

文章编号: 1000-2022(2000)-01-0009-07

北半球夏季大气活动中心 与海平面气压场的气候基本态及变率特征*

施 能¹, 袁晓玉¹, 陈绿文¹, 邓自旺²

(南京气象学院 1. 大气科学系; 2. 环境科学系, 南京 210044)

摘要: 研究了近 100 多年北半球夏季大气活动中心强度与北半球海平面气压场的气候基本态及气候变率特征及时间演变规律。指出, 夏季太平洋高压区与印度低压区基本态的改变最大。基本态的变化表现为两个基本模态: 第一模态主要反映印度低压的变化; 第二模态主要表现太平洋高压及大西洋高压的特征。它们都有明显的长期变化。近百年来, 印度低压与太平洋高压已明显地加强了, 大西洋高压也有所加强。印度低压的低频强度具有大约 80 年周期变化特征。而太平洋高压及大西洋高压则表现为明显的正趋势, 它们的突变加强发生在本世纪初, 在此以前两个高压都很弱, 以后高压增强, 20 世纪 10~30 年代最强。此外, 东亚夏季风的强度与夏季太平洋高压、北半球海平面气压第二模态在气候尺度上有明显的正相关。

关键词: 大气活动中心; 气候基本态; 气候变率

中图分类号: P448

文献标识码: A

气象场与气候系统都有一个慢变的气候平均值, 在 E M Rasmusson 等^[1], Wang 等^[2]的论文和著作中称为“气候基本态”, 它定义为 30 年以上的慢变的平均值。他们研究了 19 世纪中期开始的 100 多年 ENSO 的长期变化, 发现 ENSO 尺度的变率(频率和振幅)可改变 2 倍以上, 从而影响气候异常。气候基本态是个需要揭示和研究的重要问题。Wang^[3,4], Wang 等^[2]和 Parthasarathy 等^[5]指出, 作为背景状态的慢变的平均值可能对高频变化有影响。所以, 气候基本态问题对许多气候前沿问题有很大的科学意义与应用前景。然而, 目前除了海平面气温(SST)场以外, 对其他气象场的气候基本态的空间相关结构及时间演变规律所知甚少。实际上, 表征低层大气环流特征的海平面气压场的资料状况显然比 SST 场资料好得多。有必要和可能较全面地研究大气低层环流的气候基本态的空间相关结构及时间演变规律。因为不同的季节的环流特征差别是较大的, 所以研究基本态有必要分季节进行。作者曾对北半球冬季海平面气压场的气候基本态进行了研究^[6]。本文揭示夏季海平面气压场的气候基本态变化特征。

长期气候变化既可以发生在数十年的气候平均值上, 也可以出现在数十年中的气候变率上。其实, 气候变率的异常是一个更为重要而过去极少注意的问题。平均值的改变表明了气候基本态的变化, 然而, 变率的改变则更紧密地与环流天气的频率及强度相联系。海平面气压场

* 收稿日期: 1999-05-26; 改回日期: 1999-10-08

基金项目: 国家自然科学基金 49875019 资助

作者简介: 施 能, 男, 苏州市人, 1942 年 5 月生, 教授。主要研究方向: 气候变化, 天气动力学

的变率异常特征,很值得研究与揭示。为此,本文还研究夏季海平面气压场的气候变率异常的问题。

1 资料与研究方法

1.1 资料

利用英国东安吉林利大学气候研究室提供的具有较高精度(5°×10°经纬网格)的北半球月海平面气压场资料。资料长度为1873~1995年,范围是15~85°N。本文研究时只使用1873~1993年(121年),20~80°N的资料。夏季以6~8月的平均值来表示。该资料有13×16=468格点,121年资料组成了468×121的资料矩阵 X 。

1.2 方法

用EOF(自然正交函数)方法对 X 距平矩阵进行分解。计算时还利用了时空变换方法。此外,文献[7]提出的EOF分解特征值样本误差估计方法被用于确定有物理意义的特征向量。

