

# 热带西太平洋海洋上层热含量的分布特征及其年际变化的分析\*

白虹 丁宗信 李永祥

(中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

**提要** 选用海面至 20℃ 等温线所处深度水层的平均温度来表征研究海域海洋上层热含量。利用这一特征值, 分析 1986—1990 年期间热带西太平洋边缘海域海洋上层热含量在秋季的分布特征和年际变化。结果表明: (1) 热含量呈南高北低分布, 在 7.5—22.1°N 范围内, 以 130°E 断面为代表, 热含量的平均递减率为 0.179(℃/纬度); (2) 热含量的分布主要取决于环流系统, 其等值线因受黑潮和棉兰老海流的影响而由纬向分布转向经向分布, 某些区域因受暖涡及冷涡的影响而呈封闭状分布; (3) 热含量的年际变化与 El Niño 事件存在着很好的相关性, 在 El Niño 事件发生期间, 热含量变得很低, 高热含量 (大于 26.5℃) 海区的分布范围明显缩小。

**关键词** 热带西太平洋 热含量 分布特征 年际变化

关于热带太平洋海洋上层热含量的研究, 是近年来物理海洋学的研究热点之一。此项研究一般集中在赤道太平洋海域 (Henin et al., 1980; Donguy et al., 1982), 而对热带西太平洋, 特别是菲律宾以东至 130°E 之间海域, 因观测资料所限涉及甚少。随着对局部海域在大洋环流和海气相互作用中的重要性的充分认识, 对太平洋西北部边缘海域上层海水热含量的研究也就愈来愈受到海洋学者的重视。事实上, 太平洋西部边界海域由于它复杂的环流系统而使其在大尺度海气相互作用的研究中所占的位置变得越来越重要。一方面, 北赤道流在西部边界的南、北分支 (棉兰老海流和黑潮) 分别担负着向赤道和向极的热量输送, 在维持全球热量平衡过程中起了非常重要的作用。北分支黑潮向极输送热量的多寡在一定程度上支配着中国东南沿海冬天的冷暖 (Hu, 1989; Hu et al., 1991); 另一方面, 该海域位于太平洋暖水库的西北边界, 其热量的变化很可能与暖水在 El Niño 期间的东移 (Donguy et al., 1984) 有关。因此, 该海域上层海水热含量的研究对分析研究中国东南沿海地区气候的变化以及 El Niño 事件的发生和发展过程都有着极其重要的意义。为进一步研究海洋对气候, 特别是对中国东南沿海地区气候变化的影响, 本文利用实测资料, 分析热带西太平洋海洋上层热含量的分布特征及年际变化。

## 1 资料来源及处理方法

本文所用资料主要来源于中国科学院海洋研究所“科学一号”船在 1986—1990 年连续

\* 国家自然科学基金资助, 49176255 号。白虹, 女, 出生于 1961 年 10 月, 助研。

本文插图由杜涌山清绘, 谨此志谢。

收稿日期: 1993 年 5 月 4 日, 接受日期: 1993 年 6 月 7 日。

5年秋季(9—10月)在热带西太平洋海域考察的CTD(温、盐、深)资料(站位分布如图1),其次取自日本气象厅自1980—1986年间在 $130^{\circ}\text{E}$ 断面上夏季海洋观测资料。

海洋中大部分热量储存在海洋上层,海洋上层热含量除了与海洋上层温度有关外,还与温跃层以上混合层深度有关。本文选用海面至 $20(^{\circ}\text{C})$ 等温线所在深度水层的平均温度来表征研究海域海洋上层热含量,利用这一特征值,既可以反映出海洋上层温度变化造成的热含量变化,又可以反映出温跃层变化造成的热含量变化。

