

# 印度洋-太平洋暖池的变异研究\*

杨宇星<sup>1</sup> 黄菲<sup>1,2</sup> 王东晓<sup>2</sup>

(1. 中国海洋大学海洋环境学院海洋大气与气候实验室(OAC) 青岛 266100; 2. 中国科学院南海海洋研究所  
热带海洋环境动力学重点实验室(LED) 广州 510301)

**提要** 为了研究在何种时间尺度上定义研究印度洋-太平洋暖池(简称印-太暖池)更有意义,本文中应用功率谱等统计学方法,对印-太暖池的季节、年际及年代际变化特征进行了分析。结果表明,印-太暖池、东印度洋暖池(简称东印暖池)在季节变化上表现为单峰结构,而西太平洋暖池(简称西太暖池)则为双峰结构;在年际变化上印-太暖池和西太暖池表现出很强的3—6年变化周期,东印暖池则存在准两年的振荡周期;印-太暖池还存在10年以上的年代际周期振荡,特别是70年代中后期的年代际突变明显,而东印暖池的这种变化更为明显。由此可知印-太暖池的年代际变化与东印暖池、西太暖池年代际变化较为相似,季节和年际变化颇为不同,所以,在研究年代际尺度的问题上,定义并研究印-太暖池的意义更大,而在研究年际、季节尺度上的问题时东印暖池、西太暖池应分而视之。

**关键词** 印度洋-太平洋暖池, 季节变化, 年际年代际变化, ENSO

**中图分类号** P731

暖池又称“热库”、“暖堆”或“暖水库”,指的是热带太平洋西部和印度洋东部的暖水。它的变化不仅在热带海洋海气相互作用中举足轻重,而且在相当程度上影响着亚洲和太平洋地区的气候变化和自然灾害的形成。20世纪70年代后期,暖池出现年代际突变,“暖池研究”与“暖池”一起升温,成为众多学者关注的热点。近年来暖池研究在许多方面取得了很大的进展,尤其是对于西太平洋暖池(简称西太暖池)的研究。自80年代初首次将暖池变化同ENSO相联系,至今,暖池与ENSO二者之间的关系研究取得了很大的进展:不仅西太暖池表层海温的两年振荡同ENSO密切相关(张庆秋等,1994),而且西太暖池次表层海温异常变化信号的东传与ENSO的爆发关系更为密切(李崇银等,1999)。同时,关于西太暖池同西太平洋副热带高压的关系(翁学传等,1998)、同降水的关系(李万彪等,1998)、同东亚夏季风的关系

(黄荣辉等,1994b,c)等的研究都有较大的进展。但即便如此,暖池研究仍存在许多问题有待解决,有些甚至是基础性问题。首先,对暖池的定义,迄今为止仍没有完全统一的标准。就暖池温度的界定而言,就存在不同的取法,许多研究都以西太平洋海表面温度高于28作为西太暖池的定义(Wyrtki,1989;翁学传等,1998;张启龙等,1997;赵永平等,2002;李万彪等,1998,1999);周春平等(1998)和李克让等(1998)曾将西太和东印度洋暖池合称为大洋暖池,并使用了28和29度两种指标研究了大洋暖池的变化及成因,发现两种指标下得到的大洋暖池季节变化规律不相同;国外不少学者采用28.5作为暖池的指标(Webster *et al*,1992;Wang *et al*,2001),指出采用28.5这个指标,不仅因为该温度能形成一个热带闭合的暖水域,而且它对热带对流的组织有重要影响(Graham *et al*,1987)。另外在西太暖池的研

\* 国家重点基础研究发展计划项目,2006CB403603号;国家自然科学基金项目,40305009号;国家自然科学基金重点项目,40233033号。

通讯作者:黄菲,副教授,E-mail:huangf@ouc.edu.cn

收稿日期:2006-01-07,收修改稿日期:2007-03-26

究中,也有取固定区域作为暖池区,例如李崇银等(2000)采用  $10^{\circ}\text{S}$ — $10^{\circ}\text{N}$ ,  $140^{\circ}\text{E}$ — $180^{\circ}$  范围的区域,而黄荣辉等(1994a)则采用  $0^{\circ}$ — $16^{\circ}\text{N}$ ,  $125^{\circ}$ — $145^{\circ}\text{E}$  范围的区域。对于上述不同定义的暖池,分析结果也不尽相同,使得许多研究工作重复,但同时又使得一些研究工作得出的成果缺乏代表性,从而使一些问题得不到统一的认识。其次,关于暖池指数。为了表征暖池的变化特征,一般采用某一温度包围的区域(或某一固定区域)面积作为暖池指数,从暖池的基本物理意义而言,暖池应该指大于某一温度的暖水的水体,因而单纯采用一种面积指数是否具有很好的代表性值得进一步确认。再次,关于西太暖池和东印暖池的关系,除周春平等(1998)将西太和东印度洋暖池合称为大洋暖池进行过部分的研究外,较少有文献专门对此进行讨论,一般都将此两个暖池分开研究。近来有学者提出东印度洋暖池和西太平洋暖池可视为同一个系统进行探讨,但周春平等(1998)并未详细地比较三个暖池之间的季节和年际变化关系,因此有关这一问题还值得进一步的研究。

