

南海夏季风爆发前后西沙海区 辐射平衡分量变化特征

蒋国荣^{1,2}, 何金海¹, 张 韧², 陈奕德², 姚华栋³, 阎俊岳³, 唐致义³

(1. 南京气象学院大气科学系, 南京 210044; 2. 解放军理工大学气象学院二系, 南京 211101; 3. 中国气象局国家气候中心, 北京 100081)

摘 要: 利用 2000 年和 2002 年《南海海气通量观测》外场试验获得的辐射资料及同期西沙气象站常规观测资料, 分析了南海夏季风爆发前及爆发后各个阶段辐射平衡分量的变化特征。研究结果表明, 南海夏季风爆发前、后辐射平衡各分量均出现突变现象。爆发前太阳总辐射与净长波辐射日平均强度最大, 爆发期最小, 中断期次之, 活跃期又次之; 而正午前后海面反照率趋势相反, 爆发前最小, 爆发期最大, 中断期接近爆发前的值, 活跃期则与爆发期接近。进一步对比分析表明, 南海夏季风爆发前、后辐射平衡分量的变化是由于南海夏季风爆发对应的大尺度环流调整产生的不同天气过程造成的。爆发前, 天气晴朗少云, 无降水, 海洋得到的净辐射收入最多; 相反, 爆发期, 降水云系增多, 导致太阳总辐射急剧减少, 海洋得到的净辐射收入最少; 中断期, 天气有转好趋势, 但晴好状况弱于爆发前, 故净辐射收入也略低于爆发前; 活跃期虽为西南风过程, 但局地降水减少, 因而净辐射收入减少程度弱于爆发期。

关键词: 西沙海区; 南海夏季风; 总辐射; 反射率; 净长波辐射; 净辐射

中图分类号: P731 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003 - 0239 (2005)01 - 0011 - 11

1 引言

辐射通量以及潜热、感热等海气界面通量是海气相互作用的关键环节, 海洋和大气相互影响和相互制约的过程最初都是借助于这些海气界面通量交换来完成的。1998 的南海季风研究指出^[1], 南海季风爆发可能是海气相互作用与海陆相互作用综合作用的结果, 表明了海气相互作用对南海季风爆发的重要作用。蒋国荣等^[2]研究发现, 夏季风过程不同阶段海表热收支会呈现相应的变化, 其变化主要由太阳短波辐射与潜热这二个分量的变化引起, 因此, 研究南海季风爆发前后辐射通量变化将有助于了解南海夏季风不同阶段海气相互作用的主要特征。1998 年在南海开展的南海季风试验 (SCSMEX) 项目研究中, 国家气候中心首次在南海西沙海区进行了海气通量固定铁塔观测研究^[3]。2000 年和 2002 年在国家基金委和总参气象局的联合资助下进行了第二、第三次南海海气通量外场观

收稿日期: 2004-05-26

基金资助: NSFC 重点基金 (40136010) 项目和国家自然科学基金 (40075003) 项目联合赞助。

作者简介: 蒋国荣 (1963-), 男, 教授, 从事海气相互作用与海洋环境。

测, 获得了南海季风爆发前后高时间分辨率的海气界面梯度观测资料、辐射观测资料及湍流脉动资料, 本文主要利用这两次外场观测资料中的辐射观测资料进行相关研究。

我们曾用 2000 年辐射资料分析了南海夏季风爆发后辐射通量的各个分量的一些变化特征^[4], 但由于 2000 年辐射资料中南海夏季风爆发前资料仅 2d, 实际分析中未能对比南海夏季风爆发前、后的辐射通量差异。为弥补这一缺陷, 2002 年外场观测提前了近 20d, 主要补充了南海夏季风爆发前的资料, 使相关研究得以进行。阎俊岳^[5]曾分析了南海西南季风爆发的气候特征, 指出南海海区太阳辐射在 4 月最大是因为云量最少的缘故, 但文献[5]使用的是月平均资料, 且为估算值, 本文所使用的辐射观测资料是实测值且时间分辨率很高(最高可达 1 分钟 1 个记录), 因而可用于短时天气过程的分析, 这也是本文研究结果的优势所在。

2 观测过程

《2000 年南海海气通量观测》和《2002 年南海海气通量观测》都是《南海季风试验》的延续部分, 观测地点选在西沙永兴岛西南面礁盘边缘, 距岛约 300m, 采用建塔方式进行观测^[4]。

