

網連雷達雜波之氣候統計特性分析

張保亮、王碧霞
中央氣象局

摘要

雷達接收的訊號中，除了真實的天氣訊號外，其中亦包含了許多非天氣現象的干擾訊號。這些雷達雜波的干擾，除了影響觀測與預報人員對天氣系統的詮釋與判斷外，對於下游應用產品的影響更是深遠。

本研究利用中央氣象局五分山、花蓮、七股、墾丁四個雷達即時觀測資料，以雷達觀測最低層的4個仰角(0.5、1.5、2.4、3.3度)，將回波分為-10至50dBZ共7個區間進行統計。希望透過雷達雜波統計作業的建立，對於網連區之雷達雜波在氣候上的分布與變動特徵，進行系統性的分析與了解，進而建立雷達的有效覆蓋面資料，來確保觀測基本資料以及雷達下游產品的正確性。由2003年1月至2003年6月的初步分析結果顯示，位於五分山雷達站西北方至東南方之近海，有明顯的扇形海面回波帶出現，在雪山山脈山頂區域、大屯山系以及宜蘭南方之山區，則存在相對明顯無組織性的地形雜波。在花蓮雷達站東方近海存在明顯的海面回波，其西方的中央山脈區域則出現明顯的外來干擾回波。七股雷達站則在西北至西南方海面，出現明顯的海面回波特徵，在雷達東北側的中央山脈區域則存在明顯的地形雜波。墾丁雷達海面回波則因該雷達之天線海拔高度較低，以及較接近海岸，使其現象較其上述三個雷達明顯。位於雷達東北東方約70km的蘭嶼島，則出現明顯的地形雜波，其影響可達仰角2.4度，顯示雷達電磁波旁波(Side Lobe)對於該現象有相當程度的貢獻。

在利用氣候統計結果進行濾除地形雜波時發現，此種方式對於地面雜波的濾除，成效相當顯著。由分析中也可發現，回波閾值(Threshold)與頻率選取決定了地面雜波在地理上的分布位置，如何在地面雜波的濾除與天氣現象保留之間獲得平衡，仍是未來需努力的目標。

一、前言

隨這中央氣象局雷達網連的建置完成，台灣地區都卜勒氣象雷達的密度，已堪稱世界之冠。然而，在實際作業中，雷達觀測受到電磁波的幾何傳播特性、大氣環境特性的改變、觀測範圍的地形分布特徵，以及其他外來的干擾源，均可能使雷達的觀測品質受到一定的影響。一般而言，影響雷達觀測品質的雷達雜波可分為：地形雜波、海面回波、非正常傳播回波、干擾回波，以及不明回波五大類。張(2001)曾以主觀方式針對五分山雷達雜波進行為期一年的統計，結果發現地形(地面)雜波長時間存在於雷達資料中，其他雜波發生的頻率相對較低，其中，海面回波發生頻率約為60%，而非正常傳播與干擾回波發生的頻率約為8.0%。

地形雜波為雷達電磁波觸及地形區域所造成，其與雷達電磁波的波束寬度、地形的高度，以及當時的大氣環境有關。而當大氣的溫、溼度梯度發生劇烈改變時(如逆溫現象)，電磁波傳播時將產生超折射(super refraction)的現象，將使得雷達電磁波的行

