局指揮與控制、空軍項目電子戰採購系列簡報、太空電子戰、電磁頻譜操作射頻機器學習及烏俄戰爭中的電磁頻譜作戰最新動態等議題，綜整心得報告如後。

二、心得

- 電子戰因武器裝備(網路)運用及鏈結的發展，現在確實需要了解人工智慧和機器學習將為我們做些什麼，電子戰武器的干擾版本資料，須藉由資訊裝備設定，並由加密光纖網路來傳輸，版本資料內容編建時，資料庫中的參數甚多，所需威脅武器的參數比對及選取，就需要以人工智慧和機器學習來作業，人員做最後確認，可在瞬息變化的戰況下，完成電子戰作業，另國防部「電展室」即時截收的敵電子參數，亦可由人工智慧來判明威脅武器載台種類及位置，並建置物聯網導入(未來)Link-22鏈路系統，提供任務部隊運用。
- 電子參數除運用資料庫機房存取外，亦可考慮建置異地備用機房或雲端方式執行。
- 美國國家頒布「頻譜戰略」(SPECTRUM STRATEGY)，能夠去運用及控制頻譜，並攻擊對手的鏈路，在軍事衝突時首先能於多域運用，然後是全域的聯合作戰。
- 在台海作戰環境中，因電子情蒐資料量多，加以共機及防空飛彈已大多更換為相位陣列雷達，且不曾開機運作，參數截蒐困難，亟需與美軍電子情資合作。

- 中國在台海及南海電子戰針對性強，尤其正興建衛星地面站等基礎設施，此外，在「一帶一路」中的其他國家，中國也在協助建造太空設施。基此，中國配合俄羅斯對烏克蘭和許多其他國家所使用的電力、水、農業的商業衛星系統進行了基礎設施攻擊，期能在地理空間軌道上進行機動，並具干擾能力。
- 人工智慧須與導航相結合，將作戰平台的操作人工智慧化，並由 AI 操控及人員監控，更應結合衛星導航，以利作戰人員操作武器系統(如追瞄、雷達、電戰等)，提升作戰效能。
- 關於美軍電子戰戰場模擬系統，該系統已導入各敵威脅雷達盲區、低空地球曲度產生的死角、水下 10 公尺內之電波傳輸區、太空傳輸涵蓋圈，將作戰任務兵力及行動輸入，使部隊能於威脅圈範圍外實施，藉以獲得至當作戰行動計畫，以增進安全。
- 展場展示的地面單兵輕型無人機干擾系統，為美軍支援烏克蘭裝備，組件輕小轉移快速，烏克蘭駐美武官在烏俄戰爭的電磁頻譜作戰最新動態報告中亦有呼應，作用良好，並請北約各國繼續提供支援。

三、結語

電磁頻譜管控及運用為戰爭勝利的基石，也是電子戰主要的戰場，隨著各型雷達推陳出新，電子戰支援(偵蒐)及電子戰攻擊裝備亦不斷更新，促使雷達防護電路及方式亦不斷演變，周而復始。國軍面對當前電子戰環境，無論是規劃，還是應處，皆至為關鍵。人工智慧、機器學習、大數據資料蒐整運算及雲端或機房的資料庫建立，皆是建立物聯網提供決策(美軍頗具成果)要件。未來，國軍當師法美國在電子戰領域成果，積極建構電子戰相關概念、規劃與運作執行。

註:另有關分析報告，詳如國防小組在「思想坦克」發表之「[國軍發展智慧國防之研究](#)」暨「[Link-22 數據鏈路對我聯合作戰之研究](#)」。

美軍 150 導彈電戰立功突破攻擊葉門

胡塞攔截失敗事件之研究

關鍵字：胡塞、電子戰、戰場模擬

焦點類別：國際情勢

根 Newtalk 新聞，英、美兩國在紅海對葉門的胡塞武裝控制區，發射 150 枚各類導彈和精確制導炸彈的空襲，一共擊中了 28 個目標，並炸毀了多個設施，攻擊期間，美國對胡塞組織的 7 個防空導彈旅雷達系統實施電子干擾，致使其全數攔截失敗。¹

事件概述

空襲發起前，美國即已對胡塞武裝的雷達進行電磁干擾，使其無法發現英美攻擊的飛機，而進行防空作戰，對於導彈發射時機及軌跡掌握攔截亦無從著手，除了電磁干擾外，胡塞組織透過從葉門軍手中接收了 7 個防空導彈旅，主要裝備是蘇制薩姆 6 及薩姆 8 防空飛彈，並改裝米格 29 戰機上的 R-73 近程紅外線空對空飛彈及 R-27 和 R-77 中程空對空飛彈成防空導彈編組，其接戰距離明顯少於原空中載機所發射之距離，此次，英美兩國都採取於防空飛彈防區外打擊的攻擊方式，故即使雷達探測的到戰機，也無法使用防空飛彈實施防禦，²此時，英美的導彈和精確制導炸彈已約在 50 公里外的距離完成發射，彈體的飛行或滑行時間短，又其雷達截面積小，很難被雷達偵測，美軍又加以對其雷達實施電戰干擾，幾乎無法對彈體進行攔截。

