

准两年周期振荡在我国 月降水量中的表现

黄嘉佑

(北京大学地球物理系)

提 要

本文使用主要分量分析和复主要分量分析方法对我国35个站1951—1980年期间逐日降水量序列进行分析,结果在其主分量中发现存在显著的准两年周期振荡;根据复主要分量的空间振幅函数,发现在地域上这种现象主要表现在华北及长江中下游地区,尤其是华北地区;利用复主要分量的空间位相函数,揭示出这种周期振动的空间波是一行波,传播方向主要特征呈东(或东北)至西(或西南)的纬向方向;我国的两个主要表现地区是一种同相关系。

本文还对35站月降水序列作了交叉谱分析和不同区域平均序列的落后交叉相关分析,所得结果与上述结论一致。

一、介 绍

众所周知,准两年周期振荡是大气环流和气候要素变化进程中的一种极其重要的变化规律。这一现象近三十年来已被国内外许多气象工作者所重视,从平流层的风向变化到对流层中的环流变化及大气活动中心变化中存在的这种准两年周期振荡现象已被一一发现和加以研究^[1]。

地面气象要素的准两年周期变化现象,近年来也不断被国内外气象学者所发现和揭示。例如,1980年 Walsh 等人^[2]在分析美国的地面气压、气温和降水要素中发现存在有显著的准两年周期;1983年 Mooley 等人^[3]在分析印度夏季降水旱涝指数的功率谱中亦曾发现明显的两年变化周期。那么,在我国的地面气象要素气候变化中,或者具体在与印度季风相关联的中国降水是否也存在这种现象呢?事实上,王绍武等人^[4]用谱分析方法对我国若干测站旱涝级别序列(500年年序列)进行分析,曾发现在长江流域与黄河北部地区某些站点具有准两年周期。

近年来,对准两年周期振荡这一现象研究更为深入。不但揭示这一现象的时间变化特点,而且还揭示它们所表现的地域特征,进而研究这一振荡的空间位相变化特征,即空间波的类型及其传播特点。例如,1983年 Rasmusson 等人^[5]用 Hilbert 变换对美国地面气温时间序列作分析,以便揭露该要素存在的准两年周期振荡位相变化特点;1983年 Barnett^[6]把这一方法完善化,并发展成为他称之为“复经验正交函数”方法,使用空间振

幅函数与位相函数来揭示存在于太平洋季风序列内的准两年周期,指出它的空间振幅最大区域及位相传播的自西至东方向;1984年 Trenberth 等人^[1]使用同一方法研究,发现北半球地面气压场在空间的准两年周期波动为驻波的主要特征。

本文对我国35个站1951—1980年期间的逐月降水量序列进行分析,由于使用以月为间隔的时间序列,较之使用旱涝年级别序列更能揭示我国降水近30年来月变化的气候特征。至于降水的气候变化特征则使用主要分量分析和复主要分量分析(即复经验正交函数)方法来提取其主要特征。试图揭示存在于我国降水序列中准两年周期现象的地域特征及空间波传播特点。

二、资料和方法

本文使用1951—1980年期间我国35站地面月降水量资料,站点取自影响我国农业

最重要的东部地区,其地理分布位置见图1。为了突出我国降水变化的共同特征,对各站原始资料序列进行月标准化处理,以便消除站点之间的地理位置差异和年变化。处理使用如下公式:

$$\hat{R}_{kl} = \frac{R_{kl} - \bar{R}_l}{S_l}$$

$$\begin{pmatrix} k = 1, 2, \dots, 30 \\ l = 1, 2, \dots, 12 \end{pmatrix} \quad (1)$$

式中 R_{kl} 为各站第 k 年(开始于1951年)第 l 个月的降水量; $\bar{R}_l$ 表示该站第 l 个月的30年平均值, S_l 表示同一年序列的标准差。原始资料经处理后变成

