

都卜勒氣象雷達與飛航安全

鄭哲聖

空軍第三天氣中心

摘要

飛航安全與天氣因素可說是密不可分，由於任務及訓練上的需求，我空軍飛行員每日都必須執行許多架次的飛行訓練，因此航線及機場附近的天候狀況遂成為飛行安全的重要因素之一；換言之，有效掌握航線及機場週遭之天氣變化，必能對我空軍戰力的確保提供更安全的保障。基於種種國際因素及中共的阻撓，使我國無法購買較先進較多的戰鬥機群，僅能以現有較老及數量不多之裝備捍衛台澎金馬，而又逢我自行研發之IDF戰機尚未能提早服役，汰舊換新之際，有效確保國防戰力，更成為當務之急。運用先進的都卜勒氣象雷達可進一步掌握瞭解空域的雲雨及亂流的狀況，提供飛航最快的資訊，進而確保我空防之戰力，維護飛行安全。本文即對都卜勒氣象雷達如何支援飛航任務，以進一步確保我國國防戰力做一說明與分析。

壹、前言

隨著時代的進步，各型飛機無論是軍用或民用，運輸或戰鬥都大量的使用；換言之，每日空中交通的頻繁幾乎是與地面交的車流量般與日俱增。而所有的飛行航空器幾乎都是在大氣中飛，因此飛航與大氣中空氣及環境變化遂有一層密不可分的關係；換言之，天氣的變化，將直接影響到飛行的品質與安全。

雷達也是二次大戰後技術突破的一種產品，它不僅能偵測飛機、車輛等，並已能有效偵測天氣雲雨的變化，利用波長及頻率的改變，發展出都卜勒氣象雷達還能夠掃描出航路上的危險天氣，例如亂流、雷雨、風切、低雲等，經由雷達技術以及預報人員的判斷，即時提供給飛行員相關的天氣資訊，以避險免做危險的飛行嘗試，確保我有限的空防戰力；此正是我氣象人員努力的方向與目標。

再好的雷達裝備亦有其功能限制所在，絕非為萬能的工具，它仍必須要與專業的觀測員及預報員

相互配合，熟練運作，憑藉著觀測之經驗與平時研究的結果，才能做出最精確的遙測結果，有效提供飛行人員參考，避免不必要的危險接觸。

貳、都卜勒氣象雷達發展簡介

氣象雷達自二次世界大戰之後便已迅速發展，早期雷達先進國家都以傳統雷達為探測目標物的利器，事實上早在十九世紀末期雷達原理就已逐漸萌芽，但一直到二次世界大戰期間，技術才漸趨成熟，從1873年馬克斯威爾(JAMES C. MAXWELL)以數學公式導出輻射波(RADIATION)，也即是日後的無線電波之後，1888年科學家赫芝(HEINRICH HERTZ)更

證實無線電波能夠產生，並具備光波的特性可聚焦、反射等，他並利用電波的頻率及波長計算出速度，與光速亦相差不遠。1895年到1925年馬可尼又進行了不同的實驗，終將雷達電波傳遞至遠處又反射接收其回波。所以二次世界大戰期間軍方便竭盡所能秘密研究雷達的特性，企圖防範敵人來犯的飛機，在英國發展時稱為無線電方向測定(RADIO DIRE-

CTION FINDING)簡稱RDF，而美國人則取下列字首拼成RADAR(RADIO DETECTION AND RANGING)，日後更如火如荼的發展，應用於航空、氣象、遙測之上；因此氣象雷達最早也是將作戰用的雷達改裝而來，其原理相同，只是所要偵測的目標物不同而已。

傳統的氣象雷達主要是在偵測降水區域，它能夠經由平面及垂直定位指示器將反射的雷達波呈現出來，但是它仍無法對雲雨區裡的氣流變化作一分析，於是便有所謂的都卜勒氣象雷達的發明；都卜勒氣象雷達主要是利用1842年奧地利的Doppler所提之論文中(Doppler Effect)為原理，將傳統氣象雷達加以改良，使之具有偵測雲雨質點相對於雷達天線的徑向速度變化。換言之，即是利用雲雨的水滴質點被雷達波照射時，反射回雷達站之不同時間的頻率偏移，而計算出其接近或遠離的速度，再反推出該區域空層的氣流變化；60年代美國所研發出的都卜勒氣象雷達即可有效收集單雷胞的資料，並即時發出雷雨警告。(DONALD-SON,1967;BURGESS,1976;LEMON ET AL.,1977)因此在70年代中期，美國的國家氣象局NWS(National Weather Service)、美國空軍氣象聯隊(AWS)以及美國民航局(FAA)等極度重視嚴重天氣變化的重要機構，都對都卜勒氣象雷達產生了莫大的興趣，於是便支持成立了一個J.D.O.P(Joint Doppler Operational Project)的組織；並在1977年正式成立，在兩年的不斷研究測試中嚴格的考驗都卜勒氣象雷達的性能，成果豐碩，也加速了NWS、FAA、AWS將傳統雷達換為都卜勒雷達的決心。(Bonewitz,1981;Ray and Colbert,1982)

正由於都卜勒氣象雷達具備了偵測水滴質點速度的能力，其功能不僅可達到傳統雷達的水準，甚或尤有過之。都卜勒氣象雷達除了接一般雷達的回波(Reflectivity)之外還能更進一步於信號處理部份再加上都卜勒接收機，比對傳送及接收回來的脈波相位差，以完成對所測定目標物之速度測定，因此遠較舊有的雷達有著更強的功能。(詳見圖1-1 ~ 1-5)

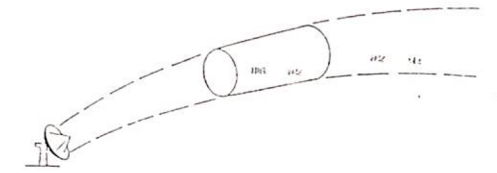


圖1-1 脈波發射

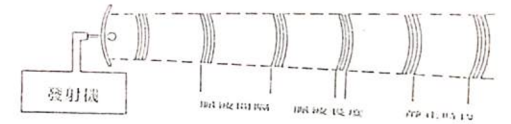


圖1-2 雷達脈波特性

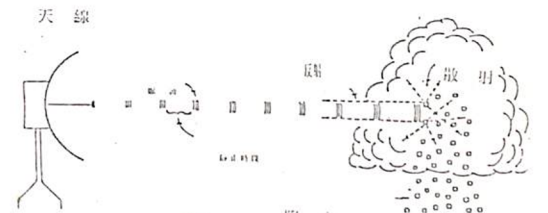


圖1-3 降水

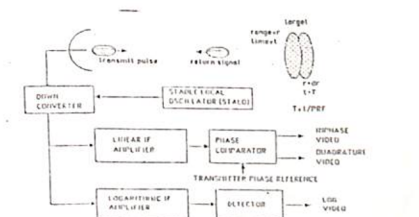


圖1-4 脈波都卜勒雷達接收機方塊圖

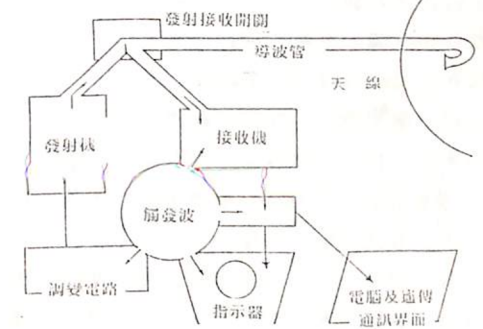


圖1-5 脈波氣象雷達方塊圖

由方塊圖中可知，天線收到目標物回波包含一強度及一相位之變化，強度值係由所謂「對數中頻放大器」來處理，再經由檢波(Detector)依雷達方程獲得降雨區Z值(dBZ)。而在都卜勒測定部份則信號經由線性放大器及相位比較器以獲得相位資料。都卜勒測定使用線性放大器主要是因為相位之失小，可獲得較理想之相位值，以利比較判別；而對數放大器用於強度模式則是因其動態範圍大(100dB以上)，對信號之放大不易飽和，以使近場目標回波仍能清晰處理識別。

