

2008年1月中国气候异常的动力学预测及效果检验

陈红 郎咸梅 周广庆 林朝晖

中国科学院大气物理研究所, 北京 100029

摘要 利用 IAP 数值气候预测系统 (IAP DCP-II) 和 IAP 9 层大气环流模式 (IAP9L-AGCM) 对 2007 年冬季我国气候异常进行了预测, 并检验了两个不同系统和模式对 2008 年 1 月我国气候异常的预测能力。首先利用 IAP ENSO 预测系统进行热带太平洋海温异常的预测, 然后对 2007 年中国冬季气候进行了实时预测。结果表明: IAP ENSO 预测系统较好地预报出了 2007 年冬季热带太平洋海温异常的演变情况; IAP DCP-II 和 IAP9L-AGCM 对于 2008 年 1 月月平均环流异常以及我国气候异常均有一定的预测能力, 尤其是对偏强的冬季风, 冬季南方地区的异常低温多雨, 以及东北的高温少雨, 预测效果较好。

关键词 冬季气候 数值模式 实时预测

文章编号 1006-9585 (2008) 04-0531-08 **中图分类号** P435+.2 **文献标识码** A

Prediction of Climate Anomalies over China in January 2008 with IAP Climate Models and Its Verification

CHEN Hong, LANG Xian-Mei, ZHOU Guang-Qing, and LIN Zhao-Hui

Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

Abstract By using IAP DCP-II and IAP9L-AGCM, the winter climate anomalies in China during 2007 have been predicted, then the results have been verified by comparing with the observational data. By using ENSO prediction system, the evolution of sea surface temperature anomalies (SSTA) over tropical Pacific Ocean in 2007 winter has been predicted firstly, verifications show that the SSTA over tropical Pacific Ocean has been quite well predicted, also IAP DCP-II and IAP9L-AGCM have been applied to the prediction of winter climate anomalies over China based on the predicted SSTA over tropical Pacific Ocean. Comparisons with the observation show that, IAP DCP-II and IAP9L-AGCM all have some skills for the prediction of the observed circulation anomalies and climate anomalies over China in January 2008, the strong East Asian winter monsoon, the stronger than normal precipitation and cold temperature over southern part of China, the hot and dry winter over Northeast China all have been well predicted.

Key words winter climate anomalies, dynamical models, real-time prediction

1 引言

随着全球气候的变暖, 冬季气候越来越引起人们的关注。20 世纪 80 年代起北半球中高纬度大

范围出现增温现象, 尤以冬季最为明显, 90 年代我国北方的暖冬年份明显增多, 暖冬对人类活动的许多方面有较大影响。同时, 随着全球气候的变暖, 全球正处于极端天气气候事件的频发期, 冬季极端暴风雪和冷冻灾害可能频繁出现, 因此

收稿日期 2008-04-11 收到, 2008-05-09 收到修定稿

资助项目 中国科学院大气物理研究所创新基金领域前沿重点项目 IAP07120、国家自然科学基金资助项目 40605023、国家科技支撑计划项目 2006BAC02B04 和中国科学院知识创新工程领域前沿项目 IAP07216

作者简介 陈红, 女, 1972 年出生, 博士, 副研, 主要从事气候预测研究。E-mail: chh@mail.iap.ac.cn

对冬季气候进行预测意义重大。近年来,针对我国冬季气候的数值预测国内开展了一些初步的研究。Lang 等^[1]利用 IAP (中国科学院大气物理研究所) 9 层大气环流模式 (IAP9L-AGCM) 对中国冬季气候的可预报性进行了研究,发现模式对我国部分区域冬季气温变化趋势有一定的预测能力。陈红^[2]利用 IAP 两层模式建立了 IAP 跨季度一年度数值气候预测系统 IAP DCP-II,对后报结果的分析表明,该系统对我国冬季的降水和气温异常具有一定的预测能力。

2007~2008 年冬季我国出现了严重的降水气温异常,特别是 2008 年 1 月中旬至 2 月初,我国南方地区出现 50 年一遇 (部分地区百年一遇) 的大范围持续低温雨雪冰冻天气,致使交通运输受阻,给工农业生产和人民生活带来严重影响,经济损失惨重。那么, IAP 9L-AGCM 和 IAP DCP-II 对这次极端天气事件所引起的气候异常的预测情况如何? 本文对此进行了分析,以便考察气候模式对我国冬季气候异常的预测能力。由于气候预测对象的时间尺度最短为月平均,而这次极端天气事件经历的时间比较长,主要发生在 1 月,期间共经历了 4 次强降水过程,其综合结果可以在很大程度上代表 2008 年 1 月的平均降水特征,因此本文主要分析 2008 年 1 月的月平均状况。

