

气候动力学与气候预测理论的研究*

曾庆存 王会军 林朝晖 李崇银 黄荣辉 吴国雄 周天军

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

摘 要 主要概述了中国科学院大气物理研究所近些年来在气候动力学与气候预测理论研究领域的若干重要研究进展。通过对气候系统变化多尺度特征及其动力学的分析和研究, 提出了一系列气候系统动力学理论, 并在此基础上提出了适合于我国季风气候特点的气候预测理论和方法, 在国际上率先开展了跨季度数值气候预测, 进一步建立了先进、完善的短期数值气候预测系统, 并应用于我国夏季旱涝预测业务。这些工作既带有极大的基础性意义, 同时也具有巨大的应用价值, 为我国大气科学及气候科学乃至环境科学的研究提供了重要工具。

关键词: 气候动力学; 气候预测; 气候系统; 多尺度气候变化

1 引言

世界范围内的气候异常导致大片土地日趋干旱沙漠化, 水资源和能源出现危机, 这引起各国政府、科学家和社会的广泛关注。我国气候灾害频繁且严重, 有相当部分国土处于“气候脆弱区”, 平均每年约 $2.7 \times 10^8 \text{ hm}^2$ 的耕地遭受旱涝灾害, 这项损失占到自然灾害的 50% 左右。气象灾害给我国国民经济造成的损失平均每年高达近 2000 亿元, 占国民经济生产总值的 2.5% 左右。因此, 气候灾害及其预测一直受到各国政府的高度关注, 是迫切需要研究解决的重大问题。

气候研究也是当代国际科学界的研究热点之一。气候的形成和变化不仅仅是大气内部状态和过程的反映, 而且是与大气有明显相互作用的海洋、冰雪圈、陆地以及生物圈等所组成的复杂气候系统的总体行为。当代气候科学是众多学科相互交叉和渗透的一门科学。为了推进气候科学研究的进展, 国际科联 (ICSU) 和世界气象组织 (WMO) 提出了世界气候研究计划 (WCRP)^[1], 并从 1986 年开始实施, 同时还组织了一系列国际性的观测试验计划配合实施。这些计划得到各国政府和科学家的大力支持。到了 1995 年, 世界气候研究计划 (WCRP) 又制定出最新科学研究计划, 其核心就是气候变化及可预报性研究计划 (CLIVAR)^[2]。

正是为了解决国家的实际需要和科学发展的客观需求, 中国学者们对这些国际计划均予以高度的关注, 并积极参与作出了巨大的贡献。在世界科研潮流推动下, 自 20 世纪 80 年代初开始, 中国科学院大气物理研究所 (简称大气物理所) 就先后在国家“八五”、“九五”攀登项目“气候动力学与气候预测理论研究”、国家 973 项目“我国重

2003-01-20 收到, 2003-03-19 收到修改稿

* 国家重点基础研究发展规划项目 G1998040900-1 和国家自然科学基金资助项目 40233027 共同资助

大气候灾害的机理和预测理论研究”等项目的支持下，通过坚持不懈的深入研究，提出了一系列以地球流体力学和物理气候学为主的气候系统动力学理论，建立了具有我国独创特色的完整的气候系统模式，并广泛用于气候数值模拟及气候变化研究；同时提出了适合于我国季风气候特点的气候预测理论和方法，并应用于我国夏季旱涝预测业务。这些工作既带有极大的基础性意义，同时也具有巨大的应用价值，为我国大气科学及气候科学乃至环境科学的研究提供了重要工具。本文将通过气候系统变化的多尺度特征及其动力学理论、气候系统预测理论及其实时预测等方面，对中国科学家多年来在气候系统动力学及气候预测领域的研究予以简要阐述。

2 气候系统变化的多时间尺度特征

2.1 大气风场的季节变化及季风年际变动

早在 1992 年，曾庆存和张邦林^[3]提出一种大气环流的季节划分和季节突变的方法，并对大气环流的季节划分进行了研究^[4,5]。随后，薛峰和曾庆存^[6]利用美国国家环境预报中心（NCEP）/国家大气科学研究中心（NCAR）的再分析资料，对大气风场的季节变化及季风的年际变动进行了研究，分析结果表明：在低层大气中，最大的季节变化在热带、副热带和高纬区都存在，可以分别定义为热带季风、副热带季风和寒温带季风；而在高层，副热带季风和热带季风合为一支。在平流层两半球均存在一个季节变化大值区，这种强的季节变化是由季节性环流和极夜急流的建立和崩溃造成的。薛峰和曾庆存^[6]还发现，大尺度季风系统一般是由纬向风之季节变化造成，而对于东亚季风区，经向风也非常重要，这也同西太平洋副热带高压和大陆副热带高压的存在关系密切。在季风区，大气环流的年际变化与其季节变化关系密切，而在热带东太平洋，则可能在很大尺度上受外界强迫因子（如海温）的影响。

在曾庆存等^[3]提出风场的标准化季节变率的基础上，李建平和曾庆存^[7]又提出一个统一的季风指数，即动态的标准化季节变率指数（DNS），并用之于描述季风的季节变化。分析结果表明：南亚夏季风区由两个独立的分量组成，这两个分量与南亚地区的夏季风降水有非常不同的联系；而非洲夏季风则由年代际时间尺度变化所控制，它在 1967 年发生的年代际突变可能是非洲 Sahel 地区长期干旱一个重要原因。

2.2 大气季节内振荡的年际变化

在李崇银等一系列的工作基础上，近年来陈兴跃等^[8,9]对大气季节内振荡的年际变化进行了系统性分析，发现大气季节内振荡强度的年际变化存在着明显的全球同步特征，这种同步特征在 200 hPa 速度势场中尤为显著，在纬向风和涡动流函数场中要弱一些，而在位势高度场中则更弱。也就是说，要素场中的 ISO 能量越是集中于行星尺度或准行星尺度的波动中，越是集中在某一传播分量（东传或西传）中，则该要素场中 ISO 强度年际变化的全球同步信号就越强。

对于 ISO 能量，没有速度势场那样显著聚集于行星尺度的个别传播分量的要素场，例如纬向风、涡动流函数及位势高度场等。如果综合考察不同纬度带，ISO 能量相对集中并具有代表性的几个波数（前 6 个波数）和其传播分量波动强度年际变化的相互关系，就能得到比考察单个波数或分量情形下更为清晰的全球同步信号。这说明 ISO

年际变动的同步性是依靠要素场中季节内尺度运动的主体能量在不同纬度上的准同步变动来实现的,在此基础上,提出了不同纬度上的 ISO 活动之间存在着某种有效的联系纽带的假设。

另外,大气物理所还对大气季节内振荡及其年际变化开展了数值模拟研究,这些研究工作对深入认识模式的效能和大气季节内振荡的物理本质都有重要的推动作用。

2.3 年代际变化特征研究

有关年代际气候变化的系统研究,最是从海表水温的变化开始的,这是因为海洋过程相对比较缓慢,年代际变化信号较为显著。大气环流系统的年代际变化特征也是十分清楚的,而且这种大气环流系统的年代际变化同气候要素(降水和温度)的年代际变化有十分紧密的联系和匹配关系^[10]。同月季和年际气候变化相类似,年代际气候异常也与一定的大气环流型相对应。

