

# 热带西太平洋海面的热量收支

## ——中美西太平洋海-气合作考察观测事实之三

李月洪 李维亮

(气象科学研究院)

### 提 要

本文根据1986年2月8—14日中国“向阳红14号”考察船以及其它的船舶水文气象观测资料,计算了西太平洋热带海面(140—160°E、18°S—14°N)的能量收支各分量。计算结果表明,这个期间内该海面所获得的热量净收入的大小与赤道辐合带低值系统的增强或减弱有关;海面向大气输送的热量主要是以潜热通量输送方式进行的;考察海域内相当部分海面,供给大气能量大于它从大气接收的能量,其中最明显的地区出现在西太平洋热带地区(10°N附近),而不是在赤道地区。

### 一、前 言

热带海洋在大气能量研究中占有特殊的地位,热带海洋对于气候及其变化的影响十分重要。近来,人们尤为关注热带西太平洋的热状况,中美两国科学家专门组织了西太平洋海-气合作考察,取得了大量的气象水文观测资料。作者曾指出<sup>[1]</sup>,热带西太平洋的西部区域上空大气能量的收支特征,是由外界向区域内输送能量,该区内大气有明显的增温现象。然而,该区域内通过海-气交界面上热量交换而实现的海气相互作用,对大气温压场的转变,以及进一步影响大气环流的变化也有着极重要的作用。本文利用中美海-气考察船及其它船舶的观测资料,进一步计算了热带西太平洋海面的热量收支,以了解海-气交界面上热量净收入的状况和输送,进一步深入讨论热带西太平洋的热源。

### 二、资料和计算方法

1986年2月8—14日,中美海-气考察船(向阳红14号)在热带西太平洋(140—160°E赤道附近)范围内连续进行了7天观测,考察路径参见图1。本文所依据的基本资料为这次考察中的气温、海温、海平面气压、露点温度、风速、相对湿度和总云量(00世界时,下同)直接观测资料,并采用了130—170°E、15°N—15°S范围内5×5经纬网格内船舶观测有关资料的区域平均

值\*。同时,还选用了这个时期内的实况天气图和卫星云图。

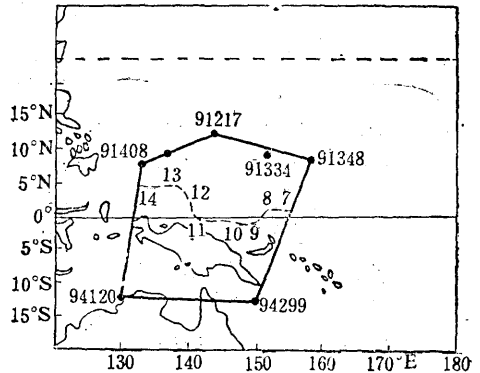


图1 计算区域图(虚线为考察船部分路径)

本文采用的计算方法,可概述如下:海面的能量平衡方程为

$$Q = Q_N - (Q_o + Q_a)$$

其中 $Q_N = Q_i - (Q_b + Q_a)$ ,  $Q_N$ 为净辐射,  $Q$ 是海面获得的热量,  $Q_o$ 为潜热通量,  $Q_a$ 为感热通量,  $Q_i$ 表示净的向下太阳辐射通量,  $Q_b$ 为向上的有效长波辐射通量,  $Q_a$ 为反射辐射。

$Q$ 的各分量一般是时间、纬度、云量、风速、海气温差和水汽压力的函数。海面的能量通量各分量按以下的经验公式<sup>[2],[3]</sup>计算(单位:  $W \cdot m^{-2}$ )

\* 北京气象中心马本哲提供了部分整编资料,深表感谢。

$$Q_i = 0.0068 A n t \alpha (1.0 - 0.0006 C^3)$$

$$Q_a = 0.0726 Q_i - (0.01 Q_i)^2$$

$$Q_b = 143.7 - 0.90 T_s - 0.46 U_0 (1 - 0.0765 C)$$

$$Q_s = 0.28 \times (T_s - T_a) \times v, \quad Q_e = 0.32 \times (E_s - E_a) \times v \quad \text{当 } v \geq 10.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$Q_s = 0.15 \times (T_s - T_a) \times v, \quad Q_e = 0.17 \times (E_s - E_a) \times v \quad \text{当 } v < 10.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

式中  $t\alpha$  表示日照时间 (min),  $A_n$  为中午的太阳高度 (度),  $C$  为总云量 (十分之几),  $E_a$  为水汽压力 (hPa),  $E_s$  为海面饱和水汽压 (hPa),  $U_0$  为相对湿度 (%),  $v$  是风速 ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ),  $T_s$  和  $T_a$  分别为海面温度和气温 ( $^{\circ}\text{C}$ ).

