

松山機場低空風切類型及產生機制之研究

汪庭安 蒲金標

民用航空局航管組 民用航空局台北氣象中心

摘要

機場跑道附近之低空風切對飛機之起降安全有顯著的危害，輕者影響飛機操作，重者造成飛機墜毀。民航局推動「航空氣象現代化作業系統」建置計畫中，將在松山機場建置一套低空風切偵測及警告系統。本研究尚在初步階段，目前分析二年的 ASOS 資料。初步分析顯示午後對流在引發松山機場的風切上扮演著重要的角色。我們若以兩測風儀之風速向量差達 15 kt 做為風切定義標準，則 53.7% 是發生在 12-18 時段，而且午後的平均風速向量差比其他時段大。而以月份來區分，則 1996 年 7 月以懸殊的比率超越其他月份，為發生風切比率最高的月份，此與該月份有兩個侵台颱風有莫大的關係。我們亦發現較大風速向量差的持續通常與天氣系統通過 10 及 28 跑道的時間差有很大的相關。

一、前言

低空風切是威脅飛航安全的因素中最為危險的天氣現象之一，尤其是當飛機正在起飛或著陸時。飛機飛行時所受的浮力大小與空速（迎風分量與飛機對地速度之向量和）的平方成正比，由於飛機在起飛及降落階段通常飛行速度較小且距離地面之高度較低，因此在此時對於風速的驟然改變之應變能力亦相對較差。例如一般飛機飛行於 700 呎之低空時，其空速約為 80 m/s，若此時遭遇風速變化達 8 m/s 時，浮力變化即達 20%，而風速變化若達 10 m/s 時，浮力變化更高達 25%（張等，1995）。對低空風切若應變不及或不當，導致的結果輕者造成飛機重落地，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被證實是因低空風切所造成。

既然低空風切對飛航安全的危害如此之大，當然如何有效的預報低空風切就是相當迫切且必要的工作。然而，由於低空風切發生的時間及空間尺度一般來說都相當的小，在現階段使用數值模式來預報的可能性很小。目前較可行的方式是加強觀測系統，由觀測資料的分析中研判可能移至機場附近的低空風切，並提出警告以利相關人員及早因應。

針對低空風切的偵測及預警所設計的現有觀測設備包括：(1) 低空風切偵測預警系統（Low-Level Wind-shear Alert System，簡稱 LLWAS）：此系統由美國 FAA 所發展，現在美國已有一百多個機場架設完成。本系統是利用跑道兩旁的測風儀

（anemometers）觀測網每十秒鐘的密集觀測資料加以整合處理，一旦發現其中任一測風儀所測得風速與觀測網平均風速相差達 15 knots 或觀測網測得輻散（divergence）情形時即自動發出風切警告。(2) 終端機場都卜勒雷達（Terminal Doppler Weather Radar，簡稱 TDWR）：TDWR 對機場附近提供許多對航空氣象很重要之高解析度的觀測資料，尤其是低空風切及微爆氣流（microburst）。美國計畫要在 45 個機場裝設 TDWR。TDWR 所提供的資料對中尺度數值預報及四維資料同化也具有非常重要的價值。(3) 航管雷達（ASR-9）加風切處理器（Wind Shear Processor）：此系統可對一定範圍內之微爆氣流、颶鋒（gust front）、雷雨路徑提出預警。(4) 都卜勒剖風儀（Doppler Wind Profiler）：此系統可供量測水平風向風速在垂直上的分布，一般來說量測高度可達海拔 50000 呎。所量測的資料並可輸入高解析度數值模式或用來做資料同化，結果證實對高空風的短期預報幫助甚大。未來也有可能用來做為晴空亂流的偵測及警告。

民航局正在進行「航空氣象現代化作業系統」之建置計畫，此計畫主要目的在提昇航空氣象服務品質和作業水準，以確保飛安。計畫的目標之一是要解決國內三大主要機場無低空風切偵測預警系統的問題。低空風切一直以來被公認為影響飛機起飛及降落安全之重要天候因子，而目前尚未有國內機場建置任何有關低空風切之偵測及預警系統，因此計畫在松山

