

阳宏声,植耀玲,伍华丽. 广西雷电综合监测预警技术在气象防灾中的应用综述[J]. 气象研究与应用,2020,41(4):114-119.

Yang Hongsheng, Zhi Yaoling, Wu Huali. Application of lightning comprehensive monitoring and early warning technology in meteorological disaster prevention in Guangxi[J]. Journal of Meteorological Research and Application,2020,41(4):114-119.

广西雷电综合监测预警技术在气象防灾中的应用综述

阳宏声, 植耀玲, 伍华丽

(广西壮族自治区气象灾害防御技术中心, 南宁 530022)

摘要:回顾了2001年以来广西雷电监测预警服务系统的建设历程,简述雷电预警预报技术、雷电活动规律等方面的研究进展,以及在雷电公共服务、专业服务中的应用,指出广西雷电综合监测预警技术未来的重点研究方向。

关键词:雷电监测;预警预报;雷电活动规律;雷电服务

中图分类号: P427.32⁺1 **文献标识码:** A **doi:** 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2020.4.17

OSID:



引言

广西地处低纬度亚热带地区,境内河流纵横交错,南部濒临北部湾,水汽充沛,太阳辐射强烈,有利于对流运动的发展。广西地势略从西北向东南倾斜,西北部属云贵高原,东北部属南岭山地,中部为大瑶山、大明山所盘踞,南部有云开大山、六万大山、十万大山等山脉,这些地形条件对于气流的水平运动有动力抬升作用,有助于雷雨云的发生和发展。所以,广西是我国雷电活动最频繁的地区之一。

雷电作为对流性天气所产生的主要灾害之一,由于其成灾迅速而给其监测、研究、预报和防治带来了极大的困难。对雷电的监测预警,过去主要是靠地面气象站人工观测,后来是雷达。但人工观测受听力和视力的限制,观测距离有限,雷达是间接观测,都有局限性。在上世纪九十年代,闪电定位系统和大气电场仪等雷电观测设备开始广泛应用,雷电监测预警进入新的时代。广西也跟上新技术的发展,于2001年开始建设雷电监测定位系统,历经三代技术的发展,2016年建成由三维闪电定位网、大气电场监测网、雷电流监测网和雷电监测预警服务系统组成的雷电综合监测网体系。本文回顾了广西雷电监

测网建设的历程,综述在雷电预警预报技术研究、雷电活动规律研究、雷电服务与应用等方面的进展,提出未来研究的方向。

1 广西综合闪电监测系统

1.1 闪电探测技术

云闪和云地闪发生时辐射频谱范围极广的电磁场,在初始击穿和通道建立过程中(对应先导和流光过程)主要辐射VHF,当在电离后的通道中产生强电流时(对应云地闪回击过程和云闪活动态)主要辐射LF和VLF。在地电离层波导中,VHF以射线方式传播,辐射范围较小,一般为百公里量级;LF/VLF以地波方式传播,可以传播到较大的范围,一般为千公里以内,特别是VLF借助于电离的反射可以传播到很远的地方(数千公里)甚至全球。因此可以在不同的距离上,采用不同的天基和地基方法,探测闪电过程^[1-2]。

天基探测主要是卫星,有二种方法:光学(如风云四号卫星)、VHF。

地基探测主要有闪电定位系统和大气电场仪。闪电定位系统^[1-3]通过探测闪电过程产生的电磁波,能够确定时间、雷击点经纬度、电流强度、陡度、极

收稿日期:2020-11-01

基金项目:广西气象科研计划项目(2017M12)

作者简介:阳宏声(1962—),男,学士,正高级工程师,主要从事雷电监测预警、防雷检测、雷电防护技术研究等工作。E-mail: gxflzxyhs@sina.com

性等参数,可以对已经发生的闪电进行监测,误差小。闪电定位系统按定位结果可以分为二维和三维闪电定位系统,二维闪电定位系统只能定位雷击点的经纬度,三维闪电定位系统除经纬度外,还有雷击点的高度。地面大气电场仪(场磨仪)测量雷云下方地面的大气电场的极性、强度及变化,可以对将要发生的闪电发出预警,将多台场磨仪的数值信息传送至中央处理机综合处理,可以作出场区等值线图形,较准确地定出雷暴中电荷的数量、分布、运动情况。

