

## 雷達工程應用漫談

壹、作者：葉俊賢 少校

貳、單位：陸軍飛彈砲兵學校飛彈組

參、審查委員：

謝敏華上校

王道順上校

王述敏上校

宋雲智中校

肆、審查紀錄：

收件：98 年 10 月 26 日

初審：98 年 11 月 12 日

複審：98 年 11 月 13 日

綜審：98 年 12 月 02 日

伍、內容提要：

- 一、中華民國陸軍砲兵的雷達建軍里程碑，已逐年向世界水平看齊，現型雷達系統已不再僅是傳統脈波搜索功能，而作戰概念更朝向網狀化下方式作戰，「雷達網」的觀念已越趨成熟。
- 二、利用「電磁波」作為攻擊手段時，常常是敵我雙方鬥智與邏輯的戰爭。傳統古代的戰爭以執干戈、拋頭顱、灑鮮血；反觀現今，利用電腦螢幕上一連串的數字及符號，就想獲得勝利，談何容易！
- 三、「電磁波」這個看似原理簡單卻結構複雜的「戰場兵器」，的確是現代軍人應學習的智識與能力，畢竟這個時代的戰爭已不再是一場「兵荒馬亂」的殊死戰，我們將在敵人的面前「暴露的一覽無遺」。

# 雷達工程應用漫談

作者：葉俊賢少校

## 提要

- 一、中華民國陸軍砲兵的雷達建軍里程碑，已逐年向世界水平看齊，現型雷達系統已不再僅是傳統脈波搜索功能，而作戰概念更朝向網狀化下方式作戰，「雷達網」的觀念已越趨成熟。
- 二、利用「電磁波」作為攻擊手段時，常常是敵我雙方鬥智與邏輯的戰爭。傳統古代的戰爭以執干戈、拋頭顱、灑鮮血；反觀現今，利用電腦螢幕上一連串的數字及符號，就想獲得勝利，談何容易！
- 三、「電磁波」這個看似原理簡單卻結構複雜的「戰場兵器」，的確是現代軍人應學習的智識與能力，畢竟這個時代的戰爭已不再是一場「兵荒馬亂」的殊死戰，我們將在敵人的面前「暴露的一覽無遺」。

## 前言

「21 世紀的戰爭決戰於千里之外」，2003 年 3 月 19 日，美、英聯軍使用大量的電子、資訊、網路武器載台及其它先進的電子戰設備，對伊拉克的地面及地下設施做全方位的衛星監聽及雷達搜索，配合精準炸彈、巡弋飛彈、高速反輻射飛彈實施攻擊，使得伊拉克戰鬥部隊得任由美、英聯軍宰割！

礙於全球戰略/戰術的變化，現代戰場已趨向「有形的裝備打無形的戰爭」形態，電子戰支援設備即將主宰戰場的勝負關鍵，懂得高科技裝備偵蒐及運用情報的概念為廿一世紀戰場，軍人應必備的主要技能。

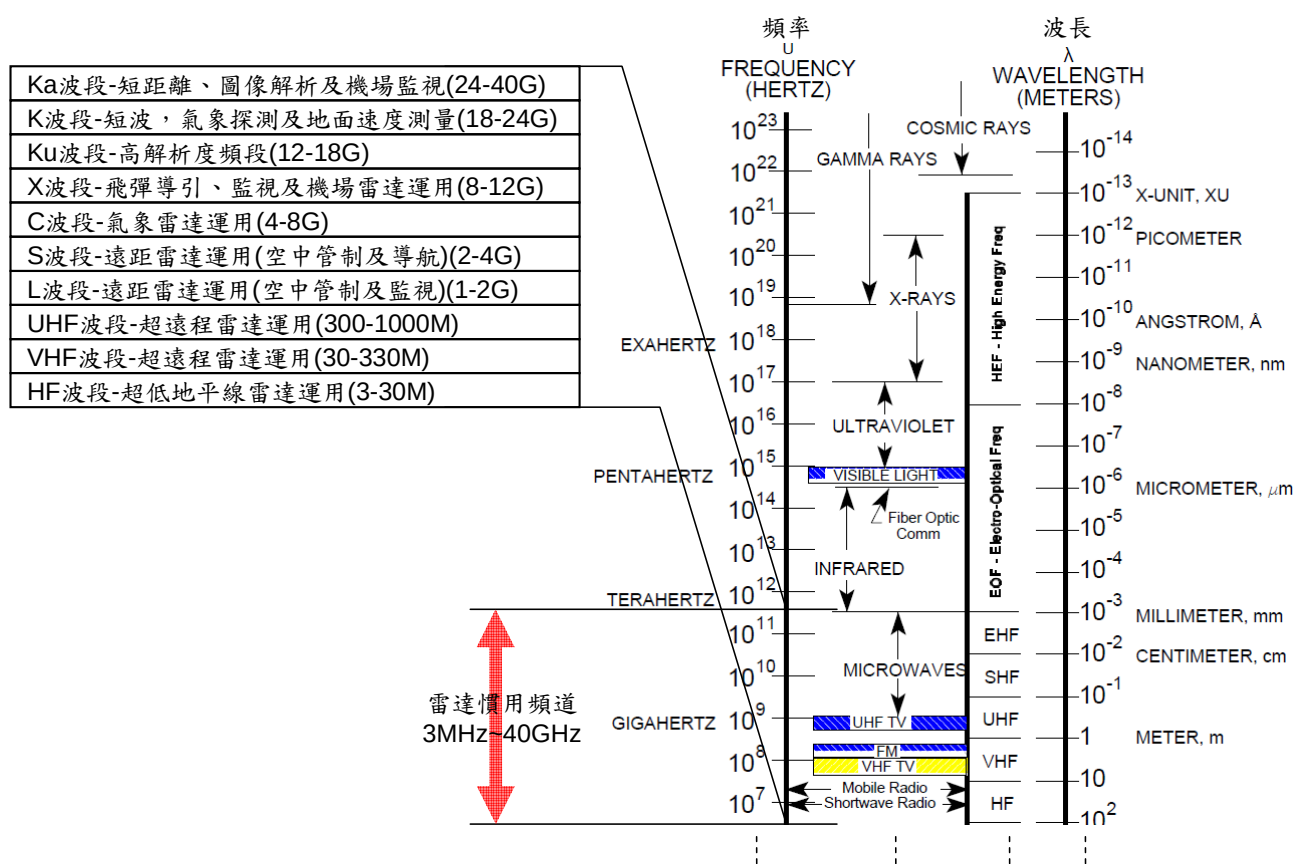
美軍在網狀化整體作戰中，「雷達設備」從早期的超越地平線雷達 OTH-B (Over-The-Horizon Backscatter) RADAR、機械旋轉式預警雷達，而後向下深入研究發展火控追蹤雷達、相列雷達、合成孔徑雷達及雷射雷達等，反觀，如想要掌握電子戰的制電磁權時，更應思考如何加強電子戰系統設備，累積後續研發技術，如此才是維持與整備電子戰能力的途徑。

