

1997年华南汛期降水异常与 大气低频振荡的关系

信 飞^{1,4} 肖子牛² 李泽椿³

(1. 南京信息工程大学, 210044; 2. 云南省气象局;
3. 国家气象中心; 4. 上海区域气候中心)

提 要: 利用国家气象中心提供的逐日降水资料及 NCEP 逐日再分析资料, 分析了 1997 年华南地区汛期异常降水低频特征与大气低频振荡的关系。研究表明, 1997 年华南前汛期和后汛期降水表现为不同的振荡特征; 前汛期降水主要以 10~20 天准双周振荡为主, 而后汛期降水的低频特征并不明显。进一步对降水和其它要素的低频振荡特征进行分析发现, 该年华南地区前汛期降水和风场的低频振荡现象是普遍存在的; 低频纬向风的传播变化与降水的时间分布有较好的对应。并且, 高、低纬度低频风场同时向华南地区传输, 会产生极强的降水。在对大气低频扰动动能的分析中也发现, 华南前汛期降水伴随着低频扰动动能在该地区的集中释放。

关键词: 汛期 降水异常 低频振荡

Relation Between Flood Season Precipitation Anomalies in South China and East Asian Atmospheric Low Frequency Oscillation in 1997

Xin Fei^{1,4} Xiao Ziniu² Li Zechun³

(1. Nanjing University of Information & Engineering, Nanjing 210044; 2. Yunnan Meteorological Bureau;
3. National Meteorological Center; 4. Regional Climate Center in Shanghai)

Abstract: By using the daily precipitation data from CMA and NCEP re-analysis daily data, the relation between flood season precipitation anomalies in South China and East Asian atmospheric low frequency oscillation in 1997 was analyzed. Results show that flood season precipitation in South China reveals different low frequency oscillation in pre-flood season and latter flood season. The pre-flood season precipitation is mainly controlled by the oscillation of 10-20 days, but the relation between latter flood season precipitation and low frequency oscillation is not very clear. The further study shows that the pre-flood season precipitation in South China obviously connects with

low frequency oscillation of west wind and the precipitation substantially agrees with the low frequency oscillation of wind. Meanwhile, one reason of the heavy rain may be the transfer of wind from high and low latitude to South China during this period. Besides, another reason of the heavy rain may be that the kinetic energy perturbation is released concentrically in South China.

Key Words: flood season in South China precipitation anomalies low frequency oscillation

引 言

华南地区包括广东、广西、福建和海南岛,是我国降水最多的地区之一,降水季节分配不均。汛期主要集中在 4—9 月。4—6 月为前汛期,主要表现为锋面降水;7—9 月为后汛期,主要以台风降水为主。其中 6 月的降水最多,且降水量有明显的年际变化。

1997 年夏季,中国汛期降水表现为极少出现的异常偏南型。我国北方出现了近 50 年罕见的高温酷暑天气,而南方出现了持续性的降水,给国民经济和人民生活造成了严重损失。尤其是雨带的长时间南压,造成华南地区降水异常。因此,讨论和分析此次异常降水的特征具有重要意义。

大气的低频振荡最早由 Madden 和 Julian^[1] 提出。李崇银^[2] 在大气低频振荡一书中介绍,时间尺度在 10 天以上,100 天以内的大气运动的变化称为大气的低频变化。它包括引起大家普遍注意的季节内(30~60 天)振荡和准双周(10~20 天)振荡。Krishnamurti^[3] 对南亚季风区的云量和降水进行了周期分析,指出这两者都存在 10~20 天的低频振荡。Murakami^[4] 等的研究不仅揭露出季节内扰动风场和位势场的东传和北移特征,而且提出了扰动能量频散问题。

之前已有不少学者对不同地区降水及相关要素场的低频特征进行了深入的研究。李崇银指出,大气低频振荡已开始用于长期天气和短期气候的预报。如,华北汛期雨量偏多的年份,雨量的 30~60 天的振荡相当明

