

無聲無息的戰爭： 電磁頻譜作戰的未來發展

宋吉峰 先生

提 要：

- 一、「電磁頻譜」作戰的內容包含軍事通信、偵測、電子戰等作戰行動領域，它是指視覺信號以外的頻譜領域作戰，陸軍已經在使用電磁頻譜作戰已長達一個世紀之久，而大多數人也都瞭解頻譜所具有的優勢。然而，電磁頻譜的運用，直到二戰時期才成熟，諸如通訊、偵測系統、無線電和雷達等裝備發展等。
- 二、軍事作戰領域，要如何進行電磁頻譜作戰，強調電磁頻譜的功能和反制敵電磁頻譜的重要性。從過去的軍事作戰各階段中可知，電磁頻譜功能提升下，所獲得的作戰優勢著實令人驚訝。
- 三、美軍較傾向於使用低功率的方式打擊敵人，即運用「被動」和「有源低功率」的裝備。「極低功率和被動模式」就是美軍現行電磁頻譜作戰運用的作法，將有助於美軍在「電磁頻譜」領域中奪回優勢。
- 四、本文希望藉該報內容吸取其優點，並提供我國運在電磁頻譜作戰中的參考，尤其，新政府甫上任之際，即大力推動「國防自主」、「國艦國造」、「國機國建」等，並規劃成立「第四軍種」，而美軍的未來規劃及作法實有我國軍高層借鑒著墨之處。

關鍵詞：電磁頻譜、電子戰、反介入/區域拒止、低偵測/低反制

壹、前言

2015年美國戰略與預算評估中心(CSBA)二位知名智庫Bryan Clark及Mark Gunzinger提交美國國防部「電磁頻譜作戰優勢」(Winning The Airwaves)報告，內容批評美國在「電磁頻譜」領域發展嚴重落後，此種「落後」可能導致駐外美軍暴露於敵威脅

之下，而另一方面，中共、俄羅斯等國家在此領域的發展，許多方面已超越美國，而且在作戰中可能擊敗美軍，該報告引起美軍高層注意，並開始一系列的電磁頻譜改革與發展。

一、全新的作戰概念

拜Bryan Clark 及Mark Gunzinger報告所賜，電磁頻譜作戰的概念已經列為美軍發

展的最優先項目，而相應的戰術及概念也都在發展中，特別是在電磁頻譜中運用「極低功率和被動模式」的作戰概念。例如，美海軍E/A-18G(咆哮者)電子戰攻擊機的被動模式，就是一種結合其他載台提供目標威脅來源後，再由該機實施電子戰攻擊。而該份報告的目的是提供一個綜合性的概念，希望美軍所有部隊及載台，能夠更廣泛的運用「極低功率和被動模」電磁頻譜作戰系統，其內涵包括：

(一)使用被動模式或多種靜態方式尋找敵方位置，同時避免遭敵偵獲。

(二)瞭解環境電磁能量的來源種類，可能來自敵人的通信系統，而也有可能來自於各種發射器如電視、無線電發射機，甚至是太陽等。

(三)尋找如何降低電磁頻譜功率的方式，將之形成一種優勢，以避免被敵方發現，特別是在敵方的「反介入/區域拒止」(A2/AD)的戰場空間內，除要確保美軍的安全外，運用「極低功率和被動模式」電磁頻譜作戰能力貫穿於所有作戰行動中¹。

該報告是希望提供未來美軍對電磁頻譜的發展方向，並透過此報告分析美軍在未來作戰環境中應具備哪些電磁頻譜作戰能力，進而分析美軍如何強化電磁頻譜作戰相關系統的運用，內涵包括：

(一)網路

在聯盟作戰中，要能夠與盟國運用「低

電位」(低偵測/低反制)的數據鏈路進行通訊，並確保電磁頻譜作戰系統協調運作。

(二)敏捷

除了可提供我方足夠功率、頻率、空間和時間的運用之外，另外要靈活運用電磁波特性，避免遭敵方偵測。

(三)多功能

具備能夠執行多重作戰的電磁頻譜作戰能力，如通信、主/被動偵測能力、干擾、欺騙、誘敵等。

(四)體積小

建置小型無人載具(戰機、車輛或其他載台等)，將電磁頻譜作戰網全面化。

(五)適應性

確保自身電磁頻譜作戰的自由裕度，同時要有能力反制敵電磁頻譜運用能力²。

事實上，上述這些概念，美軍已有部分使用數十年，然因應未來的挑戰，現必須整合此一作戰概念，以保持在這方面的作戰優勢。

二、作戰概念的轉化

該報告認為，作戰概念的「轉化」有助於美軍電磁頻譜技術的發展，但是為了加速這種轉化，美軍有必要全面深化對於這種作戰概念的運用與瞭解。首先，美軍必須先確認電磁頻譜作戰概念的意義，其次，需建立完整的編組及擬訂計畫推動。而現在的問題是美軍對於電磁頻譜作戰沒有建立「願景」，目前這個部分仍有部分障礙尚待解決，其

註1：Bryan Clark Mark Gunzinger, Winning The Airwaves-Regaining America's Dominance In The Electromagnetic Spectrum, Center For Strategic And Budgetary Assessments (CSBA),2015,p.7.

