

南海夏季风持续异常的特征 及其对全球环流的影响^{*}

I. 诊断分析

马淑杰 孙淑清

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

摘 要 用 1980~1996 年 OLR 资料及 NCEP/NCAR 再分析资料研究了南海夏季风持续异常的基本特征及其与全球环流的关系。对比分析结果指出, 强弱南海夏季风期大尺度环流(副热带高压、局地 Hadley 环流及 Walker 环流等)变化基本相反。在南海地区出现强弱持续异常的季风活动时, 该地区的对流活动不仅与大尺度热带和副热带流场有关, 而且还反映出北半球西风带环流的调整。北半球中高纬大气环流对南海夏季风持续异常是有响应的。南海地区季风的强弱, 特别是出现持续异常时, 强弱季风所对应的动能差异是全球性的, 其相应的大气热状态也截然不同。南海夏季风强烈而持续的对流活动明显通过改变大气热源的分布和大尺度垂直环流的结构, 影响到更大范围地区的环流状况。

关键词: 南海; 夏季风; 大尺度环流; 大气热状态

1 引言

研究^[1]表明, 亚洲季风系统最早在南海爆发。南海夏季风的爆发标志着东亚夏季风的来临和中国东部雨季的开始, 其爆发早晚和强弱直接关系到中国东部地区的降水和大气环流的异常。南海夏季风在季风系统中具有重要而特殊的地位。对南海夏季风爆发和维持机理的研究自 20 世纪 80 年代以来越来越受到国内外特别是南海周边国家和地区的气象工作者的高度重视^[2~4], 然而相对而言对南海夏季风爆发后所产生的影响, 尤其是对大尺度环流和天气气候影响的研究还不多。Hoskins 和 Rodwell^[5,6]在研究副高与季风的关系时指出, 北非副热带高压的维持与强度是其东部陆地上季风潜热释放和西风气流共同作用造成强下沉所致, 这说明季风潜热释放的大气热源可以对大气环流的异常产生非常大的影响。实际上, 南海夏季风爆发后, 尤其是处于持续异常状态时, 其强烈而持续的对流活动异常不仅可影响到本地区, 而且还明显地改变大气热源的分布和大尺度垂直环流的结构, 从而引起更大范围环流异常。对南海夏季风持续异常的研究不仅可进一步了解其爆发和维持的主要过程, 而且也有助于提高中国季风和季风雨的中长期预报能力, 因此, 具有重要的理论研究意义和实际应用价值。

本文从研究南海夏季风典型活动期 5、6 月份的季风强度异常的结构出发, 探讨它

2000-02-21 收到, 2001-09-07 收到修改稿

^{*} 国家科技部攀登项目 A“南海季风试验研究”和国家自然科学基金资助项目 49775261 联合资助

与大气环流、热源分布的关系,从而揭示南海夏季风持续的异常活动对全球环流的影响。

2 资料及个例选取

本文所用资料包括:(1)1980~1996年共17年NOAA逐月射出长波辐射资料(OLR);(2)同时段的NCEP/NCAR再分析逐月资料以及1948~1998年月平均海表面温度资料;(3)中国气象局提供的1941~1998年160个测站的逐月降水资料。

由于我们着重考察的是季风持续异常的特征及其影响,本文选用1980~1996年OLR逐月资料来选取强弱南海夏季风的个例。首先对资料在南海区域(105°E 、 5°N ~ 20°N)作区域平均,这样分别构成了5月和6月时间序列。对此时间序列分别作距平标准化,然后取距平标准化绝对值 $|S| > 0.6$ 为标准,共选出强、弱各12和11个个例。可以认为:当距平标准化值小于 -0.6 时,南海夏季风处于持续爆发或活跃过程的强持续异常状态,即强季风期;反之,则处于晚爆发或持续偏弱甚至中断过程的弱持续异常状态,即弱季风期。个例选取结果见表1。

表1 南海夏季风持续异常个例

	强季风期个例 $S < -0.6$	弱季风期个例 $S > 0.6$
5月	1984, 1986, 1988, 1989, 1990, 1994, 1996	1983, 1987, 1991, 1992, 1993, 1995
6月	1981, 1984, 1985, 1990, 1994	1983, 1988, 1993, 1995, 1996

为了使研究更具代表性,在合成分析时,对资料滤去了月际变化趋势,并对合成分析结果进行了 t 检验^[7]。

3 南海夏季风持续异常的特征及其与大尺度环流的关系

由于OLR能够较好地反映出热带大气对流活动,因此首先进行了OLR场的合成分析。

3.1 OLR场的对比分析

图1a、b分别是强、弱南海季风期OLR场距平合成图,图中阴影区代表达到0.05及其以上信度的区域(以下合成图类似)。比较图1a、b可见,强、弱南海季风期OLR距平分布存在明显的差别。首先,在南海至菲律宾,强季风期为显著的负距平区,中心达 -20 W m^{-2} 以下;弱季风期为显著的正距平区,中心值超过 20 W m^{-2} 。这两个正负距平中心都分别向东西方向延伸,在南海强季风期,阿拉伯海东部至印度地区皆为负距平区,这说明此时印度季风偏强,而在弱季风期情形正好相反,印度季风偏弱。另外,在南海强季风期,南半球马斯克林群岛附近和澳大利亚大陆西北部为OLR正距平区,相对于5、6月多年平均的OLR高值区(图略),这两处的冷高压偏强;而在弱季风期则正好相反。由以上分析可见,南海季风期的强度与印度季风呈正相关。

