

闪电定位系统布网方案设计的技术探讨

吴翠红 左申正 万玉发

(湖北省气象局多普勒雷达办公室,武汉 430074)

提 要

以闪电定位系统的定位原理和误差分析方法为基础,利用系统布设客观分析软件的自动选站和误差计算功能,比较了以不同方式组成的闪电监测网在一定范围内的定位误差。结果显示,除了系统本身存在的方位和时间误差外,布设子站的数目、几何形状、站距的大小对定位精度的影响均非常明显,与系统采取的定位算法也有很大关系。同时,提出并采取“一子多主,交叉组合”的技术策略,以湖北省为例,对闪电定位系统布网方案设计进行技术探讨。

关键词: 闪电定位系统 布网方案 精度分析

引 言

大气中闪电的发生往往与强对流天气如龙卷、冰雹、暴雨等有着密切的联系,其中云地闪还经常造成地面上人员伤亡和财产损失等重大危害,所以应用闪电定位系统探测闪电的发生及其变化对电力、电信、林业、航天等部门的防灾减灾工作尤为重要。如果将它和多普勒天气雷达、气象卫星等探测手段结合使用,更能加强对此类灾害性天气的监测和预报能力。国外在这方面做了许多的研究,并获得较为成功的应用效果^[1~3]。

作为大气探测系统的重要组成部分,我国许多地方或部门在设计多普勒天气雷达建设方案的同时,也将闪电定位系统一并设计和布网。但是,如何根据闪电定位系统的探测定位原理并结合本地的实际进行科学计算和客观优化布点,则是需要认真加以探讨和解决的技术问题。鉴于此,本文借设计湖北省气象局闪电定位系统布网方案之际,重点对闪电定位系统子站的几何配置和定位算法不同而产生的误差分布进行分析比较,并综合其它因素,对湖北省用较少的探测站而达到所需定位精度要求的闪电定位系统布网方案进行了初步研究。

1 闪电定位系统定位方法和分析技术

1.1 定位方法

闪电定位系统采用的技术手段主要有声、光、电磁场三类,其中电磁场脉冲探测技术应用最为广泛,它的定位方式分为单站和多站定位两种;按接收闪电回击的电磁波频段可划分为甚低频段和甚高频段(参见《雷电监测定位系统技术报告》,马启明编著,1999)。目前国内生产和使用的主要为甚低频段的二维闪电定位系统,国外已成功研制甚高频三维闪电定位系统,如美国 GAI 公司的 LDAR,法国 DIMENSIONS 公司的 SAFIR 系统等。从定位方法来看,主要有方向定位、时差定位(见图 1a、b)和时差方向混合定位。其中,混合定位系统同时利用各探测子站探测闪电回击发生的方位角和回击电磁脉冲到达的精确时间等数据,采用多站方位汇交和到达时间差综合算法进行定位,它比单独使用测向定位或时差定位的定位精度要高。

1.2 分析技术

中国电波传播研究所在“XDD03A 型雷电探测系统技术说明书”和“XDD03A 型雷电定位算法及精度分析”中给出了误差计算公式(略),并开发了误差计算软件。在他们所提供软件的基础上,本文在候选站和地理覆盖线的建立、监测站网的客观组合、误差显示等方面进行了补充开发,为设计大范围闪电

