

肖莺,任永建,杜良敏,2017. 湖北省夏季不同阶段强降水及其大气低频特征[J]. 气象,43(1):77-83.

湖北省夏季不同阶段强降水及其大气低频特征^{*}

肖 莺 任永建 杜良敏

武汉区域气候中心,武汉 430074

提 要: 利用 1961—2014 年湖北省 68 站逐日降水资料和美国国家海洋和大气管理局环流资料,对比分析了湖北省夏季梅雨期和盛夏期低频强降水事件的基本特征、大气环流形势和低频信号传播特征。结果表明:(1)湖北省夏季降水存在显著的准双周低频周期。(2)相较于盛夏期,梅雨期低频强降水事件次数多,强度强。(3)梅雨期和盛夏期低频强降水事件发生期间的环流形势有着显著的差异。梅雨期,对流层中层东亚沿岸为南北向的波列分布,低层受强索马里越赤道气流和副热带高压外围西南气流共同影响,水汽条件好,东亚存在鞍型场,流场变形,利于形成中尺度气旋系统;盛夏期,对流层中层为欧亚波列分布,低层索马里越赤道气流弱,主要受副热带高压外围水汽输送的影响,日本海以西地区有一异常气旋,其西侧的偏北气流与暖湿气流在 30°N 附近交汇维持。(4)在强降水事件发生前后,对流层低层的低频正涡度传播特征有较大差异,在梅雨期表现为驻波特征,盛夏期传播更为明显,表现为向西、向南向北传播。

关键词: 梅雨期和盛夏期,低频强降水,大气低频特征,涡度传播

中图分类号: P461

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2017.01.008

Characteristics of Heavy Rain Events over Hubei Province at Different Stages of Summer and Corresponding Low-Frequency Atmospheric Features

XIAO Ying REN Yongjian DU Liangmin

Wuhan Regional Climate Center, Wuhan 430074

Abstract: By using the daily precipitation data of 68 stations in Hubei and NCEP/NCAR circulation reanalysis data, the characteristics of the heavy rain events and low-frequency atmospheric features between the Meiyu and midsummer periods are studied. The results indicate that the quasi-biweekly oscillation of precipitation exists obviously in summer over Hubei. Compared with the rains in the midsummer period, low-frequency heavy rain events in the Meiyu period are seen more often with stronger intensities. There are significant differences of low-frequency heavy rain events between the Meiyu and midsummer period. During Meiyu period, circulations show the distribution of north-south wave trains above the East Asia Littoral in the mid-level troposphere. The combined impact of strong Somali cross-equatorial flow and south-west air current around subtropical high contribute to the abundant water vapor. The saddle-type field of circulations in East Asia and transformed flow field are beneficial to the formation of mesoscale cyclonic systems. In the midsummer period, however, circulations distribute in the pattern of Eurasian wave trains in middle troposphere. In lower troposphere, water vapor comes from subtropical peripheral with the weak Somali cross-equatorial flow. The north air streams from the west of the cyclone to the west of Japan Sea and the south warm-wet air streams from the periphery of subtropical high get intersected and maintained

^{*} 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201406022)、中国气象局预测核心业务发展专项(CMAHX20160501)、湖北省气象局 2015 年重点科技项目(2015Z03)和湖北省气象局 2015 年重点科技项目(2015Y07)共同资助

2016 年 2 月 25 日收稿; 2016 年 8 月 18 日收修定稿

第一作者:肖莺,主要从事气候预测及机理研究. Email: xiaoying15036@163.com

over 30°N . Before and after the heavy rain events, there are obvious differences of the low-frequency positive vorticity propagation in low troposphere. The low-frequency positive vorticity during the Meiyu period shows the characteristics of standing wave while in the midsummer, it propagates westward, southward and northward obviously.

