

文章编号: 1000-2022(2005) 01-0036-08

夏季低空越赤道气流与 ENSO 的关系

陈 兵¹, 郭品文¹, 向渝川²

(1 南京信息工程大学 大气科学系, 江苏 南京 210044; 2 扬州邗江地区气象局, 江苏 扬州 225100)

摘 要: 利用 NCEP/NCAR 风场和海温等资料, 分析了东半球夏季低空各支越赤道气流与 ENSO 循环的关系及其年代际变化, 结果表明: 东半球夏季低空越赤道气流强度的年际变化和 ENSO 循环密切相关, El Nino 年夏季马斯克林高压减弱, 导致索马里越赤道气流变弱, 而澳大利亚高压加强, 105°E 及其以东的越赤道气流明显加强, La Nina 年则相反; 夏季越赤道气流与 ENSO 的年际关系具有年代际变化特征, 索马里越赤道气流与 ENSO 的关系在 20 世纪 70 年代末变弱, 而 105°E 及其以东的越赤道气流与 ENSO 的关系在 20 世纪 60 年代末增强。
关键词: 越赤道气流; ENSO; 年际关系; 年代际变化
中图分类号: P434.4 **文献标识码:** A

越赤道气流作为南北半球质量、动量交换的途径, 是影响南、北半球天气发生、气候异常的重要因素之一, 尤其与亚洲季风、夏季降水以及台风等重要天气有密切联系^[1-4], 因而对越赤道气流的研究一直被气象工作者所重视。已有的研究^[5]表明, 东半球夏季越赤道气流主要存在于 850 hPa 和 200 hPa 其中 850 hPa 的越赤道气流最强。

ENSO 作为大气、海洋变化的强信号, 对全球气候变化有着重要的影响。大量的研究^[6-7]表明, 亚洲季风与 ENSO 活动具有密切的关系。Kumar 等^[8]发现印度夏季风与 ENSO 有很好的负相关关系, 而这种关系在 20 世纪 70 年代末开始明显减弱。Wang^[9]也指出, 东亚夏季风与 ENSO 的相互关系在长期变化中是不稳定的。最近, Zhu 等^[10]发现, El Nino 年印度夏季风变弱而东亚夏季风增强, La Nina 年则相反, 夏季澳大利亚东北的南风异常对赤道中、东太平洋西风异常的维持有着重要的作用。徐建军等^[11]指出, El Nino 年, 越赤道气流出现了明显的异常。那么, 夏季东半球越赤道气流作为亚洲夏季风环流系统的重要组成部分, 它们与 ENSO 循环的关系如何? 两者之间的关系是否稳定? 这是本文所要探讨的问题。

1 资料和方法

本文所用资料有: 1948—2002 年 NCEP/NCAR 再分析全球 850 hPa 风场和高度场逐月资料, 1948—2002 年 Hadley 中心的全球逐月海温资料。这里, 夏季取 6—8 月, 秋季取 9—11 月。

收稿日期: 2003-01-05 改回日期: 2004-03-02

基金项目: 江苏省自然科学基金资助项目 (BK20011106); 教育部留学回国人员科研启动基金项目

作者简介: 陈 兵 (1973-), 男, 广东阳春人, 硕士, 研究方向: 天气气候诊断, E-mail: chenbinggd@163.com.

考虑到相互作用系统的多尺度性, 在计算夏季越赤道气流强度和海温的相关系数时, 对资料进行了尺度分离。以 11 a 滑动平均滤波后的时间序列作为年代际背景场 ($\bar{x}$), 以去除年代际背景场后的时间序列 ($x' = x - \bar{x}$) 作为年际尺度的变化场, 年际尺度时间序列长度从 1953 年开始, 1997 年结束。为了反映相关的年代际变化, 采用了滑动相关的计算方法^[12]。

2 夏季低空越赤道气流的分布特征及强度

关于东半球夏季越赤道气流的分布特征已有较多的研究^[1 5 13], 但由于所用的资料长度不一样, 得到的结果也不完全一致。为此, 这里给出东半球 1948—2002 年沿 5°S~ 5°N 平均的逐月 850 hPa 风场 v 分量时间剖面 (图 1)。

