

# 西太平洋暖池区海表水温暖异常 对东亚夏季风影响的研究\*

金祖辉 陈隽 P4 A

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

**摘要** 对夏季热带西太平洋暖池区海表水温暖异常年的东亚大气环流做了合成分析, 然后用奇异值分解(SVD)方法做了进一步统计检验, 揭示了东亚夏季风变异与暖池区海表水温异常的密切关系和它们间最佳耦合模态。结果发现当夏季暖池区暖异常时, 在对流层低层西太平洋地区可产生一个强的反气旋偏差环流, 使得副热带高压南侧东风气流大大加强, 并向西伸展到中南半岛南部, 从而影响了东南亚热带和副热带地区西南季风的变化(强/弱)。中南半岛至中国东部大陆夏季风增强, 赤道东印度洋、南海南部和中部、西太平洋热带地区夏季风减弱。SVD分析还发现经向风和纬向风与海表水温之间各存在两个最佳耦合模态, 结果表明, 不仅整个暖池海表水温暖/冷异常对东亚大气环流异常有重要影响, 而且暖池区内海表水温有显著的暖和冷异常差异时, 对东亚大气环流的影响也很明显(耦合总体平方协方差约占总体协方差的0.20), 尤其是在南海至长江以南地区。

**关键词:** 西太平洋; 暖池; 夏季风; 耦合模态

## 1 前言

热带西太平洋地区海表水温(SST)变化对东亚和南亚地区夏季风的年际变化和季节内变化均有重要的作用, 这是由于热带西太平洋地区和南海东部是全球海洋中海水温度最高、贮存能量最多的地区, 故有暖池之称, 因而是海气相互作用最强的地区。另外热带西太平洋是纬向Walker环流上升支所在, 大量水气被辐合而产生强对流和强降水。

关于热带西太平洋SST与东亚夏季风及气候变化关系已有诸多研究, 如黄荣辉等<sup>[1,2]</sup>发现在西太平洋热源的强迫作用下, 准定常波的传播将产生自菲律宾附近至北美的遥相关型(波列)和西太平洋对流活动对东亚夏季风的影响。Nitta<sup>[3]</sup>研究了热带西太平洋和其以外地区云量的遥相关关系, 发现云量变化存在两个遥相关型, 一是东-西向遥相关型, 二是日本岛-太平洋遥相关型。朱乾根等<sup>[4]</sup>研究了西太平洋SST暖异常对夏季风影响的数值模拟, 指出西太平洋暖异常可引起本地区地面气压下降, 低层气旋性环流和高空反气旋发展, 使得印度-东南亚-中国东部-日本的西南季风带南移和南海南部-西太平洋热带季风发展。吴爱明等<sup>[5]</sup>研究表明西太平洋暖池异常会出现东亚夏季风偏

2000-03-09收到, 2001-03-15收到再改稿

\* 中国科学院KZ951-408项目、国家自然科学基金资助项目49635180和国家攀登项目A“南海季风试验”共同资助

弱和印度半岛夏季风增强的特征。罗绍华等<sup>[6,7]</sup>指出南海 SST 尤其是南海东部 SST 与南海高压、西太平洋副高及长江中下游地区洪涝有显著的相关关系。

从上看到暖池异常与夏季风, 气候异常有非常密切的关系, 但是某些结果有待进一步研究。其原因之一可能与取的暖池区域范围有关, 其次在西太平洋暖池区中, 由于海气的相互作用, SST 分布可能存在显著的区域性差异。本文是试图通过对暖池区暖异常年环流的合成分析和暖池区 SST 与风场之间的最佳耦合模态分析, 进一步揭示暖池区 SST 与夏季风变化的关系。

## 2 夏季热带西太平洋暖池区海表水温变化的气候特征

从夏季平均 (6~8 月) SST 来看 (图 1), 最暖区域 ( $SST \geq 29^\circ\text{C}$ ) 主要位于南海和热带西太平洋地区, 其中菲律宾以东附近是暖中心区 (达到  $29.3^\circ\text{C}$ )。为了考察夏季热带西太平洋暖池区 SST 异常与环流变化的关系, 根据夏季热带西太平洋 SST 最高区域的位置 (图 1a), 取 ( $115\sim 150^\circ\text{E}$ ,  $0\sim 18^\circ\text{N}$ ) 区域为西太平洋暖池区域, 用该区域内  $2^\circ \times 2^\circ$  所有格点平均 SST 表示暖池区 SST 的变化特征, 结果表明区域平均 SST 为  $29.3^\circ\text{C}$  (1980~1997 年), 标准差是  $0.19^\circ\text{C}$ 。这表明该区域平均 SST 比它以外的太平洋地区 SST 高得多, 但是其变化的幅度比赤道东太平洋小得多 (图略)。

从 1980~1997 年暖池区标准化 SST 距平的年际变化图 1b, 可以看出它的年际变化也是相当明显的, 其中距平偏差大于 (低于) 1.5 个标准差的年份有 5 年, 1980 和 1982 年为显著偏低年, 1988、1995 和 1996 年为显著暖异常年。在显著暖异常年西太平

