

南海夏季风活动及其影响*

李崇银 张利平

(中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029)

摘 要 资料分析及其同南亚(印度)夏季风的比较, 指出建立的突发性和经向分量的重要性是南海夏季风活动的两个最基本特征。根据南海夏季风经向分量与纬向分量同样重要的特征, 并考虑南海地区大气环流的基本形势, 提出了用对流层高低层散度差构成季风指数, 它可以更好地描写南海夏季风的活动。资料分析和大气环流模式(GCM)数值模拟试验都清楚地表明南海夏季风年际异常对大气环流和气候有极为重要的影响, 不仅影响东亚地区, 而且通过东亚-太平洋-美洲(PJ或称EPA)波列影响美国的天气气候变化。

关键词 南海 夏季风 季风指数 EPA(PJ)波列

1 引言

季风按经典定义是盛行风向在冬夏的相反变化, 且由于海陆热力对比的改变所引起。随着季风研究的深入, 目前人们已将季风视为行星尺度大气环流系统的重要组成部分, 季风的形成和活动既与海陆热力对比有关, 又同全球大气环流的演变相联系。

亚洲季风是全球最典型最强的季风系统, 我国学者的一系列研究已表明, 亚洲季风系统由相互联系又相互区别的南亚(印度)季风和东亚季风两个子系统组成; 每年亚洲季风首先在南海地区爆发, 然后分别向西北和北方扩展, 使其印度夏季风和东亚夏季风逐渐建立^[1~3]。因此, 南海夏季风既是东亚夏季风的组成部分, 又在亚洲季风建立和活动中起着重要作用。

由于观测资料等原因, 南海夏季风的研究相对较少, 不少问题急需探索。本文将对南海夏季风的基本特征、南海夏季风指数以及南海夏季风年际异常的影响几方面进行分析研究。

2 南海夏季风的基本特征

亚洲夏季风在我国也常称西南季风, 也就是说东亚夏季风的纬向分量和经向分量都是重要的。为了说明这个问题, 我们用欧洲中期数值预报中心(ECMWF)1980~1989年的格点资料, 分析其多年平均的850 hPa上的风速变化。图1给出了南海地区(105~120°E, 10~20°N)850 hPa纬向风速和经向风速多年平均在4~9月份的逐候变化情况, 虽然图1a的纬向风分量在夏季(6~8月)平均约5 m/s, 要比图1b的经向风分量(平均约2.5 m/s)明显强一些, 但相对来讲经向风分量仍是重要的。为了对

1998-01-24收到, 1998-03-20收到修改稿

* 本研究得到国家攀登计划“南海季风试验研究”和中国科学院KZ951-B1-408项目共同资助

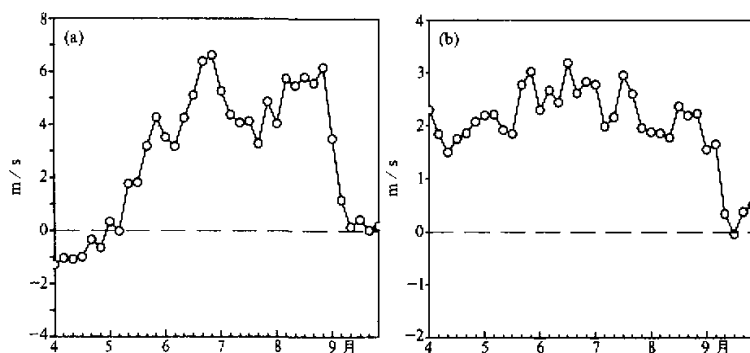


图1 南海地区 ($10\sim 20^{\circ}\text{N}$, $105\sim 120^{\circ}\text{E}$) 多年平均的 850 hPa 纬向风速 (a) 和经向风速 (b) 在 4~9 月份的逐候变化