至於都卜勒雷達的測速原理即是運用都卜勒效應，對聲波而言，火車接近時氣笛聲較尖銳；遠離時則變的較為深沉。因此利用此原理我們可將都卜勒雷達所發射的電磁回波予以較，只要目標物與雷達有徑向的相對運動，則脈波在來回之間必然存著頻率的相位偏移，吾人即利用所測得的相位偏移大小來反推目標物的移動情況及運動速率。換言之，若雷達與目標物之間的距離減小，則回波的頻率變高，反之，若二者距離加大則頻率降低。此種頻率偏我們稱之為都卜勒頻率。

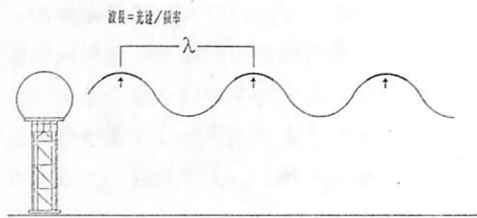


圖 2-1 電磁波的傳遞

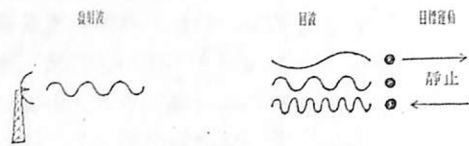


圖 2-2 都卜勒頻率偏移與目標物的運動

應用在氣象上的雷達，目前大都使用脈波式C或S Band者為多，而其脈波來幅頻(PRF)約在200~2000之間，在相鄰兩個脈波之間我們能比較出相位的變化，因此最大都卜勒頻率為 $F_{max}=(PRF)/2$ ，同時亦可導出最大都卜勒速度 $V_{max}=\pm (PRF)\cdot\lambda/4$ ，另外我們可求出最大可辨距離 $R_{max}=\frac{1}{2}(C\cdot T/PRF)$ → $F_{max}=C/(4\cdot R_{max})$ $V_{max}=\pm (\lambda\cdot C/(8\cdot R_{max}))$ 。

經由都卜勒處理所獲得的平均都卜勒徑向速度為都卜勒雷達的基本輸出資料之一，亦是氣象觀測人員在觀測時直接由彩色顯示器上所獲得的彩色顯示資料。

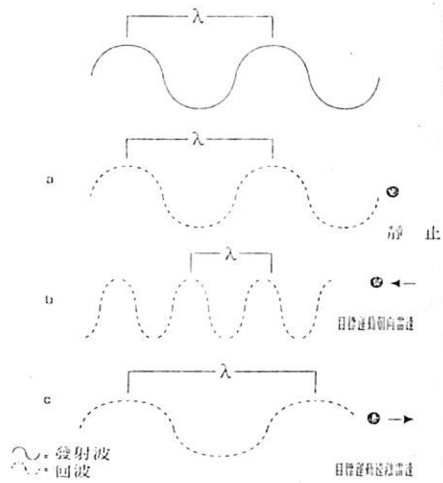


圖 2-3 都卜勒雷達回波示意圖

由單一都卜勒雷達的顯示幕來研判資是氣象觀人員及預報員必須具備的基礎技巧，換言之，都卜勒判圖對氣象人員乃必修的一門課程，否則將無法利用雷達所觀測到的強度場及速度場資料做一分析及預報。(圖2-4)即是在理想狀況下歸納出幾種基本的都卜勒單一仰角掃描的速度場顯示畫面，(由於無法以彩色顯示舉例，僅可利用不同粗細等值線將正負值及零值線繪出，以利判別。)(圖2-5)顯示明顯的氣旋及輻合場，我們亦可經由都卜勒速度場研判出其空域範圍及位置，以提供飛航預警。當

然要在色彩雜陳的速度場中，迅速研判出對飛行危害的區域及位置，必須是累積了相當豐碩的觀測經驗，並對基本及應用的都卜勒圖形相當熟稔，才能具備此一預報分析之能力，換言之在職訓練及氣象雷達的基本素養，為一位成熟的觀測人員的必備條件，而運用都卜勒雷達資料進一步分析預報，則更需有條件的配合各種天氣圖，衛星雲圖及探空資料來做進一步的即時預報，才能有效利用都卜勒雷達確保我空防戰力之優勢。

風速剖面

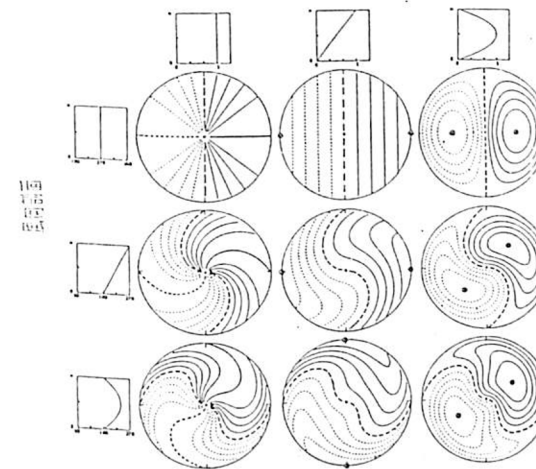
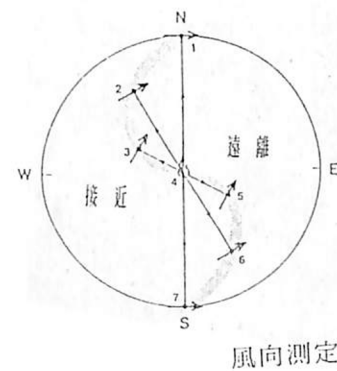


圖 2-4 基本的速度場圖



風向測定

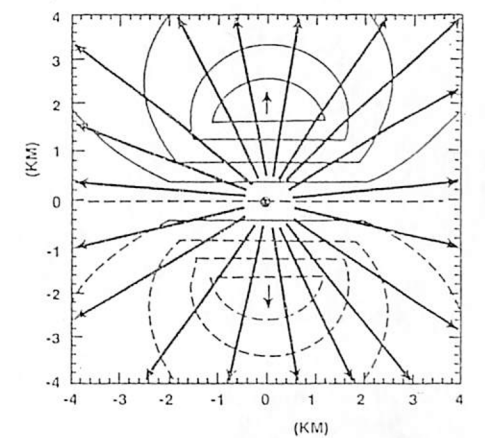
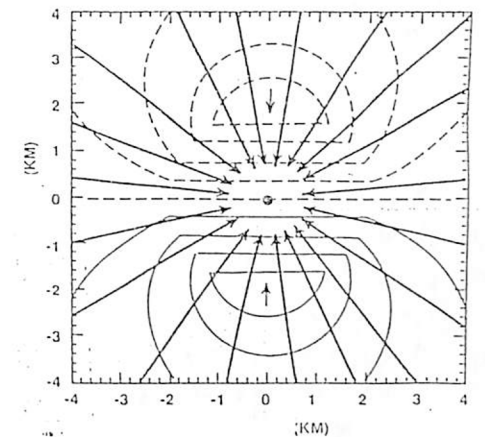


圖 2-5 輻合與輻散

參、本軍現役之都卜勒氣象雷達功能說明

空軍氣象聯隊自民國54年起即與美軍共同使用FPS-77傳統雷達，至今也有20幾年；時至今日清泉崗基地也將民國66年使用至今的WSR-74C 汰換成全新的DWSR-88C都卜勒氣象雷達。這段時期以來可說是備嘗艱辛，從使用別人的裝備，轉到由我軍自行架設使用研究分析。雖然清泉崗基地任務繁重，但是憑著西線基地唯一的雷達站，仍能充分支援平時的任務及訓練任務及訓練所需；而今我們又更上層樓換裝功能較強的都卜勒氣象雷達，更應對維護飛

