

蘇力颱風侵襲期間台灣桃園國際機場氣壓跳動與低空風切個案觀測分析研究

蒲金標^{1,2}

林清榮²

國立臺北教育大學自然科學教育學系¹

財團法人中華氣象環境研發中心²

摘要

本文利用2013年7月12-13日蘇力颱風期間，根據地面自動測報系統測報資料，就台灣桃園機場兩條跑道之氣壓跳動情形，來分析機場低空風切警告系統發出的風切警告，研究結果顯示受颱風暴風的影響，機場最大陣風達20KT以上，台灣桃園國際機場就可能有低空風切現象發生，其中陣風>30KT，風切發生頻繁；陣風>50KT，風切發生非常頻繁；陣風>65KT，強烈風切發生頻繁。機場在暴風圈侵襲間，風向偏北和偏南兩個強風時段，各個跑道風切發生最多和氣壓跳動超過 1σ 發生次數最多時段是一致的。且跑道氣壓大幅跳動與機場跑道低空風切警告發生時間幾乎同時發生或相差不到1分鐘。在風切最強時段，氣壓大幅跳動時，跑道有中度至強烈風切發生。機場有強烈風切發生時，同時間或於2-6分鐘前，都有氣壓跳動大幅跳動現象。

關鍵字：蘇力颱風、氣壓跳動(Pressure Fluctuation)、低空風切(Low Level Wind Shear)

蒲金標 國立台北教育大學自然教育學系兼任副教授、

財團法人中華氣象研究發展中心副董事長兼執行長。

地址：10670台北市大安區和平東路三段9號9樓

手機：0932-592-908 E-Mail：pu1947@ms14.hinet.net

一、前言

機場低空風切(Low-level Wind Shear)或微爆氣流(Microburst)對起降飛機構成嚴重的威脅。由於低空風切發生在最低層500m (1,600ft) 以下，風向或風速之突然變化，對飛機起降階段，飛機速度和高度都接近安全的臨界值，飛機遭受風切的威脅，可能對生命及財產造成嚴重的影響。

根據美國聯邦航空總署(FAA)定義，低空風切警告表示測風台偵測風速增量(頂風)超過15kts以上或風速減量(順風)15至29kts，微爆氣流警告為測風台偵測風速減量(順風)超過30kts以上。低空風切之強度以兩個測風台間量測之風向量差分為三種強度，依風速大小分成輕度風切(15-19kts)、中度風切(20-29kts)和強烈風切(≥ 30 kts)。另外，系統經過資料處理，機場任何區域風場有強烈輻散現象，也會發出風切的警報。

國際民航組織(ICAO, 2005)指出LLWAS-III系統監測低空風切的準確率可達90%，但仍有10%的誤報率。陳與袁(2014)使用診斷數學模式和測風儀，來克服LLWAS無法監測的「盲區」。我國民用航空局於2001年9月1日於松山和桃園國際機場各建置一套FAA第三代機場低空風切警告系統，原本要在高

雄國際機場建置同樣規格的低空風切警告系統，後因該機場06跑道靠海，腹地不足，無法建置而放棄。

國際民航組織文件低空風切手冊(Doc 9817-AN1449)提到氣壓感應(微型氣壓計)裝設在機場週遭來偵測陣風鋒面冷空氣等所引起的氣壓跳升(pressure jump)，在某些情況下，可偵測到陣風鋒面的時間比地面測風所測到的時間，提早三分鐘。

Wakimoto(1982)認為陣風鋒面經過測站，常帶來氣壓上升和氣溫下降、風向突變以及風速突增的現象，這種現象是造成低空風切主要現象之一種。Viana, et al. (2007)曾以小尺度和短時間之地面氣壓跳動(pressure fluctuations)來研究大氣邊界層之特性，將地面氣壓跳動光譜特性與亂流加以比較。蒲(2003)認為松山機場雷雨陣風、颱風強風、鋒面過境風場改變大，以及強烈東北季風都是引發低空風切之主因。何等(2005)研究顯示松山機場無論在強盛西南風盛行或結構完整的鋒面影響時期，其低空風切皆集中於風向 $280^\circ \sim 290^\circ$ 間發生。蒲等(2014; 2015)顯示當大氣發生劇烈變化時，其風速、氣壓和氣壓梯度等觀測值，會產生大幅度的跳動現象，而其大幅度跳動現象，可能與低空風切發生有其關聯性。在雷雨陣風鋒面來臨和大雷雨引發氣壓跳升現象發生時，透過風速、氣壓和氣壓梯度超過1個標準差(standard

deviation)時，能偵測到低空風切現象的發生。通常氣壓突降或跳升現象，升降幅度越大，低空風切越強。蒲等(2015)分析颱風暴風圈侵襲期間松山機場低空風切警告系統發出風切警告之時段和頻率，與風速、氣壓和氣壓梯度等跳動超過 1σ ，彼此相當一致性，三者發生頻率越多，風切頻率則越多，風切強度也愈大。

