

北半球夏季 500hPa 候平均高度场 异常持续性的分析*

江剑民 钱传海**

(北京气象学院, 北京 100081)

提 要

本文应用环流持续性异常判据和旋转主分量分析方法, 对 1951—1986 年间夏季北半球 500hPa 逐候平均高度场进行了计算分析, 探讨夏季持续性环流异常的地理分布及持续期的基本特征。结果表明: 前 11 项旋转主分量的主要高荷载中心, 与持续异常的高频数中心或其邻近区域大都基本吻合; 候平均环流异常的持续性略高于马尔柯夫过程。但某些区域季节性环流异常及多年趋势性环流异常, 通常是由某些环流系统或作用中心多次替换、反复出现的持续性异常所组成的。夏季副热带系统是这类异常的重要组成部分。

关键词: 环流异常; 持续期; 旋转主分量分析

一、引 言

关于北半球冬季对流层环流持续性异常的特征, Dole 等作过系统的研究^[1-4], 其结果指出, 500hPa 高度场持续性异常频繁出现的地区, 与主要的低频振荡型作用中心有密切的联系^[1], 在两个大洋上, 环流持续性异常的主要形势, 分别与太平洋北美型(PNA) 及大西洋东部型(EA) 相一致^[2]。O'Lenic 等^[3]应用滤波和旋转主分量(RPC) 分析方法, 研究了北半球 700hPa 冬、夏季逐日高度场低频振荡型的持续性问题。

本文采用类似于 Dole 提出的持续性异常的直接判据和旋转主分量分析两种方法, 探讨北半球夏季 500hPa 候平均高度场持续性异常的地理分布、持续性特点, 及其与某些区域气候反常的联系。

二、资料与方法

(1) 本文所利用的资料是 1951 至 1986 年间北半球 500hPa 逐候平均高度场, 由

1991 年 6 月 4 日收到, 1992 年 2 月 23 日收到修改稿。

* 本文得到国家自然科学基金项目的部分资助。

** 1990 届毕业生, 现在国家气象中心工作。

山东省气象局根据日本气象厅和我国国家气象中心提供的历史资料整理编辑的。资料范围为 20—80°N。为便于作持续性分析, 实际计算的最长时段取每年的第 24—54 候 (即 4 月底至 9 月底)。

(2) 考虑到 Dole 对高度场读数所进行的纬度订正^[1]仍不能很好地反映较低纬度系统持续性异常的特征, 本文采用对各格点读数按各候计算标准化的距平值, 即取

$$h'_{jt} = (h_{jt} - \bar{h}_j) / \sigma_j,$$

并规定某格点上标准化的高度距平值 $h'_{jt} \geq +1$ 或 $h'_{jt} \leq -1$, 且持续 3 候, 记作该格点上出现了一次持续异常。这里采用 $h_{jt} - \bar{h}_j$, 即某候第 j 个格点上第 t 年高度读数 h_{jt} 对该点相同候多年平均值 $\bar{h}_j$ 的距平, 可以消去逐候间季节变化的影响, 再用同一格点同一候的标准差 σ_j 相除, 可以消去各纬带间的气候差异。因为一般说来, 夏季副热带高压脊线的平均位置在 20°N 以北, 其位势高度距平值很少超过 80gpm, 而中高纬度西风带上的距平中心值通常比副热带系统的距平中心值大 3 至 4 倍。我们采用标准化的距平 ± 1 作为异常的临界值, 按正态分布的假设, 可使各纬度格点上高度出现异常的机率相近 (31.7%左右), 使所判别出的持续异常高频数中心, 主要突出异常的持续性特点, 而不主要取决于高度距平数值的大小。这样处理有利于突出夏季副热带系统的持续性异常, 虽然对中高纬度某些位势高度变化均方差大的区域会有所削弱, 但仍能反映其异常持续性的分布。

(3) 关于旋转主分量的计算方法及其实用意义, 可参阅文献[6]。但本文中对各分量时间系数估计值, 采用回归估计方法^[7], 即

$$F = \Phi G' R^{-1} H,$$

其中 G' 表示旋转主分量荷载矩阵的转置; Φ 是荷载向量之间的相关矩阵, 对于正交变换, 它是单位矩阵, 即 $\Phi = I$; H 是高度场标准化距平值矩阵; $R^{-1} = (H'H)^{-1}$ 为相关矩阵的逆阵。这种方法估算的时间系数是对整个计算分析范围而言的, 不只限于某分量高荷载的局部区域。

