

臺北松山機場過去10年低空風切統計分析研究

¹ 李宜亭、² 洪志誠

¹空軍氣象聯隊、²臺北市立大學地球環境暨生物資源學系

摘要

低空風切係指近地面500公尺以下，風向或風速發生驟變，且持續10秒鐘以上。若飛機起降遭遇低空風切時，常引起飛安問題，因此，低空風切的預警是機場飛安的重要項目之一。本研究主旨為分析臺北松山機場2013至2022年低空風切變化，瞭解季節或月份的發生頻率、日夜變化以及引發低空風切的天氣系統特徵。

研究發現松山機場低空風切警報年平均次數約270次，年平均每次警報持續約為80分鐘；以季節統計，低空風切警報頻率最高在夏季（占全年36%），其中7月為最高，平均每次低空風切警報時間約為100分鐘；以時段來看，低空風切警報頻率於上午開始逐漸增加，好發時段為午後13至15時。

影響低空風切的天氣系統按警報頻率排序，主要為東北風、颱風、西南風、鋒面系統及午後對流。東北風引發之低空風切警報頻率最高，當高壓中心位於山東一帶且臺灣地區位於高壓勢力內時易有低空風切發生，若高壓中心緯度偏低，易有長時間的低空風切警報；當颱風中心通過臺灣南部或南方洋面，松山機場易盛行強烈東風，並伴隨低空風切發生；西南風引發的低空風切則受地形影響，於松山機場可觀測到16至21KT的西風；鋒面系統引發之低空風切以西至西北風為主，鋒面通過或遠離時轉東風，風向轉變時易有較長時間的低空風切；午後對流發生之低空風切，風向不定比例較高但風速較其他天氣系統弱。

關鍵字：低空風切、松山機場

1. 前言

綜觀對航空安全造成危害的天氣現象，諸如亂流、風切、雷暴、冰雹、濃霧等，其中低空風切（Low-level Wind Shear，簡稱LLWS）是威脅航空安全的最大因素之一。飛機在起降階段如遇低空風切，因風向突然發生變化或風速驟然減弱或增強，而導致飛機操控不穩，尤其是飛機降落階段，可能造成飛機偏離跑道或向地面重摔，嚴重甚至影響生命安全，如1985年美國達美航空191班機在降落時遭遇強烈風切，導致136人罹難。

我國於2001年引進NCAR研發出第三代低空風切警報系統（Low Low Level Windshear Alert System，簡稱LLWAS）並裝

設在松山機場及桃園國際機場，建置至今約20多年。較長的資料時間研究可以分析其變化的趨勢、可以比較是否有異常值，並找出引發低空風切的天氣系統特徵，因此，本研究透過較長時間的統計資料分析，提供未來規劃應對低空風切的參考資料。

2. 研究資料及方法

2.1 研究樣區及研究資料

研究資料將使用2013至2022年松山機場航空氣象電碼（包含METAR及SPECI）提供之低空風切警報編碼，及天氣圖（中國文化大學、日本氣象協會、香港科技大學）以上二者作為主要研究資料。

風切電碼來自於松山機場LLWAS，該系統10秒偵測1次，當氣象測報人員發現LLWAS發出警報或飛行員在起降階段回報遭遇風切時，會立即發布航空氣象電碼並將發生低空風切的跑道編入，並在警報結束後再次發布航空氣象電碼解除低空風切警報。囿於LLWAS的Data資料無法分析低空風切強度，故僅針對低空風切發生的頻率等著重分析及探討。

天氣圖主要使用係分析低空風切發生時主要影響的天氣系統，經分析並統計後可歸納出最易發生低空風切的天氣系統。

2.2 研究方法

2.2.1 描述性統計

針對低空風切資料界定如下表1，並使用次數、百分比、平均數、標準差、離群值等敘述統計方法，來描述資料分布的情形，包含LLWS的於年、季、月、日的警報頻率、警報持續時間及時段分布狀態等。

2.2.2 氣象圖資分析

利用天氣圖進行綜觀天氣系統分析，並將天氣系統分為以下類別：冷鋒面、暖鋒面、滯留鋒面、午後熱對流、西南（季）風、太平洋高壓、颱風、熱帶低壓、東北（季）風、高壓迴流、封閉低壓（含低壓帶）、弱綜觀天氣以及無法分辨成因，定義如表2，若該次低空風切警報分析係兩項以上天氣系統影響，將歸類為複合天氣系統成因類別，而無法歸屬以上之天氣系統則歸納為無法分辨類別。分析天氣圖上影響臺灣北部的天氣系統時，除依據表2的定義判斷，另使用中央氣象署提供之當日天氣報告做參考。

除了針對引發低空風切的天氣系統做統計分析，並使用ECMWF Reanalysis v5（簡稱ERA5）製作合成分析圖，水平解析度約50公里，並採用地面10公尺的u,v風場及海平面氣壓等變數（Kobayashi et al., 2020）。

3. 研究結果

3.1 低空風切統計

3.1.1 逐月統計

LLWS警報日數年平均為153日（約五日內發生兩日），年平均警報次數約270次。LLWS警報頻率最高為7月（圖1），平均次數約為39次，平均日數約21日，相當於三日內有兩日會發布LLWS警報，每日約發布2次LLWS警報。日數與次數分布情況相近，惟10月LLWS警報次數較高，平均約每日發布2.5次LLWS。

LLWS年平均每次警報持續為80分鐘，各月LLWS警報平均時間如圖2，7至9月LLWS警報平均時間均較高，主要因颱風造成的強陣風易引起低空風切，LLWS警報時間會較長。7至9月中颱風因素造成之LLWS約占總時間16%，其中警報時間最高為7月，平均每次持續時間約96分鐘（圖3），排除颱風因素後，平均每次持續時間約77分鐘。受颱風影響最多為9月，平均每次持續時間約117分鐘，排除颱風因素後約為78分鐘。

3.1.2 逐時統計

LLWS好發時段為午後13至15時（圖4），上午9時開始逐漸增加，午後14時為最高，後逐漸減少。按季節統計LLWS好發時段均為午後13至14時（圖5），其中春季及夏季最高點在午後14時，秋季最高點在13時，冬季最高點13至14時。

3.1.3 年際變化

依各年份統計，2015年LLWS時間為最高（圖6），平均每次LLWS警報持續時間約95分鐘，將颱風因素排除後，2021年LLWS時間為最高、發生頻率最高（約313次，圖7），高於十年平均271次，且2021年10月LLWS警報時間明顯高於統計結果（取2013至2022年）的90百分位數。

比較聖嬰年（2014至2016年）及反聖嬰年（2020至2022年）LLWS警報時間差異（圖

8)，聖嬰年除6及10月外，餘月份聖嬰年LLWS持續時間均高於反聖嬰年。另LLWS好發時段均為13至15時，僅反聖嬰年冬季（12至2月）LLWS發生最高時段為12時（圖9）。

3.2 引發低空風切之天氣系統

3.2.1 引發低空風切之天氣系統統計

2013 至 2022 年低空風切筆數總計 2707 筆，其中「東北季風」引發的低空風切警報筆數最高，佔全部筆數約三分之一，其次為颱風及西南風（圖 10）。

分析平均時間，以「颱風」發生低空風切的警報平均時間最高，其次為西南風，在警報發生頻率上，以東北季風頻率最高，其次為颱風及西南風。

以季節區分（圖 11），春季、秋季及冬季好發低空風切的天氣系統均為「東北季風」，夏季好發低空風切的天氣系統為「西南風」，其次為颱風及午後對流。春季主要為「鋒面系統」，僅次於東北季風。

尤其在秋冬季東北風時段，好發低空風切的時間點在 09 至 13 時較高，而凌晨的 01 至 06 時則相對較低。

引發低空風切的天氣系統，影響程度依序由大至小依序為東北季風、西南風、颱風、鋒面系統（滯留鋒和冷鋒）及午後對流，後續針對此五種天氣系統做更進一步分析。

3.2.2 引發低空風切之天氣系統風花圖

松山機場因受地形影響，東北季風進入臺北盆地後風向以東風為主（圖 12 至 13），造成低空風切的主要風速落在 11 至 20KT。

松山機場西面有基隆河及淡水河交匯處，所以風向主要由河道進入松山機場，而使盛行的西南風至松山機場時，多轉為西風。囿於地形阻擋，西南風較強盛時才容易導致松山機場發生低空風切，比較同時間位於沿海的桃園機場，西南風風速主要為 21 至 25KT，相比松山機場 11 至 20KT 要高。

