

一、前言

近三十年來，民航設備隨著民航事業的蓬勃發展而日新月異。同樣地，航空氣象觀測儀器也有很多新發展和新發明，包括裝設在機場上和機場附近的新穎氣象感應儀器等等，本文將介紹近三十多年來筆者所知道的低空風切警報系統、亂流偵測及預警系統、雷電偵測系統及防禦系統、閃電雷擊偵測系統、新能見度儀、自動式氣象觀測儀器等，約略加以說明。

二、低空風切警報系統

低空風切已經被民航界公認為機場附近及機場上空，威脅飛航安全最大的一種顯著危害天氣。當強烈的低空風切出現時，如果缺少事先的警告，則對於離到場的航空器常常會構成嚴重的威脅。

低空風切乃短距離內，地面與離地面 1500 呎高度之間，垂直

或水平風向風速之變化，氣象學家認為：在水平方向和垂直方向 100 公尺以內，風速的變化超過 8.4m/sec(25 呎/sec)或風切超過 0.08/秒時，對航空器的起飛降落即構成威脅。所以航空界對低空風切問題特別重視，也一直大力發展偵測低空風切的儀器及應付低空風切的方法和措施，尤其近三十年來，美國聯邦航空總署 (FAA)和海洋大氣總署(NOAA)更致力研究並發展低空風切警報系統，茲將可以偵測低空風切的儀器系統約略介紹如下。

低空風切偵測系統 (Low Level Wind Shear Detection System)

這種系統也稱為地面風場偵測系統(Surface Wind Monitoring System, SWMS)，乃二十多年前開始發展的低空風切偵測系統，它儲備有可以持續供應 48 小時以上的電力之蓄電池，可以連續不斷地觀測風向量及低空風切，也可測出極端風速，觀測資料每

10 秒鐘即被傳輸往中央控制單位，風速儀可以定出風速之隨時間變化頻率，風向則由電表上的電壓來決定。

低空風切警報系統 (Low Level Wind-Shear Alert System) 係使用小型電子計算機進行工作，每隔 10 秒鐘，從各個感應儀和中央位置感應儀傳來的資料，都輸入電子計算機處理，就可以定出低空風切出現的可能性。如果出現低空風切時，塔台、區管中心、諮詢台等單位的值班人員就會接到警報聲，管制員和諮詢員即可轉告各民航機駕駛員，讓他們事先做好應變措施。在電腦顯示器上有兩種低空風切顯示法，第一種是將中央控制單位所得到之風向風速資料供應航管人員，再由航管人員轉給進場中和離場中的飛行員；這是 1970 年代使用的老辦法，當風的向量差達 15 哩/時以上時，塔台管制員就將每一測風儀的觀測資料告訴起降之飛行員，再由飛行員計算頂風 (Headwind) 或順風 (Tailwind) 分量。在第二種顯示法是在螢光幕上顯示出所有六個風向風速感應

儀之風場資料，這是機場周圍設立五個傳統式風向風速儀，並在這個空域中央另外設立一個參考風向風速儀 (即中央站風向風速儀)，平均相距 1.4 哩 (自 0.7 至 2.9 哩不等)，所有六個地面風場觀測站的風向風速儀均為遙測式，並使用無線電通信連絡中央系統之電子計算機，所以所有的風場資料均可以輸入電子計算機中，經過計算和處理後，即可在顯示器上看出各個觀測站觀測值之差異和水平風切值以及水平風向之突變情形。當風切值達到界限值時，風切顯示器上就會自動顯示出來，並發出警告信號，也就是說，任一風向風速儀和中央站風向風速儀之風向風速向量差達 7.7m/sec (即 15 哩/時) 以上時，即會發出警報信號。

1983 年~1988 年期間，美國國家大氣研究中心 (NCAR) 又發展出一套加強型低空風切警報系統，藉著計算頂風或順風之強度，來偵測跑道或跑道兩端離到場 1~3 哩之低空風切或小尺度微爆氣流，這是第二代的低空風切警報系統。圖一就是美國 1980 年