Key words: Meiyu and midsummer period, low-frequency heavy rain, low-frequency circulation, propagation of vorticity

引 言

湖北省位于长江中游,受季风气候影响,夏季降水量占全年降水量的 40% 左右,有着降水阶段明显,雨量集中,暴雨日数多等特点。例如,“69·7”暴雨是由于典型梅雨形势造成的集中强降水,其中有 5 d 每天降暴雨的县数在 20 个以上;1998 年 7 月 20—23 日湖北省南部发生了一次持续性特大暴雨过程(齐艳军等,2004)。且有研究表明,长江中下游地区极端降水的增加,既是极端降水强度增强,也是极端降水事件显著增加的结果(苏布达等,2007)。因此,分析湖北省持续性强降水事件,不仅有利于提高该区气象灾害的预测水平,而且有利于减少因气象灾害而带来的损失,带来明显的社会效益。

中国东南部夏季降水存在明显的准双周低频振荡特征(王遵娅和丁一汇,2008;曹鑫等,2012),而持续性强降水通常就位于低频振荡的活跃位相(Yang et al, 2010)。大气环流低频振荡的形成和维持对持续性强降水的发生有着十分重要的作用。有些研究是针对某个年份,研究夏季降水与大气低频振荡的关系(夏芸等,2008;岑思弦等,2009);有些研究基于历史统计事件,揭示了持续性强降水与环流场的演变特征(张娇等,2011;曹鑫等,2013;黄丽娜等,2014;王黎娟等,2014);有些研究着手于低频振荡强度,分析降水季节内振荡的年际变化,并讨论了异常年的海气背景特征(尹志聪和王亚非,2011)。在环流特征分析的基础上,试图找出一些信号,旨在用于延伸期预报及服务。陈青等(2014)采用低频天气图方法,建立了湖南省延伸期强降水过程预报模型。魏晓雯等(2015)综合高、中、低纬的前期低频信号构造了强降水过程预报指数。杨秋明(2015)用长江下游降水低频分量和南半球中纬度地区 850 hPa 低频经向风主成分,建立多变量时滞回归模型,进行延伸期逐日变化预报试验。

这些研究都表明持续性强降水存在低频振荡特

征,它的发生与大气低频振荡密切相关,但大都主要是针对整个季节来研究。然而,湖北省夏季降水季节内差异显著,有明显的梅雨期和盛夏期区分,相应环流也存在着变化。那么,基于湖北省已建立的入梅和出梅时间为分界点,在低频信号提取的基础上,区分梅雨期和盛夏期低频强降水事件,对比分析两个不同时段发生的低频强降水事件与大气低频的关系,为湖北省夏季强降水过程的延伸期预报提供有价值的参考依据。

1 资料与方法

1.1 资料

本文采用的资料为:(1)NCEP/NCAR(美国国家海洋和大气管理局,下同)提供的 1961—2014 年的 500 hPa 逐日位势高度、850 hPa 逐日纬向风和经向风再分析资料,水平网格距为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。(2)1961—2014 年资料完整的湖北省(68 个气象站)和长江流域(701 个气象站)逐日降水量资料以及各站点经度、纬度数据,资料取自湖北省信息保障中心。

1.2 方法

本文采用功率谱、傅里叶带通滤波和位相合成方法。

其中位相的选取方法为:将滤波后的低频波循环划分为 8 个位相,其中第 1 和第 5 位相分别对应波谷和波峰,第 3 和第 7 位相为负位相和正位相转换阶段,其他位相表示振幅达到该循环的波峰或波谷一半的时间。