作为气候系统中最强的年际变化信号,许多研究表明 ENSO 循环对全球,特别是东亚地区短期气候异常,均有着十分显著的影响^[3~6]。因此利用 IAP 气候模式对我国气候趋势进行预测时,需先对热带太平洋地区的海温异常趋势进行预测,然后利用海温来驱动大气模式作实时预测。本文首先给出 IAP ENSO 预测系统对热带太平洋地区海温异常趋势的预测,随后再给出利用 IAP DCP-II 和 IAP9L-AGCM 所预测的 2008 年 1 月环流异常特征及我国气候异常特征的预测结果,同时与实测结果进行比较检验,最后给出结论和讨论。

2 热带太平洋海温异常及其预测

2.1 海温实况演变

2006 年秋季一次弱的 El Niño 事件形成后,进入 2007 年海温距平发生逆转,3 月赤道中东太平洋转为负距平后,从春季开始海温出现快速变

冷 (见表 1)。到 2007 年 6 月 Niño 1+2 区和 Niño 3 区的距平值已分别达到 -1.4°C 和 -0.6°C , 一次 La Niña 事件开始形成。在接下来的几个月里,热带太平洋海温不断变冷并于 2007 年底达到本次事件的最大值 (Niño 3 区为 -1.8°C)。但 2008 年初开始,赤道东太平洋的海表温度距平即迅速减弱,到 2008 年 3 月, Niño 3 区的海温距平已降到 -0.6°C (表 1),在 90°W 以东 Niño 1+2 区还出现了轻微的正距平,但在赤道中太平洋 ($170^{\circ}\text{E}\sim 155^{\circ}\text{W}$) 则还维持着 -1.0°C 以上的负距平。

2.2 热带太平洋地区海温异常的预报

2007 年秋季,利用中国科学院大气物理研究所的 IAP ENSO 预测系统对赤道太平洋海温距平进行了实时预测。该系统基于海气耦合环流模式,并经系统性后报检验证明对赤道中东太平洋的海温具有较强的预测能力^[7,8]。

预测从 2007 年 10 月开始,采用 3 个预报及其集合平均,分别从 2007 年 8、9 和 10 月 1 日的 0000 UTC 起报。图 1 给出了 Niño 3 区海温距平的集合预测结果。从预测结果看,直到 2008 年秋季,赤道东太平洋海温都将处于冷位相,其中 2008

表 1 赤道太平洋海域海表温度距平的演变

Table 1 Evolution of the sea surface temperature anomalies in equatorial Pacific Ocean regions

时间	太平洋海温			
	Niño 1+2	Niño 3	Niño 3.4	Niño 4
	($0^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{S}$, $90^{\circ}\sim 80^{\circ}\text{W}$)	($5^{\circ}\text{N}\sim 5^{\circ}\text{S}$, $150^{\circ}\sim 90^{\circ}\text{W}$)	($5^{\circ}\text{N}\sim 5^{\circ}\text{S}$, $170^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{W}$)	($5^{\circ}\text{N}\sim 5^{\circ}\text{S}$, $160^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{W}$)
2008-03	0.8	-0.6	-1.1	-1.3
2008-02	0.3	-1.3	-1.9	-1.6
2008-01	-0.7	-1.5	-1.8	-1.5
2007-12	-1.8	-1.5	-1.5	-1.0
2007-11	-2.2	-1.8	-1.5	-0.9
2007-10	-2.1	-1.5	-1.4	-0.6
2007-09	-1.9	-1.3	-0.9	-0.4
2007-08	-1.6	-1.1	-0.5	0.1
2007-07	-1.6	-0.8	-0.3	0.2
2007-06	-1.4	-0.6	0.1	0.3
2007-05	-1.6	-0.7	-0.2	0.2
2007-04	-1.2	-0.3	0.1	0.3
2007-03	-0.7	-0.3	0.0	0.5
2007-02	0.2	0.1	0.1	0.6
2007-01	0.5	0.9	0.7	0.8

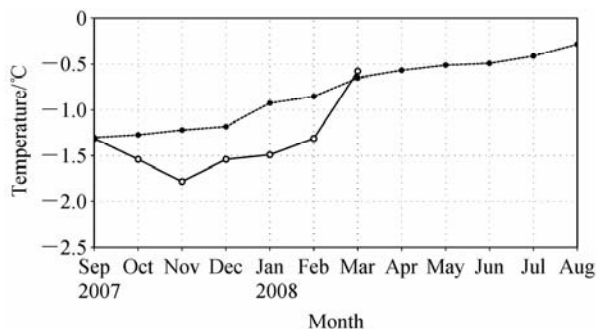


图 1 IAP ENSO 预测系统 2007 年秋季预测的 Niño 3 区海表温度距平演变 (实线: 观测; 虚线: 预测)

Fig. 1 Predicted sea surface temperature anomalies in Niño 3 region initiated from Autumn of 2007 by IAP ENSO prediction system (solid line: observation; dashed line: prediction)