观测资料的分析 and GCM 数值模拟都十分清楚地表明,地球大气的几个主要环流系统,如南方涛动(SO)、东亚大槽、北美大槽、西太平洋副热带高压(简称副高)和亚洲季风系统等都存在明显的年代际变化特征^[11,12]。大气环流的年代际变化必然受到外界强迫,尤其是海洋热状况异常的影响,但大气内部动力过程也有不可忽视的作用。因此,年代际气候变化的机理既有海洋等外强迫的重要作用,也要考虑大气内部动力过程,同时还要研究外强迫和内部动力过程的相互作用。此外,无论是降水还是温度,中国的气候变化有明显的年代际特征,王会军的结果^[13]指出,自 20 世纪 70 年代末开始,东亚季风强度开始了年代际尺度的变弱趋势。

其他一些学者的研究^[14]还发现,20 世纪后半期 4~9 月降水量的年代际变化比较强烈,50 年代中国东部多雨,华北尤甚;60 年代淮河以北到华北降水略多,但长江及其以南以少雨为主;70 年代淮河少雨,华北北部及江南降水略多,但 60~70 年代对全国来讲是较为干旱的年代;80 年代的特点是长江流域多雨,华北及华南干旱;90 年代长江及江南降水有所增加,华北干旱持续;同样,中国气温的年代际变化也反映得十分清楚。

北大西洋涛动(简称 NAO)和北太平洋涛动(简称 NPO)都是南北向的大尺度跷跷板式大气质量场的振荡现象。对 NAO 和 NPO 指数所进行的分析研究表明,不仅近期以来 NAO 和 NPO 指数都有明显的增幅特征,而且它们在 20 世纪 60 年代初都有极明显的突变特征。同时,NAO 和 NPO 的这种突变同全球气候在 20 世纪 60 年代的突变也十分一致^[15]。因此可以认为,NPO 和 NAO 的年代际变化对中国乃至全球气候在 20 世纪 60 年代的突变有着重要的影响。

对中国冬季有重要影响的是东亚大槽或寒潮活动,而这种天气气候过程也有明显的年际变化和年代际变化^[15]。已有研究表明,这种东亚冬季风的年际和年代际变化同 NAO 有着密切的关系。因为东亚冬季风偏强(弱)的表现之一是西伯利亚地面冷高压的偏强(弱);而强(弱)西伯利亚地面冷高压又与 NAO 指数呈负相关。冬季的 NAO 异常对中国夏季气候也有明显影响,强 NAO 一般对应强东亚夏季风的形势^[16]。当然,冬季异常的 NAO 如何影响东亚夏季风的活动,尚待深入研究。

初步研究表明,中国气候及东亚大气环流的准十年周期变化同北太平洋海温的准十年变化有明显关系^[17]。利用近 100 年 Hadley 中心的 SST 资料,通过功率谱分析发现^[18],北太平洋 SST 的变化主要有两个年代际谱峰,分别是 25~35 年准周期模和 7~

10 年准周期模。对 SST 进行带通滤波处理后, 可得到 25~35 年和 7~10 年两个模的形势 (图 1)。很显然, 这两个年代际模都不同于 ENSO 模, 有其自己的特有形势, 而它们却又有十分相似的特征。因此, 北太平洋海温年代际模并不为“类 ENSO 模”, 而有其自己的特有形态。进一步分析两个年代际模的时间演变, 可以发现其正负异常中心有沿北太平洋海盆作顺时针旋转的特征。因此, 北太平洋海温年代际模也不能仅仅被视为一种涛动, 实际上它具有涛动和旋转双重特性。

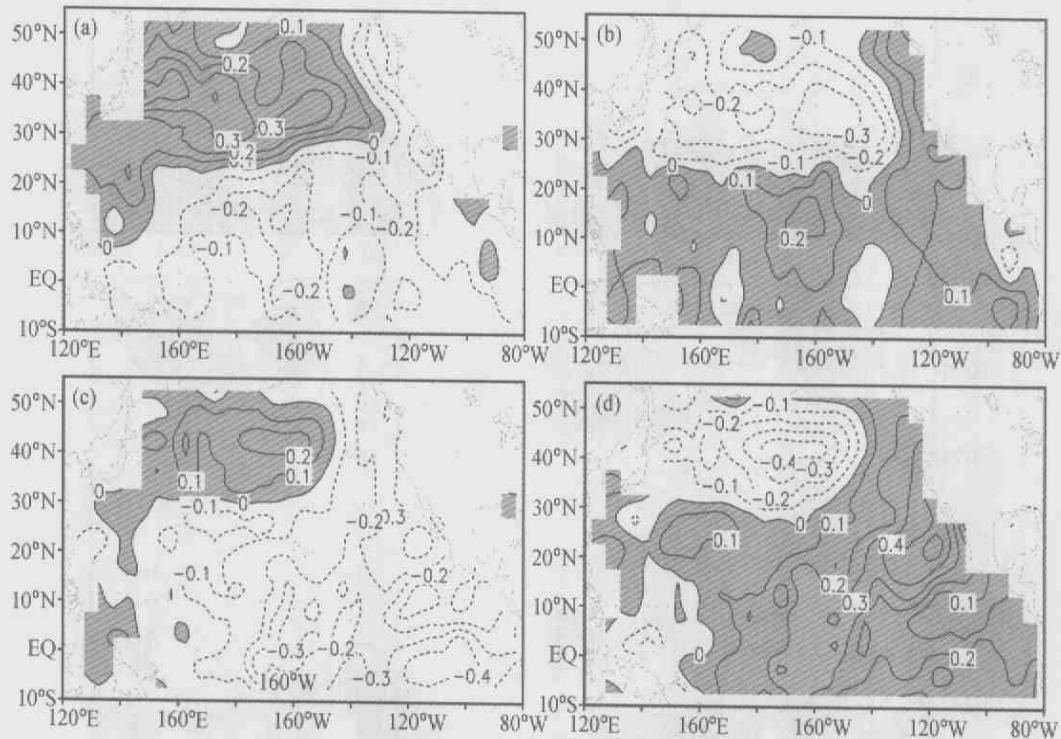


图 1 北太平洋 SST 年代际变化的 25~35 年模 (a, b) 和 7~10 年模 (c, d)

(a)、(c) 为正位相, (b)、(d) 为负位相

李崇银等^[17]利用 NCEP 再分析资料, 发现北太平洋年代际模对气候的影响十分显著。无论对应于 7~10 年模还是 25~35 年模, 在其正位相或负位相, 全球海平面气压场, 500 hPa 高度场和 1000 hPa 风场均有类似的响应形势; 但对应正位相的形势却与对应负位相的形势近乎相反。以 500 hPa 为例, 对应北太平洋海温年代际模的正 (负) 位相, 冬季北太平洋和欧亚大陆的北部、格陵兰以及南极地区为 500 hPa 高度负 (正) 距平 (图 2)。对应北太平洋海温年代际模的正 (负) 位相, 降水量也有明显的不同 (图略), 在正 (负) 位相期, 东亚沿海多 (少) 雨; 美洲东南部少 (多) 雨; 澳大利亚东部多 (少) 雨, 而西部少 (多) 雨。这些结果充分说明了北太平洋年代际海温异常对气候的重大影响。

