

# 空軍氣象聯隊新一代氣象雷達觀測成效與應用報告

呂崇華

空軍氣象中心

摘要

空軍氣象聯隊基於危害性天氣之監測與預警效果以及改善機場短時天氣預報提高空軍氣象服務品質，於2008年底完成清泉崗及馬公二座新一代氣象雷達提升案，自德商Gematronik公司引進具有雙偏極化功能之C波段調速管都卜勒氣象雷達(METEOR 1600C型)，成為台灣第一部作業用雙偏極化雷達系統，亦為國內氣象作業用雷達開闢下一代氣象雷達應用新紀元，並利用雙偏極化之潛在能力，以自身參數改善雷達資料品質、偵測冰雹與大氣中水象粒子之分辨及劇烈降雨估算與預報等功能發揮最大的貢獻。

關鍵詞：雙偏極化雷達、調速管

## 一、前言

雙偏極化雷達和傳統雷達不同之處在於能夠同時發射水平和垂直偏極化的電磁波來做觀測。由於雙偏極化雷達對於水象粒子(hydrometeor)的個數、介電常數(dielectric constant)、形狀、粒徑與降落時的傾斜角分布有不同反應，所以雙偏極化雷達較傳統雷達具備更多的能力：1、改善雷達資料品質，利用相位修正能量衰減及濾除非氣象回波。2、獲得解析體積內雨滴的統計資訊(如：雨滴粒徑分布)。3、利用模糊邏輯(fuzzy logic)辨別空間中的水象粒子。4、能夠得到較為準確的定量降水估計。

傳統的天氣雷達傳送和接收平行於水平電場的線性電磁波輻射，而具有雙偏極化功能之新一代氣象雷達不止可傳送和接收水平

方向，也包括垂直方向的電場電磁波輻射。由於所照射的水象粒子可能不是球體(小雨滴趨近於圓形，大雨滴呈扁平狀，雨滴越大越扁平)，因此這些非球狀水象粒子反散射截面的水平及垂直極化並不會相同，而電磁波傳播經過降雨區將會遭受到散射(scattering)、差異衰減(differential attenuation)、差異相位差(differential phase shifts)以及退極化(depolarization)等各種改變訊號的因素，也因此可以由電磁波傳播所產生的訊號改變資訊，來估算或反演獲得水象粒子的大小、形狀、指向以及熱力相態等訊息，使得具有雙偏極化功能雷達可計算出雨滴數目隨形狀的變化，進而準確估計出降雨量，同時分類降水型態，如雨滴、冰晶、雪花、冰雹、過冷水等。

## 二、雷達硬體規格簡介

空軍氣象聯隊清泉崗(圖2.1)及馬公新一代氣象雷達為德商Gematronik公司Meteor 1600C型調速管(圖2.2)雙偏極化都卜勒氣象雷達，表2.1為雷達硬體規格及性能概要。

表2.1 雷達硬體規格及性能概要

	清泉崗 (RCMQ)	馬公 (RCQC)
Type	Gematronics Meteor-1600C	Gematronics Meteor-1600C
Location	120.62°E 24.27°N	119.62°E 23.57°N
Altitude	203 m	48 m
<b>Antenna</b>		
Diameter	4.2 m	
Radome diameter	6.5 m	
Beamwidth	<1°	
Antenna Gain	>45 dB	
Antenna Polarization	Simultaneous dual polarization(H,V)	
Max. Rotation Rate	6 rpm	
Elevation	-2° - 182°	
<b>Transmitter</b>		
Type	Klystron with solid state	
Frequency	5.625 GHz	5.6 GHz
Wavelength	5.338 cm	5.291 cm
Peak Power	250 kW	
Pulse Duration	2 μs、0.82 μs (doppler)	
Pulse Repetition Frequency	319 Hz 937、702 Hz (doppler)	
Max. Unambiguous Velocity	± 5.4 m/s、 ± 37.5 m/s(doppler)	