年春季以前, 海温将保持负距平, 且强度高于 -0.5°C 。与目前已知的实况比较, 2007 年冬季海温异常的预测是比较准确的。

总之, 2007 年秋季的预测显示, 2007 年冬季赤道东太平洋的海表温度处于气候平均状态之下, 为明显的负异常, 属于 La Niña 事件, 与实况基本吻合, 只是预测值与实况相比略偏弱。

3 2008 年 1 月我国气候异常的数值预测及其检验

本节主要介绍 IAP9L-AGCM 和 IAP DCP-II 对 2008 年 1 月我国气候异常所开展的实时预测, 并与实测结果进行比较检验。

3.1 实时预测试验设计

IAP DCP-II 系统对我国汛期气候有较强的预测能力^[9~12]。系统中大气模式为 IAP 2 层环流模式, 模式的水平分辨率为 2° (纬度) $\times 2.5^{\circ}$ (经度)。预测时所用的大气初始场为 NCEP 提供的 2007 年 9 月 1~30 日每天 0000 UTC 的资料, 共 30 个集合样本。热带太平洋地区的海温距平取为 2007 年 9 月实测海温异常与 IAP ENSO 预测系统预测海温的线性组合, 而在其他海区保持 9 月实测海表温度距平 (SSTA) 不变, 然后将 SSTA 叠加到模式气候态上作为下边界“真实”的海表温度。将 30 个样本预测的 1 月的气候变量取算术平均, 得到最终的预测结果。

对于 IAP9L-AGCM, 郎咸梅等^[13,14]较为全面系统地评价了该模式的预测能力, 结果表明该模

式的预测水平较高, 在北半球中高纬度部分地区甚至超过了国际上的先进模式。同样对于 IAP9L-AGCM 所进行的冬季气候实时预测, 其所采用的实测初始场和海表温度场与 IAP DCP-II 所采用的相同, 均来自 NCEP, 然后将其插值到模式网格点上。对于 IAP9L-AGCM 而言, 集合预报的样本取为 7 个, 亦即每个集合预报分别利用 2007 年 9 月 22~28 日 0000 UTC 的大气观测场作为初值, 积分至次年 8 月 31 日, 取 7 个样本积分结果的算术平均作为集合预报结果, 考察集合平均相对 30 年模式气候态的距平。

3.2 数值预测及检验

本节将讨论 IAP DCP-II 及 IAP9L-AGCM 对 2008 年 1 月气候的预测情况。这里主要分析不同预测模式与系统所预测的降水异常、气温异常、近地面风场异常以及 500 hPa 高度异常等, 并与实测资料进行比较分析, 以检验气候模式对 2008 年 1 月气候异常的预测能力。

本文用于检验的观测资料包括: 中国大陆 160 站点的月平均降水和气温资料, 美国 NCEP/NCAR 再分析资料。

3.2.1 降水距平百分率

从图 2a 中可以发现, 2008 年 1 月我国大部地区降水偏多, 且时空分布不均。长江以北至黄河流域之间大部分地区降水偏多, 华北西部、西北大部、华南降水也较常年偏多, 部分区域降水较常年同期偏多 1 倍以上; 江南大部、华北东部、东北、内蒙古中东部及新疆北部降水偏少。

IAP DCP-II 预测系统对 2008 年 1 月我国降水的预测趋势 (见图 2b) 为我国长江以南地区降水偏多; 华北、东北、内蒙古中东部地区降水较常年偏少; 我国西部地区降水基本正常; 同时我国西南地区降水较常年偏多。所以, 与实况相比预测结果不是十分理想, 主要是新疆南部和长江以北的多雨区没有预测出来, 且预测量级与实况相比也明显偏弱。对其他地区的预测效果还可以, 华南的多雨区、东北和华北的少雨区都成功地模拟出来了。

从图 2c 可见, IAP9L-AGCM 的结果要好于 IAP DCP-II, 它较成功地刻画出了我国华南、黄淮之间、西南地区的降水偏多及东北降水偏少的情况, 但降水异常中心的位置与实况不太一致,

且新疆南部、内蒙古西部的异常偏多降水及江南的少雨也没有成功预测出来。总的来说 IAP9L-AGCM 模式对 2008 年 1 月降水异常具有一定的预测能力。

3.2.2 表面气温

图 3 给出了观测及 IAP DCP-II、IAP9L-

AGCM 对表面气温的预测结果。观测表明, 2008 年 1 月我国气温以偏低为主。气温偏高的区域为东北大部、华北部分地区、云南及青藏高原地区, 其他区域气温正常偏低, 其中新疆北部、内蒙古西部、华南西部及江南西部气温偏低达 3°C 以上。从图 3b 可以发现, IAP DCP-II 较好地预测出了我