安，確保空防戰力獻上一份心力，全力支持一切飛行任務所需，才是當務之急。

DWSR-88C本軍現役之都卜勒氣象雷達於民國80年3月1日正式啟用後，即充分展現其不同於傳統雷達的功能，能有效利用速度場的顯示來預測回波最大可能動向，對本基地及西線機場之周邊空域及航線均具相當程度之參考價值。以下僅就本套雷達裝備性能做一簡介：

(一) 雷達觀測機系統組成

雷達主機體主要由六大部份所組成：

- (A) 12呎直徑拋物面天線及天線機座(圖3-1)

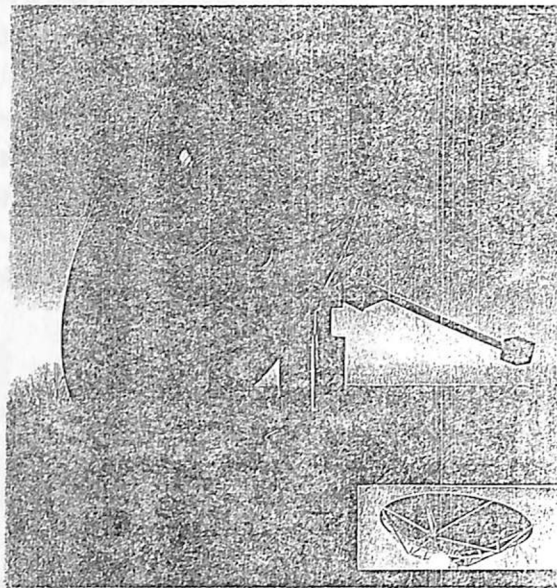


圖3-1 DWSR-88C 天線

以天線之反射面負責傳送聚集和接收雷達的射波及回，並可做水平360°、垂直90°旋轉以便於對準目標物掃瞄。

- (B) 發射機及接收機(圖3-2)

1 發射機內有調變電路(Modulator Portion)在發射脈波期間，收集

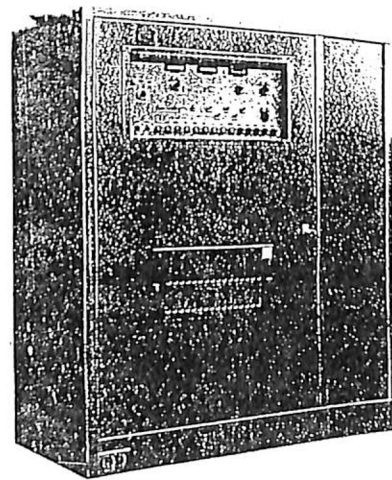


圖3-2 發射機及接收機

電能，以便於下一次發出脈波。

2 發射機並使用觸發波(Trigger)或稱同步脈波(Sync)來控制脈波發射的時間間隔，其頻率即稱為PRF(Pulse Repetition Frequency)脈波來幅頻。

3 發射機即利用上述之觸發波觸發調變電路，並將所儲存之電能送到發射管(本機為磁控管)，使之形成一具有高電壓及短時間的脈衝，再將脈波放大送至循環(Circulator)，以射頻(RF)之方式經由導波管送到天線發射口射出。

4 接收機則是將天線反射面所收集到的目標回波能量，將之降頻到中頻(IF)，並予以放大濾波，以有效除去信號之干擾及雜音。

5 並將放大後的信號傳送至信號處理器。

- (C) 伺服雷達控制裝置(Servo/RCU)(圖3-3)

乃控制天線的轉動及仰角方位角等姿態。

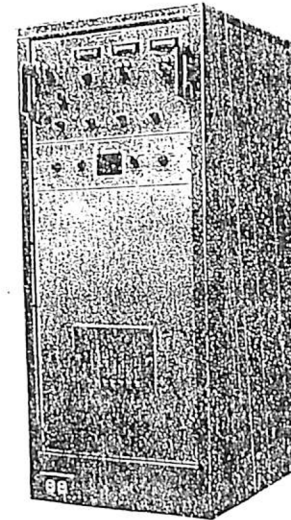


圖3-3 伺服雷達控制裝置

- (D) 主控裝置(CONTROL ASSEMBLY CABINET)(圖3-4)

將接收機接收來放大後的信號處理，並傳送至顯示器，內含RVP-5及多用途示波器。



圖3-4 主控裝置

- (E) 空氣乾燥及加壓器(圖3-5)

其功能主要將導波管抽成真空，以利電磁波傳導，並減少不必要的衰減。

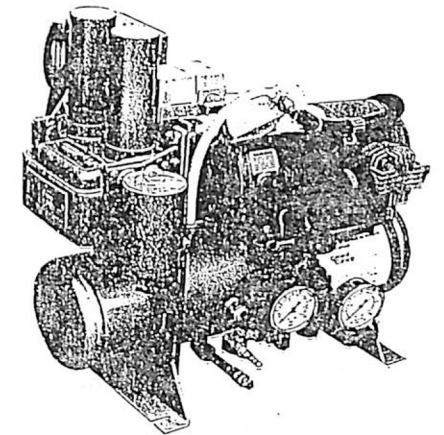


圖3-5 空氣增壓器

- (F) 顯示器(RADAR DISPLAY PROCESSOR)(圖3-6)

乃由19吋彩色顯示幕及即時顯示微處理機和一智慧性終端ESP 6110+所組成，可不依靠迷你電腦處理，即可顯示畫面，但其解析度則稍差。

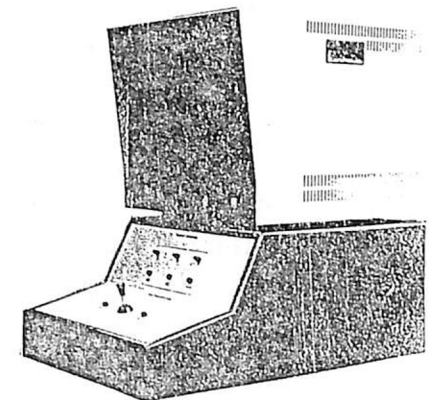


圖3-6 雷達顯示器

(二) 自動交談式資訊系統(IRIS)

(A) 主機為DEC MICRO VAX3400 迷你級電腦二台，處理、計算、儲存一切雷達所搜集的原始資料，並將其製成我們所需要的產品。RAM 大於16MB，並附159MB 以上的HD；其Q-BUS VERSIONS 則是以VMS SYSTEM 為執行程式，應用軟體則由SIGMET 公司設計開發。

(B) 訊號處理器(THE SIGNAL PROCESSOR) RVP-5：

(RADAR VIDEO PROCESSOR-5) 可經由高速的平行界面(DEC DRV11-WA) 與主機相連，並利用雷達介面處理I.Q及LOG.訊號及觸發波的增益。

(C) 雷達控制器 (RADER CONTROL PROCESSOR)：

主要在司控制雷達的運轉、發射機、接收機及微處理機的開關等，並藉非同步SERIAL LINE 以RS232 與主機MICRO VAXIII相連。

(D) 本地工作站(LOCAL WORKSTATION)：

工作站由DECVT320及VT340 終端機及RGB-6 彩色顯示器，它含即時顯示RGB-1 及產品顯示，RGB STATI-ON-1等共同組成，RGB-6 顯示工作站則以平行界面與主機相連，而VT 340 及VT320 則利用8CH 的RS-232 與主機相連，RGB-6 微處理彩色顯示器並配備滑鼠(SUPPORT PAN, 20 OM及SCROLL) 等功能，以低解析度顯示可做12張動畫放映，並雙向索取主機硬碟中之產品畫面。

