

60年代亚非夏季风十年尺度的突变^{*}

宋 燕 季劲钧

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

摘 要 在综合分析了近几十年气候资料的基础上, 揭示了本世纪 60 年代的一次亚非夏季风十年尺度的突变。这次突变在地面温度场上表现为突变前亚非大陆是正距平, 印度洋和西太平洋为负距平, 海陆温差较强; 突变后相反, 海陆温差减弱。地面气压由突变前亚非大陆强热低压中心转变为突变后的弱低压中心。同时突变前北非和东亚夏季风增强, 而突变后明显减弱。这次十年尺度的气候突变突出表现了东亚季风、印度季风和北非季风明显的变化同步性, 而最显著的特征是在行星尺度的降水场上从北非撒哈拉-萨赫勒、中东、印度北部到华北干旱半干旱带上由多雨变为少雨的雨量减少带。

关键词: 夏季风; 气候突变; 干旱半干旱

1 引言

十年时间尺度到百年时间尺度的气候变化是当前国际全球变化研究的重点问题之一。国内在此领域的研究始于 90 年代初。严中伟等^[1,2]发现在 60 年代中期前后北半球气候发生一次突变, 其中北非、中国等地区出现一致性地变干, 这是一条包括北非、印度西北部、中国北部和东部以及日本北部在内的行星尺度带的降水的同位相变化, 而其南北侧各有一条反位相变化带。他们的工作说明这次事件是十年尺度气候突变的实例。这种行星尺度气象要素场的分布型的同位相变化, 以及十年尺度的气象要素场的时间的反位相突变, 不仅表现在降水场, 而且还反映在温度和气压等要素场上。由于当时受资料等条件的限制, 严中伟等主要从跃变的角度揭露和讨论了这一事实, 并没有进一步探讨其原因。

事实上, 60 年代亚非半干旱地带变干旱的同时, 也有其他的一些气候资料分析表明有十年尺度气候变化的迹象。如用实测的降水资料分析我国东部地区的年干旱指数和湿润指数^[3], 可知在 50 年代早期到 60 年代早期, 我国东部干旱指数较低, 而 60 年代后期到 70 年代后期干旱指数较高, 两个 10 年的干旱状况呈相反的位相。又如我国北部地区松花江的年径流量在 50 年代初期到 60 年代初期较大, 而 60 年代后期到 70 年代后期下降很快^[4], 明显地存在十年尺度的变化。Bhalme 等^[5]发现用南半球的海温减去北半球海温的时间序列与印度季风地区的夏季降水量时间曲线对应非常好, 且两半球海温差在 50 年代和 60 年代末期为一负值期, 而在 70 年代到 80 年代是一正值期, 分别对应着印度季风区的多雨时期和较干旱时期。Demaree 等^[6]利用对西非降水系统较有代表性的毛里塔尼亚卡埃迪(Kaedi)地区年降水量的标准差偏差作时间序列, 发现在 60 年代中期

降水从正值突变为负值,并用突变检验法证明1967年确有一次突变过程:用同样检验方法对次撒哈拉地区台站4~10月份降水量作检验,结果在1966年左右同样存在一次由湿变干的过程。这些事实表明,亚非行星尺度带60年代中期前后突变这一事件并不是孤立的,与大尺度大气环流的变化和调整存在着密切的关系。

