

王会军, 孙建奇, 郎咸梅, 等. 几年来我国气候年际变异和短期气候预测研究的一些新成果. 大气科学, 2008, **32** (4): 806~814
Wang Huijun, Sun Jianqi, Lang Xianmei, et al. Some new results in the research of the interannual climate variability and short-term climate prediction. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2008, **32** (4): 806~814

几年来我国气候年际变异和短期气候 预测研究的一些新成果

王会军¹ 孙建奇¹ 郎咸梅¹ 陈丽娟^{1,2} 符伟伟¹

¹ 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029

² 国家气候中心, 北京 100081

摘 要 为了热烈庆祝中国科学院大气物理研究所成立 80 周年 (1928~2008 年), 作者谨就五年来中国科学院大气物理研究所的科学家们完成的关于我国气候变异和气候预测方面的研究工作若干新成果作一些非常概要性的介绍, 个中也包含一点所外科学家的工作。不周和不当之处只有请读者海涵和批评指正了。本文介绍的主要进展有三个方面: 关于我国气候年际变异的研究、ENSO 预测研究和数值气候预测研究。

关键词 气候年际变异 气候预测 东亚季风

文章编号 1006-9895 (2008) 04-0806-09

中图分类号 P467

文献标识码 A

Some New Results in the Research of the Interannual Climate Variability and Short-Term Climate Prediction

WANG Huijun¹, SUN Jianqi¹, LANG Xianmei¹, CHEN Lijuan^{1,2}, and FU Weiwei¹

¹ Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

² National Climate Center, Beijing 100081

Abstract On the occasion of celebrating the 80th anniversary (1928 - 2008) of the Institute of Atmospheric Physics (IAP), Chinese Academy of Sciences, the authors very briefly reviewed some new results in the research of the interannual climate variability and short-term climate prediction in recent years, most in the past five years. Some of the studies were jointly completed by the scientists from both the IAP and other institutions. The review was categorized into three parts, the interannual climate variability, ENSO prediction, and the numerical climate prediction.

Key words interannual climate variability, climate prediction, East Asian monsoon

1 关于我国气候年际变异的研究

1.1 急流对我国气候的影响

亚洲高空副热带西风急流是影响我国气候变化的重要大尺度环流系统之一。早在 20 世纪 50 年代, 我国气象学者就注意到了东亚副热带西风急流

的演变特征及其与我国梅雨的关系。近期的一些研究进一步加深了我们对于这些规律和特征的认识。李崇银等^[1]系统的分析表明, 东亚副热带西风急流在 5 月和 6 月的两次北跳分别预兆南海夏季风和梅雨期的开始, 东亚副热带西风急流的这两次突变与春末夏初中高纬度大气环流系统的减弱北退以及亚

收稿日期 2007-12-17, 2008-03-17 收修定稿

资助项目 国家自然科学基金资助项目 40631005、40620130113

作者简介 王会军, 男, 1964 年出生, 研究员, 研究方向: 气候动力学。E-mail: wanghj@mail.iap.ac.cn

洲大陆南部地区对流层中上层经向温度梯度的两次逆转有关。此外, 东亚副热带西风急流位置的年际变动对东亚夏季气候的影响也很重要。当急流位置异常偏南时, 南亚高压位置偏东偏南、西太平洋副热带高压偏南, 由此东亚夏季风偏弱、我国长江流域及华南地区降水偏多; 反之, 则东亚夏季风偏强^[2~4]。

高空急流作为大气波动的一个波导, 其上的 Rossby 波活动对于我国气候的影响同样也很重要。当夏季东亚西风急流的扰动动能偏强(弱)时, 东亚高空急流位置偏南(北)、强度偏强(弱), 同时造成南亚高压位置偏东(西)、强度偏强(弱); 西太平洋副热带高压位置偏南(北)。这样的环流形势最终造成东亚夏季风环流减弱(加强), 在我国东部地区形成中间多(少)、南北少(多)的异常雨型分布^[5]。

1.2 北极涛动/北大西洋涛动对我国气候的影响

作为北半球中高纬度地区大气环流的一个主要模态, 北极涛动对于我国的气候变化的影响值得重视。康杜鹃和王会军^[6]在分析我国北方沙尘暴气候形势的变化及其影响因子时, 发现在年际时间尺度上我国北方沙尘活动的频次与前冬的北半球西风指数以及北极涛动指数存在显著的负相关关系。段安民和吴国雄^[7]的工作表明北极涛动与青藏高原地区气温的年际变化联系密切: 强(弱)的北极涛动模态对应着偏高(低)的高原冬季气温。在北极涛动影响东亚冬季气候的过程中, 北半球准定常行星波可能起到了桥梁的作用^[8]。

位于北大西洋地区的北大西洋涛动对我国的气候变化同样重要。利用 530 年的历史重建资料, 符淙斌和曾昭美^[9]发现前期冬季北大西洋涛动与我国东部几个区域的旱涝有着显著的滞后相关。此外, 后续的研究还指出冬季北大西洋涛动可以激发出东传的冷信号, 从而改变后期欧亚大陆副热带地区气温, 造成我国青藏高原东侧近几十年来春季的变冷趋势^[10, 11]。

1.3 南极涛动对我国气候的影响

近年来, 关于南极涛动对全球气候的影响研究工作正在逐步展开。其中一个重要的成果就是发现南极涛动是除 ENSO 信号外, 又一个对于东亚夏季风降水有着显著影响的强年际变化信号, 尤其是前期春季南极涛动的变化对东亚夏季风降水有着很好的预测意义^[12~17]。Fan^[18]指出南极涛动的纬向不对称性, 并认为这种不对称性可能部分地由 ENSO 造成。在南极涛动影响东亚夏季风的机制探讨中, 认