(1)夏季活动中心强度序列的建立。图1是1873~1993年夏季北半球海平面气压多年平均图。从图1可以看出,在多年的夏季北半球海平面气压平均图上,北半球夏季表现为印度低压、大西洋高压和太平洋高压等大气活动中心。根据它们的位置,本文用如下范围的海平面气压值代表各大气活动中心的强度,从而建立了1873~1993年的夏季大气活动中心强度序列。印度低压:20°N~30°N,60°E~80°E;太平洋高压:30°N~40°N,170°W~140°W;大西洋高压:30°N~40°N,20°W~50°W。在夏季海平面气压场的多年平均图上,这3个区域分别是低压(印度)中心区与高压(太平洋、大西洋)中心区。

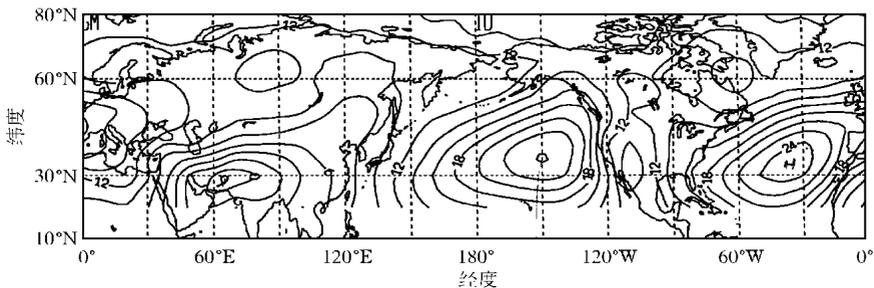


图1 夏季北半球海平面气压平均图(1873~1993年)(单位:hPa,图中值已减去1000 hPa)

Fig. 1 The Map of the Northern summer mean sea level pressure, with unit of hPa and 1 000 hPa have been subtracted

为了解海平面气压场的长期趋势变化,计算了EOF的时间系数及夏季活动中心强度序列的趋势系数,它定义为所要计算的要素的时间序列与自然数列的相关系数,方法见文献[8]。

(2)高低频的分离。本文使用一种滤波频带很狭的多级滤波器实现频带的分离。这种滤波器是由Zheng等^[9]提出的。滤波器的计算程序由Wang提供的(私人通信)。将北半球的各格点的夏季的海平面气压资料以30年为界滤波,即

$$SLP = SLP_L + SLP_H. \quad (1)$$

定义30年以上的慢变的平均值场(SLP_L 格点值组成)为“气候基本态”。而高频分量(SLP_H)则包括QBO尺度、ENSO尺度(2~7年)以及年代际尺度(10~25年)的气候变化。利用这种方法滤波后的序列的长度与原序列相同。夏季3个大气活动中心的强度序列,也用(1)式进行频带的分离。

为研究气候变率异常, 参照文献[1~3]的方法, 我们计算 SLP 的高频分量场的 31 年滑动均方差,

$$SLP_{HV}(t) = SQR T \left(\sum_{k=-15}^{k=15} SLP_H^2(t+k)/31 \right). \quad (2)$$

$SLP_{HV}(t)$ 的序列长度与原序列相比, 前后少 15 年。 $SLP_{HV}(t)$ 的格点值组成的场可以进行 EOF 分解。用于估计高频分量场的气候变率特征的空间与时间变化特征。

2 北半球夏季海平面气压场的气候基本态特征

2.1 均方差场

用(1)式对北半球 468 个格点的夏季 SLP 序列的距平值进行计算, 结果得到一个表示气候基本态变化的 SLP_L 场。图 2 给出的是北半球夏季 SLP_L 的均方差场。

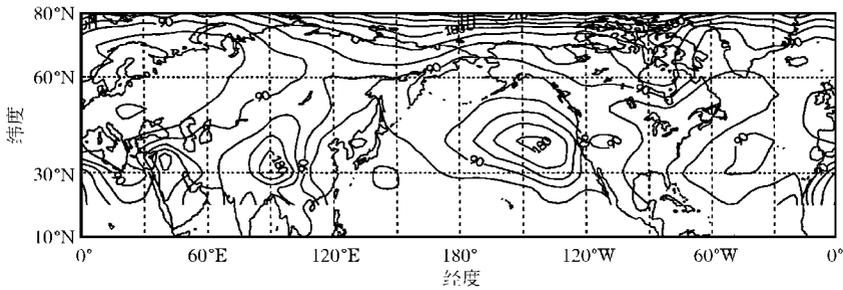


图 2 北半球夏季海平面气压基本态(SLP_L)的均方差场(单位: 0.01hPa)

