

文章编号: 1004-4965 (2005) 05-0517-08

南海海洋站观测海气热通量的时间演变特征

吴迪生¹, 许建平², 王以琳³, 闫敬华⁴,
冯伟忠¹, 黎广媚¹, 白毅平¹,
张红梅¹, 张纪伟¹, 赵 雪¹(1. 国家海洋局南海预报中心, 广东 广州 510300; 2. 国家海洋局海洋动力过程与卫星海洋学重点实验室, 浙江 杭州 310012; 3. 山东省气象科学研究所, 山东 济南 250031;
4. 中国气象局广州热带海洋气象研究所, 广东 广州 510080)

摘 要: 为探索西沙和南沙海气热通量时间演变特征, 用海洋站观测资料计算了 1998 年南海夏季风爆发前后, 海气界面热量交换值及海面热收支年循环。结果表明: 季风爆发前, 西沙海气界面热量交换较弱, 水汽通量较小, 以海洋获得热量为主; 季风爆发后, 海气界面热量交换接近平衡。南沙全年主要是海洋对大气加热。南沙和西沙海面吸收短波辐射年周期特征明显, 极大值出现在冬半年。西沙海面潜热通量存在半年周期特征, 极大值也是出现在冬半年。结论: 冬半年海面热通量变化对翌年的季风将产生重要影响。

关 键 词: 南中国海; 海洋站; 南海夏季风; 热量交换

中图分类号: P714.2

文献标识码: A

1 引 言

南海海气界面热量交换在南海夏季风爆发前后的特征一直是人们观测和研究的重要对象。南沙海域的海气相互作用与天气气候特征已经有很多研究^[1~4]。张庆荣等^[5]指出: 南沙海域春季海水得到了大量热量, 冬季海面热量平衡, 可能为负值。王东晓等^[6]指出: 感热 (Q_k) 南海北部明显高于南部, 海面有效反射辐射 (Q_e) 也是北部大于南部。但是, 自从 1998 年中国遭受特大洪水造成重大损失之后, 对南海夏季风爆发前后南沙海域海气界面热量交换特征的研究工作还较少。本文用南沙和西沙海洋站水文气象观测资料, 对 1998 年南海夏季风爆发前后海气界面热量交换值及海面热收支年循环特征作初步探讨。

收稿日期: 2004-03-22; 修订日期: 2005-07-18

基金项目: 广东省自然科学基金项目 (04102749); 国家科技部攀登项目 A “南海季风试验研究”; 国家重点基础研究发展规划项目 (G1998040900-1); 国家海洋局海洋动力过程与卫星海洋学重点实验室共同资助

作者简介: 吴迪生 (1954-), 男, 广东兴宁人, 高工, 学士, 研究方向: 海气相互作用。E-mail: wudisheng@tom.com

2 资料和计算方法

用南沙和西沙海洋站水文气象实测值(资料年限为 1989~2001 年,每天北京时 08、14、20 时 3 个时次),计算了 1998 年南海夏季风时期海气界面热量交换值及海面热收支年循环。本文定义以下术语:每天获得 08、14、20 时实测水文、气象要素值并计算各物理量,得到

各物理量的日和候平均值:即 $\frac{\sum X_i}{3}$ ($I=1, 2, 3$) 为日平均, X_i ($I=1, 2, \dots, 72$) 代表上述各个要素其中之一的全年各候(中国候)气候值。海洋的热量平衡计算方程可以写成

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

式中 Q_L 、 Q_S 、 Q_e 、 Q_v 、 Q_k 分别表示总热量交换、海面吸收的短波辐射、海面有效反射辐射、潜热通量、显热通量^[7]。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, Q_L 表示海气间的热量交换量值即总热量交换量,因此本文主要对这几项进行讨论。式(2)~(5)引自文献[7]。

$$Q_S = Q_0 \times (1 - a \times C - b \times C^2) \times (1 - \gamma) \quad (2)$$

