

台灣松山機場低空風切警告系統 與低空風切診斷分析

蒲 金 標

交通部民用航空局飛航服務總台

(中華民國九十一年十一月十一日收稿；中華民國九十二年二月二十五日定稿)

摘 要

本文使用 2001 年 9 月至 2002 年 8 月民航局松山機場低空風切警告系統(Low Level Windshear Alert System; LLWAS)之觀測資料，分析與探討其低空風切之發生。初步研究結果發現，松山機場發生低空風切，輕度和中度各約佔半數，強烈者甚少。雖然發生強烈低空風切甚少，但對飛機起降之危害甚大，應給予重視。

夏季 6~8 月受颱風和午後雷陣雨，初秋 9~10 月受颱風、東北季風和鋒面過境，深秋、冬季和春季 11~5 月受東北季風和鋒面過境等影響，機場都會有低空風切現象，其中以颱風和午後雷陣雨引發最多且最強烈的低空風切。

松山機場每天上午 9 時至下午 16 時發生低空風切之頻率大於平均值，其中以上午 11 時至下午 15 時發生風切頻率為最高，上午 8 時和下午 17 時發生風切頻率則次之，而每天下午 18 時至翌日上午 7 時發生低空風切之頻率最小。

機場發生低空風切之天氣類型，以東北季風型之天數為最多，西南季風型次之，颱風環流型再次之，鋒面過境型較少。其中發生強烈低空風切之天氣類型卻以西南季風型之次數為最多，颱風環流型次之，東北季風型和鋒面過境型再次。松山機場因雷雨陣風、颱風強風、鋒面過境以及強烈東北季風等風場改變大是為引發低空風切之主因。

關鍵詞：低空風切警告系統、低空風切、鋒面過境型、東北季風型、颱風環流型、西南季風型、微爆氣流

一、前 言

美國國家運輸安全委員會(The National Transportation Safety Board ; NTSB)所做的統計顯示,自從 1974 年以來,1987 年是航空運輸最壞的一年,該年美國總共發生 31 件空難事件,計有 231 人死亡,其中有許多空難事件與飛機在起降階段遭遇低空風切有關。此外,美國國家研究委員會研究顯示自 1964 年至 1982 年期間,幾乎大部份的空難事件都與低空風切有關。

飛機在起飛及降落階段通常飛行速度較小,距離地面高度較低,在此階段遭遇低空風切,對於風速驟然的改變,飛行員之應變能力相對較差。飛機在起降階段遭遇低空風切,若應變不及或處理不當,輕者造成飛機重落地或衝出跑道,重者則可能釀成機毀人亡的慘劇,在國內外飛機失事中,已有相當多案例,證實是因低空風切所造成。

美國聯邦航空總署(Federal Aviation Administration ; FAA)警覺到低空風切對飛安的威脅,於是美國政府提供經費研究風切的課題,西元 1970s FAA 發展出一套低空風切警告系統(Low-Level Wind-shear Alert System ; LLWAS),最初是用來偵測機場大尺度的風切,包括海風鋒面(sea breeze fronts)、陣風鋒面(gust front)、冷鋒以及暖鋒,此系統稱之為第一代低空風切警告系統(Phase-1 LLWAS)。Phase-1 LLWAS 系統偵測風切的原理是很簡單,將跑道中段測風台風場資料與在機場四周裝設五個測風台者加以比較,當風的向量差達 15 海浬/小時(knots; kts)以上時,塔台管制員就將每一測風台的風場觀測資料,直接告訴起降的飛機,飛行員收到各測風台風場資料後,自行計算頂風(headwind)或順風(tailwind)分量。

Phase-1 LLWAS 系統由於測風台間距離太大,無法偵測到較小尺度的風切,因此,1983 年 FAA 要求美國國家大氣研究中心(National Center for Atmospheric Research ; NCAR)另外再發展一套 LLWAS 更新系統,期望系統可以偵測小尺度的微爆氣流(microbursts),於是 NCAR 在 1983~1988 年間發展出一套加強型 LLWAS,新系統透過頂風或順風強度,來偵測位在跑道或跑道兩端離到場 1~3 海浬的低空風切或小尺度微爆氣流,新系統可以偵測到 90%以上的風切,但還有 10%以下的風切警告失敗率。系統經不斷改良,現在所用的系統稱之為第三代低空風切警告系統(Phase-3 LLWAS),Phase-3 LLWAS 系統在跑道兩端向外延伸三海浬範圍內有足夠的測風台,通常有 12-16 個測風台之多。依據美國大氣大學聯盟(UCAR)技術文件有關 LLWAS-3 風切系統的偵測範圍參考資料,LLWAS 系統能提供跑道向外延伸 3 海浬離到場走廊 1000 呎(300 公尺)以下的風切偵測能力(UCAR,1992)。

雷雨中所發生微爆氣流常引起強烈低空風切,而微爆氣流是一種在氣團、多胞雷雨(Multi-cell thunderstorm)、或超大胞雷雨(Supercell thunderstorm)中都可能發生的小尺度天氣現象。微爆氣流這個名詞最早是由 Fujita 所定義,指的是水平尺度小於 4 公里的下爆氣流(downburst)。所謂下爆氣流是指由雷雨所產生的強烈局部性下降運動,自雷雨雲中向下衝瀉之氣流,Fujita (1985)將下爆氣流依照大小區分成兩類,其一為水平尺度超過 4 公里的稱為巨爆氣流(macroburst),另一為小於 4 公里的則稱為微爆氣流。Fujita 更進一步根據地面降水情形,以累積雨量 0.25mm 為區分標準,將微爆氣流區分成乾微爆氣流與濕微爆氣流,但是,

由於微爆氣流下方的累積雨量，有時並不易取得，因此也有學者建議以雷達回波的強度來區分 (Roberts and Wilson, 1986)。若以雷達觀測資料來定義微爆氣流，則為輻散中心兩側最強的都卜勒速度(Doppler velocity)差在 10m/s 以上，且其兩側峰值的距離在 4 公里以內者稱之 (Wilson et al., 1984)。然而，值得注意的是從過去的研究顯示，微爆氣流的強度與雷達回波的強度之間並沒有很好的相關性存在(Proctor, 1988)。松山機場所發生雷雨下爆氣流，其水平尺度通常小於 4 公里，所以本文所指下爆氣流和微爆氣流是相同的天氣現象，為了避免混淆，僅使用單一的微爆氣流一詞。

松山機場跑道方向為東西走向，分別為西邊的 10 號跑道及東邊 28 號跑道，機場附近地形複雜，東邊及北邊為山地地形，西面及南面則為高樓林立之都會區。江等(1998)以松山機場跑道兩端測風儀之風速向量差達 15kts 為定義風切之標準，並以沿跑道方向的風速為定義輻散型或輻合型風切，研究顯示風切發生在午後(1200L~1800L)佔 53.7%。松山機場 5~9 月份是在一年中午後對流最旺盛的期間，有較高比例的輻合型風切，輻合型風切似乎與午後對流及太陽加熱有密切關係。

郭(1980)根據飛行員口頭氣象報告分析，認為松山機場低空風切主要有低空強風帶風切、地形效應風切以及冷鋒和雷雨外流風切，引發低空風切之天氣類型有強烈東北季風型、颱風環流型、高壓出海型、旺盛西南氣流型和冷鋒通過型。江等(1998)發現松山機場低空風切發生時的綜觀天氣屬性大略可歸類為東北季風型、颱風環流型、副熱帶高壓西伸但未超過中央山脈型以及副熱帶高壓西伸且已超過中央山脈型四種主要的型態，在個案發生時，機場天

