

热带海表温度和低层风场的年际变率及与 ENSO 循环的相关特征研究

殷永红

倪允琪

(南京大学大气科学系, 南京, 210093)

(中国气象科学研究院, 北京, 100081)

摘要

采用 NCEP/NCAR 的 1979~1998 年逐月平均的海表温度及 1000 hPa 风场资料, 进行滤波和均方差计算, 得到了热带太平洋、印度洋、大西洋海表温度 (SST) 和风场的年际变化特征。用旋转主分量 (RPC) 方法和投影法对热带三大洋海表温度距平 (SSTA) 进行分析, 得到了各大洋 SSTA 演变的主要时空特征和相应的距平风场特征; 并用相关分析研究热带三大洋与 ENSO 相关的特征, 得到三大洋间的同期相关关系为: 印度洋 SSTA 与赤道东太平洋 SSTA 成正相关, 而赤道东大西洋 SSTA 与赤道东太平洋 SSTA 成弱的负相关; 赤道印度洋在落后于赤道东太平洋 3 个月左右时正相关达到最大, 赤道大西洋在超前于赤道东太平洋 6 个月左右时负相关达到最大; 热带印度洋和大西洋与 ENSO 相关的分量对各自大洋海表温度年际变化的方差贡献数值相近, 最大在 40% 以上, 平均解释方差分别为 14% 和 12%。

关键词: 热带三大洋, 年际变化, ENSO。

1 引言

全球热带海洋与大气, 特别是以 ENSO 为核心的热带海气相互作用一直是人们研究的热门课题。观测与数值模拟的研究表明^[1~3], 热带海洋作为大气的下边界, 其温度的变化可能影响到整个大气环流的演变; 同时, 大气环流的异常通过动力与热力作用又会使海洋的温度、洋流等发生变化。关于热带太平洋、印度洋和大西洋各自的 SST 和表面风场的变化特征已有一些研究^[4,5], 由于具有著名的 El Niño, La Niña 等事件, 人们更多关注于热带太平洋海域。近年来热带印度洋、大西洋海气相互作用的变化及其与太平洋 ENSO 的联系受到越来越多的关注, 如 Tourre 等^[6]用 EOF 和 REOF 的方法分析了全球海表温度中的 ENSO 信号。本文利用 NCEP/NCAR 的月平均格点资料, 对热带三大洋 SST 的年际变率进行分析, 找出其中与 ENSO 相关的分量, 以研究 ENSO 期间三大洋间的关系。

2 资料和方法

采用 NCEP/NCAR 再分析资料^[7], 即 1979 年 1 月~1998 年 12 月共 20 a 的月平均海表

温度(SST)和1000 hPa 风场(U, V)的格点观测资料。SST 场为高斯格点, 纬向格距为 1.875° ; 经向距约 1.9° ; U, V 场格距为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 取 $30^\circ\text{S} \sim 30^\circ\text{N}$ 间的热带三大洋区域进行分析。

采用该20 a 平均的1~12月的 SST 及 U, V 场气候值, 计算得到 SST 及 U, V 的距平场(SSTA, UVA) 各点先作低通滤波^[8], 滤去时间尺度小于12个月周期的高频分量, 再进行分析。

3 热带三大洋 SSTA 的年际变率

3.1 赤道大西洋与印度洋 SSTA 的演变特征

图1是 $5^\circ\text{S} \sim 5^\circ\text{N}$ 平均的1979~1998年大西洋与印度洋 SSTA 的时间-经度剖面图(未经过低通滤波)。从图1可以看到1979~1998年期间赤道中、东大西洋发生了5次明显的增温过程, 即在1984~1985年、1987~1988年、1990~1991年、1995~1996年、1998年 SST 为正距平, 局部数值最高达到 1°C 以上, 在1979~1980年初、1981下半年~1982年初、1993下

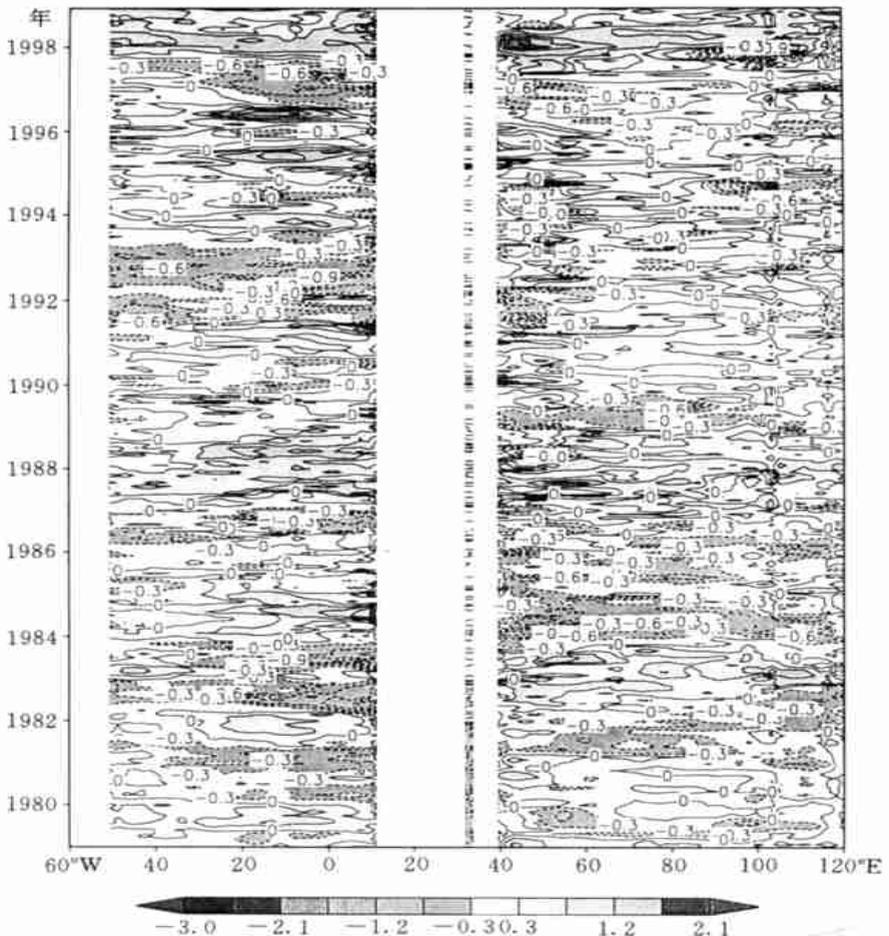


图1 1979~1998年大西洋与印度洋 $5^\circ\text{S} \sim 5^\circ\text{N}$ 平均的 SSTA 的时间-经度剖面(单位: $^\circ\text{C}$)

