

2004年夏季的天气及预测试验

孙建华 卫捷 张小玲 赵思雄 陶诗言

中国科学院大气物理研究所, 北京 100029

摘要 简要介绍了2004年夏季的主要天气过程和中国科学院大气物理研究所2004年汛期预测的结果。总体上看, 2004年夏季江淮流域的降雨分布较均匀, 没有造成大江大河及大范围的洪涝, 中高纬度典型的梅雨环流形势没有完全建立, 西风槽活动频繁。夏季最强的一次降雨过程(7月15~20日)是高空低压槽前的持续性暴雨。2004年夏季华北大部分地区降雨偏多, 多为低槽冷锋造成; 影响我国的热带气旋明显偏多, 8月登陆浙江、福建的2个台风破坏力较大; 江南和西北都出现了较强的高温天气, 江南和新疆的高温分别为副高和大陆高压造成; 9月2~5日川东和重庆的降雨与低涡在该地区的稳定维持有关。从汛期实时降水预测结果看, 预测系统对6~8月江淮雨带及其暴雨中心的预测较为准确, 对大范围的雨带无漏报和空报。而对华北地区降雨而言, 预测评分要低于江淮梅雨, 这可能是因为模式中的物理过程, 特别是降水的物理过程未能完全准确反映华北地区的情况。要提高华北地区降雨的预测水平, 今后应继续开展深入的研究。

关键词 高温酷暑 季风涌 暴雨 台风 西南涡

文章编号 1006-9585 (2005) 01-0001-18 **中图分类号** P445 **文献标识码** A

Weather System Analysis and Its Real-Time Prediction in Summer 2004

SUN Jian-Hua, WEI Jie, ZHANG Xiao-Ling, ZHAO Si-Xiong, and TAO Shi-Yan

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

Abstract The main weather systems and prediction results in rainy season 2004 in Institute Atmospheric Physics/Chinese Academy of Sciences (IAP/CAS) are introduced in this paper. The typical Meiyu over Yangtze River and Huaihe River basins during the summer 2004 pattern did not form, whereas the active troughs in westerlies at middle latitude occurred dispersedly, hereby, no severe flooding appeared over there. The most severe successively heavy rainfall event in the summer 2004 was caused by upper-level trough on 15—20 July. The precipitation amount over most part of North China was above the normal, and most of them produced by trough and cold front. The tropical cyclones in western Pacific Ocean were obviously more than normal, two typhoons landing on Zhejiang and Fujian provinces in August resulted in serious disasters. The hot wave occurred in southern and northwestern China in the summer 2004, which was associated with subtropical high of West Pacific and continental high, respectively. The heavy rainfall in eastern Sichuan and Chongqing related to the stabilization of southwest vortex during 2—5 September. The real time prediction for rainy season (June, July and August) shows that the prediction for the rain belts and severe heavy rainfall over Huaihe River and Yangtze River basins is relatively better than that over North China. Therefore, it has been supposed further researches should be done to improve the prediction of rainfall over North China, especially, the study of physical processes which are very important to predict rainfall accurately over North China.

Key words hot wave, monsoon surge, heavy rainfall, typhoon, southwest vortex

收稿日期 2004-12-20 收到, 2005-01-24 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 KZCX3-SW-213、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 孙建华, 女, 1972年1月出生, 博士, 主要从事中尺度天气分析和数值模拟以及沙尘天气的研究。

E-mail: sjh@mail. iap. ac. cn

1 引言

每年汛期(6~8月),中国科学院大气物理研究所均开展中国灾害天气机理研究及预测试验。采用有限区域数值天气预报模式对逐日的雨区和天气形势进行实时预测,定期举行天气会商,分析研究灾害天气系统的结构、演变特征及检验数值模式的预报能力^[1,2]。本文主要介绍2004年6~8月汛期中国主要的灾害性天气、环流特征及其预测结果。

图1给出2004年夏季我国降水距平百分率与气温距平。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。就旱涝灾害而言,2004年夏季,除东北西部和内蒙古东部降水偏少明显,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。2004年夏季全国总体降水量略偏少,大江大河未发生流域性洪涝灾害,但局部地区强降雨导致山洪爆发、山体滑坡和泥石流灾害频繁发生,造成严重的人员伤亡和经济损失。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℃,当然也有部分地区出现了38~40℃的酷热天气。但总体看,2004年夏季的高温天气没有2003年强。此外,一些大中城市出现了较严重的城市气象灾害,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。

本文将分别讨论2004年夏季江淮流域降雨的特点、华北地区降雨的特点、台风活动的情况、南方和西北的高温以及汛期模式预测的主要结果。此外,对2004年9月2~5日川东和重庆的暴雨过程也作了简单分析。

2 江淮流域的降雨过程及特点

2004年夏季江淮流域降雨集中在6月14~27日,梅雨期偏短(平均梅雨期为6月16日~7月6日),出梅日提前了10天。雨区位于长江流域及江南的大部分地区,最强的雨带位于长江中下游地区,雨量在200 mm以上,其中长江口的雨量在300 mm以上。此外,梅雨期间浙江、福建和广东东部的降雨小于100 mm(图2a)。6月的降雨最强中心在长江流域(图2b),长江中下游地区的降雨量大部分在300 mm以上。7月的降雨在东部地区大于100 mm(图2c),强降雨带呈东北—西南向,从山东、湖北一直伸到贵州和云南。8月最强的降雨在东南沿海的福建和浙江(图2d),主要为两个登陆台风“云娜”和“艾利”带来的降雨。6、7、8月3个月中国中东部地区的降雨都在100 mm以上,降雨比较均匀,特别是江淮流域的降雨并没有集中在梅雨期,因而没有造成大的洪涝灾害。

江淮流域降雨集中期环流形势的主要特征是(图3):对流层中层,中高纬度地区亚欧大陆呈两槽—脊型,一个槽位于里海以西35°E,另一个槽位于日本以东145°E,两槽之间是脊区;西边的阻

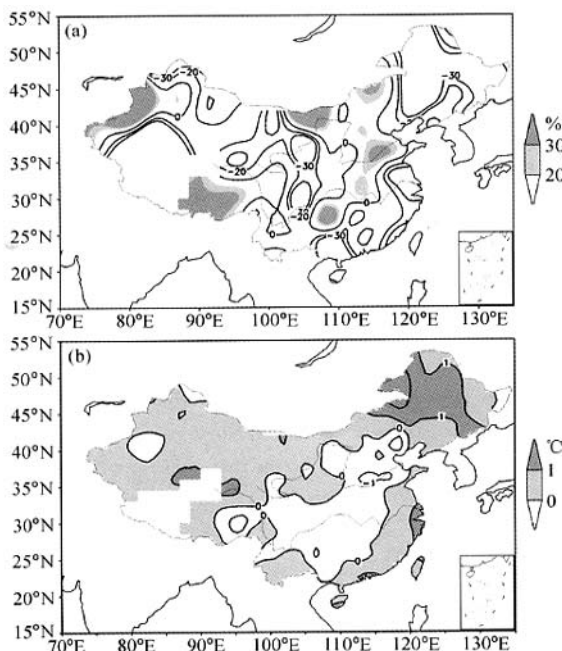


图1 2004年6~8月中国降水距平百分率(a)与气温距平(b)
Fig. 1 The percentage of precipitation anomaly (a) and temperature anomaly (b) of 6~8 2004

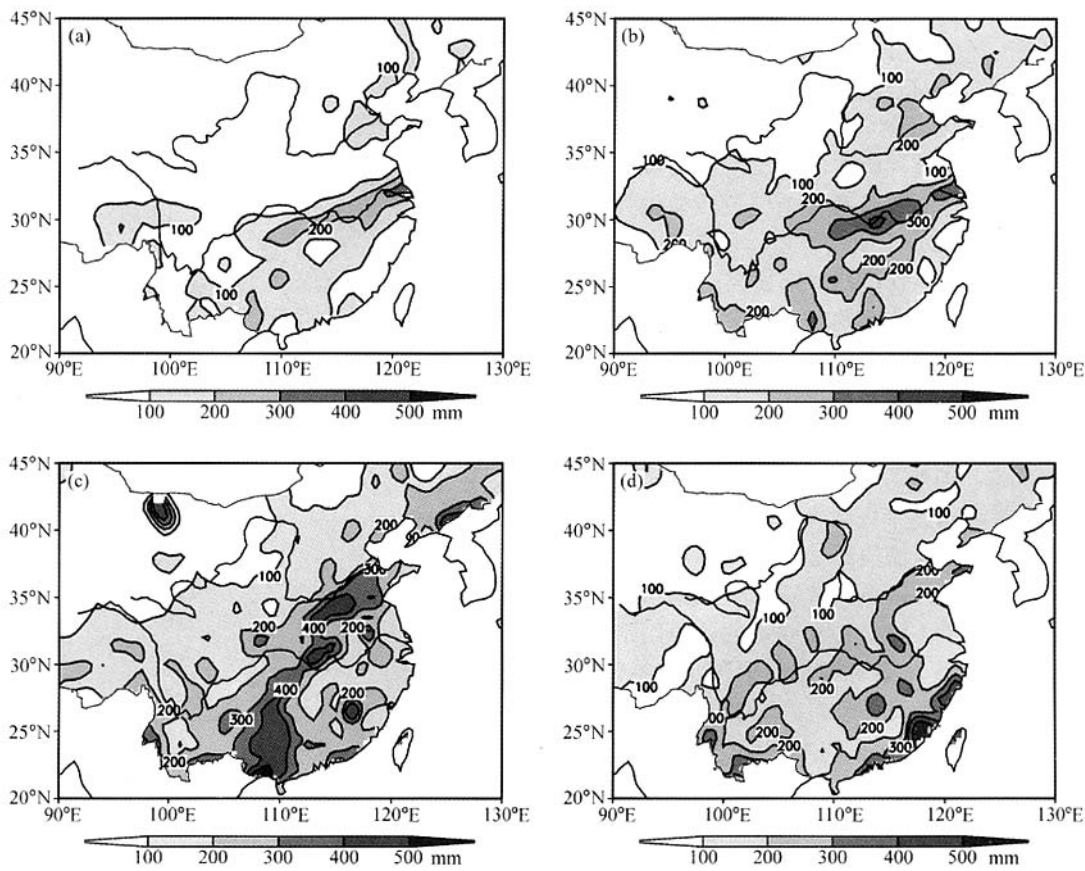


图 2 2004 年 (a) 梅雨期 (6 月 14 日~6 月 27 日)、(b) 6 月、(c) 7 月和 (d) 8 月的降雨量
Fig. 2 The precipitation amount for 14—27 June (a), June (b), July (c) and August (d) 2004