氣主要特徵大約可分為風向變動、有陣風及有雷雨等三大類。惟在天氣類型之分類上，發現在無論是高壓出海型、旺盛西南氣流型、副熱帶高壓西伸但未超過中央山脈型或副熱帶高壓西伸且已超過中央山脈型都是引發台灣西部和西北部盛行西南季風，導致松山機場較多的低空風切，因此，本文將上述天氣類型都歸在西南季風型，以資簡化。

交通部民用航空局有鑒於低空風切對飛機起降的威脅，於 2001 年 9 月 1 日於松山機場建置完成一套符合美國 FAA 第三代機場 LLWAS 系統。松山機場 LLWAS 在測試期間，選擇 2001 年 3 月 18 日、24 日、25 日和 7 月 4 日發生低空風切個案，經由美國大氣研究中心(NCAR)科學家和工程師和台灣民航局氣象專家和航電人員共同做個案以 13 個遠端測風台 24 小時風場加以分析，並與飛機風切報告加以比對，驗證結果松山機場 LLWAS 系統為可用的系統，本文分析資料已去除極少數線路故障所造成假警報。

本文採用松山機場 LLWAS 系統於 2001 年 9 月至 2002 年 8 月期間所觀測到的資料，來分析松山機場附近低空風切發生之時間特性，包括每天二十四小時低空風切發生之日變化和每月低空風切發生之季節變化，並以中度和強烈低空風切發生時，所出現的綜觀天氣類型加以分類，計分為颱風環流、東北季風、鋒面過境和西南季風等四種類型。以期了解松山機場低空風切在那一時段最常發生？每季發生概況？那些綜觀天氣類型最有利低空風切的發生？

二、資料來源與研究方法

LLWAS 系統是由測風儀及處理器所組成的，它用以偵測並確認危害性低空風切，並將此即時(real-time)資訊提供給飛航管制塔台管制員和機場氣象台觀測員，以便提供危害性低空風切，包括微爆氣流，警訊給機場正在降落或起飛的航機。測風儀測量風向的精確度為 ± 3.0 度，測風儀可自動進行磁北校準。測風儀對介於 0 到 99 kts 之風速的測量精確度為 ± 2 kts 或實際風速之 $\pm 5\%$ (取較大值)，系統觀測週期為 10 秒。系統將風場資料轉換成一個風速的向量(u, v)，指向風流動的方向(即風的去向)，提供危害風切偵測分析演繹法則(Hazardous Windshear Detection Analysis Algorithm)使用(UCAR,1992)。測量的單位以公尺/秒來表達，正 v 值表示磁北方向，而正 u 值表示磁東方向。

LLWAS 系統可支援的最大量演繹法則之邊(edge)數為 200 個；可支援的最大量演繹法則之三角形數為 250 個。機場真正的邊和三角形的數目定義於所提供的機場建構檔，微爆氣流是指一個被偵測到的輻散順風(減速)(單位為 kts)超過或相等於預定參數值(典型為 30 kts)。系統利用任意三點測風儀資料，算出此三角形內的輻合輻散場，再與其他三角形遞迴運算，得出起降區低空風切警示資訊。而此任意三點需符合三角形夾角不得小於 25 度和任二點距離需介於 1~5 公里之間(UCAR,1992)。由飛機因環境風場造成的增(減)速程度來決定，當飛機順風(減速)從 15kts 至 29kts 或頂風(增速)大於 15kts 時稱為風切，減速大於 29kts 時稱為微爆氣流。若有兩個風切/微爆氣流同時出現，則系統會以最嚴重者的強度和最接近飛機之起降位置編發警訊。當測風網內被偵測到跑道方向順風(減速)(runway-oriented loss)或頂風(增速)值(runway-oriented gain)超過預定參數值(單位為 kts)之風切

情況時，系統則發佈風切警告。

目前松山機場已安裝了乙套 LLWAS 系統，系統是由一個主機台控制器(master station controller)、遠端測風台(測風儀設備組)及顯示給使用者看的顯示器；顯示器通常安裝於飛航管制塔台及氣象台。主機台控制器利用風切偵測演繹法則處理由遠端測風台傳來的資料，以提供特定跑道之風速、風向及風切的種類與強度等資訊給航管使用。除了機場中央風速、風向及陣風(gust)資訊外，所有發佈的風切警訊均是針對單一特定跑道。

松山機場的主機台控制器及主機台無線電設備已建置於距離松山塔台約 1000 公尺的台北航空氣象台。機場安裝兩部文數字警告顯示器在管制塔台，供管制人員使用及一部文數字警告顯示器於氣象台供氣象人員使用。系統監控設備(System console)則與主機台控制器置放在同一地點。

松山機場 LLWAS 系統計有蒐集機場地區風場資料、自動偵測危害性低空風切、偵測危害性風切(包括微爆氣流)強度和發生位置、測量中央風場、提供陣風風速資訊、銜接現有跑道頭的測風儀相關設備介面、提供飛航管制員明確清楚的風切危害資訊(風切類別、位置和強度)和跑道頭風場測量資料、提供有關系統維護、風切事件重建和飛航顯示等重要資訊的儲存設備以及提供查看和分析存檔資料之工具等等功能。

松山機場 LLWAS 系統沿著機場跑道向外延伸 3 海裡設有 12 個遠端測風台，另外在松山機場 10-28 跑道中間北側現存測風儀位址附近設有中央測風台，松山機場 LLLWAS 測風台依各台地勢高低不同，離地面高度為 10-37 公尺，系統能探測到的低空風切的高度約在 300

表一 松山機場低空風切警告系統遠端測風台場址資料表

場址編號	場址地點	經緯度	實際離地高度(m)
CF	松山機場 10-28 跑道中段北側 現存測風儀位址附近	N 25° 04.262' E 121° 33.146'	10
1	三重市重陽抽水站屋頂 (三重市環河北路 300 號, 淡水河三重岸重陽橋與中山高淡水河橋間)	N 25° 03.440' E121° 30.032'	20
2	基隆河劍潭基河 7 號河濱公園 (由承德橋下劍潭端堤防路進入)	N 25° 04.858' E121° 31.011'	20
3	基隆河大佳段河濱公園 (近圓山中山橋, 忠列祠對面)	N25° 04.568' E121° 31.867'	20
4	基隆河大佳段迎風河濱公園 (近飛航服務總台)	N25° 04.496' E121° 33.134'	20
5	基隆河大佳段迎風河濱公園 (近內湖端)	N25° 04.427' E121° 34.226'	20
6	台北市內湖高中學生活動中心 屋頂(台北市內湖區文德路)	N25° 04.697' E121° 35.224'	20
7	三重市同安抽水站屋頂 (三重市環河南路, 淡水河三重岸台北橋與忠孝橋間)	N25° 04.755' E121° 30.079'	20
8	台北市民權國中科技樓屋頂 (台北市重慶北路與民權西路口)	N25° 03.825' E121° 30.887'	20
9	台北市亞都麗緻大飯店屋頂 (台北市民權東路二段 41 號)	N25° 03.770' E121° 31.807'	37
10	民航局大樓屋頂	N25° 03.724' E121° 33.139'	20
11	基隆河民權橋下彩虹河濱公園	N25° 03.717' E121° 34.266'	20
12	基隆河基河 17 號河濱公園(基隆河 13 號水門, 台北市南港新明路 219 巷底)	N25° 03.409' E121° 35.332'	30

