

空軍雙偏極化氣象雷達觀測成效與應用

呂崇華

空軍氣象聯隊氣象中心

摘 要

本文為利用空軍氣象聯隊新一代 C 頻雙偏極化都卜勒氣象雷達進行馬公降雹個案，並進一步對雹暴對流系統特徵之觀測分析，由雙偏極化水象粒子分類產品初步證實了雙偏極化雷達分辨水象粒子功能的成效，並經由密集的觀測資料，了解強對流胞發展的演變過程。

雙偏極化雷達，傳送水平及垂直極化電磁波且接收極化的反散射訊號，經由交互作用的訊號差異，可反演或估算獲得水象粒子的大小、數量、形狀、指向、降落行為以及熱力相態等訊息，藉由其分辨水象粒子的能力及氣象雷達本身就是近距離監控劇烈天氣系統利器的特性，將能更有效提供航線或戰演訓區域天氣系統之三維結構，預期本聯隊新一代氣象雷達提升案將提升航空氣象觀測作業品質、效率及精確度，進而改善機場短時天氣預報，達到對危害性天氣之監測及預警效果，以維護飛航安全。

關鍵字：雙偏極化雷達、水象粒子分類

一、前言

「雷達」一詞是英文 RADAR 的音譯 (Radio Detection And Ranging 的縮寫)，原意是無線電探(檢)測和測距。雷達是利用無線電電磁波發現目標探測，並測定目標位置、速度和有關參數的軍、民、科技用電子裝備，具有發現遠距離目標，即時測定目標，能全天候使用等特點。

氣象雷達是目前全球氣象單位所運用的高解析度氣象遙測工具之一，當雷達波束投射到雲、降水粒子上時，雲、降水粒子就會產生散射現象。其中向後方散射的部份，散射波重新返回到雷達天線處，並在雷達顯示器上顯示出各種圖像，這就是所謂的雷達回波。雷達回波強度不僅取決於雷達系統各參數的特性，而且和被觀測的雲、降水粒子的性質有關，還與雷達和被觀測目標之間的距離以及其間大氣狀況有關。只有把這些要素分析清楚，才能根據所觀測出的雷達參數強度去推斷雲、降水的物理狀況。經由氣象雷達觀測可充分獲得周遭數百公

里內，天氣的型態、結構與發展。

1.1、新一代氣象雷達-觀測雨滴圓、扁

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。

由於直徑大於 1mm 的雨滴在下落的過程中，會受到空氣阻力的影響而變成扁球狀，因此電磁波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。

1.2 空軍氣象聯隊首先完成作業用升級

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(如圖1.1)，自德商Gematronik公司引進具有雙偏極化功能之C波段都卜勒氣象雷達，為國內氣象作業用雷達開闢下一代氣象雷達應用新紀元，未來將與氣象學界、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。本文將逐一介紹雙偏極化雷達各參數功能及其應用，並針對2009年03月6日清晨澎湖地區發生冰雹個案，利用本聯隊新一代氣象雷達驗證偵測冰雹的能力。

