

热带西太平洋区域性大气能量 收支的初步分析

李月洪 李维亮

(气象科学研究院气候研究所)

提 要

本文探讨了中美西太平洋海-气相互作用合作考察期间,热带海洋不同海域上空大气能量的水平输送和局地变化。我们把热带西太平洋划分成三个多边形(东、中和西部区),分别计算了1986年1月9—15日、2月1—14日逐日三个海区上感热、潜热和位能的平均、扰动输送项、局地变化项以及各边界面上大气能量的输送。得出西太平洋西部海域上空大气柱内能量的平均输送是由外界向区内输送,而中、东部海域则相反。这表明西太平洋西部热带海洋上大气柱内增温明显,而中、东部则不然。另外,大气能量局地变化的区域性差异,其量值比输送项值要小些。

一、前 言

愈来愈多的观测事实表明,热带海洋在气候形成和变化中起着极为重要的作用。大范围的气候现象与异常变化,在不同程度上都与热带海洋及海洋上大气的年际变化相关联。象 ENSO 所造成的大气和海洋耦合效应可影响到中高纬度。近年来,对热带大气和海洋之间的相互作用,受到广泛的重视。M. Y. Wei^[1] (1983)应用等熵质量连续方程计算了 FGGE 期间非绝热加热的季节分布,指出北半球冬季,主要加热中心之一位于赤道太平洋西部。G. P. Kurbatkin^[2] (1986)指出西太平洋热带海洋(在印度尼西亚附近)是全球三个主要热源之一。

本文利用中美西太平洋海-气合作考察所取得的资料(1986年1月9—15日,2月1—14日),并配合常规观测资料对西太平洋东、中和西部不同海域气柱内的大气能量水平收支特征和局地变化进行了初步分析。

二、资料 and 计算方法

本文把中美西太平洋海-气相互作用合作考察区,以考察船“向阳红14号”的路径和测站分布划分成东、中和西部三个区(见图1)。西部区由站号为91420(A)、94299(B)、91348(C)、91334(K₃)、91217(D)、91413(K₄)、91408(E)及K₁、K₂、K₅等10个站点组成的五边形区域。西部区大致可分为南边界(AB)、东边界(BC)、东北边界(CD)、西北边界

(DE) 和西边界 (EA) 五个边界面。中部区由站号为 94299 (B)、91680 (H)、91643 (M)、91610 (K₈)、91376 (R)、91366 (K₉)、91348 (C) 及 K₂、K₆、K₇ 等 10 个站点组成五边形, 此多边形大体上可分为南边界 (BH)、东边界 (HM)、东北边界 (MR)、北边界 (RC) 和西边界 (CB) 五个边界面。东部区由站号为 91765 (N)、91285 (O)、91165 (K₁₂)、91066 (P)、91245 (S)、91376 (R)、91643 (M)、和 K₁₀、K₁₁、K₁₃ (不包括 K₈) 等 10 个站点组成的五边形区域, 该五边形基本上可分为东南边界 (NO)、东北边界 (OP)、西北边界 (PS) 和西边界 (SM) 和西南边界 (MN)。

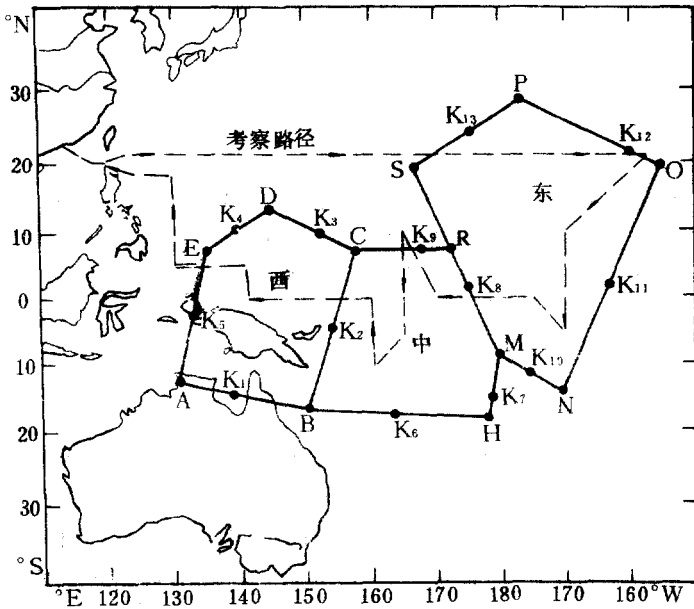


图 1 计算区位置示意图

在三个多边形上有 7 个点不是测站点, 为了便于计算, 本文采用计算任一变量空间导数的曲面拟合方法^[3], 根据各多边形内测站的常规资料和“向阳红 14 号”考察船上实时观测资料求得这 7 个点上的数值。