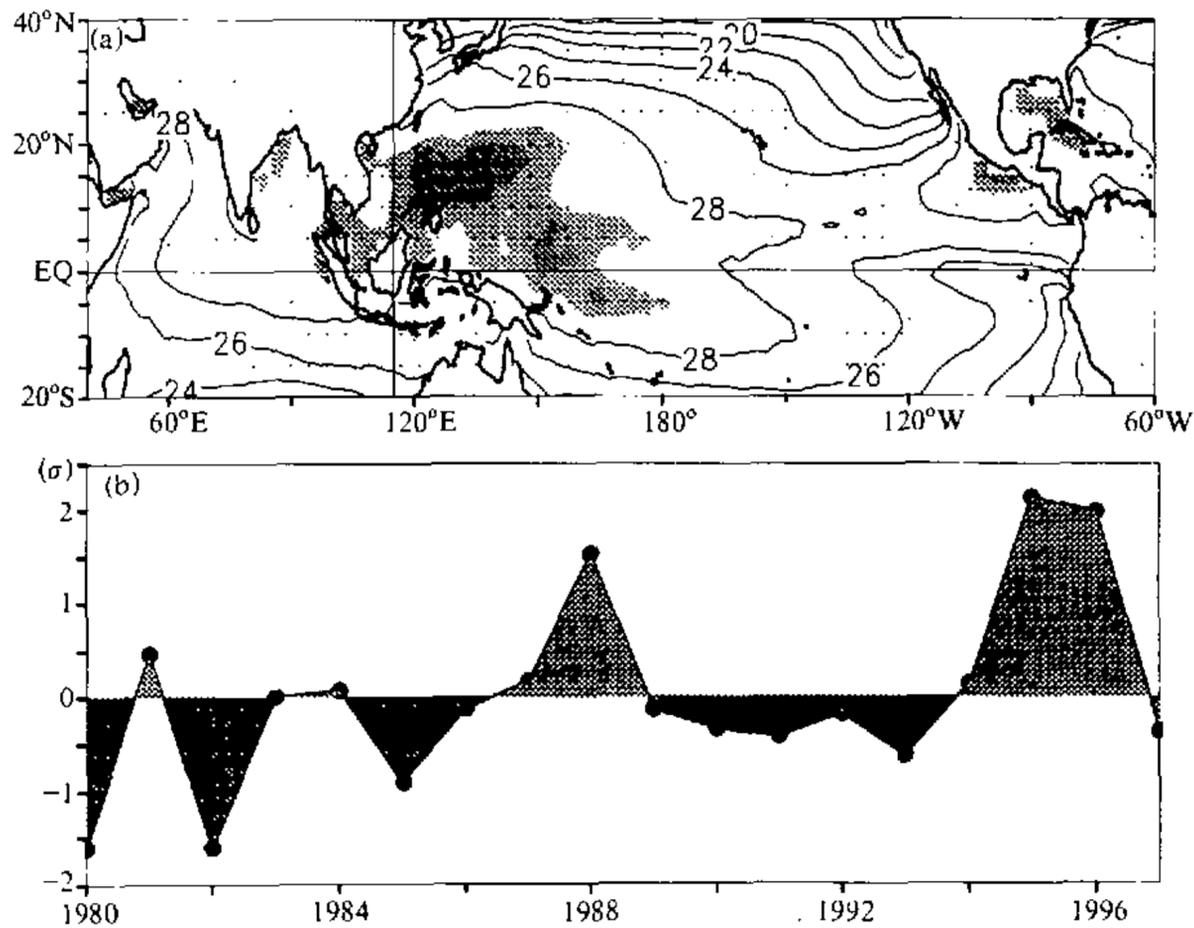


图 1 1980~1997 年夏季平均 SST (a) 和暖池区平均 SST 标准化距平的年际变化 (b) ( $\sigma$ : 标准差)

洋暖池区贮存有更多的热量。张学洪<sup>[8]</sup>研究指出海表湍流通量同 SST 异常总是相互联系的, 这种相互联系在不同的纬度和季节上表现出不同的特征。在热带海洋和一部分处于温暖季节的热带以外海洋上, 由海洋向大气所释放的潜热和感热通量异常与 SST 本身的异常有显著的正相关, 而它与 SST 的时间倾向之间并无显著的相关性, 这表明潜热和感热的异常主要由海洋热状况的异常决定。由此可见西太平洋暖池区 SST 暖(冷)异常的夏季必然对大气环流和季风环流产生重要的影响。

为了进一步了解该暖区与其以外 SST 变化的关系, 我们计算了该区域平均 SST 与其以外地区 SST 的同时相关。从相关图 2 可以看出正相关范围是很大的, 热带西太平洋、南海及西北太平洋地区均是超过 99% 信度的正相关区。由此不难看出西太平洋暖池区一旦发生暖异常时, 暖异常区域不仅仅是它本身, 而且还有与其相关的海域, 因此对大气的影晌也不仅仅是暖池区本身, 还受相关区域暖异常的影响。

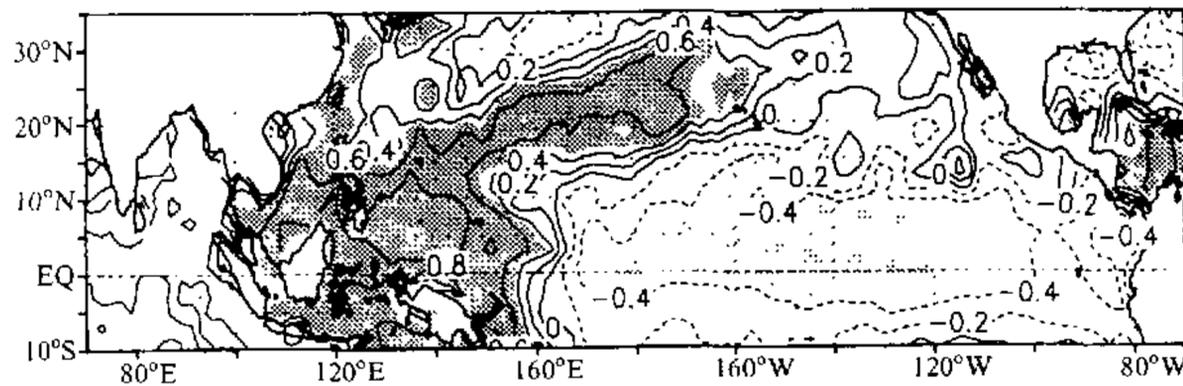


图 2 暖水区 SST 与其以外地区 SST 的同时相关 (阴影表示显著水平  $\geq 0.01$ )

### 3 大气环流与暖池区暖异常的关系

由于西太平洋暖池区域的暖异常改变了常态的潜热和感热通量的状况, 那么在异常热源的强迫作用下东亚大气环流的响应又如何呢? 下面我们对 1988、1995 和 1996 年显著暖异常年的环流特征做合成分析。

#### 3.1 纬向风场的响应

夏季东亚和南亚地区的夏季风异常变化是大气环流变化的重要特征之一。图 3a 是 850 hPa 纬向风合成图, 为与气候比较, 0 和 4 m/s 等值线用粗线表示, 粗虚线为气候平均的 0 和 4 m/s 等值线。可以看出暖池暖异常年热带地区夏季纬向风异常很明显, 在 10°N 纬带附近东-西风分界线(粗实线)在 120°E 附近, 4 m/s 等值线位于南海西部(110°E 附近), 而常年平均(1980~1997 年平均)的东-西风分界线出现在 150°E 附近, 4 m/s 等值线在 120°E 附近, 它与暖异常年 0 m/s 等值线位置基本一致, 可见两者西风区域相差 30 个经度, 同样 4 m/s 区域差 10 个经度。

图 3b 是距平合成图, 可以看到从低纬度到高纬度纬向风距平呈现东西方向带状分布, 从孟加拉湾到南海至赤道中太平洋是一个强的负距平区, 中心在南海中南部-菲律宾及其以东地区, 其值达到 -3.5 m/s; 副热带地区即从华南、长江中下游至西太平洋是正距平区, 其中长江以南和日本岛以南的西太平洋地区偏差在 1 m/s 以上(阴影区

