

海温距平的 ENSO 模和类 ENSO 模的三维结构*

陈永利¹ 王凡¹ 赵永平¹ 吴爱明²

(1.中国科学院海洋研究所 青岛 266071; 2. Department of Earth & Ocean Sciences, UBC, and Canada)

提要 用美国马里兰大学提供的海洋同化(SODA)月平均资料,深入揭示了 ENSO 模的海洋三维结构及其年际和年代际变率。研究结果指出, ENSO 海洋模随深度呈明显规律变化。在热带太平洋,它由热带中东太平洋表层显著海温异常分布型随深度增加逐渐过渡为热带西太平洋次表层显著反号海温异常分布型;在赤道太平洋以赤道西太平洋暖池次表层海温显著异常与赤道中东太平洋表层海温反号显著异常为主要特征。*El Nino* 期间,热带中东太平洋表层为强海温正距平中心,西太平洋暖池次表层为强海温负距平中心,在年际尺度上,160°E 以西的西北太平洋副热带海域还存在一个与西太平洋海温异常变化反号、与热带东太平洋同号的区域;*La Nina* 期间正好相反。ENSO 循环主要由 ENSO 年际变率所决定,年际 ENSO 模具有东部型 ENSO 事件的海温异常分布特征,其循环是东部型冷暖事件之间的转换,在 200m 以浅,它具有 ENSO 模相同的三维结构和 3—5 年的显著年际变化周期;年代际类 ENSO 模具有中部型 ENSO 事件的海温异常分布特征,年代际 ENSO 循环是中部型冷暖事件之间的转换,其影响主要限制在 200m 以浅的海洋上层,具有 ENSO 模相似的三维结构和 9—23 年的显著周期。

关键词 ENSO 模和类 ENSO 模,海洋三维结构,年际和年代际变率
中图分类号 P731.1

近半个世纪以来, ENSO 循环发生了显著的变化, *El Nino* 的主周期从 20 世纪 60—70 年代的 2—3 年,增加到 80—90 年代的 4—5 年(Gu *et al*,1995; Wang *et al*,1996), 同时的 *El Nino* 事件的振幅也有增加(An *et al*, 2000); 在 70 年代末以前, *El Nino* 事件明显增温多首先出现在南美沿岸, 然后西传, 80 年代后, *El Nino* 事件明显增温则多首先出现在热带中太平洋, 然后东伸; 90 年代初中期, 连续出现了 3 次 *El Nino* 事件, 人们能用 Z-C 模式正确预报 1991/1992 年的 *El Nino* 事件, 但对 1993 和 1994/1995 年两次弱 *El Nino* 事件却无模式能正确预报; 80 年代以来的 ENSO 循环有明显的中断现象(Kessler,2002), 如在一次 *El Nino* 事件后, 海-气耦合系统能保持 2 年以上的弱 *La Nina* 状态, 前次事件的影响完全丧失, 以致人们对 ENSO 是否是一种循环提出了怀疑。如何解释这些变化?

长时间以来, 人们对 ENSO 海洋模态的了解多局限在 SSTA 的分布, 对 ENSO 事件在海洋次表层的表现了解甚少。已有的研究和观测事实表明, ENSO 事件的形成和发展与赤道太平洋次表层海温异常有密切的关系, 一般认为, *El Nino/La Nina* 事件多源于赤道西太平洋次表层暖池区, 首先在该区出现海温显著异常中心, 然后该中心沿海洋气候跃层向东向上传播, 到达赤道东太平洋表层形成 ENSO 事件。可见, ENSO 事件不仅仅是海洋表层的现象, 它的形成和发展与赤道太平洋次表层海温异常有重要联系。为深入了解 ENSO 事件的形成机理, 有必要弄清 ENSO 事件时海洋各层温度异常的状况和垂直分布特征。

近期的研究发现, 全球 SSTA 具年际 ENSO 模态和年代际类 ENSO(ENSO-like)模态, 二者具有相似的空间分布。Zhang 等(1997) 对 6 年低通滤

*国家重点基础研究发展计划项目, 2006CB403601 号; 国家自然科学基金项目, 40576016、40306006 号; 中国科学院海洋研究所领域前沿项目, 20032111 号。陈永利, 副研究员, E-mail:ylchen@ms.qdio.ac.cn

收稿日期: 2006-01-24, 收修改稿日期: 2007-01-06

波后得到 SSTA 进行 EOF 分解, 得到空间分布型与 ENSO 模非常相似的年代际类 ENSO 模态; White 等(1997)对全球海温资料分析表明, 全球海表温度除具显著的年际(3—7年)变率外, 还有年代(9—13年)和年代际(18—23年)等两个次 ENSO(sub-ENSO)频率; 赵永平等(2003)对太平洋近 150 年 SSTA 的分析指出, 太平洋 SSTA 具 2—8 年 ENSO 年际变率和 8—30 年(平均 15 年)年代际变率及 60 年左右的气候态变率, 同时还指出了年代际变率具类似 ENSO 模的空间分布型, 讨论了其对 ENSO 循环的影响。了解太平洋次表层海温异常年际和年代际变率主要模态的三维结构及相互影响将有助于对 ENSO 循环本质的认识。

本文中作者分析了太平洋次表层各层和赤道太平洋海温异常 EOF 主模态的时空分布特征, 揭示 ENSO 模的海洋三维结构, 并对已分离出年际和年代际变率的资料分别进行 EOF 分解, 剖析 ENSO 海洋模的年际和年代际变率特征。

