

2004年夏季短期气候集成预测及检验

卫捷 张庆云 陶诗言

中国科学院大气物理研究所, 北京 100029

摘要 分析了2004年夏季东亚大气环流的主要特点及对我国天气与气候的影响。对可能影响2004年夏季中国降水的主要物理因子及其演变的判断基本正确。跨季度预测指出2004年夏季我国大范围严重洪涝事件的可能性不大, 6~8月主雨带可能位于黄河中下游与淮河之间; 并较好地预测了影响我国的台风数。对2004年夏季跨季度气候预测中存在的问题进行了初步讨论, 以便改进和完善中国科学院大气物理研究所短期气候预测系统。

关键词 气候特点 大气环流 集成气候预测

文章编号 1006-9585 (2005) 01-0019-13 **中图分类号** P434 **文献标识码** A

The Ensemble Seasonal Climate Prediction for 2004 Summer and Its Verification

WEI Jie, ZHANG Qing-Yun, and TAO Shi-Yan

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

Abstract The East Asia atmospheric circulation in the summer of 2004 as well as its impact on the climate and anomalous weather in China are analyzed. It indicates that our analysis on the physical factors and their evolution is basically correct. It was predicted that the severe flood was unlikely to occur on a large scale in the summer of 2004, and the main rain belt from June to August was located between the middle to lower reaches of the Yellow River and Huaihe River, it was also predicted the frequency of typhoon which might influence China. The possible problems on the extra-seasonal climate prediction on the summer of 2004 are further discussed, which is to improve the seasonal prediction system by the institute.

Key words climatic feature, atmospheric circulation, ensemble seasonal climate prediction

1 引言

旱涝气候灾害的发生, 常给工农业生产造成严重损失。如果能够对气候异常作出比较正确的跨季度甚至是跨年度预测, 就可以尽早地采取相应的措施, 减少损失。中国科学院大气物理研究所所在20世纪80年代初就开展了短期气候预测研

究, 曾庆存等^[1]于1988年在国际上率先利用气候系统模式开展跨季度数值气候预测; 黄荣辉等^[2]利用一个描述准定常行星波异常的动力机制模式, 结合相关分析等多种统计方法, 提出了一个旱涝季度预报综合方法; 随着对中国灾害性气候机理和预测研究的不断深入^[3], 实时的短期气候预测系统也在不断发展与改进^[4]。目前, 中国科学院大气物理所年度与汛期旱涝趋势集成预测, 主要

收稿日期 2004-12-20 收到, 2005-01-28 收到修定稿

资助项目 中国科学院知识创新工程重要方向项目 KZCX2-SW-210、科技部奥运科技专项 2001BA904B09 和中国科学院奥运科技项目 KACX1-02

作者简介 卫捷, 女, 1966年出生, 博士, 主要从事气候变化与预测方面的研究。E-mail: wjie@mail.iap.ac.cn

是以 IAP-DCP-II 和 IAP 9 层大气环流模式的预测结果为预报第一近似, 然后分析影响我国夏季降水的前兆因子, 并利用统计学等方法对数值模式预测结果进行订正。对于前兆因子, 主要是考虑大气外强迫作用 SST (海表温度) 异常和欧亚大陆积雪异常等对我国降水异常的可能影响^[5]。

本文对 2004 年夏季我国降水距平百分率集成预测结果与实况进行比较, 并对冬春季大气环流的基本特征及与我国夏季降水的关系进行分析, 此外还对 2004 年夏季跨季度气候预测存在的问题进行初步讨论。

2 2004 年夏季我国气候特点及与集成预测结果比较

IAP-DCP-II 与 IAP 9 层短期气候预测模式主要依靠热带太平洋地区海温强迫, 2003 年 7 月至 2004 年秋季, 赤道东太平洋海温始终处于正常略偏暖的状态, 加之连续两年冬春季青藏高原的降雪偏少 (图略), 说明 2004 年外强迫信号较弱。对 2004 年夏季降水的预测重点, 主要分析影响我国夏季气候变化的前兆信号, 并结合数值模式预测的大气环流与降水, 最终得到集成预测结果。

2004 年夏季的降水实况与多年平均 (1971~2000 年) 同期相比, 东北大部、内蒙古东北部、西北大部地区及东南沿海一带降水量偏少 2~5 成, 内蒙古局部地区降水偏少达 5~8 成; 而黄淮及湖北东部等地偏多 2~5 成, 局部偏多 5 成至 1 倍, 西南与西藏部分地区降水偏多; 全国其余大部地区接近常年同期 (图 1a)。2004 年夏季我国大部地区平均气温接近常年同期, 其中新疆东南部、内蒙古东北部、黑龙江和吉林两省西部、江苏东南部、浙江东北部气温偏高 1~2℃, 也有部分地区出现了 38~40℃ 的酷热天气 (图略)。总体上看, 2004 年夏季的高温天气没有 2003 年强。

2004 年夏季中国气候基本正常, 除东北西部和内蒙古东部发生严重干旱外, 全国其余大部地区未发生大范围持续性干旱, 干旱损失较前几年偏轻。大江大河水势较平稳, 未发生流域性洪涝灾害, 但部分地区洪涝灾害严重, 局部地区强降雨导致山洪爆发, 山体滑坡和泥石流灾害发生, 造成严重的人员伤亡和经济损失。此外, 部分大

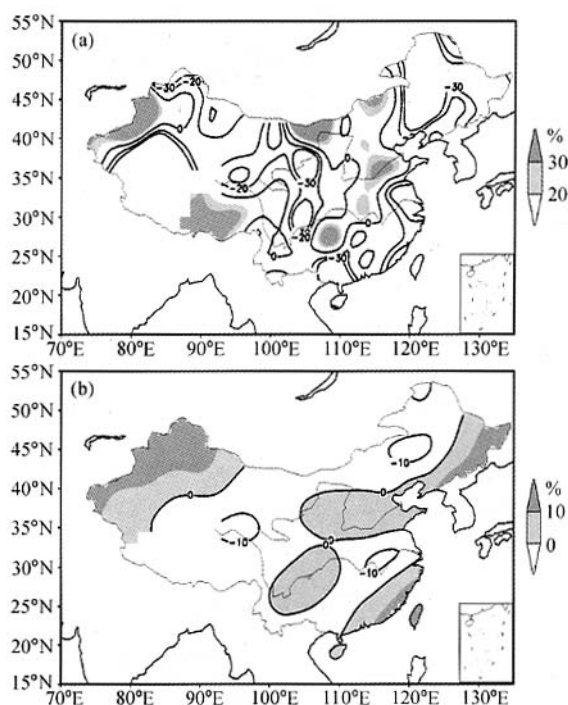


图 1 2004 年夏季我国降水距平百分率 (a) 实况和 (b) 集成预测

Fig. 1 Observed precipitation anomaly (a) and its ensemble prediction (b) for summer of 2004 in China

中城市, 如北京、上海、广州、成都、西安、南京等受暴雨和雷雨大风等强对流天气影响, 出现内涝灾害, 造成人员伤亡、财产损失和交通瘫痪。^①

2004 年春季我们根据前期大气环流的特征, 综合数值模式与统计模型预测结果, 对我国夏季降水可能的分布进行预测: 2004 年汛期 (6~8 月) 我国出现大范围的严重洪涝事件的可能性不大。汛期雨带可能位于黄河中下游与淮河之间, 其中安徽北部、河南东部及山东西南部降水偏多 2 成左右, 并可能出现局部洪涝; 此外, 我国华南沿海地区、川东南地区、河套西部及东北东部地区降水正常或略偏多; 新疆地区降水也可能偏多 2 成左右。汛期长江中下游及江南北部地区降水可能偏少 1~2 成左右; 华北北部、内蒙古东部以及东北西部地区降水可能偏少, 其中华北北部与内

