

2004年安徽省梅汛期三次暴雨过程 的大气低频振荡背景*

陈晓红 张 娇

(安徽省气象台,合肥 230031)

摘 要

对2004年夏季安徽省降水以及850 hPa 涡度、水汽通量散度场进行 Morlet 小波分析, 结果发现:6月中下旬,三者都存在着2~6 d,7~15 d以及18~30 d的振荡周期,并且三者的各频带的低频分量与实际降水距平的对应关系较好。其中18~30 d低频涡旋系统和水汽通量散度具有源自孟加拉湾和中南半岛自西南向安徽省传播特征;7~15 d低频涡旋系统主要是沿着中纬度地区自西向东传入安徽省,低频水汽通量散度则由低纬度地区自南向北传入安徽省。6月中下旬赤道西太平洋地区沿东南—西北向移动的7~15 d低频气旋和反气旋波列,以及安徽省附近低层流场的2~6 d高频变化,为其6月中下旬的三次强降水过程提供了有利条件。

关键词:暴雨 低频振荡 滤波

引 言

安徽省位于长江中下游地区,地属副热带季风区^[1],季节变化显著,暴雨是其夏季较为多发的灾害性天气。近年来,许多研究发现季风区内降水变化同大气低频振荡有密切关系^[2-5]。孙安健通过对1983年和1985年夏季北半球500 hPa高度场大气低频波振荡特征的研究发现:1983年夏季低频波基本上是东传的;1985年夏季,在中高纬度低频波基本上还是东传的,但热带地区为西传。相对应,我国江淮流域在1983和1985年夏季分别出现了洪涝与干旱^[6]。陆尔等从低频振荡传播的角度分析了1991年江淮地区暴雨与低频振荡特征^[7-8]。杨广基发现在华南汛期、长江中下游梅雨期和华北雨季,一些大雨期的出现常常和正降水扰动从不同方向传播到该地区有关^[9]。Chen等指出1998年东亚低频系统传播并汇合于长江中下游,是造成该地区6月和7月中旬的两次暴雨的重要原因^[10]。以上研究均表明:不同年份雨带的分布和降水多寡与大气低频振荡的特征有着密切的关系,然而不同年份大气低频振荡存在着很大的差异,并且,目前针对省级范围的夏季强降水过程与大气低频振荡关系的研究还很不足。因此本文将通过小波分析,滤波技术等方法着重分析2004年安徽省梅汛期三次主要降水过程中降水、低层涡度和水汽通量散度场的低频振荡特征,并从流场角度探讨其影响机制。

* 中国气象局气象新技术推广项目(CMATG2005 M34)资助。

2004-12-29收到,2005-04-11收到再改稿。

本文使用资料包括:2004年5~8月安徽省71个测站的逐日降水量资料;相应时段NCEP/NCAR 850 hPa逐日风场和比湿再分析资料,水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。采用标准的Morlet小波分析方法,对降水及各物理量场进行时频分析。分析低频成分时根据傅立叶展开,通过调节波数的范围进行滤波。

1 降水、涡度和散度的低频振荡特征

为了分析降水的低频振荡特征,对2004年6~8月(共92 d)安徽省降水量进行小波变换(图1)。由图1可见:2004年6月安徽省夏季降水主要表现为2~6 d,7~15 d和18~30 d的周期振荡。7月以后各周期振荡均有所衰减。

