

# 氣象X-band降雨雷達對機場天氣守視效益

李子儀<sup>1</sup> 曾德晉<sup>2</sup> 黃國禎<sup>2</sup> 吳俊緯<sup>3</sup>

<sup>1</sup>空軍氣象聯隊

<sup>2</sup>空軍第九基地天氣中心

<sup>3</sup>國防大學空軍指揮參謀學院

## 摘要

本軍新建置氣象X-band降雨雷達完成一次體積掃描時限約3至4分鐘，特殊狀況下可縮短至1至2分鐘，具有即時守視優點。

利用其守視優點，探討110年5月12日花蓮機場夜間降雨現象。當日臺灣地區大氣環境為弱綜觀環境場，晚間花蓮縣新城鄉在局部區域輻合及850hPa以下受逆溫層抑制作用，雲層底部高度多集中在2,000呎以下，臨近地表且靠近山脈，在5月12日1100Z至1200Z短時間內，氣象X-band降雨雷達即時掌握高相對溼度雲層演變，雲種內部水相粒子發展高度在4公里以下，最強發展核心高度在1至3公里內，發展初期至消散期約30至60分鐘，而本次利用氣象X-band降雨雷達裝備守視天氣算是成功案例。

**關鍵字：**氣象X-band降雨雷達。

## 1. 前言

臺灣是一個四面環海的島國，全面積為3.6萬餘平方公里，其中不同高度的山脈與丘陵地型佔了約七成，而平原地形多集中在中央山脈以西，而東部的平原區域則偏位於海岸山脈以東的近海地區。再加上近年來短延時強降水現象發生日數有逐年增加(圖1)及本軍部分機場臨近山區並受限於雷達掃描仰角等因素，於天氣突變時需即時應處，故購置機動式降雨雷達，以減少觀測死角及地形干擾所受之限制。

中央氣象局、民航局、災防中心、中央大學和臺灣大學於民國110年前，也陸續提升性能和建置波段不同氣象雷達站，期以最有效的雷達掃描觀測作業，掌握大氣環

境中的水相粒子演變趨勢和空間分布，臺灣地區氣象雷達隸屬單位及使用波段與地點(表1)。

因生活科技日益進步，軍事作戰模式也發展出無人機蜂群戰術。在2003年時，美國運用多部氣象X-band實施協同作業模式，運用雷達波束覆蓋相互間的盲區達到綿密觀測天氣守視作為。鄰國日本，地理環境和我國相似，其中富山機場(Toyama Kitokito Airport)受到山嶽及雷達掃描死角的影響，地面至特定高度內沒有雷達資料，當富山機場面臨劇烈天氣影響時，常因上述原因無法獲得有效的雷達資訊，適時提供起降航空器運用參考，這樣的環境是深藏著極大的飛危因子。有鑑於此，日本氣象

廳(JMA)實際比對富山機場氣象X-band MP雷達(圖2)建置前後劇烈天氣影響時觀測結果,在氣象X-band MP雷達幫助下,富山機場成功改善劇烈天氣影響時,航空器起降飛危風險。這樣的結果,誘使本國民航局對氣象X-band MP雷達實際運用於本國機場面臨劇烈天氣時,該套裝備的守視應用成效。

而中國大陸於2020年1月時,在廣州設置5部氣象X-band陣列雷達,地點分別位於廣州番禺、花都、帽峰山、南沙及佛山南海(圖3),各雷達相距30至40公里執行覆蓋式觀測,其運作原理如同美國和日本,藉由多部雷達聯合觀測,擴大覆蓋區域及填補盲区,減少因強降水肇致觀測品質降低。

