

2007年梅汛期异常降水的大尺度环流成因分析

金荣花^{1,2,3} 陈涛³ 鲍媛媛³ 王秀文³ 张芳华³

(1. 中国气象科学研究院,北京 100081; 2. 南京信息工程大学; 3. 国家气象中心)

提 要: 为深入理解江淮梅雨持续性强降水的大气演变过程,探讨中期预报技术途径,利用 NCEP/NCAR 逐日再分析数据和历史梅雨特征指数等资料,系统地分析了 2007 年梅汛期异常降水的大尺度环流成因。结果表明:梅汛期,西北太平洋副热带高压稳定和 7 月中下旬持续偏南,决定了 2007 年梅汛期降水的时间和地域分布特征。阻塞高压的频繁出现和副热带季风涌的异常强盛为梅雨锋维持和加强提供了有利的动力、热力以及水汽条件;“伊朗型”南亚高压的活动以及东亚上空副热带急流通过高低空耦合动力作用,不仅为持续性暴雨创造了良好的垂直环流结构,也间接抑制了副高北抬。在此研究基础上,归纳出中期预报着眼点,供实际业务预报参考使用。

关键词: 梅汛期 异常降水 大尺度环流特征 成因分析

Causes Analysis of Abnormal Rainfall and Its Large-scale Circulation During 2007 Meiyu Season

Jin Ronghua^{1,2,3} Chen Tao³ Bao Yuanyuan³ Wang Xiuwen³ Zhang Fanghua³

(1. Chinese Academy of Meteorological Science, Beijing 100081; 2. Nanjing University of Information Science and Technology; 3. National Meteorological Center)

Abstract: Using daily NCEP/NCAR reanalysis dataset and the historical Meiyu feature index etc., the causes of abnormal rainfall and its large-scale circulation during 2007 Meiyu season are analyzed in order to better understand the evolvement characteristics of persistent rainfall and its atmospheric circulation on Jiang-Huai Meiyu, and to discuss technical approaches of mid-range forecast. The results show that the stability of the western Pacific subtropical high located in the south more persistently than normal in middle-late July during Meiyu season plays a crucial role in the temporal and spatial characteristics during 2007 Meiyu period. The frequent appearance of

blocking high and abnormal strong subtropical monsoon surge provide favored dynamic, thermodynamic and moisture factors affecting maintenance and intensification of Meiyu front. The activity of "Iran type" south Asia High and upper-low level coupling dynamic action of subtropical jet in East Asia not only create favorable vertical circulation structure for persistent heavy rainfall but also restrain northward movement of subtropical high. At last, the keys of mid-range forecast are summarized on the basis of these results.

Key Words: Meiyu season abnormal rainfall characters of large-scale circulation causes analysis

引 言

2007 年江淮梅雨期间,淮河流域出现了持续性暴雨天气过程,直接导致淮河遭遇 1949 年以来仅次于 1954 年的全流域大洪水。我国气象工作者对江淮梅雨的研究由来已久,硕果累累^[1-10],近 10 年随着气象信息的日益丰富,对梅雨锋及其雨带以及梅雨锋上空间尺度为几百公里的中尺度对流系统的结构和机理的认识又有深入和发展^[5],尤其陶诗言等建立的梅雨锋暴雨天气学模型,是对梅雨锋暴雨天气学研究的创新性贡献,构成我国梅雨锋暴雨预报的天气学基础。该梅雨锋暴雨的天气学模型,强调了南海季风涌、西太平洋副热带高压、中高纬冷空气活动和青藏高原东坡中尺度扰动东移的 4 个多尺度天气系统的协同作用时,梅雨锋上出现强暴雨。但是,实际业务预报人员,尤其对于中期预报员来说,对大气环流演变和影响系统的分析还不能仅仅停留在梅雨锋暴雨的天气学模型上,需要进一步挖掘产生这种有利于江淮梅雨的多尺度系统配置的背景条件,这样才可以超前把握江淮梅雨的开始、维持和结束。为此,本文从行星尺度环流系统的演变特征着手,分析 2007 年江淮梅雨的异常降水成因,进一步总结归纳江淮梅雨中期预报着眼点,旨在深化对极端降水事件的大气演变过程的理解,提高预报技术水平。

