

# 2003年夏季的异常天气及预测试验<sup>\*</sup>

孙建华 卫捷 张小玲  
陈红 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2003年夏季的异常天气和中国科学院大气物理研究所2003年汛期预测的结果。夏季淮河流域强降水集中发生在2周之内, 引发了淮河流域的大洪水。6月底至7月上旬副高、季风涌、青藏高原东移的中尺度高空槽以及冷空气的活动, 3次处于最有利于暴雨发生的配置, 梅雨锋上的扰动频繁, 导致淮河流域出现引发大洪水的3次大暴雨过程。南方持续高温酷暑天气与副高的异常活动有关, 特别是7月下旬至8月, 西太平洋副高稳定控制江南地区。与南方的高温相反, 北方凉夏是因为中纬度地区处于平直的低压带中, 多小波动活动。预测系统对6~8月江淮雨带及其暴雨中心的实时预测是比较准确的, 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较好反应华北地区的情况。

**关键词:** 高温酷暑; 数值天气预报; 季风涌; 暴雨

**文章编号** 1006-9895 (2004) 01-0203-15 **中图分类号** P445 **文献标识码** A

## 1 引言

中国科学院大气物理研究所一直开展中国灾害天气机理研究及预测试验。每年汛期(6~8月), 采用有限区域数值天气预报模式对逐日雨区和天气形势进行实时预测, 并举行天气会商, 分析研究灾害性天气的系统结构、演变特征及检验数值模式的预报能力<sup>[1, 2]</sup>。本文主要介绍2003年6~8月中国主要的灾害性天气、环流特征及其预测结果。

2003年江淮流域6月21日入梅, 7月12日出梅。不论是入梅时间, 还是梅雨持续天数, 江淮流域梅雨期均属正常年份; 但由于暴雨过程多且雨强大, 导致淮河安徽段出现自1991年以来的最大洪水, 沿淮地区发生严重洪涝灾害, 致使安徽启用多个蓄洪区、行洪区。2003年夏季的另一重要特点是南方的持续高温, 尤其是福建、浙江两省, 有些地区35℃以上的高温超过50天, 最高温度也创下建站以来的最高记录。另外, 北方地区出现了近年来少有的凉夏, 整体而言, 降水有所增多, 但北京的降水却比周边地区要少。本文将分别讨论江淮梅雨、南方的持续高温、北方的凉夏以及汛期降雨预测试验的主要结果。

2004-01-05 收到, 2004-02-10 收到修改稿

<sup>\*</sup>奥运科技专项“北京市夏季异常天气预测及应急措施研究”(2001BA904B09)、中国科学院知识创新工程重要方向项目“华北盛夏强烈天气发生机理及其中尺度数值预报关键理论与技术研究”(KZCX3-SW-213)和中国科学院奥运科技项目“北京夏季异常天气预测关键技术及应急措施研究”(KACX1-02)联合资助

## 2 梅雨期环流特征及淮河强降水过程

2003 年江淮梅雨从 6 月 21 日开始, 长江流域沿江部分地区和淮河流域等地多次出现大到暴雨或大暴雨天气, 局部还出现特大暴雨。其中淮河流域由于降水频繁, 强度大, 持续时间长, 发生了 1991 年以来的最大洪水。梅雨分为 2 个阶段: 6 月 21~28 日和 6 月 29 日~7 月 11 日。第 1 阶段降水主要集中在长江流域 (图 1a), 降雨中心在江西的北部, 达 200 mm 以上; 第 2 阶段降水主要集中在淮河流域 (图 1b), 最强的降雨中心在安徽、江苏两省, 达 300 mm 以上, 此外, 另一个强中心在湖南、湖北交界处。这段时期淮河流域普降大到暴雨, 淮河等地的降水是常年同期的 1~2 倍, 降水的主要特点是持续性暴雨多, 降水集中, 形成全流域性大洪水。淮河防汛抗旱总指挥部指出, 这次洪水无论从干流中下游的最高水位还是最大流量都全面超过了 1991 年的水平。

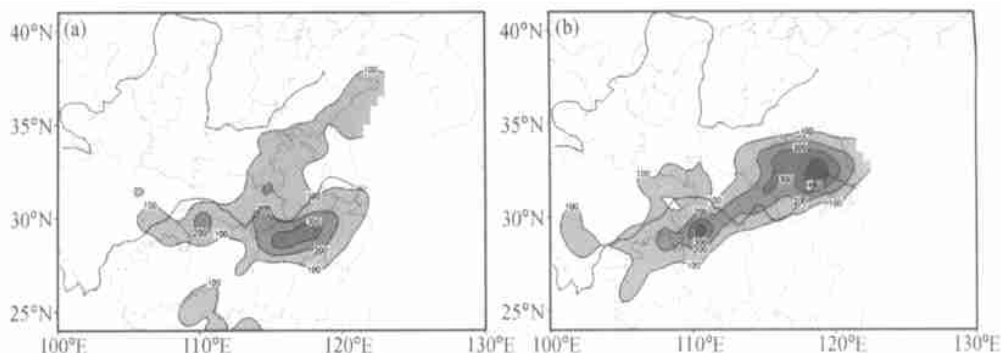


图 1 2003 年梅雨期的降雨量 (单位: mm)  
(a) 6 月 21~28 日; (b) 6 月 29 日~7 月 11 日

6 月 21~28 日雨带主要位于江南地区, 其 500 hPa 高度及距平场的特征是亚洲中高纬度地区呈两脊一槽的典型梅雨型 (图略), 乌拉尔山 70°N 为阻塞高压控制区, 55°N 以北的雅库次克海地区也为高压脊占据, 中高纬度的阻塞形势为江淮流域梅雨锋的稳定维持提供了有利的大气环流背景。亚洲中纬度地区为一个宽泛的低压槽区, 其上多小波动, 即冷空气较为活跃。西太平洋副高的位置比较正常, 副高西南侧的暖湿空气与北方冷空气交汇于 30°N 以南, 使得这一时期梅雨锋和主要降水产生在长江及江南北部地区。然而, 应该注意的是 2003 年 6 月 29 日~7 月 11 日, 乌拉尔山阻高显著减弱东退, 雅库次克海东阻也减弱, 随着西太平洋副高 5860 gpm 线明显西伸与北抬 (图 2a), 梅雨锋的位置北抬到长江以北 32°N 附近, 江淮梅雨期的主要雨带北移至淮河地区。850 hPa 副高西侧的西南风比多年平均偏强  $3 \sim 6 \text{ m s}^{-1}$  (图 2b)。7 月 12 日以后随着日本低槽的加深发展, 西太平洋副高北抬, 淮河降水明显减少 (图略)。同时, 6 月我国北方大部地区主要处于平直的低压带中, 多小槽活动, 这与华北过去连续 4 年 6 月的大气环流形势不同, 使得华北降水较前 4 年明显增多, 而高温天气缓解。

研究表明<sup>[3, 4]</sup>, 江淮流域夏季的暴雨主要是受西太平洋副高、季风涌、青藏高原东移的中尺度低压槽和中高纬度冷空气活动 4 个因子的共同作用。图 3 是 2003 年 6 月下旬、7