## 2. X-band雷達介紹

### 2.1 本軍氣象X-band降雨雷達

本軍分別於新竹、嘉義、臺南、岡山、花蓮及臺東地區完成6座氣象X-band降雨雷達站建置,並已開始執行觀測作業。這6套氣象X-band降雨雷達為日製WR2120高機動性雙偏極化設備與日本富山機場同類,該項設備共區分天線組、信號處理單元及資料處理單元等3部分(圖4),而其主要的雷達天線本體含球罩總重量低於一般成人男性體重,因此製造商為展現其高機動性移動與體積小特性,特別拍攝記錄片為其宣導(圖5)。

WR2120型氣象X-band降雨雷達天線作動採用PPI模式進行,先以水平方位角 $360^\circ$ 任一角度完成1組旋轉再配合垂直方向仰角 $-2^\circ$ 至 $182^\circ$ 中的特定角度運轉,接續抬升次1仰角,最後到達預先設定的最高仰

角,再降至最低預設仰角循環,而每完成一次體積掃描(圖6)時限約在3至4分鐘,在特殊情況下可縮減至1至2分鐘,完全符合本軍任務特性,目前現有觀測參數計有Zh(水平反射係數)、Zv(垂直反射係數)、V(都卜勒速度)、W(頻譜寬)、Zdr(差分反射率)、PhiDP(差異相位差)、Kdp(比差異相位差)、 $\rho_{hv}$ (Zh和Zv關係式)、R(降雨強度)並依座落地點任務實際需求調整掃描策略。

天線類型為格雷戈里天線,天線碟盤750mm、天線罩尺寸 $\Phi 980\text{mm}\times H1068\text{mm}$ ,觀測雲雨過程透過水平極化及垂直極化獲取降水粒子相關數據,其徑向解析度最小值為75公尺,採用固態發射機取代舊式磁控管,透過9.4GHz載波頻率發射,脈波重複頻率低於2KHz(表2)。

### 2.2 中國大陸廣州氣象X-band陣列雷達

目前位於中國大陸廣州5部氣象X-band陣列雷達為陸製產品,從架構區分為天線陣面、GPS授時訊號、信號處理機櫃、空調製冷系統、雷達底座和轉臺等6部分,從功能上組成為雙偏振相控陣列天線、伺服器系統、接收發送單元、標定單元、波束控制合成單元、信號處理單元及監控顯示單元等(圖7)。

5部氣象X-band陣列雷達掃描作動方式與本軍略有差異,其水平運作方式與本軍相同,垂直方向採用相控方式,掃描時首先在方位角執行相控RHI掃描,然後切換次一方位角再接續進行仰角掃描,此氣象X-band陣列雷達完成垂直方向無間隔連續多層仰角所需時間僅為0.25S(秒),完成一次仰角 $0.9^\circ$ 至 $20.7^\circ$ 合計12層的體積描時間約

在1至2分鐘內(圖8)，這對於掌握降水系統的垂直方向是非常即時也快速。

天線外觀為L1.3m×W0.7m屬長方型，發射機以9.3至9.5GHz頻率發射載波，並結合非線性調頻脈衝壓縮技術，由100:1的壓縮比例，將20 $\mu$ s的寬脈衝壓縮為0.2 $\mu$ s，脈波重複頻率小於4KHz，觀測降水粒子過程與本軍設備相同(表3)。

### 2.3 本軍氣象降雨雷達和中國大陸廣州陣列雷達比較

本軍於2020年開始籌建6座氣象X-band降雨雷達站，並於稿件結束前均已完成啟用及觀測，每部本軍氣象X-band降雨雷達執行75公尺徑向解析度掃描後，每日產製的資料檔大小約為3GB。中國大陸廣州地區的5部氣象X-band陣列雷達則於2020年1月執行觀測試驗，使用距離分析率為30公尺，對於降水回波周邊觀測品質相較於非陣列式雷達清晰，合計5部氣象X-band陣列雷達每日產製的數量約為1TB。

就本軍氣象X-band降雨雷達與中國大陸廣州氣象X-band雷達外觀和數據存取上，本軍氣象X-band降雨雷達具有高拆裝性，在適當載具搭配下，可馳赴各任務地區並且不需高容量的存取設備執行區域觀測作業，反觀中國大陸廣州氣象X-band陣列雷達偏向陸基固定式在機動表現上不如本軍設備(表4)。

