

2002 年梅雨季中正與松山機場 低空風切之個案研究

何台華¹ 涂明聖¹ 蒲金標² 魏志憲¹

¹ 國防大學中正理工學院應用物理系

² 交通部民用航空局飛航服務總台

(中華民國九十三年三月十六日收稿；中華民國九十四年六月十六日定稿)

摘 要

本文選擇 2002 年 5 月 14 至 17 日和 5 月 22 至 24 日梅雨季中正及松山機場低空風切警報系統(LLWAS)之風切輸出值、地面自動氣象觀測系統(AWOS)之觀測資料，以及中正及松山機場 LLWAS 每十秒一筆的測風台原始資料(中正機場有 15 個測風台，松山機場有 13 個測風台)，藉由速度輻散之三角形遞迴運算所產生的低空風切警報次數、時間分布及風切強度，與此二低空風切警報系統本身所產生的風切輸出值做比對校驗，以瞭解此二低空風切警報系統發出警訊的正確性。更進一步，利用自行運算所產生低空風切的結果分析梅雨季低空風切之發生時機、地形作用，及其與風向、風速和持續時間之關係。

初步研究結果發現：(1)中正機場出現風切的系統輸出值在中度(含)以上風切有高估現象，而松山機場則在強烈風切上有明顯的低估。(2)頻率最高的風切出現在鋒面前緣到達前 10 分鐘至鋒面前緣到達後 20 分鐘的 30 分鐘時距內，對起降中的航機威脅最大。(3)松山機場無論在強盛西南風盛行時期或結構完整的鋒面影響時期，其低空風切皆集中於風向 280°~290°間發生，可能跟氣流繞過林口台地、觀音山後經由淡水河口、關渡平原移入台北盆地所導致的管道效應密切相關。在風速方面，除中正機場於西南風盛行時，風速須達到 14kt 以上才有可能發生低空風切外，其餘情況在風速大於 6kt 以上，均可能產生有效風切。(4)地形效應延長松山機場的風切持續時間，而且結構完整的鋒面系統影響時，低空風切在此二機場的持續時間均延長。

關鍵詞：低空風切、梅雨鋒面、速度輻散、地形效應

順風（減速），則稱為微爆風切。若有兩個以上的風切同時出現，則此系統會以風切強度最大、離機場最近的區域提出警訊（蒲，2003）。根據以上的敘述可以知道低空風切警報系統能夠偵測出風切，並提供風切的種類、位置和強度，以文數字警告顯示（Alpha-numeric Alarm Display：AAD）及圖形警告顯示（Graphical Alarm Display：GAD）風切警報，再立即由飛航塔台管制員以無線電發送此風切警報給正要進場和起飛的飛機。

中正及松山機場低空風切警報系統符合美國聯邦航空總署（Federal Aviation Administration，FAA）要求的最新（第三代）標準偵測作業系統，於民國2001年9月1日建置完成，分別於機場跑道兩端向外延伸三海涅範圍內設置15和13個測風台，可偵測到機場跑道兩端向外延伸三海涅範圍內離、到場走廊1000呎（300公尺）高度以下之風切（UCAR，1992）。蒲（2003）第一次利用松山機場低空風切警報系統的輸出值進行有系統的研究，將2001年9月至2002年8月期間松山機場附近低空風切發生之日變化和每月低空風切發生之季節變化做統計，並依照出現低空風切的綜觀天氣類型加以分類，但低空風切的發生時機與中小尺度天氣系統的關係較為密切，有必要從事更詳細的個案分析與探討。

本文利用民國2002年5月14日至17日和5月22日至24日中正及松山機場第三代低空風切警報系統各測風台觀測之原始資料，藉由速度輻散之三角形遞迴運算法計算低空風切的警報次數、時間分布及風切強度，與系統輸出值做驗證比較，並進一步分析中正與松山機場梅雨季低空風切之發生時機、地形作用，及

其與風向、風速、持續時間之關係，以清楚明瞭低空風切發生次數、強度與不同天氣系統之間的關連性，希望建構簡明扼要的圖表提供機場氣象人員作為低空風切預測報的重要參考。

二、中正與松山機場地理位置及低空風切警報系統簡介

中正國際機場位置約在北緯25度04分35秒，東經121度13分26秒，位於桃園縣大園鄉，距台北市四十公里，其北、西方緊臨台灣海峽，機場東方靠近林口台地（標高250公尺），四週地勢較為平坦。松山機場位置約在北緯25度04分17秒，東經121度32分36秒，位於台北盆地之東北隅，基隆河繞經松山機場北邊，轉向西北，與淡水河會合後注入台灣海峽。松山機場東、北方靠近山脈，北方為大屯山系，計有七星山（標高1120公尺）、大屯山（標高1090公尺）、大尖山（標高837公尺）及五指山（標高689公尺）等，機場西方十一公里處有林口台地（標高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方餘脈，計有熊空山（標高974公尺）、獅頭山（標高853公尺）、雞罩山（標高779公尺）以及白石山（標高572公尺），機場東方有五分山（標高757公尺）及土庫岳（標高389公尺），機場四周台地與高山環繞。台灣北部中正與松山機場相對位置與地形分布，詳如圖1。

中正與松山機場低空風切警報系統是交通部民用航空局建置的航空氣象現代化作業系統的子系統，於2001年9月1日安裝完成符合美國聯邦航空總署標準的第三代機場低空風切警報系統AMS 500，由澳洲Almos Systems公司生產製造。中正國際機場跑道接近東北-西南

一、前言

影響飛安的天氣因素相當複雜，一般分為低空風切 (Low-level Windshear) (含下爆氣流)、晴空亂流、雷雨亂流、山嶽波亂流、低能見度 (如低雲與濃霧)、積冰、降水等七大項。對臺灣本島與澎湖、蘭嶼、綠島等離島的飛航而言，伴隨鋒面與臺灣低壓所產生的低空風切、雷雨亂流、山嶽波亂流和低能見度等惡劣天氣是威脅飛行最嚴重的中尺度天氣現象。例如 1983 年 9 月 28 日和 1988 年 1 月 19 日臺灣航空公司所屬的 BN-2 島嶼型飛機在蘭嶼附近遇到不良天氣 (雷雨、亂流或低能見度) 而分別失蹤與撞山；1993 年 2 月 28 日永興航空公司的 DO-228 小型飛機自台北飛往蘭嶼途中，於綠島與蘭嶼附近失事墜海，當時飛機正處於鋒面帶上的低雲、惡劣能見度和極不穩定的氣流當中 (曾，1994；簡與王，1994)。1993 年 11 月 4 日上午，中華航空公司一架編號 B-165 的 B747-400 型全新客機在香港啓德機場 (Kai-Tak Airport) 遇到颱風環流引發的強風暴雨，飛機在 13 號跑道降落時衝出滑行道而落海，並造成多人受傷，當時啓德機場確實出現風切，但無法立即發出預警。

低空風切是氣象對航機飛行安全威脅最大的因素之一，根據美國地區 1964 年至 1985 年的統計，因為風切事件而發生的民航機失事 [Accident] 有 26 件，意外 (Incident) 有 3 件，造成約 600 人死亡，200 人受傷。另外波音公司 Taylor [1993] 的統計，自 1979 年至 1989 年間美國地區風切因素造成的飛安事故有 13 起，死亡人數達 455 人，其中以下列四案例最令人印象深刻：1975 年東方航空 66 班機於紐約市甘迺迪國際機場降落失敗，造成 112 人死亡和 12 人受

傷；1982 年汎美航空 759 班機在路易斯安那州紐奧爾良市起飛不成功而失事，班機上 152 人死亡；1985 年達爾它航空 191 班機在德克薩斯州達拉斯市降落不成功，134 人不幸遇難。1999 年美國航空 1420 班機在阿肯色州小岩城降落失事，也跟風切脫不了關係，使得 11 人死亡，89 人受傷。

所謂風切是指風速向量或風速大小的局部變化，因此包括方向風切 (Directional Shear)、速率風切 (Speed Shear) 和二者的整合，也有垂直風切和水平風切 (Huschke, 1959; Geer, 1996)。對飛機而言威脅最大的是出現在跑道附近的低空風切，因為此時飛機在起飛和降落階段，不但飛行速度接近失速速度 (Stall Speed)，而且十分接近地面，對於風切產生的風速瞬間急遽變化，不但飛機頂風減少、造成舉升力量頓時下降，而且飛行員反應時間不足，若處理不當或反應不及，容易造成飛機重落地或衝出跑道，甚至墜地失事。

低空風切警報系統的基本概念是利用任意三點測風台資料，計算此三角形面積內速度場的輻合、輻散強度，再與其他三角形遞迴運算，以得出機場跑道內及跑道頭外 3 海里範圍的低空風切警示資料。但計算任何三角形面積內速度場的輻合、輻散強度時，三角形各內角需大於或等於 25 度，三角形各頂點間的距離需在 1 公里~5 公里間 [UCAR, 2003]。根據美國聯邦航空總署的定義，當機場起降區對飛機飛行出現每公里 15 kt 到 19 kt 的順風 (減速) 或頂風 (增速) 時，稱之為輕度低空風切；若出現每公里 20 kt 到 29 kt 的順風 (減速) 或頂風 (增速)，則為中度低空風切；每公里大於 29 kt 為強烈低空風切，其中達到每公里大於 29 kt 的

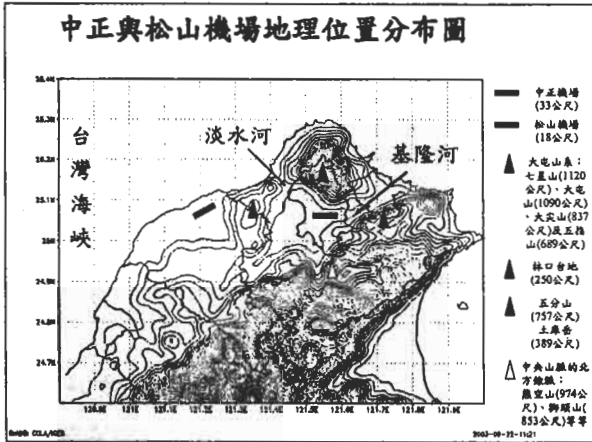


圖 1 台灣北部中正與松山機場相對地理位置與地形分佈圖。

走向 (50 度-230 度)，北跑道長 3660 公尺、寬 60 公尺，南跑道長 3350 公尺、寬 60 公尺，標高平均海拔 33 公尺。中正國際機場建置之 LLWAS 系統在沿著機場跑道及向外延伸 3 海裡設有 14 個遠端測風台，另外在跑道中央附近 (即塔台區入口北側附近) 設有中央測風台 (Central Field; CF)，此 LLWAS 系統以 15 個測風台每 10 秒鐘平均的風場來計算低空風切的強度和位置，因此每 10 秒鐘即可更新一次低空風切的資訊並即時提出警報。中正國際機場 LLWAS 測風台依地勢高低不同，離地面高度為 7-30 公尺，系統能探測到低空風切的高度約在 300 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。

松山機場跑道接近東西走向 (100 度-280 度)，長 2605 公尺、寬 60 公尺，標高平均海拔 18 公尺。LLWAS 系統沿著機場跑道並向外延伸 3 海裡設有 12 個遠端測風台，另外在松山機場 10-28 跑道中間北側設有中央測風台 (CF)。松山機場 LLWAS 測風台依地勢高低不同，離地面高度為 10-37 公尺，系統能偵測

