

五分山C波段雷達觀測掃描策略之研擬與應用

林品芳 張保亮 周思運 秦新龍

中央氣象局第四組

摘 要

臺灣地區於暖季之劇烈天氣現象除了滯留鋒與颱風等天氣系統外，另一常帶來極短時之劇烈降水即為區域性熱力午後對流系統。熱力午後對流系統不同於滯留鋒或颱風等動力天氣系統，近地面之觀測資料所能提供午後對流熱力發展或加強所需之天氣訊號尤為重要。於此研究中，針對地面觀測站密集度較高的台灣北部區域，並利用中央氣象局於去(2016)年7月在五分山所建置C波段雙偏極化雷達之維修校驗平台(Maintenance Depot, RCMD)，研擬此雷達針對台灣北部午後對流系統所能提供的較佳觀測掃描策略之設計與應用。RCMD雷達可藉由較佳掃描策略之設計提供較目前同位於五分山之作業化S波段雙偏極化雷達(RCWF)更接近地表的觀測訊號，並期藉由方位高度顯示(Range Height Indicator, RHI)掃描觀測能較了解對流胞之三維結構特徵與變化。作業上除可提供極短時對流胞消長資訊以及可利各災防單位盡速制訂應變措施外，研究上更可結合高密度之各觀測資料特性，掌握有利對流胞發展或加強等近地表熱力氣象條件，以期未來能更即早提供民眾或各災防單位午後對流可能發生的時間或地點，降低午後對流所伴隨之極短時劇烈降水可能帶來的災害，並可以此作為未來陸續建置區域防災降雨雷達觀測掃描策略擬定之參考依據。

一、前言

中央氣象局於去(2016)年7月，於所屬五分山雷達站完成建置局屬第一座C波段雙偏極化雷達(Maintenance Depot, RCMD)，作為未來臺灣地區防災降雨雷達之訓練維修及校驗平台。RCMD雷達與原本S波段雙偏極化雷達(RCWF)在水平距離僅相差約45公尺，海拔高度亦僅相差約12公尺，觀測掃描策略一致，除可做為RCWF雷達之備援系統外，並可與RCWF雷達進行共站(Co-site)作業化天氣監測。

雷達原始資料的資料品質和解析度與雷達掃描策略之相關參數設定息息相關，氣象監測雷達標準制定掃描模式主要分為降水模式和晴空模式兩種(ROC 2015)，其中降水模式掃描策略難以皆適用架設各地而具有不同地理位置特性之雷達及其所需觀測區域之不同降水型態。在不影響作業觀測條件下，C波段

RCMD雷達除可針對特別天氣系統擬定適當之掃描策略(Scan Strategy)進行特別觀測外，更有S波段RCWF雷達觀測資訊以供新制定掃描策略進行觀測能力評估。

目前局屬四座S波段雷達五分山(RCWF)、花蓮(RCHL)、七股(RCCG)、墾丁(RCKT)和空軍所屬三座C波段清泉崗(RCCK)、馬公(RCMK)、綠島(RCGI)雷達等共七座作業化氣象雷達網可監測台灣地區及其鄰近海域之天氣系統。台灣地區暖季之劇烈天氣現象，如滯留鋒與颱風等較大尺度之動力天氣系統，可由目前雷達監測網提供全面性的觀測外，另一常帶來極短時之劇烈降水之區域性熱力午後對流系統，其有利於發展或加強之近地面觀測資料或訊號尤為重要。

在具複雜地形的台灣地區，其地形效應在降雨分布的變化具有相當程度的影響(Chen and Chen 2003)，特別是有中央山脈縱貫南北的台灣地區，山

脈不僅能產生局部環流，也可能與大尺度環境的低層風交互作用而產生局部對流(Akaeda et al. 1995; Li et al. 1997)。海陸風或上升與下降氣流對於邊界層的濕化，可提供適合發生熱力午後對流的有利條件(Johnson and Bresch 1991; Chen and Li 1995)。除了地面觀測資料，若能結合雷達提供近地面的氣流特徵，相信對於有利於發展之天氣訊號能有更進一步的了解。