显,雨量偏少的年份,该振荡不明显。陆尔和丁一汇^[5] 在对 1991 年江淮特大暴雨与东亚大气低频振荡的研究中,运用最大熵谱分析方法分析了 1991 年夏季雨量和风场中低频振荡的优势,揭示低频振荡在频域和地域上的分布特征;指出江淮特大暴雨期间东亚大气普遍存在低频振荡活动。雨量和东亚风场的低频振荡现象都是普遍存在的,风场的振荡周期具有显著的地域和频域分布特征。徐国强等^[6] 在对 1998 年中国区域降水低频变化的传播机制的初步分析中指出,中国中东部地区低频降水经向传播都与南海季风和印度季风的变化相对应,低频降水在经向传播中存在不连续现象是由于低频下沉气流造成的。毛江玉和吴国雄^[7] 在分析了 1991 年江淮梅雨和副热带高压的低频振荡关系中指出,该年江淮梅雨期间降水低频振荡的主周期是 15~35 天,且与 500hPa 北太平洋副高的低频变化及其传播密切相关。

本文将从低频振荡角度讨论和分析 1997 年华南地区降水的异常及低频风场和扰动动能对降水所起到的作用。这些研究将有助于了解华南汛期降水特征,及其与其它要素低频特征之间的相关性。为延伸预报提供理论依据,有助于拓宽降水的延伸期预报思路。

1 资料与分析方法

本文使用 NCEP 的逐日再分析资料进行分析。资料的水平网格距为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 经纬度。分析要素主要为 850hPa 的 U 、 V 分量

及扰动动能,分析时段主要为 1997 年 5—7 月,降水资料取自国家气象中心提供的逐日降水观测资料。

分析降水时先从要素的原始时间序列中去掉其多年平均值,以 1991—2000 年要素场平均值作为多年平均值。然后用所得的距平值做以下分析:(a)小波分析是检测时间序列中时一频变化的常用工具。本文使用对周期具有较强分析能力的 morlet 小波研究华南汛期降水的周期特征,揭示降水低频振荡在频域和时间上的分布情况;(b)用 Butterworth 带通滤波器进行滤波,分析优势频带低频风场及扰动动能场在低频形式降水中所起到的作用。

2 降水的低频分布特征

2.1 1997 年华南地区降水的特点及空间分布

1997 年夏季,我国汛期降水表现为异常偏南型。雨带长时间南压,多集中在长江以南,南方大部分地区降水接近常年或者偏多。夏季风建立后西南风便长时间在华南一带维持,这一地区在西南气流的控制下形成较长时间的降水过程。致使华南前汛期到 7 月中旬才结束,较常年偏晚约 1 个月。

1997 年,登陆我国台风为 5 个,较常年偏少。并且登陆初台偏晚,登陆终台偏早,登陆时间集中,有 4 个出现在 8 月。因此后汛期开始时间较多年气候平均情况偏晚,且降水主要集中在 8 月。

就整个汛期而言,前汛期维持时间偏长,降水多集中于 5—7 月;后汛期开始时间较常年偏晚,降水主要集中在 8 月。并且,降水分布不均匀(图 1a),降水较常年偏多的地区主要集中在华南中东部,其中广东大部及福建南部地区降水较常年偏多,尤其是东南沿海异常偏多;而华南西北部,主要是广西西北部

