

华南前汛期的锋面降水和夏季风降水 I. 划分日期的确定

郑彬 梁建茵 林爱兰 李春晖 谷德军

中国气象局热带海洋气象研究所热带季风重点开放实验室, 广州 510080

摘要 前汛期暴雨常常引发华南地区的洪涝,但是前汛期降水的预报能力却相当低。降水的预报在很大程度上依赖于对降水性质的理解,而华南前汛期降水通常被认为只是锋面性质的降水。事实上,南海夏季风在6月(甚至5月)就可以影响到华南地区并产生季风对流降水。因此,华南前汛期包含了两种不同性质的降水,即锋面降水和夏季风降水,如何区分它们是非常重要的。为了区分它们,利用NCEP/NCAR再分析资料、CMAP资料和中国730站降水资料,分析气候平均(1971~2000年)状态下锋面降水和季风降水期间大气性质和特征差异,得到华南前汛期夏季风降水开始的基本判据:100 hPa纬向风由西风转为东风并维持5天以上。利用该判据得出气候平均条件下的华南夏季风降水开始于5月24日,并得到1951~2004年逐年华南前汛期锋面降水和季风降水的划分日期。合成分析的结果表明,得到的划分日期是基本合理的,因为它将锋面降水和季风降水期间大气特点的显著差别区分开来。

关键词 华南 前汛期 锋面降水 夏季风降水

文章编号 1006-9895(2006)06-1207-10

中图分类号 P426

文献标识码 A

Frontal Rain and Summer Monsoon Rain During Pre-rainy Season in South China. Part I: Determination of the Division Dates

ZHENG Bin, LIANG Jian-Yin, LIN Ai-Lan, LI Chun-Hui, and GU De-Jun

The Key Open Laboratory for Tropical Monsoon, Institute of Tropical and Marine Meteorology, China Meteorological Administration, Guangzhou 510080

Abstract Heavy rain during pre-rainy season usually causes a flood in South China, but the prediction for the rain during pre-rainy season is still a challenge for meteorologists. To a large degree, the rain prediction depends on understanding of its characteristics. Generally, the rain during pre-rainy season is considered as frontal rain. But, the South China Sea summer monsoon (SCSSM) can invade South China and dominate rain there in June, even early May. Since the characteristics of rain during pre-rainy season are so different, it is important to distinguish SCSSM rain from frontal rain. In order to distinguish them, NCEP/NCAR reanalysis data, the Climate Prediction Center (CPC) Merged Analysis of Precipitation (CMAP) and data of 730 surface stations of China are used to analyze the differences of frontal rain and monsoon rain during pre-rainy season under the mean climatological condition (1971-2000), and the basic criterion of beginning of summer monsoon rain in South China is made as follows: zonal wind at 100 hPa shifts from westerly to easterly and easterly persists for exceedingly five days. An important feature of SCSSM onset is upper tropospheric zonal wind shift from westerly to easterly, corresponding the northward move of South Asia High. To make sure that the upper troposphere over South China is dominated steadily by easterly, east-

erly wind must persist for over five days. Accompanying the zonal wind shift, lower tropospheric temperature and moisture change abruptly. Therefore, zonal wind shift at 100 hPa can be used to determine the start of summer monsoon rain in South China, and the changes of lower tropospheric temperature and moisture are used to validate and revise the start date determined by zonal wind shift at 100 hPa. By the criterion, beginning date of summer monsoon rain in South China has been derived as 24 May under the mean climatological condition. Through the analyses, the beginning dates of that from 1951 to 2004 are obtained too. The results of composite analysis indicate that the derived dates distinguish tropospheric characters during frontal rain from that during monsoon rain.

Key words South China, pre-raing raining season, frontal rain, summer monsoon rain

1 引言

华南地区的降水主要集中在 4~9 月份(汛期),其降水量的多寡是造成华南旱涝的最主要因素。根据造成降水的主要天气系统的差异又可将雨季划分为前汛期(4~6 月)和后汛期(7~9 月),它们具有不同的气候特征^[1]。华南前汛期是持续性暴雨的多发期,大范围的洪涝灾害发生的主要时段。因此,前汛期降水的影响因子及预测的研究一直是中国气象工作者的重要课题之一。为了预报预测华南地区的前汛期降水,前人已经研究了许多因子对华南前汛期降水的影响(例如,极涡^[2, 3]、青藏高原雪盖^[4]、海温^[5~7]、西太平洋副高^[8]等等)。林爱兰^[9]进一步综合了各种强信号,给出了预报广东省前汛期月降水异常的概念模型。尽管该模型有一定的回报成功率,但是总的来说,华南前汛期降水的预测预报能力还是相当低的。事实上,即使是前汛期,降水性质在前后期也是不同的。用同样的模式预报不同性质的降水,正是其预报水平较差的重要原因之一。早在 20 世纪 80 年代初,沈如桂等^[10]就指出,华南前汛初期的降水多是与西风带南支气流及南海高压脊北侧偏西气流相联系的,而随着南海夏季风的建立和加强,华南前汛期降水进入后期。罗会邦^[11]利用美国气候预测中心(CPC)综合分析降水资料 CMAP (CPC Merged Analysis of Precipitation) 和 NCEP/NCAR 的降水资料研究了南海夏季风的爆发和相关雨带的传播规律,结果表明:南海夏季风建立的 28 候~31 候(即 5 月第 4 候~6 月 1 候),南海北部地区的降水与北边锋面雨带相连;南海夏季风建立之后,该雨带向北移动,33 候(即 6 月第 2 候),随着它突然北跳到 30°N,南海地区的降水便与南面西太平洋的热带雨带相连。左瑞亭等^[12]利用中国科学院大气物理研究所九层大气环流模式分析其对季风的模拟能力,并探寻季风与西

