

陆虹,何慧,覃卫坚,等. 广西短期气候预测业务和技术发展回顾与展望[J]. 气象研究与应用,2020,41(4):48-55.

Lu Hong, He Hui, Qin Weijian, et al. Review and prospect of short-term climate prediction business and technology development in Guangxi[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2020, 41(4): 48-55.

广西短期气候预测业务和技术发展回顾与展望

陆 虹, 何 慧, 覃卫坚, 陆芊芊, 蔡悦幸

(广西壮族自治区气候中心, 南宁 530022)

摘要: 本文对广西短期气候预测业务发展沿革和业务产品做了梳理, 回顾了近 60 年来, 广西气象工作者在不同时期从不同角度开展的短期气候预测技术研究成果, 指出广西短期气候预测技术的发展与全国各省基本同步, 大致经历了经验统计分析、物理统计分析、动力与统计相结合等阶段, 扼要介绍了以上各阶段广西短期气候预测技术研究与应用情况, 对近年来一些新技术、新模式以及国家一级的业务系统在广西的应用也做了介绍, 还总结了短期气候预测业务服务中存在的问题, 对提高广西气候预测水平和服务能力提出展望。

关键词: 短期气候预测; 预测业务; 预测技术; 气象灾害; 业务系统

中图分类号: P46

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2020.4.08

OSID:



引言

短期气候预测曾经被称为长期天气预报, 主要是指对月、季、年时间尺度的气象要素的预报。气象工作者在短期气候预测理论和技术方法应用方面, 进行了大量的探索和研究, 我国是开展短期气候预测业务较早, 而且一直坚持的少数几个国家之一, 王会军^[1]、贾小龙^[2]、赵振国^[3]、魏凤英^[4]等对我国六十多年的气候预测研究与业务发展进行了回顾, 指出我国的短期气候预测技术经历了简单的经验统计分析、数理统计、动力模式和动力统计相结合等几个发展阶段, 并介绍了一些影响我国气候异常的新机理和新一代气候预测模式产品在短期气候预测业务中的应用。按照中国气象局对全国气候预测业务体系布局的要求, 广西气候预测和业务发展基本与全国同步, 广西广大气象工作者围绕影响广西气候异常机理, 开展了大量短期气候预测理论和技术方法研究, 加强科研成果向业务应用的转化, 努力提高短期气候预测关键技术和气候预测准确率, 取得了良好的效果, 在广西经济建设和社会发展, 特别是在防御

和减轻气象灾害方面发挥着越来越大的作用。然而短期气候预测是一个复杂的、世界性的科学难题, 目前气候预测的理论和方法都还不成熟, 气候预测还存在很大的不确定性, 特别是在业务服务方面还需要不断改进。因此本文对广西短期气候预测技术和业务服务发展历程进行回顾和梳理, 介绍了一些新技术、新模式以及国家一级的业务系统在广西应用情况, 总结气候业务服务中存在的问题, 对提高广西气候预测水平和服务能力提出展望。

1 广西短期气候预测业务沿革

我国于 1954 年以“气候展望”的名称第一次正式对外发布年度气候趋势展望, 1958 年增加了月预报的内容, 并改名为“长期天气预报”, 1961 年正式制作和发布汛期旱涝趋势展望^[2], 从此, 我国各级气象台站陆续建立了长期天气预报业务。

广西是开展长期天气预报业务较早的省份之一, 从 1956 年开始制作长期天气预报, 1961 年正式把长期天气预报列入自治区、地区、县 3 级气象台站的预报业务工作, 自治区级业务由自治区气象台中

收稿日期: 2020-11-10

基金项目: 国家自然科学基金(42065004)、中国气象局预报员专项(CMAYBY2019-088)、广西科技攻关计划项目(桂科攻1598017-14)

作者简介: 陆虹(1966—), 女, 硕士, 正研级高工, 从事气候分析与预测研究。E-mail: luhong0908@163.com

长期天气预报科承担,各市、县气象局设有专职负责中长期预报的业务岗,负责制作汛期降水预报、春播期低温阴雨预报、秋季寒露风预报、每月天气预报以及年度天气展望等长期天气预报业务产品并开展相关气象服务。

1998 年广西发布的长期天气预报业务产品改称短期气候预测业务产品,自治区级短期气候预测业务改由自治区气候中心承担。2004 年由于业务技术体制改革,短期气候预测等业务改由自治区气象台承担,但仍以自治区气候中心名义发布。2006 年重新由自治区气候中心承担短期气候预测等业务。从 2008 年开始,全区各地的短期气候预测主要由自治区气候中心制作发布,各地市气象台不再设置短期气候预测员岗,各地市气象局和县级气象局按照属地化原则,根据广西气候中心发布的月、季、年气候趋势预测结论开展气象服务,这种业务布局一直延续至今。期间,随着社会生产及人民生活的需要,也随着短期气候预测技术发展和能力的提高,短期气候预测的业务产品越来越精细、种类越来越多,如从 2006 年开始增加了每旬对未来 30d 的滚动气候趋势预测,2010 年开始发布延伸期过程预测,2016 年延伸期降温降雨天气过程的预测精细到县具体到日。至 2020 年广西短期气候预测常规业务产品主要有:年度气候趋势预测、季节(春季、夏季、秋冬季)气候趋势预测、汛期(前汛、后汛)气候趋势预测、每月气候预测、未来 30d 气候趋势预测,以及春运期间、重大农事活动和重大活动期间的气候趋势预测、秋冬春季森林火险等级预测等专业服务产品,从时间尺度上涵盖了延伸期、月、季、年,从空间尺度上精细到县(市、区),从要素上有降水、气温、天气过程、气象灾害等不同预报量,为政府防灾减灾和人民生活提供气象服务,受到越来越多的关注。