半年也发生很弱的增温过程;此外,在1980~1981年、1982~1983年、1986~1987年、1991~1993年、1996~1997年赤道中、东大西洋发生了明显的冷过程。赤道印度洋在1982~1983年、1987~1988年、1990~1991年、1994~1995年、1997~1998年分别发生强弱不等的增温过程;在1981~1982年、1984~1986年、1989年、1992年、1996年发生强弱不等的冷过程。两大洋的增温过程都以1997~1998年为最强,期间在赤道东大西洋和西印度洋 SSTA 分别可达 $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $2.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。从图中可见,大西洋和印度洋的冷暖过程强弱相当,而发生时间互有差异。对太平洋 SSTA 的研究已知,太平洋的冷暖事件幅度可达 $3\sim 4\text{ }^{\circ}\text{C}$,因而与太平洋相比大西洋和印度洋的冷暖过程比较弱,两大洋冷暖过程出现频次与太平洋相似,但对于单个冷暖过程来讲,达到极值的时间比较分散,高频信号比较多。

3.2 热带三大洋年际变率强度分布特征

上述分析表明赤道地区三大洋 SSTA 的变化在强度上有很大差异,为进一步研究在整个热带区域内三大洋海表温度年际变化的强弱分布特征,对 SSTA 滤去年以下周期以突出年际信号,再求出各点的均方差,用该值作为年际变化的强度指标。结果(图2)表明,在印度洋,除了东西沿岸,赤道印度洋及其南北两侧的大范围均为小值区(小于 $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$),高值区主要分布于赤道西部沿岸和东南印度洋海域;对于太平洋,最显著的特征为赤道中东太平洋海域一条沿纬向分布,东部略向南延伸的高值区,这就是 ENSO 事件的异常海温高值区,西太平洋是小值区,另外在高纬和北美沿岸有弱的高值区,但其强度和范围都不及赤道中东太平洋;大西洋上共有北、中、南3个强弱相当的高值区,分别在 10°N 以北、赤道东南部和 10°S 以南的海域,赤道西大西洋是小值区。

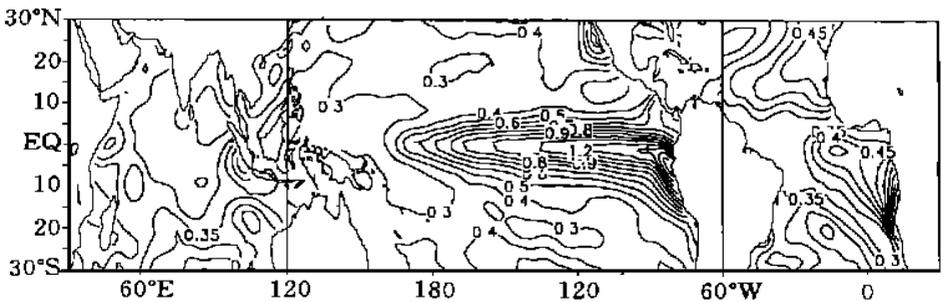


图2 热带三大洋海表温度距平的均方差分布(单位: $^{\circ}\text{C}^2$)

比较三大洋的海表温度年际变化强度,可以发现从年际变化强度的数值来看,印度洋与大西洋相似,最大值都是 0.45 左右,最强的是太平洋,中心最大值达 1.2 以上,约为印度洋与大西洋的3倍。从强度分布的空间型来看,大西洋与太平洋较为相似,都在赤道中东部海域有较强的年际变化而在赤道西部的年际变化最弱。

从滤去年以下周期的风距平场均方差分布图(图3)可见,三大洋表面风场的年际变化强度也存在差异,经、纬向风都是太平洋最强,大西洋最弱。纬向风年际变化最强区,太平洋分布在赤道中西部附近并与其南北两侧中纬海域的次高值中心相关联;印度洋分布于赤道中东部附近并与南侧中纬海域的次高值中心相连;赤道大西洋中西部有一小范围的高值区,但最强区在北部的中纬度海域。经向风年际变化的最强区,印度洋在赤道东部以及赤道以南的中部海域;太平洋在赤道西部及以南的海域并向东延伸;大西洋的分布与

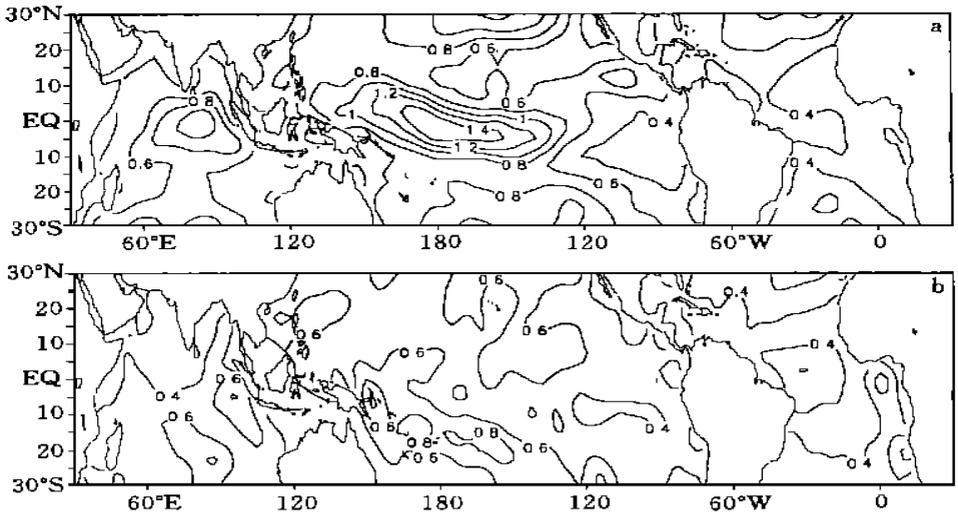


图3 热带三大洋表面风场距平的均方差分布

(a. 纬向风, b. 经向风; 单位: m/s)

