

2005年夏季中国东部气候异常分析

——中国科学院大气物理研究所短期气候预测检验

卫捷 孙建华 陶诗言 张庆云

中国科学院大气物理研究所, 北京 100029

摘要 简要比较了中国科学院大气物理研究所对2005年夏季中国降水跨季度预测与实况的异同, 并对2005年夏季我国主要雨带及降水偏少区的形成与东亚热带、副热带以及中高纬度大气环流系统的配置进行了分析。对2005年夏季西太平洋副高的异常活动预测不好, 这是造成跨季度降水预测有失误之处的主要原因之一。2005年夏季在亚洲对流层中高层, 沿着副热带急流轴准静止 Rossby 波有几次能量传播过程, 西太平洋副高的北抬与西伸与副热带急流中 Rossby 波的活动强度有一定的对应关系, 因而产生了亚洲不同地区高影响性的灾害性天气。

关键词 气候特点 大气环流 气候预测

文章编号 1006-9585 (2006) 02-0155-14 **中图分类号** P434 **文献标识码** A

The Analysis of Anomalous Climate of Eastern China in Summer of 2005

—The Verification of Seasonal Climate Predictions of Institute of Atmospheric Physics

WEI Jie, SUN Jian-Hua, TAO Shi-Yan, and ZHANG Qing-Yun

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

Abstract The ensemble seasonal climate prediction for the rainfall of 2005 summer and its verification is compared. The formation of the summer rainfall belts and the precipitation deficit regions in eastern China is analyzed versus the distribution of atmospheric circulation in Asia. The poor prediction of anomalous activities of the subtropical high over the western Pacific (SHWP) in summer is the main reason for the discrepancy. The northward moving of the SHWP is related to propagation of stationary Rossby waves along the Asian jet and the energy propagation processes of stationary Rossby wave lead to the high effect weather in various parts of Asia in summer of 2005.

Key words climatic feature, atmospheric circulation, seasonal climate prediction

1 引言

近十几年来中国科学院大气物理研究所每年提供我国汛期(6~8月)降水的跨季度预测, 为减轻气候灾害所带来的损失提供了有意义的信息。

2005年的短期气候预测, 对淮河流域的多雨区与河套西北部—内蒙古东北部的少雨区预报失误。2005年夏季前期与同期大气外强迫作用较弱, 从2005年 Niño 3.4 区与西太平洋暖池海面温度异常(SSTA)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热带大

收稿日期 2006-02-10 收到, 2006-03-01 收到修定稿

资助项目 国家重点基础研究发展规划项目 2004CB418301 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

气主要物理因子其演变特征的分析是基本准确的,但对于西太平洋副高与中高纬度大气环流的演变趋势预测有误。中国大部地区夏季各个月间大气环流及其气候特征有明显不同,且其地区性差异十分明显。当某些关键地区的降水预测有误后,其他地区的降水也容易出现预测偏差。对于我国东部地区,夏季降水预测的一个关键点是对于江淮流域梅雨的预测。张顺利等^[1]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 中尺度对流系统有密切的关系。

2005 年夏季在多年气候平均的梅雨期里(6月18日~7月10日),我们预测梅雨期前期副高偏南,这与实况比较一致,主要雨带维持在华南与江南南部地区。而后期没有预计到副高的第1次北跳后位置偏北,这使得主要雨带直接跨过长江流域到达了淮河流域。此外,由于预测7月亚洲中高纬度的鄂霍次克海地区出现阻塞高压的可能性比较大(实况是没有出现),所以,预测梅雨期后期可能出现在江淮流域的降水并没有出现。在华北地区的降水集中期“七下八上”前后近一个月里,中国东部大部地区受第2、3次强烈北抬西伸的副高控制,出现大范围高温酷暑天气,仅在副高的西北边缘地区出现了局地性降水过程。对于西太平洋副高与中高纬度大气环流的演变趋势预测有误,这是造成淮河流域的多雨区与河套西北部—内蒙古东北部的少雨区预报失误的主要原因之一。

本文对2005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,分析了2005年夏季亚洲季风区大气环流的基本特征及其对我国天气与气候的影响。对造成2005年跨季度预测失败的主要因素——西太平洋副高的异常活动进行了分析。最后,对2005年夏季跨季度气候预测存在的问题进行了一些讨论。

2 2005 年夏季我国降水预测与实况

在2005年3月我们根据:1)2004年年底发生在赤道东太平洋的弱 El Niño 事件,预计在2005年春季逐渐减弱,直至2005年秋季热带太平洋的海温基本上维持正常态;同时,2004年冬至

2005年春青藏高原积雪较多。受这种大气外强迫作用的影响,东亚夏季风环流可能偏弱,夏季主要降水带可能位于长江流域及其以南地区,华北地区降水可能偏少。2)IAPDCP-II 与 IAP9L-AGCM 气候距平预测模式预报2005年夏季我国的降水以两条雨带为主,一条雨带位于华南与江南地区,另一条雨带位于华北北部—东北地区。预计2005年汛期主雨带可能位于长江中下游及江南北部地区,降水偏多2成左右,局部地区可能出现洪涝;我国华南沿海地区、河套西北部以及内蒙古大部至东北西北部降水可能正常或略偏多;新疆大部地区降水也可能偏多2成左右。华北大部、东北东部地区降水可能正常或略偏少,局部地区可能出现旱情(图1a)。预计2005登陆我国的台风数正常或略偏少。

2005年6月中旬,我们根据:1)2004/2005年冬季~2005年5月对流层高层南亚地区一直维持偏强的西风环流,而且5月青藏高原感热加热偏弱;同时,2005年4~5月南半球副热带环流包括马斯克林高压偏弱,索马里急流亦偏弱。此外,2005南海夏季风与印度夏季风爆发比正常年份偏晚10天左右。这些大气环流的异常特征表明2005年夏季东亚季风环流可能偏弱,我国雨带向北推进可能比正常年份偏迟。2)IAP DCP-II 与 IAP/LASG GOALS 4.0 数值模式的最新滚动预报表明,在2005年春季降水预测分析中所利用的前兆因子其演变趋势基本准确,6月数值模式的降水预测结果与3月类似。我们基本维持3月所做的汛期降水趋势预测,对夏季主要雨带的可能位置进行了局部订正(图1b)。

2005年夏季全国大部地区降雨量接近常年同期或偏多,为1999年以来同期最多的一年。除内蒙古、宁夏和甘肃中部、黑龙江北部等地部分地区降雨量明显偏少、发生严重夏旱外,夏季干旱灾害较常年同期轻。湖北北部至淮河流域、新疆大部、吉林和广东部分地区降水较常年同期偏多3~5成,其中新疆东南部偏多2倍以上。珠江、湖北、湖南、淮河流域及辽宁、新疆等地发生严重暴雨洪涝灾害(图1c)。

