

出國報告（出國類別：進修）

國軍軍售訓練留美人員返國報告

服務機關：空軍作戰指揮部

姓名職稱：林祐群少校

派赴國家：美國

出國期間：99.06.21~101.09.21

報告日期：101.12.18

摘要

美國海軍研究所電戰碩士班，其課程設計與電子作戰習習相關，從基礎電子學、電路學，一路延伸至天線原理、雷達原理等進階課程，其目的在穩固訓員電子戰之理論基礎，雖然未深入探討電子作戰之戰術戰法與裝備，但具備基礎知識，對於後續裝備相關知識、資料蒐集，會有更深一層的認識。本軍電子戰專業軍官的培訓，主要還是依賴單位資深教官，就個人實務經驗與知識傳授，對於基礎理論並未若研究所教育來的紮實，且對於看不到的雷達電磁波與數位信號處理，必然興趣缺缺，即便有心想學，必勢必因為上手門檻高，較其他專業更難入門。如果本軍電子戰部隊能持續此一管道，且結訓人員能繼續留在單位服務，對於電子戰知識與經驗傳承，將有莫大助益。

目次

- 壹、目的
- 貳、受訓班次名稱(中英文)
- 參、受訓時間與地點
- 肆、進修過程
- 伍、進修心得及建議事項

壹、目的

依「國軍年度國外軍事售予訓練作業程序」，甄選電子戰從業人員出國深造，培養本軍電子戰相關裝備、新武器發展及換裝所需師資、技術人才，以達「為用而育」與「即訓即用」之目標。

貳、受訓班次名稱（中英文）

電子戰碩士班(Master in Science for Electronic Warfare)

參、受訓時間與地點

99.06.21~101.09.21 於美國加州蒙特利海軍研究所(Naval Postgraduate School Monterey, California USA)I

肆、進修過程

本進修班次所習課程，與電子作戰習習相關，從基礎電子學、電路學，一路延伸至天線原理、雷達原理等進階課程，其目的在穩固訓員電子戰之理論基礎，雖然未深入探討美國電子作戰之戰術戰法與裝備技術，仍規劃數學、物理、電磁學、雷達原理等課程介紹電子戰基礎知識，對於後續裝備認知、資料蒐集，會有更深一層的認識，對本軍電子戰專業軍官的培訓相當助益。以下就進修過程所習之課目與內容，摘重點說明：

一、數學

為了能接觸電戰裝備如雷達與干擾器之發射機、接收機與信號處理器之運作原理，適當的數學基礎是必要的，其中包含微積分、線性代數、工程數學以及傅利葉轉換。其中除了微積分，其他諸如線性代數、工程數學以及傅利葉轉換等數學理論，可算是構成電子戰理論的基石。學習線性代數除了有助於瞭解雷達數位信號平行處理模式，同時可運用於未來透過程式軟體模擬雷達數位信號處理，縮短模擬所需時間。經由學習工程數學與傅利葉轉換，可補足雷達接收機將類比信號轉換成爲數位信號背後所隱藏的數學理論，對於後續數位信號處理課程十分助益。

二、電子學

電子學爲電子戰科目的根本，亦爲大學普通物理之一環。本項課程的設計，主要範圍以基礎電學爲主，其目的在於複習訓員過去所學，並及早適應校園生活。課程一開始，首先介紹電子、質子及其物理特徵，接著便是介紹電子電量與電子間相互作用力及庫侖定律，並經由相關電力討論將觸角延伸至磁力，建立電能生磁、磁能生電的觀念，期於課程結束時，能通徹瞭解邁斯威爾四大方程式。

三、電磁學

經過複習基礎電子學的概念後，接下來的課程便是進入電磁學的領域。從電磁波的產生與其行進的方向開始介紹，並逐漸深入至電磁波在真空中傳播特性與速度，以及在其他如大氣、水、海水、砂等不同介質中傳播的速度與損耗，接著，課程，課程進一步介紹電磁波透過傳輸線傳輸之材質，均會影響能量(電能)的傳輸，進而影響電磁波的傳輸。同時，透高實驗操作，驗證理論公式與實際傳輸之間的差異，並瞭解傳輸線對於雷達系統之影響度與重要性。

