

Reprint 523

多普勒激光雷達在香港國際機場的應用

李淑明，陳柏緯

航空氣象服務技術交流研討會，

中國，黑龍江哈爾濱，2003 年 12 月 21-23 日

多普勒激光雷達在香港國際機場的應用

李淑明 陳柏緯
香港天文台

1. 前言

香港天文台於 2002 年中在香港國際機場裝置了一台多普勒激光雷達[1]，這是世界上首部在機場運作的激光雷達，用作監測晴空下的風切變。激光的反射強度更可以計算能見度，有助監察機場及其鄰近地區能見度的變化。

本文介紹激光雷達的基本運作情況，在監測風切變及能見度方面的應用，及未來的發展工作。

2. 激光雷達

激光雷達坐落於香港國際機場航空交通管制大樓天台(圖一)，離海平面約 50 米，所使用的激光為波長 2 微米的紅外線光束，能準確地量度空氣中塵粒和微細粒子的徑向風速，從而顯示氣流的變化。它的量度距離可達 10 公里，覆蓋整個機場的升降區，距離分辨率則約 100 米。

為了更有效地監測機場地區的風場，激光雷達正不斷進行系統優化，其中一個重要環節是制訂掃描策略。現時激光雷達主要作以下的掃描：

- (i) 仰角為 0 度、1 度和 4.5 度的平面位置顯示器 (Plan Position Indicator, PPI)，監察整個航機升降區的風場及能見度的變化;
- (ii) 面向機場以南大嶼山的距離高度顯示器 (Range Height Indicator, RHI)，剖析氣流越過大嶼山山谷後的變化;
- (iii) 大致平行於跑道方向的 RHI，集中觀測跑道附近上空的風場。

各掃描約兩分鐘更新一次，資料會即時供給航空預報員參考。

3. 監測風切變

香港國際機場位於香港西南部的一個人工島上(圖一)，三面環海，南面是多山的大嶼山，山脈呈東北至西南走向，山峰高度達 950 米，而山口高度約 350 米。海陸之間的相互作用及多山的地勢，引致機場上空出現複雜的流場，在海風、跨越山勢的氣流擾動及颶鋒等現象的影響下，產生相當數目的風切變過程。香港天文台在機場地區操作了多種儀器來監測低空風切變(圖一)，位於

大欖涌的機場多普勒天氣雷達在雨天時最能發揮作用，而機場附近密集的自動氣象站網絡則不斷地監察接近地面的風場。然而，風切變在晴天時也會發生，要觀測跑道上空的風場，激光雷達最為有效。以下透過幾個個案，介紹激光雷達的應用。

3.1 海風引起的風切變

在香港國際機場，海風經常從西面進入，與背景的東風在機場上空相匯聚，便可能產生顯著風切變。例如在 2003 年 4 月 20 日，當日的背景風為東風，風速約 15 海里/小時（約 8 米/秒），而且天氣晴朗，氣溫高於海水溫度。在上午 11 時左右，海風在機場的西面發展（圖二 a），強度約為 10 海里/小時（5 米/秒），引致機場出現強度為 25 海里/小時（13 米/秒）的風切變。當時正有一班航機從機場西面降落，並報告遇上逆風增加，強度達到 25 至 30 海里/小時（13 至 15 米/秒）。

激光雷達的 1 度 PPI 掃描清楚地顯示機場西面出現一道海風鋒（圖二 b），這正是遠離激光雷達的氣流（背景風，暖色）和趨向激光雷達的氣流（海風，冷色）相遇的位置。海風鋒以東遠離雷達的徑向風速約為 16 海里/小時（8 米/秒），西面趨向雷達的徑向風速約為 10 海里/小時（5 米/秒），這些結果與自動氣象站的數據和飛機的報告吻合。由於激光雷達的監測範圍更廣，香港天文台能夠更準確地掌握海風鋒的位置及強度，於該天提早發出了風切變預警。

激光雷達的 RHI 掃描亦顯示了海風的垂直結構。背景風與海風的交界出現波浪的形狀（圖三 a），由於海風較背景東風涼，這波浪可能與重力波有關。圖三 b 是展示海風結構的示意圖，在一般情況下，飛機進場時飛越海風的前緣（由 B 點至 C 點），會遇到逆風增加。然而由於海風有不均勻的結構，飛機有時可能會遇上逆風減少，例如在海風當中是順風增加（由 A 點至 B 點）而非減少時，則飛機亦等同遇到逆風減少。圖三 c 顯示另一個引致飛機遇上逆風減少的情況。當飛機從圖中的 a 點飛往 b 點，逆風轉為順風。這樣相等於逆風減少。事實上，當日中午一班降落的航機正好首先遇到逆風減少，然後逆風增加。這與圖三 c 顯示飛機從 a 點飛往 b 點（逆風減少），再從 b 點飛往 c 點（逆風增加）的路徑吻合。

