

南海夏季风爆发前后海-气界面热交换特征^{*}

蒋国荣

(南京气象学院大气科学系, 南京, 210044; 解放军理工大学气象学院二系, 南京, 211101)

何金海

(南京气象学院大气科学系, 南京, 210044; 中国科学院热带海洋环境动力学实验室, 广州, 510301)

王东晓

(中国科学院热带海洋环境动力学实验室, 广州, 510301)

张 韧

(解放军理工大学气象学院二系, 南京, 211101)

阎俊岳 姚华栋

(中国气象局国家气候中心, 北京, 100081)

摘 要

文中利用 2000 与 2002 年二次南海海-气通量观测资料和同期西沙站资料, 研究了南海夏季风爆发前后海洋表面热收支变化特征。研究表明: 南海夏季风爆发前后, 影响海面热收支变化的主要分量是净短波辐射通量和潜热通量, 在季风爆发前后不同阶段, 二个分量的变化有不同表现形式, 但不论二者如何变化, 季风爆发与活跃期, 海面热收入减小或为净支出; 季风爆发前及中断期间, 海面热收入逐渐增加; 由于大的热惯性, 海温变化落后于海面热收支的变化, 海温的这种滞后效应通过影响潜热通量调节海面热收支的变化, 又反过来影响自身的变化, 形成短期振荡过程, 这种振荡过程与季风的活跃、中断过程相对应。

关键词: 南海, 南海夏季风, 海气通量, 海面热收支, SST。

1 引 言

海-气界面通量交换是海-气相互作用的重要环节^[1], 海水和大气运动有许多方面都是借助于海-气界面通量交换实现的。海-气系统的最初能量源自太阳辐射加热^[1], 但进入系统的太阳能仅有少部分加热大气, 而大部分用于加热海洋, 其结果是, 一方面, 海洋以各种海-气界面热交换形式影响大气边界层, 进而影响大气环流; 而另一方面, 海水运动的大部分驱动力来自海-气界面处的通量交换。海气界面处的感热通量、潜热通量以及辐射通量是影响海洋上混合层以及季节温跃层变化的重要因子; 而动量通量则是海流、海浪的动力来源。海-气界面的通量交换先通过影响海洋上层海水的运动以及海水温盐分布结构, 再借助于海洋内部的热力、动力调整过程进一步影响深层海水的运动。因此, 研究海-气

界面通量交换在大气与海洋科学中都具有重要的意义。随着海洋数值预报及气候数值预报模式的发展, 海-气通量的观测研究越来越受到国内外的普遍重视^[2]。国际上许多大气海洋科学试验, 如 BOMEX(巴巴多斯海洋和气象试验)、TOGA(热带海洋和全球大气试验)、气候变化和可预报性计划(CLIVAR)、亚澳季风试验计划(CAMP)、孟加拉湾海-气相互作用试验(JASMINE)都把海-气通量观测作为其主要内容。

南海是一个位于热带地区的、半封闭的深水边缘海, 海-气间存在显著的相互作用, 具有地域性海气耦合振荡的特征^[3,4], 它是亚洲夏季风爆发与演变的关键地区, 也是中国夏季降水重要的热量和水汽源地, 因此, 海-气界面通量交换与季风的关联研究一直受到关注^[5,6,7]。1998 年南海季风试验(SG-SMEX)期间, 除了国家科技部组织下在南海南部进

* 初稿时间: 2003 年 10 月 11 日; 修改稿时间: 2004 年 1 月 30 日。

资助课题: NSFC 重点基金 40136010 项目和国家自然科学基金(90211011 以及 40075003)。

行了两次船舶强化观测^[8]外,国家气候中心也在西沙海面设立了通量观测塔^[9],这是中国首次在洋面上实施定点、连续通量观测,它填补了国内在这一领域的资料空白。2000与2002年4月初至6月底,在国家自然科学基金委员会和总参气象局的联合资助下,国家气候中心与理工大学气象学院在同一地点进行了第2^[17]、3次海-气通量外场观测,获得了高质量的、时间分辨率很高的辐射、干湿球、水温、风速及脉动资料。以往由于海上系统的、连续的短时间尺度资料缺乏,使得南海夏季风过程与海洋在短时间尺度的相关研究较少。本文主要利用这两次高时间分辨率的海-气通量观测资料和同期西沙站资料分析了南海季风爆发前及夏季风期间海-气界面通量的变化特征以及海面的热收支变化与夏季风过程的关联。

2 观测过程、资料及研究方法

外场观测的观测地点位于南海中北部的西沙永兴岛(16°50'N, 112°20'E),采用海上建塔的方式进行观测,2000年观测塔位于永兴岛西南面礁盘边缘,距岛约300m,距防波堤20多米。塔基为1.5m×1.5m×1.5m的水泥平台,台面基本位于海面以下。观测塔塔高18m,由3层9根桩线固定;塔基在平均水位以下0.9m,以平均水位为基准,辐射仪器安装在由塔体向前伸出的南北向横杆上,横杆长2m,距离海面3m,其他梯度系统测量的观测仪器(风速仪、干湿球)分别安装在距海面2,4,8,12.5和17.8m高度(以平均水位为基准)的东西向横杆上(图1),表层水温计则以锚系浮标方式分别置放于水面下0.05m和0.5m处。观测时间从5月7日~6月17日共42d,在此期间经历了季风爆发过程、一次季风中断和活跃过程;另外,因仪器安装时间的差异,所测得的通量资料中,辐射和干湿球资料较长的^[12](5月8日~6月16日共40d),风速资料稍短(5月10日~6月16日共38d)。

2002的观测塔位置比2000和1998年的塔位置略向海中前移10m,塔高16m,梯度观测系统(风速、干湿球温度表)分为5层,分别距标准水面2,3,5,9,14m;观测时间为4月24日~6月21日,观测期间经历了爆发前、爆发期及中断期3个过程,需指出的是,在所获得的资料中,由于操作上的失误,造成5月1~8日的全部辐射资料缺失;另外,表层水温测量中,水面下0.5m处水温记录缺失较多。

