

李宏毅,林朝晖,宋燕,等. 2013. 华南春季降水纬向非均匀分布及异常年大气环流特征分析. 气象, 39(12):1616-1625.

华南春季降水纬向非均匀分布及 异常年大气环流特征分析^{*1}

李宏毅^{1,2} 林朝晖² 宋 燕¹ 陈 红²

1 中国气象局气象干部培训学院, 北京 100081
2 中国科学院大气物理研究所国际气候与环境科学中心, 北京 100029

提 要: 对 1951—2007 年华南地区 18 站春季(3—5 月)降水进行 EOF 分析,发现华南春季降水的空间分布具有全区一致性、东西反位相、南北反位相及东北—西南反位相等特点。第二特征向量主要反映了华南春季降水的纬向非均匀分布特征,据此将华南春季降水型分为西涝东旱型和西旱东涝型,并利用 NCEP 再分析资料对春季降水的纬向分布异常年的大气环流背景特征进行了研究。结果发现:在西涝东旱年,华南西北部存在海平面气压场和高度场的正异常中心,有利于冷空气的南下,而该正异常中心的南部出现负异常,华南东部及其东部海面上呈现范围较大的气压场和高度场正异常,华南西部盛行东南风异常,华南东部存在东北风距平,风场和水汽输送场在华南西部表现为异常辐合,在华南东部表现为异常辐散,因此造成了华南西部降水的偏多和东部降水的偏少。同时,850 hPa 涡度场、200 hPa 散度场、850 hPa 垂直速度场和 1000 hPa 温度场也均呈现出有利于华南西部降水增多和东部降水减少的环流形势。在西旱东涝年,情况基本相反。

关键词: 华南春季降水, 旱涝, 时空分布, 纬向非均匀分布, 环流异常

中图分类号: P461 **文献标志码:** A **doi:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2013.12.010

Zonal Seesaw-Like Distribution of Spring Precipitation over South China and Characteristics of Atmospheric Circulation in Anomalous Climate Years

LI Hongyi^{1,2} LIN Zhao-hui² SONG Yan¹ CHEN Hong²

1 China Meteorological Administration Training Centre, Beijing 100081
2 International Centre for Climate and Environment Science, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

Abstract: The spring (March to May) precipitation of 18 stations over South China during the period of 1951—2007 are analyzed by using the method of EOF analysis. The results show that the spatial distribution of spring precipitation over South China shows 4 main patterns that are the consistency of the whole region, anti-phase between east and west, anti-phase between north and south, anti-phase between northeast and southwest etc. The second eigenvector of the spring rainfall in South China mainly reflects the zonal distribution of non-uniform, so the spring rainfall pattern in South China are divided into the type of west flood and east drought, east flood and west drought. The characteristics of its associated atmospheric circulation background in the zonal distribution of spring precipitation anomalies years are analyzed by using NCEP reanalysis data, and the results show that, in the west flood and east drought years, an positive anomaly center of sea level pressure field and height field at 850 hPa is located in the northwest of

^{*} 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201206041)、国家自然科学基金青年科学基金项目(41105073)和中国气象局成都高原气象研究所高原气象开放基金课题(LPM2012004)共同资助
2012 年 8 月 27 日收稿; 2013 年 5 月 6 日收修定稿
第一作者: 李宏毅, 主要从事气候年代际变化方面的研究. Email: lihongyi@cma.gov.cn

South China, which is beneficial to the cold air down south. A negative anomalous sea level pressure and height at 850 hPa appear in the south of this positive center, and there presents a positive anomalous sea level pressure and height at 850 hPa in the east of South China and its eastern sea area. An southeast wind anomaly occurs in the west of South China, while there is an anomalous northeast wind in the east of South China. The wind field and water vapor transport field present abnormal convergence in the west of South China, but in the east of South China they perform an abnormal divergence, causing more precipitation in the west of South China but less precipitation in the east of South China. In the meantime, vorticity field at 850 hPa, divergence field at 200 hPa, vertical velocity field at 850 hPa and temperature field at 1000 hPa all show the circulation situation that is favorable for increase of precipitation in the west of South China and decrease of precipitation in the east of South China. In the west drought and east flood years, the situation is basically opposite.

Key words: spring precipitation over South China, drought and flood, temporal and spatial distribution, zonal seesaw-like distribution, circulation anomalies

引 言

华南地区通常主要指南岭以南的中国地区,包括广东、广西、海南、福建。华南地区的降水特征已有很多研究(吴尚森等,1990;1992;李春晖等,2004;林爱兰等,1996;张爱华等,1997;郑彬等,2007;袁媛等,2012),结果均表明华南地区降水与华北以及江淮流域有着不同的特征。但总的来说,上述研究大都是对华南汛期降水的基本特征及其年际变化进行分析,而对华南春季降水研究得较少,尤其是华南春季降水东西反位相分布特征的研究更少。由于春季正是华南农作物播种和生长期,自然降雨是作物需水的主要来源,因而对华南春季降水进行研究具有重要的实际意义。Xin 等(2006)对华南晚春的干旱进行研究,指出 20 世纪 70 年代后期以后,华南晚春的降水有急剧的减少,其原因是中国中东部对流层中上层的温度有显著的下降。Li 等(2009)的研究表明华南春季降水及其相应的水汽输送具有显著的年代际变化特征。近年来的研究还表明 PDO、ENSO 和北印度洋及南海附近海温是影响华南 3 月降水年代际和年际异常的重要外强迫因子,而华南 4、5 月降水异常则与前期中西太平洋海温异常有着密切的关系(李宏毅,2009;李宏毅等,2010;2012)。纵观这些研究,都是对华南春季整体旱涝的特征进行研究。竺夏英等(2007)的研究表明尽管江淮梅雨期降水在多数年份具有一致的空间变率,然而在有些