1 资料和方法

采用美国马里兰大学 Carton 等(2000)提供的简单海洋同化(SODA)月平均资料。该资料同化了 NODC'S、WOA 及来自 GTSP 的 CTD 和 XBT 的温、盐资料和现场 TAO 组阵观测资料, 以及卫星 SSTs、卫星高度计等资料, 该同化分析系统为具有高分辨的美国地球物理流体力学实验室的 GFDL 海洋模式(MOM2.b), 最大限度地利用了以上可得到的主要海洋观测资料。资料范围为 0—360°E, 60°S—60°N(中纬度海洋 1°×1°纬度-经度分辨, 热带海洋为 0.45°×1.0°纬度-经度分辨); 资料时间间隔为 1 个月, 起讫时间为 1950 年 1 月—2000 年 12 月, 垂直方向为 20 层, 其中 150m 以浅的 10 层每层间隔为 15m, 160m 以下各层间隔为递增间距。本文中分析用 1951 年 1 月—2000 年 12 月共 50 年 600 个月 450m 以上 14 层 30°S—60°N 太平洋范围的海温场资料, 以便对 ENSO 循环过程中太平洋范围内 ENSO 模的海洋结构有全面了解, 但重点分析赤道太平洋海温异常的结构特征。

本文中作者采用基于 Fourier 方法的 Lanczos 滤波器(Duchon, 1979), 该方法应用 Sigma 因子, 有效地减小了滤波过程中出现的 Gibbs 摆动。已有的研究表明, 全球 SSTA 具明显的 3—7 年年际 ENSO 变率, 9—13 年年代和 18—23 或 20—25 年年代际次 ENSO(sub-ENSO)变率以及 40—60 年的气候态(multi-decadal)变率。据此, 作者首先对

研究海域内各层海温距平进行 1 年低通滤波以突出年际以上时间尺度变率, 然后进行 1—8 年和 8—28 年带通滤波及 28 年低通滤波以分开 ENSO 的年际和年代际及气候态时间变率。本文中主要对年际和年代际分量进行 EOF(经验正交函数)分解, 分析第一模态的垂直分布, 以了解 ENSO 模的海洋三维结构及其年际和年代际变率特征, 在上述滤波过程中去除了长期变化倾向。

2 ENSO 模的海洋三维结构

用滤去年变化后的资料, 首先计算各层海温平均场, 然后计算海温距平及其均方差, 并进行 EOF 分析。为便于各层间的比较, 在 EOF 分析之前, 对距平资料标准化处理。图 1 为 10m、80m、125m、160m、190m 和 276m 层年平均海温, 距平均方差和 EOF 第一特征向量场分布。由图 1 可见, 在 100m 以浅, 热带西太平洋暖水位置基本保持不变, 表层 28° 线的范围随深度增加逐渐减小, 其核心位于赤道中太平洋南侧 0—10°S 之间; 100m 以下, 沿 10°N 的东太平洋冷水舌西伸到日界线, 在菲律宾以东海域又出现一个暖中心, 随深度增加, 赤道南北两侧的两个暖中心分别向中纬度移动, 至 450m 稳定在澳大利亚东侧(20°—30°S)和日本南侧(20°—30°N)的副热带海域。其均方差的空间分布表明, 在热带太平洋, 100m 以浅最大方差出现在热带中东太平洋, 100—200m 层最大方差出现在热带西太平洋, 200m 以下, 最大方差中心分裂为二, 并分别向南向北移动。在中纬度 40°N 的亚极锋区从表层到深层均为一个方差大值中心, 其范围和强度随深度基本不变。200m 以浅各层 EOF 第一特征向量场随深度表现为有规律的变化, 海洋表层空间分布型为典型的 ENSO 模态, 在热带中东太平洋为强的海温异常区, 而在西太平洋和北太平洋中纬度海区为反号的海温异常中心; 在 160°E 以西的西北太平洋副热带海域, 还存在一个与热带东太平洋海温异常变化同号的区域, 它的变化与西北太平洋副热带流涡的异常变化有关。随着深度的增加, 热带中东太平洋海温异常逐渐减弱, 范围东退, 但热带西太平洋相反符号海温异常加强, 范围逐渐东进, 160°E 以西的西北太平洋副热带海域的海温异常也减弱, 190m 层, 零等值线已东进至 160°W, 整个热带中西太平洋为强的反号海温异常控制。就热带太平洋而言, 表层海温异常分布型由热带中东太平洋表层显著海温异