1.2 闪电定位网

2001年,广西壮族自治区人工影响天气办公室安装了信息产业部第22研究所的XDD03型雷电监测定位系统,雷电探测中心站为南宁吴圩,其余分别在玉林、桂林、柳州、河池、百色、钦州、贵港设有副站系统。2003年,南方电网公司安装了中国科学院空间中心ADTD型二维雷电监测定位仪(IMPACT法),共有玉林、桂林、柳州、百色、梧州、南宁、贵港、河池、贺州、崇左、大化、北海等12个雷电探测站。2009年,广西气象部门建立了由11个中国华云公司的ADTD型二维雷电监测定位仪,分别位于马山、北海、桂林、河池、贺州、柳州、梧州、玉林、百色、贵港和宁明,基本形成了监测范围覆盖全区的广西闪电定位监测网(二维)。

1.3 大气电场监测网

2009年底,自治区防雷中心分别在南宁市新竹路、吴圩、邕宁、石埠镇、那马镇、四塘镇、体育中心布设了7个场磨仪式地面大气电场仪探测点,建成了基本覆盖南宁市各城区的大气电场监测网,2012年探索研发“广西雷电预警预报服务系统”,纳入了广西气象“十二五”规划,广西雷电监测网基本成型。

1.4 广西综合雷电观测网

“十三五”期间,广西升级、扩建深度覆盖全区的“三维闪电定位网”、“大气电场监测网”、“雷电流监测网”,按照信息化、集约化、网络化、智能化的要求,继续升级广西雷电监测预警服务系统,2016年建成以“三网一系统”为主要内容、监测手段自动化的雷电综合监测网体系,包括20个ADTD-2C型三维闪电定位仪(基于LF/VHF)、232个大气电场仪、60个雷电流监测仪。20个三维闪电探测仪,分别位于南宁、北海、梧州、来宾、全州、三江、永福、富川、陆川、桂平、东兴、龙州、那坡、隆林、田阳、天峨、环江、都

安、横县、蒙山。按照大约150km的距离布设,探测范围覆盖全区,以及南海部分区域和部分东盟国家。通过接收闪电回击辐射的VLF/LF脉冲信号,采用TOA定位方法,一次闪电定位至少四个探测仪参与,实现闪电VLF/LF辐射源的时间、位置(经纬度)、高度、电流强度及极性等主要参数的三维定位,系统既能探测云地闪又能探测云闪,其水平探测精度在500m以内,垂直探测精度在1000m以内。大气电场仪(场磨仪式)232个,按照探测半径15km设点,覆盖市区和县城、重点乡镇和工业区、重要旅游景区、重点服务场所和区域,大气电场探测范围 $\pm 100\text{kV/m}$,精度为 10V/m 。60个雷电流监测仪,覆盖重要的雷击高发区,探测范围 $100\text{kA}\pm 10\%$ 。

广西雷电监测预警服务系统,对三维闪电、大气电场、雷电流峰值、雷达回波、卫星云图、数值预报等观测资料以及雷电灾害数据进行处理、统计、查询,生成实时监测和历史数据等雷电监测预警预报产品,在GIS地图叠加显示,并向用户发布。广西雷电综合监测网的观测数据接入全国综合气象信息共享平台(CIMISS),实现雷电资料 and 产品的共享。

2 雷电预警预报业务与技术研究

2.1 广西防雷减灾业务服务平台

广西壮族自治区防雷中心于2014年建设了广西防雷减灾业务服务平台,具有气象信息共享、雷电监测预警、防雷公共服务、雷电灾害风险评估、防雷减灾管理、雷电业务综合管理、视频会商等七大业务服务功能,区一市一县三级联网,信息资源共享,实现雷电业务服务管理工作现代化、标准化、规范化和程序化,提高了广西防雷社会管理能力和公共服务水平。依托广西防雷减灾业务服务平台,广西壮族自治区防雷中心先后研发广西雷电监测预警服务系统、广西防雷监管平台、广西智能化雷电预警服务定制平台。