年份却呈现出南北反相的变化特征,据此将梅雨雨型分为南涝北旱和南旱北涝型,并对梅雨降水经向分布异常年的海气背景特征进行了深入的研究。吴尚森等(1992)分析了华南前汛期旱涝时空分布特征,给出了 4 个前汛期降水的典型分布场,分别为第一特征向量反映了整个华南地区降水偏多(偏少)一致的变化特点,第二特征向量表示东多(少)西少(多)雨型,第三特征向量表示北多(少)南少(多)雨型,第四特征向量表示东西多(少)中间少(多)雨型。目前对华南春季(3—5 月)降水的空间分布及华南春季降水的空间分布异常年的大气环流背景特征均缺少深入细致的研究,而了解华南春季降水的时空特征对做好旱涝趋势预报很有必要。因此本文首先对华南春季(3—5 月)降水异常进行 EOF 分析,找出春季降水异常的不同空间分布型及其对应的时间系数变化,得到空间分布型对应的典型年份,并着重对纬向非均匀分布型及异常年的大气环流背景特征进行深入的分析。

1 资料与方法介绍

本文所用资料包括:1951—2007 年中国气象局整编的 160 站的逐月降水资料,1951—2007 年 NCEP/NCAR 全球逐月 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 的风场和比湿(垂直方向为 8 层)、地面气压、位势高度场、温度场、海平面气压场和垂直速度场资料。

对于中国气象局整编的站点资料,我们按照华

南地区的行政区划选取了广东、广西、海南、福建这 4 个省,主要包括浦城、福州、永安、厦门、梅县、汕头、曲江、河源、广州、阳江、湛江、海口、桂林、柳州、梧州、南宁、北海、百色,将这 18 个站作为华南地区的代表站。对于 NCEP/NCAR 的资料我们选取 ($18^{\circ}\sim28^{\circ}\text{N}$ 、 $104^{\circ}\sim120^{\circ}\text{E}$)作为华南区域来进行研究。

大气水汽输送的计算方法同文献(Wei et al, 2005; Zhou et al, 2005; 李宏毅等, 2010),分别计算经向和纬向的水汽通量以及水汽通量散度。

本文使用的分析方法主要为 EOF 分析法及合成分析法。

2 华南春季降水的 EOF 分析

对华南地区 18 站 1951—2007 年的春季降水量距平场进行 EOF 分析,得到前 4 个特征向量,其累计方差贡献率达 76.29%(表 1),表明前 4 个模态可以基本代表华南 1951—2007 年春季降水的雨型分布。

第一特征向量反映了华南地区春季降水异常具有全区一致性降水偏多或偏少的特征,其方差贡献

率为 47.05%,在各特征向量中占绝对主导地位,其中有两个最大值中心,一个位于阳江,另一个位于梅县以南,以广东省为中心,绝对值向北、向东和向西方向均减小(图 1a)。

第二特征向量反映了华南地区春季降水异常的东西反位相关系,其方差贡献率为 14.21%。零度线位于 113°E 附近, 113°E 以西为正值,以东为负值,表示了以 113°E 为界,其西和其东地区降水表现出一种反位相的现象,也就是说当 113°E 以西华南地区降水相对偏多时,华南地区以东降水则相对偏少,反之,则情况相反(图 1b)。

第三特征向量反映了华南地区春季降水异常的南北反位相特征,其方差贡献率为 8.16%,零度线位于 23°N 附近,也就是说当 23°N 以南的华南地区

表 1 华南春季降水距平场 EOF 分析前 4 个特征向量的方差贡献率及累计方差贡献率

Table 1 The variance contribution and accumulated variance contribution of the 4 leading eigenvectors of EOF analysis of spring rainfall anomalies over South China

	EOF-1/ %	EOF-2/ %	EOF-3/ %	EOF-4/ %
方差贡献率	47.05	14.21	8.16	6.87
累计方差贡献率	47.05	61.26	69.41	76.29

