

2013年2月24日強勁東北季風期間松山 機場低空風切分析研究

^{1,2}蒲金標 ²徐茂林

¹財團法人中華氣象環境研究發展中心
²誠開股份有限公司研發部

前言

- 低空風切(Low-level Wind Shear)或微爆氣流(Microburst)對飛航構成最嚴重威脅之一。
- 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，引發低空風切現象。
- 當飛機在爬升離場和降落進場階段，飛機速度和高度都接近臨界值，飛機容易遭受風切的危險。

風切

- 以數學式表示，則
- 風切= $\Delta \vec{v} / \Delta s$
- $\Delta \vec{v}$ 及 Δs 分別代表風向量變化及產生變化之距離。
- 風切可分為水平風切或垂直風切。

第三代低空風切警告系統 (Phase-III LLWAS)

- 美國聯邦航空總署 (FAA) 開發了Phase-III LLWAS)
- 系統在跑道兩旁離中心線1海哩和跑道兩端向外延伸3海哩範圍內數十個測風塔。
- 當數十個測風儀中的一個觀測到風場和所有測風儀的平均風場有每小時 15 海哩的差值時，發生風切的可能警報就會發出。
- 有輻散 (divergence) 的風場，也會發出風切的警報。
- 原理是以任三具測風儀為頂點，兩兩連線形成一個三角形的區域，將測風儀量測到的風速與風向，形成該區域的向量風場。對該區域的向量風場取輻散度 (divergence)
- 其物理意義為描述該區域內部氣流對區域邊界之假想平面向外或向內流動的通量趨勢，即氣象領域對某區域風場「輻合」與「輻散」現象的定量化描述。
- 其物理公式如式 (1)
- $\Delta = \text{div}(u,v,w) = \partial u / \partial x + \partial v / \partial y + \partial w / \partial z$

LLWAS-III 系統監測低空風切的準確率

- 國際民航組織(CAA, 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」。
- 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符合美國FAA LLWAS-III
- 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。

資料來源和研究方法

- 松山低空風切警告系統(LLWAS-III)---
- 2013. 2. 24. 風切警告資料(每10秒擷取風塔資料)、
- 機場地面觀測報告(定時和特別觀測)和
- 地面自動化測報系統(每秒一筆資料)以及
- JWA地面天氣圖。
- 穩定大氣，氣壓每秒或每分鐘前後觀測數值跳動幅度，近似於常態分佈
- 不穩定大氣，氣壓跳動大，可能會超出1個標準差(約>68%數值分佈)。
- 就松山機場風速、氣壓和氣壓梯度每秒或每分鐘前後觀測跳動範圍超出1個標準差之頻率與機場低空風切發生頻率加以比較。

- $X_i = Y_i - Y_{i-1}$
- Y_i 代表這一秒或這分鐘氣象要素之觀測值。
- Y_{i-1} 代表前一秒或這分鐘氣象要素之觀測值。
- X_i 代表這一秒或這分鐘與前一秒或前一分鐘氣象要素之觀測差值(跳動值)

