

# 初夏亚洲季风区环流低频振荡与长江下游持续暴雨

杨秋明

(江苏省气象台,南京 210008)

## 提 要

利用主成份分析和非整数波功率谱分析研究了1991年初夏亚洲季风区逐日500hPa环流的时空分布特征。结果表明,主成份分析得到的前5个特征向量的空间分布与各个季风系统的活动有关,其时间系数存在显著的12—22天准周期振荡和28—31,43—65天的低频振荡周期,它们与长江下游暴雨形成有密切联系。当第一主成份从谷点上升且第二主成份稳定地增大(减小)时,长江下游出现持续暴雨。亚洲副热带海洋加热异常和海陆热力差异产生的不均匀加热分布激发的各种低频波及其相互作用导致向热带外能量频散的异常,是引起长江下游持续暴雨的主要原因。

**关键词:**主成份分析,低频振荡,持续暴雨。

## 1 引 言

初夏亚洲季风区环流异常是影响长江下游洪涝的主要因素<sup>[1,2]</sup>,而对于北半球亚洲副热带地区来说,大气环流变化具有更显著的30—60天低频振荡周期,还存在相当明显的15—25天准周期振荡,并且它们与季风的爆发、维持和中断密切联系<sup>[3,4]</sup>,对梅雨期的活跃与不活跃起重要的调制作用。因此,研究亚洲夏季季风区大气环流的30—60天低频振荡和较低频率的15—25天准周期振荡的特征,对于长江下游降水中期预报是很重要的。本文用逐日500hPa高度距平场资料,详细分析1991年初夏(5月1日—7月31日)亚洲季风区环流的时空分布特征及其与长江下游持续暴雨的关系。

## 2 资料和方法

本文用国家气象中心提供的1991年5月1日—7月31日逐日北半球500hPa高度场资料(5°纬度×10°经度),选取亚洲夏季季风区范围(15°—40°N,0°—180°E)计算逐日格点高度距平 $H'$ ( $H' = H - \bar{H}$ ,  $\bar{H}$ 为该格点1971—1990年20年平均值)为基本资料。长江下游降水量采用南京、扬州、常州、苏州和南通五站逐日降水量之和,若降水量大于50mm且小于250mm,为一般降水,降水量大于250mm,为区域性暴雨,见图2或图3下方的水平虚线(一般降水时段)和水平实线(持续暴雨时段)。在东半球副热带地区选取均匀分布

的 54 个格点(15°, 25°, 35°N; 以 5°E 开始, 每隔 20°取一个格点, 20°, 30°, 40°N; 从 10°E 开始, 每隔 20°取一个格点)进行主成份分析。设  $H'_{ij}$  为第  $i$  天第  $j$  个格点上的高度距平值, 则资料阵为  ${}_M F'_N = (H'_{ij})$ ,  $i = 1, 2, \dots, M$ ;  $j = 1, 2, \dots, N$  ( $M = 92, N = 54$ )。为了消除纬际变化差异, 对  $H'_{ij}$  进行标准化处理, 得到

$$H^*_ij = \frac{H'_{ij} - \overline{H'_{ij}}}{\sigma_j} \quad (1)$$

式(1)中  $\overline{H'_{ij}}$ ,  $\sigma_j$  为第  $j$  个格点上的均值和均方差。所以基本资料阵变为  ${}_M F_N = (H^*_ij)$ 。对  ${}_M F_N$  进行主成份分析(EOF 分解)

$${}_M F_N = {}_M T_L X^T_N \quad (2)$$

式(2)中  ${}_M T_L, X_N$  分别为时间系数矩阵和特征向量构成的矩阵(其列向量  $X_i$  对应着前  $L$  个特征值  $\lambda_i$ , 且  $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_L$ )。本文中取前  $L$  个方差贡献分别大于 5% 的特征向量作为高度距平场的基本空间分布型, 其对应的时间系数(主成份)变化反映了各种频率的波的演变。由于本文中时间序列长度  $M = 92$  天, 采用整数波功率谱分析只能得到不大于 46 天( $M/2$ )的周期, 因此, 必须用非整数波功率谱分析<sup>[5]</sup>计算得到 3—92 天范围内的显著周期。非整数波功率谱分析中非整数功率谱与试验周期所对应的回归方程(即

$$t_K(i) = a_0 + a_k \cos \frac{2\pi i}{T_k} + b_k \sin \frac{2\pi i}{T_k}$$

式中,  $t_K(i)$  为第  $K$  个主成份,  $i = 1, 2, \dots, 92$ ;  $T_k = \frac{M}{k}$ ,  $M = 92$ ,  $k$  为非整数波数,  $T_k = 3, 4, \dots, 92$  天)的复相关系数的平方( $R^2$ )成正比。可以用  $F$  检验确定显著非整数波功率谱和周期,  $F_{0.05} = 3.85$ ,  $F_{0.01} = 4.10$ , 自由度为  $\nu = 2, M - \nu - 1 = 89$ 。采用带通滤波方法<sup>[6]</sup>对  $t_K(i)$  进行滤波得到最显著振荡周期位相变化, 然后再分析其位相与持续暴雨的关系。

