

南海夏季风持续异常的特征 及其对全球环流的影响

II. 数值试验*

马淑杰 孙淑清

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

摘 要 利用 T42L9 全球大气环流谱模式进行数值试验, 以揭示南海夏季风强度异常的特征及其影响。控制试验结果表明, 该模式不仅能够很好地模拟出气候平均的西风带槽脊和高低空气流分布以及它们的季节性变化, 而且对于与亚洲季风有关的各个主要系统, 如南亚高压、副高进退及越赤道气流等都有较强的模拟能力。在亚洲季风区及热带太平洋这一大范围区域的大气内部热源异常强迫下, 模式显示出了南海夏季风持续异常的特征、北半球热带外环流的响应以及亚洲季风区降水异常分布。南海夏季风长时间强度异常所引起的大气内部热源异常, 一方面通过三维垂直环流的异常联结着南海夏季风对北半球热带内外环流的影响, 另一方面它又通过持续异常期的波列传播, 即能量的传播, 不仅影响我国长江流域降水, 还会逐渐影响到北半球中高纬环流结构。这样西风带环流形势将会发生相应的变化和调整, 南海夏季风持续异常影响到了北半球大气环流和天气气候的变化。

关键词: 南海夏季风; 大气环流; 数值试验

1 引言

自 20 世纪 80 年代以来, 对南海夏季风爆发及其维持机理的研究越来越受到国内外特别是南海周边国家和地区气象工作者的高度重视^[1,2]。然而相对而言, 对南海夏季风强度异常及其影响的研究还不是很多。已有研究表明^[3,4]: 在南海和西太平洋地区海表增温以及大量积雨云发展, 通过遥相关过程可影响大范围地区的天气和气候。李崇银等^[5]的数值试验结果表明, 在夏季, 南海季风异常(强或弱)通过由东亚经北太平洋到美洲的 EPA 波列向北伸展程度的不同, 对大气环流和气候变化有重要影响。我们的诊断分析结果表明^[6], 与南海夏季风持续异常现象相伴随, 大气环流在许多方面(大尺度环流的各个系统、大气的低频扰动以及大气的热状态)都发生了异常的响应, 南海夏季风的持续异常不仅与印度季风和中国江淮流域降水有关系, 而且还可通过持续性垂直运动及其潜热释放影响更大范围的大气环流状况, 大气热源的分布及其变化可能是联结南海夏季风强度异常对大尺度环流影响的纽带之一。

2002-05-10 收到, 2002-09-17 收到修改稿

* 中国科学院知识创新重点项目 ZXCX2-SW-210 和 ZXCX3-SW-213 以及国家自然科学基金资助项目 40135020 共同资助

为了进一步阐述南海夏季风持续异常对全球环流的影响, 以及探讨大气热状态对这种持续异常的作用, 尽可能深入研究南海夏季风持续异常的物理机制问题, 本文将通过对与南海夏季风强度异常相应的热带大气异常加热场的变化, 采用中国科学院大气物理研究所纪立人等^[7]开发的 T42L9 全球大气环流谱模式进行数值试验研究, 以考察南海夏季风持续异常的特征及其影响的物理过程。

本文首先提出数值试验方案, 并简单介绍控制试验结果, 然后考察与南海季风强弱相对应的大气热状态异常所产生的环流异常特征及其影响。所用的资料包括: 气候平均的 5 月 1 日至 5 日 NCEP/NCAR 再分析资料, NCEP/NCAR 气候平均的 5~7 月月平均高度场和流场以及气候平均海温场。

2 试验方案

该 T42L9 全球大气环流谱模式是在 ECMWF 模式动力框架基础上, 通过引用不等间距仿地形 σ 坐标下标准层结近似方法构造的, 其动力框架和物理过程参见文献 [7]。

以模式对平均气候态的模拟作为控制试验 (CTL), 即利用气候平均的 5 月 1 日至 5 日资料作为 5 个初始场, 在逐月变化的气候平均海温条件下, 模式积分 90 天, 并对 5 个试验结果进行集合, 得到 5~7 月月平均场。敏感性试验的步骤基本上与 CTL 相同, 唯一的差别就是在持续异常时段内加入异常热源强迫。试验中大气异常热源强迫场是参照诊断分析中得到的强、弱南海季风期异常大气热状态合成值转换成加热率后的结果^[6] (图 1)。由于该值是由合成分析得到的, 而试验计算的背景场为多年平均的流场,

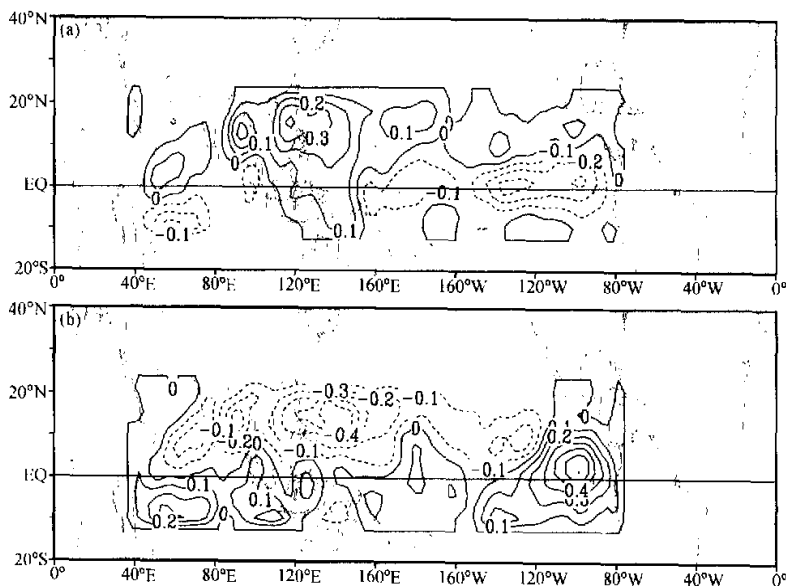


图 1 亚洲季风区和热带太平洋区域的异常强迫热源示意图 (单位: $^{\circ}\text{C d}^{-1}$)