我们把考察船的路径分为三个等时段。第一时段为 1986 年 1 月 9—16 日(东部区), 第二时段是 2 月 1—7 日(中部区), 第三时段是 2 月 8—14 日(西部区)。由于 12GMT 时次的资料不足, 故只用 00GMT 一个时次标准层上的气压、气温、露点、高度、风向和风速等要素的实测资料, 再用拉格朗日插值公式求得 400、600、800 和 900 百帕等压面上各要素值, 得到九个层次即 1000、900、800、700、600、500、400、300、200 百帕等压面上各要素值。然后计算了这三个时段, 东部、中部和西部多边形区域铅直气柱的大气能量的各分量。对热力学第一定律和水量平衡方程积分^[4]得:

$$\frac{\partial}{\partial t} \iint \int (C_p T + gZ + Lq) dA \frac{dP}{g} + \iint (C_p T + gZ + Lg) C_n dS \frac{dP}{g} = Q$$

式中 A 是区域的面积, S 是周长, Q 是非绝热加热项, C_n 是垂直于周界的法向风速, 向外

是正确的。等式左边第一项是这个区域中空气柱内可感热量、位能和潜热的局地变化,第二项是它们的输送。本文着重讨论方程中的第二项即输送项,它是由平均输送和扰动输送组成。边界 S 积分时我们用中值定理。

在计算局地变化项时,首先分别求出全位能 ($C_p T + gZ$) 和潜热能 (Lq) 对气压的积分值 (1000—200 百帕等压面),然后作出平面分布图,在计算区域内以 2×2 经纬度格距作网格,绘制等值线图,读出网格点上的数,再对网格点的读数求平均值。平均值乘以计算区面积就得出体积分值。对时间的微商是用计算日减去前一天的数值得到的。

三、西太平洋热带海洋大气的能量水平收支特征

1. 三个区与外界的能量输送

表 1 计算区内感热、位能和潜热的水平输送 (单位: 10^{14} 瓦)

计算区	$C_p T + gZ$			Lq			$C_p T + gZ + Lq$		
	平均 输送	扰动 输送	总和	平均 输送	扰动 输送	总和	平均 输送	扰动 输送	总和
东部区	6.04	0.03	6.07	0.14	0.01	0.14	6.18	0.04	6.21
中部区	4.49	0.92	5.41	0.31	0.00	0.31	4.80	0.92	5.72
西部区	-12.97	0.25	-12.72	-0.45	0.00	-0.45	-13.42	0.25	-13.17

表 1 给出西太平洋热带海洋东、中和西部区不同时段的感觉 ($C_p T$) 潜热 (Lq) 和位能 (gZ) 的水平输送。从表中可见,七天平均的总输送 ($C_p T + gZ + Lq$) 在东部和中部计算区上均为正值,分别为 6.21×10^{14} 瓦和 5.72×10^{14} 瓦,西太平洋的西部区为 -13.17×10^{14} 瓦。这表明东、中部计算区大气能量水平总输送的方向是由区域内向外输送,而西部区是由外界向区域内输送,且绝对值比东、中部区要大二倍之多。另外在西部区内总的平均输送的绝对值比其它区要大得多。

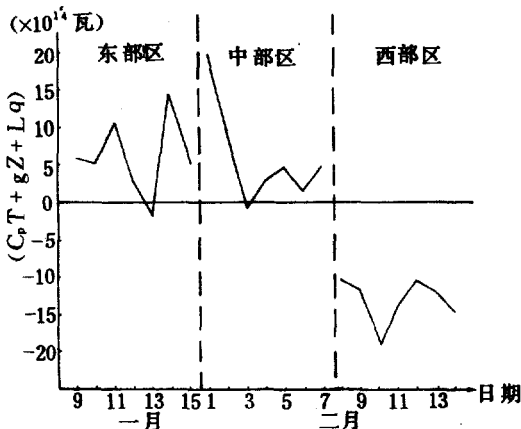


图 2 各区内逐日大气能量的垂直累积收支(单位: 10^{14} 瓦)

