



香港天文台

HONG KONG OBSERVATORY

Reprint 819

鸚鵡風眼氣流下沉及增溫情況的遙感氣象觀測

黃秋平 & 陳柏緯

第二十三屆粵港澳氣象科技研討會

澳門，2009 年 2 月 18-20 日

鸚鵡風眼氣流下沉及增溫情況的遙感氣象觀測

黃秋平 陳柏緯

香港天文台

摘要

天文台在香港境內運行多部遙感氣象儀器，包括以氣流剖析儀及聲波雷達量度風的三個分量，及用微波輻射計量度對流層的溫度廓線。在 2008 年 8 月，颱風鸚鵡在香港登陸，這些遙感儀器提供時間上連續的數據，幫助密切監測大氣的動力和熱力參數的變化。當鸚鵡的風眼接近香港國際機場時，該處的氣流剖析儀及聲波雷達清楚顯示風眼的下沉氣流，而微波輻射計則顯示大氣中低層的溫度有所增加及出現逆溫層。本文將對有關遙感數據進行分析。

1. 引言

天文台在香港境內運行多部遙感氣象儀器，包括以氣流剖析儀及聲波雷達量度風的三個分量，及用微波輻射計量度對流層的溫度及濕度廓線。在 2008 年 8 月，颱風鸚鵡在香港登陸，這些遙感儀器提供時間上連續的數據，密切監測大氣的動力和熱力參數的變化。颱風鸚鵡是香港在二零零八年第四個需要發出熱帶氣旋警告信號的熱帶氣旋，吹襲香港期間天文台需要發出九號烈風或暴風增強信號，這是自 2003 年 9 月颱風杜鵑影響香港以來的首次。本文第 2 節會探討鸚鵡從形成初期到登陸香港時的天氣形勢，它的移動路徑，並討論鸚鵡在香港境內時地面和雷達觀測資料。第 3 節會簡介本文中提及的遙感氣象儀器。第 4 節會對有關遙感數據進行分析。第 5 節會簡介目前其他文獻利用遙感氣象儀器觀測熱帶氣旋內部結構的情況。第 6 節為結論。

2. 環流形勢特徵和實況觀測資料

在鸚鵡形成初期到發展成為颱風期間，副熱帶高壓(副高)偏強且西伸到東經 105° 左右，華中、華南地區為副高所控制。鸚鵡於 8 月 17 日傍晚在西太平洋形成為一熱帶低氣壓，位處副高的南方，受副高引導氣流影響，向西移動。8 月 18 日早上，在微弱的垂直風切變環境下鸚鵡增強為熱帶風暴，當日傍晚再增強為強烈熱帶風暴，8 月 19 日進一步增強為颱風，移動路徑主要受副高引導氣流影響，向西北偏西移動。8 月 20 日鸚鵡進入南海，開始受到強烈的垂直風切變影響，強度稍為減弱，強對流雲團集中在南部(圖略)，但由於南海水溫較高及南海北部因青藏高原的影響吹東北偏東風，提供了有利於鸚鵡發展的高層輻散流場，鸚鵡大致維持颱風的強度。8 月 21 日，華南的副高東移和西太平洋的副高接合，鸚鵡受副高南側東南氣流引導，向西北方向移動。

8 月 22 日，副高東撤，鸚鵡繼續向西北方向挺進，逼近華南沿岸，並於下午四時五十分左右在香港東部西貢區香港科技大學附近登陸，同時減弱為強烈熱帶風暴。受到地形影響，鸚鵡的環流重整，原有的中心向西北移動並迅速消散，一個新的中心在將軍澳附近形成，並轉向西移動，經過維多利亞港東部及九龍半島南部，並在天文台總部以南一公里內掠過。隨後鸚鵡的中心經過青衣島以南，然後向北移動，傍晚時橫過大嶼山東北部、屯門及元朗。當天晚上鸚鵡橫過后海

灣、深圳西部及珠江口，隨後在南沙附近第二次登陸。鸚鵡登陸香港時的移動路徑可參考圖 1。

圖 2 顯示下午 7 時香港境內的地面觀測資料。可以明顯看到在小蠔灣附近有一個環流中心。

圖 3 顯示下午 7 時小蠔灣附近並沒有強的降水，只有每小時幾毫米的降雨率，而實際上小蠔灣附近的幾個自動氣象站在下午 6 時至 8 時之間也只錄得幾毫米的雨量。

3. 遙感氣象儀器簡介

3.1 氣流剖析儀

設置在小蠔灣和沙螺灣的氣流剖析儀(位置請參考圖 1)，可實時監測鸚鵡過境時垂直風場的變化。該兩部氣流剖析儀於文獻[1]中已有介紹，屬於邊界層型氣流剖析儀，工作頻率為 1299 兆赫，每 10 分鐘可取得一次垂直風場資料。其中小蠔灣氣流剖析儀可以高/低模式運行，低模探測高度為 116 米至 1500 米，高度分辨率為 60 米。高模探測高度為 260 米至 6000 米，高度分辨率為 200 米，而沙螺灣的氣流剖析儀只以低模式運行。氣流剖析儀的探測目標是大氣中一些由機械作用或熱力作用所形成的湍渦。這些湍渦會令氣流剖析儀發出的電磁信號被散射，其「後向散射」產生的回波信號會被氣流剖析儀接收處理，從而得到大氣風場資料。