(a) 强季风异常热源; (b) 弱季风异常热源

因此为了突出南海强（弱）季风的影响，在模式中将把实际异常热源的强度加强作为异常强迫场。同时考虑到模式本身对异常强迫的自调整时间（4~5 天）^[8]，故把持续强迫时段内第 6 天开始及其以后的模拟结果做持续异常过程响应分析。具体的敏感试验方案见表 1。

表 1 敏感性试验方案

组	试验名称	异常强迫源	强迫强度	强迫范围	强迫时间
1	AM&PS	亚洲季风区和热带太平洋	实际强异常热源强度×6	40°E~80°W, 12°S~20°N	5 月 11~30 日
	AM&PW		实际弱异常热源强度×6		
2	AM&PS1	同上	实际（除南海外）强异常热源强度×6，而南海异常热源强度×12	40°E~80°W, 12°S~20°N 南海区域：105~125°E, 5~20°N	5 月 11~30 日
	AM&PW1		实际（除南海外）弱异常热源强度×6，而南海异常热源强度×12		

3 模式对气候态的模拟—控制试验

大气环流模式对平均状态的模拟以及与其相应的实际大气对比能反映出模式的基本性能，从而可作为深入评估模式的模拟能力及判断其可靠性程度的一个依据和前提。下面简单介绍模式模拟的环流平均状态，着重介绍与南海夏季风相关联的各个系统。

3.1 500 hPa 高度场的环流形势

图 2 是 CTL 的 5~6 月月平均 500 hPa 位势高度场。5 月模式模拟的北半球中高纬槽脊位置（图 2a）与实际气候平均态（图略）非常一致，6 月欧亚大陆上空也呈现两

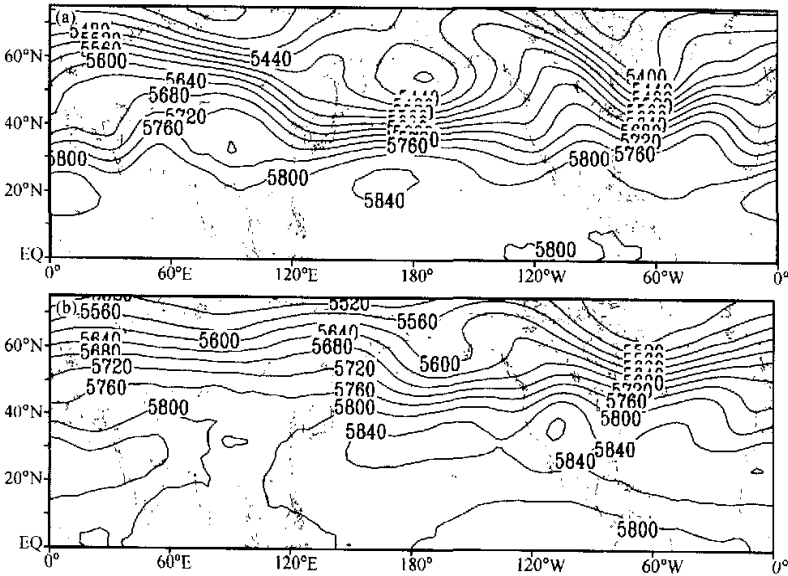


图 2 CTL 模拟的 5 月 (a)、6 月 (b) 500 hPa 月平均位势高度场（单位：位势米）

脊—槽的形势(图 2b)。这说明该模式对北半球西风带环流形势有较好的刻画。此外, 模式还模拟出了太平洋副热带高压随时间加强北进的活动规律。但从 CTL 与实际气候平均的 500 hPa 位势高度场差值图上可见(图略), 6 月模拟较实际的差异主要表现在副热带至中纬度地区, 副高偏弱, 位置却偏西偏北。而在 5 月, 其差异则非常小, 这说明该模式前 30 天的模拟结果较后 30 天要好得多。

3.2 高低层流场上的季风和季风系统

图 3 是 CTL 的 850 hPa 对流层低层月平均流场图。在 5 月(图 3a), 南海及台湾海峡地区受反气旋环流(西太平洋副热带高压)控制, 东非及 105°E 处虽有较弱的越赤道气流, 但赤道地区的西风气流尚未建立, 季风气流还不明显。至 6 月(图 3b), 副热带高压主体明显北推, 并已完全撤离南海。从索马里地区东折的热带西风向东经阿拉伯海影响印度至我国东部地区, 构成明显的季风气流。7 月(图 3c), 亚洲季风环流系统仍清晰可见。