## 2 热含量的分布特征及其与环流系统的关系

由图2可以看出,在北赤道流进入研究海域后,大致在 $13^{\circ}\text{N}$ 附近分为两支,向北的是黑潮,向南的是棉兰老海流。除此之外,还存在3个涡旋,其中心位置在 $20^{\circ}\text{N}, 125^{\circ}\text{E}$ ;  $18.5^{\circ}\text{N}, 126^{\circ}\text{E}$ 和 $7.5^{\circ}\text{N}, 128^{\circ}\text{E}$ 附近,分别为暖涡、冷涡和冷涡,前者即为副热带暖涡,后者是棉兰老冷涡,中者在我们调查期间都被观测到,本文为叙述方便称之为 $18^{\circ}\text{N}$ 冷涡。这个冷涡的形成与黑潮逆流(Nitani, 1972)的出现是分不开的。热含量的分布特征见图3。

由于地理位置不同,吸收的太阳辐热也不同,因此,热含量明显地呈南高北低的分布趋势,南部高达 $27(^{\circ}\text{C})$ 以上,北部低于 $24(^{\circ}\text{C})$ 。以 $130^{\circ}\text{E}$ 断面为代表,热含量向北的平均递减率( $^{\circ}\text{C}/\text{纬度}$ )为:1986年,0.168;1987年,0.143;1988年,0.209;1989年,0.225;1990年,0.152。

在 $130^{\circ}\text{E}$ 断面附近,热含量等值线基本沿纬向分布,在研究海区中部随着黑潮和棉兰老海流分离,一部分沿吕宋岛向西北延伸,另一部分沿棉兰老岛向南延伸,几乎呈经向分布。黑潮携带高热含量水输向中国东南沿海,这一输送,将对调节中国东南沿海地区的气候变化起着重要的作用。

在 $7.5^{\circ}\text{N}, 128^{\circ}\text{E}$ 附近和 $18^{\circ}\text{N}$ 以北区域,等值线的分布并不规则,形成了几个封闭的等值线区。这几个封闭区分别同上述的冷涡和暖涡相对应。冷涡区为低热含量海区,暖涡区为高热含量海区。

1987年在棉兰老岛和萨马岛沿海以及1988年在菲律宾东中部沿海的热含量均高于远海,同其它年份的情况不同,其原因我们认为可能是受当地陆地气候的影响。

## 3 热含量的年际变化

### 3.1 热含量的年际变化与 El Niño 的关系

仅利用1986—1990年秋季所取得的资料来研究热含量的年际变化是非常不足的,因此本文引用了日本气象厅自1980年以来在 $130^{\circ}\text{E}$ 断面上夏季海洋观测资料。在所用资料中(1980—1990年),包含了1982/1983年和1986/1987年两次 El Niño 事件。至于1990年,由于位于赤道西太平洋的温度正距平区移动到了赤道中太平洋,但最后没有发展到赤道东太平洋,是一次弱的 El Niño 事件。因此,这一资料序列包括了两次 El Niño 事件的发生—发展—消失的全过程,基本上反映出研究海域热含量的年际变化特征。

由图4可以看出,在 El Niño 事件即将发生和刚刚发生时期,呈冷舌状的热含量等值线由北向南伸展,冷舌前锋可以到达 $7^{\circ}\text{N}$ 附近(如1986年),或由南北两侧向 $12^{\circ}\text{N}$ 附近伸展,致使高热含量海区的范围明显缩小(如1982年)。在 El Niño 事件发生之后,热含量逐渐增大,高热含量海区范围明显增大,且呈舌状向北伸展,甚至影响到 $22^{\circ}\text{N}$ 。在