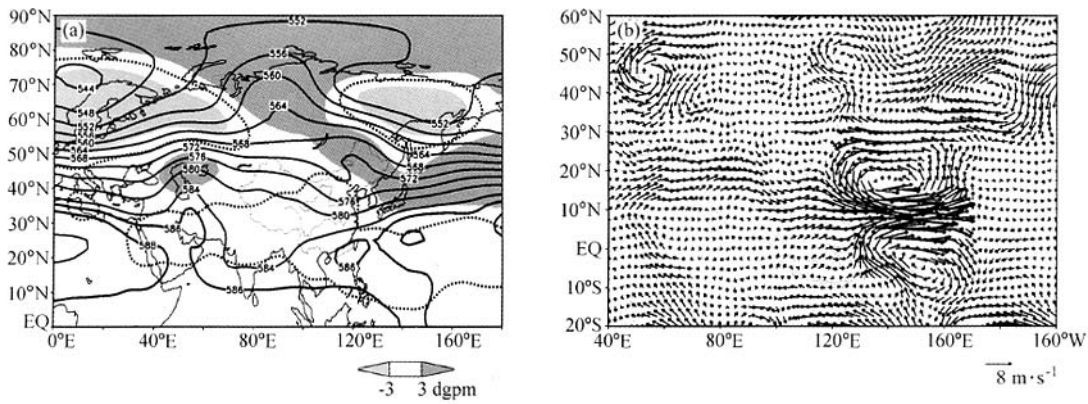


图 3 2004 年 6 月 14~27 日 (a) 500 hPa 高度和距平场以及 (b) 850 hPa 风距平场。(a) 中，深色阴影：正距平区，浅色阴影：负距平区，虚线：零距平线，实线：高度场
Fig. 3 The mean geopotential height and its anomaly on 500 hPa (a), wind anomaly on 850 hPa (b) of 14—27 June 2004. In (a), deep shaded; positive anomaly, shallow shaded; negative anomaly, dashed line; zero of anomaly, solid line; geopotential height

塞高压偏弱位置偏北,而东边的阻塞高压没有出现;西太平洋副高明显偏东、偏北,在 40°N 以南 115°E 附近也为一低槽区,槽后的冷空气正好达到长江中下游地区(图3a)。对流层低层风场(图3b)在东南沿海呈气旋性环流, 40°E 附近的索马里低空急流与 130°E 处跨赤道气流明显偏强,热带辐合带(ITCZ)也明显增强,东亚地区冷空气活动比较活跃,一直可达华南地区。2004年江淮流域降雨的主要特点是典型梅雨环流形势没有建立,中纬度地区西风带槽活动频繁,多过程性降雨。此外,台风与东亚梅雨锋的活动有密切的关系,张庆云和陶诗言^[3]指出东亚夏季风系统中的两条辐合带,即热带辐合带(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。统计分析也表明,梅雨期长江中下游的降水量与盛夏西北太平洋(包括南海)的台风频数呈反相关关系^[4]。而2004年夏季东南沿海热带气旋活动偏多,副高的位置变化较大,有可能是典型梅雨锋不能长时间维持的原因。

2004年江淮流域梅雨期的降雨与2003年的梅雨期明显不同,2003年淮河流域的强降雨集中在2个星期内发生,引发了淮河流域的大洪水^[5]。

2004年夏季最强的一次降雨过程发生在7月15~20日,这次过程给我国东部的大部分地区都带来了较强的降雨,雨带呈东北-西南向,山东半岛、河南、湖北、湖南和广东的降雨量都在100 mm以上,部分地区在200 mm以上(图4a)。16日雨带位于黄淮,暴雨中心在河南和山东东部(图4b),在河南中部大部分地区的降雨量超过200 mm,其中有4个站的降雨量超过300 mm,最大降雨量是方城的391.5 mm。这次过程使淮河干流及支流颍河、涡河、洪汝河出现一次涨水过程,淮北北部局部地区出现内涝,这也是2004年淮河流域出现的最严重的洪涝。17日以后,雨带开始南压,雨带由东西向转变为东北-西南向,17~18日从华北到广西的降雨都较强,19日暴雨区主要位于长江以南的湖南和广西,20日以后降雨减弱。

造成这次降雨的天气系统是一次低槽过程,

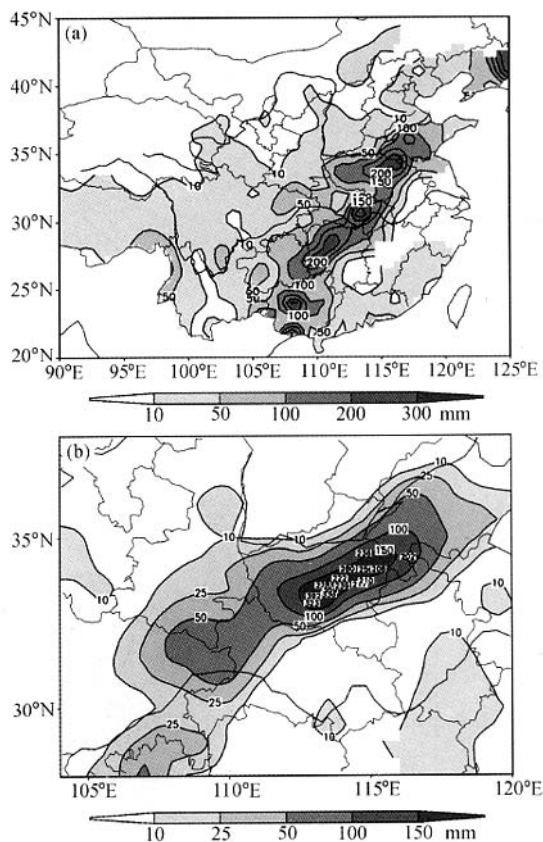


图4 (a) 2004年7月15日08时~20日08时(北京时间,下同)和(b)7月16日08时~17日08时的降雨量。(b)中的数字为24 h降雨大于200 mm的站点降雨量

Fig. 4 The precipitation of 08 LST 15—08 LST 20 July 2004 (a) and 08 LST 16—08 LST 17 (b). The digital in (b) indicates the precipitation is greater than 200 mm

7月13日在西太平洋副高和位于蒙古国、贝加尔湖地区的大陆高压之间形成一低槽区,低槽影响华北和东北地区。14日低槽向西伸向我国西北地区,形成东-西向的横槽,此时,在 100°E 有一小扰动。16日此小扰动进一步加深,在我国西南地区形成一低槽。17、18日在河套和华北形成切断低压,低槽继续加深,控制中国东部。在低槽加深的过程中,副高东退到海上。20日副高又开始西伸,低槽减弱,降雨也减弱。图5是这次过程的平均环流形势,中层在大陆高压和副高之间的低槽从东北地区一直伸到西南地区,雨带位于500 hPa槽前(图5a)。高层的环流形势与中层相似(图略),低层在副高的西侧形成尺度在1 000 km

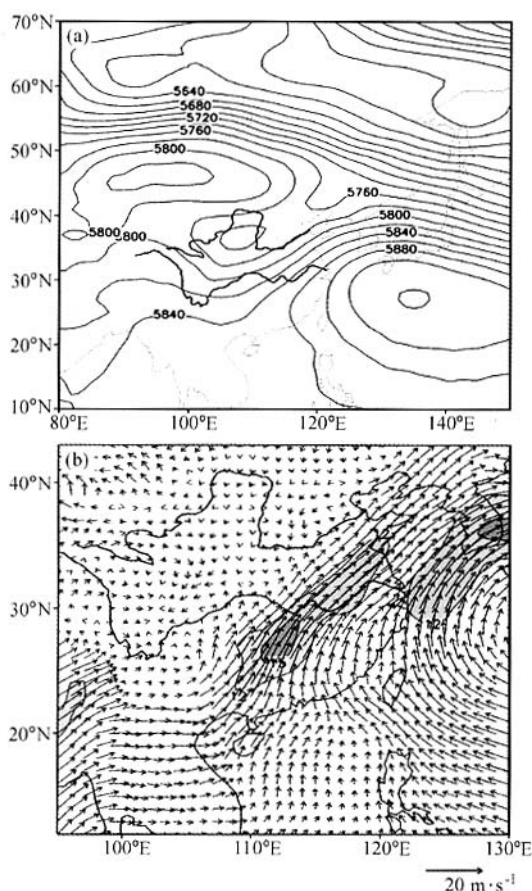


图5 2004年7月15~19日的平均环流形势。(a) 500 hPa高度场(单位: gpm); (b) 850 hPa风场(阴影为风速大于 $12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)

Fig. 5 The averaged circulation for 15–19 July 2004. (a) geopotential height in gpm on 500 hPa, (b) wind in $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ on 850 hPa (shaded indicates the wind speed is greater than $12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)

以上的低空急流, 急流输送的水汽来自孟加拉湾和西太平洋(图5b)。逐日的分析表明, 在西南低空急流与北侧的偏北气流之间形成的辐合线上有一系列低涡和强对流活动, 造成了局地的强降雨。

张小玲等^[6]根据1980~1999年发生在梅雨锋上暴雨的区域、性质、尺度, 将夏季我国梅雨锋暴雨概括为3种类型: (1) β 中尺度对流性暴雨, (2) 梅雨锋东部(115°E 以东)初生气旋引起的暴雨, (3) 梅雨锋西端深厚高空低压槽前的持续性暴雨。2004年7月15~19日过程属于第3类暴雨, 这种深厚的高空槽持续维持的环流形势通常发生在梅雨后期, 由于这类高空槽移动甚慢, 高空槽前出现持续的暴雨区。第3类暴雨比其他两类

暴雨出现的概率小得多, 但这类暴雨造成的危害很大, 如1996年7月中旬湖南大暴雨, 1981年7月中旬四川大暴雨, 1935年7月长江中游五峰暴雨。这类暴雨有明显的大尺度强迫过程, 大尺度的动力强迫使持续暴雨所需的垂直上升运动得以维持。

3 华北地区降雨的特点

2004年夏季华北大部分地区降水偏多, 尤其是山东半岛的东部(图1), 从北京、天津、石家庄和济南的日降水分布看(图6), 华北的降雨也没有集中在7月下旬和8月上旬, 即多年平均华北雨季的“七下八上”, 而是比较均匀地分布在3个月中。6~8月, 北京、天津、石家庄各有1次暴雨过程, 济南有4次暴雨过程, 北京、天津、石家庄和济南的降雨量分别为302.8、274、398和756.9 mm。北京和天津没有达到气候平均的降雨量, 而石家庄和济南都超过了平均降雨量。总体来看, 2004年夏季华北地区的降雨量多于2003年, 特别是济南比气候平均降雨量多了300 mm, 这4个站只有天津的降雨量少于2003年。

