



香港天文台

HONG KONG OBSERVATORY

Reprint 687

香港國際機場閃電臨近預報系統的發展

李炳華、趙孔儒

第二十一屆粵港澳氣象科技研討會，
中國，香港，2007年1月24 - 26日

香港國際機場閃電臨近預報系統的發展

李炳華 趙孔儒
香港天文台

摘要

閃電，特別是雲對地的閃電，不時影響香港國際機場的正常運作。香港天文台的閃電資訊系統在 2005 年投入業務，覆蓋範圍包括香港及機場。機場氣象所現正發展一套基於閃電資訊系統、多普勒天氣雷達、和電場儀資料的閃電臨近預報系統。這篇文章會探討在香港國際機場出現的閃電的特徵，並介紹閃電臨近預報系統的設計和發展情況。

Development of a Lightning Nowcasting System for the Hong Kong International Airport

P.W. Li and H.Y. Chiu
Hong Kong Observatory

Abstract

Lightning, especially cloud-to-ground lightning, affects the operations of the Hong Kong International Airport (HKIA) from time to time. The Hong Kong Observatory's Lightning Location Information System (LLIS) was put into operation since 2005 which is able to cover Hong Kong and the Airport region. The Airport Meteorological Office (AMO) is developing a lightning nowcasting system based on LLIS, Doppler weather radars and Electric Field Mill data to forecast in short-range any lightning activity over HKIA. This paper will discuss the characteristics of lightning activities over the HKIA, and the design and latest development of the lightning nowcasting system.

香港國際機場閃電臨近預報系統的發展

李炳華 趙孔儒
香港天文台

1. 引言

閃電不時影響機場的正常運作，特別是雲對地的閃電會導致機場範圍內儀器的損壞和工作人員的傷亡。粵、港、澳三方氣象組織在珠江三角洲合建的閃電定位網絡，能提供包括香港國際機場和附近發生的閃電的時間、位置、強度、以及類型，包括雲地閃、雲間閃電、正負閃等資料。由於閃電雲本身是帶電體，利用安裝在機場兩端的電場儀(Electric Field Mill, EFM)，我們亦能監測機場附近帶電雲的活動情況，不斷對閃電發生的可能性進行評估。與此同時，由於雷暴與對流活動的關係十分密切，透過天氣雷達探測雨雲發展的情況，我們亦能對發生閃電的條件有更好的掌握。

香港天文台正發展一套基於閃電定位資訊系統(Lightning Location Information System)、多普勒天氣雷達、和電場儀等資料的閃電臨近預報系統。發展該系統的目的，是希望能在短時間之內探測和發出未來 30 分鐘出現閃電的預警予香港國際機場範圍內工作的人員作參考，好讓他們能在雷暴天氣下能及時採取適當措施，保障人身安全。這篇文章會探討在香港國際機場閃電的特徵，並介紹該閃電臨近預報系統的設計和發展情況。

2. 閃電與電場儀的關係

雲中生電的理論眾多，但較為廣泛接受的可算是非感應雪丸-冰晶碰撞 (non-inductive graupel-ice crystal collision)理論。這個理論指出，雲中的雪丸和冰晶碰撞的過程期間會產生電荷，而電荷在雪丸和冰晶之間轉移。一般來說雪丸會帶負電荷而冰晶會帶正電。由於雪丸比冰晶重，在對流上升氣流和地心引力的作用下，相反的電荷便在升降的過程中被帶到不同的高度，而形成上層帶正電，下層帶負電的結構。當正負電荷充份累積後，電場將會增強到足夠大產生放

電，引發雷暴，產生閃電和雷響[1]。

香港機場管理局在機場範圍內安裝了兩套 Viasala EFMII 電場儀(圖 1a)。儀器提供機場附近由帶電雨雲而引致的電場逐秒變化。我們對 2005 年 7 月至 2006 年 6 月在香港機場附近紀錄的雲對地閃電和當時 EFMII 量度到的電場數據作統計相關分析。統計結果(圖 1b)顯示，除卻電場強度為 0V/m 的數據，當閃電發生時，機場附近的電場強度在 -10000V/m 至 $+10000\text{V/m}$ 間呈一非對稱分佈，主峰值在 -3000V/m 至 -4000V/m 之間。根據閃電電磁場理論[2]，電場強度為 0V/m 的數據極有可能是由於帶正電和帶負電的雷暴的共同貢獻，於電場儀的位置上互相中和，引致電場淨值變成零。這個結果亦顯示當有多個帶電雲團在儀器附近時，由於正負電場有機會互相抵消，電場儀不一定能清晰反映大氣中電荷的分布。因此在預測閃電發展的趨勢時，電場儀不能單獨使用，必需配合其它觀測數據一併使用才能發揮它的效用。



