0577-6619/2010/68(5)-0740-47 *Acta Meteorologica Sinica* 气象学报

2007年淮河强降水时期低频环流特征*

李 勇 周 兵 金荣花
LI Yong ZHOU Bing JIN Ronghua

国家气象中心,北京, 100081
National Meteorological Center, *Beijing* 100081, *China*
2008-04-29 收稿,2008-08-22 改回.

Li Yong, Zhou Bing, Jin Ronghua. 2010. The characteristics of low frequency circulation during the heavy rainfall season over the Huaihe river basin in 2007. *Acta Meteorologica Sinica*, 68(5):740-747

Abstract The NCEP/NCAR reanalysis data and observed daily precipitation data were used to investigate the intraseasonal variability of heavy rainfall and circulation characteristics in Summer 2007. The results show that the intraseasonal variation of precipitation in summer 2007 over the Huaihe river basin was mainly controlled by the 10－25 days oscillation. The precipitation intensity in the Huaihe river basin was related to the corresponding low-frequency periods. The mostly rainfalls happened in positive phase of the low-frequency periods and ended or weakened evidently in negative phase. The precipitation low-frequency variability in the Huaihe river basin was related with the low-frequency evolvement of the western Pacific subtropical high and South Asia high and, also with the low-frequency variation of the cold airs over the mid-high latitudes. In the peak phase of the low-frequency periods, there is a low-frequency anticyclone in the higher troposphere, which caused the South Asia high to shift eastward its ridge line extending northward and favoured the westward and northward development of the western Pacific subtropical high developed, with low-frequency upward current existing in the whole troposphere. At the same time, the isentropic analysis indicates that positive potential vorticity appeared in the high-latitude areas. And the cold airs that reached southward the Huaihe river basin were more active than the normal. A favorable circulation environment for heavy rainfall over the Huaihe river basin was then formed. On the other hand, in the vale phase of the low-frequency periods, there is a low-frequency cyclone in the higher troposphere, caused the South Asia high to shift westward with its ridge line extending southward. The western Pacific subtropical high developed then eastward and southward with the low-frequency sinking motion existing throughout the troposphere with the negative potential vorticity appeared in the high-latitude areas and the cold airs reached the Huaihe river basin being less active than the normal. An unfavorable circulation environment for heavy rainfall over the Huaihe river basin was formed ultimately.

Key words Huaihe river basin precipitation, Intraseasonal oscillation, Circulation characteristic

摘 要 利用NCEP/NCAR再分析资料以及中国气象台站降水资料,研究了2007年夏季淮河流域强降水的低频振荡及其环流特征。结果表明,2007年夏季淮河流域强降水低频振荡的主要周期是10—25天。淮河流域降水强弱与对应低频周期存在联系,降水主要发生在低频周期的正位相时期,而在负位相时期结束或明显减弱。降水的低频变化一方面与副热带高压和南亚高压的低频变化有关,另一方面还受到中高纬度冷空气低频变化的影响。在低频周期的峰值位相,对流层高层出现的低频反气旋使南亚高压偏东,脊线偏北,并有利于西太平洋副热带高压向更西、更北的方向发展,整个对流层垂直方向上有低频的上升运动。中高纬地区出现大片正位势涡度,冷空气的低频活动显著偏强,南下侵入到中国淮河流域的冷空气较多,形成有利于淮河流域强降水的环流场。相反,在低频周期的谷值位相,对流层高层出现的低频气旋使南亚高压偏西,脊线偏南,不利于西太平洋副热带高压向更西、更北的方向发展,整个对流层垂直方向上有低频的下沉运动。高纬度冷空气的低频活动偏

* 资助课题:国家财政部/科技部公益类行业专项(GYHY200806011,GYHY200706005)、公益性行业(气象)科研专项(GYHY(QX)2007-6-1)和国家气象中心自筹资金项目"2007年极端降水事件大尺度环流异常特征分析"(ZK2007-12)。
作者简介:李勇,主要从事天气气候研究。E-mail:liy@cma.gov.cn