目前氣象局所屬雷達站之掃描策略皆採用降水模式，而 RCHL、RCCG 及 RCKT 等雷達站因其所架設之海拔高度較低(分別為63、38、42公尺)， 0.5° 之最低掃描仰角可提供相當程度之接近地面降雨資訊，尤其是近地面資訊對天氣系統發展或加強極為重要的夏季午後對流系統。但RCWF雷達則因其海拔高度較高(766公尺)， 0.5° 之最低掃描仰難以提供北台灣地區較接近地面之降雨資訊。因此可利用目前可進行共站觀測之RCMD雷達，針對特定降雨型態研擬其較佳的觀測掃描策略，亦可以此作為未來陸續建置區域防災降雨雷達觀測掃描策略擬定之參考依據。

二、較佳掃描策略研擬方法

本研究針對具較高海拔高度(754公尺)之C波段雙偏極化RCMD雷達所研擬之掃描策略方法主要是依據Brown et al. (2000)發展之方法，根據雷達波束傳播路徑求取不受地形影響之最低可掃描仰角(ϕ_0 , grazing angle)，進而提供較接近地面之各雙偏極化參數觀測場資料，再以此最低可掃描仰角計算於體積掃描中較適當之其它觀測仰角。

雷達波束於標準大氣下之理想傳播路徑 H_r (km) 可依下列式子取得 (Rinehard 2010)：

$$H_r = \sqrt{r^2 + R'^2 + 2rR' \sin \phi} - R' + H_R$$

其中 H_r 為波束距雷達 r 公里遠時之高度(km)， H_R 為雷達天線喇叭口海拔高度(km)， R' 為相當地球半徑($=4/3R$ ， R 為地球半徑, km)， H_0 為雷達天線海拔高度(km)， ϕ 為天線觀測仰角($^\circ$)。如此得RCMD雷達之最低可掃描仰角 ϕ_0 為 -0.5° (圖1)，考量其所發射電磁波之波束寬度為 1° ，且波束理想路徑為以波束中心角度為計算，故RCMD雷達之最低可掃描仰角 ϕ_0 為 0° 。

圖2則顯示 ϕ_0 於 -1.0° 至 0.5° 間電磁波波束受地形阻擋(beam blockage)影響之整合圖，亦顯示 0° 可為理想之 ϕ_0 。由於RCMD雷達所設置之地理位置及其海拔高度略低於RCWF雷達海拔高度，需考量原有RCWF雷達作業大樓工作人員之環境安全，故第一層至第三層仰角(0.5° 、 1.4° 、 2.4°)於方位角 150° 至 232° 間以及第四層以上(3.4° 、 4.3° 、 6.0° 、 9.9° 、 14.6° 、 19.5°)於方位角 150° 至 200° 間並未發射電磁波(Sector Blanking)。

雷達波束的觀測體積會隨著觀測距離增加而變大，在判別降水現象的高度時，會有高估或低估的現象發生。以標準降水模式之主要觀測仰角(ROC 2015)而言，在觀測範圍230km，觀測高度可達16km高之仰角為 2.4° ，但因為波束寬度，觀測誤差最大可達3km(圖未示)(Howard et al. 1997)。是故取得最低可掃描仰角 ϕ_0 後，在觀測範圍 r_s km，期待可觀測到的天氣目標物發展高度 Z_t km，再假設最大可允許觀測高度誤差 ΔZ km，便可得在 r_s 處之可觀測到 Z_t 的最低仰角 ϕ_1 。

由上述之最低可掃描仰角 ϕ_0 和可觀測到 Z_t km 高度的最低仰角 ϕ_1 ，便可得整個體積掃描之其它觀測仰角。在 ϕ_0 和 ϕ_1 間之各觀測仰角，可在觀測範圍 r_s km 處，由 Z_t km 高度處每遞減 ΔZ km 得各仰角。而高於 ϕ_1 之各觀測仰角，在給定雷達最高觀測仰角 ϕ_t 後，沿著 ϕ_1 波束理想傳播路徑至高度遞減 ΔZ km 處，此時在波束上距離雷達為 r_{s2} km (即徑向上向雷達靠近，且 $r_{s2} < r_s$)，在此觀測範圍 r_{s2} km 上，便可求得當觀測高度為 Z_t km 之觀測仰角 ϕ_2 ，如此依序可得其餘高於 ϕ_1 但不超過 ϕ_t 之各觀測仰角。於本研究中，假設 r_s 為 150km， Z_t 為12km， ΔZ 為 1.38km， ϕ_t 為 20° ，所得 ϕ_1 為 3.53° ，如此針對RCMD雷達研擬之較佳掃描策略如圖3所示，為一共需 13 個仰角之體積掃描。

