

# 东亚夏季风降水中30—60天低频振荡\*

缪锦海

(北京气象学院)

Lau, K.M. (刘家铭)

(NASA, U.S.A.)

## 提 要

通过对东亚夏季风区域30年候降水量的分析研究可以看到,降水中30—60天低频振荡的季节变化与总的季风降水的季节变化具有明显的锁相关系,对季风雨带位置的出现起着重要的调制作用;降水低频振荡的年际变化对梅雨的年际变化也起着重要的调制作用;降水低频振荡呈现明显的由南向北的经向传播。

关键词: 低频振荡; 东亚季风; 年际变化。

## 一、引 言

关于东亚季风降水已经进行了不少研究。刘家铭等<sup>[1]</sup>根据季风和热带环流新近研究的认识,研究了东亚夏季风降水的40天周期和20天周期,与季节变化的锁相关系,以及降水雨带的突然变化,还讨论了与印度降水的关系。

大气中40天左右的周期振动引起了广泛的注视,并且低频振荡与夏季风的关系也受到了重视。Yasunari<sup>[2]</sup>首先讨论了低频振荡与夏季风的关系,注意到这低频振荡从赤道到喜马拉雅山的经向传播。Krishnamurti 和 Subrahmanyam<sup>[3]</sup>认为季风的爆发、季风的活跃和中断与低频振荡有关。

陈隆勋等<sup>[4]</sup>发现在东亚季风的低层风和地面气压中与印度季风一样存在着14—20天、40—50天振荡。东亚季风中存在低频振荡,但这些低频振荡在东亚季风活动中起什么作用和影响,这低频振荡与东亚季风的爆发,季风雨带的位移,与梅雨的年际变化等有什么联系与影响,是很值得深入研究和讨论的。

在刘家铭等工作的基础上,为了更加深入研究东亚夏季风降水季节内的变化,我们使用30年的候降水量资料,这样可以更加细致地讨论东亚季风中的低频振荡及其对东亚季风活动的影响。

## 二、资 料

根据刘家铭等<sup>[1]</sup>的研究认为,东亚夏季风主要出现在中国大陆110°E以东的区域。因此,我们所用资料主要是在110°E以东的58个站的30年(1956年1月到1985年

1989年7月27日收到,10月23日收到修改稿。

\* 本文得到国家气象局热带科研基金和美国自然科学基金会的资助。

12月)的候降水量, 每个月份6个候, 每个月的第6候有时为6天或3、4天, 为了与5天的候降水量进行比较, 对每月第6候降水量进行适当处理:

$$R_6 = R'_6 \times \frac{5}{n},$$

其中  $R'_6$  为原始第6候的降水量,  $R_6$  为处理后的降水量,  $n$  为该候的实际天数.

### 三、夏半年降水特征与低频振荡

我们对30年4—9月候降水量进行经验正交函数分析. 图1为其第一到第四特征向量和对应的时间系数图. 第一特征向量占总方差的40.3%, 时间系数变化反映了降水半年变化的主要部份. 空间特征分布反映出黄河、华北与华南、华西的降水为正相关, 与长江以南区域的降水为反相关. 从空间特征与时间系数相结合来看, 反映出4、5月份长江以南的前汛期降水与黄河下游、华北地区7、8月雨季的气候特征. 第二特征向量占总方差的22.0%, 时间系数变化反映了半年变化的次要部分, 同时包含了30—60天周期的影响, 空间特征是以长江流域为中心的全国(除少数区域外)相一致的相关特征. 从空间与时间特征相结合来看, 明显反映出6月中到7月中的梅雨特征. 第三特征向量占总方差的10.2%, 时间系数变化主要反映40天周期特征, 空间特征是表明长江南北有相反的特征, 尤其是长江以南的华南沿海为明显的特强中心. 从时间与空间特征相结合来看, 明显反映出5月下旬华南季风降水开始, 和7月华南少雨的特征. 第四特征向量占总方差的6.4%, 时间系数变化也以40天周期为主要特征, 空间特征以长江流域与华北、华南相反位相为特征, 从时间与空间特征相结合来看, 反映华南季风开始、长江流域梅雨和华北雨季的特征. 总之, 经验正交分析的前四个特征向量明显反映了我国夏季季风降水的主要气候特征. 除了第一特征向量外, 第二到第四特征向量都具有40天周期的特征, 这说明低频振荡对我国东部地区夏半年降水特征的影响, 也反映了对东