2000 年观测塔塔高 18m, 由 3 层 9 根桩线固定; 塔基为 $1.5 \times 1.5 \times 1.5$ (m) 的水泥平台, 台面基本位于海面平均水位以下 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横杆上, 横杆距海面 3m 高, 横杆长 2m。辐射感应器为 Epply 公司生产的半球式感应器, 此感应器经过电缆连接到数字采集器上(1 分钟采样一次), 再连接到微型计算机上将数据储存下来。辐射观测资料记录全天完整的资料为 5 月 8 日-6 月 16 日(共 40d)。

2002 年的观测塔位置比 2000 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; 辐射仪器安装在由塔体向西南方向支出的横杆上, 横杆长 2m, 外端上下两面分别安装向下、向上短波辐射表和长波辐射表, 辐射表距水面(平均水面)约 2m。观测时间为 4 月 24 日-6 月 21 日(共 59d), 但由于辐射数据接收用的计算机在 5 月 1~8 日出现故障, 导致这段时间段所有辐射资料缺测, 故实际辐射资料为 51d。

为消除高频变化影响以及减小随机观测误差, 我们对原始的 1 分钟观测记录做了 30 分钟平均, 在下面的分析中, 未做特别说明, 均指逐半小时的值。

3 2000 年和 2002 年观测期间南海夏季风过程特征简介

由于我们主要探讨南海夏季风爆发前、后辐射通量的变化特征, 因此, 我们首先给出 2000 年和 2002 年的爆发日期; 其次, 实际观测过程既包括了南海夏季风爆发前一段时间(2002 年), 也包括了南海夏季风爆发后西南风过程期以及季风中断期, 甚至还包括了西南风再次活跃期(2000 年), 因此, 实际的分析并不限于南海夏季风爆发前、后辐射通量的变化特征, 实际上还包括了南海夏季风过程中其它阶段的变化特征。

由于本文并不是研究南海夏季风过程,限于篇幅,这里仅给出用 2000 年和 2002 年西沙气象站资料并结合 Ncep/Ncar 资料确定的有关观测期间南海夏季风过程的分析结果(图表略)。2000 年南海季风爆发日期为 5 月 10 日左右;2000 年整个观测过程期间(5 月 8 日-6 月 16 日)的南海夏季风过程是:5 月 8~9 日:南海季风爆发前(简称爆发前,以下同);5 月 10~28 日:首次西南季风过程期(爆发期);5 月 29 日-6 月 6 日:季风中断期(中断期);6 月 7~16 日:季风再次活跃期(活跃期);而 2002 年南海季风爆发日期为 5 月 14 日左右;整个观测过程期间(4 月 24 日-6 月 21 日)的南海夏季风过程是:4 月 24 日-5 月 13 日:南海季风爆发前(爆发前);5 月 14 日-6 月 12 日:首次西南季风过程期(爆发期);6 月 13~21 日:季风中断期(中断期)。可以看出,这两年的南海夏季风过程存在一些差别,比较明显的差别是,2002 年的爆发期明显比 2000 年爆发期长。

4 辐射平衡各分量变化特征

4.1 太阳总辐射

从 2000 年的太阳总辐射 1 分钟观测记录中,我们曾发现有接近太阳常数数值 1367W/m^2 的瞬时值(达 1351W/m^2)^[4],2002 年的 1 分钟观测记录中也发现类似情况(达 1347W/m^2),具体时间为 2002 年 4 月 27 日 12:42 分。但两年的观测记录中未发现有超过太阳常数值的情况(图略),这与青藏高原的同季度观测结果明显不同,在哪里瞬时值超过太阳常数值的现象是比较多的^[6],这反映出高原地区与低纬海区的一些差别。从瞬时值超过 1300W/m^2 的时间分布状况来看,4、5 与 6 月份均存在,爆发前和爆发后均有,表明太阳总辐射的较大瞬时值出现与大气环流的调整关联不大,主要与云散射强度有关。但是,太阳总辐射的平均日变化在爆发前和爆发后有较大变化,参看图 1。图中分别为 2000 年(a)和 2002 年(b)不同阶段太阳总辐射的平均日变化曲线。爆发前白天太阳总辐射值明显高于爆发后,特别地爆发期白天太阳总辐射值最小,正午时刻的平均值两年均未超过 800W/m^2 ,而爆发前正午时刻的平均值均达到了 1000W/m^2 ,相差十分大,表明太阳总辐射在爆发前后有突变。另外,南海夏季风建立后各个阶段的太阳总辐射也存在差异,中断期较爆发期与活跃期高,表明中断期太阳总辐射有所增强,活跃期则略高于爆发期(2000 年)。

