

野戰防空預警雷達電子反反制發展與運用

作者：吳銘祥

提要

- 一、戰場環境除可見的硬體武器裝備，亦同時存在肉眼不可見的電磁作戰環境，電子戰基本概念同於傳統軍事行動，分為攻擊、防護及支援，電子戰攻防之間的結果，往往並非肉眼直接可見，但卻能對內部結構或關鍵組件造成重大影響。
- 二、野戰防空作戰的過程中，預警雷達的參與及部署，使得飛彈系統之射手有更多時間接戰，能有效殲滅敵來襲目標，敵方常針對我方預警雷達執行反制作為，以利作戰行動。
- 三、國軍野戰防空預警雷達現有萊茲雷達、PSTAR 預警雷達及蜂眼雷達，均配賦電子反反制功能，可於敵電子作戰影響下，提供雷達系統自我保護及持續監偵敵目標，並提供敵情資訊至飛彈系統。
- 四、筆者認為現今相位陣列雷達發展的趨勢為主動式電子掃描（AESA, Active Electronically Scanned Array）雷達，若利用其優勢特性，可發展大規模主動式電子掃描作戰平台，將有利於國軍雷達電子反反制新戰術發展。

關鍵詞：預警雷達、電子反反制、主動式電子掃描（AESA）雷達

前言

一、研究動機

國防部「109年中共軍力報告書」指出，中共在浙江、福建、廣東等空軍機場，陸續增駐新式戰機、無人機，提高空中戰力、兵力運用靈活度，並企圖藉由優勢兵力與數量，爭取臺海空優，加大對我空防壓力。另外，該報告也點出中共資通作戰能力，可運用各主力戰機攜掛精準導引武器對我國突擊，並輔以無人載具配合電戰機進行電子戰攻擊，現階段已初步具備癱瘓我防空、制海作戰體系，恐能有效於台海作戰中奪取戰場控制權，對我國威脅甚鉅。¹由報告中可看出，中共不斷於沿海地區增加兵力部署，不僅擴增傳統打擊武器數量，亦同步採用輔助作戰武器進行電子戰，可顯見對我侵犯意圖日趨明顯。身為野戰防空幹部，如何有效利用預警雷達系統進行反反制作戰，將是國軍能克敵勝敵的重要一環。

二、研究目的

在野戰防空作戰的過程中，預警雷達的參與及部署佔有舉足輕重的腳色，

¹〈威脅增！109年中共軍力報告：共軍機、艦每日巡弋台海〉《自由時報》，<https://news.ltn.com.tw/news/politics/breakingnews/3276743>，2020年8月31日。

透過預警雷達的部署與應用，使得飛彈系統接戰流程更加流暢，也使射手有更多時間接戰，因而有效殲滅敵來襲目標。

因此，對於敵方而言，反制我方預警雷達運作，將會有利敵作戰行動。因預警雷達屬電子設備，故敵常用電子反制來影響我方預警雷達運作，也就是屬於作戰範疇中的電子戰。然而，預警雷達若只處於被攻擊的一方，將無法有效提供飛彈系統有效支援，故預警雷達亦發展出相關的電子反反制作為，以確保系統不受敵干擾破壞，進而有效持續支援作戰任務。

國軍野戰防空預警雷達現有萊茲雷達、PSTAR 預警雷達及蜂眼雷達，均配賦電子反反制功能，可於敵電子作戰影響下，提供雷達系統自我保護及持續監視敵目標，並提供敵情資訊至飛彈系統。隨著科技進步，電子戰環境亦趨向複雜，如何在電子戰中取勝，將是影響整個戰局的關鍵行動。筆者藉由研究野戰防空預警雷達電子反反制發展，使讀者瞭解野戰防空預警雷達電子反反制性能與運用，強化野戰防空部隊對於野戰防空預警雷達認識，期能在未來面對中共不斷發展電子戰之過程中，可有效運用現有裝備遂行作戰任務。最後，筆者提出近年雷達系統發展的一個主要領域，也就是「多基雷達」的使用，期能使讀者對於預警雷達發展現況有所瞭解。

