



建置無源雷達 對提升國軍防空預警能力之研究

作者簡介



劉昱呈少校，陸軍官校正期93年班、陸軍通訓中心通資電軍官正規班99年班、宜蘭大學電子所碩士95年班，曾任組長、連長、訓練官、裁判官、通信官，現任國防大學陸軍指參學院學員。



李建鵬中校，中正理工學院正期87年班、海軍軍官正規班92年班、國管指參班101年班、國防大學碩士108年班，曾任艦艇修護組長、通參官、資參官、電戰官，現任國防大學國管中心教官。

提要

- 一、1972年越戰，美軍百舌鳥反輻射飛彈投入作戰，而於1989年美軍F-117A戰鬥機成功避開防空雷達入侵巴拿馬，自此各國開始重視「反輻射武器」及「匿蹤技術」研製，進而掀起防空雷達的反制與反反制技術研究熱潮。
- 二、無源雷達為一種不具電波發射源之雷達系統，因其作用原理不易遭到反輻射武器之鎖定，並且能有效偵測到具匿蹤技術之目標，為世界各國現今防空雷達網反制反輻射武器手段之一。
- 三、共軍自1995年起便致力於研發反輻射武器，而我國軍防空預警雷達均屬有源雷達系統，面對中共反輻射武器的威脅處於相對劣勢，提升我國部隊防空預警能力實為當務之急。
- 四、本文藉由蒐整瞭解無源雷達之作用原理及軍事應用趨勢，進而分析我國建置無源雷達之可行性，並提出我國軍部隊建置無源雷達系統以提升防空預警能力之策略，期可供建軍備戰及科技研發之參考。

關鍵詞：匿蹤技術、反輻射武器、無源雷達、防空預警

前言

孫子兵法：「善守者藏於九地之下，善攻者動於九天之上。」¹杜牧註解云：「守者，韜聲滅跡，幽比鬼神，在於地下，不可得而見之；攻者，勢迅聲烈，疾若雷電，如來天上，不可得而備也。」²自有戰爭開始，就是不斷的研究如何攻擊和防禦，從平面到立體空間，不斷的促進戰爭科技的進步。以空戰為例，1912年10月23日義大利派出一架飛機在土耳其上空進行偵察，揭開了飛機參戰的序幕，23年後英國科學家羅伯特·沃森-瓦特(Robert Watson-Watt)利用無線電折返訊號成功發明第一部探測飛機的雷達；二次大戰後，美國於1989年12月20日的「正義之師行動(Operation Just Cause)」，派出6架「F-117A夜鷹戰鬥攻擊機(F-117A Nighthawk Aircraft)」避開防空雷達偵測入侵巴拿馬，立下了人類空戰史一個新的里程碑，之後世界各國便是不斷的研究如何去提早發現F-117A這類的「匿蹤戰機(Stealth Aircraft)」，另一方面又持續的研究如何去避免被新科技的探測技術發現戰機的蹤跡。

現今軍事應用之「匿蹤技術(Stealth Technology)」或可稱之為「低可偵測性技術(Low Observable Technology)」，主要是指具備這項技術的裝備或載台在雷達、紅外線(Infrared)及聲音(Acoustic)探測之下，可以達到隱匿行蹤之能力。相對於雷達在防空預警之優異成效，同時也助長了反輻射武器的問世，如「百舌鳥(Shrike)」飛彈(AGM-45)運用飛彈頭的尋標器(Seeker)，接收外在雷達波訊號來校正方向進而鎖定摧毀雷達；另1990年以色列研製的哈比無人機，經發射後盤旋於目標區上空，遭雷達探測時即由「被動式電磁波尋標器(Passive Radiation-Homing Seeker)」導引對雷達實施自殺式攻擊，與「反輻射飛彈(Anti-Radiation Missile, ARM)」並稱為「雷達殺手」。³

就我國的情勢而言，主要威脅來自於共軍，其欲武力犯臺，除了充分掌握制空權、制海權優勢，還須絕對掌握制電磁權。近年來共軍對於匿蹤技術及無人飛行載具科技的發展迅速，其主要目的就是要掌握「制電磁權」及「制空權」，達到「空天一體，攻防兼備」目標。而對應「反輻射武器」及「匿蹤技術」之進展，雙基

1 吳仁傑，《新譯孫子讀本》(臺北市：三民，2008年1月)，頁26。

2 〈孫子兵法：善守者藏於「九地之下」，善攻者動於「九天之上」〉《每日頭條》，2019年9月1日，<https://kknews.cc/culture/34vkk98.html>，檢索日期：2020年11月28日。

3 林瑞益、羅印沖，〈哈比無人機，曾列陸對臺撒手鐮〉《中時新聞網》，2016年1月29日，<https://www.chinatimes.com/newspapers/20160129000896-260301?chdtv>，檢索日期：2020年11月28日。



雷達(Bistatic Radar)、多基雷達(Multistatic Radar Systems, MSRS)及無源雷達(Passive Radar)等各種防空預警雷達技術亦同步突飛猛進，本文藉探討無源雷達之特性及其軍事應用，分析我國現有防空雷達預警能力與相關因素，據以研擬防空雷達基地遭攻擊時之策應作為，進而提出國軍部隊建置無源雷達系統以提升防空預警能力之策略，期可提供未來建軍備戰及科技研發之參據。

無源雷達之運用發展

一、無源雷達原理與特性

追溯無源雷達的緣起，可以發現其歷史和雷達的誕生相差無幾。英國於1935年在達文垂(Daventry)小鎮上，以BBC廣播電台發射的高頻無線電電波，運用10公里外2部運輸車上的接收裝置，成功追蹤到了12公里外的英國空軍「黑福德(Heyford)」重型轟炸機，驗證了無源雷達可實際應用於防空預警作業，爾後這類不主動發射無線電電波的雷達系統稱之為

「無源雷達」，亦即由接收天線組成，藉廣播無線電發射源之回波與目標本身之無線電發射源，實施偵測搜索。⁴ 二次大戰之後，各國均競相研發相位陣列雷達(Phased Array Radar)，偏重於雷達的掃描範圍和精度功能要求，而捷克人弗·佩赫(F Pech)與當下的雷達設計概念背道而馳，以不發射無線電電波的想法，發明出僅藉由目標物發出的無線電訊號定位、追蹤其目標的「塔馬拉雷達系統(Tamala Radar System)」，此後歷經研改成了現代無源雷達中最具代表性的「維拉雷達(Vera Radar)」。⁵

「無源雷達」就原文又可翻譯稱為「被動雷達」，從發明之初便可知其工作原理並非真的「無」發射「源」，而是利用「非協同式(Non-cooperative)」⁶的外部無線電電波，接收從目標物體上發出的雷達截面積(Radar Cross Section, RCS)值來達到定位、追蹤，是一種「非主動」發射無線電電波掃描之雷達系統。⁷ 無源雷達的作業原理在於計算目標的雷達截面積

4 Dimitrios Oikonomou, Panagiotis Nomikos, George Limnaios and Konstantinos Zikidis, "Passive Radars and their use in the Modern Battlefield", Journal of Computations & Modelling, 2019, vol.9, no.2, pp. 37-61.

5 〈塔馬拉效應〉《MBA 智庫百科》，<https://wiki.mbalib.com/zh-tw/塔馬拉效應>，檢索日期：2020年10月25日。

6 所謂「協同式(Cooperative)」即主動雷達以本身特定之無線電電波實施偵測的工作方式，而無源雷達因本身不具備發射源(無線電電波)，因此必須以外部之無線電訊號執行偵測，此類工作方式即為「非協同式(Non-cooperative)」。

7 〈數百公里空域捕捉敵機，無源探測電子戰裝備亮相珠海〉《ETtoday新聞雲》，2016年11月30日，<https://www.ettoday.net/news/20161103/804221.htm>，檢索日期：2020年10月25日。

(RCS)值、無線電波與目標的夾角、無線電波極化方式、頻寬等數值以及雷達可接收的最小無線電訊號強度。依據無源雷達配置方式、工作原理、運作模式及天線型式分類，彙整如表1。

無論是上述哪一種類型，其偵測和鎖定目標的原理均大同小異，以「維拉-NG(Vera-New Generation)」雷達系統圖(如圖1)為例，說明無源雷達對目標的偵測方式。圖中位於X軸上的車子，其代表外部無線電電波發射源，而在圖上方飛機(目標)會折射車子發出的無線電電波，另飛機本身也會因敵我識別、空中導航、資

料傳輸等作業需求發射無線電電波，使得位於地面的中央接收站(Center Receive Station, CRS)可將本身及第1至3個信號接收站(Signal Receive Station, SRS)所接收到的飛機電波訊號彙整，交由中央處理系統(Central Processing System, CPS)運算後，即可對飛機(目標)實施定位與追蹤。⁸