到的低空風切高度約在 300 公尺以下，所以這套系統也可提供 300 公尺以下的風切偵測能力。

三、低空風切計算原理

低空風切的計算原理是利用機場起降跑道附近的所有測風台原始觀測資料，以任意三個測風台構成一個三角形，估算出此三角形面積內速度場的輻合、輻散強度，再與其他三角形逐一進行遞迴運算，得出起降區各三角形之低空風切警示資訊。而此任意三個測風台所構成的三角形各個夾角需大於或等於 25 度，任二頂點的距離需介於 1 公里與 5 公里之間，此三角形面積內速度場平均的輻合、輻散強度之演算法表示為 (陳, 1993)：

$$F = \frac{\oint V_n ds}{A}, \quad (3.1)$$

其中 s 是三角形之邊長， V_n 代表三角形頂點之測風台所觀測風場速度垂直於邊長的分量， A 為三角形之面積。若此三角形三個頂點分別為 B 、 C 及 D ，設此三點位置及風場的資料分別為 $B: S(B_x, B_y), V(B_u, B_v)$; $C: S(C_x, C_y), V(C_u, C_v)$ 及 $D: S(D_x, D_y), V(D_u, D_v)$ ，其中 B_x, C_x 與 D_x 代表各頂點東西向的位置， B_y, C_y 與 D_y 代表各頂點南北向的位置， B_u, C_u 與 D_u 代表各測風台所觀測到東西向風場的大小， B_v, C_v 與 D_v 代表各測風台所觀測到南北向風場的大小，三角形各頂點位置及風場符號請參考圖 2，則此三角形面積 A 及其速度場平均之輻合、輻散強度 F 表示法可改寫為：

$$A = \frac{\sqrt{A_1 - A_2}}{2} \quad (3.2)$$

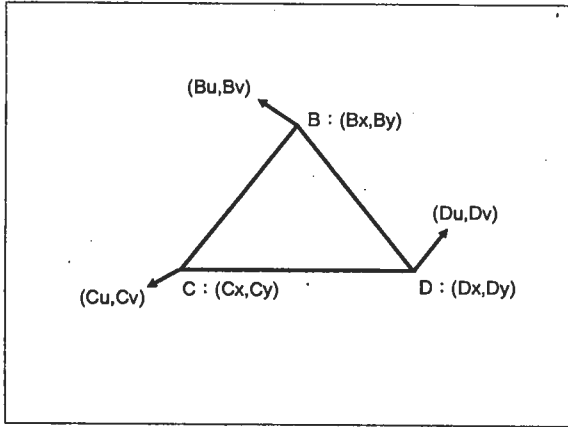


圖 2 任意三個測風台構建之三角形位置及風場示意圖，其中 B_x 、 C_x 與 D_x 代表各頂點東西向的位置， B_y 、 C_y 與 D_y 代表各頂點南北向的位置， B_u 、 C_u 與 D_u 代表各測風台所觀測到東西向風場的大小， B_v 、 C_v 與 D_v 代表各測風台所觀測到南北向風場的大小。

其中

$$A_1 = [(C_x - B_x)^2 + (C_y - B_y)^2] \times [(D_x - B_x)^2 + (D_y - B_y)^2] \quad (3.3)$$

$$A_2 = [(C_x - B_x) \times (D_x - B_x) + (C_y - B_y) \times (D_y - B_y)]^2 \quad (3.4)$$

$$F = F_1 + F_2 \quad (3.5)$$

其中 F 代表(3.1)式的輻散強度大小，

$$F_1 = \frac{(C_y - B_y) \times (D_u - B_u) - (D_y - B_y) \times (C_u - B_u)}{2A} \quad (3.6)$$

$$F_2 = \frac{(D_x - B_x) \times (C_v - B_v) - (C_x - B_x) \times (D_v - B_v)}{2A} \quad (3.7)$$

式中輻合、輻散強度 F 的單位為 kt/km (或 $1/sec$)，正值代表輻合，負值代表輻散。在實際的計算中以各測風台的經緯度當座標，速度場依各測風台的風向及風速轉化為東西向及南北向的速度，而以經緯度當座標進行運算時，需依照大地測量學的觀念 (尹，1977) 將經緯度位置座標產生的兩點間距離轉換成正確的公里數。

中正機場有 15 個測風台的風向及風速資料可進行三角形輻合輻散的遞迴運算，每十秒一筆的資料可進行 93 個三角形輻合輻散的計算；而松山機場有 13 個測風台的風向及風速資料，除中央測風台的風向及風速資料不進行三角形的運算外 (因與第 4 個測風台距離僅 0.43 公里，距離太近而不列入計算)，其餘 12 個測風台的資料皆可進行三角形輻合輻散的遞迴運算，每十秒一筆的資料可進行 36 個三角形輻合輻散的計算。上述所計算的三角形皆滿足三角形各內角需大於或等於 25 度，三角形各頂點間的距離需在 1 公里~5 公里間 [UCAR,2003]。

藉由中正與松山機場所有測風台的原始觀測資料及低空風切計算公式，針對 2002 年梅雨季個案 (2002 年 5 月 14-17 日和 5 月 22-24 日)，重新實際估算低空風切產生的警報次數、時間分布及風切強度，並與此二低空風切警報系統本身所產生的風切輸出值做比對校驗，並分析與探討梅雨季低空風切之發生時機、地形作用，及其與風向、風速和持續時間之關係。

四、低空風切個案探討

本文選擇 2002 年 5 月 14 至 17 日和 5 月 22 至 24 日兩個梅雨鋒面系統通過臺灣北部中正及松山機場地區的個案，此二個案的鋒面系統

通過臺灣北部期間均未出現雷雨現象，但個案一的鋒面前緣出現強烈西南氣流(風速 $>30\text{kt}$)，鋒後轉為強盛西北風，且鋒面結構完整；個案二則僅出現微弱西南風(風速 $>10\text{kt}$)，鋒後轉為明顯東北風，且鋒面結構完整。本章將針對在此二的鋒前不同特性的梅雨鋒面系統作用下，探討低空風切的發生頻率與可能的激發機制。

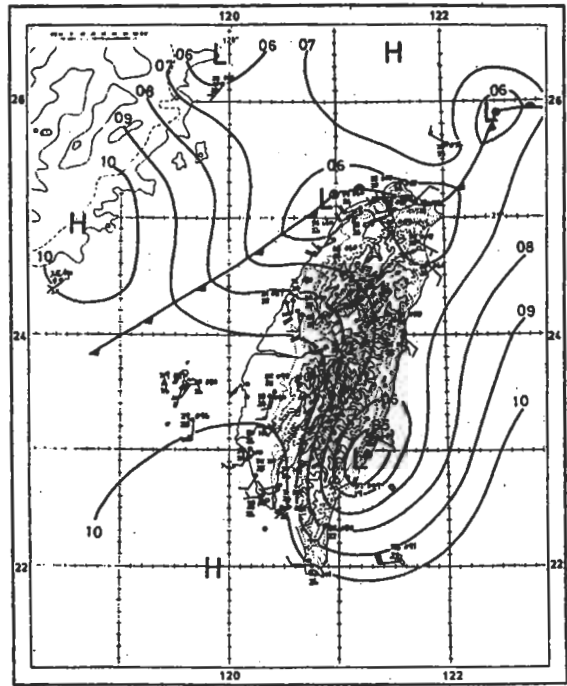
個案一：時間 2002 年 05 月 14-17 日

1. 天氣概述

根據地面主觀中尺度分析圖(圖 3)可以發現，2002 年 05 月 15 日 0300 UTC 鋒面已到達台灣北部陸地，中正和松山機場均在鋒前，吹西南風，風速甚強。三小時後，鋒面已通過中正和松山機場到達新竹地區，中正和松山機場均改吹西北風。中正機場都卜勒氣象雷達的近地層定高面觀測(2002 年 05 月 15 日 0400 UTC)顯示(未附圖)，鋒面仍在臺灣海峽，鋒上有中尺度對流系統伴隨，且吹西南風，鋒前則無明顯天氣系統伴隨；2002 年 05 月 15 日 0500 UTC 時，鋒面前緣已到達臺灣陸地，鋒上伴隨之中尺度對流系統增強，仍維持西南風，之後鋒面系統逐漸受到臺灣地形作用，鋒內風速與風向均開始起變化。

由中正機場地面自動氣象觀測系統(Automated Weather Observing System; AWOS)在 2002 年 05 月 14 日 0900 UTC 至 05 月 15 日 1100 UTC 的連續 26 小時觀測結果(圖 4a)顯示：(1)05 月 14 日 0900~2000 UTC 期間，中正機場吹微弱的西南風，風速都小於 10kt 。(2)此鋒面約在 05 月 15 日 0400 UTC 至 0500 UTC 之間通過中正機場，此期間溫度隨時間的變化最大，風向由西南風轉為西北風，風速大於 15

(a)



(b)

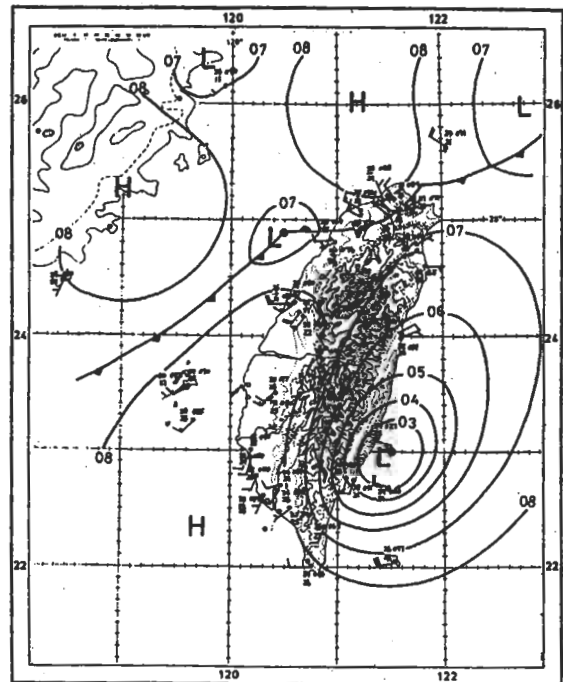


圖 3 地面主觀中尺度分析圖：(a)2002 年 05 月 15 日 0300UTC，(b)2002 年 05 月 15 日 0600UTC。

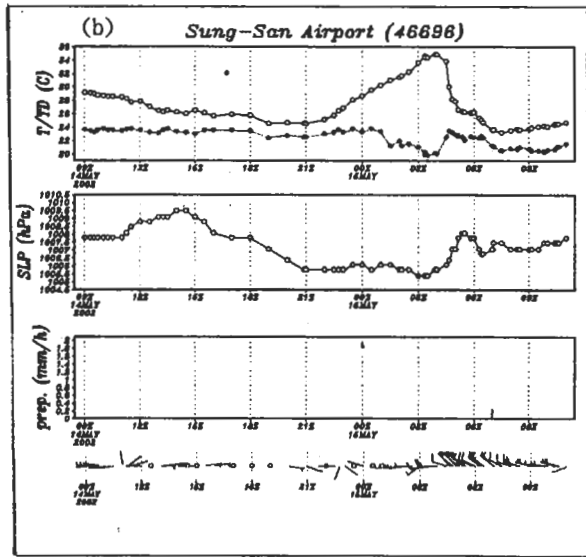
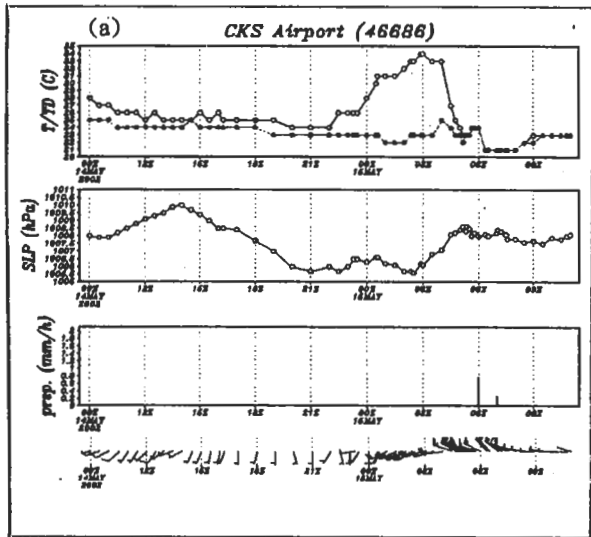


圖 4 2002 年 05 月 14 日 0900UTC 至 05 月 15 日 1100UTC (a)中正機場地面自動氣象觀測系統(AWOS)分析的溫度、露點、氣壓、雨量、風向、風速之時間變化圖；(b)松山機場地面自動氣象觀測系統分析的溫度、露點、氣壓、雨量、風向、風速之時間變化圖。

kt, 至 0500UTC 後溫度露點差近於零, 水汽達飽和, 鋒後只有零星的降水現象。

同時間松山機場地面自動氣象觀測系統的連續 26 小時觀測結果 (圖 4b) 與中正機場類

似：(1)05 月 14 日 0900 ~ 2000 UTC 期間, 松山機場由於夜間受到山風的影響而吹微弱的東風, 風速小於 5kt。(2)此鋒面約在 05 月 15 日 0400 UTC 至 0500 UTC 之間通過松山機場, 約與中正機場同時, 此期間地面壓力降至最低, 溫度隨時間的變化最大, 風向由西南風轉為西北風, 風速大於 10 kt, 至 0500 UTC 時溫度露點差最小, 鋒後也只有零星的降水現象。值得注意的是, 中正與松山機場在吹微弱西南風與鋒面影響期間, 皆無雷雨發生的現象。