進路徑產生大幅偏離，並可能觸及地面，此類回波我們稱之為非正常傳播回波(AP)(Steiner and Smith 2002)或槽化回波。海面回波，顧名思義是出現於海面上之回波(Ryzhkov et al. 2002)，其發生原因主要可歸因於電磁波旁波(Side Lobe)觸及海面所造成，其與當時的大氣環境有關，其強度也與電磁波旁波觸及海面的角度有關。當海面風速愈大時，海面回波強度相對增強。此外，由於雷達是利用接收反射電磁波的能量來測量大氣中降水粒子的粒徑大小及分布狀況，因此，非雷達本身發射的訊號也會為雷達所接收，當干擾源頻率接近雷達時，將會干擾到真正降水粒子的觀測訊號。此類回波的干擾源可能來自於波長相近的雷達，亦會來自於自然界最大的輻射源"太陽"(張 2001)，此種因太陽輻射所產生的電磁波干擾現象，在衛星觀測或通訊的訊號接收方面也可能發生類似的干擾現象，稱之為衛星蝕(satellite eclipse)(Niels et al. 2003)。非上述原因產生之回波，由於其外觀具有高度的不確定性，我們稱之為不明回波，其成因可能是鳥類的遷習行為(Zhang et al. 2002)，或者是大氣中小片金屬(軍事用途之人為干擾源)所形成的碎屑回波等(chaff echo)所造成。而因船舶、飛機所

造成的雜波，相對較為隨機且出現範圍較小，對於雷達觀測而言影響較小。

整體而言，雷達雜波的發生原因雖有不同，如能透過系統性的分類與特性探討，將可以掌握到其發生的背景條件，並可尋求可能的解決方法。因此，本研究選定 2003 年 1~6 月五分山、花蓮、七股、墾丁四個雷達資料，進行回波氣候的統計作業，除希望以長期資料統計的觀點對於雷達雜波的特性加以探討外，也將嘗試應用統計的結果來進行雷達資料品質的改善。

二、氣候統計方法的建立

以準靜止不動的雷達雜波而言，該發生區域發生大於特定回波強度的頻率應相當高，而其週遭區域，如存在因天氣系統所造成的降水回波，因具有移動性與發生時間相對短暫的特性，發生頻率將相對偏低。因此，在此種概念下，本研究希望藉由長時間的統計分析，將天氣回波與雷達雜波加以分離，找出干擾天氣觀測的雷達雜波的時空分佈特徵，特別是影響台灣地區最為嚴重的地形雜波。

在統計方法設計上，本研究利用中央氣象局五分山、花蓮、七股、墾丁四個雷達即時觀測資料，以雷達觀測最低層的 4 個仰角 (0.5、1.5、2.4、3.3 度)，將回波分為 -10 至 50dBZ 共 7 個區間進行統計，當資料點回波數值大於該區間數值時，即列入發生次數的統計，並以月為單位分成日、夜進行統計，最後計算不同仰角及不同區間在雷達觀測範圍內所發生的頻率。每月處理個別雷達約 5000~7000 (7~10 筆/小時×24 小時×30 天) 筆觀測體容掃描 (volume scan) 資料。每月將輸出不同仰角、區間以及日夜共 56 筆 (4 個仰角×7 個區間×2(日、夜)) 之統計資料。

圖 1 為 2003 年 1~6 月平均之五分山雷達 0.5 度仰角回波值大於 0dBZ 的頻率分布圖。圖中可見，位於雷達站西北方至東南方之近海，出現半徑約 100km 的扇形高頻率帶，東北方至東方半徑約 60km 處之最大頻率值達 30% 以上。當仰角逐漸提高時 (圖未示)，此高頻率區則逐漸減小。由圖中也可看出，位於雷達東北方出現明顯的低頻率區，此乃電磁波受到東北角山區的阻隔作用所造成。圖中也可見位於雪山山脈山頂區域，存在相對明顯無組織性的高頻率區，此為雷達電磁波束受地形反射所形成。此外，位於雷達西北西方約 30km 處之大屯山系，以及宜蘭南方之山區，