为马斯克林高压、澳大利亚高压以及这两个高压北侧的越赤道气流、南半球高纬度到北半球东亚沿岸经向分布的正压遥相关、印度洋海表温度的变化等都可能起着桥梁的作用。在上述观测事实的基础上, 春季南极涛动的信息已被运用于我国东部地区夏季降水的跨季度预测中^[19]。事实证明预测结果与事后观测事实基本相符, 这进一步证明将前期春季南极涛动的信息运用于我国东部地区夏季降水的预测是可行的。

此外, 南极涛动对我国冬春季的气候变化有着很好的调控作用^[20]。南极涛动可以通过南北半球间的经向遥相关影响到北半球欧亚西风、太平洋北美型遥相关、欧亚型遥相关以及阿留申低压的变化。强的南极涛动可以加强欧亚大陆地区的纬向西风, 从而减弱了该地的冷空气活动, 导致我国北方地区春季沙尘事件发生频次降低; 反之, 在弱的南极涛动年, 我国北方地区的沙尘事件发生频次偏高。这些观测事实在随后的数值模拟中得到证实^[21, 22]。

1.4 越赤道气流对我国气候的影响

作为连接南北半球的大气通道, 越赤道气流在南北半球大气环流的相互作用中起着重要作用。王会军和薛峰^[23]在分析索马里急流的变化特征及其气候影响时, 发现索马里急流是东半球影响南北半球水汽输送的主要载体, 它直接影响着亚洲季风区的水汽输送量, 进而造成亚洲夏季风降水的异常。此外, 索马里跨赤道南风气流的稳定建立也是南海夏季风爆发的重要物理机制之一, 它的建立导致赤道印度洋地区西风的持续加强和向东扩展, 并最终在南海地区形成西南气流, 从而促使南海夏季风的爆发^[24]。高辉和薛峰^[25]进一步的研究指出, 在南海夏季风爆发前两候, 索马里急流有一次迅速的增强, 这一增强有利于加速孟加拉湾地区西风的向东扩展, 并使控制在南海上空的西太平洋副高东撤; 同时, 南海越赤道气流的迅速增强也推动副高北上, 共同促使南海夏季风全面爆发。不仅如此, 索马里越赤道气流和南海越赤道气流对季风爆发的早晚也有重要影响, 当前期这两支南风气流建立偏早、强度偏强时, 南海夏季风爆发易偏早; 反之, 当这两支南风气流建立偏晚、强度偏弱时, 则季风爆发易偏晚。

1.5 关键海区海温异常对我国气候的影响

海表温度的异常对我国气候的影响, 一直是气象工作者关注的重点问题之一。近期的研究表明, 热带西太平洋暖池区和热带印度洋海表温度的异常

显著地影响南海夏季风爆发早晚和夏季风的强度^[26, 27]。热带东太平洋地区的海温变化对我国华北地区的夏季降水影响较大,在对印度洋海表温度异常综合分析的基础上,贾小龙和李崇银^[28]发现南印度洋也存在一个海温的偶极子分布模态,并指出前期夏、秋季节该偶极子与次年夏季我国长江流域夏季降水存在同步的变化,西太平洋暖池的热状况是两者联系的一条重要途径。而杨辉等^[29]的工作表明在研究我国夏季气候时,不能只考虑单独太平洋或印度洋海温异常的影响,更需要考虑热带太平洋和热带印度洋海温异常模的综合效应,这对于了解和预测东亚地区夏季气候变化大有裨益。

除了热带地区,我国气候变化与全球海表温度的关系研究也得到了进一步的深入。利用多种统计方法,宗海峰等^[30]较细致地探讨了我国东部梅雨期降水的时空变化,并指出赤道东太平洋海域、赤道印度洋和南海以及西太平洋黑潮区、北太平洋中纬度海域的海温异常分别对应着我国三种不同的降水型。孙建奇和王会军^[31]在分析东北南部和北部地区夏季气温不同变化的原因时,发现不同海域对东北南部和北部地区夏季气温的影响存在很大差异。陈文和康丽华^[32]利用奇异值分解的方法较全面地分析了我国夏季降水的时空分布特征及其与海表温度的关系,总结了在年际和年代际尺度上影响我国不同地区夏季降水的关键海域。

在观测事实的基础上一些数值模拟工作也相继展开。Guo 等^[33]利用中国科学院大气物理研究所发展的海陆气耦合模式(GOALS)分析了不同海域海温异常对 1999 年我国长江流域大水的影响过程及各自的贡献。Lu 和 Dong^[34]利用英国 Hadley 中心的大气环流模式(HadAM3)分析了大西洋海温异常在 1997~1998 年西北太平洋地区夏季气候异常中的作用。这些数值模拟工作,在一定程度上给出了关键海域影响我国气候变化的更多的物理图像。

2 ENSO 预测研究

中国科学院大气物理研究所是国际上较早开展 ENSO 模拟和预测的单位之一。近年来,随着计算条件的改善及海气环流模式的发展,中国科学院大气物理研究所的 ENSO 预测研究也有了一些新的进展。