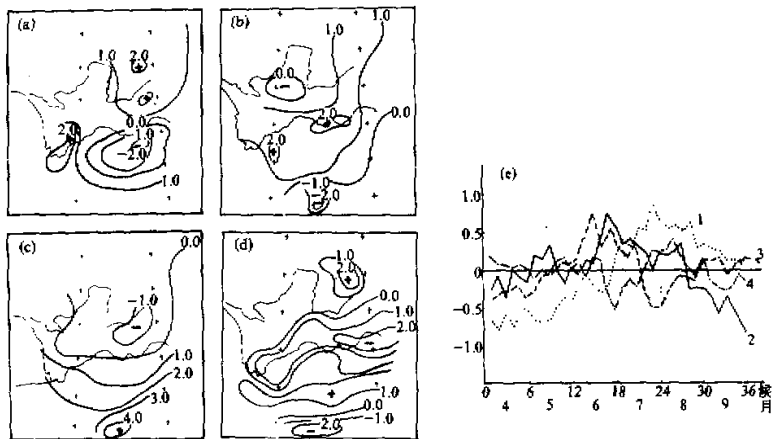


图1 30年4—9月候降水量的经验正交函数分析

(a) — (d) 分别为第一、第二、第三和第四特征向量, (e) 为对应的时间系数, 在图中分别标上 1, 2, 3, 4

亚夏季风降水的影响。

#### 四、低频振荡与夏季雨带位移

Madden<sup>[5]</sup> 提出低频振荡的季节变化谱问题。从季节变化谱中可以得到低频振荡强度随季节变化的特征。我们利用该方法来讨论各纬度带降水低频振荡最强时间与夏季雨带位移的联系。现将季节变化谱方法扼要介绍如下：

$$R(x, \tau, t) = \overline{R}(x, \tau) + \sum_{\omega} [a(x, \tau) \cos \omega t + b(x, \tau) \sin \omega t],$$

其中  $R$  为候降水量,  $x$  为站点,  $\tau$  为 1956—1985 年 30 年的年时间,  $t$  为全年 1—72 候的候时间,  $\overline{R}(x, \tau)$  为候降水量的年平均, 等式右边第二项为每年候降水量的谱分解。上式也可以写成

$$R(x, \tau, t) = \overline{R}(x, \tau) + \sum_{\omega} R_{\omega}(x, \tau, t),$$

其季节变化谱为

$$S_{x, \omega}(t) = \langle R_{\omega}^2(x, \tau, t) \rangle_{\tau},$$

$\langle \rangle_{\tau}$  表示对  $\tau$  求平均, 即表示某一站对于某一频率振动强度在一年内不同时间(季节)的变化情况。

我们计算了代表不同纬度带的 6 个站(海口,  $20.0^{\circ}\text{N}$ ; 衡阳,  $26.9^{\circ}\text{N}$ ; 南京,  $32.0^{\circ}\text{N}$ ; 郑州,  $34.7^{\circ}\text{N}$ ; 北京  $39.8^{\circ}\text{N}$ ; 哈尔滨,  $45.7^{\circ}\text{N}$ ) 30—60 天的季节变化谱。图 2 表示各纬度带的 30—60 天季节变化谱的最大值与季风雨带的关系(可参看文献[6])。从图 2 可以看到二者的对应关系, 季节变化谱最大值出现时间正好是雨带出现在该纬度带的时间。

表 1 表示 30 年平均的 30—60 天周期变化的标准差与实际降水量标准差之比, 可以看到  $40^{\circ}\text{N}$  以南 30—60 天周期标准差占总降水量标准差的 20% 左右。以上情况不仅说明不同纬度带的低频振荡与该纬度带降水的季节变化具有明显的锁相联系, 而且通过叠加 20% 的方差对季风雨带平均位置出现起着关键的调制作用。