对安徽省850 hPa涡度、散度场也进行Morlet小波变换(图略),结果发现,6月中下旬低层涡度和水汽通量散度场的时频分布特征与降水基本相似。

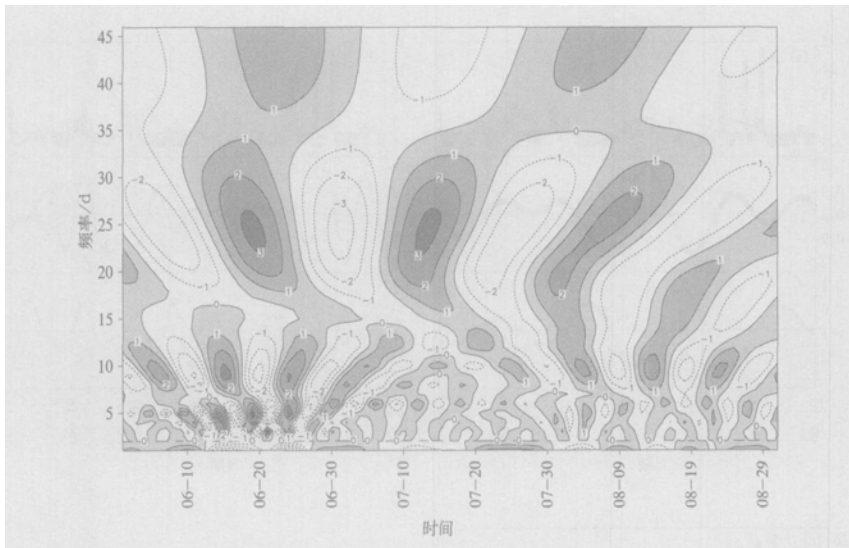


图1 2004年6~8月安徽省降水小波分析

2 降水、涡度和水汽通量散度低频和高频分量的对应关系

由以上小波分析可知,6月中下旬安徽省降水、涡度和水汽通量散度场的周期分布特征基本相似,因此三者很可能存在着一定的联系。为了进一步分析三者的关系,图2分别给出了6~8月安徽省降水、涡度和水汽通量散度场的18~30 d,7~15 d和2~6 d的高频分量。由实际的降水距平图可以看出6~8月的强降水过程主要集中在6月中下旬,分别出现在6月14日、6月18日和6月23~24日。图2a表明:6月中下旬和7月上中旬降水、涡度和水汽通量散度的18~30 d低频分量的峰、谷值与实际降水距平的包络线是一致的,因此大气的18~30 d振荡很可能对安徽省降水的长周期变化起着重要作用。由

图 2b 可以发现,6 月中下旬降水、涡度与水汽通量散度场的 7~15 d 低频分量表现为很好的对应关系。同时可以发现,除 6 月 18 日过程外,涡度场低频分量的峰谷值以及水汽通量散度场低频分量谷峰值与另外两次强降水过程的对应关系均较好。

图 2c 为降水、涡度和水汽通量散度场 2~6 d 高频分量分布特征,由图中可以看出三者高频分量峰谷(谷峰)值与实际降水距平值基本吻合。

同样对三者进行 45 d 左右的滤波,滤波后的降水曲线与实际降水曲线虽然在 6 月中下旬有很好的对应关系,但在同是梅雨期的 7 月上中旬两者却呈反位相,并且由图 1 小波分析可以看出 45 d 左右周期所对应的小波实部值明显偏小。因此,由以上分析可知,2004 年 6 月中下旬三次降水过程很可能是由于 18~30 d,7~15 d 低频振荡和 2~6 d 高频振荡同位相相叠加的结果。因此将进一步研究涡旋系统和水汽通量散度场的传播特征,但由于高频波的变化和传播速度较快,传播特征并不是很明显,因此着重分析 18~30 d 和 7~15 d 振荡的低频传播过程。

