

2013 年华南前汛期持续性强降水的大尺度环流与低频信号特征^{* 1}

胡娅敏^{1,2} 翟盘茂² 罗晓玲¹ 吕俊梅² 覃志年³ 郝全成¹

HU Yamin^{1,2} ZHAI Panmao² LUO Xiaoling¹ LV Junmei² QIN Zhinian³ HAO Quancheng¹

1. 广东省气候中心, 广州, 510080
2. 中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室, 北京, 100081
3. 广西壮族自治区气候中心, 南宁, 530022

1. *Guangdong Climate Center, Guangzhou 510080, China*

2. *State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China*

3. *Guangxi Climate Center, Nanning 530022, China*

2013-07-30 收稿, 2014-03-10 改回.

胡娅敏, 翟盘茂, 罗晓玲, 吕俊梅, 覃志年, 郝全成. 2014. 2013 年华南前汛期持续性强降水的大尺度环流与低频信号特征. 气象学报, 72(3): 465-477

Hu Yamin, Zhai Panmao, Luo Xiaoling, Lv Junmei, Qin Zhinian, Hao Quancheng. 2014. Large scale circulation and low frequency signal characteristics for the persistent extreme precipitation in the first rainy season over South China in 2013. *Acta Meteorologica Sinica*, 72(3): 465-477

Abstract From April to June, widespread severe rainstorms events mainly concentrate over South China (SC). During the period, the persistent extreme precipitation events (PEPEs) are in high incidence and rainfall during this period accounts for nearly 40% – 50% of the annual total. It is usually called the first rainy season (FiRS) over SC.

From late March to mid-June in 2013, the precipitation frequently occurred in SC with multiple precipitation processes, severe intensity and long duration. Based on the statistical methods such as the wavelet analysis, the cross wavelet transform, the wavelet coherence, the ensemble empirical mode decomposition (EEMD) and the band pass filter, the PEPEs are analyzed. The results show that two persistent extreme precipitation processes occurred during the period of 26 March – 11 April (which is called the first stage hereafter) and 23 April – 30 May (which is called the second stage hereafter), respectively. During the first stage, rainfall amount increased from the north to the south region and accounted for 24.7% of the rainfall in FiRS with rainbelt extending from the southeast to northwest. However, during the second one, the precipitation intensity was stronger than that in the former and the amount reached 54.0% with rainbelt over the north and southeast coast region in SC.

There are the predominant factors played an important role in the two persistent extreme precipitation processes. In the first stage, precipitation was continuously influenced by cold airflow from the north. In the latter, however, it was mainly affected by the tropical convection system from the south. Moreover, two PEPEs have been affected by the different large-scale atmosphere circulations. For the former one, the meridional circulation pattern with the high/low value system in the eastern/western region presented in the middle troposphere. A cold vortex continuously maintained over Northeast China, and the cold surge merged with the warm current from the northwest flank of the West Pacific Subtropical High (WPSH). It suggested that, the cold frontal precipitations hold a leading post in the first stage. Nevertheless, in the second one, the meridional circulation is rectified into the pattern with one trough between double ridges in the 500 hPa geopotential height. Before the monsoon breakout over the South China Sea (SCS), precipitation was still con-

* 资助课题: 国家重点基础研究发展计划 (973 计划) 项目 (2012CB417205, 2013CB430202)、国家自然科学基金项目 (40905043、41375091)、中国气象局气候变化专项 (CCSF201307)。

作者简介: 胡娅敏, 主要从事短期气候预测研究。E-mail: huyamin_1978@sohu.com

trolled by the cold front. There existed a duration transition between the first and the second stages. From perspective of precipitation low frequency feature, it transitioned from the intraseasonal oscillation into the quasi-biweekly one. After the monsoon breakout, the cold air decreased in severity. The WPSH has retreated from the SCS and the water vapor passage from the Bay of Bengal (BOB) established. In the meantime, the convection systems began active in the low latitudes. The troughs over the south branch were more active from the Indo-China Peninsula to SC. At the moment, an anomaly cyclonic circulation presented over the SC region. The warm convective precipitation occurred more often under the unsteady stratified atmosphere with remarkable convective activity developing in the second stage.

Low frequency oscillation characteristics of precipitation and their predominant factors are further analyzed. Precipitation in the first stage showed a 20–50 d low frequency oscillation, which was affected by the active cold surge from the north region. In the second stage, it showed a 8–15 d low frequency oscillation, which was impacted by the strengthened WPSH and the SCS monsoon onset from the south. By using of the cross wavelet transform, the cold vortex over Northeast China and the zonal component of water vapor transportation over SCS are likely able to be used as possible early signals for the FiRS precipitation over the SC region for the extended range forecast.

Key words The first rainy season over South China, Persistent extreme precipitation, Intraseasonal oscillation, Large scale circulation

摘要 自2013年3月下旬开始,华南地区遭遇持续性强降水袭击。采用小波分析、交叉小波变换和小波相干、集合经验模态分解(EEMD)、带通滤波等统计方法,分析2013年华南前汛期持续性强降水过程的大尺度大气环流和低频特征,寻找影响持续性强降水可能的前期信号。揭示出:(1)2013年华南前汛期持续性强降水主要分为两个时段:3月26日—4月11日(第1阶段)和4月23日—5月30日(第2阶段)。前者华南雨带呈现西北—东南分布,由北向南降水量逐渐增大,后者降水强度较前者强,雨带主要集中在华南北部和东南沿海地区。(2)第1阶段华南降水主要受北方冷空气的持续影响,第2阶段主要受西太平洋副热带高压和南海季风的影响。两个阶段的环流特征明显不同:第1阶段在对流层中层主要对应西高东低的经向环流,东亚大槽深厚、东北冷涡长时间盘踞,北方冷空气与来自西太平洋副热带高压西北侧的暖湿气流交汇在华南,此时以冷式锋面降水为主;第2阶段500 hPa高度场为两脊一槽的分布型,热带对流活跃,其上空表现一异常的气旋环流,具有季风降水的性质。(3)第1(2)阶段降水呈现出20—50(8—15) d的振荡特征,可能是北方冷空气活动频繁(西太平洋副热带高压加强和南海季风爆发)的影响,交叉小波功率谱分析得到,东北冷涡(南海北部水汽输送的纬向分量)可能提前1(1/2)个周期,对华南降水具有一定的指示。

关键词 华南前汛期,持续性强降水,季节内振荡,大尺度环流

中图法分类号 P466

1 引言

每年4—9月是华南的降水集中期,其中4—6月华南经历第1个多雨期,人们常称其为华南前汛期,其降水量占全年降水量的40%—50%或更多,是华南持续性暴雨的多发期(Wu, et al, 2013),南海季风爆发前主要以锋面降水为主,而南海季风爆发后主要以夏季风降水为主(丁一汇等, 2004; 郑彬等, 2006, 2007a; 何金海等, 2008; 强学民等, 2008)。前汛期开始后,随着时间的推移,降水强度越来越强,持续时间越来越长,常导致严重的暴雨洪涝、局地性山洪爆发、泥石流和山体滑坡等地质灾害。为了认识华南前汛期的天气气候特征,许多学者利用常规观测资料、再分析资料和数值模拟,开展了大量

的研究工作。例如从天气动力学角度诊断华南前汛期暴雨过程(吴乃庚等, 2013),从气候学角度分析华南前汛期的月、季、年、年际和年代际变化特征(谢炯光等, 2006; 张焱等, 2008; 袁媛等, 2012),从统计学角度寻找华南前汛期的影响因子(黄颖等, 2011),这些研究提高了对华南前汛期降水的认识。为了从观测角度获取对华南前汛期更深入细致的认识,气象学家还开展了一系列的野外观测试验,基于这些观测资料对华南前汛期特征的揭示,对华南前汛期的认识取得了新的进展。

近年来,随着全球变暖,华南前汛期持续性强降水频现,2006年6月18—25日华南出现大范围的强降水和暴雨到大暴雨天气过程(郑彬等, 2007b), 2008年5月21日—6月20日“龙舟水”期间,广东

平均雨量创 1951 年以来历史新高,期间连续出现 4 次强降水过程,降水集中期长达 23 d(林良勋等,2009;王东海等,2011)。2010 年 5 月上中旬南海季风尚未爆发,华南一周内出现罕见的连续 3 场区域性暴雨(吴乃庚等,2013)。

