

## 南京信息工程大学气候预测系统 1.0 版简介



**通信作者简介:**罗京佳,中国国家特聘教授,江苏省“双创人才”。主要从事气候动力学、热带海气相互作用、全球气候模式的开发和改进、气候预测的理论和方法及气候社会应用等研究,取得多项国际先进成果。至今共发表国际论文 110 余篇,包括 *Nature*、*Science*、*PNAS* 等国际一流期刊,Google Scholar 统计的全文文章总引用数超 9 300 次,全球媒体对其研究成果的报道多达百余次。曾荣获日本政府教育文化体育科技部“青年科学家奖”和日本海洋科学技术开发机构“研究开发功绩奖”等。

贺嘉樱,伍继业,罗京佳\*

南京信息工程大学 大气科学学院-气候与应用前沿研究院/气象灾害教育部重点实验室/气候与环境变化国际合作联合实验室/气象灾害预报预警与评估协同创新中心,江苏 南京 210044

**摘要** 南京信息工程大学气候预测系统 1.0 版(NUIST CFS1.0)是基于日本海洋科学技术开发机构(JAMSTEC)的 SINTEX-F 模式发展而来,可以实现对全球气候异常的季节-年际预测。对过去近 40 a 的集合历史回报预测试验结果的评估发现,该预测系统对热带太平洋和印度洋海温异常具有良好的预测技巧,并且该系统能提前 1.5~2 a 对 ENSO(Nino3.4 指数)做出有技巧的预测(即相关系数达 0.5),同时也可以提前 1~2 个季节对印度洋偶极子(IOD)做出有较高技巧的预测,展现了对主要热带气候信号的良好预测技巧。但是与国内外所有动力模式预测系统类似,该系统对东亚地区的气候异常预测还存在较大的不足。考虑到 ENSO 对东亚地区气候异常的强烈影响,本文尝试去除与 ENSO 预测相关的系统偏差来初步订正东亚地区夏季温度异常和降水距平百分率的预测结果。对比订正前后的结果表明,这一简单的订正方法有助于提高我国气候异常的预测准确率。同时选取 2019 年夏季气温异常和降水距平百分率的实时预测结果作为个例进行分析,发现订正能够提供一定的技巧改善,但与观测结果相比仍存在较大偏差,需要在今后的工作中不断改进完善。此外,本文也初步评估了 NUIST CFS1.0 对我国冬春季的气候预测技巧,并提供了经简单订正后的 2019/2020 年冬季和 2020 年春季的实时预测结果。

**关键词** 南信大气候预测系统;气候模式;气候预测;预测结果订正

由于特殊的地形特征和海陆分布,东亚地区气候复杂多变,灾害频发。我国是世界气候脆弱区之一(黄荣辉等,2003),气候灾害每年都会对我国的经济发展和人民生活造成较大的影响(孙建奇等,2018),并且因灾损失呈逐年上升的趋势,因而社会对加深东亚气候的机理认识,提高东亚气候预测水平,为国家防灾减灾提供准确信息等方面的需求越来越迫切。

中高纬大气运动的变化很大程度上受到热带地区信号的强迫影响(Lin et al.,2019)。在季节到年际的时间尺度上,气候的可预测性主要来源于大气海洋中的一些耦合模态(Luo et al.,2015),海洋的记忆力和对大气的底层强迫起着较重要的作用。因此,热带的一些耦合气候信号,特别是厄尔尼诺-南方涛动 ENSO(Bjerknes,1969),印度洋偶极子 IOD(Saji et al.,1999)这两个显著的年际气候信号,其不仅对

\* 联系人,E-mail:jjluo@nuist.edu.cn

2019-11-10 收稿,2019-11-25 接受  
南京信息工程大学人才启动经费

**引用格式:**贺嘉樱,伍继业,罗京佳,2020.南京信息工程大学气候预测系统 1.0 版简介[J].大气科学学报,43(1):128-143.

He J Y, Wu J Y, Luo J J, 2020. Introduction to climate forecast system version 1.0 of Nanjing University of Information Science and Technology[J]. *Trans Atmos Sci*, 43(1):128-143. doi:10.13878/j.cnki.dqkxxb.20191110007. (in Chinese).

热带地区的天气和气候产生重要影响,也会造成全球范围内气候的异常变化(Trenberth et al., 1997; Guan and Yamagata, 2003; Saji and Yamagata, 2003; Infanti and Kirtman, 2016)。因此,准确地预测 ENSO 和 IOD 是提高东亚气候预测的重要先决条件。

我国在 20 世纪 90 年代初就开始开展短期气候预测研究,从最初的简单经验统计分析、数理统计再发展到动力模式和动力-统计相结合的预测,我国的气候预测在过去几十年获得了长足的进步,目前已经建立了一套相对完备的延伸期-月-季-年气候预测业务系统(贾小龙等, 2013)。但是当前动力预测的准确性不高,面临许多不确定因素,因此,发展新一代的气候预测系统,研究先进的资料同化方案,改善模式物理过程,建立更好的集合预报方案是我国气候研究中亟待解决的难题。

本文首先介绍了南京信息工程大学第一代气候预测系统 NUIST CFS1.0 的基本构成,并基于该系统做了 37 a 的集合历史回报预测试验,检验了该系统对 ENSO 和 IOD 这两个东亚气候可预测来源的预测性能。同时,评估了 3 月 1 日起报的夏季汛期的预测技巧,并利用 NUIST CFS1.0 提前一个季节对 2019 年夏季的气温和降水进行实时预测试验,并根据历史观测和预测的结果制定了一个基于 ENSO 信号的模式预测误差订正方案,在一定程度上优化了预测结果。此外,本文也初步评估了 NUIST CFS1.0 对我国冬春季的气候预测技巧,并提供了经简单订正后的今冬和明春实时预测结果。

## 1 NUIST CFS1.0 简介

南京信息工程大学气候预测系统 1.0 (NUIST CFS1.0) 是基于日本海洋科学技术研发机构(JAMSTEC)的 SINTEX-F 模式(Gualdi et al., 2003; Luo et al., 2003; Luo et al., 2005a, 2005b)发展而来的,最早源于欧洲的 SINTEX 模式(Gualdi et al., 2003; Guilyardi et al., 2003),通过耦合先进的大气和海洋全球模式,并采用耦合同化海表温度的方案得到初始场,可以用于实现对全球气候异常的季节-年际预测。NUIST CFS1.0 预测系统的结构如图 1 所示。

### 1.1 大气模式

NUIST CFS1.0 的大气部分是 ECHAM4, ECHAM4 是马普研究所基于欧洲中心(ECMWF)天气预测谱模式研发的第四代大气环流模式,相比较其第三代模式 ECHAM3,其在对流层高层温度和

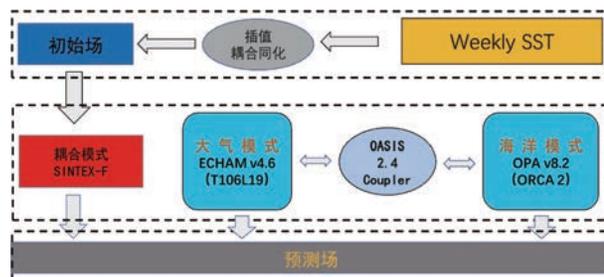


图 1 南京信息工程大学气候预测系统 1.0 (NUIST CFS1.0) 的系统结构

Fig.1 System structure of the NUIST CFS1.0

纬向风的模拟上有了不小的改进(Roeckner et al., 1996)。模式的输出变量包括涡度、散度、温度、表层气压、水汽含量以及云水含量等,动量的计算是从涡度场、散度场出发,并叠加了地表摩擦、重力波拖曳影响以及积云摩擦作用。

ECHAM4 的动力框架是基于原始方程编写的,垂直方向上主要采用 19 层的混合  $\sigma$ - $p$  坐标系(最高层为 10 hPa),在水平方向上有 T30、T42、T106 等不同精度空间分辨率的版本,为了更好地实现对区域气候的模拟和预测,NUIST CFS1.0 采用高分辨率 T106( $1.1^\circ \times 1.1^\circ$ )的版本。

在模式的物理过程方面,NUIST CFS1.0 采用和 ECHAM4 相同的方案。在云水和水汽平流方面,采用半拉格朗日传输方法(Rasch and Williamson, 1990);积云对流参数化方案是基于 Tiedtke 质量输送方程组(Tiedtke, 1989),考虑夹带和逸出对上升、下沉质量通量的影响;辐射参数化在 Morcrette 方案(Morcrette et al., 1986)的基础上加入了温室气体、水汽连续方程以及云光学特性的修正参数化方案。

### 1.2 海洋模式

NUIST CFS1.0 的海洋部分是 OPA8.2 (Madec et al., 1997),该模式是基于  $2^\circ$  麦卡托网格非线性 Arakawa C-格点来求解原始方程的有限差分海洋环流模式,水平网格为球面上正交的曲线。为了克服北极的奇点问题,将北半球上网格点的两极设置在东亚和北美,各向异性比在各个位置均为 1 左右。模式的水平分辨率为  $2^\circ$  (纬度)  $\times 2^\circ$  (经度),近赤道地区的分辨率则提升到  $0.5^\circ$ 。垂直方向上一共有 31 层,其中有 19 层是在 400 m 深度以上。

在模式的物理过程中,除了刚性边界设置改为自由表面设置(Roulet and Madec, 2000),以及使用 Gent and McWilliams (1990) 关于等密度混合的方案,其他大部分采用和 OPA8.1 版本相同的方案,垂直涡旋扩散系数和黏性系数通过 1.5 级湍流封闭方

案(Blanke and Delecluse, 1993)计算得到。

### 1.3 耦合器

大气和海洋的模式通过 OASIS 2.4 耦合器(Valcke et al., 2000)耦合在一起。采用区域加权方案将大气中的表层风应力,水汽和热通量插值到海洋模式的格点上,海洋中的海表面温度 SST,海冰覆盖面积和表层海流插值到大气模式的格点上。插值场的全球守恒保持为一阶,除海冰覆盖面积在 OGCM 中简化为观测的月平均气候态以外,耦合模式中没有采用任何的通量订正。除此以外,大气中的原始场通过观测的月平均气候态 SST 强迫模式运行 1 a 来得到,海洋的原始场则是采用 Levitus 年平均气候态(Levitus, 1983),初始速度为 0。

### 1.4 初始化方案

在资料同化技术上,NUIST CFS1.0 采用耦合 SST-Nudging 方案,将 NOAA/CDC 的观测的周平均 SST 通过三次样条方法插值成日平均 SST,再利用耦合松弛逼近的方法,同化进海洋模式中。这样,大气模式受海洋模式得到的与观测相近的 SST 强迫,从而生成符合真实的风应力、热量和水通量,进而强迫海洋模式,也能获得较真实的赤道太平洋的温跃层初始场,从而给季节-年际气候预测提供良好的海洋记忆力。与其他资料同化方案相比,耦合 SST-Nudging 方案非常简单有效,但是比较依赖大气和海洋模式的本身性能以及海洋-大气间的耦合强度。

