

電磁波干擾、應用與防護作為之研究

作者/施玟仔少校



國防大學理工學院正 94 年班，理工研究所 101 年班，陸軍通訓中心通資安全正規班 26 期，曾任排長、通信官、資訊官、教官，現任職於陸軍步兵訓練指揮部教官。

提要

- 一、太空科技的發展導致軍事活動盡顯，由戰史得知：「作戰靠指揮、指揮靠通信」，通信裝備的電磁波發射與管控，將會是作戰決勝的關鍵，¹如何掩蓋、發散、遮蔽及管控軍事裝備電磁波將是本篇文章的重點。
- 二、本篇研究是以肉眼無法觀測得到的電磁波為對象，讓全軍官兵明瞭電磁波對我軍之影響，讓讀者明瞭電磁波不僅僅在日常生活中有許多應用，對軍事行動一樣會有干擾的行為。
- 三、在以資訊化戰爭為條件下的科技作戰，戰場環境的風險管控將是我們都該重視的，其中與其息息相關的電磁波就是我們在意的管控點之一，所謂「知己知彼，百戰不殆」，了解電磁波原理、電磁波干擾及其防護方式都將增進我軍作戰的秘密效能。

關鍵詞：電磁波、電子防護、電子干擾

¹國防新聞網，電磁波，www.ewmib.com/news.php，(檢索日期：107 年 5 月 9 日)。

壹、前言

電磁波在對流層大氣、降雨、降雪、等氣象環境中的傳輸效應對無線電子系統有重要的影響，電磁波在對流層中的傳播與散射特性研究，也將會是面臨挑戰的課題。²隨著無線電電子技術的發展，電磁波傳播工作者會開始考慮一些新問題，例如：未來的通信頻段和對信號的傳輸量要求將會不斷提高，那麼電磁波在對流層中傳輸、散射效應的計算及預報模型的精密度能否適應新頻段、新技術和新精度的要求，能否通過某種人為干預手段，改善無線電電子系統通信效果，拓展期在軍事、民用等方面的應用，開發新的通信技術；而如何結合隨機介質中的波傳播理論、研究和評估信號在對流層中的傳輸、散射效應對新的通信技術的影響及如何對抗這些影響。

任何一種完整的戰爭型態，都應具備進攻和防禦兩種基本的作戰類型。電子戰在剛一開始出現的時候，是以竊取和截獲敵人電台情報資訊為主的，並想方設法干擾敵方的電台等通信設備，破壞通信聯絡，為了在更遠的距離上獲取情報資訊，便開始出現了雷達和導航設備，這時便開始出現了專用的電子干擾器材和設備，電子戰戰術逐步形成有攻有防的完整體系。³

貳、電磁波原理

電磁波這個名詞說來陌生，但也很親近我們的生活，因為生活中無不發現電磁波就在身邊，所謂的電磁波就是指，電場與磁場結合後的產物，簡單的說就是電線中的流動的電流，其周圍就產生相同周波數的磁場。於是產生含有電場、磁場兩方的波動，這就是電磁波。⁴

電磁波可能對生物體產生兩種效應，一種是電場引起的「發熱效應」；這是電場進入生物體，使水等分子振動生熱的效應，原理與微波爐加熱煮食一樣。⁵另一種是磁場引起的「非熱效應」；這是磁場進入生物體，產生「感應電流」(inducing current)，該感應電流影響「神經系統所生電流及細胞間離子輸送」的效應，行動電話使用微波，會產生明顯的發熱效應；輸電線、電器使用超低頻波，則會產生明顯的非熱效應。已知發熱效應、非熱效應對生物體的生理都會造成影響，這些效應是否致癌則仍不清楚，而電磁波的頻率由低到高分別為無線電波、微波、紅外線、可見光、紫外線、X 射線與 γ 射線；發現的順序則是可見光、紅外線(1800)、紫外線(1801)、無線電波(1888)、X 射線(1895)、 γ 射線(1900)

²弓樹宏，〈無線電物理〉，《西安電子科技大學博士論文》，2008 年 7 月。

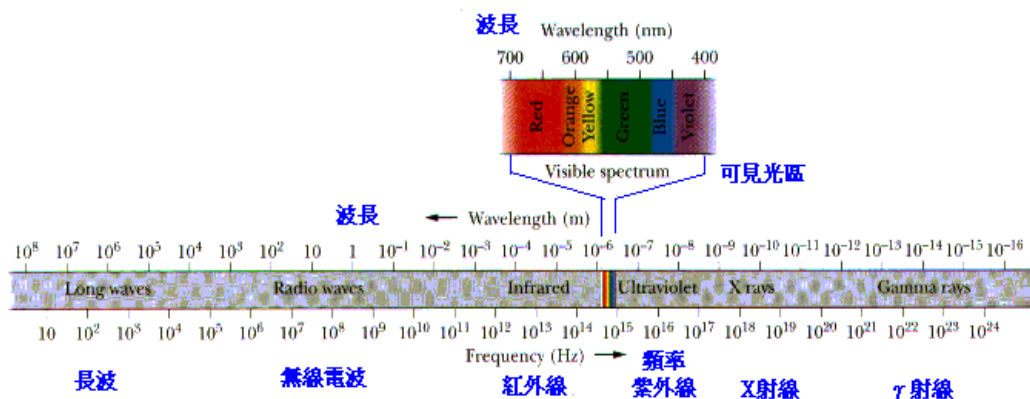
³電子書，〈21 世紀戰爭新趨勢恐怖攻擊：不對稱的戰爭〉，《右灰文化傳播有限公司》，2008 年 7 月，頁 181。

