

1991 年江淮梅雨与副热带高压的低频振荡^{*}

毛江玉 吴国雄

(中国科学院大气物理研究所, LASG, 北京, 100029)

摘 要

利用 NCEP/NCAR 再分析资料和观测的台站降水资料研究了 1991 年梅雨期间江淮洪涝区降水的季节内振荡及其环流特征,着重考察了不同层次副热带高压的低频变化与降水的关系。小波分析表明 1991 年江淮梅雨期间降水低频振荡的主周期是 15~35 d。在低空,15~35 d 振荡以异常反气旋(气旋)的形式在中国东南沿海地区交替出现,调控着西太平洋副热带高压进入(退出)南海。低空的这种低频环流型与高空的偶极型涡旋对相耦合,偶极型涡旋对使得南亚高压东伸(西退),形成有利(不利)江淮流域降水的环流形势。江淮流域降水的低频振荡与 500 hPa 北太平洋副热带高压的低频变化及其传播密切相关。当北太平洋西部的位势高度偏高、中部位势高度偏低时,江淮流域降水偏多;反之偏少。这种低频振荡可能起源于北太平洋中部夏威夷群岛附近,然后沿着副热带高压脊线附近向西传播到中国东南沿海。

关键词: 江淮梅雨, 低频振荡, 副热带高压。

1 引 言

江淮流域是旱涝发生比较频繁的地区,而旱涝的形成又取决于梅雨期降水的持续状况和强度。梅雨锋是降水的主要系统,气候学上,它是全球大气环流系统中主要的辐合带之一^[1]。Tao 和 Chen^[2]指出,梅雨锋是东亚夏季风系统中的一个成员,它与不同纬度、不同层次的其他环流系统存在密切关系。梅雨锋一般建立于 6 月中旬,出梅于 7 月中旬。但是入梅和出梅日期及梅雨期长度具有很大的年际变化。梅雨期内降水强度在时间上也不是均匀的,表现为一定频率的季节内振荡。Chen 等^[1]发现 1979 年夏季江淮流域降水呈准 40 d 振荡,而 1989 年则以 12~24 d 振荡为主。陆尔和丁一汇^[3]对 1991 年江苏南部 4 个站点的雨量进行最大熵谱分析,指出准 18 d 周期占优势。陈丽臻等^[4]比较了长江流域早年(1985 年)和涝年(1980 年)两个个例的低频振荡,发现低频流场的配置和低频波的传播方向均存在显著差异。Mao 和 Chan^[5]指出南海地区降水的低频振荡与江淮流域梅雨呈反位相趋势。

西太平洋副热带高压(以下简称副高)作为东亚季风系统的重要成员^[2],对梅雨期降水有重要影响,它把梅雨锋和南海季风槽分割开来,因而西太平洋副高脊的南北位移和东西进退不仅影响其南侧的东南气流及转向西南气流的强弱,而且影响源于索马里越赤道气流的热带夏季风和南海季风的并入,从而影响梅雨锋降水。陶诗言^[6,7]、黄土松等^[8,9]早在 20 世纪 60 年代就开展了西太平洋副高的变化对中国天气影响的研究。陶诗言等^[10]又指出,500 hPa 西太平洋副高季节内变化有两种模态:第 1 模态表现为副高系统以 20~30 d 的周期从太平洋中部的高压中心一次次地向西扩展到 120°E 以西,这种模态大多出现在弱季风年;第 2 模态表现为副高以 20~30 d 的周期一次次向西扩展时,在 125°~155°E 停滞,这种模态一般出现在强季风年。然而,近年来,吴国雄等^[11]、Liu 等^[12]发现,在更长时间尺度上,季风降水产生的凝结潜热是决定东半球夏季副高位置和强度的关键因素。东亚季风降雨所致凝结潜热加热使高空南亚高压位于加热中心的西侧,中低层西太平洋副高位于加热中心东侧,这意味着副

^{*} 初稿时间:2005 年 9 月 2 日,修改稿时间:2005 年 9 月 10 日。

资助课题:本研究获得国家自然科学基金项目(40135020,40221503,40375022,40325015 和 40475027)。

作者简介:毛江玉,男,1965 年生,博士,副研究员,主要从事气候动力学研究。E-mail: mjj@lasg. iap. ac. cn。

高和季风是相互作用的关系。

1991 年夏季江淮流域发生了特大洪涝, 给国民经济造成了巨大损失。这一年入梅早(5 月 18 日), 梅雨期长(57 d)^[3,13], 其间出现了 3 次持续时间较长的特大暴雨过程, 表明 1991 年梅雨降水具有很强的低频振荡特征。叶笃正等^[14]早在 1958 年就指出, 当江淮流域入梅时, 高空西风急流突然北跳, 这意味着梅雨期降水可能与大气环流的季节内振荡有关。本文利用小波变换方法分析 1991 年梅雨期间降水的低频振荡及其环流特征, 侧重考察不同层次副高的低频变化与降水的关系, 这有助于理解江淮流域特大洪涝的成因。

2 资料和方法

2.1 资料

日平均 NCEP/NCAR 再分析产品是本文所用的主要资料, 其中水平风场和位势高度场用于刻画大尺度环流特征。资料的水平分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 。1991 年中国 194 个台站观测的日平均降水量资料用于探讨梅雨期中国降水的分布状况。由于 1991 年梅雨爆发早, 梅雨期长, 所以文中选取 5~7 月的资料研究梅雨期降水的低频振荡。以长江中下游区域平均的日降水量时间序列为基础, 用小波变

换方法确定低频振荡的主要周期。

2.2 小波分析与滤波

小波分析是检测时间序列中时-频变化的常用工具。小波变换是用一个已知的响应函数进行的带通滤波, 所以它也是一个功能很强的滤波技术^[15,16], 于是低频振荡的时间序列可以通过尺度平均的反变换而提取出来。因为 1991 年江淮地区降水强弱分布的阶段非常显著, 所以本文选取 6 阶的高斯函数作为小波母函数进行变换。其他的气象变量, 如风场、高度场也用小波变换提取低频振荡的分量。