### 1.5 集合方案

气候预测对海洋来讲主要是一个初值问题,但对大气来讲主要是一个下边界强迫问题(Luo et al., 2005b, 2008, 2015)。气候预测具有很强的不确定性,其主要来源包括初始场和模式物理方案的不确定性。同时季节内大气扰动譬如西风爆发等在季节尺度上不可预测的信号会对 ENSO 和 IOD 季节-年际预测带来较大的不确定。在 NUIST CFS1.0 系统中,采用三种不同的耦合物理方案和三种不同的初始化方案组合成 9 个集合成员,从而进行多方案集合平均来降低这一不确定性。鉴于海洋表层流在热带海洋大气运动中的重要作用(Luo et al., 2005a),耦合方案的不同主要体现在海洋表层流对大气的影响上。第一种方案完全忽视海洋表层流对风应力计算的影响;第二种方案中,大气相对于海洋表面仍然保持静止,但是表层风应力是通过表层风速和海洋环流的相对速度来计算的,计算公式如式(1)所示:

$$\tau = \rho_a C_D |V_a - V_o| (V_a - V_o) \quad (1)$$

其中: $\tau$  表示表层风应力; $\rho_a$  表示空气密度; $C_D$  表示拖曳系数; $V_a$  表示大气模式中的地面风; $V_o$  表示海洋模式最表层(5 m 深度处)的海流;第三种方案则是一个全耦合的方案,海表流的动量直接传递给大气,海气交界面的水平速度是连续的,这对风应力和热通量的计算都会产生影响,外部的动量源最终还会影响到全球大气的角动量平衡(Luo et al., 2005a)。初始化方案分别选取对地表热通量的负反馈值为  $-2\ 400$ 、 $-1\ 200$  和  $-800\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ , 对应的 50 m 深度混合层温度的恢复时间分别为 1、2 和 3 d。

## 2 数据与方法

观测资料采用 NCEP/NCAR 2m 全球气温月平均再分析资料(<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/wesley/reanalysis2/>), GPCP v2.3 全球月平均降水资料(<https://www.ncdc.noaa.gov/cdr/atmospheric/precipitation-gpcp-monthly>), 海温资料采用 NCEP 的最优插值海表温度 OISST (<http://www.cdc.noaa.gov/>)。

为了评估模式预测性能,基于 NUIST CFS1.0 设计了一组集合历史回报预测试验,共 9 个成员,试验的时间长度是从 1982 年 1 月—2018 年 12 月,每个月初始化一次获得耦合模式初始场,然后向前预测 24 mon。

在评估 NUIST CFS1.0 对 ENSO 和 IOD 的预测能力时,本文是通过观测和预测的 Niño3.4 指数(Trenberth, 1997)和印度洋偶极子指数 DMI(Saji et al., 1999)求相关系数来进行衡量的,其中 Niño 3.4 指数是指 Niño3.4 区域( $120^\circ \sim 170^\circ \text{W}$ ,  $5^\circ \text{N} \sim 5^\circ \text{S}$ )海温距平的平均,DMI 为热带西印度洋( $10^\circ \text{S} \sim 10^\circ \text{N}$ ,  $50^\circ \sim 70^\circ \text{E}$ )和东印度洋( $10^\circ \text{S} \sim 0^\circ$ ,  $90^\circ \sim 110^\circ \text{E}$ )平均海温距平的差。

## 3 NUIST CFS1.0 对热带气候的预测评估

过去的研究结果已经指出了 SINTEX-F 模式在模拟和预测热带海温异常方面具有良好性能(Luo et al., 2005a, 2005b),在这个工作中,我们进一步评估了 NUIST CFS1.0 预测系统 9 个成员集合在预测热带以及中纬度海温方面的性能。图 2 为 NUIST CFS1.0 提前 6、12、18 和 24 mon 对太平洋和印度洋海温距平的预测技巧。图 2a 和图 2b 可以看出,预

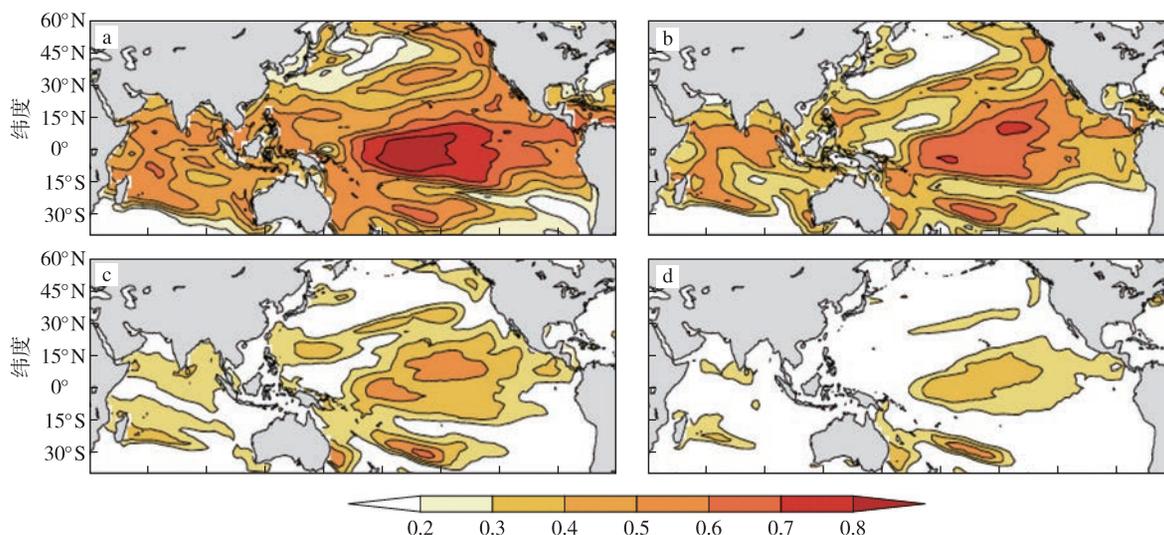


图2 NUIST CFS1.0 的9个成员集合平均提前6 mon(a)、12 mon(b)、18 mon(c)和24 mon(d)的海温结果与NCEP观测资料的相关系数技巧

Fig.2 Correlation coefficient skills between NCEP observations and the predicted SST anomalies based on NUIST CFS1.0 9-member ensemble mean hindcast at lead times of (a) 6 months, (b) 12 months, (c) 18 months, (d) 24 months

测时效一年以内,NUIST CFS1.0 系统对赤道太平洋和印度洋均有着较高的预测技巧,其中,赤道中太平洋地区海温异常的有技巧预测能够达到提前1.5~2 a(图2c和2d;Luo et al.,2007,2015;Ham et al.,2019)。

由此可以得出,NUIST CFS1.0 对 ENSO 的关键区域海温能提前1~2 a做出较准确的预测,同时,图2中也能看到,对于与 ENSO 密切相关的一些热带太平洋以外区域的海温,例如黑潮延伸体海域,澳大利亚的东西海岸,热带印度洋西南部等区域,NUIST CFS1.0 也能提前1~2 a做出较好的预测。值得指出的是,模式的预测技巧最高的区域主要在赤道的中太平洋,而并非东太平洋。虽然已有研究表明,赤道东太平洋的 ENSO 振幅更高些(Wang and Fiedler,2006),但是中太平洋型 ENSO 很大一部分是受年代际变化主导(Luo and Yamagata,2001;Sullivan et al.,2016)。

为了进一步评估 NUIST CFS1.0 的9个成员集合预测对 ENSO 的预测技巧,图3展示了1981年12月到2019年6月所有月份观测的 Niño3.4 指数和 NUIST CFS1.0 提前6、12、18和24 mon 预测结果的对比。从对过去 Niño3.4 指数的预报结果来看,NUIST CFS1.0 预测系统可以提前1~1.5 a对 ENSO 做出较高技巧的预测,提前12 mon 的预测值和观测值相关系数能达到0.62,有些强的 ENSO 事件甚至可以提前1.5~2 a进行预测。例如,1997/1998 冬季的超强厄尔尼诺,NUIST CFS1.0 能

提前18 mon 预测出 Niño3.4 指数超过1.0,这说明 NUIST CFS1.0 能提前很长时间对超强厄尔尼诺事件做出预报。除此之外,NUIST CFS1.0 能提前两年对 ENSO 事件的演变特征做出不错的预报,比如多年持续的拉尼娜事件和2002/2003年中太平洋型厄尔尼诺事件(Luo et al.,2008,2015)。

图4表示 NUIST CFS1.0 提前3、6、9和12 mon 对东、西印度洋平均 SST 距平的预测以及印度洋偶极子 IOD 指数与实际观测值的对比,可以看到,NUIST CFS1.0 系统可以提前1~2个季节对 IOD 做出有较高技巧的预测(图4c),提前3 mon 的 IOD 指数预测值与观测值的相关系数达到0.66。对比观测和预测的 IOD 指数时间曲线可以看到,NUIST CFS1.0 提前1 a 的预测能基本把握住 IOD 的发生发展衰减趋势以及位相、振幅等基本特征。除此之外,对比图4a、图4b和图4c的结果可以看出,相比较印度洋偶极子指数,对于东西印度洋各自平均 SST 距平的预测,NUIST CFS1.0 显示了更高的预测技巧,计算的结果表明,1984—2018 年期间模式对东西印度洋平均 SST 距平的预测在提前1 a 的时效下技巧都在0.5以上,研究表明这可能是由于 ENSO 的影响所致(Luo et al.,2007,2015)。图4a 可以看到,1997/1998 西印度洋强的暖海温异常,NUIST CFS1.0 可以提前一年给到相对准确的预测;另外,对于1987、1991、2003、2006、2009和2015年的暖异常事件,以及1985、1989、1996、1999、2003、2005、2007、2010和2016年的冷事件均能在