3.2 地形引起的風切變

當風勢強勁的時候，例如當熱帶氣旋接近本港時，強風吹過大嶼山後可以嚴重擾亂機場附近的氣流。在 2002 年 9 月 11 日，強烈熱帶風暴黑格比集結在南海北部，向西北偏西方向移動，趨向廣東西部沿岸。黑格比中心附近的最高風速約為 30 米/秒，該日下午香港普遍吹東至東南強風，離岸及高地的風勢更達暴風程度。

激光雷達清楚地顯示東南風經過大嶼山後，出現了渦旋及擾動氣流。例如 1 度 PPI 掃描（圖四 a）中貼近大嶼山西部山脈下風位的氣流大致是遠離雷達的（啡、黃色），但當中亦出現一些徑向速度趨向雷達（綠色）的區域（橢圓標誌），顯示渦旋或擾動氣流的出現。

此外，大嶼山西部山脈下風位也出現一些徑向速度離開雷達的、互相交錯的高低風速條紋（圖四 b），高風速條紋的徑向速度達 40 海里/小時（20 米/秒），低風速條紋的徑向速度則約為 20 海里/小時（10 米/秒）。當飛機經過這些風勢時強時弱的地帶，會遇上最高達 30 海里/小時（15 米/秒）的逆風變化。當天有超過二十多架飛機第一次降落都不成功，需要復飛，其中大部份報告遇到低空風切變。這些高低風速條紋與大嶼山幾個山峰和山谷的位置互相對應，經進一步研究[2]，相信為東至東南風穿越山谷和繞過山脊後的氣流，其影響範圍涵蓋機場西部整個航機升降區。

3.3 與颱風相關聯的風切變

在 2003 年 8 月 4 日下午 8 時左右，一道颱風線從東向西移動橫越機場，在其前沿的颱風鋒為機場帶來強烈東北風。這東北風與當時的背景西南氣流相遇而引致逆風增強，根據一架從西面著陸航機的報告，颱風鋒帶來了 40 海里/小時(20 米/秒)的風切變。

這次過程中，激光雷達發揮了極大作用，其中 1 度 PPI 掃描顯示颱風兩邊有明顯的風切變（圖五）。另外，根據激光雷達在飛機航道上的數據，計算得到在 600 呎（180 米）和 900 呎（270 米）高度之間的風切變約為 37 海里/小時，與飛機的觀察相符，但在機場地面的測風儀只紀錄有 20 至 25 海里/小時的風切變。這個案清楚顯示觀測航道上空風場的重要性。

4. 監察能見度

由於激光雷達是透過反射空氣中的塵粒和微細粒子來測量風速，激光的反射強度明顯地與塵粒和微細粒子的濃度有關。當機場受煙霞影響時，激光反射強度的空間分佈可經由反演方法來推算大氣中懸浮粒子的濃度，從而計算能見度[3]。此方法應用在 0 度和 1 度 PPI 掃描的反射強度時，可以得到機場及鄰近地區的能見度分佈圖，有助於監察能見度的變化。此外，香港天文台根據世界民航組織的規定，在跑道旁裝置了前置散射儀來監測能見度。利用激光雷達反射強度計算的能見度值可以與前置散射儀的量度進行比較，並補充前置散射儀以外地區能見度的資料。

例如在 2003 年 1 月 14 日，本港初時風勢較微弱，天氣晴朗，機場吹西至西北的海風，把上游地區的煙霞帶過來，機場的能見度只有約 4 公里，隨後清

勁的東風到達香港，把煙霞吹散，能見度亦回升至 10 公里。當東風逐漸在機場上空建立時，利用激光雷達 1 度 PPI 掃描的反射強度所計算的能見度分佈圖，清楚顯示機場東部出現了一個能見度的「鋒面」，亦即能見度急速改變的地區（圖六 a），隨著東風擴展至機場西部，這「鋒面」逐步向西移動。激光雷達推算的能見度值與前置散射儀的量度頗為吻合，尤其在下午 4 時 30 分左右，能見度由約 4 公里迅速上升至約 10 公里（圖六 b）。此外，激光雷達的 RHI 掃描顯示煙霞擴展至離地面約 1 公里（圖六 c），激光反射強度急速改變的地區對應於東風及西至西北海風的覆合線（圖略）。