圖 1a 安裝在香港國際機場跑道兩端的電場儀

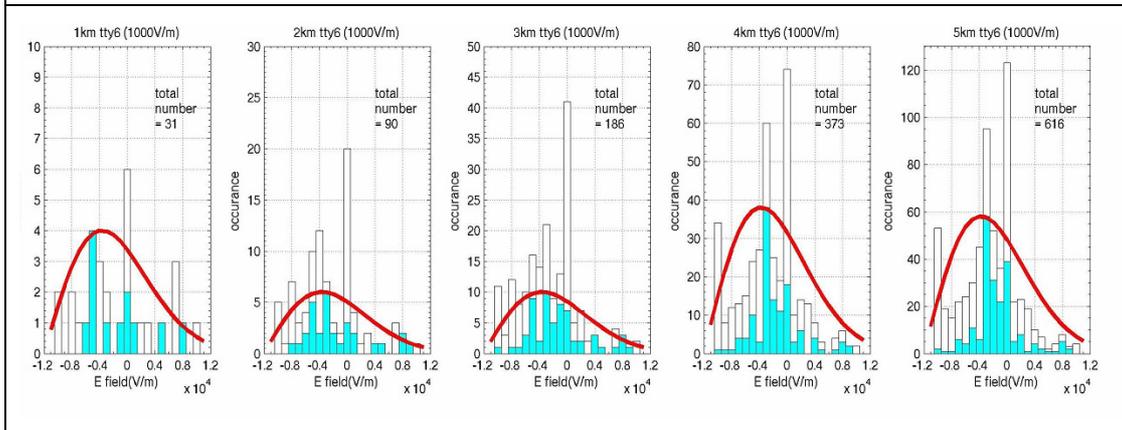


圖 1b 雲地閃電發生時機場其中一個電場儀(tty6)探測到的電場強度的分布。從左到右分別為距離電場儀 1、2、3、4、5 公里閃電對應的電場的分布。藍色為有雨時的數據。

3. 閃電位置與雷達回波的關係

閃電與對流雲的關係十分密切。但不少的觀測都顯示閃電不一定發生在雲內，雲外閃亦十分普遍。雲外閃電包括旱天雷(Dry Thunderstorm)和後延雷暴。旱天雷指雷暴發生在對流雲主體前方，而後延雷暴指發生在對流雲主體的後方。旱天雷和後延雷暴由大氣氣流垂直切變引起。當大氣上層氣流和下層氣流不一致，在高低層之間出現適當的垂直風切變時，積雨雲的上層部分有機會遠移離低層的下雨區。當上層攜有充足的電荷(一般為正電荷)，放電會直接從高層打到地面，而不一定會有雨伴隨到達地面(圖 2)[1]。

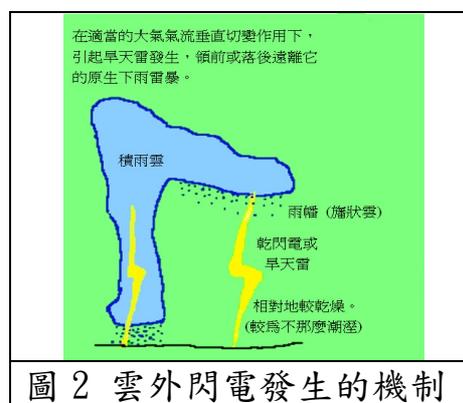


圖 3 顯示 2004 年 7 月 3 日在香港國際機場觀測到旱天雷的案例。當時對流雲的主體從西北向東南移動，雷達顯示在 13:00 時，高層雲帶受到氣流的帶動向南伸延，機場天氣觀測員當時觀測到在對流雲的南方形成類似幡狀雲(Virga)的雲。14:30 時，雷達回波底部開始覆蓋赤鱘角上空，電荷也同時向南伸懸，並在機場上引發旱天雷，但當時機場沒有下雨的紀錄。圖 4 顯示 2005 年 8 月 13 日在香港國際機場觀測到的後延閃電。當時對流系統從西北到東南移動，雖然雷達在機場西和北面的回波已減弱，但閃電定位系統探測到雲後區域的閃電仍然十分活躍。

