

热带西太平洋海水热结构对 1986—1987 年 ENSO 事件的响应*

刘 赞 沛

(国家海洋局第一海洋研究所, 青岛 266003)

摘要 本文利用热带西太平洋中、美海气第1至第4航次联合考察资料, 分析讨论了1986—1987年 El Niño/Southern Oscillation (ENSO) 事件期间该区热结构的变化。分析表明, 事件期间热带西太平洋暖水域海水热含量显著降低, 它与 140°W 和 $\text{Nino}_1 + \text{Nino}_2$ 区的 SST 距平变化恰成反位相关关系。此外, 温跃层在此期间内上升了 50—100m, 上混合层明显变浅。这种温跃层的异常上升是与事件期间此区西风异常的出现和赤道两侧正的风应力旋度增大有着密切关系。

关键词 热含量 海面温度距平 风应力旋度 Ekman 抽吸速度

常年, 由于东南信风的长期吹刮, 且由于岸界的阻挡, 南赤道流携带大量暖水于热带西太平洋堆积。因而该海域贮备了极大的位能和热能。当东南信风减弱, 特别是在日更线以西的热带西太平洋, 东风转变为西风时, 此区域暖水将大量东移。这种能量的向东输送将使整个热带太平洋上层海水热量进行重新分配, 从而引起了海洋上层温度场的巨大变化, 最终导致 ENSO 事件的发生。因此, 该海域在 ENSO 的形成和发展中起着至关重要的作用。

有关 ENSO 期间热带西太平洋温跃层和海水热结构的变化, 前人已作过一些研究^[2,4,6]。但对整个事件过程中各阶段这些量的变化的分析和研究尚还未曾有过报道。本文利用中、美4个航次联合考察的资料, 分析讨论了1986—1987年 ENSO 事件期间此区热含量、温跃层及与此有关的风场的变化。此外, 文中还讨论了热带东、西太平洋以及中太平洋海温异常之间的位相关系。

一、资料及其处理方法

本文采用热带西太平洋中、美联合考察第1—4航次垂直间隔为 10m 的 CTD 资料和部分船测风资料。850 和 1000hPa 月平均风的资料是由国家气象局提供的。根据上述资料, 算出各航次 CTD 站 0—260m 海水的平均温度和各观测断面的平均温度。温度垂直梯度大于 $0.075^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 的层次被定义为温跃层, 并以此为标准确定出温跃层的上、下界。

此外, 我们利用 5 度网格上 1000hPa 的月平均风资料, 计算了风的旋度场。采用近似

* 本研究系热带西太平洋中、美海-气相互作用合作研究课题。张洪暖和冯岳参加了绘图和计算, 谨志谢意。
接受日期: 1990 年 6 月 26 日

公式 $W_e = (\partial \tau_y / \partial x - \partial \tau_x / \partial y) / \rho f$, 计算了相应的 Ekman 抽吸速度 (W_e)。其中令 $\rho = 1$, f 为科氏参数。由于 f 在赤道为零, 所以只计算了 2.5°N 和 2.5°S 的 W_e 值。

二、上层海水热含量的变化

ENSO 期间热带西太平洋表层水温变化并不大, 但海洋上层热含量的变化却相当大。图 1 清楚地表明, 随着事件的发展, 整个观测断面热含量显著下降。第 3 航次已降至最低位置, 但第 4 航次又开始上升。 141.5°E 断面的变化情况与 165°E 断面类似。表 1 中列出了各观测断面 0—260m 平均温度的变化。表 1 表明, 暖水域中心 (约 155°E) 和北纬 4 度的平均温度下降最大。

表 1 各观测断面 0—260m 平均温度的变化 ($\Delta T = T_3 - T_1$) 和温跃层上界变化 ($\Delta H = H_3 - H_1$)

Tab. 1 Variations of 0—260m average temp. ($\Delta T = T_3 - T_1$) and upper boundaries of thermoclines ($\Delta H = H_3 - H_1$) in the observed sections

断 面	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$ (3—1)	$\Delta T_{\max}(^{\circ}\text{C})$ (3—1)	$\Delta H(\text{m})$ (3—1)	$\Delta H_{\max}(\text{m})$ (3—1)
赤 道 (140—165°E)	-2.8	-3.5(155°E)	-54	-90(155°E)
165°E	-2.7	-3.7(4°N)	-67	-100(4°N)
141.5°E	-2.8	-4.5(4°N)	-46	-90(3°N)
130°E	2.53	2.9(10°N)	18	50

