

ENSO 循环的两个不同位相期 印度洋海表温度异常的特征分析

晏红明¹, 琚建华², 肖子牛¹

(1. 云南省气象科学研究所, 昆明 650034; 2. 云南大学地球科学系, 昆明 650091)

摘要: 通过对 ENSO 循环的两个不同位相中印度洋地区海表温度变化特征的分析, 指出印度洋地区的海温变化与赤道东太平洋地区的海温变化有较好的相关关系, 是 ENSO 循环的重要组成部分。对应于赤道东太平洋暖位相期, 印度洋地区的海温分布为东冷西暖; 与此相反, 在赤道东太平洋冷位相期, 印度洋地区的海温分布为东暖西冷。进一步的分析还发现, 印度洋东、西部地区海温变化纬向差异最明显的区域位于印度洋赤道以南 $0 \sim 25^{\circ} \text{S}$ 附近, 且这种差异具有明显的年季变化特征, 在整个夏季风期间差异较大, 而冬季风期间较小, 其中冷位相期间的纬向差异比暖位相期间的纬向差异大。代表印度洋纬向差异的 I_{DM} (偶极指数) 变化与赤道东太平洋地区的海温变化有很好的正相关关系。

关键词: 印度洋海表温度, ENSO, 异常特征

中图分类号: P732.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-2022(2001)02-0242-08

自 60 年代 Bjerknes^[1,2] 首次将海温异常的研究引入热带海洋, 提出海温异常与全球大气环流和气候变化的遥相关概念之后, 太平洋地区的海洋现象引起了人们广泛的兴趣。许多气象学家和海洋学家分别从不同的角度对太平洋海温的变化特征和该地区的海气相互作用作了全面系统的分析, 揭示了大量太平洋地区的海洋现象及其与大气之间的遥相关关系。但是, 海温变化具有复杂多样的特性, 近年来的许多研究表明, 赤道东太平洋的海温异常并不是一种孤立的现象, 它的变化与印度洋的海温变化存在一定的联系。吴国雄等^[3] 的研究指出, 每次 ENSO 事件前期, 首先在印度洋发生海温异常, 然后逐渐向东传入太平洋, 引起太平洋地区大气中纬向风和海温同时发生异常变化。晏红明等^[4] 对印度洋多年海温距平的 EOF 研究则表明, 印度洋海温距平第二特征向量场的变化反应了印度洋海温变化的纬向差异, 且这种纬向差异的变化和赤道东太平洋海温变化有一定的联系。印度洋作为我国西南季风的发源地和流经地, 同时也是我国季风雨水汽和各种能量供给的主要源地之一。海洋表面的热力状况通过影响西南季风的异常变化及该地区热带系统的活动, 对我国天气气候的变化有着重要的影响。因此, 研究印度洋海温变化的异常特征及印度洋与赤道东太平洋海表温度变化的关系对于进一步探索影响大气环流和气候异常的因子具有重要的理论意义和实践价值。

收稿日期: 2000-08-16; 修订日期: 2000-12-13

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目“我国重大气候灾害的机理和预测理论研究”课题; 云南省气象局青年研究基金 YQ9904 课题

作者简介: 晏红明, 女, 1966 年 10 月生, 硕士, 工程师

本文选取 1982 ~ 1997 年热带海洋 $1.0^{\circ} \times 1.0^{\circ}$ 的月平均海表温度资料, 通过计算合成场, 分析了 ENSO 两个不同位相期间印度洋地区海温距平场分布特征及季节变化特征。