要討論雷達之前我們就要先瞭解電磁波及頻率間的關係與運用，有一句話是這麼說的：「頻率是國家的資產，任何人都沒有據為己有的權利」！就雷達使用的頻率而言，遍佈於無線電波頻段及微波頻段可說是相當的廣泛。

## 壹、微波與雷達的基本關係

- 一、電磁頻譜，這個從「0MHz~ $\infty$ MHz 的集合」，運用的廣度與深度，至今還在

繼續拓展中，電磁頻譜是每個人日常生活中都得運用的一個媒介，所以「電磁頻譜是國家的資產」每個人都不可占為己有，只不過我們可以在他的有限規範下運用，以免造成危害。

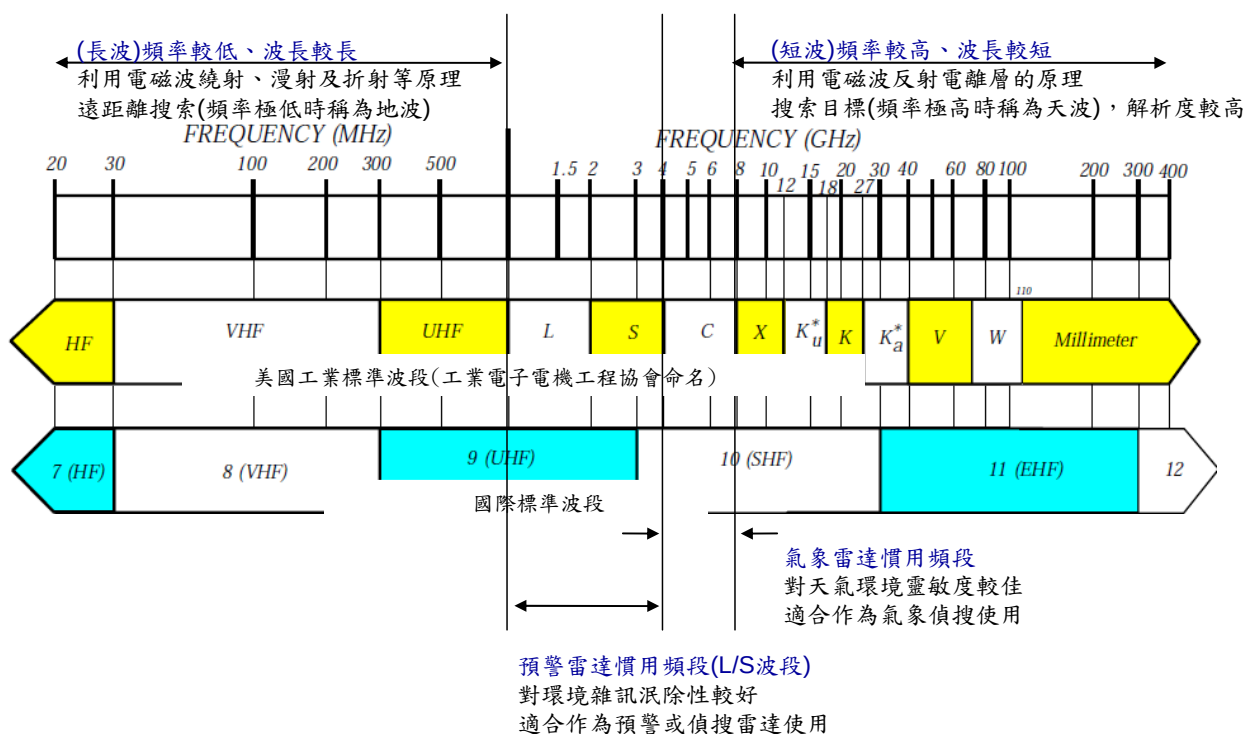


電磁頻譜圖(高頻段以上波段)

參考來源：ELECTRONIC WARFARE AND RADAR SYSTEMS ENGINEERING HANDBOOK

在電磁頻譜裡，雷達使用頻道概占了 3MHz~40MHz 之間，然而這在其中，又規範了雷達應用特性的幾個頻段，如(HF-高頻、VHF 超高頻……等)，由上圖我們可以發現，頻率  $f$  與波長  $\lambda$  的變化是呈現倒數關係，頻率越高波長則越短，但這又有什麼關係呢？(電磁頻譜-雷達頻段示意圖)

在雷達的使用頻段內作者說明時，一般將它分為四個部份(1000MHz 以下頻段) (1000MHz~4000MHz)、(4000MHz~8000MHz)、(8000MHz 以上)。

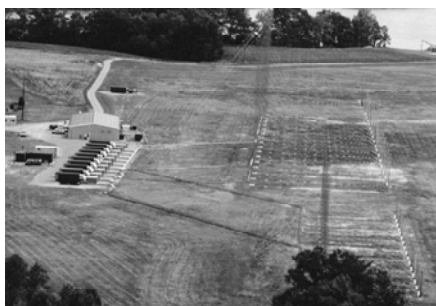


### 電磁頻譜圖(雷達頻段示意圖)

參考來源：ELECTRONIC WARFARE AND RADAR SYSTEMS ENGINEERING HANDBOOK

#### (一)1000MHz 以下頻段

- ①頻率較長、波長較短，利用電磁波繞射、漫射及折射原理，可實施遠距離偵蒐。
- ②該頻段較著名的雷達系統為「[美國雷神公司\(RAYTHON\)-超越地平線一後散射式雷達\(OTH-B\) AN/TPS-71 relocatable Over-The-Horizon Backscatter \(OTH-B\) radar](#)」。
- 1. 頻段-HF(高頻)頻段(3~30MHz)。
- 2. 搜索角度 60 度。
- 3. 搜索距離(700~3500 公里)。



(左圖)美國雷神公司-超越地平線雷達(OTH-B)；(右圖)美國洛克希德公司-萊茲雷達(LAADS)