註2：Bryan Clark Mark Gunzinger, Winning The Airwaves-Regaining America's Dominance In The Electromagnetic Spectrum, Center For Strategic And Budgetary Assessments (CSBA),2015,p.11.

中的問題有：

(一)新的作戰概念障礙因素

技術人員、合約商和政策制定者未能在同一平臺的機制上進行溝通及討論電磁頻譜技術等相關問題，例如，如於軍事作戰中的需求為何等。此外，美軍部分國防高層仍然沉浸於傳統作戰思維，認為過去美軍作戰成功的方法，在未來的作戰中也一定適用，所以較不願意接受電磁頻譜作戰的新型作戰概念。

(二)理論與實踐的落差

由於缺乏新的作戰概念，因此，當電磁頻譜作戰結合於各單位現有裝備執行時，產生了作戰程式與電磁頻譜作戰概念相悖離的情況，例如，電磁頻譜作戰概念中強調低功率之「電位」裝備運用，但是，美軍現有裝備已存在高功率有源(主動)雷達陣列(AESA)，因此產生了無法結合於電磁頻譜作戰概念的情況，一言之，即現有裝備運用與新作戰概念矛盾的情況，導致無法將電磁頻譜作戰概念深化執行。

(三)分層建置混亂

美軍現行對電磁頻譜作戰的整備概念是，將現行裝備加以升級或透過研改方式拼湊完成，這種作法完全不是針對未來電磁頻譜環境下的作戰需求，如此的作法可能導致未來作戰中，面臨電磁頻譜作戰戰場環境時，可能無法靈活的作出戰術變化³。

貳、未來電磁頻譜作戰的主軸「低功率到被動模式」

Bryan Clark 及Mark Gunzinger二位智庫認為，要在電磁頻譜作戰佔有利的優勢，美軍需要運用低功率方式反制敵雷達，包含敵方的主被動雷達，同時要減少美軍遭敵反偵測的可能。而這種作戰概念，而為因應這些概念整合，美軍就必須在載台、電達裝備、各式武器系統等加以整合。美軍已經在發展一些「極低功率和被動模式」的電磁頻譜能力，如海軍正在發展戰術性的E/A-18G(咆哮者)戰機(繼E/A-6B徘徊者之後)被動電子偵測(ESM)系統，就是運用被動的模式，運用不同載台偵測源，再經由整合式系統，迅速的完成目標定位及識別，全程不會發射任何電磁波，大大降低了遭敵發現的可能性。美軍這種方式，主要是透過LINK-16戰術數據鏈路，傳送到E-2D預警機上，最後傳遞給各作戰載台，其後，透過聯合接戰能力(CEC)數據鏈路，對敵實施接戰，包含對敵來襲之導彈⁴。雖然極低功率和被動電磁頻譜可運用這些新戰術，然而，如何將所有系統整合才是關鍵所在。

一、運用被動模式或電偵尋找敵軍位置

美軍未來的偵測和通信網路將需要降低遭敵反偵測風險的作戰概念，可運用三種方法來做到這一點。第一，使用被動式偵測裝備來偵測敵方雷達頻率和紅外線，再經由三

註3：Bryan Clark Mark Gunzinger, Winning The Airwaves-Regaining America's Dominance In The Electromagnetic Spectrum, Center For Strategic And Budgetary Assessments (CSBA),2015,p.23.

註4：郝嘉、周寧、周任飛，〈電磁頻譜：信息化戰爭之魂〉，《解放軍報》，2015年6月18日。http://www.81.cn/big5/rd/2015-06/18/content_6555256.htm(檢索日期：2016年6月13日)

角定位測定敵人發射源的位置，另外，可運用都卜勒效應偵測敵有人/無人載具。另外有一些目標，如射控雷達，它只由一個裝備接收及發射，美軍可以運用發光誘餌來反制此類型射控雷達或運用雷射來測定它們的位置。

第二，美軍可以運用多種靜態被動技術來定位敵方的載台和系統，可運用一個載台發射電磁波，並在一個掃幅的雷達頻率或紅外線反射後立即關閉，然後由其他被動偵測裝備接收，再經由網路系統將所獲得的訊號加以分析，則亦可在短的時間內找出敵人的位置，如此可避免遭敵偵測或反偵測。

第三，使用低偵測/低反制雷射進行多靜態載台的方式。與雷達相類似，雷射可將整個目標掃描產生反射，並可以由其他偵測裝備接收以達成測距(LIDAR)系統所需資訊並完成定位，這種方式的圖像比雷達更準確。而雷射可以用於靜態，將雷射和接收機置於一個載台上，或者多組同時運用，例如由其中在一個載台雷射照射的目標，而另一個載台則被動的接收目標資訊。雷射較雷達信號更難遭敵偵測，因為它們可以更緊密地聚焦波束，不會有「旁瓣」的現象，並可以精確地調整到僅使用必要的最小雷射能量來偵測目標。

