

# 南海夏季风爆发与西太平洋暖池区 热含量及对流异常

陈永利<sup>1</sup>, 胡敦欣<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 海洋研究所, 山东 青岛 266071)

**摘要:** 利用 1955~1998 年逐月的上层海洋热含量资料和 NCEP/NCAR 再分析资料, 研究了南海夏季风爆发与热带西太平洋暖池区热含量异常的关系, 并对影响过程进行了探讨. 结果表明: (1) 热带西太平洋暖池区是热带上层海洋热含量变化最大的区域, 暖池区的热含量的变化与 ENSO 关系密切, 是 ENSO 循环的重要组成部分, 也是影响南海夏季风爆发最明显的地区. (2) 南海夏季风爆发与前期 (特别是前期冬、春季) 暖池热状态的变化有密切关系, 当前期暖池热含量高时, 南海夏季风爆发早, 反之爆发晚, 这与由暖池变化所产生的上空大气的对流活动密切相关; 4 月暖池区热含量高 (低) 是预报南海夏季风爆发早 (晚) 的一个很好指标. (3) 西太平洋暖池区热含量正异常时, 辐散中心位于南海—西太平洋, 对流强, 西太副高弱且位置偏东, 季风环流 (印度洋纬向环流和经向环流) 和 Walker 环流为正距平环流; 正距平的季风环流有利于低空西到西南气流的加强, 南海夏季风爆发早, 反之爆发晚. 由暖池变化所引起的大尺度季风环流和 Walker 环流的异常变化可能是影响南海夏季风爆发的一个重要动力机制.

**关键词:** 西太平洋暖池区热含量异常; 南海夏季风爆发; 季风环流与 Walker 环流

**中图分类号:** P732.6      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0253-4193 (2003)03-0020-12

## 1 引言

早在 20 世纪 80 年代, 我国气象学家就明确指出, 亚洲季风由既相互独立又相互联系的南亚 (印度) 季风和东亚季风系统所组成<sup>[1,2]</sup>. 亚洲夏季风 5 月中旬前后最早在南海地区爆发, 它是整个亚洲夏季风的最早阶段<sup>[3]</sup>. 南海夏季风的建立标志着亚洲季风的来临和我国雨季的开始. 南海夏季风爆发晚的年份, 我国夏季雨带位置多偏南, 主要降雨中心位于长江流域; 爆发

**收稿日期:** 2002-02-06; **修订日期:** 2002-09-05.

**基金项目:** 中国科学院知识创新工程重要方向资助项目 (ZKCX2-SW-210); 国家自然科学基金资助项目 (40128003; 40076006); 山东省自然科学基金资助项目 (Y99E02).

**作者简介:** 陈永利 (1954—), 男, 山东省蓬莱市人, 副研究员, 从事海气相互作用研究.

早的年份,雨带位置多偏北,位于黄淮至华北地区<sup>[4]</sup> 因此,研究和探讨南海夏季风爆发的影响机制是预报夏季风活动和夏季降水的关键。

亚洲季风区濒临于世界上最大的海洋——太平洋、印度洋和最大的大陆——欧亚大陆,亚欧海陆的热力差异形成了亚洲最显著的季风现象. 热带西太平洋是全球海温最高的海域,处于 Walker 环流的上升支,是大气对流的活动中心,也是全球海气能量交换总量最大的区域. 这里又称暖池(warm pool). 大型国际计划 TOGA 和 TOGA COARE 的实施,使暖池研究成为近十多年来气候研究的焦点. 越来越多的证据表明,热带西太平洋在海气耦合系统中占有重要的地位<sup>[5-9]</sup> 暖池的变化对东亚大气环流和气候异常有着重要影响,暖池及其上空的对流活动可以激发夏季东亚--太平洋型(或 PJ 型)遥相关波列,可波及西欧和北美,并影响西太平洋副热带高压位置和我国夏季降水. 尽管暖池临近南海季风区,但有关暖池对夏季风影响方面的研究却较少. 暖池变化与南海夏季风爆发关系如何,对南海季风有无影响,其影响机制又如何,目前还没有较明确的结论。

本文的目的主要是利用太平洋上层海洋的热含量资料着重分析热带西太平洋暖池上层海洋热含量异常变化与南海夏季风爆发的关系,探讨暖池区热含量异常对南海夏季风爆发早、晚与亚洲季风环流变化的影响。

## 2 资料

所用资料主要为 Scripps 海洋研究所提供的  $2^{\circ} \times 5^{\circ}$  纬度、经度格点 1955 年 1 月至 1998 年 12 月 0~400 m 上层海洋月平均的热含量资料和 NECP/NCAR 的  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$  格点月平均的再分析气象资料. 1979~1999 年南海与暖池区月平均高云量指数资料由日本气象厅提供。

南海夏季风爆发日期的研究较多,但结果不尽一致. 本文南海季风爆发日期取自中国气象局目前在业务预报中所使用的季风指数<sup>[10]</sup>,即定义为南海地区( $0^{\circ} \sim 20^{\circ} \text{N}$ ,  $105^{\circ} \sim 120^{\circ} \text{E}$ )区域平均的向外长波辐射值(OLR)下降至  $235 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ,同时区域平均的 850 hPa 纬向风由东风转为西风的时间. 谢利、罗会邦<sup>1)</sup>则根据美国气候预报中心(CMAP)降水资料,用南海区域候平均降水超过  $6 \text{ mm/d}$  的日期确定南海夏季风爆发时间. 比较两组结果发现,南海夏季风爆发的平均日期为 5 月第 4 候. 除 1995 年相差较大外,其变化基本一致(表 1)。