利用雷達和閃電定位系統的數據，我們研究了 2005 年 7 月至 2006 年 6 月在香港國際機場範圍發生的雲地閃的位置與雷達回波強度分布的關係。根據預報員的經驗，我們選取 35dBZ 雷達回波強度來定義對流雲的邊界，即將連續並大於 35dBZ 的區域視為雲內，而低於 35dBZ 的地方為雲外區域。統計分析顯示約 87% 帶負電的閃電發生在雲內，只有約 13% 的負閃發生在雲外(圖 5a)。但對於正閃，約 70% 的閃電發生在雲內，但有約 30% 的閃電出現在雲外，同時閃電可以發生在距離 35dBZ 邊界外 10 公里以外的地方(圖 5b)。這表明當有閃電發生時，在約 10 公里範圍內也同時出現強於 35dBZ 的雷達回波，這個規律也可以視為出現閃電時的必需條件之一。

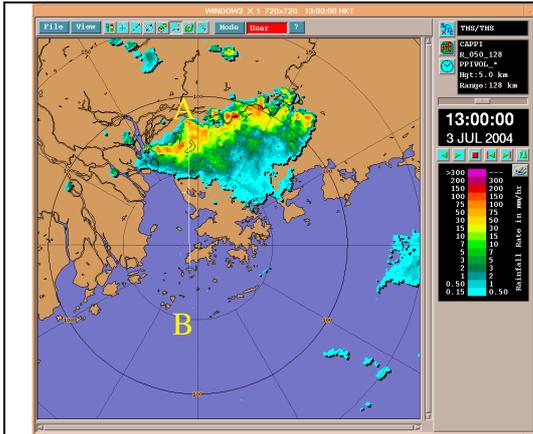


圖 3a 天文台大帽山雷達 2004 年 7 月 3 日 13:00 5 公里 CAPPI 圖像

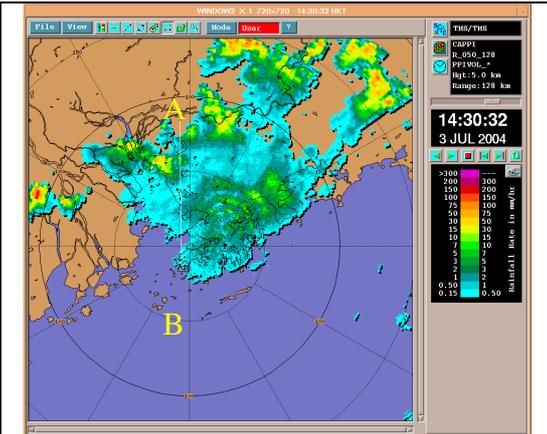


圖 3d 2004 年 7 月 3 日天文台大帽山雷達 14:30 5 公里 CAPPI 圖像

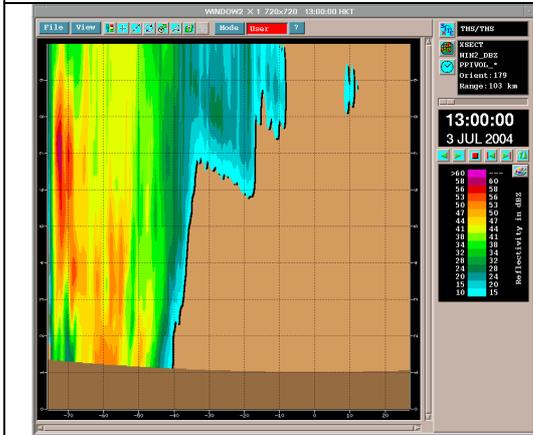


圖 3b 沿著圖 3a “AB” 線上的回波垂直橫剖面圖

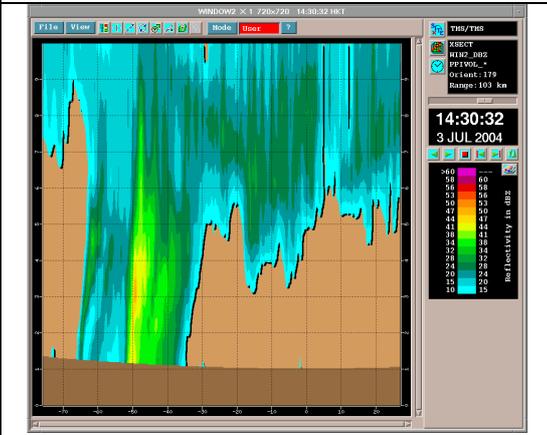


