

# 雷電定位探測及其效果

周根泉

## *A Discussion of Atmospherics Network and Its Effects*

Ken-chuan Chou

### *Abstract*

*During war-time the atmospherics network was of the great importance; not only it provide a means of warning to those who had to plan air raids of the existence of thundery activity over the areas in which they were particularly interested, but it kept forecasters primed with reliable information concerning the positions and movements of fronts over enemy-held territory, and over sea areas from which weather reports were unobtainable.*

*The establishment of an atmospherics network is costly but its maintenance is relatively small. A few personnel is required to carry out the observations. In view of enormous increase in civil flying over long air routes and high frequency of accidents attributable to air crafts being involved in cumulonimbus clouds, a network for atmospherics observations is likely to be a paying proposition in peace-time.*

*In case an atmospherics network is setting up in Taiwan at least three stations i.e. Taipei, Hengchun and Quinman. The data on the observation of atmospherics will cover an area shown as fig. 5. The cost of maintenance of the network on observation of atmospherics is relatively inexpensive in comparison with a radar station.*

雷電現象多產生於濃積雲或積雨雲中，不特為航空的阻礙，亦為暴雨的徵兆。尤其區域性的雷電現象，在缺乏參考資料的情況下，更使預報人員無能為力。因之對於雷電現象的偵測，為氣象工作人員所關心。

遠在第二次世界大戰期間，歐陸大部地區均為納粹所控制，盟軍指揮作戰機構需要敵方控制區內的對流活動的氣象報告，發現利用英倫三島的雷電長距離偵測網，所獲得的紀錄，有極顯著的應用價值。同時美空軍在大西洋地區亦建立雷電偵測系統，以協助空襲作戰計劃，成果亦甚為輝煌。戰後，美、英、法、德以及各氣象先進國家，對於雷電現象偵測技術之發展，均極重視，除繼續作長期之實驗研究外，對於使用之儀器工具，亦不斷嘗試改進，成績斐然。因資料搜集不易，本文僅就英、美兩國對於長距離偵測雷電現象之成效，加以討論。

### 一、定義

利用雷電探向儀器，偵測長距離之空中放電現象

，亦即英美等國所謂 Sferics，此詞為自 Atmospherics 蛻變而來，原為用作報告有雷電現象之氣象電報之報頭，旋即演變為雷電現象偵測之專門名詞，1953年世界 Sferics 討論會，就其一般用途，認為可綜合包含三項意義：

1. 探尋及追蹤雷電現象發生之位置之技術。
2. 為氣象工作之目的，以判定雷電現象某種特性之技術。
3. 為氣象工作之目的，應用儀器以顯示雷電現象。

### 二、偵測設備與基本原理

雷電現象為空中的放電現象，勢必產生電磁波，如果能設法測知此項電磁波來源的位置，即可推斷雷電發生的所在。英國之陰極射線探向器 (Cathode Ray Direction Finding-CRDF)，美國之天電探向器 (Static Direction Finder AN/GRD-IA) 及法國之限制扇形記錄器 (Narrow Sector Recorder -NSR) 等，均用為偵測此項雷電電磁波來源的儀

器。

英美兩國所用的探向器，結構大體相近似，大別之包括以下各部份，即垂直相交之定向天線，接收器，放大系統，陰極射線指示器及一套自動攝影紀錄設備。

垂直相交之定向天線，固定朝向南北及東西平面，通過接收器及放大系統，而與指示器相連接，如圖1。通常接收器之頻率約為 10 KC/sec.。雖則接收

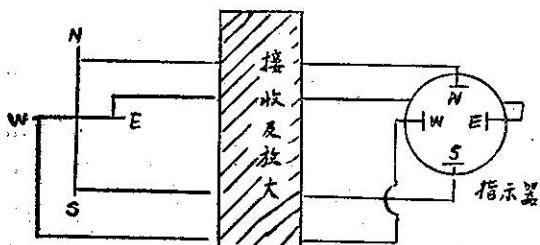


圖 1：指示器之連接

器任何頻率均可用。但就所知接收之最大能量約為 8-12 KC/sec.，同時應用此種頻率可減低因偏極而發生的方向差，而且此種頻率一般商用 W/T 發射電台甚少使用，因而可避免不必要的干擾。

