

鞠永茂, 王汉杰, 万应虎, 等. 2011. 航空短期区域气候模式预测系统研究 [J]. 气候与环境研究, 16 (1): 85-93. Ju Yongmao, Wang Hanjie, Wan Yinghu, et al. 2011. A study of the aviation short-term regional climate model prediction operational system [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 16 (1): 85-93.

航空短期区域气候模式预测系统研究

鞠永茂¹ 王汉杰² 万应虎¹ 景丽³ 李良富³ 杨成荫⁴

¹ 解放军 61741 部队, 北京 100094

² 中国科学院东亚区域气候-环境重点实验室, 北京 100029

³ 空军装备研究院航空气象防化研究所, 北京 100085

⁴ 解放军理工大学气象学院, 南京 211101

摘 要 基于国家气候中心的海气耦合业务预测系统 CGCM_1.1 的预测资料产品, 集成并完善了一个单向嵌套的、中尺度海气耦合的区域气候模式 ASRegCM, 并以其为数值计算核心, 建立了一套航空短期区域气候预测业务系统 ASRCPOS。对 1983~2002 年 (共 20 年) 的回报试验结果显示, ASRCPOS 业务预测水平较前期统计预测为主业务系统的预测水平有一定程度的提高。尤其是在对连续型变量地面气温的距平, 以及对非连续型变量地面降水的距平量级预测能力方面, 该动力业务系统预测能力较前期业务系统有所改善。回报结果同时显示, 业务系统在异常天气气温的预测方面存在较大的改进空间, 对月以下时间尺度预报的解释应用方面仍存在一定的局限。

关键词 气候预测 海气耦合模式 区域气候模式 评估

文章编号 1006-9585 (2011) 01-0085-09 **中图分类号** P437 **文献标识码** A

A Study of the Aviation Short-Term Regional Climate Model Prediction Operational System

JU Yongmao¹, WANG Hanjie², WAN Yinghu¹, JING Li³, LI Liangfu³, and YANG Chengyin⁴

¹ Troop 61741, PLA, Beijing 100094

² Key Laboratory of Regional Climate-Environment Research for Temperate East Asia, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

³ Institute of Aeronautical Meteorology and Chemical Defense, Equipment Academy of Air Force, Beijing 100085

⁴ Institute of Meteorology, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101

Abstract A regional atmospheric and oceanic coupled model named Aviation Short-term Regional Climate Model (ASRegCM) is developed and nested into the short-term climate prediction model CGCM_1.1 from the National Meteorological Center, China Meteorological Administration, which forms an operational prediction system ASRCPOS for aviation climate prediction. 20-year experiments from 1983 to 2002 were conducted using ASRCPOS. Numerical results show that ASRCPOS can improve prediction accuracy as compared with global scale prediction system of CGCM_1.1, and with earlier results by statistic approach. ASRCPOS makes great progress in anomalous sign prediction accuracy particularly for the spatial continuous variables such as surface temperature. It also raises

收稿日期 2009-07-02 收到, 2010-10-20 收到修定稿

资助项目 国家重点基础研究发展规划 2011CB403202, 国家自然科学基金 40675040

作者简介 鞠永茂, 男, 博士, 工程师, 主要从事气候与全球变化方面的研究。E-mail: juym100@sina.com

the prediction accuracy of the anomalous magnitude of spatial discontinuous variables such as precipitation. The present numerical experiments show there are still lots of works to be done to improve the prediction accuracy of ASRCPOS, particularly for the climate durations of the abnormal temperature, and for the forecasts with time scale below one month.

Key words climate prediction, ocean - atmosphere coupled model, regional climate model, evaluation

1 引言

以全球变暖为中心的气候变化正在改变着地球环境, 极端气候事件频发给世界各国造成不同程度的经济损失。就我国区域而言, 1998 年长江流域大洪水的阴霾还未散尽, 2008 年初南方地区又遭遇长时间大范围雨雪冰冻灾害。短期气候预测的研究是当前气候变化和大气科学研究领域的重要前沿课题。我国的短期气候预测业务技术先后经历了经验统计分析、数理统计分析、物理统计分析以及动力与统计相结合等方法(张存杰, 2003)。近年来, 国家气候中心在研究借鉴世界各先进国家气候模式优点的基础上, 综合考虑中国区域的气候变化规律和下垫面特征, 发展了包括月、季和年际尺度的短期气候预测业务动力模式系统(丁一汇等, 2002)。在对该动力模式系统中的各模式预测能力和预测技巧开展综合检验和评估的基础上, 国家气候中心以全球海气耦合模式 CGCM_1.1 为基础, 通过业务化改造, 建立了我国第一代气候模式业务预测系统(丁一汇等, 2004; 李维京等, 2005)。该业务系统的历史回报试验结果显示, 其对中国汛期降水、温度以及夏季北半球大尺度环流场等都有较好的跨季度预测能力(李清泉等, 2004)。利用该业务系统的预测产品与 NCEP/NCAR 大尺度再分析资料和区域气候模式 RegCM-NCC 嵌套, 开展的东亚区域季节预测研究也得到了较好的结果(丁一汇等, 2004; 刘一鸣等, 2005)。

借鉴该业务系统季节预测的实现方式, 在对非静力平衡模式 MM5 V3 加以调试和完善的基础上, 将其与 CGCM_1.1 预测产品嵌套, 构建了月尺度动力预测系统(Aviation Short-term Regional Climate Prediction Operational System, 简称为 ASRCPOS)。试验研究区域设定在我国的东南沿海, 模式采用了较高的分辨率(水平分辨率