本文中所取网格点是 20—50°N 间取 10×10 个经、纬度间隔, 60°N 上间隔 20 个经度, 70°N 上间隔 30 个经度, 80°N 上间隔 60 个经度, 共 180 个格点; 时间序列为 31 (候) $\times$ 36 (年) = 1116 个样本单元, 组成资料矩阵₁₈₀ H_{1116} 。

三、持续异常的地理分布

依据上节中第 2 点的规定, 首先计算了第 31 至 48 候 (6 至 8 月) 间各格点上出现持续正、负及两者之和的频数。结果表明正、负持续性异常的频数在分布上基本对称。限于篇幅, 这里仅将两者之和的总频数分布绘于图 1。可见在中高纬度的北大西洋、北太平洋和乌拉尔山地区仍是相对的多频数中心, 与 Dole 对冬季逐日 500hPa 高度场的结果^[1]接近; 中国大陆上的少频数区比文[1]中的 EAS 低频数区向北偏移了 10—20 个纬距; 但北美洲东南部的多频数中心却与冬季的结果相反。此外, 图 1 中北冰洋 180°E 附近、格陵兰西部、及副热带太平洋日更线上空、印度半岛、非洲北部、大西洋中部以

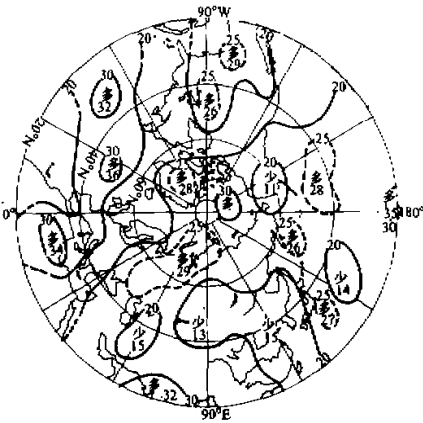


图1 正、负持续异常两者之和
总频数的地理分布图

及北美洲南部上空的多频数中心区, 是 Dole 对冬季的分析结果中所没有的。导致这些差别的原因可能有: (1) 冬、夏季节间的实际差异。如在中高纬度, Dole 指出的三个高频数中心, 与冬季多年平均图^[8]上的三个平均脊(即西大洋东部和乌拉尔山脊)相一致。而这里图 1 中 40°N 及其以北的五个多频数中心, 也大都处在夏季气候平均环流^[8]的脊前位置上, 说明西风带上的持续性异常主要与高压脊或阻塞高压系统相联系; (2) 对高度场作订正处理的方案不同。如上节中所述, 采用标准化距平有利于突出低纬度系统, 其波动的空间尺度一般也比中高纬度的大些; (3) 所分析的资料年代也不相同。此外, 图 1 中太平洋东部至阿拉伯半岛间沿 20°N 附近的虚线, 是由于 1970 年以前的资料缺测而作了延伸推测。

四、旋转主分量荷载向量的地理分布

在进行旋转主分量分析的计算过程中, 先对逐年 31 候的标准化距平资料矩阵 $_{180}H_{1116}$ 作 EOF 展开, 取相对方差贡献为 1.0% 以上的前 31 项(累积方差贡献 72.7%) 特征向量进行正交旋转变换^[6]。作为示例, 图 2 给出第 1 及第 7 旋转主分量荷载向量的分布图形。其中第 1 分量(相对方差贡献为 5.6%) 高荷载区集中在北美洲及北大西洋西部的副热带南部(图 2a); 第 7 分量(相对方差贡献为 2.6%) 的高荷载区反映出北大西洋西部副热带与中高纬度纽芬兰海区上空的一对遥相关(图 2b), 比冬季低频振荡中大西洋西部型(WA 型)的位置偏南 10 个纬距左右。

