

黄丽娜,高建芸,陈彩珠,等. 2014. 福建前汛期持续性强降水的大气低频特征分析. 气象,40(6):723-732.

福建前汛期持续性强降水的大气低频特征分析^{* 1}

黄丽娜¹ 高建芸² 陈彩珠² 池艳珍²

1 福建省莆田市气象局,莆田 351100
2 福建省气候中心,福州 350001

提 要: 本文采用福建 1979—2010 年 66 个气象站逐日降水资料和 NCEP 再分析资料和 OLR 资料,揭示了福建前汛期降水的低频特征,分析了福建前汛期持续性强降水同期的大气低频特征以及前期低频信号的演变特征,结果表明:(1)福建前汛期降水存在显著的低频周期,出现频率较高的前三个低频周期分别为:10~20、30~60 和 20~30 d;约 63% 的年份出现两种以上显著的低频周期;10~90 d 低频变化占前汛期降水总方差的 20%~30%;(2)前汛期总雨量与降水低频信号的强度呈显著正相关关系,持续性强降水的强度和持续时间与降水的低频特征关系密切,以 BWO(ISO)为主的年份,持续性强降水的持续时间较短(长)。(3)福建前汛期持续性强降水期间日本以东、索马里以东和南海三个关键区皆为低频反气旋,日本至渤海湾南下的冷空气与索马里越赤道气流、南海南部越赤道气流在福建上空持续相遇形成低频气旋,导致福建上空低层低频辐合、高层低频辐散,对流活跃。(4)福建前汛期持续性强降水与热带及副热带大气低频变化密切相关,热带 MJO 的东传以及东亚西北太平洋地区低频信号的北传对福建持续性强降水过程的延伸期预报具有一定的指示意义。

关键词: 前汛期, 低频振荡, 持续性强降水, MJO

中图分类号: P466 **文献标志码:** A **doi:** 10. 7519/j. issn. 1000-0526. 2014. 06. 009

Analysis on Atmospheric Low-Frequency Features of
Persistent Heavy Rains During Pre-Flood Season in Fujian

HUANG Lina¹ GAO Jianyun² CHEN Caizhu² CHI Yanzhen²

1 Putian Meteorological Office of Fujian, Putian 351100
2 Fujian Climate Centre, Fuzhou 350001

Abstract: By using the daily precipitation data of 66 stations in Fujian and NCEP reanalysis data and OLR data during 1979—2010, this paper reveals the low-frequency features of precipitation during pre-flood season in Fujian and analyzes the atmospheric low-frequency-oscillation (LFO) features during persistent heavy rain processes and the evolution characters of the previous LFO signs. The results indicate that the daily precipitation during pre-flood season of Fujian has significant features of LFO. The main low-frequent periods are 10—20 d, 30—60 d and 20—30 d respectively. More than two kinds of significant cycle periods are found with proportion of about 63%. The proportion of variance contribution of 10—90 d reaches 20%—30%. The correlations between the total rainfall in pre-flood season and the intensity of LFO are significantly positive, and the intensity and the duration of persistent heavy rains are closely related to the features of rainfall LFO. In the years when precipitation is mainly controlled by BWO (ISO), the duration of persistent heavy rains is shorter (longer). In addition, during the persistent heavy rain weathers,

^{*} 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306032)、福建省科技计划项目重点项目(2011Y0008)和福建省气象局开放式气象科学研究基金项目(2010K05)共同资助
2013 年 9 月 3 日收稿; 2014 年 4 月 2 日收修定稿
第一作者:黄丽娜,主要从事短期气候预测技术研究. Email: lenah@163.com
通信作者:高建芸,主要从事气候与气候变化研究. Email: Fzgaojyun@163.com

there are anticyclones over the sea area to the east of Japan, the east of Somali and the South China Sea, which cause cold flows from Japan down to Bohai Bay to encounter the two cross-equatorial flows from Somali and South China Sea over Fujian, and then low-frequency cyclones are formed there resulting in the low-frequency convergence in the lower level and divergence in the upper level and the convection enhanced. Moreover, the persistent heavy rain in Fujian is closely related to the variations of tropical and subtropical atmospheric LFO. The eastward propagation of tropical Madden-Julian Oscillation (MJO) and northward propagation of East Asia-Pacific ISO have denotative significance for extended range forecast.

Key words: pre-flood season, low frequency oscillation (LFO), persistent heavy rain, Madden-Julian oscillation (MJO)

引 言

福建前汛期(5—6月)降水占福建全年降水量32%左右,有降水阶段明显、暴雨集中、降水强度强等特点,前汛期的洪涝灾害是福建主要的气象灾害之一。前汛期持续性强降水引发的气象灾害导致国民经济和人民生命财产遭受巨大损失。例如1998年6月8—24日和2010年6月13—26日出现在福建的两次持续强降水分别给福建造成超过100亿的直接经济损失。随着全球变暖,此类高影响天气事件有显著增多或增强的趋势,福建省自20世纪90年代末以来,前汛期持续性强降水过程有明显增强的趋势,因而有必要对持续性强降水的产生原因、机理和影响进行深入研究,以便为防灾减灾提供参考依据。

目前关于持续性强降水的研究主要从三方面入手:(1)个例诊断及模拟。针对某个典型持续性强降水过程,用诊断或数值模拟方法研究持续性强降水的天气成因,进而提高这种天气的短期和短临预报能力;(2)气候特征研究。研究持续性强降水的时空分布特征,深入分析其形成机理,对做好短期气候预测有意义;(3)低频振荡特征研究。研究持续性强降水的低频特征,揭示持续性强降水与低频天气系统的联系,这些研究表明,我国东部持续性强降水天气过程的形成与夏季风低频振荡有密切关系,季风雨带的北进、停滞和中断等现象正是大气低频变化的表现(陶诗言等,2007;李崇银等,1999;李崇银,1991;何金海等,1984;琚建华等,2005;2007;2008;朱乾根等,2000;白旭旭等,2011)。夏季风引起的低频降水表现为区域性暴雨和暴雨群,形成持续性、频发性高影响天气事件(朱乾根等,2000);中高纬南

