

在珠三角一帶與大雨相關的閃電特徵分析

黃秋平⁽¹⁾ 李立信⁽¹⁾ 蘇卓文⁽²⁾

(1) 香港天文台

(2) 香港中文大學

摘要

雷暴中的閃電和降雨有很密切的關係，當閃電活動有一定改變時，降雨率的大小也會出現變化。本文利用粵港澳三方氣象服務單位在珠江三角洲合建的閃電定位網所探測到的資料，以及香港天文台利用雷達在該區收集的雨量數據，初步研究珠三角一帶的閃電活動和大雨之相關，尤其探討閃電數據在臨近預報大雨方面的應用。文章亦介紹區分和群組多個雷暴單體的閃電資料的方法，以方便為閃電的不同特徵作數據分析。

Correlation between Lightning and Heavy Rain in the Pearl River Delta

C.P. Wong⁽¹⁾ L.S. Lee⁽¹⁾ C.M. So⁽²⁾

(1) Hong Kong Observatory

(2) Chinese University of Hong Kong

Abstract

There is a close relationship between lightning and rain in a thunderstorm situation. The rate of precipitation varies with the evolution of lightning activities. In this study, data from the lightning location network jointly set up by the weather services of Guangdong, Hong Kong and Macao in the Pearl River Delta was analyzed together with rainfall information collected by the Hong Kong Observatory radar. Preliminary correlation was made between lightning and heavy rain in the region, in particular with a view to applying lightning data to the nowcasting of heavy rain. The methodology of identifying and grouping lightning data in thunderstorm cells was also introduced, the purpose of which is to facilitate data analysis of the different characteristics of lightning.

在珠三角一帶與大雨相關的閃電特徵分析

黃秋平⁽¹⁾ 李立信⁽¹⁾ 蘇卓文⁽²⁾

(1) 香港天文台

(2) 香港中文大學

1. 引言

雷暴中的閃電和降雨有很密切的關係，當閃電活動有一定改變時，降雨率的大小也會出現變化。粵港澳三方氣象服務單位在珠江三角洲合建的閃電定位網在 2005 年中投入業務運作，提供該區發生閃電的時間、位置、強度、以及類型，包括雲地閃、正負閃等資料。本文利用該閃電定位網探測到的資料，以及香港天文台利用雷達在該區收集的雨量數據，初步研究珠三角一帶的閃電活動和大雨之相關，並探討閃電數據在臨近預報大雨方面的應用。

2. 資料來源

閃電定位網共有五個探測站，分別位於香港的春坎角、尖鼻咀、沙頭角、廣東的三水及澳門的氹仔。本文選取的閃電資料全部取自定位網探測效率超過 70% 的範圍內(圖 1)。為了增加估算閃電數目的準確性，網內不同位置探測到的閃電數目均除以該處相應的探測效率，以作歸一化處理。雷達資料方面，本研究利用了天文台大帽山雷達站的 3 公里 CAPPI 降雨率來評估雷暴中的雨量，並選擇那些包含每小時降雨率超過 150 毫米的降雨事件作為大雨研究個案。

3. 分析方法

3.1 資料時段的劃分

由於雷達回波圖像的時間間隔為 6 分鐘，所以閃電資料時段的劃分也採取相同時間，務求每幅雷達圖像都有相對應的 6 分鐘閃電資料，從而研究閃電活動和大雨之間的相互關係。

3.2 雷暴單體的群組和區分

為了方便分析不同雷暴單體內的閃電特徵，在同一個 6 分鐘的時段內，距離不超過 15 公里的閃擊被歸納為同一群組。按照這樣的劃分，每個閃電群組通常都能跟同一時段內雷達回波圖像所顯示的雷暴群組的位置互相對應。可是，由於雷暴的發展千變萬化，雷暴單體經常出現分裂和合併的情形，令到區分雷暴單體相當困難，因此有時候也需要以人工方法，觀察雷達回波圖像上雷暴單體的演變來為閃電作適當之群組。在 2005 年 6 月至 2006 年 6 月期間，我們選取了在其整個生命史中曾經出現超過 800 次閃電數目的雷暴群組，總數目為 34 個，用作分析閃電活動和大雨之間的相關。而在這 34 個雷暴群組當中，共有 28 個是符合有大雨的指標，即雷達回波的降雨率超過 150 毫米。