下面再看看中国江淮流域情况。在强季风期,江淮流域对流偏弱,而在弱季风期则对流偏强。图2是南海强弱季风期后期6、7月份中国东部降水量距平合成图,等值线

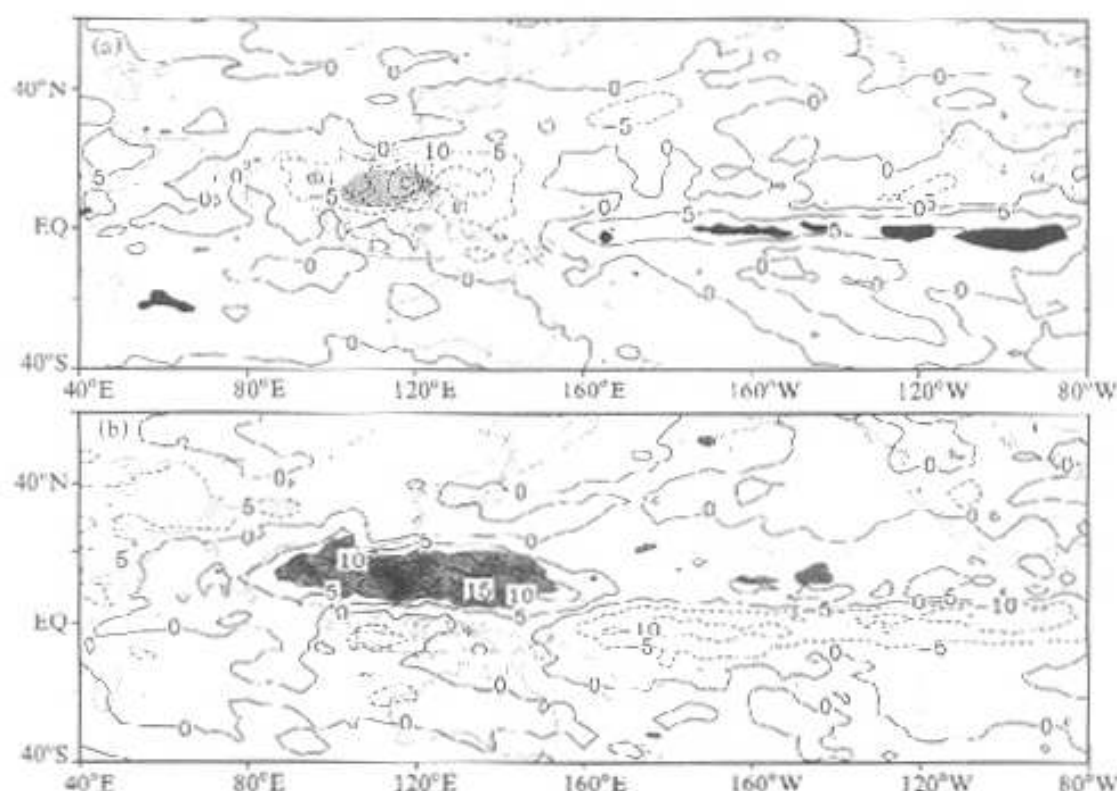


图1 南海强(a)、弱(b)季风期 OLR 场距平合成图(单位: $W m^{-2}$)

阴影区代表达到 0.05 以上信度检验

间隔为 20 mm。在南海强季风期后期, 江淮流域大部分区域为负距平区, 降水偏少, 而在中国江南为正距平区, 降水偏多; 相反情况则长江中下游地区降水偏多, 华南降水偏少。这个结果与张利平^[8]用季节平均得出的结果是一致的。

另一个在强、弱南海季风期 OLR 距平存在显著差异的大范围区域是在赤道中东太平洋, 前者为正距平区, 后者反之。这种对应关系与低层流场和大尺度环流结构有关。

3.2 对流层低层流场差异

图 3 是对 u 分量进行显著性检验的南海强弱季风期 850 hPa 流场异常合成图。由图可见, 850 hPa 流场距平分布也存在显著差异。差异首先表现在南海地区: 在强季风期为异常气旋辐合区, 反之为异常反气旋辐散区, 它们分别对应了 OLR 负距平和正距平区。此外, 在亚洲季风区经带上以及赤道太平洋上, 热带低层流场亦有明显差别。在南海强季风期, 从阿拉伯海经印度至南海皆为显著的西风距平气流, 索马里、 $75^{\circ}E$ 和 $105^{\circ}E$ 越赤道气流都显著偏强; 而在弱季风期则正好相反。这说明南海季风的强度变化与印度季风是一致的, 这与 OLR 分析结果相同。在南海强季风期, 整个赤道太平洋上贯穿极强的东风距平, 这时信风偏强, ITCZ 偏北。强信风与赤道西风在菲律宾以东产生强烈辐合, 造成极强的上升运动(见图 6a); 弱季风期则完全相反。

南半球的情况也值得注意。印度洋中纬度西风气流及马斯克林高压在南海强(弱)季风期都偏强(弱), 这分别对应于印度季风偏强(弱)。澳大利亚高压在南海强季风期位置偏西北, 强度偏强, 其北侧出现偏南风距平, 这加强了 $105^{\circ}E$ 越赤道气流; 而在弱季风期位置偏东南, 强度也偏强, 其北侧出现偏北风距平, 减弱了 $105^{\circ}E$ 越赤道

