

# 印度洋近赤道地区风场的变化与ENSO

高士英 王静曙

(国家海洋局海洋环境预报中心, 北京)

## 摘 要

本文利用综合海洋大气(COADS)资料, 计算了 $0^{\circ}$ — $10^{\circ}$ N、 $70^{\circ}$ — $120^{\circ}$ E和 $0^{\circ}$ — $10^{\circ}$ S、 $70^{\circ}$ — $120^{\circ}$ E两地区1950—1979年逐月纬向和经向风的平均值, 并与东太平洋表面海温(以下简称海温)进行了相关分析. 得出在ENSO发生前, 印度洋赤道地区有纬向西风偏强和经向北风偏强, 与南印度洋的气旋性环流加强相联系. ENSO发生时, 异常情况完全相反. 同时分析了 $30^{\circ}$ — $40^{\circ}$ N、 $120^{\circ}$ — $140^{\circ}$ E地区经向风的变化与ENSO的关系. 在ENSO发生前, 印度洋赤道地区的西风偏强和赤道以北的北风偏强与印度尼西亚地区的高海温异常有关. 而东亚强的冬季风可影响印度尼西亚纬向西风的异常.

赤道东太平洋海温大幅度升高的现象被称为埃尔尼诺(El Niño). 东南太平洋与南印度洋海平面气压反相关的现象被称为南方涛动(SO). 由于这两种现象有密切联系, 埃尔尼诺总是发生在南方涛动指数为负异常的时段. 因此, 现在将这两种现象通称为ENSO. ENSO的发生经常伴随着全球大气环流的异常, 造成世界性的自然灾害. 海洋学家和气象学家正在努力探索ENSO发生的奥秘. Wyrski<sup>[1]</sup>把埃尔尼诺的发生看作是海洋对信风强迫的响应. Rasmusson<sup>[2]</sup>综合分析了6个ENSO事件, 指出了西太平洋纬向西风距平对ENSO的作用. Barentt<sup>[3]</sup>也注意到了西太平洋近赤道纬向西风的作用. Harrison<sup>[4]</sup>强调了赤道开尔文波的作用. Minoru Tanaka<sup>[5]</sup>指出了东亚冬季风与沃克环流的关系. Holland<sup>[6]</sup>发现ENSO发生前, 达尔文站850 hPa总有提早的西风距平出现. Moolty等<sup>[7]</sup>指出印度夏季风期间的降水与东太平洋海温反相关. Nicholls<sup>[8]</sup>指出印度夏季风降水与达尔文的气压反相关, 而与印度尼西亚地区的海温正相关. 本文利用COADS资料, 主要讨论印度尼西亚地区海温、印度洋近赤道风场及东亚冬季风与ENSO的关系.

## 一、印度尼西亚地区海温的异常变化

人们对东太平洋海温变化已有很多研究, 但对西太平洋海温变化与ENSO的关系还研究较少. 利用COADS资料, 我们计算了 $0^{\circ}$ — $10^{\circ}$ S、 $120^{\circ}$ — $140^{\circ}$ E和 $0^{\circ}$ — $10^{\circ}$ S、 $180^{\circ}$ — $80^{\circ}$ W

两地区1950—1979年逐月海温平均值.图1给出了两地区海温距平11个月的滑动平均曲线.

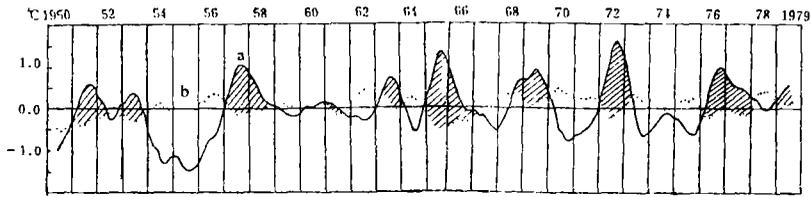


图 1 海温距平滑动平均曲线

a (实线) —— $0^{\circ}-10^{\circ}\text{S}$ ,  $180^{\circ}-80^{\circ}\text{W}$ 地区  
b (点线) —— $0^{\circ}-10^{\circ}\text{S}$ ,  $120^{\circ}-140^{\circ}\text{E}$ 地区

从图1可以看到, 尽管印度尼西亚地区海温距平变化(b线)远比东太平洋海温距平(a线)变化小, 但在ENSO过程中它的变化仍然是很明显的. ENSO发生之前, 该地区海温大多是正距平峰值. 如1956、1962、1964、1968、1971、1975、1978年(ENSO发生前一年)均对应有正距平的峰值. 非ENSO时段, 印度尼西亚地区的海温多为正距平, 东太平洋海温多为负距平. ENSO发生时的情况完全相反.