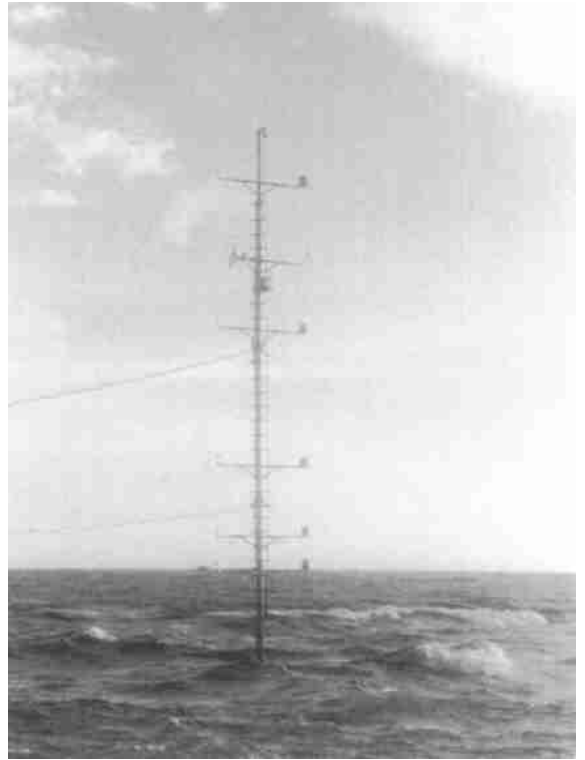


图1 观测塔及仪器安装图示

Fig. 1 The photo of the observing tower with measuring instruments thereupon

观测记录采样时间为1次/min,由于这种时间分辨率下的观测记录含有太多的微尺度高频变化,文中对原始资料作了30min平均,并做了一些误差订正处理,文中所述通量观测资料未做特别说明均为逐30min平均资料。除观测资料外,我们还利用了同年4和6月的西沙气象站以及NCAR/NCEP资料(由南京气象学院大气资料服务中心提供)来讨论观测期间的背景特征。

在海面热收支的讨论中,由于辐射量均由辐射仪器测得,是观测量,不需计算。而潜热和感热通量则是利用干湿球和海温以及风速资料计算给出。潜热和感热的计算一般有两种方法:一种是涡相关法,它类似于直接观测,但其值的确定依赖于高精度的快变脉动风场、温度和水汽的观测,此次观测中由于红外湿度仪出现一些故障,记录不完整;另一种是梯度廓线法,这类计算方法较多,本文使用Launiainen J和Vihma T提出的方法和程序^[10~12]。该计算方法的最大优越性是可以利用常规海面气象观测记录通过数值迭代计算得到动量通量、潜热通量和感热通量等,其计算结果经与直接通量观测资料对比,精度相当高^[12]。

3 2000 与 2002 年南海夏季风过程简介

“南海海-气通量观测试验”的主要目的之一是研究南海夏季风期间南海海区海面热收支的变化特征,同时寻找这种变化在南海季风演变中的可能作用。为了研究南海季风过程中不同时段海-气通量的特征,首先我们简单给出 2000 与 2002 年观测期间的南海夏季风过程。有关季风爆发日期确定的方法很多^[13-15],本文对南海地区夏季风爆发、中断及活跃过程的分析主要利用风场并结合云量、降水的变化确定,这也是较常用的方法之一。

3.1 2000 年观测期间南海夏季风过程

(1) 2000 年 5~6 月南海季风过程的背景状况

利用 NCAR 资料计算的 2000 年 5~6 月南海海区(5~25°N, 110~120°E)区域平均海面风场和云量变化曲线(图略)。可以发现,从南海整体区域平均来看,2000 年南海夏季风爆发的日期大约在 5 月 8 日左右,首次西南季风过程伴随着云量的增大和长降水过程(图略),此次季风过程从 5 月初~5 月底(28 日前后),在此期间,有两次明显的季风减弱过程,第 1 次减弱对应着两次冷空气南下过程,第 2 次对应着季风中断开始;在持续了近 1 周左右的季风中断之后,第 2 次西南大风过程于 6 月 7 日左

右再次出现,此次大风过程的特点与首次不同,风速明显增大,这在 850 hPa 图上更为明显(图略),活跃初期主要为大风过程但无降水,云量增多和降水过程较集中于中后期。

(2) 西沙海区 2000 年 5~6 月天气过程

西沙海区位于南海北部海区,因南海范围较广,南海夏季风过程在南海不同区域也存在一些差异。由于观测计算与海区大气海洋状况密切相关,有必要给出观测海区的天气背景状况,并据此进行背景过程划分,以便进行后面的讨论。

从西沙站 5~6 月份云量和降水过程曲线(图 2)可以看出,西沙海区西南季风过程开始于 5 月 10 日左右,略迟于南海区域平均状况,夏季风爆发过程西南风不强;但伴随着明显的强降水过程(个别日降水量达 300 mm 以上,图 2b)和云量增多(10 成,图 2a)。由于地处南海北部,冷空气影响更为明显,导致西南风过程中断,这与南海平均状况的强度减弱不同;冷空气影响过后,由于西沙海区仍受季风低压南部影响,故又很快恢复西南风过程,此后,与南海总体平均状况一致经过一段季风中断期,6 月 7 日左右,再次爆发西南大风过程,此次过程明显不同于首次,风大浪急。图 3 为海岛上西沙站 5~6 月份经、纬向风变化曲线。观测风速小于海上,实际观测