3 梅雨期降水的空间分布与平均环流

图 1 给出 1991 年 5~7 月中国东部地区总降水量和季节内变率的标准差分布, 标准差是根据每个站的日降水量相对于 5~7 月平均值的偏差而计算得到的。由图 1a 可见, 梅雨期总降水量超过 600 mm 的测站大都集中在长江流域, 而江淮地区总量甚至超过 800 mm, 因而导致特大洪涝。对应降水量最大值区, 标准差也是最大的(图 1b), 标准差达到 15 mm/d 以上。这意味着梅雨期间季节内振荡是很强的。

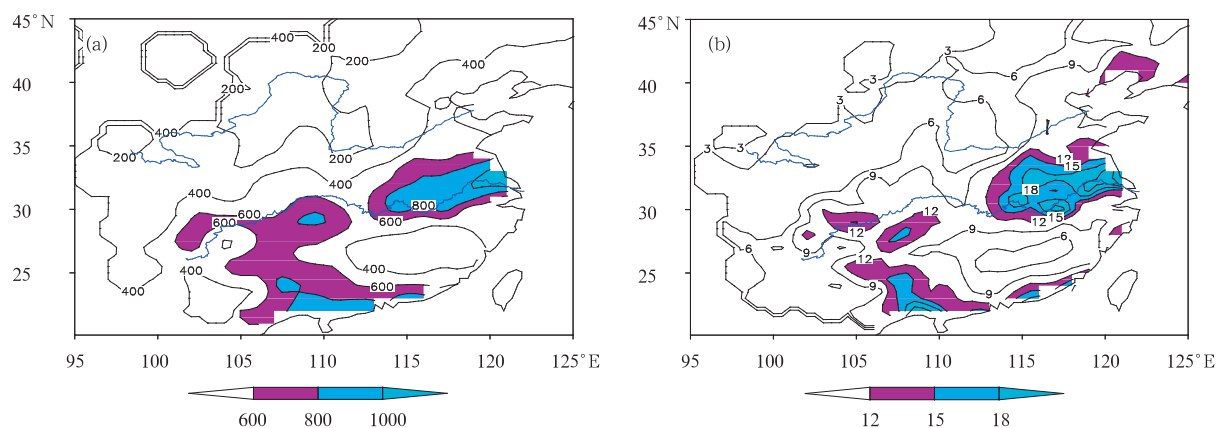


图 1 1991 年 5~7 月中国东部地区总降水量(a)和季节内变率的标准差(b)的分布

Fig. 1 (a) Accumulated rainfall totals (mm) and (b) subseasonal standard deviation (mm/d) over eastern China for the period 1 May–31 July 1991

相应的 5~7 月平均的环流场见图 2。低层 850 hPa 风场上(图 2a), 西南风沿着长江流域突然减弱, 表明这里有很强的辐合。这支典型的西南季风来自索马里越赤道气流, 穿越中南半岛和南海, 并与西太平洋副高南侧的东南风汇合。其中西太平洋副高所处的位置非常重要, 由图可见, 副高脊线位于

25°N 附近, 西伸脊点处在 120°E, 这有利于水汽向江淮流域输送。500 hPa 西太平洋副高是影响东亚天气、气候的关键系统^[2]。因为它的位置和强度变化不仅与同一等压面层的其他系统相关联, 也与高低层的环流系统有关。与 850 hPa 流型类似, 500 hPa 等压面上, 江淮流域有西南风与西北风的辐合。西太

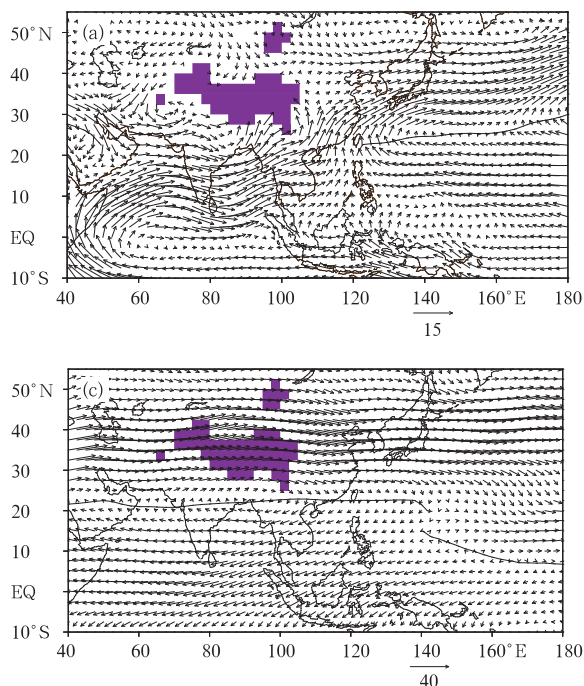


图2 1991年5~7月平均的大尺度环流(m/s)场
(a. 850 hPa, b. 500 hPa, c. 200 hPa;粗实线表示副热带
高压脊线,阴影区表示地形高度大于1500 m的青藏高原)

Fig. 2 Mean large-scale circulations (m/s) at (a)
850 hPa, (b) 500 hPa, and (c) 200 hPa for the period
1 May–31 July 1991 (Thick solid line denotes the
ridgeline of the subtropical anticyclone; shading
indicates the Tibetan Plateau above 1500 m)

