

新型低空風切警告系統 LLWAS-RS 簡介

郭忠暉¹ 吳拱辰²

一、前言

美國 Climatronics 公司於 2005 年 4 月 8 日宣布，該公司新型的低空風切警告系統 LLWAS-RS(Low Level Windshear Alert System -- Relocation and Sustainment)可有效用於商業應用。LLWAS-RS 系統原本是為美國聯邦航空總署(FAA)製造，以取代老舊的第二代低空風切警告系統(LLWAS Phase II)。以下依據 Climatronics 公司網站提供之產品訊息，將 LLWAS-RS 系統作一介紹，內容包括低空風切背景說明、系統特性、系統構成元件、危害風切偵測的流程及跑道警報的產生。

二、低空風切背景說明

低空風切警告系統（以下簡稱 LLWAS）是美國 FAA「風切安全計畫」（wind-shear safety program)的主幹，而低空風切對在機場跑道走廊(runway corridor)的航空器是一大危害。對於運作遍及全美國機場的 Climatronics 公司 LLWAS 而言，藉由適時的偵測並報告發生在終端進場和離場區及其附近的危害風切，使得空中旅行安全更加強化。以下為有關 LLWAS 的一些低空風切背景說明：

1. 微爆氣流(microburst)：

微爆氣流對正在最後進場及起飛的航空器有最大的威脅。微爆氣流的初始為小型強力的下衝氣流(downdrafts)，發生在大雷雨內部，由距地面 10,000 ~ 20,000 呎 (3,000 ~ 6,000 公尺)

處向下降落。這些向下急衝的冷空氣到達地面時，會以水平方向向四面八方散開或爆開，造成一劇烈且厚度很淺的局部輻散風切。

當風切的減速值(loss value)大於或等於 30 kt 時，被公認為微爆氣流警報(microburst alarm)。當風切的減速值大於或等於 15 kt 但小於 30 kt 時，被公認為風切警告(wind shear alert)。換句話說，當 LLWAS 偵測到上述風切數值時，系統會響起微爆氣流警報或風切警告。

2. 陣風鋒面(gust front)

陣風鋒面為風速及 /或風向變化的邊界。以輻散分析(divergence analysis)來偵測微爆氣流和陣風鋒面的發生，因微爆氣流和風的輻散有關聯，而陣風鋒面（風切）和風的輻合有關聯。

3. 跑道走廊的風切安全

航空單位十分重視機場跑道走廊天氣狀況改變的準確測量，及迅速預測的能力。風切作用於航空器上，因突如其來改變升力，常導致飛機空速及飛行特性突然的改變。這出乎意料的風變（風向風速二者及下爆氣流），正是航空器意外事件的幕後推手。

當航空器遭遇一突然發展（常在短短 1 至 2 分鐘內）的微爆氣流的風型(wind pattern)，首先它會遭遇到逆風，此時流經機翼的氣流增加，使得指示空速增加，因此升力增大。若航空器在下滑坡度(glide slop)上進場，此時駕駛員會藉由使機首

下傾來嘗試修正升力，以免降落時滑出跑道。在遭遇逆風之後，航空器緊接著經歷下衝氣流，迫使飛機下降。最後，航空器經歷強勁的順風，此時流經機翼的淨氣流減少，因此升力減小。因接近地面時會遭遇輻散的風型，航空器在回復空速及飛離微爆氣流前已幾乎沒有空間讓航空器下降。微爆氣流涵蓋範圍約不到 2 平方哩。

三、LLWAS-RS 系統特性

Climatronics 公司的 LLWAS 提供經蒐集和處理的即時風場資料，用以偵測存在於機場四周危害的風切或微爆氣流事件，並提供相對於跑道之危害發生位置。風場資料全由沿著跑道走廊配置的遠程站(remote stations)上的風感測器蒐集而來。系統被調整為對正在進場或離場的航空器可能造成威脅的風切做出警告。

