

我國暨先進國家對長程預警雷達的研發和布建 (上)

· 陳義文 ·

雷達的源起和推廣應用
雷達 (RADAR) 是英文「Radio Detection and

Ranging」(意為「無線電偵測和定距」)縮寫之後的音譯，係將電磁波以定向方式發射出去，於電波接觸到空間內既存物體(即目標物)後，反射回來而被收訊設備接收，並立即在瞬間計算出該目標物之方位、高度乃至於其形狀及運行速度。

雷達除了得自地面發射電波以偵測空中、海面和地表上之目標物以外，亦得將此設備裝於飛機或船艦上而自空中、海面上施行。而且，地理或地質學界還可使用和雷達相同原理的設備，以探測地面的精確形狀和埋存於地底下的礦藏。

雷達之問世，是在二十世紀的二〇至四〇年代，總計經過近約二十年的漫長歲月，方從初有構想起而至確

實有效的發揮作用，可用以判悉是否有航行中的船舶或飛行的物體侵入領海或領空。第二次世界大戰期間，頻頻遭到德國飛機進行轟炸的英國，係於情勢急迫下運用既有的基礎和技術，發明出可用以及早探測到空中目標物、即用以探測敵方戰機是否來襲的設備，以求能於敵機猶在遠處時便作好疏散準備、減少傷害損失，同時預先作好布陣防禦，俾待敵機進入地面砲火的射程時，展開火力將其擊落。

就雷

達偵蒐的空間而作區別，最早出現者當然是將設備裝置於地面上，並用朝向四面八方施行偵測的地面

雷達了；之後未久，則又出現空對地雷達、空對海雷達和空對空雷達，俾可從事各種搜索、攻擊、攔截和識別敵我之用途。

在民生用途方面，雷達不僅得以廣泛用於定位、辨識，並可用於引領航行，而且民衆每日俱會關切的氣象消息，現今亦是常透過氣象雷達以預測天氣狀況，連目前已極為普遍的衛星定位暨相關的導航系統，亦皆屬是由反射電波之原理所帶動的科技。依據科學界的記載，科學家之發明雷達，係從蝙蝠生理特性得到啟發而萌生的構想，蓋蝙蝠之所在黑暗中飛行，是端賴以嘴部發出高頻聲波，並以耳朵接收回音而達到確認方位和確定距離的功效，而且還能藉由回聲的訊號強弱情形，準確的辨識出前方的物體究竟是食物，或是障礙物。事實上，諸多物種經由長期演化，而能夠接受自身發出之回聲，以協助其行進或覓食的動物，並非僅限於蝙蝠而已，尚有同屬哺乳類的海豚和屬於魚類的髻頭鯊等，而其中以可快速飛行於天空的蝙蝠，在此方面的演化最為進步完備，也最令人嘆服。

繼義大利籍科學家馬可尼(Guglielmo



中央氣象局建於恆春墾丁的氣象雷達站

Marconi)於十九世紀底，發現到無線電波的存在，繼而發明無線電通訊技術後，這位號稱是「無線電之父」的馬可尼，又於一九二二年時率先提出一項新見解，即在遭到大霧籠罩下、能見度極低時，可透過發射無線電波並藉由接收反射波的原理，以偵悉是否有航行於近岸海域的船隻，已經逼近海岸而於岸邊預先響起警笛號，提醒船舶減速並準備靠岸。

相似之理論及依該理論發明的設備，在爾後的一、二十年之間，紛紛於各科技進步國家展開研究，且大都是用於民生領域，尤其是在夜間和濃霧瀰漫的天候環境下，雷達更是用以探測是否有船舶駛近岸邊，並可據以示警的有效利器，英國便於一九三六年一月在薩佛克海岸架設了第一座雷達站。而在第二次世界大戰期間，用以偵測德國戰機已否逼臨領空的雷達，即是以原來使用於探測船舶的雷達，更改設計如調整電波發射方向、改善收訊性能並提高其他功能後所裝設者。

早期問世的雷達，僅係朝著固定的方向發射出電波而偵測目標物的距離，其定向的發訊天線是按既定的時間間隔，發射出「射頻脈衝」(radiofrequency pulse)，再將接收到的回波，放大訊號而顯示於螢幕上(顯示幕則已從早期的CRT，進步至今極普遍的液晶顯示幕)，在螢幕上顯現一個與目標位置相對應的光點，以供雷達操作員識別目標之方位和距離。在早期的背景和環境下，因為所能應用的射頻電波頻率偏低，發射和接收射頻訊號的設備亦均極為簡陋，所以僅能探測到大體形的目標，而且判定距離的精確程度亦無法和今日相比。不過，由於人類深奧智慧的投入，至一九四五年的二戰結束時代，微波頻率、拋物面天線(Parabolic antenna)和PP顯示(Pixels per inch