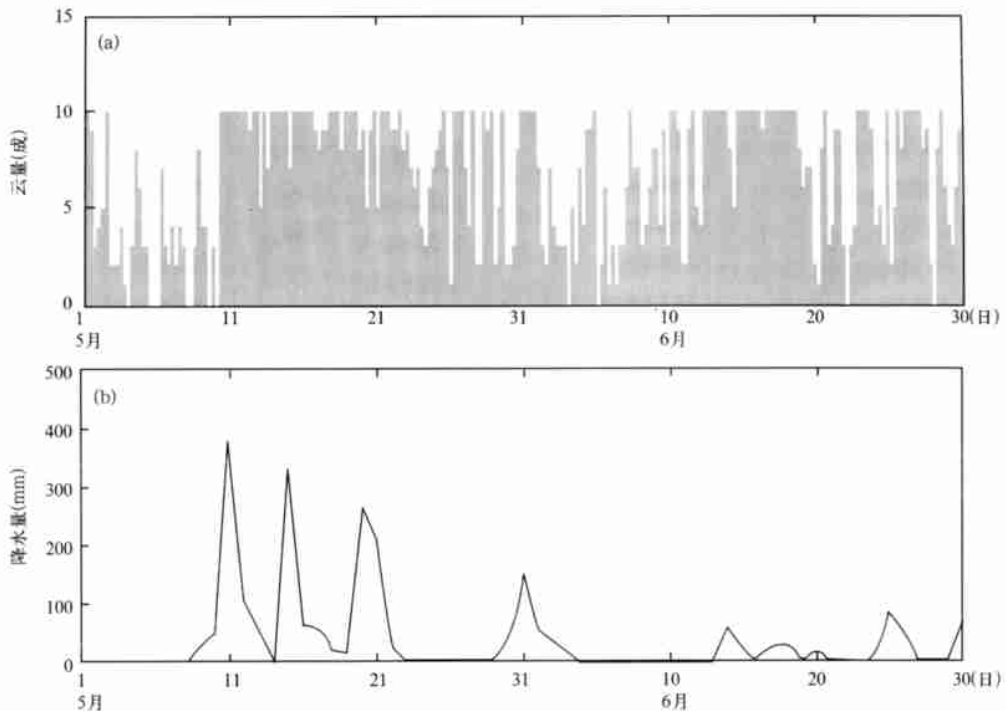


图 2 西沙站 2000 年 5~6 月份云量(a, 单位: 成)和降水过程(b)变化曲线

Fig. 2 Variations of cloudiness (a, in tens) and precipitations (b) in May-June, 2000 at xisha station

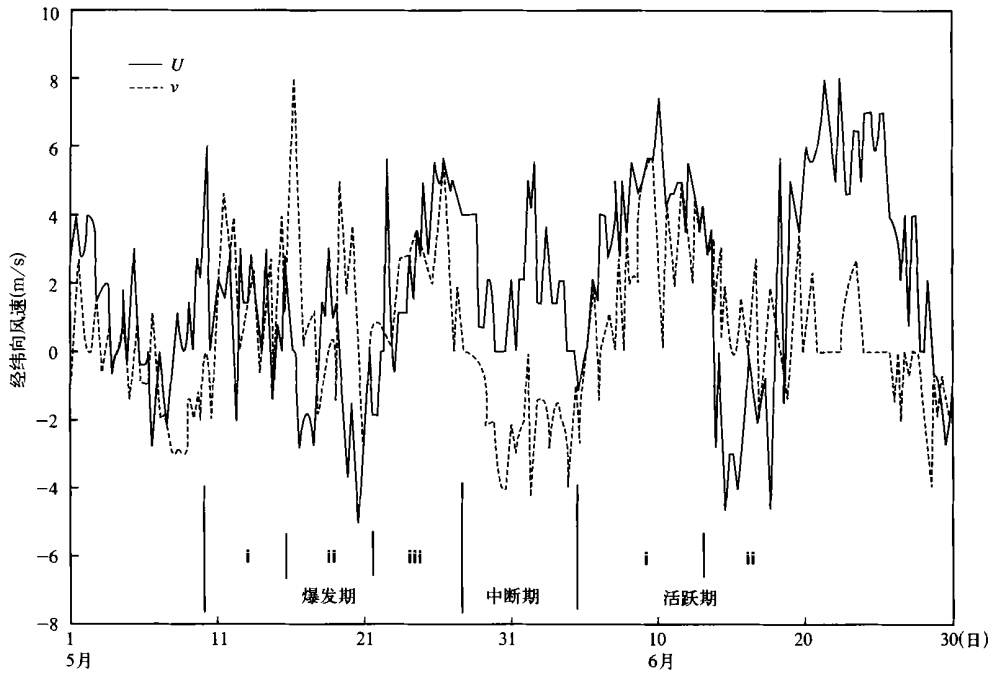


图3 西沙站2000年5~6月份经、纬向风变化曲线

Fig. 3 Curves of zonal and meridional winds in May- June, 2000 at Xisha station.