图 2 为考察期间三个时段中,各计算区内大气能量的垂直累积收支。西部区大气能量的垂直累积收支在零值以下,而东、中部区除个别天以外,大多数在零值以上,这表明西太平洋西部大气能量输送方向是向区域内的,东部和中部二个区总输送方向是向外的。这一事实为进一步深入了解西部是否为热源是有意义的。

2. 各区边界面上与外界的能量输送

(1) 各边界面上大气能量的总输送

表 2 是三个计算区各边界面上大气能量 ($C_p T + gZ + Lq$) 的平均输送和扰动输送。

从表中可见, 东部区各边界上平均输送的 7 天的平均量中, 东南、东北和西北 3 个边界面上平均输送为正值, 其余 2 个边界面为负值。就绝对值来说, 该区以东北边界面上平均输送最大, 达到 3.78×10^{14} 瓦。而各边界面上扰动输送的绝对值均小于平均输送, 扰动输送最大的是西北边界, 其值为 0.38×10^{14} 瓦。

表 2 计算区内各边界面上大气能量的平均输送和扰动输送 (单位: 10^{14} 瓦)

东部区			中部区			西部区		
边界面	平均输送	扰动输送	边界面	平均输送	扰动输送	边界面	平均输送	扰动输送
东南	2.39	0.13	南	1.39	0.17	南	-3.07	-0.01
东北	3.78	-0.08	东	0.95	-0.14	东	-3.89	0.01
西北	1.38	0.38	东北	5.74	0.84	东北	0.82	0.03
西	-1.05	-0.35	北	0.45	-0.03	西北	-1.71	0.01
西南	-0.32	-0.04	西	-3.73	0.08	西	-5.57	0.21

在中部区, 除西边界的平均输送为负值以外, 其余 4 个边界面均为正值。从绝对值来看, 以东北边界面上平均输送最大, 其值为 5.74×10^{14} 瓦。扰动输送的量值较小, 其中以东北边界上的输送最大为 0.84×10^{14} 瓦。

西部区域的东、南、西和西北边界的平均输送量均为负值, 其中以西边界的平均输送量最大, 7 天的平均值为 -5.57×10^{14} 瓦。仅有东北边界为正值。在扰动输送中除南边界以外, 其它边界面上的输送值均为正值, 其各边界上扰动输送量均比平均输送要小。

由上可知, 三个计算区各边界面上输送方向和大小是不同的。在东部区能量的总输送是由东南、东北和西北边界面输出, 从西、西南边界面输入, 该区净输送是以输出为主, 其中以东北边界面上的输送量最大。中部区能量的总输送由南、东、东北和北边界面输出, 从西边界输入, 净输送是以输出为主。其中以东北边界的输送量最大。西部区总能量的输送由东北边界面输出, 南、东、西北和西边界输入, 其净输送以输入为主。西边界面上输送量最大^[5]。

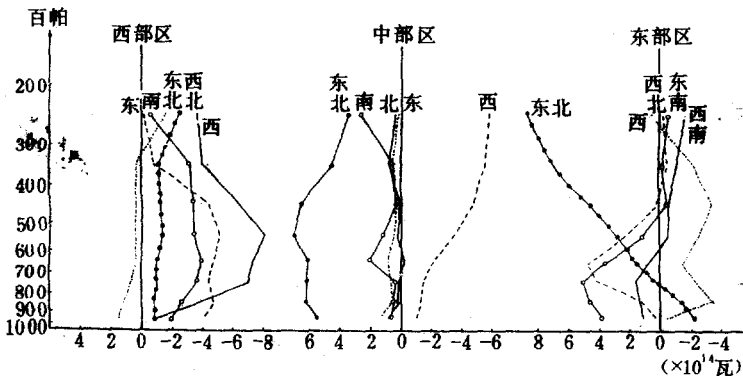


图 3 热带西太平洋计算区上各边界面大气能量输送的垂直廓线(单位: 10^{14} 瓦)

(2) 计算区各边界面与外界大气能量交换的垂直分布

图 3 给出三个计算区各边界面与外界在 7 天中大气能量交换的垂直分布。东部区的东北边界面在垂直方向上以 850 百帕为界,其上能量总输送方向是由区域向外输送,其下则反之。最大的输送层在对流层上部 200—300 百帕厚度层中。东南、西北和西南边界在 500 百帕以下为输出,上层为输入。西边界除 200—300 百帕厚度层以外,其它各厚度层均以输入为主,最大的输送层在 850 百帕层附近。