为了更进一步说明爆发前后环流调整导致天气状况变化所引起的太阳总辐射的变化。我们分别给出 2000 年和 2002 年整个观测期间太阳总辐射与反射辐射日均值的逐日变化曲线,同时给出了同期的降水与云量的逐日变化曲线以方便对比。由图 2a 和图 2e 可以看出,2000 年爆发前资料虽少(仅两天),但太阳总辐射日均值基本在 300W/m^2 左右;2002 年观测资料长则更能说明问题,爆发前其太阳总辐射日均值基本维持在 300W/m^2 左右,虽然其间(5 月 1~8 日)有缺测,但从降水(见图 2b 与图 2f)、总云量(见图 2c、图 2g)和低云量(见图 2d、图 2h)分布,可估计出缺测段不会有大的变化,具体估计方法我们将另文讨论,因此,可以认为爆发前太阳总辐射日均值基本维持在 300W/m^2 高值附近;南海季风一爆发太阳总辐射日均值急剧下降,爆发期有许多天太阳总辐射日均值在 100W/m^2

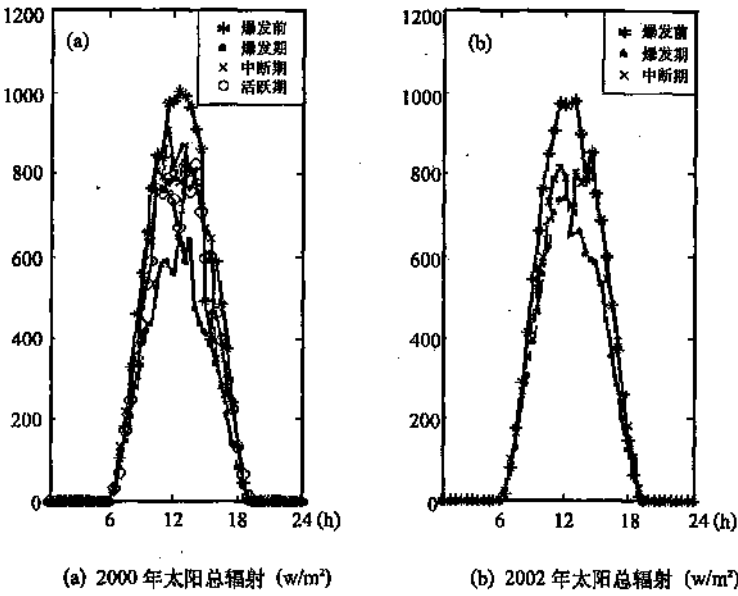
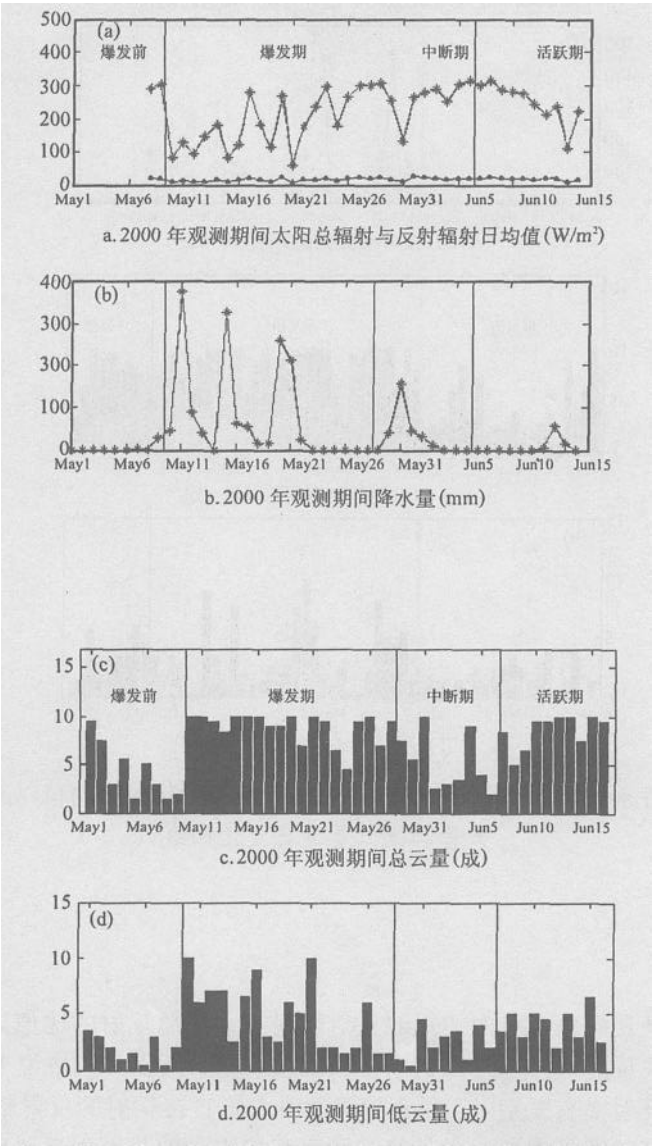