颱風引發之低空風切風向以東風為主，

平均風速大多在 16 至 20KT，且伴隨陣風的比例高，尤其以第五類及第六類的路徑占比最高。

鋒面系統多數由臺灣西至西北方靠近，故滯留鋒面及冷鋒面系統均以西至西北風為主，通過臺灣北部及遠離時以東風為主，風速大多為 6 至 15KT。

午後對流以東風為主，其次為西北風，風速大多為 6 至 10KT 且風向不定的比例較高，主要因較小的風速有利於熱對流發展，當發展出雷雨雲或雷雨胞時，下沖氣流會導致地面風速發生風向不定且風速較大的情況，所以可以在風向不定的統計圖上發現，午後對流風向不定比例較其他天氣系統高。

由於松山機場夏季午後對流發生頻繁（王崑洲與莊清堯，夏季臺北松山機場連續多日午後熱雷雨分析），故使用過去 10 年 6 至 8 月篩選出午後對流的日期，比對國家災害防救科技中心（National Science & Technology Center for Disaster Reduction，簡稱 NCDR）的臺北地區午後對流檢查表。結果顯示（表 3），松山機場發生雷暴天氣時，近八成的比例都伴隨著低空風切，而在未伴隨低空風切的兩成比例當中，有部分是在低空風切結束後才發生雷暴天氣。

若不區分月份，將 2013 至 2022 年松山機場有發生雷暴天氣的日期都篩選出來，結果顯示（表 4），全年度發生雷暴天氣時伴隨低空風切的比例約為五成，與針對夏季 6 至 8 月午後對流的結果比較，可以發現夏季午後對流的雷暴天氣比其他天氣系統的雷暴天氣更容易伴隨低空風切的發生。

3.2.3 ERA5 合成分析圖

為更進一步了解引發低空風切天氣系統的特徵，使用 ERA5 製作該時間環境場資料合成分析圖。

引發低空風切之東北風合成分析圖顯示（圖 14），高壓中心位於山東一帶且中心氣

壓達 1024hPa，臺灣北部地區氣壓約為 1016hPa，臺灣北部位於高壓勢力範圍且盛行風為東北風，較易引發松山機場低空風切。

西南風合成分析圖顯示（圖 15），在長江流域有鋒面系統，加上太平洋高壓邊緣的西南風，導致臺灣地區主要風向為西南風且風速較強。

颱風合成分析圖分析（圖 16），颱風中心位置位於臺灣南部，其氣流風向至臺灣北部時主要為東風。

鋒面系統之滯留鋒面合成分析圖分析（圖 17），鋒面位置位於臺灣北部至北部洋面，風向主要為西至西南風，與滯留鋒面風花圖顯示之強勁西風相符。冷鋒面合成分析圖顯示（圖 18），鋒面位於臺灣北部至中部，大陸高壓及太平洋高壓明顯，鋒面系統位於兩個高壓之間。

午後對流合成分析圖顯示（圖 19），低空風切主要發生在太平洋高壓東退時，臺灣地區位於太平洋高壓的邊緣，風向多呈現東南至南風且風速低，搭配風花圖顯示，風向進入基隆河口至松山機場時，多呈現東風且風速在 10KT 以下，較弱的風速有利於熱對流發展。

為進一步探討引發低空風切之天氣系統的特徵，將上述合成分析圖提前至 6 小時，並將兩者放在一起比較。

東北風系統在高壓勢力範圍無太大差異，高壓中心略向東移；西南風系統在鋒面位置無太大差異，太平洋高壓勢力範圍有東退的趨勢；颱風位置及範圍無太大差異；滯留鋒面系統於 6 小時前位於臺灣北部海面，在低空風切發生當下平均位置位於臺灣北部；冷鋒面系統於 6 小時前位於臺灣北部海面，相較於鋒面系統移動速度較快，低空風切發生當下平均位置位於臺灣北部；午後對流系統於 6 小時前可見太平洋高壓勢力範圍西伸至廣東地區，低空風切發生當下平均位

置東退至臺灣海峽附近，因太平洋高壓勢力籠罩臺灣時不利於對流系統發展，故在太平洋高壓勢力東退後，午後對流造成的低空風切機率變高。

3.3 低空風切警報長時間個案

探討 2013 至 2022 年間極端的個案，有助於發現過去 10 年內，何種情況下易導致長時間的低空風切發生。

首先，東北風系統（圖 14），低空風切警報時間最長為 2021 年 4 月 18 日（時間 546 分鐘）及 2015 年 1 月 13 日（時間 540 分鐘）。分析上述兩日天氣圖可發現，大陸冷高壓中心分別落在長江口一帶及渤海一帶，高壓勢力範圍南壓至臺灣南部海面。尤其，2021 年個案顯示其天氣系統配置與先前的東北風合成分析圖相比，高壓中心緯度較低，且移動較緩慢，導致低空風切發生的時間較長；2015 年個案顯示大陸冷高壓中心位於韓國地區，緯度雖然與合成分析圖相當但高壓勢力較強，中心移動速度不快，導致東北風進入松山機場後產生的低空風切發生時間較長。

西南風系統中（圖 15），警報時間最長為 2018 年 7 月 3 日（時間 546 分鐘）及 2014 年 5 月 14 日（時間 480 分鐘）。天氣圖顯示，2018 年個案日本東南方海面上有颱風，臺灣地區位於低壓勢力範圍內，故西南風較為強盛，且因颱風移動較慢，導致松山機場低空風切時間較長；2014 年個案在 00Z 時天氣圖與西南風合成分析圖相似，長江口一帶有鋒面系統，臺灣位於鋒面系統與太平洋高壓間，後續鋒面系統南壓導致西南風更加強盛，平均風速高達 20KT 以上。

颱風個案中（圖 16），警報時間最長為 2015 年 8 月 7 日至 8 日（時間 2440 分鐘）。天氣圖顯示，颱風自臺灣中部通過，北部受偏東風影響，颱風影響期間，松山機場均有低空風切警報，結束於颱風移動至廣東外海時。

滯留鋒面個案中（圖 17），警報時間最長為 2021 年 5 月 28 日（時間 241 分鐘）及 2015 年 4 月 28 日（時間 192 分鐘）。2021 及 2015 的天氣圖顯示，滯留鋒面系統在臺灣北部海面南移至臺灣北部，與滯留鋒面合成分析圖的 6 小時前鋒面位置相似，鋒面系統移動緩慢，滯留在臺灣北部導致松山機場低空風切的時間較長。

冷鋒面個案中（圖 18），警報時間最長為 2014 年 3 月 1 日（時間 166 分鐘）及 2015 年 4 月 20 日（時間 156 分鐘）。2014 及 2015 個案中，低空風切警報發生時，冷鋒面系統位於臺灣中部，臺灣北部為偏北風，且風向有不太穩定的趨勢，2014 年個案中風向範圍在北風至東風，2015 年個案風向範圍在西風到北風，後由西北風轉東風。

午後對流個案中（圖 19），警報時間最長為 2015 年 6 月 12 日（時間 232 分鐘）及 2014 年 9 月 8 日（時間 222 分鐘）。2015 年個案中，臺灣地區位於太平洋高壓勢力及低壓勢力邊緣，2014 年個案則位於低壓勢力範圍。從 2015 年當日氣象電碼顯示，松山機場南至西南方有雷雨胞形成，且有向北移動趨勢，機場風向範圍則顯示有不穩定的情況。

4. 結論

因為地形的緣故，松山機場有穩定的東風，且因為機場位置離我國首都近，不論是我國行政元首還是國際來賓，來往時使用松山機場都十分便捷，所以松山機場對臺灣來說有其不可取代性，而低空風切是造成飛安事件的主要天氣原因之一。

本研究分析 2013 至 2022 年松山機場低空風切的發生頻率、時間及主要發生之天氣系統特徵，並針對易發生低空風切的天氣使用 ERA5 製作合成分析圖，取得以下研究結果：