计算公式如下: 设  $\tilde{t}_K(i)$  是  $t_K(i)$  经过平滑后的主成份,

$$\tilde{t}_K(i) = a'_0(t_K(i) - t_K(i-2)) - b'_1 \tilde{t}_K(i-1) - b'_2 \tilde{t}_K(i-2) \quad (3)$$

$$i = 3, 4, \dots, M;$$

式(3)中,  $a'_0 = \frac{2\Delta\Omega}{4 + 2\Delta\Omega + \Omega_0^2}$ ,  $b'_1 = \frac{2(\Omega_0^2 - 4)}{4 + 2\Delta\Omega + \Omega_0^2}$ ,  $b'_2 = \frac{4 - 2\Delta\Omega + \Omega_0^2}{4 + 2\Delta\Omega + \Omega_0^2}$ ,

其中

$$\Delta\Omega = 2 \left| \frac{\sin(\omega_1 \Delta t)}{1 + \cos(\omega_1 \Delta t)} - \frac{\sin(\omega_2 \Delta t)}{1 + \cos(\omega_2 \Delta t)} \right|$$

$$\Omega_0^2 = \frac{4 \sin \omega_1 \Delta t \sin \omega_2 \Delta t}{(1 + \cos(\omega_1 \Delta t))(1 + \cos(\omega_2 \Delta t))}$$

当  $\omega = \omega_1, \omega_2$  时, 响应为 0.5,  $\omega = \omega_0$  响应为 1.0。  $M = 92, \Delta t = 1d, \omega_1 = \frac{2\pi}{T_1}, \omega_2 = \frac{2\pi}{T_2}, \omega_0^2 = \omega_1 \omega_2$ , 这样可对  $t_K(i)$  作通过频率  $[\omega_2, \omega_1]$  的带通滤波得到新的序列  $\tilde{t}_K(i)$ , 它反映了周期为  $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0}$  的振荡的位相变化。