參考來源：<http://10.22.155.6/index-jane's.html>

## (二)1GHz~4GHz 頻段

- ⊖適合作為遠距離預警或偵蒐雷達頻段系統使用。
- ⊖該頻段較注名的雷達系統為「[萊茲雷達系統 LAADS low-altitude aircraft detection aircraft detection radar](#)」。
- 搜索角度 360 度

## (三)4GHz~8GHz 頻段

- ⊖適合作為高解析火控雷達或飛彈導引頻段系統使用。
- ⊖該頻段較注名的雷達系統為「[瑞典易利信公司\(ERICSSON\)-長頸鹿雷達 Giraffe air defense radar system-AMB 系列](#)」。
- 1. 頻段-C Band 雷達(5400MHz~5900MHz)。
- 2. 搜索角度 360 度。
- 3. 搜索距離(30、60、100 公里)。

## (四)8GHz 以上頻段

- ⊖適合作為高解析火控雷達、飛彈導引頻段或相列雷達系統使用。
- ⊖該頻段較注名的雷達系統為「[瑞典易利信公司\(ERICSSON\)-RBS23 鷹式火控雷達系統\(RBS23 Eagle fire-control radar\)](#)」。
- 1. 頻段-Ka Band 雷達(35GHz)。
- 2. 鎖定距離 30 公里以上，高度 15000 公尺。

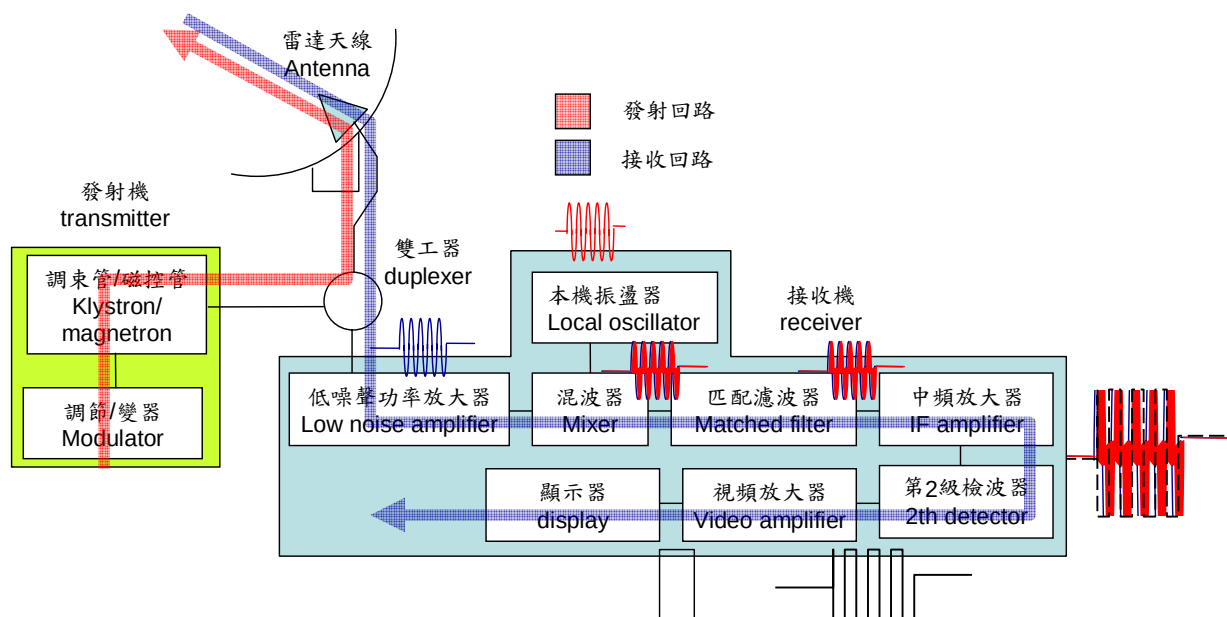


(左二圖)RBS23 FCR 火控雷達系統；(右二圖)長頸鹿 3D 防空雷達系統

參考來源：<http://10.22.155.6/index-jane's.html>

## 二、雷達基本方塊圖





雷達基本方塊圖

參考來源：Electronic warfare and radar systems engineering handbook

雷達基本組成一般來說計有 5 大項(雷達天線、接收機、發射機、處理器及顯示器)。雷達系統的技術多半與電子計算機的能力劃上等號，因為系統處理的能力牽動著對目標處理的時間與穩定度，而雷達機件卻又不像家裡的電視機與 DVD 播放器般，只要功能正常，畫面容忍度可接受，用個 10 年或 8 年都沒有問題，重點就在於雷達操作手必須利用雷達對目標解析出的訊號來實施分辨，不管是目標速度、距離、高度、真假、雜訊及干擾源，更何況這之間夾雜了系統的機件噪聲與外界的非人為與人為的環境干擾，徹底瞭解系統工作原理與結構，是一名雷達操作手該要具備的基本常識。而下面我們就雷達方塊圖內的幾個重要組件加以敘述說明。

- (一)發射機：由調束管或磁控管產生的發射訊號，經由調變後發射。
- (二)導波管：介於發射機與雷達天線間，此通道為電磁波發射的路徑。
- (三)多工器：為了雷達系統發射/接收作動間的區隔，現行雷達系統採用速度較快穩定性較高的積體電路(雙工器)來取代。
- (四)接收機：想在混雜的背景雜訊中，將欲發現的目標拮取出來，接收機的角色極為重要，而目前世界較先進的雷達系統中，接收機的功能已能漸漸涵蓋發射機及處理器的工作範圍，這也是為了降低系統產生的雜訊因應而生的。

接收機初期接收來自天線、雙工器的接收訊號時，為避免機件及系統衍生伴隨雜訊，而採用低噪聲功率放大器，將微弱的反射信號先行放大，接著，本機振盪器會振盪出一個與發射信號相匹配的脈波，並與先前接收脈波相混合，待濾波完畢完成中頻放大後，隨即將訊號轉為數位視頻訊號並呈現在顯示器螢幕上。

### 三、真空管(vacuum tube)

在電子學裡稱為真空管或電子管(北美用法)，其真空管將其內部電子以低壓方式實施放大、轉換、調節或製作電子訊號，以控制電子運動的方向。

真空管裝置，主要利用真空管內部的電子運動來有效控制與運用電磁場，雷達就依靠這小小裝置，產生大功率能量的電磁波，以將它推出數千萬公里遠，而這當然包含了後來發展的(磁控管 Magnetron)、(調束管 Klystron)、(行波管 Traveling-Wave Tube)等較後期的裝置。前面舉的這些裝置主要採用「集中調變」方式，取代「電流」調變的方式。

