

# 無源雷達系統發展與作戰效益之探討

作者：潘泓池 中校

## 提要

- 一、防空預警雷達於現代化作戰中，實為作戰致勝之重要因素，沒有它即無法得知敵軍空中兵力的位置並預判其企圖，亦無法指揮我空中兵力迎戰。
- 二、無源的定義：不是不需要能源或者不用電源，而是定位站不向被定位的對象發射電磁信號(輻射源)。
- 三、無源雷達系統的工作原理，主要有兩種特性：(一)運用被探測目標自身之輻射源；(二)運用鄰近區域或後方發射之輻射源。
- 四、無源雷達系統作戰運用可產生之效益：(一)提高防空預警雷達戰場存活率；(二)結合防空部隊，有效發揮火力；(三)機動輕巧，戰場運用靈活。
- 五、無源雷達系統未來發展及運用趨勢：(一)運用最新科技，發展網狀化作戰能力；(二)提升外部輻射源辨識來源與性能；(三)靈活布署、平衡防護、相互支援；(四)發展無源導控防空飛彈系統。

關鍵詞：雷達、防空、輻射源

## 壹、前言

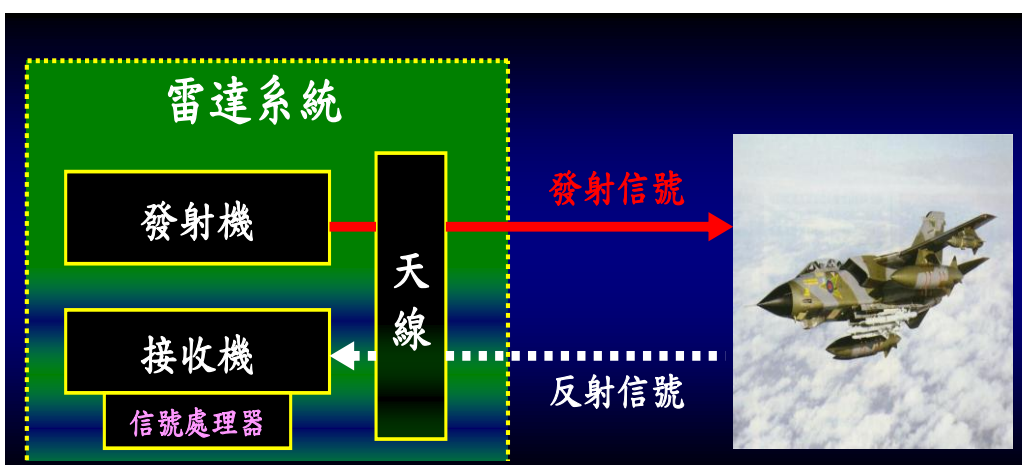
近半世紀來，雷達科技發展一日千里，防空預警雷達於現代化作戰過程中，實為戰果致勝不可或缺之重要因素，沒有它即無法得知敵軍空中兵力的位置並預判企圖，亦無法指揮我空中兵力迎戰。然為反制發展迅速的雷達科技，反輻射武器、巡弋飛彈與無人飛行載具等反雷達技術的發展與威脅亦是與日俱增。而防空預警雷達因其功能運作所散發出的輻射源，可能成為敵反輻射武器攻擊的致命傷，即使具有多重防護措施，未來我軍面對中共反輻射武器攻擊時，亦是一大隱憂與威脅，甚至使我軍在防空作戰指管上喪失指管能力。故在反雷達技術發展有成的狀況下，如何在作戰過程中，取得制電磁權與制空權，並確保我防空預警雷達應有之作戰效能，可為吾人思考之課題。本文即藉由現今世界各國無源雷達發展的概況，探討無源雷達在防空作戰上之作戰效益與價值。