2 湖北省夏季降水的低频特征

为了得到湖北省夏季降水的显著周期,首先对湖北省降水进行区域平均,再减去其气候态,滤去季节循环的影响,然后进行 7 d 的滑动平均,滤去高频

信号,再对逐年夏季降水分别进行功率谱分析,得到这 54 年功率谱平均值(图 1)。可以看到,10~25 d 周期非常显著,通过了红噪声检验,表明湖北省夏季降水具有显著的季节内尺度的低频振荡特征,主要表现为准双周振荡(简称 BWO)。王黎娟等(2014)对江淮流域(包含湖北省东部和南部等地区)持续性强降水的分析也表明其具有显著的准双周振荡,这与本文得到的结果一致。那么,利用傅里叶带通滤波方法,提取 10~25 d 低频信号。从 54 年平均情况上看,湖北省东西部两端低频变化信号要强于中部地区,全省平均的 10~25 d 低频变化占夏季降水总方差的 26%~40%,余下的为 >25 d 变化和高频天气变化(图略)。从逐年演变来看,低频方差所占比例存在显著的年际变化,最大值出现在 1964 年,为 40%,最小值出现在 2011 年,为 26.6%(图 2)。这与每年低频信号强弱有关。逐年功率谱分析表明,1964 年夏季降水准双周振荡周期非常显著,而 2011 年低频信号并不明显(图略)。21 世纪以来,出现了两个方差较大值年,为 2008 和 2012 年,均在 37% 以上,这可能与当年降水阶段性强、雨量集中有关(王小玲和郭艳君,2009;袁媛等,2012)。

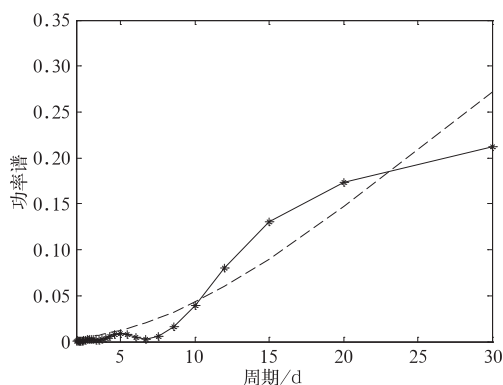


图 1 1961—2014 年湖北省夏季降水功率谱分析
(虚线表示红噪声检验)

Fig. 1 Power spectral analysis
of flood season rainfall
over Hubei Province during 1961–2014
(Dashed line represents test of red noise)

大量的研究结果显示,大气低频变化还包括季节内(30~60 d,简称 ISO)振荡(李崇银,1991;王遵娅和丁一汇,2008)。那么利用傅里叶带通滤波方法,提取 ISO 低频信号,计算得到 ISO 低频变化占夏季降水总方差的 10%~15%。与准双周振荡

(BWO) 对比,1961—2014 年这 54 年中逐年的 BWO 信号均强于 ISO。表明湖北省夏季低频降水的 BWO 特征更为显著。综上所述,降水的 BWO 低频变化信号在湖北省夏季降水研究中的重要性,下面的研究也主要是针对 BWO 低频降水开展。

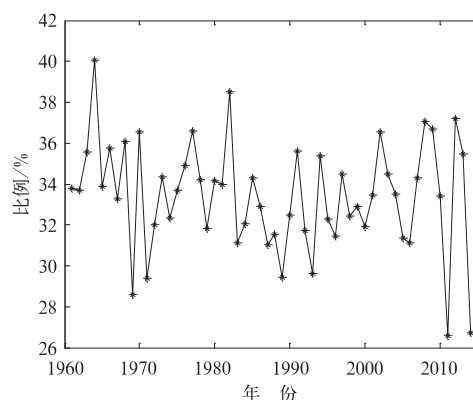


图 2 湖北省 1961—2014 年夏季 10~25 d
低频降水占夏季降水总方差的比例
Fig. 2 Contribution of low-frequency
precipitation to the total variance of
summer rainfall over Hubei Province
during 1961–2014

3 湖北省夏季低频强降水过程的定义

本文低频强降水过程的选取方法:基于湖北省逐日降水量,利用傅里叶带通滤波方法滤波,再取标准化得到降水指数 IR,连续 3 d 及以上 ≥ 1 ,则定义为一个低频强降水过程。按照此方法在湖北省夏季共选取了 129 次事件,年均 2.4 次,2008 和 2013 年最多,出现了 5 次。

统计低频强降水事件在入梅前、梅雨期和盛夏期这 3 个不同阶段的特征(表 1)。阶段的选取:基于梅雨入梅、出梅时间逐年序列,将 6 月 1 日至入梅时间的前一天定义为入梅前,入梅当天至出梅时间的前一天为梅雨期,出梅当天至 8 月 31 日定义为盛夏期。由于每年入梅、出梅时间变化较大,这 3 个阶段之间时间长度差异大。统计结果显示:从发生次数看,入梅前次数最少,仅发生了 20 次低频强降水过程;盛夏次数居中,有 49 次;梅雨期间强降水过程最多,发生 60 次。从持续时间看,入梅前强降水过程持续时间最短,在 3~5 d 之间,平均而言为 3.9 d · 次⁻¹;盛夏期降水过程持续时间长度居中,除