中部区除西边界上整层由外界向区域内输送能量,其它 4 个边界面上各厚度层中能量总输送的方向是向外的。东北边界面上最大输送层在 500—600 百帕厚度层内。

西部区东、南、西和西北 4 个边界面在整个气柱内,总输送方向是由外界向区域内输送。东北边界在对流层上层总输送的方向和其它 4 个边界一样,其中、下层是由区域向外界输送。从垂直廓线上来看,西边界面上的输送量最大,500—600 百帕厚度层为最大的输送层。

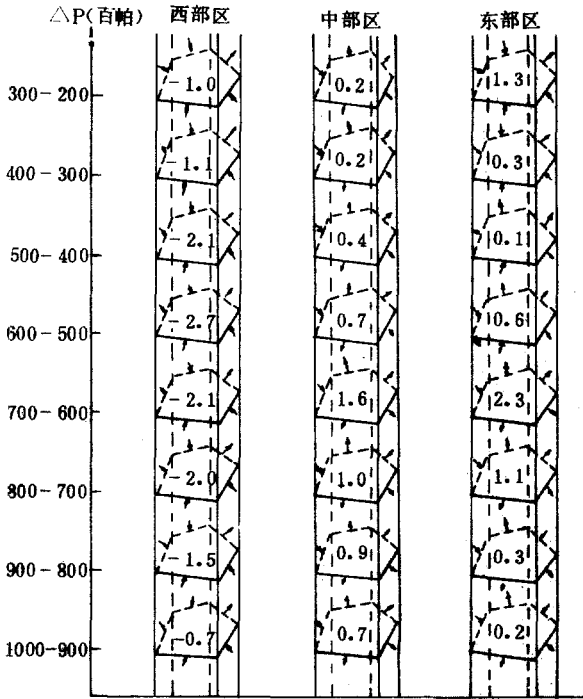


图 4 计算区各层水平方向上大气能量收支 (单位: 10^{14} 瓦)

图 4 给出三个计算区内 8 个厚度层上各边界 7 天平均的总输送的大小,其箭头表示该边界面上能量交换的方向,示意图中 5 边形框内的正、负值代表计算区内该厚度层上所获得的净能量收支。由图可见,西部区各厚度层内净能量输送均为负值,表示由外界向计算区内输送。最大输送层在 500—600 百帕厚度层,为 -2.7×10^{14} 瓦。该区各厚度层除东北边界以外,其它 4 个边界上以输入为主。中部区各厚度层上净能量均为正值,与西部区的输送方向完全相反。最大的输送层在 600—700 百帕上为 1.6×10^{14} 瓦,该区除西边界以外,其它 4 个边界面在各厚度层中均以输出为主。东部区各厚度层中能量的输送均为正值,亦以输出为主,最大的输送层在 600—700 百帕。

四、西太平洋热带海洋区域内大气能量的局地变化

表 3 给出考察期间计算区域内大气全位能和潜热能的局地变化。由表可见,东部区域中空气柱内的全位能局地变化在 1 月 10 日—14 日的 5 天中基本上是增加的,这增加量相当于大气本身每天增温 0.04—0.18℃,其中以 14 日增温较大。六天的平均值为 0.81×10^{14} 瓦,相当于每日增温 0.02℃。同时还可见,大气中水汽含量在前三天基本上是增加的,后三天的潜热能是减少的。

表 3 考察期间计算区内全位能、潜热能的局地变化

(单位: 10^{14} 瓦)

东部区

物理量	日期						
	1月10日	11日	12日	13日	14日	15日	平均
全位能	0.46	1.05	1.31	0.67	1.97	-0.59	0.81
潜热能	4.86	7.45	7.16	-4.31	-6.81	-1.21	1.19

中部区

物理量	日期						
	2月2日	3日	4日	5日	6日	7日	平均
全位能	1.82	-0.89	-0.71	-0.80	-0.40	-0.34	-0.22
潜热能	-6.02	-2.09	-1.68	3.77	1.30	0.50	-0.71

西部区

物理量	日期						
	2月10日	11日	12日	13日	14日	15日	平均
全位能	1.09	-0.96	-1.93	0.13	1.55	-1.51	-0.27
潜热能	-3.88	4.86	3.98	0.92	-0.71	4.23	1.57