弱,南下侵入到中国淮河流域的冷空气也较少,最终形成不利于淮河流域强降水的环流场。

关键词　淮河降水,低频振荡,环流特征

中图法分类号　P426.6　P434

1　引　言

自从 Madden 等(1971)发现坎顿岛地区存在 40—50 天季节内振荡以来,众多学者在这一领域进行了大量的研究工作,进一步的研究发现季节内振荡不仅发生在热带地区,而且在全球范围内都存在(Madden,et al, 1972; Krishnamurti,et al, 1985; 李崇银, 1991; Ghil, et al, 1991),同时低频振荡的周期频带也不一定局限于 30—60 天(Madden,et al, 1994)。许多研究表明夏季中国东部地区降水与季节内振荡有关,具有显著的 30 d 和准双周低频振荡特征(Krishnamurti,et al, 1982; Lau,et al, 1988; He,et al, 1988;缪锦海等, 1991)。李桂龙等(1999)在研究大气环流不同时间尺度扰动对江淮流域夏季旱涝影响时发现,除准定常行星波的异常对江淮流域夏季旱涝有较为明显的影响外,大气低频变化也起着相当重要的作用。朱乾根等(2000)在讨论南海季风与中国南部低频降水的关系时,认为中国的低频降水在全部降水中占相当大的比重,并指出研究中国低频降水对于认识中国降水时空分布特征,进而作出预报有十分重要的意义。琚建华等(2005)研究指出强弱季风涌年,主要的低频振荡周期存在差异,强季风涌年准 30—60 天振荡的影响显著,而在弱季风涌年则以 10—20 天振荡为主。陆尔等(1996)在分析 1991 年江淮特大暴雨与东亚大气低频振荡时发现,中国东部夏季降水与低频振荡现象有密切关系。毛江玉等(2005)发现 1991 年江淮流域异常洪涝与 500 hPa 北太平洋副热带高压的低频变化有关,而不同年份江淮流域低频降水的周期也存在显著差异(Chen, et al, 2000)。张瑛等(2008)研究了 1998 年对流层及平流层低频振荡的传播特征与该年长江中下游夏季降水变化的关系,指出降水异常与低频气旋、反气旋的异常活动有关。2007 年夏季中国淮河流域以及川渝地区发生了严重的暴雨,淮河流域出现了仅次于 1954 年的流域性洪水,降水具有明显的阶段性特征,因此本文重点分析 2007 年夏季淮河流域降水的低频振荡及其环流特征。

2　资料与方法

本文使用了 2007 年 6—8 月全国 987 个站点的逐日降水资料及相应水平分辨率为 1°×1°的 NCEP 逐日资料。在分析周期以及提取低频信息中使用了小波分析及 Butterworth 带通滤波器。为了了解环流特征,文中还采用了位相合成分析的方法。

3　降水时空分布及环流特征

从 2007 年夏季 6—8 月总降水量空间分布(图 1a)可以清楚地看到,淮河流域及川渝地区存在明显的降水大值区,两地降水大值区中心值均超过

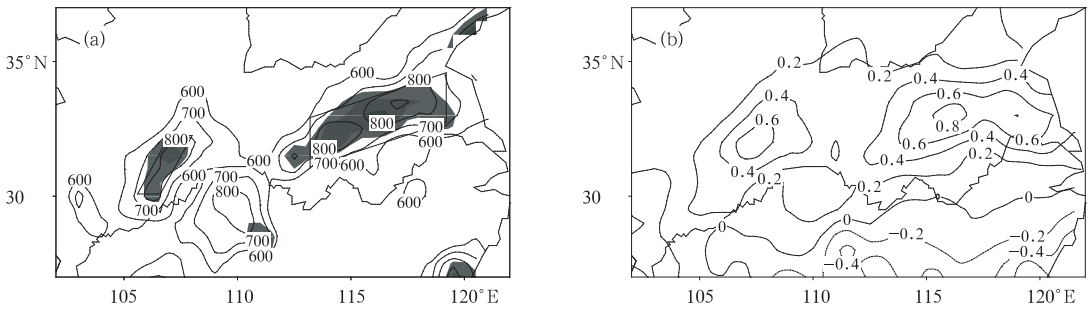


图 1　2007 年 6—8 月累积降水量(mm)空间分布(a)和 5 d 滑动日平均降水 EOF 分析第 1 模态空间分布(b)

(a 中阴影表示季节内变率标准差大于 18 mm/d; b 中 EOF 展开系数扩大 10 倍解释方差 20.75%)

Fig. 1　(a) Accumulated rainfall distribution (mm) and (b) the first EOF component spatial patterns of the 5-day running mean daily precipitation (EOF coefficient enlarged by 10 times) from June to August in 2007

(a: areas with intraseasonal variability standard deviation over 18 mm/d are shaded;

b: those enlarged account for 20.75% of the total variance)

1000 mm,同时较大的降水季节内变率标准差也意味着降水有着较强的季节内振荡。事实上,通过EOF分析可以发现,淮河流域以及川渝等地的强降水的确是2007年的一个主要模态,EOF第1空间模态(图1b)与实际总降水量的空间分布(图1a)极为相似,而第1模态的解释方差达到了20.75%。

由于淮河流域降水造成了流域性的洪水,因此我们以下主要分析淮河流域的强降水。为了了解降水时间演变规律,选择淮河流域降水量和标准差均较大的区域内站点作为参考站点,计算区域平均的降水序列。

