

寂靜獵殺—被動雷達系統簡介

壹、作者：李秦強 中校

貳、單位：陸軍飛彈砲兵學校防空組

參、審查委員：

謝敏華上校

黃君武上校

鄭可權上校

張鐘岳上校

肆、審查紀錄：

收件：100 年 01 月 26 日

初審：100 年 02 月 08 日

複審：100 年 02 月 10 日

綜審：100 年 02 月 21 日

伍、內容提要：

- 一、在反雷達技術發展有成的今日，具備極佳戰場隱蔽效果及陸、海、空多元目標偵測能力，運用於電子情報偵測、電子支援等方面均能展現良好效能，且以顛覆傳統雷達作戰方式運作的被動雷達系統，遂成為今日確保雷達固有角色及作戰功能的重要發展選項。
- 二、被動雷達系統僅接收、而本身並不產生輻射信號，因此可有效迴避敵方信號偵測，反制敵軍反輻射攻擊。且由於使用不同於傳統雷達的電磁頻帶及多點接收工作原理，可對目前具備極度戰場優勢的隱形載具，發揮優異的偵測效果。
- 三、被動雷達系統運作方式可與民間現有系統相結合，用以規劃台海地區戰場整體監視網路，可建構一完整、可靠，且不易為敵先制摧毀之可恃防衛作戰偵測體系，確保作戰全程敵情偵測不致中斷，極適合當前以防衛作戰為主軸的台海防衛作戰型態。

寂靜獵殺—被動雷達系統簡介

作者：李秦強 中校

提要

- 一、在反雷達技術發展有成的今日，具備極佳戰場隱蔽效果及陸、海、空多元目標偵測能力，運用於電子情報偵測、電子支援等方面均能展現良好效能，且以顛覆傳統雷達作戰方式運作的被動雷達系統，遂成為今日確保雷達固有角色及作戰功能的重要發展選項。
- 二、被動雷達系統僅接收、而本身並不產生輻射信號，因此可有效迴避敵方信號偵測，反制敵軍反輻射攻擊。且由於使用不同於傳統雷達的電磁頻帶及多點接收工作原理，可對目前具備極度戰場優勢的隱形載具，發揮優異的偵測效果。
- 三、被動雷達系統運作方式可與民間現有系統相結合，用以規劃台海地區戰場整體監視網路，可建構一完整、可靠，且不易為敵先制摧毀之可恃防衛作戰偵測體系，確保作戰全程敵情偵測不致中斷，極適合當前以防衛作戰為主軸的台海防衛作戰型態。

關鍵詞：被動雷達、反輻射攻擊、隱形科技

壹、前言

「雷達」概念的發軔，最早可追溯至西元 19 世紀末期，其後歷經各國科學家戮力研究及實驗，至廿世紀初已逐漸將概念轉化為系統實體雛型。¹ 二次世界大戰期間，由於空中戰力迅速發展，空中攻擊對地面、海上戰場破壞能力大增，各國對抗來自空中威脅的作戰需求日漸殷切，更促成了雷達技術的加速發展。二次世界大戰結束後，雷達系統在作戰中發揮的優異作戰效能持續受到各國重視，戰後如美、英、法、俄等主要國家，均投注力量於雷達系統研發。近數十年來雷達科技發展一日千里，日益精良。運用範疇除防空、反艦、武器射控、飛彈防禦等軍事領域外，更已涵括海空導(助)航、氣象觀測、國土(邊境)監視、地層探測等民生、商業用途。²

¹ 向敬成、張明友，《雷達系統》，(台北：五南圖書公司，2004 年 7 月)，頁 3~5。

² Merrill Skolnik，左群聲等譯，《雷達系統導論》三版，(北平：電子工業出版社，2006 年 7 月)。

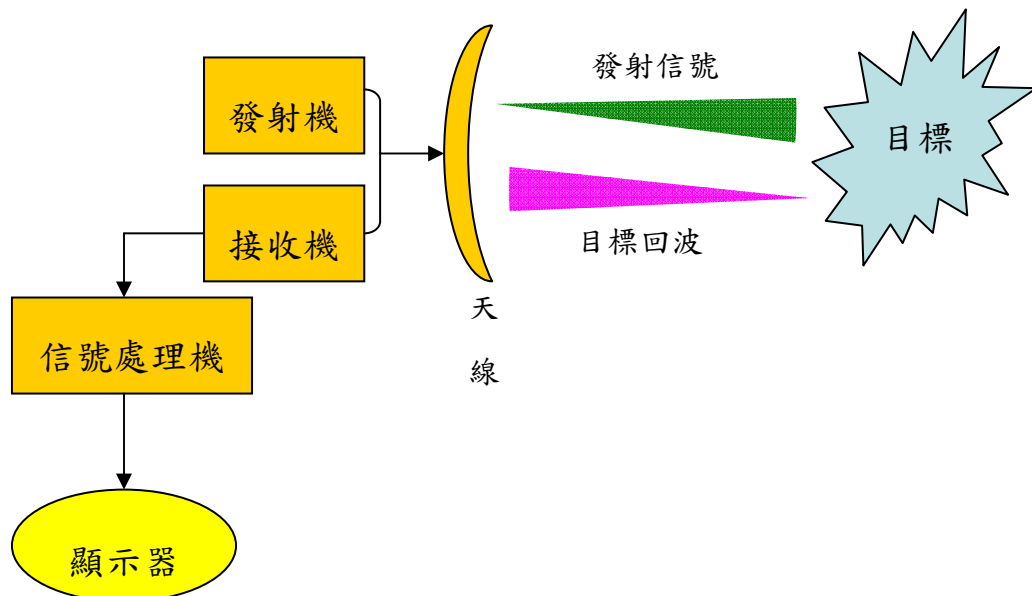
如何抗衡發展迅速的雷達科技，有效反制雷達在現代戰爭中發揮的強大作戰效益，持續掌握作戰優勢，遂成為國防重要課題。在此領域中，反輻射攻擊、隱形科技等都是近期反雷達技術發展的成功範例，並已在實際作戰中為現有雷達系統帶來嚴重威脅。