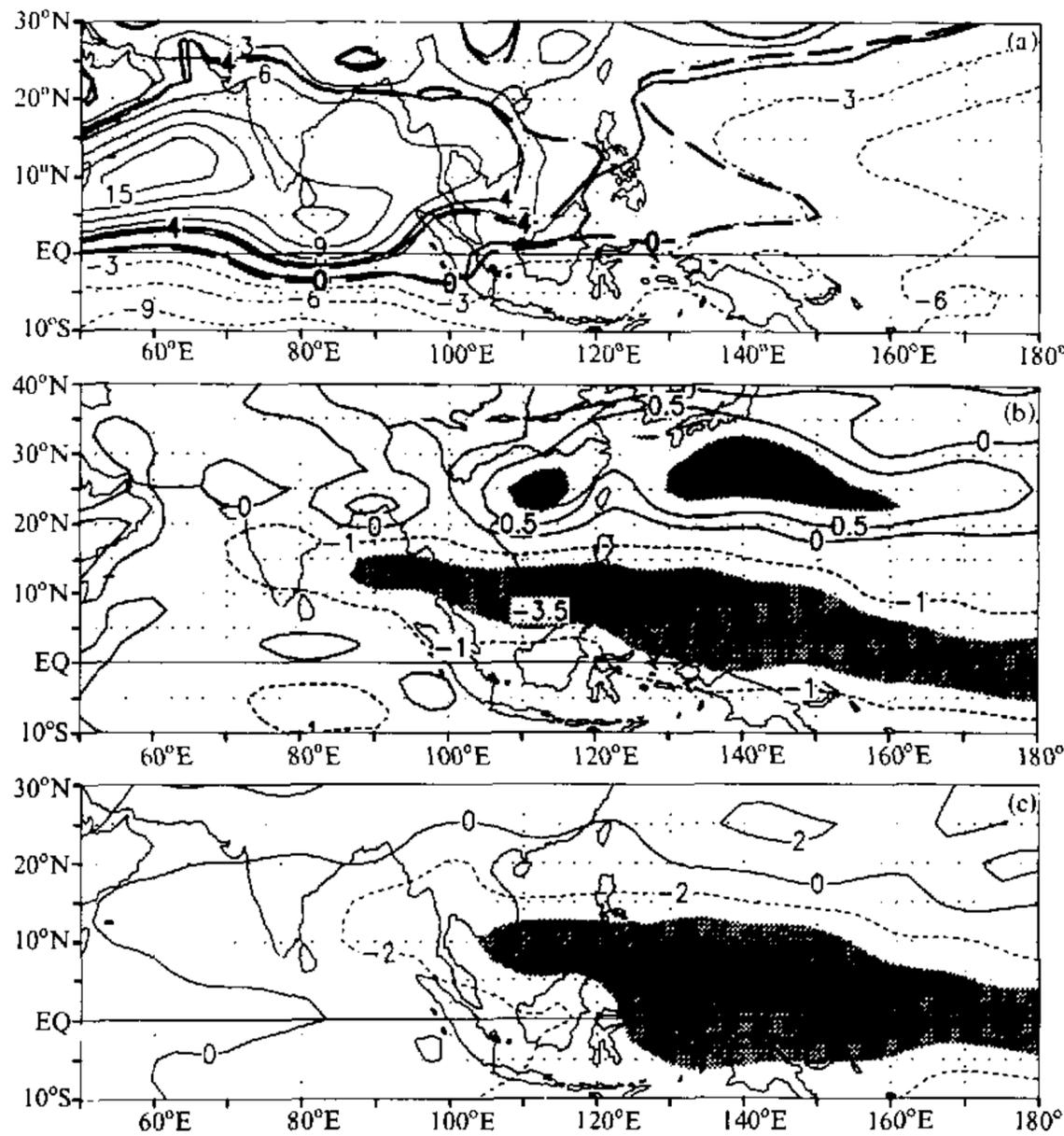


图3 暖池区 SST 异常暖年 850 hPa 纬向风合成

(a) 6~8 月合成的 0 和 4 m/s 线 (粗实线) 及气候平均的 0 和 4 m/s 线 (粗虚线);  
 (b) 距平分布 (深阴影  $\geq 1$  m/s, 浅阴影  $\leq -2$  m/s); (c) 暖异常年和气候平均垂直切变的差 (阴影  $\leq -4$  m/s)

所示); 华北、东北南部至日本岛中部是负距平区, 但负距平很小。因此暖池区暖异常会使东亚热带地区低层东风加强 (约  $120^{\circ}\text{E}$  以东), 副热带地区西风增强, 其中热带地区影响最大, 副热带地区次之。

从 200 hPa  $u$  距平综合图 (图略) 可以看出主要的正距平区出现在东南亚至西赤道太平洋地区, 中心在西太平洋赤道附近。Webster 和 Yang<sup>[9]</sup> 用 850 hPa 与 200 hPa 纬向风  $u$  的差表示热带夏季风的强度。这里对暖异常年和气候平均作一比较, 从气候平均的垂直切变 (图略) 来看, 阿拉伯海和印度半岛以南海区垂直切变最大 ( $35\sim 40$  m/s), 然后经南海南部到赤道中太平洋日界线附近逐步减弱。图 3c 是暖异常年和气候平均纬向风垂直切变差的分布情况, 可以看出马来西亚半岛以西地区差异较小, 在南海中南部至赤道太平洋差异最大 ( $-4\sim -10$  m/s), 所以暖异常年垂直切变明显小于气候平均, 表明暖池区暖异常是不利于该地区西风发展的, 尤其是南海中南部和赤道西太平洋地区。

另外, 从  $5\sim 15^{\circ}\text{N}$  平均纬向风环流图 (图 4) 可更清楚看到在 600 hPa 以下多年平均的东-西风辐合上升区位于  $140^{\circ}\text{E}$  附近 (图 4a), 而暖异常年平均东-西风辐合上升区位于  $120^{\circ}\text{E}$  附近 (图 4b), 因而在东南亚和西太平洋上空则产生了一个偏差环流 (图 4c), 它有利于低层东风增强、高层西风增强。以上结果充分说明暖池区暖异常对热带地区纬向环流异常有着重要作用, 尤其是东亚热带地区。