① 中国气象局国家气候中心, 全国气候影响评价, 2004 年 6~8 期

蒙古东部偏少2成左右,可能出现旱情(图1b)。预计2004年登陆我国的台风数正常或略偏多。

比较2004年夏季我国降水实况与综合预测结果(图1a、b),可以看到,我们对2004年夏季中国降水的主要分布特征预测得比较正确。同时,也较好地预测出2004年影响我国的台风数。预测效果较好的地区有新疆北部、河套西北部、黄淮地区,以及西南地区多雨区与内蒙古东北部、新疆南部的少雨区。对华北南部地区的降水,成功地预测出比世纪之交时期明显增多,但对登陆台风降水估计不够准确。

利用国家“九五”重中之重科技项目“我国短期气候预测系统的研究”,取华北、长江中下游与华南地区代表站,计算了我国东部三大区域平均日降水量(图2)。2004年夏季我国东部地区降水过程的突出特点是:(1)以过程性降水居多,而且降水的时空分布比较均匀。江淮流域的梅雨

期并不典型,只是在6月13~27日期间降水相对比较集中。对于华北地区,气候平均“七下八上”阶段降水集中的特点也不明显。(2)7月15~20日的暴雨过程为整个夏季最强的一次降水过程,东部大多数地区达到了2004年夏季降水的峰值,其中河南、广西、湖北、安徽、湖南等省局地出现了特大暴雨,这次暴雨过程导致淮河流域沙颍河出现了1949年以来位居第3的大洪水。(3)6月与8月热带气旋活动明显比常年偏多,其中6月份的热带气旋生成数是近50年来最多的,8月份有3个热带风暴(含台风)登陆我国。9号和11号热带风暴分别登陆福建和浙江,12号云娜台风登陆浙江后带来的狂风暴雨给浙江大部地区造成严重损失。下面我们具体分析2004年夏季东亚大气环流异常对我国天气气候的影响。

3 2004年夏季东亚大气环流的基本特征及其对天气气候的影响

3.1 2004年夏季热带地区的大气环流与热带气旋活动

2004年夏季在200 hPa环流场上,菲律宾以东(15°N, 150°E)地区为反气旋环流异常区,气旋性环流异常位于中国南部-南沙群岛以及印度洋南部(图3a)。在850 hPa环流场上菲律宾以东地区为明显的气旋性环流异常,而且沿着10°N的异常西风距平与135°E强劲的越赤道气流对应着季风槽的加深与向东延伸(图3b)。在菲律宾附近(10~20°N),热带西北太平洋的对流活动除7月上中旬是短时期较弱的时段外,夏季平均对流是偏强的,特别是沿着赤道与SPCZ(The South Pacific Convergence Zone)在150~180°E对流加强。在15°N以北的印度洋,持续比常年要强的对流活动;另一方面,印尼的对流活动受抑制,夏季的各月印尼附近的对流活动比正常偏弱(图3b)。

Madden和Julian^[6]指出,MJO(Madden-Julian Oscillation)起源于热带印度洋和西太平洋,以东传的大范围热带降水的加强或减弱为其基本特征。MJO产生的异常降水通常在西印度洋最明显,当其东传到太平洋西部与中部的暖水区时依然明显,而当它移到东太平洋的冷水区时特

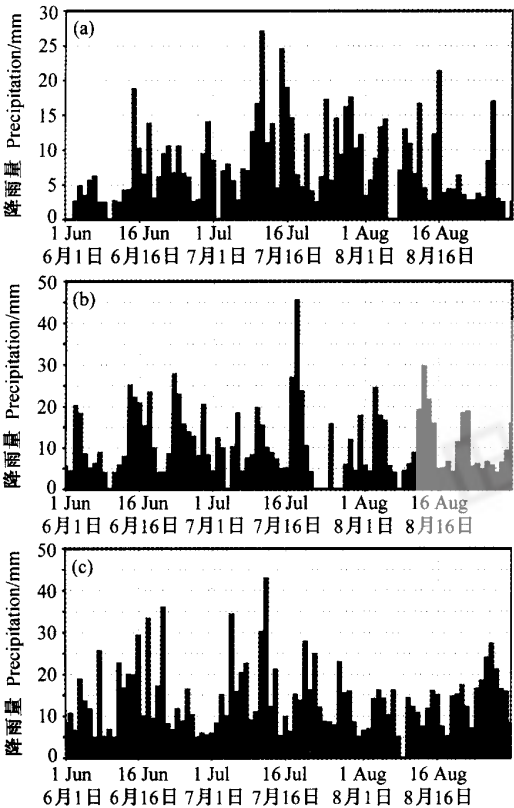


图2 2004年6~8月(a)华北地区、(b)长江中下游地区和(c)华南地区区域平均日降水量变化
Fig. 2 The daily precipitation from June to August 2004 in North China (a), middle and lower reaches of the Yangtze River (b) and south China (c)

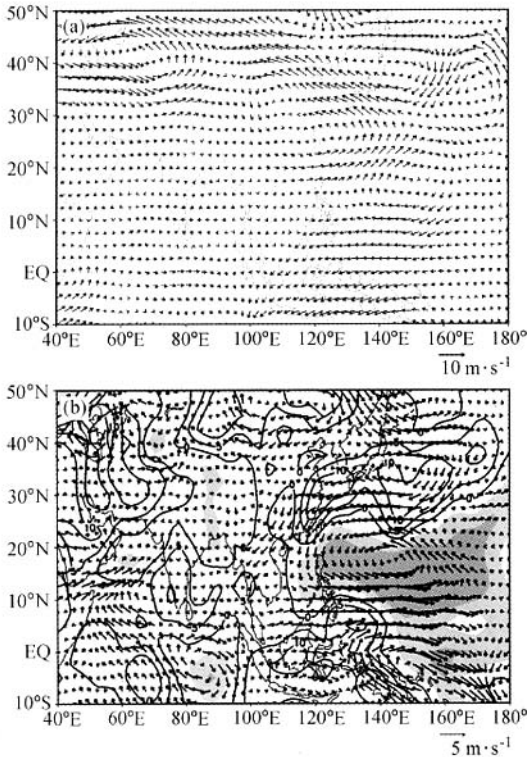


图3 2004年夏季 (a) 200 hPa 和 (b) 850 hPa 风距平场。阴影区: OLR (Outgoing Longwave Radiation) 距平小于 $-5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$
Fig. 3 Wind anomaly on 200 hPa (a) and 850 hPa (b) in the summer of 2004. Shaded area is for OLR anomaly less than $-5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