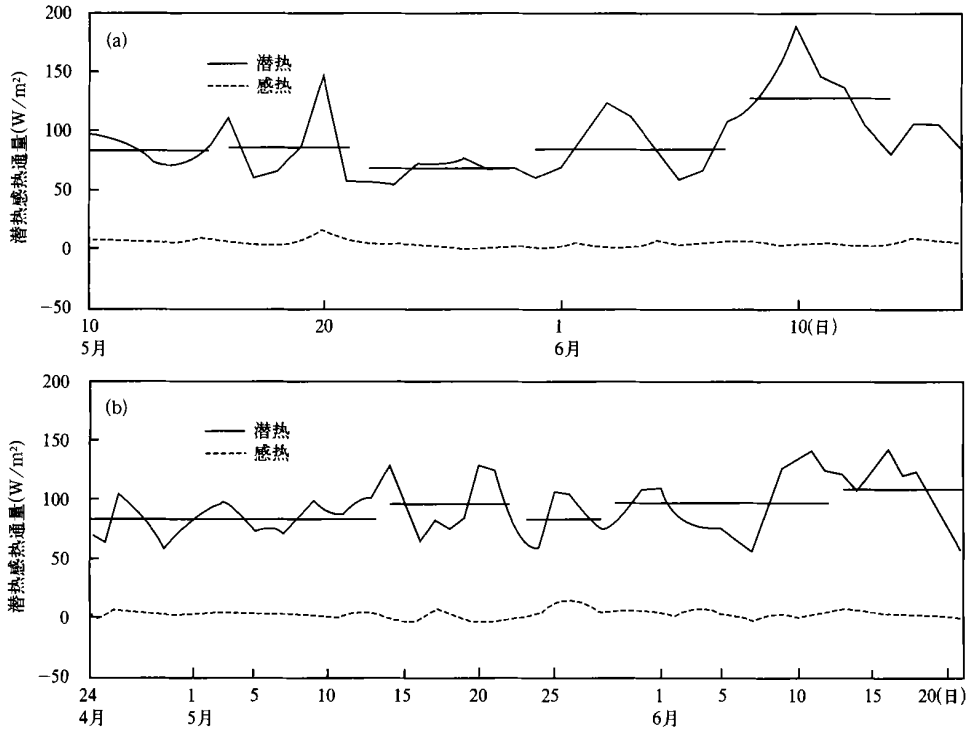


图4 2000年(a)与2002年(b)西沙海区观测期间潜热通量(实线)和感热通量(虚线)逐日变化曲线 (横线分别对应不同时段(参看前述夏季风过程划分)通量的平均值)

Fig. 4 Daily variations in laten heat fluxes(solid line) and sensible heat fluxes(dashed line) for observing stages in 2000 (a) and 2002 (b) at Xisha (Yongxing) observing site where short horizontal lines indicate the means of their fluxes at different stages (refer to the summer monsoon stages division in text)

的海上风速要大得多(图略)。

根据上述的季风过程背景状况的分析,结合观测记录,确定5月10日为季风爆发日,将2000年5~6月南海季风过程划分为(图3):

(1)首次西南季风过程为5月10~28日,根据不同天气过程此期间实际又可细分为首次西南风过程期(图3中爆发期的i时段,5月10~15日)、冷空气影响期(5月16~21日,图3中爆发期的ii时段)、季风低压南部影响期(5月22~28日,图3中爆发期的iii时段);

(2)季风中断期:5月29日~6月6日;

(3)第2次西南大风过程为6月7~25日。由于观测于6月17日结束,故第2次西南大风过程仅细分出2次西南大风期(6月7~13日,图3中活跃期的i时段)、第2次冷空气影响期(6月14~19日,图3中活跃期的ii时段)。

3.2 2002年观测期间南海夏季风过程

由于2000年夏季风爆发前资料缺乏,故为确保爆发前的资料,2002年观测较早,观测日期为4月24日~6月21日共59d,根据上述同样方法确定出2002南海夏季风爆发日为5月14日。具体又可分为以下几个时段(图略):爆发前为4月24日~5月13日;爆发期为5月14日~6月12日;中断期:6月13~21日。其中爆发期又可细分为:爆发前期(5月14日~5月22日);冷空气影响期(5月23~28日);爆发后期(5月29日~6月12日)。此次观测资料虽比较长,但2002年的南海夏季风过程与2000年不同,爆发期持续时间较长(30d),因此观测时段仅包括了爆发前、爆发期和中断期。

4 海面热收支变化特征

众所周知,在海-气界面处影响海面热收支的主要过程有净短波辐射(到达海面的太阳总辐射减去反射辐射)、净长波辐射(海面长波辐射减去大气长波辐射)、潜热、感热4种界面通量交换过程。在这4种主要过程中,前两种是辐射过程,在本研究中是直接观测量;后面两种过程则是用梯度资料计算给出。

4.1 潜热通量与感热通量

(1) 潜热通量

由2次观测期间潜热通量(图4中实线)的逐日变化曲线可以看出,潜热通量的变化范围比较大,($50 \text{ W/m}^2 \sim 200 \text{ W/m}^2$),2002年整个观测期间平均

约为 90.96 W/m^2 ,2002年为 93.52 W/m^2 ,量值均较大。图中还同时标出了不同阶段(参看上节夏季风过程划分)潜热通量的平均值(具体数值参看后面的表1,2),由图可以发现,爆发前(仅2002年),潜热通量变化较为平稳,且量值小(低于平均值约 10 W/m^2);爆发后,潜热通量变化范围明显增大,尤其是2000年第2次西南大风期,潜热通量很大。潜热通量的这种变化过程可能与风速和海温变化过程有关。

(2) 感热通量

从2次观测期间感热通量(图中虚线)的逐日变化曲线(图5)可见,感热通量与潜热通量基本类似,爆发前,较平稳,爆发后振荡加剧,但与潜热通量不同的是,感热通量最大均出现在冷空气影响期,这可能与该期间海-气温差大有关;从量值上看,感热通量变化范围较小,仅变化于 $0 \sim 15 \text{ W/m}^2$ 之间,平均值只有 $4 \sim 5 \text{ W/m}^2$,远小于潜热通量。可见,在低纬度热带海区,相对潜热通量而言,感热通量是对海面热收支影响不大的一个分量。这与陆地有明显不同,例如在西藏高原,感热通量可达到 100 W/m^2 以上,甚至大于潜热通量^[16]。

从上述潜热通量与感热通量的量值大小及变化范围可以推断,在影响夏季风过程期间海面热收支的分量中,潜热通量是一个重要的分量,而感热通量影响较小。

4.2 净短波辐射和净辐射

从2次外场观测期间净短波辐射(图中虚线)和净辐射(图中实线)(净短波辐射与净长波辐射之差)的逐日变化曲线可以看出,在观测的这段时间段内,净辐射的变化很大,最少时只有 50 W/m^2 量级,最多时则达到了近 250 W/m^2 量级,相差4倍以上。而与净短波辐射对比,可以发现,净短波辐射与净辐射的变化趋势基本一致,只是净辐射比净短波辐射小了大约 50 W/m^2 ,这个差也是由于净长波辐射在观测期间始终为正造成,由于其变动范围不大,仅 22 W/m^2 ^[16],故净辐射变化中,主要是净短波辐射分量变化影响较大。将图5a与图2中2000年5~6月云量和降水的分布进行对比可以发现,净辐射最小时所对应的时间段为首次西南季风过程期,在此期间,西南风强度不大,但强降水过程多、云层较厚(图2);其次是冷空气影响期,冷空气南下与暖湿空气交汇造成降水多和云层厚导致透射辐射分量急剧减少;净辐射较大时间段主要集中在降水、云量少、