Fig. 2 The mean square deviation for climate base state of summer SLP_L (unit: 0.01 hPa)

由图 2 看出, 在中低纬度的太平洋高压及印度低压区是气压基本态的均方差的大值区, 表明太平洋高压与印度低压的海平面气压的 30 年以上的慢变的平均值改变特别明显。大西洋高压区的低频均方差也相对较大。图 2 与用 SLP 及 SLP_H 场计算的均方差场图(图略)是比较相似的。如果(1)式是对实测资料计算, 则基本态的平均场表现为夏季的印度低压、太平洋高压、大西洋高压等大气活动中心, 这与多年北半球夏季海平面气压场的平均是一致的。

2.2 基本态的特征向量图

将计算所得的 SLP_L 场进行 EOF 展开, 图 3 给出 SLP_L 的距平场的第一、二特征向量图及对应的时间系数, 它们解释了总方差的 81.7%, 都已通过 North 的检验标准。

第一特征向量分布型(图 3a) 占总方差的 64.4%。由图 3a 看出: 在高纬度是北高南低的特征。在中、低纬度最大的正荷载中心在印度, 不太强的负中心位于太平洋; 该特征模态的时间系数(图 3c)与夏季印度低压、太平洋高压、大西洋高压的气候基本态的时间序列(见图 4)的相关系数分别达为 0.90, -0.49, -0.13。所以, 该分布型主要对应的是印度低压强度的慢变特征。第二特征向量分布型(图 3b) 占总方差的 17.3%。由图 3 看出: 在太平洋为强的正区, 强的正中心位于夏季太平洋高压的平均位置, 大西洋高压区也有正中心。该特征模态的时间系数(图 3d)与夏季印度低压、太平洋高压、大西洋高压基本态的时间序列的相关系数分别为 0.11, 0.86, 0.77。所以, 该特征型主要反映的是太平洋高压, 大西洋高压的气候基本态特征。

第一时间系数在本世纪 30 年代明显转为负值, 表示 30 年代开始印度低压明显加强, 太平洋高压也有所加强, 在此以前印度低压弱。第二时间系数在本世纪 20 年代前后是明显的高值, 表明当时太平洋高压、大西洋高压都比较强, 40~80 年代少变, 80 年代以后夏季太平洋高压、