图 1 2000 年(a)和 2002 年(b)南海夏季风爆发前后各个阶段太阳总辐射平均日变化曲线

左右,爆发初期尤为明显,2000 年与 2002 年爆发期时段不同,但结果相同;到中断期,太阳总辐射日均值基本上已上升到 300 W/m^2 左右,但与爆发前不同,其间会出现较低值情况(2000 年与 2002 年均类似情况);活跃期(仅 2000 年),太阳总辐射又缓慢下降。

那么造成夏季风爆发前后太阳总辐射如此变化的主要原因是什么呢?如果仔细对比一下可能影响太阳总辐射变化的各个因子(如降水、云量)的变化(见图 2bd、图 2fh)则可以发现,夏季风爆发前后,降水量、总云量和低云量也均出现明显的突变现象,其它一些要素如海平面气压、水汽压、湿度也有类似现象(图略),爆发前后这些天气要素量的突变现象显然是与爆发前后的大尺度环流调整有关,与此相应,爆发前后太阳总辐射出现突变也并不奇怪。但是,如果更细致的进行对比则可以发现,降水出现和低云量增大与太阳总辐射低值对应最好,爆发期几次大的降水和低云量大值都对应太阳总辐射的低值,2000 年和 2002 年有相同的情况;而总云量略差,总云量大并不一定对应太阳总辐射的低值。因此,往往伴随云量增大的降水云系出现才是导致太阳总辐射急剧降低的主要原因。爆发前,西沙海区为西太副高控制,天气晴朗少云,几乎无降水(2000 年与 2002 年相同),故太阳总辐射几乎不变化且维持高值;爆发期,西太副高东撤,刚刚形成的西南暖湿气流与冷空气在南海北部西沙海区交汇,形成大的局地降水过程(2000 年与 2002 年均类似情况),这些降水云系出现导致了太阳总辐射急剧降低;中断期,一般对应西太副高的西伸,南海北部多为西太副高西南侧东南气流控制,天气转好,但天气晴朗程度不如爆发前(从云量可看出),且会有降水出现,因而太阳总辐射会回升但回升不到爆发前状况;活跃期,西南暖湿气流再度出现,但由于此时西太副高已北进且西南

气流较强盛(仅 2000 年情形),南海北部已不是冷暖气流交汇区,局地降水不大,但强蒸发导致云量增大明显,因此,太阳总辐射降低。综上所述,云量是导致太阳总辐射降低的重要因素,这是众所周知的事实,但导致太阳总辐射出现低值的最主要原因是降水云系的出现。



