

梅雨季中正與松山機場低空風切個案研究—2002.05.22.~24.

何台華¹、涂明聖²、蒲金標³、魏志憲¹

¹國防大學中正理工學院應用物理系

²空軍氣象聯隊第五基地天氣中心

³交通部民用航空局飛航服務總台

摘 要

本文選擇 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,以及利用中正及松山機場 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,最後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、風速之關係。

初步研究結果發現:(1)重新計算的低空風切發生之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低估。(2)中正機場周圍地勢低平,對氣流與天氣系統無阻擋作用,當均勻且強盛的西南氣流〔 $\geq 14\text{kt}$ 〕主導時,較不易引發亂流和風切。而梅雨鋒面系統從海上移入中正機場,常帶來風變和中小尺度對流,則容易激發較大風切。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,此時台灣常有強烈西南風〔 $\geq 14\text{kt}$ 〕,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。(3)在風切發生的時機方面,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,在鋒面到達前 10 小時結束,總共維持 8 小時左右,且風速越強,風切發生頻率越高。而在鋒面系統影響期間,中正與松山機場低空風切在鋒面到達後開始發生,維持時間不超過 4 小時。(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 $310^\circ\sim 040^\circ$ 間發生風切,特別集中在 $320^\circ\sim 340^\circ$ 間,而松山機場則在 $080^\circ\sim 110^\circ$ 間的方向較易產生低空風切,尤其集中在 $090^\circ\sim 100^\circ$ 間。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。

關鍵詞:低空風切、強盛西南氣流、梅雨鋒面、速度輻散、遞迴運算、地形效應

一、前言

低空風切〔Low-level Windshear〕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,也跟風切有關係,若能利用中正及松山機場低空風切警報系統中各測風台原始資

料進行分析研究，將對低空風切的現象多些了解與認識，提早預防因低空風切所造成的飛航安全問題，對於乘客及機組人員生命的安全有莫大的助益〔蒲，2003〕。

本文利用民國 2002 年 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，並分析與探討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、風速之關係。

二、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中低空風切警報資訊。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；尹，1977〕：

$$F = \frac{\oint V_n ds}{A}$$

其中 s 是三角形之邊長， V_n 代表三角形頂點之測風台速度垂直於邊長的分量， A 為三角形之面積。

三、低空風切個案探討

時間：2002 年 05 月 22-24 日

1. 天氣概述

2002 年 05 月 22 日 0000 UTC 正值梅雨季時節，由中正機場 05 月 22 日 1500 UTC 至 05 月 23 日 0300 UTC 中央測風台〔Central

Field；CF〕東西向風速對應時間的變化〔如圖 1〕顯示，東西向風速最大的變化約在 2030 UTC，之後轉為東風，此期間中央測風台南北向風速對應時間的變化〔如圖 2〕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〔如圖 3〕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南北向風速對應時間的變化〔如圖 4〕顯示，南北向風速最大的變化約略判斷在 2030 ~ 2130 UTC 之間，依圖 3 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。

2. 低空風切警報次數、時間分布與風切強度的比較分析

圖 5 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 6 是依據第二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 5 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。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〕。

圖 7 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 0700 ~ 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才出現輕度低空風切 1 次、中度低空風切 4 次，總共維持 1 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 8 是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 7 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；而在鋒面到達後就立刻出現低空風切，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。當梅雨鋒面影響松山機場地區時，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，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 9 描述 2002 年 05 月 22 日 0200 UTC 至 5 月 22 日 1000 UTC 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 10 描述在 2002 年 05 月 22 日 0200 UTC 至 05 月 15 日 1000 UTC 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 11 描述在 2002 年 05 月 22 日 1800 UTC 至 5 月 23 日 0000 UTC 鋒面影響期間〔鋒面到達前兩小時及到達後四小時〕，中正機場產生低空風切警報次數與風切強度對應中央測風台風向之分布，說明中正機場在鋒面影響期間於 310°~040°間的方向產生低空風切，且集中在 320°~330°間。圖 12