风带的相互关系。他们从模式计算结果发现西风带和热带的降水性质有着本质差别,前者与风暴轴有关,为大尺度抬升凝结降水,后者受控于大气层结,为对流性降水;西风带和季风降水都受两半球副热带辐散源的驱动影响,冬季风加强北半球的西风带,进而加强西风带降水,夏季风则削弱北半球西风带及其降水。由此可见,华南前汛初期降水和后期降水具有完全不同的性质,应该将它们区分开来。前汛初期的降水有较多名称,如西风带降水、副热带季风降水、锋面降水等,本文统一称之为锋面降水;而前汛后期降水的名称较统一,称为(热带)夏季风降水。本文将通过分析气候平均(1971~2000 年,CMAP 降水的气候平均为 1979~2000 年,下同)状态下,锋面降水和季风降水期间大气性质和特征的差异(利用 NCEP/NCAR 再分析资料^[13]、CMAP 资料^[14]和中国 730 个观测站降水资料),得到季风降水开始日期的判据;利用该判据分析 1951~2004 年 NCEP 日平均资料,确定逐年的华南前汛期锋面降水和夏季风降水的划分日期。

2 华南夏季风爆发前后的气候特征

南海夏季风爆发后,并不意味着华南夏季风降水的开始。直到南海夏季风推进到华南地区[本文取(20°N~23°N, 110°E~120°E)],才开始出现季风降水。此时,华南地区大气中的水汽、热力及动力状况发生明显的变化。高绍风和罗会邦^[13]认为夏季风的建立与大气水汽含量有明显的关系,5 月 3 候(夏季风建立)后大气水汽含量明显增大,地面到 100 hPa 候平均气柱水汽含量稳定大于 55 mm (100 hPa 比湿已经很小了)。因此,他们认为,可以以候平均气柱水汽含量稳定大于 55 mm 作为华南夏季风建立的指标。图 1b 是 1971~2000 年气候平均华南地区平均可降水量在 4~6 月的变化[即(20°N~23°N, 110°E~120°E)区域平均,对于格点

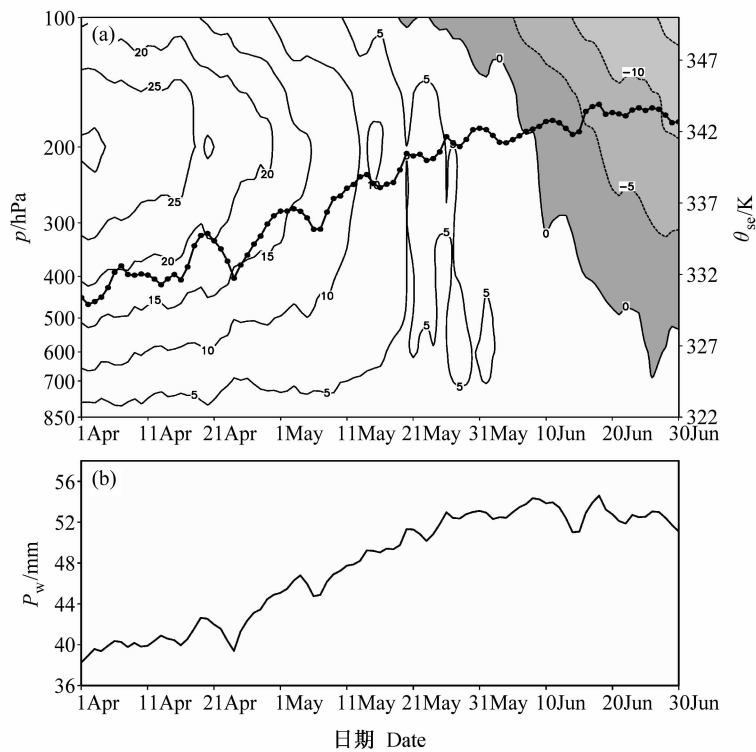


图1 1971~2000年气候平均华南(20°N~23°N, 110°E~120°E)前汛期纬向风垂直分布(a, 单位: m/s, 等值线间隔 5 m/s; 阴影区为东风; 粗点线为 850 hPa 假相当位温)和可降水量的变化(P_w)

Fig. 1 Vertical cross section of climatological mean (1971–2000) (a) zonal winds (m/s, easterly region is shaded) during pre-rainy season in South China (20°N–23°N, 110°E–120°E), thick line marked by dots is θ_{se} at 850 hPa; (b) precipitable water content (P_w)

资料,是该区域内格点的平均,对于站点资料则是该区域内站点的平均。下同]。可以看到,在4月底到5月底的一个月时间里,可降水量增长速度很快,每3天增加约1 mm;而在5月底到前汛期结束,可降水量则只有微弱的波动,它们稳定地大于50 mm,可以认为是夏季风爆发(它们没有达到高绍风和罗会邦^[15] 55 mm的标准,这与资料和选取时段的不同有很大关系。但是它们的性质是相同的,即都稳定地大于某一个较大的数值)。