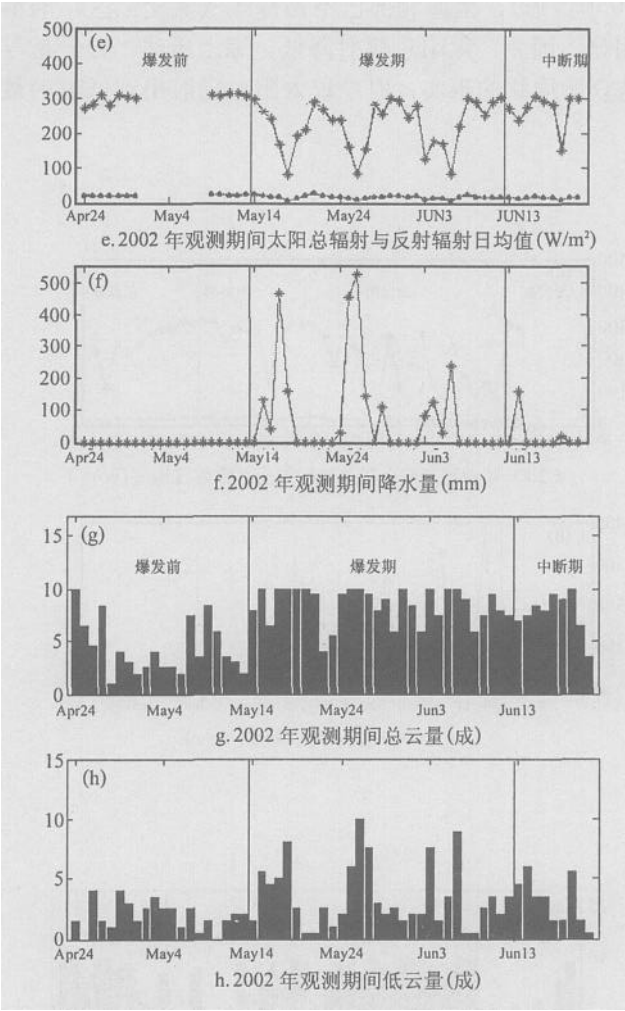


图 2 2000 年和 2002 年观测期间太阳总辐射与反射辐射日均值以及同期降水、总云量和低云量逐日变化曲线

4.2 海面反照率

海面反照率是观测来自海面的短波反射辐射与太阳总辐射的比值。需指出的是，由于这里的海面短波反射辐射包含来自水中微粒散射量，所以，严格说来，海面反照率与通常所说的海面反射率有差别^[7]，后者指海面对太阳直接辐射的反射辐射与太阳直接辐射的比值，二者有时容易混淆，由外场观测可直接得到的是海面反照率。

由上述定义可知，海面反照率实际上是海洋对太阳短波辐射反射能力的一种量度。图 3 给出了 2000 年 (a) 和 2002 年 (b) 夏季风爆发前后各个阶段平均海面反照率的日变化

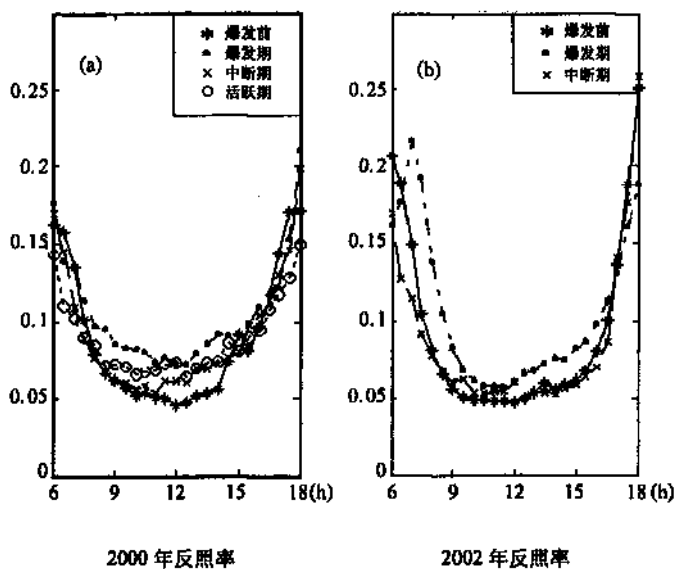


图 3 2000 年(a)和 2002 年(b)南海夏季风爆发前后各个阶段海面反照率平均日变化曲线

曲线。在夜间,太阳总辐射与海面短波反射辐射均为零,海面反照率无意义,故图中所给出的是白天值。由图可以看出,南海季风爆发,类似太阳总辐射,海面反照率也有较大变化。爆发前,正午前后(9:00~15:00)海面反照率基本维持在 0.05 附近;爆发后,正午前后海面反照率则有所增大。尤其是爆发期,正午前后海面反照率可达到 0.0820(2000 年正午前后平均值),与爆发后其它阶段相比,爆发期正午前后海面反照率是最大的,相比而言,活跃期与爆发期接近些,中断期与爆发前接近些,但爆发前与爆发期差异最大,这与太阳总辐射类似,只是呈相反趋势。

