

曾小团,翟舒楠,梁依玲,等. 数值天气预报在广西的业务应用与进展[J]. 气象研究与应用,2020,41(4):34-41.

Zeng Xiaotuan, Zhai Shunan, Liang Yiling, et al. Operational application and progress of numerical weather forecast in Guangxi[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2020, 41(4): 34-41.

# 数值天气预报在广西的业务应用与进展

曾小团, 翟舒楠, 梁依玲, 覃月凤, 黄荣成, 林振敏

(广西壮族自治区气象台, 南宁 530022)

**摘要:** 随着计算机性能提高和数值模式的发展,数值天气预报在气象预报业务中发挥着越来越重要的作用。广西气象业务应用数值天气预报产品四十年来,在中尺度数值预报模式本地化应用、数值预报产品解释应用和气象要素客观预报方法研究等方面取得了一定成果。广西气象科技工作者采用天气学释用、动力释用、逐步回归、模式输出统计、卡尔曼滤波、神经网络和系统集成等方法研发了基于数值预报产品的温度、降水等气象要素客观预报技术,形成了支撑广西日常天气预报业务的方法和流程,对广西预报水平提高起到了重要作用。但传统的解释应用方法已不能满足智能化精细化预报的发展,数值天气预报在广西的业务应用迫切需要在人工智能、大数据挖掘等信息化技术方面加强研究。

**关键词:** 数值天气预报;数值预报释用;天气预报;广西气象;进展

**中图分类号:** P45

**文献标识码:** A

**doi:** 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2020.4.06

**OSID:**



## 引言

数值预报业务是我国气象预报业务现代化的重要组成部分,随着我国气象事业的快速发展,数值预报也经历了从无到有、从单一用于短期预报到用于包含短时、短期、中期预报等在内的较为完整的数值预报业务体系<sup>[1]</sup>。数值模式的水平分辨率从最初的几百千米发展到现今具有较高分辨率(区域模式为 1~3km,全球模式为 9~25km),垂直方向由最初的只有几层发展到几十层,预报时效也从最初的一两天逐渐延伸至 15d,模式初始场的资料应用也日趋多源化,物理过程也逐渐合理完善。本文主要回顾了广西的数值预报发展史和数值天气预报产品在广西的应用情况,分析和总结数值预报模式在天气预报的应用现状,对目前业务发展中存在的主要问题和不足进行分析,并对发展前景进行展望。

## 1 数值预报研究和发展

### 1.1 国内外研究进展概述

回顾数值预报的发展史,国外数值天气预报的研究始于 1922 年, Richardson 设计的以德国为中心,水平网格距为 200km,垂直网格距约为 200hPa 的四层,范围覆盖全德国的方案是现代数值预报发展的第一个里程碑。直至 1950 年, Charney 等人才利用正压一层的过滤模式计算出了历史上第一张数值预报天气图<sup>[2]</sup>。1967 年,美国联合数值预报单位用六层原始方程模式代替平衡模式,使美国成为最早建立原始方程模式预报业务的国家之一<sup>[3]</sup>。1979 年“欧洲中期数值预报中心”(ECMWF)利用全球原始方程模式首次将预报时效延长到了 10d。20 世纪 80 年代,西方发达国家开始了区域数值模式的研究。2000 年以后,国际上区域数值模式已发展得相当先进,并在世界范围广为使用<sup>[4]</sup>。目前,主要发达国家均已普遍建立了水平分辨率达 1~3km 的区域数值

收稿日期: 2020-10-28

基金项目: 广西科技重点研发计划项目(桂科 AB16380267)、广西气象科研计划项目(桂气科 2020Z05)

作者简介: 曾小团(1971—),男,学士,正高级工程师,精细化预报服务创新团队、智能网格预报服务创新团队带头人,主要从事天气预报技术研发工作。

预报系统和集合预报系统<sup>[5]</sup>。

中国数值天气预报的研究稍晚于国外, 最早可以追溯到 20 世纪 50 年代, 也是国际上较早开展数值预报的国家之一, 并在国际上取得广泛影响的成果<sup>[6,7]</sup>。1954 年我国开始研制准地转正压模式。1960 年中央气象局气象台开始应用数值预报图制作短期天气预报<sup>[8]</sup>。1980 年 7 月, 国家气象局和中国科学院大气物理研究所研制了面向业务的亚欧区域数值天气预报模式 (当时称为 A 模式)。“六五”期间 (1981—1985 年), 国家气象中心、中国科学院大气物理研究所和北京大学共同研发了 B 模式<sup>[9]</sup>。20 世纪 80 年代中期, 我国开始了全球中期数值预报系统的研究。“七五”期间 (1986—1990 年), 李泽椿主持的跨部门联合攻关小组以从 ECMWF 引进的全球谱模式为核心, 建立了 T42L9 全球预报系统, 并于 1991 年投入业务运行, 这也是我国首次研发包含集合预报的业务系统。之后该模式几经升级为 T63L16、T106L19、T213L31 及 T639L60。“八五”期间 (1991—1995 年), 我国研发了有限区域细网格资料同化与预报系统 LAFS 并于 1991 年取代 B 模式, 投入业务运行<sup>[10]</sup>。1996 年 LAFS 升级为高分辨率的区域同化预报系统 HLAFS, 并于次年取代 LAFS, 一直业务运行至 2006 年。21 世纪后, 中国气象局联合多家单位自主研发了新一代多尺度通用资料同化与数值预报系统 GRAPES, 于 2006 年开始业务运行后沿用至今<sup>[11,12]</sup>。同时, 上海、广州、北京等地都独立研制了本地区域模式<sup>[13-16]</sup>, 且都投入了业务运行。经过十多年的努力, 中国首次以自主技术建立了从全球 (分辨率为 25km) 到区域 (分辨率为 1~3km) 的包含了确定性与集合预报的完整数值预报系统。