定位网的布设方案提供了较客观的分析技术和手段。

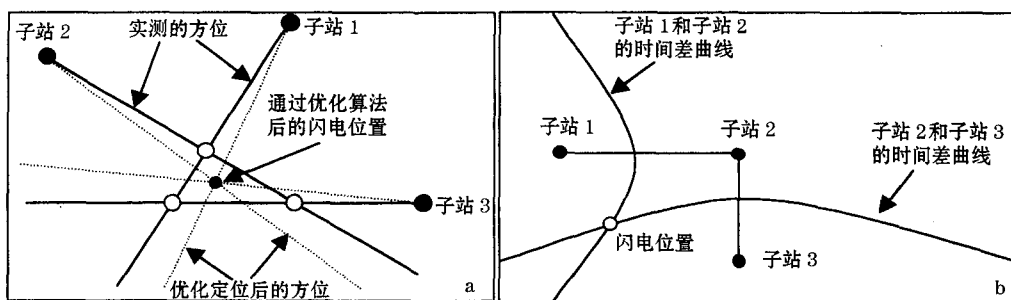


图1 三站定位示意图
a. 方位定位 b. 时差双曲线定位

2 闪电定位系统的精度分析

从闪电定位系统的定位原理、误差分析方法及有关技术研究表明,闪电探测的定位误差主要与闪电定位仪的系统误差(包括方位和时间测量误差)、子站几何配置(包括几何形状、基线长度、子站个数和不同组合)、定位算法以及场地因素等四方面相关。在这里,暂且把系统因素归结到设备选型方面来考虑,而场地因素本质上是影响着闪电方位和时间的正确测量,可在设备安装后通过软件修正来解决。下面主要从定位算法及布设探测子站的几何配置方面,对闪电定位系统的定位误差进行分析与讨论。

2.1 不同定位算法的比较

以正三角形三站组合为例,站间距为120km,时间误差 $1\mu\text{s}$,方位误差 2° ,分别用方位汇交和综合算法在同一区域内(经度 $3^\circ \times$ 纬度 3° ,下同)进行比较。图2a、b分别是方位汇交和综合算法的定位误差分布图。将均方根误差分成8个区间,由此可见,利用综合算法其定位误差小于1km(或2km、3km)的范围比方位汇交的大得多。对于其它站间距的情况也是如此。因此,当闪电定位系统安装后,要求其达到某一定位精度时,显然,用综合算法进行定位要比仅用方位汇交进行定位的精度要高。

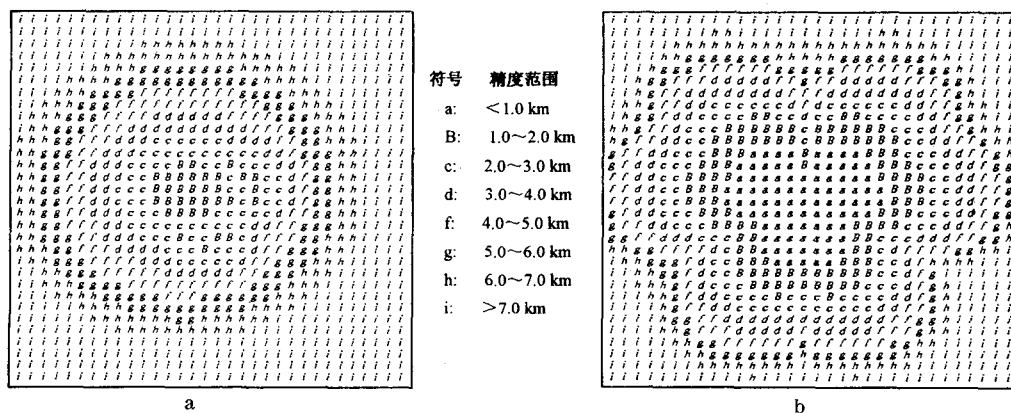


图2 三站组合定位精度分布图

a. 方位汇交 b. 综合定位

2.2 不同站距时的探测精度比较

假设闪电定位系统是以理想的正三角形和正四边形布局,让它们的中心点不变,而站间距则从20km递增至200km,分别采用综合定位算法和方位定位算法计算它们的定位

误差,并进行统计分析。

图3为假设方位误差 2° 、时间误差为 $1\mu\text{s}$,不同站距(80km、120km、160km)时其综合定位误差比例直方图。可见,同一区域内,无论是3站布局或4站布局,随着站间距的