同樣可發現性質類似的高頻率帶。圖 2 為花蓮雷達的頻率分布情形。由圖可見，位於雷達東方近海存在因海面回波所形成的高頻率區；而位於雷達東北方則存在波束狀的高頻率區，此部分為地面建物反射電磁波旁波所造成。此外，位於雷達西方的中央山脈區域則出現散亂的低頻率區，由於雷達在此區域的中、低層仰角並未發射電磁波 (因為雷達西方地形高聳，且考量電磁波因直接反射而形成的干擾問題)，顯示此區域回波應為外來的干擾所造成。圖 3 為七股雷達的頻率分布情形。圖中顯示，雷達站西北至西南方海面，同樣出現明顯的海面回波特徵。並可見雷達東方之中央山脈區域並無明顯之高頻率區，主要是由於雷達在接收機部分，已於前置作業將地形雜波進行處理 (短脈波模式) 的緣故。但在第 3 層仰角以上，由於並未進行地形雜波處理，所以位於中央山脈區域可見明顯的高頻率區 (圖 4)。圖 5 為墾丁雷達的頻率分布圖。顯示墾丁雷達海面回波的分布區域，較上述三個雷達明顯，最高頻率值接近 100%。此應與該雷達之天線海拔高度較低，以及離海岸較近有關。此外，圖中也可發現，位於雷達北方之山脈區域，出現零散的低頻率區，此區域在低仰角並沒有電磁波發射 (靠近地形區，且雷達波束接近地面)，其發生原因應與外來的干擾有關。另一值得探討的是，位於雷達東北東方約 70km 的蘭嶼島，也出現另一高頻率區。當雷達提昇至第 3 層仰角時 (圖未示)，此高頻區有減弱的現象，但仍較週遭環境為高，此時在標準大氣下，雷達電磁波束中心的高度已達 3.3km，顯示電磁波旁波對於此區域地形雜波的形成，應具相當程度的貢獻。

三、雷達雜波濾除應用

在觀測作業中，地形雜波的濾除，可透過接收機設定零值都卜速度值的頻寬加以去除 (Joe et al. 1995)，在後端的資料處理方面，則可依據標準大氣假設下的電磁波傳播路徑，將受地形阻擋或影響的資料加以先行濾除，這是相當常用的後端處理方式。亦可透過回波與速度場的直接比對，去除部分殘留的地形雜波。海面回波在資料處理上，可以透過不同仰角的比對加以濾除，亦可配合長期統計分析，建立起海面回波的分布表，來提供海面回波在濾除過程中的參考。非正常傳播雜波，如

同地面(形)雜波的處理方式,可在雷達前端與後端配合零值都卜勒速度場進行處理,不過,但都卜勒速度場觀測範圍外的回波觀測區域則無法進行,此時則需藉助其他觀測工具(衛星、雨量站、探空資料)的配合,來進行此雷達雜波的濾除(Steiner and Smith 2002)工作。干擾發生時,其出現的方位、時間以及寬度,均可能隨時間發生改變,不過由於其外觀特性相當特殊且容易辨識,加上其為外來的訊號,並不會在速度場資料中出現,因此,可透過型態辨識及雷達觀測本身的比對即可順利加以濾除。不明回波方面,由於其出現之位置與型態,以及移動特性相當難以掌握,需配合不同觀測工具才能將其去除。

由於電磁波的傳播路徑與當時的大氣環境(溫度、溼度)有密切關連,且旁波的影響也關係著地形雜波的出現,將使得地形雜波發生的時空變化,難以單純的以地形資料或利用分析技術(Joe et al. 1995)加以完整去除。上述統計分析結果顯示,利用長時間的回波統計分析,可有效掌握網連雷達的觀測特性,特別是對於雷達雜波的地理分布位置以及相關的地形阻隔效應。利用不同回波閾值之發生頻率分析,將可獲得不同條件下的雷達雜波時空分佈特性,如能配合分析技術的處理,對於局部區域內變動雜波的濾除,預期應有很大幫助。

在回波閾值與發生頻率的選擇方面,地面觀測站或雨量站在統計期間的降雨頻率,是決定雷達雜波最低發生頻率相當好的參考資料來源。由中央氣象局局屬地面測站於2003年1月至6月的資料分析顯示,單站最大降雨頻率之前兩個測站,分別為基隆及竹子湖測站,其在4344小時中的降雨時數分別為738.8(17.0%)及646.3(14.9%)小時。由於雷達回波與降雨之間的關係,與雷達觀測及雲物理過程息息相關,存在不確定性。因此,在回波閾值方面首先選擇以0dBZ,在頻率方面則選取15%進行測試,藉以了解其對於雜波地理分布特性的掌握能力。