比较2005年夏季我国降水的综合预测结果与实况(图1a、b和c),可以看到,预测效果较好的地区有华南与江南南部、长江上游、环渤海地

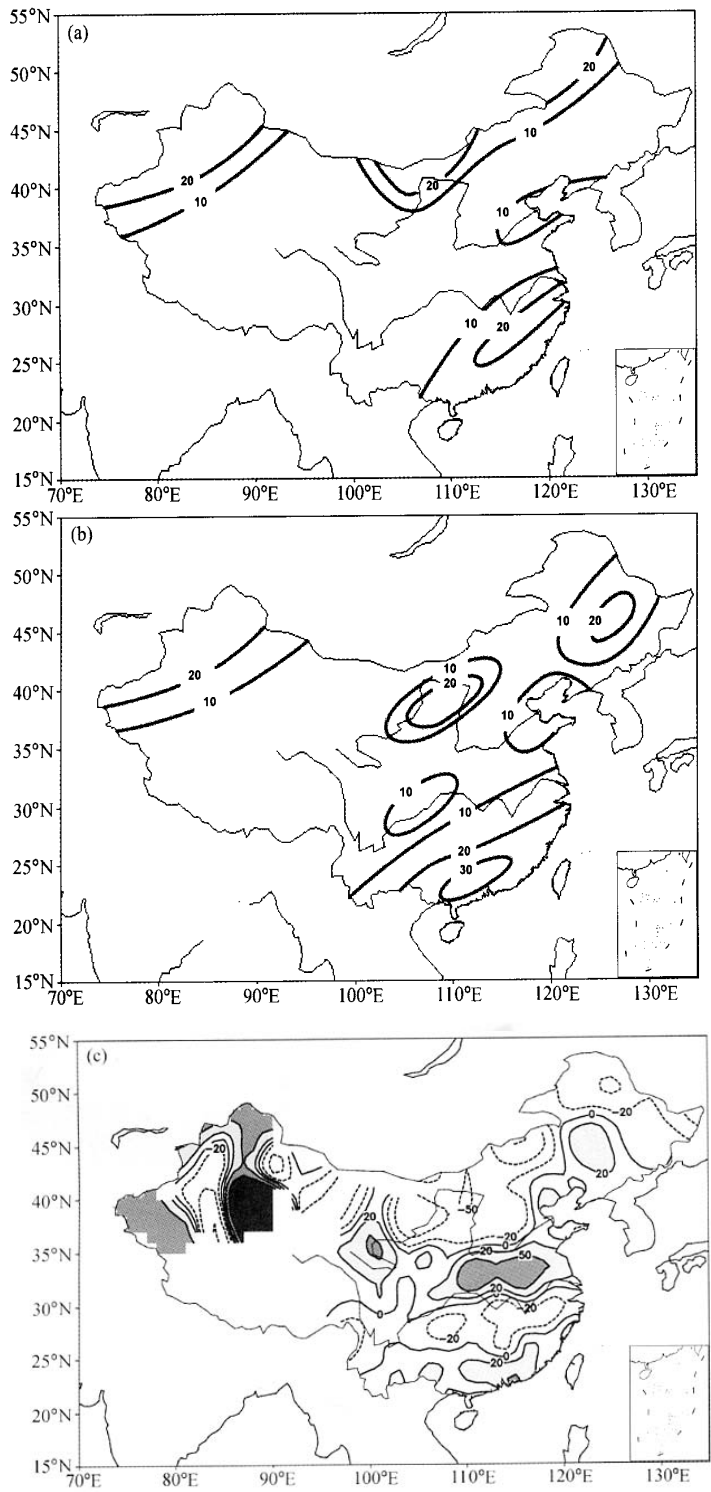


图 1 2005 年夏季我国降水距平百分率 (单位: %): (a) 3 月集成预测; (b) 6 月集成预测; (c) 实况
Fig. 1 The percentage anomalies of precipitation (%): (a) The ensemble prediction in March; (b) the ensemble prediction in June; (c) observed precipitation anomaly

区及山东、东北三江平原、新疆大部的多雨区和华北大部的少雨区；对于淮河流域的多雨区与河套西北部—内蒙古东北部的少雨区预报失误。我们较好地预测出 2005 年夏季影响我国的台风数，对登陆我国的热带风暴估计不足。

3 2005 年夏季我国主要天气过程与大气环流特征

张顺利等^[1]总结的长江流域暴雨产生的天气学模型，不论是对以往典型个例的分析研究，还是在近几年天气预报的试验中，都有应用与证实^[2~4]。本节借鉴这种将降水过程与大气环流的演变结合起来的分析方法，通过分析我国东部华南地区、长江中下游地区、淮河流域及华北地区区域平均的降水过程及其与东亚大气环流主要系统的配置，讨论夏季主要雨带与少雨区的形成。

华南地区位于东亚中低纬度地区，夏季降水过程主要受冷暖空气对峙产生的准静止锋以及台风的影响。2005 年夏季华南地区降水特点以及与大气环流系统的配置，在图 2 中有很好的反映。6 月中下旬华南、江南部分地区出现强降雨天气过程，受其影响广西西江出现百年一遇洪水，福建闽江出现 1935 年以来最强洪水，广东东江出现洪水并与天文潮碰头造成严重洪涝。这次降水过程使得华南地区成为夏季南方主要雨带所在地区。其后，2005 年第 5 号台风“海棠”于 7 月 19 日在福建省连江市登陆后，向西北方向移动并迅速减弱成为热带风暴，使得华南地区出现夏季伏旱期里的一个降水峰值。第 8 号热带风暴“天鹰”于 7 月 30 日在海南省琼海市沿海登陆，受其影响海南大部、广东中南部出现了大到暴雨，华南地区出现夏季伏旱期里的第二个弱降水峰值。强热带风暴“珊瑚”于 8 月 13 日登陆广东汕头，广东与广西大部、湖南中西部等地出现了大到暴雨。8 月下旬，珠江三角洲地区再次出现连续性的暴雨过程（图 2d）。华南地区的降水过程与 600 hPa 的气旋性扰动有很好的对应关系，而且在强降水期里，次天气尺度系统比较活跃（图 2a）。2005 年夏季南海夏季风于 5 月第 6 候出现爆发特征，爆发日期比正常年份略偏晚，6 月中旬季风涌振荡中向北推进其北界到达 25°N 附近，随后一直稳定在该

地区直到 6 月下旬，这期间季风涌携带的大量水汽主要汇集到华南地区。同时，2005 年 6 月中高纬度的冷空气活动较强，其影响的南界可达 30°N 以南地区，冷、暖空气在华南地区交汇，产生稳定的华南准静止锋。整个 7 月到 8 月中旬，南海地区对流相对不活跃，季风涌向北推进的特征不明显。8 月中下旬，伴随南海季风涌又一次向北推进（泰国北部连降暴雨引发了 40 年来最严重的洪灾），以及 8 月中旬一次夏季最强的冷空气南下，华南地区特别是珠江三角洲地区又产生了一次较强的降水过程（图 2c、e）。