⁴國立台灣師範大學物理系物理教學示範實驗教室，www.qsl.net/vr2xbp/EMFHazard/page3.html，(檢索日期：107 年 7 月 10 日)。

⁵黃焜璋醫師譯輯，〈你想知道的微波爐常識〉，《健康世界雜誌》第 82 期(台北)，1982 年，頁 16。

，最後於 1930 年產生微波，⁶其電磁頻譜詳如表一：

表一：電磁波頻譜



資料來源: www.qsl.net/vr2xbp/EMFHazard/page3.html，國立台灣師範大學物理系 物理教學示範實驗室教室

一、無線電波

波長範圍從 0.3MHz 以上的電磁波都稱為無線電波，其區分 AM(Amplitude Modulation)調幅、FM(Frequency Modulation)調頻和 PM(Pulse Modulation)調相，AM 的波段約 535k Hz - 1605k Hz。這些訊號容易受到閃電、汽車點火系統甚至電腦或計算機等的影響。FM 調頻的波段約 88M Hz - 106M Hz。由於雜訊通常影響訊號的振幅，而 FM 是將訊號以不同頻率載波因此較不會受到干擾。

電視的影像以 AM 傳送，聲音則以 FM 傳送；PM 技術目前使用在我們生活中的 Wi-Fi、GSM 和衛星電視。由於無線電波的能量通常遠小於價電子的能階差，因此不會被全吸收發生躍遷。所以無線電波除了少量的散射外，就如同進入『無人之境』般的穿越玻璃、牆壁等非金屬阻礙物。另外，因為人的高度和 FM 的波長相近，人體本身也是很好的導體，因此人體也是不錯的天線。所以當你發現數位電視機訊號不良而用手調整天線時，是否有過覺得信號不錯，但手一離開卻又收訊不良的感覺呢。⁷

二、微波

頻率範圍在 0.3G Hz 到 300G Hz 的範圍屬於微波，⁸對應於真空中 1.0mm 到 1m 的波長(在不同物質內電磁波的波長會改變)，其無線電波無法穿越大氣的電離層，故被用於地面和太空飛行物間的通訊(訂定時間標準的銫 Cs 原子鐘所採用的頻率便是 9.19263177×10^9 Hz)。在日常生活中常用的微波爐就是利用微波原理，⁹微波爐所產生的電磁波 (2.45GHz, 12.2cm 的微波) 乃是利用水分子本身是極性分子，在電場作用下將試圖與電場方向一致，使得水分子受影響而

⁶朱國瑞，〈物理固自然：微波及微波的應用〉，《科技大觀園》，2005 年，頁 1-3。

⁷劉曉明、裘杭萍，〈戰場信息管理〉，《國防信息類傳業規劃教材》(北京)，2012 年 7 月，頁 35。

⁸金永吉、王道傳，〈軍事科技：軍事革命的開路先鋒〉，《藍天出版社》，2011 年 4 月，頁 113。

⁹行政院環境保護署，<https://taqm.epa.gov.tw>，(檢索時間：107 年 6 月 18 日)。

產生共振振盪，於是大量吸收微波的能量轉換成水分子間的動能，也就是熱能。¹⁰微波除了能用來烹飪也能用於電話通訊、警察的雷達測速和大家耳熟能詳的高速公路上面的ETAG等。

在軍事用途方面，微波武器適於攻擊密集搭載電子設備的敵軍目標，無人機、指揮中樞和遙控武器站等系統在微波束面前都顯得無比脆弱，在太空電子對抗、雷達與對抗等領域也有廣闊的應用前景。高功率微波技術指平均功率在千瓦以上或峰值功率在幾百千瓦以上的微波信號的產生、傳輸、測量和應用等技術，目前已經成功應用於太空、醫療等領域。美國在微波武器研發方面憑藉科技優勢走在前列，其空軍新研發的「主動拒止系統」(ADS)¹¹ (如圖一)是一種遠程非致命武器系統，該武器系統由雷神公司研發，能夠發射高能毫米波電磁束，攻擊以人員為目標時會在其皮膚表面產生難以忍受的灼熱感，使其喪失作戰能力，應用於反恐戰爭能夠減少人員附帶傷亡。主動拒止系統發射的是隱形高能毫米波，射頻 95 千兆赫，射出的微波對人體皮膚的穿透深度約為 0.4 毫米，能使人在瞬間產生強烈的灼燒感，從而本能地躲避射線。試驗數據表明，沒有人能夠忍受這種灼痛感超過 5 秒鐘的時間。¹²一旦微波射線離開目標範圍，疼痛感便會消失，不會對人體造成永久性傷害。即使是使用最大功率攻擊，最多也只是造成灼傷，而不會使人喪命。



圖一：美國主動拒止系統

資料來源:Q 博士，微波，<https://www.pixpo.net/military/0FHcBMUG.html>
(檢索日期：107 年 10 月 2 日)