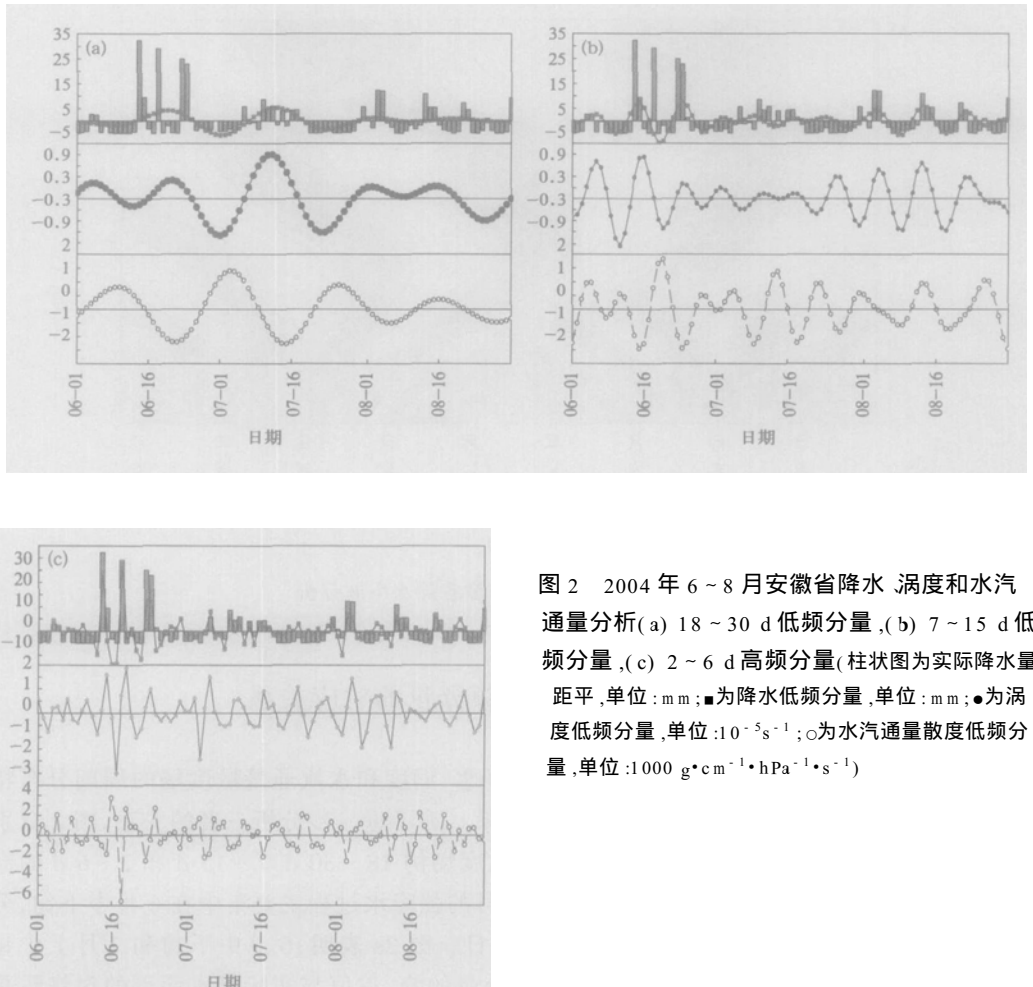


图 2 2004 年 6~8 月安徽省降水、涡度和水汽通量分析 (a) 18~30 d 低频分量, (b) 7~15 d 低频分量, (c) 2~6 d 高频分量 (柱状图为实际降水量距平, 单位: mm; ■ 为降水低频分量, 单位: mm; ● 为涡度低频分量, 单位: $10^{-5} s^{-1}$; ○ 为水汽通量散度低频分量, 单位: $1000 g \cdot cm^{-1} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$)

3 低频振荡的传播特征

3.1 18~30 d 低频涡旋系统和水汽通量散度场的传播

为了研究低频涡旋系统传播过程,首先分别对6~8月涡度场进行18~30 d的滤波。然后取6月1~30日经过滤波后的涡度场,以32.5°N,117.5°E(安徽省中部)为参考点进行同时相关分析(图略)。结果发现,中南半岛(15°N,102.5°E)至安徽中部有一明显的正负相关大值区域呈带状分布。因此,沿这一路径很可能有明显的波动传播。为了进一步研究其传播特征,分析了18~30 d涡旋系统的传播特征(图略)。在计算过程中首先对滤波后15°N,102.5°E至32.5°N,117.5°E的涡度场进行二元插值,插值后经度间隔为0.5°,纬度间隔为0.583°,然后取以上插值后的经纬度坐标为横坐标,纵坐标为时间变化。可以发现:6月上旬在15°N,102.5°E附近有正的涡旋系统活动,之后向东北方向传播,6月中下旬传播至安徽省附近,恰好对应着安徽省中下旬的多雨期。