## 貳、無源雷達系統的定義與源起

### 一、無源的定義

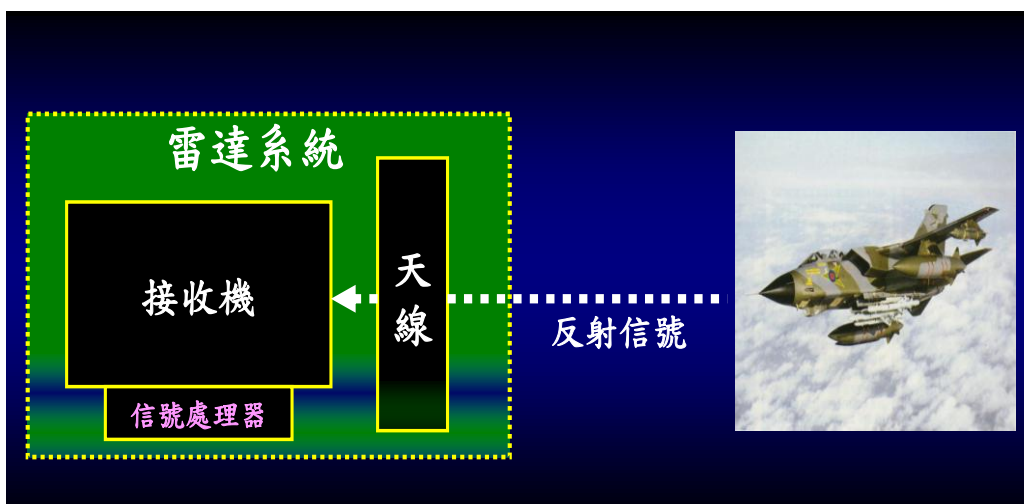
無源，絕對不是不需要能源或者不用電源，當雷達系統在所能涵蓋的空間範圍運用電磁波時，不外乎是發射或接收電磁信號，而現在所稱的「無源」，指的是定位站不向被定位的對象發射電磁信號(輻射源)。無源雷達(亦稱為被動雷達)具備靈敏度極高的天線和接收機裝置，是一種不用發射機發射能量而靠接受目標物本體或他源反射微波能量，以探測目標物的雷達。例如到處存在的民間發射源，AM-FM radio、VHF/UHF 電視視訊訊號、大哥大基地台訊號等。<sup>1</sup>

圖一 有源雷達（主動）系統功能運用示意圖



資料來源：作者自行繪製

圖二 無源雷達（被動）系統功能運用示意圖



資料來源：作者自行繪製

<sup>1</sup> 胡來招，《無源定位》（國防工業出版社、北京、民國 93 年），頁 1。

## 二、無源雷達的源起

無源雷達的運用並非新概念，它的發展歷史幾乎與雷達技術本身一樣悠久，英國人「羅伯特·瓦特」於 1935 年曾利用英國廣播公司發射短波射頻，偵測 10 公里外的英國轟炸機；二次世界大戰中，德國亦曾試驗過「克萊思·海德堡」(Kleine Heidelberg)防空預警雷達系統，但當時雷達的接收機系統缺乏足夠的資訊處理能力，無法精確的計算出目標情資。第一代無源雷達系統為 1960 年代所誕生的科帕奇雷達；第二代為 1970 年代中期所發展的拉莫那雷達，此時的拉莫那雷達性能已較第一代的科帕奇雷達進步許多；第三代為 1980 年代誕生的塔馬拉雷達，塔馬拉雷達已具有高效率計算機、現代電子設備，能於 500 公里半徑範圍內同時追蹤 70 個目標，含空中的隱形飛機及地面上的有源雷達。<sup>2</sup>

圖三 塔馬拉雷達示意圖



資料來源：[http://mil.huanqiu.com/world/2008-11/269617\\_4.html](http://mil.huanqiu.com/world/2008-11/269617_4.html)，102.10.31。