公尺以下，所以這套系統可提供 300 公尺以下的風切偵測能力。松山機場 LLWAS 系統遠端測風台場址資料如表一。

松山機場 LLWAS 系統在機場管制塔台設置有文數字警告顯示器(Alpha-numeric Alarm Display ; AAD) ，如圖 1 右上角，可顯示到場跑道頭及離場跑道末端之二分鐘平均風向風速。系統也可顯示中央風場(Center-field)之二分鐘平均風向風速，並可顯示陣風。LLWAS 系統在松山機場跑道與 10 跑道和 28 跑道向向外各延伸 3 哩之帶狀區域內，偵測到低空風切或微爆氣流時，AAD 顯示器會自動鳴叫 (alarm) ，航管人員立即根據 AAD 顯示器上的文數字警告警告資料向飛行員提出警訊。系統在松山航空氣象台設置有圖形警告顯示器(Graphical Alarm

Display ; GAD) ，如圖 1 下方，當 GAD 顯示器發出警告鳴叫時，航空氣象台值班觀測人員需將該低空風切警告資訊，附註在航空天氣觀測報告(METAR/SPECI)之補充資料欄內。

松山機場 LLWAS 系統沿著機場跑道向外延伸 3 海裡和跑道中段共設有 13 個遠端測風台，系統會將每一測風台所觀測的風場資料換算為跑道方向(100°~280°)之分量，計算跑道兩端進場或離場航道方向之頂風(增速)或順風(減速)強度，來偵測位在跑道或跑道兩端離到場 1~3 海裡的低空風切或微爆氣流情形。松山機場低空風切之強度從跑道及跑道兩端各向外延伸 3 海裡等區域方向之頂風(正值)或順風(負值)強度來決定，根據 FAA 風切強度為標準，當頂風(增速)或順風(減速)數值介於 15 ~19kts 時，表示有

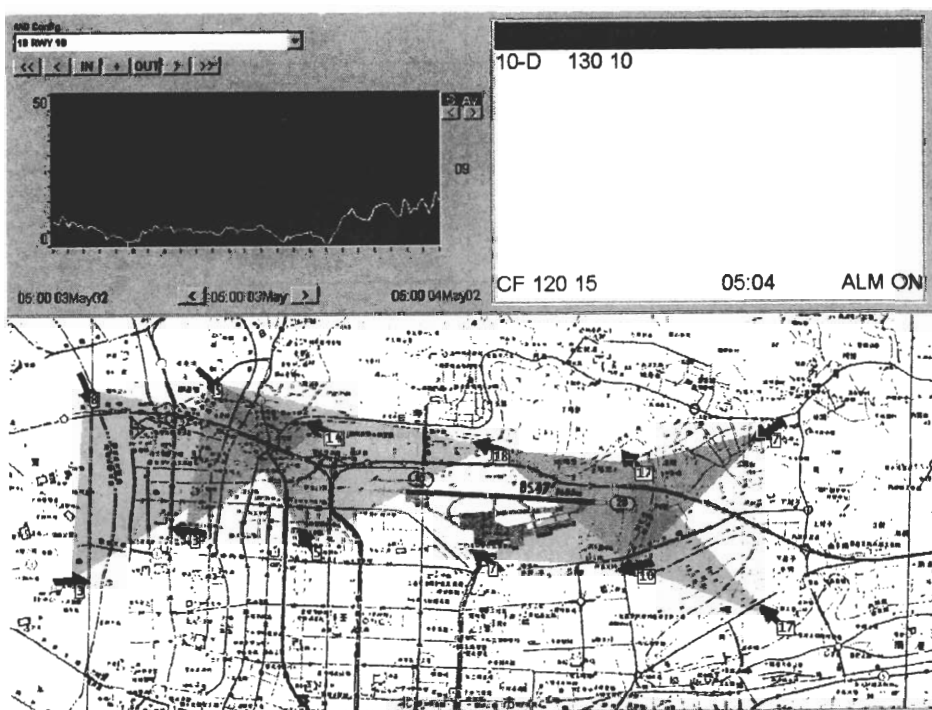


圖 1 松山機場圖形警告顯示(GAD)和文數字警告顯示(AAD)(右上角)圖，圖中箭頭代表遠端測風台之風向，箭頭旁方塊數字代風速(kt)，三角形陰影表示低空風切警示區。

輕度低空風切；介於 20~29kts 者稱之為中度風切；大於 29kts 者稱之為強烈風切，其中順風(減速) 大於 29kts 者稱為微爆氣流。

機場風場觀測係以十分鐘平均數，提供給機場以外的國內外單位使用，另外以風場兩分鐘平均數僅提供給航管塔台和飛機起降使用。松山機場 LLWAS 系統 13 個遠端測風台係以 13 個遠端測風台風場 10 秒鐘平均數用來計算機場是否有低空風切的發生，即低空風切發出警告一次代表十秒鐘，警告時間是次數 \times 10 秒，可以時間長短來呈現，比較有具體的概念。松山機場 LLWAS 系統係以每 10 秒的週期，即時(real time)更新風場資料，遇有低空風切發生時，系統會發出警告一次，所以本文低空風切次數乘以 10 秒就是低空風切發生之時間長度。

三、松山機場地理位置與氣候概況

(一) 地理位置

台北盆地位於台灣北部，盆地四周為山丘環繞，基隆河從盆地東邊缺口流入，繞經松山機場北邊，再轉向西北。大漢溪經桃園盆地，向東北流入台北盆地，與新店溪會合之後，轉向西北，進而與基隆河會合而成淡水河，最後注入台灣海峽。

松山機場位於台北盆地之東北隅，其東、北方比較靠近山脈，機場北方為大屯山系，計有七星山(1120 公尺)、大屯山(1090 公尺)、大尖山(837 公尺)及五指山(689 公尺)等。機場西方十一公里處有林口台地(250 公尺)，25 公里以外即為台灣海峽。機場南方為中央山脈的北支餘脈，計有熊空山(974 公尺)、獅頭山(853 公尺)、

雞罩山(779 公尺)以及白石山(572 公尺)。機場東南方有土庫岳(389 公尺)及五分山(757 公尺)。松山機場位於北緯 25 度 04 分，東經 121 度 33 分，跑道方向幾乎接近東西走向(100°~280°)，其全長為 2660 公尺，寬 60 公尺，中心點標高 7 公尺(21 呎)。

(二) 氣候概況

松山機場每年 10 月至翌年 4 月天氣主要受大陸變性氣團左右，經常會有冷鋒通過，鋒後盛行東北季風，多屬陰天，偶有寒潮爆發及持續性大霧。每年 5 月至 9 月則受熱帶海洋氣團之影響，盛行西南季風，天氣時有午後雷陣雨，間有颱風。春、秋季則為轉換期，間有不穩定天氣發生。

松山機場全年的風場以東來風向(包括東北東、東及東南東三種風向)最多，總頻率達 65.9%，西來風向(包括西北西、西及西南西三種風向)總頻率為 13.6%，南風和北風向頻率最少，因此機場跑道走向約為東西方向，出現跑道側風之情況不多。各月平均風速多在 10kts 以下，其頻率為 61.1%，風速在 10~25kts 間之頻率為 38.5%，超過 34kts 之頻率僅 0.2%，超過 34kts 之強風大部分於颱風侵襲時出現。1992~2001 年松山機場平均風速日變化，每天下午 13~16 時平均風速大於 8.0kts；清晨 1~8 時平均風速在 5.0kts 以下。此結果與 Arya(2001)一書所提到的邊界層風速日夜變化的特性相符，近地面風速於太陽升起後，風速快速增加，中午過後風速達到最大值，日落後風速快速減弱。

蒲(2001)研究顯示，松山機場每天上午 9 時至下午 18 時溫度日變化大於日平均值(22.5℃)，中午 12 時至下午 13 時溫度達最高值(25.2

℃)。由於台北盆地白天太陽輻射受熱，造成海風分別來自基隆河口和淡水河口，增強了松山機場之風速；下午 19 時之後至翌日上午 8 時溫度低於日平均值，尤以上午 5~6 時溫度達最低值(20.6℃)，日落後風速減弱。

