

# 20世纪80年代中期全球变暖前后亚非夏季风特征分析

宋 燕<sup>1,2</sup> 季劲钧<sup>2</sup> 朱临洪<sup>3</sup> 张世英<sup>3</sup>

(1 中国气象局培训中心 2 中国科学院大气物理研究所东亚区域气候-环境重点实验室 3 山西省气象局)

**摘要:**该文针对全球温度场在20世纪80年代全球明显的突然变暖事件,研究了变暖前后全球温度场和降水场的时空分布特征,以及相应季风环流圈的变化特征,并且与20世纪60年代全球变冷气候事件作了对比分析。结果表明,变暖后全球大范围增温,增温地区包括欧亚大陆大部、非洲地区大部和印度洋南部。与此同时,全球降水场也有明显的变化。1990—1995年与1980—1985年相比较,中国华北地区大部分地区、印度中南部和北非Sahel大部分地区夏季总降水量有所回升,而中国华北地区南部地区和印度北部地区降水有所减少。对比分析80年代变暖前后气候环流场,发现非洲夏季风在变暖后有所加强,印度夏季风有所减弱,东亚夏季风强度微弱加强。从海陆热力对比和华北和北非Sahel等地的夏季降水量的小波分析来看,60年代变冷气候事件以年代际信号为主,同位相叠加突出了年代际振荡的作用和强度;而80年代夏季降水量的各时间尺度年代际信号符号相反,相互抵消;与此同时,80年代年际时间尺度的信号较强,起主导作用。所以,80年代气候变暖事件与60年代气候变冷事件相比较,并不是单纯的气候年代际反位相振荡的结果,而是不同时间尺度信号相互作用下引起的气候不同的响应。

**关键词:**亚非夏季风, 全球变暖, 年代际, 年际, 小波分析

中图分类号:P46 文献标识码:A 文章编号:1000-1522(2007)02-0024-10

SONG Yan<sup>1,2</sup>; JI Jin-jun<sup>2</sup>; ZHU Lin-hong<sup>3</sup>; ZHANG Shi-ying<sup>3</sup>. Characteristics of Asian-African summer monsoon pre- and post- global warming in mid-1980s. *Journal of Beijing Forestry University* (2007) 29 (2) 24-33 [Ch, 34 ref.]

1 China Meteorological Administration Training Centre, Beijing, 100081, P. R. China;

2 Key Laboratory of Regional Climate-Environment Research for Temperate East Asia, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100029, P. R. China;

3 Shanxi Meteorological Administration, Taiyuan, 030002, P. R. China.

For the global warming event sharpened in 1980s, this paper studied the differences of temperature and precipitation fields respectively between 1990—1995 and 1980—1985. Furthermore, this global warming event was compared with global cooling event in 1960s. The results showed that after mid-1980s, the global warming sharpened and the warmed areas included most of European-Asian continent except for the Tibetan Plateau, most of African continent and the south of Indian Ocean. Synchronously, the global precipitation had changed obviously too. Compared with the increase of summer rainfall over North of Africa during 1980—1985 and 1990—1995, that of northern area of North China increased while south area of it decreased, and the rainfall of north India decreased remarkably but that of the middle and south of India increased. In north of China and Sahel, it was showed that the rainfall during 1990—1995 increased, but was far smaller to reach that before mid-1960s. The differences of monsoon cells between 1990—1995 and 1980—1985 indicated that the African summer monsoon reinforced after global warming, but the Indian summer monsoon weakened evidently and the East Asian summer monsoon enhanced somewhat. On the basis of wavelet analyses of land-sea thermal contrast

收稿日期:2006-07-12

<http://journal.bjfu.edu.cn>

基金项目:“973”国家重点基础项目(2004CB418302)、成都高原气象研究所高原气象开放基金课题(LPM2005003)、山西省气象局开放式研究基金项目(SX042002)。

第一作者:宋燕,副研究员,主要研究方向:气候变化和季风研究,电话:010-68408643 Email:songyan@cma.gov.cn 地址:100081 北京市海淀区中关村南大街46号中国气象局培训中心。

between Indian Ocean and Asian-African continent, summer precipitation over north of China and Sahel in African respectively, it was concluded that in 1960s, there were different in-phase interdecadal time-scale signals and they interacted to get reinforcement, thus the interdecadal oscillations played key role during this period; contrastively, in 1980s, there existed different decadal and interdecadal time-scales signals which appeared opposite signs, so they counteracted with each other to become weak. Meanwhile it should be noted that the interannual signals reinforced remarkably in 1980s, so they became the most important signals and played key role in this event. Therefore, compared with climate event in 1960s, global warming in 1980s was not a simple out-of-phase interdecadal climate change event, but the different climate responses to different physical factors.

**Key words** Asian-African summer monsoon, global warming, interdecade, interannual, wavelet analysis

众所周知,20世纪全球气候明显变暖,尤其是80年代以来,全球变暖加剧,90年代是近1000年来最暖的10年<sup>[1-2]</sup>.20世纪全球经历了两次突变性的变暖过程<sup>[3-4]</sup>,第一次发生在20世纪20年代,第二次发生在20世纪80年代<sup>[5]</sup>.两次变暖过程之间全球气温偏低,即20世纪60年代有一次全球突然变冷,亚非夏季风突然减弱<sup>[6-8]</sup>.全球气候的变化必定会给全球生物多样化和林业分布带来影响.

关于20世纪80年代全球变暖,一些学者利用各种资料和方法检测到了这次突变,如王绍武等<sup>[9]</sup>认为20世纪80年代比19世纪80年代高出0.56°C,是近百年来三次气温突变中最强的一次.但近百年变暖是跳跃性的,即是突变性的.Wang<sup>[10]</sup>检测到在20世纪70年代末全球大气环流有明显的变化,变化后亚非季风环流变弱,热带东太平洋信风减弱.

20世纪80年代全球变暖在全球不同区域有着响应.研究表明我国近100年温度变化与北半球变化很相似,也有两个变暖时期,即40年代和80年代增温<sup>[11]</sup>.另外,北半球雪盖在80年代突然缩小,与北半球变暖相一致<sup>[12]</sup>.对北半球欧亚和北美3个地区雪盖1973—1995年的气候特征及其变化趋势研究证明,80年代以来雪盖逐步收缩,1986年以后持续低于正常值<sup>[13]</sup>.始于70年代的第二次全球变暖最早出现在南半球南印度洋海盆及南极大陆地区,然后向北半球移动并影响到全球热带和副热带海洋<sup>[14]</sup>.

20世纪80年代突然性变暖事件反映在局地气候中,温度变化却并不完全一致.中国升温最多的是在20世纪20年代,而80年代增温幅度低于全球或北半球,平均气温值也低于1910—1979年的平均值<sup>[9]</sup>.另外,中国80年代平均温度要比40年代低<sup>[11]</sup>.所以,80年代全球变暖有着地域上的差异.