本文嘗試以2013年7月12-13日蘇力颱風侵襲期間，就台灣桃園國際機場兩條跑道頭(05R和05L)和跑道中段(M23R05L和M23R05L)之氣壓跳動與兩條跑道兩頭(05R和05L；23R和23L)機場低空風切警告系統發出的風切警告加以分析比對。或許可以找出以氣壓跳動來替代風塔觀測風場之計算風切方式。

二、資料來源和研究方法

本文資料採用台灣桃園機場低空風切警告系統2013年7月12-13日風切警告資料(每10秒擷取風塔資料)、地面觀測報告(801C)(定時和特別觀測)和地面自動化測報系統(AWOS)(每秒一筆資料)以及中央氣象局歷史颱風2013年蘇力颱風資料，其中低空風切警告系統係以每10秒計算是否有風切現象。而機場AWOS系統之氣壓，雖然都是每秒紀錄，但氣壓是每分鐘觀測變動，略有不同。

本文根據台灣桃園機場 AWOS 系統每秒或每分鐘資料，嘗試以 2013 年 7 月 12-13 日蘇力颱風侵襲期間，分析機場跑道兩頭之氣壓跳動(fluctuation)超過 1σ 之幅度和頻率，與機場低空風切警告系統每10秒發出風切警告頻率和發生時段加以比較分析。

三、颱風路徑

2013年7月12日0600Z中度颱風蘇力，中心氣壓935hPa，近中心最大風速95G115KT，位在宜蘭東南東方海面，暴風圈進入台灣東部陸地(圖1a)，此時台灣桃園國際地面觀測報告(801C)風向風速010°/16G23KT，到了1030-1130Z機場氣壓降至1000hPa以下(999.7-998.6hPa)，風向風速010/20G28KT-030°/09G24KT，下陣雨(80SHRA)(圖2)。機場在颱風暴風圈接近期間(12日1000-1100Z)，機場陣風達24KT以上就有風切(13-98次)現象，如圖3。

12日1200Z颱風中心(945hPa；90G110KT)位在宜蘭東南東方約230公里海面上，暴風圈進入台灣中部以北和東半部陸地(圖1b)，機場氣壓降至998.0hPa，風力也增強，吹01024G35KT，風切每小時達176次。

12日1300-1700Z機場風速41-61KT，風切每小時達168-527次，如圖2和圖3。

12日1800Z日颱風中心(945hPa；90G110KT)位在宜蘭東方約60公里海面(圖1c)，此時，暴風圈已籠罩了台灣，機場氣壓更降為984.8hPa，風力更強，吹34038G53KT，1841Z機場風速達80KT，風切每小時達608次。於1900Z颱風在新北市及宜蘭縣交界處登陸，於2000Z機場氣壓降至最低，達970.2hPa，且風速達到最強(36049G69KT)，1900-2000Z風切每小時達401-691次。2100-2200Z機場風速46-57KT。2300Z機場風速39KT，風切每小時達79-81次，如圖2和圖3。

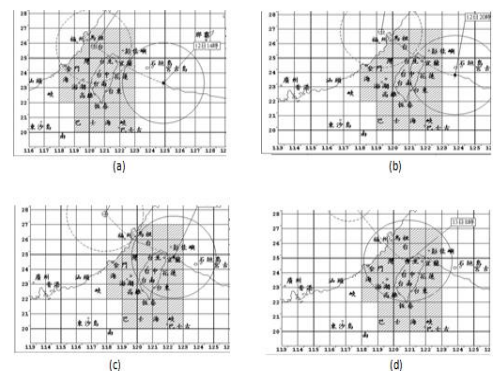


圖1 2013年7月12-13日蘇力颱風中心位置和暴風圈圖

(a)12日0600Z (b)12日1200Z (c)12日1800Z
(d) 13日0000Z(摘自中央氣象局網站)

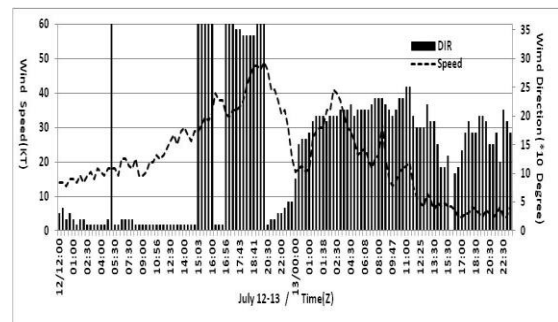


圖2 2013年7月12-13日台灣桃園國際機場801C
(a) 天氣(實線)和氣壓(虛線)分布 (b)風向(實線)和風速(虛線)分布

13日0000Z颱風中心(960hPa；75KT/G95KT)位在新竹西南西方約10公里海面上，暴風圈仍籠罩台灣(圖1d)，機場氣壓回升至974.3hPa，吹09017G24KT。0030Z開始風向由偏北風轉偏南風(15018G24KT)，此時機場沒有風切警告。0100-0500Z機場風速又增強，達37-60KT，風切每小時達15-258次，如圖2和圖3。