从图 1 可以看出, 夏季东半球低层主要以向北的越赤道气流为主, 有 5 个明显的越赤道气流通道中心, 分别位于 45°E、90°E、105°E、125°E 和 150°E 附近。其中以 45°E 附近的索马里越赤道气流最强, 强度可达 $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上, 宽度可达 30 个经度。150°E 附近的越赤道气流最弱, 只在 7 月有一个弱的通道中心。索马里和 150°E 附近越赤道气流 4 月起逐渐增强, 7 月达到最强, 8 月开始减弱。其余 3 支越赤道气流 4 月逐渐增强, 8 月达到最强, 9 月开始减弱。另外, 在 20°E 附近也存在一支向北的越赤道气流, 但 7 月开始减弱。因此, 本文主要讨论 45°E、90°E、105°E、125°E 和 150°E 这 5 支越赤道气流。

由于夏季越赤道气流通道的位置和强度有很大的年际差异, 为了定量表征各支越赤道气流的强弱, 这里用夏季区域平均的 850 hPa 经向风来表示各支越赤道气流的强度。各个越赤道气流区域分别为: 区: 40~ 50°E, 5°S~ 5°N; 区: 85~ 95°E, 5°S~ 5°N; 区: 100~ 110°E, 5°S~ 5°N; 区: 120~ 130°E, 5°S~ 5°N; 区: 145~ 155°E, 5°S~ 5°N。

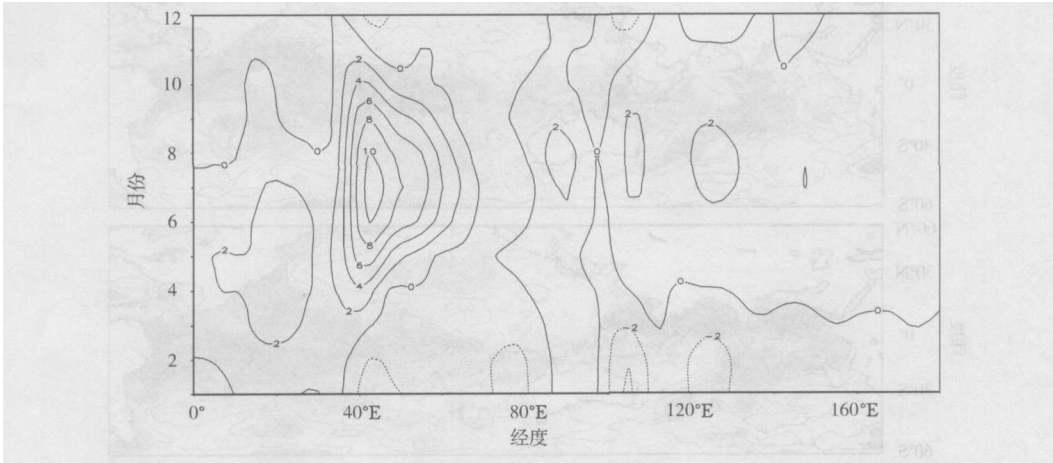


图 1 1948—2002 年东半球沿 5°S~ 5°N 平均的

逐月 850 hPa 风场 v 分量时间剖面 (单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig 1 The time-longitude distribution of the 850 hPa mean v component over the 5°S~ 5°N latitude belt in 1948—2002 (units $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

3 东半球夏季越赤道气流强度的年际变化与 ENSO 的关系

为了说明夏季越赤道气流与 ENSO 的年际变化关系, 首先对资料进行了尺度分离。图 2 表示了年际尺度上东半球夏季 850 hPa 各支越赤道气流强度与秋季印度—太平洋地区海表温