在反雷達技術發展有成的狀況下，如何在日益險峻的電子戰環境中，確保雷達原有作戰效能、完成作戰任務，竟又成為國防科技領域中新的努力方向。在如此不斷反覆演變的趨勢下，具備對陸上、空中及海上目標多元偵測能力，運用於電子情報偵測、電子支援等方面均能展現良好效能，且以顛覆傳統雷達作戰方式運作的被動雷達系統，遂成為今日持續確保雷達固有角色及作戰功能的重要發展選項之一。

本論文即以此為研究對象，並著重於被動雷達系統在防空作戰方面應用的探討。

貳、何謂「被動雷達」

一般談到「雷達」，通常是指可自主(主動)發射某特定頻段電磁波，探測所望區(空)域。並藉由接收自身發射之電磁等信號的目標回波，經信號處理後，完成對區域內可能目標之識別、定位或追蹤等接戰或處理程序的系統。一般而言，此類主動式雷達系統大致區分為電源系統、發射機、接收機、信號處理機等幾大功能總成(雷達基本構型如圖一)。



圖一、雷達基本構型（作者自行繪製）

資料來源：

一、丁鷺飛、耿富錄，《雷達原理》三版，（西安：西安電子大學出版社），2002 年 6 月。

二、Merrill Skolnik，左群聲等譯，《雷達系統導論》三版，（北平：電子工業出版社），2006 年 7 月。

相對於本身即具備電磁輻射能力，可自主發射探測信號的雷達；被動雷達本身則未具備發射系統，不主動發射電磁信號探測目標。但被動雷達並非是最近才出現的新概念武器，其初始發展年代與上述目前居於主流地位的主動式雷達約於同時。1935 年英國人「羅伯·瓦特」爵士，即曾運用當時「英國廣播公司」的發射信號，對一組被動式雷達進行測試，結果成功偵測到 8 英哩外的一架英國轟炸機。

但由於被動雷達系統需要較繁複的定位計算方式，實施目標定位。受限於當時運算處理能力不足，無法獲得精確的目標定位資料，致此種雷達系統早期並未能有效發展。直至近二、三十年來，因定位技術及電算機運算能力大幅提升，已能滿足被動雷達系統運作所需的繁雜、快速運算需求。並可自大量雜亂回波的電子信號環境中，濾除不必要雜訊，整理出所需目標訊號，從眾多複雜回波信號中分辨出我方真正想要追蹤的目標，被動雷達系統才具備實際運用價值。更由於被動雷達系統僅接收、而本身並不產生輻射信號，因此可有效迴避敵方信號偵測，反制敵軍反輻射攻擊，確保戰場存活；以及具備反制隱形戰機能力等特性，而再度引起世人注意。

一、系統特性

被動雷達(passive radar)；又稱為無源雷達(中共慣常採用此名稱)。其特性為雷達本身不發射電磁信號，而是利用敵方目標發射的信號、敵方目標的自身輻射或探測區域內其他輻射源照射至目標後的散射能量，來完成對目標的檢測、辨別和座標參數估計。³

由於被動雷達本身不輻射電磁信號、不產生任何射頻能量，僅藉由環境中獲得的電磁信號來探測、鑑別、追蹤目標，因此作業時具備極佳的戰場隱蔽效果，不易遭敵偵測及反制。且由於使用不同於傳統

³ 國防部，《國軍軍語詞典九十二年修訂本》，(台北，民國 93 年 3 月 15 日)，頁 10-46。

雷達的電磁頻帶及多點接收工作原理，可對目前具備極度戰場優勢的隱形載具，發揮優異的偵測效果。

二、被動雷達設計概念與工作原理

被動雷達與目前居於主流地位，可自主發射電磁信號的主動式雷達，在構型上最大不同處，即在於被動雷達本身並未具備電磁信號發射系統，必須自環境中擷取目標信號，通常採取以下兩種方式獲取敵方目標資訊。

(一) 探測目標發出的主動訊號

利用被探測目標自身發散的各式電磁輻射信號—通常稱作「主動訊號」，來探測、追蹤目標。主動訊號可能來源，包括目標自身配備的各型雷達、電子干擾設備、敵我識別器(IFF / SIF)詢答機、數位鏈路等電子裝備。且被動雷達系統一般多由兩個以上，同時接收敵方輻射信號的接收站(點)組成，藉由放列於偵測區域內、特定位置的數個接收站(天線)，接收目標自身發出的主動訊號，再利用各不同位置接收站截獲信號的角度及時間差，運用多站時差定位或測向交叉定位等方式，運算出目標的精確位置。並經由量測目標信號的都普勒偏移(Doppler shift)等參數，計算目標速度等可用資訊。