Receiver	
Min. Detectable Signal	dBm
Noise Figure	3 dB
Dynamic Range	105 dB
Signal Processor	
Clutter Suppression	>50 dB
Gate Spacing	250 m
Range Coverage	360 km、160km (doppler)



圖2.1 空軍清泉崗氣象雷達站



圖2.2 2008年德籍技師安裝 Meteor 1600C型調速管

## 三、雷達資料處理作業流程

應用雷達各參數計算降雨量及水象粒子分類等後製產品，需經過一連串資料修正及品管流程，空軍新一代氣象雷達系統即運用雙偏極化產生相位參數特性，應用於回波衰減校正及回波分類法濾除非氣象訊號(地形及海上雜波)。空軍氣象中心即時接收清泉崗及馬公機場雙偏極化都卜勒氣象雷達掃描後原始資料，作業流程第一部分為修正電磁波能量衰減值以獲得正確能量參數值(反射率dBZ及差異反射率ZDR)，第二部份則使用回波分類法過濾非氣象訊號後，始完成資料品管流程步驟，圖3.1為空軍氣象中心使用雷達操作軟體Rainbow5執行資料處理作業流程圖。由接收各測站原始資料後，需經過以上流程才進一步整合各測站雷達資料及資料演算應用(降雨率估算、水象粒子分類等)。

### (一)雙偏極化能量衰減修正(DPATC: Dual Pol. based Attenuation Correction)

因為水象粒子會損耗電磁波的能量，這會導致觀測到的回波資料有低估的情形，若要定量使用回波資料則必須找出因降水產生的衰減量而將低估的部分修正回來，雙偏極化雷達可藉由參數： $\Phi DP$  (差異相位差)，利用其不受系統功率校驗誤差及能量衰減影響的優點，修正被衰減的回波強度。圖3.2為雷達操作軟體Rainbow5能量衰減修正(DPATC)設計方案，該軟體可選擇最理想修正方法，運用不受衰減影響之相位參數差異

量反演能量衰減量以補回受衰減訊號之參數。圖3.3為清泉崗機場雙偏極化雷達未經過能量衰減修正過程與修正後比較圖，圖3.3中距雷達站約100公里方位角263度附近回波資料受強降水衰減現象均有修正補回情形，另由回波剖面圖(圖3.4)顯示，強對流胞後衰減情形，經過能量衰減校正後得以提升雷達資料品質，以減少後續進行雨量估算所產生誤差。

### (二)海浪及地形雜波偵測及修正 (SCDC: Sea Clutter Detection and Correction)

氣象雷達掃描過程中易受地形、建築物及海浪雜波所污染，因而影響真實氣象訊號產生誤判等情形。本軍新一代氣象雷達則運用雙偏極化雷達提供多參數特性，有效判別各類雜波(clutter)及非氣象訊號，圖3.5為雷達操作軟體Rainbow5雜波偵測及修正(SCDC)設計方案，使得氣象操作人員得以針對雜波及非氣象訊號資料進行濾除修正，圖3.6為馬公機場氣象雷達回波分類圖，可見於馬公機場周圍由於地理位置特性較易發生海浪雜波現象，經由雙偏極化氣象雷達運用自身參數與水象粒子物理變化的差異，得以有效分析出海浪雜波訊號，圖3.7為馬公機場氣象雷達修正海浪雜波(sea clutter)比較圖，經由SCDC處理後，有效濾除機場周邊環境風場所產生較明顯之海浪雜波情形，完成一連串資料處理流程，對於後續雷達參數計算各類產品得以獲得相當高的準確度，同時氣象人員評估各項產品時，亦可進一步排除非氣象因素之干擾。