為了通知航空器駕駛員以便採取適當的避開行動，LLWAS 會對飛航管制員及其他機場人員給予可見的和有聲音的警告。警告以清晰且簡明的數字或圖形格式表示。LLWAS 提供其輸出至顯示系統(display system)，而此系統通常安裝於飛航管制塔台內和終端雷達進場管制(Terminal Radar Approach Control, TRACON)室內。

為美國 FAA 製造的 LLWAS-RS 系統，具有以下的特性：

1. 經環境測試及場地試驗證實，符合 FAA 高級執行標準。目前全美國有 40 個作業機場使用 LLWAS-RS。
2. 經場地試驗證實，遠程站在各種不受控制環境下仍然穩定執行。

3. 由 Climatronics 公司實現 FAA 驗證的 UCAR (美國大學大氣研究聯盟) 第三代演算法(Phase III Algorithm)。
4. 符合 FAA 要求的偵測機率(Probability of Detection, POD)。
 - (1) LLWAS-RS 的 POD 擁有等同大多數氣象雷達系統的效率，只需要 1/10 的經費。
 - (2) Climatronics 公司的 LLWAS-RS 系統擁有唯一最新 POD 分析。
5. LLWAS-RS 系統之資料檢索(retrival)、處理(processing)及分配(distribution)：
 - (1) 經由無線電頻率 (radio frequency, RF)遙測術或陸線 (land-line)收集來自遠程站的機場區風場資料，並自動偵測危害低空風切。
 - (2) 測量風切(包括微爆氣流) 危害等級並測定其發生位置。
 - (3) 測量遠程站中央場站(center field)的風向風速，並計算每 30 秒、2 分鐘的平均值，這些資訊與陣風資訊一起輸出。
 - (4) 測量機場四周各遠程站的風向風速，並計算每 30 秒的平均值。
 - (5) 提供系統維護與控制。
 - (6) 提供歸檔儲存(archival storage)能力。
 - (7) 提供風場資料及警報資訊給多種不同的顯示器。

四、系統構成元件

LLWAS-RS 系統由主站(Master Station, MS)、顯示器(Displays)

及遠程站(Remote Station, RS)等三部分組成(參閱附圖), 詳細說明如下:

(一) 主站

主站由下列的主要元件組成:

1. 主站電腦及系統主控制台(system console): 監視 LLWAS 的執行。
2. 主站無線電收發器(transceiver): 透過主站的全方位天線, 傳送無線電收發器發送的 RF 信號給遠程站。

(二) 顯示器

主站電腦提供連接下列遠程顯示器的介面與顯示控制設備:

1. TRACON 顯示器: 顯示中央場站的風速、風向及陣風的資訊。
2. Ribbon 顯示終端機(Ribbon Display Terminal, RBDT)之平面電漿顯示器或是 17 吋 TFT-LCD 圖形顯示終端機(Graphics Display Terminal, GDT)。
3. 顯示器提供每一跑道架構(runway configuration)畫面最新的風向風速及風切和微爆氣流的情況 警示及警告等資訊。
4. 每一個 RBDT 之顯示切換器(display selection device) (鍵盤/顯示), 用以選擇及顯示預先定義之跑道架構畫面。
5. 偵測到危害風切會發出可聽到的警示聲。

(三) 遠程站

遠程站由下列的主要元件組成:

1. 風感測器(wind sensor): 聲風速計(sonic anemometer) 架

設在可移動的滑管上。

2. 遠程站外殼(enclosure)：不鏽鋼連接盒，內含無線電收發器、電源供應器和微電腦介面卡，架設在可移動的圓架上。

3. 定向天線。

4. 太陽能板(solar panel)(選購)。

遠程站設於機場及其四周，最多可設置 32 個站。每個遠程站是一群設備，風的資料可被測量及檢索。現行的風速及風向測量是連續收集來自遠程站的風感測器。這些風測量及 LRU(Least Recently Used, 最近最少使用)執行資訊將會加以資料格式化，以便有效、可靠的傳送至主站做更進一步的處理及確認。