平洋副高脊线较 850 hPa 向西南伸展,与陶诗言等^[10]的结果一致,即弱夏季风年 500 hPa 西太平洋副高脊线位于 30°N 以南。

在对流层上层(200 hPa,图 2c)副高脊线在 140°E 附近是断裂的,南亚高压的中心基本上位于孟加拉湾北部。热带东风急流的入口区位于南海和热带太平洋。高低空纬向风构成的垂直纬向季风环流圈非常显著,沿着中国东部的经向局地垂直环流也是清楚的,高层为西北风或东北风,低层为西南风。因此,不同层次的水平环流的变异,特别是副高位置的变动,会导致垂直环流位相的变化,从而影响梅雨期降水的强度。

4 梅雨期间江淮地区降水和环流的低频振荡

根据图 1,选取降水量最大且方差最大的区域(30°~34°N,115°~120°E),以这个区域平均的日降水量作为降水指数。图 3a 给出降水指数的时间演变(见直方图),自 5 月 18 日梅雨开始,其后出现了两次持续 1~2 个星期的弱降水阶段和两次强降水阶段。可见梅雨期内降水活跃与中断交替发生,这种强弱变化表现为明显的季节内振荡。图 3b 是降水指数时间序列的小波谱分布。通过信度检验的显著谱系数主要集中在 15~35 d 的频带里,表明 1991 年江淮梅雨期降水低频振荡的主周期是 15~35 d。

图 3a 中的实线是 15~35 d 滤波的低频降水时间序列,这个低频率序列的解释方差占了总方差的 44%,进一步说明降水的低频振荡对 1991 年江淮流域洪涝起着重要作用。如果以振幅大于 0.5 个标准差(图中虚线)为临界值,则低频振荡序列存在 3 次循环。第 1 到第 3 个循环分别为 5 月 17 日~6 月 7 日、6 月 7~29 日、6 月 29 日~7 月 29 日。Lau 等^[17]指出,东亚夏季风变化具有准 40 d 和准 20 d 振荡,可见 1991 年梅雨期降水以准 20 d 振荡占优势。参考 Chan 等^[18]的做法,将每个循环分为 9 个位相,1,5,9 为转换位相,位相 1 表示振荡由中断期向活跃期的过渡,位相 5 与位相 1 相反,表示振荡由活跃期向中断期的过渡。位相 3 表示活跃期的波峰,位相 7 表示中断期的波谷,位相 9 同位相 1。图 3a 只在第 2 个循环中标出这几个位相,而位相 2,4,6,8 表示低频振荡的振幅值达到该循环的最大值或最小值一半的时间。其他两个循环的各个位相也这样定义,这样可以通过极端位相的比较和循环的合成来了解环流的差异和演变。

5 活跃与中断位相环流的对比

图 4 给出第 2 个循环和第 3 个循环中两个极端位相的高低空环流场。在活跃期,未滤波的 850 hPa 风场(图 4a)显示,西太平洋副高向西南伸展进入南海地区,副高脊线呈西南—东北走向,西伸脊点

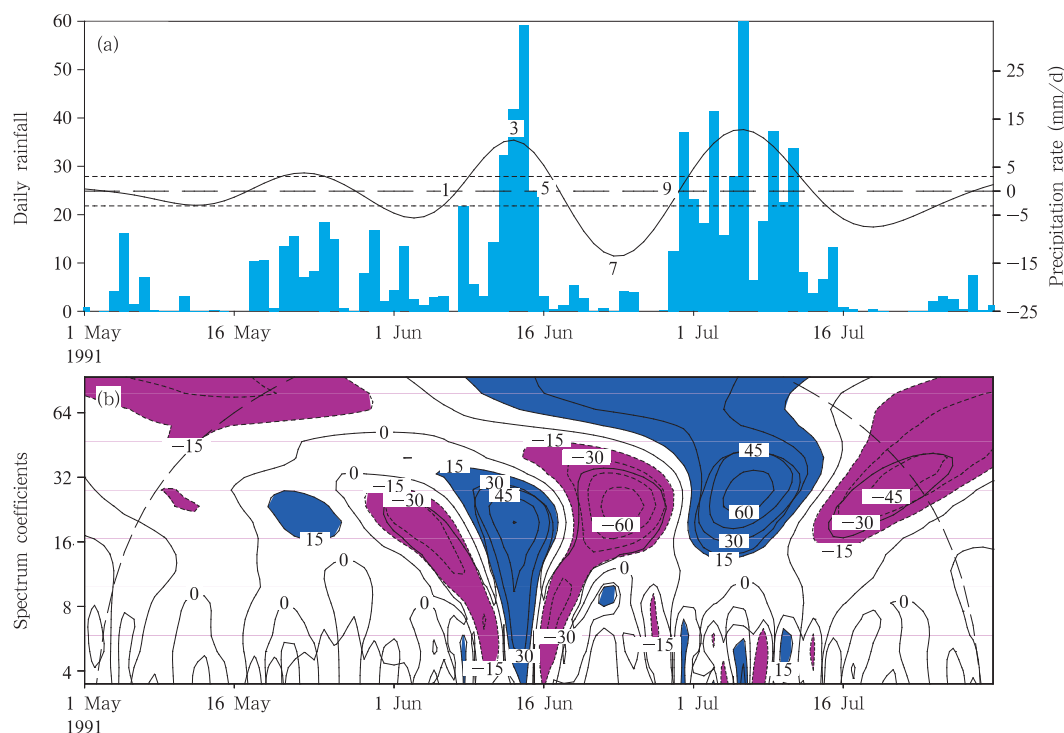


图3 江淮流域区域($30^{\circ}\sim 34^{\circ}\text{N}$, $115^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$)平均的日降水量和小波谱分布

(a. 直方图表示区域平均的日降水量(mm/d, 参见左侧纵坐标)的时间演变实线表示经过 15~35 d 滤波的低频降水(mm/d, 参见右侧纵坐标)时间序列, 细虚线表示 15~35 d 低频降水序列的标准差的一半, 数字 1, 3, 5, 7, 9 表示 15~35 d 低频振荡的位相; b. 小波母函数为 6 阶的 Gaussian 函数, 阴影区表示谱系数绝对值大于 15 的区域, 粗实线所围的区域表示通过红噪声过程检验而信度超过 95% 的显著频谱区, 粗虚线表示小波分析中存在的边缘效应, 此粗虚线以外的区域小波谱受边缘的影响较大, 详见文献[16])