$$Q_e = S \times \sigma \times Q_w^4 (0.39 - 0.058 \sqrt{e_a}) \times (1 - k \times C^2) + 4 \times S \times \sigma \times Q_w^3 \times (T_w - T_a) \quad (3)$$

$$Q_v = \rho_a \times C_e \times L \times (q_w - q_a) \times |V| \quad (4)$$

$$Q_k = \rho_a \times C_e \times C_p \times (T_w - T_a) \times |V| \quad (5)$$

式中 Q_0 为碧空时到达海面的太阳总辐射量^[8]; a 、 b 均为常数(取为 0.36)^[7]; C 为总云量(按 10 成来分),云对海面吸收的短波辐射(Q_s)和海面有效反射辐射(Q_e)的影响比较复杂,它不仅取决于云量,并且与云状、云高和云的分布等均有关。到目前为止,在讨论与 Q_s 、 Q_e 的关系时,还不能把它的各方面的影响都考虑在内。根据 GMS-3 卫星实测总云量数据进行计算; γ 为海面对短波辐射的平均反射率(取为 0.06)^[8], S 为海面长波辐射与完全黑体辐射之比(取 0.95)^[8]; σ 为 Stefan-Boltzmann 常数, Q_w 为表层海水的绝对温度; e_a 为空气的水汽压(hPa); K 为云遮系数(取 $K=0.50$)^[8]; T_w 和 T_a 分别为海面水温 and 气温; ρ_a 为空气密度(取 1.17 kg/m^3); L 为水汽潜热^[7](取 $4.1868 \times (597 - 0.6 \times T_w) \text{ J/g}$); C_e 为水汽交换系数, C_e 的取值是一个十分重要而又比较复杂的问题。由于测量仪器和方法不统一,测量误差较大,至今仍未得到一个公认的量值,本文采用 Bunker 的计算结果^[9]。 q_w 为海面在表层水温下的饱和比湿; q_a 为空气的比湿; V 为全风速(m/s); $C_p = 1006.08804 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$; 式(1)~(5)计算结果的单位原为 $\text{J/(m}^2 \cdot \text{s)}$; 现将各热量的计量单位统一表示为 W/m^2 , 日总量的单位均转化为 $\text{MJ/(m}^2 \cdot \text{d)}$ 。

3 南海夏季风建立前后逐时海气界面热量交换特征

季风按经典定义是盛行风向在冬夏的相反变化,且由海陆热力对比的改变所引起。因此,本文采用经典定义的方法,用海面风(sea level wind, SLW)定义南海夏季风的爆发日期。具体标准为:当中国南沙海洋站的纬向风日平均由东风转为西风及经向风日平均由北风转为南风、且至少维持一周以上,即为南海夏季风爆发。

根据上述定义,通过分析南海 15 个海洋观测站的风场资料,发现中国南沙海洋站的风场最具代表性。图 1a 是 1998 年中国南沙海洋站南海夏季风爆发期间纬向风和经向风过程曲线。1998 年南海夏季风的爆发日期为 5 月 21 日,夏季风建立日期与文献[10]一致。根据南沙海洋站 13 年风向风速整体资料统计分析,南海夏季风平均建立日期为 5 月 16 日(即 28 候)与文献[11,12]完全吻合。1998 年南海夏季风的爆发前后 5 天(5 月 16~26 日)的南沙海洋站各物理量要素计算结果见图 1b~f。

图 1b 表明:南海夏季风爆发前(后),水汽通量偏小(大),比湿偏小(大,图略)。由于水汽通量的大、小主要决定风速和比湿,而风向由偏东风转为西南风的过程中风速较小(季风爆发的前后 2 天)。