## 參、無源雷達系統的工作原理

雷達運作的核心功能，主要是利用電磁波來探測目標的情資。傳統雷達是依靠自身定向輻射電磁波，照射空中目標進行探測、定位與追蹤等軍事作為，此類雷達通稱為有源雷達(主動雷達)。無源雷達(被動雷達)是自身不發射電磁波，而是借助外部非協同式<sup>3</sup>的輻射源來進行探測與定位，因此無源雷達具有抗干擾、不易被敵偵測與摧毀之特性；簡言之，無源雷達主要運用以下原理：<sup>4</sup>

### 一、運用被探測目標自身之輻射源

若被探測目標本身就是輻射源或是攜帶輻射源的狀況下，無源雷達即可利用探測目標自身輻射的電磁波進行探測和追蹤，自身輻射波來源可能來自飛機

<sup>2</sup> 樂俊淮，〈雷達怪傑捷克維拉宣告隱形並非無敵〉，<http://news.xinhuanet.com/mil/2005-03/08/content-2667795.htm>，民國 102 年 8 月 28 日。

<sup>3</sup> 非協同式，即是外部訊號源產生與內部接收機接收之相對過程，並非統一由中樞主控系統指揮，而是各自獨立運作，故依此非協同式原理，接收機接收外部訊號源時，則相對具有隱密性。

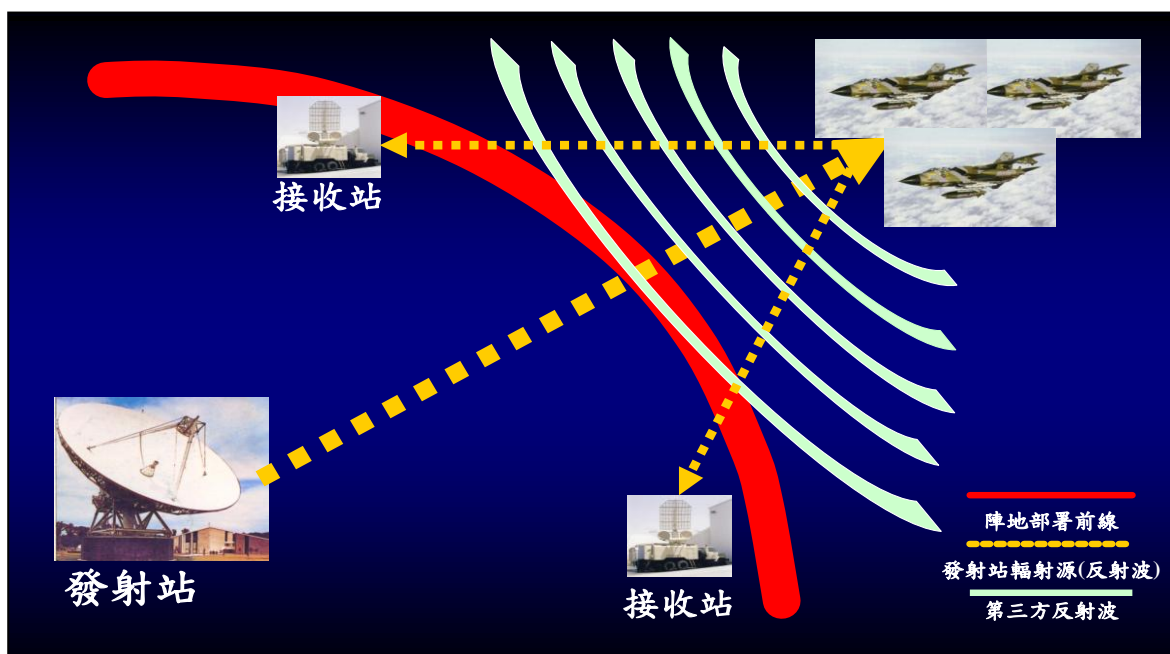
<sup>4</sup> 〈隱形飛機能隱身多久〉，[pc.yzdown.com/hot/science/military/2002/011.htm](http://pc.yzdown.com/hot/science/military/2002/011.htm)，民國 102 年 8 月 28 日。