表 1 1979~1998 年各年及多年平均南海夏季风爆发的日期[月(候)]

年份	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
NCC	5(3)	5(4)	5(3)	6(1)	6(2)	5(1)	4(4)	5(2)	6(2)	5(5)	5(4)
谢利、罗会邦 <sup>1)</sup>	5(3)	5(4)	5(3)	6(1)	6(2)	4(6)	4(4)	5(3)	6(2)	5(5)	5(4)
年份	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	平均	
NCC	5(3)	6(3)	6(1)	6(4)	5(4)	6(2)	5(2)	5(5)	5(5)	5(4)	
谢利、罗会邦 <sup>1)</sup>	5(3)	6(1)	6(2)	6(4)	5(2)	5(3)	5(3)			5(4)	

1) 谢利,罗会邦. 南海季风降水爆发的年际变化及影响因子初步分析. “季风变异及严重旱涝预测理论”会议文集. 昆明,1999. 4~5.

### 3 热带西太平洋暖池热含量变化特征

热带西太平洋暖池是指热带西太平洋  $SST \geq 28^\circ\text{C}$  的高海温区<sup>[11]</sup>, 是全球海洋 SST 最高的海域. 除了西太平洋区域以外, 它还包括东印度洋一小部分. 一般暖池多指西太平洋暖池(以下简称暖池). 暖池多年平均的水平范围, 西部以菲律宾至新几内亚群岛的连线为界, 大致为  $15^\circ\text{S} \sim 15^\circ\text{N}$ ,  $140^\circ\text{W}$  以西海域, 其核心区域年平均 SST 可终年高于  $29^\circ\text{C}$  (见图 1a). 在暖池范围内, 由于海水温度具有范围广阔的低水平梯度和垂直混合特性, SST 的变化很小, 即使在 ENSO 期间, 暖池 SST 的变化也小于  $1^\circ\text{C}$ , 而大的变化是在温跃层. 从上层海洋 ( $0 \sim 400\text{ m}$ ) 热含量异常的标准差分布可以看出, 热带西太平洋暖池区是太平洋上层海洋热含量异常变化最大的区域. 南北赤道流在太平洋西边界的转向造成南北半球巴布亚新几内亚和菲律宾海域各存在一个最大变化中心, 暖池主体范围与热含量标准偏差大的区域 ( $\geq 60 \times 10^7\text{ W}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2}$ ) 基本一致(阴影部分). 热带西太平洋上层海洋的热状态主要反映了暖池的变化.

暖池的位置和范围随季节有明显变化. 冬季位置偏南, 中心位于南半球; 夏季位置偏北, 中心位于北半球. 两个最大中心位置的平均热含量也表现出明显的季节差异, 巴布亚新几内亚海域热含量的最大值出现在冬季, 而菲律宾海域热含量的最高值出现在春季 3~4 月(图略). 暖池范围的季节变化主要表现在南北方向上(特别是北半球)的扩展, 而东西方向的变化并不明显. 太平洋上层海洋热含量的年际变化与 ENSO 循环相联系<sup>[12,13]</sup>. 从 20 世纪 80 年代以来两次 La Niña/El Niño 年份前冬(12~2 月)平均热含量的距平分布(见图 1b)可以看出, 热含量距平的最大值发生在暖池区. La Niña 期间, 暖池在西太平洋充分发展, 暖水辐聚, 西太平洋暖池区为正距平异常; El Niño 期间, 暖池东边界大幅度向东扩展, 温跃层上升变浅, 暖池区热含量呈现负距平异常. 中心位于赤道以北  $150^\circ\text{E}$  附近, 中心最大距平异常可达  $\pm 200 \times 10^7 \sim 250 \times 10^7\text{ W}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2}$  以上. ENSO 强年比弱年有明显的变化. 1989 年是强 La Niña 年, 1988 年冬季暖池中心正距平达  $200 \times 10^7\text{ W}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2}$ . 1987 年和 1998 年是两个极强的 El Niño 年, 而 1998 年又是 20 世纪最强的一次暖事件, 1997 年冬季暖池区  $10^\circ \sim 15^\circ\text{N}$ ,  $135^\circ\text{E}$  附近的热含量距平达到  $-300 \times 10^7\text{ W}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2}$  以上. 可以相信, 暖池区上层海洋如此强的热含量差异对大气环流和气候将产生重要作用.

### 4 南海夏季风与暖池热状态异常的关系

选取赤道以北暖池中心附近 ( $0^\circ \sim 15^\circ\text{N}$ ,  $130^\circ \sim 160^\circ\text{E}$ ) 区域平均的热含量代表暖池热状态, 图 2 给出暖池区月平均热含量距平与全球海平面气压场的同期相关分布. 图中深色、浅色阴影部分分别为相关信度为 99.9% 的负、正相关区. 相关最大的区域在热带地区, 大致以日界线为界, 东部为大范围的正相关区, 西部为负相关区; 正、负中心分别位于东太平洋和菲律宾及印度尼西亚群岛附近. 尤其值得注意的是, 这种分布恰是南方涛动(SO)的分布图像<sup>[14]</sup>. 在东太平洋和南海--西太平洋地区大的正、负极大值区是 Walker 环流的控制中心, 而负相关区与 Ramage<sup>[15]</sup> 定义的亚洲季风区域的范围基本一致. 由此可见, 暖池的年际变化是 ENSO 循环的一个重要组成部分, 对亚洲季风区季风环流和气候的变化有直接影响.