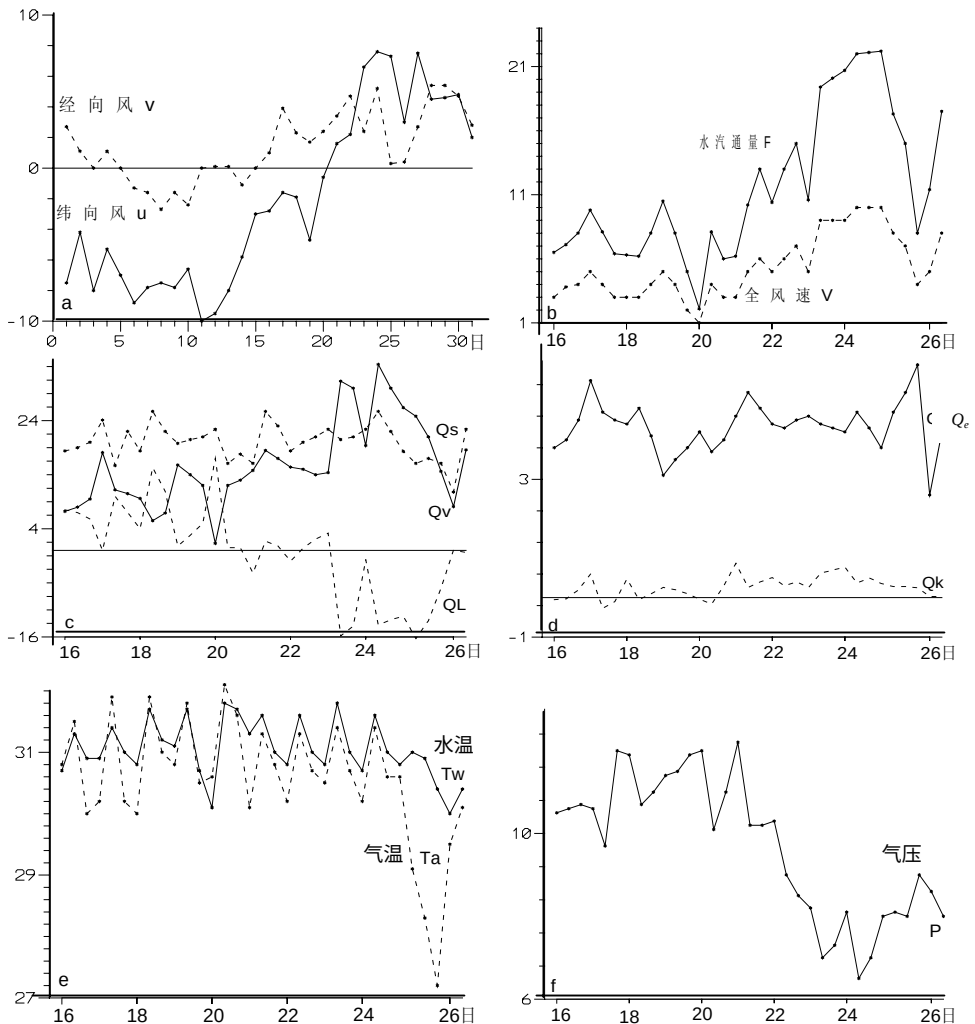


图 1 1998 年南海夏季风爆发前后南沙海洋站逐日各物理量要素值 横坐标为观测日期。

a. 5 月 1~31 日纬向风(实线)和经向风(虚线)过程曲线(单位: m/s); b. 5 月 16 日 08 时~26 日 20 时的水汽通量(实线, 单位: $\text{g}/(\text{s} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{hPa})$), 全风速(虚线, 单位: m/s); c. Q_s , Q_v , Q_l 逐时值(单位: 10^{-1} W/m^2); d. Q_e (实线), Q_k (虚线)逐时值(单位: 10^{-1} W/m^2); e. 水温(实线), 气温(虚线)逐时值(单位: $^{\circ}\text{C}$); f. 气压逐时值(单位: 10^3 hPa)。c~f 的日期同 b。

图 1c 表明：潜热 (Q_v) 变化最为显著，夏季风爆发前后的气象要素观测值见表 1。海面吸收的短波辐射 (Q_s)，在夏季风爆发前后，变化比较平稳，5 月 24~25 日，南海受较强的热带辐合带影响，云量增加， Q_s 的量值减小。总热量交换 (Q_L)，在南海夏季风爆发前基本上为正值，表明海洋以获得热量为主；而南海夏季风爆发后 Q_L 均为负值，表明以海洋对大气加热为主。

