

宋燕, 季劲钧, 孙丹. 2009. 1960 年代中期亚非夏季风减弱的全球气候背景异常分析 [J]. 大气科学, 33 (2): 313–324. Song Yan, Ji Jinjun, Sun Dan. 2009. Global climatic anomalous background analyses of the Asian-African summer monsoon weakening in the mid-1960s [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 33 (2): 313–324.

20 世纪 60 年代中期亚非夏季风减弱的 全球气候背景异常分析

宋燕^{1, 2, 3} 季劲钧⁴ 孙丹⁵

1 中国气象局气候研究开放实验室, 北京 100081

2 中国气象局成都高原气象研究所成都高原气象开放实验室, 成都 610071

3 中国气象局培训中心, 北京 100081

4 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, 全球变化东亚区域研究中心, 北京 100029

5 云南省气候中心, 昆明 650034

摘 要 利用美国 NASA 格点月降水总量资料、美国 CO₂ 信息分析中心地表面温度异常月平均网格点资料、美国 NCEP/NCAR 再分析全球网格点资料和兰州高原大气物理研究所的台站地温观测资料分析了 1960 年代中期亚非夏季风环流圈年代际时间尺度的减弱及其与之有关的全球气候场异常现象。结果发现, 1960 年代中期全球对流层大气温度和海洋温度场发生异常变化, 对流层大气有明显降温, 海洋主要以印度洋升温、北太平洋和北大西洋降温为主要特征, 同时, 我国大陆土壤温度和青藏高原温度在 1960 年代中期有明显的下降, 导致亚洲大陆与印度洋之间的热力对比明显减弱, 东风急流减弱, 最终导致亚非夏季风明显减弱。

关键词 亚非夏季风 季风环流圈 气候场异常 海陆热力对比 东风急流

文章编号 1006–9895 (2009) 02–0313–12

中图分类号 P462

文献标识码 A

Global Climatic Anomalous Background Analyses of the Asian-African Summer Monsoon Weakening in the Mid-1960s

SONG Yan^{1, 2, 3}, JI Jinjun⁴, and SUN Dan⁵

1 *Laboratory for Climate Studies, China Meteorological Administration, Beijing 100081*

2 *Open Laboratory of Plateau Meteorology, Institute of Plateau Meteorology, China Meteorological Administration, Chengdu 610071*

3 *China Meteorological Administration Training Centre, Beijing 100081*

4 *Key Laboratory of Regional Climate-Environment Research for Temperate East Asia, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*

5 *Yunnan Climate Centre, Kunming 650034*

Abstract Based on the American NASA monthly precipitation grid data, the monthly mean surface temperature anomalies grid data from the CO₂ Information Analyses Centre, USA, the NCEP/NCAR reanalysis global grid data and the stations observational soil temperature data from the Cold and Arid Regions Environmental and Engineering

收稿日期 2007–08–07, 2008–04–29 收修定稿

资助项目 中国气象局气候研究开放实验室 2006 年度开放课题 LCS-2006-01, 2007 年中国气象局气候变化专项, 成都高原气象开放实验室开放课题 LPM2005003

作者简介 宋燕, 女, 1965 年出生, 博士, 教授, 主要从事天气、气候动力学和季风方面的研究。E-mail: songyan@cma.gov.cn

Research Institute of the Chinese Academy of Sciences, the authors study the Asian-African summer monsoon meridional circulation weakening in the mid-1960s on interdecadal time scale and the related global climatic anomalies phenomena. The results show that the tropospheric temperature reduced obviously and the global oceanic temperature abnormal changes in the mid-1960s are mainly characterized by SST increasing in the Indian Ocean and SST decreasing in the northern Pacific Ocean and the northern Atlantic Ocean. Simultaneously, the soil temperatures at 1.6-m and 3.2-m depths in Chinese continent and the surface temperature in the Tibetan Plateau decreased respectively and remarkably in the mid-1960s, which reduces the thermal contrast between Asian continent and the Indian Ocean. Accordingly, the easterly jet weakened, finally the Asian-African summer monsoon weakened too and the monsoon meridional circulation weakened obviously.

Key words Asian-African summer monsoon, monsoon meridional circulation, climatic anomalies, sea-land thermal contrast, easterly jet

1 引言

亚洲和非洲是全球著名的季风区域。一些研究表明,亚洲夏季风系统和非洲夏季风系统(简称亚非夏季风)的强弱在较长的时间尺度上有着较为一致的同位相变化(严中伟等, 1993; Ji et al., 1993),这主要表现在十年时间尺度、年代际时间尺度,甚至更长的时间尺度上。作为亚非夏季风十年尺度同位相变化的一个例子,20世纪60年代中期亚非夏季风突然减弱,同时,位于亚非夏季风北部边缘过渡地带的我国华北、印度北部地区和非洲的 Sahel 地区夏季降水一致显著减少(严中伟等, 1990a, 1990b; 宋燕等, 2001)。虽然亚洲季风系统和非洲季风系统控制区域相距遥远,但同受热带东风急流的影响,从北非 Sahel 地区向东北,经过印度北部,直到我国华北地区的这条长带被称作亚非季风带(叶笃正等, 2003),在历史年代际时间尺度上有明显的旱涝同位相变化。这次亚非夏季风减弱的直接原因表现为季风环流场的减弱(宋燕等, 2001),并且亚非大陆与印度洋之间海陆热力对比明显减弱(宋燕等, 2003)。

另外一些研究结果证明,北非 Sahel 地区和我们华北地区在 20 世纪 60 年代中期夏季降水明显减少(陈烈庭, 1999; 宋燕等, 2001, 2003; 叶笃正等, 2003),并且这期间的气候突变与北大西洋涛动和北太平洋涛动有密切联系(李崇银等, 1999)。这种亚非季风带各地区夏季降水同位相的变化现象,表明亚非夏季风的年代际变化受到大尺度的气候背景变化的牵制,很可能由全球范围的气候异常引发了亚非夏季风的变化。那么,事实是否真的如

此? 全球的气候背景是否发生了异常变化,如何变化? 亚非夏季季风环流圈在 1960 年代中期是否有明显的减弱? 这是本文的主要研究内容。另外,本文力求从全球海洋和亚洲大陆表面气温场的异常变化和东风急流的持续减弱来解释此次气候异常事件,揭示在大尺度的气候异常背景下亚非季风环流圈在 1960 年代中期的确显著减弱,从而给出 1960 年代中期亚非夏季风减弱的物理图像,这在同类事件的研究中具有一定创新。

2 资料和方法

本文降水场资料选用美国 NASA 全球网格点月平均降水资料数据库,时间是 1900 年到 1995 年,网格分辨率是 2.5° 纬度 $\times$ 2.5° 经度。该资料经过 EOF 分析后证明能够较好反映全球降水分布型和趋势(Dai et al., 1997)。在这里,我们将每年 6、7、8 三月降水月总量做平均来代表该年夏季降水量。

本文地面温度场选用美国 CO₂ 信息分析中心(CDIAC) NDP-020/R2 Jones 全球陆面加海洋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° 纬度 $\times$ 5° 经度。一些研究证明此温度资料可信(Jones, 1988; Jones et al., 1992, 2003)。

