

文章编号: 1000-2022 (2006) 04-0477-07

南海夏季风对华南夏季降水年代际变化的影响

郑彬¹, 施能²

(1. 中国气象局 热带海洋气象研究所 热带季风重点开放实验室, 广东 广州 510080;

2. 南京信息工程大学 江苏省气象灾害重点实验室, 江苏 南京 210044)

摘要: 华南夏季降水和南海夏季风都具有准两年的变化特征。研究表明: 20 世纪 70 年代以后, 华南夏季降水年代际变化主要表现在准两年尺度平均方差的变化上, 当准两年方差大时, 相应的华南夏季降水多, 反之亦然。但是在 1976 年以前南海夏季风对华南夏季降水的影响并不大, 这似乎与两者准两年变化关系的年代际变化有关。南海夏季风和华南夏季降水的准两年变化在 1953—1976 年是弱的反位相变化关系, 相反地, 这一时段它们的非准两年变化成分有很强的正相关; 在 1977—2000 年这一阶段, 南海夏季风和华南夏季降水的准两年变化具有很强的正相关, 但是它们的非准两年变化成分的相关性则很差。分析结果还表明, 20 世纪 70 年代大气环流的年代际变异使得华南夏季降水准两年变化在最近 20 多年成为其年际时间演变的主导成分。

关键词: 南海夏季风; 华南夏季降水; 年代际变化; 准两年变化

中图分类号: P461 **文献标识码:** A

Effects of South China Sea Summer Monsoon on the Interdecadal Variability of Summer Rainfall over South China

ZHENG Bin¹, SHI Neng²

(1. Key Open Laboratory for Tropical Monsoon, Institute of Tropical and Marine Meteorology, China Meteorological Administration, Guangzhou 100081, China; 2. Jiangsu Key Laboratory of Meteorological Disaster, NUIST, Nanjing 210044, China)

Abstract: There is obvious Quasi-Biennial variability both in summer precipitation over South China (SCSPR) and Summer Monsoon over South China Sea (SCSSM). After the 1970s interdecadal variations of SCSPR mainly behaved as the interdecadal variation of the averaged variance of quasi-biennial oscillations, and generally the larger variance corresponds to the more summer precipitation in South China, and vice versa. But there was no such a relation before 1976. The analysis results suggest that it is due to the interdecadal change of the quasi-biennial relationship between SCSPR and SCSSM. In the interdecadal phase of 1953—1976, the SCSPR and SCSSM exhibited a weak negative correlation of the quasi-biennial timescale components, while there was a strong positive correlation between their non-biennial timescale components; and during 1977—2000, the TBO (Tropospheric Quasi-Biennial Oscillation) of SCSPR and

收稿日期: 2005-05-27; 改回日期: 2005-11-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40505019); 广东省自然科学基金博士科研启动基金 (5300001)

作者简介: 郑彬 (1976-), 男, 福建福清人, 博士, 助理研究员, 研究方向: 季风和海气相互作用、中层大气, E-mail: zbin@gmc.gov.cn

SCSSM varied in phase, there was no meaningful relation between their non-biennial timescale components. Further analysis indicates that the catastrophe of atmospheric general circulation in 1970s made the quasi-biennial variation of SCSPR dominate over the interannual variations in the recent more than 20 years.

Key words: South China Sea summer monsoon; summer rainfall in South China; interdecadal variation; Quasi-Biennial Oscillation

0 引言

自从 Reed 等^[1]发现热带低平流层纬向风的准两年变化以来,大量的关于平流层准两年振荡 QBO (Quasi-biennial Oscillation)现象和机理的研究不断涌现^[2-6]。对流层准两年振荡 TBO (Tropospheric [Quasi-] Biennial Oscillation)的研究却是在 20 世纪 80 年代才逐渐兴起,Mooley 等^[7-8]发现印度夏季风降水具有准两年的功率谱峰。之后,为了与平流层准两年振荡区别开来,称它们为对流层准两年振荡 TBO。许多研究都表明^[9-14],中国大陆地区降水也具有准两年的周期变化特征,准两年振荡是中国汛期降水的强信号,它可以应用于降水的年际尺度预测。但是应该指出,关于对流层准两年变化还存在许多问题没有解决^[15]。