从淮河流域降水序列时间演变曲线(图2)可以看到,夏季淮河流域降水异常存在明显的阶段性,在不同时期降水量有显著差异。6月中前期,由于副热带高压脊线位置较多年平均偏南(图略),淮河流域几乎没有出现明显的降水,与多年平均降水量相比,降水为负异常,到了6月中下旬,随着副热带高压向北移动,雨带也向北移动,淮河流域开始出现降水,值得注意的是,6月27日降水量突然增大,6月27日—7月9日淮河流域区域平均降水量达到28.02 mm,较多年平均值大20.10 mm。7月9日后降水量又迅速减少,随后降水量日变化不大,进入较为平稳的时期。

6月27日—7月9日降水异常偏大,主要洪涝

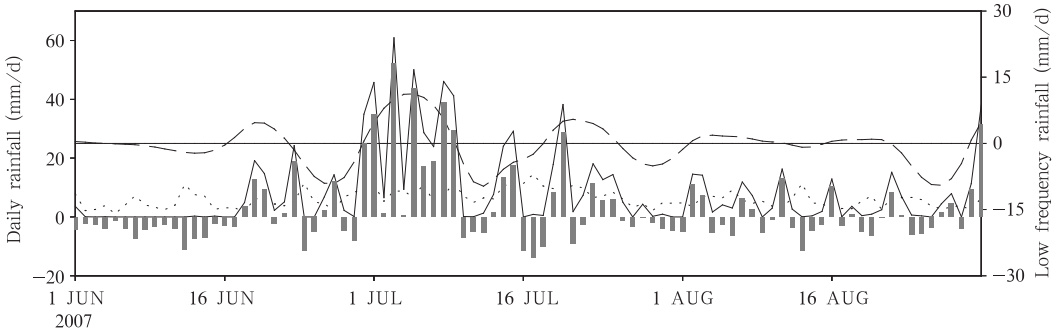


图2 2007年夏季淮河流域降水序列时间演变曲线

(实线表示实际降水序列,点线表示多年平均,柱线表示实际降水相对多年平均的距平序列,长虚线表示10—25天滤波的低频降水序列,参见右侧坐标)

Fig. 2 Time series of the precipitations for the Huaihe river basin in summer 2007

(solid line is the actual rainfall series, dot line denotes climatic mean, histogram is the daily rainfall anomaly against the climate mean, dashed line denotes the 10-25 day filtered low frequency rainfall series, with scale on the right ordinate)

灾害也发生在这一时段,从这一时期对应的平均大气环流场(图3)可以看到,低层850 hPa风场(图3a)上,中国南方存在明显的西南气流,这支西南气流由低纬度的两支气流汇合而成,一支是来自印度洋的偏西气流,另一支是来自西太平洋副热带高压南侧的偏东气流,两支气流在南海汇合并转向向北进入中国华南地区并北上至淮河流域。西南风在淮河流域风速突然减小,表明该地区存在显著的风速辐合。而此时的副热带高压(图3b)西脊点已经跃过120°E,位于中国大陆上空,105°E附近的中纬度地区存在一个高度脊,沿着高空脊前的西北气流与来自南方的西南气流在淮河流域汇合,冷暖空气的交汇是造成降水的重要原因。在对流层高层200 hPa(图3c)流场上,南亚高压中心位于孟加拉湾北部95°E附近,28°N附近的高压脊线一直向东伸展至西太平洋,此时淮河流域位于南亚高压脊线北侧,上空为高空西风急流入口区右侧的辐散气流,存在上升运动。此外,南亚高压向东伸展,高压南北两侧的东西风带中扰动时有发展,这些扰动的发展影响副热带高压的东西进退(姚秀萍等, 2007)进而影响降水的发生。从高低空副高脊线的配置来看,低空西太平洋副热带高压脊线位于25°N以南,较南亚高压脊线位置偏南,副高脊线随高度向北倾斜,在中国东部地区强迫出一个动力性的局地次级经向环流,高层为偏北风,低层为偏南风,上升运动位于淮河流域,下沉运动位于华南地区,这种相对稳定的大尺度环流场受到扰动后,上升运动及降水很容易被迅速激发,这与吴国雄等(2008)的结果是一致的。这种特定的高低层副热带高压脊线的配置是淮河流域强降水发生的重要背景。