2 广西短期气候预测技术的发展历程

我国历代气象工作者从不同角度出發,根据大气科学的原理,运用现代气候动力学、统计学等方法,研究短期气候预测技术方法,至 21 世纪主要是采用物理统计方法、气候模式、动力与统计相结合、人工智能等,最终是通过综合判断得到短期气候预测结论^[5]。近 60 多年来,广西气候预测技术方法的发展与全国各省基本同步,大致经历了以下发展阶段:

2.1 经验统计分析阶段

20 世纪 70 年代以前,由于缺乏气象观测资料,计算条件也非常落后,长期天气预报方法少,气候预测难度非常大,人们通过长期对自然现象的观测,总结出了大量反映当地天气气候规律的气象谚语。我国气象预报员多利用这些气象谚语来制作长期天气预报,广西气象部门尤其是县级基层台站也收集和参考,如:“狗猫换毛早,冬季冷得早”、“木棉树开花早,烂秧天气结束早”等等谚语,用来制作冬春农事天气预报。另一方面,也采用经验统计分析方法,分析历史曲线演变、利用前期环流扰动信号和天气周期韵律等,如黄琪荣^[6]研究指出,前冬欧亚高空大气环流形势与当年二月低温阴雨天气有关;梁济群^[6]对广西汛期降水进行分类,结合北半球 500hPa 环流型与其相关,建立复相关图,进行汛期降水长期预报;龚为人^[6]指出太阳活动高峰年及减弱期内出现干旱可能性大。另外,在 20 世纪 70 年代,广西各县(市)以谚语为线索建立剖面图长期预报方法,如武鸣气象站以“清明南风是丰年”谚语为线索,用剖面图上清明节气图形与 7 月降水正相关关系,预报 7 月降水量;横县气象站以农谚“春风秋雨”为线索,利用 2—3 月气压建立剖面图,在高压后部盖帽线下方低压闭合之日对应 7—8 月出现台风影响日期;百色气象站以“冬暖春寒”谚语为线索,利用大寒闭合高压日期的先后分型,预报 2 月低温阴雨趋势;钦州气象站利用南风完全低压型做台风长期预报;贺县利用 8 月剖面图与 2 月天气 180d 韵律对应关系,预报次年春播期冷暖时段;上林气象站利用气压距平图反盖帽型、完全高压型和正盖帽型图形作 695d 大雨暴雨预报;桂平气象站使用 120d 以前剖面图,进行 9—10 月秋旱开始时间和维持天数的长期预报^[7],等等。以上经验统计方法主要是利用大气活动和气候变化的韵律关系来制作预报,适用于对一些周期性比较明显的天气做预报,但对这类天气的转折点预报往往比较困难,但也为后期数理统计方法的发展打下了良好的基础。

2.2 物理统计分析阶段

进入 20 世纪 70 年代后,随着气象资料增多以及计算机技术的应用,我国气象工作者开始将数理统计分析方法应用于短期气候预测,特别是 80 年代以后,随着短期气候预测理论研究和观测事实的不断揭示,物理因子分析受到极大重视,基于物理因子分析的统计预测方法成为短期气候预测的主要手段之一^[2]。

在这个阶段,广西气象工作者也利用统计预测方法开展了大量的研究工作:在灰色系统理论、均生函数、经验模态分解(EMD)等时间序列拟合或周期建模方法应用方面,李耀先和肇裕福^[8]利用灰色系统理论建立了秋季寒露风、冬季低温、春季烂秧天气的长期预测模型;陈红^[9]利用波能密度做前汛期降水过程预报;何洁琳^[10]利用正交化均生函数模型做春季低温阴雨结束期长期预报;黄燕飞^[11]利用灰色系统理论进行柳州汛期洪涝长期预报;覃志年等^[12]把车比雪夫多项式应用到4月降雨量气候预测中;蒋国兴^[13]利用均生函数做季节气温气候预测;韦玉勇^[14]运用传统的八卦开展东兴市降水气候预测;毕硕本等^[15]、马军等^[16]将EMD方法在广西季节气候预测中进行了应用。在多元回归、逐步回归方法应用方面:李耀先等^[17]利用多元回归预测春季低温阴雨结束期;董蕙青^[18]指出建立回归方程过程中应选取稳定性比较好的因子;覃志年等^[19]研究春播期降水量回归预测方法指出多因子优于单一因子逐步回归方法,集成预报优于单一方法;董蕙青等^[20]利用逐步回归方法建立了广西高温天气短期气候预测模型;古文保和覃丹宇^[21]建立了早春干旱逐步回归预测模型;李耀先等^[22]利用逐步回归方法进行主汛期降水量异常气候预测;何慧等^[23]对前汛期降水正交分解时间系数建立回归方程,进行前汛期降水量气候预测;彭武坚^[24]将逐步回归方法应用于桂东南低温阴雨日数预报中;覃卫坚等^[25]利用逐步回归方法建立了影响广西热带气旋气候预测模型;赵华生和金龙^[26]研究建立基于偏最小二乘回归的前汛期月降水量预测方法。