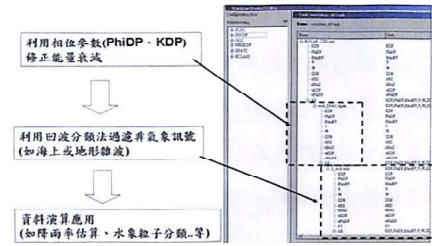


圖 3.1 Rainbow5 資料品管工作流程圖

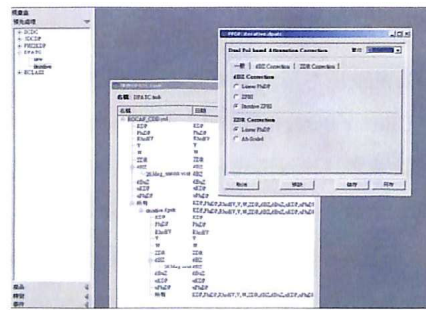


圖 3.2 Rainbow5 能量衰減修正(DPATC)設計方案

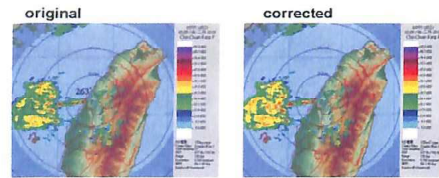


圖 3.3 清泉崗機場氣象雷達衰減修正前(左)後(右)比較圖

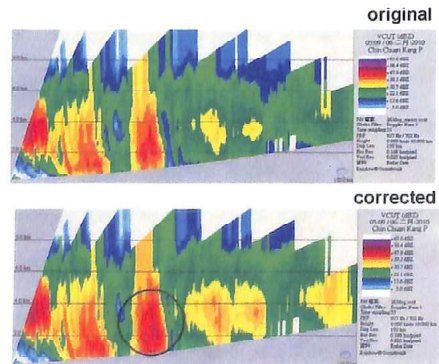


圖 3.4 清泉崗機場氣象雷達衰減修正前(上)後(下)方位角 263 度剖面比較圖

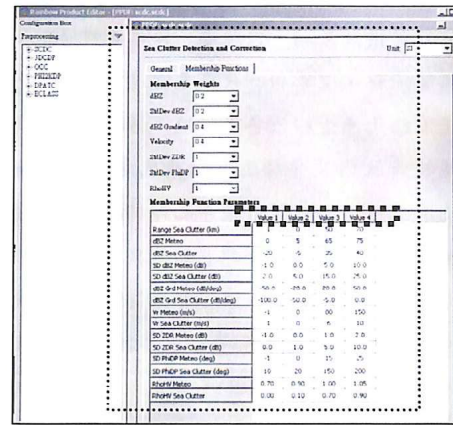


圖 3.5 Rainbow5 雜波偵測及修正(SCDC)設計方案

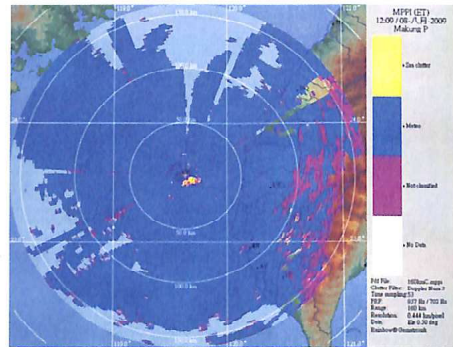


圖 3.6 馬公機場氣象雷達回波分類圖

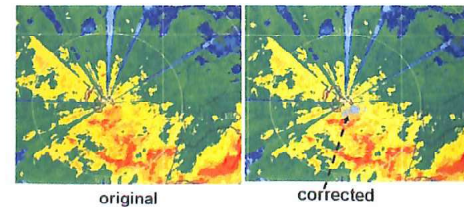


圖 3.7 馬公機場氣象雷達修正海浪雜波(sea clutter)前(左)後(右)圖

### 四、雷達觀測資料應用於各類特殊天氣個案分析

#### (一)2009年3月6日春雨個案

2009年3月6日春雨系統由華南海域移出之雲系並伴隨局部較強之對流形成。圖4.1為2009年3月5日2300Z清泉崗基地及馬公基地雙偏極化雷達合成最大回波圖，可清楚顯示該春雨個案伴隨強對流分布情形。此春雨個案有一強回波位於馬公基地雷達站西南方，逐漸接近該雷達站； $\overline{AB}$ 為通過該強對流回波之連線(圖4.2)。由附圖4.3垂直回波分布可看出，該對流隨高度呈傾斜發展，最強回波約發生於40公里高度。此外，藉由水象粒子分類，亦可觀測冰雹的存在；圖4.4中之不同顏色代表不同水象粒子，其中即可見冰雹(深紅色區)之發生位置。