1 印度洋海温异常的 ENSO 信息提取

图 1 给出赤道东太平洋异常暖海温年(1983、1987、1991、1994、1997 年)和异常冷海温年(1984、1985、1988、1989、1996 年)热带海洋年平均海温距平合成场。可以看到, 虽然距平平滑了一些海温的季节变化特征, 在 ENSO 冷、暖位相期间, 印度洋东、西部的海温变化仍明显不同。暖位相期, 印度洋地区的海温变化为东冷西暖; 与此相反, 冷位相期海温变化为东暖西冷。进一步的分析还发现, 南北印度洋的海温分布也有明显的不同, 赤道以北印度洋地区的海温变化比较一致, 与赤道东太平洋和南印度洋西部的海温变化呈明显的正相关, 东、西部海温的纬向差异不明显。El Nino 年(图 1a), 赤道以北印度洋海温升高; 赤道以南海温变化的纬向差异较大, 东冷西暖, 其中西部地区暖海温的范围较大, 最大正距平中心位于南印度洋赤道附近, 而东部海区的海温负距平区域较小, 位于南印度洋澳大利亚西北海区, 与赤道西太平洋地区的海温负距平区相连。La Nina 年(图 1b), 赤道以北印度洋海温下降, 赤道以南东、西部海温变化相反, 为东暖西冷, 其中西部冷海温最明显的区域位于马达加斯加西北部的海区, 东部海温升高最明显的区域位于澳大利亚以西海域。ENSO 不同位相期印度洋东、西部海温差异最明显的区域位于南印度洋 $0 \sim 25^{\circ} \text{S}$ 附近, 纬向差异在冷海温年比暖海温年明显。

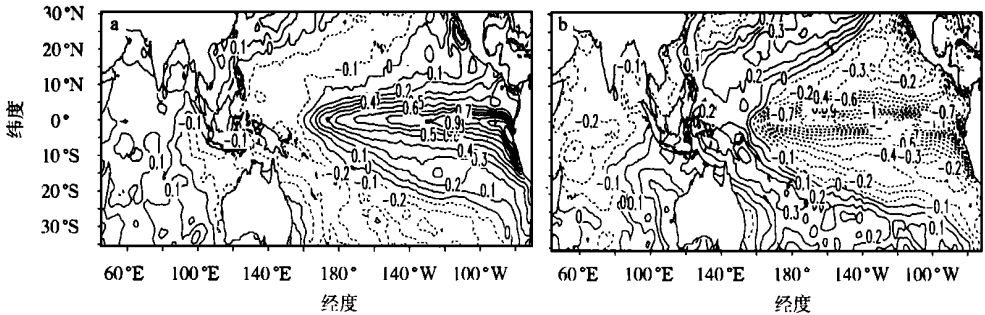


图 1 El Nino 年(a)和 La Nina 年(b)的热带海温距平合成场(单位: $^{\circ}\text{C}$)

Fig. 1 The SSTA composite fields during El Nino (a) and La Nina (b) years (units: $^{\circ}\text{C}$)

为了进一步分析印度洋和赤道东太平洋海温变化的关系, 给出 1982 ~ 1997 年赤道印度洋和太平洋 $0 \sim 10^{\circ} \text{S}$ 区域月平均海温距平场的经度-时间剖面图(图 2)。可以看到, 赤道印度洋与太平洋的海温变化关系密切。1982/1983、1986/1987、1997 年为比较明显的 El Nino 位相年, 赤道西印度洋出现了增暖现象, 为正距平; 而在 1984/1985、1988/1989、1996 的 La Nina 位相年, 赤道西印度洋负海温距平, 海温下降。

从图 2 中我们还注意到一个很重要的特征: 不仅同期赤道印度洋附近的海温变化与赤道东太平洋的海温变化关系密切, 前期赤道印度洋的海温变化与后期赤道东太平洋的海温变化也有一定的关系。在赤道东太平洋海温出现冷暖变化前期, 印度洋首先出现冷暖海温异常, 然后逐渐向东移动, 随后在赤道东太平洋相应出现冷暖海温异常。80 年代两次比较显著的 1984/1985 和 1988/1989 年的 La Nina 位相年, 这种冷海温东移的趋势很明显。1984/1985 年, 赤道西印度洋海温下降明显, 最大负距平中心达 -1°C 。这种负海温异常逐渐向东移动, 1986/1987 年东南印度洋和西太平洋海温下降, 1988/1989 年东太平洋出现了 La Nina 现象。1988/1989