Fig. 3 (a) Histogram is the time series of the area-averaged ($30^{\circ}\sim 34^{\circ}\text{N}$, $115^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$) daily rainfall (mm/d, with scale on the left-hand ordinate) used for the wavelet analysis (Solid line is the time series of the 15–35-day filtered daily rainfall anomalies (mm/d, with scale on the right-hand ordinate); the thin dashed parallel lines denote half of one standard deviation of the 15–35-day oscillation; numbers 1, 3, 5, 7 and 9 represent the phases of the 15–35-day oscillation (see section 4 for details)), (b) wavelet spectrum of the daily rainfall time series (histogram) in (a) using the 6-order derivative of a Gaussian as wavelet basis function (The absolute values of the spectrum coefficients greater than 15 are shaded; thick solid contour encloses regions of greater than 95% confidence for a red-noise process; thick dashed line indicates the cone of influence outside which the edge effects become important (see ref. [16]))

可达到 110°E 以西。热带西南季风在南海西岸转向直接经过华南进入长江流域。这样江淮地区出现明显的气流辐合, 有利于梅雨锋的建立和维持。200 hPa 风场上(图 4b), 南亚高压呈带状分布, 脊线位于 25°N 附近。由于南亚高压位置偏东, 则中国东部地区受高空辐散型流场控制。由高空偏北风和低空西南风构成的局地经向垂直环流恰好位于中国东部所在经度带内, 因而江淮流域降水加强。经过 15~35 d 滤波的 850 hPa 风场(图 4c)表明, 一个异常的反气旋和气旋对位于中国东部沿海及其以北地区, 其中长江流域到日本是低频槽区, 而反气旋西北

侧的异常西南风有利于水汽向江淮流域的辐合增强。这个异常的反气旋导致了副高向更西的位置伸展, 显示了低频振荡在持续性特大暴雨形成和维持中的作用。在 15~35 d 滤波的 200 hPa 风场图(图 4d)上, 显著特征是偶极型环流异常: 气旋位于青藏高原以北, 而反气旋中心位于中国湖南省。这个低频反气旋会使得南亚高压位置偏东, 在江淮流域形成高空的辐散环境。相反, 在中断期, 未滤波的低空风场(图 4e)表现为西太平洋副高东退到 130°E 附近, 热带季风直接进入南海, 在菲律宾附近才转向为西南风, 结果长江中下游到华南地区反而盛行东北

风,梅雨锋显然不能维持。在高层(图 4f),南亚高压呈经向发展,西北太平洋上还有另一个独立的高压,这两个高压之间是一个南北向的深厚低槽,并向南伸展到华南地区。于是,在江淮流域形成高空辐合的环境,它对应 850 hPa 的辐散型风场。15~35 d 滤波的低空风场(图 4g)上,一个异常气旋位于中国东南沿海,高空(图 4h)偶极型涡旋对的旋转方向与活跃期相反,从而造成南亚高压偏西。这种高

低空的低频环流型与吴国雄等^[11]和 Liu 等^[12]揭示的结果一致。他们指出,在副热带局地强降水中心区,由于潜热加热的垂直不均匀性,受 Sverdrup 平衡关系制约,低空盛行偏南风,而高空盛行偏北风。为了了解低频振荡的演变过程和共同的环流特征,图 5 给出了 3 次循环合成的 850 hPa 低频风场,并对合成场进行了显著性 t 检验。