20 km, 垂直方向 29 层)。基于此试验的研究结论, 一方面是对 ASRCPOS 业务系统在我国亚热带地区气候特征的预测能力做出定量评估, 为建立我国不同地域的高分辨率短期区域气候预测系统提供参考。另一方面, 由于 MM5 模式具有非静力平衡的动力学框架和较 RegCM-NCC 更为详细的物理参数化过程, 相关试验结论可以为季节尺度气候预测系统的改进提供一定的参考。

2 月尺度动力预测系统的框架设计

ASRCPOS 主要包括 4 部分, 分别为: 资料前处理模块、海气耦合区域气候模式模块、预测评估模块以及气候产品网络发布模块(将逐步增加模式产品解释应用模块), 其结构流程如图 1 所示。

2.1 资料前处理模块

ASRCPOS 的资料来源主要是国家气候中心业务系统的预测产品、常规的地基观测资料以及空基卫星资料的气象反演产品。国家气候中心业务系统的预测产品参见李清泉等(2004), 该预测产品主要用于生成数值模式的初估场和月尺度的侧边界条件。地基观测资料主要是模式区域内的常规气象观测资料, 其主要位于大陆区域, 海洋区域的资料较为稀疏。空基卫星资料气象反演产品主要包括 EOS/MODIS 和 NOAA/TOVS 的温度和湿度廓线产品以及 FY-2C 的云迹风产品。各反演产品相互补充, 涵盖了高空的气压、温度、湿度和风廓线产品, 是对海洋区域常规观测资料的有益补充。观探测资料主要用于修正数值模式的初估场进而形成优化的初始场。此外, 起报前 5 天的观探测资料同时用于 ASRCPOS 业务系统的资料同化, 从而实现模式动力预测系统的“热启动”。

2.2 海气耦合区域气候模式模块

我国的东南沿海地区属亚热带季风气候区, 中尺度天气过程频发, 天气气候特点多变, 加之

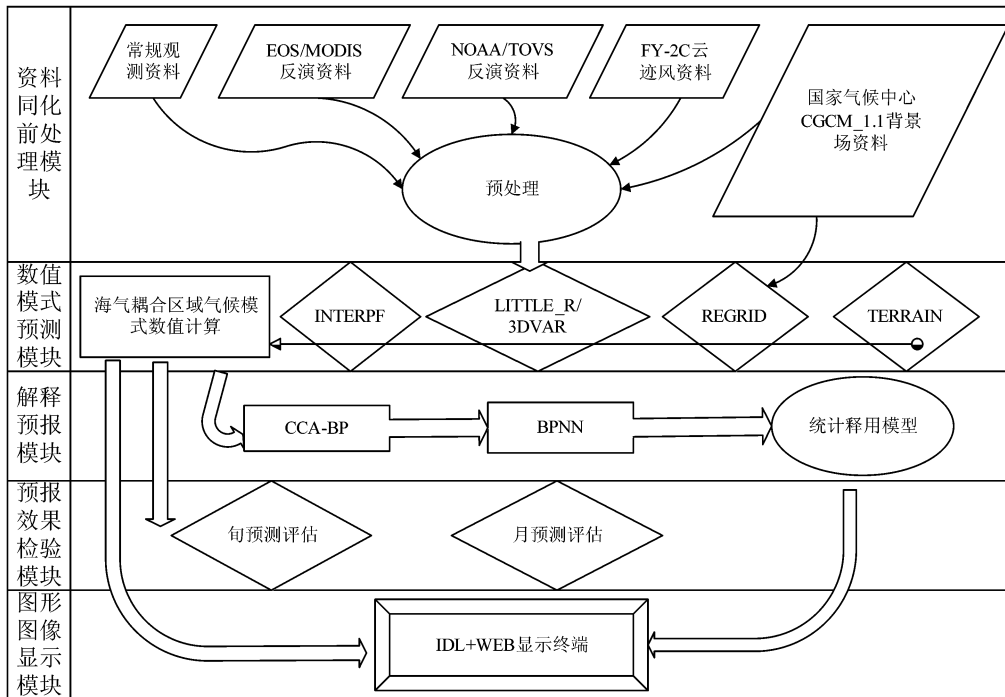


图 1 航空短期区域气候预测业务系统 ASRCPOS 结构流程图

Fig. 1 Configuration and flow chart of the Aviation Short-term Regional Climate Prediction Operational System (ASRCPOS)

复杂的山区地形植被等因素，该区域气候具有很强的局地性特征。因此，ASRCPOS 的动力预测模式采用了具有非静力平衡动力框架且对云等湿物理过程处理较其他大气模式详细的区域数值模式 MM5 V3 (Dudhia et al., 2004)。除了对 MM5 开展参数化方案适用性的调试以外 (鞠永茂, 2008)，为了更好地考虑海洋的影响，在模式的边界层方案中耦合了 NOAA/NCEP 的海浪模式 WAVEWATCH III (Tolman, 2002)。计算过程中大气模式将计算的 10 m 风场传输给海浪模式，驱动海浪模式运行，然后由海浪模式反馈波龄参数到大气模式，在大气模式边界层方案的海表粗糙度计算中考虑波龄的影响，进而使业务系统部分地实现了海气耦合功能 (关皓等, 2008)。调试改进后的区域气候模式即为 ASRCPOS 的动力框架系统 (Aviation Short-term Regional Climate Model, 简称为 ASRegCM)。