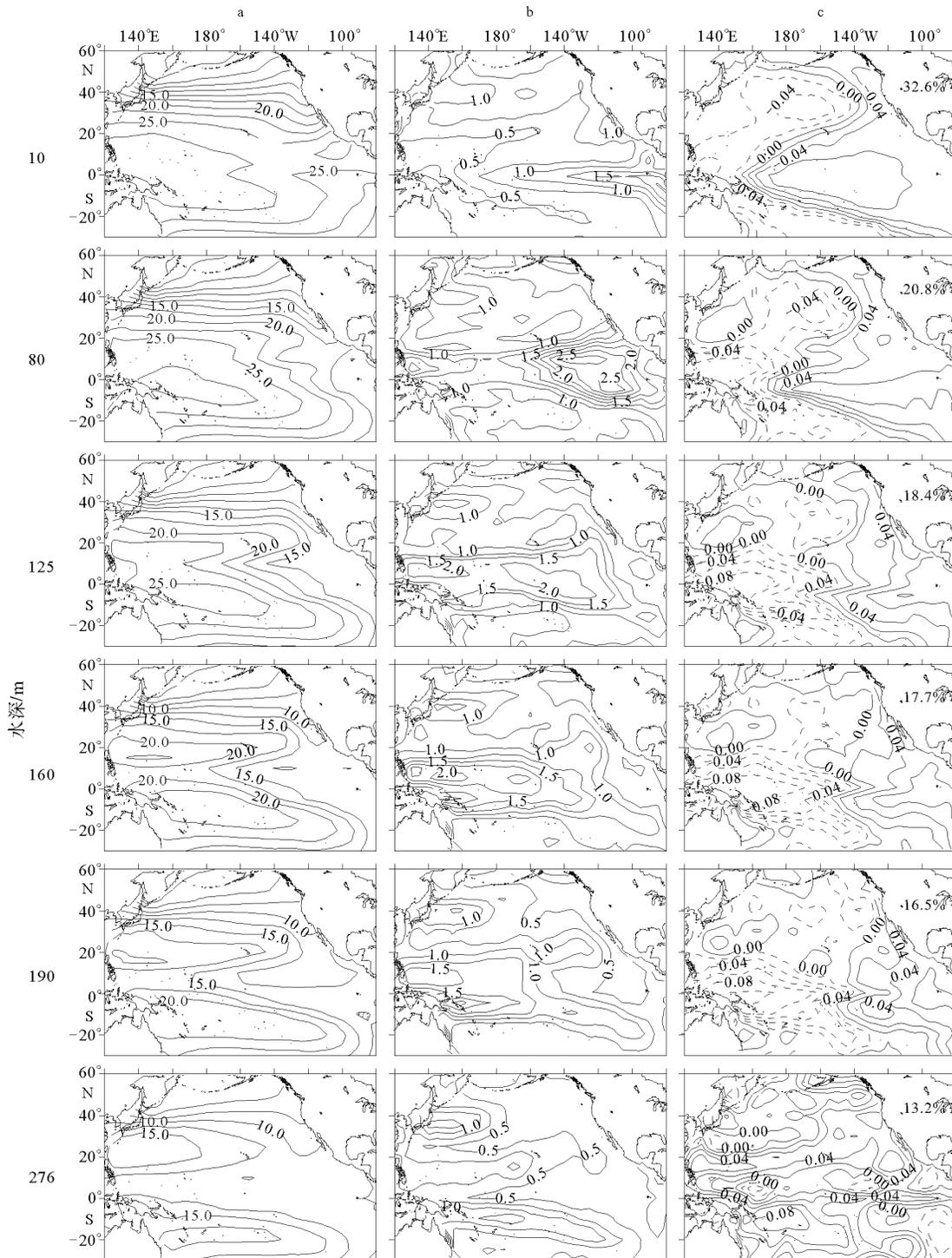


图 1 太平洋各层(10、80、125、160、190、276m)海洋平均温度(a)、均方差(b)和 EOF 第一特征向量(c)场分布

Fig.1 Distribution of mean water temperature(a), standard deviations(b)and the first EOF modes(c) of temperature anomaly at different layers (10, 80, 125, 160, 190, and 276m) in the Pacific

常随深度增加逐渐过渡到热带西太平洋次表层显著反号海温异常。就中纬度海洋来说,海温显著异常主要出现在西北太平洋的亚极锋区,随深度增加,海温异常的强度减小,且位置少变。200m 以下各层 EOF 第一特征向量场的分布明显不同于 200m 以上各层分布特征及其随深度变化规律,它可能反映了中层水的变化,这里不予讨论。

根据上述各层 EOF 第一特征向量场时间函数(图 2)可以看出,200m 以浅各层的时间系数变化基本一致,它们均与 Nino3 区的 SSTA 指数有很好相关关系,其中 Nino3 与 80m 以浅各层相关达 0.87,与 190m 层相关也达 0.68,其置信水平均超过 0.001。时滞相关计算结果表明,Nino3 与 10m 层呈同步变化,但是 50m 和 80m 层最大相关滞后

1个月,至190m最大相关滞后约3—4个月。就是说,200m以浅各层 EOF 第一特征向量场的分布均受表层的 ENSO 模态的影响,它们是 ENSO 模态在各层的表现。随着深度增加, ENSO 模在热带太平洋海域海温异常的空间分布型也随之产生相反的转变,它由热带中东太平洋表层显著海温距平分布型随深度增加逐渐过渡为热带西太平洋次表层显著反号海温距平分布型。但值得注意的是,当赤道东太平洋海温异常特征值最大时,并不是西太平洋次表层反号海温异常也同时达最大,后者有明显滞后。此外,由图 2 中时间系数的演变可以看到,200m 以下各层海温异常时空分布与 ENSO 无明显关系。

为清楚地了解赤道太平洋 ENSO 海洋模的垂直结构,计算 5°S—5°N 各层平均海温、均方差和 EOF 第一特征值及其时间系数,绘出其深度-经度的剖面图(图 3)。由图 3 可以清楚看到,西太平洋暖水出现在 170°W 以西 100m 以浅海域,赤道东太平洋表层为冷水区,最大均方差值出现在气候温跃层上,极大值区沿温跃层由西向东逐渐

上升,西部平均深度为 150m,东部为 50m,最大值在赤道东太平洋次表层达 2.4 ,在赤道西

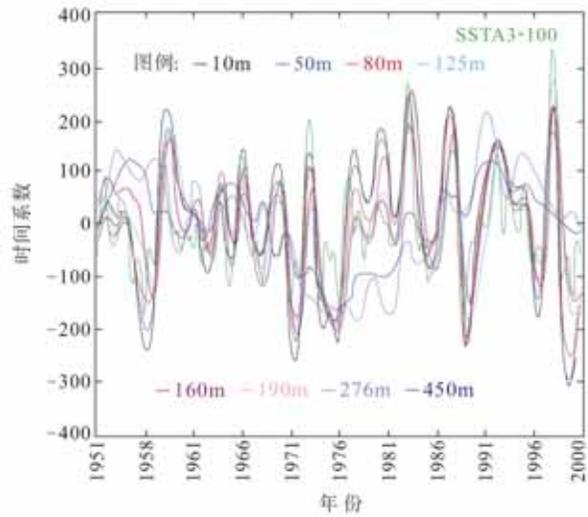


图 2 太平洋各层海温 EOF 第一特征向量场时间系数与 Nino3 区 SSTA 指数(放大 100 倍)
Fig.2 The time coefficients of the first EOF mode of temperature at different layers in the Pacific and SSTA in the Nino3 area (magnification for 100 times)