### 三、遠距離雷電偵測法

當空中發生一次放電，電磁波即自放電處向四周傳播，其狀態適與用一石塊擲入水中，漣漪以石塊入水處為中心，向水面四周傳播的情況相同。此項傳播的電磁波，能被探向器的天線所接收，如來自南北向者，則為天線的南北向框所收取，通過接收及放大器，而在陰極射線管顯現一南北向的光線。同樣的，如信號來自東西向，即顯示東西向的閃光，而信號來自任一方向，均可在陰極射線管顯現最接近的方向，並在該器之玻璃面刻度，可讀出其數值，如圖 2。現用

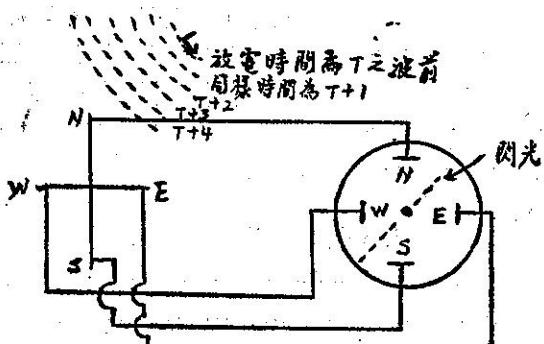


圖 2：電磁波之傳播方向及閃光之構成

的陰極射管，其管面均塗有持久性的螢光物質。因此，雖然一次閃電，其存在的時間，僅及五百分之一至千分之一秒，但顯現於管面上的光線，却可保留足夠的時間，以便觀測人員讀取精確的方向刻度。如圖 2 所示，閃電來自東北方，於是在指示器面上必顯現自 NE 至 SW 一條直線。此項指示，必須除去一半，僅有一半方為正確的雷電的來向。在本例中，即須觀測工作人員判斷，究竟閃電來自測站的東北方，抑或西南方，而且即使如此，亦僅有方向的判別，並無精確的估計閃電發生處的距離，究有若干。

欲決定閃電發生地點，必需兩個以上的雷電探測站。閃電的方向角，在同一時間為兩個以上的測站所偵知，然後即就閃光發生的方向延長其直線，而獲得一交點，是即閃電發生的位置，如圖 3。實際上，

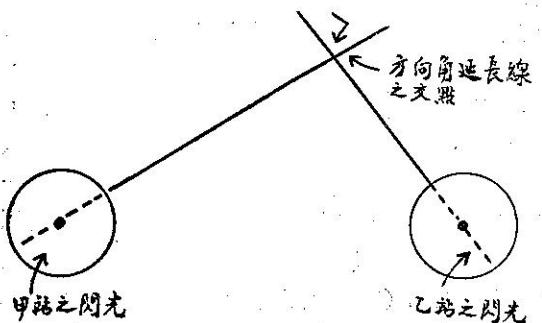


圖 3：方向角交點求知閃電之位置

常利用三個或三個以上的測站，以判定閃電的位置。由於儀器差或其他的誤差，此三個(或以上)的方向線，常常並不能相交於同一點。美國通常根據位置可能誤差的大小，而將結果列為三類：第一類可能誤差在 25 英里以內。第二類可能誤差在 25 英里以上 100 英里以下，第三類可能誤差在 100 英里以上。總之，假如為欲求取一交點，而需要移動一條(或一條以上)方向線，至 3 度以上，則此項紀錄即失却正確性，不能採信。

### 四、英美之實際偵測情況

自 1949 年起，英國氣象局即分別在 Dunstable、Leuchars、Irvinestown (北愛爾蘭)、Hemsby 及 Camboune 設置雷電偵測網，並以 Dunstable 為中心站，經常每日偵測 12 次，每次偵測 15 分鐘。其偵測時間為 0700、0900、1015、1130、1220、1400、1515、1630、1830、1945、2100 及 2200。觀測時，各測站間均以對講電話聯繫，其總樞紐則在中心站。