圖 3e 沿著圖 3d “AB” 線上的回波垂直橫剖面圖

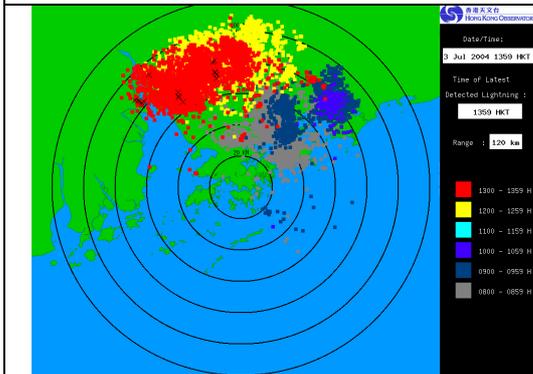


圖 3c 13:00 閃電系統探測到的閃電分布

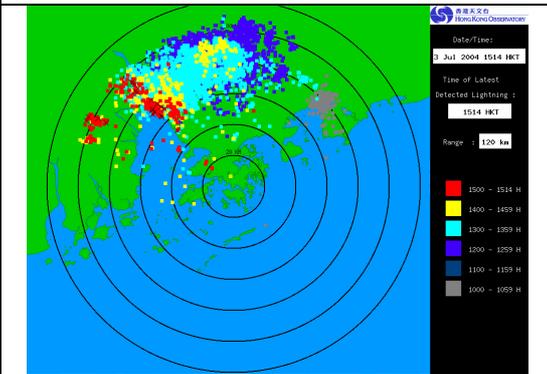


圖 3f 14:30 閃電系統探測到的閃電分布

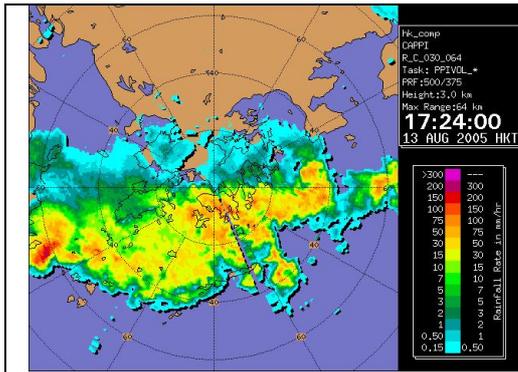


圖 4a 2005 年 8 月 13 日雷達 17:24 探測到的 5 公里 CAPPI 圖像

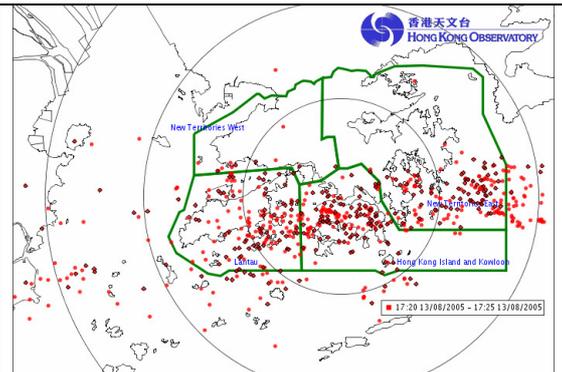


圖 4b 2005 年 8 月 13 日 17:24 閃電系統探測到的閃電分布

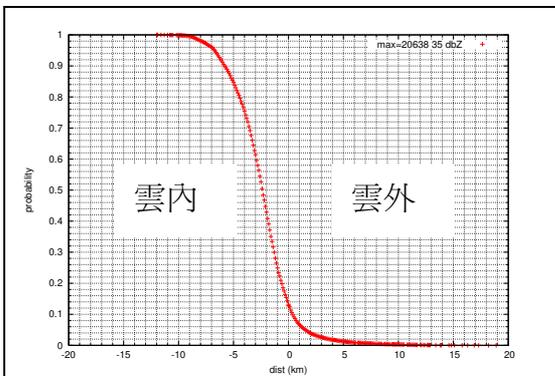


圖 5a 帶負電的雲地閃在雲內和雲外的分布

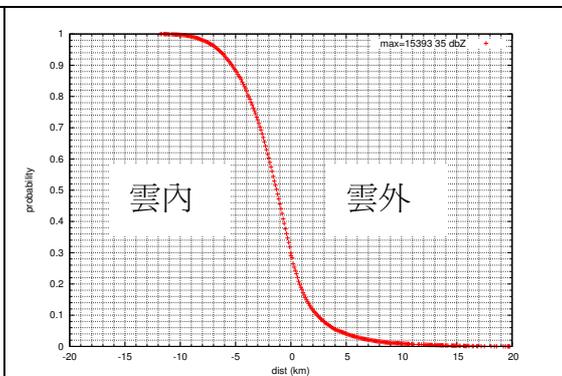


圖 5b 帶正電的雲地閃在雲內和雲外的分布

4. 閃電臨近預報系統

天文台從 2005 年開始發展一套基於閃電定位資訊系統、多普勒天氣雷達、和電場儀等資料的閃電臨近預報系統，預測機場在未來 30 分鐘之內出現閃電的情況。