同时,经过“七五”、“八五”和“九五”期间中国气象局重点研究项目的实施,短期气候预测理论研究不断发展,国内许多专家研究了夏季风、副热带高压、大气遥相关型等物理因子与中国各地气候的关系,揭示了ENSO事件、青藏高原积雪面积等对东亚大气环流和中国气候的可能影响,并建立了具有一定物理意义的预测概念模型^[2]。广西气象工作者也针对影响广西气候异常的大气环流背景、海气相互作用、高原热力状况及雪盖等因子进行研究分析,得到了许多物理机理比较清楚的影响因子,如在对影响广西汛期旱涝的主要因子研究中,覃志年等^[27]发现东亚季风、青藏高原热状况/积雪、极冰、季风槽、印度洋海温等对广西夏季降水有明显的影响,都可作为预测的前兆信号^[28]。黄永新^[29]的研究表明东亚

季风的强弱与广西主汛期旱涝有一定的联系。欧艺^[30]分析认为,当南海夏季风建立偏早(晚)时,广西汛期暴雨日数偏多(少),发生洪涝的可能性增大(减小)。高原的热状况是制约广西前汛期降水多寡的一个重要因素,吴恒强^[31]发现,1月高原异常偏暖的年份,广西前汛期都有雨量特多的月份。黄永新^[32]、张爱华等^[33]的研究表明,冬季青藏高原多(少)雪,前汛期正常偏旱(涝)可能性较大,后汛期正常偏旱(涝)。ENSO对广西降水影响较明显,厄尔尼诺影响下,后汛期偏旱的可能性较大,拉尼娜影响下偏涝的可能性较大^[32];梁隽玫等^[34]也发现厄尔尼诺年与正常年份比较,广西前汛期偏涝,后汛期偏旱;吴恒强^[35]、蒙远文等^[36]、涂方旭等^[37,38]、蒋国兴等^[13]揭示了厄尔尼诺等海温异常对广西气候的影响。在低温冷害预测方面,钟利华等^[39]利用太阳黑子、厄尔尼诺事件等建立了广西春季低温阴雨预测概念模型;易燕明等^[40]利用北太平洋海温、青藏高原积雪等因子建立了冬季严重冻害预测概念模型;肖富明^[41]利用副热带高压、印缅槽、极涡、东亚槽等资料建立了寒露风气候预测概念模型;涂方旭等^[42]分析了霜冻与环流、海温的关系,建立了广西霜冻气候预测概念模型。在对影响广西的热带气旋预测研究中发现,其影响关键因子主要有太阳黑子活、海温、大气环流异常、热带季风等,如吴恒强^[43,44]的研究表明,太阳黑子活动对热带气旋数、初终旋日期均有比较明显的影响,计算了前期太阳黑子活动、高原热状况、海洋和南极海冰变异与影响广西的热带气旋频数的关系,提出预测概念模型。陆虹等^[45]研究发现赤道太平洋海区的海温与影响广西的热带气旋年频数有密切关系,厄尔尼诺年影响广西的热带气旋偏少,拉尼娜年影响广西的热带气旋偏多。何慧等^[46]发现热带气旋年频数与全球范围大气环流异常有密切关系。热带季风的推进对热带气旋的发生起着促进作用^[47]。覃卫坚等^[25]研究发现影响广西的热带气旋数量与海温同步关系比较好,并建立影响广西热带气旋的逐步回归预测模型。

2.3 动力与统计相结合阶段

动力—统计预报方法主要是以动力气候模式产品为基础,结合统计预报方法开展短期气候预测,该方法利用了动力学方法和统计学方法两方面的研究成果,将气候模式输出的物理意义较好、模拟较准确的气候信息应用于统计模式,从而订正气候模式的系统误差,是提高短期气候预测准确率的有效途径之一^[2]。“九五”期间,随着国家“九五”重中之重科技