2013 年 3 月下旬开始,华南地区频繁遭遇强降水袭击,3 月 26—30 日连续的强降水造成整个 3 月降水异常偏多,其中华南中部地区降水偏多 1 倍以上,珠三角以西的地区偏多 2 倍以上。3 月 28 日华南开汛,较气候平均明显偏早了 9 d。随后 5 月 8—10 日粤西和珠三角地区出现持续性暴雨到大暴雨,局部特大暴雨天气,其中 10 日阳江、8 日阳春降水量分别高达 307.6 和 212.2 mm。5 月 19—22 日,华南大部分地区出现暴雨到大暴雨,局部特大暴雨天气,期间共有 58 个县(市)出现 79 个暴雨站次,珠海过程降雨量 362.7 mm,22 日 04 时该站小时降雨量 118.7 mm。2013 年 3 月下旬开始的持续性强降水一直持续到 6 月中旬,使华南 3、4 和 5 月降水偏多,6 月 12 日受热带低压和热带风暴“贝碧嘉”影响,华南进入后汛期雨季。2013 年华南前汛期强降水天气频现,相伴随的暴雨等灾害天气导致华南 73 人死亡,10 人失踪,经济损失近 50 亿元,其中广西近十年来同期受灾最为严重。那么,2013 年华南前汛期持续性强降水具有什么特点? 什么样的大气环流配置导致这么长时间的持续性强降水呢?

一些研究者从低频振荡角度进行华南持续性强降水的研究(唐天毅等,2007;张婷等,2011;梁巧倩等,2011;章丽娜等,2011;纪忠萍等,2010;谷德军等,2013),但研究多针对某个固定时段降水性质及其环流特征或关键区,并指出准双周振荡对华南前汛期降水影响更为显著。那么,2013 年华南前汛期降水具有什么样的频谱特征? 哪些环流因子对持续性强降水具有前期指示意义呢? 基于此,本研究从大气环流角度入手寻找影响持续性强降水的物理因子,根据降水和大气环流的耦合振荡特征寻找影响降水的前期信号,以期对华南前汛期持续性强降水的延伸期预测提供参考。

2 资料选取和分析方法

本研究降水数据是由广东省气候中心和广西自

治区气候中心提供的华南 2013 年 174 个台站的 1 月 1 日—7 月 31 日逐日观测资料。大气环流资料取自 2013 年 1 月 1 日—7 月 31 日美国 NCEP/NCAR 的水平分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 的逐日再分析资料,以及同期 NOAA 卫星观测的向外长波辐射(OLR)资料。

本研究采用莫莱特小波(Torrence, et al, 1998)来分析各参数不同局部频率的变化特征,并对资料双向对称延伸来减弱边界效应的影响。交叉小波变换是一种新的多信号分析技术,能够有效诊断不同信号的相关性、时延性和位相结构(Grinsted, et al, 2004),用来揭示 2 个信号相互影响的时延相关特征和时频位相关系。

为了克服经验模态分解(EMD)边缘效应和尺度混合的缺陷,引入了一种利用噪音辅助的集合经验模态分解(EEMD)方法,其继承了经验模态分解的自适性,同时由于引入了白噪声扰动并进行集合平均,从而避免了尺度混合问题,重要的是能使最终分解的本征模函数(IMFs)保持物理上的唯一性(刘莉红等,2008)。

3 华南前汛期降水的持续性及频谱特征

2013 年华南前汛期降水开始于 3 月下旬,结束于 6 月上旬末。6 月中旬初受热带低压和热带风暴“贝碧嘉”影响,华南进入后汛期雨季。

2013 年华南前汛期大部分时段是强于历史平均值(图 1),其持续性强降水主要发生在 3 月底—4 月上旬、4 月下旬中期—5 月上旬初、5 月上旬中期—上旬末期、5 月中旬中期—5 月底、6 月上旬中期—上旬末。其中,广东新丰、博罗 2 站共出现 8 次持续性强降水过程;强降水持续时间破或平历史同期记录的单站有广西全州(7 d)、灌阳(8 d)、临桂(8 d)、隆林(6 d);单站暴雨日数最多的为广东普宁(9 d),过程最大日雨量为广东佛冈(232.4 mm),该过程初日发生在 5 月 14 日,持续 4 d,过程雨量达 265.5 mm;持续时间最长的单站为广东丰顺,降水始于 6 月 3 日共持续了 10 d,过程雨量为 276.6 mm,最大日雨量达 74.4 mm。

本研究主要从区域角度研究持续性强降水的特征,因此首先采用 Cressman 方案将华南站点资料

插值到 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 的网格点上,研究包括广西和广东的华南地区,插值起到空间平滑作用,滤掉了中小尺度扰动。参照格点江淮梅雨的定义(胡娅敏等,2008)的划分标准,对华南区域持续性强降水进行划分,所不同的是,本研究未考虑西太平洋副热带高压(副高)脊线和温度的标准,且以3月1日作为最早可能开始期限(纪忠萍等,2005)。

计算得到2013年华南区域有两个持续性强降水时段,主要发生在3月26日—4月11日(以下简称第1阶段)和4月23日—5月30日(以下简称第2阶段)。根据Chen等(2013)持续性暴雨事件定义可以得到,5月6—9日这次过程符合持续性暴雨事件的定义,此时正好是小波分析图中小波功率谱最

强阶段。根据曹鑫等(2013)的区域持续性强降水时间定义,5月7—10日和19—25日这两次过程符合持续性强降水事件的定义。这些研究得到的时段均在本研究定义的范围之内。

从这2个阶段华南地区降水量的空间分布(图2)可以看出,2个时段的降水均较常年偏多,其中第1个阶段雨量占前汛期降水总量的24.7%,雨带呈西北—东南分布,由北向南逐渐增大,最大降水中心位于珠江口以西地区,达350 mm;第2阶段的降水强度比第1阶段显著增强,雨量占前汛期降水总量的54.0%,雨带主要集中在北部和东南沿海2个区域,大部分降水超过500 mm,降水中心超过700 mm,较常年平均偏多300 mm以上。

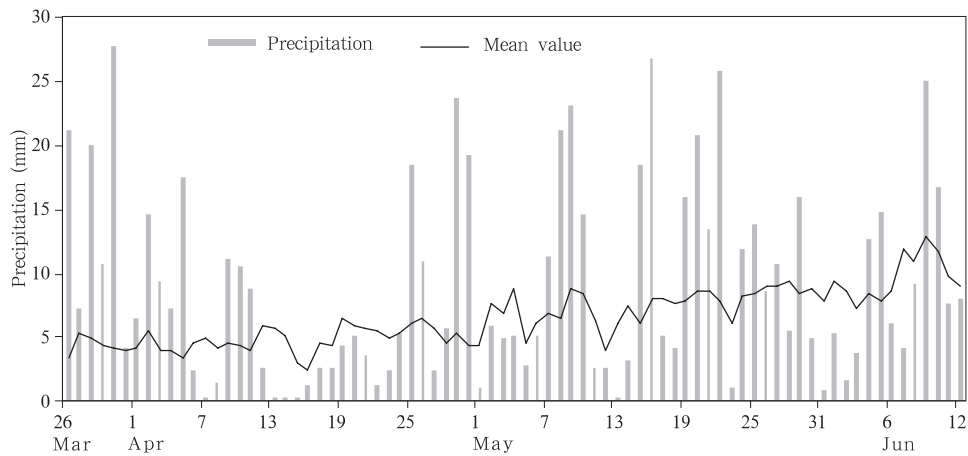


图1 2013年3月26日—6月12日华南区域平均逐日降水时间序列(实线为气候平均值)
Fig. 1 Daily precipitation time series from March 26 to June 12 over South China (the solid line is the mean value)

