

國軍「電磁頻譜戰」未來發展之缺析—以美軍為例

作者：黃彥銘

提要

- 一、2017 年 1 月，美國首部「電子戰戰略」正式發布，內容提及電子戰未來發展與確立電磁頻譜為未來作戰的主軸，掌控戰場電磁環境就可以主宰戰場。
- 二、現今資電化的作戰環境，電子戰戰略更顯靈活與高適應性，如何整合各種電子戰措施以求在整個軍事作戰領域取得電子戰優勢，成了各國爭相研究目標。
- 三、透過本論文探討，期在藉由美軍近 20 年來「電磁頻譜戰」發展狀況，以了解未來戰場環境，從而提出建議，做為建構我「電磁頻譜戰」未來發展之參據。

關鍵詞：電磁頻譜、電磁頻譜戰、電子戰

前言

進入 21 世紀以來，以美軍為首的軍事發展國家都在不斷加強電子戰裝備的研究與建設，在電子戰部隊、組織、準則等不斷成熟的狀況下，逐漸主宰部隊的 C4ISR 效能。在 2015 年美國戰略與預算評估中心(CSBA, Center For Strategic And Budgetary Assessments)提交美國國防部「Winning The Airwaves」(決勝電磁波)報告中提及：電磁頻譜(EMS)將會是現代戰爭中最關鍵的作戰領域之一¹，然此報告內容更批評美國在「電磁頻譜」領域已出現嚴重落後狀況，而這個「落後」已使中共及俄羅斯等對手抓住機會，超越美國，進而擊敗美軍。這個報告，也促使美國國防部(DOD, Department Of Defense)重視，並於 2016 年制定了「Joint Electromagnetic Spectrum Operations」(聯合頻譜戰)準則，以因應「電磁頻譜戰」未來發展及作法。²

根據 106 年「四年期國防總檢討」(簡稱 QDR, Quadrennial Defense Review)文中提及，共軍近年來整合航天、技術偵察、網軍、電子對抗與心理作戰等五大類型部隊，編成戰略支援部隊；其中全球首枚量子通信衛星成功發射，可在極度保密狀態下，執行軍事任務數據傳輸，電抗部隊模擬臺海實戰電子環境，建構干擾、癱瘓戰力。另已具備對我電磁參數及監偵指管系統，遂行偵蒐、阻斷與干擾等電子戰能力。³

我國於 106 年 7 月 1 日正式成立資通電軍，為我國資電作戰專門單位，面對現今數位科技發展快速，網路、電磁空間已成為現代戰爭主要戰場，資電作戰具貫穿戰爭全程的特性，我國資電能量在面對未來頻譜戰爭，將如何因應，又該如何發展，可否師法美軍近年來在「電

1 Bryan Clark & Mark Gunzinger, Winning The Airwaves, (place of publication : Washington DC, December 1, 2015)。

2 Joint Chiefs of Staff, Joint Electromagnetic Spectrum Operations, 2016, p.p25-25。

3 國防部，《中華民國 106 年四年期國防總檢討》(台北：國防部，2016 年)，頁 15-16。



磁頻譜戰」的經驗，從而建立我國「電磁頻譜戰」的未來發展方向，以因應資電作戰的戰爭型態。

惟「電磁頻譜戰」在各國的發展多屬機密，無法從公開資料得知功、性能及諸元特性等，故本文僅以 CSBA 所提交美國防的「Winning The Airwaves」報告為主軸，陳述「電磁頻譜戰」的理論、美軍發展的現況、我國發展的現況，最後探討得出適用與國軍「電磁頻譜戰」未來發展建議，做為建軍備戰之基礎。

「電磁頻譜戰」理論發展

電磁頻譜(EMS, Electromagnetic Spectrum)是現代戰爭中最關鍵的作戰領域之一。縱使數十年來各國軍隊已改採 EMS 進行通信、導航以及確定友軍和敵軍位置，但新興的技術進步仍有可能改變現今作戰的方式。

一、「電磁頻譜戰」定義與概念

以往我們所知道的電子戰僅是控制與運用電磁頻譜的軍事行動，而頻譜管理就影響著電子戰戰力的發揮；根據《陸軍作戰要綱》⁴，「電子戰係運用電磁與指向性能量，偵測或攻擊敵電磁頻譜，並防護我電磁頻譜之作戰行動。其間有三種區分：電子攻擊(EA, Electronic Attack)、電子防護(EP, Electronic Protection)和電子戰支援(ES, Electronic Warfare Support)；另頻譜管理係「對國軍所使用之電磁頻率資源，實施嚴謹規劃與分配，俾有效使用電磁頻譜」⁵。由此可知，以往我們所知道的電子戰只是單純控制與運用電磁頻譜的軍事行動，而不論敵我雙方，只要做好電磁頻譜管理，就可以影響到電子戰效能的發揮。例如：甲方運用電子戰偵蒐裝備搜尋、截收、定位及確認乙軍電磁頻譜，以達辨認敵軍位置、威脅等，再運用電子戰攻擊裝備干擾敵軍通信、指管系統，達到削弱、壓制或摧毀敵作戰能力。

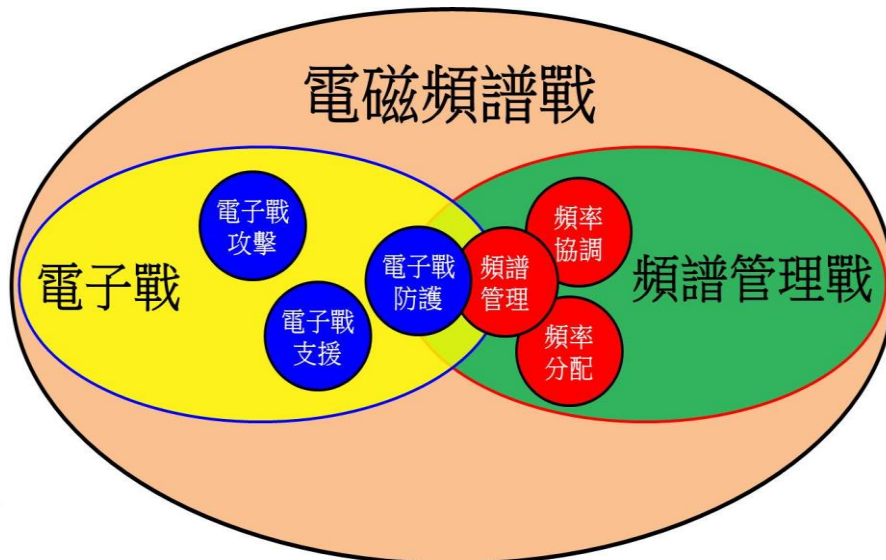
然就美國戰略與預算評估中心「Winning The Airwaves」文中所述，現今戰場的「電磁頻譜」係泛指所有的「頻率」，與前述「電磁頻譜」是運用在軍用的通信電臺和搜索雷達等通信系統和偵測系統不同，其範圍已涵蓋所有軍、民用頻率，所以「電磁頻譜」(EMS)就演變成美軍 2000《M3320-01: Joint operations in the electromagnetic battlespace》⁶所提最新電子戰概念，其包括所有無線電頻率的範圍，以軍事來說，「電磁頻譜戰」(EMSO, Electromagnetic Spectrum Operations)就是包含軍事通信、偵測和電子戰等領域，如圖 1。在特定時間、地點擁有電磁頻譜的優勢，可以確保我軍通信不受干擾，同時影響敵軍。未來，軍事系統將會使用到包含民間所用的「電磁頻譜」，包括紅外線、紫外線、X 射線和伽瑪射線或宇宙射線區域的輻射源和感測器，如圖 2。簡單來說，「電磁頻譜戰」就是結合「電子戰」及「頻譜管理」，執行全頻段電磁波運用的攻、防作戰。