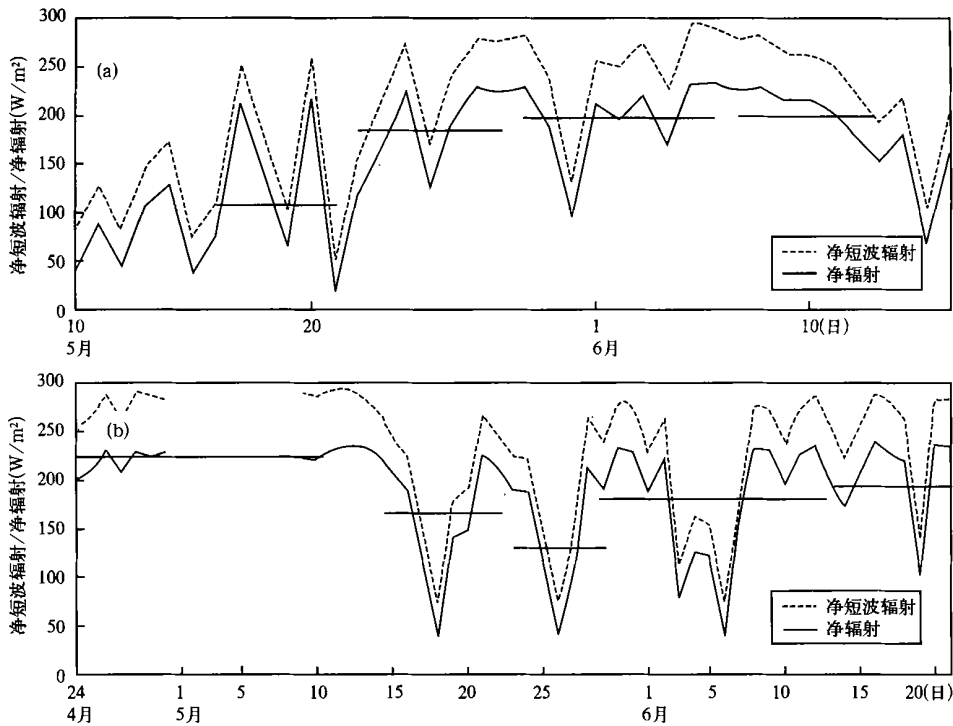


图5 2000年(a)与2002年(b)西沙海区观测期间净短波辐射(虚线)和净辐射(实线)逐日变化曲线
(横线分别对应不同时段(参看前述夏季风过程划分)通量的平均值)

Fig. 5 Daily variations in net shortwave radiation(dashed line) and net radiation(solid line) for observing stages in 2000 (a) and 2002 (b) at Xisha (Yongxing) observing site where short horizontal lines indicate the means of their fluxes at different stages (refer to the summer monsoon stages division in text)

尤其是降水少的时期,2002年有完全类似的情况(图略)。综上分析表明,影响净辐射的直接因素是云量和降水,而降水云系影响更大。

4.3 海面热收支与海温变化特征

最后来看一下海面热收支的变化,海面热收支(Q)可用下式计算:

$$Q = R_n - Q_e - Q_h \quad (1)$$

$$R_n = S_L - S_a + L_a - L_w \quad (2)$$

式中, Q 为海面热收支, Q_e 和 Q_h 分别为潜热和感热通量, R_n 为净辐射, S_L , S_a , L_a 和 L_w 分别代表太阳总辐射、海面反射辐射、大气长波辐射和海面长波辐射。由于2000年资料较为完整,我们主要分析2000年的计算结果,以2002年的计算结果进行补充。图6a给出了由式(1)确定的2000年观测期间(5月10日~6月16日)海面热收支的逐日变化曲线。图中也同时标出了2000年观测期间各个不同时段海面热收支的平均值。由该图可以发现,由于海面热收支的变化依赖上述几个分量的变化,因

此,其变化特征与上述各个分量的变化都不一致。为便于定量分析比较,根据前面给出的2000年依据西沙海区观测划分的5~6月份季风过程的分段方法给出不同时间段海面热收支及其分量的平均结果(表1)。由表1可以发现,2000年南海季风爆发后,海面热收支的变化特征是:首次西南风过程期,海面为净支出;随着冷空气南下影响导致的西南风减弱过程开始,海面净热收入逐渐增加,但第2次西南风过程期海面净热收入又急剧减少。以上过程似乎表明,在南海夏季风活跃期,海洋获得的能量减少或失去能量(首次西南风过程);而季风减弱或中断期,海洋逐步获得能量。从影响海面热收支的具体分量来看,又有各自不同的特点。2000年南海季风第1次西南风过程,海面出现净热支出主要是由于降水多和云层厚导致净辐射分量减少而引起的,具有局地热力对流性特征;而第2次西南风过程,海面净热收入的减少则主要是大量蒸发导致潜热急剧增加造成的,借助于大范围西南风的输送作用,可以推测这可

能是导致远距离降水的原因之一。两种过程的机理似乎明显不同,但导致的结局相似。因此,若从海面热收支的角度来看南海夏季风的变化过程,则呈现出

南海季风的活跃将导致海洋获得的能量减少,而南海季风的减弱或中断则是海洋逐步增加能量的过程。

表 1 2000 年南海夏季风爆发、中断期间海面热收支及其分量平均结果

Table 1 The means of each of the components of sea surface thermal budget at the onset and lull phases of the 2000 summer monsoon over the SCS(Units: W/m^2)

时段	净辐射 (W/m^2)	潜热通量 (W/m^2)	感热通量 (W/m^2)	海面热收支 (W/m^2)
首次西南风过程期 5月10~15日	80.26	83.48	7.13	-10.35
冷空气影响期 5月16~21日	107.88	86.65	7.85	13.37
季风低压南部影响期 5月22~28日	184.20	66.52	2.21	115.48
季风中断期 5月29日~6月6日	197.29	83.81	3.86	112.28
第2次西南大风过程期 6月7~13日	199.54	128.27	4.93	66.38
平均	159.27	91.42	5.13	62.72

