

农孟松,黄荣,黄明策,等. 广西强对流天气业务与研究进展[J]. 气象研究与应用,2020,41(4):28-33.
Nong Mengsong, Huang Rong, Huang Mingce, et al. Operation and research progress of severe convection weather in Guangxi [J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2020, 41(4): 28-33.

广西强对流天气业务与研究进展

农孟松, 黄 荣, 黄明策, 翟丽萍, 梁维亮, 赖珍权
(广西壮族自治区气象台, 南宁 530022)

摘要: 总结了广西强对流天气业务和研究进展,其中重点介绍广西强对流天气业务发展的技术支撑,包括新监测资料应用、数值预报应用的主要技术方法研发和专业化业务系统的建设,此外还分析了目前存在的问题和面临的挑战,并提出广西强对流业务与研究的未来发展方向和主要任务。
关键词: 广西强对流;研究和业务;进展
中图分类号: P42 **文献标识码:** A **doi:** 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2020.4.05 **OSID:**



引言

强对流天气主要包括雷暴大风、冰雹、短时强降水、雷电和龙卷等天气现象。其中,短时强降水指 1h 降水量达到或超过 20mm 的降水;雷暴大风是指伴有雷暴且风速达到或超过 $17.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (8 级)的对流性大风。

广西地处低纬度地区,北依南岭山脉,西有云贵高原,北回归线横贯中部,热量丰富;距南海、印度洋和孟加拉湾都较近,濒临北部湾,水汽丰沛。这些自然地理环境给强对流天气的发生发展提供了有利的热力和动力条件。广西强对流天气一年四季都可以发生,春末夏初主要以雷暴大风、冰雹和雷电为主,季风爆发后主要以短时强降水、雷电为主,偶有龙卷发生。强对流天气具有突发性和强度强的特点,对城市和农村安全具有高的影响力和大的破坏性。因此,做好强对流天气的监测分析和预报预警非常重要。2000 年以来,广西强对流天气业务与研究取得了一定的进展,本文将对其进行以下几个方面回顾和总结。

1 广西强对流天气业务进展

二十世纪 80、90 年代至二十一世纪初,强对流

天气业务属于中短期天气预报的一部分。广西强对流天气监测、联防和预警,在二十世纪 80 年代主要由 711 雷达负责,90 年代以后南宁和北海逐渐升级改造为 714 雷达,其它地市升级为 713 雷达负责,自治区气象台对强对流天气的关注,更多的是基于天气尺度过程的潜势指导预报,对外发布的强对流天气预报仅在每日定时发布的广播稿信息中以“雷阵雨、局部有冰雹或短时雷雨大风”等文字描述。市县的强对流天气预报业务主要以雷达责任区来划分发布未来三小时临近预报,并开展联防。1982 年由中国气象局提议,为防范西江流域强对流天气开展联防,2006 年最大范围时有广州中心气象台、广州市气象台和梧州、肇庆、云浮等市气象局共 14 个单位参与省际联防业务,至今每年仍有西江流域强对流天气联防预报技术交流会,由参加联防单位轮流承办。

1.1 强对流天气专业化业务初步建立

广西新一代天气雷达网和区域加密自动站建设,为自治区级实时开展强对流监测和预警提供技术支撑作用。为提高天气预报准确率和精细化专业水平,根据中国气象局和自治区气象局的部署,2009 年 7 月,自治区气象台成立短时临近预警中心,开展强对流天气业务,标志着广西强对流天气业务向专

收稿日期: 2020-11-09
基金项目: 广西自然科学基金项目(2018GXNSFBA281178)(广西短时临近预报技术创新团队)
作者简介: 农孟松(1965—),女,正研级高工,主要从事灾害性天气预报和研究工作。E-mail:nmsong1997@163.com

业化的方向迈进。短时临近预警中心负责跟踪监测全区范围内强对流天气、组织开展全区短时临近天气预报会商、区域联防和为下级台站提供预报预警支撑产品,并实现每天4次发布6h内雷暴和强降水两类强对流天气落区预报产品。县级逐步完善了强对流天气预警信号发布的业务流程。全区初步建立了业务流程清晰、岗位职责明确的强对流天气业务体系。