项目“我国短期气候预测系统的研究”的实施,加深了对我国气候异常物理成因的认识,建立了我国第一代动力气候模式系统,我国短期气候预测业务技术和现代化水平都上了一个新台阶^[2,48],进入动力与统计相结合的新阶段。依托中国气象局关键技术推广项目、业务建设项目及广西自然科学基金等项目的实施,广西大力开展动力-统计预报方法的研究与业务预报应用,尤其在利用统计降尺度方法对国内外多种动力气候模式产品进行解释应用方面取得很好效果,如何慧等^[49]利用国家气候中心月动力延伸集合预报(DERF)产品及其派生变量,建立广西月降水量的 BP 神经网络降尺度释用预报模型,该模型的拟合精度优于利用前期综合因子建立的模型,但预测效果依赖于 DERF 的预报效果。何慧等^[50]运用美国环境预报中心(NCEP/NCAR)再分析资料中的高度场和水平风场,以及 DERF 模式回算试验资料,结合广西的天气气候特点及影响系统,构造物理意义明确的预报因子,分别建立了广西月降水量的降尺度释用预报模型,独立样本预报试验结果表明,降尺度释用预报模型预报效果优于传统统计预报模型。何慧等^[51,52]利用 DERF 资料或回算资料,运用自然正交函数展开(EOF)求取预报关键区内的空间特征向量及其时间系数,结合相似离度方法,查找与预报月份相似的个例,进而作出广西月降水量预报,以此方法构建的综合预报因子,还用于滚动制作广西月尺度降水量预报。独立样本试验证明,利用动力延伸预报产品制作的区域月降水预报比利用前期实况高度距平场相关区域制作的预报效果更好。覃志年等^[53]利用 DERF 资料,开发了集多种统计预测方法、多种解释应用技术于一体的“动力气候模式降尺度预测系统”,多年来该系统在广西气候预测业务中应用,对广西各站点月降水距平百分率的独立样本检验结果表明:这些方法的预测准确率普遍较高且较稳定。目前该系统已编入“广西气候中心预测业务集约化平台”,成为广西月、季气候预测的主要工具。

2009—2015 年间,国家气候中心研究开发和改进了动力-统计集成的季节降水预测系统(FODAS)和多模式解释应用集成预测系统(MODES)。FODAS 利用国家气候中心的季节预报业务模式和较全面的历史资料,发展了利用历史相似信息对动力模式的预报误差,实现对预报年气候模式预报误差订正来预报汛期降水^[54]。MODES 基于美国环境预报中心、欧洲中期天气预报中心、东京气候中心和国家气候

中心的气候模式,结合多种统计方法进行多模式集合技术应用^[55]。这些系统在广西都进行了本地化应用,并几次升级完善,为广西进一步加强月、季尺度的客观量化气候预测提供有力支撑,也为制作广西短期气候预测业务产品提供重要参考。

3 气候预测新技术在广西的应用

3.1 关键因子影响机理的新认识和应用

物理因子分析方法因为揭示了气候与物理因子之间相互作用的物理影响机制,在实际业务预测中取得了一定的效果,因此直到现在,物理因子分析方法的研究与应用仍然不断发展。海温印度洋热力状况是影响全球气候变化和亚洲季风变异的一个重要的因素,对广西气候也有显著影响,徐志清和范可^[56]指出从冬至春,印度洋海温异常年际变率模态具有较好的季节持续性,与华南地区夏季降水显著正相关;胡玉恒^[57]研究了印度洋海温与华南前汛期降水的相关关系,及海温异常影响华南前汛期降水量的机理;陈丹等^[58]认为前期冬季关键区海温的异常增高(降低)会造成后期春季广西等地降水有所减少(增多);荣艳淑等^[59]研究发现印度洋海温异常影响广西红水河汛期流量的机理为:印度洋海温冷水年,冷异常可在四个季节持续,并使西南水汽输送显著增强,从而增大径流量。另外,热带季节内振荡(MJO)是热带地区可重复的低频现象,观测事实表明,MJO 对西北太平洋 TC 群发存在调制作用,何洁琳等^[60]研究发现,当 MJO 强对流位于印尼群岛东部和西太平洋东部时西北太平洋 TC 最易群发。覃卫坚和党国花^[61]分析发现,当 MJO 处于西太平洋时,热带气旋生成区域北侧为东风异常带、南侧为西风异常带,有利于季风槽或气旋性环流加强,导致影响广西热带气旋频数偏多。覃卫坚等^[62]认为,广西降水与赤道 MJO 对流和中纬度季节内振荡有密切的关系,当 MJO 对流所处各位相位于第 3 位相(120E)时,广西暴雨频数偏多。这些研究都说明,印度洋海温异常的前兆信号、热带季节内振荡(MJO)等都可作为广西汛期降水趋势、台风预测提供参考依据。

3.2 人工智能技术的应用

随着大数据、云计算技术的发展,神经网络以其自学习、自适应和容错性等一系列优点,在短期气候预测业务中得到广泛应用。近 10 多年来,广西在利用神经网络方法建立预报模型方面开展了大量的研究工作,取得了一系列的成果:金龙等^[63]研究解决了