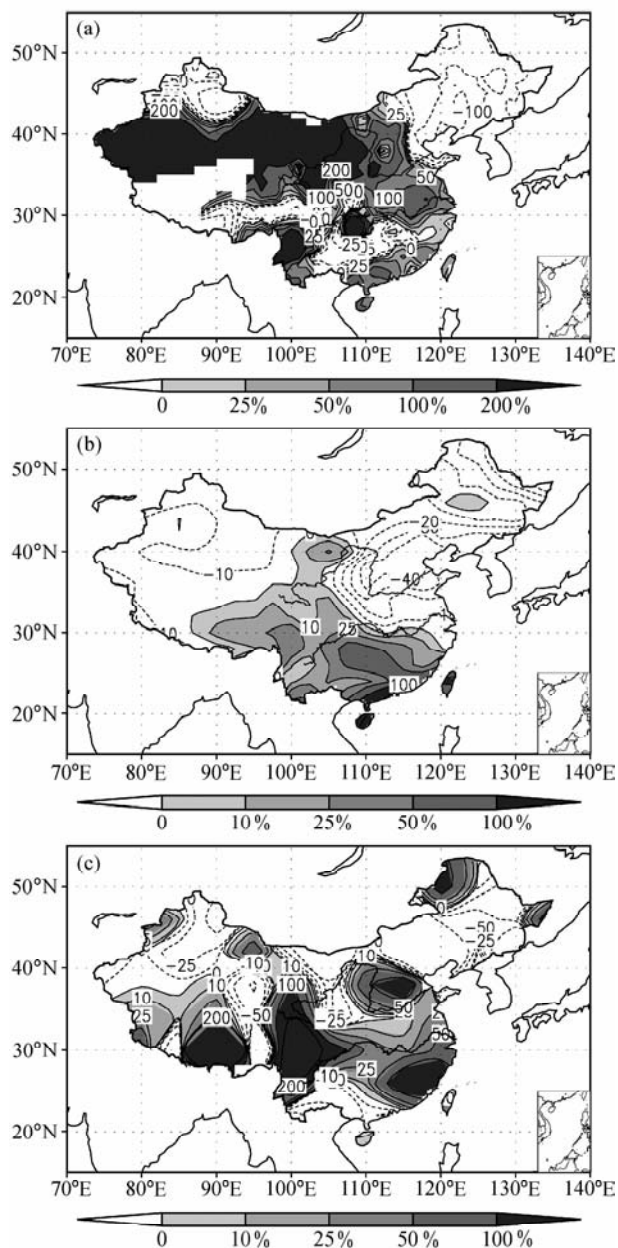


图 2 2008 年 1 月冬季我国降水距平百分率: (a) 实况; (b) IAP DCP-II 预测结果; (c) IAP9L-AGCM 预测结果

Fig.2 Percentage precipitation anomalies over China for Jan 2008; (a) observation; (b) prediction by IAP DCP-II; (c) prediction by IAP9L-AGCM

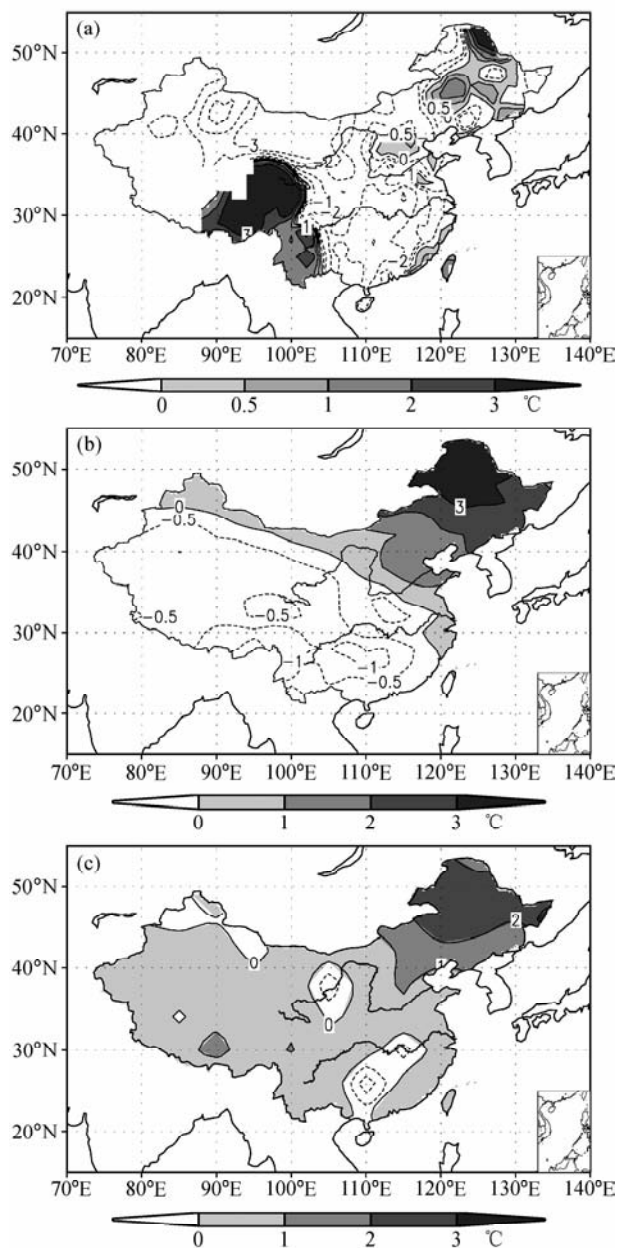


图 3 2008 年 1 月气温距平: (a) 观测; (b) IAP DCP-II 预测结果; (c) IAP9L-AGCM 预测结果

Fig.3 Surface air temperature anomalies over China for Jan 2008; (a) observation; (b) prediction by IAP DCP-II; (c) prediction by IAP9L-AGCM