風感測器：LLWAS 系統使用的風感測器為聲風速計，聲傳送器會發出超音波，因風造成超音波脈波通行時間之變化，可被內部的電子儀器測量，藉此算出水平風分量。

無線電收發器：遠程站使用的無線電收發器和主站的收發器一樣，由無線電收發器發出 RF 信號傳送至主站。

電源供應器：電源供應器將交流電轉成直流電，同時也為在連接盒內的備用蓄電池充電。另外，選購的太陽能板可提供電力給遠程站。

備用電源：遠程站使用的蓄電池貯存容量為 34 Am-hr，蓄滿電至少可讓遠程站正常運作 32 小時。

遠程站外殼：為不鏽鋼防風雨(weather-tight housing)外殼，遠程站之電源供應器、電池和無線電收發器或陸線介面全置於不鏽鋼防風雨外殼內。

五、危害風切偵測的流程

Climatronics LLWAS 的演算法(algorithm), 是由在美國科羅拉多州波特市的大學大氣研究聯盟 (University Corporation for Atmospheric Research, UCAR)所屬之國家大氣研究中心(National Center for Atmospheric Research, NCAR)為 FAA 而發展的, 以供實現 LLWAS-3 用。此處提到的 LLWAS-3 演算法即為 UCAR 演算法。Climatronics 公司持有 UCAR 發給的使用者執照, 可在 LLWAS 裡使用 UCAR 演算法。以風場資料測定危害風切存在的流程, 是使用 UCAR LLWAS-3 演算法來執行。此種演算法為最新驗證法, 已被證實偵測機率大於 90%, 而虛假警報(false alarm)率很低, 小於 10%。危險的風切和微爆氣流被偵測及警報的產生均與跑道有關, LLWAS 有能力同時支援 8 方向跑道, 提供全功能與跑道有關聯的資訊及資料。

(一) 網路統計分析(network statistical analysis)

系統接收每個風感測器有效的及經過濾的資料, 計算出機場地區的平均數與標準差的估計。如有一個或一個以上的風感測器與先前計算的平均數有顯著差異時, LLWAS 使用卡方 (Chi-square, ²) 偏離值(outlier)修整策略, 除去有混淆的平均數與標準差值。

(二) 輻散分析

以輻散分析來偵測微爆氣流和陣風鋒面的發生, 因微爆氣流和風的輻散有關聯, 而陣風鋒面(風切)和風的輻合有關聯。實際上, 輻散是由二部分組成, 第一、利用所有感測器地點(sensor sites)構成

之邊(edge)和三角形(triangle)，計算風之導數以估計輻散或輻合的發生，如有輻散發生，則使用微爆氣流模式估計航空器的逆風減速(loss)。第二、如逆風增速(gain)或減速持續，則計算沿跑道的風切。

(三) 警告分析(alert analysis)：

系統執行警告情況分析以決定風切的類型及受影響的跑道，如果出現多重風切，則決定哪一種風切最有可能衝擊使用跑道(active runway)。

六、跑道警報的產生

為決定危險風切的位置與強度，系統會對關於跑道的警報進行處理。持續的風切情況會導致跑道警報的產生，而跑道警報的產生是利用 UCAR 演算法來實現，此演算法會產生危險的風切和微爆氣流警報。

風切的持續：唯有在風切情況持續出現達一定的預建參數次數時，跑道訊息(runway messages)才會發布到顯示系統上。

跑道訊息：跑道訊息顯示警告的種類、跑道頭風向及風速、預期最先遭遇到的位置、跑道方向上預期的減速或增速、多重風切以及在 LLWAS 網路外可能存在的風切。所謂警告係表示出現危險的風切。