人工神经网络在广西气候预测中的过拟合问题;陆虹等^[64]、何慧等^[46]建立 BP 神经网络模型对影响广西热带气旋年频数进行预测;覃志年等^[65]将初选预报因子进行降维去噪处理,建立人工神经网络前馈网络模型,进行了夏季(6—8月)降水量预测研究;何慧等^[46,49]、农吉夫等^[66]建立了基于 BP 神经网络模型的月降水量、热带气旋频数气候预测;何燕等^[67]还将 BP 神经网络方法用于广西稻飞虱发生等级预测。在粒子群—神经网络建模预测研究方面,陆虹等^[68]建立非线性的持续性低温雨雪预报模型,其预报效果明显优于基于逐步回归方法建立的预测模型;吴建生等^[69]利用粒子群—神经网络方法建立月降水量气候预测模型;覃卫坚等^[70-72]利用粒子群—神经网络方法建立寒露风日数、华南夏季降水量、延伸期暴雨过程气候预测模型,取得了很好的预测效果;黄颖等^[73]建立广西冷湿极端天气预报模型;黄翠银等^[74]还研究了模糊神经网络、遗传算法的神经网络集成、粒子群算法—支持向量机集成三种不同的非线性智能计算预报方法,对冬季低温冷害的预报效果。这些研究给广西运用人工智能进行气候预测业务技术开发打下坚实的研究基础,目前,广西运用随机森林、长短时记忆、循环神经网络等机器学习模型,逐步开展预报因子信息数据挖掘技术、非线性智能计算定量集成预报等研究^[73]。

3.3 延伸期气候预测技术

未来 10—30 日延伸期预报一直是科学研究和业务关注的重点,虽然延伸期气候预测基础研究尚存在许多难点,但气候变化背景下异常天气气候事件频繁发生,防灾减灾服务的巨大需求,推动了延伸期预报技术的研究和延伸期预测业务服务的开展,国家气候中心、国家气象中心和南京信息工程大学等诸多科研业务单位,分别利用数值模式、动力—统计降尺度及 MJO 等方法,开展了 10d 以上的延伸期预报信息研判和针对不同对象的预报产品制作^[75],国家气候中心先后建立了第一、第二代月动力延伸期预报系统(DERF1.0 和 2.0),实时发布延伸期逐日和月平均环流以及要素预报产品^[1];丑纪范等^[76]针对大气系统的混沌特性,以数值模式为基础,阐述了延伸期可预报分量的提取方法;章大全等^[77]采用非参数百分位映射法对 DERF2.0 模式月平均温度预报进行概率订正;唐红玉等^[78]利用 DERF2.0 模式 500hPa 的数据和统计降尺度方法,对重庆气温和降水量进行了回报预测和检验。目前国际上对热带季

节内振荡(MJO)的预报研究取得了较大进展,近年研究发现,MJO 等大气季节振荡是连接天气与气候的纽带,其演变对延伸期天气气候有重要影响,国家气候中心在网站上发布了 MJO 的实时监测、预测和诊断分析结果,多种大气低频振荡方法逐渐在延伸期预测业务中得到应用^[2]。

广西在延伸期预测业务实践中,何慧等^[51]利用国家气候中心月动力延伸(DERF)集合预报资料,构建成综合预报因子,逐旬滚动制作广西月尺度降水量预报;何洁琳^[79]发现,MJO 强对流在赤道印度洋东部发展并东传到西太平洋热带地区时,广西可出现冬季持续强降水,可以利用 MJO 的移动来制作冬季延伸期降水过程预报;覃志年等^[12,79]利用近期逐日环流预报场资料和动态相似集成预测方法,制作延伸期内区域性暴雨过程预测;覃卫坚等^[72]利用 DERF2.0 延伸期环流预报数据资料,建立粒子群—神经网络模型,对延伸期暴雨综合强度进行预报;何慧等^[80]对广西持续性暴雨过程的延伸期预报进行 DERF2.0 模式应用检验。基于以上研究,建立了适应本地业务服务的“广西延伸期气候预测业务系统”,包涵了 4 种动力与统计相结合预测方法,输出预报量空间尺度精细到县(市)或者 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 网格距,预报时效从季、月到延伸期,成为日常业务服务以及重大活动期间、农事关键期延伸期气候预测的客观化、量化工具方法。

4 总结与讨论

本文回顾了广西短期气候预测业务和技术发展的历程和现状,梳理了近 60a 来广西气象工作者在不同时期从不同角度开展的短期气候预测技术研究成果。经过几十年的发展,尽管广西短期气候预测从技术方法、业务系统建设以及业务服务能力方面得到了长足的进步,但与全国先进省份相比,仍存在较大差距。广西短期气候预测主要采用物理统计方法、动力与统计相结合、人工智能等,运行“广西气候中心预测业务集约化平台”,可获得各种方法的预测结论,同时也参考多种国内外气候模式产品,最终是通过综合判断得到短期气候预测结论。目前广西短期气候预测水平,特别是对异常气候、重大灾害性过程延伸期预测水平很不稳定,预测定量化和精细度不足,业务服务产品针对性不强,服务能力远远不能满足社会经济发展和人民生活的需求。