图2可看出, 印度尼西亚地区海温与同时和滞后1—2个月的东太平洋海温相关系数为-0.32, 达到0.001的置信水平. 因此, 我们可以认为, 印度尼西亚地区和东太平洋海温存在着seesaw现象. ENSO发生在东太平洋海温距平与印度尼西亚地区的海温距平之差为正值时段内. 值得注意的是, 印度尼西亚地区的海温变化比东太平洋海温变化有超前性. 在ENSO发生之前, 印度尼西亚地区海温由正距平转为负距平, 比东太平洋海温由负距平转为正距平超前1—2个月. 这表明印度尼西亚地区海温正距平的东移减弱, 很可能指示着ENSO的开始. 在ENSO发生以后, 印度尼西亚地区的海温由负距平转为正距平很可能预示着ENSO的结束.

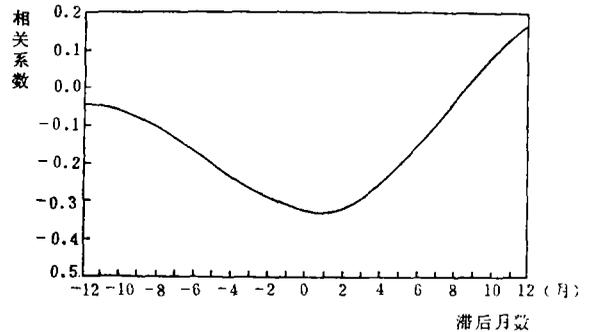


图 2  $0^{\circ}-10^{\circ}\text{S}$ ,  $180^{\circ}-80^{\circ}\text{W}$ 地区与 $0^{\circ}-10^{\circ}\text{S}$ ,  $120^{\circ}-140^{\circ}\text{E}$ 地区海温距平相关系数曲线

## 二、印度洋赤道地区风场的异常变化

利用COADS资料, 我们计算了1950—1979年 $0^{\circ}-10^{\circ}\text{N}$ ,  $70^{\circ}-120^{\circ}\text{E}$ 和 $0^{\circ}-10^{\circ}\text{S}$ ,  $70^{\circ}-120^{\circ}\text{E}$ 两地区纬向风和经向风逐月平均值. 图3给出了1950—1979年间上述地区纬向风、经向风各月的平均情况. 它反映了该地区风场变化具有典型的季风特性. 赤道以北, 夏季为西南风, 冬季为东北风. 赤道以南, 夏季盛行东南风, 冬季为西北风.

### (一) 纬向风的异常变化

从 $0^{\circ}-10^{\circ}\text{N}$ ,  $70^{\circ}-120^{\circ}\text{E}$ 和 $0^{\circ}-10^{\circ}\text{S}$ ,  $70^{\circ}-120^{\circ}\text{E}$ 地区逐月纬向风距平的11个月滑

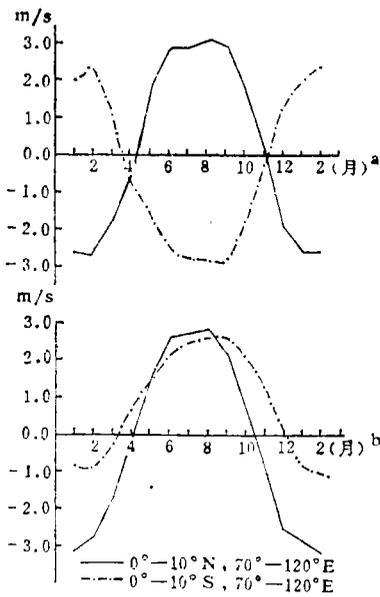


图 3 印度洋赤道地区纬向风 (a)、经向风 (b) 各月多年平均情况

动平均曲线(图4)可以清楚地看到,1951、1953、1957—1958、1963、1965、1969、1972、1976这些ENSO发生年,纬向风有明显的负距平即东风距平,这与ENSO年印度季风降水的减少是一致的。而在ENSO发生前一年,该地区纬向风均为正距平即西风距平。由西风距平转为东风距平时发生了ENSO。表明印度洋赤道地区纬向风的异常与ENSO的发生有密切的联系。比较图4中a和b线,表明该地区赤道南北变化趋势是一致的,但赤道以南具有更大的振幅,也即ENSO发生前后纬向风异常主要发生在赤道以南。