传、低纬北传的大气低频波在江淮流域会合导致江淮流域降水异常(朱乾根等,2000;Yang et al, 2003;张庆云等,2003;朱益民等,2007;丁一汇等,2010);江淮流域和华南地区大气低频活动分别从20世纪80年代和90年代起增强与我国东部气候年代际变化有直接关系(朱益民等,2007)。这些持续性强降水与大气低频变化规律关系的研究成果可为10~30 d延伸期预报提供重要科学依据。在此基础上开展的延伸期预报研究和相关业务也取得了初步效果(丁一汇等,2010;孙国武等,2008;2010;2012;2013;琚建华等,2011;冯俊阳等,2012;高建芸等,2013;陈青等,2014)。可见,东部地区持续性强降水发生期间东亚大气普遍存在低频振荡,但这些研究成果及其在延伸期预报中的应用成效主要针对江淮地区,此前有关华南持续性强降水过程大气低频振荡特征的研究也主要针对特定年份或两广等地,关于福建前汛期持续性强降水与大气低频振荡普遍性关系的研究还比较少,还需要做更全面、更有针对性的研究。为此,本文拟通过分析福建前汛期降水的低频特征,摸清前汛期持续性强降水过程与降水低频变化的联系,提取导致福建持续性强降水过程发生的大气低频变化先兆信号和关键区,为福建前汛期持续性强降水过程的延伸期预报提供科学参考依据。

1 资料与方法

1.1 资料

本文采用的资料为:(1)国家气象中心整编的福建地面气象观测站逐日实测降水资料;(2)NCEP/NCAR逐日再分析资料,包括风场、OLR场。以上

资料时间长度为 1979—2010 年共 32 年。

1.2 方法

采用母函数为 Morlet 的小波变换方法分析前汛期降水的周期特征,小波变换系数实部表示不同特征的时间尺度信号在不同时间上的分布和位相信息,正值表示降水偏多,负值表示降水偏少。为了得到更可靠的低频周期,小波变换起止时间为每年的 3 月 1 日至 7 月 31 日;使用 Butterworth 滤波器提取 10~20 d 准双周振荡(BWO)和 30~60 d 季节内振荡(ISO)等低频信号,以低频信号的方差表示低频信号的强度;应用时滞相关分析研究持续性强降水的大气低频振荡特征。由于延伸期预报时效为 10~30 d,为了得到延伸期预报时效内可用的前兆信号,在分析持续性强降水的大气低频特征及前兆信号时,重点分析 30~60 d 的大气低频特征。

1.3 定义

暴雨日:全省范围内≥3 站出现暴雨(日雨量≥50 mm)定义为 1 个暴雨日。

暴雨过程:出现 1 个以上暴雨日的天气过程,称为暴雨过程,过程起止日期为至少 5 个站大雨(日雨量≥25 mm)或 1 个站日雨量≥50 mm 的日期。

持续性强降水过程:持续天数≥5 d 的暴雨过程,若两个暴雨过程仅间隔 1 d,算同一次过程。

雨季高峰期:连续出现≥2 d 暴雨日,且 2~3 d 内全省暴雨总站次≥25 站次的暴雨过程。

下面以 2009 年 6 月下旬的过程为例加以说明:6 月 21 日全省 0 站暴雨,5 站大雨;6 月 22 日 16 站暴雨;6 月 23 日 14 站暴雨;6 月 24 日 6 站暴雨;6 月 25 日 1 站暴雨,7 站大雨。那么,6 月 22—24 日分别为 1 个暴雨日,暴雨过程的起始日期为 6 月 21

日,结束日期为 6 月 25 日,6 月 21—25 日为持续性强降水过程,6 月 22—24 日为雨季高峰期。

由于持续性强降水过程期间暴雨落区随时间有一定变化,应用福建全省 66 个气象站降水资料,参考张学民等(2008)有关华南春季汛期持续性强降水过程确定方法的研究成果,确定一个暴雨综合指数(R),该指数关注重点在暴雨量级的降水,使之既能反映降水范围又能反映降水强度,具体定义如下:

$$R=2.0\times\text{特大暴雨站数}+1.5\times\text{大暴雨站数}+1.0\times\text{暴雨站数}+0.2\times\text{大雨站数}+0.04\times\text{中雨站数}+0.01\times\text{小雨站数}$$

以上指数在一定程度上较好地反映了降水强度与降水量级和空间分布范围的关系,当降水量级越大且空间分布范围越广时,指数越大,反之,指数越小。

2 福建前汛期降水的低频变化特征

2.1 前汛期降水低频特征

为了了解福建省前汛期降水的低频振荡周期,在全省九地(市)中分别挑选代表站点和全省平均的 1979—2010 年前汛期逐日降水量做 Morlet 小波分析,根据不同年份的低频周期频率,统计周期通过 0.05 的显著性水平检验的年份,列于表 1 中。由表 1 可见,全省前汛期降水几乎每年都出现较显著的低频振荡周期,但低频周期的长短因年而异,同一年中低频周期的长短也会出现明显变化,约 63%的年份出现两种以上显著的低频周期(见图 1 示例)。出现频率最高的是 10~20 d 振荡周期(约 84%),其次是 30~60 d 周期(约 47%),再次是 20~30 d 周期(约 28%)。

表 1 1979—2010 年福建前汛期日降水低频周期年份统计 (单位:a)
Table 1 The statistics for low frequency cycles of daily precipitation during pre-flood seasons from 1979 to 2010 (unit: a)

显著周期	站点					
	南平	三明	宁德	漳州	莆田	全省
10~20 d	9	11	6	7	12	9
20~30 d	2	2	1	1	1	1
30~60 d	4	1	3	3	2	1
10~20 d 与 20~30 d 皆显著	3	2	8	9	8	6
10~20 d 与 30~60 d 皆显著	7	11	6	7	5	10
20~30 d 与 30~60 d 皆显著	2	1	0	4	0	2
10~20,20~30,30~60 d 皆显著	5	4	3	1	3	2
无显著低频周期	0	0	5	0	1	1