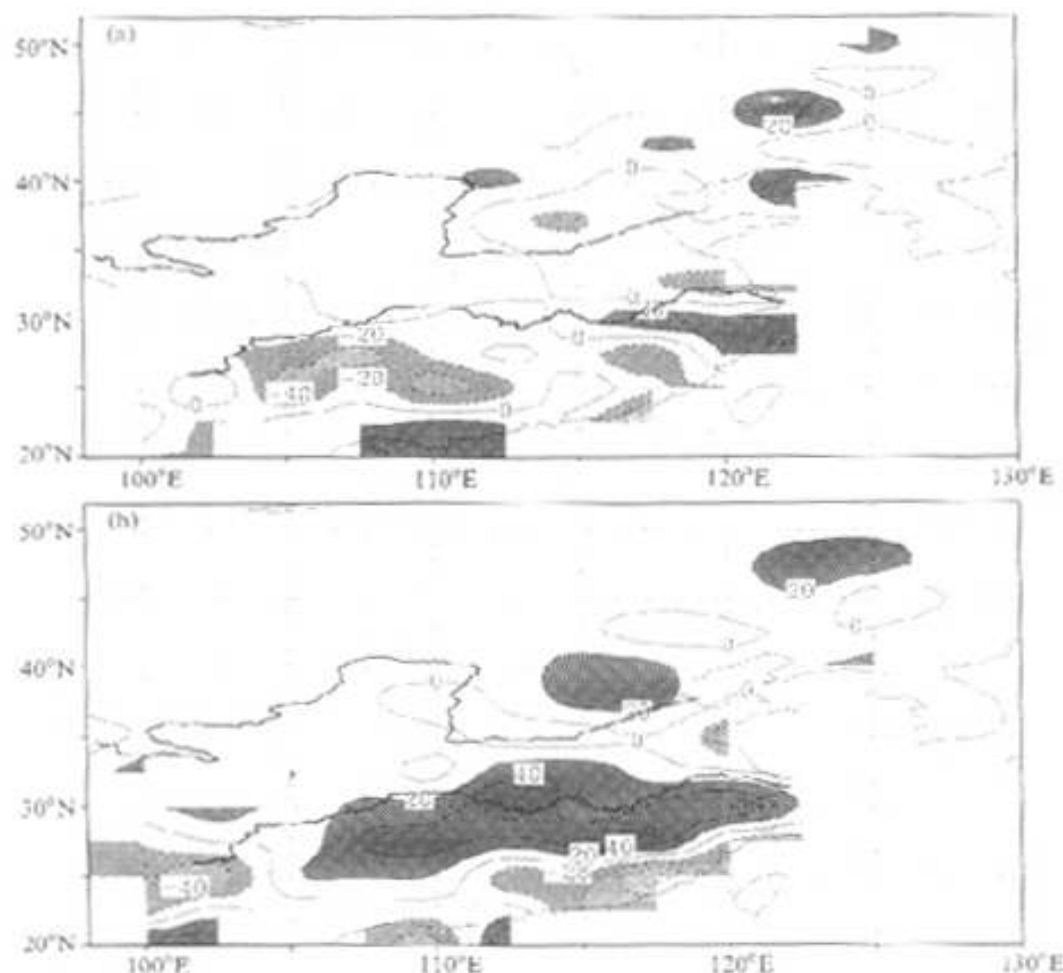


图2 南海强(a)、弱(b)季风期中国东部降水距平合成图(单位: mm)

阴影区代表达到 0.05 以上信度检验

气流, 这种情况与谢安^[9]、戴念军等^[10]讨论南海夏季风爆发早晚的结果是一致的。另外, 由以上分析可见, 105°E 越赤道气流不仅与澳大利亚高压的强度变化有关, 也取决于其所在的位置, 而以往多侧重于澳大利亚高压强度变化与东亚季风的关系研究, 忽略了其位置的重要性。研究还表明, 在 100°E 以东存在三个主要与季风有关的越赤道气流通带: 105°E 、 125°E 和 150°E 。 150°E 越赤道气流较稳定, 125°E 越赤道气流较强, 而 105°E 越赤道气流与南海夏季风的爆发有更好的关系。我们的分析结果表明, 105°E 越赤道气流对南海夏季风持续爆发具有重要作用。

另外, 在强南海季风期, 中国东部 30°N 附近低层流场为异常辐散气流, 表明降水偏少; 而在弱季风期, 江淮流域为偏西风距平, 流场的辐合也非常明显, 从而降水偏多。除了中国东部 30°N 附近低层流场外, 以上所有的结果都达到了信度检验。

以上分析进一步说明, 在南海强季风期, 印度季风偏强, 而中国江淮流域降水偏少; 弱季风期则相反。

3.3 北半球热带外环流的响应

整个大气环流是一个统一的整体, 在南海强弱季风期热带环流已有明显的异常特征, 显然在北半球热带外环流必然也会发生相应的响应及变化。大量研究表明, 南海夏

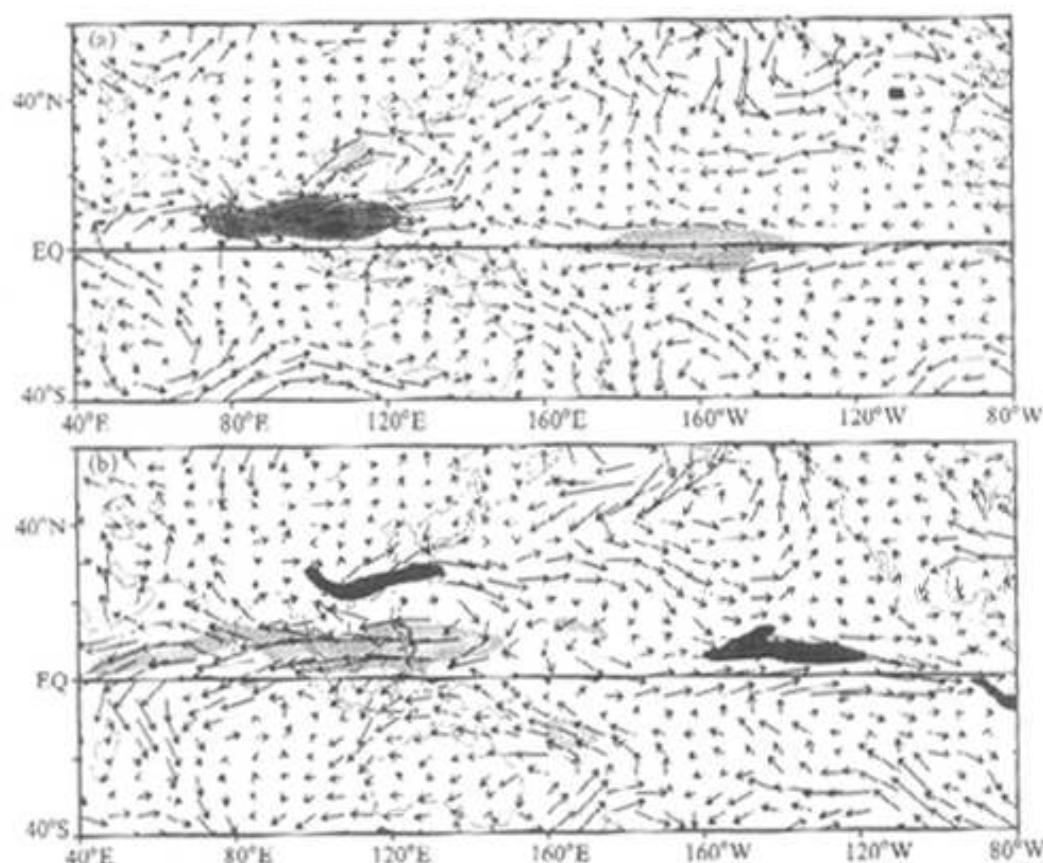


图3 对 u 分量进行显著性检验的南海强(a)、弱(b)季风期850 hPa流场异常合成图(单位: m/s)
阴影区代表达到0.05以上信度的检验

季风的活跃与中断与中高纬环流有很大的关系,为此我们做了500 hPa位势高度场合成图(图4)。在季节转变时期的5、6月,南海强弱季风期的位势高度距平分布几乎完全相反。在强季风期,亚洲季风区高度偏低,太平洋副热带高压的东环偏强(正距平区),临近东亚大陆部分则略为偏弱,东亚大槽偏弱,北美西岸脊也偏弱,而贝加尔湖附近高压脊则偏强;在弱季风期则正相反。另外,南海夏季风的活动强弱在美洲及大西洋上也有反映,在强季风期,北美大槽和大西洋长波脊都偏弱,反之亦然。