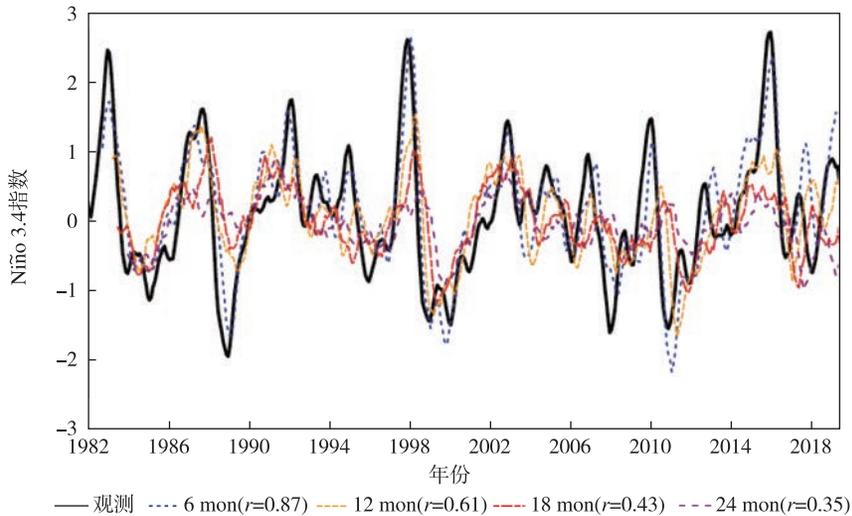


图3 1981年12月到2019年6月Niño3.4指数观测值(黑实线)和NUIST CFS1.0提前6 mon(蓝虚线)、12 mon(橙虚线)、18 mon(红虚线)和24 mon(紫虚线)的预测值(观测和预测的结果都进行了5个月滑动平均处理;括号中数字表示不同预测时效下的预测值与观测值的相关系数)

Fig.3 The observed Niño3.4 index (black solid line) and the predicted Niño3.4 index based on NUIST CFS1.0 at lead times of 6 months (blue dashed line), 12 months (orange dashed line), 18 months (red dashed line), and 24 months (purple dashed line) from December 1981 to June 2019 (The results of observation and prediction are all processed by 5-month moving average; The number in bracket indicates the correlation coefficient skill between the predictions and the observations at each lead time)

提前9~12 mon的时间尺度上做出不错的预测。然而大部分的预测,都存在对事件的开始和达到极值的时间预测偏晚的缺陷。

#### 4 中国夏季气候异常实时预测及偏差订正

统计和动力数值模式气候预测是国际上两种主要的方法。统计气候预测研究与业务应用在我国已经有多年的历史,包括各种时间序列和空间场的预测方法等,有许多研究已经针对我国汛期降水建立了一些有效统预测模型(范可等,2016)。运用动力数值模式进行气候预测研究始于20世纪80年代,虽然经过30多年的发展但是目前国内外模式对于东亚、对我国的气候预测的能力仍比较有限,这是因为引起东亚气候年际异常的机制十分复杂,受中高纬气候系统的影响较大,其可预测性也较低。2018年我们已经将NUIST CFS1.0成功地移植到南信大超级计算机,从2019年1月开始提供逐月滚动更新的未来两年的全球实时预测信息,并参加了国家气象局气候中心3月发布的夏季汛期预测和10月发布的冬春季预测会商。首先基于NUIST CFS1.0每年3月1日起报的6—8月预测结果,我们对模式的

夏季汛期预测技巧进行初步评估。图5给出了NUIST CFS1.0 3月1日起报的同年夏季(6、7、8月)气温和降水气候态和实测气候态的对比。从图5a、5b中可以发现模式对于夏季中国气温平均态的预测效果很好,预测结果不论是温度的空间分布还是强度上都和观测结果比较一致。图5c、5d显示了模式对我国夏季降水气候态的预测技巧也较高,少许偏差表现在预测的东南沿海降水略偏少,而西北略偏多。

虽然模式对中国区域的气温和降水气候态具有较高的预测技巧,夏季气温和降水异常的预测技巧则仍然存在很大的不足(图6)。从图6a中可以看到,温度异常预测技巧较高的区域大多分布在海洋上,并且以热带海洋为主,在热带印度洋、大西洋和太平洋的大部分地区预测技巧较高。同时,模式对中高纬度太平洋的海温异常也具有一定预测巧,尤其是在东北太平洋和西南太平洋,海温异常的相关系数预测技巧达到0.6以上。此外,模式对陆地上的气温异常也具有一定的预测技巧,在欧亚大陆、美洲、澳洲、非洲的部分区域均有较高预测技巧。但是中国地区夏季气温异常的预测技巧普遍较低,预测技巧较高的区域有限,主要集中在东北区域和西南

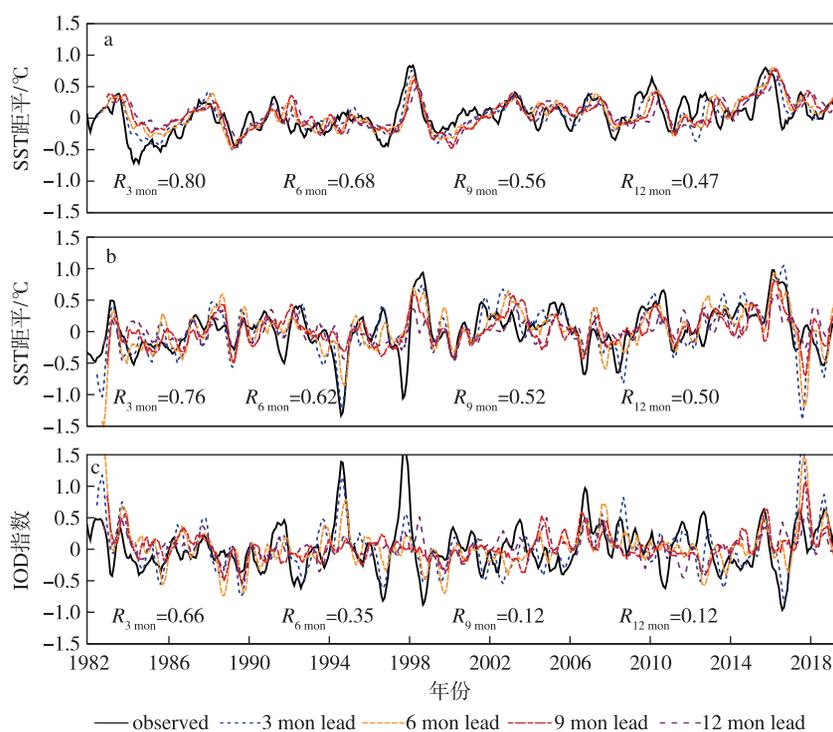


图 4 1981 年 12 月到 2019 年 6 月观测的 (黑实线)、NUIST CFS1.0 提前 3 mon (蓝虚线)、6 mon (橙虚线)、9 mon (红虚线)、12 mon (紫虚线) 预测的西印度洋 ( $50^{\circ}\sim 70^{\circ}\text{E}$ ,  $10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$ ) 平均 SST 距平 (a)、东印度洋 ( $90^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{E}$ ,  $10^{\circ}\text{S}\sim 0^{\circ}$ ) 平均 SST 距平 (b) 和 IOD 指数 (c) (观测和预测的结果均进行了 5 mon 滑动平均处理; 数字表示西印度洋极子、东印度极子和印度洋偶极子不同预测时效的预测技巧)

Fig.4 The observed (black solid line) and the predicted (a) SST anomalies in West Indian Ocean ( $10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$ ,  $50^{\circ}\text{E}\sim 70^{\circ}\text{E}$ ), (b) SST anomalies in East Indian Ocean ( $10^{\circ}\text{S}\sim 0^{\circ}$ ,  $90^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{E}$ ) and (c) IOD index based on NUIST CFS1.0 at lead times of 3 months (blue dashed line), 6 months (orange dashed line), 9 months (red dashed line), and 12 months (purple dashed line) from December 1981 to June 2019 (The results of observation and prediction are all processed by 5-month moving average; The number indicates the correlation coefficient skill between the predictions and the observations at each lead time)

部分区域。图 6b 是夏季降水异常的相关系数预测技巧分布图。可以看到全球降水异常的预测更具挑战性,较高技巧的区域主要集中在受 ENSO 海温控制的热带中、东太平洋地区,以及热带印度洋和大西洋的部分区域。尤其是热带外陆地区降水异常预测技巧普遍较低,值得关注的是模式对于夏季长江中下游的汛期降水异常具有一定的预测技巧。大量的研究表明,ENSO 对我国气候具有重要影响,ENSO 循环与我国冬、夏季降水的多寡及时空变化有密切的关系,是我国气候异常可预测性的重要来源。我国科学家在 ENSO 机理及预测 (李崇银等, 2008)、ENSO 与季风的相互作用 (黄荣辉等, 2003) 等方面取得许多重要的成果。上述评估结果表明 NUIST CFS1.0 与国内外所有动力模式预测系统类似,对东亚地区的气候异常预测存在较大的不足。

本文尝试去除与 ENSO 预测相关的系统偏差来初步订正东亚地区温度异常和降水距平百分率的预测结果,对比订正前后的空间相关系数来评估订正效果。

2018/2019 年冬季发生了一个弱厄尔尼诺事件,2018 年 11 月达到最强后有所减弱,尤其是在 2019 年 1 月强度衰减较快。但是 2019 年 2 月赤道太平洋发生了强东传暖 Kelvin 波事件,是否会促发与 2015 年类似的强厄尔尼诺事件当时争议较大。NUIST CFS1.0 系统 2019 年 3 月 1 日起报的预测结果显示这个厄尔尼诺事件在春季将有一个弱的反弹,然后逐步衰减,夏季仍会维持一个弱的厄尔尼诺事件 (如图 7b 所示)。根据模式实时预测的厄尔尼诺发展趋势以及考虑了 2 月强暖 Kelvin 波事件的影响,挑选出了 1982 年以来 8 个厄尔尼诺发展年

