

# 1986 ~ 1987 年 El Niño 期间热带西太平洋 及南海海气热量交换研究\*

吴迪生

邓文珍

(国家海洋局南海分局, 广州, 510300)

(中南管理局空中交通管理局气象中心, 广州, 510405)

詹进源 林晓能 王祖渊

(国家海洋局南海分局, 广州, 510300)

## 摘 要

文中根据热带西太平洋海气相互作用研究(TOGA)第 1~5 及第 8 航次和南海科学考察结果, 对热带西太平洋和南海海气热量交换作了分析。结果表明: El Niño 事件发生前, 热带西太平洋及南海海气热量交换非常强烈; El Niño 事件发生后, 热带西太平洋及南海海气热量交换反而减弱。

关键词: 西太平洋, 南海, 大气, 热量交换。

## 1 引 言

目前, 许多作者对海气界面热量交换进行了大量的研究<sup>[1-8]</sup>。但因受资料限制, 对于 El Niño 事件发生前后热带西太平洋及南海海气界面热量交换研究尚少。为了进一步了解 El Niño 事件发生前后海气相互作用的物理特征, 对 1986 ~ 1987 年 El Niño 事件期间热带西太平洋海气热量交换作了重点研究。

## 2 资料和方法

采用热带西太平洋 6 个航次及 1985 ~ 1988 年南海断面实测水文气象资料, 分析了考察洋域及海区(图 1) El Niño 发生前后海气热量交换、海面风场、气温、水温等的变化特征。

文中引用下列计算公式<sup>[2,4]</sup>:

$$Q_L = Q_s - (Q_e + Q_v + Q_k) \quad (1)$$

式中  $Q_L$ ,  $Q_s$ ,  $Q_e$ ,  $Q_v$ ,  $Q_k$  分别表示总热量交换量、海面吸收的短波辐射、海面有效反射辐射、

\* 初稿时间: 1997 年 4 月 25 日; 修改稿时间: 1998 年 4 月 1 日。

资助课题: 广东省自然科学基金资助项目(940622)。

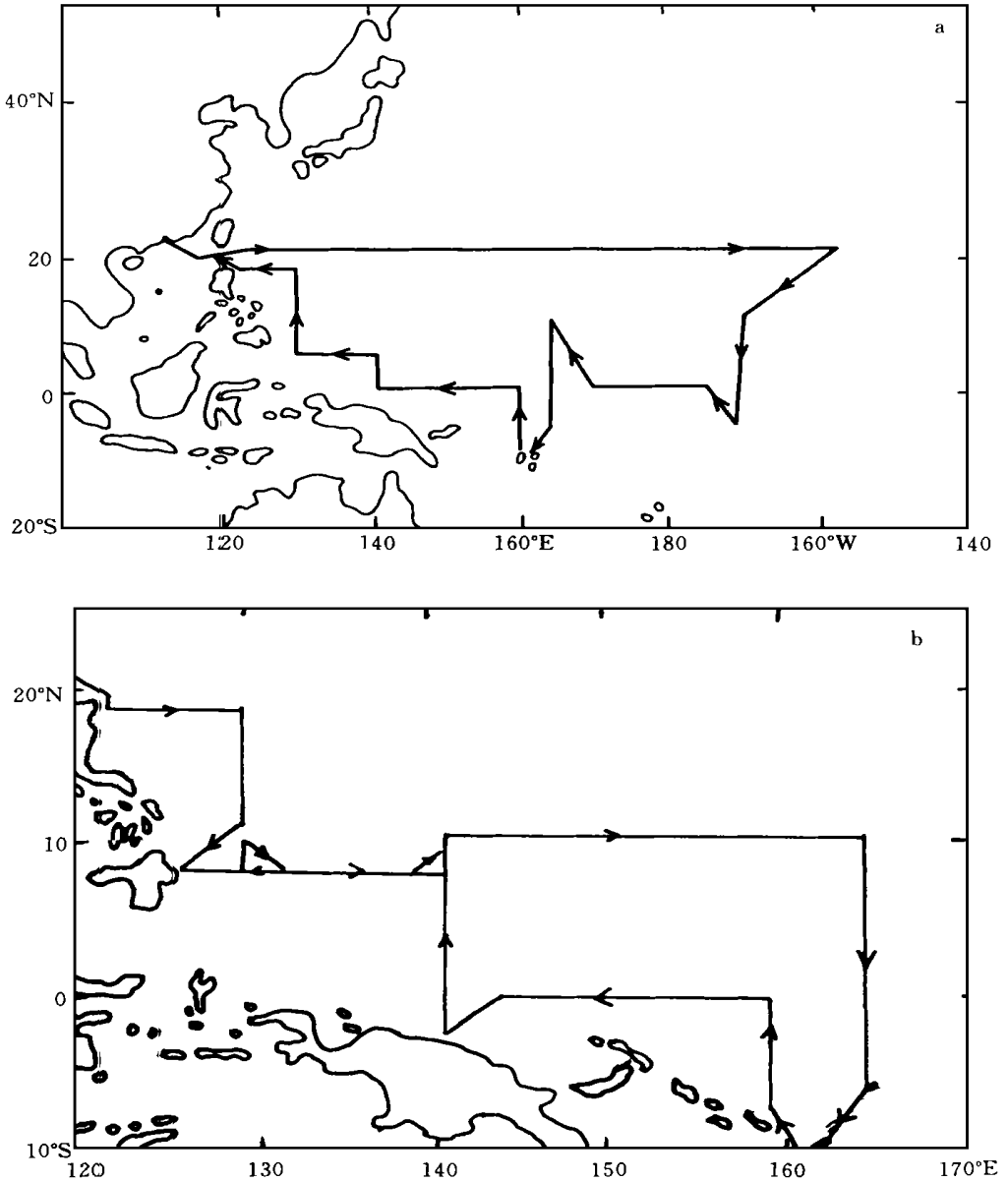


图1 调查海区剖面 and 航迹

(a. 第1航次; b. 第2~8航次。

第1航次(1985-12-12~1986-02-18) 第2航次(1986-11-15~1987-03-04)

第3航次(1987-09-20~1987-11-09) 第4航次(1988-04-20~1988-06-08)

第5航次(1988-10-14~1988-12-02) 第8航次(1990-05-30~1990-07-21)

潜热、显热。通常以  $Q_s$  表示海洋获得的热量, 以  $Q_e$ ,  $Q_v$ ,  $Q_k$  表示海洋对大气的加热或冷却, 反映了海气之间的热量交换, 因此主要以下述式(2)~(5)对这4项进行讨论。

$$Q_s = Q_0(1 - ac - bc^2) (1 - \gamma) \quad (2)$$

$$Q_e = S\sigma Q_w^4(0.39 - 0.058 \frac{e_a}{e_s}) (1 - Kc^2) + 4S\sigma Q_w^3(T_w - T_a) \quad (3)$$

$$Q_v = \rho_a c_e L (q_w - q_a) V \quad (4)$$

$$Q_k = \rho_a c_p L (T_w - T_a) V \quad (5)$$

式中  $Q_0$  为晴空时到达海面的太阳总辐射量<sup>[2]</sup>;  $a, b$  均为常数(取为 0.36)<sup>[6]</sup>;  $c$  为总云量(按 10 成来分);  $\gamma$  为海面短波辐射的平均反射率(取为 0.06)<sup>[2]</sup>;  $S$  为海面长波辐射与完全黑体辐射之比(取为 0.95);  $T_w, T_a$  分别为表层海水温度和海面气温( );  $\sigma = 5.6696 \times 10^{-8} \text{ J} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{K}^4)^{-1}$  为 Stefan-Boltzman 常数;  $Q_w$  为表层海水的绝对温度(K),  $e_a$  为空气的水汽压(hPa);  $K$  为云遮系数(取  $K = 0.50$ <sup>[2]</sup>);  $\rho_a = 1.17 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  为空气密度;  $L$  为水汽潜热, 取为  $(597 - 0.56T_w) \times 4186.8 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;  $q_w, q_a$  分别为表层水温下的饱和比湿和空气的比湿( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ );  $v$  为风速( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ );  $c_p = 1006.088 \text{ J} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}$  为定压比热;  $c_e$  为水汽交换系数, 采用 Bunker 的计算结果<sup>[1]</sup>。式(2)~(5) 计算结果的单位原为  $\text{J} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$ ; 现将各热量的单位统一表示为  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ , 日总量的单位均转化成  $\text{MJ} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ 。