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 13 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 以上才有可能出現低空風切的現象；而圖 14 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 15 與圖 16 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，但風速大於 10kt 以上，則低空風切的次數明顯增加。

四、結論

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〔≥14kt〕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〔>10kt〕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，在鋒面到達前 10 小時結束，總共維持 8 小時左右，且風速越強，風切發生頻率越高。而在鋒面系統影響期間，中正與松山機場低空風切在鋒面到達後立即開始發生，總共維持時間不超過 4 小時。

4. 在風向方面，強烈西南風盛行期間，中正機場在 200°~260°間的方向較易產生低空風切，尤其集中在 210°~220°間，而松山機場則在 260°~310°間的方向較易產生低空風

切，尤其集中在 280°~290°間。在鋒面影響期間，中正機場則大部份集中在 310°~040°間發生風切，特別集中在 320°~340°間，而松山機場則在 080°~110°間的方向較易產生低空風切，尤其集中在 090°~100°間。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。

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。
 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，第三十一期，第二號，181~198。
 Taylor, R. W., 1993: Technology of the Airplane and its Contribution to Safety. The Boeing Company. 48pp.

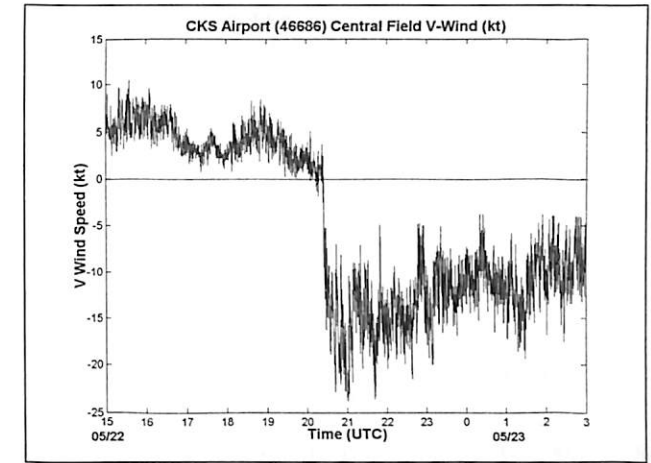


圖 2. 2002 年 05 月 22 日 1500UTC 至 05 月 23 日 0300UTC 中正機場中央測風台(CF)南北向風速對應時間的變化圖。

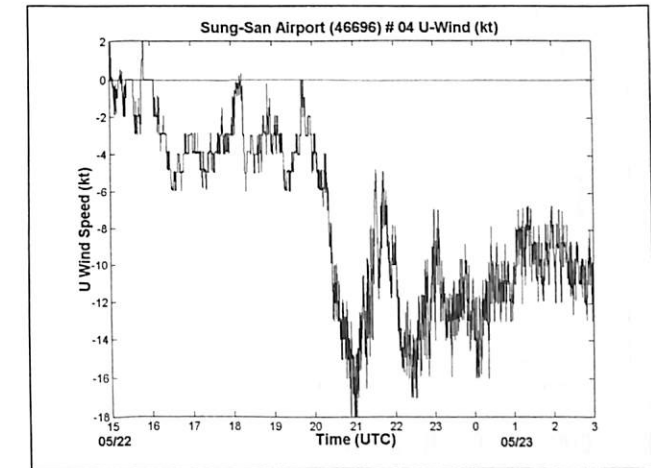


圖 3. 2002 年 05 月 22 日 1500UTC 至 05 月 23 日 0300UTC 松山機場第四測風台(04)東西向風速對應時間的變化圖。

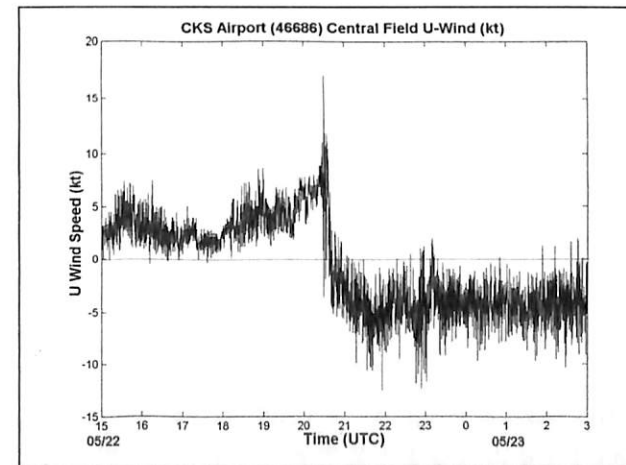


圖 1. 2002 年 05 月 22 日 1500UTC 至 05 月 23 日 0300UTC 中正機場中央測風台(CF)東西向風速對應時間的變化圖。

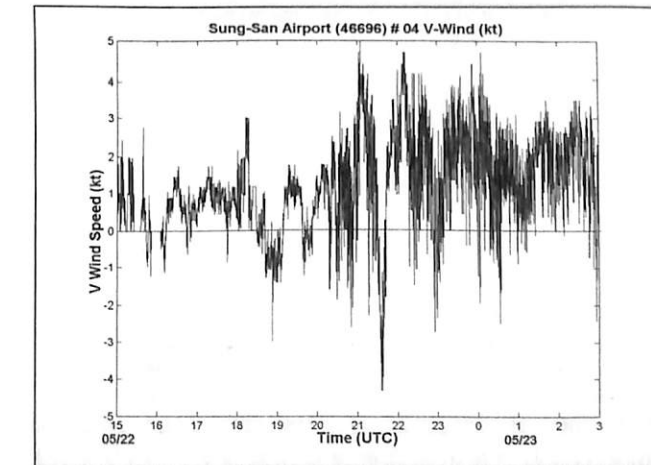


圖 4. 2002 年 05 月 22 日 1500UTC 至 05 月 23 日 0300UTC 松山機場第四測風台(04)南北向風速對應時間的變化圖。

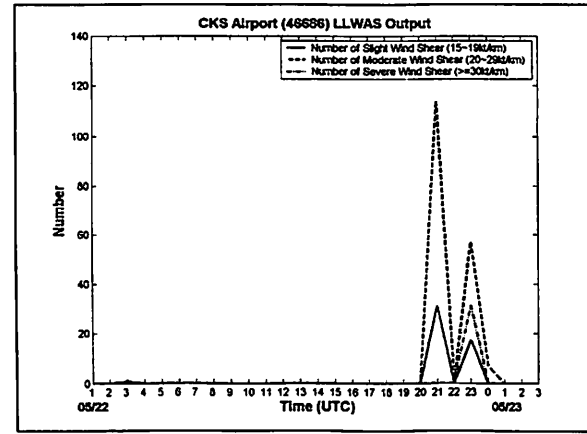


圖 5. 2002 年 05 月 22 日 0100UTC 至 05 月 23 日 0300UTC 期間中正機場低空風切警報系統(LLWAS)產生的低空風切警報次數、時間與風切強度分佈，共計出現輕度低空風切總數 49 次，中度低空風切總數 178 次，強烈低空風切總數 31 次。

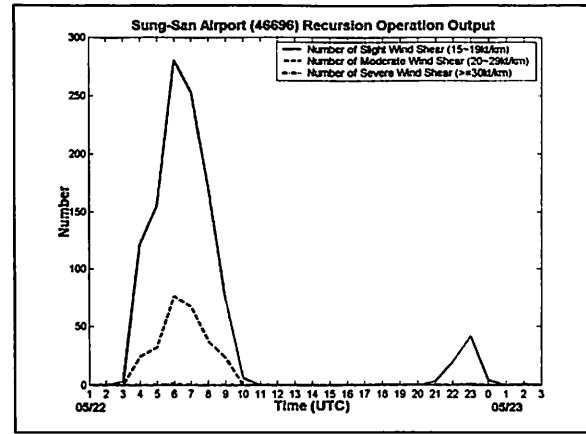


圖 8. 2002 年 05 月 22 日 0100UTC 至 05 月 23 日 0300UTC 期間以松山機場 12 個測風台原始觀測資料依照速度輻散之三角形遞迴運算的低空風切警報次數、時間與風切強度分佈，共計出現輕度低空風切 1130 次，中度低空風切 260 次，強烈低空風切 1 次。