注: (3-1)表示第 3 航次观测要素断面平均值与第 1 航次的差。

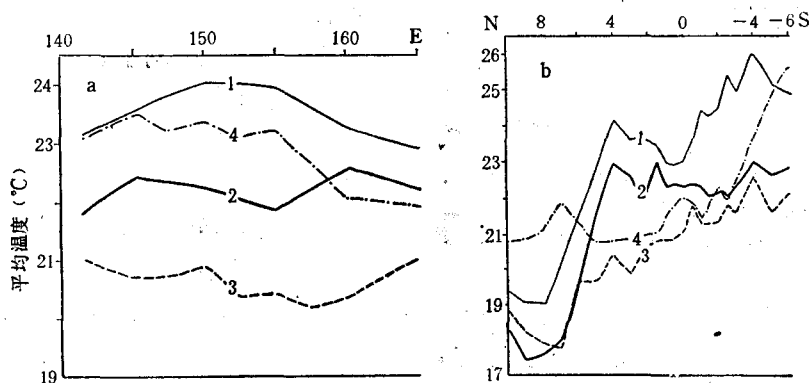


图 1 4 个航次 0—260m 平均温度(热含量)

Fig. 1 0—260m average temperatures (heat content) for four cruises

a. 赤道平面(140—165°E); b. 165°E 断面 (10°N — 6°S)。——1——第 1 航次(1986 年 1—2 月); - - - 2 - - 第 2 航次(1986 年 11—12 月); ···· 3 ···· 第 3 航次(1987 年 9—10 月); - · - · - 4 - · - · - 第 4 航次(1988 年 4—5 月)(图 3、图 4 同)

总之,除了 130°E 断面外,事件初期至成熟阶段,热带西太平洋大部分海域上层海水热含量大幅度下降。可以认为,这种下降是与此期间内这一区域的异常向东平流输送有

关。在第2航次期间,当时海面吹刮西风,赤道上东向流超过 1m/s , 厚度达 120m , 其东向流宽度跨南北纬 13 个纬度 ($7^\circ\text{N}-6^\circ\text{S}$)。在此期间东向流是相当强的(参看文献[1]的图1)。其次, 上述这种热含量的下降还与温跃层的上升有关, 关于这点下节将详细讨论。

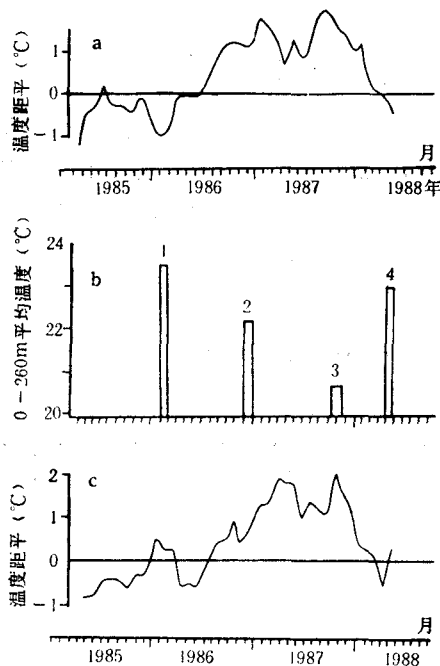


图2 热带西太平洋上层海水热含量变化与热带中、东太平洋 SST 距平变化的关系

Fig.2 Relationships between the changes of the sea water heat content in the upper layer of the western tropical Pacific and those of SST anomalies of the central and eastern tropical Pacific

a. 赤道 140°W 实测 SST 距平 (据文献[3]); b. 赤道平面 ($140-165^\circ\text{E}$) 各航次 $0-260\text{m}$ 平均温度 (1-4 为第 1-4 航次); c. Nino₁ + Nino₂ 区实测 SST 距平 (据文献[3])。

