

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

風切識別與危害因子研究計畫

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2212-E-032-011-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：淡江大學航空太空工程學系(所)

計畫主持人：宛同

計畫參與人員：詹建生,王正民,吳仕偉,李浚傑

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 92 年 11 月 27 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

風切識別與危害因子研究(B)

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 91 - 2212 - E - 032 - 011

執行期間： 91年 08月 01日至 92年 07月 31日

計畫主持人：宛同

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

執行單位：淡江大學航空太空工程學系(所)

中 華 民 國 92 年 10 月 31 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

計畫編號：NSC 91 - 2212 - E - 032 - 011

執行期間：91 年 08 月 01 日至 92 年 07 月 31 日

主持人：宛同 淡江大學航空太空工程學系(所)

一、中文摘要：

在飛機起降當中，風切很可能嚴重影響飛航路徑，有時甚至導致嚴重損害，造成人員傷亡。在一項調查資料中發現，十件飛安事故中至少有一件是受風切影響。在一項美國國家運輸安全委員會(NTSB)飛安事故調查中，統計數據顯示，超過一成的飛安事故，是由氣流造成的風切所引起。美國聯邦航空總署(FAA)亦將風切問題列為其未來十年重要發展方向之一，其中重要的研發主題，是從能量的觀點來推導及計算風切危害因子(F-factor)，認為此因子極有可能，在未來成為因風切而造成飛機失事的判斷依據。本計畫總目標即在建立危害因子之精確計算以及風切識別判斷的能力，以學術界的研發專長，幫助飛安委員會建立精確的失事資料分析能量，進一步提升我國飛安事故的專業能力。根據國科會航太學門的說明，此研究主題需分 A、B 兩組學術研究團隊進行，結合航空及氣象兩大專業人才，以利整體分工合作。本組(B 組)將由地面機場之氣流量測系統，計算三維風場，並建立機場三維風場模型，與 A 組計算瞬時三維沿飛行軌跡的風場比較，驗證風場估算之精確度。除了風場驗證的相關性外，兩組終將整合本組的機場三維風場模型和 A 組計算之預估航行軌跡，計算風切危害因子的預估值，將可進一步發

展風切預警系統，成為先進之風切危害研判技術。

關鍵詞：風切、風切危害因子

二、研究目的：

在飛機起降當中，風切很可能嚴重影響飛航路徑，有時甚至導致嚴重損害，造成人員傷亡。美國聯邦航空總署亦將風切問題列為其未來十年重要發展方向之一，其中重要的研發主題，是從能量的觀點來推導及計算風切危害因子(F-factor)，認為此因子極有可能，在未來成為因風切而造成飛機失事的判斷依據。近年來，風切危害因子“F-factor”已成為風切飛安事故的一項重要指標，它量化飛機受力的變化，且為飛機位置及速度的函數。“F-factor”原本是一個用來評斷低空風切對飛機性能影響的參數，該參數的意義是將低空風切對飛機性能所產生的影響量化，用較為精確的數字作為評定當時的風切強度是否會對飛機的飛行安全造成危害的依據。

本研究計畫之「F-factor」原本是一個用來評斷低空風切對飛機性能影響的參數，該參數的意義是將低空風切對飛機性能所產生的影響量化，用較為精確的數字作為評定當時的風切強度是否會對飛機的飛行安全造成危害的依據。F-

factor 的環境條件為在並不考慮其他天候因素的狀況之下，我們可以將 F-factor 定義為

$$F = \frac{\dot{W}_x}{g} + \frac{W_z}{V_a}$$

其中 g 代表重力加速度， V_a 代表飛機的空速， W_z 代表風速在垂直方向的分量，並且定方向是向下為正，而 W_x 則是代表風速對飛機路徑的速度分量。

由以上的公式中，我們可以發現利用該公式所算出來的數值為一無因次的常數，而所算出來的數值意義為去衡量外界的風力對飛機性能所造成的影響；在這裡我們必須注意的是，由於低空風切對飛機的影響主要是發生在飛機飛行在低空之時，尤其是飛機起飛和降落的時刻，由於這時飛機的速度和飛行高度均處在一個較為不足的狀態之下，故一個瞬間作用於飛機上的速度分量就有極大的可能造成飛機失事，因此我們在此所考慮的為飛機在垂直方向所受到風場的干擾的速度向量和飛機空速的比值，也就是我們將對飛機水平方向的影響和垂直方向的影響去做比值，就可以得到該架飛機在受到外在的低空風切干擾之後的行進趨勢，若計算出來的 F-factor 為正，則對飛機而言即是代表該架飛機的性能有衰減的趨勢，代表著該飛機有向地面撞去的趨勢存在，因此對飛航安全而言是較為危險的。