图 1d 表明：感热通量 (Q_k) 在夏季风爆发前 (后) 量值较小 (有增加趋势)。季风爆发前虽水温和气压较高，但风速和比湿偏小、气温比水温高 0.3 °C，大气层结稳定，海气热量交换较弱。夏季风爆发后的风速和比湿偏大、气压偏低、水温比气温高 0.2 °C，有效波高 2.2 m，造成空气层结不稳定和强烈的垂直运动，将低层的热量和水汽向上输送，促进了海气界面的蒸发和热量交换。夏季风爆发前后，海面有效反射辐射 (Q_e) 的变化比较平稳。

图 1e 表明：1998 年南海夏季风爆发前气温比水温高，但水温和气温均是上升趋势，夏季风爆发后气温比水温低，变化趋势均是下降趋势，且气温下降更明显。

图 1f 表明：气压在夏季风爆发前是偏高的，爆发后气压是下降趋势。

表 1 南海季风爆发前后代表日的各物理量值

	实测气压/ hPa	风速/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	风向/度	水温/ °C	气温/ °C
5 月 15 日平均值	1007.3	3.0	90	31.4	31.8
季风爆发前 (5 月 20 日 14 时)	1010.1	4.0	160	31.8	32.1
季风爆发后 (5 月 24 日 14 时)	1006.5	10.0	250	31.6	31.4
5 月 24 日平均值	1007.3	9.5	230	31.2	30.8
5 月 25 日平均值	1008.5	9.0	250	30.9	29.8
	露点/ °C	比湿/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	总云量/成	Q_v / ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)	
5 月 15 日平均值	26.1	6.48	4	31.70	
季风爆发前 (5 月 20 日 14 时)	25.2	19.90	7	120.37	
季风爆发后 (5 月 24 日 14 时)	26.4	21.53	2	344.05	
5 月 24 日平均值	26.9	21.12	3	267.85	
5 月 25 日平均值	26.4	21.50	7	256.50	

4 南海夏季风建立前后逐日海气界面热量交换特征

为了研究南海夏季风建立海气热量交换时空演变特征,分析了 1998 年 5 月 1 日 08 时~31 日 20 时每天 3 个时次的实测值。由图 2a 可见：5 月 1~13 日及 21~30 日风速较大 (平均为 7.3 m/s)，云量逐日增加。5 月 14~20 日，南沙风向是偏东转为西南的过度阶段，风速较小 (平均为 3.7 m/s)，云量偏少。

图 2b 表明：1998 年南海夏季风爆发前 (后)，水温、气温均有上升 (下降) 的变化趋势，夏季风爆发时水温平均值达 31.0 °C。在热带辐合带系统内，虽然水温和气温均处于下降趋势，但气温下降较为迅速。

图 2c 表明：南海夏季风爆发前 (后) 潜热变化显著。5 月 1~13 日及 21~30 日 Q_v 量值均较大，潜热最大值为 267.85 W/m^2 ，出现在夏季风爆发后的 5 月 24 日，当日的平均气象要素观测值见表 1。5 月 14~20 日夏季风爆发前 Q_v 量值较小，潜热最小值出现在 5 月 15 日，

为 31.73 W/m^2 ，其平均气象要素观测值见表 1。5 月 15 日 Q_v 量值较小的原因是：气温比水温高 $0.4 \text{ }^\circ\text{C}$ ，风速较弱。在热带扰动中（5 月 10 日）、在热带辐合带系统内（5 月 24~25 日，30 日）， Q_v 的量值跃升明显，均为正值。海面吸收的短波辐射（ Q_s ）的量值变化，5 月 1~14 日是下降趋势，原因是云量增加所致；5 月 15~23 日，天气晴好，云量较少， Q_s 量值迅速增大；当热带辐合带系统内云量增加时， Q_s 量值迅速减小。总热量交换（ Q_L ）日平均值表明：南海夏季风爆发前即 5 月 14~20 日， Q_L 均是正值，极大值出现在夏季风爆发前的 5 月 15 日，为 127.21 W/m^2 ，表明海洋获得热量主要贡献来自海面吸收的短波辐射（ Q_s ）。5 月 3~13 日和 21~30 日， Q_L 均是负值，最小值出现在夏季风爆发后的 5 月 25 日，为 -143.35 W/m^2 。由表 1 可知，水温比气温高 $1.1 \text{ }^\circ\text{C}$ 、风速较大，海洋对大气大量加热，特别是在热带辐合带系统内海洋对大气的加热最为显著。