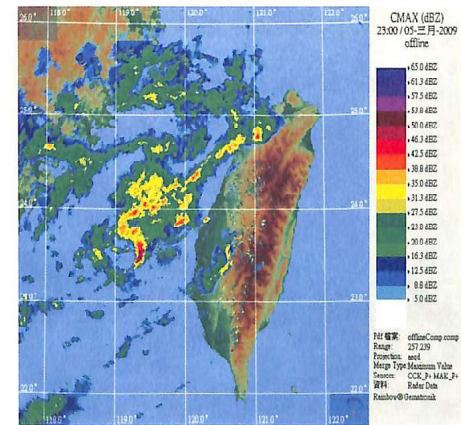


圖 4.1 2009年3月5日2300Z清泉崗基地及馬公基地雙偏極化雷達最大回波(dBZ)合成圖。

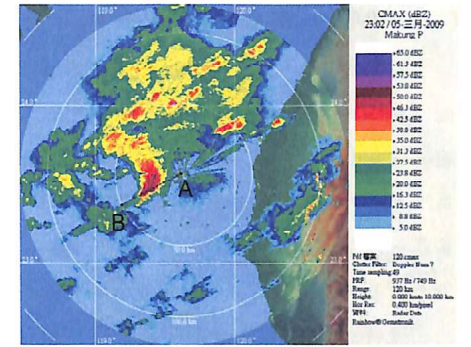


圖 4.2 2009年3月5日2302Z馬公基地雙偏極化雷達之最大回波(dBZ)圖。

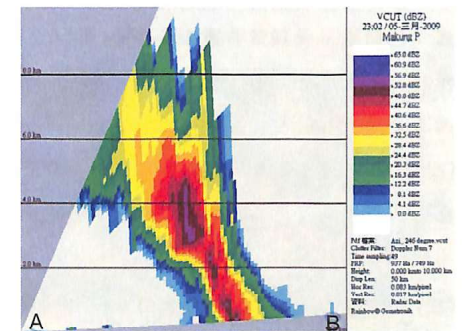


圖 4.3 通過強對流回波 $\overline{AB}$ 連線之垂直剖面圖。

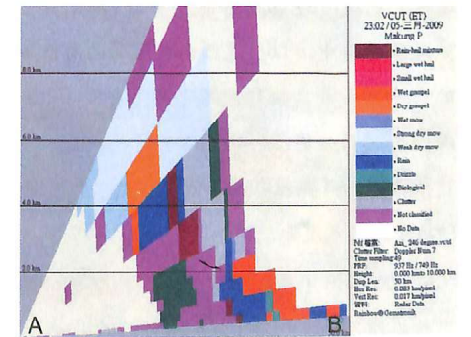


圖 4.4  $\overline{AB}$  連線之垂直剖面水象粒子分類圖。



(二) 2010年2月6日颶線天氣系統個案

颶線常發生於鋒面前緣，多位於鋒面南側。颶線雲帶中存在發展極為旺盛之對流胞，常見對流雲排成一列；此雲帶內氣流極為險惡，為一重度亂流區，並常伴隨強陣風、雷暴、閃電、冰雹與龍捲風等嚴重天氣。由清泉崗基地雷達回波圖亦可清楚看見其強降雨回波特徵(圖4.5)，圖中X軸及Y軸分別顯示水平X及Y方向對應之最大回波發展高度(高度間距為2公里)。 $\overline{AB}$ 為通過颶線區之回波連線；同時由降雨回波垂直剖面分布(圖4.6)顯示該回波呈胞狀分布，強回波高度可由地面向上發展至10公里高度。且由徑向風場分析(圖4.7)亦可看出颶線區之風場變化；圖中藍色區代表風場接近雷達站，紅色區域代表風場遠離雷達站。

