

厄尔尼诺过程赤道太平洋 海温增暖与传播特征

谭锐志 容广坝
(广州热带海洋气象研究所)

提 要

本文首先使用标准 EOF 时间系数主分量的谱分析探讨了赤道太平洋海面温度 (EPSST) 的长期变化情况, 尔后使用 CEOF 及其恢复场分析了厄尔尼诺过程 EPSST 的增暖和传播特征。结果表明, 按照厄尔尼诺过程的增暖范围, 可概括为三类: ①中东太平洋增暖型; ②整个赤道太平洋增暖型; ③东太平洋增暖型。而按厄尔尼诺发展过程的传播特征, 也可将其分为三类: ①东太平洋增暖西传型; ②东西太平洋同时增暖尔后向中太平洋传播型; ③西太平洋首先增暖尔后东传型。

一、引 言

对于 El Nino 的成因曾有多种假说, Wyrтки 等^[1]提出了广为流传的 El Nino 海洋模型。这种模型强调由于中太平洋东南信风变化, 造成海水先在西太平洋堆积增暖, 尔后积聚的暖水向东回流, 造成南美沿岸暖水积累, 然后西传, 形成 El Nino。另一方面, Rasmusson^[2]提出的合成模型中也强调了以上的海温传播情况。Harrison 和 Schopf^[3]则研究了 Kelvin 波在 El Nino 现象中的作用, 他们认为 Kelvin 波引起的平流作用加上热带海温分布的季节变化可以用来解释一般的和 1982—1983 年特殊的 El Nino 现象。Rasmusson 和 Wallace^[4]针对 1982—1983 年 El Nino 现象所表现的新现象, 又提出了两类(狭义与广义) El Nino 模型; 符淙斌^[5]通过对赤道太平洋纬向温度廓线进行 EOF 分析, 提出可能存在三类赤道增暖过程。最近, 刘厚赞^[6]根据太平洋海底火山和地震与 El Nino 的统计关系, 认为 El Nino 事件可能与地热排泄口大量的地热释放有关。从以上各研究工作中可以看出, 弄清楚 El Nino 过程中赤道太平洋海温的增暖、传播特征, 对于找出 El Nino 现象的形成机制是非常重要的。在本文中, 试图利用 EOF 方法较详细地讨论这个问题。

二、资料与方法

本文使用云南省气象局和国家气象局联合编制的太平洋区域月平均海温资料。年限是1949—1986年共38年资料。范围取为 10°S — 10°N , 130°E — 80°W , 纬向格距为 10° , 经向为 5° 。计算过程中使用季节距平。季节的划分月份是:冬(12—2月),春(3—5月),夏(6—8月),秋(9—11月)。

本文分析包括几个部分。首先,使用标准 EOF 和功率谱分析整个赤道太平洋海温整体变化特征,希望能找出反映 El Nino 振荡信息的显著周期,然后,使用带通滤波技术,滤出我们感兴趣的振动频带。再对这样处理过的资料序列进行 CEOF 分析,较详细地研究 El Nino 过程的海温增暖、传播特征。

使用的带通滤波器参见文献[8]。而关于 CEOF 的描述可参见文献[7],本文中 Hilbert 变换中的积分上限 L 取为 7。

三、结果分析

1. 赤道太平洋海面温度场时间变化特征

以下均以 EPSST 代表赤道太平洋海面温度(距平)场。

对原始 EPSST 的 EOF 分析中,发现前 9 个特征值都符合 North 等人^[9]提出的判据,但我们只取前 5 个,它们对应的特征型为 S_i ($i=1, \dots, 5$),分别占方差 53.9%, 15.8%, 5.9%, 3.6%, 3.1%, 累计占方差 82.3%。