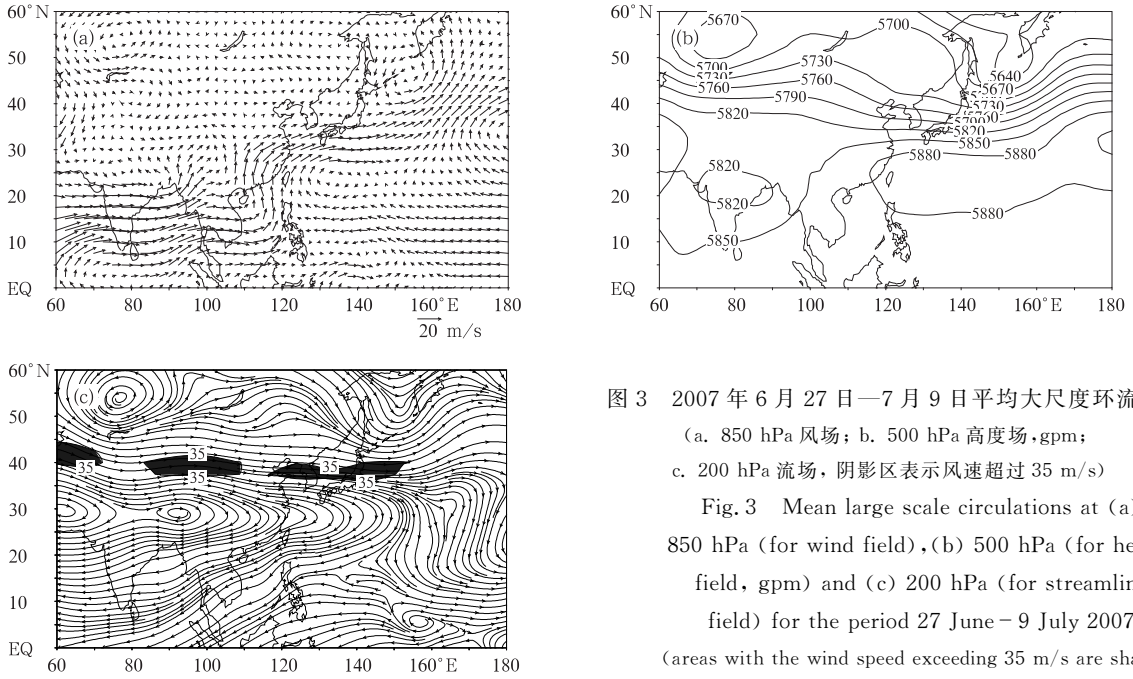


图 3　2007 年 6 月 27 日—7 月 9 日平均大尺度环流场
(a. 850 hPa 风场; b. 500 hPa 高度场,gpm;
c. 200 hPa 流场, 阴影区表示风速超过 35 m/s)
Fig. 3　Mean large scale circulations at (a) 850 hPa (for wind field), (b) 500 hPa (for height field, gpm) and (c) 200 hPa (for streamline field) for the period 27 June－9 July 2007 (areas with the wind speed exceeding 35 m/s are shaded)

4　淮河降水的低频振荡

从图 2 中还可以看到,淮河流域强降水发生有着非常显著的阶段性特征,表现为明显的季节内振荡。为了了解淮河降水的低频周期,我们对降水序列进行小波分析(图 4),2007 年淮河流域降水存在 10—25 天以及 30—60 天振荡,无论是哪个低频振荡周期,其 6 月底至 7 月上旬的小波系数明显偏大,表明在这一时段降水异常明显,而 10—25 天频率振荡的解释方差占总方差的 19%,远大于 30—60 天周期频带的解释方差,图 2 中长虚线表示的正是 10—25 天这个频带的滤波曲线。这一结果也说明了降水的低频振荡对淮河流域洪涝有重要影响。

图2中显示的10—25d低频振荡序列存在3

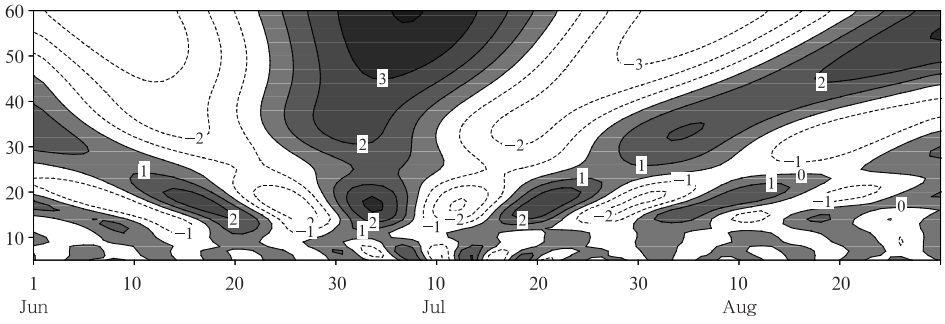


图 4　2007 年夏季淮河流域降水序列小波分析(阴影表示小波系数大于零)
Fig. 4　Wavelet analyses of the precipitation for the Huaihe river basin in summer 2007 (areas with positive coefficients are shaded)