如前所述, 2004年夏季山东半岛降雨较多, 济南的总降雨量达756.9 mm。6月济南较强的降雨过程有2次: 6月17~18日和6月30日; 7月有3次较强过程: 7月16~17日, 7月26~27日和7月29~30日; 8月也有3次: 8月8~10日, 8月15~16日, 8月26~27日。这几次过程的降雨量达到3个月总降雨量的70%。这几次暴雨过程都不是局地的强降雨, 降雨范围均较大, 中层的影响系统一般为低槽, 低层的影响系统为低涡和暖切变, 切变线一般为江淮切变线北抬, 切变线北侧一般为东北低涡南侧的西北气流。也有中层在高压控制下, 低层副高与华北大陆高压之间形成的暖切变。7月16~17日过程在前面已经讨论过, 这里以6月18日和8月15日为例讨论低槽和暖切变降雨。

6月18日和8月15日的降雨量见图7, 虽然6月18日济南的降雨达82 mm, 但区域降雨量和降雨面积比8月15日小的多。6月18日只有个别站点的降雨强度达到了暴雨强度, 而8月15日在河南东部有大范围的暴雨区, 8月16日暴雨区东移到山东半岛(图略)。从形势场上看, 6月18日

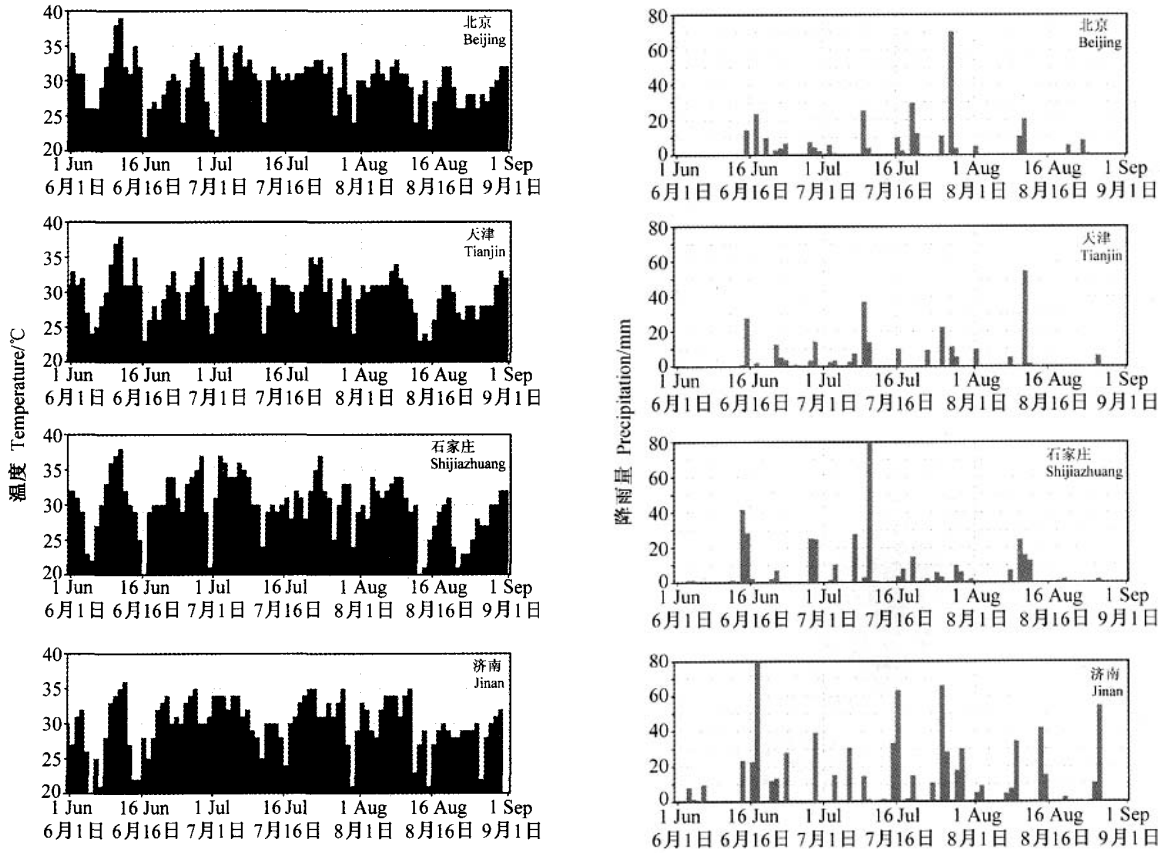


图 6 2004 年 6 月 1 日~8 月 31 日的日最高气温 (左图) 和日降雨量 (右图)
Fig. 6 The daily maximum temperature in $^{\circ}\text{C}$ (left panel) and precipitation in mm (right panel) for 1 June—31 August 2004

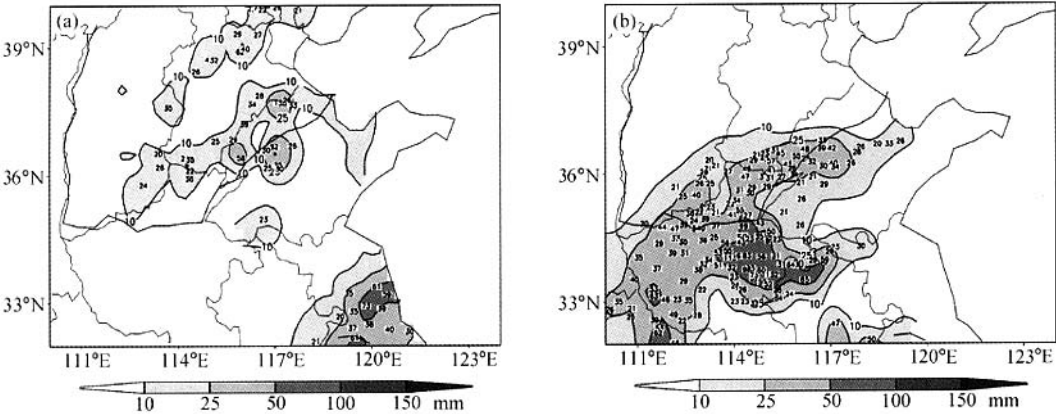


图 7 2004 年 (a) 6 月 18 日 08 时~19 日 08 时和 (b) 8 月 15 日 08 时~16 日 08 时的降雨量。图中数字是 20 mm 以上的降雨量
Fig. 7 The precipitation in mm of 08 LST 18—08 LST 19 June (a) and 08 LST 15—08 LST 16 August 2004. The digital indicates the precipitation is greater than 20 mm

中层低槽几乎控制我国东部地区（图 8a），东北、华北和长江中下游地区都处于槽前，由于西太平洋上台风活动，副高东退到 130°E 以东，低层西南气流来自南海和孟加拉湾（图 8b），在长江中游地区有一低涡，山东处于西南气流控制下。8 月 15 日中层山东位于副高北侧的大陆高压脊控制下（图 8c），由于“云娜”台风登陆后减弱的低气压位于长江中游，低压东侧与副高之间有东南低空急流，山东受到低压倒槽的影响（图 8d），华北北部、东北为高压环流，低压倒槽东北侧的东南气流与北侧高压南侧的东北气流在山东形成了切变。

2003 年夏季我国北方地区出现了近年来比较少见的凉夏，2004 年夏季华北地区仍然是凉夏。

对华北地区几个主要站点（北京、天津、石家庄和济南，图 6）日最高气温演变分析显示：高温的天数比较少，大于 35℃ 的高温天数北京 2 天，天津 2 天，即 6 月 10~11 日的大陆高压控制造成的干热天气；济南也只有 6 月 10~11 日这次明显的高温天气，但最高温度比北京、天津低；石家庄的高温天气是 2004 年夏季华北地区最多的。2003、2004 年夏季华北地区的高温天气明显比前几年少，而 2004 年又比 2003 年少，只发生了一次大陆性暖高压控制下的高温天气，并且没有发生副高控制下的高温闷热天气。