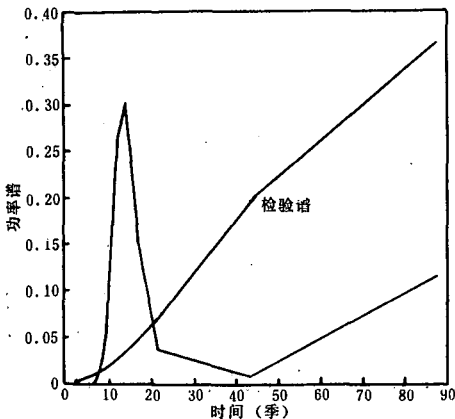


图 1 过滤后的 EPSST 第一特征向量时间系数的功率谱图

分别对 S_i 作功率谱分析,取最大落后长度 $m=N/3$ 。结果表明,所有 S_i 都在 4 个季度的周期处表现出大的谱峰,并远远超过显著性为 95% 的红噪音检验谱,显然这是 EPSST 变化的表现。除此之外, S_1 在 14 个季度处(3.5 年)表现出另一个峰值(图 1),并很接近检验谱(由于年变化周期过于明显,削弱了 3~7 年的显著性); S_2 在 12.5 个季度处(3.1 年)也有一个谱峰,情形与 S_1 类似(图略); S_3, S_4 则都在 100 个季度处出现一个谱峰、并通过了检验,这种 25 年的长周期也值得注意。 S_3 在 10 个季度处还有一个峰值,但离检验谱相差较远; S_5 的另一个谱则在 25 个季度处(6.2 年),情形与 S_1, S_2

类似,看来, S_1, S_2, S_3, S_5 都包含了我们感兴趣的 El Nino 的振动信息。尤其是 S_1 的 3.5 年周期与人们熟知的 El Nino 显著周期十分一致。从上面的结果又看到,年周期的干扰很大, 25 年长周期也不是本文的研究范围,滤去它们更有利于我们讨论问题。

取中心周期 T_0 为 14 个季度,则经此过滤器后,若原样本序列确有显著周期,则将仅在 $T_0/2 \sim 2T_0$ (7—28 个季度) 的范围内表现清楚,这与 El Nino 振动频带是一致的。为不使样本损失过大,权重项数截取到 ± 9 。

对带通滤波后的资料序列再次使用标准 EOF 分析。取头 5 个通过检验的特征值,其对应的特征型分别记为 $F_i (i=1, \dots, 5)$, 分别占方差为 69.4%, 6.8%, 6.0%, 3.8%, 3.2%, 累计占方差 89.2%, 与 S_i 相比,头 5 项累计方差比例提高了,且方差更集中于第一特征型。对 F_i 相应的时间系数重新进行功率谱分析。结果发现, F_1 有唯一谱峰位于 14.7 个季度 (3.7 年) 处,并远远超过显著性为 95% 的红噪音检验谱。 F_2, F_3 则在 12.6 个季度 (3.1 年) 处达到谱峰、并远远超过检验谱 (图略)。 F_4 在 22 个季度 (5.5 年) 处达到谱峰值,同样远远超过检验谱。由此可见,带通滤波后的 EPSST 集中反映了 El Nino 的振动特征。

2. CEOF 计算结果与分析

由于 Hilbert 转换计算要使样本序列两头各损失 7 个季度的数据,加上带通滤波带来的 18 个样本损失,故所能讨论的年际限于 1953—1982 年。

对 CEOF 的各特征值进行 North 检验,发现只有前三个满足要求。将其所对应的三个特征型分别记为 C_1, C_2, C_3 , 它们各占方差 76%, 7.3%, 4.2%, 累计占方差 87.5%, 头三个特征值则超过 S_i 的头 5 个所占方差,接近 F_i 头 5 个所占方差,并且第一特征值所占方差更集中。可见,CEOEF 比标准 EOF 有着方差更为集中的优越性,即能以更少的几个特征型描述场的变化特征。