13日0600Z颱風中心(970hPa；65KT/G85KT)位在馬祖西方海面，暴風圈還涵蓋台灣北部地區，機場氣

壓994.6hPa，風速21023G37KT，至0900Z暴風圈才脫離桃園機場。0600-1200Z機場風速達24-41KT，機場風切達2-230次。一直1200Z之後，機場風速減弱至19KT以下，機場就不再風切警告，如圖2和圖3。根據機場801C資料分析，蘇力颱風暴風圈接近台灣北部地區，台灣桃園國際機場風速增強，最大陣風達20KT以上時，開始有低空風切現象發生。暴風圈籠罩台灣北部地區，機場氣壓下降至最低之際，最大陣風達到最強時，引發低空風切更密集。其中陣風>30KT，風切發生頻繁；陣風>50KT，風切發生非常頻繁；陣風>65KT，強烈風切發生頻繁。暴風圈遠離，機場最大陣風減弱至19KT以下，風切現象就停止發生，顯示受颱風暴風圈的影響，機場最大陣風達20KT以上，台灣桃園國際機場就可能有低空風切現象發生。

四、 低空風切分析

機場颱風暴風圈接近期間(12日1000-1100Z)，機場陣風達24KT以上，就有風切現象，分別有13次(中度風切)和98次(11次輕度和87次中度風切)，如圖3。

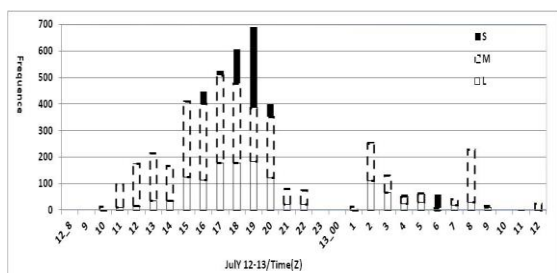


圖3 2013年7月12-13日台灣桃園國際機場低空風切發生次數。

12日1200Z-13日0700Z颱風暴風圈籠罩期間，機場風切發生頻繁，其中12日1200-1400Z機場風速達36-41KT，風切每小時出現168-214次；1500-2000Z機場風速達52-80KT，風切每小時出現401-691次，1800-1900Z強烈風切還出現129-304次之多。12日2100Z-13日0100Z，機場風向轉為偏南風，風速略為減弱(43-57KT)，風切警告也降至81次以下，於12日2300Z-13日0000Z，甚至沒出現風切警告。隨後，於13日0200-0300Z，機場風速再度增強(57-60KT)，每小時風切也增加(135-258次)；13日0400-0800Z，機場風速降至29-57KT，除了13日0800Z風切出現較多(230次)之外，風切也減少為43-68次，如圖3。

13日0900Z之後，暴風圈遠離機場，13日0900-1200Z，機場風速減弱至32KT以下，風切也減少至25次以下，1000Z甚至沒出現風切如圖3。

顯示在蘇力颱風暴風圈接近期間，機場風速增強，最大陣風達20KT以上時，低空風切警告系統就可能有風切出現；在暴風圈侵襲間，機場最大陣風達到最

強時，引發低空風切更密集。其中陣風>30KT，風切發生頻繁；陣風>50KT，風切發生非常頻繁；陣風>65KT，強烈風切發生頻繁。暴風圈遠離，機場最大陣風減弱至20KT以下，風切就大幅減少。停止發生，引發桃園國際機場低空風切出現次數多且強烈；在暴風圈遠離之後，則大幅減少。

五、 氣壓跳動與風切警告之時間分布

台灣桃園國際機場有南北兩條跑道

(Runway05-23和Runway06-24)，跑道兩端編號為05L、05R、23L和23R等跑道，提供飛機起降。機場在跑道南端和中段距離跑道中心線120公尺以內，各裝設有自動天氣觀測系統，包括四個觀測園區(05L、05R、M23R05L和M23L05R)，自動觀測每秒鐘的氣壓、氣溫、風向、風速、雲幕高和跑道能見度，提供天氣資訊給航空氣象台編報機場天氣觀測報告。另外，機場跑道兩端往外延伸3哩和跑道中心線兩旁往外1哩，在一定距離各裝設低空風切警告系統風塔，用來觀測每秒風向風速，提供風切警告系統發出風切警告之資訊。

(一) 氣壓跳動幅度

12-13日機場跑道(05L、05R)和跑道中段(M23L05R；M23R05L)氣壓跳動一個標準偏差，分別為(0.32 hPa、0.42hPa、0.31hPa和0.27hPa)和 (0.22 hPa、0.49hPa、0.23hPa和0.3hPa)，其中以05R跑道氣壓跳動超過1個標準偏差0.42-0.49hPa為最大，如表1。顯示12-13日05R南跑道氣壓跳動幅度最大。

表12 2013年7月12-13日台灣桃園機場跑道氣壓跳動超過一個標準偏差表

跑道名稱或位置	July 12	July 13
05L	0.32	0.22
05R	0.42	0.49
M23L23L	0.27	0.3
M23R05L	0.31	0.23