### 三、分析和讨论

考察船的航海路径基本上在西太平洋赤道海区, 利用这些实测资料可计算出西太平洋赤道洋面上的能量平衡。

图 2 给出 1986 年 2 月 8—14 日考察的西太平洋赤道附近海面上热量收支的各分量的变化。图中  $Q_N$  是海洋吸收的净辐射,  $Q_s$  和  $Q_e$  是海-气交界面上的感热和潜热,  $Q$  是海面所获得的净热量, 其负值表示海面供给大气的热量大于它从大气接收到的热量。2 月 8 日考察船位于赤道、 $152^{\circ}21'E$ , 从图 2 中可以看到净辐射 ( $Q_N$ ) 开始为  $237 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。9 日考察船行至  $0.7^{\circ}S$ 、 $150^{\circ}31'E$ , 净辐射增大。10 日船位置在  $1.9^{\circ}S$ 、 $145^{\circ}42'E$  时, 净辐射明显降低到  $135 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ , 海面气压从  $1012.3 \text{ hPa}$  降到  $1009.4 \text{ hPa}$ , 云量从六成增到十成。11 日, 净辐射又有所增加。在 12—14 日净辐射降低, 这是由于云量达十成, 全阴天之故。潜热通量 ( $Q_e$ ) 2 月 8—10 日增加, 11—12 日减少, 13—14 日又有增加。这些变化情况可用海面温度、露点温度和风场的变化加以阐明。2 月 10 日观测的潜热通量为 7 天中的峰值, 其值为  $151 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ , 这是由于 10 日的露点明显降低, 风速加大, 结果使得潜热通量增大。在这期间, 感热通量 ( $Q_s$ ) 也以 2 月 10 日最大, 为  $63 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。这是由于海-气温差以及风速加大所造成的。

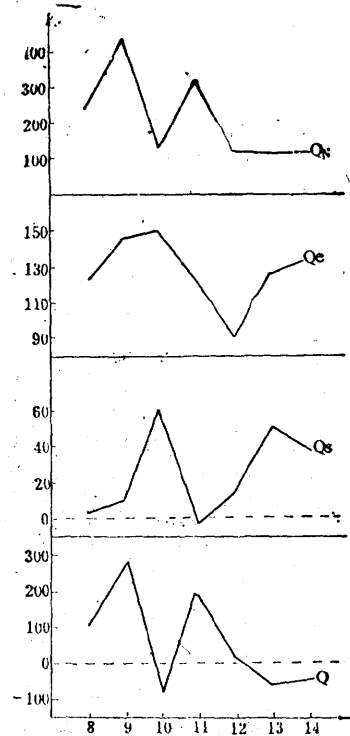


图 2 1986 年 2 月 8—14 日考察的赤道海面上热量收支各分量的变化 (单位:  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ )

在赤道洋面上海面热量的净收入 ( $Q$ ), 2 月 10 日和 2 月 13—14 日有明显下降, 变为负值, 其中以 2 月 10 日最明显,  $Q$  为  $-79 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ , 这表明赤道海面向大气提供热量。在这期间, 西太平洋赤道地区上可观测到赤道南、北的辐合带上气旋的活动。图 3 给出 1986 年 2 月 10 日  $850 \text{ hPa}$  流线图 (00 时)。从图中可见赤道南侧辐合带较前几天有明显增强, 其西端北移到  $5^{\circ}N$  附近, 该区域范围正受其低值系统的影响。2 月 10 日海面能量输送较大, 赤道辐合带正在该区域内有所增强。2 月 13—14 日在该区上空有弱的气旋系统生成 (图略), 所以 13—14 日  $Q$  值也下降为负值。

附表给出 1986 年 2 月 8—14 日考察期间西太平洋上赤道地区、 $10^{\circ}N$  和  $10^{\circ}S$  地区的平均辐射通量。这里赤道地区上各辐射通量是以考察船在赤道洋面上所获得的实测值进行计算。 $10^{\circ}N$  地区取图 1 中多边形区内 91408、91413、91217、91314 和 91348 等