3 气候系统变化的动力学理论研究

3.1 青藏高原等陆气相互作用与东亚气候变化关系研究

大气吸收能量的 2/3 来自下垫面。年平均全球下垫面向外释放的能量中有一半是

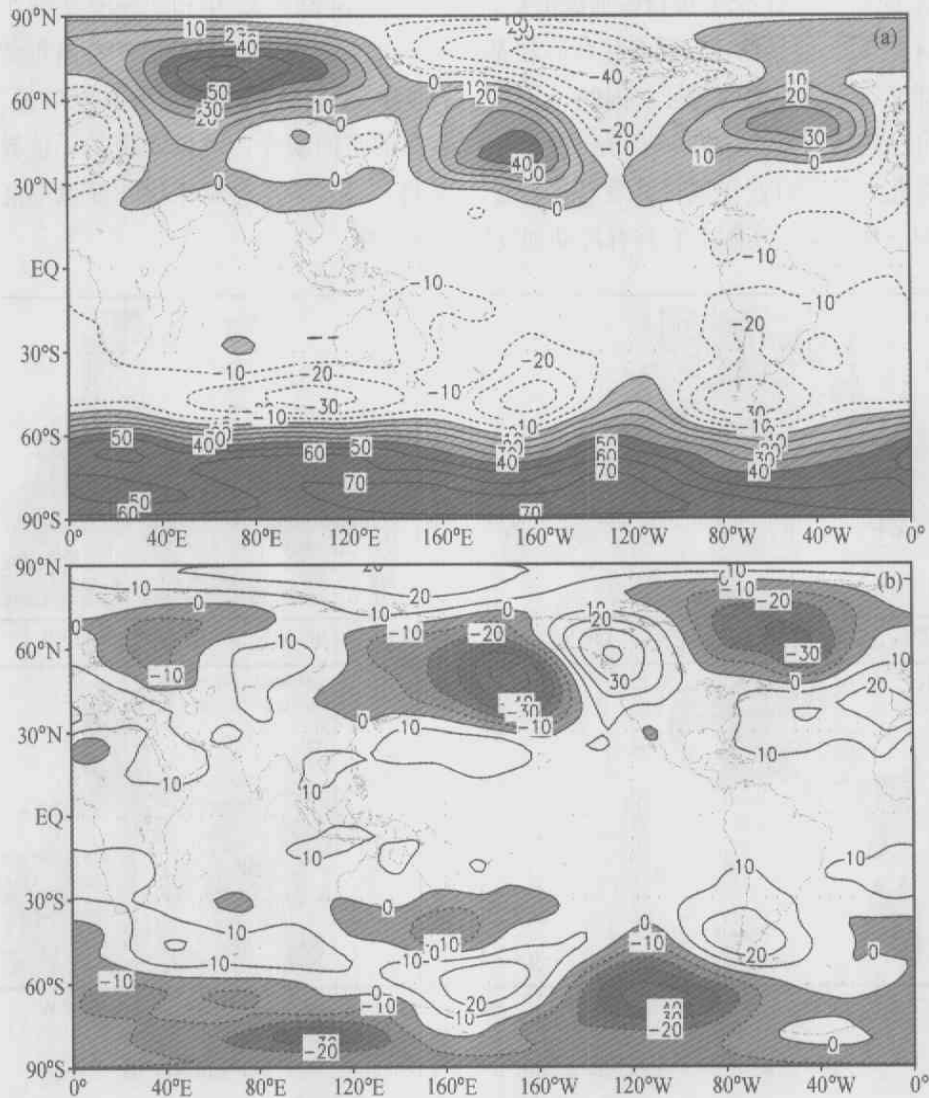


图2 对应北太平洋 SST 年代际变化的 25~35 年模的 500 hPa 高度距平分布
(a) 正位相; (b) 负位相

潜热释放,感热释放只占约 10%。但夏季的情况大为不同,广大陆面上的感热通量持续超过 100 W m^{-2} ,其加热率与每月 120 mm 降水释放的凝结潜热相当。陆面过程对大气环流的影响还表现为陆面过程水分蒸发对降水的影响。有关陆面过程对全球乃至区域气候影响的研究已有很多,早在 20 世纪 80 年代初,叶笃正等^[19, 20]就研究了积雪和土壤湿度的变化对气候的影响作用,随后王万秋等^[21]考察了东亚地区土壤湿度异常对区域气候的影响作用。张顺利和陶诗言^[22]、王勇^[23]等利用 IAP 九层大气环流模式,考察了青藏高原冬春积雪异常对东亚夏季区域气候的影响作用,研究表明,我国华南地区春季土壤湿度异常偏多,可以导致我国长江中下游的夏季风降水异常偏多;青藏高原冬春积雪异常偏多亦然,从而揭示了土壤湿度和青藏高原积雪对我国夏季旱涝形势的影响。林朝晖等^[24]还进一步指出,对于江淮流域而言,初始土壤湿度的影响在晚春、初夏更为显著,而在秋季则相对较不敏感。随后,吴国雄等^[25]利用 LASG-GOALS 模式考察了陆气相互作用对东亚区域气候的影响,他们发现,在没有考虑陆气

相互作用的试验中, 模式模拟的陆面降水区太大, 而当考虑了陆一气相互作用时, 则模式模拟的陆面降水区明显减小, 与观测更为相近, 这主要是由于在气候模式中引进了陆一气相互作用过程之后, 陆面蒸发的模拟得到了改善的缘故^[26]。

根据热力适应原理, 吴国雄和刘屹岷^[27]指出副热带陆面感热加热 (Q) 一方面会产生陆面低压, 另一方面, 受下述 Sverdrup 平衡

$$\beta v \approx (f + \zeta) \theta_z^{-1} \frac{\partial Q}{\partial z}$$

的约束, Q 随高度减少, 导致在纬向风弱小的区域有北风 ($v < 0$) 发展, 利于低空副热带在加热区西部发展^[28, 29]。通过数值模拟试验, 他们发现即使是海洋上空的环流也受到陆面过程的显著影响。

总之, 陆气相互作用对全球及区域气候均有十分重要的影响, 特别是陆表蒸发对降水分布的影响更为显著, 而夏季大陆西部强烈的感热加热则对其西侧洋面副高的形成起着重要作用。

3.2 ENSO 本质及其循环

ENSO 循环 (El Niño 和 La Niña) 已被认为是年际气候变化的最强信号, 它的发生往往给全球不少地方造成严重的洪涝或干旱灾害, 从而受到全世界的普遍关注。李崇银^[30, 31]一直强调大气环流异常在激发 ENSO 中也有重要作用, 指出持续的强 (弱) 东亚冬季风将导致赤道西太平洋地区的持续西 (东) 风异常和强 (弱) 大气季节内振荡, 它们通过海一气相互作用对激发 El Niño (La Niña) 有重要作用。GCM 的数值模拟试验也证实了上述分析结果^[32]。随后, 李崇银等^[33]利用 JEDAC (Joint Environmental Data Analysis Center, USA) 海温资料和 NCEP 再分析资料作了分析研究, 发现西太平洋暖池次表层海温的正 (负) 异常及其向东传播与 El Niño (La Niña) 的发生有直接关系, 并在此基础上, 初步提出一个关于 ENSO 循环本质的新看法, 即实际上 ENSO 主要由东亚季风异常造成的赤道西太平洋异常纬向风所驱动的热带太平洋次表层海温距平的循环。

此外, 李崇银等^[33, 34]通过资料及数值模拟还进一步发现: El Niño (La Niña) 发生之前, 西太平洋暖池次表层的海温已有持续的正 (负) 距平 (SOTA) 存在; 暖池区 SOTA 的动向又对 ENSO 循环起关键作用, 正 (负) 距平沿赤道温跃层东传到东太平洋是 El Niño (La Niña) 发生的直接原因。因此 ENSO 循环 (El Niño~La Niña) 其实是热带太平洋次表层海温异常 (SOTA) 沿赤道及沿 10°N 和 10°S 两个纬度带作年际循环在赤道东太平洋的一种表现。赤道西太平洋的纬向风异常是 SOTA 循环 (或 ENSO 循环) 的驱动力, 而持续的强 (弱) 东亚冬季风异常是引起赤道西太平洋西 (东) 风异常的主要原因。