大西洋高压已有所减弱。

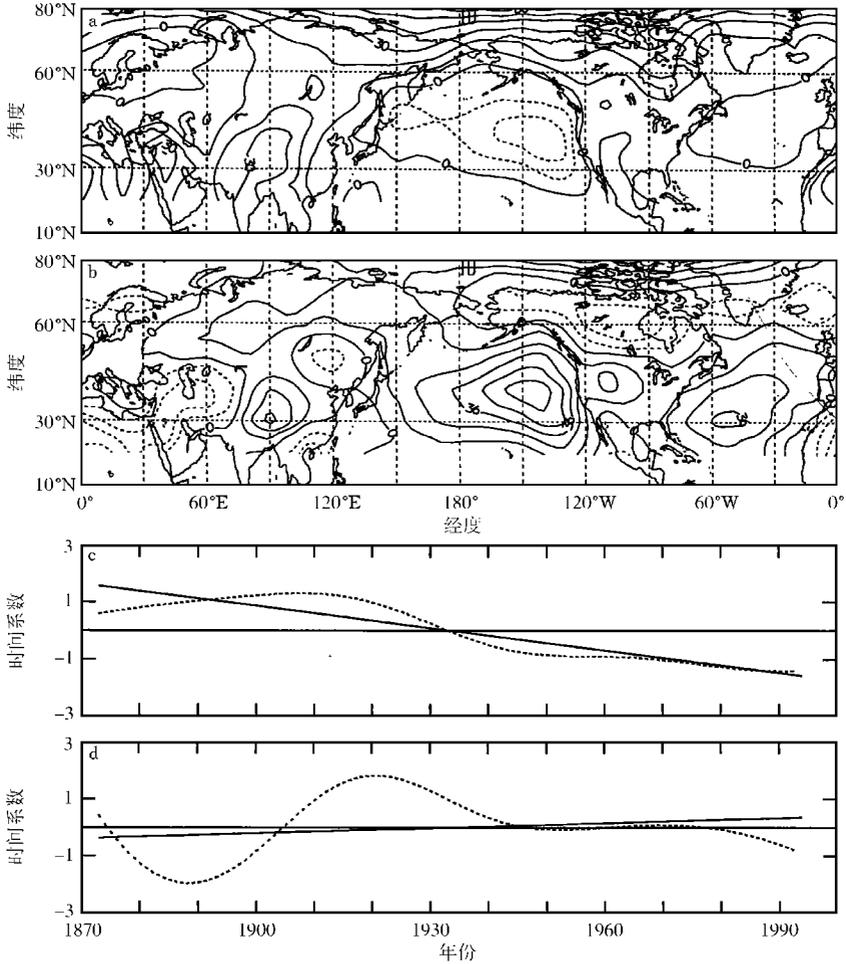


图3 夏季气候基本态(SLP_L)场的第一(a)、二(b)特征向量及对应的时间系数(c、d)(虚线) 图中的直线是直线回归线,数值已标准化

Fig. 3 The first (a) and second (b) eigenvector of EOF of SLP_L and the corresponding normalized the first (c) and second (d) time coefficient (dashed curve), with regression line

3 北半球大气活动中心的气候基本态特征

图4给出夏季大气活动中心强度基本态图。可以看出它们的强度有长期趋势变化,太平洋高压、印度低压、大西洋高压的趋势系数分别是0.41、-0.70、0.26。表明近百年来,印度低压与太平洋高压已明显的加强了,大西洋高压也有所加强。另外,印度低压则表现为非常明显的负趋势上迭加了二强二弱变化,周期大约80年。而太平洋高压与大西洋高压则表现为在20世纪初明显的突变加强,在此以前两个高压都非常弱,10~30年代最强,以后强度少变,70年代以后正趋势略有减弱,80年代后,两个高压都略有减弱。

4 北半球夏季海平面气压场的气候变率特征

前文已指出,长期气候变化既可以发生在数十年的气候平均值上,也可以出现在数十年中

的气候变率上。现在, 我们利用(2)式计算出 SLP_{HV} 场。图 5 给出 SLP_{HV} 场的第一特征向量图及时间系数。

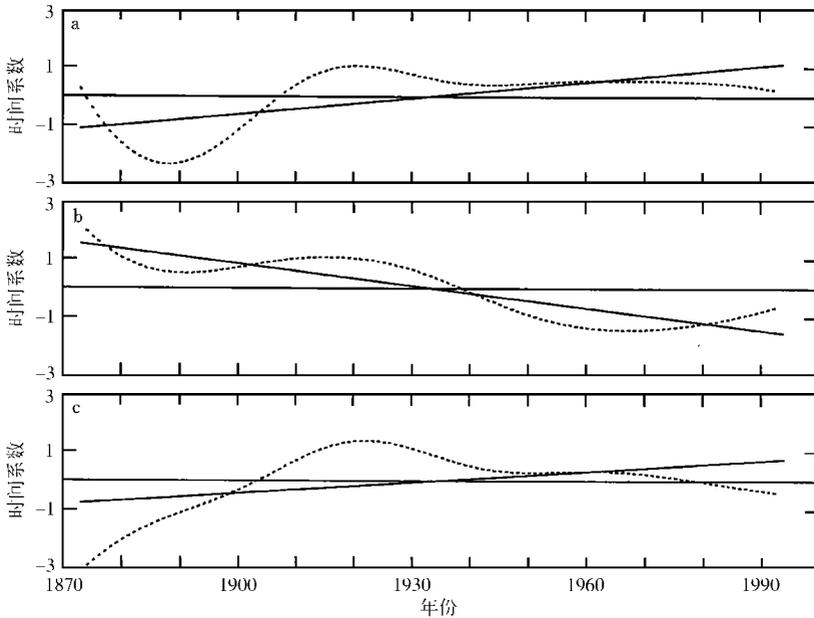


图 4 夏季大气活动中心强度距平的基本态图(虚线是基本态, 直线是回归线, 数值已标准化)
a: 太平洋高压; b: 印度低压; c: 大西洋高压

Fig. 4 The base state (dotted curves and normalized values) of summer atmospheric action centers: Pacific High (a), Indian Low (b) and Atlantic High, with regression lines