国华南、江南中西部气温偏低, 东北等地气温偏高的分布形势, 只是对细致分布的刻画不够成功, 预测结果中低温区数值也较实测偏小, 而且新疆北部和内蒙古的气温偏低、青藏高原的气温偏高也未被刻画出来, 这与模式的水平分辨率以及系统性预测技巧都有关系。IAP9L-AGCM 预测 2008 年 1 月全国气温以偏高为主, 与实况不符, 但它较成功地刻画出了东北大部、华北部分区域、

西南地区及青藏高原东部偏高的气温, 以及华南和江南中部气温偏低的情况。总的来说, IAP DCP-II 和 IAP9L-AGCM 能部分地刻画 2008 年 1 月我国的气温异常分布, 但与实况相比还有一定的偏差。

3.2.3 近地面风场

2008 年 1 月地面风场距平的主要特征为 (见图 4a): 冬季风偏强, 中国东部 40°N 以南地区基

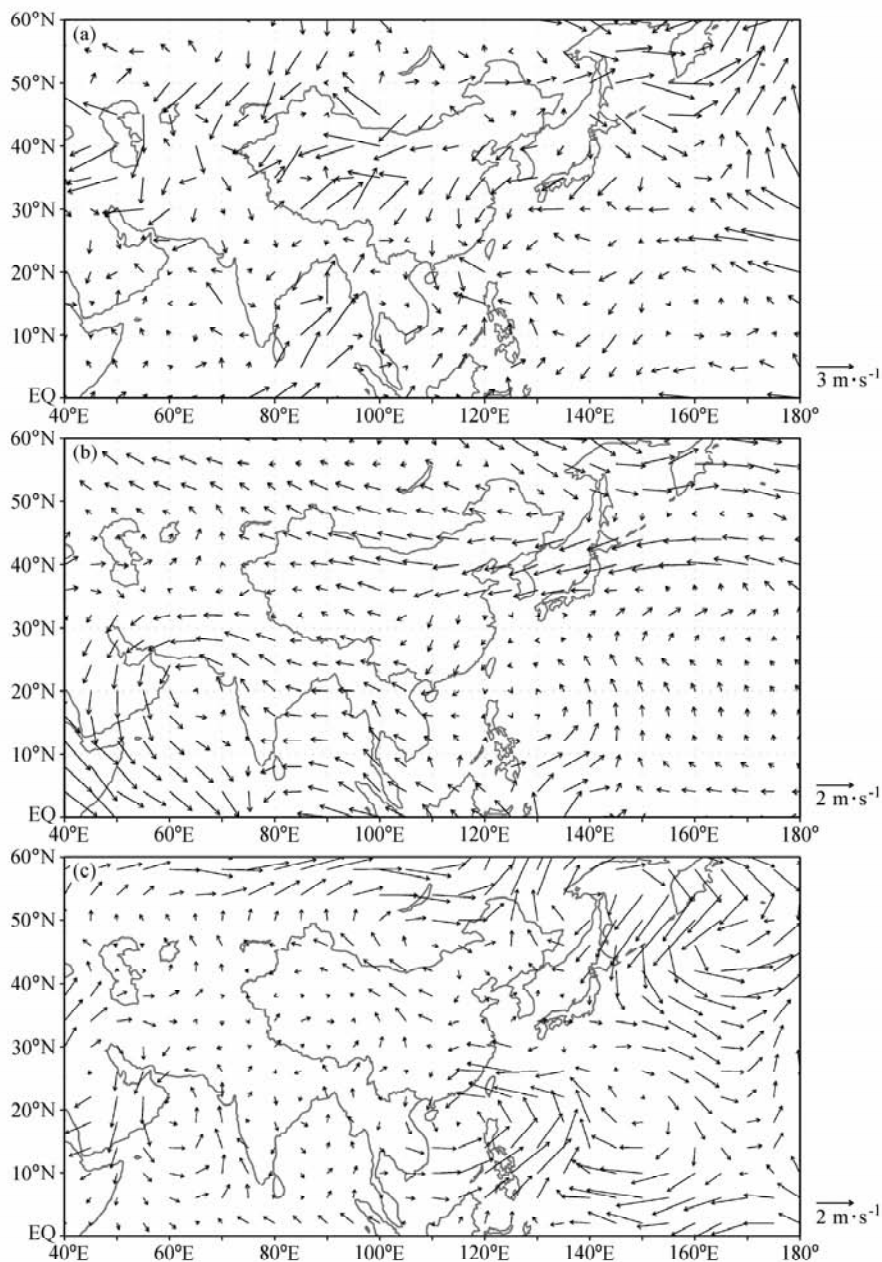


图 4 (a) NCEP 再分析资料、(b) IAP DCP-II 预测的 2008 年 1 月地面风场距平和 (c) IAP9L-AGCM 预测的 969.125 hPa 风场距平
Fig. 4 (a) Observation, (b) prediction by IAP DCP-II for surface wind anomaly, and (c) prediction by IAP9L-AGCM for wind anomaly at 969.125 hPa for Jan 2008

本都为北风距平控制；内蒙古西部、新疆东部以东风距平为主；此外孟加拉湾地区西南风距平较强，表示该区水汽的输送比常年偏强，有利于我国南方地区的降水。图 4b 给出了 IAP DCP-II 预测的地面风场异常，由于 IAP9L-AGCM 没有地面风场的输出结果，所以这里给出模式输出最低层 969.125 hPa 的结果（图 4c）。从图 4b 可以发

现，对于 IAP DCP-II 而言，系统对我国东部的偏北风距平预报较好，预测冬季风偏强，与实况一致。此外，内蒙古西部、新疆东部的东风距平也预报出来了；但孟加拉湾地区的西南风距平，系统没有预报出来。从图 4c 可以发现，IAP9L-AGCM 模式较好地刻画出了新疆东部东风距平、孟加拉湾地区西南风距平，但遗憾的是，模式对