(E) 彩色印表機(DEC LJ-250 PRINTER)：

可列印工作站所製成的彩色產品畫面，提供飛行單位或預報人員參考。

(F) 磁帶機(TK-70及TU-81)兩種：

TK-70 為小型磁帶機，裝設於主機的右上端，磁帶體積小方便攜帶。TU-81 則為大型獨立的傳統磁帶機，較容易與他人交換資料，由於目前大磁帶仍較為普遍。

有關於IRIS的硬體架構及工作流程可參考(圖4-1) 及(圖4-2) ，

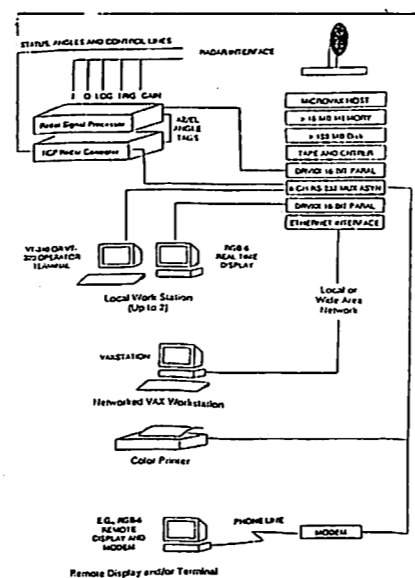


圖4-1 IRIS 硬體架構

此系統的設置將工作權限類分為四大階層：

- (1) 最高階層(擁有最大更改及工作權限)：系統管理員(SYSTEM MANAGER)。
(2) 第二階層：操作員(OPERATORS)
(3) 第三階層：觀測員(OBSERVERS)

(4) 第四階層：用戶(REMOTE DISPLAY USERS)

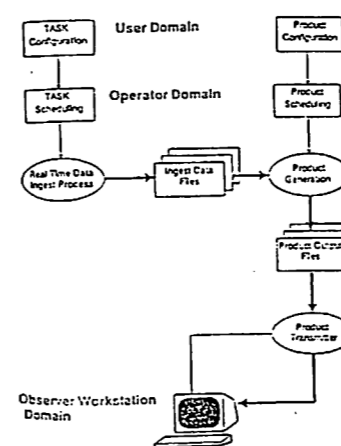


圖4-2 IRIS 資料流程

系統管理員僅設置乙員，將負責整套系統的管理安全及維護，將各階層人員的密碼盡分，不易受外在因素干擾為原則。而操作員則是應用戶及觀測員的需求，將雷達的工作參數及工作程序設定於IRIS MENU 中以製成其用戶們所需要產品。(例如值班氣象官)。而觀測員則仍可透過RGB-6 顯示滑鼠，主動索取想要了解及判斷的資料產品(例如預報長)而最後的用戶，則只能透過並聯的DISPLAY MONITOR來瞭解天氣的變化(例如飛行部隊高動官)，經由此項系統的規劃與區分，IRIS才能充分發揮其功能，有效執行操作員，所要求的動作。有次序的控制雷達，自動化觀測接收，並將搜集的資料製成產品供應給觀測員及用戶(即預報長及各飛行部隊)。

其中值得一提的是，IRIS系統中MENU的視窗軟體可有效的監控雷達，各部門工作狀況，包括RADAR STATUS 雷達狀態，TASK SCHEDULER工作程序，及PRODUCT SCHEDULER 產品程序等重要視窗，介紹如下：

(1) 雷達系統狀態→ 守視各工作系統是否正

常運作，例如發射機、伺服、雷達控制處理器。

- (2) 雷達附屬系統狀態→ 則可監視雷達各附屬系統是否正常，如各工作站，周邊設備等。
(3) 雷達天線狀態→ 可監視天線的轉動水平角度及速度，及仰角設定等。
(4) 工作程序→ 可了解我們目前正在執行的工作名稱、內容，以及各工作時間的起始設定等和總計要執行的工作數目等。
(5) 產品程序→ 則是設定同類型的產品，其各別製作的時間，以及並了解經由何種工作製作完成，其執行的數量和狀態等等。

再者介紹，IRIS所製作的重要產品類型：

- (1) RTPPI→即時天氣斜角掃描回波位置平面顯示(REALTIME PLAN POSITION INDICATOR)
(2) RHI→即時天氣垂直掃描回波位置平面顯示(REALTIME RANGE INDICATOR)
(3) CAPPI→等高面切割回波平面位置顯示(CONSTANT ALTITUDE PLAN POSITION INDICATOR)
(4) RAW→原始資料收集(RAW DATA)
(5) TOPS→降水回波雲頂高度顯示(ECHO TOPS MAP)
(6) VIL→設定區域容積之含水量(VERTICALLY INTEGRATED LIQUID)
(7) VVP→設定區域平均風量剖面資料。
(8) XSECT→剖面資料圖(CROSS SECTION MOP)
(9) SHEAR→風切資料顯示(PPI)
(10) WARN→雷雨及風切警告。
(11) RAINI→每小時雨量累積。
(12) RAINN→N小時雨量累積。
(13) TRACK→颱風路徑追蹤及預報。

肆、如何運用都卜勒氣象雷達支援飛航安全

都卜勒雷達乃是一種先進專業的裝備，要充分使用它來支援飛行任務，守視天氣，就先必須針對雷達基本原理建立相當程度的瞭解，基次當然必須具備基本的操作系統之技巧，再談如何去判圖，也就是研判都卜勒彩色速度分佈圖，以進一步瞭解高空風場的情況，當雷達經由都卜勒頻率偏移比較偵知速度場指向雷達中心時定義為負值，若無徑向分量之時，則定義為零值。我們可用彩色圖形或黑白圖形來區分正負值。如果使用單色顯示則以不同粗細的等值線來類分，其中細虛線代表負值，細實線則代表正值，長粗虛線則為零值線，粗實線則為大正值所在，短粗虛線則為最大負值所在。

而本單目前所用之彩色 IRIS 顯示則以寒(藍綠)色系代表負值，暖(紅黃)色系代表正值，白色為零值，而其中單色系的等值線則同於彩色的不同色系之界線(即不同速度場的分界)，對基本判圖的瞭解之後，仍必須進一步瞭解輻合輻散氣旋反氣旋之變化圖形(見圖2-5~2-6)如此充分運用判圖所得到的資料，再配合天氣圖及衛星雲圖資料，才能完整而正確的分析危險天氣並及時提出預警。

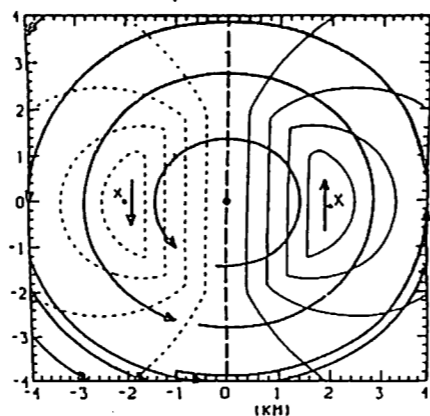
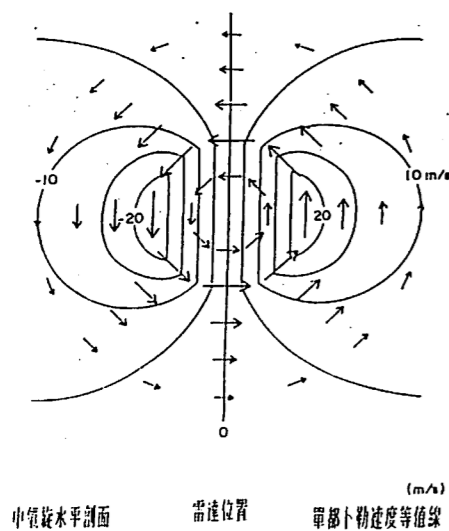