本計畫總目標即在建立危害因子之精確計算以及風切識別判斷的能力，以學術界的研發專長，幫助飛安委員會建立精確的失事資料分析能量，進一步提升我國飛安事故的專業能力。根據國科會航太學門的說明，此研究主題需分 A、B 兩組學術研究團隊進行，結合航空及氣象兩大專業人才，以利整體分工合

作。本組(B 組)將由地面機場之氣流量測系統，計算三維風場，並建立機場三維風場模型，與 A 組計算瞬時三維沿飛行軌跡的風場比較，驗證風場估算之精確度。除了風場驗證的相關性外，兩組終將整合本組的機場三維風場模型和 A 組計算之預估航行軌跡，計算風切危害因子的預估值，將可進一步發展風切預警系統，成為先進之風切危害研判技術。

三、結果與討論：

本研究原先計畫採用 CALMET 氣象模式，藉由機場量測之 LLWS 資料，以氣動數值模型來建立機場的三維風場模型，並以該模型和本計畫 A 組由飛行資料記錄器 (Flight Data Recorder, FDR) 紀錄之資料所計算出之瞬時三維沿飛行軌跡的風場數據相互比較，藉以驗證風場估算之精確度。CALMET 為 Computer Aided Learning in Meteorology 的簡寫，其主程式原先是以 Super Computer 為其工作平台，目前則已成功移植到個人電腦上使用。該模擬系統的原始設計包括了：(1) 能夠處理隨時間變化的點源和面積源的能力。(2) 適合模擬的範圍可由數十公尺到數百公里。(3) 估算的時間範圍可由一小時到一年之間。(4) 可適用在較為複雜的地形。(5) 適用於粗糙或是複雜的地形；LLWS 全名為 Low Level Windshear Alert System，中文譯名為低空風切警告系統；該系統為在機場周圍架設數個到十多個測風站，採用任意三點測風台資料，計算此三角形面積內的輻合和輻散強度之後，再與其他三角形遞迴運算，以求得機場週邊範圍內的低空風切警示資料。

在本研究中首先必須收集用以建立模型的相關資料，所要收集的資料有以

下兩種：(1)機場周圍 LLWAS 測站之位置相關資料(包括測站的經緯度,海拔,風力計高度等)和當時的氣象資料(包括當時的氣壓、溫度、溼度、風向、風速等)等相關數據。(2)機場附近的地形高度資料(為 UTM 地理座標系統格式)和土地利用資料。將前述兩項資料分別經過前處理後(利用中尺度氣象程式 MM5)成為所需的地面氣象資料檔和地形資料檔,將此兩個檔案作為 CALMET 之資料輸入檔。再調整各地面測站對各數值計算點的影響權重參數,進行風場模擬。最後將 CALMET 模式所模擬出的三維風場模型和(A)組由飛行資料記錄器紀錄之資料所計算出的瞬時三維沿飛行軌跡的風場相互比較,以估算出模式之精確度。

但本方法所遭遇問題有下:(1)地形資料不易取得,資料解析度可能過於粗糙而不合所需。(2) CALMET 較適合使用於較大尺度的氣象現象模擬,而本計畫中之計算區域尺度略嫌偏小。(3) LLWAS 可獲得之數據嚴重不足及不夠精密,無法符合 CALMET 的最低操作需求。以上各點困難又以第三點最為關鍵,故本計畫不得已必須採用其他方式求得風場模式。