我国北方高温天气主要是大陆暖高压的作用所致，另外，受北抬与西伸的副高影响，会出现所谓的“桑拿天气”。2004 年夏季华北地区出现凉

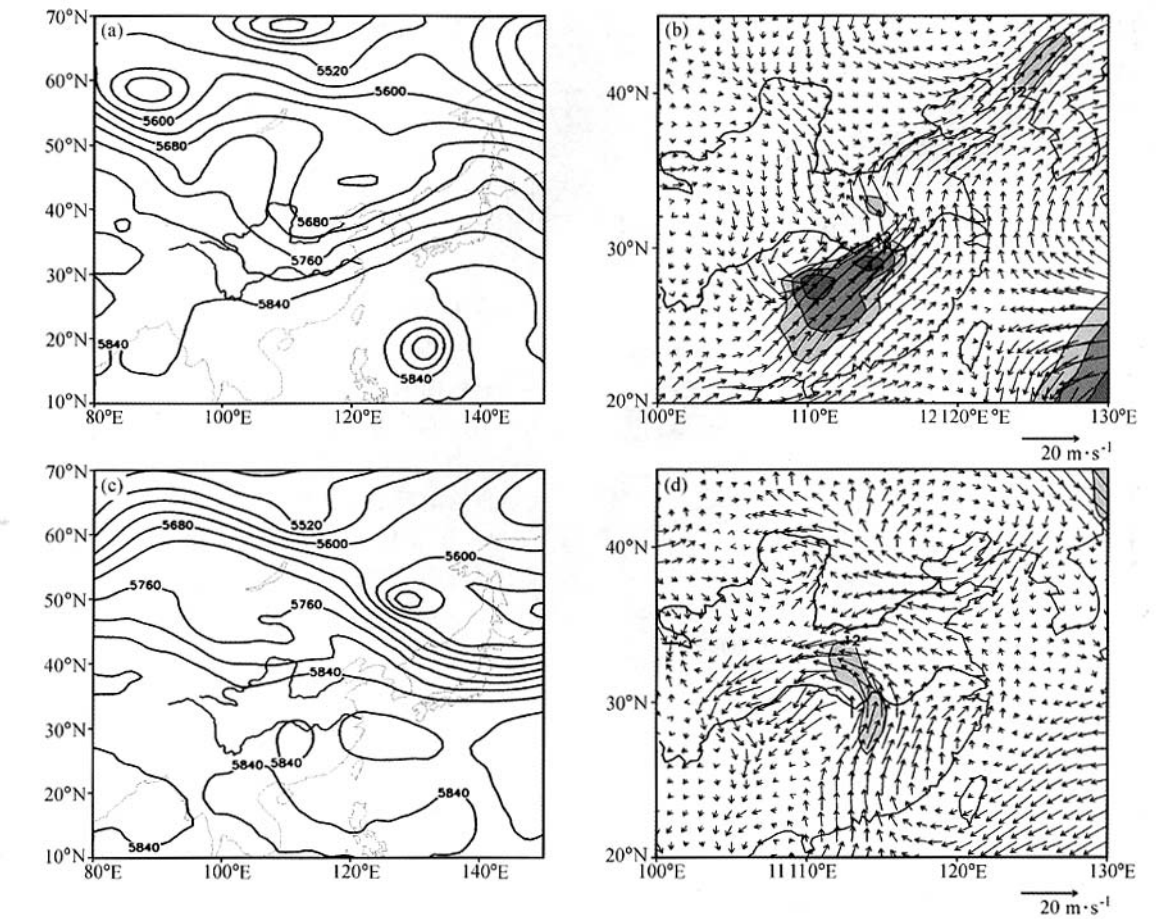


图 8 500 hPa 高度场 (a, c, 单位: gpm) 和 850 hPa 风场 (b, d)。(a)、(b) 为 2004 年 6 月 18 日，(c)、(d) 为 8 月 15 日
Fig. 8 The geopotential height on 500 hPa (a, c, units: gpm) and wind on 850 hPa (b, d) . The upper and lower panel for 18 June, 15 August 2004, respectively

夏的主要原因是中高纬度地区没有出现持续性的大陆暖高压,而且西太平洋副高总体上强度偏弱位置偏东。图9是2004年6~8月沿40°N的500 hPa高度经度-时间剖面图,阴影为大于5840 gpm的高度。2004年夏季沿40°N对流层中层的天气系统以移动性为主,6月上中旬的一次大陆性高压的加强过程造成华北地区出现2004年夏季第一次也是唯一一次气温超过35℃的高温天气。2004年7月我国东部40°N以北地区500 hPa为低压带控制,7月20~30日,降水主要集中在华北、东北,其中,山西、山东和河北的降水最多。7月下旬~8月中旬,副高有一次明显的西伸北抬过程,从135°E附近向西伸到110°E附近。副高的这种振荡过程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,而华北北部地区处于副高边缘控制地区,多出现雷阵雨天气,因此出现冷夏。

4 影响我国的热带气旋的基本特征

夏季是热带气旋多发季节,占全年生成总数的44.64%,从6月开始台风发生范围和生成频数

显著增大,8月是全年台风发生最多的月份,而且在我国东部和南部沿海登陆的热带气旋多。2004年夏季影响我国的编号热带气旋主要有两个特点。

4.1 2004年夏季西太平洋生成的热带气旋显著偏多

2004年西太平洋编号热带气旋共29个,夏季影响我国的编号热带气旋的具体生成与消亡时间及地点见表1。进入我国警戒区的编号台风共有16个,其中,6月有5个,这是近50年来最多的,是多年平均数的两倍;7月3个,比多年平均情况少一个;8月8个,明显多于多年平均的5.9个。整个夏季共有5个热带气旋在我国登陆,登陆个数接近常年同期,其中7月有3个,8月2个,以8月份两个登陆台风对我国的影响最大。5个登陆台风或热带风暴分别为:第7号强热带风暴“蒲公英”于7月1日和3日分别在台湾省花莲县附近沿海及浙江省乐清市沿海两次登陆我国,台湾、江苏、浙江、福建、上海等省市受其影响部分地区出现暴雨、大风天气,局部有大暴雨,其中台湾部分地区受灾严重。9号热带风暴“圆规”于7月16日登陆香港,但未造成大的影响。11号热带风暴于7月27日在广东省陆丰到惠来之间沿海登陆,登陆时中心附近最大风力8级,受其影响,汕头、揭阳、梅州等市出现暴雨,局部大暴雨。此次台风带来的降水对增加水库蓄水,缓解江南、华南旱情十分有利,但是狂风暴雨和大潮也给沿海部分地区造成严重损失。14号台风“云娜”于8月12日在浙江省温岭市登陆,登陆时中心气压950 hPa,中心附近的最大风速达 $45\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,最大降雨量为乐清市佛头的916.0 mm。这是1956年“8·1”台风之后近48年中登陆浙江最强的台风,也是1996年第15号台风之后近8年中登陆我国大陆最强的台风。“云娜”台风造成1800多万人受灾,死亡168多人,农作物受灾面积74万 hm^2 ,直接经济损失201亿元。18号台风“艾利”于8月25日在福建省福清市登陆,登陆时中心附近最大风力12级。福建、浙江、江西、广东均受到这次台风的影响,其中福建省损失严重。此外,28号热带风暴南玛都(Nanmadol)于12月3日在台湾登陆,台湾气象部门发布有史以来首个冬季陆上台风警报。冬季台风十分罕见,

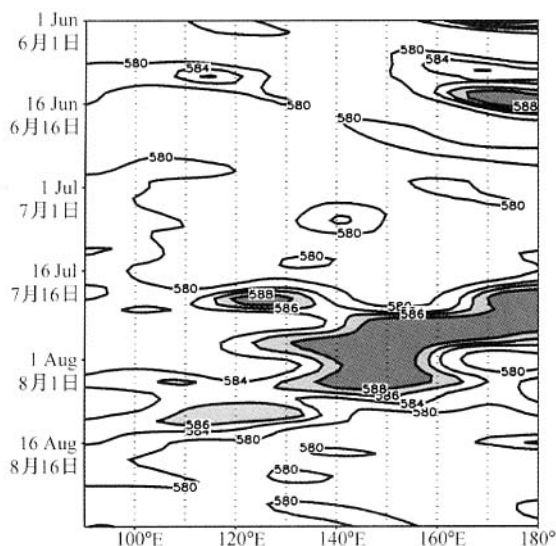


图9 2004年6~8月沿37.5~42.5°N平均500 hPa高度的经度-时间剖面(单位: d gpm)

Fig. 9 The longitude-time cross section of averaged geopotential height of 37.5–42.5°N on 500 hPa from June to August 2004 (units: d gpm)

表 1 2004 年夏季西北太平洋热带气旋*
Table 1 The tropical cyclones over western Pacific Ocean in the summer 2004

编号与名称 Number and Name	生成时间 Initiation time	生成地点 Initiation location	消亡时间 Dissipating time	消亡地点 Dissipating location
200401 苏特 Sudal	2004-04-03	6.4°N, 152.8°E	2004-04-17	37.5°N, 173.7°E
200402 妮坦 Nida	2004-05-13	8.1°N, 132.3°E	2004-05-21	37.3°N, 145.8°E
200403 奥麦斯 Omais	2004-05-16	6.3°N, 141.4°E	2004-05-22	19.2°N, 134.8°E
200404 康森 Conson	2004-06-05	15.8°N, 116.2°E	2004-06-11	33.0°N, 133.8°E
200405 灿都 Chanthu	2004-06-09	10.1°N, 125.1°E	2004-06-13	14.7°N, 105.0°E
200406 电母 Dianmu	2004-06-14	9.2°N, 136.3°E	2004-06-21	38.6°N, 137.9°E
200407 蒲公英 Mindule	2004-06-23	16.6°N, 142.6°E	2004-07-05	38.6°N, 127.6°E
200408 婷婷 Tingting	2004-06-26	11.7°N, 151.8°E	2004-07-04	36.9°N, 157.9°E
200409 圆规 Kompasu	2004-07-13	21.1°N, 129.6°E	2004-07-16	23.1°N, 113.9°E
200410 南川 Namtheum	2004-07-25	20.8°N, 150.9°E	2004-08-01	37.0°N, 131.0°E
200411	2004-07-27	22.7°N, 116.6°E	2004-07-27	22.9°N, 116.2°E
200412 玛瑙 malou	2004-08-04	27.8°N, 139.9°E	2004-08-05	37.6°N, 135.6°E
200413 莫兰蒂 Meranit	2004-08-04	22.7°N, 165.3°E	2004-08-09	39.3°N, 172.2°E
200414 云娜 Rananim	2004-08-08	16.2°N, 130.0°E	2004-08-13	28.8°N, 117.5°E
200415 马勒卡 Malakas	2004-08-11	25.1°N, 156.7°E	2004-08-14	36.8°N, 178.2°E
200416 鲇鱼 Megi	2004-08-16	18.7°N, 130.8°E	2004-08-20	41.6°N, 141.7°E
200417 暹芭 Chaba	2004-08-19	13.0°N, 160.4°E	2004-08-31	46.7°N, 145.7°E
200418 艾利 Aere	2004-08-20	13.6°N, 135.1°E	2004-08-26	23.6°N, 117.3°E
200419 桑达 Songda	2004-08-28	12.0°N, 164.2°E	2004-09-08	41.5°N, 139.2°E

* 热带气旋包括台风、强热带风暴和热带风暴

上一次接近台湾的冬季台风发生在 40 年前，而在整个西太平洋和南海，百年来 12 月形成的台风平均也只有 1.3 个。虽然台风影响台湾的时间不长，但据估计，“南玛都”台风造成的农业损失达新台币 2.8 亿多元。

4.2 2004 年夏季热带气旋生成的阶段性显著

2004 年第 1 个编号的热带气旋生成在 4 月，夏季以前共有 3 个热带气旋生成，与多年平均情况相当，从 5 月中旬前后开始活跃。2004 年夏季西太平洋台风的生成大致可分力 3 个阶段：第 1 阶段热带气旋生成的活跃期出现在 6 月；第 2 阶段是 7 月 25 日前，对应着是热带气旋生成的间歇期，7 月仅有 3 个强度偏弱的热带气旋生成（少于平均数 4.2 个），特别是在 7 月 25 日以前只有一个产生，间歇期大约是 30 天；第 3 阶段是 7 月底~8 月，西北太平洋上的热带气旋生成重新开始活跃，共有 10 个热带气旋生成（2 个在 7 月 25~31 日，8 个在 8 月）。从表 1 中 2004 年热带气旋的生成时间与地点可以清楚地看到，2004 年夏季影响我国的热带气旋具有明显的群