圖 2-6 氣旋

我們可經由降水反射率的最強區域(不含地形回波)找出其速度不連續地帶，或是頻譜最寬的地區，便極有可能存在亂流及豪雨等劇烈不穩定天氣。從雷達方程式中我們可以了解回波強度的大小，取決於水滴粒子的大小與數目的多寡，而通常粒子大小對回波強度的影響，又遠較粒子多寡來的重要而明顯，因此回波強的時候，主要是指示雨滴大而且數目亦不少，再加上經由速度場找出強烈的輻合或輻散區域，倘使正巧與最大雨區位置相去不遠，可以斷言那個區域存在天氣系統上所謂的劇烈天氣，如雷雨、亂流、下爆氣流，或強烈的對流系統等等。此時此刻必須迅速發出警告，警告那些未起飛的飛機，以及將要駛近那個區域的飛機盡可能迴避，必能提供極佳的預警，維護飛行安全。

此外，若能進一步了解都卜勒頻譜寬度(spectrum width)的意義及使用法，必能對亂流的區域掌握更加準確。因為氣象雷達在測定目標物(雨滴)時，並非針對單一雨滴做測量，而是以一個廣大的回波容積來做考量，因此，實際在每一次的回波容積內乃是充滿了數以萬計的大小雨滴，此等雨滴以某種相對於雷達的位置之速度做一致性的運動。此時我們更發現此等移動速度分析(在經過若干次的取樣之後)呈現「高斯分佈」的情況，即可以得到都卜勒偏移之分佈波譜(見圖4-8及4-9)我們亦可由

圖(4-10)中得知，頻譜寬度愈大，則表示回波在很短的時間內，有很大的速度變化，充分顯示，不論其雨滴大小均極有存在較大的亂流可能，因此可以運用頻譜寬來偵知亂流的存在與否的一項指標。

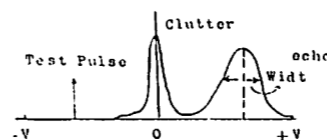


圖 4-9 為一典型之回波被雷達分佈圖形

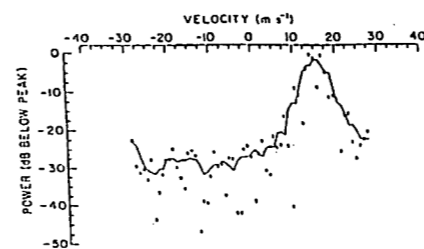
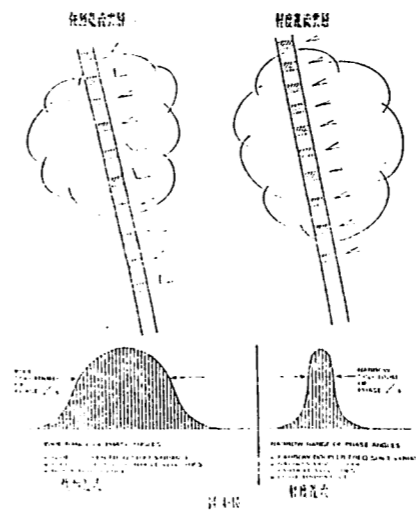


圖 4-10 64次回波之波譜曲線圖



同時就dwsr-88c的iris系統，我們可再設定回波雲頂高發展超過9km以上，強度大於15~30db以上顯示於warn畫面上，以儘早在紛亂的圖案之中提出雷雨或強烈對流系統的先期預警，有效掌握危險天氣之發生。其次可由風切產品畫面比較出不同空間之徑向速度場變化，當發現在很小區域中有很大的速度不連續區域，亦即正負速度相差很大，並且紛亂，那麼必然在那區域空層中存在風切，飛機仍應避免進入該區域。但是雷達有一偵測亂流風切之先決條件，必須在降雨區域之中才能為雷達感測所偵知，至於無雨之區域或是含水量不足的地帶之晴空亂流，則非氣象雷達之可行範圍之列。因此我們必須明瞭雷達的特性所在，才能有效運用此觀測的利器。

分析近年來我國民航機數次因天氣因素發生意外事件(取自124氣象預報及分析，陳、劉，1990)以做為飛航安全的教訓及警戒。

(一) 台航bn-2型b11109 號機：

(1) 失事經過：

民國72年9月28日清晨6時51分，一架台航編號為b11109號bn-2型小型客機由台東起飛至蘭嶼，駕駛員是喬中民。在此之前尚有三架同型機亦由台東起飛至蘭嶼，起飛先後依序為機號b11110, b11112, b11111，駕駛員分別為刑筱泉、段振霖和方思巍。七時零八分許，10號機駕駛員刑筱泉在無線電耳機聽到喬中民報告：「我快接近紅頭了，高度五百英尺」隨後便失去音訊，而12號機段振霖則指出，在七時前後約十分鐘，蘭嶼紅頭村和饒頭山之間有一團濃霧，並有暴風雨現象。當日下午三時即在紅頭村北方4 哩海面上發現部分飛機殘骸，油漬和漂流物，喬中民駕駛的9 號可能因遭暴風雨，以致失事墜海。由於失事飛機駕駛員喬中民飛行時數達6758小時，經驗

豐富，而飛機雖已出廠七年，卻才做過4級大保養。因此不排除天氣突變之影響。事實上12號駕駛段振霖說七時前後，蘭嶼紅頭村和饅頭山之間有濃霧及暴風雨，而2300utc(七時)之蘭嶼天氣報告為能見度2公里有雨，在此之前(2230utc)則為能見度8公里無雨(表一)，

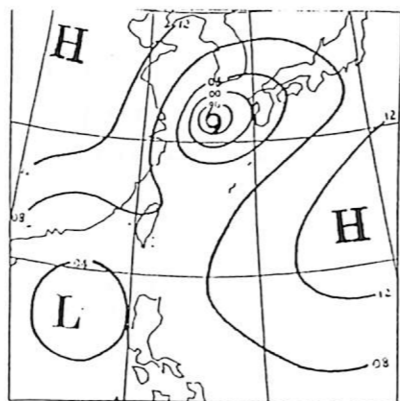
表一、民國72年9月28日上午蘭嶼逐時天氣報告表

時間(UTC)	氣象簡碼
2230	30 SCT 8 11004
2300	20 OVC 2RA 00000
2330	20 OVC 8 00000

當時天氣驟變，毋庸置疑。

(2) 當時天氣分析：

民國72年9月27日1800utc時forest颱風位韓國南方海上，另有低壓位於香港東南方海上，低壓帶由台灣南端及東方近海通過(圖一)。由272100utc雲圖(二)可看到日本至菲律賓之間有稀疏的對流雲帶，到了2800utc，雲圖(圖三)及(圖四)上可看到對流雲(積雨雲)雲帶上之對雲胞有快速往東北移動之跡象。蘭嶼機場於272300utc報告能見度2公里有雨，及12號機駕駛員報告七時前後紅頭村和饅頭山之間有暴風雨，應與此快速移動發展、移動之對流雲胞有關(蘭嶼西方海面可能會出現雷陣雨)。而由地面天氣圖上看來，此區位於不穩定帶，極易有低雲及雷陣雨等惡劣天氣出現，此等中尺度天氣系統生命期短，發展迅速，移動快速，使航空器駕駛員措手不及，難以應變，應是本次事件主因之一。



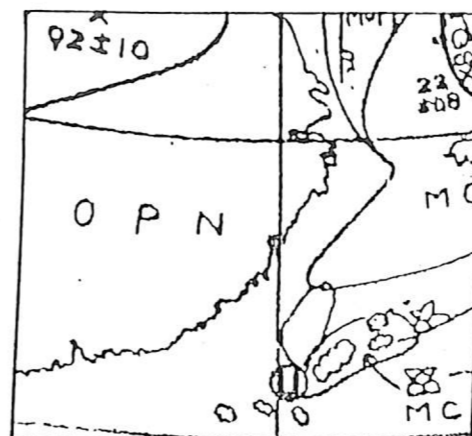
圖一：民國72年9月27日1800 UTC 地面天氣圖



圖二：民國72年9月27日2100 UTC 衛星雲圖



圖三：民國72年9月28日0000 UTC 衛星雲圖



圖四：民國72年9月28日0000 UTC 雷圖分析圖
圖中棉花狀者表示積雨雲

(3) 檢討：

1. 有熱帶低壓或颱風接近時，台灣東部陸上及近海極易出現惡天氣(陳、李、王、1984)，而不穩定帶(如ITCZ)經過時，更易有對流系統生成，應特別注意。
2. 中尺度天氣系統發展及移動均極迅速，駕駛員不可因目的地機場及飛行途中附近之當時天氣良好而掉以輕心。
3. 最重要的應是在較不穩定的天候飛行時應於起飛前以及起飛後隨時與地面雷達站保持連絡，以了解該航線及空域的變化情況，採最佳的閃避路徑。