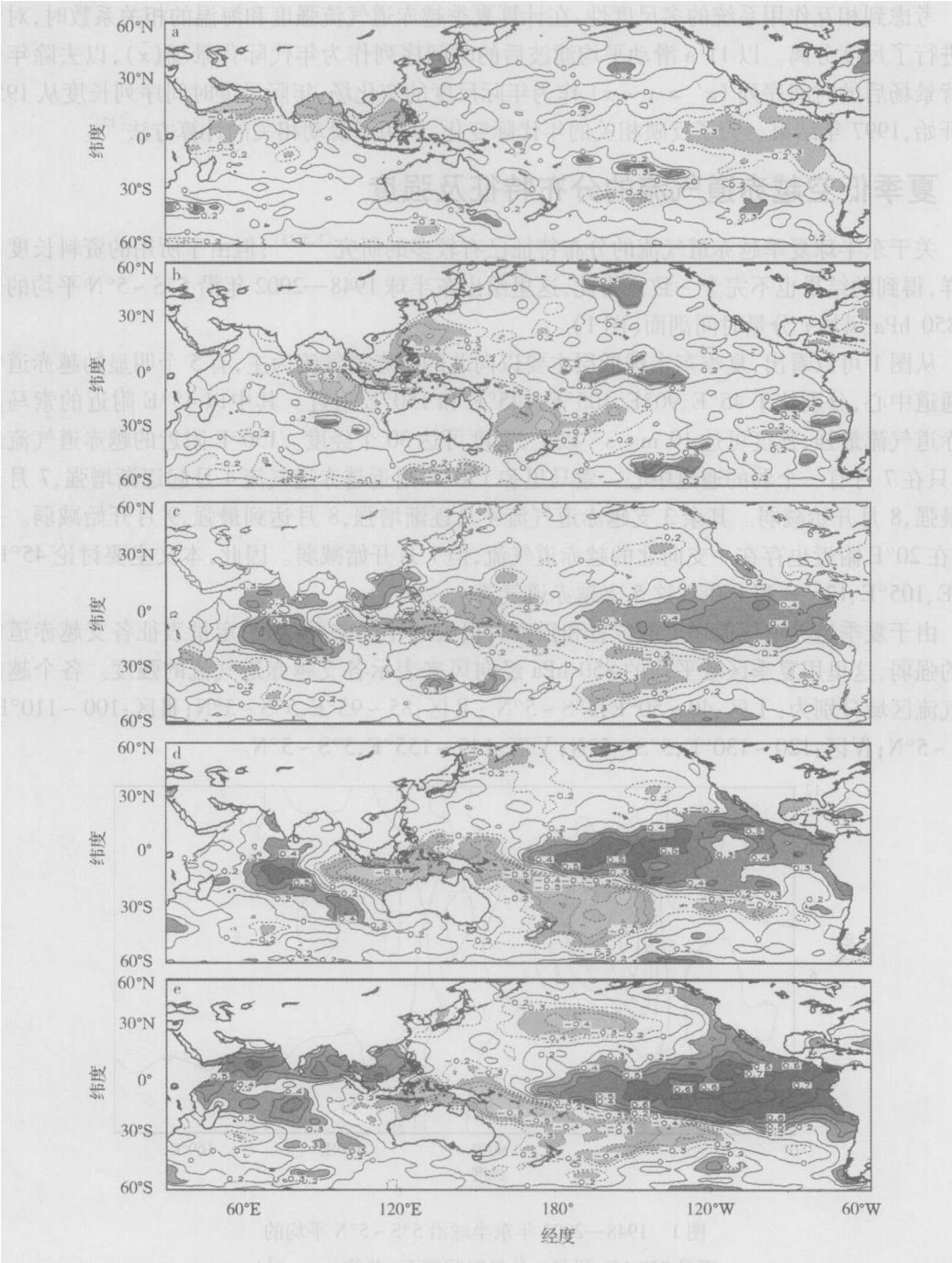


图 2 1953—1997 年夏季东半球各支越赤道气流强度与秋季印度—太平洋 SSTA 相关分布
(阴影区为通过 0.05 显著性检验的区域)

a 40~50°E; b 85~95°E; c 100~110°E; d 120~130°E; e 145~155°E

Fig 2 The interannual correlation distribution between the intensity of summer cross-equatorial flows in the Eastern Hemisphere and autumn sea surface temperature anomalies (SSTA) in 1953—1997
(the areas significant at a 0.05 confidence level are shaded)

