

文章编号：1004-4965 (2004) 06-0617-08

太平洋-印度洋海温异常模态及其 指数定义的初步研究

据建华¹， 陈琳玲²， 李崇银³

(1. 中国气象局培训中心，北京 100081；2. 云南大学大气科学系，云南 昆明 650091；
3. 中国科学院大气物理研究所，北京 100029)

摘 要：通过对太平洋地区海温场的经验正交函数分解，分析其第一特征向量场发现，春夏秋冬四季在印度洋中西部大范围地区、赤道中东太平洋的大范围地区的海面温度西太平洋地区的相反，这一特征向量在四个季节的方差贡献率均大于 33%，说明这一海温场的空间分布结构是稳定的，我们称之为太平洋-印度洋海温异常模态。并对这种模态经过认真分析比较和研究后定义了该模态的指数。

关 键 词：太平洋；印度洋；海温异常模态；指数

中图分类号：P732.1

文献标识码：A

1 引 言

早在 20 世纪 60 年代，Bjerkness^[1-2]就开始对 ENSO 现象的研究，此后，ENSO 作为全球海气相互作用的显著事件，它对全球气候的影响便成了气候研究中十分关注的问题，人们开始进行大量的研究工作。在这些研究中，我们不仅看到了太平洋海温的异常变化，还注意到，在热带海域除 ENSO 事件外，西太平洋暖池、印度洋海温也存在明显的年际异常变化，而且这种海温的异常变化对大气环流异常和天气气候异常也有重要影响。比如晏红明等^[3]利用中国科学院大气物理研究所 IAP9L 大气环流模式模拟发现，印度洋赤道低纬地区的暖（冷）海温距平，可以在北半球中高纬度地区激发产生与 PNA 和 EAP 类似的冬季遥相关型或夏季遥相关型波列，对亚洲季风区中低纬度地区的环流异常或天气气候异常有重要作用。最近的一些研究进一步发现，在赤道附近的洋面上，除了太平洋东西部海温的偶极振荡外，印度洋地区也存在明显的偶极振荡现象。李崇银等^[4, 5]、肖子牛等^[6]的研

收稿日期：2003-03-30；修订日期：2003-10-10

基金项目：国家自然科学基金重点项目“太平洋-印度洋 ENSO 模同亚洲季风的相互作用及其机理研究”（40233033）资助

作者简介：据建华（1956-），男，河南人，教授，博士，主要从事热带季风和海气相互作用的研究。

究也表明,印度洋偶极子对气候的变化有明显的影响。实际上热带海洋海温的变化并不是一个孤立的现象,印度洋偶极子与太平洋 ENSO 是紧密联系的。李崇银等分析了 ENSO 事件中印度洋海温的时空分布特征,晏红明等^[7]分析了 ENSO 循环的两个不同位相期印度洋海表温度异常的特征,这些研究都表明印度洋地区的海温变化与赤道东太平洋地区的海温异常有较好的相关关系,ENSO 事件中印度洋地区海温有明显的偶极振荡现象。近些年的观测和分析表明,赤道西太平洋和东印度洋的状况,特别是其海温及异常变化有十分类似的特征;陈烈庭等^[8]很早就注意到印度洋海温纬向梯度对中国夏季降水的影响;陈烈庭等^[8-10]、吴国雄等^[11]的研究表明,印度洋的海温不仅有明显的年际变化,而且与赤道东太平洋的海温有密切的正相关关系,这种正相关是由于沿赤道印度洋上空纬向季风环流和太平洋上空 Walker 环流之间显著的齿轮式耦合造成的,太平洋 ENSO 与印度洋偶极子实际上是 Walker 环流所联系的一种模态分别在太平洋和印度洋上的表现。因此,在研究太平洋与印度洋海温异常对天气气候的影响时,应将太平洋 ENSO 与印度洋偶极子作为一个统一的太平洋-印度洋海温异常模态来考虑。本文正是基于以上考虑,将太平洋 ENSO 与印度洋偶极子作为一个统一模态,对该模态的空间分布特征进行分析并对该模态的指数进行科学的定义。