增大,误差较小的区间(如小于1.0km或小于2.0km)的点数比例越大。然而,仅用方位汇交算法进行定位时,合适的站间距大小则随着误差要求的不同而不同。由图4可看

出,当要求误差 $<2\text{km}$ 时,站间距为80km的组合其定位的点数最多;当要求误差 $<3\text{km}$ 时,则站间距为140km的组合其定位的点数最多(点数的多少代表范围的大小)。

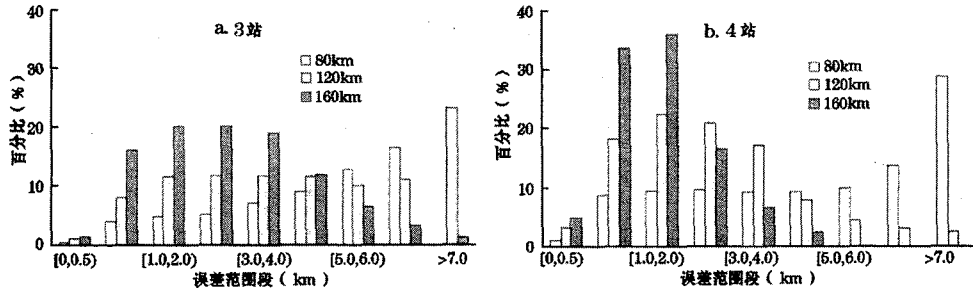


图3 不同站距其综合定位的各误差区间点数的百分比

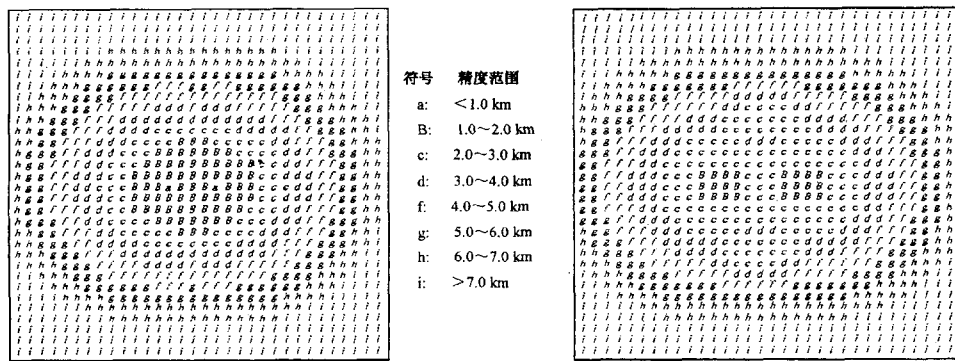


图4 四站组合时其方位汇交定位的精度分布图

(站距:左图80km,右图140km)

由此看来,如果要同时兼顾探测精度和探测范围,站间距的选择要适中。这是因为站间距太小,保证较高精度的监测范围就小;站间距太大,又将影响对闪电的监测效率。因此,在闪电定位系统布站具体实施时,要根据系统的主要算法以及对系统定位精度的要求等综合因素来确定站间距的大小。

2.3 不同站数相组合时的探测精度比较

从图3直方图显示的结果还可以看出,由3站组成的定位系统和由4站组合的定位系统在相同大小的区域内的探测精度显然不一样。以误差小于2km的点数统计为例,当它们站间距都为120km时,4站组合占43.8%,3站组合占20.8%;当站间距都为160km时,4站组合占74.2%,3站组合只占

37.8%。可见在同一区域内相同站间距时,4站组合的探测精度比3站组合的探测精度基本上提高了一倍,说明组成闪电定位系统的子站数目不同,探测精度将会大不一样。

图5为在湖北省可选站址中选取不同站数(即3站、4站、5站)组成闪电定位系统的探测精度曲线图,图中三种组合是假设方位误差 1° 、时间误差 $1\mu\text{s}$ 前提下,在同样大小的区域内用综合算法定位得到的误差统计结果。可见,要求误差小于2km时,5站组合达到81.4%,4站和3站组合则分别是56.7%和40.3%。因此,在尽量确保布局最佳形式的前提下,适当增加闪电定位系统中子站的数量,可以提高整个系统探测的精度。