美軍的對手可能同樣會透過減少紅外線輻射和降低他們的偵測載台的功率，並對美軍進行偵測。美軍可運用被動偵測裝備，以近距離方式偵測敵方目標。要完成這一目標，則可能需搭配無人載具來進行，例如美軍現行以無人機導彈並配合載台上被動偵測裝

備的運用，就是一個很好的例子。

二、運用環境背景電磁能量反射定位敵方位置

此外，美軍可運用分析環境背景電磁能量偵測潛在敵方的目標位置，這種方法稱為被動雷達或被動測向，可以運用來自敵方的通信系統環境能量的變化，如電視和無線電發射機，甚至是從太陽等，計算出能量差。如果在該區域的已知主要發射區，接收系統可以偵測類似於多靜態系統的裝備，美軍不需要發射任何電磁能量即可分析敵方可能所在位置，這是非常有利的。被動雷達需要瞭解周圍雷達的環境背景狀況，來比較出敵主要來源電磁波來進行電磁管理及分析。為了獲得更準確的位置，事前的情報準備是必要的，包含氣象和電磁頻譜環境的評估等。

三、在敵「反介入/區域拒止」情況下執行任務

遠程地對空導彈、巡航導彈和彈道導彈可能迫使美軍部隊必須在從敵人更遠的地方開始執作戰行動，而這就需要美軍部隊使用主動式偵測裝備，而且是在高功率下進行長時間、長距離作戰，而這種做法可能會不斷增加「反介入/區域拒止」威脅，這也證明這種方式是不可行的。因此，美軍必須開發新的能力，使美軍可避免遭敵偵測下亦可在「反介入/區域拒止」下執行作戰行動。雖然美軍正在尋求這一方面新的技術，但是這一方的技術仍有阻礙，特別是，美國防部的電子戰攻擊(EA)系統主要由朝威脅的武器範圍之外進行高功率電子攻擊，並使用低功率載台防護電子戰攻擊系統。

而新的低功率/低偵測電磁頻譜作戰中，在「反介入/區域拒止」作戰領域，網路將越來越依賴於被動偵測裝備。美國防部已預見敵人也可能同時運用這些系統運用於被動雷達(電子情報)，並且識別目標。由於被動、遠距離偵測裝備提供不太精確的目標信號，因此，敵人也需要使用雷射/紅外線(EO/IR)偵測裝備建立精準的目標資訊才能進行攻擊。因此，美軍可以運用主動和被動偵測裝備的組合對敵實施反制⁵。為了減少敵人的被動偵測裝備的靈敏度，美軍可以發射低功率裝備，或運用低功率雷射混淆敵方的光電/紅外偵測裝備，或以無人機射頻干擾敵方作戰。運用低偵測/低反制通信鏈路，這些無人機電磁頻譜作戰系統可以涵蓋廣泛和多樣化電磁頻譜地區，而且可以適應對手的偵測裝備的操作模式，而其有效載荷可以攜帶美軍武器系統的電磁頻譜裝備，攻擊或反制敵人的偵測裝備。

這種「誘餌和欺騙」的目的是讓敵方無法有效的偵測，為有效阻止敵方的偵測裝備，因為發射器和武器之間的通信可降低敵「反介入/區域拒止」的能力，這是最具挑戰性的部分。如果美軍和誘餌干擾作戰行動，沒有經過協調，敵軍可以透過由多個偵測裝備，精準的獲得美軍的位置。此外，對手仍然有而許多地面偵測裝備之間的通信鏈路可以是有線的，如有線電話或光纖電纜是不易受到干擾和欺騙的。在這種情況下，美軍將

優先對敵威脅偵測裝備先行實施反制。因為，對美軍而言，對於所需定位的偵測裝備、武器和指揮中心與載台之間的無線通信鏈路可能容易，但是，要攻擊他們，則將需要美國低功率的電磁頻譜管理，以便接近到目標可確認位置⁶。在這種情況下，美軍使用無人載具系統，特別是無人水下系統將是最好的方式。

四、作戰其間的防護

在敵「反介入/區域拒止」作戰區域，美軍仍然需要避免遭敵近距離偵測和武器攻擊，即使上述的作戰理念是在反制「反介入/區域拒止」偵測裝備時有效，對手還是有能力可以部署艦艇和戰機並配備被動電戰支援措施(ES)，如以雷達或紅外偵測裝備來搜索美軍等。他們也可以對每一個可能的目標發射制導武器，來獲得敵方透過武器遙測的資訊。在這種情況下，美軍必須有以下能力，來確保戰場存活率：

(一)為了對付敵軍遠距離被動和短程有源偵測裝備，美軍自我防護系統將需要有更寬的頻率範圍針對敵射頻天線、紅外線、雷射偵測實施有效反制。此外，美軍還需具有低偵測/低反制的能力，如可對敵威脅偵測裝備精確地指出位置，而如果作戰行動時間較長，則要具備低發射功率載台。

(二)電磁譜作戰中，運用誘餌同時也要有運用環境作戰能力，這是一種反制敵方穿透最好的方式。而目前美軍的誘餌，如

註5：知遠，〈美軍2010年電磁頻譜聯合作戰構想〉，搜狐軍事，2011年3月3日。<http://mil.sohu.com/20110303/n279635842.shtml>(檢索日期：2016年6月13日)

