

郑彬, 李春晖, 林爱兰, 等. 南海夏季风活动指标的定义及应用[J]. 热带气象学报, 2016, 32(4): 433-443.

文章编号: 1004-4965(2016)04-0433-11

南海夏季风活动指标的定义及应用

郑彬, 李春晖, 林爱兰, 谷德军, 何超

(中国气象局广州热带海洋气象研究所/广东省区域数值天气预报重点实验室, 广东 广州 510640)

摘要: 为了分析南海夏季风活动不同阶段的大气环流特征, 引入南海区域 ($105^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$, $5^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{N}$) 平均高 (200 hPa) 低 (850 hPa) 层风场和向外长波辐射 (OLR) 作为南海夏季风指数。分析结果表明这些指数的组合可以较好地反映南海夏季风季节内以下时间尺度的活动情况。当南海地区低层平均为西南风、高层为东北风且 OLR 异常 (OLRa) 小于零时, 南海夏季风处于活跃期, 此时副高远离南海, 南海区域对流强盛, 有明显的季风槽; 当南海地区低层为西南风, 高层为东北风, 但是 OLRa 大于零时, 南海夏季风处于不活跃阶段, 此时副高远离南海, 虽然南海地区对流不活跃, 但是季风环流依然存在且向北扩展, 使得华南-江南对流活跃; 当南海地区风场为其他情况时, 此时不论对流强弱, 南海夏季风处于中断期, 南海或者受副高控制, 或者受热带气旋影响, 季风环流在南海地区中断。利用定义的南海夏季风活动指标对 2011 年和 2012 年南海夏季风活动进行分析, 结果指出这两年南海夏季风活跃期较长, 季节内对流北传事件一般发生在南海夏季风活跃期或活跃期向非活跃期的转换期, 而中断期即使有强对流发生, 也不会向北传播。分析了这两年中断和不活跃情况下的大气环流分布, 进一步验证了定义的南海夏季风活动指标的实用性。

关键词: 南海夏季风; 活跃; 不活跃; 中断; 季节内振荡

中图分类号: P425.4.2

文献标识码: A

Doi: 10.16032/j.issn.1004-4965.2016.04.001

1 引言

南海夏季风是东亚季风的重要组成部分, 南海夏季风的爆发标志着冬季环流向夏季环流的转变, 也预示着东亚夏季风的来临和中国雨季的开始。它的活动不仅影响东亚气候^[1-4], 而且通过波列传播影响到北半球的环流和天气^[5-6]。理解南海夏季风的时空分布和变化特征将对东亚乃至北半球的气候预测有重要作用。

南海夏季风的变化与南亚夏季风和澳大利亚季风相同, 都包含了从季节内到年代际的各种尺度^[7-9]。虽然南海夏季风年际尺度的变化对季风区气候年景有重要参考价值, 但是季节内的变化同样能达到年际变化的量级。因此, 季风季节内活动的研究对提高雨季旱涝的预测水平是不可忽

视的。早在 1973 年, Ramanadham 等^[10]就指出南亚夏季风的活跃与中断主要与季风槽的位置有关。当印度夏季风活跃时, 季风槽大致位于 75°E , $30^{\circ}\text{N}\sim 88^{\circ}\text{E}$, 23°N ; 而印度夏季风中断通常与季风槽的北移有关, 当季风槽移到 75°E , $32^{\circ}\text{N}\sim 90^{\circ}\text{E}$, 26°N 的位置时, 印度大部分地区降水减少, 而主要的降水集中在喜马拉雅山脚。澳大利亚季风的活动与南亚季风南北振荡不同, 它主要是降水东西方向的变化^[11]。实质上, 不论是南亚季风还是澳大利亚季风的活跃与中断都是季节内振荡的传播引起的现象。印度夏季风出现在北半球夏季, 该时段的季节内振荡 BSISO (boreal summer intraseasonal oscillation) 向北传播是其一个显著的特征^[12-13]。当南亚季风降水出现在大部分印度大陆时, 表现为印度夏季风活跃, 也即是印度大陆出现 BSISO 的多雨期; 当 BSISO 继续北移, 其

收稿日期: 2015-03-23; 修订日期: 2016-01-18

基金项目: 国家自然科学基金(41205069); 973 项目(2014CB953901); 广东省科技计划项目(2012A030200006, 2012A061400012); 广东省气象局科技研究项目(2013B07)共同资助

通讯作者: 郑彬, 男, 福建省人, 博士, 主要从事季风和海气相互作用、中层大气研究。E-mail: zbin@grmc.gov.cn

多雨期出现在印度北部-喜马拉雅山脚,此时大部分南亚地区少雨,即被称为印度夏季风中断。随着 BSIOs 的周期北移,南亚地区在多雨和少雨间交替,也即是南亚季风活跃与中断交替。与南亚夏季风不同,澳大利亚夏季风发生在北半球的冬季,此时的 ISO 主要以东传的 MJO (Madden-Julian Oscillation)^[14] 为主,因此澳大利亚季风的活跃期,降水主要在澳大利亚北部;中断期的降水向东移到澳大利亚以东的太平洋地区,甚至到中太平洋地区。对于南海夏季风活跃和中断/不活跃的大气环流特征,也有一些研究。例如金祖辉等^[15] 以低层西南风和偏东风来判断南海夏季风的活跃与中断,还有一些研究用能量来定义南海夏季风活动^[16-17],这些研究中都没有考虑对流,而对流在夏季风活动,特别是季节内活动中也是至关重要的。林建恒等^[18] 利用湿热风场在南海地区的面积比例来定义南海夏季风活动,其中湿热指标在热带地区一定程度上能代表对流,因此该指标更大程度反映的是季风活动时的对流强弱,淡化了中断概念。本文试图建立一个既能反映南海夏季风活动强弱,又能描述其中断的指标。南海夏季风与印度夏季风都出现在北半球夏季,且研究表明南海夏季风的季节内振荡也有明显的北传现象^[19-20]。当然,ISO 传播是多向的。Wang 等^[21] 利用 1975—1985 年的向外长波辐射 (Outgoing Longwave Radiation, OLR) 资料普查了 ISO 事件,他们将 ISO 分为 3 类——东传 (65%)、独立北传 (20%) 和西传 (15%);梁建茵等^[22] 也发现了南海及周边地区 ISO 传播具有多向性特征,既包含了东向和西向传播,也包含了北向传播。虽然 ISO 的传播具有多向性^[21-22],对于北半球夏季 (5—10 月) 而言,仍是 ISO 北传分量占主要地位^[23]。那么南海夏季风的季节内活动特征是否与印度季风相同呢? 是否可建立一个判断南海夏季风活动不同阶段的指标? 这些都是本文的主要研究内容。

2 资料简介

本文使用的资料主要有美国环境预报中心 (NCEP) 第二套再分析 (NCEP2)^[24] 的风场和高度场资料、美国国家海洋和大气管理局 (NOAA) 向外长波辐射 (OLR) 资料^[25],资料时间长度为 1979 年 1 月 1 日—2012 年 9 月 30 日,空间分辨率为