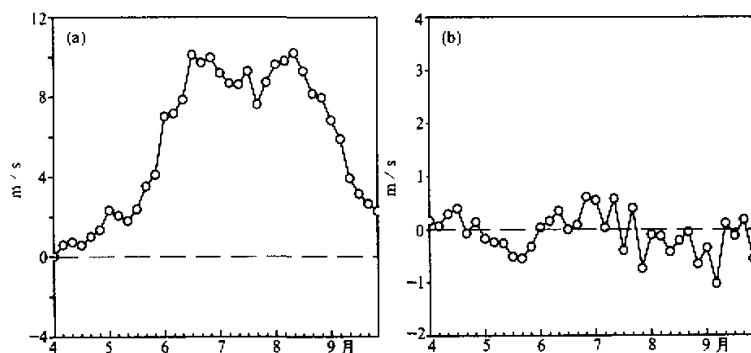


图2 孟加拉湾地区 ($10\sim 20^{\circ}\text{N}$, $75\sim 90^{\circ}\text{E}$) 多年平均的 850 hPa 纬向风速 (a) 和经向风速 (b) 在 4~9 月份的逐候变化

比, 在图 2 中分别给出了印度夏季风 ($10\sim 20^{\circ}\text{N}$, $75\sim 90^{\circ}\text{E}$) 平均的纬向风分量和经向风分量的逐候变化。图 2a 表明夏季印度季风的纬向分量平均约为 9 m/s , 显然比图 2b 所示的经向分量 (平均约为 0.5 m/s) 大得多。也就是说, 南亚夏季风主要以纬向西风为其主要特征, 经向风分量可以不予考虑; 然而南海夏季风的经向分量也很重要, 在研究中必须予以考虑。

对于亚洲夏季风的建立, 人们多用“爆发”二字来描写, 这在一定意义上表明亚洲夏季风的建立都具有一定的突发性。但是相对来讲, 南海夏季风的建立比南亚夏季风更为急速, 更有突发特征。即使在多年平均的纬向风和经向风时间变化图 (图 1) 上, 5 月第 2~3 候左右的 850 hPa 风速有急剧的增强特征, 纬向风速平均由 0 变为 1.7 m/s 左右, 而经向风由 1.7 m/s 增强至 2.7 m/s , 显示了夏季风在南海建立的突发性。

南海夏季风建立的突发特征在 TBB 资料的分析中也是很明显的, 作为例子, 图 3 分别给出了南海地区 ($105\sim 120^{\circ}\text{E}$) 平均的 1985 年和 1987 年 3~8 月 TBB 值的时间-

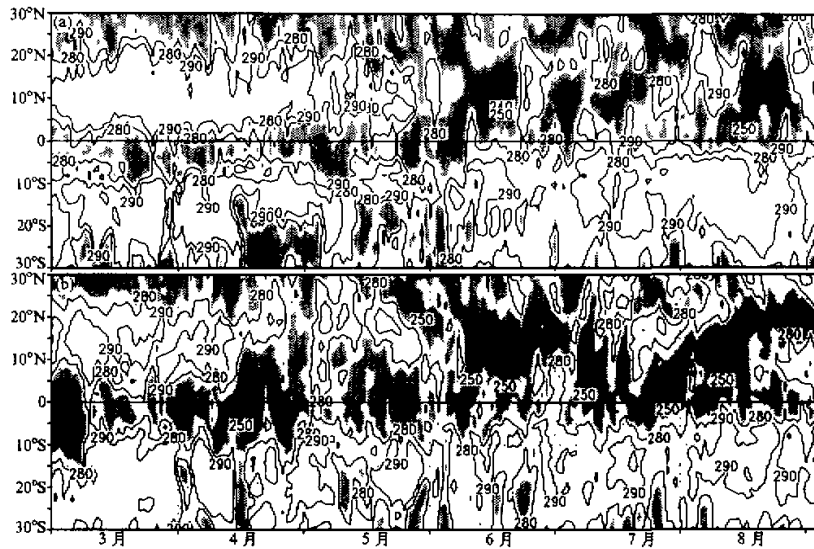


图3 1985年(b)和1987年(a)3~8月南海地区(105~120°E)平均的TBB值的时间-纬度剖面
图中阴影区为TBB < 270 K, 表示强对流的活动

纬度剖面。无论南海夏季风爆发的早(1985年在4月下旬)还是晚(1987年在6月8日左右), 由TBB值所反映的南海地区对流活动都有迅速向北跳跃式变化与夏季风建立相联系。在夏季风爆发前, 强对流(低TBB)平均位于赤道以南(0~5°S), 伴随夏季风的建立, 强对流区急速北移到北半球5°N附近, 直到6月10日左右强对流区再次北跳到10~15°N, 这正好对应江淮梅雨的开始。