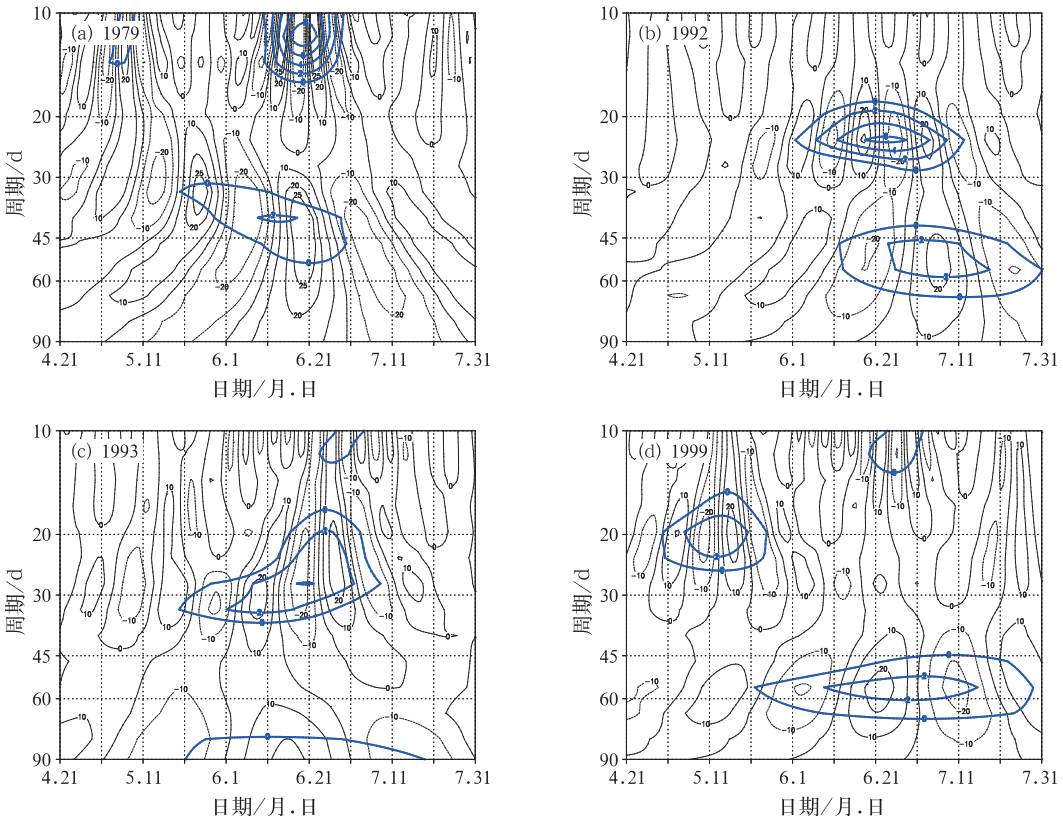


图 1 平均日雨量 Morlet 小波分析实部图

(a) 1979 年,10~20 和 30~60 d 显著;(b) 1992 年, 20~30 和 30~60 d 显著;
(c) 1993 年,10~20 和 20~30 d 显著;(d) 1999 年,10~20,20~30 和 30~60 d 显著
(黑线为小波系数实部值,粗实线为通过了 0.05 的显著性水平检验)

Fig.1 Real part of Morlet wavelet transformation for daily average precipitation

(a) the 10-20 and 30-60 d significance in 1979;(b) the 20-30 and 30-60 d significance in 1992;(c) the 10-20 and 20-30 d significance in 1993;
(d) the 10-20, 20-30 and 30-60 d significance in 1999

(Black line is for real value of wavelet coefficients and thick solid line is for passing the 0.05 significance test)

由图 2 可见,从平均情况上看,10~90 d 低频变化占前汛期降水总方差的 20%~30%,>90 d 变化所占比例不足 5%,余下的均为高频的天气变化引起。福建闽北山区和闽中南沿海地区降水低频变化信号要略强于中部地区,在异常年份,如 1994 和 1998 年,10~90 d 低频变化所占比例部分地区达 50%以上,局部高达 70%以上。可见,降水的低频变化信号在福建前汛期降水的研究中不容忽视。

2.2 前汛期总降水量与低频降水强度的关系

朱乾根等(2000)通过对 1998 年中国南部降水特征的分析发现,该年低频降水率与总降水率呈正相关,其相关系数远远超过了 0.01 的显著性水平检验。为了分析福建前汛期低频降水强度与总降水量

的关系,下面选取位于降水低频信号较强区域中的 4 个气象站:武夷山、泰宁、莆田和漳州,计算各站逐年前汛期降水的 BWO 和 ISO 强度,分析降水的 BWO 和 ISO 强度与前汛期总雨量的关系。结果表明(表 2),前汛期总雨量与 BWO 和 ISO 强度皆呈正相关关系,相关系数皆通过 0.01 的显著性水平检验。即当低频降水强的年份,前汛期总雨量偏多,反之,当低频降水弱的年份,前汛期总雨量偏少。

图 3 为 4 个代表站点前汛期降水量与低频振荡强度的时间演变曲线,由图可见:前汛期总降水量及其低频信号强度(包括 BWO 和 ISO)具有显著的年际变化特征,且二者有较好的正相关关系,大部分年份 BWO 强于 ISO,个别年份 ISO 强于 BWO。特别值得注意的是:闽北山区,ISO 强度大于 BWO 强度