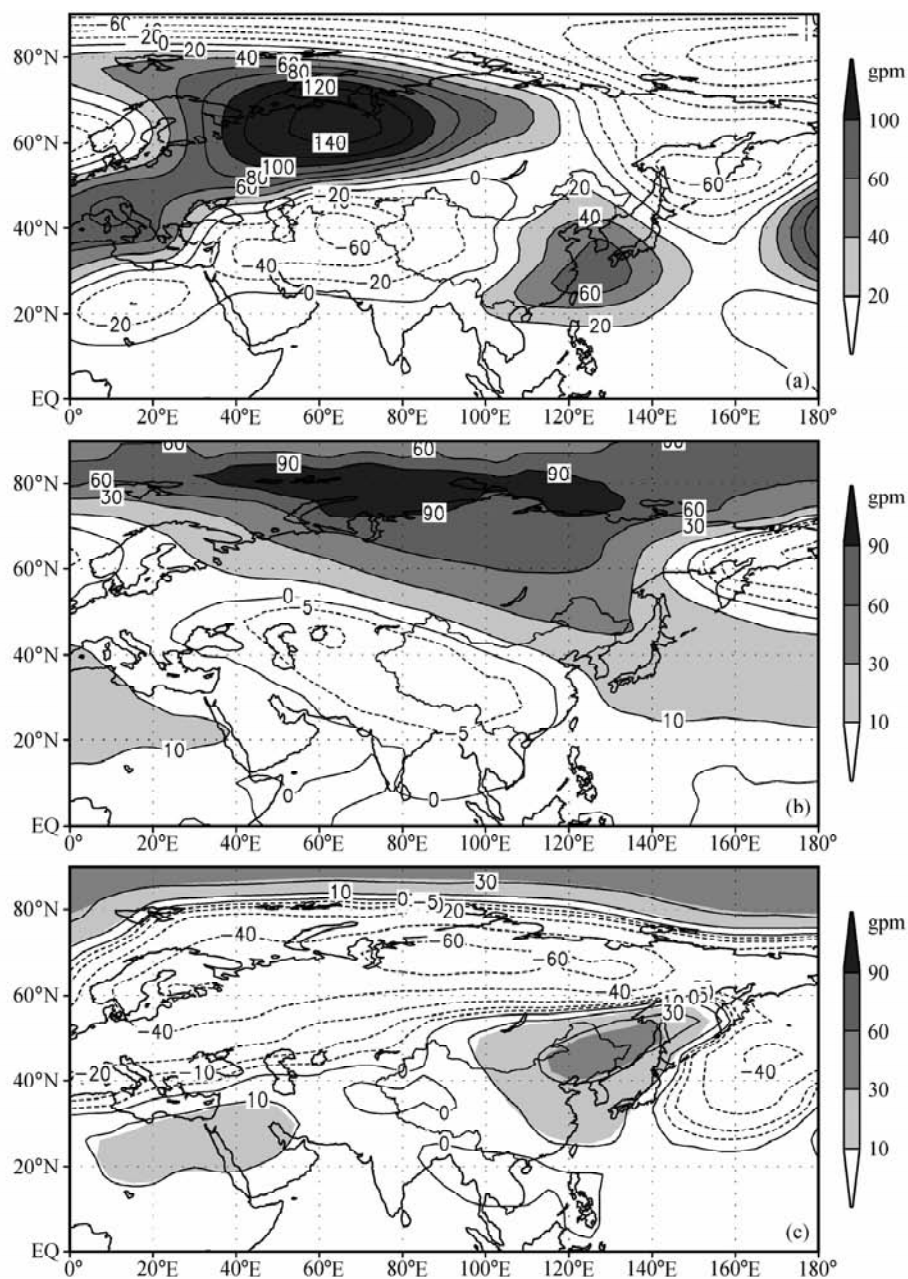


图 5 2008 年 1 月北半球 500 hPa 高度距平场：(a) NCEP 再分析；(b) IAP DCP-II 预测结果；(c) IAP9L-AGCM 预测结果

Fig. 5 Geopotential height anomaly for Jan 2008 at 500 hPa: (a) observation; (b) prediction by IAP DCP-II; (c) prediction by IAP9L-AGCM

我国东部南方地区的北风距平预测幅度不够。总的来说, 两个模式对 2007 年冬季低层环流异常均有一定的预报能力。

3.2.4 500 hPa 位势高度

2008 年 1 月北半球 500 hPa 大气环流最明显的特征是(见图 5a): 亚洲北部中高纬 $30\sim 100^{\circ}\text{E}$ 区域及我国东部区域为正距平控制。鄂霍次克海及以北地区受高度场负距平区控制, 从里海以东到中国西部也为负距平区控制, 说明在高原上空高空槽活动频繁。东亚大槽区为负异常, 东亚大槽偏强, 说明东亚冬季风比常年偏强。

图 5b 和 5c 给出了 IAP DCP-II 和 IAP9L-AGCM 所预测的 500 hPa 高度场距平。由图 5b 可见, IAP DCP-II 成功地预报出了亚洲北部中高纬度 $30\sim 100^{\circ}\text{E}$ 地区的正距平区, 只是范围比实况偏大、偏北。鄂霍次克海负距平区预测也比较成功, 只是与实况相比位置略偏东。系统也成功地预测出了里海以东到中国西部的负距平, 只是值偏小。鄂霍次克海北部的负距平区没有预测出来, 我国东部沿海的正距平区预测结果也不够理想。对于 IAP9L-AGCM 而言, 模式对 500 hPa 位势高度场的预测结果不够理想(图 5c), 虽然捕捉到了我国东部的正距平区以及鄂霍次克海以东的负距平区, 但遗憾的是没有预测出亚洲北部中高纬 $30\sim 100^{\circ}\text{E}$ 的正距平区。综上所述, 两个模式对 2008 年 1 月 500 hPa 高度场有一定的预测能力, 能成功预报部分的大气环流特征, 但与实况相比还有一定偏差。