尽管季风爆发前后海面反照率有较大变化(相差可达 60%),但海面反照率绝对值不大,正午前后海面反照率很少超过 0.1。就日平均海表反照率(定义为日平均海面反射辐射与日平均太阳总辐射之比)而言(见表 1),其绝对量值也不大,超过 0.1 的仅一天,为 0.1271,可见,日平均海表反照率要小于高原地表反照率^[6],表明低纬海区海面的反射能力较低。

表 1 2000 年与 2002 年观测期间日平均海表反照率统计分析结果

2000 年观测期间日平均海表反照率*			2002 年观测期间日平均海表反照率		
最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值
0.1271	0.0612	0.0765	0.0967	0.0557	0.0671

*与文献[4]不同,本文计算中剔除了由于近岸破碎波导致的反射辐射异常值。

由于海面的反射能力较低(日平均海表反照率一般不超过 0.1),因此,海面净短波辐射(太阳总辐射与海面反射辐射之差)的变化基本上由太阳总辐射的变化决定,也就

是说,海面净短波辐射仅量值比太阳总辐射略小外,其逐日变化形式基本与图 2 的太阳总辐射逐日变化趋势类似(图略)。而影响海洋热收支的短波辐射实际上是海面净短波辐射值。

4.3 长波辐射

长波辐射包括大气长波辐射和海面长波辐射,二者的平均日变化范围均不大^[4],两年观测期间大气长波辐射的平均日变化范围仅 20 W/m^2 ,海面长波辐射的平均日变化范围更小,仅 6 W/m^2 (图略)。就逐日变化而言,二者的变化范围也不大(见图 4)。相比而言,大气长波辐射日均值的逐日变化范围稍大,但两年观测期间也仅在 $405\sim 445\text{ W/m}^2$ 之间范围内变化;海面长波辐射日均值逐日变化范围则仅在 $470\sim 480\text{ W/m}^2$ 之间变动。南海夏季风爆发前后,海面长波辐射由于本身变化范围不大,所以变化不太明显;大气长波辐射则有较大变化,爆发前,大气长波辐射较小,季风爆发后,大气长波辐射增大,爆发期最大,与爆发前相差可达 20 W/m^2 左右;爆发后的中断期大气长波辐射减小,活跃期又开始增加。

实际影响海面辐射热收支的长波辐射项是海面净长波辐射,即海面长波辐射与大气长波辐射之差,下面主要讨论南海夏季风爆发前后海面净长波辐射的变化。图 5 给出了南海夏季风爆发前后各个阶段海面净长波辐射平均日变化曲线。爆发前,海面净长波辐射最大;夏季风爆发后,海面净长波辐射减少。爆发期海面净长波辐射最小;中断期,海面净长波辐射增加但小于爆发前;活跃期,海面净长波辐射又有所减小,上述变化趋

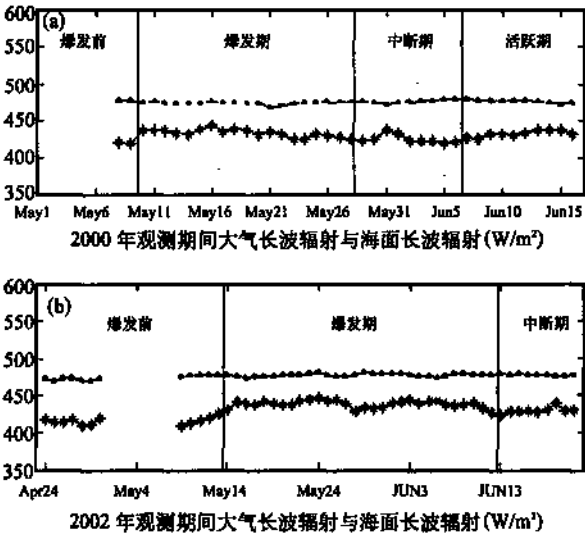


图 4 2000 年(a)和 2002 年(b)观测期间各阶段大气辐射(*)与海面长波辐射(●)逐日变化曲线

势基本上与太阳总辐射(或净短波辐射)变化一致。从南海夏季风爆发前后各个阶段海面长波辐射与大气长波辐射逐日变化曲线(见图 4)也可以明显看出。爆发前,海面长波辐射与大气长波辐射逐日变化曲线间隔(代表二者之差)最大,爆发期,二条曲线的间隔缩短,中断期,间隔扩大,活跃期,间隔又缩短。对比图 2 的云和降水变化,可以推断,导致南海夏季风爆发前后海面净长波辐射的这种变化可能类似于太阳总辐射,主要是云与降水的作用。