以上分析表明,在南海强季风期,北半球中高纬大气环流比较平直,呈纬向型;在弱季风期则呈经向型。在南海地区出现强弱持续异常的季风活动时,该地区的对流活动不仅与大尺度热带和副热带流场有关,而且还反映出北半球西风带环流的调整。

为了进一步揭示南海夏季风持续异常与北半球热带外环流的关系,又选取在合成分析中都达到信度要求的区域($90^{\circ}\sim 120^{\circ}E$, $10^{\circ}\sim 20^{\circ}N$)平均值为基点,做了南海季风期500 hPa位势高度场同时点相关图(图5)。在南海强季风期,从南海季风区出发有一正负相间的从低纬向高纬传播的波列存在,它穿过阿拉斯加地区,直达北美洲直至墨西哥湾东部。这说明,强的南海季风的影响将向高纬度地区传播,并影响美洲地区。在弱季风期,该波列也存在,它从南海出发,经鄂霍次克海,白令海峡至美洲东岸,波列也是明显的,但其所到达的纬度相对较低。更有意思的是,从图5中可看到,对强弱季风期,上述有关的几个相关区的符号也是相反的。这就是说,强、弱南海季风时,它对中

高纬度环流所产生的影响有很大不同。李崇银等^[11]数值试验结果表明南海夏季风异常(强或弱)通过由东亚经北太平洋到美洲的EPA波列的向北伸展程度的不同对大气环流和气候变化有重要影响。我们的资料分析结果也表明在季节转换时期,热带外大尺度环流对南海夏季风的持续异常确实有响应。

3.4 垂直环流特征

为了更具体地研究南海局地强对流活动的发展或抑制是如何与热带内外环流联系的,我们又分析了以南海为中心的经向和纬向垂直环流。

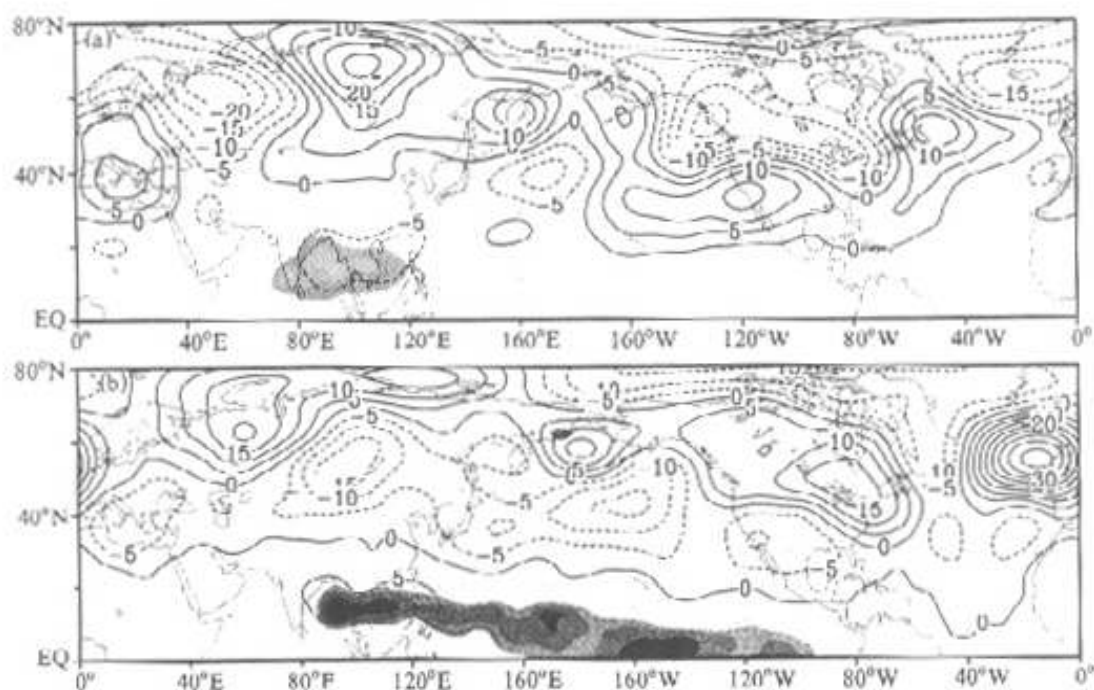


图4 南海强(a)、弱(b)季风期500 hPa位势高度场距平合成图(单位: gpm)
阴影区代表达到0.05以上信度的检验

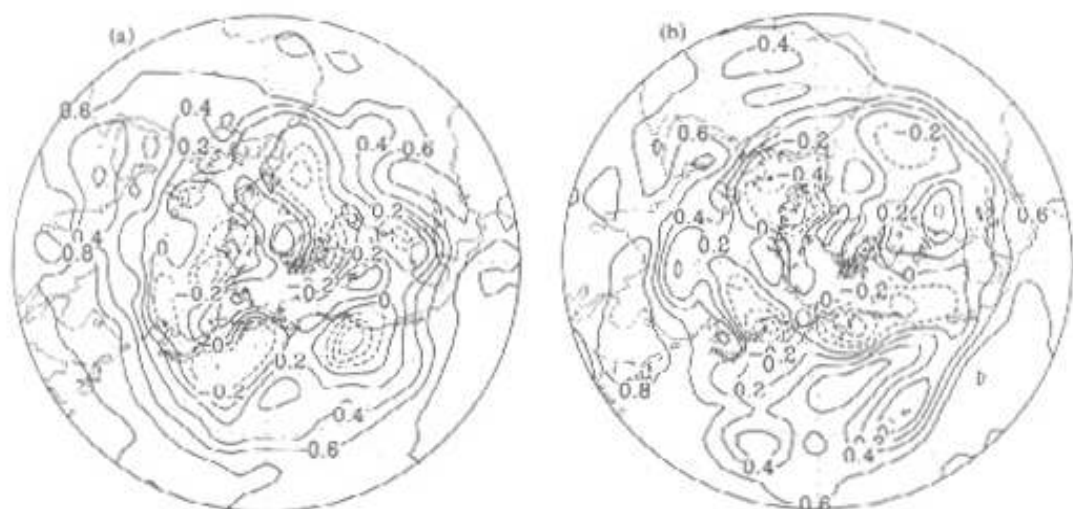


图5 以区域(90~120°E, 10~20°N)平均值为基点的强(a)、
弱(b)南海季风期北半球500 hPa位势高度场同时点相关图

首先来看 Walker 环流的情况。在南海纬带上, 强弱季风期东西向垂直异常环流基本上是反位相的 (图 6), 其中最强的差异是在整个亚洲季风区以及热带太平洋上。