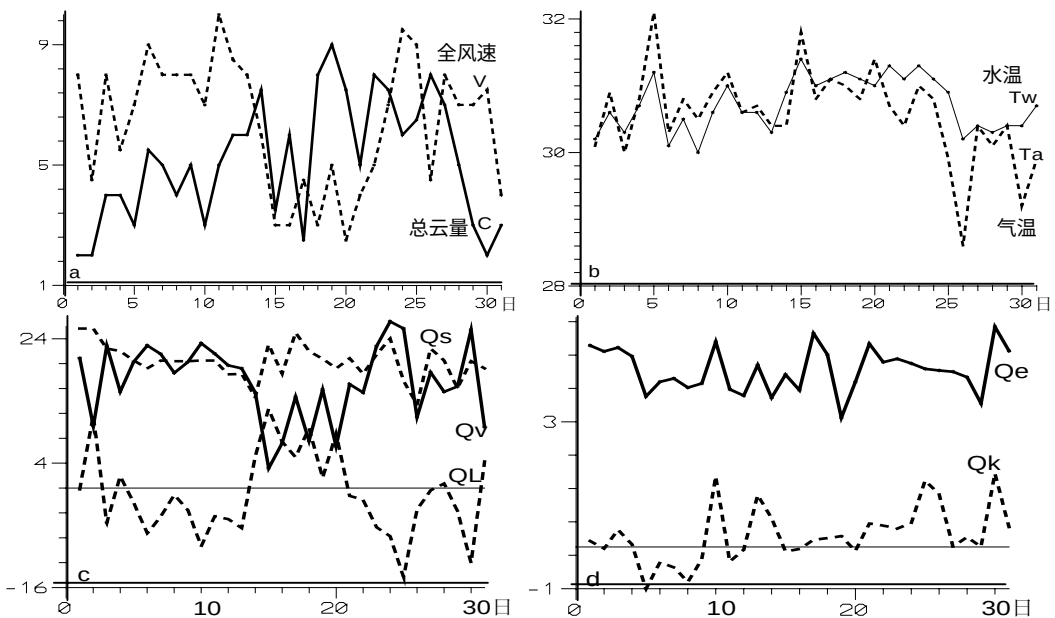


图 2 1998 年 5 月南沙站水文气象要素、海气热量交换逐日变化曲线 横坐标代表观测日期。

a. 全风速（虚线，单位： m/s ），总云量（实线，单位：成）；b. 水温（实线）、气温（虚线）。

单位： $^\circ\text{C}$ ；c. Q_v （实线）， Q_s ， Q_L ；d. Q_k （实线）， Q_e （虚线）； Q 的单位均为 W/m^2 。

图 2d 表明：海面有效反射辐射（ Q_e ）的量值变化比较复杂，它不但受云的量影响，而且还受水气温差和空气的水汽压影响，当云量减少、水气温差增大时， Q_e 的量值增加，反之亦然，但总体变化量值较小。感热（ Q_k ）量值表明，在热带扰动中和热带辐合带系统内的变化趋势与潜热的变化比较一致，迅速跃升均为正值，由于气温和水温在热带辐合带系统内是下降趋势，但气温下降更为迅速，水气温差增大，风速较大，导致感热量值明显增加，夏季风爆发前，感热有时还出现负值，原因是气温比水温高，海水大量吸热。