三、較佳掃描策略之應用

由於C波段雷達波束能量較S波段為低(Doviak and Zrnicek 1993)，可監測距離較短，但卻可針對特別較局部的天氣系統提供較適當的觀測。因此，本研究將利用與RCWF雷達共站觀測之RCMD雷達，針對

台灣北部區域之夏季午後對流系統研擬較適當之掃描策略，以期提供有利熱對流系統發展或加強之機制，並期較能了解對流胞之三維結構特徵與變化。

目前氣象局屬四座S波段雷達以及一座C波段RCMD雷達之作業掃描策略皆採用降水模式之標準掃描策略 VCP (Volume Coverage Pattern) 221，執行掃描之方式為 0.5°、1.4°、2.4°之三層較低仰角且監測範圍較廣(460km)之監測模式，接續為 0.5°、1.4°、2.4°、3.4°、4.3°、6.0°、9.9°、14.6°、19.5°等九層仰角而監測範圍較短(230km)之都卜勒(Doppler)模式。本研究為有利進行針對具較高海拔高度C波段雷達最低可掃描仰角 ϕ_0 掃描結果之評估，故仍維持標準 VCP221 (standard VCP221, 此後簡稱 std-VCP)之九層仰角掃描外，於低層掃描仰角另加上 ϕ_0 之觀測仰角已獲得較近地面雷達觀測資料。另考慮因台灣北部所發生之對流其回波頂可高於12km高度(Lin et al. 2011)，亦高層掃描仰角增加二層24.5°與29.9°之觀測仰角。如此共 12 層仰角掃描(平面位置顯示，Plan Position Indicator, PPI)組成一體積掃描(modified VCP221, 此後簡稱 mdf-VCP)。

因熱力對流胞自初生至消散之整個生命期時間約莫2-3小時(Lin et al. 2011)，是故本研究在研擬或設計針對對流胞之掃描策略，整個體積掃描時間不可過長以及資料品質等兩者間的權衡為主要考量。目前局屬雷達站所使用 std-VCP，其監測模式為達監測之目的，使用單一脈衝來復頻率(single Pulse Repetition Frequency, PRF)進行掃描，如此資料品質較佳但單一仰角掃描時間卻較長，且其折錯速度(Nyquist Velocity)過小。而都卜勒模式則是使用雙脈衝頻率(dual PRF)進行掃描，單一仰角掃描時間較短且資料品質較不如監測模式，但卻可大幅提高可觀測之都卜勒速度。圖4為利用今(2017)年6月1日至4日間為北台灣地區帶來劇烈降水之滯留鋒個案進行RCMD雷達 std-VCP 之監測模式與都卜勒模式下所觀測之資料比例進行初步觀測能力評估，兩者於觀測範圍150km 內、觀測掃描仰角0.5°、1.4°、2.4°之都卜勒模式於回波 >40dBZ 時，觀測能力較監測模式明顯下降，<40dBZ 則兩者相當，主要是因為

PRF差異所導致，但仍可藉由衰減校正調校，兩者於0.5°之監測與都卜勒模式之觀測回波(圖未示)顯示兩者觀測結果相當，是故針對午後對流之掃描策略將只由都卜勒模式進行各仰角掃描觀測。

RCMD雷達共 12 層仰角的PPI掃描觀測，整個體積掃描需時 400 秒，若欲進一步進行多方位之方位高度顯示(Range Height Indicator, RHI)掃描觀測，所需時間相對於對流胞生命期將會過長，因此進一步將PPI掃描範圍侷限於午後對流發生之主要區域(Lin et al. 2011)而成扇形(Sector)掃描，主要掃描方位角為 232–325°，如此整個體積掃描所需時間將會縮短至 186 秒，除可將部分縮短之時間利用於提高都卜勒之觀測品質(如降低轉速、樣本數提高等)外，亦可利用於多方位 RHI 掃描上。以上所述 mdf-VCP 之 Sector 掃描部分，可結合監測模式之較高觀測品質以及都卜勒模式較高折錯速度之優點。圖5a為 mdf-VCP Sector 掃描之 0.5° PPI 所觀測之午後對流個案，與S波段RCWF雷達(圖5b)相較，除可見RCMD雷達於較大值區域低於RCWF雷達(張等 2017)外，整體觀測品質已有相當程度上的表現。