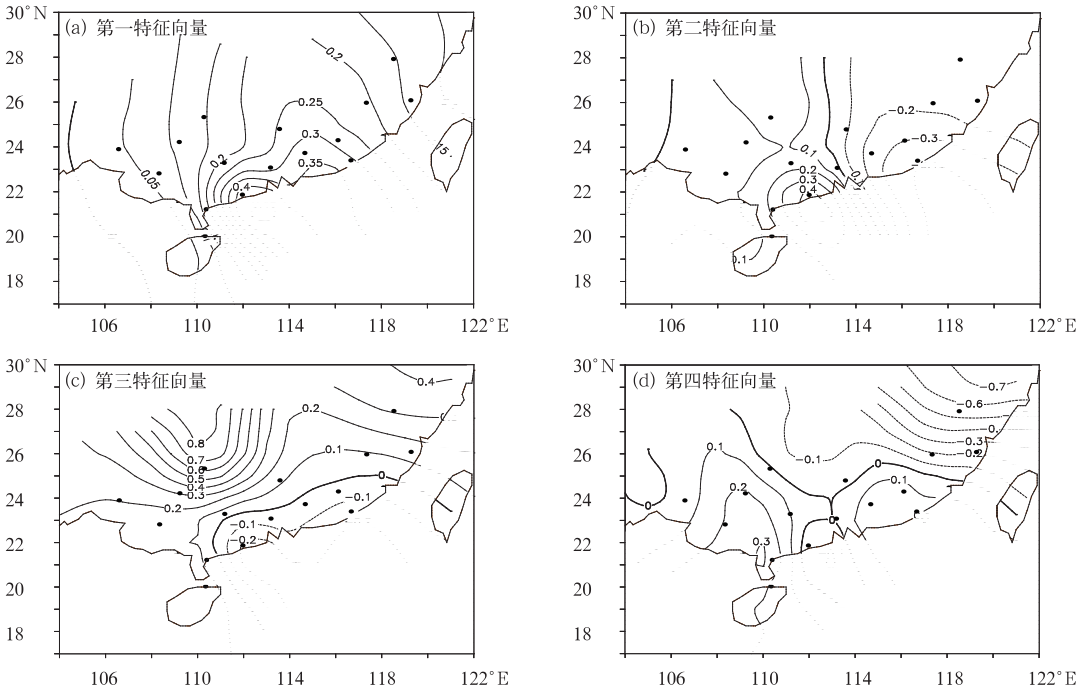


图 1 1951—2007 年华南地区春季降水距平场 EOF 分析前 4 个特征向量的空间分布
Fig.1 The spatial distributions of the 4 leading eigenvectors of EOF analysis of spring rainfall anomalies over South China during 1951–2007 (a–d)

南部降水相对偏少时,华南北部降水相对偏多,反之,则情况相反(图 1c)。

第四特征向量反映了华南地区春季降水异常的东北部和西南部反位相的特点,其方差贡献率为 6.87%,表示当华南地区东北部降水相对偏少时,华南西南部地区则降水相对偏多,反之,则情况相反(图 1d)。

如图 2a 所示,第一时间系数结合其空间分布可得,从 20 世纪 50 年代末期到 70 年代初,整个华南地区表现为一致性的降水相对偏少,70 年代初期到 90 年代初期整个华南地区为一致性的降水相对偏多,90 年代初期以后,整个华南地区又表现为一致性的降水相对偏少。

如图 2b 所示,第二时间系数结合其空间分布可得,20 世纪 60 年代中期到 70 年代末期,华南西部降水相对偏多,华南东部降水相对偏少,80 年代初期到 90 年代初期,华南西部降水相对偏少,华南东部降水相对偏多。

如图 2c 所示,第三时间系数结合其空间分布可得,20 世纪 70 年代初期到 80 年代初期,华南南部降水相对偏少,华南北部降水相对偏多,80 年代初期 90 年代末期华南南部降水相对偏多,华南北部降水相对偏少。

如图 2d 所示,从第四时间系数并结合空间分布可得,20 世纪 50 年代初期到 60 年代中期,华南西南部地区降水相对偏少,华南东北部地区降水相对偏多,60 年代中期到 2000 年代初期,华南西南部地区降水相对偏多,华南东北部地区降水相对偏少。

通过对华南春季降水进行 EOF 分析可得,华南春季降水的空间分布型有全区一致性、东西反位相、南北反位相及东北—西南反位相等特点。这个春季降水的空间分布型与华南前汛期降水(4—6 月) EOF 分析的前三个模态比较一致(吴尚森等, 1992),但第四模态有所不同,华南春季降水第四模态表现为东北部和西南部反位相的特点,而华南前汛期则表现为东西多(少)中间少(多)雨型。华南春季降水第一特征向量的时间序列与华南春季总降水量的时间序列变化相同(Li et al, 2009),这也进一步说明第一特征向量所反映的全区一致性降水变化占主要地位。通过对第二、三、四特征向量时间系数和空间分布的分析,得出在某些年份华南东部和西部降水、南部和北部降水及东北部和西南部降水呈现出一种反位相的关系,但是具体某一年实际表现出来的降水分布型主要取决于所有特征向量相叠加之后的整体降水量异常。

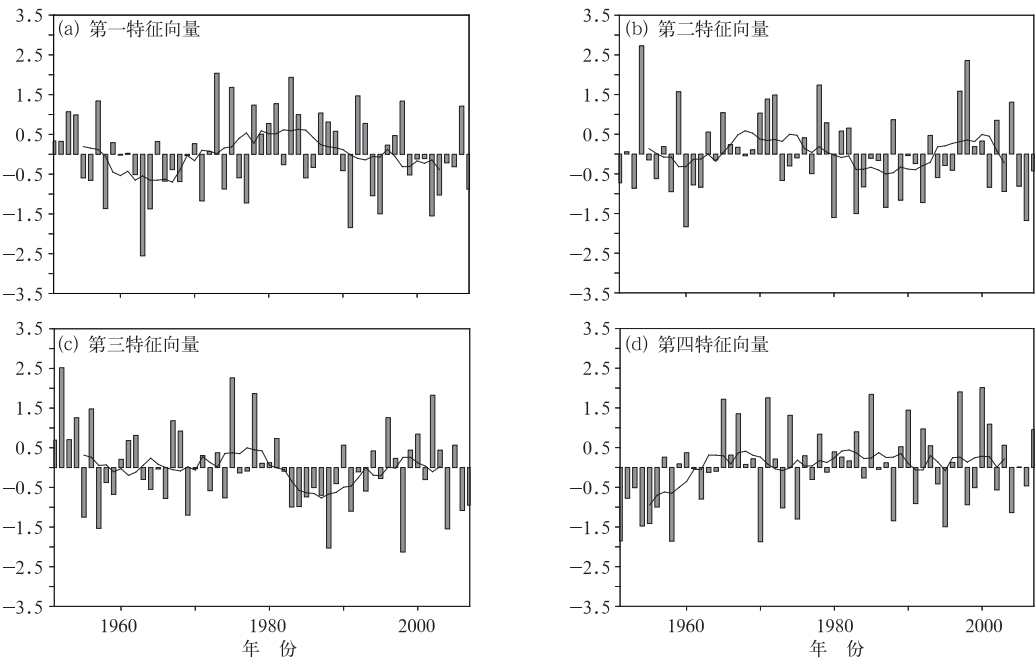


图 2 1951—2007 年华南地区春季降水距平场 EOF 分析前 4 个特征向量的标准化时间系数
Fig. 2 The standardized time factor series of the 4 leading eigenvectors of EOF analysis of spring rainfall anomalies over South China during 1951–2007 (a–d)