迄今人们已采用了多种方法估算海气的热量交换, 所引用的计算公式虽然有不足之处, 但它仍是目前较为实用的计算模式。

### 3 海气热量通量的变化及其与厄尔尼诺的关系

#### 3.1 厄尔尼诺前的海气热量交换特征

用上述方法计算出海气界面间潜热、显热、海面有效反射辐射, 将部分计算结果绘于图 2。图 2 表明: (1) 1985 年 12 月 12 日 18 时至 27 日 03 时(世界时, 以下均为世界时), 考

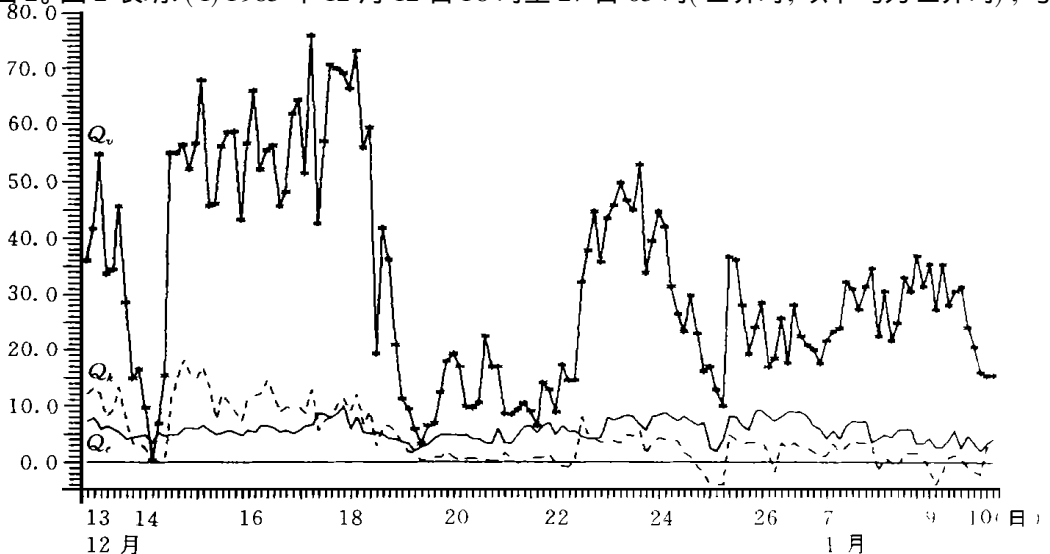


图 2 海气界面热量平衡逐时变化曲线

(1985 年 12 月 12 日 18:00 时—1986 年 1 月 10 日 03:00 时)

察船经历了两次冷空气过程。基本特征是潜热通量( $Q_v$ )与海面有效反射辐射( $Q_e$ 均为正值,显热( $Q_k$ ))大部分为正值,但有时也为负值,冷空气过程的显著特点是 $Q_v$ 、 $Q_k$ 值跃升明显,尤其是 $Q_v$ 跃升最为显著。第一次冷空气过程是12月14日01时30分至12月18日21时;第二次冷空气过程是12月22日09时至27日03时,从图2可清楚地看到:冷空气移到暖流洋面时, $Q_v$ 、 $Q_k$ 值显著增加,冷空气移到冷流洋面时, $Q_k$ 出现负值;25日00时,气温23,水温19.9, $Q_k$ 值为 $-33.6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ , $Q_v$ 值 $136.5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。分析表明:(1)El Niño事件发生前,在强冷空气的影响下,热带西太平洋海气热量交换非常强烈, $Q_v$ 值可达 $756.1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ , $Q_k$ 值可达 $182.15 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。虽然二次冷空气的强度基本相同,但暖流洋域与寒流洋域的海气热量交换却有很大的差别,在寒流洋域 $Q_k$ 甚至出现负值;(2)潜热( $Q_v$ )、显热( $Q_k$ )的逐时变化趋势在暖流洋域极为一致,海面有效反射辐射( $Q_e$ )逐时变化比较平稳;(3) $Q_v$ 、 $Q_k$ 、 $Q_e$ 之和均为正值,表明该时期内本洋域是热源,并主要以潜热的方式进行输送。