由於發生於台灣北部區域的午後熱力對流胞之平均移速約為 5m/s (=18km/hr) (Lin et al. 2011)，且視熱力有利條件，對流胞之移向於各方位皆有機會發生(Lin et al. 2011)。因此於一個Sector體積掃描後，將接續由方位角共30°、且每 2° 進行一個 RHI 掃描等共 16 個仰角 0°–60° 間之 RHI 掃描 (mdf-VCP RHI)，而成一個完整的對流胞體積掃描 [(mdf-VCP TSA, (Afternoon ThunderStorm))]，整個 df-VCP TSA 需時 346 秒。而 RHI 所需掃描之方位角範圍，於本研究中於 Sector 範圍內共擬定五個區域，如圖6所示，如此較能提高移向移速多變的對流胞之觀測率，圖7則為 mdf-VCP RHI 所觀測之一午後對流個案。

四、小結

本研究針對地面觀測站密集度較高的台灣北部區域，並利用中央氣象局於去(2016)年7月在五分山

所建置C波段雙偏極化RCMD雷達，研擬此雷達針對台灣北部午後對流系統所能提供的較佳觀測掃描策略之設計與應用。RCMD雷達可藉由較佳掃描策略之設計提供較目前同位於五分山之作業化S波段雙偏極化雷達(RCWF)更接近地表的觀測訊號，並期藉由RHI掃描觀測能較了解對流胞之三維結構特徵與變化。作業上除可提供極短時對流胞消長資訊以及可利各災防單位盡速制訂應變措施外，研究上更可因結合高密度之各觀測資料特性，較能掌握有利對流胞發展或加強等近地表熱力氣象條件，以期未來能更即早提供民眾或各災防單位午後對流可能發生的時間或地點，降低午後對流所伴隨之極短時劇烈降水可能帶來的災害，並可以此作為未來陸續建置區域防災降雨雷達觀測掃描策略擬定之參考依據。

參考文獻

- 張保亮、林品芳、陳怡甄與秦新龍，2017：五分山S波段與C波段雷達觀測比對初步分析。天氣分析與預報研討會論文彙編。In press。
- Akaeda, K., J. Reisner, and D. Parsons, 1995: The role of mesoscale and topographically induced circulations initiating a flash flood observed during the TAMEX project. *Mon. Wea. Rev.*, **123**, 1720–1739.
- Brown, R. A., V. T. Wood, and D. Sirmans, 2000: Improved WSR-88D scanning strategies for convective storms. *Wea. Forecasting*, **15**, 208–220.
- Chen, C. S., and Y. L. Chen, 2003: The rainfall characteristic of Taiwan. *Mon. Wea. Rev.*, **131**, 1323–1341.
- Chen, Y. L., and J. Li, 1995: Characteristics of surface airflow and pressure patterns over the island of Taiwan during TAMEX. *Mon. Wea. Rev.*, **123**, 695–716.
- Doviak, R. J., and D. S. Zmic', 1985: Siting of Doppler weather radars to shield ground targets. *IEEE Trans. Antennas Propag.*, **33**, 685–689.
- Doviak, R. J., and D. S. Zmic', 1993: *Doppler Radar and Weather Observations*. 2d ed. Academic Press, 562 pp.
- Howard, K. W., J. J. Gourley, and R. A. Maddox, 1997: Uncertainties in WSR-88D measurements and their impacts on monitoring life cycles. *Wea. Forecasting*, **12**, 166–174.
- Johnson, R. H., and J. F. Bresch, 1991: Diagnosed characteristics of precipitation systems over Taiwan during the May–June 1987 TAMEX. *Mon. Wea. Rev.*, **119**, 2540–2557.
- Li, J., Y. L. Chen, and W. C. Lee, 1997: Analysis of a heavy rainfall event during TAMEX. *Mon. Wea. Rev.*, **125**, 1060–1081.
- Lin, P. F., P. L. Chang, B. J.-D. Jou, J. W. Wilson, and R. D. Roberts, 2011: Warm season afternoon thunderstorm characteristics under weak synoptic-scale forcing over Taiwan Island. *Wea. Forecasting*, **26**, 44–60.
- Rinehart, R. E., 2010: *Radar for Meteorologist*. 5th Ed., Rinehart Publications, 482 pp.
- ROC, 2015: *WSR-88D Volume Coverage Pattern (VCP) Improvement Initiatives*. WSR-88D Radar Operations Center, Norman, OK, 15 pp. [Available online at https://www.roc.noaa.gov/WSR88D/PublicDocs/NewTechnology/New_VCP_Paradigm_Public_Oct_2015.pdf].