1.2 强对流天气监测和短临预报业务迅速发展

精细化的监测手段促进了强对流天气监测业务的迅速发展。2004年开始,具有多普勒监测功能的新一代天气雷达开始建设;2012年,桂林、柳州、河池、百色、南宁、梧州和北海等市7部新一代天气雷达建成并完成产品上传拼图,探测范围覆盖整个广西全境及邻省相邻地区,有效提高强对流天气监测能力,基于雷达产品的强对流天气主观、客观识别技术方法开始应用于业务中,标志着广西强对流监测和短临预报业务开始进入快速发展阶段;到2020年,广西已经布设了10部多普勒天气雷达,其中北海新一代天气雷达已经完成双偏振功能改造并投入业务运行,其在强降水估测、冰雹识别等方面有明显应用效果;随着广西现代气象业务建设,2020年地面区域自动站建设达到2800多个站点,包含风向风速的4要素以上的站点也有1000余个,加密自动站建设提高对大风监测能力;近年来,我国气象卫星探测技术的发展,历经了风云二号D星、E星、F星、G星组成双星业务系统,对我国和周边地区的天气系统进行了有效的监测,可以15min间隔获取一幅云图。2018年风云四号卫星发射成功,每6min获取一幅云图,为强对流单体初生监测提供更有效的手段。大大提高了对中小尺度天气系统的监视能力。风廓线雷达、GPS水汽以及微波辐射计等资料也在强对流天气的监测分析中发挥了越来越重要的作用。

监测手段迅速发展也促进了强对流天气短时临近业务能力的提升。2016年开始自治区气象台增加了冰雹、雷雨大风、龙卷等三类强对流天气的落区预报。随着客观支撑技术发展和预报制作平台的完善,2018年按照中国气象局智能网格精细化、无缝隙业务要求,区、市气象台开始每天4次发布未来12h内逐小时、空间分辨率达到 $1\text{km}\times 1\text{km}$ 的分类强对流天气格点预报(图1),不定时发布0-2h临近预报。

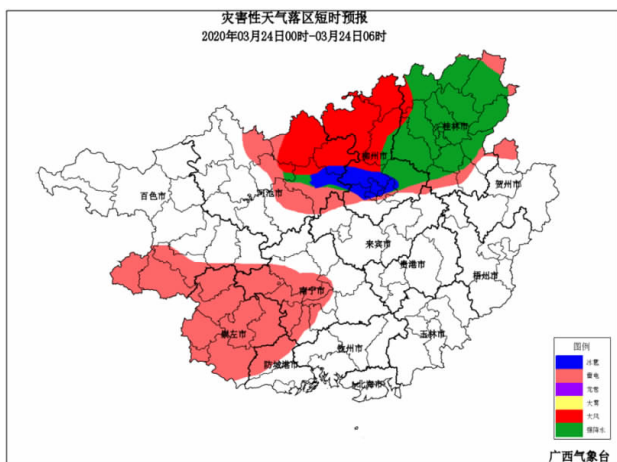


图1 2020年3月24日00时广西壮族自治区气象台发布的00—06时强对流分类预报产品

1.3 服务方式及成效

在广西壮族自治区气象台基于邻域法开展了分类强对流天气短时和临近预报质量检验,实况信息融合了自动气象站、闪电定位仪、气象信息员报告、政府部门公布的灾情信息等多源数据。检验结果表明,2016—2020年预报质量总体上稳步提升,其中雷电、短时强降水预报TS质量提升比较显著,广西强对流的预报能力得到显著提升。而雷雨大风、冰雹在强对流天气中的检测识别和预报的准确率提升有限,这可能有望借助双偏振雷达改造,得到进一步的改善。

1.3.1 服务方式

广西短时临近预警业务实行“监测协同、出口统一”方式,结合“关键技术向国省两级集约,地方做好监测和预警服务”新预报业务路线,自治区级负责新技术研发和实时监测业务的技术指导,市县重点做好预警和开展相关服务。2018年以前,广西壮族自治区气象台的指导方式以静态的落区预报产品和电话为主,缺乏交互性,方式相对单一。2018年基于B/S架构的广西短时临近一体化系统投入业务运行,强对流天气监测和联防手段更加完善和智能化。提供了广西壮族自治区气象台研发的强对流天气潜势客观预报产品、雷电、雷雨大风、冰雹自动识别和外推等客观产品,以及区市两级预报员在客观预报产品的基础上主观订正的预报产品,具有产品快速制作和推送、自动记录留痕等功能,形成了区市县三级业务同步联动、产品实时共享协同的灾害性天气短时临近预警新型业务流程。气象灾害预警在防灾减灾第一道防线发挥了至关重要的作用。2005年,