上述分析结果与有关南海夏季风建立的已有研究基本一致^[4,5]。有关南亚(印度)夏季风的建立, 国内外已有不少研究, 其突发性相对不明显, 这在图2中纬向风的变化也有所反映, 虽然伴随南亚夏季风的建立, 风速有明显增强, 但总的趋势是西风逐渐增强。

3 南海夏季风指数

描写夏季风的活动, 尤其是其强度, 目前尚无统一的标准。用的较多的有三种方法, 其一是以季风区降水量为标准, 降水量的多少则表示夏季风的强弱, 这多用于描写印度夏季风的活动; 其二是以10~50°N纬度范围, 110°E与160°E经度间的海平面气压差表示季风强度^[6]; 其三是用对流层高低层的纬向风切变^[7]。由于南海地区的降水存在相当的局地性特征, 且在春夏之交还受锋面活动的影响, 因此用降水量描写南海夏季风活动并不好。南海地处热带, 气压场的变化相对比较小, 用110°E和160°E经度间的气压差描写夏季风活动也存在一定问题。

尽管印度学者已指出 Webster 等提出的纬向风切变描写南亚夏季风活动还有一些

小的不足^[8], 但由于它突出了南亚夏季风区对流层上层为东风而低层为西风的基本特征, Webster 等的指数还是比较适合用来描写南亚夏季风的活动。但对于南海夏季风, 用 Webster 等的指数显然并不合适, 需要同时考虑纬向风和经向风分量的变化。同时, 一系列有关夏季风大尺度环流的分析研究表明, 对于南海夏季风, 其对流层低层的主要特征是三支气流的辐合, 即来自印度洋的偏西气流, 在 $105^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{E}$ 附近来自南半球的跨赤道气流和西太平洋副高西侧的东南气流; 而对流层高层为大片 200 hPa 辐散流场所控制^[9]。因此, 基于南海夏季风环流的最基本特征, 用对流层上下层的散度差来描写南海夏季风既能同时考虑纬向风和经向风变化, 又代表了其重要环流特征, 具有较强的物理意义。

定义南海季风指数 I_d 为

$$I_d = \Delta D / \sqrt{\sum (\Delta D_j)^2 / n},$$

其中 $\Delta D = (\overline{D_{850}} - \overline{D_{200}})_i$, 这里的“—”表示空间平均, D_i 是某格点的散度值, j 是时间序列。用欧洲中期数值天气预报中心 (ECMWF) 资料, 我们计算了 1980~1989 年南海区域 ($7.5^{\circ}\sim 17.5^{\circ}\text{N}$, $105^{\circ}\sim 125^{\circ}\text{E}$) 的季风指数随时间的变化。为节省篇幅, 这里我们只给出 1983、1984、1985 和 1987 年的情况, 其中 1984 和 1985 年代表强南海夏季风年情况 (图 4), 而 1983 和 1987 年表示弱南海夏季风年情况 (图 5)。指数由正值变为负值可视作夏季风的开始; 由于低频波的活动, 夏季风的活跃和中断 (指数绝对值减小或变为短时正值) 现象在图中也表现得很清楚; 指数完全变为正值则表示夏季风的结束。夏季风指数的计算结果表明, 南海季风活动除了有季节内振荡 (联系着活跃及中断) 现象外, 南海夏季风活动的年际变化也比较显著。南海夏季风一般在 5 月中开始爆发, 少数在 6 月初爆发; 其爆发表现明显的突发性。

从图 4 和图 5 的比较可以清楚看到, 1984 和 1985 年夏季的指数负值很大, 而 1983 和 1987 年夏季的指数负值比较小, 分别表示了强南海夏季风和弱南海夏季风活动特征; 与之相对应, 1984 年和 1985 年南海夏季风爆发较早, 5 月初即已开始, 而 1983 和

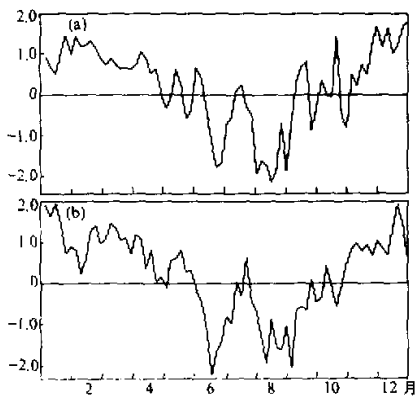


图 4 南海地区 ($7.5^{\circ}\sim 17.5^{\circ}\text{N}$, $105^{\circ}\sim 125^{\circ}\text{E}$)
平均季风指数随时间的逐候演变
(a) 1984 年; (b) 1985 年