根据 2002 年观测资料计算的不同阶段海面热收支及其分量的平均结果(表 2)可以发现,季风爆发前,海面为净得热,且热收入较高,平均为 $133.51 W/m^2$; 而从各分量来看,爆发前,风速小,潜热通量不大,净辐射很强,因此,季风爆发前海面热收入高与净辐射强有关。2002 年季风爆发阶段,海面热收入减少,与 2000 年分析结果一致,但不同的是海面

热收入仍为净得热,没有出现 2000 年净失热情况;从各分量来看,与 2000 年相比(表 1),造成这种差别的原因在于净辐射的强弱,2000 年爆发初期,净辐射减弱很快,而 2002 年净辐射强度降低不多。中断期,海面热收入又开始增加,与 2000 年分析结果一致。

表 2 2002 年南海夏季风观测期间海面热收支及其分量平均结果

Table 2 The means of each of the components of sea surface thermal budget at the phases of different the 2002 summer monsoon over the SCS(Units: W/m^2)

时段	净辐射 (W/m^2)	潜热通量 (W/m^2)	感热通量 (W/m^2)	海面热收支 (W/m^2)
季风爆发前 4月24日~5月13日	222.40	84.95	3.94	133.51
爆发前期 5月14~22日	166.42	97.71	0.89	67.82
冷空气影响期 5月23~28日	140.10	82.76	8.89	48.45
爆发后期 5月29日~6月12日	181.02	97.63	4.00	79.39
季风中断期 6月13~21日	204.45	108.71	4.32	91.42
平均	187.50	93.52	4.05	88.41

综上所述,可以得出结论:爆发前与季风中断期,海面热收入较高,而季风爆发阶段,海面热收入减少,即季风爆发前或中断期,是海洋积蓄能量的过程,而季风爆发期,则是海洋释放能量的过程。

众所周知,海面热收支变化必然导致海表水温的相应变化。对比图 6a 与 6b,从逐日变化来看,水温的变化并不像我们简单推测的那样,当海面净热收入增加时水温也同步增加,相反,水温首先逐步降

低, 然后才转而上升。白学志等^[13]曾利用 1998 年南海南部通量观测资料研究发现, 南海季风爆发前 SST 显著升高, 爆发后 SST 逐步降低, 这与本文的分析结果相同。我们认为水温与海洋热收支的这种非同步变化是由于海水热惯性大造成的, 海温的热惯性作用, 使得海温变化落后于海洋热收支变化一段时间(2000 年为大约 15 d)。由于海温与潜热通量与感热通量有较大关联, 海温的这种滞后效应必然对潜热通量与感热通量产生一定作用。对比图 4a 和 6b, 可以发现, 季风爆发后, 水温逐步降低, 使潜热通量与感热通量也相应减少; 而同时, 净辐射却逐渐增加, 这导致海面净热收入开始增加, 海面净热收入的增加反过来必然减缓水温的下降趋势, 并最终使其转而上升; 由于短波净辐射值在特定季节存在上限(不可能无限增加), 因此净辐射增大一段时间将不再增加, 此时, 水温的逐步上升, 又进一步引

起潜热通量与感热通量的增加; 潜热通量与感热通量的增加最终以季风再度活跃达到高值, 而季风活跃的同时减小了海面热收入, 这又开始抑制水温的上升; 这种相互制约的过程使水温产生短期振荡过程(2000 年间隔大约 30 d), 这种振荡过程与南海夏季风的活跃、中断循环过程是对应的。2002 年的海温变化与 2000 年略有不同(图略), 季风爆发前持续上升, 季风爆发后, 海温平均而言并未出现明显下降, 而是维持高值; 这也与海洋热收支变化不同步; 与此相对应, 2002 年的季风爆发后未出现海洋净支出(平均而言)情况, 并且爆发期很长(达 30 d), 这可能与 2002 年南海季风爆发时, 海洋积累的能量释放缓慢有关。但仅从以上分析我们尚无法知道是海温在南海夏季风的活跃、中断过程中起了关键作用(比如触发作用)还是它仅仅被动地响应了这一过程, 显然, 进一步的研究工作仍需进行。

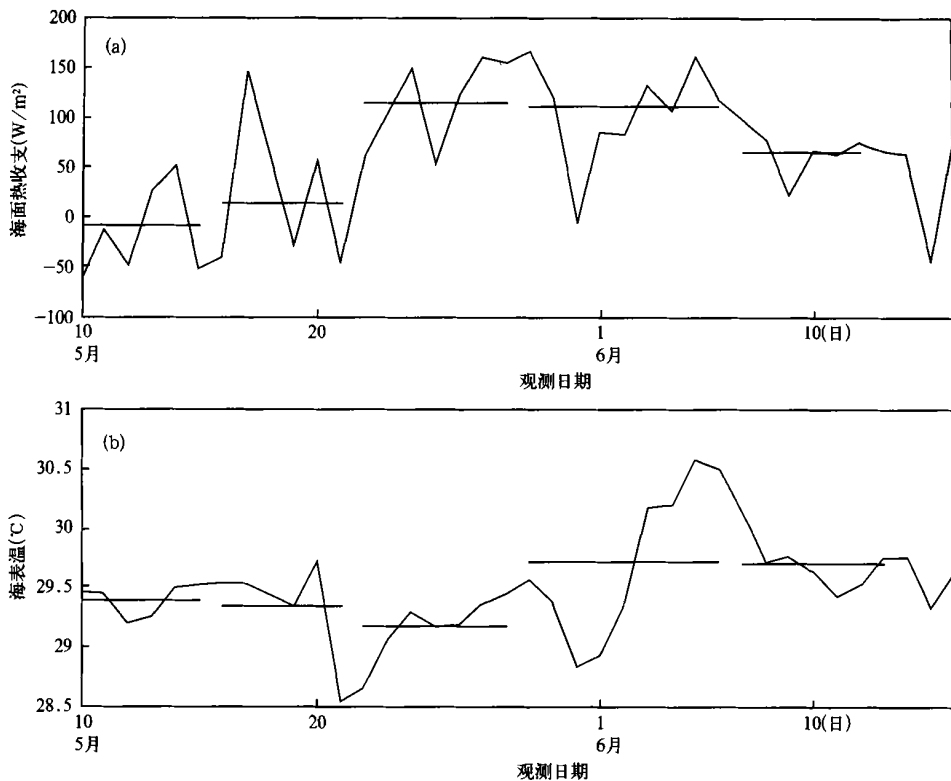


图 6 2000 年西沙海区观测期间(5 月 10 日~ 6 月 9 日)海面热收支(a)和海温(b)逐日变化曲线 (横线分别对应不同时段(爆发期 i, ii, iii 时段、中断期和活跃期 i 时段)热收支及海温的平均值)