(圖1.1) 隸屬於空軍氣象聯隊位於清泉崗機場之C波段雙偏極化都卜勒氣象雷達；圖為雷達天線之安裝架設。

二、雙偏極化雷達觀測冰雹個案

今年3月5日為二十四節氣裡的「驚蟄」，湊巧的是這天入夜後，台灣地區受鋒面雲系影響，中部以北地

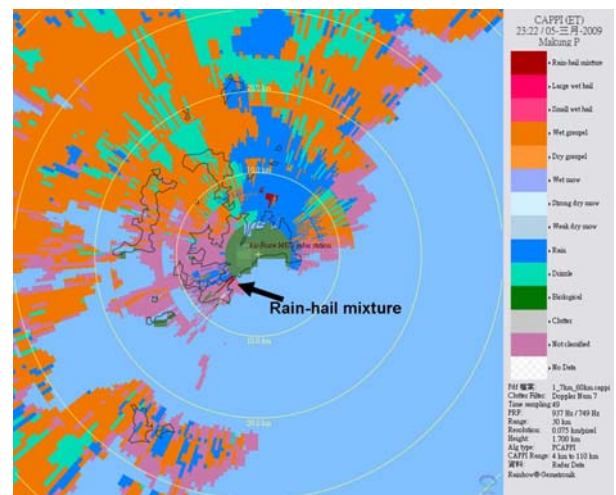


區陸續均發生雷陣雨天氣，特別在澎湖縣馬公市鎖港、五德地區，當地居民表示於3月6日清晨0720時，當地降下直徑約十元硬幣大小的冰雹，本文將利用本聯隊雙

偏極化氣象雷達觀測資料首度運用於冰雹偵測的可行性，驗證各參數對冰雹的反應及未來在實際天氣監測作業上做為冰雹發生之參考範例。

馬公雙偏極化雷達資料

馬公地區發現降雹時間點為3月6日清晨0720時，利用雙偏極化雷達0722時水象粒子分類圖(ECLASS:利用模糊邏輯法對雙偏極化雷達觀測參數進行各水象粒子分類)，圖2.1所顯示為高度1.7公里之CAPPI水象粒子分類圖，位於馬公機場西南方約5公里處有「Rain-hail mixture(雨-冰雹混合)」訊號發生，與當時位在澎湖鎖港、五德地區居民所見到的降雹情形，在時空上是相當符合，也直接證實雙偏極化雷



(圖 2.1) 高度 1.7 公里之 CAPPI 水象粒子分類圖，位於馬公機場西南方約 5 公里處有「Rain-hail mixture(雨-冰雹混合)」訊號發生。

達分類水象粒子的可行性。本研究選擇由馬公機場雷達3月6日0632L至0722L每十分鐘一筆共六筆時間序列回波資料圖(如圖2.2)，所用雷達回波資料為掃描半徑120km，徑向解析距離為300公尺，回波產品為最大回波圖(為一解析體積內最大值)，圖上呈現為X軸剖面資料，觀測強對流區位於馬公西南西方約60km處並逐漸發展成熟，並持續向馬公方向移動，強對流區於0632時之後強度增強、範圍擴大，單胞主體以62km/hr快速向東北

東方移動，於0642時對流區垂直高度上約4km處出現最大強度59.5dBz，顯然此對流胞已發展成熟，0652時之後更發現對流胞單體已發展成弓狀回波(bow echo)，並且此時對流胞回波強度亦達到50dBz以上。圖2.3為0652時沿方位角274度做水平距離61公里之垂直剖面，分別為(a)反射率 Z_H 、(b)雙偏極化雷達水象粒子分類產品、(c)相關係數 $\rho_{hv}(0)$ 、(d)差異反射率 Z_{DR} ，藉由回波資料可發現對流胞垂直發展高度接近10km，最大回波強度超過52dBz，最大回波強度在3.5~4km高度上；在水象粒子分類圖於強回波區處存在雨-冰雹混合區，配合相關係數低於0.9及差異反射率高於2.0以上，可以判斷此區有雨水包覆冰的現象，在降雹區，由於雹塊集中降落，形成了垂直方向的最強回波區。

三、結論

空軍氣象聯隊於2008年12月完成了清泉崗及馬公機場二座雙偏極化都卜勒氣象雷達的建置工作，將原有的傳統雷達升級為能夠同時發射水平和垂直偏極化電磁波的新一代氣象雷達系統，並成為台灣地區首次將雙偏極化都卜勒氣象雷達運用於氣象觀測作業。

Zrnich and Ryzhkov(1999)認為雙偏極化雷達已經通過兩個重要測試：偏極化的資訊包含水象粒子特性，以及反演足夠精確度的其它訊息。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，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。

本文乃藉由馬公降雹事件，初步證實了雙偏極化雷達分辨水象粒子功能的成效，並經由密集的觀測資料，了解強對流胞發展的演變過程，當然配合雙偏極化雷達各參數所代表的不同物理意義，未來仍可持續嘗試去探