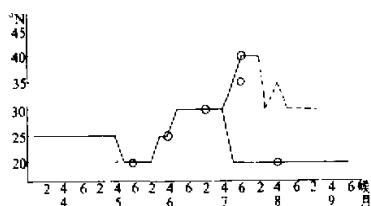


图 2 30 年平均 30—60 天季节变化谱与主要雨带的关系

“O”为各纬度带 30—60 天季节变化谱的最大值出现时间, 实线为主要雨带, 虚线为次要雨带。

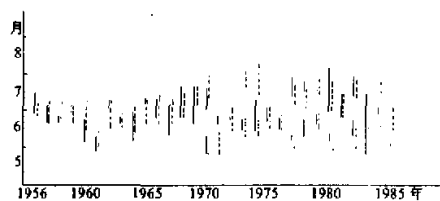


图 3 1956—1985 年梅雨时期与 40 天周期 5—8 月内正距平日期的关系

实线为梅雨日期, “——”虚线为最大正距平日期, “……”点线为次大正距平日期。

## 五、低频振荡的年际变化与梅雨的年际变化

前面讨论的是低频振荡的平均季节变化特征与东亚季风雨带的平均特征之间的关系。下面讨论季节内低频振荡的年际变化与梅雨的年际变化的关系。

首先说明梅雨时段的确定方法：由于梅雨是在  $30^{\circ}\text{N}$  附近出现持续最大降水的时段，因此，我们规定在  $110^{\circ}\text{E}$  以东  $27.5^{\circ} - 32.5^{\circ}\text{N}$  内 13 个站的平均候降水量比其他纬度带降水量大于  $20\text{mm}$  的持续时段为梅雨时段（在这时段内可以有一候不是最大降水量）。确定的时段基本上与中央台确定的时间一致。

另外，我们用带通滤波方法<sup>[7]</sup>滤出以 45 天为中心的南京站的每年各候的低频振荡降水的距平。图 3 中的实线表示每年的梅雨时段，虚线表示 5 月下旬到 8 月下旬南京低频振荡滤波降水中最强正距平降水时段，点线表示次强正距平降水时段。可以看出二者之间是相当一致的。这说明不仅在平均情况下低频振荡对季风雨带的季节变化起重要的调制作用，而且在梅雨的年际变化中也起着重要的调制作用。

表 1 30—60 天周期降水量标准差与实际降水量标准差之比

| 纬度    | $20^{\circ}$ | $25^{\circ}$ | $30^{\circ}$ | $35^{\circ}$ | $40^{\circ}$ | $45^{\circ}$ |
|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 标准差之比 | 0.20         | 0.29         | 0.18         | 0.21         | 0.18         | 0.13         |

## 六、低频振荡的经向传播和遥相关

为了讨论降水中低频振荡的经向传播，取  $115^{\circ}\text{E}$  附近  $20 - 45^{\circ}\text{N}$  较均匀地选取 21 个站，将这 21 个站降水量 30 年平均的 30—60 天滤波降水量进行复经验正交函数分析，以反映特征场的移动特征。复经验正交函数分析的详细讨论可见文献 [8]。现扼要说明如下。

首先对时间序列  $f(x, t)$  进行谱分析，得到各频率  $\omega$  的谱系数  $a_x(\omega)$ 、 $b_x(\omega)$ ，其中下标  $x$  为不同站点。这样， $f(x, t)$  可表示为

$$f(x, t) = \sum_{\omega} [a_x(\omega) \cos \omega t + b_x(\omega) \sin \omega t].$$

$$\text{令} \quad \hat{f}(x, t) = \sum_{\omega} [b_x(\omega) \cos \omega t - a_x(\omega) \sin \omega t],$$

$$F(x, t) = f(x, t) + i \hat{f}(x, t).$$

对于给定某个站（即  $x = x_j$ ）， $F(x_j, t)$  可写为

$$F_j(t) = f_j(t) + i \hat{f}_j(t).$$

这样， $C$  矩阵为 Hermite 阵

$$\text{其中} \quad C = (C_{jk})_m,$$

$$C_{jk} = \langle \bar{F}_j^* F_k \rangle_t,$$

“—”表示转置，“\*”表示取共轭， $\langle \rangle_t$  为时间平均。由 Hermite 阵的性质可得

$$\bar{U}^* C U = \begin{pmatrix} \lambda_1 & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & \lambda_n \end{pmatrix},$$