征基本消失,但MJO回到大西洋与印度洋后其特征重新出现,整个循环历时大约30~60天。已有研究指出,夏季MJO对太平洋、大西洋和印度洋上热带气旋活动具有调制作用^[7,8]。在大西洋的热带气旋活跃期,美国飓风预报中心(HPC)与美国气候预测中心(CPC)对MJO进行常规监测,并据此预测热带气旋相对的活跃与间歇期。2004年热带地区MJO的活动以及与西北太平洋上热带气旋生成的关系如何?我们选取印度(65~85°E)和东亚地区(110~120°E)的OLR(Outgoing Longwave Radiation)变化纬度-时间剖面图与10~25°N纬度带平均的OLRA(OLR Anomalies)时间-经度剖面图来回答这些问题(图4)。2004年5月初,赤道印度洋热带对流开始活跃,亚洲夏季风最先在孟加拉湾与南海地区爆发。南海夏季风于5月第4候(5月19日)出现爆发特征,随后出现将近两周的间歇。6月初,MJO的正位

相通过热带印度洋,使得这一地区对流活动加强,并且向东传播、向北延伸,印度南部夏季风开始爆发(爆发日期接近常年)。6月第2、3候南海地区受较强西南风控制,对流活动强烈发展(图4b);同时,6月在南半球有一条明显的OLR高值舌伴随从135°E附近的越赤道气流伸向北半球,加强了北半球的ITCZ(The Intertropical Convergence Zone)(图略),有利于热带气旋生成。在这以后,随着MJO的负位相通过赤道印度洋,6月下半月印度附近对流不活跃,6月底到7月底,南海与西北太平洋地区对流相对不活跃,这时的ITCZ南压到赤道附近,明显偏弱,在这段时间只有一个热带气旋产生。从7月初开始,赤道印度洋对流再次活跃,伴随MJO在印度洋开始加强并逐渐东传与北伸。7月初到中旬,南亚地区经历了最近15年来最严重的洪灾,印度、孟加拉、尼泊尔和不丹等国连降暴雨,洪水泛滥。7月底以后的一个多月在菲律宾以东洋面上接连有10个热带气旋生成,其中有4个位于150°E以东的洋面上。我们将2004年候平均的OLR $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 的格点资料先滤掉3~5天的扰动,再利用19点平滑滤掉超过60天的季节变化,西北太平洋热带对流的季节内振荡特征更突出。2004年夏季南海与西北太平洋上生成的16个热带气旋中有14个在10~25°N的纬度范围内,图4d表示了2004年6~8月OLRA经过滤波后在这一纬度带平均的时间-经度剖面。由图可以清楚地看到,2004年夏季影响我国的热带气旋大多生成在MJO的活跃位相中,具有明显的集中群发性和向东传播的特征,热带气旋多发、间歇和转换阶段都有明显的低频振荡特征。

2004年夏季MJO以40~50天的周期向东传播,对流的活跃位相在6月中旬与8月上中旬通过西太平洋地区。同时,在2004年6月与8月受135°E强劲的越赤道气流的作用,季风槽明显偏强,最东端一直扩展到在气候意义下的台风重要源地(140°E以东的西太平洋暖池地区)。暖的海温加上活跃的对流活动,且相应的高层正是南亚反气旋东部的气流辐散区,形成了极其有利于台风发生、发展的条件。在6月与8月,不仅影响我国的台风发生次数,使其增多,而且使登陆日本及移近日本但不登陆的台风数也破纪录。

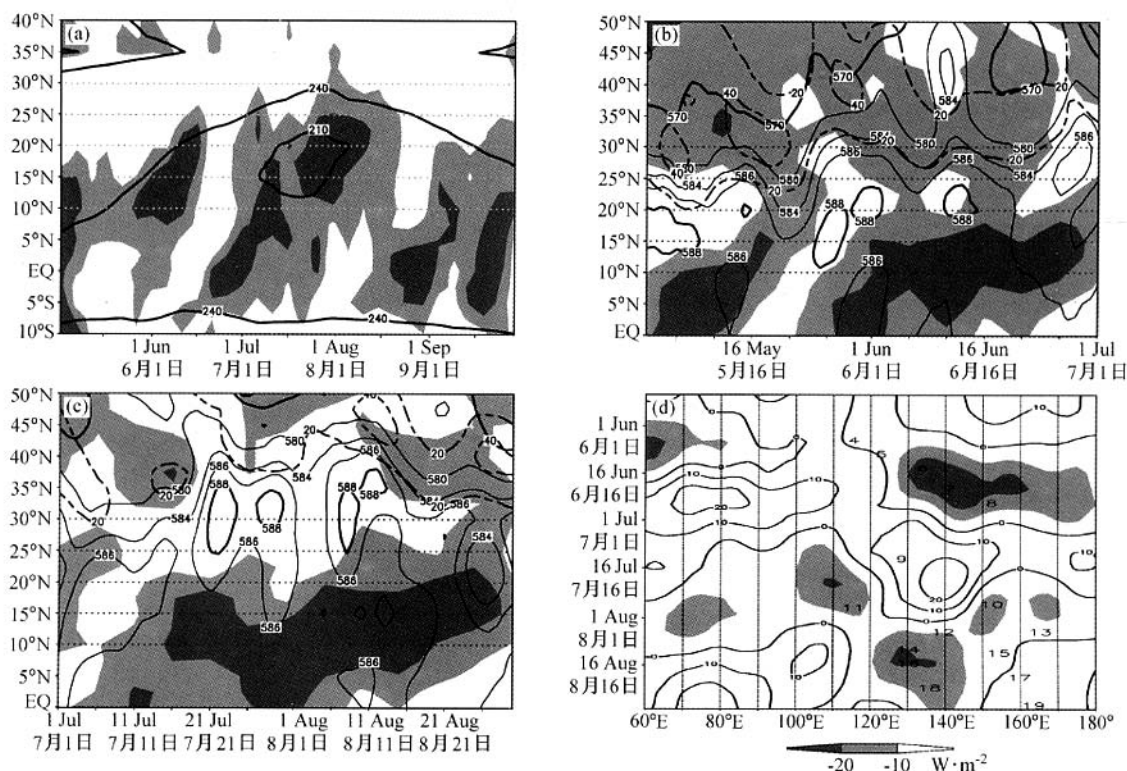


图 4 2004 年 (a) 5~9 月沿 $65\sim 85^{\circ}\text{E}$ 平均的 OLR (单位: $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) 纬度-时间剖面 (深色阴影区 $\text{OLR}\leq 210\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, 浅色阴影区 $\text{OLR}\leq 240\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, 粗实线: 1979~1995 年多年平均的 210 与 $240\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 线); (b) 5~6 月与 (c) 7~8 月沿 $110\sim 120^{\circ}\text{E}$ 平均的 500 hPa 高度场纬度-时间剖面 (单位: dgpm, 虚线: $20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 纬向风线, 阴影区: $110\sim 140^{\circ}\text{E}$ 平均的 OLR, 阴影区深浅说明同图 4a); (d) 6~8 月滤波后的 OLR 沿 $10\sim 25^{\circ}\text{N}$ 平均的时间-经度剖面 (图内数字: 热带气旋编号)

Fig. 4 The time-longitude section for OLR averaged over $65\sim 85^{\circ}\text{E}$ from May to September of 2004 (a). The darker shaded area is the region with OLR less than $210\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, the lighter shaded area is the region with OLR less than $240\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. The thick line is multiyear mean 210 and $240\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ lines from 1979 to 1995. The time-longitude section for 500 hPa geopotential height averaged over $110\sim 120^{\circ}\text{E}$ for May and June (b) and from July to August (c) (unit: dgpm). Dashed line is for zonal wind over $20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, OLR averaged over $110\sim 140^{\circ}\text{E}$ is represented by different darkness (unit: $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) as Fig. 4a. (d) The time-latitude section for OLR averaged over $10\sim 25^{\circ}\text{N}$ after filter