### 3.2 海气热量交换通量日变化

对每天8次定时观测的海面有效反射辐射求其平均,以此代表海面有效反射辐射日总量。用同样方法可得潜热、显热的日总量。把上述计算结果绘成图3,从中可见,第一航次El Niño事件发生前,冷锋过境时 $Q_v$ 、 $Q_k$ 有一个显著的跃升,冷锋于14日01时30分移过考察船观测的海域,16日水温与气温之差4.2, $Q_k$ 9.609  $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$ 。17日风速 $12.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,水汽温差3.7, $Q_v$ 值54.01  $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$ , $Q_v$ 出现极大值的另一原因是相对湿度仅为62.3%。说明在赤道附近 $Q_k$ 出现负值,尤其是在中午其负值极为明显,因为气温高于水温,海水大量吸热。

总之,1986~1987年El Niño事件发生前,西太平洋热带海域海气热量交换非常强烈;在赤道附近虽然水温比20°N附近高,但海气热量交换反而减弱;热带西太平洋对大气的加热,主要贡献来自 $Q_v$ 、 $Q_e$ 。但在黑潮流经的海域 $Q_k$ 的量值可达9.609  $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$ 。所以,在海气热量交换的过程中,黑潮对亚洲大陆的气候有重大的影响。

### 3.3 热通量变化与El Niño的关系

表1给出了各个航次的通量和要素的平均值,从中可以看出,El Niño事件发生前的第1个航次虽然表层水温平均值( $T_w$ )比6个航次的平均值低1.5,气温平均值( $T_a$ )

表1 各个航次的通量和要素的平均值

	第1航次	第2航次	第3航次	第4航次	第5航次	第8航次	6个航次平均值
通量和要素	1985-12-12	1986-11-15	1987-09-20	1988-04-20	1988-10-14	1990-05-30	
	1986-02-18	1987-03-04	1987-11-09	1988-06-08	1988-12-02	1990-07-21	
$Q_e (\text{W} \cdot \text{m}^{-2})$	47.5	41.64	44.36	42.18	44.68	46.34	44.35
$Q_v (\text{W} \cdot \text{m}^{-2})$	256.44	188.47	160.64	146.42	170.95	143.09	177.67
$Q_k (\text{W} \cdot \text{m}^{-2})$	22.81	16.76	8.33	8.63	8.07	11.95	12.75
$V (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	8.8	8.0	6.5	6.6	6.6	4.7	6.7
$T_w (^\circ\text{C})$	27.1	28.5	29.1	28.9	28.7	29.5	28.6
$T_a (^\circ\text{C})$	25.9	27.4	28.3	28.2	28.0	28.2	27.7