包括捷克「VERA-E」及烏克蘭「Kolchuga」等被動雷達系統，都是以蒐集主動訊號方式探測目標。

(二) 接收目標反射或散射自其他外部輻射源的信號回波

另一類被動雷達系統則是藉由接收其他外部輻射源，照射至目標後，反射或散射的電磁信號回波，對目標實施探測及追蹤。所謂「其他外部輻射源」，就是環境中非系統本身可控制、但可產生電磁信號，供被動雷達系統運用的各類輻射源。可能之外部電磁波輻射來源包括民間調頻(FM)廣播電台、無線(類比或數位)電視發射台、行動電話基地台、導航衛星等皆屬此類。

採取此種作業方式時，通常將直接接收自某外部輻射源的輻射信號與經敵方目標反射或折射而來的信號回波作比對。藉由直射信號與回波信號產生的時間差、及兩個以上接收站的已知位置，對目標實施交叉定位，得出目標速度及位置資料。

採用接收其他外部輻射源照射目標後，反射或散射信號回波方式

探測目標的被動雷達系統，目前有美製「沉默哨兵」及英國「CELLDAR」等被動雷達系統。

三、限制因素

綜而言之，被動雷達系統雖普遍具有戰場隱蔽性佳、機動能力強、可靠性高、並具備優異的隱形目標偵測能力等多項優點。但由於本身未具備信號輻射系統，需倚賴環境中的電磁信號偵測目標。不論採取以上何種方式運作的被動雷達，均可能受限於目標信號的獲得能力，致影響作戰效能。

(一) 以探測目標發出的主動訊號偵測目標時

由於係以敵方目標自身發散出的各式電磁輻射能量，作為偵測信號來源。因此，被動雷達系統接收天線與目標之間必須無任何信號遮障情況發生，是確保此類型被動雷達系統能順利遂行目標偵測的基本要求。

其次，若敵方目標有效落實輻射管制作為，儘可能減少自身輻射信號能量散失，將輻射信號洩漏降至最低程度；或是於儘量降低本身電子裝備發射機功率之餘，再輔以其他信號干擾手段時，亦可能影響此型被動雷達系統實施敵方目標偵測成效。

(二) 利用目標反射或散射自其他外部輻射源的回波信號時

此時被動雷達系統，需藉由將接收自外部輻射源的直接信號，與自敵方目標反射或折射而來的回波信號作比對，雷達系統方能正常運作。因此，被動雷達接收天線與外部輻射源、及接收天線與目標回波之間，電磁信號傳遞均須暢通無阻，無任何遮障。各接收站配置位置須依據偵測任務審慎選定，或需互為互補，以利作戰任務順利遂行。

其次，在此種工作模式下，適當外部輻射源的選定也特別值得注意。被動雷達系統需儘量選用可全天候保持穩定射頻工作的外部輻射源，以免緊要時刻輻射信號中斷，影響作戰成效。此外，外部輻射源是否可產生被動雷達系統用以量測都普勒偏移的連續波型，以便據以運算目標速度等重要諸元，也是被動雷達系統選定外部輻射源時，重要考量因素之一。

參、被動式雷達系統作戰效益

近代被動探測技術對各式電磁輻射源，均已具備優異的偵測能力

，可廣泛應用於陸上、海面、空中目標偵測。更已成為當前電子情報偵蒐、電子支援措施、電子對抗等系統運用的重要技術，在作戰行動中具備顯著作戰效益。

一、結合民用設施，可節約系統建置經費

由於被動雷達系統本身不具備發射總成，可有效簡化雷達構型，並減輕裝備重量及體積，可相當程度地節約雷達研製成本。且某些被動雷達系統係運用民間現有之廣播、無線電視或行動電話發射台網路為探測信號來源，作為照射目標之外部輻射源。由於係使用民間既有設施，自研發、測試階段起，即可節約部分硬體之研發及設置費用，降低系統建置及運作成本。

二、隱蔽性佳，增加敵軍攻擊難度，戰場存活率高

無論以擷取敵軍目標自身輻射信號；或以接收其他外部輻射源照射目標後之信號回波，偵測敵蹤之被動雷達系統。均由於僅接收不輻射電磁能量的特性，在作戰中具備極佳之靜默隱密效果，敵方無法直接藉由追蹤電磁信號，即發現我方雷達陣地位置。在反輻射武器及戰法均已發展極為成熟的今日，可極為隱密地對所望區域，執行防空警戒、電子情報蒐集等任務，大幅增加被動雷達系統戰場存活能力，確保作戰功能有效發揮。

而被動雷達不僅具備極佳之戰場隱蔽性，且體積較小、構型結構較傳統主動式雷達簡單，操作時亦僅需配賦較低功率之動力系統，便於利用民間現有建築物，實施裝備架設。甚至可偽裝成民用電台、電視台、手機基地台等系統發射站(塔)，發揮欺敵效果。