## 1.2 广西数值预报模式应用研究进展

广西从 20 世纪 50 年代起开展了数值预报研究<sup>[17]</sup>, 但是因为缺乏人才和设备, 一直到 20 世纪 80 年代都发展缓慢。20 世纪 90 年代初, 姚才等人<sup>[18]</sup>利用一个五层原始方程有限区域细网格模式, 对“88.8”暴雨过程进行了数值模拟试验, 实现数值预报模式在广西的运行。进入 21 世纪, 数值预报模式应用得到快速发展, 依托科技和工程建设等多个项目, 广西壮族自治区气象局开始发展本地中尺度数值预报模式, 建立自己的数值预报业务体系。

2004 年, 依托广西气象局重点建设项目《广西中尺度数值模式系统建设》、863 项目《中国气象应用网格 (CMAG) 研究》的子专题《基于广西结点的

GRAPES 中尺度数值模式系统》等项目, 广西气象局引进中国气象局的 GRAPES 数值预报系统, 对模式的计算范围、时间步长、垂直坐标以及物理过程和调用方式进行了反复的对比测试和选优, 解决了边界附近等值线虚假密集、高原出现虚假高低压中心、降水场不成片等问题, 重新配置了模式的相关参数, 实现了模式的两重嵌套。该模式采用非静力平衡模式和半隐式半拉格朗日积分方案以及两重嵌套网格, 其外层网格距是  $0.25^\circ$ , 内层是  $0.125^\circ$ , 产品输出间隔是 1h。刘泽军等人<sup>[19]</sup>基于模式的产品开发了广西中尺度数值模式格点产品检验系统。

2005 年, 还引进了美国 MM5 (Mesoscale Model5) 模式, 通过解决系统时钟问题以及模式与气象卫星综合应用业务系统 (9210 工程) 资料的接口问题, 实现了 MM5 模式的正常运行。该模式参数化方案包括: 水汽、积云对流参数化、行星边界层物理过程参数化和大气辐射等方案。模式采用两重嵌套网格, 外层网格距是 45km, 内层是 15km, 产品输出间隔是 1h。黄嘉宏<sup>[20]</sup>、卢伟萍<sup>[21]</sup>等人分别用该模式对南海台风 Vongfong (2002) 的登陆过程和一次引发北部湾大暴雨的海风锋系统进行模拟研究。

2010 年, 引进华南区域气象中心 GRAPES-CHAF 逐时同化系统进行本地化改造, 研发了广西逐时同化和滚动预报数值天气预报系统。针对 GRAPES-CHAF 高频滚动同化预报过程可能出现的高频扰动, 采用数字滤波 DFI (digital filtering) 技术滤除虚假的高频扰动信息, 实现了预报系统的稳定运行<sup>[22]</sup>。系统逐时对最新的探空、地面、船舶、地面自动站、GPS、雷达及卫星资料进行快速同化处理, 为模式预报提供运算初始场。该模式参数化方案包括: 积云对流参数化、微物理、边界层参数化、地表过程参数化、长波辐射和波辐射等方案。模式的网格距是  $0.12^\circ$ , 产品输出间隔是 1h。

2013 年, 引进美国 WRF 数值预报模式 (Weather Research and Forecasting Model) 和 ADAS (ARPS Data Analysis System) 资料分析与同化系统, 建立了广西 WRF 数值预报模式系统。系统同化了地面、探空、气象自动站、机场观测、航空器下传、船舶、卫星和雷达等多种资料。该模式参数化方案包括: 微物理、积云参数化、长波辐射和短波辐射等方案。模式采用三重嵌套网格, 网格距分别是 45km、15km 和 5km, 产品输出间隔是 1h。

2015 年, 引进华南区域中心的 GRAPES9km 模

式进行本地化改造,利用 MODIS 卫星资料,建立广西范围内的地形高度及地表土地利用等数据,并替换模式旧的数据;通过改进模式陆面过程,提高了地面 2m 温度的预报。该模式参数化方案包括:对流参数化、边界层、云物理、短波辐射、长波辐射以及陆面过程等方案。模式的网格距是  $0.09^\circ$ ,产品输出间隔是 1h。模式至今仍在业务运行,为短时临近和中短期天气预报提供参考。

