

雷电灾害与监测预报

许小峰

(中国气象局,北京 100081)

提 要

雷电是一种会造成重大人员伤亡和财产损失的天然现象。对其进行有效的监测、预测和研究具有十分重要的社会、经济和科学价值。文章对雷电产生的原因、造成的严重影响、国内外发展的若干探测技术及有关研究工作做了介绍和分析,并对我国准备建设的国家雷电监测系统做了简要说明。

关键词: 雷电 监测 预测 系统建设

雷(闪)电是发生在自然大气中的瞬间放电过程,并同时伴有声、光的出现。一次放电过程一般持续时间为 $0.1\sim 1.0\text{s}$ 。其中可能包括几次大电流脉冲过程,被称作闪电。人们见到的雷电一般产自雷雨云中,在天空中呈现一种多分叉的形状,长达几千米到几十千米。雷电产生的原因是由于雷暴云中强烈的上升和下沉气流的对流运动,使云中随机分布的正负电荷呈现有序排列的结构,在云中形成许多正电荷区和负电荷区。当雷暴云中部分区域积累了足够强的正(负)电荷,使得空间或地面某处的电场强度达到了击穿大气的值,则产生雷击,会对人们的生命财产和自然环境造成重大影响。闪电可分为云闪和地闪。云闪包括云内闪(intracloud)、云间闪(intercloud)和云-空气闪(cloud-air),是指发生在云内或云间正负电荷间的放电过程。云闪放电的同时会辐射出大量高频脉冲,这些脉冲为人们对于云闪的定位提供了帮助。地闪是指发生在云体与地面之间的对地放电过程。地闪的峰值电流可达到几万到几十万安培,对地面物体会造成很大威胁。

1 雷电灾害

随着社会经济的发展,因雷电引发的灾害也在不断增加。除直接造成人员伤亡外,在许多领域,都会因受到雷电的侵扰造成损失。如建筑、电力、通信、林业、航空航天、仓

储等。据有关统计,全球每年因雷电造成的人员伤亡超过1万人,所造成的损失在10亿美元以上。我国也是全球雷电灾害的多发区之一,全国雷暴发生日数超过50天的有21个省(区、市),最多可达131天。每年大约有3000~4000人因遭受雷电而伤亡^[1]。1989年8月12日,山东黄岛油库遭雷击发生火灾,使100多家企业因火灾停产、海产养殖场被毁、海水被大面积污染,造成19人丧生,直接和间接经济损失数以亿计^[2]。自从人类开展航天活动以来,已发生过多起雷击航天器事故。1969年美国登月计划的APOLLO-11发射后不到1min即遭雷击2次,导致自动驾驶系统失灵,一些传感器停止工作。如不是宇航员果断采取措施,后果将是灾难性的^[3]。2002年7月28日,内蒙古大兴安岭北部原始林区发生特大雷击火,起火点达20多个,森林受灾面积1万多公顷,仅直接扑火费用就超过1.4亿元。2004年6月26日下午,浙江省临安市杜桥镇发生特大雷击事故,造成17人死亡。据不完全统计,2004年6~8月我国共发生雷电灾害约6505起,造成人员伤亡997人(其中受伤544人,死亡453人),因雷击造成爆炸起火的52起,造成建(构)筑物受损350起,造成家用电器和办公电子设备受损2838起,供电故障362起,直接经济损失约达2亿多元,间接经济损失约达

10亿元以上。我国的雷电灾害主要发生在电子电器设备、供配电设备、人身安全、建(构)筑物、加油站、程控电话等方面。据初步分析,2003年电子电器设备事故占灾情的51%,供配电设备占25%,人畜伤亡事故占7%(其中人身伤亡事故占6.5%),建(构)筑物事故占6%,程控电话设备占3%,加油站事故占2%,其他事故占4%(见图1)^[8]。

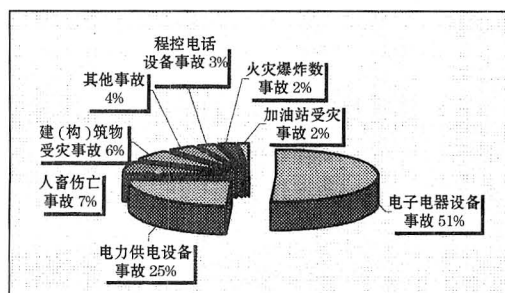


图1 2003年雷电灾害事故分类图

无论从造成的伤亡人数,还是从所造成的财产损失来看,雷电灾害都已成为我国的主要自然灾害之一。从其他国家情况来看,也基本类似,雷电灾害已经被联合国列为“最严重的十种自然灾害之一”。