由於機場的多普勒激光雷達主要用作量度風場，激光反射強度並未經詳細刻度，而且大氣中塵粒和微細粒子的光學性質亦各有不同，故此激光雷達在能見度方面的應用還須進一步研究。

5. 未來發展

目前激光雷達主要提供徑向速度的圖像，供航空預報員在考慮發出或取消風切變警報時作參考。香港天文台正自行開發一套軟件，使用徑向速度的原始數據，計算徑向的風力變化，並自動發出風切變警報。該軟件在今年初曾進行試驗，成功地自動捕捉與海風或地形相關連的風切變（圖七）。香港天文台正總結在測試中所獲得的經驗，進一步優化軟件的表現。

激光雷達的反射除了與大氣中的塵粒和微細粒子有關外，亦十分受雲層的影響，故此激光雷達可用作量度雲底高度及雲量，尤其是 RHI 掃描（圖八）。在這方面，激光雷達的使用與傳統的激光雲幕儀很相近，但雲幕儀只能探測其上空一點的雲的情況，激光雷達 RHI 掃描所覆蓋的範圍則廣闊很多，可以監測雲底高度在不同地方的變化，並提供更有代表性的雲量資料，香港天文台正發展有關軟件。

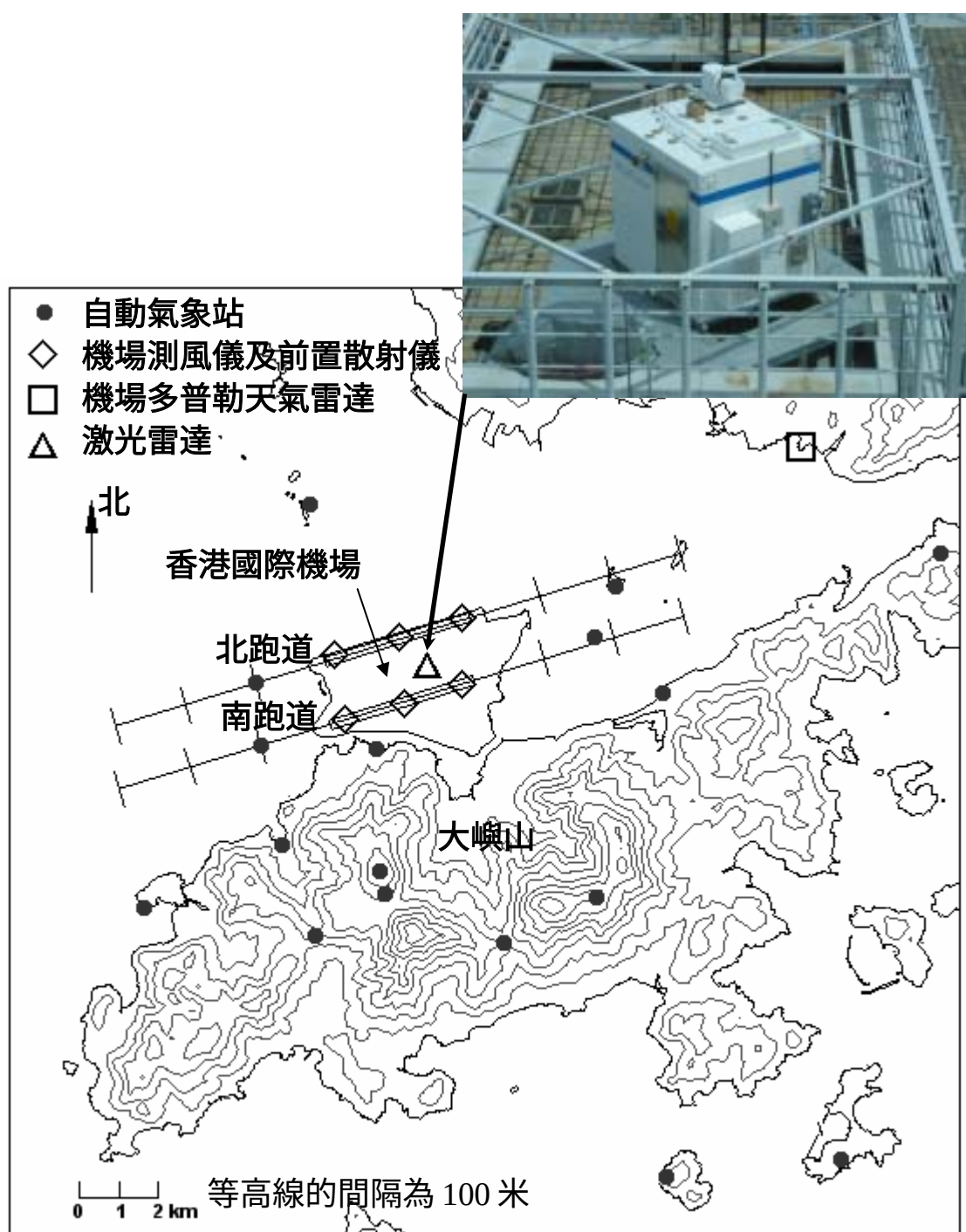
6. 總結

香港天文台在 2002 年中引進了激光雷達在機場運作，雖然使用的時間尚短，但激光雷達已充分顯示出在沒有下雨的情況下能有效監測風切變，並觀測到一些前所未見的現象。激光反射強度亦有助於監察機場地區能見度的改變。

展望未來，香港天文台將進一步優化激光雷達的表現，用作自動發出風切變警報，及發掘它在其他天氣觀測領域的應用。

參考文獻