$2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$,时间分辨率为 1 天;NCEP2 再分析逐日的高斯格点表面风场资料和海表温度资料^[24],资料时间长度为 2011 年 1 月 1 日—2012 年 9 月 30 日。还有全球降水气候计划 (GPCP) 卫星红外导出的降水 (GPI) 资料^[26],空间分辨率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$,时间分辨率为 1 天,资料时间长度为 2011 年 1 月 1 日—2012 年 9 月 30 日,南海区域选为 $105^{\circ} \sim 120^{\circ} \text{E}$, $5^{\circ} \sim 20^{\circ} \text{N}$ 。1979—2010 年的资料用于统计分析,2011 年和 2012 年的资料作为独立的个例进行分析。

3 南海夏季风活动指标的定义

关于南海夏季风的指数已经有不少,其中以南海地区低层 (例如 850 hPa) 风场和 (或) 降水 (对流) 为南海季风指数被较多地采用^[27-33]。而季风活跃/不活跃 (或活跃/中断) 通常使用热带对流或降水为指标^[10-11],大家默认热带季风区夏季全部为季风降水。但是李春晖等^[34] 分析指出南海地区 6—9 月有热带气旋位置点频数的高值区,也即是说热带气旋降水在 6—9 月的南海地区较显著。因此,夏季南海地区利用对流或降水很难区分季风的的不同活动阶段。例如,以对流增强/降水增多为南海夏季风活跃判据,那么当南海地区有热带气旋活动时,我们无法判断对流增强是来自季风活动还是热带气旋活动。我们知道,南海夏季风是海陆热力差异引起的大尺度环流调整的结果,因此大尺度环流是季风的本质^[33]。如图 1 所示,南海地区冬季和夏季有截然相反的纬向垂直环流和经向垂直环流,其中夏季纬向环流在低层为西风、高层为东风;而夏季经向环流在低层是南风、高层是北风。通常也将夏季垂直环流称为夏季风环流。由此可见,大尺度环流是季风的本质,而对流/降水是季风活动的表现,对流的强弱体现了季风活动的强弱,而环流的中断则体现了季风的中断。因此本文选取南海区域平均的高 (200 hPa) 低 (850 hPa) 层水平风场和表征对流的 OLR 为南海夏季风活动指数。在南海夏季风建立到撤退期间,如果南海夏季风环流被破坏,则定义为夏季风中断现象;在季风环流存在的基础上,对流的强弱反映了季风的强弱,也就是季风的活跃与不活跃。本文使用 OLR 异常表征对流强弱。在季风环流背景下,当 OLR 异常大于零时,对流

不活跃,反之则对流活跃。由此得到南海夏季风活动指标如表 1。

之前也有研究利用风场和 OLR 来定义南海夏季风指数,这里将分析本文指标与前人定义的指标之间的差异。梁建茵等^[35]在 1999 年定义了 850 hPa 西南风和 OLR 的南海西南季风指数,这个指数清楚地反映了南海夏季风季节变化特征,也就是年循环。而本文的指标更多地是要反映南海夏季风的天气和季节内尺度特征。还有一些研究^[36-38]是利用风场和 OLR 联合指标来确定南海夏季风爆发日期,这是季节转换问题,从本质上讲还是年循环。而本文定义的指标反映的是南海夏季风活动,实际上也就是季节内以下时间尺度的变率。此外,利用以前的南海夏季风指标去除季

节循环后似乎也可以得到南海夏季风的季节内变率,但是它很难反映夏季风季节内活动的变化。例如,它可能将其他系统降水划入夏季风降水,从而将季风中断认为是季风活跃。

根据表 1 中的指标统计了 1979—2010 年共 32 年 6—9 月南海夏季风不同活动期的天数(表 2),南海夏季风活跃期平均每年有 49.9 d,不活跃期为 36.8 d,而中断期为 35.3 d。而从平滑结果可以看到,中断期从平均每年 35.3 d 减少为 25.9 d,每年差不多减少了 10 d。这减少的 10 d 意味着每年大约有 10 d 左右,南海夏季风系统受天气系统影响而中断。这里的天气系统指的是 5 d 以内的天气活动。

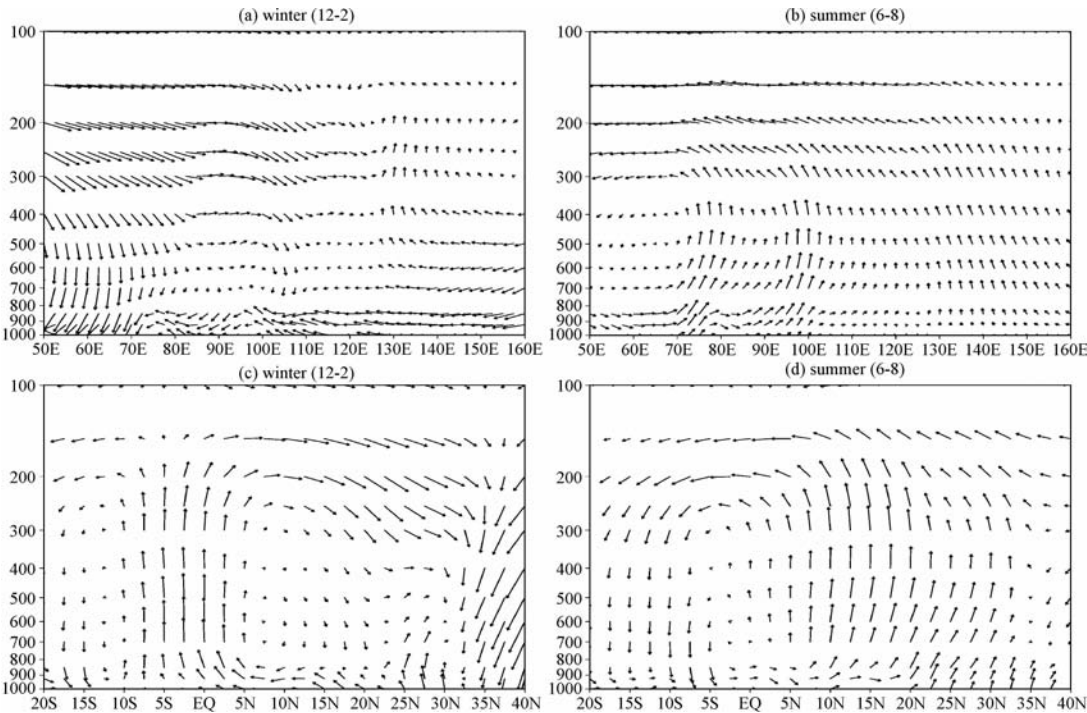


图 1 气候平均(1981—2010 年)冬季(a)和夏季(b)纬向垂直环流(5~20°N 平均)、冬季(c)和夏季(d)经向垂直环流(105~120°E 平均) 气压垂直速度放大 200 倍并取反号。

表 1 南海夏季风活动指标 指标均为南海区域平均,其中 OLR 异常为 OLR 去除气候态(1981—2010 年)的部分。

活动指标		代表意义
环流	OLR 异常	
$U_{850} > 0, V_{850} > 0, U_{200} < 0, V_{200} < 0$	小于零	活跃
$U_{850} > 0, V_{850} > 0, U_{200} < 0, V_{200} < 0$	大于零	不活跃
其他		中断