广西壮族自治区气象局制定了突发灾害性天气预警信号为属地发布的条例,2008年广西壮族自治区气象台开始发布全区突发灾害性天气(暴雨)预警。依托广西突发事件预警信息发布系统,通过手机短信、微信、微博、农村大喇叭、电子显示屏、邮件、传真以及电视、广播等多种信息发布渠道,将气象灾害预警信息第一时间送达各级防汛抗旱责任人和社会公众。

1.3.2 预报预警服务成效

近年来,全区发布的雷电、冰雹、暴雨等强对流天气的预警信号准确率保持稳中有升,预警提前量也不断提升。经检验,2020年汛期全区所有级别暴雨预警信号预警时间提前量达到54min。根据地方政府防汛精准调度的要求,市县暴雨预警信号实现了未来3h定量降雨预报到乡、逐3h滚动更新,其中致灾暴雨过程启动逐小时精细化滚动预报服务。各级防汛抗旱指挥部和相关部门以精细化暴雨预报预警信息作为“指挥棒”及时组织人员转移避险,有效减少了人员伤亡。例如,在2020年6月初桂北持续遭受暴雨袭击,强降雨区重叠,过程累积雨量大,通过各级台站持续的监测和预警,因灾伤亡的人数较往年同期显著下降。其中6月7日凌晨广西壮族自治区气象台值班预报员监测分析桂林市南部将受强降雨回波影响,立即指导相关区县尽快升级暴雨红色预警信号,6时25分荔浦县气象台发布暴雨红色预警信号,双江镇紧急转移低洼地带群众5020余人,当日双江镇房屋倒塌550户,由于转移及时,做到了人员零伤亡。

2 研究技术进展

2.1 基于气象学方法的广西强对流天气机理研究

广西强对流天气一年四季均有发生,冰雹、雷暴大风主要集中在2—5月,雷电和短时强降水主要集中在4—9月。从气候平均来看,2—5月中旬500hPa副热带急流位于20°N—30°N之间,形成强的水平风垂直切变;高原南部不断有低槽携带中层冷空气东移影响华南西部;从孟加拉湾到华南山空为大范围的干空气控制;在对流层低层850hPa,来自中南半岛的干热空气与东亚大槽后部的东路湿冷空气在广西上空交汇,形成强大的温度和湿度锋区;延伸到近地面层,昆明静止锋、辐合线和露点锋常常在广西西部一带生成或滞留。以上的气候背景为冰雹、雷暴大风的发生发展提供有利的天气尺度抬升条件、

上干下湿的层结条件和动力不稳定、热力不稳定条件以及多系统触发条件。5月下旬到9月,冷空气南下势力减弱,南海季风爆发后暖湿气流活跃,副热带急流向东收缩,广西强对流天气类型向雷暴、短时强降水天气为主转换。

2.1.1 天气学方法

强对流天气的发生发展是在有利的环流背景下大气动力作用和热力作用的结果,大尺度环流背景为形成强对流提供三个基本要素:丰富的水汽、不稳定层结、抬升触发机制。预报员通过长期的业务实践和个例分析总结指出,广西产生强对流天气的天气尺度系统包括地面锋面、高空华北槽、高原低槽或南支西风槽、低层切变线,地面西南暖低压出现爆发性的发展是强对流发生的一个前期信号^[1-2]。另外在锋前暖区(或锋后冷区)内,高层温度槽前置于高度槽前,并叠加在低层暖平流区上,对流层低层积聚的不稳定能量在南支西风槽或低层辐合系统如地面辐合线的触发下发展产生强对流天气^[3-5]。华南暖区的强对流天气,由于其天气尺度斜压性不明显,热动力不稳定性强,边界层触发机制复杂,以及特殊的地形和海陆热力差异的外强迫作用,导致强对流突发性强,在地面形势不明显以及适当的高空环流形势配置下,仍可出现大范围的雷暴大风天气,这种天气形成机制复杂,天气形势分析和模式预报两种途径的预报效果并不理想,常常出现漏报,一直以来是困扰预报业务人员的难点问题。随着欧洲中心、日本、美国和我数值预报的发展,基于环流形势进行分型的基础上,利用数值预报产品选取气压差、温差等要素和物理量建立雷暴等强对流天气的预报指标,是提高广西强对流天气预报时效的有效手段^[6-7]。