(二) 经向风的异常变化

图5给出了印度洋赤道地区逐月经向风距平11个月滑动平均曲线。

1951、1953、1957、1963、1965、1969、1972、

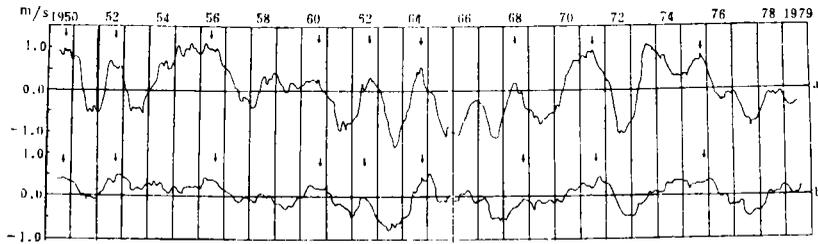


图 4 纬向风距平11个月滑动平均曲线 a——0°—10°S、70°—120°E地区, b——0°—10°N、70°—120°E地区

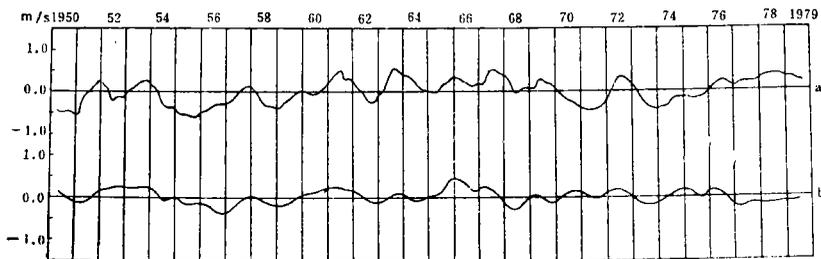


图 5 经向风距平11个月滑动平均曲线 a——0°—10°S、70°—120°E地区 b——0°—10°N、70°—120°E地区

1976等8个ENSO年中,每一年均对应一个正距平极大值。而ENSO发生前一年,经向风多为负距平。即在ENSO发生过程中经向风经历了一个由负距平转变为正距平的过程,比

较 a、b 两条曲线, 同样可以发现, ENSO 发生前后经向风的变化也主要发生在赤道以南。

图 6 给出了印度洋赤道地区纬向风和经向风月距平序列与东太平洋海温距平序列相关系数。可以看出,  $0^{\circ}-10^{\circ}\text{S}$ 、 $70^{\circ}-120^{\circ}\text{E}$  地区纬向风超前东太平洋海温 1—3 个月和滞后 0—5 月的负相关达到 0.001 的置信水平。最大相关发生在东太平洋海温滞后一个月, 相关系数为 -0.50。该地区经向风超前东太平洋海温 1—2 个月和滞后 0—1 个月的正相关也达到 0.001 的置信水平。最大相关发生在东太平洋海温滞后 2 个月, 相关系数为 0.39。这表明东太平洋海温为负距平时, 印度洋赤道地区纬向风为正距平, 经向风为负距平, 即出现西北风距平。东太平洋海温为正距平时, 情况正好相反。值得指出的是, 印度洋赤道地区风场变化超前东太平洋海温变化 1—2 个月, 与印度尼西亚地区海温超前东太平洋海温变化相一致。这就使我们将印度洋赤道地区风场的变化与印度尼西亚地区海温的变化联系起来。

我们知道, 赤道西风的加强, 由于地转偏向力的作用, 有利于造成向赤道的海流, 从而引起赤道的海温升高。因此, 可以推断, 印度洋赤道地区西风的加强, 对 ENSO 发生前印度尼西亚地区海温的升高起了重要的作用。

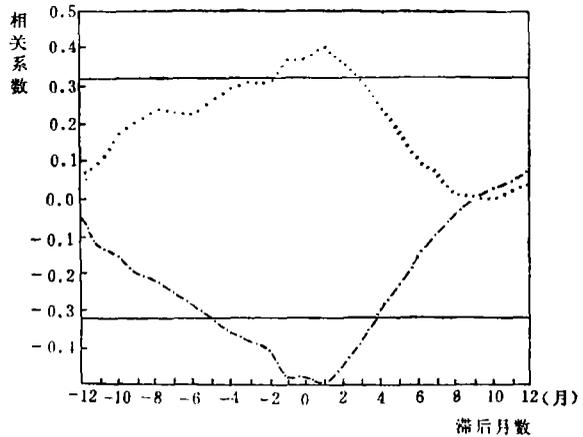


图 6  $0^{\circ}-10^{\circ}\text{S}$ 、 $70^{\circ}-120^{\circ}\text{E}$  的纬向风 (点虚线) 和经向风 (点线) 与东太平洋海温相关系数