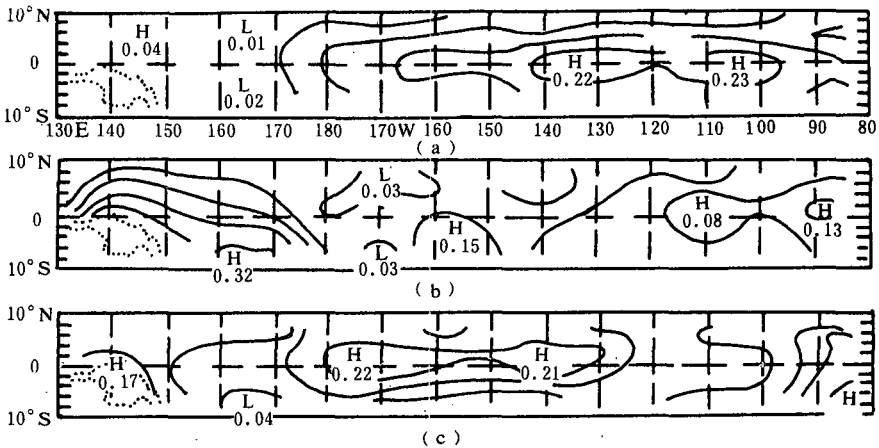


图 2 复 EOF 海温场第一、二、三特征向量空间振幅 (a) C_1 , (b) C_2 , (c) C_3

图 2 是 C_1, C_2, C_3 的空间振动图,注意图中高值中心 (H) 及其范围,由图可见,对应 C_1 的 EPSST 主要大值中心在东太平洋,对应 C_2 的主要大值中心则在西太平洋,而对应 C_3 的主要大值中心则位于中太平洋。因此, C_1, C_2, C_3 代表了 EPSST 三个大的变化中心。由于 C_1 主要反映东太平洋的情况,故直接反映了 El Nino 的信息,由 C_1 时间振幅 (图 3) 可见,人们所公认的 1953—1954, 1957—1958, 1963, 1965—1966, 1968—1969, 1972—1973, 1976—

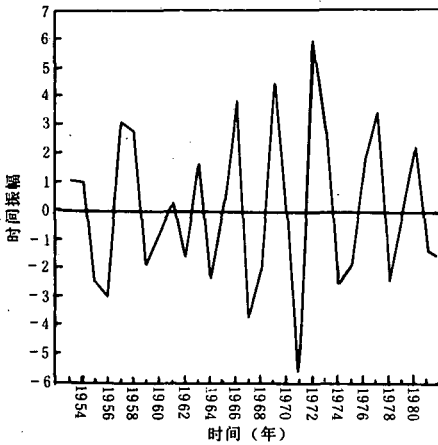


图3 复 EOF 第一特征向量时间振幅
就是为什么图3含有负值的原因。

根据 CEOF 的原理,由空间振幅和时间振幅可看出各个 El Nino 事件的增暖范围。综合图2与图3,很明显,只要 C_1 所对应的时间振幅在某一年有很大的正(负)振幅,就表明这一年在 C_1 的空间振幅中心周围有明显增温(减温)。比较各 C_i 中各年时间振幅的相对大小,可得到各次 El Nino 的增暖范围。

表1 各次 El Nino 的增暖范围

地区	1953—1954		1957—1958		1963	1965—1966		1968—1969		1972—1973		1976—1977	
	中	中	中	中	中	弱	强		强	强	中	中	强
东太平洋													
西太平洋													
中太平洋		强		弱	弱				弱	弱	强		弱 中

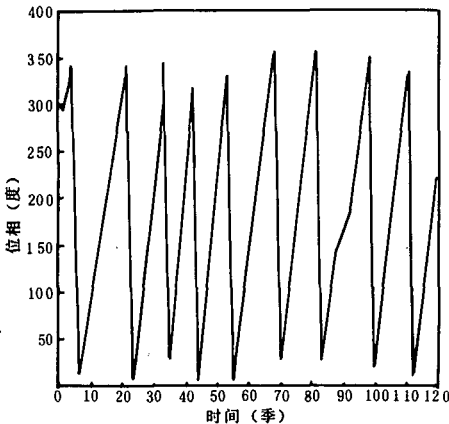


图4 复 EOF 第一特征向量时间位相
 C_2, C_3 的时间位相(图略)线性增加特征不如 C_1 明显,但表现出的 0—360°位相转

1977,各次 El Nino 事件都清楚地反映出来了;1972—1973 年表现最为强烈。由于各年振幅都是 4 个季度的平均,又由于 1982—1983 年 El Nino 事件的特殊性(夏季东太平洋才开始增暖,而在此之前是较大降温),而 1983 年情况由于滤波和 Hilbert 变换带来的样本损失而表现不出来,故 C_1 未能完整地体现 1982—1983 年事件。应该补充说明的是,本来时间振幅函数总是大于零的,但这样,反 El Nino 年的振幅也将很大,不利于区分 El Nino 与反 El Nino 事件,故我们采用各 C_i 所对应的恢复场的平均符号为时间振幅函数赋予符号,以便更清楚地反映出 El Nino 年,这

表1表明,El Nino 事件按增暖范围基本可以分为三类,即:中—东太平洋增暖型(最多);整个赤道太平洋增暖型(次多);东太平洋增暖型(最少)。还可看出,整个赤道太平洋都增暖的型总是比较强的,以 1972—1973 年事件表现尤为突出。另外,在 1953—1966 年间各 El Nino 事件中,西太平洋均无响应(或称负响应),而 1968—1977 年间的 El Nino 过程西太平洋均有较强的响应。