由於能有效隱蔽與偽裝，敵軍若無法於作戰初期，即很快有效率地發現我方被動雷達所在位置，並立即予以干擾或摧毀。下下之策，便只有廣泛攻擊或摧毀所有可能為被動雷達系統運用的輻射來源，包括電視或電台信號發射塔、行動電話基地台等設施。不僅消耗大量作戰資源及戰力，且對我方民心爭取及對外宣傳造成不利影響。特別是在城鎮等人口、建物密集地區作戰時，更可能對不必要的非戰鬥人員或政、經、民生設施，造成過大的附帶損害(collateral damage)，帶來不良的政治或新聞效應。

若敵軍改採電子軟殺手段，對被動雷達系統、或其可能運用之民

用輻射源實施電子干擾，以達成阻我被動雷達系統正常運作目的時，亦必須以高功率干擾機，行大範圍區域干擾。不僅大幅增加其電子戰作業難度，且難確保干擾成果，並可能對其自身武器導引及作戰通聯、指管造成影響。

三、可反制隱形戰機，具備現代化接戰能力

自 1950 年代起，美國等科技先進國家為圖有效反制雷達偵測，開始致力於戰機等武器裝備隱形技術的發展，並將此項科技首先應用於當時研製成功服役的 U-2 等多種新式戰機上。1980 年代後，隱形科技研發更獲得突破性的進展，隱形戰機已成為當今最先進作戰武器。美軍在兩次波灣、科索沃等諸戰役中，均曾使用隱形戰機參與作戰，並發揮強大戰力，獲得壓倒性優勢，因而成為各軍事先進國家，近年競相發展或亟欲獲得之先進武器。共軍也開始投注力量，從事隱形戰機研發，且已有所進展。⁴ 若其隱形戰力發展成熟並運用於台海作戰中，將對國軍造成極大損害，我實應儘速籌謀因應對策以為反制。

其實隱形科技並非真的可將飛機變不見，而是綜合運用諸般先進技術，以降低敵方雷達偵測效能，大幅縮短其目標偵測距離，直如目標被隱身一般。相關技術如加強自身輻射信號管制；或綜合運用諸如特殊機體外型設計、機體表面塗裝吸波材料等手段，儘可能降低雷達信號回波強度，以縮小雷達橫截面(radar cross section)，縮短被偵測距離。且其對於使用釐米波長範圍的傳統單基地雷達，剋制效果特別顯著。

被動雷達系統由於大多運用波長較長之「米」波波長範圍內之電磁波，藉由此電磁頻段範圍內特有之共振放大效應，可輕易偵獲雷達橫截面極小之隱形目標。此外，被動雷達系統多半採取多站接收方式，可從多個不同方位及角度，同時接收目標回波。對於特別針對傳統單基地雷達運作原理，採取特殊外型設計，以減小特定方位、角度目標回波的隱形戰機，反而可有效達成偵測目的。美國即曾因為對被動雷達系統具備之反隱形偵測能力有所顧忌，而大力施壓、反對捷克政府將其製造之被動雷達系統售予中共。⁵

⁴ 林琮盛、陳思豪，〈胡錦濤證實 殲廿戰機試飛成功〉，《聯合報》(台北)，100.1.12，1 版。

⁵ 〈Czech Republic shelves sale of VERA-E radar to China〉，詹氏防衛週刊，26-May-2004，<http://10.22.155.6:80>，99.3.3。

四、系統特性適合台海防衛作戰型態

被動雷達系統具備隱密特性及高戰場存活率，且運作方式與多種民間現有系統相結合，可充分運用民力，發揮軍民聯戰力量。建構被動雷達防禦偵測系統，於平時即適切完成防區內各項兵要資料調查、且時時更新，輔以完善之戰場經營，並充分結合後備動員體系，將軍、民資源適切整合運用，規劃台海地區戰場整體監視網路，即可建構一完整、可靠且具備高度戰場存活力，不易為敵先制摧毀之可恃防衛作戰偵測體系，確保作戰全程敵情偵測不致中斷，極適合當前以防衛作戰為主軸的台海防衛作戰型態。

肆、被動式雷達系統發展現況

一、捷克「VERA-E」被動雷達系統

捷克 ERA 電子公司延續其 RAMONA、TAMARA 等一系列被動雷達系統既有研發成果，約於 1990 年代開發完成「VERA」被動雷達系統，「VERA-E」則為此系列被動雷達近期較新型式之一(如圖二)。

VERA-E 電子情報暨被動監視雷達系統(Electronic Intelligence and passive surveillance system; ELINT)，係運用「信號到達時間差技術(time difference of arrival technique)」，藉由系統內多個接收站，從不同位置、共同探測目標發出的主動訊號，偵測、監視、辨識及追蹤敵各式空中、陸上及海面目標，可用來擔任早期預警、戰場情報蒐集、防空等任務。敵方目標所配賦之各型雷達、電子干擾設備、敵我識別器(IFF / SIF)詢答機、戰術空中導航(TACTical Air Navigation; TACAN)/測距(Distance Measuring Equipment; DME)詢問機、數位鏈路及所有可能產生輻射脈衝的電子裝備，均可作為 VERA-E 被動雷達系統偵測信號來源，可偵測涵蓋 1~18GHz 電磁頻帶信號。⁶