在夏季风建立期间,南亚高压中心也呈现出明显的季节性北移^[16]。特别是在100 hPa层上,高压中心有规律地逐步移上青藏高原,平均而言,4月份南亚高压中心的位置在菲律宾以东的洋面上(10°N, 140°E),5月份北移到中南半岛(21°N, 101°E),6月份中心移到青藏高原东南部(29°N, 86°E)。在热带高层高压系统季节性北移的同时,高层盛行风亦发生显著的变化。原在青藏高原南侧的副热带西风急流逐步北撤,而强劲的东风气流则取而代之。王启和丁一汇^[17]也指出:5月第2候前,

南海北部地区整层都为西风;5月第3候,500 hPa以上东风开始爆发,同时低层西风加强,这相应于夏季风的爆发,是夏季风爆发的一个非常典型的垂直结构特征。图1a是1971~2000年气候平均华南前汛期纬向风的垂直分布,图中显示100 hPa纬向风从5月下旬开始全面转为东风,并且向下传播。图1a还标出了华南地区平均850 hPa假相当位温 θ_{se} (粗点线),可以看出它的变化与可降水量的变化非常相似。同样,在4月底到5月底有一个迅速增大的过程,之后的变化则很小。

另外,前面提到锋面降水为大尺度抬升凝结降水,而热带季风降水受控于大气层结,为对流性降水^[12]。因此,大气稳定度在华南夏季风爆发后也会有明显的变化(如图2)。从图2可以看到,华南地区低层大气在5月下旬出现较大的不稳定层结(小于-6 K),并且一直持续到前汛期结束。由于降水成因的不同,造成锋面降水和季风降水雨带的行进方向有差异。陈隆勋等^[18]研究指出,4月锋面雨带出现在中国大陆东南部,此雨带生成后便向南

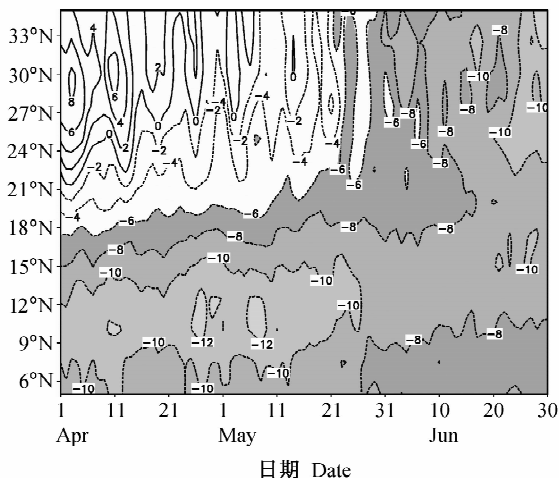
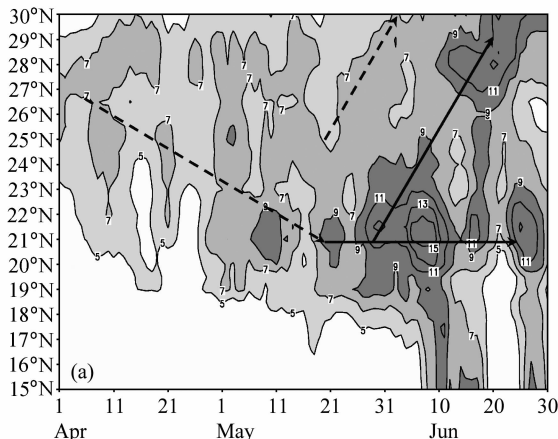


图2 110°E~120°E 平均假相当位温的垂直切变 (700 hPa 减去 925 hPa, 为 1971~2000 年气候平均), 单位: K, 等值线间隔 2 K, 阴影区为小于 -6 K 的区域

Fig. 2 Vertical shear of climatological mean (1971–2000) θ_{sc} (K) averaged for 110°E–120°E (θ_{sc} at 700 hPa– θ_{sc} at 925 hPa). Regions less than -6 K are shaded

传播;随着南海夏季风的爆发,原来由北向南传播到华南沿海的锋面雨带又反过来向北推进(见图 3 中向上的虚箭头)。

图 3a、b 分别是 110°E~120°E 中国大陆测站和 CMAP 资料气候平均降水量在前汛期的变化。从图 3a 可以看到,4 月开始,最大降水中心向南移动(即锋面降水);到 5 月下旬南海夏季风爆发后,最大降水中心在华南维持(季风降水),而江南地区有向北传播的雨带,此时的北进雨带仍是锋面降



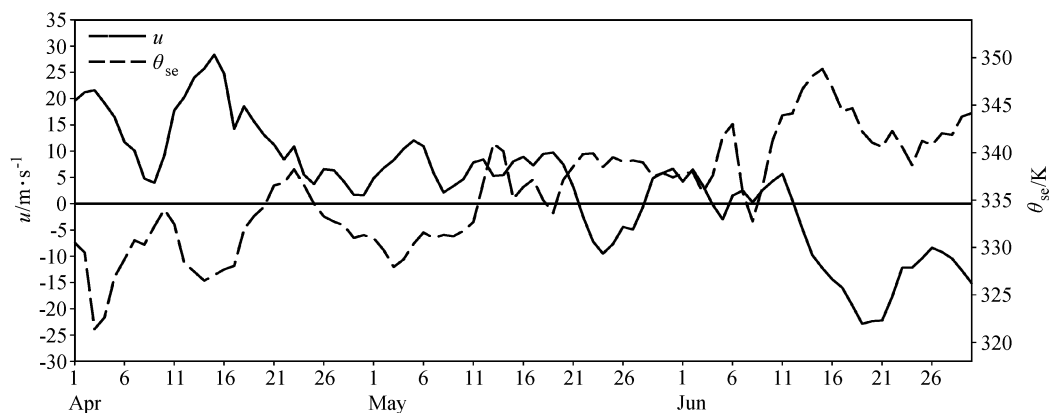


图4 1957年华南(20°N~23°N, 110°E~120°E)上空100 hPa纬向风 u 和850 hPa的 θ_{se} 在前汛期的变化
Fig. 4 Zonal wind u at 100 hPa and θ_{se} at 850 hPa over South China (20°N–23°N, 110°E–120°E) during the pre-rainy season of 1957