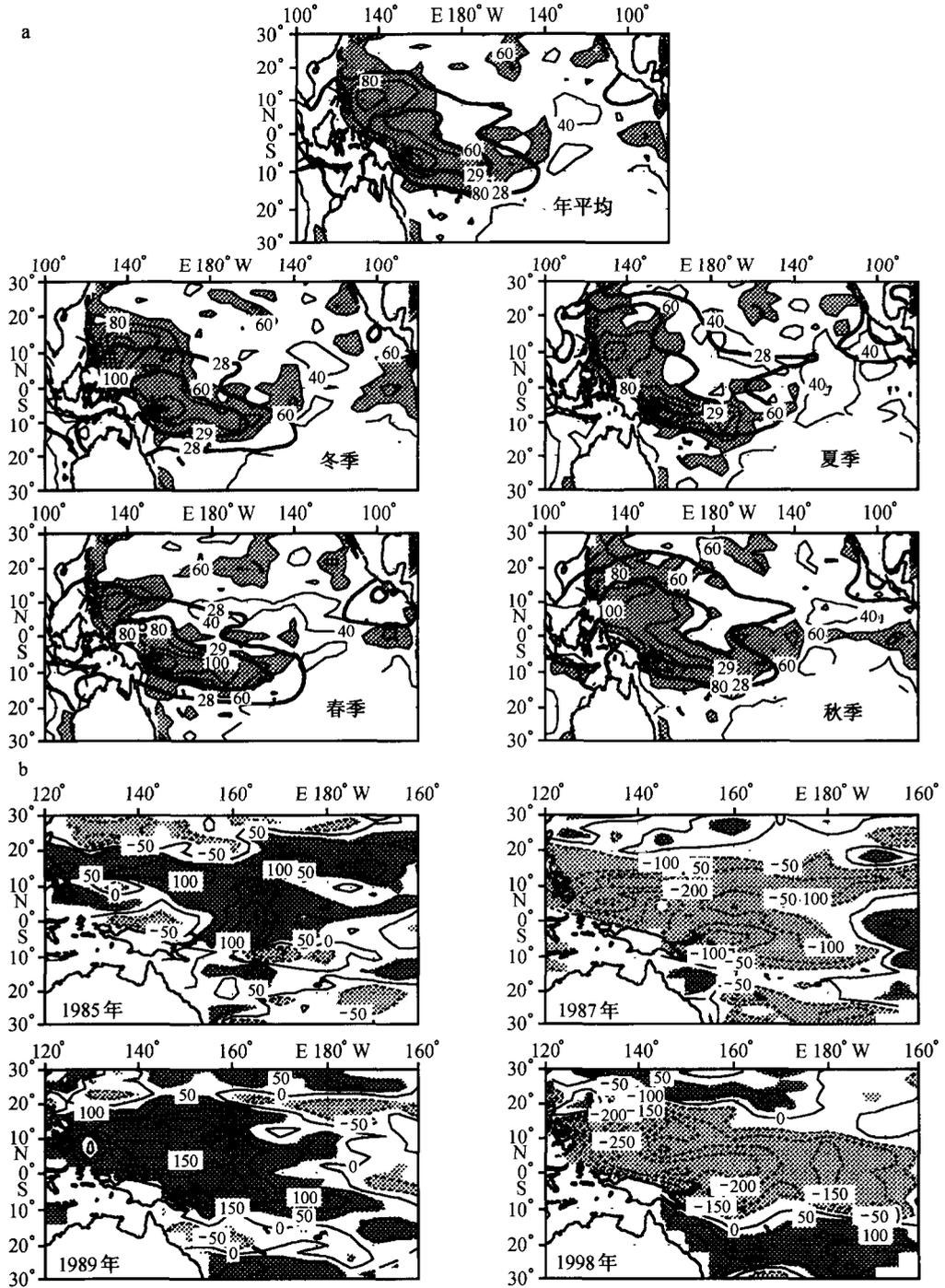


图1 热带太平洋 SST( $\geq 28^\circ\text{C}$ ) 和上层海洋热含量( $\times 10^7 \text{ W}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2}$ )标准差分布(a)和 La Niña/El Niño 年份前冬(12~2月)西太平洋暖池区热含量的距平分布(b)

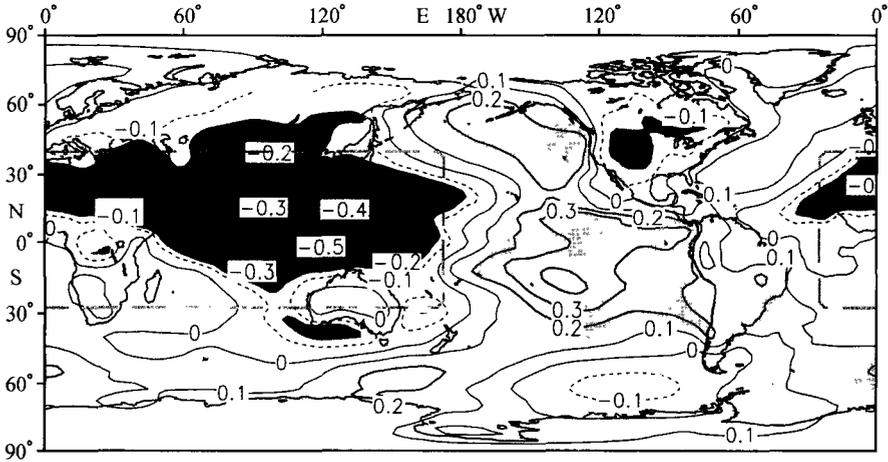


图2 暖池区(0°~15°N, 130°~160°E)热含量距平与全球海平面气压场的同期相关分布(1955年1月至1998年12月)