热带西太平洋暖水域海水热含量降至很低时 (第3航次), 140°W 的 SST 正距平刚刚经历了第二个峰值。由此看出, 热带西太平洋暖水域上层海水热含量的变化与中太平洋上层海水变暖存在着反位相关系。除了由于信风减弱引起的表层海水变暖外, 赤道中太平洋上层海水变暖主要是由热带西太平洋向东的异常热平流输送所引起的。另外, 由图 2c 也可看出, Nino₁ + Nino₂ 区 SST 正距平的第一个峰值是在热带西太平洋暖水域出现异常后 3 个月左右出现的, 这一时间尺度与一态内开尔文波自热带太平洋西岸传播至东岸所需时间大体一致。大约一年后即 1987 年 10 月, Nino₁ + Nino₂ 区的 SST 正距平出现第二个峰值, 此时暖水域海水热含量亦降至最低值 (第3航次)。由此可以看出, 热带太平洋上层海水温度的异常变化是自热带西太平洋向中、东热带太平洋传播的。

暖水域上层海水的收支, 主要由三个物理过程所支配, 即通过海-气界面的显热与潜热交换, 温跃层以下的冷水挟带和热平流输送。这里首先讨论热平流输送。假定在南、北纬 15 度和 $135-165^\circ\text{E}$ 的水域内, 上层 $0-260\text{m}$ 水体的平均温度降低 3°C , 则从第1航次至第3航次此水域上层海水热含量的损失约为 $36.4 \times 10^{21}\text{J}$ 。另外, 由 165°E 断面南、北纬 5 度、深度为 100m 的范围内, 如以平均速度为 10cm/s 向东输送水体, 则半年就有 $1.75 \times 10^{14}\text{m}^3$ 的水体向东输送。如这一水体平均温度为 26°C , 则半年内通过此断面的向东热量输送为 $19.1 \times 10^{21}\text{J}$ 。这一向东热输送超过此区域总的热损失的一半。此估算表明, 热带西太平洋暖水域的热损失和中太平洋上层海水变暖是与异常的向东平流输送存在密切关系的。正如文献[1]的图1所示, 是与 ENSO 期间南、北赤道逆流的增强有关。

图2清楚地表明了热带西太平洋、中太平洋 (赤道 140°W) 和热带东太平洋 (Nino₁ + Nino₂ 区) 海水热含量变化之间的关系。当热带西太平洋暖水域海水热含量急剧下降时 (第2航次), 140°W 的 SST 正距平迅速增加, 并于 1987 年 1 月出现第一个峰值; 当热

三、温 跃 层

ENSO 期间,热带西太平洋温跃层明显上升,上混合层变浅。这是该区在 ENSO 期间热结构变化的又一重要特征。

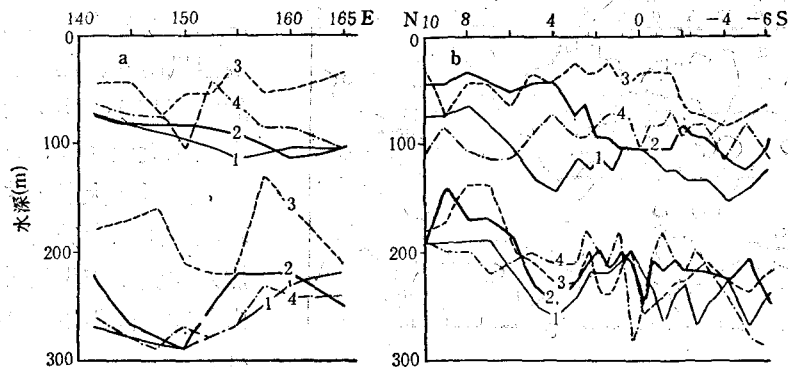


图 3 中、美 4 个航次温跃层上、下界的变化

Fig. 3 Variations in upper and lower boundaries of the thermoclines for PRC/USA four cruises

a. 赤道平面 (140—165°E); b. 165°E 断面。

由图 3 可看出,温跃层在第 2 航次期间已明显上升;第 3 航次上升至最高位置,在赤道平面;第 3 航次与第 1 航次相比大约上升了 50—90m。暖水域中心上升最大(约 90m),整个观测断面平均上升约 54m。在 165°E 断面(图 3b),赤道处上升约 70m;两侧上升较大;赤道以北最大上升近 100m。表 1 列出了它们的平均值的变化和变化的最大值。