a 40~50°E; b 85~95°E; c 100~110°E; d 120~130°E; e 145~155°E

度异常 (SSTA) 的相关系数分布。

从图 2 可以看出, 索马里越赤道气流 (图 2a) 与赤道东太平洋、中国南海、孟加拉湾及阿拉伯海的 SSTA 为较强的负相关, 相关系数都超过了 0.05 的显著性检验。对 90°E 附近的越赤道气流而言 (图 2b), 与赤道中太平洋、阿留申群岛以南、南太平洋中部及南美洲沿岸的 SSTA 为正相关, 相关系数超过了 0.05 的显著性检验, 与赤道印度洋、黑潮暖流区、澳大利亚以东洋面为显著的负相关, 相关系数超过了 0.01 的显著性检验。 105°E 附近的越赤道气流 (图 2c) 与赤道中东太平洋、中印度洋及中国南海为显著的正相关, 相关系数超过了 0.01 的显著性检验, 与印尼附近海域、赤道西太平洋及南太平洋为负相关, 相关系数超过了 0.05 的显著性检验。 125°E 附近的越赤道气流 (图 2d) 与赤道中东太平洋、中印度洋 SSTA 为显著的正相关, 与印尼附近海域、赤道西太平洋及南太平洋为显著的负相关, 相关系数超过了 0.001 的显著性检验。 150°E 附近的越赤道气流 (图 2e) 与中东太平洋、中、北印度洋及中国南海为显著的正相关, 与北太平洋、印尼、赤道西太平洋、南太平洋为显著的负相关, 相关系数也都超过了 0.001 的显著性检验。

由此可见, 东半球夏季各支越赤道气流强度的年际变化与秋季赤道中东太平洋 SSTA 有着密切的关系, 当赤道中东太平洋海温为暖异常时, 索马里越赤道气流变弱, 而其余 4 支越赤道气流增强, 尤其是 105°E 及其以东的越赤道气流明显增强。赤道中东太平洋海温为冷异常时, 索马里越赤道气流增强, 而其余 4 支越赤道气流减弱, 以 105°E 及其以东的越赤道气流最为明显。

为了进一步说明夏季各支越赤道气流与 ENSO 的年际变化关系, 分别计算了 1953—1997 年夏季 850hPa 各支越赤道气流强度与秋季 Nino3 区 ($150^{\circ}\sim 90^{\circ}\text{W}$, $5^{\circ}\text{S}\sim 5^{\circ}\text{N}$) SSTA 的相关系数。由计算可知, 索马里越赤道气流与 Nino3 区秋季 SSTA 为明显的负相关关系, 相关系数为 -0.32 超过 0.05 的显著性检验; 其余各支越赤道气流与 Nino3 区秋季 SSTA 均为正相关关系。其中, 以 $145^{\circ}\sim 155^{\circ}\text{E}$ 越赤道气流与 Nino3 区秋季 SSTA 相关最为显著, 相关系数达到 0.68, 超过 0.001 的显著性检验, 这支越赤道气流位于西太平洋暖池, 因此与 ENSO 关系非常密切; $100^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{E}$ 和 $120^{\circ}\sim 130^{\circ}\text{E}$ 越赤道气流次之, 相关系数分别为 0.44 和 0.43 均超过 0.01 的显著性检验; $85^{\circ}\sim 95^{\circ}\text{E}$ 的越赤道气流与 Nino3 区秋季 SSTA 相关最弱, 相关系数为 0.245 但也超过 0.1 的显著性检验。

由此可见, 东半球低空越赤道气流作为亚洲夏季风环流的重要成员, 其年际变化与 ENSO 循环有着密切的关系, 而且各支越赤道气流与 ENSO 具有不同的年际关系, El Nino 年夏季索马里越赤道气流减弱, 与印度夏季风的变化一致; 而 105°E 及其以东的越赤道气流明显增强, 东亚夏季风强。La Nina 年则相反。

夏季低层索马里越赤道气流是由南印度洋马斯克林高压北侧的信风越过赤道所形成, 马斯克林高压、索马里越赤道气流和印度低压同为印度夏季风系统成员。而 90°E 、 105°E 、 125°E 这几支越赤道气流是东亚夏季风系统的组成部分。南、北半球之间的气压梯度对越赤道气流的驱动起着重要的作用。已有的研究^[14-15]表明, 夏季澳大利亚高压和马斯克林高压对越赤道气流的维持和强度变化具有重要的影响。那么, 在 ENSO 的不同位相, 这两个夏季风系统的成员又是怎样变化的呢? 这里分别给出 1948—2002 年期间, El Nino 年和 La Nina 年夏季 850 hPa 高度场距平合成分布 (图 3), 其中 El Nino 年和 La Nina 年的定义参见文献 [16]。

从图 3 可以看出, El Nino 年, 澳大利亚及东南印度洋为正距平, 澳大利亚高压加强, 同时菲律宾以东洋面和中国南海北部为负距平, 北半球西太平洋至南半球东印度洋低纬地区之间