华南地区濒临南海,夏季气象灾害(如旱涝异常)与南海夏季风活动有密切关系,它是导致该地区旱涝发生的重要影响系统^[16]。20 世纪 70 年代,全球大气环流和热带地区海温出现了明显的年代际变异^[17-18],对全球气候变化产生深远的影响。研究

表明,近 50 a 的亚洲夏季风也出现两次年代际变异^[19-20]。戴新刚等^[21]分析亚洲夏季风的年代际衰变与华北汛期降水多时间尺度的关系后指出,亚洲夏季风的年代际衰变是导致华北干旱的主要原因之一。然而在全球气候变化背景下,南海夏季风与华南夏季降水的 TBO 有何关系,它们是否有明显的年代际变异却研究得不多。

1 华南夏季降水及小波分析

利用华南 14 个站 1953—2000 年的降水资料计算出华南夏季(6—8 月)降水指数^[22],并对其进行标准化处理。图 1 中华南降水的时间序列显示出明显的年代际变化特点,在 1953—1965 年和 1977—1990 年两个时段是少雨期,1966—1976 年和 1991—2000 年则是多雨期。图中的虚线即是这 4 个时段的平均值。从 9 a 滑动平均同样可以清楚地看到华南夏季降水的年代际波动,其中重要的几次转折分别发生在 1966、1976 和 1991 年。前两次转折时间同亚洲季风的两次年代际变异时间^[19-20]基本相符,1966、1991 年开始是少雨年向多雨年的转

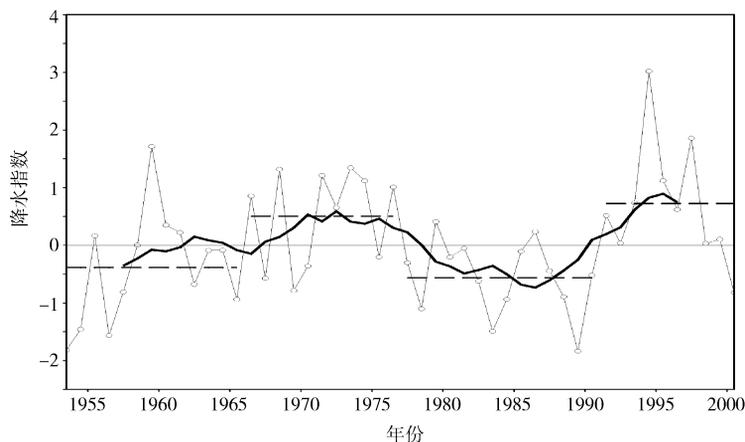


图 1 1953—2000 年华南夏季(6—8 月)降水指数的变化
(粗实线是 9 年平滑的结果,虚线是各时段的平均值)

Fig 1 Temporal variations of South China summer (JJA) rainfall index during 1953—2000
(thick line: the 9-year running mean value; dash line: the mean over a time period)

变,而 1976 年开始则是多雨年向少雨年的变化。这与全球陆地降水的变化^[23]是不同的,它是全球变化的一个区域表现或响应。

为了了解降水序列的频谱结构,对其进行了小波分析。本文采用美国国家大气研究中心 Torrence 等^[24]设计的小波程序,戴新刚等^[21]利用该程序对华北降水和夏季风的衰变研究后得到了较好的结果。对华南夏季降水指数作小波分析(图略),其小波功率谱显示出明显的 2~4 a、8~10 a 和 20~26 a 周期,其中只有 2~4 a 的周期通过了 0.05 的显著性水平检验。此外,较长的周期由于边界效应仅作参考。同样,从降水的小波全程功率谱(图略)也可以看到在这 3 个周期时段上出现峰值,也只有 2~4 a 周期通过了 0.05 的显著性水平检验。

准两年周期是中国降水的重要准周期信号,这种变化可以应用于中国夏季汛期旱涝的预测。而它的年代际变化也是值得研究的重要问题。图 2a 给出华南降水 2~3 a(准两年)尺度的平均方差(用原序列的方差乘以 2~3 a 平均尺度的小波方差得到,代表了准两年时间尺度的能量演变),可以看出,20 世纪 60 年代和 90 年代是准两年尺度方差较大的时段,都通过了 0.05 的显著性水平检验。前一个峰值出现时间与图 1 中第一个多雨年有一定的位相差,事实上,它们在 1976 年以前的相关性并不高。图 2a 中第二个波与图 1 中第二个少雨年和第二个多雨年的位置非常一致,计算得到 1977—2000 年它们之间的相关系数达到 0.724,通过 0.01 的显著性水平检验。而它们在 1953—2000 年的相关系数则减小到 0.493,但同样比其他时间尺度平均方差与原序列的相关高得多,可见华南降水准两年尺度方差谱的变化是华南夏季降水年代际变化的一个重要表现,当降水的准两年方差大时,相应的华南地区夏季降水也多,反之亦然。但是存在的问题是,为什么它们的关系在 20 世纪 70 年代前后有较大的变化?可以认为 1977 年之前的降水准两年变化对降水的年代际变化的贡献是不重要的,而之后则成为重要因子。这似乎可以由夏季风的年代际变化入手进行研究。