温跃层上升、上混合层变浅是热带西太平洋暖水域海水上层热含量大幅度降低的又一重要原因。如我们假定上均匀层温度(28℃)和跃层下界温度(13℃)不变,只要整个温跃层上升 50m,通过简单计算,则可算出 0—260m 海水平均温度将降低 1.4℃。因此,以赤道平面为例(第 3 航次平均温度比第 1 航次降低了 2.8℃,温跃层顶上升了 54m),由于跃层的上升将使 0—260m 海水热含量降低 50% 左右。由此我们得出,ENSO 期间热带西太平洋暖水域上层海水热含量减小,主要是由于逆流增强导致的向东异常热平流输送和温跃层的异常上升所引起的。

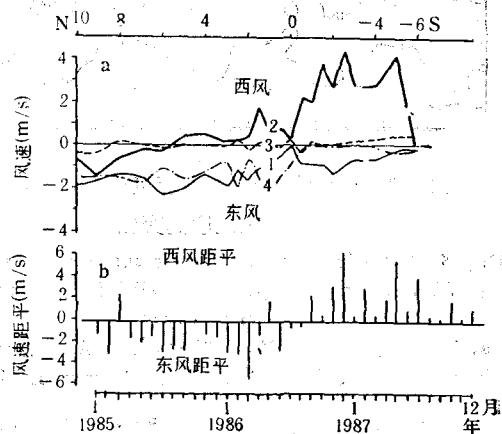


图 4 165°E 断面海面风场和 850hPa 月平均风距平的变化

Fig. 4 Variations of the wind fields on the sea surface at 165°E and anomalies of monthly mean wind at 850 hPa

a. 165°E 断面船测纬向风; b. 165°E 断面赤道 850hPa 纬向风距平。

四、温跃层上升与风场

ENSO 期间温跃层明显上升,引起这种异常上升的主要原因讨论如下。图 4a, b 表明,第 1 航次和第 4 航次期间,热带西太平洋盛行东风和出现东风距平,而从图 3 可看到,

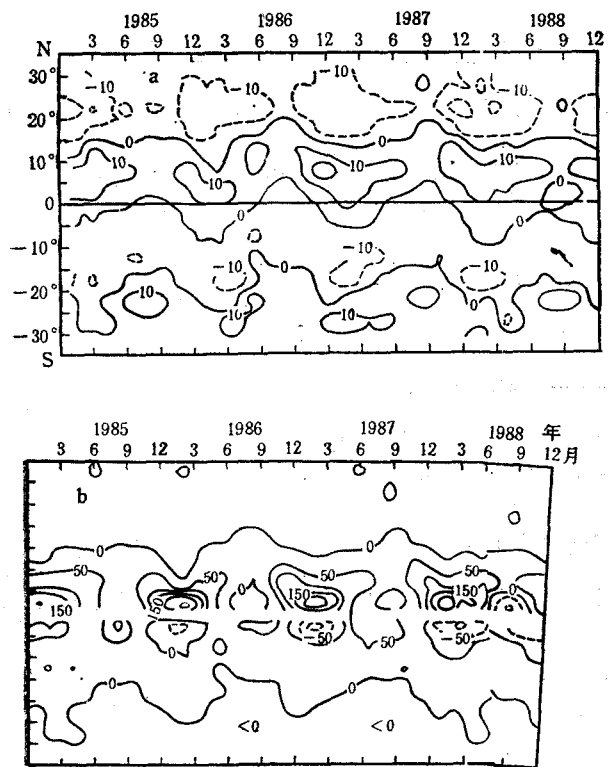


图 5 热带太平洋 165°E 海面风应力旋度和 Ekman 抽吸速度的变化

Fig. 5 Variations of wind stress curl on the sea surface and Ekman pumping speeds at 165°E in the tropical Pacific Ocean

- a. 风应力旋度(间距为 $10 \times 10^{-4} \text{N/m}^2$): —正旋度; ---负旋度。
b. Ekman 抽吸速度(间距为 50 cm/d): ——上升; ---下沉。

热带西太平洋海面风应力正旋度在较长时间内保持大值是有利于南、北赤道逆流增强和此区温跃层的上升的。

五、结 论

1. 此次 ENSO 事件期间,热带西太平洋暖水域上层海水热含量显著减小, 0—260m 平均温度降低 2.8℃ 左右。它的变化比季节性变化的振幅(约 1℃)大得多。这主要是由于事件期间异常的向东热平流输送和温跃上升的结果。