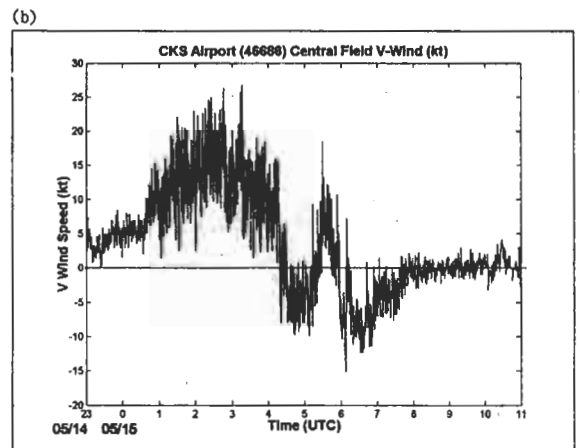
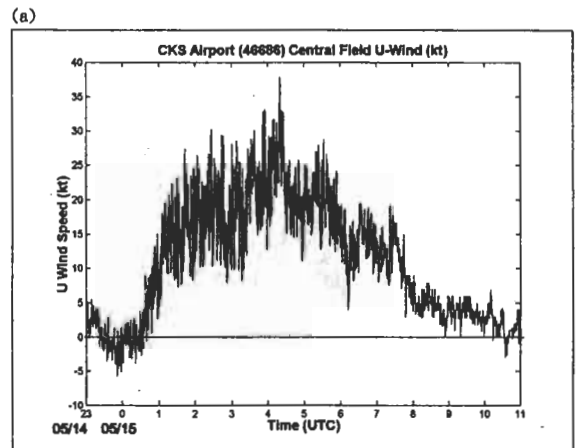


圖 5 2002 年 05 月 14 日 2300UTC 至 05 月 15 日 1100UTC 中正機場中央測風台(Central Field, 簡稱 CF)量測之(a)東西向風速對應時間的變化圖, (b)南北向風速對應時間的變化圖。

而由中正機場 05 月 14 日 2300 UTC 至 05 月 15 日 1100 UTC 中央測風台 (Central Field, 簡稱 CF) 東西向風速對應時間的變化 (圖 5a) 顯示, 東西向風速出現最大的變化約在 0420 UTC, 而此期間中央測風台 (CF) 南北向風速對應時間的變化 (圖 5b) 顯示, 南北向風速最大的變化也約在 0420 UTC, 並轉為北風, 並且此鋒面於 0400 ~ 0600 UTC 間有南北來回擺動的現象, 故可較精確的定出此鋒面約於 05 月 15 日 0420 UTC 開始影響中正機場。

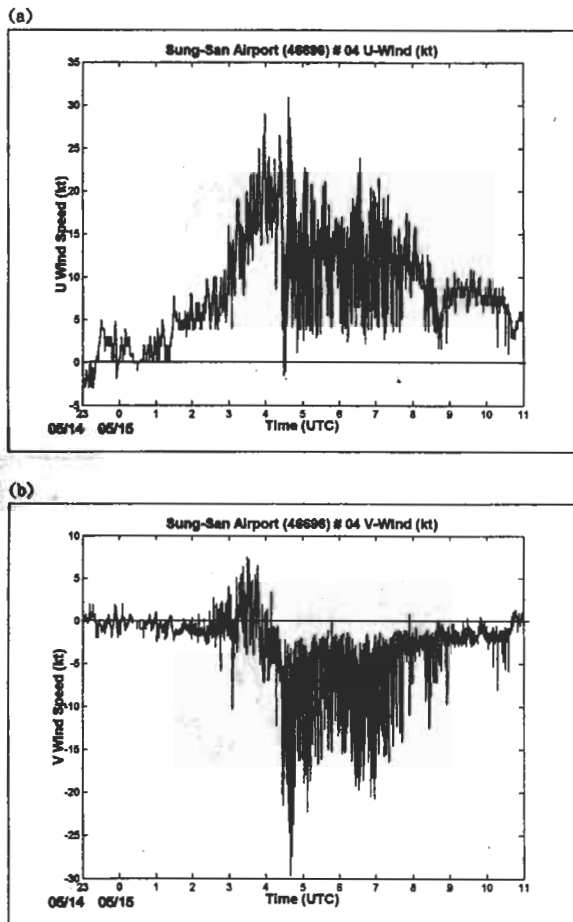


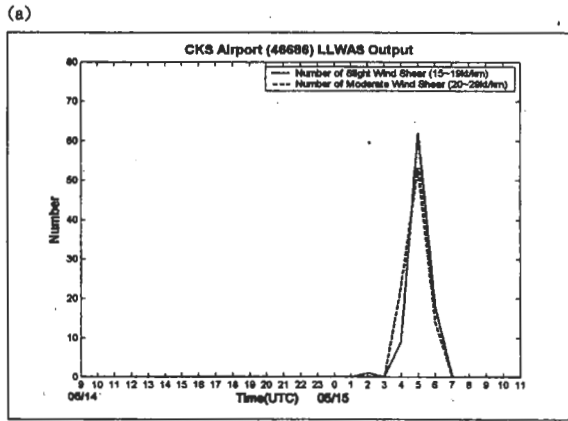
圖 6 2002 年 05 月 14 日 2300UTC 至 05 月 15 日 1100UTC 松山機場第四測風台(#04)量測之 (a)東西向風速對應時間的變化圖, (b)南北向風速對應時間的變化圖。

而松山機場 05 月 14 日 2300 UTC 至 05 月 15 日 1100 UTC 第四測風台 (#4) 東西向風速對應時間的變化 (圖 6a) 顯示, 東西向風速出現最大的變化約在 0430 UTC, 而此期間第四測風台南北向風速對應時間的變化 (圖 6b) 顯示, 南北向風速最大的變化也約在 0430 UTC, 由此可見, 松山機場雖然四周地形複雜, 仍可依據測風台資料定出此鋒面約於 05 月 15 日 0430 UTC 開始影響松山機場, 比到達中正機場時間約晚 10 分鐘。綜合研判, 此個案的鋒前西南氣流較弱, 但鋒面結構的特性明顯, 且有南北來回擺動的現象。

2. 低空風切警報次數、時間分布與風切強度的比較分析

圖 7a 描述在 2002 年 05 月 14 日 0900 UTC 至 05 月 15 日 1100 UTC 此 26 小時期間中正機場 LLWAS 系統本身產生的低空風切警報次數、時間分布與風切強度, 說明在 05 月 14 日 0900 ~ 2000 UTC 微弱西南風影響期間並無低空風切的發生, 而鋒面影響中正機場前三小時開始有低空風切出現, 但次數較少, 當鋒面影響到中正機場時, 低空風切警報次數與風切強度達到最大值, 鋒面通過一小時以後則無低空風切的現象發生, 共計這 26 小時內出現輕度低空風切 90 次, 中度低空風切 90 次。

圖 7b 是依據第三章的低空風切計算原理和中正機場 15 個測風台原始觀測資料重新計算完成的低空風切警報次數、時間分布與風切強度, 與圖 7a 比較後可以發現, 自行重新估算的低空風切發生之時間分布與系統輸出值相近, 風切發生的最高頻率都出現在 0400~0500 UTC 間, 但重新計算的結果可清楚看出在鋒面到達前 10 分鐘至鋒面到達後 10 分鐘 (0410~0430



(a)

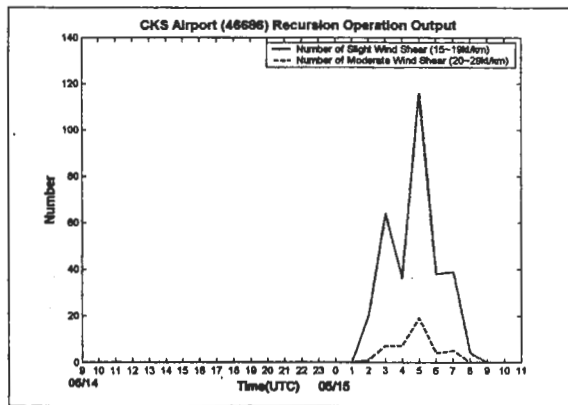
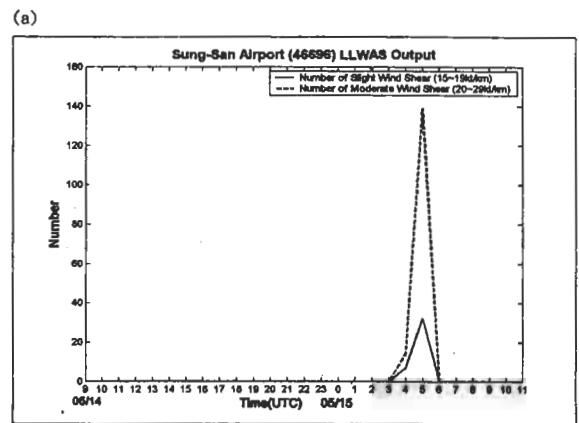


圖 7 2002 年 05 月 14 日 0900UTC 至 5 月 15 日 1100UTC 期間(a)中正機場低空風切警報系統(LLWAS)產生的低空風切警報次數、時間與風切強度分佈，共計出現輕度低空風切總數 90 次，中度低空風切總數 90 次；(b)中正機場 15 個測風台原始觀測資料依照速度輻散之三角形遞迴運算的低空風切警報次數、時間與風切強度分佈，共計出現輕度低空風切總數 317 次，中度低空風切總數 43 次。

UTC，總共 20 分鐘) 的風切次數最多，且風切分布的時間較廣，可達 7 小時左右。在警報次數與風切強度方面，除系統輸出值在中度風切有高估 47 次的現象外，重新估算的風切總值比系統的輸出值明顯增多，總計出現輕度低空風切 317 次，中度低空風切 43 次。系統的風切總次數(180 次)比重新估計值(360 次)減少甚多，

乃正常現象，因為系統只記錄風切強度最大、離機場最近的數值。

圖 8a 描述在 2002 年 05 月 14 日 0900 UTC 至 05 月 15 日 1100 UTC 期間松山機場 LLWAS 系統產生的低空風切警報次數、時間分布與風切強度，說明在 05 月 14 日 0900 ~ 2000 UTC 微弱西南風影響期間也無低空風切的發生，而鋒面影響松山機場前一小時開始有低空風切出



(a)

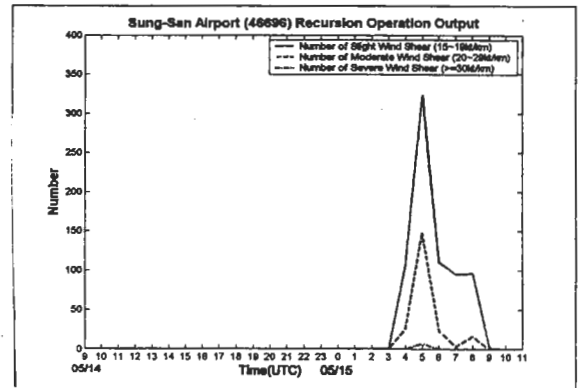


圖 8 2002 年 05 月 14 日 0900UTC 至 05 月 15 日 1100UTC 期間(a)松山機場低空風切警報系統(LLWAS)產生的低空風切警報次數、時間與風切強度分佈，共計出現輕度低空風切總數 39 次，中度低空風切總數 153 次；(b)松山機場 12 個測風台原始觀測資料依照速度輻散之三角形遞迴運算的低空風切警報次數、時間與風切強度分佈，共計出現輕度

現，但次數較少，到鋒面影響到松山機場時，低空風切警報次數與風切強度達到最大值，鋒面過後則無低空風切的現象發生，共計這 26 小時內出現輕度低空風切 39 次，中度低空風切 153 次。

圖 8b 是重新估算完成的低空風切警報次數、時間分布與風切強度，與圖 8a 比較後可以發現低空風切發生的時間分布也與系統輸出值相近，風切發生的最高頻率都出現在 0400~0500 UTC 間，但重新計算的結果可清楚看出在鋒面到達前 10 分鐘至鋒面到達後 20 分鐘（0420~0450 UTC，總共 30 分鐘）風切出現次數最多，且風切分布的時間較長，可達 6 小時左右。重新估計值在警報次數與風切強度上明顯增多、增大，總計出現輕度低空風切 733 次，中度低空風切 215 次，強烈低空風切也有 7 次，強度最大值達 33.9 kt/km，而系統輸出值則完全無強烈風切的警示，顯示在風切強度上有低估現象。