2020 年,筹备引进华南区域中心的短临预报模式 (GRAPES\_GZ\_R 1km) 工作,华南短临预报模式 (1km) 是在原华南区域中心业务模式 (TRAMS-V2.0) 的基础上发展起来的可用于快速更新同化预报的新模式版本。该模式采用三维静力参考大气与迭代法半隐半拉格朗日相结合的技术方案,有效地提高模式积分的稳定性和预报精度,使模式可在较高分辨率(水平格距为 1km)、较长的时间步长(30s)的情况下稳定运行;同时采用多进程并行 I/O、并行 nudging 等技术有效地提高模式运行效率,满足模式 12min 快速更新同化的需求。利用华南短临预报模式建立的公里级模式预报系统,可应用于短时、临近天气预报业务。

## 2 数值天气预报产品在广西的应用

数值天气预报产品释用指的是对数值预报产品进一步解释和应用,即利用天气学、统计学、动力学以及人工智能等多种方法,并综合预报经验,对数值预报的结果进行分析和订正,最终给出更为精确的客观要素预报结果或特殊服务需求的预报产品<sup>[23]</sup>。目前数值预报产品释用从技术方法划分主要有天气学释用、动力释用、统计释用和人工智能方法等四大类<sup>[24]</sup>。广西气象科技工作者对数值天气预报产品的释用工作主要从 20 世纪 70 年代末期开始,至今取得了很多的研究成果,在预报业务中发挥了很大的成效。目前,广西气象业务上常用的数值预报产品释用方法主要有天气学释用、动力释用、逐步回归、模式输出统计、卡尔曼滤波、神经网络和综合集成等方法。

### 2.1 天气学释用方法

天气学释用方法是预报员根据天气学原理,在数值预报结果的基础上,进行人工订正,对天气形势做出诊断分析和预报,并做出具体的天气形势和要素预报<sup>[24]</sup>。它的基本方法包括“纵横分析法”、相似形势法和落区预报法,是广西气象科技工作者最常用的

的方法之一。

20 世纪 70 年代末期至 80 年代,广西气象部门预报员主要通过接收数值预报传真图的方式<sup>[25]</sup>,应用日本、ECMWF 等数值预报产品,例如:高翔明<sup>[26]</sup>对日本 JMH 广播的气象预报图片的种类和类型以及日本气象厅的主要业务数值模式进行了介绍,并指出广西位于远东 (FE) 和亚洲 (AS) 图的西南侧,在业务上可以应用这些产品;曾大才<sup>[27]</sup>利用日本远东数值预报图针对低纬地区 ( $110^\circ\text{E}$ ,  $25^\circ\text{N}$ ),即桂林站附近几站,进行了形势场、降水和物理量预报检验,为日本远东数值预报图在业务应用提供参考依据;陈达瑞<sup>[28]</sup>把总结归纳出来的环流形势分型法应用到 ECMWF 模式的 500hPa 传真图,用于制作春播中期低温阴雨预报。

20 世纪 90 年代,随着数值预报产品的改进与发展,在业务应用上,数值预报模式数据逐渐取代了图片。这一时期主要是运用数值预报结果,结合短期预报经验,制作灾害性天气预报,如冬半年北部湾海面强风预报、春播期长期低温阴雨预报、春季强对流天气、锋面暴雨天气预报等。它的代表性工作有:梁志和<sup>[29]</sup>应用 ECMWF 数值产品制作西江致洪暴雨中期预报;黄香杏等<sup>[30]</sup>应用欧洲中心、日本、美国和我国数值预报产品结合有效的短期预报经验来制作广西灾害性天气的中短期预报;高安宁等<sup>[31]</sup>用暴雨中期天气过程模式与数值预报产品相结合及数理统计与天气学相结合的方法,作汛期大范围持续性暴雨天气过程中期预报。

进入 21 世纪,天气学释用主要应用在霜冻、冰冻、寒潮、暴雨、台风等天气过程的预报上,例如:高安宁<sup>[32]</sup>对环流特征演变、气象要素变化和数值预报产品进行分析,发现了造成“99.12”广西严重霜冻、冰冻天气过程的主要原因;陈见等<sup>[33]</sup>利用数值预报产品和常规观测资料对 2008 年广西严重低温雨雪冰冻天气过程的成因进行了分析;李生艳等<sup>[34]</sup>对 2002 年 12 月广西寒潮过程爆发前后的形势进行分析,通过对数值预报产品的解释应用,得到一些预报全区性寒潮指标。