2 资料 and 主要计算方法

本文主要选取 1951~2001 年逐月 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 的 Reynolds 再分析海温距平(SSTA)资料^[12]。对 1951~1999 年的热带海洋地区($40^{\circ} \text{E} \sim 90^{\circ} \text{W}$, $20^{\circ} \text{S} \sim 20^{\circ} \text{N}$)的海表面温度场进行了经验正交函数分解(EOF)。

3 太平洋-印度洋海温异常模态的空间分布特征

1997 年发生了 20 世纪最强的一次 El Niño 事件,但印度次大陆没有像一般 El Niño 年那样出现严重的干旱,而这一年赤道西印度洋的异常暖海温高达 2° 。这一现象引起人们对印度洋异常海温偶极振荡及其作用的极大重视,这也正是我们为什么要将印度洋、太平洋的海温异常变化作为一个整体来考虑的出发点。下面首先给出 1997 年 10 月的全球海面温度距平分布(图 1)。从图 1 可看到,在赤道东太平洋地区有明显的暖舌,在西北印度洋地区有明显的海温正距平,而赤道西太平洋地区和东印度洋地区有明显的海温负距平。这正是前面所说的太平洋-印度洋海温异常模态的空间分布特征,即在西北印度洋地区、赤道中东太平洋的大范围地区的海面温度与西太平洋地区、东印度洋地区的海面温度相反,当西北印度洋地区、赤道中东太平洋大范围地区的海面温度偏高(低)时,西太平洋地区、东印度洋地区的海面温度偏低(高)。过去许多对热带海气相互作用研究的重点主要放在赤道东太平洋上,但从图 1 可以知道,赤道东太平洋地区、西太平洋暖池地区以及印度洋地区的海温变化是一个相互联系的有机整体,我们把这种热带海面温度的空间分

布型称为太平洋-印度洋海温异常模态。与传统意义上的 ENSO 相比，这一模态具有更广阔的空间分布。

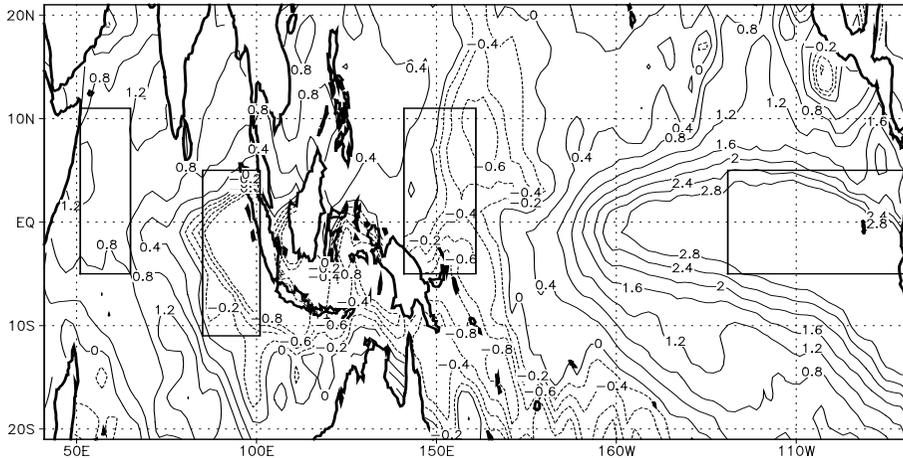


图 1 1997 年 10 月全球海面温度距平分布 虚线表示小于零的等值线值，实线表示大于零的等值线值。四个矩形为后面文中将定义的太平洋-印度洋海温异常模态指数的关键区域。