電子戰原理與分類

一、電子戰原理

電磁能是具有輻射性的電磁能量，能量的組成是經由電子的振盪而產生磁場，並以光速的方式來傳送。作戰電磁環境的組成是結合功率、頻率和持續的電磁輻射，亦為部隊執行任務時所遭遇到的真實環境。²簡而言之，戰場環境除了可見的硬體武器裝備，如飛彈系統、火炮裝備、輪型載具等以外，亦同時存在肉眼不可見的電磁作戰環境。電磁環境對作戰狀況之影響，雖無法以肉眼辨別，但是其影響程度卻不亞於硬體武器裝備，而在現今戰場環境與作戰形態中，更扮有舉足輕重之角色。

二、電子戰分類

在軍事行動中，電子戰包含以下三部分：電子攻擊（EA）、電子防護（EP）及電子戰支援（ES）。³電子戰之基本概念同於傳統軍事行動，分為攻擊、防護及支援，唯一不同之處在於表現的形式。傳統軍事行動所產生的效果，多屬於肉眼可見之傷害；而電子戰攻防之間的結果，往往並非肉眼直接可見，但卻能對內部結構或關鍵組件造成重大影響。

（一）電子攻擊：電子攻擊屬電子戰之一部份，其涉及運用電磁能量、指

² 《電子作戰聯合準則》（臺北：國防部，2005年11月16日），頁10。

³ 同註2，頁11。

向性能量及反輻射武器攻擊單兵、設施或裝備，癱瘓或摧毀敵戰鬥能力。⁴目前常見的電子攻擊型態，如電磁脈衝攻擊，其藉由輻射電磁能量，使敵方人員、武器及設備等遭受損害。因電磁能量無法以肉眼可見，防護方式與傳統武器不同，亦增加電磁脈衝武器之可怕程度。

(二) 電子防護：電子防護屬電子戰之一部份，其牽涉被動和主動的個人防護、設施防護及裝備防護，並造成我軍或敵運用電子戰而降低、癱瘓或摧毀我軍戰鬥能力的效應。⁵野戰防空預警雷達主要功能是搜索目標，而目標獲得的方式就是需具備接收電磁波的裝置。在雷達系統中，這種裝置稱為「接收機」，是雷達系統的關鍵組件；相對來說，接收機也是敵人電子戰主要攻擊的目標。因為若是接收機損壞，整套雷達系統形同癱瘓。所以，具備「電子防護」是雷達系統不可或缺的功能，也是本研究主要探討的內容。

(三) 電子戰支援：電子戰支援屬電子戰之一部份，其任務係在作戰指揮官直接管制下，遂行輻射源搜索、截獲、辨證及定位，並達成對立即性威脅的目標確認、目標處理、目標規劃，及指揮未來的作戰。⁶電子戰支援較容易和電子防護搞混，電子戰支援係指電子戰時，指揮官為遂行作戰任務，所採取之措施。這些措施不限定於電子方面的行動，只要能有效支援電子戰，即可稱為電子戰支援。

表一 電子戰分類綜整表

分類	電子攻擊 (Electrical Attack)	電子防護 (Electrical Protection)	電子戰支援 (Electrical Support)
表現形式	1.電磁能量(脈衝)攻擊 2.指向性能量攻擊 2.反輻射武器攻擊	1.被動、主動個人防護 2.被動、主動設施防護 3.被動、主動裝備防護(如預警雷達電子反反制)	1.作戰指揮官遂行輻射源搜索、截獲、辨證及定位；2.對立即性威脅目標確認、處理、規劃及指揮未來作戰。
小結	上述電子攻擊可造成人員、武器及設備等遭受損害。	本研究探討內容主要為電子防護中的被動、主動裝備防護(或稱電子反反制)。	指揮官為有效支援電子戰所採取的行動,即可稱為電子戰支援。(該行動不僅限定於與電子類有關)

資料來源：作者自行整理

電子反制運用發展

當利用電磁能在物理特性中既有的優勢與弱點時，用於電子戰主要的活動已發展過時，儘管新的電子戰裝備和電子戰戰術持續的研發，但電磁能的物理特性仍不會改變，物理特性是不變的真理，然而電子戰基本的活動仍有效的造