研究年代际的气候变化特征非常具有实际意义,因为十年尺度的环流特征可作为短期气候预测的直接背景,也可作为长期气候变化的一个时段,为今后更长期的气候预测提供依据。尤其是亚非行星尺度带状的旱涝状况变化,与我国气候变化有直接的关系。基于以上原因,我们利用较完整的新资料以及新的方法,对60年代亚非降水带状的年代际变化做了进一步探讨。关于这一现象的机理和原因,最初人们猜测可能是Hadley环流的南北变动造成了北非等热带或者副热带地区带状的降水变化一致性^[7],或者是海气系统的自然变率所致^[5]。我们在研究中发现,这一现象与季风的年代际变化有较好的对应关系。早在1983年,郭其蕴^[8]就曾发现,东亚季风于1966~1967年的前后突然减弱。严中伟等^[9]也曾指出我国华北地区旱涝气候突变可能与季风环流系统的伸缩和强弱变化有关。尽管亚非干旱带分别位于不同的纬度带,但作为一个整体,它们都位于亚非夏季风的北部地区,对与大尺度海陆热力对比密切联系的季风系统的变化非常敏感^[10]。迄今为止,没有人真正将60年代亚非行星尺度带降水突变与季风的变化联系起来,并探讨两者的内在关系。季风是联结大尺度环流热力场和区域气候变化的重要环流系统,研究季风系统在气候十年尺度变化过程中的行为特征有利于全球变化研究的发展。同时,将一个区域气候变化与更大尺度的气候相联系,使得研究十年尺度气候变化具有了更丰富的意义。本文利用较完整的资料,对60年代前后夏季的降水、温度、气压和季风风场十年尺度变化同时作了分析,指出60年代中后期亚非夏季带状地区变干与亚非夏季风的年代际变化有着密切的联系。

2 降水场中的年代际振荡事实

自严中伟等^[1]从跃变的观点揭示了60年代中期夏季亚非行星尺度带从北非、印度西北部到中国东北部和日本降水场发生突变后,这一现象受到了人们越来越多的重视。近10年来全球气候资料的积累和分析有了很大进展,使我们对本世纪以来的十年尺度气候变化分析成为可能。

用美国NASA戴爱国^[11]提供的全球陆面网格降水资料,作了1945年到1988年夏季五年滑动平均后的标准化降水量的EOF分析和标准化时间序列。EOF1的方差贡献为11.6%,标准化时间序列曲线如图1所示。从降水的EOF1空间分布图来看(图略),从包括萨赫勒(Sahel)在内的北非地区到印度西北部、我国青藏高原南部地区,直到我国华北东北地区,是明显的同号区。此同号区在1967年之前是正值,之后是负值。此降水EOF1分布与文献^[1]中图2的分布型式很相似,说明其信号占主导地位。由于我们所用资料全,结构更清楚,可较清晰地看出,同号区北部的青藏高原地区的降水变化符号与之相反。

这种全球降水分布结构在近几十年来非常突出,也说明60年代发生的气候突变的空间分布不是小范围的,是一个全球尺度的事件。结合时间标准化序列图1可看出,大

约在 1967 年以前, 全球降水旱涝分布情况与 EOF1 空间场相反, 也就是说, 亚非带状地区降水偏多, 强度相当; 1967 年以后, 标准化序列变成正值, 即降水空间分布场与 EOF1 相同。亚非西南-东北带状地区的降水场变为负值, 由偏湿润转变成偏干旱, 尤其是从 1969 年到 1978 年期间干旱状况更为明显。

在此基础上, 我们在实际资料中找出与跃变前后相对应的明显的十年尺度气候场, 发现 60 年代确实存在显著的降水年代际变化特征。我们选用美国 CO2 资料分析中心 (CDIAC) 收集的全球 $62^{\circ}\text{S} \sim 86^{\circ}\text{N}$ 的网格点 [4° (纬度) $\times 5^{\circ}$ (经度)] 降水资料, 以 6、7、8 三月的降水平均代表夏季降水量大小。为给出清晰的概念, 我们取 1954~1963 年夏季的 10 年平均降水场表示变干前的情况; 1967~1976 年表示变干后的情况, 如图 2a 和 b 所示, 图中降水量均为相对于 1951~1970 年的异常的标准化值, 阴影区