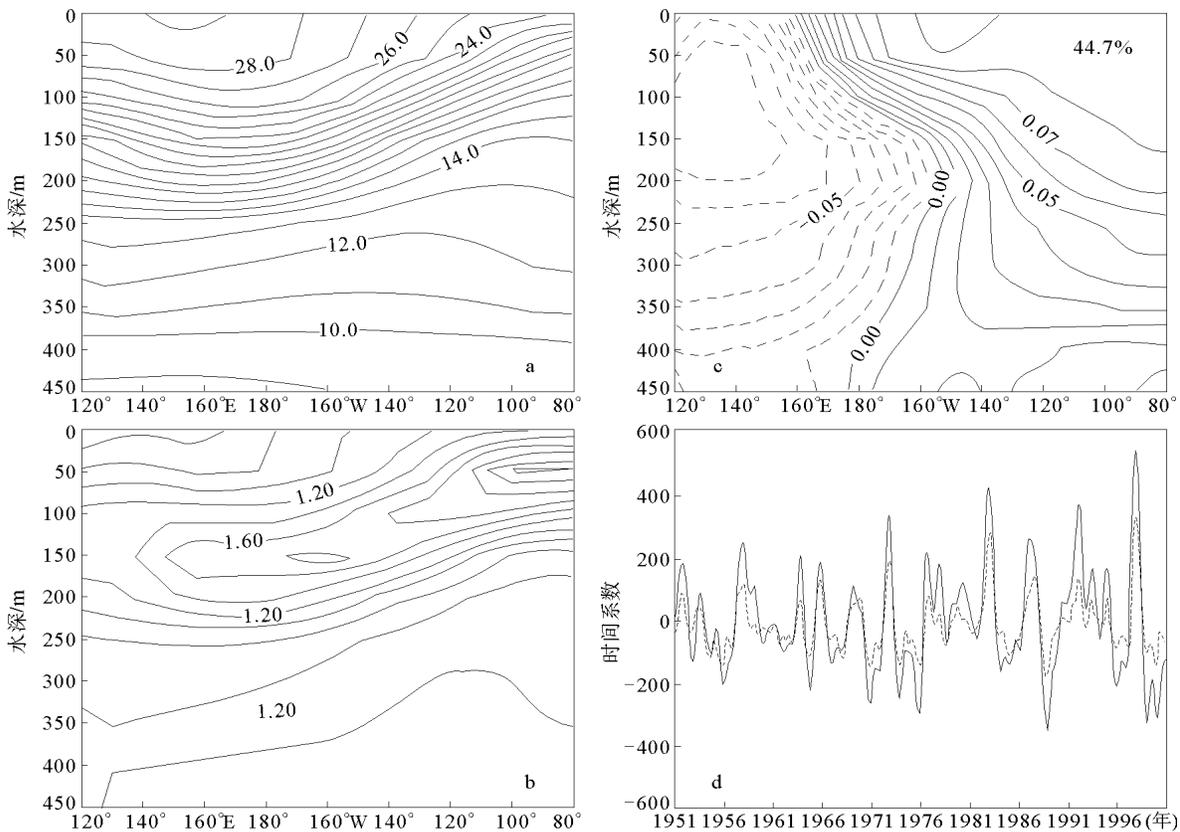


图 3 5°S—5°N 平均深度-经度剖面分布: 年平均海温(a)、海温距平均方差(b)和 EOF 第一特征向量(c, 单位: °C) 场及其时间系数(d, 虚线: Nino3 区海温距平, 放大 100 倍)

Fig.3 The equatorial depth-longitude (5°S—5°N) profile of yearly mean ocean temperature(a), standard deviation(b), the first EOF mode of temperature anomaly (c, unit: °C), and its time coefficient and SSTA in the Nino3 area (d, dashed line express Nino3 index)

太平洋次表层也达 1.6 。在 200m 以浅, EOF 第一特征向量的深度-经度分布表现为, 赤道西太平洋暖池次表层(100—150m)海温显著异常中心与赤道中东太平洋表层海温显著异常反号为主要特征, *El Nino* 期间, 西太平洋暖池次表层为负的海温距平强中心, 赤道中东太平洋表层为正海温距平强中心, *La Nina* 期间正好相反。其时间系数与 Nino3 区 SSTA 有非常一致的关系, 二者相关

系数达 0.91。

3 ENSO 海洋模的年际和年代际变率

为了解太平洋各层海温异常年际和年代际变率特征, 分别对海温距平进行 1—8 年和 8—28 年带通滤波(去倾)以分离出年际和年代际(包括年代)变率分量, 然后进行 EOF 分解, 各层 EOF 第一特征向量场的分布见图 4。年际变率(图 4a)