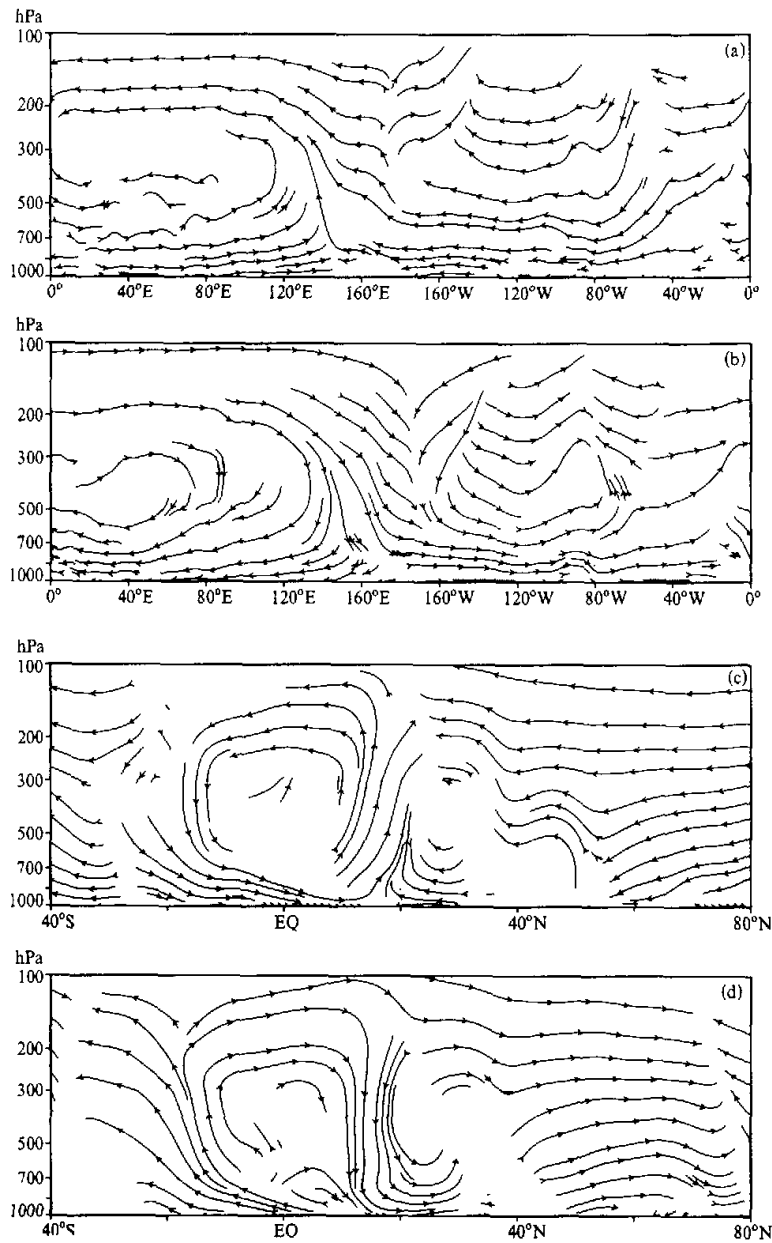


图 6 南海强弱季风期以南海为中心的经向和纬向垂直异常环流图
(a) 强季风期, 纬向; (b) 弱季风期, 纬向; (c) 强季风期, 经向; (d) 弱季风期, 经向

在南海强季风期, 亚洲季风区经带上空有极强的上升距平气流, 这反映了该地区对流活动偏强, 而在热带太平洋对流层低层为东风距平, 120°W 附近上空略微有下沉距平气流。在弱季风期情形则正好相反。这里由于所取的剖面偏北, Walker 环流在对流层中高层的东西方向环流的变化并不突出, 结合对流层高 (图略) 低 (图 3) 流场的差异可知: 在南海强 (弱) 季风期, Walker 环流偏强 (弱)。图中另一较显著的差别位于 80°W 附近, 该地区在多年平均图上为强的上升区 (图略)。在南海强季风期, 该地区为下沉的距平气流, 此上升支明显减弱; 相反在弱季风期, 该上升支则加强。这种分布与热带海温的异常是有关系的, 这在以后要进行详细研究。

在南海强弱季风期, 南北向异常垂直环流结构同样几乎完全相反 (图 6c、d)。对于热带环流圈, 在强季风期南海地区有明显的上升距平气流, 它在对流层高层, 一支流向南半球并在南半球热带地区下沉, 另一支则向北在高空与北来的冷空气在 20°N 以北相遇。而在弱季风期, 距平环流的方向几乎与图 6c 完全相反。不仅在南海地区出现了强的下沉距平, 且南风距平延伸至 20°N 以北。由此可见, 在强的南海季风期, 异常环流加强了南海经带上平均的局地 Hadley 环流; 而在弱季风期, 局地 Hadley 环流偏弱。

此外, 在南海强季风期, 极地环流圈明显偏弱; 30°N 附近低层为偏北的距平风, 可见北方冷空气偏强; 长江流域对流层低层为下沉距平气流, 不利于其降水; 在南半球澳大利亚西部为辐散的下沉距平气流, 这表明其上空的澳大利亚高压偏强。在弱季风期这些地区的情形则正好相反。这也同前面分析结果一致。

总之, 从南海经纬度上垂直环流的分析中可知, 南海地区对流活动的持续异常可以通过持续性异常垂直运动影响到更大范围地区的环流状况, 它不仅影响中高纬度的环流状况, 而且在纬圈方向上影响大西洋地区及印度洋地区。