胡塞組織防空能力

¹ [電戰機干擾立功! 美軍 150 導彈突破 胡塞 7 防空旅變瞎子 全部攔截失敗 \(msn.com\)](#)

² [電戰機干擾立功! 美軍 150 導彈突破 胡塞 7 防空旅變瞎子 全部攔截失敗 \(msn.com\)](#)

薩姆 6 防空飛彈，射程為 2 至 35 英里(3 至 56 公里)，升限為 50,000 英尺 三枚 19 英尺長的飛彈裝在履帶式運輸車頂部發射架 (TEL)，雷達和火控系統安裝在相同型式的車上，每輛車多可架設四枚飛彈，這些飛彈使用半主動雷達導引，須藉由目標雷達反射回波乘波而去方可命中，此雷達之波束及飛彈飛行軌跡一致，如遭電子干擾，飛彈攔截目標的能力將受影響。³

薩姆 8 防空飛彈，低空短程戰術地對空防空飛彈系統，BAZ-5937 TELAR 的載台上裝有 4 個升降導彈發射導軌各裝有 1 枚 9K33A 飛彈，系統有 3 座雷達，1 個敵我識別系統、光電追蹤器以及飛彈導引鏈路天線，飛彈射高 5 公里，射程為 1.5 至 12 公里，兩側雷達為 H 波段 (頻率 6 至 8GHz) 對目標的搜索範圍為 30 公里，另位於陣列中央的大脈波 J 波段 (14.5 GHz) 接戰雷達追蹤範圍 20 公里，4 可干擾其追蹤雷達，使其飛彈導引鏈路失去作用。

R-73 紅外線空對空飛彈，最大射程 30 公里，紅外線鎖定距離 3.4 公里，在紅外線鎖定能力範圍外，可以雷達追蹤引導飛彈鏈路方式攻擊，此鏈路與飛彈軌跡成一線。⁵

R-27 空對空飛彈，射程因構型不同分別可達 60 至 110 公里不等，有主動、半主動雷達導引，或是半主動雷達導引末端轉紅外線導引，僅主動雷達導引飛彈須配合其視線(LOS)軌跡實施電子干擾，才能影響其接戰。⁶

R-77 空對空飛彈，射程為 80 至 190 公里，導引方式為中段半主動雷達導引和數據鏈更新的慣性制導，終端為主動雷達導引或紅外線導引 (R-77T)，⁷上述的空對空飛彈改為地對空飛彈後，由於無

³ [Rocket and missile system - Tactical guided missiles | Britannica](#)

⁴ [9K33 Osa Air Defence Missile System, Russia \(army-technology.com\)](#)

⁵ [R-73 - War Thunder Wiki](#)

⁶ [R-27 \(AA-10 Alamo\) Guided Medium Range Air-To-Air Missile - Airforce Technology \(airforce-technology.com\)](#)

⁷ [R-77 - Wikipedia Why Russia's R-77 Missile Could Give the Air Force Some Real Trouble | The National Interest](#)

飛機發射時提供的初速及地面發射至空中接戰須對抗地心引力等，飛彈射程將減少至 1/4。⁸

空對空飛彈研改，如以較先進的第一款被動相位陣列(PESA)雷達來敘述，該雷達對 3 m² RCS 目標，正面可搜索達 140 公里，追蹤 65 公里(提供數據鏈路導引)，⁹將原米格 29 戰機雷達設置運用於地面，來執行搜索、追蹤及導引飛彈攻擊，或僅用飛彈本身紅外線及主動雷達導引搜索頭，執行追蹤攻擊，發現目標距離將更近(經驗值約 25 公里)。

英美電子戰可能行動說明

以新聞中所談及的 EC-130H、EA-18G 型機及其他裝備，個人來試著模擬可能場景，敘述如下：

EC-130H 型機於戰前實施電子偵蒐，針對葉門地區胡塞組織防空旅各型雷達位置偵蒐定位，以確認各型雷達及飛彈涵蓋區域，並運用電子戰戰場模擬系統，以數位地圖為底，並導入上述測獲的各雷達可能上視盲區及低空地球曲度產生的死角，將作戰任務兵力及行動輸入，使部隊能於威脅圈範圍外執行，以獲得至當作戰行動計畫。¹⁰