关于20世纪80年代全球变暖的原因众说纷纭.在年代际时间尺度上,全球海洋大气系统在70年代一致性地经历了一次跃变,结果导致80年代以

来,全球大范围地区(尤其是两极和西伯利亚地区)气温明显偏暖,而青藏高原北部地区和格陵兰岛等地气温具有变冷趋势<sup>[15]</sup>.王绍武等<sup>[16]</sup>在综合分析了全球100多年来平均气温变化与火山活动、CO<sub>2</sub>浓度和太阳黑子数变化关系后得出,80年代突然变暖可能是温室效应加剧的结果.Hurrel<sup>[17]</sup>认为80年代和90年代初期,北大西洋涛动指数NAO和北太平洋类似ENSO的变率致使北半球大陆冬季陆地地表气温升高(相对周围海洋),这些持久的环流异常导致了最近半球平均地表温度的上升.

近来一些研究表明,NAO(北大西洋涛动)和NPO(北太平洋涛动)以及北太平洋海表温度(SST)的年代际变化可以影响全球气候的年代际变化<sup>[18-21]</sup>,前两个因子在60年代中期的变化和欧亚大陆与印度洋之间的海陆热力对比的减弱可以解释20世纪60年代亚非夏季风的突然减弱<sup>[21-22]</sup>.另外,地球自转的年代际变化与我国长江下游降水呈反位相关系<sup>[23]</sup>.

在较长的时间尺度上亚非夏季风的变化可以作为现代季风条件的长期历史背景.尽管亚洲季风和非洲季风不属同一个系统,但从北非Sahel地区向东北直到我国华北地区的一条长带被称作亚非季风带<sup>[24]</sup>,在10年到100年时间尺度上,夏季降水却有同位相变化的事实,如全球暖而亚非夏季风强,亚非季风带多雨偏湿,全球冷则亚非季风带多偏干<sup>[6-8,25]</sup>.这主要是因为这条带分别处在非洲季风和亚洲季风的北部边缘地区,属于干旱半干旱地区,这里的降水与季风的强弱变化关系非常密切,季风强时,暖湿气团可以影响到这些地区,降水增多,而季风弱时,则降水明显减少.

研究表明,在年代际时间尺度上,20世纪20年代全球变暖,对应亚非夏季风增强<sup>[5]</sup>,60年代全球变冷而亚非夏季风系统明显减弱,亚非季风带夏季降水明显偏少<sup>[6-8]</sup>.近期研究表明,东亚夏季风自1976年以来在年代际时间尺度上趋于减弱的趋势<sup>[26-27]</sup>,我国华北地区发生过两次突然变干过程,

一次是在 60 年代中期, 另一次是在 70 年代末期<sup>[28]</sup>, 1980—1993 年降水持续偏少, 干旱严重<sup>[29]</sup>. 华北地区 80 年代比 70 年代降水明显减少, 而从 90 年代中期开始华北北部地区降水又有增多趋势<sup>[30]</sup>. 那么, 80 年代全球变暖后亚非夏季风带是否仍表现为一致的变化? 在全球变暖的大环境下, 不同地域气候是如何变化的? 亚非季风区的夏季风环流在突变以后又如何变化? 在 60 年代变冷和 80 年代变暖背景下亚非季风区的气候年代际特征是否呈相反的位相振荡? 如果亚非季风区的气候特征在 80 年代并不是具有与 60 年代位相相反的特点, 那么造成亚非季风在两次气候变化事件中的不同表现的原因是什么? 80 年代变暖与 60 年代变冷气候事件究竟有什么不同等, 本文通过对 80 年代全球变暖前后全球气候的变化和亚非夏季风系统不同区域的演变分析回答以上问题.

## 1 资料与方法

本文所用的降水场资料选自美国 NASA Dai Aiguo 1997 年利用全球站点降水资料创建的全球网格点月平均降水资料数据库. 时间是 1900—1995 年, 网格分辨率是  $2.5^{\circ}$  纬度  $\times 2.5^{\circ}$  经度, 经度  $180^{\circ}\text{W} \sim 180^{\circ}\text{E}$ , 纬度  $90^{\circ}\text{S} \sim 90^{\circ}\text{N}$ . 该资料经过 EOF 分析后证明能够较好地反映全球降水的分布型和趋势<sup>[31]</sup>. 我们将每年 6、7、8 月份 3 个月的降水月总量做平均来代表该年夏季降水量.

本文所用地面温度场选用美国 CO<sub>2</sub> 信息分析中心(CDIAC)NDP-020/R2 Jones 全球地表面温度异常月平均网格点资料场, 时间长度 1900—1996 年, 网格分辨率  $5^{\circ}$  纬度  $\times 5^{\circ}$  经度, 经度  $122.5^{\circ}\text{E} \sim 180^{\circ}\text{E}$   $\sim 0^{\circ}\text{W} \sim 117.5^{\circ}\text{E}$ , 纬度  $87.5^{\circ}\text{N} \sim 87.5^{\circ}\text{S}$  的全球陆面加海洋资料.

北半球海平面气压资料选自中国气象局国家气候中心, 其他资料均使用美国 NCEP/NCAR 再分析全球网格点资料.

因为本文主要讨论气候场 10 年尺度和年代际变化, 所以上述资料全部经过 5 年滑动平均(小波分析除外), 以滤掉气候场年际变率, 主要是信号较强的 QBO 和 ENSO 变率, 以突出气候场的 10 年尺度变化.

用来检测气候突变的气候统计方法很多, 本文选用 Mann-Kendall 检验方法, 因为它与其他检测方法相比较, 具有很多优点. 它的优点在于检测范围宽, 人为性少, 定量化程度高<sup>[4]</sup>. 并且, 这种方法思想直观, 计算方便<sup>[32]</sup>.

## 2 20 世纪 80 年代变暖分析

全球夏季温度(6、7、8 月份 3 个月平均)变化曲线显示, 1976 年至今为暖期. 20 世纪 80 年代初期有明显的变暖, 在 90 年代达到最暖时期(图略).

有人认为 80 年代全球变暖是近百年来最强的一次<sup>[9]</sup>, 但对其时空特征演变的研究和分析相对前两次突变来讲仍相对较少. 针对这个问题, 我们做了 1970—1996 年夏季温度场的 EOF 分解展开, 得到第一特征向量的空间分布场, 时间系数序列曲线及其 Mann-Kendall 突变检验曲线见参考文献[5], 方差贡献是 31.8%. 从文献[5]图 5 中可以看出, 20 世纪 80 年代中期左右全球温度场有一次突变, 突变后全球大范围变暖.