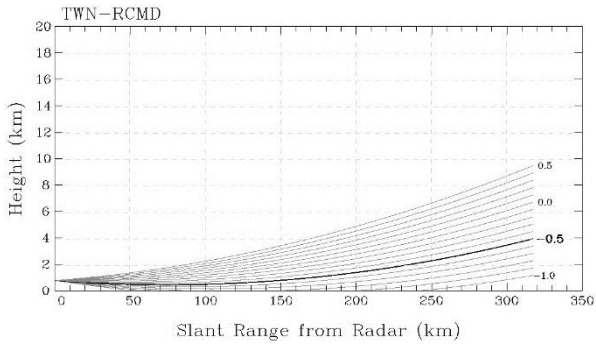


圖1 RCMD 雷達於觀測仰角 -1.0° – 0.5° 間之波束於標準大氣下之理想傳播路徑。粗線之波束路徑定義為最低可掃描仰角(ϕ_0 , grazing angle)。

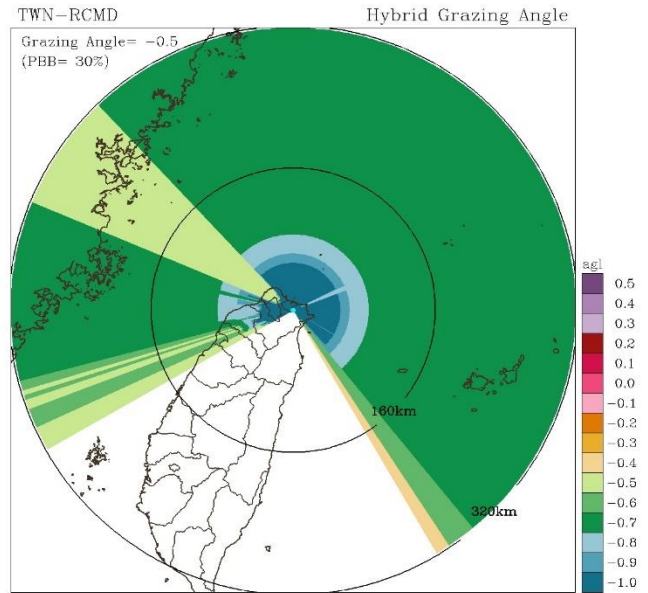


圖2 RCMD 雷達於觀測仰角 -1.0° – 0.5° 間之波束於標準大氣下之可觀測仰角整合圖粗線。顏色表示該位置之最低可用仰角。