¹⁰同註 4。

¹¹Q 博士，微波，<https://www.pixpo.net/military/0FHcBMUG.html>，(檢索日期：107 年 10 月 2 日)。

¹²同註 11，(檢索日期：107 年 10 月 2 日)。

三、毫米波

因為5G技術的發展，毫米波頻段(10~1毫米(mm))的應用也應聲崛起，毫米波的應用是以無線通訊市場為主，其特點包括具備光線電纜般的傳輸速率，搭配小型基地台可提供點對點或多點的通訊能力，為其發展需仰賴先進的天線技術，在其傳輸技術上較成熟的系統落在多重輸入多重輸出系統(MU-MIMO，Multi-User Multiple-Input Multiple-Output)和波束成形技術。¹³毫米波電子系統具有不受電子干擾、抗地雜波干擾、多目標鑑別性、高精度及雷達分辨率佳等特點，若再加上結合微波通信的特點，這樣的系統應用在軍事科技上，將會是研發國的一大優勢。毫米波通信和微波通信差異詳如表二。

表二：毫米波通信和微波通信差異表

	毫 米 波 通 信	微 波 通 信
特 點	精密度高，適用追蹤系統	精密度低，適用於搜索、導引系統
	不受電子干擾	使用低功率系統
	多目標鑑別性	指向性通信
	通信系統體積小、重量輕	可組合為大型通信系統
	近距離通信(較適用於雷達系統)	可遠距離通信、延伸通信距離
	隱蔽性佳	擴充性佳
	系統不易受地面環境因子(煙、霧、灰塵)影響	系統不易受天然環境因子(雲、雨)影響

資料來源：作者整理

四、紅外線

1800 年時 William Herschel 測量太陽光線經稜鏡折射後各處所產生的熱。卻發現在紅光外的邊緣區域的溫度計竟然發生最多的改變，於是他認為有人眼所看不見的『光』稱為紅外線。紅外線可穿透鏡片或雲層。底片也會對紅外線感應，因此是很好的探測工具（早期的間諜衛星就是利用紅外線感測方式進行影像偵測與紀錄），紅外線被用於追蹤熱源、夜間警衛與軍事行動探測(如：轟炸行動通常在夜間，¹⁴雖然人眼無法直間看見物體，但紅外線卻可看得清清楚楚)或各種遙控器等。

¹³新通訊網頁，鄭凱仁、王惠瑜，〈5G 技術揭竿而起，毫米波市場專利戰火擴大延燒〉，<https://www.2cm.com.tw>，(檢索日期：108 年 1 月 8 日)。

¹⁴EPAER，紅外線隱形技術之軍事用途，<https://www.youth.com.tw>，(檢索日期：108 年 1 月 2 日)。

紅外線在監視攝影機上的應用十分普遍，其肉眼不見光的特性，非常適合在黑夜或是暗處為監視攝影機提供輔助照明而不為人察覺，而早期的衛星照片成像就是利用紅外線感測器。¹⁵

世界上只要溫度高於絕對零度的物體，無論是有無生命徵象都會發出紅外線輻射，特別是軍事裝備，如戰甲車、車輛、軍艦、飛機等，由於其高溫的特性，往往會成為很強的紅外線輻射源，換句話說，就是容易被發現目標。為避免因紅外線被偵測到的這個缺點，選定物體的溫度和材料的性質會是決定被偵測的難易度。以導彈而言，降低噴口和尾焰的溫度為其關鍵；以飛機來說，則是在發動機、發動機噴口和排氣氣流處為降溫關鍵；¹⁶同理可知，對我們的甲車而言，抑制發動機排氣口溫度，將排氣孔的廢氣導入冷卻空氣排氣孔混合後再排出，或是改變排氣孔位置和形狀，在排氣孔上面塗覆金屬氧化物和非金屬塗料，以及使用反紅外線塗料皆可減少被偵測到的風險。¹⁷

美國國防高級研究計劃署與波音公司合作開發的激光武器系統已經試射成功，將開始在船艦及軍用車輛上部署。美國國防部的這項新軍事武器的正式名稱是激光武器系統（Laser Weapon System，LaWS），美國的兩棲運輸艦龐賽號（USS Ponce）已在 2014 年配備激光炮武器，駛入波灣海域進行試射成功，海軍計劃進一步在航母等船艦上部署大型的激光武器。這也是最接近在科幻電影中所出現的激光炮(如圖二)，即將成真和真實的運用在軍事武器上的時刻。這項武器的研發目的是用於對付「非對稱性威脅目標」，例如大批擁有武器的無人機或快艇，造價便宜卻具有威脅性，若用導彈等高價武器對付這些威脅，付出的代價將過於昂貴。激光炮是利用超高功率的紅外線光照射目標物，發射時肉眼看不見光束，只會看到遭擊中的目標起火並毀滅。發射每次激光炮的費用不超過 1 美元，可謂物美價廉。但激光炮會因雨雪或煙霧的干擾，使射程與激光威力降低。¹⁸

¹⁵金磚通訊科技，www.brick.com，(檢索時間：107 年 6 月 3 日)。

¹⁶同註 8，頁 176-178。

¹⁷同註 8，頁 179。

¹⁸每日頭條，激光炮，<https://kknews.cc/tech>，(檢索日期：107 年 8 月 15 日)。



圖二：美國激光炮

資料來源: <https://kknews.cc/tech>，（檢索日期：107 年 8 月 15 日）

五、可見光

可見光刻正運用在軍事通信上，其原理系運用螢光燈或發光二極體發出的高速明暗變化，產生光信號來傳輸訊號的技術手段，與無線電通信相比，可見光通信等於開發了新的頻譜資源，它擁有高傳輸率、安全性與保密性，而且無電磁干擾和輻射問題，也無須頻段授權認可，是典型的綠色通信技術。在2015年被聯合國定為「光和光基技術國際年」後，這項技術的應用潛力已成為世界各國競相角逐的下一代核心通信技術。¹⁹