4 热带海洋地区 SSTA 的 EOF 分解

前面提出太平洋-印度洋海温异常模态的概念，但这种海温的空间分布型是否存在（是否只是某个年份的特殊情况），或者说这种存在是否稳定呢？下面对 1951~2001 年各个季节的热带海洋地区（ $40^{\circ}\text{E} \sim 90^{\circ}\text{W}$, $20^{\circ}\text{S} \sim 20^{\circ}\text{N}$ ）的 SSTA 场进行 EOF 分解（图 2）。从 EOF 分解后的各个季节的海面温度第一特征向量场（图 2）上可以看到十分类似的特征，即在印度洋大范围地区、赤道中东太平洋的大范围地区的海面温度与西太平洋地区的海面温度相反，当印度洋大范围地区、赤道中东太平洋大范围地区的海面温度偏高（低）时，西太平洋地区的海面温度偏低（高）。这与前面提出的太平洋-印度洋海温异常模态的空间分布特征非常相似。这种模态在各季 EOF 分解的方差贡献率分别为冬季 42%、春季 38%、夏季 34%、秋季 38%。这一特征向量在四个季节的方差贡献率均大于 33%，说明热带海温场的这一空间分布结构特征是稳定的，也就是说，我们提出的太平洋-印度洋海温异常模态是有实际意义的。

从其对应的时间系数（图 3）上看，1970 年代中期以前，该模态分布以负位相为主，而到 1977 年以后，该模态分布以正位相为主。各个季节的系数分布上都可以看到在 1970 年代中后期明显一致的年代际变化特征。与传统的 ENSO 相比，该模态不仅具有更大的空间尺度，而且也具有更大的时间尺度，对于 ENSO 我们主要是关注它的年际变化特征（Torrence C 等^[13]，1999），而对于该模态还应认真研究它的年代际变化特征。而且我们注意到，在这种更大时空尺度的模态的控制下，该模态以负位相为主的时期（1950 年代初~1970 年代中期）较容易出现 La Niño 事件，而在该模态以正位相为主的时期（1970 年代中期至今）较容易出现 El Niño 事件。