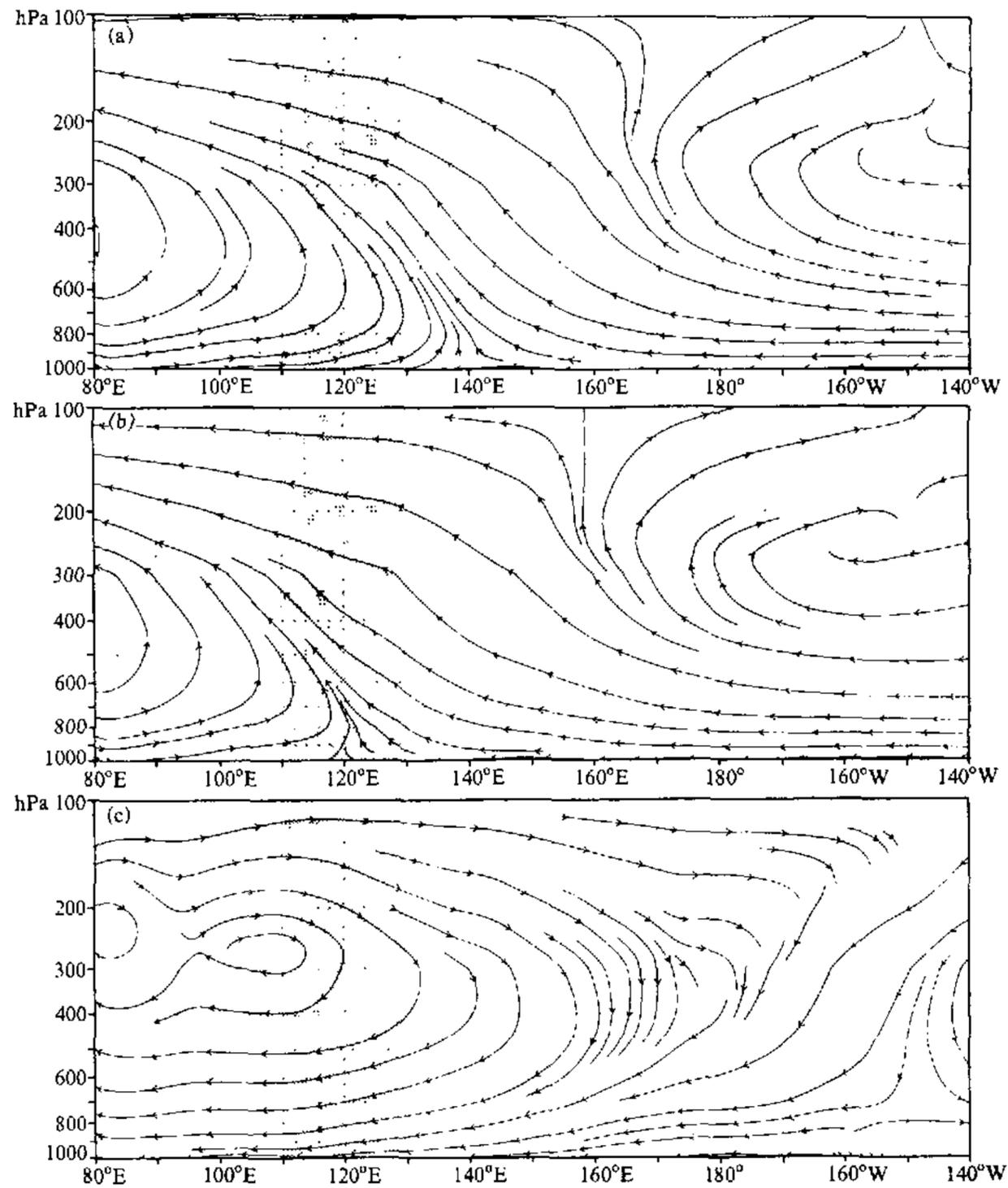


图 4  $5\sim 15^{\circ}\text{N}$  平均纬向环流图

(a) 1980~1997 年平均; (b) 暖异常年合成; (c) 暖异常与气候平均的偏差环流

### 3.2 经向风场的响应

850 hPa 经向风 ( $v$ ) 距平合成如图 5a 所示, 可以看到距平的经向分布特征很明显, 赤道东印度洋至孟加拉湾东部、南海大部和加里曼丹岛, 西太平洋的赤道至副热带

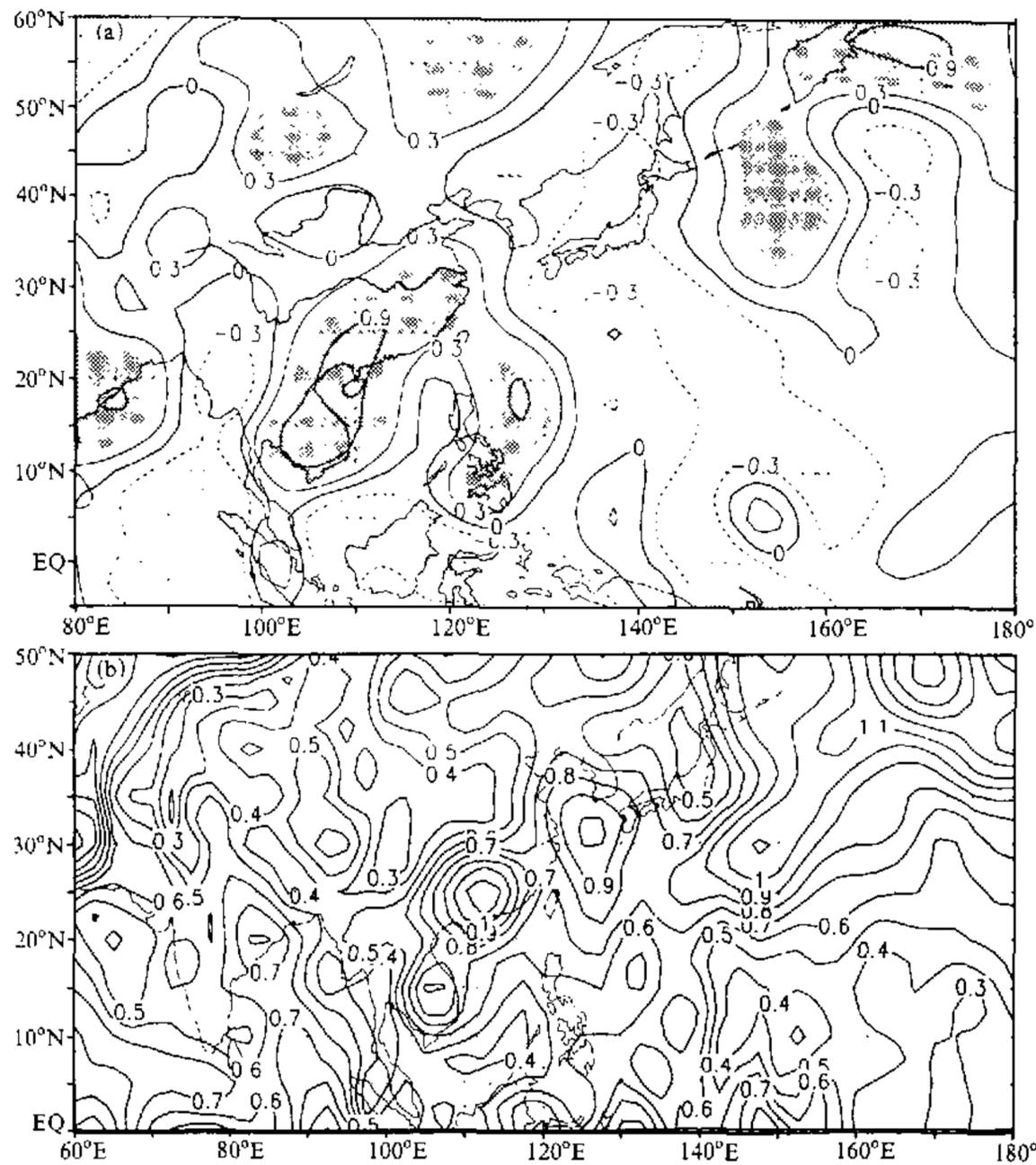


图5 850 hPa 经向风标准差和距平合成图  
(a) 标准差; (b) 异常暖年经向风距平合成

的大部分地区是负距平区(南风偏弱)。中南半岛东部至中国东部大陆、菲律宾岛以东区域是正距平区(南风偏强),其中从中南半岛东部和南海西北部经华南至长江中下游区域距平值达到 $0.6\sim 0.9\text{ m/s}$ 。这表明西太平洋暖池区暖异常对东南亚夏季风有明显的影