display)等技術，便已出現於雷達系統當中，並可藉由轉動發射臺以擴大偵蒐的角度和範圍。

自上（二十）世紀中葉起，雷達科技隨著電子、資訊等各種科技領域的進步，不但日益提高解析度，而且又結合「相位陣列」(Phased Array)、頻率捷變(Frequency agility)、脈衝跟蹤(Pulse Tracking)、合成孔徑(Synthetic Aperture)、都卜勒信號處理(Doppler signal handling)等原理不斷的推陳出新。現代化的雷達和相關探測技術，不僅得繼續使用早期所發現到的電磁波和聲波（註一），亦可使用紅外光、紫外光、雷射以及其他光源作為探測媒介；當前雷達所兼具的多功能，得使操作或控制人員應用各種不同的「搜索／跟蹤」模式，就所偵測的目標進行掃描，並對干擾誤差自動從事修正，而且大多數的控制功能，均是在系統內部進行的。科技專家又將雷達的技術和其他的自控技術相連結，爰次第發展出兼具多目標探測與跟蹤能力的創新雷達機制、得結合電腦數算效能的自動射控系统、可識別敵我的組合系統，或是具有地形迴避或地形隨附功能（即沿著地面一定高度以行進）的行進導引系統。

具備特殊功能或用途的雷達

若依功能作為分類，可將雷達區分為警戒雷達、引導雷達、導引雷達、砲瞄雷達、測高雷達、成像雷達、氣象雷達、機載射控雷達、地形迴避雷達及地形隨附雷達等多類；若按工作原理而分類，則有圓錐掃描雷達、單脈衝雷達、被動相位陣列雷達、主動相位陣列雷達、脈衝壓縮雷達、頻率捷變雷達、MTI雷達、MTD雷達、PD雷達、合成孔徑雷達、噪聲雷達、衝擊雷達、雙／多基地雷達、天／地波超視距雷達等多類（註二）；另亦可按照發射電波的波長(Wave length)，或按照測量目標的座

標(Coordinates)參數，來將雷達作分類。

由於現代化科技係與時俱進的不斷提升效益，雷達的功能和作用原理亦不斷的創新創造，就其數十年來的演進，最具體性的突破乃是電子掃描陣列雷達(Electronically Scanned Array radar, ESA radar)的研發，該種型式的雷達係透過表面處「發射天線陣列」單元(element)，所發出波束的合成方式，以改變波束掃描方向，較之傳統型態的機械掃描雷達天線，得減少或完全無需使用機械馬達以驅動雷達天線，即可達到涵蓋廣闊範圍之偵測目的，並且具有掃描速率快、改變波束方向速率亦快，偵測目標訊號精確度高，同時又可免除機械掃描雷達天線驅動裝置可能產生故障等優點。惟若採用機械設備以帶動電子掃描雷達基座，則可更進一步的擴大雷達波所能覆蓋的範圍。

電子掃描陣列雷達，可包含一維線性陣列與二維陣列，至於電子掃描方式則可分成改變頻率或者是改變相位的方式，俾控制合成波束的發射方向，另如美國所研發的「神盾戰鬥系統(Aegis combat system)」(註三)，便是具主動相位陣列功用的「四面陣列」(Four array radar)。由於可以在極短的時間內迅速改變波束指向，故而電子掃描陣列雷達得具有強大的多目標接戰能力，以及使掃描和跟蹤作用同時進行的能力，並可同時進行空對空和空對地等不同模式的偵測工作。

與軍用雷達同樣一直不斷進步的民用雷達，民衆最常聯想到的領域乃是民航機的航管控制，以及天氣預報賴以為憑的氣象雷達，前者在應用原理方面和軍用雷達有若干層面的相似之處，後者則有較的大差別，且因為對於國家安全較無敏感性，故以當今已常用於偵測氣象資訊的「都卜勒雷達」(Doppler radar)為例作

為說明，如下所述。

我國自一九八〇年代起，即陸續於臺灣境內各地建置氣象雷達，就諸氣象站的地勢海拔而論得有平地、亦有高山型態者，如桃園國際機場、屏東恆春墾丁、新北市瑞芳五分山、花蓮花崗街和臺南七股鹽村等處，且是採取國際招標方式分別安裝極進步的都卜勒雷達，如由美國Barton公司或德國Cematronik公司架裝的設備。都卜勒雷達乃是利用都卜勒效應，以測量物體在雷達波束方向上的徑向運動速度而產製出的設備，常用於氣象觀測，是在第二次世界大戰後，經過將近三十年的研究與發展，在一九八〇年代後期逐漸趨於成熟階段而被推出應用。其原理係應用雷達所發射電磁波頻率，與接收電磁波頻率之差值，來推算目標物移動的速度（註五）。

都卜勒氣象雷達的功能，不只可偵測到雲層聚集或飄移、降水的回波強度，並且可以偵測到雷達所掃描範圍內的徑向風速分布狀況及亂流(Turbulence)場域，美國聯邦航空總署(Federal Aviation Administration, FAA)則在同一年代開始大力推動，於全美國境內各機場及各地氣象站，以都卜勒氣象雷達逐步取代傳統氣象雷達之

發展計畫，斯項計畫業已於二十世紀結束前，於美國境內和海外領地全面執行，中、西歐洲



裝設於美國奧克拉荷馬州Norman地方的都卜勒雷達(Dopplerradar)