2.2 雷电预警预报技术研究

雷电预警预报的常用思路是,基于闪电定位仪、大气电场仪、气象卫星、天气雷达等设备的实况监测资料,实现对雷暴系统的识别,在此基础上,利用外推技术作出雷电发生落区、时间和强度的预报。侯荣涛等^[4]基于闪电定位预警技术研究,提出基于改进DBSCAN聚类算法(IDBSCAN)进行闪电聚类分析,拟合核心地闪点移动路径,预报下一时刻核心地闪点落区。基于天气雷达资料的临近预警技术作为目

前较成熟的技术体系,国内外的气象学者提出了两大类雷电预警方法,一类是分析与闪电资料对应的回波物理量,提取闪电发生的阈值参数^[5-9];另一类是基于非线性外推技术实现对雷暴系统外来发展趋势的预测。姚叶青等^[10]利用风暴识别追踪技术(SCIT),匹配雷电集中区并临近外推落区。林铍德等^[11]在研究雷达回波强度、回波顶高和垂直积分液态含水量参数的基础上用非线性数学模式实现外推。业务上常用大气电场资料实现雷电预警:(1)利用多个大气电场仪探测地面大气电场,反演可得到雷云强电荷中心的强度、极性和分布,定位雷雨云并预警^[12-14];(2)设定多级报警阈值,地面大气电场探测值超过阈值时分级警报。影响大气电场测量的因素较多,单一使用常常容易错报和漏报^[14];(3)分析电场资料时间序列得到雷暴不同阶段的电场频域特性,建立雷电预警判别标准^[15]。也有学者提出基于气象卫星资料的预警技术,吕伟涛等^[16]采用双阈值,对雷暴区域进行识别、跟踪和预测。

单一资料应用有局限性和不确定性,如闪电定位资料实时性好但提前时间有限,且分布较离散;地面电场资料实时性好但单站预警区域范围有限;雷达资料时空分辨率好但依赖降水粒子形成才有较强回波;卫星资料空间尺度大但时空分辨率较粗。因此,多元数据融合进行雷电临近预警能起到很好的互补作用^[17-19]。香港天文台闪电临近预报系统^[20],融合了闪电定位系统、多普勒天气雷达和大气电场仪等资料,可以提供在短时间内探测到的闪电信息和未来 30min 出现闪电的概率。中国气象科学研究院研发的雷电临近预警系统(CAMS-LNWS)综合利用雷达、卫星、闪电监测系统、地面电场仪和探空仪等的观测资料,生成雷电活动潜势预报结果和雷电临近预警结果^[16]。

多种观测资料的综合应用可以弥补单一资料观测测范围小、分辨率粗等缺点,有效提高雷电预警的准确率,但雷电活动本身的特点是非常复杂的,地域性差异大是造成该类方法的瓶颈,需要结合本地化的观测资料建立更加合理、有效的预警方法。广西依托雷电综合监测网监测范围广而全、监测要素多的优势,开展多种应用^[21]。研发广西雷电实时监测预警系统^[22-23]、大气电场雷电预警系统^[24]。广西气象台研发短时临近天气预警集约化业务系统^[25],通过对自动站、雷达、卫星、闪电定位仪等探测资料的实时监测,综合分析有利于灾害天气发生发展的条件,利用

计算机自动识别或人机交互识别的方式识别灾害天气并采用远程推送技术进行报警和提示,实现灾害天气实况的自动识别和报警。广西短时临近预报技术创新团队利用闪电定位密度、大气电场强度、雷达回波强度、回波顶高和垂直液态含水量识别雷暴云,通过 TITAN 外推法做逐 6 分钟闪电落区预报,推送到广西短时临近一体化平台发布。广西气象台周云霞利用广西二维和三维闪电定位系统观测资料、大气电场仪资料,结合 WS 报、高空观测资料、自动站资料、SWAN 雷达拼图资料,开展“多源资料融合的雷电智能网格化预警技术研究与应用”研究,建立了雷电临近客观预警模型及雷电监测预警系统,针对广西冰雹、雷雨大风、暴雨三种类型强对流天气系统,生成基于高时空分辨率的雷电预警网格产品,通过雷电预警发布平台,实现网格到重点区域雷电预警信息的靶向发布。