3.3 北大西洋大气模态对气候的影响研究

北大西洋涛动是指亚速尔高压和冰岛低压之间气压的反向变化关系, 即当亚速尔地区气压偏高时, 冰岛地区气压偏低, 反之亦然。NAO 是北大西洋地区大气最显著的模态。其气候影响最突出的主要是北美及欧洲, 但也可能与其他地区如亚洲的气候变化有关。

龚道溢等^[35]和武炳义等^[36]利用观测资料, 分析了北极涛动与东亚冬季气候的潜在

联系。龚道溢指出, 冬季西伯利亚高压的强度与华东地区的平均气温呈显著负相关; 北极涛动的变化, 与东亚冬季风成反位相关系; AO 弱, 纬向气流弱, 东亚大槽强, 乌拉尔山附近在对流层中层 (500 hPa) 出现反气旋。武炳义也指出, 冬季北极涛动通过影响西伯利亚高压, 进而影响东亚季风; 当冬季北极涛动处于正位相时, 西伯利亚高压和冬季风都偏弱; 冬季西伯利亚高压的维持, 主要依赖于对流层中的下沉气流, 该下沉气流源于北大西洋区域, 其变化受北极涛动影响。龚道溢等^[37]进一步探讨了北极涛动与东亚夏季气候的可能联系, 发现 5 月份的 AO 指数与夏季的长江流域降水存在显著负相关, 晚春季节 AO 强, 夏季东亚上空的急流位置偏北, 20~40°N 的下沉运动增强, 而周围地区则上升运动增强, 导致从长江到日本南部的大面积地区降水偏少, 华南降水则偏多。但是关于其机制, 目前不是很清楚, 龚道溢推测陆面过程的贡献可能是主要的。

同时, 周天军等^{[38], 1)}利用海气耦合模式, 对 NAO 变率与热盐环流活动之间的可能联系进行了探讨, 并指出耦合系统中的热盐环流 (THC) 振荡, 与 NAO 活动联系密切; 在年际尺度上, THC 的强度调整, 主要是对变化的大气强迫的调整; NAO 活动主要通过影响拉布拉多和伊尔明格海的对流活动, 来影响热盐环流。

4 跨季度数值气候预测系统及其实时预测

利用海陆气耦合的气候系统模式作跨季度气候距平预测, 在中国科学院大气物理研究所始于 1988 年^[39]。此时, 我国自己设计的大气环流模式 (含简单的陆表过程模式)、大洋环流模式及它们的耦合方法已经显示出有较好的气候模拟能力^[40~46], 上述这些成果给了人们很大的鼓舞, 说明气候以及它的异常是可以气候动力学模式模拟出来的。于是结合国家的需要, 从 1988 年起, 曾庆存领导的气候预测小组开展了用这些模式作跨季度 (即半年) 或更长时效的降水距平预测的试验, 并参加我所和中国气象局的气候预测会商。

当时的预测方案主要有 3 种。方案一: 直接将大气环流模式和大洋环流模式耦合 [为了节省计算时间, 从一开始大气物理所气候预测组就只用太平洋环流模式, 其余海域的海表温度距平取为已知的 (见方案二)]。使用这方案, 要同时拥有大气和海洋的初始场, 为此, 至少要有海洋环流的初值形成技术, 刚开始是使用初始时刻前一段时间 (3 至 6 个月) 的海表风场和气温场提前积分大洋环流模式, 并用这时段内的海表温度场作简单的同化订正, 以生成大洋的初始场。还有由于没有观测资料, 不知道陆表过程的变量 (例如土壤湿度等的初值), 只好用模式自己生成的气候场代替。为了避免资料的不协调造成的耦合过程的冲击以及“气候漂移”现象, 也用到了当时通用的“通量订正法”。方案二: 考虑到像对气候异常有较大影响的海表温度异常 (如 ENSO 等) 往往是海表温差 (SSTA) 的水平范围大且时间持续长, 于是可简单地取初始时刻以后的海表温度距平等于其初值, 为大气环流模式提供边界条件, 只积分大气环流模

1) 周天军、Helege, 大气强迫与热盐环流调整: 基于一个海气耦合模式的数值模拟, 气象学报, 2002 (待发表)。

式而作气候预测。方案三：用别的模式或方法先预测未来的海表温度距平，再用它作为边界条件，积分大气环流模式。方案三与方案二是非耦合或非完全耦合的方法。曾庆存等^[39]利用上述这些方案，以 1988 年 9 月的大气月平均场作初始条件，作出直到 1989 年 9 月的月平均和季度平均的雨量距平的预测。后来主要对我国境内的预测作了检验，表明预测大体上是成功的。随后几年的预测方案大体不变，但初始场改为取每年 2 月份，以便和中国气象局每年在 3 月份发报汛期雨量预测协调，且对海洋资料同化方案作了改进^[47]。实时预测结果表明，该模式系统较好地预报出 1991 年的大洪水和 1994 年江淮间的大旱，1992 年的形势报得也还可以；但 1993 年的预测是不成功的，预测的形势分布与实况不像，虽然两者距平都不大^[47~50]。

有鉴于此，考虑到模式本身的误差问题和初值误差对预测结果的可能影响。通过回报试验检验（即对历史年份作事后的“预测”），发现在统计意义上模式的“预测”误差有明显的、系统的地理分布，因此需要对预测结果进行订正。于是对预测的评价和订正问题进行了一系列的研究，发展出一些订正方法，其中一些随即用到适（实）时预测中去，使得预测结果得到相当好的改进^[51, 52]。最近，陈红等¹⁾根据 IAP 气候模式的特点，发展了一种新的订正方案，其中考虑了 ENSO 循环不同阶段订正系统的差异，从而进一步改进了跨季度数值预测的效果。此外，李旭^[47]和袁重光等^[53]考虑了采用集合预测方法来减少预测结果对初始场误差的敏感性，这里采用以不同时刻的实测初始场（可称为“大扰动”）作预测，然后对预测样品集合作统计，其某种数学期望值就是最终的预测，而预测样品集合的离散度则反映预测的误差范围（即不可信度）。此外，还可从预测样品集合中算出某事件（如降水距平为正，或负，或高于某等级等）的概率，这也是有价值的预测量。这样在 1995 年，大气物理所的跨季度预测系统初型已定，集成为我所跨季度气候距平预测准业务系统（第一代 IAP 跨季度数值气候预测系统）^[47]，它包括四部分：（1）初始场及初值形成（资料同化）方案；（2）对耦合或非耦合模式的积分，同时给出大气和海洋的状态的预测，或先预测海表温度再预测大气状态；（3）用历史经验作订正；（4）集合预测，提供预测产品——数值期望、集合离散度和概率预测。

随后，从 20 世纪 90 年代初起，大气物理所的学者们就充分认识到陆气相互作用的重要性，开始了陆表过程模式的研究设计工作，这些改进的及新设计的模式确实相当大地改进了东亚气候尤其是季风雨的模拟^[54~57]，而对 20 世纪 80 年代的各年回报试验又说明跨季度预测也有可观的改进^[57]。于是从 1998 年起，大气物理所即在预测系统中使用带有这些新版陆表过程模式的新大气环流模式取代了旧的模式。与此同时，在海洋模式方面也作了很大的改进，包括水平与垂直分辨率、水平范围和耦合方法等，同时周广庆等^[59]还发展了一种用统计订正通量的方法。利用该耦合模式，建立起了 IAP ENSO 预测系统^[60]，20 余年的回报试验表明对 ENSO 事件的“预测”有颇好的成绩，“预测”与实况相关系数大于 0.6 的时限为半年以上（从春季始报）至 9 个月至 1.5 年（从秋季始报）。于是从 1998 年起，大气物理所就用这套系统作太平洋 SSTA 的

1) Chen Hong et al., A new correction method suitable for the dynamical seasonal climate prediction (Submitted).