2.1 海气耦合模式和 ENSO 模拟

利用中国科学院大气物理研究所的 9 层大气环

流模式和具有 0.5° 水平分辨率的热带太平洋环流模式,建立一个主要用于年际变率模拟和预测的热带太平洋和全球大气(TOGA-type)耦合环流模式^[35]。考虑到大气环流模式模拟的地表风场在太平洋误差较大以及海洋模式的特点,采用了一种“回归修正”方法修正海-气交换的通量,不仅有效抑制耦合模式的“气候漂移”现象,保证了模式气候态模拟的合理性,而且模拟的年际气候变率也有了一定程度改进。耦合模式的主要特点如下:

(1) 为了更好地模拟赤道地区 Kelvin 波的特征,耦合模式的海洋分量采用具有 0.5° 水平分辨率的热带太平洋模式^[36],为合理模拟赤道 Kelvin 波提供了可能,也为更合理模拟 ENSO 的年际变率打下基础。相对于其较老版本($2^\circ \times 1^\circ$),模拟性能有较大改进:对赤道东太平洋 SST 偏冷的现象、海面起伏变化、北赤道逆流(NECC)、赤道潜流(EUC)等都有明显改善。海洋模拟的改善对于耦合模式的性能至关重要。

(2) 根据耦合模式分量的特点,设计了逐月的“回归修正”耦合方案,也即利用长序列观测资料和模式模拟之间的关系对海-气之间交换的通量进行修正^[37]。该方案的修正系数随时间和空间变化,由此修正后的动量及热量通量更加合理,积分结果表明,该方案优于“距平耦合”方案,不仅可以更好地控制气候“漂移”现象,而且能够改善区域耦合模式在热带太平洋区域的 ENSO 模拟。

(3) 模式采用同步耦合,通过对大气模式通量进行“回归修正”,逐日交换海-气通量,海洋模式通量未作修正。

耦合模式 130 年的积分结果表明,没有发生“气候漂移”现象,模拟的气候态与各分量模式的气候基本一致;同时,对热带太平洋地区的年际气候变化现象(类 ENSO 事件)也有较好的模拟,在赤道上,冷暖事件交替出现,而且振荡随时间向东传播,在 7.5°N ,振荡的强度变弱,以相反的位相向西传播,这样在赤道和赤道外构成循环过程,这与观测到的 ENSO 振荡的传播是一致的。模拟的 Niño3 指数在 1.2°C 左右,小波分析的结果表明,其周期为 2 至 5 年不等,也与观测结果相一致。目前,该耦合模式用于气候预测、ENSO 模拟等方面。

2.2 基于高分辨率太平洋模式的 ENSO 预测

针对目前大多数海洋环流模式(OGCM)及基于此建立的耦合模式,包括混合型(HCMs)和耦

合环流模式 (CGCMs), 在 ENSO 模拟方面普遍存在的问题, 利用中国科学院大气物理研究所的 0.5° 水平分辨率的热带太平洋模式和一个简单的统计大气模式建立了一个混合型的 ENSO 预测模式 (HCMs) [38]。耦合模式借鉴中等复杂海洋模式 (IOM) 中的一些处理方法, 考虑次表层上卷海温 (T_e) 对海洋模式的影响, 在 OGCM 中采用一种显式表征 T_e 的参数化方法, 这种参数化方案通过经验方法将次表层上卷海温 (T_e) 与海表起伏联系起来, 从而可以方便地使用海表起伏显式地表示 T_e , 进而改进 OGCM 中垂直过程的描述能力, 达到增强温跃层起伏对海表混合层反馈作用的目的。未考虑上卷海温时, 耦合模式模拟的 ENSO 振荡频率过高, 呈准两年周期; 考虑上卷海温的耦合模式中 ENSO 模拟比较合理, 振荡主周期与观测相近, 为四年左右, SSTA 变率空间分布也与观测较为一致。

从持续性预报、标准混合型模式 (HCM_std) 预报及考虑了上卷海温的耦合模式 (HCM_emd) 事后预报的 Niño 3 区 SSTA 距平相关系数来看, 未考虑 T_e 的普通耦合模式预报时效仅与持续性预报相当, 大约 5~6 个月; 其有价值预报区域仅集中在沿赤道很窄的带状区域内; 而且随着预报时间的延长, 预报技巧在远东太平洋地区急剧下降 [38]。相反, 采用 T_e 参数化方案后, 模式预报水平在整个提前预报时段上都有所提高, 预报时效延长到 9 个月, 并且远东太平洋地区的预报偏差显著降低。

3 数值气候预测研究

3.1 主要进展概要

在全球气候持续变暖的背景下, 我国的气象灾害出现明显的上升趋势, 对经济、社会发展的影响日益加剧。为此, 中国科学院大气物理研究所也相应增加了动力数值气候预测研究的力度, 研究成果得到了国内同行的极大关注。目前, 中国科学院大气物理研究所的实时气候预测结果已成为我国气候预测会商的一个重要参考。

在中国科学院大气物理研究所 (IAP/CAS), 短期气候预测开始于 1980 年代初, 当时主要用动力学方法、环流相似法、指标相似法以及统计学方法等一起试做夏季降水的跨季度预测。对汛期旱涝趋势的数值气候预测开始于 1988 年 [39], 这是当时国际上最早利用气候模式开展的跨季度数值气候预