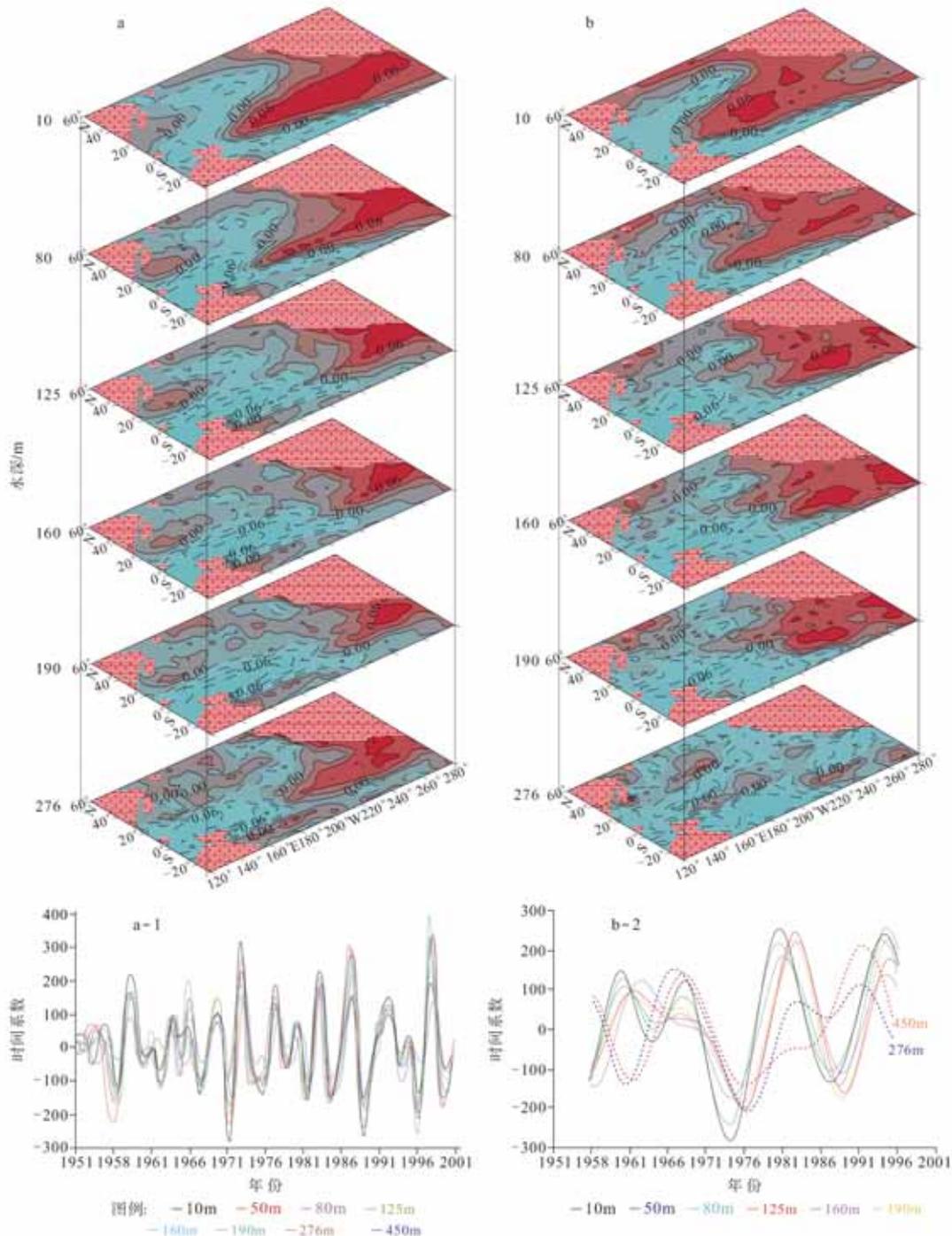


图 4 太平洋各层海温异常年际(a, a-1)和年代际(b, b-1)变率 EOF 第一特征向量场及其时间系数
Fig.4 The first EOF modes of interannual (a, a-1) and interdecadal (b, b-1) temperature anomaly and their time coefficients in different layers of the Pacific

表明, 200m 以浅各层空间分布型与 ENSO 模态海温的垂直结构(图 1)基本一致, 表层在热带东太平洋有一海温异常水向西沿赤道伸展, 西太平洋和北太平洋中纬度海区有反号的海温异常水存在, 160°E 以西的西北太平洋副热带海域, 存在一个与热带东太平洋海温异常变化同号的区域; 随深度的增加, 在热带太平洋, 它由热带东太平洋表层显著海温距平分布型逐渐过渡为热带西太平洋次表层显著反号海温距平分布型, 276m 层和 450m 层(图略)的空间分布与图 1 中相同层次完全不同, 但它仍基本具 ENSO 模的基本特征。图 4a-1 为各层 EOF 第一特征向量场时间系数, Nino3 指数均与它们有较好的相关, 200m 以浅各层相关系数达 0.80 以上, 时滞相关计算表明, Nino3 与各层最大相关也存在随深度增加滞后现象, 其中 190m 层较 Nino3 滞后最多, 约 4 个月。年代际变率(图 4b)表明, 200m 以浅各层海温异常分布非常类同年际变率时的主要模态。就 10m 层而言, 除海温异常中心位置较年际变率时偏西(位于热带中太平洋)外, 两者十分相似, 空间相关达 0.76。这一结果与 Zhang 等(1997)的分析的结果一致, 称谓类 ENSO(ENSO-like)模态。200m 以浅各层也具年际变率空间分布型及随着深度的变化规律。随深度的增加, 热带东太平洋表层异常水逐渐减弱东退, 而热带西太平洋次表层反号异常水则逐渐增强东进, 在 160—190m 达到最大; 200m 以下二层的主模态的空间分布则完全不同于上层各层的分布型, 但与 ENSO 模态的垂直结构(图 1)中相同层次分布型却基本一致, 表现为中层水分布特征。图 4b-1 为各层 EOF 第一特征向量场时间系数, 由图可知, 10m 层与 200m 以浅各层呈显著相关, 相关系数均超过 0.71, 其中 10m 与 50m 层基本为同步变化, 其余各层有 6—24 个月的时间滞后, 200m 以下(图中虚线)则表现为不同相位的时间变化。就是说, 类 ENSO 年代际变率的影响主要出现在 200m 以浅的上层海洋, 具类似年际 ENSO 模的三维结构。