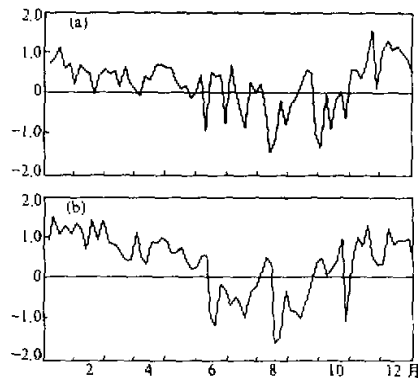


图 5 南海地区 ($7.5^{\circ}\sim 17.5^{\circ}\text{N}$, $105^{\circ}\sim 125^{\circ}\text{E}$)
平均季风指数随时间的逐候演变
(a) 1983 年; (b) 1987 年

1987 年南海夏季风爆发却比较晚, 6 月初才开始。

若按 Webster 等的办法计算南海地区的季风指数 I_n (图略), 再与本文的指数 I_d 相比较可以发现有不小的差异。虽然两者表明 1983、1987、1988 和 1989 年都是弱南海夏季风年, 1981、1984 和 1985 年都是强南海夏季风年; 但 I_d 表明 1980 和 1982 年是弱夏季风年, 1986 年是强夏季风年, 而 I_n 表明 1980 和 1982 年是强夏季风年, 1986 年是弱夏季风年。近年来的研究已经表明, 东亚 (南海) 夏季风强的年份, 江淮流域一般少雨; 而夏季风弱的年份, 江淮流域一般多雨^[10]。从各年汛期 (6~8 月) 降水距平的基本分布形势的比较不难发现, 对应于 1980、1982、1983、1987、1988 和 1989 年, 中国东部降水的主要形势是华南和华北少雨而江淮流域多雨, 表明夏季风偏弱; 对应 1981、1984、1985 和 1986 年, 中国东部降水的主要形势是华北多雨而江淮少雨, 表明夏季风偏强。显然, 本文的南海季风指数 I_d 能更好地反映南海夏季风的活动和变化。

4 南海夏季风年际异常的影响

一系列的研究表明, 大气环流的变化不仅存在明显的遥相关特征, 而且遥相关和遥响应已被认为是短期气候变化的重要原因之一。遥相关的研究无疑以冬半年的情况最多, 但同时也表明夏季环流也有清楚的遥相关型存在。Nitta 和黄荣辉在 1987 年指出了 PJ (太平洋-日本) 遥相关的存在, 认为它同菲律宾附近的对流活动有明显关系, 而且有相应的年际变化^[11,12]。菲律宾附近的对流活动在一定程度上反映了南海季风的强弱, 因此这一节我们首先从观测资料分析南海夏季风强弱对大气环流和气候的影响。依据南海夏季风指数的计算结果, 可以用 1984、1985 和 1986 年代表强夏季风年, 用 1980、1983 和 1987 年代表弱夏季风年。

利用 ECMWF 逐日 500 hPa 高度场, 以 (15°N, 112.5°E) 为参考点, 我们可以计算出各年夏季 (6~8 月共 92 天) 的 500 hPa 高度的同时点相关场的分布。图 6 分别给出了强南海夏季风 (1984、1985 和 1986 年合成) 情况和弱南海夏季风 (1980、1983 和 1987 年合成) 情况所对应的 500 hPa 高度相关形势, 图中粗实线表示 PJ 波列 (更确切讲应是 EPA-东亚太平洋美洲波列)。比较两图可以清楚看到, 对于强南海夏季风情况, 从南海经东亚和太平洋到北美的 EPA 遥相关型 (波列) 非常清楚, 而且其伸展的纬度位置可达 60°N 以北; 对于弱南海夏季风情况, EPA 波列虽然也存在, 但其伸展的纬度位置明显偏南, 只到达 45°N 左右。