我们知道了, 赤道西风的加强, 由于地转偏向力的作用, 有利于造成向赤道的海流, 从而引起赤道的海温升高。因此, 可以推断, 印度洋赤道地区西风的加强, 对 ENSO 发生前印度尼西亚地区海温的升高起了重要的作用。

### 三、东亚冬季风和印度尼西亚地区纬向风的异常变化

我们计算了  $30^{\circ}-40^{\circ}\text{N}$ 、 $120^{\circ}-140^{\circ}\text{E}$  地区 1950—1979 年逐月经向风的平均值和  $0^{\circ}-10^{\circ}\text{S}$ 、 $120^{\circ}-140^{\circ}\text{E}$  地区纬向风逐月平均值, 试图讨论东亚冬季风的变化与 ENSO、与印度尼西亚地区纬向风异常的联系。图 7a、b 线分别给出了东亚地区 ( $30^{\circ}-40^{\circ}\text{N}$ ,  $120^{\circ}-140^{\circ}\text{E}$ ) 经向风距平和印度尼西亚地区 ( $0^{\circ}-10^{\circ}\text{S}$ ,  $120^{\circ}-140^{\circ}\text{E}$ ) 纬向风距平 11 个月的滑动平均。从图中可知, 对于 1951、1953、1957—1958、1965、1969、1972、1976 这些 ENSO 年, 东亚地区的经向风均有正距平峰值相对应, 唯 1963 ENSO 年例外。而 ENSO 发生前, 均有一段持续的负距平。说明东亚中纬地区经向风异常与 ENSO 有一定联系, 对应一个 ENSO 出现, 该地区经向风有由负距平向正距平的转变。王绍武<sup>[9]</sup>曾指出, 我国东北地区的低温与 ENSO 有密切的联系。由上述可知, 东亚中纬地区在 ENSO 发生前存在着持续的北风偏强, 受冷空气南下影响较多, 因此在 ENSO 发生前和发生当年前几个月东北地区易出现低温。同时, 东亚该地区持续的北风偏强, 会在海洋上产生异常的向赤道流, 造成海水在印度尼西亚地区堆积, 使海温升高。这是 ENSO 发生前印度尼西亚地区高温的一个因素。

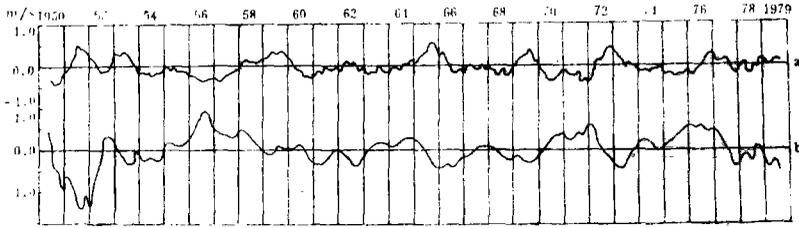


图7 30°—40°N、120°—140°E经向风(a)和0°—10°S、120°—140°E的纬向风(b)月距平11个月滑动平均

对照图7a、b线，可以发现两者为负相关。30°—40°N、120°—140°E地区经向风负距

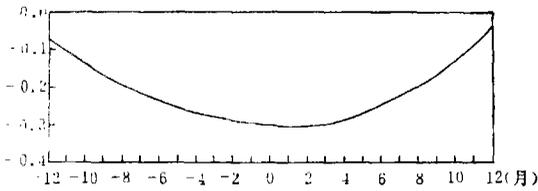


图8 30°—40°N、120°—140°E地区经向风月距平和0°—10°S、120°—140°E地区纬向风月距平间的相关系数

平时段，0°—10°S、120°—140°E地区纬向风为正距平；反之，前者为正距平时，后者为负距平。它们之间的相关系数如图8所示。它们之间，最大相关发生在同时，相关系数为-0.30，置信水平0.01。可以想象，东亚中纬度北风偏强，加强了由北向南的越赤道气流，转向后，加强了印度尼西亚地区的纬向西风。

对应1951、1953、1957—1958、1965、1969、1972、1976—1977这些ENSO年，它们的前一年均有0°—10°S、120°—140°E地区纬向西风距平峰值出现，只1963年例外。强的纬向西风，造成强的海水向赤道流，海水在赤道附近堆积，使海温升高。所以印度尼西亚地区ENSO发生前高海温与该地区强的纬向西风是密切相联的