低空風切警報頻率最高為夏季，最易發生之月份為 7 月，平均每次低空風切警報時間

約為 1.5 小時，其次為 10 月，平均每次低空風切警報時間約為 70 至 80 分鐘；以逐時統計來看，發生頻率於上午 9 時開始逐漸增加，午後 14 時為最高，好發時段為午後 13 至 15 時。

影響松山機場低空風切的天氣系統主要為東北風、西南風、颱風、鋒面系統及午後對流。東北風引發之低空風切警報頻率最高，主要發生在冬季，當大陸冷高壓中心位於山東一帶，且臺灣地區位於高壓勢力範圍內時，易發生低空風切，風向主要為東風，風速 11 至 20KT，平均每次警報時間約 1 小時。

颱風引發之低空風切警報頻率位居第二，且平均每次警報時間約 2.5 小時，主要發生在夏季及秋季，影響松山機場主要風向為東風，風速約 16 至 20KT 且伴隨陣風比例高，合成分析圖顯示颱風中心位於臺灣南部海面時，松山機場較易發生低空風切，在警報時間較長的個案中顯示，颱風中心通過臺灣南方海面朝西或西北行進時，松山機場盛行強烈的東風導致低空風切，在颱風中心移動到廣東外海時減緩。

西南風引發之低空風切警報頻率雖不如東北風，但仍位居第三，主要發生在夏季，當長江一帶有鋒面系統且臺灣位於太平洋高壓邊緣西南風區域時，松山機場易發生低空風切，因臺北盆地地形緣故，松山機場低空風切之風向主要為西風，風速主要為 11 至 20KT，平均每次警報時間約 1.5 小時，松山機場因西南風發生低空風切時，位於機場西方且處沿海地區的桃園機場的風向為西南風，風速達 21 至 25KT，可做為前哨站留意。

鋒面系統為春季主要的天氣系統，尤其滯留鋒面引發的低空風切比例較高，當滯留鋒面位於臺灣北部或近北方洋面時，強勁的西南風容易引起松山機場低空風切，風向因地形原因以西至西北風為主，風速約 6 至 15KT，平均每次低空風切警報時間約 1 小時，然而因松山機場東邊地形及 28 跑道無配備

ILS儀器降落系統，降落難度高於10跑道，且鋒面系統容易伴隨劇烈的雷雨天氣，故鋒面系統引發低空風切時會增加飛機降落難度，另外由警報時間較長的個案中分析，鋒面通過松山機場導致風向轉變時，容易發生較長時間的低空風切，春季時需特別注意鋒面系統引發的低空風切影響。

午後對流主要發生在夏季，當太平洋高壓東退且臺灣地區位於太平洋高壓的邊緣時，易容易引起松山機場低空風切，發生時風向以東風為主，6至10KT且風向不定比例較高，低空風切發生時需要注意風向容易突然轉變。

聖嬰年低空風切警報時間高於反聖嬰年，主要較大的差異在7至9月的低空風切警報頻率較高且平均警報時間較長，惟本研究使用2013至2022年10年資料，其中僅包含各一次聖嬰及反聖嬰現象，雖可統計出這兩次的差異，但僅供參考。

將各月份及天氣系統低空風切情況，統整表格如表5至表7，使機場觀測及預報人員有更進一步的了解，有助於飛行安全。

5. 參考文獻

石婉瑜、陳品瑜 (2023)。臺北盆地的夏季風紋與溫度分佈初探。SocArXiv xa8wj, Center for Open Science.

余曉鵬 (2011)。臺灣桃園及松山機場低空風切警報系統 LLWAS 介紹。第六屆海峽兩岸航空氣象與飛航安全研討會。

涂明聖、何台華、蒲金標 (2004)。梅雨季中正與松山機場低空風切之監測研究。碩士論文，國防大學中正理工學院，桃園市。

張泉湧、梁丕賢 (1995)。利用中正機場都卜勒氣象雷達偵測低空風切個案研究。航空氣象，4，21-32。

張領孝 (1980)。臺北松山機場低空風切研

究。交通建設，23 (4)，38-39。

陳介中、袁曉峰，(2014)，低空風切警報系統的改進。

蒲金標，(2003)。臺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 (2)，181-198。

蒲金標、徐茂林 (2016)。菲特 (FITOW) 颱風影響松山機場低空風切之觀測個案分析研究。飛航天氣，25，30-50。

蒲金標、徐茂林、游志遠 (2015)。2013年7月12~13日蘇力颱風侵襲期間松山機場低空風切分析研究。大氣科學，43 (1)，27-46。

劉沛滕、林博雄 (2016)。臺北地形效應之低空風切觀測研究。飛航天氣，25，31-29。

劉清煌、陳冠儒、葉峻銘、楊菁華 (2020)。運用雷射式剖風儀剖析風切變訊號之研究。

鄧資嘉、宋偉國 (1999)。低空風切對飛安的影響。空軍學術月刊，506，45-51。

Fujita, T. T. (1978). Manual of Downburst Identification for Project NIMROD [National Intensive Meteorological Research on Downburst]. SMRP Research Paper, 156, 104.

ICAO. (2005). Manual on Low-Level Wind Shear.

JAXA. (2017). Airport Low-level Wind Information (ALWIN) starts operation at Haneda and Narita airports. JAXA Press Release, 19 Apr 2017.

Kobayashi, S., Y. Ota, Y. Harada, A. Ebata, M. Moriya, H. Onoda, K. Onogi, H. Kamahori, C. Kobayashi, H. Endo, K. Miyaoka, and K. Takahashi (2015). The JRA-55 Reanalysis: General Specifications and Basic Characteristics. J. Meteor. Soc. Japan, 93, 5-48.

6. 表附錄

表 1 航空氣象電碼低空風切資料界定

LLWS 警報次數	METAR 電碼中風切電碼起始報及結束報時間，以附註為例，2013 年（民國 102 年）1 月 3 日 6 時（22 UTC）10 分至 6 時 45 分，計算為發生一。		
LLWS 警報時間	附註電碼為例，起始至結束為 6 時 10 分至 45 分，發生時間 30 分鐘。		
LLWS 警報日數	若單次 LLWS 跨日，例如 23 時 50 分至隔日 1 時 50 分，界定 2 日有發生。		
附註：	102	1	METAR RCSS 022200Z 09008KT 020V130 9000 -RA FEW014 BKN022 OVC035 15/13 Q1026 NOSIG RMK A3031 RA AMT 0.8MM(A)=
	102	1	SPECI RCSS 022210Z 09008KT 020V130 9000 -RA FEW014 BKN022 OVC035 15/13 Q1026 WS R10 NOSIG RMK A3032(B)=
	102	1	METAR RCSS 022230Z 09008KT 050V120 9000 -RA FEW012 BKN025 OVC035 15/13 Q1026 WS R10 NOSIG RMK A3032(C)=
	102	1	SPECI RCSS 022245Z 09010KT 9000 -RA FEW012 BKN025 OVC035 15/13 Q1027 NOSIG RMK A3033(D)=

表 2 天氣系統定義

天氣系統	定義
東北（季）風	冬季大陸冷高壓南下，臺灣受高壓邊緣影響，風向盛行偏北風至東北風。
偏東風	秋季大陸冷高壓勢力尚未南下至臺灣，菲律賓附近有低壓勢力，臺灣地區風向以東風為主。
滯留鋒面	冷氣團與暖氣團勢力相當、互相推擠。
冷鋒面	冷氣團推動暖氣團的前鋒。
弱綜觀天氣	臺灣無明顯天氣系統影響，以臺灣周圍 1.5 緯度內無天氣系統時為主。
西南（季）風	當長江流域低壓帶所在位置偏南且強度較大，以及太平洋副熱帶高壓向東或向低緯移動時，臺灣地區盛行西南風。
午後對流	弱綜觀天氣（臺灣無明顯天氣系統影響）型態下，因日間海風及地形加熱影響產生對流，尤其在暖季（5 至 10 月）午後最明顯。
颱風	在西北太平洋熱帶海面上生成的低氣壓，最大平均風速每秒 17.2 公尺以上，挾帶豪雨。
熱帶低壓	為熱帶、副熱帶地區海面上生成的低壓系統，於北半球屬於反時鐘方向旋轉環流，強度較颱風弱，中心附近最大平均風速可達六至七級風，陣風亦可達八至九級，影響區域潮濕且不穩定度高，易有較強降雨，且特別容易於地形迎風面地區降下豪雨。
太平洋高壓	太平洋上的副熱帶高壓活躍，強度、範圍因而大增，當氣團中心移動到臺灣上空，天氣晴朗炎熱，都市地區受熱島效應的影響，高溫發生頻率增加。
高壓迴流	大陸分裂冷高壓出海後，高壓中心繼續向東移動，影響臺灣環流風場轉成東風至東南風。
低壓帶/封閉低壓	大氣中氣壓較鄰近地區為低的地帶，中心氣壓在天氣圖上與周圍相差超過 3 至 4hPa 以上。
複合類型	同時有兩個或以上的天氣系統影響臺灣地區。
無法分辨	非屬以上任何類型。