长江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 α 中尺度对流系统有密切的关系。图 3 表示了 2005 年夏季这些环流与天气系统的配置以及长江流域降水的特点。2005 年整个夏季长江流域的降水基本上没有集中期，降水时空分布比较均匀。7 月中旬以前以西风带低槽东移产生的过程性降水居多，没有典型的梅雨期，基本上是属于“空梅”的情况。7 月中旬以后降水的产生主要是受 2 个登陆台风的影响（图 3d）。2005 年夏季西太平洋副热带高压南北与东西位置变化很大，沿 30°N 的西太平洋副高，从 6 月初至 6 月底，北界与脊线位置明显偏南，这个时期我国的降水主要集中于华南与江南南部地区。副高第一次明显的北跳没有出现在气候平均的 6 月中旬，而是出现在 6 月下旬末。7 月初其 586 dgpm 线的北界位置到达了 30°N 以北（比气候平均的位置偏北），使得雨带基本上直接跨过长江流域到达了淮河流域，淮河流域降水显著增多。伴随副高在这期间有一次明显的西伸过程，副高 588 线西界基本稳定 120°E 附近，长江流域以及江南地区出现了一次大范围、持续性高温酷暑天气。7 月中旬，副高第二次北跳，其 588 线北界到达 40°N 以北，同时西界基本上稳定 120°E 以西地区，副高控制了中国大陆东部大部分地区，出现大范围高温酷暑天气。7 月 19 日第 5 号台风“海棠”在福建省连江市登陆后取西北行路径、第 9 号热带风暴麦莎（MATSA）于 8 月 6 日在浙江省玉环县登陆后取北上路径，给长江流域带来了伏旱期里的台风降水过程。副高在 8 月 10 日再次北跳，同时有一次明显的西伸过程（从 135°E 西伸到 120°E 以西），我国东部地区经历了

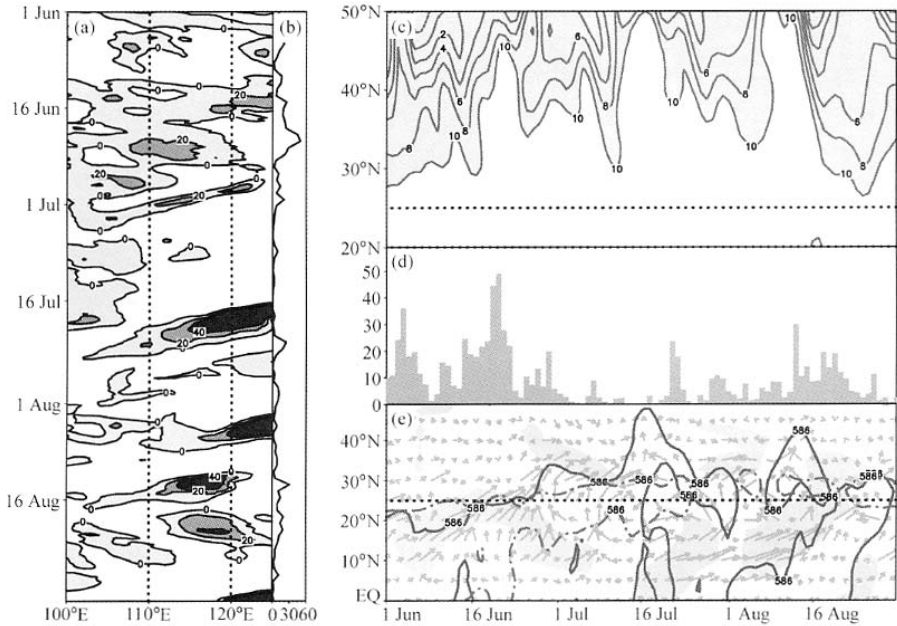


图2 2005 年6~8 月华南地区降水过程与天气系统配置: (a) 沿 22.5~27.5°N 平均的 600 hPa 相对涡度 (单位: 10^{-5}s^{-1}) 时间-经度剖面, 阴影区: 正相对涡度区; (b) 与 (d) 华南地区 15 个代表站平均的逐日降水量 (单位: mm); (c) 沿 110~120°E 平均的 700 hPa 温度时间-纬度剖面, 阴影区温度 $\leq 10^\circ\text{C}$, 等值线间隔为 2°C ; (e) 沿 110~120°E 平均的整层 (地面至 300 hPa) 积分的水汽通量矢量 (单位: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) 时间-纬度剖面, 实线为 500 hPa 位势高度 586 线, 虚线为气候平均的 586 线 (单位: dgpm), 阴影区表示 $\text{OLRA} \leq -10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

Fig. 2 The weather systems of South China in the summer of 2005: (a) the time-longitude section averaged over 22.5—27.5°N for 600 hPa relative vorticity (10^{-5}s^{-1}), the shaded area is positive relative vorticity region; (b) and (d) the daily precipitation in South China; (c) the time-latitude section of the mean temperature over 700 hPa averaged over 110—120°E. Shaded area is less than 10°C ; (e) the shaded area is the time evolution averaged over 110—120°E for $\text{OLRA} < -10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, with the vectors for vertically integrated moisture transports ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$), the solid lines for 586 line of 500 hPa geopotential height (dgpm) and dashed lines for climate mean (1971—2000)

2005 年夏季最典型的一次“桑那天气”过程 (图 3g 和 h)。在长江流域降水偏多的年份, 高原对流云系可以东传到长江中下游, 而 2005 年夏季高原 α 中尺度系统东传的特征不明显 (图 3a)。由于 2005 年南海夏季风爆发偏晚, 而且强度偏弱, 季风涌没有推进到长江流域 (图 3e), 而 2005 年 6 月冷空气活动过于活跃、7 月冷空气势力偏弱, 也不利于梅雨锋的产生与维持 (图 3c)。

夏季淮河流域 (32~34°N) 降水特点与长江流域有相似之处。2005 年夏季淮河流域主要受西风带中 6 次气旋性波动活动的影响 (图 4a), 对应着淮河流域 6 次系统性降水过程。这些降水过程造成了 6 月初黄淮东部降水偏多; 7 月上中旬淮河流域大部降水达到夏季峰值, 使得淮河干流及淮

北各主要支流发生不同程度的洪水过程, 其中淮河上游干流发生较大洪水; 8 月初及 8 月中下旬淮河上游干支流相继出现两次超警戒洪水。2005 年 7~8 月, 我国主要降水过程基本维持在淮河流域, 使得 2005 年夏季中国的另一主雨带位于淮河流域 (图 4d, 图 1c)。2005 年 6 月下旬末, 伴随副高的第一次北跳西伸, 华南地区持续性降水结束, 而淮河流域持续性降水过程开始; 而在 7 月中旬, 副高的第二次北跳西伸后, 淮河流域降水结束。8 月初受北上“麦莎”台风与东移西风槽的共同的影 响, 出现了明显的一次降水过程。8 月中下旬, 随着副高北界 586 dgpm 线回落到淮河流域, 淮河流域又出现持续性降水过程 (图 4g、h)。2005 年夏季季风涌活动没有直接推进到淮河流域, 淮河