测。1990 年代初, IAP 第一代跨季度数值预测系统 (IAP DCP-I) 得以建立, 并应用于实际预测过程中 [40, 41]。此后, 随着 IAP ENSO 预测系统的建立 [42], IAP 第二代跨季度数值气候预测 (IAP DCP-II) 得以形成 [43], 其预测结果成为汛期旱涝集成预测的主要参考。然而, 考虑到该模式有限的垂直分层会限制它对大气环流的细致刻画, Zeng 等 [44]、Zhang 等 [45] 和 Liang 等 [46] 在发展两层大气环流模式的经验和基础上发展、建立了相应的九层全球大气环流格点模式 (IAP9L-AGCM)。通过较为系统的效能评估, 发现该模式的短期气候预测潜力较大, 在北半球中高纬部分地区甚至超过了国际上的先进模式 [47]。此外, 在预测实践中, 该模式也展现出良好的预测性能, 不但在首次实时预测中较为成功地预测出我国 2002 年夏季气候形势 [48], 还提前一个季度对我国 2003 年春季沙尘天气做出了正确预报 [49]。近期在对西北太平洋台风活动异常的气候预测尝试中, 该模式也表现出了令人满意的实时预测能力 [50]。在本节中我们将对近五年来 (2002 年以来) IAP/CAS 的实时气候预测工作进展进行简要的回顾。

3.2 模式简介及试验设计

目前, 参与 IAP/CAS 实时气候预测的气候模式分别为中国科学院大气物理研究所自行研制的两层和九层大气环流模式。前者的垂直分层为两层, 根据不同的水平分辨率分为新旧两个版本, 对应的水平分辨率分别为 $2^\circ \times 2.5^\circ$ 和 $4^\circ \times 5^\circ$; 九层大气环流模式的垂直分层为九层, 水平分辨率为 $4^\circ \times 5^\circ$ 。

用于实时气候预测的大气资料为美国国家环境预测中心 (NCEP) 的 00 时再分析资料。海洋表面温度 (SST) 资料来自 NCEP 和 IAP ENSO 预测系统针对热带太平洋地区 SST 异常的实时预报结果。在数值积分过程中, 热带太平洋地区考虑实测和预测海温距平的线性组合, 在热带太平洋以外地区维持初始的观测海温距平不变。针对汛期降水异常和夏季 (6~10 月) 西北太平洋台风活动异常的跨季度实时气候预测采用当年 2 月份的初始场, 对当年冬季至次年春季气候异常的跨年度预测则是采用当年 10 月份的初始场。在进行集合预测时, 两层模式选取的集合样本一般约为 30 个; 九层模式由于耗时大, 一般选取 7 个集合样本。最后, 对每个预报结果进行加权平均作为最终的预报结果。

3.3 实时气候预测效果及检验

多年来,汛期旱涝引发的自然灾害一直是我国气象工作者不懈研究的一项重要课题,也是我国跨季度实时气候预测最为关注的问题,在这方面,IAP/CAS 积极开展了跨季度短期气候预测研究,并取得了很大的进展^[39~56]。随着近几年沙尘天气的日益加剧和台风活动的频繁发生,IAP/CAS 还先后首次尝试了针对我国冬春季气候异常(尤其是春季沙尘气候异常)以及夏季西北太平洋台风活动异常^[49, 50]进行了跨年度和跨季度预测,预测结果是鼓舞人心的。在目前的实时气候预测中,由于眼下气候系统模式还存在不完善,直接利用模式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更是如此。因此,需要采用一定的后处理技术来提高模式的预报准确度。目前,我们普遍采用扣除模式结果中存在的多年系统性误差的方法对模式结果进行订正。

3.3.1 夏季降水的实时气候预测

自从针对我国汛期降水进行实时气候预测以来,IAP/CAS 已经取得了多次成功。例如,对于 2002 年汛期降水异常,无论是 IAP DCP-II 还是 IAP9L-AGCM 都成功地提前预测出了我国西北部、长江以南、华南的多雨以及华北大部的少雨。此外,IAP9L-AGCM 还成功地预测出了东北北部和四川一带的大范围干旱以及东北东部的显著少雨,预测结果所示的大范围旱涝形势及强降水中心与实况基本吻合,特别是华南弱的正降水距平区、长江和黄河流域间的大范围干旱区轮廓清晰可辨。虽然模式预测结果中降水异常幅度较实测资料还相对较弱,但这几乎是当前所有气候模式的一致弱点,目前各气候模式预测组均是采用适合模式自身特点的订正方法加以解决^[57~59]。

对 2002 年我国夏季气候异常的成功预测无疑增加了我们对动力数值气候预测的信心。然而,预测工作很快出现了新的挑战。2003 年,江淮流域出现罕见的特大洪涝,2004 年和 2005 年夏季,长江以南出现了严重干旱,对于这两年出现的极反常气候异常,不但曾经展现良好性能的 IAP 数值模式几乎束手无策,全国其他各家相关单位也几乎完全报垮,从中充分显示了气候预测工作的高度复杂和困难。究其原因,模式存在分辨率较粗等固有缺陷可能非常重要。此外,近几年气候变化出现了年代

际变化特征,利用本身就还不够完善的订正系统难以做出准确预报。特别是当最具影响力的海温信号较弱、大气内部的动力学过程占主导地位时,就更难进行准确的动力数值预报了。况且已有研究表明,在气候系统相对更为复杂的季风区,当大气对海洋的反馈处于临界状态时,耦合的海气过程在季风区可能很关键,因此仅靠 AGCM 进行预测还存在一定的局限性。因此,为了进一步提高我国的实时气候预测水平,急需探索和研究新的预测思路,并需相应地尽快发展和完善嵌套模式以及耦合气候模式预测系统。