### 2.2 动力释用方法

动力释用方法根据反映特定天气的概念模型或动力学背景条件的物理量,利用天气动力学原理分析判断特定天气出现的可能性<sup>[24]</sup>。

从 20 世纪 80 年代开始,广西气象科技工作者采用动力释用方法进行大范围降水、区域性暴雨的



预报,如杨宇红等<sup>[35]</sup>通过对“96.4”暴雨过程进行天气学及物理量诊断分析,找出造成这次天气过程的水汽、热力、动力等物理量与暴雨的对应关系;杨望月等<sup>[36]</sup>应用数值预报产品,采用建立预报模型及相似预报、物理量场动力诊断等方法,建立客观、定量的预报业务系统;李向红等<sup>[37]</sup>选取能反映降水的动力、热力特征的单因子场和组合因子场,以国家 T106 产品的物理量预报场为基础,对桂林市 13 个站的降水逐站进行分级并建立相应模型。

### 2.3 统计学释用方法

统计学释用方法是在数值天气预报产品基础上,结合大量的历史观测资料以及各种稠密的实况资料,利用动力学和统计学等技术方法,建立气象要素预报模型,从而获得更为精确的客观定量要素预报结果或特殊服务需求的预报产品<sup>[24]</sup>。广西气象科技工作者常用的方法有完全预报方法(PP)、模式输出统计预报方法(MOS)、卡尔曼滤波方法(Kalman)、综合预报方法(MED)、相似预报方法等。

从 20 世纪 80 年代初开始,MOS 预报方法主要应用在区域或局地要素预报<sup>[25]</sup>,例如:高翔明等<sup>[38]</sup>对 MOS 预报方法的可行性做了对比试验;高安宁等<sup>[39]</sup>研发了广西春播低温阴雨中期 MOS 指导预报业务系统;姚才等<sup>[40]</sup>在吸收了各地 MOS 预报应用研究和使用的数值预报产品的经验的基础上,研发了短期数值预报产品统计释用系统;精细化预报服务创新团队分别采用动态因子逐步回归预报方法、MOS 温度预报最优训练期方案实现了逐 3h 气温、日最高气温和日最低气温网格预报。

自 20 世纪 90 年代以来,卡尔曼滤波预报方法得到广泛应用,例如:黄日裕等<sup>[41]</sup>用此方法制作钦州站冬半年 24~120h 逐日平均气温的预报;卡尔曼滤波预报方法还运用于防城港市冬半年沿海日平均、日最大风力的定量预报以及全区最高、最低气温的制作,均取得较好的预报效果<sup>[42,43]</sup>。

在相似预报方法、综合预报等其它方面,主要有:周文志等<sup>[44]</sup>利用欧洲、日本和中国数值预报产品进行统计分析,总结出以数值预报产品为主的暴雨预报模式指标;李凌等<sup>[45]</sup>利用数值预报产品,结合预报指标、相关因子普查,用多元回归方法建立广西 89 站逐日最低温度预报方程及霜冻等级预报;董惠青<sup>[46]</sup>采用积分极限定理精选因子综合法、逐步回归、相似分析等数理统计方法,天气学方法,数值预报产品,能量转换谱分析等多种预报方法有机结合,对桂

中、桂北出现的一场致洪特大暴雨天气过程进行预报试验。

### 2.4 人工智能和非线性模型的释用方法

人工智能和非线性模型的释用方法通过发展建立非线性回归预测技术方法,以解决处理高度非线性分类和回归问题,使其预报能力更强<sup>[24]</sup>。广西气象科技工作者主要应用的方法有人工神经网络方法和支持向量机方法。

进入 21 世纪后,神经网络方法在广西得到了进一步推广与应用。它主要应用于气温、降水、热带气旋强度和台风路径的预报,例如:金龙等<sup>[47]</sup>采用模糊数学与神经网络相结合的模块化模糊神经网络方法,研制了一种新的数值预报产品释用预报方法;金龙等<sup>[48]</sup>提出了在神经网络中采用模糊核聚类算法(FKCA)替代模糊 C 均值聚类算法,分别建立了普通模块化模糊神经网络和模糊核聚类模块化模糊神经网络暴雨预报模型;林建玲等<sup>[49]</sup>采用人工神经网络方法进行新的数值预报产品释用预报研究,建立了 3 个区域日平均降水量神经网络预报模型;黄小燕等<sup>[50]</sup>建立了一种新的非线性人工智能集合预报模型,进行了分月台风路径预报模型的预报建模研究;智能网格预报服务创新团队基于 ResNet 残差神经网络的思想,针对格点气温预报的空间分布特征和多时次预报的要求,设计了适用于气温格点预报订正的深度神经网络模型,以基于数值预报产品释用的中央气象台指导预报 SCMOC 为数据源,CLDAS 实况分析资料为神经网络订正目标,训练了 0~240h 逐 3h 气温、日最高气温和日最低气温预报订正模型,订正后的结果比 SCMOC 有显著提升。

支持向量机方法也在降水预报模型得到应用,例如:罗芳琼等<sup>[51]</sup>以 T213 和日本的细网格数据资料为基础,研究了一种基于最小二乘支持向量机集成的降水预报模型。