图 1 是 1990—1995 年与 1980—1985 年地表面温度的差值场. 从图中得到, 欧亚大陆除去青藏高原和我国东北地区有小范围降温外, 其他地区几乎全部增温; 非洲地区除个别区域外, 全部增温; 北美东部地区有降温, 南美有部分地区有弱降温, 其他地区都升温. 海洋上赤道附近地区以增温为主, 中高纬度太平洋、大西洋有大片降温区, 南印度洋地区也有降温. 引人注意的是北印度洋地区继续增温, 但以中东印度洋为主; 北太平洋和北大西洋仍然继续降温, 从另一方面说明了北太平洋涛动(NPO)和北大西洋涛动(NAO)正位相在变暖后加强. 最近一些学者则认为最近 20 多年全球加速变暖部分主要是由 ENSO 和 NAO 的年代际变化分量造成的<sup>[33-34]</sup>. 青藏高原地区降温及北印度洋地区升温不利于亚洲夏季风的加强和维持.

再来看在全球变暖背景下的夏季降水场的空间分布结构. EOF 分析第一特征向量空间分布, 及其时间系数序列曲线和对时间系数序列的 Mann-Kendall 突变检验曲线见参考文献[5]中的图 5 所示, 时间长度是 1970—1995 年, 方差贡献为 16.0%. 从图中得知 20 世纪 80 年代中期左右降水场年代际变化有一次突变, 突变后欧亚大陆上华北北部降水增多, 南部地区降水减少; 印度中南部地区降水增多, 北部地区降水减少; 北非 Sahel 地区存在大范围降水增多区域. 所以, 亚非干旱半干旱过渡地区——亚非季风带的降水变化总起来说是 Sahel 地区增加, 而亚洲两个区域——我国华北和印度北部地区比较复杂, 华北地区大部分地区增多, 印度北部降水减少.

图 2 是 1990—1995 年与 1980—1985 年夏季降水量差值的标准化场. 结果与上述描述基本相符. 可见 20 世纪 80 年代全球变暖后亚非季风带的降水变化较为复杂, 北非 Sahel 地区降水增多, 而印度地区

中南部降水增多,北部减少,华北地区大部分地区降水增多.

由此可见,经验正交函数分解第一主分量分析表明,全球在20世纪80年代确实存在全球温度场

和降水场的一次明显变化,而实际温度场和降水场在事件前后的10年尺度变化证明与经验正交分解第一主分量的分析结果基本一致.可见80年代的变暖和降水场的显著性变化是事实.

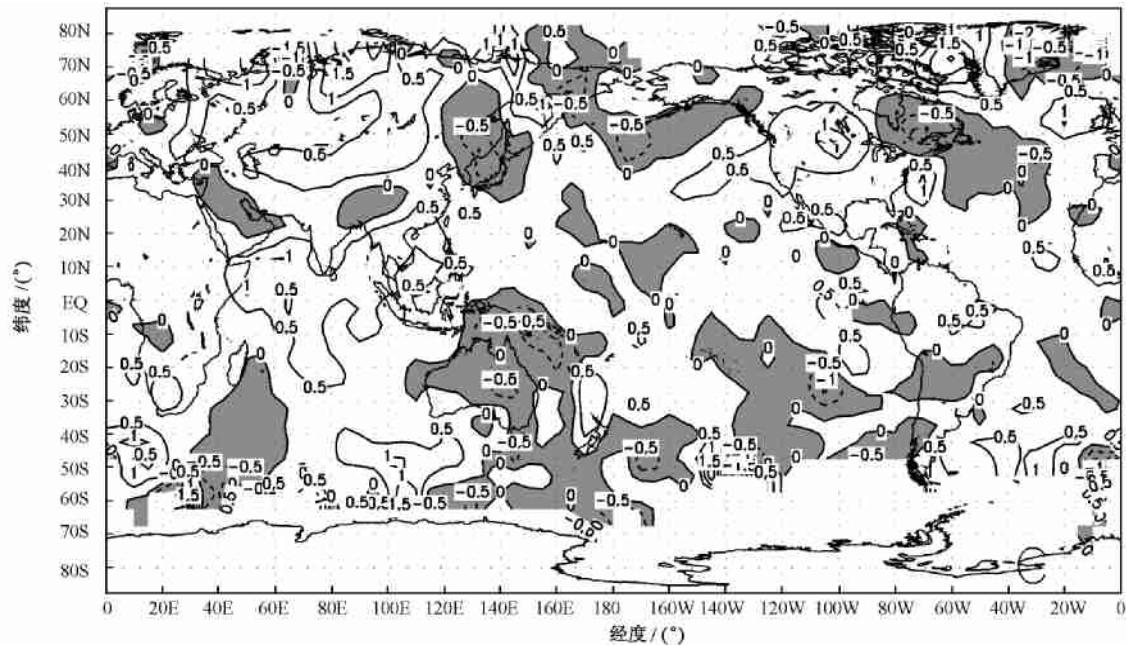


图1 1990—1995年与1980—1985年夏季地表面温度的差值场

FIGURE 1 Summer surface temperature difference field between the periods of 1990—1995 and 1980—1985

注:阴影区是负值,等值线间隔为0.5℃.

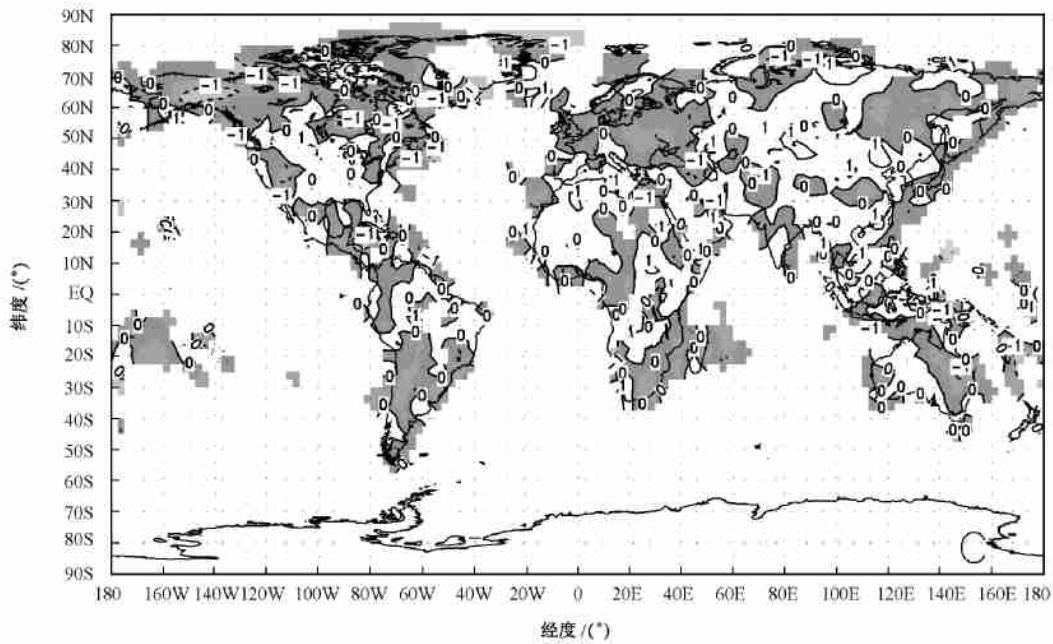


图2 1990—1995年与1980—1985年夏季降水量差值的标准化场

FIGURE 2 Normalized summer precipitation difference field between the periods of 1990—1995 and 1980—1985

注:阴影区是负值,等值线间隔为1.