#### 4.1 南海夏季风爆发与暖池区热含量变化的关系

南海夏季风爆发与暖池区热含量变化有密切关系(图3)。从南海夏季风爆发时间与前期1~6月太平洋、印度洋区域逐点的热含量距平相关可以发现,除了热带西印度洋小部分相关区域之外,影响南海夏季风爆发的主要区域有两个,一个是在赤道东太平洋,为正相关区,相关范围较小;另一个是在热带西太平洋暖池区,为负相关区。它位于5°S~20°N,日界线以西的热带西太平

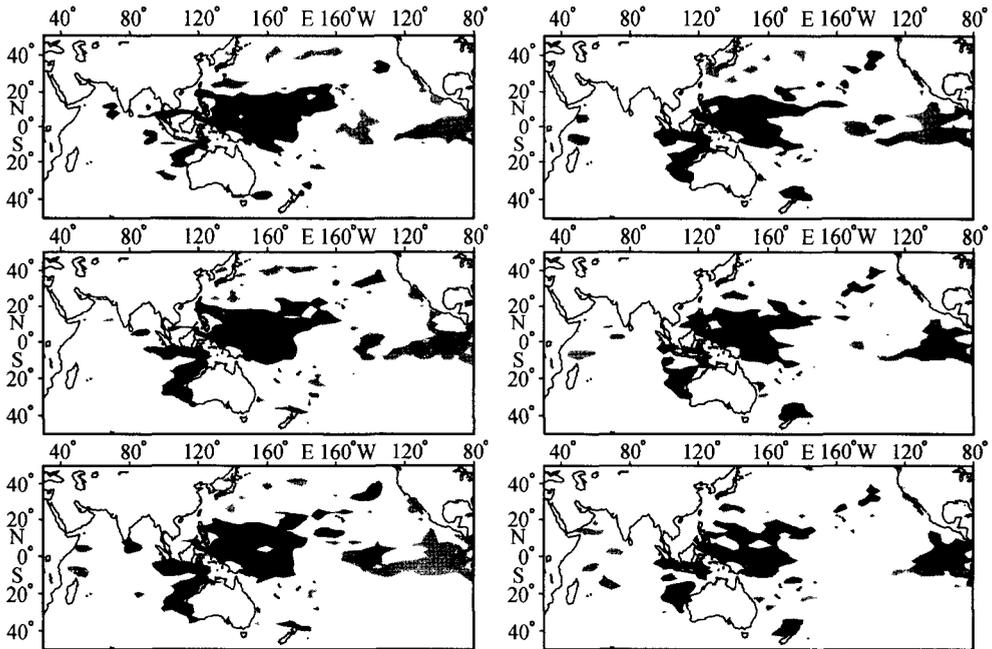


图3 南海夏季风爆发与前期1~6月太平洋、印度洋区域热含量的相关分布(1979~1998年) 深色、浅色阴影部分分别为相关信度大于90%的负、正相关区

洋和东印度洋一部分区域,与西太平洋暖池的分布范围相一致.从相关分布范围来看,西太平洋暖池区远大于赤道东太平洋,并有明显的持续性,是影响南海季风爆发的重要区域.

为了更确切地检验暖池区热含量对南海季风爆发影响的关系,我们用暖池区(范围同前)的热含量与南海夏季风爆发时间求滞后相关(图4a).从相关关系可以发现,暖池区对南海季风爆发的影响从前一年夏季就已开始(相关信度为95%),并从秋季开始影响程度迅速增加,以当年春季(3~5月)关系最好,相关信度超过99.9%.图4b是4月暖池区热含量异常与南海季风爆发的时间序列.如图所示,两者的变化关系非常密切,相关系数达到0.8以上.南海夏季风爆发早年,除1989年外,1981,1984~1986,1996年暖池区热含量均为正距平;南海夏季风爆发晚年,如:1983,1987,1991~1993,1995,1997~1998年均为负距平,即当前期暖池区热含量为正距平异常时,南海夏季风爆发早,反之爆发晚.3~4月是暖池区海温最高的季节,前期春季暖池区热含量的高、低是南海夏季风爆发早、晚的一个很好预报指标.