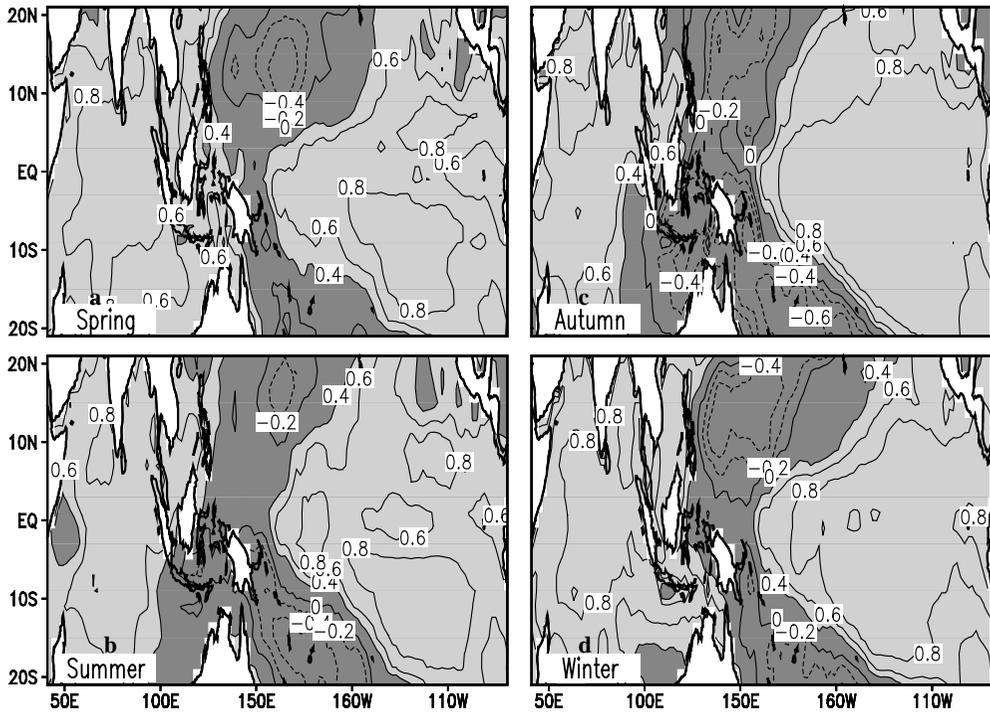


图2 春(a)、夏(b)、秋(c)、冬(d)四季热带海洋地区(40°E ~ 90°W, 20°S ~ 20°N)的 SSTA 的第一特征向量场分布

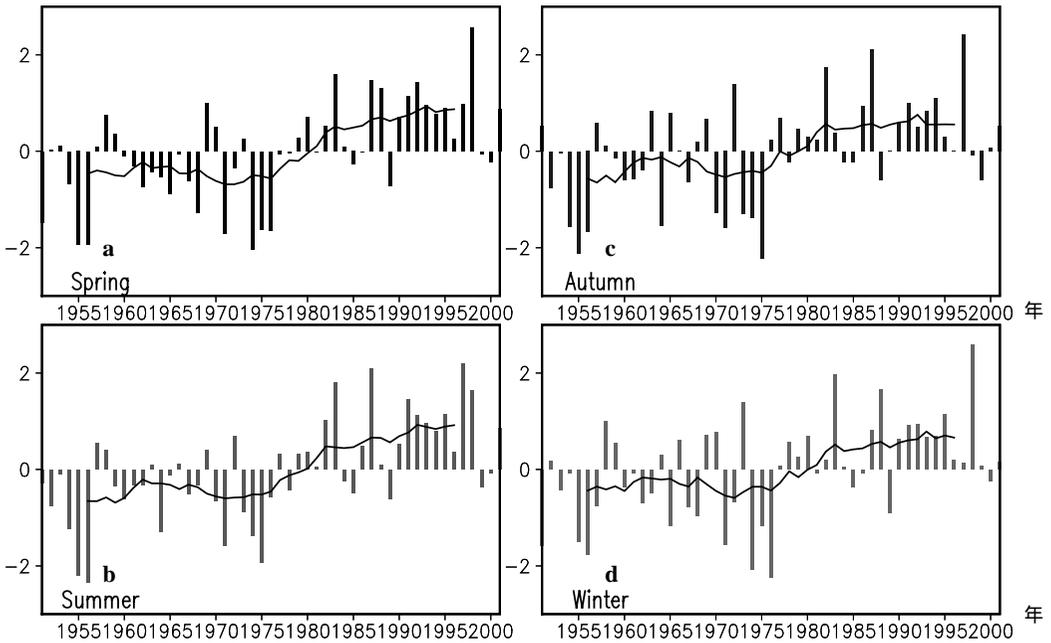


图3 春(a)、夏(b)、秋(c)、冬(d)四季热带海洋地区(40°E ~ 90°W, 20°S ~ 20°N)的 SSTA 的第一特征向量场对应的时间系数

5 太平洋-印度洋海温异常模态指数定义的初步研究

在确定了太平洋-印度洋海温异常模态之后,必须为该模态确定一个好的指数来描述它。首先根据 1997 年 10 月的全球海面温度距平图来定义该模态的指数(以下简称 PIMI1):海温距平在区域 $50 \sim 65^{\circ}\text{E}$, $5^{\circ}\text{S} \sim 10^{\circ}\text{N}$ 平均与区域 $85 \sim 100^{\circ}\text{E}$, $10^{\circ}\text{S} \sim 5^{\circ}\text{N}$ 平均的差值,以及海温距平在区域 $130 \sim 80^{\circ}\text{W}$, $5^{\circ}\text{S} \sim 5^{\circ}\text{N}$ 平均与区域 $140 \sim 160^{\circ}\text{E}$, $5^{\circ}\text{S} \sim 10^{\circ}\text{N}$ 平均的差值之和(图 1 中的矩形区域)。