四、研究結果

(一) 低空風切之月變化

2001 年 9 月至 2002 年 8 月松山機場發生輕度、中度和強烈低空風切之次數計有 18115 次，總共發生時間有 181,150 秒(或有 3,019.17 分鐘；或有 50.32 小時)，其中輕度低空風切有 8284 次佔 45.7%；中度者有 9122 次佔 50.4%；強烈者有 709 次，發生強烈風切之時間有 7090 秒(或有 118.17 分鐘；或有 1.97 小時)佔 3.9%。顯示松山機場發生低空風切，輕度和中度者分別約佔四成五和五成，發生強烈者甚少，約佔零點四成，雖少但對飛機起降之危害甚大，應

給予重視。

松山機場發生低空風切，按月分析，以 2001 年 9 月為最多，佔 25.2%；2002 年 5 月和 7 月次之，前者佔 18.9%，後者佔 15.6%；2001 年 10 月和 2002 年 4 月再次之，10 月佔 10.6%，4 月佔 11.0%。2002 年 3 月有和 8 月再次次之，分別佔 6.9%和 5.2%。2001 年 11 月至 2002 年 2 月和 6 月，發生低空風切甚少，皆在 2.0%以下，且極少甚至無強烈低空風切發生，如圖 2。

就松山機場低空風切發生時的綜觀天氣屬性加以分析，2001 年 9 月受到低壓、東北季風、兩個颱風納莉(Nari)和利奇馬(Lekima)以及熱帶性低壓等影響，松山機場發生低空風切的次數最多。2002 年 5 月受東北季風和鋒面過境等影響，7 月受到兩颱風雷馬遜(Rammasun)和娜克莉(Nakri)颱風以及夏季西南季風引發機場午後雷雨等影響，造成松山機場低空風切次多之原因。2001 年 10 月受到颱風海燕(Haiyan)外圍環流、東北季風和鋒面等影響，2002 年 4 月

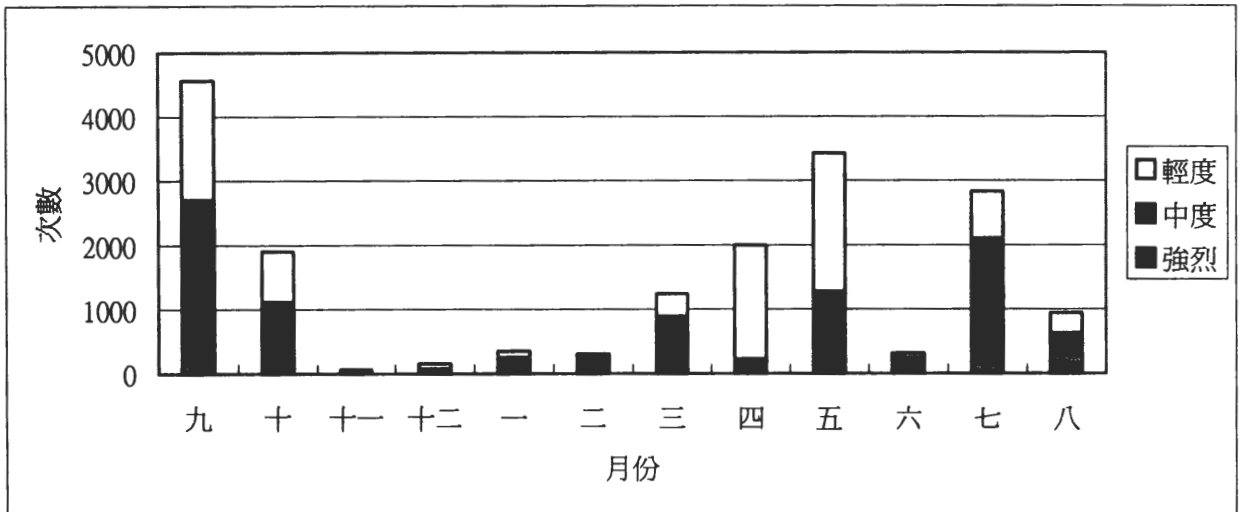


圖 2 2001 年 9 月至 2002 年 8 月松山機場低空風切強度與次數之月變化橫座標為月份，縱座標為低空風切發生次數。

受東北季風之影響，有再次次多的低空風切發生。3 月受鋒面和東北季風等影響，8 月受熱帶性低壓、颱風露莎(Rusa)以及夏季西南季風引發機場午後雷雨等影響，也有為數不少的低空風切發生。2002 年 6 月受西南季風和鋒面過境影響，但六月東北季風減弱，鋒面過境減少，西南季風剛增強，又沒有颱風侵襲，所以 2002 年 6 月低空風切發生的次數變少。2001 年 11 月至 2002 年 2 月受東北季風或鋒面過境的影響，偶有低空風切發生，但都無強烈低空風切產生。

以上分析顯示松山機場夏季 6~8 月受颱風和午後雷陣雨，初秋 9~10 月受颱風、東北季風和鋒面過境，深秋、冬季和春季 11~5 月受東北季風和鋒面過境等影響，機場都會有低空風切現象，其中以颱風和午後雷陣雨引發最多且最強烈的低空風切。

(二) 低空風切之日變化

松山機場發生低空風切，按日變化分析，以每天上午 9 時至下午 16 時發生低空風切之頻率在 6.3%以上，其中以上午 11 時至下午 15 時發生頻率大於 9.0%為最高；上午 8 時和下午 17 時發生風切頻率則次之，亦有 3.1%和 3.3%。而每天下午 18 時至翌日上午 7 時發生低空風切之頻率小於 2.1%，如圖 3。概 1992~2001 年松山機場平均風速日變化，每天中午 12 時至下午 17 時平均風速大於 7.5kts，風速達最高值；清晨 1~7 時平均風速在 4.5kts 以下。松山機場每天上午 9 時至下午 18 時溫度日變化大於日平均值(22.5℃)，上午 11 時至下午 15 時溫度達最高值；下午 19 時之後至翌日上午 8 時溫度低於日平均值，尤以上午 5~6 時溫度達最低值(蒲，2001)。顯示台北盆地白天太陽輻射受熱，大氣下層變