此個案顯示鋒面系統還遠在華南地區時，台灣地區吹微弱的西南氣流，中正及松山機場並無低空風切的現象發生，但當此鋒面影響中正與松山機場期間，低空風切次數與強度明顯變大，而且松山機場附近因氣流過山或繞山後風速仍強（12~19kts），且風向變異較大，容易出現較多的低空風切現象。系統的風切總次數比重新估計值減少甚多，此乃正常現象，因為若有兩個以上的風切同時出現，系統只選擇風切強度最大、離機場最近的數值作記錄並提出警告。反之若系統的風切總次數比重新估計值多，則是不正常的現象，其原因可能與估算各測風台之間距離時，將經度差及緯度差轉換成公里的方法不同有關。本文在假設民航局

提供的各測風台經緯度資料是正確的前提下，採用大地測量學的方法（尹，1977）進行風切強度與次數的計算應較精準可靠。

3. 低空風切警報次數/風切強度與測風台風向/風速的比較分析

圖 9a 描述在 2002 年 05 月 15 日 0200UTC 至 05 月 15 日 0800UTC 鋒面影響期間（鋒面到達前兩小時及到達後四小時）中正機場產生低

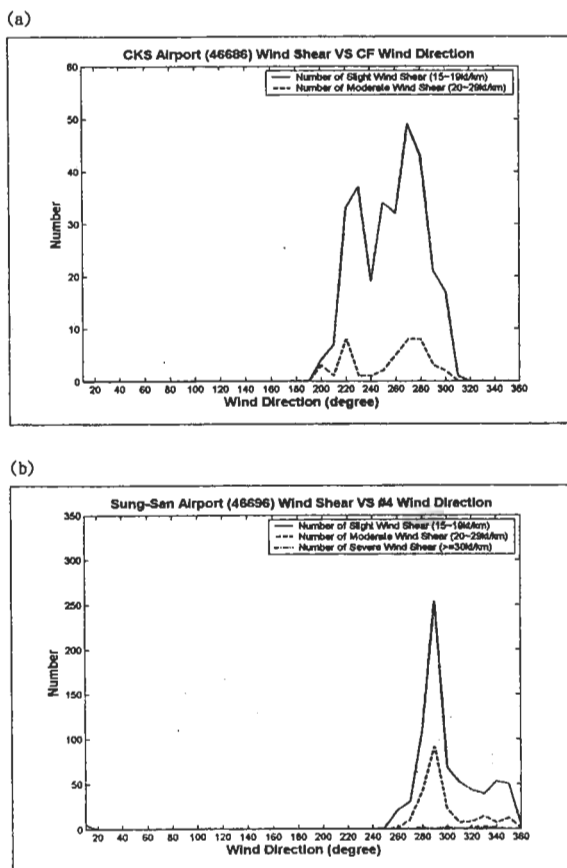


圖 9 2002 年 05 月 15 日 0200UTC 至 05 月 15 日 0800UTC (a) 中正機場產生低空風切警報次數與風切強度對應中央測風台(CF)風向之分佈圖，共計出現輕度低空風切總數 297 次，中度低空風切總數 42 次；(b) 松山機場產生低空風切警報次數與風切強度對應第四測風台(#04)風向之分佈圖，共計出現輕度低空風切總數 731 次，中度低空風切總數 215 次，強烈低空風切總數 7 次。

空風切警報次數與風切強度對應中央測風台 (CF) 風向之分布, 說明中正機場在鋒面影響期間在 $200^{\circ}\sim 310^{\circ}$ 間的方向才產生低空風切, 特別集中在 $260^{\circ}\sim 280^{\circ}$ 間。圖 9b 描述在 2002 年 05 月 15 日 0200UTC 至 05 月 15 日 0800UTC 鋒面影響期間松山機場產生低空風切警報次數與風切強度對應第四測風台 (#4) 風向之分布, 說明松山機場在鋒面影響期間在 $260^{\circ}\sim 350^{\circ}$ 間的方向才產生低空風切, 尤其集中在 $280^{\circ}\sim 290^{\circ}$ 間。

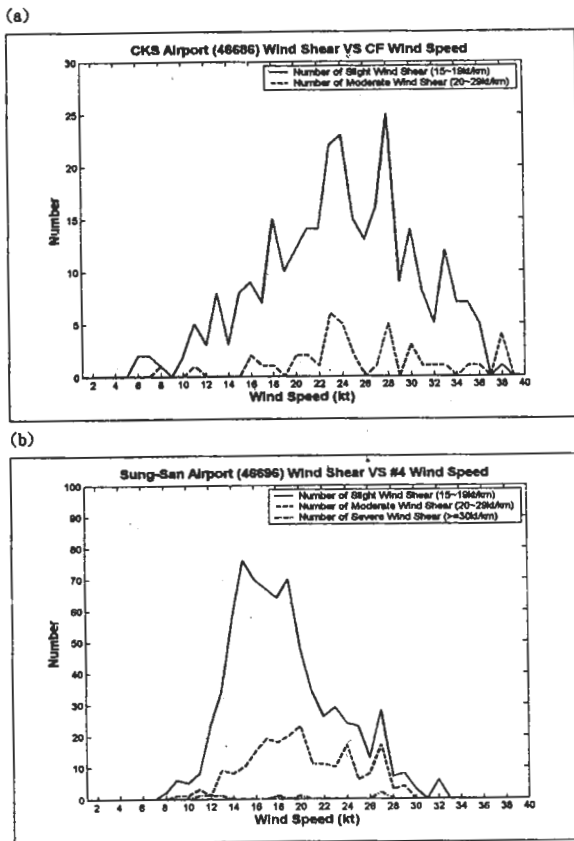


圖 10 2002 年 05 月 15 日 0200UTC 至 05 月 15 日 0800UTC (a) 中正機場產生低空風切警報次數與風切強度對應中央測風台 (CF) 風速之分布圖, 共計出現輕度低空風切總數 297 次, 中度低空風切總數 42 次; (b) 松山機場產生低空風切警報次數與風切強度對應第四測風台 (#04) 風速之分布圖, 共計出現輕度低空風切總數 731 次, 中度低空風切總數 215 次, 強烈低空風切總數 7 次。

圖 10a 描述在 2002 年 05 月 15 日 0200UTC 至 05 月 15 日 0800UTC 鋒面影響期間中正機場產生低空風切警報次數與風切強度對應中央測風台 (CF) 風速之分布與圖 10b 描述在 2002 年 05 月 15 日 0200UTC 至 05 月 15 日 0800UTC 鋒面影響期間松山機場產生低空風切警報次數與風切強度對應第四測風台 (#4) 風速之分布, 綜合來說, 風速低於 6kt 以下則可能無法產生滿足 FAA 標準的低空風切。但中正機場因四周地形平坦, 風速較強始可能產生明顯的風切, 由圖 10a 可以看出風速大於 15kt, 則低空風切的次數明顯增加; 而松山機場由於四周有地形的影響, 雖然風速有減緩作用, 但風向的變異亦大, 並不需要特別強的風速即可產生較多的低空風切, 由圖 10b 可以看出風速大於 10kt 以上, 則低空風切的次數明顯增加。

4. 低空風切持續時間的比較分析

圖 11a 描述在 2002 年 05 月 15 日 0200UTC 至 05 月 15 日 0800UTC 鋒面影響期間中正機場產生低空風切警報次數與風切強度對應持續時間之分布, 說明低空風切的持續時間 (連續出現不中斷) 大部分都集中在 60 秒以內, 最長的持續時間為 150 秒, 而中度以上風切持續時間都集中在 50 秒以內。

圖 11b 描述在 2002 年 05 月 15 日 0200UTC 至 05 月 15 日 0800UTC 鋒面影響期間松山機場產生低空風切警報次數與風切強度對應持續時間之分布, 說明低空風切的持續時間 (連續出現不中斷) 大部分都集中在 240 秒以內, 最長的持續時間為 460 秒, 而中度以上風切持續時間都集中在 90 秒以內。由圖 11a 及圖 11b 的比較可得知在此結構完整的鋒面個案, 低空風切持續

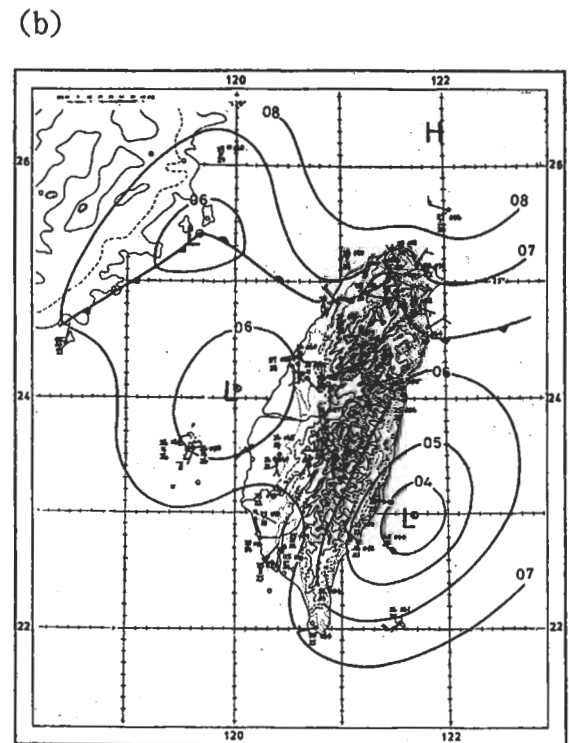
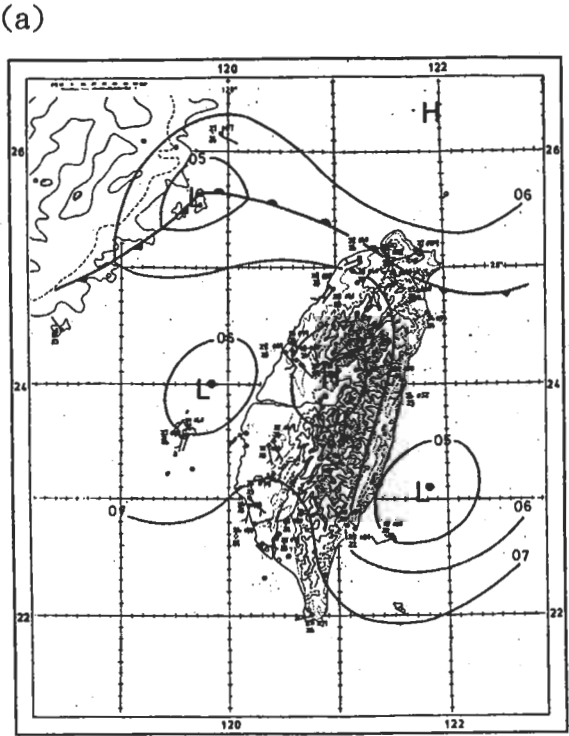
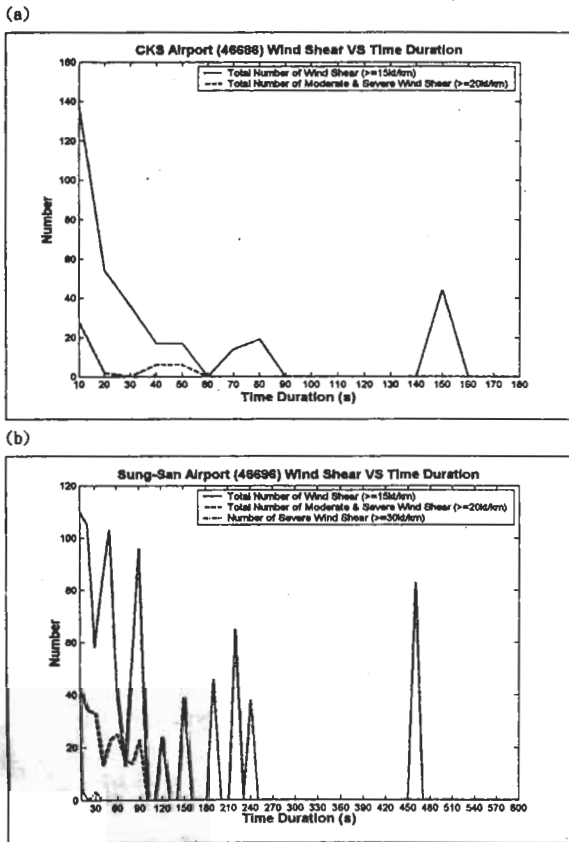