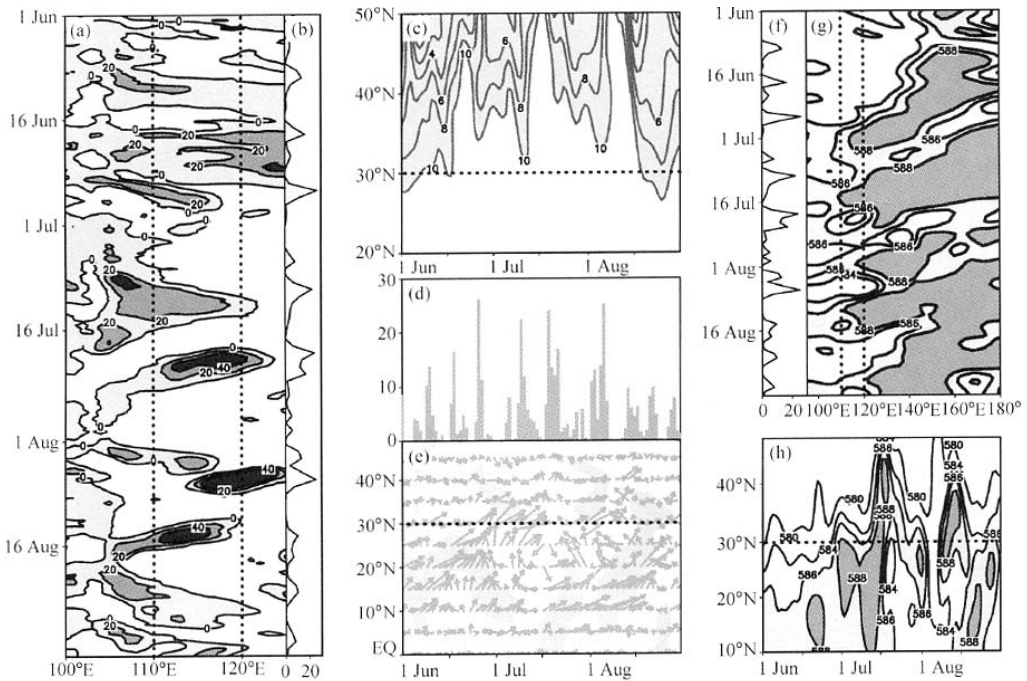


图3 2005年6~8月长江流域降水过程与天气系统配置:(a)沿 $27.5^{\circ}\sim 32.5^{\circ}\text{N}$ 的600 hPa相对涡度(单位: 10^{-5} s^{-1})时间-经度剖面,阴影区:正相对涡度区;(b)、(d)与(f)长江流域17个代表站平均的逐日降水量(单位:mm);(c)沿 $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 的700 hPa温度时间-纬度剖面,阴影区温度 $\leq 10^{\circ}\text{C}$,等值线间隔为 2°C ; (e)沿 $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 平均的整层(地面至300 hPa)积分的水汽通量矢量(单位: $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)时间-纬度剖面,阴影区表示 $\text{OLRA}\leq -10\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$; (g)、(h)分别为500 hPa位势高度(单位:dgpm)沿 $27.5^{\circ}\sim 32.5^{\circ}\text{N}$ 平均的时间-经度剖面和沿 $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 平均的时间-纬度剖面

Fig. 3 The weather systems along the Yangtze River in the summer of 2005: (a) the time-longitude section averaged over $27.5^{\circ}\sim 32.5^{\circ}\text{N}$ for 600 hPa relative vorticity (10^{-5} s^{-1}), the shaded area is positive relative vorticity region; (b), (d) and (f) the daily precipitation in the Yangtze River; (c) the time-latitude section of the mean temperature over 700 hPa averaged over $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$. Shaded area is less than 10°C ; (e) the shaded area is the time evolution averaged over $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ for $\text{OLRA}\leq -10\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, with the vectors for vertically integrated moisture transports ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$); (g) the time-longitude section over 500 hPa geopotential height (dgpm) along $27.5^{\circ}\sim 32.5^{\circ}\text{N}$; (h) the time-latitude section along $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$

流域水汽来源主要是靠副高西伸北抬后,其西南侧的暖湿气流输送(图4e)。注意图4c,当冷空气南界到达淮河流域时,淮河流域容易产生明显的降水过程。

2005年7月中旬以前华北地区的天气受西太平洋副高的影响较小,产生降水的主要天气系统是西风带中的高空槽(图5a、g和h)。2005年6月亚洲中高纬度地区瞬变扰动主要活动在 40°N 及其以北地区(图略),使得华北大部地区降水略偏多。6月中下旬在东移并且加强的大陆性高压脊控制下,我国北方大部地区出现夏季第一段干旱高温天气。而在华北地区的降水峰值期“七下八

上”的前后近一个月里,没有出现明显降水过程。7月中旬,受东移的大陆性高压脊,加之西太平洋副高同时北抬,受同位相叠加的高压脊影响,我国东部地区从南到北出现大范围高温高湿天气,仅在副高的西北边缘地区出现了局地性降水过程。在8月上旬,受北上的“麦莎”台风影响产生一次明显的降水过程。8月中旬初副高再次北跳,其586线北界到达 40°N 以北,西界也基本上稳定在 115°E 以西地区,副高控制了中国东部大部分地区,华北地区出现了一次高温高湿的闷热天气(桑拿天气)。华北地区的水汽来源主要是副高西南侧的暖湿气流输送(图5e)、取北上路径的登陆

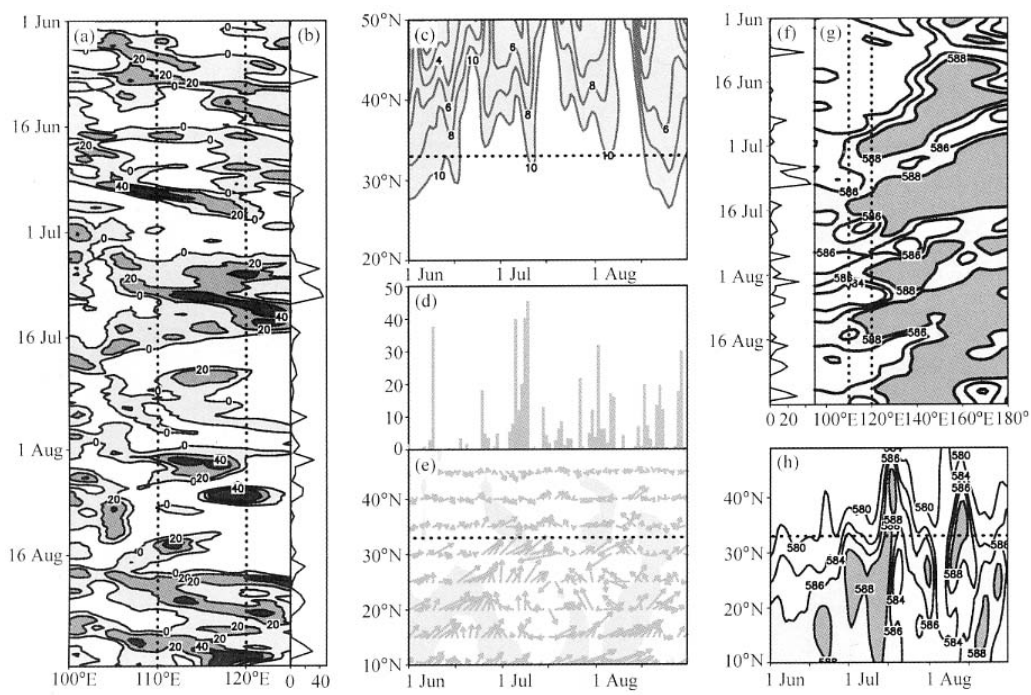


图 4 2005 年 6~8 月淮河流域降水过程与天气系统配置: (a) 沿 32~34°N 的 600 hPa 涡度 (单位: 10^{-5} s^{-1}) 时间-经度剖面; (b)、(d) 与 (f) 淮河流域 10 个代表站平均的逐日降水量 (单位: mm)。其他说明同图 3