表 3 2013 至 2022 年 6 至 8 月午後對流雷暴天氣與低空風切發生比例

項目	日數	比例
雷暴天氣同時發生 WS 日數	45	77.6%
雷暴天氣未發生 WS 日數	8	13.8%
WS 結束後發生 TS 日數	5	8.6%
總計	58	100%

表 4 2013 至 2022 年雷暴天氣與低空風切發生比例

項目	日數	比例
2013 至 2022 年雷暴日數	278	-
2013 至 2022 年雷暴且發生 WS 日數	143	51.4%
2013 至 2022 年雷暴筆數	296	-
2013 至 2022 年雷暴且發生 WS 筆數	143	48.3%

表 5 2013 至 2022 年松山機場低空風切統計特徵

項目	研究結果	備考
依 LLWS 警報頻率 (由高至低)	季節 夏(36%)>秋(28%)>春(19%)>冬(17%)	夏季 LLWS 警報頻率占全年比約三成。
	月份 7 月(14%)>10 月、8 月(13%)>6 月、9 月(9%)	7 月 LLWS 警報頻率占全年比約七分之一。
	逐時 13 至 15 時最高(40%) 3 至 5 時最低(3%)	13 至 15 時警報時間占低全年比約四成，是發生最高的時段。
	年際 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 2015 年因夏秋季颱風影響時間較長，使當年底空風切頻率較高。 ➢ 2021 年 10 月因颱風位於菲律賓且分裂高壓中心緯度較高，故臺灣東風較為強勁，導致當年底空風切頻率較高。 ➢ 聖嬰年與反聖嬰年於 7 至 9 月的低空風切警報頻率較高且平均警報時間較長。 	聖嬰現象及反聖嬰現象分析個案不足，僅供參考。

表 6 松山機場各季節易引發低空風切之天氣系統及其好發時段

季節	易引發低空風切之天氣系統（依警報頻率高至低）	好發時段
春季（3 至 5 月）	東北風(43%)> 滯留鋒(13%)> 冷鋒(12%)> 高壓迴流(10%)> 弱綜觀天氣(9%)> 西南風(6%)> 午後對流(3%)> 颱風(2%)。其他(4%)	14L
夏季（6 至 8 月）	西南風(27%)> 颱風(21%)> 午後對流(13%)> 弱綜觀天氣(10%)> 太平洋高壓(7%)> 滯留鋒面、熱帶低壓(均 6%)> 複合(5%)> 低壓帶(4%)。其他(1%)	14L
秋季（9 至 11 月）	東北風(40%)> 颱風(26%)> 偏東風(9%)> 複合(7%)> 弱綜觀天氣(5%)> 高壓迴流(4%)> 低壓帶(3%)> 午後對流、冷鋒、滯留鋒(均 2%)	13L
冬季（12 至 2 月）	東北風(84%)> 高壓迴流(9%)> 冷鋒面(4%)> 弱綜觀天氣、滯留鋒(1%)。其他(1%)	13L

表 7 易引發松山機場低空風切之天氣系統天氣特徵

天氣系統	松山機場風花圖分析	2013 至 2022 年合成分析圖特徵	長時間個案特徵	備註
東北風	東風 11 至 20KT	大陸冷高壓中心位於山東一帶，臺灣地區位於高壓勢力內。	大陸冷高壓中心緯度較低（長江口一帶）或高壓勢力較強。	
西南風	西風 11 至 20KT	長江一帶有鋒面系統，臺灣位於太平洋高壓邊緣西南風區域。	有其他天氣系統（如颱風或鋒面）使西南風增強。	桃園機場西南風，21 至 25KT。
颱風	東風 16 至 20KT	颱風中心位於臺灣南部海面，臺灣北部盛行偏東風。	颱風中心由臺灣中部或南部、南方洋面通過時。	
滯留鋒面	西至西北風 6 至 15KT	滯留鋒面位於臺灣北部或近北方洋面。	滯留鋒面移動緩慢。	鋒面通過及遠離時轉為東風。
冷鋒面		冷鋒面位於臺灣北方洋面或臺灣北部至中部。	冷鋒面系統位於臺灣中部，臺灣北部為偏北風，且風向有不穩定的趨勢。	
午後對流	東風 6 至 10KT	太平洋高壓東退，臺灣地區位於太平洋高壓的邊緣。	臺灣位於太平洋高壓勢力及低壓勢力邊緣或低壓勢力內，松山機場南至西南方有雷雨胞形成。	風向不定（VRB）比例較高。

7. 圖附錄

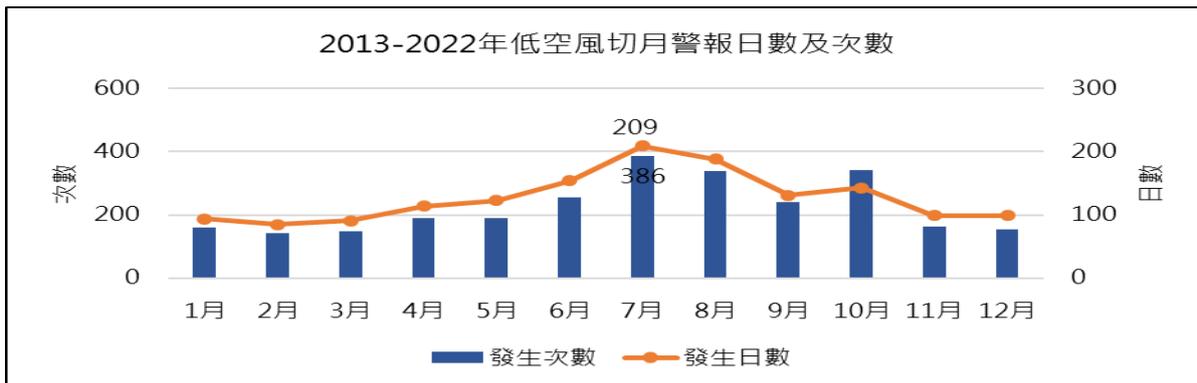


圖 1 2013 至 2022 年低空風切月警報日數及次數

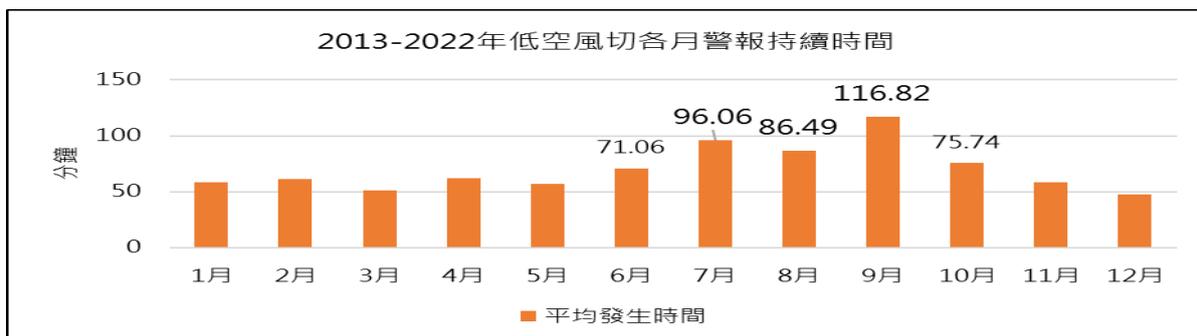


圖 2 2013 至 2022 年低空風切各月警報持續時間



圖 3 2013 至 2022 年低空風切警報時間及平均持續時間



圖 4 2013 至 2022 年低空風切警報時段統計 (含颱風影響)