可見光通信蘊含巨大價值，只要有燈的地方就有通信，和無線電通信相比，可見光通信的涵蓋範圍廣，可見光通信通過電力線連接全球市內外所有燈具，即可實現「照中通」，換句話說，可使通信達到使用普及和解決深度覆蓋的問題。另外，這項技術在2014年5月，日本東洋電機研發出水下可見光高速通信裝置，最大通信速率可達50Mbps，²⁰美國海軍也有利用可見光通信作為艦船探索的新通信方法。

六、紫外線

1801年（在紅外線發現的第二年）J. Ritter 發現了紫外線的存在。當時已經知道氯化銀在光照射下會變黑，可是他發現在紫光光譜外的區域更加嚴重，於是將此人眼見不到的光稱為紫外線 Ultraviolet。對應約300nm的太陽紫外光會使皮膚曬黑或曬傷。當陽光通過大氣層時，大部份的紫外光都被吸收了。藉由臭氧層的作用使得地球不至於成為紫外線的「殺菌室」。波長更短於 300nm 的紫外光會破壞蛋白質。物質反射可見光的能力和反射紫外光一樣，在沙灘或

¹⁹軍事百科：尖端科技網頁版，楊克功、宋文、朱義君，〈可見光通信：建構綠色高速信息網路〉，<https://youth.chinamil.com.tw>，（檢索日期：107 年 8 月 15 日）。

²⁰同註 19。

雪地的環境裡即使沒有直接曬到陽光，可是附近環境所反射卻看不見的紫外線依舊會傷害到人體。也因如此，紫外線因懸浮粒子的散射作用，使其可運用在軍事通信；另外，紫外光傳輸通信擁有保密性高、環境適應強、全方位全天候、靈活機動及可靠性高的特點。²¹

七、X射線

主要對應頻率範圍在 2.4×10^{16} Hz到 5×10^{19} Hz，其能量約 100eV-200KeV，因此單獨的X光子便足以對物質起破壞作用，而醫學用的X射線主要在 20keV~100keV之間，藉由穿過人體時，不同區域被吸收的量會不同，經過全身各方向的X射線掃描後的訊號透過現代電腦程式計算，可以將身體內部3D的結構清楚的顯現，對於醫學診治很有幫助。

八、 γ 射線

γ 射線主要對應於200keV(0.2MeV)以上能量的電磁波，原子核內的核子有不同的分佈並不同的能階，當原子核發生躍遷時，便產生 γ 射線。早期對於X射線與 γ 射線的區分在於能階的躍遷起源與原子的內層電子或是由原子核的躍遷而來。可是近代的加速器使得電子在加速過程，也會輻射出高能量的X射線或 γ 射線。此射線主要用於科學研究或高科技用途。

參、何謂電磁波干擾與類型

一、何謂電磁波干擾

電波干擾、AC 磁場干擾、DC 雜散磁場變動干擾均為電磁干擾(Electro-magnetic Interference, EMI)類型之一，功率密度強度達到一定程度對人體及儀器設備會產生危害。電磁干擾是指電子裝置受到電磁干擾會使信號發生畸變失真，嚴重時會完全失去信號，系統因此降低信號的傳遞可靠性，倘若電磁干擾使用在傳統指針式電子設備，就會導致指針抖動降低使用功能，若是使用在自動控制系統，會導致系統失控甚至產生錯誤判斷及動作，後果可是不堪設想。

有鑑於此，美軍研發抗電磁干擾的反輻射無人機(哈比)(如圖三)，其可在 1668 公尺高度飛行 1000 公里，作戰半徑 400-500 公里，續航時間在 4 小時以上，即使敵方雷達突然關機，目標信號中斷，哈比也可以及時終止攻擊，繼續空中巡邏搜索目標，鎖定目標後，以近乎垂直俯衝角和極高的俯衝速度向目標發起攻擊，雷射近炸引信還能確保最大程度的毀傷目標，該機集無人機、飛彈和機器人技術於一體，是一種利用敵方雷達輻射的電磁波信號搜索、跟蹤並摧毀地面雷達的自主武器系統。它是一種特殊的無人攻擊機，也可以看成是一種具備初

²¹中國 UV 燈網，〈紫外光通信在軍事航空領域的應用〉，<https://www.uvdeng.com>，(檢索日期：108 年 1 月 8 日)。

級智能的反輻射飛彈。頭部裝有以色列自行研製的被動雷達導引頭和雷射近炸引信，攻擊精度達到 5 公尺。²²反輻射無人機能對敵預警探測，能對敵指揮通信體系進行斷鏈、致盲、破網，達到預期作戰目的。反輻射在伊拉克戰爭中表現出了極為明顯的優勢，伊拉克數百架戰機，數千枚飛彈在戰爭中竟然對出動 11 萬架次的聯合軍戰機只能傷及 9 架。



圖三：美國哈比反輻射無人機

資料來源: <https://kknews.cc/tech/53xm26.html>，(檢索日期：107 年 9 月 3 日)

目前市面上防止 EMI 的處置方式大致上分為三種，分別為電鍍、金屬鐵片及真空濺鍍技術，在這些工法中，其中又以真空濺鍍技術應用較為廣泛。因為真空濺鍍無論是在價格成本上，或者是完工後的品質方面，跟其他的工法相比都較佳，除此之外也具有環保概念，由於此工法是利用電流撞擊原子的鍍膜方式，所以並不會產生大量的化學汙染，因此使用真空濺鍍技術的廠商比例日益攀升。²³