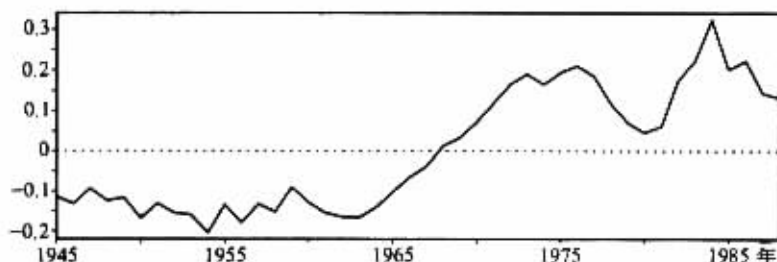


图 1 1945~1988 年夏季降水标准化值 5 年滑动平均场 EOF1 时间系数的标准化序列曲线

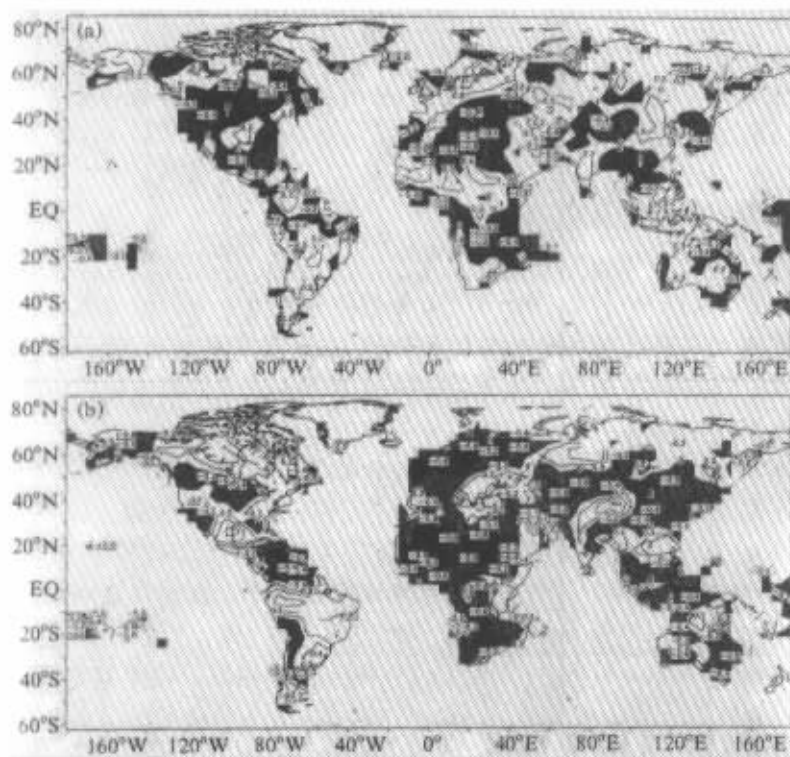


图 2 1954~1963 年 (a) 和 1967~1976 年 (b) 夏季降水量的标准化值 10 年平均场分布
阴影区是负值区, 等值线间隔为 0.2

表示小于零的负值。图 2a 显示, 1954~1963 年 10 年平均降水异常从非洲萨赫勒地区到我国华北确实是正值区。萨赫勒地区和印度中西部地区中心区域降水正值分别大于 0.4 和 0.2, 我国华北东北地区也达 0.2。非洲大陆北部有大片负值区, 中心区域达 -0.8; 亚洲大陆和非洲北部以正值区为主, 比较偏湿。再看图 2b 1967~1976 年 10 年平均的情况, 欧亚大陆和非洲地区负值明显, 亚非干旱半干旱地区以负值为主, 其中非洲北部有大于 -0.8 的区域。在亚非干旱半干旱地区的西北侧有较强正值区, 南侧也有明显正值区域。原欧洲负值区域变成以正值为主。

从以上分析得知, 60 年代确实存在显著的降水场的十年尺度突变。

3 地表面气温场

降水场发生了突变, 温度场是否也有相应变化? 如果也有突变的话, 具体又在什么时间? 为了解答这一系列问题, 我们对地面气温进行了分析。资料用美国 CDIAC NDP-020/R2 Jones^[12] 的全球地表面气温 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 网格点资料。

同样, 首先对温度资料序列作五年滑动平均, 然后作温度场 1951~1980 年的 EOF 分析, 得到标准化的第一主分量空间场分布 (方差贡献 17.9%) 和时间系数随时间变化曲线, 如图 3 所示。由图 3a、b 可推知, 在 60 年代中期前后, 全球温度场分布进行了大范围调整, 反位相时间为 1967 年前后。在此之前, 几乎整个印度洋、非洲大部分