2 华南降水与南海夏季风准两年变化的关系

前面的分析表明华南降水的准两年周期谱的变化是华南夏季降水年代际变化的重要表现形式,而且在 20 世纪 70 年代后更突出,这种变化的原因值

得进一步探讨。关于降水的准两年周期变化的机理有过不少研究^[25-27],但终归是通过影响大气环流进而影响到降水的变化。华南夏季降水与南海夏季风有密切联系,在 20 世纪 70 年代全球环流变化的前提下,南海夏季风与华南降水在准两年尺度上的关系是否有所改变正是下面需要研究的内容。本文直接利用南海区域(110~120 °E, 10~20 °N) 850 hPa 的 6—8 月平均水平风场在西南方向的投影作为南海夏季风强度指标,并对其进行标准化处理。风场资料取自 NCEP/NCAR 再分析的月平均资料,时间取 1953—2000 年。

对季风指数进行小波分析,发现南海夏季风同样具有显著的准两年周期(图略)。分别对华南夏季降水指数和南海夏季风指数进行 3 a 平滑滤波,得到它们的非准两年变化成分,并将原序列减去非准两年成分得到准两年成分。严格来说,得到的准两年和非准两年成分应该都在 1953 年和 2000 年缺值,但事实上在这两年也作了两点平滑(1953 和 1954 年,1999 和 2000 年),因此,文中依然保留了这两年的结果(图 2b、c)。将时间分成 1953—1976 年和 1977—2000 年两个时段,把降水和季风指数的 TBO 变化分别标在这两个时段上,得到图 3。图 3a 显示在 1953—1976 年,标记几乎是均匀地分布在各个象限上,也就是说降水与季风的准两年变化并没有很好的对应关系。但是同时可以看到,它们同位相(标记在 1、3 象限)变化时,季风指数的绝对值都比较小,即接近或为正常季风强度的年份。计算得到它们的相关系数为 -0.204,没有通过 0.01 的显著性水平检验。相反,从图 3b 可以看到,在 1977—2000 年时段,标记点主要集中在 1、3 象限的方向上,这表明降水和季风的 TBO 存在同位相的变化关系,它们的相关系数为 0.705,通过 0.01 的显著性水平检验。这与前面提到华南夏季降水准两年方差谱在不同年代际位相与华南夏季降水有不同的对应关系是一致的。

将华南夏季降水和南海夏季风指数分为准两年部分和去除准两年变化部分并分别作 21 a 的滑动相关(用该年及后 20 a 的资料求相关),如图 4 所示。图中同时给出了降水和季风指数原序列的 21 a 滑动相关。可以看到,原序列的相关都不是很高,但也有明显的年代际波动。20 世纪 50 年代末和 60 年代中前期的相关系数较小,一般为 0.2 左右;70 年代中前期的相关较好,一般为 0.4 左右,但是原序列的相关全都在 99% 的置信水平之下。

