

夏季西太副热带高压的东西偏移和对流层低层环流变化的主要模态的关系*

陆日宇^{1**} 李颖^{1,2} Chan-Su Ryu³

1. 中国科学院大气物理研究所, 大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室/季风系统研究中心, 北京 100080;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100039; 3. Center for Asian Monsoon and Climate Environment Research, Chosun University, Korea

摘要 夏季西太平洋副热带高压的东西偏移显著影响我国的气候异常。文中首先修订了原有的副高东西指数定义, 并利用它分析了副高东西偏移和 850 hPa 环流主要变化模态之间的关系, 发现副高东西偏移和环流变化的第一、第二模态均有显著的相关关系, 特别是和第二模态在 1958—2003 年(46 年)的相关系数高达 0.78。由于第二模态没有对应明显的海温异常信号, 上述结果意味着对夏季副高东西偏移的季度预测可能是一个比较困难的问题。此外, 由于这两个模态的共同作用, 特别是第二模态的作用, 导致 1978 年以来副高东西偏移的年际变率明显变大, 这可能是最近 20 多年我国气候异常频发的原因。

关键词 西太副高 大气环流变化 主要模态 年际变化 年代际变化

西太平洋副热带高压在东亚夏季风系统中占有重要地位, 位于它西北侧的低空西南气流向东亚地区输送大量的水汽。因而, 西太副高的位置、形态和强度决定着东亚地区的大尺度准静态锋面^[1, 2]。

以往的研究注重副高在南北方向的偏移, 而对副高在东西方向上的偏移关注较少。事实上, 因为东亚地区处于西太副高的西北侧, 副高在东西向的偏移也对东亚季风起重要作用, 影响水汽的输送路径, 并影响东亚地区的降水。因而, 近年来有了针对副高东西偏移的一些研究。如 Zhang 等^[3, 4]分析了 ENSO 成熟期对东亚大气环流和我国降水的影响, 认为夏季 ENSO 成熟期时, 西太平洋副高偏西, 导致长江中下游地区降水偏多, 而华北和华南降水偏少。还有研究^[5, 6]表明夏季菲律宾海上空的大气对流异常通过激发出西北太平洋对流层低层气旋或反气旋式环流异常, 可以显著影响副高的东西偏移。此外, 南半球环流变化(Mascarene 高压和澳大利亚

高压)也会对西太副高的季内东西振荡产生影响^[7]。

500 hPa 位势高度场被广泛用来描述西太副高^[1, 8—11]。实际上, 中国气象局就是根据 500 hPa 位势高度场定义的副高指数。然而, 副高在低层更为稳定和强大。此外, 低层与西太副高密切关联的急流向东亚输送大量水汽, 并对我国夏季降水异常起重大影响作用。因此, 本研究中将采用对流层低层(850 hPa)的要素来描述副高的东西偏移。

最近, Lu 等^[12]分析了对流层低层西太平洋夏季大气环流年际变化的主要模态, 并研究了这些模态各自的可预测性问题。其中第一模态可称之为“热带模态”, 信号主要出现在热带地区, 它受海温影响比较明显; 第二模态可称之为“经向模态”, 信号在西太平洋呈南北向的遥相关型分布, 主要受大气内动力过程的控制。由于受到模拟结果的限制, 该文的主要结果是根据 15 年(1986—2000 年)的资料得到的, 对研究年际变化来说, 资料长度有些短。

2006-05-16 收稿, 2006-09-07 收修改稿

* 国家自然科学基金(批准号: 40523001)和韩国朝鲜大学(Chosun Univniversity)研究基金(资助号: K219355005-1)资助项目

** E-mail: lr@mail.iap.ac.cn

在本研究中,我们只利用观测资料,因此资料长度可以大大延长,可以得到更为准确的年际变化规律.

夏季西太平洋副高是影响我国气候异常的重要因素,它的变化规律和上述的环流变化主要模态之间有什么样的关系?主要环流变化模态在多大程度上可以说明西太副高的变化?本研究将以西太副高的东西偏移为代表,对这两个问题进行分析.

1 夏季西太副高东西指数定义的调整

Lu^[13]利用 850 hPa 位势高度场定义了西太副高的东西指数和南北指数.这些指数是根据夏季位势高度异常在某些特定区域内的平均计算而得到:对西太副高的东西指数,平均的区域为西太副高的西侧(110—150°E, 10—30°N);而对南北指数,平均的区域为西太副高的西北侧(120—150°E, 30—40°N).Yang 和 Sun^[14, 15]考虑到全球变暖等现象会引起等压面抬升,并造成西太副高虚假的变化趋势,因而在定义副高东西偏移的指数时,为避免这种虚假的变化趋势,他们使用了 500 hPa 的相对涡度异常,而不是位势高度异常,平均的区域为(115—140°E, 22.5—30°N).