4 國防部，1999 年。《陸軍作戰要綱》。聯勤北部印製廠，頁 4-8。

5 國防部，2004 年。《國軍軍語辭典 92 年修訂本》。國防部軍備局北部印製廠，頁 9-3。

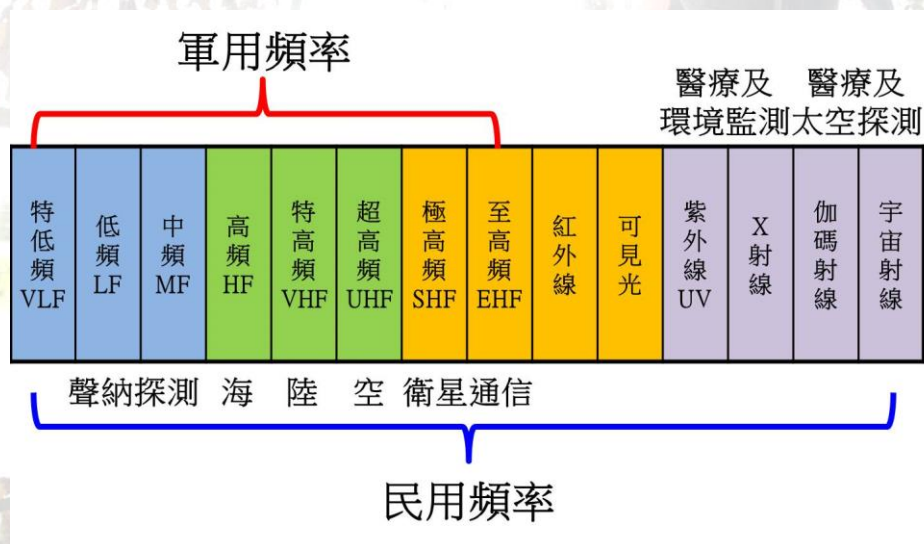
6 MD3320-01, Joint operations in the electromagnetic battlespace, 2000。

圖 1 EMSO 示意圖



資料來源：作者整理自 FM3-38, Cyber Electromagnetic Activities, 2014,P5-1

圖 2 頻率範圍示意圖



資料來源：作者整理自Bryan Clark & Mark Gunzinger, Winning The Airwaves,(place of publication：Washington DC, December 1,2015), P18

二、「電磁頻譜戰」技術與發展

依前段所述「電磁頻譜」將會是現代戰爭中最關鍵的作戰領域之一，就像智慧型手機和網際網路重新定義了我們資訊共用、教育學習、工作、購物及生活方式一樣；科技的進步，重新定義電子戰不再只是單一的裝備對「電磁頻譜」實施攻擊、支援或防護；如同 20 年前，美軍的船艦、飛機和其它主要的武器系統間的通信連絡是使用語音通信或低頻段(LF-UHF)的傳送。如今，已可使用更高頻段的「電磁頻譜」(SHF-EHF)來傳遞資訊及追蹤敵軍目標。⁷

7 同註 1，頁 17。



在軍事行動中「電磁頻譜」的應用也變的越來越重要。例如，使用電腦軟體、網路技術等可以讓同一射頻信號或雷射波，既可以像雷達一樣去偵測目標，又可以像無線電通信系統一樣傳輸資訊，又進一步可以像干擾機一樣阻礙、干擾其他通信訊號。⁸由於目前電腦網路也採取了無線傳輸方式(例如：藍芽、WiFi)，因此網路戰(Cyber War)的作戰概念也可以透過「電磁頻譜」來執行，獲取「電磁頻譜」優勢，就可以使用「電磁頻譜」來干擾、破壞或攻擊敵方的電腦網路。「電磁頻譜戰」或許是一個新稱謂，但其實「電磁頻譜」的軍事行動卻一直在進步。在一個世紀以來，美軍都在使用「電磁頻譜」能力支援作戰行動，而「電磁頻譜戰」的競爭主要區分四個階段，如圖 3 所示。⁹

圖 3 電磁頻譜階段示意圖

有源與無源的戰爭				有源與有源的戰爭				隱形與低功率 網路的戰爭			低功率與 低截獲率
1910	1920	1930	1950	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010	2010以後

資料來源：作者整理自Bryan Clark & Mark Gunzinger, Winning The Airwaves,(place of publication : Washington DC, December 1,2015), P20

(一)第一階段-有源與無源的戰爭：

現代「電磁頻譜戰」競爭的起點可以追溯到無線電臺發明及其在第一次世界大戰等大規模軍事行動中的應用。這一時期電磁頻譜的競爭主要是在運用無線電臺來指揮部隊行動及導引火炮，以及使用無源測向設備來定位或監聽敵方的無線電，達到偵搜敵人之目的。¹⁰另外，自 1930 年起「雷達」開始在戰場上部署，透過船艦及飛機等大型目標反射的無線電波來確定目標位置。然因早期的雷達工作頻段是 HF，為了獲得較高的輻射功率，天線長度通常達到數公尺，搭載這樣大的天線加上船艦本身速度較慢，故在標定敵方的同時，也容易被對方無源的偵搜系統標定。因此「電磁頻譜戰」第一階段的戰爭就可以描述成有源與無源的戰爭；有源指用來發現敵方並協調己方的無線電電臺，無源的對抗措施指用來定位敵方輻射和利用敵方通信的測向系統。隨著技術進步，出現了機載雷達和干擾機，戰爭的節奏加快了，在截獲敵方電磁傳輸的同時，也有阻斷這些傳輸的迫切需求，於是「電磁頻譜戰」進入了第二階段。