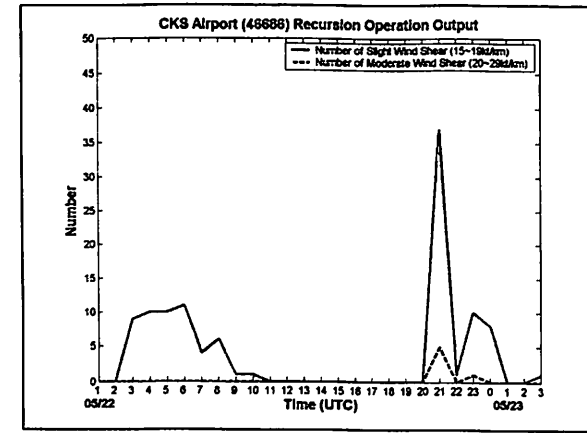


圖 6. 2002 年 05 月 22 日 0100UTC 至 5 月 23 日 0300UTC 期間以中正機場 15 個測風台原始觀測資料依照速度輻散之三角形遞迴運算的低空風切警報次數、時間與風切強度分佈，共計出現輕度低空風切總數 109 次，中度低空風切總數 6 次。

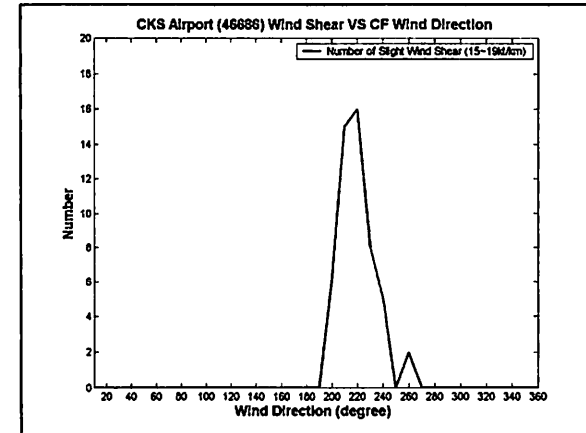


圖 9. 2002 年 05 月 22 日 0200UTC 至 05 月 22 日 1000UTC 中正機場產生低空風切警報次數與風切強度對應中央測風台(CF)風向之分佈圖，共計出現輕度低空風切總數 52 次。

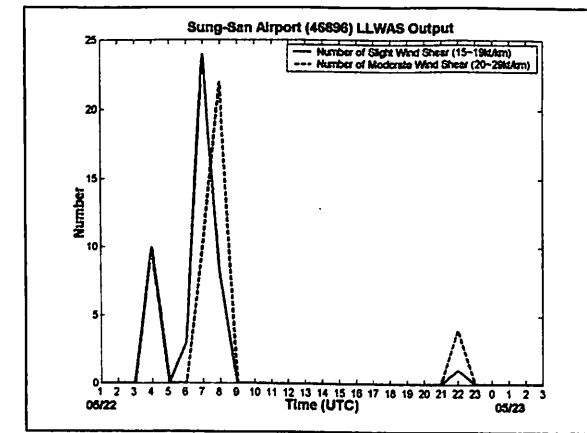


圖 7. 2002 年 05 月 22 日 0100UTC 至 05 月 23 日 0300UTC 期間松山機場低空風切警報系統(LLWAS)產生的低空風切警報次數、時間與風切強度分佈，共計出現輕度低空風切總數 46 次，中度低空風切總數 46 次。