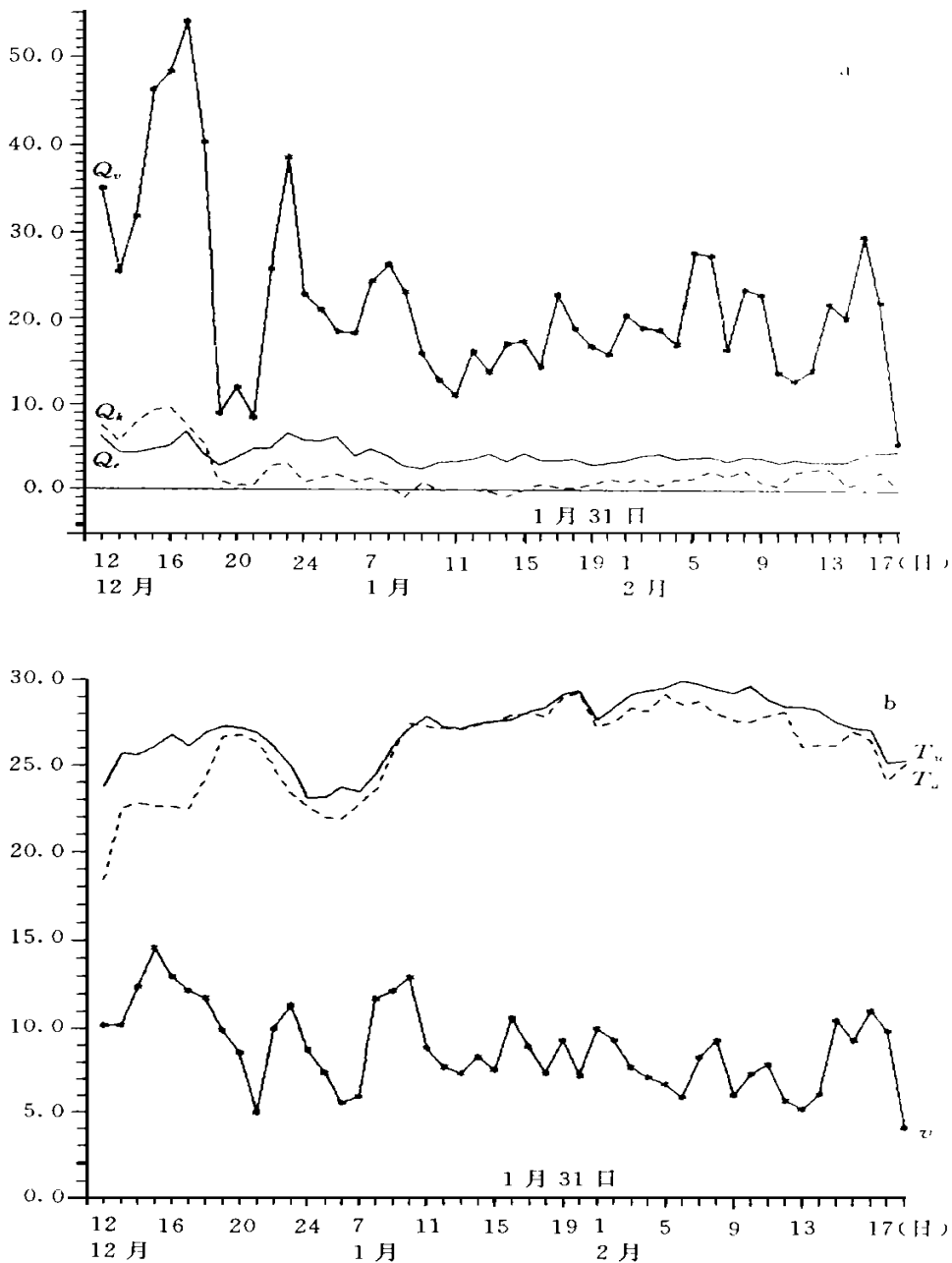


图3 各种通量、要素的日总量、日平均值及逐日变化

(a. 海气热量通量交换; b. 水温、气温、风速。

1986年1月9日至19日考察海域:  $7^{\circ}\text{N}-3^{\circ}\text{S}, 169^{\circ}\text{W}-180^{\circ}-165^{\circ}\text{E}$ ;

1986年1月31日至2月18日考察海域:  $9^{\circ}\text{N}-6^{\circ}\text{S}, 162^{\circ}\text{E}-125^{\circ}\text{E}$

比6个航次的低1.8, 但第1个航次的水气温差比6个航次的水气温差高0.3; 第1个航次与6个航次风速平均值之差达  $2.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $Q_e$ ,  $Q_v$ ,  $Q_k$  分别达  $3.07 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ,