### 3. 110年5月12日花蓮機場夜間降雨分析

本次發生在花蓮機場的夜間降雨，肇始於近1200Z，在此前後期間，適逢花蓮雷達站保養維修，這對於東半部地區從事氣

象預測報人員是一大挑戰，因為在過去沒有雷達觀測的時代，是靠著多人分析大環境系統再配合個人經驗進行預報，這樣的預報守視作為深藏著主觀判定的高風險。而本軍籌建的氣象X-band降雨雷達藉此驗證在沒有花蓮雷達站執行雷達觀測作業下效益為何。

05月12日地面鋒面系統位於臺灣北部外海，高空圖1,000至500hPa，太平洋高壓勢力逐漸向西伸展，研判臺灣受偏南氣流影響，花蓮地區降雨將臨近山區發展。花蓮機場地理位置臨近山區，當日降雨時間發生在入夜之後，時間長達4小時之久。

在110年05月12日1100Z至110年05月12日1200Z期間，花蓮秀林鄉(東北風)至花蓮市(東南風)地面自動觀測站發現新城鄉位於局部輻合區內且由花蓮機場的雷射式剖風儀，每3分鐘一筆定點垂直風場演變觀測資料(圖9)發現400呎以下為穩定東南風，風速約在蒲福風2級左右。

花蓮探空站(46699)日間0000Z(圖10左)及夜間1200Z斜溫圖(圖10右)上可以發現，日間舉升凝結高度(Lifting Condensation Level, LCL)為925公尺、對流凝結高度(Convective Condensation Level, CCL)為2,459公尺及自由對流高度(Level of Free Convection, LFC)為5,420公尺；至夜間時，高度分別下降至152公尺、295公尺及422公尺，日間至夜間相對溼度呈現增加現象，而地表降溫幅度不顯著；另外日間至夜間850hPa均有明顯的沉降逆溫存在，表示在逆溫層之下相對溼度高，在適當的條件下，可提高雲種的發展。

從本軍建置的氣象X-band降雨雷達

110年5月12日1133Z至1206Z最大回波分布圖(圖11)可以發現在圖11A至L可以辨別出，西側山區存在地形回波，花蓮機場周圍有些許的雜波分布。自圖11C開始，位於花蓮機場西側的雜波訊號部分區域開始增強，至圖11F時僅歷經近9分鐘變化，在接續的6分鐘過程中(圖11G至圖11H)回波發展至最強階段，並緩慢向南移動。在110年5月12日1157Z(圖11I)，回波逐漸減弱並緩慢向東移動至圖11J及圖11K，另一增強的降水系統位於機場西側並朝向西南方向遠離機場，但機場上空仍存有較弱的降水回波。

接續針對圖11G至圖11L中，探討回波強度達紅色等級的降水系統作垂直剖面分析，選擇剖面路徑如圖11G至圖11L藍圓實心A至藍圓實心B。在圖12a中，可以發現在雷達站西方，高度約2公里處存有一相對溼度較高的區域，至圖12b時發展逐漸增強範圍擴大，從圖12b至圖12i中，可以發現降水回波垂直發展高度均未達4公里，主要發展高度集中於1至3公里如圖12c至圖12e。從圖12f至圖12i另外可以得知發展高度低於1公里以下的降水回波通過雷達上空與當時例行天氣報告結果一致。

綜上分析，當日臺灣地區為一弱綜觀環境，花蓮縣新城鄉位處山區東側，晚間受風場輻合影響，近地表靠近山區雲層在逆溫抑制和航空器作業下，紊流強化高相對溼度雲層肇致降雨。

#### 4. 結論

因為全球地形不一，常因地勢影響肇致陸基式氣象觀測作業的盲區，現今藉由科技與作業修正，美、日及中國大陸陸續建

置複合式遙測設備，填補陸基式氣象觀測盲區的環境風險，本軍亦於110年底前，陸續在新竹、嘉義、臺南、岡山、花蓮和臺東等6處機場建置高時空解析度的氣象X-band降雨雷達站守視水相粒子演變趨勢，該裝備具有以下3點優勢：