取前 11 项分量(相对方差贡献大于 2.5%, 累积方差贡献 31.5%) 的高荷载中心, 综合填绘在图 3 中。为清晰起见, 将沿经向成对分布为主的第 2、3、5、7、8、10 分量集中在图 3a 上, 沿纬向成对或相伴分布的第 1、4、6、9、11 分量集中在图 3b 上。图中粗体数码表示分量的序号, 其右上角的+、-号表示高荷载中心值的正、负号, 下方的数值表示该中心的绝对极大荷载值; 粗虚线表示该分量的伴随中心。图中第 1、3、4、5、8 等 5 个分量的高荷载区, 与 Horel^[8]对 30 年夏季(6—8 月) 90 个月份月平均 500hPa 高度场所计算的旋转主分量高荷载区, 在地理分布上大致类似。其它分量差别较大, 可能是由于候、月平均的差异及资料年代不同的缘故。RPC 方法克服了 EOF 展开时荷载(特征)向量依赖于计算区域等弱点, 但引出了随样本大小而改变的问题。例如 Horel 同时计算了 15 年(1962—1976) 冬季 45 个月与 30 年(1950—1979) 冬季 90 个月两种样本, 结果就有了变化(参见文献^[8]中图 3 与图 5a)。这是应用中需要谨慎处理的。

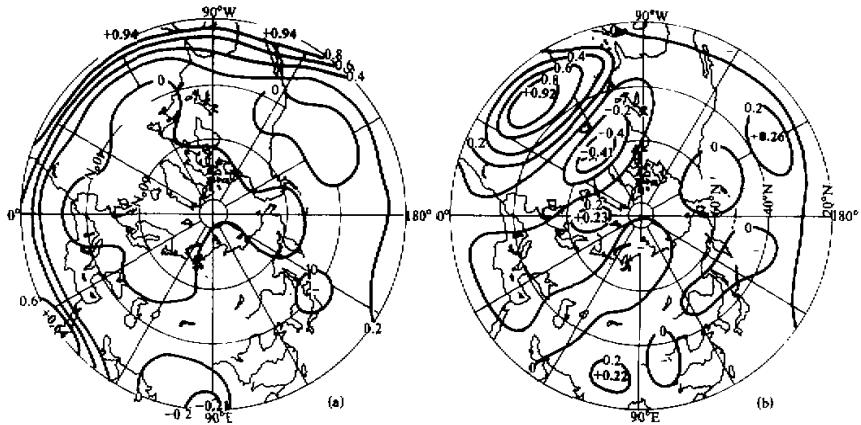


图2 第1(a)、第7(b)旋转主分量荷载向量的分布图

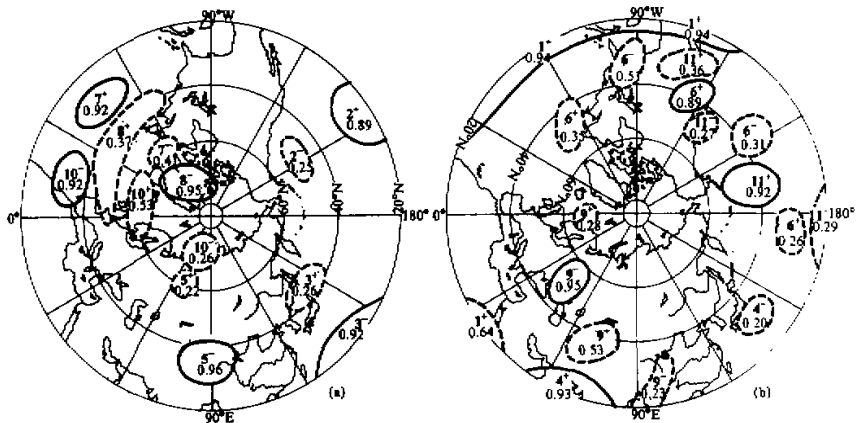


图3 前11项旋转主分量高荷载中心的综合分布图

沿经向(a)与沿纬向(b)成对分布为主的分量

就本文资料样本的计算结果来说,仔细对比图3与图1不难看出,第4、7、8、9、11分量的主要高荷载中心都与持续性异常的多频数中心对应得相当好,第1、2、3、5、6分量的主要高荷载中心也基本位于持续异常的多频数区附近。只有第10分量例外。其中第1分量高荷载区域,1970年以前资料缺测对频数的统计有直接的影响。