预测^[61]。在上述工作的基础上, 大气物理所对第一代 IAP 跨季度数值气候预测系统进行了重要改进, 主要是改进了陆表过程模式以及海洋模式和预测海表温度距平的方法, 同时改进了一些初值形成和预测订正方法, 同时对集合方法也进行了改进, 从而建成了第二代 IAP 跨季度数值气候预测系统^[58, 62]。并从 1998 年起, 正式启用这个新版本作适(实)时的跨季度雨量距平预测, 参与中国气象局组织的每年 3 月份的气候预测会商。

1998~2002 年, 我国每年都有洪涝和干旱灾害, 而且相当多的还是重灾。事后预测检验表明, 每年大气物理所作出的跨季度预测都能报对降水距平的大形势分布^[58, 62~65]。总体说来, IAP 跨季度数值气候预测系统能很好地预测出 1998 年夏季发生在我国长江流域和东北松花江、嫩江流域的特大洪涝灾害, 1999 年我国南涝北旱的大范围旱涝形势, 2000 年我国北方大部地区干旱, 雨带主要位于黄淮之间、以及我国的东南、西南和新疆等地这些大范围降水异常分布形势。同时, IAP 跨季度数值气候预测系统对 2001 年我国北方地区持续大范围干旱, 长江下游存在强降水中心, 以及 2002 年我国北方地区干旱少雨, 长江下游及江南地区降水偏多等形势的预测均与观测十分接近。从而表明 IAP 跨季度数值气候预测系统对我国夏季旱涝形势有着较好的跨季度预测能力。

图 3 是 IAP 跨季度数值气候预测系统对 1999 年我国夏季旱涝形势的预测结果。从图 3 我们可以发现, IAP 跨季度数值气候预测系统很好地预报出 1999 年我国南涝北旱的大范围旱涝形势分布, 预测出的长江中下游以及新疆北部地区的降水正距平中心均与实测结果十分相符, 虽然模式预报的我国南方多雨区的范围比实测略微偏北。

值得指出的是, 国内大多数模式和方法对 1999 年夏季旱涝形势的预测与实际均有较大误差, 而 IAP 跨季度数值气候预测系统是国内唯一较为准确地预报出当年我国夏季旱涝形势的预测系统。

在开展短期气候异常实时预测的同时, 大气物理所也不断进行预测系统的改进和完善工作。这些努力包括用具有更高水平分辨率和更高垂直分辨率的 IAP 大气环流模式进行汛期旱涝形势的预测试验^{1,2)}。与此同时, 王会军等^[66]还首次开展了跨年度气候预测以及沙尘暴季节气候和大气环流的模式预测试验, 初步的结果是令人鼓舞的, 在 2002 年 10 月份比较准确地预测出我国北方冬季的气温和降水异常状况, 并对 2003 年春季气候和沙尘暴异常形势作了有科学基础的展望和预测。这些均为我国数值气候预测进一步发展和创新打下了坚实的基础。

5 气候可预测性理论研究

在发展 IAP 跨季度数值预测系统及进行实时气候预测实践中, 大气物理所也一直

1) Chen Hong, et al., A new correction method suitable for the dynamical seasonal climate prediction (Submitted).

2) Lang Xianmei, Wang Huijun, and Jiang Dabang: Extraseasonal short-term predictions of summer climate with IAP9L-AGCM. Chinese J. Geo. Phys., 2002, accepted.

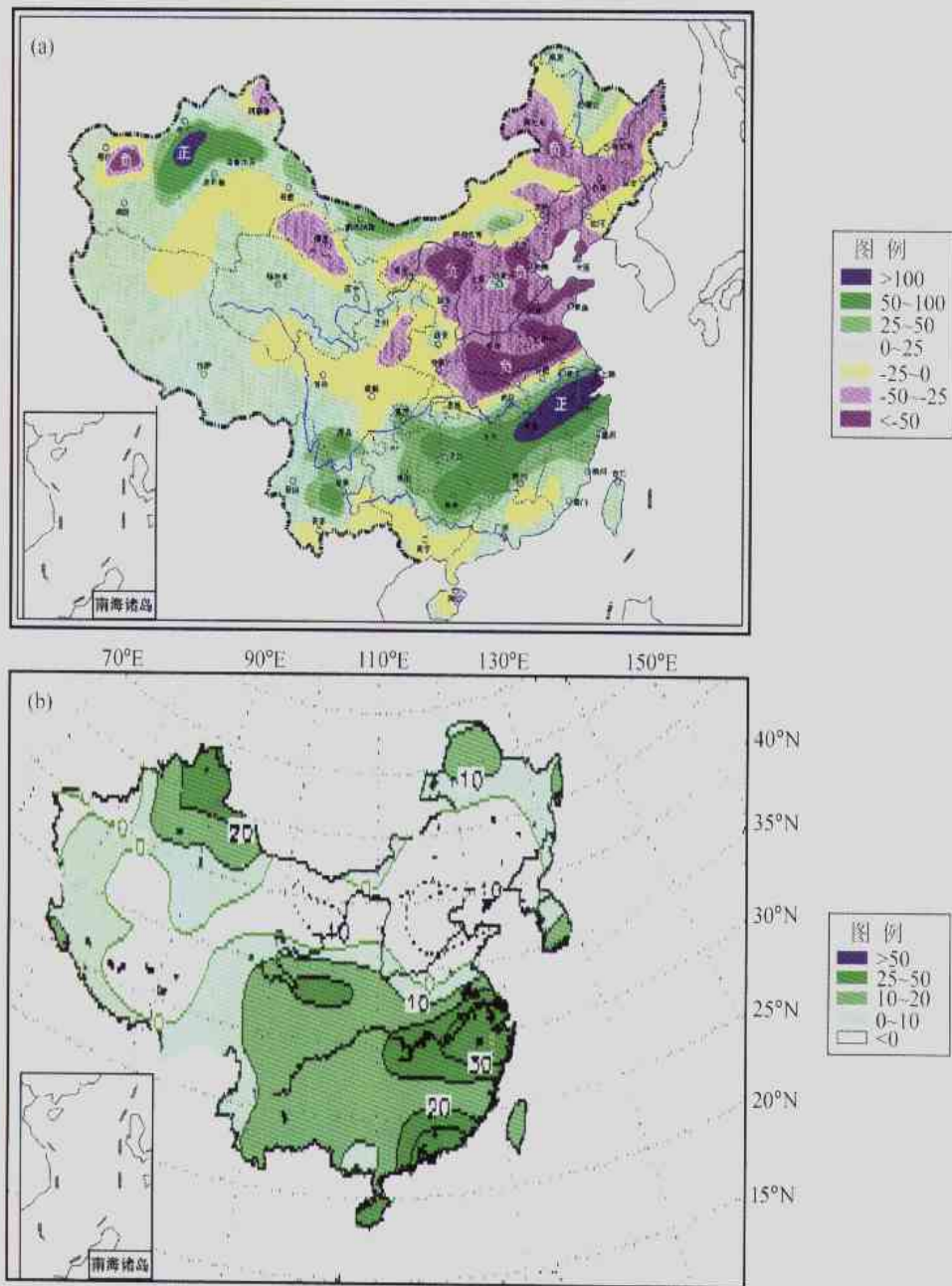


图3 1998夏季(6~8月)全国降水距平百分率(%)
(a)观测结果;(b)IAP跨季度数值气候预测系统的集合预测结果

在气候预测理论方面开展大量的基础性研究工作,并对影响我国夏季降水异常的物理机理进行深入探索和研究,以期稳步提高我国夏季旱涝形势预测的准确度。黄荣辉等^[67,68]发现西太平洋暖池以及 ENSO 循环对我国夏季旱涝形势有着十分重要的影响;袁重光等^[69]通过数值模拟发现,相对于我国夏季降水而言,西太平洋暖池区赤道北侧海表温度的异常可以在高空激发出一个向北传播的准定常的异常行星波,我国东部地区在此异常行星波的作用下降水量发生变化,从而导致我国东部地区短期气候的异常,并在此基础上,提出了“持续异常区假说”,亦即在东亚季风与西太平洋海表温度异常两个稳定系统的共同作用下存在着一个可以预测的降水异常区。