图4是第一特征向量(C_1)时间位相图。如图可见,位相随时间有明显的线性增加趋势,0—360°的位相转换表现出明显的准周期性振荡。

换以及准周期振荡还是十分清楚的。在 120 个季度内, C_2 的振荡次数与 C_1 略同, 而 C_3 却明显少于 C_1, C_2 , 这说明中太平洋海温变化较东西太平洋缓慢。

在分析三个特征型对应的空间位相(图略)时, 我们碰到了与 Trenberth^[10]分析北半球海平面气压时所遇到的类似的困难。三个特征型中, C_1 表现出明显的西传性(图略), 显然, C_1 解释了大多数 El Nino(经典型)的传播特征。但 C_2, C_3 显得很复杂, 难以解释。为此, 试图通过分析其恢复场来得出传播特征。

3. 恢复场分析及讨论

本节的恢复场包括了 1982 年 El Nino 事件的发展过程。为准确反映各 El Nino 事件的真实增暖与传播特征, 还配合恢复场使用其相邻两时间的差值场(即由第 i 个时间的恢复场减去第 $i-1$ 个时间的恢复场以表示第 i 时间的增温(或减温)情况。

通过对各次事件的具体分析, 发现按传播特征可分为三类。第一类的特点是东部增暖并向西传, 包括了 1953—1954, 1963, 1965—1966, 1968—1969, 1972—1973 各次事件; 第二类特点是东西增暖并向中太平洋传播, 有 1957—1958, 1976—1977 的两次事例; 第三类的特点是西部增暖后向东传, 这是 1982—1983 年事件的特性。作为各类的典型代表, 下面分别给出 1968—1969, 1976—1977, 1982—1983 年三次 El Nino 事件 EPSST 变化的具体过程。

1968—1969 事件: 图 5a 是 1968 年夏季(6—8 月)的 EPSST 恢复场。在整个负距平范围内, 东太平洋赤道以南出现小值正距平。图 5b 上(1968 年秋季), 东太平洋继续增暖、增暖范围向西扩展, 尤其在赤道上, 扩展迅速。至 1968 年冬季(图 5c), 整个赤道附近均为正距平, 西太平洋增暖也在加大, 至 1969 年春—夏季(图略), 该事件达到最强(西太平洋响应在 1969 年夏季达到最强)。以后该事件至 1970 年夏季结束。

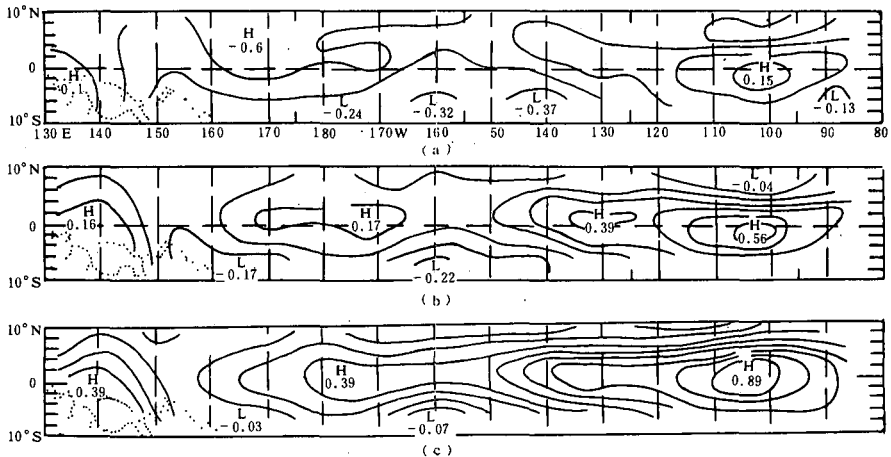


图 5 复 EOF 海温恢复场
(a)1968 年夏 (b)1968 年秋 (c)1968 年冬

1976—1977 事件: 1975 年秋季(图略), 西太平洋有正距平中心, 但看不出东传现象。此时, 赤道东太平洋接近零距平。到 1975 年冬季(图 6a), 东太平洋出现正距平, 西太平洋