註6：胡向春，〈美軍實施“低至無功率”電磁頻譜戰面臨的障礙〉，《現代軍事》。<http://www.conmilit.com/a/fwds/shyt/jssst/120142.html>(檢索日期2016年6月13日)

微型空射誘餌(MALD)、戰機(ALE-50)和艦載(Mk-53 Nulka)等的設計，還未能達到作戰需求，美軍需再檢討出一個更具可靠度和可長時間欺騙對手的被動偵測裝備來因應。

(三)美軍必須發展更靈活的偵測裝備，能夠在最短的時間內因應對手偵測裝備而改變頻率，而且是主動和被動模式的能力，以避免美軍遭敵反制。而這個方面的發展，美軍則必須同時強化其他方面的自我防護的能力⁷。

五、運用低功率/低反制的電磁頻譜環境執行打擊行動

為了打擊敵人的偵測裝備，美軍可以使用無人載具搭配更有效的干擾裝備和誘餌，實施作戰部署，例如潛艇和無人水下航行載具(UUVs)等，而採用無人水下航行載具運用短距離誘餌和干擾敵方防空的能力。作戰期間，美軍可監視並同時運用無人載具搭配消耗誘餌和低功率干擾等裝備，來隱藏自己的真實位置，同時創造敵方防空系統的假目標。如此可消耗敵戰力，不斷的疲勞敵方防空導彈系統，或迫使對方使用雷達，而這樣就提供美軍一個機會，美軍可用反輻射武器來攻擊對手。另外，以大功率電磁能量武器對可對於敵方載台，以更具穿透力方式反制敵方的防空作戰效能，使用高技術開發高功率微波(HPM)裝備，可有效破壞或損壞敵的偵測裝備和通信系統⁸。在未來的五年中，美

軍可以對「反介入/區域拒止」系統實施高功率微波彈頭的巡航導彈武器攻擊。但是，一旦作戰開始，對手也會試圖以干擾絲(雲)的誘導方式進行反制或攔截，而以下概念可能增加美軍作戰的可行性：

第一，武器協同作戰。美軍打擊力量可以有效反制敵干擾絲(雲)的反制，作戰的方式是，藉由武器間傳遞目標信號，並重新定位，進行再攻擊以彌補打擊武器的盲點。

第二，增加武器的存活率。運用雷達吸波塗層可提高對干擾絲(雲)的反制，進而提高武器的存活率，如美軍聯合防區遠攻武器(JSOWs)的GBU-39小直徑炸彈(SDB)。此外，干擾絲(雲)可結合地對空導彈混合運用或增加電磁頻譜訊號，以干擾精準導引炸彈(PGM)的打擊能力，因此美軍必須改善雷達頻率及紅外線抗干擾能力。

第三，精巧型作戰。敵方短距離的點防禦，如高射火炮和短距離導彈都聚集在一個區域。因此，如果運用齊射的方式打擊，包括發射電磁能量打擊武器或運用消耗誘餌對抗這些威脅，則可提供精準導引炸彈的有效存活力，可精準命中目標。而這些誘餌將吸引敵方的攻擊，美軍這時就出現了一個絕佳的機會，形成一個安全的攻擊「通道」(Tunnel)⁹。

以美軍現今使用的作戰概念為基礎，評估其未來的所需的作戰能力。如前所述，美

註7：Bryan Clark Mark Gunzinger, Winning The Airwaves-Regaining America's Dominance In The Electromagnetic Spectrum, Center For Strategic And Budgetary Assessments (CSBA),2015,p.29.

註8：王鵬，〈美軍制定電磁頻譜新戰略〉，《中共青年報》，2014年4月11日。http://zqb.cyo1.com/html/2014-04/11/nw.D110000zgqnb_20140411_4-10.htm(檢索日期：2016年6月13日)

註9：Bryan Clark Mark Gunzinger, Winning The Airwaves-Regaining America's Dominance In The Electromagnetic Spectrum, Center For Strategic And Budgetary Assessments (CSBA),2015,p.34.

軍需要全新的電磁頻譜作戰概念，以建立未來作戰的優勢。就如同匿蹤的情況下的發展優勢，美軍持續這一方面的優勢已超過25年。美軍現在有機會透過建立新一代的作戰概念，以合理分配預算方式來建置所需要的技術和能力。讓美軍具備電磁頻譜作戰所有的優勢，是美軍下一階段重要的工作。

參、新型科技和能力

未來電磁頻譜作戰中，美軍需擴大和發展其電磁頻譜作戰的運用組合。特別是，將新一代電磁頻譜作戰系統完成聯網，以更具靈活性、小體積、多功能及可適性的方面發展。

一、具聯網能力

如前所述，可知電磁頻譜的核心目標是建立有效的指管中心，並同時反制對方此方面的作戰能力。而網路、誘餌、干擾載台、偵測裝備的運用將有助於達成此一目標，美軍可安全無虞的執行作戰行動並保持載台的戰場存活率。