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n}$$

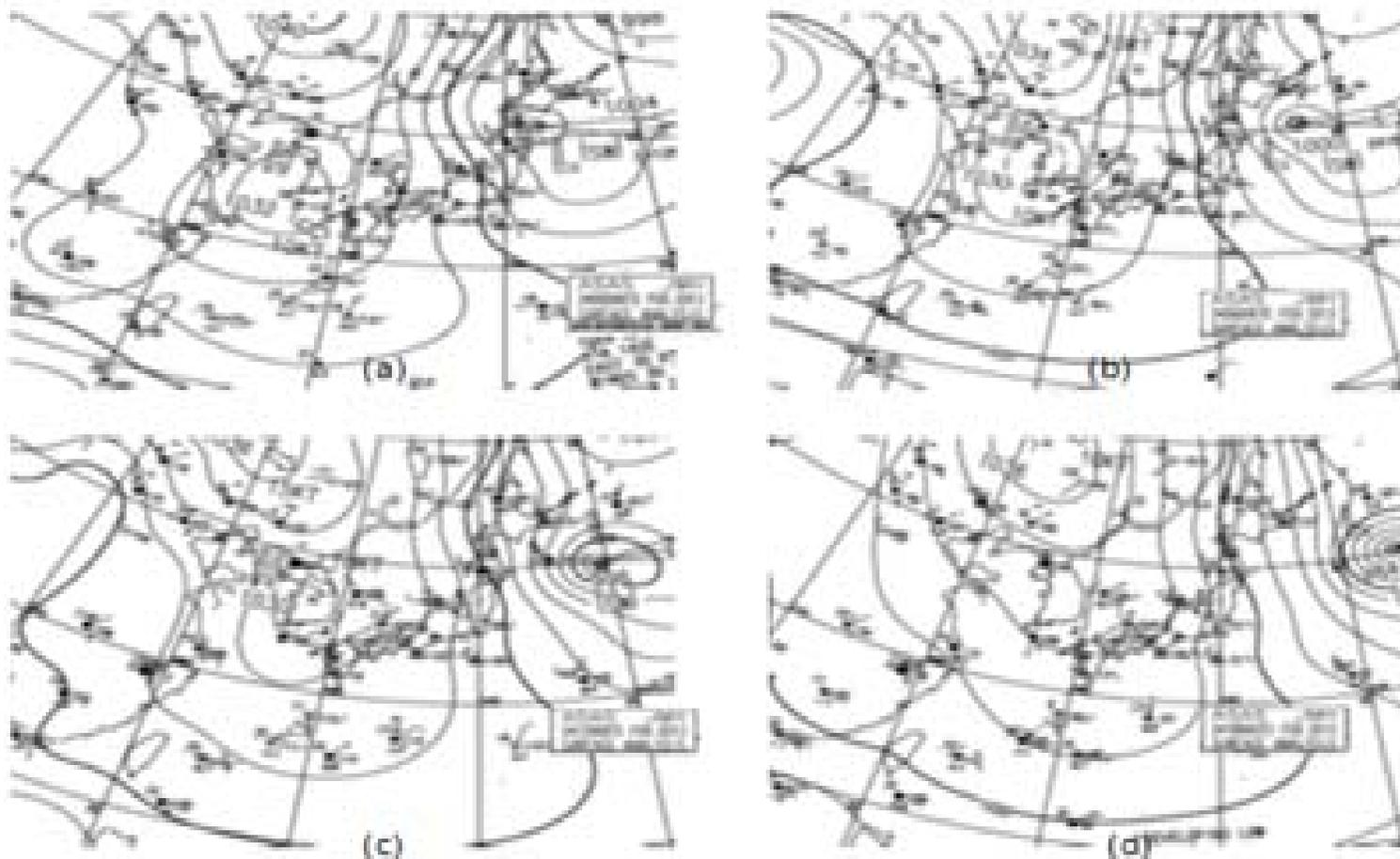
- 平均值接近0時，則分成正和負值兩部分，分開計算標準差。

例如，氣壓每秒跳動值平均接近0，則其每秒跳動分成正與負值兩部分，分別計算標準差 σ 。

- 標準差 σ

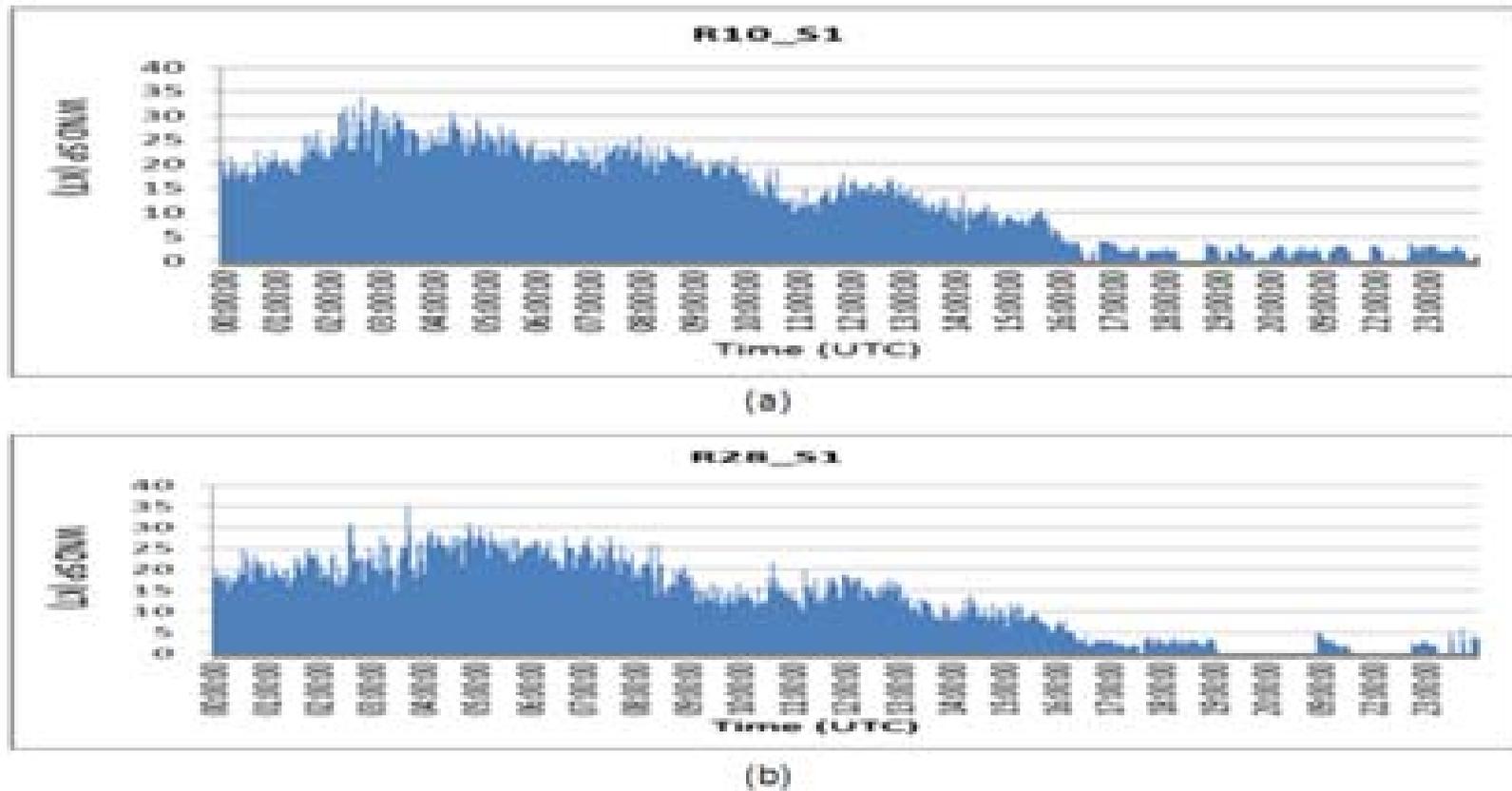
$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