五、旋转主分量时间系数的持续性分析

Dole^[1]提出的环流持续性异常的统计方法,揭示了持续性异常频繁出现的地理区域,但不便于进行时域变化的分析,而旋转主分量的时间系数计算可提供这种途径。各

分量的时间系数表示该分量的荷载向量与同时刻实测要素距平场的相关程度。一般,时间系数正值越大,表示该时刻的实测距平场越相似于该分量的荷载向量分布图形^[8]。

取标准化的时间系数绝对值大于 1.0 表示各分量的异常。图 4 绘出了前 11 项分量时间系数值大于+1.0 和小于-1.0 时,各种持续期的平均相对频率(%)直方图。它基本上表达了各分量异常值持续性类同的气候特点:与独立事件概率分布(图中用小圆圈表示)相比较,表明各分量异常值是具有持续性的。以总候数 846 (各年 5—8 月,第 25 到 48 候间,即 24 候 $\times$ 36 年)为分母,各分量时间系数绝对值大于 1.0 的占 31.3%,稍低于正态分布的概率。其中持续期达 2 候的占 13.9%,达到 4 候的占 3.3%,长于 6 候的相对频率略高于 1%。反映低纬度异常的第 1、4 分量最长持续期可达 12—17 候之久,而持续性较差的第 10、11 及 6 分量,最长持续期只有 6 候。总的说来,随着持续期的延长,其出现机率略高于按马尔柯夫链转移概率的估计值(图中用小黑点表示)。过去关于全年逐候平均图^[9]和对冬季逐日^[10]500hPa 高度场的分析结果也已指出过环流的持续性一般是较短的。

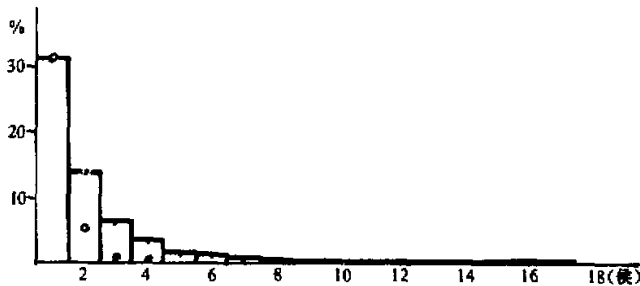


图 4 前 11 项旋转主分量时间系数大于+1.0 和小于-1.0 时各种持续期的相对频率(%)直方图
图中小圆圈表示独立事件的概率,小黑点表示马尔柯夫链的概率估计。

然而,一些季节性的环流异常,除个别表现为长达 10 候以上的连续持续性异常外,却通常是由同一类的持续性异常多次替换、重复出现而构成的。例如第 1 分量时间系数在 1980 年与 1971 年夏天,就表现出对比鲜明的持续性异常 3—5 次的替换重现(图 5)。其中 1980 年夏季西半球副热带高压南部(参见图 2a)表现为接连 4 段时间的持续性正异常(偏强);而 1971 年夏天,西半球副高南部出现了陆续 3 段时间的持续性负异常(偏弱)。类似的过程在其它分量的时间变化上也有反映。

还有第 7 分量时间系数的年际变化(图 6)表现出接连数年甚至十几年的持续性异常,这是由逐年夏季的季节性异常组成的。即北大西洋副高北部及中高纬度北美东岸大槽(参见图 2b)在 50—60 年代夏天持续偏强,而 70—80 年代连年持续偏弱。这一变化趋势,与近 30 多年来在非洲萨赫勒(Sahel)地区以及我国华北等地的夏季,在 50—60 年代多雨湿润而 70—80 年代少雨干旱^[11]的气候变化趋势有较好的对应关系。它们是由什么样的环流过程联系起来的?尚待进一步研究。

六、结 语

综合上述分析, 可获得以下认识:

(1) 北半球夏季 500hPa 高度场持续性异常相对频繁的地区, 除了两大洋的中高纬区域及乌拉尔山北部之外, 还有北美洲至大西洋西部、非洲北部、印度半岛、及北太平洋中部的副热带系统。

(2) 旋转主分量前 11 项分量的高荷载中心, 在地理位置上, 大多与环流持续异常的高频数中心或其邻近区域相吻合, 同时也与某些地区的大气低频振荡作用中心^[8]相对应。这表明频繁出现的持续性环流异常, 是大气低频振荡的主要表现。

(3) 由旋转主分量时间系数所反映的候平均环流异常的持续性, 略高于马尔柯夫链。但是某些地区季节性环流异常及多年的趋势性环流异常, 通常是由某些环流系统或作用中心多次替换、反复出现的持续性异常所组成的。夏季的副热带系统是这类持续性异常的重要组成部分。