網路電磁頻譜作戰有賴於二個關鍵技術：即管理和協調配置所有被動偵測/低反制的裝備，及必須結合數據鏈路系統共同聯結。美國防部和製造部門正在尋求多種方案，以建置完整的指揮和控制電磁頻譜作戰系統，包括海軍所研究的未來聯合電子戰反制無線引爆裝置(JCREW)，它可以被納入聯合作戰中加以運用。美軍也有幾個帶寬低偵測/低反制通訊系統已完成建置，如F-35的多功

能先進數據鏈(MADL)、F-22的內飛行數據鏈(IFDL)和E-2D的戰術定位網路技術(TTNT)等。事實上，對美軍而言，在結合低偵測/低反制通信鏈路的電磁頻譜作戰的種種技術並不困難，真正的重點是，缺乏共同的標準，也沒有整合的機制。美國防部將需要提供開發廠商一致的規格數據，才能與未來電磁頻譜作戰的理念相結合，而且更要避免數據鏈路通信複雜化¹⁰。

二、靈活性

未來美國電磁頻譜作戰系統要做全方位的改變，以便有效的執行作戰，如反制敵電磁頻譜作戰頻率的方位、模式、功率等技術。頻譜或頻率的靈活性可提供美軍的偵測裝備和通信系統更有效的戰場管理資訊，而且是在不被敵人監視或偵測的情況下完成。有效的偵測裝備和通訊頻譜的可全方位、全時的掌握敵方位置。美軍進而可以對他們進行有效的反制或打擊。頻譜技術的靈活性是對抗敵人偵測裝備或通信系統最重要的因素，尤其是對於電磁頻譜的紅外線頻率範圍，現代的紅外線對抗主要是在短距離的紅外線導彈。因此，未來的紅外線對抗系統將需要對遠程偵測裝備內較低的頻率，特別是提高被動紅外線偵測裝備的精準度和偵測距離。

靈活性可以減少敵方被動偵測裝備對美軍的偵獲率，美國防部正在開始簡併相關的功能，使電磁頻譜作戰系統能結合各種不同的作戰載台，偵測裝備能夠調整它們的功率以配合作戰行動所需，減少被敵人偵獲的風

註10：Bryan Clark Mark Gunzinger, Winning The Airwaves-Regaining America's Dominance In The Electromagnetic Spectrum, Center For Strategic And Budgetary Assessments (CSBA),2015,p.36.

險。另外，美軍正在部署高功率有源(主動)雷達陣列(AESA)技術，以提高他們的雷達頻率靈活性。高功率有源(主動)雷達陣列系統是由數百至數千小發射器的陣列/接收器組合而成的電腦處理器控制的模組，因此，高功率有源(主動)雷達陣列系統掃描區域時，無需旋轉天線，同時可因應作戰需要改變功率大小及波束寬度，相對於傳統的系統，無論在時間或空間具有更大的靈活性。

高功率有源(主動)雷達陣列系統已在F-22(APG-77雷達)和F-35(APG-81雷達)使用，美軍將新的系統，如AN/SPY-6防空和導彈防禦雷達(AMDR)及E/A-18G咆哮者和SLQ-32艦載電戰系統加以整合(SEWIP)並升級。高功率有源(主動)雷達陣列系統可以運用於小型無人機，亦可放置在多個不同位置的大型有人/無人載台。隨著氮化鎵(GaN)放大器技術發展，高功率有源(主動)雷達陣列發展有源和被動(無源)系統，它將有更大的能力及靈活性並提高被動接收的能力。而一旦聯網，這些陣列可以進行整體傳輸，並在不同的頻率波束內進行，這對敵方而言更加難以反制¹¹。

最後，電磁頻譜功能，可在太空中以機動的方式將頻率共用於美軍的電磁頻譜所需的裝備。現今電磁頻譜亦在商業中不斷的發展，而不斷增長的結果，導致商業頻寬的需求也侵蝕了軍隊使用的電磁頻譜領域。因此，如何將電磁頻譜的靈活性在軍、民間做一完整的整合是非常重要的。

三、多功能特性

未來，美軍的所有載台將會是電磁頻譜作戰網路的一部分，而現今的裝備靈活性和頻譜範圍雜亂無章，如美軍目前使用的任務無線電、雷達、干擾裝備等，如何整合將會是美軍的重要挑戰。在沒有整合的情況下，配備載台的各項能力，將可能需要三個或多個獨立的系統來進行通訊，如此可能有礙美軍的整體作戰行動。此外，每個功能獨立運作的載台將產生相互間的嚴重干擾。因此，有計畫的整合通訊，可將電磁頻譜作戰系統成為美軍的優勢，這亦可降低成本。而新的技術、不同的電磁頻譜作戰功能需要頻率及動態或功率範圍和頻寬的不同組合搭配，這就需要更多的時間妥善分配及驗證。如現代高功率有源(主動)雷達陣列系統中，射頻頻譜在大多數情況下可同時執行多個功能。

另外，也可以使用紅外線、紫外線電磁頻譜的範圍中執行作戰行動，結合新的半導體技術已經可以做到這個目標，可以偵測出頻率範圍內的信號，使它們能夠執行被動偵測和通信的工作。而運用低功率雷射或發光二極體(LED)的結合，這些系統還可以提供低偵測/低反制通信的運用，如運用於靜態紅外線 / 紫外線偵測裝備等。

除了擴大電磁頻譜作戰系統的能力外，美國防部還需要開發共同多功能控制器。因為，現今的處理器和信號產生器是有不同的設計成控制單元，因此不同的陣列將有不同的控制單元，缺乏整合型多功能控制器，這

註11：Bryan Clark Mark Gunzinger, Winning The Airwaves-Regaining America's Dominance In The Electromagnetic Spectrum, Center For Strategic And Budgetary Assessments (CSBA),2015,p.44.