3.2 2004 年夏季东亚中高纬度地区大气环流与天气

2004 年夏季东半球赤道以北 500 hPa 大气环流最明显的特征是极涡比正常偏弱, 高纬度地区观测到很大的正异常, 特别是超过 60 gpm 的正异常位于阿拉斯加。从西伯利亚到鄂霍次克海为负异常, 亚洲高纬度的鄂霍次克海地区没有出现明显的阻高形势, 乌拉尔山阻高在 70°N 以北地区, 中纬度地区大气环流比较平直, 多小波动活动, 西太平洋副高控制范围明显偏东、偏北 (图 5)。

中纬度地区 (40°N) 西风带中气旋性波动活

动较多, 从 $37.5\sim 42.5^{\circ}\text{N}$ 600 hPa 相对涡度时间-经度剖面图上可以更清楚地看到, 夏季 4 次气旋性波动活动明显地对应着华北地区 4 次系统性降水过程 (图 6)。具体表现为 6 月海河流域及辽宁、内蒙古中西部、山东中部降水偏多; 7 月中旬东北东南部、黄淮大部降水达到夏季峰值, 淮河支流沙颍河发生 1949 年以来位居第 3 的大洪水; 8 月份黄河中游、淮河流域、长江上游的江北支流和汉江流域频繁发生较强降水过程。

张顺利、陶诗言等^[9]研究发现: 东亚江淮流域夏季风降水与副热带高压、南海季风涌、中高纬度冷空气、青藏高原东传的 α 中尺度对流系统

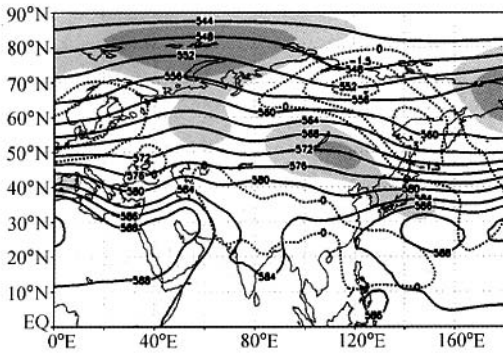


图5 2004年夏季平均500 hPa高度与距平场(单位: dgpm)。阴影区: 大于15 gpm的正距平区, 虚线: 负距平区

Fig. 5 The mean and anomalous 500 hPa geopotential height for summer of 2004 (unit: dgpm). The shaded area is the region with potential height field greater than 15 gpm, the dashed line means the negative anomalous

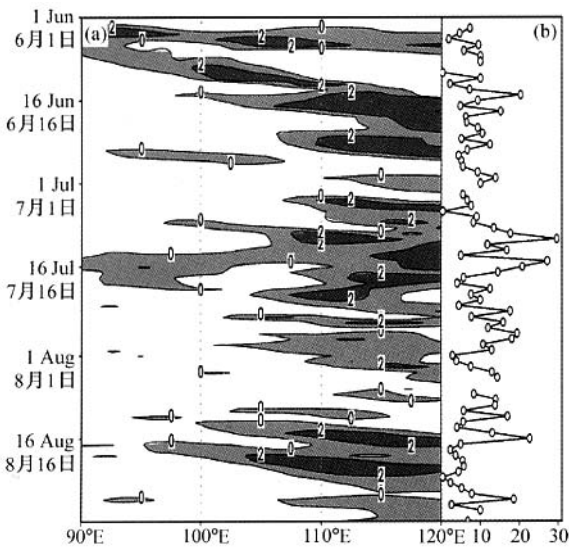


图6 2004年6~8月 (a) 沿37.5~42.5°N平均的600 hPa相对涡度(单位: 10^{-5} s^{-1}) 经度-时间剖面(阴影区: 正相对涡度区)和 (b) 华北地区区域平均的日降水量变化(单位: mm)

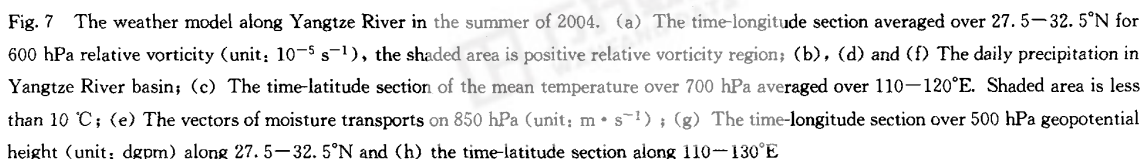
Fig. 6 The time-longitude section averaged over 37.5~42.5°N for 600 hPa relative vorticity (unit: 10^{-5} s^{-1}), the shaded area is positive relative vorticity region (a) and the daily precipitation in north China (unit: mm) (b) between June to August 2004

有密切的关系,建立了有利于长江流域暴雨产生的天气学模型。图7表示了2004年夏季这些环流与天气系统以及江淮流域降水的特点。2004年夏季西太平洋副热带高压南北与东西位置变化很大,

而且亚洲中高纬度鄂霍次克海地区基本上没有出现阻塞形势(图5),这使得2004年江淮流域夏季降水的基本特点是以过程性降水居多,而且降水时空分布比较均匀,其中6月13~6月27日降水相对比较集中(图7d)。2004年6~8月副高以20~30天周期由东向西扩充的同时,588等高线停滞在125~155°E,较少扩展到120°E以西。陶诗言等^[10]指出这类过程大多出现在亚洲夏季风强度偏强的年份,江淮流域夏季降水往往偏少。2004年夏季沿30°N的西太平洋副高,第一次明显西伸出现在6月上中旬,2004年6月13日,副高北跳到25°N以北,江淮流域降水显著增多。到6月27日以后,随着副高北跳到30°N以北,而且伴随副高在这期间有一次明显的西伸过程,从135°E西伸到110°E附近,江淮流域主要降水过程基本结束。7月中旬到8月中旬,副高北界到达35°N以北地区,同时副高588线西界基本稳定在120°E以西(图7g, h),控制中国大陆东部,尤其是东南诸省,使得江淮流域以及江南地区出现了高温酷暑天气。其中,杭州地区最高气温超过35℃的天气持续达27天之久,远远多于2003年夏季的14天^[11]。同时,西太平洋副高南侧的西北气流引导4个热带气旋(含台风)在我国沿海地区登陆。

2004年南海夏季风在5月第4候爆发后,经过将近两周的间歇,6月第2、3候南海地区受较强西南风控制,对流活动强烈发展,使得季风涌振荡向北推进。6月中旬季风涌北界到达25°N,6月下旬,季风涌携带的大量水汽主要汇集到长江中下游地区。6月底到7月底,南海与西北太平洋地区对流不活跃,8月20°N以南地区的季风涌相对比较活跃(图7e)。

2004年夏季我国的主要降水过程与冷空气活动有很大关系。2004年6月中高纬度冷空气活动较强,其影响的南界可达25°N以南地区。7月14~21日河南、广西、湖北、安徽、湖南等省出现大范围的暴雨过程,对应的西风带冷空气推进到华南地区。2004年冷空气过于活跃与副高位置摆动较大不利于梅雨锋的维持,使得2004年梅雨期降水并不典型。到8月,中高纬度冷空气活动仍频繁(图7c)。