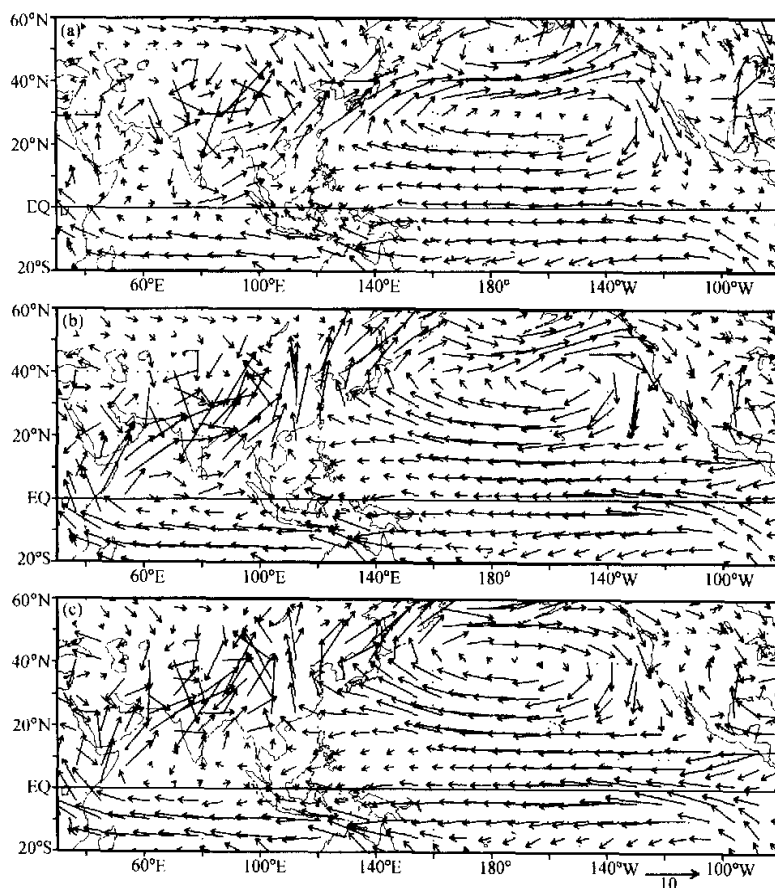


图 3 CTL 模拟的 5 月 (a)、6 月 (b)、7 月 (c) 月平均 850 hPa 流场(单位: m s^{-1})

然而,相对于实际气候平均流场(图略),索马里越赤道气流以及其转向的西南季风皆偏弱(北风及东风距平),因而南海季风与印度季风的强度变化也比气候值要小。总体来说,模式积分前30天的结果较实况相差不多,差值风都很小,而后60天在量值上有明显差异。

在CTL的5~7月200 hPa月平均流场图(图4)中,5月(图4a)南亚高压主体位于中南半岛;6月(图4b)已十分清楚,且向西向北移动,东扩范围加大,脊线约在30°N附近;7月(图4c)则略有北移。由此可见,模式模拟的南亚高压季节性变化非常清楚。此外,南亚高压南侧的东风气流在6月显著加强,此时太平洋赤道东风也变强,大陆东部西风急流出口区南侧为辐散气流,这有利于长江流域降水;7月赤道东风加强并维持,30°N大陆东岸附近高空仍有辐散气流的存在。这些模拟结果都与实际高空流场的主要特征(图略)非常一致。

从上述分析可见,该模式不仅能够很好地模拟出气候平均的西风带槽脊和高低空

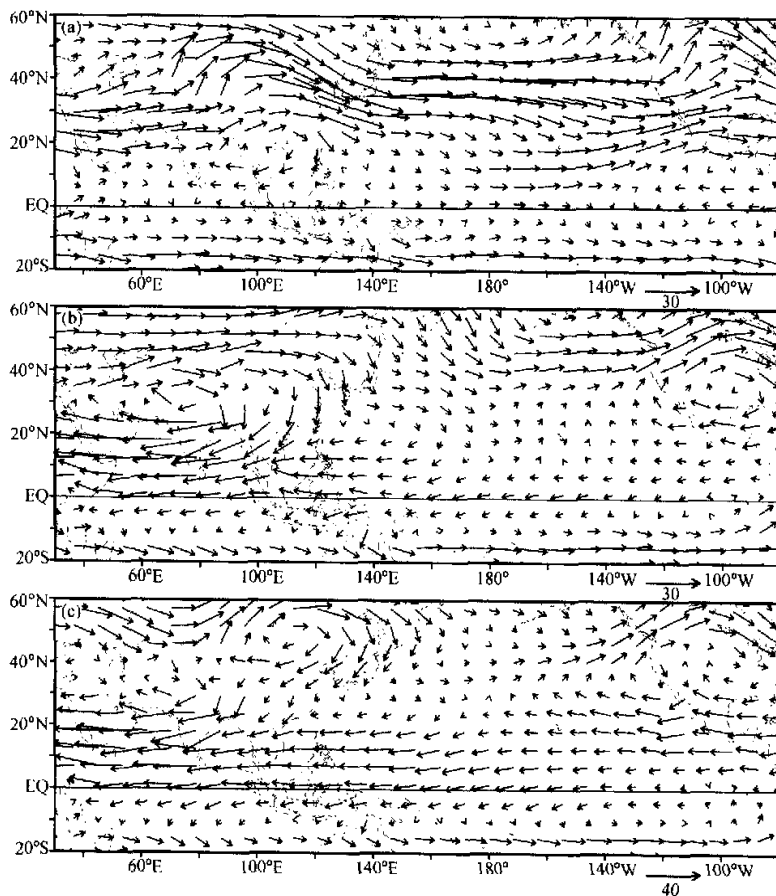


图4 CTL模拟的5月(a)、6月(b)、7月(c)月平均200 hPa流场(单位: m s^{-1})