中心站之觀測員在指示器上置一正確之時鐘。當閃電一至，中心站之觀測員立即喊出一信號（如“Now”），而偵測網之其他各站，隨即將獲得閃光之方向角，經由對講電話報予中心站之紀錄員，俟一次偵測終結，即繪之于圖，判定雷電發生之方向及距離，而獲知其位置。惟此法當閃電極度頻仍時，前後紀錄未免重疊相混，除在繪圖時發現可疑即予剔除外，別無補救辦法。

美國方面，當第二次世界大戰時，原在大西洋區建置一雷電偵測網（四個站），戰後即將此四站移用，構成 AWS 加勒比海雷電偵測網。測站之分佈，計為 Ramey（在波多黎谷），Kindley（在百慕達），Mac Dill（在佛羅里達州）及 Robins（在喬其亞州）各空軍基地，並為增強計劃之功效，加設第五站 Fort Monmouth（在新澤西州）。先經 1951 年 2 月 1 日至 1952 年 6 月 30 日，十七個月的試驗，結果相當完滿。試驗期間，以六小時偵測一次，如 0000Z，0600Z 等，時間信號，自無線電台用 WWV 劃一之，每次均偵測四分鐘，假定有四個站參加偵測，甲站（設為偵測網的中心站）選擇紀錄底片發生於偵測第一分鐘的 30 次閃電，每次閃電的時間精確度，必須計至最接近於百分之一秒者，然後將此項紀錄，藉無線電傳至其他三站（乙、丙及丁），此三站隨即在其本站之紀錄底片中，同一分鐘之紀錄中覓取與甲站同時間之閃電，而將其方向角回報中心站，中心站於集齊紀錄後，即將之繪於地圖，據以獲知每次雷電發生之確實位置。

遠距離偵測雷電判定雷電發生位置應用的地圖，必須使用日晷投影法（Gnomonic projection）繪製的，將大圓視為直線。其所以須用此種特殊的投影圖，乃因電磁波遵循大圓路徑進行之故。

### 五、偵測結果之編報

繪圖完畢，經判定各雷電發生的位置，即編成電碼，經由電傳打字機或發報機廣播其紀錄，一如一般的氣象報告。以往英美等國通用的電碼形式為：SFERIC GGG<sub>a1</sub>A<sub>1</sub>L<sub>a</sub>L<sub>a</sub>L<sub>0</sub>L<sub>0</sub>K L<sub>a</sub>L<sub>a</sub>L<sub>0</sub>L<sub>0</sub>K……。

其後世界氣象組織認為此項偵測紀錄，甚有價值，除呼籲國際合作，建立雷電偵測網外，並為播送是項偵測報告，訂定電碼格式三種。

#### 1. 雷電性質及其方位報告：

SFAZI (999 II) iiiGG F<sub>1</sub>I<sub>j</sub>D<sub>1</sub>D<sub>1</sub>D<sub>1</sub>

F<sub>2</sub>I<sub>j</sub>D<sub>2</sub>D<sub>2</sub>D<sub>2</sub>………。

F<sub>1</sub>I<sub>j</sub>D<sub>1</sub>D<sub>1</sub>C<sub>1</sub> 組的組數，視雷電源地數目的多寡而定，F<sub>1</sub>F<sub>2</sub> 等，示音點的強度，分為點音或線音，並為弱，中度或強，而以電碼表示之。I<sub>j</sub> 為音點之密度，以弱，中度或強及分布之範圍，以電碼表示之。D<sub>1</sub>D<sub>1</sub>D<sub>1</sub>，D<sub>2</sub>D<sub>2</sub>D<sub>2</sub> 等，示雷電源地之方位，以度數計。觀測時間以 00, 03, 06………每隔三小時觀測一次，每日觀測八次為準。故 SFAZI 報告之發布，不得遲延至所規定觀測時間三小時以後。

#### 2. 雷電地理位置報告：

SFLOC 66600 GG X<sub>4</sub> a<sub>1</sub> A<sub>1</sub> L<sub>a</sub>L<sub>a</sub>L<sub>0</sub>L<sub>0</sub>K…  
66655