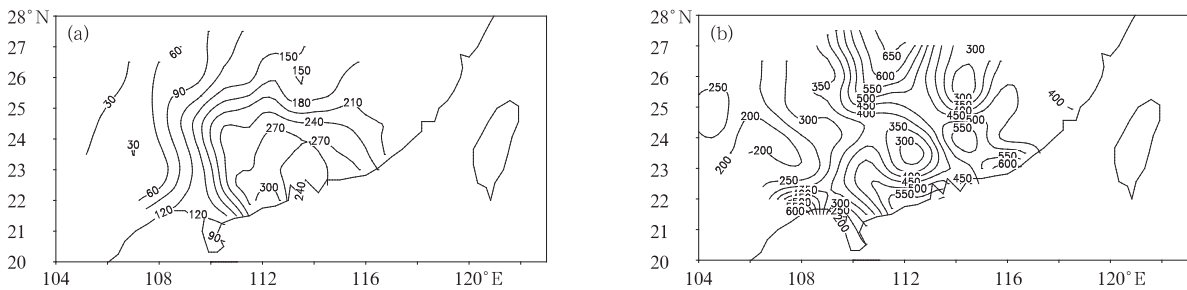


图2 华南两个持续性强降水期间的雨量分布(mm)
(a. 3月26日—4月11日, b. 4月23日—5月30日)
Fig. 2 Rainfall spatial distribution during the two PEPEs over South China (mm)
(a. 26 March - 11 April, b. 23 April - 30 May)

采用莫莱特小波分析得到图3,3月中旬—4月中旬华南降水主要对应20—50 d的季节内振荡,3月底—4月初对应一个准双周振荡,当两种不同周期的振荡出现锁相时,正好对应华南开汛(集合经验模态分解方法也得到同样的结论);4月中旬后,降水的振荡周期缩短,以8—15 d的准双周振荡为主。

综上所述,2013年华南前汛期第1阶段持续性降水出现在3月26日—4月11日,期间雨量占前汛期降水总量的24.7%,雨带呈西北—东南分布,降水量由北向南逐渐增大,对应20—50 d的季节内振荡;第2阶段4月23日—5月30日,雨量占前汛期降水总量的54.0%,雨带主要集中在北部和东南沿海2个区域,降水强度较第1阶段明显增大,主要以8—15 d的准双周振荡为主。

以下针对2013年两段持续性强降水过程分析

其对应的环流特征,寻找影响降水过程的主要环流因子。

4 两段持续性强降水期间的环流特征对比

研究表明,华南前汛期降水受多种因子共同影响,主要有北面的中高纬度冷空气、南面的南海季风和热带天气系统、东面的西太平洋副热带高压。图4为2013年华南前汛期的天气配置,可以看到3月下旬—4月上旬华南降水主要受北方冷空气的持续影响(图4a),而4月下旬—5月底,南海季风爆发前,冷空气依然影响华南,西太平洋副高南压、偏大、偏强(图4c,见 http://cmdp.ncc.cma.gov.cn/extreme/floods.php?product=floods_diag),而季风爆发后(5月第3候),北方冷空气势力减弱(图4a),来自低纬的热带对流系统迅速北抬(图4d)。

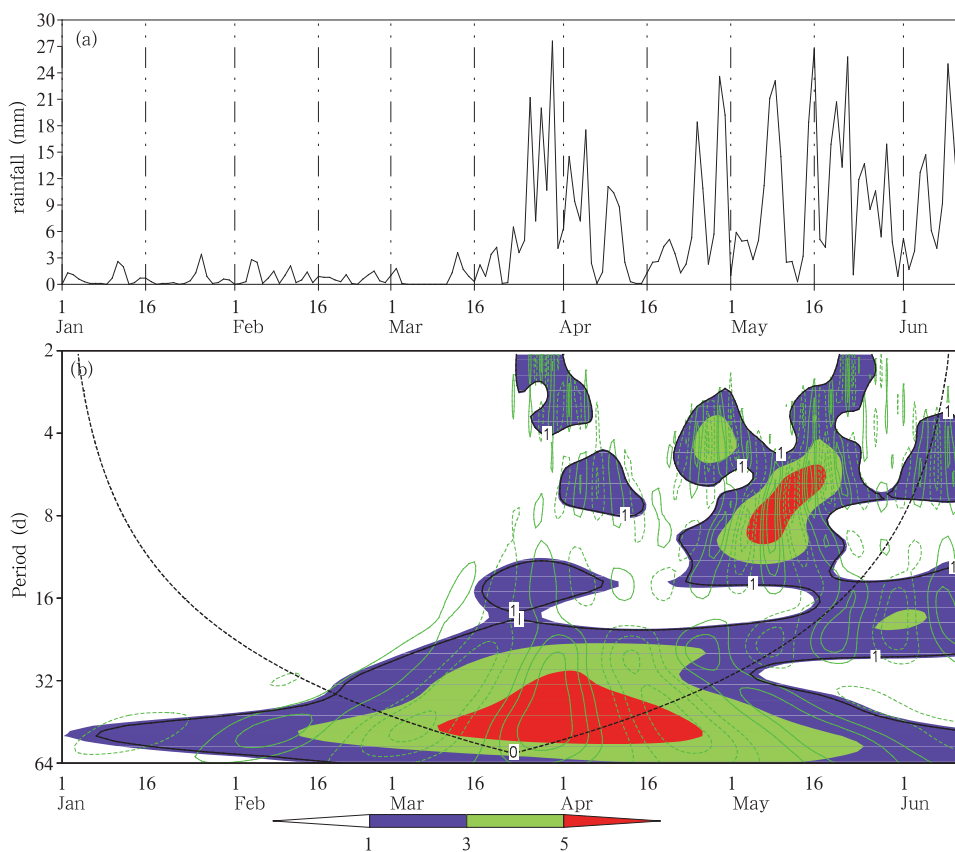


图3 (a) 2013年1月1日—6月12日华南区域平均的逐日降水时间序列及
(b) 华南逐日降水的莫莱特小波分析变换系数实部的时频分布
(阴影表示标准化小波功率谱>1的区域,粗等值线包括的区域表示通过95%的信度检验)

Fig. 3 (a) The daily precipitation time series from 1 January to 12 June over the South China, and (b) time-frequency diagrams for the real part of the Morlet wavelet transform coefficients of the daily precipitation over South China (the areas with normalized wavelet power spectrum greater than 1 are shaded; the regions enclosed by the thick contour are statistically significant at the 95% confidence level)