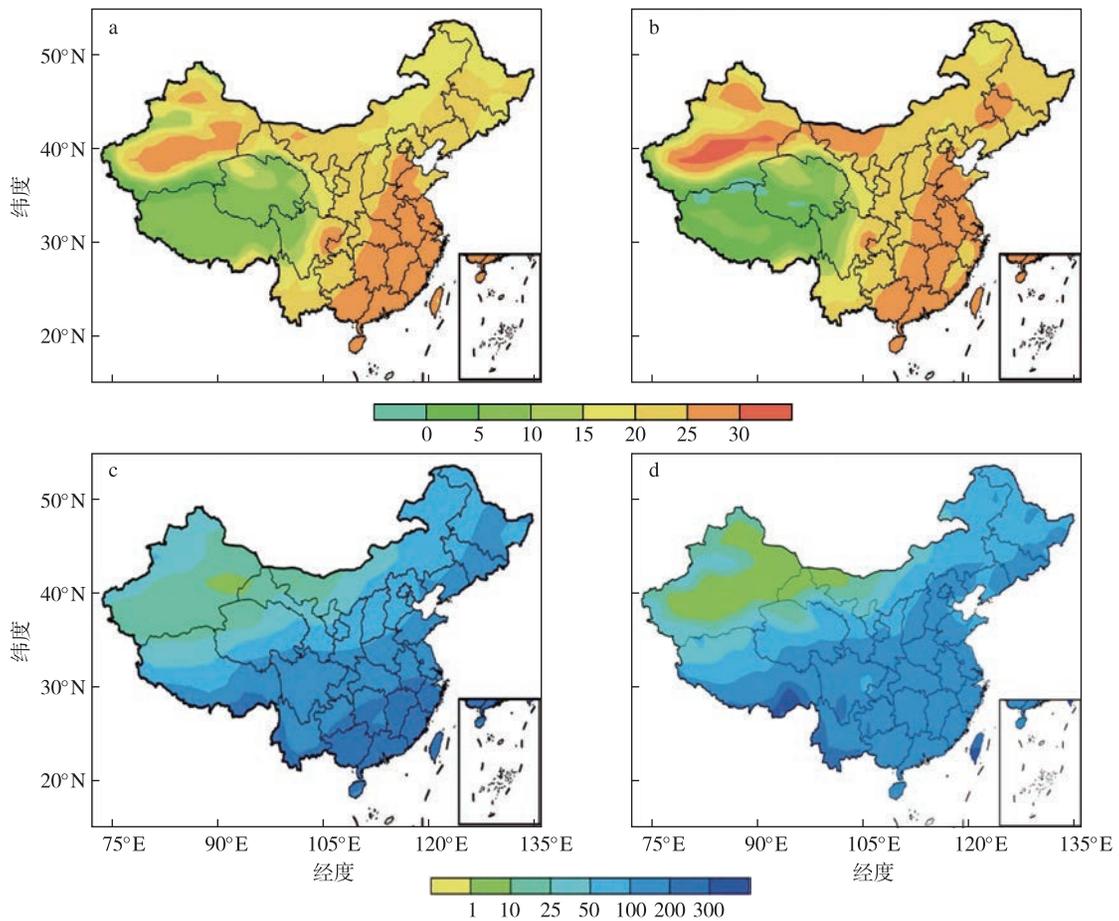


图5 1982—2016年6—8月平均近地面2 m气温场(单位:°C;a.JRA观测值;b.3月1日起报的预测值)和降水场(单位:mm;c.GPCP观测值;d.3月1日起报的预测值)

Fig.5 JJA mean 2 m temperature field near the ground (units:°C;a.observations of JRA;b.model predictions initiated from 1 March) and precipitation field (unit:mm;c.observations of GPCP;d.model predictions initiated from 1 March) during 1982—2016

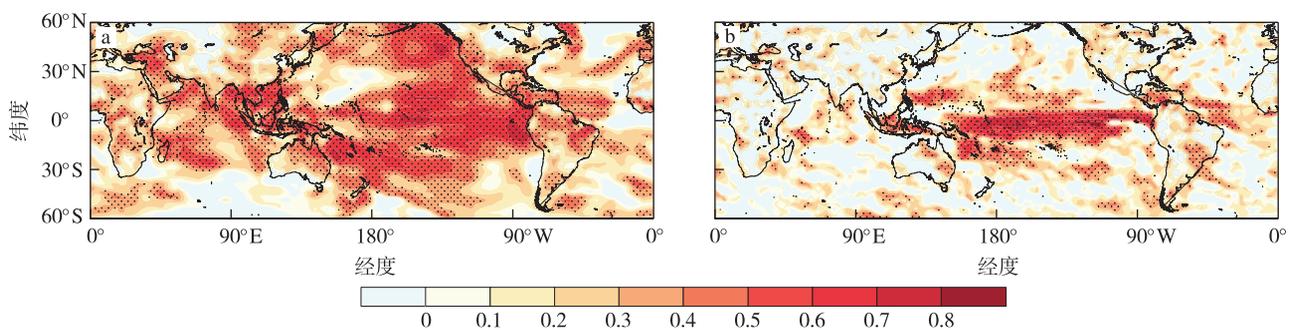


图6 1982—2016年3月1日起报的6—8月平均气温异常(a)和降水异常(b)的相关系数预测技巧(打点区域表示通过95%置信度的显著性检验)

Fig.6 Correlation coefficient skill in predicting JJA mean (a) temperature anomalies and (b) precipitation anomalies initiated from 1 March during 1982—2016 (Shaded areas with dots denote the skill being statistically significant at 95% confidence level)

(1982、1987、1991、1997、2002、2004、2009、2015年);图7a给出每个事件的2 a前7月到次年2月Niño3.4地区的观测海温演变(例如:对于1982年事件,显示了1980年7月到1983年2月的观测

值)。从图7a中可以发现2017年7月至2019年2月期间Niño3.4海温异常(黑色折线)和其他厄尔尼诺发展年Niño3.4海温演变比较类似。基于这8个典型厄尔尼诺发展年份,对比分析了预测和观测

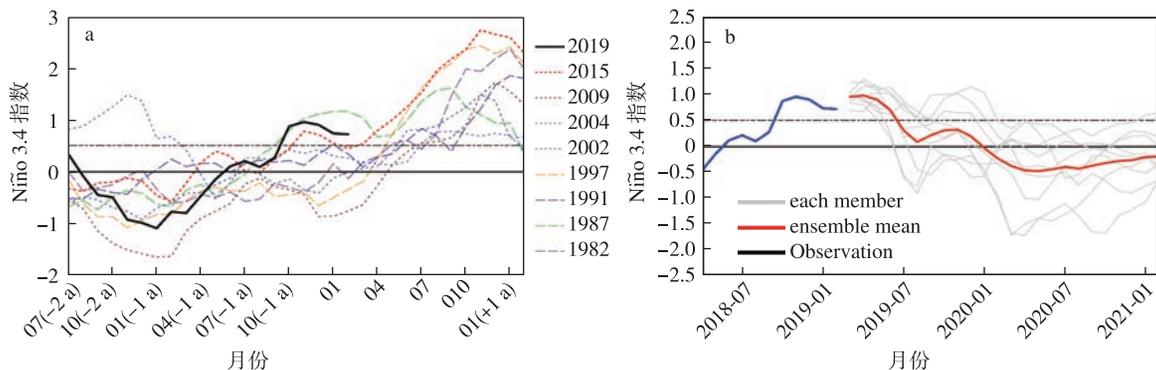


图 7 (a)典型厄尔尼诺发展年前 2 a 前 7 月至次年 2 月观测的 Niño3.4 指数(黑粗线为 2017 年 7 月至 2019 年 2 月观测的 Niño3.4 指数);(b)2019 年 3 月 1 日起报的未来 2 a 的 Niño3.4 海温异常(灰色:9 个不同成员;红色:集合平均;蓝色:观测)

Fig.7 (a) Observed Niño3.4 SST anomalies from July two years ago in the typical El Niño developing year to February after the El Niño year (Black thick line denotes observations from July 2017 to February 2019), and (b) model real time predictions of Niño3.4 SST anomalies in the next two years initiated from 1 March 2019 (gray: 9 different members; red: ensemble mean; blue: observation)

的中国夏季温度异常和降水距平百分率,并对模式的实时预测结果进行了简单订正。不同的厄尔尼诺发展状况对中国夏季温度和降水的影响不同,模式的预测结果也不相同,并且厄尔尼诺和中国夏季温度以及降水之间的关系也不是一成不变的(Gao et al., 2006; Liu et al., 2019; Wen et al., 2019)。宗海锋等(2010)发现 ENSO 与中国夏季降水之间的关系具有明显的地域性和年代际不稳定,其中 ENSO 对我国东北和西北地区影响的不稳定性比东部地区大。但是对不同厄尔尼诺事件影响的预测也会存在一个共同的系统性偏差,通过订正这一系统性偏差,可以提高模式对厄尔尼诺发生年夏季中国温度异常和降水距平百分率的预测技巧。

基于模式的 9 个成员集合平均预测结果,计算上述 8 个厄尔尼诺发展年 3 月 1 日起报的同年 6—8 月的系统误差(即 8 个典型年份平均气温异常或降水距平百分率预测和观测结果之间的差异)。图 8a、8d 分别是典型年份合成的夏季(JJA)观测的温度异常和降水距平百分率空间分布,观测显示厄尔尼诺发展年夏季黄河以南大部分地区是偏冷的,对比发现模式预测的气温异常呈现出南暖北冷的分布。温度异常的系统性偏差主要表现为南北反向的偏差,模式对南方预测大体呈暖偏差,而对北方的预测则以冷偏差为主;但也具有一定的区域特征,如长江以南地区、新疆南部、华北北侧和西藏是正温度偏差;陕甘宁、新疆北部和东北北部地区是负温度偏差。夏季降水距平百分率的系统性偏差区域性更明显;如图 8f 所示,厄尔尼诺发展年夏季时预测的降

水距平百分率的偏差主要表现为江淮流域和南方部分地区降水偏少,其中湖南、广西、贵州交界处降水偏少明显;东北部分地区、陕甘宁交界处、长江中下游地区以及新疆南部地区偏多,其中陕甘宁地区和新疆南部是明显的正偏差。将上述模式预测的系统误差去除得到订正后的预测结果,然后计算厄尔尼诺发展年(1982、1987、1991、1997、2002、2004、2009、2015 年)订正后的温度和降水距平百分率异常的空间相关系数技巧。图 9 展示了 8 个厄尔尼诺发展年 3 月 1 日起报的 6、7、8 平均中国温度与降水距平百分率订正前后空间相关系数技巧,可以看到订正之后气温异常和降水距平百分率的空间相关系数在大部分年份有明显的提高。图 9a 中 1997、2002 年订正之后温度异常的空间相关系数都由负变为正,其中 1997 年的空间相关系数达 0.4 左右;图 9b 中原本为负的空间相关系数的年份经订正均转为正的相关系数,并且 2002 年订正的效果较明显,经过订正之后降水的空间相关系数技巧接近 0.4。上述分析表明该订正方法确实能有效的提高模式对我国夏季温度异常和降水距平百分率的预测技巧,具有一定的应用价值。根据上述方法对模式 2019 年 3 月 1 日起报的同年中国夏季(JJA)温度和降水距平百分率进行了订正。

图 10b 显示了经过订正后的 2019 年夏季气温异常预测结果:中国大部分区域是暖异常,其中东北、新疆、汉中区域以及云南省暖异常比较明显。广西、贵州、湖南、新疆西藏交界处、及江西等地出现弱的冷异常。预测结果与实测的暖异常区域基本吻