圖6為利用五分山雷達2003年1月至6月的回波統計結果,利用回波值大於0dBZ,且頻率大於15%所求得之合成仰角層分布圖。此合成仰角層定義為:雷達觀測範圍內,距離地面最近且有效的雷達仰角層組合,在地形區,其組成來源可能包括許多的仰角層。而合成仰角層上的回波,則經常被用來直接進行定量降水估計的處理。由圖6中可發現,位於雷達北北西方,由明顯之帶狀區域其合成仰角層

(Hybrid scan)為2,主要導因於大屯山脈阻擋的結果。在雷達西南方山區,則幾乎均為第2個仰角層。而位於大屯山、雪山山脈區域、宜蘭西南方部分山區,以及雷達站周遭,其仰角層可達第3層仰角,宜蘭西南方部分區域更可達第4個仰角層。此外,由於台灣北部近海區域,存在具長期性的海面回波,在上述的選取條件下,部分環狀區也將會被視為雜波區域而加以濾除,不過其影響只侷限於最低層的0.5度仰角。圖7為花蓮雷達合成仰角層分布圖。位於雷達西方中央山脈區域,其仰角層均已達第4層,顯示該區域之雷達的觀測資料高度已相當高,對於天氣系統的判讀或進行定量降水估計均相當不適合。圖中也顯示,位於雷達東方近海,其合成仰角層數為2,此為海面回波所造成的影響,但分布範圍不大。此外,位於雷達西方之干擾回波(圖2),因發生之位置變動相當大,以致發生的頻率較低,所以並未反映在合成仰角層的分布結果當中。圖8為七股雷達合成仰角層分布圖。圖中可見,位於雷達東北至東南方區域,明顯為受地形影響,致使其仰角層大多落於第2、3層,部份區域則可達第4層,甚至第5層。而位於北北東方的台灣陸地區域,則幾乎不受到地形影響。圖中也顯示,位於雷達西方近海因海面回波的影響,使該區域的合成仰角層為2。圖9為墾丁雷達合成仰角層分布圖。圖中顯示,位於雷達西北方至北北東方區域,合成仰角層均大於2,部分區域,則出現第3層的仰角。在雷達南方近海方面,因海面回波影響所導致的合成仰角層,分布範圍較花蓮及七股雷達為大,而位於雷達站周遭之地區,其仰角層幾乎都達到五層仰角。此外,在雷達東北東方距離約70km的蘭嶼區域,其仰角層最高可達到第4層。而位於雷達站北北東方約100km,由於干擾所造成之仰角層亦可達到第4層。

在綜合上述合成仰角層資料進行地面雜波濾除工作後發現,回波強度大於0dBZ且發生頻率大於15%的設定值,在配合地形資料的處理下,對於地面雜波的濾除效果相當顯著。不過,由於選取的回波值太小,加上選取的頻率下限接近時降雨頻率,在應用上述合成仰角層進行地形雜波濾除時,也有可能將部分天氣現象一併去除。

