

# 华南前汛期的锋面降水和夏季风降水 II. 空间分布特征

郑彬 谷德军 李春晖 林爱兰 梁建茵

中国气象局 广州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** 利用中国 730 站降水资料 and 第 I 部分 (郑彬等, 2006) 得到的华南前汛期锋面降水和季风降水的划分日期, 计算出 1958~2000 年华南前汛期锋面降水量 (强度) 和季风降水量 (强度) 的序列, 采用 EOF 和扩展 EOF 分析方法, 得到华南前汛期降水的几个主要分布型, 并探讨锋面降水与季风降水的可能联系。分析结果表明: 华南前汛期的锋面降水和季风降水分布主要有三种类型——全区旱涝型、西南涝 (旱) 东北旱 (涝) 型、东南涝 (旱) 西北旱 (涝) 型。各分布型的时间系数与 850 hPa 风场的相关结果表明不同的分布对应着不同的低层环流形势。统计结果显示华南前汛期锋面降水的分布形式与季风降水的分布形式有一定的对应关系。

**关键词** 华南 前汛期 锋面降水 夏季风降水 空间分布

**文章编号** 1006-9895 (2007) 03-0495-10

**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 II: Spatial Patterns

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

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

**Abstract** Following Part I of this study, spatial patterns of frontal rain and summer monsoon rain during pre-rainy season in South China are explored in this paper. In order to reveal the spatial patterns, the data of 730 surface stations of China and the start dates of summer monsoon rain in South China determined by Part I are used to compute the precipitation (strength) of frontal rain and summer monsoon rain during pre-rainy season and their time series are obtained. The main spatial patterns are found and the relationship between frontal rain and summer monsoon rain is explored by EOF (Empirical Orthogonal Function) analysis and extended EOF (EEOF) analysis. The results indicate that frontal rain and summer monsoon rain during pre-rainy season in South China have three important spatial patterns, including below normal (above normal) in the whole region, above normal (below normal) in the southwestern region and below normal (above normal) in the northeastern region, above normal (below normal) in the southeastern region and below normal (above normal) in the northwestern region. Through analyzing the relations between the spatial patterns and 850 hPa wind, the leading pattern of frontal rain corresponds to southwesterly (northeasterly) in the north of South China and northeasterly (southwesterly) in the south of South China, while the leading pattern of monsoon rain corresponds to southwesterly (northeasterly) in South China that represent summer monsoon strength. Relations between the second and third patterns of frontal and monsoon rain and lower tropospheric wind indicate to some extent that different front and monsoon control areas form different patterns. The distributions of frontal rain correspond well to that of summer monsoon rain during pre-rainy season in South China.

**Key words** South China, pre-rainy season, frontal rain, summer monsoon rain, spatial pattern.

**收稿日期** 2005-11-21, 2006-02-28 收修定稿

**资助项目** 广东省自然科学基金资助项目 5300001, 广东省计划项目 2005B32601007

**作者简介** 郑彬, 男, 1976 年出生, 助理研究员, 博士, 主要从事季风和海气相互作用、中层大气的研究。E-mail: zbin@grmc.gov.cn

## 1 引言

华南前汛期是持续性暴雨的多发期,是大范围的洪涝灾害发生的主要时段。但是,华南前汛期降水并不是均匀分布的,不同年份其分布具有不同的特点。许多研究者针对华南(或其某一地区)的前汛期降水分布作了一定的分析。赵仲辉和陈创买<sup>[1]</sup>分析了广东省5~9月的降水分布(包含了后汛期),结果表明大部分地区5~9月平均降水量都在1000 mm以上,有3个多雨中心,分别位于海丰、阳江和清远附近。5~9月平均降水总的分布趋势是由东南沿海向西北方向递减。刘黎明和陈创买<sup>[2]</sup>采用系统聚类法对广东省的降水分布进行逐月分区,他们将4月的广东降水分成4个区,而5、6月则分为5个区。这表明了5、6月的广东降水分布比4月有更大的空间差异。事实上,许多研究都表明华南前汛期降水包含了锋面性质的降水和热带季风降水<sup>[3~6]</sup>,因此,前汛期初期和后期由于降水性质的不同会导致降水分布的差异。郭其蕴和沙万英<sup>[7]</sup>对华南16个站1951~1996年4~6月的降水作EOF分析,给出的第一特征向量代表了华南全区的旱涝型;第二特征向量代表了华南东北旱(涝)-西南涝(旱)的分布;第三特征向量代表了华南南涝北旱(南旱北涝)的分布特征。前三个特征向量解释了总方差的64.2%,其余各向量解释的方差均小于10%,并且分布零乱。前人的这些工作都为我们进一步分析华南前汛期降水的空间分布特征奠定了基础,在此基础上,我们将分析的空间范围摆在了整个华南地区(20°N~25°N, 105°E~120°E)(不仅仅是广东地区),而且将前汛期分为锋面降水和季风降水两个阶段进行分析。虽然,郭其蕴和沙万英<sup>[7]</sup>对前汛期逐月的降水进行了分析,但是由于各年华南季风降水开始日期并不一致,甚至相差月余,因此他们分析的是平滑了的锋面和季风降水分布,不能突出华南前汛期锋面降水和季风降水两个阶段特点。