Fig. 6 Daily variations in sea-surface thermal budget (a) and SST (b) for May 10 - June 9 during the 2000 Xisha observation, with horizontal bars denoting the means of thermal budget and SST at the intervals i, ii and iii for the onset stage, break and the intervals of the active span of the monsoon.

5 与同类观测结果的比较

1998 年 5~8 月, 国家科技部攀登 A 项目“南海季风试验”实施了较大范围的外场观测, 其中有关季风爆发前后海面热收支状况的观测分别在 2 个地点实施, 一个观测点位于西沙永兴岛^[9], 与 2000 年观测是同一个地点, 为固定铁塔观测; 另一个观测点位于南海南部^[8, 12] ($6^{\circ}15'N$, $110^{\circ}E$), 为调查船定点观测。这两处的观测都已有相关研究成果^[8, 9, 12], 特别是南海南部的有关季风爆发前后海面热收支状况观测分析较为详细。白学志等^[8]利用 1998 年南海南部季风爆发前后两次强化观测资料分析发现, 季风爆发前, 海面净得热, 平均为 98.32 W/m^2 ; 季风爆发后, 海面净失热, 平均为 -36.78 W/m^2 ; 季风爆发前, SST 出现明显增温; 季风爆发后, SST 持续降温。该本文研究结果与结论部分一致, 季风爆发, 海面热收入减少或为净支出, SST 缓慢降温。由于我们的外场观测资料较为连续, 因此, 夏季风不同过程的分析更为详尽, 包括了爆发前、爆发期、中断期与活跃期。

6 结论和讨论

依据 2000 与 2002 年 2 次外场观测结果, 分别分析南海夏季风爆发前后各个不同时期海面热收支的变化特征以及各个分量(净辐射、潜热和感热)的相应变化特征, 并探讨了水温变化与其的关联以及与夏季风过程的可能联系, 并与 1998 年的一些观测分析结果进行了对比, 得到以下结论:

(1) 在南海夏季风过程期间, 影响海面热收支的主要分量是海面净短波辐射和潜热通量, 由于感热通量值小而净长波辐射变化范围小, 因此对海面热收支的变化贡献不大。导致海面净短波辐射急剧降低的主要因子是降水云系; 而导致潜热通量急剧增大主要是强风。

(2) 在南海夏季风爆发前后不同阶段, 净短波辐射和潜热通量的变化形式不同。爆发前与中断期, 潜热通量变化范围不大, 净短波辐射通量维持高值; 爆发及活跃期, 2 个主要分量的变化较为复杂。2000 年, 第 1 次西南季风期间, 降水云系增多且降水集中, 使净辐射急剧减少, 导致海面净失热, 具有明显局地热力对流性特征; 而第 2 次西南季风期间, 降水云系少, 净辐射变化不大, 但强大的西南风使蒸发量急增, 潜热通量增大, 导致海面热收支减少, 借助大范围西南风作用, 实现远距离水汽输送和热量传递。

(3) 不论净短波辐射和潜热通量如何变化, 当南海季风爆发或活跃时, 海面净热收入减小或为净支出, 是海洋释放能量的过程; 南海季风爆发前或中断时, 海面净热收入逐渐增加, 是海洋获得能量的过程。

(4) 南海夏季风过程期间, 海表水温(体现海洋的作用)的变化由于热惯性大并不与海面热收支同步变化, 而是落后于海面热收支变化; 这种滞后效应通过影响潜热和感热通量来调节海面热收支, 形成一种相互制约的短期振荡变化过程, 它与南海夏季风过程的活跃和中断循环过程相对应。

值得指出的是, 由于观测资料较短, 南海海温到底在南海季风爆发中起了什么作用? 中断后海面净热收入的不断增加是否与季风再次活跃存在内在的联系? 对这些问题的回答应是我们今后继续研究的方向。

致谢: 中国气象局国家气候中心李江龙、唐致义以及吕战军和解放军理工大学气象学院李训强、肖义国, 也为获得 2000 与 2002 年 2 次外场观测资料付出了艰辛的劳动; 中国气象局国家气候中心丁一汇、罗勇、张秀芝以及解放军理工大学气象学院沙文钰在后方提供了指导和后勤保障, 确保了外场观测的顺利完成; 南京气象学院大气资料服务中心和中国气象局西沙气象台分别提供了同期 NCAR/NCEP 资料以及西沙站气象资料, 在此一并表示衷心的感谢!