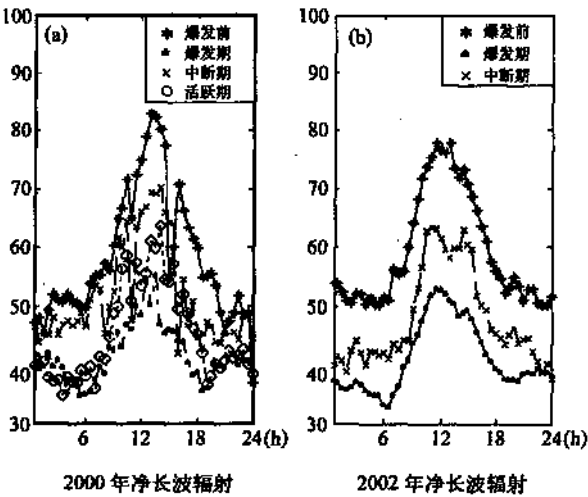


图 5 2000 年(a)和 2002 年(b)南海夏季风爆发前后各个阶段海面净长波辐射平均日变化曲线

5 净辐射变化特征

最后,我们来讨论一下海面净辐射变化特征。海面净辐射是海面净短波辐射与海面净长波辐射之差,根据上面的分析可知,海面净短波辐射与海面净长波辐射在整个观测期间的变化趋势一致。因此,可以推断,夏季风爆发前后海面净辐射变化特征与海面净短波辐射及海面净长波辐射有类似的情况。图 6 给出了 2000 年和 2002 年观测期间海面净辐射和海面净长波辐射逐日变化曲线,对比图 2 可以看出,海面净辐射的变化基本上与太阳总辐射变化一致,只是量值要小一些。因此,在影响海面净辐射变化的各个分量中,太阳总辐射项是关键分量。

由于海面净辐射代表海面实际上的辐射热收支,由图 6 可以看出,整个观测期间海面净辐射始终为正,表明夏季风爆发前后海洋始终是获得辐射能,即辐射能始终是海洋的热收入项;但是,夏季风爆发前后,海洋的辐射热收入量值有突变。与太阳总辐射类似,爆发前海面净辐射最大(日平均值可达 200 W/m^2),此时海洋获得的辐射能最多;爆发期由于降水云系增多,海面净辐射急剧减小,海洋获得的辐射能也急剧减少;中断期

海面净辐射有所增加；活跃期海面净辐射又有所减少，整个变化过程与太阳总辐射项的变化趋势完全一致。由于太阳总辐射项是影响海面净辐射变化的关键分量，因此，根据对太阳总辐射变化特征的分析可知，降水出现和云是影响海面净辐射变化剧烈的主要原因。

总之，夏季风爆发代表着大尺度环流系统的大调整，不同的环流背景会产生不同天气过程。爆发前，少云无降水；爆发后，降水明显增多，云量增加；夏季风过程也正是通过这些天气过程的变化（主要是云和降水）调节着海洋的辐射热收支，进而影响海洋热收支，以至调节夏季风过程中海气相互作用的进程。

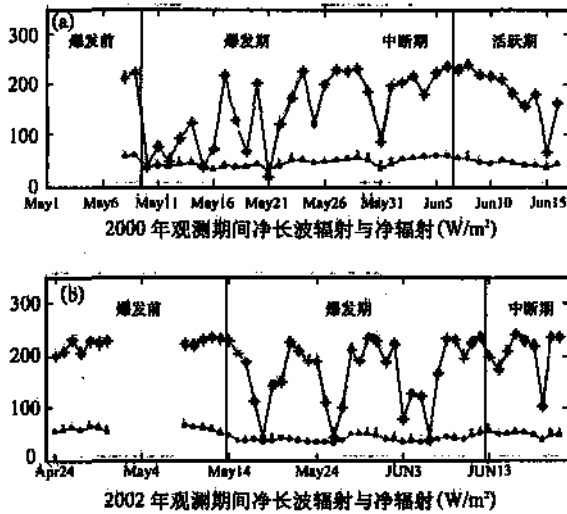


图6 2000年(a)和2002年(b)观测期间各阶段净长波辐射与净辐射逐日变化曲线

6 结论

文章中我们利用2000年和2002年《南海海气通量观测研究》外场试验的辐射资料及同期西沙气象站观测资料分析了夏季风爆发前后辐射平衡分量的变化特征及其原因。主要得到以下结论：