這表示將雷達電磁波採用集中同一叢集電子，以振動迴旋的方式往前推進而不是採連續電子束方式前進。真空管近年來已經由些許固態裝置所取代，尤如電晶體或固態半導體等，而且還持續延用了好多年，主要原因在於這些固態半導體裝置在體形上遠小於真空管，並具備高效能可靠度佳、價格低廉等優點！

### 四、雷達類型定義、系統功能模式與顯控設備

雷達 radio detection and ranging，從字面上來看雷達存在的目的就是用來測向及定位，這倚靠著雷磁波做為導引測量的系統，在全世界研發的初期，可是英國用來抵禦及預警德國轟炸機隊的救命丸。研發早期因為磁控管設備技術較不成熟，且雷達發射的頻率較低、波長較長，故雷達的體形及天線面積較為龐大，這就是英國有名的鏈屋網(Chain Home)，雖然這種遠距偵測的雷達型式早已不符合現在的需求，但卻值得我們探究。以雷達的作業模式而言可以分成 2 大類：

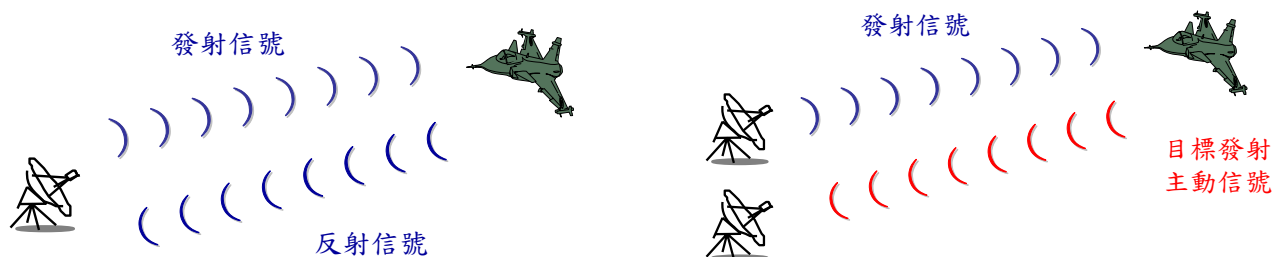
#### (一)初級雷達(一次雷達 primary radar)：

⊖ 訊號源：主要接收雷達發射後，來自目標反射回來訊號。

⊖ 型式：脈波雷達、連續波雷達及相列雷達等。

#### (二)次級雷達(二次雷達 secondary radar)：

- ⊖訊號源：信號源由雷達發射，但接收信號則由目標上之發射機發射。
- ⊖型式：ATC 航管系統、敵我識別系統等。



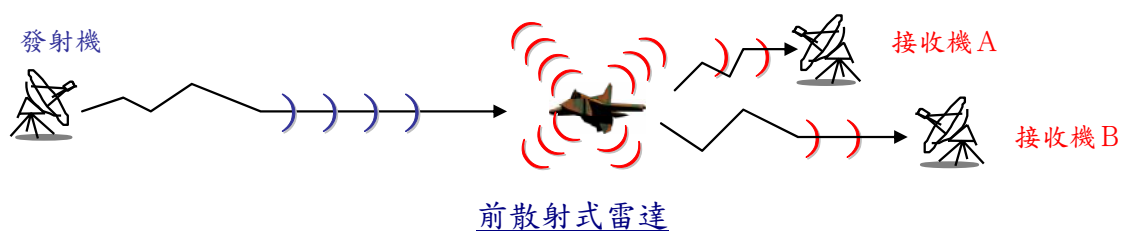
(左圖)一次雷達示意圖；(右圖)二次雷達示意圖

參考來源：作者自行研究後繪製

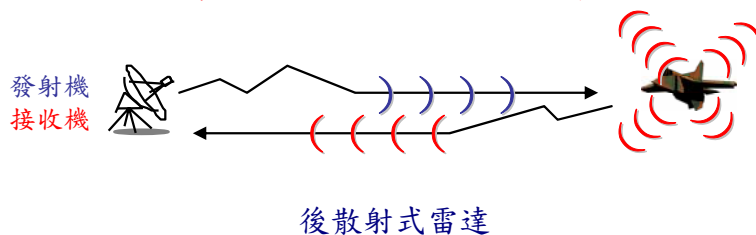
## 五、雷達使用類型

### (一)脈波雷達(PW Pulse Wave Radar)

- ⊖主要依靠時脈的控制與接收/發射間的間歇作動來工作；在天線的下方有一雙工器，並以雷達的脈波寬度與發射時脈為基準，在交替作動的方式下切換(發射機工作時，接收機不作動；發射機不工作時，接收機作動)，如此就成了我們俗話的(收發同路)。
- ⊖一般雷達的反射信號與目標之間的關係可分為「前散射式」與「後散射式」2種狀態。
  1. 前散射式：電磁波與目標碰撞，反射波呈現前散射狀態(接收機與發射機位置不同)。
  2. 後散射式：電磁波與目標碰撞，反射波呈現前散射狀態(接收機與發射機位置相同)。



參考來源：作者自行研究後繪製



參考來源：作者自行研究後繪製

### (二)連續波雷達(CW Continuous Wave Radar)



連續波雷達可稱為等幅波雷達，與脈波雷達大不相同，該雷達使用穩定連續的電磁波能量持續的發射與持續的接收。當然經由目標反射信號如果有變化時，亦可判定目標的速度變化量判定目標的速度。

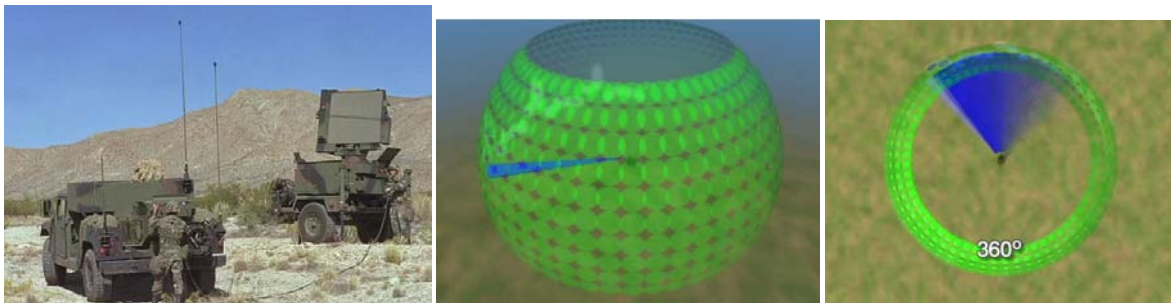
但因為連續波雷達發射波束與接收波束使用不同的天線面(收發不同路)，且沒有發射與接收的時間計算點，故無法算計算出目標的距離，僅能利用目標對雷達波的壓縮、擴散效應來決定目標的速度。