2.3 雷电活动规律研究

覃卫坚等^[26]、吴恒强^[27]利用广西 90 个地面气象站的雷暴日资料分析了广西的雷暴活动特点,广西年平均雷暴日沿海一带为 90d,桂西北内陆地区 60d,最多为南部临海的东兴市 105d,最少是桂西北的天峨县和南丹县 54d。广西的年雷暴日与毗邻的广东相近,比湖南、贵州、云南等省多 20-30d,比内陆的陕西、河南等省多 40-50d。

张正国^[28]、卢炳夫^[29]、阳宏声^[30]等利用闪电探测资料,对广西的雷电活动规律进行研究,从而得到广西的闪电空间分布、时间分布、密度分布(图 1)、器测雷暴日、云闪比、电流强度分布、雷电与地理环境的关系等相关数据。2017—2018 年广西多数地区的三维总闪电(包括云闪和云地闪)年平均密度为 8~16 次·km⁻²·a⁻¹;秋、冬季的云闪比大于 50%,冬季

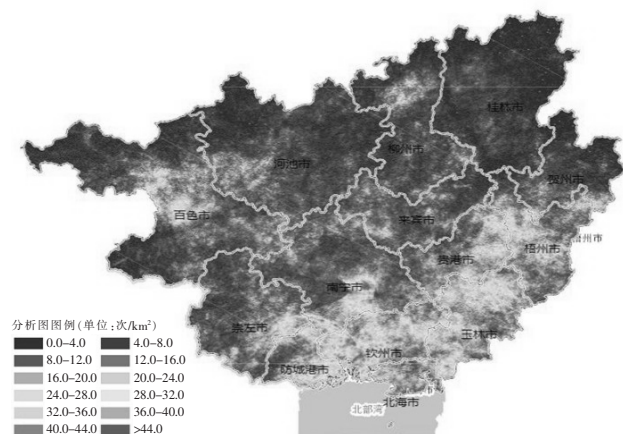


图 1 2017—2018 年广西三维总闪电年平均闪电密度分布图

的正闪比大于 50%;全年各月均有闪电发生,5—9 月是广西闪电发生集中期,闪电频次日变化呈单峰分布,主峰发生在 13—20 时之间;雷暴日部分地方超过 220d,比人工观测值明显偏大;云地闪的电流强度主要在 5~35kA 之间,大部份地区的单位面积闪电电流强度值在 25~30kA·km⁻²·a⁻¹ 之间。

林开平等^[31]对各类云系的闪电时空分布特征进行研究,陈锐等^[32]对柳州市强对流暴雨的闪电和雷达回波特征及相关性进行研究,梁维亮等^[33]、黎梓华^[34]研究了雷达回波与广西强雷电天气的关系,植耀玲等^[35]对桂林地闪时空分布特征及地形影响进行分析,吴量等^[36]对河池市闪电活动与下垫面植被类型关系进行研究,张瑞波等^[37]对雷电探测资料在人工影响天气作业中的应用进行研究,韦增岸等^[38]对广西冰雹云闪电变化特征分析及其防雷应用进行研究。

3 雷电监测技术在气象防灾减灾救灾的应用

3.1 雷电公共服务

从 2007 年开始,广西壮族自治区防雷中心根据雷电监测、预警预报和雷电灾害等综合分析,发布全区雷电监测日报、气象服务参考—重大雷电天气过程监测分析、全区一周雷电活动综述、广西雷电监测月报、年度广西雷电公报等。2016 年发布雷电天气实况监测参考、重大雷电天气过程专报、雷电监测公报、雷电气候统计、雷电专业预警服务、雷电灾害调查鉴定收集等 6 大类业务服务产品,建成广西公共雷电服务体系。雷电预警预报产品包括实时监测产品、雷电预警预报产品、历史统计查询产品,涵盖闪电定位、大气电场、雷电预警预报。雷电实时监测产品:闪电定位、大气电场的雷电监测实况,以及逐 6min、逐 30min、逐 60min 的监测实况统计图。雷电预警预报产品有雷电天气落区预报、雷电活动发生概率预报、重点区域雷电危险度等级预警,以及雷电活动区域发展移动趋势预警,包括 24~48h 短期预报、3~12h 雷电短时预报、1~2h,30min,5~15min 临近预报。历史统计查询产品有雷电天气过程总结、周报、月报、年报。雷电预警预报产品均可以通过广西气象业务内网、广西气息信息综合显示平台、CIMISS 平台获取。