南海提供了东亚地区水汽的 45% 左右, 而水汽量的输送主要依赖于季风的活动, 季风活动的异常必然对季风区的夏季旱涝有直接影响。同时由于上述遥相关波列的不同特征, 还将导致北半球不少地区夏季降水的异常。用 NCEP/NCAR 的再分析资料 (1980~1992 年), 我们计算了北半球夏季的降水量距平分布。虽然各年有不少差异, 但对于 1984、1985 和 1986 年南海夏季风偏强的情况, 在东亚、西太平洋和美国的大片地区, 其降水量距平分布有相当程度的类似特征, 其合成如图 7a 所示。很清楚, 由南海和菲律宾地区向东偏北有一正距平带存在; 由我国江南到日本以东洋面为西南-东北向负距平带; 我国华北和东北地区到俄罗斯远东地区存在另一西南-东北向正距平带; 美国东部地区为不很强的降水正距平所控制。同强南海夏季风的情况相反, 1980、1983

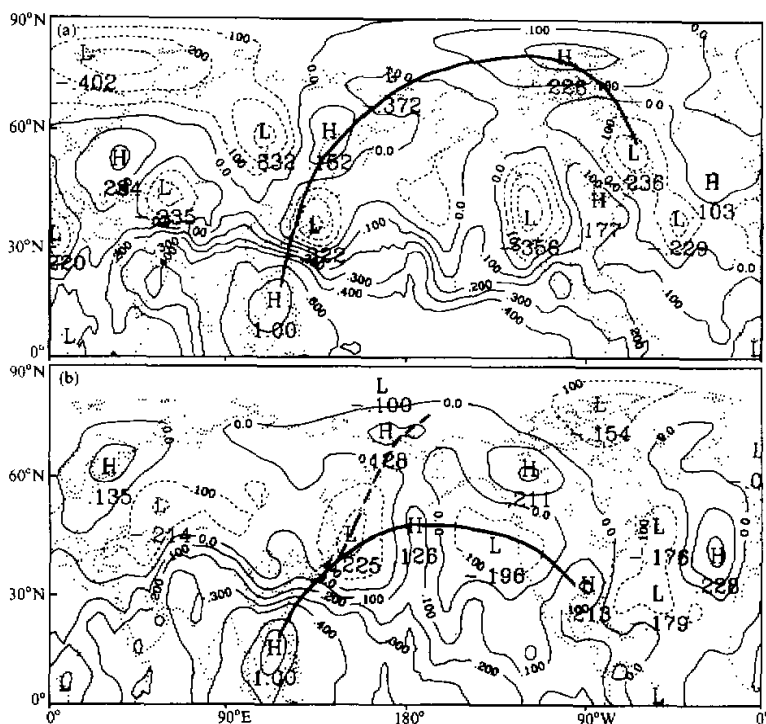


图 6 强 (a) 和弱 (b) 南海夏季风年北半球夏季 500 hPa 高度场的相关形势
计算参考点在 (15°N, 112.5°E)

和 1987 年弱南海夏季风情况下的降水距平分布如图 7b 所示: 由南海和菲律宾地区向东偏北是一较强负距平区; 中国江淮到日本和朝鲜为西南-东北向正距平带; 中国东北到堪察加半岛为一弱负距平区; 美国东部和南部地区是负距平区。

在图 8 中分别给出了 1980 年和 1985 年汛期 (6~8 月) 中国东部降水量距平 (百分率) 的分布, 它们分别可作为弱南海夏季风年和强南海夏季风年降水量距平分布的范例。图 8a 表明在弱南海夏季风年江淮流域多雨, 华北及华南一般降水量偏少; 图 8b 表明在强南海夏季风年江淮流域少雨, 华北、东北及华南一般降水量偏多。这些结果不仅与图 7 表示的 NCEP 再分析资料的结果相符, 也与已有的研究结果相一致。

按本文定义的南海夏季风指数, 强 (弱) 夏季风年南海地区的对流活动也将偏强 (弱)。TBB 资料的分析结果也完全证明了这一点, 在强夏季风年, 南海地区从 3 月到 10 月均为 TBB 的负距平控制, 表明其对流活动较常年偏强; 而在弱夏季风年, 南海地区从 3 月到 10 月却一直为正负距平控制, 表明其对流活动较常年偏弱 (图略)。同时, 南海地区 TBB 的距平与我国江淮流域的 TBB 距平反相 (图略), 表明强南海季风 (或者夏季风活跃期) 情况下, 江淮流域对流云较弱, 那里降水也比较少。