### 3 季风环流场特征

图3是北非Sahel地区和我国华北地区夏季降水随时间变化曲线与印度洋和欧亚大陆之间的海陆

热力对比(温度差)随时间变化曲线.

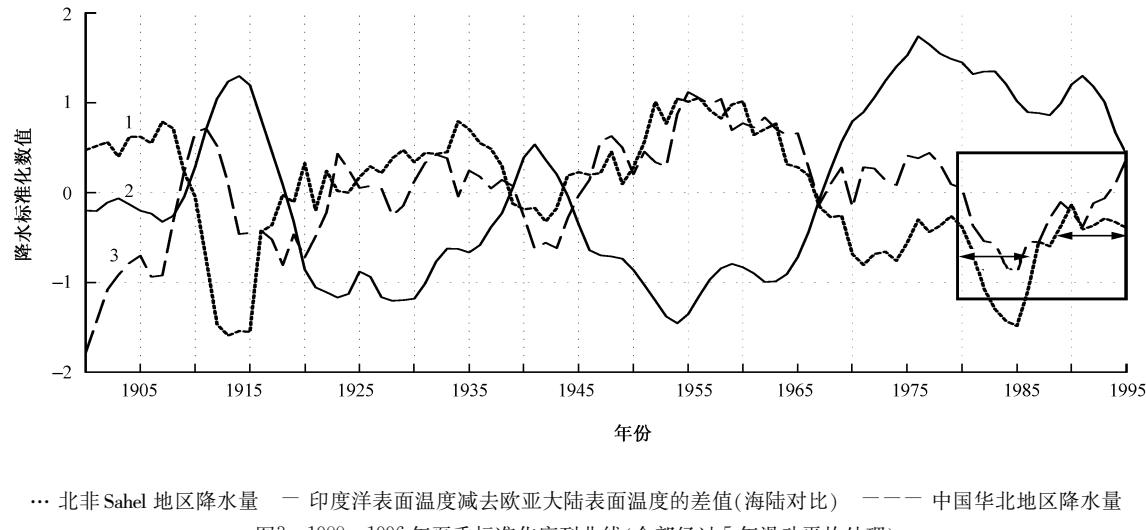
海陆热力对比的取法具体操作如下:根据多年气候统计结果,取印度洋地区( $50^{\circ}\sim 90^{\circ}\text{E}$ ,  $32.5^{\circ}\text{S}\sim 7.5^{\circ}\text{N}$ )夏季海表面气温值作平均,代表印度洋关键

地区温度平均值;取亚洲大陆( $22.5^{\circ}\sim37.5^{\circ}\text{N}, 80^{\circ}\sim120^{\circ}\text{E}$ )夏季地表面气温值作平均代表亚洲大陆关键地区温度平均值,再取欧洲大陆( $22.5^{\circ}\sim47.5^{\circ}\text{N}, 20^{\circ}\sim50^{\circ}\text{E}$ )夏季地表面气温值作平均代表欧洲大陆关键地区温度平均值,然后将两块大陆温度平均值相加作平均,代表欧亚大陆温度平均值。用印度洋关键地区温度值减去欧亚大陆关键地区温度值的差值作为指标,对其进行标准化处理,做5年滑动平均,得到海陆热力对比随时间变化曲线<sup>[22]</sup>。当曲线处于高位相阶段时,表明印度洋表面温度偏高,而大陆表面

温度较低,海陆热力对比较弱,东亚夏季风较弱;曲线处于低位相阶段时,海陆热力对比较强,东亚夏季风较强。

在此,北非 Sahel 地区的经纬度范围取为  $12^{\circ}\sim22.5^{\circ}\text{N}, 10^{\circ}\text{W}\sim20^{\circ}\text{E}$ ;我国华北地区经纬度范围取为  $32.5^{\circ}\sim42.5^{\circ}\text{N}, 110^{\circ}\sim120^{\circ}\text{E}$ ,对夏季6、7、8月份降水量求平均得到两地的夏季降水时间序列。对这两个地区的夏季降水量做5年滑动平均,得到随时间变化曲线(图3)。

从图3中可以看出,尽管自20世纪70年代中



… 北非 Sahel 地区降水量 — 印度洋表面温度减去欧亚大陆表面温度的差值(海陆对比) —— 中国华北地区降水量  
图3 1900—1996年夏季标准化序列曲线(全部经过5年滑动平均处理)

FIGURE 3 Summer normalized time series curves during 1900–1996(5-year running mean)

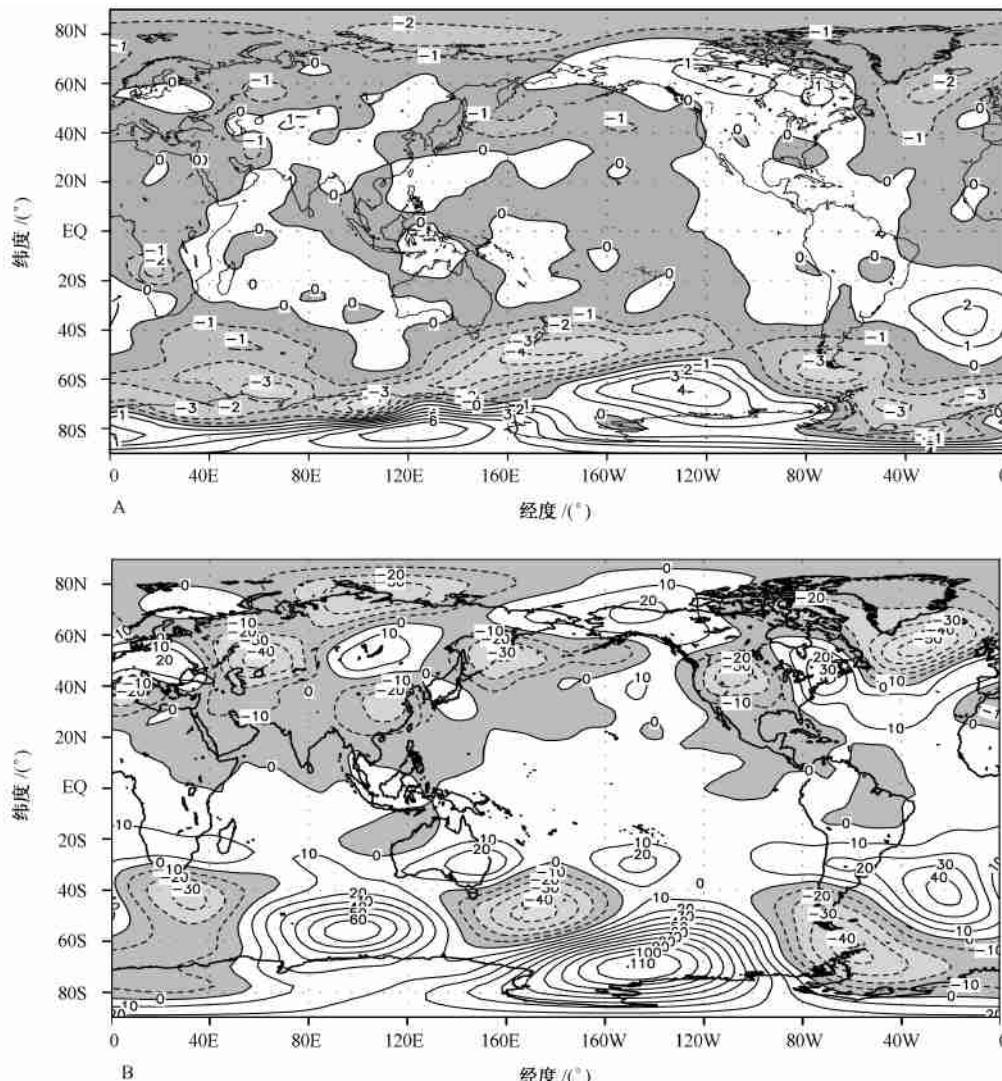
后期以后亚非夏季风趋于减弱,北非 Sahel 地区和我国华北地区夏季降水在10年时间尺度上趋于减少,但是在80年代末期到90年代前期两地的降水与80年代初期相比有所增加。1980—1985年阶段,无论北非 Sahel 地区还是我国华北地区夏季降水均处在较低的谷值区,而1990—1995年阶段,夏季降水有所回升(分别如图中两个箭头线段所示),但与20世纪60年代中期以前的强夏季风时期相比,却仍属于降水偏少,即总的年代际变化趋势为降水偏少时期。从海陆对比曲线来看,20世纪60年代中期突变以后,一直处在高位相,亚非夏季风处在相对弱的阶段。