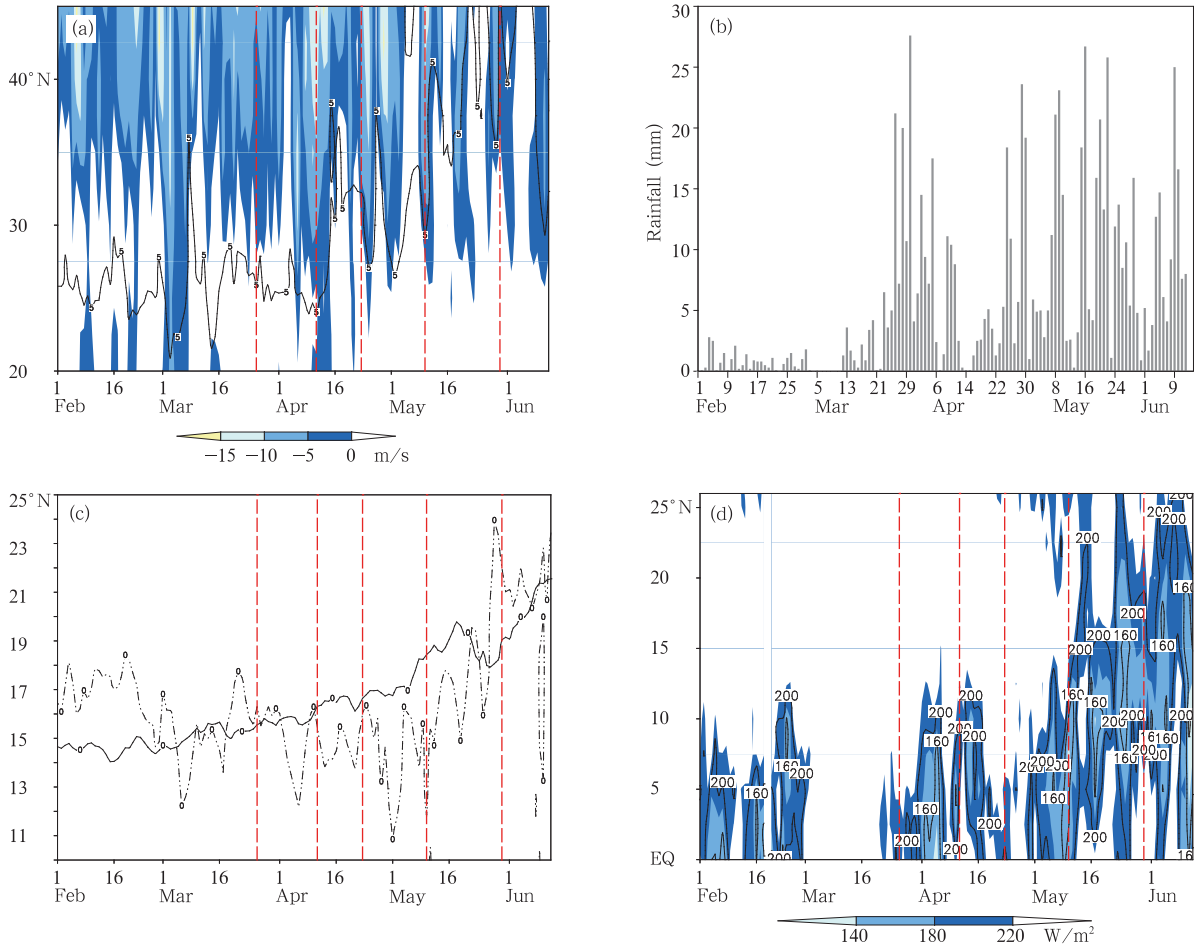


图4 2013年2月1日—6月12日华南区域降水的天气学模型

- (a. 沿 110°—120°E 的 700 hPa 温度和经向风的时间-纬度剖面(等值线为 5℃ 温度线, 阴影为偏北风, 即 $v < 0$ m/s),
- b. 华南区域逐日降水, c. 西太平洋副热带高压脊线的时间-纬度剖面(粗实线为气候平均值),
- d. 沿 90°—100°E 向外长波辐射的纬度-时间剖面(阴影区 ≤ 220 W/m²)

Fig. 4 Synoptic model of the South China regional precipitation from 1 February to 12 June

- (a. The latitude-temporal section of temperature and meridional wind velocity in 700 hPa along 110°—20°E (the contour is 5 C isothermal line and the shaded region is for the northerly wind, i. e. $v < 0$ m/s),
- b. the daily precipitation over the South China region; c. the latitude-temporal section for the WPSH ridge line (the bold solid line is for the mean value); d. the latitude-temporal section of OLR along 90°—100°E (the areas with the value ≤ 220 W/m² are shaded)

由于大气环流的持续性异常是造成持续性强降水的直接原因, 以下分析引起这两种不同持续性降水的大气环流特征。

4.1 主要影响系统和过程

研究得到, 持续性强降雨主要出现在大尺度天气异常系统稳定时期(Chen, et al, 2013)。第 1 时段在对流层中层 500 hPa 高度场主要呈现“西高东低”的经向分布型, 巴尔喀什湖至贝加尔湖以西是高压脊, 东亚大槽明显加深, 在中国东北地区冷涡长时

间盘踞, 槽底一直到江南地区, 此时冷空气一直南下至华南地区, 华南地区有南支槽活动, 构成“丁字槽”(图 5a), 此时西太平洋副高脊线偏南、面积偏大, 强度 3 月偏强、4 月偏弱、西伸脊点以偏西为主(图略, 见 http://cmdp.ncc.cma.gov.cn/extreme/floods.php?product=floods_diag)。在这种形势下, 低槽稳定维持, 导致华南持续性降水; 而第 2 时段 500 hPa 高度场调整为两脊一槽的分布型, 在乌拉尔山以西和贝加尔湖以东地区分别有一个相对稳定的

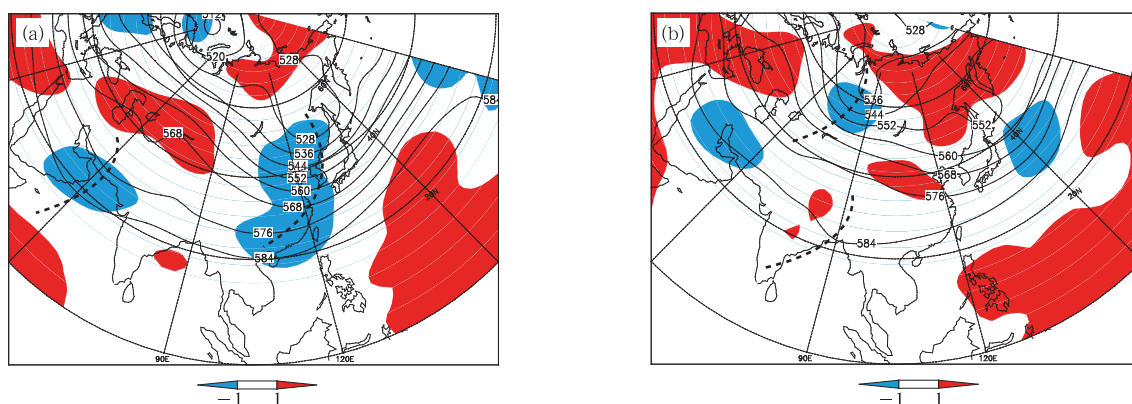


图5 500 hPa 高度场(dagpm,等值线)和标准化的距平(阴影区表示1倍以上标准化距平)分布

(a. 3月26日—4月11日, b. 4月23日—5月10日)

Fig. 5 500 hPa geopotential height (dagpm, contour line) distributions and their normalized anomaly fields

(the shaded areas depict the double or more standard deviation above normal)

(a. 26 March - 11 April, b. 23 April - 30 May)

高压脊,中国东北、华北和黄淮地区主要受高压脊控制,而中国新疆到贝加尔湖西边附近地区是一个低压槽,由于受到东面阻塞高压的阻挡,贝加尔湖低压不断分裂短波槽,从新疆、青藏高原一带移动到华南地区,引导冷空气不断补充南下,但冷空气势力较前一阶段偏弱,西太平洋副高脊线较气候平均值偏南(但较第1阶段偏北)、面积偏大、强度偏强,西伸脊点5月上旬偏西之后以偏东为主,此时中南半岛到中国华南一带南支波动频繁活跃(图5b)。

4.2 高纬度冷空气及热带对流系统

在对流层低层850 hPa风场上,中国东北上空在第1阶段存在一气旋性环流,此时冷空气非常强盛,5°C的温度线达到了30°N附近,其风场在中国东北地区表现为异常的偏北风,一直南下至30°N附近,然后青藏高原东侧的异常反气旋将冷空气进一步输送到华南地区,此时来自西太平洋副高的暖湿气流与来自北方的冷空气正好交汇在华南地区(图6a、c)。而第2阶段北方冷空气势力减弱,5°C的温度线位于50°N附近,此时华南地区主要来自孟加拉湾和南海北部的西南风控制,并在华南上空辐合,其距平场表现一异常的气旋性环流(图6b、d)。

从经向风和垂直风速沿110°—118°E的垂直剖面(图7)可以看出,华南上空两个降水时段均对应气流上升阶段,前者受北方系统影响,表现为冷式锋面降水,锋面位于30°N附近;后者在整个对流层均表现为明显的上升运动,对流系统较为深厚,此时冷空气势力已经大为减弱,影响范围在35°N以北,这

个时段主要以南面热带系统的影响为主,中低纬度地区对流层高层对应一风向转向,说明中国南海夏季风已经爆发,该阶段降水主要为季风性质的降水。

由于华南特殊的地理位置,它还受到热带对流系统的影响,用小于220 W/m²的向外长波辐射数值表示深对流,从其分布图上(图6a、b)可以看出,第1阶段向外长波辐射低值区主要位于15°S—5°N,呈现带状分布;而第2阶段向外长波辐射低值区开始北移,主要位于0°—15°N,呈现西—东南和西南—东北两条带状分布,即此时向外长波辐射反映出热带辐合带从赤道印度洋地区东伸到华南地区影响其降水的发生。