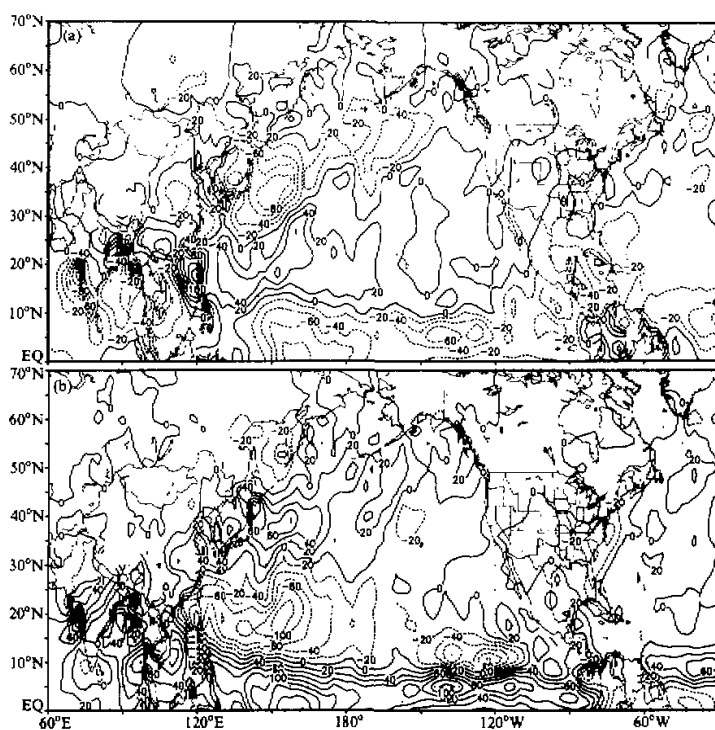


图7 强 (a) 和弱 (b) 南海夏季风情况下, 6~8 月降水量距平 (mm/月) 的水平分布特征
实线和虚线分别表示正和负距平, 等值线间隔为 20 单位

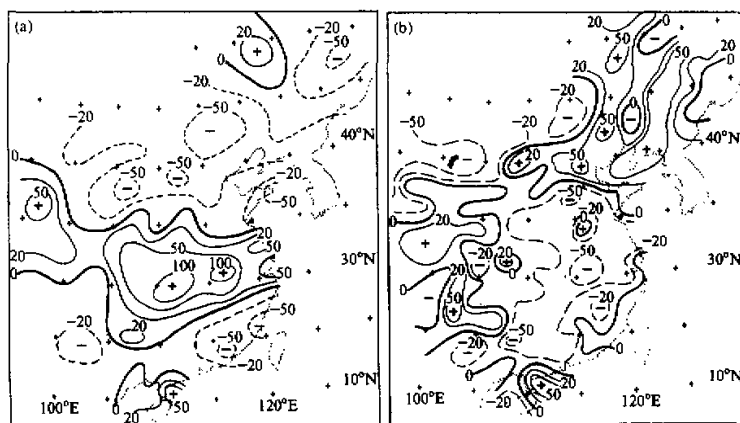


图8 1980 年 (a) 和 1985 年 (b) 夏季 (6~8 月) 我国东部地区降水量距平 (%) 的分布

5 异常南海夏季风影响大气环流和气候的 GCM 模拟

为了进一步说明南海夏季风年际异常对大气环流和气候变化的重要影响,我们用中国科学院大气物理研究所发展的大气环流模式(IAP-AGCM₂)进行了数值模拟研究。这个模式在垂直方向为二层,水平分辨率为 $4^{\circ} \times 5^{\circ}$,包括了几乎全部物理过程,详细介绍可参见文献[13]。有关国际模拟比较计划的研究表明,该模式虽然分辨率比较低,但却有较好模拟能力,特别是对季风活动的模拟^[14]。