圖 11 2002 年 05 月 15 日 0200UTC 至 05 月 15 日 0800UTC(a)中正機場產生低空風切警報次數與風切強度對應持續時間之分佈圖，共計出現輕度以上低空風切總數 339 次，中度以上低空風切總數 42 次；(b)松山機場產生低空風切警報次數與風切強度對應持續時間之分佈圖，共計出現輕度以上低空風切總數 953 次，中度以上低空風切總數 222 次，強烈低空風切總數 7 次。

的時間都不長，且強度越強的低空風切持續的時間越短，但松山機場因受地形效應的作用，持續時間明顯延長。

個案二：時間 2002 年 05 月 22-24 日

1. 天氣概述

根據地面主觀中尺度分析圖（圖 12）可以發現，2002 年 05 月 22 日 1800 UTC 時鋒面已到達台灣北部陸地，鋒面前端有中尺度高壓，

圖 12 地面主觀中尺度分析圖：(a)2002 年 05 月 22 日 1800UTC，(b)2002 年 05 月 22 日 2100UTC。

應由鋒前西南氣流遇到中央山脈阻擋的質量累積所造成，此時中正機場處於鋒前，吹偏南的風，松山機場則為東北東風。三小時後，鋒面已通過中正機場到達新竹地區，中正機場改吹北北東風，松山機場依舊是東風，鋒前中尺度高壓消失，鋒面受台灣地形影響開始斷裂，東段移速比西段快。中正機場都卜勒氣象雷達的近地層高度面觀測顯示 2002 年 05 月 22 日 2000 UTC 時 (未附圖)，鋒面前緣剛到達臺灣陸地，鋒上有中尺度對流系統伴隨，且吹西南風；2002 年 05 月 22 日 2100 UTC 時，鋒面前緣剛通過中正與松山機場，鋒上中尺度對流系統增強，風向明顯改為東北風，風速平均為 12 m/s (24 kt)，地形對鋒上對流系統的結構變化、風速與風向的作用已經開始。

由中正機場地面自動氣象觀測系統在 2002 年 05 月 22 日 0100 UTC 至 05 月 23 日 0300 UTC 的連續 26 小時觀測結果 (圖 13a) 顯示：(1)05 月 22 日 0100 ~ 1200 UTC 期間，中正機場吹旺盛的西南風，風速大於 15kt。(2)此鋒面約在 05 月 22 日 2000 UTC 至 2100 UTC 之間通過中正機場，此期間溫度隨時間的變化最大，此時溫度露點差近於零，水汽達飽和，風向轉為偏北的風，之後順轉成東北風，風速逐漸增強，降雨是從 05 月 22 日 2200 UTC 開始，6 小時累積雨量有 8 mm。

同時松山機場地面自動氣象觀測系統的連續 26 小時觀測結果 (圖 13b) 與中正機場類似：(1)05 月 22 日 0100 ~ 1200 UTC 期間，此時西南氣流盛行，氣流遇到松山機場西邊的林口台地和觀音山，以及南邊的中央山脈北支餘脈後，以繞流的方式進入淡水河口，加上白天海風效應的增強作用，使松山機場吹偏西的風，

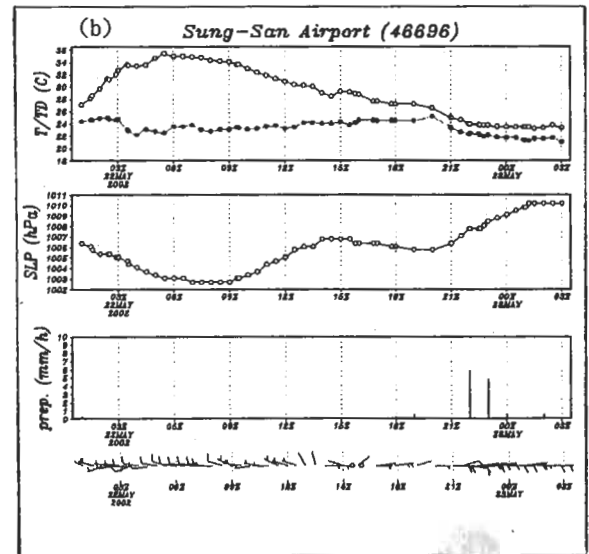
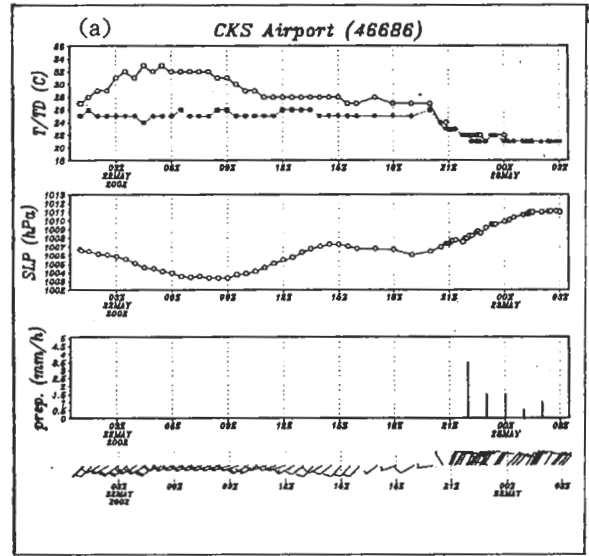


圖 13 2002 年 05 月 22 日 0100UTC 至 05 月 23 日 0300UTC(a)中正機場地面自動氣象觀測系統(AWOS)分析的溫度、露點、氣壓、雨量、風向、風速之時間變化圖；(b)以松山機場地面自動氣象觀測系統分析的溫度、露點、氣壓、雨量、風向、風速之時間變化圖。

風速大於 10kt。(2)此鋒面約在 05 月 22 日 2000 UTC 至 2100 UTC 之間通過松山機場，此期間地面壓力降至最低，溫度隨時間的變化最大，溫度露點差最小，但風向由於受到夜間山風效

應的主導，一直維持東風，風速小於 5 kt，降雨自 05 月 22 日 2200 UTC 開始，6 小時的累積雨量有 12 mm。值得注意的是，中正與松山機場在吹旺盛的西南風與鋒面影響期間，皆無雷雨發生的現象。

由中正機場 05 月 22 日 1500 UTC 至 05 月 23 日 0300 UTC 中央測風台 (CF) 東西向風速對應時間的變化 (圖 14a) 顯示，東西向風速最大的變化約在 2030 UTC，之後轉為東風，此期間中央測風台 (CF) 南北向風速對應時間的

變化 (圖 14b) 顯示，南北向風速最大的變化也約在 2030 UTC 並轉為北風，故由此可定出此鋒面約於 05 月 22 日 2030 UTC 開始影響中正機場。

而松山機場 05 月 22 日 1500 UTC 至 05 月 23 日 0300 UTC 第四測風台 (#4) 東西向風速對應時間的變化 (圖 15a) 顯示，東西向風速最大的變化約在 2030 UTC，而此期間第四測風台 (#4) 南北向風速對應時間的變化 (圖 15b) 顯示，南北向風速最大的變化判斷在 2030 ~ 2130

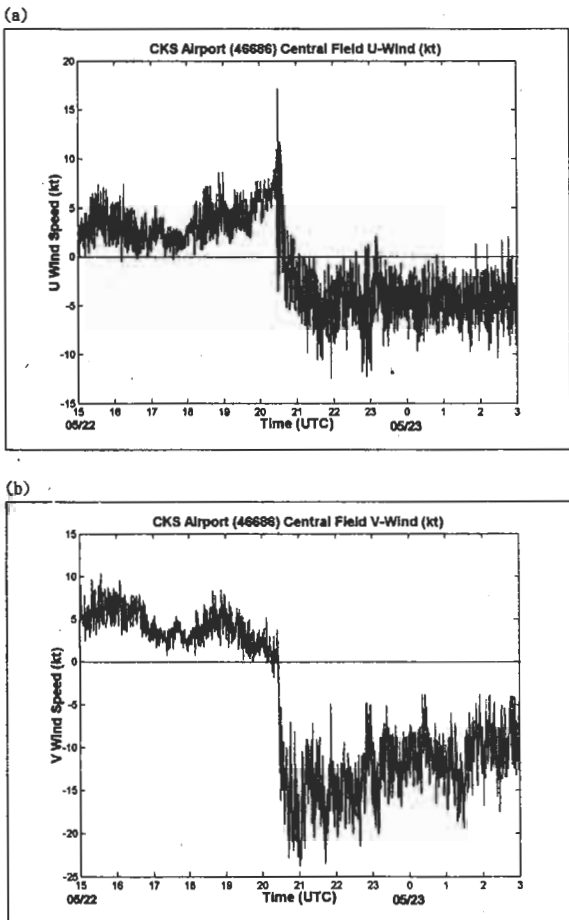


圖 14 2002 年 05 月 22 日 1500UTC 至 05 月 23 日 0300UTC 中正機場中央測風台(CF)量測之(a)東西向風速對應時間的變化圖，(b)南北向風速對應時間的變化圖。

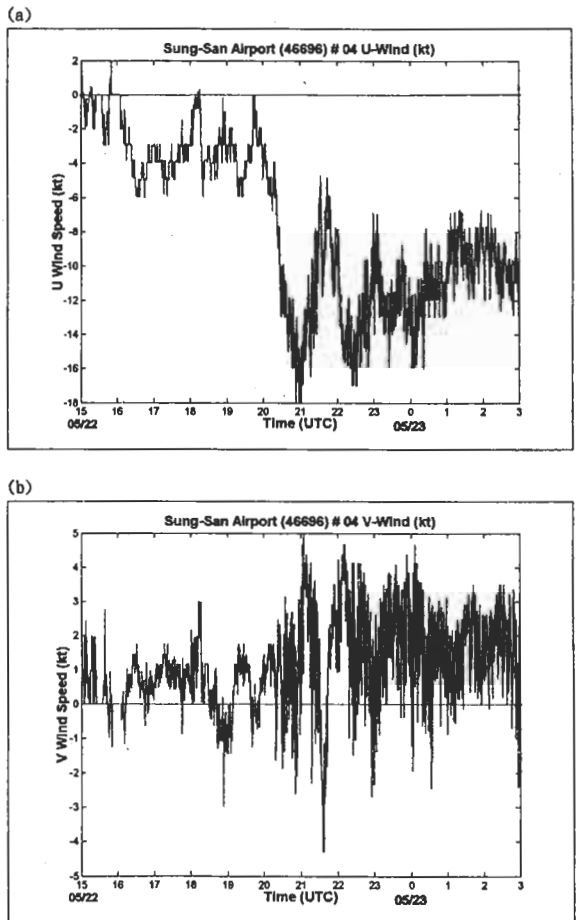


圖 15 2002 年 05 月 22 日 1500UTC 至 05 月 23 日 0300UTC 松山機場第四測風台(#04)量測之(a)東西向風速對應時間的變化圖，(b)南北向風速對應時間的變化圖。

UTC 之間，依圖 15a 東西向風速的變化仍可定出此鋒面約於 05 月 22 日 2030 UTC 開始影響松山機場，與到達中正機場的時間相同。綜合研判，此個案的鋒前西南氣流甚強，但鋒面特性較不明顯，移入陸地後容易受到地形與日夜變化的影響。