是非常重要的，美軍正在努力發展這些控制器，如數位雷達頻率記憶(DRFM)新興技術等方面。

四、體積小

該報告也認為美軍應使用小體積、消耗性低的被動遙控無人載具、低功率低干擾載具及可進行誘餌式的作戰行動裝備。有效的且小的電磁管理(EM)陣列可以允許大的有人/無人載台有更多的電磁頻譜頻段，可大大提高傳輸的能力。因此，鑑於無人機雷射導彈可以發射/照射到目標，因此，設計被動的情況下接受數組反射的紅外線，並透過整合據鏈路打擊目標是可行性的作法。

此外，小的電磁頻譜陣列拖曳式誘餌(MALDs)，已經在F-22、F-35戰機完成安裝。這些系統仍然相對昂貴，而且他們的控制器是特殊設計，因此需要較大的電磁頻譜作戰網路，這對於要運用敏捷化「網路化、多功能而言，未來必須改變，未來電磁頻譜作戰裝備要小得多，而且比現在的系統便宜。

五、適應性

如果他們要充分發揮其靈活、多功能、網路化的電磁頻譜作戰能力，這也表示要具備「適應性」。「適應性」就如同是收音機一樣簡單，同時具有干擾裝備、雷達、或誘餌。例如，將其自動化系統設計於頻率偏移，並可穿過窄幅頻譜(可於無線電)或針對威脅偵測裝備(為一個誘餌)的能力，且他們還可以有計畫的執行相關應變工作，例如干擾或創造假信號反制敵人雷達或干擾，美軍數位雷達頻率記憶(DRFM)干擾是近期自動化的例子。今天的自動化電磁頻譜作戰系統，尚

未有真正具備適應性的能力，無法自動識別，原因之一是威脅資料庫尚未健全，無法迅速的實施反制。而且它們還缺乏在寬頻率範圍內評估電磁頻譜威脅訊號的能力，或尋找敵人弱點的能力。

雖然美軍在開發適應性電磁頻譜作戰系統已有超過十年的技術，但是，現在仍未達到成熟水準，美軍必須加快這方面的腳步。在「情報」和「識別」電戰方案中，美海軍的電戰管理(EWBM)和先進國防研究計畫(DARPA)的方案中，已經是美軍發展且挹注的重點。美軍開始重視開發電磁頻譜環境，尤其是電磁環境的信號、強度、頻率的分析；確定敵方的位置；特性、威脅；並評估其作戰影響等。

美軍對於適應性電磁頻譜作戰控制系統，將會有更多的頻譜作戰能力，可依據設計確定它的優先順序於不同的任務中，而這也將提供「指揮官的意圖」中採取什麼行動的決心參考。不同於自動化系統，適應性電磁頻譜作戰系統會超出對一般認知的電磁譜作戰，尤其是對威脅雷達產生的干擾信號或頻譜的領域。

六、適應性的基本條件

適應性系統的特點，對於敵位置和行為(因為有許多威脅，系統將無法有效使用參數分析)需有效的加以確認，以避免誤擊友軍可能性。而適應性系統電磁頻譜將可克服此項弱點，並且，進行完整評估，以應對敵人的使用的電磁頻譜，同時可促使友軍在安全的狀況下使用頻譜。適應性電磁頻譜作戰控制器將直接參與其網路工作的一環，這將

使電磁頻譜系統更加靈活且具備更多的功能。

總之，這些技術是美軍電磁頻譜作戰中第三階段關鍵的重中之重，但是，美軍這一方面的發展過於保守，原因之一是，美國防部的缺乏緊迫感所造成。而抑制國防部建造一個更強大的電磁頻譜作戰力的因素，以及將如何能夠克服這些障礙的方式，就要先解決這些障礙，美國防部必須首先認識到，未來美軍的兵力投射將面臨敵人的能力中低偵測/低反制有源偵測裝備的挑戰和風險。

肆、困境與實踐

一、美軍缺乏全新的作戰概念

美國防部缺乏新電磁頻譜的作戰概念，要發展此項新技術，而且要提高開發或使用新的作戰概念的效果，有三個層次是重要關鍵：

（一）國防部部分

要確認「理論」發展的方向，如海軍作戰發展指揮部和陸軍訓練與準則司令部作戰人員負責制定新的作戰概念。但是，他們往往無法充分瞭解新興技術可以改變聯合部隊未來作戰。因此，對於電磁頻譜作戰的新概念遲遲沒有出現。雖然如新的網路電磁運用，雖然海軍和陸戰隊現今手冊已有部分提及網路和電子戰概念，但是、就美軍的聯合作戰的程度而言，這明顯是不足的，必須加速創建符合聯合作戰需求的電磁頻譜的作戰概念。