### 2.5 综合集成方法

综合集成针对不同的数值预报产品和不同的解释应用方法,可分为预报方法集成、预报模式集成、预报时效集成、集合预报集成以及综合预报集成<sup>[24]</sup>。

在集合预报集成方面,陈伟斌等人<sup>[52]</sup>利用欧洲集合预报模式产品(成员数为 51 个)和本地释用产品(最优百分位融合产品、概率匹配平均产品等),对 2012—2015 年广西降水预报性能进行了 TS 评分检验,结果发现,无论在区域暴雨过程总体情况还是分类情况,暴雨和大暴雨量级上,最优百分位融合产品

预报性能最优,体现出融合的优势。

在综合预报集成方面,智能网格预报服务创新团队基于 ECMWF、GRAPES 等多种数值预报产品,采用频率匹配、概率匹配、实况动态检验和地形订正等多模式集成技术进行降水、气温、风、相对湿度和能见度等要素客观预报,取得不错的效果。

## 2.6 数值天气预报产品应用效果

总的来说,数值预报产品在广西得到了广泛应

用,对于提高业务天气预报水平发挥了越来越重要的作用。尤其是近年来所研究的一些气象要素客观预报方法,已有部分要素预报接近于或优于预报员的主观预报,例如:动态因子逐步回归预报的日最高气温和日最低气温客观预报在广西 90 个城镇站点整体预报准确率超过了同期预报员水平(见图 1)。

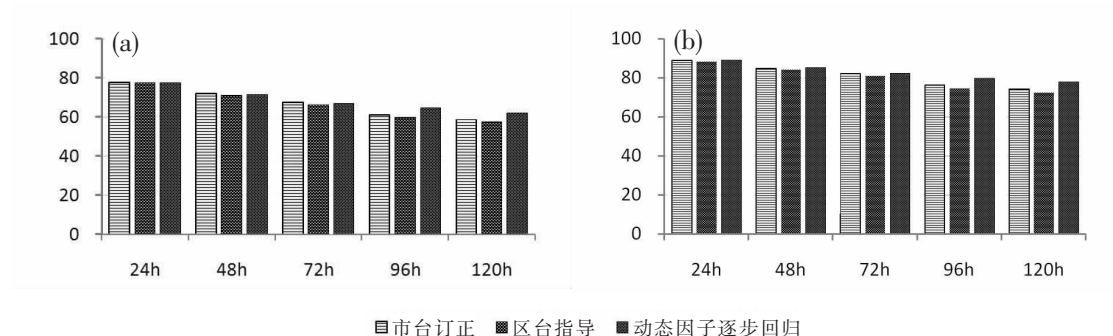


图 1 2019 年 6 月 1 日—2020 年 5 月 31 日 20 时时气象台订正、区气象台指导和动态因子逐步回归预报的日最高气温(a),日最低气温(b)TS 评分

## 3 数值模式检验评估

自数值预报产品投入应用以来,广西气象科技工作者一直有对预报产品的性能进行检验评估<sup>[53-55]</sup>,分析发现,随着数值预报模式性能的不断改进和提升,模式预报产品的要素预报准确率也不断地提高,在天气预报工作中发挥着越来越重要的作用。目前,广西气象业务中常用的数值预报模式有 12 家:ECMWF 细网格、ECMWF 集合预报、德国细网格、日本细网格、GRAPES\_GFS、GRAPES\_MESO、GRAPES\_3KM、GRAPES\_GZ\_3km、GRAPES\_GZ\_R\_3km、南海台风模式、华东模式、西南模式等,预报时效涵盖了短时、短期和中期预报。本节对最近一年各家数值预报模式的降水和温度预报性能进行了检验评估。

### 3.1 模式降水预报性能分析

通过检验各模式 2019 年 6 月 1 日—2020 年 5 月 31 日 20 时 24h 晴雨预报准确率发现:各模式晴雨准确率均在 67%以上,GRAPES\_3KM 以 79.7%表现最佳(见图 2);晴雨准确率有季节性差异,秋季最高,夏季最低。对于一般性降水,各模式 TS 均在 25%以上,日本细网格 48.5%表现最好(见图 3a)。对于暴雨以上量级降水各模式 24hTS 均不足 16%,最

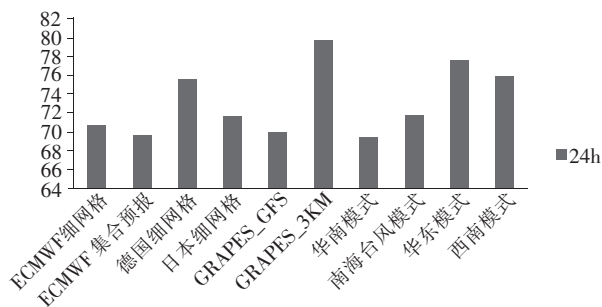


图 2 2019 年 6 月 1 日—2020 年 5 月 31 日 20 时各模式 24h 和 48h 晴雨预报的 TS 评分

好为 ECMWF 细网格 15.8%(见图 3b)。可见,模式对分级降水特别是暴雨以上量级降水的预报能力不足,预报员仍能发挥较大的作用。

### 3.2 模式温度预报性能分析

通过检验各模式 2019 年 6 月 1 日—2020 年 5 月 31 日 20 时 24h 时效内逐 3h 温度预报的 TS 评分发现:12h 时效的 TS 评分最高,各模式在 57%以上,其中德国细网格表现最好。24h 高温预报华南模式 58.1%表现最好(见图 4a)。对于低温,日本细网格表现最好为 83.7%(见图 4b)。高低温预报性能有季节性差异,秋季高温误差最大,夏季误差最小;冬季低温误差最大,夏季的误差最小。