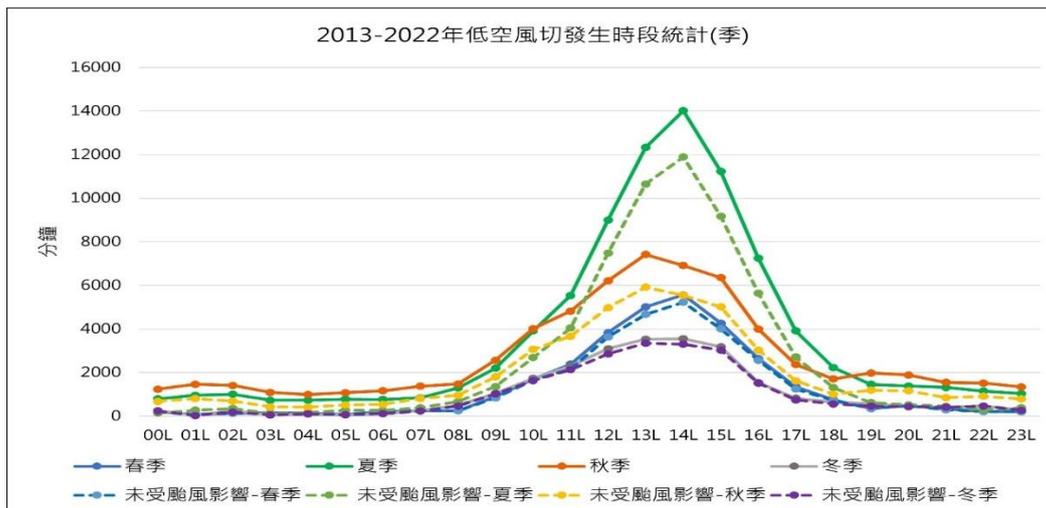


圖 5 2013 至 2022 年低空風切警報時段季節統計



圖 6 2013 至 2022 年低空風切警報時間及平均時間 (各年分析)



圖 7 2013 至 2022 年低空風切警報日數及次數 (各年分析)

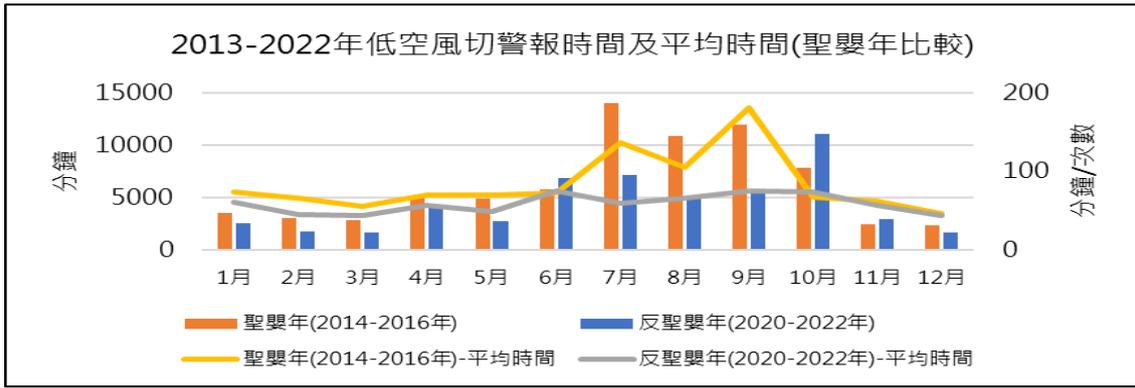


圖 8 2013 至 2022 年低空風切警報時間及平均持續時間 (聖嬰及反聖嬰年)

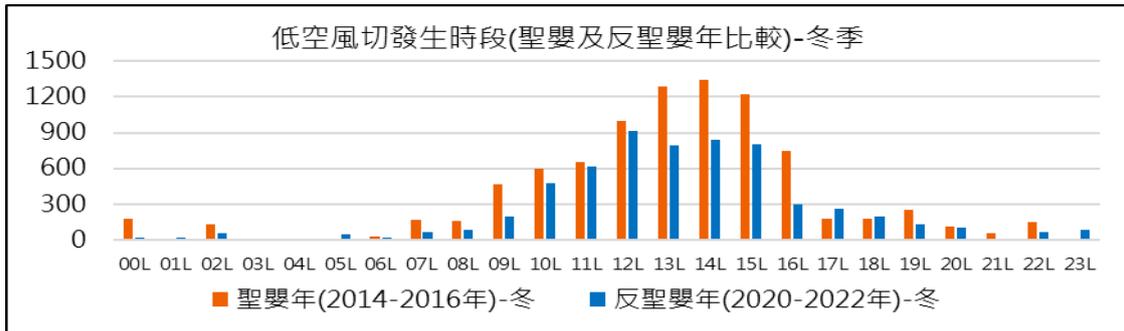


圖 9 冬季低空風切警報時段 (聖嬰及反聖嬰年比較)



圖 10 引發低空風切之天氣系統分類統計及平均警報時間及頻率

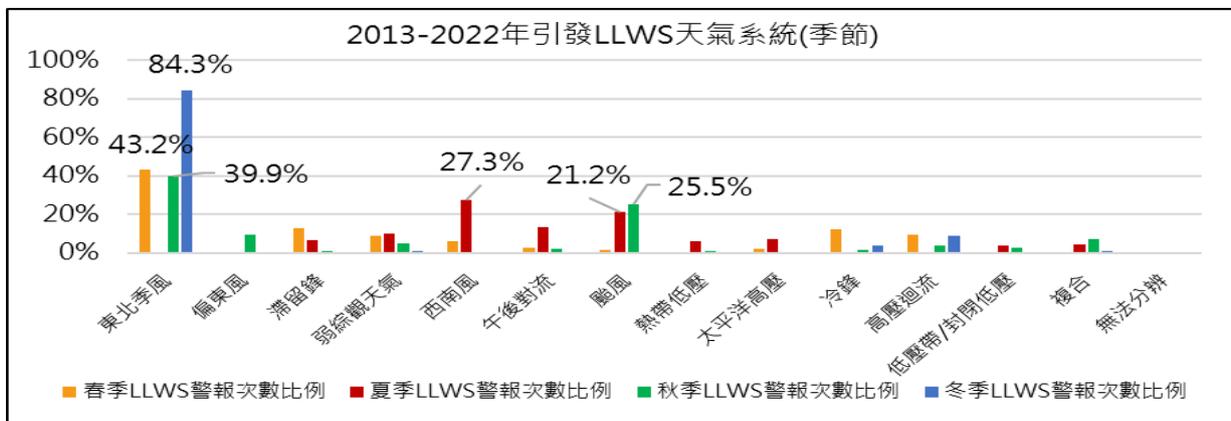


圖 11 2013 至 2022 年引發低空風切之天氣系統警報次數比例 (季節)