及中正機場建置低空風切偵測預警系統 (LLWAS); 高雄機場則將擴充其航管雷達功能來達成偵測及預警低空風切之目標。

本研究之主要動機即是希望在松山機場 LLWAS 建置之前能更進一步對機場附近的風切屬性及其發生機制進行探討, 以期對未來的計畫推動能發揮更大的效用。

台北松山機場附近地形複雜, 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。機場跑道成東西向 (10/28)。陳銘 (1997) 統計分析民國 50 年至 85 年之盛行風日變化顯示, 松山機場全年盛行東風, 而由於機場位於台北盆地內, 靜風的頻率亦佔據各季節盛行風之第二位。機場附近夏日午後多雷雨, 冬季則有很強之東北季風越過東邊及北邊之高山而吹向機場。凡此種種均可能是造成風切之原因。本研究主要目標是要了解松山機場低空風切究竟是因地形而起、對流引發、或東北季風所造成, 甚或是多種原因混合而產生。

二、資料來源

本文所用資料為交通部民航局台北氣象台之地面自動觀測系統 (ASOS) 資料。台北氣象台現有測風儀三套, 感應器分別裝設在 10/28 跑道兩端著陸地帶 (距跑道頭分別為 346 公尺及 700 公尺) 及中段之北側。跑道兩端之西測風儀及東測風儀各有指示器兩部及記錄器一部, 指示器顯示之資料分別為瞬時之風向風速及風速之最大與最小值、二分鐘與十分鐘之平均風向及風速之最大與最小值。該觀測台於每日逐時之整點及 0600L 至 2400L 間之半小時, 各舉行一次飛行定時天氣觀測, 並編發飛行定時天氣報告 (METAR)。於飛行定時天氣觀測以外之任何時間, 凡有任何一項或多項之氣象要素發生變化, 且符合地區協議規定之特別天氣觀測報告準則時, 需舉行飛行特別天氣觀測, 並編發飛行特別天氣報告 (SPECI)。

上段所提特別天氣觀測報告準則中關於地面風之規定如下: (1) 與前一次觀測報告比較, 當平均風向發生 30 度或以上之改變, 且在改變前及 (或) 後之平均風速為 20KT 或以上時; 或 (2) 與前一次觀測報告比較, 當平均風速發生 10KT 或以上之改變, 且在改變前 (或) 後之平均風速為 30KT 或以上時;

或 (3) 與前一次觀測報告比較, 陣風風速有增加 10KT 或以上之變化, 且在改變前及 (或) 後之平均風速為 15KT 或以上時。上述任一情況發生時, 需舉行飛行特別天氣觀測。

台北氣象台從 1996 年開始將 ASOS 每分鐘之觀測資料加以儲存。本研究乃利用 1996 及 1997 這兩年 ASOS 在跑道兩端著陸地帶所設之測風儀測得之風向風速每分鐘觀測資料。經篩選之有效資料在 1996 年共有 376811 筆, 在 1997 年則有 413927 筆。

三、資料分析

本研究尚在初期階段, 首先是將 ASOS 的資料過濾處理, 整理出有效的資料。由於資料量相當龐大, 而且若要以原始儲存格式來作分析研究幾乎是不可能的, 因此必須先發展一套可將資料再處理及分析的方法。本文所討論的即是經過再處理的資料。

圖一所示為 1996 年台北松山機場航空氣象波譜年圖。由圖中可見 1996 年松山機場的盛行風為東風, 與歷年來統計資料相符, 而風速值則除了 7 月底及 8 月初有二高峯值外, 其餘大致均在 15 kt 以下。根據民航局 1996 年航空氣候年報的統計資料顯示, 年平均風速為 6.3 kt。

圖二所示為 1997 年 9 月 27 日 ASOS 觀測所得之 10 跑道風速大小、10 跑道風向、28 跑道風速大小、28 跑道風向、以及根據以上資料計算所得之兩點風速向量差之大小隨時間的分布圖。松山機場跑道的長度為 2605 公尺。由圖上可見本日不論是 10 或 28 跑道的風向風速都算相當穩定, 風速大約在 4 m/s 上下小幅振動, 而風向則一直維持在 100 度左右, 亦即是機場盛行的東風。由於兩點之風向風速的穩定, 因此其風速向量差之大小亦相對地並不大, 平均大小大約為 1.5 m/s。在此種情況下低空風切發生的可能性是相當小的。