微爆氣流警告(MBA)和風切警告(WSA)：警告訊息有下列兩種：

- (1) 微爆氣流訊息：當測風網內被偵測到微爆氣流時，系統會發布微爆氣流警告。微爆氣流是指一個被偵測到的輻散減

速（單位為 kt）大於或等於一預定參數(pre-set parameter)值（典型為 30 kt）。微爆氣流永遠是減速。

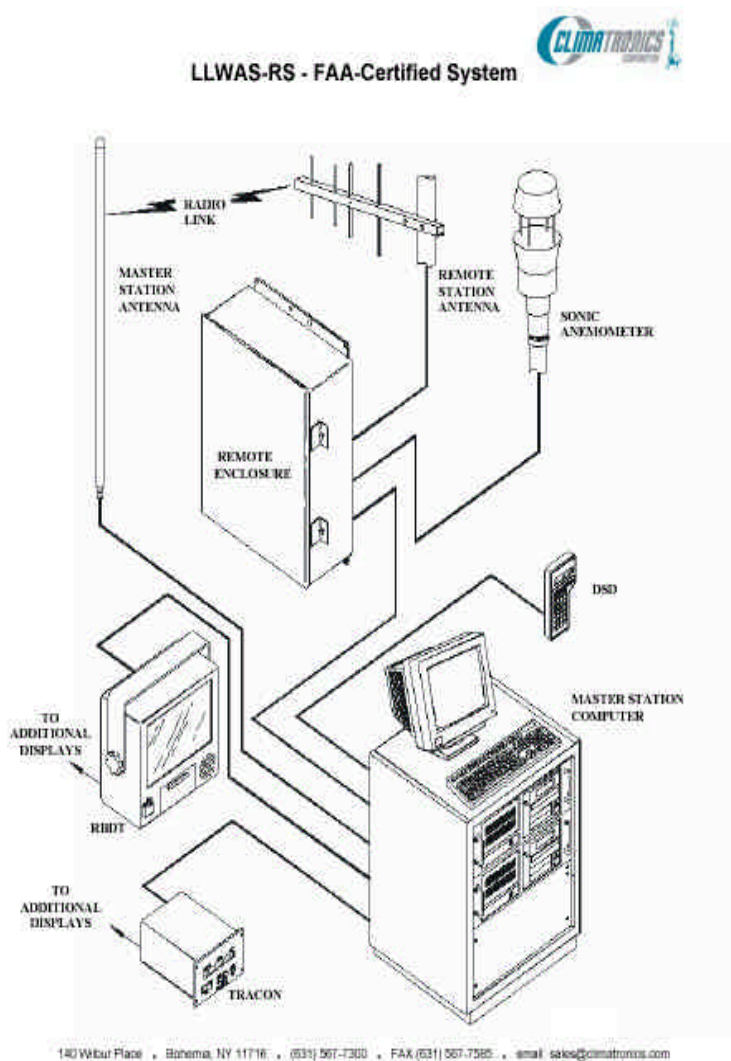
- (2) 風切警告：當測風網內被偵測到跑道方向減速(runway-oriented loss, ROL) 或增速(runway-oriented gain, ROG) 超出一預定參數值（單位為 kt）之風切情況時，系統會發布風切警告。風切情況是指一個微弱的輻散小於一預定參數值（典型為 25~30 kt）但大於一設定參數(set parameter)值（典型為 15 kt）。

七、結語

低空風切對在機場跑道走廊的航空器是一大危害，這已是一個不爭的事實，利用低空風切警告系統來偵測存在於機場四周的危害風切或微爆氣流事件，為目前最有效的觀測方法之一。在美國 FAA 的風切安全計畫裡，將低空風切警告系統列為主幹，更可看出低空風切警告系統對低空風切的重要性。本文介紹的 LLWAS-RS 系統為可供商業應用的新型低空風切警告系統，已獲得美國 FAA 認證，目前全美國有 40 個作業機場使用此系統，以取代老舊的第二代低空風切警告系統。此外，LLWAS-RS 系統尚具有多項特色，諸如：遠程站在各種不受控制環境下仍然穩定執行 遠程站最多可設置 32 個站、符合美國 FAA 要求的偵測機率、使用 UCAR 第三代演算法執行風場資料測定及危害風切存在的研判、遠程站與主站間之資料傳輸以無線電為主陸線為輔、遠程站之風感測器使用聲風速計、太陽能板(選購)可提供電力給遠程站等。

八、參考資料

美國 Climatronics 公司網站 <http://www.Climatronics.com>



附圖：LLWAS-RS 系統架構圖（美國 Climatronics 公司提供）

第一作者為前台北航空氣象中心副主任
第二作者為拱辰企業有限公司總經理