大气环流资料采用美国 NCEP/NCAR 再分析全球网格点资料,中国土壤温度资料采用兰州高原大气物理研究所的台站地温观测资料。

因为在这里我们主要讨论气候场年代际变化,所用以上资料全部经过五年滑动平均,以滤掉气候场年际变率,以突出气候场的十年尺度变化。

3 1960 年代中期亚非夏季风环流圈的年代际变化

图 1 给出气候平均场的季风环流圈, 从图中可看出在不同地域的夏季季风环流各有特点。图 1a 中 $10^{\circ}\text{E}\sim 30^{\circ}\text{E}$ 是非洲大陆所在经度范围, 是非洲季风所在经度带, 从图中看到南北半球分别存在一个经圈环流圈, 两个环流圈交界处最大上升运动发生在低纬度 $10^{\circ}\text{N}\sim 15^{\circ}\text{N}$ 地区。下沉支分别位于北半球的 35°N 附近和南半球的 20°S 附近。Sahel 位于 $12^{\circ}\text{N}\sim 22.5^{\circ}\text{N}$ 之间, 恰好是上升气流的最北端位置, 也是北非季风的北部边缘。图 1b 中 $70^{\circ}\text{E}\sim 90^{\circ}\text{E}$ 是印度季风所在经度带, 即印度东大陆和青藏高原所在经度带, 季风环流圈从 10°S 一直到 30°N 附近, 即高原南侧, 全部盛行上升气流, 南半球 25°S 左右盛行下沉气流, 构成一个完整的夏季季风环流圈。印度夏季风的特点是受青藏高原热力影响较大, 印度北部地区 $20^{\circ}\text{N}\sim 27.5^{\circ}\text{N}$ 处在上升气流支的北部。图 1c 中 $105^{\circ}\text{E}\sim 125^{\circ}\text{E}$ 是东亚地区和中南

半岛所在经度范围, 是我国夏季风所处的范围, 图中显示上升气流占据纬度带很宽广, 低层偏南季风从南半球 30°S 可一直到达北半球 50°N , 我国华北地区位于 $32.5^{\circ}\text{N}\sim 42.5^{\circ}\text{N}$ 之间, 也是上升气流的最北部边缘地区。

为了更清楚地展现 1960 年代中期亚非夏季风垂直经圈环流的变化特征, 我们以 1958~1963 年代表亚非夏季风减弱前 10 年, 1967~1976 年代表减弱后 10 年, 两个 10 年的差值场表示亚非夏季风减弱后的季风环流圈的年代际变化 (如图 2 所示)。

图 2a 可代表北非夏季风环流圈的变化特征, 与图 1a 相比较可以看出, 南北半球的季风环流圈明显减弱, 尤其是北半球的经圈环流有明显的差异, 北半球赤道到 15°N 之间 600 hPa 上空存在一个强的直接热力环流差值圈, 其下沉气流异常支存在 $10^{\circ}\text{N}\sim 20^{\circ}\text{N}$ 附近, 恰好是北非 Sahel 地区的位置, 大部分区域超过 95% 的信度检验。这表明了 1960 年代中期以后北非夏季风有显著的减弱。

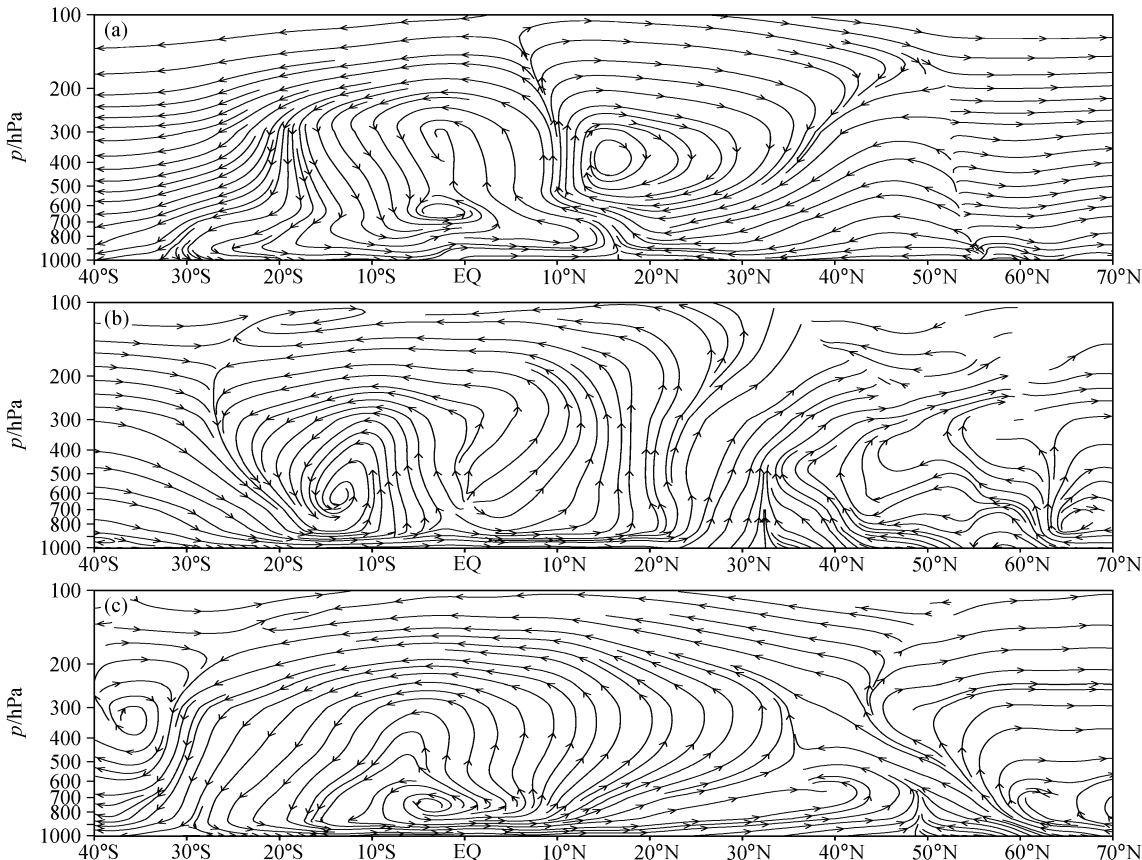


图 1 1958~1997 年夏季气候平均垂直环流圈: (a) $10^{\circ}\text{E}\sim 30^{\circ}\text{E}$; (b) $70^{\circ}\text{E}\sim 90^{\circ}\text{E}$; (c) $105^{\circ}\text{E}\sim 125^{\circ}\text{E}$

Fig. 1 1958-1997 summer climate mean vertical circulation: (a) $10^{\circ}\text{E}\sim 30^{\circ}\text{E}$; (b) $70^{\circ}\text{E}\sim 90^{\circ}\text{E}$; (c) $105^{\circ}\text{E}\sim 125^{\circ}\text{E}$