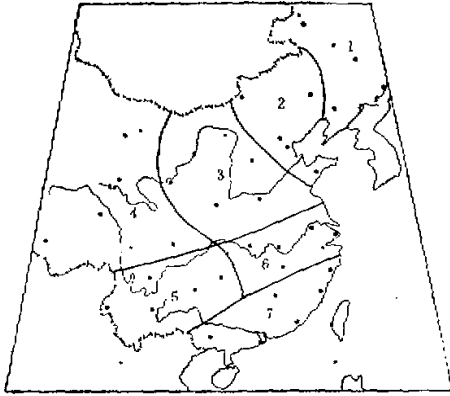


图1 站点分布及降水气候分区图

35个月标准化时间序列 Z_t ($t = 1, 2, \dots, 360$), 对这些序列或由它们组成的资料矩阵进行功率谱, 交叉谱和主要分量分析(详细方法见文献[8, 9])。

为了着重研究降水中准两年周期振荡的空间分布特征, 本文对35个站的 Z_t 序列首先进行以26个月周期为中心的带通滤波, 滤波器的响应函数具体为:

$$R(f) = \begin{cases} 0 & \text{对 } 0 < f < 1/54 \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos 54\pi f & \text{对 } 1/54 \leq f < 1/26 \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos 26\pi f & \text{对 } 1/26 \leq f < 2/26 \\ 0 & \text{对 } 2/26 \leq f < 1/2 \end{cases} \quad (2)$$

式中 f 为频率(月⁻¹), 滤波后新序列 Z'_t 由下式计算得到:

$$Z'_t = \sum_{i=-k_0}^{k_0} w_i Z_{t-i} \quad (3)$$

其中

$$w_l = \frac{1}{2\pi} \left[R(0) + 2 \sum_{f=\pi/2}^{\pi/2u} R(f) \cos 2\pi f l \right]$$

在本文中 n 取 162, k_0 取 36。对过滤后 35 站的新序列作复主要分量分析。即对过滤后的各站 Z'_i 序列作 Hilbert 变换, 本文用卷积方法求这种变换, 求得新序列 Z'_i 的虚部序列 $\hat{Z}_i$, 使用下式:

$$\hat{Z}_i = \sum_{l=-L}^L Z'_{i-l} h(l) \quad (4)$$

其中

$$h(l) = \begin{cases} \frac{2}{\pi l} \sin^2 \left(\frac{\pi l}{2} \right) & l \neq 0 \\ 0 & l = 0 \end{cases}$$

计算中取 $L = 23$, 且后两项取一半的权重。由新复降水序列求得对应的复协方差阵及其退化值分解的对角阵。得到相应的实最大特征值及其对应的复特征向量。对应不同的特征值可求得对应的空间振幅函数和位相函数, 表示为:

$$\begin{cases} S_k(X) = [V_k V_k^*]^{\frac{1}{2}} \\ \theta_k(X) = \arctan \left[\frac{I_m V_k}{R_e V_k} \right]^{\frac{1}{2}} \end{cases} \quad (5)$$

式中 V_k 表示第 k 个最大特征值所对应的特征向量, V_k^* 表示它的复共轭, I_m 表示它的虚部, R_e 表示为实部。

三、降水的主要分量分析

对 35 个站的月降水序列 Z_i ($i = 1, 2, \dots, 360$) 作主要分量分析。表 1 第二行列出头 8 个主要分量所占的解释方差百分率。

它们共占解释方差 50% 以上, 可以作为中国降水的主要特征。进一步对这些主要分量进行功率谱分析, 最大落后步长取 90 个月, 把通过显著性检验的周期中选取最突出的周期定为主要周期。表 1 中第三行列出对应不同分量的主要周期。图 2 给出第 1 主要分量标

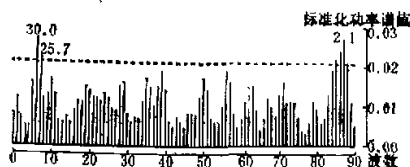


图 2 第 1 主要分量功率谱

准化功率谱, 从表 1 及图 2 可见, 准两年周期 (30.0 月和 25.7 月) 超过白噪音 95% 置信限的上界 (图 2 中虚线所示), 表现为显著周期。由于第 1 主要分量是代表我国降水分布形势中的主要特征, 因此, 在这一分量上反映的显著两年周期振荡现象说明是在我国降水中的一种主要现象。当然, 降水中还存在其它一些周期现象, 如表 1 所列出的 36 个月、18 个月以及 7.5 个月的周期也表现在其它稍次要的一些分量上。在其余的主要分量中, 尽管准两年周期振动没有占主要优势, 但在比较其它的振动功率中, 它仍占有相当大的份量。