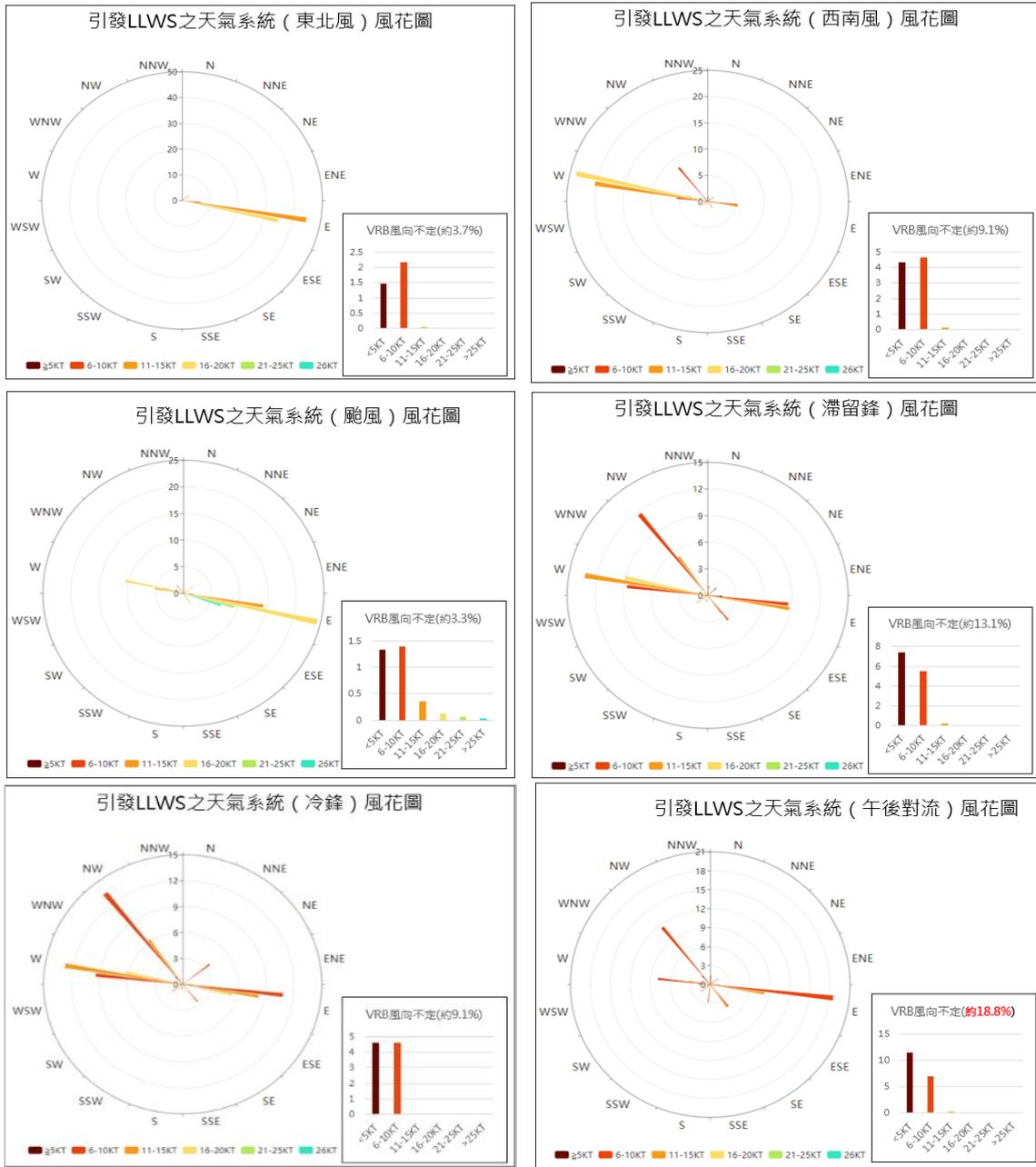


圖 12 引發低空風切之天氣系統風花圖



圖 13 松山機場東北風及西南風受地形影響示意圖

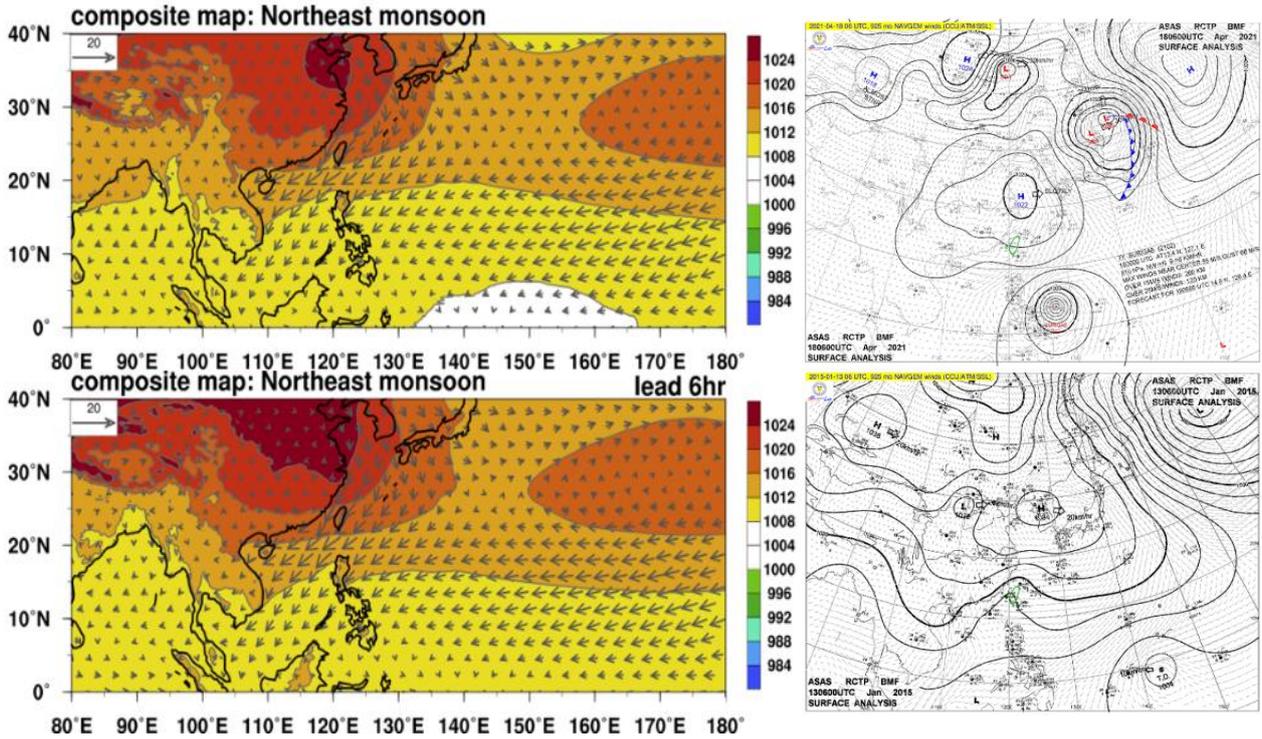


圖 14 引發低空風切之東北風合成分析圖（左上為 LLWS 發生時，左下為 LLWS 發生前 6 小時），右圖為長時間個案地面天氣圖（右上為 2021 年 4 月 18 日，右下為 2015 年 1 月 13 日）

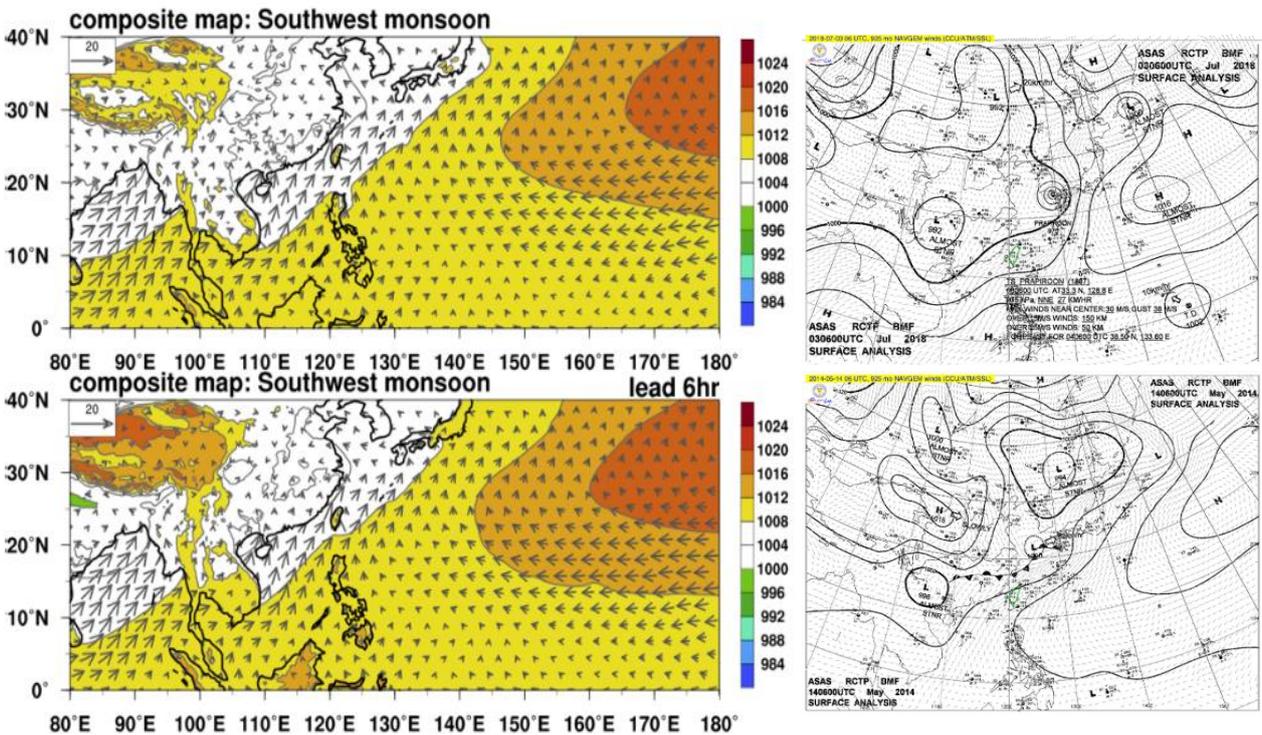


圖 15 引發低空風切之西南風合成分析圖，及長時間個案地面天氣圖（左圖配置同圖 14，右上為 2018 年 7 月 3 日，右下為 2014 年 5 月 14 日）