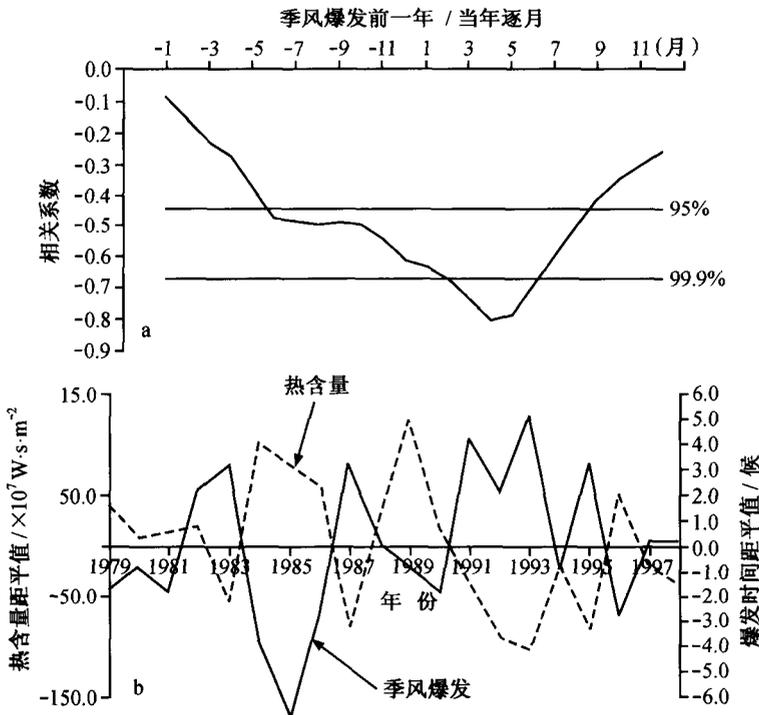


图4 南海夏季风爆发与暖池区( $0^{\circ}\sim 15^{\circ}\text{N}$ ,  $130^{\circ}\sim 160^{\circ}\text{E}$ )热含量的滞后相关关系(横坐标“-”为季风爆发前一年,正数为当年)(a)和南海夏季风爆发与前期4月暖池区热含量距平的时间序列(b)

图5a分别是暖池区热含量距平与暖池A区( $5^{\circ}\text{S}\sim 5^{\circ}\text{N}$ ,  $110^{\circ}\sim 135^{\circ}\text{E}$ )、B区( $10^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{N}$ ,  $110^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$ )高云量指数的时间序列(高云量指数代表对流强度,当高云量指数为正值时表示对流活动强;反之对流活动弱.高云量指数已标准化并做了3个月滑动平均.).从A和B两区的变化看,暖池区上空的对流强弱与暖池区热状态的变化基本是一致的,即当暖池区热含量高时,其上空的对流活动强,而热含量低时,对流活动弱.这些变化在La Niña/El Niño年尤其

明显. La Niña 年, 暖池区热含量为正距平, 暖的热状态有助于对流活动在暖池区形成. El Niño 年, 暖池区热含量处于负距平, 它抑制了对流活动的发展.

我们仅以邻近暖池区的 B 区讨论暖池上空的对流活动与南海夏季风爆发的关系. 从南海夏季风爆发与 B 区春末夏初(4~6 月平均)高云量指数之间的变化关系(图 5b)可以看出, 南海夏季风爆发与南海-暖池上空的对流活动关系十分密切. 暖池上空的对流活动强时, 南海夏季风爆发早; 而对流弱时, 南海夏季风爆发晚. 相关系数高达  $-0.92$ . 春末夏初, 暖池北移, 最大暖水轴在  $10^{\circ}\text{N}$  附近, ITCZ 的位置与最大暖水轴相重合. B 区对流活动的强弱变化基本反映了南海-菲律宾周围海域 ITCZ 位置和强度的变化, 对南海夏季风爆发起重要作用. 陈隆勋等<sup>[16]</sup>在分析南海夏季风爆发期间云顶高度(TBB)的变化时发现, 南海夏季风爆发与西太平洋暖池上空产生的大尺度对流云团西移到南海有关, 认为暖池区移来得强对流云可能会激发南海夏季风的爆发, 这与上述的分析结果是一致的.

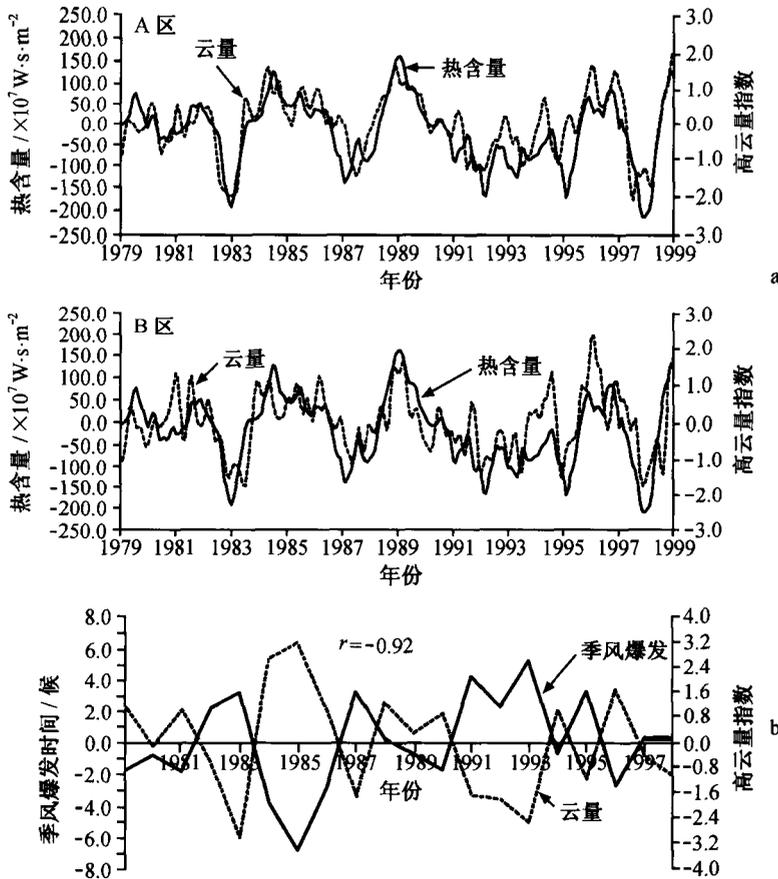


图 5 暖池区热含量与南海-暖池海域 A, B 区高云量指数的时间序列(a)和南海夏季风爆发与 B 区春末夏初(4~6 月平均)高云量指数的关系(b)