始(图1a)。从图1~3可以看到,5月24日(5月5候),无论是水汽、降水、温度都已发生重大变化,这也证明了该日期的合理性。为了进一步验证该日期,我们与其他工作者确定的夏季风推进日期进行比较。陈隆勋等^[18]指出,锋面雨带从4月1候开始向南移动,到5月2候,锋面雨带移到南海北部地区;而南海南部的热带季风降水在5月3候已经开始,5月5候推进到华南沿海,5月6候北进到华南北部。陶诗言等^[20]的研究结果也表明夏季风在5月20日推进到华南沿岸,5月30日北进到华南北部。李崇银和屈昕^[21]的结果虽然在夏季风推进到华南沿岸的时间上略早于陶诗言等^[22]的结果,但是,之后二者的推进日期则是相近的。从以上的前人工作可以看到,夏季风影响到华南的最初日期确实是在5月5候,具体日期可能由于资料的差异有所不同。

由以上分析可以看到,在对流层高层,夏季风爆发的一个典型特征即是西风向东风的转变,对应着南亚高压的逐渐北移。因此,利用100 hPa纬向风由西风转为东风(持续5天以上),可以用来划分锋面降水和季风降水,而低层大气的水汽、降水、温度则可以作为一种验证条件。

4 逐年华南夏季风降水开始日期的确定

前一节在气候平均(1971~2000年)状态下,确定了华南夏季风降水开始的日期为5月24日。本节将通过对逐年高层风场资料的分析,确定1951~2004年锋面降水和夏季风降水的划分日期。单年的情况并不像气候平均那么有规律,可能出现异常情况[例如1957年(图4)]。如果由100 hPa纬向

风由西风转为东风并维持5天以上判断,则季风降水开始日期为5月22日。但是,我们从纬向风整段时间的变化可以看到,5月22~28日的纬向东风只是其变化趋势中的异常情况,直到6月13日,纬向东风才真正开始盛行。从 θ_{se} 的变化也可以看到,它在6月11日前总的趋势也是增长的,只是在5月22日~6月3日这段时间停止了增长,甚至有所下降。因此,对于1957年来说,华南夏季风降水开始于6月13日。如此具体分析每一年的情况,得到1951~2004年逐年华南夏季风降水的开始日期(表1)。表1中显示的华南夏季风降水开始的最早日期是1951年5月13日;最晚是1996年,为6月19日。

前面提到,华南夏季风降水的开始日期并不等同于南海夏季风的爆发日期。为了进一步分析,我们也将不同研究者确定的南海夏季风爆发日期^[22]列于表1中。从表中可以看到,不同的研究者确定的南海夏季风爆发日期都有几年比本文所确定的华南夏季风降水开始日期偏晚。其中:来自文献^[23]的有1963、1964、1976、1982和1993年;来自文献^[24]的有1963和1970年;来自文献^[25]的有1970、1982和1993年;来自文献^[26]的有1954、1956、1970、1982和1983年;来自文献^[27]的则没有。这与研究者定义南海夏季风爆发日期所选取的标准有关。但是,我们可以看到,总体上,华南夏季风降水开始日期是在南海夏季风爆发之后的,二者之间的间隔体现了南海夏季风推进到华南地区的时间。这个推进速度在不同年份有所差异,有的年在季风爆发的当候就影响到华南(如1960年),而有的年则要过3~4候才影响到华南(如1981年)。从气候平均

表 1 华南季风降水开始日期和南海夏季风 (SCSSM) 爆发时间

Table 1 Beginning time of summer monsoon rain in South China and onset time of the South China Sea summer monsoon (SCSSM)