簡單來說，已發展的程式包括下面三個步驟：(1) 組合(Grouping) - 將閃電定位資訊系統探測到的閃電群用橢圓組合、標示；(2) 外推(Extrapolating) - 沿臨近預報系統『小渦旋』的 TREC (雷達回波相關分析) 矢量方向[3][4]，將每一個橢圓外推 12 到 30 分鐘；(3) 預警(Alerting) - 如果預測任何一個閃電橢圓進入機場範圍之內，視乎當時機場附近 10 公里範圍內有沒有 35dBZ 回波存在，配合電場儀的數值，按照下面表一的指標，系統會自動發出黃色或者紅色的閃電預警：

表一			
閃電預警	電場強度 > 4000V/m	機場附近 10 公里 雷達回波 >35 dBZ	閃電定位系統探測 的閃電出現在
黃色	✓	✓	機場島 5 公里範圍內
紅色	-	✓	機場島 1 公里範圍內

圖 6 為應用該系統預測今年 5 月 2-3 日機場出現雷暴的情況。一條相當活躍的低壓槽當時徘徊在廣東沿岸，為珠江口和香港大部分地區帶來大雨和雷暴。「小渦旋」的 TREC 矢量顯示當時雷暴從西南向東北方向移動。在晚上 11:35 分，閃電系統預測 30 分後機場會受到從西南面移來的雷暴影響(圖 6b 灰色的虛線)。事實在 3 日清晨 0:05 分閃電定位系統探測到在機場上出現非常頻密的閃電(圖 6d 藍色的實線)，結果顯示預報效果相當滿意。

圖 7 為正在發展的機場閃電臨近預報系統的原型。系統中央為合併了閃電與雷達回波的預測圖像，左右兩邊有電場儀的時間序列，右上角則為系統發出的閃電預警。系統每分鐘更新(電場數據每秒更新)，為預報員提供未來短時間機場出現雲地閃電的預警。