3.2 聲波雷達

聲波雷達(位置請參考圖 1)利用 4500 千赫的聲波擾動大氣，與氣流剖析儀類似，大氣中的湍渦令聲波折射，從而得到低層大氣的三維風場資料。探測高度為 100 米，高度分辨率為 5 米，每 5 分鐘得到一次風廓線。

3.3 微波輻射計

設置在香港國際機場的微波輻射計(位置請參考圖 1)，與文獻[2]中的類似，透過量度 7 個氧氣頻道(51-59 千兆赫)和 7 個水汽頻道(22-30 千兆赫)的輻射強度，獲取溫度和濕度廓線。輻射計可進行天頂掃瞄和固定仰角掃瞄以獲取輻射強度數據，再利用統計方法，將數據反演為大氣的熱動力廓線，每數分鐘取得一次。當有水薄膜覆蓋在

輻射計的外殼時，量度會較為不準確。因此為了減低雨的影響，該儀器的外殼外使用疏水物料覆蓋，以及在外殼上吹氣排水。

4. 遙感氣象儀器數據分析

4.1 氣流剖析儀

圖 4 顯示在接近下午 7 時，鸚鵡風眼移近小蠔灣氣流剖析儀時，小蠔灣上空 1800 米至 3000 米左右，風場首先起了變化，風速明顯減弱，由清勁西北風轉為微弱西風，最後再轉為強風程度西南風，而稍後在 3000 米至 4200 米高度上的風場也有類似的轉變過程。近地面的風場同樣有類似的轉變過程，但時間上滯後於中高層的變化，地面風直至接近下午 8 時，才完全轉變為西南風，由於可見，鸚鵡風眼垂直結構已產生傾斜，強度減弱。

另一方面，圖 4 顯示在下午 7 時，小蠔灣上層從 1200 米至 3300 米左右為西南風，3300 米以上為西北風，風向隨高度順轉，有暖平流存在。

圖 5 顯示在下午 6:30 分左右，當鸚鵡移近小蠔灣氣流剖析儀時，小蠔灣上層出現下沉氣流(藍色代表下沉運動)，高度從 4200 米左右一直下伸到地面。接近下午 8 時，下沉氣流更為強勁，垂直速度 w 的最大值達 5.8 m/s。下沉氣流可以是由降雨所造成的，但考慮到下沉氣流出現在超過 4000 米的高度上，一般降水高度並沒有這樣高，只有較強、伴有冰粒的降水才會在這種高度上出現下沉氣流。觀察圖 3 的天氣雷達影像，當時在小蠔灣附近並沒有強的降水，因此可推論圖 5 所顯示的下沉氣流主要來自鸚鵡風眼的下沉氣流。

圖 6 和圖 7 顯示沙螺灣的氣流剖析儀也同樣捕捉到鸚鵡風眼的水平風向轉變及下沉氣流，但圖 6 所顯示出的鸚鵡風眼軸心傾斜程度並沒有像圖 4 小蠔灣氣流剖析儀所顯示出的那麼大，具體原因有待進一步研究。

4.2 聲波雷達

圖 8 顯示當鸚鵡經過小蠔灣時，低層風場有一個明顯的轉向過程。低層風向先由西北風轉為東北風，當鸚鵡移離小蠔灣時，低層又一致轉為西南風。

圖 9 顯示下午 7 時左右，小蠔灣低層風場的垂直速度。由圖可以看到小蠔灣低層出現下沉氣流，垂直速度高達 3.2 m/s。察看下午 7 時至 8 時、5 分鐘一張的小蠔灣低層風場垂直速度變化圖(圖略)，發現小蠔灣低層一直維持強勁下沉氣流，垂直速度 w 的最大值可達 4.3 m/s，與氣流剖析儀的觀測接近。

4.3 微波輻射計

圖 10 顯示香港國際機場上空在接近下午 7 時，從 2000 米左右到地面，等溫線明顯向上突起，同一高度的溫差可達 4 至 6 度，相信是跟風眼中心氣流下沉，溫度增加有關，這與我們已知熱帶氣旋具有暖心結構是一致的。從圖 11 中，可以看到在低層 300 米到 630 米左右有一個 0.3 度的逆溫層。

圖 12 顯示香港國際機場上空在 550 米至 870 米的高度和 2000 米至 2600 米的高度上，分別有一個 4 度和 2.5 度的逆溫層，這也驗證了風眼中心氣流下沉在較高層也存在。比較圖 11 和圖 12，發現它們所顯示出的逆溫層高度並不吻合，相信是跟輻射計以不同掃瞄方式獲得熱動力廓線有關。輻射計一方面以固定仰角掃瞄方式獲得邊界層熱動力廓線(圖 11)，另外又可進行天頂掃瞄，獲得大氣對流層直至 10 公里的熱動力廓線(圖 12)。一般情況下，以固定仰角掃瞄方式獲得的熱動力廓線較為準確。

察看圖 3 的天氣雷達影像，當時在香港國際機場地面微波輻射計附近，並沒有強的降水，而位於香港國際機場的雨量計在下午 6 時至 7 時所量度到的雨量也沒有超過 15 毫米，根據文獻[2]的研究，輻射計在降雨率低於每小時 15 毫米時可得到較準確的熱動力廓線，因此上述的輻射計數據還是比較可靠的。