综上所述,本文将就以下几个方面展开工作:首先选用表层海温大于  $28.5$  的海域来定义暖池,正如 Wyrski(1989)所指出的,如果采用海温  $25$  作为界定暖池的临界温度,则整个太平洋只有一个暖池,且南北季节性扩展范围过大,而选用  $29$  定义的暖池则太小,有时甚至会消失,因此许多学者采用  $28$  等温线作为实用的折衷办法来确定西太平洋暖池的界线,但基于热带对流启动的基本温度阈值(Graham *et al.*, 1987)及其与海洋上混合层深度之间的关系(Wang *et al.*, 2001),选用  $28.5$  作为界定暖池的标志更具有海洋学的意义。在 Graham *et al.* 的研究中指出:热带对流启动所要的基本海表温度为  $27.5$ ,而在当海面温度达到  $28.5$  时对流达到最深,在此之后海表温度更大时对流强度反而减弱。Wang 等(2001)在研究中指出,  $28.5$  温度对应的海洋深度与海洋上混合层深度和接近。基于这两个方面的原因本文中作者选择了  $28.5$  最为界定暖池的指标。其次本文除定义了暖池研究中经常使用的暖池面积指数外还提出了暖池体积指数和强度指数的定义,并对其进行了系统的分析,从多层面多角度对暖池的变化特征进行研究,并在此基础上研究了东印暖池、西太暖池及其总体——印-太暖池的变异

以及相互之间的关系。

## 1 资料与方法

本文中所有的海洋资料主要采用美国 Woods Hole 海洋研究所黄瑞新教授提供的海洋同化资料集 SODA(the Simple Ocean Data Assimilation)的版本 7(Version #7),该版本资料的详细信息见参考文献 Carton(2000a, b)。该资料提供了从 1950 年 1 月到 1999 年 12 月共 50 年的月平均海洋温、盐、流等多个海洋要素的非均匀格点资料,其范围包括南北纬  $60^{\circ}$  之间的全球海洋。水平分辨率纬向为  $1^{\circ}$ ,经向却不等间隔,在赤道附近纬度间隔最小,约  $0.43^{\circ}$ ,而越向高纬度则分辨率越粗,最大纬度间隔达  $1.02^{\circ}$ 。垂直方向上分为不等间距的 20 层,越接近海表面分层越细,最上层为  $7.5\text{m}$ ,最深可达  $3622.5\text{m}$ ,因此文中所提到的海表面温度均指最上层  $7.5\text{m}$  深度上的海温。

全文应用小波分析、功率谱分析等方法对资料进行处理分析。

## 2 暖池指数定义

基于前人的研究暖池的主要指标为面积指数,作者定义了包括面积指数在内的三个暖池指数作为研究印-太暖池变化的基本指标以期更全面的对暖池进行研究,它们是面积指数、体积指数和强度指数。根据热带对流启动的基本温度的研究,选择  $28.5$  等温线作为三个指数的标识。面积指数是指海表层  $28.5$  等温线所围区域包含格点的数目;而体积指数则是用海区内各层温度大于  $28.5$  暖水团所包含的总的格点数来表示;至于强度指数是选取海表层温度大于  $28.5$  所有点的平均温度作为指标来表征印-太暖池的强度变化。

在对暖池的各指数特征分析之前,首先给出  $28.5$  等温线所定义的暖池多年(1950—1999)平均所在位置,及其位置随季节变化所能达到的最北点和最南点,如图 1 所示。由图 1 可以看出,3 月份暖池的位置最南,且暖池在南海出现豁口,与 Liu 等(2004)所研究南海暖池冬季冷舌豁口的演变发展正好吻合。最北端位置出现在 8 月,面积也较大,南海暖池也包括其中。正如贾英来等(2000)所论及的南海暖水的季节变化特征,南海暖水在 7—9 月份正处于维持阶段,暖水体暖且厚,使印-太暖池直观上连为一体。本文中作者指

出,南海暖池的季节变化对印-太暖池的定义意义重大,因为正是南海暖池的季节变化,也即冬季南海冷舌的存在使得印-太暖池在冬季并不相通,而在其他季节则表现为整团的暖水。