2013年2月24日 冬季東北季風期間天氣圖
0000UTC (b) 0600UTC (c) 1200UTC (d) 1800UTC
(摘自日本JMA)



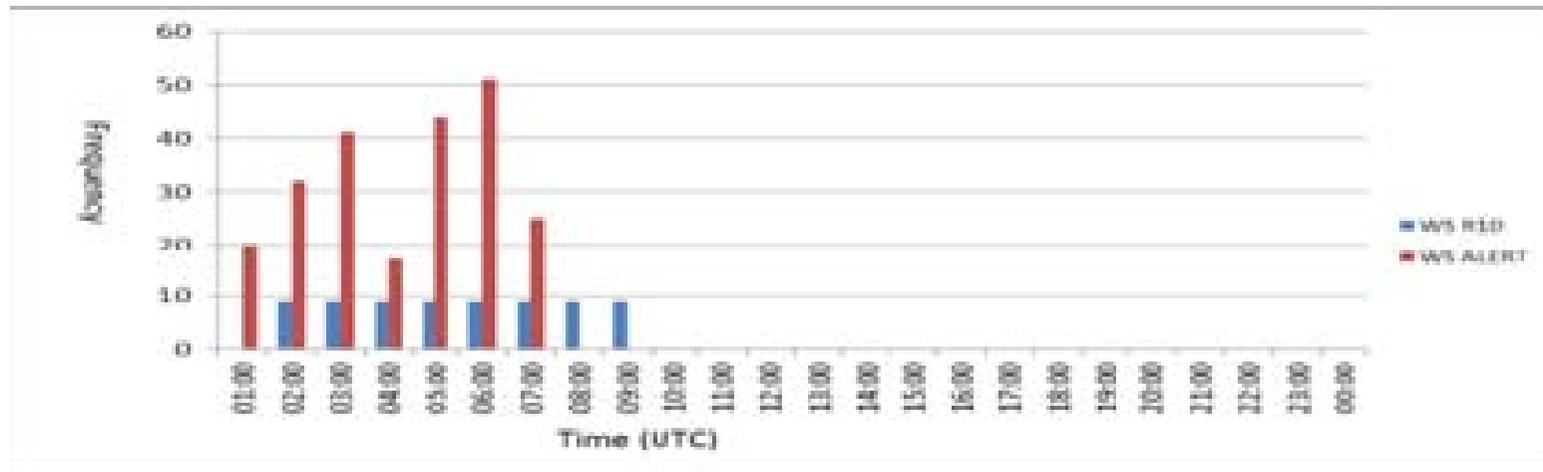
冬季大陸高壓向南延伸出海，台灣位在等壓線密集區，
氣壓梯度大，東北季風增強

圖2 2013年2月24日松山機場地面自動測報跑道
R10和R28風速(KT)之時間分布 (a) R10 (b) R28



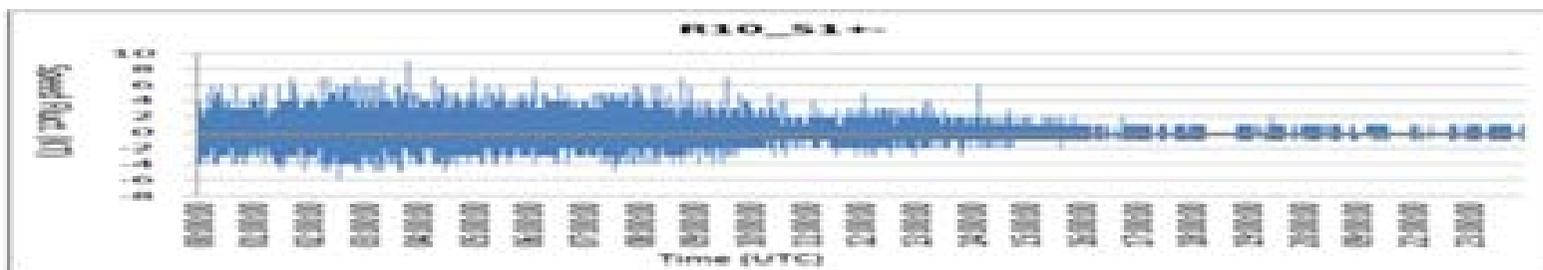
冬季東北季風期，歐亞大陸分裂高壓出海，整個高壓向南延伸經台灣至巴士海峽，台灣位在等壓線密集區，氣壓梯度大，當機場風速大於20KT時，常會有低空風切現象發生；當分裂高壓向東移出後，台灣處在高壓西緣，氣壓梯度變小，機場風速減至20KT以下，機場低空風切現象就消失。