代低空風切警報系統上的顯示器所顯示之風向、最大風速值、平均風速值等資料之情形。圖二為美國 1980 年代低空風切警報系統顯示有低空風切存在時的情形，顯示風向風速為 270 /40KTS，並打出風切警告文字 (Shear Alarm)情形(同時會發出嗚叫聲)。近年來所發展出來的則為第三代低空風切警報系統 (Phase-3 Low Level Wind Shear Alarm System)，設在跑道兩端向外延伸三哩範圍，且測風儀有 12~16 個之多，它具有偵測跑道向外延伸 3 哩之離場進場航道上 1000 呎(300 公尺)以下低空風切之能力。

以上三代低空風切警報系統僅能偵測 1000 呎(300 公尺)以下航路上之低空風切，是為其缺點。

民航局亦曾於 2001 年 9 月 1 日在松山機場建置完成符合美國 FAA 第三代機場低空風切警報系統，沿著機場跑道向外延伸 3 哩設有 12 個遠端測風台，並在機場 10~28 跑道中間北側原有測風儀位置附近設有中央測風台(見圖三)，該系統有偵測 1000 呎(300

公尺)以下低空風切之能力，經過美國大氣研究中心(NCAR)的科學家和工程師以及民航局氣象專家、航電人員之測試和比對飛機報告，證明偵測低空風切的效果十分令人滿意，圖四就是 2003 年 4 月 2 日本地時間 13 時 24 分松山機場低空風切警報系統偵測到有低空風切存在時所顯示之圖片 (ALM 代表 ALARM)。

三、 亂流偵測及預警系統

有關亂流偵測及預警系統有以下各者。

(一)紅外線偵測系統

這是裝置在飛機上，可提前數分鐘偵測出亂流的有效系統，它的基本原理是利用紅外線技術來測定飛機前方 3.5 哩處之氣溫差異，然後再將氣溫差加以數值化，來預報前方亂流出現的可能性。它由美國科羅拉多州鮑爾德城(Boulder)之亂流預報系統製造公司所發展製造，它的重量只有 5 公斤，體積是 15.2 cm x 15.2 cm x 5.1cm，它可以提前 33 秒鐘偵測到低空風切，其缺點是僅適合不下雨期間使用，遇下雨時，將消

弱偵測大氣亂流之能力，故不適用。

(二) 加速度儀用作低空風切之警報儀

空用加速度儀用作低空風切警報系統可以提前數秒鐘顯示預警或發出預警信號。其缺點為預警時間太短，無足夠時間讓飛行員做好充分的準備。

四、 雷電偵測系統

雷電偵測系統也就是雷電定位系統 (Lightning Location System)，可以測出閃電和雷擊打到地面上的地點，正如同一個巨大的無線電天線一樣，每一次閃電所放射出的電磁波信號會使雷電觀測儀起作用，故能定出雷電出現的地方，可以供應飛航管制人員使用，管制員就可以導引飛機避開有雷雨存在的危險區域。在地面上的電力公司工程人員也可以根據雷電偵測到的資料很快地前往被雷電破壞的地方進行修復，替電力公司和消費大眾都節省金錢。在森林分布區，往往會發生雷擊，引起森林火災，而雷電偵測資料即可以事先提供救火

人員，了解可能發生森林火災之處。

雷電偵測系統由兩個交叉的長方形天線以及處理信號，電子計算機所組成，雷電偵測系統偵測到的資料輸入中央電腦系統，中央電腦系統就可以定出閃電的位置，並在地圖上標示出來。現在台灣電力公司已設有分布全台灣各地之雷電偵測系統，每天不間斷地將偵測到的雷電資料(以+符號標示在地圖上)供應中央氣象局，民航局飛航服務總台氣象中心等單位使用。

五、 雷電防禦系統

雷擊不但對飛航中的民航機有危害，即使對機場上所有的設施和電腦設備也往往會造成極大的損害，所以如何防禦雷擊之破壞也是很重要的。減少雷電對所有設備的危害，並減弱雷擊的破壞力而發展出一種閃電雷擊消除器 (Lightning Dissipation Arrays)，並裝設在民航機場上。這種儀器比避雷針進步，當雷雨每秒鐘放出數以千計的帶電游子時，閃電雷擊消除器

就在雲地之間散發出數以千計的正電游子，來消滅閃電雷擊。因為這些正電游子會移向積雨雲，使該處電場不足以帶大量電荷，不致產生閃電雷擊。此外，雷電消除器也能攜帶已經減弱的電流，沿著與地下相連的金屬線進入地下。