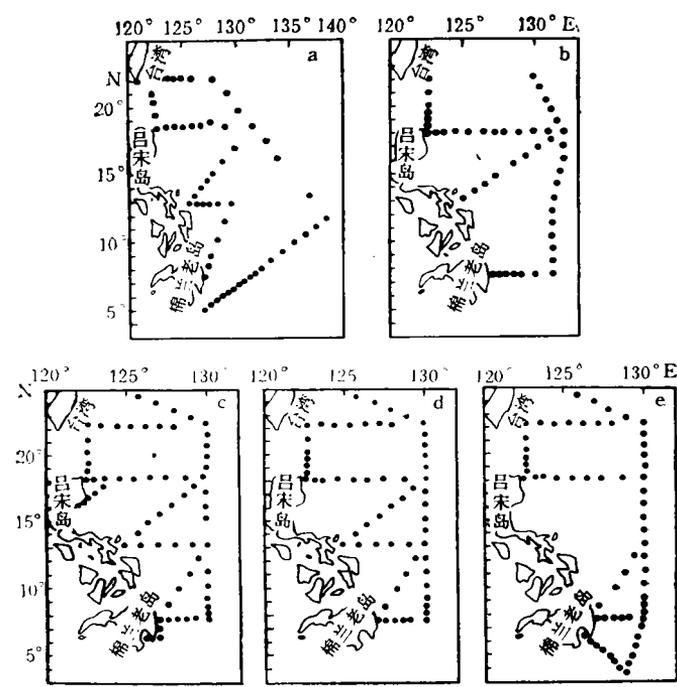


图1 站位分布图

Fig. 1 Cruise track in the western tropical Pacific  
a. 1986年; b. 1987年; c. 1988年; d. 1989年; e. 1990年。

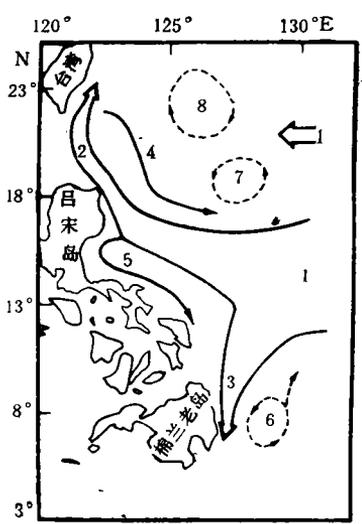


图2 环流示意图

Fig. 2 Diagram of the circulation current in the western tropical Pacific

1. 北赤道流; 2. 黑潮; 3. 棉兰老海流;
  4. 黑潮逆流; 5. 菲律宾沿岸流; 6. 棉兰老冷涡;
  7. 18°N冷涡; 8. 副热带暖涡。
- 实线表示海流; 虚线表示涡旋; 箭头表示海流的方向。

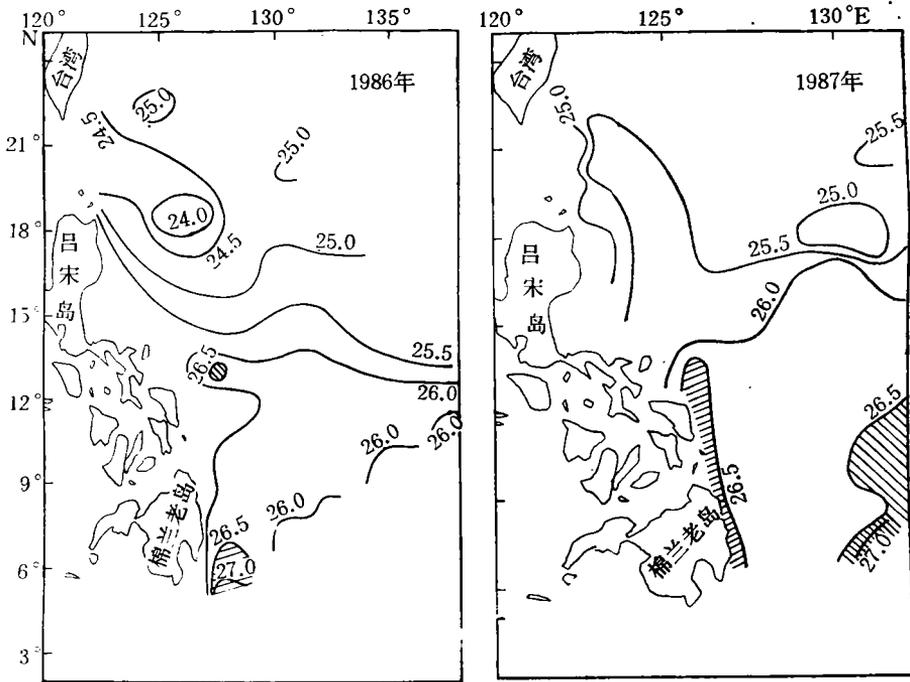


图3 热含量(°C)分布图

Fig. 3 Distributions of the heat content (°C) in the western tropical Pacific  
阴影部分表示热含量高于26.5(°C)的高热含量海区。