四、結論與未來工作

雷達觀測料品質的好壞,關係著對於天

氣系統的詮釋。透過對於非天氣回波的特性的分析，將有助於對於雷達資料特性的了解。由回波統計結果顯示，五分山雷達0.5度仰角位於其西北方至東南方之近海，有明顯的扇形海面回波帶，當仰角逐漸提高時，此高頻率區則逐漸消失。在雪山山脈山頂區域、大屯山系，以及宜蘭南方之山區，則存在相對無組織性的地形雜波。花蓮雷達則在其東方近海存在明顯的海面回波，位於雷達西方的中央山脈區域則出現明顯的外來干擾回波。七股雷達則在其西北至西南方海面，出現明顯的海面回波特徵，在雷達東北至東南側的中央山脈區域，則可見明顯的地形雜波。墾丁雷達海面回波則因該雷達之天線海拔高度較低，以及較接近海岸，使其現象較上述三個雷達明顯。而在雷達北方之山脈區域，也出現外來的干擾回波。位於雷達東北東方約70km的蘭嶼島，則出現明顯的地形雜波，其影響可達仰角2.4度，顯示雷達電磁波旁波具有相當程度的貢獻。由進一步的分析發現，利用長期的回波統計方式，對於雷達雜波的分布特性可以有系統性的掌握，亦可對於雷達在不同方位的掃描特性有所了解。在利用氣候統計結果進行地形雜波的濾除時發現，此種方式對於地面雜波的濾除，成效相當顯著。由分析中也可顯示，回波閾值與頻率選取決定了地面雜波在地理上的分布位置，如何在地面雜波的濾除與天氣現象保留之間獲得平衡，仍是需努力的目標。

本研究除將持續進行回波的統計作業，以增加統計結果的代表性外，未來將對於不同回波值閾值及頻率進行合成仰角層的測試，希望透過客觀化條件的選取，找出雷達雜波在不同季節的地理分布特性，並配合地形資料與程式化之雜波濾除技術，建立網連區雷達有效覆蓋面資料，以提供作業與研究分析使用。在作業上，這對於雷達下游產品的開發而言相當重要，特別是對於雷達降水及警報系統產品的開發。此外，在雨量站密度不足及海面資料缺乏的情況下，利用雷達回波統計方法，對於天氣系統在地理分布上的特徵與移動特性，預期應具有相當大的潛力。

參考文獻

Joe N. Chrisman, Donald M. Rinderknecht, Robert S. Hamilton, 1995: WSR-88D Clutter Suppression and Its Impact On Meteorological Data Interpretation. WSR-88D Operational Support Facility Operations

Training Branch. Norman, OK. American US.

Niels B., J.-N. Thépaut, G. Kelly, 2003: Eclipse Anomalies in Atmospheric Motion Vectors Derived from Meteosat Imagery and Their Implications on Data Assimilation. *J. Appl. Meteor.*, **42**, 1035-1042.

Ryzhkov, A. V., P. Zhang, R. Doviak, and C. Kessinger, 2002: Discrimination between weather and sea clutter using Doppler and dual-polarization weatherradar. *The 27th General Assembly of URSI*, Maastricht, Netheralnds.

Steiner M. and James A. S., 2002: Use of three-dimensional reflectivity structure for automated detection and removal of nonprecipitating echoes in radar data. *J. Atmos. and Oceanic Tech.* **19**, 673- 686.

Zhang, P., Q. Xu, and A. Ryzhkov, 2002: Identification of biological scatterers and radar data quality control. Preprints, *21st Conference on Severe Local Storms*, San Antonio, TX, 208-209.