ASRegCM 的区域中心点设在 (25°N, 120°E)，采用两重嵌套网格。粗网格区域水平分辨率为 60 km，经纬向网格数分别为 96 和 114。其从西到东依次包括了西部青藏高原地形、中部区域的过渡带和东部大面积的海洋，涵盖了影响中国气候变

化的几个主要气候敏感区。南北方向则跨越了温带、亚热带和热带 3 个气候带。粗网格区域的设置有利于充分考虑东亚地区的下垫面分布及各种气候强迫因子的作用。细网格区域水平分辨率为 20 km，经纬向网格数分别为 106 和 124，范围大致为 (10°N~30°N, 100°E~130°E)。ASRegCM 粗细网格之间采用双向嵌套耦合。垂直方向上 σ 坐标非等距的分为 28 层。ASRegCM 下垫面采用 NOAA 陆面过程和 MRF 边界层参数化方案，上边界定为 100 hPa，选用 CCM2 辐射方案。粗细网格区域的积云对流参数化方案分别采用 Kuo 方案和 Grell 方案，湿物理过程分别为简冰方案和 Goddard 方案。数值模式资料同化方案为牛顿松弛法的格点四维资料同化。

2.3 预测评估模块

2.3.1 气候平均值计算

检验评估模块是对 ASRCPOS 预测产品的距平结果予以评分。显然，气象要素距平值会因用于计算平均值时段的不同而有明显的差异。业务系统评估模块采用的气候平均值为 1980~2004 年 (共 25 年) 的均值，数据资料来自国家气象局资料中心，在 ASRegCM 粗网格区域范围内共 800

多个观测台站。要素主要包括地面气温和地面降水, 计算结果包括逐月以及月内各旬的历史气候平均值。通过对地面气温和降水各月、月内逐旬的气候值分析, 统计得出的气候值结果能较好地描述东南沿海地区的温度变化规律和季风雨带的推移特征(图略)。业务系统对气候值的计算方法合理, 所得到的气候值具有气候学意义。

2.3.2 评分参数

预测评估模块主要采用 4 个评估参数: 预报评分 PS、技巧评分 SS、距平相关系数 ACC 以及异常级评分 TS。各评分参数的计算沿用了陈桂英和赵振国(1998)短期气候预报评分的计算公式。此外, 为了使各评分参数能够同时适用于旬尺度和月尺度的气候预测评估, 对评分公式中的经验参数进行了订正和细化。对于 PS、SS 和 TS 计算过程中所需要用到的异常级概率, 通过对 1980~2004 年的历史观测资料加以统计分析, 确定了 25 年平均的 12 个月逐月逐旬的异常级概率系列数值。

如表 1 所示, 以 ΔT 代表地面气温相对于气候值的距平, 将 $|\Delta T| < 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 界定为正常级, $1 \leq |\Delta T| < 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为一级异常, $|\Delta T| \geq 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为二级异常。以此为分级标准, 对 25 年观测资料逐月逐旬加以统计分析。地面降水的逐月逐旬的各级别数值如表 2 所示, 以 ΔR 代表地面降水相对于气候值的距平百分率, 将 $|\Delta R| < 15\%$ 界定为正

常级, $15\% \leq |\Delta R| < 50\%$ 为一级异常, $|\Delta R| \geq 50\%$ 为二级异常。异常级评分 TS 的计算即按表 1 和表 2 所划分的分级标准, 分别计算一级异常和二级异常的异常级评分 TS1、TS2。同样, 预报评分 PS 计算过程中的一级异常和二级异常权重系数按表中的数值加以引用, 将正常级的概率作为气候预报的准确率, 用以计算预测结果相对于气候预报的技巧评分 SS2。此外, 按照美国 CPC 的技巧评分方法(王绍武和朱锦红, 2000), 当预报对象分为 3 级, 随机预报的准确率为 0.34, 与随机预报比的技巧评分 SS1 即用该数值和表 1、表 2 界定的分级标准加以计算。

2.4 预测产品网络发布模块

为提供灵活、动态的预测产品服务, AS-RegCM 计算出的数据提交给数据库系统进行有效的管理。ASRCPOS 利用 IDL 完成业务分析, 经由 Apache Web Server 实现信息发布和远程联机分析绘图。系统采用三级体系结构设计, 底层的数据管理由 Oracle 10G 完成, 提供系统所需要的预测模式数据和历史观探测数据的输入、输出管理; 业务逻辑层由 Java 和 IDL 混合完成气象数据分析、产品制作; 客户使用层由 Apache Web 服务器实现 Web 浏览模式的用户界面逻辑的处理。系统能够使网络(局域网或远程网)上的任意一台 Windows 或 Linux 用户实时地联机分析制作气候预测产品。服务界面基于 Web/Browser 架构,

表 1 地面气温距平分级标准及 25 年统计的各级概率

Table 1 Classification criteria and corresponding probabilities of different scales for the surface air temperature anomalies from 25-year statistics