(三) 2009年8月8日莫拉克颱風個案

圖4.8為2009年8月8日0054Z由馬公基地雙偏極化雷達觀測莫拉克颱風外圍環流雨帶之最大回波(dBZ)及水平風場分布；顯示莫拉克颱風環流中，以引進西南氣流之西南象限的對流發展最為強烈。另外，透過三維之降雨回波剖面分析(圖4.9)可以更清楚分析回波發展高度及其垂直結構。

(四)莫拉克颱風期間降雨率評估

2009年8月莫拉克颱風侵臺期間降雨劇烈且持續，特別是在臺灣中南部山區，嘉義、高雄、屏東都有大範圍日雨量大於1,000毫米之區域，而總累積雨量則有大範圍超過

2,500毫米，這些區域在莫拉克颱風侵襲時之降雨量並佔氣候年雨量平均值之三分之二以上，局部地區更達氣候年雨量平均值之四分之三以上，因而造成歷年來最嚴重之氣象災害。

雙偏極化參數在定量降水估計實際運用上，參數ZDR(差異反射率)對降水粒子的扁平度很敏感，由於水相粒子尺寸形狀之多變，從小水滴到大水滴時，隨著雨滴成長演化，會由球形變成較扁的形狀，使得相同回波強度有不同的降雨率，而藉由水平和垂直回波強度的差異，在相同回波強度時，區別大、小雨滴的數量，估計降水系統中的雨滴粒徑分佈，與傳統僅用回波強度估計降雨方法相比最大的優點為：估計雨滴粒徑分佈的高時間空間變異性後，將可由雨滴粒徑分佈直接計算降雨率，提高定量降水估計的準確度。

因此，本軍清泉崗及馬公機場雙偏極化氣象雷達即運用於定量降水之優異特性，於莫拉克颱風侵襲期間準確估算降雨，圖4.10顯示整合清泉崗及馬公機場雙偏極化雷達反演降雨量與氣象局實際觀測雨量站比較，在南部雨量極大值區，雷達估算降雨量與氣象局雨量站之時累積雨量再定量上及區域上均有良好的一致性，顯見雙偏極化雷達資料運用於定量降水評估有相當良好的成效。