参考文献

- 1 叶笃正, 曾庆存, 郭裕福. 当代气候研究. 北京: 气象出版社, 1991. 211~236
- 2 曲绍厚. 西太平洋热带海域动量、感热和潜热等湍流通量的观测研究. 气象学报, 1988, 46(4): 452~462
- 3 王东晓, 秦曾灏, 周发. 南海年际时间尺度海-气相互作用研究初探. 气象学报, 1997, 55(1): 33~44
- 4 周发, 高荣珍. 南海次表层水温的季节内变化. 科学通报, 2001, 46(21): 1831~1837
- 5 吴迪生, 邓文珍等, 1986~1987 年 El Nino 期间热带西太平洋及南海海-气热量交换研究. 气象学报, 1999, 57(1): 121~127
- 6 曲绍厚, 胡非, 李亚秋. 1998 年 SCSMEX 期间南海夏季海-气交换的主要特征. 气候与环境研究. 2000, 5(4): 434~446
- 7 阎俊岳. 南海西南季风爆发的气候特征. 气象学报, 1997, 55(2): 174~185

- 8 白学志, 吴爱明, 赵永平. 南海季风爆发前后南海南部 SST 和海表热通量变化机制分析. 见: 丁一汇等编. 南海季风爆发和演变及其与海洋的相互作用. 北京: 气象出版社, 1999. 157~ 165
- 9 阎俊岳, 姚华栋, 王强等. 西沙海-气通量观测资料初步分析. 见: 丁一汇等编. 南海季风爆发和演变及其与海洋的相互作用. 北京: 气象出版社, 1999. 147~ 151
- 10 Launiainen J., Vihma T. Derivation of turbulent surface fluxes- an iterative flux- profile method allowing arbitrary observing heights. *Environmental Software*, 1990, 5: 113~ 124
- 11 徐天真, 徐伯海. 西太平洋暖池区海-气通量计算分析, 青岛海洋大学学报, 23(增刊), 1994, 97~ 107
- 12 孙即霖, 刘秦玉, 张秀芝. 1998 年夏季风爆发前后南海海-气热通量主要特征. 见: 丁一汇等编. 南海季风爆发和演变及其与海洋的相互作用. 北京: 气象出版社, 1999. 152~ 156
- 13 李崇银, 吴静波. 1998 年南海夏季风爆发的分析研究. 见: 丁一汇等编. 南海季风爆发和演变及其与海洋的相互作用. 北京: 气象出版社, 1999. 18~ 24
- 14 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. 见: 丁一汇等编. 南海季风爆发和演变及其与海洋的相互作用. 北京: 气象出版社, 1999. 30~ 33
- 15 何金海, 丁一汇, 高辉等. 南海夏季风建立日期的确定与季风指数. 北京: 气象出版社, 2001. 1~ 95
- 16 丁一汇, 张勤, 贾朋群. 青藏高原地表通量季节变化的研究. 见: 陈隆勋编. 亚洲季风机制研究新进展, 北京: 气象出版社, 1999. 66~ 76
- 17 蒋国荣, 沙文钰, 阎俊岳等. 南海季风爆发前后辐射特征分析, 热带气象学报, 2002, 18(1): 29~ 37,
- 18 丁一汇, 薛纪善, 王守荣等. 1998 年亚洲季风活动与中国的暴雨/洪涝. 见: 丁一汇等编. 南海季风爆发和演变及其与海洋的相互作用. 北京: 气象出版社, 1999. 1~ 4
- 19 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. 见: 丁一汇等编. 南海季风爆发和演变及其与海洋的相互作用. 北京: 气象出版社, 1999. 13~ 15

AIR-SEA HEAT FLUX EXCHANGE FEATURE OVER THE SOUTH CHINA SEA BEFORE AND AFTER THE SCS SUMMER MONSOON ONSET

Jiang Guorong

*(Department of Atmosphere Sciences, Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044;
Department of Meteorological College, PLA Science/Technology University, Nanjing 211101)*

He Jinhai

*(Department of Atmosphere Sciences, Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044;
Laboratory of Tropical Ocean Environment Dynamics, Academia Sinica, Guangzhou 510301)*

Wang Dongxiao

(Laboratory of Tropical Ocean Environment Dynamics, Academia Sinica, Guangzhou 510301)

Zhang Ren

(Department of Meteorological College, PLA Science/Technology University, Nanjing 211101)

Yan Junyue Yao Huadong

(National Climate Center of China Meteorological Administration, Beijing 100081)

Abstract

This paper is devoted to the features of sea-surface heat exchange in the different phases before and after the summer monsoon onset in the South China Sea (SCS) by analysis of the observed air-sea heat fluxes of year 2000 and 2002 and data from Xisha Island Weather Station in the same period. Results suggest that the primary factors affecting sea-surface thermal budget are the latent heat flux and the net short wave radiation because the sen-

sible heat fluxes and net longwave radiation have low magnitude or a smaller change range, but the net solar shortwave radiation and the latent heat flux have high value and bigger change range which the daily mean value could differ almost fivefold. The comparison analysis finds that there is better relation between the low cloud amount and the net shortwave radiation. The sharp reduction of the net shortwave radiation is usually in association with precipitation. Among the different phases before and after the summer monsoon onset in the South-China Sea (SCS), the variations of the net solar shortwave radiation and the latent heat flux have different ways. In the phase before the summer monsoon onset or break phase, the variation range of the latent heat flux is smaller but the net shortwave radiation maintains high value. In the onset or active phase, there is complex change among them. In year 2000, during the first emergence of southwest monsoon, the net loss happened due to the dramatic diminution of the net shortwave radiation resulting from increased cloud system and intense precipitation, which was a situation of local convection that the ocean release energy to atmosphere in the form of precipitation; In the second span of the gales, there was little change in the net solar shortwave radiation because of less precipitation cloud system, but the dramatic growth of latent heat flux resulting from intense evaporation could be responsible for vapor transport far away from the source by means of large-scale strong SW winds. Regardless of their changing ways, the thermal gain was reduced or became net loss at the active stage or the onset stage and the thermal gain gradually increased before the onset stage or in the lull periods; That means the monsoon burst or active process is the process that ocean release the energy and the monsoon break process or the period before the onset is the process that ocean gain the energy. It is also found that the variation of SST is not synchronous with that of sea-surface thermal budget. Owing to great thermal inertia of water, SST change lags behind that of heat budget over the sea surface, and the lagging is responsible for regulating the budget by affecting latent heat fluxes, which, in turn, effected upon the change of the SST, thereby forming short-term oscillations that are in association with the active/break phases of the monsoons. Part of the conclusions have been borne out by the observational study based on 1998.

Key words: The SCS summer monsoon, SCS, Air-sea heat fluxes, Sea-surface heat budget, SST.