月份	正常级概率 p_0 ($ \Delta T < 1\text{ }^{\circ}\text{C}$)				一级异常概率 p_1 ($1 \leq \Delta T < 2\text{ }^{\circ}\text{C}$)				二级异常概率 p_2 ($ \Delta T \geq 2\text{ }^{\circ}\text{C}$)			
	上旬	中旬	下旬	月	上旬	中旬	下旬	月	上旬	中旬	下旬	月
1	0.372	0.462	0.489	0.363	0.287	0.258	0.261	0.297	0.340	0.280	0.250	0.341
2	0.415	0.411	0.298	0.275	0.245	0.242	0.255	0.242	0.340	0.347	0.447	0.484
3	0.426	0.426	0.463	0.348	0.255	0.266	0.211	0.228	0.319	0.309	0.326	0.424
4	0.457	0.505	0.462	0.374	0.255	0.280	0.280	0.275	0.287	0.215	0.258	0.352
5	0.495	0.522	0.538	0.396	0.269	0.304	0.301	0.308	0.237	0.174	0.161	0.297
6	0.554	0.591	0.547	0.478	0.293	0.258	0.274	0.304	0.152	0.151	0.179	0.217
7	0.541	0.561	0.582	0.453	0.265	0.265	0.276	0.295	0.194	0.173	0.143	0.253
8	0.643	0.606	0.590	0.479	0.245	0.242	0.230	0.292	0.112	0.152	0.180	0.229
9	0.587	0.520	0.564	0.450	0.250	0.255	0.277	0.290	0.163	0.225	0.158	0.260
10	0.515	0.545	0.510	0.420	0.272	0.277	0.275	0.290	0.214	0.178	0.216	0.290
11	0.471	0.515	0.535	0.347	0.284	0.277	0.257	0.267	0.245	0.208	0.208	0.386
12	0.412	0.431	0.369	0.364	0.265	0.304	0.262	0.273	0.324	0.265	0.369	0.364

表 2 地面降水距平百分率分级标准及 25 年统计的各级概率
Table 2 Classification criteria and corresponding probabilities of different scales for the precipitation anomaly percentages from 25-year statistics

月份	正常级概率 p_0 ($ \Delta R < 15\%$)				一级异常概率 p_1 ($15\% \leq \Delta R < 50\%$)				二级异常概率 p_2 ($ \Delta R \geq 50\%$)			
	上旬	中旬	下旬	月	上旬	中旬	下旬	月	上旬	中旬	下旬	月
1	0.408	0.455	0.469	0.444	0.286	0.303	0.286	0.293	0.306	0.242	0.245	0.263
2	0.449	0.454	0.433	0.443	0.265	0.289	0.289	0.278	0.286	0.258	0.278	0.278
3	0.449	0.500	0.526	0.490	0.306	0.296	0.278	0.296	0.245	0.204	0.196	0.214
4	0.515	0.531	0.500	0.515	0.309	0.292	0.302	0.299	0.175	0.177	0.198	0.186
5	0.510	0.541	0.551	0.531	0.316	0.276	0.296	0.296	0.173	0.184	0.153	0.173
6	0.582	0.561	0.571	0.571	0.255	0.286	0.286	0.276	0.163	0.153	0.143	0.153
7	0.569	0.574	0.564	0.569	0.284	0.297	0.307	0.294	0.147	0.129	0.129	0.137
8	0.559	0.545	0.539	0.549	0.294	0.297	0.294	0.294	0.147	0.158	0.167	0.157
9	0.566	0.524	0.491	0.528	0.264	0.305	0.292	0.283	0.170	0.171	0.217	0.189
10	0.472	0.458	0.472	0.467	0.292	0.290	0.264	0.280	0.236	0.252	0.264	0.252
11	0.400	0.434	0.430	0.421	0.286	0.292	0.290	0.290	0.314	0.274	0.280	0.290
12	0.434	0.434	0.442	0.438	0.274	0.292	0.260	0.276	0.292	0.274	0.298	0.286

在 HTML 网页内嵌入 Java Applet，结合 IDL ION 技术，实现 IDL、Java Apple、Java ervlet 和 Web 服务的无缝集成，提供给网络上的远程用户气候分析及预测的多媒体展示的产品。系统主界面可以显示 15 种界面输出产品，主要有：预报分析、单站解释预报以及观探测资料服务三大部分。在预报分析中，分为空中、地面和海浪 3 部分预报产品，用户也可以直接在界面上选择分析相关历史气候资料。

3 业务系统历史回报分析

利用 ASRCPOS 的系统框架，从 1983~2002 年逐月进行了回报。需要说明的是，在历史回报过程中，由于缺乏卫星资料信息，并没有使用资料同化模块。限于篇幅，仅以 7 月回报结果为例，介绍业务系统的预测能力及分析预测效果。

3.1 系统误差分析

以 ASRegCM 数值模式为基础的业务系统 ASRCPOS，数值计算中不可避免地存在多方面的误差，例如差分代替积分过程引起的舍入误差、初值资料中质量场和热量场不匹配造成的虚假重力波、参数化方案考虑的不全面进而使强迫项作用失真以及大尺度驱动场降尺度时引起的边界反射等。月尺度气候预测的对象为气象要素的均值距平，求取平均值在一定程度上起到了滤波的功