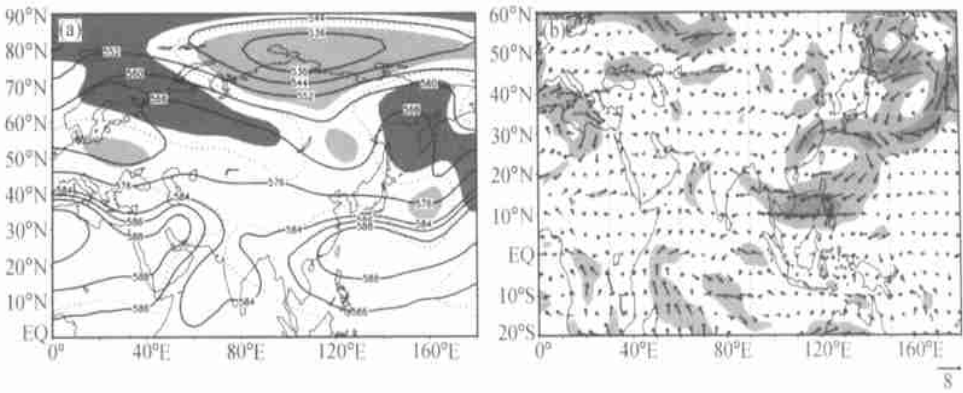


图 2 2003 年 6 月 29 日~7 月 11 日 (a) 500 hPa 高度及距平场 (单位: dgm)  
和 (b) 850hPa 风距平场 (单位:  $\text{m s}^{-1}$ )

图 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  
图 b 中, 阴影区: 水平风速距平大于  $3 \text{ m s}^{-1}$ , 气候平均场: 1971~2000 年

月上旬淮河流域致洪暴雨的天气配置。从图上可以看到, 2003 年 6 月 21 日, 副高北跳到  $25^{\circ}\text{N}$  以北, 江淮流域的梅雨开始。6 月底, 副高北抬到  $30^{\circ}\text{N}$  附近, 并持续维持。6 月底至 7 月上旬, 当副高脊线北抬到  $30^{\circ}\text{N}$  附近时 (图 3h), 副高在这期间有一次明显的西伸过程, 从  $135^{\circ}\text{E}$  附近向西伸到  $120^{\circ}\text{E}$  附近 (图 3g)。副高的这种短期振荡过程使淮河流域正好位于副高脊线的北侧和西风带南缘之间, 极有利于梅雨锋在 6 月底、7 月上旬维持在淮河流域。6 月下旬, 当副高北跳到  $25^{\circ}\text{N}$  以北后, 季风涌也到达我国江淮流域; 当副高维持在  $30^{\circ}\text{N}$  以南时, 沿副高西侧的西南气流输送大量的暖湿气流到达淮河流域 (图 3e), 使淮河流域在这期间成为高湿带, 为梅雨锋的维持提供了充足的水汽。

淮河流域地处  $30^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$  之间, 地理位置特殊。其降水既有副热带系统的特征, 又具有中纬度系统的特征。与长江流域及其以南的梅雨锋降水相比, 中高纬度的冷空气活动对这里的降水具有更强的影响。2003 年梅雨期中高纬度冷空气活动虽然频繁, 但强度较弱, 频繁的冷空气活动有利于梅雨锋的维持, 使得较强的降水集中于淮河流域。中高纬冷空气的活动具有 3~5 天的高频周期。6 月 29 日~7 月 11 日, 中高纬度先后有 3 次冷空气随偏北气流南下 (图 3c), 分别对应 6 月 29 日~7 月 1 日、7 月 3~5 日和 7 月 8~11 日的强降水过程 (图 3d)。冷空气经过我国的东北、华北到达淮河流域, 或者从西北地区进入淮河流域一带, 这两路冷空气交替影响, 造成了淮河流域的强降雨。

不少的研究表明, 青藏高原东移的系统对江淮流域梅雨锋降水有重要作用<sup>[4, 5]</sup>, 当高原上东移的系统到达梅雨锋上时, 梅雨锋上的扰动加强, 有利于梅雨锋上强降水的发生。6 月 27 日~7 月 11 日, 从高原东麓先后有 3 次中尺度低压槽东移 (图 3a)。当高原东移的中尺度扰动到达梅雨锋上时, 对应有 3 次强降水发生。

以上分析表明, 2003 年 6 月 29 日~7 月 11 日淮河流域的 3 次强降水过程, 主要是副高、季风涌、中高纬度冷空气活动以及青藏高原东移的中尺度高空槽 4 个因子共同作用的结果。副高的南北摆动和东西振荡过程使南海季风涌得以输送大量的暖湿空气到达淮河流域, 使梅雨锋持续维持在该地区。这期间, 来自中高纬度的 3 次冷空气活动与低空急流的共同作用, 加强了淮河流域上空的风切变和温度切变, 使得梅雨锋