1 资 料

分析所用资料为 1971—2000 年和 2007 年分辨率 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 的 NCEP/NCAR 逐日再分析资料;降水量资料来自国家气象中心逐日 08 时(北京时)24 小时降水量加密观测资料;2007 年 5—8 月和多年平均副高脊线位置由中央气象台提供。1885—2006 年梅雨统计资料取自国家气候中心整编的历史资料。

2 2007 年梅汛期降水时空特征

按照国家气候中心业务上多年使用的梅雨评定标准,2007 年梅雨期为 6 月 19 日至 7 月 26 日,梅雨期长度 38 天,5 个代表站梅雨总量为 1530mm(见表 1)。与多年平均的梅雨特征指数比较,2007 年入梅时间属正常略晚,出梅明显偏晚,梅雨量偏多,梅雨集中期显著偏长。在 1885—2006 年梅雨统计资料中梅雨集中期大于等于 38 天的年份总共有 12 个,历史发生概率仅为 10%。与本世纪发生淮河大水的 2003 年梅雨特征指数相比较,2007 年梅雨强度弱于 2003 年,但梅雨集中期比 2003 年长 22 天。因此,2007 年梅雨量大,持续时间长为历史上少有。

从梅雨期的累计雨量的空间分布(图略)来看,2007 年主要雨带位置在淮河流域,梅

表 1 2007 和 2003 年梅汛期梅雨各特征指数与多年平均对照表

项目	2007	2003	多年平均(1885—2006)
入梅时间	6 月 19 日	6 月 21 日	6 月 17 日
出梅时间	7 月 27 日	7 月 12 日	7 月 8 日
典型梅雨期	6 月 19 日至 7 月 26 日	6 月 21—29 日 7 月 5—11 日	
梅雨集中期/天	38	16	21
梅雨总量/mm	1530	1794	1208
集中期大于 38 天的年份(天)	1896(60)、1906(40)、1908(38)、1909(43)、1910(38)、1911(38)、1931(38)、1954(50)、1980(43)、1991(41)、1996(50)、2007(38)		

雨期多年平均雨带位置在长江中下游地区, 偏北近 2 个纬距; 另外一个特征是, 在川渝地区也出现雨量极大值中心。从梅雨期日雨量变化来看(图 1), 淮河连续性暴雨天气过程集中出现在 6 月 29 日至 7 月 10 日, 累积雨量达 330~400mm, 较常年同期普遍偏多 5 成至 2 倍, 其中江苏中部、安徽中北部、河南东南部达 450~550mm, 较常年同期偏多 2~4 倍。由于特殊的地貌特征和持续的强暴雨天气直接导致淮河流域遭受 1949 年以来仅次于 1954 年的全流域大洪水。而在此前后的两个时段的梅雨期内, 雨带位置相对不稳定, 降雨时断时续, 除 7 月 18—22 日淮河流域偏北地区出现了一次大暴雨天气过程外, 其它降雨过程强度不强。

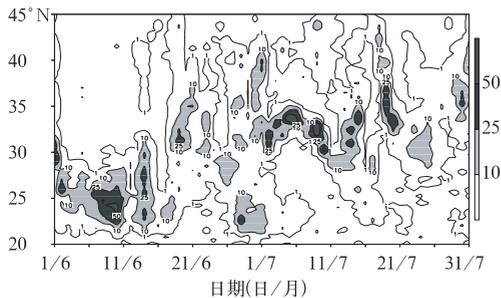


图 1 2007 年 6—7 月沿 110~120°E 平均日降雨量时间-纬度图(单位:mm)