在文献<sup>[6]</sup>中,通过对华南前汛期高低层风场、假相当位温、湿度和降水的分析,得到划分华南前汛期锋面降水和季风降水的标准:100 hPa的高层纬向风由西风转为东风并持续5天以上。由此标准可以判断华南夏季风降水开始的日期,得到的气候平均的华南夏季风降水开始日期为5月24日,并

进一步计算了1951~2004年逐年的华南夏季风降水开始日期。本文将利用中国730站降水资料分析华南前汛期不同阶段降水的分布特征,并采用扩展EOF分析(EEOF)和相关分析,探讨了华南前汛期锋面降水和季风降水的可能联系,以及不同的分布类型对应的低层风场分布,其中风场资料采用NCEP/NCAR的再分析资料(2.5°×2.5°)。最后,给出华南前汛期夏季风降水与锋面降水分布之间的可能关系。

## 2 气候分布特征

如果以气候平均的日期划分华南前汛期锋面降水和季风降水,那么,它们的气候平均分布是经过平滑的,因此,本文将利用1971~2000年逐年的划分日期对华南前汛期锋面降水和季风降水进行合成,突出它们的气候分布特征。图1是气候平均的华南前汛期平均降水强度、锋面和季风降水强度的分布。图1a显示前汛期的广西东部和广东省大部是强降水区,平均降水强度大于7 mm/d。其中广东省中北部和西南部分别有一个大于11 mm/d的强降水中心,而广西壮族自治区南部沿海和北部也分别有一个大于9 mm/d的降水中心。分析图1b、c发现,锋面降水强度和季风降水强度在广东省大部分地区有相似的分布特征,主要区别在东部沿海(图1b、c虚线方框表示),该处的季风降水强度也存在一个强降水中心。可见,文献<sup>[1]</sup>中主要突出了广东省夏季风降水的一个分布特征,它有三个降水中心。此外,广西的锋面降水和季风降水强度分布有较大的差别(见图1b、c中椭圆所示)。广西的锋面降水强度普遍偏小,只有在东部有大于7 mm/d的降水;而季风降水强度在广西壮族自治区远大于锋面降水强度,其中南部和北部分别有一个大于11 mm/d的降水强度中心。

从降水量(图2)来看,前汛期的锋面降水量占总降水量的比例是中部大(广东和广西的交界处及附近)、两侧小的分布特征(见图2中箭头,箭头方向指向降水小值区),而季风降水量的分布正相反。前汛期的锋面降水量总体上大于季风降水量。具体来说,前汛期广西壮族自治区西部的降水量在锋面降水和季风降水阶段是相当的,而广西中东部和广东省的锋面降水量约是季风降水量的1.5~2倍。