5. 與其他文獻的比較

相對於一天兩次的探空汽球，氣流剖析儀由於時間分辨率較高，在氣象業務當中越來越被重視。劉吉等[3]利用澳門和香港氣流剖析儀資料分析了熱帶風暴“圓規”影響時的特徵，表明在熱帶風暴的影響下，風向轉變非常快且登陸前後風向有明顯的轉變。而張光智等[4]則利用在登陸颱風外場觀測試驗中的氣流剖析儀觀測資料，分析強熱帶風暴“黃蜂”的風場結構。本文除了探討與風眼相關的風向轉變，並討論氣流剖析儀資料如何顯示出颱風鸚鵡的下沉氣流。另外，一直以

來，利用地面微波輻射計去觀測熱帶氣旋的暖心結構的研究相當少，相反，有研究利用衛星微波輻射計去觀測熱帶氣旋的暖心結構[5]。文獻[5]發現在熱帶氣旋的暖心結構影響下，對流層高層(250 百帕左右)，溫差可高達 16 度。本文對利用地面微波輻射計去觀測熱帶氣旋的暖心結構作了一個初步的探討，發現在邊界層內，同一高度的溫差可達 4 至 6 度。

6. 結論

在香港境內運行的多部遙感氣象儀器，包括氣流剖析儀、聲波雷達和微波輻射計，對在香港登陸的熱帶氣旋，提供時間上連續的數據，可密切監測大氣的動力和熱力參數的變化，深入了解熱帶氣旋風眼特性。本文討論在 2008 年 8 月颱風鸚鵡在香港登陸時，利用氣流剖析儀和聲波雷達可捕捉到風眼的下沉氣流和風場的時空分佈，而微波輻射計則可監測大氣中低層的溫度變化及跟風眼下沉氣流相關的逆溫層。展望將來，天文台會進一步研究微波輻射計在香港國際機場受低能見度和風切變等天氣影響之下的表現，探討輻射計在臨近預報技術方面的應用。

參考文獻

- [1] Chan, P.W., 2008: Determination of Richardson number profile from remote sensing data and its aviation application. 14th International Symposium for the Advancement of Boundary Layer Remote Sensing, Roskilde, Denmark, 23 - 25 June 2008 IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol. 1, No. 012043.
- [2] 陳柏緯，2005: 多波長微波輻射計在降雨臨近預報的表現與應用，第十九屆粵港澳氣象科技研討會，中國，廣東陽江，2005 年 3 月 1-3 日。
- [3] 劉吉，范紹佳，方杏芹，王安宇，李江南，樊琦，陳訓來，馮業榮，馮瑞權，劉英偉，2007: 風廓線儀研究現狀與應用初探，熱帶氣象學報，第 23 卷，第 6 期，693-697 頁。
- [4] 張光智，徐祥德，王繼志，楊元琴，2004: 採用外場觀測試驗資料對登陸颱風“黃蜂”的風場及湍流特徵的觀測研究，應用氣象學報，第 15 卷增刊，110-115 頁。

- [5] Brueske, K. F., 2002: Tropical Cyclone Intensity Estimation Using NOAA-KLM Series Advanced Microwave Sounding Unit (AMSU) Warm Core Observations. Fifth International Workshop on Tropical Cyclones (IWTC-V), Cairns, Queensland, Australia, 3-12 December 2002. WMO/TD.