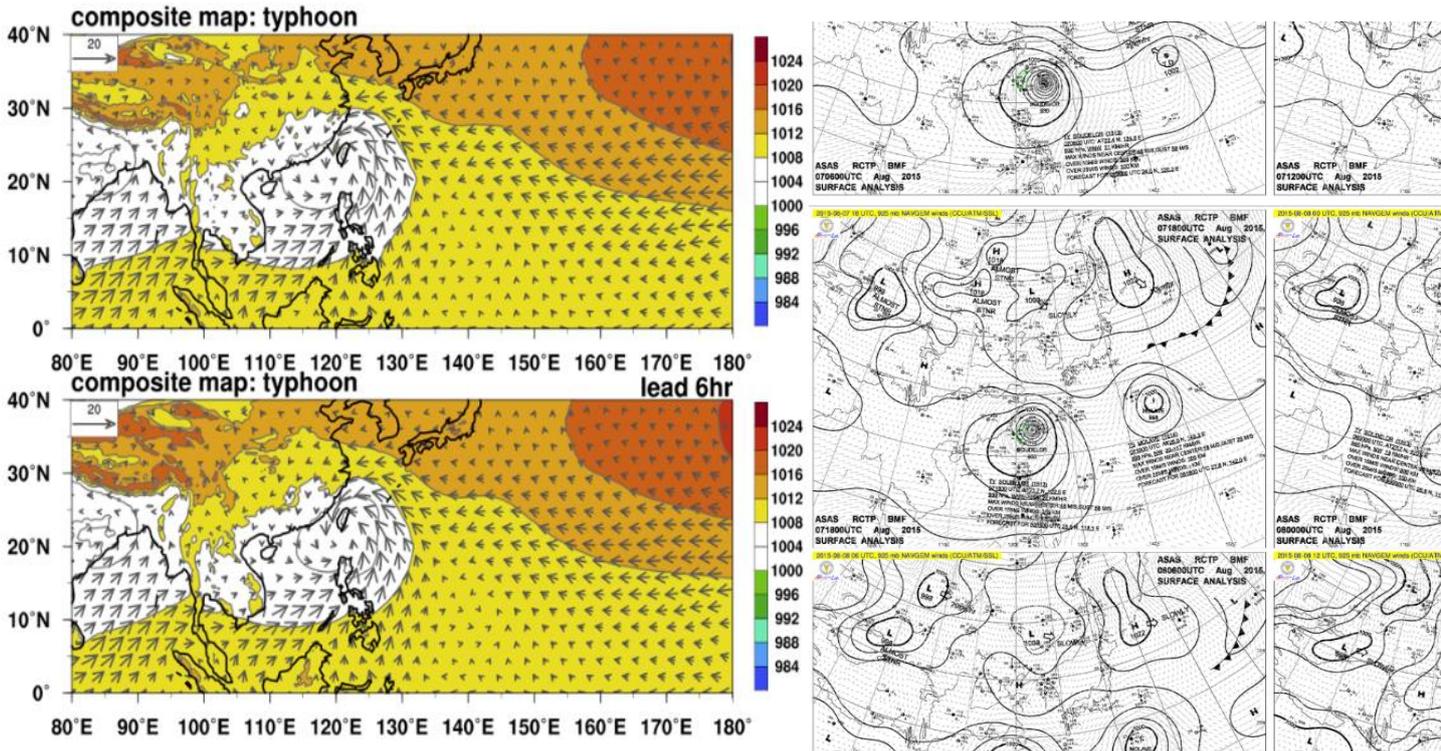


圖 16 引發低空風切之颱風合成分析圖，及長時間個案地面天氣圖（左圖配置同圖 14，右上及右下為 2015 年 8 月 7 日至 8 日）

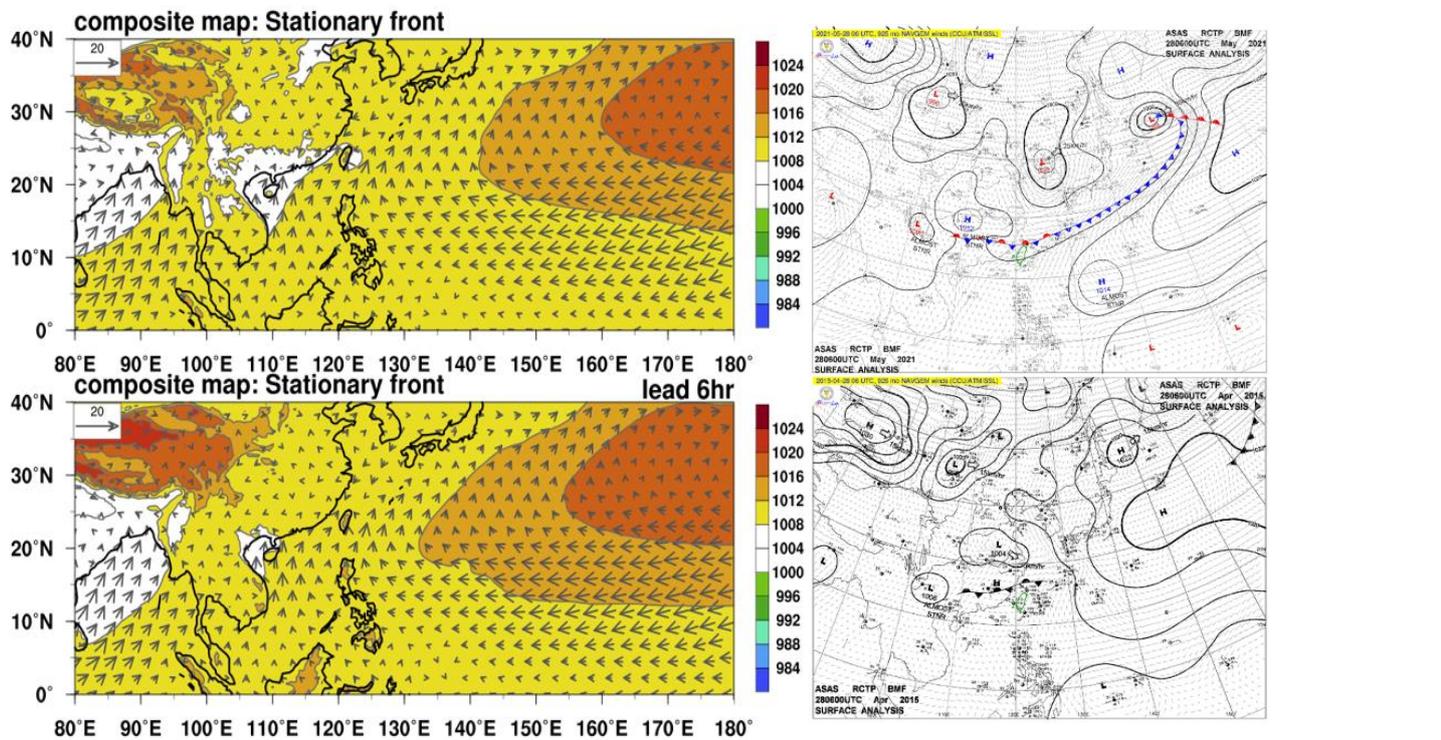


圖 17 引發低空風切之滯留鋒合成分析圖，及長時間個案地面天氣圖（左圖配置同圖 14，右上為 2021 年 5 月 28 日，右下為 2015 年 4 月 28 日）