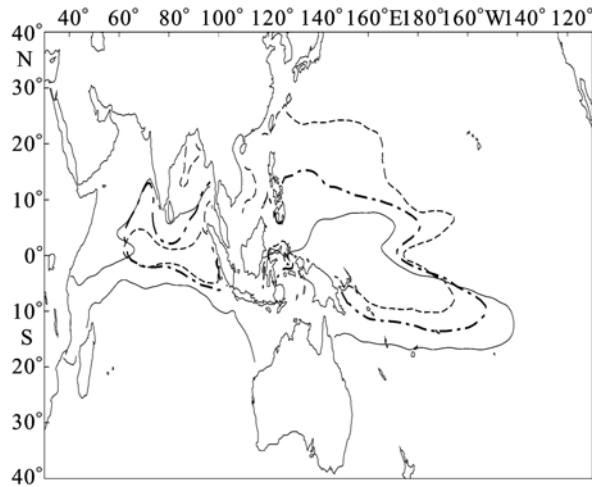


图1 以 28.5 等温线为界的暖池(细实线: 50 年平均的 3 月 28.5 等温线; 虚线: 50 年平均的 8 月 28.5 等温线; 点虚线: 50 年年平均 28.5 等温线)

Fig.1 The warm pool that defined by the area with SST higher than 28.5 (thin solid line denotes the 50 years mean location of 28.5 isotherm in March, dashed line denotes the 50 years mean location of 28.5 isotherm in August, dot-and-dash line denotes the 50 years mean location of 28.5 isotherm)

### 3 结果分析

初步分析印-太暖池、西太暖池、东印暖池在三个指标(面积指数、体积指数、强度指数)下变化特征,发现在三种指数下的暖池均有明显的季节变化,同时还存在较为明显的年际差异。印-太暖池、西太暖池以及东印暖池的面积指数和体积指数都有相似的变化规律,且西太暖池与东印暖池似乎有反位相的季节变化规律,而暖池强度的变化则有所不同,印-太暖池和西太暖池的强度变化较为一致,且强度较强;东印暖池的强度变化年际差异最大,且强度较弱。下面将分别讨论印-太暖池、西太暖池、东印暖池的季节及年际变化。

#### 3.1 季节变化

研究表明三个暖池(印-太、东印、西太)在不同的指数(面积指数、体积指数、强度指数)下有大致相同的季节变化规律,因此这里只代表性给出暖池体积指数随季节变化的曲线,如图 2。由于西太暖池季节变化振幅很小,图 2 采取了双

坐标。左侧是印-太暖池和东印暖池的坐标,右侧坐标取值范围较小,西太暖池季节变化以此坐标为准。在这种坐标下,西太暖池的双峰结构得以放大,但其振幅变化幅度远小于印-太和东印暖池季节变化的振幅。

从图 2 中可以发现,印-太暖池在季节变化中有明显的单峰结构,无论是面积指数、体积指数还是强度指数这一特征均表现得很突出。从春季开始,印-太暖池从面积、体积和强度上均开始迅速的扩大(或增强),大约在 5 月份前后达到最大值,其后以略缓于前面增长速度的趋势缩小(或减弱),最低值一般出现在 2 月前后,这在很大程度上与东印暖池的季节变化相似。东印暖池也存在类似的单峰结构的季节变化。春季,暖池的面积、体积、强度均开始增大(或再强),在 5 月份左右达到最大值,其后缓慢下降,在 1 月份前后降到最小值。与东印暖池不同,西太暖池的季节变化非常弱,主要表现为双峰特征,即在春季三个指数的指标(面积、体积、温度强度)均开始增大(或变强),分别在 6 月前后和 11 月前后达到峰值,其中 11 月份的值更大一些,其后缓慢减小(或减弱),在二三月份到最小值。

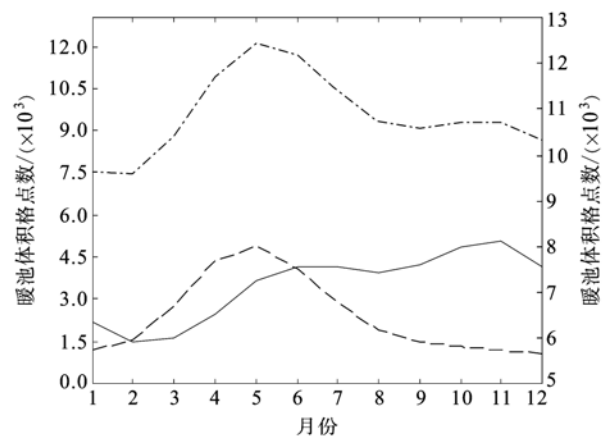


图 2 体积指数下三个暖池的季节变化曲线。(点虚线: 印-太暖池; 实线: 西太暖池; 虚线: 东印暖池)  
Fig.2 The seasonal variation of the -PWP (dot-and-dash line), WPWP (solid line), and EIWP (dashed line). The left axis for the -PWP and the EIWP, and the right one for the WPWP