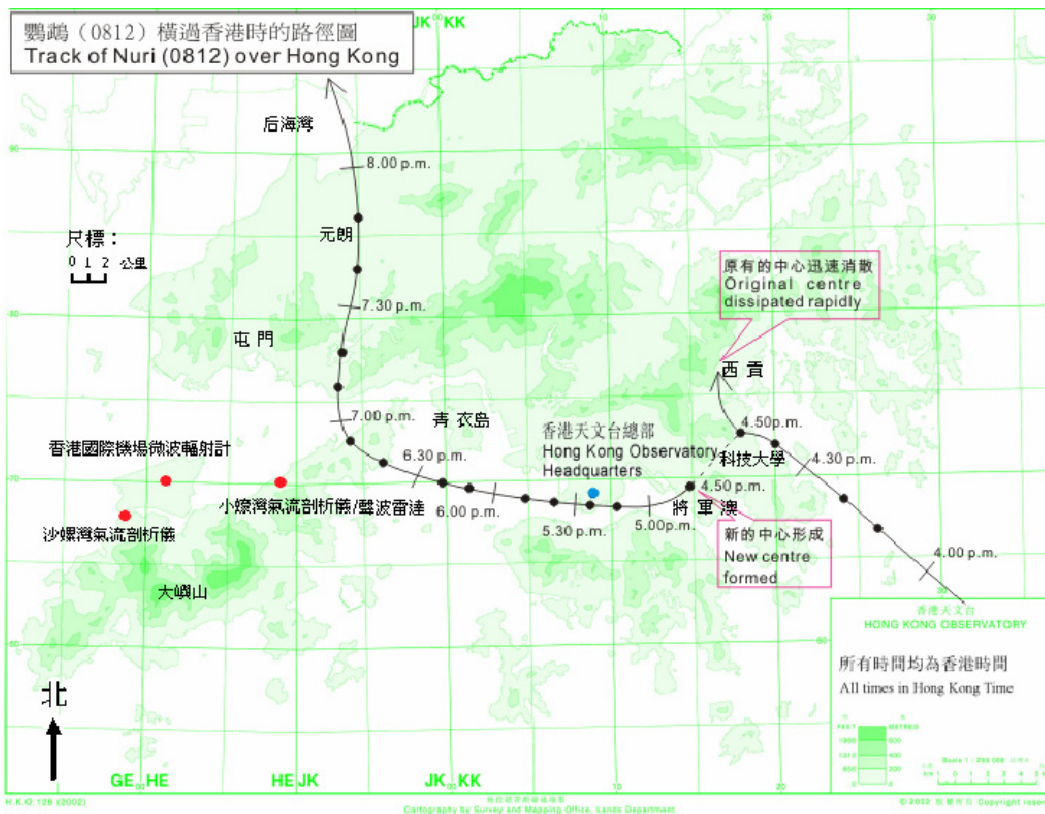


圖 1 2008 年 8 月 22 日颱風鸚鵡橫過香港時的路徑圖。香港境內氣流剖析儀、聲波雷達及微波輻射計的位置以紅色點表示。

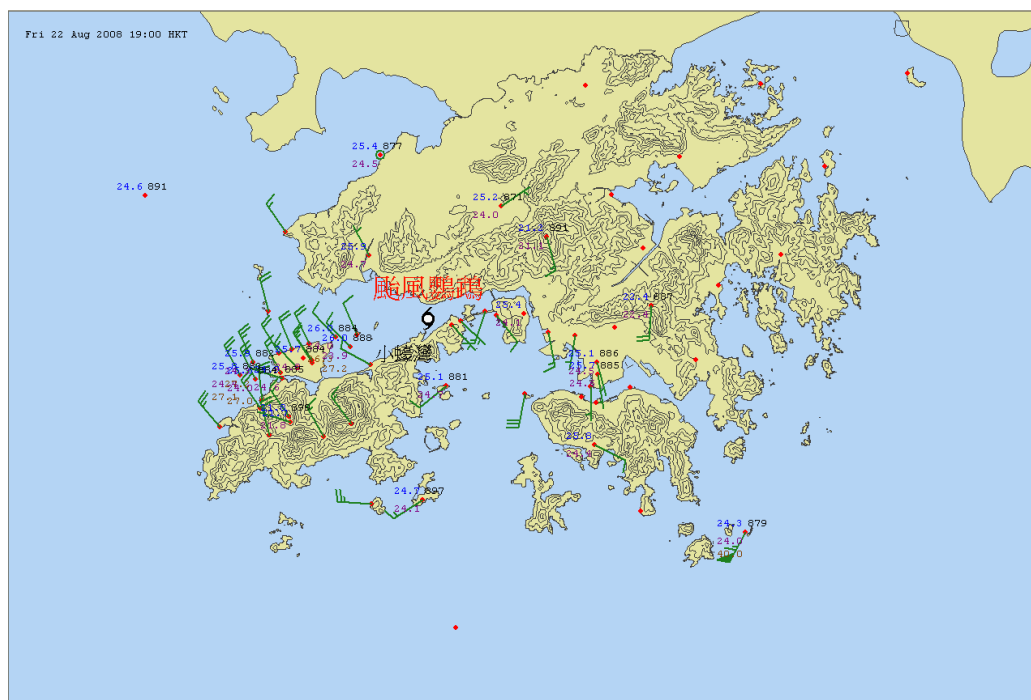


圖 2 2008 年 8 月 22 日下午 7 時香港境內地面觀測資料。

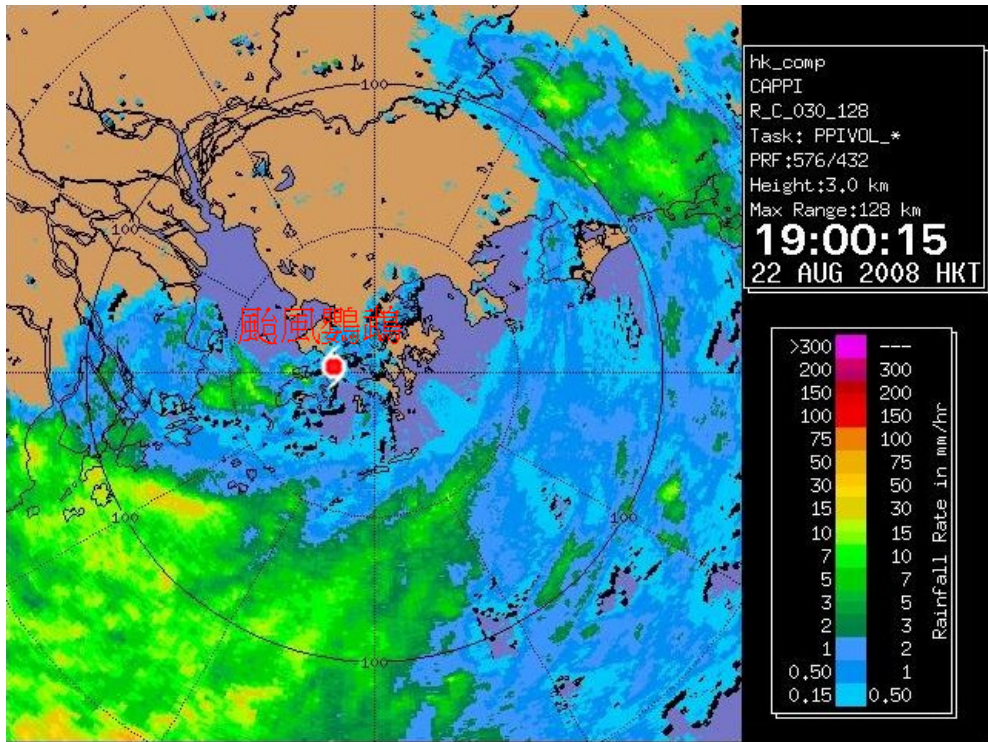