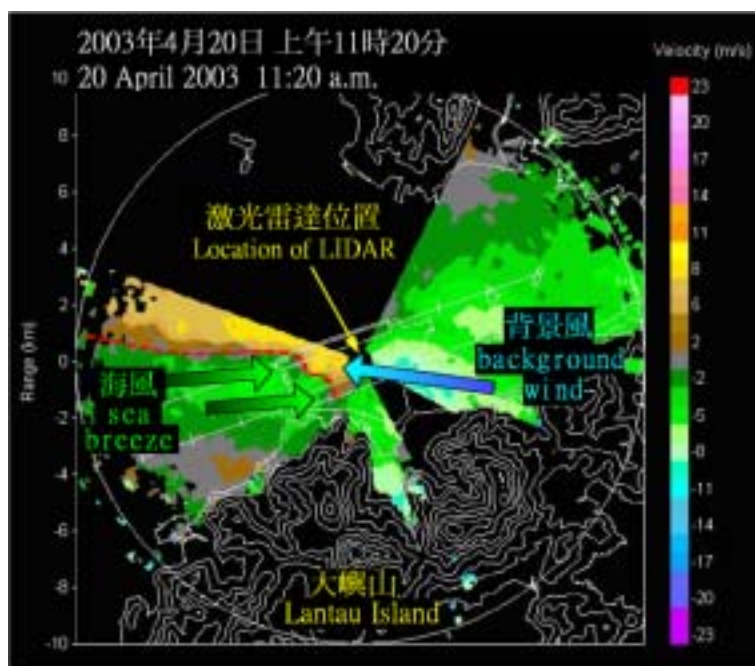
- [1] C.M. Shun and S.Y. Lau, “Implementation of a Doppler Light Detection and Ranging (LIDAR) System for the Hong Kong International Airport”, paper presented in 10th Conference in Aviation, Range and Aerospace Meteorology, American Meteorological Society, Portland, Oregon, USA, May 2002.
- [2] 胡仲偉, 李淑明, 「多普勒激光雷達在熱帶氣旋方面的觀測」, 第十七屆粵港澳氣象科技研討會報告, 中國, 澳門, 2003 年 1 月。
- [3] P.W. Chan, “Application of LIDAR Backscattered Power to Visibility Monitoring at the Hong Kong International Airport: Some Initial Results”, paper presented in 6th International Symposium on Tropospheric Profiling: Needs and Technologies, Leipzig, Germany, September 2003.