#### 4.2 前期春季暖池热状态异常对南海夏季风环流的影响

SVD 方法是研究两个不同要素场之间线性耦合关系的有效方法, 它擅长于识别和提取两

个要素场之间的最佳耦合模态. 为了探讨季风环流与暖池变化的关系, 我们取初夏南海夏季风爆发期间(5, 6月平均)亚洲季风区( $40^{\circ}\text{E} \sim 90^{\circ}\text{W}$ ,  $40^{\circ}\text{N} \sim 20^{\circ}\text{S}$ )850 hPa 平均的  $U, V$  风场和前春(3~5月)热带印度洋-太平洋的热含量标准化距平场作联合 SVD 耦合分析, 来研究暖池热状态异常对南海夏季风环流的影响.

图 6 是前春热含量场与风场 SVD 分解的第一模态和时间系数, 该模态解释了总方差分量的 34%, 相关系数高达 92%. 图中阴影区表示达到 95% 信度的显著相关区, 其中虚、实阴影部分为分别表示热含量场与风场第一模态的正、负相关. 它清楚地反映了南海季风爆发早、晚时亚洲季风环流对暖池热状态异常的响应. 从海洋模态来看(见图 6a), 春季影响夏季风环流的主要相关区在暖池区, 为正相关区; 印度洋西部和赤道中、东太平洋为负相关区. 强的相关主要发生在西太平洋. 以日界线为界, 东、西太平洋的热状态呈现反位相变化, 这种东、西向分布表现为典型的 La Niña/El Niño 特征.

由异向相关矢量图(图 6b)可以发现, 在上述暖池状态影响下, 大气环流异常最明显的是几乎整个亚洲季风环流的异常. 前春暖池区热含量正异常时, 其后初夏整个亚洲季风区为强的西风距平环流, 西风强;  $80^{\circ} \sim 90^{\circ}\text{E}$  附近和索马里越赤道气流偏强,  $160^{\circ}\text{E}$  以东中、东太平洋为东风距平; 南海和西太平洋与孟加拉湾分别为气旋性距平环流, 并与南侧的两个气旋性环流组成关于赤道对称的气旋对. 在南海-西太平洋气旋性涡旋的作用下, 西太副高弱, 位置偏东偏北, 中南半岛及南海不在副高控制之下, 对流天气活跃, 偏南气流可直接进入南海, 有利于南海季风爆发早. 反之, 南海季风爆发晚.

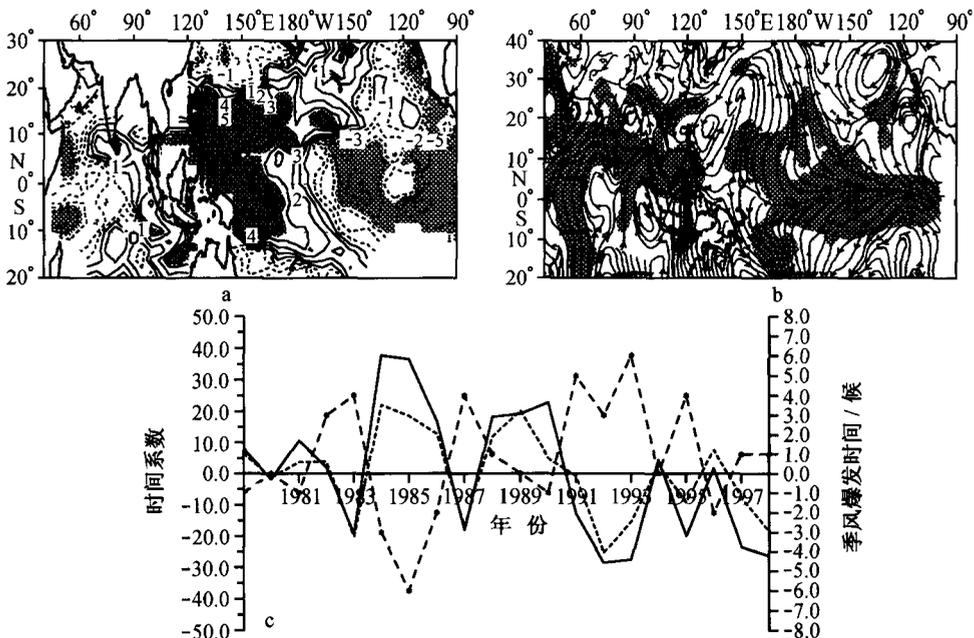


图 6 初夏亚-澳季风区 850 hPa 风场与前期春季热含量距平场 SVD 的第一模态和时间系数

a. 为热含量场, b. 为风场, c. 实线对应于流场, 虚线对应于热含量场, 点线对应于南海夏季风爆发时间. 深色、浅色阴影部分为正、负相关区, 且阴影区相关信度超过 95% 显著性检验

图 6c 是 SVD 第一模态时间系数与南海夏季风爆发时间的的时间序列. 图中实线对应于流场, 虚线对应于热含量场, 点线对应于南海夏季风爆发时间. 可以看出, 南海夏季风爆发早、晚与 SVD 第 1 模态风场(即夏季风强、弱)和热含量场的时间系数有较一致的变化关系. 春季暖池区热含量正异常时, 如 1981, 1984~1986, 1996 年(1989 年除外), 南海夏季风爆发早, 季风强; 而暖池区热含量负异常时, 如 1983, 1987, 1991~1993, 1995, 1997~1998 年南海夏季风爆发晚, 季风弱. 南海夏季风爆发晚(早)年基本和 El Niño(La Niña)年相对应.