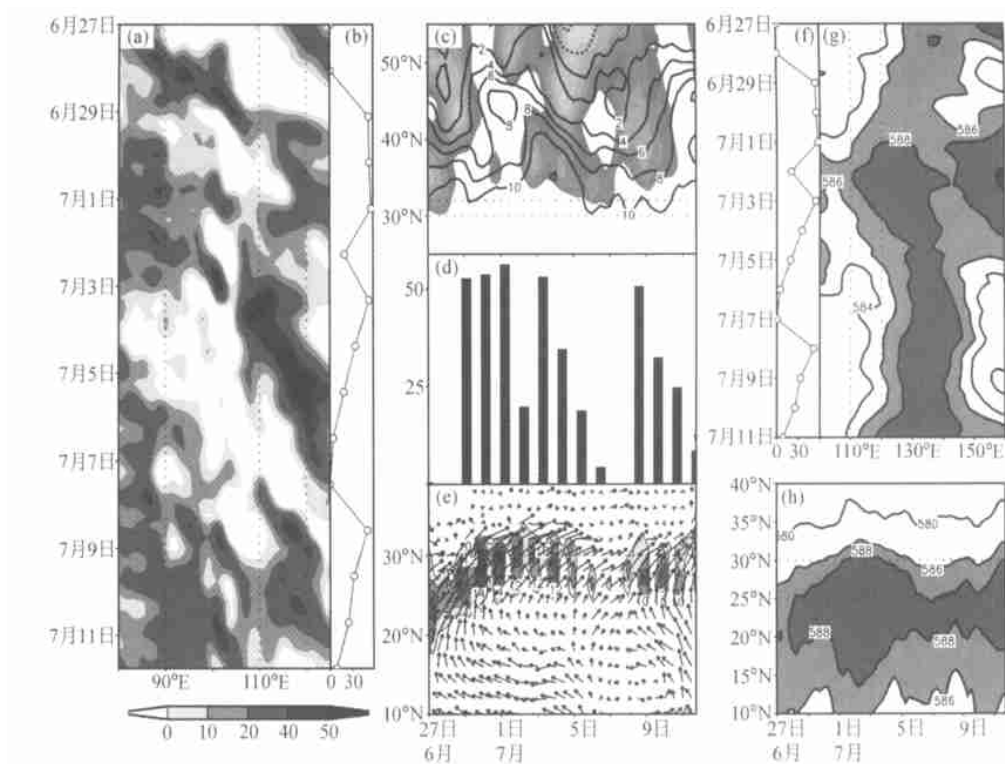


图3 2003年6月27日~7月11日淮河流域致洪暴雨的天气学模型

(a) 为沿  $32 \sim 34^\circ\text{N}$  的 600 hPa 涡度 (0, 单位:  $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ) 的经度-时间剖面; 为直观起见, (b)、(d)、(f) 均为淮河流域 ( $32 \sim 34^\circ\text{N}$ ,  $115 \sim 120^\circ\text{E}$ ) 逐日降水量 (单位: mm); (c) 为  $110 \sim 120^\circ\text{E}$  平均的 700 hPa 温度和经向风的时间-纬度剖面, 等值线间隔为 2, 实线表示温度  $> 0$ , 虚线表示温度  $< 0$ , 阴影: 偏北风 (温度  $< 0$ ); (e) 表示  $110 \sim 120^\circ\text{E}$  平均的季风涌随时间的演变, 箭头表示整层 (地面  $\sim 300$  hPa) 积分的水汽通量 (单位:  $\text{kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ), 阴影表示风速  $> 12 \text{ m s}^{-1}$ ; (g)、(h) 分别为 500 hPa 位势高度 (单位: 10 gpm)  $27.5 \sim 32.5^\circ\text{N}$  平均的经度-时间剖面 and  $110 \sim 130^\circ\text{E}$  平均的时间-纬度剖面

有 3 次强锋生过程 (图略), 并为暴雨的发生提供了有利的环境场。与此同时, 从青藏高原东移的扰动达到梅雨锋上时, 梅雨锋上的扰动加强, 有利于产生暴雨的中尺度对流系统在梅雨锋上发生、发展。

以上分析显示 2003 年淮河流域梅雨期强降水主要集中在 6 月底至 7 月上旬的两周内 (6 月 29 日~7 月 11 日), 共出现了 3 次强降水过程: 6 月 29 日~7 月 1 日、7 月 3~5 日、7 月 8~11 日。

第 1 次强降水过程 (6 月 29 日~7 月 1 日) 的降水中心位于淮河上游, 3 天的区域平均日降水量均在 50 mm 以上。这 3 天, 河南、安徽、江苏大部出现了大到暴雨, 局部地区大暴雨。多个雨量站的 24 h 降水量在 100 mm 以上。这次暴雨过程导致 7 月 3 日凌晨 1 时, 安徽蒙洼蓄洪区开闸行洪。7 月 3~5 日的降雨是导致淮河流域洪涝的主要降雨过程。7 月 3 日降水中心位于河南南部和安徽中部, 24 h 最大降水量为 249 mm, 淮河区域平均降水量也超过了 50 mm。4 日降水中心位于洪泽湖, 最大降水量为 274 mm。5 日强降水出现在江苏南部, 最大降水达 188 mm。由于这次降水过程是从淮河上

游向下游的移动性降水，这就使得雨水与来自上游的洪峰遭遇，此次过程将在别的文章中详细分析。在这次暴雨过程期间，梅雨锋云带上不断有强对流云团发展，强降雨主要是对流系统（MCS）造成，最强的降雨是 4 日 14 时~5 日 14 时之间发生的，由一个发展到中尺度的 MCS 造成（图 4）。

7 月 5~7 日，雨带南退到长江流域和江南。8~11 日，强降水重新出现在淮河流域。其中 8 日 08 时至 9 日 08 时，贵州南部、湖南西北部、湖北东部、河南东南部、江苏和安徽两省大部出现了大范围的 50~180 mm 的暴雨和大暴雨，湖南的永顺和张家界分别出现了 256 mm 和 379 mm 的特大暴雨；7 月 8 日夜，安徽省无为县受雷雨、大风和大暴雨袭击；百胜镇在 9 日 4 时突遭龙卷风袭击。7 月 12 日以后，随着日本地区低槽的加深发展，西太平洋副高北抬，淮河流域降水减弱。

关于江淮梅雨锋上的暴雨系统已有很多研究工作，特别是对 1991、1998 年的致洪暴雨有不少研究成果<sup>[6~10]</sup>，但 2003 年淮河流域在短时间内多次发生持续性大范围暴雨过程是过去不多见的，值得进一步开展研究工作。

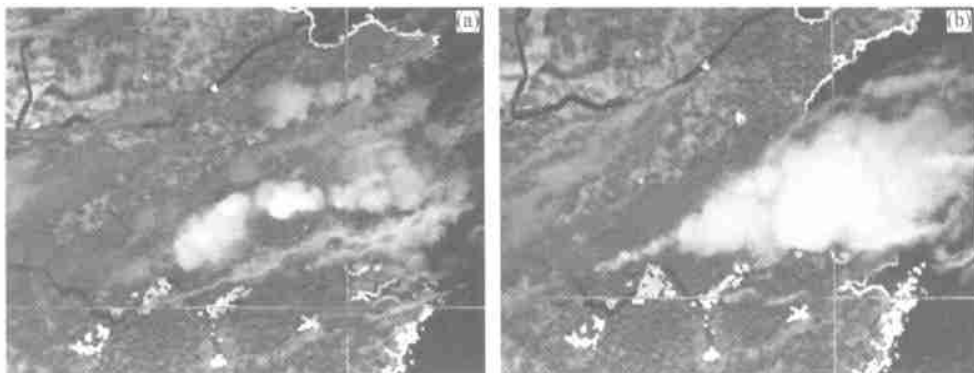


图 4 2003 年 7 月 4~5 日 GOES-9 红外云图  
(a) 4 日 23 时；(b) 5 日 05 时

### 3 副热带高压控制下的南方高温天气

2003 年南方地区出现了持续的大范围高温，这里我们定义日最高气温（ $T_{\max}$ ）大于 35 为高温天气。从逐日高温范围的演变看，东南沿海地区是 6 月 30 日开始出现大范围的高温，主要在福建、浙江两省。之后，逐渐扩展到江西、湖南、湖北等省。其中，7 月 14~17 日，除云南外的长江以南地区几乎都处于 35 以上的高温控制下，并出现了大范围的 40 以上的高温区。7 月 14 日浙江大部、福建、江西大部、湖南中南部和广东北部地区的最高气温为 38~40，其中，浙江的丽水和临海日最高气温达到 41，福建的闽清县高达 42.3，并且福建有 18 个县市极端最高气温创下 61 年以来的最高记录。7 月 15 日最高气温在 38 以上的区域又有所扩大，其中浙江大部、福建、江西、湖南中南部和广东中北部地区的最高气温为 38~40，部分地区达 41~42。福建省共有 45 个县市极端最高气温超过 38，其中有 17 个县市极端最高气温超过 40，以福安县 41.8 为最高（图 5a）。16 日最高温度为尤溪县的 42.4。据统计 7 月 14~16 日共有 33 个县市极端最高气温创下建站以来的最高记录。