纬向风相似,只是在赤道及以南的东部沿岸附近另有一高值中心。在赤道,中西太平洋纬向风的年际变化比经向风明显占优,可达经向风的两倍,赤道中东印度洋也以纬向风变化为主,赤道中西大西洋纬向风的年际变化与经向风相当。在赤道东太平洋及其南侧海域,赤道西印度洋及北部的阿拉伯海和孟加拉湾,大西洋赤道外的热带海域,经、纬向风的年际变化都较弱。

3.3 热带三大洋 SSTA 变率的时空特征分析

为进一步研究三大洋 SSTA 变化的时空特征,分别对上述滤波后的三大洋 SSTA 时间上的中心化以后进行主因子分析,并对因子轴进行极大方差的正交旋转。这就是旋转主因子或旋转主分量(RPC)方法^[9-12]。RPC 展开后,对应每个旋转主因子,其时间序列也称旋转主分量,是标准化的时间序列且不同的 RPC 时间序列相互正交;而空间型,又称因子荷载,几何意义为时空变量在主因子轴上的投影;解释方差反映了 RPC 时间序列在整个时空场中平均所占的方差比例。为研究表面风场距平与特定的 RPC 分量的相关,计算了距平风场在 RPC 上的投影。投影场有如下性质:同一模态中的投影场和相关场的空间分布十分相似,最大正值月份异常风场与投影场很相似,而最大负值月份异常风场则与投影风场的风向相反^[12]。

3.3.1 太平洋

太平洋前两个 RPC 分量(图4)解释方差之和达53%。第一模态占绝对优势,其解释方差为45.8%,空间型为赤道东太平洋型,其最大中心在赤道东太平洋对应于 Nino 3区,最大值达1.2,约占该域均方差值(见图2)的92%,取平方得到中心区的最大解释方差为85%,其西部由赤道向东北与东南高纬延伸的海域为弱的负值区;根据对应时间序列的峰与谷可确定赤道东太平洋冷暖事件的发生情况,从图中看出20世纪80年代的振幅较大,1990~1996年振幅很小而频率变高,反映了年代际变化的特点,图中显示1997~1998年暖事件的振幅达到最大值。第二模态的解释方差为7.7%,空间型为赤道中太平洋型,中心对

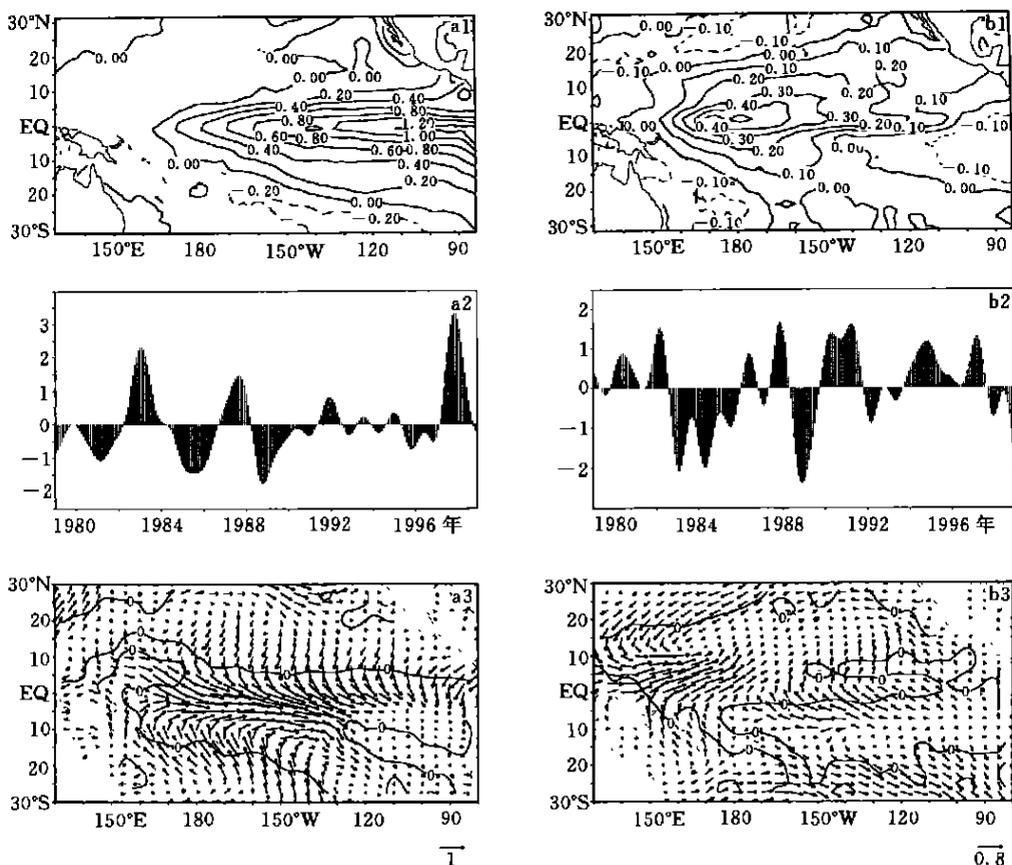


图4 太平洋 RPC 分量空间模(单位: $^{\circ}$)、时间序列和距平风场的投影(单位: m/s)
(a. RPC-1, b. RPC-2; 风场中的0等值线表示水平散度为零)

应于 Niño 4区, 最大数值为0.5, 中心区解释方差达69%, 与其东部的南美沿岸呈负相关分布。从第二模态的时间序列可见, 80年代赤道中太平洋冷暖交替比较规则, 而1990~1996年间除1992~1993年的弱负距平外均处于暖态之中。与 RPC1时间序列相比可以看出, 1979~1990年间和1997~1998年的 El Niño 事件以第一模为主, 而1990~1996年的 El Niño 事件以第二模为主。