从位相 1(图 5a)可见,150°E 以西有一个大的

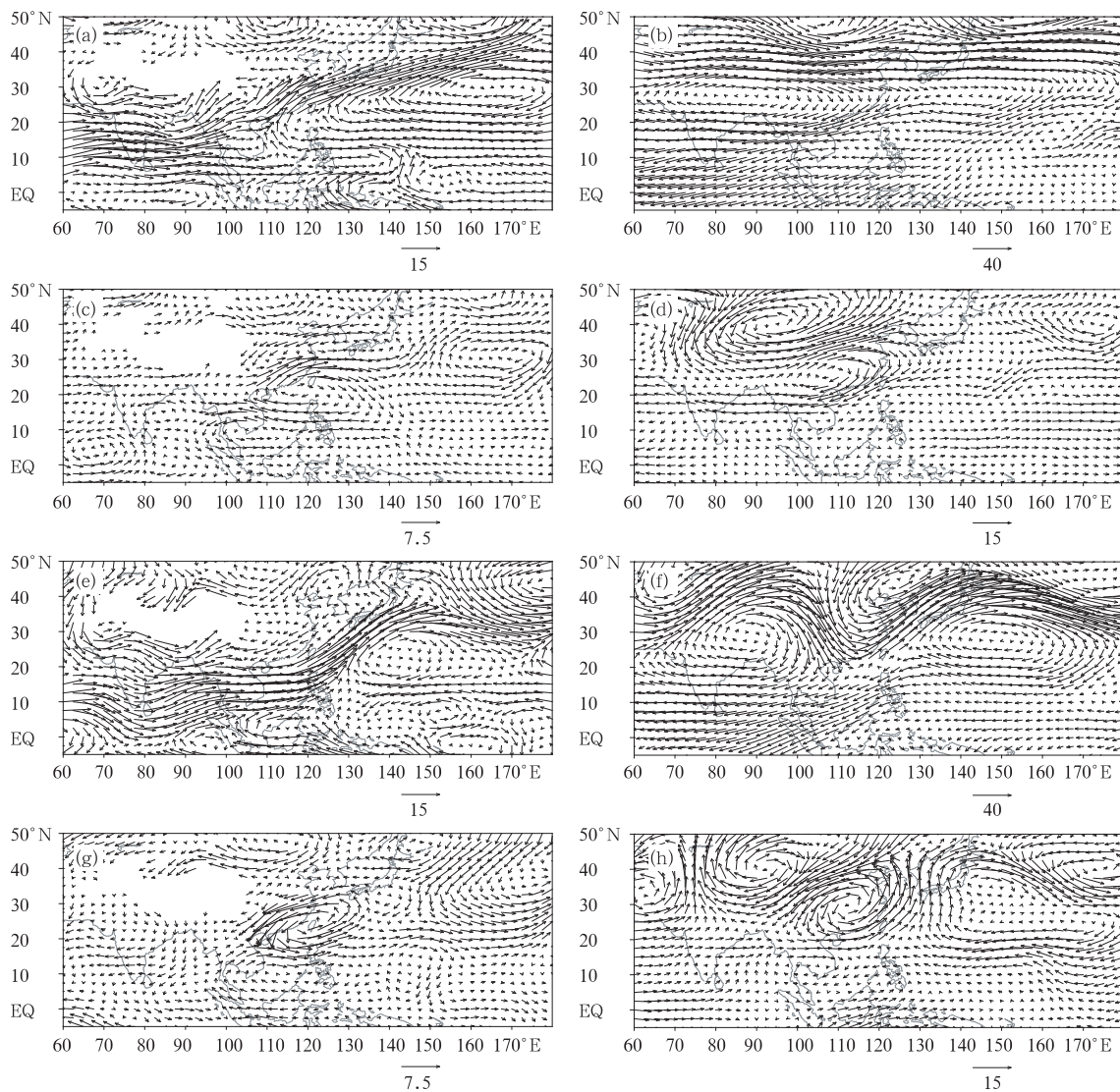


图 4 活跃期(第 3 个循环的极端位相 3)和中断期(第 2 个极端位相 7)的高、低空环流(m/s)场

(a. 未滤波的 850 hPa 风场, b. 未滤波的 200 hPa 风场, c. 15~35 d 滤波的 850 hPa 风场, d. 15~35 d 滤波的 200 hPa 风场, e~h 同 a~d, 但为中断期)

Fig. 4 The upper and lower tropospheric wind fields (m/s) for the active (indicated by extreme phase 3 of the third cycle) and break (indicated by extreme phase 7 of the second cycle) periods

(a. unfiltered 850 hPa winds, b. unfiltered 200 hPa winds, c. 15–35-day filtered 850 hPa winds, d. 15–35-day filtered 200 hPa winds, e to h same as a to d, but for the break period)

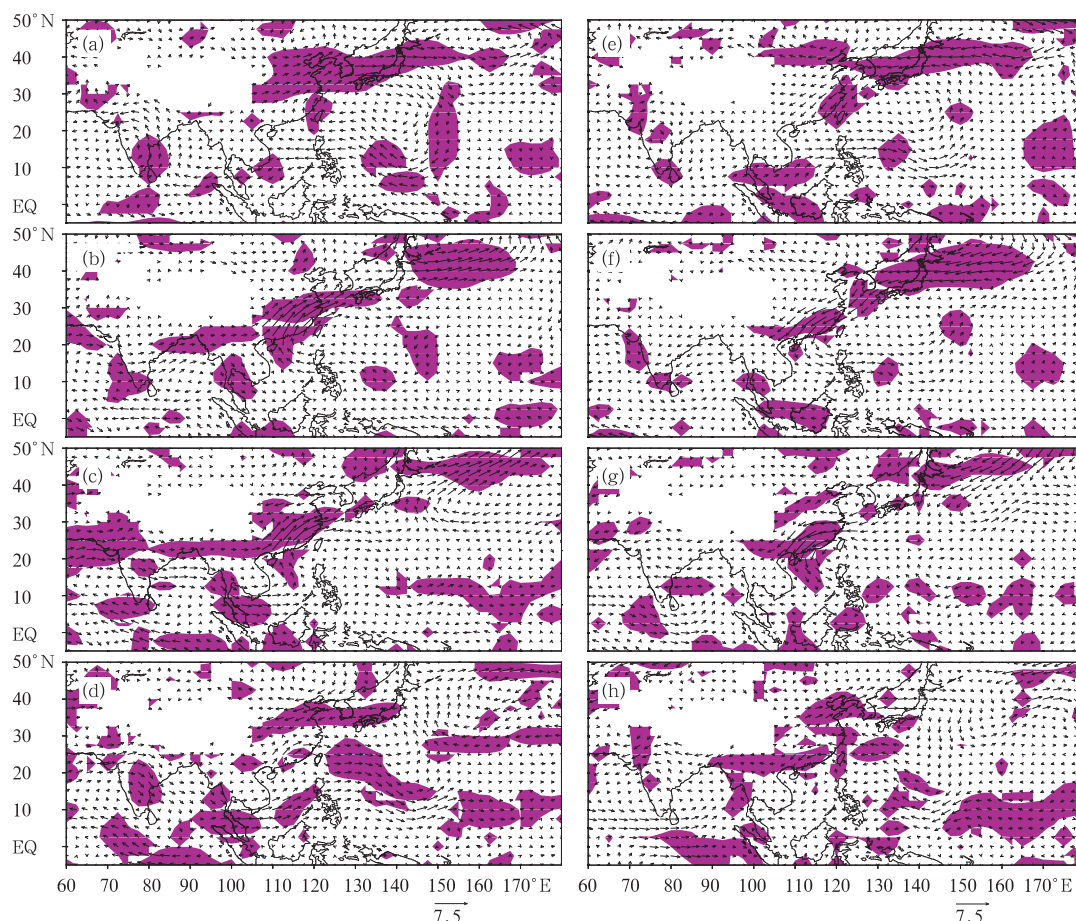


图 5 合成的 850 hPa 低频风场(m/s)