作戰中，運用 EC-130H 型機，對於胡塞防空旅較遠程搜索雷達及無線電通信實施干擾，形成大區域的雷達及通信盲區，¹¹並派遣 EA-18G 型機，對飛彈搜索及追蹤雷達，形成多條電子干擾走廊，同時以電子複發技術製作大量假目標，造成胡塞防空飛彈盲目接戰。

隨後，任務打擊編隊，從規劃的較小搜索及干擾盲區方向執行行動，並於防區外完成飛彈(滑翔導引炸彈)射擊，直後脫離。

⁸ [AIM-120 AMRAAM Archives | Air & Space Forces Magazine \(airandspaceforces.com\)](#)

⁹ [Zhuk \(radar\) - Wikipedia](#)

¹⁰ 2023 年美國國際電子戰年會

¹¹ [EC-130H Compass Call > Air Force > Fact Sheet Display \(af.mil\)](#)

飛彈(導引炸彈)攻擊航行階段的這 2~3 分鐘(50 公里以速度 0.85 馬赫換算)，續由 EC-130H 及 EA-18G 型機執行電子戰干擾及欺騙，使敵雷達射控系統運作不及甚或超載，就形成新聞所述的致使其全數攔截失敗。

飛彈或滑翔導引炸彈，其終端攻擊階段，紅外線特徵及雷達反射面積情況，亦須運用電子戰戰場模擬系統列入行動前評估考量，此部分可規劃後續與美方或友盟合作精進。

結語

胡塞組織防空飛彈系統，為接收葉門軍事武裝庫存，均較為落後，中短程防空飛彈，防禦區域無法涵蓋重要目標，易有漏洞，又加上無空中兵力搭配，更形成不對稱作戰態勢，電子戰作戰規劃方式容易成形，由此案例可以獲得一些具體想法及做法：

- 我國遠中近程防空飛彈陣地須彼此搭配掩護，並能靈活部署，陣地勿形成固定據點。
- 建構並開啟誘餌雷達，當飛彈陣地遭受敵電子干擾時，能使敵方產生目標困惑，而中止階段攻擊。另依台海距離，遭敵飛彈攻擊約 10 分鐘，各飛彈雷達系統須於此時間，轉移安全距離它處繼續接戰。
- 規劃重要目標及關鍵基礎設施的防護，如衛星定位及飛彈雷達、光電導引干擾能力。

《國防安全即時評析》

美空軍「迅捷渡鴉」演習對國軍電戰整備之啟示

關鍵字：電子戰、電磁頻譜、電戰版本

焦點類別：台海情勢

根據軍聞網站「Breaking Defense」7日報導，美國空軍第350頻譜作戰聯隊，日前完成「迅捷渡鴉」(Exercise Rapid Raven)演習，藉由演練因應對手電戰干擾後，美空軍即時的反制作為，驗證新技術提升後，保有電磁頻譜作戰優勢的先進能力。¹²本文美空軍該作戰聯隊，藉由運用各式載台（或地面系統）上電戰裝備，偵蒐對手行動中之各式雷達作戰模式電子參數，並運用數據鏈路傳輸回該聯隊，續由官兵導入人工智慧、機器學習及識別等技術，為電子戰支援手段，快速執行電戰攻擊及電子資料反應檔版本編建，於3小時內回傳給美空軍70餘種飛機系統，半數以上裝備能逕行作戰計畫的任務，作為研究撰擬。

本次演習美空軍的電子戰支援作業

美空軍第350頻譜戰聯隊模擬24小時作戰時間內，以測試其於戰時環境中，針對電磁頻譜變化執行偵蒐的能力，並能快速重新編建指定作戰區域內之假設威脅雷達或通信電子參數訊號，提供給空軍70種作戰武器（雷達、莢艙及雷達預警器……等）之威脅電子資料反應檔（感知、識別、定位和應對威脅，稱謂電戰版本）的能力。

¹² 丘學陞，「美空軍「迅捷渡鴉」演習 驗證電戰反制能力」，青年日報 | LINE TODAY，2024年6月11日，<https://www.ydn.com.tw/news/newsInsidePage?chapterID=1683650>

可能運用 RC-135 電子偵察機、預警機及各式空中戰機之偵蒐裝備，對演習區域內假想敵所發射之雷達或無線電訊號實施偵蒐，並運用數據鏈路即時鏈傳至地面的聯隊指揮中心實驗室，加以運用人工智慧、機器學習、數位演算及作業人員（含指揮官）辨識確認等方式來協助決策，最後傳輸至空軍各武器單位載入此電戰版本，並限制於 3 小時內（此時間為空軍每波次發起攻擊的較佳時間，期能持續壓制對手的可能反擊）。此點，原美空軍是一季才能作業一次，而我國軍則是在提出新威脅時，由美軍完成版本傳輸至空軍作戰部，再將其傳至各聯隊下載到飛機及莢艙。