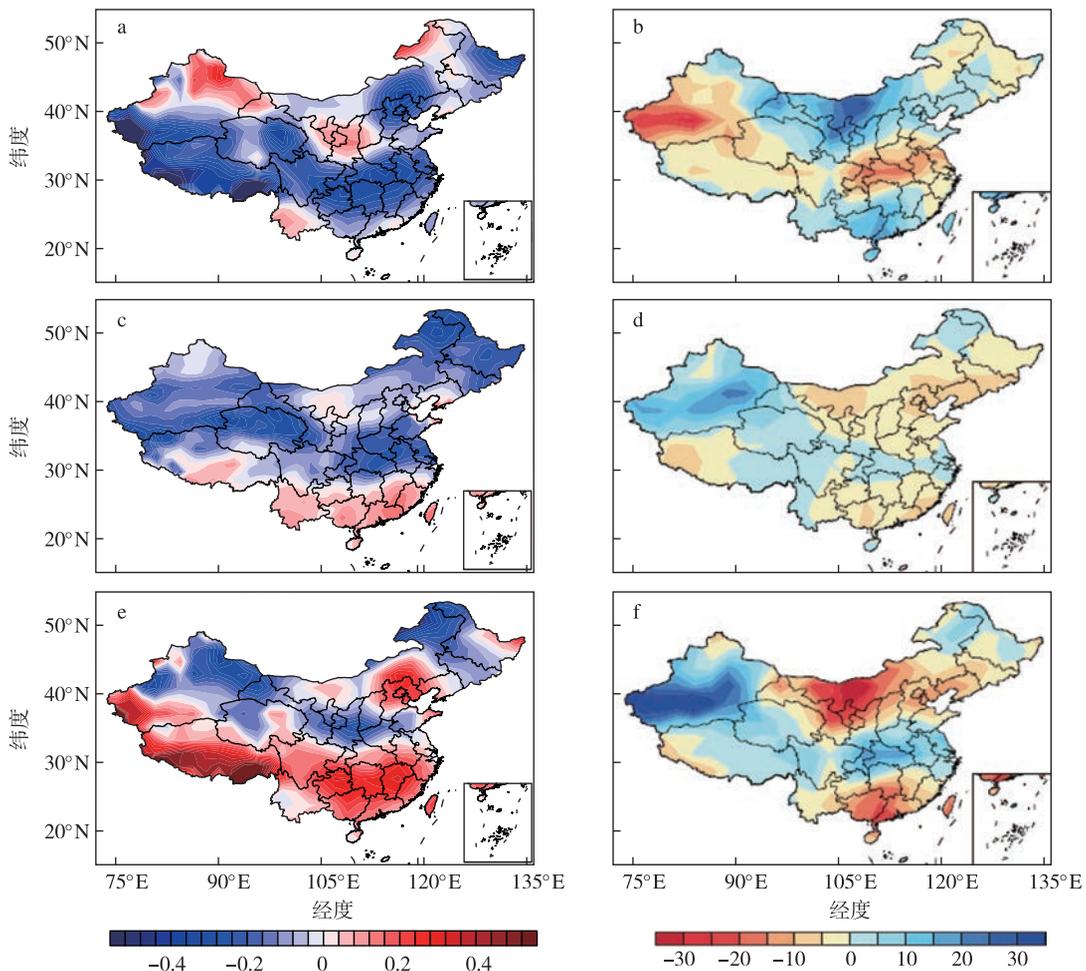


图8 典型厄尔尼诺发展年观测(a,b)、模式预测(c,d)和系统偏差(e,f)的合成分布:(a,c,e)温度异常(单位:℃);(b,d,f)降水距平百分率(单位:%)

Fig.8 Composite distributions of (a,b) observations, (c,d) model predictions, and (e,f) model prediction biases in the typical El Niño developing years; (a,c,e) temperature anomalies (units: ℃); (b,d,f) precipitation anomaly percentages (units: %)

合,但是模式对冷异常的预测存在较大偏差,没有预测出黑龙江省、西北大部分区域、汉中区域以及浙江省的冷异常。上述的系统偏差订正提高了模式预测技巧,空间相关系数技巧达到0.2左右。图11b给出的是订正后的2019年夏季降水距平百分率的实时预测结果:我国北方大部地区少雨,多雨区位于江淮流域、华南地区、西南南部地区,此外华北南部、东北的东北部、高原的东侧,都存在降水偏多的情况;西北及汉中大部分地区降水偏少。实测结果表明,订正后的2019年夏季降水距平百分率的预测仍然存在较大的偏差。订正后的结果较好的预测了2019年夏季东北的降水偏多的情况,以及我国贵州、湖南、广西三省份今夏较往年降水偏多,但没有预测出西北地区2019年夏季降雨偏多的情况;此外也没有预测出河南、湖北、安徽等地的偏干。而且经过订正后模式预测的降水距平百分率的空间相关系

数技巧并没有提高,反而出现了降低的情况(-0.1左右),这与1991年的情况类似。这可能是因为影响东亚气候的因子十分复杂,仅针对典型厄尔尼诺事件进行订正还存在一定的局限性,更加有效的订正方法需要进一步的研究。鉴于东亚气候异常的复杂成因,预测的不确定性较大。基于NUIST CFS1.0逐月起报的2a实时预测结果,我们评估了不同预测时效模式对气温和降水距平百分率的空间相关系数预测技巧。图12给出了从2018年1月到2019年6月逐月1日起报的中国夏季(JJA)气温异常和降水距平百分率的预测技巧,发现并不是起报时间越接近预测目标季节(JJA)效果就越好。如图12a所示,2018年4月1日起报的温度异常预测结果与观测实况最接近,空间相关系数达到0.4左右,而2019年5月1日起报的结果是这18个起报月份里最差的,空间相关系数技巧在-0.3左右。降水的

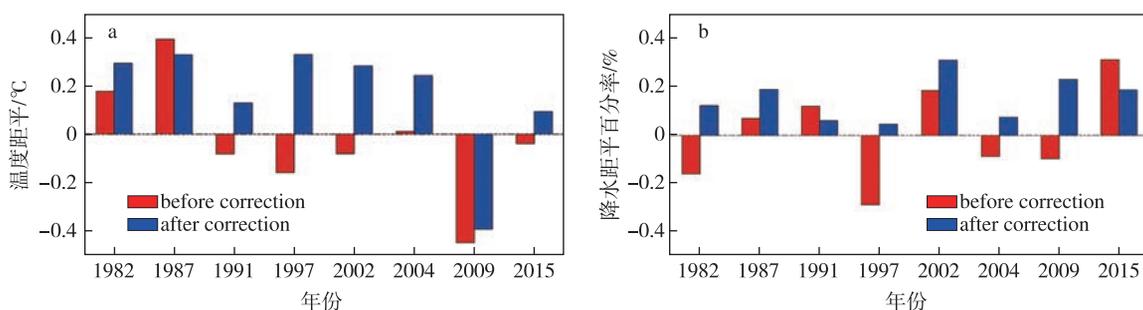


图9 典型厄尔尼诺发展年系统偏差订正前(红色)、后(蓝色)中国区域温度异常(a;单位:°C)和降水距平百分率(b;单位:%)的空间相关系数预测技巧

Fig.9 Spatial correlation coefficient skill in predicting ( a;units:°C) temperature anomalies and ( b;units:%) precipitation anomaly percentages in China before(red) and after(blue) the systematic biases are corrected in the typical El Niño developing years

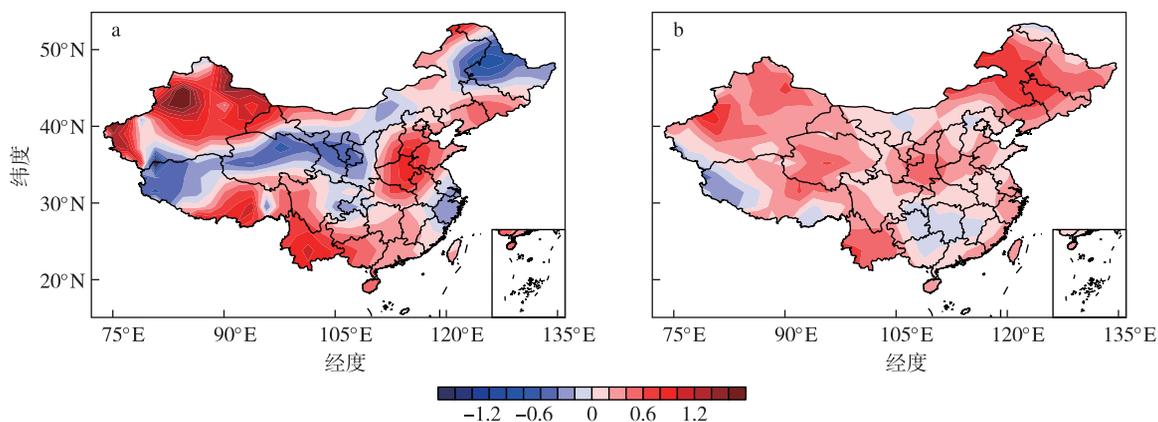


图10 2019年夏季(JJA)中国温度异常(单位:°C):(a)观测结果;(b)订正后的模式2019年3月1日起报的实时预测结果

Fig.10 Temperature anomalies in China in JJA 2019 based on ( a) observations and ( b) model real time predictions initiated from 1 March 2019 after the systematic biases are corrected(units:°C)

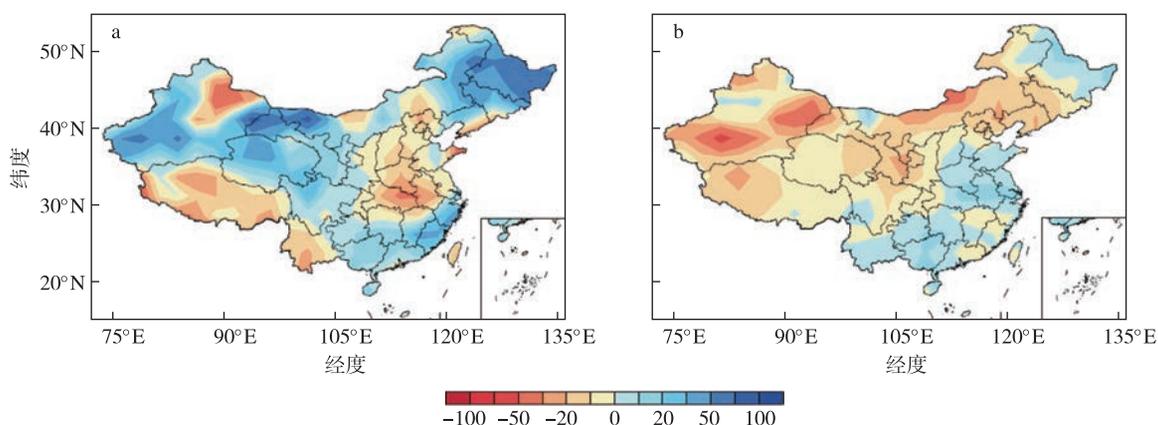


图11 2019年夏季(JJA)中国降水距平百分率(单位:%):(a)观测结果;(b)订正后的模式2019年3月1日起报的实时预测结果

Fig.11 Precipitation anomaly percentages in China in JJA 2019 based on ( a) observations and ( b) model real time predictions initiated from 1 March 2019 after the systematic biases are corrected(units:%)