注: 纵坐标为暖池体积格点数,其中,左侧坐标对应于印-太暖池和东印暖池,右侧坐标则对应于西太暖池

总体而言,作为总的暖池的印-太暖池,在季节变化上主要体现了东印暖池的单峰特征,西太暖池由于其季节变化的振幅太弱而对印-太暖池

季节变化的贡献不大, 其双峰结构仅在印-太暖池季节变化的下半年略有体现, 即在 10、11 月 印-太暖池变化曲线有一个极弱的双峰波动出现。印-太暖池的季节变化特征并没有反应其占更大面积的西太年暖池的季节变化特征, 而更大程度上反映了东印暖池的季节变化情况, 这可能是因为相对东印暖池, 西太暖池的季节变化幅度要小得多。同时进一步证实研究印-太暖池是十分有必要的。

### 3.2 年际、年代际变化

为了研究暖池的年际、年代际变化特征, 对上述三种暖池指数的时间序列曲线进行距平化处理, 即去掉其季节变化的影响, 同时为了便于比较, 还对距平序列进行了标准化处理。图 3 为印-太暖池标准化后的三种暖池指数的距平时间序列。从图 3 中可以看出印-太暖池无论从面积、体积还是强度上都存在明显的年际变化特征, 且面积指数与体积指数的变化更为一致, 二者之间的相关系数高达 0.9, 与强度指数的相关也达 0.7 以上(表 1), 远远超过了 99.9% 的置信度水平。

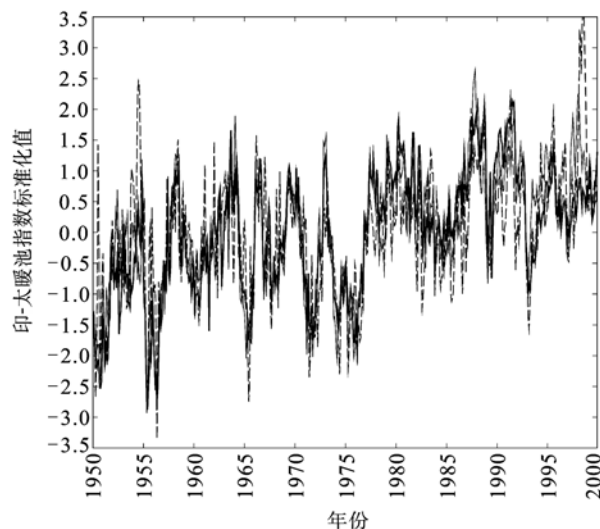


图 3 面积、体积、强度指数下印-太暖池 50 年标准化距平曲线变化图。其中, 纵坐标值为印-太暖池面积、体积、强度指数的标准化值(细实线: 面积指数; 粗实线: 体积指数; 虚线: 强度指数)

Fig.3 Time series of standardized anomaly for 50-year area index (thin solid line), volume index (thick solid line), and intensity index (dashed line)

连续功率谱分析结果表明, 印-太暖池和西太暖池有较为相似的一年际变化, 均存在 3—6 年和一年半的一年际振荡, 并存在 7 个月左右的季节内振荡, 如图 4a, b 所示。东印暖池与这两个暖池