圖3 2013年2月24日松山機場低空風切警告系統警告發布(紅色)與氣象台風切報告(藍色，頻率9表示風切)之時段與頻率分布。

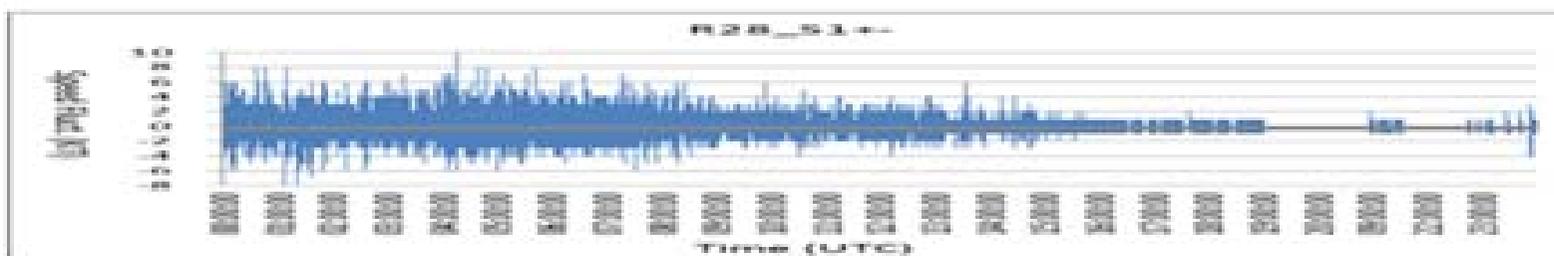


機場受分裂高壓南伸東移，台灣處於氣壓梯度密集區，受風速大的影響，引起松山機場低空風切的發生。隨後，台灣處於分裂高壓回流，風力減弱至20KT以下，低空風切現象就沒有發生。

圖4 2013年2月24日松山機場地面自動測報跑道R10和R28
風速(KT)每秒跳動之時間分布 (a) R10 (b) R28



(a)

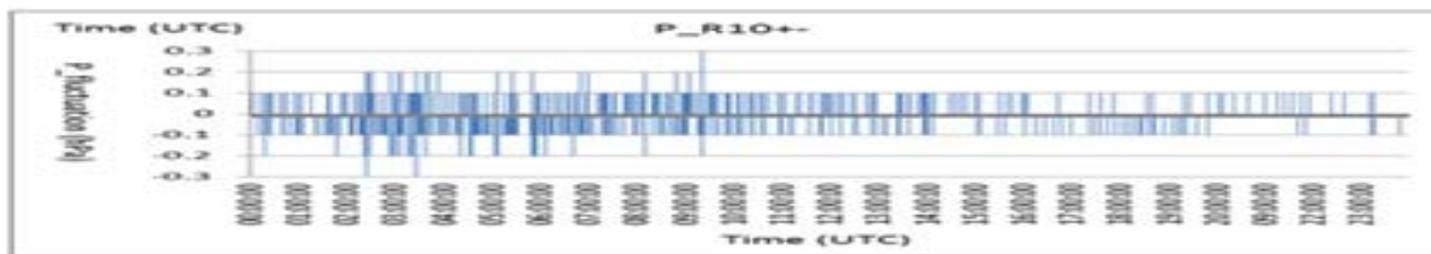


(b)

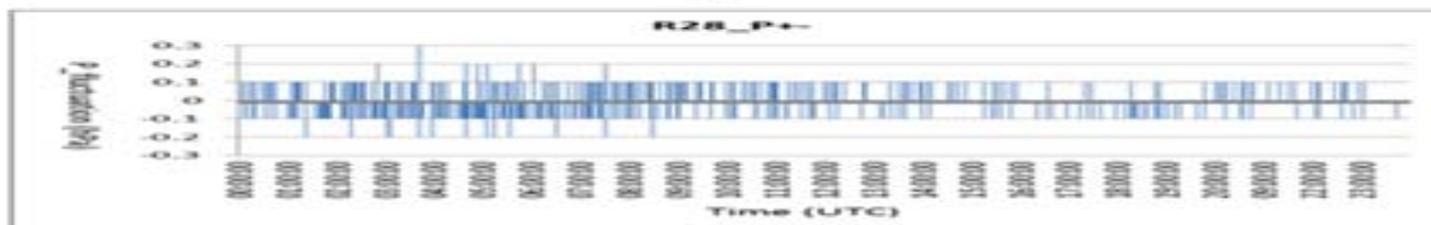


在東北季風增強階段，風速增強至20KT以上，風速每秒跳動幅度甚大，是機場發生低空風切現象最頻繁之時段；在東北季風減弱階段，風速降至20KT以下，風速每秒跳動幅度很小，機場低空風切現象就不再發生。