2 雷电监测

要想有效地对雷电灾害进行防御,首要解决的问题是对雷电的发生进行有效监测。

我国大范围的气象台站建设始于20世纪50年代。到目前为止,仅气象部门的地面气象站就有2500个左右,在这些台站的常规观测项目中,雷暴是其中之一。从这个角度看,应该说我国已建成了覆盖全国的雷电监测网。只是这种观测和记录完全是通过人工进行的,资料不连续,也缺少量化。这些资料可作为判断强对流天气是否发生的参考,但很难用于定时、定点、定量的预报服务。

雷电的定量、连续观测始于20世纪70年代,自那时以来,自动准确探测雷电的技术开始迅速发展,能用于准确定位的雷电定位仪器逐渐成熟。从技术上看,目前主要的地基雷电定位系统都是测定雷电的电磁辐射脉冲。具体方式可分为如下几种:

2.1 磁定向法

磁定向法(MDF—Magnetic Direction Finder)源于无线电测向技术。通过利用一对成正交的磁场线圈构成天线,测定地闪的低频磁场脉冲的方位。为提高测量精度,采用了地闪典型波形识别及时间门限。这种技术在70年代后期取得较大突破,有力地推动了雷电定位技术的进展。原则上,有两个以上测站即可定位,而且单站亦可独立提供雷电方位信息,而强度信号可统计地给出雷电大致的距离。其主要缺点是测站误差、天线安装误差或测站附近的地形地物等都能对雷电方位的测定产生较大影响。因此,单纯利用磁定向的技术近年来已不多见了^[4,5]。

2.2 时间到达法

20世纪80年代初,随着测时精度的提高,美国发展了一种利用测量雷电到达不同测站的时差或绝对时间来进行定位的技术称为时间到达法(TOA—Time-of-Arrival)。与MDF技术相比,其突出的优点是克服了MDF法固有的测量精度不够的弱点。但它需要设的测站较多,且对测时精度要求较高。鉴于MDF闪电定位系统定位误差较大,TOA法也有一些特殊的要求,后来的发展是把两者结合起来,两种技术合二为一,形成时差测向混合闪电定位系统,并增加了GPS(Global Positioning System)时间同步技术和数字波形处理技术(DSP),称作IMPACT技术^[6]。

2.3 干涉法

以上定位技术以获取甚低频VLF信号为主,进行二维定位,监测云地闪。目前国内生产的闪电定位系统基本上采用上述方法。为了测量云间闪的高频信号,有采用干涉法测定放电位置的方法,并于80年代在法国发展了一种被称为SAFIR的甚高频窄带干涉法雷电定位系统。它有可测定一次闪电的若干辐射源的时变过程的能力。原则上,它既可记录地闪,又可记录云闪,并可以提供三维空间定位,目前该技术已发展成熟,有了商用产品,并在欧洲、亚洲一些国家建网使用。

2.4 超高频脉冲时差法

这是一种基于 GPS 同步的闪电三维 TOA 定位技术,目前习惯称为 LDAR——Lightning Detection and Ranging。它也能提供 SAFIR 一样的三维定位功能^[6,7]。

目前在主要发达国家已基本上建立了雷电自动监测网,用于雷电监测和预报,同时也为雷电的防护及科学研究提供有用的信息。如美国、加拿大、法国、英国、澳大利亚、日本、巴西、比利时、新加坡等国都相继建成了闪电定位网。促进了这些国家在雷电防护、短时天气预报与服务、云物理和化学研究等领域的发展。

我国自动雷电监测系统的建设始于 20 世纪 80 年代,起步不算晚。开始时以引进国外雷电定位设备为主。进入 90 年代后,国产的闪电定位系统也开始投入业务应用。目前国内的雷电定位测站约先后建有 100 多个,分布在气象、电力、电信、民航、部队等部门。但由于建设时间不同,设备生产厂家不同,定位原理也不尽相同,性能指标尚没有统一规范,部门之间的协调也不够,造成这些监测站基本上用于局地的雷电监测,尚未形成覆盖全国的监测网。目前中国气象局正在牵头制定国家雷电监测技术规范 and 全国雷电监测系统总体方案,并着手建设全国雷电监测系统,这些工作将会对全国的雷电监测、预报和研究工作奠定扎实基础。