气流分布以及它们的季节性变化, 而且对于亚洲季风的建立和与之有关的各个主要系统, 如南亚高压、副高进退及越赤道气流等都有较强的模拟能力, 这为我们以后进一步试验提供了可信的基础。

4 季风区大气热源异常影响的试验

诊断分析^[6]中已指出, 南海地区强而活跃的对流活动所释放的潜热不仅在局地出现显著的大气热状态异常状况, 而且热带内外三维流场也呈现明显异常, 大气热源异常可能是南海季风强度异常对大尺度环流影响的一个联结纽带。为此在这一节中将通过敏感性试验, 以考察季风区大气热状态的异常与南海夏季风持续异常的关系及其影响。

下面首先分析亚洲季风区及热带太平洋这一大范围区域的异常热源强迫所产生的总体效果 (第一组 AM&PS 和 AM&PW 试验)。

4.1 异常强迫期环流的响应

4.1.1 对流层高低层环流异常特征

先来考察 5 月 16~30 日这一强迫时段内低层流场变化情况。图 5a 和 5b 分别是试验 AM&PS 的 850 hPa 流场平均图及其与 CTL 的差值图。从图 5a 可见, 在强的季风区热源强迫下, 整个热带季风系统清晰可见, 东非越赤道气流向东折向阿拉伯海地区, 印度半岛南端、孟加拉湾直至南海皆为西风控制, 此时西太平洋副热带高压完全撤出南海, 南海夏季风已全面爆发。在其距平图上 (图 5b) 所显示的距平气流与图 5a 的季风气流同向, 这说明在强季风异常热源强迫下, 不仅南海季风强, 爆发相对较早, 而

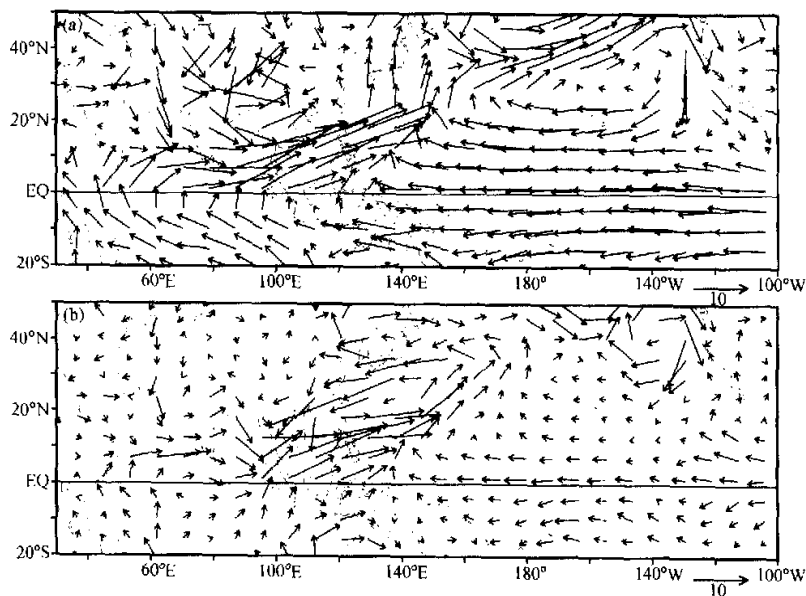


图 5 5 月 16~30 日试验 AM&PS 的 850 hPa 平均流场 (a) 及其与 CTL 的差值分布 (b) (单位: $m s^{-1}$)

且也有利于印度季风偏强。赤道中东太平洋上为极强的东风距平, 信风偏强。在弱季风异常热源强迫的试验 AM&PW 中, 情况则完全相反(图略)。热带地区低层流场的异常特征与强、弱南海季风期的诊断分析结果^[6]完全一致。这说明在南海强(弱)季风异常热源强迫条件下, 南海季风出现了偏早爆发(偏晚爆发)的强(弱)持续异常过程。由此可知, 大气内部热源强迫对南海夏季风强度异常的持续维持起重要作用。

在两个试验的高层流场纬向风差值图中(图 6), 青藏高原北部为西风距平(正), 南侧为东风距平(负)。这说明在强季风热源强迫时, 南亚高压偏强, 亚洲季风区经带上的东风急流也偏强。 35°N 附近东亚高空西风急流出口处为正距平区, 即东亚高空西风急流也加速, 这样使得在急流出口南侧易形成异常反气旋切变, 此异常流型有利于季风区的强对流活动。反之在弱季风热源强迫下, 情形则正相反。

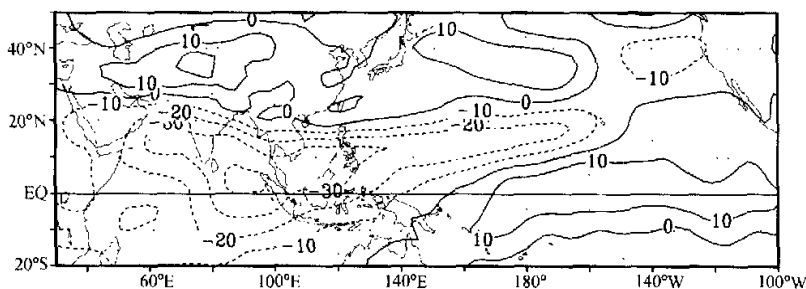


图 6 试验 AM&PS 和 AM&PW 的 200 hPa 纬向风差值(单位: m s^{-1})