2. 虽然研究区域温跃层深度的季节性变化仅 6—10m^[2,7], 但事件期间它们的深度变化是相当大的(50—100m)。这种异常的温跃层上升主要由两种过程所支配,一是热带西

此时温跃层是下沉的。但第 2 航次和第 3 航次期间盛行西风 and 出现西风距平,此时温跃层是上升的(见图 3)。实际上,赤道海区东向流大大加强,从而热带西太平洋的暖水大量流失。因此,这种温跃层的上升是对于此区域上层水体大量流失的补偿。除了纬向风和它的距平场变化的影响外,风的旋度变化对温跃层的影响也是不容忽视的。当风应力分布发生变化时,未被补偿的风生辐散将导致温跃层上升^[6], 特别是赤道两侧。这可能是赤道两侧温跃层上升较大的原因之一。图 5a 表明,自 1986 年 9 月始,赤道海区风的气旋式涡度增大,除了 1987 年 9 月和 10 月有所减小外,这一大值一直延续至 1988 年的 7 月。相应的 Ekman 抽吸速度在北半球也有较大的值(图 5b), 其值为每天 50—200cm。这些结果部分地说明了温跃层上升与风的正旋度增强的关系,特别是在赤道以北。因此, ENSO 期间,

太平洋出现持续的大范围的西风异常所导致的东向流的大大加强,从而暖水大量流失使此区温跃层显著上升;另外则是由于风的旋度增加所引起的海洋辐散加强而导致的上升。

3. 以上的分析表明,事件期间热带西太平洋失去大量能量和水体。相反,热带中、东太平洋却得到大量能量。这种能量的转移是通过内开尔文波和异常的热平流输送实现的。因此,可以认为热带西太平洋的异常条件的出现在激发和维持 ENSO 事件中起着十分关键的作用。

参 考 文 献

- [1] Bocheng, L. and Qiyu, L., 1988, The variations in current system in the western tropical Pacific and its relations to the wind field, *In* Air-sea interaction in tropical western Pacific, Proceedings of US-PRC international TOGA Symposium, China Ocean Press, pp. 33—39.
- [2] Donguy, J. R. et al., 1982, Thermal changes in the western tropical Pacific in relation to the wind field, *Deep Sea Res.*, 29(7A): 869—882.
- [3] Lander, M. A., 1989, A comparative analysis of the 1987 ENSO Event, *Trop. Ocean-Atmos Newslett.*, 3: 3—6.
- [4] Masuzawa, J. and Nagasaka, K., 1975, The 137°E Oceanographic section, *J. Mar. Res. Supplement*, 33: 109—116.
- [5] Pazan, S. E. and Meyers, G., 1982, Interannual fluctuation of the tropical Pacific wind field and the Southern Oscillation, *Mon. Wea. Rev.*, 110: 588—600.
- [6] Wyrtki, K., 1977, Sea level during the 1972 El Niño, *J. Phys. Oceanogr.*, 7: 779—787.
- [7] Wyrtki, K., 1979, The response of sea surface to pography to the 1976 El Niño, *J. Phys. Oceanogr.*, 9: 1223—1231.

THE RESPONSE OF THE SEA WATER THERMAL STRUCTURE IN THE WESTERN TROPICAL PACIFIC OCEAN TO THE 1986—1987 ENSO EVENT

Liu Zanpei

(First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266003)

ABSTRACT

The variations of the thermal structure in the western tropical Pacific during the 1986—1987 ENSO event are discussed in this paper by using the data obtained from four cruises of PRC-USA Joint Air-sea Interaction Studies in the western Pacific Ocean. The results from the analysis of the data and calculations show that the heat content of the sea water in the warm pool of the western tropical Pacific was decreasing markedly during the event. Meanwhile, its variations and variations of the SST anomalies at EQ, 140°W and in the regions Nino₁+Nino₂ of the eastern Pacific were out of phase. Besides, the thermoclines there lifted up by 50—100m and upper mixed layer became shallow obviously during the event. The anomalous lift of the thermoclines was associated closely with the west wind anomaly and intensification of positive wind stress curl on both sides of the equator.

Key words Heat content, SST anomaly, Wind stress curl, Ekman pumping speed