预测也存在类似的情况,图 12b 显示 2019 年 1 月 1 日起报的降水距平百分率的预测技巧最高,空间相

关系数技巧达 0.3 左右;而 2019 年 3—6 月 1 日起报的相关系数技巧都低于 0.1。这种结果也提示我

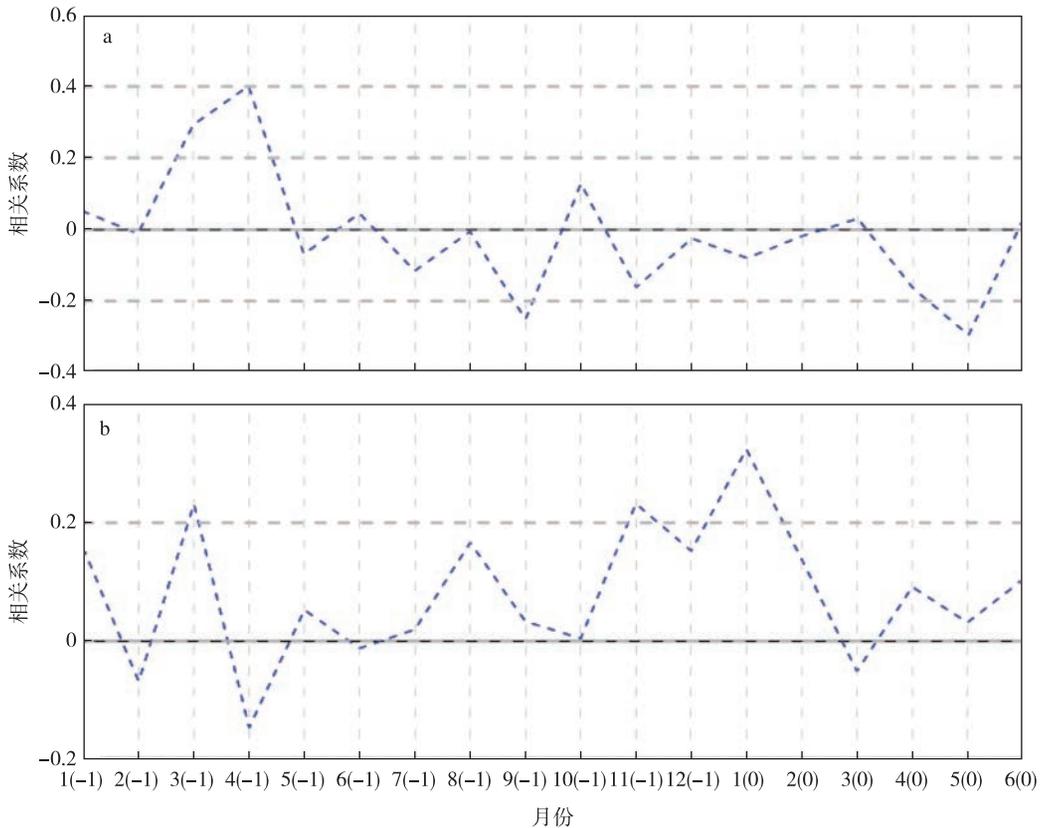


图 12 2018 年 1 月—2019 年 6 月逐月 1 日起报的 2019 年夏季温度异常(a)和降水距平百分率(b)的空间相关系数预测技巧(1~12 表示起报月是 1—12 月,(-1)表示起报年是 2018 年,(0)表示起报年是 2019 年)

Fig.12 Spatial correlation coefficient skill in predicting JJA mean (a) temperature anomalies and (b) precipitation anomaly percentages in 2019 based on model predictions initiated from 1st of each month from 1 January 2018 to 1 June 2019 (1—12 indicate that the prediction starting months are from January to December; (-1) indicates that the prediction starting year is 2018; (0) indicates that the prediction starting year is 2019)

们在进行预报时要充分考虑到各个不同起报时间的预测效果的不同;选择预测效果相对较好的起报时间,可以提高预测的准确性。

### 5 模式 10 月 1 日起报的 2019/2020 年冬春预测结果:气候态及气候异常预测技巧(1982—2016)

NUIST CFS1.0 可以能够提供未来 24 mon 的全球气候异常预测,每月更新的实时预测结果提供给国家气候中心召集的 3 月的汛期预测会商和 10 月的冬春预测会商。在这个章节,简单地评估 10 月 1 日起报的中国冬、春季气温和降水的预测技巧,并相应地对今冬和明年春季的气温和降水异常的实时预测结果做了简单订正。首先看一下气候态的预测技巧,如图 13 所示,NUIST CFS1.0 预测的冬季和春季气候态气温的总体分布与观测类似,即东南暖、西北至东北一线冷,但在中国南方地区有弱的暖偏差。预测的冬季和春季降水气候态也与观测结果吻

合,如图 14 显示,预测的气候态降水大值中心位置基本与观测的结果吻合,并且降水强度也基本一致。但是模式对我国西部降水气候态的预测误差较东部的预测误差大。

如图 15a、b 分别给出了 10 月 1 日起报的我国冬季和春季的气温异常的相关系数预测技巧分布。图 15a 中可以发现模式对冬季气温异常的相关系数预测技巧大部分区域为正,其中西南地区的云南、贵州和广西和东北的黑龙江等省份的预测技巧比较高。但是模式对春季气温异常的预测技巧较冬季的低(图 15b),虽然南方沿海和西南区域的春季气温异常预测技巧比较高但是模式对于江淮流域的春季温度异常的预测负技巧,显示了较大的地域性差异。与气温异常的预测相比,降水异常的预测更具挑战性,对于冬季和春季降水异常的预测模式基本都是在南方和西北地区为正的技巧、华北等中部地区存在负的预测技巧。

图 16 给出了 NUIST CFS1.0 对 2019/2020 年

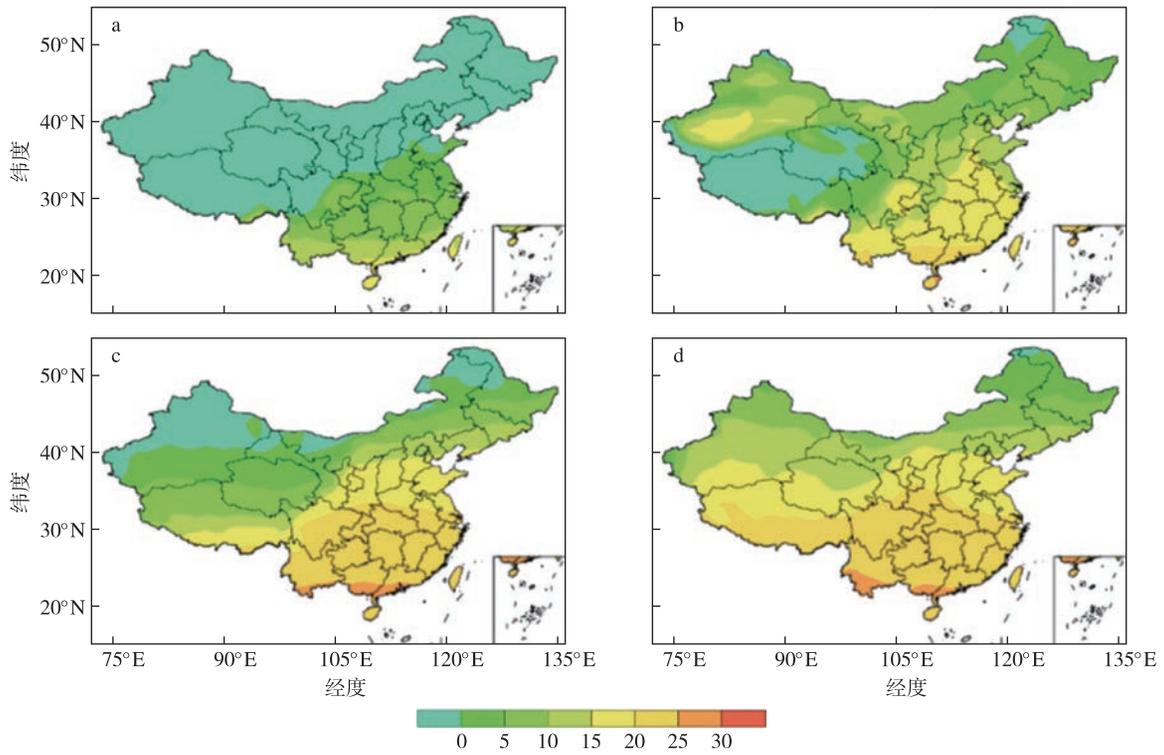


图 13 实测冬季(a)和春季(b)气温气候态分布,以及1982—2016年10月1日起报的冬季(c)和春季(d)气温气候态分布(单位:℃)

Fig.13 (a,c) Winter(DJF) and (b,c) spring(MAM) climatology of temperature based on (a,b) observations and (c,d) model predictions initiated from 1 October from 1982 to 2016(units:℃)

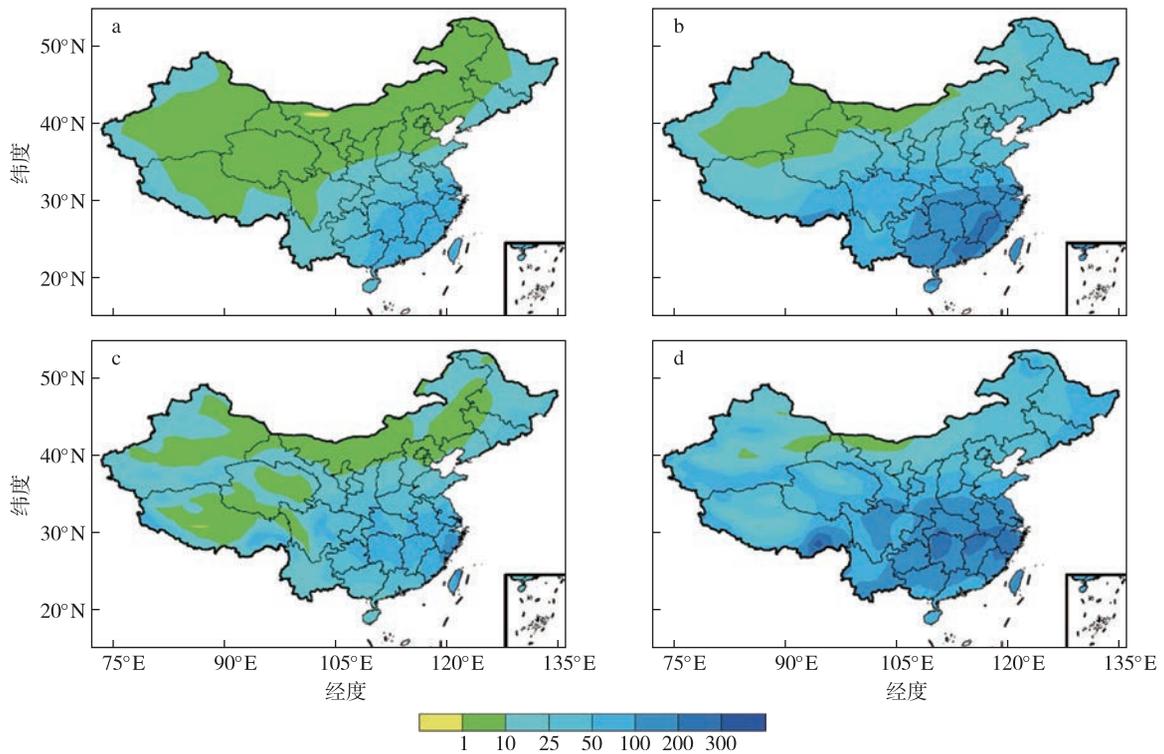


图 14 实测冬季(a)和春季(b)降水气候态分布,以及1982—2016年10月1日起报的冬季(c)和春季(d)降水气候态分布(单位:mm)