### (三)相列雷達(Phased Array)

相列雷達自 1950 年開始研發，就相列這組字來看就是一群天線的叢集(天線群組)的集合，事實上在天線面上的每個小子天線都是一個小雷達天線，每個小天線都可以獨立作業、發射與控制。目前相列雷達最多的天線數量，最多可達五千多個子天線，最特殊的地方則在於信號源可以利用電子控制的方法，增強或削減空域中欲搜索的空域及方向，這種技術可說是目前雷達運用上最新的技術了。

電磁波，一直最為人所詬病的是它的「暴光率」，21 世紀的戰場，雷達所要面對的威脅與日俱增，如 UAV、反輻射飛彈、巡弋飛彈、低空近襲的快速目標等，相列雷達存在，無疑的替雷達在戰場上找到一條活路，因為相列雷達採用的波束為鉛筆型波束，計算機功能與時間遠比早期的脈波或連續波能力強大，並兼具了上述 2 種特性雷達的功能，降低被反輻射飛彈的發現率，且可迅速發現目標，鎖定後可立即射擊，對於雷達靜默(silent)及有限度使用的戰術較能符合戰場需求之優點

美軍 MPQ-64 雷達系統，為美軍先進之旋轉式相列雷達的代表，它是美軍為了替代鷹式飛彈雷達系統而改良的系統類型，此型雷達亦成為愛國者飛彈雷達的先導型，不僅有相列雷達的優點，360 度搜索可彌補空域的缺口。



美軍 MPQ-64 哨兵相列雷達(左)雷達全系統(中、右)搜索範圍示意圖

參考來源：陸軍砲兵飛彈學校飛彈組(雷神公司軍品簡報資料)

### (四)系統差異性比較表

|                | 脈波             | 連續波               | 相位陣列              |
|----------------|----------------|-------------------|-------------------|
| 雷達種類           | 單基地雷達          | 單基地雷達             | 單基地雷達             |
| 屬性             | 預警雷達           | 搜索、追蹤             | 預警、追蹤<br>射控、監控    |
| 天線型式           | 碟型天線           | 碟型天線              | 平面式陣列天線           |
| 波束             | 垂直扇形           | 垂直、水平扇形，<br>鉛筆型   | 鉛筆型               |
| 波束控制           | 機械式旋轉控制        | 機械式(旋轉)控制         | 電子式控制脈波           |
| 雜波消除           | 旁波瓣消除          | 旁波瓣消除             | 旁波瓣消除、抑制          |
| 顯式方式           | 2 維<br>(距離、方向) | 3 維<br>(距離、高度、方向) | 3 維<br>(距離、高度、方向) |
| 系統<br>作動方式     | 接收/發射<br>同路    | 接收/發射<br>不同路      | 接收/發射<br>同路       |
| 受反輻射飛彈<br>攻擊限制 | 略低             | 高                 | 不影響               |

PW、CW 及 Phased Array 系統差異比較表

參考來源：作者自行研究成果

## 六、雷達系統功能模式

雷達系統功能，從最早期的航跡導航到針對目標的測向及測距，雷達發展僅不過短短的五、六十年的時間，它的演進與多用途實在不是我們用幾個小篇章或圖書就可以解釋的清楚的。雷達就它處在的位置不同就有不同的用途及目的，而我們則採列舉了「美國海軍電子戰及雷達系統工程手冊」中所提的下列二項來做一個區別：

### (一)導航模式

#### ⊖防撞雷達

它裝置在飛機的前端，發射時使用單一角度、短距離壓縮信號，針對地面的區域實施搜索，避免撞山，尤其是當航機進入到陌生地形遭受雲、煙霧或昏暗不易觀測的區域時使用。

#### ⊖成像雷達

這種雷達使用一種特殊的技術，利用地表的特性，將諸如河流、高山、河流及道路等地形、地貌呈像在螢幕上，這與我們先前學的空對空雷達搜索與反射測距技術大不相同，這也有助於航空器與地形的比對提升其安全性。

### (二)空對地飛彈

### ㊟武器指派

此在加強對地面目標偵蒐與鎖定，以利武器系統計算與地面目標的距離，當然這當中也包含了武器攻擊傾角及飛機的速度。

### ㊟監控/追蹤地面部隊及目標

加強空對地飛彈尋標頭計算機分析地面不同目標之能力。

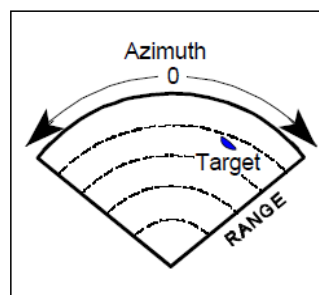
### ㊟辨識能力

以特殊的導航模式來增加對地面目標的分析能力。

## 七、雷達目標顯示螢幕

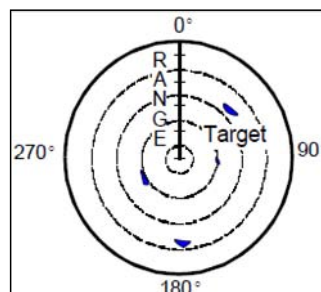
雷達顯示器用來顯示雷達所獲得的目標訊息，顯示的內容包括目標的方位及運動狀況，目標的種類與特性參數。

在指揮控制系統，雷達顯示器除了顯示目標情報外，還有綜合顯示，顯示多部雷達站的情報，以遠程、中程、近程情資綜整在一起，供操作人員判斷及下連接戰命令。顯示器可分為距離顯示、平面顯示、高度顯示等幾種。目前最常見的顯示器為平面位置顯示器（Plan Position Indicator, PPI）可同時顯示方位與距離，且提供 360 度空域、大範圍內全部目標的訊息，所以又稱為全景顯示器或環型顯示器。



扇形平面位置顯示器 sector PPI(愛國者飛彈雷達顯示幕類型)