4 南海夏季风强弱持续异常期的能量

为了进一步探讨南海强弱夏季风持续异常的物理结构, 进行了平均动能和扰动动能的合成分析。由于平均动能实际上是反映时间平均气流风速的大小, 南海强弱季风期的平均动能变化特征在流场的分析中实际上已作了讨论, 此处把重点放在扰动动能上。扰动动能定义为

$$E'_k = \frac{1}{2} (\overline{u'^2} + \overline{v'^2}),$$

符号“-”代表对时间的平均, “*”代表纬偏值。

4.1 扰动动能水平分布

图 7 是对流层低层 850 hPa (a) 和高层 200 hPa (b) 强弱南海季风期扰动动能差值图。在对流层低层, 强弱季风期扰动动能之间最大的差值是发生在亚洲季风区, 强的差值区从东非一直延伸至菲律宾群岛, 中心值高于 $30 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$, 这说明在南海强季风期, 季风区风动能变化很大; 而在弱季风期, 风场的扰动则较弱。另一个值得注意的是在 20°N 以北地区的扰动动能负差值区, 该地区在南海强季风期风场相对稳定; 弱季风

期则相反。此外,赤道中太平洋在南海强季风期为一扰动动能增强区,对照图 1 和图 3 可发现,该地区低层为强的东风距平气流及 OLR 正距平区,信风偏强,对流活动偏弱;而在弱季风期则正相反。且该地区的合成分析都具有较高的信度,这说明在南海强季风期,该地区较强的信风气流中,扰动发展较强;而当信风较弱时(对应南海弱季风),扰动则偏弱。

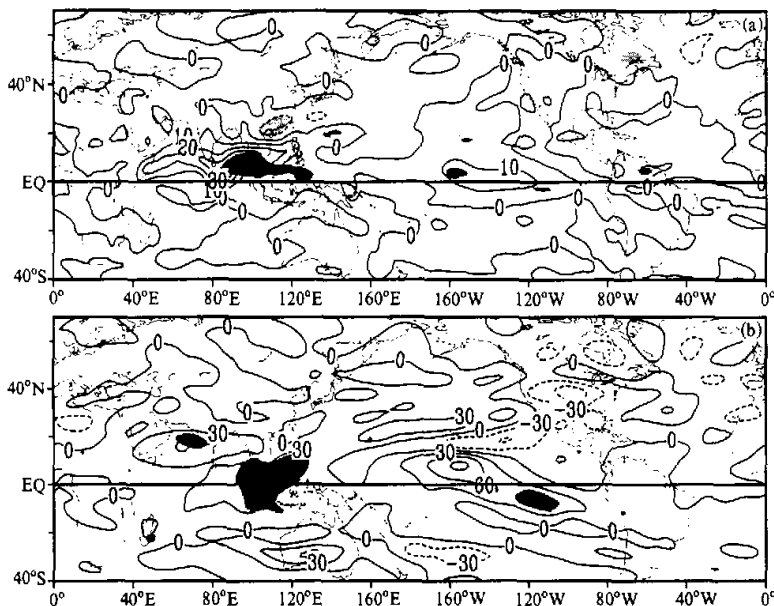


图 7 南海强弱季风期在对流层低层 (a, 850 hPa) 及高层 (b, 200 hPa) 的扰动动能差值图 (单位: $\text{m}^2 \text{s}^{-2}$)
阴影区为达到 0.05 以上信度的区域

在南海强季风期东半球对流层高层,北半球高空西风急流上扰动动能的差异不是很大,而主要的差异是发生在热带和副热带地区,特别是在亚洲季风区。从印度西部至中南半岛南部有一显著的正差值扰动动能区,此区域扰动动能的增加有利于南亚高压南侧的东风急流以及亚洲东部沿岸偏东北风的增强。而在弱季风期时,季风扰动则偏弱,相应的风场亦偏弱。

对比中还发现,在南海强弱季风期对流层高层平均动能(图略)和扰动动能差值图上都有一从热带中西太平洋出发向北美及大西洋传播的正负相间的波列状的存在,这说明与南海夏季风持续异常相伴随,对流层高层能量变化的影响范围是很大的。

4.2 扰动动能垂直结构

为了深入考察动能变化的结构,沿南海地区做了平均动能和扰动动能的南北向和东西向的垂直剖面图。在北半球南海经度带上,从平均动能的差异图(图略)上看,强弱南海季风的平均动能差异不明显,而扰动动能的差异则较清楚。南海地区上空,对流层高低层都有一个大的正差值区(图 8a),这说明在南海强季风期,不论是在对流层高层

还是低层, 季风区扰动动能都偏强, 而在弱季风期则相反。

在南海纬度带的东西向剖面图 (图 8b) 中清楚显示, 在南海强季风期, 从阿拉伯海至菲律宾亚洲季风区的对流层低层, 扰动动能偏强; 而在高层, 从阿拉伯海至印度的扰动动能大大增强, 这说明该地区的高空东风急流上的扰动发展十分活跃。弱季风期特征则完全相反。

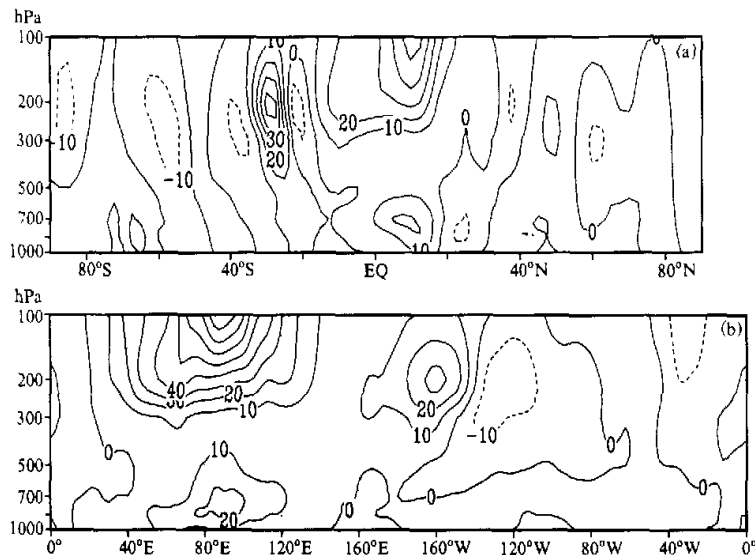


图 8 南海强弱季风期沿南海经带 (a, $105^{\circ}\sim 125^{\circ}\text{E}$) 及纬带 (b, $5^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{N}$) 的扰动动能差值垂直剖面图