美國聯邦航空總署選取了以下兩種不同的閃電雷擊消除器進行試驗：一種是外觀看起來很像雨傘的金屬線(見圖五)，另外一種是外觀看起來很像曬衣繩的金屬線(見圖六)，兩者都裝設在譚巴機場。在奧蘭多機場的閃電雷擊消除器外觀很像炸麵圈，中央並裝有看起來像刷子一樣的短金屬線，閃電雷擊消除器並沒有使用電力，但是它足夠承受最大風速達 125 哩/時 之颱風的吹襲，一般都裝設在有避雷針的地方，也裝設在塔台、航管雷達、通信設備等之所在地。聯邦航空總署也裝設影像錄影照相機(Video cameras)來紀錄閃電次數，並有磁帶連接，通到地面的金屬，來測定每一次閃電的實際安培數(電流強度)，希望將試驗和實際使用的結

果歸納出標準來，並推廣到全美國境內其他各機場，建立全國閃電雷擊防禦網。

六、 閃電雷擊偵測系統

除了前述閃電雷擊消除系統外，還有閃電雷擊觀測系統之發展也很重要，美國阿利桑納州土可松市的閃電雷擊防禦公司也曾經發展出一種 Model 430 LLP 感應儀，它可以偵測到 100 哩範圍內地面上出現的閃電和雷擊，而且可以使用彩色信號和文字顯示它的位置和距離，感應儀的天線和電子設備可以精準地偵測到雲層對地面的閃電所造成之輻射狀磁場變化信號，並顯示出發生閃電雷擊之時間、極化性、信號之強度和方位等資料，並隨時傳送到電腦顯示器上顯示出來。

法國的雷電專家們曾經發展出一種無線電干涉儀，來偵測大範圍空間內的雷雨活動。近年來，他們又提供一種可以偵測出半徑 15 公里內的雷電預警系統(見圖七)，這種儀器可以偵測機場周圍大氣層之大氣電場變化，在閃電雷擊出現前 15~45 分鐘，即

可預報即將有雷雨出現。感應儀可以加倍地增加，來偵測大範圍之雷雨活動，這種設備之掃描頻率為 10 赫茲，分解能(析像能力)為 40 伏特/公尺，其動力變化大小約為 ± 20 千伏/公尺。

七、 新能見度儀

十年前，芬蘭維莎拉氣象儀器製造公司曾經在德國漢諾威展出一種 FD12 型新能見度儀，它係依靠紅外線光波遇到霧、雨、雪等所引起之散射作用原理而測定能見度者。這種新能見度儀由裝置在容器箱內的一個處理器和一個控制器所組成，處理器中的透程儀和接收機，其角度為 33 度，可以觀測 10 公尺以至 20 公里之能見度。FD12 型能見度使用其內部所產生的熱可以防止視覺面上凝結作用所引起之損害，不需要定期之維護工作，只要有必要時，清潔鏡片及外殼即可。現在 FD12 型新能見度儀已被航空氣象界及其他氣象界用來觀測濃霧，並可發出警報信號，其角色不輸跑道視程儀(RVR)。

八、 自動式氣象觀測儀器

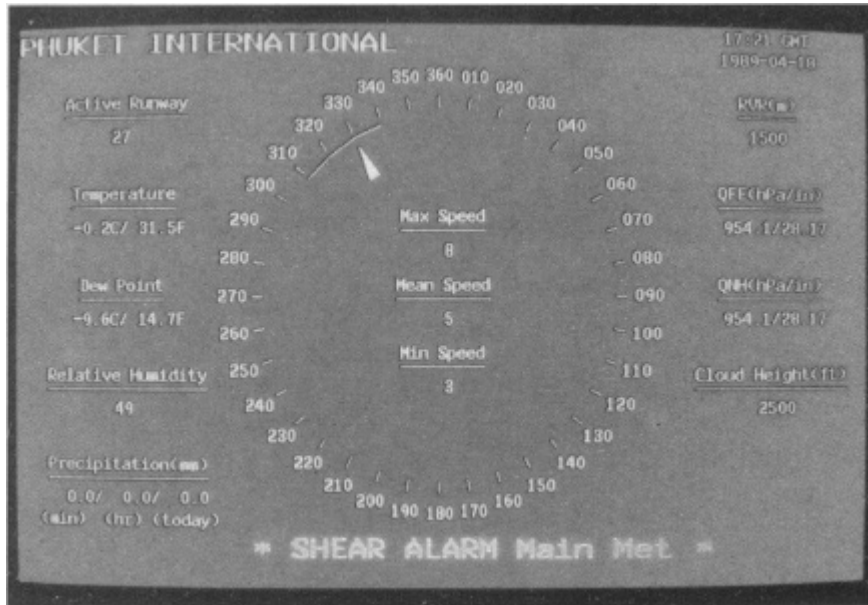
雖然自動式觀測儀器(AWOS)之問世和推廣應用已有數十年，但是氣象儀器科技發展的一些先進國家仍然不遺餘力地力求改進，朝更理想的方向而努力。例如義大利早在 1988 年即已在全國各民航機場裝設更新穎的自動式氣象觀測儀器系統，並在 1990 年在泛波勞夫航空展覽會(Farnborough Air Show)中首度向外亮相，公諸於世。