上的雷達裝置、通信器、答詢器、有源干擾機等電子設備。但若是目標物實施良好的輻射波管制時，縱使雷達具備靈敏的接收機裝置，亦無法發現目標信號，此為該型雷達之致命傷。

## 二、運用鄰近區域或後方發射之輻射源

此類無源雷達工作原理即是透過接收機接收來自外部的非協同輻射源<sup>5</sup>(第三方)的直射波，以及屬於該雷達系統而配置於接收器後方照射目標後形成的反射波，經信號處理器計算目標訊息並消除無用信號與干擾，完成對目標的探測、定位與追蹤等軍事作為。將發射站與接收站分別布署於不同地區工作，可保護並維持接收站持續訊號接收工作，通常會將發射站布署於遠離前線、隱蔽的後方，此種布署方式，可降低發射站遭敵反輻射武器攻擊之可能，增加其戰場存活率，此種工作模式亦稱為雙機雷達或多基雷達。<sup>6</sup>

圖四 無源雷達(被動)系統功能布署運用示意圖



資料來源：作者自繪

## 肆、現代先進無源雷達系統發展現況

### 一、美國-沉默哨兵雷達 (Silent Sentry)

此種雷達於 1998 年由美國「洛克希德·馬丁」(Lockheed Martin)所發展，其設計採用多基雷達概念，具備精確、即時、多目標與全天候之偵測、追蹤性

<sup>5</sup> 同前註 3。

<sup>6</sup> 劉宴慈，〈從中共飛彈對我防空雷達之威脅談無源雷達〉《國防雜誌》，第 25 卷第 1 期，(桃園、國防大學，民國 99 年 2 月 1 日)，頁 136-137。

能，發射源是運用第三方介於 50-800MHz<sup>7</sup> 的民間商用 FM 調頻無線電波與電視台數位傳輸之連續波訊號，當這些訊號在播送區域照射到目標後，接收機即可接收自目標物反射出的回波訊號，再由計算機(信號處理器)與直接獲至這些特定輻射源的發射訊號運算比對，而獲得正確可用的目標情資。沉默哨兵雷達系統具備 360 度全方位涵蓋與 3D 追蹤性能，偵蒐距離最遠可達 550 公里，追蹤目標含定翼機、旋翼機、飛彈與船艦等，系統具備機動放列操作方式，戰術布署運用機動性高，並具有資料網狀化整合能力。<sup>8</sup>

圖五 沉默哨兵雷達示意圖



資料來源：<https://www.google.com.tw/search?q.html%3B600%3B522>，102.10.16。

## 二、「維拉-E」雷達(VERA-E)

由捷克研製，延續拉莫那(RAMONA)與塔馬拉(TAMARA)雷達技術基礎，約於 1990 年所發展出的無源雷達系統。「維拉-E」無源雷達系統，是運用目標自身輻射的電磁波進行探測和追蹤，自身輻射波來源可能來自飛機上的雷達裝置、通信器、答詢器、有源干擾機等電子設備，「維拉-E」無源雷達系統是目前同類型雷達系統中布署數量最多之構型，並且仍持續研改發展新構型，命名為「維拉-NG」(Next Generation) 雷達，該構型不僅維持偵蒐距離達 450 公里之性能，並針對接收站、天線、信號處理器運算技術、網狀戰力整合等軟硬體技術改良，使其成為輕巧、布署機動靈活且性能優越之現代化無源雷達系統。<sup>9</sup>

<sup>7</sup> 〈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>，101.10.3。

<sup>8</sup> 〈無源雷達〉，<http://baike.baidu.com/view/135441.htm>，102.10.30。

<sup>9</sup> 同前註 6，頁 135-138。

圖六 「維拉-E」雷達(VERA-E)示意圖



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>，101.3.12。

### 三、「鎧甲」雷達(Kolchuga)

「鎧甲」無源雷達系統是運用目標自身輻射的電磁波進行探測和追蹤，於1980年代由前蘇聯研製而成並配賦於前蘇聯部隊服役，前蘇聯解體後，由烏克蘭繼續研發與改良，除大幅提升偵蒐距離至600公里外，並可同時處理30批以上之目標。「鎧甲」無源雷達系統目前除服役於原蘇聯多個成員國以外，並已於2006年外銷至其他國家。<sup>10</sup>