(二)第二階段-有源與有源的戰爭：

在提升空中導航精度的需求下使「電磁頻譜戰」進入第二階段，有源與有源的戰爭；二戰初期轟炸機缺乏精準的導航系統，影響了高空轟炸的效果，於是配合無線電導航系統的

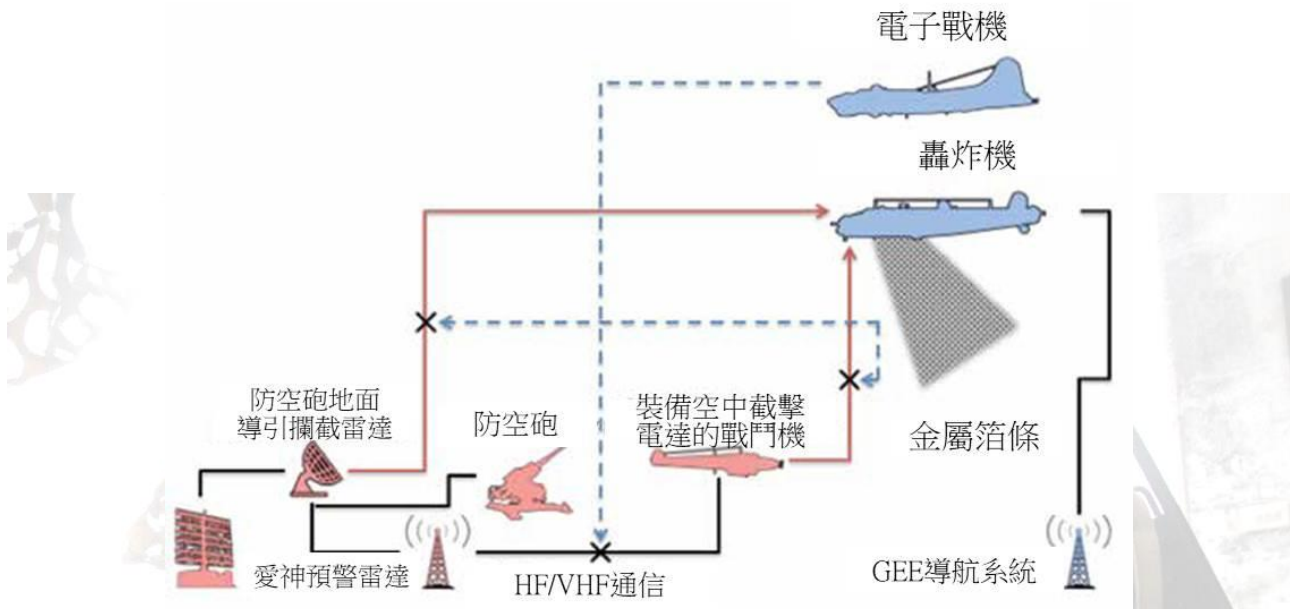
8 Reilly, Jeffery M, Multidomain Operations: A Subtle but Significant Transition in Military Thought, (place of publication: Fort Belvoir, January 1, 2016), p.p6-p8

9 同註 1，頁 18-21。

10 袁文先，《百年電子戰》（北京：軍事科學出版社，2011 年 8 月），頁 29-30。

提升，就催生了第一個專用對抗有源電磁頻譜的方式。1940 年英國部署了代號 Aspirin 的假信號來對抗德國的 Knickebein 系統，而德國又運用干擾機來影響英國空軍轟炸機接收地面雷達導引系統 GEE 信號，英國也反用拋射金屬干擾絲方式製造成千上萬的假目標，來迷惑德國的防空系統，如圖 4 所示。¹¹

圖 4 二戰初期電磁頻譜對抗示意圖



資料來源：作者整理自Bryan Clark & Mark Gunzinger, Winning The Airwaves,(place of publication : Washington DC, December 1,2015), P20

隨著科技的發達，蘇聯及美國開始運用各種反射措施來打破「電磁頻譜戰」有源與有源的戰爭，諸如隱身塗料、降低船艦與飛機的發射功率、紅外線、音訊視頻等特徵，於是「電磁頻譜戰」進入第三階段，隱形與低功率網路的戰爭。¹²

(三)第三階段-隱形與低功率網路的戰爭：

1970 年代，美國研製出首架使用隱形技術的飛機「擁藍」，利用飛機的雷達截面積特性，將飛機輪廓、形狀和表面反射波的稜邊數量及構造等重新設計，使其具有對防空雷達的隱形和具水面低空發射遠程導引武器能力，大幅提升攻擊能力。而到了 1980 年，美國海軍驅逐艦及空軍戰鬥機也都透過外觀的設計，以及使用無源或低功率偵測和通信系統來降低被雷達的偵蒐。

(四)第四階段-低功率與低截獲率的戰爭：

經歷了前三個階段，各國「電磁頻譜戰」的能力不斷提升，原先發展的武器載具如戰機、船艦等逐漸也具有「電磁頻譜戰」偵蒐、攻擊的能力，所以除了攻擊別人，也要透過載

11 同註 1，頁 7。

12 同註 1，頁 27-28。



具本身的低功率與低截獲率能力，來增加戰場存活率，故 2010 年後「電磁頻譜戰」為低功率與低截獲率的戰爭。

三、「電磁頻譜戰」限制與障礙

以下分 3 點探討影響作戰區域電磁頻譜的使用與安全：

(一)主戰場區的優勢：防守方能夠利用其本土的戰略縱深優勢，擁有比進攻國更好的通訊和感測網路，防守方運用大型低頻(HF 或 VHF)感測器遂行遠距離偵測，同時利用大型、功能先進的電腦精確計算提升準確度。還可以通過區域分佈的相位陣列雷達，利用一個陣列發射，其他陣列接收反射訊號。而這些相位陣列雷達又可以透過陸基分散式的方式，通過光纖網路來傳輸，因此更難被敵軍干擾。¹³而且利用對當地地形的掌握，防守方可通過先進的電腦快速運算能力來達成無源偵測能力，這些技術是透過多個無源陣列，利用三角測量法來確定輻射源位置，或者通過都卜勒雷達定位。他們還可以使用無源電磁接收機探測來襲飛機和艦船反射回來的電磁能量。由於這些無源技術需要對當地電磁頻譜和氣象環境進行複雜的模擬與設定，因此，外來的遠征部隊很難使用這樣的技術。¹⁴另外，防守方可以透過地下電纜、抗干擾通信設備等將遠端有源感測器和無源感測器結合起來，而遠征部隊只能使用小型、低功率的有源感測器和對抗措施，不易運用光纖纜線通信及多陣列偵測技術等，又增加了防守方的主場優勢。¹⁵

(二)反介入／區域拒止(Anti-access/Area-denial threats)：防守方能使用岸基雷達和通信網路、防空導彈、巡弋飛彈等來對進攻方的船艦、飛機及其他投送兵力載具實施遠端打擊，此作法美軍稱作「反介入／區域拒止(A2/AD)」威脅。¹⁶而這些威脅隨著這些國家武器精度、射程和數量的提升而提高。例如，俄羅斯的 S-400 防空導彈其射程將近 380 公里。中共和伊朗也都擁有大量的導彈，其中部份射程更達 1800 公里，能夠對遠距離的攻擊方任何目標實施攻擊。¹⁷當 A2/AD 的範圍不斷擴大，將迫使進攻國只能從距離敵方更遠的地方開始作戰，就需要使用更高功率的有源感測器和對抗措施，但更高功率和更遠距離意味著更容易被發現，而且作戰用的飛機和船艦能夠提供的功率有限，是無法滿足需求的。

(三)電磁頻譜能力缺乏敏捷性：由於科技、商業及其他設備會使用到電磁頻譜，且當前各國使用的電磁頻譜感測器和通信系統大部分已經服役幾十年，儘管進行了升級，但還是在固定的頻段。¹⁸這由於他們的性能參數固定，要調整至新的工作頻段或使用新波形將付出巨大的成本。全世界潛在敵人也懂的利用別人「電磁頻譜戰」這個弱點，部署干擾和欺騙措施。¹⁹

13 Center For Strategic And Budgetary Assessments(CSBA), Winning in the Gray Zone : Using Electromagnetic Warfare to Regain Escalation Dominance,2017,p.11。

14 劉凡，《讓千里眼變近視眼》(北京：電子工業出版社，2011 年 11 月)，頁 157-177。

15 同註 1，頁 13-14。

16 Andrew F. Krepinevich, Barry Watts, Meeting the Anti-Access and Area-Denial Challenge, (place of publication: Washington DC, May 20,2003)P101-103