从两个试验 500 hPa 位势高度场变化可见(图略), 在强季风加热期, 西太平洋副热带高压已完全撤出南海, 而在相反情况时西太平洋副热带高压脊则西伸进南海。从西风带环流形势看, 在强季风热源强迫下, 欧亚大陆整个中纬度环流形势较平直, 东亚大槽强度偏弱; 而在弱热源时, 情形则相反。这些都与诊断分析结果^[6]相同。

另外, 在北美洲及大西洋上对热带地区异常热源强迫也有响应。在强季风加热期, 北美西岸脊、北美大槽明显较弱季风加热时偏强, 而大西洋中部脊则偏弱。南海及其附近海域热源强迫所引起的远距离环流异常的响应将在下面进一步探讨。

4.1.2 垂直环流结构

季风区热源强迫是如何影响中高纬甚至更大范围的环流变化呢? 这是值得深入探讨的问题。下面我们从三维流场的变化来进行讨论。

图 7 代表了沿南海经度带上两个试验南北向平均垂直环流的差值。从图中可以看到, 在强加热区的纬带上出现强上升差值气流, 它在高空辐散, 一支向北, 并在 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{N}$ 间的地区下沉, 另一支向南, 加强了高空的越赤道气流。反之当加热区为负异常时, 环流呈现相反方向变化。这种异常的南北向垂直环流结构必然影响到中高纬环流及相关地区的降水。

图 8 反映了沿南海纬度带上两个试验东西向平均垂直环流的差值。图中清楚显示, 在南海及西太平洋地区出现了大片的强上升距平气流, 而在热带东太平洋下沉。这说明在强季风热源强迫时, Walker 环流偏强, 反之则弱。这也与诊断分析结果^[6]相同。

由以上分析可见, 当亚洲季风区出现异常大气热源强迫时, 其影响是大范围的。

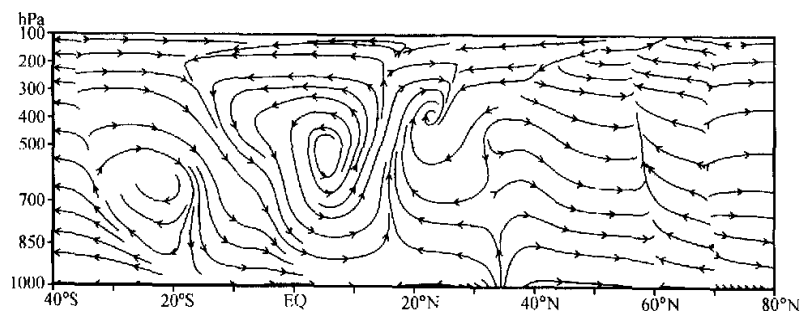


图7 沿南海经度带(165°~125°E)上试验 AM8-PS 和 AM8-PW
平均垂直环流的差值

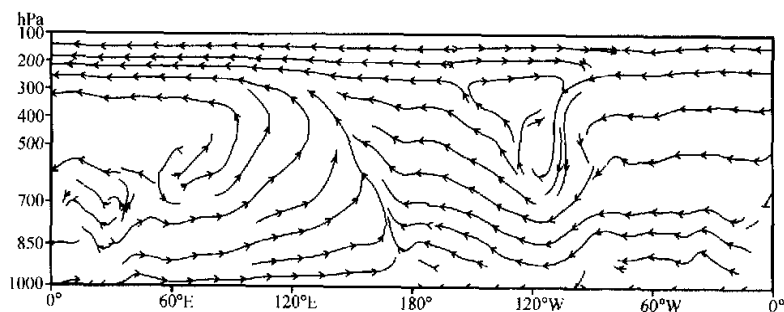


图8 沿南海纬度带(5°~20°N)上试验 AM8-PS (a) 和 AM8-PW (b)
平均垂直环流的差值

不仅低层季风区流场有明显的响应,三维流场以及北半球热带外环流也出现显著的改变。这种变化势必影响到大范围的天气气候。

4.1.3 降水的异常分布

图 9a 和 9b 分别是在强迫加热时段内两个试验与 CTL 的降水差值分布。在南海和西太平洋有强加热时,该地区降水显著偏多,同时印度地区降水也偏多,这与加热的分布是呼应的。而我国江南大部分区域为负距平区,降水偏少。反之,南海和印度地区降水皆偏少,长江中下游地区降水偏多,而在华南降水偏少。这与诊断分析的降水异常分布^[6]非常相似。这种降水异常分布与上述垂直环流的异常特征也是十分一致的。

总之,在亚洲季风区及热带太平洋这一大范围区域大气内部热源异常强迫下,模式显示出了南海夏季风持续异常的特征、北半球热带外环流的响应以及亚洲季风区降水异常分布。从三维流场的响应还可看到,异常热源所产生的 Walker 环流和 Hadley 环流的变化,在季风环流、热带外大尺度流场的变化和对降水的影响中起了重要作用。这些结果与诊断分析的结论是一致的。热源强度异常的持续维持及其所带来的响应必然将影响到后期的环流形势和天气气候变化。