地区较常年偏少。

图 1b 为前汛期降水的距平百分率图。与多年平均值相比,其多寡分布与整个汛期情况相似。前汛期降水偏多地区仍是集中在华南中东部沿海一带。而广西大部分地区降水偏少。

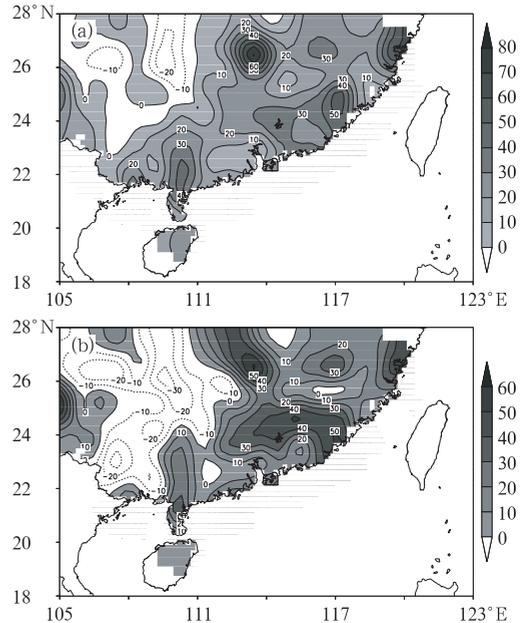


图 1 华南地区 1997 年汛期(a)和前汛期
(b)总降水量距平百分率图
阴影部分为降水偏多区

2.2 1997 年华南汛期降水的低频特征

为了探讨华南地区降水的低频特征,根据图 1 选取降水偏多的集中区域(20°~25°N、109°~118°E)内的 24 个观测站作为研究对象。

首先分析单站降水的低频特征。这里以华南中部佛岗站(23.52°N、113.32°E)和偏西的涠洲岛(21.02°N、109.06°E)为代表,研究单站降水振荡情况。

图 2a 中佛岗站前汛期与后汛期降水振荡特征有明显差异;4 月中旬到 5 月末多表现为 20~30 天振荡;6 月初开始直到 7 月末,通过检验的主要低频周期变为 15~35

天,其中振荡最强的周期集中在 15~20 天。而进入 8 月以后振荡低频部分不明显。

图 2b 中濠洲岛站的降水振荡也表现出显著的阶段性特征,4 月份以 45 天左右的振荡周期为主。5—6 月为 15~30 天和 45 天两振荡周期并存,但以 15~30 天振荡为主。7 月份的振荡周期为 15~30 天。其中最强的振荡周期为 15~25 天。8 月以后低频振荡特征不明显。总的来说,前汛期降水的低频周期比较广,以 15~25 天的低频振荡为主;而后汛期的低频振荡不明显。

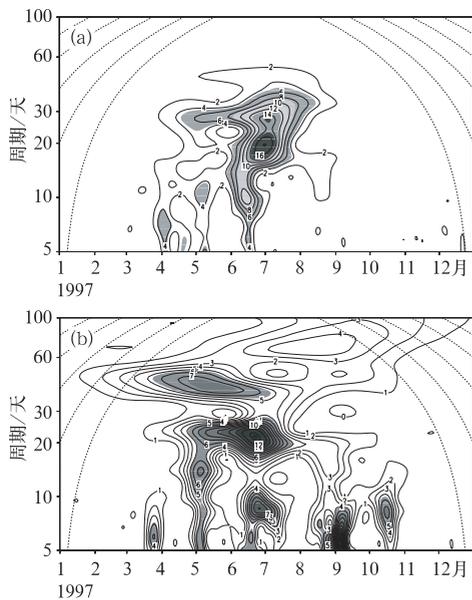


图 2 佛岗站(a)及濠洲岛站
(b)降水距平的小波分析
阴影区为通过显著性检验区域

对其他站点进行谱分析得到这些站点降水的主要振荡周期如表 1,可知大部分站点降水的振荡在前后汛期都体现出明显的阶段性。虽然各站点前汛期降水的低频振荡周期不尽相同,但这一时期降水的低频振荡特征都比较明显;而后汛期降水则没有体现出明显的低频特征。

由于降水的地域分布差异,虽然所选站点的大体振荡情况基本一致,但各个站点的

表 1 24 站降水的前汛期(主要为 5—7 月)和后汛期(主要为 8—9 月)主要振荡周期

站名	前汛期	后汛期	站名	前汛期	后汛期
佛岗	15~35d	无	玉林	12~30d	5~8d
桂平	12~30d	无	信宜	8~22d	无
梧州	10~25d	5~7d	台山	10~18d	5~7d
广宁	15~30	5~11d	深圳	18~40d	5~10d
高要	10~22d	无	汕尾	10~20d	无
河源	10~20d	5~7d	北海	8~18d	无
增城	10~20d	5~8d	濠洲岛	15~25d	7~10d
惠阳	8~18d	无	湛江	20~40d	8~12d
汕头	10~20d	无	阳江	15~25d	5~10d
惠来	15~20d	7~10d	电白	18~40d	5~8d
东山	18~28d	5~10d	上川岛	10~20d	无
灵山	10~20d	无	广州	8~20d	无