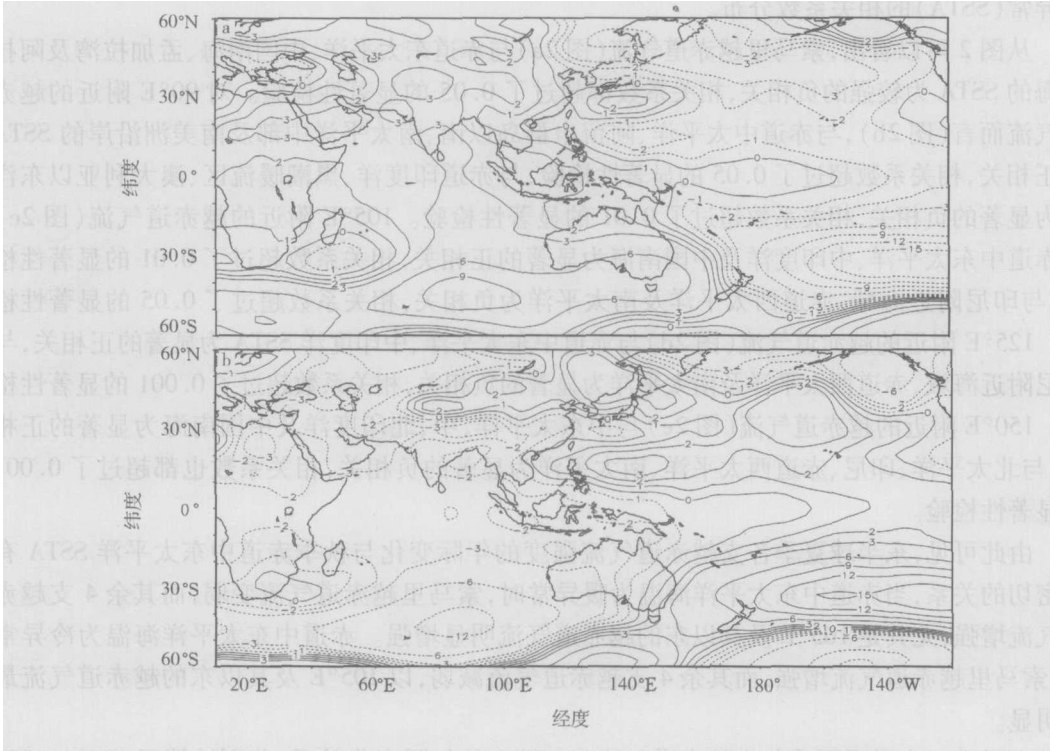


图 3 夏季 850 hPa 高度场距平合成分布
a El Niño 年; b La Niña 年

Fig 3 Composites of summer 850 hPa height anomalies
a El Niño years; b La Niña years

的气压梯度加大,有利于这一地区的越赤道气流加强。而在西印度洋,马斯克林群岛附近为负距平,马斯克林高压减弱,北印度洋、南亚地区为正距平,印度低压变弱,西印度洋地区经向气压梯度变小,从而索马里越赤道气流变弱。La Niña 年则相反,澳大利亚及东南印度洋地区为负距平,澳大利亚高压减弱,同时南海大部、西太平洋暖池附近为正距平,西太平洋至东印度洋地区的越赤道气流减弱;南非附近为正距平,而西北印度洋、南亚地区为负距平,印度低压加强,有利于索马里越赤道气流加强。

同样,由夏季 850 hPa 风场距平合成分布 (图 4) 可以看出,El Niño 年,赤道太平洋为西风异常,澳大利亚以及中印度洋、东南印度洋为辐散风场,而菲律宾以东洋面和马斯克林群岛附近为辐合风场,风场的这种配置有利于东印度洋和西太平洋的越赤道气流加强,而索马里越赤道气流减弱。La Niña 年的情况则相反,赤道太平洋为东风异常,澳大利亚、中印度洋和东南印度洋为辐合,而中国南海、菲律宾以东洋面为一个明显的辐散中心,同时南非、马达加斯加岛附近为辐散风场,从而使得东印度洋和西太平洋的越赤道气流减弱而索马里越赤道气流加强。

由此可见,在 ENSO 循环的不同位相,印度夏季风系统成员和东亚夏季风系统成员发生了不同的变化。在 ENSO 循环的暖位相,印度夏季风系统各个成员变弱,索马里越赤道气流变弱,而东亚夏季风系统成员变强,105°E 及其以东的越赤道气流明显加强。在 ENSO 循环的冷位相时,则表现出相反的特征。