圖 3 2008 年 8 月 22 日下午 7 時離海平面 3 公里高度的天氣雷達影像。

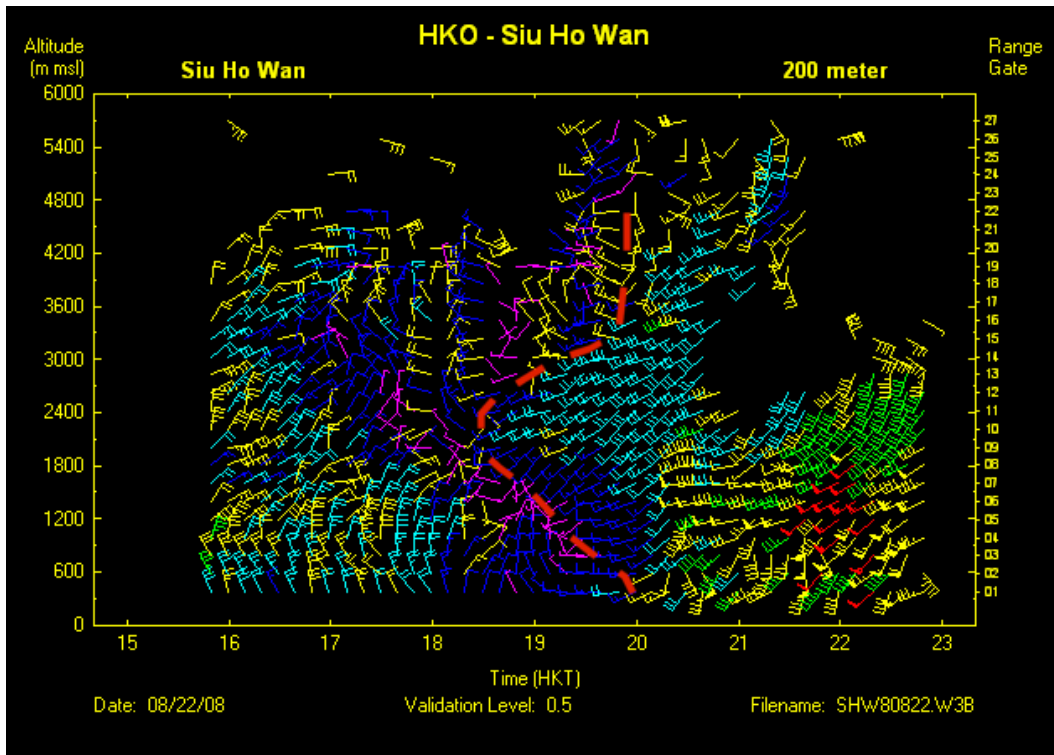


圖 4 2008 年 8 月 22 日下午小蠔灣氣流剖析儀水平風場圖。紅色虛線代表鸚鵡風眼軸心位置。

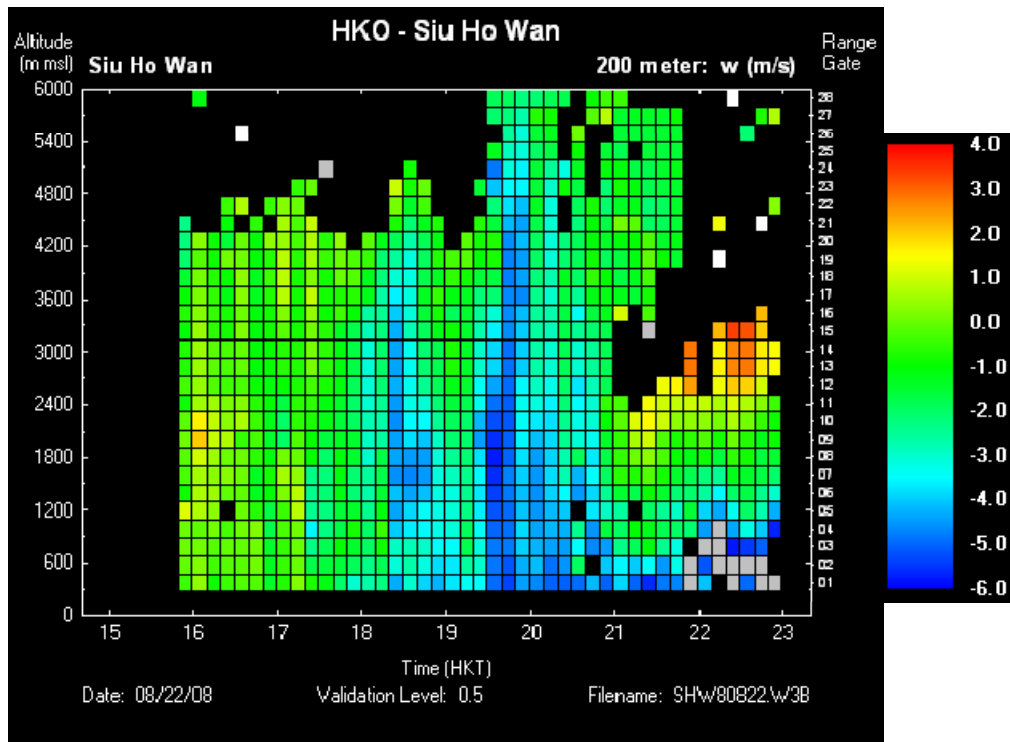


圖 5 2008 年 8 月 22 日下午小蠔灣氣流剖析儀垂直速度圖。