3.3 與大雨相關的閃電特徵分析

在雷暴演變的各個階段中，閃電出現不同的活動變化，降雨率的大小也相應出現變化。本文分析大雨發生前，各種閃電特徵參數的變化，尋求它們與大雨間的關係。希望日後能透過觀測閃電特徵參數的變化，從而預計大雨的發生。

以下列出本文研究的各種閃電特徵參數：

- (i) 正雲閃的數目： n_1
正地閃的數目： n_2
負雲閃的數目： n_3
負地閃的數目： n_4
- (ii) 對應(i)中四種不同閃電類型，每個單位面積內的閃電數目(即閃電密度)： $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4$
- (iii) 對應(i)中四種不同閃電類型的電荷輸送： q_1, q_2, q_3, q_4
- (iv) 對應(i)中四種不同閃電類型，每個單位面積內的電荷輸送： $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$

在(iii)中有關電荷輸送的估算是基於閃電定位網探測到每下閃電的電流的上升時間、下降時間與電流峰值，假設電流變化為一簡單三角波形去計算出電荷輸送。

4. 結果和討論

由於閃電定位網探測到的正地閃和負雲閃的資料較少，而負地閃和正雲閃的數據相對較多、統計誤差較少，所以在結果分析裡，具參考價值的閃電特徵主要與負地閃和正雲閃有關。

4.1 單位面積內閃電數目與電荷輸送的變化趨勢

閃電活動和雷達回波強度關係密切。在一個雷暴單體裡，存在大量混合相態的雲滴、冰晶、冰粒等粒子，由對流活動引起的粒子間相互碰撞是重要的起電機制〔1〕。由於碰撞產生靜電，繼而製造閃電，因此閃電活動的多寡，某程度上反映了對流活動的強弱和降雨的大小。在 28 個大雨個案中，有大約一半在下大雨之前，單位面積內的正雲閃、負地閃的閃電數目和電荷輸送(ρ_1 、 ρ_4 、 λ_1 和 λ_4)在 4 個連續的 6 分鐘時段內(即 24 分鐘)存在上升趨勢。若單憑此條件來推算大雨的出現，則探測概率約為五成，虛報率為八成。圖 2(a)及圖 2(b)顯示符合此條件並成功推算大雨發生的例子。

4.2 單位面積內負地閃的電荷輸送量值

研究又發現在大多數大雨的個案裡，單位面積內的負地閃電荷輸送(λ_4)的平均量值超過每平方公里 0.02 庫侖(圖 2(b))，若將此參數加入 4.1 中推算大雨發生的條件裡，則探測概率仍然維持為五成，但虛報率則可下降至七成左右(表一)。較大的 λ_4 量值代表雷暴單體對地面放電之前，儲存了較多的電荷，在一定程度上代表了雷暴單體中對流活動旺盛，起電過程劇烈，存有較多降水物。由於在計算 λ_4 的時候，是假設每次閃電電流的興衰為一個三角波型，即線性上升、然後線性下降，但實際上閃電電流波型是較為複雜，如果日後可以較精確地計算 λ_4 ，相信能改善預測大雨的探測概率。

4.3 單位面積內負地閃的數目

我們進一步將 4.1 及 4.2 中推算大雨出現的條件裡，加多一項條件，即單位面積內負地閃的數目(ρ_4)要出現一個先下跌而後上升的趨勢(圖 2(b))，發現推算下大雨的虛報率進一步下降至六成左右，而大雨探測概率維持不變(表一)。這個結果，可以根據 MacGorman 等人〔2〕提出的電荷抬升機制來解釋。在雷暴單體的發展階段，當強的上升氣流把雷暴單體中的主負電荷區抬升到較高的位置上，主負電荷區和地面的距離拉長，對地放電的數目減少，負地閃數目相應減