5 海气界面热量交换的季节特征

图 3 呈现了南沙和西沙海气界面热量交换的 4 个分量，即海面吸收短波辐射（ Q_s ）、海

面有效反射辐射 (Q_e)、潜热通量 (Q_v) 和感热通量 (Q_k)，以及总热量交换 (西沙 1989~2000 年, 南沙 1997~2000 年) 的逐候气候值。图 3a 表明：海面吸收的短波辐射 (Q_s) 年周期特征明显，极大值出现在 3 月 (西沙) 和 4 月 (南沙)，夏季风稳定建立之后 Q_s 则减小，其极小值出现在 8 月。南沙和西沙变化相似，但南沙的 Q_s 值要比西沙小，这与文献[6] 的结论相似。

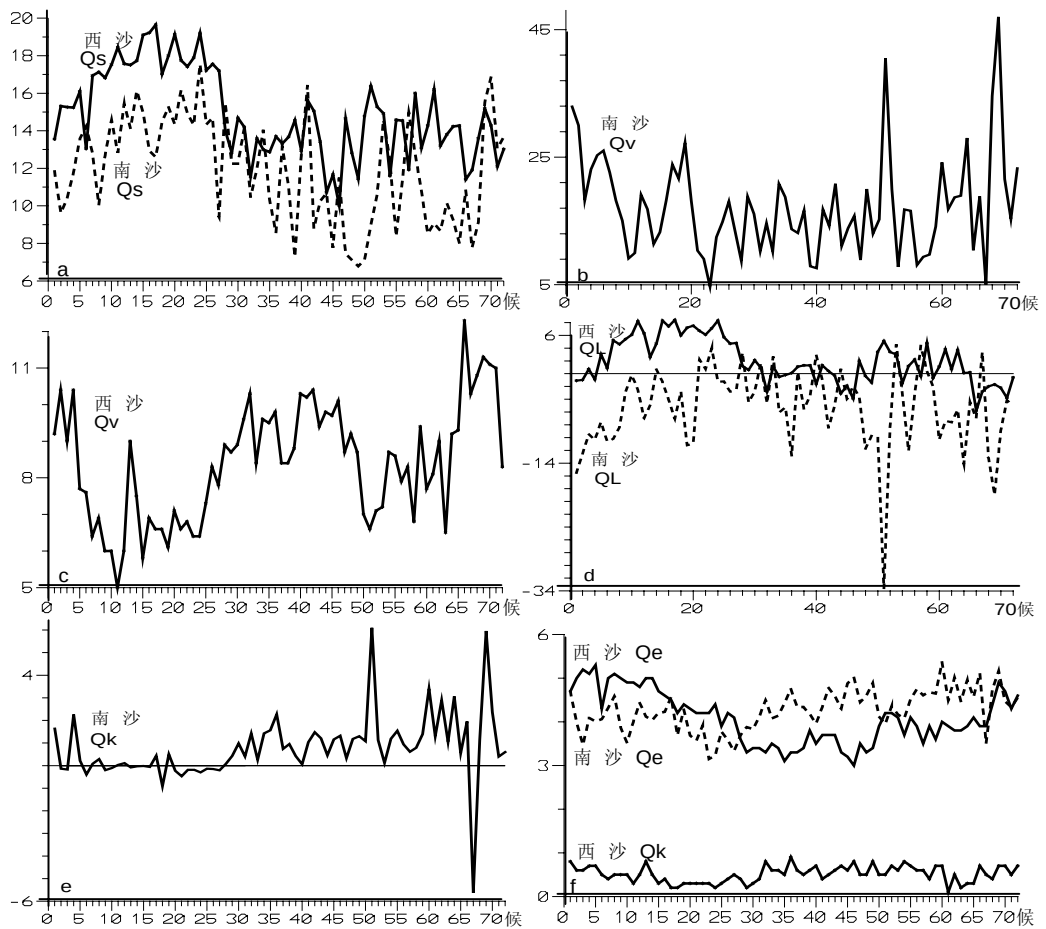


图 3 南沙和西沙海气界面海气热量交换年循环特征 纵坐标代表热量交换单位： $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ，横坐标为观测候。a. Q_s (虚线为南沙，实线为西沙)；b. Q_v (南沙)，c. Q_v (西沙)；d. Q_L (同 a.)；e. Q_k (南沙)；f. Q_k (西沙)， Q_e (同 a.)。