表一為選取不同風切定義標準下之風切發生時間分布表。Mahoney(1994) 以兩測風儀之風速向量差之大小達 15 kt 做為風切定義標準, 我們若以相同標準來定義風切, 則達到此標準的時間共有 940 分鐘。若將一天分成四個不同的時段, 分別為地方時 00-06, 06-12, 12-18, 及 18-24, 則很明顯的在此標準

下風切發生時間以 12-18 這個時段佔 53.1%。由於 12-18 正是太陽加熱最大的時段，在一天當中這段時間的對流也最旺盛，因此初步應可判定午後對流在引發松山機場的風切上扮演著重要的角色。

表一中另有超過其他不同風切定義標準下之風切發生時間，如風速向量差超過 5 kt 的共有 131561 分鐘，佔所有有效資料之 16.6%。而其中的 41.9% 是發生在 12-18 時段。風速向量差超過 10 kt 的共有 10915 分鐘，佔所有有效資料之 1.4%。而其中的 53.7% 是發生在 12-18 時段。此結果顯示午後的平均風速向量差比其他時段大。

接著我們將上表所列之風切發生時間以月份來區分，並將結果呈現在圖三。由圖三中可發現我們若以兩測風儀之風速向量差達 15 kt 做為風切定義標準，則 1996 年 7 月以懸殊的比率超越其他月份，為發生風切比率最高的月份。由於我們再計算此比率時所用的方式是先計算該月份中兩測風儀之風速向量差達 15 kt 的時間總和，再除以該月份之有效資料時間總和。這樣的計算方式使我們在下結論前必須相當小心，雖然資料顯示 1996 年 7 月是達到風切標準比率最高的月份，但我們並不敢就此斷言 7 月是低空風切最容易發生的月份。我們知道 1996 年 7 月有兩個侵台颱風，其中之一即是給台灣帶來重大災害的賀伯 (Herb) 颱風。由於在颱風侵台期間會有持續性的強風，也會使兩測風儀之風速向量差經常甚至持續出現大值 (文章稍後將討論)，因此 1996 年 7 月以懸殊的比率超越其他月份應與此有很大的關係。

接著我們來看幾個風切值較大且持續一段時間的幾個個案。圖四所示為 1996 年 9 月 20 日 ASOS 觀測所得之 10 跑道風速大小、10 跑道風向、28 跑道風速大小、28 跑道風向、以及根據以上資料計算所得之兩點風速向量差之大小隨時間的分布圖。該日 10 跑道風速從 0000UTC 到 0300UTC 這段時間幾乎是線性遞增，由幾乎靜風的狀態下增加到大約是 5 m/s 的風速，然後在 0300UTC 到 0600UTC 這段期間則在 5 m/s 附近振盪。0600UTC 到 1200UTC 期間風速則呈現短週期之大幅振盪。而在 10 跑道的風向部份，從 0000UTC 到 0100UTC，風向不穩定，但大致上仍以偏東風為主，而在 0100UTC 附近，風向突然改變成為以 300 度為主要風向，持續到 0600UTC 才又轉回

機場盛行風—東風。28 跑道的風速從 0000UTC 開始也有隨時間遞增的情況，但風速值大致都比 10 跑道小。然而 28 跑道發生風向逆轉的時間都比 10 跑道來的早，如偏東風轉偏西風約發生在 0050UTC 時，比 10 跑道早大約十幾分鐘，而偏西風轉回偏東風的時間在 28 跑道約發生在 0530UTC，比 28 跑道早了將近一小時。這樣的情況使得兩點間的風速向量差從 0000UTC 起由小變大，尤其從 0500UTC 起快速遞增，在 0530UTC 至 0600UTC 期間更一直居高不下，直到 0630UTC 之後才降到一般水準的大小。經過查閱該日地面天氣圖 (未示於文中)，我們發現當天西太平洋上有三個颱風幾乎連成一線，而且有一道滯留鋒從日本延伸到華南一帶。台灣的天氣是受到此滯留鋒及台灣東方海面上 Violet 颱風外圍環流的影響。由跑道兩端測風儀的資料來看，應該是有一小系統在這段時間通過機場，而且事先經過 28 跑道端，在經過 10 跑道端。由於此系統的時間尺度並不長，在綜觀尺度的觀測系統中並無法顯示出來。