4.2 季风区加热对后期环流的影响

由于本模式是由中期数值预报模式发展而来,考虑到后期影响研究的可靠度,故

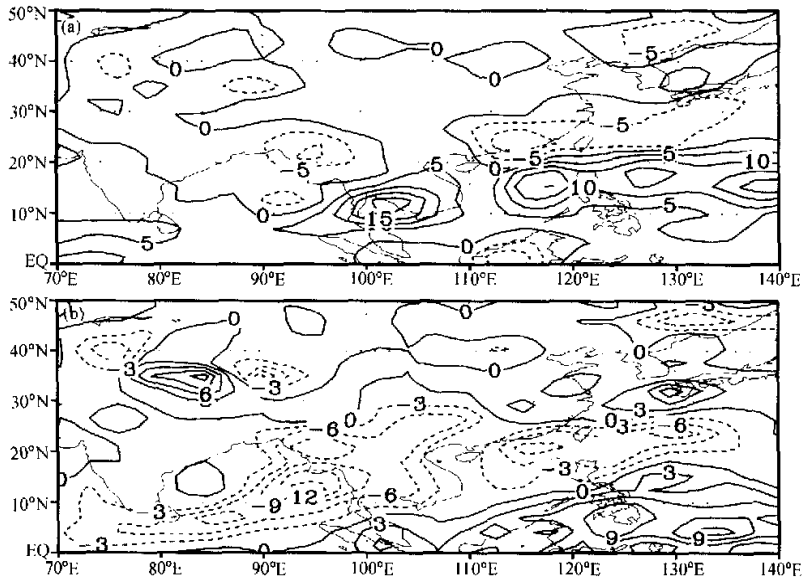


图9 强迫加热时试验 AM&PS (a) 和 AM&PW (b) 与 CTL 的降水差值 (单位: mm d^{-1})

只考察强迫时段后一个月——6月的异常情况。

4.2.1 环流场的变化

图 10a 和 10b 分别是强、弱季风异常热源强迫条件下 6 月 850 hPa 月平均流场的异常分布。在强季风加热强迫的后一个月 (图 10a), 南海地区为异常西南风, 南海季风偏强。与此同时, 索马里越赤道气流偏强, 印度地区也出现了偏西风距平, 这表示印度季风亦偏强。相反情况时 (图 10b), 南海地区和印度地区都处于偏北风距平之下, 同时索马里越赤道气流偏弱, 南海季风与印度季风强度变化也是一致的, 皆偏弱。

在强、弱加热强迫后的 6 月 500 hPa 位势高度场差值图 (图略) 上, 强加热时, 西太平洋副热带高压较弱 (负距平区), 特别是其西端; 弱加热时则正好相反。中纬度东亚大槽区在强加热时为正距平, 而其上游平均长波脊的位置上, 差值较小, 这说明环流结构较平直; 而在弱加热时, 环流经向度加大。这些都与诊断分析结果^[6]完全一致。

4.2.2 对我国江淮流域降水的影响

诊断分析^[6]中, 我们已经看到, 南海季风的强弱活动与我国长江流域降水大体呈反相关的关系。在热带热源强迫的后期, 我国长江流域的环流和降水也发生了显著变化。在降水量差值图中 (图 11) 可明显看到, 江南至华南地区为正距平区, 而在江淮流域出现了一个清楚的负距平带。虽然它的中心略微偏北偏东, 但是与南方异常降水反号分布还是很明显的。这就是说, 在南海地区发生强加热后期, 江淮流域降水偏少; 反之, 江淮流域降水偏多。

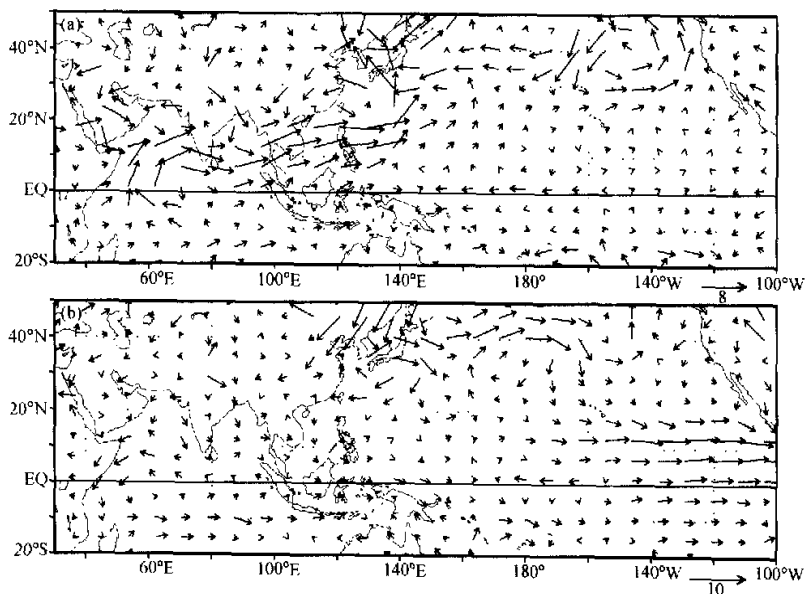


图 10 南海强 (a)、弱 (b) 季风异常热源强迫后期 6 月 850 hPa 月平均
流场异常分布 (单位: m s^{-1})

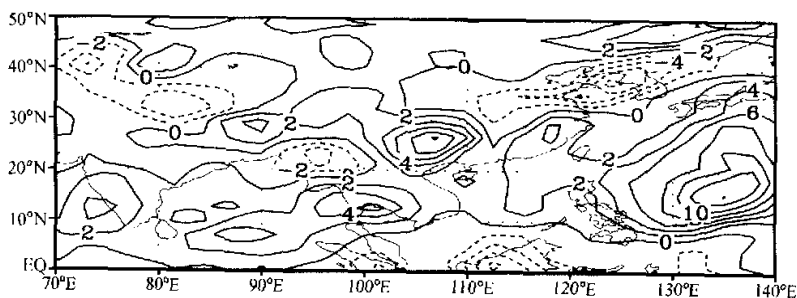


图 11 强、弱季风加热强迫后的 6 月降水量差值 (单位: mm d^{-1})