由图 3b、c 可见，潜热通量 (Q_v) 分布的主要特征是，南沙的量值均比西沙大，因为南沙全年平均风速比西沙大。此外，南沙年平均水温 ($28.8\text{ }^{\circ}\text{C}$) 也高于西沙 ($27.3\text{ }^{\circ}\text{C}$)，故南沙的蒸发比西沙显著，比湿高而产生较大的海气水汽压差。南沙的 Q_v 值年周期特征不明显；西沙 Q_v 值的变化半年周期特征明显。南沙冬半年 Q_v 值相对较大，夏半年较小。西沙站夏季风和冬季风爆发后 Q_v 值较大，而冬夏季风转换时期的潜热通量值相对较小。

图 3d 表明：西沙和南沙的总热量交换值 (Q_L) 代表了海洋净热收支的气候型季节分布。

总体而言, Q_L 的绝对值是南沙大于西沙。在南海夏季风建立之前, 西沙海面主要是太阳辐射对海洋加热; 夏季风建立之后, 海气热量交换接近平衡。南沙 Q_L 值全年的主要分布特征是海洋对大气加热。在夏季风建立之前, 海洋对大气大量加热; 而当夏季风建立之后, 海洋对大气的加热有所减弱。但到 8 月份以后, 海洋对大气的加热异常强烈, 这一现象则值得深入研究^[13~16]。

图 3e、f 表明: 感热通量 (Q_k) 的变化比较复杂, 其主要特征是, 全年西沙的 Q_k 值均比南沙大, 因为南海冬半年经常受冷涌的影响, 使西沙水温明显低于南沙。南沙 2~4 月的 Q_k 值以负值为主, 原因是这时气温远高于水温。南沙和西沙的感热通量值在夏季风建立后明显高于建立前, 对这一现象还有待于进一步的观测和研究。

图 3f 表明: 西沙和南沙站海面有效反射辐射 (Q_e) 值较接近。西沙的 Q_e 值在夏季风建立之前显著大于建立之后, 这与西沙海域上空在夏季风建立之前天气较好、云量偏少、水温显著高于气温有关; 而当夏季风建立之后, 云量偏多、水气温差减小。南沙由于常年云量偏多, 水气温差小, 所以其 Q_e 值在夏季风建立前后并无明显变化。

6 结 论

(1) 南海夏季风爆发前, 西沙海气界面热量交换较弱, 水汽通量较小, 海面大量吸收来自太阳的短波辐射, 海洋以获得热量为主; 夏季风爆发后, 在热带辐合带系统内风速增大, 水汽通量值增加, 水温、气温和气压呈下降趋势, 海气界面热量交换较强, 这时以海洋对大气加热为主。

(2) 南沙全年以海洋对大气加热为主。西沙夏季风爆发后海气界面热量交换接近平衡。

(3) 南沙和西沙海面吸收来自太阳的短波辐射的年周期特征明显, 极大值分别出现在 3 月和 4 月。西沙潜热通量存在半年周期特征, 南沙和西沙的潜热通量的极大值均出现在冬半年。

参 考 文 献:

- [1] 罗会邦. 南海夏季风爆发及相关雨带演变特征[A]. 南海季风爆发和演变及其与海洋的相互作用[M]. 北京: 气象出版社, 1999. 25-29.
- [2] 何金海, 王黎娟, 徐海明. 1998 年南海夏季风建立前后的突变特征及爆发过程的初步分析[A]. 南海季风爆发和演变及其与海洋的相互作用[M]. 北京: 气象出版社, 1999. 30-33.
- [3] 陈隆勋, 祝从文. 1998 年 SCSMEX 期间南海夏季风爆发特征及其机制的初步分析[A]. 南海季风爆发和演变及其与海洋的相互作用[M]. 北京: 气象出版社, 1999. 13-15.
- [4] 陈隆勋, 朱乾根, 罗会邦, 等. 东亚季风[M]. 北京: 气象出版社, 1991. 162-171.
- [5] 张庆荣, 麦波强. 南沙海域海气相互作用与天气气候特征研究[M]. 北京: 科学出版社, 1998. 23-40.
- [6] 王东晓, 周发, 李永平. 南海表层水温和海面热收支的年循环特征[J]. 海洋学报, 1997, 19(3): 33-44.