VERA-E 系統有 2-D 及 3-D 兩種構型，2-D 構型偵測方位涵蓋約 140 度，系統內包含三個接收站及一個中央處理站，均以輪型卡車承載，具備極佳機動部署能力。系統放列時以中央處理站為中心，三個接收站分別相距 50 公里，以左、中、右方式環列於外層，各工作

⁶ 〈VERA-E passive surveillance system〉，詹氏雷達及電子戰系統年鑑，08-Oct-2009，<http://10.22.155.6:80>，99.3.3。

站之間以微波資料鏈執行資訊傳輸。接收站天線高度約 17 公尺，最大搜索距離 450 公里，可同時追蹤 200 批目標。至於 3-D 構型，則較 2-D 構型再增配一部信號接收站、並與中央處理站放列於同一位置，3-D 系統可提供 360 度偵測方位涵蓋。



圖二、捷克陸軍 VERA-E 被動監視雷達系統

(資料來源：《詹氏雷達及電子戰系統年鑑》，08-Oct-2009，
<http://10.22.155.6:80,99.3.3>。)

捷克除已於 2002 年前，分別完成固定式與機動型 VERA-E 被動雷達生產，並配賦捷克防空單位使用外，捷克政府原已同意於 2004 年，出售 10 套 VERA-E 被動雷達系統給中共。但美國獲悉後，以該項裝備可能危害美軍 F-117、B-2 等隱形戰機作戰安全。並為防止中共仿造後，再出口該項裝備至伊朗、巴基斯坦等可能與美國敵對的國家，影響美國利益為由，施壓捷克政府取消該項武器交易合約。但 2005 年美國亦因此以研究用途，向捷克採購一套 VERA-E 被動雷達

系統作為補償。⁷

VERA-E 被動雷達系統應是目前同類系統中，發展最成熟、部署數量最多的一種。然而 ERA 公司仍持續對 VERA-E 雷達系統進行後續性能研改，已完成改良之新系統型號為 VERA-Next Generation (VERA-NG)。改良後最大特色在於將 VERA-E 系統原使用之信號到達時間差技術，融入網路化及人性化設計，不僅使系統具備網狀化作戰整合能力，且操作更簡易，成為更現代化的電子支援措施(ESM；Electronic Support Measures)技術。新系統除最大搜索涵蓋距離仍保持 450 公里，可同時追蹤目標數已增至 250 批以上。此外，接收站及天線也進行諸多改良；⁸

(一)、天線系統輕量化，將接收站重量從原來 126 公斤減輕至 76 公斤，並可相應減少操作人力。

(二)、將原有接收天線改良為標準組合元件式天線，可由使用單位依自身需求，組合出任意數目的接收天線數量，加強系統目標偵蒐能力。

(三)、發展具備「回溯相容性」；可直接與原來 VERA-E 系統軟體相容之最新操作軟體，及具備「即插即用」技術之「線上可更換式組件」。

最新研改完成的 VERA-NG 系統不僅性能更現代化，且具備較之前更小巧、輕便的特性，可部署地點及方式均更為靈活、機動。除可望提供捷克軍方及其他使用國家升級原有系統外，未來更可能成為「北約」空中指管系統(Air Command and Control System；ACCS)中被動電子支援追蹤系統(passive ESM tracking system；PET)的競標候選者。

二、前蘇聯/烏克蘭「Kolchuga」被動雷達系統

Kolchuga 被動雷達系統於 1980 年代末期，由前蘇聯發展成功並配賦前蘇聯部隊服役。主要設計為防空用途，藉由探測敵方目標自身發散出的各種電磁訊號偵測目標。(如圖三)

⁷ 〈Czech Republic shelves sale of VERA-E radar to China〉，詹氏防衛週刊，26-May-2004，<http://10.22.155.6:80>，99.3.3。

⁸ 〈Era develops successor to VERA-E〉，詹氏防衛週刊，01-May-2009，<http://10.22.155.6:80>，99.3.3。



圖三、Kolchuga 被動雷達系統偵測站及接收天線

(資料來源:《詹氏國際防衛評論雜誌》, July-01-2000, <http://10.22.155.6:80>, 99.3.3。)

蘇聯解體後，1990 年代中期由前蘇聯成員國之一的「烏克蘭」，對此系統進行一次大規模之現代化性能提升。完成數位化性能提升後，新系統型號為「Kolchuga-M」，除大幅增加目標偵測距離至 600 公里以上，且於同一方位可同時處理至少 30 批目標。此系統最大特色之一，在其對於包含隱形戰機在內的各式空中目標，均具備良好之偵測、追蹤能力。藉由目標的各種輻射信號特徵，辨識目標種類及其武器控制系統操作模式，可有效偵測 0.1~18GHz 頻段內所有電磁信號，幾乎已涵蓋目前所有使用中的已知電磁輻射源，包含敵我識別器、戰術空中導航系統等裝備。

一組 Kolchuga 操作站可分為偵測及動力系統兩大部分，其中偵測系統包含資料處理暨控制站、以及一組採機械式掃描的可折式天線總成，可提供 360 度方位涵蓋。偵測系統具備窄/寬波監視能力，分別