### 3 结果分析

在亚洲夏季风区范围内 51 个格点上,对 1991 年 5 月 1 日 - 7 月 31 日 500hPa 逐日

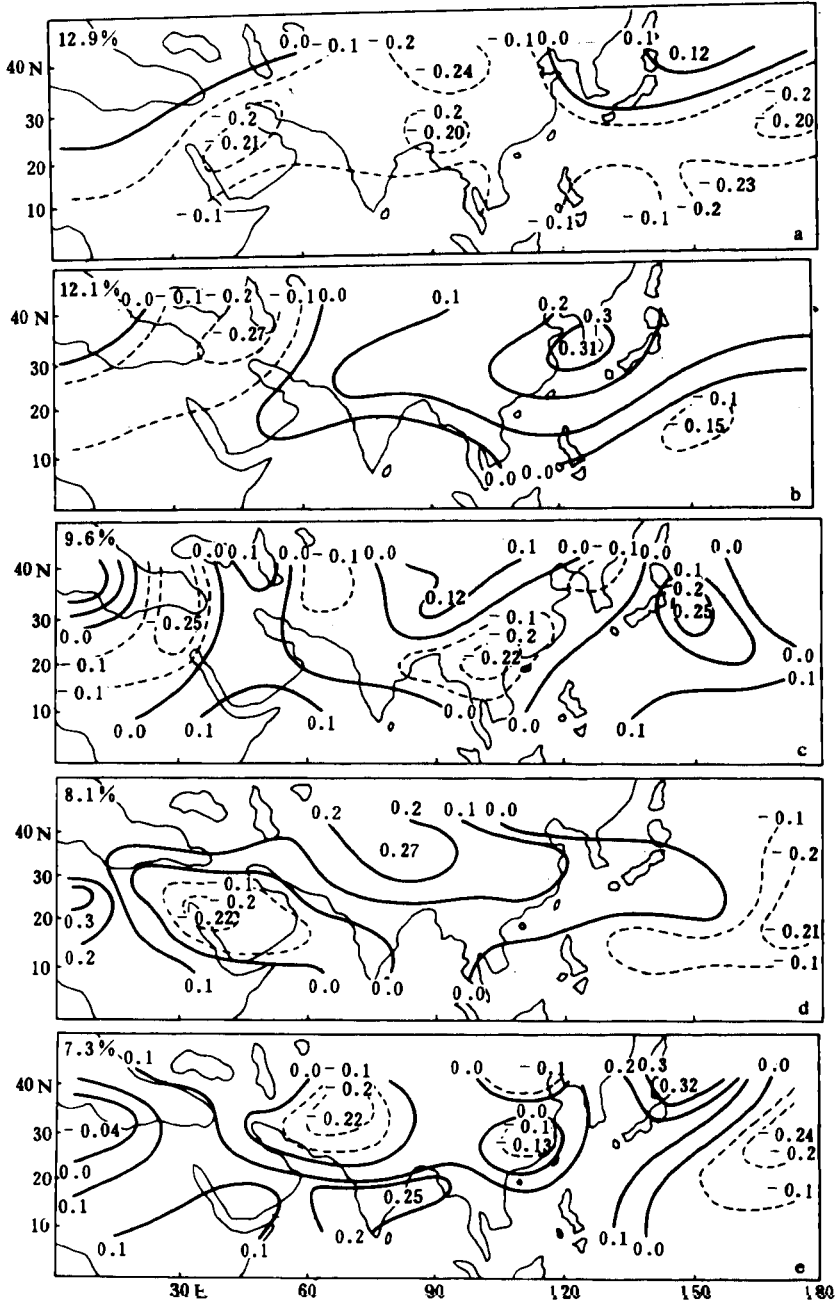


图 1 1991 年初夏亚洲季风区 500hPa 高度距平场主要的空间分布型(a)第一特征向量(b)第二特征向量(c)第三特征向量(d)第四特征向量(e)第五特征向量

高度距平场进行主成份分析,结果见表 1 和图 1。前 5 个特征向量的方差贡献都大于 5%,累积方差贡献为 50%。

表 1 主成份分析前 5 个特征值和方差贡献

$j$	1	2	3	4	5
$\lambda_j$	6.97	6.55	5.16	4.39	3.94
$\lambda_j/54.0\%$	12.9	12.1	9.6	8.1	7.3

### 3.1 1991 年初夏亚洲季风区 500hPa 环流变化主要的空间分布型

#### (1) 第一型

图 1(a)是第一空间分布型,以负值分布为主,最大负值中心在青藏高原(35°N, 80°E)附近,沿 20°N 为一显著负极值分布带。它反映了青藏高原及附近地区非季节纬向加热分布的不均匀对高度距平场的影响,它在初夏亚洲季风区环流变化中具有最大的方差贡献(12.9%)。

#### (2) 第二型

图 1(b)是第二空间分布型,以沿纬圈分布为主,最大正负值中心分别在黄海附近、西亚阿拉伯半岛、菲律宾以东地区,表现为显著的从西太平洋—中国东部沿海—青藏高原到西亚地区正负变化率相间分布的波列结构。反映了季风区沿纬圈加热不均匀变化对高度距平场的作用,与副热带高压的进退及东南季风的的活动有密切联系。

#### (3) 第三型

图 1(c)是第三空间分布型,在青藏高原、东南亚(南海附近)到日本东部洋面和阿拉伯半岛北部有两支明显的定常波列结构。反映了南海加热异常和非洲北部海陆热力差异的作用,对应于南海季风活动,与 110°E 附近越赤道气流有关。

#### (4) 第四型

图 1(d)是第四空间分布型,正负极值中心分别在太平洋中部,青藏高原西部,阿拉伯半岛西部和北非附近。也反映了太平洋中部,青藏高原西部和西亚沿纬圈加热异常的作用。

#### (5) 第五型

图 1(e)是第五空间分布型,表现为从印度东部经过中国东部、日本东部到国际日期变更线附近是一支显著正负变率分布的波列结构。另外,青藏高原西部还有一个较大的与印度半岛附近变化率相反的负极值中心。说明该地区可能存在一个显著的垂直环流圈,它的存在直接决定印度季风的强度。

以上分析表明,1991 年初夏亚洲季风区特点是青藏高原及附近地区正负变化率相间分布的波列结构显著和各季风系统异常活跃。

### 3.2 空间分布型的时间变化及其与长江下游持续暴雨的关系

图 2 是前 5 个空间分布型所对应的时间系数逐日变化曲线(分别记为  $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5$ )、图 3 是第一、二主成份最显著周期的带通滤波曲线(分别为 20—25 天和 60—70 天)和长江下游持续降水时段。首先对时间系数序列进行非整数波功率谱分析,精确计算 30—60 天