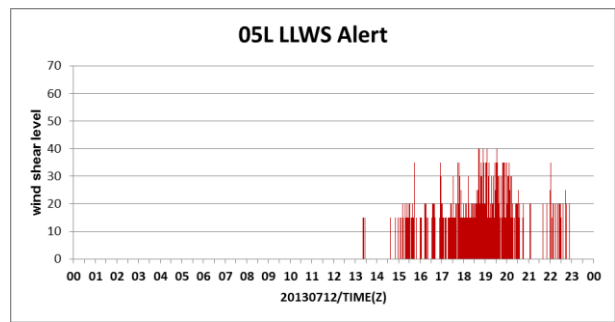
(二) 氣壓跳動超過1σ與風切警告之時段和頻率分布

機場 AWOS 氣壓每分鐘更新一次，而 LLWAS 每十秒鐘運算一次。氣壓每 1 小時如果跳動超過 1σ 達 6 次(平均 10 分鐘跳動 1 次)，LLWAS 每小時風切警告發出 60 次(平均每 10 分鐘 10 次警告)，此處，表示氣壓跳動超過 1σ 和風切警告頻繁。本節就每小時氣壓跳動超過 1σ 達 6 次和風切警告發出 60 次以上加以分析。

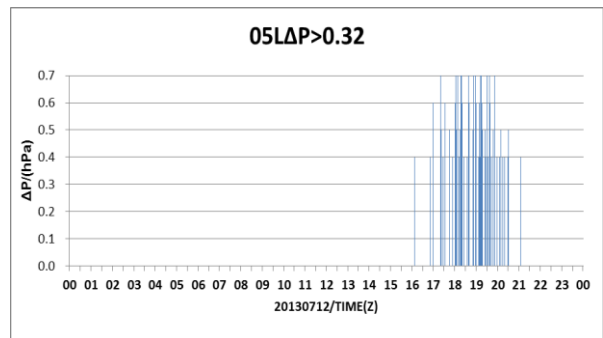
12 日風切和氣壓跳動超過 1σ 發生頻繁時段比較，05L 跑道前者(1500-2000Z)比後者(1700-2000Z)提早 2 小時；05R 跑道前者和後者時段(1500-2200Z)一致；23L 跑道風切和 M23L05R 跑道中段氣壓跳動超過 1σ ，前者(1500-2200Z)比後者(1600-2200Z)提前 1 小時；23R 跑道風切和 M23R05L 跑道中段氣壓跳動超過 1σ ，前者發生時段(1100-2200Z)和後者(1500-2000Z)提前 4 小時。其中各個跑道風切發生最多(每小時 200-360 次)時段(1800-1900Z)和氣壓跳動超過 1σ 發生次數最多(每小時 18-22 次)時段幾乎是一致的，如圖 4。按 12 日 1800-1900Z 機場氣壓降至 985hPa 以下，風向偏北 $340-360^\circ$ /G53-80KT 之暴風最強階段，如圖 2a。

13 日風切和氣壓跳動超過 1σ 發生頻繁時段比較，05L 跑道前者發生時段(0200-0300Z)和後者(0200-0600Z)兩者相同；05R 跑道前者發生頻繁時段(0200-0300Z)比後者時段(0100-0500Z)落後 1 小時；23L 跑道風切和 M23L05R 跑道中段氣壓跳動超過 1σ ，前者發生頻繁時段(0200-0300Z)比後者(0100-0500Z)落後 1 小時；23R 跑道風切和 M23R05L 跑道中段氣壓跳動超過 1σ ，前者發生頻繁時段(0200Z)和後者時段(0100-0400Z)落後 1 小時。其中各個跑道風切發生最多(每小時 65-142 次)時段(0200-0300Z)和氣壓跳動超過 1σ 發生次數最多(每小時 9-27 次)時段是一致的，如圖 5。按 13 日 0200-0300Z 機場氣壓 990hPa 以下，風向偏南($190-210^\circ$ /G48-60KT) 之暴風階段，如圖 2a。

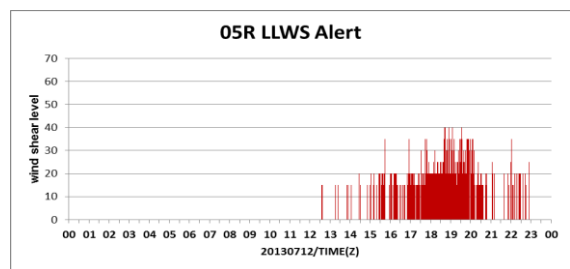
顯示機場在暴風圈侵襲間，機場氣壓降至 990hPa 以下，風向偏北和偏南兩個強風時段(12 日 1800-1900Z 和 13 日 0200-0300Z)，各個跑道風切發生最多和氣壓跳動超過 1σ 發生次數最多時段是一致的。



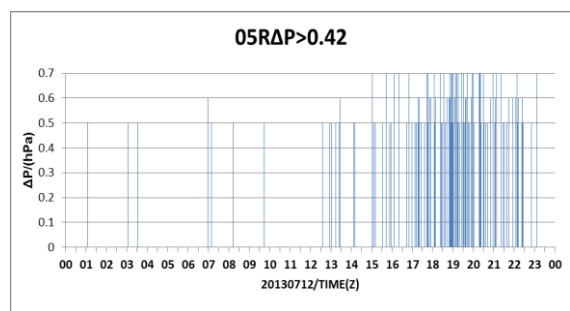
(a1)