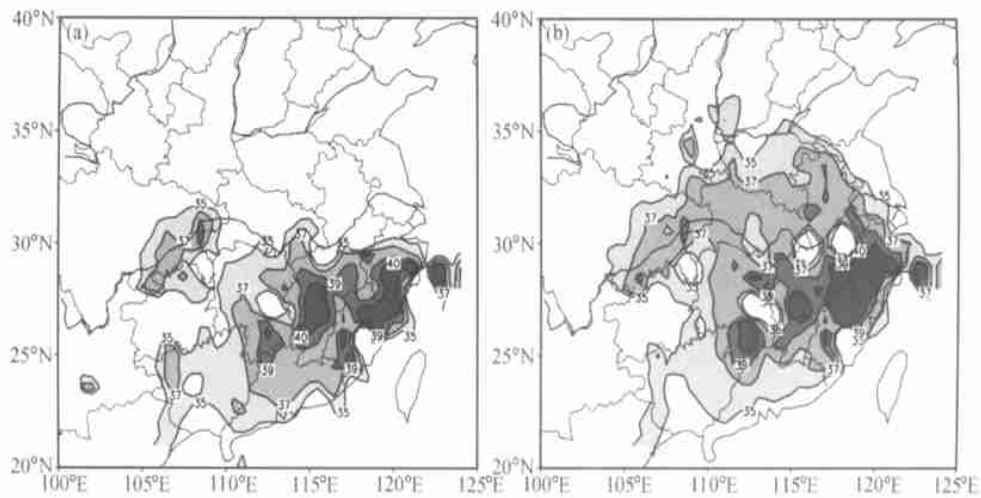


图5 7月15、30日的日最高气温分布(单位: )  
(a) 7月15日; (b) 7月30日

7月下旬, 高温区向北扩展到黄河以南地区, 江南地区 40 以上的区域也进一步扩大, 7月30日福建、浙江和江西的大部分地区最高气温在 40 以上(图5b)。8月12日以后, 高温天气得到缓解, 直到8月23日之前没有出现大范围的高温区。8月23日之后, 高温天气又出现在江淮流域及江南地区。

为了进一步分析不同区域高温天气的概况, 对6月1日~8月31日福州、杭州、武汉、重庆、南京、广州的最高、最低温度的演变作了分析, 这些城市的高温持续天数、最高气温以及高温最长的持续天数见表1。从几个主要城市的最高气温演变看, 福州在6月19日最早出现高温天气, 6月29日~7月22日连续24天最高温度超过 35 , 高温天数也最多, 达53天, 杭州的高温天气为43天。由此可以看出, 6~8月福建、浙江两省的高温天气日数最多。武汉的高温天数虽然少于杭州和福州, 但武汉有13天的最低气温大于 30 , 其中7月25日~8月3日连续10天的最低气温都超过 30 , 而其他城市最低温度很少大于 30 。重庆的高温天数与武汉相当, 南京、广州的高温日数相对要少, 分别只有21天和18天。

2003年夏季南方持续高温酷暑天气的原因何在? 副高的异常活动是主要原因之一。图6a、b分别是2003年6~8月的500 hPa高度沿30°N纬度-时间剖面图和沿120°E的经

表1 2003年6月1日~8月31日高温天气概况

| 城 市 | 高温天数/ d<br>( $T_{\max} \geq 35$ ) | 最高气温/ | 最长持续天数/ d<br>( $T_{\max} \geq 35$ ) |
|-----|-----------------------------------|-------|-------------------------------------|
| 福州  | 53                                | 41.7  | 24                                  |
| 杭州  | 43                                | 40.3  | 13                                  |
| 武汉  | 33                                | 39.5  | 12                                  |
| 重庆  | 32                                | 40.0  | 15                                  |
| 南京  | 21                                | 40.0  | 11                                  |
| 广州  | 18                                | 37.8  | 6                                   |

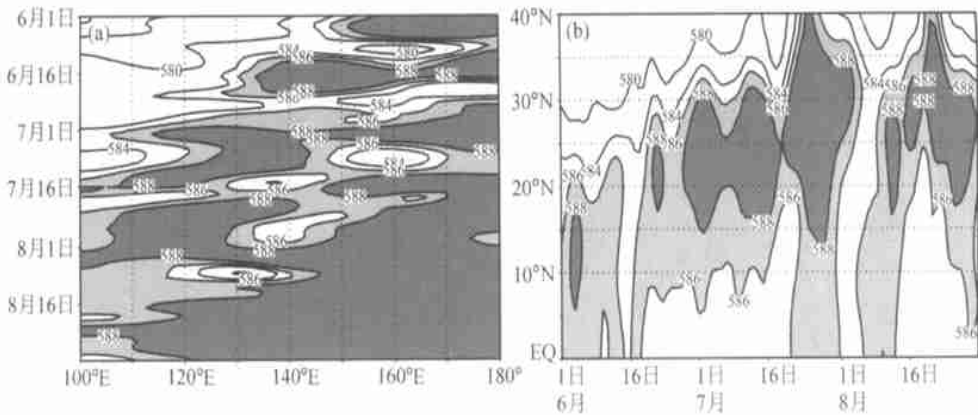


图6 2003 年6~8月500 hPa (a) 沿27.5~32.5°N 平均的纬度-时间剖面  
和 (b) 沿115~120°E 平均的经度-时间剖面 (单位: dgpm)  
深色阴影区: 大于588 dgpm, 浅色阴影区: 大于586 dgpm

度-时间剖面。西太平洋副高从6月底开始一直盘踞在江南、华南上空, 稳定少动; 7月下旬~8月西太平洋副高588 dgpm 北界基本稳定, 并西伸至120°E 以西, 长江流域以及江南地区在其控制下, 因而, 出现了近几十年少有的高温酷暑天气。上述地区气流下沉增温, 天空晴朗、阳光充足, 地面和近地面大气的温度居高不下。在此期间, 7月中旬副高最为强盛。南方出现持续高温天气与北方的情况不同, 南方是副高起着主导作用, 而北方的高温天气主要是大陆高压的作用所致<sup>[11, 12]</sup>。2003 年夏季, 不仅中国南方出现了罕见的持续高温天气, 全球副热带地区的副热带高压都异常强大, 欧洲大部受阻高与副高的共同影响, 出现了百年一遇的干旱酷暑天气, 同时, 美国西部地区也是干旱少雨。

2003 年夏季东亚中纬度地区西风带气流平直, 同时在梅雨期登陆台风偏少, 这是否与副高的稳定有一定关系, 是一个值得深入探讨的问题。往年北上台风和南下槽脊活跃, 副热带高压也会来回摆动。2003 年台风登陆时间偏晚, 时间相对集中。从6月中旬直到7月下旬, 没有直接影响我国的热带气旋。由于6、7月影响我国的台风偏少, 使西太平洋副高位置稳定少动。2003 年6~7月OLR (Outgoing Longwave Radiation) 分布表明赤道辐合带偏弱, 其可能是导致今年登陆台风偏少的一个原因。

#### 4 北方凉夏及降雨分析

2003 年夏季我国北方地区出现了近年来较少见的凉夏。7月500 hPa 高度距平场上 (图7a), 40°N 以北为低压带控制, 因此出现冷夏。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20日起, 华北出现连阴天, 河北南部、山东均出现强降水, 北京位于雨区的边缘。这段时期大的环流形势呈“东高西低”, 非常有利于华北地区降水的产生。2003 年8月500 hPa 亚洲北部的阻塞形势依然明显, 特别是乌拉尔山阻高, 40°N 以北地区为负距平区, 西太平洋副高加强, 西伸