四、天線原理

經過一學期的電磁學洗禮，接著就是進入各式不同的天線類型介紹，由最簡單的雙極天線、碟型天線、YOGI 天線，乃至 Cassegrain 天線。種天女都有其不同的場形涵蓋，並可同時擔任發射與接收功能，再搭配不同的電磁波電場行進方向(或稱極化方向)，便會造成不同的信號截收效果，例如：於理想狀況下，自水平極化發射天線所發出的電磁波，透過相同極化之接收天線，則可接收約 90%之電磁波；由相同天線發射之電磁波，若透過

垂直極化天線接收則幾乎是接收不到電磁波的。倘若將天線極化方向自線性(垂直、水平)改成為圓形極化，相同理論仍然成立。圓形極化可區分為左旋極化與右旋極化，當以左旋極化之天線傳播電磁波，若用右旋化之天線，將無法接收信號。此外，透過在實驗室以實作方式，觀察天線場形以及各式天線發射/接收組合，實際瞭解不同天線類型所配成之接收/發射組合，對於信號接收度的影響，並藉此說明雷達接收/發射天線對於電子戰裝備運用的影響。

除了極化方向會影響天線能力外，另外還有其他的特徵，例如天線的長度、反射面的面積、偶極間的距離等特性，均會影響天線之信號發射與接收能力。由天線的長度可反映電信號的載波頻率，亦即天線的工作頻段，且依據天線理論，最利於發射/接收的天線長度，為二分之一載波波長之整數倍，故自天線的長度，可概略推算天線的工作頻率。反射面的面積大小，可決定天線發射/接收信號的強度，反射面積越大，累積於天線的信號強度越強；反射面積越小，天線最終發射/接收的信號就越小，天線間各偶極的距離，亦是決定發射/接收信號強度的重要因素之一。唯有適當的間隔，搭配適當天線的長度可加強信號場形，進而加強電磁波信號的強度，同時增加信號接收的機率。

五、通訊原理

學習了基天線原理，接著就是天線的應用了。通訊信號傳輸，即屬天線應用之一環。以手機與基地台信號構聯為例，基地台透過天線，將欲傳輸之訊息利用載波發射電磁波信號，傳輸至個人手機，當手機內建天線接收來自基地台的訊號後，經過一連串信號處理後，還原成為欲傳遞的訊息。一般而言，電磁波信號離開天線後，以類比信號類型在大氣中傳遞，儘管傳輸的技術不盡相同，但對接收端而言，不外乎是將已截收的類比信號，隨著不同的通訊技術，轉換成為數位信號後，擷取包含於其中之資訊，再將欲交換的資訊，透過數位信號，轉換成為類比信號後，經過天線傳送至原基地台。通訊原理的課程，便是介紹不同的信號交換技術，並透過信號頻率、強度等特徵，比較各技術之優、缺點。同時也探討頻率、振幅、相位等不同的信號調變方式原理，俾為後續雷達原理課程奠定基礎。

六、數位信號處理

當接收天線接收到類比信號後，必須針對該信號採取適當的信號樣本數，傳送至接收機進行處理，以擷取信號內含括的訊息。此時，傅葉轉換就是一個十分好用的工具。當類比信號被接收天線接收時，就是以時間基準值，也就是以時間值為衡量的單位。但經過傅利葉轉換後，可將以時間為度單位的信號，轉換成為以率為衡量單位的信號，進而分析其信號頻譜分佈、訊號強度、信號重複頻率與模式等等特徵。當然，信號取樣相對就很重要了。如果針對類比信號擷取的樣本數不夠多，則經過數位處理後的信號將無法代表原始類比信號，也就是所謂的失真。另一方面，如果為了增加數位信號的仿真度，而過度擷取信號樣本，將會造成位處理器的飽和，除加處理器的負擔，同時延長信號分析的時間。一般而言，根據 Nyquist's 定理，適切的信號樣本數為原始信號頻寬的 2 倍，這也是數位接收機設計的不變法則。