電磁波 EMI 屏蔽分成主動屏蔽(Active Shielding)及被動屏蔽(Passive Shield)。主動屏蔽譬如磁場補償系統，被動屏蔽譬如磁場衰減隔離室、磁場隔離箱、電波隔離室、電波暗室、電磁波衰減改善工程等。一般射頻、平面波、微波等高頻電磁波干擾可經由適當的屏蔽(shielding)、接地(grounding)與濾波(filtering)則可將其干擾衰減降低。

低頻、超低頻磁場環境需要高導磁材料來屏蔽干擾源是一重要防制方法；反制磁場補償系統對於較大空間，強度過大磁場干擾或非即時取樣時間延遲因素有時不一定完全適用。當然遷移也是防制的方法之一。

²²每日頭條，反輻射無人機，<https://kknews.cc/tech/53xm26.html>，(檢索日期：107 年 9 月 3 日)。

²³翁紹仁、李靖儀、林光甫，〈電磁波干擾製程品質最佳化〉，《品質月刊》(台北)，47 卷 8 期，2011 年 8 月，頁 1。

因此在建築設計、電力機電設計上及半導體製程與檢測技術需考慮防範電磁干擾、環境雜散磁場(STRAYFIELD)應實施基本措施如低磁場輻射線槽、磁場衰減隔間、磁場隔離室、磁場隔離箱等。在實驗室、機密儀器通訊資訊機房需考慮防範電磁波干擾需要電波隔離室、電波暗室、電磁波衰減改善工程。

二、電磁波干擾類型

EMI指的是電氣產品本身通電後，因電磁感應效應所產生的電磁波傳導或電磁場伴隨著電壓、電流的作用對產品本身或週遭電子設備所造成的干擾影響。

電磁干擾的問題，長久以來一直是電子系統在設計上的一大盲點，但因電磁干擾所牽涉的因素繁多，處理時所需的專業知識也較廣；由於科技產業的高度競爭，新產品的生命週期越來越短，使得我們不得不尋求EMI問題的快速解決方式，來縮短產品的研發時間，以期能搶佔市場先機。

由於電力電子的特性，幾乎所有的電子產品在操作過程中都會產生電磁干擾的問題，隨著積體電路(IC)的功能越來越強、工作頻率越來越高、操作速度愈來愈快、應用愈來愈廣泛，使得系統整合時所造成的電磁干擾問題也越來越嚴重，許多設備在低頻時，問題不大的訊號完整度(SI)以及電磁干擾(EMI)問題，在高頻時會越顯示出來。由於電路中的元件密度增加，造成干擾的問題越來越多。

²⁴電磁干擾種類如下：

(一)傳導性(Conducted)電磁干擾

此電磁干擾主要是經由電力線或信號線傳遞雜訊，侵入其它相互連接的元件。對於此種傳導性EMI，若要做有效的抑制，首先需要對於電子元件所產生的傳導性EMI作有效的量測，再依據結果選擇適當的元件值設計濾波器來加以防治。

(二)輻射性(Radiated)電磁干擾

此電磁干擾是直接經由開放空間傳遞，不須要經由任何傳輸介質，故一般僅能以遮蔽(Shielding)、接地(Grounding)等方式來解決。

肆、電磁波與軍用遙感關係

所謂的遙感應用于軍事領域，不直接與目標物接觸而遠距離感知其性質和狀態的一項新興探測技術。它主要是利用物體能輻射、反射或發射電磁波的特性，通過可見光、紅外、多光譜、微波和聲波等遙感器，從高空或遠距離感受來自目標物的電磁波信息，經光學、電子技術處理成為圖像或數據，以揭示目標的性質和狀態，從中獲取信息，用來進行軍事偵察、導彈預警、武器制導²⁵等。

²⁴同註 8，頁 19。

²⁵台灣 WIKI，軍用遙感，www.twwiki.com.tw，(檢索時間：107 年 6 月 13 日)。

遙感技術通常按遙感器載體的不同分為三類：遙感器裝在地面站或車、船上的稱為地面遙感；遙感器裝在氣球、飛艇和飛機等航空器上的稱為航空遙感；遙感器裝在人造衛星、宇宙飛船和太空梭等太空器上的，稱為太空遙感。按遙感器工作原理的不同，分為主動遙感和被動遙感。按遙感方式的不同，分為照相式和非照相式遙感。按電磁波譜段的不同，分為可見光、紅外、紫外和微波遙感等。遙感技術在軍事上主要用于軍事偵察、導彈預警、海洋監視、武器制導、軍事測繪和氣象探測等。

一、 軍事偵察

現代軍事偵察廣泛採用遙感技術，特別是太空遙感技術。美、蘇兩國的軍事情報多數是用太空遙感技術獲取的。到20世紀80年代中期，世界有關國家共發射3000多顆人造衛星，其中70%以上的直接或間接為軍事偵察服務。裝載有各種遙感器的偵察衛星，能對地球環境進行連續不斷的偵察和監視。可見光照相的地面解析度高達0.15~0.3公尺；²⁶ 紅外遙感能識別地面偽裝，且晝夜工作；多光譜遙感兼具可見光和紅外遙感的特點；微波遙感溫度解析度高，能穿透雲霧、植被和地表，可全天候工作。從偵察衛星所獲取的照片上，能清晰地看出機場跑道、滑行中的飛機和導彈發射架等軍事設施，能區分出戰甲車和車輛的類型。²⁷採用太空遙感技術進行軍事偵察，具有偵察範圍廣、不受地理條件限制、發現目標快等特點，主要用於戰略偵察，也可完成戰役偵察和戰術偵察任務。²⁸