各國亦幾皆如此。且隨著都卜勒氣象雷達之商產，歐美以外國家亦已分期裝設該種型款之氣象雷達。我國為確保飛航安全以及提高氣象服務品質，最早係於民國七十六年自瑞典引進易立信公司製造且採用C波段（四千至八千MHz）從事偵測作業的都卜勒氣象雷達，裝設於「中正國際機場」（現稱桃園國際機場），既可開創國內應用氣象雷達之新紀元，亦是全亞洲首見的都卜勒氣象雷達。

「超地平線」(Over-the-horizon, OTH)型的雷達，亦是本一領域的另項顯著進展，又稱超視距雷達，乃利用屬短波波段（頻率為三點零至三十MHz）之電磁波，在大氣「電離層」(Ionospheric)與地面之間的反射，或電磁波在地球表面的繞射來探測目標。該種型款的雷達最特別之處，乃是自地表、海面上而至高度為八十至三百六十公里的電離層，俱可探測到來自空中的目標如飛機、飛彈，或是用以探測距離遠達八百至三千五百公里且是來自海面的目標如各類艦船。並且，因為具備六十度方位的磁區，以致單部雷達便可擴達五百六十萬平方公里的廣大覆蓋面積，具有抗低空突防、抗隱形航空器等優點，得使預警時間提前至「小時」的等級。

具自動識別目標功能的雷達，則可使雷達的作用或軍事部門所配置的武器系統，發揮更進一步的效能，而空中預警機(Air Early Warning, AEW)和聯合偵蒐目標暨攻擊系統(Joint Surveillance Targeting and Attack Radar System, JSTARS)等之發明應世，業已成爲未來戰場上可辨識敵我之別的訊息樞紐。空中預警機乃是爲求突破由於受到地球曲度限制的低空目標之搜索限制，並且減少遭到地形的干擾，而將整套雷達系統裝置於飛機上而發展出的航

機，可自空中搜索來自空中、海上或者是陸上等立體空間的目標，發揮更佳的搜索預警效果，延長容許反應的時間與彈性，還可發揮協助判斷和有助於指揮官下達指令的功能。

空中預警機大都是以客機或運輸機而改裝產製，蓋機艙內部得有較大的使用空間，俾可裝置包含雷達等電子設備與維持運作的電力設備、冷卻設備等諸多器具在內的大量設施，同時搭載數名雷達操作人員，例如波音公司便生產有「E-3」型的全天候空中預警機(AWACS，又稱「哨兵式」預警機)。亦有以直升機作爲載具的簡略方式，其效果雖然難以比美以中、大型飛機之機體所改裝而成的機種，但是可以更方便且更安全的讓預警機停降於航空母艦等艦艇上，是配置於海軍艦隊內不乏得見的預警機種。(未完待續)



E-3C型的全天候空中預警機

註一：聲納是英文縮寫「SONAR」的音譯，其英文全稱為「Sound Navigation And Ranging（聲音導航與測距）」，是一種利用聲波在水下的傳播特性，通過電聲轉換和信息處理，完成水下探測和通訊任務的電子設備，乃屬「聲學定位」的科技範疇。

註二：舉例而言，「圓錐掃描雷達」(conical scanning radar)爲波束繞著「天線軸」形成小頂角的圓錐掃描，在廣大角度上完成

對目標自動跟蹤的雷達；而「脈衝壓縮雷達」(pulse compression radar)係發射寬脈衝信號，接收和處理回波後再輸出窄脈衝的雷達，爲獲得脈衝壓縮的效果，所發射的寬脈衝是採取編碼形式，並在接收機中經過配置濾波器的處理；另之「合成孔徑雷達」(Synthetic Aperture Radar, SAR，另譯成合成口徑雷達，「Aperture」在此爲「球面鏡的鏡徑」之意)，乃是一種微波成像雷達，可應用於必須產生高解析度圖像的航空機載雷達或太空星載雷達，並可廣泛的應用於遙感和地圖測繪。

註三：神盾戰鬥系統是美國海軍現役最重要的整合式水面艦艇作戰偵測系統，原意爲「空中預警與地面整合系統」(Airborne Early-warning Ground Integrated System)或「先端電子導引資訊系統」(Advanced Electronic Guidance Information System)，(英(美)文縮寫「AEGIS」，正好是希臘神話中宙斯天神所用盾牌之名，故被泛稱爲「神盾」系統。另俄羅斯的「庫茲涅佐夫海軍上將號」巡洋艦上所裝配的雷達，亦是四面陣列(相位陣列 Phased Array)的型式，乃爲求能和美國神盾級戰艦相抗衡，而由俄羅斯的專家群研發出來的。

註四：經由選取一整串回波脈動資料，以構成一系列時間序列並將此序列作成波譜來分析，如「傅利耶快速轉換」(Fast Fourier Transform)分析法，即可得到「都卜勒頻譜」(Doppler Spectrum)，而此種利用發射與接收訊號的頻率相位變化關係特性，用以測量或識別移動目標物的雷達，又可稱作「同調雷達」(Coherent Radar)。此類型款的雷達，除了可偵測目標物的反射訊號外，並還具有測量目標物的徑向移動速度功能，因此造價亦相對的較爲昂貴。