圖五為 1997 年 2 月 24 日 ASOS 觀測資料，風速向量差超越風切定義標準的情況大約發生在 0520UTC 至 0550UTC 的期間。由風向隨時間分布圖可看出這段時間也是系統已完全通過了 28 跑道測風儀所在點，而尚未完全通過 10 跑道測風儀所在點的時段。在這時段，10 跑道吹偏西風，而 28 跑道則吹偏東風，因此風速向量差相當大。此個案與前一個個案類似，都有風向的驟然改變，不同的是當出現偏西風時，風速明顯變小。

圖六為 1996 年 7 月 26 日 ASOS 觀測資料，本日跑道風速從 00UTC 至 17UTC 都相當強勁，風速向量差亦相當大，最大曾達到 15 m/s。由綜觀天氣圖 (未示於文內) 發現本日 Gloria 颱風通過台灣西側，為台灣帶來持續性的強風豪雨。

四、未來展望

本研究尚在初步階段，目前僅分析二年的 ASOS 資料。根據現有的資料及分析尚不足以對松山機場低空風切的屬性及其產生機制做出定論。未來考慮加入航機通訊位址報告系統 (Aircraft Communication and Address Reporting System, ACARS) 資料分析，及蒐

集飛機氣象報告資料(Records of Air-report)進行進一步的研究分析。

致謝：感謝民航局台北氣象台簡慶芳台長及陳世錡先生提供 ASOS 資料。

五、參考資料

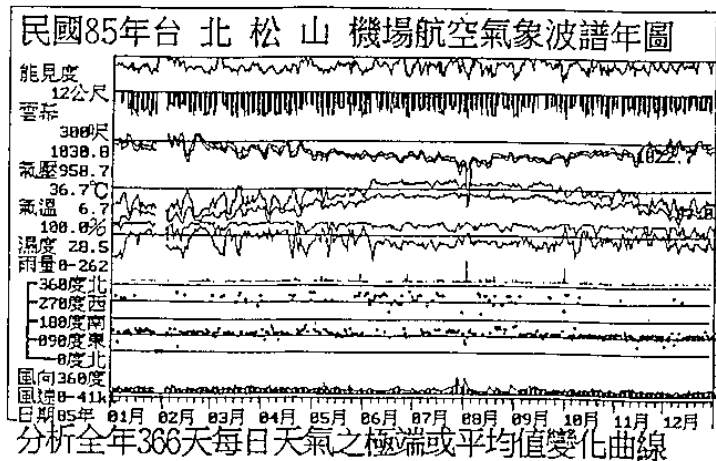
郭忠暉(1980)：台灣北部民航機場低空風切之研究，95pp。
 民航局(1996)：航空氣候年報，民用航空局飛航服務總台，170 pp。
 江天錚、汪庭安、李金萬、楊正治(1997)：航空氣象現代化作業系統。八十六年度航空氣象測報研討會，民用航空局飛航服務總台，27-34。
 陳銘(1997)：機場盛行風日變化之研究。八十六年度航空氣象測報研討會，民用航空局飛航服務總台，86-92。
 蒲金標、黃麗君、黃光遠、林慧娟、韓嘉勳(1995)：長榮班機上 ACARS 系統與雷文送探空觀測與風場之初部分析研究。八十五年度四維資料同化與航空氣象服務研討會，民用航空局飛航服務總台，12-19。
 張泉湧、楊健生、董耀光、周鴻祺(1995)：利用單都