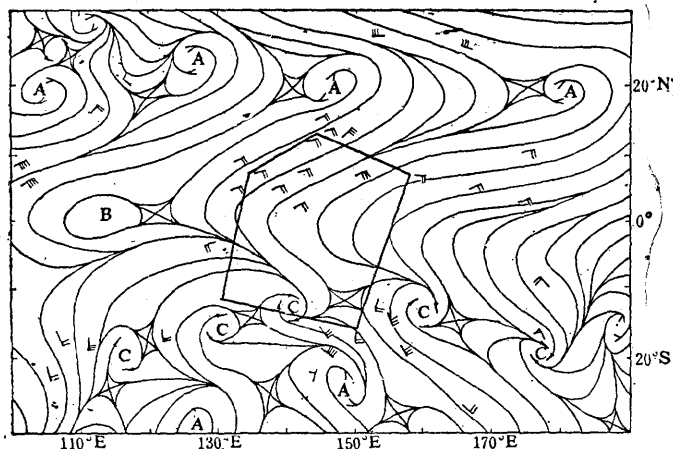


图3 1986年2月10日(00时)850hPa流线图

附表 西太平洋上各地区的平均辐射通量的比较 (单位:  $W \cdot m^{-2}$ )

辐射分量 纬度	$Q_N$	$Q_e$	$Q$
10°N	180	228	-60
赤道	215	128	61
10°S	474	160	305

5个站的平均值, 10°S地区取该区南部的91412、94299站的平均值。为了便于比较均取1986年2月8—14日的7天平均值。从表中可明显看出西太平洋海面上净辐射( $Q_N$ )的经向变化,  $Q_N$ 值由北向南递增。这是由于南、北半球的季节差异, 太阳高度角的大小不同所致。潜热通量以10°N为最大, 其正值表示海洋向大气输送热量。海面净热量收入( $Q$ )在10°N地区为 $-60W \cdot m^{-2}$ , 这说明西太平洋热带海洋上所积贮的能量是供给大气的。假设海洋向大气提供的热量, 在该气柱内为均匀加热<sup>[4]</sup>, 在10°N海区上变温率( $\partial T/\partial t$ )为空气一天平均升高0.5°C。而赤道和10°S海区上热量的净收入均为正值, 这表明海洋从大气接收的热量大于海面供给大气的热量。由此可知, 海洋向大气提供热量的地区并不在赤道上, 而是在西太平洋热带地区海面上, 所以说西太平洋热带海洋可视为热源。

为进一步了解热带海洋上的热量收支状况, 我们将本次考察的计算结果与1977年

8月北印度洋夏季风试验期间所得到的海面热量收支分析结果<sup>[2]</sup>, 进行了比较。采用同样的公式计算出的北印度洋赤道洋面上的 $Q_N$ 、 $Q_e$ 和 $Q$ 值分别为268.7、124.0和136.0 $W \cdot m^{-2}$ 。虽然在地区和日期上有所不同, 但是无论在西太平洋或是在北印度洋上, 赤道地区海面所获得的净热量收入( $Q$ )均为正值, 表明这期间上述海面以从大气接收能量为主。然而, 冬季西太平洋热带地区(10°N)海面热量的净收入( $Q$ )为负值, 说明在冬季西太平洋热带地区海面向大气供给能量。

作者曾指出热带西太平洋西部区域上的大气能量收支表现为明显增温<sup>[1]</sup>, 为进一步分析该区域海面的热量通量, 计算了热带西太平洋西部区域海面上热通量的区域平均值(图4)。由于资料所限, 仅采用如图1所示的多边形区域内七个站点的常规资料, 其中海温资料是选用逐日00时 $5 \times 5$ 经纬网格上, 船舶站上海温的区域平均值。按同样公

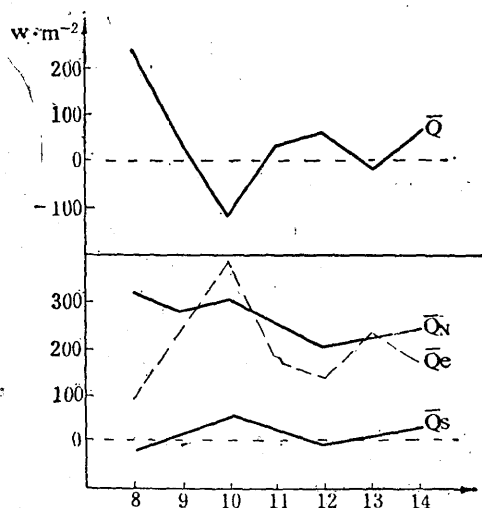


图4 1986年2月8—14日西太平洋西部区域海面上的热量通量的区域平均值 (单位:  $W \cdot m^{-2}$ )