參考來源：Electronic warfare and radar systems engineering handbook



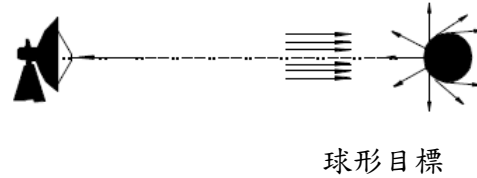
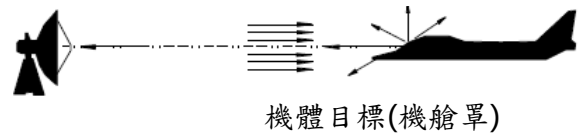
平面位置顯示器 PPI (哨兵雷達系統顯示幕類型)

參考來源：Electronic warfare and radar systems engineering handbook

## 貳、雷達基礎運用

## 一、雷達截面積(RCS Radar Cross Section)

「雷達截面積」，是用來計算雷達波發射後目標反射，被接收機接收的回波量大小。而下圖則表示雷達脈波在不同目標物上產生的不同回波狀況，在雷達工程上，雷達截面積的單位我們用「 $m^2$ 」來表示。



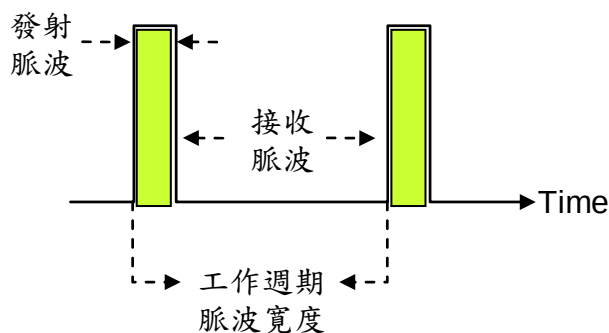
雷達脈波反射示意圖

參考來源：Electronic warfare and radar systems engineering handbook

## 二、雷達工作週期(Duty Cycle)

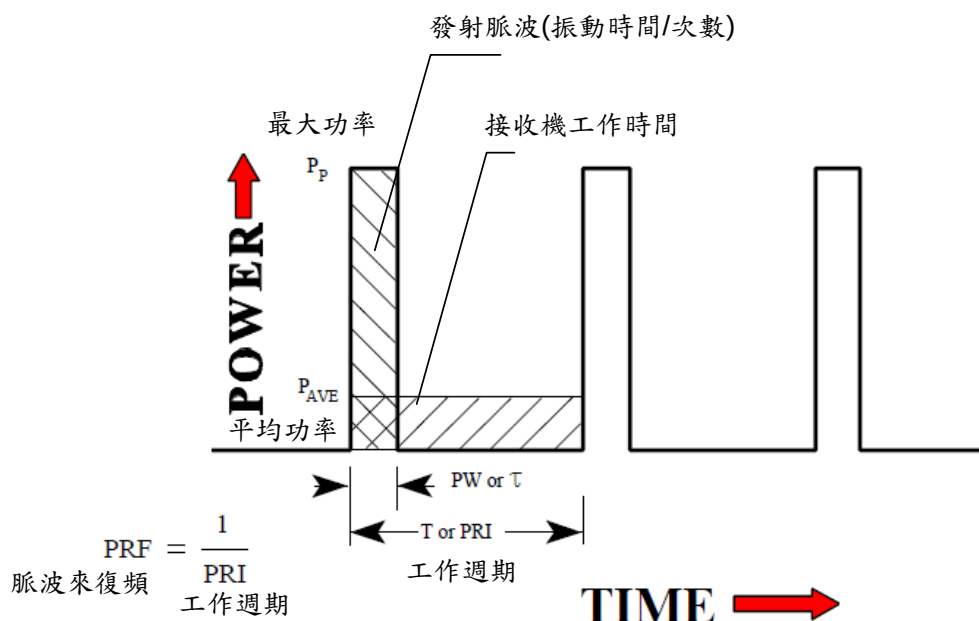
雷達工作週期，是雷達發射信號時，時間基準的一部份，對有關整個雷達輸出信號的最大功率、平均功率及峰值電壓有很大的影響。由於發射機系統必須按工作週期不停作動，對於電源的供給與系統的冷卻更是不能馬虎。

就頻率而言，即「每秒鐘(單位時間內)振動的次數」。而就雷達工作週期而言，「振動週期」就是雷達主要工作的時間，不論是那一種類的雷達系統，接收發射機的工作脈波(脈波寬度)都涵蓋了發射訊號及接收訊號。



工作週期示意圖

參考來源：作者自行研究成果



脈波來復頻示意圖

參考來源：Electronic warfare and radar systems engineering handbook

舉例：某脈波雷達工作週期脈波寬度( $PW/\tau$ )為  $5\mu\text{sec}$ ，而工作週期 (PRI 值) 為  $120\mu\text{sec}$ ，而脈波來復頻則為？

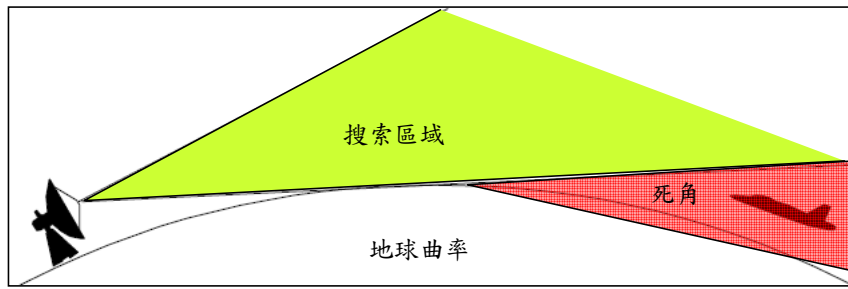
$1/120\mu\text{sec}=8.33\text{KHz}$ ；這表示雷達脈波重複頻率為每發射脈波時間 PRI 值內，振動頻率為 8.33KHz！

脈波來復頻率，其用意是在希望雷達脈波在往復的過程中造成相互的干擾外，更重要的是，雷達脈波利用發射時間內振動頻率/頻率 (PRF) 或脈波週期間隔時間 (PRI) 來降低被偽冒及欺騙的風險，故每套雷達的脈波來復頻率大部份都設定在 2 組 (含) 以上，或具備可手動更改脈波來復頻的功能。