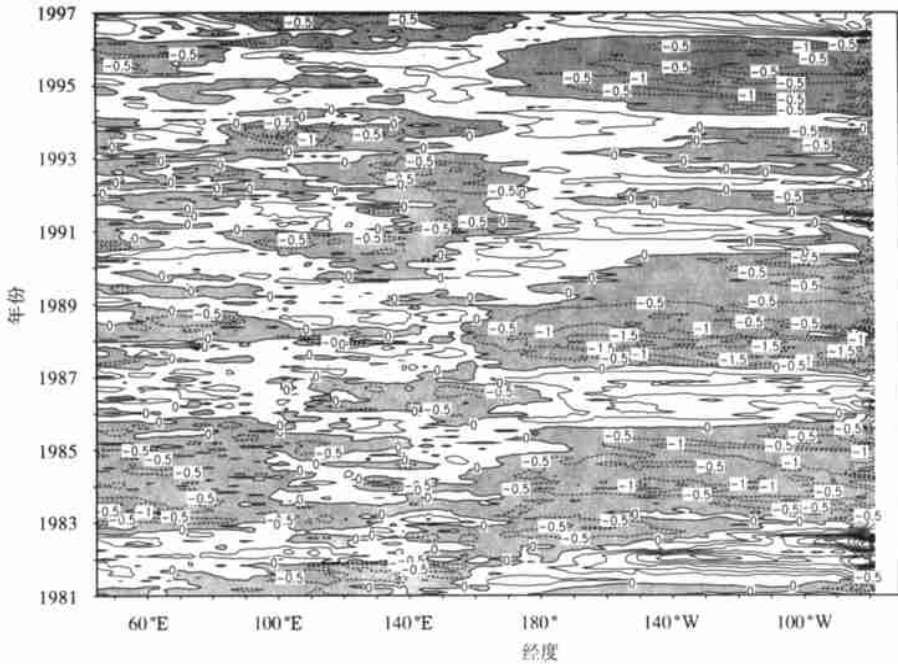


图2 1982~1997年热带海洋0~10°S范围内月平均海温距平的经度-时间剖面图(单位: °C)

Fig. 2 Longitude-time section of monthly mean SSTA for averaged over 0~10°S from 1982 to 1997 (units: °C)

年,赤道印度洋虽然也出现了负海温异常,但海温下降的幅度和范围与1984/1985年相比较小,这种负海温异常东移到东印度洋和西太平洋后,维持时间较长。直到1993/1994年,东印度洋和西太平洋的负海温异常加大,中心负距平达到-1°C并逐渐东移,1995/1996年东太平洋才出现了明显的负海温异常。以上的分析能否说明印度洋的海温变化对ENSO循环起着重要的触发作用,还有待于进一步的研究,但至少可以说明很重要的一点:印度洋的海温异常是ENSO循环的重要组成部分。近年来,ENSO循环的物理机理一直是气象学家研究的重点,人们逐渐把注意力转移到了印度洋海温变化的研究上,认为ENSO循环与印度洋海温的异常变化关系密切。Nitta等^[5]分析ENSO事件中的对流活动发现,在ENSO事件时有大型云团从印度洋向东移动,当这种大型云团移动到西太平洋时猛烈发展并继续东移。他们认为,这种具有30~50d振动周期的超大型云团的东移可以诱发出赤道东太平洋异常西风的爆发,对ENSO的形成具有一定的触发作用。图2所揭示的赤道印度洋和赤道太平洋海温异常东移的现象进一步表明印度洋的海温异常在ENSO循环中的重要作用。

2 印度洋海温距平的季节变化特征

图3为赤道东太平洋(6.5°S~6.5°N, 139.5°~80.5°W)冷、暖海温位相年月平均海温距平场的变化。可以看到,赤道东太平洋海温变化的季节差异明显。暖位相年,全年海温变化为正距平,海温升高,海温变化在6月最明显,最大年较差为0.5°C左右;而冷位相年,海温变化的季节差异比暖位相年稍大,全年海温为负距平,海温下降,海温变化在6月和12月最明显,最大年较差为0.7°C左右。

2.1 印度洋西部

图4a、b、c分别为与赤道东太平洋冷、暖海温年相应的西北印度洋(0.5°~15.5°N, 45.5°~

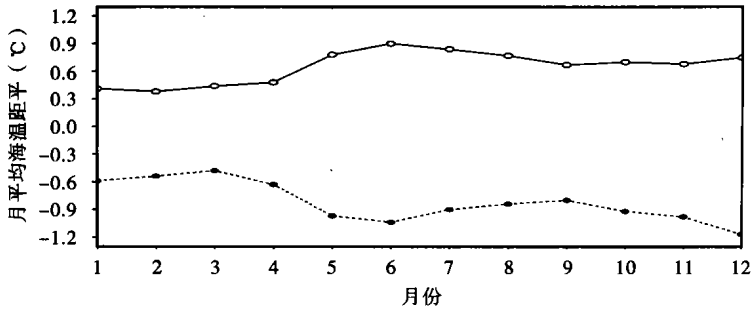


图3 赤道东太平洋(6.5 S ~ 6.5 N, 139.5 ~ 80.5 W)冷(虚线)、暖(实线)位相年月平均海温距平变化

Fig. 3 The seasonal variation of monthly mean SSTA during cold (dashed line) and warm (solid line) phases over east equatorial Pacific (6.5 S ~ 6.5 N, 139.5 ~ 80.5 W)