（二）技術人員

致力於開發新的國防技術專家，往往被國防部排除在新的作戰概念發展之外。這延緩了對電磁頻譜作戰新方法的開發，技術人員沒有充分瞭解到的新技術所需要的能力。因此，為了加快其電磁頻譜作戰的第三階段過渡期，美國防部應更充分地讓技術專家參與概念發展，並授權他們與合約商和政策制定者提供新的概念，藉以實踐於電磁頻譜作戰概念。

（三）政策制定者

在國防部、眾議院和參議院的成員，是負責為軍事項目預算分配的要角。而作戰理念的制定將有助於告知這些預算分配者，為什麼國防部需要新的電磁頻譜作戰能力，以及它們如何將在未來使用。現今，在缺乏新的電磁頻譜作戰概念下，無法爭取合理的預算，因此，有必要對政策制定者說明美軍作戰未來的作戰需求，進而重新將資源有效分配¹²。

二、確認正確的方案而非漫無目的採購

美國防部不僅缺乏電磁頻譜作戰新的概念，而且浪費了許多預算，造成不利電子戰系統的投資。然而，新的電子戰有關的技術是一種緩慢建置的過程，而採購不過是滿足這些最後的結果而已，因此，作戰願景是必要的，美軍由於缺乏未來的電磁頻譜作戰行動的共同願景所致，資源就沒有辦法整合，更遑論可以發揮作戰功效。幸運的是，美國防科學委員會(DSB)已經建議美軍建立電子戰執行委員會，並發展電子戰戰略，整合所

註12：Bryan Clark Mark Gunzinger, *Winning The Airwaves-Regaining America's Dominance In The Electromagnetic Spectrum*, Center For Strategic And Budgetary Assessments (CSBA), 2015, p.47.

有電子戰的一切發展。該委員會將有機會建立一個更開闊的視野及電磁頻譜作戰概念，可以幫助美軍在電磁頻譜領域獲得優勢。

三、逐次建置

美軍要發展何種電磁頻譜能力，這必須加以整合討論，而不是大範圍的採購新功能，而是一種漸進式的發展。雖然這種方式，不利於多功能電磁頻譜能力的發展，但是，在現有的基礎下，加以整合並發展，可能是一個比較好的選擇，如海軍的新的SLQ-32(電戰研改專案，SEWIP)電磁頻譜作戰系統就是一個很好的例子。電戰研改專案將能夠支援高功率有源(主動)雷達陣列作為無線電、雷達和被動電子支援措施，可強化其抗干擾能力。未來可充分運用電戰研改專案的能力，可強化這些功能。但是，新舊裝備的「整合」是非常重要的，若否，可能適得其反，甚至可能降低電磁頻譜的作戰效能。為了實現這種整合，美國一些民間的教育機構和專案經理負責電子戰系統、收音機、雷達和被動偵測裝備協調，並訂出了整合的程式和時間表。然而，這將可能增加對於每個參與計畫失敗的風險，這必須是由上而下的整合，而不是由單一的機構來執行。尤其是在跨領域、不同軍種的情況下更是如此。

四、建議

美軍有機會藉由新的作戰概念建立電磁頻譜優勢，特別是在低功率/低偵測能力的電磁頻譜作戰中建立優勢。以下方式可加速美國電磁頻譜轉型且更具優勢。

(一) 建立電磁頻譜作戰的願景列為優先項目

國防部電子戰執委會應該制定和頒布相關規定，以指導美軍如何運作電磁頻譜作戰。美軍領導層應運用這一願景指導如何發展實施極低功率和被動電磁頻譜作戰的裝備。並經由電磁頻譜作戰新的作戰概念，排定極低功率和被動電磁頻譜作戰裝備發展先後項目。

(二) 建立低功率/低偵測裝備為主

依據未來作戰的需要，美軍應探討出未來的電磁頻譜作戰中，優先整合電磁頻譜作戰高科技研發預算，國防部應優先研究和開發投資項目，尤其是提高網路化、敏捷性、多功能性、小體積的發展，因為這些是關乎電磁頻譜作戰系統的適應性關鍵所在。

(三) 國防部應整合採購電磁頻譜作戰系統

應建立一個專案公室，負責與軍、民間的協調，並購置新電磁頻譜作戰系統。這將有助於推進更靈活、多功能的能力，這將是未來電磁頻譜作戰所必經的過程。

(四) 縮小國防部建購過程

國防部是一個很鈍重性的單位，在缺乏正式整合之前，電磁頻譜作戰系統將會非常的緩慢。而基於新的作戰概念需求，國防部應儘速與軍種、國會共同努力，精簡國防部行政流程。

(五) 建立新的環境管理體系

各作戰司令部應擴大驗證新電磁頻譜作戰概念的能力，尤其是發展中的新功能，而這些驗證的結果可直接用於建立新的概念要求¹³。

美軍在過去，在二戰期間因為雷達和

註13：Bryan Clark Mark Gunzinger, Winning The Airwaves-Regaining America's Dominance In The Electromagnetic Spectrum, Center For Strategic And Budgetary Assessments (CSBA),2015,p.60.