⁴同註 2，頁 12。

⁵同註 2，頁 13。

⁶同註 2，頁 13。

成硬體損害和戰術的改變。⁷就如同作戰的本質一樣，電子戰的所蘊含的本質，並不會隨著武器裝備及戰術戰法的進步而有所改變。電子反制運用發展，亦是戰爭型態發展改變的重要一環。

電子戰自 20 世紀初誕生以來，從一開始的戰爭輔助手段，到成為現代戰生的重要手段。1905 年日俄「對馬海戰」拉開電子戰的序幕；第一次世界大戰期間，美軍採用無線電監聽與干擾，電子戰成為蒐集情報及破壞敵方通信的一種方法；第二次世界大戰期間，美軍廣泛採用無線電通信、導航、雷達、電子偵察、噪音干擾等；越戰時期運用火控雷達與各種飛彈，新的綜合電子戰系統，如反輻射飛彈、無人載具及專業電戰機等不斷湧現，對戰爭影響明顯增大。⁸而在電子戰不斷演進改變的過程中，1990 年爆發的波灣戰爭，即是美軍電子反制運用效益最顯著的一場戰役。

1990 年 8 月 2 日至 1991 年 2 月 28 日波灣戰爭中，美軍以高科技的作戰方式，向世界表明現代戰爭不單是飛機、戰車、飛彈等常規武器的天下，而是在開戰之前，電子戰已決定戰爭勝負。美伊雙方以電子偵察與反電子偵察的形式，展開激烈的電子戰。在空中偵察方面，美軍以偵察機、預警機及電戰機進行偵察。其中，美軍以飛機作為誘餌，讓伊拉克雷達捕捉到，並利用 RC-135 電子偵察機紀錄伊拉克雷達工作頻率、脈衝波長等。後續透過資料比對，查出伊拉克所使用雷達型號，並鎖定雷達陣地位置，以摧毀伊拉克雷達。⁹

在波灣戰爭中，可以看到作戰不再僅是以傳統武器進行硬殺攻擊，而是透過電子戰攻擊來執行作戰任務。這樣的攻擊模式不需造成大量人員、裝備傷損，卻足以決定整個戰役的勝負。

共軍空軍電子戰策略與無人電戰機發展

共軍將奪取電磁優勢列為取得資訊優勢的其中一環，電磁優勢被界定為「某一方在作戰中獲得特定時段和特定範圍內的電磁控制權」。其所追求的目標，是制止敵軍電子裝備所提供之戰力，同時在成功遂行作戰之必要的時間內，能維持優勢。在執行空軍戰役時，電子戰被視為資訊戰行動之重要環節，且係以攻擊為主的行動。此種作為係於廣大區域進行、可運用多種不同方式（包含軟、硬手段）、極具技術性，並須面對快速運動與指揮協調難以預期的複雜戰場。¹⁰

共軍奪取電磁優勢的方法包含電子攻擊和電子防禦。在電子攻擊中，軟殺手段包含電子干擾和電子欺敵，硬殺手段包含反輻射摧毀、電子武器攻擊、火

⁷同註 2，頁 15。

⁸錢高陞，〈歷代戰爭中電子戰史實與評析〉《空軍學術月刊》（臺北），空軍司令部，2003 年 11 月，頁 46。

⁹〈海灣戰爭時美軍電子戰：如「教科書」般刷新解放軍「三觀」〉，《每日頭條》，<https://kknews.cc/military/jrlqlvl.htm>，2017 年 9 月 30 日。

¹⁰羅傑·克里夫（Roger Cliff）等著，〈21 世紀中共空軍用兵思想〉（臺北：國防部，2012 年 9 月），頁 89。

力摧毀和攻擊敵方電子設施和系統，包含電磁脈衝彈和高能微波武器。電子防禦則單純只是抵抗敵軍電子與火力攻擊。共軍電子戰的任務可包含電子監視、干擾、制壓、摧毀、欺敵與防禦等。反輻射飛彈被中共列為最佳制壓武器。維持己方電磁頻譜是電子防禦的目標；同時可透過程序性行動達成此一目的，諸如宣布無線通信關閉或加密傳輸訊息等，其亦可包含反制電子干擾的各項更積極手段。¹¹近年來，中共利用無人機執行電戰用途，已有相關裝備問世，概述如次，另由中共發展翼龍 I 及翼龍 II 型無人機，可看出未來敵電戰機發展會邁向體積輕巧、數量龐大等方向，而我國面臨的電戰攻擊亦會更加複雜。