次较为明显的循环。分别为 6 月 16—28 日、6 月 28 日—7 月 18 日、7 月 18 日—8 月 1 日。事实上,这 3 个时段与降水发生时段有很好的对应关系。从 6 月 19 日开始,江淮流域进入梅雨期,而此前的 6 月 16 日开始,就进入了淮河降水的一个低频振荡周期,入梅日是处于淮河流域降水的第 1 个低频振荡周期的峰值日附近。6 月 28 日,淮河流域降水进入第 2 个低频周期时,降水量突然增大,最大低频降水出现在 7 月 5 日附近,6 月 30 日至 7 月 9 日淮河流域降水最为集中的时段正好处于第 2 个低频降水周期的正

位相阶段。此后7月下旬至8月初是降水的第3个低频周期,但该周期降水强度相对于第2周期已明显减弱,第3个周期的正位相期是7月18—25日,而梅雨结束的日期是7月26日,即淮河降水第3个周期正位相结束后,梅雨也同时结束。综上可见,淮河流域降水强弱与对应低频周期存在某种程度的联系,强降水主要发生在低频周期的正位相时期,而在负位相时期结束或明显减弱。

5 大气环流的低频变化

降水异常通常受到大尺度环流乃至行星尺度环流异常的制约,为了了解造成淮河流域强降水的低频大气环流特征,我们对高度场和风场分别进行10—25 d的带通滤波。然后分析淮河流域强降水期的低频环流特征。

从淮河流域降水低频序列不同周期峰谷位相的合成图(图5)可以看到,在低频周期的峰值位相,对流层中下层850 hPa(图5a)上,中国东南沿海地区存在一个低频反气旋,该反气旋西北侧的低频西南风有利于水汽向淮河流域输送,这个低频反气旋还使得副热带高压向更西、更北方向发展。高空200 hPa风场(图5b)上,中纬度地区存在一个异常低频气旋和反气旋对,反气旋中心位于(35°N,110°E)附近,该反气旋使南亚高压异常偏东,并使脊线异常偏北,增强了淮河流域上空的大尺度辐散抽吸作用,有利于淮河流域深对流的发展和维持。相反,在淮河流域降水低频周期的谷值位相,850 hPa(图5c)上一个低频气旋位于中国东南沿海一带,这个低频气旋阻止了副热带高压的向西发展,使副热带高压西伸脊点偏东,不利于水汽向淮河流域输送,同时高空200 hPa(图5d)上,原本峰值位相时的低频反气旋被低频气旋所代替,造成南亚高压在中国东部明显偏弱,脊线位置偏南,淮河流域上空处于辐合环境中,不利于深对流的发展。

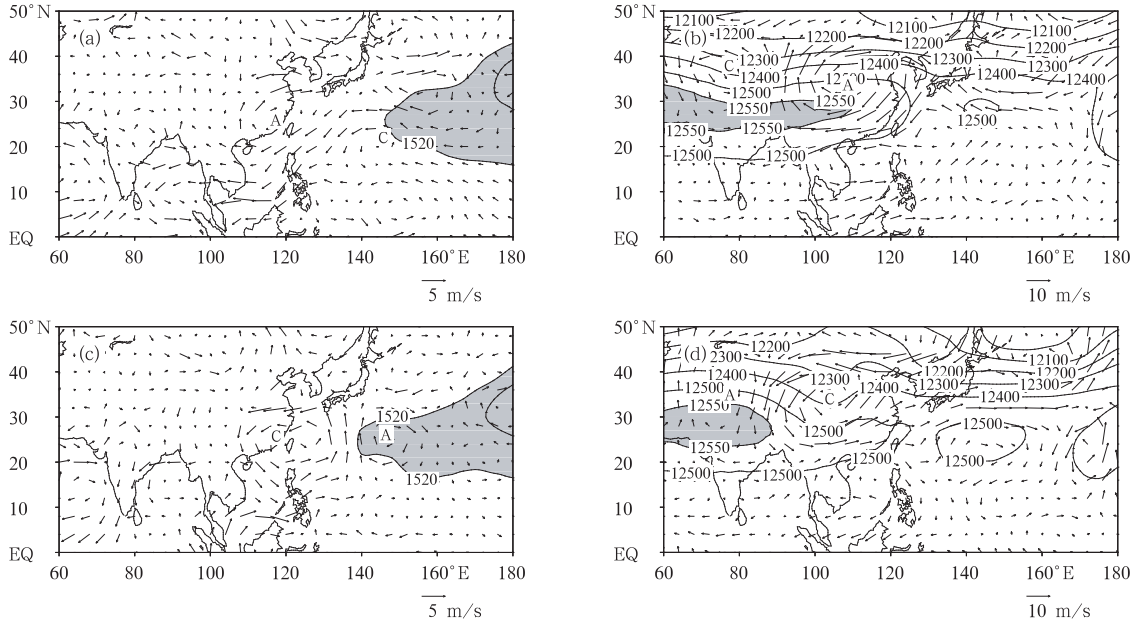


图5 合成的低频峰(a、b)、谷(c、d)值位相风场(风矢,m/s)以及原始高度场(实线,gpm)
(a、c. 850 hPa,阴影表示位势高度大于1520 gpm; b、d. 200 hPa;阴影表示位势高度大于12550 gpm)