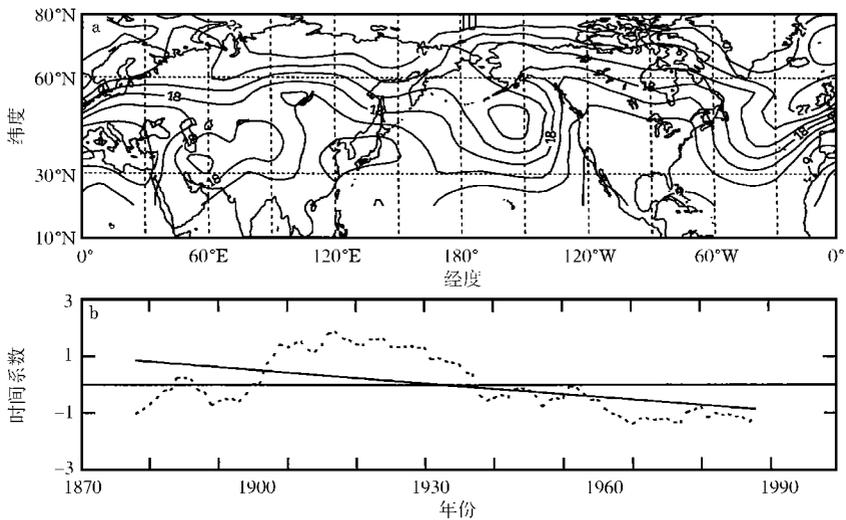


图 5 夏季海平面气压基本态(SLP_{HV})的第一特征向量(a)及对应的时间系数(b)(虚线)
图中的直线是直线回归线, 数值已标准化

Fig. 3 The first eigenvector(a) of EOF of SLP_{HV} and the corresponding normalized the first time coefficient (b, dashed curve), with regression line

该模式(图 5a) 占总方差的 97.5%。由图可看出, 太平洋, 东大西洋和印度西北部是高频

方差的中心。对应的时间系数(图 5b)在本世纪 10~20 年代均方差较大,从 20 年代开始变率明显下降。Wang 等^[2]指出,太平洋是全球海平面温度的高频 31 年滑动均方差 SST_{HV} 的优势地区,而对应的时间系数表示为本世纪初的低值到目前的高值,有明显的线性正趋势。本文的结果表明,夏季气压场的变率与海平面温度的高频滑动均方差的变化趋势是相反的,表现为从本世纪初的高值到目前的低值,有明显的线性负趋势。近期夏季海平面气压的高频变率处于近百年中的低值。

5 北半球夏季 SLP 场基本态与东亚夏季风

北半球夏季 SLP 场的慢变过程及变率异常对北半球及我国夏季气候的影响是一个需要仔细研究的重要问题,我们将另文予以研究。初步分析表明东亚夏季风百年强度异常与北半球夏季海平面气压场基本态、夏季大气活动中心的基本态是一致的。根据文献[10]给出的东亚夏季风百年强度指数资料计算出东亚夏季风强度的基本态变化(图 6)。

可以看出,图 6 与图 4a、图 6 与图 3d 的都是非常一致的,当太平洋高压强度处于强背景时(或夏季海平面气压基本态的第二模态处于正位相)时,东亚夏季风强度也处于强背景。用 121 年资料计算的时间序列之间的相关系数为 0.90(0.80)。东亚夏季风强度的气候变化必然会对我国夏季的气候变化有重要影响。

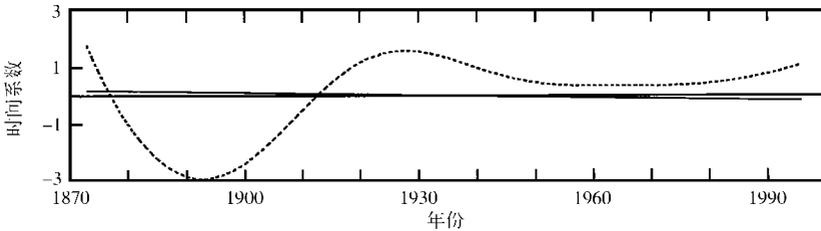


图 6 东亚夏季风强度的气候基本态(数值已扩大 10 倍)