动能的分析明确显示, 南海地区季风的强弱, 特别是其出现持续异常时, 它所对应的动能变化是全球性的, 主要表现在几个主要急流风系上扰动的变化, 特别是热带地区的大尺度风系上。在南海强季风期, 不仅季风区动能增加, 扰动也发展; 在弱季风期则相反。

5 南海夏季风持续异常与大气热状态

当南海夏季风处于持续异常状态时, 其持续性垂直运动的维持必然与大气热状态有密切关系, 而且季风期较长时间的水汽凝结潜热释放反过来也会影响到大气热源分布。大气热状态的改变可能是联结季风与大范围环流关系的一种纽带。下面我们就试探讨二者之间的关系。

首先看看热带地区的大气热源分布情况。对比相同情况下 (强或弱季风) 的垂直积分视热源 $\langle Q_1 \rangle$ (图 9a, b) 和视水汽汇 $\langle Q_2 \rangle$ (图 9c 或 d) 异常分布可以发现, 二者的异常中心在量值和分布上都十分一致, 这说明其热源的异常主要是凝结潜热释放的结果。然而, 强弱南海季风期加热场的异常分布却近于相反, 差别最显著的区域是在南海及其周边地区。在强季风期, 西起孟加拉湾东至热带西太平洋为正距平区, 其显著的异

常中心位于南海, 中心值超过 30 W m^{-2} , 这表明南海季风区热源强度显著偏强, 这正对应 OLR 负距平 (图 1a) 的强对流活动区; 相反, 在弱季风期, 从阿拉伯海至热带西

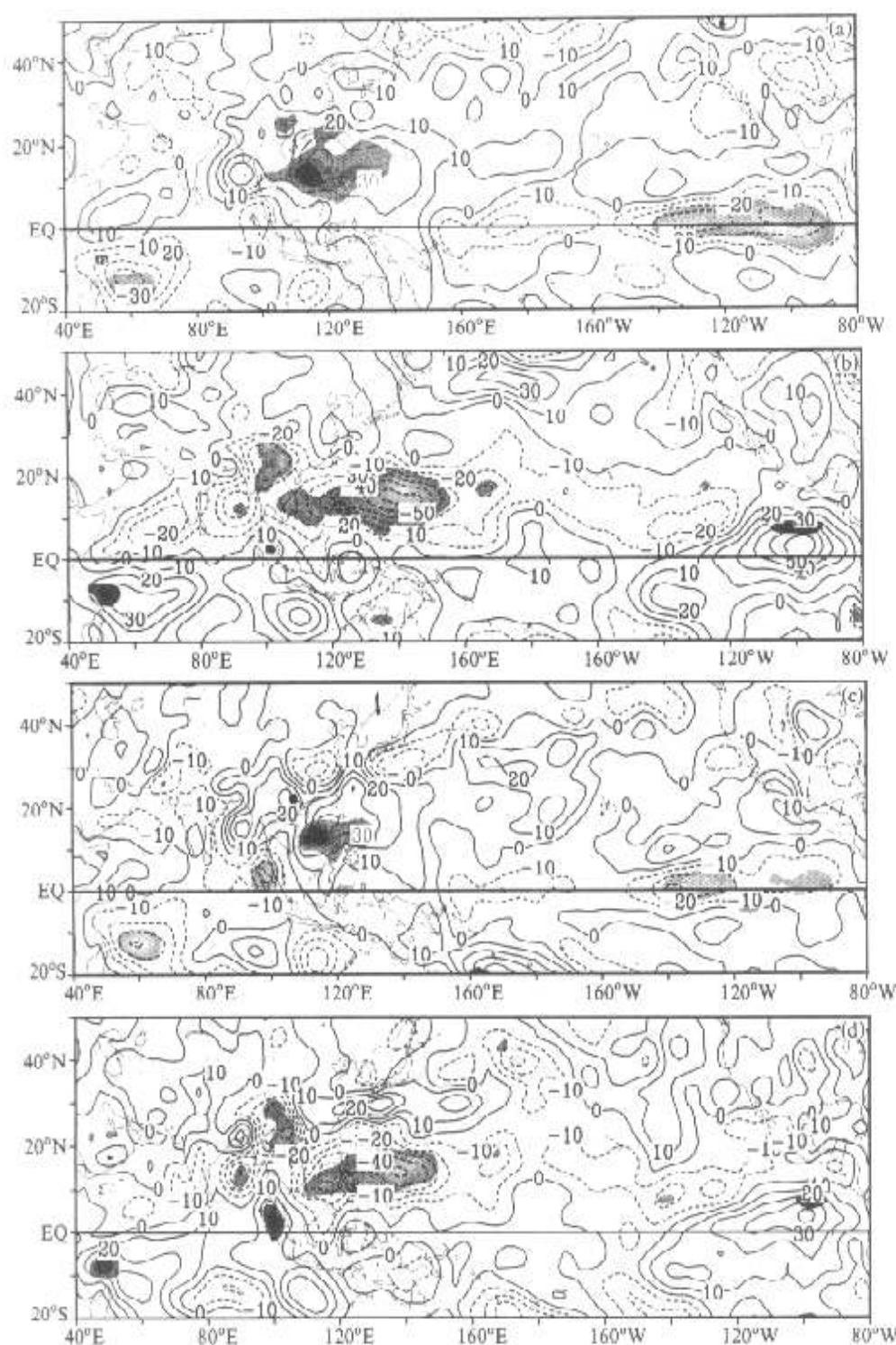


图9 南海强季风期垂直积分的视热源 $\langle Q_1 \rangle$ 和视水汽汇 $\langle Q_2 \rangle$ 的距平合成图 (单位: W m^{-2})
(a) 强季风期, 视热源; (b) 弱季风期, 视热源; (c) 强季风期, 视水汽汇; (d) 弱季风期, 视水汽汇
阴影区为达到 0.05 以上信度的区域

太平洋大范围区域为负距平区,显著的最大值中心位于热带西太平洋,中心值低于 -50 W m^{-2} 。南海季风区及热带西太平洋为显著的大气热源减弱区,极好地对应了OLR正距平(图1b)的对流活动偏弱区。