一、GJ-1 翼龍 I 偵打一體無人機

翼龍 I 無人機係中低空、長航時多用途無人機，於 2005 年開始研製，2007 年 10 月完成首飛，2012 年以測試機方式首次出現在珠海航展，2014 年再次出現在珠海航展，並賦予 GJ-1（攻擊-1）代號，並開始服役，官方多稱為「翼龍」無人機。翼龍 I 無人機可執行監視、偵查、對地攻擊與打擊效果評估，以及電子偵察／干擾（配置相關電子戰設備）等任務。2015 年年初，翼龍 I 無人機成功進行編隊試飛，在貴州的山地環境中，準確找到機場，並按照程式完成著陸。這說明翼龍 I 無人機的發展已經比較成熟，也顯示中共已在逐步研發無人機編隊飛行的技術。¹²

二、翼龍 II 偵打一體無人機

翼龍 II 無人機首次出現於 2015 年的北京航展，其模型則於同年 11 月 17 日深圳的「第六屆尖兵之翼無人機大會」展出。本型係在翼龍 I 無人機基礎上研製的性能提升的中空、長航時、偵察／打擊一體化多用途無人機。翼龍 II 無人機標準配置裝載光電監視／瞄準裝置、合成孔徑雷達（SAR）、雷達預警設備、雷射指標器（導引雷射導控飛彈和炸彈），也可根據用戶需求選裝電子偵察、雷達干擾、通訊偵察、情報收集、偵察相機、通信中繼、搜索救援等設備，以及其他先進的任務載荷設備、數據鏈和機載武器等。¹³

野戰防空預警雷達電子反反制發展

國軍野戰防空預警雷達從萊茲雷達、PSTAR 雷達，乃至最新的蜂眼雷達，主要目的均是用來搜索空中飛行目標，並將目標傳輸至與該系統連線的火力單元，提供防空部隊早期情資，以利完成防空接戰準備。建置預警雷達系統使防空火力部隊有更多時間可接戰敵機，有效造成敵方傷損。因此，以敵方角度來

¹¹同註 10，頁 90。

¹²應紹基，〈中國大陸軍用無人機發展之現況與展望〉《空軍學術雙月刊》（臺北），空軍司令部，2017 年 4 月，頁 104-105。

¹³應紹基，〈中國大陸軍用無人機發展之現況與展望〉《空軍學術雙月刊》（臺北），空軍司令部，2017 年 4 月，頁 105。

看，預警雷達將是執行任務中的一項阻礙。若要有有效遂行作戰任務，摧毀雷達系統將是作戰過程中的重要關鍵。

因雷達系統主要由電子元件構成，偵蒐情資亦利用電磁頻譜相關原理，所以就衍生出許多摧毀雷達系統功能的電子戰構想。而各種針對雷達系統的電子戰攻擊，當然也造成預警雷達系統功能損壞，而無法遂行支援作戰任務。因此，預警雷達系統必須有所作為，針對敵方的電子反制攻擊，再進行電子反反制防護，才能保護裝備，並且持續執行偵蒐任務。

現今世界各國採用電子反反制基本原理大致類似，惟科技發展快速，且詳細作為具敏感性，因此筆者僅簡介基本原理，說明如次。

一、大信號偵測：當現存的干擾功率足以降低系統的功能時，大信號偵測功能可警告操作手，在合成影像模式下，啟動電子反反措施。

二、原始影像及干擾光跡：操作手可以使用原始影像或干擾光跡，以定出實際干擾源的方位，當操作手選擇以原始影像呈現雷達回波訊號時，雷達影像將可清楚呈現環境雜波干擾及人為脈波干擾之差異，以利操作者執行電子反反措施。

三、扇形遮沒區：操作手可以使用扇形遮沒區的功能，使干擾機更難追蹤雷達的輻射頻率，此功能也可用來降低雷達間的相互干擾。簡而言之，設定扇形遮沒區功能，即是針對人為脈波訊號（包含敵軍及友軍干擾源）方位停止輻射發射接收，以避免發射機輻射頻率為敵所知及保護接收機不受人為輻射源干擾及破壞。