能，但预测结果的系统性偏差——“气候漂移”还需进一步剔除。对预测结果开展评分之前，首先对预测结果进行了系统误差分析剔除。在以后业务系统运行阶段，同样对系统误差予以剔除。通过分析 CGCM_1.1 背景场资料产品发现，驱动 ASRegCM 数值模式的背景场资料存在着对夏半年气温模拟偏低、冬半年气温模拟偏高的系统误差（图略），业务系统的系统误差与大尺度背景场的客观系统误差存在一定的相关性。通过在嵌套模式的侧边界缓冲区引入气象要素的日变化，对预测效果有一定的改善（鞠永茂等，2011）。本文采用了剔除数值模式平衡态的近似方法，即利用 1983~2002 年（共 20 年）的资料进行逐月积分试验，将该段时间逐月的积分结果取平均作为模式的气候平均态，利用该均值结果减去该段时间的气候平均值作为模式的系统误差，在预测中加以剔除。李宁等（2006）曾利用该方法对我国华东地区进行月尺度短期气候模拟评估，取得了较好的效果。经过系统误差订正后，则评分对象分别为模式预测的距平值以及实际观测结果的距平值。其中，观测资料距平 ΔA_{obs} 计算公式为

$$\Delta A_{\text{obs}} = A_{\text{obs}} - \overline{A_{\text{obs}}},$$

预测距平 ΔA_{mod} 计算公式为

$$\Delta A_{\text{mod}} = A_{\text{mod}} - \overline{A_{\text{obs}}} - (\overline{A_{\text{mod}}} - \overline{A_{\text{obs2}}}) \approx A_{\text{mod}} - \overline{A_{\text{mod}}}.$$

其中， A_{obs} 和 A_{mod} 分别为观测结果及其对应的预测

值; $\overline{A_{obs}}$ 为预报评估模块求取的气候平均值, 即气象要素 1980~2004 年的均值; $\overline{A_{obs2}}$ 是 1983~2002 年观测值的均值, 两者近似相等。故实际参与评分的对象分别为 $(A_{mod} - \overline{A_{mod}})$ 和 $(A_{obs} - \overline{A_{obs}})$ 。

3.2 历史回报结果评估

对经过系统误差订正后的预测结果进行评分, 评分对象分别为模式预测的距平值以及实际观测

结果的距平值。考虑到温度为空间连续型变量而降水为非连续型变量, 业务系统进行距平计算时, 地面气温是把预测结果累年平均值及气候值插值到网格区域 ($18^{\circ}\text{N} \sim 30^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\text{E} \sim 124^{\circ}\text{E}$) 的 0.5° (纬度) $\times 0.5^{\circ}$ (经度) 格点上, 地面降水则是插值到同样网格区域内的观测站点上。