正距平向东有所扩展,但 170°—120°W 的广大中太平洋上仍为较大负距平。至 1976 年春季(图 6b),中太平洋负距平仍存在,但范围明显收缩,东西太平洋正距平都在“蚕食”中太平洋负距平区。1976 年夏季(图 6c),整个赤道太平洋都为正距平打通。以后到 1976 年秋季(图略),EPSST 均被正距平所覆盖,该事件直到 1977 年夏季方结束。

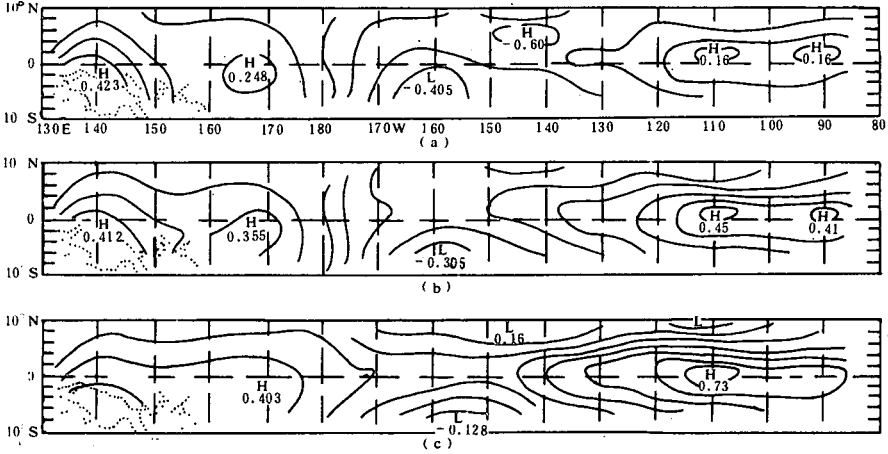


图 6 复 EOF 海温恢复场

(a)1975 年冬 (b)1976 年春 (c)1976 年夏

1982—1983 事件:1981 年秋季(图 7a),EPSST 是明显东冷西暖型,1981 年冬至 1982 年春,西部暖舌沿赤道缓慢向东扩展,各点负距平值也不断地减少;至 1982 年夏季(图 7b),西太平洋成为冷区,而正距平中心移到 160°W 的中太平洋,暖舌已伸到赤道 120°W。到 1982 年秋季(图 7c),整个中东太平洋存在大范围正距平,此后形成本世纪以来最强的 El Nino 事件。

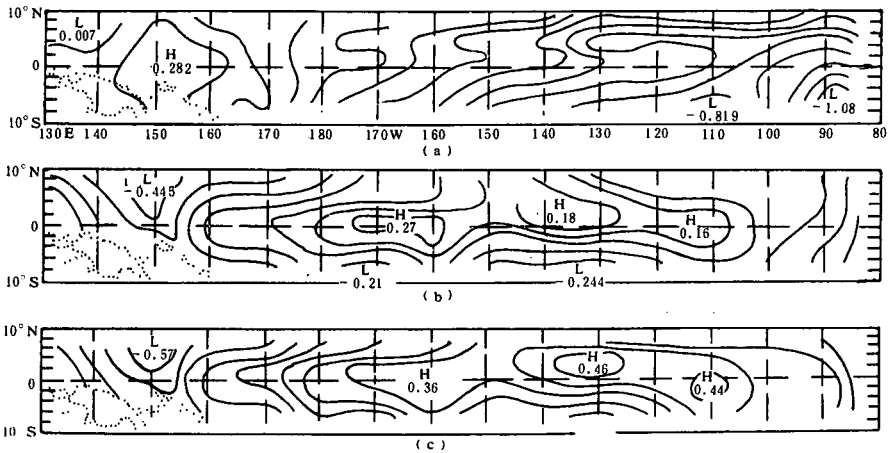


图 7 复 EOF 海温恢复场

(a)1981 年秋 (b)1982 年夏 (c)1982 年秋

四、讨 论

文中所提的第一类就是 Wyrki 提出的那种经典海洋模型,但我们觉得这种东部增暖是由于西部堆积的暖水回流造成的说法值得怀疑。在分析第一类事例中,差值场上东部太平洋增暖开始之前,中太平洋都存在明显的“冷水障”或“降水障”。因此,若按照文献[1]的说法,则西太平洋暖水回流时,中太平洋不但不增温,反而降温的现象难以解释。文献[3]在论论 Kelvin 波对 El Nino 事件的作用曾指出:如果 Kelvin 波引起的平流发生在 2—4 月间,由于海温纬向梯度很小,因而沿赤道的增温很少出现,首先观测到的是沿海岸的增暖,如果其引起的平流出现在后半年,那么由于纬向梯度较大,赤道增温将先于东部沿海。根据我们的分析,这种结论对于 1982—1983 事件的解释是成功的,但却解释不了 1965—1966, 1968—1969 等事件,它们都是在夏、秋季首先于东太平洋增暖、并未出现赤道增暖早于东部沿海的现象(根据差值)。并且文献[3]也难以解释第二类事件的形成。