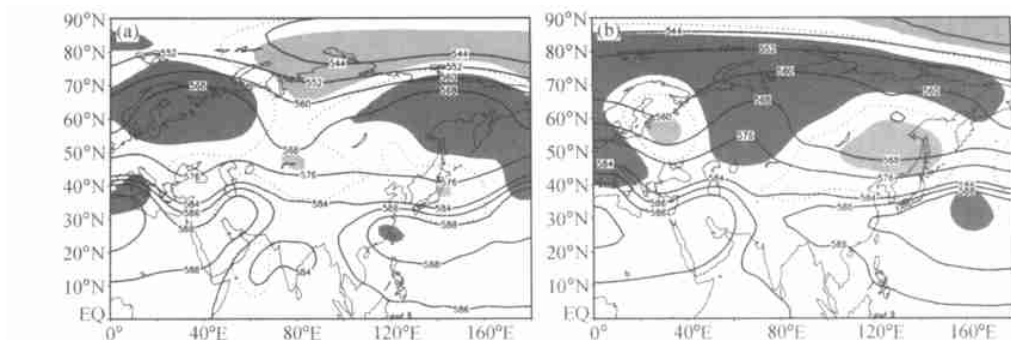


图7 2003年500 hPa平均高度场及其距平(说明同图2a)  
(a) 7月: (b) 8月

明显(图7b)。在这种环流形势的支配下,北方(除北京附近地区)大部地区降水偏多,气温偏低。黄河的主要支流—渭河在8月下旬还出现了致洪暴雨,东北地区出现了几年未见的低温冷害。而淮河以南的大部地区与北方凉夏不同,由于受副高的控制,出现了近几十年少有的干旱与高温酷暑天气。

对华北地区几个主要站点(北京、天津、石家庄和济南,图略)的日最高气温演变分析显示:高温的天数比较少,其中,北京9天,天津3天,石家庄14天,济南9天。北京地区的高温天气比前几年明显减少,最高气温为 $37.5^{\circ}\text{C}$ 。

平均而言,华北雨季在7月下旬~8月上旬。2003年夏季华北地区降水过程主要集中在7月下旬和8月,总降雨量从南向北减少,其中,山东、河北南部在500 mm以上,河北北部、内蒙古小于200 mm。图8给出了几个站点6月1日~8月31日的日雨量分布,北京(54511)、天津(54527)、石家庄(53698)、济南(54823)的总雨量分别为158、362、275、515 mm。从逐日雨量分布看,济南发生了3次暴雨过程,5次大雨过程,占了总雨量的70%~80%;天津也有6次大到暴雨过程;而北京只有1次过程降雨超过了20 mm(6月27日,为29.3 mm)。

以上分析表明,北京的雨量比天津少了近200 mm,为什么北京与天津的雨量有这么大的差别呢?图8显示两地的降雨过程基本一致,但过程雨量,大多是天津大于北京,特别是7月20~30日华北地区的连续阴雨过程,天津在20、26、27、30日分别产生了57.6、18.7、47.2、35共158 mm的降雨。而这段时间北京的总降雨量在30 mm左右,相差120 mm。下面我们将简单讨论一下7月下旬降雨过程中为什么北京的降雨量偏少。

7月下旬北京的低层大气基本上处于饱和状态,中层为干层,湿层上有逆温层,层结稳定。特别是27日,从天气形势、水汽等条件来说,华北具备出现暴雨的条件,低层辐合线出现在河北、山东一带,有冷空气沿太行山南下,所以27日河北的中南部普降暴雨(图略)。但北京没有产生较强降雨,北京探空(图9a)显示,500 hPa以下层结基本饱和,中上层的层结相对较干,在湿层与干层之间有明显的逆温层。27日08时的对流有效位能为 $1257\text{ J kg}^{-1}$ ,抬升指数(LI)为-4。处于降雨区中的河北邢台(27日降雨量为52.8 mm)探空(图9b),虽然低层的湿度没有北京大,但中上层没有北京的干层,逆温层在低层。从层结分布看,北京的中上层湿度较低,干层与湿层之间的逆温层阻挡了水汽向上输送,但对流有效位能较大,如有强的抬升机制出现,会有利于强对流的发生。



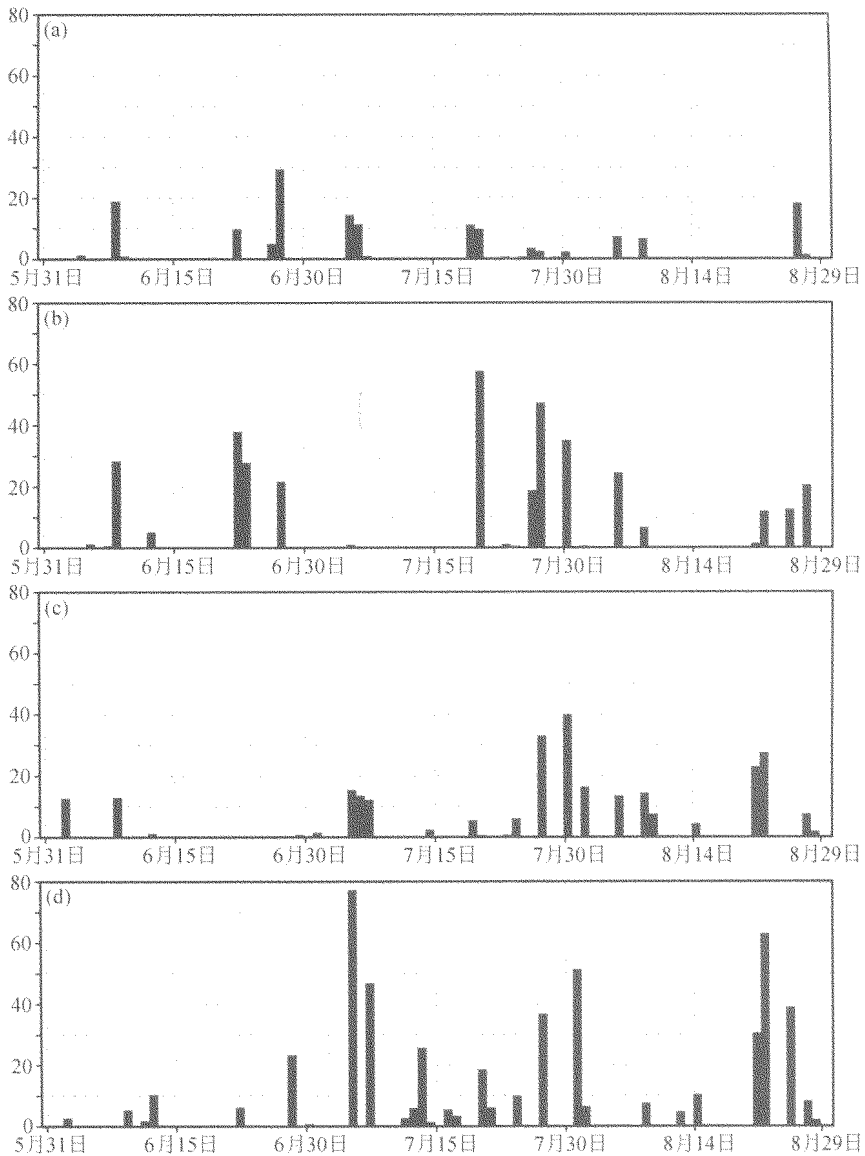


图8 2003年6月1日~8月31日日降雨量演变(单位: mm)  
(a) 北京(54511); (b) 天津(54527); (c) 石家庄(53698); (d) 济南(54823)