2. 低空風切警報次數、時間分布與風切強度的比較分析

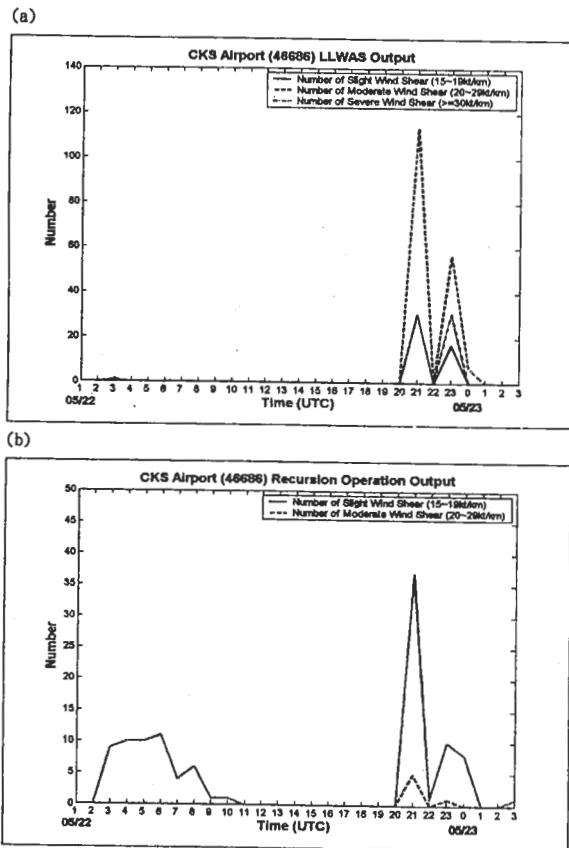


圖 16 2002 年 05 月 22 日 0100UTC 至 5 月 23 日 0300UTC 期間(a)中正機場低空風切警報系統(LLWAS)產生的低空風切警報次數、時間與風切強度分佈，共計出現輕度低空風切總數 49 次，中度低空風切總數 178 次，強烈低空風切總數 31 次；(b)中正機場 15 個測風台原始觀測資料依照速度輻散之三角形遞迴運算的低空風切警報次數、時間與風切強度分佈，共計出現輕度低空風切總數 109 次，中度低空風切總數 6 次。

圖 16a 描述在 2002 年 05 月 22 日 0100 UTC 至 05 月 23 日 0300 UTC 期間中正機場 LLWAS 系統產生的低空風切警報次數、時間分布與風切強度，說明在 05 月 22 日 0200 ~ 1000 UTC 旺盛西南風影響期間僅產生輕度低空風切一次，發生於 05 月 22 日 0300 UTC，而鋒面到達中正機場前無低空風切出現，在鋒面影響中正機場時，低空風切警報次數與風切強度達到最大值，鋒面到達三小時以後則無低空風切的現象發生，共計這 26 小時內出現輕度低空風切 49 次、中度低空風切 178 次及強烈低空風切 31 次。

圖 16b 是依據第三章的低空風切計算原理和中正機場 15 個測風台原始觀測資料再重新計算完成的低空風切警報次數、時間分布與風切強度，與圖 16a 比較後可以發現，旺盛西南風期間重新估算的低空風切之時間分布在 0300 ~ 1000 UTC，並產生 52 次輕度的低空風切，此與系統輸出值的 1 次截然不同；鋒面影響期間則低空風切發生時機與系統輸出值相近，均可維持 5 小時左右 (2000~0100 UTC)，風切發生的最高頻率都出現在 2000~2100 UTC 間，但重新估計的風切在鋒面到達時至到達後 10 分鐘 (2030~2040 UTC) 發生的次數最多。在警報次數與風切強度方面，系統風切輸出值在中度風切 (含) 以上有明顯的高估現象，超過重新估計值 204 次 (中度風切高估 172 次，強烈風切 31 次)，原因應與距離的估算方法不同有關。

圖 17a 描述在 2002 年 05 月 22 日 0100 UTC 至 05 月 23 日 0300 UTC 26 個小時期間松山機場 LLWAS 系統產生的低空風切警報次數、時間分布與風切強度，說明在 05 月 22 日 0200 ~ 1000 UTC 旺盛西南風影響期間產生輕度低空風切 45 次、中度低空風切 42 次，主要發生於 05 月 22

日 0400 ~ 0800 UTC 間，而鋒面到達松山機場前並無低空風切出現，直到鋒面影響松山機場後一個小時才出現輕度低空風切 1 次、中度低空風切 4 次，總共維持一小時（2100~2200 UTC）。這 26 小時內出現輕度低空風切共計 46 次，中度低空風切 46 次。

圖 17b 是重新計算完成的低空風切警報

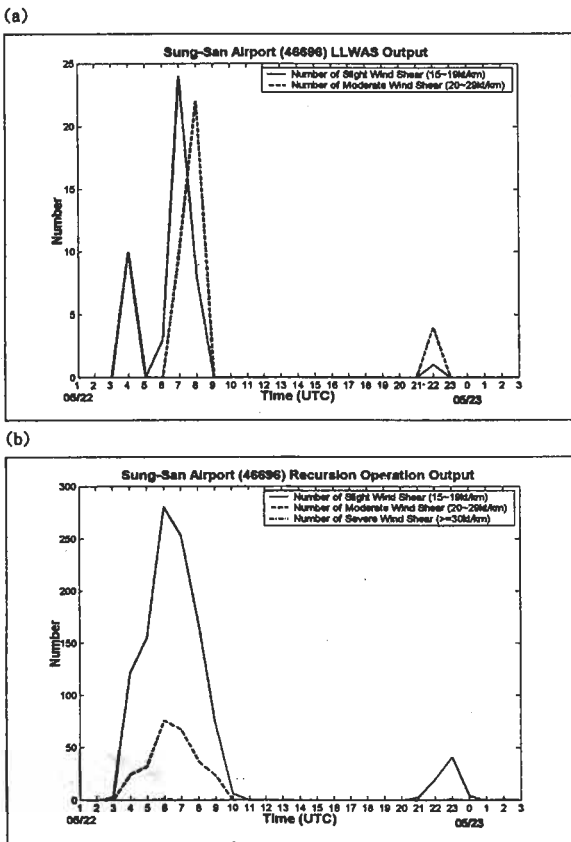


圖 17 2002 年 05 月 22 日 0100UTC 至 05 月 23 日 0300UTC 期間(a)松山機場低空風切警報系統(LLWAS)產生的低空風切警報次數、時間與風切強度分佈，共計出現輕度低空風切總數 46 次，中度低空風切總數 46 次；(b)松山機場 12 個測風台原始觀測資料依照速度輻散之三角形遞迴運算的低空風切警報次數、時間與風切強度分佈，共計出現輕度低空風切 1130 次，中度低空風切 260 次，強烈低空風切 1 次。

次數、時間分布與風切強度，與圖 17a 比較後可以發現，旺盛西南風期間低空風切的時間分布在 0300 ~ 1000 UTC 間，比系統出現風切的時間前後多出 3 小時，總共產生輕度低空風切 1061 次，中度低空風切 259 次及強烈低空風切 1 次；在鋒面到達時就出現低空風切，直至鋒面到達後 4 小時內仍有低空風切的現象發生，總共維持時間小於 4 小時（2000~0000 UTC），比系統輸出值的時間分布多出 3 小時，且風切出現頻率最高時間（2200~2300 UTC）比系統值（2100~2200 UTC）延遲 1 小時。但警報次數與風切強度明顯增多、增大，總計出現輕度低空風切 1130 次，中度低空風切 260 次，強烈低空風切 1 次，最大值達 29.7 kt/km，亦顯示系統輸出在風切強度上有低估現象。

此個案顯示中正機場雖然與松山機場的緯度十分接近，但因建在海邊，與海相距 3-4 公里，周圍地勢低平，平均海拔高度僅 33 公尺，對南來均勻且穩定的氣流無阻擋作用，不易引發有效風切。也就因為周圍地勢低平，對天氣系統無明顯阻擋作用，因此當海上移入的梅雨鋒面系統進入中正機場時，不連續且不穩定的系統會帶來風變和中小尺度對流，容易激發較大風切。松山機場位於台北盆地內，四周台地、高山環繞，當鋒前西南氣流盛行時，氣流遇到松山機場西邊的林口台地和觀音山，以及南邊的中央山脈北支餘脈後，以繞流或爬升的方式進入台北盆地，容易產生風速與風向的變易而引發風切。當梅雨鋒面影響台灣北部地區時，可能由於此鋒面較為薄弱，機場北邊地形影響鋒面的結構和鋒上對流的發展，再加上夜間的山風效應，出現持續且偏東的風，使得風切發生時機延後，且帶來的鋒內亂流和風切減少。

3. 低空風切警報次數/風切強度與測風台風向/風速的比較分析

圖 18a 描述 2002 年 05 月 22 日 0200UTC 至 5 月 22 日 1000UTC 在旺盛西南風影響期間，中正機場產生低空風切警報次數與風切強度對應中央測風台 (CF) 風向之分布，說明中正機場在旺盛西南風影響期間在 200°~260°間的方向產生低空風切，特別集中在 210°~220°間發生。

圖 18b 描述在 2002 年 05 月 22 日 0200UTC 至 05 月 15 日 1000UTC 旺盛西南風影響期間，松山機場產生低空風切警報次數與風切強度對應第四測風台 (#4) 風向之分布，說明松山機場在旺盛西南風作用下，於 260°~310°間的方向產生低空風切，尤其集中在 280°~290°間。

圖 19a 描述在 2002 年 05 月 22 日 1800UTC 至 5 月 23 日 0000UTC 鋒面影響期間 (鋒面到

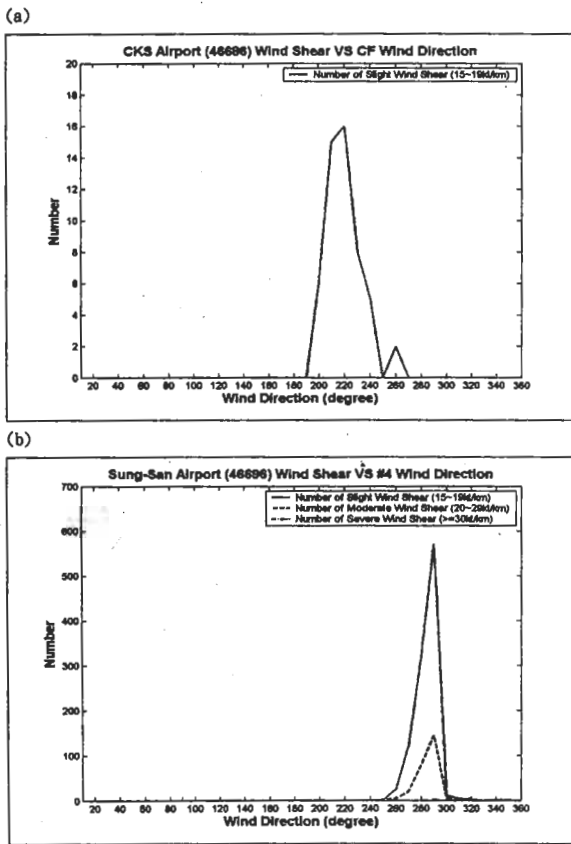


圖 18 2002 年 05 月 22 日 0200UTC 至 05 月 22 日 1000UTC (a) 中正機場產生低空風切警報次數與風切強度對應中央測風台 (CF) 風向之分布圖，共計出現輕度低空風切總數 52 次；(b) 松山機場產生低空風切警報次數與風切強度對應第四測風台 (#04) 風向之分布圖，共計出現輕度低空風切總數 1061 次，中度低空風切總數 259 次，強烈低空風切總數 1 次。

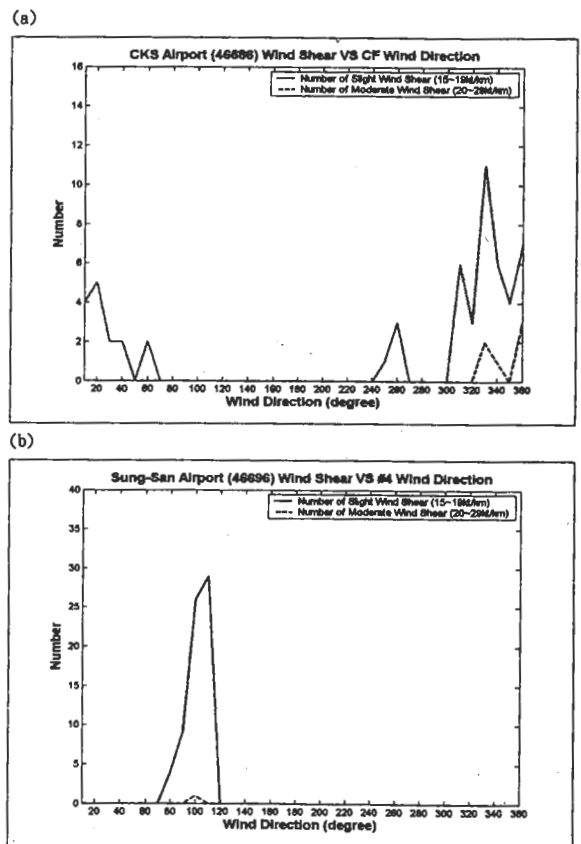


圖 19 2002 年 05 月 22 日 1800UTC 至 05 月 23 日 0000UTC (a) 中正機場產生低空風切警報次數與風切強度對應中央測風台 (CF) 風向之分布圖，共計出現輕度低空風切總數 56 次，中度低空風切總數 6 次；(b) 松山機場產生低空風切警報次數與風切強度對應持續時間之分布圖，共計出現輕度以上低空風切總數 68 次，中度以上低空風切總數 1 次。