七、雷達原理

雷達的組成，包含了電源機、發射天線、接收天線等主要元，換句話說，之前的課程，都是為了進入電子戰核心課程所做的基礎準備。在雷達原理的課程設計，已經不再是電子電路、天線理論或是信號處理等相關基礎討論，其著眼點在於探討在不同的環境條件下，雷達整體效能評估與設計概念。從原源機提供電源開始，經由傳輸線將能量傳送至傳送天線，其間因為傳輸線傳輸而損部份能量轉換成了熱能，為了彌補線路傳輸損耗的能量，在發射天線則會透過增益方式，增加發射電磁波的能量，以避免電磁波信號因大氣傳輸所產生的損耗，功率過低，因此遭背景雜訊淹蓋而無法接收之現象。

當電磁波在空氣中傳播後，遇到物體將會產生反射、折射等現象。電磁波經折射後，其傳播路徑將隨著折射角度而產生不規則變化，故折射後的信號無法提供雷達接收機定的

信號源。然而，經過反射作用電的電磁波，其傳播路徑係照 SNELL 定律規範，可提供接收機穩定的信號，進而依照反射之電磁波信號抵達接收機的時間、方位、都卜勒頻率等參數，概算該物體的位置或速度。在學習本學科的過程中，用來計算雷達發射功率、接收功率以及天線增益等公式，均與本軍航技學院空軍電戰班教授之計算式相同，惟在研究所課程中，討論的範疇更加廣泛，並且將天候、大氣等環境因素納入考量，使整體雷達效能評估更貼近實際情況，而且有了書本文獻的理論依據，能瞭解公式的推導緣由，讓這些生硬的方程式不再只是一堆陌生的希臘符號。

在基本雷達原理介紹後，整個課程也到了尾聲，並以介紹數種不同功能類型的雷達，例如測距雷達、氣象雷達、搜索雷達、火控雷達、影像雷達等等，拓寬個人對雷達的狹隘見解，原來雷達在軍事上的運用，不僅侷限於戰機等武器系統或導航，還可以用來成像定位與機、艦識別，因此，這門課程對從事電子戰實務人員而言，可算是一座知識殿堂，關於雷達的基礎知識，盡在其中。

八、空載雷達介紹

這門課程旨在介紹戰用雷達各種操作模式的設計原理，係屬於進階的雷達課程，而非著墨於基礎原理說明，同時以美海軍現役 F-18 戰機之雷達 APG-68 為範例說明。現代戰用雷達基本操作模式大同小異，均包括搜索、追蹤、GM(Ground Mapping)等模式。其中，長程搜索的偵蒐距離可細分為長程搜索、中程搜索與近程搜索。其中，長程搜索的偵蒐距離最遠，但其精細度較低，大多做為初始目標偵獲用途，一旦切換為中程搜索模式，可獲得較精準的目標距離、方向、高度與相對速度等資料，提供追蹤、鎖定模式使用。一旦戰機雷達模式進入追蹤、鎖定階段，將會縮小雷達工作範圍至目標區附近，持續追蹤目標行進軌跡，並依照掛載武器裝備之最佳距離，對目標施攻擊。

上述為機載雷達的基本工作模式，惟此課程更深入探討雷達如何藉由接收到的電磁波反射信號，區分來自真實目標之反射信號或是背景雜訊，特別是初次目標建立，更是重要。雷達接收機內除了有數位信號處理器，將類比信號轉換為數位信號處理，另外有不同的數位邏輯設計，用以決定接收到的信號是目標或是雜訊，此一邏輯設定係取決於所謂偵測機率(Probability of Detection)以及錯誤警示率(False Alarm Rate)，偵測機率門檻越高，則雷達可能越不容易偵獲目標電磁波反射信號；反之，則可能出現信號過多，使雷達接收機遭飽和之現象。但錯誤警示高，則表示偵獲真實目標的機率越低。