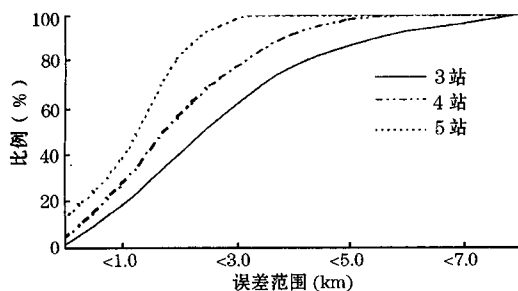


图5 不同站数组合其探测的误差比例曲线图

3 湖北省闪电定位系统布网设计的探讨

3.1 设计原则及技术策略

大范围闪电探测定位网是由若干闪电定位系统构成的,而闪电定位系统一般又由1个主站和3~5个监测站(即子站)组成。在具体布网设计时遵守了如下设计原则和技术策略:

(1)所选站址必须为现有气象台站所在地,并要求通信条件较好,站址周围较为开阔平坦;其次,就某个系统的子站配置规定为3站或4站,其子站的理想布局应为正三角形或正四边形,在实施时尽可能靠近正三角形或正四边形(具体算法略),因特殊需要,如要加强对流性灾害天气频发地带或重要城镇的探测,应增加子站布设;站间距为100km~150km。

(2)为了充分发挥每个探测子站的功效,在上述基础上,属于某一系统的一个或两个子站还应和邻近系统的子站构成新的组合(即新系统),这就是“一子多主,交叉组合”的含义,其目的是最终打破“系统”概念,借助网络通信,直接由多个合理配置的子站构成大范围的闪电探测网。大范围布网时,一定要以全局的观点,坚持整体设计,分步实施的原则。

(3)确定布网方案前,首先确定主站的位置,闪电定位系统和雷达、卫星等探测手段是从不同侧面获取天气系统的信息,如果将它们合成应用,可使对流性天气的监测预报和服务能力得到大大提高,因此,主站应尽量与雷达站设在一处,这样既利于各种探测资料的合成应用开发,又便于探测系统的统一保障管理。

3.2 布网方案

依据上述设计原则,结合我省的实际,闪电定位系统的主站分别设在武汉、宜昌、十堰、恩施、荆州(将建一部移动式多普勒天气雷达),另外还将在武汉雷达站设立全省闪电定位系统联网中心,它具有主站的全部功能,并且可以处理和显示全省或省内任意区域的闪电信息,利于有针对性地监测强对流天气,和综合开发应用于科研、防灾减灾、决策服务等方面的工作。

以3站组合为出发点,通过各种候选站址间的优化组合,以及对均方根误差分布图的分析比较,并考虑到我省特殊地理位置和定位精度的要求(均方根误差 $\leq 1\text{km}$),初步确定了一个方案,在全省共布设8个子站和5个主站(见图6和表1),子站分别设在:安陆、蒲圻、罗田、江陵、兴山、鹤峰、襄樊、十堰。

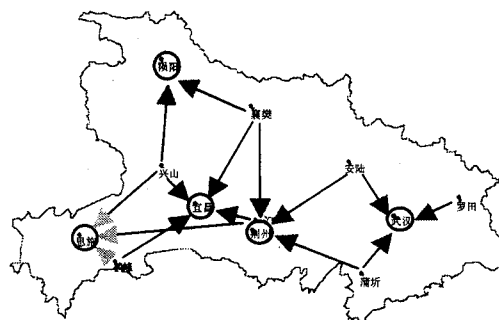


图6 湖北省闪电定位系统分布图

表1 主站与子站的配置

主站	子站
武汉	安陆、蒲圻、罗田
荆州	安陆、蒲圻、江陵、襄樊
宜昌	鹤峰、兴山、江陵、襄樊
十堰	兴山、襄樊、十堰
恩施	兴山、鹤峰、江陵

首先,经过分析和筛选,在鄂东地区选择了安陆-罗田-蒲圻3站组成的监测网,一方面,这个组合探测系统的定位精度较好,另一方面,其子站安陆、蒲圻还可以和江汉平原的江陵重新组合,用来监测江汉平原的东南部,同时安陆、江陵又可以和襄樊重新组合,监测江汉平原的北部。同样,在鄂西地区也作了各种组合的探测精度比较,巴东-江陵