Fig. 4 The weather systems along the Huaihe River in the summer of 2005: as in Fig. 3, but (a) the time-longitude section averaged over 32~34°N for 600 hPa relative vorticity (10^{-5} s^{-1}), (b)、(d) and (f) the daily precipitation in the Huaihe River

台风以及局地水汽蒸发。夏季降水的水汽条件容易满足, 当对应有冷空气南下时, 华北地区容易产生明显的降水过程。

4 2005 年夏季亚洲副热带急流中 Rossby 波的能量传播与副高的北跳

2005 年夏季亚洲中高纬度鄂霍次克海与乌拉尔山地区没有出现明显的阻塞形势, 西太平洋副热带高压南北与东西位置变化很大, 这对跨季度气候预测的准确性影响很大。本节就 2005 年夏季西太平洋副高西伸北抬的可能机理进行一些初步分析。

Ambrizzi 等^[5]和 Enomoto 等^[6]指出, 夏季北纬 40°N 附近的副热带西风急流是一条波导, 沿着这条波导中有准静止 Rossby 波的传播。Park 和 Schubert^[7], Enomoto^[8]研究夏季日本上空有稳定

的西太平洋副高 (日本气象人员称作小笠原高压) 盘踞并引起持续热浪天气的机理, 认为这类异常天气的出现是由于沿着亚洲高空副热带西风急流中的静止 Rossby 波列的能量传播所引起的。陶诗言等^[9]在 20 世纪 60 年代初曾指出, 江淮地区夏季的干旱常常与里海到巴尔喀什湖地区高空低压槽的发展有联系, 当时人们还没有静止波列的概念, 只能用上下游天气系统发展的观点来分析问题。廖清海等^[10]指出东亚地区夏季季节演变的重要特征与沿副热带西风急流北侧传播的静止波关系很密切。表征静止 Rossby 波能量传播的强弱可以用 Plumb^[11]所推导的静止波活动矢量表示。Lyon 和 Dole^[12]曾用这个波活动矢量诊断 1980 和 1988 年美国夏季热浪—干旱发生的机理, 在日本的夏季每月气候系统的监测公报中刊载 300 hPa 波活动矢量分布图。

图 6a 是 2005 年夏季 (6~8 月) 东亚地区 110~120°E 平均的 200 hPa 纬向风时间-纬度剖

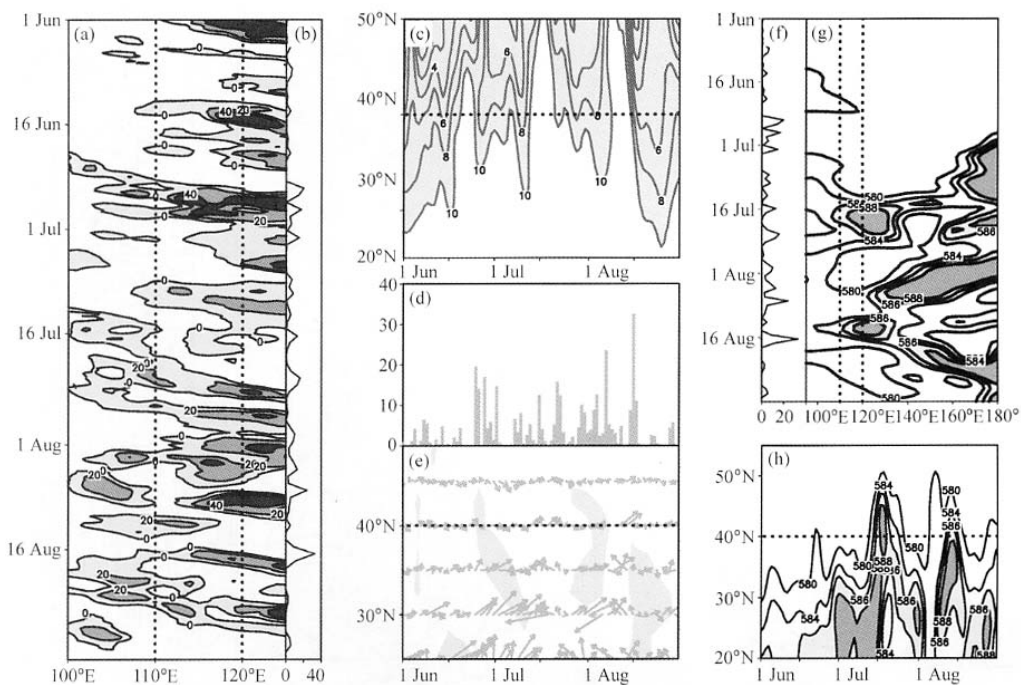


图5 2005年6~8月华北地区降水过程与天气系统配置:(a)沿37.5~42.5°N的600 hPa涡度(单位: 10^{-5} s^{-1})经度-时间剖面;(b)、(d)与(f)华北地区17个代表站平均的逐日降水量(单位: mm)和(g)500 hPa位势高度(单位: dgpm)沿37.5~42.5°N平均的时间-经度剖面。其他说明同图3

Fig. 5 The weather systems of North China in the summer of 2005; as in Fig. 3, but (a) the time-longitude section averaged over 37.5~42.5°N for 600 hPa relative vorticity (10^{-5} s^{-1}), (b), (d) and (f) the daily precipitation in North China, (g) the time-longitude section over 500 hPa geopotential height (dgpm) along 37.5~42.5°N

面,表示高空副热带急流的位置与强度。2005年夏季东亚对流层高层副热带急流轴有3次明显的断裂过程,分别是在6月下旬、7月中旬和8月上旬。图6b是(35~45°N, 60~120°E)区域平均的300 hPa静止Rossby波活动通量强度矢量的数值随时间变化,区域平均的波活动强度通量的数值大小,可以表示亚洲上空副热带急流中准静止Rossby波能量传播的强弱。图6c是110~120°E范围平均的500 hPa位势高度与射出长波辐射距平(OLRA)时间-纬度剖面,我们取586线作为表征西太平洋副高影响我国天气的特征线,OLRA表示对流活动的强度以及南海季风涌的活动。此图可以概括2005年6~8月中国东部地区大气环流及其天气特点。2005年夏季西太平洋副高在气候平均的梅雨期(6月18日~7月10日)其西端比较异常;前期位置偏南,后期偏北,这造成

了长江流域出现了“空梅”,而其东端变化比较正常,日本在梅雨期里降水比较正常。到了7月上旬,副高西端的北抬比平均年份要强,而日本附近的副高北抬比平均年份要弱(图略),使得梅雨锋在淮河流域和日本附近停滞。在这个时期,200 hPa上的西风急流明显,位置在35°N;另一方面,在20°N附近对应副高的位置上,有一条带状对流不活跃带。在2005年夏季有多次准静止Rossby波能量传播过程,其中,6月下旬的一次中纬度Rossby波的能量传播过程引发了西太平洋副高的第一次北跳。7月中旬与8月初是2005年夏季亚洲中高纬度地区的波流相互作用明显加强的两次过程,但由于准静止Rossby波的位相分布不同,使得副高在两次过程中表现不同,其天气影响也不同。以下就这3次亚洲大气环流的调整过程进行较为细致的分析。