3.3.2 春季沙尘天气异常的数值气候预测

沙尘天气的形成是一个复杂的过程,其影响因素具有多元性和复杂性,目前对该事件的气候预测研究还处于初步的探索阶段。2003 年,王会军等^[49]首次尝试利用 IAP9L-AGCM,通过预测前一年冬季及当年春季沙尘天气发生的气候背景场(主要是降水异常、冷空气活动强度以及地表温度状况),来预测当年春季沙尘天气异常并取得了成功,为沙尘天气的预测研究开拓了新的预测思路。该预测思想不但在我国气象界引起了极大的重视,还在后来的预测实践中得到沿用和借鉴^[60, 61]。目前,对春季沙尘天气的实时气候预测已成为我国气候预测会商的一项核心内容。基于该预测思想,IAP/CAS 自 2003 年以来对我国春季沙尘天气异常预报准确的次数占到了大多数(实时预报与实况对比情况见表 1)。就目前我国沙尘天气的气候预测现状来看,模式的预测效果还是比较理想的。

不过,利用上述数值预报方法只能对来年沙尘天气的强弱进行粗略预估,不能准确预报沙尘天气发生的具体频数。为此,我们此后又基于我国北方春季沙尘频次与表面温度、降水、欧亚西风、北极涛动、南极涛动、南方涛动以及近地面经向风的密切关系,利用 IAP9L-AGCM 的多年回报结果,建立了一个用于我国北方春季沙尘天气发生频次的实时预报模型,回归结果与观测间的复相关系数可达 0.933^[62]。从该模型对 2002~2005 年我国北方春季沙尘频次的实时预测效果来看,它不但能够较好地预测出沙尘频次的年际变化情况,在具体数值上也有一定的预测能力,可在一定程度上使原数值预报结果更为具体、细致。

表 1 我国春季沙尘天气异常的跨年度实时数值预测意见
Table 1 Real-time prediction of the spring dust weather frequencies and the comparison with observations

年份	实时预测意见		实况
	IAP DCP-II 预测结果	IAP9L-AGCM 预测结果	
2003	较常年偏弱	较常年偏弱	较常年偏弱
2004	正常略偏弱	较常年偏弱	较常年偏强
2005	正常略偏弱	正常略偏弱, 4 月华北东部略偏强	较常年偏弱, 4 月偏强
2006	接近正常	正常略偏弱, 晚春华北略偏强	较常年偏强
2007	较常年偏弱	较常年略偏弱, 4 月华北东部略偏强	较常年偏弱

3.3.3 西北太平洋台风活动异常的数值气候预测

由于毗邻西北太平洋, 中国是世界上受台风活动影响最为严重的国家之一, 因此对西北太平洋台风生成次数进行提前气候预测意义重大。研究表明, 海洋表面和上层水温、大气对流条件、辐散辐合条件、风的垂直切变幅度等是影响热带气旋、热带风暴、台风、飓风生成和发展的主要环境条件。为此, 王会军等^[50]首次尝试了利用 IAP9L-AGCM, 综合考虑 SST、大气对流状况、辐合辐散以及风的垂直切变强度, 对 2006 年夏季西北太平洋台风活动异常进行实时气候数值预测试验, 预测结果是令人鼓舞的。而且, 该预测思想的可行性在 IAP9L-AGCM 多年回报结果的系统性评估中已经得到肯定^[63], 因此有必要推广应用于今后的实时预测当中, 通过更多的实践检验来不断地加以改进和完善。当然, 台风的气候预测问题还有很多的统计方法需要研究。最近, 王会军等^[64, 65]揭示了南极涛动和北太平洋涛动与西太平洋台风活动频率的关系, 范可^[66, 67]就利用通过探索新的预测因子, 建立了一个新的预测方法。

3.3.4 小结

就多年的实时气候预测效果来看, IAP 的短期气候数值预测具有良好的发展前景。然而, 我国由于自身地理环境特殊, 气候变异的影响因子多而复杂, 而且大部分地区的气候变异受 ENSO 信号的影响又不够显著, 因此难以做出准确的数值气候预测, 特别是在外部信号较弱时更是如此。此外, 海温的预报水平还仍然有限, 模式分辨率的提高, 物理过程参数化的合理化、对土壤湿度、陆面过程以及高纬度海冰、积雪等过程的考虑还有待解决, 因此我国的短期气候预测工作艰巨而又高度复杂。当然, 就目前的预报水平来讲, 后处理技术的改进无疑是短期内提高预报准确度的最直接有效的方法,

因此这方面的探索和研究仍然是极为关键的。在今后的工作中, 需要在发展和完善短期气候预测理论和方法、努力提高数值气候预测系统自身性能的同时, 考虑嵌套模式和耦合气候模式系统在短期气候预测中的应用和发展。

3.4 应用海气耦合模式进行气候预测的研究

近年来, 中国科学院大气物理研究所和国家气候中心相继开展了利用海气耦合模式进行气候预测的研究, 并取得了若干进展。这里以国家气候中心的研究为例作一简要介绍。

3.4.1 模式简介及试验设计

国家气候中心的气候模式预测业务系统是在国家“九五”重中之重科技项目“我国短期气候预测业务系统的研究”资助下建立的。2004~2005 年, 全部业务系统完成在 IBM Cluster 1600 (HPC) 的移植和运行, 该高性能计算机为月、季、年动力模式预测业务的历史回算和实时业务提供了充分的保障^[68, 69]。