## 5 影响南海夏季风爆发年际变化的可能机制

200 hPa 速度势通常用来反映大尺度环流的变化<sup>[17~20]</sup>, 辐散环流的经向和纬向分量主要反映了 Hadley 环流和 Walker 环流的上层分支. 季风环流是行星尺度的天气系统, 热带地区大尺度辐散环流的异常分布主要与局地加热不平衡的动力调整有关. 由暖池热含量正、负距平异常年(即: 南海夏季风爆发早、晚年, 分别取爆发早年 1981, 1984~1986, 1996 年共 5 a, 晚年 1983, 1987, 1991~1993, 1995 年共 6 a) 200 hPa 速度势和辐散风异常合成图(图 7)可以明显看出, 4~6 月南海夏季风爆发早、晚年辐散风场的分布基本相反, 相反区域主要反映在东亚及西太平洋、东太平洋和南印度洋, 尤以东亚及西太平洋暖池上空的辐散环流最明显. 南海夏季风爆发早、晚与海洋热状态异常所引起的亚澳季风区大尺度辐散环流的异常变化密切相关.

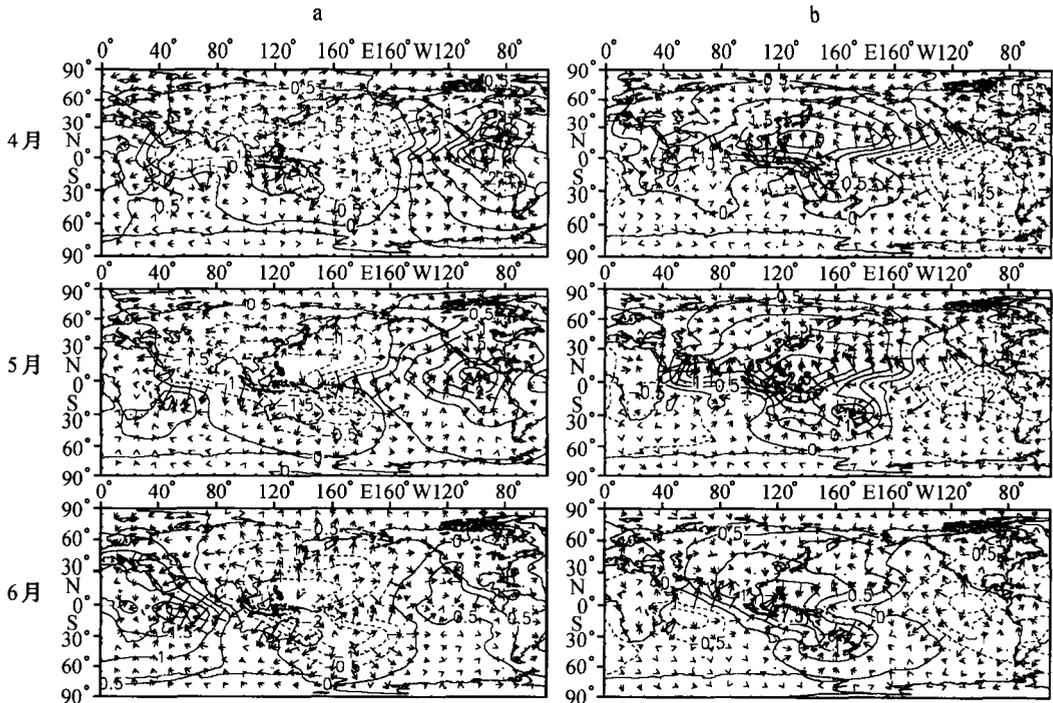


图 7 南海夏季风爆发早(a)、晚年(b)4~6 月 200 hPa 速度势和辐散风异常合成图

夏季与亚澳季风系统相关联的辐散环流主要有 3 个, 分别称做印度洋经向季风环流、纬向季风环流和 Walker 环流. 在 3 个环流中 Walker 环流最强. 3 个环流的上升区在南海和西太