响。  
图5b是850 hPa经向风( $v$ )的标准差分布(6~8月平均),如图所示 $v$ 的年际变化明显,标准差大于 $0.7\text{ m/s}$ 的区域有:赤道东印度洋至孟加拉湾地区,中南半岛、中国大陆东南部和东部沿海一带,西北太平洋地区。比较图5a和图5b可以发现东南亚地区标准差大的区域正是暖异常年经向风正/负距平异常最显著的区域,尤其是中南半岛、华南到长江中下游的地区,这表明暖池区暖异常是引起东亚地区夏季风年际变化的重要原因之一。而西北太平洋地区尽管标准差很大,但不是暖异常年 $v$ 变异最大的区域,说明它的变异还受暖异常以外因素的影响。

为进一步了解东亚经向风的变异情况,我们作了 $110\sim 120^\circ\text{E}$ 平均经向风的垂直分

布(图 6a), 可以看出在  $10\sim 35^{\circ}\text{N}$  区域南风到达 300 hPa 高度, 600 hPa 高度以下风速达  $3\text{ m/s}$ 。北风区域位于  $40\sim 50^{\circ}\text{N}$ , 冷暖空气的交汇区域比气候平均偏北。图 6b 是暖异常年沿南海和中国东部大陆 ( $110\sim 120^{\circ}\text{E}$ ) 的垂直环流与常年平均环流差的剖面图, 看出在  $20^{\circ}\text{N}$  以南是一个与季风环流相反的偏差环流, 使得南海地区对流层低层南风减弱。副热带地区低层是正偏差, 南风增强, 辐合上升最强的区域在  $30\sim 40^{\circ}\text{N}$ 。这结果说明暖异常年东亚低纬度季风环流减弱, 而副热带地区季风气流显著增强。

图 6c 能部分地说明为何暖异常会导致东亚夏季风经、纬向风的异常。从图 6c 看到西太平洋有一个反气旋偏差环流, 这个偏差环流大大加强了副高系统南侧的东风, 并向西一直影响到南海大部, 中南半岛南部和孟加拉湾, 影响了热带西南季风发展。另一方面, 这支偏差气流又在南海的西部和中南半岛的东部转向大陆, 增强了偏南气流, 并和

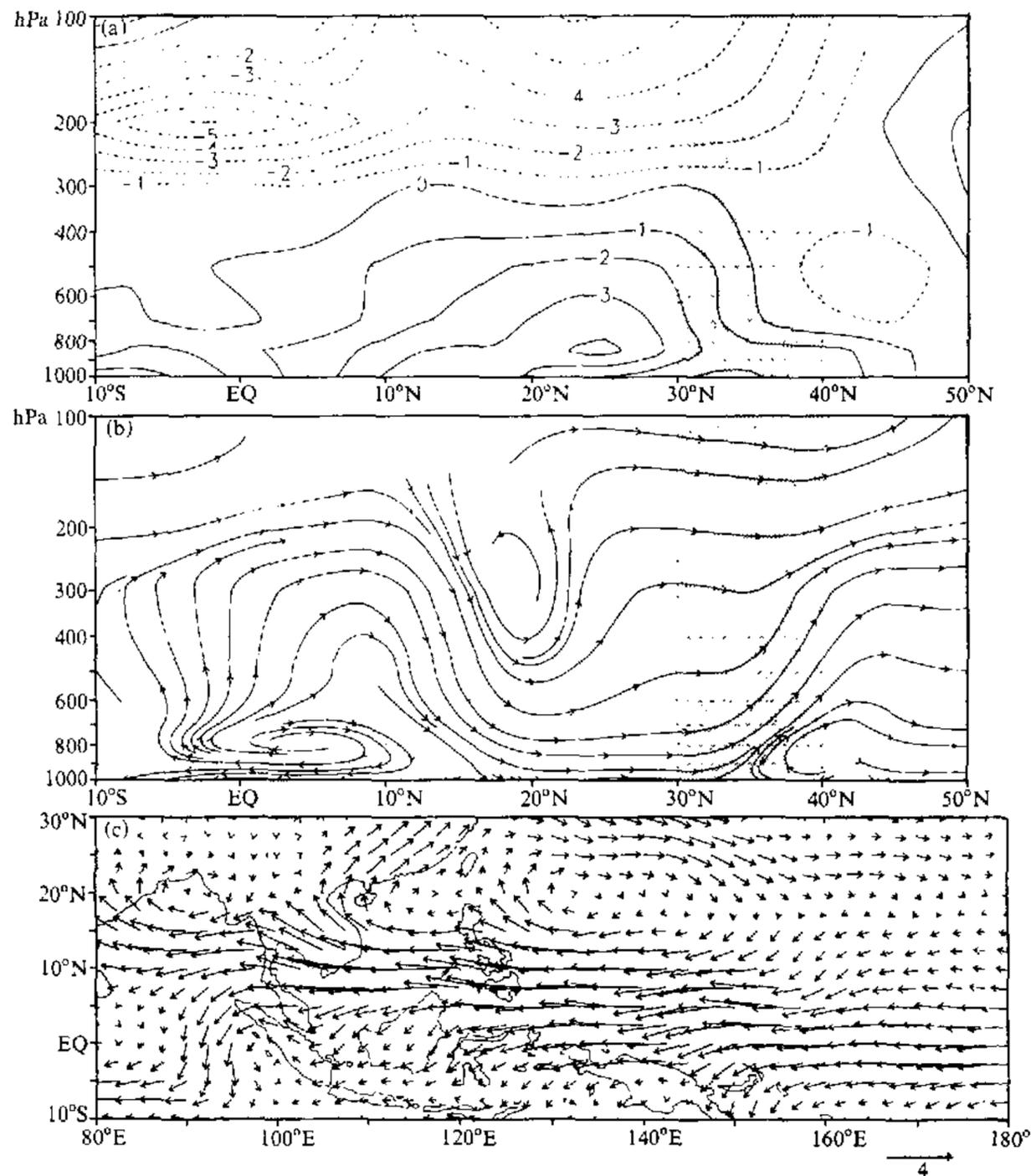


图 6 暖异常年经向环流和矢量风场的特征

(a)  $110\sim 120^{\circ}\text{E}$  平均  $v$  的垂直分布; (b)  $110\sim 120^{\circ}\text{E}$  平均与 1980~1997 年平均的偏差环流;