图 2 给出了 1983~2002 年 7 月地面气温的各

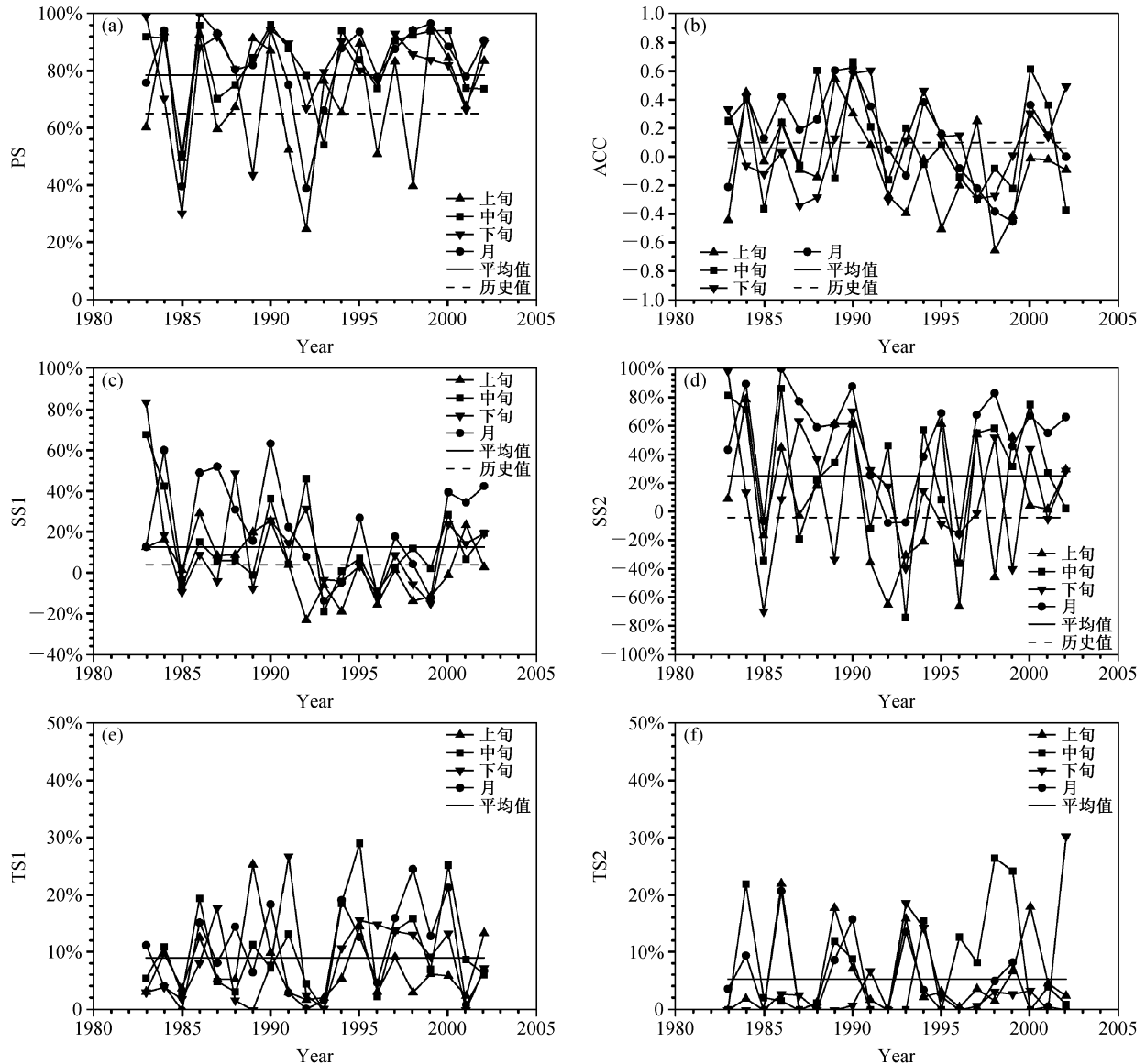


图 2 历史回报 7 月地面气温的 (a) 预报评分 PS、(b) 距平相关系数 ACC、(c) 相对于随机预报的技巧评分 SS1、(d) 相对于气候预报的技巧评分 SS2、(e) 一级异常评分 TS1 和 (f) 二级异常评分 TS2。图中历史值是指国家气候中心预测室 1971~1995 历年 7 月 25 日正式发布预测的平均评估结果

Fig. 2 (a) Prediction scores (PS), (b) anomaly correlation coefficients (ACC), (c) skill-scores relative to stochastic prediction (SS1), (d) skill-scores relative to climate forecast (SS2), (e) first-order threat scores (TS1), and (f) second-order threat scores (TS2) of surface air temperature from model hindcasts in Jul. Historical scores in figures refer to the average evaluation results between 1971 to 1995 which are officially issued from the National Climate Center, China Meteorological Administration

项评分参数得分情况, 历史值是指国家气候中心预测室 1971~1995 年历年 7 月 25 日正式发布预测的平均评估结果。可以看出, 在历年各旬(月)的预报评分 PS 中, 以 1986 年 7 月月预测结果评分得分最高(达 100 分), 1992 年 7 月上旬预测结果得分最低(为 24.9 分), 预报评分总平均值为 78.4 分。历年各旬(月)的技巧评分中, 预测结果相对于随机预报的评分 SS1 最高达 83 分(1983 年 7 月下旬), 最低仅为 -22.8 分(1992 年 7 月上旬), 在 80 个评分结果中只有 24 个为负技巧, 正技巧的概率为 70%。相对于气候预报的评分 SS2 最高达 99.5 分(1986 年 7 月下旬), 最低为 -73.7 分(1993 年 7 月中旬), 评分结果中正技巧的概率达到 68.8%。SS1 和 SS2 平均得分分别为 12.7 和 24.7 分, 尤其是 SS2, 尽管历年各旬(月)的得分差异较大, 但回报结果总体平均值由原先的业务负技巧提高为正技巧。综合地面温度预报评分和技巧评分的结果看, 在大范围距平符号预测能力方面, 业务系统 ASRCPOS 表现出较强的预测能力。进一步分析描述距平幅度的距平相关系数 ACC 和异常级评分 TS, 可以看出, 地面气温距平相关系数平均值为 0.06, 一、二级平均异常得分分别为 9.1 和 5.4 分。与 SS2 相似, 历年各旬(月)的 ACC 得分差异也较大, 最高值为 0.66(1990 年 7 月中旬), 最低值为 -0.65(1998 年 7 月上旬), 正距平概率为 53.7%。异常级得分中一级异常零分仅占 5.0%, 而二级异常零分则达 36.3%, 业务系统在对距平量级水平的预测, 尤其是对异常天气气温的预测方面存在较大的改进空间。

图 3 为 1983~2002 年 7 月地面降水的各项评分参数得分情况。分析各评分参数可以看出, 业务系统 20 年地面降水的预报评分平均值为 76.5, 低于 ASRCPOS 地面气温的预报评分结果。在历年各旬(月)的降水预报评分中, 以 1990 年 7 月中旬预测结果评分得分最高(达 98 分), 1989 年 7 月中旬预测结果得分最低(为 15 分)。降水预测相对于随机预报的评分 SS1 最高为 40.9 分(2000 年 7 月中旬), 最低为 -26.1 分(1987 年 7 月下旬), 正技巧的概率为 46.3%。相对于气候预报的评分 SS2 最高为 78 分(1990 年 7 月中旬), 最低为 -108.1 分(1989 年 7 月中旬), 正技巧的概率

为 45.0%。SS1 和 SS2 平均得分分别为 0.3 和 -4 分。此外, 地面降水的预测结果无论是均值还是极值都较地面气温要低。进一步分析地面降水的 ACC 和 TS 的评分结果, 在历年各旬(月)的降水预测结果中, 距平相关系数最高值为 1.0(1983、1984、1985 和 1998 年 7 月月预测, 1998 年 7 月中旬及 1993 年 7 月下旬), 最低值为 -0.66(2001 年 7 月下旬), 正距平概率为 62.5%, 平均值为 0.13。异常级评分方面, 一、二级平均异常得分分别为 11.2 和 14.1 分, 其中零分仅占 2.5%和 6.3%。一级异常最高分为 28.3 分(1990 年 7 月月预测), 二级异常最高分为 48.1 分(2000 年 7 月上旬)。