Fig.14 (a,c) Winter(DJF) and (b,c) spring(MAM) climatology of precipitation based on (a,b) observations and (c,d) model predictions initiated from 1 October from 1982 to 2016(units:mm)

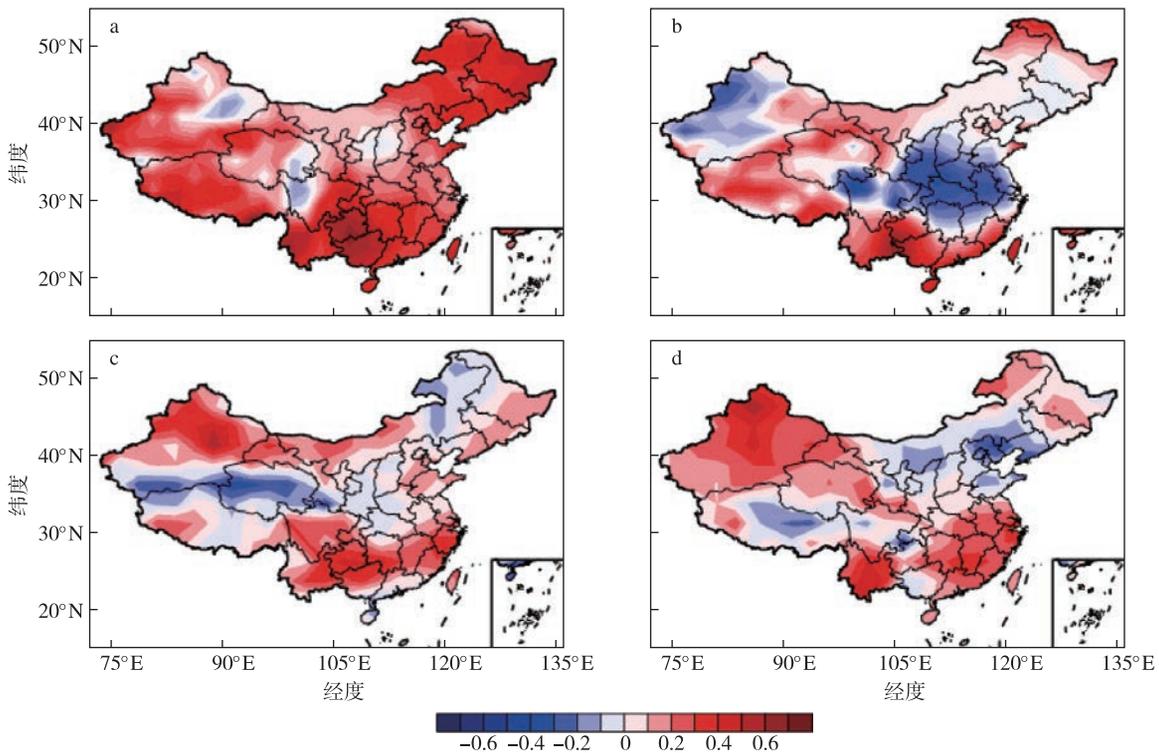


图 15 2019 年 10 月 1 日起报的冬季(a,c)、春季(b,d)中国气温异常(a,b)和降水距平百分率(c,d)的预测技巧(相关系数)分布

Fig.15 Distributions of forecasting skills (correlation coefficients) in predicting(a,b) temperature anomalies and(c,d) precipitation anomaly percentages in China in (a,c)DJF and (b,d)MAM initiated from 1 October 2019

冬季(DJF)以及2010年春季(MMA)的气温异常和降水距平百分率的实时预测结果。考虑到有些区域的相关系数预测技巧为负,我们对技巧为-0.2及以下区域的实时预测结果符号相反,得到如图显示的订正后的结果。2019/2020年冬季我国东部大部分区域偏暖,其中东北和东南地区暖异常明显,同时西南地区贵州、云南、四川等省份冬季也偏暖,而西部新疆和西藏等省份呈现略微偏冷的形势,而明显的冷异常出现在山西、陕西、河南这几个省份。图16b显示2020年春季中国东部气温异常分布与2019/2020年冬季基本一致,除了长江下游有轻微的冷异常。此外,根据预测结果,春季我国西部大部分区域是略偏暖的形势。图16c和d分别给出了模式预测的2019/2020年冬季、2020年春季的降水距平百分率分布图,预测结果表明:2019/2020年冬季我国东部大部分地区降水偏多,多雨异常的大值中心位于华南沿海区域和华北区域的山东等省份。同时西部地区呈现出北部降水偏多而南部偏少的形势,东北略有偏干的形势。春季的降水异常呈现东部大部分地区 and 新疆南部降水较往年偏多,而东北地区偏干。

## 6 结论

本文对南京信息工程大学气候预测系统1.0(NUIST CFS1.0)1982—2018年间的9个成员集合历史回报试验以及2019年的夏季汛期实时预测进行了初步评估,结果如下:

1) NUIST CFS1.0对热带太平洋和印度洋海温具有良好的预测技巧,且能提前1.5 a左右对ENSO(Niño3.4指数)做出较好预测,有的ENSO事件能提前2 a预测,在国际上处在较为领先的水平。此外,NUIST CFS1.0系统可以提前1~2个季节对IOD指数做出有技巧的预测,并且在提前1 a之内能预测东、西印度洋海温异常的发生发展、衰减趋势、位相和振幅等基本特征。

2) NUIST CFS1.0系统能较好地预测我国夏季气温和降水的气候态分布,但是与国内外预测系统类似,对气温和降水异常的预测技巧还存在很大的不足。鉴于ENSO对我国夏季气温与降水的重要影响和2019年夏季厄尔尼诺事件发生的可能性,基于8个过去厄尔尼诺发生年评估了模式预测的系统性偏差,发现温度预测偏差呈现南方暖北方冷的分

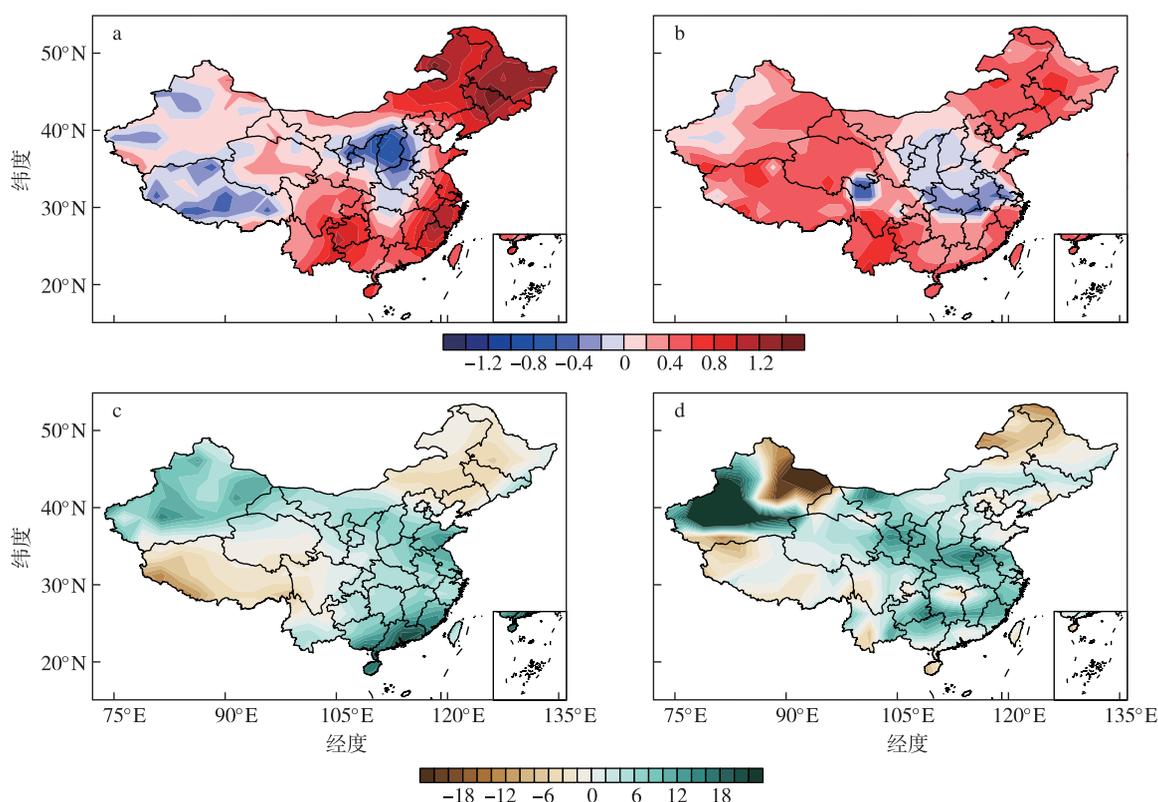


图 16 2019 年 10 月 1 日起报的 2019/2020 冬季(a,c)和 2020 年春季(b,d)中国气温异常(a,b;单位:℃)和降水距平百分率(c,d;单位:%)的预测结果

Fig.16 Real time forecasts of (a,b) temperature anomalies(units:℃) and (c,d) precipitation anomaly percentages (units:%) in China in (a,c)DJF 2019/2020 and (b,d)MAM 2020 initiated from 1 October 2019

布;而降水距平百分率的系统偏差从北至南呈现多偏少偏多的三极型分布,此外新疆大部分地区预测的降水偏多。将上述的系统偏差从实时预测的夏季温度和降水距平百分率中去除,发现订正后的温度和降水距平百分率异常的空间相关系数技巧在大部分年份都有一定程度的提高。但是 2019 年夏季的实时预测结果与后来的观测结果仍存在较大偏差,技巧评分不高,这与全国大多数预测系统的结果类似,同时不同月份起报的夏季异常预测技巧也有很大的不同,显示了东亚夏季气候异常预测的困难性和复杂性。