(二) 華航747sp 型n4522 號008 次班機(民國75年3月13日)意外事件。

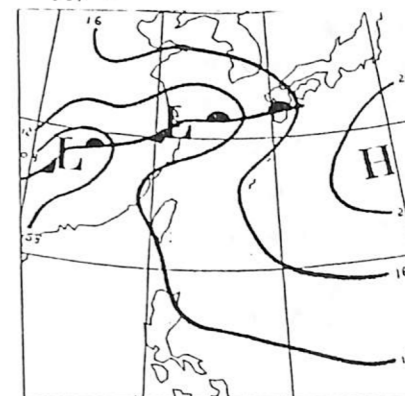
(1) 失事經過：

民國75年3月13日晚9時(1300 utc)，華航編號n4522 號008 次班機由中正機場起飛，目的地洛杉磯，載有機員，旅客共176人，起飛40分後，約在琉球附近，突然遭遇強烈亂流，飛機高度驟降，以致造成4員機員、5名乘客受傷之

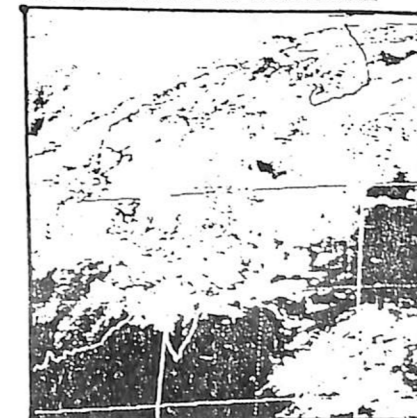
意外事件，其中空姐陳次蘊當場撞及艙頂而暈倒，其餘8名傷勢並不嚴重。該機隨即返航，將傷者送醫，並檢查飛機，果並無損傷，而於次日凌晨，15分再度起飛赴美。

(2) 當時的天氣分析：

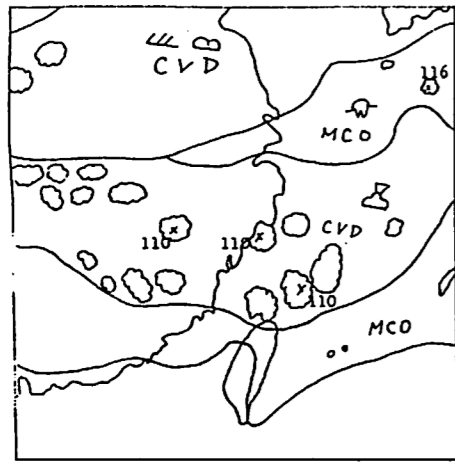
民國75年3月13日1200utc 地面圖(圖五)上可看到鋒面由日來延伸至長江流域以南，同時間的衛星雲圖(見圖六)顯示，由台灣北方至北緯30度有大片雷雨區存在，東海上空也有雷雨胞存在(見圖七)。由台北到日本之a-1航線剛好在積雨雲附近飛過，也極易遭遇到嚴重的大氣亂流(包括雲中亂流和晴空亂流)。



圖五：民國75年3月13日1200 UTC 地面天氣圖



圖六：民國75年3月13日1200 UTC 衛星雲圖



圖七：民國75年3月13日1200 UTC 時，日本GMS-3 雲圖分析圖。圖中棉花狀者表示積雨雲，其旁數字表示積雨雲頂之高度（單位百公尺）

(3) 檢討：

1. 一般中型噴射客機多裝有空用氣象雷達，可避開雷雨，然而華航008 班機當時是沿著大片雷雨區邊緣飛行，屬不穩定區域，隨時可能對流雲發展以及強烈之上升氣流和下降氣流發生，不可不小心。
2. 應加強駕駛員之氣象知識及都卜勒雷達使用法。

(二) 台航bn-2 型b11125 號機(民國77年1月19日)意外事件

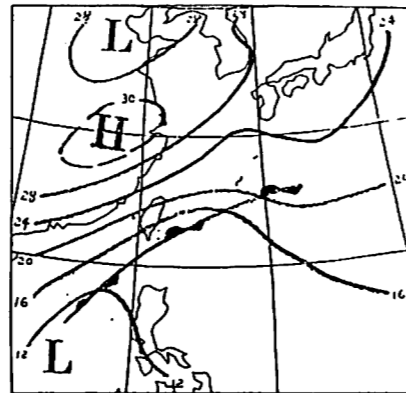
(1) 失事經過：

民國77年1月19日9時45分(01-45utc)一架台航編號11125 號bn-2型小客機由台東飛至蘭嶼附近失蹤，當地居民似曾聽到爆炸聲。由於失事當日，台灣東南部及近海天氣惡劣，台東、蘭嶼一直下雨，在該機飛抵蘭嶼附近時，蘭嶼、台東二機場天氣相繼低於起降標準，致不能降落蘭嶼，亦不能返降台東；當時蘭嶼又有亂流，在低雲幕，低能見度及亂

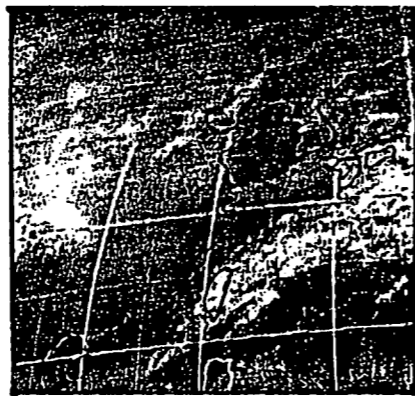
流環伺之下，因操控失靈以致撞山失事

(2) 當時的天氣分析：

當鋒面位於台灣北部附近時，台東地區較不易有低雲幕出現，而19日0000utc(上午8時)之地面鋒面由台灣東南近海通過(圖八)，台東及蘭嶼較易有低雲幕產生(圖九)(陳、王、1984)。而在強烈東北風吹襲之下(表二)，蘭嶼背風區有中至強烈亂流產生(蘭，1984)。



圖八：民國77年1月19日0000 UTC 地面天氣圖



圖九：民國77年1月19日0000 UTC 衛星雲圖

(3) 檢討：

1. 失事當日，低雲及亂流雙重不利飛航

之天氣因素同時存在，駕駛員應注意，不應勉強起飛。

2. 在不穩定天氣狀況下，短時間之天氣變化極快，不可看到天氣好轉，即冒險起飛。縱使必須起飛，亦應詢問雷達資料瞭解航線上天氣的變，化再非常小心起飛，並航行於較安全之區域。

以上三個案件幾乎都是令人遺憾的血淚教訓，實際說明了一件事，在惡劣天候下，不要在了解氣象雷達的天氣資料之前，或根本不注意氣象雷達資料即貿然起飛穿越雲雨帶，只因為縱使再大的飛機，再高超的駕駛技術都是無法與極惡劣的大自然力量相抗衡的。我們也只能藉著遙測的方法，以及對天氣的資料了解去避免接觸「危險天氣」，如此才能有效保障人員及航機的安全，避免不必要的犧牲，確保我空防戰力。