本研究用到的资料为美国 NCAR/NCEP 再分析资料,时间段为从 1958—2003 年的 46 年.夏季指 6—8 月.图 1 为文献[13]给出的副高东西指数,即(110—150°E, 10—30°N)平均的 850 hPa 位势高度异常,和 850 hPa 相对涡度的相关系数分布.在局

地,即在西北太平洋以及南海的北部,相关系数为负;而在南海南部、江淮、朝鲜半岛和日本南部相关系数为正.

我们采用 Yang 和 Sun^[14, 15]的方法,利用相对涡度来定义西太副高的东西指数,以避免副高虚假的变化趋势.但另一方面,如引言中所说,我们采用 850 hPa,而不是 Yang 和 Sun^[14, 15]中所用的 500 hPa.此外,根据图 1,平均的区域选为(125—150°E, 15—27.5°N),这一平均区域和以前研究^[13—15]中采用的区域均有些差异.

总结起来,本文的副高东西指数就是夏季区域(125—150°E, 15—27.5°N)平均的 850 hPa 相对涡度异常.该区域的西界比以往文献中所取的要偏东一些,主要是考虑到陆地地形可能造成的 850 hPa 数据噪声,而且相对涡度对数据误差比较灵敏.但分析表明对该平均区域的少许改动(如将西界取为 110°E)不会明显改变本文陈述的结果,也不影响本文的结论.本文的指数和文献[13]根据位势高度给出的副高东西指数之间的相关系数为-0.69,相关系数为负是因为使用的要素之间呈负相关.此外,和文献[14, 15]根据 500 hPa 相对涡度给出的副高东西指数之间的相关系数为 0.52.这些相关系数均达到 99.9%的统计信度,也从另一个方面表明本文给出的副高东西指数是合理的.

2 与西太平洋大气环流异常主要模态的关系

图 2 给出了利用经验正交函数(EOF)分析方法得到的西太平洋夏季 850 hPa 纬向风场年际变化的前两个主要模态. EOF 分析区域就是图中所示区域,即(90—180°E, 20°S—60°N).分析方法与文献[12]相同,只是本文使用的资料长度为 46 年,远远多于文献[12]中的 15 年.尽管资料长度不一样,但本文得到的前两个主要模态和文献[12]具有几乎完全一样的空间分布.第一模态的信号主要出现在热带地区,即“热带模态”;第二模态的信号在西太平洋呈南北向的波列状分布,即“经向模态”.本文中前两个主要模态所解释的方差百分比小于文献[12]根据 15 年资料得到的,这主要是由于采用 46 年资料后,NCAR/NCEP 再分析资料在亚洲地区具有的虚假年代际变化^[16]占去了超过 10%的方差(为第三模态,图略).但前两个模态中亚洲地区没有明显的

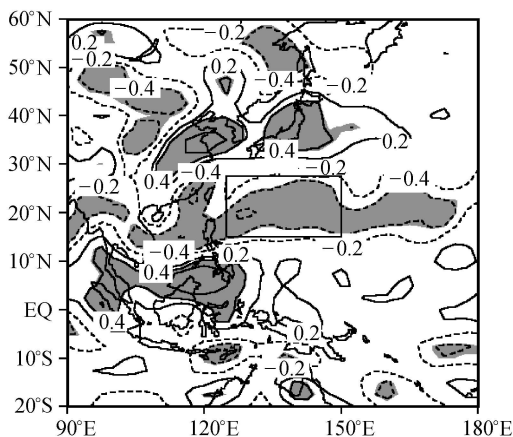


图 1 夏季 850 hPa(110—150°E, 10—30°N)平均的位势高度和格点上相对涡度的相关系数分布.阴影区表示信度达到 99%的区域.图中方框表示本文副高东西指数定义时使用的平均区域

信号,表明资料中虚假的年代际变化没有对这两个模态产生多少影响.