具体低频特征不尽相同。故对这 24 站降水资料的区域平均距平值进行 morlet 小波分析(图 3)以便得到区域降水的普遍振荡特征。图中通过显著性检验的谱值主要集中在 5—8 月。虽然在 6 月中旬谱值稍有断开,但从五月初到 7 月末的显著谱系数主要还是集中在 10~20 天的频域里,说明该时段的区域降水主要以准双周振荡为主。而进入 8 月以后,降水显著周期发生明显的变化,显著谱值以 5~10 天的高频波段为主要频带,低频特征不明显。这一降水周期的时—频变化的差异反映出前后汛期降水振荡的不同特征。

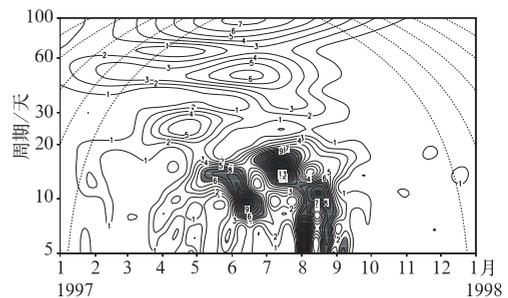


图 3 1997 年华南 24 站降水区域
平均距平的小波分析
阴影区为通过显著性检验区域

以上结果表明:1997 年汛期不论是单站还是区域平均降水,其振荡均表现出极强的

阶段性特征;对区域平均降水的振荡分析得到,前汛期降水的主振荡周期表现为 10~20 天的准双周振荡。而进入后汛期的 8、9 月降水振荡周期缩短为 5~10 天的高频变化,低频特征不明显。

2.3 前汛期降水特征分析

佛岗站和涠洲岛站降水距平及不同波段的曲线值(图 4)表明,佛岗站的降水明显强于涠洲岛站,这与图 1b 中的降水分布情况相符,即华南中东部降水较西部偏多。两站虽然显著周期不同,但在前汛期,低频降水是降水的主要组成部分。而进入 8 月以后两站低频降水振荡强度明显减弱;相反,5~10 天的高频降水振幅大幅加强。5~10 天成为降水的主要周期。这说明汛期单站降水周期存在明显的阶段性特征:前汛期主要以低频振荡为主,而后汛期的振荡特征则表现为明显的高频变化。