古人云：「善藏者人不可知，能知者人無以藏」。⁹無源雷達因其工作原理及運作方式完美的演繹了這句古諺，以下歸納出幾項特點：¹⁰

(一)雷達系統不發射無線電波，不易

表1 無源雷達分類表

配置方式	固定式：定點雷達站。
	機動式：艦載、機載、車載。
工作原理 (非協同式)	以目標(飛機、導彈)本身發出之無線電電波(如敵我識別、空中導航、資料傳輸等)作為雷達系統偵測的訊號源。
	以外部無線電波訊號，如廣播、電視無線電、通信站台、全球定位系統(GPS)及其他系統訊號等，利用商用或既有之恆定無線訊號，純粹接收目標物通過時對電波之干擾並解算其位置，此類系統較易受到無線電電波傳遞特性影響。
運作模式	單站(基)模式，單一雷達接收站即可偵測空中目標。
	雙站(基)及多站(基)模式，系統因多站重疊定位致偵測精準度較高。
天線型式	全向性天線。
	相位陣列天線。

資料來源：作者整理。

8 〈中國打破美國封鎖，研製成功無源雷達探測到 F-22〉《每日頭條》，2016 年 9 月 17 日，<https://kknews.cc/military/mp4986.html>，檢索日期：2020 年 10 月 25 日。

9 〈看古人鬥智鬥勇，品當世生存格言〉《每日頭條》，2017 年 7 月 11 日，<https://kknews.cc/zh-tw/history/yyy3vgb.html>，檢索日期：2020 年 10 月 25 日。

10 李銳博恩，〈無源定位學習總結(一)〉《無源定位》，2018 年 9 月 6 日，https://blog.csdn.net/Reborn_Lee/article/details/82468058，檢索日期：2020 年 10 月 25 日。



遭反輻射武器偵測鎖定攻擊，具備良好之隱蔽性，可提高雷達系統存活率及可用度。

(二)有別於主動雷達以雷達截面積(RCS)值做為系統偵測主要參數，無源雷達藉目標物發出或折射之無線電電波做為系統偵測參數，對匿蹤飛機、無人飛行載具及巡弋飛彈等目標較具偵測能力。

(三)可採單一或多個接收站共同運作模式作業，惟單一定點的接收站較難以精準定位目標，運作多站模式作業即可以提高定位之精度及範圍。

(四)雷達系統的性能與接收站的配置息息相關，如果各接收站距離太近，對於目標的定位就無法發揮其應有之效能，所以接收站的配置應考量需求、外部環境、地形等因素因地制宜，以使偵測效能最佳化。

二、無源雷達之軍事應用

相較於無源雷達的特點，此類型系

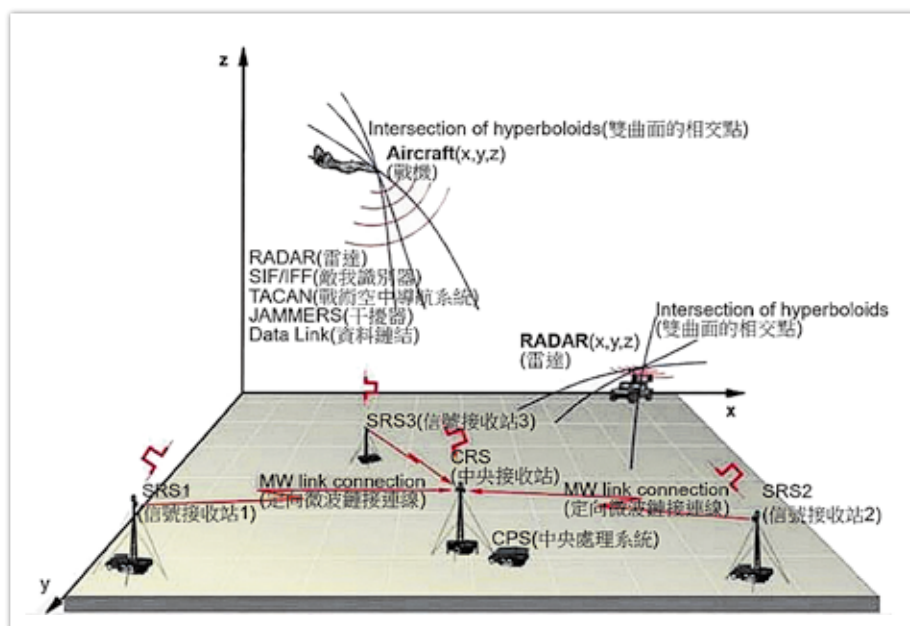


圖1 「維拉-NG」雷達系統運作示意圖

資料來源：參考 <https://kknews.cc/military/mp4986.html>，檢索日期：2020年10月25日，由作者彙整製圖。

統也存在著無可避免的難題，其一為資料彙整運算非常複雜，包含了無線電發射端的電波特性和(頻率、功率)、雷達系統參數、系統傳輸損耗等，¹¹ 雷達系統在運算時必須將目標的訊號和外部的電磁環境雜訊區分開，接著將各接收站的訊號實施配對，如此才能正確得到目標的資訊；其二則是所接收的無線電電波訊號較微弱，且易受到電磁干擾而影響其作業效能。¹² 然匿蹤技術及反輻射武器發展日新月異，為了因應其所帶來之威脅，各國仍持續研發軍事領域應用之無源雷達系統，茲列

11 陳明福、王超、施軍，〈多站無源雷達作用距離和覆蓋範圍分析〉《現代雷達》，2020年2月，第42卷第2期，頁8～10。

12 〈無源定位的基本概念與體制〉《每日頭條》，2019年2月20日，<https://kknews.cc/zh-tw/science/3alk648.html>，檢索日期：2020年10月25日。

舉捷克、美國及中共無源雷達之軍事應用現況如下。

(一) 捷克「維拉-NG」雷達

「維拉-NG」雷達為捷克最新型式的多站無源雷達系統(同圖1)，系統由4個機動站台組成，天線型式均為全向性天線。系統開設時各個信號接收站(SRS)距離中央接收站(CRS)約50至70公里，

分別負責其方位的 120° 範圍，藉此達到系統 360° 全向偵測能力。系統利用CRS及各SRS接收到目標無線電訊號的時間差實施運算定位，最遠偵測距離可以達到400公里，可接收無線電電波頻率範圍約在50MHz至18GHz，¹³其作業頻段涵蓋了調頻廣播、數位電視無線訊號、航空通訊、無線電通訊、無線網路訊號、雷達及人造衛星訊號等用途之無線電電波。¹⁴



圖2 維拉-NG雷達系統實際開設圖

資料來源：1.<https://www.army.cz/scripts/detail.php?id=6733>。

2.<https://www.e15.cz/domaci/radary-vera-staly-cesko-trikrat-tolik-co-nato-1366183>，檢索日期：2020年10月26日。

3.由作者彙整製圖。

圖2為「維拉-NG」雷達系統實際開設圖，其右上圖顯示系統站台僅需3人架設，約於1小時內能升起17公尺高之天線開始執行偵測作業；¹⁵左圖為CRS及CPS完成開設後之狀態，因不具備無線電電波發射訊號，可達到極佳之隱、掩蔽效果；右下圖為SRS開設型態，僅需天線模組(約85公斤)及通信設備(15公斤)即可開設，極為便利且易於部署。¹⁶

13 〈越南部署「維拉-NG」無源雷達〉《人民網》，2020年3月24日，<http://military.people.com.cn/BIG5/n1/2020/0324/c1011-31645998.html>，檢索日期：2020年9月26日。

14 國家通訊傳播委員會，〈中華民國無線電頻率分配表〉《現代雷達》，2017年6月，頁23。

15 〈無源雷達概述(一)〉《微波EDA網》，<http://www.mweda.com/mwqa-9161-1.html>，檢索日期：2020年10月26日。

16 Indomiliter, "Lindungi Wilayah Natuna, Indonesia Pilih Radar Pasif Vera-NG, Pengendus Pesawat Stealth", 2018/1/3, <https://www.indomiliter.com/lindungi-wilayah-natuna-indonesia-pilih-radar-pasif-vera-ng-pengendus-pesawat-stealth/>，檢索日期：2020年10月29日。



目前使用「維拉-NG」雷達系統計有巴基斯坦、愛沙尼亞、馬來西亞、越南及美國等國家，其中越南將所購置的4套系統部署於國土北側面向中共之方向，經測試結果可在400公里外同時偵測200個空中目標，涵蓋範圍可到達中共廣西，雷達發現目標反應時間僅需1~5秒，在250公里外即可偵測到美軍B-2轟炸機，替越南防空系統增加了10分鐘的預警時間。¹⁷

(二)美國「沉默哨兵」雷達

F-117A夜鷹戰鬥攻擊機問世以來，美國的匿蹤及反輻射武器等技術長期居於領先地位，¹⁸然無可避免的在具備此等科技之同時，亦畏懼其威脅性，因此亦步亦趨研究其反制技術，以避免反遭其鋒銳所傷。「沉默哨兵(Silent Sentry)」為美國洛克希德馬丁(Lockheed Martin)公司於1988年研發的無源雷達系統，其構型有