採用窄、寬波束掃描方式，針對遠、近距離目標實施偵測及監控，窄/寬波模式分別具有 600 至 200 公里監視距離。各操作站之間部署距離最遠可達 80 公里，操作站以 GPS 方式實施自身定位，⁹ 優異的機動及疏散部署能力，更大幅提高系統戰場存活率。通常一個 Kolchuga 被動雷達系統，由一部指揮車及三組操作站組成，採用三角測量定位法及信號到達時間差技術，測定目標位置。¹⁰

Kolchuga 被動雷達完成研發生產後，除多個原蘇聯成員國採用外。烏克蘭官方已證實，最新改良的 Kolchuga-M 型被動雷達系統已於 2006 年外銷中共，惟銷售數量並未進一步公開。¹¹

三、美國「沉默哨兵(Silent Sentry)」被動雷達系統

美國「洛克希德·馬丁(Lockheed Martin)」公司自 1980 年代初期開始研發沉默哨兵被動雷達系統，採用被動同調定位技術(Passive Coherent Location technology)，¹² 具備精確、即時、全天候之目標偵測、追蹤能力，適用於空中監視、飛彈追蹤及國土安全防護等用途。

沉默哨兵被動雷達系統係運用民間商用 FM 調頻無線電波、及類比或數位電視播放訊號。當這些訊號在播送區域內照射至目標後，沉默哨兵雷達接收天線即接收這些信號的反射或散射信號回波，再與直接獲自這些特定外部輻射源的發射信號做比對，運算出位置及速度等目標諸元資料。

但是在系統以此方式運作前，首先須完成偵測區域內，所有使用 50~800 MHz 頻帶之民間商用輻射源清查，並將其個別發射位置及電磁參數等資料建立資料庫。當目標進入此已完成各項輻射源資料建置的電磁信號區域內時，即可依據反射信號產生的都普勒偏移，計算出目標位置等資料。

沉默哨兵被動雷達系統具 360 度全方位涵蓋，偵測距離最遠可達 280 公里。並具備 3D 目標追蹤能力，可提供高精度目標位置及速度

⁹ 〈Kolchuga Electronic Support system〉，詹氏 C4 系統年鑑，29-Jul-2010，<http://10.22.155.6:80>，99.3.3。

¹⁰ 〈Improved ESM system revealed〉，詹氏國際防衛評論，21-Jun-2000，<http://10.22.155.6:80>，99.3.3。

¹¹ 〈Kolchuga to China not Iran, Ukrainian officials say〉，詹氏防衛週刊，06-Oct-2006，<http://10.22.155.6:80>，99.3.3。

¹² 〈Silent Sentry® detection system〉，詹氏雷達及電子戰系統年鑑，27-Jan-2010，<http://10.22.155.6:80>，99.3.3。

資料，並可同時處理包含飛機、飛彈或船艦在內，至少 100 批敵方目標。系統放列方式則可採機動式或固定式陣地部署，同時已具備網狀化整合能力，可與其他作戰系統進行作戰網路整合。¹³

沉默哨兵系統於 2006 年獲英國陸軍「地面環境空中圖像系統(Land Environment Air Picture Provision；LEAPP)」發展計畫，選用為系統主偵測雷達，主要係在提供地面防空部隊即時空中圖像，並於 2008 年初為因應緊急作戰需求，提前部署至伊拉克戰場服役。LEAPP 系統並於 2010 年後展開量產，正式配賦英國皇家砲兵部隊使用。¹⁴

四、英國「CELLDAR」被動雷達系統

約自西元 2000 年後，有關於 CELLDAR (CELLphone raDAR) 被動雷達系統發展狀況的相關訊息，才開始陸續出現於國際軍事媒體。¹⁵ CELLDAR 系統採用與美製沉默哨兵被動雷達系統相似的操作原理，也是藉由接收外部輻射源，照射目標後的反射或折射信號來探測目標。雖然同樣運用多基地雷達概念，但是較特殊之處在 CELLDAR 被動雷達系統，係依附於現有民間行動電話基地台發射網路，採用行動電話基地台所產生的電磁輻射信號照射目標，再接收、處理其反射或折射信號。現有的 GSM 900、1800 及 3G 等行動電話射頻均可使用，且對於手機基地台信號所建構的電磁輻射信號場內，所有的空中、陸上及海面目標，均可有效追蹤、辨識，應用範疇極為廣泛。

截至目前為止的多項驗證結果顯示，CELLDAR 系統在空中管制、道路交通監控及海岸監視任務等領域，均有極佳發展潛力。除具備對地面載具、滯空直升機等目標偵測能力外，即使小至潛望鏡大小的小型海面目標亦可有效偵測。¹⁶ 在精確度方面，更已達到可勝任陸基防空系統射控雷達的程度。

據目前尚屬有限的資料研判，此系統應仍處於實驗階段。雖已完成多項系統驗證，但諸元及技術細節仍未全面公開。已知在遂行地面

¹³ 〈Silent Sentry® detection system〉，詹氏雷達及電子戰系統年鑑，27-Jan-2010，<http://10.22.155.6:80>，99.3.3。

¹⁴ 〈Team Athena wins contract to take LEAPP into production〉，詹氏防衛週刊，03-Apr-2008，<http://10.22.155.6:80>，99.3.3。

¹⁵ 〈Mobile phone radar system moves ahead〉，詹氏防衛週刊，26-Jul-2002，<http://10.22.155.6:80>，99.3.3。