### 三、地球曲率與死角 (Line of Sight)

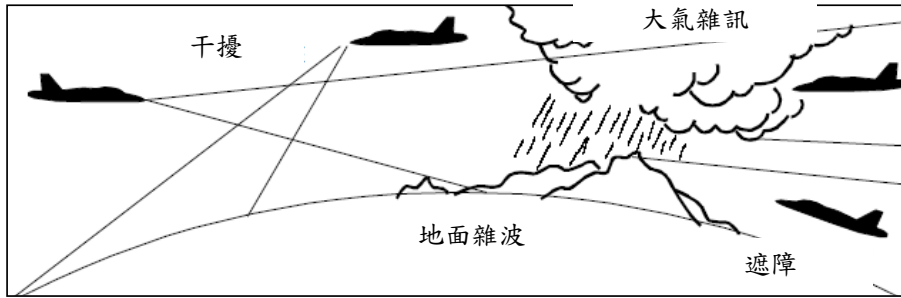
有一句話在雷達工程內是這麼說的「想要看的更遠，就要站的更高」，雖然電磁波在大氣環境中具備了折射、繞射、反射的特性，但最重要的特性就是它「直線傳播」的能力。也因為如此在運用上就避免不了死角的問題產生，我們就稱它「地球曲率」。當目標低於地球曲率或搜索角度下方時，即目標進入雷達之死角。





地球曲率對雷達的影響

參考來源：Electronic warfare and radar systems engineering handbook



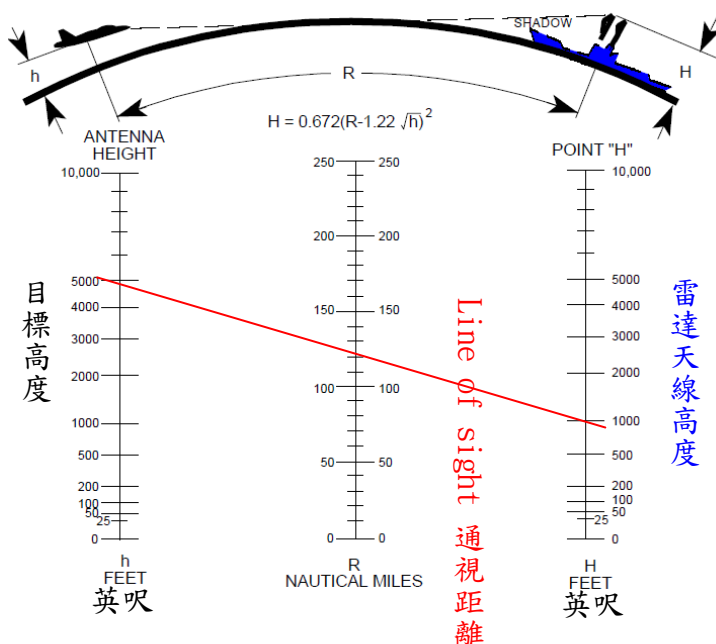
雷達波搜索環境示意圖

參考來源：Electronic warfare and radar systems engineering handbook

雷達地球曲率方程，可以用下列 2 個公式來計算：首先第一個是計算雷達部署高度換算搜索水平線的距離；第二則是計算雷達高度與目標間因地球曲率而產生的影響，換算之間可通視的距離。

(一)  $R_{NM} = 1.23\sqrt{h_{\text{radar}}}$  ( $R_{NM}$ )=相對應距離；( $h_{\text{radar}}$ )=雷達天線離地面高度。

(二)  $R_{NM} = 1.23(\sqrt{h_{\text{radar}}} + \sqrt{h_{\text{target}}})$  ( $R_{NM}$ )=雷達與目標間相對應距離；( $h_{\text{radar}}$ )=雷達天線離地面高度；( $h_{\text{target}}$ )=目標離地面高度。



相對高度與通視距離換算表

參考來源：Electronic warfare and radar systems engineering handbook



#### 四、督卜勒平移 (Doppler frequency shift)

督卜勒是電磁波或聲波在「發射端與反射端」之間的「波長變化」，而這個變化的另一種說法就是「脈波壓縮」及「脈波擴張」的頻率變化。督卜勒的頻率移動與目標速度呈現一定的比例，雷達則依靠這頻率與速度的一定比例測定目標與雷達相對間的距離。而這個狀態大致可分為下列 4 種情形：

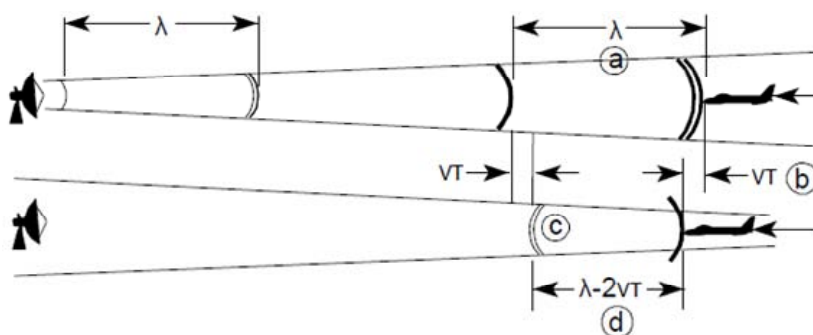
- (一)發射端位移
- (二)反射端位移
- (三)接收端位移
- (四)二者皆位移

督卜勒頻率位移狀況示意圖

參考來源：Electronic warfare and radar systems engineering handbook

發射端或接收端的位移量特性如後：

- (一)速度近接(脈波壓縮、頻率增加)
- (二)速度遠離(脈波擴張、頻率減少)



脈波往復測距示意圖

參考來源：Electronic warfare and radar systems engineering handbook

上圖，雷達發射的每一個波弧即為一個脈波，而脈波與脈波間的寬度即為波長；下圖，當第一個波反射、第二個波到達目標時，第一個脈波波長比原先的波長短、頻率較高且脈波速度以  $2(vt)$  計算。

由此可證明，脈波旅行的距離為  $= 2$  倍與目標之間的距離，而速度則為  $2$  倍的旅行時間。

簡易計算公式  
計算督卜勒頻率/速度/距離的關係式  
 $V = dr/dt$   
速度 = 距離 / 時間

## 參、電子反制(ECM radar jamming)

電子反制措施(ECM Electronic countermeasure)為「電子戰」之一環，這當中也包含了各種「欺騙式」的電磁系統裝備，如雷達、聲納；偵測裝備，如紅外線、雷射等，利用電子反制手段，實施攻擊或防禦，以阻礙敵方地/空雷達獲得相關偵蒐之情報。

電子反制手段，主要利用裝備產出許多類似真實目標的假訊號，甚至使真實目標消失，有效防護敵機對我機或地面雷達實施攻擊。而電子反制措施，除了空中目標外雷達也有類似的功能：