各 RPC 分量对应的距平风场投影可见, 第一模为赤道西风型, 即赤道东太平洋 SSTA 增暖达最大时, 赤道上以纬向距平风为主, 赤道中太平洋为偏西风距平, 中心略偏于南侧, 赤道外南北两侧以经向风为主向赤道区辐合, 东太平洋南侧距平风则很小, SST 正距平区域对应于异常风辐合区。第二模为中太平洋辐合型, 当赤道中太平洋 SST 正距平最大时, 赤道附近在日期变更线以西为偏西风距平, 日期变更线以东为偏东风距平, 赤道以北至30°N 间为海盆尺度的气旋式环流, 赤道以南的东南太平洋为反气旋式辐散区, 中太平洋 SST 正距平区正对应于异常风的辐合区。

3.3.2 印度洋

印度洋的前2个 RPC 的解释方差分别为16.9%和12.7%, 与太平洋不同, 没有占绝对优势的模态, 说明印度洋 SSTA 的变化比较复杂。由图5可见, 第一空间型场上符号完全

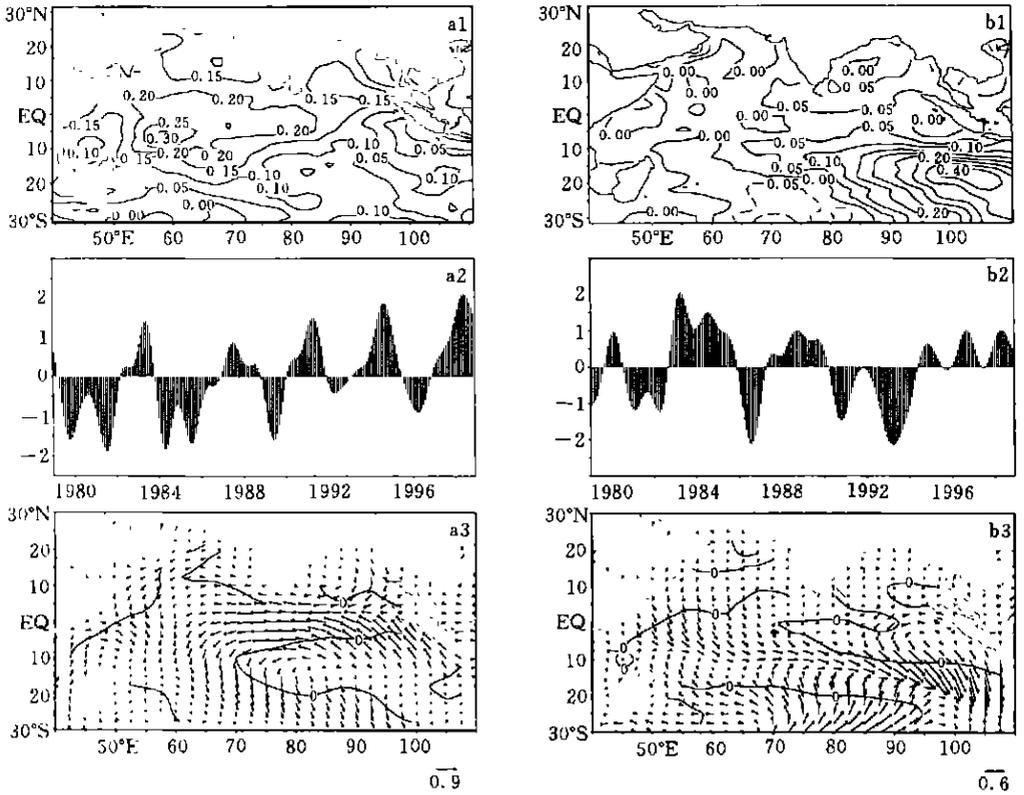


图5 印度洋 RPC 分量空间模(单位:)、时间序列和距平风场的投影(单位: m/s)

(a. RPC-1, b. RPC-2; 风场中的0等值线表示水平散度为零)

一致,反映了整个热带印度洋面上与赤道海温一致的海温变化,最大中心在赤道西部偏南,数值达0.3以上,中心区解释方差为64%以上,可称为赤道印度洋型。第二空间型为热带东南印度洋型,高值区约占热带印度洋面积的1/4,中心最大为0.4以上,中心区解释方差达81%,其余范围内数值都很小。在 SSTA 的均方差图上(图2)可以看到相应位置也有一极大值中心,因此该型反映热带东南印度洋 SSTA 的变化。比较多个 RPC 空间型的分布可见,热带印度洋 SSTA 的变化只有一个赤道型,另外还有多种中低纬型(图略),尽管有一些中低纬型的中心区变化幅度比赤道型大,赤道型的影响范围却是最大的。因而就热带印度洋大范围 SSTA 的变化而言,赤道型是最主要的模态。

RPC 的时间序列显示 RPC1 与 RPC2 的频率与太平洋的相近,也具有年代际变化的特点,1990 年以前约 4 a 一次冷暖交替,赤道印度洋的冷态偏强,1990 年以后赤道印度洋 SST 正距平强而负距平却较弱,而热带东南印度洋前 4 a 均处于负距平,后 5 a 都为正距平。从印度洋 RPC1 与太平洋的前两个 RPC 时间序列可以看出,1990 年以前及 1996 ~ 1998 年间印度洋出现的冷暖事件时间与太平洋 RPC1 完全一致,而该期间太平洋 SSTA 以 RPC1 为主,1990 ~ 1995 年间印度洋出现的冷暖事件与太平洋 RPC2 完全一致,期间太平洋 SSTA 也以 RPC2 为主。这说明作为热带印度洋最主要的模态——赤道印度洋型,其 SSTA 的演变是与赤道太平洋冷暖事件变化密切联系的。从图1也可看出,赤道印度洋与太平洋