四、旁波瓣消除：旁波瓣消除器可減低由雷達天線所接收到干擾信號的功率。旁波瓣訊號係因雷達天線輻射時，輻射主波周邊所產生之次級波，而旁波瓣訊號因訊號較弱，常成為敵電子反制的主要攻擊目標。故利用旁波瓣消除器，可以降低敵電子反制作為。

五、頻率變換：操作人員可以不斷地改變頻率，使干擾機更難追蹤雷達的輻射頻率，並降低雷達間的相互干擾。因電磁頻譜範圍廣，若敵欲執行電子反制作為，需針對我雷達特定頻率，才能有效產生干擾。若雷達採取頻率變換方式，將可有效避開敵特定頻率之電子反制干擾。

六、跳頻：雷達有多個頻道，當系統遭干擾時，可重新選擇最佳操作頻道，將干擾降至最低，亦可直接選擇跳頻模式。

未來發展與建議

國軍野戰防空預警雷達發展歷程中，萊茲雷達系統及 PSATR 雷達系統屬於傳統機械式掃描雷達，而蜂眼雷達系統則為新一代被動式電子掃描（PESA, Passive Electronically Scanned Array）雷達，或稱為被動式相位陣列雷達（PPAR,

Passive Phased Array Radar)。

雷達系統要反制敵人電子干擾的方式，不外乎兩個重點：輻射頻率與訊號相位。只要能防止敵人獲取我方雷達系統運作時的輻射頻率與訊號相位，就可避免遭受敵人電子干擾。傳統機械式掃描雷達面對電子反制干擾時，只有最基本的改變輻射頻率方式，而相位陣列雷達則增加了改變訊號相位的功能，所以在電子反反制上更勝一籌。

現今相位陣列雷達發展的趨勢為主動式電子掃描 (AESA, Active Electronically Scanned Array) 雷達，天線表面每一個陣列單元均包含訊號產生器、放大器及接收器，所以具備獨力完成訊號產生、發射與接收的能力。也因為這樣的能力，使得主動式電子掃描雷達具備「低攔截率」、「高電子反制特性」、「多波束」、「高掃描速度及工作距離」、「較佳靈敏度及偵測」、「輕量及精巧」、「可靠度佳」、「簡易輻射載台」、「低電力供應使用」、「高調整速度」及「較佳雷達群使用互不干擾性」等 11 項優勢。¹⁴

若利用主動式電子掃描 (AESA) 的優勢特性，可發展大規模主動式電子掃描 (AESA) 作戰平台，將有利於我軍雷達電子反反制新戰術發展。該作戰平台至少可以實現：一、只進行接收 (信號偵蒐 / 被動雷達) ；二、僅進行發射 (電子干擾) ；三、在不同位置發送然後接收 (多基雷達) ；四、從多個方向接收，然後計算，然後在不同位置發送 (電子干擾與欺騙) 。¹⁵

主動式電子掃描 (AESA, Active Electronically Scanned Array) 雷達之應用優勢如下：

一、避免暴露自身陣地：當雷達未主動輻射電磁波時，可避免反輻射飛彈追蹤攻擊。反輻射飛彈攻擊原理為偵測輻射來源後，持續追蹤發射源，以精準命中目標。若雷達以被動方式運作時 (未主動輻射電磁波) ，仍可執行信號偵蒐，並避免暴露自身陣地。

二、降低敵作戰能力：與接收相反的是，運用我方雷達發射訊號，對敵雷達、電子設備及武器裝備進行電子干擾，以降低敵作戰能力。

三、形成敵情偵蒐網絡：傳統雷達發射源及接收源均為同一部雷達，若使用主動式電子掃描雷達，則可構連成「多基雷達」網絡，可由甲雷達輻射電磁波，並由乙、丙等雷達接收訊號，敵情偵蒐網絡將更容易運用。

四、欺敵效果：形成「多基雷達」網絡後，可同時於多個陣地接收、發射訊號，再配合每部雷達不同時間輻射電磁波，則可有效干擾敵搜索我方雷達陣

¹⁴Predrag Jovanovic, Mladen Mileusnic, Predrag Petrovic,《An Approach to Analysis of AESA Based Radio System, INFOTEH-JOHORINA Vol. 12》(Research Gate, 西元 2013 年 3 月), 頁 372。