同样方法,还分析18~30 d了低频水汽通量散度场沿12.5°N,90°E至32.5°N,117.5°E的传播特征。可以发现:从6月初开始,水汽辐合区自孟加拉湾(12.5°N,90°E)向安徽省传播,6月中下旬传播至安徽省。结合以上对18~30 d低频涡旋系统和水汽通量散度场传播特征的研究发现:源自孟加拉湾和中南半岛由西南向安徽省传播的大气低频波很可能是引起安徽省降水长周期变化的主要原因。

3.2 7~15 d 低频涡旋系统和水汽通量散度场的传播

同样方法,分别分析了7~15 d低频涡旋系统和水汽通量散度场的传播特征。图3a给出了沿32.5°N低频涡旋系统的时间-纬向剖面图。由图中可以看出,6月14日安徽省的降水过程恰好对应着的涡旋系统沿中纬度地区自西向东传入114°~120°E附近并有所

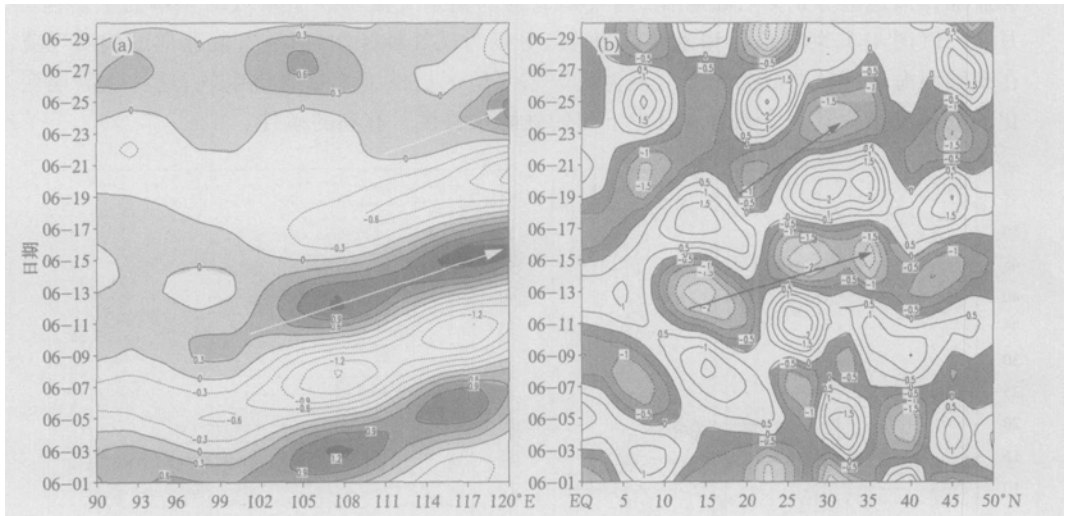


图3 2004年6月850 hPa 7~15 d 低频系统传播图像(a) 低频涡旋系统 (阴影区为正涡度区,单位: $10^{-5} s^{-1}$), (b) 低频水汽通量散度场 (阴影区为水汽辐合区,单位: $1000 g \cdot cm^{-1} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$)

加强。而6月23~24日前后正涡旋系统在传入 $117^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 附近后开始明显加强,相对应两日大的降水落区恰好也都位于安徽省中东部地区。表明,中纬度地区正涡旋系统的东传和加强对6月14日和6月23~24日两次降水过程起到了重要作用。

图3b为沿 117.5°E 的7~15 d水汽通量散度传播图,图中表明6月14日和6月23~24日两次降水过程恰好对应着两次较强的水汽辐合中心由 15°N 和 20°N 附近沿 117.5°E 传入 $30^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$ 附近并加强。结合图3a与图3b可以发现6月14日和23~24日两次强降水过程低频涡度条件和水汽辐合条件均较好,因此两者高值位相的叠加很可能是造成这两次强降水的重要原因。

通过对18~30 d和7~15 d低频涡旋系统和水汽通量散度场的传播综合分析可看出:源自不同方向的18~30 d和7~15 d两个频带大气低频波于6月中下旬,在安徽省附近的涡度和水汽通量散度高值同位相叠加,为安徽省梅汛期三次强降水过程提供了很有利的条件。