¹⁶ 〈Multirole passive radar tested〉，詹氏國際防衛評論雜誌，19-Aug-2002，<http://10.22.155.6:80>，99.3.3。

防空任務時，可能採用相列接收機及相列天線等構型，對大型飛機的偵測距離目前可達 100 公里以上。

此外，由於本系統係運用既有的行動電話基地台網路，因此易受手機基地台訊號發送距離及角度限制。為確保作戰地區內，系統偵測功能之有效發揮，於未設置手機基地台或設置密度不足區域，為獲得較佳偵測效果，在成本效益及可承受之戰耗範圍內，應可考慮自行增設同頻帶之機動訊號發射站，以確保 CELLDAR 被動雷達系統作戰效能。

伍、被動式雷達系統未來發展及運用趨勢

時至今日，被動雷達系統的發展較以往已有長足進步，且日趨成熟，作戰運用範疇廣泛。在現代戰爭中，已具備以下可能發展方向或運用趨勢。

一、有效整合最新科技，並具備網狀化作戰能力

除既有之電子靜默特性，可有效發揮戰場隱蔽效果。被動雷達系統不同於傳統主動式雷達之工作頻帶及運作原理，使其對近代各式隱形目標亦具備優異之偵測能力。在有效整合現代電子、通信網路及運算技術後，除大幅提升對已知各式目標偵測能力，更已具備現代化整合式網狀作戰構型，能充分適應現代戰爭需求。

二、針對科技發展趨勢，多元選擇可用之外部輻射源

被動雷達系統所使用的外部輻射源，已從早期廣為運用之廣播、無線電視訊號，迅速發展至以今日更為普及之行動通信及衛星定位信號為偵測來源。其中尤以近年發展頗為迅速的衛星定位系統，其發射信號之利用，最值得吾人加以注意。

目前除美、俄、歐盟之外，中共亦全力發展自有之衛星定位導航系統。其獨立發展中的「北斗」系統，預計可依計畫於 2020 年前，完成覆蓋全球的衛星導航系統建置。

以共軍而言，目前遠程導向武器系統及執行遠距軍力投射之海、空載具，大多尚採用美製衛星定位系統(GPS)實施定位導航。¹⁷ 如伊拉克戰場一般；戰事一旦發生，共軍各式採用美製 GPS 系統，實施導航定位的武器裝備及載具，勢將大受美方箝制。共軍基於「要真正

¹⁷ 李志德，〈中共第 7 顆北斗衛星升空〉，《聯合報》(台北)，99.12.19，17 版。

實現從機械化向資訊化轉變，不能沒有自己的全球定位系統」之理念，¹⁸ 正積極將自主發展之衛星定位導航系統，與其他新式武器系統及戰術、戰法相結合，以期能完成其一體化建軍的目標，並能於作戰時擺脫對其他國家衛星導航系統的依賴。

但獨立建置自有之衛星定位導航系統，並藉以大幅增益共軍各式作戰能力的同時，爾後解放軍在各種型態戰場上，對衛星定位系統的依賴亦將因此而日漸加深，成為其各項作戰行動中，不可或缺的重要元素。因此，若能發展出以中共北斗系統全天候運作之系統信號為偵測源之被動雷達系統。不論將北斗系統用戶端發送之定位或響應信號電波作為主動信號源(已可應用為機載、艦載、車載等不同型式)；或以北斗衛星發送出的詢問、定位或通信信號作為外部照射輻射源，均可藉以有效掌握共軍動態，對其發揮如影隨形的偵測效果。屆時，共軍之機、艦、地面機動載具等武器載台，反而將難以遁形。

三、靈活部署，適應不同形式作戰需求

由於構型較傳統主動式雷達簡單，並拜現代科技之賜，被動雷達系統不僅各項作戰功能日益提昇，已漸能符合今日戰場各項作戰需求。且體積、重量及設計、製造成本均較傳統主動式雷達精簡，可部署於陸、海、空用，各種不同性質作戰載具，大幅增加作戰運用彈性。且不論在陸上或艦隊防空、空中預警、作戰管制、戰場情報蒐集、海岸監視等各領域均已有應用實例，可有效適應現代化且日趨多元的戰場環境及作戰任務。

四、以互補方式組網配置，發揮統合戰力

(一)、將主、被動雷達及紅外線或電子光學偵測設備複合配置，當被動雷達系統因缺乏目標信號或目標進入其信號盲區，致無法正常運作時，即可以傳統主動式雷達補其不足。除可由主動式雷達接續目標搜索任務，亦可藉由主動式雷達之輻射信號照射，恢復被動雷達系統目標偵蒐、定位功能之餘，尚可相當程度地增加主動式雷達的戰場隱蔽性及存活能力。或由紅外線等偵蒐設備發揮補強效果，強化目標辨識及追蹤能力。

(二)、考量作戰地區特性，平日即持續戰場經營，於特定地點設置

¹⁸ 亓樂義，〈北斗二代升空 衛星導航邁大步〉，《中國時報》(台北)，99.1.18，13版。

加強被動雷達系統搜索能力的固定式射頻發射站。或於地形要點，設置機動輻射陣地，籌設適當數量之機動型射頻發射站(車)，視戰況投入戰場運用，發揮突擊效果，以補目標主動訊號或外部輻射信號系統之不足。