考虑到通过在地面上安装设备监测全球的雷电发生有很多局限性,人们进一步开始探索在卫星上装载光学仪器或电磁辐射探测器,更有效地探测全球雷电活动。目前美国、日本等国已开始了这方面的试验。我国也计划于 2010 年左右发射的 FY-4 号静止卫星上安装闪电探测设备,若能实现,将使我国的雷电探测水平迈上一个新的台阶。

3 雷电的研究和预报服务

随着雷电探测技术的进步,对雷电的研究工作也逐步深入。自上个世纪 80 年代以来,国际上相继开展了一系列与雷电研究有关的计划,如雷暴国际研究计划 (TRIP)、强雷暴起电和降水研究 (STEPS),欧洲闪电

NO_x 计划 (EULINOX),美国辐射、气溶胶、臭氧的平流层对流层实验 (STERAO-A) 等。这些研究试验计划的实施,不仅加深了对雷电的认识,也促进了雷电研究与其他学科的交叉。如在大气化学方面,雷电产生的 NO_x 及转化研究取得了重要进展;在气候变化研究方面,发现了全球雷电、电离层电位是地面增温的敏感指示器;在灾害性天气的监测预警方面,发现了雷电可比雷达提前指示强对流发展,雷电频数可用于对对流性降水量的估测等。此外,在应用研究方面,美国、法国、瑞典等近十个国家的科学家每年都在美国的 Florida 州国际雷电研究基地进行人工引雷实验,这种实验可以加强对雷电物理和雷击机理的认识,同时还可对不同类型的防雷设备进行检验、对高压线及特种设备进行雷击实验。日本每年冬季也在北陆地区进行人工引雷实验,主要目的是搞清楚造成严重灾害的正极性雷电的放电机理,并提出有效的防护措施;2005 年起日本计划在雷电多发区澳大利亚北部的达尔文建立长期的国际观测试验站,对全球和局地雷暴和雷电进行常年监测和研究。

我国雷电研究自 20 世纪 80 年代以来也有了很大进展。中国科学院寒区旱区环境与工程研究所雷暴云电结构、雷电电磁辐射、人工引发雷电技术及其应用等方面进行了深入的研究,取得了一系列重要成果,并在国际上具有一定的特色和地位;并与广东电力试验研究所合作,于 1998~2000 年在广东进行了人工引雷对防雷设施的检验和试验,取得了可喜的研究成果。中国气象科学研究院、中国科学技术大学等单位在雷电探测技术和资料应用方面也进行了一定的研究。但总的来讲,与发达国家相比,我国在经费的投入、综合探测手段的应用、资料的积累及研究队伍等方面都远落后于发达国家,特别是高时间分辨率闪电探测、雷暴探空(电场和常规气象要素)、卫星闪电探测、多参数雷达的同步观测以及综合资料的获取和应用方面差距很

大。从事雷电基础研究的力量也明显不足,与我国日益增长的雷电防护需求相比是十分不相适应的。从雷电研究自身来讲,与其他学科相结合的交叉研究也十分欠缺,国内至今尚没有组织一次与相关学科联合的大型观测试验。而实际上强对流天气系统中的动力-微物理-电过程存在明显的耦合和相互影响,对它们的综合观测试验和研究,对中小尺度天气灾害机理的认识和灾害防治是十分重要的。

尽管覆盖全国的雷电监测网尚未建成,但由于实际业务需求,国家和省级气象业务部门仍利用目前已建成的区域雷电监测系统开展雷电的监测和分析预报,并向公众和一些专门用户提供服务。除通过直接监测雷电进行预报外,也可利用其他手段进行间接监测和分析。雷电的发生与大气强对流系统密切相关,利用这一特征,可以通过对雷达、卫星等资料的分析来判断是否有强对流天气发生,从而确定是否存在雷电发生的条件。但这种方式显然不如直接利用雷电监测信息有效,特别是根据雷电发生原理,往往在强对流天气出现之前,一些云闪就先发生了,如能提前发现这一现象,则对预测强对流天气本身具有价值。通过观测分析可以发现:当强风暴中出现较多云闪时,意味着会产生较大降雹;在风暴发展阶段,当出现较多正地闪时,通常伴有较大冰雹出现,且降雹多出现于正闪峰值附近。因此通过对雷电的监测会有助于对冰雹的监测预测。同样,在一些风暴中一旦出现正地闪,且频数较高时,则很有可能出现龙卷。雷电与台风中的强对流系统的分布结构也有一定关系,因此可以将雷电活动作为一个很好的指标,利用雷电频数预测台风中强对流的发展。随着国家雷电监测网的逐步建立和完善,直接利用雷电监测资料,与雷达、卫星等系统相结合,将会对提高雷电和其他强对流天气系统监测预测水平提供有力支持。