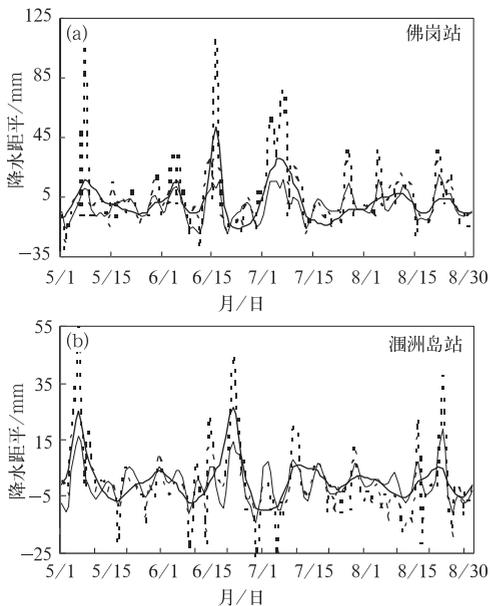


图 4 佛岗站(a)涠洲岛站(b)5—8月降水距平(虚线)及其经 15~20 天(粗实线)和 5~10 天(细实线)滤波分量

下面对华南汛期降水偏多区域整体降水特征进行分析。图 5 给出了 24 站区域平均的降水距平及滤波后的振荡分量。由降水距平曲线可以看出:5—8 月几次大的降水过程分别出现在 5 月 4—9 日,6 月 13—16 日,6 月 28 日至 7 月 7 日,7 月 14—21 日,8 月 7—13 日,8 月 22—24 日。将经 5~10 天和 10~20 天滤波所得的降水曲线对比不难发现,降水的 5~10 天和 10~20 天振荡对几次大的实际降水的峰谷值有较好的对应关系,但强度有所不同。前汛期内,降水的 10~20 天低频振荡分量强于 5~10 天振荡分量,尤以 7 月发生的两次大的降水最为明显。进入 8 月后 5~10 天分量明显加强;相反,10~20 天振荡强度不大,低频不再是优势周期。因此,这一时段的振荡以 5~10 天为主。以上结果表明:1997 年前汛期降水过程,特别是几次强降水过程均以 10~20 天的低频振荡为主;而后汛期的降水则以 5~10 天的高频周期为主,低频振荡优势不明显。

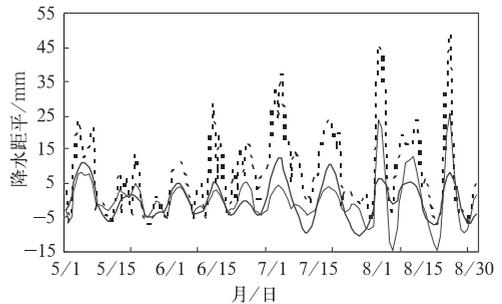


图 5 5—8 月降水距平(虚线)及其经 10~20 天滤波(粗实线)和 5~10 天滤波(细实线)的分量

不论对单站降水还是区域降水的特征分析都表明;1997 年华南降水存在明显的阶段性特征,前汛期降水的低频部分处于主导地位,而后汛期的高频降水则成为降水的主要分量。

3 大气其它要素场的低频特征

华南地区的常规天气预报的一个重要的参考要素场之一便为 850hPa 要素场。因此,将着眼点定为研究 850hPa 风场及扰动动能的振荡情况。

图 6 为 850hPa 纬向风的振荡情况。4 月中旬到 8 月初,纬向风表现为显著的准双周特征(10~20 天)。其中只有 6 月中旬至 6 月末的一段时间没有明显的低频周期存在。值得注意的是,这一低频周期的中断与降水的低频周期中断在时间上基本一致。8 月初以后,低频特征消失。由此可见整个前汛期低频风场体现为 10~20 天的准双周振荡特征;进入后汛期,纬向风无明显的低频振荡特征。纬向风场这种在时段上和振荡频段上的特征,都与华南汛期降水的低频特征相近。

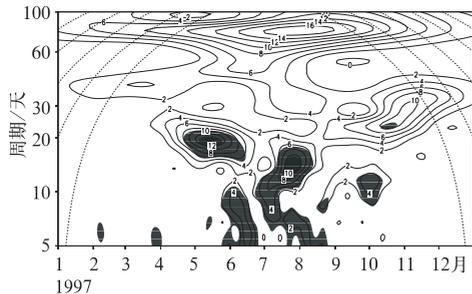


图 6 850hPa U 分量距平值在(20~25°N、107.5~117.5°E)区域的小波分析
阴影区为通过显著性检验区域

经向风的低频振荡(图 7)较弱。只有在 3 月初至 4 月中旬表现为 10~20 天的振荡特征。

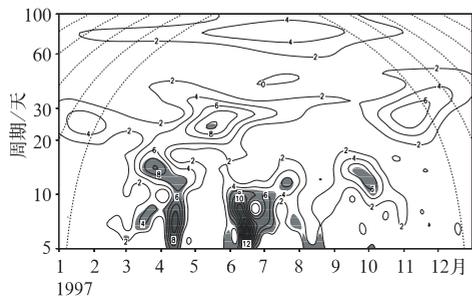


图 7 850hPa V 分量距平值在(20~25°N、107.5~117.5°E)区域的小波分析
阴影区为通过显著性检验区域

5 月末到 7 月初主要以 8~11 天振荡为主。

850hPa 的扰动动能表现出显著的低频特征(图 8)。3 月中旬开始,扰动动能的低频特征便有所体现,其主要的振荡周期在 15~25 天。到 5 月中旬,主要振荡周期变为 10~20 天左右,7 月以后,低频特征便不再明显。