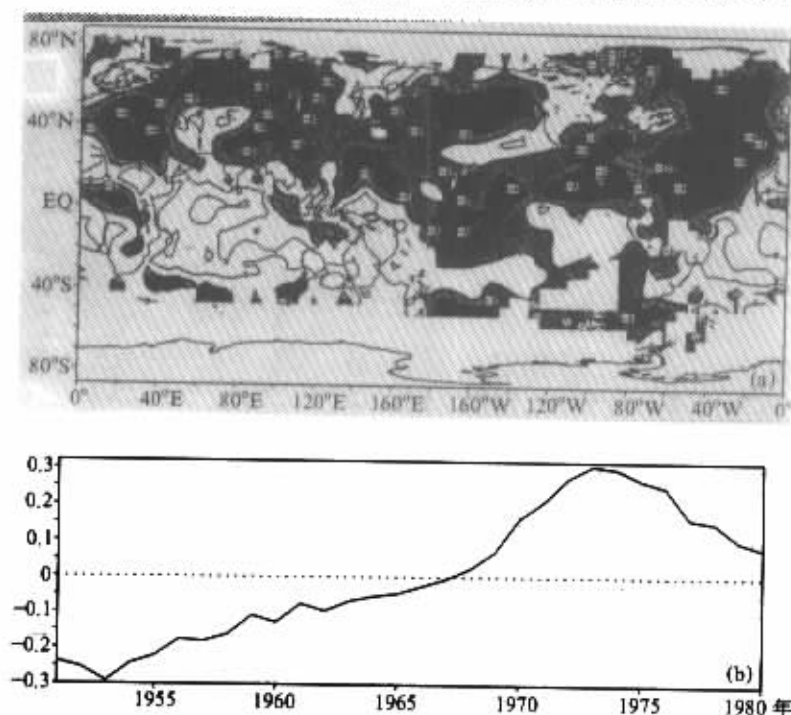


图 3 1951~1980 年夏季地面温度标准化值 5 年滑动平均场 EOF1 空间分布 (方差贡献 17.9%) (a), 及其时间系数的标准化序列 (b)

阴影区是负值区, 等值线间隔为 2

地区(除中西部地区)、欧洲中东部、太平洋中东部地区及南部部分地区、南部大西洋和美国西部为大范围降温区,而亚洲和欧洲大部分陆地、北大西洋和北太平洋以及赤道南太平洋地区是升温区。在1967年以后,这种温度场热力结构反相,印度洋大范围升温,亚洲大陆和欧洲地区普遍降温,北大西洋和北太平洋也有较强降温。同时,非洲大部分地区增温,中西部落温。

那么实际温度资料场中是否真的存在反相过程?我们利用上述同样的资料,分别做了1954~1963年和1967~1976年两个10年平均的夏季温度场异常分布图(图略,多年平均是1951~1970年),结果发现确实存在明显的反相过程。用1967~1976年夏季10年平均温度场减去1954~1963年夏季10年平均温度场能更清楚地看到温度场反相后的结果。如图4所示,亚欧大陆大部分地区在1967~1976年间降温,印度洋大范围升温,北大西洋和北太平洋有明显降温,非洲萨赫勒地区西部也有增温。由此可见温度场结构存在大范围的反相变化,这必然会造成大气的动力过程发生变化,引起大气环流新的调整,从而达到新的平衡态。在夏季,北半球陆地相对较暖,海洋相对较冷,海陆热力上的差异造成了亚非地区夏季风的形成。海陆热力相差越大,季风环流系统越强;反之,则较弱。60年代的温度场突变后造成亚非大陆温度大面积下降,而印度洋地区,包括阿拉伯海、孟加拉湾及南海大部分地区温度上升,减弱了海陆热力对比,这可导致季风系统减弱,从而影响到季风北缘降水量减小,这是亚非带状地区降水减少的直接原因。