在东亚季风及其可预测性方面,王会军等^[70,71]讨论了短期气候预测的不确定性,并开创性地研究了东亚区域气候年际变化的可预测性问题。通过系统性的分析和预测试验,第一次给出了我国夏季气候可预测性的地域差别和分布型,指出东亚季风区夏季可预测性主要存在于我国华南、东部沿海区和东北区,而在其他区,由于对初始场开始时刻的高度敏感性,其气候可预测性相对较低这一事实。此外,王会军等^[72]通过资料分析,揭示了东亚季风-ENSO 相互关系的间断性,即可变性,该观测事实也在耦合模式数值预测中得到了有力的证明;另外还揭示了东亚夏季风和我国夏季降水年际变化的特征和规律,发现自 20 世纪 70 年代末到 90 年代末,东亚夏季风显著地变弱了,并且发现这一变化过程中,亚洲中纬区对流层中层温度变化的趋势和全球平均的变化趋势相反的事实,从而对研究东亚夏季风及我国夏季旱涝气候年际变化及其预测具有极为重要的意义^[73]。与此同时,薛峰等^[1]通过考察南北半球大气环流的相互作用,发现南半球的大气环流是东亚夏季风的重要源区,揭示了其对东亚夏季风影响的主要机制,指出南极涛动是除 ENSO 之外另一个影响东亚夏季风降水年际变化的强信号。

此外,研究还表明东亚地区短期气候预测的技巧并不仅仅只是依赖于海温异常,同时还取决于海温异常与大气初始场之间的相互配置^[74]。王会军等^[75]采用日本东京大学气候系统研究中心的气候模式研究了 1998 年我国夏季气候严重异常的预测问题,重点研究了热带内外 SST 异常和大气环流初始场异常的若干特征,揭示了大气初始场对短期气候预测的重要性。郎咸梅等^[2]利用 IAP 九层 AGCM,进一步考察了大气初始异常对跨季度短期气候预测的影响,研究表明大气初始场的这种影响在东亚地区更为显著,其作用不可忽略。通过对典型年份的个例分析发现,在某些气候异常剧烈的特殊年份,春季大气初始异常在我国夏季气候形成中扮演着尤为重要的角色。

6 古气候模拟研究

古气候模拟研究是近 20 年来气候研究的一个热门课题,原因是基于人们对于全球气候变暖问题的极大关注,这里的逻辑是,用于预测未来几十年至百年气候变化的工具是气候模式,而气候模式是有缺陷的和不完美的,必需首先对模式模拟气候变化的能力有一个科学的评估和把握,这是一项十分重要的工作,AMIP、CMIP 等模式比较计划的目标就在于此。要评估模式效能,最好的办法之一是古气候模拟研究,因为,古气候的典型状态与当今气候状态有显著差别(大幅度冷暖变迁和干湿变化及大气环流演替);另外,像末次盛冰期气候和全新世大暖期气候这样的气候状态又有很丰富的古气候证据可以用来检验模式模拟古气候的效能。这些都使得古气候模拟研究成为一个热点。

大气物理所在 1992 年首先开展了古气候模拟研究,王会军和曾庆存^[76,77]用大气物理所的大气环流模式模拟了末次盛冰期和距今 9000 年前 1 月和 7 月的气候平均态。并

1) Xue Feng et al., Interannual variability of mascarene high and Australian high and their Influences on summer rainfall in East Asia, Chinese Science Bulletin, 2003, (To be published).

2) 郎咸梅、王会军、姜大膀,大气初始异常在跨季度短期气候预测中作用的研究,大气科学,待发表。

考虑了地球轨道参数、全球海温、海冰分布、陆地冰原、以及 CO₂ 含量的变化等因素。成功地模拟出了冰期寒冷而干燥的气候特征，成功地模拟出了 9000 年前亚洲—非洲季风的加强，季风降水在 7 月份比现今多出 35% 左右。随后，Wang^[78, 79] 分别用 IAP 的两层 AGCM 和九层 AGCM 模拟了距今 9000 年前气候平均态的季节变化，得到了基本合理的结果。之后，Wang^[80] 用改进的两层 AGCM 在仅考虑地球轨道参数变化和 CO₂ 变化的情况下，模拟出了距今 6000 年前季风的加强和降水的增加等主要特征，但在东亚季风区（18~42°N，100~120°E）夏季降水仅比现今多 20%，这与有限的一些复原资料相比是明显偏小的。这一点十分类似于 PMIP 关于非洲季风降水的模拟结果。在研究中考虑了距今 6000 年前植被分布与现今的差异，以及相应的土壤孔隙度的差异，模拟的东亚区域夏季降水比现今多 29%，更接近复原结果，而夏季风环流也更强。这表明，考虑了植被分布变化的试验明显好于不考虑植被的结果，植被改变对气候的反馈作用是不可忽略的。这与国外一些学者^[81] 在非洲季风区的模拟研究工作的结果是吻合的。

考虑气候与植被相互作用的模式对古气候模拟是十分重要的，近年来国外很重视发展基于植物物理和生理过程的植被变化模式以及植被—气候耦合模式。目前，在大气物理所，已经完成 BIOME 模式^[82] 与 IAP 九层 AGCM 的耦合^[83]，及其对全新世大暖期距今 6000 年前的模拟^[84]。近来，姜大膀等^[85] 又研究了末次盛冰期气候中青藏高原冰盖的作用和植被反馈的影响，受到了国内外同行的注意。这是古气候模拟研究中的又一重要的新进展。

7 小结

本文简要介绍中国科学院大气物理研究所近几十年来，在气候系统动力学及气候预测理论研究领域开展了一系列开创性的研究工作，并取得了一系列研究成果，特别是在短期气候预测研究领域取得了国际瞩目的成就，极大地推动了气候预测理论的发展和各行业气候预测业务的发展和进步。然而，有关领域（如东亚季风系统动力学、短期气候预测理论和方法等）的研究均急需进一步深入。

需要说明的是，大气物理所在本领域的研究有大量的成果，限于篇幅，这里仅介绍其中的一部分。不当之处，欢迎批评、指正。

参 考 文 献

- 1 WCRP, Scientific Plan for the World Climate Research Programme, WCRP Pub. No. 2, WMO/TD-No. 6, World Meteor. Organiz., Geneva, 1984.
- 2 WCRP, CLIVAR science plan, WCRP Pub. No. 89, WMO/TD-No. 690, World Meteor. Organiz., Geneva, 1995.
- 3 曾庆存、张邦林, 论大气环流的季节划分和季节突变 I. 概念和方法, 大气科学, 1992, **16** (6), 641~648.
- 4 张邦林、曾庆存, 论大气环流的季节划分和季节突变 II. 个别年份的分析, 大气科学, 1998, **22** (2), 129~136.
- 5 曾庆存、张邦林, 大气环流的季节变化和季风, 大气科学, 1998, **22** (6), 805~813.