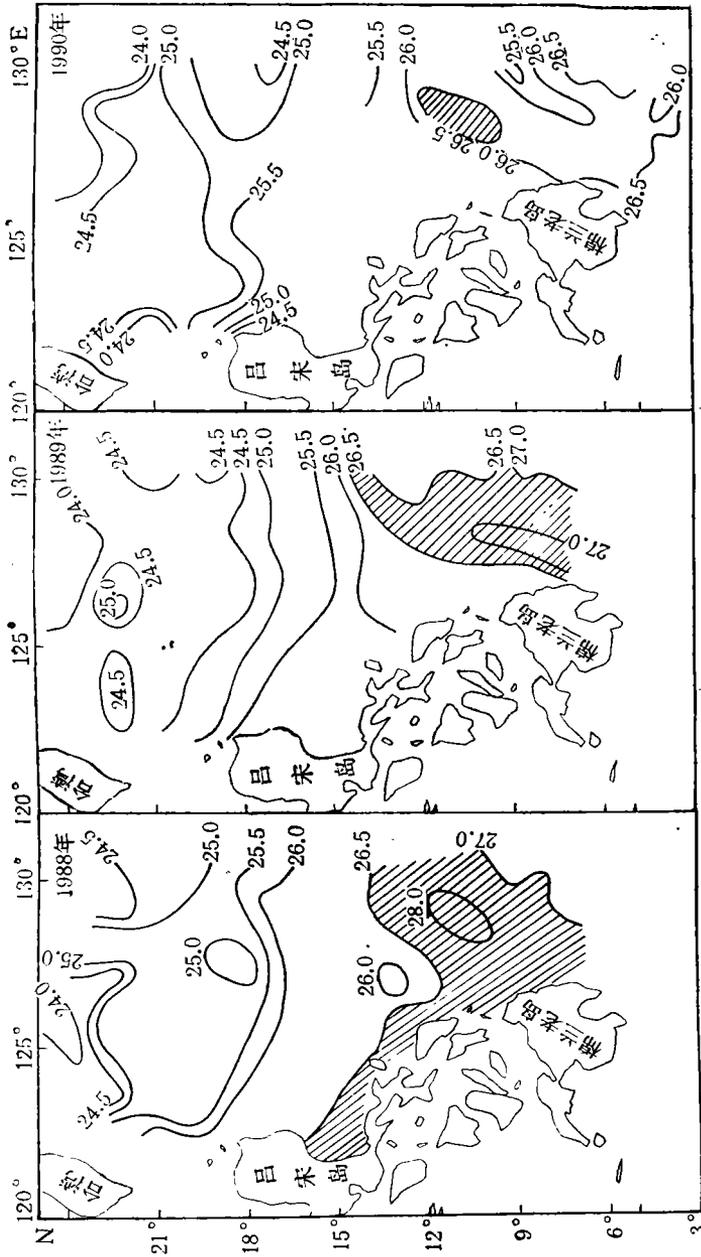


图 3 (续)