2018 年,广西建成了多要素全覆盖的“广西乡村雷电监测预警服务系统”,实现了雷电基本业务规范化常态化,将各类雷电监测、预警预报产品,通过

短信、电话、电视、微信微博、手机 APP、网页、多媒体等渠道提供给相关用户或者公众。开展智慧化乡村雷电专项预警服务,通过 27000 名乡村气象信息员、12000 套乡村大喇叭、1000 多块电子显示屏实时发送雷电专项预警信息。开展“校园雷电专项预警公共安全服务”,受惠师生 380 多万人。广西雷电灾害防治体系和防治能力现代化水平步入了全国先进行列。

3.2 雷电专业服务

广西壮族自治区防雷中心围绕重大工程防雷专业服务,应用数据挖掘等技术,基于广西雷电综合监测网,利用雷达、卫星、三维闪电定位系统和大气电场等多源资料,建立多源数据融合的雷电预警模型。开发智能化雷电信息共享技术,建设广西雷电监测预警服务系统,建成互联网服务及产品发布体系,基于用户位置,实现向乡村气象大喇叭、“晓天气”APP、气象显示屏、短信、手机网站、微信客户端推送雷电实时监测产品和雷电预警产品,实现了“点对点”直通式精细化服务。为大藤峡水利枢纽工程项目、钦州广西华谊能源化工有限公司、中国石化销售广西石油分公司、南宁地铁、全区博物馆及文物建筑、大型室外主题乐园等防雷敏感行业和重大项目,提供个性化的防雷专业服务,受惠的有几十家施工企业、1300 多个加油站、南宁市地铁、全区 100 多个重要文物(博物)场馆。

3.3 雷电灾害隐患排查和风险治理

3.3.1 雷电灾害风险评估和雷电灾害调查鉴定

广西气象部门建立完善全区雷灾数据库,利用雷电监测资料和相关气象观测资料,结合各地雷电灾害状况、防雷安全装置现状,对防城港千万吨钢铁基地、“西气东输”广西段、南宁机场、南宁地铁、广西 LNG 储运项目、桂林油库等大型建设工程、重点工程、爆炸危险环境等建设项目进行雷击风险评估,确保公共安全。为各地区工业园区、开发区进行区域气候可行性论证。广西各级气象部门在对雷电灾害事故进行调查鉴定时,闪电定位系统得到闪电的时间、雷击点位置、雷电流强度等,对分析雷灾的性质、强度、成因等起到关键作用。

3.3.2 雷电易发区域及其防范等级划分

郭媛等^[39]开展了基于层次分析法的广西雷灾风险区划研究。2020 年,广西壮族自治区防雷中心开展了“广西雷电易发区域及其防范等级划分”工作,划分了精确到乡镇的雷电易发区域等级,提出相应

雷电防护措施。

4 结论与展望

广西在雷电监测网建设、预警预报技术研发、防灾减灾救灾应用方面取得了一些成就,主要有:建成由三维闪电定位网、大气电场监测网、雷电流监测网和广西雷电监测预警服务系统组成的雷电综合监测网体系。开展广西雷电活动规律研究,开发了6类21项业务服务产品,开展“校园雷电专项预警公共安全服务”,研发多源数据融合的雷电临近客观预报技术,提供个性化的防雷专业服务。

广西尽管在雷电监测网建设、雷电公共服务和专业服务方面取得了一些成绩,但在雷电预警预报技术、雷电理论研究等方面还存在许多不足,不能满足业务需求,需要在以下几个方面加强研究:

(1)雷电基础理论研究。利用闪电探测资料,对雷云的电荷中心位置、预击穿过程的起始和发展、先导的发展过程和极性、回击电流波形、回击次数、闪电过程的大气电场变化等进行研究。

(2)雷电预警预报方法研究。在传统气象资料、雷达回波及卫星云图资料基础上,加入闪电定位、大气电场数据,除外推法,如何建立雷电诊断分析方法,建立基于中尺度数值模式嵌套的雷电预报模式和各种统计、经验模式相结合的综合雷电预报方法。