结合图 2 的分析结果可见, ASRCPOS 业务预测水平较前期统计预测为主的预测水平有一定程度的提高。尤其是在对连续型变量地面气温的距平符号预测能力方面, 以及在对非连续型变量地面降水的距平量级水平预测能力方面, 该动力业务系统较前期业务系统也有所改善。

4 结论与讨论

本文使用国家气候中心 CGCM_1.1 的预测产品, 驱动数值模式 MM5, 针对我国东南沿海区域, 建立了一套海气耦合的短期区域气候预测业务系统 ASRCPOS。利用该业务预测系统对 1983~2002 年(共 20 年)的气候特征进行了回报, 以 7 月预测结果为例, 评估检验取得了较好的效果。得出的主要结论如下:

(1) 受大尺度背景场资料系统误差以及区域模式本身参数化等因素影响, 以区域气候模式为动力框架的预测系统会产生气候漂移现象。利用数值模式多年积分的平均值构建的模式气候场资料, 对预测结果进行系统性误差订正是可行的。

(2) 20 年的历史回报结果显示, ASRCPOS 业务预测水平较前期统计预测为主业务系统的预测水平有较程度的提高。尤其是在对连续型变量地面气温的距平符号预测能力方面, 以及在对非连续型变量地面降水的距平量级水平预测能力方面, 该动力业务系统有较明显的改善。

(3) 在大范围距平符号预测方面, ASRCPOS 对地面温度表现出较强的预测能力, 地面降水的

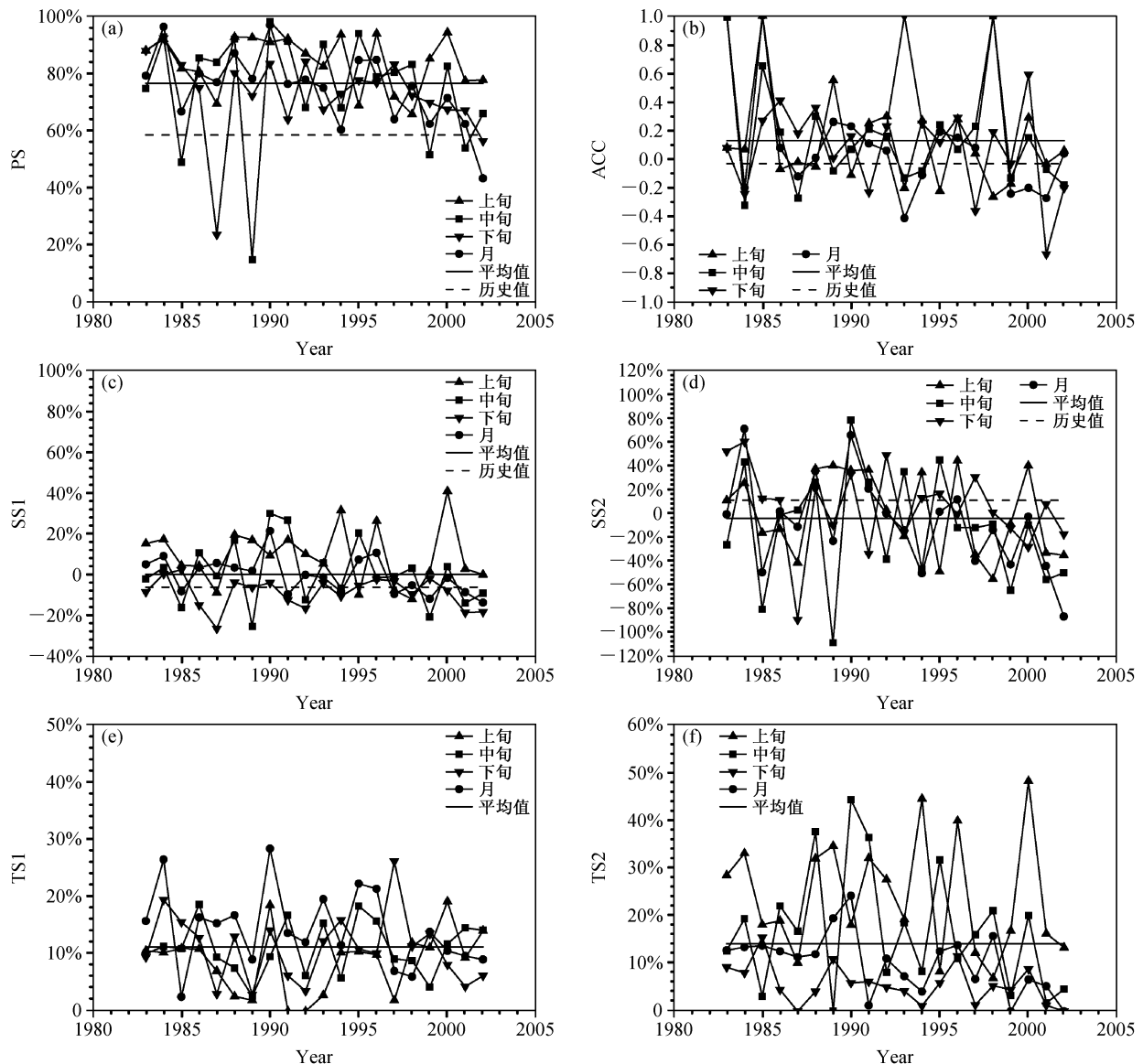


图3 同图2, 但为地面降水

Fig. 3 Same as Fig. 2, but for precipitation

预测结果则较地面气温要低。但在距平量级方面, 地面降水的预测结果明显高于地面气温。业务系统在异常天气气温的预测方面存在较大的改进空间。

目前, 应用数值预报进行短期区域气候预测是气候预测的主流趋势, 也是行之有效的方法。业务预测系统 ASRCPOS 正在展开长时间的回报及实际业务预测试验, 检验系统预测水平的同时对该系统进行不断的改进升级, 该方面的工作需要长时间的计算过程。本文得出的结论也都是初步的, 有待不断加以总结改进。