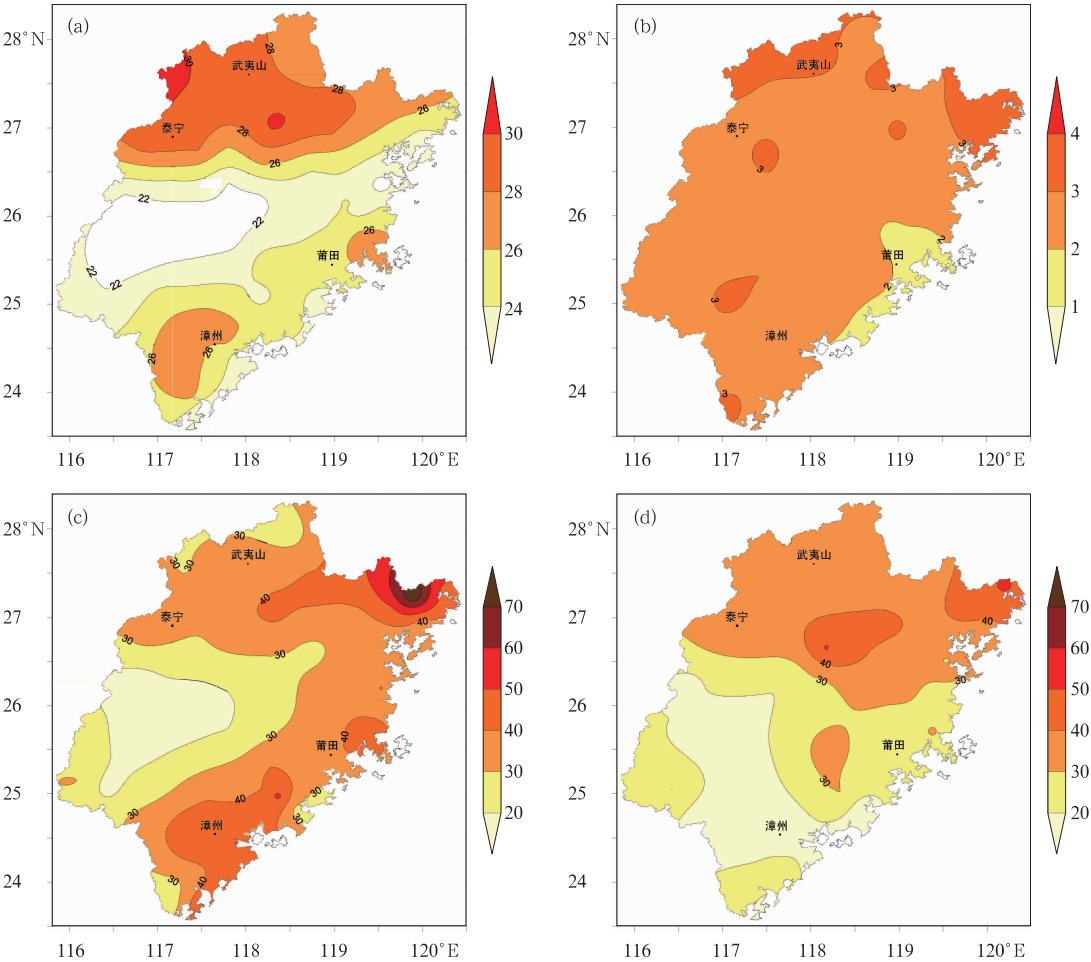


图 2 低频降水占前汛期降水总方差的比例 (单位: %)
(a) 1979—2010 年平均 10~90 d 低频变化, (b) 1979—2010 年平均>90 d 变化,
(c) 1994 年 10~90 d 低频变化, (d) 1998 年 10~90 d 低频变化
Fig. 2 The low-frequency variation of precipitation contribution to the total variance (unit: %)
(a) 10-90 d mean contribution in 1979-2010, (b) more than 90 d mean contribution
in 1979-2010, (c) 10-90 d contribution in 1994, (d) 10-90 d contribution in 1998

表 2 前汛期总雨量与 BWO 和 ISO 强度的相关系数
Table 2 The correlation between total rainfall and
intensity of BWO and ISO in pre-flood season

相关系数	R_{56} 与 BWO	R_{56} 与 ISO	R_{56} 与 BWO+ISO
武夷山	0.79	0.80	0.81
泰宁	0.78	0.87	0.88
莆田	0.60	0.60	0.71
漳州	0.69	0.74	0.77

的年份,皆出现了异常降水;沿海地区的异常降水往往伴随着 BWO 强度的加强。存在这样的差异可能与测站所处的地理位置有关,也与造成降水的影响系统有关。闽北地区降水与中高纬冷空气活动的 ISO 特征关系更密切,而沿海地区受热带低频信号

北传的影响更为直接。
2.3 持续性强降水过程与低频降水强度的关系

持续性强降水过程以其持续时间长,强度强,灾害重成为前汛期关注的重点,下面着重分析持续性强降水的气候特征及其与降水低频变化的关系。
1979—2010 年前汛期福建共出现 55 次持续性强降水过程,年均 1.72 次,仅 1985 和 1990 年未出现,一年最多出现 3 次,这些年份分别是:1993、1994、1997、2001、2006、2008 年,其余年份每年出现 1~2 次。最早出现在 4 月,共 5 次(1980、1993、1994、2000 和 2001 年),占总数的 9%;最晚出现在 7 月,仅 2 次(1992 和 1997 年),占总数 4%;最多出

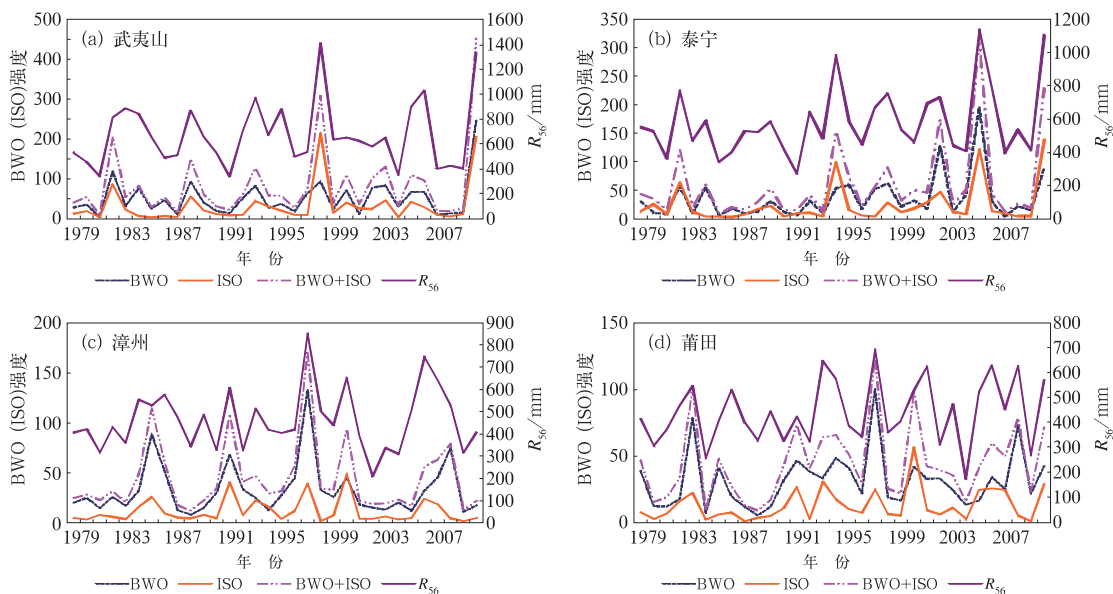


图3 代表站点逐年5—6月降水的BWO、ISO强度(左坐标)与5—6月总降水量(右坐标,单位:mm)的演变图

Fig. 3 Annual diagrams for intensity of precipitation in BWO and ISO (left coordinate) and the total rainfall (right coordinate, unit: mm) from May to June at representative stations