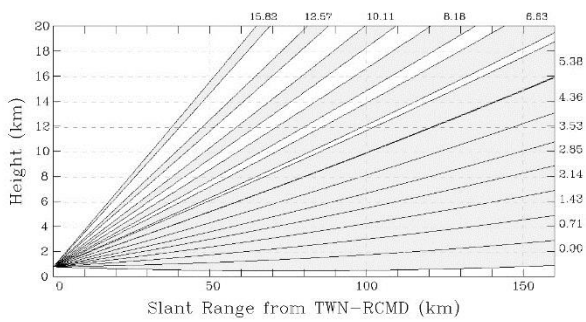


圖3 RCMD 雷達較佳掃描策略之13個觀測仰角。

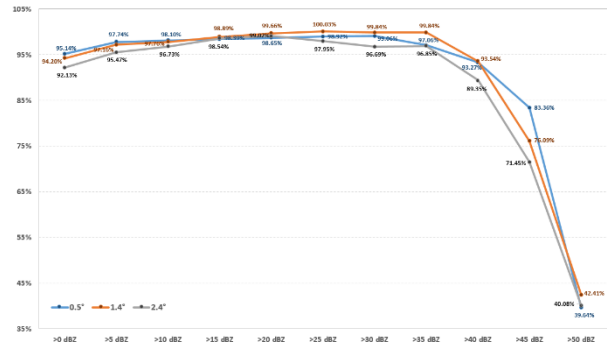


圖4 RCMD雷達於 2017年6月1日至4日期間，仰角 0.5° 、 1.4° 、 2.4° 之都卜勒掃描模式相對於監測掃描模式之觀測資料比例。

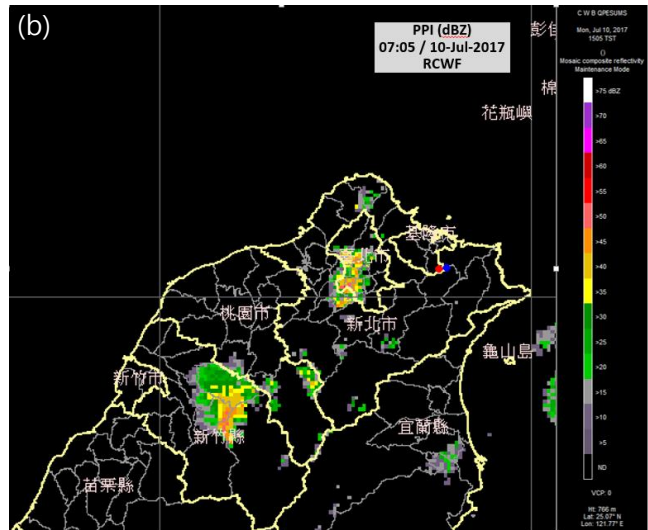
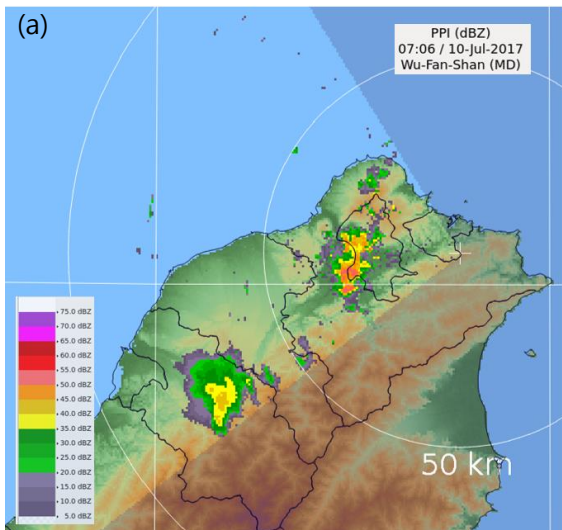