是 2004 年 7~8 月 ($35^{\circ}\sim 45^{\circ}\text{N}$, $60^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$) 区域平均的 300 hPa 波活动量。7 月 15 日前后, 副热带急流中的波活动强度明显增大, 副热带急流明显向北撤退。在里海、中国西北以及东海地区, 200 hPa 反气旋性环流显著加强, 日本附近的副高加强并北伸。同时, 我国大部分地区受强烈发展气旋性环流控制, 造成东北东南部、黄淮大部及湖北北部和东部、湖南大部、广西、贵州、西藏大部、新疆西北部等地降水偏多, 部分地区偏多达 2 倍(图略)。7 月份淮河干流王家坝水文站

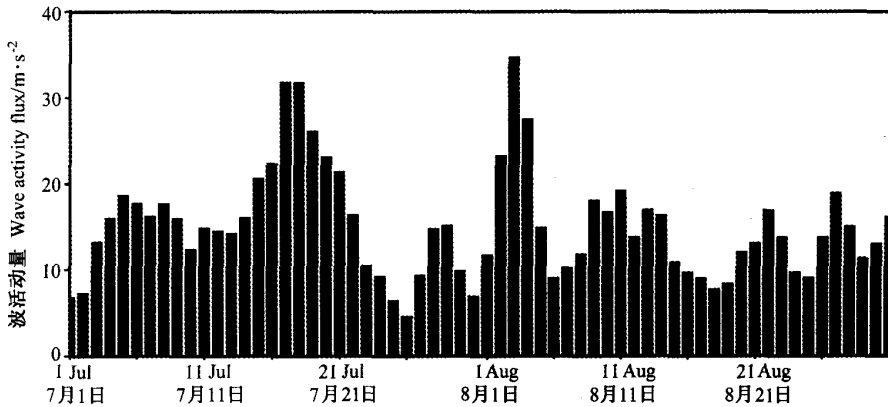


图 8 2004 年 7~8 月区域平均 (35~45°N, 60~120°E) 的 300 hPa 波活动量

Fig. 8 Area averaged (35~45°N, 60~120°E) wave activity flux on 300 hPa between July to August 2004

2004 年首次超警, 淮河支流沙颍河发生 1949 年以来位居第 3 的大洪水。这期间日本上空的反气旋环流加强, 使得 7 月 20~21 日日本中部地面气温达 40 °C, 关东地区又出现创纪录的酷暑天气, 东京 20 日最高气温达 39.5 °C, 为 1923 年有记录以来的最高值。Enomoto^[12] 最近研究指出, 夏季沿副热带急流传播的 Rossby 波与日本天气有密切的关系。从图 4b 与 4c 上可以看到, 除 7 月中旬以外, 副高向北伸展的情况都比常年强, 造成我国梅雨期降水偏弱, 由于日本南面副高很强, 日本南部地区为高压控制, 日本多晴天, 各地相继出现高温天气。2004 年夏季这次影响范围最大、强度最强的降水过程的特点, 以及亚洲中高纬度波流相互作用过程与天气系统配合的详细情况, 将另文进行分析。

2004 年亚洲中高纬度和热带地区的大气环流形势导致了夏季江淮流域没有建立起典型的梅雨环流形势, 使得整个夏季长江流域降水多以过程性降水为主, 降水总量偏少, 而且分布比较均匀。中纬度地区西风带气旋性波动活动较多, 副高的振荡过程也使黄淮流域正好位于副高脊线的北侧和西风带南缘之间, 有利于降水产生在黄淮流域, 因此淮河与黄河流域局部地区出现了洪涝灾害。在 MJO 活跃位相的地区, 由于季风槽位于气候平均的热带气旋频发区位置, 加之海表面温度偏高、垂直切变场很弱以及 500~700 hPa 平均相对湿度在 60% 的有利条件, 使得 2004 年夏季, 特别是 6 月热带气旋的活动异常偏多。7 月中下旬到 8 月上

中旬西太平洋副热带高压明显西伸与北抬, 造成长江及其以南大部地区由于受副高控制, 出现了干旱与高温酷暑天气。2004 年夏季西北太平洋环流特点是菲律宾附近的热带太平洋对流活动强, 副高偏北, 这符合黄荣辉等^[13] 提出的 PJ 遥相关型 (Pacific Japan Pattern)。张庆云和陶诗言^[14] 指出东亚夏季风系统中的热带辐合带 (热带季风槽) 和副热带辐合带 (副热带梅雨锋) 的强度变化呈相反趋势, 即热带季风槽偏弱时 (弱季风), 副热带梅雨锋偏强; 反之热带季风槽偏强时 (强季风), 副热带梅雨锋偏弱。

4 2004 年夏季跨季度降水集成预报的思路

气候的可预测性一直是气候研究的热点问题之一。季节预测尝试提供未来几个月气候可能出现的情况, 但季节预测并不是天气预报的简单时间延伸。虽然大气在本质上是混沌的, 但气候表现为一定季节里天气事件的统计学特征。由于气候系统成员本身其季节与年际时间尺度的变化在某种程度具有可预测性, 这使得在一定程度上, 短期气候预测也成为可能。在东亚季风区, 跨季度气候预测主要需要解决夏季我国主要雨带的位置以及与大气环流可能的物理联系。不论是数值模式预测还是前兆因子分析, 我们主要是考虑大气外强迫作用对大气环流可能产生的影响。目前发现的对跨季度气候预测影响最大的外强迫作用

有: SST、积雪覆盖面积以及陆地土壤水分的异常。ENSO 循环是全球海温变化最强的年际变化信号, 不论是统计分析还是模式研究都表明, ENSO 事件对我国夏季降水异常有着显著的影响^[15]。青藏高原积雪会造成亚洲大气环流较大的年际变化, 张顺利与陶诗言^[16]通过对高原积雪多雪、少雪的合成分析和数值试验, 讨论了青藏高原对亚洲夏季风和中国东部气候的影响, 得出结论: 高原积雪多(少), 亚洲季风环流弱(强), 亚洲夏季风弱(强), 副热带高压弱(强), 副高位置偏南(北), 长江流域降水多(少), 华南、华北降水少(多)。彭京备与陈烈庭^①还根据青藏高原异常雪盖和热带太平洋海温的多尺度变化统计预测模型, 预测夏季我国雨带分布情况。这些大气外强迫因子, 一方面通过改变下垫面物理性质引起大范围持续时间较长的大气环流变化, 从而使得夏季有利于降水产生的天气系统(例如: 梅雨锋, 热带气旋)出现, 以及维持的地区与时间发生变化, 造成主要雨带位置与强度不同; 另一方面, 季风区大气环流在本质上仍然是混沌的, 由下垫面异常所引起的大尺度环流异常对气候变化产生的影响, 表现在季风区有显著的季节内振荡, 这种季节内振荡会造成季节预报的不确定。目前, 短期气候预测的基本方法是数值模式预测与统计分析的集合。中国科学院大气物理所年度与汛期旱涝趋势集成预测, 主要是以 IAP-DCP-II 和 IAP 9 层大气环流模式的预测结果为预报第一近似, 然后分析影响我国夏季降水的前兆因子, 以及利用统计学方法等对数值模式预测结果进行订正。