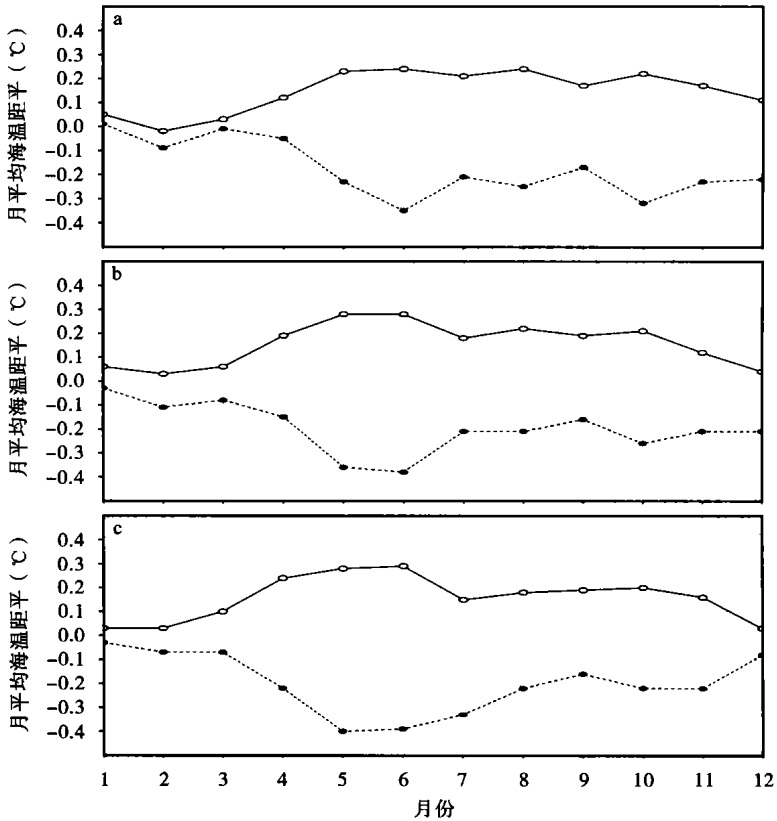


图4 西北印度洋(0.5 ~ 15.5 N, 45.5 ~ 79.5 E)(a)赤道西印度洋(6.5 S ~ 6.5 N, 44.5 ~ 80.5 E)(b)和西南印度洋(0.5 ~ 15.5 S, 45.5 ~ 79.5 E)(c)冷(虚线)、暖(实线)海温年月平均海温距平变化

Fig. 4 The seasonal variation of monthly mean SSTA during cold (dashed line) and warm (solid line) phases over east equatorial Pacific
 a. northwest Indian Ocean (0.5 ~ 15.5 N, 45.5 ~ 79.5 E);
 b. west equatorial Indian Ocean (6.5 S ~ 6.5 N, 44.5 ~ 80.5 E);
 c. southwest Indian Ocean(0.5 ~ 15.5 S, 45.5 ~ 79.5 E)

79.5 E)、赤道西印度洋(6.5 S ~ 6.5 N, 44.5 ~ 80.5 E)和西南印度洋(0.5 ~ 15.5 S, 45.5 ~ 79.5 E)月平均海温距平变化。可以看到,西北印度洋、赤道西印度洋和西南印度洋的海温

变化比较一致,其变化分别与赤道东太平洋冷、暖海温年变化(图3)有很好的正相关关系。冷位相年,印度洋西部全年海温距平为负,海温下降;暖位相年海温距平为正,海温升高。海温变化在5~6月和10月比较明显。暖、冷海温位相年,最高、最低海温出现在初夏季节(5~6月)和秋季(10月),最大峰、谷值期(5、6月)和次大峰、谷值期(10月)分别对应冬夏季风转换的关键期。