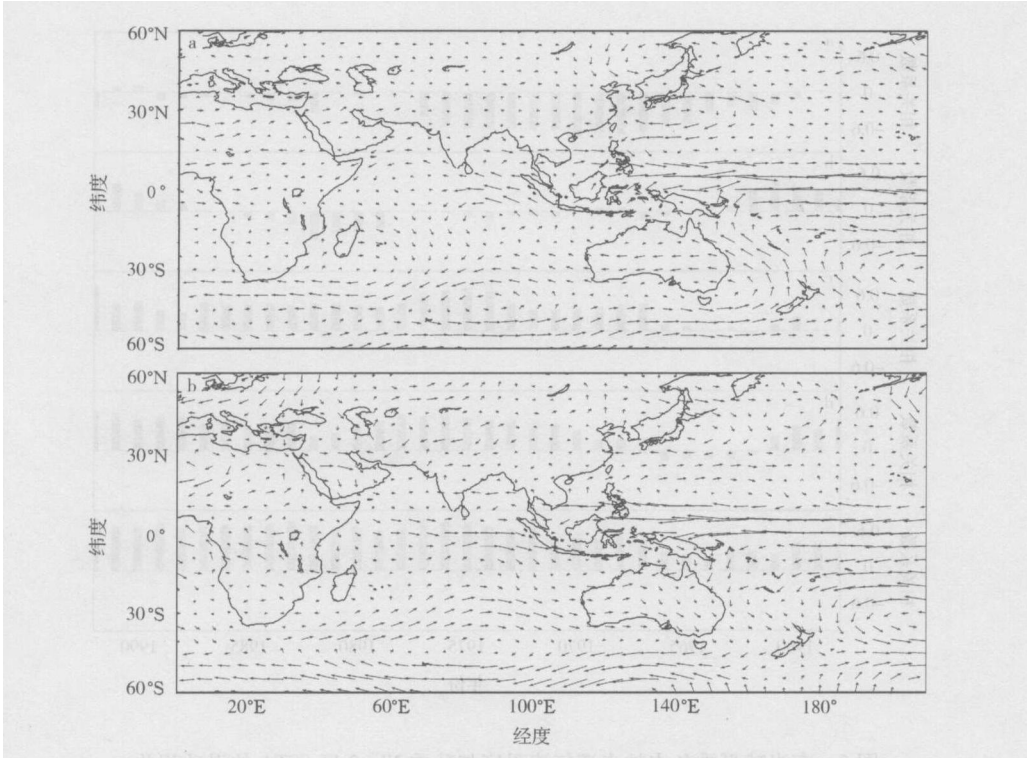


图 4 夏季 850 hPa 风场距平合成分布 (单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
a El Niño 年; b La Niña 年
Fig 4 Composites of summer 850 hPa wind anomalies (units $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
a El Niño years; b La Niña years

4 夏季低空越赤道气流与 ENSO 关系的年代际变化

既然夏季越赤道气流与 ENSO 有很好的年际关系, 那么随着时间的演变, 这种关系是否发生了变化, 又是如何变化的呢? 为此, 这里作了一个 11 a 滑动相关分析。

图 5 表示了 1948—2002 年东半球夏季各支低空越赤道气流与秋季 Nino3 区 SSTa 年际关系的 11 a 滑动相关系数分布特征。从图可以看出, 夏季索马里越赤道气流与秋季 Nino3 区 SSTa 为比较一致的负相关, 其中 20 世纪 60 年代中期至 70 年代末负相关显著, 超过了 0.05 ($R_{0.05} = 0.55$) 的显著性检验, 70 年代末负相关减弱。由此可见, 索马里越赤道气流作为印度夏季风环流系统的重要组成部分, 它与 ENSO 的关系及其变化是与印度夏季风比较一致的。85~95°E 的越赤道气流与 Nino3 区 SSTa 的相关, 在 60 年代中期至 80 年代末为弱的负相关, 60 年代之前和 80 年代后为正相关。100~110°E 和 145~155°E 越赤道气流与 Nino3 区 SSTa 为一致的正相关, 其中 60 年代末以后相关较好, 尤其是 145~155°E 越赤道气流, 70 年代以后的相关性超过了 0.02 ($R_{0.02} = 0.63$) 的显著性检验。120~130°E 越赤道气流与 SSTa 的相关, 同样在 60 年代末有一个较为明显的变化, 60 年代表现为弱的负相关, 70 年代以后为正相关。可以看出, 105°E 及其以东的越赤道气流与秋季 Nino3 区 SSTa 的年际关系具有比较一致的年代际变化特征。