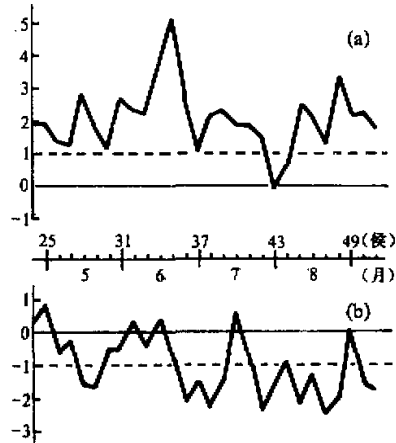


图 5 1980 年(a)与 1971 年(b)夏季第 1 分量时间系数曲线

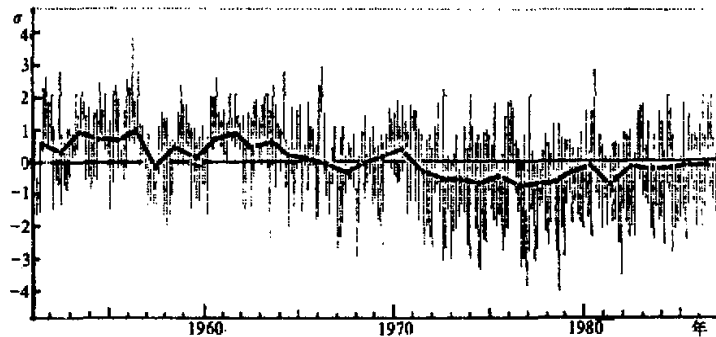


图 6 第 7 分量时间系数的逐年变化曲线

其中粗横线表示各年夏季平均值的变化

参 考 文 献

- [1] Dole, R. M. et al., 1983, Persistent anomalies of the extratropical Northern Hemisphere wintertime circulation: Geographical distribution and regional persistence characteristics, *Mon. Wea. Rev.*, 111, No.8, 1567-1586.
- [2] Dole, R. M., 1986, Persistent anomalies of the extratropical Northern Hemisphere wintertime circulation: Structure, *Mon. Wea. Rev.*, 114, No.1 178-207.
- [3] Dole, R. M., 1986, Life cycles of persistent anomalies, Part I: Evolution of 500 hPa height fields, *Mon. Wea.*

- Rev., 117, No.1, 177–211.
- [4] Dole, R. M. et al., 1990, Life cycles of persistent anomalies, Part II: The development of persistent negative height anomalies over the North Pacific Ocean, *Mon. Wea. Rev.*, **118**, No.4, 824–846.
- [5] O'Lenic, E. et al., 1988, Amplitude–persistence–transitions of low frequency modes, *Proceedings of the thirteenth annual climate diagnostics workshop*, Held at the Atmospheric and Environmental Research Inc. Cambridge, Massachusetts, Oct.31–Nov.4, 1988, 448–452.
- [6] 江剑民, 1991, 我国大陆干旱指数及其年际变化, *大气科学*, **15**, No.1, 43–52.
- [7] Richman, M. B., 1981, Obliquely Rotated Principal Components: An Improved Meteorological Map Typing Technique? *J. Applied Meteorology*, **20**, 1145–1159.
- [8] Horel, J. D., 1981, A rotated principal component analysis of the interannual variability of the Northern Hemisphere 500 mb height field, *Mon. Wea. Rev.*, **109**, No.10, 2080–2092.
- [9] 江剑民, 1983, 北半球 500 毫巴候平均图的波谱分析和预报, *气象学报*, **41**, No.4, 433–443.
- [10] Horel, J. D., 1985, Persistence of the 500 mb height field during Northern Hemisphere winter, *Mon. Wea. Rev.*, **113**, No.11, 2030–2042.
- [11] 江剑民等, 1993, 对我国年、季大气干旱指数的气候跃变分析, *气象学报*, **51**, No.2, 255–258.

An Analysis of Persistence of 500 hPa Pentad Mean Height Anomalies for the Northern Hemisphere Summer

Jiang Jianmin and Qian Chuanhai

(Beijing Meteorological College, Beijing 100081)

Abstract

Both of the persistent anomaly criterion and the Rotated Principal Component (RPC) analysis were applied to 500 hPa pentad mean height data for the Northern Hemisphere Summer during 1951–1986 to diagnose the characteristics of geographical distribution and duration of persistent anomalies of the Northern Hemisphere summertime circulation. The results show that the localities of high-loading centers of the first 11 RPCs basically coincide with those of the high frequency regions where the persistent anomalies occur. The persistence of pentad mean circulation anomalies is little higher than the Markov Chain, but some seasonal abnormalities often comprise reoccurrences of the persistent anomalies with short breaks, and the subtropic systems are important components of the persistent anomalies for the Summertime.

Key words: persistence; atmospheric circulation anomaly; rotated principal component analysis.