3 华南春季降水的纬向非均匀分布特征

对于华南春季降水一致性的分布型, Li 等(2009)已经进行过分析。本文主要研究华南春季降水东西反位相的特征。根据前 2 个主要特征向量的时间系数的比较, 选出第二模态的典型年份, 具体做法是: 首先分别选出前 2 个特征向量的标准化时间系数绝对值 >1.0 的年份, 如果选出的前 2 个特征向量的标准化时间系数绝对值 >1.0 的年份不是重叠的年份, 则将第二特征向量的标准化时间系数绝对值 >1.0 的年份作为东西反位相的典型年份, 但是如果选出的前 2 个特征向量的标准化时间系数绝对值 >1.0 的年份中有重叠的年份时, 则当第二特征向量大于第一特征向量的标准化时间系数绝对值时, 该年份才能选为东西反位相的典型年份(因为当第一模态的标准化时间系数绝对值大于第二模态的标准化时间系数绝对值时, 往往表现为第一模态的空间分布性), 这样经过筛选之后, 最后得到东西反位相的典型年份见表 2 和表 3。

为研究这些年份华南春季降水纬向非均匀分布特征, 又计算了华南 18 站、华南西部 9 个站(图 1b 中的正值区)、华南东部 9 个站(图 1b 中负值区)57 年春季降水量的标准化距平 S_{18} 、 S_{eth9} 和 S_{wth9} , 并定义降水量标准化距平绝对值 <1.0 个标准差的年份, 即标准化降水量值在 $[-1.0, 1.0]$ 之间的年份为降水正常年份, 降水量标准化距平值 >1.0 (<-1.0) 的年份则为偏涝(旱)年。

从表 2 和表 3 可以看出, 华南春季降水纬向非均匀分布异常年, 就华南地区整体而言, 除 1992 年以外, 其余年份降水量标准化距平绝对值均小于 1.0 个标准差, 即整个华南地区降水量属于正常范围内, 但是华南西部和东部地区的标准化降水量符号基本相反, 最明显的是 1954、1965、1971、1997、1980、1987、1989 和 1992 年, 华南西部或东部地区的标准化降水量绝对值 >1.0 , 其他年份至少有一侧(华南西部或东部)地区的标准化降水量绝对值 >0.5 , 表明该地区春季降水量异常偏多或偏少。由此可以看出, 表 2 和表 3 选出的华南春季降水纬向非均匀分布异常年是比较合理的。

从表 2 可以看出, 在西涝东早年, 华南西部地区标准化降水量均为正值, 而华南东部除了 1998 年均

为负值, 表明华南西部地区降水偏多, 东部地区降水偏少。1998 年, 虽然 3 个标准化值均大于 0, 但华南西部地区的标准化值趋于 1, 而东部地区的标准化值则很小, 表明西部地区的降水量明显偏多, 因此仍可归为西涝东早年。为了进一步验证上述结果, 又计算了西涝东早年降水量距平场合成图, 不难发现, 零度线位于 114°E 附近, 114°E 以西的华南西部地区降水距平为正值, 正的降水距平可达到 250 mm, 而 114°E 以东的华南东部地区则降水距平为负值, 东西相差很大(图 3a)。

从表 3 可以看出, 在西旱东涝年, 华南西部地区标准化降水量(除了 1992 年)均为负值, 而华南东部地区均为正值, 这正好与西涝东早年的情况相反。1992 年, 虽然整个华南地区的标准化值大于 1, 表明整个华南地区降水偏多, 但华南东部的标准化值为 1.80, 而华南西部的标准化值仅 0.40, 表明华南东部的降水明显偏多, 而西部降水则表现为正常, 因此仍可归于西旱东涝年。同样, 由西旱东涝年降水量距平合成图易见: 零度线位于 111°E 附近, 111°E 以西的华南西部地区降水距平为负值, 111°E 以东的华南东部地区降水距平为正值, 降水距平中心值达到了 300 mm, 东西相差明显(图 3b)。

表 2 西涝东旱异常年及标准化降水, 共 7 年
Table 2 West flood and east drought years and normalized means of precipitation, 7 years in total

年份	S_{18}	S_{eth9}	S_{wth9}
1954	0.95	-0.03	1.96
1959	0.06	-0.49	0.76
1965	0.40	-0.30	1.21
1971	-0.85	-1.62	0.42
1972	-0.14	-0.66	0.58
1997	0.78	-0.29	1.96
1998	0.61	0.19	0.99

注: S_{18} , S_{eth9} 和 S_{wth9} 分别为华南地区 18 站、华南东部 9 个站(图 1b 中负值区)和华南西部 9 个站(图 1b 中的正值区)的春季标准化降水量。

表 3 西旱东涝异常年及标准化降水, 共 5 年
Table 3 West drought and east flood years and normalized means of precipitation, 5 years in total

年份	S_{18}	S_{eth9}	S_{wth9}
1960	0.09	0.59	-0.60
1980	0.79	1.35	-0.19
1987	0.90	1.40	-0.02
1989	0.68	1.12	-0.10
1992	1.37	1.80	0.40