17 同註 9，頁 18-20。

18 熊群力，《綜合電子戰》(北京：國防工業出版社，2008 年 4 月)，頁 397-402。

19 同註 13，頁 414-415。

美軍「電磁頻譜戰」現況與未來發展

自 2002 年美軍發布的文件中就認為要掌握戰場優勢，就必須有控制「電磁頻譜」的能力，自此就不停的發展「電磁頻譜戰」相關準則、技術與武器，以下就美軍近年來在具備武器和技術下，如何運用「電磁頻譜戰」能力達到戰場優勢的效果進行介紹。

一、美軍「電磁頻譜戰」執行現況

從美軍 2002 年發布的聯戰文件(Electromagnetic Spectrum Use In Joint Military Operations)²⁰說明電磁頻譜在戰場環境中的重要性，更讓美軍認為要主宰戰場，就需爭取電磁頻譜優勢，因此，美國國防部制定新的作戰理念，利用低功率對抗措施來對付敵方有源和無源感測器、低截獲/低探測偵測器與通信系統，從而降低美國部隊被反偵測的機率。以下介紹幾種美軍使用「電磁頻譜戰」的作戰概念：

(一)利用無源或多基地探測發現敵方部隊：為了降低被偵測與反偵測的風險，有以下 3 種方式。²¹

1. 利用無源感測器來偵測敵方的射頻和紅外線輻射：通過對分散的多個有人或無人平臺接收的輻射信號進行三角量測，或對無源感測器接收的電磁輻射信號進行都卜勒頻移分析，就能確定敵方輻射源的位置。²²

2. 利用多基地技術來定位敵方平臺和系統：這些平臺和系統不發射能被探測的電磁頻譜。在這種情況下，一個輻射平臺向可疑目標發射射頻或紅外線信號，然後由己方的無源感測器接收，藉由通信網路能確保己方接收機知道輻射源的位置及其電磁頻譜特徵。²³

3. 採用低截獲/低探測的雷射裝置來進行多基地或單平臺偵測：與雷達原理相似，掃描目標的雷射裝置產生一個可被偵測器接收的反射波，雷射偵測系統與測距系統中的回波就可以被用來定位、標像和分類。²⁴

(二)利用反射能定位敵方部隊：於作戰區域內部署電磁波發射站及無發射源的接收站，利用敵軍反射回來的電磁波，定位敵軍位置。²⁵

(三)使用無源與有源感測器實施引誘和欺騙：目的是給敵方部隊建立一幅假的戰場景況，運用干擾機將真實部隊位置隱藏在高雜訊的區域中，當敵方透過感測器看到的戰場景況就會與真實不同，而造成誤判；且在探測的同時，就會暴露本身位置。²⁶

二、美軍「電磁頻譜戰」未來發展

美軍自提出「電磁頻譜戰」作戰概念以來，已獲得近 25 年的作戰優勢，在科技更發達且各國相繼投入資源研發的狀況下，美軍更加重視「電磁頻譜戰」的創新與發展，在 CSBA 的

20 CJCSI 3320.01A, Electromagnetic Spectrum Use In Joint Military Operations, 2002。

21 同註 1，頁 35-36。

22 同註 13，頁 54-64。

23 同註 13，頁 148-166。

24 同註 13，頁 416-417。

25 同註 13，頁 54-110。

26 同註 1，頁 37-39。



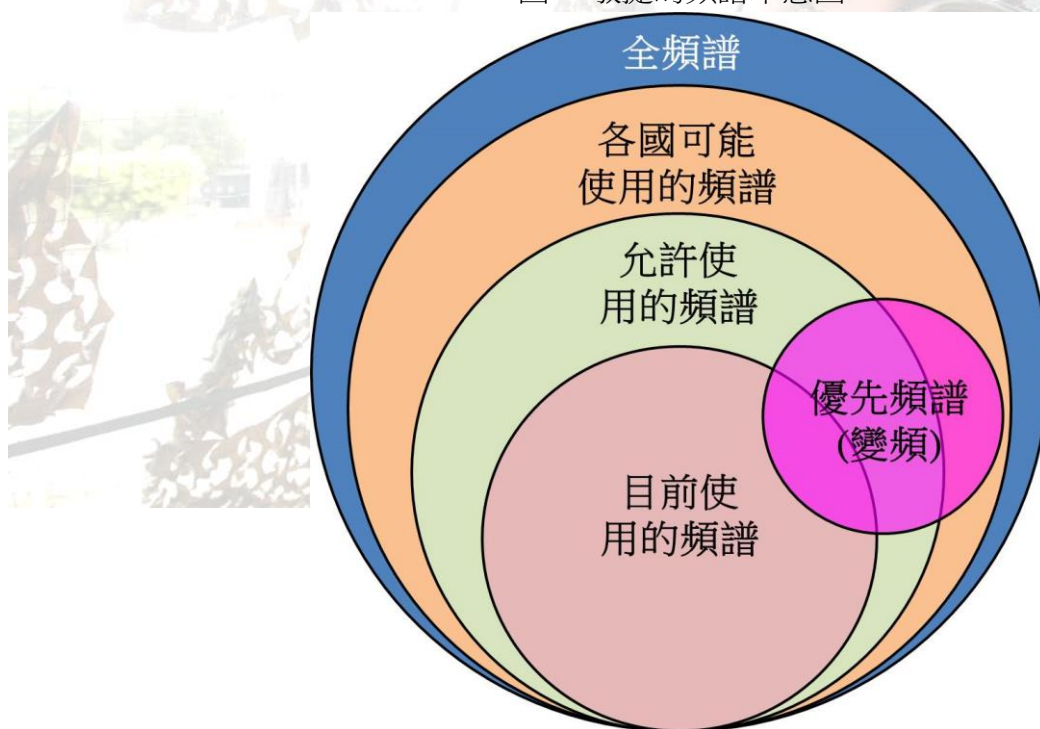
報告中建議，「電磁頻譜戰」未來發展必須是具有網路化、敏捷性、體積小、多功能及適應性強²⁷，分述如下：

(一)網路化：各同盟國、盟軍需運用「低偵測／低反制」的共通網路系統來進行資料交換、分享目標，使其更精準且不易遭敵偵測。

(二)敏捷性：美軍可以使用的頻譜範圍僅是全頻譜的一小部份(如圖 5)，長期使用下增加被敵偵測及干擾的風險，若能使其「電磁頻譜戰」系統能改變頻率、方向及功率，可使美軍通信系統更不易被敵偵測。²⁸其中低截獲率／低偵測率(Low Probability of Interception(LPI)／Low Probability of Detection(LPD))就是為了降低被偵測和被干擾與誘餌失敗的機率，美軍的感測器和通信網路需要使用無源模式工作或採用低截獲率／低偵測率技術，使敵方難以探測和定位通信信號。²⁹

(三)多功能：未來戰場上美軍的所有平臺、載具都應成為「電磁頻譜戰」的一部份，對只有單一功能的無線電臺、雷達和干擾機等裝備要同時具有通信、偵測、干擾及欺騙等多功能來說是相當困難的。因此開發「電磁頻譜」操作整備系統於這些裝備上，就能以極低的成本提供裝備在未來戰場上具備「電磁頻譜戰」能力。³⁰

圖 5 敏捷的頻譜示意圖



資料來源：作者整理自Bryan Clark & Mark Gunzinger, Winning The Airwaves,(place of publication : Washington DC, December 1,2015), P47

27 同註 1，頁 45-53。

28 同註 1，頁 46-48。

29 認知雷達：一個閉環的智能化雷達系統，<http://read01.com/327RRA.html#Wx9slUiFNPY>（檢索日期：2021 年 6 月 17 日）。