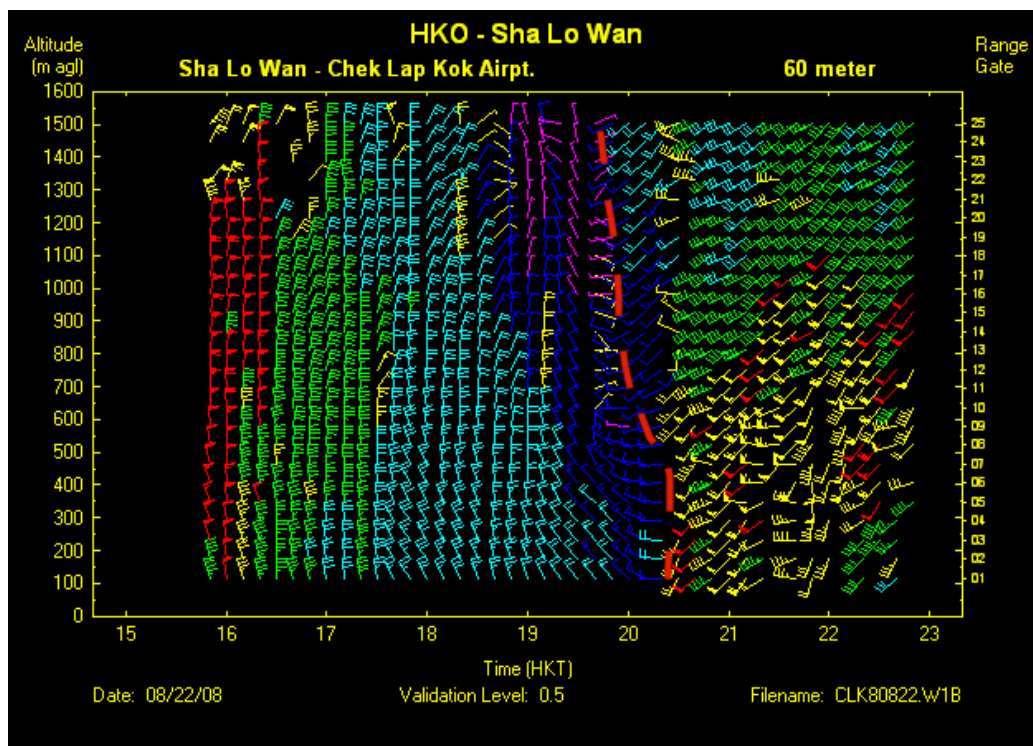


圖 6 2008 年 8 月 22 日下午沙螺灣氣流剖析儀水平風場圖。
紅色虛線代表鸚鵡風眼軸心位置。

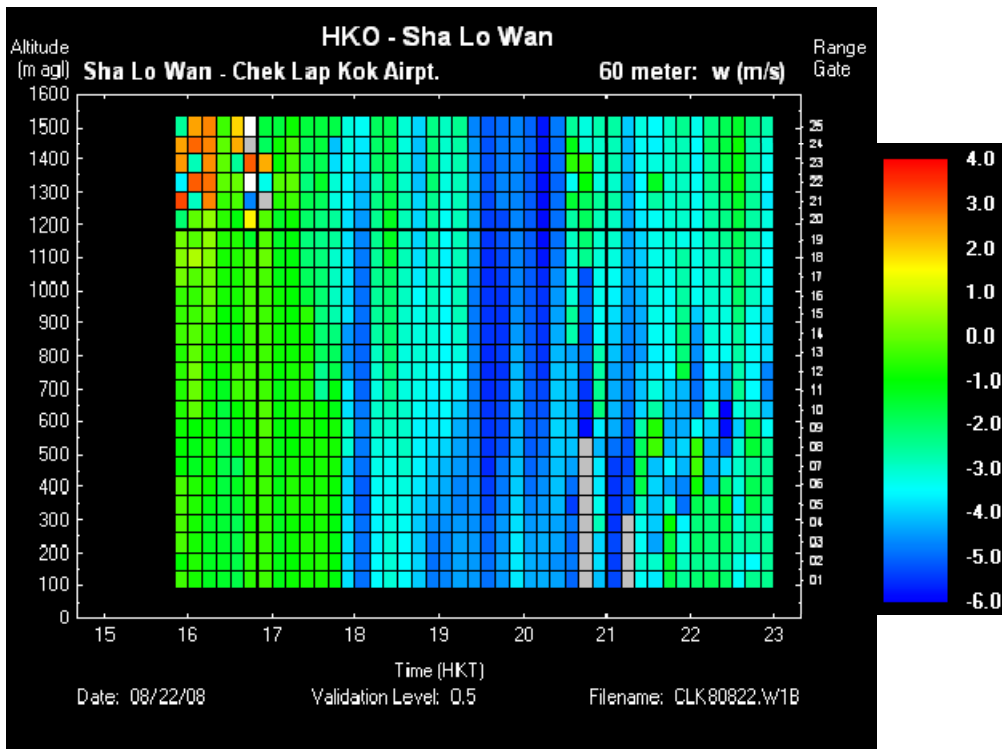


圖 7 2008 年 8 月 22 日下午沙螺灣氣流剖析儀垂直速度圖。

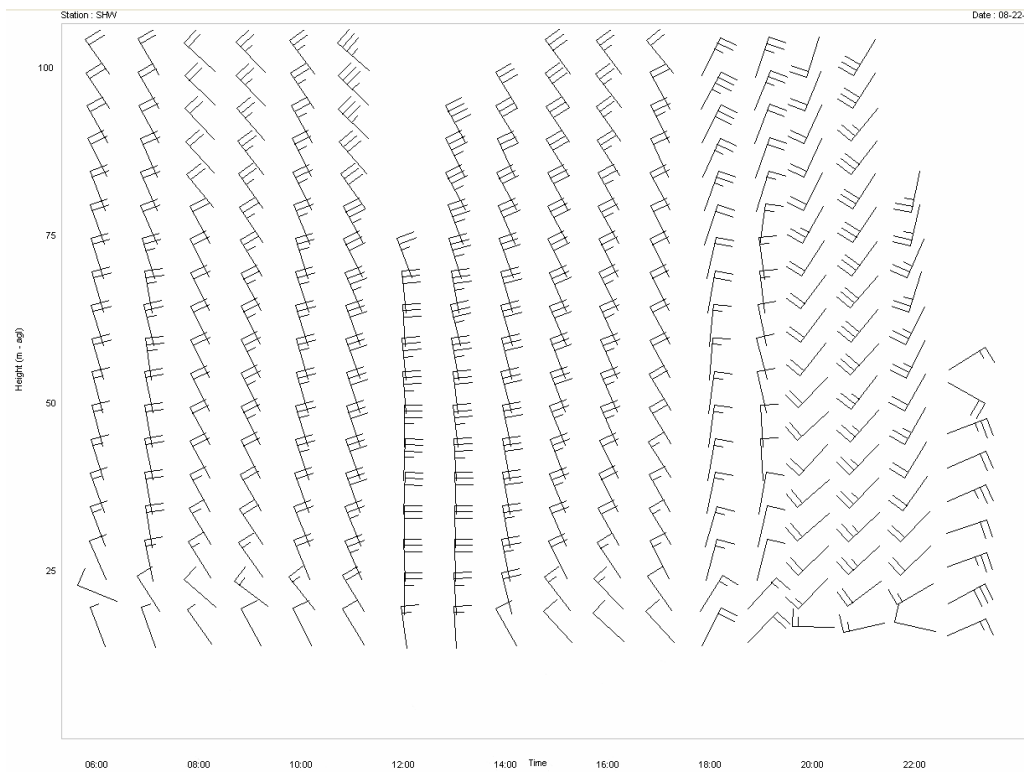


圖 8 2008 年 8 月 22 日下午小蠔灣聲波雷達水平風場圖。