4 结论与讨论

利用 IAP DCP-II 和 IAP9L-AGCM 对 2008 年 1 月我国异常气候进行了预测, 并检验了两个不同系统和模式对 2008 年 1 月我国气候异常的预测能力。

首先利用 IAP ENSO 预测系统进行热带太平洋海温异常的预测, 然后对 2007 年中国冬季气候进行了实时预测。结果表明: IAP ENSO 预测系统较好地预报出了 2007 年冬季热带太平洋海温异常的演变情况; IAP DCP-II 和 IAP9L-AGCM 对于 2008 年 1 月大气环流异常以及我国气候异常均有一定的预测能力, 尤其是对 2008 年 1 月偏强的

冬季风, 冬季南方地区的异常低温多雨, 以及东北的高温少雨, 预测效果较好。由于利用 IAP DCP-II 和 IAP9L-AGCM 作实时气候预测时, 考虑的主要外强迫因子是热带太平洋海温异常, 因此从这两个模式的预测结果来看, 热带太平洋海温异常信号确实对 2008 年 1 月中国的异常气候起重要作用。

IAP DCP-II 和 IAP9L-AGCM 虽然对 2008 年 1 月大气环流场异常和我国异常气候具有一定的预报技巧, 但与实测相比还有一定的差距。究其原因, 可能有以下几个方面: 1) 2008 年 1 月的降水异常可以说是几次强天气过程所致, 这在气候模式中难以捕捉。同时鉴于模式分辨率较粗, 对细致分布的刻画存在着一定的困难。2) 无论是 IAP DCP-II 还是 IAP9L-AGCM, 在对汛期气候异常进行预测的过程中, 海温均被认为是最具影响力的预报因子。但 2007 年冬季, 除热带地区的海温信号较强外, 热带外海温异常以及中高纬度大气异常也很强, 这就为预测带来了难度。对于 2007 年冬季气候异常而言, 大气内部的动力学过程可能也占很重要的地位, 而不仅仅限于外部强迫的作用。3) 就 IAP DCP-II 和 IAP9L-AGCM 而言, 目前对冬季气候进行预测时, 还没有对模式输出结果进行订正。由于现在气候系统模式的不完善, 直接用模式结果开展短期气候预测就必然存在着一定的系统性误差, 尤其对于中高纬度地区降水的预报而言, 更是如此。所以在以后的工作中, 需要寻找适合于我国冬季气候的订正系统, 以提高我国冬季气候的预测技巧。