表 1 8 个主要分量的解释方差、主要周期及准两年周期谱累积值

主要分量	1	2	3	4	5	6	7	8
解释方差	13%	8.4%	6.9%	6.3%	5.3%	4.7%	4.3%	3.5%
主要周期(月)	30.0	7.5	18.0	10.6	36.0	3.2	10.6	36.0
累积谱值	0.077	0.041	0.050	0.039	0.080	0.055	0.052	0.070

为了显示这一特点,表 1 中第四行列出波数在 5 至 8 的周期段 (22.5—36.0 月) 内标准化功率谱值之和。由于所有标准化功率谱值之和为 1, 因此, 对应 4 个波数的功率谱值之和

平均约为 0.044。由此可见在两年周期附近的振动一般都接近或超过这个平均值, 尤其突出表现在第 1、5 和 8 的主分量上。而这 3 个分量的显著周期均在准两年周期振动范围内。

由于第 1 和第 5 主分量在中国降水中占有较大的份量, 且又表现出显著的准两年周期振动, 因此, 考察这两个分量与我国降水测站之间的相关系数可以反映这两个分量的地域主要表现地区, 从而也可以反映出两年周期振动的主要表现地区。图 3 a、b 分别给出第 1 与第 5 主分量与 35 站降水月序列的相关系数分布。从图可见, 第 1 主分量主要表现在我国东部华北地区和长江中下游地区 (相关系数绝对值超过 0.103, 为 5% 的信度水平), 第 5 主要分量显著地表现在华北、长江中下游、高原东侧以及东北等地区。由于在这两个分量中, 第 1 分量占较大的份量, 且主要反映 30.0 个月的周期振动, 因此, 综合来说, 准两年

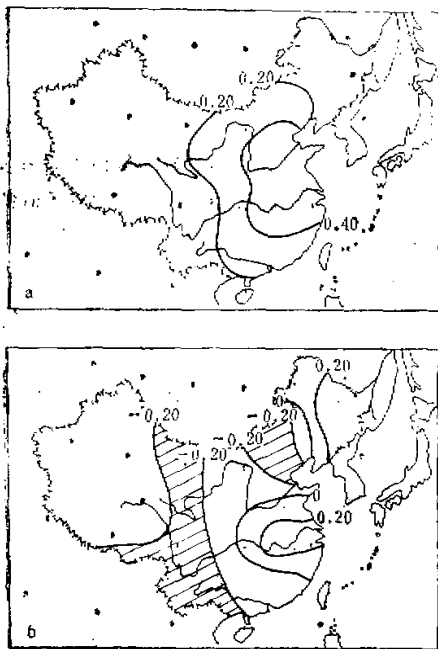


图 3 第 1(a)、第 5(b)主分量与 35 站相关系数分布

周期在我国降水月序列中, 主要表现地区是华北和长江中下游地区。

四、降水的复主要分量分析

既然在主要分量分析中发现在其主分量中存在明显的准两年变化周期, 那么对这种周期的表现有必要作更细致的分析。因此, 对 35 个站月标准化降水量序列作 26 个月为中心的带通滤波, 然后对过滤后的序列作复主要分量分析 (详见第二部分)。图 4 给出第 1 复主要分量 (该分量占解释方差 24%) 的空间振幅函数 (图 4a) 和空间位相函数 (图 4b)。由于序列已经过带通过滤, 而复第 1 主要分量又在所有分量中占主要份量, 因而它的振幅函数分布可以代表这一周期的主要空间地域特征。从图 4a 可见, 振幅函数最大地