別於捷克「維拉-NG」雷達，是屬於單站式無源雷達系統(如圖3)。「沉默哨兵」系統採用相位陣列天線接收訊號，藉由「到達時間差(Time Difference of Arrival, TDOA)」提升其定位的精確度；¹⁹系統接收諸如廣播、數位電視台等民用電信業者基地台的無線電波訊號，經解算多個訊號直接傳遞與被目標折射到系統的時間差，達到定位和追蹤目標之目的，此類系統的定位準確度取決於外部無線電訊號的多寡

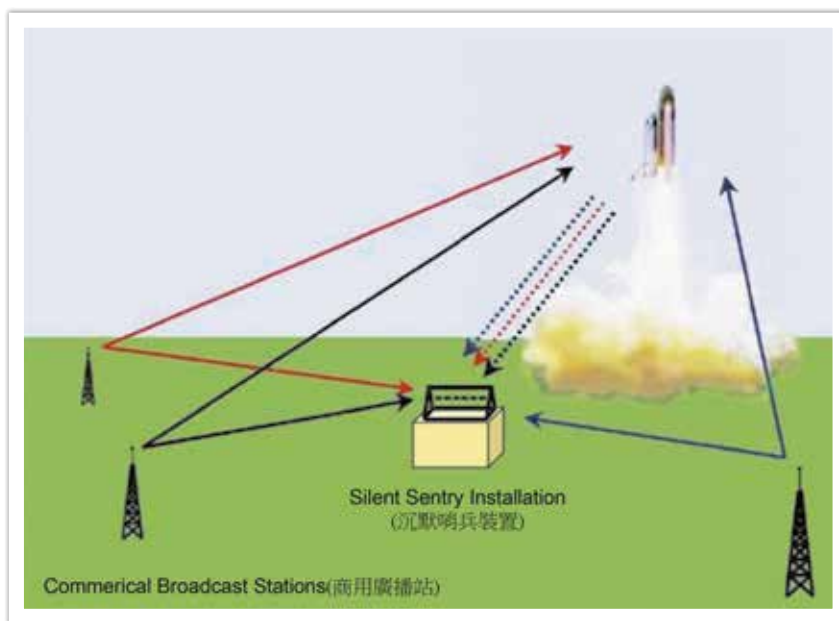


圖3 沉默哨兵雷達運作示意圖

資料來源：參考 https://bbs.tiexue.net/post_4977076_1.html，檢索日期：2020年11月2日，由作者彙整製圖。

- 17 〈中國欲購反隱身雷達被美國阻止〉《壹讀》，2016年9月18日，<https://read01.com/Q28PxG.html#YAa7zegzZPY>，檢索日期：2021年1月19日。
- 18 黃浩恩、舒孝煌、許智翔、蔡榮峰，〈第一章主要國家軍事科技發展趨勢〉蘇紫雲、曾怡碩，《2018國防科技趨勢評估報告》(財團法人國防安全研究院，2018年12月)，頁12。
- 19 嚴明，〈利用電視調頻廣播載波信號的雙(多)基地雷達系統〉《現代雷達》，2000年8月，第22卷第4期，頁23。

、位置、頻率及資料彙整運算的模式。²⁰

「沉默哨兵」運用新式的「精確定位與識別(Precise Localization and Identification, PLAID)」系統，於其資料庫建立了全球約5.5萬筆民用基地台的位置、頻率及相關參數，以過濾干擾訊號；可對飛機、船艦、車輛及導彈等實施定位追蹤，偵測距離可達220公里，並同時偵測200個目標。²¹ 其系統可安裝於地面建築物、飛機、貨櫃及船艦，甚至洛克希德馬丁公司曾試驗安裝於潛艇之潛望鏡上，利用沿岸的無線電廣播達到偵測之目的。

「沉默哨兵」被運用在美國沿岸防空預警上，不僅限於作戰方面，對於企圖低空掠過空境之偷渡飛機，也具備了極佳的警戒功能，曾經一架DC-9貨機欲從墨西哥灣北部偷渡可卡因等違禁品，且該機型上具備了多個雷達接收警告器，但在

毫無預警的情況之下，「沉默哨兵」雷達利用了2個鄉村電台及芝麻街美語的無線電視台訊號，成功的偵獲該機行蹤。²²

(三)中共無源雷達

2004年5月中共欲以六千萬美元向捷克購置維拉雷達系統，因遭美國干涉而作罷。²³ 後續從烏克蘭引進俄系「鎧甲(Kolchuga)」系統，進而藉此研發出自有的無源雷達技術。2017年巴黎航展上中共首次展出的「YLC-29雷達系統」(如圖4，圖右為無線電發射站，圖左則為接收站)，此型系統屬於收發分離式「雙基雷達」，從接收站天線外觀可知，其運用相位陣列天線技術實施目標定位、追蹤。²⁴ 此系統具備所屬之發射源，使其系統資料運算彙整上較為簡易，惟其仍受反輻射武器威脅。此系統必須於多個不同方向部署，使匿蹤目標在某一方向產生較強之RCS值因而可定位追蹤。²⁵ 此種部署方法一方面

20 王森根、王俊，〈基於外輻射源的分布式無源雷達成像算法〉《西安大學電子科技大學學報(自然科學版)》，2006年12月，第33卷第6期，頁910。

21 〈無源雷達的發展歷史和趨勢〉《電子工程世界》，2018年8月12日，http://news.eeworld.com.cn/qrs/2018/ic-news081250556_2.html，檢索日期：2020年11月2日。

22 〈COTS技術可實現無源地面雷達〉《Military&Aerospace Electronics》，1998年12月1日，<https://www.militaryaerospace.com/communications/article/16707518/cots-technology-enables-passive-groundbased-radar>，檢索日期：2021年1月19日。

23 〈捷克政府取消對華出口雷達〉《BBC CHINESE》，2004年5月20日，http://news.bbc.co.uk/chinese/trad/hi/newsid_3730000/newsid_3733900/3733981.stm，檢索日期：2020年11月3日。

24 〈中國電科將攜多型雷達參加2017巴黎航展 YLC-29反隱身雷達將首度亮相〉《千龍網》，2017年6月15日，<http://mil.qianlong.com/2017/0615/1774591.shtml>，檢索日期：2020年11月4日。

25 黃國志，〈講武談兵，中國 YLC-29 無源雷達亮相，強于“維拉”雷達〉《澎湃》，2017年7月19日，https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_1735752，檢索日期：2020年11月4日。



可強化系統偵測精準度，二方面亦可提升系統存活率。

2018年第12屆珠海航展上中共展示一款新研製的「DWL002」雷達，系統類似於捷克「維拉-NG」雷達，由3部雷達車(如圖5所示，可擴充至4部)及1部指揮車(計算、控制)組成，²⁶藉由目標(飛機、飛彈)所發出無線電訊號來實施定位、追蹤，對匿蹤目標探測距離可達400公里，因此偵測範圍大，一套系統至少可以覆蓋1,000多平方公里的探測面積。²⁷

近期中共在西南高原的洞朗地區新部署了2座防空預警雷達站，其中均配備了有源、無源雷達及飛彈導引雷達，其範圍可涵蓋到印度東北城市，可嚴密掌握邊界的空中情資。²⁸另在「中東和北非防務」網站中的一張照片可以發現，阿爾及利亞參謀長視察基層的背景中出現了「



圖4 「YLC-29」雷達車

資料來源：https://bbs.tiexue.net/post_4977076_1.html，檢索日期：2020年11月4日。

「DWL002」雷達，代表該系統的性能已在國際上獲得認可並開始出口國外部署，其系統不只可用於防空預警，更可結合防空武器實施飛彈導引攻擊。²⁹

三、各類型無源雷達比較

上述列舉了捷克、美國及中共等國計4種類型無源雷達，均具備有效探測匿蹤目標(匿蹤戰機、無人機、巡弋飛彈等)之能力。就涵蓋範圍而言，以多站部署的

26 〈DWL002 雷達〉《中文百科》，<https://www.newton.com.tw/wiki/DWL002> 雷達，檢索日期：2020年11月4日。

27 〈中國公開展出反隱身雷達並不是最強？B-2、F-22、F-35 統統被降級〉《壹讀》，2018年12月30日，<https://read01.com/4DPLgy8.html#.X6K5sVgzZ0w>，檢索日期：2020年11月4日。

28 〈中國在高原部署兩座防空雷達，印軍機一起飛就被監視〉《熱備資訊》，2021年1月19日，<https://zh-hant.hotbak.net/key/中國在高原部署兩座防空雷達印軍機一起飛就被監視 MB.html>，檢索日期：2021年1月19日。

29 〈我國反隱身雷達現身非洲，你的手機信號也能幫助反F-35〉《每日新聞》，2020年1月2日，<https://looknews.cc/zh-hant/youxi/558441.html>，檢索日期：2021年1月19日。



圖5 「DWL002」雷達車

資料來源：1. <https://www.metavr.com/index.php/products/3Dcontent/metavrFeaturedModel-DWL002.html>，檢索日期：2020年11月29日；
2. 由作者彙整製圖。

方式涵蓋範圍最廣；而就定位精確度而言，則以使用相位陣列接收天線較佳；另以收發分離式的雙基無源雷達，仍存有遭反輻射武器攻擊之顧慮。本文茲將其天線型式、運作方式及特點等實施分類比較如表2。