图4A是1990—1995年和1980—1985年夏季平均海平面气压场的差值场。从图中可以看出,20世纪80年代全球变暖以后海平面气压场在欧洲和非洲大陆,以及北极地区明显降低,美洲大陆上增高,尤其是在加拿大北部有大于1 mbar的增压中心;太平洋中部、北部及南部地区均有明显负异常区,南半球中高纬地区降压尤其剧烈;亚洲大陆沿海地区负异常明显,我国从青藏高原经内地往东北方向到大兴安岭地区是正异常区,往西北到巴尔喀什湖地区也是正值区并有大于1 mbar的闭合等值线;印度洋西部和南部地区有正值区。

在亚洲地区存在许多不利于亚洲夏季风加强的因素。首先亚洲大陆中部地区是正异常,而北太平洋地区是负异常,这种东降西增的异常趋势有利于产生由西指向东的气压梯度力分量以及偏北的地转风分量,地转风风量与季风方向相反,不利于南方暖湿气流北上。还有,印度半岛地区有负异常,西北印度洋地区存在正异常,在印度西海岸地区产生指向东的气压梯度力分量和指向南的地转风分量,不利于印度夏季风加强和维持。另外,印度半岛和中南半岛处在负值区当中,20°N 亚洲大陆和太平洋上是正值区,有利于中纬度30°N附近产生偏东地转风,也不利于西南季风加强。对于非洲而言存在夏季风加强的因素,那就是非洲大陆上有大片负值区,印度洋西北部有正值区,这些都有利于非洲夏季风加强。总而言之,变暖后的形势有利于非洲夏季风的加强,却不利于亚洲夏季风的加强。

图4B是200 hPa位势高度场的差值场,亚洲大陆上为负值区,表明全球变暖后南亚高压明显减弱,而北非地区北面为负值区,Sahel 地区是正值区,有利于这个地区的高压加强。整个形势分布表明,变暖后亚洲季风减弱而 Sahel 地区季风有所加强。

80年代变暖事件与60年代气候突变事件相



A. 海平面气压差值场(等值线间隔:1 mbar); B. 200 hPa 等压面位势高度的差值场(等值线间隔:10 gpm)

图 4 1990—1995 年和 1980—1985 年夏季差值场

FIGURE 4 Summer difference field between the periods of 1990–1995 and 1980–1985

注: 阴影区为负值.

比,情况较为复杂,并非60年代变冷事件的反位相,亚非季风带地区降水变化不同步,各地区反映有差异,60年代变冷前后气候场异常型的具体图形请参考文献[6]和文献[22].

从季风环流场来看(图5所示),图5A的差值经圈垂直环流图上,低空有3个垂直环流中心,10°N以北有两个Hadley环流中心,以南有一个季风环流中心,最大上升气流仍在10°N附近,说明1990—1995年季风环流圈在中低空有所加强,其北面Hadley经圈环流也有所加强.这两个环流圈的加强,增强了10°N的上升运动,10°N处即是1990—1995年北非Sahel地区夏季降水增多的地区.变暖后的非洲夏季风有微弱加强的趋势.但与60年代相比,强度明显较弱(图略).

图5B和图5C分别代表亚洲夏季风的印度夏季风环流圈和东亚夏季风环流圈的差值图.东亚夏

季风环流圈有微弱加强,而印度所在区域有明显的差值下沉气流,表明季风环流圈有所减弱.东亚地区上空整层大气几乎都是盛行平直的水平气流,垂直上升气流异常小,表明季风环流圈没有明显的加强或减弱.

从以上分析可以看出,尽管20世纪80年代全球变暖以后北非Sahel地区和我国华北地区夏季降水有所回升,但是,与60年代中期的亚非夏季风突变相比较,伴随80年代全球变暖,亚非夏季风并没有一致的加强.看来80年代的全球变暖与60年代的亚非夏季风减弱两个事件之间并不是简单的气候年代际反位相的关系,60年代全球变冷亚非夏季风有明显的减弱,而80年代全球变暖亚非夏季风并没有明显的一致性增强,其中原因是什么?下面从不同的时间尺度周期的叠加和抵消或相互作用加以解释.