同一纬线上,热含量可有近  $1(^{\circ}\text{C})$  的年际差异。

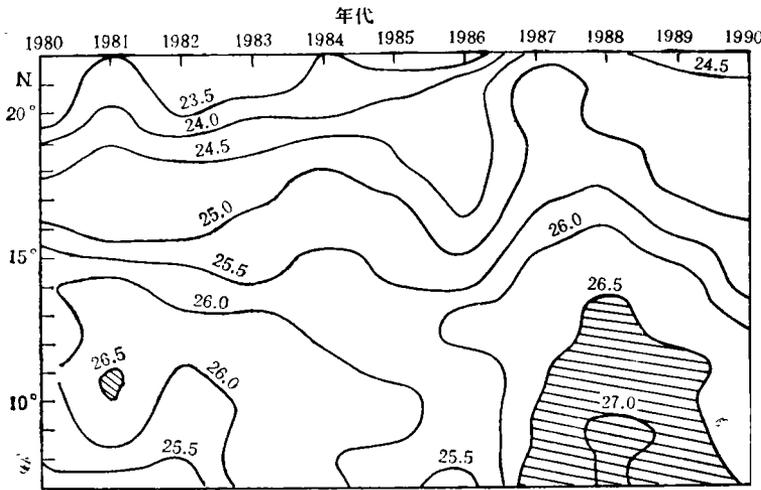


图 4 热含量沿  $130^{\circ}\text{E}$  断面的时间-纬度剖面图

Fig. 4 Time-latitude section of the heat content along  $130^{\circ}\text{E}$  in the western tropical Pacific

阴影部分表示热含量高于  $26.5(^{\circ}\text{C})$  的高热含量海区。

**3.2 热含量的年际变化与北赤道流体积输送量的关系** 热含量的年际变化除了与 El Niño 事件有关外,还与北赤道流体积输送量的大小有关。表 1 表明,北赤道流体积输送量、热量输送量和热含量的逐年变化趋势是非常一致的。即当北赤道流的体积输送量小时,热量输送量和热含量亦小,反之亦然。显然,热含量的年际变化、北赤道流体积输送量的年际变化和 El Niño 事件三者之间有着密切的关系,这是与徐柄荣等(1987)和邹娥梅等(1991)的研究结果相一致的。如在 El Niño 事件发生的 1986 年,北赤道流体积输送量小,热含量亦小,而在 El Niño 事件过后的 1987 和 1988 年,北赤道流体积输送量剧增,热含量剧增,分别比 1986 年高  $30-40 (10^6\text{m}^3/\text{s})$  和  $0.9(^{\circ}\text{C})$  左右。尔后,北赤道流体积输送量减少,热含量减少,直至下次 El Niño 事件发生时达到最小。

表 1 北赤道流在  $130^{\circ}\text{E}$  断面 ( $7.5-22.1^{\circ}\text{N}$ ) 上的体积输送量 ( $10^6\text{m}^3/\text{s}$ )、热量输送量 ( $10^{14}\text{J}/\text{s}$ ) 和热含量 ( $^{\circ}\text{C}$ ) 及其距平

Tab. 1 Volume transport ( $10^6\text{m}^3/\text{s}$ ), heat transport ( $10^{14}\text{J}/\text{s}$ ) and heat content ( $^{\circ}\text{C}$ ) of the North Equatorial Current along  $130^{\circ}\text{E}$

年 份	体积输送量 <sup>1)</sup>	体积输送量距平	热量输送量 <sup>1)</sup>	热量输送量距平	热含量	热含量距平
1986	49	-8	47	-2	25.14	-0.49
1987	88	31	71	22	26.04	0.41
1988	78	21	60	11	26.07	0.44
1989	39	-18	38	-11	25.67	0.04
1990	31	-26	31	-18	25.25	-0.38
平均	57		49		25.63	

1) 相对于  $1500\text{m}$ ; 一号表示负距平。

**3.3 高热含量海区分布范围的年际变化** 在研究海域内, 高热含量海区的分布范围亦有明显的年际变化(见图 3 阴影部分)。如 1986 年, 高热含量仅分布在棉兰老岛东南很小的范围内, 热含量最高值为  $27.04(^{\circ}\text{C})$ ; 在这之后的 1987 和 1988 两年里, 高热含量海区的范围逐年增大, 到 1988 年,  $13^{\circ}\text{N}$  以南海区和菲律宾中部沿海均为高热含量, 最大值为  $27.41(^{\circ}\text{C})$ 。1988 年后, 这一高热含量海区的范围逐年缩小, 到 1990 年其范围达到最小, 热含量最大值仅为  $26.77(^{\circ}\text{C})$ , 在  $7.5^{\circ}\text{N}$  以南的近赤道区, 热含量均低于  $26.5(^{\circ}\text{C})$ 。由此可见, 高热含量的分布范围的大小变化也与 El Niño 事件有关。