(c) 暖异常年 850 hPa 距平风合成

来自西南的气流一起形成了异常的副热带季风气流。

#### 4 暖池区海表水温与风场的最佳耦合模态

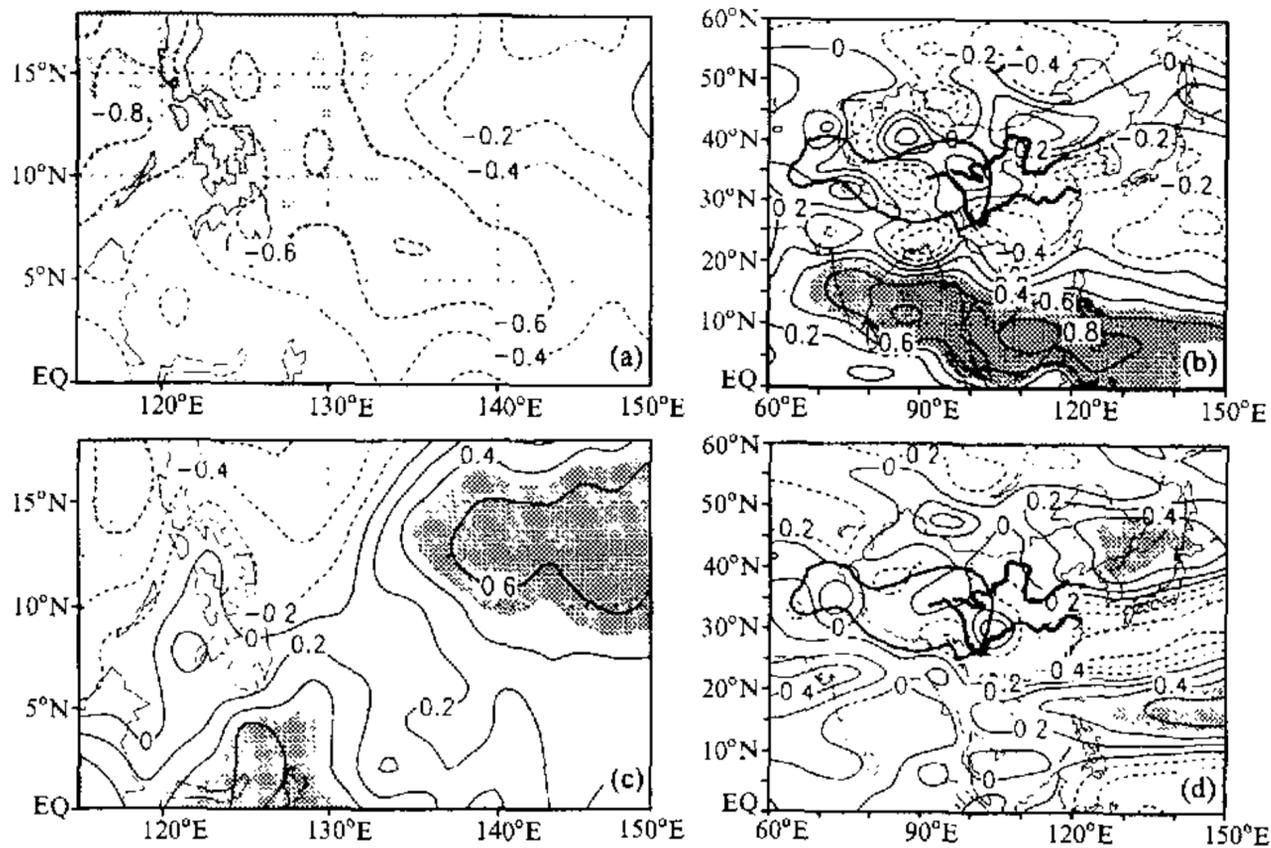
合成分析已揭示了暖池区 SST 暖异常与环流变化的密切关系,但由于被选个个例较少,其代表性不易检查。为了进一步验证暖池区 SST 异常与东亚大气环流变化的关系,这里再以奇异值分解(SVD)方法对气候资料进行统计分析,以便检查它们之间是否存有普遍性。SVD 是一种高度优化的方法,它能以最少的模态来描述各要素场的主要特征和揭示它们之间的最佳耦合模态,其气象物理意义是指当一个要素场出现某种异常(如 SST 异向相关图)分布型时,另一要素场出现相应异常分布型(如  $u$  异向相关图)的概率最大。

Wallace 等<sup>[10,11]</sup>、陈隽<sup>[12]</sup>等对 SVD 方法的数理推导和同其他方法的比较及其在气象学中的应用已有详细论证。这里只对 SVD 方法的基本特征作简要说明。SVD 方法是考虑两个场的相互关系,它们均是时间和空间的函数,通过对它们的协方差矩阵进行奇异值分解,把每个场分解成若干个模态的空间型向量和时间系数向量,其中空间型向量相当于该要素场的异常偏差分布,时间系数反映了这要素场的气候变率。这些模态是按两个场耦合总体平方协方差数 SCF 的大小顺序排列的,SCF 可以理解为气候变化过程中,一个场的空间型异常和另一个场空间型异常同时出现的概率。另外,对于每一个模态来说,衡量两个场之间耦合程度大小的依据有两个:SCF 和两个空间场的两个时间系数序列之间的相关系数(CORR)。因此只有 SCF 足够大(即非小概率事件)和 CORR 达到一定的显著性检验水平才有统计意义。异向相关图是反映一个场的异常形势,在多大程度上能够由另一个场的时间变化特征来描述,它是由一个场(原始)的空间型向量与另一个场的时间向量作相关所得。图中的值与空间型向量成正比,即能反映气候要素场的异常形势,其值在标准化相关系数值( $\pm 1$ )之间。

##### 4.1 暖池 SST 与纬向风的最佳耦合模态分析

图 7 是暖池区 SST 与 850 hPa 纬向风分量( $u$ )第一、第二模态的特征。可以看出第一个耦合模态(异向相关图 7a、b)贡献最大,SCF 为 0.58,两个场时间向量之间的相关系数为 0.87(高于 0.01 的显著水平)。在 SST 异向相关图 7a 中,整个暖池区呈现冷异常特征(相当于 ENSO 循环过程的暖位相特征),其中达到 0.05 显著水平的区域呈现西北-东南分布,SST 冷异常最大的中心在南海东部。 $u$  的第一最佳耦合模态如图 7b 所示,20°N 以南是正异常(西风异常)区,其中印度半岛南部、南海中部和南部到西太平洋一带正异常最大(超过 0.05 的显著水平)。华南到江淮地区及西太平洋西部有负异常(东风异常),但信度低于 95%。由于两个时间序列是正相关关系,故当 SST 异向相关图 7a 呈现相反分布型,即整个暖池区为暖异常(相当于 ENSO 循环过程的冷位相特征)时,相应  $u$  的异向相关图 7b 也呈相反分布型,即热带地区负异常(东风异常),华南至江淮河流域及副热带西太平洋地区正异常(西风异常)。

SST 和纬向风的第二个最佳耦合模态如图 7c、d 所示,其 SCF 为 0.21,相关系数 0.82(高于 0.01 的显著水平)。在 SST 的异向相关图 7c 中,暖池区 SST 的区域性差异显著,西北部冷异常,冷中心在南海东北部及其以东太平洋地区,东南部为暖异常区,