3~5 d 还有持续 6 d 的过程,平均而言为 4 d · 次⁻¹;梅雨期降水过程持续时间长度最长,还发生了持续 7 d 甚至 10 d 的过程,平均而言为 4.6 d · 次⁻¹。从平均降水强度看,盛夏强度最弱,为 16.63 mm · d⁻¹;入梅前强度居中,为 18.5 mm · d⁻¹;梅

雨期最强,为20.46 mm · d⁻¹。结合持续时间看,入梅前,持续 4 d 过程的降水强度最大,为 20.58 mm · d⁻¹;梅雨期,持续 10 d 过程的降水强度最大,为 29.53 mm · d⁻¹;盛夏期,持续 5 d 过程的降水强度最大,为 19.28 mm · d⁻¹。

表 1 1961—2014 年湖北省夏季低频强降水事件的特征统计

Table 1 Characteristic statistics of low-frequency heavy rainfall events over Hubei Province in the summer of 1961—2014

持续日数/d	总频次	出现频次/次			降水强度/mm · d ⁻¹		
		入梅前	梅雨期	盛夏期	入梅前	梅雨期	盛夏期
3	36	7	11	18	14.14	17.57	15.75
4	43	7	20	16	20.58	20.01	14.82
5	35	6	18	11	19.62	19.87	19.28
6	9	0	5	4		18.71	17.39
7	5	0	5	0		24.63	
10	1	0	1	0		29.53	
合计或平均	129	20	60	49	18.5	20.46	16.63

图 3 是低频强降水事件所对应的原始降水强度的空间分布。从图中可以看到,整个长江流域,其降水强度的大值中心位于湖北省,其他地区相对较弱。

这也在一定程度上验证了使用该方法挑选强降水事件的合理性。

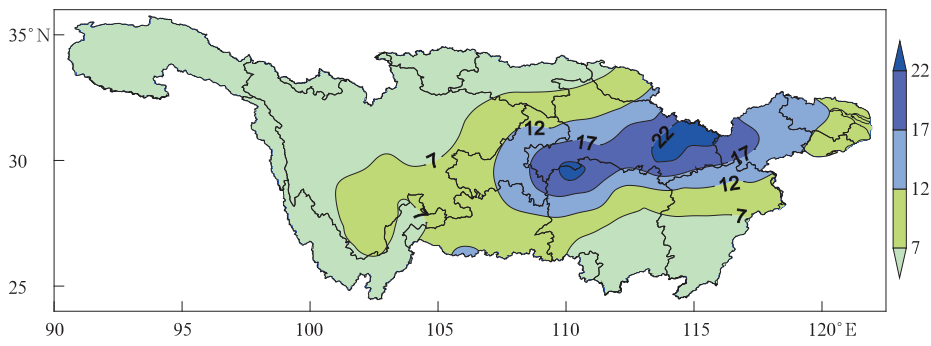


图 3 湖北省低频强降水事件的原始降水强度(单位:mm · d⁻¹)空间分布图

Fig. 3 Distribution of original precipitation intensity (unit: mm · d⁻¹) corresponding to low-frequency heavy rainfall events over Hubei Province

4 湖北省夏季低频强降水的大气低频特征分析

综上分析可知,夏季低频强降水事件以发生在梅雨期阶段过程最多,占总次数的 47%,且平均降水强度最强,其次是盛夏期,发生次数占总数的 40%,而入梅前过程最少,仅占总数的 13%。因此,我们将主要针对梅雨期和盛夏期低频强降水分别开展大气低频特征分析。本节采用傅里叶带通滤波得到相应的 10~25 d 的大气低频信号,来探讨大尺度低频大气环流是如何配置来影响湖北省梅雨和盛夏