達前兩小時及到達後四小時)，中正機場產生低空風切警報次數與風切強度對應中央測風台 (CF) 風向之分布，說明中正機場在鋒面影響期間於 310°~020°間的方向產生低空風切，且集中在 320°~330°間。

圖 19b 描述在 2002 年 05 月 22 日 1800UTC 至 5 月 23 日 0000UTC 鋒面影響期間，松山機場產生低空風切警報次數與風切強度對應第四

測風台 (#4) 風向之分布，說明松山機場在鋒面影響時，於 080°~110°間的方向產生低空風切，尤其集中在 090°~100°間發生。

圖 20a 描述 2002 年 05 月 22 日 0200UTC 至 5 月 22 日 1000UTC 在旺盛西南風影響期間中正機場產生低空風切警報次數與風切強度對應中央測風台 (CF) 風速之分布，說明中正機場在旺盛西南風影響期間，風速必須大於 14kt

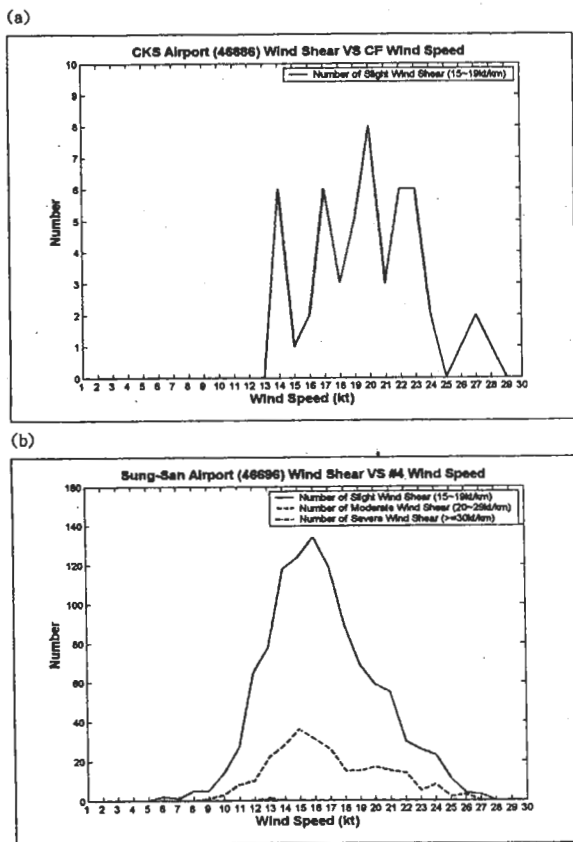


圖 20 2002 年 05 月 22 日 0200UTC 至 05 月 22 日 1000UTC (a) 中正機場產生低空風切警報次數與風切強度對應中央測風台 (CF) 風速之分布圖，共計出現輕度低空風切總數 52 次；(b) 松山機場產生低空風切警報次數與風切強度對應第四測風台 (#04) 風速之分布圖，共計出現輕度低空風切總數 1061 次，中度低空風切總數 259 次，強烈低空風切總數 1 次。

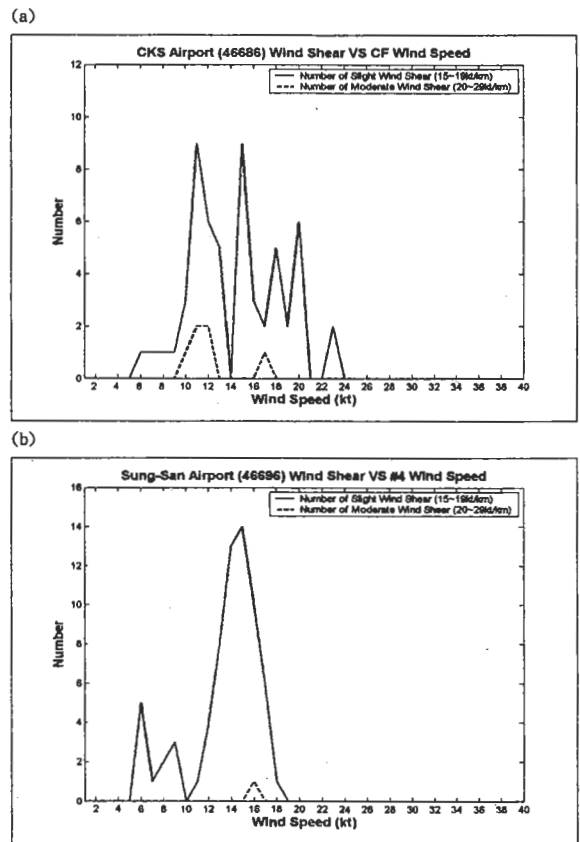


圖 21 2002 年 05 月 22 日 1800UTC 至 05 月 23 日 0000UTC (a) 中正機場產生低空風切警報次數與風切強度對應中央測風台 (CF) 風速之分布圖，共計出現輕度低空風切總數 56 次，中度低空風切總數 6 次；(b) 松山機場產生低空風切警報次數與風切強度對應第四測風台 (#04) 風速之分布圖，共計出現輕度以上低空風切總數 68 次，中度以上低空風切總數 1 次。

以上才有可能出現低空風切的現象。

而圖 20b 描述 2002 年 05 月 22 日 0200UTC 至 05 月 22 日 1000UTC 旺盛西南風影響期間，松山機場產生低空風切警報次數與風切強度對應第四測風台 (#4) 風速之分布，可以看出在松山機場地區，不需要較高的風速就可以產生低空風切，但低於 6kt 以下則無法產生有效風切，且風速大於 10kt 以上，則低空風切的次數明顯增加。

圖 21a 與圖 21b 分別描述 2002 年 05 月 22 日 1800UTC 至 5 月 23 日 0000UTC 在鋒面影響期間，中正機場與松山機場產生低空風切警報次數與風切強度對應測風台風速之分布，可以看出風速低於 6kt 以下則無法產生有效的低空風切，且風速大於 10kt 以上，則低空風切的次數明顯增加。

4. 低空風切持續時間的比較分析

圖 22a 描述 2002 年 05 月 22 日 0200UTC 至 05 月 22 日 1000UTC 在旺盛西南風影響期間，中正機場產生低空風切警報次數與風切強度對應持續時間之分布，說明低空風切的持續時間(連續出現不中斷)都集中在 30 秒以內。

圖 22b 描述 2002 年 05 月 22 日 0200UTC 至 05 月 22 日 1000UTC 在旺盛西南風影響期間，松山機場產生低空風切警報次數與風切強度對應持續時間之分布，說明低空風切的持續時間(連續出現不中斷)大部分集中在 180 秒以內，最長的持續時間為 320 秒，而中度以上風切持續時間都集中在 100 秒以內。

圖 23a 描述在 2002 年 05 月 22 日 1800UTC 至 05 月 23 日 0000UTC 鋒面影響期間中正機場

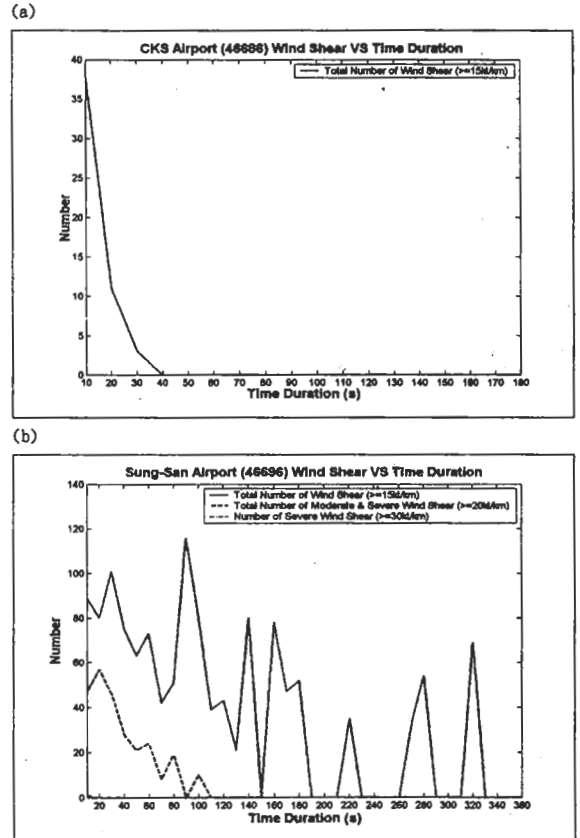


圖 22 2002 年 05 月 22 日 0200UTC 至 05 月 22 日 1000UTC(a)中正機場產生低空風切警報次數與風切強度對應持續時間之分布圖，共計出現輕度以上低空風切總數 52 次；(b)松山機場產生低空風切警報次數與風切強度對應持續時間之分布圖，共計出現輕度以上低空風切總數 1321 次，中度以上低空風切總數 260 次，強烈低空風切總數 1 次。

產生低空風切警報次數與風切強度對應持續時間之分布，說明低空風切的持續時間(連續出現不中斷)大部分集中在 40 秒以內，最長的持續時間為 110 秒，而中度以上風切持續時間都集中在 30 秒以內。

圖 23b 描述在 2002 年 05 月 22 日 1800UTC 至 05 月 23 日 0000UTC 鋒面影響期間松山機場產生低空風切警報次數與風切強度對應持續時

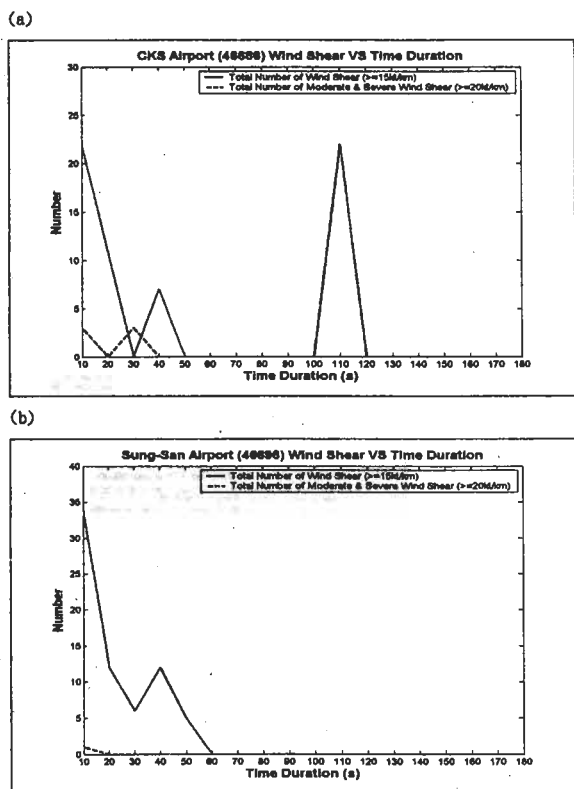


圖 23 2002 年 05 月 22 日 1800UTC 至 05 月 23 日 0000UTC(a)中正機場產生低空風切警報次數與風切強度對應持續時間之分佈圖，共計出現輕度以上低空風切總數 62 次，中度以上低空風切總數 6 次；(b)松山機場產生低空風切警報次數與風切強度對應持續時間之分佈圖，共計出現輕度以上低空風切總數 69 次，中度以上低空風切總數 1 次。

間之分布，說明低空風切的持續時間(連續出現不中斷)都集中在 50 秒以內，而中度以上風切持續時間都集中在 10 秒以內。因此可得知低空風切持續的時間都不長，且強度越強的低空風切持續的時間越短。

五、結 論

本文針對 2002 年 5 月 14 至 17 日和 5 月 22 至 24 日梅雨季個案，藉由中正與松山機場所

有測風台的原始觀測資料以及速度輻散之三角形遞迴運算，實際計算低空風切產生的警報次數、時間分布及風切強度。經與低空風切警報系統本身輸出值做比較校驗，並分析與探討梅雨季低空風切之發生時機、地形作用，及其與風向、風速與持續時間之關係，初步研究結果分述如下：