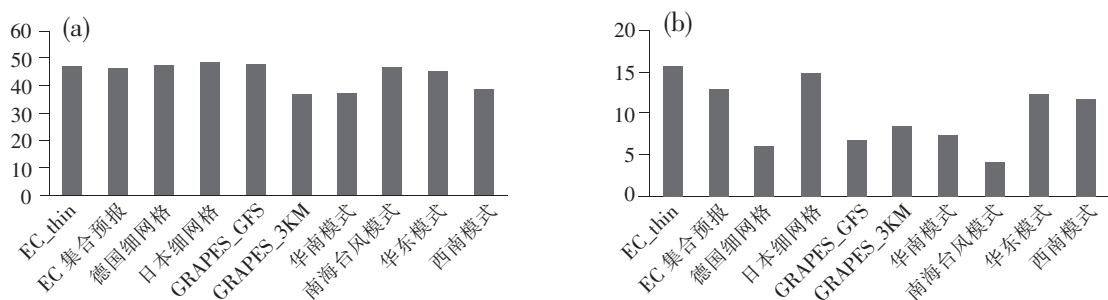


图3 2019年6月1日—2020年5月31日20时各模式一般性降水(a)、暴雨以上降水(b)预报的TS评分

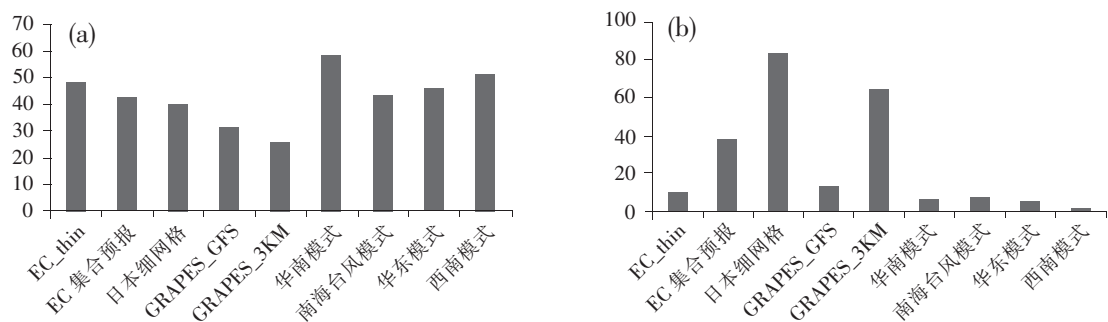


图4 2019年6月1日—2020年5月31日20时各模式24h高温(a)和低温(b)预报的TS评分

## 4 讨论与展望

至今为止,广西建立了以数值预报为基础的预报业务体系,较好地实现了数值模式产品在广西的解释应用。在天气系统分析方面,以高安宁主导研发的数值预报解释应用系统将各家模式物理量等进行对比展示,方便预报员对天气系统进行分析研判,极大提高了模式产品在广西的使用效果,成为广西气象台日常天气系统分析的重要分析平台。在气象要素预报方面,以数值预报产品为基础的气象要素客观预报技术研究成果初步形成,实现了降水、温度等预报的客观输出,部分要素预报准确率已经超过人工订正,为广西智能网格预报系统提供优质的初值场。但基于模式降水预报释用客观算法方面的研究还比较薄弱,在定量降水客观算法持续性研究和成果积累方面做的还不到位,没有形成专门的数值预报产品释用研究团队,与其他先进省份比较还有一定差距;同时,缺乏在模式资料结合人工智能、大数据挖掘等新技术新方法业务化应用方面的研究基础和能力。因此,为更好适应未来预报业务发展,满足广西精细化天气预报发展和需求,还需要在以下几个方面进行强化。

(1)通过引进和本地化改造,发展广西本地更高分辨率和预报更新频次的区域数值预报模式,以此来提高局地强天气的预报能力,满足灾害天气预报预警业务需求。区域数值预报模式未来主要发展的方向是区域对流尺度模式与对流尺度资料同化结合,其中最主要是同化雷达、卫星和区域自动站资料。

(2)持续开展数值预报模式产品解释应用方法的研究。通过进一步深入对天气学、统计学和动力学等释用方法的研究以及采用人工智能、大数据挖掘等新一代信息化技术对数值预报模式产品释用,以此来提高预报的准确率。

(3)建立数值预报产品解释应用的中长期规划,培养专业化的研发队伍对模式产品释用进行持续性跟进研究与业务化应用,形成具有广西特色的数值预报解释应用业务化流程和方法。