張保亮，2001：五分山雷達非天氣系統回波觀測研究。中央氣象局，九十年年度研究報告第CWB90-1A-03號。

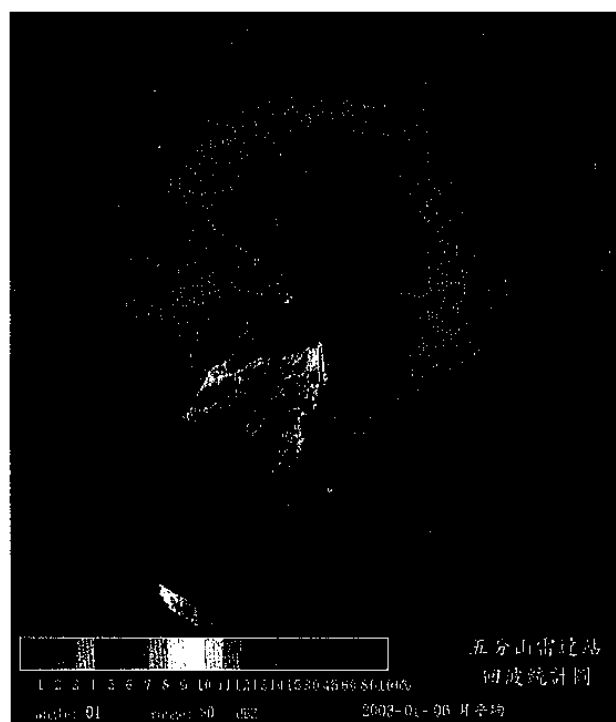


圖 1 五分山雷達 2003 年 1 月至 6 月 0.5 度仰角回波強度大於 0dBZ 之發生頻率統計。分析半徑 300km。

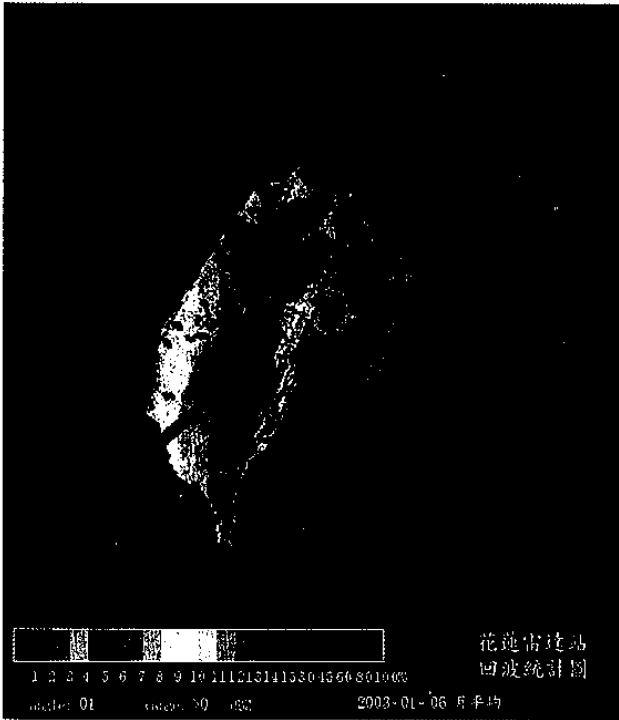