式进行计算, 这里讨论的区域的平均能量通量是指7个站点和考察船所包围的区域的平均能量。

从图4可见, 在这期间净辐射的区域平均值在 $200-300W \cdot m^{-2}$ 范围内变化。2月10日以后净辐射区域平均值在减小, 这与区域平均云量增加有关。潜热通量的区域平均值在2月10日急剧增大到 $433W \cdot m^{-2}$ , 这是由区域平均海温升高, 露点温度降低, 同时, 风速加大的结果。随后, 露点温度升高, 海面温度降低和风速减弱, 潜热通量的区域平均值有所减小。感热通量的区域平均值也有相似的变化, 即在2月10日为高值, 其值为 $+51W \cdot m^{-2}$ 。这一正值表示海-气交界面上以潜热和感热的形式向大气输送热量, 而潜热的区域平均值比感热要大一个量级。由此可见, 海面向大气输送的热量, 主要是通过潜热通量输送方式来进行的。再从海面热量净收入的区域平均值 $\bar{Q}$ 逐日变化来看, 从2月8日开始,  $\bar{Q}$ 急剧下降, 到2月10日为谷点, 其区域平均值为 $-114W \cdot m^{-2}$ , 其负值说明该区域内海面供给大气的热量超过它从大气接收到的热量。如假定海洋向大气输送的热量, 在该区域上空为均匀加热, 其变温率相当于 $0.96^{\circ}C/日$ 。从卫星云图上(图略)可看出, 这是因为南半球有明显冷空气爆发, 使得赤道南侧辐合带北移。从统计的7天平均的区域平均值可知, 7天平均的净辐射区域平均值( $Q_N$ )为 $265.4W \cdot m^{-2}$ , 感热与潜热区域平均值之和( $Q_S + Q_o$ )为 $220.8W \cdot m^{-2}$ , 该区域海面获得的热量净收

入为 $44.6W \cdot m^{-2}$ , 由此给出向外输出对净输入通量的百分比为 $83\%[(Q_S + Q_o)/Q_N]$ , 这说明热带西太平洋西部区域内海面向大气输送的能量较大。

#### 四、结 论

通过以上分析, 可以得到如下几点结论:

(1) 在1986年2月8—14日中美海气考察期间, 热带西太平洋海面获得的热量净收入随地区而异。海面供给大气热量最多的地区出现在西太平洋热带海洋( $10^{\circ}N$ 附近), 而不是在赤道地区。热带海洋输送的热量相当于 $0.5^{\circ}C/日$ 。

(2) 在考察期间, 海面能量各分量的急剧变化(如2月10日)与赤道两侧辐合带上低值系统的增强有密切关系。

(3) 热带西太平洋西部区域的平均热量通量向上输送的重要方式是以潜热通量形式出现, 它比感热输送要大一个量级。

当然, 应该指出的是, 限于考察的时间和范围, 可供热带西太平洋热量收支研究的资料还是非常有限的。有关机制及时空分布特征尚待进一步探讨。

#### 参 考 文 献

- (1) 李月洪、李维亮, 西太平洋热带地区大气能量收支分析, 气象, 1987年第4期。
- (2) J. Lighthill and R. Pearce, Monsoon dynamics, pp. 491-507, Cambridge university Press, Cambridge, 1981.
- (3) 李月洪, 大一暴雨前期副高西伸与海洋加热场的初步分析, 气象科学技术集刊4, 1983年, 气象出版社。
- (4) 李维亮、钟名森, 1979年夏季南海北部地区大气加热场和各分量的中期振荡特征, 全国热带夏季风学术会议文集, 137-146页, 气象出版社。

## A survey of heat budget on the West Tropical Pacific

Li Yuehong Li Weiliang

(Academy of Meteorological Science)

### Abstract

The marine meteorological data collected with the vessel "Xiangyanghong No. 14, China" and other ships have been used in this study to evaluate net radiation, latent and sensible heat exchanges, and the net heat gain by the sea surface. It is shown that the measure of the net heat gain by the sea surface is related to the increase and reduction of the Equatorial Convergence Zone. Meanwhile, the heat fluxes transfer from sea surface to atmosphere would be by means of the latent heat.

This study has also emphasized that the supporting atmosphere energy from sea surface may take place on the tropical zone of the West Pacific (by  $10^{\circ}N$ ) rather than on the equatorial zone during this investigation, February 8-14, 1986.