$U$  矩阵是复正交阵, 即复经验正交函数,  $U$  的第  $n$  个列向量称为矩阵  $C$  的第  $n$  个特征向量, 也可称为资料阵  $F$  的特征向量.  $\lambda_n$  为第  $n$  个特征向量对应的特征值, 而时间系数阵

$$T = FU.$$

由以上特征向量和时间系数可得

(i) 空间位相函数  $\theta_n(x)$

$$\theta_n(x) = \arctan \left[ \frac{\operatorname{Im} U_n(x)}{\operatorname{Re} U_n(x)} \right],$$

这里下标  $n$  表示第  $n$  个特征向量,  $\operatorname{Im} U_n(x)$  表示第  $n$  个特征向量的虚部,  $\operatorname{Re} U_n(x)$  为第  $n$  个特征向量的实部. 空间位相函数  $Q_n(x)$  表示扰动在各空间位置之间的相对位相.

(ii) 空间振幅函数  $S_n(x)$

$$S_n(x) = [U_n(x) U_n^*(x)]^{\frac{1}{2}},$$

表示第  $n$  个特征向量长度的空间分布.

(iii) 时间位相函数  $\Phi_n(t)$

$$\Phi_n(t) = \arctan \left[ \frac{\operatorname{Im} T_n(t)}{\operatorname{Re} T_n(t)} \right],$$

这里  $T_n(t)$  为对应第  $n$  个特征向量的复时间系数.  $\operatorname{Im} T_n(t)$  和  $\operatorname{Re} T_n(t)$  分别为  $T_n(t)$  的虚部和实部. 这  $\Phi_n(t)$  表示第  $n$  特征向量的时间系数位相随时间的变化.

(iv) 时间振幅函数  $R_n(t)$

$$R_n(t) = [T_n(t) T_n^*(t)]^{\frac{1}{2}},$$

表示对应第  $n$  个特征向量的复时间系数的振幅随时间的改变.

图 4 为  $115^\circ \text{E}$  附近 30 年平均候降水量的 30—60 天滤波降水量的复经验正交函数分析的第一特征向量(图 4a)和对应时间系数(图 4b). 第一特征向量方差占总方差的 24%. 第一特征向量呈现明显的波状结构, 基本上作顺时针旋转, 而时间系数也作顺时针改变. 因此, 这表示该波动由南向北经向传播. 但在  $40^\circ \text{N}$  附近传播不明显. 而且, 与文献 [6] 中没有滤波总的候降水量的复经验正交函数分析的结果相似, 这也说明低频振荡在整个夏季风降水中的重要作用.

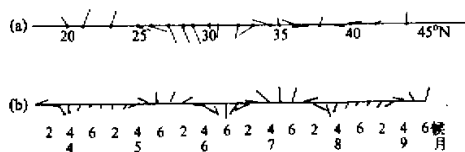


图 4 沿  $115^\circ \text{E}$  30—60 天滤波降水量的复经验正交函数

(a) 为第一特征向量, (b) 为第一特征向量对应的时间系数

低频振荡的经向传播特征也可以从代表各纬度带 6 个站的 30—60 天滤波降水量的时间剖面图(图 5)中看到. 传播的平均速度约为  $20^\circ/65\text{d}$ ,  $0.3 \text{ m/s}$ . 可以看到在

20 — 25° N 传播比较快, 30 — 35° N 也比较快, 而在 25 — 30° N, 35 — 40° N 出现准静止持续特征, 这与季风雨带北移特征相一致。