现在6月,占总数52%;其次是5月,占有总数35%。高发期集中在5月中旬至6月中旬,共41次,有74.5%的持续性过程出现在南海季风爆发后。其中达到雨季高峰期标准的有23次,占总数41.8%。4月的持续性过程强度皆较弱,均达不到高峰期标准,5月有31.2%达到雨季高峰强度,6和7月分别有55.2%和50%达高峰期强度。从暴雨过程持续时间上看:平均持续时间为8.5 d,最长可达22 d(1993年6月4—25日),其次是1998年6月8—24日持续17 d。

为了进一步分析持续性强降水过程与降水低频变化特征的关系,图4给出了四个典型年份闽北山区(武夷山测站)的日雨量以及降水的BWO和ISO逐日演变曲线,由图可见,不同年份降水的低频变化周期不同,持续性强降水的持续时间有明显的差异。当ISO和BWO信号都强时(如1998和2010年),降水表现为较明显的40 d左右的周期,持续性强降水出现在ISO正位相上,尤其当ISO和BWO正位相叠加的时期,雨量较大;这些年份暴雨持续时间较长,为15~20 d。当BWO信号较强、ISO信号一般时(如1984和2002年),降水表现为较明显的准双周振荡,持续性强降水出现在BWO正位相上,尤其当ISO和BWO正位相叠加的时期,雨量较大;这些年份暴雨持续时间相对前者短,为5~10 d。由此可

见,由于每年前汛期降水的低频变化周期不同,持续性强降水过程的持续时间也不同,有些年份表现为明显的晴雨相间,而有些年份表现为旱涝急转。由于持续性强降水的形成是大气低频变化的表现,因此,如果能掌握导致降水低频变化的大气低频变化特征,无疑对持续性强降水过程的延伸期预报有重要指示意义。

3 福建前汛期持续性强降水的大气低频特征分析

3.1 持续性强降水同期的大气低频扰动特征

福建前汛期的降水特点是每年4月下旬至5月初前汛期自北而南开始,每年6月中下旬往往出现较强的一次持续性强降水过程,造成严重的洪涝灾害。此场降水结束后,副高北抬,福建前汛期基本结束。本文以1979—2010年6月出现的18次达到汛期高峰的最后一场持续性强降水过程为研究对象,分析持续性强降水过程同期的大气低频变化特征。应用Butterworth带通滤波得到30~60 d的大气低频信号,图5为福建前汛期18场持续性强降水过程30~60 d大气低频信号的合成图,可以得出以下结论:(1)对流层高层(200 hPa)低频纬向风场上,30°

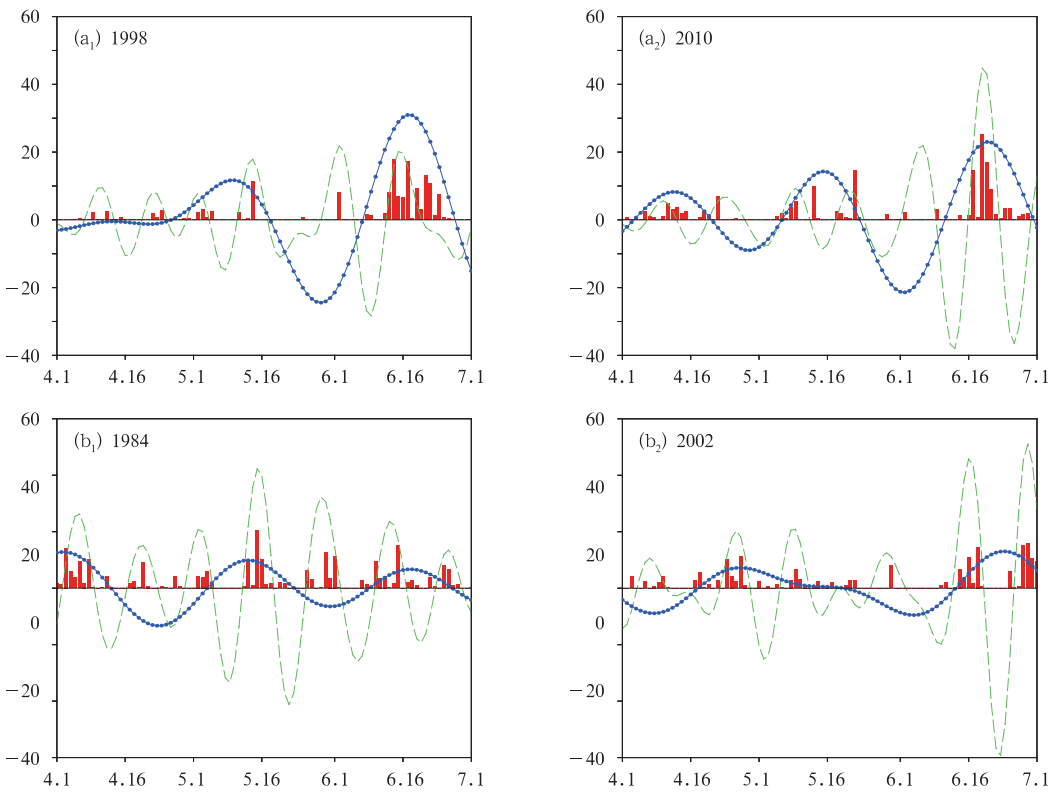


图 4 武夷山 BWO(虚线)、ISO(点线)和逐日降水量(直方图,单位:10 mm)的演变图
(a) ISO 信号较强年份, (b) BWO 信号较强年份
Fig. 4 Diagrams for daily BWO (dashed line) and ISO (dotted line) and daily rainfall
(histogram; unit: 10 mm) at Wuyishan Mountain Station
(a) ISO stronger years, (b) BWO stronger years