年 Year	华南季风降水开始时间	南海夏季风爆发时间 (月, 候) ^[22]				
	[月-日 (月, 候)]	Onset time of SCSSM (month, pentad)				
	Beginning time of summer monsoon	来自文献[23]	来自文献[24]	来自文献[25]	来自文献[26]	来自文献[27]
	rain in South China [month-date (month, pentad)]					
		From reference [23]	From reference [24]	From reference [25]	From reference [26]	From reference [27]*
1951	05-13 (5,3)			5,1	5,2	5,1
1952	05-23 (5,5)			5,3	5,3	5,5
1953	05-15 (5,3)			5,2	5,2	5,1
1954	06-04 (6,1)			5,2	6,2	5,6
1955	05-28 (5,6)			5,5	5,5	5,2
1956	05-17 (5,4)			5,1	6,1/6,3	5,4
1957	06-13 (6,3)			5,3	6,2	6,1
1958	05-30 (5,6)	5,6	5,5	5,5	5,5	5,5
1959	06-03 (6,1)	6,1	5,6	5,6	5,6	5,6
1960	05-29 (5,6)	4,6	5,6	4,5	5,6/4,5	5,6
1961	05-28 (5,6)	5,4	5,4	5,3	5,3	5,3
1962	06-02 (6,1)	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4
1963	05-31 (5,6)	6,1	6,1	5,6	5,6	5,6
1964	05-20 (5,4)	5,5	5,4	5,4	5,4	5,4
1965	06-02 (6,1)	5,6	5,6	5,5	5,5	5,5
1966	05-28 (5,6)	5,1	5,1	5,1	5,1	4,6
1967	05-22 (5,5)	5,4	5,5	5,5	5,5	5,4
1968	06-06 (6,2)	5,6	5,4	5,6	5,6	6,1
1969	06-04 (6,1)	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
1970	05-30 (5,6)	5,3	6,1	6,1	6,1	5,2
1971	06-02 (6,1)	5,3	6,1	5,1	5,3	5,3
1972	06-07 (6,2)	5,3	5,3	5,2	5,3	5,3
1973	06-14 (6,3)	6,2	6,2	6,2	6,2	6,1
1974	06-03 (6,1)	5,6	5,6	4,5	5,6/4,6	5,5
1975	06-03 (6,1)	5,6	5,5	5,6	6,1	5,6
1976	05-24 (5,5)	5,6	5,4	5,2	5,4	5,3
1977	05-31 (5,6)	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4
1978	05-26 (5,6)	5,5	5,5	5,5	5,5	5,4
1979	05-21 (5,5)	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3
1980	05-23 (5,5)	5,4	5,3	5,3	5,3	5,4
1981	06-03 (6,1)	5,3	5,3	5,3	5,3/6,1	5,3
1982	05-31 (5,6)	6,1	5,6	6,1	6,1	5,6
1983	05-24 (5,5)	5,5	5,3	5,5	6,1	5,5
1984	06-04 (6,1)	4,6	5,4	4,6	5,1/5,5	4,6
1985	05-27 (5,6)	5,1	5,6	4,5	5,6/5,1	4,5
1986	05-19 (5,4)	5,3	5,2	5,3	5,3	5,2
1987	06-11 (6,3)	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2
1988	06-06 (6,2)	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
1989	06-10 (6,2)	6,2	6,2	5,4	5,5/6,2	5,4

表 1 (续)
Table 1 (Continued)

年 Year	华南季风降水开始时间	南海夏季风爆发时间 (月, 候) ^[22]				
	[月-日 (月, 候)]	Onset time of SCSSM (month, pentad)				
	Beginning time of summer monsoon	来自文献[23]	来自文献[24]	来自文献[25]	来自文献[26]	来自文献[27]
	rain in South China [month-date (month, pentad)]					
		From reference [23]	From reference [24]	From reference [25]	From reference [26]	From reference [27]*
1990	06-06 (6,2)	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4
1991	06-14 (6,3)	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2
1992	06-01 (6,1)	5,5	5,4	5,4	5,4	5,4
1993	06-01 (6,1)	6,2	5,6	6,2	5,6	5,5
1994	05-22 (5,5)	5,1	5,1	5,1	5,1/4,2	5,2
1995	05-17 (5,4)	5,3	5,3	5,3	5,4	5,3
1996	06-19 (6,4)	5,2	5,2	5,2	5,2/5,4	5,2
1997	06-06 (6,2)	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4
1998	05-31 (5,6)		5,5	5,5		5,5
1999	05-26 (5,6)					4,5
2000	06-04 (6,1)					5,3
2001	05-21 (5,5)					5,2
2002	06-02 (6,1)					5,3
2003	06-09 (6,2)					5,5
2004	05-23 (5,5)					5,4
平均 Mean	05-24 (5,5)	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4

* 2000 年之前的南海夏季风爆发时间来自文献 [27], 2000 年之后的资料由梁建茵和李春晖提供。
SCSSM onset time before 2000 is from reference [27] and that after 2000 is provided by Liang Jianyin and Li Chunhui.

的日期也可以看到, 华南夏季风降水开始日期落后于南海夏季风爆发约 1 候。

下面, 以表 1 中的华南夏季风降水日期为原点, 对 1951~2000 年的高低层风场进行合成, 得到图 5。从图 5 中可以看到, 在华南夏季风降水开始前 30 天, 100 hPa 东风还主要在南海中南部, 但是零风速线已逐渐向北扩张; 在前 7 天到华南夏季风降水开始, 东风有一个突进的过程, 使得之后的华南高空为东风气流所控制。从流场形式也可以看到, 在华南夏季风降水开始前 30 天, 17°N 附近有一个反气旋中心, 它的脊线(对应图 5a 中的零风速线)随着时间向北推进, 在前 7 天到华南夏季风降水开始, 是其脊线突然北跳的过程。合成的低层 850 hPa 纬向风场(图 5b)显示, 在华南夏季风降水开始前 30 天到前 8 天, 华南和南海处于副高控制之下, 华南的西风主要来之副高北侧和高原南侧的西风; 前 8 天到华南夏季风降水开始, 华南西风虽然有一部分来自热带, 但是它还与来自高原南侧的西风相连; 直到华南夏季风降水开始之后, 华南的西

风才与南部的热带西风完全相连。以上分析表明, 表 1 中的华南夏季降水开始的日期在高低层风场的表现上是合理的。下面, 将从降水方面进一步验证。

图 6a、b 分别是 1951~2000 年、1971~2000 年气候平均的降水, 它们的分布非常相似, 主要区别在于前者季风降水开始后的华南降水略小于后者, 而北部 25°N~27°N 的降水则略大于后者。与图 3a 相比, 雨带的移动和维持基本相同, 但是仍有一些区别: 图 6 中向南移动的锋面雨带可以到达更南的地方, 而向北推进的雨带也从更南端开始。图 6a 显示出华南锋面降水和季风降水各有一个峰值(如图中圆圈所示区域)。锋面降水峰值大约在华南夏季风降水开始前 14 天, 而华南夏季风降水开始前 20 天到前 10 天是华南前汛期锋面降水较丰富的时段, 并且这段时期的降水与北部副热带降水是相连的; 而季风降水峰值出现在季风降水开始后的 11 天左右, 可以看到, 整个华南前汛期季风降水都很丰富, 而且与南部热带降水相连。图 6b 显示华南前汛期锋面降水峰值的出现时间比图 6a 中偏早,