2003 年春季在赤道太平洋 145~175°E 地区, 出现了超过 +0.5 °C 的正海温距平区, 并向东延伸, 到 2004 年夏季暖水区位于 165°E~130°W 地区。另一方面, 上一个春季在 90°W 地区发现超过 -0.5 °C 的负海温异常向西扩展, 2004 年夏季到了 100°W 地区。夏季 Niño 4 区的月平均的海温距平在 +0.6~+0.8 °C 范围内变化。6 月与 7 月 Niño 3 区的月平均海温距平从 0.0 °C 上升到 8 月的 +0.3 °C。在北太平洋, 沿着 (35°N, 150~170°E) 地区 SSTA 超过多年平均 1 °C。简而言之, 本世纪第一个 El Niño 事件 (2002 年春季生成) 于 2003 年初春减弱消亡后直至 2004 年秋季, Niño 1+2 区的海温距平正负起伏波动较大, Niño

3+4 区, 特别是 Niño 4 区的海温基本上维持正常略偏暖的状态。同时, 2003 年与 2004 年接连两年冬春季青藏高原的降雪偏少, 说明 2004 年大气主要外强迫信号不强。所以, 我们对 2004 年夏季降水异常的预测着眼点, 主要放在分析影响我国夏季气候异常的前兆信号, 再结合数值模式预测的大气环流与降水, 最终得到集成预测结果。2004 年夏季降水的跨季度集成预测, 总体而言效果较好。下面将简述 2004 年跨季度夏季气候异常集成预测的思路, 期望能从中找出预测成功的原因, 以便今后进一步提高短期气候预测的准确度。

4.1 西太平洋暖池区海温持续性影响

热带西太平洋暖池的热状态及其上空的对流活动对东亚夏季气候异常有着十分重要的作用^[13]。当热带西太平洋暖池增暖, 从菲律宾周围经南海到中印半岛上空的对流活动增强, 西太平洋副热带高压的位置偏北, 我国江淮流域夏季降水偏少。观测事实还表明, 当热带西太平洋暖池上空的对流增强后, 从东南亚经东亚到北美西海岸上空的大气环流异常呈现出一个东亚太平洋型的遥相关。这种遥相关可以用来作我国夏季降水距平与旱涝分布的预报。

2003/2004 年冬春季西太平洋暖池海域海温持续偏高, 在 2004 年 3 月我们考虑到海洋巨大热容量而产生的海温的持续性, 预计到 2004 年夏季, 暖池地区对流活动可能继续偏强。夏季暖池地区的加热作用使得在菲律宾附近 500 hPa 高度场为负距平区, 在江淮流域和日本为正距平区, 在鄂霍次克海为负距平区, 产生典型 PJ 遥相关型^[13]。这个遥相关型有利于夏季西太平洋副热带高压位置比常年偏北, 夏季雨带位置可能出现在黄河中下游与淮河之间; 此外, 我们还注意到春季南海海域海温偏低, 夏季东亚地区的海陆温差可能加大, 这样南海夏季风爆发可能偏早, 东亚夏季风可能偏强, 这也有可能使夏季华南及江淮地区的降水偏多。

4.2 2003/2004 年冬春季大气环流的主要特征及对中国夏季降水的影响

大气环流运动的“韵律”活动是一个很有预

① 彭京备、陈烈庭, 青藏高原异常雪盖和 ENSO 的多尺度变化及其与中国夏季降水的关系, 高原气象 (待发表)

测价值的现象。吴仪芳和李麦村^[17]分析了江淮流域夏季旱涝前期环流存在明显差别,早年前冬,位于欧洲的极涡加深,东亚槽加强。卫捷等^[18]分析在华北典型干旱年前期 1 月,欧亚大陆中高纬度地区 EU (欧亚) 遥相关型已经很明显;相反,华北夏季典型湿润的年份,其冬季 EU 型遥相关要弱得多。孙淑清等^[19]分析了江淮旱涝年前冬的环流差异,指出早年前冬中高纬环流经向度大,寒潮活动频繁,南海至菲律宾对流活跃。施能等^[20]指出:在弱冬季风时,夏季 500 hPa 高度从南海、菲律宾经华北、黄海、日本到鄂霍茨克海、堪察加为正一负一正的距平分布,副热带高压面积指数偏强,呈现弱东亚太平洋遥相关型,使得夏季长江及淮河流域偏涝、华南及华北偏旱。另外,冬季风大气环流与冬季大气环流遥相关型强度有联系,东亚强冬季风时,冬季大气环流具有

强西太平洋型 (WP)、弱欧亚型 (EU) 的特征,并且近 20 年 WP 型强度呈负趋势、EU 型强度呈正趋势,即近 20 年来冬季风有减弱的趋势。

图 9 为 2003/2004 年北半球冬季 (2003 年 12 月~2004 年 2 月) 500 hPa 高度场、距平场与 850 hPa 风距平场。东亚中高纬度一直维持正距平形势,但正距平中心位于乌拉尔山地区,我国东部地区受西北风距平控制,东亚大槽较强,表明东亚冬季风偏强,则东亚夏季风环流可能加强。

张庆云等^[21]发现强弱东亚夏季风年,亚洲夏季风环流系统与中国东部汛期降水的分布特征显著不同。如果能较早预测东亚夏季风强弱变化趋势,就能对东亚夏季环流型及夏季降水状况进行估计。Song 等^[22]曾指出:弱南亚夏季风的前冬和春季,在南亚副热带 15~30°N 地区对流层上部 200 hPa 出现强西风 (风场距平为西风距平),而强南亚夏季风的前冬和春季,在南亚副热带 15~30°N 地区对流层上部 200 hPa 出现弱西风 (风场距平为东风距平)。这个前兆指数与东亚夏季风指数间的物理意义是:冬春季南亚地区 200 hPa 风场上的 U 分量距平为负值,表明该年冬季,南亚上空西风带位置比正常位置偏北。因此南支槽的西风扰动较弱,南亚大陆冬春季降水或降雪偏少,土壤水分比正常情况减少。这使得在晚春和初夏南亚加热较快,导致夏季海陆的热力对比大,因而出现强夏季风。相反,若 200 hPa 风场上的 U 分量距平为正值,表明该年冬季,南亚上空西风带位置比正常位置偏南。因此南支槽的西风扰动较强,南亚大陆冬春季降水或降雪偏多,土壤水分比正常情况增多。这使得在晚春和初夏南亚加热较慢,这是因为有部分的加热消耗在融雪和蒸发上,导致夏季海陆的热力对比小,因而出现弱夏季风。

2003/2004 年冬季 200 hPa 的风距平场上,南亚地区持续出现了偏东风距平 (图 10a),该距平一直持续到春季,且强度有所加强。这说明北半球南支西风环流减弱,将有利于夏季东亚热带季风槽加强、梅雨锋减弱,则长江流域夏季降水可能偏少。