2019年1月23日中共生產之JY-27米波雷達在敘利亞遭以色列空軍反制、摧毀，足證有源雷達之存活率不足；³⁰ 2019年9月14日沙烏地阿拉伯的油田遭葉門叛軍以無人機隊

表2 無源雷達系統比較表

比較項目 雷達種類	天線型式	非協同方式	運作方式	特點
維拉-NG (Vera-NG)	全向式	目標發出之無線電訊號	多站組成 3部SRS 1部CRS 1部CPS	1.造價便宜 2.系統運算簡單 3.反輻射武器威脅小
沉默哨兵 (Silent Sentry)	相位陣列	外部無線電發射之電波訊號	單站 (可擴充接收站數目)	1.單站即可工作 2.反輻射武器威脅小
YLC-29	相位陣列	系統所屬之無線電電波訊號	收發分離 1接收站 1發射站	1.系統運算簡單 2.反輻射武器威脅高
DWL002	全向式 指向性	目標發出之無線電訊號	多站組成 1指揮站 3接收站	1.造價便宜 2.系統運算簡單 3.反輻射武器威脅小

資料來源：作者自行彙整。

30 江飛宇，〈以色列在敘利亞空襲期間，摧毀陸製JY27雷達〉《中時新聞網》，2019年2月21日，<https://www.chinatimes.com/realtimenews/20190221004167-260417?chdtv>，檢索日期：2021年2月26日。



襲擊，其中無人機隊在經過愛國者飛彈雷達陣列的防禦領空時，未觸發攔截機制。³¹由此可知無人機對於雷達的反制能力，而伴隨科技日新月異，武器系統的與時俱進，未來空中載具將會具備匿蹤、超音速能力，³²達到「穿透性制空(Penetrating Counter-Air, PCA)」概念。³³未來即使在我國軍部隊防空系統完整的狀況之下，共軍仍可以先進空中武力突入我方空域作戰，對重要軍事目標實施攻擊，打開我方防禦突破口，再以海空聯合作戰優勢擴大突破口，達成「奪島攻臺」的最終目標。有鑑於此，我國防空預警上勢必將面臨全新的挑戰，而最重要的即是如何有效反制敵空中武力的突防與強化防空預警系統的存活性及可用性。

整體防空預警能力分析

一、防空預警系統演進

我國的軍事戰略發展自1969年的「

攻勢作戰」直至現今的「防衛固守、重層嚇阻」，依據整體防衛構想，作戰目標就是不讓共軍達成奪取臺灣本島之目的，³⁴然欲達此一目標，就必須要能料敵機先，完善國軍的預警機制。

以臺灣的戰場地形而言，南北縱長377公里、東西橫寬142公里，海岸線全長1,200公里(不含澎湖)，³⁵臺灣海峽寬約130至230公里，以共軍殲10巡航速度0.95馬赫計算，12分鐘內即可抵達臺灣上空，加上近年共軍航空母艦遼寧號、山東號成軍，對我空中武力威脅變本加厲，因此防空預警一直是我國建軍備戰努力的重點。我國自1975年起從美國引進了第一代防空系統，構建了包含指揮(Command)、控制(Control)、通信(Communication)與情報(Intelligence)的C³I系統，其構成區分管報中心(Control Report Center, CRC)、管報站(Control Report Post, CRP)及報告站(Report Post, RP)三個部分，將戰管中心

31 許祐誠，〈突擊沙國無人機僅花46萬！穿越愛國者飛彈雷達陣列時「沒反應」〉《ETtoday新聞雲》，2019年9月17日，<https://www.ettoday.net/news/20190917/1536906.htm>，檢索日期：2020年11月4日。

32 〈五代未平六代起？波音秀第六代戰機概念圖〉《尖端科技軍事雜誌社》，<https://www.dtmtdatabase.com/News.aspx?id=150>，檢索日期：2020年11月7日。

33 舒孝煌、許智翔，〈科技趨勢〉蘇紫雲、吳俊德，《2019國防科技趨勢評估報告》(財團法人國防安全研究院，2019年12月)，頁113。

34 中華民國108年國防報告書編纂委員會，《中華民國108年國防報告書》(國防部，2019年9月)，頁58。

35 〈臺灣海岸詳介〉《經濟部水利署》，<https://www.wra.gov.tw/News.aspx?n=3253&sms=9088>，檢索日期：2020年11月8日。

、雷達站、基地及陣地資料同步鏈結，達到防空指揮一體化。³⁶

1994年因應全球資訊技術的進步，我國耗資了50億將第一代防空系統提升為第二代全自動化防空系統，並在隔年購置E-2T空中預警機加入防空預警行列。³⁷ 第二代自動化防空系統區分主作戰指揮中心1處及預備指揮中心4處，其系統經由專用電路鏈接參謀本部、海軍、空軍、民航局、陣地、機場及預警機。³⁸ 近年更是將第二代系統提升至第三代系統，並將新購入的防空飛彈系統納入，形成我國防空神經中樞。³⁹

我國的防空預警系統，在歷年不斷的增強之下，其各式防空雷達及地對空飛彈之數量及質量，已達世界前茅之列，⁴⁰ 然而面對爾後的情勢無論是採取「豪豬戰略(Porcupine Strategy)」，以增加地面防空武力為發展趨勢，抑或是維持「正規戰

略」，以陸海空協同方式發展國防自主，⁴¹ 防空系統仍是戰備整備不可鬆懈的部分。

二、現階段防空預警能力

雷達為防空系統之眼，其性能直接攸關預警能力之優劣，我國現有防空部隊依任務可以區分為預警雷達及導引雷達兩大類，⁴² 分別擔任全天候遠端監控警戒及接戰時武器導引之任務。而防空雷達又可依偵測距離區分為遠程雷達、中程雷達和近程雷達。⁴³

(一)遠程預警雷達

我國防空遠程雷達均屬於預警雷達，區分固定式(地面雷達站)及機動式(機動雷達車)兩種型式，分布於臺、澎、金、馬各處，自1999年起陸續透由對美軍購案完成建置。固定式預警範圍可覆蓋中國大陸東部、中部及南部戰區，⁴⁴ 最遠可達西部與北部戰區，⁴⁵ 工作方式為有源雷達

36 楊睿華，〈防空預警雷達之探討〉《中華科技大學電子工程系碩士學位論文》，2019年7月，頁179。

37 朱明，〈【獨家】愛三、弓三防空飛彈無法納入「震網」聯戰系統出現致命死角〉《上報》，https://www.upmedia.mg/news_info.php?SerialNo=3769，檢索日期：2020年11月12日。

38 〈臺灣空軍「強網」系統〉《全球防務》，<http://www.defence.org.cn/article-3-1342.html>，檢索日期：2020年11月12日。

39 陶本和，〈空軍作戰升級「震網」納入愛國者屏東山區增設雷達站〉《ETtoday新聞雲》，<https://www.ettoday.net/news/20200831/1797479.htm>，檢索日期：2020年11月12日。

40 廖東慶，〈全世界防空最嚴密的國家——臺灣〉《臺灣海外網》，<https://www.taiwanus.net/news/press/2020/202003311815361561.htm>，檢索日期：2020年11月21日。

41 財團法人國防安全研究院，〈2019國防科技趨勢評估報告〉，2019年12月，頁81、119。

42 〈史上最全軍用雷達分類〉《每日頭條》，2014年11月28日，<https://kknews.cc/zh-tw/military/rzl3bgn.html>，檢索日期：2020年11月18日。

43 ~ 45 於下頁。



系統，可即時提供戰場情勢及預測飛彈落點，2012年12月於北韓試射導彈期間，精確掌握導彈試射過程及落點。⁴⁶另因應共軍五代戰機威脅，我國分別於民國109年編列14億8千餘萬元預算提升低RCS值目標動態偵測性能，⁴⁷民國110年執行「敵我識別裝備」研製計畫，以提升早期預警能力。⁴⁸

機動式系統工作方式同樣為有源雷達，可肆應戰場狀況需求機動至任務地點實施開設，開設時效一般約需45~90分鐘，⁴⁹開設後系統具備與固定式系統通用性，⁵⁰可發現八成空中的非匿蹤目標，⁵¹另外系統具有威脅告警裝置，可提升戰場

上的存活率。⁵²

(二)中程預警雷達

防空中程雷達是我國第二代防空系統中的主力雷達體系，⁵³屬於固定式預警雷達，自1984年起陸續購入建置，主要分布於臺灣中南部，預警範圍因考量當時共軍軍力的威脅，僅涵蓋中國大陸東、南部戰區，⁵⁴以空中目標1馬赫速度換算，概可獲得6~10分鐘的預警時間，工作方式為有源雷達系統，具備三維座標定位功能以及較佳的抗干擾能力，在空中目標進入偵測範圍內，可精準的定位其座標及高度資料，惟其系統屬前一代設備，於2008年初已替換乙套作為陳展教