伍、進修心得及建議事項

一、進修心得

(一)海軍研究所電子戰碩士班之訓期，視訓員情況調整為 2 年至 2 年 3 個月，其中相差的 3 個月為所謂的恢復期(Refresh Quarter)，意即讓訓員重新熟悉校園生活與課業準備。第 1 年的課程多為數學、電子學、電磁學等基礎課程，直到第 2 年才開始雷達原理等進階課程。以本人為例，在大學畢業後 10 年，才又重新投入學校生活，對於微積分、基礎電子學的熟悉不復，如果不先經過恢復期以及第 1 年的基礎課程訓練，直接進入雷達原理等課程，對於這些看不到的電磁波信號，一定很難接受。所以這樣的訓期安排，十分適切。

(二)因美海軍研究所的學制屬於季制，與國內學期制有所差異，每 3 個月為一學期，惟課程內容設計並未因此而減少，再加上國定假日及寒暑假，故整體課程非常緊湊，最好能在出國前，先行參考過去訓員的經驗，決定未來修課內容與論文研究方向，俟上課後，再依實際情況調整，以免因時間倉促，思考不週而忽略了部份選課及畢業條件。

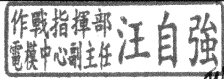
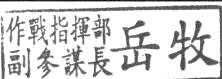
二、建議事項

(一)因本班次對於托福英文能力要求較高，能通過者均具備一定之語文基礎，惟單憑托福鑑定合格，尚不足以應付全英文的教授方式，特別是涉及各學科之專業用語與選寫實驗報告或簡報。故建議爾後參加此班次之本軍同仁，可先協助安排至航技學校接受相關

之語文課程，使先熟悉專業用詞，並提升英文聽、說、讀、寫能力。

- (二)本軍電子戰專業軍官的培訓，除空軍電戰班(6週訓期)之專業訓練，主要還是依賴單位資深教官，就個人實務經驗與知識傳授，對於基礎理論並未若研究所教育來的紮實，且對於看不到的雷達電磁波與數位信號處理，必然興趣缺缺，即便有心想學，必勢必因為上手門檻高，較其他專業更難入門。如果本軍電子戰部隊能持續此一管道，且結訓人員能繼續留在單位服務，對於電子戰知識與經驗傳承，將有莫大助益。
- (三)在日常生活方面，可在出國，先行至監理所辦理國際駕照，並透過網路瞭解蒙特利、聖荷西、舊金山等地的中古車價，以即早解決行的問題。另外，在美國加州，只承認台灣的國際駕照為學習駕照(Permit)，必須搭配台灣的駕照始可在當地開車。另外，蒙特利地區物價較其他地區高，一旦決心想赴該區受訓時，建議在準備托福考試期間，同時就當地生活物價情況，先行瞭解，並及早準備活期零用金，避免因資金短缺而引發不必要之困擾。

出國報告審核表

國軍軍售訓練留美人員返國報告		
出國人姓名 (2人以上, 以1人為代表)	職稱	服務單位
林祐群	少校	空軍作戰指揮部
出國期間：99年06月21日至101年09月21日		報告繳交日期：101年12月19日
計 畫 主 辦 機 關 審 核 意 見	<input checked="" type="checkbox"/> 1. 依限繳交出國報告 <input checked="" type="checkbox"/> 2. 格式完整 (本文必須具備「目的」、「過程」、「心得及建議事項」) <input checked="" type="checkbox"/> 3. 無抄襲相關出國報告 <input checked="" type="checkbox"/> 4. 內容充實完備 <input type="checkbox"/> 5. 建議具參考價值 <input type="checkbox"/> 6. 送本機關參考或研辦 <input checked="" type="checkbox"/> 7. 送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 8. 退回補正, 原因： <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略或未涵蓋規定要項 <input type="checkbox"/> 抄襲相關出國報告之全部或部分內容 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input type="checkbox"/> 9. 本報告除上傳至出國報告資訊網外, 將採行之公開發表： <input type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會 (說明會), 與同仁進行知識分享。 <input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> 其他 _____ <input type="checkbox"/> 10. 其他處理意見及方式：	
審核人	一級單位主管	機關首長或其授權人員
	 作戰指揮部 電模中心副主任	 作戰指揮部 副參謀長