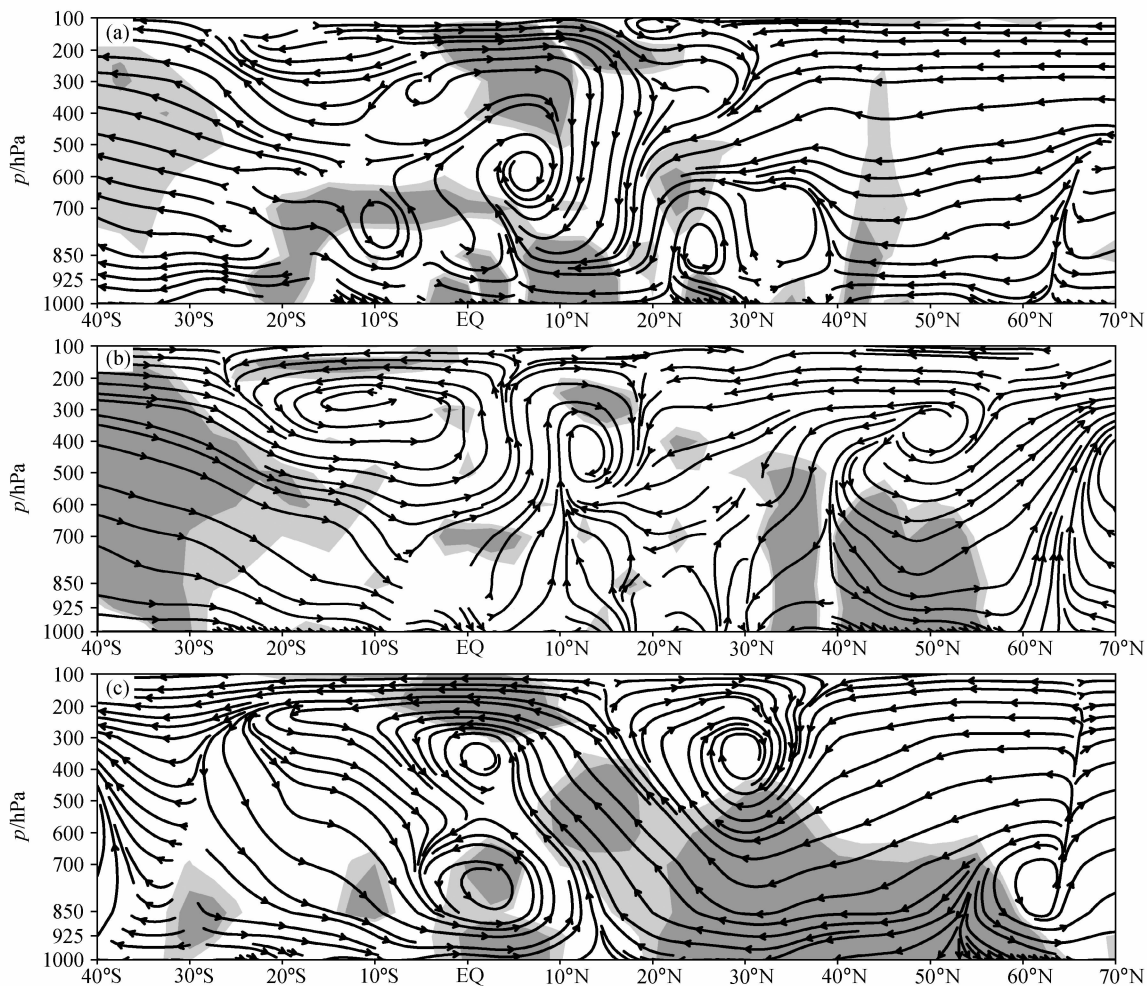


图2 1967~1976年与1958~1963年夏季垂直经圈环流的差值图和 t 检验(阴影表示超过95%的信度检验)。其余同图1

Fig. 2 Same as Fig. 1, but for summer vertical circulation difference between 1967–1976 and 1958–1963 and t test (shadow areas denote the test more than 95% significance level)

图2b表示印度夏季风环流圈的变化特征,与图1b相比较可以发现,垂直经圈环流有明显的差异。首先夏季风环流圈有明显的减弱,其次位于图1b中的 $10^{\circ}\text{S}\sim 30^{\circ}\text{N}$ 之间的季风上升气流显著减弱,最强的上升气流异常位于赤道到 10°N 之间,纬度带不仅变得狭窄,而且明显南移,印度上空出现了下沉气流异常,400 hPa到500 hPa之间存在一个明显的类似Hadley环流的热力环流差值圈,并且印度大陆到青藏高原地区纬度带上存在明显的下沉气流异常,大部分区域超过95%信度检验,表明后10年的印度夏季风与前10年相比强度较弱,位置偏南,不能影响到印度北部地区。

图2c表示东亚夏季风环流圈的变化特征,与图1c相比较不难看出,季风环流圈有明显的差异。同样,夏季风环流圈明显减弱,其次,最强上升气

流异常纬度带变窄,由图1c中赤道 $\sim 45^{\circ}\text{N}$ 左右的宽阔的上升气流带变成图2c中 $10^{\circ}\text{N}\sim 30^{\circ}\text{N}$ 之间的相对窄带,位置明显偏南(超过95%信度检验), 30°N 上空300 hPa到400 hPa之间存在一个类似Hadley环流的热力环流差值圈,我国华北地区存在下沉气流异常(超过95%信度检验),说明后10年的夏季风与前10年相比强度较弱,不能向北深入影响我国北方地区,在华北地区上空,只有下沉的垂直气流异常。

从以上对三个主要的亚非夏季风系统垂直环流圈的分析得知,亚非夏季风系统在1960年代中期前后确实有显著的减弱,与严中伟等(1990a, 1990b)和宋燕等(2001, 2003)的结论一致,但他们并没有给出亚非夏季风形象的空间变化图像。

4 北半球中国地区土壤温度和青藏高原热力异常的年代际变化

亚非夏季风在 1960 年代中期减弱的最直接的原因之一是亚非大陆和南面印度洋之间的热力差异明显减弱(宋燕等, 2003), 作为行星尺度的亚非夏季风系统一致减弱, 背后是否有更为广阔的气候背景场的影响? 事实上答案是肯定的。亚非季风区对流层温度平均气温的显著变化对于 1960 年代中期印度夏季风的减弱也有重要贡献(Wu, 2005)。实际上, 亚非夏季风的异常变化不仅体现在大气圈层, 而且还体现在岩石圈的表层-土壤温度的变化上面。本文分析了 1960 年代中期前后中国土壤温度的年代际时间尺度变化(图略)。本文利用中国台站地表层下 1.6 m 和 3.2 m 的土壤温度测量资料, 经过剔除资料中的极端值和少于 6 年连续观测资料的台站, 求得土壤温度十年平均变化趋势, 分别求得 1967~1976 年与 1954~1963 年夏季土壤温度的差值图(图略)。结果表明, 在 1960 年代中期亚非夏季风明显减弱后的 10 年里中国大陆有明显的降温, 主要体现在中国大陆的东部地区和中部地区, 这与宋燕等(2001)图 4 中的北半球地表面气温的变化趋势是一致的。说明亚洲大陆关键区域温度的下降不仅表现在大气圈, 而且表现在岩石圈表层。这进一步证实了东亚大陆土壤与大气温度的下降, 削弱了与印度洋之间的海陆热力对比, 是亚非夏季风在 1960 年代中期明显减弱的直接原因之一。

青藏高原对亚洲季风的影响早已被世人瞩目。1960 年代中期亚非夏季风减弱所对应青藏高原的温度场会发生怎样的年代际异常变化?