圖七 「鎧甲」雷達(Kolchuga)示意圖



資料來源：《詹氏國際防衛評論雜誌》，July-01-2000，<http://10.22.155.6:80>，101.3.12。

<sup>10</sup> 〈烏克蘭「鎧甲」雷達賣給了中共〉，[www.beiming.net/bbs/archiver/?tid-156929.html](http://www.beiming.net/bbs/archiver/?tid-156929.html)，民國95年10月。

## 伍、無源雷達系統作戰運用之效益

### 一、對敵我之影響

若我國布署無源雷達系統，以本軍目前野戰防空現役之各式武器系統而言，若預警雷達遭敵反輻射武器攻擊與摧毀，屆時無雷達系統提供早期預警情資(復仇者飛彈搭配蜂眼雷達 PODARS；雙聯裝刺針飛彈搭配 PSATR 雷達；檜樹飛彈搭配萊茲雷達)，射手僅能依靠發射架之紅外線或目視鏡實施傳統人工方式搜索，對作戰效益而言，雖仍可執行作戰，但與可獲得雷達早期預警情資狀態下相比，系統完成接戰、乃至飛彈發射之接戰時間，將會相對延遲而影響接戰時機與戰力發揮；對敵之影響，若我國擁有具備靜默特性之無源雷達系統，即可提高預警雷達之戰場存活率，對敵機即可達到嚇阻效果，使其不敢忽視我防空領域之防空武器，進而達到防護我地面部隊有生戰力之目標。

### 二、提高防空預警雷達戰場存活率

現代化戰爭，防空預警雷達於戰場上的貢獻，絕對有其核心不可取代之價值，無源雷達因其電子靜默功能特性，不需主動對目標照射訊號源，僅需被動接收目標物所產生之反射波，可充分發揮戰場上之隱蔽效果，相對亦可避免遭受敵反輻射武器攻擊與干擾之機率，提高戰場上之存活率，發揮應有之功能。

### 三、強化防空部隊，有效發揮火力

我防空部隊現有之天弓、鷹式、愛國者、復仇者、檜樹、雙聯裝等武器系統，分別擔負中高與中低空域之防空任務，所配賦之雷達裝備，均採用自身輻射源指向偵測物原理之構型，若其反干擾與隱蔽等電子戰功能無法防禦敵反輻射武器之攻擊，未來高科技戰爭型態只要一經發動，雷達必遭敵鎖定成為首波攻擊目標，屆時各式飛彈縱使其數量再多，不是無用武之地，就是戰力大打折扣，因此若能運用無源雷達系統，整合我現有防空兵力、情資共享、靈活指管，不僅可提高雷達於戰場上之存活率，亦可增強防空部隊之戰力(如表一)。

### 四、機動輕巧，戰場運用靈活：

作戰時若我防空雷達陣地遭敵攻擊摧毀而出現防空間隙時，通常需以機動雷達或預警機予以彌補，故若能妥善運用無源雷達體積小、機動性高並配賦於機動載台靈活布署等特性，結合本島地形周密規劃適切布署位置，平時落實教育訓練，執行維保、戰場經營與戰力保存，戰時即可發揮裝備特性，迅速機動進入戰術位置，伺機接替固定雷達設施，彌補空防間隙。