(4)通过科研项目立项引导等方式,组建一支专业型的研究队伍,充分利用人工智能等新技术新方法对数值预报产品释用持续发力,并将获得的成果在实时业务中应用检验,不断积累,从而促进广西预报水平的提高。



## 参考文献:

- [1] 闫之辉,王雨,朱国富.国家气象中心业务数值预报发展的回顾与展望[J].气象,2010,36(7):26-32.
- [2] 程麟生,丑纪范.大气数值模拟[M].北京:气象出版社,1991:1-172.
- [3] 廖洞贤.国外数值天气预报的历史回顾和未来的展望[J].广西气象,1985(1):1-4.
- [4] 陈德辉,薛纪善.数值天气预报业务模式现状与展望[J].气象学报,2004,62(5):623-633.
- [5] 漆梁波.高分辨率数值模式在强对流天气预警中的业务应用进展[J].气象,2015,41(6):661-673.
- [6] 顾震潮.我国数值预报的成就[J].气象学报,1959,30(3):236-242.
- [7] Blumen W, Washington W M. Atmospheric dynamics and numerical weather prediction in the People's Republic of China 1949-1966 [J]. Bull Amer Meteorol Soc,1973(54):502-518.
- [8] 沈如桂,牟惟丰.中央气象局气象台 48 小时 500 毫巴数值预报图应用的初步经验[J].气象学报,1965,35(4):383-398.
- [9] 孟智勇,张福青,罗德海,等.新中国成立 70 年来的中国大气科学研究:天气篇[J].中国科学:地球科学,2019,49(12):1875-1918.
- [10] 郭肖容,张玉玲,阎之辉,等.有限区分析预报系统及其业务应用[J].气象学报,1995,53(3):306-317.
- [11] 陈德辉,沈学顺.新一代数值预报系统 GRAPES 研究进展[J].应用气象学报,2006,17(6):773-777.
- [12] 薛纪善.新世纪初我国数值天气预报的科技创新研究[J].应用气象学报,2006,17(5):602-610.
- [13] 王晨稀,姚建群.上海区域数值预报模式集合预报系统的建立与试验[J].气象科学,2006,26(2):127-134.
- [14] Xue Jishan, Wang Kangling, Wang Zhiming, et al. Test of a tropical limited area numerical prediction model including effect of real topography. Advances in Atmospheric Science, 1998, 5(1): 1-13.
- [15] 袁金南,王在志,薛纪善.广州区域数值预报模式并行化计算[J].应用气象学报,2004,15(5):556-563.
- [16] 张铁军,王遂缠,王锡稳,等.兰州有限区域中尺度数值模式业务系统及应用[J].干旱气象,2005,23(3):79-84.
- [17] 赵月年.谈谈天气预报中的几个问题——一九八一年七月在全区地区气象局长会议上的讲话[J].广西气象,1982(1):1-4.
- [18] 姚才,黄洪峰.“88.8”暴雨过程的数值预报试验[J].广西气象,1991,12(3):8-11.
- [19] 刘泽军,黄嘉宏,林振敏,等.广西中尺度数值模式格点产品检验系统[J].气象研究与应用,2007,28(4):34-36.
- [20] 黄嘉宏,李江南,魏晓琳,等.同化 QuikSCAT 资料对台风 Vongfong(2002)数值模拟的影响[J].中山大学学报(自然科学版),2006,28(6):116-120.
- [21] 卢伟萍,李江南,梁维亮,等.一次引发北部湾大暴雨过程的海风锋模拟研究[J].热带气象学报,2012,28(6):945-952.
- [22] 黄海洪,林开平,高安宁,等.广西天气预报技术和方法[M].北京:气象出版社,2012:441-453.
- [23] 矫梅燕主编.现代数值预报业务[M].北京:气象出版社,2010:206.
- [24] 潘晓滨,何宏让,王春明编著.数值天气预报产品解释应用[M].北京:气象出版社,2016:7.
- [25] 张玉坤,梁春泰,张彩香,等.广西通志气象志[M].南宁:广西人民出版社,1996:31-37.
- [26] 高翔明.日本传真预报图及数值模式简介[J].广西气象,1983(5):3-7.
- [27] 曾大才.日本远东数值预报图的检验[J].广西气象,1987(3):17-20.
- [28] 陈达瑞,薛飞玲.试用 ECMWF500hpa 图作春播中期低温阴雨预报[J].广西气象,1987(12):16-19.
- [29] 梁志和.应用 ECM 数值产品作西江致洪暴雨中期预报[J].广西气象,1998,19(4):4-8.
- [30] 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.
- [31] 高安宁,梁志和,吴仁才.广西汛期大范围持续性暴雨天气过程中期预报研究[J].广西气象,1999(1):3-5.
- [32] 高安宁.“99.12”广西严重霜冻、冰冻天气过程特征及预报分析[J].广西气象,2000(1):10-12.
- [33] 陈见,高安宁,黄明策,等.2008 年广西严重低温雨雪冰冻天气过程分析[J].气象研究与应用,2008,29(2):5-8,14.
- [34] 李生艳,苏荣在,高安宁.2002 年 12 月广西寒潮过程特征及数值预报产品的释用[J].广西气象,2004,25(1):12-15.
- [35] 杨宇红,黄海洪.“96.4”广西暴雨过程的天气学及物理诊断分析[J].广西气象,1996,17(2):9-11.
- [36] 杨望月,李菁,林开平,等.广西盛夏西南涡暴雨特征及应用数值预报产品作落区预报的研究[J].广西气象,2000,21(2):3-6.
- [37] 李向红,孙莹,郑贤,等.桂林逐站降水分级预报系统[J].广西气象,2000,21(2):10-12.
- [38] 高翔明,汪玉.短期 MOS 试验及效果检验——试论我区开展 MOS 预报的可行性[J].广西气象,1985(1):18-23.
- [39] 高安宁,李德珍.广西春播低温阴雨中期 MOS 指导预报业务系统[J].广西气象,1994,15(1):28-32.
- [40] 姚才,林振敏.短期数值预报产品统计释用系统[J].广西气象,1996,17(1):5-9.
- [41] 黄日裕,黄文海,朱敬海.用卡尔曼滤波方法制作钦州站