- [7] 国家海洋局. “向阳红 09”海洋调查船中太平洋西部调查报告[M]. 北京: 海洋出版社, 1981. 12-39.
- [8] 布德科. 地表面热量平衡[M]. 北京: 科学出版社, 1960. 28-45.
- [9] BUNKER A F. Computations of surface energy flux and annual air sea interaction cycles of the North Atlantic ocean[J]. Mon Wea Rev, 1976, **104**(9): 1122-1140.
- [10] 谢 安, 戴念军. 关于南海夏季风爆发日期和季风强度定义的初步意见[A]. 南海夏季风建立日期的确定与季风指数[M]. 北京: 气象出版社, 2001. 67-70.
- [11] 戴念军, 谢 安, 张 勇. 南海夏季风活动的年际和年代际特征[J]. 气候与环境研究. 2000, **5**(4): 363-374.
- [12] LI Chongyin, WU Jingbo. On the onset of the South China Sea summer monsoon in 1998[J]. Adv Atmos Sci, 2000, **17**: 193-204.
- [13] 张 翔, 邓 冰. 发展与不发展南海扰动的能量收支与转换特征[J]. 热带气象学报, 1998, **14**(1): 11-19.
- [14] 马柱国, 冯 松, 王冬梅. TOGA-COARE 强化期 (IOP) 西太平洋热带海域的热通量特征[J]. 热带气象学报, 1998, **14**(1): 20-27.
- [15] 丁治英, 沈桐立, 丁一汇. 副热带高压和对流潜热加热与南海台风的耗散及维持[J]. 热带气象学报, 1998, **14**(4): 306-313.
- [16] 顾建峰, 王谦谦, 刘坚刚. 海表温度异常短期效应的数值研究[J]. 热带气象学报, 1998, **14**(4): 323-328.

VARIATION CHARACTERISTICS OF AIR-SEA HEAT FLUX AT OCEAN OBSERVATION STATIONS IN SOUTH CHINA SEA

WU Di-sheng¹, XU Jian-ping², WANG Yi-lin³, YAN Jing-hua⁴,
FENG Wei-zhong¹, LI Guang-mei¹, BAI Yi-ping¹,
ZHANG Hong-mei¹, ZHANG Ji-wei¹, ZHAO xue¹

(1. South China Sea forecasting Center, State Oceanic Administration, Guangzhou 510300, China; 2. Key Lab of Ocean Dynamic Processes and Satellite Oceanography, SOA, Hangzhou 310012, China; 3. Shandong Meteorological Institute, Ji'nan 250031, China; 4. Guangzhou Institute of Tropical & Marine Meteorology, CMA, Guangzhou 510080, China)

Abstract: In order to study the variation characteristics of heat flux at Nansha and Xisha Islands in the South China Sea, the observational data from the ocean stations are calculated to obtain air-sea heat exchanges and the annual circulation of heat budget around the summer monsoon onset in 1998. The results show that before the summer monsoon onset, the air-sea heat exchange near Xisha area is weak, the vapor flux is small and the main trend is that the ocean is being heated; while after its onset, the air-sea heat exchange is balanced roughly. It is almost all the year around in Nansha that the sea heats the air. The characteristics of the annual period of absorbing shortwave radiation on sea surface are remarkable in Nansha and Xisha, with the maximum appearing in the winter-half year. The half-year cycle of latent heat flux exists in the Xisha area, with the maximum appearing in winter. Therefore it can be concluded that the heat flux exchange in the winter-half year plays an important role on the monsoon onset in the coming year.

Key words: South China Sea; ocean stations; summer monsoon in South China Sea; heat exchange