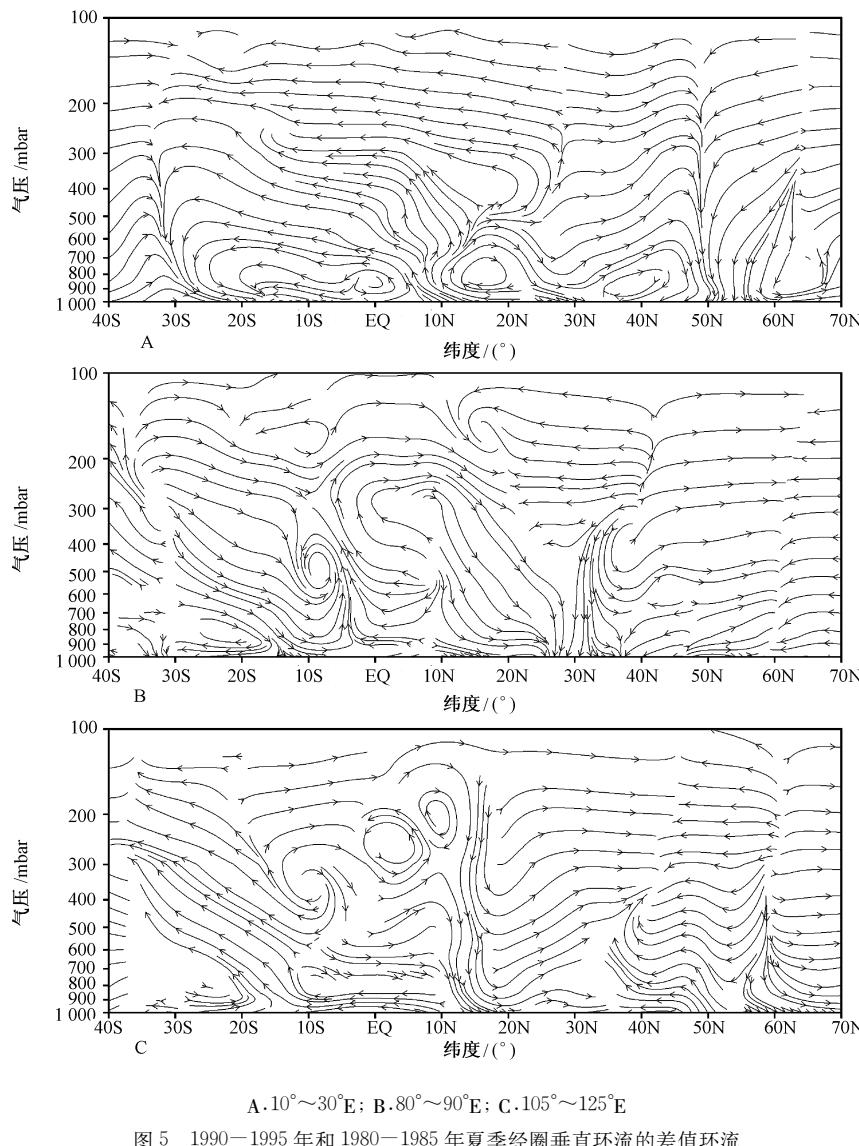


图 5 1990—1995 年和 1980—1985 年夏季经圈垂直环流的差值环流

FIGURE 5 Summer meridional vertical circulation differences between the periods of 1990—1995 and 1980—1985

#### 4 小波分析

图 6 是印度洋和欧亚大陆的热力对比(温度差异)的小波分析图. 从图 6 可以看出, 对于海陆热力对比而言, 20 世纪 50—70 年代小波分析不同时间尺度的年代际振荡信号较强, 并且几乎都是同位相叠加, 即是正位相叠加, 不同时间尺度年代际振荡叠加的结果, 使得海陆热力对比处在很强的正位相阶段, 所以这个阶段亚非夏季风较强; 60 年代中期左右, 小波分析表明有一次明显的年代际突变, 突变以后海陆热力对比明显减弱; 而 80 年代以后, 海陆对比不同时间尺度的年代际振荡却是反位相叠加, 相互抵消, 更令人注意的是, 较短时间尺度的年际尺度信号明显加强, 以上这些原因造成了 80 年代全球变暖以后不显著的亚非夏季风变化特征. 这应该是 60 年代与 80 年代亚非夏季风变化并非简单反位相的直接原因.

图 7 是我国华北地区和北非 Sahel 地区夏季降水量的小波分析图, 从图 7 中可以看出, 同样地, 亚非地区夏季降水量与海陆热力差异的变化有着相同的特征. 这进一步说明了 80 年代全球变暖前后亚非夏季风的年代际变异与海陆热力差异的年代际变异有密切的联系. 尽管 60 年代和 80 年代 32~48 年周期年代际振荡信号都比较强, 但是 80 年代更长周期的年代际振荡信号(100 年左右的周期)符号与其相反, 相互作用的结果是相互抵消, 从而使 80 年代的年代际振荡明显减弱, 加上 80 年代年际信号显著加强, 所以, 80 年代全球变暖后亚非夏季风的强弱主要由年际气候因子所决定. 这进一步说明了 80 年代全球变暖与 60 年代变冷气候事件完全不同, 并不是气候年代际信号简单的反位相振荡, 而是有着不同的物理原因, 即分别由不同时间尺度气候因子起主导作用.

所以, 从以上分析可以得到 60 年代全球变冷气

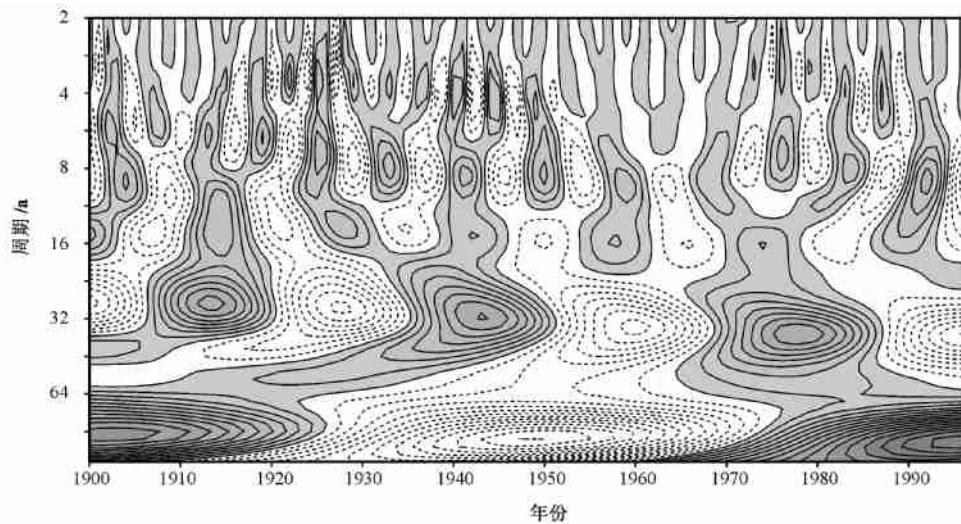
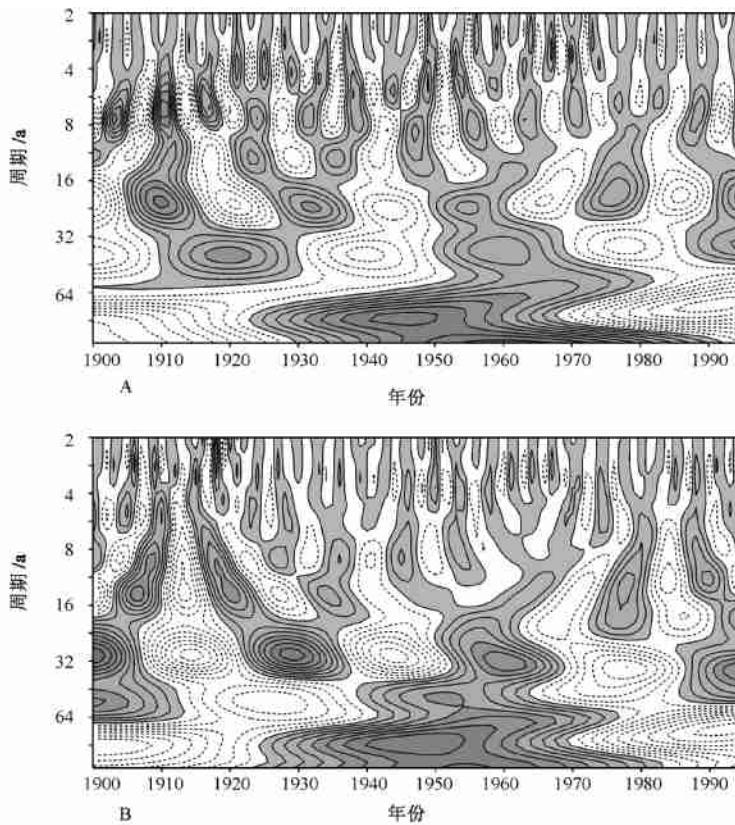