99 X<sub>4</sub> a<sub>1</sub> A<sub>1</sub> L<sub>a</sub>L<sub>a</sub>L<sub>0</sub>L<sub>0</sub>K…

第一組 66600 或 66655 指示觀測所用之方法，66600 指示位置用陰極射線探向器 (CRDF) 定位法，66655 指示位置用限制扇形記錄器 (NSR) 定位法。如雷電發生源地不同，則按源地數而編成若干段，每段用 99 指示碼組開始，X<sub>4</sub> 係半球指示碼，電碼 0 為北半球，電碼 1 為南半球，a<sub>1</sub> 示雷電之分佈情況，A<sub>1</sub> 示重複發生雷電的速率，其為低或高分別以電碼表示之。L<sub>a</sub>L<sub>a</sub> 及 L<sub>0</sub>L<sub>0</sub> 分別緯度及經度，皆以整度數計，經度之百位數字可省略，K 為指示任何半度應加於 L<sub>a</sub>L<sub>a</sub> 及 L<sub>0</sub>L<sub>0</sub>，K=4 或 9，則示 L<sub>a</sub>L<sub>a</sub> 及 L<sub>0</sub>L<sub>0</sub> 之值僅精至最接近於整度數。

#### 3.廿四小時來雷電方位分佈詳細報告

SFAZU II iii YG<sub>1</sub>G<sub>1</sub> G<sub>2</sub>G<sub>2</sub>

999NI g<sub>1</sub>g<sub>1</sub>D<sub>1</sub>D<sub>1</sub>D' g<sub>2</sub>g<sub>2</sub>D<sub>2</sub>'D<sub>2</sub>'D'…

999NI g<sub>1</sub>g<sub>1</sub>D<sub>1</sub>'D<sub>1</sub>'D' g<sub>2</sub>g<sub>2</sub>D<sub>2</sub>'D<sub>2</sub>'D'…

.....

當雷電發生源地不同時，則分段報告，每段用 999 指示碼組開始。G<sub>1</sub>G<sub>1</sub> 及 G<sub>2</sub>G<sub>2</sub> 示紀錄開始及終止之時刻，計至最接近之整時數 GMT。N 示雷電中心之個數。I 示音點之強度，以 1, 2 及 3 分別表示低，中度及高，g<sub>1</sub>g<sub>1</sub> 及 g<sub>2</sub>g<sub>2</sub> 分別表示中心出現之時刻，計至最接近之整時數 GMT，D<sub>1</sub>D<sub>1</sub>D<sub>1</sub>', D<sub>2</sub>'D<sub>2</sub>'D<sub>2</sub>'……等，各為 g<sub>1</sub>g<sub>1</sub> 及 g<sub>2</sub>g<sub>2</sub> 時中心軸線所在之方位，以整度數計之。此項報告每日僅報一次。

### 六、偵測之效力及限制

利用陰極射線探向器偵測雷電現象的有效距離，根據以往的經驗，約為兩個測站距離的二倍，而在 1000 至 1500 英里之間。距離愈遠，誤差愈大，因三個測站以上所構成的偵測網，其方向角的延長線，頗難

正好相交於一點。調整之角度愈大，誤差必然愈多，因之一般規定多限於差誤在 $1^{\circ}$ 以內，否則，紀錄即不予以採取。

如僅有兩個測站，則此兩站之連結線及其延長線上各點，即不可能測得發生雷電現象之位置。兩個測站有效偵測圈相交的扇形地區，即為此兩站的空白區(Blind area or blind sector)，如圖4，欲免除此空白區，唯有增設測站。

有經驗的研究人員認為有若干特殊現象，足以減低偵測效果，如磁暴活動效應即與大氣中放電之電磁波傳播成反相關（其相關係數為-0.212）同樣的，磁暴活動效應的與大氣中放電之電磁波的方向特性，亦成反相關（其相關係數為-0.344）。其他如電離層的反射，隕石的下降，氣壓的變化及降水等，均可影響雷電偵測的效果。

凡在大氣中伴生放電現象的各種天氣現象，均可偵測判別之。如冷鋒，暖鋒及地域性雷暴等等，均可藉音點的分佈情況與密度及強度判別之。

### 七、建立偵測網所需之費用

建立一個長距雷電偵測網，即為一個中心站，三個輔助站所構成的偵測網而論，所費當屬不貲。根據美空軍數年前發表之雷電偵測實驗報告中指出。一個中心站所需儀器設備費24,820元（美金，以下同），每月用人費2,369元，每月消耗供應525元，一個輔助站所需儀器設備費22,658元，每月用人費2,120元，每月消耗供應400元，以一中心站，三輔助站，每月觀測120次計，平均每觀測一次需費87元。