圖一 香港國際機場附近的氣象儀器，以及地理環境。小圖為坐落於航空交通管制大樓天台的激光雷達。

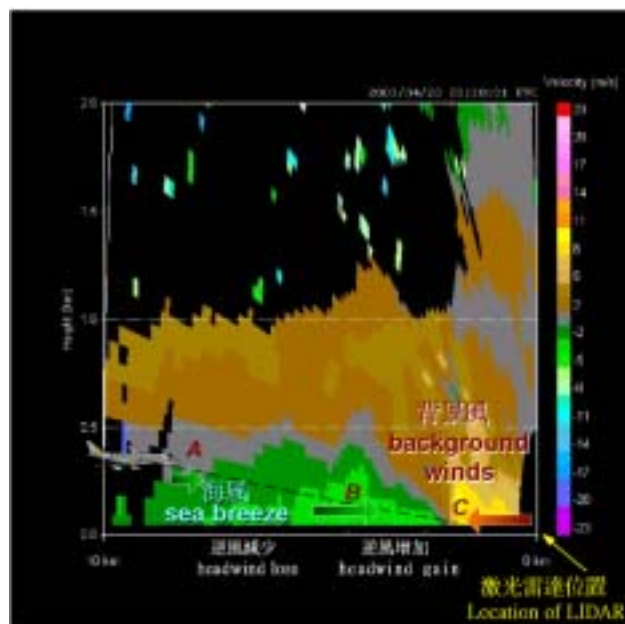


(a)



(b)

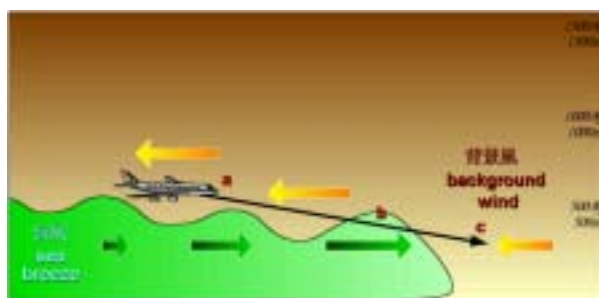
圖二 2003年4月20日上午11時20分的自動氣象站資料，顯示機場西面出現一道海風鋒(a)，激光雷達的1度PPI掃描亦捕捉到該鋒面(b)。



(a)

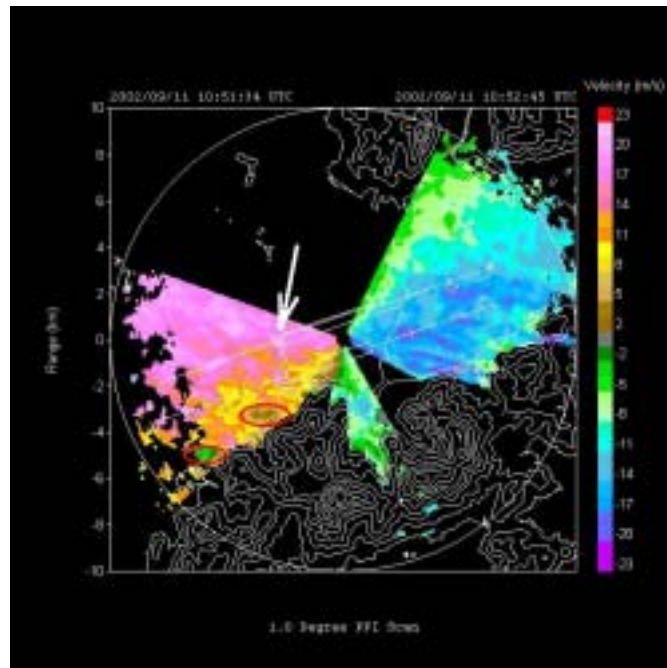


(b)

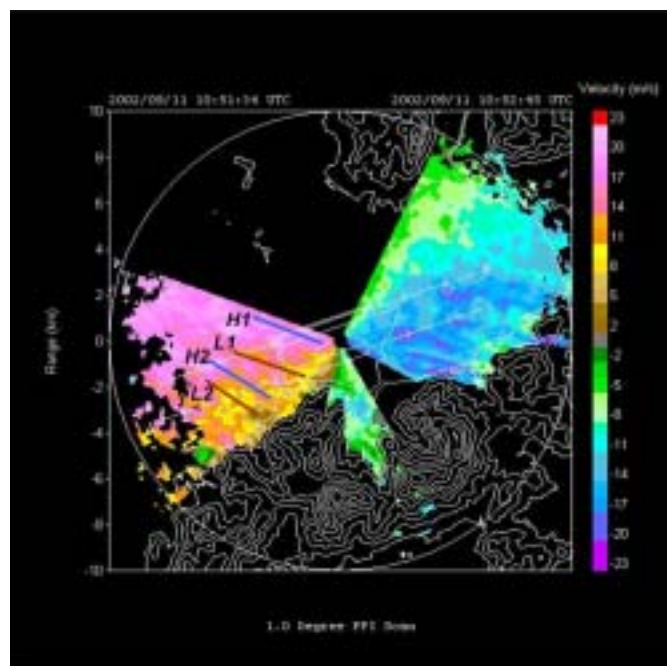


(c)