图 3 给出 1950~1996 年青藏高原和亚洲大陆地表面温度距平曲线。青藏高原与亚洲大陆的取值范围分别是 ($27.5^{\circ}\text{N}\sim 42.5^{\circ}\text{N}$, $70^{\circ}\text{E}\sim 105^{\circ}\text{E}$) 和 ($22.5^{\circ}\text{N}\sim 37.5^{\circ}\text{N}$, $80^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{E}$)。亚洲大陆地表面气温的取值范围即是宋燕等(2003)定义的亚非夏季风指数的关键区域 ($22.5^{\circ}\text{N}\sim 37.5^{\circ}\text{N}$, $80^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{E}$), 也是与中国华北降水和北非 Sahel 地区降水有温度正相关的地区, 即亚洲大陆该范围内温度越高说明中国华北地区和北非 Sahel 地区降水越多; 反之则相反。

从图 3 中的实线可以看出, 青藏高原地区的温度距平在 1950~1963 年以前以正距平为主, 处在比较暖的状态; 而 1963~1978 年左右以负距平为主, 气温偏低, 处在较冷的状态; 1978~1996 年基本上属于正常年, 在平均值上下波动。经过计算, 1967~1976 年青藏高原地区温度比 1954~1963 年平均下降了约 0.23°C , 说明 20 世纪 60 年代中期左右青藏高原的温度场有很大变化, 变化后青藏高原变冷, 这与我国大陆地温变冷相一致。

同样, 图 3 中亚洲大陆温度距平变化趋势与青藏高原地区平均温度距平变化趋势基本一致, 相关系数高达 0.61, 超过 99% 的信度。这种现象进一步说明我国大陆地温、青藏高原地表面气温与亚洲大陆地表面气温的变化趋势是一致的, 它们处在同一关键区域内, 即在 1960 年代中期步调一致地变冷, 证明了亚非夏季风在 1960 年代中期的突然减弱有着大尺度地域的气候变化原因。

图 4 给出 1950~1996 年青藏高原经向平均温度距平随时间变化曲线。青藏高原的范围仍取 ($27.5^{\circ}\text{N}\sim 42.5^{\circ}\text{N}$, $70^{\circ}\text{E}\sim 105^{\circ}\text{E}$)。从图中看出, 1965 年以前, 青藏高原西部地区以负距平为主, 东

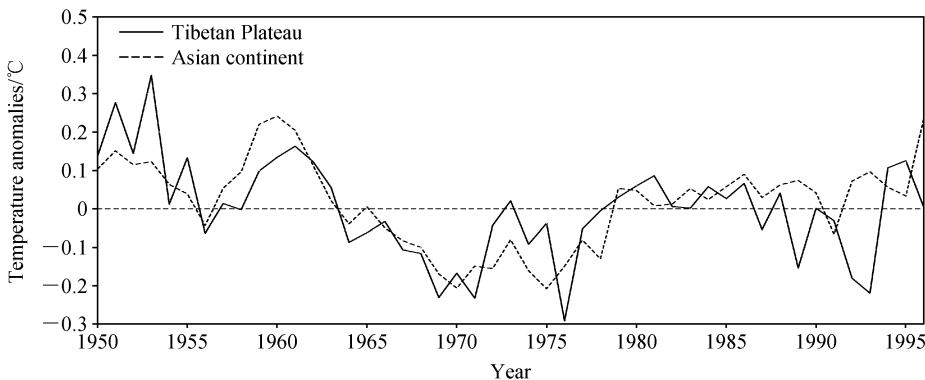


图 3 1950~1996 年青藏高原和亚洲大陆地表面气温距平曲线

Fig. 3 Time series of surface air temperature anomalies for the Tibetan Plateau and Asian continent during 1950-1996

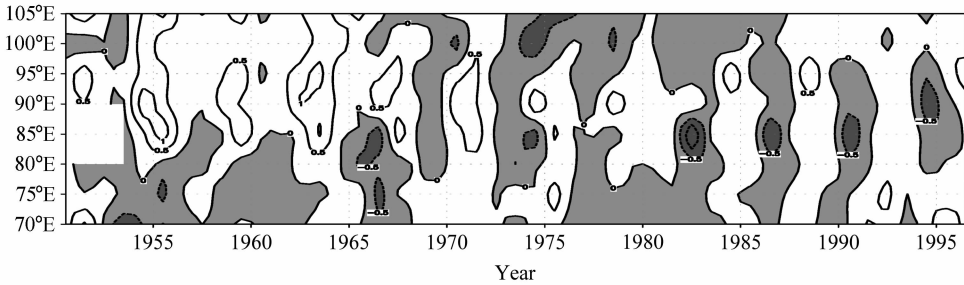


图4 1950~1996年夏季青藏高原经向平均温度距平随时间变化曲线。等值线间隔: 0.5°C

Fig. 4 Summer longitudinal mean surface temperature anomalies for the Tibetan Plateau during 1950–1996. Isoline interval: 0.5°C

部地区以正距平为主, 以 85°E~95°E 附近正距平最为显著。1950~1965 年青藏高原以东部地区增温, 西部地区降温为主要特征。1965 年以后, 整个青藏高原地区转为以负距平为主, 即在 1965 年前后降温, 尤以东部地区降温最为明显, 1983~1990 年高原中部地区降温较显著。所以, 青藏高原经向平均温度变化也有年代际变化特征。

从高原东部温度变异来看, 1965 年以前有正距平, 以后直到 1987 年变冷, 1987~1996 年又有变暖趋势。高原温度的这种变化可能与积雪有关系, 因为青藏高原东部地区是高原积雪年际变化最显著的地区, 并且东部积雪变化在整个青藏高原积雪的变化中居主导地位, 东部多雪就说明整个青藏高原多雪, 东部少雪整个青藏高原就少雪(柯长青等, 1998)。实际上, 青藏高原东部积雪变化是欧亚大陆积雪变化最显著的地区之一(Vernkar et al., 1995)。从我们的分析来看, 东部地区温度异常的年代际变化确实最为显著。青藏高原东部地区气温在 1960 年代中期由温暖期转入了寒冷期, 与图 3 中温度曲线的趋势变化一致, 这可能说明青藏高原的温度变化主要与其东部地区的温度所控制。有研究表明, 青藏高原冬春雪深在 1960 年以后出现了增加(朱玉祥等, 2007), 这很有可能会影响到随后夏季青藏高原地区的气温异常。

由宋燕等(2003)的研究得知, 除去亚洲大陆关键区域(22.5°N~37.5°N, 80°E~120°E)温度在 1960 年代中期开始下降之外, 非洲大陆的北部地区和欧洲南部地区(22.5°N~47.5°N, 20°E~50°E)也有明显的降温, 所以, 可以肯定, 亚非大陆的关键区域在 1960 年代中期的温度开始下降, 同时, 北印度洋地区温度上升, 共同导致海陆之间的热力对比明显减弱。

5 东风急流的年代际变化

热带东风急流是指夏季对流层高层南亚高压南侧盛行的东风气流, 它在夏季达到了高空急流的强度, 是亚洲季风重要组成成员。它东起太平洋, 西止大西洋, 在夏季成为联结亚洲季风和非洲季风的纽带。东风急流对亚非季风起着动力作用, 它的强弱变化和南北的移动对亚非季风影响甚大, 与季风降水区的分布也有密切关系, 在急流出口及入口区对流较强, 降雨量较大(Johnson et al., 1974)。Kanamitsu et al. (1978) 在分析热带大气环流异常与印度和北非等地大范围旱涝关系时指出, 在亚非夏季风弱并且少雨的年份里, 热带东风急流位置偏南并且较弱。曾昭美和郭其蕴(1982)分析了亚非季风区降水分布与热带东风急流的关系, 发现降水分布和变化与热带东风急流的位置和强弱有密切关系, 多雨区主要分布在急流入口区的右侧和出口区的左侧, 并且在强季风年中东风急流位置偏北, 中心风速大, 强东风范围广。

为了分析热带东风急流强度的变化, 我们作了 150 hPa 东风急流强度和面积大小随时间变化曲线(图 5), 粗线表示(10°S~20°N, 0°~120°E)范围内大于 20 m/s 风速的东风网格点数的距平值, 格点数越多, 表明该年—20 m/s 等风速线所包含的面积越大, 东风急流的范围就越大; 细线是(10°S~20°N, 0°~120°E)夏季东风风速的平均值的距平乘以—1, 数值越大, 表示该年东风急流越强; 数值越小, 东风急流越弱。