卜勒雷達偵測多雲天氣下之低空風切初部研究。八十五年度四維資料同化與航空氣象服務研討會，民用航空局飛航服務總台，20-27。

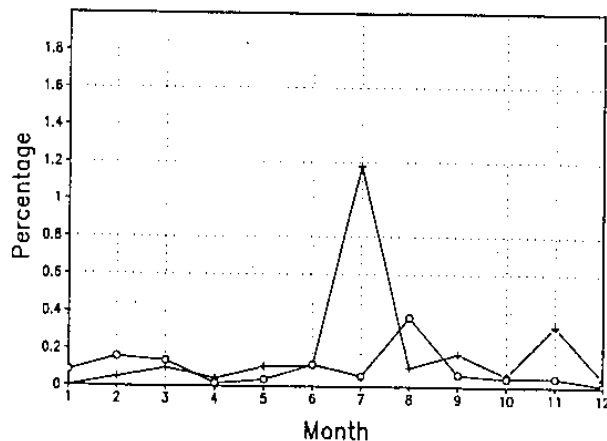
路心誠、林得恩(1995)：飛安與亂流。八十五年度四維資料同化與航空氣象服務研討會，民用航空局飛航服務總台，59-65。
 Lee, C. B. H., 1980: Low level wind shear. Conference on Atmospheric Turbulence and Flight Safety, Taipei, 51-72.
 Mahoney, W. P. III, 1994: The 1993 demonstration and evaluation of an integrated windshear and gust front detection system (TDWR) with an operational Low-Level Windshear Alert System (LLWAS) at Stapleton International Airport, FAA summary project report, 15 Jan, 1994, 92 pp.
 Schwartz, B. and S. G. Benjamin, 1995: A comparison of temperature and wind measurements from ACARS - equipped aircraft and rawinsondes. Weather and Forecasting. 10, 528-544.

表一：選取不同風切定義標準下之風切發生時間分布表

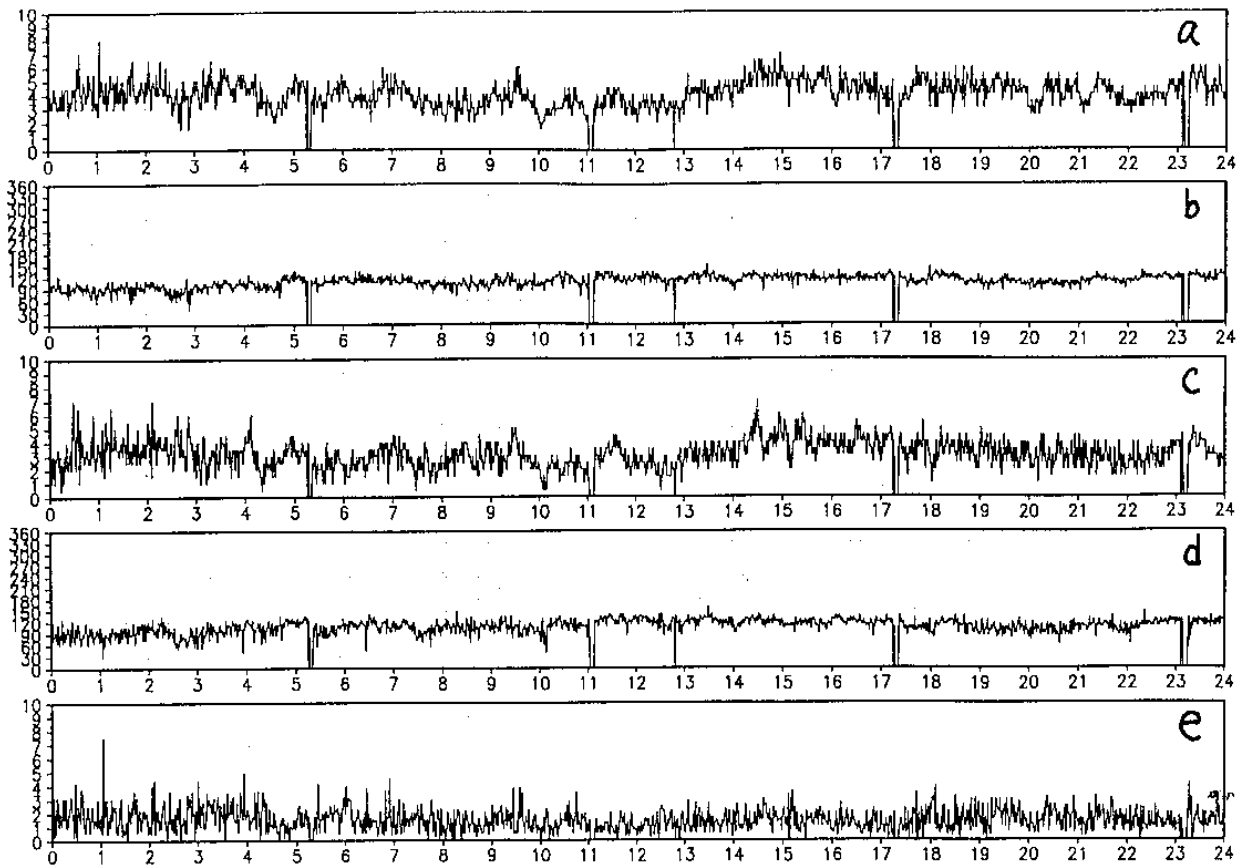
	總數(分鐘)	0-6 時	6-12 時	12-18 時	18-24 時
5 kt	131561	13.2%	27.2%	41.9%	17.7%
10 kt	10915	8.9%	26.2%	53.7%	11.2%
15 kt	940	9.6%	22.9%	53.1%	14.4%