发性与向东传播的特征，其活动的低频振荡特征非常显著。谢安等^[7]研究了 OLR（Outgoing Longwave Radiation）低频振荡对西太平洋台风的发生影响，也指出台风多发、间歇和转换阶段都有明显的特点。

卫捷等^[8]对 2004 年夏季 MJO（Madden and Julian Oscillation）与台风的活动进行了分析，结果表明，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、间歇和转换阶段似乎都有明显的低频振荡特征。

5 南方和西北地区的高温天气

2003 年淮河以南的大部分地区受稳定副高的控制，出现了近几十年少有的干旱与高温天气^[2]。2004 年南方的高温天气较 2003 年要弱一些，但西北地区却出现了较强的高温天气，下面将分别就 2004 年夏季江南和西北地区的高温天气作简单分析。这里我们仍定义日最高气温（ $T_{\max}$ ）大于等

于 35℃ 为高温天气。2004 年淮河以南大部地区及新疆等地夏季高温 ($\geq 35^\circ\text{C}$) 日数普遍有 10~20 天, 浙江、江西、福建大部以及广东中北部、重庆、南疆盆地大部达 20~30 天, 浙江、福建、江西和新疆 4 省区的局部地区达 30~40 天 (图 10)。与常年同期相比, 2004 年江淮、汉水流域西部、江南中东部、华南中东部、四川东部、南疆局部高温日数一般偏多 5~10 天, 浙江等地偏多 10~15 天。

对 6 月 1 日~8 月 31 日福州、杭州、武汉、重庆、南京、广州的最高、最低温度的演变作分析, 并与 2003 年的高温天气作对比。这些城市的高温天数、最高气温以及高温最长的持续天数见表 2。相对 2003 年, 武汉的高温日数明显减少, 广州的高温日数增加, 其他几个城市的高温日数基本与去年一致。2004 年持续高温时间最长的是杭州, 从 7 月 15 日到 8 月 10 日连续 27 天, 从这段时间的平均形势 (图略) 看, 副高偏北、偏西, 杭州的高温天气是台风“云娜”登陆后才得以缓解。从逐日高温范围的演变看, 2004 年南方的高温天气主要出现在 6 月 26 日~8 月 10 日, 并可分为两段: 6 月 26 日~7 月 4 日, 7 月 9 日~8 月 10 日, 其中 6 月 29 日、7 月 14 日和 8 月 9 日高温天气的范围较大 (图略)。

2004 年夏季, 我国南方持续的高温酷暑天气与副高的异常活动密切相关, 特别是 7 月中旬~8 月中旬西太平洋副高稳定控制江南地区。图 11 是 2004 年 6~8 月沿 27.5°N 的 500 hPa 高度场的经度-时间剖面, 反映副热带高压的活动。副高第 1 次明显西伸出现在 6 月中旬, 6 月 13 日, 副高北

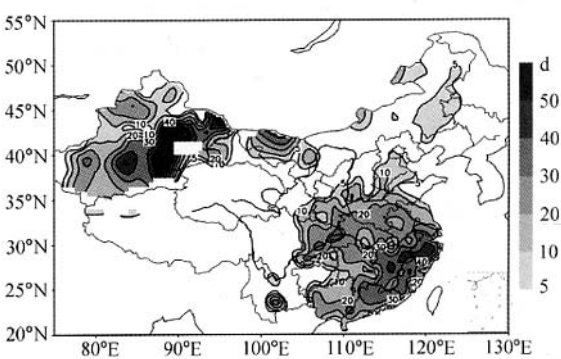


图 10 2004 年 6 月 1 日~8 月 31 日全国的高温日数分布
Fig. 10 The number of heat wave day in the summer 2004

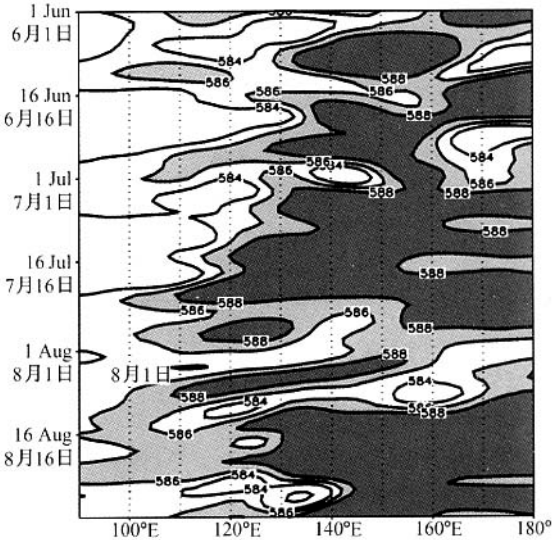


图 11 2004 年 6~8 月沿 25.0~30.0°N 平均的 500 hPa 高度的经度-时间剖面 (单位: dgpm)

Fig. 11 The longitude-time cross section of geopotential height of 25.0~30.0°N on 500 hPa in the summer of 2004 (units: dgpm)

表 2 2003、2004 年 6 月 1 日~8 月 31 日南方高温天气对比
Table 2 The comparison of heat wave in southern China in the summer 2003 and 2004

站名 Station	高温天数 Days of heat wave/d ($T_{\max} \geq 35^\circ\text{C}$)		最高气温 The maximal temperature/ $^\circ\text{C}$		最长持续天数 The longest duration/d ($T_{\max} \geq 35^\circ\text{C}$)	
	2003	2004	2003	2004	2003	2004
福州 Fuzhou	53	54	41.7	39	24	14
杭州 Hangzhou	43	41	40.3	40	13	27
武汉 Wuhan	33	25	39.5	38	12	9
重庆 Chongqing	32	32	40.0	41	15	8
南京 Nanjing	21	23	40.0	39	11	6
广州 Guangzhou	18	33	37.8	39	6	7

跳到 25°N 以北, 江淮流域的梅雨开始。6 月 ITCZ (intertropical convergence zone) 异常活跃, 月底达到最盛 (图 3b)。7 月后半月和 8 月中下旬 ITCZ 的 2 次增强活跃过程也对应副高的 2 次西伸。7 月中旬~8 月中旬, 副高在 30°N 以北持续维持, 同时, 副高在这期间有 1 次明显的西伸过程, 从 135°E 附近向西伸到 110°E 附近, 5 880 gpm 基本稳定在 120°E 以西, 控制了中国大陆东部, 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。此外, 西太平洋副高在 8 月的明显西伸, 引导 3 个热带风暴 (含台风) 登陆我国。

2003 年夏季东亚中纬度地区西风带平直, 同时在梅雨期登陆的台风偏少, 副高稳定偏西, 而 2004 年西太平洋上台风和中纬度西风槽活跃, 副热带高压来回摆动, 副高比常年偏东。副高的稳定与台风及西风槽活动之间是否存在某种相互关

系, 是一个值得深入探讨的问题。

2004 年新疆地区的高温天气日数大部分在 20~40 天, 与江南的浙江等地高温日数差不多。在新疆的东部, 特别是天山以南的高温日数最多。图 12 给出了 6~8 月乌鲁木齐、库尔勒、吐鲁番的日最高气温, 乌鲁木齐、库尔勒、吐鲁番的高温日数分别为 10、29、81 天, 最高温度分别为 41、39、46 $^{\circ}\text{C}$ 。吐鲁番的高温天气偏多, 除了天气形势的影响外, 与特殊的地理环境也有关系。新疆最强的高温天气发生在 7 月 13~17 日这几天, 造成这次高温的天气系统是位于蒙古国和新疆的强大的大陆高压 (图略), 一般而言, 北方的高温天气主要是大陆高压的作用所致^[2, 9, 10], 该高压脊的稳定, 使中国东部地区的低槽深而稳定, 形成了今夏最强的一次大范围降雨过程。

6 9 月 3~5 日川东和重庆的暴雨

2004 年 9 月 3~7 日, 四川东部、重庆部分地区出现了范围广、强度大、持续时间较长的区域性暴雨、大暴雨天气过程, 过程降水量一般为 50~100 mm, 四川盆地东北部达 100~200 mm。其中四川达州大部地区、巴中、广安和南充的部分地区以及重庆开县一带降水超过 200 mm, 降雨量达 300 mm 以上的地区有四川达州、开江、宣汉、平昌和重庆开县。重庆开县 4 日 08 时~5 日 08 时的 24 h 降雨量为 298.0 mm, 为有历史记录以来的最大值, 过程降雨量为 410.5 mm。四川宣汉过程降雨量最大, 为 413.9 mm。四川东部和重庆过程降水量都为 1951 年以来历史同期极大值。这是受灾地区有气象记载以来最大的洪水, 也是自清朝以来 200 年间最大的洪水。连续、高强度暴雨引发严重的洪涝及山体滑坡、泥石流等灾害, 给灾区人民的生命财产造成了严重损失。

9 月 2 日, 川东地区已经出现大范围的暴雨区, 长江中下游地区的切变线形成 (图 13a), 但西南涡没有形成, 副高控制长江及其以南地区, 沿副高的西侧东南气流从西太平洋和南海输送水汽到达四川东部和重庆。9 月 2~5 日, 由于西太平洋上“桑达”台风的活动, 使副高比较稳定。9 月 3~4 日是降雨最强的两天, 一些站出现了大暴

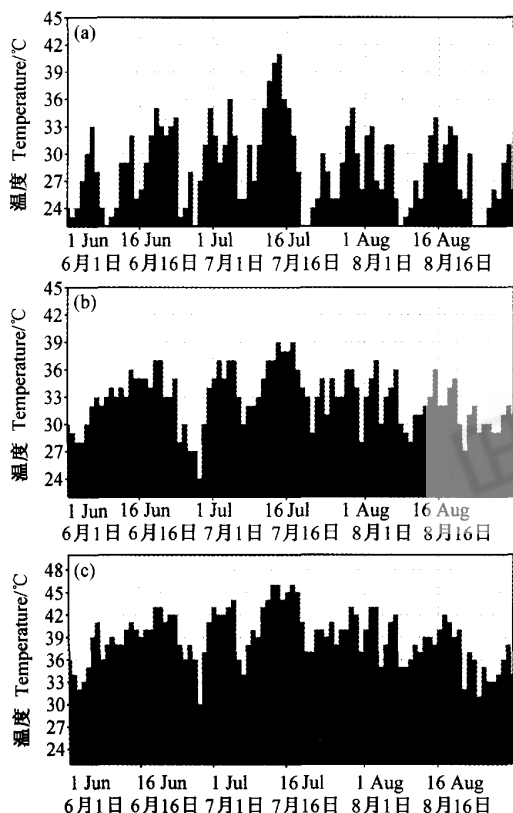


图 12 2004 年 6 月 1 日~8 月 31 日的日最高气温。(a) 乌鲁木齐; (b) 库尔勒; (c) 吐鲁番

Fig. 12 The daily maximal temperature in the summer 2004.