表 2 1979—2010 年 6—9 月南海地区平均高(200 hPa)低(850 hPa)层水平风场和 OLR 的统计 括号内为 5 天滑动平均后的结果。

季风活动	出现天数/d	平均出现天数/(d/a)	出现频数/%
活跃	1 596(1 754)	49.9(54.8)	40.9(44.9)
不活跃	1 179(1 323)	36.8(41.3)	30.2(33.9)
中断	1 129(827)	35.3(25.9)	28.9(21.2)

4 南海夏季风活动各阶段的环流特征

根据活动指标(表 1),对 1979—2010 年 6—9 月南海夏季风活跃和不活跃阶段进行合成(图 2)。从图 2a 可以看到,南海区域为西南风控制,高层为东北风,西太平洋副热带高压远离南海,对流强盛且在南海地区有明显的季风槽,这是典型的南海夏季风活跃特征;图 2b 显示南海夏季风不活跃阶段的大气环流特征。此时的西太平洋副热带高压依然是远离南海,南海区域也表现为季风环流控制,但是相比于活跃期,此时的夏季风环流明显向北扩展;相应的,此时南海区域对流虽减弱,但华南-江南-长江中下游地区对流增强。图 2 显示的南海夏季风活跃和不活跃期的对流活动与南亚季风的季内活动特征非常相似,表明南海夏季风活跃区向北移,使得南海地区成为不活跃区。这里我们定义图 2b 这种情况为南海夏季风不活跃,而不是中断。认为虽然对流活跃区北移,但是南海夏季风环流依旧存在,所以不能称为季风中断,只能称其为不活跃。

南海夏季风中断期的大气环流特征比较复杂,它们对应着风场与对流的不同组合(图 3,见下页)。图 3a 显示副高已西伸进入南海,南海地区的对流源于副高南侧的东风与中南半岛西风的辐合,而且季风环流主要位于中南半岛以西地区,这种情况为南海夏季风中断。可以看到,在这种情况下,南海及其北部地区没有热带季风的影响,

但是副热带季风却是活跃的。图 3b 和图 3f 显示的都是热带气旋引起的南海夏季风中断,但是这两种情况又有所区别。图 3b 中热带气旋在南海-菲律宾海上活动,而图 3f 中热带气旋在菲律宾以东洋面活动。直接的结果导致图 3b 中的南海区域在南海夏季风中断期依然有较强的对流,而后者则对流偏弱。以上这两种情况平均每年出现约 9 d。可见,前文中提到的天气尺度扰动基本是由热带气旋活动引起的。图 3c ~ 3e 中西太平洋副热带高压西伸控制南海或南海北部,致使季风环流收缩在中南半岛以西,导致了南海夏季风的中断。

5 2011 年和 2012 年南海夏季风活动概况

利用前面得到的判断南海夏季风活动的指标,来看一看 2011 年和 2012 年南海夏季风的活动情况。图 4 是根据表 1 中的指标得到的 2011 年和 2012 年 6—9 月南海夏季风活动指标序列,对于南海夏季风中断期同样有对流强弱。图 4a 和 4b 的指标没有经过平滑,显示了更多高频的信息,因此出现 1 ~ 2 d 的天气尺度南海夏季风各活动期,这体现了天气系统对夏季风系统的影响,从而使南海夏季风出现天气尺度扰动。图 4c 和 4d 的序列通过 5 d 的滑动平均,可以看到很多天气尺度扰动被平滑掉了,表现出明显的季节内振荡特征。

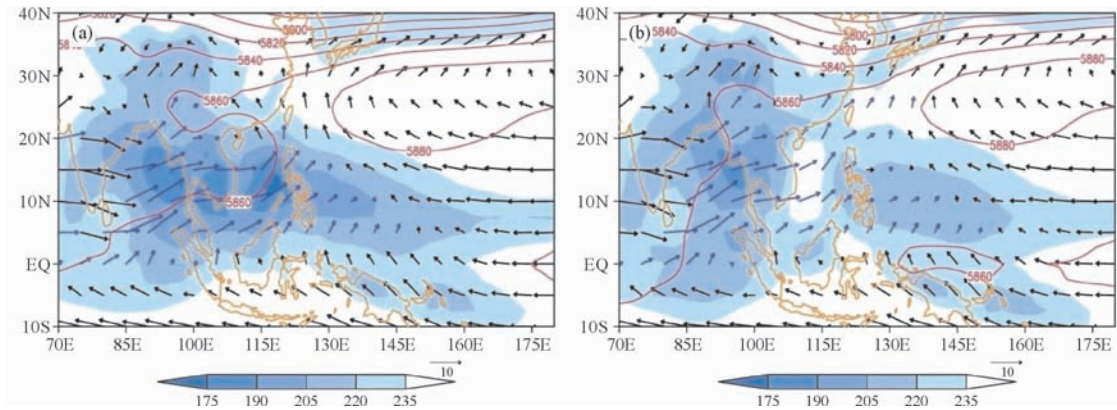


图 2 南海夏季风活跃(a)和不活跃(b)对应的大气环流合成 矢量为 850 hPa 水平风场(m/s),蓝色 矢量表示高层 200 hPa 为东北风,阴影区表示对流区($OLR \leq 235 \text{ W/m}^2$),等值线为 500 hPa 位势高度(gpm)。