討冰雹成長的雲物理過程、雹暴的動力機制，以及由冰雹的生長史預先掌握降雹發生機率。

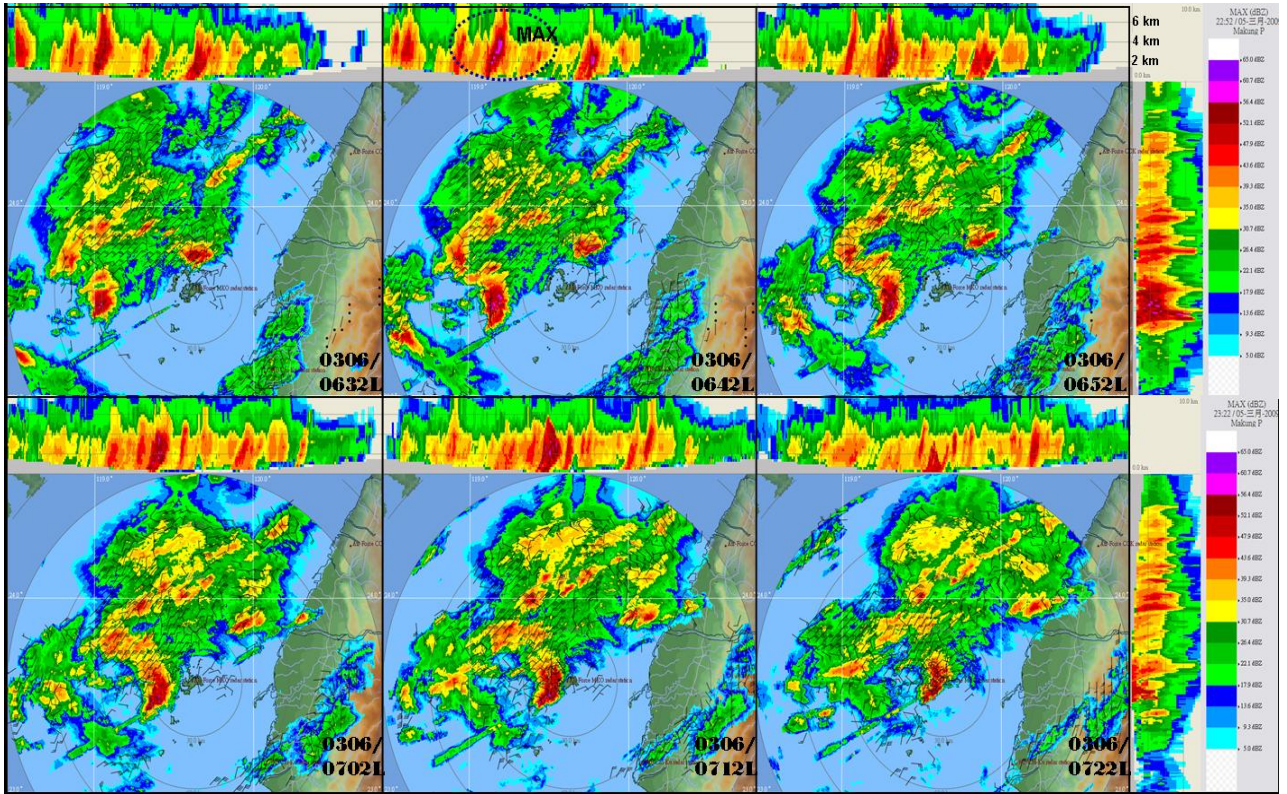
空軍氣象聯隊雙偏極化雷達的發展，對於天氣觀測與預報的實際作業方面均有非常大的幫助，預期將提升航空氣象觀測作業品質、效率及精確度，進而改善機場短時天氣預報，達到對危害性天氣之監測及預警效果，以維護飛航安全。