Fig. 6 The base state of east Asian summer monsoon intensity index (the value is amplified by 10 times)

6 结 论

(1) 夏季太平洋高压区与印度低压区是基本态变化最大的地区。基本态的变化表现为两个基本模态:第一模态为主要反映印度低压的强、弱变化;第二模态主要表现为太平洋高压及大西洋高压的强、弱变化,它们都有明显的长期变化。

(2) 近百年来,印度低压与太平洋高压已明显地加强了,大西洋高压也有所加强。印度低压的低频强度具有大约 80 年的周期变化特征。而太平洋高压及大西洋高压则表现为明显的正趋势,它们的突变加强发生在本世纪初,在此以前两个高压都很弱,以后高压增强,10~30 年代最强。

(3) 东亚夏季风的强度与夏季太平洋高压、北半球海平面气压第二模态在基本态的气候尺度上有非常明显的正相关。

参考文献:

- [1] RASMUSSEN E M, WANG X L, ROPELEWSKI C F. Secular variability of ENSO cycle[M]. Decade to century time scales of natural climate variability. Academic Press, 1994

- [2] WANG X L, ROPELEWSKI C F. An assessment of ENSO-scale secular variability[J]. *J Climate*, 1995, 8(8): 1584 ~ 1599
- [3] WANG B. Transition from a cold to a warm state of the El Niño-Southern Oscillation cycle[J]. *Met Atmos Phys*, 1994, 48(1): 1 ~ 16
- [4] WANG B. Interdecadal change in El Niño onset in the last four decades[J]. *J Climate*, 1995, 8(2): 267 ~ 285
- [5] PARTHASARATHY B, KUMAR K, MUNOT A A. Evidence of secular variation in Indian monsoon rainfall-circulation relationships[J]. *J Climate*, 1991, 4(9): 927 ~ 938
- [6] 施 能, 邓自旺, 潘惠娟, 等. 北半球冬季海平面气压场的气候基本态与气候变率特征及其影响的初步研究[J]. *大气科学*, 2000, 即将发表
- [7] NOTRH G, BELL T, CAHALAN R, et al. Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal function[J]. *Mon Wea Rev*, 1982, 110(3): 699 ~ 706
- [8] SHI Neng, TU Qipu, CHEN Jiaqi. Temperature and rainfall and their anomalies in China in the 20th century cold-warm background[J]. *ACTA Meteor Sinica*, 1995, 9(4): 445 ~ 455
- [9] ZHENG D W, DONG D N. Realization of narrow band filtering of the polar motion data with multi-stage filter translated[J]. *Acta Astron Sin*, 1986, 27(2): 368 ~ 376
- [10] 施 能, 鲁建军, 朱乾根. 东亚冬、夏季风 100 年强度指数及其气候变化[J]. *南京气象学院学报*, 1996, 19(2): 168 ~ 177

Study on climate base state of northern summer atmospheric action center and SLP with its climate variability

SHI Neng¹, YUAN Xiao-yu¹, CHENG Li-weng¹, DEN Zi-wang²

(1. Department of Atmospheric Sciences; 2. Department of Environmental Sciences, NIM, Nanjing 210044)

Abstract: Study is undertaken of the climate base state of northern summer atmospheric action centers and sea level pressure (SLP) with its climate variability and temporal evolution in the past 100 years, indicating that the base state has its high-value region of mean square deviation in the Pacific High and Indian Low. The climate base state of the summer SLP exhibits two modes for its variation. The first eigenvector of the base state displays Indian Low, the second Pacific High and Atlantic High. They have secular variation. The Indian Low and Pacific High is enhanced, with the Atlantic High being slightly enhanced in the past 100 years. The climate base state of the Indian Low displays oscillations at periods 80-years. Evidence suggests that the Pacific High and Atlantic High display a remarkably positive trend. They abruptly enhanced in the early 1900s, before that they are considerably weak and after that they become the strongest in 1910s ~ 1930s. Further, the east Asian summer monsoon is closely positively related with the summer Pacific High intensity and with the second mode of northern SLP on the scale of more than 30 years.

Key words: atmospheric action center; climate base state; climate variability