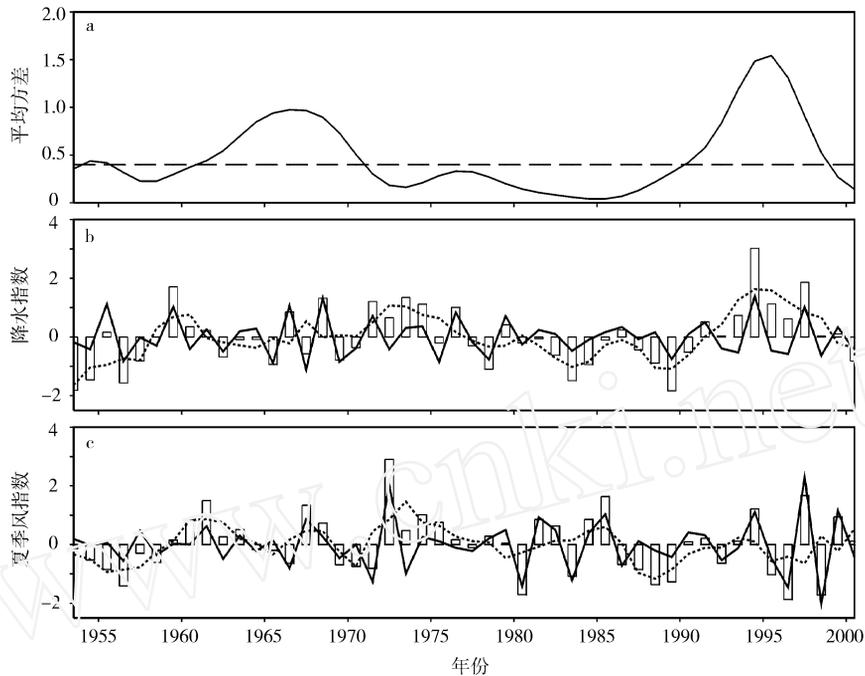


图 2 华南夏季降水指数小波功率谱准两年尺度 (2~3 a)的平均方差 (a)及华南夏季降水指数 (b)和南海夏季风指数 (c)的标准化序列 (柱状)、准两年成分 (实线)和非准两年成分 (虚线) (准两年尺度平均方差由原序列的方差和 2~3 a 平均尺度的小波方差相乘得到;图 a 中的虚线为 0.05 的显著性水平;降水和季风指数经过标准化处理,图中的曲线均无单位)

Fig 2 Mean variance on the time scale of 2—3 years in summer rainfall over South China (a), and the normalized series (bar), quasi-biennial component (solid line), and non-quasi-biennial component (dash line) of SCSPR (b) and SCSSM (c) index (The mean variance is obtained by the variance of the series of summer rainfall over South China multiplying the mean wavelet variance on the time scale of 2—3 years The dash line in Fig 2a denotes the significance level of 0.05. These variables are normalized indices, and thus unitless)

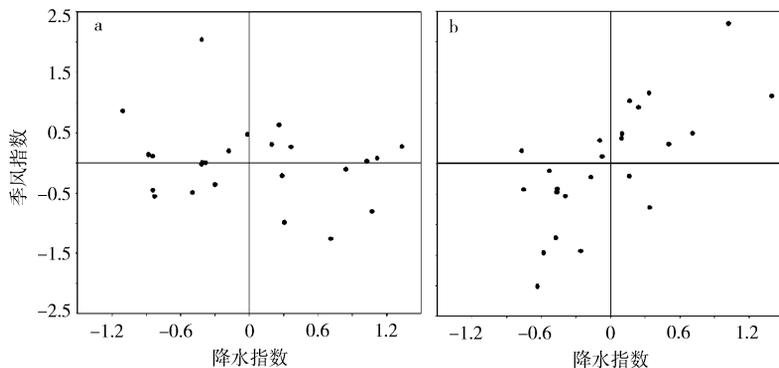


图 3 华南夏季降水指数与南海夏季风指数准两年变化的关系
a 1953—1976 年; b 1977—2000 年

Fig 3 TBO relationship between the indices of summer precipitation over South China and South China Sea summer monsoon
a 1953—1976; b 1977—2000

华南夏季降水与南海夏季风准两年变化和非准两年变化成分的 21 a 相关系数的年代际变化都非常明显。首先来看准两年变化部分的相关,它们在

1953—1971 年都很小,且为负值,之后相关系数迅速增大,1976 年(即 1976—1996 年的相关)就达到 0.56,非常接近 0.01 的显著性水平,1977—1980 年

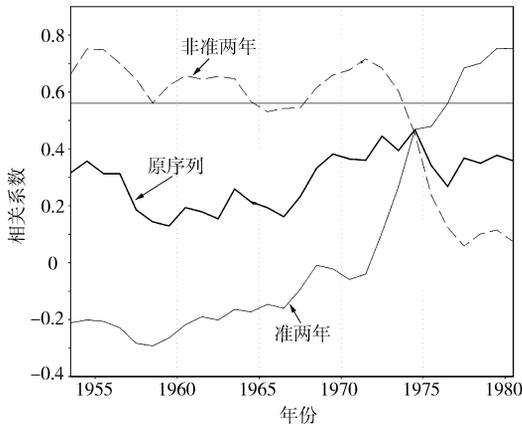


图 4 南海夏季风与华南夏季降水的 21 a 滑动相关系数 (图中每年的相关系数代表该年及后 20 a 共 21 a 的相关系数, 直线通过 0.01 的显著性水平)