43 馮文遠，《電子武器科技知識·上》（遼寧省瀋陽市：遼海出版社，2011年1月1日），頁26。

44 〈AN/FPS-117"Seek Igloo"(RRP-117)〉《radartutorial.eu》，<https://www.radartutorial.eu/19.kartei/02.surv/karte007.en.html>，檢索日期：2020年11月21日。

45 〈AN/FPS-115"Pave Paws"〉《radartutorial.eu》，<https://www.radartutorial.eu/19.kartei/01.oth/karte004.en.html>，檢索日期：2020年11月21日。

46 何志威、彭群堂，〈從日、韓對北韓彈道飛彈威脅應處作為論對我之啟示〉《海軍學術雙月刊》，2018年10月1日，第52卷第5期，頁43。

47 中華民國國防部，《109年度國防部所屬單位法定預算書表》，2020年2月5日，頁351、352。

48 中華民國國防部，《110年度國防部所屬單位法定預算書表》，頁340。

49 〈AN/TPS-75 Radar System〉《FAS》，<https://fas.org/man/dod-101/sys/ac/equip/an-tps-75.htm>，檢索日期：2020年11月19日。

50 〈AN/TPS-77〉《radartutorial.eu》，<https://www.radartutorial.eu/19.kartei/02.surv/karte025.en.html>，檢索日期：2020年11月21日。

51 Lockheed Martin，〈TPS-77 Long-Range Radar System〉，2000年3月，Washington，《AN/TPS-77 LONG-RANG AIR SURVEILLANCE RADARS》，頁2。

52 孫惠媛，〈AN/TPS-75(V)雷達〉《現代雷達》，2001年第4期，<https://mall.cnki.net/magazine/Article/XDLD200104022.htm>，檢索日期：2020年11月19日。

53 劉春生、王偉，〈臺灣防空系統雷達的發展現狀及性能分析〉《航天電子對抗》，2001(4)，頁21。

54 〈軍武，臺灣防空戰力，俄羅斯媒體：不容忽視〉《鉅亨網新聞中心》，<https://news.cnyes.com/news/id/950008>，檢索日期：2020年11月18日。

學使用。⁵⁵

1980年代期間，共軍由鄧小平執政，其空中武力主要為蘇愷-27(Su-27)以及殲-8(J-8)，其電戰能力薄弱，另戰略導彈於1984年國慶閱兵才第一次亮相，⁵⁶相對共軍威脅，當時之防空預警能力已綽綽有餘，但以現今電子戰科技發展，中程預警雷達對於低RCS值目標及電子戰干擾反制，單一雷達站偵測力已明顯不足，且中程雷達未具有機動開設能力，假設戰時遭攻擊破壞，即喪失了中程防空預警能力。

(三)近程預警雷達

我國近程雷達是由各式防空武器系統導引雷達共同組成的防空體系，為我國防戰力發展之重點，⁵⁷自1980年起不斷地透由軍購或是自主研發建置，⁵⁸分布於各作戰區，且可肆應戰況需求調整部署，

其範圍完全覆蓋臺灣海峽，最遠可達共軍東部戰區沿海一線，⁵⁹工作方式為有源雷達系統，具備了較佳的多目標偵測、追蹤能力，同時具備敵我識別與電子反反制之能力。⁶⁰

然而導引雷達和預警雷達因最初設計目的不同，雖然都具備了對空中目標的偵測、定位能力，性能上卻無法取代預警雷達，防空預警雷達著重於全空域的偵測任務，對目標實施偵測定位後，由導引雷達鎖定目標直至攻擊摧毀。⁶¹因此在作戰過程中，武器導引雷達將會持續收到遠、中、近程預警雷達發現之目標，進而執行鎖定攻擊之任務，如欲以導引雷達取代預警雷達之作法實為不智之舉。

三、弱點分析

依據前段我國防空預警雷達能力概

55 空軍航空技術學校，〈本校舉辦 GE-592 雷達陳展揭牌典禮〉，2017年9月20日，<https://www.facebook.com/afats2014/posts/679306005602998/>，檢索日期：2020年11月18日。

56 姜廷玉，〈閱兵·檔案—1984年國慶閱兵：中國戰略導彈第一次揭開神秘面紗〉《中華人民共和國國防部》，2019年9月21日，http://www.mod.gov.cn/big5/education/2019-09/21/content_4850865.htm，檢索日期：2020年12月22日。

57 同註33，頁66。

58 〈美國對臺軍售列表〉《維基百科》，2020年12月8日，<https://zh.wikipedia.org/wiki/美國對臺軍售列表>，檢索日期：2020年12月10日。

59 BobChen 的科學占星，〈臺灣防空與 F-16V 的部署〉《隨意窩》，2019年9月5日，<https://blog.xuite.net/bobchen7/wretch/588234095>，檢索日期：2020年12月9日。

60 〈天弓三型防空飛彈武器系統〉《中山科學研究院》，https://www.ncsist.org.tw/csisdup/products/product.aspx?product_Id=11&catalog=28，檢索日期：2020年12月10日。

61 〈【答客問】關於飛彈導引與搜索、射控雷達！《上》〉《假圖天國》，<https://sophist4ever.pixnet.net/blog/post/26213919>，檢索日期：2020年12月22日。



述內容，概可歸納出四項弱點，分述如下：

(一)工作方式上均屬於有源雷達系統

我國防空雷達無論是防空預警或是導引用雷達，均是屬於有源雷達系統，面對反輻射武器幾乎無防護能力，且我國軍事戰略採守勢作為，固定式雷達站之部署位置易遭共軍偵測掌握，不易以「誘標雷達(Decoy System)」達到誘騙反輻射導彈、防護雷達之目的。⁶²

2019年7月1日以色列運用F-35匿蹤轟炸敘利亞境內的軍事研究設施、機場等多個軍事目標，即使敘利亞配備了俄羅斯S-300、S-400防空導彈及中共Y-J27反匿蹤雷達，仍無法阻擋以色列的空襲，顯示因應未來科技戰爭防空雷達偵蒐性能提升的重要性。⁶³

(二)系統主要針對中、高層空中目標

我國防空系統於建立之始，因共軍導彈威脅之影響，均針對中、高空層之目標，對於0~100公尺高度之空中威脅，

因雷達波受海面及地形雜波影響，降低了目標被偵測的可能性，因此共軍面對我國周密的防空體系之下，低空突破給予了一個較佳行動方案的可能性。⁶⁴

(三)對低RCS值目標偵測能力較弱

我國的預警雷達系統，迄2004年後便未再新設，⁶⁵僅每年編列預算予以維護及提升性能，而共軍於近20年來空中匿蹤戰機、無人機之技術迅速發展，其低RCS值之匿蹤設計造成了我防空預警嚴重的威脅，雖部分雷達可提升性能，然對其餘無法提升之第一、二代之防空預警雷達，其預警能力備受考驗。⁶⁶

(四)機動預警雷達的數量不足

以國土之防空預警論述，我國預警雷達於建立之始，便以固定式雷達站為主要設施，然面對共軍武力犯臺之優先攻擊目標，⁶⁷假設在固定雷達站遭攻擊破壞，現有機動雷達車將擔任預警任務的主要系統。然在「灘岸殲敵」階段，國軍部隊兵力遂行空地整體作戰時

62 〈誘標〉《中山科學研究院》，https://www.ncsist.org.tw/csistdup/products/product.aspx?product_Id=260&catalog=10，檢索日期：2020年12月12日。

63 鄭國強，〈伊朗官員揚言1個半小時滅以色列，隔天就被轟炸了〉《信傳媒》，2019年7月4日，<https://www.cmmedia.com.tw/home/articles/16341>，檢索日期：2021年3月12日。

64 楊賢俊，〈低空防衛系統〉《科學月刊全文資料庫》，1985年9月189期，<http://lib.cysh.cy.edu.tw/science/content/1985/00090189/0009.htm>，檢索日期：2020年12月12日。

65 同註61。

66 〈更新老舊裝備，填補監控死角，臺軍50億重金升級環島雷達網〉《北京新浪網》，2020年9月7日，<https://news.sina.com.tw/article/20200907/36262204.html>，檢索日期：2020年12月12日。

67 同註3。

，⁶⁸其部隊之防空預警能力亦愈趨重要，然現有之機動雷達系統數量卻無法隨戰況演變而適時調整配置。

綜上所述，我國現階段防空預警雷達系統之主要弱點為缺乏無源的工作模式、具機動性的型式以及針對低空層的中、近程雷達系統。「千里之堤，潰於蟻穴」，面對共軍電子戰科技的進步，我國防空預警能力若無法迎頭趕上，則如逆水行舟，可預料現有防空預警之罅隙將逐漸成為致命的要害。從二次大戰後的戰史觀察，1972年越戰期間，面對蘇聯提供給北越的95套防空系統、雷達及7千多枚導彈，美軍以新型的反雷達戰機及「百舌鳥」飛彈予以嚴重的打擊；⁶⁹1982年貝卡山谷之戰，以色列先以無人機引誘敘利亞的防空飛彈導引雷達開機，獲得目標的雷達電磁參數後，再以百舌鳥飛彈攻擊敘利亞的雷達陣地，並於空戰時運用電戰機干擾敘軍指揮與戰管