二、 彈道導彈預警系統

為了防備對方戰略進攻，美、蘇兩國都部署了彈道導彈預警系統。採用太空遙感技術可探測來襲戰略彈道導彈(見戰略導彈)。當導彈發射時，發動機噴焰的溫度高達3000℃以上，輻射出很強的紅外線。運行在地球靜止軌道或周期約12小時的大橢圓軌道上的預警衛星，²⁹藉助高靈敏度紅外探測器和高解析度電視攝像機，能探測到導彈主動段飛行時的發動機噴焰並自動報警。地面指揮站根據導彈飛行軌跡及其他信息，在幾分鐘內即可判明導彈是否構成威脅並預報彈著區，從而為對付來襲洲際導彈提供大約25分鐘的預警時間。預警衛星一般還裝有X射線、 γ 射線和中子探測器，使衛星兼備探測核爆炸的功能。

²⁶郭清智，〈應用 Wi-Fi 與 GPS 技術於室外定位之研究〉《國立政治大學地政學系碩士論文》(台北)，民國 100 年 7 月，頁 18。

²⁷汪慶榮，〈太空幽靈：軍用衛星〉《軍事科學出版社》(北京)，2000 年 1 月，頁 44。

²⁸同註 23。

²⁹同註 8，頁 62。

三、 海洋監視

利用海洋監視衛星能有效地探測和跟蹤各種艦艇的活動。地球上的海洋面積比陸地面積大一倍多,被監視目標又往往是運動的,因此海洋監視衛星的軌道應高於電子偵察衛星的軌道,並需由幾顆衛星組成衛星監視網,才能實現有效的監視。海洋監視衛星裝有紅外探測器、側視雷達和無線電接收機等遙感設備,通過截獲艦艇的雷達、通信和其他電子設備發出的信息,能準確地確定其位置、航向和航速。為探測潛航的核潛艇,這種衛星還裝有毫公尺波輻射儀和紅外掃描儀。蘇聯和美國分別在1967和1971年開始發射海洋監視衛星。³⁰

四、 武器精準導引系統

遙感技術應用於武器制導,可大幅度地提高武器的命中精度。遙感技術可用於戰術導彈、炮彈和航空炸彈、戰略導彈等的制導系統。從70年代起,美國的戰略巡航導彈採用了地形匹配製導技術,它以地形輪廓線為特徵,用雷達高度表為遙感器,把導彈在飛行過程中測得的實時地形圖與彈上貯存的基準圖相匹配,可使命中精度提高到10公尺,「潘興」Ⅱ型中程地地彈道導彈用的是地圖匹配製導技術,它以區域地貌為特徵,用成像裝置攝取導彈飛行軌跡或目標區域地圖,與彈上貯存的基準圖相匹配,命中精度可達25公尺。

五、 軍事測繪

利用測地衛星能進行精確的大地測繪。從60年代起,美、蘇、法等國相繼發射了測地衛星,衛星上裝有多光譜掃描儀、激光反射器、雷達應答機和雷達測高儀等遙感器,能測定地面點坐標和地球形體等參數,測量精度很高。例如,美國測地衛星測定重點目標的點位精度在10公尺以內,大地水準面的測量精度可達±1公尺。精確的軍事測繪,可減少飛機和艦艇的導航誤差,提高導彈的命中精度。³¹

六、 氣象探測

利用地面氣象站、氣球、飛機、探空火箭和氣象雷達等觀測工具,只能得到局部地區的氣象資料。地球上將近 80%的區域是無法用常規方法進行氣象觀測的,氣象衛星則可獲取全球性的氣象資料。星上裝有多通道高解析度輻射計、紅外分光計和微波輻射計等氣象遙感器,能測得全球範圍的雲量、風力、風向、氣壓、氣溫和濕度等參數,以提供全球性氣象情報。

³⁰劉興良、劉飛虹,〈太空武器之最〉《國防工業出版社》(北京),2003年4月,頁201。

³¹同註27,頁200。

伍、作戰時電磁波運用方式

由於電磁波對人體幾乎沒有直接傷害，只對通電系統具嚴重破壞力，它具有的這種比中子彈還「人道」的特性已引起先進國家的極大興趣，並認為：未來戰爭的雙方不必在地面進行核戰，只要藉電磁波武器，就可以一舉摧毀對方整個軍事C⁴ISR系統（含民間工業），依其影響範圍及破壞威力，電磁波運用可分為戰略型和戰術型兩種方式，³²概述如下：

一、 戰略型

針對廣大之目標設計，先期於敵境距地面10公里高空引爆，使其產生大區域範圍之電磁波效應，造成敵C⁴ISR系統被破壞（癱瘓），使敵全面遭受斷電、斷訊之困境，進而動員困難、指揮失據及民眾恐慌之目的。