(1)目前氣象X-band雷達執行1次完整體積掃描時距為S-band和C-band雷達的1/2，特殊情況下更可縮短時距至1至2分鐘，大幅提升本軍氣象人員守視機場周圍水相粒子演變時效性。

(2)考量天氣系統發展並配合適當的參數規劃，值勤人員可隨時調整作業模式進行最佳化的雷達掃描策略，完備天氣守視作為。

(3)從110年5月12日花蓮機場夜間降雨個案分析，在發展中的雲層搭配充沛的降水粒子將影響機場時，氣象局所屬的花蓮雷達站因維修保養，無資料可供參考。就當地過往經驗由人工預判降雨時間，較不具客觀價值，現因氣象X-band降雨雷達站建置完成及地面遙測設備獲得數據，可即時瞭解到降水現象發生的實際時間，如實地減少非自控性雷達站，在維保或故障甚至網路斷線等因素下，本軍仍有全天候不間斷的雷達掃描作業，維護飛安。

另外與中國大陸廣州氣象X-band陣列雷達比對下，本軍氣象X-band降雨雷達，則具有高機動及資料存取需求低等特性，搭配適妥載具與對應設備，可依規劃適時進駐任務區域，執行前置降雨粒子觀測作業，降低任務執行的環境風險，提升任務執行公算。

## 5. 未來展望

本次個案探討適逢花蓮雷達站維修保養及大氣環境配合，利用本軍新建置完備的氣象X-band降雨雷達特性及建置目的，分析花蓮夜間降雨產生機制和原因，結果算為成功。目前這6座氣象X-band降雨雷達已經正式投入觀測作業，這也表示本軍維護飛航安全邁入新的里程碑，期待氣象X-band降雨雷達的即時性和精準性，增進區域觀測範圍內守視能量，並瞭解小尺度水相粒子肇生機制和演變趨勢，填補氣象學在小尺度系統分析研究盲區。

## 6. 參考文獻

- 張羽、田聰聰、傅佩玲、黃輝，2020：廣州 X 波段雙偏振相控陣天氣雷達觀測試驗進展。氣象科技進展，80-85。
- 吳宜昭、龔楚英、王安翔、予宜強，2016：臺灣地區短延時強降雨事件氣候特性分析。國家災害防救科技中心，災害防救電子報第132期，1-16。
- 陳台琦，2015：桃竹苗地區受地形影響之梅雨系統氣象雷達加強觀測計畫。國立中央大學大氣物理研究所，104年度委託研究計畫期末報告，1-77頁。
- 卓智祥，2013：航空氣象資料技術協調。交通部民用航空局飛航服務總臺，1-46頁
- 呂崇華：空軍雙偏極化氣象雷達觀測成效與應用，空軍氣象聯隊，氣象預報與分析。