通信，致使敘軍眼瞎耳聾，戰役全程損失慘重，究其主要原因在敘軍防空陣地部署後未曾進行變換陣地，致使以軍於戰前6個月即先行掌握敘軍防空雷達特性與飛彈部署概況；⁷⁰1986年美國以「哈姆(HARM)」反輻射飛彈空襲利比亞防空飛彈基地。⁷¹由此即可以發現自19世紀末起，反輻射武器的技術發展對防空預警威脅與日俱增。2020年初我國軍春節加強戰備操演科目中，其中以壽山雷達站作為重要目標，遭敵船團及特攻人員攻擊，演練雷達站被占領破壞，後續以機動雷達車開設替代系統，提供即時作戰情資。⁷²從演練科目中可衍伸出共軍在攻擊雷達站時，除了以戰機、反輻射導彈及特攻人員破壞站台外，亦可能針對我防禦薄弱處破壞通資線路，癱瘓雷達站功用，⁷³使我國在重要目標防護的科目上，愈加艱難，雖然我國的防空預警系統以其高密度、多方位、多頻段的雷達偵測

68 同註 34，頁 59。

69 〈越戰中最大規模空地對抗戰役，蘇制導彈對美國飛機，誰勝誰負？〉《天天要聞》，2020年2月7日，<https://daydaynews.cc/zh-tw/military/354066.html>，檢索日期：2020年12月15日。

70 〈貝卡谷地空戰，米格戰機的傷心之地〉《壹讀》，2016年1月27日，<https://read01.com/zh-tw/400QL.html#.X8ImSmUzZ0w>，檢索日期：2020年11月28日。

71 〈簡單了解一下美國空襲利比亞的戰爭前後〉《每日頭條》，2020年5月3日，<https://kknews.cc/zh-tw/military/ja8g3jq.html>，檢索日期：2020年12月15日。

72 邱榮吉，〈國軍春節加強戰備！海軍陸戰隊兩棲特勤「戰技操演」超吸睛〉《三立新聞網》，2020年1月6日，<https://www.setn.com/News.aspx?NewsID=673533>，檢索日期：2020年12月14日。

73 章榮明，〈臺灣防空系統雷達的發展現狀及性能分析〉《國防安全雙週報》，第10期，2020年8月28日，頁38。



，⁷⁴使共軍心存忌憚，但不可諱言的，國軍部隊防空預警仍是存在相當之風險。

建置無源雷達之策略芻議

1991年波斯灣戰爭後，共軍從中發現了制電磁權對戰略空襲的重要性，⁷⁵著手於電子作戰的發展，初始自俄羅斯引進「KH-31(俄語：X-31；AS-17 "Krypton")」反輻射飛彈⁷⁶掛載於殲-7(J-7)戰機，⁷⁷後續研製出一系列反輻射武器如鷹擊-91(YJ-91)、霹靂-16(PL-16)及雷電-10(LD-10)、CM-102空對地反輻射飛彈，2005年更進一步研發出「FT-2000」地對空反輻射飛彈。⁷⁸面對共軍武力犯臺之企圖，作戰初期必定以我國軍雷達站、指管設施、防空障地、機場為首要目標；初步癱瘓我國防空系統之後，共軍空中武力將迅速至周邊空域建立「攻勢制空(Offensive Counter Air, OCA)」戰巡區，

並持續以空中武力對國軍地面重要設施攻擊。⁷⁹然面對共軍空中武力威脅，現有防空雷達即面臨了「匿蹤技術」、「超低空攻擊(Dead Level Attack)」、「反輻射武器」等挑戰，其中以「反輻射武器」威脅最甚。有鑑於此，本文以無源雷達之特點與模擬三種場景，藉以分析建置無源雷達對我防空預警能力之影響，進而提出策略建議。

一、無源雷達運用場景一

因著重探討防空雷達預警能力，並以我國防衛固守任務為背景，故場景設計暫不納入空中及水面兵火力，如圖6所示，圖中R1、R2、R3代表固定式有源雷達系統，以顏色區分不同頻率對空中目標偵測，PR1、PR2、PR3代表機動式無源雷達系統，可接收由空中目標反射或發射出之無線電訊號，J-20代表共軍現有殲-20匿蹤戰機。

74 程彥豪、陳君豪，〈臺防空網超密集，殲20逼近恐擊落〉《三立新聞網》，2018年5月27日，<https://games.yahoo.com.tw/臺防空網超密集-殲20逼近恐擊落-143507863.html>，檢索日期：2020年11月12日。

75 〈波灣戰爭對軍事革命影響〉《大鵬韜略甲子園》，2010年6月27日，<https://blog.xuite.net/ndu4778.s8888/twblog/138558243>，檢索日期：2020年12月15日。

76 〈KH-31A〉《ROSOBORONEXPORT》，<http://roe.ru/eng/catalog/aerospace-systems/air-to-air-missile/kh-31a/>，檢索日期：2020年12月16日。

77 蔡明彥，〈中共跨世紀軍備發展策略分析〉《全球政治評論》，2004年1月第5期，頁67。

78 〈振國神器：FT-2000反輻射防空飛彈〉《每日頭條》，2015年8月28日，<https://kknews.cc/military/box3n.html>，檢索日期：2020年12月16日。

79 Roger Cliff, John Fei, Jeff Hagen, Elizabeth Hague, Eric Heginbotham, John Stillion 著，國防部史政編譯室譯，〈21世紀中共空軍用兵思想〉(Shaking the Heavens and Splitting the Earth: Chinese Air Force Employment Concepts in the 21st Century)(中華民國：國防部史政編譯室，2012年9月)，頁230。

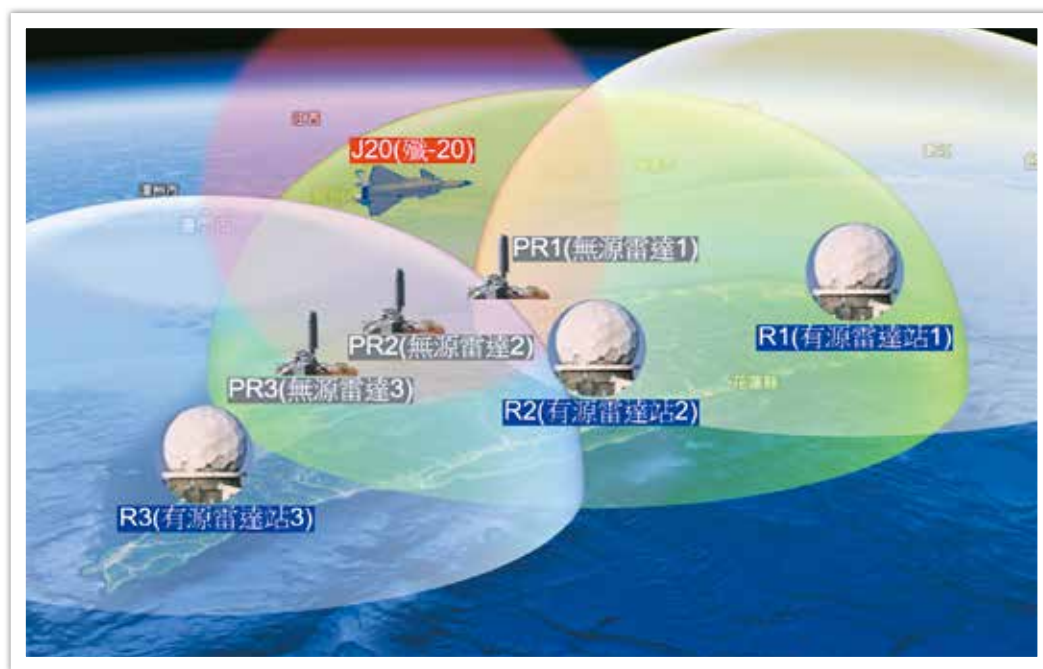


圖6 無源雷達運用場景一示意圖

資料來源：作者自行繪製。

依我國軍現有防空預警雷達系統而言，如面對敵軍具匿蹤技術之空中目標襲擾時，可能需要一座以上的預警雷達協同辨認目標，易造成防空預警雷達的頻率及相關參數洩露之虞，進而有遭受反輻射武器攻擊風險，此時若能以無源雷達系統協同偵測，便可無損防空雷達系統對空中匿蹤目標的預警能力，亦無參數外洩之顧忌。對於國軍部隊在遂行地空整體作戰時，無源雷達因其本身機動性高，且不易遭敵軍偵測，在遂行快速精準打擊時，實是「情」、「監」、「偵」作業上不可或缺之系統；另以無源雷達異於有源雷達之特性，設置時須靠近敵

方且彼此間距離不可過近，綜合上述考量因素，以現有作戰區為區域，除平時於重要目標周邊開設，戰時可依敵情需求由地面打擊部隊至濱海地區增設，可藉以提升作戰期間整體機動防空預警能力。