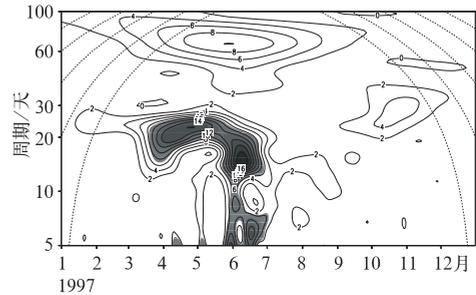


图 8 850hPa 扰动动能距平值在(20~25°N、107.5~117.5°E)区域的小波分析
阴影区为通过显著性检验区域

以上若干大气要素场都不同程度地表现出低频振荡的特征。这里以纬向风振荡最为明显;并且,其在时间和频域分布上都与降水振荡特征极为相似。扰动动能也存在显著的低频特征,其低频周期同样以 10~20 天为主。而经向风没有很明显的低频特征存在。

4 大气低频振荡活动与前汛期降水的关系

下面重点研究前汛期低频特征明显的低频纬向风场和扰动动能在降水过程中所起的作用。取降水偏多的(20~25°N、107.5~117.5°E)作为主要研究区域。

4.1 850hPa 纬向风场的低频特征及其与降水的关系

首先分析 850hPa 低频(10~20 天)纬向风传播特征(图 9)。由图 9 可以看到,来自于低纬的低频西风在华南及其附近地区出现了 4 次明显的增强过程。并且,这 4 次过程在时间上基本对应了前汛期发生的几场强降水过程。值得注意的是,北跳的低纬低频西

风和南下的中高纬低频西风在 6 月上旬和 7 月上旬两次汇合在 $20\sim 30^{\circ}\text{N}$ 附近,使该地区产生前汛期最为强烈的两次降水。同时发现,6 月初低纬生成强烈的低频东风,6 月中旬传至华南地区,到 6 月下旬,华南地区处在低频东风的控制之下。而该时段也正是降水的低频振荡中断期。以上分析说明,低纬 $10\sim 20$ 天低频西风在华南地区的增强是导致华南地区强降水的重要因素之一。并且,高低纬低频西风共同作用可能是产生更为强烈降水的原因。同时,低频西风的中断也可能是导致华南地区降水中断的原因之一。

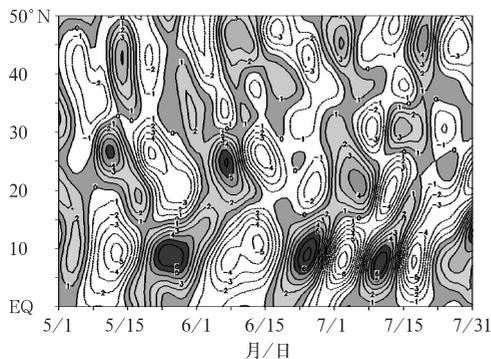


图 9 1997 年 5—7 月 850hPa $108\sim 118^{\circ}\text{E}$ 平均低频(10~20 天)纬向风的纬度时间剖面图

对不同经度低频纬向风的传播情况的分析中得到(图略),不同经度的低频西风传播到华南地区时都与降水的发生在时间上有很好的对应。但其在不同地域的传播强度有所差异。总体而言,不论高纬还是低纬,中东部地区的低频西风大多强于西部。同时,传播到华南地区中东部的低频西风也要略强于西部。纬向风的强弱与降水的多寡有很好的地域对应。这可能也是导致 1997 年中东部降水较常年明显偏多而西部降水相对偏少的原因。

4.2 850hPa 扰动动能的低频特征及其与降水的关系

对 850hPa 低频(10~20 天)扰动动能的

分析(图 10)表明,低频扰动动能大多在 $20\sim 25^{\circ}\text{N}$ 附近达最大,但其并没有继续传播。值得注意的是,低频不稳定能量的极大值出现时段基本对应了前汛期的 4 场强降水过程的发生。这表明,低频扰动动能在华南地区的增大是引发前汛期强降水过程的重要原因之一。