SAMPLE INTERVAL 22/08 19:00 TO 22/08 19:05 STATION ID:SHW

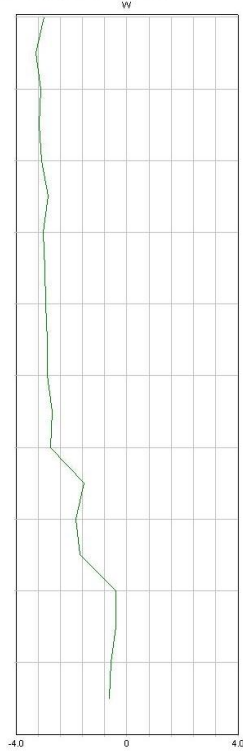


圖 9 2008 年 8 月 22 日下午 7 時小蠔灣聲波雷達垂直風場圖。

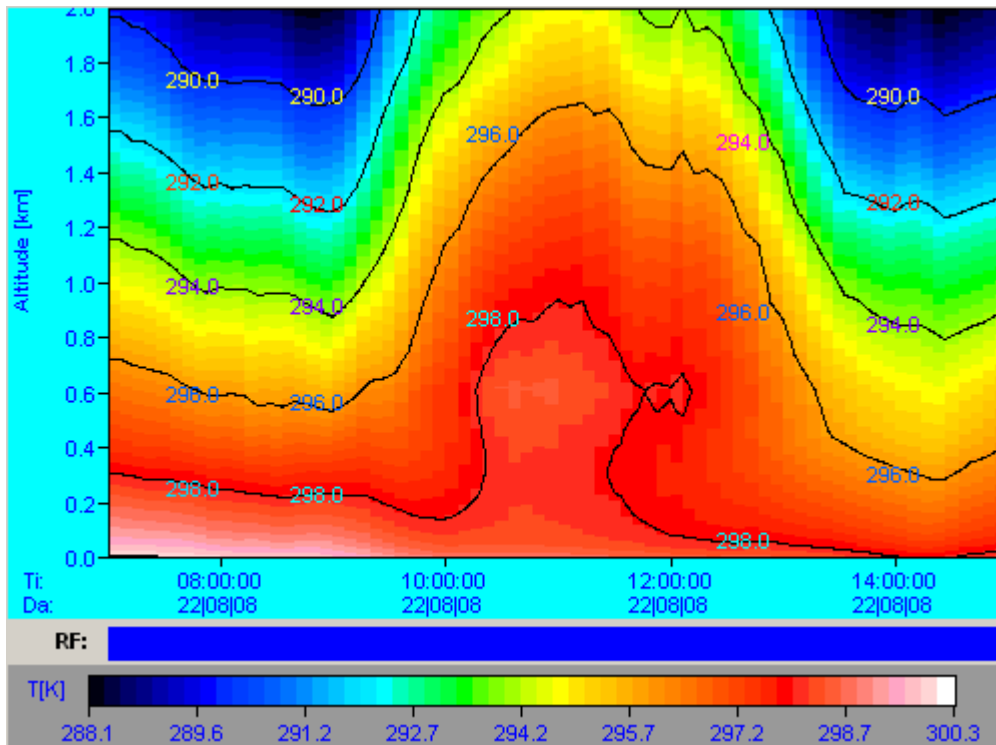


圖 10 2008 年 8 月 22 日下午香港國際機場微波輻射計垂直溫度圖。
(圖中顯示的時間為世界時)