以上两条曲线相关系数(r)为 0.987, 它们都表明了夏季东风急流近几十年来一直在减弱, 说明了亚非夏季风环流在 1960 年代中期的突然减弱与东风急流的减弱有某种动力上的关联。图 5 中东风

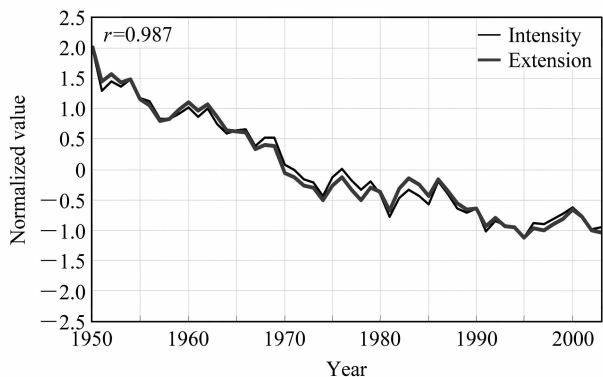


图 5 1950~2003 年夏季东风急流强度和范围标准化曲线
Fig. 5 Time series of normalized values of summer easterly jet intensity and extension during 1950–2003.

急流强度变化曲线与宋燕等 (2003) 的图 1 中海陆热力对比曲线 (曲线 2) 自 1958 年以来的相关系数达到 0.72, 超过 99% 的信度, 这进一步说明了东风急流强度变化与海陆热力对比以及亚非夏季风强度变化之间的紧密对应的动力关系。

用同样方法, 我们也利用欧洲 ERA-40 再分析资料计算了东风急流的年代际变化 (图略), 除去变化幅度有所差异之外, 反映出了同样的减弱趋势。

6 全球海洋温度的年代际变化

从以上分析可知, 亚非夏季风在 1960 年代中期的减弱现象与北半球大陆气温变化、青藏高原温度变化以及对流层高层东风急流强度变化相关联。根据宋燕等 (2003), 海陆热力对比减弱直接造成亚非夏季风的减弱。那么, 海陆热力对比的减弱是否有着更大空间尺度的气候异常背景? 是否与全球

的海温变化有直接的联系? Bhalme et al. (1997) 曾用南半球海温与北半球海温之差作为指标反映印度夏季降水的变化趋势, 发现两者对应关系相当好。印度季风降水多对应指数冷异常, 干旱对应指数暖异常, 说明了全球海温异常调整着印度季风降水的长期振荡。同样道理, 本文用南北半球海温差来解释亚非夏季风的年代际强弱变化。图 6 给出南半球与北半球海温差值随时间变化曲线。

从图 6 可看到 1901~1915 年南半球海温高于北半球海温, 差值呈正值; 1915~1939 年北半球海温大于南半球海温, 差值是负值; 1939~1946 年南半球与北半球海温之差又为正值; 1946~1969 年差值又是负值。1969~1995 年差值又转为正值。可见, 南北半球海温之差具有明显的年代际变化。

事实上, 当南半球海温异常低于北半球时, 在全球季风区范围内存在一个由南指向北的气压梯度力, 有利于气流由南半球吹向北半球, 从而夏季风偏强, 而且, 南半球冷空气活动较强, 有利于南半球寒潮爆发, 经向气流加强, 越赤道气流较强, 有利于亚澳季风活动加强。反之, 则情况相反。

图 6 显示在 1969 年左右南北海温差值具有显著的变化, 变化的结果是南半球海温相对变暖, 而北半球海温相对变冷, 两者的差值在 1969 年左右突变性地增大。南半球海温升高而北半球降低的结果在季风区内必然会产生东风异常和北风异常, 这就会减弱行星尺度的亚非夏季风, 这很可能是亚非大陆与印度洋之间热力对比减弱的全球性的原因。将图 6 曲线与宋燕等 (2003) 的图 1 曲线 2 所表示的海陆热力对比曲线相比较, 就会发现二者变化趋势非常相像, 并且, 经过计算得到两者的相关系数

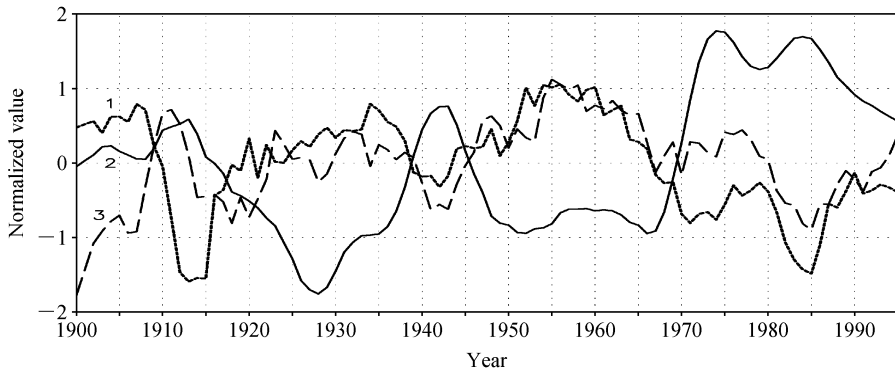


图 6 1900~1995 年夏季北非 Sahel 地区降水量 (曲线 1)、南北半球海温差值 (曲线 2) 以及中国华北地区降水量 (曲线 3) 标准化曲线
Fig. 6 Time series of summer normalized values for precipitation in Sahel of North Africa (line 1), sea temperature difference between the Southern Hemisphere and the Northern Hemisphere (line 2) and precipitation in North China (line 3) during 1900–1995

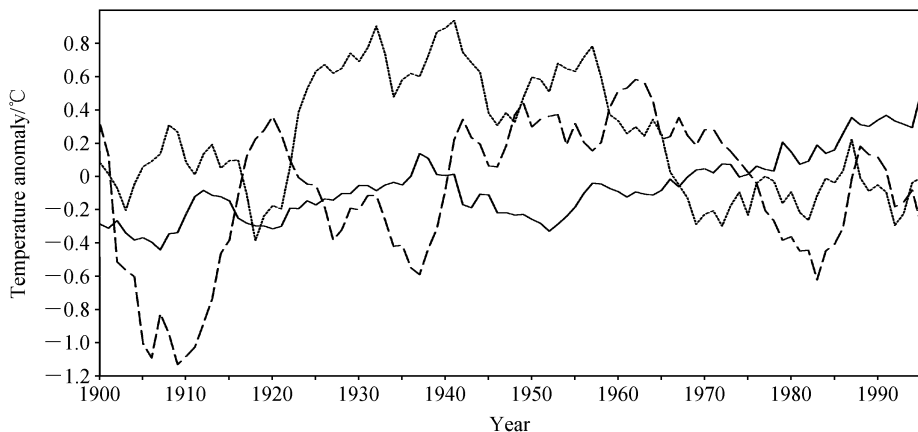


图7 1900~1995年夏季印度洋(实线)、北大西洋(短虚线)和北太平洋(长虚线)海表面气温距平随时间变化曲线

Fig. 7 Time series of summer sea surface air temperature anomalies for the Indian Ocean (solid line), the northern Atlantic Ocean (short dashed line) and the northern Pacific Ocean (long dashed line) during 1900–1995