二、無源雷達運用場景二

場景二如圖7所示，其中D1、D2代表誘標雷達，ARM代表共軍反輻射飛彈。當固定式防空雷達站遭遇反輻射飛彈威脅時，現行做法為於雷達站周邊開設誘標雷達系統，使其中心點形成最強無線電訊號誘使反輻射飛彈攻擊，⁸⁰同時針對空中威脅目標，持續藉防空雷達系統定位攻擊

80 於下頁。

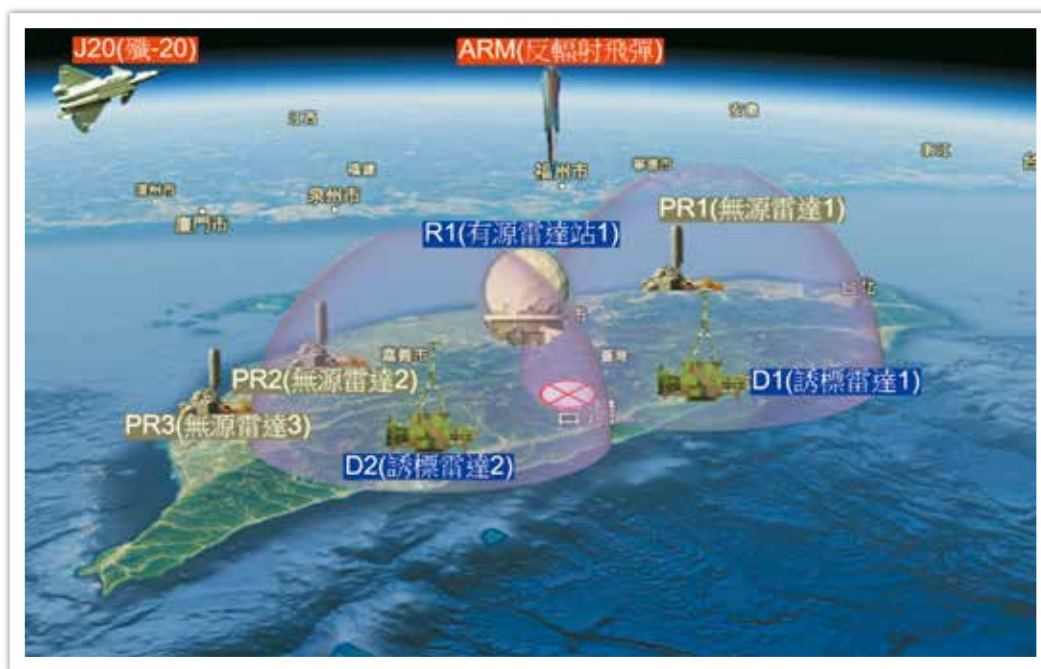


圖7 無源雷達運用場景二示意圖

資料來源：作者自行繪製。

摧毀。然以最新型式之無人飛行載具或先進反輻射飛彈(Advanced Anti-Radiation Guided Missile-Extended Range, AARGM-ER)⁸¹性能而言，除了配備被動式雷達導引尋標器外，同時亦兼具主動式雷達末端制導能力，意即在受到電磁干擾(誘標)或是極端的關閉有源雷達站訊號狀況之下，也能藉由之前的定位資訊，準確地攻擊目標。⁸² 國軍若是具備有源、無源雷達共

同組成的雷達網，在遭遇此類威脅時，作戰部隊便不致完全喪失防空預警能力，姑且不論共軍反輻射飛彈科技發展進程是否已達此水準，國軍實應具防患於未然之觀念。

三、無源雷達運用場景三

延伸前一場景情況，預想我國某作戰區地面雷達站遭共軍摧毀破壞後，敵空中武力更持續加強對我地面重要指管設施

80 時磊，〈反輻射導彈雷達導引頭複雜電磁環境分級方法研究〉《艦船電子工程》，2019年第39卷第8期，頁182。

81 David Donald，〈New Anti-Radiation Missile Flies in Navy Anti-Radar Revamp〉《AINonline》，2020年7月5日，<https://www.ainonline.com/aviation-news/defense/2020-06-05/new-anti-radiation-missile-flies-navy-anti-radar-revamp>，檢索日期：2020年12月21日。

82 〈美國 AARGM-ER 反輻射飛彈的主要性能及特點〉《每日頭條》，2020年5月23日，<https://kknews.cc/zh-tw/military/zr2y4pa.html>，檢索日期：2020年12月21日。

實施攻擊時，如圖8所示(MR1、MR2代表機動雷達系統)。此時無源雷達系統便可作為主要防空預警系統，配合預先配置之機動雷達車開設組成多基雷達網，然機動系統開設及資料鏈接必定需要時間完成，而共軍戰機跨越海峽中線所需時間不到5分鐘(以殲-20戰鬥巡航每分鐘52公里計算)，⁸³當下無源雷達系統便可填補有源雷達系統自固定站台切換至機動站台的時間差，且在反輻射武器威脅之下，無源雷達仍有效的確保防空預警能力，讓共軍無法掌握制電磁權與絕對空優，喪失登島攻臺

之契機。

四、策略芻議

雷達為防空之眼，相對的也正如靈魂之窗一般脆弱，面對反輻射武器威脅時即使雷達本體未受損傷，其資料傳輸設備受到破壞，對防空預警也同樣是致命的傷害，面對未來軍事科技將結合人工智慧(Artificial Intelligence, AI)、匿蹤技術、衛星科技、反輻射武器發展，防空預警系統亦須具備模式多樣化、多空層偵測、機動性高、能肆應戰況配置等能力，⁸⁴據此提出下列四點策略芻議：

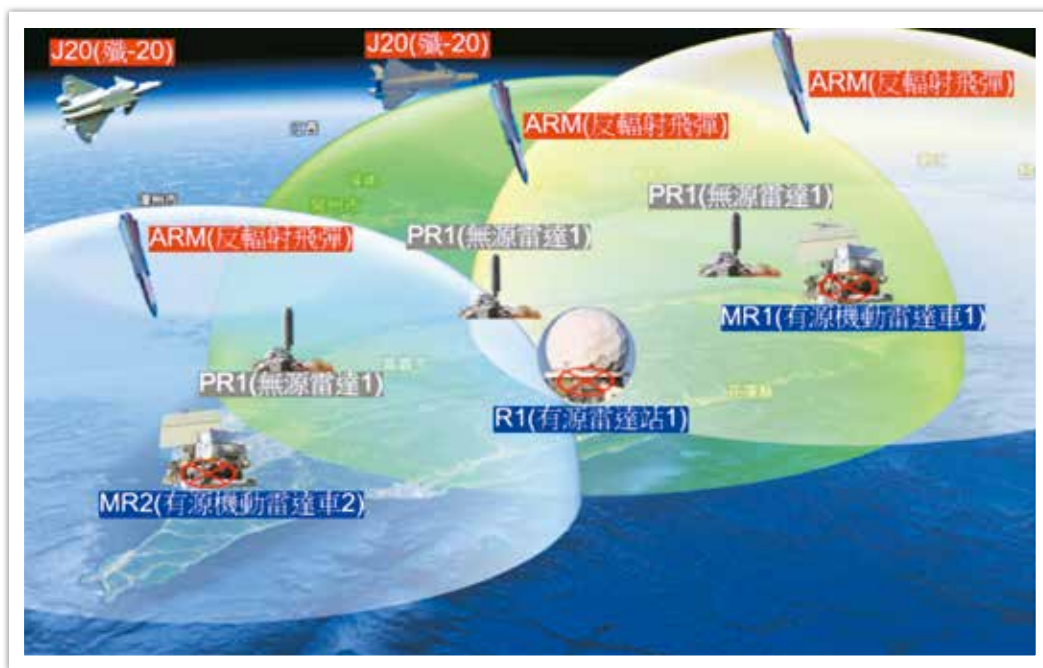


圖8 無源雷達運用場景三示意圖

資料來源：作者自行繪製。

83 盧伯華，〈世界前10最高速現役戰機排行 陸殲20入榜〉《中時新聞網》，2019年10月23日，<https://kknews.cc/zh-tw/military/zr2y4pa.html>，檢索日期：2020年12月22日。

84 潘泓池，〈無源雷達系統發展與作戰效益之探討〉《凌雲風文庫》，頁11，<https://wenku.lingfengyun.com/view-7e9c52d4cfd42d9bd0e4f3545595f2d.html>，檢索日期：2020年12月24日。



(一)建立完善的防空預警系統

依我國現行的各項聯合操演中可以發現，陸軍地面野戰防空部分，其預警情資均須透過空、海軍雷達情資轉至作戰區運用，因此新一代聯合兵種營遂行反空降、防空、戰場偵察之獨立作戰任務時，⁸⁵ 缺乏了所屬的雷達系統，即便是以無人機作為偵蒐、監控之手段，亦無法取代雷達之功能，以民國109年度的重大操演中可觀察國軍已將指揮權責下授至聯兵

營，⁸⁶ 在此類型作戰形態下欲達到C⁴ISR一體，甚至是C⁵ISR (Command、Control、Communications、Computers、Combat Systems、Intelligence、Surveillance、Reconnaissance, C⁵ISR)，⁸⁷ 則我國陸軍必須建立一套完善的作戰體制(如圖9)，以為遂行獨立作戰之磐石，同時在三軍聯合作戰中，聯合作戰指管中心可整合各軍種之雷達情資，並依目標威脅性質分配攻擊任務。國軍面對共軍未來以「無人化、無