我们知道，东太平洋赤道地区海温的升高总是发生在南方涛动指数为负距平的时段。由图1知，东太平洋海温转为正距平前总有一段持续的负距平时段。正是这个时段，印度尼西亚地区的海温为正距平，南方涛动指数也为正距平时期。对应南方涛动指数为正距平时，印度洋和印度尼西亚—澳大利亚地区正为低压活动期，有利于气旋性环流发展。ENSO发生前，印度洋赤道地区和印度尼西亚地区出现的纬向西风距平和经向北风距平正是南印度洋气旋性环流发展的反映。赤道以北，东亚中纬度对印度洋气旋环流的发展也做出了响应，表现为ENSO发生前该地区出现持续的北风距平，造成了由北向南越赤道气流的加强。该气流越赤道后加强了印度洋和印度尼西亚赤道地区的西风距平。赤道地区的西风有利于海水在赤道地区堆积。同时赤道以北东亚地区北风加强必然产生海水异常地向赤道流，造成海水堆积在印度尼西亚地区，使该地区海温升高。该地海温升高反过来又会加强太平洋地区的沃克环流和印度洋地区的反沃克环流，使太平洋地区的东风和印度洋地区的西风进一步加强。印度尼西亚地区海温的升高也会加强该地区的哈德莱环流，使得中高纬底层的北风加强。这样更加有利于印度尼西亚地区海温的升高。可见，南印度洋在南方涛动指数为正距平时低压系统发展，造成印度洋赤道地区和印度尼西亚地区西风距平，导致印度尼西亚地区出现高海温。而这时东太平洋海温正是负距平时期，因此，两地海温出现了seesaw现象。

ENSO发生前一年的冬季,往往出现中纬东亚地区北风距平峰值,即强冬季风。由于强冬季风造成越赤道气流,加强了印度尼西亚地区的纬向西风,使这时该地区出现西风距平峰值,造成该地区高海温的东移。此地高海温的东移减弱,预示着东太平洋海温的升高,因此,这很可能就是ENSO的开始。

#### 四、几点结论

总结前面的讨论,我们可以得到如下结论:

1. 印度尼西亚地区的海温和东太平洋的海温有明显的 seesaw 现象。ENSO发生前,印度尼西亚地区总有持续的海温正距平,正距平达峰值后下降,转为负距平时发生了ENSO。

2. ENSO发生前印度洋赤道地区和印度尼西亚地区有持续的 纬向西风距平和经向北风距平。而在ENSO发生时的情况完全相反。这可能是由于ENSO发生前南印度洋为低压影响,气旋性环流加强。而ENSO发生后,印度洋转为高压影响,反气旋性环流加强。

3. ENSO发生前东亚中纬地区存在着持续的北风距平。这可能是造成我国东北、华北地区ENSO发生前低温的主要原因。该地区北风距平加强了由北向南的越赤道气流,从而加强了印度尼西亚地区的西风距平。

4. ENSO发生前,印度洋赤道地区和印度尼西亚地区的西风距平及东亚中纬度的北风距平是造成印度尼西亚地区高海温的主要原因。

#### 参 考 文 献

- [1] Wyrтки, K., El Niño—the dynamic response of the Equatorial Pacific Ocean to atmospheric forcing, *J. Phys. Oceanogr.*, 5 (1975), 572—584.
- [2] Rasmusson, E. and T. Carpenter, Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño, *Mon. Wea. Rev.*, 110 (1982), 354—384.
- [3] Barentt, T. P., Statistical relations between ocean/atmospheric fluctuations in the tropical Pacific, *J. Phys. Oceanogr.*, 11 (1981), 1043—1058.
- [4] Harrison, O. E. and P. S. Schopf, Kelvin-wave-induced anomalous advection and onset of surface warming in El Niño events, *Mon. Wea. Rev.*, 112 (1984), 923—933.
- [5] Minoru Tanaka, 冬季风试验区周围热带季风环流的年际振荡, 热带气象译文集, 第九集, 1983, 26—31.
- [6] Holland, G. J. and N. Nicholls, A simple predictor of El Niño? *TO—AN*, 30 (1985), 8—9.
- [7] Mooley, D. A. and B. Parthasarthy, Indian Summer Monsoon and the east equatorial Pacific sea surface temperature, *Atmosphere—Ocean*, 22 (1984), 1: 23—25.
- [8] Nicholls, N., Predicting Indian monsoon rainfall from sea-surface temperature in the Indonesia—north Australia area, *Nature*, 306 (1983), 576—577.
- [9] Shao-wu Wang, El Niño and Summer temperatures in Northeast China, 1860—1980, *TO—AN*, 25 (1984), 4,