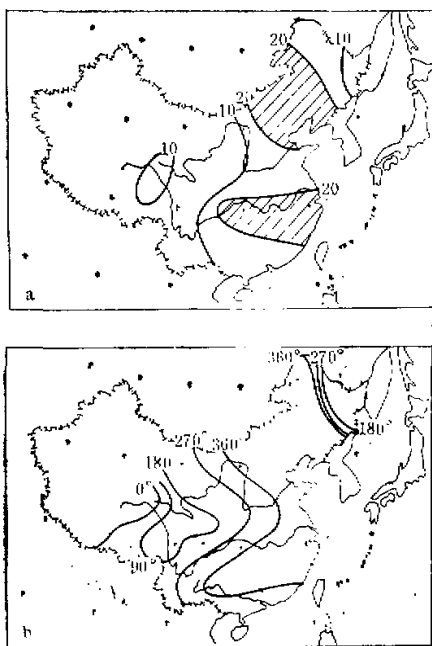


图4 复第1主分量的空间振幅函数(a)和空间位相函数(b)

区出现在华北地区和长江中下游地区。从分布特征来看,它与图3b的分布形势颇为相似,且似乎有兼顾图3a与b的综合特征。但在图4a中,高原东侧的显著带并不十分明显,这可能是由于过滤后的序列较集中表现以26个月为中心的周期振动分量的缘故,正好和图3a所表现在同一地区不明显相一致。这种差别说明在高原东侧地区更为显著表现的是36个月周期振动现象。

图4b的空间位相函数分布形势表明,准两年周期的空间表现在我国大部分地区是一行波,传播方向呈东(或东北)至西(或西南)的纬向方向。从图可见,在东北的东北部地区位相过渡带变化极为迅速,反映在该地区是一驻波波动。位相分布形势表明大陆东部是同一位相,而与西南地区是一反相关系。

五、交叉谱分析

为了进一步验证上面分析所得到的结论。本文还对35站月标准化降水序列逐个作功率谱分析,并作出在26个月周期上各站标准化功率谱值分布图(图略)。分布图中最大值分布形势与图4a极为相似。在35站中,最大功率谱值出现在天津站。事实上,复第1主要分量空间振幅最大值也出现在该站上。由此说明,在天津附近的华北地区准两年周期表现较长江中下游地区更为明显。

鉴于天津站降水的准两年周期表现最为明显,进一步以该站为基站,分别计算它的序

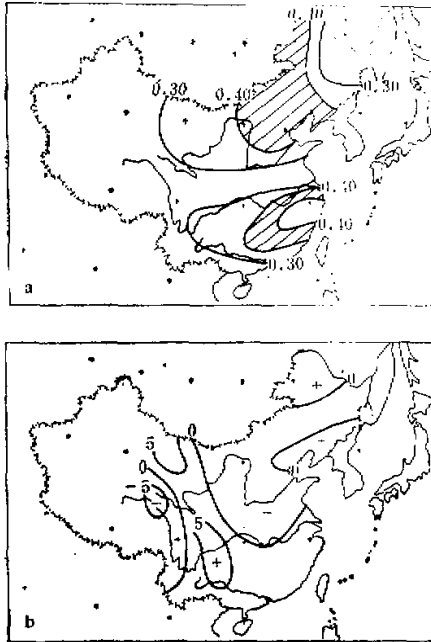


图 5 26 个月周期上的凝聚平方(a)与落后位相差(b)(月)的分布

列与其余 34 个站序列的凝聚平方谱和位相差(落后月)谱。图 5a、b 分别显示在 26 个月周期上的凝聚平方和位相差(落后月)的分布。图中 * 符号表示天津基站的位置。根据显著性(信度 5%)的检验,凝聚平方大于 0.40 即可通过显著性检验。从图 5a 中可见,凝聚平方的显著区域与复第 1 主要分量空间振幅分布是相似的。图 5b 落后位相(月)的分布形势亦与图 4b 的空间位相分布相似,在华北地区是一很弱的负相区,数值接近 0,而在长江中游,黄河上游地区是一落后月较大的地区,与华北地区呈反相关系,直至高原东侧又进入另一负相区,这种位相分布表明准两年周期在中国华北至高原东侧完成一个完整的波动。在我国东部位相接近为同相。这种特征与第四部份分析结论是一致的。