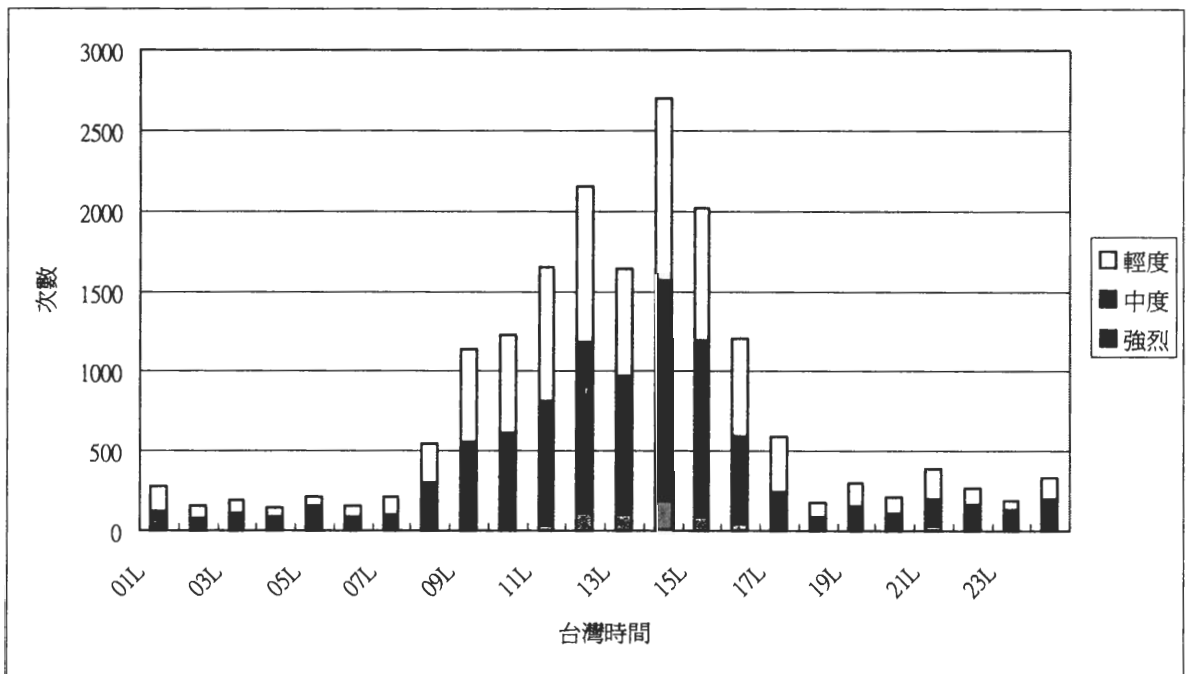


圖 3 2001 年 9 月至 2002 年 8 月松山機場低空風切強度與次數之日變化橫座標為台灣地方時，縱座標為低空風切發生次數。

成不穩定層，產生熱對流而形成亂流；再加上盆地局部高溫，空氣輻合上升，海風分別來自基隆河口和淡水河口，增強了松山機場之風速，且常造成跑道兩頭風向的不一致性，所以白天較晚間之低空風切為多之原因。可見松山機場低空風切的產生相對於溫度和風場的日變化有關，溫度高且風速大，容易產生低空風切。

(三) 低空風切之天氣類型

本文就中度以上低空風切發生時，所出現的綜觀天氣類型加以分類，計分為颱風環流、東北季風、鋒面過境和西南季風等四種類型。

2001年9月至2002年8月松山機場發生中度以上低空風切之天氣類型，可分為颱風環流、東北季風、鋒面過境和西南季風等四種類型，各佔17.8%、46.0%、12.1%和24.2%，如圖4。強烈低空風切計有颱風環流型於2001年9月16、17日(納莉颱風)、26日(利奇馬颱風)、10月16日(海燕颱風)、2002年7月4日(雷馬遜颱風)和8月1~3日(熱帶性低壓)；東北季風

型於2001年10月11日、2002年3月8、10日、4月9日、5月5、12日；鋒面過境型於2002年3月22日、5月8日；西南季風型於2002年6月2日和11日、7月6、16、17、19、28、29、31日和8月12、13、18日等日期發生。其中西南季風型、颱風環流型、東北季風型和鋒面過境型等發生強烈低空風切則分別佔53%、34%、7%和7%。顯示松山機場發生中度以上低空風切之天氣類型，以東北季風型之天數為最多，西南季風型次之，颱風環流型再次之，鋒面過境型較少。但發生強烈低空風切之天氣類型卻以西南季風型之次數為最多、颱風環流型次之、東北季風型和鋒面過境型再次。

1. 颱風環流型個案

選擇2001年9月16日納莉(Nari)中度颱風侵襲松山機場而發生強烈低空風切之個案加以分析。9月16日0000 UTC地面天氣圖(圖5)顯示，納莉颱風中心(975 hPa)位於台北之北北東方海面(25.3°N; 123.3°E)緩慢向西南方(230°/03kts)移動，暴風圈接近台灣東北角陸地，颱風

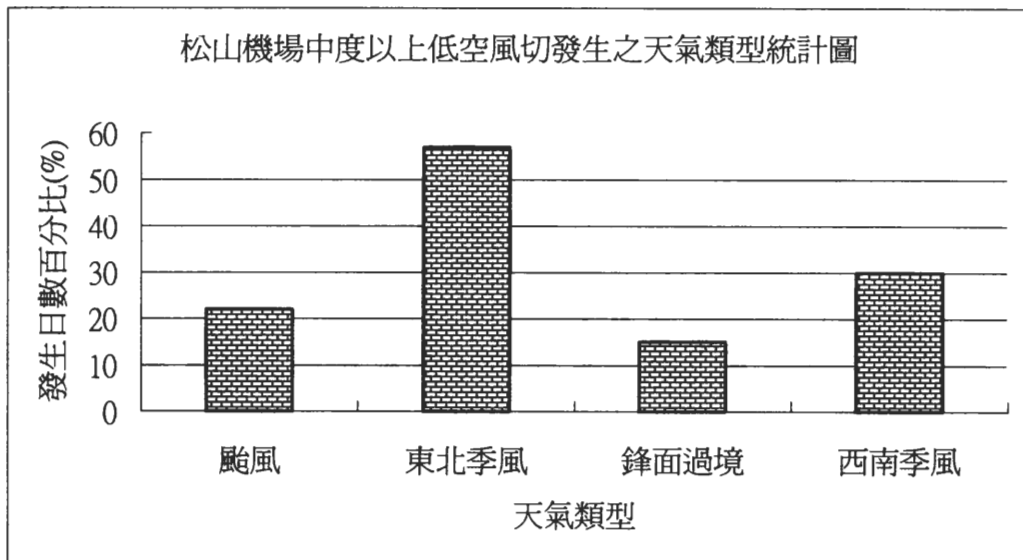


圖4 2001年9月至2002年8月松山機場發生中度以上低空風切之天氣類型，縱座標為發生日數之百分比。

AOAWS 15 km MM5

Fcst: 0 h

Sea-level pressure

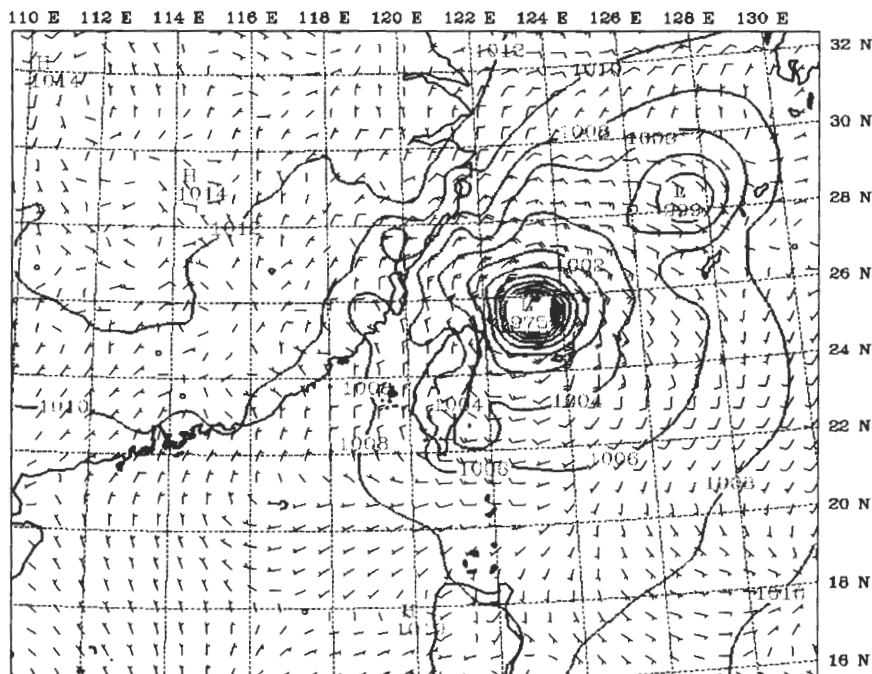
Horizontal wind vectors

Valid: 00 UTC Sun 16 Sep 01

Init: 00 UTC Sun 16 Sep 01

(08 LST Sun 16 Sep 01)

at sigma = 0.998



Model info: V3.4.0 Kain-Frac MRF PBL Reisner 1 15 km, 31 levels, 39 sec

圖 5 2001 年 9 月 16 日 0000 UTC 地面天氣圖，納莉颱風中心(975 hPa)位於台北之北北東方海面(25.3° N ; 123.3° E)緩慢向西南方(230° / 03kts)移動。圖中實線為等壓線(hPa)。