2.1.2 动力学诊断方法

高低空天气系统的配置对强对流的类型和强度起关键作用,在有利的环流背景下,利用物理量诊断可对对流的潜势做出更好的判断^[8-10];多次暖区飏线大风过程研究,通过 ω 方程诊断得出温度平流比涡度平流对天气尺度抬升运动的贡献大,诊断量的准确性取决于数值模式分层要素预报的准确性^[11]。利用探空资料计算得到螺旋度对强对流天气的发生发展有一定的预示作用^[12]。统计表明,冰雹、短时雷雨大风、短时强降雨三种强对流天气的探空图,在水平风垂直切变深厚、风矢端结构、状态曲线与层结曲线配置具有明显不同的特征,可导致超级单体、飏线、弓形回波等中尺度系统^[13-15]。随着广西现代气象

业务建设,地面区域自动站布网不断扩充完善,针对飏线的地面中尺度结构、冷池驱动作用有了进一步的认识^[16-18],有利于短时强降水和雷暴大风监测和提高精细化预警水平。利用风云系列静止卫星和极轨卫星的资料对强对流天气开展了一系列的诊断分析研究^[19-20],根据主要影响系统及卫星云图云型特征建立了广西 3 种区域性冰雹卫星云图概念模型,根据高空槽云系的位置和所属模型类型,识别冰雹云早期的特征对冰雹短时临近预警有一定的指示意义^[21]。

2.2 临近识别与外推技术方法

我国的强对流临近预报客观技术主要以雷达数据为基础进行风暴识别、追踪和预警,近年来,我区对外推技术的研究主要集中在三个方面:交叉相关算法(Tracking Radar Echoes by Correlation, TREC)、单体质心法和光流法。

交叉相关算法是利用模式识别方法在搜索半径内寻找最大相关系数以跟踪气象目标的雷达回波^[22]。近年来在国内的强对流临近外推中被广泛应用^[23]。自治区气象台从 2012 年开始在广西气象信息综合平台上推出基于 SWAN 的 TREC 风产品。单体质心法比较成熟而且广泛使用的是雷暴识别、跟踪、分析和预报算法(TITAN)和风暴识别追踪算法(SCIT),它们是以质心跟踪法为基础^[24]。近些年在 TITAN 和 SCIT 算法的基础上开发了许多新的技术和方法,弥补了算法中存在的不足^[25-27]。光流法(Optical Flow)是利用图像序列中的像素强度数据的时域变化和相关性来确定各自像素的位置变化,研究图像灰度在时间上的变化与景象中物体结构及其运动的关系^[28]。

广西短时临近预报技术创新团队针对冰雹、雷暴大风、短时强降水、龙卷等四类强对流天气的雷暴单体结构特征,通过多种雷达产品综合判断的方法实现了强对流天气的识别和追踪,并利用区域自动站资料对识别结果进行实时订正,利用 STI、TITAN 和光流法等雷达外推技术实现了 0-2h 分类强对流天气落区外推预报和预警发布提醒。0-2h 分类强对流天气预报产品逐 6min 滚动一次,时空分辨率达到 10min、1km×1km,达到了智能网格预报对产品分辨率的要求。

2.3 短时预报技术方法

强对流天气短时潜势预报需要解决的主要问题包括:强对流天气主要落区和影响时段、风暴系统的主要类型(组织形式)、可能出现的强对流天气类型。

目前强对流潜势预报方法分为基于流型判别的方法(流型法)和基于要素配置的方法(配料法)。两者具有较好的互补性,结合使用通常能够得到较好的效果^[29-31]。

广西气象台目前业务运行的强对流潜势预报方法有中尺度天气分析、强对流概率和分类预报方法。

中尺度天气分析是流型法和配料法相结合的主观预报方法。参考国家气象中心推广应用的《中尺度天气分析规范》^[32-33],利用常规观测资料或全球模式预报资料分析天气系统配置和演变。一般来说,层结稳定度、中低层水汽和能量条件在很大程度上决定了对流能否发生及可能达到的强度,高低空急流强度和位置、温湿条件的垂直分布对风暴系统组织形式及强对流天气类型有重要影响,锋面、切变线、中尺度辐合线等常常是初始对流出现的位置。通过高空槽、切变线、锋面、急流等流型特征和温度、湿度、风向风速等要素的分布特征,综合分析判断强对流系统可能出现的主要时段、位置、强度、组织形式以及可能造成的强对流天气类型。