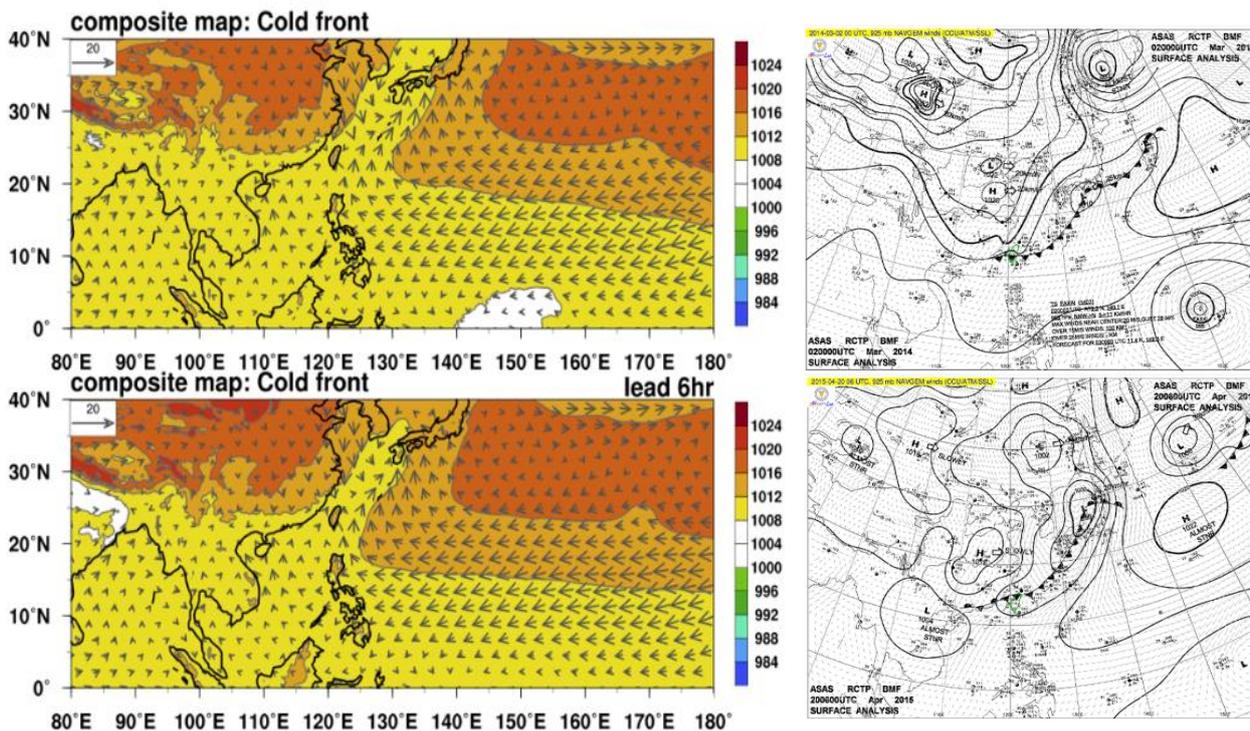


圖 18 引發低空風切之冷鋒合成分析圖，及長時間個案地面天氣圖（左圖配置同圖 14，右上為 2014 年 3 月 1 日，右下為 2015 年 4 月 20 日）

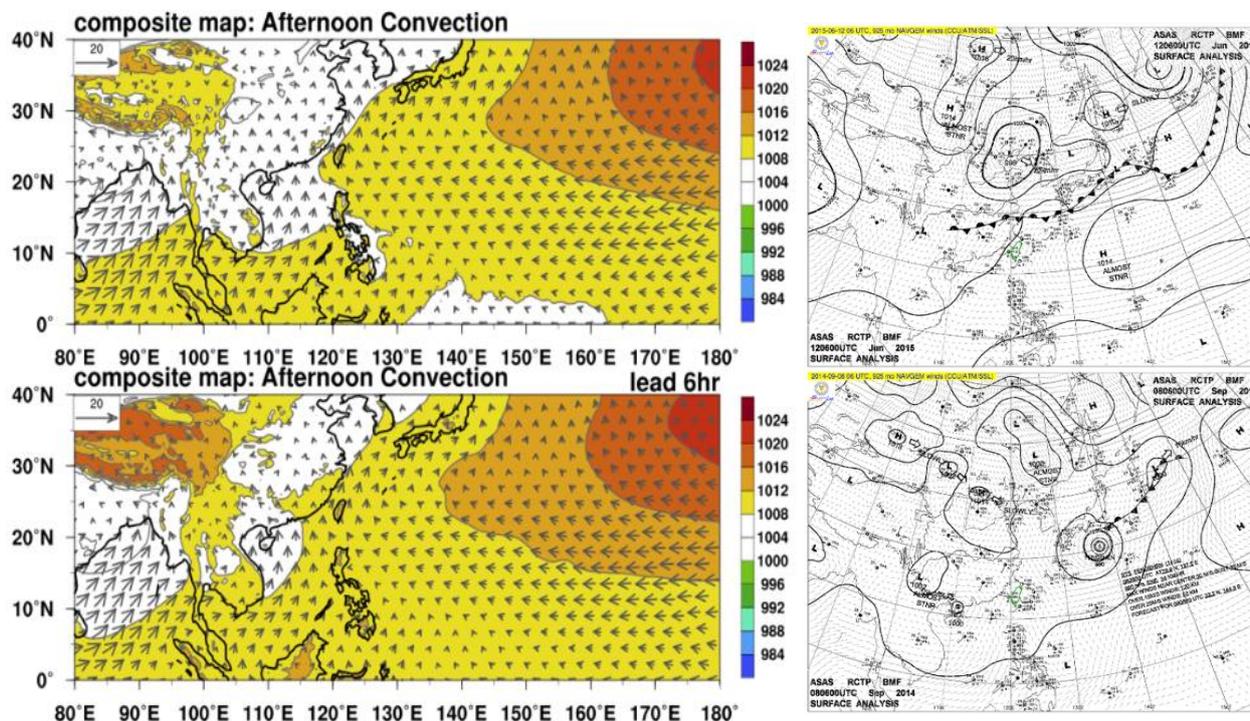


圖 19 引發低空風切之午後對流合成分析圖，及長時間個案地面天氣圖（左圖配置同圖 14，右上為 2015 年 6 月 12 日，右下為 2014 年 9 月 8 日）

Statistical and Analysis of Low-Level Wind Shear in Taipei Songshan Airport during Pass 10 Years

¹ Yi-Ting, Lee 、² Chi-Cherng, Hong

¹ The Weather Wing, R.O.C.A.F 、² Department of Earth and Life Sciences, Taipei University

Abstract

Low-level wind shear refers to sudden changes in wind direction or speed below 500 meters from the ground, lasting for more than 10 seconds. When aircraft encounter low-level wind shear during takeoff or landing, it can lead to aviation safety issues. The main purpose of this study is to analyze the changes in low-level wind shear at Taipei Songshan Airport from 2013 to 2022, understand the frequency of occurrences by season or month, statistical characteristics of day-night variations, and weather system characteristics that trigger low-level wind shear. It is hoped that the research findings will contribute to aviation safety management.

The research showed that the average number of low-level wind shear alerts per year was about 270 times, with an average duration of about 80 minutes per alert. The highest frequency of low-level wind shear alerts occurred in the summer (accounting for 36% of the year), with July being the peak month. The average duration of a low-level wind shear warning in July was approximately 100 minutes. In terms of time periods, the frequency of low-level wind shear alerts gradually increased starting in the morning, with the most common period being between 1-3 pm in the afternoon.

The weather systems that affect low-level wind shear were ranked by alert frequency, mainly including northeasterly winds, typhoons, southwestern winds, frontal systems, and afternoon convection. The frequency of low-level wind shear alerts triggered by northeasterly winds was the highest. If the latitude of the high-pressure center is low, there may be prolonged low-level wind shear alerts. Typhoon was the second most common trigger, with strong easterly winds prevailing at Songshan Airport when the typhoon center passed through the ocean area. Low-level wind shear triggered by southwestern winds was influenced by terrain, with the main wind field at Songshan Airport being west winds of 16-21KT, while Taoyuan Airport often experiences strong southwestern winds of 21-25KT or higher. Low-level wind shear triggered by frontal systems was mainly from the west to northwest winds. During afternoon convection-induced low-level wind shear, the wind direction was more variable but the wind speed was weaker compared to other weather systems.

Keywords: Low-level Wind Shear, Taipei Songshan Airport