图7 暖池区 SST 与 850 hPa  $u$  的异向相关图

(a) SST 第一模态; (b)  $u$  第一模态; (c) SST 第二模态; (d)  $u$  第二模态  
阴影区表示高于 0.05 显著水平

两个暖中心区分别位于东部和南部。在  $u$  的异向相关图 7d 中看到, 高于 0.05 显著水平的区域主要集中在  $120^{\circ}\text{E}$  及以东的西太平洋地区, 西太平洋的赤道地区和副热带地区负异常 (东风异常), 低纬度地区和中纬度地区正异常 (西风异常)。如前所述, 当暖池区 SST 异常呈相反分布时, 对应  $u$  异向相关图也呈相反分布。

另外, 从前 6 个耦合模态协方差贡献 (表 1) 可看出, 第一模态和第二模态已占总体协方差的 79%, 余下模态的协方差贡献均比它小一个量级。

表 1 SST-850 hPa  $u$ 、 $v$  的各个耦合模态对总体方差的贡献

|             | 第一模态 | 第二模态 | 第三模态 | 第四模态 | 第五模态 | 第六模态 |
|-------------|------|------|------|------|------|------|
| SCF ( $u$ ) | 0.58 | 0.21 | 0.04 | 0.02 | 0.02 | 0.01 |
| SCF ( $v$ ) | 0.52 | 0.20 | 0.08 | 0.05 | 0.03 | 0.02 |

以上分析表明 SST 与 850 hPa 纬向风的第一、二个耦合模态, 基本上反映了暖池区暖/冷异常及暖池区中有异常差异时与纬向风变化的关系。暖异常时, 热带地区纬向风负异常 (西风弱), 华南至江淮河流域及副热带西太平洋地区有正异常 (西风强), 冷异常时相反。当暖池区 SST 分布有显著暖/冷差异时,  $120^{\circ}\text{E}$  及其以东西太平洋区域纬向风有显著的异常。

#### 4.2 暖池 SST 与经向风的最佳耦合模态分析

图 8 是暖池区 SST 与 850 hPa 经向风分量 ( $v$ ) 第一、第二模态的特征, 可以看出第一个耦合模态的 SCF 是 0.52, 相关系数 0.92 (高于 0.01 的显著水平)。在 SST 异向

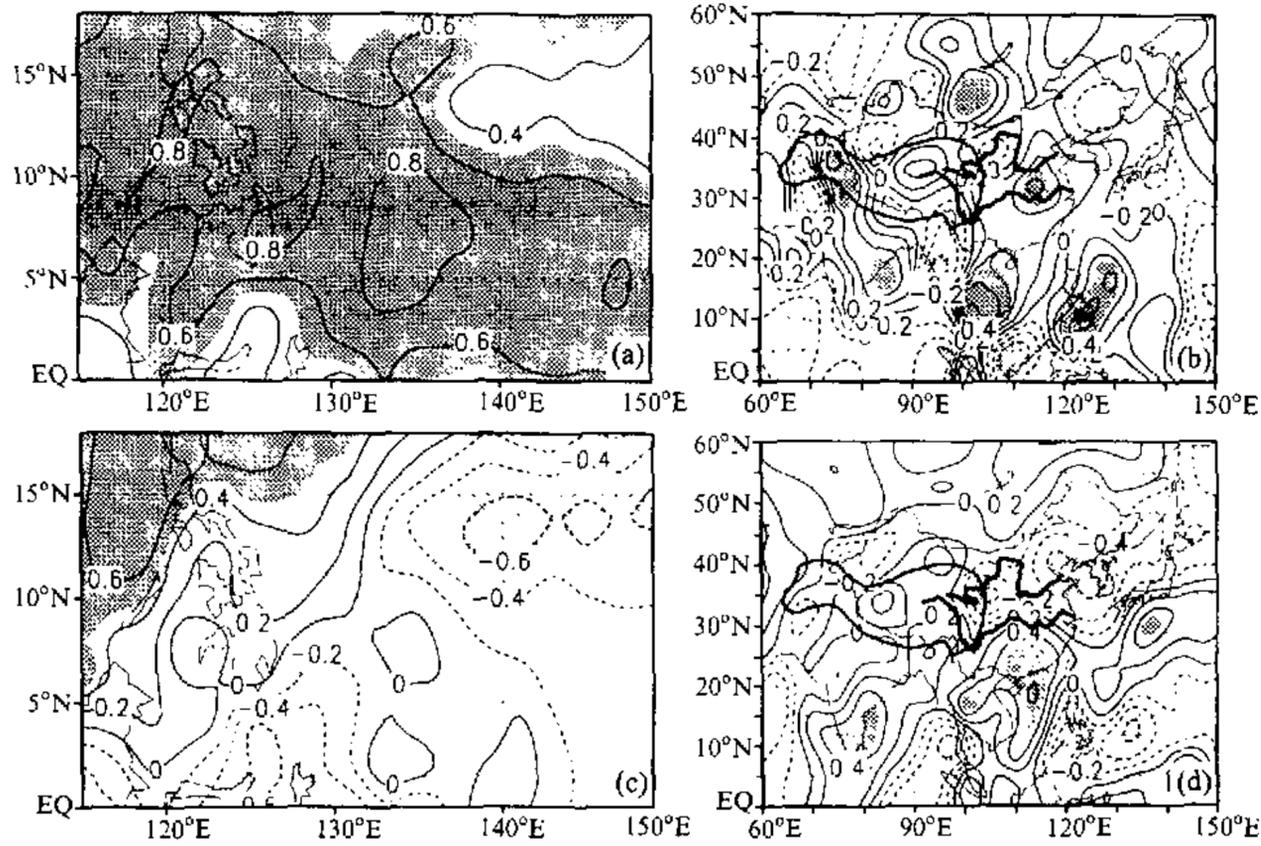


图8 暖池区 SST 与 850 hPa  $v$  异向相关图

(a) SST 第一模态; (b)  $v$  第一模态; (c) SST 第二模态; (d)  $v$  第二模态

阴影区表示高于 0.05 显著水平

相关图 8a 中可见, 整个暖池区呈暖异常特征。在相应  $v$  的异向相关图 8b 中, 赤道东印度洋和孟加拉湾、南海南部、西太平洋中部是显著 (高于 0.05 显著水平) 的负异常区 (南风弱)。印度半岛东部、中南半岛东部和南海西北部至中国东部大陆、菲律宾岛及其以东区域是显著 (高于 0.05 显著水平) 的正异常 (南风强)。

值得强调的是在中南半岛至中国东部的正异常区中, 两个中心分别位于中南半岛东部和江淮地区, 清楚地反映了暖池区 SST 异常与东亚夏季风活动的关系, 它与前面合成分析结果相当一致。表明暖池区暖异常有利于以上区域南风分量增强和南海南部及中部、孟加拉湾区域南风分量减弱。当暖池区 SST 冷异常时  $v$  偏差分布也相反。