Fig 4 21 years running correlation coefficients between South China Sea summer monsoon and South China summer rainfall (the correlation coefficients are obtained by the data from current year to 20 years later; and the horizontal straight line represents the 0.01 significance level)

就全部超过显著性水平检验, 最大相关系数是 1979 年的 0.753 (即 1979—1999 年的相关)。由此可知,

华南夏季降水和南海夏季风在准两年尺度上的关系在 20 世纪 70 年代初有一个明显变化, 之前, 它们基本上是很小的负相关; 之后, 它们之间关系变得密切起来, 如果以正相关系数的迅速增大到 0.01 显著性水平之前为突变时期, 则该时期为 1972—1976 年。相反地, 非准两年成分的相关在 1953—1973 年都很好, 几乎都超过了 0.01 的显著性水平检验, 而之后它们的相关关系则开始明显减弱, 最小的相关系数为 0.059, 出现在 1977 年 (即 1977—1997 年的相关)。如果以低于 0.01 显著性水平的相关系数的迅速减小为突变时期, 则该时期为 1973—1977 年。由以上分析可知, 20 世纪 70 年代中期之前南海夏季风对华南夏季降水的影响是以非准两年尺度为主, 之后, 南海夏季风对华南夏季降水的影响则以准两年尺度为主。由于季风降水是华南夏季降水的重要组成部分, 因此华南夏季降水准两年谱的变化对其时间演变的贡献主要在 20 世纪 70 年代以后就不难理解了。

为了进一步探讨南海夏季风强弱年的气候差异对华南夏季降水准两年变化的影响, 对两个时段强弱季风年的气候状态进行合成比较分析, 并进行统

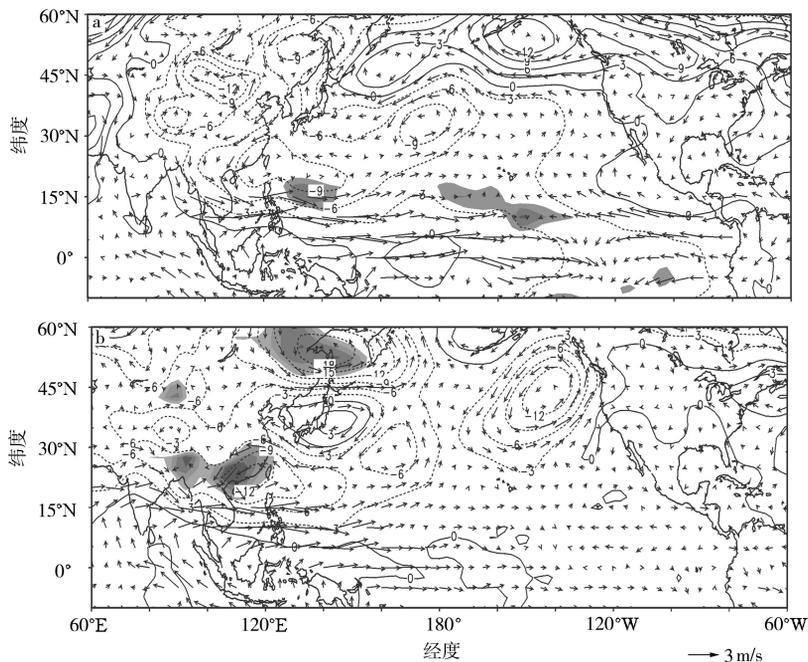


图 5 1953—1976 年 (a) 和 1977—2000 年 (b) 850 hPa 水平风场 (单位: m/s) 和位势高度场 (单位: gpm) 在强季风年和弱季风年的合成差值 (阴影部分为位势高度差异显著性检验通过 0.01 的区域)

Fig 5 Differences fields of composite 850 hPa wind (units m/s) and height (units: gpm) between strong and weak SCSSM years over 1953—1976 (a) and 1977—2000 (b) (Areas passing the 0.01 significance level of height differences are shaded)