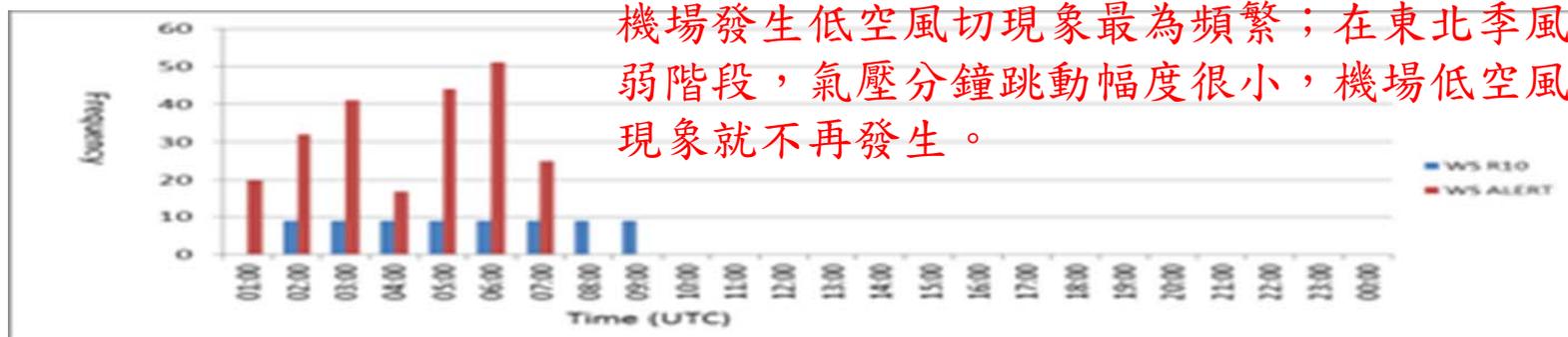
圖5 2013年2月24日松山機場地面自動測報跑道R10和R28
每分鐘氣壓跳動之時間分布 (a) R10 (b) R28



(a)

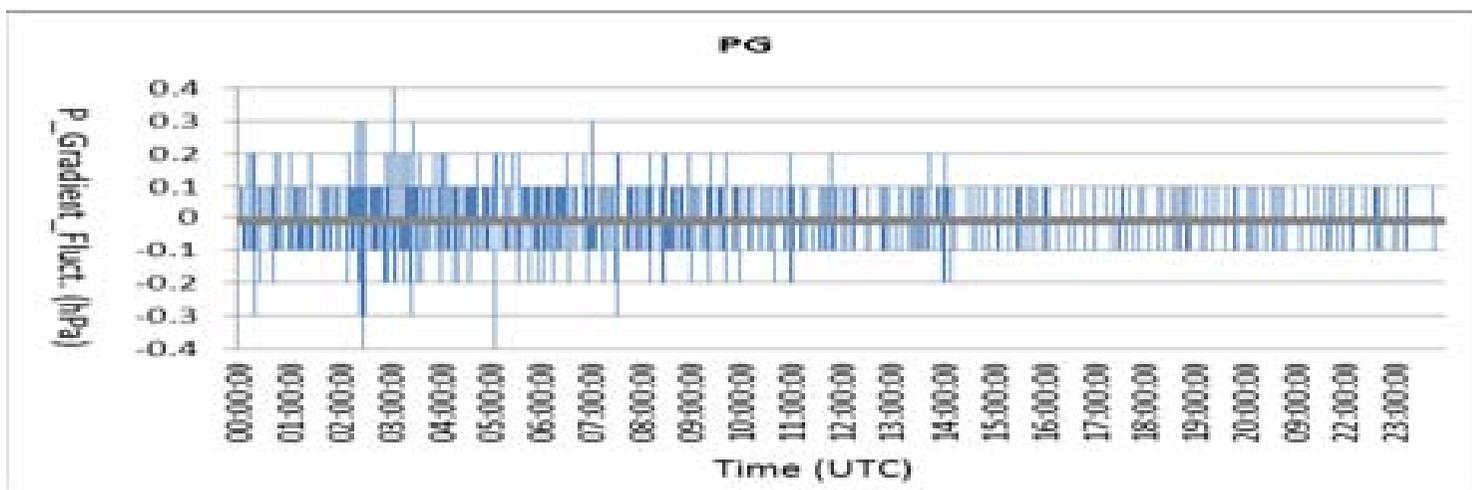


(b)