本計畫目前所採取之研究方法為將由 LLWAS 所得到之風場資料輸入電腦,結合 LLWAS 測站的位置,將在機場周圍區域的風向及風速大小標示出來,並且建立發生風切時間中的各時間點之瞬時風場狀況;再將當時遭遇風切狀況的飛機飛行軌跡與其由飛機上所測得的風力資料建立,將以上兩筆資料結合,即可得到該航機於遭遇風切時之相對位置及風場圖;而在資料彙整之後,我們再利用線性內插的方法求得在該時

刻之航機軌跡點上,由 LLWAS 的風力資料所推出的風速和風向,再以此推出的風速和風向去和 A 組由航機所測得之值作比對,求得兩者之間的相關性和誤差;由以上的步驟可以得知,由於從 LLWAS 風場中產生的風速和風向值為一估計值,並非一實際值,因此實難將其與真實狀況下之誤差值量化,僅能夠就風速的大小和風向的角度作一定性的分析,判斷 A 組計算出之航機風速和風向是否與當時由地面 LLWAS 測站所測得之結果其趨勢相符;而為了減少因地形因素造成的干擾,故我們選擇了桃園中正機場做為建立風場模型的區域,並對以下五件在中正機場遭遇風切的案例進行分析,其代號如下:

- (a) 4067376a
- (b) 7180006
- (c) 7180007
- (d) 7310011
- (e) 40273212

(相關圖表見後,速度單位為 m/s,角度單位為 degree,資料比對點指的是與 LLWAS 風場相同時刻的飛機位置)

在這五個案例中,我們可以發現在案例(a)和案例(e)的相關性呈現負相關,而其他三個案例則呈現高度的正相關性(我們定義相關性的區域為 1 到-1,即由高度正相關到高度負相關),但在詳細分析案例(e)的狀況之後,我們可以發現其飛機所測得之風速和風向大致與 LLWAS 風場吻合,但恰好在所取的飛機資料點之處的飛機風向和風速發生變異情況,這有可能是由以下兩點原因產生:(1)受到周圍建築物的影響,或是(2)在資料擷取時有相位偏差的情況發生,因而使得再該處的資料發生和整體不協調的變異情況。

四、計畫成果自評：

本計畫原先走向為以 CALMET 為平台，藉以建立欲計算區域中之風場狀況，一方面可為我國民航相關單位建立模擬分析能量，一方面亦可獲得一可信度較高之風場建立模式，惟受限於 CALMET 程式本身在操作上之先天限制及國內所能夠獲得關於飛航方面之氣象資料仍有不足，故此一願望無法達成；而本計畫目前所採用之研究方法為一於氣象上所較常使用之判斷方法，其可信度較高，對氣象資料的要求也較少，惟此種方法僅較為適合作定性的分析，關於定量方面則不免落差較大且較無法估計出其誤差範圍。

本研究計畫針對 5 個航次飛機於中正機場降落時遭遇風切現象之狀況作分析，詳細飛機軌跡圖和統計圖表見後；大體而言，本組所分析出之結果與 A 組之結果大致吻合，但僅限於定性方面；而定量方面則因為本組之地面風場所得原始數據不足及飛機數據測量時本身的誤差，因此無法作一比較，實為遺憾。

本計畫之研究方向極具意義，對建立我國黑盒子解讀能量及風場還原能量，已跨出重要一步；惟因過去並無相關類型研究計畫之情形下，所需之氣象資料甚為缺乏，國內無論官方或民間均無相關儀器的購置，因此使得本計畫不得不僅能得到目前之成果；此成果雖差強人意，但已為在目前國內所可獲得之氣象儀器設備支援下，能夠得到之最大成果。