关于 El Nino 的形成机制,至今还没有一个可以概括各类 El Nino 事件主要特征的模式。从 El Nino 出现次数所表现出来的准周期及其表现出的局地性看来,似乎表明 El Nino 是某种外力强迫作用的结果。那么具有双重特性外力可能是什么呢?我们认为文献[6]是具有启发性的。根据文献[6]对 El Nino 事件与火山及地震关系的统计,70%的强 El Nino 事件都发生在火山活跃年,而 1900 年以来,80%以上 El Nino 年都发生在地震活跃年(或次年),且 1900 年以来的 7 次强 El Nino 事件,全都是出现在地震活跃年。这些数字绝非是偶然的巧合。由于海洋热力上的巨大惯性,要使海温发生大范围、大幅度变化,没有强大的外源是不可能的,而海底火山和地震造成的大量地热释放,很可能就是这种最好的外源。所以,深入了解和研究太平洋地热散量对 El Nino 形成的作用是十分必要的。

参 考 文 献

- [1] Wyrki, K., El Nino—the dynamic response of the equatorial Pacific Ocean to atmospheric forcing, *J. Phys. Ocean*, 5, 572—584, 1975.
- [2] Rasmusson, E. M., and T. N. Carpenter, Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Nino, *Mon. Wea. Rev.*, 110, 354—384, 1982.
- [3] Harrison, D. E., and Schopf, P. S., Kelvin-wave-induced anomalous advection and the onset of surface warming in El Nino events, *Mon. Wea. Rev.*, 112, 923—933, 1984.
- [4] Rasmusson, E. M., and J. M. Wallace, Meteorological aspects of the El Nino/Southern Oscillation, *Science*, 222, 1195—1202, 1983.
- [5] Fu Congbin, Diaz, H., and Fletcher, J., Characteristics of the response of sea surface temperature in the central Pacific associated with warm episodes of the Southern Oscillation, *Mon. Wea. Rev.*, 114, 1716—1739, 1986.
- [6] 刘厚赞、刘梦玉, 热带太平洋地热散量与厄尔尼诺事件, *气象学报*, 47, 501—505, 1989.
- [7] Barrett, T. P., Interaction of the monsoon and Pacific trade system at interannual time scales, Part 1: the equatorial zone, *Mon. Wea. Rev.* 111, 756—773, 1983.
- [8] 黄嘉佑、李黄, 气象学中的谱分析, 61—66, 气象出版社, 1984 年。
- [9] North, G. R., T. L. Beu, R. F. Cahalan, and F. J. Moeng, Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal function, *Mon. Wea. Rev.*, 110, 699—706, 1982.
- [10] Trenberth, K. E., and W-J. K. Shin, Quasi-biennial fluctuation in sea level pressure over the North Hemisphere, *Mon. Wea. Rev.*, 112, 761—777, 1984.

THE WARMING AND PROPAGATING FEATURES OF THE EQUATORIAL PACIFIC SURFACE TEMPERATURE DURING EL NINO EVENTS

Tan Ruizhi Rong Guangxun

(Guangzhou Institute of Tropical and Oceanic Meteorology)

Abstract

In this paper, firstly the features of long variation of the Equatorial Pacific Sea Surface Temperature (EPSST) are probed by use of the spectrum analysis of the principal component of time coefficients from standard EOF. Then the warming and propagating features of EPSST during El Nino events are studied by using the CEOF method. The results show El Nino events have three patterns in the light of their spatial warming range; (1)warming in the central and east Pacific; (2)warming in the whole equatorial Pacific; (3)warming only in the east Pacific. Furthermore, they could also be divided into other three patterns based on the propagating features of EPSST during their development; (1)warming first in the east Pacific, then propagating westward; (2)warming occurring in the east and west Pacific simultaneously, then propagating towards the central Pacific; (3)warming first in the west Pacific, then propagating eastward.