表一 各型雷達系統介紹與分析

裝備名稱	相列雷達 相照明雷達	脈波搜索雷達 等幅波雷達 高功照明雷達	相列雷達	萊茲雷達	蜂眼雷達 PODARS	PSATR 雷達	天兵雷達
所屬系統	天弓 武器系統	鷹式 武器系統	愛國者 武器系統	檉樹 武器系統	復仇者 武器系統	雙聯裝 武器系統	天兵射控 武器系統
飛彈種類	天弓一、 二型飛彈	鷹式飛彈	愛國者 飛彈	檉樹飛彈	刺針飛彈	刺針飛彈	麻雀飛彈
構型	有輻射源 (主動型)	有輻射源 (主動型)	有輻射源 (主動型)	有輻射源 (主動型)	有輻射源 (主動型)	有輻射源 (主動型)	有輻射源 (主動型)
小結	綜觀我國現役所有防空武器系統所配賦雷達(含中長程、短程)，均係採用有源雷達系統(主動式)，運作過程均須朝向目標物發射輻射源，現階段應變作為不外乎採取雷達關機，或實施射頻管制(僅開放有限度頻道，供測試、教育與訓練之用，保留戰備頻道，避免射頻頻譜遭敵偵蒐破解)，故除非已具備優異反制能力或提升電子戰防護能力(輻射管制)外，屆時戰爭一旦爆發，必定首先成為敵反輻射武器精準攻擊目標，而喪失作戰能力。						

資料來源:作者自行整理

圖八 各型防空飛彈武器系統示意圖



天弓防空飛彈



鷹式防空飛彈



愛國者防空飛彈



檉樹防空飛彈



復仇者防空飛彈



雙聯裝刺針防空飛彈

資料來源：砲校軍事圖庫，[http://www.aams.edu.mil.tw/newsite/army\\_images.html](http://www.aams.edu.mil.tw/newsite/army_images.html)



## 陸、無源雷達發展趨勢及國軍因應作為

時至今日，無源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、運用最新科技，發展網狀化作戰能力

除既有之電子靜默特性，可有效發揮戰場隱蔽效果。無源雷達系統不同於傳統有源雷達(主動式)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，能適應現代戰爭需求。甚至未來如能效法美國陸軍「自動化野戰防空指管系統」運用構想，發展被動雷達系統並將情資與我國發展中的迅安系統整合，則可達到情資共享、統一運用之作戰效益。<sup>11</sup>

### 二、提升外部輻射源辨識來源與性能

無源雷達系統運作所需外部輻射源，現在已能運用行動通信及衛星所產生之定位電波，當作輻射來源，目前除美、俄、歐盟之外，中共亦全力發展自有之「北斗」衛星定位導航系統，其各式新型戰機(艦)之戰術運用，必結合此衛星系統之訊號與情資，避免過度依賴他國衛星而受牽制。因此，若能發展出類似以中共「北斗」系統運作信號為偵測源之無源雷達系統，並提升訊號辨識與計算機運用能力，反而可藉敵之長處，反向操作以掌握其武器系統運用情資。

### 三、靈活布署、平衡防護、相互支援

- (一)由於構型較傳統有源雷達簡單，並拜現代科技之賜，無源雷達系統不僅各項作戰功能日益提升，已符合未來戰場作戰需求，且無源雷達系統其裝備構型通常較傳統有源雷達精簡、製造成本相對低廉，未來可配賦至陸、海、空三軍部隊，依據作戰性質與裝備性能，檢討性能規格，增加運用彈性。
- (二)將有、無源雷達設備複合配置，若傳統有源雷達因系統特性遭敵偵獲或遭敵反輻射武器攻擊時，無源雷達則可適時接續情資搜索任務，以滿足雷達情資偵搜無間隙之目標；反之，當無源雷達系統因缺乏目標信號或目標，致無法正常運作時，即可以傳統有源雷達補其不足。兩者相輔相成，除提高偵蒐效果，亦可增加雷達的戰場隱蔽性及存活能力。以我軍現役野戰防空武器系統(檉樹、復仇者、雙聯裝刺針)為例而言，若僅具