为了考察所选取的指数 PIMI1 能否真实地描述该模态,用 PIMI1 与 $40^{\circ}\text{E} \sim 90^{\circ}\text{W}$, $20^{\circ}\text{S} \sim 20^{\circ}\text{N}$ 地区的各季节 SSTA 场做相关分析(图 4)。从图 4 可看到,春夏秋冬各季在印度洋大范围地区、赤道中东太平洋大范围地区存在大片的显著性正相关区,而在西太平洋地区存在大片的显著性负相关区,即高(低)指数的时候,对应西北印度洋地区、赤道中东太平洋大范围地区的海面温度明显偏高(低),而西太平洋地区的海面温度明显偏低(高)。说明各季的指数 PIMI1 能对该模态进行很好描述,因为该指数的选取同时兼顾了太平洋 ENSO 的信息和印度洋偶极子的信息。

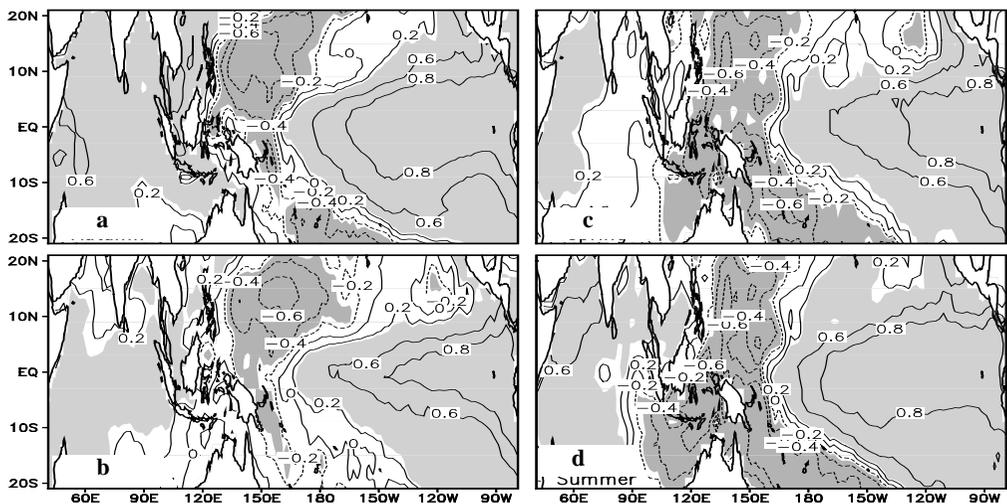


图 4 冬(a)、春(b)、夏(c)、秋(d)四季 PIMI1 (1951~2001 年)与热带海洋地区 ($40^{\circ}\text{E} \sim 90^{\circ}\text{W}$, $20^{\circ}\text{S} \sim 20^{\circ}\text{N}$)的 SSTA 场的相关系数分布 虚线表示小于零的等值线值,实线表示大于零的等值线值,阴影区为通过 95%显著性检验的区域。

但在这里提出一个问题,由 EOF 分解得到太平洋-印度洋海温异常模态的时间系数,可以描述该模态随时间变化的情况,那么是否能把它直接作为描述该模态的指数呢?为回答这问题,将海面温度距平场的第一特征向量对应的时间系数作为该模态的指数(以下简称 PIMI2),并将它与 $40^{\circ}\text{E} \sim 90^{\circ}\text{W}$, $20^{\circ}\text{S} \sim 20^{\circ}\text{N}$ 地区的各季 SSTA 场做相关分析(图 5)。从图 5 可看到,春夏秋冬四个季节在印度洋大范围地区、赤道中东太平洋大范围地区都存在大片的显著性正相关区,而在西太平洋地区只有在秋季和夏季可以找到大片的显著性负