台灣位處亞熱帶，周圍為海流交會之處，又在大洋和大陸之交際地帶，因而天氣現象極為複雜，影響飛安的天氣現象亦極多，冀望相關單位能夠充實國

內航空氣象相關研究設備，以增進我國飛安水準。

誌謝：

感謝民航局飛航服務總台蒲金標副總台長提供 LLWAS 氣象資料及飛安委員會官文霖博士提供相關協助。

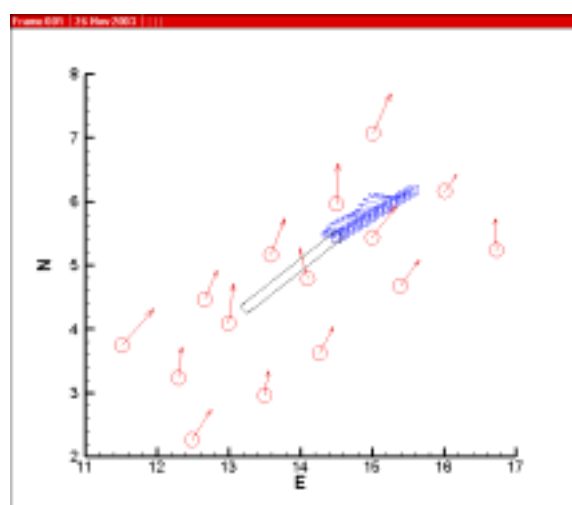


Figure 1 案例(a)飛機軌跡與 LLWAS 風場相關圖

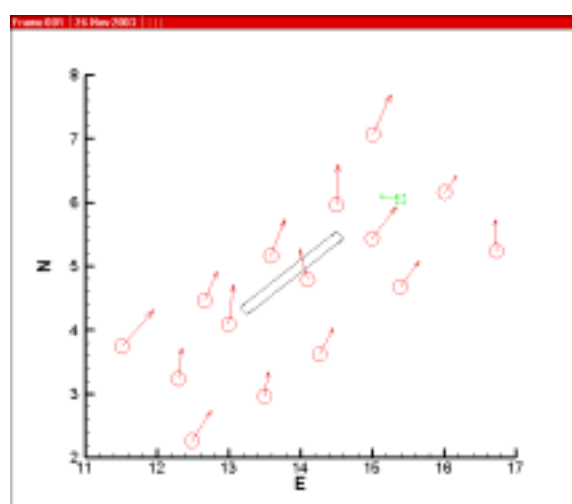


Figure 2 案例(a)資料比對點與 LLWAS 風場相關圖

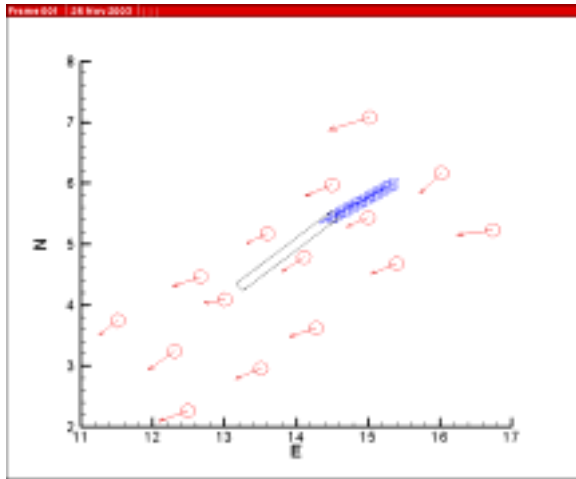


Figure 3 案例(b)飛機軌跡與 LLWAS 風場相關圖

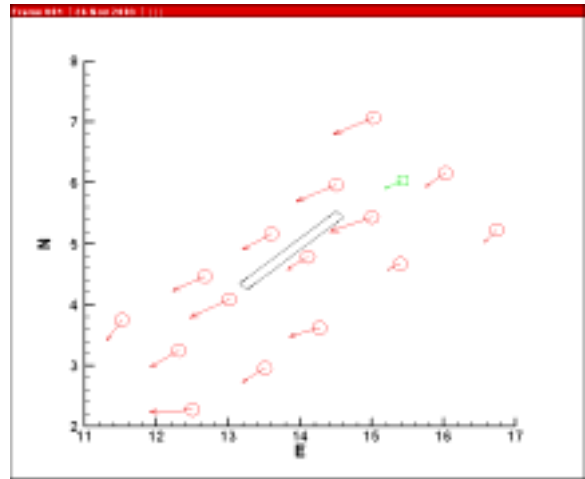


Figure 6 案例(c)資料比對點與 LLWAS 風場相關圖

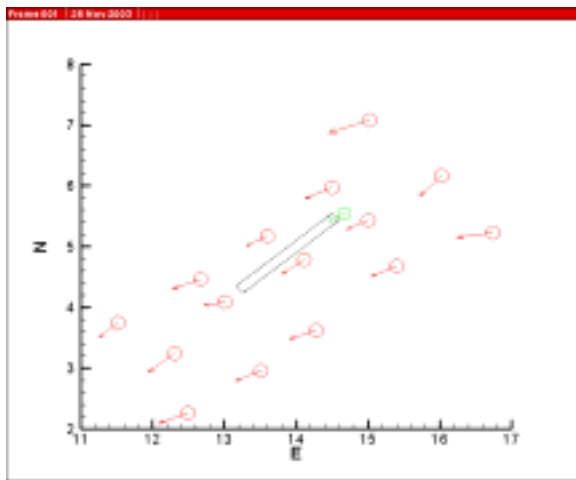


Figure 4 案例(b)資料比對點與 LLWAS 風場相關圖

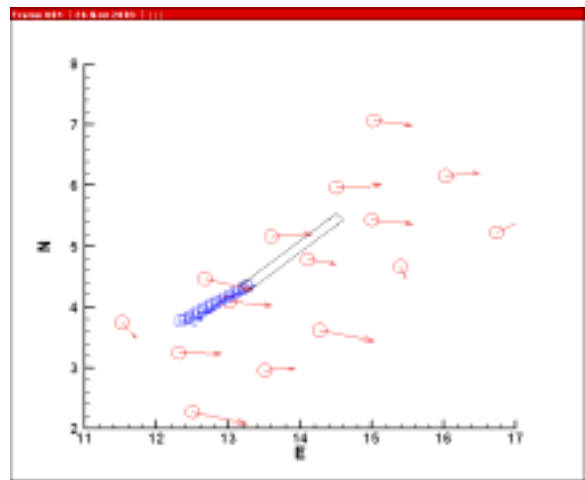


Figure 7 案例(d)飛機軌跡與 LLWAS 風場相關圖

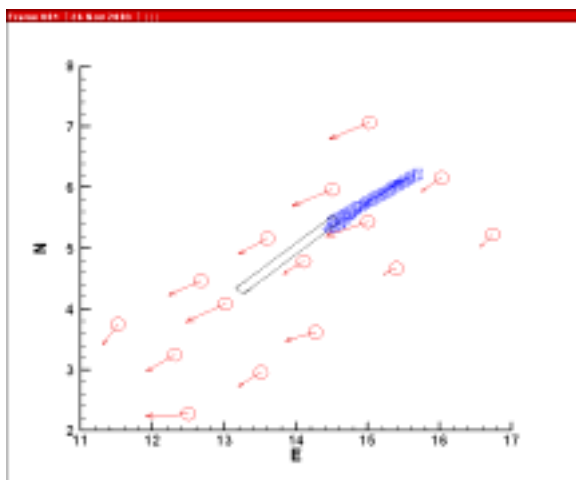