### 7. 圖表彙整

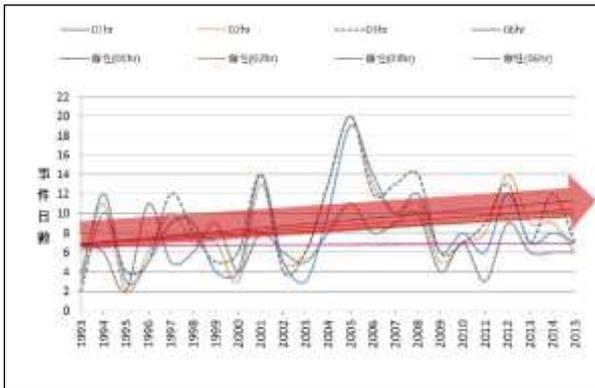


圖1 1993年至2015年各種延時強降雨日數的年際變化與趨勢(註：使用中央氣象局臺灣地區23年持續皆有觀測之144個測站資料統計而得)。

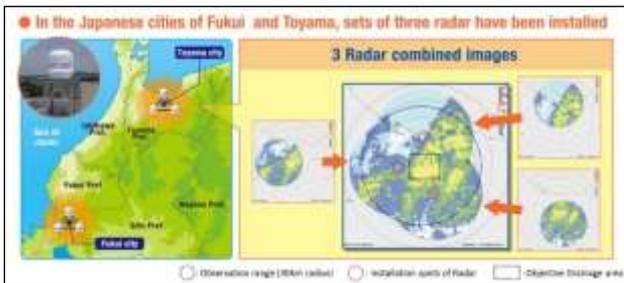


圖2 日本福井市和富山市氣象X-band MP雷達地點及運作示意圖〔(註：日本福井市和富山市各運用3部X-band雷達(上圖左)，針對特定區域作覆蓋式觀測作業(上圖右))〕。

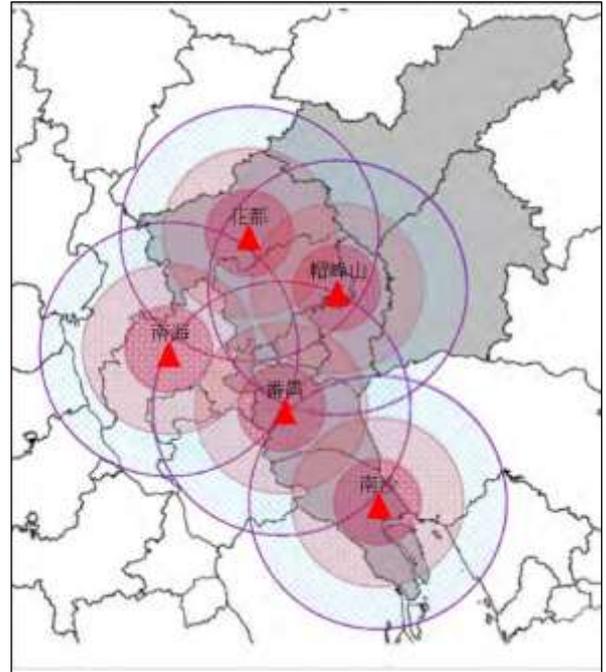


圖3 紅色三角形為中國大陸廣州氣象X-band陣列雷達站地點，順時針依序為花都、帽峰山、南沙、番禺及南海等5座(註：以雷達為圓心，由紅色圈小至大分別為10、20及30公里觀測範圍)。