六、降水的气候区域及其特点

本文还利用 35 个站的头三个主要分量,两两分别组成因子荷载散布图,然后进行聚类分析。结果把 35 个站分为 7 个具有不同特点的气候区域(见图 1)。每一分区包含 5 个站。各个区根据所包含的 5 个站的月标准化降水序列,求出各区平均月降水序列作为区的代表序列,然后对 7 个区的平均月降水序列作功率谱分析。结果发现 2 区(即华北地区)和 6 区(即长江中下游地区)具有显著的(通过显著性检验)准两年周期,进一步证实,在这两个地区降水的准两年周期表现是明显的。

分别计算 2 区与其它各区的落后交叉相关系数,发现 2 区与 4 区(高原东侧地区)和

5 区(长江中游、西南地区)在落后 23 个月和 26 个月上有超过显著度(5%)的显著相关系数。其相关符号分别为“+”和“-”。这种落后月份与准两年周期的振动关系以及位相之间的关系也是与第四和第五部分得到的结论是一致的。

七、结论与讨论

本文分别对我国 35 个站的月降水序列使用功率谱、交叉谱、主要分量分析以及复主要分量分析方法进行分析。在处理中,分别采取单站、分区以及统一提取主要信息等措施进行处理。结果一致表明,近 30 年来,准两年周期振荡在我国大部分地区的降水变化中表现是十分明显的,尤其是在华北和长江中下游地区。准两年周期在空间的波动特点是一行波,传播方向呈东(或东北)至西(或西南)走向。不同气候分区以及各区平均降水序列的交叉相关分析,其结果可能给华北地区或长江中下游地区的降水长期预报提供一定的预报指标。

分析表明,在本文中所使用的复主要分量分析在揭示要素场的空间特征方面有着比经典的主要分量分析具有某种优点,它可以揭示空间波的波动特征,尤其在探讨提取某一所感兴趣的频率振动的空间波动主要特征上,除了能显示该频率振动的空间振幅特征,还能提供详细的空间位相分布特征,颇能兼顾主要分量分析和交叉谱分析的优点。因此,不同方法的使用和相互补充可以更为详细地揭示气象要素场的时空演变特征。

值得注意的是,由于本文使用的是 360 个月的降水序列,资料阵容量较大,比较一般使用年降水序列组成的降水场来说,在提取主要分量的收敛性上不如后者迅速。但是,由于本文着重所探讨的是准两年周期振荡在我国降水中的表现,因此,似乎使用较为细致的以月为单位的连续变化时间序列,更具有气象意义。

参 考 文 献

- [1] 王绍武、赵宗慈, 1981, 长期天气预报基础(讲义)。
- [2] Walsh, J. E. and A. Mostek, 1980, A quantitative analysis of meteorological anomaly patterns over the United States, 1900—1977. *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 108, p. 615—630.
- [3] Mooley, D. A. and B. Parthasarathy, 1983, Variability of the Indian summer monsoon and tropical circulation features. *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 111, p. 967—978.
- [4] Wang Shao-wu and Zhao Zong-ci, 1981, Droughts and floods in China, 1470—1979, Climate and History, Cambridge University Press.
- [5] Rasmusson, E. M., P. A. Arkin and W.-Y. Chen, 1981, Biennial variations in surface temperature over the United States as revealed by singular decomposition. *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 109, p. 587—598.
- [6] Barnett, T. P., 1983, Interaction of the Monsoon and Pacific Trade Wind system at interannual time scales, Part 1: the equatorial zone. *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 111, p. 756—773.
- [7] Trenberth, K. E. and W.-T. K. Shin, 1984, Quasi-Biennial fluctuations in sea level pressures over the Northern Hemisphere. *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 112, p. 761—777.
- [8] 黄嘉佑, 1979, 气象统计预报试用教材。
- [9] 黄嘉佑、李黄, 1984, 气象中的谱分析, 气象出版社。