全球大气-海洋耦合模式 (NCC CGCM 1.0) 由国家气候中心和中国科学院大气物理研究所合作研制, 由全球大气环流模式 (T63L16 AGCM)^[70]与全球海洋环流模式 (L30T63)^[71, 72]通过日通量距平耦合方案在开洋面上逐日耦合而形成, 没有考虑海洋模式和大气模式之间的淡水通量交换。

3.4.2 实时气候预测效果及检验

该模式系统对中国汛期降水和温度及夏季北半球大尺度环流场等都有一定的跨季度预报能力, 但是对中国不同区域的要素预测能力有所不同。总体来说, 模式对中国东部和西部的降水趋势回报较好, 模式预报好于气候预报和持续性预报。从相关系数指标来看, 模式跨季度预测夏季温度的技巧在中国西部比中国东部高。当然这组试验是单样本 10 年回算评估, 因而其结果还存在较大的不确定

性。实际预测业务中,在完成 48 样本 1983 年以来的回算和预报之后,又对各自然季节甚至逐月滚动季节进行了更为细致的评估,包括对超前时间分别为 0~6 个月的利用常规评估方法对确定性集合预报的评估和利用 WMO 推荐的最新长期预报标准检验系统对确定性预报和概率预报结果的评估。这些评估方法从不同的角度反映模式预报能力^[73]。

从 1983~2006 年模式预测的情况来看,总体平均结果略高于发布预报,尤其是 1990 年以来预报评估结果比较平稳,多数年份明显优于发布预报。

3.4.3 动力相似预报和降尺度预报(downscaling)

另外,非常值得一提的是,统计和动力降尺度(downscaling)预报也是近年来越来越受到重视的研究课题,国内外都有大量研究工作。限于篇幅这里就不再介绍了。

使用数值模式进行短期气候预测还存在许多不足之处,采取动力-统计相结合、从历史资料中提炼信息的预报策略是提高预报水平的可行之路。基于大气的相似性原理,提出了利用历史资料估计模式误差的相似误差订正方法^[74],该方法有效地将统计与动力相结合,可以在不改变数值模式的情况下,一定程度地提高预测能力。

4 结语

我国及东亚气候年际变化及其可预测性和预测研究是目前最为活跃的研究领域之一,近年来中国科学院大气物理研究所有大量的这方面的科研成果,在这个意义上本文只能是以点代面了。气候预测之于我国实在是太重要了,近来发展起来的关于沙尘天气频率和台风活动频率的预测也是气候预测研究的一个重要进展。另外,关于多模式集合预测以及关于动力-统计方法相结合的预测研究尤其重要,多模式集合预测在美国和欧洲都倍受重视,甚至有可能将来的气候预测单一模式方法要被多模式集合方法所替代,这是一个非常值得注意的一个趋势。至于动力-统计方法的结合历来是重要的,将来更是重要的,因为任何模式都是有缺陷的,所以结合以统计方法是必不可少的。

参考文献 (References)

[1] 李崇银,王作台,林士哲,等.东亚夏季风活动与东亚高空西

- 风急流位置北跳关系得研究. 大气科学, 2004, **28** (5): 641~658
- [2] 廖清海,高守亭,王会军,等.北半球夏季副热带西风急流变异及其对东亚夏季风气候异常的影响. 地球物理学报, 2004, **47** (1): 41~18
- [3] Lin Zhongda, Lu Riyu. Interannual meridional displacement of the East Asian upper-tropospheric jet stream in summer. *Adv. Atmos. Sci.*, 2005, **22** (2): 199~211
- [4] 杨莲梅. 夏季亚洲西风急流 Rossby 波活动年际变化研究. 中国科学院大气物理研究所博士学位论文, 2007
- [5] 杨莲梅,张庆云. 夏季东亚西风急流 Rossby 波扰动异常与中国降水. 大气科学, 2007, **31** (4): 586~595
- [6] 康杜鹃,王会军. 我国北方沙尘暴气候形势的年代际变化. 中国科学 (D辑), 2005, **35** (11): 1096~1102
- [7] 段安民,吴国雄. 青藏高原气温的年际变率与北半球环状模. 气象学报, 2005, **63** (5): 790~798
- [8] 陈文,康丽华. 北极涛动与东亚冬季气候在年际尺度上的联系: 准定常行星波的作用. 大气科学, 2006, **30**: 863~870
- [9] 符淙斌,曾昭美. 最近 530 年冬季北大西洋涛动指数与中国东部夏季旱涝指数之联系. 科学通报, 2005, **50** (14): 1512~1522
- [10] Yu Rucong, Zhou Tianjun. Impacts of winter-NAO on March cooling trends over subtropical Eurasia continent in the recent half century. *Geophys. Res. Lett.*, 2004, **31**, L12204, doi:10.1029/2004GL019814
- [11] Li Jian, Yu Rucong, Zhou Tianjun, et al. Why is there an early spring cooling shift downstream of the Tibetan Plateau. *J. Climate*, 2005, **18** (22): 4660~4668
- [12] 薛峰,王会军,何金海. 马斯克林高压和澳大利亚高压的年际变化及其对东亚夏季风降水的影响. 科学通报, 2003, **48** (3): 287~291
- [13] 高辉,薛峰,王会军. 南极涛动年际变化对江淮梅雨的影响及预报意义. 科学通报, 2003, **48** (增刊): 87~92
- [14] Nan S L, Li J P. The relationship between the summer precipitation in the Yangtze River valley and the boreal spring Southern Hemisphere annular mode. *Geophys. Res. Lett.*, 2003, **30**, doi: 10.1029/2003
- [15] Xue F, Wang H J, He J H. Interannual variability of Mascarene high and Australian high and their influence on East Asian summer monsoon. *J. Meteor. Soc. Japan*, 2004, **82** (4): 1173~1186
- [16] Wang Huijun, Fan Ke. Central-north China precipitation as reconstructed from the Qing dynasty: Signal of the Antarctic atmospheric oscillation. *Geophys. Res. Lett.*, 2005, **32**, L24705, doi:10.1029/2005GL024562
- [17] 范可. 南半球环流异常与长江中下游旱涝的关系. 地球物理学报, 2006, **49** (3): 672~679
- [18] Fan Ke. Zonal asymmetry of the Antarctic oscillation. *Geophys. Res. Lett.*, 2007, **34**, L02706, doi: 10.1029/2006GL028045