4 流场的低频和高频演变特征

降水直接与低层大气环流相联系,各种物理量场的变化特征也与大气环流有着密切的关系,为了研究低频系统如何影响安徽省降水,进一步分析了6月中下旬低频流场的演变过程。

4.1 18~30 d低频流场的演变特征

图4为6月降水的18~30 d低频分量谷(8日)峰(20日)值时期所对应的18~30 d的低频风场图。可以发现:6月8日(图4a)我国东部地区主要为偏北气流控制,阿拉伯海和孟加拉湾地区分别为气旋控制,两气旋北部的偏东气流不利于水汽的东输北上。而6月20日(图4b),阿拉伯海和孟加拉湾地区分别为反气旋控制,两反气旋北部的偏西气流在我国南海地区转向成为西南气流为我国东部地区提供了大量暖湿空气,这种长周期变化的低频流场背景为安徽省6月中下旬的强降水提供了有利的条件。

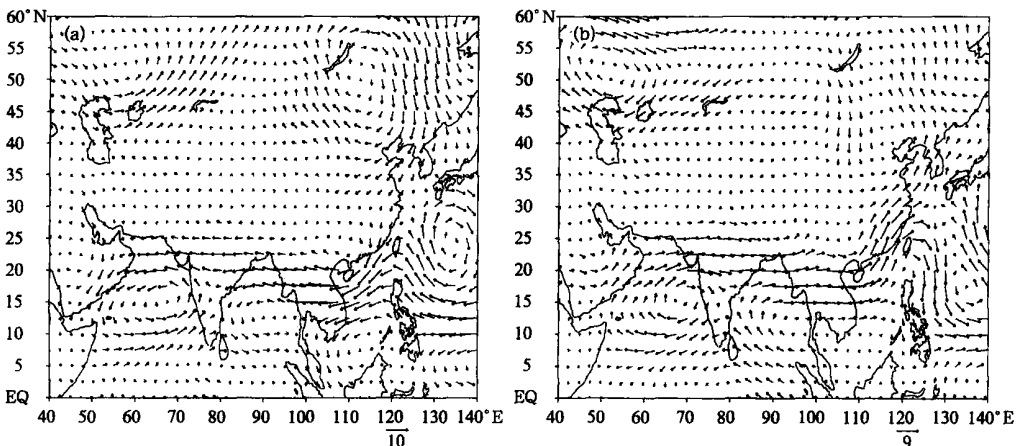


图4 2004年6月18~30 d低频风场(单位:m/s)(a) 6月8日,(b) 6月20日

4.2 7~15 d 低频流场的演变特征

图 5 给出了 6 月 9 日起每隔 4 d 的 850 hPa 经过 7~15 d 滤波的低频流场图。可以看出,6 月 9 日图 5a 在赤道西太平洋地区有一列东南—西北向的低频气旋和反气旋波列,同时在我国的中纬度地区自西向东分别为—低频气旋和反气旋波动,我国的中东部地区主要是在中纬度低频反气旋环流东侧偏北气流控制之下,对应此时无降水。6 月 14 日(图 5b)原位于菲律宾以东的低频反气旋环流(图 5a)向西北移动至我国东南沿海附近,其西北侧强盛的西南气流一直到达江淮地区。同时由图 5b 可以看到我国东北地区出现一大范围低频反气旋式环流,安徽省恰好位于西南气流之中,进而导致强降水的出现。6 月 18 日(图 5c)原位于菲律宾以东的低频气旋式环流(图 5b)向西北方向移至我国台湾以东洋面,并且在移动过程中逐渐加强,为我国东部及东南沿海地区带来了大量的水汽,同时位于山东半岛附近的低频气旋式环流西侧的偏北气流南下到长江中下游地区,冷暖空气交汇于华东地区形成强降水。6 月 24 日,原位于菲律宾以东的低频反气旋环流(图 5c)