2.2 印度洋东部

图5a、b、c分别为东北印度洋(3.5~25.5°N, 89.5~109.5°E)、赤道东印度洋(6.5°S~6.5°N, 89.5~100.5°E)和东南印度洋(0.5°N~15.5°S, 90.5~120.5°E)冷、暖海温年月平均海温距平变化图。从图可见,东印度洋南北海温距平的变化不同。东北印度洋的海温变化与赤道东太平洋和印度洋西部的海温变化呈正相关,暖位相年海温升高,冷位相年海温降低,暖(冷)位相期最高(低)海温出现在5~6月(10月)。而赤道东印度洋和东南印度洋的海温变化则不同,这两个海区海温变化的季节波动较大。暖位相年,赤道东印度洋1~6月份为正海温距平,6月份海温最高,7~12月为负海温距平,10月份海温最低;东北印度洋1~6月海温变化

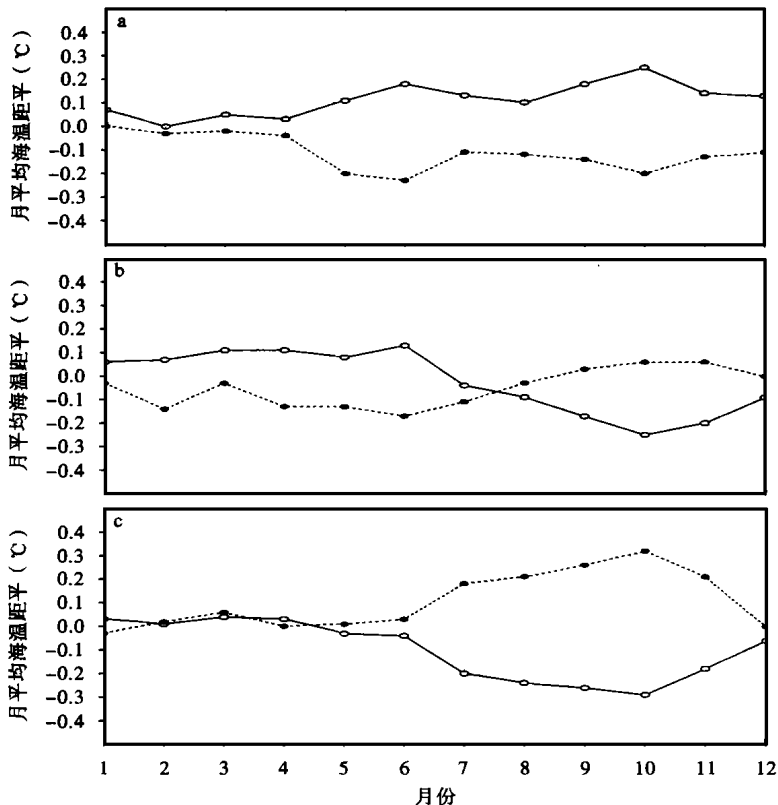


图5 东北印度洋(3.5~25.5°N, 89.5~109.5°E)(a)、赤道东印度洋(6.5°S~6.5°N, 89.5~100.5°E)(b)和东南印度洋(0.5°N~15.5°S, 90.5~120.5°E)(c)冷(虚线)、暖(实线)海温年月平均海温距平变化

Fig. 5 The seasonal variation of monthly mean SSTA during cold (dashed line) and warm (solid line) phases over east equatorial Pacific
 a-northeast Indian Ocean (3.5~25.5°N, 89.5~109.5°E);
 b. east equatorial Indian Ocean (6.5°S~6.5°N, 89.5~100.5°E);
 c. southeast Indian Ocean (0.5°N~15.5°S, 90.5~120.5°E)

不明显, 1~4 月的正距平和 5~6 月的负距平接近 0, 7~11 月的海温下降明显, 10 月份海温最低。冷位相年, 赤道东印度洋 1~8 月份为负距平, 6 月份海温最低, 9~12 月为正距平, 10 月份海温最高; 东北印度洋 1~6 月海温变化不明显, 7~12 月海温明显升高, 10 月份海温最高, 最大年较差大于 0.3。