几次冷暖事件的发生时间是相近的。

距平风场在 RPC1 的投影显示,赤道西印度洋 SST 为正距平时,赤道中东印度洋有大范围的强东风距平,南北范围为 $10^{\circ}\text{N} \sim 10^{\circ}\text{S}$ 之间,其西部为弱西北风距平,距平风辐合中心与 SST 正距平中心一致。与 RPC2 相关的距平风场主要特征是赤道以南 10°S 附近有一个较强的西-西北风距平带,其南侧的中部海域有较强的南风距平, SST 正距平中心对应于距平风辐合区。

3.3.3 大西洋

大西洋前2个 RPC 的解释方差分别为 24.8% 和 23.8%,图6中第一型为北大西洋型,分布于赤道以北至 30°N 之间海域,其数值大小和分布型式与图2中对应的区域非常相近,中心区解释方差高达近 100%。第二型为赤道东大西洋型,分布于赤道东大西洋及其东南侧海域,中心区解释方差达 81%。第三型(图略)为南大西洋型,解释方差为 14.1%,分布于热带大西洋西南部,中心区解释方差也达 81%。这3个空间型与图2的3个高值区位置一致,表明这前3个 RPC 已能概括热带大西洋 SST A 变化的特征。

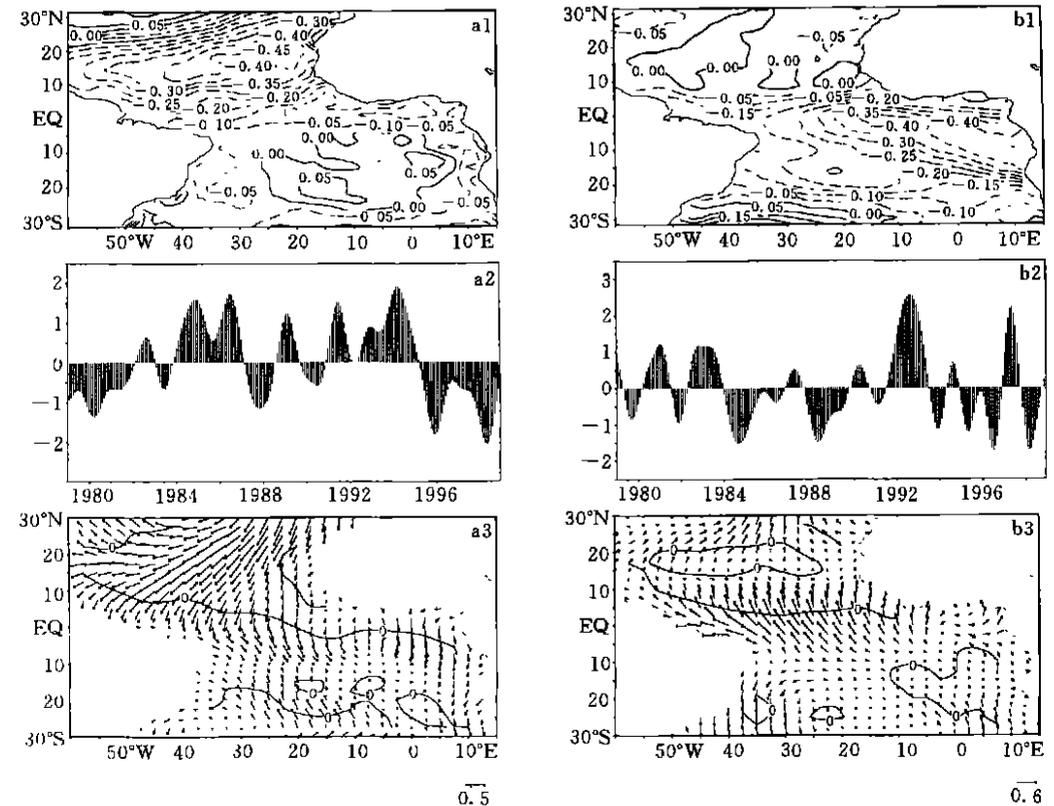


图6 大西洋 RPC 分量空间模(单位:)、时间序列和距平风场的投影(单位: m/s)

(a. RPC-1, b. RPC-2; 风场中的0等值线表示水平散度为零)

从各 RPC 的时间序列可以看出, RPC2 与未滤波的赤道大西洋 SST A 随时间变化(图1)完全一致,代表了赤道中东大西洋 SST A 变化的主要特征。大西洋 SST A 变化的两个主要模态,幅度相当,其频谱特征与太平洋和印度洋相似。

距平风场的投影显示,北大西洋海温为负距平时,该海域内为东到东北风距平辐散区,风速较大,其南侧为西北风与东南风距平的辐合区,风速较小。赤道东大西洋为负距平时,赤道中西大西洋为较强的东-东南风距平,赤道附近距平风辐散;反之,赤道东大西洋 SST 正距平时,赤道中西大西洋有较强的西-西北风距平,赤道附近距平风辐合。

通过上述分析发现,热带三大洋 SSTA 的空间型中均有赤道型。从解释方差来看,赤道太平洋型是热带太平洋中占绝对优势的空间型,赤道印度洋型与赤道东大西洋型在各自的热带大洋中方差贡献分别占第一、二位,同时赤道外空间型分量的贡献也很大。说明对于热带印度洋与大西洋影响其海温变化的因子可能要更复杂。三大洋中与各空间型 SST 正距平区对应的距平风场均为辐合型,负距平区为辐散型;赤道太平洋暖(冷)事件表现为赤道中东太平洋 SSTA 正(负)距平,对应低层距平风场的特征是中西部较强的西(东)风距平,赤道印度洋 SSTA 暖(冷)距平中心在西部,对应的低层距平风场特征为东部的中东印度洋有较强的东(西)风距平,赤道大西洋 SSTA 暖(冷)距平中心在中东大西洋,对应的低层距平风场特征为赤道中西部的西-西北(东-东南)风距平。