(3)雷电服务技术研究。开展基于用户位置、针对不同用户特点和需求,研究个性化、精细化的定时定点定量的雷电监测及短期、短时临近预报产品。开展基于5G的“互联网+”,多渠道、多方式、多时刻的大众普及及个体靶向智慧化发送雷电服务技术研究,实现雷电产品智能发送。

(4)雷电防护关键技术研究。雷电灾害是雷电的强大电磁场和电流与物体相互作用的物理过程和效应,利用多种先进的观测设备,对自然雷电产生的电、磁、光及其衍生物进行深入的观测研究,围绕雷电发生、雷击过程及其防护等基础理论开展研究;为雷电防护新方法和新技术的发展以及雷电防护标准体系的研究、建立提供可靠的实验依据和理论基础。研究区域雷电灾害风险评估技术,以及雷电监测数据在气候可行性论证中的应用。

(5)闪电观测。目前闪电观测业务工作已经取消人工观测,研究如何利用闪电探测系统实时资料取代现有的人工观测。进一步升级改造雷电监测网,获取精密闪电全波形数据。开展风云四号卫星雷电探

测数据应用研究。

(6)雷电监测网技术保障。建立雷电观测站网监控系统,建立备件储备,及时掌握各种雷电监测站网探测设备运行状况,及时维修故障设备,保障雷电监测系统的正常业务运行。定期开展雷电探测数据探测效率和精度,以及各种探测设备的可靠性稳定性评估。

参考文献:

- [1] 马启明.从地面到卫星的雷电探测方法评述[C].第三届全国雷电物理、监测和防护科学讨论会论文集,2001:52-55.
- [2] 马启明编著.雷电监测原理与技术[M].北京:科学出版社,2015.
- [3] 虞昊,臧庚媛,等编著.现代防雷技术基础[M].北京:清华大学出版社,1995.
- [4] 侯荣涛,朱斌,冯民学,等.基于DBSCAN聚类算法的闪电临近预报模型[J].计算机应用,2012,32(3):847-851.
- [5] 蔡晓云,宛霞,郭虎.北京地区对流云天气闪电特征及短时预报[J].气象,2003,29(8):16-20.
- [6] 魏雪.基于天气雷达资料的闪电监测和预警研究[D].南京信息工程大学,2011.
- [7] 彭丽英,万齐林,王谦谦,等.广东中部地区雷电和CINRAD雷达回波的统计关系[J].热带气象学报,2007,23(2):171-176.
- [8] 石玉恒.雷暴雷达回波特征与闪电活动的相关关系[D].北京:中国气象科学研究院,2011.
- [9] 吴量.闪电定位资料和雷达资料等在雷电预警预报中的应用研究[D].南京信息工程大学,2012.
- [10] 姚叶青,袁松,张义军,等.利用闪电定位和雷达资料进行雷电临近预报方法研究[J].热带气象学报,2011,27(6):905-911.
- [11] 林铍德,支树林,罗树如.雷电落点和强度临近预报方法初探[J].气象与减灾研究,2007(4):61-64.
- [12] 陈瑶.雷电监测预警系统[D].北京:中国科学院研究生院,2006.
- [13] 孟青,吕伟涛,姚雯,等.地面电场资料在雷电预警技术中的应用[J].气象,2005,31(9):30-33.
- [14] 王强,王建初,顾宇丹.电场时序差分在雷电预警中的有效性分析[J].气象科学,2009,29(5):657-659.
- [15] 李颖.大气电场资料时频分析及在短时临近雷电预警中的应用[D].南京信息工程大学,2012.
- [16] 吕伟涛,张义军,孟青,等.雷电临近预警方法和系统研发[J].气象,2009,35(5):10-17.
- [17] 王振会,徐栋璞,曾庆锋,等.利用地面大气电场和雷达资料进行雷电临近预报方法[J].科技导报,2012,30(14):42-48.