- 6 Xue Feng, and Zeng Qingcun, Diagnostic study on seasonality and interannual variability of wind field, *Adv. Atmos. Sci.*, 1999, **16** (4), 537~543.
- 7 Li Jianping, and Zeng Qingcun, Significance of the normalized seasonality of wind field and its rationality for characterizing the monsoon, *Science in China (D)*, 2000, **43** (6), 646~653.
- 8 Chen Xingyue, Wang Huijun, Xue Feng et al., Intraseasonal oscillation: the global coincidence and its relationship with ENSO cycle, *Adv. Atmos. Sci.*, 2001, **18** (3), 445~453.
- 9 陈兴跃、王会军、曾庆存, 大气季节内振荡及其年际变化, 北京: 气象出版社, 2000.
- 10 李崇银、李桂龙、龙振夏, 中国气候年代际变化的大气环流形势对比分析, 应用气象学报, 1999, **10** (增刊), 1~8.
- 11 穆明权、李崇银, 大气环流的年代际变化 I. 观测资料的分析, 气候与环境研究, 2000, **5**, 233~241.
- 12 李崇银、穆明权、毕训强, 大气环流的年代际变化 II. GCM 数值模拟研究, 大气科学, 2000, **24**, 739~748.
- 13 Wang Huijun, The weakening of the Asian monsoon circulation after the end of 1970's, *Adv. Atmos. Sci.*, 2001, **18**, 376~386.
- 14 李崇银等, 年代际气候变化研究, 气候与环境研究, 2002, **7** (2), 209~219.
- 15 Li Chongyin, and Li Guilong, Variation of the NAO and NPO associated with climate jump in the 1960s, *Chinese Science Bulletin*, 1999, **44**, 1983~1986.
- 16 武炳义、黄荣辉, 冬季北大西洋涛动极端异常变化与东亚冬季风, 大气科学, 1999, **23**, 641~651.
- 17 Li Chongyin, The quasi-decadal oscillation of air-sea system in the Northwestern Pacific region, *Adv. Atmos. Sci.*, 1998, **15**, 31~40.
- 18 李崇银、朱锦红、孙照渤, 年代际气候变化研究, 气候与环境研究, 2002, **7** (2), 209~219.
- 19 Yeh, T.-C., R. T. Wetherald, and S. Manabe, A model study of the short-term climatic and hydrologic effects of the sudden snow-cover removal, *Mon. Wea. Rev.*, 1983, **111**, 1013~1024.
- 20 Yeh, T.-C., et al., The effect of soil moisture on the short-term climate and hydrology change — A numerical experiment, *Mon. Wea. Rev.*, 1984, **112**, 474~490.
- 21 王万秋, 土壤温湿异常对短期气候影响的数值模拟试验, 大气科学, 1991, **15** (5), 115~123.
- 22 张顺利、陶诗言, 青藏高原积雪对亚洲夏季风影响的诊断及数值研究, 大气科学, 2001, **25** (3), 372~390.
- 23 王勇, 98' 中国洪涝灾害物理机制之数值模拟研究, 中国科学院大气物理研究所硕士学位论文, 2001, 61pp.
- 24 林朝晖、杨小松、郭裕福, 陆面过程模式对土壤含水量初值的敏感性研究, 气候与环境研究, 2001, **6** (2), 240~248.
- 25 Wu Guoxiong, Sun Lan, Liu Yimin et al., Impacts of land surface processes on summer climate, Selected Papers of the Fourth Conference on East Asia and Western Pacific Meteorology and Climate, C. P. Chang et al. Ed., World Scientific, New Jersey, London, Singapore, Hong Kong, 2002, 64~76.
- 26 Sun Lan, and Wu Guxiong, Influence of land evapotranspiration on climate, *Science in China (D)*, 2001, **44** (9), 838~846.
- 27 吴国雄、刘屹岷, 热力适应、过流、频散和副高 I. 热力适应和过流, 大气科学, 2000, **24** (4), 433~446.
- 28 吴国雄、刘屹岷、刘平, 空间非均匀加热对副热带高压形成和变异的影响 I. 尺度分析, 气象学报, 1999, **57** (3), 257~263.
- 29 刘屹岷、刘辉、刘平等, 空间非均匀加热对副热带高压形成和变异的影响 II. 陆面感热与东太平洋副高, 气象学报, 1999, **57** (4), 385~396.
- 30 Li Chongyin, The frequent activity of the stronger trough in East Asia and El Nino occurrence, *Science in China (B)*, 1989, **32**, 976~985.
- 31 Li Chongyin, Interaction between anomalous winter monsoon in East Asia and El Niño events, *Adv. Atmos. Sci.*, 1990, **7**, 36~46.
- 32 李崇银、穆明权, 异常东亚冬季风激发 ENSO 的数值模拟研究, 大气科学, 1998, **22** (4), 481~491.
- 33 李崇银、穆明权, 厄尔尼诺的发生与赤道西太平洋暖池次表层海温异常, 大气科学, 1999, **23**, 513~521.
- 34 Li Chongyin, Mu Mingquan and Zhou Guangqing, Subsurface ocean temperature anomalies in the Pacific warm

- pool and ENSO occurrence, Programme on Weather Prediction Research Report, No. 13, 232~240, WMO TD No. 979, Geneve, 1999.
- 35 Gong Daoyi, Wang Shaowu, and Zhu Jinghong, East Asian winter monsoon and Arctic Oscillation, *Geophysical Research Letters*, 2001, **28** (10), 2073~2076.
- 36 Wu Binyi, and Wang Jia, Possible impacts of winter Arctic Oscillation on Siberian High, the East Asian winter monsoon and sea-ice extent, *Adv. Atmos. Sci.*, 2002, **19**, 297~320.
- 37 龚道溢、朱锦红、王绍武, 长江流域夏季降水与前期 AO 的显著相关, 科学通报, 2002, **47** (7), 546~549.
- 38 周天军、张学洪、王绍武, 2000, 大洋温盐环流与气候变率的关系研究, 科学通报, **45** (4), 421~425.
- 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 Zeng Qingcun, Yuan Chongguang, Zhang Xuehong et al., A global gridpoint general circulation model, Collection of papers presented at the WMO/IUGG NWP Symposium, Tokyo, 4-8 August 1986, Special volume of *J. Meteor. Soc. Japan*, 1987, 421~430.
- 41 曾庆存、梁信忠、张明华, 季风和大气环流季节突变的数值模拟, 大气科学, 1988, **12** (特刊), 22~42.
- 42 Zeng Qingcun, Zhang Xuehong, Liang Xinzong et al., Documentation of IAP Two-Level Atmospheric General Circulation Model, TRO44, DOE/ER/60314-HI, 1989.
- 43 Zhang, X.-H., N. Bao, and W.-Q. Wang, Numerical simulation of seasonal cycle of world oceanic general circulation, In The Proceedings of The Sixth Japan and East China Sea Study Workshop (JECSS-VI), Fukuoda, Japan, April 22-27, 1991 (La mer, 1993, 30, 73-82).
- 44 Zhang Ronghua and M. Endoh, A free surface general circulation model for the tropical Pacific Ocean, *J. Geophys. Res.*, 1992, **97**, 11237~11255.
- 45 Zhang Ronghua, Zeng Quangqing and Zhang Xuehong, An improvement of IAP OGCM for the Pacific-ocean circulation and its simulated results, *Science in China* (B), 1993, **36** (1), 89~101.
- 46 Zeng Qingcun, Yuan Chongguang, and Zhang Xuehong, IAP climate model and their applications, *Progress in Natural Sciences*, 1995, **5** (3), 257~269.
- 47 李旭, 短期气候异常的数值模拟与预测研究, 中国科学院大气物理研究所博士学位论文, 1992, 136pp.
- 48 Zeng Qingcun, Experiment of seasonal and extraseasonal predictions of summer monsoon precipitation, Proceedings of the International Conference on Monsoon variability and Prediction (Trieste, Italy, 9-13, 1994), WCRP, WMO/TD-No. 619, 1994.
- 49 袁重光、李旭、曾庆存, 跨季度气候距平数值预测研究小结, 气候与环境研究, 1996, **1** (2), 150~159.
- 50 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.
- 51 Zeng Qingcun, Zhang Banglin, Yuan Chongguang et al., A note on some methods suitable for verifying and correcting the prediction of climate anomaly, *Adv. Atmos. Sci.*, 1994, **11** (2), 121~127.
- 52 Wang Huijun, Zhou Guangqing, and Zhao Yan, An effective method for correcting the seasonal-interannual prediction of summer climate anomaly, *Adv. Atmos. Sci.*, 2000, **17**, 234~240.
- 53 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.
- 54 Lin Zhaohui, Ouyang Bin, and Zeng Qingcun, Sensitivity of the IAP two-level AGCM to surface albedo Variations, *Theoretical and Applied Climatology*, 1996, **55**, 157~162.
- 55 Lin Zhaohui, and Zeng Qingcun, Simulation of east Asian summer monsoon by using an improved AGCM, *Adv. Atmos. Sci.*, 1997, **14** (4), 513~526.
- 56 Dai Yongjiu, and Zeng Qingcun, A land surface model (IAP94) for climate studies part I: formulation and validation in off-line experiments, *Adv. Atmos. Sci.*, 1997, **14** (4), 433~460.
- 57 Zeng Qingcun, Dai Yongjiu, and Xue Feng, Simulation of the Asian monsoon by IAP AGCM coupled with an advanced land surface model (IAP94), *Adv. Atmos. Sci.*, 1998, **15** (1), 1~16.
- 58 林朝晖、李旭、赵彦等, IAP 短期气候预测系统的改进及其对 1998 全国汛期旱涝形势的预测, 气候与环境研究, 1998, **3** (4), 339~348.