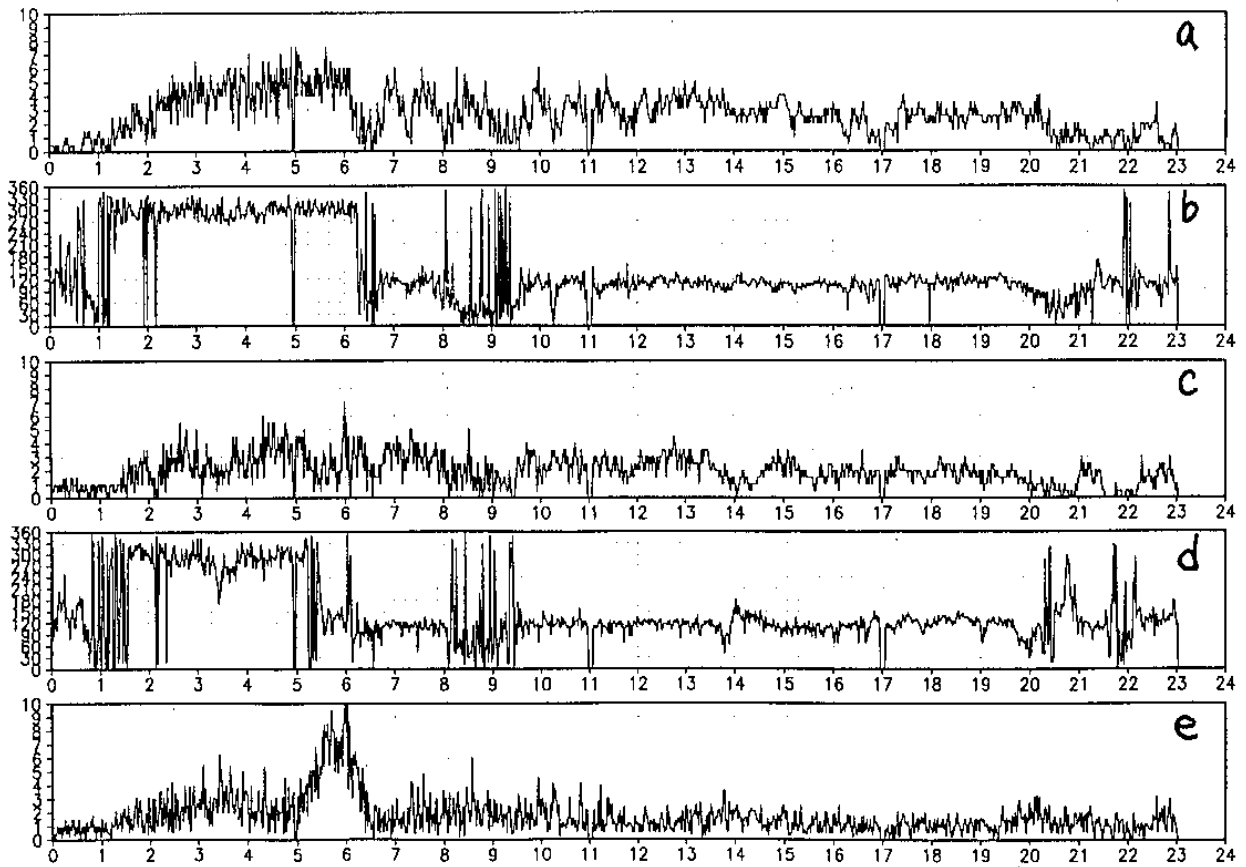
圖一：1996年台北松山機場航空氣象波譜年圖。