数值模拟进行了两类试验,其一是对照(控制)试验(CE),即用IAP-GCM模式积分的第28年结果;其二是异常试验(AE),即有南海夏季风异常的情况,我们在对照试验的5~8月期间在南海地区($2^{\circ} \sim 18^{\circ} \text{N}$, $105^{\circ} \sim 125^{\circ} \text{E}$)的850 hPa上引入一异常风场;对于强南海夏季风情况,其异常风场是西南风,中心最大异常风速为3 m/s;对于弱南海夏季风情况,其异常风场为东北风,中心最大风速也是3 m/s。同诸多数值模拟试验一样,异常试验的模拟结果与对照试验的模拟结果之差,即表示异常(强或弱)南海夏季风的影响。

图9分别给出了强和弱南海夏季风情况下500 hPa位势高度异常的分布形势,无论是南海夏季风异常是强还是弱,500 hPa大气环流的异常形势都反映出有类似EPA遥相关型的分布,说明大气环流的EPA遥相关型(波列)同南海夏季风活动有密切关系。同时,模拟的EPA波列(图中粗实线所示)在强南海夏季风情况下向北伸展比较

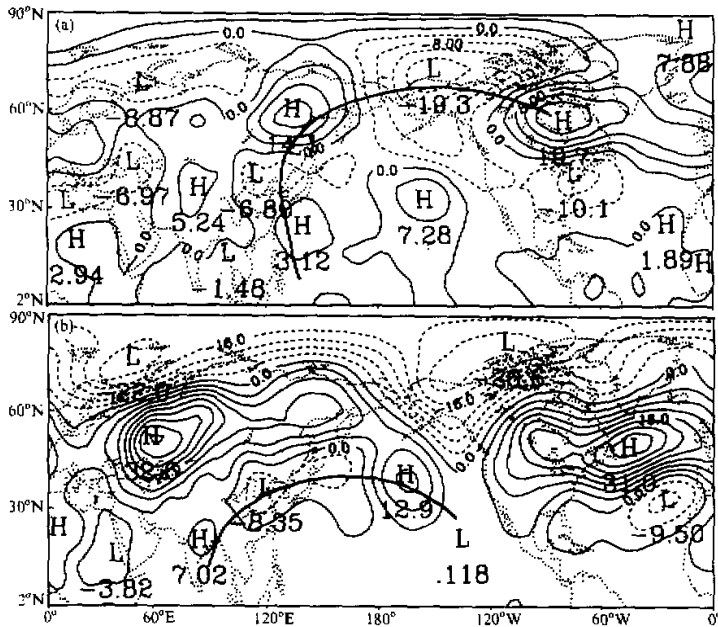


图9 模拟的强(a)和弱(b)南海夏季风情况下,500 hPa位势高度异常(单位: m)的分布形势
实线和虚线分别表示正和负异常,粗实线表示EPA波列

偏北,而在弱南海夏季风情况下波列没有明显向北伸展。这些数值模拟结果与观测分析(图6)十分相似,比较好地表明了南海夏季风异常对北半球大气环流的影响。

同观测资料分析的结果相似,南海夏季风异常影响降水的情况也得到了很好的模拟结果,尤其是对东亚地区的夏季降水。分析模拟的6~8月在110~125°E地区平均的降水量异常的纬度分布(图略),清楚地表明强弱南海夏季风对应在我国东部地区的降水异常是反位相的分布,强南海夏季风年江淮流域夏季降水偏少,而华南和华北地区降水偏多,弱南海夏季风年将使江淮流域降水偏多,而华北和华南降水偏少。

上述南海夏季风异常对大气环流和气候影响的数值模拟结果都与观测资料的分析十分相似,不仅说明在大气系统或者说在气候系统中,南海夏季风的活动有着十分重要的位置,而且也表明南海夏季风的异常(强或弱)还存在着对大气环流和气候变化的重要影响。

6 结语

通过观测资料的分析和数值模拟,研究了南海夏季风的基本特征,提出了描写其变化的季风指数,指出了南海夏季风年际异常对大气环流和气候的影响。其主要结论如下:

(1) 同南亚(印度)夏季风不同,南海夏季风建立的显著突发性以及其经向风分量的重要性是它的最基本特征。

(2) 根据南海夏季风的经向分量和纬向分量有同等重要性的特征,并考虑到南海及附近地区大气环流系统的特殊形势,用对流层高(200 hPa)低(850 hPa)层散度差构成季风指数(I_d),能较好地描写南海夏季风的活动。