#### 4 结论

根据上述分析得出如下几点结论。

**4.1** 在研究海域内, 热含量呈南高北低分布。以  $130^{\circ}\text{E}$  断面为代表, 热含量的平均递减率为  $0.179(^{\circ}\text{C}/\text{纬度})$ 。

**4.2** 研究海域内热含量的分布主要取决于环流系统。热含量等值线受黑潮和棉兰老海流的影响而由纬向分布转向经向分布, 某些区域因受暖涡及冷涡的影响而使热含量呈封闭状分布。

**4.3** 热含量的年际变化与 El Niño 事件存在着很好的相关性。在通常情况下, 热含量较高, 高热含量海区的分布范围大, 而在 El Niño 事件发生期间, 热含量变得很低, 高热含量海区的分布范围明显缩小。

#### 参 考 文 献

- 邹娥梅、王宗山、徐伯昌, 1991, 沿  $137^{\circ}\text{E}$  断面(1967—1987 年)海洋热状况的变化及其与埃尔尼诺事件的关系, 海洋学报, **13**(6): 753—766。
- 徐炳荣、方同德、林传兰等, 1987, 1964—1982 年北赤道流的变化特征, 海洋学报, **9**(3): 286—293。
- Donguy, J. R., Henin, C., Morliere, A. et al., 1982, Thermal changes in the western tropical Pacific in relation to the wind field, *Deep-Sea Research*, **29**(7A): 869—882.
- Donguy, J. R., Eldin, G., Morliere, A. et al., 1984, Wind and thermal conditions along the Equatorial Pacific, *J. Mar. Res.*, **42**: 103—121.
- Henin, C. and Donguy, J. R., 1980, Heat content changes within the mixed layer of the Equatorial Pacific Ocean, *J. Mar. Res.*, **38**: 767—780.
- Hu, D., 1989, A thought on the role of western Pacific Ocean circulation in climate change in southeast China, *Chin. J. Oceanol. Limnol.*, **7**(1): 93—94.
- Hu, D. and Cui, M., 1991, The western boundary current of the Pacific and its role in the climate, *Chin. J. Oceanol. Limnol.*, **9**(1): 1—14.
- Nitani, H., 1972, Beginning of the Kuroshio, *In Kuroshio*, Tokyo Univ. Press (Tokyo), pp. 129—163.

## THE HEAT CONTENT IN THE UPPER LAYER OF THE WESTERN TROPICAL PACIFIC OCEAN

Bai Hong, Ding Zongxin, Li Yongxiang

(*Institute of Oceanology, Academia Sinica, Qingdao 266071*)

### ABSTRACT

Based on CTD data gathered in fall from 1986 through 1990 in the western Pacific by the "R/V" Science 1, the distribution characteristics and interannual change of the upper-layer heat content were described and analysed in this paper, using the vertical-average temperature from surface to 20°C-isotherm depth as a representation of the upper-layer heat content.

The results show that the upper-layer heat content is higher in the south and decreases northwards at a mean rate of 0.179°C/Lat. from 7.5°N to 22.1°N along 130°E. The distribution of the upper-layer heat content is clearly associated with strong currents, such as the Kuroshio, Mindanao current and eddies. The higher heat content water is transported by the Kuroshio to the coast of southeast China. The higher and lower upper-layer heat content could be caused by the warm and cold eddies, respectively. Furthermore the interannual variation of the upper-layer heat content is greatly influenced by El Niño. The heat content becomes very low and the area of high heat content decreases rapidly after the appearance of El Niño. In addition, the interannual change in heat content is consistent with the change of the volume transport of the North Equatorial Current.

**Key words** The western tropical Pacific Heat content Distribution characteristics Interannual change