图6 1900—1996年印度洋与欧亚大陆热力对比的小波变换实部分布

FIGURE 6 Thermal contrast's real part distribution of wavelet analysis between Indian Sea and European-Asian continent during 1900–1996



A. 中国华北地区；B. 北非 Sahel 地区

图7 1900—1995年夏季降水量的小波变换实部分布

FIGURE 7 Summer precipitation's real part distribution of wavelet analysis during 1900–1995

候事件主要以年代际振荡信号为主,也即引起气候年代际振荡的因子起着主要的作用;而80年代全球变暖事件年代际振荡信号和年际振荡信号同样重要,并且,由于不同符号的年代际信号之间的相互抵消作用,更加突出了年际信号的作用,即年际振荡起着更为主导的作用。这是两次气候事件之间的主要差别。

## 5 结 论

1)20世纪80年代全球确实存在一次突然变暖事件,变暖以后全球温度明显升高;相应地,降水场也存在一次变化过程,变化以后北非Sahel地区和我国华北地区夏季降水有所增加,但并没有恢复到60年代以前强夏季风时期的降水量值。

2) 对比分析 80 年代中期变暖前后季风环流场, 变暖以后非洲夏季风有较明显的加强, 而印度夏季风有所减弱, 东亚夏季风变化微弱加强。80 年代变暖事件与 60 年代变冷事件相比较, 情况较复杂, 并非是气候年代际振荡反位相的结果。

3) 小波分析结果表明, 亚非夏季风在 60 年代事件中以年代际信号为主, 各时间尺度的年代际信号同期处于正位相, 相互叠加、作用的结果使得亚非夏季风在年代际时间尺度内较强, 即年代际振荡起了主要作用; 而 80 年代事件中各时间尺度的年代际信号符号相反, 作用相互抵消, 年际时间尺度的信号反而在这个时期加强。所以, 80 年代中期变暖以后亚非夏季风年代际振荡信号较弱, 年际振荡信号起着主导作用。即在两次事件中起主导作用的物理因子不同, 是影响气候不同时间尺度变化的因素, 这是 60 年代和 80 年代事件并不是反位相的主要原因。

20 世纪 80 年代全球变暖造成亚非地区夏季降水发生的年代际变化, 一定程度上会影响全球森林种类和分布的变化, 这也是需要进一步探讨的问题之一。

**致谢** 非常感谢叶笃正院士和陶诗言院士对本工作的支持和指导。

## 参 考 文 献

- [1] JONES P D, BRIFFA K R, BARRETT T P, et al. High-resolution palaeoclimatic records for the last millennium: Interpretation, integration and comparison with General Circulation Model control-run temperatures[J]. *The Holocene*, 1998, 8(4): 455–471.
- [2] MANN M E, BRADLEY R S, HUGHES M K. Global-scale temperature pattern and climate forcing over the past six centuries [J]. *Nature*, 1998, 392(6 678): 779–787.
- [3] 符淙斌, 王强. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学, 1992, 16(4): 482–493.
- FU C B, WANG Q. Definition and test method on climatic abrupt change[J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 1992, 16(4): 482–493.
- [4] 符淙斌, 王强. 南亚夏季风长期变化中的突变现象及其与全球迅速增暖的同步性[J]. 中国科学:B 辑 地球科学, 1991, 35(6): 666–672.
- FU C B, WANG Q. Abrupt change in the long-term variation of South Asian summer monsoon and its synchronization with global quick warming[J]. *Science in China: Series B Geoscience*, 1991, 35(6): 666–672.
- [5] 宋燕, 季劲钩. 气候变暖的显著性检验以及温度场和降水场的时空分布特征[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(2): 157–165.
- SONG Y, JI J J. The remarkable test of abrupt climatic warming and spatio-temporal distribution features of temperature and precipitation fields[J]. *Climatic and Environmental Research*, 2005, 10(2): 157–165.
- [6] 严中伟, 季劲钩, 叶笃正. 60 年代北半球夏季气候跃变(I): 降水和温度变化[J]. 中国科学:B 辑 地学, 1990(1): 97–103.
- YAN Z W, JI J J, YE D Z. Northern hemisphere summer climatic jump in 1960's (I): Variation of precipitation and temperature[J]. *Science in China: Series B Geoscience*, 1990(1): 97–103.
- [7] 严中伟, 季劲钩, 叶笃正. 60 年代北半球夏季气候跃变(II): 海平面气压和 500 hPa 高度变化[J]. 中国科学:B 辑 地学, 1990(8): 879–885.
- YAN Z W, JI J J, YE D Z. Northern hemisphere summer climatic jump in 1960's (II): Variation of sea level pressure and 500 hPa height[J]. *Science in China: Series B Geoscience*, 1990(8): 879–885.
- [8] 宋燕, 季劲钩. 六十年代亚非夏季风十年尺度的突变[J]. 大气科学, 2001, 25(2): 200–208.
- SONG Y, JI J J. The interdecadal abrupt change of the African-Asian summer monsoon in 1960s[J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2001, 25(2): 200–208.
- [9] WANG S W, YE D Z. An analysis of global warming during the last one hundred years [C]//International Workshop on Climate Variabilities (IWCV). *Climate variability*. Beijing: China Meteorological Press, 1992: 23–32.
- [10] WANG H J. The weakening of the Asian monsoon circulation after the end of 1970's[J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2001, 18(3): 376–386.
- [11] 林学椿, 于淑秋, 唐国利. 中国近百年温度序列[J]. 大气科学, 1995, 19(3): 209–214.
- LIN X C, YU S Q, TANG G L. Recent hundred years temperature series in China[J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 1995, 19(3): 209–214.
- [12] ROBINSON D A, DEWEY K F. Recent secular variations in the extent of northern hemisphere snow cover[J]. *Geophysical Research Letters*, 1990, 12(10): 1557–1560.
- [13] 翟盘茂, 周琴芳. 北半球雪盖变化与中国夏季降水[J]. 应用气象学报, 1997, 8(2): 231–235.
- ZHAI P M, ZHOU Q F. The change of northern hemisphere snow cover and its impact on summer rainfalls in China[J]. *Journal of Applied Meteorological Science*, 1997, 8(2): 231–235.
- [14] 曾昭美, 严中伟, 叶笃正. 20 世纪两次全球增暖事件的比较[J]. 气候与环境研究, 2003, 8(3): 319–330.
- ZENG Z M, YAN Z W, YE D Z. Two global warming in the 20th century[J]. *Climatic and Environmental Research*, 2003, 8(3): 319–330.
- [15] 杨修群, 郭燕娟, 徐桂玉, 等. 年际和年代际气候变化的全球时空特征比较[J]. 南京大学学报(自然科学版), 2002, 38(3): 308–317.
- YANG X Q, GUO Y J, XU G Y, et al. Comparison of global spatio-temporal structures between international and interdecadal climate variations [J]. *Journal of Nanjing University (Natural Sciences)*, 2002, 38(3): 308–317.
- [16] 王绍武, 叶瑾林. 近百年全球气候变暖的分析[J]. 大气科学, 1995, 19(5): 545–553.
- WANG S W, YE J L. Recent hundred years global climatic warming analysis[J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 1995, 19(5): 545–553.
- [17] HURREL J W. Influence of variations of extratropical wintertime teleconnections on northern hemisphere temperatures [J]. *Geophysical Research Letters*, 1996, 23(6): 665–668.