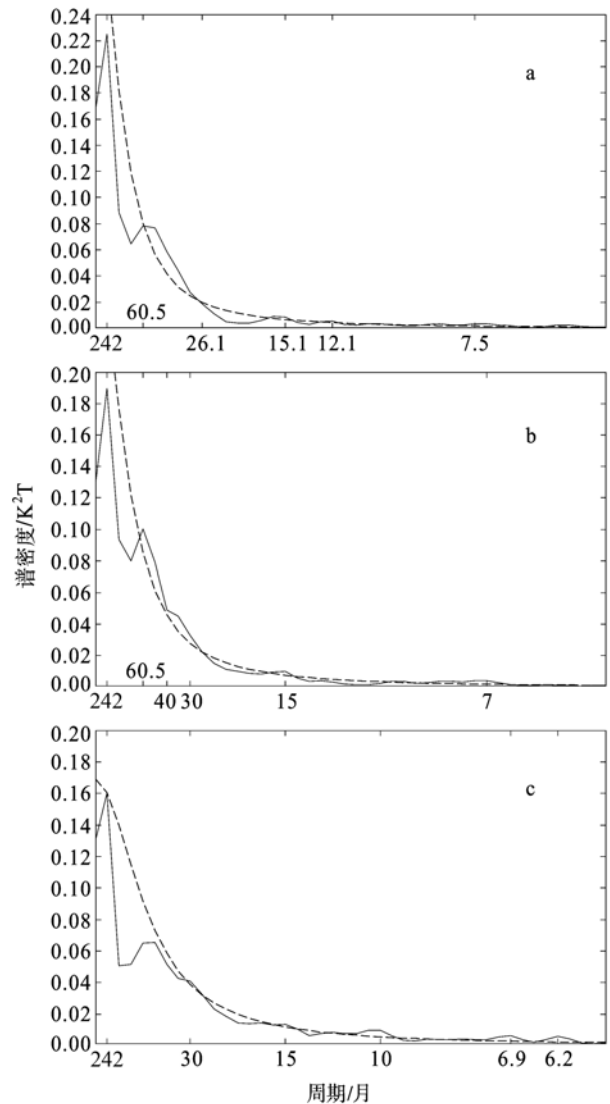


图 4 体积指数下印-太暖池(a)、西太暖池(b)和东印暖池(c)连续功率谱图(实线: 功率谱线, 虚线: 95% 的信度检验线)  
Fig.4 The power spectra (solid line) of the I-PWP (a), the WPWP (b), the EIWP (c) of the volume index. (The dashed line denotes 95% confidence level)

却不尽相同, 从图 4 中不难看出, 在东印暖池变化中存在一个 30 个月左右准两年的震荡, 及 10 个月和 6 个月左右的季节内震荡。

小波分析的结果更详细地体现了暖池的这种年际、年代际变化特征, 并能给出不同频域上暖池指数随时域变化的实部特征。三个暖池均存在明显年际振荡和 10 年以上的年代际振荡周期, 但不同尺度的振荡随时间的变化与功率谱分析的结果却不尽相同。在年际尺度上, 印-太暖池和西太暖池的变化较为一致, 在 1976 年以前主要以 3—6 年的振荡为主, 且振幅强度较强, 而在 1976 年之后则年际振荡的振幅减弱, 频率减小, 以 4—6 年周期为主; 而东印暖池的年际变化则有所

表 1 各指数之间的相关系数表  
 Tab.1 The correlation coefficients among warm pool indices and  $Ni\tilde{n}o3$  index

	<i>Iaip</i>	<i>Ivip</i>	<i>Iqip</i>	<i>Iapa</i>	<i>Ivpa</i>	<i>Iqpa</i>	<i>Iain</i>	<i>Ivin</i>	<i>Iqin</i>
$Ni\tilde{n}o3$	0.513(-5)	0.390(-6)	0.483(-7)	0.340(-5)	0.197(-6)	0.275(-9)	0.558(-5)	0.581(-6)	0.547(-6)
<i>Iaip</i>	1.000	0.897	0.712	0.880	0.756	0.573	0.868	0.820	0.595
<i>Ivip</i>		1.000	0.708	0.823	0.929	0.648	0.744	0.763	0.522
<i>Iqip</i>			1.000	0.597	0.559	0.796	0.671(+1)	0.712	0.843
<i>Iapa</i>				1.000	0.841	0.607	0.559(-4)	0.517(-4)	0.41(-10)
<i>Ivpa</i>					1.000	0.662	0.478(-1)	0.473(-1)	0.307(-10)
<i>Iqpa</i>						1.000	0.424(+2)	0.407(+2)	0.357(+1)
<i>Iain</i>							1.000	0.950	0.689
<i>Ivin</i>								1.000	0.760
<i>Iqin</i>									1.000

注: *Iaip*: 印-太暖池的面积指数; *Ivip*: 印-太暖池的体积指数; *Iqip*: 印-太暖池的强度指数; *Iapa*: 西太暖池的面积指数; *Ivpa*: 西太暖池的体积指数; *Iqpa*: 西太暖池的强度指数; *Iain*: 东印暖池的面积指数; *Ivin*: 东印暖池的体积指数; *Iqin*: 东印暖池的强度指数;  $Ni\tilde{n}o3$  指数; (+a): 第一列中的指数落后第一行中的指数  $a$  月达到最大相关; (-b): 第一列中的指数超前第一行中的指数  $b$  月达到最大相关

不同, 在 1962 年之前主要以 4—6 年的较低频振荡为主, 之后年际振荡振幅加强, 频谱变宽, 以 2—6 年的振荡为主, 准两年周期的明显则与前面功率谱分析的结果相一致, 反映了印度洋的季风特性。在年代际振荡尺度上, 三个暖池的周期较为一致, 主要表现为准 10 年和准 20 年的振荡周期(图略)。

进一步分析三个暖池的年代际变化规律, 通过分析强度指数下和体积指数下三个暖池 50 年标准化距平曲线, 发现暖池变化存在年代际跳跃, 就总趋势而言, 暖池变化存在体积增大、强度增暖的趋势。大约在 1976 年之后, 三个暖池在均有增暖性跳跃, 暖池体积也表现出跳跃性增大。相对而言, 在 1976 年之后, 暖池在体积上的变化要比其在强度上的变化更明显, 也就是说三个暖池在体积变化趋势上振幅更大。