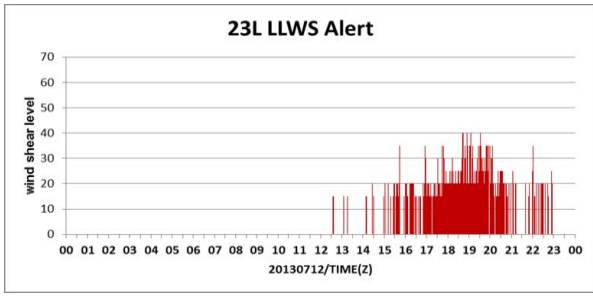
(a2)



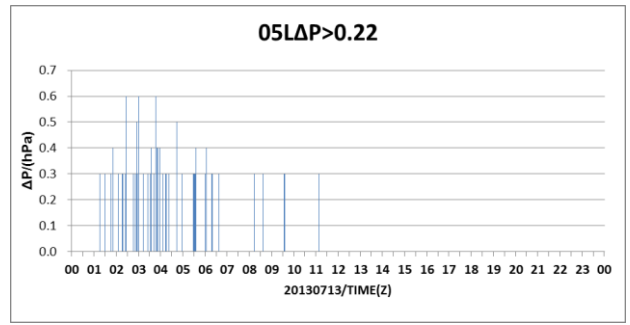
(b1)



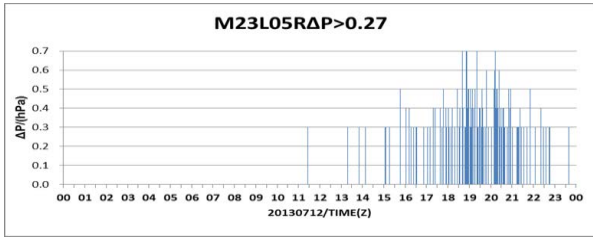
(b2)



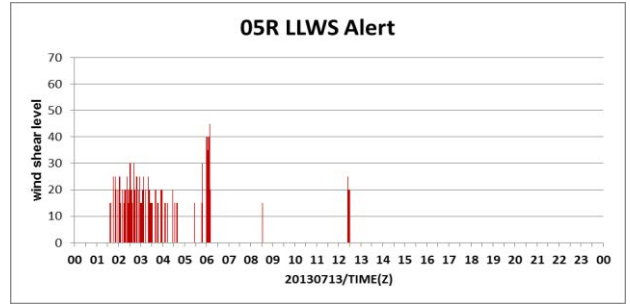
(c1)



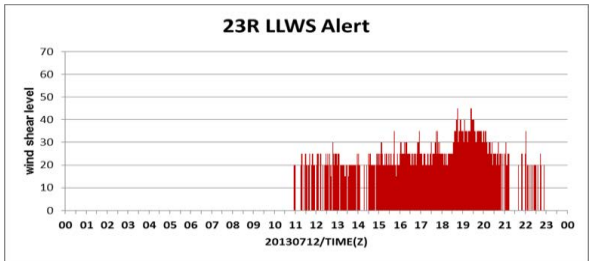
(a2)



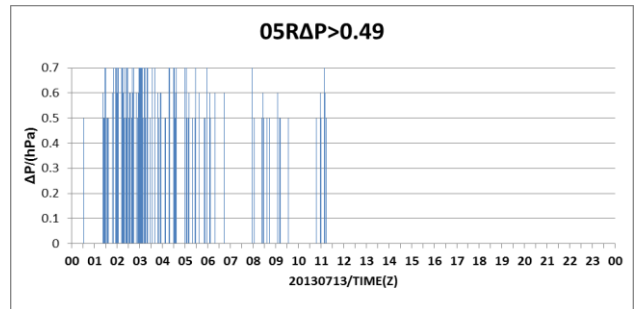
(c2)



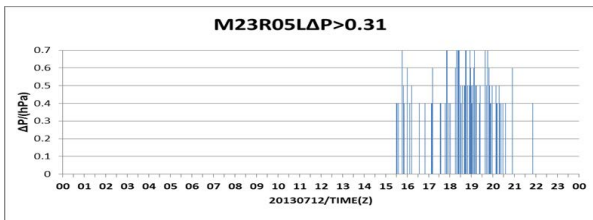
(b1)



(d1)



(b2)



(d2)

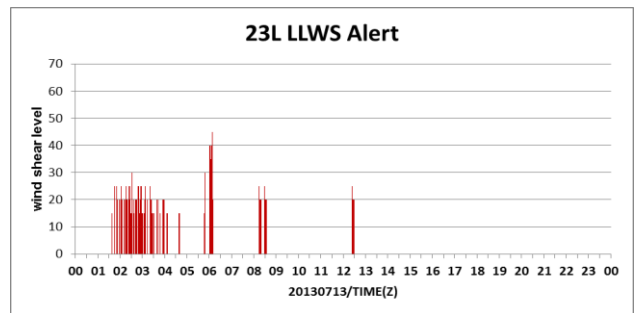
圖4 2013年7月12日台灣桃園國際機場跑道風切和氣壓跳動 時段和強度分布圖。