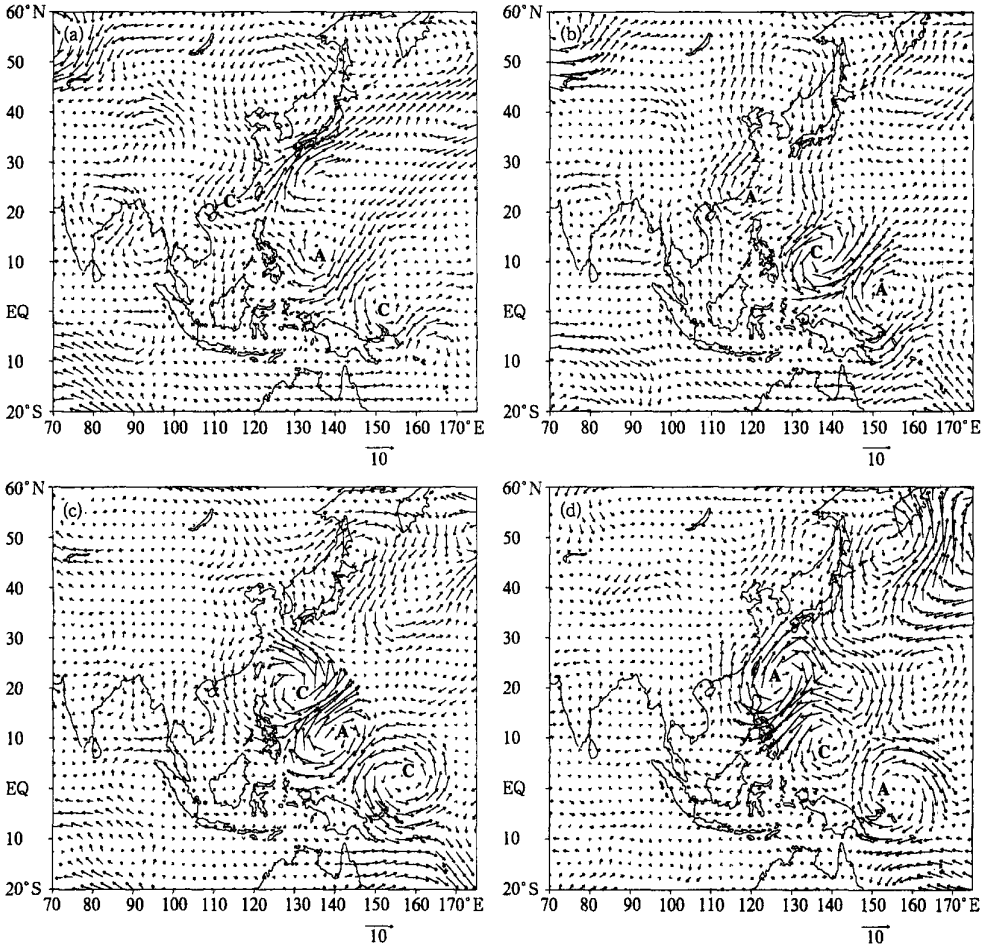


图 5 2004 年 6 月 7~15 d 低频风场(单位:m/s)
 (a) 6 月 9 日,(b) 6 月 14 日,(c) 6 月 18 日,(d) 6 月 24 日

同样向西北方向移入我国台湾以东洋面,继其之前的低频反气旋和气旋之后,其西北侧的西南气流又一次为长江中下游地区带来充沛的水汽,并与朝鲜半岛以西的反气旋环流西南侧的东南气流在长江中下游地区形成暖式切变。

通过以上分析可知,2004年6月中下旬安徽省出现的三次强降水过程主要是由于赤道西太平洋地区东南—西北向的低频气旋和反气旋波不断向西北方向移动至我国东南沿海附近,为长江中下游地区带来充沛水汽而形成。同时我国东部中高纬地区环流系统的演变对强降水的形成也起到了重要作用。