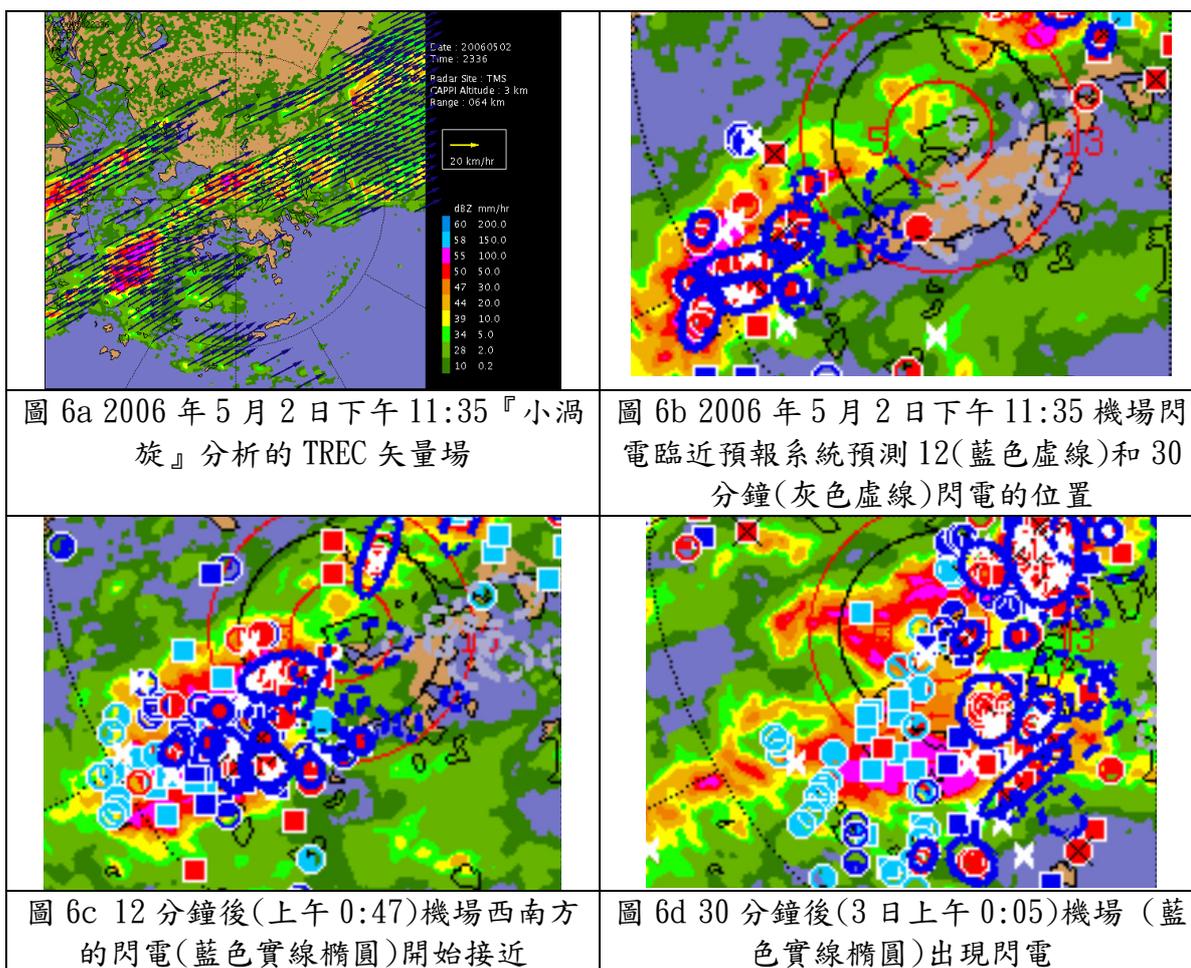


圖 6a 2006 年 5 月 2 日下午 11:35 「小渦旋」分析的 TREC 矢量場

圖 6b 2006 年 5 月 2 日下午 11:35 機場閃電臨近預報系統預測 12(藍色虛線)和 30 分鐘(灰色虛線)閃電的位置



圖 6c 12 分鐘後(上午 0:47)機場西南方的閃電(藍色實線橢圓)開始接近

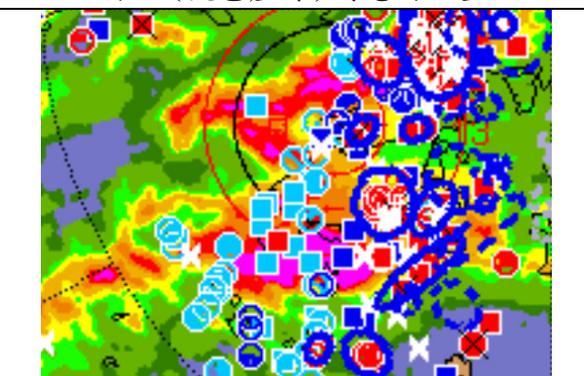


圖 6d 30 分鐘後(3 日上午 0:05)機場 (藍色實線橢圓)出現閃電

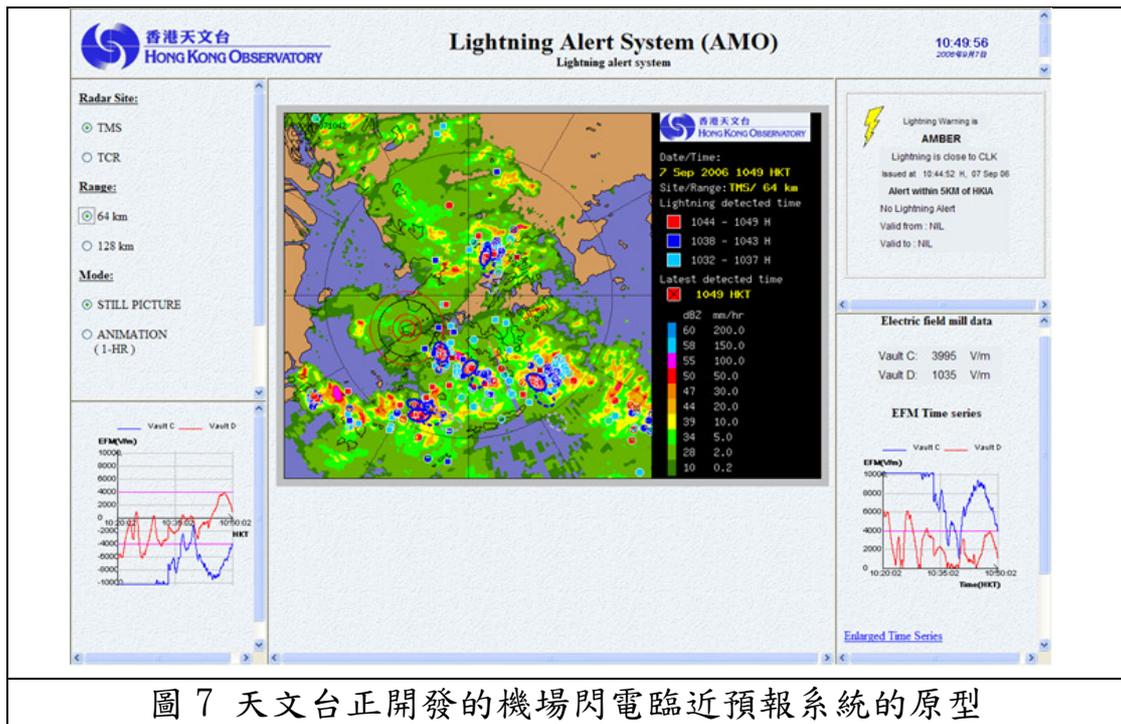


圖 7 天文台正開發的機場閃電臨近預報系統的原型

5. 總結和討論

天文台正開發一套基於閃電定位資訊系統、多普勒天氣雷達、和電場儀資料的閃電臨近預報系統，提供在香港國際機場出現閃電的預測。初步研究顯示該系統在個別雷暴天氣案例中，能提供可靠的短時雲地閃電的預警，效果理想。但與大部份臨近預報系統一樣，該系統對補捉發展比較快的雷暴系統，效果還需要改善。這裡介紹的閃電臨近系統還屬於研究雛型，還不斷在調適中。

其它相關的研究經已指出，除了雷達回波 CAPPI 強度的分布，雷暴的結構，特別是它的立體結構，與閃電也有很高的相關性。好像雲頂高度 (TOP)、垂直最強反射率 (MAX)、垂直雲水積分 (VIL) 等，還有其它參數比如 0°C 、 -10°C 、 -20°C 高度凝結核強度的分布等與閃電的發生也有強的相關[5][6]，這幾個參數在往後的發展中會也被考慮加入到臨近系統中，從而加強系統預報的可靠性。

6. 鳴謝

作者感謝香港城市大學歐陽綺雯小姐的統計分析。

參考文獻

- [1] MacGormick, DR and WD Rust (1998) *The Electric Nature of Storms*, Oxford.
- [2] Uman, M.A. (1969) *Lightning*, McGraw-Hill
- [3] Li, P.W. and E.S.T. Lai (2004) Short-range Quantitative Precipitation Forecasting in Hong Kong. *J. Hydrol.* **288**, 189-209.
- [4] Li, P.W. and E.S.T. Lai (2004) Applications of Radar-based Nowcasting Techniques for Mesoscale Weather Forecasting in Hong Kong. *Meteorol. Appl.* **11**, 253-264.
- [5] 黃秋平，李炳華，李立信 (2006) 珠江三角洲一帶的閃電數據特征及應用前景，粵港澳氣象科技研討會 2006 年 1 月，廣州。
- [6] Lakshmanan, V. and G.J. Stumpf (2005) A Real-time Learning Technique to Predict Cloud-to-Ground Lightning, *Proceed. 4th Conference on Artificial Intelligence Applications to Environmental Science and 21st International Conference on Interactive Information Processing Systems (IIPS) for Meteorology, Oceanography, and Hydrology*, San Diego, California