- [19] 范可, 王会军. 南极涛动异常与 2006 年我国东部夏季降水形势预测. *应用气象学报*, 2006, **17** (3): 383~384
- [20] Fan Ke, Wang Huijun. Antarctic oscillation and the dust weather frequency in North China. *Geophys. Res. Lett.*, 2004, **31**, L10201, doi:10.1029/2004GL019465
- [21] 范可, 王会军. 南极涛动的年际变化及其对东亚冬春季气候的影响. *中国科学 (D)*, 2006, **36** (4): 385~391
- [22] 范可, 王会军. 南极涛动异常及其对冬春季北半球大气环流影响的数值模拟试验. *地球物理学报*, 2007, **50** (2): 397~403
- [23] 王会军, 薛峰. 索马里急流的年际变化及其对半球间水汽输送和东亚夏季降水的影响. *地球物理学报*, 2003, **46** (1): 18~25
- [24] 李崇银, 吴静波. 索马里跨赤道气流对南海夏季风爆发中的重要作用. *大气科学*, 2002, **26** (2): 185~192
- [25] 高辉, 薛峰. 越赤道气流的季节变化及其对南海夏季风爆发的影响. *气候与环境研究*, 2006, **11** (1): 57~68
- [26] Huang Ronghui, Gu Lei, Zhou Liantong, et al. Impact of the thermal state of the tropical western Pacific on onset date and process of the South China Sea summer monsoon. *Adv. Atmos. Sci.*, 2006, **23** (6): 909~924
- [27] 李东辉, 朱益民, 谭言科, 等. 热带印度洋春季海表温度异常与南海夏季风强度变化的关系. *气候与环境研究*, 2006, **11** (4): 514~524
- [28] 贾小龙, 李崇银. 南印度洋海温偶极子型振荡及其气候影响. *地球物理学报*, 2005, **48** (6): 1238~1249
- [29] 杨辉, 贾小龙, 李崇银. 热带太平洋-印度洋海温异常综合模及其影响. *科学通报*, 2006, **51** (17): 2085~2090
- [30] 宗海峰, 张庆云, 陈烈庭. 梅雨期中国东部降水的时空变化与大气环流、海温的关系. *大气科学*, 2006, **30** (6): 1189~1197
- [31] 孙建奇, 王会军. 中国东北夏季气温的区域变化特征及其与大气环流和海表温度的关系. *地球物理学报*, 2006, **49** (3): 662~671
- [32] 陈文, 康丽华. 我国夏季降水与全球海温的耦合关系分析. *气候与环境研究*, 2006, **11**: 259~269
- [33] Guo Yufu, Wang Jia, Zhao Yan. Numerical simulation of the 1999 Yangtze River valley heavy rainfall including sensitivity experiments with difference SSTA. *Adv. Atmos. Sci.*, 2004, **21** (1): 23~33
- [34] Lu R, Dong B. Impact of Atlantic sea surface temperature anomalies on the summer climate in the western North Pacific during 1997-1998. *J. Geophys. Res.*, 2005, **110**, D16102, doi: 10.1029/2004JD005676
- [35] Fu Weiwei, Zhou Guangqing. Improved ENSO simulation in regional coupled GCM using regressive correction method. *Science in China (Series D)*, 2007, **50** (8): 1258~1265
- [36] Fu Weiwei, Zhou Guangqing, Wang Huijun. Modeling the tropical Pacific ocean using a regional coupled climate model. *Adv. Atmos. Sci.*, 2006, **23** (4): 625~638
- [37] Fu Weiwei, Zhu Jiang, Zhou Guangqing, et al. A comparison study of tropical Pacific Ocean state estimation: Low-resolution assimilation vs. high-resolution simulation. *Adv. Atmos. Sci.*, 2005, **22** (2): 212~219
- [38] 朱杰顺, 周广庆, Zhang Rong-Hua, 等. 参数化次表层上卷海温改进 ENSO 模拟. *大气科学*, 2006, **30**: 939~951
- [39] 曾庆存, 袁重光, 王万秋, 等. 跨季度气候距平数值预测试验. *大气科学*, 1990, **14** (1): 10~25
- [40] 袁重光, 杨芳林, 李旭, 等. 汛期预测的集合预告模拟研究. *大气科学*, 1996, **20** (5): 593~598
- [41] Zeng Qingcun, Yuan Chongguang, Li Xu, et al. Seasonal and extraseasonal predictions of summer monsoon precipitation by GCMs. *Adv. Atmos. Sci.*, 1997, **14** (2): 163~176
- [42] 周广庆, 李旭, 曾庆存. 一个可用于 ENSO 预测的海气耦合模式及 1997/1998 ENSO 预测. *气候与环境研究*, 1998, **3** (4): 349~357
- [43] 林朝晖, 李旭, 赵彦, 等. IAP PSSCA 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
- [44] Zeng Qingcun, Yuan Chongguang, Zhang Xunhong, et al. A global gridpoint general circulation model. In Collection of Papers Presented at the WMO/IUGG NWP Symposium (Special volume of *J. Meteor. Soc. Japan*), Tokyo, 4-8 August 1986, 1987, 421~430
- [45] Zhang Xuehong. Dynamical framework of IAP nine-level atmospheric general circulation model. *Adv. Atmos. Sci.*, 1990, **7** (1): 66~77
- [46] Liang Xinzhong. Description of a nine-level grid point atmospheric general circulation model. *Adv. Atmos. Sci.*, 1996, **13** (3): 269~298
- [47] 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
- [48] 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*, 2004, **27** (1): 29~35
- [49] 王会军, 郎咸梅, 周广庆, 等. 我国今冬明春气候异常与沙尘暴气候形势的模式预测初步报告. *大气科学*, 2003, **27** (1): 136~140
- [50] 王会军, 郎咸梅, 范可, 等. 关于 2006 年西太平洋台风活动频次的气候预测试验. *气候与环境研究*, 2006, **11** (2): 133~137
- [51] 王会军. 试论短期气候预测的不确定性. *气候与环境研究*, 1997, **2** (4): 333~338
- [52] 王会军. 关于我国几个大水年大气环流特征的几点思考. *应用气象学报*, 2000, **11** (增刊): 79~86
- [53] 林朝晖, 赵彦, 周广庆, 等. 1999 年中国夏季气候的预测和检验. *气候与环境研究*, 2000, **5**: 97~108
- [54] 周广庆, 曾庆存. IAP ENSO 预测系统预报技巧的时间依赖性以及对 1999 年 La Niña 事件的预测. *气候与环境研究*, 2000, **5** (2): 109~117