(3) 观测资料的分析表明,南海夏季风的年际异常(强或弱),对大气环流和气候变化有明显的影 响。在强南海夏季风年,由东亚经北太平洋到美洲的EPA(PJ)波列向北伸展的纬度位置偏北,可到60°N以北;中国东部汛期降水量呈江淮少雨,华南及华北到东北一带多雨的形势;美国东部和南部地区降水偏多。在弱南海夏季风年,EPA波列向北伸展不多,仅到达近40°N;对降水量的影响正好同强季风年相反,中国东部汛期降水量在江淮偏多,而华南及华北少雨,美国东部和南部地区降水偏少。

(4) 用IAP-GCM进行的数值模拟也极为清楚地显示了南海夏季风异常对大气环流和气候变化的重要影响,而且其结果与观测资料分析十分相似。这进一步表明了南海季风活动在气候系统中的重要性,也表明了南海夏季风异常对大气环流和气候变化有一定形势的影响。

参 考 文 献

- 1 Tao Shiyun and Chen Longxun, 1987, A review of recent research of the East Asian summer monsoon in China, *Monsoon Meteorology*, C. P. Chang and T. N. Krishnamurti, Eds., Oxford University Press, 60~92.
- 2 金祖辉、陈隆勋, 1983, 夏季东亚季风系统的中期变化及与印度季风系统的相互关系, 全国热带夏季风学术会议论文集, 204~217, 昆明: 云南人民出版社.
- 3 Zhu Qiangen, He Jinhai and Wang Panxing, 1986, A study of the circulation differences between East Asian and

- India summer monsoon with their interaction, *Advances in Atmos. Sci.*, 3, 466~477.
- 4 谢安、刘霞、叶谦, 1996, 南海夏季风爆发的气候特征, 亚洲季风研究的新进展, 北京: 气象出版社, 132~142.
 - 5 何金海、朱乾根、M. Murarami, 1996, TBB资料揭示的亚澳季风区季节转换及亚洲夏季风建立特征, 热带气象学报, 12, 34~42.
 - 6 郭其蕴、王维琴, 1981, 近三十年我国夏季风盛行期降水的分析, 地理学报, 36, 187~195.
 - 7 Webster, P. J. and S. Yang, 1992, Monsoon and ENSO: selectively interactive systems, *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, 118, 877~920.
 - 8 Goswami, V. N., H. Annamalai and V. Krishnamurti, 1995, Asian circulation index of Indian summer monsoon, CAS Report, AS3.
 - 9 丁一汇、赵深铭, 1987, 北半球夏季全球热带和副热带200 hPa平均辐射环流的研究, 气象学报, 45, 120~127.
 - 10 徐予红、陶诗言, 1996, 东亚夏季风的年际变化与江淮流域梅雨期早涝, 灾害性气候的过程及诊断 (黄荣辉主编), 北京: 气象出版社, 31~39.
 - 11 Nitta, T., 1987, Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on Northern Hemisphere summer circulation, *J. Meteor. Soc. Japan*, 65, 373~390.
 - 12 黄荣辉、李维京, 1988, 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), 103~117.
 - 13 Zeng Qingcun et al., 1990, IAP-GCM and its application to the climate studies, *Climate Change Dynamics and Modelling*, Beijing: China Meteorological Press, 303~330.
 - 14 Sperber, K. R. and T. N. Palmer, 1995, Interannual tropical rainfall variability in general circulation model simulation associated with the atmospheric model intercomparison project, PCMDI Report, No. 28, UCRL-ID-121725.

Summer Monsoon Activities in the South China Sea and Its Impacts

Li Chongyin and Zhang Liping

(State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics,
Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy Sciences, Beijing 100029)

Abstract Through data analyses and comparison with the South Asian (Indian) monsoon, the suddenality of the onset and the importance of meridional component are indicated as the fundamental features of summer monsoon activity in the South China Sea in this paper. It is still shown that the divergence difference between the upper and lower troposphere as a monsoon index is more advantageous to represent the monsoon activities in the South China Sea. The data analyses and GCM numerical simulations showed that interannual anomaly of the summer monsoon in the South China Sea has important effect on the atmospheric circulation and climate in East Asia, and the summer monsoon anomaly in the South China Sea can still affect the atmospheric circulation and climate in the Northern Pacific and North America regions through the EPA wavetrain.

Key words South China Sea summer monsoon monsoon index East Asia-Pacific-America (EPA) wavetrain