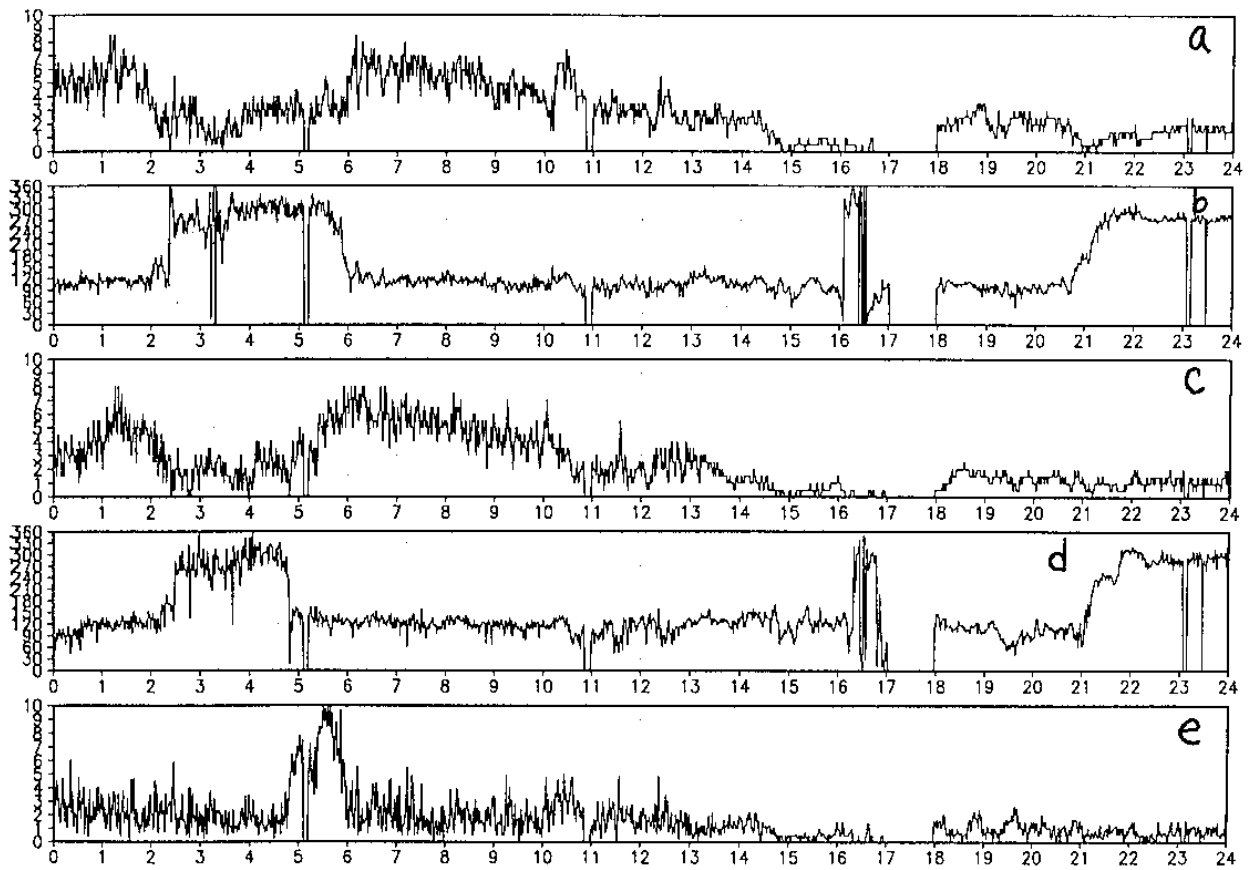
圖三：以兩測風儀之風速向量差達 15 kt 做為風切定義標準下各月份發生風切頻率分布圖。