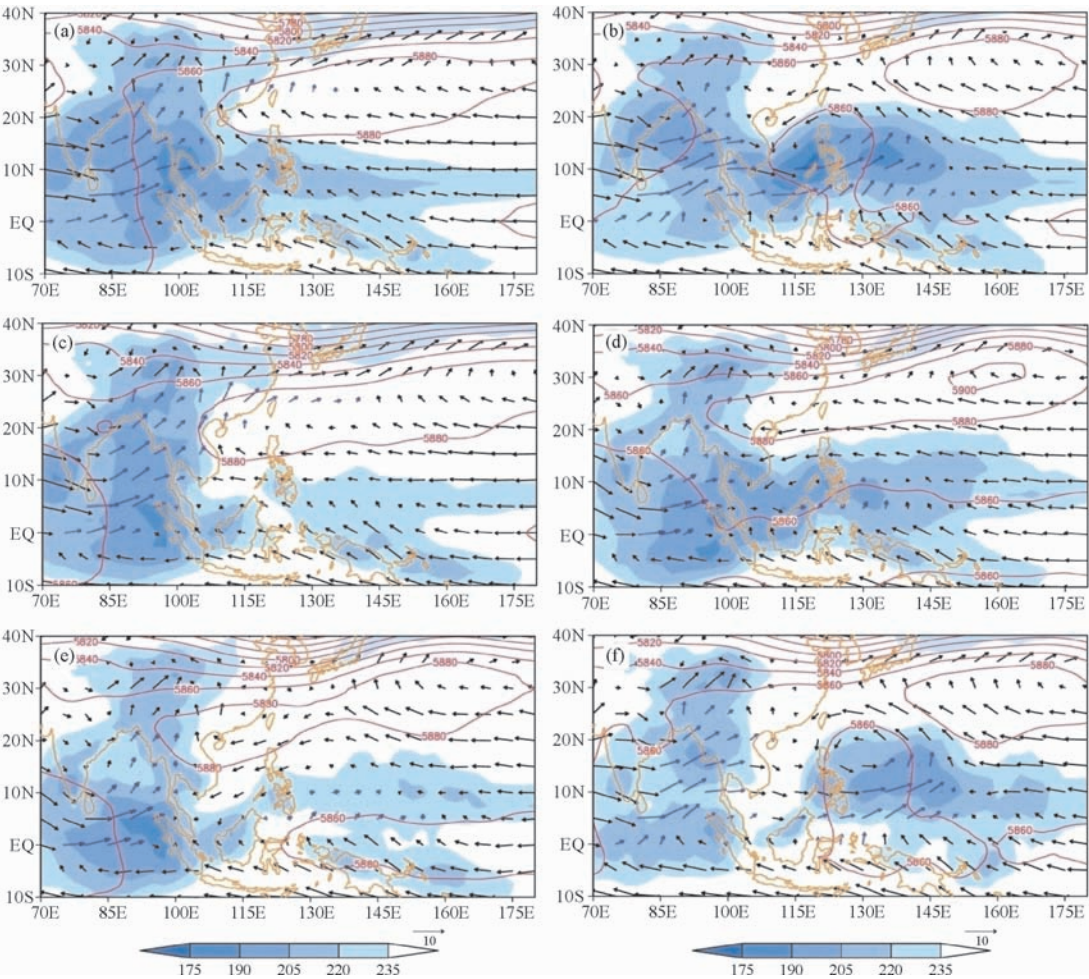


图 3 南海夏季风中断期对应的大气环流合成 a. $U < 0, V > 0, OLR \leq 235 \text{ W/m}^2$; b. $U > 0, V < 0, OLR \leq 235 \text{ W/m}^2$; c. $U < 0, V > 0, OLR > 235 \text{ W/m}^2$; d. $U < 0, V < 0, OLR \leq 235 \text{ W/m}^2$; e. $U < 0, V < 0, OLR > 235 \text{ W/m}^2$; f. $U > 0, V < 0, OLR > 235 \text{ W/m}^2$ 。矢量为 850 hPa 水平风场(m/s),蓝色矢量表示高层 200 hPa 为东北风,阴影区表示对流区($OLR \leq 235 \text{ W/m}^2$),等值线为 500 hPa 位势高度(gpm)。

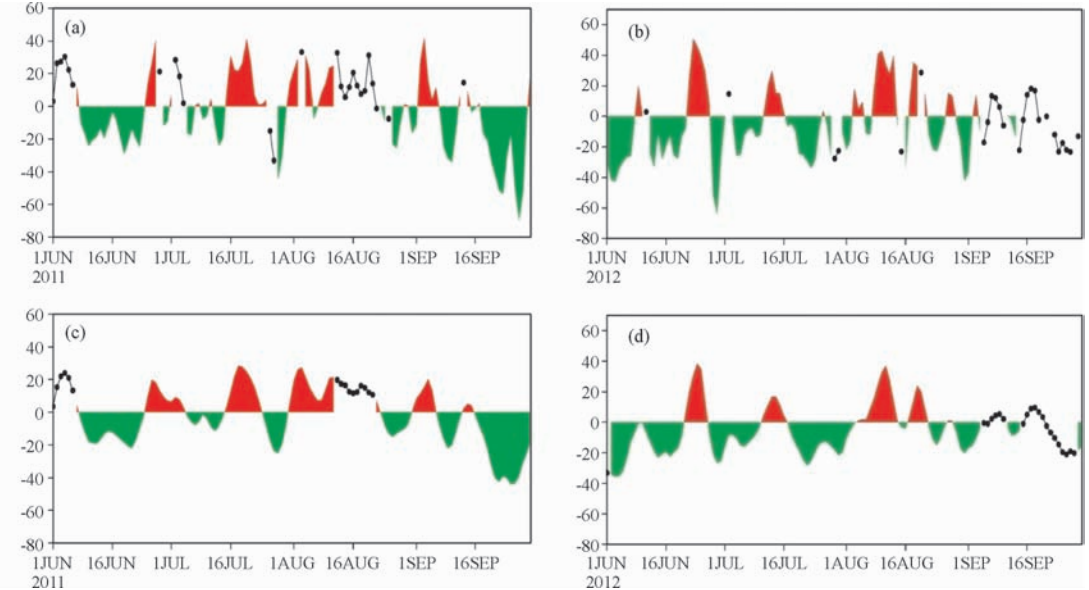


图 4 南海夏季风活动指标 a. 2011 年; b. 2012 年; c. 2011 年 5 天滑动平均; d. 2012 年 5 天滑动平均。指标定义参见表 1。

5.1 2011 和 2012 年南海夏季风活动的环流背景

我们将 2011 年和 2012 年 5 天平滑后的连续中断时间挑出来分析,看看其环流特征。中断的主要时段有 2011 年 6 月 1—6 日、2011 年 8 月 12—21 日,2012 年 9 月 5—10 日、2012 年 9 月 15—20 日和 2012 年 9 月 21—28 日,此外,2011 年 5 月 24—28 日中断期作为下文分析对流不北传的个例,也做合成分析。

图 5a~5c 显示了 2011 年 3 个南海夏季风中断期大气环流特征,可以看到 5 月底的中断为热带气旋的影响,另外两次中断都是西太平洋副热带高压西伸控制南海或者其北部,从而使南海区域季风环流中断。图 6 显示了 2012 年南海夏季风中断期大气环流分布,2012 年南海夏季风中断时都有西太平洋副热带高压 5 880 等位势高度线出现在南海北部。图 5 和图 6 中显示的南海夏季风中断几乎都是西太平洋副热带高压活动引起的,天气尺度的热带气旋扰动仅出现 1 次。由此可见,当进行 5 天滑动平均时,高频的扰动被消除了,但一些低频扰动仍然存在,如西太平洋副热带

高压的活动和影响南海时间较长的热带气旋。

5.2 2011 和 2012 年南海地区的季节内北传事件

南海夏季风活动具有明显的季节内北传模式^[20],当季节内振荡 (ISO) 向北传播到华南地区时,会引起该地区的持续性降水。因此南海夏季风 ISO 信号向北传播是华南汛期延伸期预报的关键因子。但在实际应用中我们发现,在南海地区出现对流之后,并不是所有对流都会向北传播进入华南。因此,有哪些对流可以影响到华南? 南海夏季风活动指标是否可以描述这种传播特征? 这些都是我们关心的问题。来看一下 2011 年和 2012 年南海夏季风季节内活动特征。图 7 显示 2011 年和 2012 年有多次对流北传事件,对照图 4 可发现,这些事件都是发生在南海夏季风活跃期或活跃期向非活跃期转化的过程。而 2011 年 5 月下旬和 2012 年 9 月中下旬,南海都存在显著对流但没有向北传播的情况,分析表明它们都处于南海夏季风中断期。可见,南海夏季风活动指标可以较好地监测南海夏季风 ISO 传播情况。