Fig. 5 The composite 10－25-day filtered wind fields (vector) and original height fields (line) during the peak phase (a,b) and vale phase (c,d) of the low frequency periods at 850 hPa (a and c: areas over 1520 gpm are shaded) and (b,d) 200 hPa (b and d: areas over 12550 gpm are shaded)

高低空系统的差异在垂直方向上也同样有所反映,在滤波后垂直速度沿33°N纬圈的高度经度剖面(图6)中可以看到,在淮河降水的峰值位相(图6a),110°—120°E的整个对流层几乎全部为上升气流,特别是在对流层中下层,气流的上升速度明显较大,但最大上升速度中心并不在淮河流域,而是位于108°E

淮河流域以西的地区,这一最大上升速度区域可能与同期川渝地区的强降水关系更为密切。在淮河降水的谷值位相(图 6b),情况正好相反,原本在峰值位相的上升气流均变为下沉气流,最大风速中心位置没有显著变化,这种相反的垂直环流场表明淮河流域强降水在不同低频位相时的环流差异,同时也反映了大气环流的低频变化在淮河降水低频变化中的作用,即降水发生在有利的低频环流场中。

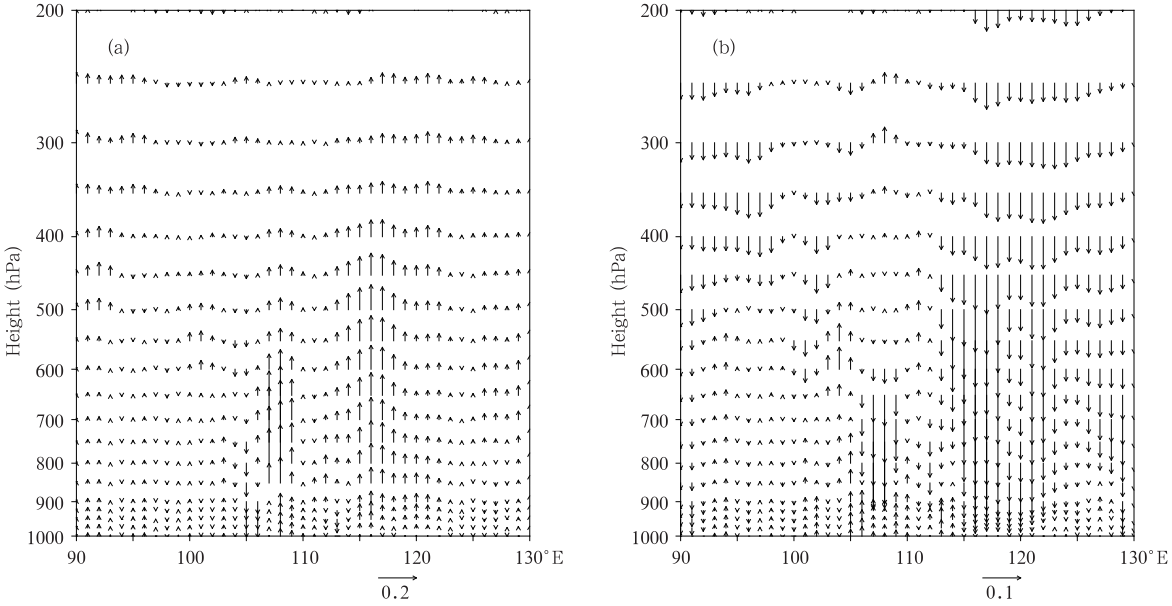


图 6　合成的 33°N 低频峰(a)、谷(b)值位相垂直速度(Pa/s)高度-经度剖面

Fig. 6　Composite altitude-longitudinal cross sections of 10－25-day filtered vertical velocity (Pa/s) along 33°N for the peak (a) and vale phase (b) of the low frequency periods