(a1) 05L_WS (a2) 05L_ΔP>1σ

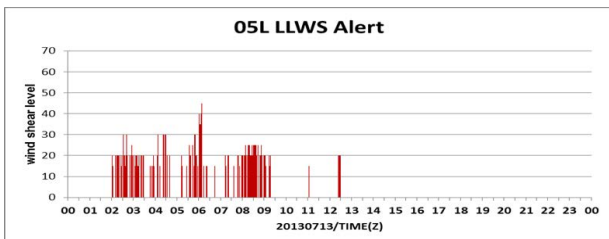
(b1) 05R_WS (b2) 05R_ΔP>1σ

(c1) 23L_WS (c2) M23L05R_ΔP>1σ

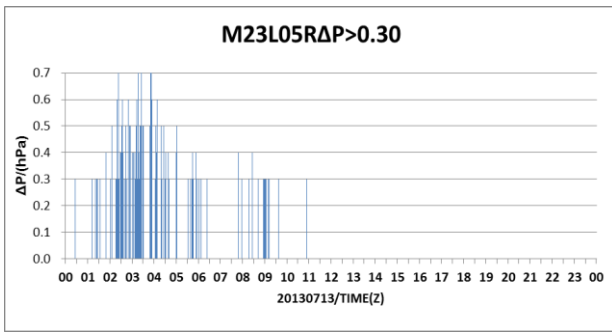
(d1) 23R_WS (d2) M23R05L_ΔP>1σ



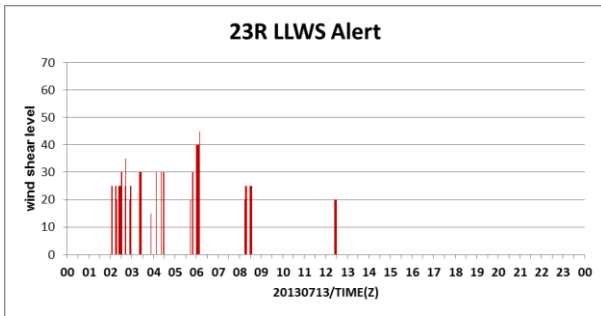
(c1)



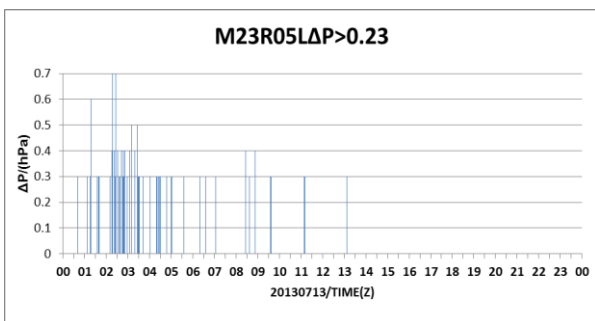
(a1)



(c2)



(d1)



(d2)

圖5 2013年7月13日，餘同圖4。

二、氣壓跳動超過強度與風切警告等級

本節選擇12日1900Z機場跑道(05L、05R、23L和23R)低空風切警告和跑道(05L和05R)和跑道中段(M23L05R和M23R05L)氣壓跳動最頻繁時段，分析兩者之強度和等級。低空風切之強度以兩個測風台間量測之風向量差分為三種強度，依風速大小分成輕度風切(15-19kts；等級1.5)、中度風切(20-29kts；等級2.0-2.5)和強烈風切(≥ 30 kts；等級3.0以上)。

機場跑道(05L和05R)和跑道中段(M23L05R和M23R05L)氣壓跳動超過 1σ 與機場跑道(05L、05R、23L和23R)低空風切警告發生時間幾乎同時發生或相差不到1分鐘。

1. 05L跑道

05L跑道氣壓跳動超過 1σ (0.32 hPa)，05L跑道於19日1914Z氣壓大幅跳動達1.1hPa，同時有中度風切。1931-34Z有強烈風切，而氣壓跳動於1929-1930Z達0.6-0.8 hPa，同時也有0.4 hPa，如圖6a。

2. 05R跑道

05R跑道氣壓跳動超過 1σ (0.42 hPa)，05R跑道於19日1925Z氣壓大幅跳動達1.1hPa，同時有強烈風切。1903-0904Z有強烈風切，而氣壓跳動同時達0.6 hPa，3分鐘前，於1901Z跳動達0.7 hPa；於1931-1934Z有強烈風切，而氣壓跳動同時達0.7 hPa，6分鐘前，於1925Z氣壓跳動非常大，達1.1 hPa，如圖6b。