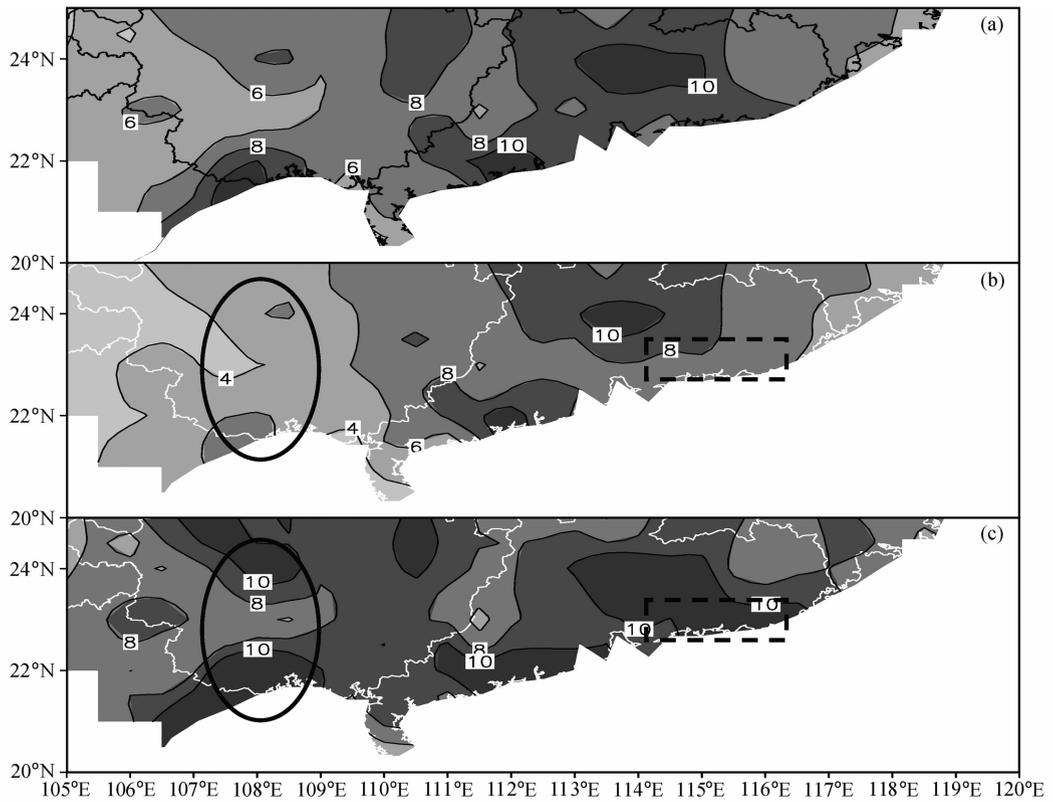


图1 气候平均(1971~2000年)华南前汛期(4~6月)的降水强度分布(单位: mm/d): (a) 降水强度; (b) 锋面降水强度; (c) 夏季风降水强度。椭圆、虚线方框: 锋面降水和季风降水分布差别较大区域

Fig.1 Climatological mean (1971-2000) precipitation intensity (mm/d) during pre-rainy season (Apr-Jun) in South China; (a) Precipitation intensity; (b) frontal rain; (c) summer monsoon rain. The significantly different areas of frontal rain and monsoon rain are emphasized by specified ellipses and rectangles

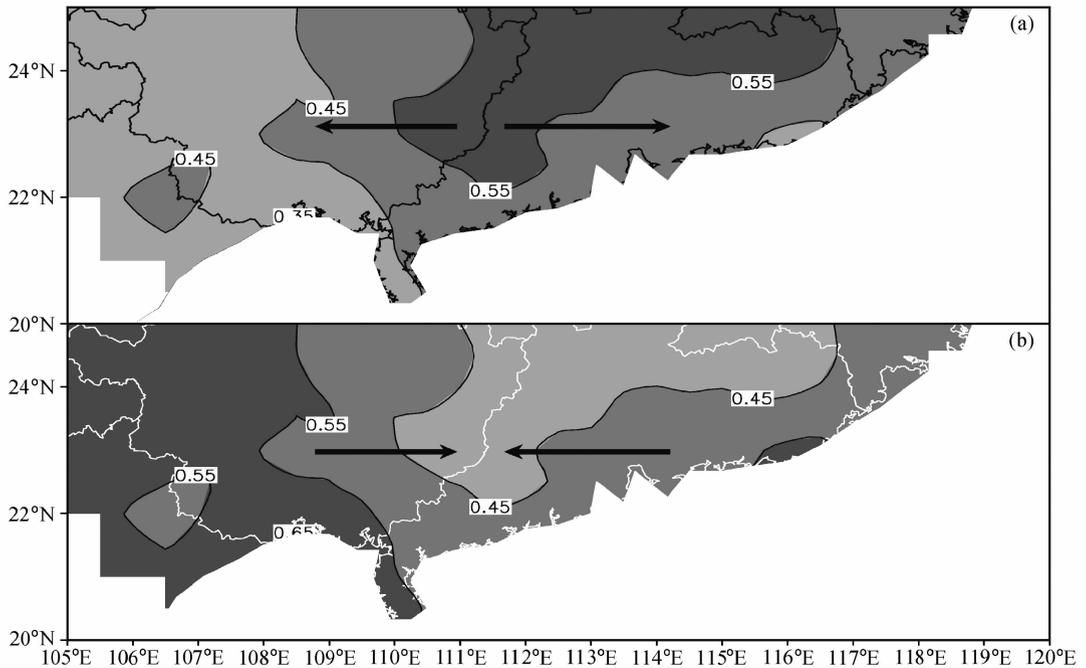


图2 气候平均(1971~2000年)华南前汛期的锋面降水量(a)和季风降水量(b)与前汛期降水总量的比值。箭头指向降水比例减小

Fig.2 Ratio of climatological mean (1971-2000) (a) precipitation of frontal rain and (b) precipitation of summer monsoon rain to the whole precipitation during pre-rainy season in South China (the arrows point to lower ratio of frontal rain)