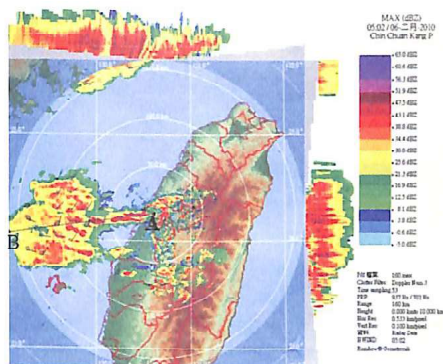


圖 4.5 2010年2月6日0502Z清泉崗基地雙偏極化雷達最大回波(dBZ)及反演水平風場分布圖。

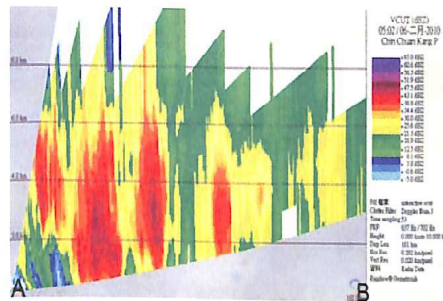


圖 4.6 通過颶線  $\overline{AB}$  連線之回波垂直剖面圖。

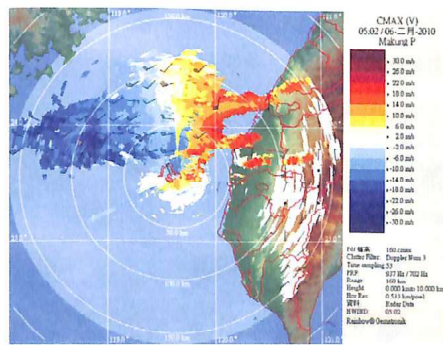


圖 4.7 2010年2月6日0502Z馬公基地雙偏極化雷達徑向風場分布圖

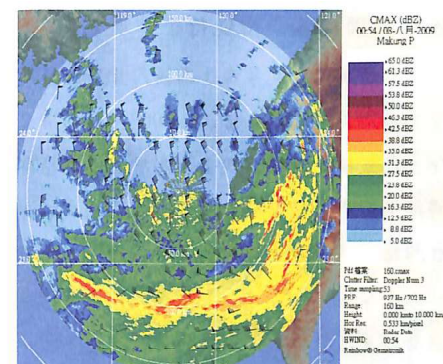


圖 4.8 2009年8月8日0054Z雙偏極化雷達觀測莫拉克颱風外圍環流最大回波(dBZ)及水平風場分布圖。

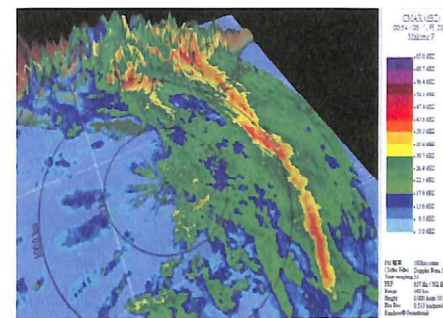


圖 4.9 2009年8月8日0054Z雙偏極化雷達觀測莫拉克颱風外圍環流最大回波(dBZ)3D影像圖。

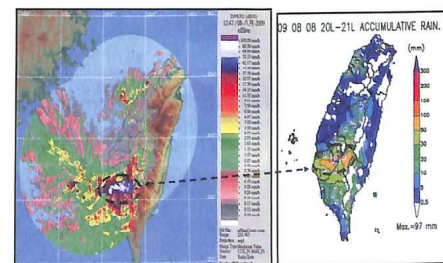


圖 4.10 2009年8月8日雙偏極化雷達估算降雨量與實際累積雨量比較圖。

## 五、與國內各單位現行合作機制

本軍新一代氣象雷達為國內首座作業用雙偏極化都卜勒氣象雷達，2008年底啟用至今，已支援過幾項國內重要之計畫，包括即時提供中央氣象局整合劇烈天氣監測系統、台灣地區西南氣流實驗計畫、人造雨成效評估以及學術單位作為研究用等，均為台灣氣象防救災及學術提供強大的貢獻與支援。

## 六、結論

空軍氣象聯隊擁有清泉崗及馬公等國內唯二作業用之C波段雙偏極化氣象雷達，其觀測資料應用於即時天氣預報及預警技術產生極大的助益與更新，進而維護飛行安全與降低因劇烈天氣造成國家人民生命財產的危害。

整體而言，本軍新一代氣象雷達系統建案完成，目前已肩負起危害天氣偵測守視及確保劇烈天氣預警與監測之任務，並扮演氣象支援相當重要之角色，啟用至今二年多支援過國軍多項戰演訓任務及國內各重要防災及學術需求實際作業用，在功效與實際應用上達到相當強大貢獻。未來將持續與氣象學界、氣象局、水利單位合作，利用雙偏極化之潛在能力，針對劇烈降雨估算與預報、偵測冰雹、大氣中水象粒子之分辨及改善雷達資料的品質等功能發揮最大的貢獻。