由此可见, 夏季索马里越赤道气流、105°E 及其以东的越赤道气流不但与 ENSO 有不同的

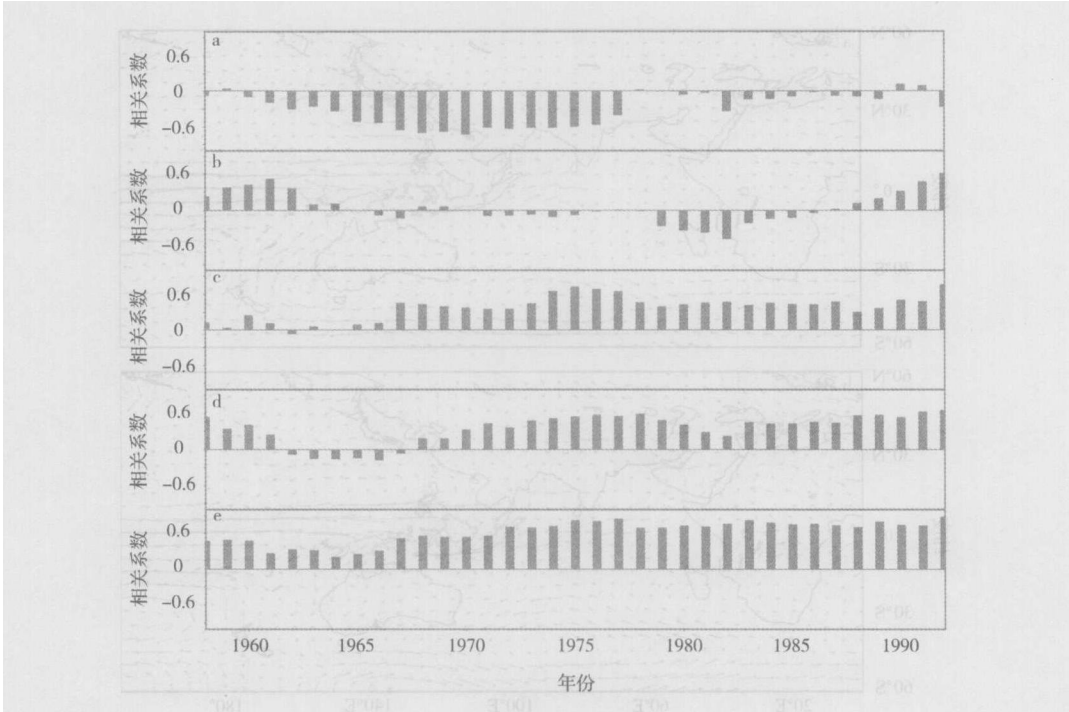


图 5 东半球夏季各支越赤道气流强度与秋季 N ino3 区 SSTA 的滑动相关
a 40~ 50°E; b 85~ 95°E; c 100~ 110°E; d 120~ 130°E; e 145~ 155°E
Fig 5 The 11 years running correlation between the intensity of summer cross-equatorial flows
in the Eastern Hemisphere and autumn SSTAs of N ino3 area
a 40~ 50°E; b 85~ 95°E; c 100~ 110°E; d 120~ 130°E; e 145~ 155°E

年际变化关系,而且它们与 ENSO 的年际关系还具有不同的年代际变化特征。索马里越赤道气流与 ENSO 的关系在 20 世纪 70 年代末变弱,而 105°E 及其以东的越赤道气流与 ENSO 的关系在 60 年代末增强。

5 结 论

(1)东半球夏季低空越赤道气流的年际变化与 ENSO 有着密切的联系。索马里越赤道气流较弱而 90°E、105°E、125°E 和 150°E 附近的越赤道气流较强与 Elnino 相对应;反之与 La Nina 对应。

(2)在 ENSO 循环的冷、暖位相,印度夏季风系统成员和东亚夏季风系统成员产生了不同的变化。Elnino 年,马克斯林高压变弱而澳大利亚高压增强,导致索马里越赤道气流变弱而 105°E 及其以东的越赤道气流明显增强;La Nina 年则相反。