另有關運用衛星傳輸電戰版本之頻寬突破，美國正研究規劃中；未來若可以將足夠智能的人工智慧安裝在戰鬥機上、即可以自行檢測不熟悉的電子信號立即分析，並自動更新飛機的電戰版本，如此就可以近乎即時的在戰場上應對新的威脅，而無需等待地面指揮中心處理資料並回傳更新。然而，儘管人工智慧取得了巨大進步，但這一目標仍然難以實現，仍有待後續科技的進步。¹⁴

國軍電戰整備之啟示

國軍電子參數偵蒐是依靠地面偵蒐站台、空中各式飛機（需落

¹³ Mark Pomerleau, "Air Force spectrum wing puts skills to the test in first internal exercise," Defensescoop, APRIL, 1, 2024, https://defensescoop-com.translate.googleusercontent.com/2024/04/01/air-force-spectrum-wing-rapid-raven-first-internal-exercise/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=zh-TW&_x_tr_hl=zh-TW&_x_tr_pto=sc。

¹⁴ Sydney J. Freedberg Jr, "Rapid Raven: Air Force exercise updates electronic warfare threats in hours, not months," Breaking Defense, June, 7, 2024, <https://breakingdefense.com/2024/06/rapid-raven-air-force-exercise-updates-electronic-warfare-threats-in-hours-not-months/>

地後下載參數)及幻象 2000 戰機攜掛 ASTAC 電子偵蒐莖艙(可即時下鏈),¹⁵執行對台海周邊威脅電子參數比對識別,不熟悉電子信號向美方提出釋疑,囿於中共解放軍空軍於台海演訓及戰備警巡時,其提升之主動電子掃描陣列(active electronically scanned array,AESA)雷達(相位陣列之一種)的空中兵力,均未開啟雷達,致使其電子參數較難偵獲,電戰版本均需靠美軍提供或是購入參數自行編建(法系及自研裝備),一旦與其發生衝突,若無電戰版本,作戰載台及地面偵蒐設施只能顯示為不明威脅(UNKNOWN),較難識別威脅種類,來採取至當對應行動或電戰防護作為,台海發生軍事衝突,尤其是空中對應時間極短,亟需更新電戰版本。

結語

美軍為呼應其國防戰略,達到國家目標,需健全全域的電子戰頻譜戰略,需要在前線部隊和指揮中心之間建立高頻寬鏈結,和平時期已相當困難,須調撥運用。一旦發生軍事行動,對手亦可能用其電戰干擾器、網路戰或精確導引炸彈,攻擊系統鏈路或重要節點設施,此時電戰做為可能更加困難,中共解放軍將此類攻擊稱為「系統破壞戰」,其目的不是為攻擊美軍的艦艇、飛機或坦克,而是透過癱瘓其傳感器及通信鏈路來擊敗美軍。

美國國防部現已重新開始再加強電子戰,並一直在進行互聯和整合作業,而中共從未展示過這種能力。¹⁶

¹⁵“ASTAC Tactical Signals Analyzer Airborne pod,”THALES,2024,https://www-thalesgroup-com.translate.google/en/astac-tactical-signals-analyzer-airborne-pod?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=zh-TW&_x_tr_hl=zh-TW&_x_tr_pto=sc.

¹⁶Sydney J. Freedberg Jr, “Rapid Raven: Air Force exercise updates electronic warfare threats in hours, not months,”Breaking Defense, June,7,2024,<https://breakingdefense.com/2024/06/rapid-raven-air-force-exercise-updates-electronic-warfare-threats-in-hours-not-months/>.

爰此，國軍更應加速與美方協議下列事項：

(一) 縮短電戰版本更新。

能依其 3 小時作業時限提供我電戰版本。

(二) 強化情資交換，提升電戰能力。

因台海軍事對峙時，我方首當其衝，衝突爆發時即可偵收敵參數，惟辨識能力尚且不足，故提升 LINK-16 數據鏈路能力，可回傳參數至美軍系統，另或全面提升至 LINK-22 系統，來達成電戰參數傳輸的目的，強化與美電子情資交換及國軍電戰整體能力。¹⁷

《國防安全即時評析》

發行人／霍守業

總編輯／陳明祺

責任校對／鍾志東

執行編輯／陳妹蓓

(本評析內容及建議，屬作者意見，
不代表財團法人國防安全研究院立場)

¹⁷“ASTAC Tactical Signals Analyzer Airborne pod,” THALES, 2024, https://www-thalesgroup-com.translate.google/en/astac-tactical-signals-analyzer-airborne-pod?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=zh-TW&_x_tr_hl=zh-TW&_x_tr_pto=sc.