圖三 2003 年 4 月 20 日上午 11 時 20 分激光雷達的 RHI 掃描，顯示背景風與海風的交界出現波浪的形狀(a)。圖(b)及(c)為海風的示意圖，分別表示一架飛機正飛越海風及在海風的頂層邊界附近飛行。

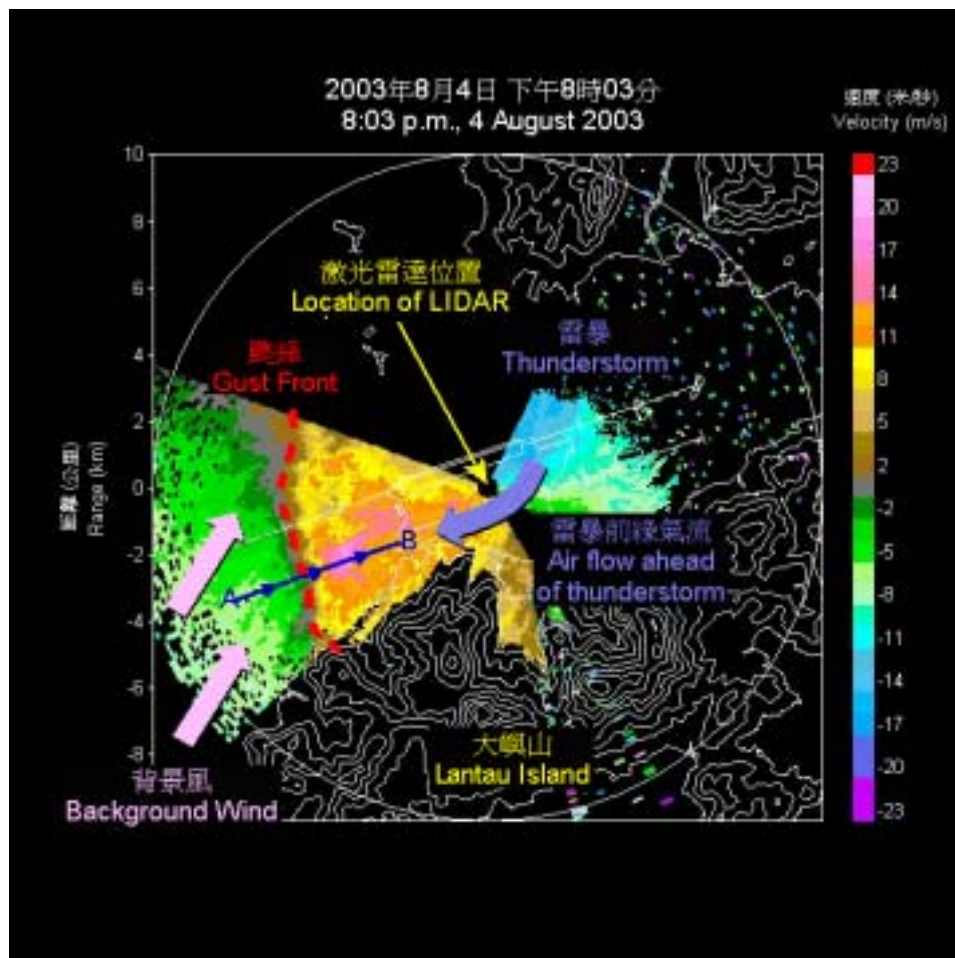


(a)

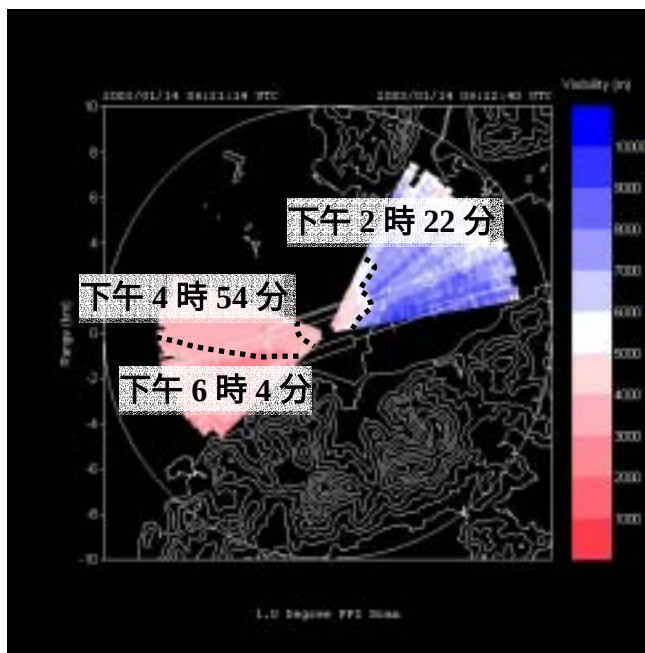


(b)