Figure 5 案例(c)飛機軌跡與 LLWAS 風場相關圖

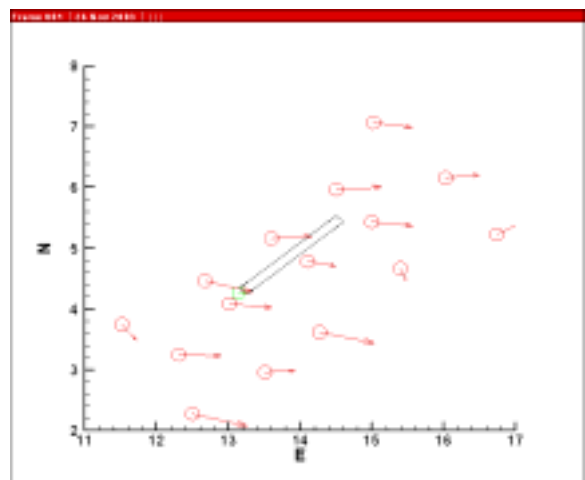


Figure 8 案例(d)資料比對點與 LLWAS 風場相關圖

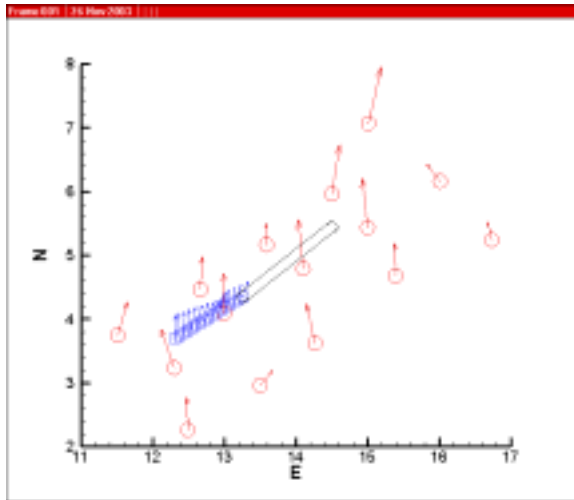


Figure 9 案例(e)飛機軌跡與 LLWAS 風場相關圖

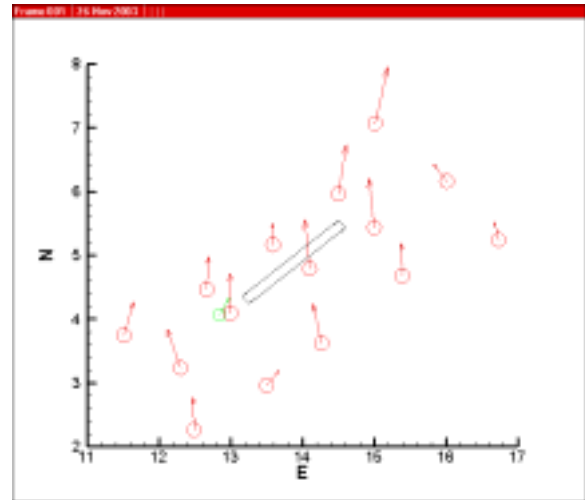


Figure 10 案例(e)資料比對點與 LLWAS 風場相關圖

4067376a	飛機測得之值	取全部測站之值	取鄰近 8 測站之值	相關性計算準則
風之速度	9.880000	17.73333	18.12500	
風之角度	277.8900	65.13333	58.87500	
相關性			-0.7769809	以餘弦函數為基準
			-0.5664998	以相對角度為基準

Table 1 案例(a)LLWAS 風場和資料點之風速風向值及相關性計算

7180006	飛機測得之值	取全部測站之值	取鄰近 8 測站之值	相關性計算準則
風之速度	8.750000	13.80000	13.00000	
風之角度	239.8000	242.9333	241.1250	
相關性			0.9997326	以餘弦函數為基準
			0.9852778	以相對角度為基準

Table 2 案例(b)LLWAS 風場和資料點之風速風向值及相關性計算

7180007	飛機測得之值	取全部測站之值	取鄰近 8 測站之值	相關性計算準則
風之速度	9.770000	15.60000	16.00000	
風之角度	240.3000	238.8000	237.7500	
相關性			0.9990098	以餘弦函數為基準
			0.9716666	以相對角度為基準

Table 3 案例(c)LLWAS 風場和資料點之風速風向值及相關性計算

7310011	飛機測得之值	取全部測站之值	取鄰近 8 測站之值	相關性計算準則
風之速度	6.170000	17.86667	16.00000	
風之角度	85.10000	100.5333	97.25000	
相關性			0.9775999	以餘弦函數為基準
			0.8650000	以相對角度為基準

Table 4 案例(d)LLWAS 風場和資料點之風速風向值及相關性計算

40273212	飛機測得之值	取全部測站之值	取鄰近 8 測站之值	相關性計算準則
風之速度	9.940000	18.80000	19.62500	
風之角度	27.42000	238.7333	264.7500	
相關性			-0.5397995	以餘弦函數為基準
			-0.3630000	以相對角度為基準

Table 5 案例(e)LLWAS 風場和資料點之風速風向值及相關性計算