圖 2 同圖 1，但為花蓮雷達，分析半徑 230km。

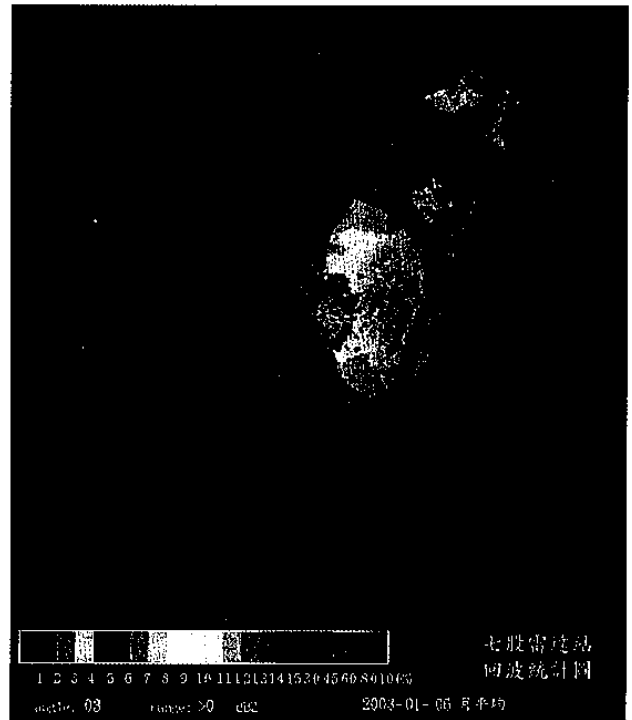


圖 4 同圖 3，但為 2.4 度仰角結果。



圖 3 同圖 2，但為七股雷達。

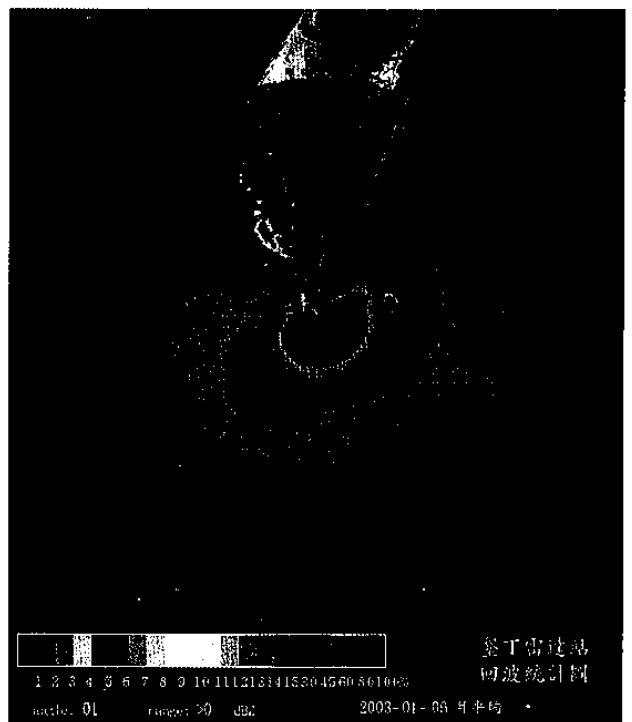


圖 5 同圖 2，但為墾丁雷達。

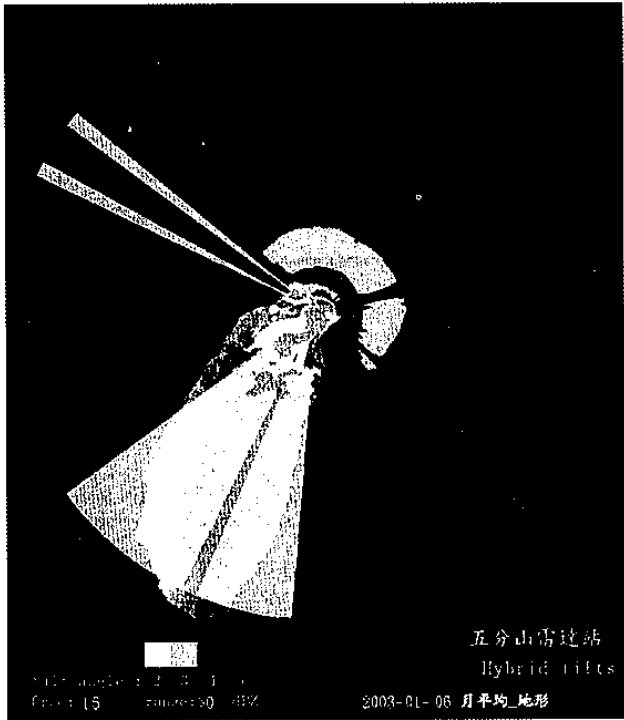