参考文献 (References)

- 陈桂英, 赵振国. 1998. 短期气候预测评估方法和业务初估 [J]. 应用气象学报, 9 (2): 178-185. Chen Guiying, Zhao Zhengguo. 1998. Assessment methods of short range climate prediction and their operational application [J]. Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese), 9 (2): 178-185.
- 丁一汇, 刘一鸣, 宋永加, 等. 2002. 我国短期气候动力预测模式系统的研究及试验 [J]. 气候与环境研究, 7 (2): 236-246. Ding Yihui, Liu Yiming, Song Yongjia, et al. 2002. Research and experiments of the dynamical model system for short-term

- climate prediction [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 7 (2): 236 - 246.
- 丁一汇, 李清泉, 李维京, 等. 2004. 中国业务动力季节预报进展 [J]. 气象学报, 62 (5): 598 - 612. Ding Yihui, Li Qingquan, Li Weijing, et al. 2004. Advance in seasonal dynamical prediction operation in China [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 62 (5): 598 - 612.
- Dudhia J, Gill D, Manning K, et al. 2004. PSU/NCAR Mesoscale Modeling System Tutorial Class Notes and User's Guide; MM5 Modeling System Version 3 [R].
- 关皓, 周林, 王汉杰, 等. 2008. 南海中尺度大气—海浪耦合模式及其对该区一次强台风过程的模拟研究 [J]. 气象学报, 66 (3): 342 - 350. Guan Hao, Zhou Lin, Wang Hanjie, et al. 2008. A mesoscale atmosphere - ocean wave coupling model and numerical simulations on a strong typhoon process in South China Sea [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 66 (3): 342 - 350.
- 鞠永茂. 2008. 区域气候模式与短期气候预测研究 [D]. 解放军理工大学博士学位论文, 128pp. Ju Yongmao. 2008. Studies on regional climate model and short-term climate prediction [D]. Ph. D. dissertation (in Chinese), PLA University of Science and Technology, 128pp.
- 鞠永茂, 王亚洲, 王汉杰. 2011. 动力数值模式侧边界强迫的改进试验 [J]. 气候与环境研究, (待发表). Ju Yongmao, Wang Yazhou, Wang Hanjie. 2011. Numerical experiment on the effects of lateral boundary forcing improvement of the nesting dynamical model [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), (in press).
- 李宁, 曾新民, 席朝笠. 2006. 我国华东地区月尺度气候动力预测的研究: (I) 区域模式建立及模拟检验 [J]. 气象科学, 26 (6): 591 - 597. Li Ning, Zeng Xinmin, Xi Zhaoli. 2006. Dynamical-forecast study of monthly-scale climate for east China. Part I. Establishment and evaluation of the regional model [J]. Scientia Meteorologica Sinica (in Chinese), 26 (6): 591 - 597.
- 李清泉, 丁一汇, 张培群. 2004. 一个全球海气耦合模式跨季度汛期预测能力的初步检验和评估 [J]. 气象学报, 62 (6): 740 - 751. Li Qingquan, Ding Yihui, Zhang Peiqun. 2004. Primary verification and assessment on the extra-seasonally predictive capability of a global atmospheric - oceanic coupled model in raining season [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 62 (6): 740 - 751.
- 李维京, 张培群, 李清泉, 等. 2005. 动力气候模式预测系统业务化及其应用 [J]. 应用气象学报, 16 (增刊): 1 - 11. Li Weijing, Zhang Peiqun, Li Qingquan, et al. 2005. Research and operational application of dynamical climate model prediction system [J]. Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese), 16 (Suppl.): 1 - 11.
- 刘一鸣, 丁一汇, 李清泉. 2005. 区域气候模式对中国夏季降水的 10 年回报试验及其评估分析 [J]. 应用气象学报, 16 (增刊): 41 - 47. Liu Yiming, Ding Yihui, Li Qingquan. 2005. 10-year hindcasts and assessment analysis of summer rainfall over China from regional climate model [J]. Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese), 16 (Suppl.): 41 - 47.
- Tolman H L. 2002. User manual and system documentation of WAVE-WATCH III version 2.22 [R]. NOAA/NWS/NCEP Technical note 166.
- 王绍武, 朱锦红. 2000. 短期气候预测的评估问题 [J]. 应用气象学报, 11 (增刊): 1 - 10. Wang Shaowu, Zhu Jinhong. 2000. Evaluation of short-term climate prediction [J]. Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese), 11 (Suppl.): 1 - 10.
- 张存杰. 2003. 提高气候预测准确率的有效途径 [J]. 干旱气象, 21 (3): 90 - 93. Zhang Cunjie. 2003. Development direction of drought climatic prediction in Northwest China [J]. Arid Meteorology (in Chinese), 21 (3): 90 - 93.