### 3 前汛期降水的 EOF 分析

从 (20°N~25°N, 105°E~120°E) 范围内选取 1958~2000 年降水资料较好的站点 (共 48 个), 并将这 48 个站点的降水资料分为锋面降水和季风降水两个阶段, 分别对这两个阶段的降水资料进行 EOF 分析。其中前三个特征向量的累积解释方差都大于 65%, 第四个特征向量以后的解释方差都小于 5% (表 1 列出前 5 个特征向量的解释方差), 因此, 这里主要分析前三个特征分布。

首先来看一下降水量的分布特征 (图 3)。从图 3a、b 可以看到, 华南前汛期降水量的第一分布型

表 1 华南前汛期降水 EOF 分解的特征向量的累积解释方差  
Table 1 Accumulated explaining variance of EOF eigenvector of precipitation during pre-rainy season in South China

	累积解释方差				
	Accumulated explaining variance (%)				
	第一 First	第二 Second	第三 Third	第四 Fourth	第五 Fifth
锋面降水强度 Strength of frontal rain	48.94	59.49	65.49	70.58	75.03
季风降水强度 Strength of monsoon rain	37.40	49.95	61.08	66.87	71.27
锋面降水量 Precipitation of frontal rain	56.55	64.97	70.92	75.57	79.14
季风降水量 Precipitation of monsoon rain	45.77	57.53	65.19	69.53	73.33

是全区的旱涝型, 与文献[7]的结果类似, 但是具体的分布情况却有差异。文献[7]中的分布只在广东阳江有一个极值中心, 而图 3a 显示的锋面降水量的第一特征分布主要有两个极值中心, 其一在广东阳江附近, 其二在广东清远附近。广西南端也有一个大值区。季风降水量的第一特征分布与锋面降水量的有明显的差别。锋面降水量是广东变化大、广西变化小, 而季风降水量则是广西西部变化小、东部变化大, 广东西南变化小、东北变化大 (图 3a、b 箭头方向表示变化由小到大)。华南前汛期锋面和季风降水量的第二特征分布型非常相似 (图 3c、d), 为东北-西南的分布类型; 它们的第二特征分布型也基本相同 (图 3e、f), 为西北-东南分布型。由以上分析可知, 华南前汛期锋面和季风降水量分布的主要区别在它们的第一分布型。

平均降水强度的分布与降水量的分布类似, 锋面和季风降水强度也是在第一分布型上有较大区别, 而第二、三分布型则基本相同, 分别为东北-西南分布型和西北-东南分布型 (图略)。

前汛期降水有三种主要分布型, 以相应的时间系数大于 1 个标准差作为旱涝的标准, 那么对应的主要分布形式则有 7 种。下面, 对 1958~2000 年的降水分布形式进行分类, 得到表 2。从表 2 可以清楚地看到全区降水正常的年份占较多 (锋面降水和季风降水都有 13 年), 其他 6 种分布形式分别有 5~8 年。仔细分析锋面降水和季风降水各种分布

表 2 1958~2000 年华南前汛期降水的分布形式

Table 2 Precipitation distributions during pre-rainy season during 1958 - 2000 in South China

降水的分布形式 Precipitation distribution	锋面降水年份 Frontal rain years	季风降水年份 Monsoon rain years
全区旱 Drought in the whole region	1958, 1960, 1963, 1971, 1977, 1991, 1995	1967, 1980, 1981, 1982, 1988
全区涝 Flood in the whole region	1972, 1973, 1975, 1980, 1981, 1998	1959, 1962, 1966, 1968, 1993
西南旱东北涝 Drought in the southwest and flood in the northeast	1960, 1961, 1980, 1987, 1989, 2000	1968, 1977, 1983, 1990, 2000
西南涝东北旱 Flood in the southwest and drought in the northeast	1959, 1970, 1978, 1979, 1981, 1986, 1995, 1998	1970, 1971, 1987, 1991, 1992, 1995
东南旱西北涝 Drought in the southeast and flood in the northwest	1962, 1965, 1967, 1980, 1981, 1994, 1997, 1999	1961, 1962, 1964, 1970, 1994, 1998
东南涝西北旱 Flood in the southeast and drought in the northwest	1972, 1982, 1988, 1989, 1998	1960, 1963, 1965, 1972, 1975, 1985
正常 normal	1964, 1966, 1968, 1969, 1974, 1976, 1983, 1984, 1985, 1990, 1992, 1993, 1996	1958, 1969, 1973, 1974, 1976, 1978, 1979, 1984, 1986, 1989, 1996, 1997, 1999