4 国家雷电监测网建设的初步设想

近期规划建设国家闪电监测网,将主要以二维闪电监测为主,在部分地区布设三维闪电监测系统。通过高速网络系统收集各闪电探测子的数据,进行集中综合分析加工处理,形成各种应用产品,分发给全国用户共享。因此,该系统可分为闪电监测网分系统、信息传输分系统、加工应用分系统三大部分。监测网主要包括近300个二维闪电探测子和若干个三维闪电探测子站(见图2),探测子站的布设空间距离一般为100~200km。获得的闪电探测资料经过广域网传至省(或区域)级资料处理中心数据库和国家级闪电资料处理中心数据库,并按照一定的算法得到相关闪电定位产品;同时和其他气象资料一起进行综合处理与分析,获得闪电防护和灾害性天气预报预警服务产品^[9]。这一系统的建设,将增强气象业务部门对强对流等灾害性天气的监测预测能力,为广大用户提供有效、优质的服务。

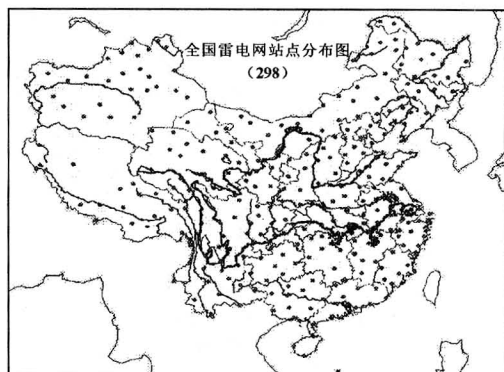


图2 全国雷电网站点分布图

雷电可以造成严重的灾害,同时,对雷电的研究也是国际前沿科研领域的重要问题之一。目前无论是对雷电的监测,还是对各种不同类型的雷电发生机理的掌握,包括雷电在不同天气系统中的发生发展和消亡规律,以及雷电的防护等,都有大量问题有待于深入细致的分析研究,以及开展系统的、有针对性的科学试验。只有如此,才有可能对雷电现象有比较充分的认识。

参考文献

- 1 全国闪电监测应用系统总体方案,中国气象局总体规划研究设计室,2004年7月.
- 2 中国气象学会.第三届全国雷电物理、监测和防护科学讨论会文集,北京,2001.
- 3 王道洪,郗秀书,郭昌明等.雷电与人工引雷.上海:上海交通大学出版社,2000.
- 4 国家自然科学基金委员会地球科学部等.21世纪初大气科学回顾与展望.北京:气象出版社,2000.
- 5 Dimensions thunderstorm hazards nowcasting system. Dimensions Co Confidential Document, 1998.
- 6 中国气象学会.第三届全国雷电物理、监测和防护科学讨论会文集,北京,2001.
- 7 Cummins K L, et al. A Combined TOA/MDF Technology Upgrade of the U. S. National Lightning Detection Network. J of Geophysical Res, 1998, D8: 9035—9044.
- 8 中国气象局政策法规司.2003年雷电灾害分析报告.
- 9 全国闪电监测应用系统建设总体方案.中国气象局总体规划研究设计室,2004年7月.

Lightning Induced Disasters and Its Detecting and Forecasting

Xu Xiaofeng

(China Meteorological Administration, Beijing 100081)

Abstract

Lightning is a natural phenomenon that may causes heavy casualties and serious economic losses. Therefore, it is of important social, economical, and scientific value to detect the lightning effectively. The mechanism of lightning and its influence, several kinds of detecting techniques and the research work in this field are introduced and analyzed in this article. The proposed national lightning detecting system also briefly described.

Key Words: lightning detecting forecasting technical analysis system construction