4.3 水汽输送

为探讨两段持续性降水形成的异同,对比两个阶段的整层水汽输送特征(图8)。在第1阶段西太平洋副热带高压位于中国南海地区,脊线较常年偏南,华南的暖湿气流主要来自西太平洋副高的西北侧,华南南部和中国南海北部上空存在一异常的气旋性环流,异常西南水汽输送来自孟加拉湾;在第2时段,中国南海季风爆发之前,水汽主要来自西太平洋副热带高压的西南输送,仍以冷暖空气交汇的锋面降水为主,中国南海季风爆发后,西太平洋副热带高压撤出中国南海地区,来自孟加拉湾的西南水汽输送被打通,其异常水汽输送主要来自孟加拉湾和中国南海北部地区,华南上空表现为一异常的气旋性环流,热带对流活跃,华南上空易产生对流不稳定,此时以季风降水为主。

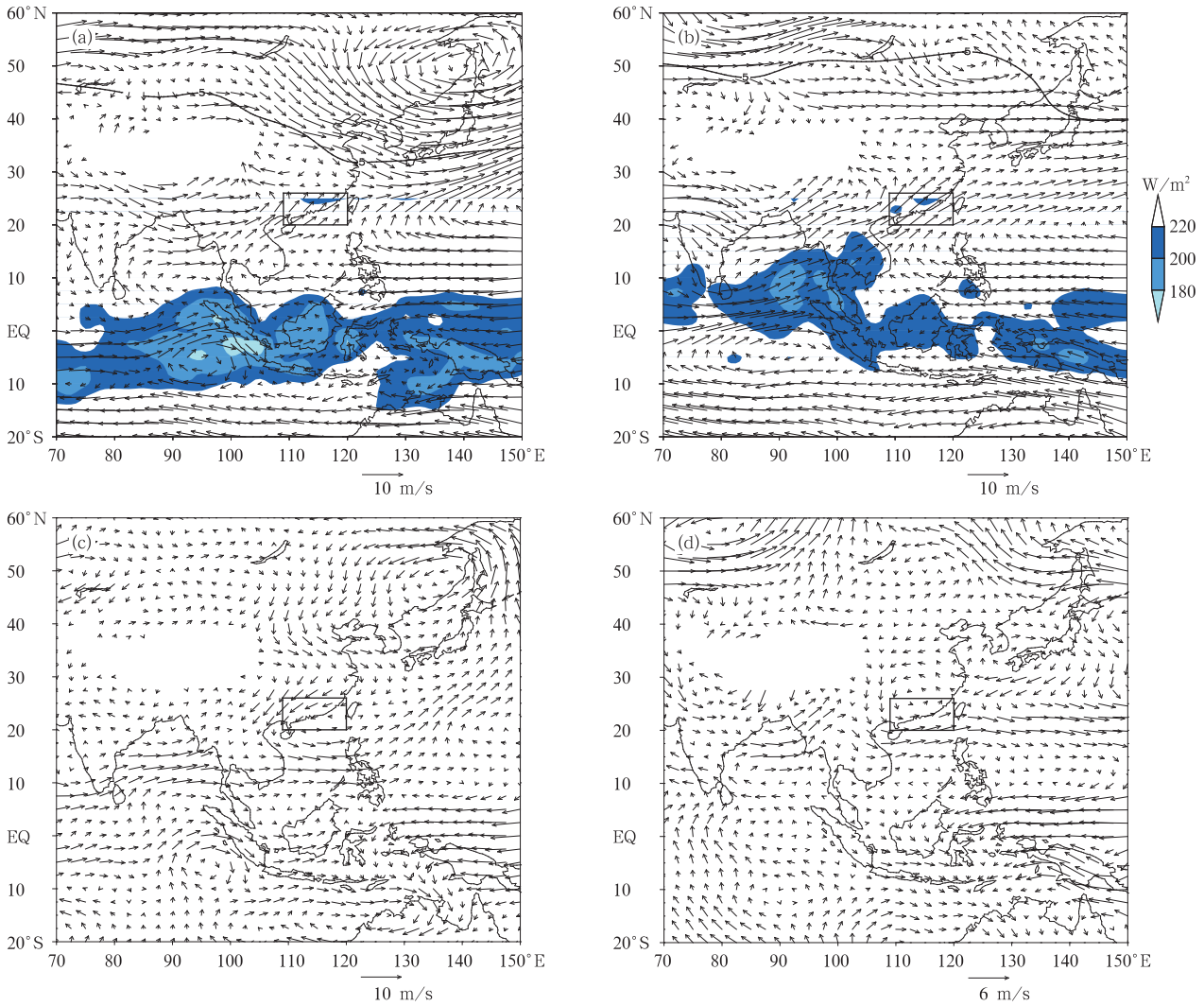


图6 850 hPa 风场(矢线)、温度场(°C,等值线)与向外长波辐射(灰阶)(a,b)、
及风场距平场(c,d)的分布(图中矩形框为研究的华南区域)

(a,c. 3月26日—4月11日, b,d. 4月23日—5月30日)

Fig. 6 Distributions of wind (vector), temperature
(°C, contour line) and the OLR field (shading)

(a, b) and the wind anomaly field (c, d) in 850 hPa

(The rectangle frame is for the South China region in this study)

(a, c. 26 March - 11 April, b, d. 23 April - 30 May)

综上所述,第1阶段的华南降水主要是北方冷空气和来自西太平洋副高西北侧的暖湿气流在华南交汇造成,属于冷式锋面降水性质;而第2阶段在中国南海季风爆发之前,华南主要以来自西太平洋副高的西南暖湿气流和来自中纬度西风带的冷空气交汇造成的锋面降水为主,这是锋面降水向季风降水的过渡阶段(图略),但降水的低频特征已经从季节

内振荡过渡到准双周振荡;中国南海季风爆发后,冷空气势力大大减弱,5°C的温度线位于50°N附近,西太平洋副高撤离中国南海,来自孟加拉湾的西南水汽通道打通,低纬度的对流系统活跃,中南半岛到中国华南一带南支波动活跃,此时华南上空对流不稳定,易造成暖式对流降水。

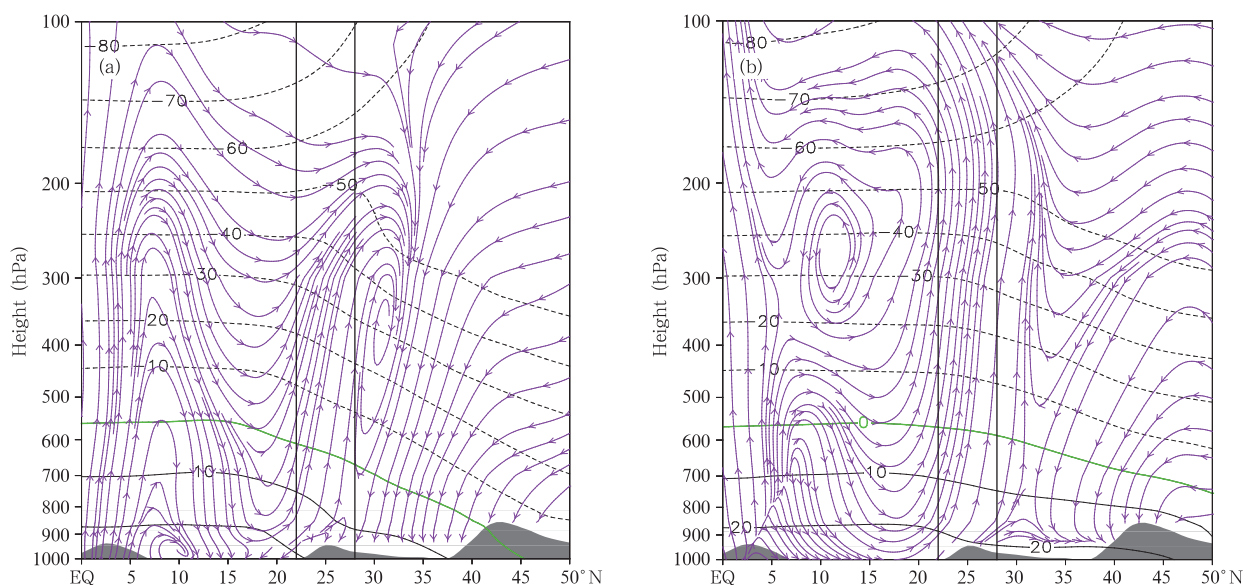


图7 沿 110° — 118° E的V、W风场(流线)和温度场
(等值线,单位: $^{\circ}$ C)的垂直剖面

(a. 3月26日—4月11日, b. 4月23日—5月30日; 阴影为地形)