的信度超过 99%。这说明亚非夏季风的年代际变化趋势与全球海温的变化密切相关,有着全球范围的气候背景。图 6 显示全球海温异常曲线 2 与我国华北地区和北非 Sahel 地区夏季降水(曲线 3 和曲线 1)呈明显的反位相关系,即南半球海温升高时两个地区的夏季降水明显偏低,1950 年代以来,曲线 2 与曲线 1 和曲线 3 的相关系数分别为 -0.56 和 -0.26 ,分别超过 99% 和 95% 的信度。

图 7 给出 1900~1995 年夏季印度洋、北大西洋和北太平洋海表面气温距平随时间变化曲线,从图中看出,位于北半球的北大西洋和北太平洋海表面气温自 1960 年代中期以来一直处于偏低状态,尽管没有去除趋势变化,仍能看出北大西洋和北太平洋海表面气温具有明显的年代际变化,甚至多年代时间尺度的变化。北大西洋存在 1925~1965 年的暖位相和 1966~1985 年的冷位相,与 AMO (Atlantic Multidecadal Oscillation) 振荡趋势基本一致 (Enfield et al., 2001; Li et al., 2007),其冷暖位相转折点也在 1960 年代中期。相对而言,北太平洋海表面气温的冷暖位相转折点发生时间较晚,与 PDO (Pacific Decadal Oscillation) 从冷位相到暖位相的转变时间相对应 (吕俊梅等, 2005)。而印度洋气温却一直在升高。这样的变化趋势与图 6 的曲线 2 变化趋势是一致的,从另一个侧面反映了全球海洋的温度变化与 1960 年代中期亚非夏季风的减弱有关系。其中印度洋海表面气温曲线与图 5 中东风急流的强度曲线自 1958 年以来有很好的正

相关关系,相关系数达到 0.93,超过 99% 的信度,表明印度洋升温会削弱其与北部亚非大陆之间的热力对比,最终导致东风急流的强度减弱。

7 全球温度变化

全球在 20 世纪 60 年代有小振幅的降温波动,欧亚大陆大部分地区降温 (宋燕等, 2003)。在这一节当中,我们着重讨论全球温度变化的特征,以证实 1960 年代中期亚非夏季风的突然减弱是全球尺度的事件。

经过计算,我们得到 1960 年代气候突变后 1967~1976 年十年全球夏季平均温度比突变前 1954~1963 年下降了约 0.1°C 。这说明气候突变以后全球确实有所变冷。我们利用同样资料,作了全球纬向平均地表面温度距平值随纬度和时间演变图 (图 8)。因为在南北两极温度缺测较为严重,所以南半球取到 62.5°S ,北半球取到 82.5°N 。

从图中可以看到,在 1957 年以前到 1950 年之间全球气温以两半球低纬度地区降温、高纬度地区增暖为主要特征。低纬度地区 $15^{\circ}\text{S}\sim 20^{\circ}\text{N}$ 在 1955~1956 年分别有低于 -0.2°C 的温度负距平等值线,变冷较明显。1957~1962 年之间,虽然低纬地区负距平消失,但北半球高纬度升温强烈,而低纬热带地区增温不明显。所以,在 1962 年之前到 1950 年,全球以中高纬升温,低纬降温为主要特征,使得夏季南北之间高低纬温度梯度减小,而中高纬度主要是大陆,低纬度以海洋为主,所以海陆温度热

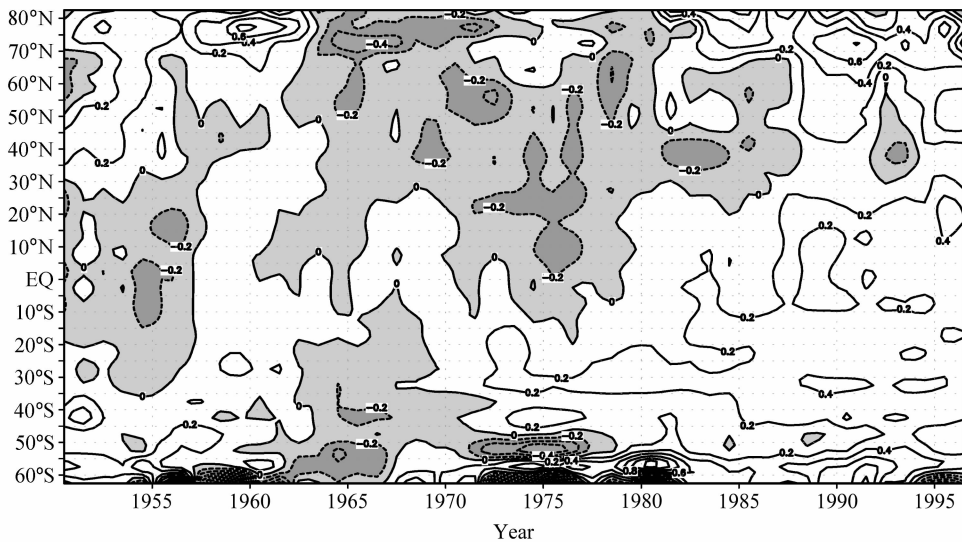


图 8 1950~1996 年全球夏季地表温度距平随纬度和时间演变图。等值线间隔为 0.2℃, 气候平均值为 1951~1970 年平均

Fig. 8 Time-latitude cross section of global summer surface temperature anomalies during 1950-1996. Isoline interval; 0.2℃; climate mean; 1951-1970 mean

力差异加大, 北半球形成北暖南冷热力特征, 低空有加强的吹向大陆的偏南季风, 因此有利于夏季季风环流圈维持和加强。

大约从 1962 年开始, 全球纬向平均气温距平异常发生了根本性的变化。首先, 开始了全球尺度的大范围温度负距平, 尤其以两半球高纬度带最为明显, 这样高低纬度之间的南北温度梯度加大, 削弱了亚非季风环流圈, 与亚非季风系统在 1960 年代中期减弱这一事实相吻合。全球温度场的这种变化, 是导致亚非大陆与印度洋之间海陆热力对比减弱的直接原因, 也就是亚非夏季风减弱的根本原因。其次, 始于高纬地区的温度负距平随时间的推移有向中低纬地区传播的趋势。这种趋势尤以北半球最为明显。第三, 在 1979 年以后南半球高纬升温较明显, 整个南半球增温, 而北半球在高纬地区增温较明显, 中纬地区仍有温度负距平, 可能与北大西洋和北太平洋降温有较大关系。南半球增温起始于 10°S~45°S, 这可能反映了印度洋地区的升温现象。第四, 1960 年代中期全球变冷以北半球最显著, 范围也较广, 南半球并不显著, 尤其 1970 年以后, 除去 50°S 有降温外, 其他纬带几乎以增温为主, 可以推论, 南北半球夏季温差在 1970 年以后必然减少, 产生由北指向南的气压梯度, 中低纬地区有北风分量生成, 不利于亚澳季风和亚非季风的维持和加强。由此可见, 全球夏季高低纬之间和南

北半球之间的温度梯度存在明显的年代际变化。

为研究对流层大气温度的年代际变化, 图 9 表示 200~1000 hPa 之间大气厚度随时间变化图, 表征整层对流层大气温度的变化。

图 9a 是厚度距平的纬向平均值随纬度和时间的年代际演变图, 考虑到资料的误差, 青藏高原地区被扣除。从图中可以看出, 对流层大气确实在 20 世纪 60 年代发生一次全球降温, 具体时间大约在 1963 年左右, 变冷从南半球开始, 南半球中纬度地区降温最剧烈, 北半球降温幅度要比南半球弱得多。全球温度负异常一直持续到 1978 年左右, 1970 年之前, 南北半球之间温度梯度有由北指向南的分量, 加大了夏季南北半球之间的热力对比; 而 1978 年以后, 全球范围出现温度正异常, 尤以南半球中纬度地区最显著, 到 1990 年左右, 厚度异常达 30 gpm 以上, 南北半球之间温度梯度有由南指向北的分量, 缩小了夏季南北半球之间的热力对比, 这样不利于亚非夏季风的维持和加强。由此可见, 整层对流层大气温度的纬向平均有明显的年代际变化。