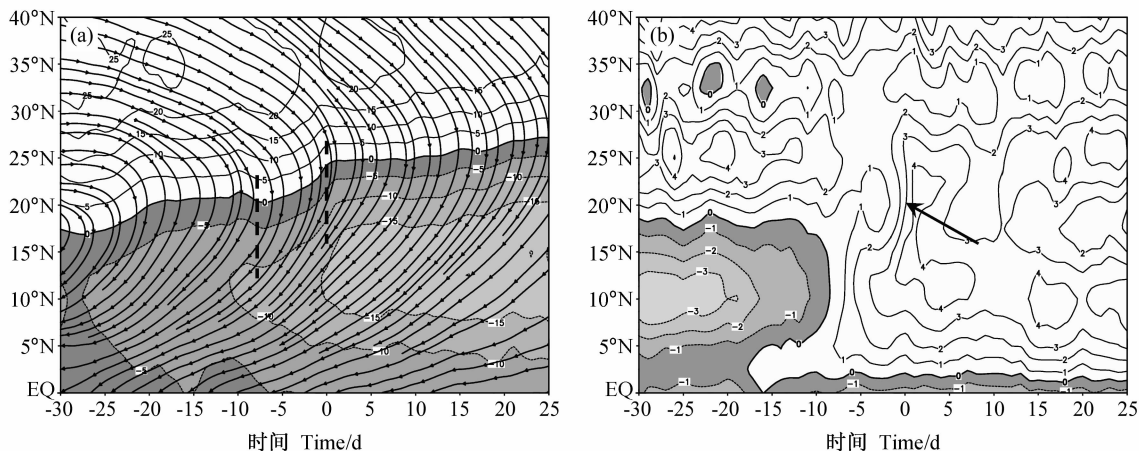


图5 以华南夏季风降水开始日期为原点, 1951~2000年合成的110°E~120°E平均100 hPa流场(a, 等值线为纬向风, 间隔5 m/s)和850 hPa纬向风(b, 等值线间隔1 m/s)。阴影部分为东风

Fig. 5 Taking the beginning date of summer monsoon rain in South China as reference, composite 100 hPa stream field (a, contour is zonal wind and interval is 5 m/s) and 850 hPa zonal wind (b, interval is 1 m/s) for 1951–2000 averaged over 110°E–120°E (Easterlies are shaded)

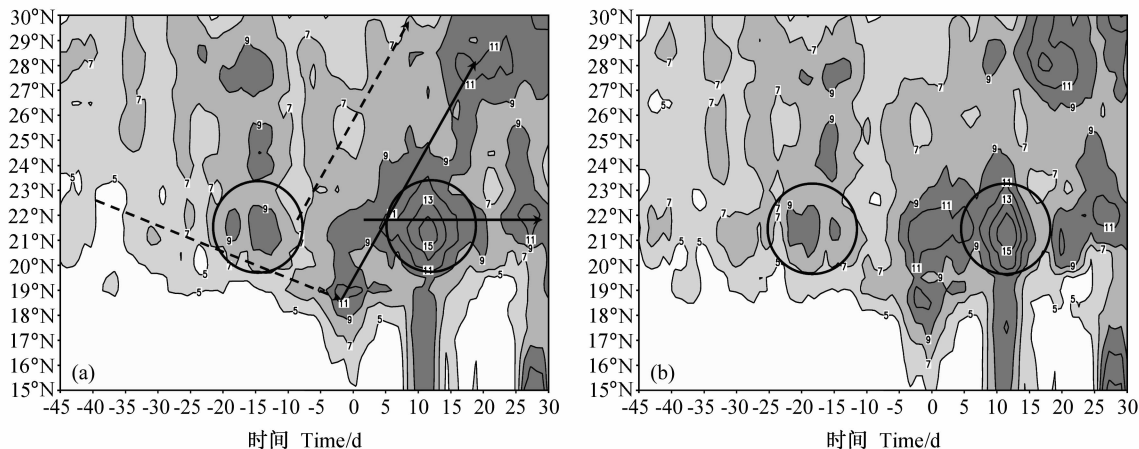


图6 以华南夏季风降水开始日期为原点, 110°E~120°E平均的降水演变(单位: mm/d): (a) 1951~2000年合成; (b) 1971~2000年合成。阴影部分为大于5 mm/d的降水, 等值线间隔2 mm/d

Fig. 6 Taking the beginning date of summer monsoon rain in South China as reference, composite precipitation (mm/d) for 1951–2000 (a) and 1971–2000 (b) averaged over 110°E–120°E (Regions larger than 5 mm/d are shaded)

但是季风降水峰值位置与图6a很接近。此外, 图6b中锋面降水除了一个最大的峰值外, 在季风降水开始后几天和前汛期结束前几天都还有一个较小的峰值。可见, 华南前汛期降水的气候特征在不同时段还有一些区别。

此外, 从 θ_{sc} 的合成情况也可以看到华南夏季风开始前后的显著不同特性(图略)。由上面的合成分析结果可知, 表1中华南夏季风降水开始日期是基本合理的, 它将锋面降水与季风降水期间高低层风场、降水和 θ_{sc} 的主要特征都明显区分开来。