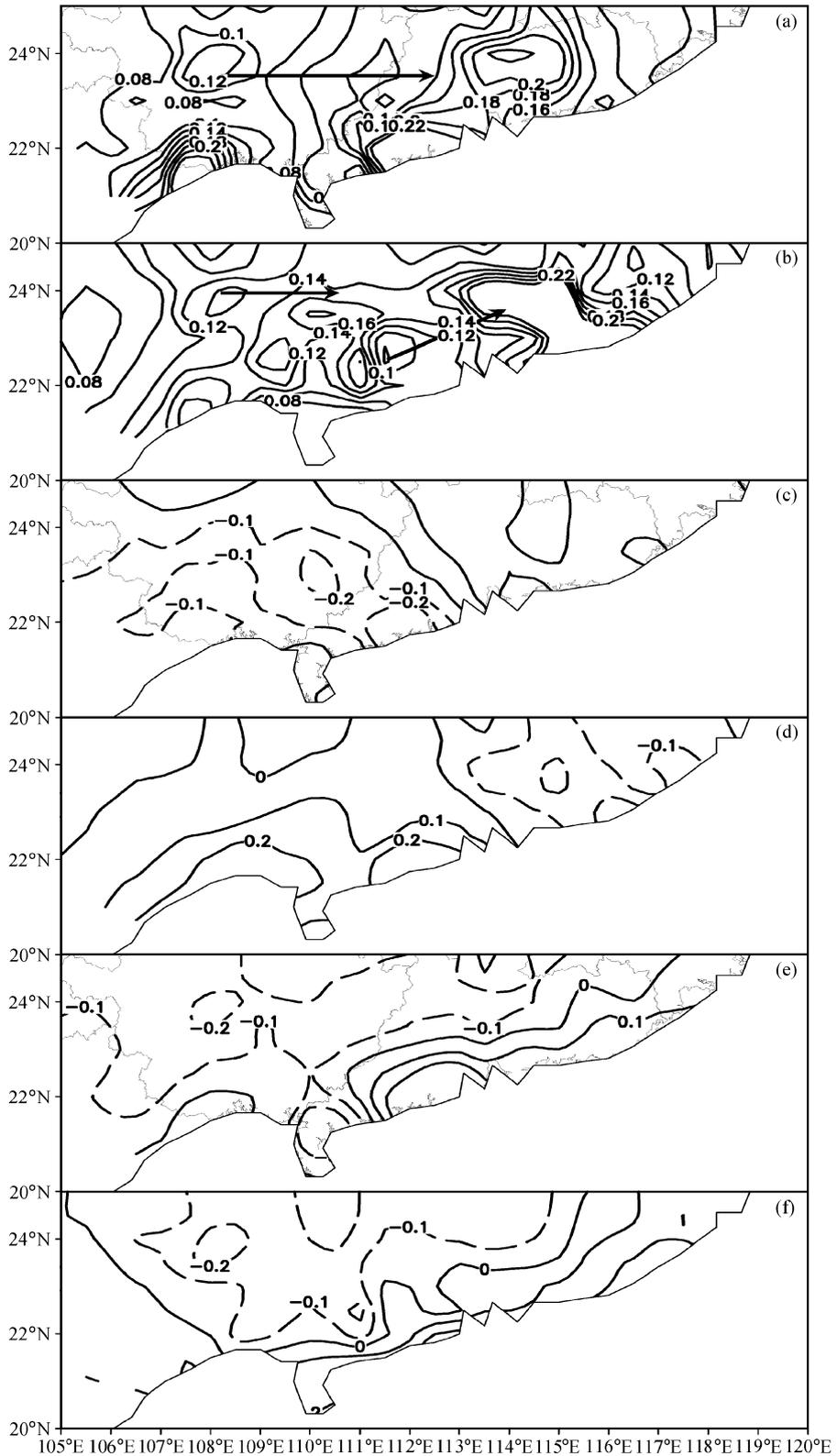


图3 华南前汛期降水量 EOF 分解的锋面降水量 (a, c, e) 和季风降水量 (b, d, f) 的特征向量: (a, b) 第一特征向量; (c, d) 第二特征向量; (e, f) 第三特征向量。箭头指向变化较大的区域

Fig.3 The first (a, b), second (c, d) and third (e, f) EOF eigenvectors of precipitations of frontal rain (a, c, e) and summer monsoon rain (b, d, f) during pre-rainy season in South China. Arrows in (a) and (b) point to areas where there are larger variations