3)初步的评估结果表明:NUIST CFS1.0 系统对我国冬、春季的气温和降水气候态也具有较好的预测技巧,且对大部分地区的气温和降水异常的相关系数预测技巧均为正值。本文对局部负相关系数大值区( $\leq -0.2$ )的实时预测异常进行了简单的符号订正,结果表明 2019/2020 年冬天和 2020 年春季中国南方雨水偏多,将有利于缓解 2019 年南方持续的旱情。

上述结果展示的是 NUIST CFS1.0 预测系统的初步评估和简单订正,更有效的预测订正方案以及预测系统正在进一步研发中。

## 参考文献(References)

- Bjerknes J,1969.Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific[J].Mon Wea Rev,97(3):163-172.
- Blanke B,Delecluse P,1993.Variability of the tropical Atlantic ocean simulated by a general circulation model with two different mixed-layer physics [J].J Phys Oceanogr,23(7):1363-1388.
- 范可,田宝强,刘颖,2016.2015/2016 年极强厄尔尼诺事件下我国动力和统计结合实时气候预测研究[J].大气科学学报,39(6):744-755. Fan K,Tian B Q,Liu Y,2016.Hybrid dynamical and statistical climate prediction in China during the extremely strong El Niño of 2015/2016[J].Trans Atmos Sci,39(6):744-755.(in Chinese).
- Gao H,Wang Y G,He J H,2006.Weakening significance of ENSO as a predictor of summer precipitation in China[J].Geophys Res Lett,33(9):L09807.
- Gent P R,McWilliams J C,1990.Isopycnal mixing in ocean circulation models[J].J Phys Oceanogr,20(1):150-155.

- Gualdi S, Navarra A, Guilyardi E, et al., 2003. Assessment of the tropical Indo-Pacific climate in the SINTEX CGCM [J]. *Annals of Geophysics*, 46: 1-26.
- Guan Z Y, Yamagata T, 2003. The unusual summer of 1994 in East Asia: IOD teleconnections [J]. *Geophys Res Lett*, 30(10): 1544. doi: 10.1029/2002gl016831.
- Guilyardi E, Delecluse P, Gualdi S, et al., 2003. Mechanisms for ENSO phase change in a coupled GCM [J]. *J Climate*, 16(8): 1141-1158.
- 黄荣辉, 陈文, 丁一汇, 等, 2003. 关于季风动力学以及季风与 ENSO 循环相互作用的研究 [J]. *大气科学*, 27(4): 484-502. Huang R H, Chen W, Ding Y H, et al., 2003. Studies on the monsoon dynamics and the interaction between monsoon and ENSO cycle [J]. *Chin J Atmos Sci*, 27(4): 484-502. (in Chinese).
- Ham Y G, Kim J H, Luo J J, 2019. Deep learning for multi-year ENSO forecasts [J]. *Nature*, 573(7775): 568-572.
- Infanti J M, Kirtman B P, 2016. North American rainfall and temperature prediction response to the diversity of ENSO [J]. *Clim Dyn*, 46(9/10): 3007-3023.
- 贾小龙, 陈丽娟, 高辉, 等, 2013. 我国短期气候预测技术进展 [J]. *应用气象学报*, 24(6): 641-655. Jia X L, Chen L J, Gao H, et al., 2013. Advances of the short-range climate prediction in China [J]. *J Appl Meteor Sci*, 24(6): 641-655. (in Chinese).
- Levitus S, 1983. Climatological Atlas of the world ocean [J]. *Eos Trans AGU*, 64(49): 962.
- 李崇银, 穆穆, 周广庆, 等, 2008. ENSO 机理及其预测研究 [J]. *大气科学*, 32(4): 761-781. Li C Y, Mu M, Zhou G Q, et al., 2008. Mechanism and prediction studies of the ENSO [J]. *Chin J Atmos Sci*, 32(4): 761-781. (in Chinese).
- Lin H, Frederiksen J, Straus D, et al., 2019. Tropical-extratropical interactions and teleconnections [M]//Sub-seasonal to seasonal prediction. Amsterdam: Elsevier: 143-164.
- Liu J, Wang H, Lu E, et al., 2019. Decadal modulation of East China winter precipitation by ENSO [J]. *Clim Dyn*, 52(12): 7209-7223.
- Luo J J, Yamagata T, 2001. Long-term El Niño-Southern Oscillation (ENSO)-like variation with special emphasis on the South Pacific [J]. *J Geophys Res*, 106(C10): 22211-22227.
- Luo J J, Masson S, Behera S, et al., 2003. South Pacific origin of the decadal ENSO-like variation as simulated by a coupled GCM [J]. *Geophys Res Lett*, 30(24). doi: 10.1029/2003gl018649.
- Luo J J, Masson S, Behera S, et al., 2005a. Seasonal climate predictability in a coupled OAGCM using a different approach for ensemble forecasts [J]. *J Climate*, 18(21): 4474-4497.
- Luo J J, Masson S, Roeckner E, et al., 2005b. Reducing climatology bias in an Ocean-Atmosphere CGCM with improved coupling physics [J]. *Journal of Climate*, 18(13): 2344-2360.
- Luo J J, Masson S, Behera S, et al., 2007. Experimental forecasts of the Indian ocean dipole using a coupled OAGCM [J]. *J Climate*, 20(10): 2178-2190.
- Luo J J, Masson S, Behera S K, et al., 2008. Extended ENSO predictions using a fully coupled ocean-atmosphere mode [J]. *J Climate*, 21(1): 84-93.
- Luo J J, Yuan C X, Sasaki W, et al., 2015. Current status of intraseasonal-seasonal-to-interannual prediction of the Indo-Pacific climate variability and predictability. Hongkong: World Scientific: 63-107.
- Madec G, Delecluse P, Imbard M, et al., 1997. Ocean general circulation model reference manual [J]. *Note du Pñle de modélisation*, 20(49): 1563.
- Morcrette J J, Smith L, Fouquart Y, 1986. Pressure and temperature dependence of the absorption in longwave radiation parameterizations [J]. *Beitr Phys Atmos*, 59: 455-469.
- Rasch P J, Williamson D L, 1990. Computational aspects of moisture transport in global models of the atmosphere [J]. *Quart J Roy Meteor Soc*, 116(495): 1071-1090.
- Roeckner E, 1996. The atmospheric general circulation model ECHAM4: model description and simulation of present-day climate. Hamburg: Max-Planck Institut für Meteorologie Rep.
- Roullet G, Madec G, 2000. Salt conservation, free surface, and varying levels; a new formulation for ocean general circulation models [J]. *J Geophys Res*, 105(C10): 23927-23942.
- Saji N H, Yamagata T, 2003. Possible impacts of Indian Ocean Dipole mode events on global climate [J]. *Clim Res*, 25: 151-169.
- Saji N H, Goswami B N, Vinayachandran P N, et al., 1999. A dipole mode in the tropical Indian Ocean [J]. *Nature*, 401(6751): 360-363.
- Sullivan A, Luo J J, Hirst A C, et al., 2016. Robust contribution of decadal anomalies to the frequency of central-Pacific El Niño [J]. *Sci Rep*, 6: 38540.
- 孙建奇, 马洁华, 陈活泼, 等, 2018. 降尺度方法在东亚气候预测中的应用 [J]. *大气科学*, 42(4): 806-822. Sun J Q, Ma J H, Chen H P, et al., 2018. Application of downscaling methods in the East Asian climate prediction [J]. *Chin J Atmos Sci*, 42(4): 806-822. (in Chinese).
- Tiedtke M, 1989. A comprehensive mass flux scheme for cumulus parameterization in large-scale models [J]. *Mon Wea Rev*, 117(8): 1779-1800.
- Trenberth K E, 1997. The Definition of El Niño [J]. *Bull Amer Meteor Soc*, 78(12): 2771-2777.
- Valcke S, Terray L, Piacentini A, 2000. The OASIS coupler user guide version 2.4 [R]. Tech Rep TR/CMGC/00-10, CERFACS.
- Wang C Z, Fiedler P C, 2006. ENSO variability and the eastern tropical Pacific: a review [J]. *Prog Oceanogr*, 69(2/3/4): 239-266.
- Wen N, Liu Z Y, Li L, 2019. Direct ENSO impact on East Asian summer precipitation in the developing summer [J]. *Clim Dyn*, 52(11): 6799-6815.
- 宗海锋, 陈烈庭, 张庆云, 2010. ENSO 与中国夏季降水年际变化关系的不稳定性特征 [J]. *大气科学*, 34(1): 184-192. Zong H F, Chen L T, Zhang Q Y, 2010. The instability of the interannual relationship between ENSO and the summer rainfall in China [J]. *Chin J Atmos Sci*, 34(1): 184-192. (in Chinese).

## Introduction to climate forecast system version 1.0 of Nanjing University of Information Science and Technology

HE Jiaying, WU Jiye, LUO Jingjia

*Institute for Climate and Application Research (ICAR)-School of Atmospheric Sciences/Key Laboratory of Meteorological Disaster, Ministry of Education (KLME)/Joint International Research Laboratory of Climate and Environment Change (ILCEC)/Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters (CIC-FEMD), Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China*

Based on the JAMSTEC SINTEX-F model, this paper developed NUIST climate forecast system 1.0 version (NUIST CFS1.0) for seasonal-to-multiyear forecasts of global climate anomalies. The 9-member ensemble hindcast experiments during 1982—2018 were conducted using the NUIST super-computer. The assessment of the hindcasts shows that NUIST CFS1.0 displays useful skills in predicting sea surface temperature anomalies in the tropical Pacific and Indian Ocean. In particular, ENSO (Niño3.4 index) is skillfully predicted up to 1.5 to 2 years in advance. And the Indian Ocean Dipole (IOD) can be predicted 1—2 seasons in advance. It shows good prediction skills for major tropical climate signals. However, prediction of the East Asia climate is rather poor, which is a long-standing problem in almost all current and past dynamical prediction systems. Considering the large impact of ENSO on East Asia climate, this paper adopted a simple method to improve prediction of NUIST CFS1.0 by correcting the systematic biases of model in predicting the impact of ENSO on climate in East Asia in summer. The results suggest that this simple correction method can improve both the hindcast and real time forecasts of surface air temperature and precipitation anomaly percentage in China. The spatial pattern correlations of the two variables in China are increased to some degree. Further improvement of the forecast system and correction methods are under development. In addition, a preliminary assessment of the climate prediction in winter and spring is performed. Real time forecasts of the temperature anomalies and precipitation anomaly percentages in China during winter 2019/2020 and spring 2020 are provided.

**NUIST CFS1.0; climate model; climate forecast; bias correction**

doi:10.13878/j.cnki.dqkxxb.20191110007

(责任编辑:张福颖)