注: 同表 2。

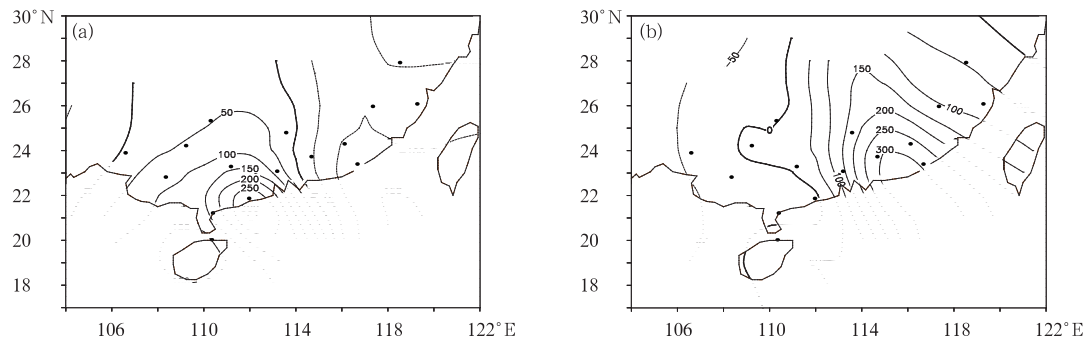


图 3 西涝东旱年(a)和西旱东涝年(b)降水量距平场(单位:mm)

Fig. 3 Precipitation anomalies (unit: mm) in west flood and east drought years (a), and in west drought and east flood years (b)

4 华南春季降水纬向非均匀性分布异常年同期大气环流背景特征

图 4 为华南春季西涝东旱年减去西旱东涝年的合成海平面气压场差值图。由图可得,西涝东旱年与西旱东涝年相比,华南西北部(34°N、98°E)存在一个气压的正异常,中心数值大于 2 hPa,因此该正异常气压的东北部有利于盛行异常的西北风,冷空气向南爆发加强;该正异常的南部存在一个弱的负异常,中心数值约为-0.5 hPa,该负异常的东南部有利于盛行异常的西南风,暖湿的西南风水汽输送增强,因此干冷的西北风与暖湿的西南风在华南西部形成水汽的异常辐合,有利于华南西部的降水增加。另外华南东部及其东部海面上存在一个范围较大的气压正异常,中心数值约为0.5 hPa,该高压西

南侧的东南风也增强了向华南西部地区的水汽输送,这也是西部降水偏多的原因之一。而华南东部处于范围较大的高压控制之下,有利于华南东部低层风场的异常辐散,从而造成了华南东部的降水偏少。

图 5 为华南春季西涝东旱年减去西旱东涝年的合成 850 hPa 高度场差值图。由图可见,850 hPa 高度场与海平面气压场有着很好的一致性,表现为华南西北部存在高度场的正异常中心,中心数值大于 10 m,负异常位于华南的西南部地区,中心数值约为-5 m,华南东部及其东部海面上存在大范围的正异常,中心数值约为 5 m。这也表明了在西涝东旱年,华南西北部存在的高度场正异常有利于其东北部冷空气的南下,华南西南部的负异常中心有利于其东南部盛行异常的西南风,另外华南东部及其东部海面上的正异常高度场的西南部地区有利于盛行东南风异常,因此偏北风异常与偏南风异常在华

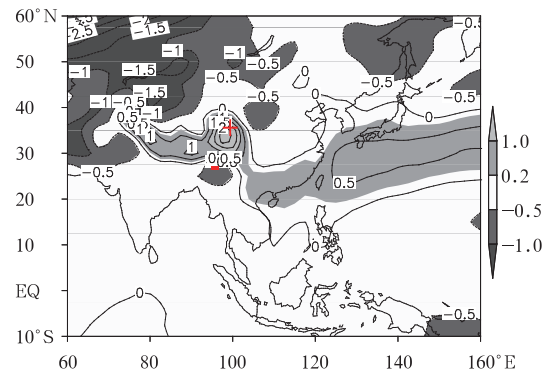


图 4 西涝东旱年与西旱东涝年的合成海平面气压差值场(单位:hPa)

Fig. 4 Composite difference of the sea level pressure (unit: hPa) between the west flood and east drought years and the east flood and west drought years

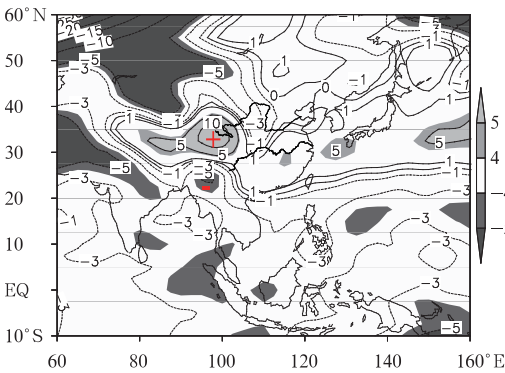


图 5 同图 4,但为合成 850 hPa 高度差值场(单位:m)

Fig. 5 Same as Fig. 4, but for composite difference of height (unit: m) at 850 hPa

南西部形成风场的辐合,增强了华南西部的降水。而华南东部处于范围较大的正的高度场距平控制之下,不利于风场及水汽场的辐合,因此导致华南东部降水的减少。在西旱东涝年时,则情况相反。

图 6a 为西涝东旱年合成的 850 hPa 风场距平图,由图可见,华南大部分地区被反气旋性风场距平环流所控制,华南的西北部地区存在西北风距平,华南的西部存在东南风距平,因此有利于冷空气和暖空气在华南西部形成辐合,导致华南西部降水增加。华南东部以南盛行东北风距平,华南东部以北盛行西南风距平,华南东部处于风场辐散的控制之下,因此造成了华南东部地区的降水偏少。