(a~h 分别对应 15~35 d 低频振荡的位相 1 至 8(参见图 3a); 阴影区表示信度检验通过 95% 的区域)

Fig. 5 Composite evolutions of the 15–35-day filtered 850 hPa winds

(Phases 1 to 8 are displayed from (a) to (h) respectively (see Fig. 3a); shadings indicate the filtered wind components passing the 95% confidence level (based on the t test))

异常反气旋控制西太平洋广大地区,随后反气旋西移,同时其西北侧的西南风增强(图 5b)。在极端活跃位相时(图 5c)沿着 10°N , $140^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{E}$ 的异常西风增强得比较显著,位相 4 显示江南地区的西南风异常减弱,西太平洋 35°N 附近的东风增强。到位相 5,异常气旋性环流型与位相 1 相反,其后的演变类似位相 2 至位相 4,但风向相反。200 hPa 偶极型涡旋对主要源于中高纬环流异常,生消过程比较复杂(图略)。

综上所述,15~35 d 振荡在低空以异常反气旋/气旋的形式在南海北部地区交替出现,它自日本东南洋面向中国东南沿海传播,调控着西太平洋副高进入(退出)南海,低空的这种环流型与高空的偶极型涡旋对相耦合,调制着南亚高压东伸(西退),形成有利(不利)江淮流域降水的环境。

6 500 hPa 高度场的低频振荡

大量研究强调 500 hPa 副高对中国天气气候的影响(如文献[9, 10])。图 6 是 15~35 d 滤波的江淮流域降水序列与滤波的 500 hPa 位势高度场的时滞相关图。为了了解低频振荡的源地及其传播,将 5~7 月平均的高度场作为背景环流,迭加在相关图上。图中左上角数字表示滞后天数,负数表示高度场超前江淮流域降水,0 表示同时相关,而正数表示高度场落后降水。从高度场超前 12 d 到落后 12 d 的间隔大致是一个 15~35 d 低频振荡完整循环(准 25 d)。从正负相关系数的分布看,图中左列的结构与右列基本相反,首先从同时相关的符号(0 d)看,中国东南沿海为显著正相关区,表明 500 hPa 西太平洋副高西伸,江淮流域降水偏多,反之偏少。同时

在夏威夷群岛北部的北太平洋中部地区是显著负相关区,说明该地区的高度异常与江淮流域梅雨期降水异常存在显著遥相关起伏,也说明北太平洋中部和西部的位势高度异常存在 seesaw 现象。再从相关区的传播看,在-12 d,夏威夷北部地区的正相关恰好发生在季平均 500 hPa 副高脊线断裂处。气候统计表明夏季“洋中槽”出现在 500 hPa 及其以上层次。正相关区随后向西偏南扩展,中国东南沿海的负相关区消失。到-3 d 或更早几天,显著正相关

区传播到西太平洋,而在夏威夷群岛附近又出现了负相关。接下去,负相关又从“洋中槽”区向西传播,完成一个完整循环。从整个循环过程看,低频高度异常最先出现在夏威夷群岛附近,沿着副高脊线附近向西传播到中国东南沿海,这意味着北太平洋中部“洋中槽”区可能是 500 hPa 低频振荡的源地。另外,在整个循环中,青藏高原及其以北地区的相关区的符号也经历了一次改变,这反映了中高纬冷空气的活动以及青藏高原地区的低频振荡,这些问题有