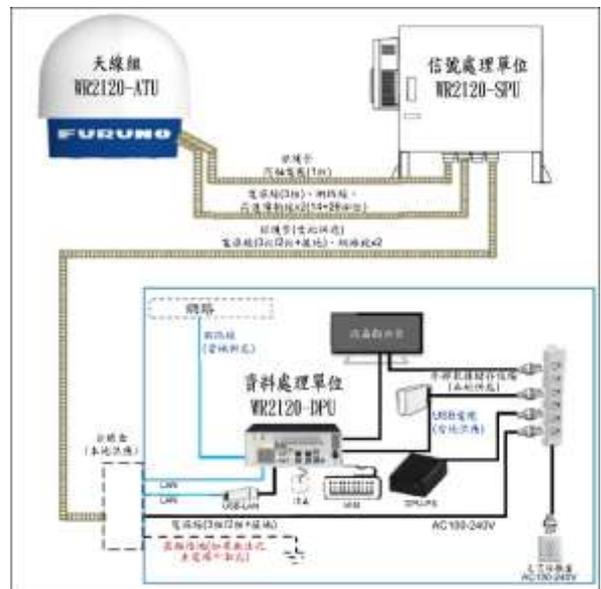


圖4 本軍氣象X-band降雨雷達系統組態區分為天線組、信號處理單元及資料處理單位等3部分。



圖5 原廠以3員人力示範高移動性雙偏極化X-band降雨雷達拆裝搬運過程。

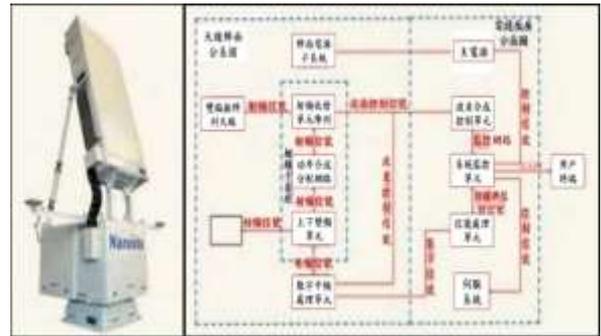


圖7 中國大陸廣州氣象X-band陣列雷達外觀與系統圖。

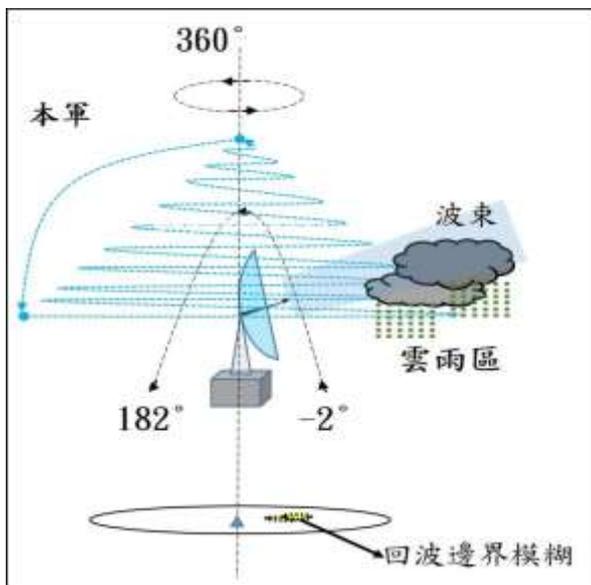


圖6 本軍氣象X-band降雨雷達天線作動採用PPI模式進行，先以水平方位角360°旋轉再配合垂直方向仰角-2°至182°中的特定角度運轉。

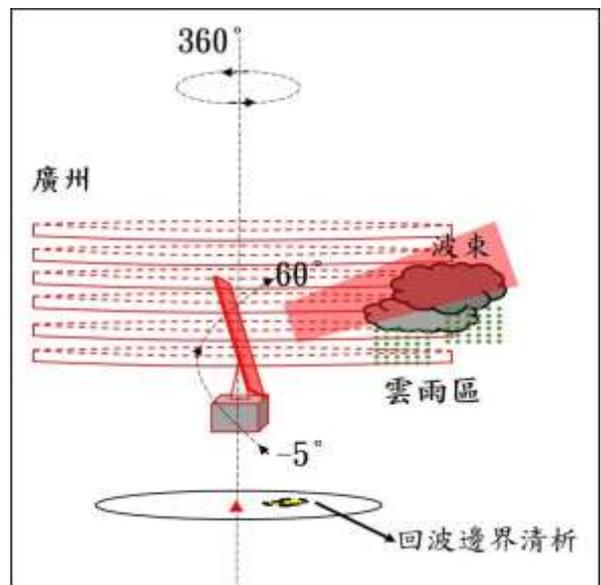