義大利的自動式氣象觀測與資料處理系統 (Automated Weather Observation and Data Distribution System)裝有電子計算機，可以處理來自各個感應儀送進來的資料，再顯示在塔台、諮詢台、氣象台等單位之螢光幕上。逐時天氣資料(METAR)分 10 個氣象報告組，連綜觀天氣報告(SYNOP)也會顯示出來，並透過電報輸送交換系統(Telexnetwork)自動傳輸到使用者手中，氣象觀測資料包括風向、風速、能見度、氣壓、氣溫、相對溼度、雨量、太陽輻射量、背景光度、跑道視程(RVR)、雲幕高等等。

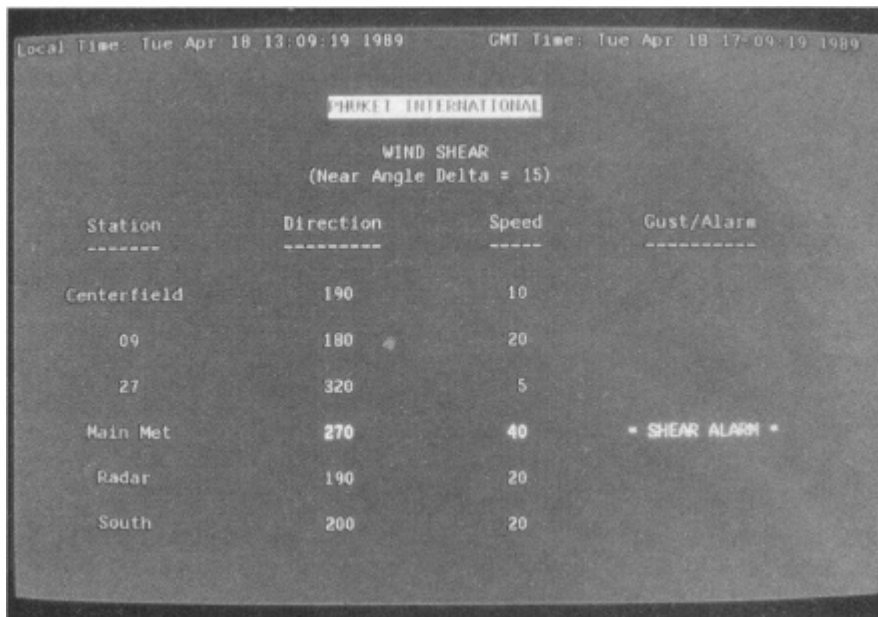
參考文獻

1. 劉昭民，1980，低層風切測報系統簡介，民航局大氣亂流與飛航安全研討會論文彙編，p.213~234。
2. Keith W.Bose, 1990: Meteorology at Airports, Airport Forum, 6/1990, p.60~64。
3. 劉昭民，1985，雷電觀測網可以幫助管制員增進飛航安全，飛航管制季刊第 5 卷第 1 期，p.25。
4. 蒲金標，2003：台北松山機場低空風切警告系統與低空風切診斷分析，大氣科學第三十一期，p.181~198。