5 南海地区强加热对环流的影响

通过以上分析可以认为,以南海为中心的大范围异常热源不仅对南海夏季风持续异常的维持起重要作用,而且它可能是联结南海季风对大尺度环流影响的一个重要机制。然而南海季风持续异常本身对大尺度环流的影响以及影响路径还不是很清楚,因此有必要进一步探讨在热带异常热源强迫这一大背景条件下,突出南海局地热源异常是如何影响北半球热带外地区的。为此,采用敏感试验方案 AM&PS1 和 AM&PW1。此试验中的异常热源强迫强度为:在保持除南海地区外,其他强迫区域异常热源强度

不变的情况下,南海地区异常热源都为实际强、弱季风月异常热源强度的12倍。仍采用集合试验方法,并在持续异常时段内加入外源强迫,模式积分90天。

图12a和12b分别是敏感性试验AM&PS1和AM&PS以及AM&PW1和AM&PW各自的500 hPa流场差值。北半球热带外环流在南海地区异常热源改变的情况下同样也发生了全球性的响应。在南海强加热时(图12a),南海地区为异常气旋环流区,在日本附近、千岛群岛南部、阿留申群岛南部以及阿拉斯加湾和北美东部相继为反气旋式和气旋式距平环流交替出现,这样从南海季风区出发,有一从低纬向高纬传播的正负气旋相间的波列;而在负加热时(图12b),从南海南部出发,经过南海北部、日本海以东50°N以南的北太平洋区域直达北美中西部,也存在一从低纬向高纬传播的正负气旋相间的波列。显然,后者的波列较前者位置偏南,并且两个波列基本上呈现完整的东亚至北美的遥相关。李崇银等^[5]的数值实验结果表明,在夏季,南海季风异常(强或弱)通过由东亚经北太平洋到美洲的EPA波列向北伸展程度的不同,对大气环流和气候变化有重要影响。本文的数值试验结果表明,即使在5月份,南海夏季风若出现持续时间较长且强度较强的异常活动时,其影响范围是广阔的。

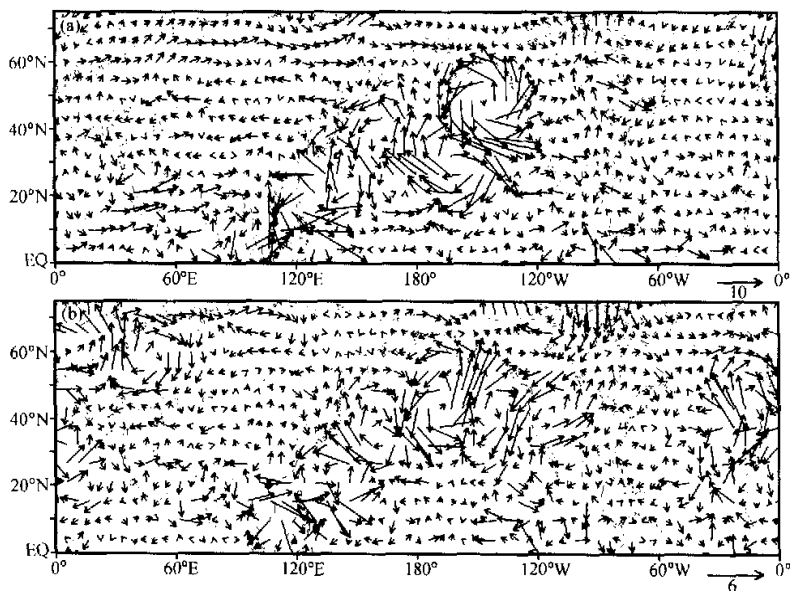


图12 试验AM&PS1和AM&PS (a)、AM&PW1和AM&PW (b)的500 hPa流场差值(单位: m s^{-1})

为了进一步说明南海地区加热异常对环流产生影响的演变过程,我们考察外源强迫5天后逐候的变化。图13是AM&PS1与AM&PS逐候500 hPa位势高度场差值。图13a为加热后第二候的情况,很明显,这是南海地区由强加热引起的高度负距平,它只向下游扩展,波列也主要在纬向传播。而到下一候(图13b),很明显开始有向中高纬传播的波列。持续强迫中断以后(图13d),向中高纬伸展的波列已十分清楚,且