## 5 汛期降雨实时预测结果及分析

2003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<sup>[13]</sup>,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,模式释用以及预测产品的输出。模式释用模块目前处于试验阶段,每天的实时预测目前尚没有采用这个模块,只针对个别个例进行试验。

实时预测中是以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在

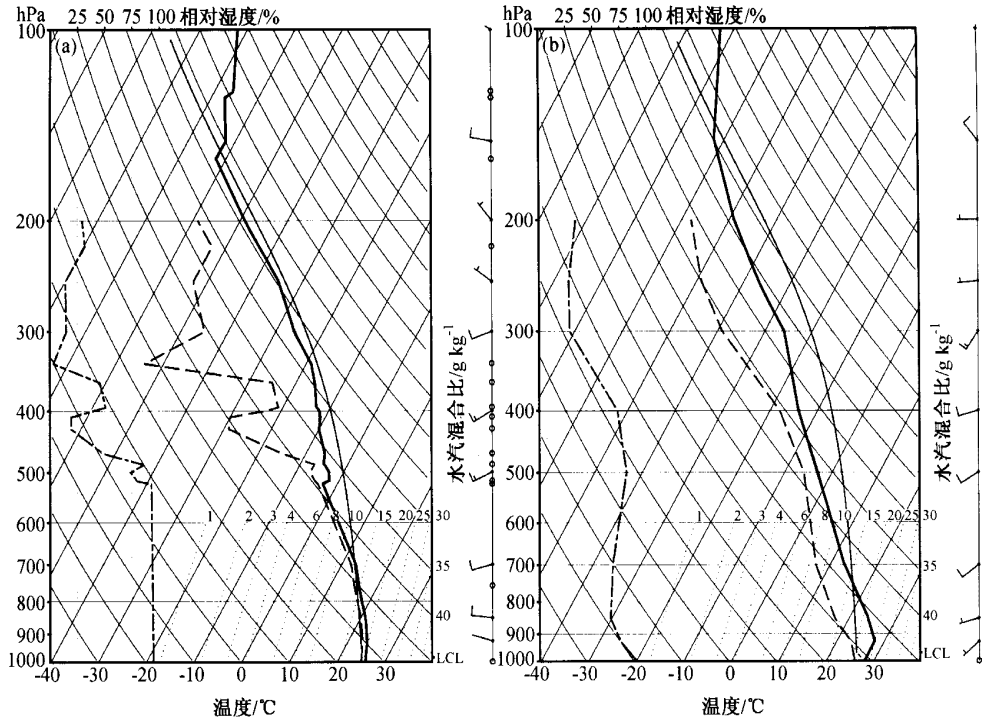


图9 2003年7月27日08时(北京时)探空分析

(a) 北京; (b) 邢台

点虚线: 相对湿度, 粗实线: 温度, 细实线: 干绝热, 虚线: 露点温度, LCL: 抬升凝结高度

背景场的基础上作再分析, 形成初始场, 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 km、15 km, 格点数分别为 100 × 120、142 × 163, 6 月 1 日~7 月 20 日中心点位于 (30°N, 120°E), 6 月 21 日后, 由于主雨带向北移, 预测区域的中心点调整到 (40°N, 120°E)。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)。

对预测结果进行了 TS (Threat score) 评分,

$$TS = \frac{N_A}{N_A + N_B + N_C},$$

其中,  $N_A$  为预报正确的格点数,  $N_B$ 、 $N_C$  分别为空报、漏报的格点数。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, 根据过去的经验, 模式对江淮及其以南区域的预测效果相对较好, 对北方的降雨, 特别是华北的降雨预测效果相对差一些。所以, 除了对中国区域的评分外, 还对江淮地区 (25~35°N, 110°E 以东) 和华北地区 (35~45°N, 110~120°E), 包括山东半岛) 分别进行了评分。

2003 年夏季主要的雨带位于江淮, 特别是淮河流域。另外, 北方地区出现了几年来少见的凉夏, 华北的大部分地区降雨也比较多。因此, 下面将分别对江淮梅雨和华北降雨的预测结果进行总结。

5.1 江淮梅雨预测试验结果

江淮梅雨期每日的实时降雨预测 TS 评分见表 2、表 3，10、25、50 mm 降水的 45 km 格距预测结果的平均评分分别为：58.5、44.8、23.2，15 km 格距预测结果的平均评分分别为：56.4、43.1、23.0，结果令人鼓舞。从 TS 评分看，15 km 格距的预测结果并不比 45 km 格距的预测结果好，15 km 格距的 TS 评分在各级都比 45 km 的评分略低，但从另一方面看，因评分是针对模式格点，15 km 格距预测的格点数多，因此，仅从 TS 评分上还不能说 15 km 格距预测结果比 45 km 的结果差。从每日的具体预测看，15 km 格距预测结果的暴雨中心明显比实况偏多，这也可能是目前的观测资料达不到模式格点的密度，影响了评分结果，但还需今后进一步验证。另外，对 50 mm 的 TS 评分为零，并不一定是预报错误，其中，6 月 21 日江淮地区实况就无 50 mm 以上的暴雨，对 50 mm 以上暴雨完全没有预测出来的只有 7 月 2 日。

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。其中个别日期的暴雨预测与实况几乎完全一致，如 6 月

表 2 2003 年梅雨期 45 km 格距降水预报评分

| 日期       | 10 mm | 25 mm | 50 mm | 日期       | 10 mm | 25 mm | 50 mm |
|----------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|
| 6 月 21 日 | 30.34 | 18.75 | 0.00  | 7 月 2 日  | 56.25 | 27.08 | 0.00  |
| 6 月 22 日 | 63.75 | 53.22 | 34.31 | 7 月 3 日  | 77.88 | 58.82 | 45.71 |
| 6 月 23 日 | 64.56 | 59.26 | 38.78 | 7 月 4 日  | 36.69 | 35.00 | 36.84 |
| 6 月 24 日 | 67.31 | 69.93 | 59.09 | 7 月 5 日  | 56.84 | 44.63 | 5.45  |
| 6 月 25 日 | 54.05 | 34.15 | 8.51  | 7 月 6 日  | 52.80 | 42.31 | 4.55  |
| 6 月 26 日 | 65.28 | 51.11 | 24.24 | 7 月 7 日  | 26.06 | 10.29 | 4.17  |
| 6 月 27 日 | 60.70 | 50.46 | 38.46 | 7 月 8 日  | 71.23 | 68.75 | 44.09 |
| 6 月 28 日 | 43.28 | 24.61 | 14.29 | 7 月 9 日  | 64.32 | 60.16 | 42.10 |
| 6 月 29 日 | 71.61 | 56.79 | 11.67 | 7 月 10 日 | 72.25 | 42.52 | 18.06 |
| 6 月 30 日 | 75.47 | 61.61 | 34.29 | 7 月 11 日 | 48.31 | 27.87 | 20.00 |
| 7 月 1 日  | 69.39 | 43.64 | 2.33  |          |       |       |       |