低频强降水。

4.1 低频强降水同期的大气低频扰动特征

图 4 为湖北省梅雨期低频强降水事件大气低频信号的合成图,可以得到以下结论:梅雨期,对流层中部(500 hPa)东亚沿岸呈现南北向的“+ - +”波列分布,即华南至南海为低频高值区,巴尔喀什湖至湖北省北部为低值区,贝加尔湖至鄂霍次克海为高值区,这种低频形势表明副热带高压脊稳定在华南沿海上空,东北亚阻塞高压稳定,中纬度西风槽活跃在高原至华北平原一带,槽后的冷空气与副热带高压(以下简称副高)西侧的西南气流持续在湖北上空

交汇(图 4a)。对流层低层(850 hPa)低频风场上(图 4b),东亚出现了明显的鞍型流场,即东北亚反气旋(1A)、南海反气旋(2A)、内蒙古气旋(1C)和日本海以东洋面气旋(2C),由于流场变形,利于产生江淮切变线和西南低涡等中尺度气旋天气系统。低纬索马里以东的 $70^{\circ}\sim 80^{\circ}\text{E}$ 地区为低频反气旋(3A),索马里越赤道气流加强或维持,沿着中南半岛反气旋(4A)西侧的西南气流北上。这样的低频系统配置,导致湖北省梅雨期低频强降水过程发生。

图 5 为湖北省盛夏期低频强降水事件大气低频信号的合成图。显示:盛夏期,对流层中部(500 hPa)存在欧亚型波列,即南海为低频高值区、河套至渤海为低值区,贝加尔湖为高值区,乌拉尔山以东为低值区,里海南部为高值区,这种低频形势表明西西伯利亚有明显的低槽发展,贝加尔湖脊加强,与副高间构

成的辐合带即河套至渤海的冷槽也加强,促使冷槽不断南侵影响湖北省;同时,副高南退,使长江中游处于副高外围的西南气流控制下,提供海洋上暖湿气流北上,冷暖气流在此交汇(图 5a)。已有研究指出欧亚波列具有准双周周期,且对我国东部低频降水有影响(刘慧斌等,2012)。对流层低层(850 hPa)低频风场上(图 5b),西太平洋副高主体(2A)已北抬至 30°N ,但受日本海以西的反气旋(1C)影响,迫使副高西段偏南,使得湖北省位于副高西侧偏南暖湿气流;东北亚反气旋(1A)东侧的偏北气流顺着日本海以西的反气旋(1C)西侧南下。低纬索马里以东的 $70^{\circ}\sim 80^{\circ}\text{E}$ 地区为低频气旋(2C),索马里越赤道气流减弱。这种低频系统配置,造成湖北省盛夏期持续性强降水过程。

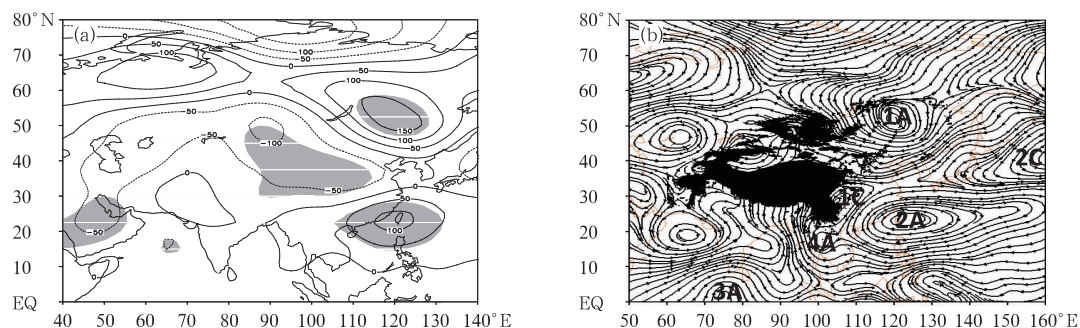


图 4 湖北省梅雨期低频强降水事件大气低频信号的合成图
(a)500 hPa 低频高度场(单位:dagpm), (b)850 hPa 低频流场
(C 为低频气旋区, A 为低频反气旋区, 阴影区为青藏高原)