- [18] 罗林艳,祝燕德,王智刚,等.基于大气电场与闪电资料的雷电临近预报方法[J].成都信息工程学院学报,2010,25(5):524-530.
- [19] 罗树如,毛连海,胡新华.雷电落点概率和强度预报方法初探[J].气象与减灾研究,2008,31(2):65-69.
- [20] Li P W, Lau D S. Development of a lightning nowcasting system for Hong Kong international airport [R]. 13th Conference on Aviation, Range and Aerospace Meteorology, New Orleans, Louisiana, USA, 2008.
- [21] 林为东,阳宏声.雷电探测网资料的应用与管理维护[J].气象研究与应用,2007,28(S3):23-24,5.
- [22] 史彩霞,林为东,邓英姿,等.基于 GoogleMaps 的 WebGIS 广西雷电实时监测定位系统的设计和开发[J].计算机应用研究,2011,28(S):468-470.
- [23] 史彩霞,钟利华,刘世学.WEBCIS 技术在广西雷电实时监测上的应用[J].成都信息工程学院学报,2007,22(4):526-530.
- [24] 劳炜,林为东,阳宏声.南宁市大气电场雷电预警系统的原理及应用[J].气象研究与应用,2012,33(4):80-82.
- [25] 曾小团,黄海洪,黄荣成,等.短时临近天气预警集约化业务系统研究[J].气象与环境科学,2017,40(3):125-132.
- [26] 覃卫坚,寿绍文,王咏青,等.广西雷暴分布特征及灾害成因分析[J].自然灾害学报,2009,18(2):131-138.
- [27] 吴恒强.广西雷暴活动特点分析[J].热带地理,2004,24(2):123-126.
- [28] 张正国,邓宁文,刘丽君.广西地区闪电时空分布特征分析[C].26 届中国气象学会年会人工影响天气与云雾物理新技术理论及进展分会场论文集,2009:287-294.
- [29] 卢炳夫,植耀玲,陈丹,等.广西 VLF/LF 和 ADTD 闪电定位系统对比分析[J].气象研究与应用,2020,41(2):39-44.
- [30] 阳宏声,卢炳夫,植耀玲,等.广西三维闪电特征分析[J].气象研究与应用,2020,41(3):43-48.
- [31] 林开平,林宗桂,易燕明,等.各类云系的闪电时空分布特征[J].热带气象学报,2005,21(4):382-392.
- [32] 陈锐,刘洲荣.柳州市强对流暴雨的闪电和雷达回波特征及相关性研究[J].气象研究与应用,2016,37(2):38-41.
- [33] 梁维亮,屈梅芳,赖珍权,等.广西地区一次强雷暴天气过程雷达特征及环境场分析[J].气象与环境学报,2016,32(3):10-18.
- [34] 黎梓华.影响广西的强雷电天气启动机制对比研究[J].气象研究与应用,2012,33(3):83-86.
- [35] 植耀玲,贲维芬,杨召绪.基于 LLS 的桂林地闪时空分布特征及地形影响分析[J].低碳世界,2018(180):357-358.
- [36] 吴量,郭媛,向青才.河池市闪电活动与下垫面植被类型关系分析[J].气象研究与应用,2019,40(1):62-44.
- [37] 张瑞波,刘丽君.雷电探测资料在人工影响天气作业中的应用研究[J].气象研究与应用,2008,29(4):42-44,55.
- [38] 韦增岸,何飞,周光源,等.广西冰雹云闪电变化特征分析及其防雷应用[J].气象研究与应用,2015,36(4):38-44.
- [39] 郭媛,吴量,何宽,等.基于层次分析法的广西雷灾风险区划[J].气象研究与应用,2018,39(2):108-113.

Application of lightning comprehensive monitoring and early warning technology in meteorological disaster prevention in Guangxi

Yang Hongsheng, Zhi Yaoling, Wu Huali

(Guangxi Meteorological Disaster Prevention Technology Center, Nanning Guangxi 530022)

Abstract: This paper reviewed the construction process of Guangxi lightning monitoring and early warning service system since 2001. The research progress of lightning early warning and prediction technology, as well as lightning activity law was briefly described. The application in lightning public service and professional service was reviewed, and the key research direction of Guangxi lightning comprehensive monitoring and early warning technology in the future was pointed out.

Key words: lightning monitoring; early warning and forecasting; lightning activity law; lightning service