少。之後到了成熟階段，由於降水物(雨滴、冰雹等)的下沉拖曳作用，雷暴單體的重心下降，主負電荷區距離地面的高度也隨之減少，對地放電的數目亦同時增加。

4.4 臨近預報方面的應用

4.1 至 4.3 的結果顯示只要能夠捕捉到雷暴中閃電特徵參數的變化，便能對估計大雨的發生有所幫助，但要將結果應用在臨近預報方面，現時仍存在一定困難。這是因為在 4.1 中，收集閃電資料的所需時段為 24 分鐘，而在 28 個大雨個案的結果分析裡，從閃電特徵參數剛開始產生變化，到真正開始下大雨的時間有長有短，一般平均相隔 20 分鐘，因此有可能當收集足夠閃電資料去確定大雨的過程(需時 24 分鐘)還未完成時，大雨已經開始了。另外，本文在群組雷暴單體作分析閃電特徵的時候，一些比較難區分的雷暴單體需要依靠人工去進行群組。因此，要應用以上結果於業務運作，仍需為群組閃電的過程自動化。

5. 結論

在珠三角一帶，利用閃電定位網探測到的資料，以及雷達在該區收集的雨量數據，分析了閃電與大雨相互關係，結果顯示如果單位面積內的正雲閃、負地閃的閃電數目和電荷輸送存在上升趨勢，而當中負地閃的數目出現一個先跌後升的變化，再加上單位面積內的負地閃電荷輸送量值超過每平方公里 0.02 庫侖，則顯示有大約一半機會出現大雨。表 1 顯示累加以上各個閃電特徵條件時，推算大雨出現的探測概率和虛報率。

由於閃電定位網在過去一年所收集到的資料中，大雨個案的數目仍有限，所以估算大雨的探測概率及虛報率只屬一般。我們期望當網絡日後收集到更多資料時，可以進一步深入研究在珠三角一帶與大雨相關的閃電特徵。

鳴謝

作者感謝潘海濤先生對文章內容的指正。

參考文獻

- [1] 曹治強，李萬彪. 兩個中尺度對流系統的降水結構和閃電特徵. *氣象學報*, 2005, 63(2): 243-248.
- [2] MacGorman D R, Burgess D W, et al.: Lightning rates relative to tornadic storm evolution on 22 May 1981. *J. Atmos. Sci.*, 1989, 46: 221-250.

表一 在不同閃電特徵參數變化下，推算大雨出現的探測概率和虛報率。

推算大雨出現的條件	探測概率	虛報率
單位面積內的正雲閃、負地閃的閃電數目和電荷輸送在 4 個連續的 6 分鐘時段內存在上升趨勢。	約五成	約八成
以上條件 + 單位面積內的負地閃電荷輸送量值超過每平方公里 0.02 庫侖。	約五成	約七成
以上兩個條件 + 負地閃的數目出現一個先跌後升的變化。	約五成	約六成