图 6b 为西旱东涝年合成的 850 hPa 风场距平

图,由图可见,华南大部分地区位于气旋性风场距平环流控制之下,该气旋性环流距平的中心位置位于华南东北部地区,因此华南西部以偏北风为主,没有明显的暖湿空气输送,造成华南西部的降水减少。相反,华南东部以南地区为西南风距平,东部以北为东北风距平,华南东部处于西南风和东北风的辐合控制下,因此有利于华南东部降水的增多。

从合成的 850 hPa 涡度差值场来看(图 7),西涝东旱年与西旱东涝年相比,华南区域存在强度较大的负涡度距平,中心位置偏向华南东北部地区,且中心数值小于 $-5\times 10^{-6}\text{ s}^{-1}$ 。表明在西涝东旱年,华南东北部地区处于异常的反气旋性环流控制之下,这与 850 hPa 风场距平具有很好的一致性

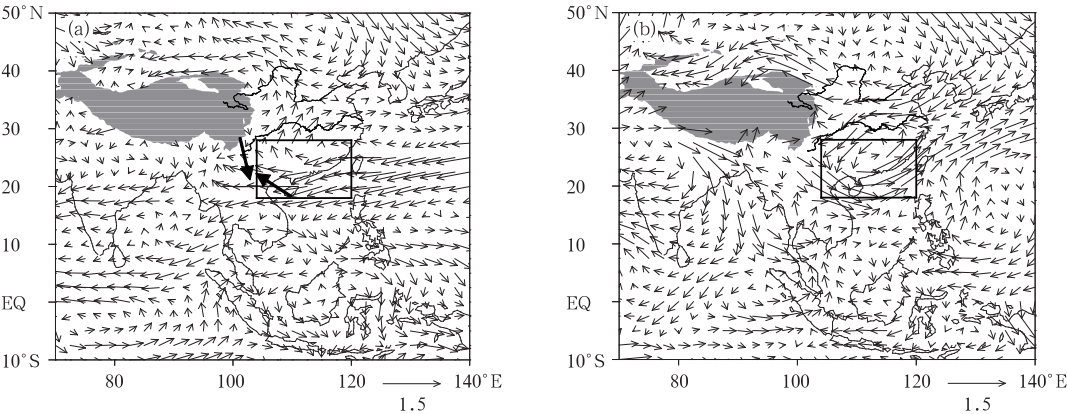


图 6 合成 850 hPa 风场距平 (单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

(a) 西涝东旱年, (b) 西旱东涝年
(方框为华南区域)

Fig. 6 The composite anomalous wind vector of 850 hPa

(a) west flood and east drought years, (b) west drought and east flood years (unit: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
(Rectangle is South China region)

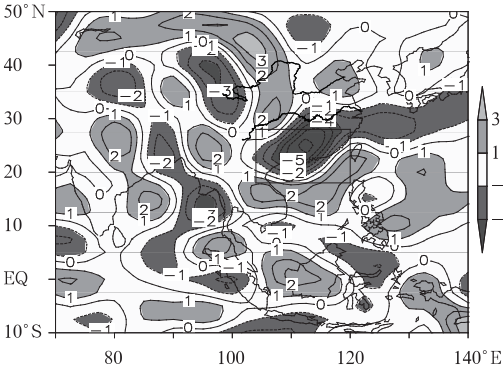


图 7 同图 4, 但为合成 850 hPa 涡度差值场(单位: 10^{-6} s^{-1})

Fig. 7 Same as Fig. 4, but for the composite difference of vorticity (unit: 10^{-6} s^{-1}) at 850 hPa

(图 6a)。反之,在西旱东涝年,华南区域的涡度距平为正值,华南则处于异常的气旋性环流控制下,中心位置位于华南东北部地区,这也与图 6b 中 850 hPa 风场距平在华南东北部地区为异常的气旋性环流相一致。

从合成的 200 hPa 散度差值场来看(图 8),华南西部存在一个强度和范围均较大的正异常中心,中心数值大于 $0.6\times 10^{-6}\text{ s}^{-1}$,华南东北部则位于强度和范围较大的负异常散度距平场控制之下,中心数值小于 $-1.5\times 10^{-6}\text{ s}^{-1}$ 。这就表明了在西涝东旱年,华南西部 200 hPa 高空为异常辐散风,这有利于低层风场和水汽场的辐合上升,导致华南西部降水的增加,华南东部 200 hPa 高空为异常辐合的风

场,这将导致高空气流的辐散下沉运动,不利于华南东部的降水。反之,在西旱东涝年,情况则相反。

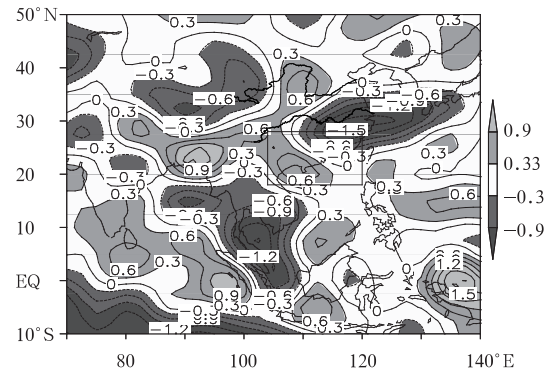


图 8 同图 4,但为合成 200 hPa 散度差值场(单位: 10^{-6} s^{-1})

Fig. 8 Same as Fig. 4, but for the composite difference of divergence (unit: 10^{-6} s^{-1}) at 200 hPa