1. 依據低空風切計算原理和利用中正及松山機場測風台原始觀測資料所產生的低空風切警報次數、時間分布與風切強度，經與系統本身的風切輸出值比較後發現，不論是盛行西南風或正值鋒面影響期間，重新計算的低空風切發生時間分布與系統輸出值相近，但分布時間較長。在警報次數與風切強度方面，中正機場出現風切的系統輸出值在中度(含)以上風切有高估現象，而松山機場則在強烈風切上有明顯的低估。系統的風切警報總次數比重新計算的風切總次數減少甚多，此因若有兩個以上的風切同時出現時，系統僅記錄風切最大、離機場最近的數值，並提出警訊。
2. 中正機場建在海邊，與海相距 3-4 公里，周圍地勢低平，平均海拔高度僅 33 公尺，對氣流與天氣系統無阻擋作用，當均勻且強盛的西南氣流($>14kt$)主導時，較不易引發亂流和風切。也就是因為地勢低平，對天氣系統無阻擋作用，因此當海上移入的梅雨鋒面系統進入中正機場時，不連續且不穩定的帶狀結構帶來風變和中小尺度對流，直接影響中正機場，容易激發較大風切。松山與中正機場緯度相當，同樣的天氣型態發生在松山機場，結果卻不盡相同，當梅雨鋒面遠在華南地區，而台

灣北部地區強烈西南風 ($>14\text{kt}$) 盛行時，氣流遇到松山機場西邊的林口台地和南邊的中央山脈北支餘脈後，以繞流或爬升的方式進入台北盆地，容易產生背風渦旋和亂流而引發風切，因此低空風切次數出現頻繁，風切強度以輕度居多。但當鋒面影響松山機場期間，低空風切出現次數端看氣流過山或繞山後風速的大小來決定，若風速強 ($>10\text{kt}$) 則次數明顯增多。

3. 在風切發生時間分布方面，強烈西南風盛行期間，中正及松山機場低空風切都是在鋒面到達前 18 小時開始發生，鋒面到達前 10 小時內結束，總共維持 8 小時左右，且風速越強，風切發生頻率越高。而在結構完整的鋒面系統影響期間，中正機場低空風切是在鋒面到達前 3 小時內開始發生，在鋒面到達後 4 小時內結束，總共維持時間不超過 7 小時；松山機場低空風切則是在鋒面到達前 2 小時內開始發生，在鋒面到達後 5 小時內結束，同樣的可維持時間不超過 7 小時，但風切發生時間比中正機場延遲一小時，可能因松山機場北邊山脈較高，對北來鋒面系統有阻擋作用。經由更精確的高時間解析度測風台資料分析，最高風切頻率出現的時間是鋒面前緣到達前 10 分鐘至鋒面前緣到達後 20 分鐘的 30 分鐘時距內，對起降中的航機威脅最大。
4. 在風向方面，強烈西南風盛行期間，中正機場在 $200^{\circ}\sim 260^{\circ}$ 間的方向較易產生低空風切，尤其集中在 $210^{\circ}\sim 220^{\circ}$ 間，而松山機場則在 $260^{\circ}\sim 310^{\circ}$ 間的方向較易產生低空風切，尤其集中在 $280^{\circ}\sim 290^{\circ}$ 間。在鋒

面影響期間，中正機場則大部份集中在 $200^{\circ}\sim 310^{\circ}$ 間發生，特別集中在 $260^{\circ}\sim 280^{\circ}$ 間，而松山機場則在 $260^{\circ}\sim 350^{\circ}$ 間的方向較易產生低空風切，尤其集中在 $280^{\circ}\sim 290^{\circ}$ 間，可見松山機場無論在強烈西南風盛行時期或結構完整的鋒面影響時期，其低空風切皆集中於 $280^{\circ}\sim 290^{\circ}$ 間方向發生，可能跟氣流繞過林口台地、觀音山後經由淡水河口、關渡平原移入台北盆地所導致的管道效應 (Channel Effect) 有關。在風速方面，除中正機場於西南風盛行時，風速須達到 14kt 以上才有可能發生低空風切外，其餘情況在風速大於 6kt 以上，始可能產生有效風切，且風速越強則產生的低空風切次數越多，風切強度也越大。

5. 在持續時間(連續出現不中斷)方面，強烈西南風盛行期間，中正機場低空風切的持續時間都集中在 30 秒以內，而松山機場低空風切的持續時間大部分集中在 180 秒以內，最長的持續時間為 320 秒。在鋒面影響期間，中正機場低空風切的持續時間大部份集中在 60 秒以內，最長的持續時間為 150 秒，而松山機場低空風切的持續時間大部分集中在 240 秒以內，最長的持續時間為 460 秒，顯示地形效應延長松山機場的風切持續時間，而且低空風切受到鋒面系統影響時，持續的時間較長，但大部份低空風切持續的時間都很短，風切的強度越強，持續的時間越短。

綜合以上的結論可將此二個案的初步研究結果，逐一條列在表一與表二之中，可提供機場氣象人員和塔台管制員日常作業參考運用，但仍有待選取更多的個案做深入的驗證與研究。

表一 2002年梅雨季中正與松山機場低空風切之個案研究總結(一)。

重新運算與系統輸出值比較結果	1.不論是鋒前西南風或正當鋒面影響的期間，重新計算的低空風切發生的時間分佈與系統輸出值相近，但分布時間較長。 2.在警報次數與風切強度方面，中正機場出現風切的系統輸出值在中度(含)以上風切有高估現象，松山機場則在強烈風切上有明顯的低估。	
影響之天氣系統	強烈西南風影響期間	鋒面影響期間
低空風切出現的綜合分析	1.中正機場周圍地勢低平，當鋒前均勻且持續的西南氣流盛行時，不易引發亂流和風切。 2.松山機場四周台地與高山環繞，當台灣地區西南風盛行時，松山機場低空風切次數出現頻繁，風切強度以輕度居多，且西南風越強，低空風切出現的頻率越高、強度越強。	1.中正機場周圍地勢低平，當海上移入的梅雨鋒面系統進入中正機場時，容易激發較大風切，且鋒面強度越強，低空風切出現的頻率越高、強度越強。 2.松山機場四周台地與高山環繞，當鋒面影響松山機場期間，低空風切出現次數端看氣流過山或繞山後風速的大小來決定，若風速強則次數多。

表二 2002年梅雨季中正與松山機場低空風切之個案研究總結(二)。

	強烈西南風影響期間		鋒面影響期間	
	中正機場	松山機場	中正機場	松山機場
低空風切 VS 時間分佈	鋒面影響前18小時開始到鋒面影響前10小時結束，總共維持8小時。	鋒面影響前18小時開始到鋒面影響前10小時結束，總共維持8小時。	1.鋒面影響前3小時開始到鋒面影響後4小時內結束，維持時間不超過7小時。 2.風切最高頻率出現在鋒面到達前10分鐘至到達後10分鐘。	1.鋒面影響前2小時開始到鋒面影響後5小時內結束，維持時間不超過7小時。 2.風切最高頻率出現在鋒面到達前10分鐘至到達後20分鐘。
低空風切 VS 風向	1.在200°~260°較易產生。 2.極值出現在210°~220°。	1.在260°~310°較易產生。 2.極值出現在280°~290°。	1.在200°~310°較易產生。 2.極值出現在260°~280°。	1.在260°~350°較易產生。 2.極值出現在280°~290°。

低空風切 VS 風速	1.大於 14kt 以上 才有可能發生 低空風切。 2.極值出現在 20kt。	1.大於 6kt 以上 始可能產生有 效低空風切。 2.風速大於 10kt 低空風切的次 數明顯增加。 3.極值出現在 15~16kt。	1.大於 6kt 以上 始可能產生有 效低空風切。 2.風速大於 15kt 低空風切的次 數明顯增加。 3.極值出現在 28kt。	1.大於 6kt 以上 始可能產生有 效低空風切。 2.風速大於 10kt 低空風切的次 數明顯增加。 3.極值出現在 15kt。
低空風切 VS 持續時間	低空風切持續時 間都在 30 秒以內 。	1.大部份低空風 切持續時間在 180 秒以內。 2.最長的持續時 間為 320 秒。 3.中度以上風切 持續時間都在 100 秒以內，強 度越強，持續 時間越短。	1.大部份低空風 切持續時間在 60 秒以內。 2.最長的持續時 間為 150 秒。 3.中度以上風切 持續時間都在 50 秒以內，強 度越強，持續 時間越短。	1.大部份低空風 切持續時間在 240 秒以內。 2.最長的持續時 間為 460 秒。 3.中度以上風切 持續時間都在 90 秒以內，強 度越強，持續 時間越短。

誌 謝

感謝交通部民用航空局飛航服務總台協助提供中正與松山機場低空風切警報系統各測風台之原始觀測資料和系統輸出資料，台北航空氣象台童茂祥台長、中正機場航空氣象台簡慶芳台長和康拓公司胡東隆經理協助資料處理。此外，承蒙大氣科學主編劉振榮教授及兩位未具名的審查委員提供許多寶貴之修訂意見，使文章的結構和內容更加嚴謹，在此一併致謝。本文在國科會專題研究計劃（NSC 92-2111-M-014-002-AP2 及 NSC 93 -2111-M-014-001-AP2）支援下完成。

參考文獻

- 尹鐘奇，1977：實用大地測量學。逢甲書局，台中，433 頁。
- 陳泰然，1993：天氣學原理。聯經書局，台北，337 頁。
- 曾憲瑗，1994：航空氣象預報之應用與飛航安全。民用航空局飛航服務總台航空氣象預報研討會論文集編，88-95。

簡慶芳與王石柱，1994：1993 年 2 月 28 日台東地區之天氣分析與檢討。民用航空局飛航服務總台航空氣象預報研討會論文集編，113-119。

蒲金標，2003：台灣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，31，181~198。

交通部民用航空局航空氣象現代化網站，2004：<http://wmnds.aowas.caa.gov.tw>，(2004.03.)

Geer, I. W., 1996: *Glossary of Weather and Climate with Related Oceanic and Hydrologic Terms*. American Meteorological Society. 272pp.

Huschke, R. E., 1959: *Glossary of Meteorology*. American Meteorological Society. 638pp.

Taylor, R. W., 1993: *Technology of the Airplane and its Contribution to Safety*. The Boeing Company. 48pp.

UCAR, 1992: *Appendix A & B, Network Expansion LLWAS (Phase III), Algorithm Specification*. University Corporation for Atmospheric Research. 51pp.

UCAR, 2003: <http://www.rap.ucar.edu/applications/llwas/index.html> (2003.07.)

Cases Study on the Low-level Wind Shears at the CKS and Sungshan Airports during the 2002 Mei-yu Season

Tai-Hwa Hor¹ Ming-Sheng Tu¹ Chin-Piao Pu² Chih-Hsien Wei¹

¹ **Department of Applied Physics, Chung Cheng Institute of Technology,
National Defense University**

² **Air Navigation and Weather Services, Civil Aeronautics Administration,
Ministry of Transportation and Communication**

(Manuscript received 16 March 2004 ; in final form 16 June 2005)

ABSTRACT

In order to realize the accuracy of low-level wind shear alarms at the CKS and Sungshan Airports and investigate the wind-shear-related weather patterns, the topographic effect and the occurrence of the wind shears associated with the wind direction, wind speed, and time duration, the study carefully evaluates the output of the low-level wind shear alert systems (LLWAS) and automated weather observing systems (AWOS). Furthermore, the outcomes of LLWAS are compared with the recalculated results based upon the recursion operation of velocity divergence in use of data collected by the wind towers every 10 seconds which are allocated at the airports (15 wind towers at the CKS Airport and 13 at Sungshan Airport).

The primary findings are: (1) During the Mei-yu season, the product of LLWAS system at the CKS Airport seems over-estimated in the moderate and severe wind shears from the alarm number and wind shear intensity points of view. However, the system output at the Sungshan Airport looks under-estimated in the severe wind shears. (2) The higher frequency of wind shears occurs 10 min prior to the arrival of the Mei-yu frontal system and extends more than 30 min. (3) For the intense southwesterly flow or the well-organized Mei-yu frontal system, the most possible outcome of wind shears occurs between 280 deg and 290 deg in wind direction at the Sungshan Airport, probably due to the channel effect induced by the blocking of Linkou Hill and Guan-yin Mountain. (4) The complicated terrain seems to increase the time interval of wind shears at the Sungshan Airport. Also, the well-organized Mei-yu frontal system is capable to extend the life duration of wind shears at both airports.

Key words: Low-level Wind Shear, Mei-yu Frontal System, Velocity Divergence, Topographic Effect