热带大气热状态另一重要差异区域是在赤道东太平洋:在强季风期为显著的异常冷源,此处亦为明显的下沉距平气流区;弱季风期正好反之。此外,印度季风系统也存在明显差别。在南海强季风期,南半球马斯克林群岛附近冷源偏强,印度半岛南部 $\langle Q_1 \rangle$ 为正距平,热源偏强,对流活动也偏强,对应印度季风偏强;而在弱季风期情形正相反。这进一步说明南海夏季风与印度季风强度变化是较为一致。

值得注意的是在北半球太平洋副热带高压所对应的下沉辐射冷却区。在强季风期,太平洋副热带高压的东环为负距平区,强度偏强,而其西环则为正距平区,强度偏弱;弱季风期情形正好相反。这与前面分析的结果亦相同。

另一个值得注意的区域是沿长江流域至日本一带。在南海强季风期 $\langle Q_1 \rangle$ 为正距平, $\langle Q_2 \rangle$ 为负距平,这表明该地区对流活动偏弱,降水偏少,下垫面的辐射和感热输送占优势;在弱季风期, $\langle Q_1 \rangle$ 和 $\langle Q_2 \rangle$ 都为正距平,这说明该地区对流活动偏强,凝结潜热释放提供异常多的热量,降水偏多。这进一步十分清晰地给出了南海夏季风强度变化与中国江淮流域降水相反变化的关系。

总之,南海强弱季风期对流活动的异常不仅仅影响南海及其周边地区的大气热状态分布,在北半球大部分区域的大气热状态随之都有异常的发生,南海夏季风持续异常对大气热源分布是有很大影响的。另外,大气热状态的异常对大气环流会产生很大的影响。Hoskins和Rodwell^[5,6]的工作已论证了亚洲季风的潜热释放对其上游大尺度系统的影响。从南海季风持续性异常所产生的热源异常来看,它必然也影响到大气环流的状态,因此,大气热源异常可能是联结南海季风对大尺度环流影响的一个重要机制。这为我们进一步探讨南海夏季风持续异常所产生的影响提供了一个很好的启示。

6 结论

本文通过对比分析强弱南海夏季风持续异常所对应的大气环流、大气热源分布等的异常特征,指出南海夏季风异常与亚洲季风和降水有很大的关系:南海夏季风的强度变化与印度季风一致,但与中国东部降水强度变化相反。另外,南海夏季风持续期长的活跃和中断过程不仅与热带和副热带流场(越赤道气流、西太平洋副热带高压的强度和位置变化、Hadley环流和Walker环流的特征等)有关,而且还反映出北半球西风带环流的调整,热带外大尺度环流对南海夏季风的异常确实是有响应的。在南海强季风期,不仅季风区动能增加,而且扰动也发展;在弱季风期则相反。这种变化是全球性的,特别表现在北半球中高纬西风带、热带东风带及各主要风系上。研究还指出,南海地区强而活跃的对流活动所释放的潜热不仅可改变局地大气热状态,而且这种加热场的异常又可通过垂直环流引起其他地区的热源分布异常,从而导致更大范围的环流异常。

本文对南海强弱季风持续的特征及其对全球环流的影响给出了一些初步结果。进一步的分析将在第二部分的数值试验中进行探讨。

参 考 文 献

- 1 Tao Shiyun and Chen Longxun, A review of recent research on the East Asian summer monsoon in China, *Monsoon Meteorology*, Eds.: C.-P. Chang and T. N. Krishnamurti, Oxford University Press, 1987, 60~92.
- 2 陈隆勋、朱乾根、罗会邦等, 东亚季风, 北京: 气象出版社, 1991, 34~36, p244.
- 3 唐建华、罗会邦, 大气热源的结构和东亚夏季风形成中热源与热带环流的关系, 气象科技论文集, No.10, 北京: 气象出版社, 1987, 103~115.
- 4 何金海、罗京佳, 南海季风爆发和亚洲夏季风推进特征及其形成机制的探讨, 亚洲季风研究的新进展, 1996, 74~80.
- 5 Hoskins, B. and M. Rodwell, A model of the Asian summer monsoon. Part I: the global scale, *J. Atmos. Sci.*, 1995, **52**, 1329~1340.
- 6 Hoskins, B. and M. Rodwell, A model of the Asian summer monsoon. Part II: the cross-equatorial flow and PV behavior, *J. Atmos. Sci.*, 1995, **52**, 1341~1356.
- 7 乔云亭, 东亚季风指数的定义及其与我国气候和季风环流的关系, 中国科学院大气物理研究所硕士学位论文, 1999, p5.
- 8 张利平, 南海夏季风的年际变化及其对北半球天气和气候影响的研究, 中国科学院大气物理研究所硕士学位论文, 1997.
- 9 谢安、刘霞、叶谦, 南海夏季风爆发的气候特征, 亚洲季风研究的新进展, 1996, 132~142.
- 10 戴念军、谢安、张勇, 南海夏季风活动的年际和年代际特征, 气候与环境研究, 2000, **5**(4), 363~374.
- 11 李崇银、张利平, 南海夏季风活动及其影响, 大气科学, 1999, **23**(3), 257~266.

Characteristics of Persistent Anomalies of the South China Sea Summer Monsoon and Its Influences on the Global Atmospheric Circulation

Ma Shujie and Sun Shuqing

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract The characteristics of persistent anomalies of the South China Sea Summer Monsoon (SCSM) and its relationship with atmospheric circulation are studied by using OLR and NCEP/NCAR reanalysis data (1980~1996). Comparative analysis shows that the variation of the large scale circulation (including the subtropical high, Hadley and Walker cells), is basically contrary between the strong and weak SCSM. The persistent anomalies of SCSM not only relates to the tropical and subtropical large scale flow fields, but also reflects the adjustment of the northern extratropical circulation. Moreover, the response of large scale circulation in the Northern Hemisphere to the SCSM persistent anomalies is further evidenced. The contrary distribution of kinetic energy for the strong and weak SCSM, especially in their persistent anomaly period, almost covers the whole globe. The apparent heat source and moist sink illustrate a totally different features for those two periods. The intense and persistent convection resulting from strong SCSM would cause a remarkable change of heat source in the atmosphere, and then influence the vertical circulations.

Key words: South China Sea; summer monsoon; large scale circulation; atmospheric thermal regime.