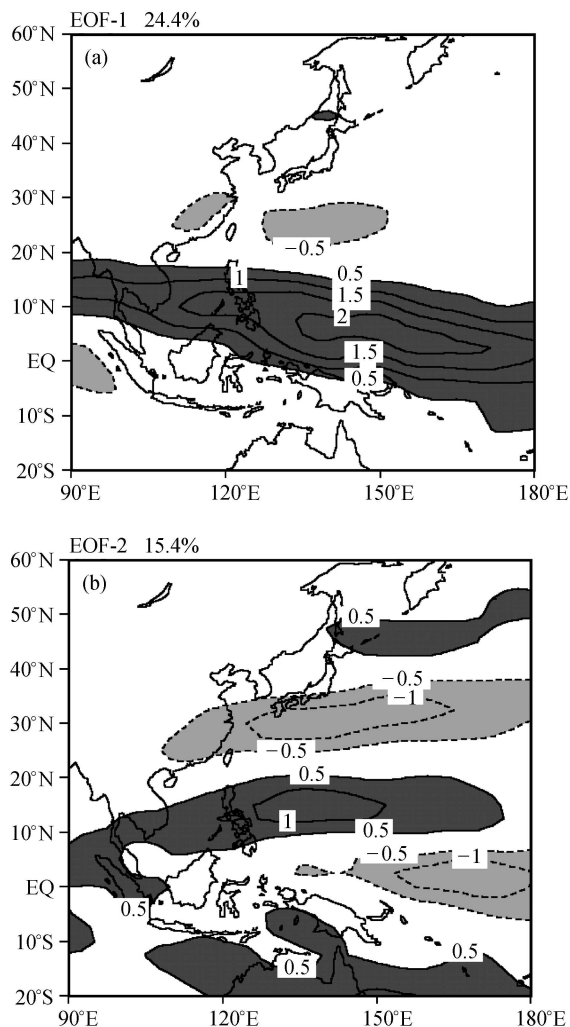


图 2 西太平洋夏季 850 hPa 纬向风场年际变化的模态

(a) 第一模态; (b) 第二模态.

图上方标注的数字表示该模态所解释的方差贡献

下面我们分析西太副高东西偏移和上述两个主要模态的关系. 为此给出副高东西指数和主要模态的时间序列(图 3). 从年际变化的情况来看, 副高东西指数和两个主要模态的时间序列均有很好的对应关系, 相关系数分别为 0.48 和 0.78, 均达到 99.9% 的统计信度. 这些相关系数说明“经向模态”可以解释副高东西偏移变化的 61% 方差, 而“热带模态”可以解释 23% 方差. 也就是说, 副高东西偏移变化基本上可以由前两个主要模态决定(解释 84% 的方差), 说明副高的东西偏移确实是西太平洋地区

对流层低层大气环流变异的主要特征之一.

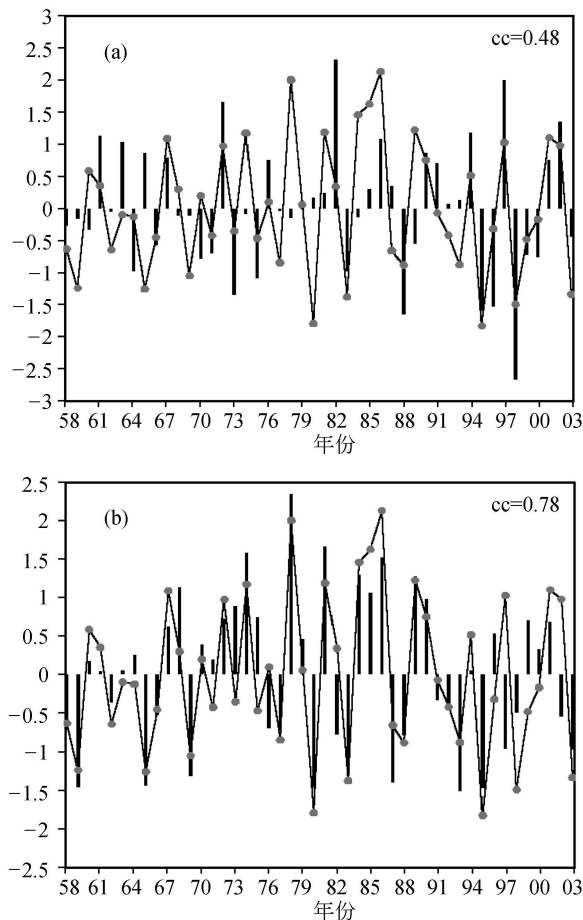


图 3 副高东西指数和主要模态时间序列图

(a) 第一模态; (b) 第二模态.