相关区。即高(低)指数的时候,对应印度洋大范围地区、赤道中东太平洋的大范围地区的海面温度明显偏高(低),而西太平洋地区的海面温度只有在秋季和夏季明显偏低(高)。如果用 EOF 分解第一特征向量的时间系数作为该模态的指数,那么 PIMI2 对该模态的描述在冬春季就不够准确,虽然这样选取指数的方法比较客观,但是这只是 SSTA 场的第一特征向量场的时间系数。实际上,因为印度洋的海温距平的变化没有赤道东太平洋的显著,所以在 EOF 的特征向量中太平洋 ENSO 的信息太强,以致于在第一模态中没有完全地反映出印度洋偶极子的信息。但是,印度洋的纬向热力对比与太平洋具有同等量级^[4,10,11]。晏红明等^[14]分析了近 50 年热带印度洋海温距平场的时空特征发现,印度洋海温距平 EOF 第二特征向量场的变化反映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关系。所以我们不主张用 EOF 分解第一特征向量的时间系数作为该模态的指数。

从上面的分析我们更倾向于选 PIMI1 作为太平洋-印度洋海温异常模态的指数。通过计算 1951~2001 年各个季节的指数 PIMI1 和 Niño3 区的海面温度(Niño3-SSTA)之间的相关系数,两者各季节的相关系数都通过了 99% 的显著性检验。在这种情况下,PIMI1 是否真的能够同时兼顾太平洋 ENSO 和印度洋偶极子的信息而又与 Niño3-SSTA 有所区别呢?为了考察 PIMI1 与 ENSO 指数的区别,我们又对 Niño3-SSTA 与热带海洋地区(40°E~90°W, 20°S~20°N)的 SSTA 场做相关分析(图 6)。从图 6 可看到,指数 Niño3-SSTA 主要是反映了太平洋 ENSO 的信息,在夏秋季节也可以在印度洋大范围地区、赤道中东太平洋大范围地区都存在大片的显著性正相关区,而在西太平洋地区存在大片的显著性负相关区。在冬春季与印度洋和西太平洋海温的相关关系是不显著的,尤其是冬季,几乎看不到前面所讨论的太平洋-印度洋海温异常模态。

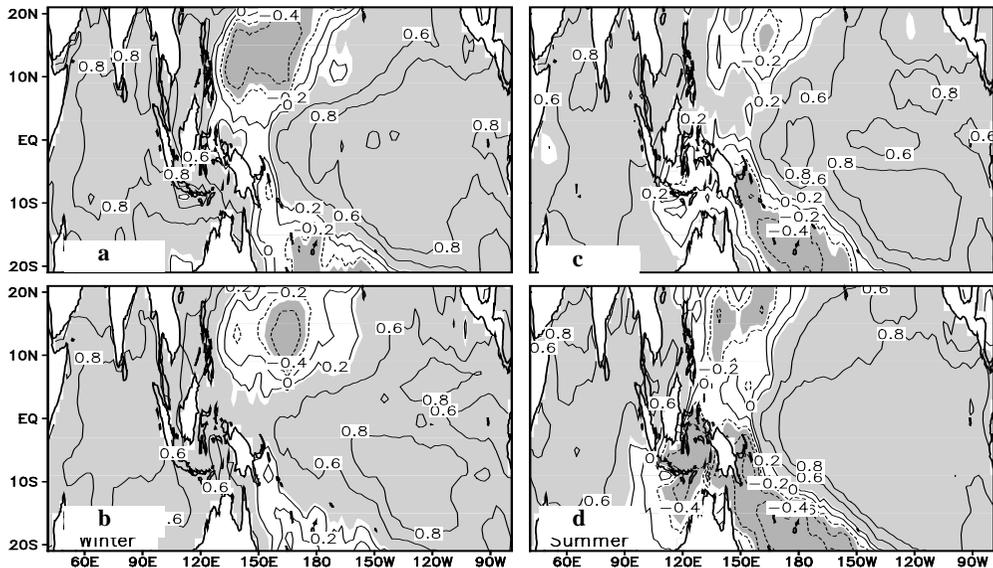


图 5 冬(a)、春(b)、夏(c)、秋(d)四季 PIMI2 (1951~2001 年)与热带海洋地区(40°E~90°W, 20°S~20°N)的 SSTA 场的相关系数分布 说明同图 4。