图 9b 是 200 hPa 与 1000 hPa 之间厚度距平的经向平均值随经度和时间的年代际演变图, 从图中可看出, 东西半球对流大气在 1963 年左右也存在一次降温, 降温由西半球开始, 自 1958 年就开始了, 并且降温最剧烈的也是西半球, 1963 年左右达

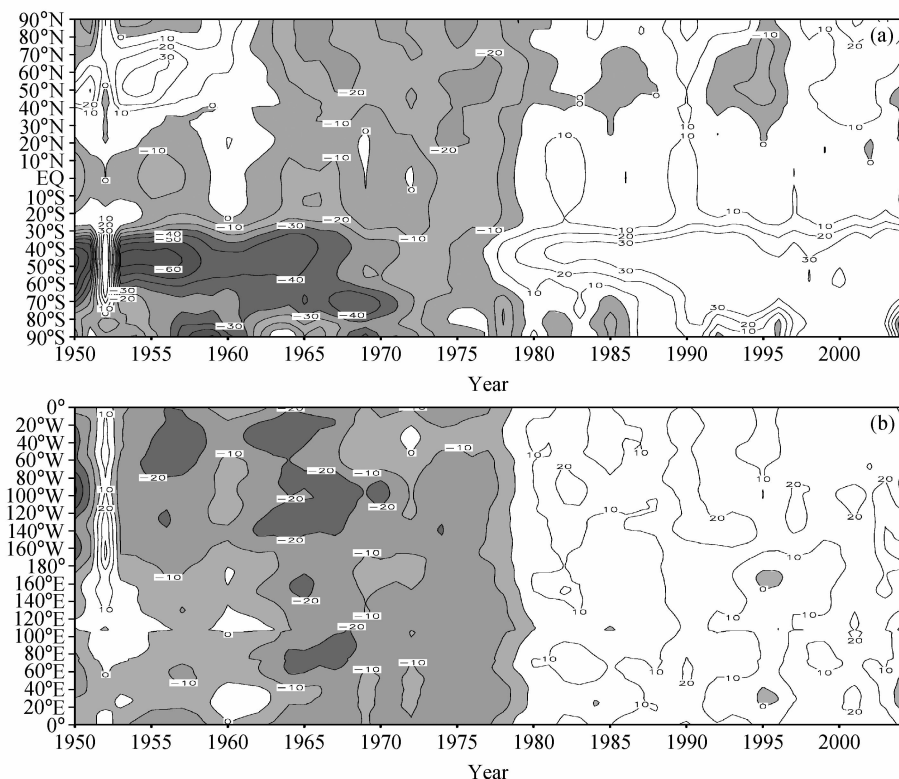


图9 1950~2004年夏季200~1000 hPa全球对流层大气厚度(a)随纬度和时间以及(b)随经度和时间演变图(单位: gpm)。等值线间隔为10 gpm, 多年平均值为1950~2004年平均

Fig. 9 (a) Time-latitude and (b) time-longitude cross sections of summer 200-1000 hPa troposphere atmospheric thickness during 1950-2004. Isoline interval; 10 gpm; climate mean; 1950-2004 mean

最低。全球温度负异常一直持续到1978年左右, 之后全球出现温度正异常。由此可见, 整层对流层大气温度的经向平均有明显的年代际变化。

从上面的分析可知, 整层对流层大气在1960年代确实经历了一次全球降温, 降温首先从南半球中纬地区和西半球开始, 降温最大中心也在这些地区, 并且对流层大气温度有明显的年代际变化。

8 结论和讨论

经过以上分析可以得知, 1960年代中期亚非夏季风的年代际时间尺度减弱与全球气候背景场的异常变化密切相关, 全球温度场在20世纪60年代发生年代际时间尺度的异常变化造成了亚非夏季风在1960年代中期的减弱。概括起来, 有如下的物理解释: 1960年代中期全球温度场发生明显的变化, 主要是全球降温, 降温首先从南半球和西半球开始, 以北太平洋和北大西洋降温为主, 同时北印度洋温度有所升高, 亚非大陆关键区域和青藏高原地区温度明显下降, 造成海陆热力对比减弱; 同时

1960年代中期南半球海温升高, 而北半球海温降低, 两者差值显著增大, 东风急流强度减弱, 亚非季风环流圈明显减弱, 从而亚非夏季风系统减弱, 亚非季风带夏季降水显著减少。当然, 关于1960年代中期亚非夏季风的减弱, 并不排除还有其他因子的贡献。

本文具体得到以下主要结论:

(1) 与气候平均的季风环流圈相比较, 1960年代中期亚非夏季风环流圈有显著的一致减弱。

(2) 青藏高原地区1950~1996年与亚洲大陆关键区域地表面气温年代际变化趋势非常一致, 在1960年代中期都有明显的降温, 同时, 中国大陆土壤温度有明显的降温, 主要发生在中国的东部和中部地区。这将导致与印度洋之间海陆热力对比减弱。

(3) 1950~1996年夏季东风急流强度一直趋于减弱, 与北印度洋地区的升温趋势一致。这解释了海陆热力对比减弱导致东风急流强度减弱, 而东风急流是联结亚非季风的行星尺度系统, 东风急流

的强度变化能较好地体现亚非夏季风的强度变化。

(4) 全球海表面气温场在 1960 年代中后期发生了突变性的变化, 变化后南半球海温明显升高, 而北半球海温明显降低。局部海域的温度变化表现为北印度洋升温, 而北太平洋和北大西洋降温。全球海温表面气温场的这种年代际变化有利于亚非夏季风环流场的减弱。

(5) 全球地表面温度场分析表明, 在 1960 年代中期左右全球有明显的降温, 以两半球高纬度地区最明显, 高低纬度带南北之间的温度梯度加大; 全球降温以北半球最为显著, 南北半球温差减小。以上两种变化均不利于亚非夏季风的加强和维持。

(6) 对流层整层大气厚度表明, 1960 年代中期全球大气变冷首先从南半球中纬度地区和西半球开始, 这些地区降温最剧烈。整层对流层大气温度有明显的年代际变化。

致谢 感谢帮助完成本文的所有相关人员, 尤其是与中国气象科学研究院武炳义研究员和中国科学院大气物理研究所李双林研究员的讨论对完善本文帮助很大, 在此表示感谢。

参考文献 (References)

Bhalme H N, Patwardhan S K. 1997. Whether frequent large scale droughts in Indian monsoon during recent decades are manifestation of natural variability or irreversible climate change [C]? W. M. O Tropical Meteorology Research Programme (TMRP) Commission for Atmospheric Sciences (CAS), WMO/TD-No. 786, 3-5.

陈烈庭. 1999. 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, 18 (4): 477-485. Chen Lieting. 1999. Regional features of interannual and interdecadal variations in summer precipitation anomalies over North China [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 18 (4): 477-485.

Dai Aiguo, Fung I Y, Del Genio A D. 1997. Surface observed global land precipitation variations during 1900-88 [J]. J. Climate, 12 (10): 15570-1560.