~40°N 为带状的正值区,正中心位于东海至黄海一带,表明副热带西风急流核在东海至黄海,急流入口区右侧强的正涡度平流使福建上空高层维持强的低频辐散,辐散抽吸作用使低层低涡、切变线、西南急流等天气尺度系统在福建持续维持或接连出现。(2)对流层中部(500 hPa)西太平洋至南海为低频高值区,贝加尔湖至鄂霍茨克海为高值区,东海至福建北部出现低值区,这种低频形势表明副热带高压脊稳定在南海上空,鄂霍茨克海阻塞高压稳定,中纬度西风槽活跃在华北平原至东海一带,槽后的冷空气与副高西侧的西南气流持续在福建上空交绥。(3)对流层低层(850 hPa)当中高纬度地区的日本以东(1A)地区出现低频反气旋时,日本海至渤海湾有冷空气持续向福建渗漏;低纬地区索马里以东的 60°~70°E 地区为低频反气旋(4A),索马里越赤道气流加强或维持;南海南部至马来西亚(5C)为低频气旋,南海上空为低频反气旋或低频脊(3A),则南海南部越赤道水汽输送增强,此时福建上空为低频气

旋控制(2C)。对应的 OLR 低频场上,印度半岛至孟加拉湾一带以及福建上空对流活跃,菲律宾至南海对流抑制。如此的低频系统配置,导致福建出现持续性强降水过程。可见,福建前汛期持续性强降水发生期间大气低频系统有相对稳定的活动位置,热带低纬地区以及中高纬度地区低频气旋和反气旋的位置和强度皆是影响福建持续性强降水的关键因子。低频扰动图上各区域低频系统的活动,与常规天气图上的天气系统虽有差别,但又密切联系,低频天气系统的变化恰好与引起福建持续性强降水过程的天气系统的生成、维持、移动、加强和减弱过程相对应。造成福建持续性强降水的低频系统与强降水发生时天气图上高纬及中低纬地区主要天气系统在位置及配置上相吻合(林新彬等,2012),它们反映的天气学规律是偏北气流(从东路或中路南下的贝加尔湖冷空气)与偏南气流(包括索马里越赤道气流、孟加拉湾越赤道气流或副高西侧偏南气流)在 25°N 附近持续交绥,使切

变线在福建上空持续维持,福建接连出现强降水,导致持续性强降水过程的发生。同时也可以看出,由于福建处于华南北部,前汛期高峰期持续性强降水

尽管出现在南海夏季风爆发后,但降水性质仍为冷暖空气交汇的锋面降水,有别于两广地区前汛期后期季风性质的暴雨(郑彬等,2005)。

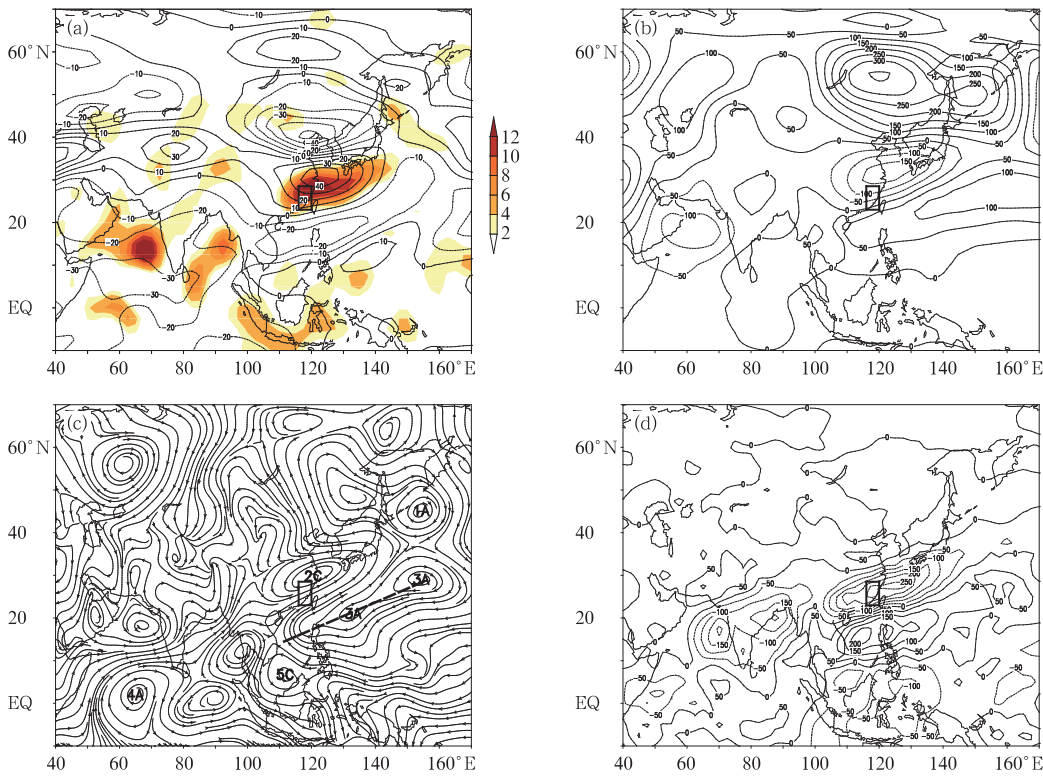


图 5 福建前汛期 18 场持续性强降水过程低频合成图及大气低频信号关键区

(a) 200 hPa 纬向风场和散度场(等值线为纬向风速,阴影为散度,单位: 10^{-7} s^{-1}), (b) 500 hPa 高度场(单位: dagpm), (c) 850 hPa 低频扰动流场(黑色为流线,C 为低频气旋区,A 为低频反气旋区), (d) OLR 场(单位: $0.05 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$)

Fig. 5 The composition charts and key regions of atmospheric low-frequency oscillation for the 18 persistent heavy rain processes during pre-flood season in Fujian

(a) zonal wind (unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) and divergence (shaded, unit: 10^{-7} s^{-1}) at 200 hPa, (b) geopotential height fields at 500 hPa (unit: dagpm), (c) 850 hPa low-frequency disturbance field (black is flow line, C is low-frequency cyclonic region, A is low-frequency anticyclonic region), (d) OLR field (unit: $0.05 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$)