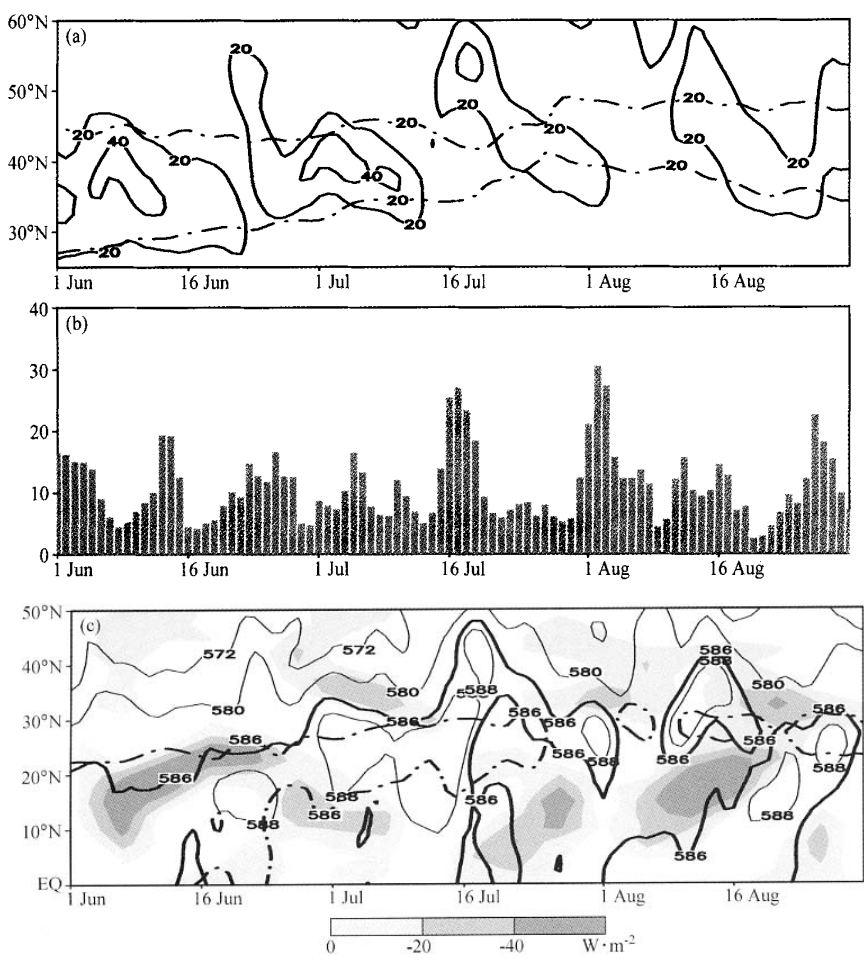


图 6 2005 年 6~8 月 (a) 沿 110~120°E 平均的 200 hPa 纬向风 (单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) 时间-纬度剖面; (b) 区域平均 (35~45°N, 60~120°E) 的 300 hPa 波活动通量 (单位: $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$); (c) 沿 110~120°E 平均的 500 hPa 位势高度与 OLRA 时间-纬度剖面 (粗实线为 586 线, 虚线为气候平均的 586 线, 单位: dgpm)

Fig. 6 Between June to August 2005 (a) the time-latitude section for zonal wind over $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, dashed line is for climate mean, (b) area averaged (35~45°N, 60~120°E) wave activity flux ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$) at 300 hPa, (c) the shaded area is the time evolution averaged over 110~120°E for OLRA, the solid lines for 586 dgpm line of 500 hPa geopotential height and dashed lines for climate mean (1971~2000)

2005 年 6 月亚洲副热带急流轴偏南, 准静止 Rossby 波能量传播的中心纬度位于 35°N, 6 月 23~27 日其强度达到峰值。从 6 月 23~27 日亚欧大陆 350 K 等熵面上位涡变化的特点是: 在地中海和帕米尔高原以及东海上空有高位涡向南侵, 里海和河套上空有低位涡向北侵, 等位涡线出现了弯弯曲曲的形式 (图 7a)。值得注意的是, 6 月 24 日我国华南地区出现了切断的深深向南伸展的高位涡舌, 25 日华南地区切断的高位涡舌消失, 东南沿海受向北延伸的低位涡区控制, 这使得西太

平洋副高发展加强出现第 1 次北跳, 而且其北界 586 dgpm 线越过了长江流域。这次亚洲副热带急流中准静止 Rossby 波的能量传播过程使得西太平洋副高西端北抬西伸, 结束了华南地区自 6 月以来出现的持续性降水过程 (图 7b)。

2005 年夏季亚洲准静止 Rossby 波能量传播的第 2 个峰值出现在 7 月 16~20 日, 在准静止 Rossby 波列强烈发展的时段, 亚洲地区的大气环流及其天气也出现了一次调整过程。这期间 350 K 等熵面上位涡变化的特点是: 在地中海和帕米

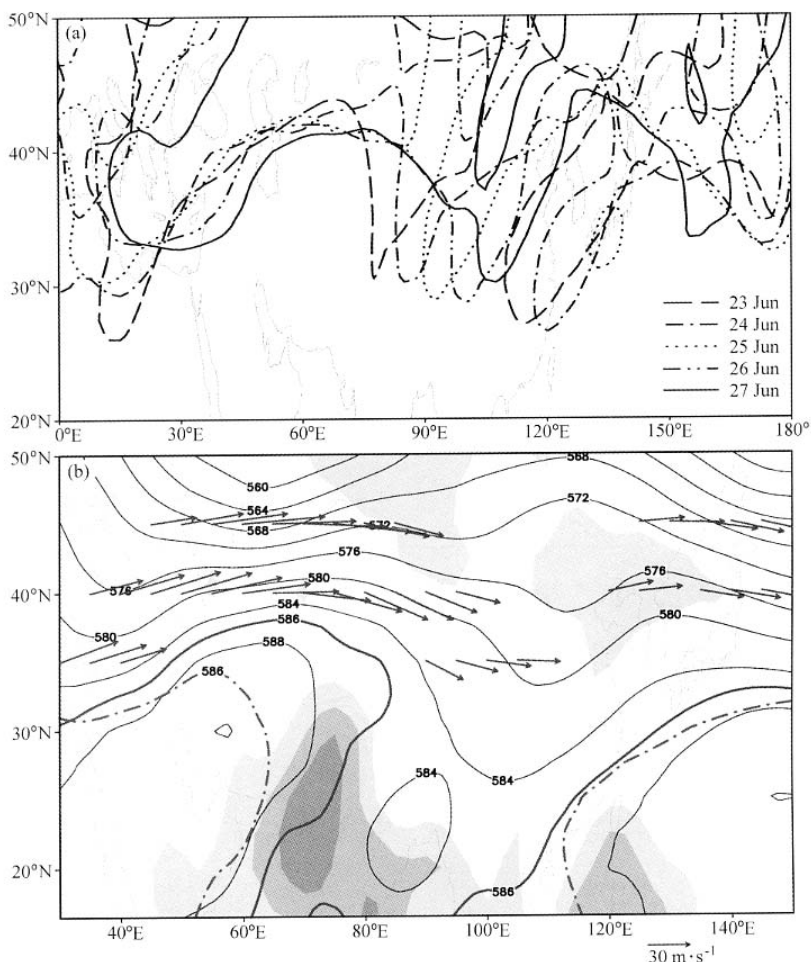


图7 2005年6月23~27日 (a) 逐日0000 UTC 350 K等熵面上2 PVU等位涡线 (1 PVU= $10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{kg}^{-1}$); (b) 200 hPa风速场 (矢量线为水平风速 $\geq 30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 500 hPa位势高度场; 粗实线为586线, 虚线为气候平均的586线, 单位: dgpm; 不同阴影区表示 $\text{OLRA} \leq -10, -30, -50 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$)