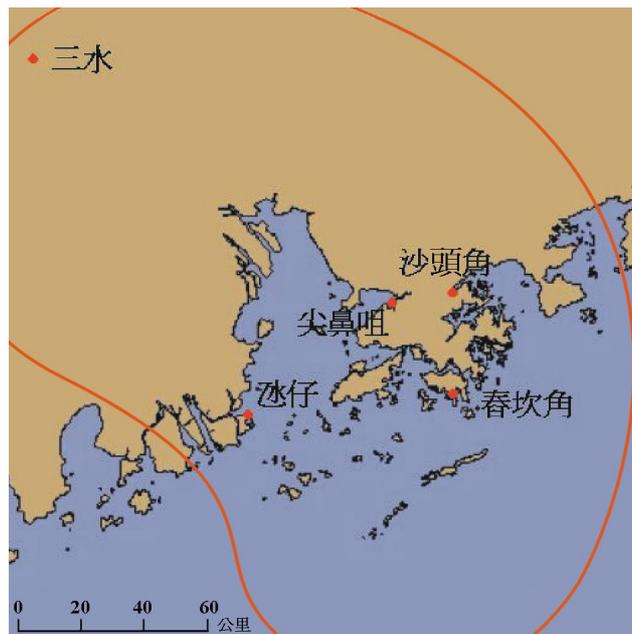
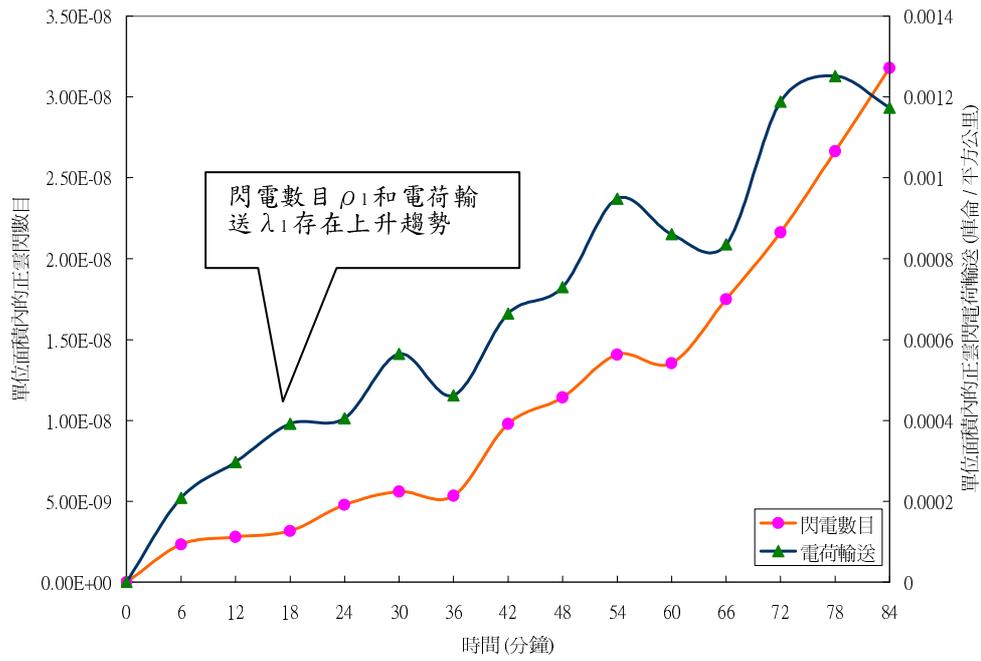
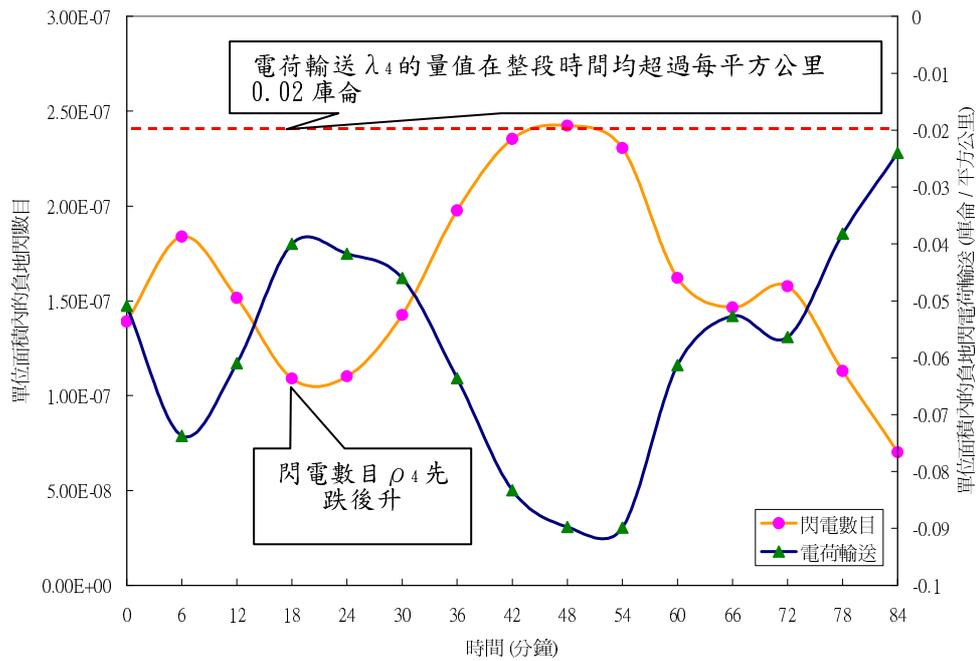


圖 1 閃電探測網的探測效率，紅線內的探測效率超過 70%，接近中心逾 90%。



(a)



(b)

圖 2 根據閃電特徵參數變化而成功推算大雨發生的例子。(a) 單位面積內正雲閃的閃電數目(ρ_1)和電荷輸送(λ_1)隨時間的變化；(b) 單位面積內負地閃的閃電數目(ρ_4)和電荷輸送(λ_4)隨時間的變化。