短期气候预测目前仍是一个世界性的难题,面

临很多科学难点,无论是在预测理论、方法和技术仍处于探索阶段。在国家层面上,未来的气候预测研究对不同时间尺度气候变异之间的相互作用更为重视,更为关注季节内变化和年代际变化的预测,重要的研究任务是改进各时间尺度气候预测的动力气候系统模式及初始化方案^[1]。对于省级气候预测业务,发展动力—统计相结合的气候预测方法是未来气候预测技术和研究的重点。将动力数值模式和统计经验预报相结合的思路已被广泛接受,要利用多种降尺度技术和集合技术,大力开展国内外多种动力气候模式产品的解释应用,并且对各模式的预报产品在本地预报水平进行评估和订正,是提高预测准确率的必要手段之一。其次,对影响广西的关键天气影响系统和影响机理要加强研究,广西地处亚热带,受最为复杂的冬夏季风影响,青藏高原、海洋、季风和中高纬环流系统等诸多因素都会造成广西的气候异常,而且在气候变暖背景下,对极端天气气候事件的变化规律和形成机理缺乏深入认识,给提高气候预测能力带来了极大的难度,因此必须加大对影响广西气候异常的关键因子和前期信号的研究,这也是为发展动力—统计相结合的气候预测方法的必要的基础。另外,随着信息技术快速发展,已有研究证实了基于气象大数据的人工智能方法的有效性,未来广西短期气候预测要在已有研究基础上,加强机器学习技术在大数据融合和业务服务产品智能加工中的应用,促进延伸期一月一季气候预测技术提升。

参考文献:

- [1] 王会军,任宏利,陈活泼,等.中国气候预测研究与业务发展的回顾[J].气象学报,2020,78(3):317-331.
- [2] 贾小龙,陈丽娟,高辉,等.我国短期气候预测技术进展[J].应用气象学报,2013,24(6):641-655.
- [3] 赵振国.我国短期气候预测业务技术的发展[J].中国减灾,2012,22(6):45-46.
- [4] 魏凤英.我国短期气候预测的物理基础及其预测思路[J].应用气象学报,2011,22(1):1-11.
- [5] 陈丽娟,李维京,刘绿柳,等.中国区域月气候预测方法和预测能力评估[J].高原气象,2008,27(4):838-843.
- [6] 广西壮族自治区气象学会编.广西壮族自治区气象学会首届论文选集[C].1965:1-297.
- [7] 《广西气象站剖面图预报方法》编委会.广西气象站剖面图预报方法[M].北京:农业出版社,1975.
- [8] 李耀先,肇裕福.灰色系统理论在长期预报中的应用[J].气象学报,1987,45(4):489-494.
- [9] 陈红.用波能密度作前汛期降水过程的中期预报[J].广西气象,1988,9(1):13-14.
- [10] 何洁琳.用正交化均生函数模型做春季低温阴雨结束期长期预测[J].广西气象,1999,20(2):3-5.
- [11] 黄燕飞.柳州汛期洪涝长期预报的灰色模型[J].广西气象,2000,21(2):15-17.
- [12] 覃志年,金龙,何慧,等.广西4月雨量异常的车比雪夫多项式诊断及预测方法[J].高原气象,2006,25(6):1184-1189.
- [13] 蒋国兴.广西四季温度气候变化与同期海温场异常的关系及预测[J].海洋预报,2007,24(2):67-73.
- [14] 韦玉勇.运用八卦开展短期气候预测的成功尝试[J].科技风,2010,23(11):235-236.
- [15] 毕硕本,徐寅,覃志年,等.EMD在广西季节降水预报中的应用[J].应用气象学报,2010,21(3):366-371.
- [16] 马军,陆甲,赵金彪.EMD方法在广西夏季降水量预测中的应用[J].气象研究与应用,2014,35(3):31-35.
- [17] 李耀先,易燕明,蒙宁芝.春季低温阴雨结束日期的模糊多元回归预测[J].预测,1990,9(4):56-61.
- [18] 董惠青.对回归分析中因子问题的探讨[J].广东气象,1998,4(S2):74-76.
- [19] 覃志年,况雪源,钟利华.广西春播期降水量预报方法研究[J].广西气象,2000,21(4):1-4.
- [20] 董惠青,涂方旭,李雄.广西高温天气的气候特征及短期气候预测[J].广西气象,2000,21(S1):50-54.
- [21] 古文保,覃丹宇.广西早春旱预报的全部可能回归模型方法[J].南京气象学院学报,2000,23(2):288-293.
- [22] 李耀先,涂方旭,李桂峰,等.广西主汛期降水量异常诊断分析[J].广西气象,2001,22(1):1-7.
- [23] 何慧,金龙,覃志年.降维方法在广西前汛期降水预测中的应用[J].灾害学,2004,19(4):9-14.
- [24] 彭武坚.主分量逐步回归法在桂东南低温阴雨预报的应用[J].广西气象,2005,26(S2):41-43.
- [25] 覃卫坚,黄志,李耀先.基于海温、雪盖的影响广西热带气旋频数的气候预测模型研究[J].气象研究与应用,2013,34(03):1-5,32.
- [26] 赵华生,金龙.基于偏最小二乘法的前汛期月降水量预测方法[J].气象科技,2013,41(4):690-695,752.
- [27] 覃志年,胡娅敏,陈丽娟.广西夏季降水的多时间尺度特征及影响因子[J].应用气象学报,2013,24(5):565-575.
- [28] 吴洪宝,王盘兴,林开平.广西夏季降水量潜在可预报性估计[J].应用气象学报,2005,16(4):445-452.
- [29] 黄永新.东亚季风与广西主汛期旱涝的关系分析[J].广西气象,2000,21(S1):71.
- [30] 欧艺.广西汛期暴雨特征及其与南海夏季风建立期的关系[J].热带地理,2009,29(1):16-19,25.
- [31] 吴恒强.广西前汛期大涝年预报因子分析[J].气象,1999,25(11):29-33.
- [32] 黄永新.广西汛期旱涝与前期强信号的关系的统计分析