(a) Urumqi, (b) Korla, (c) Tulufan

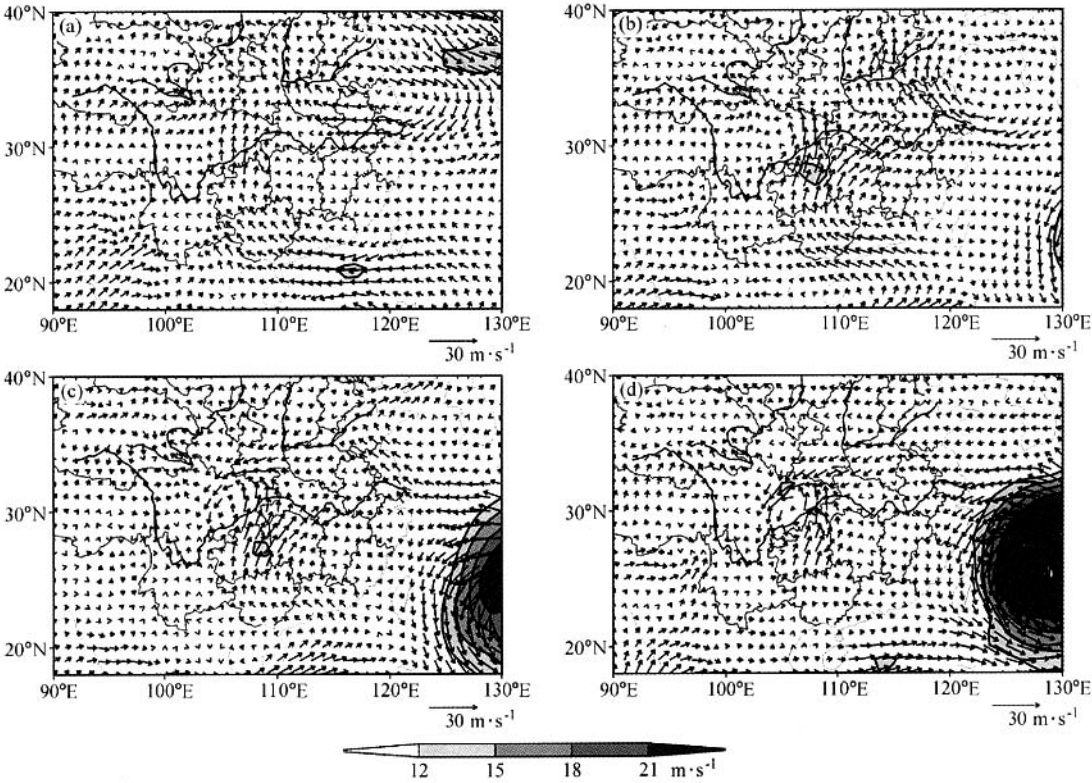


图 13 2004 年 9 月 2~5 日 850 hPa 风场 (阴影为风速大于 $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)。 (a) 2 日 08 时; (b) 3 日 08 时; (c) 4 日 08 时; (d) 5 日 08 时
Fig. 13 The wind on 850 hPa at 2—5 September 2004 (the shaded is wind $\geq 12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) . (a) 08 LST 2, (b) 08 LST 3, (c) 08 LST 4 and (d) 08 LST 5

雨和特大暴雨，最强降雨分别为 253 和 298 mm (图 14)，5 日仍有大范围的暴雨，6 日以后降雨减弱，7 日随着北方冷空气的南下，降雨结束。9 月 3 日以后，在川东和重庆地区形成了西南涡，长江中下游地区切变线维持，西南涡位于切变线的西端 (图 13b~d)，并在川渝两地停留了 4 天，西南涡是造成了川渝两地强降水的天气系统。对流层中高层是高压脊辐散急流 (图略)。在此次过程中，西太平洋上“桑达”台风逐渐向我国沿海靠近，它的外围环流也影响到我国沿海地区，受台风外围气流的影响，位于长江中下游的切变线东段被破坏。

探空分析显示 (图略)，在此次降雨过程中大气中水汽含量丰富，但对流有效位能不大，不具备强对流发展的层结条件。对于这次暴雨过程，低涡为什么能在川东和重庆长时间维持以及西太平洋上“桑达”台风对大尺度环流和西南涡的影响是值得今后继续深入研究的问题。

7 城市气象灾害

2004 年夏季，一些大中城市出现了较严重的城市气象灾害，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，由于城市应急系统不够完善，出现内涝灾害，造成人员伤亡、财产损失和交通瘫痪。其中，以 7 月 10 日北京的强降雨影响最大。

2004 年 7 月 10 日 16~21 时，北京市部分地区降了大到暴雨，降雨主要集中在城区、房山、怀柔、昌平等区县。超过 50 mm 的降水主要位于石景山、丰台、门头沟区东部和城区，其中丰台气象站 1 h 最大降水量达到 52 mm，紫竹院 24 h 降水 125 mm，造成部分地区严重的交通瘫痪。而密云、平谷、怀柔、延庆等远郊区县的降雨量非常小，甚至没有降雨。历史记录表明，北京的暴雨主要集中于夏季，但近年来北京夏季降水明显偏少，城区几

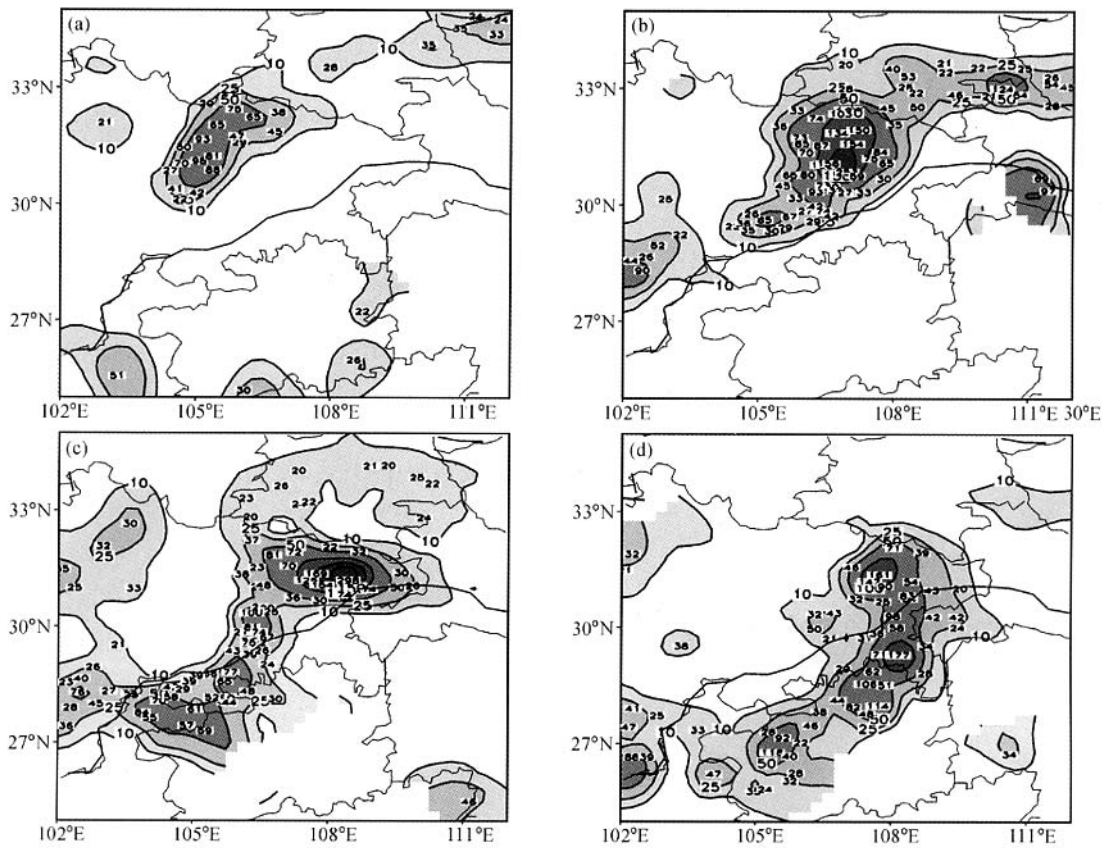


图 14 2004 年 9 月 2~5 日的降雨量 (单位: mm)。(a) 2 日 08 时~3 日 08 时; (b) 3 日 08 时~4 日 08 时; (c) 4 日 08 时~5 日 08 时; (d) 5 日 08 时~6 日 08 时
Fig. 14 The daily precipitation of 2—5 September 2004 (Units: mm) . (a) 08 LST 2—08 LST 3, (b) 08 LST 3—08 LST 4, (c) 08 LST 4—08 LST 5, and (d) 08 LST 5—08 LST 6

乎没有出现较强的暴雨过程，似乎局地突发暴雨的影响已经不严重。然而，由于近年来城市发展带来的道路、交通和排水等问题，使得 7 月 10 日局地强降水过程的影响变得尤为突出。

对这种局地性的大暴雨预报有很大难度，但也不是完全没有征兆。7 月 10 日北京处于槽前，地面有冷锋过境，10 日 08 时的层结分布 (图 15) 表明，当天早上对流层低层接近饱和，中层非常干冷，非常有利于对流不稳定的形成。对大量华北暴雨个例的分析表明在强降雨发生前，往往有中层变干、低层增湿的过程。

此外，2004 年 7 月 12 日上海发生了一次较强的中尺度强对流风暴过程，此过程自西向东影响了上海大部分地区，有短时强降雨并伴有雷暴大风，最强风力达 $29\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，18 时左右还有龙卷

风发生，造成了人员伤亡和财产损失。

暴雨和中尺度强对流系统的研究一直是国内外中尺度气象学研究的重点，然而，在国内由于中尺度观测网资料的限制，对此类系统的观测、分析和模拟研究还较少，对其发生发展过程及其结构特征还不甚了解，因此，要提高对此类天气的预报准确率，今后必须加强对此类系统的监测及临近预报方法的研究。

8 汛期降雨实时预测结果

2004 年 6 月 1 日~8 月 31 日进行了汛期暴雨预测试验，该预测系统以 MM5 中尺度模式为基础^[11]，除了中尺度模式外，预测系统 (图略) 还包括模式初始场的资料处理，模式释用以及预测