(三)、將使用不同頻段的多個被動雷達進行組網，利用不同電磁頻段各自具備的目標特性，以為互補，提升整個系統之目標偵測能力。或在同一被動雷達系統內，將偵測敵方主動電磁信號、及外部輻射源信號回波的不同型式被動雷達同時建置，增加敵方目標匿蹤及反制難度外，亦可對各型目標均能發揮完整偵蒐效果。

五、發展被動式防空飛彈系統

由於被動雷達系統目標追蹤及辨識能力日漸提升，未來若進一步研發出，配備諸如紅外線導引裝置等被動式終端尋標器的防空飛彈後，可發展為全系統及作戰全程均具備高度戰場隱蔽能力之被動式地對空防空飛彈系統。使來襲之敵空中目標，對我被動式地面防空飛彈系統難以早期偵測、預警及反制。使敵不僅須於作戰全程均多重使用多種電子干擾措施，或加強自身輻射管制，以降低為我被動式防空系統成功偵測之機率。且於不明我防空戰力部署狀況下，為完成攻擊任務，並確保自身安全，須在我防空火力射擊範圍外，以更大射程之遙攻武器對我實施攻擊。大幅增加其作戰成本及攻擊難度，並減損其攻擊成效。不僅提高敵軍摧毀我地面防空戰力，奪取全面空優難度，確保我防空戰力高度戰場存活，更可基於隱蔽特性，予敵出其不意之致命打擊。

陸、結語

一、威脅因應：

自上世紀 90 年代，迄本世紀初的波灣、科索沃及伊拉克等一連串區域衝突戰事中，美軍均展現驚人的高科技戰力，以壓倒性優勢主宰戰場，並為現代戰爭帶來新的面貌。此一發展趨勢，也讓共軍體認到現代科技已成為今日戰爭的決勝要素，進而調整其軍事戰略內涵及建軍腳步。開始強調科技建軍，朝向「打贏資訊化條件下局部戰爭」發展，積極部署高新裝備，並強化聯合作戰訓練及信息作戰。¹⁹

¹⁹ 國防報告書編委會，《中華民國 97 年國防報告書》(台北，民國 97 年 5 月)，頁 52。

雖然近期兩岸情勢發展漸趨和緩，但中共卻從未放棄以武力解決台海問題的決心與準備。一旦台海發生戰事，共軍基於其「遠戰速勝，首戰決勝」的戰略構想。²⁰ 勢必於戰事初起時，即以強大兵火力，結合電子戰作為，對我重要政、軍設施，如指揮中心、通信(資訊)節點、機場、防空(預警)設施等，展開大規模攻擊，以期迅速削弱我防衛作戰能力。此時，如何掌握並確保台海地區制電磁權及制空權，乃成為敵我雙方極力爭取之重要作戰目標。

其中，各式雷達系統不僅是我空防預警情蒐的基礎，更是共軍爭奪台海地區制空及制電磁權，遂行電子戰攻擊的重要目標。如何確保我方各式防空、預警雷達系統敵情偵測功能正常發揮，不致為敵先制摧毀，喪失戰場偵蒐能力，實為台海防衛作戰重要課題。

二、以新思維面對挑戰

在電子戰重要性日漸增加，已成為主宰戰場勝負關鍵，日益受到重視的今日，性能發展已十分精良的傳統雷達系統，雖已擁有令人極為滿意的作戰效能，成為今日陸、海、空，甚至太空戰場必備武器系統，在作戰中扮演舉足輕重角色。

但是容易被偵測、定位，乃至遭受軟、硬殺攻擊反制，仍為現有雷達系統實戰接敵時，無法有效迴避的致命弱點。現今雖可採行如輻射管制、配置誘標等諸般因應措施加以改善，但此一系統性問題，短期內似仍無根本解決之道。而對於近來新興發展之隱形科技，亦無招架之力；面對共軍已開始起步、並公開發表之新式隱形戰機，現有偵測系統可能將形同虛設，無法有效偵測及反制。

面對此一威脅形勢，於規劃未來防空系統精進方向及相應之建軍需求時，實應跳脫舊有領域，以創新的思維面對問題，籌謀因應對策。被動雷達系統具備戰場隱蔽特性，不易遭敵反制；且由於先進科技之應用，偵蒐、定位能力已漸能符合現代作戰需求。尤其可對新式隱形戰機及其他未來可能接續出現；應用隱形科技之其他戰具，亦具備偵測能力。實為吾人今日面對此一嚴峻挑戰，並籌思解決之道時，值得考慮的重要選項。

²⁰ 同註 19，頁 53。

參考資料：

- 一、丁鷺飛、耿富录，《雷達原理》三版，（西安：西安電子大學出版社），2002 年 6 月。
- 二、國防科技名詞大典編委會，《國防科技名詞大典-電子》，（北京：航空工業、兵器工業、原子能出版社），2002 年 1 月。

作者簡介：

李秦強中校，中正理工學院機械系 77 年班，國防管理學院資源管理研究所碩士，歷任飛彈保修廠所、廠長，現任職於飛彈砲兵學校防空組主任教官，台南永康郵政 90681 附 14 號信箱。