的年份,可以看到,锋面降水和季风降水的分布形式存在某种对应关系(发生频率可高于 1/3)。

以前的研究多是从前期的环流<sup>[8~11]</sup>、雪盖<sup>[12]</sup>、海温<sup>[13~15]</sup>上寻找预报预测华南前汛期降水的强信号,而对华南前汛期锋面降水和季风降水之间联系的研究就相对少。南海夏季风爆发前的华南锋面降水释放的潜热对加热中高层大气可能是一种重要机制,从而影响南海夏季风的爆发,南海夏季风爆发的早晚和强度又影响了华南夏季风降水。因此,华南前汛期锋面降水在很大程度上会影响到之后的夏季风降水。事实上,从以上分析可以看到:当某年的华南前汛期锋面降水是全区偏少(多)(第一分布型),那么紧接着的前汛期季风降水是西南偏多、东北偏少(全区偏多或东南偏多、西北偏少),这往往将导致整个前汛期华南的东北部偏旱(东南部偏涝);当某年的华南前汛期锋面降水是西南多东北少(第二分布型),随后的季风降水则是趋于正常,对整个前汛期来说就是西南涝东北旱,而锋面降水如果是西南偏少、东北偏多,则没有对应较好的季风降水分布形式;当某年的华南前汛期锋面降水东南少(多)、西北多(少)(第三分布型),对应的季风降水则是全区偏少,那么往往形成整个前汛期的东南旱(西北旱)。因此,该结果可以为华南前汛期旱涝和前汛期季风降水的分布形式提供预测思路。

从表 2 还可以看到,虽然大部分年是由某一种分布形式占优,但是仍然存在个别年份有两种,甚至三种分布形式。例如,1960 年的锋面降水,有全区旱的分布形式(第一分布型)又有西南旱东北涝分布形式(第二分布型),因此形成了该年前汛期锋面降水的分布形式是西南旱而东北趋于正常。由于这种分布形式不是主要的,本文不作详细分析。

将华南前汛期锋面降水和季风降水 EOF 前 3 个模态的时间系数与 110°E~120°E 平均的 850 hPa 风场求相关,探讨降水分布型对应的低层风场特征。从图 4a 可以看到,华南前汛期锋面降水的第一分布型(即全区旱涝型)对应着华南北部(15°N~20°N)和南部(25°N~35°N)显著的相关。若是全区降水偏多,则对应华南南部是较强的西南风,而北部是强东北风,因此在华南形成较强的辐合;降水偏少的情形正好相反。对于季风降水的第一分布型,其对应的低层风场分布则完全不同(见图

4b),华南地区由西南风牢牢控制,体现了季风对流降水的影响。锋面降水的第二、三分布型分别与赤道附近和中纬度的纬向风有显著的相关(图 4c、e),季风降水的第二分布型与华南地区的纬向风有一定的相关性(图 4d),而第三分布型风场的关系与锋面降水第一分布型和风场关系相似,只是位置向南移了 10°左右。除了第一分布型,第二和第三分布型与风场的关系还不能从物理图像上给予解释,但是大体上可以理解为锋面和季风控制区域的差异。

从前面的分析可以看出,锋面降水与季风降水的分布之间可能存在某种联系,利用扩展 EOF 分析(EEOF)可以突出二者之间的联系。EEOF 分析得到的第一到第三特征向量的解释方差分别为 37.46%、15.4%和 5.81%,由于锋面降水和季风降水对应的是同一特征向量的不同分量,所以它们符号的意义是相同的。EEOF 分析突出了时间上的联系,所以对空间的分布型反倒没有 EOF 好解释,但是,我们可以从时间延续上看出华南前汛期锋面降水与季风降水的关系。从图 5a、b 可以看到,锋面降水和随后的季风降水的第一特征向量虽然具有相同的符号,可是空间分布非常复杂,难以解释;图 5c、d 显示的第二特征向量具有全区型的分布,它们的两个分量也具有相同的符号;而图 5e 和 f 显示的第三特征向量中锋面降水和随后的季风降水基本是反号的。由前面各年分布形式的分析可以知道,锋面降水和季风降水在全区型分布上相对应的年份并不多,可见大多数年份 EEOF 的第二和第三特征向量是组合出现的。

## 4 小结

利用中国 730 站降水资料和第 I 部分<sup>[6]</sup>得到的华南前汛期锋面降水和季风降水的划分日期,计算 1958~2000 年华南前汛期锋面降水量(强度)和季风降水量(强度)的序列,采用 EOF 和扩展 EOF 分析方法,得到华南前汛期降水的几个主要分布型,并探讨锋面降水与季风降水的可能联系,得到以下几点结论:

(1) 气候平均(1971~2000 年)的前汛期,广东省中北部和西南部分别有一个大于 11 mm/d 的强降水中心,而广西壮族自治区南部沿海和北部也分别有一个大于 9 mm/d 的降水中心。锋面降水强度和季风降水强度在广东省大部分地区有相似的分

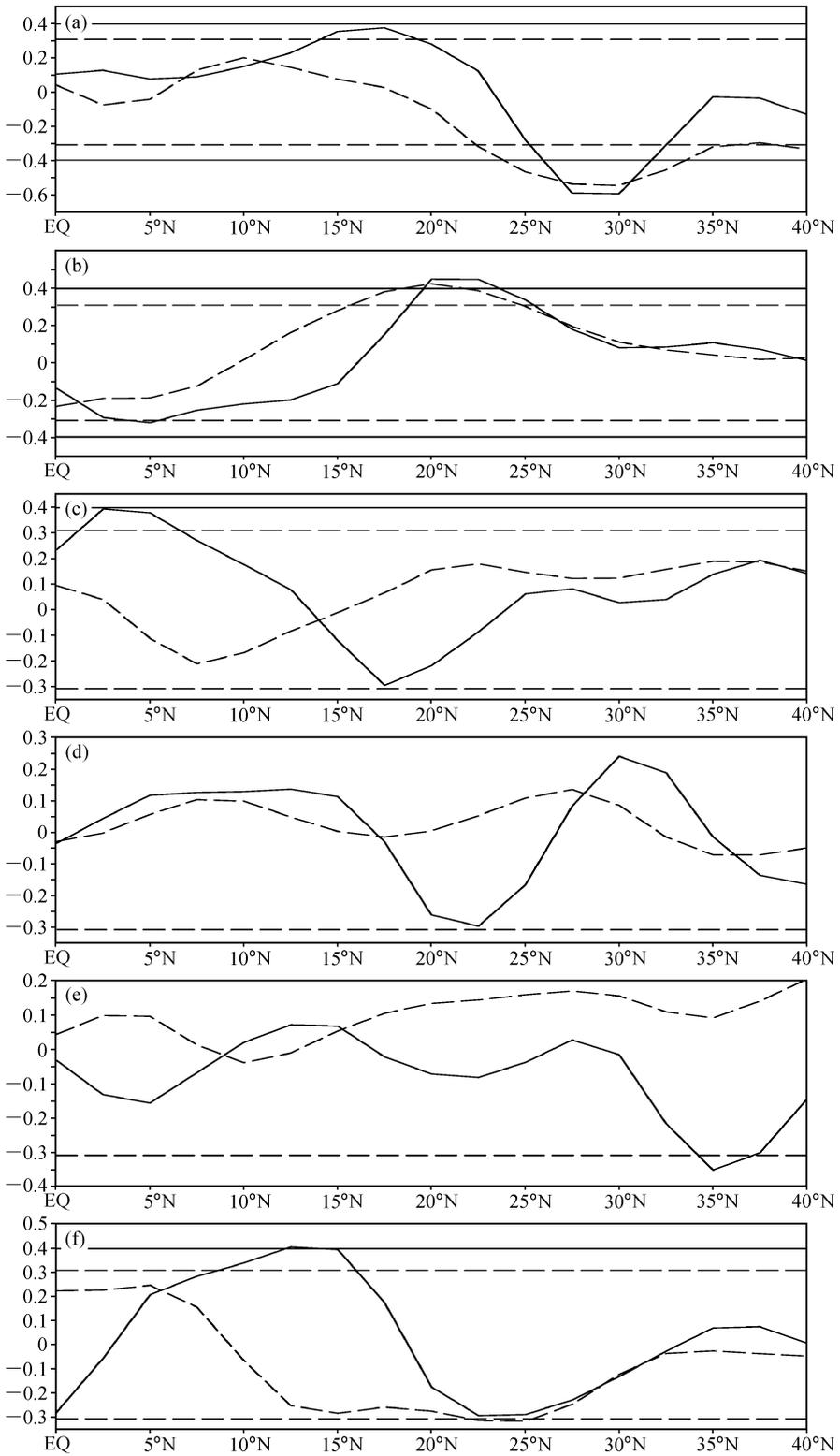


图4 对应图3分布的时间系数与110°E~120°E平均的纬向风(实线)和经向风(虚线)的相关系数:(a、b)第一特征向量;(c、d)第二特征向量;(e、f)第三特征向量。水平实线和水平虚线分别代表99%和95%的置信水平

Fig. 4 Correlation coefficients between corresponding time coefficient in Fig. 3 and 110°E-120°E mean zonal wind (solid line) and meridional wind (dashed line): (a, b) The first EOF eigenvector; (c, d) the second EOF eigenvector; (e, f) the third EOF eigenvector. The horizontal solid and dashed lines represent 99% and 95% significant levels, respectively