$78.77 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ,  $10.05 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。这表明: El Niño 发生前东北信风较强, 气温偏低, 空气干燥, 海气热量交换强烈。第 2, 3 航次是 El Niño 发生期间的实测结果, 第 8 航次是 1990 年一次弱 El Niño 的实测结果, El Niño 发生后热带西太平洋洋域虽然表层水温是在增暖, 但海气热量交换反而减弱, 在热带西太平洋水温强增暖区的洋面上, 是潜热、显热的低值区, 海洋中的大量热量并没有被释放到大气中去。在 El Niño 年增暖强烈的热带西太平洋上为什么海气热量交换反而减弱? 从目前的实测结果分析后初步认为: El Niño 发生时, 热带西太平洋的平均风速比常年减弱, 东北信风逐渐减弱、消失, 出现西风, 海气温差变小, 造成海气热量交换减弱。第 4, 5 航次资料是 El Niño 结束之后的实测值。表明: 海气热量交换也是很弱, 原因是热带太平洋信风在逐渐恢复, 风速较弱, 表层水温及气温的平均值减小。海气温差减小, 海气热量交换减弱。

表 2 南海 1985~1988 年海气热量交换各月日平均值

通量和要素	1985 年						1986 年					
	2 月	4 月	6 月	8 月	10 月	12 月	2 月	4 月	6 月	8 月	10 月	12 月
$Q_s (\text{MJ} \cdot \text{d}^{-1})$	7.6	10.5	7.4	13.0	16.3	15.3	11.0	10.0	15.0	14.8	12.8	14.6
$Q_v (\text{MJ} \cdot \text{d}^{-1})$	6.0	7.1	6.8	15.0	20.0	18.0	22.1	5.2	7.1	12.0	17.0	8.5
$Q_e (\text{MJ} \cdot \text{d}^{-1})$	3.5	3.6	2.1	3.5	4.6	6.1	5.8	3.0	3.5	3.7	3.9	4.8
$Q_k (\text{MJ} \cdot \text{d}^{-1})$	1.2	1.0	0.8	1.0	1.3	3.0	5.0	0.8	-0.5	0.5	1.4	0.9
$T_w (^\circ\text{C})$	20.8	22.6	28.3	29.1	26.6	22.0	20.4	23.6	27.9	29.6	27.1	21.9
$T_a (^\circ\text{C})$	20.0	22.3	27.6	28.4	26.1	21.6	17.6	23.5	28.4	29.3	25.9	21.3
$V (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	6.4	6.6	5.5	6.2	10.3	8.0	9.8	5.3	4.8	5.8	8.7	6.3
通量和要素	1987 年						1988 年					
	2 月	4 月	6 月	8 月	10 月	12 月	2 月	4 月	6 月	8 月	10 月	12 月
$Q_s (\text{MJ} \cdot \text{d}^{-1})$	15.3	16.5	16.0	12.1	12.7	11.0	12.0	9.0	14.9	14.9	12.5	9.9
$Q_v (\text{MJ} \cdot \text{d}^{-1})$	4.9	7.5	5.0	8.0	13.2	22.0	13.5	16.0	7.0	7.1	21.5	23.5
$Q_e (\text{MJ} \cdot \text{d}^{-1})$	4.1	5.1	3.0	2.7	4.0	4.9	4.9	4.0	3.0	3.1	4.8	6.0
$Q_k (\text{MJ} \cdot \text{d}^{-1})$	0.5	1.2	0.1	0.7	1.4	2.2	3.0	3.1	0.1	-0.5	2.5	5.1
$T_w (^\circ\text{C})$	22.1	24.3	28.4	29.3	27.4	21.5	22.2	23.5	29.2	28.3	25.6	21.6
$T_a (^\circ\text{C})$	21.9	23.1	28.7	28.8	26.4	20.3	20.8	22.2	29.4	28.6	24.2	19.3
$V (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	6.4	5.1	5.8	5.6	7.8	10.0	10.0	9.6	5.2	5.8	10.1	10.6