- 59 Zhou Guangqing, Zeng Qingcun, and Zhang Ronghua, An improved coupled ocean-atmosphere general circulation model and its numerical simulation, *Progress in Natural Sciences*, 1999, **9**, 374~381.
- 60 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.
- 61 Zhou Guangqing, and Zeng Qingcun, Prediction of ENSO with a coupled atmosphere-ocean general circulation model, *Adv. Atmos. Sci.*, 2001, **18** (4), 587~603.
- 62 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.
- 63 Lin Zhaohui, Li Xu, Zhou Guangqing et al., Extraseasonal prediction of summer rainfall anomaly over China with improved IAP PSSCA, *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 1999, **23** (4), 351~366.
- 64 林朝晖、赵彦、周广庆等, 1999 中国夏季气候的预测与检验, 气候与环境研究, 2000, **5** (2), 97~108.
- 65 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.
- 66 王会军、郎咸梅、周广庆等, 我国今冬和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**, 136~140.
- 67 Huang Ronghui, and Wu Yifang, The influence of ENSO on the summer climate change in China and its mechanism, *Adv. Atmos. Sci.*, 1989, **6**, 21~32.
- 68 Huang Ronghui and F. Y. Sun, Impacts of the tropical western Pacific on the East Asian summer monsoon, *J. Meteor. Soc. Japan*, 1992, **70**, 243~255.
- 69 袁重光、李旭、曾庆存, 跨季度气候距平数值预测研究小结, 气候与环境研究, 1996, **1** (2), 150~159.
- 70 Wang Huijun et al., The interannual variability and predictability in a global atmospheric GCM, *Adv. Atmos. Sci.*, 1997, **14** (4), 554~562.
- 71 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.
- 72 Wang Huijun et al., El Niño and the related phenomenon Southern Oscillation (ENSO): The largest signal in interannual climate variation, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 1999, **96**, 11071~11072.
- 73 Wang Huijun, Instability of the East Asian summer monsoon-ENSO relations, *Adv. Atmos. Sci.*, 2002, **19**, 1~11.
- 74 赵彦, 中国汛期旱涝预测的机理研究和预测方法研究, 中国科学院大气物理研究所博士学位论文, 2000, 59pp.
- 75 Wang Huijun, T. Matsuno, and Y. Kurihara, Ensemble hindcast experiments for the flood period over China in 1998 by use of the CCSR/NIES atmospheric general circulation model, *J. Meteor. Soc. Japan*, 2000, **78**, 357~365.
- 76 王会军、曾庆存, 冰期气候的模拟研究, 气象学报, 1992, **50** (4), 279~289.
- 77 王会军、曾庆存, 9000 年前古气候的数值模拟研究, 大气科学, 1992, **16** (3), 313~321.
- 78 Wang Huijun, The seasonal climatic simulation of 9000 years before present by using the IAP atmospheric general circulation model, *Adv. Atmos. Sci.*, 1992, **9** (4), 451~457.
- 79 Wang Huijun, Modelling the January and July climate of 9000 years before present, *Adv. Atmos. Sci.*, 1994, **11**, 319~326.
- 80 Wang Huijun, Role of vegetation and soil in the Holocene megathermal climate over China, *J. Geophys. Res.*, 1999, **104**, 9361~9367.
- 81 Claussen, M., and V. Gayler, The greening of the Sahara during the mid-Holocene: Results of an interactive atmosphere-biome model, *Global Ecology and Biogeography Letters*, 1997, **6**, 369~377.
- 82 Prentice, I. C., W. Cramer, S. P. Harrison et al., A global biome model based on plant physiology and dominance, soil properties and climate, *Journal of Biogeography*, 1992, **19**, 117~134.
- 83 Wang Huijun, The seasonal climate and low frequency oscillation in the simulated mid-Holocene Megathermal climate, *Adv. Atmos. Sci.*, 2000, **17**, 445~457.
- 84 Wang Huijun, The Mid-Holocene climate simulated by a grid-point AGCM coupled with a Biome model, *Adv. Atmos. Sci.*, 2002, **19**, 205~218.

- 85 Jiang Dabang, Wang Huijun, H. Drange et al., Last glacial maximum over China; Sensitivities of climate to paleovegetation and Tibetan ice-sheet, *J. Geophys. Res.*, 2003, **108** (D3), 4102, doi: 10.1029/2002JD002167.

A Study of the Climate Dynamics and Climate Prediction Theory

Zeng Qingcun, Wang Huijun, Lin Zhaohui, Li Chongyin,
Huang Ronghui, Wu Guoxiong, and Zhou Tianjun

(*Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*)

Abstract Several important achievements on the climate dynamics and climate prediction theory at the Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences (IAP/CAS) during recent years have been briefly summarized in this paper. Through the investigation of multi-scale characteristics of the climate system and its dynamics, a series of dynamical theories of climate system have been proposed, along with the climate prediction theory and technology suitable for the monsoon climate over China. After that, we took the lead in carrying out the dynamical extra-seasonal climate prediction, which lead to the establishment of the comprehensive dynamical short-term climate prediction system in IAP, and this prediction system has been applied to the operational prediction of summer drought/flood conditions over China. Generally speaking, all of these achievements show not only their fundamental academic importance, but also their great value for the real application, and so can provide valuable tools for the study of atmospheric sciences, climate and even environmental sciences.

Key Words: climate dynamics; climate prediction; climate system; multi-scale climate variability