4 热带 SSTA 与 ENSO 的相关特征

4.1 同时相关性

为了找出热带三大洋 SSTA 变化的内在联系,特别是热带印度洋和大西洋在 El Niño 和 La Niña 期间的关系特征,对上述滤波后的热带三大洋 SSTA 作时间上的标准化以消除不同空间点的方差影响,再联合进行 RPC 分析,这样得到的 RPC 分量的空间型代表了原时空变量与 RPC 时间序列相关系数的空间分布。各 RPC 的时间序列变化趋势是与空间场上最大相关区域的 SSTA 平均值时间序列一致的。图7为 RPC1与 RPC3的空间型与时间序列,解释方差分别为19.2%和8.6%,这两个 RPC 分量的太平洋部分与3.3.1中的太平洋前2个 RPC 分量几乎完全一致,而太平洋的 RPC1,2是 ENSO 的两个模式,所以两

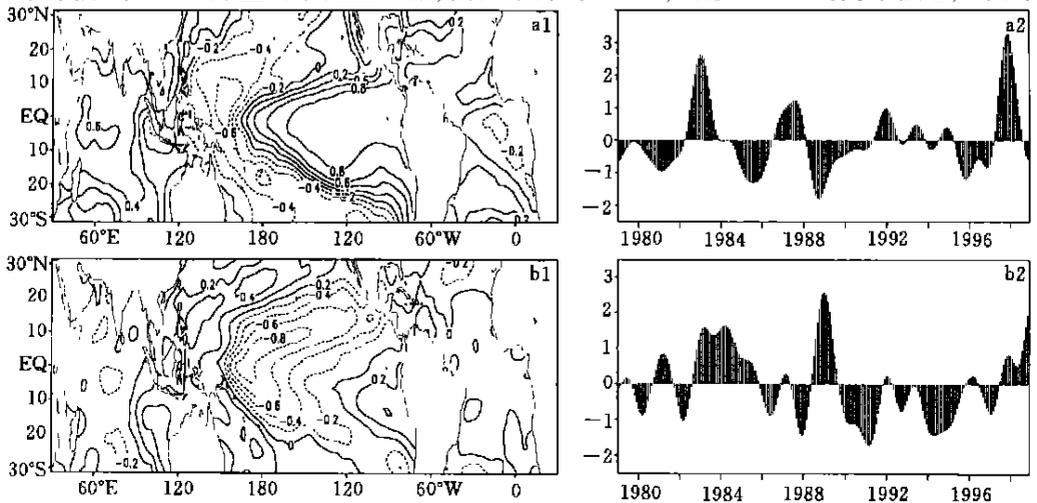


图7 热带 SSTA 标准化后的 RPC 分量空间模和对应的时间序列

(a. RPC-1, b. RPC-3)

个空间场中的相关系数分别反映了太平洋不同区域的 ENSO 信号与三大洋的同时相关特征。

RPC1的空间型显示,最大相关区在赤道东太平洋 Nino 3区附近达到0.8,由赤道西太平洋向南北两侧的东太平洋延伸的海域为负相关区;整个印度洋海区为正相关区,可以看出,印度洋的空间分布与3.3.2节中印度洋 RPC 的第一空间型一致,说明以赤道附近为中心的整个热带印度洋 SSTA 的变化与赤道东太平洋 SSTA 之间有很强的正相关性;在赤道东大西洋是弱的负相关区,两侧高纬的大西洋均为弱的正相关区。上述相关均达到信度为99%的显著水平,该空间型表明了三大洋间的同期相关关系,即赤道东太平洋海温异常升高达最强时,对应印度洋 SST 为正距平,而赤道东大西洋 SST 为负距平。注意到 RPC1的时间序列与同样滤波后的 Nino 3指数曲线(图略)几乎完全重合,即 RPC1的空间场与用 Nino 3区的 SSTA 对三大洋求相关的结果应是完全一致的。RPC 方法的优越性就在于,直接从三大洋 SSTA 本身出发,自动找出关键区,不需预先定义指数,而得到相关场,同时还能得到方差贡献百分率。

RPC3的空间型显示,最大相关区赤道部分在中太平洋 Nino 4区附近,并于南北两侧向东延伸,中心最大达到-0.8,在关键区的西北、西南部太平洋、太平洋南美沿岸以及印度洋的东南部,分别有几处较强的与关键区成负相关的中心;在印度洋的大部分海域以及大西洋北部海域与关键区成弱的正相关关系,赤道大西洋则无显著的相关。这表明当赤道中太平洋海温异常升高达最强时,对应南美沿岸的东太平洋及东南印度洋海温均为负距平,而大范围的西印度洋 SST 为正距平。注意到该空间型中印度洋部分的分布型与3.3.2节中 RPC2的空间型相似,说明印度洋赤道外海温异常的重要模态即东南印度洋 SSTA 的变化是与赤道中太平洋 SSTA 的变化密切相关的。

4.2 时滞相关分析

三大洋联合 RPC 分析得到的是同时相关关系。上述分析表明,热带印度洋 SSTA 的变化与同期热带太平洋有较强的相关,而热带大西洋 SSTA 的变化与同期热带太平洋的相关性较弱。为全面了解三大洋 SSTA 及其相关性的演变特征,不仅需要三者之间的同期相关性,还需了解时滞相关的特征,为此分别计算了解释方差最大的 RPC1的时间系数与三大洋 SSTA 间的超前与落后相关系数,和三大洋纬向风距平在 RPC1上的时滞投影关系。

图8为 SSTA 由超前 RPC1的时间系数36个月至落后36个月的相关场在赤道上的时滞-相关系数剖面。图中显示赤道印度洋在落后于赤道东太平洋3个月左右时正相关达到最大,赤道大西洋在超前于赤道东太平洋6个月左右时负相关达到最大,两个最大相关区的绝对值都达到0.6以上,这说明赤道印度洋和赤道大西洋与赤道东太平洋 SSTA 的相关是同样显著的。从图中可见赤道大西洋落后于赤道东太平洋18个月左右有最大正相关, Tourre 等^[6]的研究指出,大西洋 ENSO 信号落后于太平洋 ENSO 主模态约18个月,这与此处结论是一致的。图中还可看出赤道东太平洋与前期(约超前15个月)的赤道中太平洋 SSTA 有显著的正相关,如此即将 RPC1与 RPC3联系起来;从图中出现相邻的两个负相关的时间间隔,可以发现与 ENSO 相关的三大洋赤道 SSTA 变化的平均周期也是相近的,分别为印度洋45个月,太平洋48个月,大西洋45个月。