3 2007 年梅汛期异常降水成因分析

3.1 西太平洋副热带高压异常活动

据统计,我国夏季降水与西太平洋副热

带高压(以下简称副高)各特征指数的关系, 以与副高脊线位置的关系最好^[6]。图 2 是 2007 年 6—7 月逐日 500hPa 副高脊线 110~130°E 平均、5 天滑动平均、多年平均及雨带位置的演变。从副高脊线的变化情况来看, 6 月 18 日, 副高完成脊线稳定跳过 20°N 的第一次季节性北跳, 北抬至有利于江淮梅雨的位置。在 2007 年梅雨期副高异常活动有两个特征: 首先, 6 月 29 日至 7 月 10 日副高没有表现准双周的低频振荡活动, 脊线始终在 23~24°N 之间异常稳定少动, 位置比常年略偏北, 决定了降水落区位置稳定而且是在比常年略偏北的淮河流域; 其次, 7 月 8 日至 7 月 31 日, 副高脊线位置比常年同期持续偏南, 7 月 25 日才完成稳定跳过 25°N 的第二次季节性北跳, 比常年(7 月 8 日)偏晚 17 天, 这是 2007 年梅雨迟迟未能结束导致梅期偏长的主要原因。

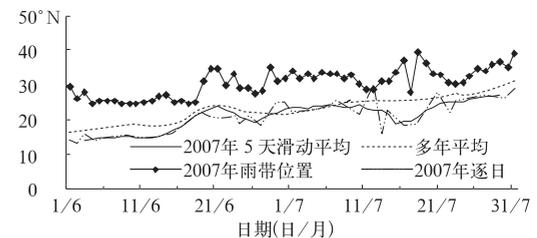


图 2 2007 年 6—7 月逐日 500hPa 副高脊线 110~130°E 平均、5 天滑动平均、多年平均及雨带位置演变

3.2 阻塞高压活动频繁

阻塞高压(以下简称阻高)是大气环流异

常的突出表现,长时期维持会带来天气气候异常。本文阻塞数值化定义用 Tibaldi 和 Molteni 的方法^[11],该阻塞指数是局地 and 瞬时的,用于实时监测十分理想,具体计算方法查阅参考文献^[7]。利用该阻塞高压指数计算方法,统计了 2007 年 6—7 月阻塞高压活动情况(图 3a)。图中最显著的特征是 2007 年梅雨期阻塞高压活动频繁,而且主要以鄂霍茨克海阻塞和乌拉尔山阻塞的形式表现,两者或此消彼长,或双阻塞。两个阻塞相对比较而言,乌拉尔山阻塞较鄂霍茨克海阻塞稳定和强盛,这种特征在 2007 年梅雨期的 500hPa 高度平均场上表现更为突出(图 3b),而且乌拉尔山阻塞活跃期恰巧对应副高稳定和淮河流域连续暴雨阶段。

阻塞的稳定维持对东亚地区降水的分布有重要的意义,通过上下游效应、能量的传输

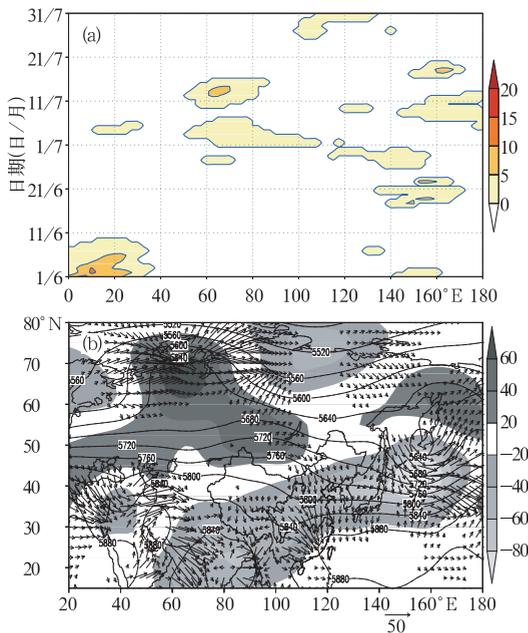


图 3 2007 年 6—7 月 500hPa 中高纬度形势特征
a) 阻塞高压指数变化(单位:米/纬度);(b)2007 年梅雨期(6 月 19 日至 7 月 26 日)500hPa 平均高度场(阴影为距平,单位:dgpm;矢量为定常波活动通量水平分量,单位: $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$)