但建立一雷達站，所需儀器設備費至少57,006元，每月用人費1,549元，每月消耗供應9,945元，每月觀測120次，平均每次需費83元。但如欲控制如前述雷電偵測網同樣廣大之地區，必須三十個此種型式的雷達站，則每觀測一次，需費 $30 \times 83 = 2,490$ 元。

表一：雷電偵測站所需費用比較分析表

站 別	A (地面測站)	B (雷達站)	雷電偵測站	
			Z (輔助站)	Y (中心站)
儀 器 設 備 費	\$51,283	\$57,006	\$22,658	\$24,820
每 月 用 人 費	4,598	1,549	2,120	2,369
每 月 消 耗 供 應 費	419	8,396	400	525
用 人 費 加 供 應 費	5,017	9,945	2,520	2,894
觀 測 次 數	720	120	120	120
每 次 觀 測 需 費	7	83	.....3Z+1Y.....	87

又如地面觀測站，每站所需儀器設備費51,283元，每月用人費4,598元，每月消耗供應419元，每月觀測720次，平均每次需費7元，但欲控制如前述雷電偵測網同樣廣大之地區，必須500個地面站，則同時每觀測一次，需費 $500 \times 7 = 3,500$ 元。如表一。

上述每觀測一次所需費用之比較分析，並非謂一個雷電偵測網可代替雷達站或地面測站，僅表示雷電偵測網之建立及維持觀測，並不過份昂貴。就某一角觀之，反較廉宜。

### 八、臺灣地區設站偵測之效果

臺灣為一狹長海島，建立雷電偵測網最經濟之辦法，當於南北兩端各置一站。但僅此兩站，則偵測區域僅臺灣海峽包括浙閩粵沿海，以及臺灣東方海面，而臺灣北部海面及巴士海峽，均無法測到，兩測站間即臺灣本島亦屬空白地區，顯然效果不甚宏大。如圖4，斜線地帶即為有限之偵測區域。

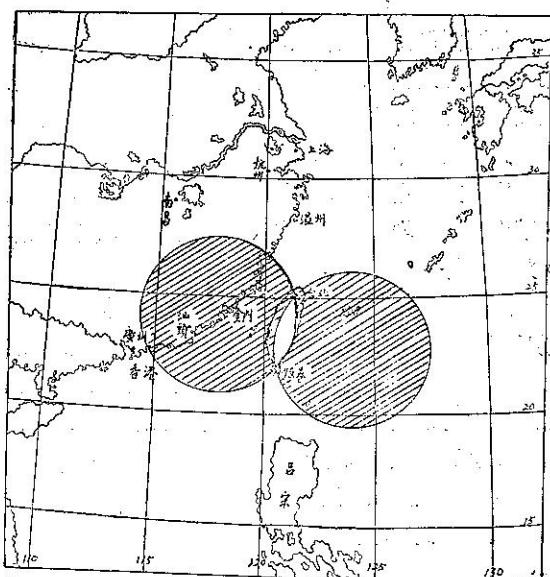


圖4：兩站聯合偵測有效範圍

如同時在金門增設一站，則情況大異，如圖5所示。不特消滅兩測站間之空白地帶，且偵測有效範圍亦增加甚多。大陸上杭州，南昌以至廣州，此一弧線所包括地區，我國東海，南海，巴士海峽及臺灣東方海面，均在有效偵測範圍之內。面積當在一百二十萬平方公里以上。如在上海、杭州、南昌或廣州各地，慎選一二處增設測站，而調整各測站之距離至七八百公里間，則偵測範圍的擴大，何止倍蓰？