表 3 2003 年梅雨期 15 km 格距降水预报评分

| 日期       | 10 mm | 25 mm | 50 mm | 日期       | 10 mm | 25 mm | 50 mm |
|----------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|
| 6 月 21 日 | 29.04 | 16.03 | 0.00  | 7 月 2 日  | 51.01 | 26.83 | 0.00  |
| 6 月 22 日 | 62.41 | 55.49 | 31.89 | 7 月 3 日  | 71.90 | 56.25 | 43.20 |
| 6 月 23 日 | 64.16 | 50.56 | 31.92 | 7 月 4 日  | 36.78 | 35.12 | 44.04 |
| 6 月 24 日 | 66.01 | 67.21 | 55.05 | 7 月 5 日  | 51.27 | 37.66 | 4.66  |
| 6 月 25 日 | 51.82 | 33.95 | 14.35 | 7 月 6 日  | 54.03 | 51.38 | 6.74  |
| 6 月 26 日 | 64.12 | 48.17 | 19.52 | 7 月 7 日  | 23.80 | 11.26 | 5.79  |
| 6 月 27 日 | 59.56 | 44.91 | 33.51 | 7 月 8 日  | 67.28 | 68.46 | 45.65 |
| 6 月 28 日 | 42.55 | 21.54 | 17.61 | 7 月 9 日  | 64.18 | 56.90 | 39.92 |
| 6 月 29 日 | 70.52 | 54.67 | 17.60 | 7 月 10 日 | 70.10 | 43.87 | 19.45 |
| 6 月 30 日 | 72.39 | 58.71 | 34.74 | 7 月 11 日 | 45.73 | 25.81 | 11.62 |
| 7 月 1 日  | 65.04 | 40.96 | 5.94  |          |       |       |       |

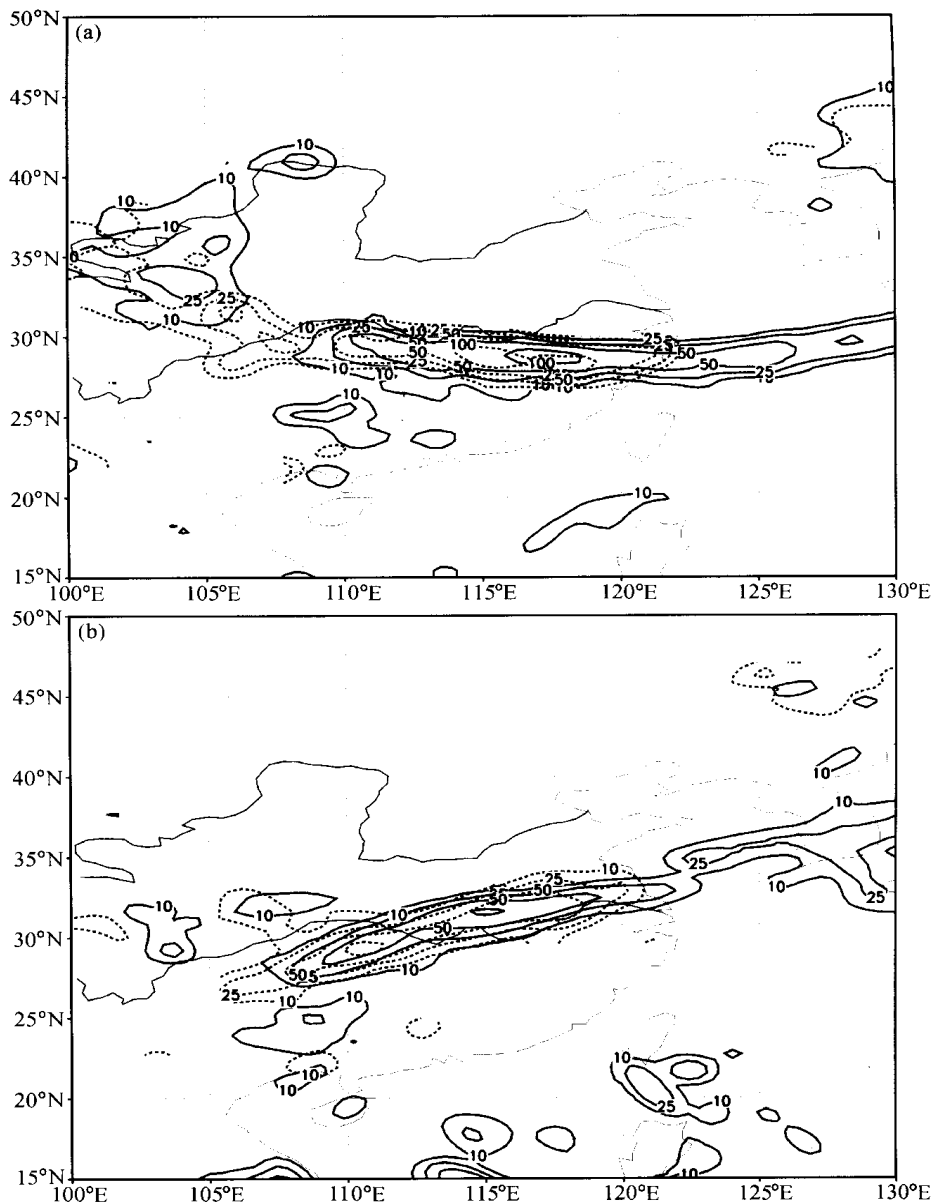


图 10 预测 (实线) 和实况 (虚线) 24 h 降雨量 (单位: mm)  
(a) 6 月 24 日 08 时~25 日 08 时; (b) 7 月 9 日 08 时~10 日 08 时

24 日、7 月 9 日 (图 10)。6 月 24 日和 7 月 9 日 2 天的中国区域 50 mm 以上暴雨区的 TS 评分分别为 48.8, 42.1。但也有一些个例预测效果不是太好, 如 7 月 2、5、6、7 日, 这几日的暴雨区相对较小或较分散。从整个梅雨期的预测结果看, 对带状的雨带预测效果比分散的雨区要好一些。

## 5.2 华北降雨的预测试验结果

2003 年华北大部分地区降雨较常年偏多, 表 4 是 2003 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, 15 km 格距的预测结果与 45 km 预测结果相似。相