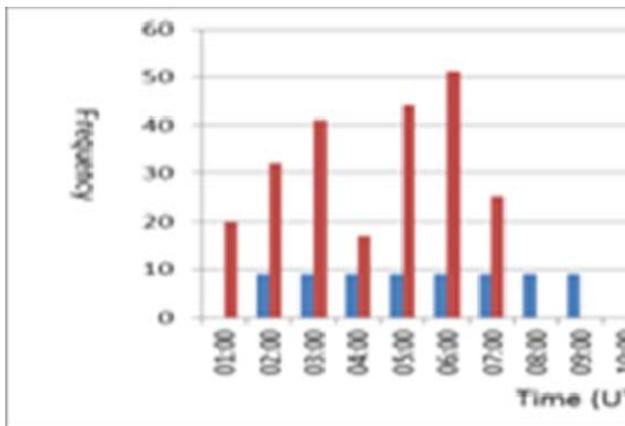
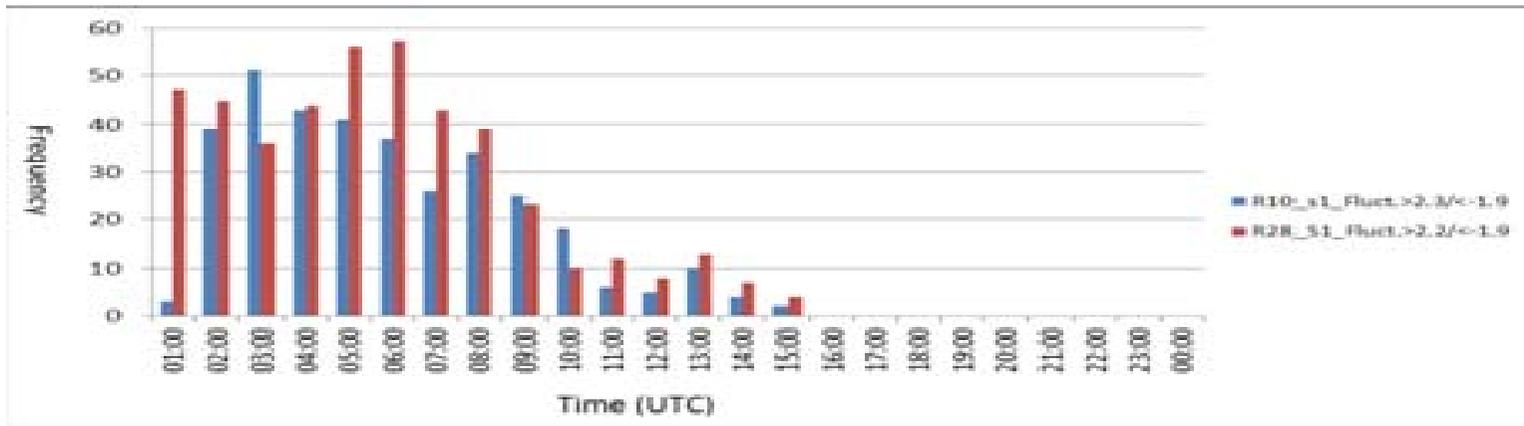
在東北季風增強階段，氣壓每分鐘跳動幅度甚大，機場發生低空風切現象最為頻繁；在東北季風減弱階段，氣壓分鐘跳動幅度很小，機場低空風切現象就不再發生。