30 同註 13，頁 414-416。

(四)體積小：在 *Winning The Airwaves* 第二章中描述的作戰概念提出，美軍在作戰區域使用小型投擲式無人飛機或載具執行多基地無源感測、低功率的干擾和欺騙行動。其被偵測的機率相對較低且建置成本較便宜，並可以增加電磁頻譜作戰的全域性和靈活性。³¹

(五)適應性：如果要使「電磁頻譜戰」能力充分發揮，敏捷的多功能網路化「電磁頻譜戰」系統就應該具備自我調整的能力。這個能力是讓系統具有自動化的調整頻率，在有限的頻譜空間中找到可用的頻率，來反制敵軍的偵測或干擾。

而美軍發展了十多年，具自我調整能力的「電磁頻譜戰」系統，目前已達到成熟運用的水準，可以運用在未來「電磁頻譜戰」系統中。如圖 6 所示，這些系統控制自我調整「電磁頻譜戰」行動的基本步驟：

1. 分辨是敵是友或未知(即使這些訊號不具有任何可識別的特徵)，評估其工作模式。
2. 根據指揮官的意圖調整「電磁頻譜戰」控制系統，以任務優先順序別清單的形式來確定採取什麼行動。
3. 自我調整系統根據頻譜特徵、位置和行為來識別威脅。
4. 依當前作戰環境中電磁頻譜去判斷敵方可能採取的行動後，將任務分配給電磁頻譜系統，安排執行計畫。
5. 自我調整電磁頻譜系統再來分配或調整我方及友軍最適合的頻譜，達到減少干擾或偵測目的。

圖 6 自我調整的電磁頻譜系統工作示意圖



資料來源：作者整理自Bryan Clark & Mark Gunzinger, *Winning The Airwaves*, (place of publication: Washington DC, December 1, 2015), P52

31 同註 1，頁 19-21。



三、美軍「電磁頻譜戰」發展窒礙

要將「電磁頻譜戰」轉型到下一個階段，美國國防部需建立起新的作戰概念和能力，在 CSBA 報告中也提出幾點可能阻礙美國國防部發展「電磁頻譜戰」面臨的問題。其中美國國防部缺乏對新型電磁頻譜作戰方法與能力的作戰概念，這可能是轉入下一個競爭領域最大的障礙，新技術轉換主要涉及三個主要方面，每一個方面都會影響到新型作戰概念的制定或應用，說明如下：³²

(一)美國國防部作戰部門：負責制定「電磁頻譜戰」的訓練機構、準則制定機構對這個新興的作戰概念和技術不熟悉，因此，在執行上會延誤執行成效。

(二)技術專家：美國國防部制定新型作戰概念的同時，通常將技術人員、合約廠商排除在外，這導致開發了「電磁頻譜戰」的相關系統，卻無法滿足作戰實需。

(三)政策制定者：美國國防部的文職官員、參眾議院的議員負責對軍事採購預算分配資金；具有新型作戰概念可以幫助這些參與預算分配的人員瞭解國防部為什麼需要「電磁頻譜戰」能力，以及這些能力如何在未來作戰中得以應用。在缺乏作戰概念下就無法爭取到合理的預算，致使不合理的採購造成浪費且最終無法整合，發揮作戰效能。

我國「電磁頻譜戰」現況與未來發展

「電磁頻譜戰」是主宰未來戰場的重要武器，唯有不斷提升能力與裝備，才能適應戰場。以往我們所認知國軍僅有電子戰裝備實施攻擊，並透過頻譜管理做好電磁頻譜的防護，但配合電子戰能力的提升，我國也逐漸具備「電磁頻譜戰」能力。另我國於 106 年 7 月 1 日編成的「資通電軍指揮部」，整合陸、海、空三軍資通電能量；平時維護國軍各式通資電系統及防衛國防資訊網路，支援國家層級網際防禦任務，戰時確保國軍指管網路、資訊安全及情監偵系統有效運作，捍衛國家安全。³³然「電磁頻譜戰」能力的形成非一蹴可幾，需長遠的規劃與發展。本章就我國現有「電磁頻譜戰」裝備實施探討，最後歸納出建置與運用方向，做為我未來發展之參考。

一、我國「電磁頻譜戰」現況

在 106 年國防報告書中指出，美國 2017 年 6 月 29 日公布對我國軍售項目中就包含了 AN/SLQ-32(V)電戰系統性能提升的案子，³⁴顯見「電磁頻譜戰」在未來的重要性。

SLQ-32 為美國海軍現役制式電子戰系統，由雷松公司(Raytheon)製造，首批於 1977 年正式進入美國海軍服役。功能為預警、識別來襲之飛彈之雷達波特性，而 SLQ-32(V)3~(V)5 還具備主動干擾能力。³⁵目前配備於基隆級、成功級、濟陽級巡防艦上，配合干擾火箭發射使用。

32 同註 1，頁 50-53。

33 國防部。《中華民國 106 年國防報告書》(台北：國防部，2017 年)，頁 61。

34 同註 27，頁 129。

35 張明德，〈艦載電子支援措施導論〉，《全球防衛雜誌》，第 248 期，2005 年 4 月，頁 40-50，<http://mdc.idv.tw/mdc/navy/usanavy/E-countermeasure-SLQ32.htm>，(檢索日期：2021 年 6 月 19 日)。

³⁶然「電磁頻譜戰」為各國機密文件，為避免涉法，本研究僅以公開資訊說明我國「電磁頻譜戰」裝備現況，³⁷³⁸供未來發展參據。

(一)電磁頻譜偵查能力

1. 固定設施

(1)我軍電子偵測單位可對當面雷達輻號源及東南沿海高頻通信實施偵蒐。

(2)海軍主戰艦艇配置電偵裝備，具自動截收、分析、處理、比對能力。³⁹

(3)戰管及空中預警機具有對臺海 250 哩範圍之雷達偵測能力。⁴⁰

2. 機動設施：

(1)空軍：其 E2-T、S-2T、C-130HE 等飛機具偵測能力，另戰機上的 ASTAC、AN/ALQ-184 電戰莢艙等，⁴¹可偵蒐、比對、紀錄雷達信號，提供電戰攻擊裝備實施干擾。⁴²

(2)海軍：作戰艦及 S-70C 反潛直昇機，可運用自有電偵裝備實施偵蒐。⁴³

(3)陸軍：依上級提供電戰情資，利用現有通裝實施偵蒐、比對、紀錄敵通信訊號。

(4)資通電軍：依通信偵蒐系統，定位、測向敵電子訊號位置，使用電戰攻擊裝備實施干擾。

(二)電磁頻譜攻擊能力：

1. 空軍：C-130HE 可對敵實施干擾，掩護我戰機突擊，執行作戰任務。⁴⁴

2. 資通電軍：利用電戰干擾機對敵實施干擾，支援作戰任務。

(三)電磁頻譜防護能力：

1. 空軍：主戰機具有自衛之電子反制系統，可偵測敵雷達威脅信號，提升戰機存活率。

2. 海軍：主戰艦配備干擾彈及主動式電子戰反制系統，可對攻艦飛彈實施反制。

3. 資通電軍：具有 GPS 干擾系統，可提供定點干擾，避免遭敵衛星鎖定；另各作戰區資通支援大隊配賦簡易型定位導引防護系統，架設於重要防護目標(如指揮所)可提供 10 平方公里內 GPS 信號中斷，影響精準武器攻擊成效。