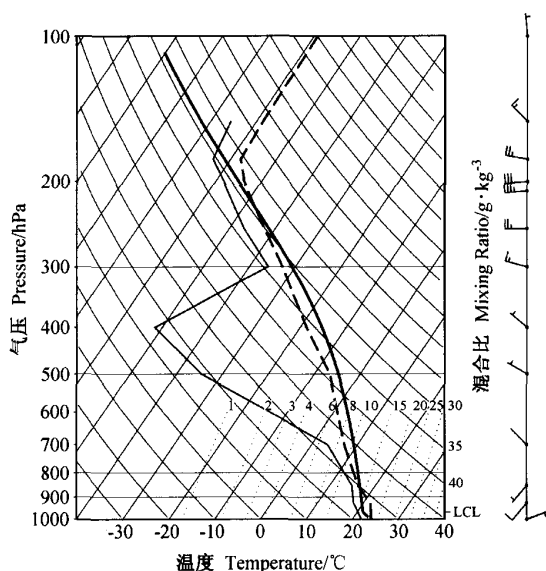


图 15 2004 年 7 月 10 日 08 时北京的探空分析。细实线：露点温度，虚线：温度，粗实线：干绝热，LCL：抬升凝结高度
Fig. 15 Composite sounding on skew T -log p diagrams on 08 LST 10 July 2004 at Beijing, temperature (dashed line), dew point (thin solid line), path in (T, p) space taken by surface parcel as it ascends (thick solid line), LCL is lifting condensation level

产品的输出。实时预测中以 NCEP 的 $1^\circ \times 1^\circ$ 资料为背景场，之后，将常规地面和探空资料再分析入初始场，每天进行 24 h 预测，起始时间为 08 时（北京时）。预测采用双重嵌套，格距分别为 45 和 15 km，格点数分别为 100×120 和 142×163 。预测采用的物理方案如下：Grell 积云对流参数化方案，混合冰相过程，MRF（NCEP Medium-Range Forecast model）边界层过程，OSU 陆面过程（Oregon State University 发展的陆面模式）。

对预报结果分别进行了 10、25、50 mm 的 TS 评分。由于收到的基本上只有中国区域的降雨资料，虽然模拟区域较大，但评分只能针对中国区域。另外，除了对中国区域的评分外，还对江淮地区（ $25 \sim 35^\circ \text{N}$ ， 110°E 以东）和华北地区（ $35 \sim 45^\circ \text{N}$ ， $110 \sim 120^\circ \text{E}$ ），包括山东半岛）分别进行了评分。

2004 年夏季全国没有发生大范围的旱涝，降雨分布较为均匀，北方地区降雨过程较多，华北的大部分地区降雨也比较多，特别是河南和山东降雨正距平在 $50\% \sim 100\%$ 。因此，下面将分别对江淮流域和华北降雨的预测结果进行总结。

8.1 江淮流域预测试验结果

江淮梅雨期每日的实时降雨预测 TS 评分见表 3。1、10、25、50 mm 的 45 km 预测结果的平均评分分别为 53.27、31.36、15.79 和 6.36，与 2003 年江淮梅雨期的评分相比^[2]，明显偏低，特别是暴雨的评分。这是因为 2004 年江淮雨带不稳定，雨带影响范围广，暴雨发生较 2003 年次数少，并且多局地暴雨。15 km 与 45 km 格距的预测结果相似，从每日的具体预测看，15 km 预测结果的暴雨中心明显比实况偏多，原因可能是目前的观测资料达不到模式格点的密度。

从 6~8 月的实时预测结果看，对江淮雨带及其暴雨中心的预报是比较准确的，对大范围的雨带无漏报和空报。其中对最强的一次过程 7 月 15~20 日的雨带预测与实况几乎完全一致，暴雨的评分也在 20 以上。图 16 给出了 7 月 16 和 18 日的降雨预测和实况对比，7 月 16~19 日 4 天中

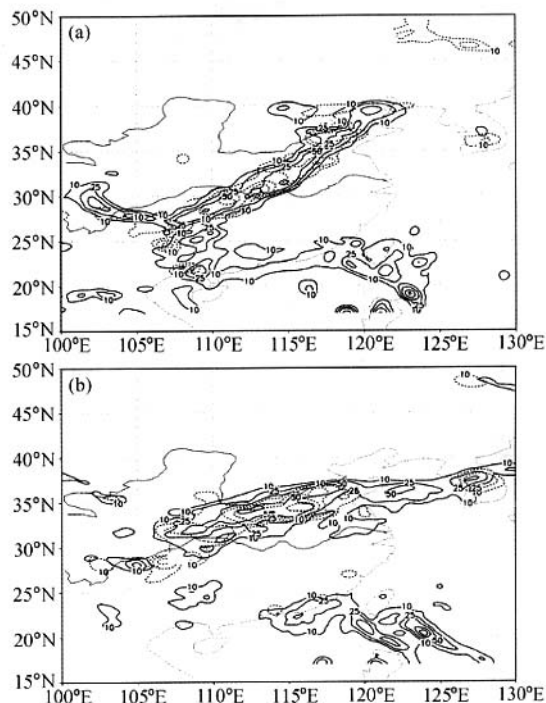


图 16 2004 年夏季最强降雨过程的预测（实线）和实况（虚线）24 h 降雨量（单位：mm）。(a) 7 月 16 日 08 时~17 日 08 时；(b) 7 月 18 日 08 时~19 日 08 时

Fig. 16 The prediction (solid) and observation (dashed) 24 h precipitation for the most severe heavy rainfall event in the summer 2004 (Units: mm). (a) 08 LST 16—08 LST 17 July, (b) 08 LST 18—08 LST 19 July

表 3 2004 年夏季江淮流域 45 km 降水预报评分
Table 3 The prediction score of precipitation in Yangtze River basin for 45 km grid distance in summer 2004

日期 Date	1 mm	10 mm	25 mm	50 mm	日期 --Date	1 mm	10 mm	25 mm	50 mm
2004-06-05	50.54	31.82	4.55	0.00	2004-07-19	66.32	42.35	24.53	14.75
2004-06-07	52.53	11.77	0.00	0.00	2004-07-20	52.50	17.95	5.88	0.00
2004-06-13	46.38	33.74	14.29	0.00	2004-07-28	32.54	13.43	0.00	0.00
2004-06-14	70.41	62.50	45.46	6.06	2004-07-29	39.96	16.24	14.81	11.11
2004-06-15	78.87	64.49	27.14	4.00	2004-07-30	55.53	26.29	10.17	0.00
2004-06-16	84.16	71.36	38.06	5.56	2004-07-31	43.28	15.23	0.00	0.00
2004-06-17	36.05	31.52	20.00	0.00	2004-08-01	46.36	9.52	0.00	0.00
2004-06-18	65.03	67.40	39.39	16.67	2004-08-02	36.12	14.57	0.00	0.00
2004-06-19	56.54	26.88	0.00	0.00	2004-08-03	60.12	31.19	11.77	0.00
2004-06-20	38.46	25.71	14.29	0.00	2004-08-04	69.88	44.12	8.39	0.00
2004-06-21	43.68	21.21	0.00	0.00	2004-08-05	60.51	28.30	3.85	0.00
2004-06-22	69.08	36.03	1.49	0.00	2004-08-06	29.89	4.17	0.00	0.00
2004-06-23	60.42	48.26	38.55	17.31	2004-08-10	39.00	16.28	16.67	33.33
2004-06-24	57.14	48.72	43.56	25.53	2004-08-11	49.89	15.33	10.26	0.00
2004-06-26	44.87	19.12	4.88	0.00	2004-08-12	51.38	45.04	42.03	42.86
2004-06-27	34.93	17.70	7.50	0.00	2004-08-13	72.92	37.74	18.00	10.81
2004-06-29	33.15	25.89	9.09	0.00	2004-08-14	74.39	42.81	5.16	0.00
2004-07-02	47.60	19.70	30.77	0.00	2004-08-15	67.53	45.61	35.80	7.69
2004-07-03	44.62	18.46	27.27	25.00	2004-08-16	33.83	24.65	6.82	0.00
2004-07-05	70.18	42.38	8.73	0.00	2004-08-18	30.70	8.33	0.00	0.00
2004-07-06	67.87	69.96	39.35	8.70	2004-08-19	39.37	18.75	0.00	0.00
2004-07-07	49.84	54.64	30.30	0.00	2004-08-20	50.41	24.51	3.45	0.00
2004-07-08	43.14	9.23	0.00	0.00	2004-08-21	60.48	42.86	9.86	9.52
2004-07-09	48.02	17.88	1.96	0.00	2004-08-22	60.65	12.59	8.57	0.00
2004-07-10	69.93	63.48	37.14	16.07	2004-08-24	46.55	32.00	18.18	0.00
2004-07-11	71.03	53.00	24.79	7.50	2004-08-25	46.53	49.28	69.70	52.94
2004-07-12	53.66	17.84	10.81	0.00	2004-08-26	56.60	40.30	16.67	0.00
2004-07-13	58.10	19.17	2.78	0.00	2004-08-27	58.48	8.26	0.00	0.00
2004-07-14	43.31	12.77	0.00	0.00	2004-08-28	44.44	4.55	0.00	0.00
2004-07-15	45.19	18.72	3.77	0.00	2004-08-29	57.14	26.72	6.38	0.00
2004-07-16	49.86	53.75	54.54	50.94	2004-08-30	66.67	19.15	13.04	0.00
2004-07-17	56.16	69.29	44.55	9.61	2004-08-31	58.10	24.55	6.06	0.00
2004-07-18	63.42	51.05	35.48	37.29					

国区域 50 mm 以上暴雨区的 TS 评分分别为 30.5、4.9、29、20.6，17 日的暴雨预测评分低是因为实况暴雨范围小，模拟的暴雨区位置有偏差造成。从整个梅雨期的预测结果看，与 2003 年相似，对带状的雨带预测效果比分散的雨区要好一些。

2004 年 6~8 月有 5 个台风在东南沿海登陆，其中 8 月份登陆浙江和福建的 2 个台风“云娜”

和“艾利”给两省带来了很大的损失。对这两次台风登陆时的降雨预测也是比较成功的（图 17），模式对台风登陆时的雨区和雨强的模拟都与实况基本一致，暴雨区的评分分别为 28.8、18.7。

8.2 华北降雨的预测试验结果

2004 年华北大部分地区降雨较常年偏多，表 4 是 2004 年夏季有降雨过程的华北地区 45 km 格距预测结果的 TS 评分，其 10、25 mm 的平均评