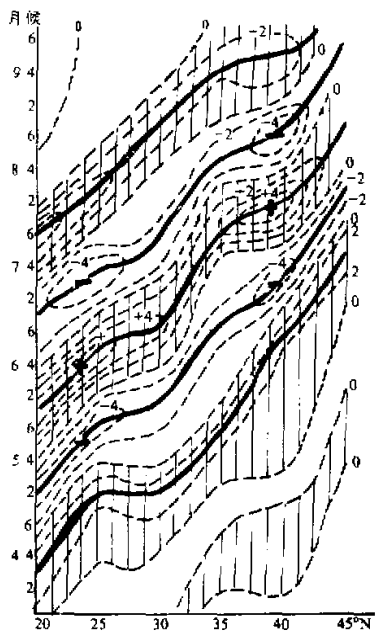


图5 各纬度带30—60天滤波降水量的时间剖面图  
粗实线为最大正距平的连线, 虚线为等雨量线。

均位置出现起着重要的调制作用。

(3) 降水的低频振荡的年际变化对梅雨的年际变化也起着重要的调制作用。

(4) 东亚夏季风降水中的低频振荡呈现明显的由南向北的经向传播, 并可能具有一定的遥相关关系。

感谢国家气象局气科院林之光同志在提供资料方面所给予的各种帮助。

参 考 文 献

[1] Lau, K. M., G. J. Yang and S. H. Shen, 1988, Seasonal and intraseasonal climatology of monsoon rainfall over East Asia, *Mon. Wea. Rev.*, **116**, 18—37.  
[2] Yasunari, T., 1980, A quasi-stationary appearance of 30—40 day period in the fluctuations during the summer monsoon over India, *J. Meteor. Soc. Japan*, **58**, 225—229.  
[3] Krishnamurti, T. N. and D. Subrahmanyam, 1982, The 30—50 day mode at 850 mb during MONEX, *J. Atmos. Sci.*, **39**, 2080—2095.  
[4] 陈隆勋等, 1982, 夏季东亚季风系统中二个半球环流的相互作用, 东亚夏季风学术会议文集, 云南人民出版

由上述6个站的30—60天周期滤波降水量以30°N的降水量为基点, 计算出与20°、25°、35°、40°N滤波降水量的相关系数(见表2)。有正负相间的分布, 这可能表明存在一定的遥相关关系, 可能与热带强热源区有一定的遥相关关系。

表2 30°N的40天周期滤波降水量与各纬度滤波降水量的相关系数

| 纬度   | 20°   | 25°  | 30° | 35°   | 40°   | 45°   |
|------|-------|------|-----|-------|-------|-------|
| 相关系数 | -0.56 | 0.29 | 1.0 | -0.04 | -0.20 | -0.37 |

七、结 语

通过以上讨论, 对东亚夏季风降水中30—60天低频振荡有如下的认识:

(1) 30年候降水量经验正交函数的分析表明降水中低频振荡在东亚夏季风降水特征分布中有着重要的影响。

(2) 各纬度带30—60天季节变化谱的最大值出现时间与季风雨带在该纬度带出现相一致, 即降水中的低频振荡与各纬度带降水的季节变化具有明显的锁相关系, 并对季风雨带平

- 社, 204—217.
- [5] Maclden, R. A., 1986, Seasonal variation of the 40—50 day oscillation in the tropics, *J. Atmos. Sci.* **43**, 3138—3158.
- [6] 缪锦海, M.K. Lau, 1990, 东亚季风降水的年际变化, 应用气象学报, **2**, 305—317
- [7] Godske, C. L., 1966, Methods of statistics and some applications to climatology, *W. M. O. Tech. Note*, Geneva, No. 71, 6—86.
- [8] Barnett, T. P., 1983, Interaction of the monsoon and Pacific trade wind system at interannual time scales, Part I: The equatorial band, *Mon. Wea. Rev.* **111**, 756—773.

## LOW FREQUENCY OSCILLATION (30—60 DAY) OF SUMMER MONSOON RAINFALL OVER EAST ASIA

Miao Jinhai

(Beijing Institute of Meteorology, Beijing)

Lau, K. M.

(Laboratory of Atmospheres, NASA/Goddard Space Flight Center, Maryland, U.S.A.)

### Abstract

By using the pentad rainfall over East Asia during the last thirty years, the low frequency oscillation of the summer monsoon rainfall over East Asia was investigated. There is a phase locked relation between the seasonal variation of the low frequency oscillation (30—60 day) and the seasonal variation of total rainfall. The 30—60 day oscillation of the monsoon rainfall and their interannual change modulate obviously the position of the monsoon rainband and the interannual change of the Meiyu, respectively. The low frequency oscillation of monsoon rainfall propagate in meridional direction from the south to the north.

**Key words:** Low frequency oscillation; east asian monsoon; Interannual change.