对于冬季气候异常, IAP DCP-II 以及 IAP9L-AGCM 也只是在近几年才得以应用, 因此对系统预测的准确度还缺少统计检验, 需要在以后的实践中努力提高预测系统的性能。

参考文献 (References)

- [1] Lang Xianmei, Wang Huijun, Jiang Dabang. Extraseasonal ensemble numerical predictions of winter climate over China. *Chinese Science Bulletin*, 2003, **48** (7): 2121~2125
- [2] 陈红. IAP 跨季度一年度滚动式动力学气候预测系统及其实时预测试验. 中国科学院大气物理研究所博士学位论文, 2003. 33~37
- Chen Hong. IAP dynamical extraseasonal-interannual cli-

- mate prediction system and its real-time prediction. Ph. D. dissertation (in Chinese). Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, 2007. 33~37
- [3] Huang Ronghui, Sun Fengying. Impacts of the tropical western Pacific on the East Asian summer monsoon. *J. Meteor. Soc. Japan*, 1992, **70B**: 243~255
- [4] Huang Ronghui, Wu Yifang. The influence of ENSO on the summer climate change in China and its mechanism. *Adv. Atmos. Sci.*, 1989, **6**: 21~32
- [5] 陶诗言, 张庆云. 亚洲夏季风对 ENSO 事件的响应. *大气科学*, 1998, **22** (4): 399~407
- Tao Shiyan, Zhang Qingyun. The response of Asian winter and summer monsoon to the ENSO events. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 1998, **22** (4): 399~407
- [6] Yang Fanlin, Yuan Chongguang. Numerical experimentation for the impact of summer time tropical Pacific sea surface temperature anomaly on the short-term climate variation over Global and East Asian regional scale. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 1995, **19** (5): 535~544
- [7] 周广庆, 李旭, 曾庆存. 一个可供 ENSO 预测的海气耦合环流模式及 1997/1998 ENSO 的预测. *气候与环境研究*, 1998, **3** (4): 349~357
- Zhou Guangqing, Li Xu, Zeng Qingcun. A coupled ocean-atmosphere general circulation model for ENSO prediction and 1997/1998 ENSO forecast. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 1998, **3** (4): 349~357
- [8] Zhou Guangqing, Zeng Qingcun. Predictions of ENSO with a coupled coupled GCM. *Adv. Atmos. Sci.*, 2001, **18**: 587~603
- [9] Zeng Qingcun, Lin Zhaohui, Zhou Guangqing. Dynamical extra-seasonal climate prediction system IAP DCP-II. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2003, **27** (2): 101~117
- [10] 林朝晖, 李旭, 赵彦, 等. 中国科学院大气物理研究所短期气候预测系统的改进及其对 1998 年全国汛期旱涝形势的预测. *气候与环境研究*, 1998, **3** (4): 339~348
- Lin Zhaohui, Li Xu, Zhao Yan, et al. An improved short-term climate prediction system and its application to the extraseasonal prediction of rainfall anomaly in China for 1998. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 1998, **3** (4): 339~348
- [11] 陈红, 林朝晖, 周广庆. IAP 数值预测系统对 2004 年中国夏季气候的预测. *气候与环境研究*, 2005, **10** (1): 32~40
- Chen Hong, Lin Zhaohui, Zhou Guangqing. Real-time prediction for 2004 summer climate anomalies using IAP dynamical climate prediction system. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2005, **10** (1): 32~40
- [12] Chen Hong, Lin Zhaohui, Zeng Qingcun. Introduction and systemic assessment for IAP numerical annual climate prediction system. *Chinese Science Bulletin*, 2003, **46** (Suppl. II): 56~61
- [13] 郎咸梅, 王会军, 周广庆, 等. 应用 IAP9L-AGCM 对 2002 年中国夏季气候的预测及效果检验. *南京气象学院学报*, 2003, **27** (1): 101~107
- Lang Xianmei, Wang Huijun, Zhou Guangqing, et al. Prediction of summer climate over China in 2002 with IAP9L-AGCM and its performance. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology* (in Chinese), 2003, **27** (1): 101~107
- [14] 郎咸梅, 王会军, 姜大膀. 应用九层全球大气格点模式进行的跨季度短期气候预测系统性试验. *地球物理学报*, 2004, **47** (1): 19~24
- Lang Xianmei, Wang Huijun, Jiang Dabang. Extraseasonal short-term predictions of summer climate with IAP9L AGCM. *Chinese Journal of Geophysics* (in Chinese), 2004, **47** (1): 19~24