3 印度洋纬向海温差异的年、季变化特征

从前面的分析看到, 印度洋东、西部海温差异较明显的区域位于赤道南印度洋附近。分别选取东南印度洋(0.5°N~15.5°S, 90.5~120.5°E, B 区)和西南印度洋(0.5~15.5°S, 45.5~79.5°E, A 区)冷、暖位相年的月平均海温距平区域平均, 定义 $I_{DM} = I_A - I_B$ (西南印度洋 SSTA 与东南印度洋 SSTA 之差) 为印度洋偶极指数(Dipole Mode Index)。图 6 为冷、暖海温位相年 I_{DM} 的季节变化。可以看到, 印度洋 I_{DM} 季节变化明显, 东、西部海温差异在 1 月最小, 然后逐渐增大, 10 月达到最大, 再逐渐减小。这种海温纬向差异的季节变化特征表明, 在整个西南夏季风盛行期间印度洋东、西部的海温差异比较明显, 而冬季风盛行期间的 1~4 月和 12 月海温变化的纬向差异较小, 其中 1 月份的海温纬向差异最小, 差值为零。El Nino 和 La Nina 位相年海温纬向差异的最大年较差分别为 0.5 和 0.55。

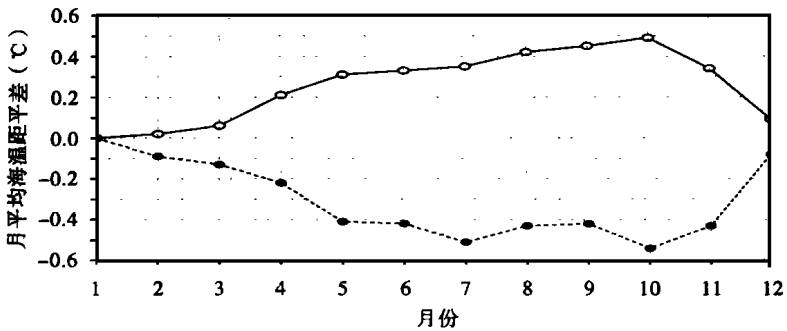


图6 ENSO 冷、暖期间西南印度洋与东南印度洋月平均海温距平差
(实线为 El Nino 年, 虚线为 La Nina 年)

Fig. 6 The seasonal variation of the difference in monthly mean SSTA between over southwest Indian Ocean and over southeast Indian Ocean during El Nino (solid line) and La Nina (dashed line) years

分析不同季节印度洋海温距平分布特征(图略)可以看到, 不同季节印度洋的海温分布明显不同。1~4 月印度洋东、西部海温差异不明显, El Nino 年印度洋 SSTA 正距平区范围较大, La Nina 年印度洋海温甚至出现了南北经向差异, 北印度洋为负距平, 海温下降, 南印度洋为正距平, 海温升高。5~10 月印度洋东、西部正负距平中心加强, 海温差异明显, 最明显的区域在 0~25°S 附近。海温变化的纬向差异在 La Nina 年比 El Nino 年明显。

分析 ENSO 不同位相期印度洋海温距平场发现, 在这些特殊的年份, 印度洋的海温变化与赤道东太平洋的海温变化有较好的对应关系。暖海温位相年, 北印度洋和南印度洋西部的海温升高, 南印度洋东部的海温下降; 与此相反, 冷海温位相年, 北印度洋和南印度洋西部的海温下降, 南印度洋东部的海温升高, 其中南印度洋海温变化的纬向差异比较明显。图 7 分别为 1982~1997 年印度洋 I_{DM} 和 Nino 3 区月平均海温距平的 6 个月滑动平均, 可以看到印度洋 I_{DM} 的变化与 Nino 3 区的海温变化有较好的一致性, 正相关系数高达 0.55。在 El Nino 位相的 1982、1986/1987、1991、1993、1994、1997 年, $I_{DM} > 0$, La Nina 位相的 1984、1985、1989、1996 年, $I_{DM} < 0$ 。同时我们注意到, 90 年代印度洋和太平洋海温变化的关系较明显, La Nina 位相的

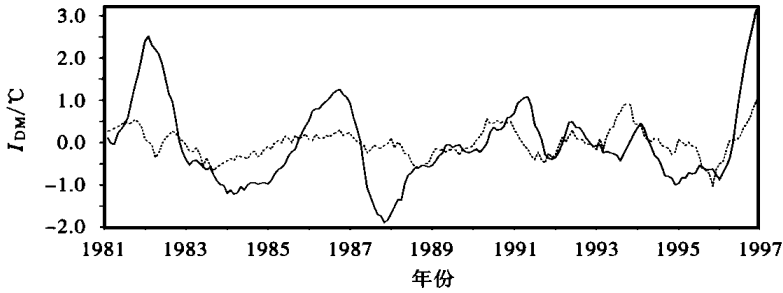


图7 1982~1997年印度洋 I_{DM} (虚线)