4.3 数值模式结果的参考

对于 IAP 9L AGCM 而言,模式不仅能够提供降水与气温异常的预测,而且对夏季大气环流

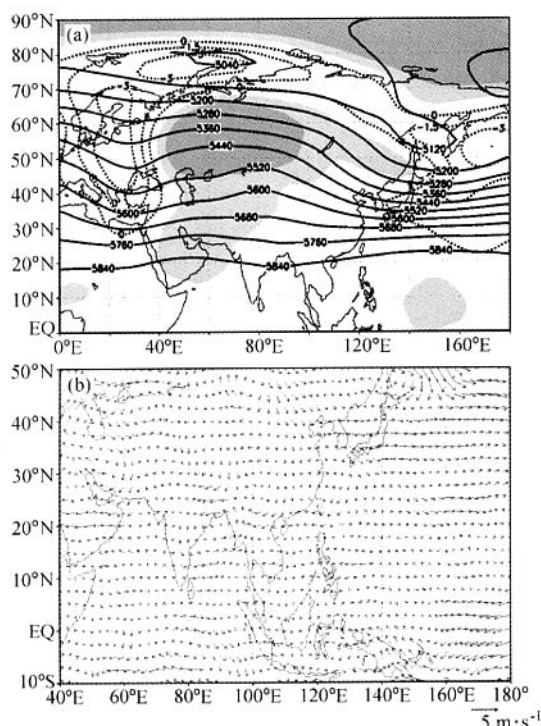


图 9 2003/2004 年冬季平均 (a) 500 hPa 高度与距平场 (单位: gpm) 与 (b) 850 hPa 风距平场。阴影: 大于 15 gpm 的正距平区, 虚线: 负距平区

Fig. 9 The mean and anomalous 500 hPa geopotential height (unit: gpm) (a) and wind field on 850 hPa (b) for winter 2003/2004. The shaded area is the region with potential height field greater than 15 gpm, the dashed line means the negative anomalous

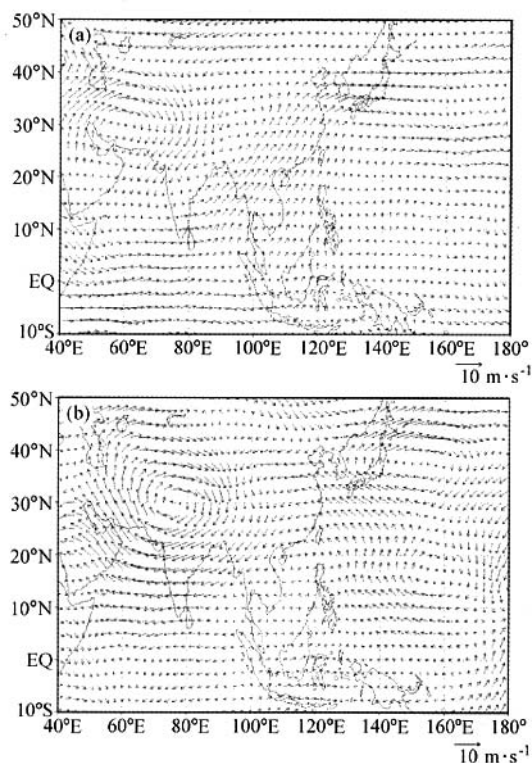


图 10 200 hPa 风距平。(a) 2003/2004 年冬季; (b) 2004 年春季

Fig. 10 The wind anomalous on 200 hPa for winter 2003/ 2004 (a) and for spring 2004 (b)

异常也能提供一定的参考依据。2004 年 3 月 IAP 9L AGCM 在对 500 hPa 位势高度场的预测结果中, 捕捉到了乌拉尔山以西的阻塞高压, 华北至欧亚大陆南部大范围地区的高度场负距平, 以及位于我国 90°E 的大槽。夏季鄂霍次克海地区为负距平区, 说明鄂霍次克海一带的阻塞高压形势不明显。同时, 模式相当成功地预测出了 2004 年夏季副高总体偏北, 因此, 夏季梅雨锋可能偏弱, 长江中下游地区降水则偏少。

欧洲中心的季度气候预测试验以及美国气候预测中心 (CPC) 的研究表明: 对于赤道热带地区, 短期气候预测的可预测性最大。所以, 对于欧洲中心与美国气候预测中心预测结果, 我们重点参考了热带地区的对流活跃性。欧洲中心在 2 月份以及 5 月份发布的预测, 报出菲律宾以东的暖池地区夏季对流活动旺盛 (图略), 东亚夏季风可能偏强以及梅雨锋活动相对较弱, 其有利于夏季黄淮流域降水偏多, 而且影响中国的台风比常

年略偏多。

5 2004 年夏季旱涝趋势预测小结

2004 年的短期气候预测综合考虑了影响我国夏季降水的前兆因子以及数值模式预测结果, 预测与实况吻合得较好。从 2004 年 Niño 3+4 区与西太平洋暖池 SSTA (海表温度异常) 以及亚洲冬夏大气环流演变的实况来看, 我们对可能影响中国夏季降水的主要物理因子其演变特征的分析是基本准确的, 这可能是预测比较正确的原因。

以往很多研究集中于季风和 ENSO 的关系, 通过了解 ENSO 怎样影响季风活动, 设法找出季风气候预报的前兆信号。由于 ENSO 会影响季风, 同时, 季风反过来也能影响 ENSO, 所以, ENSO 变化所能解释的季风降水变化方差并不很大, 这是单向预报因子的缺点。因此, 对于季度-年度气候预测, 除了应该考虑 El Niño 事件的影响以外, 还需考虑其他要素以及各种影响因子的相互作用。目前的数值预测以及集成预测, 虽然都在不同程度上考虑了这些因素的综合影响, 但总体说来集成预测的结果仍然缺乏客观性与量化, 因此如何将气候预测模式结果与统计方法预测有机的结合起来, 也是我们今后需要加以深入研究的课题。

值得注意的是, 2003~2004 年华北南部地区夏季降水显著增多, 华北等地出现凉夏等。这些异常与近几年华北地区的降水有显著不同, 2004 年是否预示着年代际气候的转型问题, 目前尚未证据来论证。因此, 特别需要加强研究气候年代际变化的规律, 尤其是今后几年气候异常的走向。

夏季台风活动是我国气候的重要特点之一, 台风能带来大量降水及大风天气, 并造成严重的财产损失。虽然 2004 年夏季影响我国的生成台风大大超过平均值, 但华南与东南沿海地区夏季总降水量依然偏少。任福民等^[23]研究了台风活动对中国降水的影响, 其研究结果表明: 在过去 40 年中, 影响台风的频率没有明显的变化趋势。在一些地区, 台风降水甚至可以在总降水量中占很大比重, 海南与东南沿海地区受台风的影响最大, 长江以南大部地区每年也都受到台风的影响, 但受台风影响的大部分地区, 其台风降水在过去的 40 年表现出下降的趋势。

总之,我国频繁发生的天气气候灾害为短期气候预测提出了具体要求。作为气候研究中的热点与难点之一,季度-年际尺度的气候预测既是学科前沿的研究领域,又同时满足国家的需求。因此,不断发展与完善短期气候预测理论和方法,建立适合于我国的短期气候预测系统,进一步提高现有的短期气候预测的准确度,将是今后我国气候研究领域的一项长期目标。

致谢 中国科学院大气物理研究所的短期气候预测一直是在曾庆存、黄荣辉、李崇银院士,以及王会军、林朝晖、周广庆、纪立人、孙淑清、陈烈庭、金祖辉、陈嘉滨、张道民等研究员的指导和参与下,在陈红、郎咸梅等其他许多同事共同努力下完成的。此外,中国科学院大气物理研究所科技处、计算信息科学中心、气候部和国际气候与环境科学中心一直大力支持该项工作,在此一并予以感谢。