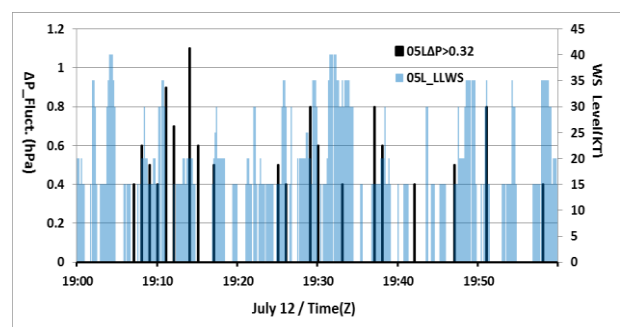
3. M23L05R跑道中段氣壓跳動與23L跑道風切

M23L05R跑道中段氣壓跳動超過 1σ (0.27 hPa)，於1920Z氣壓跳動達0.9 hPa，同時，23L跑道有中度風切發生。23L跑道於1904Z有強烈風切發生，M23L05R跑道中段氣壓跳動達0.3 hPa，2分鐘前，於1902Z氣壓跳動達0.5 hPa；23L跑道又於1931-33Z有強烈風切發生，M23L05R跑道中段氣壓跳動達0.3 hPa，2分鐘前，於1929Z氣壓跳動達0.4 hPa，如圖7a。

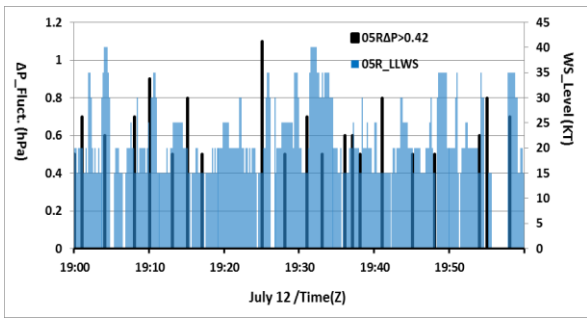
4. M23R05L跑道中段氣壓跳動與23R跑道風切

M23R05L跑道中段氣壓跳動超過 1σ (0.31 hPa)，於1944Z氣壓跳動達0.8 hPa，同時，23R跑道有極強烈風切發生。23R跑道於1904Z有強烈風切發生，2分鐘前，於1902Z氣壓跳動達0.5 hPa；更於1923-1936Z也有強烈風切發生，同時M23R05L跑道中段氣壓跳動達0.5 hPa，如圖7b。

顯示機場在暴風圈侵襲期間，跑道氣壓跳動大幅跳動與機場跑道低空風切警告發生時間幾乎同時發生或相差不到1分鐘。在風切最強時段，氣壓大幅跳動時，跑道有中度至強烈風切發生。機場有強烈風切發生時，同時或於2-6分鐘前，都有氣壓跳動大幅跳動。



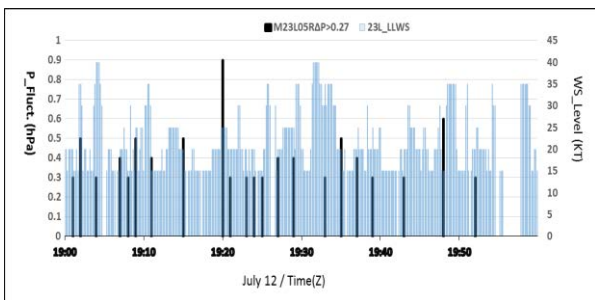
(a)



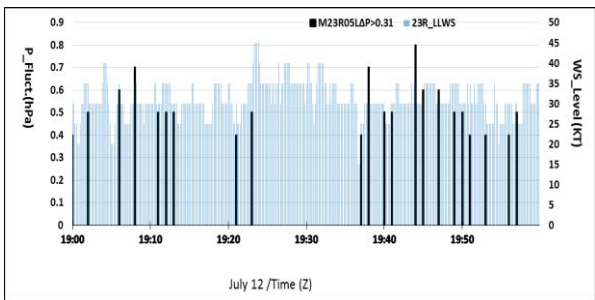
(b)

圖6 2013年7月12日1900Z台灣桃園國際機場氣壓跳動超過強度與風切警告等級分布圖。

(a) 05L跑道 (b) 05R跑道



(a)



(b)

圖7 2013年7月12日1900Z台灣桃園國際機場氣壓跳動超過強度與風切警告等級分布圖。

(a) M23L05R跑道中段和23L跑道

(b) M23R05L跑道中段和23R跑道

六、討論

Bedard(1977)研究顯示氣壓跳升為每分鐘氣壓上升高過 0.169hPa，氣壓跳升的時間和幅度，可以偵測到的是 3 分鐘內氣壓突然上升 0.5hPa。Shreffler and Binkowski(1981)觀測到雷暴雨外流引發氣壓上升 1.5hPa。另外，Wakimoto(1982)認為氣壓變化由降而升，再由升而趨正常，整個過程所需時間約為 15 分鐘，雷雨發生，短時間氣壓會有 5-7hPa 之變化。蒲等(2015)颱風侵襲松山機場氣壓每分鐘最大跳動幅度

2.7hPa 之變化。本文分析顯示颱風暴風圈侵襲期間台灣桃園機場氣壓每分鐘最大跳動幅度，會有 101hPa 之跳動。也同時伴隨頻繁和強烈低空風切發生，而颱風侵襲期間，氣壓大幅跳動幅度至趨於正常，其持續時間可持續數小時之久。