表 2 表明, 1987 年 2 月虽然日平均水温、气温比 1986 年 2 月分别高  $1.7^\circ\text{C}$  和  $4.3^\circ\text{C}$ , 但是,  $Q_v$ ,  $Q_k$  值却分别比 1986 年 2 月减少  $17.2 \text{ MJ} \cdot \text{d}^{-1}$ ,  $4.5 \text{ MJ} \cdot \text{d}^{-1}$ , 风速也减小  $3.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。1986 年 4 月南海水温开始出现增暖现象, 东太平洋热带洋域水温出现增暖现象出现在 1986 年 8 月<sup>[9]</sup>。说明 El Niño 事件发生前, 南海对大气加热非常强烈, El Niño 事件发生后, 南海对大气加热反而减弱、大气对南海的加热是加强。南海水温增暖比东太平洋热带洋域早 3~4 个月。

## 4 结 语

(1) 1986~1987 年 El Niño 事件发生前, 海气热量交换非常强烈, 西太平洋热带洋域信风比常年偏强, 南海东北季风比常年偏强, 洋面及海面风速较大, 海气界面温度梯度及湿度梯度较大, 空气层结不稳定, 加快了海洋向大气的热量输送, 海面蒸发剧烈, 导致了海气热量交换增强。

(2) El Niño 发生期间, 由于信风减弱, 消失及出现西风至西风逐渐加强, 南海东北季风减弱, 导致热带西太平洋及南海平均风速减小, 风向不稳定, 海气温差减小, 相对湿度增大, 海气热量交换减弱。

(3) El Niño 结束后, 热带西太平洋的海气热量交换也是减弱。

## 参考文献

- 1 Bunker A F. Computations of surface energy flux and annual air sea interaction cycles of the North Atlantic Ocean. *Mon Wea Rev.* 1976, 104: 1122—1140
- 2 布德科 M . 地表热量平衡. 北京: 科学出版社, 1960. 28 ~ 45
- 3 范隆 H. 编, 许启望等译. 大洋气候. 北京: 海洋出版社. 1990. 275 ~ 286, 386 ~ 387
- 4 国家海洋局. “向阳红 09”海洋调查船中太平洋西部调查报告. 北京: 海洋出版社, 1981. 12 ~ 39
- 5 吴迪生. 热带西太平洋海-气热量通量研究 . 热带气旋状况下海-气热量交换的特征. *大气科学*, 1996, 20(5): 533 ~ 540
- 6 国家海洋局科学技术司. 热带西太平洋海气相互作用综合研究. 北京: 海洋出版社, 1993. 35 ~ 112, 174 ~ 217
- 7 吴迪生. 热带西太平洋海-气热量交换研究. *海洋学报*, 1995, 17(4): 41 ~ 54
- 8 吴迪生. 热带西太平洋海-气热量交换特征研究. 中国科学技术协会首届青年学术年会论文集(理科分册). 北京: 科学出版社, 1992. 611 ~ 617
- 9 王世平. 埃尔尼诺事件的判据、分类和特征. *海洋学报*, 1991, 13(5): 611 ~ 620

# RESEARCH ON AIR-SEA HEAT EXCHANGE DURING THE EL NINO EVENT OF 1986- 1987 IN WESTERN TROPICAL PACIFIC OCEAN AND THE SOUTH CHINA SEA

Wu Disheng

*(South China Sea Branch, SOA, Guangzhou, 510300)*

Deng Wenzhen

*(Meteorological Center of Air Traffic Administration of the Mid-Southern China Technology Research and Information office, Guangzhou, 510405)*

Zhan Jinyuan Lin Xiaoneng Wang Xuyuan

*(South China Sea Branch, SOA, Guangzhou, 510300)*

## Abstract

Based on data collected during the TOGA cruises No. 1- 5 and 8, and scientist research of the south China Sea, analysis is made on the air-sea heat exchange over the Tropical Western Pacific. The results show that the heat exchange was very strong before the occurrence on the El Niño event of 1986- 1987. During the El Niño event of 1986- 1987, the heat exchange was weak.

**Key words:** Western Pacific, South China Sea, El Niño, Heat exchange.