为清楚地了解赤道太平洋海温异常年际和年代际变率, 绘制 5°S—5°N EOF 第一特征向量的深度-经度分布剖面图。图 5a 为 5°S—5°N 赤道太平洋海温异常年际变率 EOF 第一特征向量深度-经度剖面分布, 由该图可见, 它形成了以 200m 为轴线的上下对称分布, 与 ENSO 模赤道剖面上年际变率的分布(图 3)相比, 200m 以浅的分布完全一致, 其时间系数(图 5a-1)与 Nino3 区

SSTA 有密切关系, 两者相关系数为 0.83, 谱分析(图 5a-2)表明, 它具 3—5 年的显著年际变化, 表明次表层海洋主要是受 ENSO 模的年际变化的影响。图 5b 为 5°S—5°N 赤道太平洋海温异常年代际变率 EOF 第一特征向量深度-经度剖面分布, 由该图可见, 200m 以浅各层的空间分布型与年际变率的分布型基本一致, 其差异在于赤道东太平洋异常水的范围较年际变率西进 5 个经度, 表层显著海温异常出现在赤道中太平洋海域。200m 以下则完全不同, 反映了中层水的年代际变化特征, 其时间系数(图 5b-1)表明, 70 年代中期后年代际变率加强, 1981 年和 1993 年前后数年为年代际类 *El Nino* 盛期, 1974 年和 1987 年前后数年为年代际类 *La Nina* 盛期, 该时间系数谱分析(图 5b-2)表明, 它具 9—23 年的显著年代际变化。

观测事实和研究结果表明, ENSO 事件有两种不同类型, 海表温度异常首先出现在南美沿岸的热带东太平洋然后西伸的为东部型; 海表温度异常首先出现在热带中太平洋然后东扩的为中部型。比较年际 ENSO 和年代际类 ENSO 模的空间分布型可以知道, ENSO 模态, 即 SSTA 的 EOF 第一模态是: 热带太平洋表层海温异常显著特征值主要出现在赤道东太平洋美洲沿岸, 事件出现时, 海表温度异常首先出现在南美沿岸, 为东部型 ENSO 事件的海温异常分布特征, 因此年际 ENSO 循环本质上是东部型冷暖事件之间的转换; 类 ENSO 年代际模态是: 热带太平洋表层海温异常显著特征值主要出现在赤道中太平洋, 事件出现时, 海表温度异常首先出现在赤道中太平洋, 为中部型 ENSO 事件的海温异常分布特征, 因此年代际类 ENSO 循环实际上反映了年代际中部型 ENSO 事件冷暖位相的转换。由此可见, 年际 ENSO 模和年代际类 ENSO 模实际上是 ENSO 模态的两种类型, 前者说明了热带太平洋 SSTA 的年际变化表现为 ENSO 循环, 后者说明了热带太平洋 SSTA 的年代际变化表现为类 ENSO 循环, 但是周期却比 ENSO 循环长得多。

表 1 为全区和赤道西太平洋暖池次表层(I 区 100—200m, 130°—180°E)、赤道东太平洋表层(II 区: 0—100m, 140°—80°W)各时间尺度变率海温异常对总方差的贡献。由表 1 可见, 就全区而言, 年际变率的贡献最大, 占总方差贡献的一半以上, 年代际变率的贡献次之, 近 1/4 气候态和倾向项的作用较小; 就对赤道西太平洋暖池次表层(