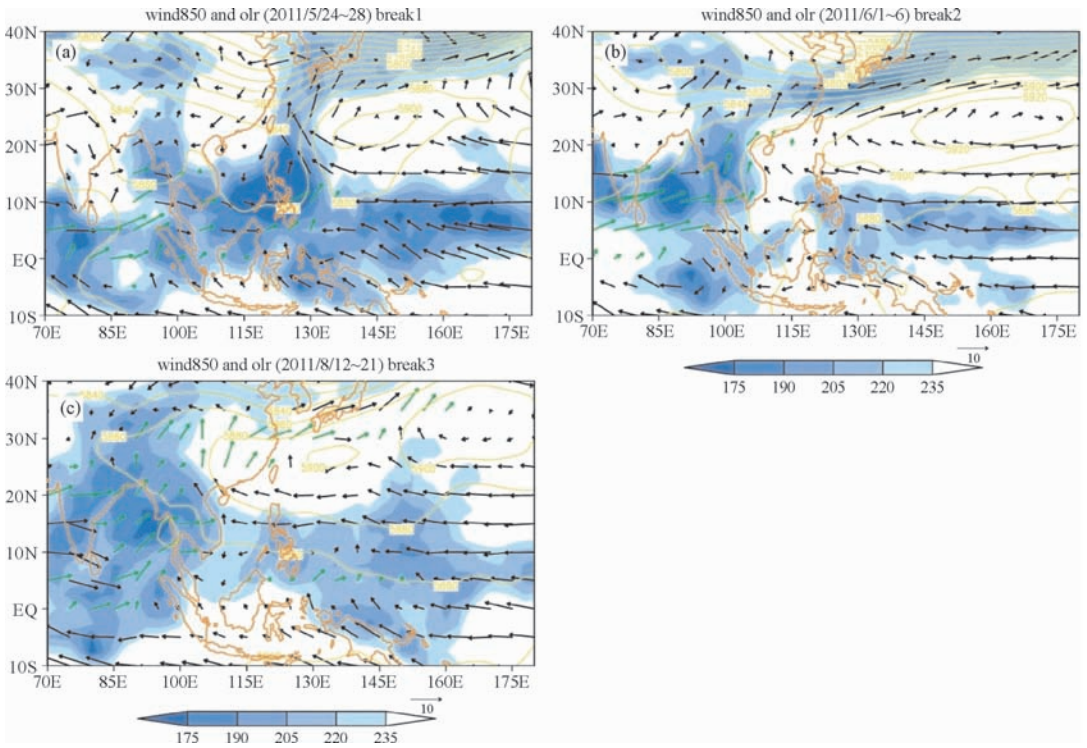


图 5 2011 年中断期的大气环流分布 a. 5 月 24—28 日;b. 6 月 1—6 日;c. 8 月 12—21 日。矢量为 850 hPa 水平风场(m/s), 绿色矢量表示高层 200 hPa 为东北风,阴影区表示对流区 ($OLR \leq 235 \text{ W/m}^2$),等值线为 500 hPa 位势高度(gpm)。

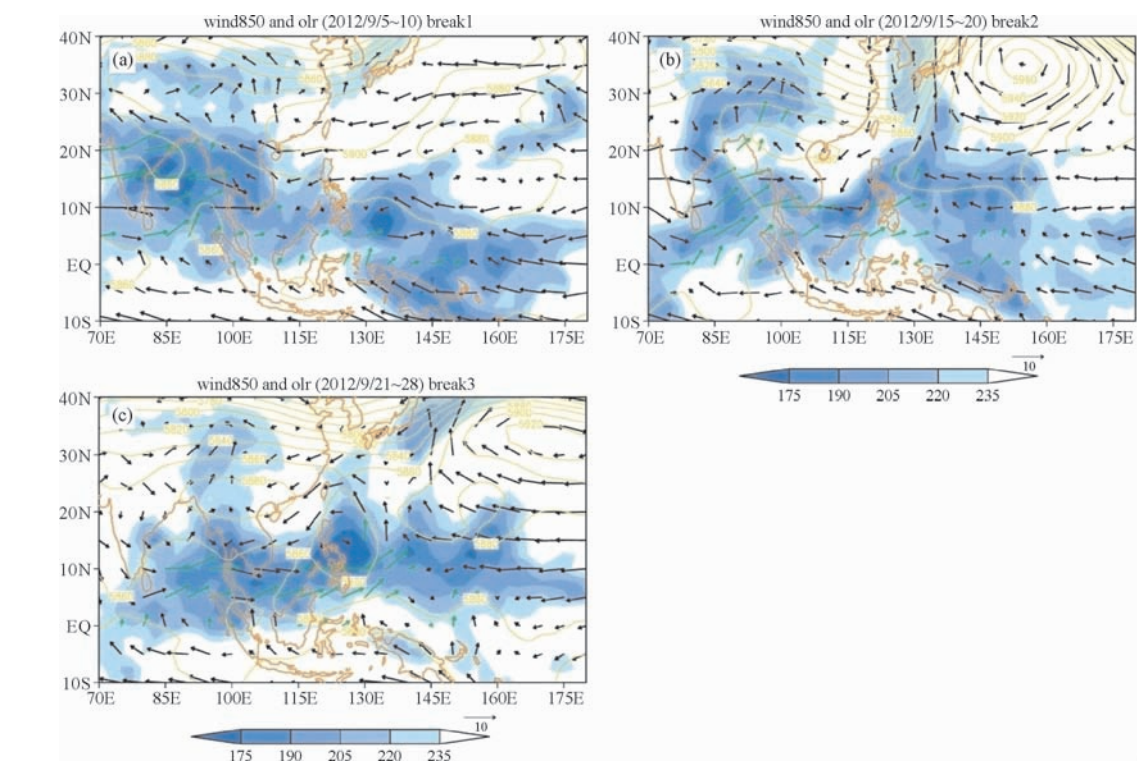


图6 2012年中断期大气环流分布 a. 9月5—10日;b. 9月15—20日;c. 9月21—28日非活跃期。其它说明同图5。

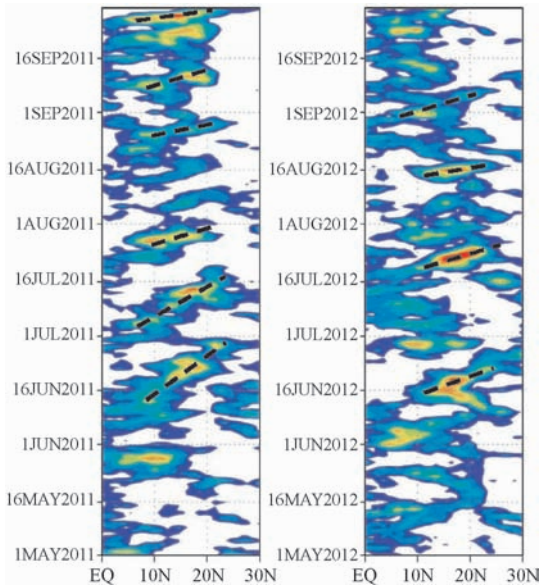


图7 2011年和2012年5—9月105~120°E平均日降水量(mm)分布 阴影区为降水大于5mm的区域,粗虚线为主要的对流向北传播影响到华南的事件。

5.3 季节内北传事件成因分析

下面具体分析一下,为什么南海夏季风活跃期和活跃向非活跃转换期时对流会北传。以2011年和2012年南海夏季风10个ISO北传事件的对流中心(即降水最大值)为原点,进行合成分析(图8)。合成的结果均未进行滤波。已有研究表