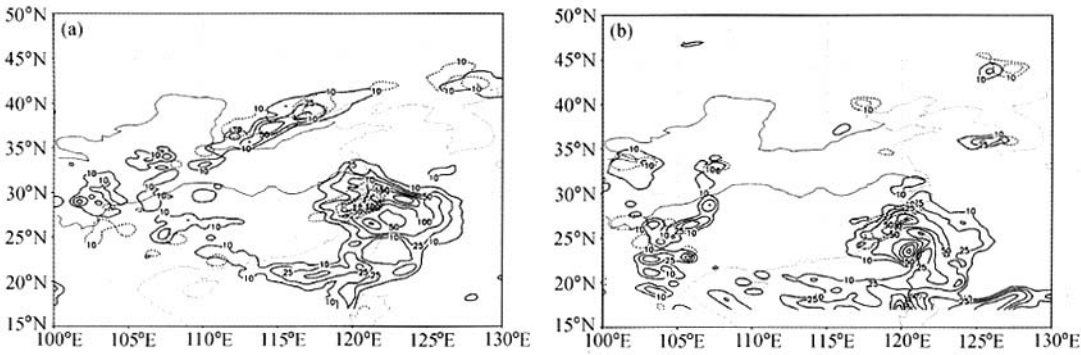


图 17 2004 年 8 月两次台风登陆的降雨预测 (实线) 和实况 (虚线) 24 h 降雨量 (单位: mm)。(a) 8 月 12 日 08 时~13 日 08 时; (b) 8 月 25 日 08 时~26 日 08 时

Fig. 17 The prediction (solid) and observation (dashed) 24 h precipitation for two landing typhoons in August 2004 (Units: mm) . (a) 08 LST 12—08 LST 13 August, (b) 08 LST 25—08 LST 26 August

表 4 2004 年夏季华北降水 45 km 预报评分

Table 4 The prediction score of precipitation in North China for 45 km grid distance in summer 2004

日期 Date	1 mm	10 mm	25 mm	50 mm	日期 Date	1 mm	10 mm	25 mm	50 mm
2004-06-15	70.98	43.86	0.00	0.00	2004-07-26	72.11	21.05	6.06	0.00
2004-06-16	80.61	27.47	20.00	0.00	2004-07-27	53.60	21.43	0.00	0.00
2004-06-18	55.17	8.33	0.00	0.00	2004-07-28	51.41	20.75	2.56	0.00
2004-06-20	37.50	5.56	0.00	0.00	2004-07-29	84.38	57.90	3.64	0.00
2004-06-21	50.00	28.20	0.00	0.00	2004-07-30	70.90	34.43	16.00	0.00
2004-06-22	62.86	23.19	0.00	0.00	2004-07-31	50.00	46.43	9.09	0.00
2004-06-23	44.98	4.92	0.00	0.00	2004-08-02	70.72	25.27	2.27	0.00
2004-06-24	57.83	13.16	0.00	0.00	2004-08-03	58.06	19.15	16.00	0.00
2004-06-28	40.00	13.04	0.00	0.00	2004-08-04	50.00	19.05	0.00	0.00
2004-06-29	73.83	55.09	13.58	3.23	2004-08-05	18.75	16.67	0.00	0.00
2004-07-08	38.89	5.88	0.00	0.00	2004-08-08	24.47	16.46	0.00	0.00
2004-07-09	53.02	32.50	0.00	0.00	2004-08-10	62.26	20.16	14.63	0.00
2004-07-10	66.56	32.94	7.79	0.00	2004-08-11	81.35	50.49	21.84	0.00
2004-07-11	74.52	20.35	4.88	0.00	2004-08-12	68.26	37.84	19.05	0.00
2004-07-13	47.06	31.25	0.00	0.00	2004-08-15	61.33	31.25	8.33	0.00
2004-07-15	68.50	28.33	8.33	0.00	2004-08-16	69.15	78.43	37.50	0.00
2004-07-16	66.42	50.65	25.00	8.33	2004-08-19	69.44	40.63	0.00	0.00
2004-07-17	58.82	46.48	28.95	0.00	2004-08-20	68.79	64.00	0.00	0.00
2004-07-18	47.06	19.23	10.00	0.00	2004-08-24	50.00	4.84	0.00	0.00
2004-07-20	62.80	11.24	0.00	0.00	2004-08-26	39.57	17.50	50.00	0.00
2004-07-21	21.53	27.27	0.00	0.00	2004-08-27	83.23	32.70	33.90	45.46
2004-07-25	64.40	61.96	13.21	0.00					

分为 29.47、8.67, 15 km 格距的预测结果与 45 km 预测结果相似, 就不再给出。相对而言, 对华北降雨的预测不如对江淮梅雨的预测, 但对雨区的预测还是较好的。总体看来, 除个别例子暴雨区预报较好外, 一般暴雨区的预测在强度和落区

上都不如江淮雨带的预测, 这主要是由于北方地区的暴雨多具有突发性和局地性所致。

从 2003 年^[2]和 2004 年的预测结果看, 相对江淮流域而言, 模式对华北地区降雨, 特别是暴雨预测的评分偏低一些。这可能是由于引发华北

地区降雨,特别是暴雨的条件比较复杂^[12],而模式中的物理过程,特别是降水物理过程还未能较好地反应华北地区的这种实际情况。要提高华北地区降雨的预测水平,今后还有大量的研究工作要作。

9 小结与讨论

本文主要对 2004 年夏季重要的天气过程及其预测结果进行了分析,主要结果如下:

(1) 2004 年夏季江淮流域 6、7、8 月的降雨量比较均匀,降雨没有集中在梅雨期,中高纬度地区典型梅雨环流形势没有建立,但由于多西风槽活动,也给中国东部地区带来了大量的降雨。2004 年夏季华北大部分地区降雨偏多,多为低槽冷锋造成。

(2) 2004 年夏季江南和西北都出现较强的高温天气,江南的高温天气出现在 6 月 26 日~8 月 10 日。西北地区在新疆的东部,特别是吐鲁番出现非常强的高温。江南和新疆的高温分别为副高和大陆高压造成。

(3) 9 月 2~5 日川东和重庆的降雨与低涡在该地区的稳定维持有关。2004 年夏季西太平洋台风偏多,并且有明显的阶段性。台风生成有 2 个明显的时段:6 月份和 7 月底至 8 月。

(4) 从实时预测结果看,对 2004 年 6~8 月江淮雨带及其暴雨中心的预报结果较好,对大范围的雨带无漏报和空报。对华北地区降雨的预测评分比江淮梅雨偏低,要进一步提高华北地区降雨的预测水平,今后还有大量的研究工作要作。

本文对 2004 年夏季天气的分析还是初步的,今后将继续开展以下 3 个问题的研究:7 月 16~19 日最强过程的大尺度强迫和中尺度对流系统的研究;登陆台风(“云娜”和“艾利”)中造成暴雨的中尺度对流系统的研究;9 月 3~5 日川东和重庆大暴雨的研究。

致 谢 中国科学院大气物理研究所的汛期天气预测一直是在曾庆存、黄荣辉、李崇银院士,以及张庆云、周晓平、纪立人、孙淑清、陈烈庭、金祖辉、陈嘉滨、张道民等研究员的积极参与下,在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汛期预测,在此一并予以感谢。

参考文献

- [1] 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, Weijie, 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
- [2] 孙建华,卫捷,张小玲,等. 2003 年夏季的异常天气及预测试验. 气候与环境研究, 2004, 9 (1): 203~217
Sun Jianhua, Wei Jie, Zhang Xiaoling, et al. The abnormal weather in the summer 2003 and its real-time prediction. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 2004, 9 (1): 203~217
- [3] 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): 17~23
Zhang Qingyun, Tao Shiyan. 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): 17~23
- [4] 雷小途,陈联寿. 热带气旋的登陆及其与中纬度环流系统相互作用的研究. 气象学报, 2001, 59 (5): 602~609
Lei Xiaotu, Chen Lianshou. Tropical cyclone landfalling and its interaction with mid-latitude circulation systems. *Acta Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 2001, 59 (5): 602~609
- [5] 张庆云,王会军,林朝晖,等. 中国天气气候异常成因研究——2003 年. 北京:气象出版社, 2004, 170pp
Zhang Qiyun, 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] 张小玲,陶诗言,张顺利. 梅雨锋上的三类暴雨. 大气科学, 2004, 28 (2): 187~205
Zhang Xiaoling, Tao Shiyan, Zhang Shunli. Three types of heavy rainstorms associated with Meiyu front. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 2004, 28 (2): 187~205
- [7] 谢安,叶谦. OLR 低频振荡与西太平洋台风的发生. 应用气象学报, 1987, 5 (2): 143~150
Xie An, Ye Qian. Relationship between OLR low-frequency oscillations and the formation of typhoon over the western Pacific. *Quarterly Journal of Applied Meteorology (in Chinese)*, 1987, 5 (2): 143~150
- [8] 卫捷,庆云,陶诗言. 2004 年夏季短期气候集成预测及

- 检验. 气候与环境研究, 2005, **10** (1): 19~31
- Wei Jie, Zhang Qingyun, Tao Shiyan. The ensemble seasonal climate prediction for 2002 summer and its verification. 2005, *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2005, **10** (1): 19~31
- [9] 谢庄, 崔继良, 刘海涛, 等. 华北和北京的酷暑天气 I. 历史概况及个例分析. 气候与环境研究, 1999, **4** (4): 323~333
- Xie Zhuang, Cui Jiliang, Liu Haitao, et al. A study on the severe hot weather in Beijing and North China. Part I: statistics and synoptic case study. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 1999, **4** (4): 323~333
- [10] 孙建华, 陈红, 赵思雄, 等. 华北和北京的酷暑天气 II. 模拟试验和机理分析. 气候与环境研究, 1999, **4** (4): 334~345
- Sun Jianhua, Chen Hong, Zhao Sixiong, et al. A study on the severe hot weather in Beijing and North China. Part II: simulation and analysis. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 1999, **4** (4): 334~345
- [11] Dudhia J. A nonhydrostatic version of the Penn State-NCAR mesoscale model: Validation tests and simulation of an Atlantic cyclone and cold front. *Mon. Wea. Rev.*, 1993, **121**: 1493~1513
- [12] 陶诗言. 中国之暴雨. 北京: 科学出版社, 1980, 225pp
- Tao Shiyan. *Heavy Rainfalls in China* (in Chinese). Beijing: Science Press, 1980, 225pp

万方数据
WANFANG DATA