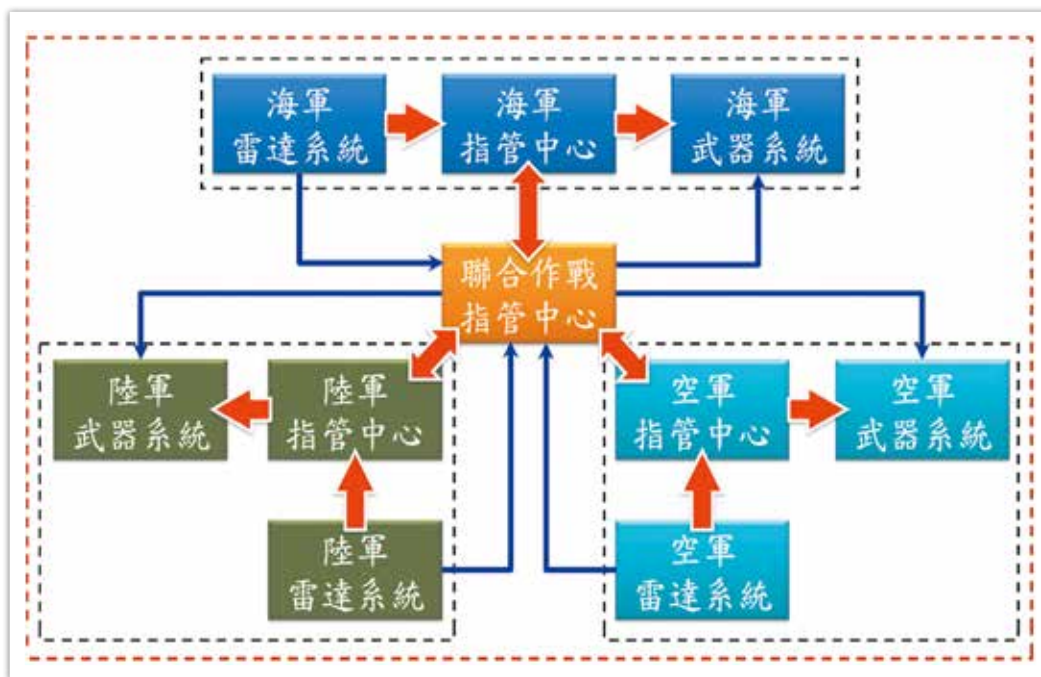


圖9 作戰指管系統示意圖

資料來源：作者自行繪製。

85 宋兆文，〈國軍第一個能獨立戰鬥的陸軍聯合兵種營〉《ETtoday》，2020年2月6日，<https://forum.ettoday.net/news/1639450>，檢索日期：2020年12月23日。

86 陳韻聿，〈漢光36號實兵實彈演習，專家：凸顯國防自主成果〉《經濟日報》，2020年7月17日，<https://money.udn.com/money/story/7307/4710428>，檢索日期：2020年12月24日。

87 楊繼鋒、李淑媛、黃路煒、陳捷，〈新型武器裝備作戰需求論證方法與實踐〉《計算機與科學運用》，2019年12月20日第9期，頁2343。

形化、無聲化、無邊疆」之「四無戰爭」態勢，⁸⁸ 具備複式、多樣化防空預警雷達系統已是箭在弦上，不得不為。

(二)編成多重雷達網體系

孫子兵法云：「奇正相生，如循環之無端，孰能窮之哉！」⁸⁹ 面對反輻射武器威脅，雷達網的組成可有效提升防空雷達存活性及反匿蹤能力，亦即在區域內同時具備多種頻段的有源雷達系統與無源雷達系統，各個系統之間可獨立作業並共享偵測的資訊，其中無源雷達不易受反輻射武器攻擊，利用多點偵測，提供目標參數，有源雷達則能準確定位、引導武器摧毀目標，⁹⁰ 如此交錯重疊構成多樣化多空層之防空網。面對共軍太空、空中偵測能力與制電磁權優於我軍，無源雷達之隱蔽性，更加適合我作戰部隊之部署運用，於經常戰備時期任防空預警之主體，一方面避免共軍蒐集我雷達站相關參數，另一方面隱匿無發射源之雷達系統，迫使共軍之反輻射武器無用武之地。

(三)強化雷達機動戰術部署

相對我國軍事戰略採守勢作戰，共軍對於我軍事各重要設施之情資蒐集更是不遺餘力，就如我國高密度之雷達站位置、電磁參數等。相較於固定式雷達站雖因位置、性能而優於機動式雷達系統，而機動式雷達卻具備了極佳的靈活性，平時可依據威脅評估規劃數個預備陣地位置，因應戰情威脅之差異，機動至陣地實施開設並執行偵測作業，⁹¹ 面臨反輻射威脅時可配合固定式雷達站切換偵測頻率，並以干擾欺敵戰術確保防空預警系統的存活性，另外在固定式雷達站遭遇攻擊受損時，機動雷達亦可持續提供空域偵測資訊確保防空預警能力。⁹² 尤其在作戰部隊兵力遂行空地整體作戰時，其機動式防空預警系統對防空作戰之快速部署、隱匿偵測將越趨重要。

(四)自主研製無源雷達

欲達成自主研發無源雷達，可就技術備便、電磁環境及預算需求三方面考量。技術備便方面，以中科院現有軍用雷達技術，已完成收發分離多基雷達研發產製，面對無源雷達之技術研發，

88 楊太源，〈中共軍改後各軍種戰略發展可能之變化〉《APS 亞太和平研究基金會》，2016年12月30日，<https://www.faps.org.tw/article-ap-2108-5819>，檢索日期：2020年12月23日。

89 同註1，頁33。

90 劉黎明、殷宏沛，〈反輻射導彈對抗技術研究〉《飛彈導航》，2003年第10期，頁44。

91 〈反制反輻射飛彈之探討〉《鼎盛中華》，2002年8月7日，<http://top81.ws/show.php?f=6&t=106648&m=401647>，檢索日期：2020年12月16日。

92 黃富隆，〈反輻射飛彈防禦〉《海軍學術雙月刊》，第42卷第5期，2008年10月。



已具備良好之技術基礎，另從元智大學99年⁹³及103年⁹⁴相關研究報告，亦可知我國學術研究界已具發展無源雷達應具備的技術人才與研究能量；就電磁環境方面，依國家通訊傳播委員會的頻率資料庫，已納建現有行動通信基地台數量約為7萬8千餘座，⁹⁵另外還包含氣象、警用、航管等可供無源雷達使用之電磁波訊號源，⁹⁶其頻率在1GHz以上，功率大於70dbm之電磁波信號，最大偵測距離可達到500公里，⁹⁷電磁環境條件適於發展無源雷達；而於預算需求方面，因無源雷達系統不具發射源需求，且已具相當產學基礎，其研發及量產成本不高，對國防預算不致產生壓力。

結語

共軍近年科技發展及威脅日甚一日，並持續的建立各式地空電子干擾設備，企圖癱瘓我防空預警能力。對此我國《國

防報告書》內也闡明了戰力整建重點，其中便有「籌建具偵獲匿蹤及小型目標能力之雷達系統」。⁹⁸共軍未來之「四無戰爭」態勢，其作戰能力與用兵思維均向境外作戰轉變，⁹⁹對此欲達到防護我軍戰力之目標，制電磁權將是戰場上左右我防空預警能力的重要關鍵。

本文提出了無源雷達之研究，透過探討其原理及分析其性能特性，並以雷達站遭受空中武力威脅的三種場景實施運用評估，發現無源雷達系統對反輻射武器及空中匿蹤目標具備一定的反制能力，是我國目前防空預警雷達體系所缺乏之能力；另以我國現有的電磁環境、科技人才與雷達技術均具有相當能力，期能作為爾後防空預警發展及研發之參考，強化地面部隊防空預警能力，俾於共軍空中威脅之下，達到「無所攻也」之目標。

(110年1月25日收件，110年3月22日接受)

- 93 周錫增，〈先進相列雷達關鍵技術研究〉《行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告》，NSC 99-2623-E-155-011-D，2011年3月25日，頁150～258。
- 94 李穎，〈利用數位電視訊號之被動雷達目標特徵資訊提取技術可行性研究〉《行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告》，NSC 103-2623-E-155-007-D，2015年2月12日，頁8。
- 95 〈臺灣電信業者4G基地台2018年最新數量統計(2018/2/25)—電腦王阿達〉《Zi字媒體》，2018年2月25日，<https://zi.media/@kocpc/post/ErYI4t>，檢索日期：2020年12月17日。
- 96 〈頻率資料庫查詢系統〉《國家通訊傳播委員會》，https://freqdbo.ncc.gov.tw/Portal/NCCB01Q_.aspx#T5，檢索日期：2020年12月20日。
- 97 同註11，頁11。
- 98 同註34，頁40、65。
- 99 同註88。