明,南亚季风和西北太平洋季风区的ISO北传主要受纬向风的垂直切变、异常水汽输送和海气相互作用(蒸发-风-SST反馈)的影响^[39-40],郑彬等^[20]分析了2007年南海夏季风ISO北传的主要因子,发现由于平均风场和水汽分布的差异,对南海夏季风ISO北传的主要影响因子是平均纬向风垂直切变和平均经向风对异常水汽的输送,而异常经向风对平均水汽的输送及海-气相互作用的影响在南海地区相对较小。图8a是2011年和2012年ISO北传事件合成的异常水汽输送经向分布,可以看到,最大对流区及其南部的水汽异常输送都是负值,而北部为正值。这表明在下一时刻,将有更多的水汽在对流最大位置的北部聚集,有利于对流在北部的发生。同时,比较图8a中的异常水汽输送可以发现,在对流最大位置的北部第一个格点,平均经向风对异常水汽的输送明显大于异常经向风对平均水汽的输送,这也印证了郑彬等^[20]的结果。图8b显示了高低层的纬向风经向分布,可以看到最大对流位置及以南地区有明显的东风切变,这有利于对流北部出现正压涡度,促使对流向北发展。图8c显示了表层异常纬向风和平均纬向风的经向分布情况,在对流中心及以南有西风异常,而北部为东风异常。但是平均

风场也是在对流中心附近及以南为西风,以北为东风,从而使得全风速在对流中心南北两侧都是增大,海温降低。而图 8d 则显示海温在对流北部有一个正异常,这个正异常显然不是蒸发-风-SST 反馈机制造成的,这与郑彬等^[16]的结果也吻合。那么,这个正异常是如何形成的呢? 进一步分析表明:在靠近对流中心的北部,异常风和平均风都很小,蒸发-风-SST 反馈机制基本不会导致 SST 变化;而在对流中心南部蒸发-风-SST 反馈机制导致

SST 显著减小;北部离对流中心较远的地区,蒸发-风-SST 反馈机制也会导致 SST 减小。而云-SST 反馈会导致对流中心 SST 降低,随着离开对流中心, SST 逐渐升高,这主要反映在向下短波辐射的变化(图略)。两种机制结合可能是导致 SST 正异常出现在对流北部的原因。这个正异常导致对流中心北部出现正的水汽异常和不稳定,从而促使对流在紧靠对流中心的北部发展。

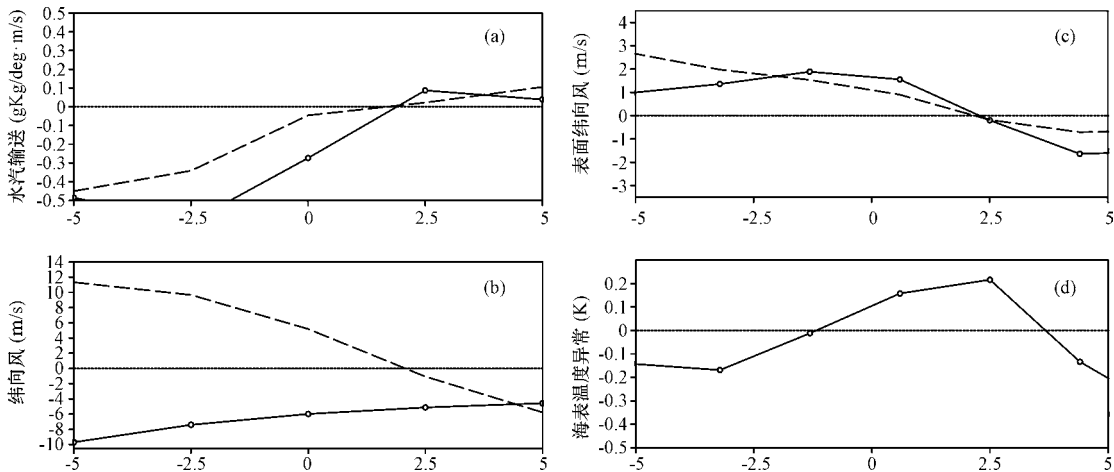


图 8 2011 年和 2012 年 ISO 北传事件合成的南海区域要素沿纬度的变化 a. 1 000 ~ 850 hPa 平均水汽输送, 实线为平均经向风对异常水汽的输送,虚线为异常经向风对平均水汽的输送;b. 纬向风,实线为 200 hPa 纬向风, 虚线为 850 hPa 纬向风;c. 表面纬向风(实线为异常纬向风,虚线为 6—9 月平均纬向风;d. 异常 SST。 其中 0 为对流最大的位置,“ - ”表示对流最大位置以南,反之以北。

对于 3 次没有向北传播的对流(2011 年 5 月 28 日、2012 年 9 月 13 日、2012 年 9 月 24 日分别为 3 次事件降水最大的日期),我们也进行同样的合成分析(图 9)。图 9a 显示的异常水汽输送在

对流中心及南北地区都为负值,表示这些区域水汽将会减少,不利于对流的发展;而图 9b 中显示对流中心附近没有东风切变,也不利于对流的北传。图 9c 显示的表层纬向风异常在对流中心附

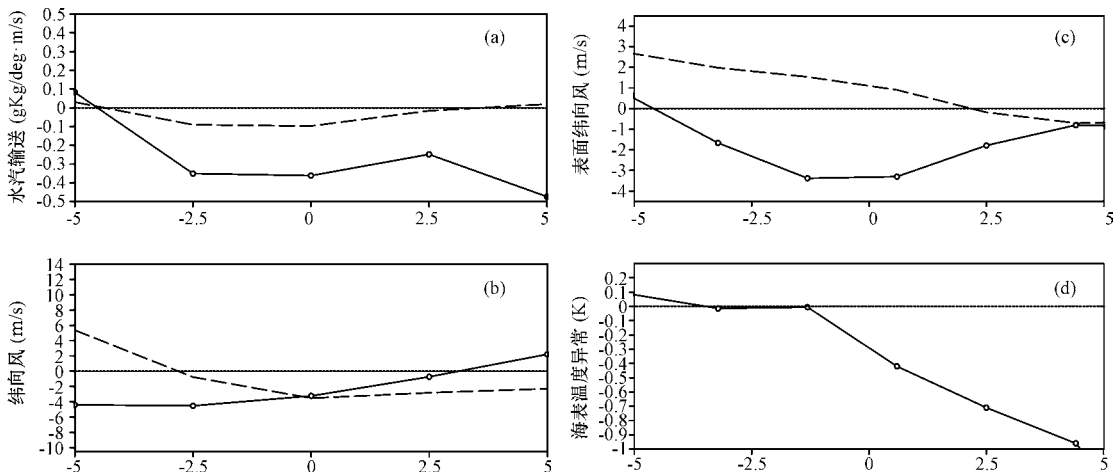


图 9 同图 8,但为对流未北传事件合成

近很大,其中北部附近格点甚至远大于平均风场,从而使全风速增大,进而导致 SST 减小(图 9d);而南部附近格点的异常风加上平均风的结果虽然与平均风反向,但是数值接近,即全风速基本不变,从而未引起较大的 SST 变化(图 9d)。图 9d 显示的 SST 异常也不利于对流向北发展。一般认为再分析的海表温度资料可靠性不高,我们又利用 NOAA 高分辨海表温度资料^[41]进行对比,结果表明二者非常相似(图略)。