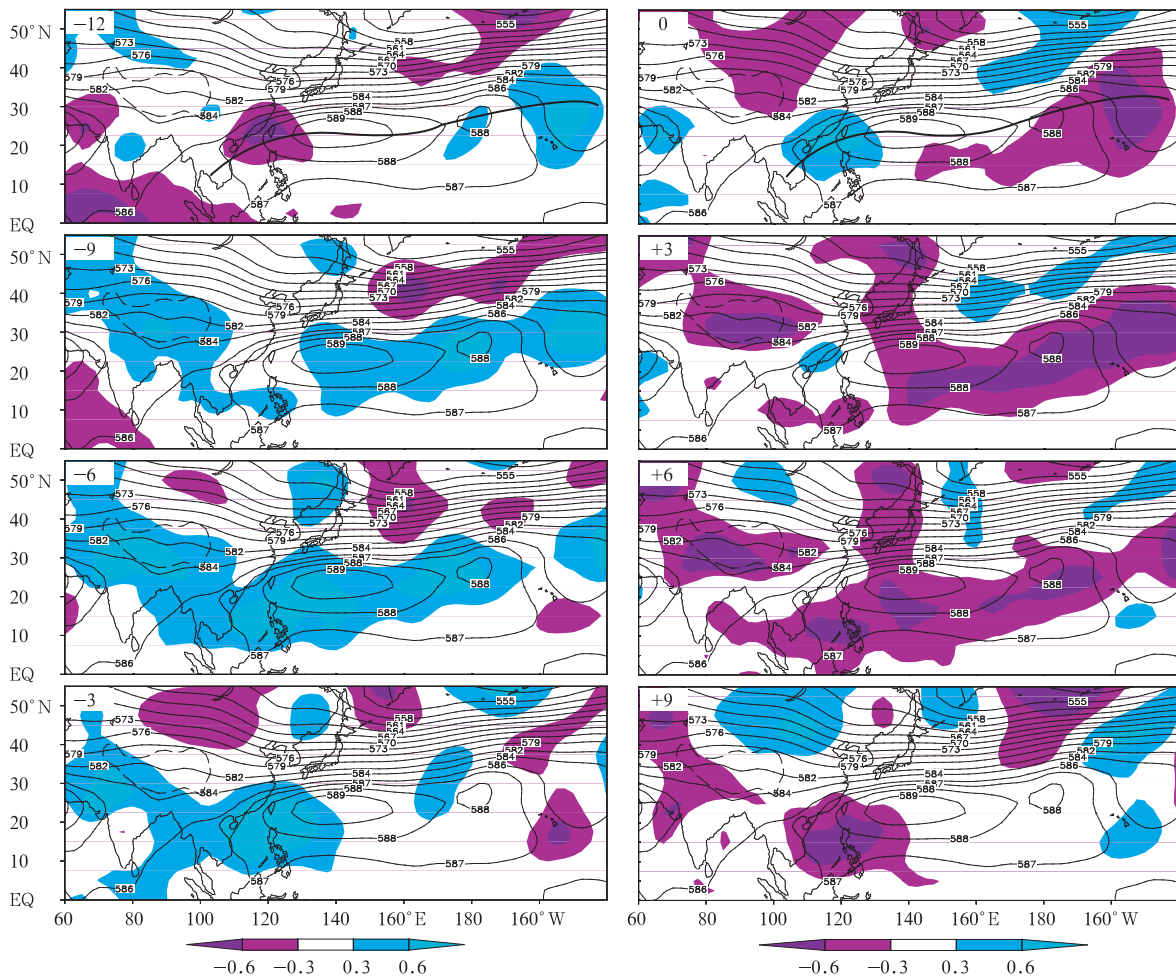


图6 15~35 d 滤波的江淮流域低频降水时间序列与 15~35 d 滤波的低频 500 hPa 位势高度场的时滞相关

(阴影区为信度检验超过 95% 的显著相关区,负时滞天数表示位势高度超前于降水,正时滞天数表示位势高度落后于降水,等值线为 5~7 月平均的位势高度,粗实线表示副高脊线,粗虚线表示地形高度大于 3000 m 的青藏高原)

Fig. 6 Lagged correlations (shading) between the 15–35-day filtered Changjiang-Huaihe rainfall anomalies and the 15–35-day filtered 500-hPa geopotential heights superimposed on the seasonal mean (1 May–31 July 1991) 500 hPa geopotential height field (dgpmm, contour)

(Critical positive (negative) values of the correlation exceeding the 95% significance level are darkly (lightly) shaded, thick solid line indicates the ridgeline of the subtropical anticyclone, negative lag such as -12 indicates that the geopotential height leads the rainfall, the opposite for positive lag; Thick dashed line denotes the Tibetan Plateau above 3000 m)

待进一步研究。

15~35 d 滤波的 500 hPa 高度场合成图(图略)进一步表明位势高度异常首先出现在夏威夷群岛附近,其北部中纬度扰动也发展,然后向西传播到中国东南沿海。而副高低频振荡的产生机制即可能与中高纬扰动有关,也可能与中太平洋局地强迫有关^[19]。

7 结论与讨论

小波分析表明 1991 年江淮梅雨期间降水低频振荡的主周期是 15~35 d。从振幅看,这种较强的低频振荡对 1991 年江淮流域洪涝的形成是有一定贡献的。在低空,15~35 d 振荡以异常反气旋(气旋)的形式在南海北部到东海地区交替出现,它自日本东南洋面向中国东南沿海传播,调控着西太平洋副高进入(退出)南海。低空的这种低频环流型与高空的偶极型涡旋对相耦合,偶极型涡旋对使得南亚高压东伸(西退),形成有利(不利)江淮流域降水的环流形势。

江淮流域降水的低频振荡与 500 hPa 北太平洋副高的低频变化及其传播密切相关。当北太平洋西部的位势高度偏高、中部位势高度偏低时,江淮流域降水偏多;反之偏少。从低频循环过程看,高度异常最先出现在太平洋中部夏威夷群岛附近,这一地区恰好是季平均 500 hPa 副高脊线断裂处,然后沿着副高脊线附近向西传播到中国东南沿海。这意味着北太平洋中部“洋中槽”区可能是北太平洋副高低频振荡的源地。

应当指出,本文只是个例研究,所得的结果不一定完全代表其他年份的情况。但是本文的结果可以为进一步研究的基础,例如低频的中高纬环流如何影响江淮流域的降水。当然,副热带低频振荡的产生机制更需要通过数值模拟来深入研究。