致謝：承蒙康拓公司胡工程師東隆先生提供有關台北松山國際機場低空風切警報系統之照片，謹此致謝！



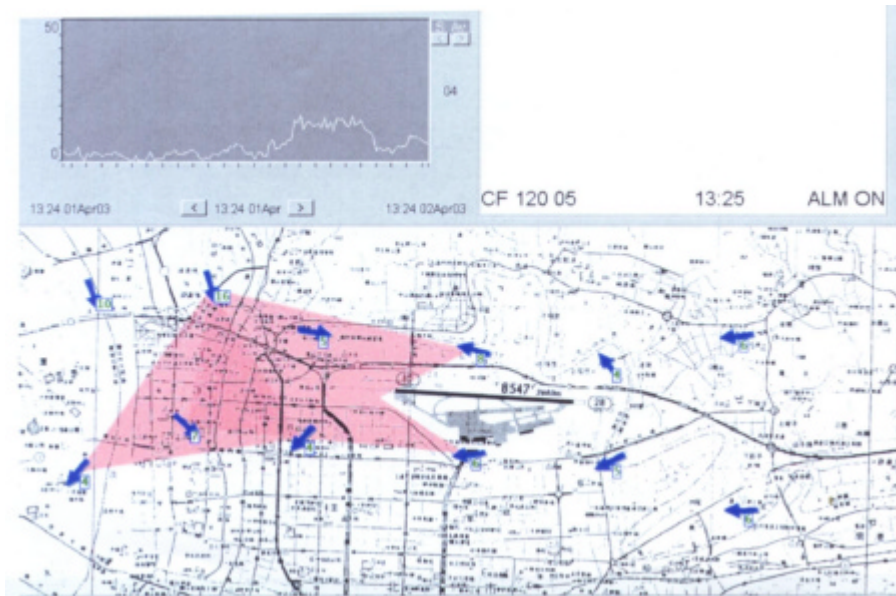
圖一：美國 1980 年代低空風切偵測儀之顯示器(K.W.Bose,1990)。



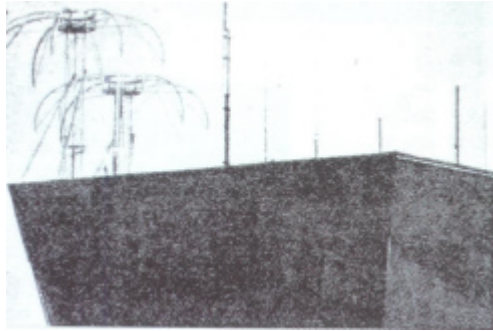
圖二：美國 1980 年代低空風切警報系統顯示有低空風切警報之典型型式 (K.W.Bose,1990)。



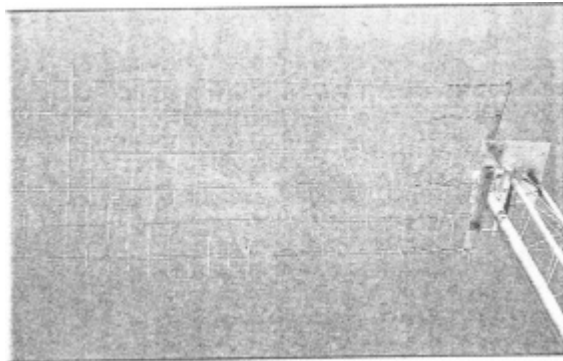
圖三：松山機場低空風切警報系統中央測風台之外景



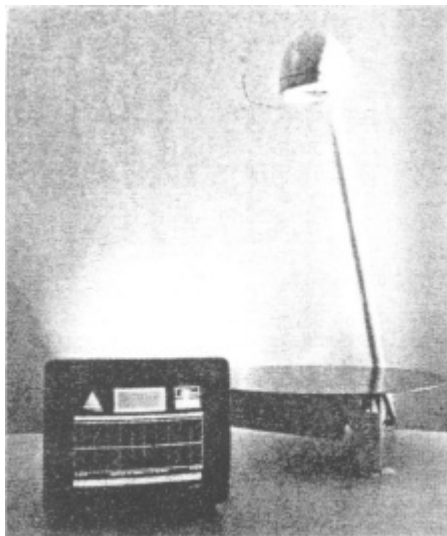
圖四：松山機場低空風切警報系統於2003年4月2日1324L偵測到低空風切，並發出警報(ALM ON)之情形



圖五：裝設在美國譚巴機場塔台上的雨傘型閃電消除器(K.W.Bose,1990)。



圖六：在美國佛羅里達州試驗中的曬衣繩型閃電消除器(K.W.Bose,1990)。



圖七：閃電雷擊預警系統(K.W.Bose,1990)。