4.3 2~6 d高频流场的演变特征

图6为6月14日、18日、23日和24日三次强降水过程暴雨落区所对应的2~6 d滤波后的流场图,由图6可以看出14日和18日,高频气旋环流中心分别位于河南和湖北,安徽省处于东南侧的暖式切变处和槽前。23日安徽省处于台湾岛西部反气旋与山东半岛附近反气旋之间暖式切变处,24日暖式切变转为冷式切变,强降水东移南压。从以上分析可以发现三次强降水过程对应着2~6 d高频流场上,在安徽省附近都出现强的低值系统或强切变,有利于强降水的形成。

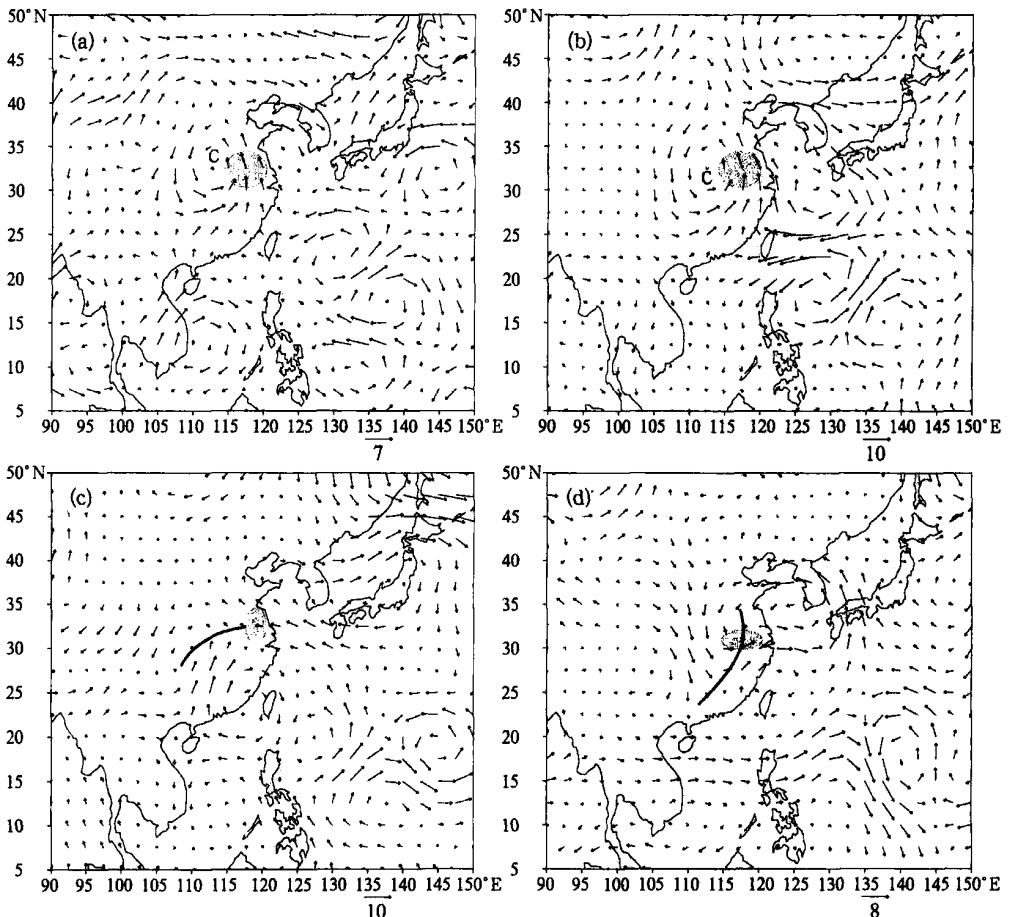


图6 2004年6月2~6 d低频风场(单位:m/s,阴影区为暴雨落区)

(a)6月14日,(b)6月18日,(c)6月23日,(d)6月24日

5 结 论

对 2004 年安徽省梅汛期三次主要降水过程分析表明:

(1) 在安徽省 2004 年 6 月中下旬,降水、涡度和水汽通量散度都存在着 2~6 d, 7~15 d 以及 18~30 d 的振荡周期,并且三者的各频带的低频分量与实际降水距平的对对应关系较好。