从合成的 850 hPa 垂直速度差值场来看(图 9),华南西南部存在一个负异常中心,中心数值小于 $-0.01 \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$,华南东北部存在一个正异常中心,中心数值大于 $0.02 \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。这进一步说明了在西涝东旱年,华南西部的低层 850 hPa 存在异常的上升运动,有利于水汽的上升凝结,导致华南西部降水的增加,而华南东部地区的低层 850 hPa 存在异常的下沉运动,抑制了水汽的凝结,造成降水的减少。反之,在西旱东涝年,情况则相反。

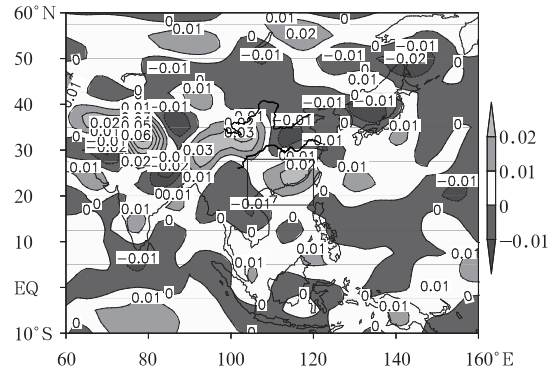


图 9 同图 4,但为合成 850 hPa 垂直速度差值场(单位: $\text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig. 9 Same as Fig. 4, but for the composite difference of vertical velocity (unit: $\text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$) at 850 hPa

图 10a 为西涝东旱年合成的整层积分的大气水汽输送通量及其散度距平图。由图可见,在西涝东旱年,华南西部水汽通量散度距平为负值,中心数值小于 $-10 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,表明在华南西部水汽为异常辐合的,有利于西部降水的增加;华南东部水汽通量散度为正值,中心数值大于 $10 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,表明在东部水汽为异常辐散的,造成了东部降水的减少。从水汽通量矢量来看,华南西北部地区存在的水汽通量矢量为东北方向的,华南西部的水汽通量矢量为偏东方向的,因此有利于水汽在华南西部的辐合,造成西部的降水偏多。而华南东部以南为东北向水汽通量矢量,东部以北为西南

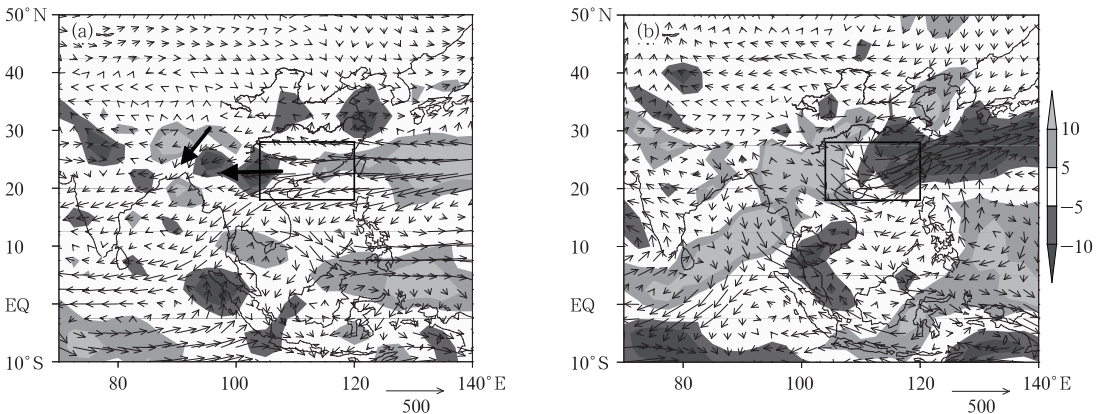


图 10 合成整层积分的水汽输送通量(单位: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, 矢量箭头)以及水汽通量散度(单位: $10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 阴影区)距平

(a)西涝东旱年,(b)西旱东涝年

Fig. 10 The composite anomalous vertically integrated water vapor flux (unit: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$; arrows) and the flux divergence (unit: $10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, shadings) (a) west flood and east drought years, (b) west drought and east flood

向水汽通量矢量,造成了华南东部水汽的辐散,最终导致华南东部降水偏少。

图 10b 为西旱东涝年合成的整层积分的大气水汽输送通量及其散度距平图。由图可见,华南西部的水汽通量散度距平为正值,中心数值大于 $10 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,表明在华南西部水汽为异常辐散的,造成了华南西部降水的偏少;华南东部水汽通量散度距平为负值,中心数值小于 $-10 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,表明在华南东部水汽为异常辐合的,有利于华南东部降水的增加。从水汽通量矢量场来看,华南西部地区存在西北向的水汽通量矢量异常,不利于水汽向华南西部输送,因此造成西部降水的偏少。而在华南东部以南存在异常西南向的水汽通量矢量,有利于从孟加拉湾向华南东部水汽输送的增强,华南东部以北存在东北向的水汽通量矢量距平,有利于冷空气的南下,因此水汽在华南东部地区为异常辐合的,从而导致华南东部降水偏多。

从 1000 hPa 的温度差值场来看(图 11),西涝东旱年与西旱东涝年相比,华南西南部存在冷异常,中心数值小于 -0.6°C ,华南东北部存在暖异常,中心数值大于 0.9°C 。表明在西涝东旱年,华南西部 1000 hPa 温度偏冷与西部降水偏多有关,华南东部 1000 hPa 温度偏暖与东部降水偏少有着密切的关系。这也进一步从 1000 hPa 的温度差值场的西冷东暖证实了华南西涝东旱的降水特征。在西旱东涝年时,则情况相反。