圖6 2013年2月24日松山機場地面自動測報跑道R10和R28間每分鐘氣壓梯度跳動之時間分布



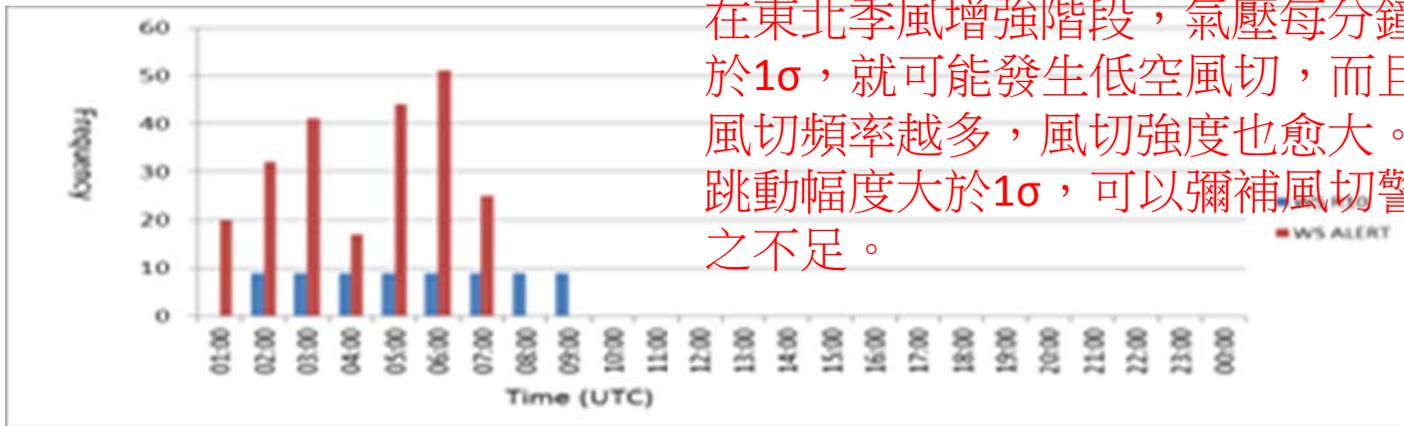
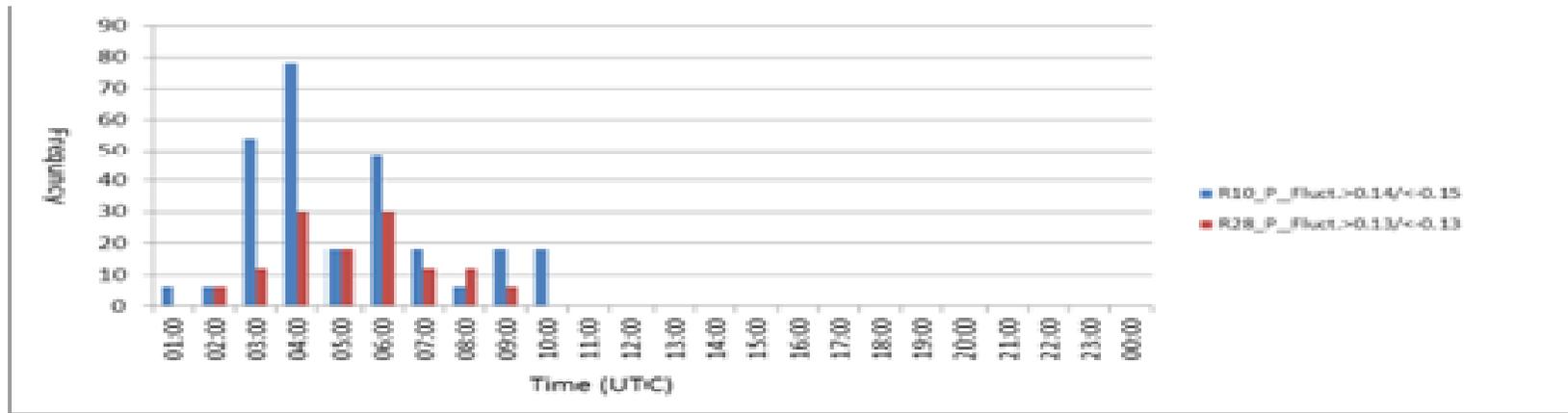
在東北季風增強階段，氣壓梯度每分鐘跳動幅度甚大期間，是機場發生低空風切現象最頻繁之時段；在東北季風減弱階段，氣壓每分鐘跳動幅度很小，機場低空風切現象就不再發生。

圖7 2013年2月24日松山機場地面自動測報跑道R10和R28風速每秒跳動幅度大於 1σ ，其出現時段和頻率之分布。藍色表示R10，紅色表示R28。



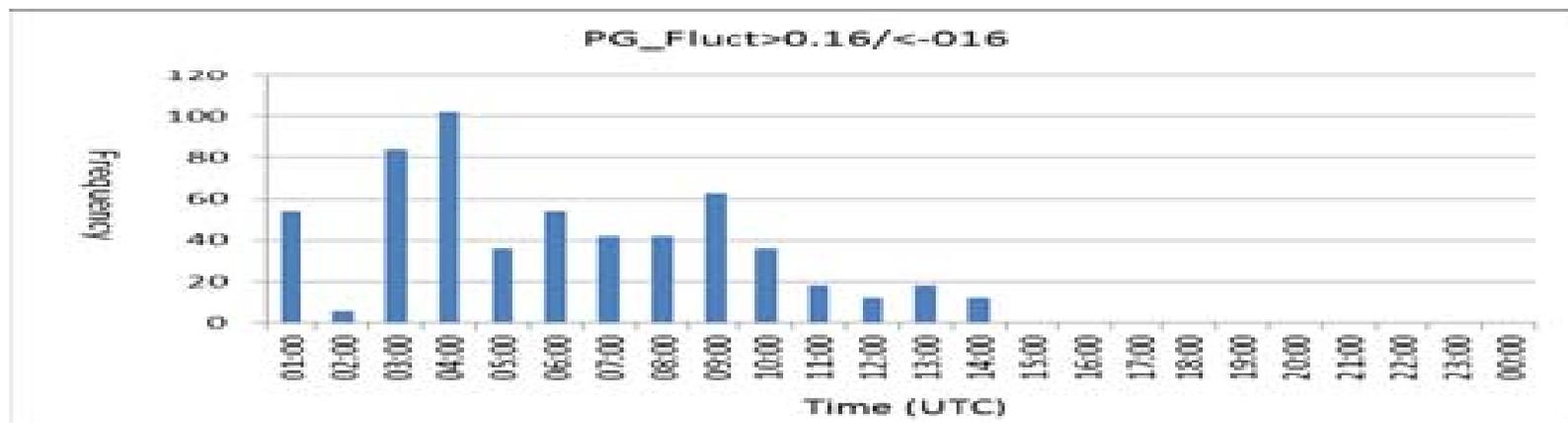
東北季風增強階段(0000-1200UTC)，機場風速每秒跳動幅度大於 1σ ，R10每小時有2次-51次，R28每小時有4次-57次。其中R10於0300UTC每小時高達51次，R28於0600UTC高達57次。機場低空風切警告系統在這個階段於0100UTC-0700UTC每小時發出17-51次，其中於0300UTC有41次風切警告，於0600UTC有51次風切警告。氣象台根據飛行員報告，於0800UTC-0900UTC天氣報告仍繼續發布R10風切紀錄，但是低空風切警告系統卻沒有發出風切警告。