### 3.3 各指数间的相关性

从前面的分析可以发现, 三个暖池指标在反映暖池的季节变化、年际年代际变化中均表现出了良好的一致性。印-太暖池和西太暖池的功率谱较为相似, 东印暖池则与它们有所不同。为了更进一步的研究各指标间和各暖池间的关系, 作者列出了三个暖池之间、三种指标间及它们与  $Ni\tilde{n}o3$  指数(指  $150^{\circ}W-90^{\circ}W, 5^{\circ}S-5^{\circ}N$  范围内海表面温度距平值的平均)的相关系数表(表 1)。

从表 1 中可以看出, 三个指数间(体积与面积,

体积与强度, 面积与强度)均是同时相关性最好, 且相关系数颇大, 尤其是体积与面积指数之间, 对于相同的暖池相关系数超过了 0.8, 强度指数与它们的相关性也超过了 0.6, 表明暖池变化在年际以上尺度上面积、体积及强度有较为同步的一致性变化特征。但各暖池之间在不同的指标下相关系数颇为不同, 除个别达到 0.8 以外, 一般均在 0.5 以下。另外, 西太暖池的体积和面积指数均超前东印暖池各指数数月达到最大正相关, 而其强度指数又均滞后东印暖池各指数数月达到最大正相关, 表明印-太暖池中暖水的体积和面积总是先从西太暖池发生变异, 之后可能通过印尼贯穿流, 影响到东印度洋的暖池变化, 而暖池强度指数的变化则相反。

### 3.4 暖池变异与 $Ni\tilde{n}o3$ 区指数之间的关系

以往的许多研究都表明, 西太平洋暖池的变化与热带东太平洋海温的关系密不可分(例如张庆秋等, 1994; 李崇银等, 1999), 但这些研究主要着眼于西太暖池区某一特定范围内海表面温度异常(SSTa)与东太海温的关系, 特别是与表征  $El Ni\tilde{n}o$  事件的  $Ni\tilde{n}o3$  指数之间的关系。图 5 给出了印-太暖池体积指数与  $Ni\tilde{n}o3$  指数的变化曲线, 从图 5 中可以看出, 印-太暖池的变化与  $Ni\tilde{n}o3$  区指数的变化有一定的一致性, 但往往落后于  $Ni\tilde{n}o3$  区指数几个月。

为了更进一步研究本文所定义的大范围的热带印-太暖池的变异与  $El Ni\tilde{n}o$  的关系, 分别对

印-太暖池各指数与 *Niño3* 区指数进行滞后相关分析(表 1), 结果表明, 无论是印-太暖池、西太暖池还是东印暖池的面积、体积或是强度的变化, 都滞后 *Niño3* 区指数半年左右(5—9 个月)达到最大正相关, 其中暖池的面积指数变化最早, 滞后 *Niño3* 区指数 5 个月, 体积指数则再晚一个月变化, 暖池强度的变化最慢, 且西太暖池的强度由于其暖池体积最大而变化最慢。另外, 尽管各暖池指数与 *Niño3* 区指数的相关性都通过了 95% 的置信度检验, 但东印暖池的变异与 *Niño3* 区指数相关性最高, 而西太暖池的变异则与 *Niño3* 区指数相关性最低。

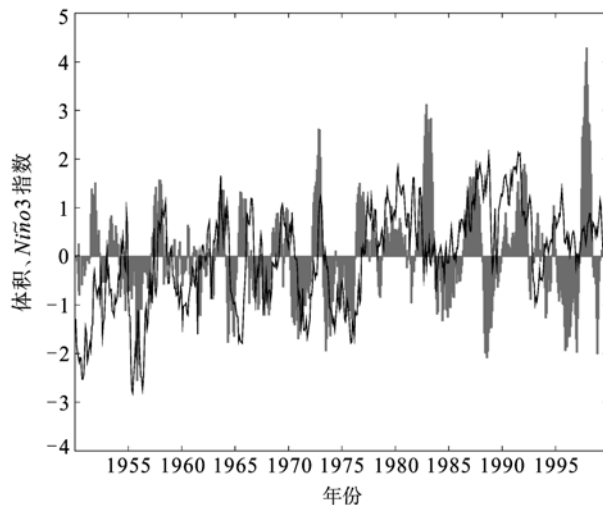


图 5 印-太暖池体积指数与 *Niño3* 指数变化曲线, 其中, 纵坐标值为印-太暖池体积指数, *Niño3* 指数的标准化值 (实线: 印-太暖池体积指数; 阴影: *Niño3* 指数)

Fig.5 The correlation between the volume index of the I-PWP (solid line) and the *Niño3* index (shaded bar)