中心最大風速為 65kts，最大陣風為 80kts。0600 UTC 時中心最大風速略增為 70kts，最大陣風為 80kts，移向轉為偏西方。1200 UTC 時，中心最大風速增為 80kts，最大陣風增強為 100kts，移動方向仍為偏西方。1800 UTC 時其中心風速減弱為 60kts，最大陣風減為 75kts。

由於松山機場西北方有淡水河口，東北方有基隆河口，當納莉颱風接近松山機場，16 日 0400 ~0500UTC 松山機場平均風速為 290° ~ 300° / 15 ~ 16 kts，陣風 26~33kts。松山機場 LLWAS 系統於 0000~0500UTC 在 28 號跑道及近場 1~2 海裡斷斷續續發出中度風切警告達 41

分鐘之久。16 日 1000 UTC~17 日 0200UTC 松山機場平均風速為 320°~360°~070°/10~21 kts，陣風 18~43kts。機場吹西北風轉北風至東北東風，平均風速和陣風時強時弱，但陣風曾高達 43kts，這段時間，松山機場發布 W06 颱風警報階段，預報颱風在六小時之內，34kts 暴風圈將侵襲松山機場。機場 LLWAS 系統在當天共發出輕度、中度及嚴重風切分別有 439 次、704 次及 112 次。這段時間飛機在 28 號跑道及近場 1~3 海裡都有風切報告，系統也於 16 日 1148-1151UTC 在 28 號跑道及近場 1~2 海裡發出微爆氣流警告達 3 分鐘之久。

顯示颱風暴風圈接近松山機場時，機場吹西北風轉北風至東北東風，風場變化大，陣風強烈，為造成松山機場中度至強烈低空風切發生之主因。

2. 東北季風型個案

選擇 2002 年 4 月 9 日 0000~1300UTC 東北季風引發松山機場強烈低空風切之個案加以分析。9 日 0600UTC 地面天氣圖(圖 6)顯示，鋒面遠離台灣，台灣東部和中部以北盛行東北季風，9 日松山機場整天吹東風或東北東風，最大平均風達 15 kts，最大陣風高達 21 kts，10 號跑道都有風切現象。0000UTC 機場吹 080°/13kts 陣風 20 kts。機場 LLWAS 系統在當天共發出輕

度、中度及嚴重風切分別有 275 次、55 次及 1 次。0424UTC 飛機在 10 號跑道近場 2 哩有輕度低空風切報告，強度為順風(減速)15kts。

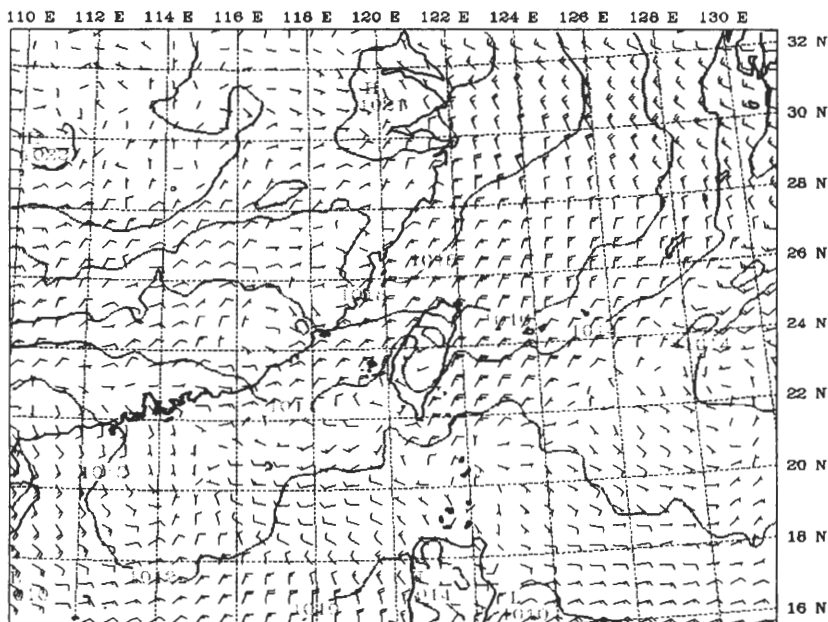
由東北季風型個案分析顯示，強烈東北季風是松山機場及其附近有低空風切現象。

3. 鋒面過境型個案

選擇 2002 年 3 月 22 日 0930~1000UTC 鋒面過境引發松山機場強烈低空風切之個案加以分析。22 日 0600UTC 地面天氣圖(圖 7)顯示，鋒面位在彭佳嶼和松山機場之間，22 日上午松山機場位在鋒面前吹西南西風至西北風，最大平均風達 12 kts，最大陣風高達 18 kts，10 號和 28 號跑道都有風切現象。鋒面於 0930~1000UTC

AOAWS 15 km MM5
Fcast: 0 h
Sea level pressure
Horizontal wind vectors

Init: 06 UTC Tue 09 Apr 02
Valid: 06 UTC Tue 09 Apr 02 (14 LST Tue 09 Apr 02)
at sigma = 0.998

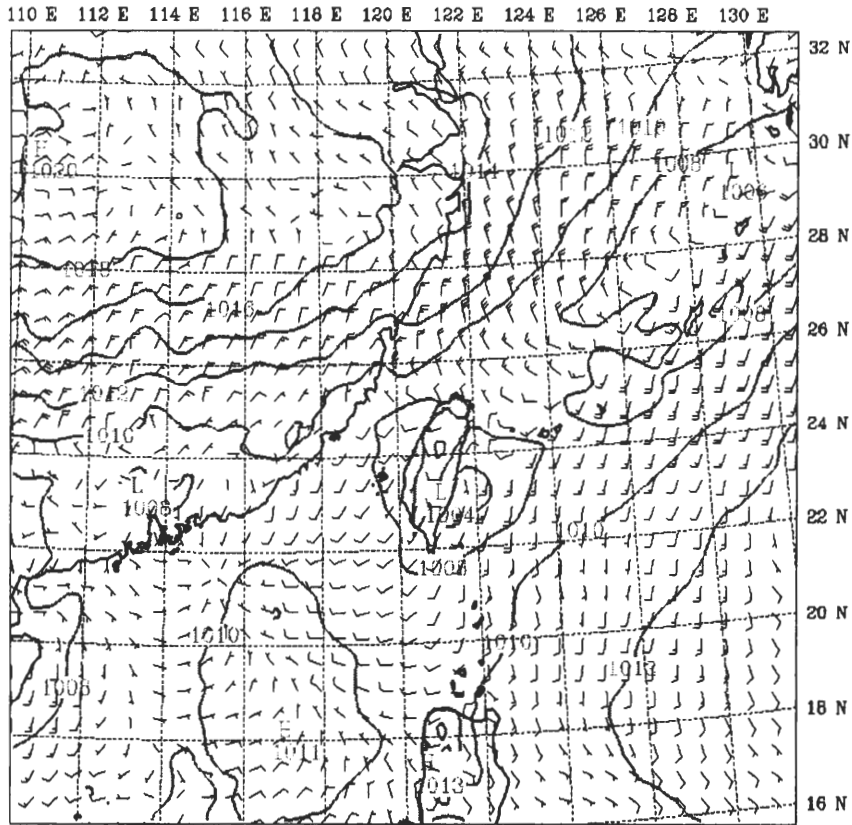


Model info: V3.4.0 Kain-Fritsch MRF PBL Reisner I 15 km, 31 levels, 30 sec

圖 6 2002 年 4 月 9 日 0600UTC 地面天氣圖，鋒面遠離台灣，台灣東部和中部以北盛行東北季風。圖中實線為等壓線(hPa)。

AOAWS 15 km MM5
Fcst: 0 h
Sea level pressure
Horizontal wind vectors

Init: 06 UTC Fri 22 Mar 02
Valid: 06 UTC Fri 22 Mar 02 (14 LST Fri 22 Mar 02)
at sigma = 0.998