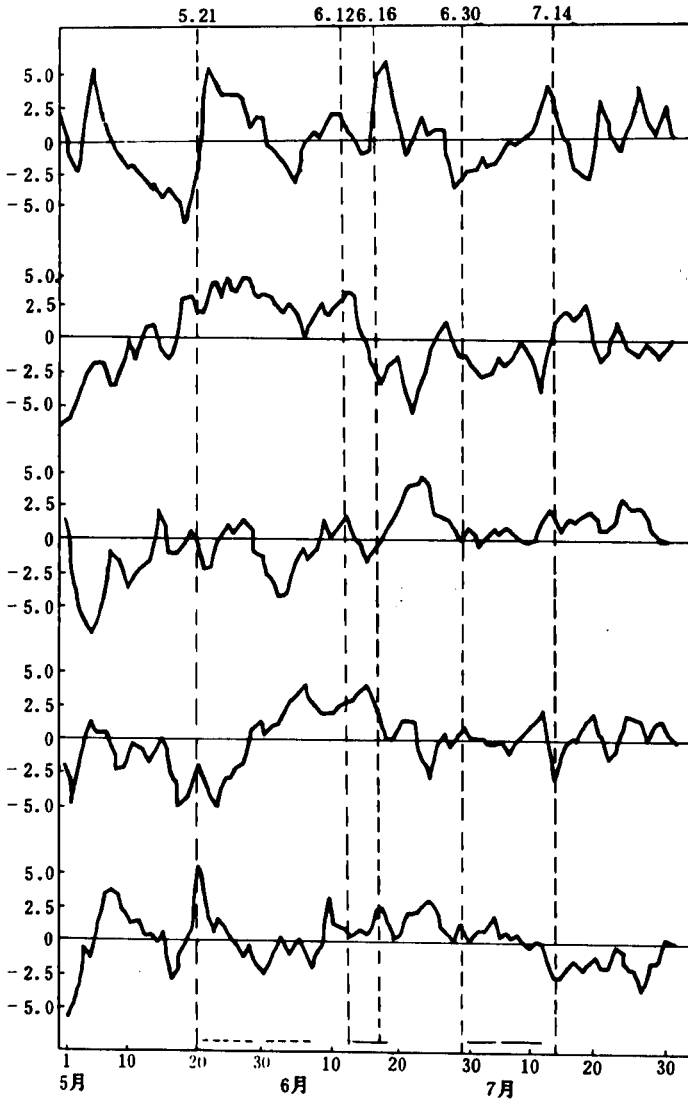


图2 时间系数逐日变化曲线

(图下方实线为持续暴雨时段,虚线为一般连续降水时段)

和

表2 非整数波功率谱分析结果

主成份	显 著 周 期		显 著 周 期		显 著 周 期	
1	16	(8.5)	22	(23.2)	49	(5.3)
2	17	(6.6)	52	(31.1)	65	(32.2)
3	15	(7.0)	31	(18.7)		
4	28	(6.3)	53	(24.0)		
5	12	(6.6)	15	(9.7)	43	(16.2)

(表中周期单位为天,括号中为对应的F值,  $F_{0.05} = 3.85, F_{0.01} = 4.10$ )

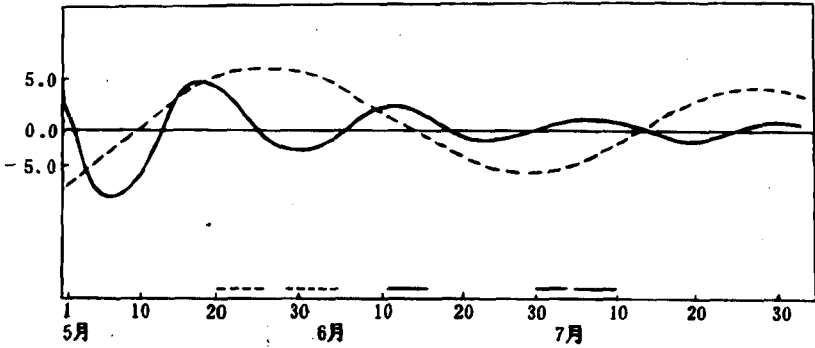


图3 第一、二主成份带通滤波曲线

(实线是第一主成份 20—25 天带通滤波, 虚线是第二主成份 60—70 天带通滤波, 其它同图 2)