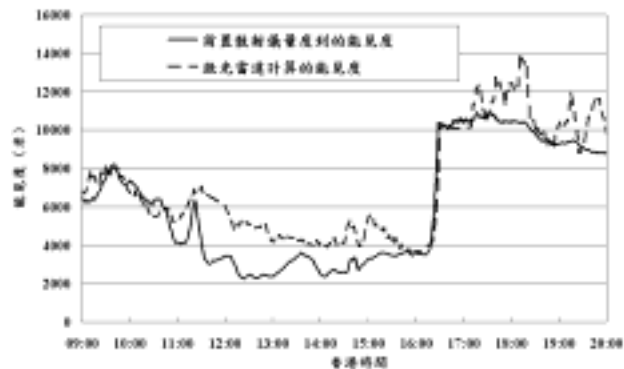
圖四 2002 年 9 月 11 日下午 6 時 53 分激光雷達的 1 度 PPI 徑向速度圖(a)，圖中以箭頭標示航班從西面降落時遇上風切變的位置，並以橢圓標誌渦旋或擾動氣流出現的地方。圖中亦清楚顯示東至東南風穿越山谷及山脊後，出現相互交錯的高(H1,H2)及低(L1,L2)風速氣流(b)。



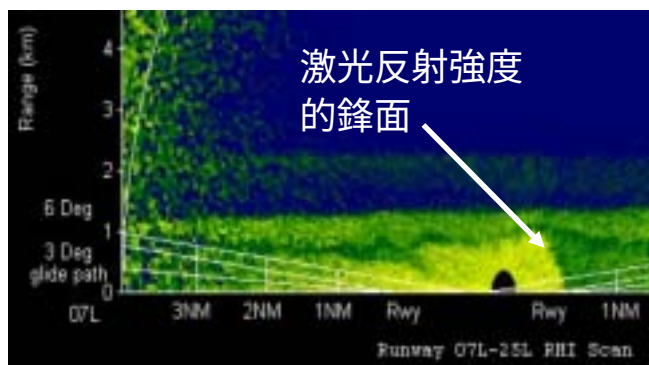
圖五 2003 年 8 月 4 日下午 8 時 3 分激光雷達的 1 度 PPI 徑向速度圖，清楚顯示一道飆鋒在機場西面出現。利用激光雷達在 A 點及 B 點的徑向速度計算的風切變約為 37 海里/小時，與飛機的報告相符。



(a)

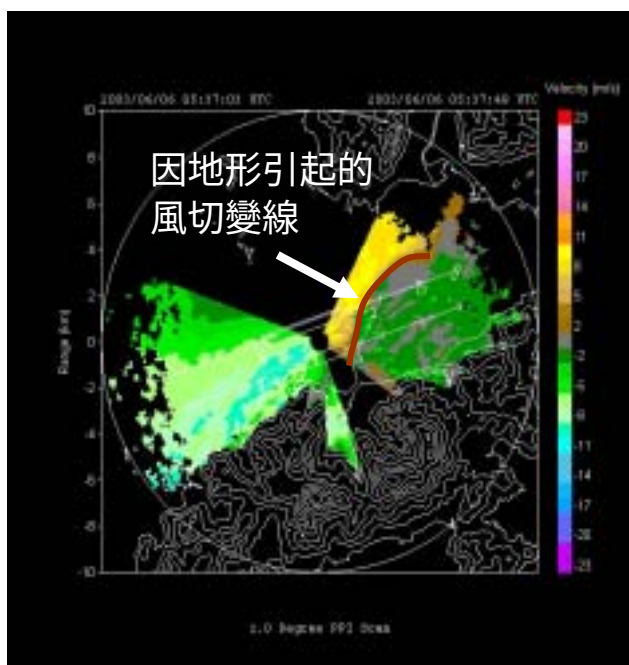


(b)