Enfield D B, Mestas-Nunez A M, Trimble P J. 2001. The Atlantic multidecadal oscillation and its relation to rainfall and river flows in the continental U. S. [J]. Geophys. Res. Lett., 28 (10): 2077-2080.

Ji Jinjun, Maire N P, Yan Zhongwei. 1993. The last 1000 years: Climatic change in arid Asia and Africa [J]. Global and Planetary Change, 7: 203-210.

Johnson D H, Daniels S M. 1974. Rainfall in relation to the jet stream [J]. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 80: 212-217.

Jones P D. 1988. Hemispheric surface air temperature variations;

Recent trends and an update to 1987 [J]. J. Climate, 1: 654-600.

Jones P D, Briffa K R. 1992. Global surface air temperature variations during the twentieth century: Part 1, spatial, temporal and seasonal details [J]. The Holocene, 2: 165-179.

Jones P D, Moberg A. 2003. Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2001 [J]. J. Climate, 16 (2): 206-223.

柯长青, 李培基. 1998. 青藏高原积雪分布与变化特征 [J]. 地理学报, 53 (3): 209-215. Ke Changqing, Li Peiji. 1998. Spatial and temporal characteristics of snow cover over the Qinghai Xizang Plateau [J]. Acta Geographica Sinica (in Chinese), 53 (3): 209-215.

李崇银, 李桂龙. 1999. 北大西洋涛动和北太平洋涛动的演变与 20 世纪 60 年代的气候突变 [J]. 科学通报, 44 (16): 17650-1769.

Li Chongyin, Li Guilong. 1999. The NPO/NAO and interdecadal climate variation in China [J]. Chinese Science Bulletin (in Chinese), 44 (16): 1765-1769.

Li S L, Bates Gary T. 2007. Influence of the Atlantic multidecadal oscillation on the winter climate of East China [J]. Adv. Atmos. Sci., 24 (1): 1-11.

吕俊梅, 据建华, 张庆云, 等. 2005. 太平洋年代际振荡冷、暖背景下 ENSO 循环的特征 [J]. 气候与环境研究, 10 (2): 238-249.

Lü Junmei, Ju Jianhua, Zhang Qingyun, et al. 2005. The characteristics of ENSO cycle in different phases of Pacific decadal oscillation [J]. Climatic and Environmental Research, 10 (2): 238-249.

Kanamitsu Masao, Krishnamurti T N. 1978. Northern summer tropical circulations during drought and normal rainfall months [J]. Mon. Wea. Rev., 106 (3): 331-347.

宋燕, 季劲钧. 2001. 六十年代亚非夏季风十年尺度的突变 [J]. 大气科学, 25 (2): 200-208. Song Yan, Ji Jinjun. 2001. The interdecadal abrupt change of the African-Asian summer monsoon in 1960s [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 25 (2): 200-208.

宋燕, 季劲钧. 2003. 亚非夏季风年代际变化强度指数 [J]. 自然科学进展, 13 (5): 508-512. Song Yan, Ji Jinjun. 2003. Asian-African summer monsoon interdecadal change and intensity index [J]. Progress in Natural Science (in Chinese), 13 (5): 508-512.

Vernkar A D, Zhou J, Shukla J. 1995. The effect of Eurasian snow cover on the Indian monsoon [J]. J. Climate, 8 (2): 248-266.

Wu B Y. 2005. Weakening of Indian summer monsoon in recent decades [J]. Adv. Atmos. Sci., 22 (1): 21-29.

严中伟, 季劲钧, 叶笃正. 1990a. 60 年代北半球夏季气候跃变——1. 降水和温度变化 [J]. 中国科学 (B 辑), (1): 97-103. Yan Z W, Ji J J, Ye D Z. 1990a. Northern Hemisphere summer climatic jump in 1960s. 1. Variation of precipitation and temperature [J]. Science in China (Series B) (in Chinese), (1): 97-103.

严中伟, 季劲钧, 叶笃正. 1990b. 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 [J]. 中国科学 (B 辑), (8): 879–885. Yan Z W, Ji J J, Ye D Z. 1990. Northern Hemisphere summer climatic jump in 1960s. 2. Variation of sea level pressure and 500 hPa height [J]. Science in China (Series B) (in Chinese), (8): 879–885.
- 严中伟, 李兆元, 王晓春. 1993. 历史上 10 年–100 年尺度气候跃变的分析 [J]. 大气科学, 17 (6): 663–671. Yan Zhongwei, Li Zhaoyuan, Wang Xiaochun. 1993. An analysis of decade-to-century-scale climatic jumps in history [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica) (in Chinese), 17 (6): 663–671.
- 叶笃正, 吕建华. 2003. 气候研究进展和 21 世纪发展战略 [J]. 自然科学进展, 13 (1): 42–46. Ye Duzheng, Lü Jianhua. 2003. Climate researches progress and strategy in 21th century development [J]. Progress in Natural Science (in Chinese), 13 (1): 42–46.
- 曾昭美, 郭其蕴. 1982. 亚非季风区夏季降水与热带东风急流的关系 [J]. 大气科学, 6 (3): 283–292. Zeng Zhaomei, Guo Qiyun. 1982. Relationship between summer precipitation in Asian-African monsoon zone and tropical easterly Jet [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica) (in Chinese), 6 (3): 283–292.
- 朱玉祥, 丁一汇, 徐怀刚. 2007. 青藏高原大气热源和冬春积雪与中国东部降水的年代际变化关系 [J]. 气象学报, 65 (6): 946–958. Zhu Yuxiang, Ding Yihui, Xu Huaigang. 2007. The decadal relationship between atmospheric heat source of winter and spring snow over Tibetan Plateau and rainfall in East China [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 65 (6): 946–958.

新书推荐 ——《Regional Climate Studies of China》

由符淙斌等人主编的《Regional Climate Studies of China》一书已于 2008 年 8 月由世界著名的科学技术出版集团 Springer 公司正式出版。

这本英文专著是应 Springer 公司“Regional Climate Studies”丛书编委会之邀组织编写的。书中系统总结了过去十余年来我国学者在中国区域气候研究领域的最新进展和成果。全书共分 11 章, 计 476 页, 包括插图 164 幅, 表格 42 件。

本书内容涵盖了中国和东亚季风气候的基本特征、与太平洋和印度洋海温变化相联系的年际–年代际时间尺度上的气候变率, 以及利用我国丰富的代用气候环境指标开展的古代 (特别是全新世以来) 气候变化研究。青藏高原对我国气候形成和变异的影响以及北方干旱化等问题具有显著的中国区域特色, 书中为此专门设立了相应章节进行总结和探讨。同时, 在极端气候事件、土壤湿度、未来气候变化情景预测以及气候变化对农业、水资源影响和适应对策被日益关注的今天, 本书还分别介绍了我国学者在上述领域取得的最新研究成果。

区域气候模式是开展气候变化机理和趋势预测研究的有力工具, 本书也介绍了我国发展的区域环境系统集成模式及其应用效果, 以及我国科学家发起的亚洲区域模式比较计划的主要进展。

丛书编委会对本书的编写质量给予了充分肯定, 认为该书: “第一次全面系统地向国外读者总结了过去十年来关于中国区域气候变化的最新研究成果。本书的显著特色之一就是將一系列基于先进科技手段, 如野外实验观测和遥感, 以及数值模拟研究等获得的关于区域气候变化的知识进行了有机的综合集成, 将极大地促进我们对中国区域气候变化的认识水平”。

2008–10–08

中国科学院大气物理研究所东亚区域气候—环境重点实验室供稿