15—25 天准周期振荡, 结果见表 2。从表 2 可以看出  $t_2$ 、 $t_1$  最显著周期大于 50 天,  $t_3$  为 31 天,  $t_5$  为 43 天, 而  $t_1$  为 22 天。这五种不同的空间分布型以不同时间尺度周期变化相互作用(叠加)对东亚季风降水(包括长江下游降水)产生重要影响。下面分析 1991 年 5 月 1 日—7 月 31 日  $t_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4, 5$ ) 演变过程。从图 2 中可以看到梅雨开始(5 月 21 日)和结束(7 月 14 日)均对应  $t_1$ 、 $t_2$  突增,  $t_5$  分别为正值和迅速减小。由于  $t_1$  周期较短, 6 月 19 日前后  $t_1$  迅速增加时  $t_2$  正处于减小阶段, 导致梅雨中断, 此时  $t_3$  变为正值(南海季风活跃),  $t_5$  维持较大正值, 说明印度低压较弱。长江下游三次持续暴雨过程(6 月 12—16 日, 6 月 30 日—7 月 4 日, 7 月 8—11 日)均发生在  $t_1$  从谷点向峰值上升过程中, 且此时  $t_2$  缓慢连续变大(变小), 与副高西进(东退)对应。而 5 月 23—26 日, 6 月 1—6 日期间,  $t_3$  处在从峰值向谷点变化过程中(南海季风迅速减弱), 尽管  $t_2$  正值较大且稳定, 长江下游只形成一般连续降水(雨量较小)。另外, 注意到  $t_2$  在 5 月 21 日—6 月 12 日期间以正值为主, 6 月 12 日—7 月 11 日以负值为主, 相应 6 月中旬以前副高明显偏北, 6 月下旬以后明显偏南, 有利于初夏雨带在长江下游地区持久维持, 从而造成洪涝灾害(从带通滤波曲线的位相变化更清楚地反映了这一点)。以上分析表明, 亚洲副热带地区海陆热力差异产生不均匀加热分布而激发的各种低频波及其相互作用, 导致向热带外能量频散异常, 是引起长江下游持续暴雨的主要原因。

#### 4 结 论

1. 1991 年 5—7 月亚洲夏季风区逐日 500hPa 高度距平场变化存在五种主要的空间分布型, 其特点是正负变化率相间分布的波列结构显著, 与各季风系统活动密切相关。

2. 五种主要空间分布型对应的时间系数存在 12—22 天准周期振荡和 28—31, 43—65 天低频振荡周期, 前二个分布型随时间变化的最显著周期是 22 天和 65 天, 这两种主要振荡的相互作用决定了长江下游雨带的建立、维持和中断。

3. 当第一时间系数从谷点上升且第二时间系数稳定变化(增大或减小)时, 长江下游容易发生持续暴雨过程, 并且与副高活动相关的 65 天振荡周期的位相变化有关。

## 参 考 文 献

- 1 陈烈庭,阿拉伯海—南海海温距平纬向差异对长江中下游降水的影响.大气科学,1991,15(1):33—42.
- 2 邓爱军,陶诗言,陈烈庭.印度洋海表面温度的时空分布特征及其与我国汛期降水关系的探讨.大气科学,1989,13(4):393—399.
- 3 Madden, R. A. and P. R. Julian. Description of global scale circulation cells in the tropics with a 40—50 day period. *J. Atmos. Sci.*, 1972, 29:1109—1123.
- 4 缪锦海, Lau, K. M. 东亚夏季风降水中30—60天低频振荡.大气科学,1991,15(5):65—71.
- 5 黄嘉佑,李黄.气象中的谱分析.北京:气象出版社,1984. 76—79.
- 6 吕宏忠,张先恭,丁一汇.赤道地区向西传播的40天周期低频波.气象学报,1991,49(1):29—38.

## THE RELATIONSHIP BETWEEN LOW FREQUENCY OSCILLATION OVER ASIA MONSOON REGION AND CONTINUOUS HEAVY RAIN IN THE LOWER REACHES OF YANGTZE RIVER VALLEY

Yang Qiuming

(*Jiangsu Meteorological Observatory, Nanjing 210008*)

### Abstract

By using the principal component analysis and the power spectral analysis with non-integral waves, the characteristics of the spatial distribution and low frequency oscillation for 500hPa circulation over Asia monsoon region during the early summer in 1991 are investigated. The results show that the first five major spatial patterns from the principal component analysis respond to the influence of different monsoon systems, respectively, and time coefficients have the remarkable periods of 12—22, 28—31, 43—65 days. The variation of oscillations is related to the heavy rain in the lower reaches of Yangtze River valley. It is important to the occurrence of continuous heavy rain that interactions between the low frequency waves which are forced by the diabatic heating anomalies and the continent-ocean heat contrast at the low latitude in Asia will lead to the anomalies of energy dispersions toward extratropical atmosphere.

**Key words:** Principal component analysis; Low frequency oscillation; Continuous heavy rainfall.