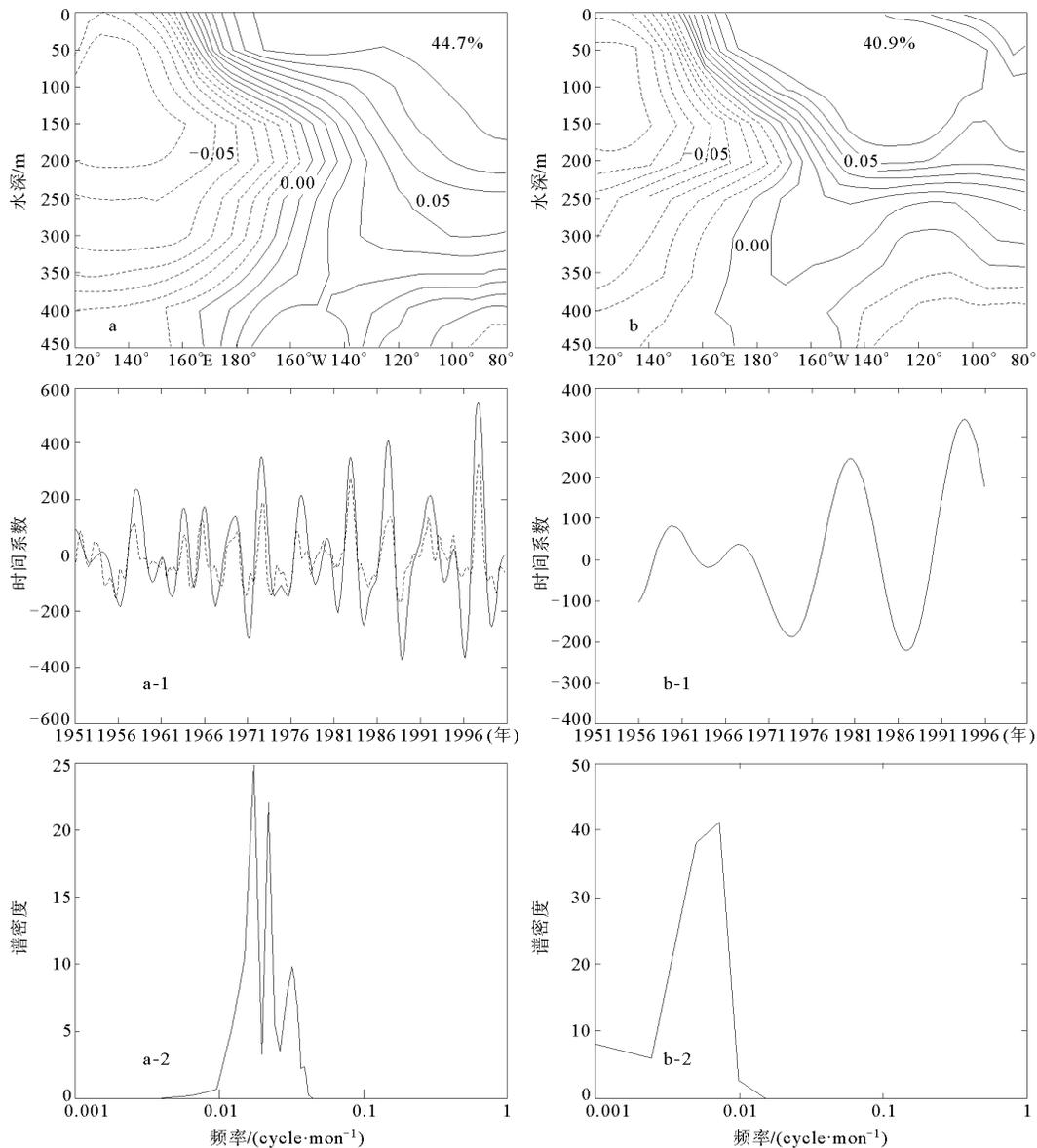


图 5 赤道太平洋(5°S—5°N)年际和年代际变率海温异常深度-经度剖面 EOF 第一特征向量(单位: 0.1°C)场(a, b), 时间系数(a-1, b-1, 其中 a-1 中虚线为 Nino3 区海温距平, 放大 100 倍)及相应的谱分析结果(a-2, b-2)

Fig.5 The first EOF modes of interannual (a) and interdecadal (b) temperature anomaly and their time coefficients (a-1, dashed line express SSTA in Nino3 area; b-1) in the equatorial Pacific (5°S—5°N) in depth vs. longitude plot, and corresponding spectra

表 1 各区不同时间尺度变率海温异常对总方差的贡献
Tab.1 Contribution of temperature anomalous variability in different time scales to the total variance at corresponding areas

区域	1—8 年	8—30 年	> 30 年	倾向项
全区	53%	23%	14%	10%
区	53%	21%	20%	6%
区	62%	21%	12%	5%

区)而言, 其年际变率占一半, 年代际和气候态变率各占 1/5, 倾向项最小, 占 6%; 就对赤道东太平洋表层(区)而言, 年际变率占 6 成以上, 年代际变率占 2 成, 气候态变率仅占 1 成。

这里应注意, 就全区而言, 年际变率的贡献占一半以上, 年代际变率的贡献约占 20%。对赤

道东太平洋表层海温异常的变化, 年际和年代际变率的贡献达 83%, 而对 ENSO 形成至关重要的西太平洋暖池次表层海温异常的贡献来说, 除年际变率的贡献(53%)最大外, 气候态变率和年代际变率却具有同等重要的贡献, 两者均达 20%, 因此, 在研究 ENSO 的形成和演化过程中, 除重视其年际、年代际变化外, 也需要考虑西太平洋暖池次表层气候态的作用和影响。

4 讨论和结论

热带太平洋海温距平的时空变化主要表现为 ENSO 模的三维特征与其随时间(年际、年代际)

的演变。ENSO 模三维结构的一个显著特点是海温异常水平分布型随深度变化空间分布的不一致性和出现时间的不同步性,当表层热带东太平洋海温异常达峰值时,随深度增加逐步演变为热带西太平洋次表层反号海温异常显著型,但该反号海温异常峰值要比表层峰值滞后 3—4 个月;类 ENSO 模年代际变率在 200m 以浅也有相似的随深度增加的演变现象。这一现象可能与 ENSO 的形成机理有密切联系,但目前很难用已有的 ENSO 形成理论、特别是关于 ENSO 模年代际变率形成理论来解释,尚需进一步做专门的分析研究。

本文中类 ENSO 模非常类似 ENSO 模的空间分布特征,因此这种类 ENSO 模的年代际变率实际上是年代际时间尺度的类 ENSO 循环,不过它主要反映中部型 ENSO 事件冷暖位相的转换(具有年代际变化的周期)。由于年代际 ENSO 模与年际 ENSO 模十分相似,当二者恰逢相位一致时,ENSO 事件的强度会加强或持续,如 1993, 1994/1995 年相继发生的两次弱的中部型 *El Nino* 事件,就是在 1991/1992 年 *El Nino* 事件减弱后迅速出现的,此时正值年代际 *El Nino* 模态; 1974/1976 年中部型 *La Nina* 事件则是在 1973/1974 年 *La Nina* 事件减弱后迅速产生的,此时正处于年代际 *La Nina* 模态;而 1988/1989 年强 *La Nina* 事件则可能是年际和年代际 *La Nina* 模态同相的结果。可以想见,当二者恰逢位相相反时,ENSO 事件的强度会减弱。由于年代际类 ENSO 模态是中部型 ENSO 事件的分布型,因此凡是主要由年代际类 ENSO 事件造成的事件基本上是中部型,如上述的 1993, 1994/1995 年中部型 *El Nino* 和 1974/1976 年的中部型 *La Nina* 事件。有关年代际类 ENSO 变率对 ENSO 循环的影响过程,将另文分析。