第二模态的 SCF 是 0.20, 相关系数 0.89 (高于 0.01 的显著水平)。SST 的异向相关图 8c 表明暖池区 SST 异常有显著的区域性差异, 西-北部暖和东北-西南部冷的状态。相应  $v$  的异向相关图 8d 的显著特征是: 高于 0.05 显著水平的正异常区位于印度半岛南部, 经中南半岛、华南至西太平洋副热带区域; 赤道东印度洋和南海以东西太平洋低纬度区域、中国长江以北区域是显著负异常区。同样当暖池区 SST 异常呈相反分布状态时  $v$  偏差分布也相反。

以上结果表明, 整个暖池区暖异常时, 有利于中南半岛东部和南海西北部至华北地区南风分量增强, 尤其是江淮流域, 而南海南部和中部南风减弱 (SCF = 0.52)。暖池区冷异常时相反; 暖池区 SST 呈西-北部暖异常, 东-南部冷异常分布时, 印度、南海至长江以南地区南风偏强, 长江以北、南海东南部及以东南风偏弱 (SCF = 0.20)。SST 异常呈相反分布时则相反。此外, SST 和经向风第一、第二模态的 SCF 占总体协

方差的 72% (表 1), 已反映了两者之间 (SST 和  $v$ ) 关系的主要统计特征。

## 5 结果

通过热带西太平洋暖池区 SST 暖异常年份合成分析和 SVD 分析, 得到如下结果:

(1) 东亚经、纬向风场的异常与暖池区热源异常是密切相关的, 850 hPa 经、纬向风对暖池暖异常的响应特征是: 中南半岛南部到热带西太平洋地区西风分量减弱, 长江以南到西太平洋副热带地区西风分量增强; 印度半岛中部、中南半岛至黄河中下游、菲律宾以东附近南风分量增强, 赤道东印度洋、南海南部和中部、西太平洋中部南风分量减弱。因此暖异常有利于中南半岛至中国东部大陆夏季风增强, 赤道东印度洋、南海南部和中部、西太平洋地区夏季风减弱。其过程是暖异常使得西太平洋副热带产生一个相当强的反气旋偏差环流, 使得副高南侧东风显著加强并影响南海大部, Walker 环流上升支西移。另一方面, 偏差气流也增强了中南半岛东部转向大陆的气流。

(2) 暖池区 SST 与 850 hPa 风场之间存在两个最佳耦合模态。第一模态揭示了整个暖池区 SST 暖/冷异常型与风场的关系, 暖异常型对应的风场特征与暖异常年合成分析结果一致。冷异常时风场则成相反分布。第一模态两个场耦合总体平方协方差分别占总体协方差 0.58 ( $u$ ) 和 0.52 ( $v$ )。第二模态揭示了暖池区内 SST 有显著暖/冷异常差异时与风场的关系, 暖池区呈西-北部暖异常, 东-南部冷异常分布时印度半岛南部、南海到长江以南地区西南季风偏强, 长江以北、南海东南部及以东区域夏季风偏弱。暖池区内 SST 呈西-北部冷异常、东-南部暖异常分布时则相反。该模态两个场耦合总体平方协方差分别占总体协方差 0.21 ( $u$ ) 和 0.20 ( $v$ )。

(3) 暖异常年风场的距平与其标准差关系分析进一步表明, 暖池区暖/冷异常和暖池区内 SST 的显著差异是引起东亚夏季风年际变化的重要原因之一。另外, 暖池区暖异常对大气环流影响的重要性不仅仅在于暖池本身, 而且还受到与其密切相关的南海, 副热带西太平洋 SST 异常的影响。

## 参 考 文 献

- 1 Huang Ronghui and Li Weijing, Influence of the heat source anomaly over the western tropical Pacific on the subtropical high over East Asia, Proc. International Conference on General Circulation of East Asia, April 10-15, Chengdu, 1987, 40~51.
- 2 Huang Ronghui and Sun Fengying, Impacts of tropical western Pacific on the East Asian summer monsoon, *J. Meteor. Soc. Japan*, 1992, 70, 243~256.
- 3 Nitta, Ts., Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the Northern Hemisphere summer circulation, *J. Meteor. Soc. Japan*, 1987, 64, 373~390.
- 4 朱乾根, 胡江林, 太平洋SST暖异常对亚洲夏季风影响的数值试验, 南京大学学报(庆祝朱炳海教授从事气象学教学工作六十年专刊), 1994, 68~79.
- 5 吴爱明, 白学志, 南海热带太平洋SST异常对亚洲季风环流的影响, 南海季风爆发和演变及其与海洋的相互作用, 北京: 气象出版社, 1999, 125~132.
- 6 罗绍华, 金祖辉, 南海SST变化与初夏西太平洋副高活动及长江中、下游汛期降水关系的分析, 大气科学, 1986, 10(4), 409~417.
- 7 金祖辉, 罗绍华, 长江中下游梅雨期旱涝与南海SST异常关系的初步分析, 气象学报, 1986, 44(3), 360~372.

- 8 张学洪, 冬季北太平洋海表热通量异常和海风相互作用—基于一个全球海气耦合模式长期积分的分析, *大气科学*, 1998, **22**(4), 511~521.
- 9 Webster, P. J., and S. Yang, Monsoon and ENSO, selectively interactive systems, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1992, **118**, 877~926.
- 10 Wallace, J. M. et al., An intercomparison of methods for finding couple patterns in climate data, *Journal of Climate*, 1992, **5**, 541~560.
- 11 Wallace, J. M. et al., Singular value decomposition of wintertime sea surface temperature and 500-mb height anomalies, *Journal of Climate*, 1992, **5**, 561~576.
- 12 陈隽, 东亚冬季风异常在环流隔季相关及ENSO发展中的作用, 中国科学院大气物理研究所博士学位论文, 1999.

## **A Composite Study of the Influence of SST Warm Anomalies over the Western Pacific Warm Pool on Asian Summer Monsoon**

Jin Zuhui and Chen Jun

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

**Abstract** Based on NCEP reanalyzed data, a composite analysis of general circulations and the SST anomalies over the western Pacific warm pool and their statistical verification through the singular value decomposition (SVD) method are made to describe the best coupled patterns between SST and summer monsoon in East Asia. The results show that a very strong anticyclone deviation circulation occurs in the lower troposphere over the western Pacific Ocean along with positive SST anomalies of the warm pool. On the one hand, the anticyclone deviation circulation makes the easterly wind to the south of the subtropical high become stronger and extend to the Indo-China Peninsula, which affects the development of southwest monsoon in the tropical area of Southeast Asia. On the other hand, the anticyclone deviation results in stronger southerly wind to the southwest of the subtropical high, so the summer monsoon of the subtropical areas, especially the eastern part of China, become much stronger. The analyses of SVD show that there exist two best coupled patterns between SST and zonal, meridional wind, which indicates that the SST anomalies of whole warm pool can affect the general circulation of East Asia, and so can the heterogeneous distribution of SST anomalies.

**Key words:** western Pacific Ocean; warm pool; anomalies of summer monsoon; coupled pattern