-襄樊3站组合的探测精度最好,其次是巴东-松滋-宜城和江陵-兴山-襄樊两种组合,但考虑到襄樊、十堰两站可以和兴山组合成鄂西北的闪电探测网,因此在宜昌地区的兴山设立一个子站较为合理,另外鄂西南、鄂西北属于多山地区,其子站布设较为复杂,应作实地考察后再行确定。该方案总体上充分体现了“一子多主,交叉组合”的技术策略,使得各子站得到最大限度的利用。若假设方位误差 1° ,时间误差 $1\mu\text{s}$,按综合定位算法,该方案在湖北省大部分地区定位均方根误差基本上小于 1km (图略),只是在湖北省鄂西北、鄂西南和鄂东的少部分地区定位误差在 1km 以上,但是这些地方还可以和省外的闪电探测仪进行组网定位,以提高探测精度。另外,根据实际需要和系统类型,该方案中的子站位置或数量可作调整,甚至可以重新设计。

4 结语

(1)本文的误差分析和布网方案的设计是基于引用中国电波传播研究所提供的闪电定位系统误差估算方法而进行的。对于不同厂家的闪电定位系统,它们的定位算法尤其是一些技术指标不尽相同,实际布网时应根据产品本身的性能特点、周围场地环境及当

地的特殊需要进行具体设计。

(2)除了系统本身的方位误差和时间误差外,布设子站的数目、几何形状、站距的大小对闪电定位系统的定位精度的影响非常明显。

(3)在实际布网时应结合本地域的地理特征、探测范围和探测精度的要求,充分考虑到所选系统的特性、通信条件、探测仪的探测效率、定位算法和站间距的大小等因素。

(4)闪电定位系统的布网应从全局出发,统筹规划,长远考虑,坚持整体设计、分步实施的原则,充分保障资料的共享。

致谢:我们在开展该项工作前,专门到中国电波传播研究所进行技术调研,得到他们的技术帮助,在此表示感谢!

参考文献

- 1 Macgorman D R and Burgess D W. Positive Cloud-to-Ground Lightning in Tornadoic Storms and Hailstorms. *Monthly Weather Review*, 1994, 122:1671—1697.
- 2 Petez A H, Wicker L J and Orville R E. Characteristics of Cloud-to-Ground Lightning Associated with Violent Tornadoes. *Weather and Forecasting*, 1997, 12:428—437.
- 3 Soula S, Sauvageot S, Molinie G, Mesnard F and Chauzy S. The CG Lightning Activity of a Storm Causing a Flash-Flood. *Geophysical Research Letters*, 1998, 25 (8): 1181—1184.

Study on Scheme Design of Lightning Location Network

Wu Cuihong Zuo Shenzheng Wan Yufa

(Radar Office of Hubei Meteorological Bureau, Wuhan 430074)

Abstract

Based on the principle of lightning location systems and analysis method of error, comparison was made that the locating errors of lightning detecting net in different component ways by using the software including functions as selecting automatically stations and calculation. The results show that the locating accuracy is related with the number of substations and geometrical shape and the distance between substations as well as the algorithm used besides the azimuth error and time error. In addition, a new strategy was put forward and adopted, that is, one substation serves more dominant stations and the several substations cross-combined among them still serve different dominant stations, respectively. The technology of designing network of lightning location is studied according to conditions of Hubei Province.

Key Words: lightning location system scheme of lightning location net accuracy analysis