### 一、雷達電子反制措施

基本的雷達電子反制策略概計有 3 種：

#### (一)雷達干預

該技術主要包含了干擾及欺騙，雷達須要依靠另一個干擾平台持續發射與雷達相同頻率之具干擾層級之電磁波，以干擾敵的偵蒐信號。干擾平台雖持續朝向敵地/空雷達發射電磁波信號，但其中卻不會有暴露距離資訊的問題，這是因為地面干擾平台的接收發射系統會模仿敵地/空雷達的回波信號，適時的取代以造成敵方的誤判。

#### (二)目標改良

目標改良，為硬體的改良，可增加雷達或地面設施防護塗層的吸收率、降低雷達或地面目標辨識率或增加側衛之誘餌雷達之雷達波反射率等都可有效防護地面設施的安全。

#### (三)改變電磁環境

此方法，即利用干擾絲(chaff)來混淆雷達對敵的回波信號，但礙於空層風向變化較為不穩定，戰鬥持續力較差，適合最後防禦階段使用。

### 二、機載電子反制措施

功能強大的機載電子反制系統，可發現地表/海上任何一個目標或回波信號，簡單來說，電子反制系統即是協助航空器躲避雷達追蹤，並可有利遂行對空或對地攻擊的任務。但在下列情形下是無法有效發揮效能躲避雷達的：

(一)無法選擇有效頻率。

(二)無法供給系統充足之電源。

(三)不可能混合其它機載天線共同使用。

### 三、雷達干擾狀態分析，可就下列 3 種狀態來探討

#### (一)噪聲(Noise)

噪聲源訊號，是由於多變的內部訊號源所產生，簡單的來講就是由內部電子結構所產生。而雷達接收機就在這多變的狀況下，將欲接收的目標訊號與雜訊同時接收進來；在這個狀況下為了減少雜訊，也許降低雷達發射功率，可以間接降低雜訊的影響，但也增加了目標擷取的困擾。所以降低噪聲訊號是接收機最理想的工作條件。

然而，噪聲亦有可能由外部接收進來，大多數是由於背景熱雜訊夾雜著目標所產生，現代先進雷達系統，為了提升目標擷取的能力與接收機的效能，內部雜訊通常會等於或小於外部雜訊，而這些雜訊就會在雷達螢幕上忽隱忽現。現在為了降低這些不可抗拒的訊號，雷達在設計的初期都會將波長設在  $1/2$ ，以降低這些不必要的訊號源。

#### (二)雜波(Clutter)

雜波，通常由射頻信號(radio frequency)自目標源反射後產生，這些目標包含了自然目標【地表、海浪、降雨(雪、雹)、沙塵、動物(鳥)、大氣干擾及電離層反射】、人為目標【建築物或反雷達裝製(干擾絲)】。

亦有些雜波干擾是存在於雷達接收發射機與天線間的導波管，有時候我們會在雷達顯示幕上中心，看見一群或一圈尤如光暈的目標群產生原因就是導波管內產生粉塵粒子造成射頻信號產生錯位而導致。

這在工程上的作法，則是調整發射機發射及接收機啟動的時間，因為有些發射機的發射脈波在尚未藉由天線發射出去，反射脈波就已經反射回到接收機造成相對性的干擾。反過來說，這些自然目標的干擾對軍用對空或對海面搜索的雷達系統而言我們將其視為天敵，但對於氣象雷達而言卻得其珍貴。

現行的雷達系統為了解決這個問題，工程師們採用了下列 2 種方法來解決，一個我們稱為(固定假警報率 CFAR constant false alarm rate)；另一個則稱作(自動增益控制 AGC automatic gain control)。這 2 種方法主要依靠被搜索的目標在搜索環境中反射回波量來決定，假如地區內雜訊過多或過少時，自動增益控制就會自動調整增益的大小，但自動增益控制會將準位調整至適當的固定位置，以分隔雜訊與目標之間的關係，以利系統擷取目標訊號。但早期的自動增益控器幾乎占滿了整個接收機的位置，而現行新式的自動增益控制則改由電腦

軟體來執行，使得調整控制更加的有效與準確。

### (三)干擾(Jamming)

雷達干擾，自雷達外部初始射頻訊號就開始產生，而就間接遮蔽了真實目標的信號。干擾亦可分為「有意圖之干擾」：電子戰 Electronic warfare (EW)手段，或「無意圖之干擾」：友軍使用類似或相同的設備，發射相同頻率或距離。簡單來說，

干擾就是一種主動式的「阻礙訊號」，利用外部非雷達設備產出與雷達相似之「可疑的雷達訊號」，阻礙人員、系統，擷取及識別真實目標或增加雷達系統處理目標之時間。干擾信號為「單向：干擾源>雷達接收機」；而雷達脈波為「雙向：雷達>目標>雷達」。這也意謂著干擾源功率可遠比雷達功率低，即可利用可通視距離實施干擾。當然要躲避干擾依現行雷達技術，大致包含了跳頻、天線極化性及電子反反制/電子防護等功能實施反制作為。

### 肆、結語

雷達工程的應用，雖然不只是在軍事領域裡，甚至跨越了醫學及氣象，但是不瞭解雷達基本的工程原理，就無法有效運用雷達系統，這句話雖有點過分主觀，但的確是如此，不論是地面雷達或機載雷達，在人才的培育上，都非常的耗費時間和經費，沒有空地目標機的來回對抗、沒有多重目標的干擾環境、沒有遮障與地形的限制、沒有干擾或雜訊的交互驗證、站在雷達的第一線操作人員，要如何獲得豐厚的知識才能成為一名合格的地空對抗精英。

為了提升目標更新能力與接戰管制效能，近年來本軍持續與現貨市場同等級雷達看齊，在國防自組的目標下，雷達在系統發展上，不論是人機介面、應用軟體、人因工程，系統穩定度與適應性都有相對的提升，這也間接提升人員戰備效能，在這股研發的持續力的催化下，野戰防空雷達接戰能力勢必會有相當的提升，進而成為地面部隊、重要資產與防空火力最有效的肩膀！

### 作者簡介

葉俊賢少校，學歷：指職預官 48 期二梯、野戰防空正規班 186 期。經歷：排長、副連長、連長、教官。現任單位(陸軍飛彈砲兵學校飛彈組防空戰術小組少校教官)台南永康郵政 90681-19 號信箱，06-2336978#934378。