等机制,可以长时间的维持稳定的降水天气型^[8-9]。Plumb 提出了诊断定常罗斯贝波活动通量的工具:

$$F_s = p \cos\phi \left[v'^2 - \frac{1}{2\Omega a \sin^2\phi} \frac{\partial(v'\Phi')}{\partial\lambda} - u'v' + \frac{1}{2\Omega a \sin^2\phi} \frac{\partial(u'\Phi')}{\partial\lambda} + \frac{2\Omega \sin\phi}{S} \left[v'T' - \frac{1}{2\Omega a \sin^2\phi} \frac{\partial(T'\Phi')}{\partial\lambda} \right] \right] \quad (1)$$

上式中“'”为纬圈平均的距平,其它为常用气象符号。

从 2007 年梅雨期平均准定常波的传播(图 3b)来看,乌拉尔山地区阻塞处波活动通量最强,是波活动通量源,而且矢量出现强烈的辐散,表示这个静止脊处在强烈发展阶段。从乌拉尔山阻塞向东传播的波活动通量,经贝加尔湖转向南扩散,一部分直抵我国东部地区,一部分抵达青藏高原东坡折向东传输到我国东部地区,两者共同影响我国淮河流域。这种传播路径,有利于中纬度锋区上不断有正涡度向南传和青藏高原东坡的中尺度对流系统发展东移,这两者正是陶诗言等提出的南方致洪暴雨“四大因子协同作用”天气学概念模型中的两个重要成员。由此可见,乌拉尔山阻塞高压在 2007 年淮河流域致洪暴雨中的重要地位。

3.3 副热带季风异常强盛

影响我国的季风涌来源主要有三支,即印度季风、南海季风和在副高西侧转向的副热带季风。2007 年梅汛期,低纬度地区三支季风涌汇合形成的暖湿气流的消长过程中与中高纬度地区冷空气在淮河流域相遇是淮河流域频繁出现降雨的主要原因。从 2007 年梅雨期 850hPa 距平风场来看(图略),东北、华北一带距平风为明显的偏北风,我国东部地区输送季风涌的西南低空急流也比常年同

期明显偏强,反映了两股异常强盛的冷暖空气交汇于淮河流域。三支季风涌的距平分布表明,只有南海季风没有显著的异常特征;副热带季风的东南气流比常年同期明显偏强,其在副高西侧转向形成的低空西南急流直接将暖湿气团输送到我国江淮流域;印度季风的西风距平带自阿拉伯海经孟加拉湾向西蔓延到我国川渝地区和江淮流域。由此可见,异常强盛的副热带季风涌和印度季风涌前沿不仅到达淮河流域,与北方的干冷空气形成高湿度锋区,而且在川渝地区也形成水汽通量辐合中心。回顾 2003 年的淮河大水期间,副热带季风表现异常强盛,势力超过 2007 年,而印度季风偏弱,这可能说明副热带季风的异常强盛与淮河出现致洪暴雨有较好相关关系,而印度季风强盛与川渝地区持续暴雨有更密切的联系。

3.4 高层系统调节中下层环流系统的中短期变化

本文作者在研究 2003 年淮河大水期间副热带急流对中下层系统中短期变化的制约作用^[10]的机理中得出,当副热带高空急流的入口(出口)区右侧位于我国东部地区上空时,急流入口(出口)区产生的垂直直接(间接)次级环流圈的上升(下沉)支,使急流入口区右方和副高北侧之间的垂直运动随高度变化增加(减少),即 $f \frac{\partial \omega'}{\partial P} > 0$ ($f \frac{\partial \omega'}{\partial P} < 0$),这时涡度变化相对于平均状态为正(负),抑制(有利于)副高北抬,同时也使得利于降水的垂直运动条件加强(减弱)。图 4a 给出 2007 年 6—7 月 200hPa 急流沿 40°N 的经度-时间剖面。由图清楚看到,在梅雨期副热带西风急流中心频繁出现在东亚 130~140°E 附近地区,沿 135°E 的时间演变形成急流核串,正是此“急流核串”使我国东部淮河流域上空始

终处于急流入口区右侧,抑制副高北抬并使其稳定。同时,次级环流作用的上升支与产生降水的大尺度垂直运动耦合,有利于持续性暴雨的垂直上升运动增强和维持。26 日以后东亚急流减弱消失,对副高变化及我国淮河流域降水的动力作用减弱或消失。