Fig. 7 Vertical section of the meridional and vertical wind velocity (the stream line) and the temperature field (the contour, unit: $^{\circ}$ C) along 110° — 118° E
(a. 26 March - 11 April, b. 23 April - 30 May; the shade is for the terrain)

5 影响两段持续性强降水的可能前期信号

从上述分析可知,2013年华南前汛期具有两段不同性质的持续性强降水过程,其具有不同的频谱特征,前者主要呈现季节内振荡特征,后者主要呈现准双周振荡特征,而且引起这两段持续性强降水的大气环流因子亦不同,第1阶段主要是北方冷空气活动的频繁影响,第2阶段主要是加强的西太平洋副热带高压和中国南海季风爆发的影响。刘慧斌等(2012)指出与东北冷涡活动相关的大气环流的10—30 d振荡和中国东部夏季降水异常具有明显的锁相关系, Mao等(2005)指出30—60和10—20 d振荡是控制中国南海夏季风活动的两个基本的振荡类型。那么能否从大气环流系统中找到影响两段不同降水过程的主要因子,使其对持续性强降水的延伸期预报具有一定的指示意义呢?

东亚大槽和东北低涡(苗春生等,2006)是常见的影响华南的天气气候系统,其作用是在槽前输送正涡度和暖空气,槽后带来冷空气,有利于槽前的辐合上升运动和增强气柱的不稳定度。前述研究得到,第1阶段降水呈现出20—50 d的低频特征,主

要影响因子为北方冷空气,因此选取(40° — 50° N, 120° — 130° E)区域平均的500 hPa位势高度为东北冷涡指数(刘慧斌等,2012)来表征冷空气,对东北冷涡指数进行莫莱特小波分析(图9b),可以看到,东北冷涡在整个降水时段对应较为显著的20—50 d的季节内振荡,且对应其功率谱的高值区。为了更好地揭示北方冷空气与降水的耦合振荡行为,尤其是其时频分布特征,进一步计算了该指数与降水序列的交叉小波功率谱和小波相干谱(图9c),可以看出2013年3、4月在20—50 d的周期尺度上,降水与东北冷涡具有较强的相关,两者几乎同位相,东北冷涡信号先于降水一个周期变化,即东北冷涡对华南第1阶段降水可能具有20—50 d的指示(图9a)。

此外,西太平洋副高和中国南海季风也是影响华南的天气气候系统(鲍名,2008;罗秋红等,2010; Mao, et al, 2010)。由前述分析得到,2013年华南地区第2阶段降水主要对应8—15 d的准双周振荡,主要受加强的西太平洋副高和中国南海季风爆发的影响,两者均在南海地区为西南向的水汽输送,因此选取(10° — 20° N, 110° — 120° E)中国南海区域平均的整层水汽输送的纬向分量来表征,对其进行

莫莱特小波分析(图 10b),可以看到,水汽输送的纬向分量在大部分频段对应较为显著的 8—15 d 的准双周振荡,且 4、5 月对应着功率谱的高值区。采用水汽输送的纬向分量与降水序列的交叉小波功率谱和小波相干谱分析两者的关系(图 10c),可以得到 4

月底—5 月底在 8—15 d 的周期尺度上,降水与水汽输送的纬向分量具有较强的相关,两者相差约 1/2 周期,这说明南海地区的纬向水汽输送可能提前 4—7 d,对华南降水有一定的指示意义(图 10a)。

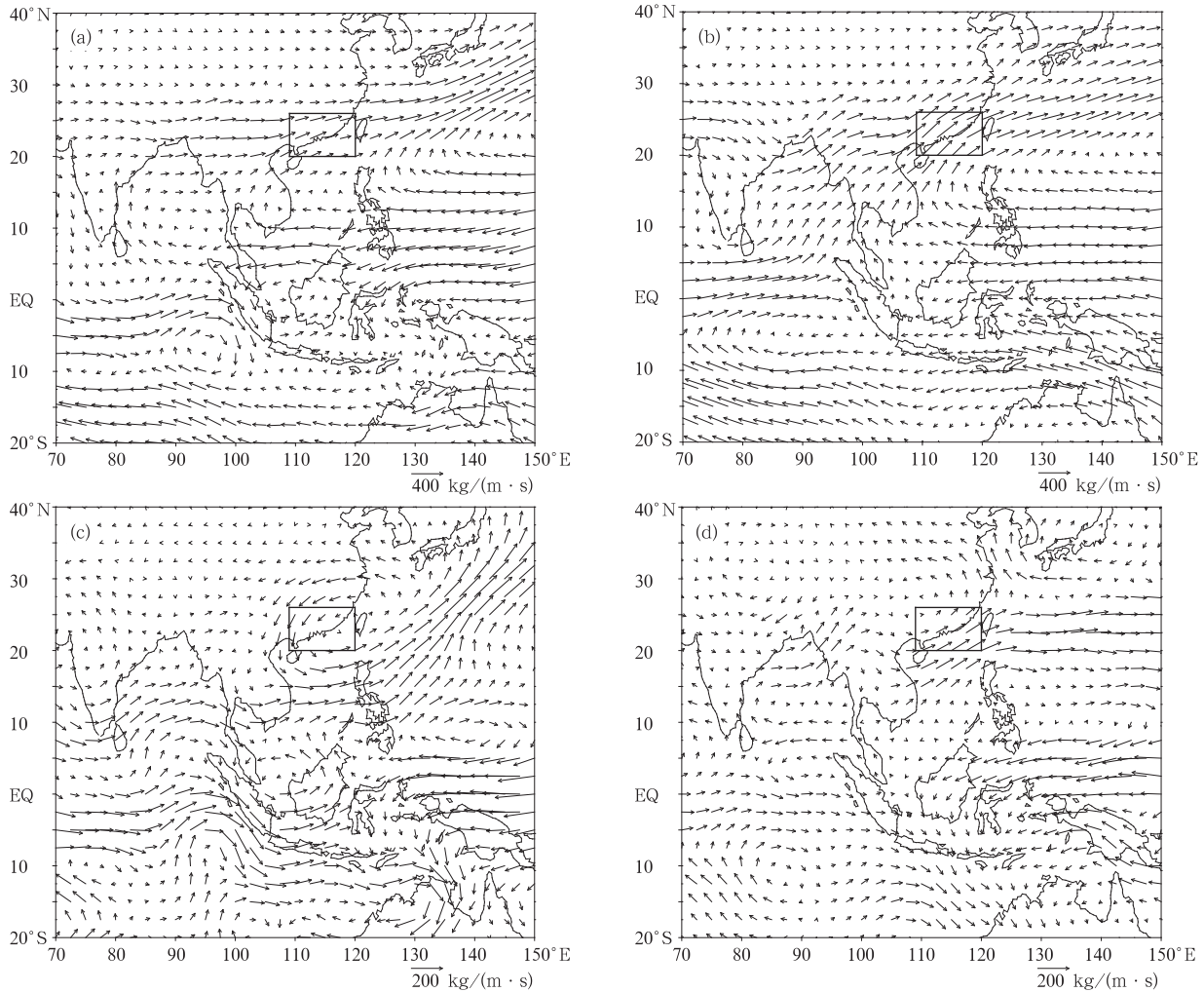


图 8 整层水汽输送(a,b)及距平场(c,d)的分布

(a,c. 3月26日—4月11日, b,d. 4月23日—5月30日; 图中矩形框为研究的华南区域)

Fig. 8 Vertically integrated water vapor transport (a, b) and their anomaly (c, d) distribution fields

(a, c. 26 March–11 April, b, d. 23 April–30 May;

The rectangle frame is for the South China region)

综上所述,第 1(2)阶段降水呈 20—50(8—15) d 的低频特征,主要是北方冷空气活动频繁(加强的西太平洋副高和中国南海季风爆发)的影响,从交叉小波功率谱和小波相干谱分析得到,降水与东