(1) 南海夏季风爆发前后，辐射平衡各分量均出现明显突变。具体表现为：与爆发前相比，爆发后太阳总辐射日均值减小，正午前后海面反照率增大，海面净长波辐射减小。但爆发后不同阶段也存在差异，爆发期太阳总辐射和海面净长波辐射日均值最小，正午前后海面反照率最大；中断期太阳总辐射和海面净长波辐射日均值较大，但仍小于爆发前，正午前后海面反照率略小于爆发前；活跃期太阳总辐射和海面净长波辐射日均值又开始减小，但高于爆发期，正午前后海面反照率增大，但小于爆发前。

(2) 导致南海夏季风爆发前后辐射平衡各分量出现相应变化的主要原因是，大尺度环流背景的改变引起了不同的天气过程，尤其是云量和降水的变化，云量和降水的变化

使辐射平衡各分量出现相应变化。爆发前天空晴朗少云,无降水,故太阳总辐射、净长波辐射几乎不变化且维持高值,正午前后海面反照率则较小;爆发期西太副高东撤,西南暖湿气流与冷空气在南海北部西沙海区交汇,形成大的局地降水过程(2000 年与 2002 年均有类似情况),这些降水云系的出现导致了太阳总辐射、净长波辐射急剧降低,日照时间少且能见度差,正午前后海面反照率增大;中断期一般对应西太副高的西伸,南海北部多为西太副高西南侧东南气流控制,天气转好,但天气晴朗程度不如爆发前(从云量可看出),且会有降水出现,因而太阳总辐射与净长波辐射会回升,但回升不到爆发前状况,正午前后海面反照率则减小;活跃期西南暖湿气流已推进到我国大陆,局地降水减少,但强蒸发导致的云量增加,故太阳总辐射、净长波辐射减小,正午前后海面反照率略增。

致谢:中国气象局国家气候中心李江龙、吕战军和解放军理工大学气象学院李训强、肖义国,也为获得此两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;中国气象局西沙气象台提供了同期西沙站气象资料,在此一并表示衷心的感谢!

参考文献:

- [1] 丁一汇,薛纪善,等. 1998 年亚洲季风活动与中国的暴雨/洪涝. 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,1999,1~4.
- [2] Jiang Guo-rong, He Jinhai et al, observational study of air-sea fluxes during the SCS summer monsoon in 2000 - feature of thermal budget at the sea surface. Acta Meteo. Sinica, 2004,18 (2) :245~258.
- [3] 阎俊岳,姚华栋,王 强,杨志勇. 西沙海-气通量观测资料初步分析,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,1999,147~151.
- [4] 蒋国荣,沙文钰,阎俊岳,等. 南海季风爆发前后辐射特征分析[J]. 热带气象学报,2002,18 (1) :29~37.
- [5] 阎俊岳. 南海西南季风爆发的气候特征[J]. 气象学报,1997,55(2) :174~185.
- [6] 卞林根,等. 1998 年夏季青藏高原辐射平衡分量特征[J]. 大气科学,2001,25(5) :577~588.
- [7] 张一夫. 关于海面反照率的初步探讨[J]. 海洋学报,1990,12(1) :24~30.
- [8] E B. Kraus. 山东海洋学院海洋气象专业译. 大气和海洋相互作用[M]. 北京:科学出版社,1979,80~100.
- [9] G W. Paltridge et al. 吕达仁,等译. 气象学和气候学中的辐射过程[M]. 北京:科学出版社,1981,84~92.
- [10] 卢 里,曾庆存. 太阳辐射日变化对气候模拟的影响[M]. 大气科学,1987,11(4) :351~358.
- [11] 王谦谦,钱永浦. 太阳辐射日变化对夏季风模拟特征的影响[J]. 气象学报,1997,55(3) :334~358.