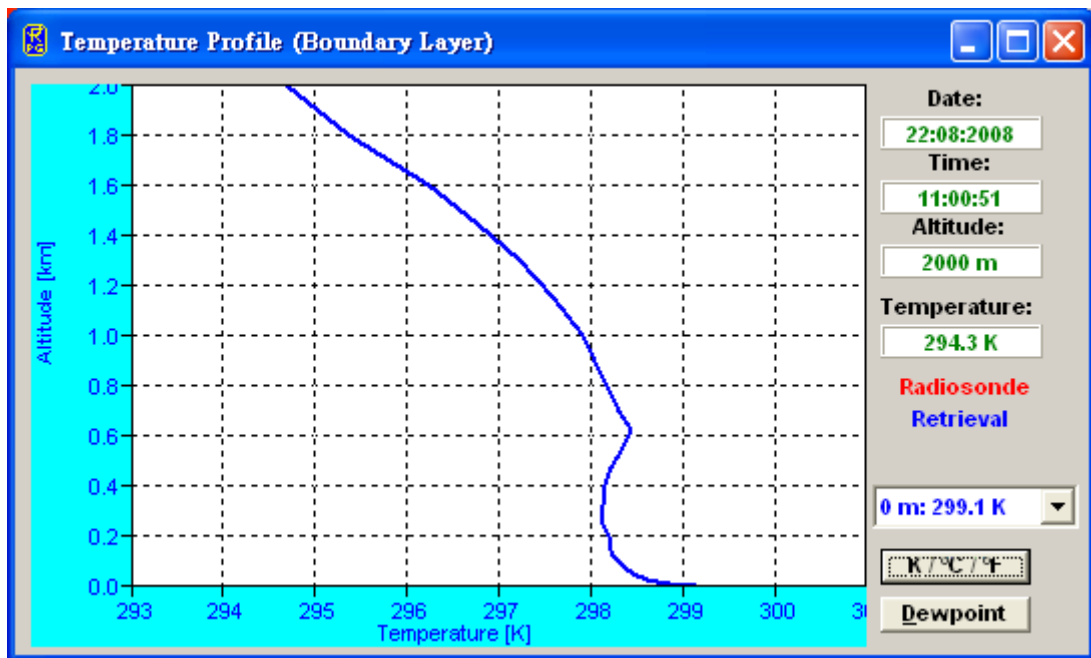


圖 11 2008 年 8 月 22 日下午 7 時香港國際機場微波輻射計邊界層溫度隨高度變化圖。

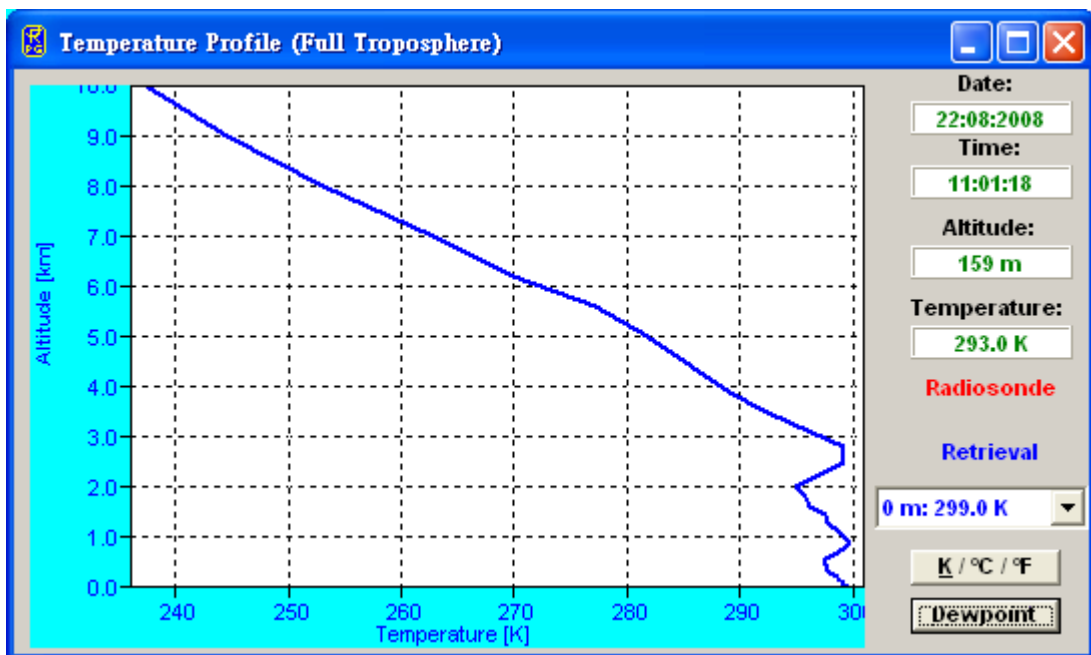


圖 12 2008 年 8 月 22 日下午 7 時香港國際機場微波輻射計地面到高层溫度隨高度變化圖。