上述结果表明, 印-太暖池的年际变化, 主要是对赤道中东太平洋 *Niño3* 区海温异常变化的一种响应, 响应的时间大约为半年。从暖池指数与印度洋—太平洋海区 SSTa 的相关分布(图 6)来看, 热带太平洋地区表现为类 *El Niño* 型的相关分布, 热带印度洋则为全区一致的海温分布, 负相关区主要在两大洋的中纬度地区及热带海洋大陆地区。同时注意到西太暖池区的东西部分呈相反的异常变化, 这与张启龙等(2001, 2003)研究的西太暖池区 SST 和热含量的空间分布特征相一致, 因而西太暖池总体的异常变化与 *Niño3* 区指数的相关性最差。

#### 4 结论与讨论

文中提出了三种表征印-太-暖池变化的指

数: 面积指数、体积指数和强度指数。研究表明, 三种指数间有良好的相关性, 尤其是面积指数和体积指数相关性尤高, 但是, 强度指数其所表达的意义与其余两个指数不同, 其与它们的相关系数也相对为低, 所以在选择表征暖池变化的指数时, 面积指数和体积指在一些情况下可以替换使用, 强度指数则应区别对待, 可视研究需要而定。另外, 由于暖池变化应是指整个暖水团的变化, 所以从物理意义更为明确的角度来看体积指数最为合理, 而面积指数又与体积指数的相关性很高, 因此实际应用中通常采用的面积指数则不失为研究暖池的一个很好的指标。

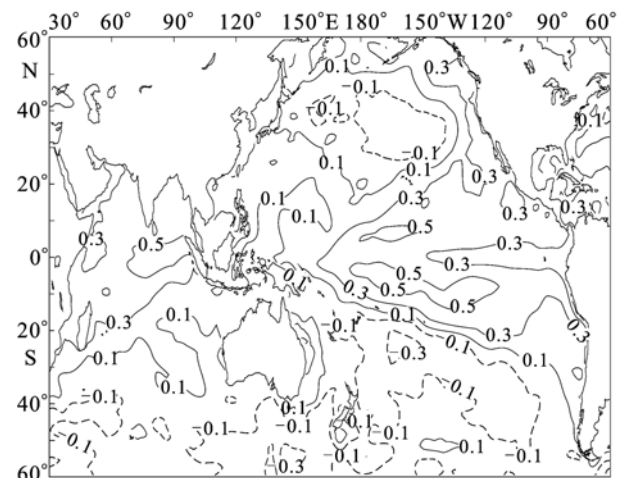


图 6 印-太暖池面积指数与印度洋—太平洋 SSTa 的相关分布图, 其中等值线均通过 95% 信度检验, 实线为正相关区, 虚线为负相关区

Fig.6 The correlation between the area index of the I-PWP and the SSTa of the India Ocean and the Pacific, in which all the contours pass the 95% confidence level, the solid line denotes positive correlation, the dashed line denotes negative correlation

印-太暖池、西太暖池和东印暖池都有年代际尺度变化上的周期, 且均存在强度增强体积增大得年代际跃变, 因此研究其在年代际尺度上问题可以视印-太暖池为一个整体的系统来研究, 但它们在年际、季节尺度上变化特征则有着很大的不同。首先, 在年际变化特征中, 虽然印-太暖池和西太暖池都具有明显一致的 3—6 年的准周期振荡, 但东印暖池却只有突出的一个 30 月左右的准两年震荡。而从季节变化来看, 东印暖池与西太暖池具有完全不同的季节变化特征, 且西太暖池的季节变化特征不显著。因此, 在研究年际、季节尺度的变化时则需分别对待, 印-太暖池的季节变化主要反映了东印暖池的季节变化。

印-太暖池在年际以上时间尺度上与 SSTa 的相关场在热带太平洋上呈类 *El Niño* 型的海表温度异常分布, 在热带印度洋上则为全区一致的正相关分布, 一般滞后于 *Niño3* 区指数半年左右达到最大正相关, 表明暖池区暖水的变化是对 *El Niño* 事件的响应, 且东印暖池的变化最强, 西太暖池由于其范围大、东西变化不一致而导致西太暖池整体变化与 *Niño3* 区海温变化之间的相关性最小。