5 小结

利用NCEP再分析资料、中国730个观测站降水资料和CMAP降水资料, 通过对气候平均状况和1951~2004年的高层风场、降水、 θ_{sc} 和不稳定的分析, 我们得到以下结果:

(1) 在对流层高层, 夏季风爆发的一个典型特征即是西风向东风的转变, 对应着南亚高压的逐渐北移(如图6a)。因此, 我们得到判定华南前汛期季风降水开始日期的标准: (20°N~23°N, 110°E~

120°E) 平均 100 hPa 纬向风由西风转为东风并维持 5 天以上, 降水、 θ_{sc} 可作为验证条件。得到的气候平均华南前汛期季风降水开始日期为 5 月 24 日, 与文献[18, 20, 21]的结果基本相同。

(2) 由以上判据具体分析 1951~2004 年各年情况, 得到逐年华南前汛期季风降水开始日期(表 1), 降水、 θ_{sc} 的验证结果都表明这些日期基本合理, 它将华南前汛期锋面降水和季风降水期间的不同大气性质和特点区分开来。将其与南海夏季风爆发日期(表 1)进行对比, 结果表明, 华南季风降水开始于南海夏季风爆发之后, 这体现了南海夏季风的推进时间。对于气候平均(1971~2000 年)状态, 南海夏季风推进到华南的时间约为 1 候。

关于华南前汛期锋面降水和季风降水的变化特点, 我们将在另文中阐述。

参考文献 (References)

[1] 李江南, 王安宇, 蒙伟光, 等. 广东省前汛期和后汛期降水的气候特征. 中山大学学报(自然科学版), 2002, **41** (3): 91~94
Li Jiangnan, Wang Anyu, Meng Weiguang, et al. Forecasting the onset of southwesterlies monsoon over South China Sea. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni* (in Chinese), 2002, **41** (3): 91~94

[2] 高绍风, 夏骏峰, 何玉冰. 华南夏季大气环流的变异及其与季风降水的关系. 中山大学学报论丛, 1994, (5): 1~6
Gao Shaofeng, Xia Junfeng, He Yubing. Anomaly of general circulation and relation between it and monsoon precipitation over South China in summer. *Supplement to the Journal of Sun Yatsen University* (in Chinese), 1994, (5): 1~6

[3] 谢炯光. 广东省前汛期降水分布趋势的分析与预测. 应用气象学报, 1997, **8** (4): 452~459
Xie Jiongguang. Analysis and forecast of precipitation distribution trend prior to flood season in Guangdong Province. *Journal of Applied Meteorological Science* (in Chinese), 1997, **8** (4): 452~459

[4] 蔡学湛. 青藏高原雪盖与东亚季风异常对华南前汛期降水的影响. 应用气象学报, 2001, **12** (3): 358~367
Cai Xuezhan. The influence of abnormal snowcover over Qinghai-Xizang Plateau and East Asian monsoon on early rainy season rain over South China. *Journal of Applied Meteorological Science* (in Chinese), 2001, **12** (3): 358~367

[5] 谢炯光, 纪忠萍. 西北太平洋海温与广东省汛期降水的关系. 热带气象学报, 1999, **15** (1): 56~63
Xie Jiongguang, Ji Zhongping. The relation between sea sur-

face temperature of the North-West Pacific Ocean and flood season rainfall of Guangdong Province. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 1999, **15** (1): 56~63

[6] 邓立平, 王谦谦. 华南前汛期 4~6 月降水异常特征及其与我国近海海温的关系. 热带气象学报, 2002, **18** (1): 45~55
Deng Liping, Wang Qianqian. On the relationship between precipitation anomalies in the first raining season (April~June) in southern China and SST over offshore waters in China. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 2002, **18** (1): 45~55

[7] 田红, 郭品文, 陆维松. 中国夏季降水的水汽通道特征及其影响因子分析. 热带气象学报, 2004, **20** (4): 401~408
Tian Hong, Guo Pinwen, Lu Weisong. Characteristics of vapor inflow corridors related to summer rainfall in China and impact factors. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 2004, **20** (4): 401~408

[8] 梁建茵, 吴尚森. 广东省汛期旱涝成因的前期影响因子探讨. 热带气象学报, 2001, **17** (2): 97~108
Liang Jianyin, Wu Shangsen. Formation reasons of drought and flood in the rain season of Guangdong and preceding impact factors. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 2001, **17** (2): 97~108

[9] 林爱兰. 广东前汛期月降水异常的强信号研究及预测概念模型. 热带气象学报, 2002, **18** (3): 219~226
Lin Ailan. The study of strong signals and conceptual models of monthly precipitation anomaly forecast in Guangdong first raining spell. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 2002, **18** (3): 219~226

[10] 沈如桂, 陶全珍, 赖莹莹, 等. 华南前汛期对流层高低空的低纬环流变动和降水. 全国热带夏季风学术会议文集-1982. 昆明: 云南人民出版社, 1983. 10~20
Shen Rugui, Tao Quanzhen, Lai Yingying, et al. The circulation change in lower and upper troposphere in lower latitudes and the rainfall during the pre-typhoon rain-season. *Article Collection of the National Symposium on Tropical Summer Monsoon - 1982* (in Chinese). Kunming: Yunnan People's Publishing House, 1983. 10~20