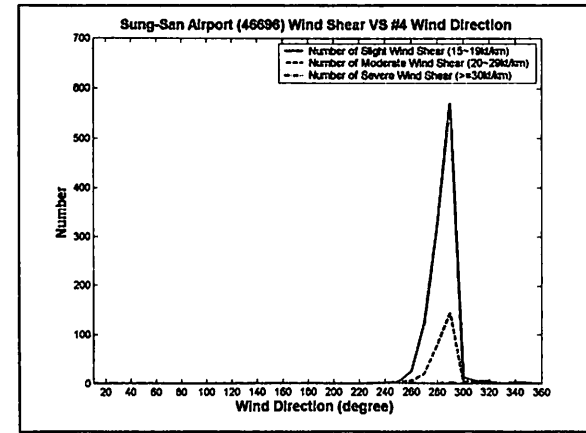


圖 10. 2002 年 05 月 22 日 0200UTC 至 05 月 22 日 1000UTC 松山機場產生低空風切警報次數與風切強度對應第四測風台(04)風向之分佈圖，共計出現輕度低空風切總數 1061 次，中度低空風切總數 259 次，強烈低空風切總數 1 次。

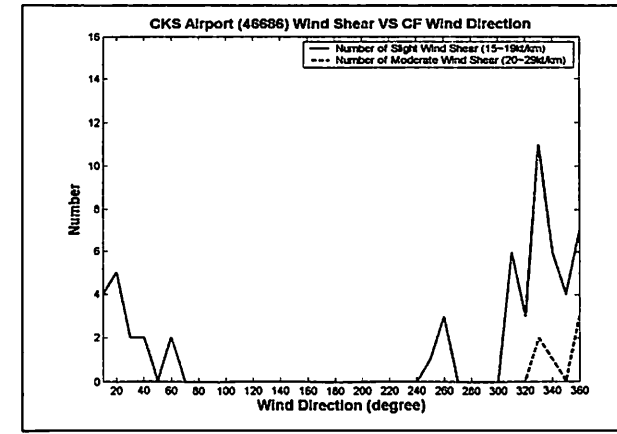


圖 11. 2002 年 05 月 22 日 1800UTC 至 05 月 23 日 0000UTC 中正機場產生低空風切警報次數與風切強度對應中央測風台(CF)風向之分佈圖，共計出現輕度低空風切總數 56 次，中度低空風切總數 6 次。

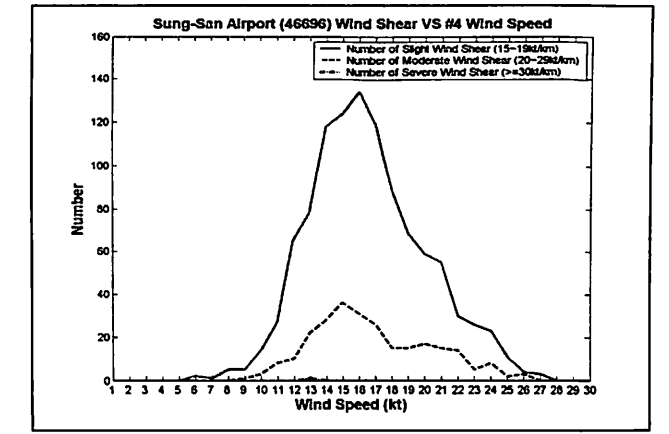


圖 14. 2002 年 05 月 22 日 0200UTC 至 05 月 22 日 1000UTC 松山機場產生低空風切警報次數與風切強度對應第四測風台(04)風速之分佈圖。

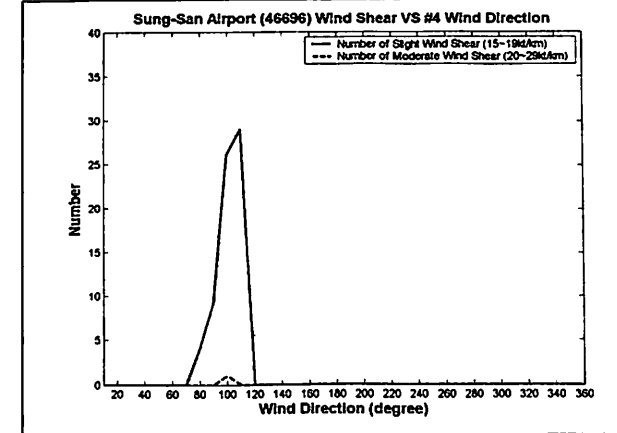


圖 12. 2002 年 05 月 22 日 1800UTC 至 05 月 23 日 0000UTC 松山機場產生低空風切警報次數與風切強度對應持續時間之分佈圖，共計出現輕度以上低空風切總數 68 次，中度以上低空風切總數 1 次。