计检验。图 5 分别显示两个时段强弱季风年 850 hPa 的水平风场及位势高度场的差值(强季风年减弱季风年)。这里以图 3 中 TBO 季风指数大于 0.3 的年份为强季风位相年,反之,小于 -0.3 的为弱季风位相年。取 0.3 为标准主要是考虑到强弱季风年的样本数基本相等且各达到 5 a 以上。从图 5 可以看出强南海夏季风在热带西太平洋有较大的西风异常。此外,可以看出西风异常不仅仅出现在南海地区,而是呈带状分布,可以向东伸展到西太平洋甚至中太平洋。在 1953—1976 年阶段,西风异常一直向东延伸到中太平洋。这一阶段的西风异常主要有两个来源,第一是东印度洋的越赤道气流在印度和孟加拉湾形成的西风;另一个是 150~160°E 西太平洋的越赤道气流形成的西风,它使西风异常得到加强并向东传到热带中太平洋。与之相对应的是在热带西太平洋和中太平洋有显著的位势高度差异。同时,在华南有明显的偏北异常气流,因此这一时间段强季风年输送到华南的水汽相对较少,导致了 1953—1976 年南海夏季风与华南夏季降水的准两年变化有负的相关系数。但是由图 5a 可以看出华南的异常偏北气流与西风异常(代表夏季风的强弱)的关系并不密切,所以也导致了这一阶段南海夏季风与华南夏季降水的准两年变化相关性不好。在 1977—2000 年,西风异常在中太平洋迅速削弱,相对前一阶段,越赤道气流整体偏西,在阿拉伯海与印度尼西亚东部都有越赤道气流形成的西风异常。850 hPa 位势高度的显著差异在华南、俄罗斯东北部。同时可以看到在日本上空的高压异常将华南及俄罗斯东北部的低压异常隔开,导致高纬的偏北气流不能南下,而华南的东北异常气流主要来源于 30°N 附近西太平洋及邻海的偏东气流。此外,在孟加拉湾的一支偏西气流与华南的东北气流在华南地区及中南半岛东北相会,形成辐合,因此在这一阶段的强季风年可能有更多的降水,导致南海夏季风与华南夏季降水准两年变化有显著的正相关。

3 结 论

(1) 华南夏季降水具有明显的准两年变化和年代际变化特征,而且降水的准两年尺度谱的变化与降水的年代际变化在 20 世纪 70 年代后有较好的相关,一般来说,降水的准两年方差大,则相应的华南夏季降水多,反之亦然;但是,在 1953—1976 年这一阶段二者的相关性则较差。由此可见,准两年振荡与华南夏季降水的关系有年代际变化,90 年代华南

夏季降水明显偏多与强的准两年振荡有关系。

(2) 南海夏季风具有显著的准两年振荡特征,它与华南夏季降水的准两年变化在 1953—1976 年有弱的负相关,在 1977—2000 年阶段具有很强的正相关。研究还指出,南海夏季风与华南夏季降水的非准两年变化部分在 20 世纪 70 年代之前呈明显的正相关,之后则相关性不明显。初步分析表明,它们的这种相关性的年代际变化与降水准两年周期谱在其年代际变化中重要性的改变有关。

(3) 研究了不同时间段的强弱季风年的风场和位势高度场的差异。初步解释了华南夏季降水在不同时间段异常的原因:在前一阶段(1953—1976 年)的强季风年,华南有偏北异常气流,它源于中高纬大陆,导致强季风年降水偏少;在后一阶段(1977—2000 年)的强季风年,来自海上的东北异常气流与来自孟加拉湾的偏西气流在华南相会,造成华南更多的降水,而弱季风年则相应降水偏少。所以,上个世纪 70 年代中后期的全球大气环流的年代际变异^[17]不仅使南海夏季风与华南夏季降水的关系在不同的时间尺度上发生不同的变化,而且使得准两年变化在那之后成为华南夏季降水年际时间尺度变化的一个主要部分。

参考文献:

- [1] Reed R G, Campbell W J, Rasmussen L A, et al Evidence of the downward-propagating annual wind reversal in the equatorial stratosphere[J]. *J Geophys Res*, 1961, 66(6): 813-818.
- [2] Lindzen R S, Holton J R. A theory of the quasi-biennial oscillation [J]. *J Atmos Sci*, 1968, 25(9): 1095-1107.
- [3] Holton J R, Lindzen R S An updated theory for the quasi-biennial cycle of the tropical stratosphere [J]. *J Atmos Sci*, 1972, 29(8): 1076-1080.
- [4] Chen Y J, Zheng B, Zhang H. Features of ozone quasi-biennial oscillation in tropical stratosphere and its numerical simulation [J]. *Adv Atmos Sci*, 2002, 19(5): 777-793.
- [5] 郑彬,陈月娟,简俊. NO_x 的准两年周期变化及其与臭氧准两年周期振荡的关系:资料分析 [J]. *大气科学*, 2003, 27(5): 821-833.
- [6] 郑彬,陈月娟,张弘. NO_x 的准两年周期变化及其与臭氧准两年周期振荡的关系:数值模拟 [J]. *大气科学*, 2003, 27(6): 1007-1017.
- [7] Mooley D A, Parthasarathy B. Variability of the Indian summer monsoon and tropical circulation features [J]. *Mon Wea Rev*, 1983, 111(5): 967-978.
- [8] Mooley D A, Parthasarathy B. Indian summer monsoon and the east equatorial Pacific sea surface temperature [J]. *Atmosphere-Ocean*, 1984, 22(1): 23-35.

- [9] 赵汉光. 我国降水振荡周期特征的初步分析 [J]. 大气科学, 1986, 10(4): 426-430.
- [10] 朱乾根, 智协飞. 中国降水准两年周期变化 [J]. 南京气象学院学报, 1991, 14(3): 261-267.
- [11] 况雪源, 丁裕国, 施能. 中国降水场 QBO 分布型态及其长期变率特征 [J]. 热带气象学报, 2002, 18(4): 359-367.
- [12] 陈兴芳, 宋文玲. 近 10 年我国降水的 QBO 分析 [J]. 应用气象学报, 1997, 8(4): 469-476.
- [13] 黄嘉佑. 准两年周期振荡在我国降水中的表现 [J]. 大气科学, 1988, 12(3): 267-273.
- [14] 顾骏强, 施能, 王永波. 近 50 年浙江省旱、涝气候变化及特征 [J]. 热带气象学报, 2001, 17(4): 429-435.
- [15] 郑彬, 梁建茵. 对流层准两年周期振荡的研究进展 [J]. 热带气象学报, 2005, 21(1): 79-86.
- [16] 梁建茵, 吴尚森. 夏季广东降水异常变化与夏季风 [J]. 热带气象学报, 1999, 15(1): 38-47.
- [17] Nitta T S, Yamada S. Recent warming of tropical sea surface temperature and its relationship to Northern Hemisphere circulation [J]. J Meteor Soc Japan, 1989, 67: 375-383.
- [18] Fu Congbin, Xie Li. Global oceanic climate anomalies in 1980's [J]. Adv Atmos Sci, 1998, 15(2): 167-178.
- [19] Wang Huijun. The weakening of the Asian monsoon circulation after the end of 1970's [J]. Adv Atmos Sci, 2001, 18(3): 376-386.
- [20] 宋燕, 季劲钧. 60 年代亚非夏季风十年尺度的突变 [J]. 大气科学, 2001, 25(2): 200-208.
- [21] 戴新刚, 汪洋, 丑纪范. 华北汛期降水多尺度特征与夏季风年代际衰变 [J]. 科学通报, 2003, 48(23): 2483-2487.
- [22] 陈兴芳, 赵振国. 中国汛期降水预测研究及应用 [M]. 北京: 气象出版社, 2000: 1-9.
- [23] 黄先香, 施能, 炎利军. 1948—2001 年全球陆地 6—8 月降水长期变化的时空特征 [J]. 南京气象学院学报, 2003, 26(2): 201-209.
- [24] Torrence C, Compo G P. A practical guide to wavelet analysis [J]. Bull Amer Meteor Soc, 1998, 79(1): 61-78.
- [25] Mukherjee B K, Indira K, Reddy R S, et al. Quasi-biennial Oscillation in stratospheric zonal wind and Indian summer monsoon [J]. Mon Wea Rev, 1985, 113(8): 1421-1424.
- [26] 梁平德. 平流层风准两年振荡与华北夏季降水 [C] // 章基嘉. 长期天气预报论文集. 北京: 海洋出版社, 1992: 151-155.
- [27] 杨秋明. 欧亚雪盖准 2 年振荡对中国降水的影响 [J]. 气候与环境研究, 1997, 2(1): 83-91.