Fig. 7 (a) The 350 K, PV=2 contour (1 PVU= $10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{kg}^{-1}$) for each day in 23—27 June 2005, (b) the zonal wind over $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ at 200 hPa, the solid lines for 586 line of 500 hPa geopotential height (dgpm) and dashed lines for climate mean, different darkness for $\text{OLRA} < -10, -30, \text{ and } -50 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, averaged for 23—27 June 2005

尔高原上空有高位涡向南侵, 里海和贝加尔湖上空有低位涡向北侵, 等位涡线出现了弯弯曲曲的形式。我国东北地区出现的低位涡区造成对流层出现反气旋性环流, 7月20日 Rossby波出现断裂 (图8a)。亚洲地区气压系统基本上呈现相当正压分布, 在200 hPa上青藏高原分裂成两个中心 (分别位于伊朗和东海上空), 40~45°N副热带急流中弯弯曲曲的形式表现清楚。里海、中国东部

高压脊发展, 而在巴尔喀什湖与日本海低压槽加深。500 hPa上西太平洋副高强烈向北伸展, 其北界到达40°N以北地区, 其588线西界基本稳定在110°E附近, 在90°E附近的低压槽前出现一条南北走向的对流带 (图8b)。伴随此槽的缓慢东移, 7月14~18日, 新疆中部出现较强的降水过程; 7月16~17日, 甘肃河西出现2005年西北地区强度最强、面积最大的一次沙尘天气过程, 这也是

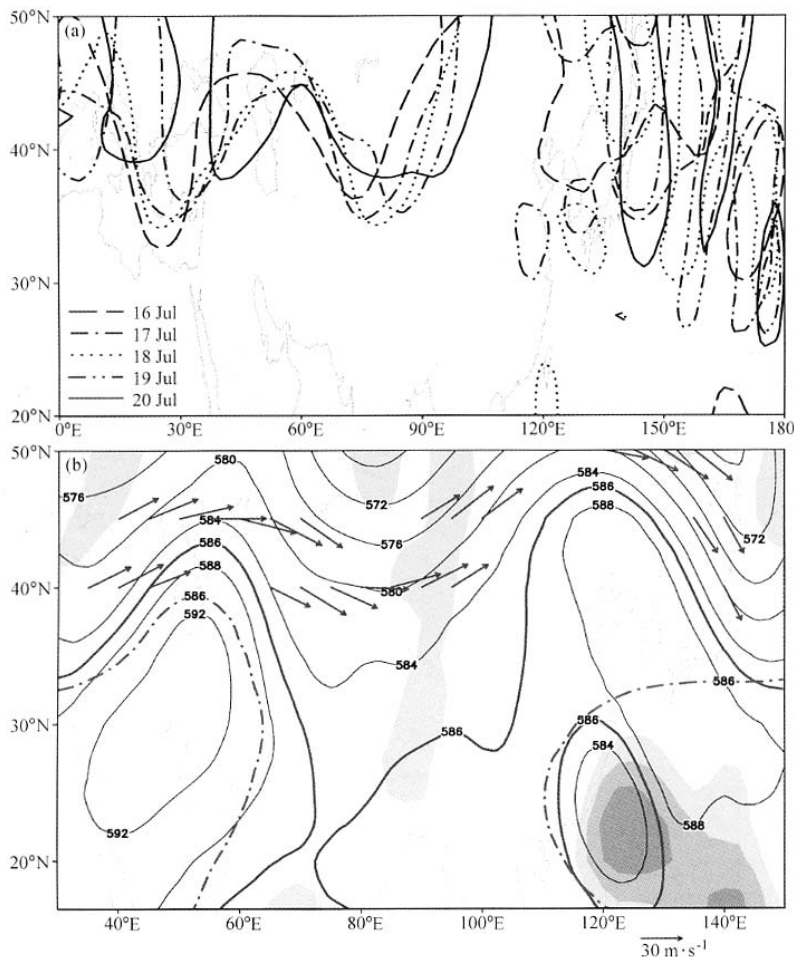


图 8 2005 年 7 月 16~20 日, 说明同图 7
Fig. 8 As in Fig. 7, but for 16–20 July, 2005

近 20 年来夏季最强的一次; 随后, 我国中东部地区出现了一条西南—东北向的降水带, 雨量普遍达到中雨, 局地出现大到暴雨。由于西太平洋副高加强以及副热带西风急流的北退, 这使得原先停滞在日本附近的梅雨锋消失, 淮河流域的强降水过程与日本的梅雨结束; 7 月下旬初, 热浪袭击韩国大部地区, 高温导致 10 人死亡, 日本也出现高温酷暑天气。在这样的大气环流和天气系统影响下, 亚洲中纬度不同国家与地区相继出现了不同的高影响性天气过程。此外, 在这样的大气环流背景下, 2005 年第 5 号台风海棠于 7 月 19 日下午在福建省连江市登陆后, 迅速减弱成为热带

风暴并取西北方向移动。

图 6b 上 8 月 1~5 日前后副热带急流中的波活动强度明显增大, 这次发展过程是 2005 年夏季最强的一次。但这次准静止 Rossby 波列的分布与 7 月 16~20 日的过程位相不同。在里海西部和中国东部上空是深深向南伸的高位涡舌, 造成巴尔喀什湖以西、中国中东部低压槽发展加深; 而在 40°E 附近、巴尔喀什湖以东和日本海上空有低位涡向北侵, 使得 40°E、90°E 与 150°E 附近高压脊加强 (图 9a 和 b)。西太平洋副高向东北—西南方向扩展, 在 30°E 附近其西端并未深入大陆。这次欧亚大陆中高纬度地区一次 Rossby 波的能量发展