綜上所述，我國「電磁頻譜戰」目前尚僅屬於防禦性質之武器、裝備，除了科研能力不足外，還有在武器獲得與載具整合方面無法同步，造成即使自主研發，卻無法置於美系裝備

36 勒巴克顧問公司。《國軍武裝》(台北：勒巴克顧問出版，2007 年 11 月)，頁 82-89。

37 韓孟麒，〈台澎防衛作戰中「電子戰運用與未來發展趨勢」之研析期末報告〉，戴振良、寇林泉、常毓琦，《中華軍事學術研究會》，(台北：國防部，2007)，頁 73-74。

38 總統府，〈總統出席「國防部參謀本部資通電軍指揮部編成典禮」〉，《總統府網站》，2017 年 6 月 29 日，〈<http://www.president.gov.tw/NEWS/21451>〉，(檢索日期：2021 年 6 月 19 日)。

39 同註 30，頁 82-90。

40 同註 30，頁 32-33。

41 同註 30，頁 74。

42 同註 30，頁 34-35。

43 同註 30，頁 130-131。

44 朱明，〈神秘天干機性能提升案暫緩 靜候新政府上台翻身〉，《風傳媒網站》，2016 年 5 月 9 日，<http://www.storm.mg/article/115384>，(檢索日期：2021 年 6 月 19 日)。



中使用，影響到「電磁頻譜戰」能力。然就第二章所述，「電磁頻譜戰」包括全頻段的頻譜，其可以用固定設施無源方式偵搜，也可以透過低功率有源的誘餌反向偵搜等，故就我國地緣之便，能否以此發展，將於下一章節探討。

二、導入「電磁頻譜戰」可行性分析

在 106 年「國防報告書」中提及中共電磁頻譜作戰已納入「地面、空中、海洋、太空及網路」外第六個作戰領域，並在「科技強軍」指導與在「複雜電磁環境下打贏局部戰爭」之目標推動下，全面提升電戰戰力，現已具備奪取「局部控制信息權」進攻作戰能力及電磁頻譜管控能力，並可在強敵介入情況下，發揮有效威懾作用。⁴⁵

由於電子技術的發展與其在軍事領域上的應用，現代戰場已是多維的作戰環境，而電磁空間就是最新的一維。電磁戰場就成了作戰的核心，也使「電磁頻譜戰」成為攻擊敵人電子系統、保護我方系統最直接也最主要的手段。因軍事行動當處在由自然產生或人為造成的複雜電磁環境中，而「電磁頻譜」正是左右所有指管通資情監偵(C4ISR)傳遞媒介的要角，具體來說，就是利用對「電磁頻譜」偵測、識別敵方資電設備的電磁頻譜，然後採取多重手段或措施，干擾、欺騙、阻礙其正常工作，甚至是摧毀或破壞，同時保證我方的資電設備可以正常運用的戰術戰法；換言之，只要掌握了戰場上的「電磁頻譜」，就可以干擾、攻擊敵軍並防護我軍的作戰行動；以下分 2 段說明我國導入「電磁頻譜戰」可行性分析：

(一)美軍目前作法：

依據美 CSBA「決勝電磁波(Winning The Airwaves)」及「決勝灰色地帶-用電磁戰重獲升級優勢(Winning in the Gray Zone : Using Electromagnetic Warfare to Regain Escalation Dominance)」等研究報告可以知道，未來誰能主宰電磁波能量，誰就可以掌握戰場優勢；美研究文件中也提及中共與俄羅斯利用遠程打擊系統來保護各種低強度行動，不達到引起暴力衝突的級別，從而來擴張他們的勢力版圖。而且這些攻擊可以從精準武器打擊直至毀滅性攻擊，為中共或俄羅斯提供在未來危機或衝突中的大國主導地位。⁴⁶而美軍也使用「電磁頻譜戰」技術來對抗敵方的偵測器和武器，同時發動小型精準打擊來降低這些偵測器和武器的性能。這樣「電磁頻譜戰」的概念和能力使美軍增加在這種灰色地帶衝突中掌控局勢的手段，同時減少中共或俄羅斯軍隊相對應的手段，美軍進而得到優勢，如圖 7 所示。

另美研究指出，若要對抗這種灰色地帶的戰爭，最好的方式是提升電磁作戰的能力，這些措施與能力包括如下：⁴⁷

1. 降低敵方搜索與目標瞄準感測器的性能，從而讓美軍可以使用數量更少的防禦性武器，同時使敵方攻擊規模更大，使之無法選擇對美軍實施小規模攻擊。
2. 存在於敵方干擾情況下，維持己方的目標瞄準能力，從而讓美軍可以進行小規模打擊。
3. 提升美軍打擊武器的生存力，減少攻擊所需的平臺和武器數量，增加美軍低偵測攻擊

45 同註 27，頁 39。

46 同註 13，頁 12。

47 同註 13，頁 27-29。

飛機可投放的武器數量，實現小規模的打擊群。

我國非武器強國，且國防經費逐年下滑與無法採購主動式電戰系統的狀況下，僅可以利用自主研發及地利優勢，建置固定式陸基雷達、偵測設施、有線架構下的通資網路，在台海發生戰事時，依據我們建構的資電作戰環境，來減少對「電磁頻譜」的依賴，從而確保我軍 C4ISR 的效能，避免處於戰場迷霧中。

圖 7 中共遠程打擊及電磁偵測能力與美軍電磁戰對抗規劃示意圖



資料來源：胡文玲，〈遏阻俄「中」升級打擊 美決勝電磁戰〉，《青年日報》，2017 年 11 月 14 日，
<https://www.ydn.com.tw/NEWS/263951>，(檢索日期：2021 年 6 月 22 日)。

(二)我國建置作法：

在 96 台海危機面臨中國導彈威脅後，美方在我國建構兩座鋪路爪長程相位陣列雷達系統(PAVEPAWS)，⁴⁸加上以我國迅安案為基礎，將愛國者三型與自主研发的天弓飛彈系統整合並配合飛彈預警中心，建構出我國的飛彈防禦網。⁴⁹美、日兩國為因應中共海軍海洋活動日趨活躍，以沖繩為據點，向南西諸島的太平洋一側海域，部署了最新型水下聲波監聽系統(SOSUS)，⁵⁰一直延伸到九州南部和台灣海域，可探測從東海、黃海進入太平洋的中國潛艦，在戰時可提供我國海下潛艦情資。⁵¹我國空軍幻象 2000 配備的電子情報英艙(ASTAC)及 F-16 配備的電戰英艙(AN/ALQ-184)具有偵測、定向並分析各式雷達或尋標器的不同頻率電波，以

48 同註 36，頁 346-347。

49 朱明，〈經新竹長程預警雷達連結-日方薩德防禦網可以涵蓋台灣北部〉，《上報》，2017 年 3 月 9 日，
http://www.upmedia.mg/news_info.php?SerialNo=13382，(檢索日期：2021 年 7 月 1 日)。

50 中青線上，〈美日海底反潛網 SOSUS：幾千里外核艇一找就準〉，《痞客邦》，2014 年 2 月 7 日，
<http://mla2444.pixnet.net/blog/post/72869324>，(檢索日期：2021 年 7 月 1 日)。

51 林翠儀，〈監聽中國潛艦-美日部署新型水下聲波系統〉，《自由時報》，2015 年 9 月 1 日，
<http://news.ltn.com.tw/news/world/paper/914461>，(檢索日期：2021 年 7 月 1 日)。