- [18] 李崇银,朱锦红,孙照渤. 年代际气候变化研究[J]. 气候与环境研究,2002,7(2):209-219.  
LI C Y, ZHU J H, SUN Z B. The study interdecadal climate variation[J]. *Climatic and Environmental Research*, 2002, 7(2): 209-219.
- [19] 孙照渤,陈海山. 年代际气候变化的研究进展[J]. 山东气象,2004,24(1):5-9.  
SUN Z B, CHEN H S. Advance in study of decadal climate variability[J]. *Journal of Shandong Meteorology*, 2004, 24(1): 5-9.
- [20] 李崇银,咸鹏. 北太平洋海温年代际变化与大气环流和气候的异常[J]. 气候与环境研究,2003,8(3):258-273.  
LI C Y, XIAN P. Interdecadal variation of SST in the North Pacific and the anomalies of atmospheric circulation and climate [J]. *Climatic and Environmental Research*, 2003, 8(3): 258-273.
- [21] LI C Y, LI G L. Variation of the NAO and NPO associated with climate jump in the 1960s[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1999, 44(21):1 983-1 986.
- [22] 宋燕,季劲钧. 亚非夏季风年代际变化强度指数[J]. 自然科学进展,2003, 13(5):508-512.  
SONG Y, JI J J. Asian-African summer monsoon interdecadal change and intensity index [J]. *Nature Science Evolution*, 2003, 13(5):508-512.
- [23] 钱维宏. 全球气候与地球自转速度的年代际变化[J]. 科学通报,1997,42(13):1 409-1 411.  
QIAN W H. Global climate and the interdecadal variation of the earth self-rotation speed [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1997, 42(13):1 409-1 411.
- [24] 叶笃正,吕建华. 气候研究进展和21世纪发展战略[J]. 自然科学进展,2003,13(1):42-46.  
YE D Z, LU J H. Climate researches progress and strategy in 21th century development [J]. *Progress in Natural Science*, 2003, 13(1): 42-46.
- [25] 严中伟,Nicole Petit-Maire. 关于全球冷暖和亚非夏季风区干湿变迁之联系的一个述评[J]. 地理学报,1995,50(5): 471-479.  
YAN Z W, PETIT-MAIRE N. On the relationship between global thermal variations and the wet/dry alternations in the Asian and African monsoon areas[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1995, 50(5): 471-479.
- [26] 郭其蕴,蔡静宁,邵雪梅,等. 东亚夏季风的年代际变率对中  
国气候的影响[J]. 地理学报,2003,58(4): 569-576.  
GUO Q Y, CAI J N, SHAO X M, et al. Interdecadal variability of East-Asian summer monsoon and its impact on the climate of China [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(4): 569-576.
- [27] 郭其蕴,蔡静宁,邵雪梅,等. 1873—2000年东亚夏季风变化的研究[J]. 大气科学,2004,28(2):206-215.  
GUO Q Y, CAI J N, SHAO X M, et al. Studies on the variations of East-Asian summer monsoon during AD 1873-2000 [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2004, 28(2): 206-215.
- [28] 陈烈庭. 华北各区夏季降水年际和年代际变化的地域性特征[J]. 高原气象,1999,18(4):477-485.  
CHEN L T. Regional features of interannual and interdecadal variations in summer precipitation anomalies over North China [J]. *Plateau Meteorology*, 1999, 18(4): 477-485.
- [29] 张庆云. 1880年以来华北降水及水资源的变化[J]. 高原气象,1999,18(4):487-495.  
ZHANG Q Y. The variations of the precipitation and water resources in North China since 1880[J]. *Plateau Meteorology*, 1999, 18(4): 487-495.
- [30] 黄荣辉,徐予红,周连通. 我国夏季降水的年代际变化及华北干旱化趋势[J]. 高原气象,1999,18(4):465-476.  
HUANG R H, XU Y H, ZHOU L T. The interdecadal variation of summer precipitations in China and the drought trend in North China [J]. *Plateau Meteorology*, 1999, 18(4): 465-476.
- [31] DAI A G, FUNG I Y, DELGENIO A D. Surface observed global land precipitation variations during 1900-1988 [J]. *J Climate*, 1997, 12(10): 1 557-1 560.
- [32] 项静恬,史久恩. 均值变点分析[M]//方开泰. 非线性系统中数据处理的统计方法. 北京:科学出版社,1997;3-14.  
XIANG J T, SHI J E. Variable point analysis on mean values[M]//  
FANG K T. *Data processing statistics methods in nonlinear system*. Beijing: Science Press, 1997;3-14.
- [33] WALLACE J M, ZHANG Y, RENWICK J A. Dynamical contribution to hemispheric temperature trends[J]. *Science*, 1995, 270(2 121):780-783.
- [34] WALLACE J M, ZHANG Y, BAJUK L. Interpretation of interdecadal trends in northern hemisphere surface air temperature [J]. *J Climate*, 1996, 9(2):249-259.

(责任编辑 董晓燕)