6 小结和讨论

南海夏季风是海陆热力差异引起的大尺度环流调整的结果,因此本文将南海区域($105 \sim 120^{\circ}\text{E}$, $5 \sim 20^{\circ}\text{N}$)平均的高(200 hPa)低(850 hPa)层纬向风、经向风和向外长波辐射作为南海夏季风活动指数。当南海地区为夏季风环流控制(即低层西南风,高层东北风),对流异常强为南海夏季风活跃期,对流异常弱代表了不活跃期;如果在夏季风期南海地区夏季风环流中断,则代表了南海夏季风中断。统计了南海夏季风期间不同的活动阶段所占的天数比例,并分析了相应的大气环流气候分布,得到如下结果。

(1) 南海夏季风活跃期的典型大气环流分布是:西太平洋副热带高压位于西北太平洋,南海地区低层为西南风,高层东北风且对流强盛。相应的指标为 $U_{850} > 0$ 、 $V_{850} > 0$ 、 $U_{200} < 0$ 、 $V_{200} < 0$ 、 $OLRa \leq 0 \text{ W/m}^2$ 。

(2) 当南海地区对流偏弱时,如果季风环流依然控制南海地区,则南海夏季风处于不活跃阶段,相应的指标为 $U_{850} > 0$ 、 $V_{850} > 0$ 、 $U_{200} < 0$ 、 $V_{200} < 0$ 、 $OLRa > 0 \text{ W/m}^2$ 。

(3) 当南海地区受季风环流控制时,不论此时对流强弱,定义为南海夏季风中断期。相应的指标为 U_{850} 、 V_{850} 至少一个小于零。

从 2011 年和 2012 年的例子来看,利用以上指标来描述南海夏季风活动的各阶段(包括活跃、中断和不活跃)是可行的,而且可以用作分析南海夏季风 ISO 向北传播的指标。一般监测南海夏季风活动只是将南海夏季风分为活跃和中断,如果将本文的南海夏季风不活跃期归为活跃期,那么南海地区的对流偏弱就很难解释;如果将不活跃期归为中断期,那么季风对华南等地区的影响又得不到体现。因此本文提出的季风活动三类划分对于南海夏季风监测有更好的指示意义。此外,华南汛期南海对流向北传播都是处于南海夏季风的持续活跃期或活跃期向非活跃期的转换过程,因此,为预测南海夏季风 ISO 的北传,可以利用南海夏季风活跃指标进一步定义南海夏季风 ISO 的北传指标,从而探讨可用的预报信号。

虽然夏季风是一个气候概念,但是它同样会有季节内尺度的变化,每一年的南海夏季风也都会受到天气系统的影响,从而形成高频的扰动(图 2a 和 2b),本文定义的指标与以往指标的最大区别在于反映的是南海夏季风季节内及以下时间尺度的活动,而以往的指标都是反映季节变化的特征。此外,本文指标中夏季风环流背景是南海夏季风中断与否的判断标志,而季风期的南海地区低层西南风基本能够反映出季风环流的变化(平均每年差别小于 1 天),因此,很多研究仅仅使用低层西南风也可以表征南海夏季风的季节变化。另外一点值得注意的是,南海夏季风活跃与否是在季风环流背景下的概念。

致 谢:本文使用的 NCEP 第二套再分析资料 and 向外长波辐射资料由美国国家海洋和大气管理局(NOAA)地球系统研究实验室提供,从以下网址获得:<http://www.esrl.noaa.gov/psd/>;GPI 资料由美国气候预测中心(CPC)提供,特此致谢。

参 考 文 献:

- [1] NITTA T. Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the northern hemisphere summer circulation[J]. J Meteor Soc Japan, 1987, 65(3): 373-390.
- [2] KURIHARA K. A climatological study on the relationship between the Japanese summer weather and the subtropical high in the western North Pacific[J]. Geophysical Magazine, 1989, 43(2): 45-104.
- [3] HUANG R H, SUN F Y. Impact of the tropical western Pacific on the East Asian summer monsoon[J]. J Meteor Soc Japan, 1992, 70(1B):