参考文献

- [1] Chen T C, Yen M C, Weng S P. Interaction between the summer monsoon in East Asia and the South China Sea: Intraseasonal monsoon modes. *J Atmos Sci*, 2000, 57: 1373—1392
- [2] Tao Shiyan, Chen Longxun. A review of recent research on the East Asian summer monsoon in China. In: Chang C P, Krishnamurti T N, eds. *Monsoon Meteorology*. UK: Oxford University Press, 1987. 60~92
- [3] 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(6): 730~736
Lu Er, Ding Yihui. Low frequency oscillation in East Asia during the 1991 excessively heavy rain over Changjiang-Huaihe river basin. *Acta Meteor Sinica (in Chinese)*, 1996, 54(6): 730—736
- [4] 陈丽臻,张先恭,陈隆勋. 长江流域两个典型旱涝年大气 30—60 天低频波差异的初步分析. *应用气象学报*, 1994, 5(4): 483~488
Chen Lizhen, Zhang Xiangong, Chen Longxun. A study of the difference of low-frequency oscillation between the typical flood/drought years in Changjiang valley. *Quart J Appl Meteor (in Chinese)*, 1994, 5(4): 483—488
- [5] Mao Jiangyu, Chan J C L. Intraseasonal variability of the South China Sea summer monsoon. *J Climate*, 2005, 18: 2388—2402
- [6] 陶诗言,徐淑英. 夏季江淮流域持久性旱涝现象的环流特征. *气象学报*, 1962, 32(1): 1~18
Tao Shiyan, Xu Shuying. Some aspects of the circulation during the periods of the persistent drought and flood in the Yangtze River and Huaihe River valley in summer. *Acta Meteor Sinica (in Chinese)*, 1962, 32(1): 1—18
- [7] 陶诗言,王作述,朱福康等. 中国夏季副热带天气系统若干问题的研究. 北京: 科学出版社, 1963. 145pp
Tao Shiyan, et al. On some aspects related to the subtropical weather systems over China in summer. Beijing: Science Press, 1963. 145pp
- [8] 黄士松,余志豪等. 副热带高压结构及其同大气环流有关问题的研究. *气象学报*, 1962, 31(4): 339~359
Huang Shisong, Yu Zhihao, et al. On the structure of the subtropical highs and associated aspects of the general circulation of atmosphere. *Acta Meteor Sinica (in Chinese)*, 31(4): 339—359
- [9] 黄士松. 副热带高压东西向移动及其预报的研究. *气象学报*, 1963, 33(3): 320~332
Huang Shisong. Zonal shift of the subtropical high and its forecast. *Acta Meteor Sinica (in Chinese)*, 1963, 33(3): 320—332
- [10] 陶诗言,张庆云,张顺利. 夏季北太平洋副热带高压系统的活动. *气象学报*, 2001, 59(6): 747~758
Tao Shiyan, Zhang Qingyun, Zhang Shunli. An observational study on the behavior of the subtropical high over the western Pacific in summer. *Acta Meteor Sinica (in Chinese)*, 2001, 59(6): 747—758
- [11] 吴国雄,刘屹岷,刘平. 空间非均匀加热对副热带高压带形成和变异的影响 I: 尺度分析. *气象学报*, 1999, 57(3): 257~263
Wu Guoxiong, Liu Yimin, Liu Ping. The effect of spatially non-uniform heating on the formation and variation of subtropical high. Part I: scale analysis. *Acta Meteor Sinica (in Chinese)*, 1999, 57(3): 257—263
- [12] Liu Yimin, Wu Guoxiong, Liu Hui, et al. Condensation heating of the Asian summer monsoon and the subtropical anticyclone in

- the Eastern Hemisphere. *Climate Dyn*, 2001, 17: 327–338
- [13] 丁一汇. 1991 年江淮流域持续性特大暴雨研究. 北京: 气象出版社, 1993. 255pp
- Ding Yihui. Persistent severe rainstorms over Changjiang-Huaihe River basin in 1991. Beijing: China Meteorological Press, 1993. 255pp
- [14] 叶笃正, 陶诗言, 李麦村. 在六月和十月大气环流的突变现象. *气象学报*, 1958, 29(2): 249–263
- Ye Duzheng, Tao Shiyang, Li Maicun. The abrupt changes of circulation over the Northern Hemisphere during June and October. *Acta Meteor Sinica* (in Chinese), 1958, 29(2): 249–263
- [15] Lau K M, Weng H. Climate signal detection using wavelet transform: How to make a time series sing. *Bull Amer Meteor Soc*, 1995, 76: 2391–2402
- [16] Torrence C, Compo G P. A practical guide to wavelet analysis. *Bull Amer Meteor Soc*, 1998, 79: 61–78
- [17] Lau K M, Yang G J, Shen S H. Seasonal and intraseasonal climatology of summer monsoon rainfall over East Asia. *Mon Wea Rev*, 1988, 116: 18–37
- [18] Chan J C L, Ai W, Xu J. Mechanisms responsible for the maintenance of the 1998 South China Sea summer monsoon. *J Meteor Soc Japan*, 2002, 80: 1103–1113
- [19] 杨燕, 李志锦, 纪立人. 1991 年夏季持续性异常环流的共轭敏感性分析. *大气科学*, 1998, 22(1): 69–82
- Yang Yan, Li Zhijin, Ji Liren. Adjoint sensitivity analyses on the persistent anomalous circulation during the summer of 1991. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 1998, 22(1): 69–82

INTRASEASONAL VARIABILITY IN THE YANGTZE-HUAIHE RIVER RAINFALL AND SUBTROPICAL HIGH DURING THE 1991 MEIYU PERIOD

Mao Jiangyu Wu Guoxiong

(LASG, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract

The NCEP/NCAR reanalysis data and observed daily rainfall from gauge stations were used to investigate the intraseasonal variability on heavy rainfall and its related atmospheric circulation anomalies during the 1991 meiyu period. It is emphasized that the intraseasonal variations of the subtropical high at different levels have close relationships with the 1991 extreme flood over the Yangtze-Huaihe river basin. Wavelet analyses show that the intraseasonal variation in the 1991 meiyu rainfall over the Yangtze-Huaihe river basin was mainly controlled by the 15–35 days (25-day mode) oscillation. An examination of circulation features suggests that the 15–35-day oscillation exhibited as an anomalous anticyclone (cyclone) in lower troposphere existing alternatively over the coast of southeastern China, which modulates the western North Pacific subtropical anticyclone shifting southwestward into (northeastward out of) South China Sea. Such a lower tropospheric flow pattern was coupled with a dipole anomaly in the upper troposphere, and the latter regulated the South Asian anticyclone extending northward and eastward (contracting southward and westward), forming a favorable (an unfavorable) circulation environment for heavy rainfall over the Yangtze-Huaihe river basin. The intraseasonal oscillation in the Meiyu rainfall was also closely related with the 15–35-day mode of the 500 hPa North Pacific subtropical high and its westward propagation. During the active phase with excessive rainfall over the Yangtze-Huaihe river basin, the 500 hPa geopotential height exhibited positive anomaly over the western North Pacific and negative anomaly over the central North Pacific. Opposite circulation anomaly was for break period. The 15–35-day oscillation of the 500 hPa North Pacific subtropical high might originate from around Hawaiian Islands, and then propagated westward along the vicinity of subtropical high ridgeline into the coast of southeastern China.

Key words: Yangtze-Huaihe meiyu rainfall, Intraseasonal oscillation, Subtropical high.