Model info: V3.4.0 Kain-Frsh MRF PBL Reisner 1 15 km, 31 levels, 39 sec

圖 7 2002 年 3 月 22 日 0600UTC 地面天氣圖，鋒面位在彭佳嶼和松山機場之間。圖中實線為等壓線(hPa)。

到達機場，0930UTC 機場吹 250°/3kts 陣風 7kts，有雨，1000UTC 鋒面通過機場，吹 090°/8kts 陣風 12kts，有雨。鋒面通過後持續 4 小時在 10 號跑道有風切現象。機場 LLWAS 系統在當天共發出輕度、

中度及嚴重風切分別有 91 次、687 次及 39 次。飛機於 0300 ~ 0700 UTC 在 28 號跑道離場 1 海哩以及跑道等地區都有中度低空風切報告，強

度達頂風(增速)20~25 kts，系統偵測到近場 1 海哩附近有微爆氣流發生，強度達順風(減速)35kts。

經鋒面過境型個案之分析顯示，鋒面通過松山機場，鋒前有甚強的西南西陣風至西北陣風，鋒後也甚強的東風和陣風，鋒面通過前後強陣風常造成松山機場及其附近有低空風切現象。

4. 西南季風型個案

選擇 2002 年 6 月 11 日 0500~0600UTC 西南季風引發松山機場強烈低空風切之個案加以分析。11 日 0600UTC 地面天氣圖(圖 8)顯示，滯留鋒位在長江流域以南，太平洋高壓脊向西南伸展至菲律賓東方海面，台灣位在滯留鋒和太平洋高壓脊之間，西南季風盛行，松山機場上午吹西南風至西北風，最大平均風風速達 11 kts，最大陣風高達 18 kts。0530~0630UTC 在機場附近有雷雨，機場有積雲和積雨雲，雷雨由機場東邊/東南邊/南邊向東北方向移動，機場西

邊 10 號跑道出現 240~270° / 12-14 kts，機場東邊 28 號跑道有低空風切發生。LLWAS 系統在當天共發出輕度、中度及嚴重風切分別有 8 次、80 次及 3 次。飛機於 0537 ~ 0605 UTC 在機場東邊 28 號跑道離場 1 海浬和近場 2~3 海浬都有中度低空風切報告，強度達頂風(增速)20~25 kts。

透過西南季風型個案之分析顯示，台灣在夏季西南季風盛行，高溫潮濕的氣流，常造成台北盆地有午後雷陣雨的發生，雷陣雨促使松山機場及其附近有低空風切現象。

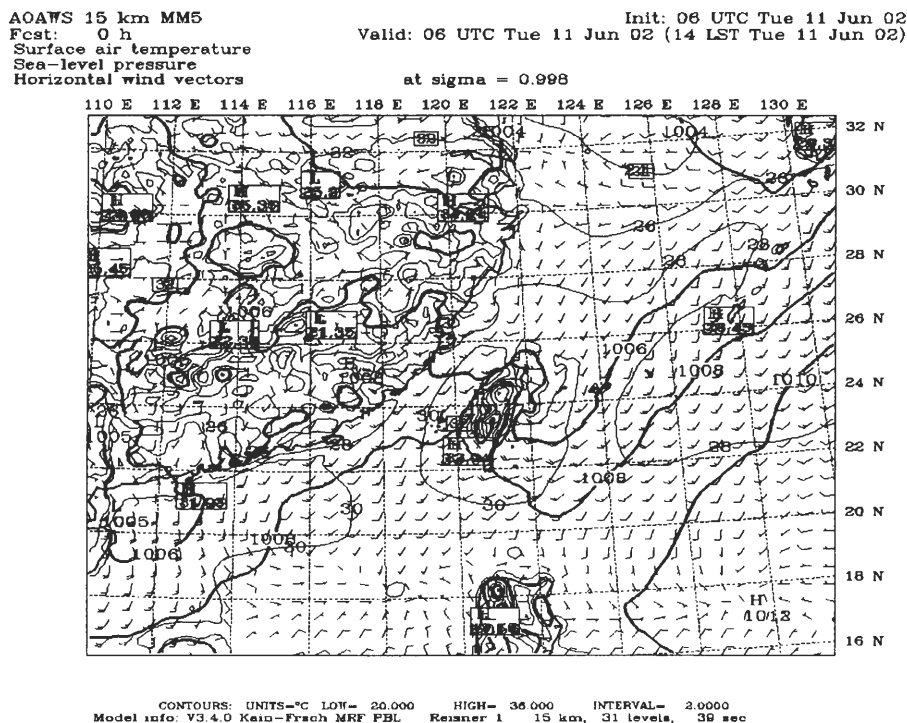


圖 8 2002 年 6 月 11 日 0600UTC 地面天氣圖，台灣位在滯留鋒和太平洋高壓脊之間，西南季風盛行。圖中粗實線為等壓線(hPa)，細實線為等溫線(°C)。

五、討 論

本文經初步研究，結果顯示松山機場發

生低空風切，輕度和中度各約佔半數，強烈者甚少。強烈風切大部分在雷雨中或颱風侵襲下

所造成，雖然發生強烈低空風切甚少，但對飛機起降之危害甚大，應給予重視。

江等(1998)研究顯示松山機場 5~9 月份有較高比例的輻合型風切，因為 5-9 月份正是在一年中午後對流最旺盛的期間，因此輻合型風切似乎與午後對流及太陽加熱的關連更加密切。本文研究結果認為夏季 6~8 月受颱風和午後雷陣雨，初秋 9~10 月受颱風、東北季風和鋒面過境，深秋、冬季和春季 11~5 月受東北季風和鋒面過境等影響，機場都會有低空風切現象，其中以颱風和午後雷陣雨引發最多且最強烈的低空風切。

江等(1998)研究認為松山機場以跑道兩端測風儀之風速向量差達 15kts 為風切定義標準，以及以沿跑道方向的風速為定義輻散型或輻合型風切標準，風切發生在午後(1200L~1800L)佔 53.7%。本文研究顯示松山機場每天上午 9 時至下午 16 時發生低空風切之頻率大於平均值，其中以上午 11 時至下午 15 時發生風切頻率為最高(合計頻率 56.4%)，在午後(1200L ~1800L)松山機場風切發生有更高的頻率(58.0%)，上午 8 時和下午 17 時發生風切頻率則次之。而每天下午 18 時至翌日上午 7 時發生低空風切之頻率最小。

過去我們台灣國內並無機場 LLWAS 系統，相關研究甚少，本文研究結果可供國內學術界參考，為未來關於此領域之研究奠定基礎。近幾年來，飛安的問題已引起全民的重視，LLWAS 是機場重要的基礎建設之一，對航空氣象相當重要，經本文分析研究，可使 LLWAS 發揮更大的附加效用，期能進一步提升飛安，並加強國家的競爭力。本研究透過對松山機場低空風切發生時間之特性與天氣類型的了解，可