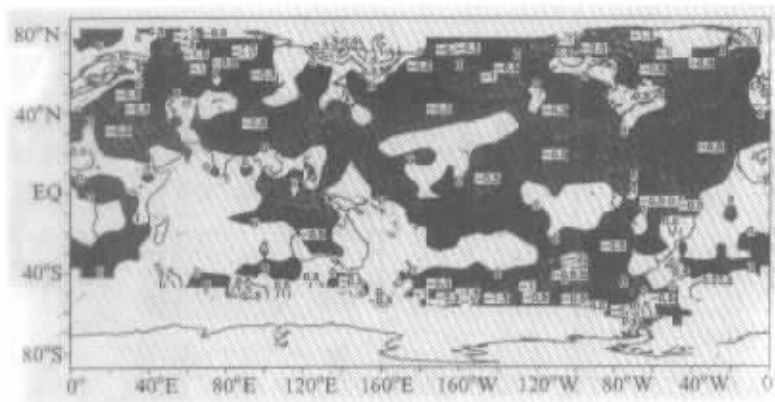


图4 1967~1976年夏季10年平均温度场减去1954~1963年夏季10年平均温度场的差值场
阴影区是负值区,等值线间隔为0.5℃

4 海平面气压场

下面我们再看看海平面气压场的情况。

海平面气压场资料来自中国气象局气候中心气候预测室提供的北半球10~85°N网格点资料。1954~1963年10年夏季平均海平面气压异常场(相对于1951~1970年多年平均)如图5a所示,在欧亚大陆到非洲萨赫勒地区北部为一负距平带,亚欧大陆中

心异常值分别达 -0.8 hPa 和 -1.0 hPa, 撒哈拉地区是 -0.2 hPa。在负距平带南面是明显的正距平带。这种北降南升趋势, 使得在亚洲大陆南部沿岸到北非有向东的地转风, 有利于季风带中西风加强, 利于亚非季风降水。1967~1976 年 10 年平均夏季情况相反(图 5b), 亚欧大陆和撒哈拉中北部地区为增压带。亚欧大陆都有 2.0 hPa 正变压闭合等值线, 撒哈拉有 0.5 hPa 正变压闭合等值线, 南面是负变压等值线为 -1.5 hPa 的广大降压区。这种北正南负的分布使得在亚洲大陆南部沿岸到北非有向西的地转风, 与季风方向相反。这种分布明显不利于亚非夏季风系统的维持与发展, 即不利于季风降水。太平洋北部, 东部和北美大陆有明显降压, 在 1954~1963 年这些地区是升压区。

用 1967~1976 年 10 年夏季海平面气压场减去 1954~1963 年 10 年夏季海平面气压场, 得到差值分布场, 从中可更清楚地看出两个 10 年之间北半球海平面气压场的变化。欧亚大陆正变压中心大于 3.0 hPa, 北非地区有 1.0 hPa 正变压闭合等值线, 南面是负变压区。这种分布表明在 60 年代夏季海平面气压场发生了突变, 变化后的形势明显不利于亚非季风系统的发展。

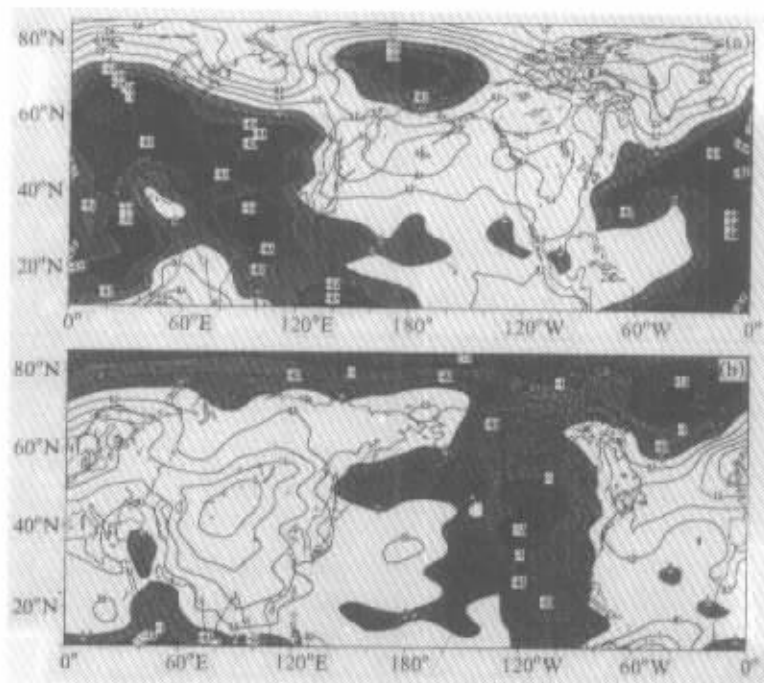


图 5 (a) 1954~1963 年夏季北半球海平面气压距平 10 年平均场(等值线间隔: 0.2 hPa);
(b) 1967~1976 年夏季海平面气压距平 10 年平均场(等值线间隔: 0.5 hPa),
多年平均值是 1951~1970 年。阴影区是负值区