[11] 罗会邦. 南海夏季风爆发及相关雨带演变特征. 南海季风爆发和演变及其与海洋的相互作用. 北京: 气象出版社, 1999. 25~28
Luo Huibang. SCSM rainfall outbreak and the evolution of associated rain-bands. *Onset and Evolution of the South China Sea Monsoon and Its Interaction with the Ocean* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1999. 25~28

[12] 左瑞亭, 曾庆存, 张铭. 季风及季风与西风带相互关系的数值模拟研究. 大气科学, 2004, **28** (1): 7~22
Zuo Ruiting, Zeng Qingcun, Zhang Ming. A numerical simulation of monsoon and the correlation between monsoon and westerlies. *Chinese J. Atmos. Sci.* (in Chinese), 2004, **28** (1): 7~22

- [13] <http://www.cdc.noaa.gov/>
- [14] ftp.cdc.noaa.gov
- [15] 高绍凤, 罗会邦. 1994 年前汛期广东区域水汽输送分析. 中山大学学报(自然科学版), 1998, **37** (5): 101~106
Gao Shaofeng, Luo Huibang. Water vapor over Guangdong area in first-half rain season in 1994. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni* (in Chinese), 1998, **37** (5): 101~106
- [16] 陈隆勋, 朱乾根, 罗会邦, 等. 东亚季风. 北京: 气象出版社, 1991. 362pp
Chen Longxun, Zhu Qiangen, Luo Huibang, et al. *East Asia Monsoon* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1991. 362pp
- [17] 王启, 丁一汇. 南海夏季风演变的气候学特征. 气象学报, 1997, **55**: 466~483
Wang Qi, Ding Yihui. Climatological aspects of evolution of summer monsoon over the northern South China Sea. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1997, **55**: 466~483
- [18] 陈隆勋, 李薇, 赵平, 等. 东亚地区夏季风爆发过程. 气候与环境研究, 2000, **5** (4): 345~355
Chen Longxun, Li Wei, Zhao Ping, et al. On the process of summer monsoon onset over East Asia. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2000, **5** (4): 345~355
- [19] 简茂球, 乔云亭, 罗会邦. 南海夏季风爆发前后低纬大气环流突变特征. 气候与环境研究, 2000, **5** (4): 356~362
Jian Maoqiu, Qiao Yunting, Luo Huibang. The abrupt change of the circulation in low-latitudes during the period from April to June. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2000, **5** (4): 356~362
- [20] 陶诗言, 李吉顺, 王昂生. 东亚季风与我国洪涝灾害. 中国减灾, 1997, **7** (4): 17~20
Tao Shiyang, Li Jishun, Wang Angsheng. East Asia monsoon and its relation to drought and flood disasters in China. *Disaster Reduction in China* (in Chinese), 1997, **7** (4): 17~20.
- [21] 李崇银, 屈昕. 伴随南海夏季风爆发的大尺度大气环流演变. 大气科学, 2000, **24** (1): 1~14
Li Chongyin, Qu Xin. Large scale atmospheric circulation evolutions associated with summer monsoon onset in the South China Sea. *Chinese J. Atmos. Sci.* (in Chinese), 2000, **24** (1): 1~14
- [22] 何金海, 丁一汇, 高辉, 等. 南海夏季风建立日期的确定与季风指数. 北京: 气象出版社, 2001. 123pp
He Jinhai, Ding Yihui, Gao hui, et al. *Determination of the Date of the South China Sea Summer Monsoon Onset and Monsoon Index* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2001. 123pp
- [23] 冯瑞权, 王安宇, 吴池胜, 等. 南海夏季风建立日期. 南海夏季风建立日期的确定与季风指数. 北京: 气象出版社, 2001. 77~77
Fong S K, Wang Anyu, Wu Chisheng, et al. The onset date of South China Sea summer monsoon. *Determination of the Date of the South China Sea Summer Monsoon Onset and Monsoon Index* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2001. 77~77
- [24] 高辉, 何金海, 谭言科, 等. 40 年南海夏季风建立日期的确定. 南海夏季风建立日期的确定与季风指数. 北京: 气象出版社, 2001. 42~48
Gao Hui, He Jinhai, Tan Yanke, et al. Determination of South China Sea summer monsoon 40-year onset dates. *Determination of the Date of the South China Sea Summer Monsoon Onset and Monsoon Index* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2001. 42~48
- [25] 谢安, 戴念军. 关于南海夏季风爆发日期和季风强度定义的初步意见. 南海夏季风建立日期的确定与季风指数. 北京: 气象出版社, 2001. 67~70
Xie An, Dai Nianjun. Preliminary opinions on the onset date and strength of the South China Sea summer monsoon. *Determination of the Date of the South China Sea Summer Monsoon Onset and Monsoon Index* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2001. 67~70
- [26] 贺海晏, 温之平, 简茂球. 近 50 年南海热带季风建立迟早的气候特征. 南海夏季风建立日期的确定与季风指数. 北京: 气象出版社, 2001. 49~54
He Haiyan, Wen Zhiping, Jian Maoqiu. Climatic characteristics of early and late onset of South China Sea summer monsoon in recent 50 years. *Determination of the Date of the South China Sea Summer Monsoon Onset and Monsoon Index* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2001. 49~54
- [27] 梁建茵, 吴尚森. 南海西南季风爆发日期及其影响因子. 大气科学, 2002, **26** (6): 829~844
Liang Jianyin, Wu Shangsen. A study of southwest monsoon onset date over the South China Sea and its impact factors. *Chinese J. Atmos. Sci.* (in Chinese), 2002, **26** (6): 829~844