强对流概率和分类预报方法是基于配料法的客观预报方法。采用机器学习技术和多因子综合判别法构建强对流概率预报模型。首先运用逻辑回归法建立不分类的强对流概率预报方程,预报因子为代表不稳定能量、层结稳定度、水汽和热力等强对流天气共性要求的物理量或对流参数,以定量表达当前环流背景下发生强对流的有利程度。逻辑回归是一种传统机器学习技术,数学表达形式与神经网络中的神经元结构相似。在统计学上逻辑回归是适用于二分类事件的一种归类分析方法,其优点是可以表达预报因子和预报量之间的非线性关系,输出二分类事件出现概率,是比较接近强对流天气物理特征且满足当前强对流天气预报业务需求的一种数学模型。然后在概率预报的基础上结合不同类型强对流天气的特点,对温度、湿度、温度递减率、风向、风速、垂直风切变等因子设置阈值,用多因子判别法对强对流天气类型予以区分,分别得到短时强降水、雷暴大风、冰雹的确定性预报。

广西短时临近预报技术创新团队采用多因子判别方法,建立了强对流概率预报方程,实现了冰雹、雷暴大风、短时强降水等强对流天气客观产品的研发。形成每 1h 滚动输出 2-12h 客观预报产品,时间分辨率达到 1h,空间分辨率达到 1km×1km。

3 问题与挑战

多源资料的应用不够充分,加强新观测资料应用,提高监测预报能力。利用 GPS/MET、风廓线雷达、航空报等资料,重构小时/分钟级温湿风垂直廓线,提高强对流天气潜势分析的时空分辨率。加强 FY-4 卫星资料垂直探测资料的应用,分析大气垂直廓线,优化对流的识别和监控方法。加强双偏振多普勒雷达应用方法研究,通过不同类型强对流天气的偏振回波特征,改进和优化现有的雷达识别、追踪和外推预报技术。

强对流识别外推技术比较单一,各时效预报的衔接不够紧密,影响了智能网格预报的协调性等问题。外推技术预报时效较短,准确率不是很高,缺少对多源资料的综合应用,缺乏对物理机理的考虑,而且无法预报对流的发生、发展和消亡,1h 以后准确率快速降低。随着大数据、人工智能、机器学习等新方法应用于天气预报中,挖掘多源观测资料中尚未被认识的对流生消发展信息则有望超越现有的强对流外推技术。卷积神经网络和长短时间记忆网络、动态卷积网络应用于雷达回波外推。若能利用人工智能技术充分挖掘雷达、卫星、自动站等多源观测资料和高分辨率数值模式预报资料的有效信息,则很有可能给强对流天气临近预报带来新的突破。加大多源资料融合应用技术和大数据人工智能在短临识别、预报的应用,提升核心算法技术含量,提高业务系统智能化程度。

参考文献:

- [1] 贾显锋.广西“02.4.5”强对流天气过程分析[J].广西气象,2002(3):14-16.
- [2] 姚胜芳,黄治逢,农孟松,等.广西冰雹的活动特点[J].热带地理,2008(2):119-123,171.
- [3] 蒙远文.华南暖区强对流天气的诊断[J].广西气象,1985(3):18-24.
- [4] 韦寿如,韦贵爵.一次静止锋前暖区降雹过程分析[J].广西气象,1991(4):22-26.
- [5] 班荣球,兰政.“4.23”强对流成因及其回波分析[J].广西气象,1993(4):22-24.
- [6] 黄香杏,高安宁.应用数值预报产品制作广西灾害性天气的中短期预报[J].广西气象,1997(S1):2-3,23.
- [7] 覃彦英,黄庆国,罗思泽.岑溪市雷暴天气形势特征及预报[J].气象研究与应用,2009,30(3):28-32.
- [8] 农孟松,祁丽燕,黄明策,等.基于环流分型的广西冰雹

潜势预报研究[J].气象,2008,34(6):46-52.