3.2 大气低频信号的演变特征

上述分析表明,福建持续性强降水过程对应的同期大尺度环流系统有明显异常的大气低频特征。由于低频系统具有时间的持续性和周期性,空间的连续性和相似性以及生成源地的准定常性,为此,下面应用 OLR 数据分析上述关键区低频系统的演变规律,提取导致福建持续性强降水过程发生的大气低频变化先兆信号,为福建前汛期持续性强降水过程的延伸期预报提供科学参考依据。

应用 1979—2010 年逐年 3 月 22 至 7 月 15 日样本总长度为 3712 的 30~60 d 滤波后的暴雨综合

指数与滤波后的 OLR 场做时滞相关分析,由图 6 可见,无论是同期还是前期,持续性强降水的发生与 OLR 场的季节内振荡关系十分密切。主要表现在以下两个区域:(1)热带地区:由于是 30~60 d 滤波的 OLR 场,因此反映的是热带对流的季节内振荡(MJO),福建持续性暴雨与 MJO 东传关系密切,在持续性暴雨发生前 44 d,高的负相关区位于印度尼西亚附近对应热带对流活跃区,随着对流的东传,在持续性暴雨发生前 29 d,高的负相关区位于中东太平洋地区,而后在持续性暴雨发生前 9 d 到达印度洋东部,持续性暴雨发生时,高的负相关区再次位于印度尼西亚附近,完成了一个 44 d 左右的周期。

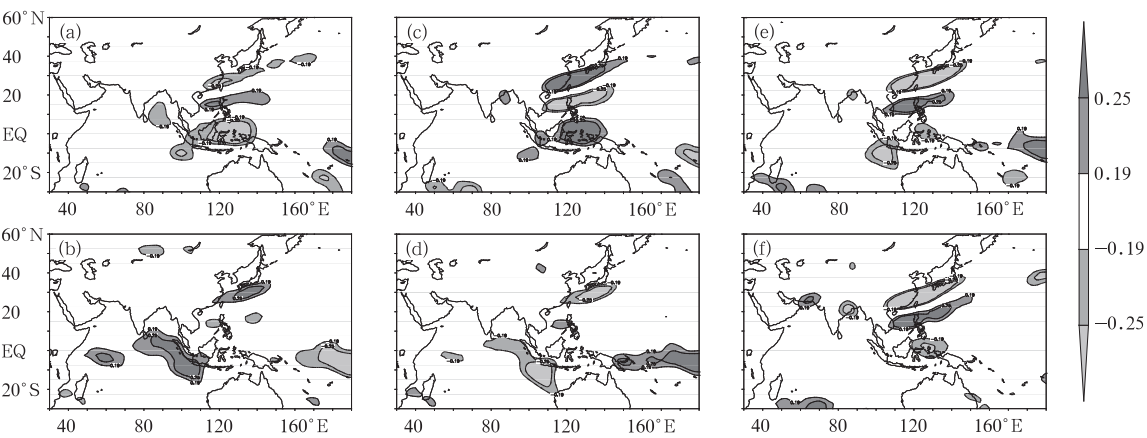


图 6 30~60 d 滤波后的暴雨综合指数与 OLR 场时滞相关分析
提前 (a) 44 d, (b) 29 d, (c) 22 d, (d) 9 d, (e) 5 d 和 (f) 当天的相关系数分布图
(浅灰和深灰色分别通过 0.05 和 0.01 的显著性水平检验)

Fig. 6 Time lag correlation coefficients between heavy rain synthesized index and OLR field
(a) 44 d, (b) 29 d, (c) 22 d, (d) 9 d, (e) 5 d in advance and (f) the very day
(Light and dark grey areas denote the values passing the 0.05 and 0.01 significant tests, respectively)

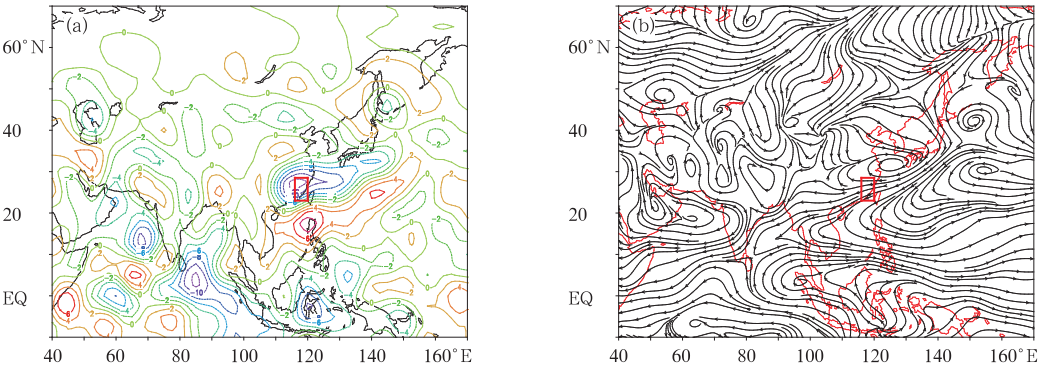


图 7 持续性暴雨发生前 22 d 850 和 200 hPa 30~60 d 低频合成图
(a) 200 hPa 散度场 (单位: 10^{-7} s^{-1}), (b) 850 hPa 流场

Fig. 7 30—60 d low-frequency composited images at 850 hPa and 200 hPa
for the 22 d before persistent heavy rains
(a) divergence at 200 hPa (unit: 10^{-7} s^{-1}) and (b) circulations at 850 hPa

(2)北半球 $110^{\circ}\sim150^{\circ}\text{E}$ 的经向剖面上:可清晰地看到正负相关区域自南而北的波列分布。同期高相关区位于华南沿海地区、南海及其临近的西北太平洋地区和印度尼西亚,且沿经度呈“ $-$, $+$, $-$ ”分布,这 3 个高相关区与 3.1 节分析的福建上空低频气旋(2C)、南海反气旋(3A)及南海南部至马来西亚(5C)的低频气旋对应。这种高相关配置随时间呈现一定的周期变化,由提前 44 和 22 d 的图可以看出,它们分别处于提前一个周期左右的同位相和半周期的反位相,高的负相关区域随着时间的北移表明对流自南向北由低纬度地区传播至华南上空,引