參考文獻

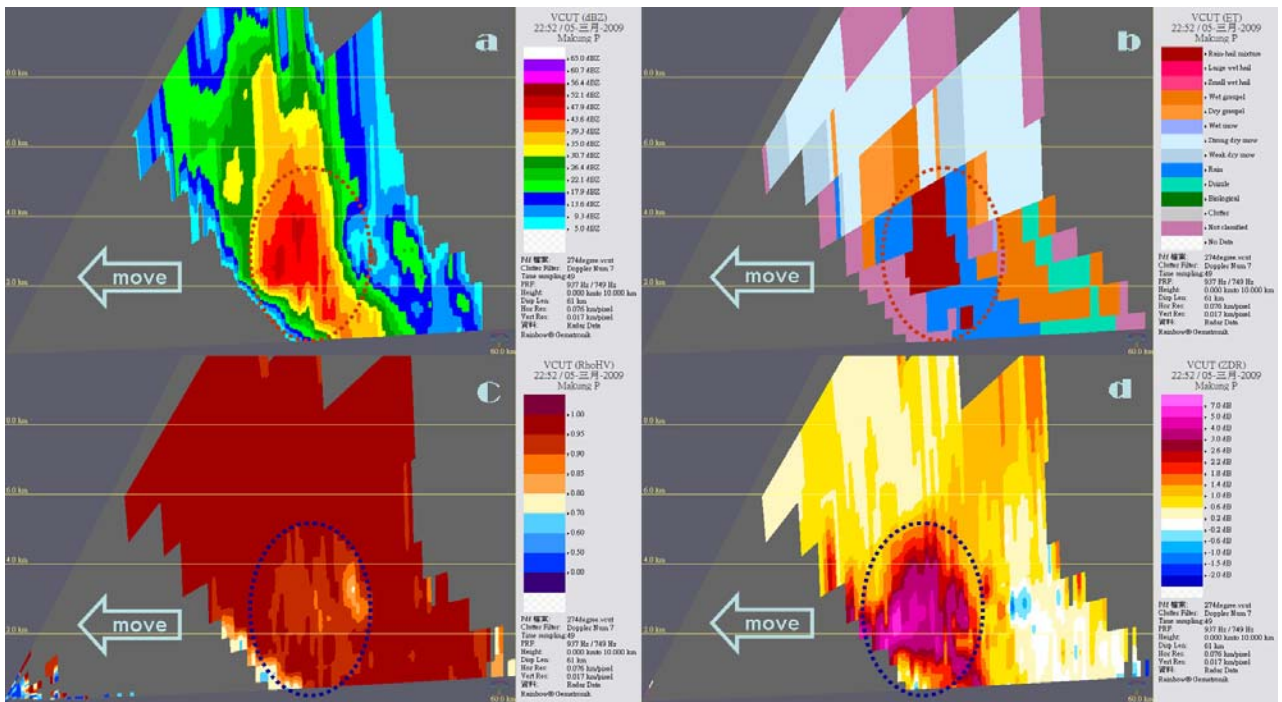
- 鳳雷，2002：熱帶降水系統之雙偏振雷達觀測研究，國立台灣大學大氣科學博士論文，161頁。
- 紀博庭，2005：利用中央大學雙偏極化雷達資料反求雨滴粒徑分佈及降雨率方法的研究，國立中央大學大氣物理碩士論文，70頁。
- 呂崇華，2006：雙偏極化雷達資料分析梅雨鋒面雨滴粒徑分佈的物理特性，國立中央大學大氣物理碩士論文，100頁。
- Bringi, V. N., and V. Chandrasekar, 2001: *Polarimetric Doppler Weather Radar: Principles and Applications*, Cambridge Univ. Press, 636 pp.
- Doswell, C. A., III, 1987: The distinction between large-scale and mesoscale contribution to severe convection: A case study example. *Wea. Forecasting*, 2, 3-16.
- Gorgucci, E., V. Chandrasekar, V. N. Bringi, and G. Scarchilli, 2002: Estimation of raindrop size distribution parameters from polarimetric radar measurements. *J. Atmos. Sci.*, 59, 2373-2384.
- Illingworth, A.J., and I.J. Caylor, 1989: Cross polar observation of the bright band. *Proc. 24th Radar Meteor. Conf.*, Amer. Meteor. Soc., 323-327
- Illingworth, A. J., 2004: Improved Precipitation rates and data quality by using polarimetric measurements. *Advanced Applications of Weather Radar*, Chapter 5, Springer Press, 130-166
- Seliga, T. A., and V. N. Bringi, 1976: Potential use of radar differential reflectivity measurements at orthogonal

polarizations for measuring precipitation. *J. Appl. Meteorol.*, **15**, 69–76.

- Vivekanandan, J., D. S. Zrníc', S. M. Ellis, R. Oye, A. V. Ryzhkov, and J. Straka, 1999: Cloud microphysics retrieval using S-band dual-polarization radar measurements. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **80**, 381-388
- Willis, P. T., 1984: Functional fits to some observed drizzle size distributions and parameterization of rain. *J. Atmos. Sci.*, **41**, 1648-1661
- Zhang, G., J. Vivekanandan, and E. Brandes, 2001: A method for estimating rain rate and drop size distribution from polarimetric radar measurements. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, **39**, 830-841
- Zrníc', D.S., and A. V. Ryzhkov, 1999: Polarimetry for weather surveillance radars. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **80**, 389-406



(圖2.2) 馬公機場雷達3月6日0632L至0722L每十分鐘一筆共六筆時間序列回波資料圖，所用雷達回波資料為掃描半徑120km，徑向解析距離為300公尺，回波產品為最大回波圖(為一解析體積內最大值)，圖上呈現為X軸剖面資料，圖右呈現為Y軸剖面資料。



(圖2.3) 0652時沿方位角274度做水平距離61公里之垂直切剖面，分別為(a)反射率 Z_H 、(b)雙偏極化雷達水象粒子分類產品、(c)相關係數 $\rho_{hv}(0)$ 、(d)差異反射率 Z_{DR} 。