纬向风距平由超前 RPC1的时间系数36个月至落后36个月的投影场在赤道上的时滞-投影剖面图(图9)显示,纬向风距平在赤道印度洋和大西洋均与赤道太平洋成反相关关

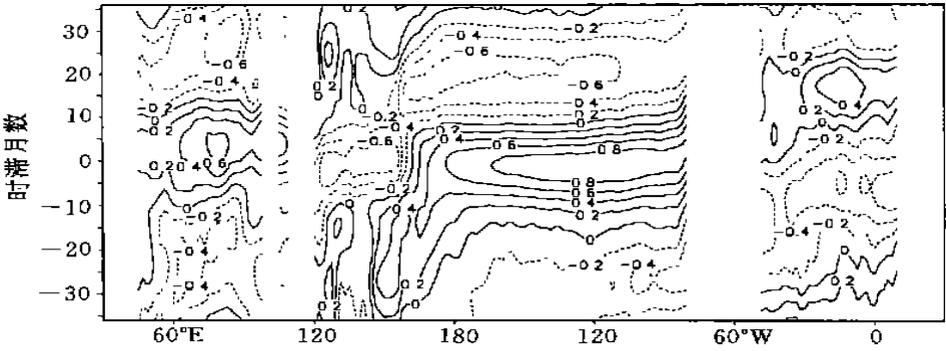


图8 三大洋 SSTA 与 RPC1 的时间系数的时滞相关场在赤道的时滞-相关系数剖面
(纵坐标中正值表示 SSTA 超前 RPC1 的时间系数, 负值表示 SSTA 落后 RPC1 的时间系数)

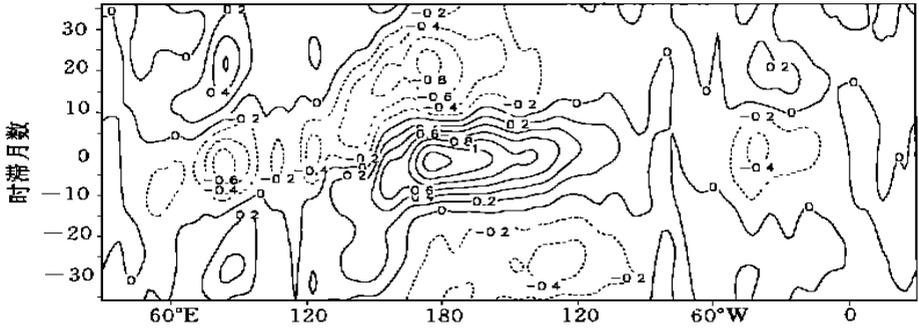


图9 三大洋纬向风距平与 RPC1 的时间系数的时滞投影场在赤道的时滞-纬向风距平投影剖面
(纵坐标小于0表示纬向风距平超前 RPC1 的时间系数, 大于0表示纬向风距平落后 RPC1 的时间系数)

系。当太平洋 ENSO 暖位相时, 赤道太平洋为西风距平, 赤道印度洋和大西洋均为东风距平, 此时, 印度洋 SST 为正距平, 大西洋 SST 为负距平; 由 3.3 节的分析可知, 三大洋这种纬向风距平与 SSTA 的分布是一致的。赤道太平洋与印度洋纬向风距平同时达到最大值, 而赤道大西洋纬向风距平则略有滞后。与 SSTA 比较发现, 赤道太平洋的纬向风距平与 SSTA 两者位相几乎一致, 赤道印度洋的纬向风距平超前于 SSTA 约 6 个月, 而赤道大西洋纬向风距平落后于 SSTA 约 6 个月。可见, 三大洋的海气相互作用机制可能是各不相同的。从数值大小来看, 太平洋无论是 SSTA 还是纬向风距平都是三大洋中最强的。

4.3 热带印度洋和大西洋 SSTA 与 ENSO 相关分量的方差贡献特征

为了解热带印度洋和大西洋 SSTA 的 ENSO 相关分量的空间分布特征, 分别计算了热带印度洋 SSTA 在落后于三大洋 RPC1 时间系数 3 个月的投影和热带大西洋 SSTA 在超前于 RPC1 时间系数 6 个月的投影(图略), 图中热带印度洋的高值区分布于近赤道海域, 数值达 0.15 ~ 0.2; 热带大西洋的高值区分布于赤道东部海域数值约为 -0.15 ~ -0.4。两大洋 ENSO 分量的均方差与图 2 的均方差比率的平方即为 ENSO 相关分量的方差贡献, 结果(图 10)表明热带印度洋在赤道附近方差贡献最大, 中部在 40% 以上, 在热带印度洋海域内平均为 14%; 热带大西洋的最大区在赤道中东大西洋, 最大达 40%, 在热带印度洋海域内平均解释方差达 12%。

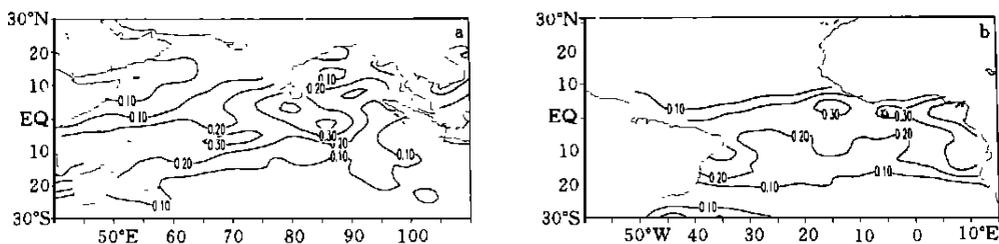


图10 热带印度洋与大西洋 ENSO 相关分量的方差贡献分布

(a. 印度洋, b. 大西洋)

5 结论与讨论

通过上述分析得到以下几点结论:

(1) 大西洋和印度洋 SST A 具有类似太平洋冷暖事件的冷暖过程,与太平洋相比大西洋和印度洋的冷暖过程比较弱,出现频次与太平洋相似,但高频分量比较多。对 SST A 及距平风场低通滤波,滤去年以下的高频信号以突出年际变化的信号,通过方差分析得到了热带三大洋年际变化的分布特征。热带三大洋海表温度年际变化强度分布不均,太平洋最强,其最大数值约为其它两大洋的3倍。表面风场的年际变化是太平洋最强,印度洋其次而大西洋最弱。海表温度年际变化强度在三大洋的分布各有特色,最强区的分布,太平洋主要在赤道中东部,印度洋在东南部海域,大西洋在赤道东部及赤道外的南北两侧共3块强度相当的区域。

(2) 热带三大洋 SST A 的主要空间型中均有赤道型。赤道东太平洋型是热带太平洋中最强的空间型,赤道印度洋型与赤道东大西洋型在各自的热带大洋中的方差贡献与赤道外型相当,这是与热带太平洋有显著区别的。赤道太平洋暖(冷)事件表现为赤道中东太平洋 SST 正(负)距平,对应低层距平风场的特征是西部较强的西(东)风距平,赤道印度洋 SST 正(负)距平中心在西部,对应的低层距平风场特征为东部的中东印度洋有较强的东(西)风距平,赤道大西洋 SST 正(负)距平中心在中东大西洋,对应的低层距平风场特征为赤道中西部的西-西北(东-东南)风距平。

(3) 三大洋间的同期相关关系为:当太平洋 ENSO 暖位相时,赤道太平洋为西风距平,赤道印度洋和大西洋均为东风距平,此时,印度洋 SST 为正距平,大西洋 SST 为负距平。赤道印度洋 SST A 在落后于赤道东太平洋3个月左右时正相关达到最大,赤道大西洋 SST A 在超前赤道东太平洋6个月左右时负相关达到最大;赤道大西洋纬向风距平略落后于赤道太平洋与印度洋。赤道太平洋的纬向风距平与 SST A 两者位相几乎一致,赤道印度洋的纬向风距平超前于 SST A 约6个月,而赤道大西洋纬向风距平落后于 SST A 约6个月。说明热带三大洋的海气相互作用机制可能是各不相同的:太平洋的风场与海温相互作用,印度洋的 SST A 可能是由距平风场决定的,而大西洋的 SST A 决定了距平风场。从数值大小来看,太平洋无论是 SST A 还是纬向风距平都是三大洋中最强的。赤道印度洋与 ENSO 相关的分量对该海域海表温度年际变化的方差贡献最大达40%,区域平均解释方差为14%;赤道大西洋与 ENSO 相关的分量对该海域海表温度年际变化的方差贡献最大也达

40%, 区域平均解释方差为12%。

参考文献

- 1 王绍武. 气候诊断研究进展. 北京: 气象出版社, 1995, 344pp
- 2 Shukla J, Wallace J M. Numerical simulation of the atmospheric response to equatorial Pacific sea surface temperature anomalies. *J Atmos Sci*, 1983, 40(7): 1613 ~ 1630
- 3 倪允琪. 气候动力学. 北京: 气象出版社, 1993, 641pp
- 4 Mech G A. The annual cycle and interannual variability in the tropical Pacific and Indian Ocean. *Mon Wea Rev*, 1987, 115(1): 27 ~ 50
- 5 Houghton R W, Tourre Y. Characteristics of low-frequency sea surface temperature fluctuations in the tropical Atlantic. *J Climate*, 1992, 5(7): 765 ~ 771
- 6 Tourre Y M, White W B. ENSO signals in global upper-ocean temperature. *J Phys Oceanogr*, 1995, 25(6): 1317 ~ 1332
- 7 Kalnay E, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull Amer Meteor Soc*, 1996, 77(3): 437 ~ 471
- 8 Kaylor R E. Filtering and decimation of digital time series. Tech Note BN 850, Institute for Physical Science and Technology, University of Maryland, College Park, MD, 1977, 22 pp
- 9 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法. 北京: 气象出版社, 1990, 385pp
- 10 施能. 气象科研与预报中的多元分析方法. 北京: 气象出版社, 1995, 344pp
- 11 Horel J D. A rotated principal component analysis of the interannual variability of the Northern Hemisphere 500mb height field. *Mon Wea Rev*, 1981, 109(10): 2080 ~ 2092
- 12 吴国雄, 王敬方. 热带和热带外海表温度异常与低空环流特征比较. *气象学报*, 1996, 54(4): 386 ~ 397

THE INTERANNUAL VARIABILITY OF SEA SURFACE TEMPERATURE AND SURFACE WIND FIELD IN THE TROPICAL OCEANS AND THE CORRELATION WITH THE ENSO CYCLE

Yin Yonghong

(*Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093*)

Ni Yunqi

(*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081*)

Abstract

Utilizing the NCEP/NCAR reanalysis monthly data, and using filter and mean variance calculation, the interannual variability in sea surface temperature (SST) and 1000hPa wind field for the Pacific, Indian, and Atlantic Oceans is investigated for 20 years (1979–1998). The characters of time-space evolution in sea surface temperature anomaly (SSTA) for each ocean and corresponding wind anomaly field are attained using rotated principal component and projection analysis methods. Using the method of correlation analysis, the characters of three tropical oceans correlated with ENSO are investigated. The contemporary correlation between the SSTA in the Indian Ocean and the SSTA in the equatorial east Pacific is positive, and there is a weak anticorrelation between the SSTA in the equatorial east Atlantic Ocean and the SSTA in the equatorial east Pacific. The SSTA in the equatorial Indian Ocean lags by 3 months the dominant Pacific ENSO mode, and the SSTA in the equatorial Atlantic Ocean leads by 6 months the dominant Pacific ENSO mode when the positive correlation and the anticorrelation reach to the most. The component correlated with ENSO in tropical Indian Ocean and tropical Atlantic Ocean display much the same amount of total variance in each ocean i. e., 14% in the Indian Oceans and 12% in the Atlantic Ocean and the maximum is all above 40%.

Key words: The tropical Pacific, Indian and Atlantic Oceans, Interannual variability, ENSO.