使機場觀測及預報人員對低空風切有更進一步的了解，對低空風切的診斷、預報將有所幫助。

微爆氣流與低空風切對飛航安全的危害甚大，對於其產生原因及各種動力相關過程的瞭解，進而找出有效預報方法，就是相當迫切且必要的工作。然而，由於微爆氣流發生的時間及空間尺度一般來說都相當的小，時間尺度上通常一個個案從發生到結束只有數分鐘到數十分鐘，而空間尺度也只有數公里而已(Mahoney, 1994)，因此，在現階段使用數值模式來預報的困難度較大。目前較可行的方式是加強觀測系統，從觀測資料的分析中，研判機場附近是否會有微爆氣流或低空風切的發生，以便及早提出警告，供相關人員採取因應措施。

未來將進一步從強烈風切或微爆氣流的個案中，選取幾個案比較具有代表性的，來進行個案的中尺度大氣條件的探討，把個案時間發生前、發生時和發生後探討其探空特性、穩定特性、都卜勒雷達風場特性，機場低空風切時風場變化與都卜勒雷達風場加以比對，並進行數值模擬的工作，以便對低空風切或微爆氣流的細部結構以及發展過程的細部時間變化有所瞭解，進而可以對形成低空風切或微爆氣流的機制、下降運動加強的原因等動力過程上的探討有所瞭解與掌握。最後，以期能找出一些對預報人員有實質幫助的預報技術，例如，低空風切或微爆氣流發生時偏好的環境參數、指數預報法等，這部分的工作挑戰性與困難度都相當的高，因為低空風切或微爆氣流的時間及空間尺度都相當小，預報相當困難。

六、結 論

本文主要是將松山機場 LLWAS 系統所觀

測的資料，針對其發生之月變化、日變化以及天氣類型和個案等加以分析和探討，初步研究結果如下：

- (一) 松山機場發生低空風切，輕度和中度各約佔半數，強烈者甚少。雖然發生強烈低空風切甚少，但對飛機起降之危害甚大，應給予重視。
- (二) 松山機場夏季 6~8 月受颱風和午後雷陣雨，初秋 9~10 月受颱風、東北季風和鋒面過境，深秋、冬季和春季 11~5 月受東北季風和鋒面過境等影響，機場都會有低空風切現象，其中以颱風和午後雷陣雨引發最多且最強烈的低空風切。
- (三) 松山機場每天上午 9 時至下午 16 時發生低空風切之頻率大於平均值，其中以上午 11 時至下午 15 時發生風切頻率為最高，上午 8 時和下午 17 時發生風切頻率則次之。而每天下午 18 時至翌日上午 7 時發生低空風切之頻率最小。
- (四) 松山機場發生低空風切之天氣類型，以東北季風型之天數為最多，西南季風型次之，颱風環流型再次之，鋒面過境型較少。其中發生強烈低空風切之天氣類型卻以西南季風型之次數為最多、颱風環流型次之、東北季風型和鋒面過境型再次。松山機場雷雨陣風、颱風強陣風、鋒面過境風場改變大以及強烈東北季風都是引發低空風切之主因。

致 謝

本文在國科會專題研究計畫(NSC90-2111-M-117-001)支援下完成，特此申謝。作者並感謝交通部民用航空局飛航服務總台提供松山機場 LLWAS 系統觀測資料，飛航服務總台北航空氣象中心預報員陳海根、張翠分、林慧娟、黃光遠及林金輝等同仁、台北航空氣象台台長童茂祥先生協助處理資料以及審查者提供寶貴意見。

參考文獻

- 江天錚、汪庭安、蒲金標和楊正治，1998：松山機場低空風切類型及產生機制之研究。交通部民用航空局專題研究報告，93pp。
- 郭忠暉(1980)：台北松山機場低空風切之初步研究，大氣亂流與飛航安全研討會論文彙編，民用航空局，177-212。
- 蒲金標，2001：台灣北部和南部氣壓日變化之分析研究。大氣科學，29,191-202。
- Arya, S. P. , 2001 : Introduction to Micrometeorology , Second Edition , Academic Press , 420pp.
- Fujita, T. T., 1985: The downburst, microburst and macroburst. SMRP Research Paper 210, University of Chicago, 122 pp.
- Mahoney, W. P. III, 1994: The 1993 demonstration and evaluation of an integrated windshear and gust front detection system (TDWR) with an operational Low-Level Windshear Alert System (LLWAS) at Stapleton International Airport, FAA summary project report, 15, Jan, 1994, 92pp.

- Proctor, F. H., 1988: Numerical simulation of an isolated microburst. Part I: Dynamics and structure. *J. Atmos. Sci.*, **45**, 3137-3160.
- Proctor, F. H., 1988: Numerical simulation of an isolated microburst. Part II: Sensitivity experiments. *J. Atmos. Sci.*, **46**, 2143-2165.
- Roberts, R. D., and J. W. Wilson, 1986: Nowcasting microburst events using single Doppler radar data. Preprints, 23rd Radar Meteor. Conf, Snowmass, Amer. Meteor. Soc., R14-R17.
- UCAR, 1992: Appendix A&B, Network Expansion LLWAS (Phase III), Algorithm Specification, University Corporation for Atmospheric Research, 51pp.
- Wilson, J. W., R. D. Roberts, C. Kessinger, and J. McCarthy, 1984: Microburst wind structure and evaluation of Doppler radar for airport wind shear detection. *J. appl. Meteor.*, **23**, 898-915.

The Low-level Wind Shear System and the Diagnosis of Low-level Wind Shear at Sungshan Airport in Taiwan

Chin-Piao Pu

**Air Navigation and Weather Services, Civil Aeronautics Administration,
Ministry of Transportation and Communication**

(Manuscript received 11 November 2002 ; in final form 25 February 2003)

ABSTRACT

CAA's Low-Level Wind shear Alert System (LLWAS) at Sungshan Airport has been in operation since September 2001. In this study, the LLWAS data for the time period September 2001 - August 2002 are used for analyzing and discussing the occurrences of low-level wind shear. The statistics shows that the

most of the observed low-level wind shear warnings at Sungshan Airport are categorized either light or moderate with just about the same percentage of occurrence. Severe wind shear warnings were relatively rare but could not be overlooked since they could be a major safety concern for aircraft taking off or making a landing.

Analysis of weather systems associated with the occurrence of low-level wind shear indicated that typhoons and afternoon thunderstorms occurred in the summer (June-August); typhoons, northeast monsoons, and frontal passages occurred in the early fall (September-October); and northeast monsoon and frontal passage occurred in both winter and spring (November-May) are the major weather types. Typhoons and afternoon thunderstorms weather systems caused the largest number and also the severest low-level wind shear.

The hourly statistics of low-level wind shear at Sungshan Airport indicates that the hourly occurrences between 9AM and 4PM are above average. The highest occurrences are between 11AM and 3PM, followed by occurrences at 8AM and 5PM. Between 6PM to 7AM the next day, the frequency of low-level wind shear occurrence are the lowest.

The weather types associated with moderate and severe low-level wind shear warnings at Sungshan Airport are categorized as northeast monsoon type (for the most cases), southwest monsoon type (for the modest cases), typhoon circulation type, and frontal passage type (for the fewest cases). However, as for severe low-level wind shear cases alone, the weather types in descending order are southwest monsoon type, typhoon circulation type, northeast monsoon type, and frontal passage type. In summary, major causes of low-level wind shear warnings at Sungshan Airport, in descending order of occurrences, are thunderstorm gusts, typhoon gust, significant wind shift during frontal passages, and strong northeast monsoons.

Keywords : Low Level Wind shear Alert System, Low Level Wind Shear, Frontal passage type, Northeast monsoon type, Typhoon circulation type, Southwest monsoon type, Microburst.