- 243-256.
- [4] LU R. Interannual variability of the summertime North Pacific subtropical high and its relation to atmospheric convection over the warm Pool [J]. *J Meteor Soc Japan*, 2001, 79(3): 771-783.
- [5] 李崇银, 张利平. 南海夏季风活动及其影响[J]. *大气科学*, 1999, 23(3): 257-266.
- [6] WANG B, WU R, LAU K M. Interannual variability of Asian summer monsoon: Contrast between the Indian and western North Pacific-East Asian monsoons[J]. *J Clim*, 2001, 14(20): 4073-4090.
- [7] WEBSTER P J, MAGANA V O, PALMER T N, et al. Monsoons: Processes, predictability, and the prospects for prediction[J]. *J Geophys Res*, 1998, 103(c7): 14 451-14 510.
- [8] WANG B, HUANG F, WU Z, et al. Multi-scale climate variability of the South China Sea monsoon: A review[J]. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 2009, 47(1-3): 15-37.
- [9] ZHENG B, LI C H, LIN A L, et al. Features and comparisons of the quasi-biennial variations in the Asia-Pacific monsoon subsystems[J]. *J Trop Meteor*, 2009, 15(1): 116-120.
- [10] RAMANADHAM R, RAO P V, PATNAIK J K. Break in the Indian summer monsoon[J]. *Pure Appl Geophys*, 1973, 104(1): 635-647.
- [11] MCBRIDE J L. Satellite observations of the southern hemisphere monsoon during Winter MONEX[J]. *Tellus*, 1983, 35A(3): 189-197.
- [12] YASUNARI T. Cloudiness fluctuations associated with the Northern Hemisphere summer monsoon[J]. *J Meteor Soc Japan*, 1979, 57(3): 227-242.
- [13] YASUNARI T. A quasi-stationary appearance of 30- to 40-day period in the cloudiness fluctuations during the summer monsoon over India [J]. *J Meteor Soc Japan*, 1980, 58(3): 225-229.
- [14] MADDEN R A, JULIAN P R. Detection of a 40-50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific[J]. *J Atmos Sci*, 1971, 28(5): 702-708.
- [15] 金祖辉, 陶诗言. 南海夏季风建立、活跃和中断期的特征[J]. *气候与环境研究*, 2002, 7(3): 267-278.
- [16] 张韧, 余志豪, 蒋全荣, 等. 南海夏季风活动与季内北太平洋副高的形态和西伸[J]. *热带气象学报*, 2003, 19(2): 113-121.
- [17] 汪雷, 李建平, 郭彦. 大气分层扰动位能控制方程及其应用——南海夏季风活动的能量收支[J]. *大气科学*, 2012, 36(4): 769-783.
- [18] 林建恒, 王安宇, 冯瑞权, 等. 南海夏季风维持期的气候特征[J]. *热带气象学报*, 2005, 21(2): 113-122.
- [19] 贺懿华, 王晓玲, 金琪. 南海热带对流季节内振荡对江淮流域旱涝影响的初步分析[J]. *热带气象学报*, 2006, 22(3): 259-264.
- [20] 郑彬, 林爱兰, 李春晖, 等. 2007 年南海夏季风季节内振荡的北传及影响因子[J]. *热带气象学报*, 2011, 27(6): 869-876.
- [21] WANG B, RUI H. Synoptic climatology of transient tropical intraseasonal convection anomalies: 1975 – 1985[J]. *Meteor Atmos Phys*, 1990, 44(1): 43-61.
- [22] 梁建茵, 林爱兰, 李春晖. 南海及周边地区 TBB 季节内振荡及其与 ENSO 的联系[J]. *气象学报*, 2005, 63(3): 267-277.
- [23] 林爱兰, LI T, 李春晖, 等. 印度洋海温年际异常与热带夏季季节内振荡的关系及其数值模拟研究[J]. *气象学报*, 2010, 68(5): 617-630.
- [24] KANAMITSU M, EBISUZAKI W, WOOLLEN J, et al. NCEP-DEO AMIP-II Reanalysis (R-2)[J]. *Bull Amer Meteor Soc*, 2002, 83(11): 1 631-1 643.
- [25] LIEBMANN B, SMITH C A. Description of a complete (interpolated) outgoing longwave radiation dataset[J]. *Bull Amer Meteor Soc*, 1996, 77(6): 1 275-1 277.
- [26] HUFFMAN G J, ADLER R F, MORRISSEY M M, et al. Global precipitation at one-degree daily resolution from multisatellite observations [J]. *J Hydrometeor*, 2001, 2(1): 36-50.
- [27] 谢安, 刘霞, 叶谦. 上游赤道西风在南海夏季风爆发中的重要作用[J]. *应用气象学报*, 1998, 9(2): 129-140.
- [28] 李崇银, 屈昕. 伴随南海夏季风爆发的大尺度大气环流演变[J]. *大气科学*, 2000, 24(1): 1-14.
- [29] 何有海, 彭楚明, 关翠华, 等. 南海夏季风爆发与大气对流低频振荡的年际变化[J]. *大气科学*, 2000, 24(6): 785-794.
- [30] 张秀芝, 李江龙, 闫俊岳, 等. 南海夏季风爆发的环流特征及指标研究[J]. *气候与环境研究*, 2002, 7(3): 321-331.
- [31] 梁建茵, 吴尚森. 南海西南季风爆发日期及其影响因子[J]. *大气科学*, 2002, 26(6): 829-844.
- [32] 高辉, 梁建茵. 南海夏季风建立日期的确定和东亚夏季风强度指数的选取[J]. *热带气象学报*, 2005, 21(5): 525-532.
- [33] ZHENG B, LIN A L, GU D J, et al. Determination Of Onset Date Of The South China Sea Summer Monsoon In 2006 Using Large-Scale Circulations[J]. *J Trop Meteor*, 2011, 17(3): 202-208.
- [34] 李春晖, 刘春霞, 程正泉. 近 50 年南海热带气旋时空分布特征及其海洋影响因子[J]. *热带气象学报*, 2007, 23(4): 341-347.
- [35] 梁建茵, 吴尚森. 夏季广东降水异常变化与夏季风[J]. *热带气象学报*, 1999, 15(1): 38-47.
- [36] 谢安, 刘霞, 叶谦. 赤道涡旋与南海夏季风爆发[J]. *气象学报*, 1997, 55(5): 611-618.

- [37] 谢安, 宋焱云, 毛江玉, 等. 南海夏季风期间水汽输送的气候特征[J]. 气候与环境研究, 2001, 6(4): 425-434.
- [38] 王黎娟, 何金海, 徐海明, 等. 1998年南海夏季风建立前后的突变特征及爆发过程[J]. 南京气象学院学报, 1999, 22(2): 135-140.
- [39] JIANG X, LI T, WANG B. Structures and mechanisms of the northward propagating boreal summer intraseasonal oscillation[J]. J Clim, 2004, 17(13): 1 022-1 039.
- [40] KEMBALL C S R, WANG B. Equatorial waves and air-sea interaction in the boreal summer intraseasonal oscillation[J]. J Clim, 2001, 14(13): 2 923-2 942.
- [41] REYNOLDS R W, SMITH T M, LIU C, et al. Daily high-resolution-blended analyses for sea surface temperature[J]. J Clim, 2007, 20(22): 5 473-5 496.

DEFINITION AND APPLICATION OF INDICES FOR THE SOUTH CHINA SEA SUMMER MONSOON ACTIVITIES

ZHENG Bin, LI Chun-hui, LIN Ai-lan, GU De-jun, HE Chao

(Guangzhou Institute of Tropical and Marine Meteorology/Guangdong Provincial Key Laboratory
of Regional Numerical Weather Prediction, CMA, Guangzhou 510640, China)

Abstract: In order to analyze the characteristics of South China Sea summer monsoon (SCSSM) in different stages, SCSSM indices of South China Sea (SCS) regional ($105^{\circ} \sim 120^{\circ} \text{E}$, $5^{\circ} \sim 20^{\circ} \text{N}$) 200 and 850 hPa winds and outgoing longwave radiation (OLR) are introduced. The results indicate that the combined index can represent the SCSSM activities on the intraseasonal and synoptic scales. When southwesterly and OLR anomaly (OLRa) are less than zero, the SCSSM is in an active phase. At the stage a western Pacific Subtropical high (WPSH) stays far away from the SCS where the lower-level southwesterly and high-level northeasterly prevail and convections are strong with an evident monsoon trough. As the SCSSM indices are southwesterly and larger-than-zero OLRa, the SCSSM is in an inactive phase. At this time, the WPSH is still far away from the SCS. Though there are relatively weak convections in the SCS region, the monsoon circulations maintain and extend northwards, which excites the convections of the South China and the south of the Yangtze River. When there is no southwesterly in the SCS, the SCSSM is in a break phase no matter what magnitude the OLR is in. When the SCS region is controlled by the WPSH or the tropical cyclone, and the monsoon circulations are broken in the SCS. The combined index is used to analyze the activities of SCSSM in 2011 and 2012. The results show a relatively long active phase. In general, intraseasonal northward propagation of convection occurs in the active phase or conversion period for the active to inactive phase rather than in the break phase.

Key words: South China Sea summer monsoon; active; inactive and break phase; intraseasonal oscillation