柱线表示第一(a)、第二(b)模态的时间序列, 折线表示副高东西指数, 均已标准化. 图中右上角标注的数字表示副高东西指数与模态时间序列的相关系数

“经向模态”解释副高东西偏移变化的程度远高于“热带模态”, 其解释的方差几乎是后者的 3 倍之多. 根据 Lu 等^[12]的结果, “热带模态”受海温影响比较明显, 可预测程度高些; “经向模态”主要受大气内动力过程的控制, 可预测程度很低. 因此, 我们可以推测夏季副高东西偏移尽管受到海温的一些影响, 但明显更多地受到大气内动力过程的影响, 因而对夏季副高东西偏移的气候预测将相当困难.

从图 3 中还可以看出 20 世纪 70 年代末以后, 副高东西指数的年际变率有明显变大的趋势, 同时第二模态的时间序列也有类似的趋势. 事实上, 我们的计算表明 1978—2003 年间副高指数的标准偏

差是 1958—1977 年间的 1.6 倍. 对 20 世纪 70 年代末发生的气候突变已有了大量研究, 如 Wang^[17]表明亚洲季风在那时变弱, 占瑞芬等^[18]指出西太副高双脊线事件年际变化的周期在 20 世纪 70 年代中期也发生了明显的变化.

我们利用以 7 年为移动窗口计算的标准偏差(图 4)来继续探讨这一问题. 所谓的 7 年移动窗口标准偏差是指某一年前后各 3 年(共计 7 年)内的标准偏差, 即图 4 中 1982 年的数值就是 1979—1985 年间的标准偏差, 用来表示 1982 年左右的年际变率大小. 该图表明副高东西指数的年际变率在 1975 年开始急剧增加, 说明副高指数的标准偏差确实在 20 世纪 70 年代末明显变大. 在 80 年代初达到峰值以后, 80 年代后期开始变小, 并在 90 年代稍有回升.

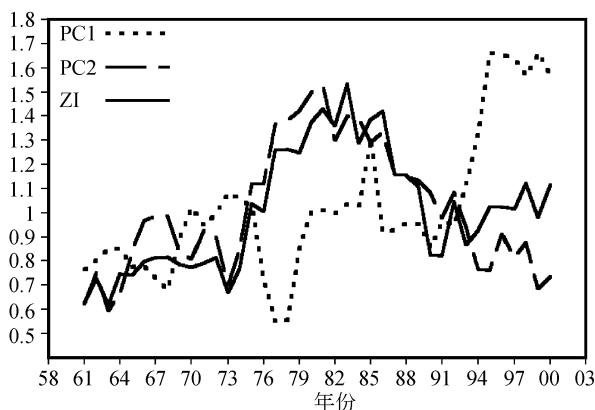


图 4 以 7 年为移动窗口计算的标准偏差
3 条曲线分别针对标准化的第一(点线)、
第二(虚线)模态的时间序列和副高东西指数(实线)

为分析副高东西指数年际变率的这种年代际变化与主要大气环流变化模态的关系, 图 4 中还给出了第一、第二模态时间序列的 7 年移动窗口标准偏差. 可以发现, 副高东西指数与第二模态时间序列两者的年际变率具有非常吻合的年代际变化, 只是 90 年代第二模态时间序列的标准偏差继续减少, 而副高指数的标准偏差则稍有增加. 90 年代副高指数和第二模态时间序列之间这种年际变率大小的差异可能来自于第一模态, 图 4 中可以看到第一模态的标准偏差在 90 年代明显大于前面的 30 年. 也就是说, 第一模态也对副高东西指数年际变率的年代际变化有些贡献, 但比起第二模态要小得多.

我们还分别分析了以 5 年和 9 年为移动窗口的

情况(图略), 结果均和图 4 中所示的差不多.

3 结论

利用 1958—2003 年(46 年)NCAR/NCEP 再分析资料, 对西太平洋副热带高压的东西偏移进行了研究. 首先, 对原有的副高东西指数定义进行了一些调整, 新的副高东西指数定义为夏季区域(125—150°E, 15—27.5°N)平均的 850 hPa 相对涡度异常. 比较了新旧指数, 发现它们之间具有很好的相关关系. 此外, 本文的结果对指数定义中平均区域的取法也没有表现出敏感性. 因而, 本文给出的副高东西指数是合理的.

利用该指数分析了副高东西偏移和 850 hPa 环流主要变化模态之间的关系, 发现副高东西偏移和第一、第二模态均有显著的相关关系, 均达到 99.9% 的统计信度, 特别是和第二模态的相关系数高达 0.78. 这两个主要模态可以解释副高东西偏移年际变化中 84% 的方差, 说明副高的东西偏移是西太平洋地区对流层低层大气环流变异的主要特征之一. 另一方面, 由于第二模态与副高东西偏移关系更显著, 它可以解释副高变化 61% 的方差, 同时它没有对应明显的海温异常信号, 因而对夏季副高东西偏移的气候预测将相当困难.