Viana, et al. (2007)以小尺度和短時間地面氣壓跳動(pressure fluctuations)來研究大氣邊界層(atmospheric boundary layer)之特性。並分析標準差($\sigma P70$)與亂流之相關，認為風切控制了氣壓的跳動。蒲等(2014)個案資料經再分析，改以風速、氣壓和氣壓梯度等跳動超過 1 個標準差，則能偵測到機場低空風切未能偵測到飛行員有風切報告部分(這也許是 FAA/LLWAS 系統還有 10%以下的風切警告失敗率)。蒲等(2015)以風速、氣壓和氣壓梯度每秒或每分鐘跳動超過 1σ 之時段和頻率，都能監測更大部分低空風切現象(包含飛行員有風切報告)之發生，顯見以超過 1σ 為標準來偵測低空風切為佳，本文研究也有類似情形。

美國 FAA/LLWAS-III 系統以數十個測風儀中的一個觀測到風場與所有測風儀的平均風場有 15 KT 的差值時，就有可能有風切現象，系統即時發出風切警告。陳與袁(2014)使用診斷數學模式和測風儀，來克服 LLWAS 無法監測的「盲區」。他們以相鄰兩個測風儀所測得風速訊號相減值，代表跑道上的風速變化，風速變化量達 15 K，是輕度低空風切警報之發布標準。蒲等(2015)分析顯示在颱風暴風圈侵襲期間松山機場跑道兩頭 R10 和 R28 風速和風速差分別超過 1σ ，就可能發生低空風切，本文研究也有類似情形。

本文顯示機場氣壓跳動超過 1σ 範圍，可作為監測低空風切現象的發生依據，其跳動超過幅度之頻率越多，引發風切次數越多且越強。在暴風圈侵襲間，機場各個跑道風切發生最多和氣壓跳動超過 1σ 發生次數最多時段是一致的；且跑道氣壓跳動大幅跳動與機場跑道低空風切警告發生時間幾乎同時間發生或相差不到 1 分鐘。在風切最強時段，氣壓大幅跳動時，跑道有中度至強烈風切發生。機場有強烈風切發生時，同時間或於 2-6 分鐘前，都有氣壓跳動大幅跳動。由此觀之，似乎以機場範圍內現有自動觀測系統觀測

到的氣壓資料，來建立新一代低空風切警告系統，就可能取代美國 FAA / LLWAS 系統，並可解決機場找不到腹地來裝置風塔的問題以及系統建置和維修之困難。

七、結論

本文利用 2013 年 7 月 12-13 日蘇力颱風期間，根據地面自動測報系統測報資料，就台灣桃園機場兩條跑道之氣壓跳動情形，來分析機場低空風切警告系統發出的風切警告，獲得下列成果：

- (一) 受颱風暴風的影響，機場最大陣風達 20KT 以上，台灣桃園國際機場就可能有低空風切現象發生，其中陣風>30KT，風切發生頻繁；陣風>50KT，風切發生非常頻繁；陣風>65KT，強烈風切發生頻繁。
- (二) 機場在暴風圈侵襲間，機場氣壓降至 990hPa 以下，風向偏北和偏南兩個強風時段，各個跑道風切發生最多和氣壓跳動超過 1σ 發生次數最多時段是一致的。
- (三) 機場在暴風圈侵襲期間，跑道氣壓大幅跳動與機場跑道低空風切警告發生時間幾乎同時發生或相差不到 1 分鐘。在風切最強時段，氣壓大幅跳動時，跑道有中度至強烈風切發生。機場有強烈風切發生時，同時間或於 2-6 分鐘前，都有氣壓跳動大幅跳動。

八、致謝

本文在財團法人氣象環境研究中心支助下完成。感謝民用航空局飛航服務總台提供台灣桃園國際機場觀測和風切警告資料。

九、參考文獻

- 何台華、涂明聖、蒲金標及魏志憲，2005：2002 年梅雨季桃園與松山機場低風切之個案研究，大氣科學，33，119-142。
- 陳介中與袁曉峰，2014：低空風切警報系統的改進，航空安全及管理季刊，1，85-102。
- 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，31，181-198。
- 蒲金標、徐茂林、游志遠和劉珍雲 2014：台灣低壓鋒面與松山機場低空風切個案研究，航空安全及管理季刊，1，227-243。
- 蒲金標、徐茂林及游志遠，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，43，27-46。

蒲金標與徐茂林，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，飛航天氣期刊，25，30-50。

Bedard, A. J., H. B. Meade, 1977: The Design and Use of Sensitive Pressure-Jump Sensors to Detect Thunderstorm Gust Fronts. Part I.

ICAO, 2005: Manual on Low-Level Wind Shear, 1st, International Civil Aviation Organization.

Shreffler, Jack H., Francis S. Binkowski, 1981: Observations of Pressure Jump Lines in the Midwest, Mon. Wea. Rev., 10-12.

S. Viana, C. Yague, G. Maqueda and G. Morales(2007): Study of the surface pressure fluctuations generated by waves and turbulence in the nocturnal boundary layer during SABLES2006 field campaign. Fisica de la Tierra, 19, 55-71. Ed. Univ. Compl. Madrid.

Wakimoto, Roger M., 1982: The Life Cycle of Thunderstorm Gust Fronts as Viewed with Doppler Radar and Rawinsonde Data. Mon. Wea. Rev., 110, 1060 - 1082.,