南亚高压是夏季 100hPa 层上最强大、最稳定的控制性环流系统,它对亚洲乃至整个半球的大气环流异常都有重要影响。陶诗言等指出,南亚高压和副高之间存在“相向而行”关系^[12],反映南亚高压通过影响副高的中短期变化来制约我国东亚地区的降水分布。从 2007 年梅汛期沿 32.5°N 高空 100hPa 南亚高压特征等值线经度-时间剖面和涡度平流(图 4b)来看,南亚高压强度比常年同期明显偏强,截至 7 月 17 日,南亚高压一直维持“伊朗型”,中心位置持续偏西,是造成西北太平洋副高位置稳定和第二次季节性北跳偏迟的重要原因之一。2007 年梅雨期南亚高压主要有 4 次东伸过程,东伸脊点达到最东的时间分别出现在 6 月 24 日、6 月 30 日、7 月 6 日和 7 月 21 日,与西北太平洋副高西脊点 4 次达到最西位置的时间(6 月 23 日、6 月 29 日、7 月 7 日和 7 月 19 日)非常吻合。南亚高压的每一次东伸活动,都会有负涡度平流先于高压系统向东传,引起 500hPa 副高北侧上空相对涡度平流随高度减小($\frac{\partial}{\partial p} [-\mathbf{v} \cdot \nabla \zeta] > 0$),从而在其下方的副高北侧高层激发下沉运动,有利于副高加强西伸。这从动力学上解释了不同层次上两个错落的大型高压系统“相向而行”的一种可能机制。另一方面,随高层负涡度平流东移的南亚高压异常东伸后,高层转为正涡度平流,在其下方激发上升运动,加之南亚高压自身的强烈高层辐散作用,为大暴雨天气的发生提供了极有利的大尺度动力环境场。

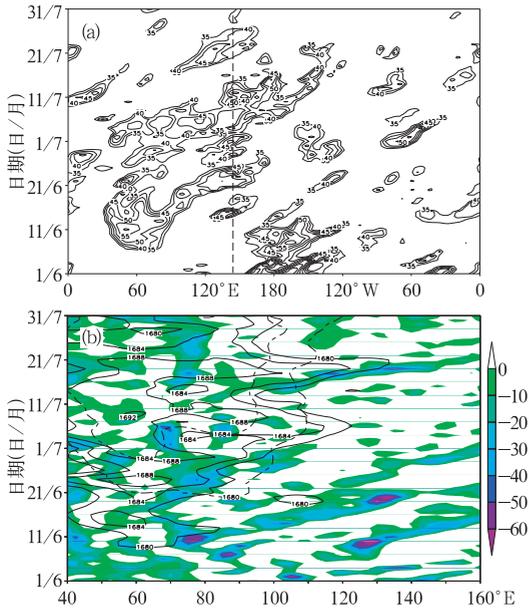


图 4 2007 年 6—7 月高层系统变化

(a) 2007 年 6—7 月 200hPa 急流沿 40°N 的经度-时间剖面(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) (b) 2007 年 6—7 月沿 32.5°N 高空 100hPa 南亚高压特征等值线经度-时间剖面(单位: dgpm) 和湿度平流(单位: 10^{-10}s^{-2})

4 中期预报着眼点

每年汛期,中央气象台中期预报服务的重点就是对主要雨带位置和强度的预报,因历史上罕见的暴雨致洪灾害都发生在江淮梅雨期间,因此对江淮梅雨的预报服务更是中央气象台中期预报任务的重中之重。对于持续性强降水的预报必须抓住大尺度环流关键系统的演变,这是中期预报技术路线。通过 2007 年梅汛期的异常降水的大尺度环流成因分析,结合预报实践经验,可以从中得出如下江淮梅雨大尺度环流条件的预报着眼点:

(1) 前提条件:季风爆发是产生持续性强降雨的前提条件,梅汛期淮河流域多雨往往对应副热带季风异常强盛,同期印度季风活跃也往往给川渝地区带来强降雨。

(2) 关键条件:西太平洋副热带高压季

节性北跳,引导印度季风、南海季风和副热带季风所携带的暖湿气流北上,在季风涌前沿产生降水,副高的位置和 activity 决定了梅雨的时间和地域分布特征。

(3) 必要条件:阻塞高压活动频繁,加强中纬度地区扰动生成和提供冷空气条件,增强了南北空气的干、湿对比,从而有利于梅雨锋的维持、加强。

(4) 背景条件:南亚高压类型(东部型、西部型)以及东西振荡活动,影响副高稳定性和中短期活动。副热带急流中心活跃在东亚上空 $130 \sim 140^\circ\text{E}$ 附近,副热带西风急流中心的右后方动力强迫作用激发的垂直运动,为江淮流域连续性暴雨天气创造了良好的动力环境场,也间接抑制了副高加强北抬。

5 结语

(1) 2007 年梅雨期异常偏长,属历史少见。梅雨期暴雨集中出现在淮河流域,不仅构成了 2007 年梅雨的主要空间分布特征,也由此造成“无降水旱、有降水涝、强降水洪”的淮河流域遭受 1949 年以来仅次于 1954 年的全流域性大洪水。

(2) 2007 年梅汛期的大尺度环流的异常活动是造成降水异常的重要成因。副高稳定和 7 月中下旬持续偏南,决定了 2007 年梅汛期降水的时间和地域分布特征。阻塞高压的频繁出现和副热带季风涌的异常强盛为梅雨锋维持和加强提供了有利的动力、热力以及水汽条件;“伊朗型”南亚高压的活动以及东亚上空副热带急流通过高低空耦合动力作用,不仅为持续性暴雨创造了良好的垂直环流结构,也间接抑制了西北太平洋副高北抬。

(3) 很多研究表明,热带对流活动,尤其是热带气旋的活动,对副高的加强西伸和北抬具有重要作用。2007 年梅雨期间,7 月上旬和中旬分别有热带低压桃芝和超级台风万

宜在副高南侧活动,但并没有引起副高的稳定加强北抬。因此,对于热带系统与副高的相互作用的关系有必要做更细致的系统研究。此外,作者从2007年和2003年淮河水期间的季风活动分析中得到,副热带季风的异常强盛与淮河出现致洪暴雨有较好相关关系,而印度季风强盛与川渝地区持续暴雨有密切的联系,该结论还有待于系统性深入分析和机理研究。

参考文献

- [1] 丁一汇. 1991年江淮流域持续性特大暴雨研究[M]. 北京:气象出版社. 1993:69-106.
- [2] 陶诗言,倪允琪,赵思雄,等. 1998夏季中国暴雨的形成机理与预报研究[M]. 北京:气象出版社,2001:12-31.
- [3] 周曾奎. 1991年异常梅雨和连续暴雨的环流特征[J]. 气象, 1992,18(8):27-32.
- [4] 张欣,周曾奎,邓华军,等. 2000年江淮梅雨的分析
和中期预报着眼点[J]. 气象, 2001,30(7):30-34.
- [5] 倪允琪,周秀骥,张人禾,等. 我国南方暴雨的试验与研究[J]. 应用气象学报,2006,17(6):690-704.
- [6] 赵振国. 中国夏季旱涝及环境场[M]. 北京,气象出版社,1999:49-50.
- [7] 李威,王启伟,王小玲. 北半球阻塞高压实时监测诊断业务系统[J]. 气象, 2007,22(4):77-81.
- [8] 张庆云,陶诗言. 亚洲中高纬度环流对东亚夏季降水的影响[J]. 气象学报,1998,56(2):199-211.
- [9] 王亚非,宋永加. 1991年夏东亚阻塞高压形成的诊断分析[J]. 气象学报,1998,58(2):212-223.
- [10] 金荣花,矫梅燕,徐晶,等. 2003年淮河多雨期西太平洋副高活动特征及其成因分析[J]. 热带气象学报,2006, 22(1):60-66.
- [11] Tibaldai, S., and F. Molteni. On the operational predictability of blocking[J]. Tellus, 1990, 42A: 343-365.
- [12] 陶诗言,朱福康. 夏季亚洲南部100毫巴流型的变化及其与副热带高压进退的关系[J]. 气象学报, 1964, 34(4):385-395.