(3)夏季越赤道气流与 ENSO 的年际关系具有年代际变化特征,索马里越赤道气流与 ENSO 的关系在 20 世纪 70 年代末变弱,与印度夏季风的变化较为一致,而 105°E 及其以东的越赤道气流与 ENSO 的关系在 60 年代末增强。

本文仅从观测事实上讨论了夏季越赤道气流与 ENSO 的关系,其机制有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 彭维耿, 蒋尚城. 越赤道气流特征及其年际变化特征初探 [J]. 热带气象学报, 2003 19(1): 87-93.
- [2] 李曾中. 越赤道气流与中国天气关系的初步统计分析 [J]. 气象, 1986, 12(4): 11-14
- [3] 王继志, 李麦村. 源于澳洲的过赤道气流与中国季风环流和降水 [J]. 大气科学, 1982 6(1): 1-9
- [4] 黄士松, 汤明敏. 夏季东半球海上越赤道气流与赤道西风、台风及副热带高压活动的联系 [J]. 南京大学学报 (气象学专辑), 1982 1-15
- [5] 汤明敏, 黄士松, 周德佩. 全球越赤道气流的时空变化 [J]. 热带气象, 1985, 1(4): 287-296.
- [6] Meehl G A. The annual cycle and interannual variability in the tropical Pacific and Indian Ocean region [J]. Mon Wea Rev, 1987, 115(1): 27-50
- [7] Webster P J Yang S M onsoon and ENSO: Selectively interactive systems [J]. Q J R Meteorol Soc 1992, 118(507): 877-926
- [8] Kumar K K, Rajagopalan B, Cane M A. On the weakening relationship between Indian Monsoon and ENSO [J]. Science, 1999, 284(5243): 2 156-2 159.
- [9] Wang Huijun. The instability of the east Asian summer Monsoon-ENSO relations [J]. Adv Atmos Sci 2002 19(1): 1-11.
- [10] Zhu Yanfeng Chen Longxun. The relationship between the Asian/Australian Monsoon and ENSO on a quasi-four-year scale [J]. Adv Atmos Sci 2002, 19(4): 727-740.
- [11] 徐建军, 王盘兴, 周顺武. 东半球跨赤道气流季节变化及其在 Elnino 年的异常 [J]. 南京气象学院学报, 1992, 15(2): 37-44
- [12] 徐建军, 朱乾根, 施 能. 近百年东亚冬季风与 ENSO 循环的关系及其年代际异常 [J]. 大气科学, 1997 21(6): 641-647
- [13] 李曾中, 楼光平. 北半球夏季风时期东半球越赤道气流通道的研究 [J]. 大气科学, 1987 11(3): 313-319
- [14] 王韶霞, 刘秦玉, 徐启春. 夏季影响 105°E 越赤道气流变化的环流系统 [J]. 青岛海洋大学学报, 2000 30(1): 22-28.
- [15] 施 宁, 施丹平, 严明良. 夏季越赤道气流对南海季风及华东旱涝的影响 [J]. 热带气象学报, 2001, 17(4): 405-414
- [16] Trenberth K E. The definition of Elnino [J]. Bull Amer Meteor Soc 1997 78(12): 2 771-2 777

Relationship between Summer Cross-Equatorial Flows and ENSO

CHEN Bing¹, GUO Pin-wen¹, XIANG Yu-chuan²

(1. Department of Atmospheric Sciences, NUST, Nanjing 210044, China

2. Jiangsu Meteorological Bureau of Yangzhou, Yangzhou 225100, China)

Abstract The interannual relationships and its interdecadal variabilities between the intensity of summer 850 hPa cross-equatorial flows in the Eastern Hemisphere and ENSO are analyzed by using NCEP/NCAR reanalysis data and the sea surface temperatures data of Hadley Center. Results show that Mascarene High was weaker (stronger) and Australia High stronger (weaker) than normal in the Elnino (La Nina) years, which caused summer 850 hPa Somali jet was weaker (stronger) and the cross-equatorial flows of about 90°E, 105°E, 125°E and 150°E were stronger (weaker) than normal. The interannual relationship between Somali jet and ENSO was weakened in the late 1970s while the interannual relationships between the cross-equatorial flows of about 105°E, 125°E and 150°E and ENSO were enhanced in the late 1960s.

Key words cross-equatorial flows; ENSO; interannual relationship; decadal variability