综上所述,可以得到以下结论:

(1) ENSO 模随深度呈显著规律变化,在热带太平洋,它由热带中东太平洋表层显著的海温正/负距平随深度增加逐渐过渡为热带西太平洋次表层显著海温负/正距平,其海温异常的最大相关,后者较前者滞后 3—4 个月;在赤道太平洋表现为西太平洋暖池次表层海温异常显著中心与赤道中东太平洋表层海温异常显著反号为主要特征, *El Nino* 期间,西太平洋暖池次表层为强负海温距平中心,赤道中东太平洋次表层为强正距平中心,

La Nina 期间正好相反。在 160 °E 以西的西北太平洋副热带存在一个与西太平洋海温异常变化反号、与热带东太平洋同号的区域,它的存在主要表现为年际尺度,其变化可能与西北太平洋副热带流涡的异常变化相联系,而在年代际尺度并不明显。

(2) ENSO 循环主要由 ENSO 年际变率决定,在 200m 以浅,它具有 ENSO 事件相同的三维结构和显著的 3—5 年年际变化周期;类 ENSO 年代际变化的影响主要限制在 200m 以浅的海洋上层,除表层显著海温异常出现在中太平洋海域外,它与 ENSO 模空间分布型非常相似,年代际变率的显著周期为 9—23 年。

(3) 年际 ENSO 循环本质上是东部型冷暖事件的转换,年代际类 ENSO 循环主要反映中部型冷暖事件之间的转换,当两者位相恰好相同时,有可能导致 ENSO 事件的加强或持续,且持续的 ENSO 事件基本上是中部型;当两者位相恰好相反时,有可能导致 ENSO 事件的减弱。

参 考 文 献

- 赵永平,吴爱明,陈永利等,2003. 热带太平洋气候变率的三类模态及与 ENSO 强度变化关系. 热带海洋学报,22(4): 1—9
- An S I, Wang B, 2000. Interdecadal changes of the structure of the ENSO mode and impact on the ENSO frequency. *J Climate*, 13: 2044—2055
- Carton J A, Chepurin G, Cao X, 2000. A simple ocean data assimilation analysis of the global upper ocean 1950—1995. part II: results. *J Phys Oceanogr*, 30: 311—326
- Duchon C E, 1979. Lanczos filtering in one and two dimensions. *J Applied Meteorology*, 18: 1016—1022
- Gu D, Philander S G H, 1995. Secular changes of annual and interannual variability in the tropics during the past century. *J climate*, 8(4): 864—876
- Kessler W S, 2002. Is ENSO a cycle or a series of events? *Geophys Res Letter*, 29(23): 2125
- White W B, Lean J, Cayan D R *et al*, 1997. Dettinger, Response of global upper ocean temperature to changing solar irradiance. *J Geophys. Res*, 102: 3255—3266
- Wang B, Wang Y, 1996. Temporal structure of the Southern Oscillation as revealed by waveform and wavelet analysis. *J Climate*, 9: 1586—1598
- Zhang Y, Wallace J M, Battisti D S, 1997. ENSO-like interdecadal variability: 1900—1993. *J Climate*, 10(5): 1004—1020

THREE-DIMENSIONAL STRUCTURE OF ENSO AND ENSO-LIKE MODES OF SEA TEMPERATURE ANOMALY

CHEN Yong-Li¹, WANG Fan¹, ZHAO Yong-Ping¹, WU Ai-Ming²

(1. *Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071*; 2. *Department of Earth & Ocean Sciences, UBC, and Canada*)

Abstract Based on the Simple Ocean Data Assimilation (SODA) data set from the University of Maryland, three-dimensional structure of the ENSO mode and its interannual and interdecadal variability are revealed. The results indicate that the ENSO mode changes regularly with depth in the ocean. In the tropical Pacific, the ENSO mode shows a significant sea temperature anomaly (STA) in the central-eastern Pacific (CEP) at surface, and transits gradually with depth to into a pattern of prominent reversal STA in the tropical western Pacific (WP) at subsurface. In the equatorial Pacific, the ENSO mode can be characterized by an out-of-phase distribution of significant STA at subsurface in the warm pool area of the equatorial WP with that at surface of the equatorial CEP. During the *El Nino* events, positive STA center appears at surface in the tropical CEP and negative at subsurface in the WP warm pool, and vice versa during the *La Nina* Events. It is also indicated that the ENSO cycle is mainly dominated by interannual variations. The interannual ENSO mode has the STA characteristics of eastern pattern ENSO events, whose cycling is the transition of the eastern pattern cold and warm events. It has similar 3-D structure with the ENSO mode, and has significant interannual periods of 3—5a above 200m depths. The interdecadal ENSO-like mode has the STA characteristics of central pattern ENSO events, whose cycling is the transition of the central pattern cold and warm events. Influence of the ENSO-like mode is also mainly restricted to the upper ocean above 200m, and it has similar 3-D structure with the ENSO mode and significant periods of 9—23a.

Key words ENSO mode and ENSO-like mode, Three dimensional ocean structure, Interannual and interdecadal variability