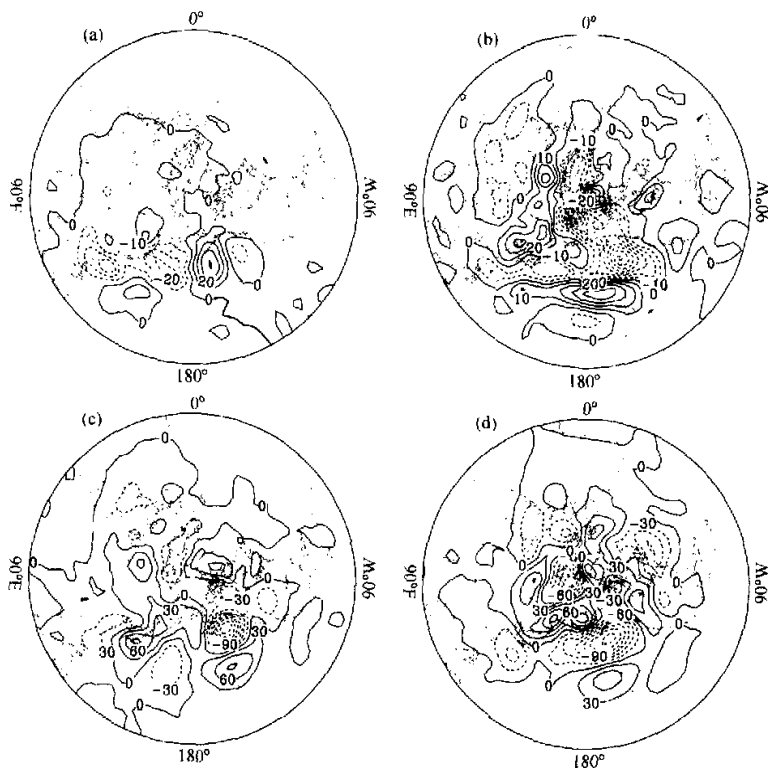


图 13 试验 AM8.PS1 与 AM8.PS 的逐候 500 hPa 位势高度场差值 (单位: 位势米)

(a) 加热后第二候; (b) 加热后第三候; (c) 加热后第四候; (d) 加热后第五候

强度也有明显的加强。这说明,南海地区季风强弱的影响不仅以波列形式在纬圈方向传播,更重要的是向中高纬传播。

总之,北半球热带外环流对南海夏季风长时间维持的强度异常确有响应。南海夏季风长时间的强度异常所引起的大气内部热源异常,一方面通过三维垂直环流的异常联结着南海夏季风对北半球热带内外环流的影响;另一方面它又通过持续异常期的波列传播,即能量的传播,不仅影响我国长江流域降水,还会逐渐影响到北半球中高纬环流结构。这样西风带环流形势将会发生相应的变化和调整,同时西太平洋副热带高压的强度和位置也在相应变化,因此南海夏季风持续异常影响到了北半球大气环流和天气气候的变化。可见,南海夏季风持续异常现象及其影响是十分值得关注的。

6 结论

(1) T42L9 全球大气环流谱模式不仅能够很好地模拟出气候平均的西风带槽脊和
高低空气流分布以及它们的季节性变化,而且对于亚洲季风的建立和与之有关的各个
主要系统,如南亚高压、副高进退及越赤道气流等都有较强的模拟能力。

(2) 在亚洲季风区及热带太平洋这一大范围区域的大气内部热源异常强迫下, 模式显示出了南海夏季风持续异常的特征、北半球热带外环流的响应以及亚洲季风区降水异常分布。

(3) 南海夏季风长时间的强度异常所引起的大气内部热源异常, 一方面通过三维垂直环流的异常联结着南海夏季风对北半球热带内外环流的影响; 另一方面它又通过持续异常期的波列传播, 即能量的传播, 不仅影响我国长江流域降水, 还会逐渐影响到北半球中高纬环流结构。这样西风带环流形势将会发生相应的变化和调整, 南海夏季风持续异常影响到了北半球大气环流和天气气候的变化。

参 考 文 献

- 1 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, 北京: 气象出版社, 1996, 74~80.
- 2 谢建华、罗会邦, 大气热源的结构和东亚夏季风形成中热源和热带环流的关系, 气象科技论文集, 北京: 气象出版社, 1987, 103~115.
- 3 黄荣辉、李维京, 夏季热带西太平洋上空的热源异常对东亚上空副热带高压的影响及其物理机制, 大气科学(特刊), 1988, 107~117.
- 4 Nitta, T., Convective activities in the Northern Hemisphere summer climate change in China and its mechanism, *Adv. Atmos. Sci.*, 1989, 6 (1), 21~32.
- 5 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.
- 6 马淑杰、孙淑清, 南海夏季风持续异常的特征及其对全球大气环流的影响 I. 诊断分析, 气候与环境研究, 2001, 6 (4), 435~447.
- 7 纪立人、陈嘉滨、张道昆等, 一个包含非绝热加热物理过程的全局谱模式及其初步试验结果, 中期数值天气预报论文集(三), 北京: 气象出版社, 1990, 27~40.
- 8 李双林, 夏季乌拉尔山地区大气环流持续异常的研究, 中国科学院大气物理研究所博士学位论文, 2000.

Characteristics of Persistent Anomaly of the South China Sea Summer Monsoon and Its Influence on the Global Atmospheric Circulation Part II. Numerical Experiment

Ma Shujie, and Sun Shuqing

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

Abstract By using T42L9 atmospheric circulation model, a series of numerical experiments are done to see the characteristics of persistent anomaly of the South China Sea Summer Monsoon (SCSM) and its influence on the global atmospheric circulation. Not only the mean westerly trough and ridge, the distribution of the flow both on the high and low levels and their seasonal change, but also the main systems associated with the Asian summer monsoon are all simulated well by the model. Under the heating on the area of the Asian summer monsoon and the tropical Pacific, the model successfully shows the characteristics of the persistent anomaly of the SCSM, the response of the extra-tropical circulation and the anomaly rainfall distribution on the area of the Asian summer monsoon. The atmospheric thermal forcing repre-

senting the strength of SCSM influences not only on the precipitation on the Yangtze River, but also on the circulation structure of mid- and high-latitudes of the Northern Hemisphere through the three-dimensional vertical circulation anomaly and the wave-train propagating, which reflects the transferring path of the energy.

Key words: South China Sea summer monsoon; general atmospheric circulation; numerical experiment