二、 戰術型

針對小型之目標設計，運用衛星、飛機、船艦及車輛等方式酬載電磁波武器，對敵單一目標以具方向性之掃描，以電磁波能量干擾其電訊、電力系統正常運作，進而摧毀之。

三、 電磁波對整個C⁴ISR系統之影響：

(一)有線電

電磁波很容易使電纜感應電壓值超過最大容忍限值，其結果會造成火花或短路現象，損壞線路，而線路上各式終端設備(如配線箱、交換機)也易遭受線路上累積的能量而燒毀。

(二)無線電

電磁波其頻譜可涵蓋大部份的軍（民）用無線電通信波段，且無線電機的大型天線、饋線及銜接線，均為電磁波良好的收集體，在強大電場影響下，將使無線電系統受到嚴重破壞。例如：一架飛航中之飛機，若遭遇電磁波侵襲時，電磁波能量可藉由金屬機身、外露天線、座艙．．等路徑，進入機內電子電路中，造成電子元件燒毀(故障)，電路被干擾(短路)，儀表突然產生的各種警（信）號，進而使飛機各項數位飛控系統失效，致影響飛行員的判斷與處置，造成飛安事件。

(三)資訊系統

迅速而確實之情報資訊，對軍事作戰而言，特別明顯而重要，其對「搶先」和「控制」在時效上已至秒秒必爭之程度，惟有靠容量大而迅速的資訊(電腦)系統來分析、研判、處理，方能達到上述目的；但電磁波卻能夠破壞（消除）儲存在半導體記憶器內的資料，或者將裝置有「微處理器」控制系統的功能破壞，造成整個資訊處理中心癱瘓，資訊無法傳遞(或傳遞錯誤的的資訊)，因而

³²應天行，〈電磁波武器與其防禦〉《全球防衛雜誌》(台北)，218期，頁43-44。

使指揮官耳目被切斷(或誤判)，無法迅速下達決心，而延誤作戰時效。

(四)雷達系統

電磁波可影響電離層之穩定性，當雷達波在掠過此一被擾亂之區域時，會使其傳播途徑彎曲，造成雷達所確定的目標位置，可能與真正的目標位置有所差異，嚴重時甚至產生吸收作用，假如雷達波從目標物反射回來而必須通此一區域，即將全部被吸收，因而使雷達信號中斷。³³

陸、電磁波防護作為

電磁波破壞的程度，主要是取決於電磁波能量傳遞到目標的多少而定。由於電磁波是以電磁波的型態發射與傳播，因此任何金屬導體（如飛機、軍艦、電纜線，天線等）均能接收電磁波並將能量傳輸至物體內，內部電子系統（記憶體、積體電路、邏輯電路）都有可能因為超載而燒毀，以致無法正常運作，對於愈先進、複雜的裝備影響程度愈大。

要進行電磁波防護，首先要清查設施與裝備系統的數量、規格，分析其對電磁波的弱點，設定電磁波防護效能等級，並就設施與裝備系統的最劣狀況予以分析後，檢討是否需要防護，同時並考量設施與裝備系統在以後更新需求時，對電磁波防護等級是否須同時變更；在防護建立流程中，亦應考量防護措施的成本效益、施工性等，以便在有限的國防預算達到最大的防護效能。綜合來看，對電磁波的防護方式大致可分為以下幾點：³⁴

一、 屏蔽

屏蔽是將那些對於電磁波比較靈敏的電子、電氣設備及系統，在空間上與電磁波輻射環境相隔離，減少電磁波場對設備及系統的耦合影響，在電磁波防護中是相當重要的方法之一。

二、 濾波

濾波可以對一定頻段範圍的干擾進行限制，包括信號線濾波和電源線濾波。電磁波等於是寬頻的干擾，對於在特定頻率或一定頻段的無線電信系統，濾波器可以有效抑制引入的電磁波能量。濾波器常用在電源引線上，以減少電磁波通過電源線引入系統。

三、 接地

接地是各種電磁防護的基礎，亦是最廉價有效的防護方法。利用金屬與大地的連接，建立一條低電阻的路徑，將電磁能量有效引入大地中，減少對電氣設備或系統的損害。

³³國防科技，電磁波之研究，http://www.lmcf.org.tw/html_f/defence/defence2.htm，(檢索時間：107 年 10 月 2 日)。

³⁴全球防衛雜誌網頁，<http://www.diic.com.tw/mag/mag254/254-44.htm>，(檢索時間：107 年 7 月 13 日)。

四、 終端保護

電磁波主要通過天線及連接電纜，以及設備之間的長連接線和電源線進入設備，終端保護就是在設備終端與設備主機之間，採用適當的電磁波保護組件或是濾波器，減少耦合進入設備前端的能量。

五、 網路加固

對系統的網路與電路進行電磁波的加固設計，也可以有一定程度的能量衰減，加固設計的範圍十分廣泛，主要以合理的電路布局、選用已加固器件等為主。³⁵

上述電磁波防護方法中，又以建構屏蔽層為最有效的手段。其實現行軍方或民間所使用的電子設備，通常具有電源模組、輸出入電路、資料儲存裝置和數位處理電路等，且都需要通過國家電磁相容安全規定檢驗，以避免所產生的電磁輻射散溢出，而對人體產生危害，因此其外殼就是一個電磁屏蔽層，所以裝備機殼對外來的電磁輻射，已具有一定的屏蔽效應。

整體電磁波防護是一大工程，上述的防護方法說來簡單，做起來並不容易，尤其是要求到滴水不漏的地步，更是難上加難，即使美軍也不能保證每項裝備都有足夠的電磁波防護力。而且為了確保防護屏蔽系統的可靠性，以免因裝設時間增加而逐漸降低防護效能，也要經常進行維護，這些都所費不貲，對國防經費而言可說是一大負擔。