就一般航機任務而言，某些氣象要素對飛安及飛行效能之發揮有相當大的影響，如飛機在起降時最常遭遇之低雲幕及低能見度，素為飛行和氣象人員所重視，此自不在話下；然而飛機在航路上尚可避過到其他許多危險天氣，這些現象有些目視即可發現其存在，有些都必須以都卜勒雷達仔細掃描，再配合專業人員抽絲剝繭的研判，才能發現其存在，所以航機如果要於避過亂流之前預先改變其航向，就必須隨時注意氣象雷達最新資料。無論是利用本身空用雷達或是以無線電與地面雷達站連絡，都是必要的措施。以下僅就數種雷達所能偵測到的危害飛行之天氣做一說明與介紹。

(一) 低層風切(low level wind shear)

低層風切目前已被公認是世界航機發生嚴重意外事件的主要原因之一，尤其是當航機飛行低於2000呎高度時，或要降落前那一段極短的時間過程，航機可以說是處於揚升力量最小的狀態，非常容易失速，並且又無足夠的高度可供恢復正常的滑翔姿態，此時此刻

如果又巧遇低層風切無異雪上加霜，陷於極度的危險狀態。且低層風切還容易造成噴射機的引擎反應遲緩，更加深了危險的發生程度。究竟在何種天氣狀況下會有低層切出現，茲分析如下：

1. 在雷雨雲前緣的陣風鋒面(gust front)和下降氣流(down draft)產生時。
 2. 在輻射逆溫層頂附近(inversion)。
 3. 接近鋒面區域附近。
 4. 地面風速實增至30kts 以上時。
- 而風切出現時又會有幾種徵狀：

1. 在山區飛翔時出現不正常的動力指示及不正常的航機下降率時。
2. 航機之空速和上升速度顯示不正常跳動時。
3. 航機之空速和地速有很大差異時。
4. 航機進場時顯示的風向、風速與地面風報告有明顯差異時。

在出現上述徵狀時，表示航機已極有可能遭逢低層風切，而真正的低層風切還可分為：

1. 可使航機空速增加而提升高度的逆風風切；
2. 可使航機空速減少而下降高度的順風風切；
3. 可使航機偏離航向的側風風切；
4. 導致航機急遽下降的下衝風切；

(二) 雷雨(thunderstorms)

對飛行安全而言，雷雨涵蓋了所有劇烈的危害天氣，它包括了：強陣風、嚴重亂流、閃電、積冰和強烈陣雨、甚至冰雹和猛烈的上升及下降氣流；典型的雷雨有其生命史，而所有劇烈天氣以成熟期最為嚴重，幾乎每位飛行員都有接觸過雷雨附近的經驗。(例如發展中的cu雲或cb雲)。

因此每一位飛行員應有對雷雨此種危險天氣現象的知識，並能及時處置及應變萬一不幸遭逢發展成熟的雷雨時之情況。

「它」可以獨立發展存在，如夏季的午後熱雷雨，亦能成串連結的出現，如鋒面前的飈線；遭遇雷雨時宜設法避開為原則。

本省的雷雨即是明顯的航機危害天氣之一，其發生季節則分佈如下：

1. 春季以中部以北為主(伴隨鋒面，成中尺度對流系統)。
2. 梅雨期全省皆有可能在鋒面前後發展。
3. 夏季午後則以熱雷雨從南部向北部發展移動。
4. 冬季則以北部為主，但頻率較少。(伴隨鋒面)

因此，除夏季熱雷雨外，其餘均有伴系統發生，涵蓋面較廣，出現的時間亦無日夜變化。

(三) 冰雹(Hail)

雹也是積雨雲惡劣天氣的一種產物，生成於巨大的積雨雲中。凡雲頂愈高，形成的可能性愈大；冰雹在不斷的上升、下降氣流中生長，通常含有若干透明及不透明層相間之同心冰層；由於是固體硬質的冰塊，因此在其重量達到氣流無法支撐時，便快速下降，無論航機或地面均有很大的損害。

(四) 積冰(ICING)

積冰也是導致飛安事件的天氣要素之一，它可以使航機之後拖力增強，推動力減弱，舉升力減少及重量增加，飛機積冰在地面和空中均可能發生，端視當時所處的環境溫度及過冷卻水存在的情況而定。

當飛機經過冷雲層或雨雪區中，在適當條件下，機翼、機尾、進氣口、螺旋槳或其他部份，常會積聚冰晶、厚者可達數吋，實在影

響飛機操作及安全，不可減損航機效率，亦為導致通訊失靈、視野受阻及外物受損(FOB)等之主因。

飛機積冰分為飛機結構、內部進氣系統及儀表積冰三類，其方式有：霧凇、明冰及明冰與霧凇混和型，其強度則分為冰跡、輕度、中度及嚴重四級。產生之天氣因素分為：氣團、鋒面、雷雨、地形效應及季節效應之考慮。形成積冰之基本條件是飛機表面之溫度必須低於 0°C 及大氣中存有過冷卻水滴(SUPERCOOLED DROPS)，通常當航機穿越由過冷卻水滴所組成之雲層，或低於凍結溫度之液體降水區時，必有積冰發生之可能。

最嚴重積冰發生在 $0^{\circ}\text{C}\sim-10^{\circ}\text{C}$ 之雲層中， $-10^{\circ}\text{C}\sim-20^{\circ}\text{C}$ 亦常見，航機均應注意。本省 0°C 等值線的全年變化在12000呎至16000呎之間，可提供參考。

(五) 飈線(SQUALL LINE)

飈線為雷雨或陣風之活躍帶，通常呈不一定連續之帶狀分布，多半在鋒面前方，約與鋒面平行。飈線因伴有強風及雷雨，所以一連串之雷雨胞的消長成為特色，當它到達某地上常有滾軸狀烏雲，導致突變天氣。

飈線多伴隨鋒面，在本省以春季及春末夏初之梅雨期中最常見，冬季在多日增溫後之鋒面過境亦偶有發生，最大特色是有雷雨及地面陣風的到達，實際是伴同下衝風一起的，地面風速有時甚至超過飈風的風速。

當飈線雷雨胞臨近機場，此時若有航機起降非常危險。民國78年5月2日中午時分有飈線襲擊本省，西部沿岸颳起一陣強風，主中心之下衝風可能正好落在嘉義，陣風超過70哩/時以上，時間雖短暫，卻立即造成明顯的損害，如建築及飛機的受損，故須吾人特別注意。

(六) 下爆氣流與風切

下爆氣流(downburst)被認為是航機起降失事中最嚴重的殺手，因為裡面有亂流、風切、下衝流，其時間雖短暫，範圍也不大，但若有航機遭遇則不免被它所吞噬。

下爆氣流常出現於成熟雷雨，自積雨雲頂因重力作用向下衝瀉之冷氣流夾帶大雨滴並向四週擴散。尤其向前方者最劇，常形成陣風鋒面(gust front)，而最前緣常形成鼻狀，有時可捲起沙陣或形成滾軸狀的雲層，變幻莫測追蹤不易，如在機場附近出現，極端危害飛航安全，因為有極強之水平及垂直向風切。

下衝氣流之最猛者為強烈之下爆氣流(microburst)。所謂下爆氣流指低空100公尺高度以下局部下衝氣流，速度超過3.6公尺/秒(12呎/秒)；下爆氣流對航機可產生機體各部受力的不平衡，而且在短距離內，逆風、順風、下衝風所致的風切變化很快，航機即因此而失事。

以上介紹六大項危險天氣，許多均是伴隨系或非系雷雨出現，亦即是強烈對流性的天氣因素，例如低空風切、冰雹、飈線、亂流(下爆氣流)等，此等天氣現象均可憑藉都卜勒雷達的分析與追蹤而有效的掌握，就算是積冰亦可將雷達垂直剖面圖(rhi)仔細分析 0°C 高度以上至 -20°C 之間的亮帶區域，即為最容易積冰的空層。飛行員如果必須在較不穩定、較差的天氣系統下飛行，則必須：