中部计算区域内全位能局地变化除 2 月 2 日为正值以外,其它各日基本上为负值,而且是逐日减少,这减少量相当于大气本身每天冷却 $0.05-0.12^{\circ}\text{C}$ 。潜热能局地变化在前三天是减少的,到 2 月 5 日明显增加到 3.77×10^{14} 瓦,随后数日也是有所增加的。从平均情况来看,全位能的六天平均值为 -0.22×10^{14} 瓦,相当于每日冷却 -0.03°C ,潜热能为 -0.71×10^{14} 瓦,这表明该区域内大气柱内水汽含量是减少的。

西部计算区域中整层大气的全位能局地变化在 2 月 10—11 日、14 日是减弱的,大约在 $-0.96-1.51 \times 10^{14}$ 瓦,这个减少量相当于大气本身每天冷却 $0.13-0.26^{\circ}\text{C}$ 。这是由于南半球冷空气爆发南赤道辐合带北移至该计算区的南部(图略),使该区上空云量增加,太阳辐射减少,大气本身的温度有所降低的原因。六天平均变化值为 -0.27×10^{14} 瓦,相当于使区域内空气六天平均降低 0.04°C 。另外,还可见潜热能的局地变化在 2 月 10 日和 14 日整层大气柱内水汽含量均比前日有所增加,正如上述由于低值系统影响本计算区,云量增多,大气中的水汽含量也增多,通过水汽凝结释放的潜热能也增加。

由上可知,热带西太平洋三个计算区域内大气柱内的全位能、潜热能的局地变化具有区域性差异,就总能量 ($C_p T + gZ + Lq$) 的局地变化的六天平均值而言,西、中和东部计算区分别为 2.0×10^{14} 瓦、 -0.93×10^{14} 瓦和 1.30×10^{14} 瓦,其中以西部计算区内总能量的局地变化较明显,东部区其次,而中部区表现为相反情况。这可能与当时的天气形势有关。

五、结 论

1. 在考察期间,西太平洋热带海洋上大气的能量收支具有明显的区域性特色。西部区域大气能量是由外界向区域内输送;而中、东部区则相反。这说明西部区域上空大气水

平能量收支的总效果,使该区域大气增暖,东部区稍有增温,中部区则降温。

2. 东部区总边界面上大气能量在各厚度层均以输出为主,其中以东北边界面上的输送量最多,最大输送层在 600—700 百帕。中部区总边界面上各层也均以输出为主。西部区除东北边界外,其它各边界在各层均以输入为主,其中以西边界面上的输入量最多,500—600 百帕为最大的输送层。

3. 在考察期间,热带西太平洋上大气能量的局地变化具有区域性差异,其中以西部区较为明显,六天平均值为 2.0×10^{14} 瓦,这量值比大气能量水平输送值要小些。

参 考 文 献

- [1] M. Y. Wei, Seasonal distributions of diabatic heating during the First GARP Global Experiment. *Tellus*, **35a**, 241—255, 1983.
- [2] G. P. Kurbatkij, Diagnostics research and scientific achievements based on the FGGE oceanographic programme and application of oceanic data in operational long-range weather forecasting, GARP publications series No. 26, 525—554, 1986.
- [3] 中国气象学会天气专业委员会编, 天气学的新进展—现代天气学讲座文选, 气象出版社, 1986 年。
- [4] 章名立, 盛夏我国东部地区热量平衡的个例计算, 气象学报, **34**, 74—85, 1964。
- [5] 李月洪、李维亮, 西太平洋热带地区大气能量收支分析, 气象, **4**, 1987。

THE PRELIMINARY STUDY ON THE BUDGET OF REGIONAL ATMOSPHERIC ENERGY OVER WEST TROPICAL PACIFIC

Li Yuehong Li Weiliang

(Institute of Climatology, AMS)

Abstract

The atmospheric energy budget calculation over west tropical Pacific during the Sino — America Sea — Air Join Investigation has been made. The controlled area is divided into three polygons (east, middle and west areas). Based on the data from this investigation during the 9th through 15th of January and the 1st to 14th of February, 1986, the horizontal transportation of the atmospheric energy budget is computed day by day. It is pointed that the direction of the atmospheric energy transportation in the west part of west tropical Pacific is from the outer region towards inner region, and it is in an opposite direction in the east and middle parts. It shows that over the west area the warming is obvious during the investigation period. In addition, the regional differents for the local change of atmospheric energy are less than that of the transporting terms.