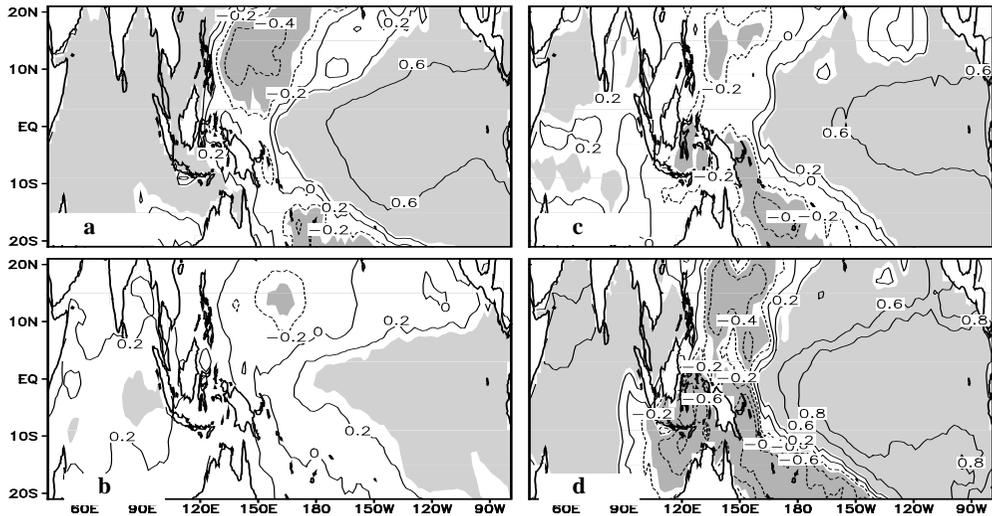


图6 冬(a)、春(b)、夏(c)、秋(d)四季 Nino 3-SSTA (1951 ~ 2001 年) 与热带海洋地区 (40°E ~ 90°W, 20°S ~ 20°N) 的 SSTA 场的相关系数分布 说明同图 4。

对比图 4 ~ 6 我们认为, 选取 PIMI1 作为该模态的指数是比较合适的, 其同时兼顾了太平洋 ENSO 的信息和印度洋偶极子的信息而又与单纯的 ENSO 信息有所区别, 且各个季节都能很好地描述该模态。

6 小结与讨论

(1) 从 EOF 分解后的各个季节的海面温度第一特征向量场上都可以看到十分类似的特征, 即在印度洋大范围地区、赤道中东太平洋的大范围地区的海面温度与西太平洋地区的海面温度相反, 当印度洋大范围地区、赤道中东太平洋大范围地区的海面温度偏高(低)时, 西太平洋地区的海面温度偏低(高)。我们把这种海温的模态分布称为太平洋-印度洋海温异常模态。各个季节该模态 EOF 分解的方差贡献率分别为冬季 42%、春季 38%、夏季 34%、秋季 38%。说明该模态的空间分布是稳定的, 而且我们把太平洋 ENSO 与印度洋偶极子作为一个统一的太平洋-印度洋海温异常模态来考虑是有意义的。

(2) 通过计算分析, 发现太平洋-印度洋海温异常模态存在着显著的年代际变化, 该模态在 1970 年代中期由负位相转变成正位相。

(3) 通过对比分析定义了海温距平在区域 50 ~ 65°E, 5°S ~ 10°N 平均与区域 85 ~ 100°E, 10°S ~ 5°N 平均的差值, 以及海温距平在区域 130 ~ 80°W, 5°S ~ 5°N 平均与在区域 140 ~ 160°E, 5°S ~ 10°N 平均的差值之和为该模态的指数。选取 PIMI1 作为该模态的指数是比较合适的, 其确实是同时兼顾了太平洋 ENSO 和印度洋偶极子的信息而又与单纯的 ENSO 信息有所区别, 并且各个季节都能够很好地描述该模态。