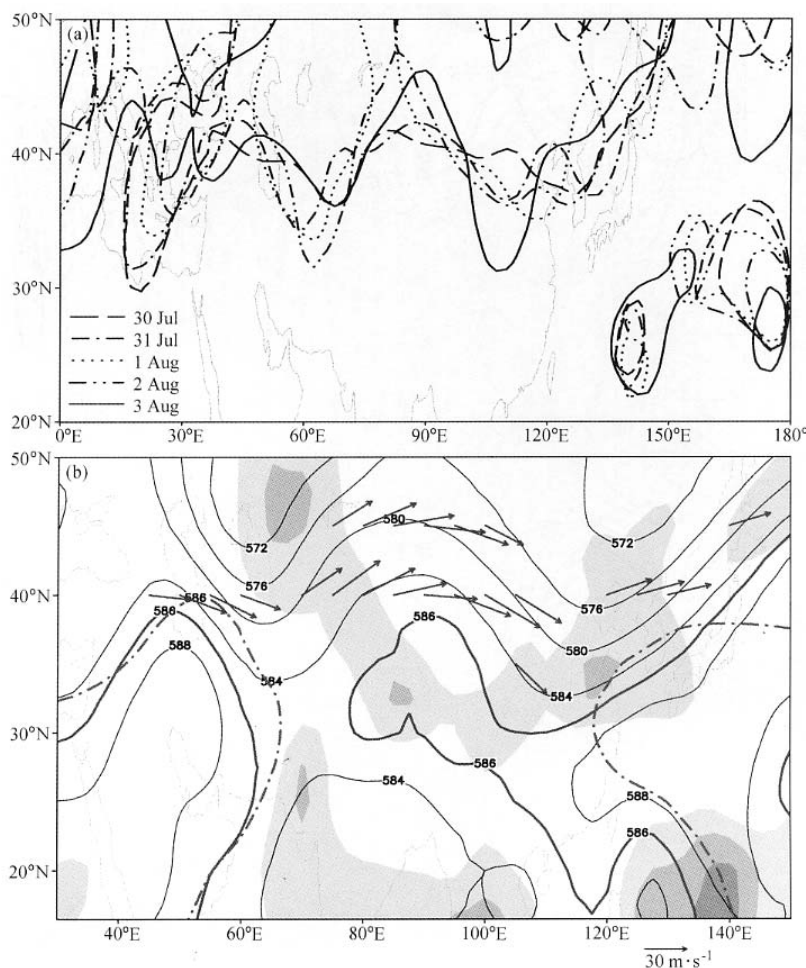


图9 2005年7月30~8月3日,说明同图7

Fig. 9 As in Fig. 7, but for 30 July–3 August 2005

与传播过程,使得8月初东南欧一些国家出现罕见高温热浪天气,造成数十人死亡,而在我国的新疆大部与115°E附近地区出现两个大范围降水区。值得注意的是,由于受这种Rossby波强烈发展而调整的东亚大气环流具有相当正压的结构,可能造成8月6日在浙江省登陆的热带气旋麦莎,其强度并没有因为115°E附近深槽的存在而加强,而且其路径为北上路径。

总而言之,2005夏季沿30°N的西太平洋副高,6月下旬末第1次北跳其北界位置到达了30°N以北地区;7月中旬副高第2次北跳,北界到达40°N以北,同时副高西伸;副高在8月上旬末再

次北跳,伴随也有一次明显的西伸过程(分析略)。8月初副热带急流中的波活动强度最强,但对副高影响的位相不同。副高的这几次明显的季节内振荡,与亚洲对流层中高层沿着副热带急流轴准静止Rossby波的几次能量传播过程密切相关,从而造成了我国主要降水过程的转换及高影响性的天气。

5 2005年夏季跨季度降水预测的讨论

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成为可能。有关跨季度夏季气候异常预测的思路, 已有一些总结性文章^[3,13]。本节我们仅对这两年短期气候预测存在的一些问题进行初步的讨论。

季或年际时间尺度的大气环流变化, 是由于持续时间长的下垫面强迫 (如 SST 距平、土壤水分距平或雪盖距平) 所引起的, 也可能由于不可预测的天气噪音所引起的。目前气候模式的季节准确度主要决定于对 SST 距平场的演变预报, 特别是 El Niño 的循环及其对大气环流的影响。在 2005 年冬、春、夏, El Niño 海域的大气和海洋情况接近正常 (中性) 状态。在 El Niño 中性状态下, 大气的下垫面强迫不强, 模式预报的准确度有限。统计预测方法其物理实质也主要是反映大气外强迫作用对大气环流的演变产生的影响。在外强迫比较弱的年份, 短期气候预测可能出现多种预测方法都出错的情况。

对于跨季度的短期气候预测, 皆是在热带地区的可预测性最大。从 2005 年 Niño 3.4 区与西太平洋暖池 SSTA 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热带系统其演变特征的分析是基本准确的, 这可能是我们预测结果部分比较正确的原因之一。而对热带外地区, 短期气候预测数值模式对大气环流与气象要素的预测, 皆受初始场的影响很大, 突显出对于中高纬度地区数值模式预测的难度。

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影响表现在季风区有显著的季节内振荡, 使得亚洲夏季风爆发早晚与季风强度之间的关系非常复杂, 这种季节内振动也会造成季节预报的不确定性。

2005 年夏季在东亚季风区先后出现多次静止 Rossby 波的能量传播过程, 反映在大气环流场上表现为 6 次大形势的调整, 这种由于大气内部本身变化所引起的季节内降水变化, 不可能在两星期前准确预报出来, 这可能是 2005 年夏季降水预测并不准确的原因。看来利用气候模式做降水跨季度预报, 其准确度提高还需要走较长的一段路程。

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、张道民研究员等的指导和参与下, 在陈红、郎咸梅、彭京备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、灾害性气候研究与预测中心以及国际气候与环境科学中心一直大力支持, 在此一并予以感谢。

参考文献 (References)

- [1] 张顺利, 陶诗言, 张庆云, 等. 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 Shiyun, Zhang Qingyun, et al. Large and Meso- α scale characteristics of Intense rainfall in the Mid-and Low-reaches of Yangtze River. *Chinese Science Bulletin* (in Chinese), 2002, **47** (6): 467~473
- [2] 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 Qingyun, Wang Huijun, Lin Zhaozhui, et al. *The Mechanism of Abnormal Weather and Climate in China—2003* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2004. 170pp
- [3] 卫捷, 张庆云, 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): 19~31
Wei Jie, Zhang Qingyun, Tao Shiyun. The ensemble Seasonal climate prediction for 2004 summer and its verification. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2005, **10** (1): 19~31
- [4] 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 Shiyun, Zhang Shunli. Three types of heavy rainstorms associated with the Meiyu front. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2004, **28** (2): 187~205
- [5] Ambrizzi T, Hoskins B J, Hsu H. -H. Rossby wave propagation and teleconnection patterns in the Austral winter. *J. Atmos. Sci.*, 1995, **52** (21): 3661~3672
- [6] Enomoto T, Hoskins B J. The formation mechanism of the Bonin high in August. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 2003, **587**: 157~178
- [7] Park C K, Schubert S D. On the nature of the 1994 east Asian summer drought. *J. Climate*, 1997, **10** (5): 1056~1069
- [8] Enomoto T. Interannual variability of the Bonin high associated with the propagation of Rossby waves along the Asian jet. *J. Meteor. Soc. Japan.*, 2004, **82** (4): 1019~1034

- [9] 陶诗言, 徐淑英. 夏季江淮流域持久性旱涝现象的环流特征. 气象学报, 1962, **32**: 1~10
Tao Shiyan, Xu Shuying. Some aspects of the circulation during the periods of the persistent drought and flood in the Yangtze River and Huaihe River valleys in summer. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1962, **32**: 1~10
- [10] 廖清海, 高守亭, 王会军, 等. 北半球夏季副热带西风急流变异及其对东亚夏季风气候异常的影响. 地球物理学报, 2004, **47** (1): 10~18
Liao Qinghai, Gao Shouting, Wang Huijun, et al. Anomalies of the extratropical westerly jet in the north hemisphere and their impacts on east Asian summer monsoon climate anomalies. *Journal of Geophysics* (in Chinese), 2004, **47** (1): 10~18
- [11] Plumb R A. On the three-dimensional propagation of stationary waves. *J. Atmos. Sci.*, 1985, **42**: 217~229
- [12] Lyon B, Dole R M. A diagnostic comparison of the 1980 and 1988 U. S. summer heat wave-droughts. *J. Climate*, 1995, **8** (6): 1658~1675
- [13] 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