通常中高纬冷空气的活动可以用等熵面位涡来表示,为了进一步说明淮河降水时期低频冷空气的异常活动,我们选用 340 K 等熵面位涡作为示踪物。就纬向平均而言,夏季 340 K 位温层在中高纬度位于 350 hPa 附近,而在副热带地区则位于 300 hPa 附近,它的异常反应了对流层上部冷空气的活动。图 7 给出了与淮河流域低频降水周期的峰谷位相对应的合成的 340 K 等熵面位涡分布。在低频降水峰值位相(图 7a),340 K 等熵面图上的显著特征是中纬度地区有一大片高位涡区,中心位于 45°N 附近,表明高纬度的冷空气异常活跃,南下势力较强。而贝加尔湖北部的负位涡区表明贝加尔湖及其以北地区的高压脊发展强盛,并向东北方向延伸,使在高纬度地区堆积的冷空气沿着亚洲大陆东部南下侵入到中国淮河一带,与来自低纬的西南暖湿气流在淮河流域汇合,中国南方大陆上为负的位涡也表明此时副热带高压偏强,向北的暖湿气流相对较强。在淮河降水低频周期的谷值位相(图 7b),中纬度地区出现一致的大片负位涡区,贝加尔湖及其南部地区有一个异常强的负位涡中心,该负中心一直向东扩展至大陆边缘,这样的形势表明中纬度地区高压脊异常偏东,阻断了高纬度冷空气的南侵,同时中国南方大陆上空被负的位涡区控制,副热带高压强度偏弱,在这个低频位相,冷空气很少能够到达中国淮河流域,来自南方暖湿气流也较弱。此外,等熵位涡向南侵袭还可能与西太平洋上空反气旋环流有关。低频降水峰值位相,南亚高压异常偏东使得在西太平洋上空对流层高层存在反气旋环流,这种反气旋环流东侧的偏北气流会引导高纬正位涡向南侵袭,并沿反气旋南侧偏东气流向西移动到达中国大陆东岸,有利于中国东部降水的发生(Guo, et al,2008)。而在低频降水谷值位相,由于南亚高压相对较弱,西太平洋对流层高层反气旋环流相对较弱,向南的正位涡平流也较弱。

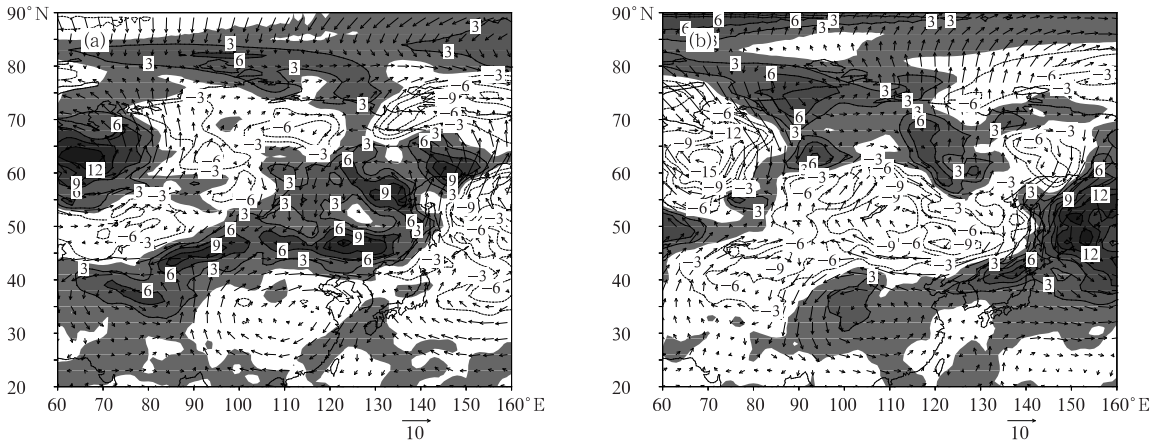


图 7 合成的低频峰(a)、谷(b)值位相 340 K 等熵面位涡(单位:10^{-6} m^{2}K/(s·kg))及风场(m/s)分布
(阴影表示正位涡区域)

Fig. 7 Composite 340 K isentropic potential vorticity (10^{-6} m^{2}K/(s·kg)) and wind (m/s) fields for the peak (a) and vale phase (b) of the low frequency periods (areas with positive vorticity are shaded)

6 结论与讨论

小波分析表明 2007 年夏季淮河降水低频振荡的主要周期为 10—25 d,该频带方差贡献占降水总方差的 19%,可见这一频带信号对于淮河降水具有重要贡献。事实上,江淮梅雨开始日以及淮河流域较强的降水均出现在低频周期的正位相阶段,而在低频周期正位相结束后梅雨天气也随之结束,同时在低频降水的负位相阶段淮河流域降水量明显减少。