圖8 中國大陸廣州氣象X-band陣列雷達天線作動採用水平方位角360°旋轉，再接續執行相控RHI掃描，逐步執行次一方位角及仰角掃描。

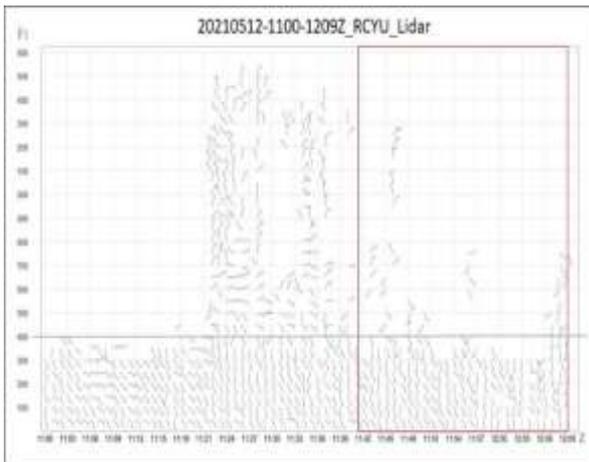


圖9 110年05月12日1100Z至110年05月12日1200Z花蓮機場雷射式剖風儀，每3分鐘一筆定點垂直風場演變時序圖，暗紅色方框為航空器作業時段。

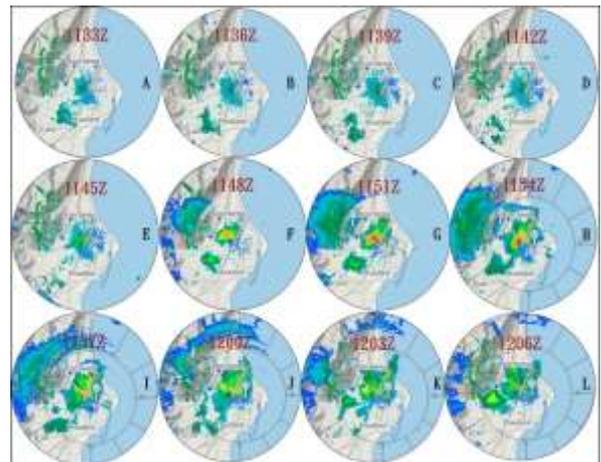


圖11 本軍花蓮氣象X-band降雨雷達最大回波分布圖〔(註：1.A至L分別表示110年05月12日1136Z至110年05月12日1206Z(A至L)，每3分鐘花蓮機場當空降水回波演變時序圖；2.針對跑道當空發展較旺盛降水回波進行垂直剖面分析(圓藍實心A至圓藍實心B)，時間自110年05月12日1151Z至110年05月12日1206Z(E至L))〕。