- [9] 卢建壮,何飞.一次天气过程预报失败的分析[J].广西气象,2001(3):37-38.
- [10] 黎惠金,覃昌柳,韦江红.一次全区性较强降水空报的重大预报失误过程分析[J].气象,2005(1):33-36.
- [11] 梁维亮,农孟松,屈梅芳.广西一次区域性强对流天气的诊断分析[J].自然灾害学报,2015,24(3):208-215.
- [12] 李向红,廖铭燕.桂林“97.8.1”强对流大风的综合分析[J].广西气象,1998(2):3-5.
- [13] 农孟松,黄海洪,孙崇智,等.基于主分量神经网络的降水集成预报方法研究[J].气象,2011,37(3):352-355.
- [14] 欧坚莲,黄帆,欧欣格,等.梧州市强对流天气潜势预报探讨[J].气象研究与应用,2018,39(4):14-17.
- [15] 翟丽萍,农孟松,梁维亮,等.造成临桂极端大风的超级风暴单体观测分析[J].暴雨灾害,2019,38(4):346-353.
- [16] 祁丽燕,农孟松,王冀.2009年7月2-4日广西暴雨过程的中尺度特征[J].气象,2012,38(4):438-447.
- [17] 翟丽萍,农孟松,赖珍权,等.广西“4·20”暖区飊线的形成及结构[J].高原气象,2018,37(2):568-576.
- [18] 李渝平,农孟松,梁维亮,等.基于 RKW 理论的广西一次飊线过程演变特征分析[J].自然灾害学报,2020,29(2):161-172.
- [19] 林宗桂,林开平,李耀先,等.一个高空槽前中尺度对流系统发生发展过程和机制研究[J].气象学报,2011,69(5):770-781.
- [20] 黄荣,刘日胜,刘国忠,等.FY-3 极轨卫星资料在暴雨短时预报中的应用分析[J].气象研究与应用,2018,39(2):41-44,71,144.
- [21] 翟丽萍,黄明策,赖珍权,等.广西区域性冰雹天气的云图特征分型研究[J].气象与环境学报,2019,35(6):117-125.
- [22] 王龙,王萍.基于交叉相关法的风暴体追踪外推算法[J].计算机应用,2014,34(S1):145-147.
- [23] 郑永光,张小玲,周庆亮,等.强对流天气短时临近预报业务技术进展与挑战[J].气象,2010,36(7):33-42.
- [24] 韩雷,王洪庆,谭晓光,等.基于雷达数据的风暴体识别、追踪及预警的研究进展[J].气象,2007,33(1):3-10.
- [25] 韩雷,郑永光.基于数学形态学的三维风暴体自动识别方法研究[J].气象学报,2007,65(5):805-814.
- [26] 候正俊,潘多,王磊.改进气象雷达 TITAN 算法在灾害性天气预警中的应用研究[J].大气科学学报,2008,32(4):561-568.
- [27] 周毓荃,潘留杰,张亚萍.TITAN 算法的移植开发及个例应用[J].大气科学学报,2009,32(6):752-764.
- [28] 曹春燕,陈元昭,刘东华,等.光流法及其在临近预报中的应用[J].气象学报,2015,73(3):471-480.
- [29] 张小玲,谌芸,张涛.对流天气预报中的环境场条件分析.气象学报,2012,70(4):642-654.

- [30] 孙继松,戴建华,何立富,等.强对流天气预报的基本原理与技术方法[M].北京:气象出版社,2014:282.
- [31] 俞小鼎,郑永光.中国当代强对流天气研究与业务进展[J].气象学报,2020,78(3):391-418.
- [32] 张涛,蓝渝,毛冬艳,等.国家级中尺度天气分析业务技术进展 I: 对流天气环境场分析业务技术规范和改进与产品集成系统支撑技术[J].气象,2013,39(7):894-900.
- [33] 蓝渝,张涛,郑永光,等.国家级中尺度天气分析业务技术进展 II: 对流天气中尺度过程分析规范和支撑技术[J].气象,2013,39(7):901-910.

Operation and research progress of severe convection weather in Guangxi

Nong Mengsong, Huang Rong, Huang Mingce, Zhai Liping, Liang Weiliang, Lai Zhenquan
(Guangxi Meteorological Observatory, Nanning Guangxi 530022)

Abstract: This paper summarized the operation and research progress of severe convective weather in Guangxi, and focused on the technical support, including the application of new monitoring data, the research and development of main technical methods for the application of numerical forecast and the construction of professional operation system. In addition, the existing problems and challenges were analyzed, and the future development and main tasks of severe convection in Guangxi were put forward.

Key words: severe convection in Guangxi; research and operation; progress