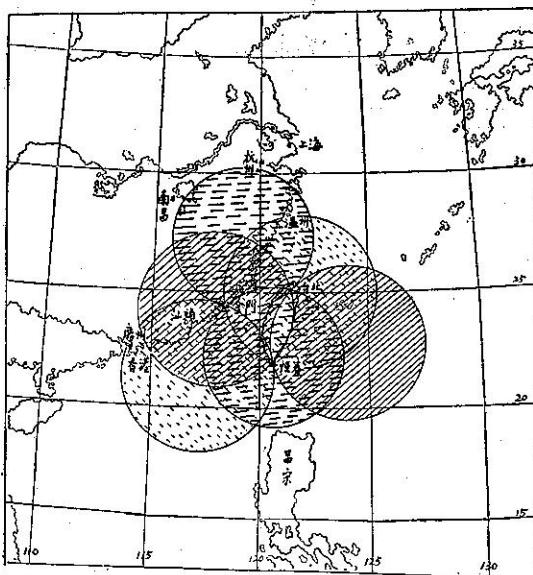


圖 5：三站聯合偵測有效範圍

### 九、結論

長距雷電偵測工作，溯本追源，當始於1915年，第一次世界大戰期間。而至第二次世界大戰，因實際需要，始為人所注意，且成效輝煌，予盟軍助益不少。單為協助轟炸攻擊計劃，即在一千次以上。戰後繼續研究，方奠定其實用價值，如今除英美外，法、德、瑞士等國，均經先後建立完成偵測系統，經常工作，效果良好。

此項雷電偵測網，既可有效測定千里外的雷電活動情況，則對於荒僻地區或大洋區域，因測站稀少或缺乏，無法獲知氣象實況，則憑雷電偵測網之觀測紀錄，往往可推定鋒面、風暴、或對流狀態的情況，佐證或輔助天氣預報工作。

偵測網之建立，所費固巨，但偵測範圍廣大，實用價值相當高。單在臺灣本島設站觀測，因地區較小，稍嫌不經濟，如能作為國際合作事業，如聯合琉球、菲律賓及香港等地，分別設站，共同觀測，則費用既省，而有效之偵測範圍可擴大，似值得一試。

### 參考文獻

1. Use of sferics in analysis and forecasting (1953 Aws M 105-38, air weather service manual, department of the air force).
2. Maidens, A. L.: Methods of synchronizing the observations of a "Sferics" network (The meteorological magazine No. 975, Vol. 82).
3. Ockenden, C. V.: Sferics (The marine observer, No. 146, Vol XIX).
4. Final reports on the Aws Sferics evaluation project (Air weather service technical report 105-102, headquarters air weather service, 1954).
5. Atmospheric techniques (WMO technical note No. 12).
6. Horner, F.: The accuracy of the location of sources of atmospherics by radio direction-finding (Institute electric engineer ,No. 74, Vol. 101).
7. Watson-Watt, R. A. Herd, J. F., and Lutkin, F. E.: On the nature of atmospherics (Proceeding of the Royal society A. 1937).
8. Schonland, B. F. J., and Hodges, D. B.: Direction finding of sources of atmospherics and south african meteorology (Journal of the royal meteorological society, 1940).
9. Boswell, R. W. and Wark, W. J.: Relation between sources of atmospherics and meteorological conditions in southern australia during October and November 1934 (1936).
10. Adecock, F., and Clarke, C.: The location of thunderstorms by radio direction-finding (Journal I. E. E. 1947, 94, Part III).
11. Clarke, C.: A meteorological direction finder (Wireless World, 1949, 55).
12. Horner, F.: New design of radio direction finder for locating thunderstorms (Meteorological Magazine, 1954).
13. Horner, F.: Radio direction finding, influence of buried conductors on bearings (Wireless Engineer, 1953).
14. Ross, W., and Horner, F.: The siting of direction finding stations (Radio Research special report. 1951, No. 22, H. M. S. O. Code No. 47-29-22).
15. Stansfield, R. G.: Statistical theory of D. F. fixing (Journal I. E. E. 1947, 94, Part III. A.)
16. Clarke, C. and Harrison V. A. W.: Low-frequency direction finder, Twin-channel cathode-ray design (Wireless Engineer, April, 1955).
17. Specification of atmospherics direction finder R. R. O. design (Formerly known as the N. P. L. Pattern MK. 3. Oct. 1950, Revised Sept. 1953).
18. W. M. O. International meteorological Codes (1959). (完)