副高东西偏移的年际变率具有明显的年代际变化特征. 年际变率在 20 世纪 70 年代末明显变大, 在 80 年代初达到最大, 80 年代后期开始变小, 在 90 年代稍有回升. 副高东西偏移年际变率的这种年代际变化主要与第二模态有关, 但第一模态在 90 年代也有一些贡献.

由于观测资料长度所限, 本文给出的前两个主要模态在副高东西偏移年际变率的年代际变化中的作用还不十分确定, 其中有关的具体物理机制也不清楚, 需要做进一步的研究.

参 考 文 献

- 1 陶诗言, 朱福康. 夏季亚洲南部 100mb 流型的变化及其与西太平洋副热带高压进退的关系. 气象学报, 1964, 34: 385—395
- 2 Kurihara K. A climatological study on the relationship between the Japanese summer weather and the subtropical high in the western North Pacific. Geophys Mag, 1989, 43: 45—104
- 3 Zhang R, Sumi A, Kimoto M. Impact of El Nino on the East Asian monsoon: A diagnostic study of the '86/87 and '91/92

- events. *J Meteor Soc Japan*, 1996, 74: 49—62
- 4 Zhang R, Sumi A, Kimoto M. A diagnostic study of the impact of El Niño on the precipitation in China. *Adv Atmos Sci*, 1999, 16: 229—241
- 5 Lu R. Interannual variability of the summertime North Pacific subtropical high and its relation to atmospheric convection over the warm pool. *J Meteor Soc Japan*, 2001, 79: 771—783
- 6 Lu R, Dong B. Westward extension of North Pacific subtropical high in summer. *J Meteor Soc Japan*, 2001, 79: 1229—1241
- 7 薛峰, 何卷雄. 南半球环流变化对西太平洋副高东西振荡的影响. *科学通报*, 2005, 50: 1660—1662
- 8 Zhang J, Yu S. Diagnostic study on the relationship between the assembling of low frequency waves in the Pacific ocean and the abnormality of the subtropical high. *Adv Atmos Sci*, 1998, 15: 247—257
- 9 Sun S, Ying M. Subtropical high anomalies over the western Pacific and its relations to the Asian monsoon and SST anomaly. *Adv Atmos Sci*, 1999, 16: 559—568
- 10 陈月娟, 张弘, 周任君, 等. 西太平洋副热带高压的强度和位置与亚洲地表温度之关系. *大气科学*, 2001, 25: 515—522
- 11 慕巧珍, 王绍武, 朱锦红, 等. 近百年夏季西太平洋副热带高压的变化. *大气科学*, 2001, 25: 787—797
- 12 Lu R, Li Y, Dong B. External and internal summer atmospheric variability in the western North Pacific and East Asia. *J Meteor Soc Japan*, 2006, 84: 447—462
- 13 Lu R. Indices of the summertime western North Pacific subtropical high. *Adv Atmos Sci*, 2002, 19: 1004—1028
- 14 Yang H, Sun S. Longitudinal displacement of the subtropical high in the western Pacific in summer and its influence. *Adv Atmos Sci*, 2003, 20: 921—933
- 15 Yang H, Sun S. The characteristics of longitudinal movement of the subtropical high in the western Pacific in pre-rainy season in South China. *Adv Atmos Sci*, 2005, 22: 392—400
- 16 Wu R, Kinter III JL, Kirtman BP. Discrepancy of interdecadal changes in the Asian region among the NCEP-NCAR reanalysis, objective analyses, and observations. *J Climate*, 2005, 18: 3048—3067
- 17 Wang H. The weakening of the Asian monsoon circulation after the end of 1970's. *Adv Atmos Sci*, 2001, 18: 376—386
- 18 占瑞芬, 李建平, 何金海. 北半球副热带高压双脊线的统计特征. *科学通报*, 2005, 50: 2022—2026

(上接第 541 页)

3. 有毒难降解有机污染物(S, N, O-杂环)微生物降解的基因工程技术. 首次成功地构建出可耐受高浓度有机溶剂的脱硫工程菌和可将有机硫、有机氮代谢途径组合在一起的基因工程菌, 研究了石油中有机硫和有机氮化合物的联合降解技术; 利用硫氮微生物组合代谢的基因工程微生物技术, 研究了有机硫、有机氮、有机氧环境毒物微生物转化联合脱毒技术, 为有效利用微生物技术脱除有毒有机污染物和生物转化提供了新思路.

(供稿: 王春霞)