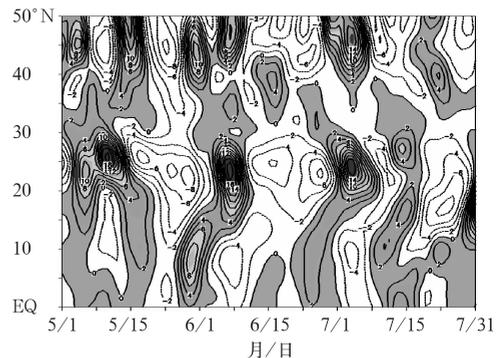


图 10 1997 年 5—7 月 850hPa $108\sim 118^{\circ}\text{E}$ 平均低频(10~20 天)扰动动能的纬度时间剖面图

对不同经度低频扰动动能的传播路径进行分析(图略)发现,低频扰动动能在中东部表现为明显的 4 次传播过程;而在偏西地区,较明显的传播过程为 3 次。并且东部的中高纬扰动动能较西部强,同时高、低纬度的扰动动能向华南地区的输送较西部明显。这种扰动动能的地域差异也是导致华南地区降水中东部偏多而西部偏少的重要原因之一。

5 结 语

(1) 1997 年华南地区汛期表现出不同于常年的特征,由于该年雨带长时间南压于 30°N 以南,使华南地区降水偏多,持续时间偏长;而后汛期由于台风登陆集中在 8 月,使后汛期降水多集中在这个月份。整个汛期特征为前汛期持续时间长,降水多集中在 5—7 月,后汛期持续时间短,降水主要集中在 8 月。

(2) 1997 年华南地区的汛期降水周期有明显的阶段性。前汛期(主要为 5—7 月)降水表现出明显的准双周(10~20 天)振荡特征。而后汛期降水主要为 5~10 天的周期振荡,低频特征不明显。

(3) 对大气其它要素场的分析发现,它们都不同程度地表现出低频振荡的特征。纬向风振荡最为明显,并且在时间和频域分布上都与降水振荡特征极为相似。扰动动能也存在显著的周期为 10~20 天的低频振荡。这些要素的低频特征不论时段还是主要振荡周期都与降水的低频振荡有相似之处。

(4) 1997 年华南地区前汛期,低频西风的传播对降水的发生发展起到了明显的作用。10~20 天低频西风在华南地区明显增强是该地区产生强降水的原因之一。值得注意的是,前汛期内两次较强降水过程,都伴随着低纬和高纬的低频西风在该地区的汇合。这一现象可能是导致较强降水的原因。此外,不同经度降水的多寡也与风场低频振荡的强弱有一定联系。

(5) 低频扰动动能在 25°N 附近存在极大值,是形成华南前汛期强降水的另一原因。

同时,东西部扰动动能在地域上的不同分布特征,也是造成前汛期降水东多西少的原因之一。

需要说明的是以上的分析仅限于 1997 年降水的情况,对于华南地区降水的普遍特征还有待于进一步研究。

参考文献

- [1] Madden, R. A. and P. R. Julian. Observations of the 40~50-day tropical oscillation: A review[J]. *Mon. Wea. Rev.*, 1994, 112: 814-837.
- [2] 李崇银. 大气低频振荡[M]. 北京, 气象出版社, 1991: 276.
- [3] Krishnamurti T N, Bhalme H N. Oscillations of a monsoon system, part I: observational aspects[J]. *J Atmos Sci*, 1976, 33: 1937-1954.
- [4] Murakami M. Large-scale aspect of deep convective activity over the GATE area[J]. *Mon Wea Rev*, 1979, 107: 994-1013.
- [5] 陆尔, 丁一汇. 1991 年江淮特大暴雨与东亚大气低频振荡[J]. *气象学报*, 1996, 54(6): 730-736.
- [6] 徐国强, 朱乾根, 薛纪善, 等. 1998 年中国区域降水低频变化的传播机制的初步分析[J]. *大气科学*, 2004, 27(5): 736-746.
- [7] 毛江玉, 吴国雄. 1991 年江淮梅雨与副热带高压的低频振荡. *气象学报*, 2001, 63(5): 762-770.