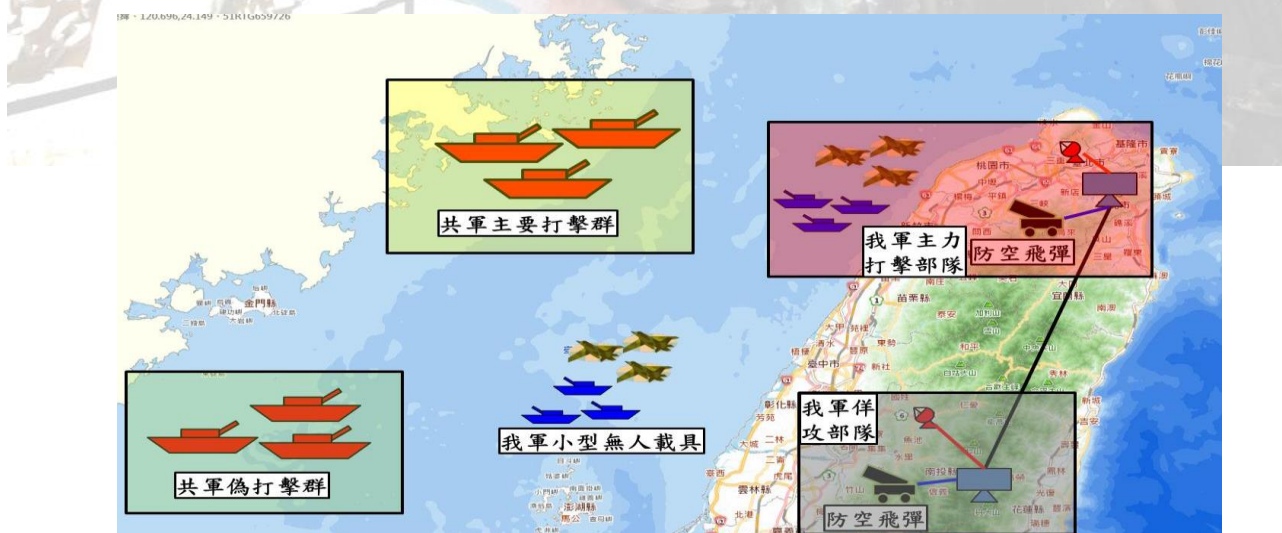


針對其訊號自動進行雜訊干擾、反制的能力。⁵²綜上所述，我國已具備掌握週邊海、空域敵情動態的能力，可支援我空中及水面作戰任務，整合以上已建置的設施，就是「電磁頻譜戰」的基礎，故我國當利用城鎮地形、科技能力與戰場環境，形塑對我有利「電磁頻譜」環境，就可以掌握戰場 C4ISR，創造有利態勢。如圖 8 所示，平時利用已建置的水下聲波監聽系統、鋪路爪長程相位陣列雷達系統、各無線電站台掌握敵情；又如圖 9 所示，假設當敵對我進犯時，會編成二個攻擊群(主、偽)，均編配「電子戰」部隊以偵知我軍位置及隱藏主要打擊群位置；我防衛軍無線電保持靜默，以光纖、通信及專用實體網路傳遞偵查情報。當查獲敵主力時，可反以「電磁頻譜戰」裝備隱藏我主力位置，造成敵軍誤判我軍戰力，形成我戰場有利態勢。

圖 8 我國電磁頻譜戰建構示意圖



圖 9 利用電磁頻譜戰攻擊示意圖



52 同註 36，頁 74。

三、我國「電磁頻譜戰」執行窒礙

綜合我國「電子戰」的能力與限制，可知要將「電子戰」進步到美軍所期望的「電磁頻譜戰」，需要國家高層的支持才能建立起全新的作戰概念和能力，以下提出幾點可能阻礙我國發展「電磁頻譜戰」面臨的問題。

(一)國防經費限縮：

資電作戰的戰力與能力是最難驗證與發揮的，他無法直接去攻擊敵人的民生設施、軍事設施或軍隊，也無法在公開的演習中看到成效，導致在國防預算的爭取上失去競爭優勢；但資電作戰的科技是一日千里的，今日不投入，就輸敵人一大截。

(二)複雜的電磁環境：

臺灣地區是個地小人稠，都市建設發達的地方，越來越多的科技運用到電磁頻譜來實施傳輸，再加上現今的建材具有阻隔(影響)電磁波能力，造成都市複雜的電磁環境，干擾作戰應用的電磁頻譜。⁵³

(三)軍公民營通資整合：

作戰中不能只有一種通資聯絡手段，故通資整合是要包含民間通資手段，但戰時我們只配合徵用納入我通聯手段，並沒有在平時建置其電磁頻譜資料，易造成戰時遭敵干擾或截聽，影響到作戰安全。

(四)人才培育不易：

國軍依照階級和是否擔任領導人員去撥發薪資，但資電作戰人才是需要長期培養與教育訓練的，他往往只是單純的走學術或幕僚體系，長久以往就無法依正常管道升遷，也就影響到他留在部隊的時間，當他在最具專業實力的時候，卻因沒有資歷而無法繼續服役，也導致領導這群專業人才的主管都是非專業，對決策下達與政策制定都無法切中要害，影響到資電作戰長期發展。

結論與建議

總統蔡英文於資通電軍的成軍典禮上說：資通電軍是國軍的重大革新，也是我國軍事戰略的創新作為，今天指揮部的編成典禮只是第一步。資通電軍將以網路攻防為核心，通訊安全為基礎，電磁發展為前瞻。資通電軍要超越傳統的空中、海域及地面的防衛概念，成為重層嚇阻戰略下的第一層嚇阻兵力，並超越各軍種的藩籬，作為國軍聯合作戰的典範。⁵⁴「電磁頻譜戰」是整體作戰的主軸，也是現代戰爭首波「看不見的戰術」，在最新軍事戰略構想「防衛固守，重層嚇阻」指導下，「電磁頻譜戰」是未來貫穿戰場與作戰全程的主角，需要在有限的國防資源下，逐步投入發展適合我防衛作戰可用之「電磁頻譜戰」，形塑我有利戰場環境，

53 億芯網，〈複雜電磁環境對聯合作戰行動影響及對策研究〉，《壹讀》，2015年4月20日，

<<https://read01.com/zh-tw/PM7PKz.html#Wx9110iFNPY>>，(檢索日期：2021年7月1日)。

54 總統府新聞，〈總統出席「國防部參謀本部資通電軍指揮部編成典禮」〉，《總統府網站》，2017年6月29日，<<https://www.president.gov.tw/NEWS/21451>>，(檢索日期：2021年7月1日)。



增加敵傷亡代價，從而減少敵人來犯機率。

例如 2003 年「伊拉克戰爭」中，英美聯軍為了確保作戰行動順利進行，對伊軍實施了大量的電子偵察和攻擊，精準定位打擊主要軍事目標，運用電磁干擾消除來自地面的防空武力，為聯軍創造極大的效益，並減少傷亡的產生。⁵⁵1980 年英阿福克蘭戰爭，引發共軍對高技術條件下現代戰爭的研究興趣，覺醒軍隊建設規劃與方向業已與時代需求脫節；尤其 1991 年的波灣戰爭、1998 年科索沃戰爭、2001 年阿富汗戰爭、2003 年美伊戰爭等，更加深了共軍對高科技戰爭的研究，期能拉近與西方先進國家的戰力差，以打贏高技術條件下局部戰爭奠基。⁵⁶在科技戰爭與中共軍力不斷進步之時，我國更應運用我現存之優勢，創造有利戰場。以下就本研究內容綜述我國發展「電磁頻譜戰」之建議：