### 参 考 文 献

- 张庆秋, 黄荣辉, 1994. 热带西太平洋海温变化及其与赤道东太平洋海温变化的关系. 热带气象学报, 110: 309—317
- 张启龙, 翁学传, 程明华, 2003. 西太平洋暖池海域热含量场的变异及其影响. 海洋与湖沼, 34(4): 389—396
- 张启龙, 翁学传, 颜廷壮, 2001. 西太平洋暖池海域 SST 的时空特征. 海洋与湖沼, 32(4): 349—354
- 张启龙, 翁学传, 1997. 热带西太平洋暖池的某些海洋学特征分析. 海洋科学集刊, 38: 31—38
- 李万彪, 周春平, 1998. 热带西太平洋暖池和副热带高压之间的关系. 气象学报, 56: 619—626
- 李万彪, 周春平, 1999. 热带西太平洋暖池对中国降水和沿海自然灾害的影响. 北京大学学报, 35: 675—681
- 李克让, 周春平, 沙万英, 1998. 西太平洋暖池基本特征及其对气候的影响. 地理学报, 53 (6): 511—519
- 李崇银, 2000. 气候动力学引论. 北京: 气象出版社, 515
- 李崇银, 穆明权, 1999. 厄尔尼诺的发生与赤道西太平洋暖池次表层海温异常. 大气科学, 23: 513—521
- 周春平, 李万彪, 1998. 大洋暖池特征变化和成因的研究. 北京大学学报, 34(1): 40—49
- 赵永平, 吴爱明, 陈永利等, 2002. 西太平洋暖池的跃变及其气候效应. 热带气象学报, 18(4): 317—326
- 翁学传, 张启龙, 颜廷壮, 1998. 热带西太平洋暖池及其与南方涛动和副热带高压的关系. 海洋科学集刊, 40: 35—40
- 贾英来, 刘秦玉, 孙即霖, 2000. 南海暖水的季节变化特征及数值模拟. 海洋与湖沼, 31: 354—362
- 黄荣辉, 孙凤英, 1994a. 热带西太平洋暖池和热状态及其上空的对流活动对东亚夏季气候异常的影响. 大气科学, 18(2): 141—151
- 黄荣辉, 孙 凤, 1994b. 热带西太平洋暖池的热状态及其上空的对流活动对东亚夏季气候异常的影响. 大气科学, 18: 141—151
- 黄荣辉, 孙 凤, 1994c. 热带西太平洋暖池上空对流活动对东亚夏季风季节内变化的影响. 大气科学, 18: 456—465
- Carton J A, Chepurin G, Cao X, 2000a. A Simple Ocean Data Assimilation analysis of the global upper ocean 1950—1995 Part 2: Results. J Phys Oceanogr, 30: 311—326
- Carton J A, Chepurin G, Cao X, Giese B S, 2000b. A Simple Ocean Data Assimilation analysis of the global upper ocean 1950—1995, Part 1: Methodology. J Phys Oceanogr, 30: 294—309
- Graham N E, Barnett T P, 1987. Sea surface temperature, surface wind divergence, and convection over tropical oceans. Science, 238: 657—659
- Liu Qinyu, Jiang Xia, Xie Shang-ping *et al*, 2004. A gap in the Indo-Pacific warm pool over the South China Sea in boreal winter: Seasonal development and interannual variability. Journal of Geophysical Research, 109: C07—012
- Wang C, Enfield D B, 2001. The tropical Western Hemisphere warm pool. Geophysical Research letters, 28: 1635—1638
- Webster P J, Lucas R, 1992. Toga Coare: The coupled ocean-atmosphere response experiment. Bull Amer Meteor Soc, 73: 1377—1416
- Wyrtki K, 1989. Some thoughts about the West Pacific Pool. Proceedings of the Western Pacific international Meeting and Workshop on Yoga-Coare. Noumea, New Caledonia, Orstom, 99—109

## THE VARIATION OF THE INDO-PACIFIC WARM POOL

YANG Yu-Xing<sup>1</sup>, HUANG Fei<sup>1,2</sup>, WANG Dong-Xiao<sup>2</sup>

(1. *The Laboratory for Ocean-Atmosphere and Climate, Ocean University of China, Qingdao, 266100*; 2. *Laboratory for Tropical Marine Environmental Dynamics, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, 510301*)

**Abstract** To determine which time scale is proper for defining meaningful warm pools in eastern Indian Ocean and Western Pacific, the authors studied statistically the seasonal, interannual and decadal variations of them. Results show that in seasonal scale, the variation of the Indo-Pacific Warm Pool (I-PWP) and the Eastern Indian Ocean Warm Pool (EIWP) shows an obvious one-peak pattern, and two peaks in that of the Western Pacific Warm Pool (WPWP). In annual scale, both I-PWP and WPWP show a 3- to 6-year oscillation, and quasi-biennial oscillation for EIWP. In decadal scale, the three warm pools experienced quick change that is very clear in middle to late 1970s, especially for the EIWP. Therefore, the decadal variation of the I-PWP is similar to that of EIWP and WPWP, but seasonal and interannual ones are different from those of the EIWP and WPWP. It is suggested that the study on the I-PWP should be more meaningful on decadal scale, whereas for EIWP and WPWP, seasonal and interannual scales are better and can be treated separately.

**Key words** The Indo-Pacific Warm Pool, Seasonal variation, Interannual and decadal variation, ENSO