表 4 2003 年夏季华北降水 45 km 格距预报评分

| 日期       | 10 mm | 25 mm | 50 mm | 日期       | 10 mm | 25 mm | 50 mm |
|----------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|
| 6 月 2 日  | 61.02 | 8.00  | 0.00  | 7 月 31 日 | 42.65 | 22.22 | 66.67 |
| 6 月 8 日  | 40.77 | 26.32 | 0.00  | 8 月 1 日  | 33.33 | 25.00 | 0.00  |
| 6 月 9 日  | 39.17 | 11.54 | 0.00  | 8 月 4 日  | 18.97 | 10.00 | 0.00  |
| 6 月 21 日 | 17.19 | 25.00 | 0.00  | 8 月 5 日  | 42.33 | 25.00 | 0.00  |
| 6 月 22 日 | 54.80 | 52.21 | 56.10 | 8 月 6 日  | 33.33 | 0.00  | 0.00  |
| 7 月 7 日  | 24.67 | 12.82 | 0.00  | 8 月 7 日  | 22.06 | 17.65 | 0.00  |
| 7 月 8 日  | 36.84 | 28.57 | 0.00  | 8 月 14 日 | 24.24 | 0.00  | 0.00  |
| 7 月 11 日 | 14.29 | 14.29 | 0.00  | 8 月 15 日 | 25.35 | 9.52  | 0.00  |
| 7 月 12 日 | 26.67 | 5.00  | 0.00  | 8 月 17 日 | 30.00 | 0.00  | 0.00  |
| 7 月 13 日 | 76.67 | 51.06 | 0.00  | 8 月 21 日 | 25.00 | 0.00  | 0.00  |
| 7 月 20 日 | 34.27 | 5.09  | 0.00  | 8 月 22 日 | 33.90 | 17.24 | 0.00  |
| 7 月 24 日 | 39.82 | 14.06 | 0.00  | 8 月 23 日 | 63.23 | 32.69 | 28.57 |
| 7 月 25 日 | 36.89 | 3.85  | 0.00  | 8 月 24 日 | 17.19 | 0.00  | 0.00  |
| 7 月 26 日 | 37.56 | 9.26  | 10.00 | 8 月 25 日 | 67.42 | 63.49 | 18.52 |
| 7 月 27 日 | 59.30 | 18.81 | 4.55  | 8 月 26 日 | 46.83 | 30.10 | 5.77  |
| 7 月 28 日 | 17.07 | 0.00  | 0.00  | 8 月 27 日 | 28.80 | 0.00  | 0.00  |
| 7 月 29 日 | 39.52 | 22.41 | 0.00  | 8 月 28 日 | 37.00 | 20.59 | 0.00  |
| 7 月 30 日 | 41.10 | 32.73 | 10.00 | 8 月 30 日 | 17.35 | 2.17  | 0.00  |

而言，对华北降雨的预测不如对江淮梅雨的预测，其 10、25 mm 的平均评分为 36.3、17.16，对雨区的预测还是较好的。华北由于发生暴雨的次数较少，较难给出平均效果，但总体看来，除个别例子暴雨区预报较好外，一般暴雨区预测的评分都比江淮要偏低，这主要是由于北方地区的暴雨区一般都较分散，突发性和局地性较强造成。

模式对华北地区降雨的预测评分比江淮地区要低，这可能是由于华北地区降雨，特别是暴雨产生的环流条件与江淮梅雨有较大不同，模式中的物理过程，特别是降水的物理过程还未能较好反应华北地区的实际情况。看来，要提高华北地区降雨的预测水平，今后，还有大量工作要做。

6 小结与讨论

(1) 对 2003 年淮河下游致洪暴雨的分析发现，降水集中发生在 2 周之内，淮河流域的大洪水主要是由 6 月 29 日~7 月 1 日、7 月 3~5 日、7 月 8~11 日 3 次集中的大面积强暴雨过程引发，尤其是 7 月 3~5 日，来自淮河上游的洪水与下游的暴雨“遭遇”，更加剧了洪水水情。6 月底至 7 月上旬副高、季风涌、青藏高原东移的中尺度高空槽以及冷空气的活动 3 次处于最有利于暴雨发生的配置，位于淮河流域上空的梅雨锋加强，梅雨锋上的扰动频繁，强的风切变引起低层强的辐合上升运动，从而引发 3 次大暴雨过程。

(2) 2003 年夏季高温开始于 6 月下旬，7 月下旬高温天气的范围进一步扩大，其中以福建高温持续时间最长。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 月下旬 ~ 8 月西太平洋副高稳定控制江南地区。与南方的高温相反, 北方出现了近年少见的凉夏, 这是因为中纬度地区处于平直的低压带中, 多小波动活动造成。

(3) 从实时预测结果看, 对 2003 年 6 ~ 8 月江淮雨带及其暴雨中心的预报比较准确, 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低, 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较好反应华北地区的特殊情况, 以及华北地区周边国家资料较少的缘故等。

**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、金祖辉等研究员的指导和参与下, 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 陈红、孙建华、贝耐芳等, 1998 年 IAP 汛期暴雨预测结果的分析研究, 气候与环境研究, 1998, **3** (4), 382 ~ 389.
- 2 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.
- 3 Zhang Shunli, Tao Shiyun, Zhang Qingyun, Large and meso-scale characteristics of intense rainfall in the mid- and lower reaches of the Yangtze River, *Chinese Science Bulletin*, 2002, **47** (9), 779 ~ 786.
- 4 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.
- 5 江吉喜, 夏季青藏高原上的对流云和中尺度对流系统, 大气科学, 2002, **26** (2), 19 ~ 27.
- 6 丁一汇主编, 1991 年江淮流域持续性特大暴雨研究, 北京: 气象出版社, 1993, 255pp.
- 7 陶诗言、倪允琪、赵思雄、陈受钧、王建捷等著, 1998 年夏季中国暴雨的形成机理与预报研究, 北京: 气象出版社, 2001, 184pp.
- 8 徐亚梅、高坤, 1998 年 7 月 22 日长江中游中低涡的数值模拟及分析, 气象学报, 2002, **60** (1), 85 ~ 95.
- 9 贝耐芳、赵思雄, 1998 年“二度梅”期间突发强暴雨系统及其环境场研究, 大气科学, 2002, **26** (4), 526 ~ 540.
- 10 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.
- 11 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.
- 12 孙建华、陈红、赵思雄、曾庆存等, 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.
- 13 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.

## The Abnormal Weather in the Summer 2003 and Its Real-Time Prediction

Sun Jianhua, Wei Jie, Zhang Xiaoling, Chen Hong  
Zhao Sixiong, and Tao Shiyun

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

**Abstract** The abnormal weather in the summer 2003 and prediction results for rainy season in the Institute of Atmospheric Physics, the Chinese Academy of Sciences are introduced. Torrential heavy rainfall successively occurs over the Huaihe River basin within two weeks (from 29 June to 11 July), which results in severe flood. From late June to early July, the four factors, including subtropical high of West Pacific, moisture surge from South China Sea, cold air outbreaks from the middle and high latitude and the meso- systems propagating eastward from the Tibetan Plateau, are synergetic or in phase lock at three times, which induce to intensifying of Meiyu front and create the intense rainfalls and severe flood. The continuous hot weather over southern China is associated with the variation of subtropical high of West Pacific, especially, subtropical high control most of the southern China from late July to August stably. On the contrary, the small troughs frequently propagating eastward along westerly belt induce to the relatively cold weather in North China. The real-time prediction for rainy season (June, July, and August) shows that the prediction for the rain belts and severe heavy rainfall over the Huaihe River and the Yangtze River basins is relatively better than that over North China. The physical processes, especially, moisture physical process, are very important to improve prediction of rainfall over North China.

**Key words:** hot weather; numerical weather prediction; moisture surge; heavy rainfall