(2) 18~30 d 大气低频波源自孟加拉湾和中南半岛自西南向安徽省传播;7~15 d 低频涡旋系统主要是沿着中纬度地区自西向东传入安徽省附近,低频水汽通量散度场则由低纬度地区自南向北传入安徽省。源自不同方向的两个频带大气低频波在安徽省附近的同位相叠加为安徽省 6 月中下旬强降水提供了有利的条件。

(3) 流场的 18~30 d 低频变化为安徽省 6 月中下旬强降水的长周期变化提供了有利的低频振荡背景。

(4) 6 月中下旬安徽省的三次强降水过程主要是由于赤道西太平洋地区东南—西北向的 7~15 d 低频气旋和反气旋波列不断向西北方向移动至我国东南沿海附近,为长江中下游地区带来充沛水汽而形成的,同时中高纬环流系统的演变对强降水的形成也起到了重要作用。

(5) 安徽省附近低层流场的 2~6 d 高频变化,也为其 6 月中下旬的三次强降水过程提供了有利条件。

参 考 文 献

- 1 Zhu Qiangen, He Jinhai, Wang Panxing. A study of circulation difference between East-Asian and Indian summer monsoons with their interaction. *Adv At mos Sci*, 1986, 3(4):466~477.
- 2 何金海,陈丽臻.南半球中纬度准 40 天振荡及其与北半球夏季风的关系.南京气象学院学报,1989,12(1):11~18.
- 3 孙力,安刚.1998 年松嫩流域东北冷涡大暴雨过程的诊断分析.大气科学,2001,25(3):342~354.
- 4 徐国强,藏建升,周伟灿.1998 年京津冀夏季风的低频振荡与降水的特征.应用气象学报,2001,12(3):297~306.
- 5 Lau K M, Yang G, Shen S H. Seasonal and intraseasonal climatology of summer monsoon rainfall over East Asia. *Mon Wea Rev*, 1988, 116(1):18~31.
- 6 孙安健,唐国利,黄荣辉.1983 与 1985 年夏季北半球 500 hPa 高度场大气低频波的振荡特征.大气科学,1994,18(5):576~585.
- 7 陆尔,丁一汇,李月洪.1991 年江淮特大暴雨的位涡分析与冷空气活动.应用气象学报,1994,5(3):266~274.
- 8 陆尔,丁一汇.1991 年江淮特大暴雨与东亚大气低频振荡.气象学报,1996,54(5):730~736.
- 9 杨广基.中国东部降水和风场的低频振荡特征.大气科学,1992,16(1):103~110.
- 10 Chen Longxun, Zhu Congwen, Wang Wen, et al. Analysis of the characteristics of 30~60 day low-frequency oscillation over Asia during 1998 SCS MEX. *Adv At mos Sci*, 2001, 18(4):623~638.

ANALYSIS OF LOW FREQUENCY OSCILLATIONS OF THREE RAINSTORMS DURING THE PERIOD OF MEIYU IN 2004 OF ANHUI

Chen Xiaohong Zhang Jiao

(Anhui Provincial Meteorological Observatory, Hefei 230031)

Abstract

In terms of wavelet, vortex and moisture flux divergence analyses, study is undertaken of 2004 rainstorms from June to August in Anhui. Results show that the elements exhibit significant 2 ~ 6 d, 7 ~ 15 d and 18 ~ 30 d oscillations. The variations of 2 ~ 6 d and 7 ~ 15 d oscillations of these elements are almost consistent with the anomaly of precipitation from mid-June to later June. The vortex of the 7 ~ 15 d oscillation moves towards Anhui along the mid-latitude from west to east, and the moisture flux divergence of the 7 ~ 15 d oscillation moves towards Anhui from low-latitudes. The cyclone and anticyclone wave trains of the 7 ~ 15 d oscillation moves towards northwest over the equatorial west Pacific Ocean and the high frequency change of the streamline field at low levels provide favorable conditions for Anhui rainstorms in June 2004.

Key words: Storm rainfall Low frequency oscillations Filtering