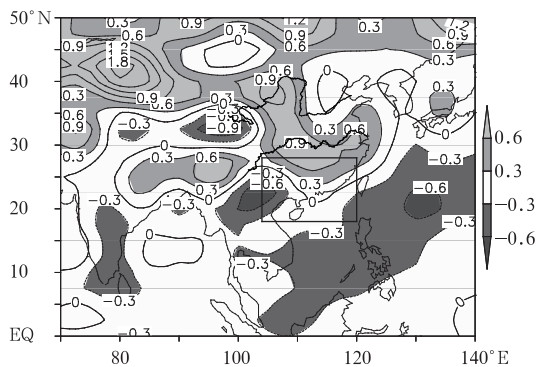


图 11 同图 4,但为合成 1000 hPa 温度差值场(单位: $^\circ\text{C}$)

Fig. 11 Same as Fig. 4, but for the composite difference of temperature (unit: $^\circ\text{C}$) at 1000 hPa

5 总结和讨论

华南春季降水异常虽然在多数年份呈现出一致

的旱涝变化趋势,但在某些年份却表现为东西反位相的变化特征,造成旱涝灾害,而前人对此研究的较少。因此,本文首先对华南地区 18 站 1951—2007 年春季(3—5 月)降水量距平场进行 EOF 分析,结果发现华南春季降水异常具有全区一致性、东西反位相、南北反位相及东北—西南反位相等特点。第二特征向量反映的是华南春季降水异常的空间分布呈现东西反位相的变化特征,据此将华南春季降水型分为西涝东旱型和西旱东涝型,并选出相应的典型年份。

进一步分析发现,大多数西涝(旱)东旱(涝)年整个华南地区的春季降水量接近正常年份,然后运用合成分析方法,分析了华南春季降水纬向非均匀分布异常年同期的大气环流异常特征。结果表明:在西涝东旱年,华南西北部地区存在一个海平面气压和高度场的正异常中心,因此该正异常气压的东北部有利于盛行异常的西北风,加强了冷空气的南下,该正异常的南部存在一个海平面气压场和高度场的负异常,该负异常的东南部有利于盛行西南风距平,华南东部及其东部海面上存在范围较大的气压场和高度场正异常,该正异常的西南侧有利于盛行东南风异常,因此偏北风异常与偏南风异常在华南西部形成风场和水汽场的异常辐合,最终导致华南西部的降水增多。而华南东部处于范围较大的正异常的海平面气压场和高度场控制之下,华南东部以南盛行异常的东北风,华南东部以北盛行西南风距平,因此华南东部的低层风场和水汽场为异常辐散的,从而造成华南东部的降水偏少。与此同时,850 hPa 涡度场、200 hPa 散度场、850 hPa 垂直速度场和 1000 hPa 温度场均呈现出有利于华南西部降水偏多和东部降水偏少的环流形势。在西旱东涝年,情况则相反。

本文关于华南春季降水纬向非均匀性特征的分析,主要分析其降水本身的空间分布特征及同期环流场异常的特征,而外部强迫如何影响华南春季降水的纬向非均匀性分布,则需要进一步的研究。

另外,华南春季降水 EOF 分析的第三特征向量(方差贡献仅为 8.16%)反映了华南地区春季降水异常的南北反位相特征,这就表明了华南春季降水在空间分布上除了纬向非均匀分布之外,在某些年份则表现为经向非均匀分布的特征。由于方差贡献较小,因此南旱北涝型和南涝北旱型的典型年份较少,这里不作赘述。

参考文献

李春晖,梁建茵,吴尚森. 2004. 近百年广州汛期降水变化特征及其影响因子. 热带气象学报, 20(4):365-374.

李宏毅. 2009. 海温及气溶胶对我国华南春季降水演变特征的影响及作用机理研究. 中国科学院研究生院博士学位论文, 144.

李宏毅,林朝晖,陈红. 2010. 我国华南 3 月份降水年代际变化的特征. 气候与环境研究, 15(3):311-321.

李宏毅,林朝晖,陈红. 2012. 我国华南 4、5 月份降水年代际变化的特征及其与中西太平洋海温的可能关系. 气候与环境研究, 17(4): 481-494.

林爱兰,吴尚森. 1996. 近 40 年华南汛期旱涝变化及趋势预测. 热带气象学报, 12(2):160-166.

吴尚森,黄成昌,薛惠娴. 1990. 华南后汛期的年际变化. 热带气象, 6(4):348-355.

吴尚森,梁建茵. 1992. 华南前汛期旱涝时空分布特征. 热带气象, 8(1):87-92.

袁媛,任福民,王艳姣,等. 2012. 2012 年华南前汛期降水特征及环流异常分析. 气象, 38(10):1247-1254.

张爱华,吴恒强,覃武,等. 1997. 南半球大气环流对华南前汛期降水影响初探. 气象, 23(8):9-15.

郑彬,谷德军,李春晖,等. 2007. 华南前汛期的锋面降水和夏季风降水 II: 空间分布特征. 大气科学, 31(3):495-504.

竺夏英,何金海,吴志伟. 2007. 江淮梅雨期降水经向非均匀分布及异常年特征分析. 科学通报, 52(8):951-957.

Li H-Y, Lin Z-H, Chen H. 2009. Interdecadal variability of spring precipitation over South China and its associated atmospheric water vapor transport. Atmos Oceanic Sci Lett, 2:113-118.

Wei J, Lin Z H, Xia J, et al. 2005. Interannual and Interdecadal Variability of Atmospheric Water Vapor Transport in the Haihe River Basin. Science Press, pedosphere 15, 585-594.

Xin X G, Yu R C, Zhou T J, et al. 2006. Drought in late spring of south China in recent decades. J Climate, 19:3197-3206.

Zhou T J, Yu R C. 2005. Atmospheric water vapor transport associated with typical anomalous summer rainfall patterns in China. J Geophys Res, 110, D08104.