發展積極的反制措施及冷戰中匿蹤技術發展，總的來說，美軍在電磁頻譜中有顯著的優勢。而如今美軍有機會再創高峰。透過運用的方法，在電磁頻譜作戰中，開發低功率/低偵測能力運作方式與裝備，美軍未來可再次獲得一個顯著的戰場優勢。

伍、結語

相較於我國，中共一直是我國國家安全的假想敵，三軍的建置也都遵循著規劃的「建軍」與「備戰」發展，但是，對於電磁頻譜作戰領域則相對不是那麼明顯，而美國智庫二位學者的建言，對我國家而言有著重要的意義，殊值我國防高層思考。

就美軍而言，美國防部已朝建置電磁頻譜作戰優勢方向邁進，包含希望能尋找幾乎不需要電磁頻譜環境作戰的方法。事實上，在技術方面，這對於美軍而言相對是成熟的，而這一轉變應該相對容易的多，美軍可以將全部有人/無人載具和地面系統做一系統的整合，現在只是缺少一個整合的單位，將此一作戰概念由上而下完成垂直整合，如果成功的完成整合，這將有助於電磁頻譜作戰概念的發展。美軍可將所有作戰單位、人員、組織等資源做一系統的規劃，並以更靈活的思維運用電磁頻譜作戰¹⁴。而我國可採以下方式可有助於本軍建置「電磁頻譜」作戰能力：

一、先要建立電磁頻譜作戰的願景

以美軍為例，近期美軍成立的電子戰執

行委員會(執委會)應該檢視美軍電磁頻譜作戰的教則、教範制定及各項執行工作。而制定願景是實現「極低功率和被動模式」下的電磁頻譜作戰環境基礎。

二、研發各種電磁頻譜作戰的作戰方式

建立一個專責機構負責建立作戰概念和發展「低功率/低偵測能力」電磁頻譜作戰教則和戰術，並建置相關技術發展程式。

三、建立新的電磁頻譜能力

美軍之所以對於電磁頻譜作戰環境建置緩慢，主要原因是電磁頻譜作戰是一個含蓋各個單位的所有領域，因此，光就建置項目就可能曠日費時。因此，對於這種新的作戰概念，可先針對各個項目進行分析，並排列出發展及建置的優先順序，並逐步的朝全面電磁頻譜作戰環境發展。為了能有效達成此一目標，美國防部和國會之間應共同努力，保持完善的溝通和協調，以減少美軍建置這個能力的阻力，並定期做專案報告及透過演習以驗證發展的進度與方向，此等作為可值得參考。

四、加快電磁頻譜作戰技術發展

國防部應將有關之電磁頻譜研究和開發的項目逐項分析，並將相關的網路、靈活性、多功能、小型化等做不同的比較，最後排列出優先順序，逐步發展電磁頻譜作戰下，所需的可適性技術。

五、整合建置電磁頻譜作戰系統

建立完整的機構，並將不同部門加以整合，使各個部門之間相互合作，以利開發或

註14：Bryan Clark Mark Gunzinger, 'Winning The Airwaves-Regaining America's Dominance In The Electromagnetic Spectrum', Center For Strategic And Budgetary Assessments (CSBA), 2015, p.67.

採購電磁頻譜作戰系統，這將有助於國防部整合未來電磁頻譜作戰中所需的靈活、多功能系統。

六、演習驗證電磁頻譜作戰能力

各軍種作戰單位應擴大對電磁頻譜作戰演習的運用，藉由此多種不同的演習，尋找

出需改進的缺點，逐步的將電磁頻譜作戰內化於各個單位。



作者簡介：

宋吉峰先生，備役海軍中校，海軍官校正86年班，淡江大學國際關係與戰略研究所博士研究生，國防大學戰研所，現服務於整合戰略與科技研究中心副執行長。

老軍艦的故事

永平軍艦 MSC-155

永平軍艦為近岸掃雷艦，係由美國加州Newport Beach South Coast公司所建造，公元1952年6月16日安放龍骨，同年12月20日下水，公元1954年7月3日成軍服役，編號為AMS-I40。成軍後即由法國海軍在美接收，在法服役時命名為Paquerette，編號為AMS-630，隸屬法國越南掃雷戰隊，以西貢為基地。公元1955年6月2日法國將該艦駛抵菲律賓蘇比克灣，交還美海軍。民國44年6月4日由我國駐菲公使周書楷代表政府接收，編號為MSC-55。同年9月28日由該艦駛離菲國，9月30日返抵臺灣左營港，奉令編屬掃佈雷艦隊，並命名為「永平」軍艦。

民國55年1月20日改編號為MSC-155，隸屬水雷部隊四十二戰隊，。該艦係木材及防磁不銹金屬材料製造，消磁情況良好，故可擔任機械及磁性音響水雷之掃除工作，成軍後該艦多擔任海岸巡防，近海掃佈雷等任務，先後曾參加康平、嶺南等演習。民國64年11月16日由於該艦艦體老舊，艦上主機、發電機已不堪使用，奉令除役。(取材自老軍艦的故事)