1. 利用天氣講解及地面都卜勒雷達所分析的航線及目的地的飛機場周遭的天氣狀況，以徹底了解雷雨，亂流，風切，積冰的位置。
2. 避免於航行中穿越結冰高度附近的雷雨區。
3. 隨時與地面MOB及雷達站保持聯絡，以得到最新的航路天氣及雷雨位置。
4. 如果飛機上有空用氣象雷達則有效運用，以尋找安全地帶飛行。
5. 切勿在卷雲砧下以及C6雲底下飛行。

總之，在已裝有都卜勒雷達的機場，應善加運用其各項資料，支援各項飛行任務及訓練，以期有效確保我防及國防戰力。

五、都卜勒氣象雷達資料進一步分析與研究

先進而精密遙測儀器，主要即在利用電磁波反射或是紅外線感應，將一些平時不容易為人們所見到的大自然內部的一些現象呈現出來，以便於我們能更加瞭解四週環境的變化，而都卜勒雷達除了能全天候的守視機場附近及航線上的天氣變化外尚將所有偵測的劇烈天氣資料保存下來，以便日後研究分析之用；由於我們對許多大氣現象的成因與變因無法理解其脈絡，掌握其機制；因此只能依靠雷達這種遙測儀器來逐步揭開其中的奧秘，但是仍需注意雷達本身的校驗工作以回波與系統強度的定量核驗，由技術人員及氣象觀測人員共同配合，長期累積各地雨量資料與回波加以核對整理，才能得到較為客觀而正確的數據結果。

本章節僅就國內外氣象雷達的一些先進所觀測及研究分析出的一些經驗累積及研究案例提出說明，以提供給諸值參考。

(1) 回波反射強度的一些特徵(見表三)

(2) 雷雨胞簇的生命演進：

由圖(5-19)中所示雷雨胞簇是由許雷雨細胞接繁衍而成，典型的雷雨大約是由2-4個雷雨胞持續發展而成；當第一個細胞成熟後而逐漸消散時，隨時有第二個雷雨胞接著發展長大，如此前仆後繼形成圖中的雷雨胞簇。其中實線代表雷雨帶，共有四個雷雨細胞，虛線則代表雷達所觀測顯示的強度等值線。箭頭代表氣流走向。(b)圖正代表同一系統歷經10分鐘後的情形，(c)圖則表示20分鐘後系統演變的狀況。總計前後發展至消散的生命過程約30-40分左右。

表三：雷暴系統之特徵

對 象	PPI	RHI	A/R	物理及其變化	大小與其變化	速 度	形 狀	特 徵	特 徵
對流層雷暴	層狀	層狀	有花邊	弱、變化快	2~15 KM	2000 M高至	散狀或線狀	非層狀 (chaff)	非層狀 (chaff)
對流層雷暴	大型 塊狀	層狀	有花邊	弱、穩定		不一	不規則		
對流層雷暴	積雲不規則	光 滑	有花邊	弱、穩定		不一	不規則		
0	層狀或塊狀	有花邊或無花邊	有花邊	此種雨或弱		降速每小時			
1	有花邊或無花邊	有花邊或無花邊	有花邊	此種雨或弱		降速每小時			
2	有花邊或無花邊	有花邊或無花邊	有花邊	此種雨或弱		降速每小時			
3	有花邊或無花邊	有花邊或無花邊	有花邊	此種雨或弱		降速每小時			
4	有花邊或無花邊	有花邊或無花邊	有花邊	此種雨或弱		降速每小時			
5	有花邊或無花邊	有花邊或無花邊	有花邊	此種雨或弱		降速每小時			
6	有花邊或無花邊	有花邊或無花邊	有花邊	此種雨或弱		降速每小時			
7	有花邊或無花邊	有花邊或無花邊	有花邊	此種雨或弱		降速每小時			
8	有花邊或無花邊	有花邊或無花邊	有花邊	此種雨或弱		降速每小時			
9	有花邊或無花邊	有花邊或無花邊	有花邊	此種雨或弱		降速每小時			

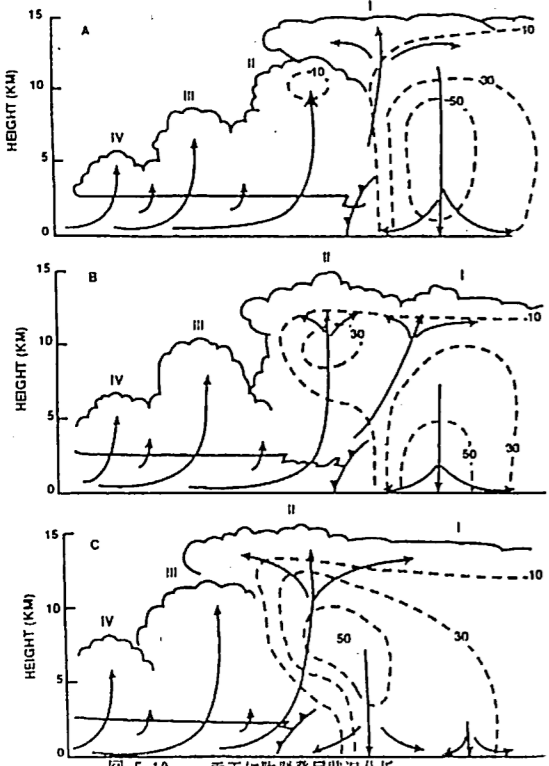


圖 5-19 雷暴細胞發展狀況分析

(3) 煙囪效應(chimney effect)

雷雨胞是一個雷雨架構中機制，尤其是強烈的上升運動更代表了雲雨大氣的能量交換。由圖(5-20)中所知任何一種雷雨的基本機制即包含了一個低層的強烈輻合(即低壓中心)，而中層區域約在600mb附近則是幾乎沒有輻散亦無輻合，在高層則呈現強烈的輻散情形，就整體而言，即好比一具煙囪(himney)一般，由下端進氣上升至頂端散開，的確是一個雷雨發展與否的重要機制之一。

(4) 超級雷雨胞的三度空間透視圖：

我們可明顯的由圖(5-21)中得知，除了上述之chimney effect之外雲層之中更充滿了低層的渦旋，及強烈的下沉氣流。並包含了極強的風切及輻合，由此透視圖可知雷雨胞中風場極亂流，並伴隨著閃電強烈的下降及下沉氣流。垂直和水平風切更不在話下；實在不得不為航

機所列的頭號黑名單。

欲研究分析此類雷雨的結構資料，完全得仰賴都卜勒氣象雷達對每一次發生的雷雨現象，從頭到尾從上至下由裡到外的仔細掃描，逐步剖析組合才能得到，因此我們應更加善用此套裝備，加深我們對諸多危險天氣的研究與了解，以能提供更為精確的即時天氣預報，徹底維護飛安。

陸、結 語：

危險天氣可說是氣象人員及飛航人員之最大敵人之一，如何知已知彼善用裝備來隨時迎接挑戰即是身為氣象工作者的目標及方向；未來的氣象工作不外乎是將氣象雷達，衛星、探空儀，數值預報等資料利用加值網路及自動測站所觀測的即時天氣整

合製作成即時天氣預報(nwcasting)。而‘人’終究還是最後下決定的關鍵，換言之，無論裝備電腦如何的先進，人員的配合仍是預報準確重要因素之一。尤其是目前正是推展氣象精進案之際，相對的更應對人員的培訓及素質的提升有所規劃。單就都卜勒氣象雷達而言，就必須依靠操作員對系統的善加設定，以及觀測員仔細追蹤及分析天氣現象，那麼用戶才能得到其所需的資訊。總而言之，在此裝備更新之際，個人亦應把握進修機會多加涉閱最新的相關資訊，隨時充實自我提升本質學能。進而完成上級所交付的任務，支援作戰並維護飛行安全以期確保我國防人員武器裝備等機動戰力。