淮河降水低频周期的峰谷位相环流存在显著差异。在低频周期的峰(谷)值位相,对流层低层,中国东南沿海地区存在的低频反气旋(气旋)使得副热带高压增强(减弱),有利于(不利于)水汽向淮河流域输送,而在对流层高层中纬度地区的低频反气旋(气旋)也使南亚高压偏东(西),脊线偏北(南),对应在淮河流域的整个对流层垂直方向上有低频的上升(下沉)运动。此外,冷空气的低频活动显著偏强(弱),南下侵入到中国淮河流域的冷空气较多(少),形成有(不)利于淮河流域强降水的环流场。总之,淮河强降水的低频环流场是有利于产生降水的大尺度环流形势场,大气低频变化对淮河降水有重要的作用。

从本文的分析结果来看,淮河流域降水的低频变化与副热带高压和南亚高压的低频变化密切联系,同时还与亚洲大陆中高纬度冷空气的低频活动有关,它们的异常会导致有利于或不利于淮河流域强降水的低频背景场的异常,但仅仅有这样的环流背景场是远远不够的。尽管夏季中国江淮地区降水发生时对应需要有类似的背景场,但降水的年际差异依然非常明显,这表明在满足大尺度环流背景的情况下,具体的降水异常可能还与其他因素有关联。比如低涡系统的异常传播。事实上,我们在研究的过程中发现,伴随 2007 年夏季淮河降水异常,850 hPa 上涡度也有与降水相似的时空演变特征,因此降水的低频演变可能还与低涡系统的低频传播有关。需要指出的是,本文仅仅研究了 2007 年淮河降水的低频环流特征,对低频振荡的产生机制并未做过多讨论,同时,这仅仅是一次淮河降水的个例研究,由于夏季江淮流域降水低频变化有明显的年际差异,因此不一定完全代表其他年份的情况,但可作为进一步深入研究淮河降水异常机理的基础。

参考文献

琚建华, 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):163K-171

李崇银. 1991. 大气低频振荡. 北京:气象出版社, 1-2

李桂龙, 李崇银. 1999. 江淮流域夏季旱涝与不同尺度大气扰动的关系. 大气科学, 23(1):39-50

陆尔, 丁一汇. 1996. 1991 年江淮特大暴雨与东亚大气低频振荡. 气象学报, 54(6):730-736

毛江玉, 吴国雄. 2005. 1991 年江淮梅雨与副热带高压的低频振荡. 气象学报, 63(5):762-770

缪锦海，刘家铭. 1991. 东亚夏季风降水中30—60天低频振荡. 大气科学，15(5):65-71

吴国雄,刘屹岷,宇婧婧等. 2008. 海陆分布对海气相互作用的调控和副热带高压的影响. 大气科学，32(4)：720-740

姚秀萍,吴国雄,刘屹岷等. 2007. 热带对流层上空东风带扰动影响西太平洋副热带高压的个例分析. 气象学报，65(2)：198-207

张瑛，陈隆勋，何金海等. 2008. 1998年夏季亚洲地区低频大气环流的特征及其于长江中下游降水的关系. 气象学报，66(4)：577-591

朱乾根,徐国强. 2000. 1998年夏季中国南部低频降水特征与南海低频夏季风活动. 气象科学，20(3)：239-248

Chen T C, Yen M C, Weng S P. 2000. Interaction between the summer monsoon in East Asia and the South China Sea: Intraseasonal monsoon modes. J Atmos Sci, 57:1373-1392

Ghil M, Mo K. 1991. Intraseasonal oscillations in the global atmospheric. Part Ⅰ: Northern hemisphere and tropics. J Atmos Sci, 48:752-779

Ghil M, Mo K. 1991. Intraseasonal oscillations in the global atmospheric. Part Ⅱ: Southern hemisphere. J Atmos Sci, 48:780-792

Guo L, Liu Y. 2008. The effects of diabatic heating on asymmetrie instability and the Asian extreme climate events. Meteor Atmos Phys, 100:195-206.

He Jinhai, Chen Lizhen. 1988. The southern hemisphere mid-latitude quasi-40-day periodic oscillation with its effect on the northern hemisphere summer monsoon circulation. Acta Meteor Sinica, 2(3):331-339

Krishnamurti T N, Gadgil S. 1985. On the structure of the 30－50 day mode over the globe during FGGE . Tellus Ser A, 37:336

Krishnamurti T N, Subrahmanyan D. 1982. The 30－50 day mode at 850mb during MONEX. J Atmos Sci, 39: 2080-2095

Lau K M, Yang G J, Shen S H. 1988. Seasonal and intraseasonal climatology of monsoon rainfall over East Asia. Mon Wea Rev, 116:18-37

Madden R A, Julian P R. 1971. Detection of a 40－50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific. J Atmos Sci, 28: 702-708

Madden R A, Julian P R. 1972. Description of global-scale circulation cells in the tropics with a 40－50 day period. J Atmos Sci, 29:1109-1123

Madden R A, Julian P R. 1994. Observations of the 40－50 day tropical oscillation:A review. Mon Wea Rev, 122(5):814-837