圖8 2013年2月24日松山機場地面自動測報跑道R10和R28氣壓跳動幅度超過 1σ 時，其出現時段和頻率之分布。圖中藍色為R10、紅色為R28。



在東北季風增強階段，氣壓每分鐘跳動幅度大於 1σ ，就可能發生低空風切，而且其幅度愈大，風切頻率越多，風切強度也愈大。氣壓每分鐘跳動幅度大於 1σ ，可以彌補風切警告系統漏報之不足。

圖9 2013年2月24日松山機場地面自動測報跑道R10和R28間氣壓梯度跳動幅度超過 1σ 時，其出現時段和頻率之分布。



東北季風增強階段，機場氣壓每分鐘跳動幅度大於 1σ ，每小時有6次-102次，其中於0300UTC、0400UTC和0900UTC每小時分別高達84次、102次和63次之多。機場低空風切警告系統在這個階段於0100UTC-0700UTC每小時發出17-51次，其中於0300UTC有41次風切警告，於0600UTC有51次風切警告。氣象台根據飛行員報告，於0800UTC-0900UTC天氣報告仍有R10風切紀錄，但是低空風切警告系統卻沒有發出風切警告。



結 論

- (一)當風速越大，其風速、氣壓和氣壓梯度等跳動幅度越大；
- 風速越小，其風速、氣壓和氣壓梯度等跳動幅度越小。
- (二)機場R10與R28風速、氣壓和氣壓梯度跳動超過 1σ 範圍之時段和頻率，與低空風切有密切相關，跳動超過 1σ 範圍之頻率越多，引發風切警告次數越多且越強。
- (三)機場利用跑道現有測風塔風速、氣壓和氣壓梯度等跳動超過 1σ 之頻率和時段，就可偵測到低空風切的發生，也可以彌補機場低空風切警告系統還有10%以下的風切警告失敗率。
- (四)本研究成果可提供研發機場低空風切簡易警告系統參考。

「新一代機場低空風切警告系統 (NextG/LLWAS)」研發專案簡介(I)

- 台灣經濟部工業局補助誠開公司研發「新一代機場低空風切警告系統(NextG/LLWAS)」專案，目前已在台北市松山機場實際裝設施作，且有很好的成果。系統遠從新北市林口助航台起，沿著機場下滑道，延伸至降落跑道兩頭和跑道中段，總共裝置了六個氣壓、氣溫和濕度計等資料收集器。
- 新一代系統以機場氣壓、氣壓梯度、氣溫和濕度，每秒觀測資料跳動幅度，超過一個標準差時，其發生頻率和時段，與松山機場現行使用中的NCAR LLWAS系統作對照，也幾乎都吻合一致，唯系統仍需就未來一兩年松山機場觀測資料繼續作對照比對必要時加以修訂至最精確，以免系統有漏報或誤報現象。
- 這套新一代系統優於FAA大型風切警告系統(LLWAS-III)之處，在於可以解決機場周邊和跑道兩旁所遭遇到儀器架設的問題，和機場沒有足夠的腹地，莫說小機場，既使是大機場，也難以裝設。基於NCAR/LLWAS-III系統必須在機場兩旁相當距離，固定地點建造十幾座20-30公尺高的風塔，再將儀器裝至於塔架頂端之上，不僅塔架造價成本極為昂貴，維修更是不易。

「新一代機場低空風切警告系統 (NextG/LLWAS)」研發專案簡介(II)

- 綜觀台灣和附屬島嶼總共十幾座機場土地和財力條件，只有桃園和松山機場兩處，能夠裝設NCAR-LLWAS-III這類大型低空風切警告系統。因此，舉凡腹地不足，如高雄…等機場，我們創新研製的系統，勢必可取而代之。
- 這一套高效能NextG/LLWAS的優異特點，就體現在系統的簡易、造價的低廉上。打從機場遠距的助航台起，至機場內外周遭，無須大動土地干戈，只要有丁點小空地，或於既有建築物頂部，系統儀器只要裝置在離地面1.5公尺高的塔架上即可。所裝上之數個觀測站的微型氣壓計、溫度計和濕度計，再與機場跑道現有的風塔數據資料，搭配整合成一套「新一代機場低空風切警告系統(NextG/LLWAS)」，無論任何大小機場，都可輕而一舉地裝設。
- 觀測站資料收集器(DCU)，其中兩個含有三維測風儀，就構成一套新一代機場低空風切警告系統(NextG/LLWAS)觀測值，驗證功能完備無訛。風切是危害航空產業致命的因素，對飛安構成的威脅，在最低層---500m(1,600ft)以下所發生的風切，是決定飛機起降(aircraft landing and taking off)與否，最重要的關鍵!當飛機在爬升離場和降落進場階段，速度和高度都趨近臨界值，容易發生遭遇風切的危險。

謝謝 指教

- 蒲金標
- Cell Phone : 0932-592-908
- E-Mail: pu1947@ms14.hinet.net