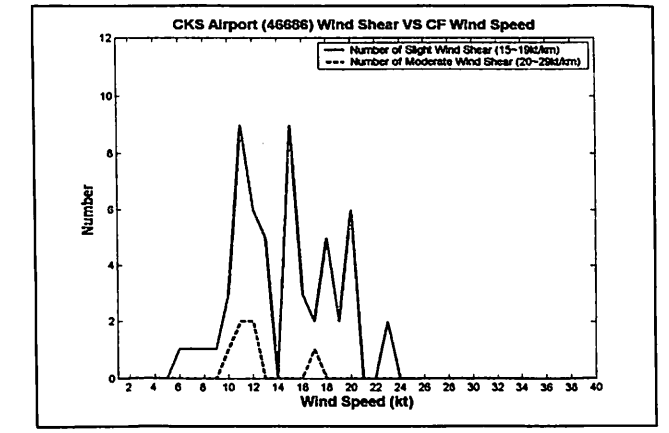


圖 15. 2002 年 05 月 22 日 1800UTC 至 05 月 23 日 0000UTC 中正機場產生低空風切警報次數與風切強度對應中央測風台(CF)風速之分佈圖，共計出現輕度低空風切總數 56 次，中度低空風切總數 6 次。

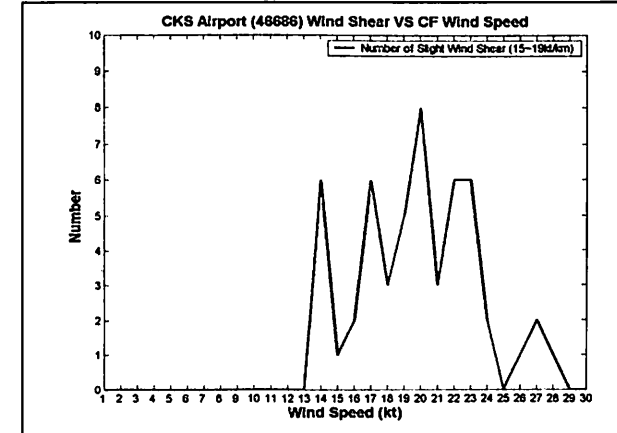


圖 13. 2002 年 05 月 22 日 0200UTC 至 05 月 22 日 1000UTC 中正機場產生低空風切警報次數與風切強度對應中央測風台(CF)風速之分佈圖，共計出現輕度低空風切總數 52 次。

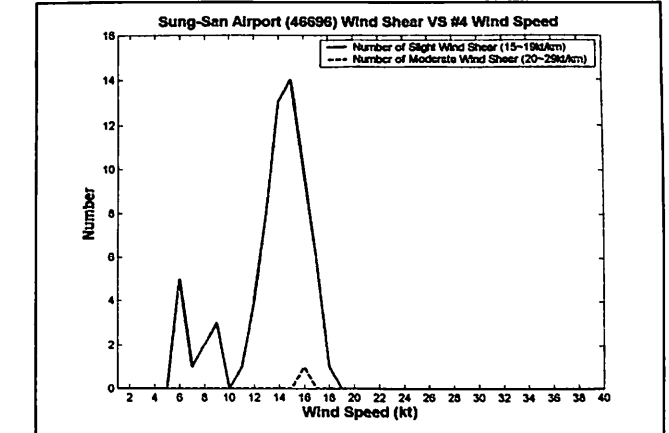


圖 16. 2002 年 05 月 22 日 1800UTC 至 05 月 23 日 0000UTC 松山機場產生低空風切警報次數與風切強度對應第四測風台(04)風速之分佈圖，共計出現輕度以上低空風切總數 68 次，中度以上低空風切總數 1 次。