- [J].广西气象,2000,21(S1):7-12.
- [33] 张爱华,蒋伯仁.青藏高原冬、初夏季大气冷暖特征及其与广西前汛期降水关系[J].广西气象,1993,14(2):7-12.
- [34] 梁隽玫,李耀先,李秀存.厄尔尼诺对广西汛期旱涝的影响[J].广西气象,2001,22(1):24-26,39.
- [35] 吴恒强.SST与广西汛期降雨关系的分析[J].广西气象,1993,14(2):12-16.
- [36] 蒙远文,李耀先,黄洪峰,等.综述 ENSO 事件与汛期旱涝关系研究的若干问题[J].广西气象,1995,16(2):21-26.
- [37] 涂方旭,董蕙青,李雄.厄尔尼诺对广西气候变化的影响[J].广西气象,2000,21(S1):73-74.
- [38] 涂方旭,李耀先,李桂峰.厄尔尼诺与拉尼娜的诊断[J].广西气象,2001,22(1):44-46.
- [39] 钟利华,况雪源,谢少凤.广西春季低温阴雨预测概念模型[J].广西气象,2000,21(S1):31-35.
- [40] 易燕明,李秀存,覃峥嵘.广西冬季严重冻害的前期强信号及预测概念模型[J].广西气象,2003,24(4):28-31.
- [41] 肖富明.广西寒露风气候趋势预测概念模型[J].广西气象,2000,21(S1):36-40.
- [42] 涂方旭,李雄,谢少凤,等.广西霜冻气候预测的概念模型[J].广西气象,2000,21(S1):41-44.
- [43] 吴恒强.太阳黑子活动与影响广西的热带气旋的关系[J].广西气象,2000,21(S1):72.
- [44] 吴恒强,陆虹.影响广西的热带气旋的预测概念模型[J].广西气象,2000,21(S1):13-15.
- [45] 陆虹,黄永新,郭小军.影响广西的热带气旋年频数的初步研究[J].广西气象,2000,21(S1):73.
- [46] 何慧,欧艺,李艳兰.影响广西的热带气旋年频数的 BP 神经网络预测模型[J].热带气象学报,2009,25(4):407-412.
- [47] 吴恒强.影响广西的热带气旋与热带季风的某些关系[J].气象,2002,28(9):27-32.
- [48] 彭兆亮.统计模型与动力多模式相结合的中国季度降水预测及应用研究[D].大连理工大学,2014.
- [49] 何慧,金龙,覃志年,等.基于 BP 神经网络模型的广西月降水量降尺度预报[J].热带气象学报,2007,23(1):72-77.
- [50] He H, Jin L, Qin Z N, et al. Downscaling forecast of monthly precipitation over Guangxi based on BP neural network model[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2007, 13(1): 97-100.
- [51] 何慧,欧艺,覃志年.动力延伸预报产品在广西月尺度降水滚动预测中的释用[J].气象研究与应用,2009,30(1):15-18.
- [52] 何慧,金龙,覃志年,等.动力延伸预报产品在广西月降水预报中的应用[J].应用气象学报,2007,18(5):727-731.
- [53] 覃志年,陈丽娟,唐红玉,等.月尺度动力模式产品解释应用系统及预测技巧[J].应用气象学报,2010,21(5):614-620.
- [54] 封国林.中国汛期降水动力—统计预测研究[M].北京:科学出版社,2015.
- [55] 刘长征,杜良敏,柯宗建,等.国家气候中心多模式解释应用集成预测[J].应用气象学报,2013,24(6):677-685.
- [56] 徐志清,范可.冬季和春季印度洋海温异常年际变率模态对中国东部夏季降水的可能影响过程[J].大气科学,2012,36(5):879-888.
- [57] 胡玉恒,荣艳淑,魏佳,等.华南前汛期降水与前期印度洋海温的关系[J].水资源保护,2017,33(5):106-116.
- [58] 陈丹,朱克云,布和朝鲁.前期印度洋海温异常对中国春季降水的影响[J].成都信息工程学院学报,2012,27(5):479-484.
- [59] 荣艳淑,胡玉恒,张亮,等.红水河汛期径流与印度洋海温异常的关系[J].热带气象学报,2017,33(6):831-840.
- [60] 何洁琳,段安民,黄永森.西北太平洋热带气旋群发与 MJO 的联系[J].气象科技进展,2013,3(3):46-51.
- [61] 覃卫坚,党国花.热带季节内振荡与影响广西的热带气旋生成发展的联系[J].气象研究与应用,2020,41(1):1-5.
- [62] 覃卫坚,李耀先,陈思蓉.同期 MJO 对广西汛期强降水过程的影响[J].气象研究与应用,2017,38(4):18-21.
- [63] 金龙,况雪源,黄海洪,等.人工神经网络预报模型的过拟合研究[J].气象学报,2004,62(1):62-70.
- [64] 陆虹,金龙,缪启龙,等.影响广西热带气旋年频数的神经网络预测模型[J].南京气象学院学报,2003,26(1):56-62.
- [65] 覃志年,金龙,况雪源.人工神经网络的短期气候定性预测方法研究[J].气象科技,2004,32(3):168-172.
- [66] 农吉夫,黄文宁.基于主成分分析的 BP 神经网络长期预报模型[J].广西师范学院学报(自然科学版),2008,25(4):46-51.
- [67] 何燕,何慧,孟翠丽,等.基于 BP 神经网络方法的广西稻飞虱发生等级预测[J].生态学杂志,2014,33(1):159-168.
- [68] 陆虹,翟盘茂,覃卫坚,等.低温雨雪过程的粒子群-神经网络预报模型[J].应用气象学报,2015,26(5):513-524.
- [69] 吴建生,刘丽萍,金龙.粒子群-神经网络集成学习算法气象预报建模研究[J].热带气象学报,2008,24(6):679-686.
- [70] 覃卫坚,陆虹,黄志,等.粒子群-神经网络法在广西寒露风日数预报中的应用[J].气象与环境学报,2015,31(6):158-162.
- [71] 覃卫坚,李耀先,陈思蓉,等.粒子群-神经网络在华南夏季降水短期气候预测中应用研究[J].气象研究与应用,2015,36(2):1-7.
- [72] 覃卫坚,廖雪萍,陈思蓉.延伸期暴雨过程的神经网络预