圖 6 利用回波強度大於 0dBZ 發生頻率大於 15%與地形資料得出之合成仰角層分布。

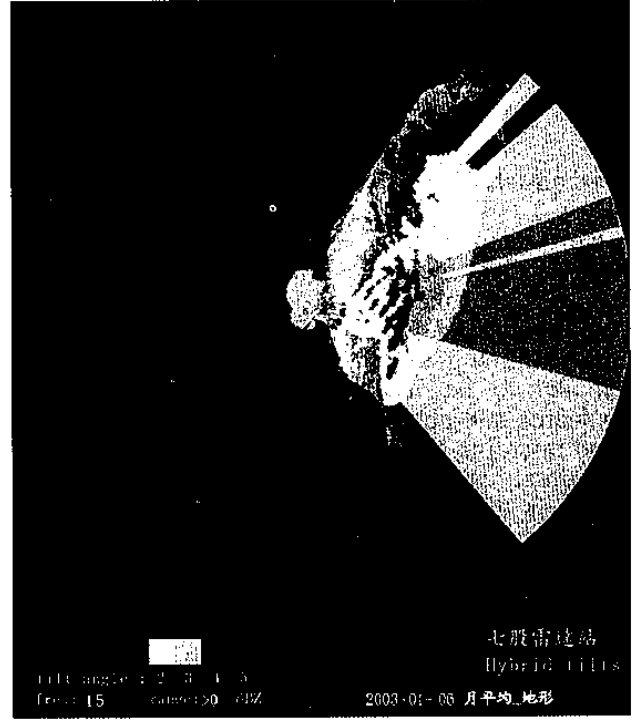


圖 8 同圖 6，但為七股雷達。

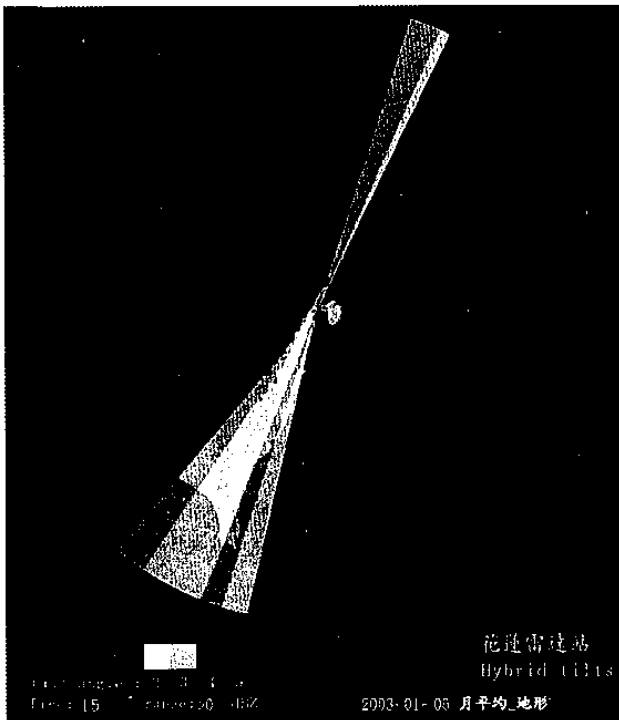


圖 7 同圖 6，但為花蓮雷達。

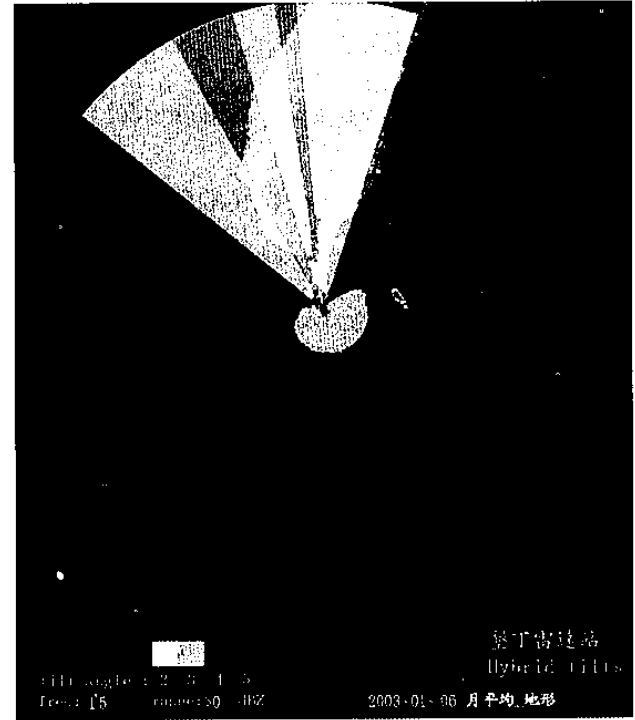


圖 9 同圖 6，但為墾丁雷達。