<sup>11</sup> 曹哲維，〈蜂眼雷達系統於野戰防空運用之研究〉《砲兵季刊》，第158期，(台南、陸軍飛彈砲兵學校、民國101年6月)，頁16-17。

有源雷達系統執行早期目標獲得及預警，雷達一旦遭敵反輻射武器制壓或攻擊摧毀時，射手僅能依傳統目獲方式執行目標搜索，如此一來，系統接戰與飛彈射擊之黃金時機則相對延遲、耽誤，致使戰力無法有效發揮。

#### 四、發展無源導控防空飛彈系統

目前中共攻台政策，於「奪保結合」的指導原則之下，<sup>12</sup>必然運用其各方情報網所偵獲之情資，配合精準導彈遂行「點穴」作戰，我軍配賦有源雷達系統之防空飛彈陣地，如天弓飛彈、鷹式飛彈、愛國者飛彈、復仇者飛彈、檜樹飛彈等武器系統，必然成為中共實施精準攻擊之首要目標，以符合其先期奪取制空電磁權及制空權之指導。由於無源雷達系統目標追蹤及辨識能力日漸提升，未來若能進一步研發出被動式地對空防空飛彈系統，使來襲之敵空中目標，喪失早期偵測、預警及反制能力，將可造成來襲敵機之重大威脅。<sup>13</sup>

#### 柒、結語

當前野戰防空武器正值轉型評估之際，依打、裝、編、訓之建軍備戰理念與敵情威脅，思考未來會面臨什麼狀況的防空戰場，而我們需要什麼性能的防空武器與指管雷達，始能因應瞬息萬變的戰爭型態，隨著科技的進步，無源雷達系統運用已相當廣泛，諸如反輻射飛彈、巡弋飛彈、無人飛行載具等均屬其應用範圍，其所蘊含的軍事運用價值值得吾人參考與運用。

中共近年來挾其高度經濟成長之優勢，在許多方面都呈現跨越式的發展，在武器軍備也不例外，許多國、內外的學者都指出兩岸的軍力已不再傾向我方，更不是平衡狀態，而是朝對岸傾斜，面對現今詭譎多變的兩岸情勢與中共至今仍不放棄武力犯臺的野心，身處兵力相對弱勢的我軍，在防衛作戰上，除須增強防衛作戰能力外，更應跳脫傳統作戰思維，以創新戰法並配合現代化裝備，方能克敵制勝，誠如孫子兵法(虛實篇)所言：「兵無常勢，水無常形，能因敵變化而制勝者，謂之神」。

<sup>12</sup> 潘泓池，〈城鎮作戰野戰防空運用之研究〉《砲兵季刊》，第 155 期，(台南、陸軍飛彈砲兵學校、民國 100 年 11 月)，頁 19。

<sup>13</sup> 李秦強，〈被動雷達系統簡介〉《砲兵季刊》，第 152 期，(台南、陸軍飛彈砲兵學校、民國 100 年 3 月)，頁 14-16。

## 參考文獻

- 一、向敬成、張明友，〈雷達系統〉，《五南圖書公司》（台北），2004 年 7 月
- 二、Merrill Skolnik，左群聲等譯，〈雷達系統導論〉，《電子工業出版社》（北平），2006 年 7 月。
- 三、丁鷺飛、耿富录，〈雷達原理〉，《西安電子大學出版社》（西安），2002 年 6 月。
- 四、劉宴慈，〈從中共飛彈對我防空雷達之威脅談無源雷達〉，《國防雜誌》（桃園），第 25 卷第 1 期，國防大學，2010 年 2 月。
- 五、李秦強，〈被動雷達系統簡介〉，《砲兵季刊》（台南），2011 年（1-3 月），第 152 期。
- 六、曹哲維，〈蜂眼雷達系統於野戰防空運用之研究〉，《砲兵季刊》（台南），2012 年 6 月，第 158 期。

## 作者簡介

潘泓池中校，陸官正 63 期、野砲正規班 175 期、陸院 96 年班，歷任排長、連長、作戰官、裁判官、教官、副營長、營長，現任職於陸軍飛彈砲兵學校防空組野戰防空小組主任教官。