布特征, 主要区别在东部沿海, 该处的季风降水强度也存在一个强降水中心; 而季风降水强度在广西远大于锋面降水强度。从降水量来看, 前汛期的锋面降水量总体上大于季风降水量。

(2) 华南前汛期锋面降水和季风降水的分布型基本相同: 第一分布型为全区旱涝型, 第二分布型为西南-东北型, 第三分布型为东南-西北型。以各自的时间系数大于一个标准差为异常标准, 那么它们的分布形式大致可分为 7 种, 其中正常的年份最多。

(3) 华南前汛期锋面降水若是全区降水偏多(第一分布型), 则对应华南南部是较强的西南风, 而北部是强东北风, 因此在华南形成较强的辐合; 降水偏少的情形正好相反。对于季风降水的第一分布型, 华南地区由西南风牢牢控制, 体现了季风对流降水的影响。锋面降水的第二、三分布型和季风降水的第二、三分布型与低层风场的关系大体上可

以理解为锋面和季风控制区域的差异。

(4) 华南前汛期锋面降水和季风降水具有较好的对应关系: 当某年的华南前汛期锋面降水是全区偏少(多)(第一分布型), 那么紧接着的前汛期季风降水是西南偏多、东北偏少(全区偏多或东南偏多、西北偏少); 当某年的华南前汛期锋面降水是西南多东北少(第二分布型), 随后的季风降水则是趋于正常, 而锋面降水如果是西南偏少东北偏多, 则没有对应较好的季风降水分布形式; 当某年的华南前汛期锋面降水当锋面降水东南少(多)、西北多(少)(第三分布型), 对应的季风降水则是全区偏少。

我们将华南前汛期锋面降水和季风降水分布的关系绘成如下示意图(图 6)。当然, 本文中华南前汛期锋面降水和季风降水分布的关系是从已有资料的统计分析结果得到的, 用于预测显然还不成熟, 仅能为华南前汛期降水的预测预报提供一种思路,



图 6 华南前汛期锋面降水和季风降水典型分布之间的联系

Fig. 6 Relations of typical spatial patterns between monsoon rain and frontal rain during pre-rainy season in South China

还需要结合其他一些预报因子作进一步探讨。

### 参考文献 (References)

- [1] 赵仲辉, 陈创买. 广东 5~9 月降水的时空分布特征和类型. 中山大学学报 (自然科学版), 1997, **36** (2): 91~95  
Zhao Zhonghui, Chen Chuangmai. Features and types of spatial-temporal distribution of the rainfall from May to September in Guangdong. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni* (in Chinese), 1997, **36** (2): 91~95
- [2] 刘黎明, 陈创买. 广东的降水分区. 中山大学学报 (自然科学版), 1998, **37**: 109~113  
Liu Liming, Chen Chuangmai. The classification of precipitation in Guangdong Province. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni* (in Chinese), 1998, **37**: 109~113
- [3] 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*, Kunming: Yunnan People's Publishing House, 1983. 10~20
- [4] 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 Hui bang. 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
- [5] 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
- [6] 郑彬, 梁建茵, 林爱兰, 等. 华南前汛期锋面降水和夏季风降水 I. 划分日期的确定. 大气科学, 2006, **30**: 1207~1216  
Zheng Bin, Liang Jianyin, Lin Ailan, et al. Frontal rainfall and summer monsoon rainfall during pre-rainy season in South China. Part I: Determination of the division dates. *Chinese J. Atmos. Sci.* (in Chinese), 2006, **30**: 1207~1216
- [7] 郭其蕴, 沙万英. 华南前汛期降水变率的分析. 应用气象学报, 1998, **9** (增刊): 9~15  
Guo Qiyun, Sha Wanying. Analysis of rainfall variability during the first rainy season in South China. *Quar. J. Appl. Meteor.*, 1998, **9** (Suppl.): 9~15
- [8] 高绍凤, 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, **14**: 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, **14**: 1~6
- [9] 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. *Quart. J. Appl. Meteor.* (in Chinese), 1997, **8** (4): 452~459
- [10] 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
- [11] 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
- [12] 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**: 358~367  
Cai Xue zhan. The influence of abnormal snowcover over Qinghai-Xizang Plateau and East Asian monsoon on early rainy season rainfall over South China. *Journal of Applied Meteorological Science* (in Chinese), 2001, **12**: 358~367
- [13] 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 surface 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
- [14] 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**: 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. *J. Tropical Meteor.* (in Chinese), 2002, **18**: 45~55
- [15] 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