参考文献

- [1] 曾庆存,袁重光,王万秋,张荣华. 跨季度气候距平数值预测试验. 大气科学, 1990, **14** (1): 10~25
Zeng Qingcong, Yuan Chongguang, Wang Wanqiu, Zhang Ronghua. Experiments in numerical extra-seasonal prediction of climate anomalies. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 1990, **14** (1): 10~25
- [2] 黄荣辉,杨广基,吴仪芳,周家斌,陈烈庭,张庆云. 综合长期预报方法及对旱涝季度与超季度预报试验. 大气科学, 1990, **14** (1): 26~31
Huang Ronghui, Yang Guangji, Wu Yifang, Zhou Jiabin, Chen Lieting, Zhang Qingyun. Method of integrated long term weather forecasting and its experimental test on seasonal and intra-seasonal drought-flood forecasting. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 1990, **14** (1): 26~31
- [3] 黄荣辉,李崇银,王绍武,等. 我国旱涝重大气候灾害及其形成机理研究. 北京:气象出版社, 2003, 482pp
Huang Ronghui, Li Chongyin, Wang Shaowu, et al. *The Study on the of Severe Drought-Flood Disasters and Their Formation Mechanism in China* (in Chinese). Beijing: Chinese Meteorology Press, 2003, 482pp
- [4] 林朝晖,孙建华,卫捷,等. 2002 年夏季气候与汛期实时预测与检验. 气候与环境研究, 2003, **8** (3), 241~257
Lin Zhaohui, Sun Jianhua, Wei Jie, et al. Real-time weather and seasonal climate predictions for 2002 summer and their verification. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2003, **8** (3), 241~257
- [5] 张庆云,王会军,林朝晖,孙建华,张小玲,卫捷. 中国天气气候异常成因研究——2003 年. 北京:气象出版社, 2004, 170pp
Zhang Qingyun, Wang Huijun, Lin Zhaohui, et al. *The Mechanism of Abnormal Weather and Climate in China—2003* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2004, 170pp
- [6] Madden R D, Julian P. Description of globe scale circulation cells in the tropics with 40—50 day period. *J. Atmos. Sci.*, 1972, **29**: 1109~1123
- [7] Maloney E D, Hartmann D L. Modulation of eastern North Pacific hurricanes by the Madden-Julian Oscillation. *Journal of Climate*, 2000, **13** (9), 1451~1460
- [8] Hall J D, Matthews A J, Karoly D J. The modulation of tropical cyclone activity in the Australian region by the Madden-Julian Oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, 2001, **129** (12): 2970~2982
- [9] 张顺利,陶诗言,张庆云,卫捷. 长江中下游致洪暴雨的多尺度条件. 科学通报, 2002, **47** (6): 467~473
Zhang Shunli, Tao Shiyang, Zhang Qingyun, Wei Jie. Large and meso-scale characteristics of intense rainfall in the middle and lower reaches of Yangtze River. *Chinese Science Bulletin*, 2002, **47** (9): 779~786
- [10] 陶诗言,张庆云,张顺利. 夏季北太平洋副热带高压系统的活动. 气象学报, 2001, **59** (6): 748~758
Tao Shiyang, Zhang Qingyun, Zhang Shunli. An observational study on the behavior of the subtropical high over the West Pacific in summer. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2001, **59** (6): 748~758
- [11] 孙建华,卫捷,张小玲,赵思雄,陶诗言. 2004 年夏季的天气及预测试验. 气候与环境研究, 2005, **10** (1): 1~18
Sun Jianhua, Wei Jie, Zhang Xiaoling, Zhao Sixiong, and Tao Shiyang. The weather in the summer 2004 and its real-time prediction. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2005, **10** (1): 1~18
- [12] Enomoto Takeshi. Interannual variability of the bonin high associated with the propagation of Rossby waves along the Asian jet. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 2004, **82** (4): 1019~1034
- [13] 黄荣辉,孙凤英. 热带西太平洋暖池的热状态及其上空的对流活动对东亚夏季气候异常的影响. 大气科学, 1994, **18** (2): 141~151
Huang Ronghui, Sun Fengying. 1994, Impact of the thermal state and convective activities over western Pacific warm pool on summer climate anomalies in East Asia. *Chinese J. Atmos. Sci.* (in Chinese), **18** (2): 141~151
- [14] 张庆云,陶诗言. 夏季东亚热带和副热带季风与中国东部汛期降水. 应用气象学报, 1998, **9** (增刊): 18~23
Zhang Qingyun, Tao Shiyang. Tropical and subtropical

- monsoon over East Asia and its influence on the rainfall over eastern China in summer. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), 1998, **9** (Supplement): 18~23
- [15] Huang Ronghui, Chen Wen, Yan Bangliang and Zhang Renhe. Recent advances in studies of the interaction between the East Asian winter and summer monsoons and ENSO cycle. *Adv. Atmos. Sci.*, 2004, **21** (3): 407~424
- [16] 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**: 372~390
Zhang Shunli, Tao Shiyan. Influences of snow cover over the Tibetan Plateau on Asian summer monsoon. *Chinese J. Atmos. Sci.* (in Chinese), 2001, **25**: 372~390
- [17] 吴仪芳, 李麦村. 江淮流域旱涝形成的长期天气过程. *中国科学院大气物理研究所集刊*, 1985, **13**: 13~39
Wu Yifang, Li Maicun. The long term climate processes in the formation of drought-flood in the Yangtze River and Huaihe River Basins. *Collected Papers of Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences* (in Chinese), 1985, **13**: 13~39
- [18] 卫捷, 张庆云, 陶诗言. 近 20 年华北地区干旱期大气环流异常特征. *应用气象学报*, 2003, **14** (2): 140~151
Wei Jie, Zhang Qingyun, Tao Shiyan. Characteristics of the atmospheric circulation anomalies during the period of the persistent drought in North China for the last two decades. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), 2003, **14** (2): 140~151
- [19] 孙淑清, 孙伯民. 东亚冬季风环流异常与中国江淮流域夏季旱涝天气的关系. *气象学报*, 1995, **53** (4): 440~450
Sun Shuqing, Sun Bomin. The relationship between the anomalous winter monsoon circulation over East Asia and summer drought / flooding in the Yangtze and Huaihe River valley. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1995, **53** (4): 440~450
- [20] 施能, 陈辉, 谌云. 北半球冬季大气活动中心的基本态特征及影响研究. *热带气象学报*, 2001, **17**: 215~222
Shi Neng, Chen Hui, Chen Yun. Study of northern winter atmospheric active centers (ACC) climate base-state with its climate variability and effects. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 2001, **17**: 215~222
- [21] 张庆云, 陶诗言, 陈烈庭. 东亚夏季风指数的年际变化与东亚大气环流. *气象学报*, 2003, **61** (4): 559~568
Zhang Qingyun, Tao Shiyan, Chen Lieting. The interannual variability of East Asian summer monsoon indices and its association with the pattern of general circulation over East Asia. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2003, **61** (4): 559~568
- [22] Song Yang, Lau K M, Sankar R M. Precursory signals associated with the interannual variability of the Asian summer monsoon. *Journal of Climate*, 1996, **9** (5), 949~964
- [23] Ren Fumin, Byron G, David E L. Typhoon impacts on China's precipitation during 1957—1996. *Adv. Atmos. Sci.*, 2002, **19** (5): 943~952