- 报技术应用初探[J].气象研究与应用,2018,39(4):1-4.
- [73] 黄颖,金龙,陆虹,等.基于智能计算的广西冷湿极端天气定性和定量组合预报方法研究[J].大气科学,2019,43(6):1424-1440.
- [74] 黄翠银,史旭明,陆虹,等.三种智能计算低温冷害预报模型的对比分析研究[J].灾害学,2020,35(2):48-54.
- [75] 何金海,梁萍,孙国武.延伸期预报的思考及其应用研究进展[J].气象科技进展,2013,3(1):11-17.
- [76] 丑纪范,郑志海,孙树鹏.10~30d 延伸期数值天气预报的策略思考——直面混沌[J].气象科学,2010,30(5):569-573.
- [77] 章大全,陈丽娟.基于 DERF2.0 的月平均温度概率订正预报[J].大气科学,2016,40(5):1022-1032.
- [78] 唐红玉,董新宁,周秀华,等.基于 DERF2.0 产品的重庆月动力延伸期预测分析及应用[J].沙漠与绿洲气象,2016,10(3):1-8.
- [79] 覃志年,李维京,何慧,等.广西 6 月区域性暴雨过程的延伸预测试验[J].高原气象,2009,28(3):688-693.
- [80] 何慧,朱秋宇,欧艺.广西一次持续性暴雨过程的延伸期预报及模式应用检验[J].气象研究与应用,2019,40(4):1-5.

Review and prospect of short-term climate prediction business and technology development in Guangxi

Lu Hong, He Hui, Qin Weijian, Lu Qianqian, Cai Yuexing
(Guangxi Climate Center, Nanning Guangxi 530022)

Abstract: This paper summarized the development history and business products of short-term climate prediction in Guangxi, and reviewed the research results of short-term climate prediction technology carried out by meteorologists in Guangxi in different periods and from different perspectives over the past 60 years. The development of short-term climate prediction technology and methods in Guangxi is basically synchronized with that of other provinces in China, and has roughly gone through the stages of empirical statistical analysis, physical statistical analysis, and the combination of dynamic and statistical analysis. The researches and applications of Guangxi short-term climate prediction technology in the above stages were briefly introduced, as well as the new technologies, new models and application of national level business system in Guangxi in recent years. The existing problems in the short-term climate prediction business service were summarized, so as to improve the quality of Guangxi climate prediction and service capabilities.

Key words: short-term climate prediction; prediction operation; prediction technology; meteorological disasters; operational system