发福建持续性暴雨的发生。

当热带对流东传至中东太平洋地区时(图 6c),此时的低频流场图上福建上空低层为低频反气旋,高层为低频辐合,南海一带低层为低频气旋,高层为低频辐散,索马里以东为低频气旋(见图 7),索马里、南海南部为越赤道北风,福建上空的对流开始受到抑制,此后进入不利于福建持续性强降水产生的阶段;当对流东传至印度洋东部时(图 6d)福建上空的对流开始活跃,则有利于持续性强降水过程的发生。以上分析表明,热带 MJO 的东传以及东亚西北太平洋地区 ISO 信号的北传对福建持续性强降

水过程的延伸期预报具有一定的指示意义。

4 结 论

本文采用福建 1979—2010 年 66 个气象站逐日降水资料和 NCEP 再分析资料和 OLR 资料,应用带通滤波提取大气低频信号,使用合成分析和时滞相关分析,揭示了福建前汛期降水的低频特征及持续性强降水过程与低频降水强度的关系;分析了福建前汛期持续性强降水同期的大气低频特征以及前期低频信号的演变特征,得到以下结论:

(1) 福建前汛期降水存在显著的低频周期,出现频率较高的前三个低频周期分别为:10~20、30~60 和 20~30 d;同一年中低频周期的长短也会出现明显变化,约 63% 的年份出现两种以上显著的低频周期;10~90 d 低频变化占前汛期降水总方差的 20%~30%,在异常年份,所占比例部分地区达 50% 以上,局部高达 70% 以上。

(2) 前汛期总雨量与降水低频信号的强度呈显著正相关关系,当低频降水强的年份,前汛期总雨量偏多,反之,当低频降水弱的年份,前汛期总雨量偏少。持续性强降水的强度和持续时间与降水的低频特征关系密切,由于每年前汛期降水的低频变化周期不同,持续性强降水过程的持续时间也不同,以 BWO(ISO) 为主的年份,持续性强降水的持续时间较短(长)。

(3) 福建前汛期持续性强降水发生期间日本以东、索马里以东和南海三个关键区皆为低频反气旋,日本至渤海湾南下的冷空气与索马里越赤道气流、南海南部越赤道气流在福建上空持续相遇形成低频气旋,导致福建上空低层低频辐合、高层低频辐散,对流活跃。

(4) 福建前汛期持续性强降水与热带及副热带大气低频变化密切相关,热带 MJO 的东传以及东亚西北太平洋地区低频信号的北传对福建持续性强降水过程的延伸期预报具有一定的指示意义。

参考文献

白旭旭,李崇银,谭言科,等. 2011. MJO 对我国东部春季降水影响的分析. 热带气象学报, 27(6): 814-822.

陈青,廖玉芳,杨书运,等. 2014. 低频天气图方法在湖南省雨季强降水过程预报中的应用. 气象, 40(2): 223-228.

丁一汇,梁萍. 2010. 基于 MJO 的延伸预报. 气象, 36(7): 111-122.

冯俊阳,肖子牛. 2012. 热带低频振荡的强度和相位对中国南方冬季降水的影响. 气象, 38(11): 1355-1366.

高建芸,陈彩珠,周信禹,等. 2013. 2010 年福建前汛期典型持续性暴雨过程的低频特征分析. 气象科技进展, 3(1): 39-45.

何金海, Murakami T, Nakazawa T. 1984. 1979 年夏季亚洲季风区域 40—50 天周期振荡的环流及其水汽输送场的变化. 南京气象学院学报, 7(2): 163-173.

据建华,吕俊梅,谢国清,等. 2011. MJO 和 AO 持续异常对云南干旱的影响研究. 干旱气象, 29(4): 401-405.

据建华,孙丹,吕俊梅. 2007. 东亚季风涌对我国东部大尺度降水过程的影响分析. 大气科学, 31(6): 1130-1137.

据建华,孙丹,吕俊梅. 2008. 东亚季风区大气季节内振荡经向与纬向传播特征分析. 大气科学, 32(3): 524-528.

据建华,赵尔旭. 2005. 东亚夏季风区的低频振荡对长江中下游旱涝的影响. 热带气象学报, 21(2): 163-170.

李崇银. 1991. 30—60 天大气振荡的全球特征. 大气科学, 15(3): 66-74.

李崇银,张利平. 1999. 南海夏季风活动及其影响. 大气科学, 23(3): 257-266.

林新彬,刘爱鸣,林毅,等. 2012. 福建省天气预报技术手册. 北京:气象出版社, 100-102.

孙国武,冯建英,陈伯民,等. 2012. 大气低频振荡在延伸期预报中的应用进展. 气象科技进展, 2(1): 12-17.

孙国武,李震坤,信飞,等. 2013. 延伸期天气过程预报的一种新方法——低频天气图. 大气科学, 37(4): 945-954.

孙国武,信飞,陈伯民,等. 2008. 低频天气图预报方法. 高原气象, 27(增刊): 64-68.

孙国武,信飞,孔春燕,等. 2010. 大气低频振荡与延伸期预报. 高原气象, 29(5): 1142-1147.

陶诗言,卫捷. 2007. 夏季中国南方流域性致洪暴雨与季风涌的关系. 气象, 33(3): 10-18.

张庆云,陶诗言,陈烈庭. 2003. 东亚夏季风指数的年际变化与东亚大气环流. 气象学报, 61(5): 559-567.

张学民,杨修群,孙成艺. 2008. 华南前汛期开始日期和结束日期确定方法综述. 气象, 34(11): 11-14.

郑彬,梁建茵,林爱兰,等. 2005. 华南前汛期的锋面降水和夏季风降水划分日期的确定. // 中国气象学会 2005 年年会论文集, 2330-2334.

朱乾根,徐国强. 2000. 南海夏季风爆发机制的数值实验研究. 气候与环境研究, 5(4): 495-505.

朱益民,杨修群. 2007. ENSO 与中国夏季年际气候异常关系的年代际变化. 热带气象学报, 23(2): 105-115.

Yang Hui, Li Chongyin. 2003. The relation between atmospheric intraseasonal oscillation and summer severe flood and drought in the changjiang and Huanhe River Basin. Adv Atmos Sci, 20(4): 540-553.