北冷涡(中国南海地区水汽输送的纬向分量)具有较强的相关,东北冷涡(中国南海地区水汽输送的纬向分量)可能提前 1(1/2)个周期对华南降水具有一定的指示。

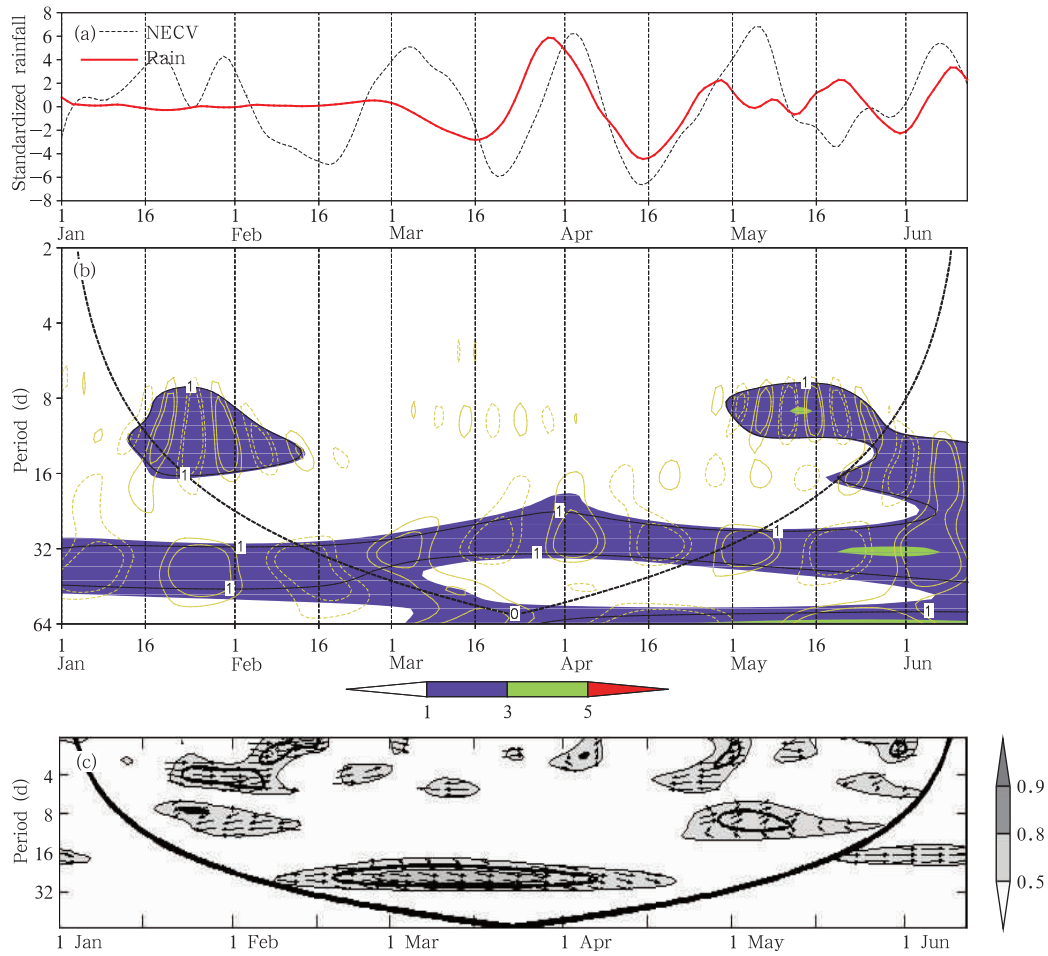


图9 (a) 华南降水(实线)和东北冷涡指数(虚线)20—50 d的带通滤波,
 (b) 东北冷涡的莫莱特小波分析变换系数实部的时频分布(阴影表示标准化小波功率谱>1的区域,
 粗等值线包括的区域表示通过95%的信度检验), (c) 华南降水与东北冷涡的小波交叉谱
 (箭头表示相对位相差, 粗黑线包围的范围通过了 $\alpha=0.05$ 显著性水平下的红噪声标准谱的检验,
 细黑线为影响锥曲线, 在该曲线以外的功率谱由于受到边界效应的影响而不予考虑)

Fig. 9 (a) 20 - 50 d band-pass filtering series of the precipitation over South China (solid line) and the CVNE index (dotted one), (b) time-frequency diagrams for the real part of the Morlet wavelet transform coefficients of the CVNE index (the areas with normalized wavelet power spectrum > 1 are shaded; the regions enclosed by the thick contour are statistically significant at the 95% confidence level), (c) the cross wavelet transform between the standardized precipitation over South China and CVNE time series (the 5% significant level against red noise is shown with a thick line as the separation; the relative phase relationship is shown as arrows; the outer zone of the influence cone line where edge effects might distort the picture is not considered)

6 结论与讨论

2013年华南前汛期开始于3月下旬, 结束于6月上旬末, 开汛后持续性强降水频发, 给华南地区造成了重大经济损失。本研究采用小波分析、交叉小

波功率谱和小波相干谱、集合经验模态分解、带通滤波等统计方法, 对2013年华南前汛期持续性强降水过程进行分析, 得到10—20和20—50 d两种低频周期共同影响2013年华南前汛期降水, 主要结论如下:

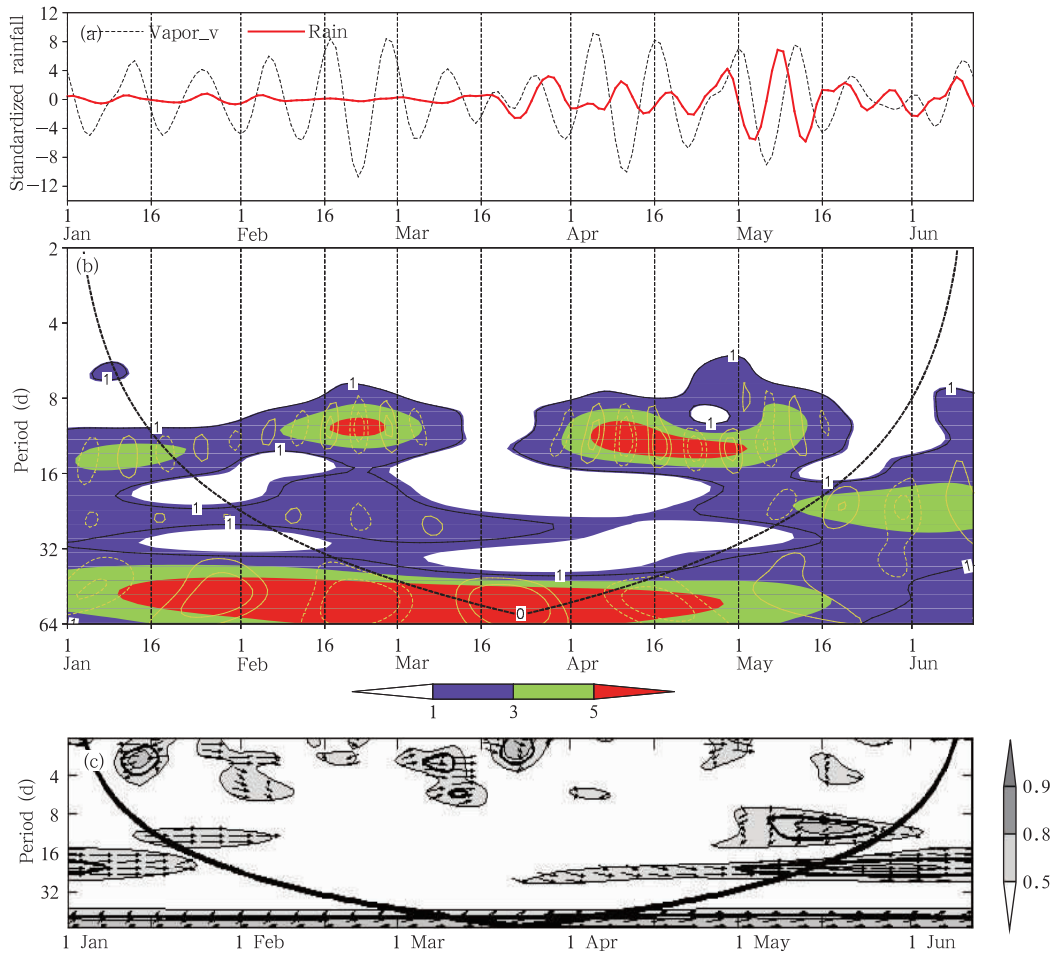


图 10 (a)华南降水(实线)和整层水汽输送纬向分量(虚线) 8—15 d 的带通滤波, (b)和(c) 同图 9b 和 c, 但为整层水汽输送纬向分量的莫莱特小波分析变换系数实部的时频分布和小波交叉谱
 Fig. 10 (a) The 8–15 d band-pass filtering series for the precipitation over South China (the solid line) and the zonal component of the vertically integrated water vapor transport (the dotted one), and, (b) and (c) as in Fig. 9 (b) and (c), respectively, but for the zonal component of the vertically integrated water vapor transport