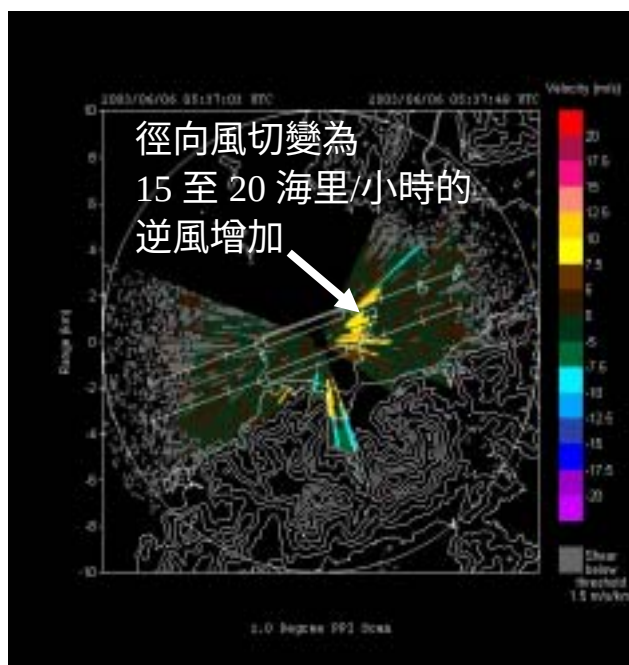


(c)

圖六 2003 年 1 月 14 日下午，機場受煙霞影響，激光雷達的 1 度 PPI 掃描觀測到一條能見度的「鋒面」自東至西橫過機場(a)，它計算的能見度與前置散射儀的量度頗為吻合(b)，RHI 掃描則觀察到煙霞的高度約為 1 公里。

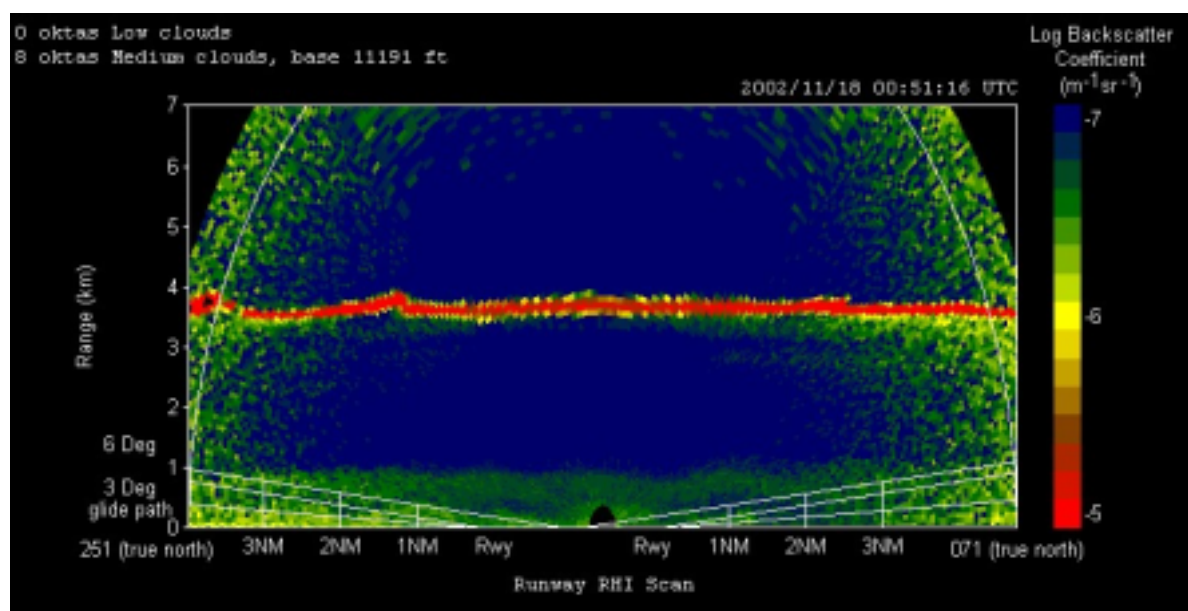


(a)



(b)

圖七 2003 年 6 月 6 日下午 1 時 37 分，激光雷達的 1 度 PPI 掃描捕捉到機場以東出現一條因地形引起的風切變線(a)。香港天文台自行開發了一套軟件，利用激光雷達的徑向風速，自動計算徑向風切變(b)。



圖八 2002 年 11 月 18 日上午 8 時 51 分激光雷達在 RHI 掃描時所得到的反射系數圖，清楚顯示在距離地面 3.5 至 4 公里之間有一層強反射區（紅色）。該反射區與中層雲有關，它的高度與機場氣象觀測員的報告及雲霧儀的量度吻合。