一、建立「電磁頻譜戰」之建軍願景：

資電作戰是高科技的戰爭，非一蹴可幾，就連美軍也走了 20 多年，才於 2017 年公布屬於「電磁頻譜戰」之聯戰準則；我國建軍多師法美軍，故應依 20 年建軍願景、10 年建軍構想、5 年兵力整建計畫，一步一步建構我「電磁頻譜戰」之發展，為未來創造有利戰場。

二、建立「電磁頻譜」資料庫：

雖然「電磁頻譜」範圍廣泛，但在商用及軍用間往往軍方屬於弱勢，且「電磁頻譜戰」裝備發展與技術層面廣大，造成各型軍用裝備「電磁頻譜」限縮，故我國應運用「大數據」概念，建立「電磁頻譜」資料庫，藉以分析、搜集中共「電磁頻譜」資料，以利我找出克敵制勝之道。

三、建立產官學研合作平台：

「電磁頻譜戰」裝備在各國發展大多屬機密專案，無法由國外獲得最新及最適我國之「電磁頻譜戰」裝備；我國為資訊科技發展健全之國家，且電子產業與能力均可睥睨全球，惟有值此契機建立國防自主的「電磁頻譜戰」產業鏈，排除軍售困難，由政府主導，建立溝通與學習、發展平台，建構屬於我國專用之「電磁頻譜戰」專用設備，不僅創造戰場優勢，更可以此技術能力，創造產值。

四、建立「電磁頻譜戰」專用訓練場：

沒有實戰經驗與場地，再好的裝備也無法提升電子戰測評與戰術能量，我國應整合三軍「電磁頻譜戰」能量建立專用訓練場域，透過演習、演練等方式，磨鍊裝備與人員，找出其中優缺點加以改進，提高「電磁頻譜戰」應用於戰場的可靠性。

五、培育專門人才：

「電磁頻譜戰」人才需長期培育，現實人才培育常因職務歷練與學資，限制了專業人才的發展，最後造成擁有精良的裝備，但沒有可操作的專業技術人才，徒然浪費公帑，無法達到實質效果，因此，要建立專才留用及發展管道，使人才可逐步歷練與學習，提升戰力。

55 同註 31，頁 15-16。

56 王安國，〈影響中共軍隊現代化建設的美軍因素〉，《正修通識教育學報》，第八期，2011 年 6 月，頁 9-10。

參考文獻

- 一、Andrew F. Krepinevich, Barry Watts, Meeting the Anti-Access and Area-Denial Challenge, (place of publication: Washington DC, May 20,2003)。
- 二、Bryan Clark & Mark Gunzinger, Winning The Airwaves,(place of publication : Washington DC, December 1,2015)。
- 三、Bryan Clark & Mark Gunzinger, Winning The Airwaves,(place of publication : Washington DC, December 1,2015)。
- 四、Center For Strategic And Budgetary Assessments(CSBA), Winning in the Gray Zone : Using Electromagnetic Warfare to Regain Escalation Dominance,2017,p.11。
- 五、CJCSI 3320.01A, Electromagnetic Spectrum Use In Joint Military Operations, 2002。
- 六、Joint Publication 3-13.1, Electromagnetic Warfare, 2007。
- 七、MD3320-01, Joint operations in the electromagnetic battlespace, 2000。
- 八、Reilly, Jeffery M, Multidomain Operations: A Subtle but Significant Transition in Military Thought, (place of publication: Fort Belvoir, January 1, 2016)
- 九、袁文先,《百年電子戰》(北京:軍事科學出版社,2011年8月)。
- 十、劉凡,《讓千里眼變近視眼》(北京:電子工業出版社,2011年11月)。
- 十一、熊群力,《綜合電子戰》(北京:國防工業出版社,2008年4月)。
- 十二、認知雷達:一個閉環的智能化雷達系統, <http://read01.com/327RRA.html#Wx9slUiFNpY> (檢索日期:2021年6月17日)。
- 十三、國防部。《中華民國 106 年國防報告書》(台北:國防部,2017 年)。
- 十四、張明德,〈艦載電子支援措施導論〉,《全球防衛雜誌》,第 248 期,2005 年 4 月, <http://mdc.idv.tw/mdc/navy/usanavy/E-countermeasure-SLQ32.htm>, (檢索日期:2021 年 6 月 19 日)
- 十五、勒巴克顧問公司。《國軍武裝》(台北:勒巴克顧問出版,2007 年 11 月)。
- 十六、韓孟麒,〈台澎防衛作戰中「電子戰運用與未來發展趨勢」之研析期末報告〉,戴振良、寇林泉、常毓琦,《中華軍事學術研究會》,(台北:國防部,2007)。
- 十七、總統府,〈總統出席「國防部參謀本部資通電軍指揮部編成典禮」〉,《總統府網站》,2017 年 6 月 29 日, <<http://www.president.gov.tw/NEWS/21451>>, (檢索日期:2021 年 6 月 19 日)。
- 十八、朱明,〈神秘天干機性能提升案暫緩 靜候新政府上台翻身〉,《風傳媒網站》,2016 年 5 月 9 日, <http://www.storm.mg/article/115384>, (檢索日期:2021 年 6 月 19 日)。
- 十九、國防部,2004 年。《國軍軍語辭典 92 年修訂本》。國防部軍備局北部印廠。
- 廿、國防部,2011 年。《聯合資電作戰教則》。國防部軍備局北部印廠。
- 廿一、朱明,〈經新竹長程預警雷達連結-日方薩德防禦網可以涵蓋台灣北部〉,《上報》,2017 年 3 月 9 日, <http://www.upmedia.mg/mews_info.php?SerialNo=13382>, (檢索日期:2021 年



7月1日)。

廿二、中青線上，〈美日海底反潛網 SOSUS：幾千里外核艇一找就準〉，《痞客邦》，2014年2月7日，〈<http://mla2444.pixnet.net/blog/post/72869324>〉，(檢索日期：2021年7月1日)

廿三、林翠儀，〈監聽中國潛艦-美日部署新型水下聲波系統〉，《自由時報》，2015年9月1日，〈<http://news.ltn.com.tw/news/world/paper/914461>〉，(檢索日期：2021年7月1日)

廿四、億芯網，〈複雜電磁環境對聯合作戰行動影響及對策研究〉，《壹讀》，2015年4月20日，〈<https://read01.com/zh-tw/PM7PKz.html#Wx9110iFNPY>〉，(檢索日期：2021年7月1日)。

廿五、總統府新聞，〈總統出席「國防部參謀本部資通電軍指揮部編成典禮」〉，《總統府網站》，2017年6月29日，〈<https://www.president.gov.tw/NEWS/21451>〉，(檢索日期：2021年7月1日)。

廿六、王安國，〈影響中共軍隊現代化建設的美軍因素〉，《正修通識教育學報》，第八期，2011年6月。

作者簡介

黃彥銘上校，指職軍官 90 年班、陸院 103 年班、戰院 107 年班，經歷：通電所所長、資訊參謀官、儲備庫長、通資組組長，現職為陸軍通信電子資訊訓練中心通信電戰組組長。