(1) 2013 年华南前汛期的持续性降水主要有两个阶段,第 1 个阶段 3 月 26 日—4 月 11 日,期间雨量占前汛期降水总量的 24.7%,对应 20—50 d 的季节内振荡;第 2 阶段 4 月 23 日—5 月 30 日,雨量占前汛期降水总量的 54.0%,降水强度较第 1 阶段明显增大,主要以 8—15 d 的准双周振荡为主。

(2) 影响两个阶段的主要环流特征不同,第 1 阶段的华南降水主要是北方冷空气和来自西太平洋副热带高压西北侧的暖湿气流在华南交汇造成,属于冷式锋面降水性质;而第 2 阶段在中国南海季风爆发之前,华南主要来自西太平洋副热带高压的西南暖湿气流和来自中纬度西风带的冷空气交汇造成

的锋面降水为主,这是锋面降水向季风降水的过渡阶段,但降水的低频特征已经从季节内振荡过渡到准双周振荡;南海季风爆发后,冷空气势力大大减弱,5℃ 的温度线位于 50°N 附近,西太平洋副高撤离中国南海,来自孟加拉湾的西南水汽通道打通,低纬度对流系统活跃,中南半岛到中国华南一带南支波活动活跃,此时华南上空对流不稳定,易造成暖式对流降水。

(3) 第 1(2)阶段降水呈 20—50(8—15) d 的低频特征,主要是北方冷空气活动频繁(加强的西太平洋副热带高压和中国南海季风爆发)影响,交叉小波功率谱和小波相干谱分析得到,降水与东北冷涡(中

国南海地区水汽输送的纬向分量)具有较强的相关,东北冷涡(中国南海地区水汽输送的纬向分量)可能提前一个(1/2)周期对华南降水具有一定的指示。

最新的研究指出,近20年华南季节降水循环由双峰型向单峰型发生了转变(高辉等,2013)。但前汛期存在两段不同性质的降水,且引起它们降水的系统是不一样的,深入研究两种不同性质的持续性强降水的机理,为天气预报提供基础研究,这是今后需要进一步关注的问题。本研究主要从频谱特征分析影响2013年华南前汛期两段不同的持续性强降水的显著环流因子,为华南降水的延伸期预测提供参考。今后将进一步深入开展研究,寻找出影响华南前汛期持续性降水的多个关键因子,并探寻它们之间的可能作用,通过合适的数理方法构建延伸期预报模型。

参考文献

鲍名. 2008. 两次华南持续性暴雨过程中热带西太平洋对流异常作用的比较. 热带气象学报, 24(1): 27-36

曹鑫, 任雪娟, 杨修群等. 2012. 中国东南部5—8月持续性强降水和环流异常的准双周振荡. 气象学报, 70(4): 766-778

丁一汇, 李崇银, 何金海等. 2004. 南海季风试验与东亚夏季风. 气象学报, 62(5): 561-586

高辉, 蒋薇, 李维京. 2013. 近20年华南降水季节循环由双峰型向单峰型的转变. 科学通报, 58(15): 1438-1443

谷德军, 纪忠萍, 高晓容等. 2013. 广东前汛期降水与南海北部风场准双周振荡的关系. 热带气象学报, 29(2): 211-219

何金海, 赵平, 祝从文等. 2008. 关于东亚副热带季风若干问题的讨论. 气象学报, 66(5): 683-696

胡娅敏, 丁一汇, 廖菲. 2008. 江淮地区梅雨的新定义及其气候特征. 大气科学, 32(1): 101-112

黄颖, 金龙. 2011. 华南前汛期降水预测模型及其预测试验. 热带气象学报, 27(5): 753-757

纪忠萍, 熊亚丽, 谷德军等. 2005. 广东汛期开始日期的年际和年代际变化研究. 大气科学, 29(2): 292-300

纪忠萍, 谷德军, 吴乃庚等. 2010. 广东省前汛期暴雨与500 hPa关键区准双周振荡. 应用气象学报, 21(6): 671-684

梁巧倩, 蔡洁云, 纪忠萍等. 2011. 2006年广东汛期大气环流场的低频特征. 热带气象学报, 27(2): 219-229

林良勋, 吴乃庚, 黄忠等. 2009. 广东2008年罕见“龙舟水”特点及成因诊断分析. 气象, 35(4): 43-50

刘慧斌, 温敏, 何金海等. 2012. 东北冷涡活动的季节内振荡特征及其影响. 大气科学, 36(5): 959-973

刘莉红, 翟盘茂, 郑祖光. 2008. 中国北方夏半年最长连续无降水

日数的变化特征. 气象学报, 66(3): 474-477

罗秋红, 纪忠萍, 吴乃庚等. 2010. 近40年西江流域前汛期致洪暴雨期间降水的低频振荡特征分析. 热带气象学报, 26(2): 201-210

苗春生, 吴志伟, 何金海等. 2006. 近50年东北冷涡异常特征及其与前汛期华南降水的关系分析. 大气科学, 30(6): 1249-1256

强学民, 杨修群. 2008. 华南前汛期开始和结束日期的划分. 地球物理学报, 51(5): 1333-1345

唐天毅, 吴池胜, 王安宇等. 2007. 1999年广东汛期降水的季节内振荡. 热带气象学报, 23(6): 683-689

王东海, 夏茹娣, 刘英. 2011. 2008年华南前汛期致洪暴雨特征及其对比分析. 气象学报, 69(1): 137-148

吴乃庚, 林良勋, 曾沁等. 2013. 南海季风爆发前罕见连续3场暴雨特征及成因. 应用气象学报, 24(2): 129-139

谢炯光, 纪忠萍, 谷德军等. 2006. 广东省前汛期连续暴雨的气候背景及中期环流特征. 应用气象学报, 17(3): 354-362

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

章丽娜, 林鹏飞, 熊喆等. 2011. 热带大气季节内振荡对华南前汛期降水的影响. 大气科学, 35(3): 560-570

张婷, 魏凤英, 韩雪. 2011. 华南汛期降水与南半球关键系统低频演变特征. 应用气象学报, 22(3): 265-274

张焱, 孙渤渤, 白莹莹等. 2008. 近47a华南前汛期旱涝特征. 南京气象学院学报, 31(2): 176-182

郑彬, 梁建茵, 林爱兰等. 2006. 华南前汛期的锋面降水和夏季风降水 I: 划分日期的确定. 大气科学, 30(6): 1207-1216

郑彬, 谷德军, 李春晖等. 2007a. 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

郑彬, 林爱兰, 袁金南等. 2007b. 广东0506大暴雨的成因探讨. 热带气象学报, 23(2): 135-140

Chen Y, Zhai P M. 2013. Persistent extreme precipitation events in China during 1951–2010. Climate Res, 57(2): 143-155

Grinsted A, Moore J C, Jeverieva S. 2004. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. Nonlinear Processes Geophys, 11(5-6): 561-566

Mao J Y, Chan J C L. 2005. Intraseasonal variability of the South China Sea summer monsoon. J Climate, 18(13): 2388-2402

Mao J Y, Sun Z, Wu G X. 2010. 20–50-day oscillation of summer Yangtze rainfall in response to intraseasonal variations in the subtropical high over the western North Pacific and South China Sea. Climate Dyn, 34(5): 747-761

Torrence C, Compo G P. 1998. A practical guide to wavelet analysis. Bull Amer Meteor Soc, 79(1): 61-78

Wu H, Zhai P M. 2013. Changes in persistent and non-persistent flood season precipitation over South China during 1961–2010. Acta Meteor Sinica, 27(6): 788-798