Fig. 4 The composition charts of atmospheric low-frequency oscillation for the low-frequency heavy rainfall events during the Meiyu period over Hubei Province
(a) geopotential height fields at 500 hPa (unit: dagpm), (b) flow field at 850 hPa
(C is low-frequency cyclonic region, A is low-frequency anticyclonic region, shaded area is Tibetan Plateau)

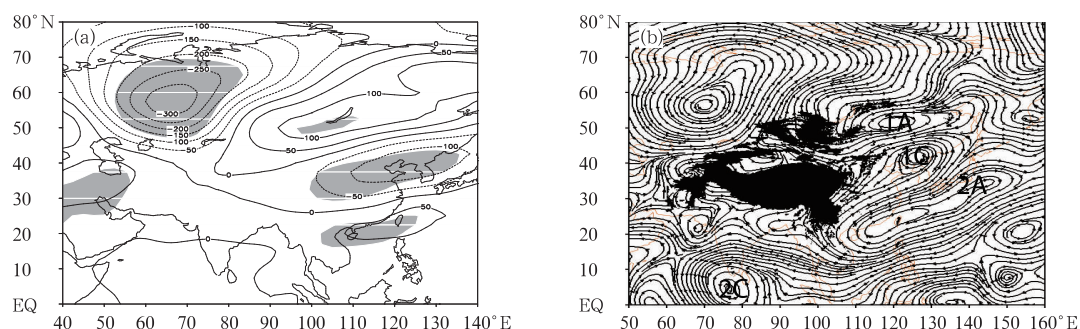


图 5 同图 4, 但为盛夏期合成

Fig. 5 Same as Fig. 4, but for the composition charts during the midsummer periods

可见,湖北省夏季低频强降水发生期间大气低频系统有相对稳定的活动位置,低纬以及中高纬地区低频气旋和反气旋的位置和强度是影响湖北省夏季强降水的关键因子,但同为夏季低频强降水事件,梅雨期和盛夏期过程所对应的大气低频环流具有显著差异。梅雨期对流层中层为南北向的波列分布,低层索马里越赤道气流加强,与副高外围西南气流相遇北上,提供充足的水汽供应,湖北省为变形流场控制,利于产生江淮切变等中尺度气旋天气系统,切变线以及相应的雨带形成之后,往往能够维持几天而不消失(崔讲学等,2011)。盛夏期对流层中层为欧亚波列分布,低层索马里越赤道气流减弱,受日本海以西的反气旋影响,湖北省处在副热带高压外围,偏南暖湿气流与偏北气流在 30°N 附近交汇维持,湖北省出现强降水。

4.2 大气低频信号的演变特征

选取湖北省所在经纬度范围($30^{\circ}\sim 32.5^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\sim 115^{\circ}\text{E}$)做位相-经度和位相-纬度图来分析低频信号来源及传播路径,从低频振荡的时空变化特征上,比较湖北省梅雨期和盛夏期两个不同阶段的低频强降水发生前后的对流层低层低频涡度变化特征。

图 6 给出了梅雨期的位相合成结果。无论是 850 hPa 低频相对涡度的位相-经度剖面图,还是位相-纬度剖面图来看,都显示着最大值轴线基本是水平的,表现为驻波特征:第 3 位相开始,于第 5 位相达到最大,之后衰减。