柒、 結語

軍事科技正加速邁向網路化和智能化的複合發展，呈現全方位、深層次的態勢，人工智能的關鍵技術已朝向低成本、微小型智能化系統發展，就連衛星發展也是各兵家相爭之地，美國總統川普甚至在今年6月18日宣布成立一支太空部隊作為美軍第六軍種，川普提出「太空和陸海空一樣，也是作戰領域」。³⁶我國106年四年期國防總檢討報告書裡面提到「共軍整合太空、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。另擴大軍民融合運用，網羅民間資源與具備高技能資訊人才，形成網攻能量，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」，³⁷因此，如何積極建設我軍通資電能量，將會是我們現階段應面臨的課題。

³⁵同註 35。

³⁶聯合新聞網，川普下令成立太空部隊，www.udn.com.tw，(檢索時間：107 年 6 月 20 日)。

³⁷中華民國 106 年《四年期國防總檢討》編纂委員會，〈中華民國 106 年四年期國防總檢討〉《國防部》，106 年 3 月，頁 15-16。

孫子曰：「昔之善戰者，先為不可勝，以待敵之可勝；不可勝在己，可勝在敵」，電磁波效應，雖佔核爆全部能量極小部份，但其破壞距離甚遠，對C⁴ISR系統傷害極大，為下一世紀高技術條件下之癱瘓戰，亦為戰爭勝負關鍵之利器，故各國對電磁波研究及防護技術日趨考究與重視，以期在遭電磁波侵襲後仍能維持C⁴ISR能力，吾人除應秉持「勿恃敵之不來，恃吾有以待之」之戰備整備原則，持續蒐集各先進國家電磁波之研究與運用情形外，更應積極檢討未來「資訊作戰」中抗電磁波之相關因應措施，俾在電磁波的侵襲下，仍能遂行戰爭指導，贏得勝利。

參考文獻

- 1、國防新聞網，www.ewmib.com/news.php，(檢索時間：107年5月9日)。
- 2、電子論文，弓樹宏，〈無線電物理〉，《西安電子科技大學博士論文》。
- 3、電子書，21世紀戰爭新趨勢恐怖攻擊：不對稱的戰爭《右灰文化傳播有限公司》，2008年7月。
- 4、國立台灣師範大學物理系物理教學示範實驗教室，www.qsl.net/vr2xbp/EMFHazard/page3.html，(檢索日期：107年7月10日)。
- 5、黃焜璋醫師譯輯，〈你想知道的微波爐常識〉，《健康世界雜誌》第82期，1982年。
- 6、朱國瑞，〈物理固自然：微波及微波的應用〉，《科技大觀園》，2005年。
- 7、劉曉明、裘杭萍，〈戰場信息管理〉，《國防信息類傳業規劃教材》，2012年7月。
- 8、金永吉、王道傳，〈軍事科技：軍事革命的開路先鋒〉，《藍天出版社》2011年4月。
- 9、行政院環境保護署，<https://taqm.qpa.gov.tw>，(檢索時間：107年6月18日)。
- 10、Q博士，微波，<https://www.pixpo.net/military/0FHcBMUG.html>，(檢索日期：107年10月2日)。
- 11、EPAER，紅外線隱形技術之軍事用途，<https://www.youth.com.tw>，(檢索時間：108年1月2日)。
- 12、金磚通訊科技，www.brick.com，(檢索時間：107年6月3日)。
- 13、每日頭條，激光炮，<https://kknews.cc/tech>，(檢索日期：107年8月15日)。
- 14、軍事百科：尖端科技網頁版，楊克功、宋文、朱義君，可見光通信：建構綠色高速信息網路，<https://youth.chinamil.com.tw>，(檢索日期：107年8月15日)。
- 15、中國UV燈網，紫外光通信在軍事航空領域的應用，<https://www.uvdeng.com>，(檢索日期：108年1月8日)。
- 16、新通訊網頁，鄭凱仁、王惠瑜，5G技術揭竿而起，毫米波市場專利戰火擴大延燒，<https://www.2cm.com.tw>，(檢索日期：108年1月8日)。
- 17、李俊信、陳佩宜、黃詠暉，〈電磁場與人體健康效應之評估與探討〉，《台電工程月刊》第678期，205年。
- 18、每日頭條，反輻射無人機，<https://kknews.cc/tech/53xm26.html>，(檢索日期：107年9月3日)。
- 19、翁紹仁、李靖儀、林光甫，〈電磁波干擾製程品質最佳化〉，《品質月刊》，47卷8期，2011年8月。
- 20、台灣WIKI，軍用遙感，www.twwiki.com.tw，(檢索時間：107年6月13日)。

- 21、郭清智，〈應用Wi-Fi與GPS技術於室外定位之研究〉，《國立政治大學地政學系碩士論文》，民國100年7月。
- 22、汪慶榮，〈太空幽靈：軍用衛星〉，《軍事科學出版社》(北京)，2000年1月。
- 23、劉興良、劉飛虹，〈太空武器之最〉，《國防工業出版社》(北京)，2003年4月。
- 24、全球防衛雜誌網頁，<http://www.diic.com.tw/mag/mag254/254-44.htm>，(檢索時間：107年7月13日)。
- 25、應天行，〈電磁波武器與其防禦〉，《全球防衛雜誌》(台北)，218期。
- 26、國防科技，電磁波之研究，http://www.lmcf.org.tw/htm_f/defence/defence2.htm，(檢索時間：107年10月2日)。
- 27、聯合新聞網，川普下令成立太空部隊，www.udn.com.tw，(檢索時間：107年6月20日)。
- 28、中華民國106年〈中華民國106年四年期國防總檢討〉，《四年期國防總檢討》編纂委員會，《國防部》，106年3月。