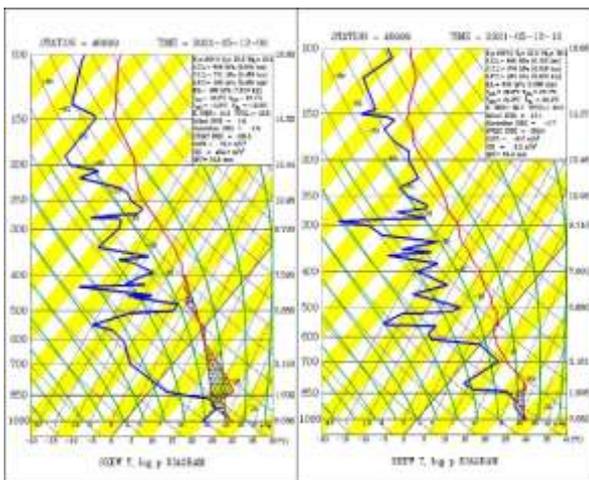


圖10 左圖為花蓮探空站日間0000Z斜溫圖，右圖為同地點夜間1200Z資料。

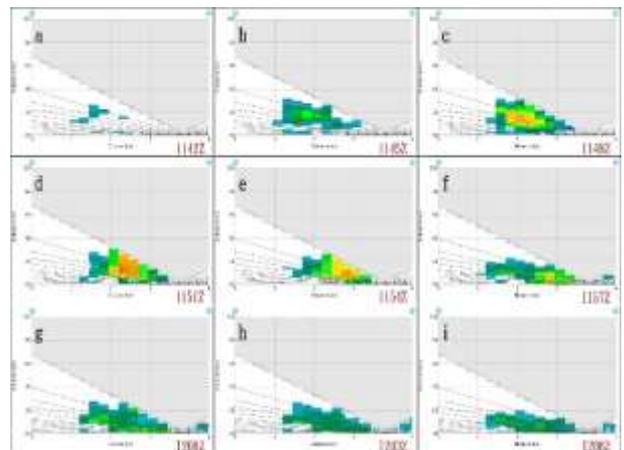


圖12 承上圖，110年05月12日1142Z至110年05月12日1206Z(a至i)，圓藍實心A至圓藍實心B雷達垂直剖面時序圖。

表1 臺灣地區氣象雷達隸屬單位及使用波段與地點。

波段	S-band				C-band				X-band										
完整體積掃描時間	8-7分鐘				8-7分鐘				3-4分鐘(特殊狀況縮減至1-2分鐘)										
地點	五分山	七股	墾丁	五股	清泉崗	馬公	湖山	湖山	湖山	中正機場	中央大學	林林	新竹	嘉義	臺南	岡山	花蓮	臺東	中央大學
單位	氣象局		空軍		氣象局		中央大學		國防院		空軍				中央大學				

表2 本軍氣象X-band降雨雷達性能參數表。

本軍氣象 X-band降雨雷達性能參數	
項目	參數
天線類型	機械式掃描
運作方式	水平方向 360° 垂直方向 -2°至-182°
天線大小	Φ980mm X H980mm
頻率	9.4GHz
天線增益	≥33dB
極性	水平極化和垂直極化
脈衝寬	20 μs
解析度	75 m
重複頻	≤ 2 kHz

表3 中國大陸廣州氣象X-band陣列雷達性能參數表。

廣州氣象 X-band陣列雷達性能參數	
項目	參數
天線類型	一維電子掃描陣列
運作方式	水平方向 360° 垂直方向 -5°~60°
天線大小	長1.3m 寬0.7m
頻率	9.3-9.5GHz
天線增益	≥30dB
極性	水平極化和垂直極化
脈衝寬	20 μs
解析度	30 m
重複頻	≤ 4 kHz

表4 本軍氣象X-band降雨雷達與中國大陸廣州氣象X-band陣列雷達性能參數比較表。

本軍降雨雷達和廣州陣列雷達比較		
項目	優	缺
網傳需求	低	高
資料存取需求	低	高
拆裝搬運容易度	易	難
重量	輕	重
工作時間	全天候	全天候

# The benefit of meteorological X-band rainfall radar on airport weather watch

Tzu-Yi Li<sup>1</sup> De-Jin Tzeng<sup>2</sup> Guo-Jhen Huang<sup>2</sup> Jun-Wei Wu<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Air Force Weather Wing

<sup>2</sup>The Ninth Weather Center of Air Force Weather Wing

<sup>3</sup>Air Command and Staff College, National Defence University

## Abstract

The ROC Air Force's new X-band rainfall radar can complete a volume scan to achieve about 3 to 4 minutes, which can be shorted in 1 to 2 minutes under special conditions. It has the advantage of instant watchfulness.

Using the advantages of keeping watch to discuss the night rain phenomenon at Hualien Airport on May 12, 2021. The atmospheric environment in Taiwan on that day was an overall weak environment field. In the evening, there was a locally convergence in Xincheng Township, Hualien County and subjected to inversion pressure below 850hPa. The cloud base height is mostly concentrated below 2,000ft, and it is close to the ground and mountains. On May 12, in a short period of time from 1100Z to 1200Z, the meteorological X-band rainfall radar can instantly grasp the evolution of high relative humidity clouds. The height of the water phase particles in the cloud is below 4 km, and the height of the strongest core is within 1 to 3 km. The period from initial stage to dissipation stage is about 30 to 60 minutes, the use of meteorological X-band rainfall radar equipment for meteorological observation is a successful case.

**Keywords: X-band rainfall radar**