5 风场

从以上对温度场和海平面气压场的分析中可直观地得出在 60 年代的气候跃变中, 亚非季风系统随之做了相应调整, 经历了一个由强变弱的过程。如果从风场中也能发现万方数据

60 年代气候年代际振荡的特征, 那就进一步支持了季风系统年代际变化造成季风降水年代际变化这一说法。

图 6 是 1958~1963 年夏季 850 hPa 等压面上 10 年平均纬向风 U 风场和经向风 V 风场的合成风矢量场减去 1967~1976 年 10 年合成风矢量场的差值分布。所用资料是 NCEP 再分析月平均纬向风网格点资料。由于资料起始年份从 1958 年开始, 所以多年平均夏季纬向风值前 10 年时段的 10 年平均用从 1958 年开始到 1963 年共 6 年的资料代替, 为的是与降水场分析保持一致。从图中可看出, 非洲萨赫勒地区 ($10^{\circ}\text{W}\sim 40^{\circ}\text{E}$) 有较强的偏西风分量, 说明在前 10 年萨赫勒地区夏季风西风分量较强, 有利于此地区的季风降水; 索马里跨赤道偏南风分量也很明显, 在 15°N 附近转成偏西风经过印度到达东南亚, 使印度地区在前 10 年里有较强的西南季风; 在我国东南部, 有较强的西南风分量, 到华北和东北地区转为偏南风, 深入亚洲东北沿海大陆, 是造成我国华北和东北平原降水在前 10 年偏多的直接原因; 另外, 亚洲大陆上有明显的气旋性环流加强, 说明突变以前亚洲大陆热低压较强; 在北太平洋地区有明显的反气旋环流加强, 表明突变以前西太平洋副热带高压也较强, 位置偏北。由以上分析可看出, 在 1958~1963 年夏季亚非季风场明显比 1967~1976 年要强, 尤其在非洲萨赫勒地区和我国华北到东北地区更为突出。因为风场本身就是衡量季风强度的指标, 所以通过以上分析可得出, 亚非行星尺度带状地区夏季风系统在 60 年代有一次突然由强变弱的过程, 这次突变属于季风年代际的变化。

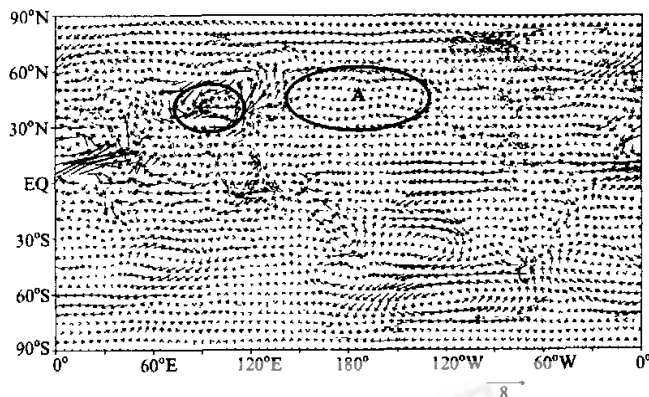


图 6 850 hPa 等压面上 1958~1963 年减去 1967~1976 年夏季平均纬向风场和经向风场的合成风矢量场的差值场

6 结论

经过前面的讨论, 我们得出以下结论:

(1) 用更为翔实的资料证明 60 年代中期发生了降水场的十年尺度的年代际突变, 信号较强。

(2) 与此同时, 地表面气温场也发生了年代际突变, 变化结果减小了亚非大陆与印度洋西太平洋的温度对比。60 年代中期突变以前印度洋的表面温度异常低于欧亚大陆; 突变以后印度洋的表面温度迅速增高, 异常值明显高于欧亚大陆。海陆热力对比减弱, 不利于季风降水。

(3) 北半球海平面气压场也有相应的响应, 亚欧非大陆由原来南高北低变压分布形势转变成了南低北高变压分布状况。转换后的温度场和气压场形势不利于亚非季风系统的维持和发展。