与赤道东太平洋 Niño 3 区的海温距平(实线)6个月滑动平均

Fig.7 The 6 month smoothing curves of I_{DM} (dotted line)

over the Indian Ocean and Niño 3 SST A (solid line) from 1982 to 1997

1996年和El Niño位相的1997年印度洋海温变化的纬向差异比较明显,最大 I_{DM} 绝对值均达到了1.0。我们知道,印度洋东、西部海区中心相距仅有30°左右,而这一东西向的海温梯度与太平洋的海温梯度具有同等量级,因此,热带南印度洋东部地区的这种纬向热力差异的变化对全球气候变化的影响将是我们今后研究的重点。

4 小 结

(1) 印度洋的海温变化与赤道东太平洋的海温变化有明显的相关关系,是 ENSO 循环的重要组成部分,在 ENSO 循环中有着重要的作用。

(2) 相应赤道东、西太平洋地区翘翘板似的海温变化,印度洋东、西部的海温也出现了偶极振动的现象。在 ENSO 暖位相期,印度洋的海温变化为东冷西暖;与此相反,在 ENSO 的冷位相期,印度洋的海温变化为东暖西冷。

(3) ENSO 冷、暖位相期,赤道以北印度洋的海温变化比较一致,赤道以南印度洋东、西部的海温变化则刚好相反,纬向热力差异最显著的区域位于南印度洋 0~25°S 附近,其中冷位相期的差异比暖位相期明显。

(4) 赤道东太平洋冷、暖位相期,印度洋海温有明显的季节变化特征,5~6月和10月的海温变化最明显。南印度洋海温变化的纬向差异在整个夏季风期间较大,而冬季风期间较小。

(5) ENSO 不同位相期印度洋海温有明显的年变化特征,南印度洋 I_{DM} 的变化与赤道东太平洋的海温变化有明显的正相关关系,相关系数为 0.55。

参考文献:

- [1] BJERKNES J. A possible response of the atmospheric Hadley circulation to equatorial anomalies of ocean temperature [J]. Tellus, 1966, 18(3): 820~829
- [2] BJERKNES J. Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific [J]. Mon Wea Rev, 1969, 97(3): 163~172
- [3] 吴国雄, 孟文. 赤道印度洋-太平洋地区海区海气系统的齿轮式耦合和 ENSO 事件 [J]. 大气科学, 1998, 22(4): 470~480
- [4] 晏红明, 肖子牛, 谢应齐. 近 50 年印度洋海表温度距平时空特征分析 [J]. 气候与环境研究, 2000, 5(2): 180~188
- [5] NITTA T, MOTOKI T. Variations in the tropical atmosphere and ocean during the onset phase of an El Niño. In: Japan US Workshop on the El Niño-Southern Oscillation phenomenon eds [R]. Meteor Rea Report, 1987. 3~7

The variable characteristics analysis of SSTA over the Indian ocean during the two phasea of ENSO cycle

YAN Hong-ming¹, JU Jian-hua², XIAO Zi-niu¹

(1. Institute of Meteorological Science of Yunnan Province, Kunming 650034;

2. Department of Earth Science, Yunnan University, Kunming 650091)

Abstract: By analyzing the variable characteristics of SST in the Indian Ocean during different phases of ENSO cycle, it is found that the correlation of the variation of SST between in the Indian Ocean and in eastern equatorial Pacific is significant, and the variation of SST in the Indian Ocean is an important component of ENSO cycle. The SST pattern in the Indian Ocean is warm in the western part and cold in the eastern part when SST in the eastern equatorial Pacific is warm, and v. v. Furthmore, the results showed that the most significant area of difference of SSTA between in the Western and Eastern Indian Ocean is in $0 \sim 25^{\circ} \text{S}$. It's interannual and seasonal change is significant. The zonal difference of SST variation in the Indian Ocean during summer monsoon season is more significant than that during winter monsoon season, and the difference during cold phases is larger than that during warm phases. The correlation coefficient is 0.55 between Dipole Mode Index in the Indian Ocean and SSTA in the eastern equatorial Pacific.

Key words: SST in the Indian Ocean, ENSO, anomaly features