参 考 文 献 :

- [1] BJERKNES J. A possible response of the atmospheric Hadley circulation to equatorial anomalies of ocean temperature[J]. *Tellus*, 1969, **18**: 820-829.
- [2] BJERKNES J. Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific[J]. *Mon Wea Rev*, 1969, **97**: 163-172.
- [3] 晏红明, 肖子牛. 印度洋海温异常对亚洲季风区天气气候影响的数值模拟研究[J]. *热带气象学报*, 2000, **16**: 18-27.
- [4] 李崇银, 穆名权, 潘 净. 印度洋海温偶极子和太平洋海温异常[J]. *科学通报*, 2001, **46**: 1747-1750.
- [5] LI Chongyin, MU Mingquan. Influence of the Indian Ocean dipole on Asian monsoon circulation[J]. *Exchange*, 2001: **6**: 11-14.
- [6] 肖子牛, 晏红明, 李崇银. 印度洋地区异常海温的偶极振荡与中国降水及温度的关系[J]. *热带气象学报*, 2002, **18**: 335-344.
- [7] 晏红明, 琚建华, 肖子牛. 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[J]. *南京气象学院学报*, 2001, **24**: 242-249.
- [8] 陈烈庭. 热带印度洋-太平洋海温纬向差异及其对亚洲夏季风的影响[J]. *大气科学*, 1988, 特刊: 142-148.
- [9] 陈烈庭, 金祖辉, 罗绍华. 印度洋和南海海温变化的特征及其与大气环流的某些联系[J]. *海洋学报*, 1985, **7**: 103-110.
- [10] 陈烈庭. 阿拉伯海-南海海温距平纬向差异对长江下游降水的影响[J]. *大气科学*, 1991, **15**: 33-42.
- [11] 吴国雄, 孟 文. 赤道印度洋太平洋地区海气系统的齿轮式耦合和 ENSO 事件[J]. *大气科学*, 1998, **22**: 470-480.
- [12] SMITH T M, REYNOLDS R W, LIVEZEY R E, et al. Reconstruction of historical sea surface temperatures using empirical orthogonal functions[J]. *J Climate*, 1996, **9**: 1403-1420.
- [13] TORRENCE C, WEBSTER P J. Interdecadal changes in the ENSO-monsoon system[J]. *J Climate*, 1999, **12**: 2679-2690.
- [14] 晏红明, 肖子牛, 谢应齐. 近 50 年热带印度洋海温距平场的时空特征分析[J]. *气候与环境研究*, 2000, **5**: 180-188.

THE PRELIMINARY RESEARCH OF PACIFIC-INDIAN OCEAN SEA SURFACE TEMPERATURE ANOMALY MODE AND THE DEFINITION OF ITS INDEX

JU Jian-hua¹, CHEN Lin-ling¹, LI Chong-yin²

(1. China Meteorological Administration Training Centre, Beijing 100081;

2. Atmospheric Department of Yunnan University, Kunming 650091, China;

3. Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract : With the application of the empirical orthogonal function (EOF) analysis to analyze the first EOF mode, we find that the sea surface temperature in the mid-western part of the Indian Ocean and mid-eastern part of equatorial Pacific and that in the western Pacific are inverse during the four seasons of a year. We also find that the variance of the first EOF mode of every season is more than 33 %. This shows that this kind of spatial distribution of the sea surface temperature is stable. We named this pattern the Pacific-Indian Ocean sea surface temperature anomaly mode. Through the careful analysis and comparison, we defined the index of this mode.

Key words: Pacific Ocean ; Indian Ocean ; sea surface temperature anomaly mode ; index