¹⁵王毓駒,《半導體科技如何改變全球雷達與電子作戰能力》, 國立大學電子工程系「多基主動相控陣列雷達 (AESA)」研發實況暨研討會, 西元 2018 年 11 月 13 日, 頁 17。

地，達到欺敵效果。

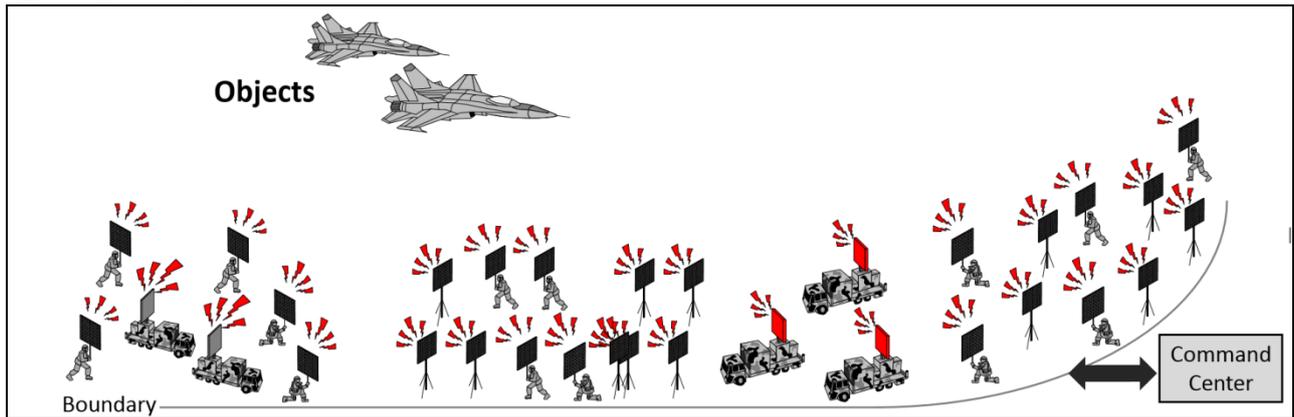


圖 1 大規模 AESA 作戰平台

資料來源：如附註¹⁶

結語

現代化戰場的作戰環境複雜、作戰形態瞬息萬變，若要在野戰防空作戰領域取得優勢，正確有效使用預警雷達系統是不可或缺的必要條件。隨著科技的演進發展，預警雷達系統功能也不斷地提增效能，從早期機械掃描式雷達，後續發產出相位陣列電子式雷達，而目前更發展出多基主動相控陣列雷達之構想。未來作戰形態仍會不斷地改變，我軍若要在戰場中求勝，在國防科技武器發展領域上勢必與時俱進，才能具備克敵勝敵之國防武力。

參考文獻

- 一、張樹人，《電子作戰聯合準則》（臺北：國防部，2005年11月16日）。
- 二、錢高陞，〈歷代戰爭中電子戰史實與評析〉《空軍學術月刊》（臺北），空軍司令部，2003年11月。
- 三、羅傑·克里夫（Roger Cliff）等著，《21世紀中共空軍用兵思想》（臺北：國防部，2012年9月）。
- 四、應紹基，〈中國大陸軍用無人機發展之現況與展望〉《空軍學術雙月刊》（臺北）。
- 五、曹哲維，〈雷達電子戰實務探討〉《砲兵季刊》（臺南），第166期，2014年9月30日。
- 六、Predrag Jovanovic, Mladen Mileusnic, Predrag Petrovic，《An Approach to An alysis of AESA Based Radio System, INFOTEH-JOHORINA Vol. 12》（Research Gate，西元2013年3月）。

作者簡介

吳銘祥少校，中正理工92年班、軍備局技術訓練中心正規班100年班，歷任飛彈技術官、組長，現任職於陸軍砲兵訓練指揮部防空教官組。

¹⁶王毓駒，《半導體科技如何改變全球雷達與電子作戰能力》，國立大學電子工程系「多基主動相控陣列雷達（AESA）」研發實況暨研討會，西元2018年11月13日，頁17。