- [55] 林朝晖, 赵彦, 周广庆, 等. 2000 年中国夏季降水异常的数值预测. 自然科学进展, 2002, **12** (7): 771~774
- [56] 曾庆存, 林朝晖, 周广庆. 跨季度动力气候预测系统 (IAP DCP-II). 大气科学, 2003, **27** (3): 289~303
- [57] Wang Hunjun, Zhou Guangqing, Zhao Yan. An effective method for correcting the seasonal-interannual prediction of summer climate anomaly. *Adv. Atmos. Sci.*, 2000, **17** (2): 234~240
- [58] 李芳, 林中达, 左瑞亭, 等. 基于经验正交函数和奇异值分解对东亚季风区跨季度夏季降水距平的订正方法. 气候与环境研究, 2005, **10** (3): 658~668
- [59] Chen Hong, Lin Zhaohui. A correction method suitable for dynamical seasonal prediction. *Adv. Atmos. Sci.*, 2006, **23** (3): 425~430
- [60] 郎咸梅, 王会军, 周广庆. 我国 2003 年冬季气候异常与 2004 年春季沙尘气候形势的实时预测初步报告. 气候与环境研究, 2003, **8** (4): 381~386
- [61] 陈红, 林朝晖, 周广庆. 我国春季沙尘天气趋势的数值气候预测试验. 气候与环境研究, 2004, **9** (1): 182~190
- [62] 郎咸梅, 王会军. 中国北方春季沙尘天气频次的气候预测模型. 中国科学, 2007, 录用待刊
- [63] 郎咸梅, 王会军. 利用 IAP9L-AGCM 对西太平洋台风频次气候预报潜力的研究. 2007, 中国科学, 录用待刊
- [64] 王会军, 范可. 西太平洋台风生成频次与南极涛动的关系. 科学通报, 2006, **51** (24): 2910~2914
- [65] 王会军, 孙建奇, 范可. 北太平洋涛动与台风和飓风频次的关系研究. 中国科学 (D), 2007, **37** (7): 966~973
- [66] 范可. 北太平洋海冰, 一个西北太平洋台风生成频次的预测引子? 中国科学 (D), 2007, **37** (6): 851~856
- [67] 范可. 西北太平洋台风生成频次的新预测因子和新预测模型. 中国科学 (D), 2007, **37** (9): 1260~1266
- [68] 丁一汇, 李清泉, 李维京, 等. 中国业务动力季节预报的进展. 气象学报, 2004, **62** (5): 598~612
- [69] 李维京, 张培群, 李清泉, 等. 动力气候模式预测系统业务化及其应用. 应用气象学报, 2005, **16** (增刊): 1~11
- [70] 董敏. 国家气候中心大气环流模式——基本原理和使用说明. 北京: 气象出版社, 2001
- [71] Zhang Xuehong, Liang Xinzong. A numerical world ocean general circulation model. *Adv. Atmos. Sci.*, 1989, **6** (1): 43~61
- [72] Zhang Ronghua, Zeng Qingcun, Zhang Xuehong. An improvement of IAP OGCM for the Pacific Ocean circulation and its simulated results. *Science in China*, 1993, **36** (1): 89~101
- [73] 王会军, 陈丽娟, 李维京, 等. 中国区域月平均温度和降水的模式可预报性分析. 气象学报, 2007, **65** (5): 725~731
- [74] 任宏利, 丑纪范. 统计-动力相结合的相似误差订正法. 气象学报, 2005, **63** (6): 988~993