- 冬半年 24~120 小时逐日平均气温的预报[J].广西气象, 1997, 18(1):76.
- [42] 卢峰本, 曾国光, 林德.防城港市冬半年沿海风力的卡尔曼滤波预报方法[J].广西气象, 1997, 18(S1):44-46, 52.
- [43] 林健玲, 覃丹宇.广西分县逐日滚动温度预报业务系统研究[J].广西气象, 2002, 23(2):24-26, 45.
- [44] 周文志, 薛荣康.数值预报产品在桂林暴雨预报中的应用研究[J].广西气象, 2004, 25(1):1-3.
- [45] 李凌, 周飞.利用数值预报产品制作广西大范围霜冻 5 天滚动预报[J].广西气象, 2002, 23(3):7-10.
- [46] 董惠青.“96.7”桂中、桂北暴雨中期预报的回顾[J].广西气象, 1997, 18(S1):4-6.
- [47] 金龙, 林熙, 金健, 等.模块化模糊神经网络的数值预报产品释用预报研究[J].气象学报, 2003, 61(1):78-84.
- [48] 金龙, 刘苏东, 黄颖, 等.一种新的暴雨灾害预报非线性建模方法[J].系统仿真学报, 2009, 21(24):7902-7905, 7909.
- [49] 林健玲, 金龙, 林开平.神经网络方法在广西日降水预报中的应用[J].南京气象学院学报, 2006, 29(2):215-219.
- [50] 黄小燕, 金龙.基于主成分分析的人工智能台风路径预报模型[J].大气科学, 2013(5):1154-1164.
- [51] 罗芳琼, 吴建生, 金龙.基于最小二乘支持向量机集成的降水预报模型[J].热带气象学报, 2011, 27(4):577-584.
- [52] 陈伟斌, 韩慎友, 刘国忠.欧洲集合预报产品降水预报检验分析[J].气象研究与应用, 2017, 38(2):6-9, 113.
- [53] 李菁, 林振敏.1995 年  $T_{63}$  数值预报产品检验与分析[J].广西气象, 1997, 18(S1):60-61.
- [54] 梁利, 林开平, 黄海洪.几种数值预报模式在广西降水预报效果的比较[J].气象研究与应用, 2012, 33(2):1-4.
- [55] 郑凤琴, 孙崇智, 陈冰廉.2002 年 7—9 月数值预报产品广西降水预报检验[J].广西气象, 2003, 24(3):6-7, 14.

## Operational application and progress of numerical weather forecast in Guangxi

Zeng Xiaotuan, Zhai Shunan, Liang Yiling, Qin Yuefeng, Huang Rongcheng, Lin Zhenmin  
(Guangxi Meteorological Observatory, Nanning Guangxi 530022)

**Abstract:** With the improvement of computer performance and the development of numerical model, numerical weather forecast plays an increasingly important role in meteorological forecast. Since the application of numerical weather forecast products in Guangxi meteorological operation for 40 years, some achievements have been made in the localization application of mesoscale numerical weather forecast models, the interpretation application of numerical weather forecast products and the research on objective forecasting methods of meteorological elements. Guangxi meteorological technology workers have developed the objective forecast technology of temperature, precipitation and other meteorological elements based on numerical forecast products by using synoptic interpretation, dynamic interpretation, stepwise regression, model output statistics, Kalman filter, neural network and comprehensive integration. The methods and processes to support the daily weather forecast in Guangxi has been formed, which plays an important role in improving the forecast level of Guangxi. However, the traditional interpretation and application methods can no longer satisfy the development of intelligent and refined forecasts. The business application of numerical weather forecast in Guangxi urgently needs to strengthen the research in artificial intelligence, big data mining and other information technology.

**Key words:** numerical weather forecast; numerical weather forecast interpretation; weather forecast; Guangxi meteorology