(4) 纬向风和经向风的合成矢量场在 60 年代的变化更支持了亚非夏季风系统相应变弱的观点。亚非季风区域对流层下部纬向风和经向风合成矢量场前 10 年与后 10 年的差值场表明季风在前 10 年明显强于后 10 年, 说明了亚非夏季风系统在 60 年代也存在由强变弱的突变过程, 从而证明了 60 年代夏季亚非干旱半干旱地区降水突变与亚非季风的突变有着直接的关系。

60 年代气候的年代际突变实质上是以行星尺度亚非季风的年代际突变为主要特征的, 它是海陆温度场年代际变化的反映。

致谢: 本文受到了陶诗言院士的关怀和指导以及曾昭美研究员和谢力女士的大力支持和帮助, 在此一并表示感谢!

参 考 文 献

- 1 严中伟, 季劲钧, 叶笃正, 60 年代北半球夏季气候跃变 1. 降水和湿度变化, 中国科学 (B 辑), 1990, 1, 97~103.
- 2 严中伟, 季劲钧, 叶笃正, 60 年代北半球夏季气候跃变 2. 海平面气压和 500 hPa 高度变化, 中国科学 (B 辑), 1990, 8, 879~885.
- 3 符淙斌, 气候突变现象的研究, 大气科学, 1994, 18(3), 373~384.
- 4 叶笃正, 中国的全球变化预研究, 第一部分 总论, 北京: 气象出版社, 1992.
- 5 Bhalme, H. N., Patwardhan, S. K. and Sikder, A. B., Whether frequent large scale droughts in Indian monsoon during recent decades are manifestation of natural variability or irreversible climate change? Preprint of abstract of papers for the First WMO International Workshop on Monsoon Studies, 1997, 3~5.
- 6 Demaree, G. R. and Nicolis, C., Onset of Sahelian drought viewed as a fluctuation-induced transition, *Quart. J. R. Meteor. Soc.*, 1990, 116(491), 221~238.
- 7 Kraus, E. B., Subtropical droughts and cross-Equatorial energy transports, *Mon. Wea. Rev.*, 1977, 105(8), 1009~1018.
- 8 郭其蕴, 东亚夏季风强度指数及其变化的研究, 地理学报, 1983, 38(3), 207~217.
- 9 严中伟, 李兆元, 王晓春, 历史上 10 年—100 年尺度气候跃变的分析, 大气科学, 1993, 17(6), 663~671.
- 10 Ji Jinjun, Nicole Petit-Maire and Yan Zhongwei, The last 1000 years: climatic change in arid Asia and Africa, *Global and Planetary Change*, 1993, 7, 203~210.
- 11 Dai Aiguo and Inez Y. Fung, Surface observed global land precipitation variations during 1900—88, *J. Climate*, 1997, 10, 2943~2962.
- 12 Wallace, J. M., Observed climatic variability: spatial structure, *Decadal Climate Variability Dynamics and Predictability*, NATO ASI Series, Vol. 144, 1996, 31~76.

The Interdecadal Abrupt Change of the African–Asian Summer Monsoon in the 1960s

Song Yan and Ji Jinjun

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract On the basis of comprehensive analyses of recent climatic data, it exposes a decadal abrupt change of African–Asian Summer Monsoon in the 1960s. The results indicate that, before its abrupt change, surface temperature presents positive anomalies over the African–Asian continents, and negative anomalies over the Indian Ocean and the western Pacific Ocean. Therefore, the ocean–continent thermal contrast increased. Correspondingly, it is inversed after the abrupt change. On the surface pressure fields, a strongly warm low center over the African–Asian continents weakens through the abrupt change. Simultaneously, strong African and East Asian monsoon in summer weakens significantly. Results show that the East Asian monsoon, the Indian monsoon and the North African monsoon change synchronously. The most remarkable feature of this abrupt change is that in arid and semi-arid belt, from the North African Sahara–Sahel to the Middle East, North India and North China, rainfall changes abruptly from abundant to seldom. The opposite trend happens on the two sides of this belt.

Key words: summer monsoon; arid and semi-arid; abrupt climate change