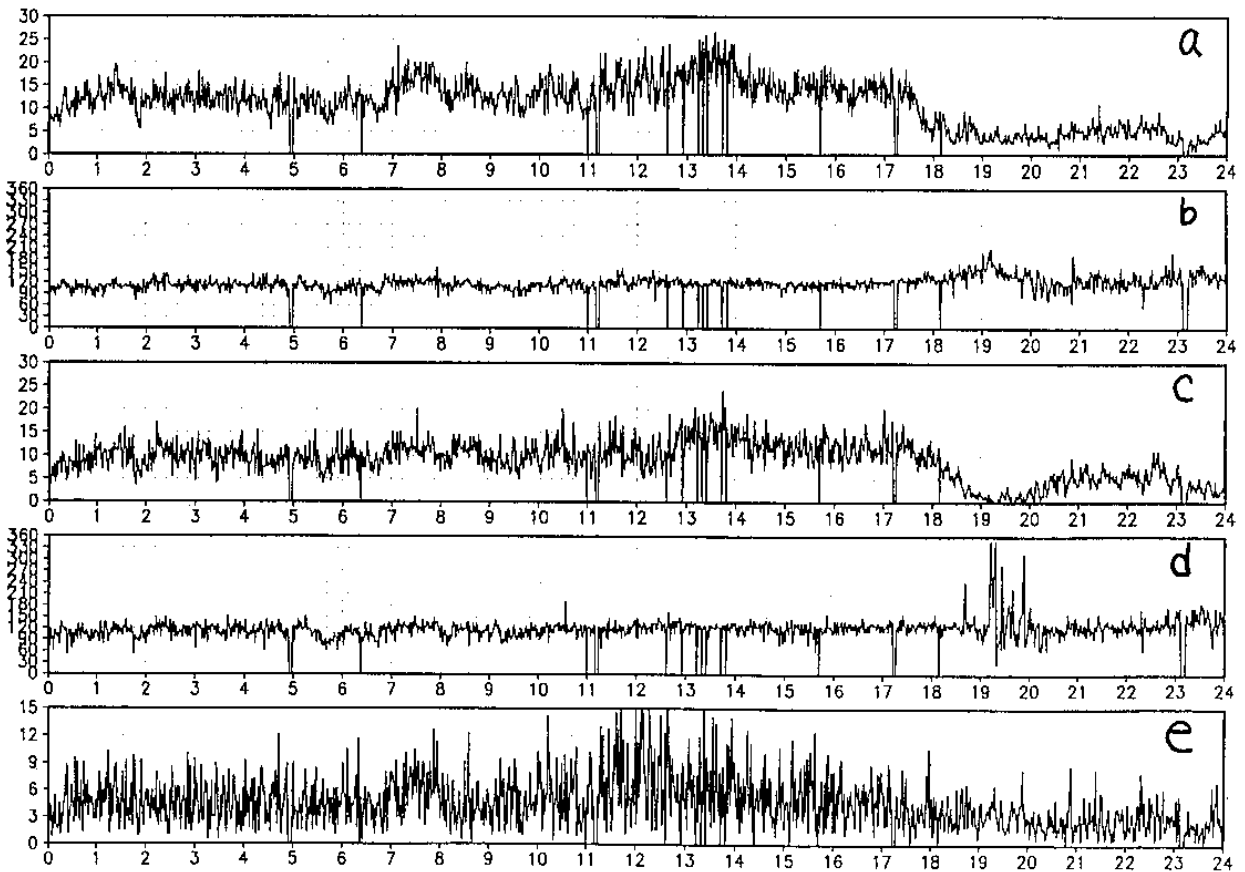
圖二：1997年9月27日(a) 10跑道風速 (b) 10跑道風向 (c) 28跑道風速 (d) 28跑道風向 (e) 10/28風速向量差絕對值隨時間的分布圖。風速及風速向量差之單位為 m/s，風向單位為度。



圖四：同圖二，但為1996年9月20日。



圖五：同圖二，但為 1997 年 2 月 24 日。



圖六：同圖二，但為 1996 年 7 月 26 日。