图 7 给出了盛夏期的合成结果。从 850 hPa 低频相对涡度位相-经度剖面图看,存在较为明显的

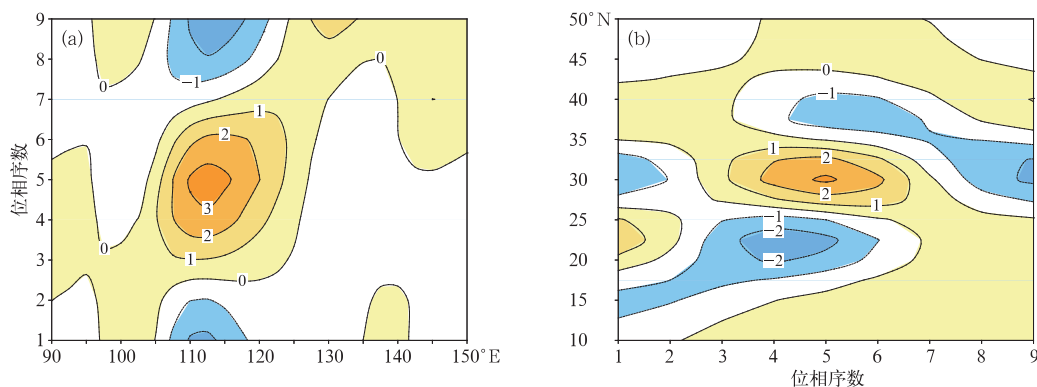


图 6 湖北省梅雨期低频强降水过程发生前后合成的 850 hPa 低频相对涡度场的剖面

(a) 沿 $30^{\circ}\sim 32.5^{\circ}\text{N}$ 的位相-经度剖面, (b) 沿 $110^{\circ}\sim 115^{\circ}\text{E}$ 的位相-纬度剖面

Fig. 6 The cross section of the 850 hPa low-frequency relative vorticity for the low-frequency heavy rainfall events over Hubei Province during the Meiyu period

(a) Phase-longitudinal cross section along $30^{\circ}\sim 32.5^{\circ}\text{N}$,

(b) Phase-latitude cross section along $110^{\circ}\sim 115^{\circ}\text{E}$

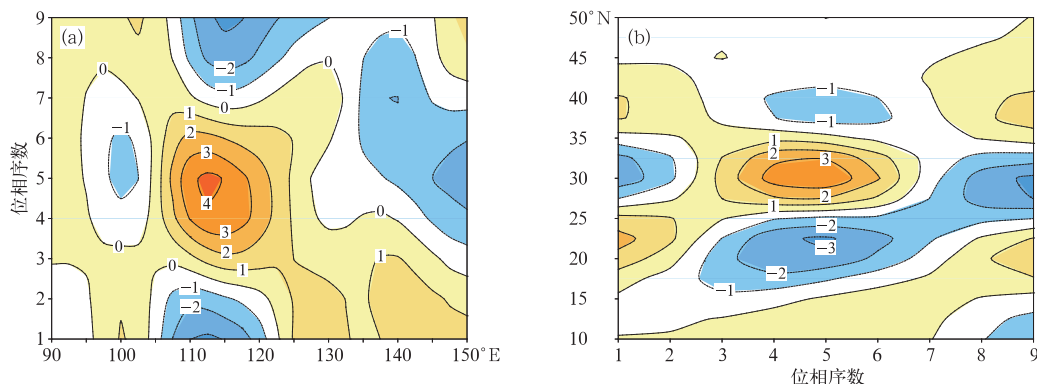


图 7 同图 6, 但为盛夏期合成

Fig. 7 Same as Fig. 6, but for the cross section during midsummer period

西传现象,西北太平洋上的低频正涡度从第1位相开始由 135°E 附近开始向西传播,至第3位相传播到湖北省附近暂停西传并逐渐增强,于第5位相正涡度达到最大,之后减弱维持到第6位相继续向西传播,可延伸到 100°E 附近(图7a)。位相-纬度剖面图显示正涡度系统南北传播有两条路径,一是由低纬的南海地区向北传播,二是由高纬的内蒙古地区向南传播,两者于第3位相在湖北省附近汇合并加强,在第4~5位相达到最强,低频降水发生后迅速减弱消失(图7b)。

以上分析表明,对流层低层的低频正涡度传播特征在梅雨期和盛夏期表现有较大差异。梅雨期主要表现为驻波特征。相较而言,盛夏的传播特征更为明显,表现为向西、向南向北传播。低频正涡度的加强作用于湖北省,维持持续性强降水的发生。

5 结 论

本文利用湖北省1961—2014年逐日降水资料 and NCEP/NCAR 环流逐日再分析资料,应用带通滤波提取大气低频信号,挑选低频强降水事件,使用合成分析,对比分析了梅雨期和盛夏期低频强降水事件的基本特征、大气环流形势和低频信号传播特征,得到以下结论:

(1)相较于季节内低频信号,湖北省夏季降水的准双周低频周期更为显著。

(2)与盛夏期的低频强降水事件特征对比,梅雨期低频强降水事件次数多,持续时间长度长,降水强度强。

(3)梅雨期和盛夏期低频强降水事件发生期间的环流形势有着显著的差异。梅雨期低频强降水期间,对流层中层东亚沿岸为南北向的波列分布,低层索马里越赤道气流和副高外围水汽输送共同影响,水汽条件好,湖北省为变形流场控制,利于产生江淮切变和西南低涡等中尺度气旋天气系统,带来持续的对流降水。盛夏期对流层中层为欧亚波列分布,低层索马里越赤道气流减弱,水汽主要来源于副高外围,冷暖气流交汇与维持,湖北省出现低频强降水。

(4)梅雨期和盛夏期强降水事件发生前后的信号传播特征不同。梅雨期,主要表现为驻波特征。盛夏期,低频信号来源于西北太平洋上空低频信号的西传、南海上空低频信号的北传以及黄河河套地区低频信号的向南传播,表现为经向向西、纬向向南

向北传播。

综合本文的结论,在夏季,当我们解读模式延伸期环流预报场时,由于梅雨期和盛夏期这两个不同阶段展现的环流特征不同,并不能将整个夏季一致对待,首先需要区分预报时段是属于梅雨期还是盛夏期,再来判断是否有强降水事件发生。

参考文献

- 曹鑫,任雪娟,孙旭光,2013. 江淮流域夏季持续性强降水的低频特征分析[J]. 气象科学,33(4):362-370.
- 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[J]. 气象学报,70(4):766-778.
- 岑思弦,巩远发,王霄,2009. 2007年夏季淮河流域洪涝与亚洲地区大气低频振荡的关系[J]. 大气科学,33(6):1286-1296.
- 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影响[J]. 气象,40(2):223-228.
- 崔讲学,柯怡明,王仁乔,等,2011. 湖北省天气预报手册:暴雨预报[M]. 北京:气象出版社,22-24.
- 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[J]. 气象,40(6):723-732.
- 李崇银,1991. 大气低频振荡[M]. 北京:气象出版社,207.
- 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[J]. 大气科学,36(5):959-973.
- 齐艳军,程明虎,仪清菊,2004. 98.7湖北特大暴雨的天气分析与降水模拟[J]. 气象,30(3):12-16.
- 苏布达,姜彤,任国玉,等,2007. 长江流域1960—2004年极端强降水时空变化趋势[J]. 气候变化研究进展,3(Z1):45-50.
- 王黎娟,庞玥,于波,等,2014. 江淮流域梅雨期持续性强降水及其10—30 d低频环流特征[J]. 热带气象学报,30(5):851-860.
- 王小玲,郭艳君,2009. 2008年全球重大天气气候事件概述[J]. 气象,35(4):108-111.
- 王遵娅,丁一汇,2008. 中国雨季的气候学特征[J]. 大气科学,32(1):1-13.
- 魏晓雯,梁萍,何金海,等,2015. 大范围持续性强降水过程与30—60 d低频降水的联系及其预报指数[J]. 热带气象学报,31(1):63-70.
- 夏芸,管兆勇,王黎娟,2008. 2003年江淮流域强降水过程与30—70 d天低频振荡的联系[J]. 南京气象学院学报,31(1):33-41.
- 杨秋明,2015. 2013年初夏长江下游降水低频分量延伸期预报的多变量时滞回归模型[J]. 气象,41(7):881-889.
- 尹志聪,王亚非,2011. 江淮夏季降水季节内振荡和海气背景场的关系[J]. 大气科学,35(3):495-505.
- 袁媛,任福民,王艳娇,等,2012. 2012年华南前汛期降水特征及环流异常分析[J]. 气象,38(10):1247-1254.
- 张娇,王东勇,朱佳宁,等,2011. 淮河流域持续性强降水的重要前期信号[J]. 气象,37(11):1329-1335.
- Yang J, Wang B, Wang B, et al, 2010. Biweekly and 21—30-day variations of the subtropical summer monsoon rainfall over the Lower Reach of the Yangtze Basin[J]. J Climate, 23(5):1146-1159.