圖5 2017年7月10日(a) 07:06 UTC C波段RCMD雷達與(b) 07:05 UTC S波段RCWF雷達之 0.5° PPI 觀測回波圖。

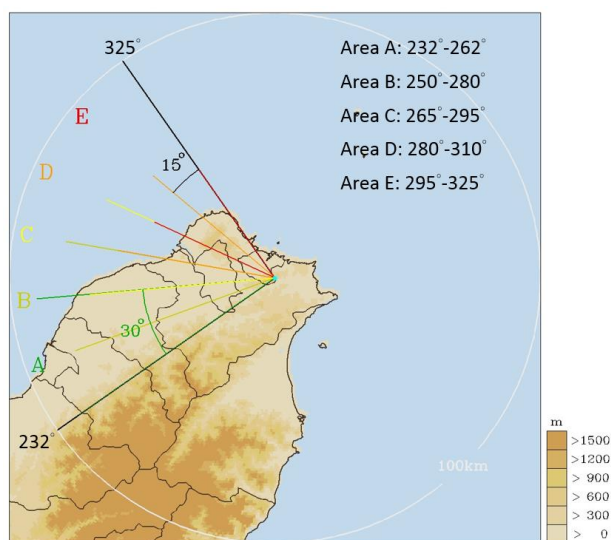


圖6 RCMD雷達針對觀測夏季午後對流系統進行 RHI 掃描之 A-E 等五個區域，各區域觀測方位角範圍如圖右上角所示。

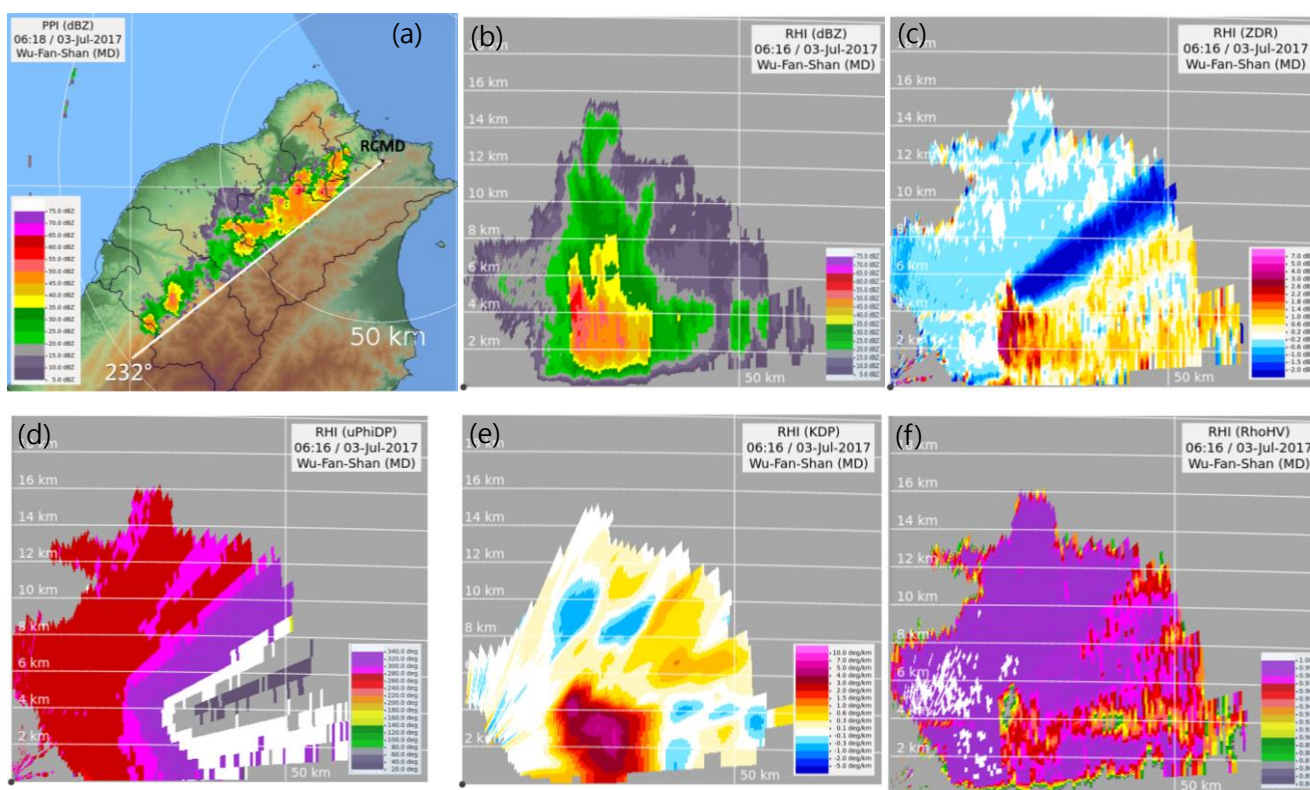


圖7 2017年7月3日 C波段RCMD雷達進行對流胞體積掃描之(a)06:17 UTC 2.4° PPI 觀測回波圖；(b)為 06:17 UTC 方位角 232° RHI 掃描觀測回波；(c)-(f)同圖(a)，但為(c)差異反射率、(d)差異相位差、(e)比差異相位差和(f)相關係數。雷達位於圖中黑點位置。