平洋暖池区,下沉支分别在跨赤道的南印度洋马达加斯加岛附近、北非大陆的干旱地区和热带东太平洋.图8是南海夏季风爆发早、晚年5月200 hPa速度势和由辐散、辐合中心综合给出的高、低层环流异常合成图.如图所示,南海夏季风爆发早年,南亚及西太平洋为上升区;北非、南印度洋和东太平洋为下沉区.它们分别和西太平洋暖池热含量的正距平异常区、热带印度洋(尤其是南印度洋)和东太平洋的负距平异常区相对应.气流在暖水区上升,在冷水区下沉.高空气流加强了从南亚及西太平洋强辐散中心向西及西南特别是马达加斯加岛附近及澳洲西部辐合区的流入,促使了低空西到西南气流的加强,从而使经向和纬向季风环流产生正距平环流.暖池与印度洋(特别是南印度洋)海洋热状况差异所产生的经向和纬向季风环流变化对夏季风爆发有着尤为重要的作用<sup>[20]</sup>,而太平洋西暖东冷的热力梯度也使得 Walker 环流维持正距平的环流异常.同时,正距平的 Walker 环流对应着弱的副热带高压——西太平洋副高中心位置为异常的上升支,副高偏弱,位置偏东.这种形势有利于亚洲季风区低空西风气流的产生和偏南季风的加强,南海夏季风爆发早.反之,南海夏季风爆发晚年(图8b),南亚和西太平洋地区为下沉区,北非到南印度洋和东太平洋为上升区,它们也分别和暖池热含量的负距平、南印度洋和东太平洋的正距平相对应.这种反相的距平异常分布产生了负距平的季风环流和负距平的 Walker 环流,从而使南海夏季风爆发晚.

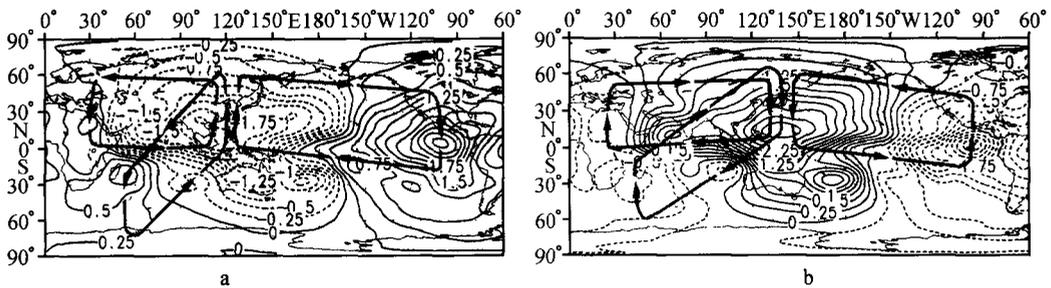


图8 5月南海夏季风爆发早(a)、晚(b)情况下200 hPa速度势和环流异常合成图

## 6 结论

综上所述,可以得到以下结论:

(1) 暖池是热带上层海洋热含量变化最大的区域,也是影响南海夏季风活动的重要区域;它是 ENSO 循环的重要组成部分,也是 La Niña/El Niño 年影响南海夏季风爆发早(季风强)晚(季风弱)的重要原因.与赤道中、东太平洋相比,暖池热状态的变化对亚洲季风的影响更为直接.

(2) 南海夏季风爆发早晚或强弱与暖池热状态变化有密切关系,前期冬、春季暖池区热状态的变化对夏季风爆发有重要影响.当前期暖池区热含量为正距平时,南海夏季风爆发早,季风强;反之爆发晚,季风弱.这与由暖池变化所产生的上空大气的对流活动密切相关.前期春季3~4月暖池区热含量高(低)是预报南海夏季风爆发早(晚)的一个很好指标.

(3) 夏季风爆发早、晚与由暖池异常变化所产生的季风环流(印度洋纬向环流和经向环流)和 Walker 环流的异常变化密切相关.西太平洋暖池区热含量正异常时,辐散中心位于南海-西太平洋,对流强,西太副高弱且位置偏东,季风环流和 Walker 环流为正距平环流.尤其是正距平的季风环流促使了高空气流分别向北非和南印度洋马达加斯加岛附近辐合中心的流入,有利于低空西到西南气流的加强,南海夏季风爆发早.反之,暖池区热含量负异常时,为负

距平的季风环流和 Walker 环流, 辐散中心对流弱, 季风环流弱, Walker 环流弱. 从而使南海夏季季风爆发晚. La Niña 或 El Niño 年, 东、西太平洋的热力梯度也间接地增强或抑制了环流的发展. 暖池加热通过对流影响季风环流和 Walker 环流及西太平洋副热带高压和 ITCZ 的强弱、位置的变化, 进而影响南海季风爆发. 由暖池变化所引起的大尺度季风环流和 Walker 环流的异常变化亦将是影响南海夏季季风爆发和活动的重要因素.

### 参考文献:

- [1] TAO S-Y, CHEN L-X. A review of recent research on the East Asian summer monsoon in China[A]. CHANG C-p, KRISHNAMURTI T N. Monsoon Meteorology[C]. Oxford: Oxford University Press, 1987. 60—92.
- [2] ZHU Q-G, HE J-H, WANG P-X. A study of circulation difference between East-Asia and Indian summer monsoons with their interactions[J]. Adv Atmos Sci, 1986, 3(4): 466—477.
- [3] LAU K M, SONG Y. Climatology and interannual variability of the Southeast Asian summer monsoon[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 1997, 14: 141—162.
- [4] 何敏, 宋文玲. 南海夏季风对中国夏季降水的影响及预测[A]. 南海季风爆发和演变及其与海洋的相互作用[C]. 北京: 气象出版社, 1999. 112—116.
- [5] NITTA Ts. Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the Northern Hemisphere summer circulation[J]. J Meteor Soc Japan, 1987, 64: 373—390.
- [6] HUANG R-H, LU L. Numerical simulation of the relationship between the anomaly of the subtropical high over East Asia and the convective activities in the western tropical Pacific[J]. Adv Atmos Sci, 1989, 6: 202—214.
- [7] 李万彪, 周春平. 热带西太平洋暖池和副热带高压之间的关系[J]. 气象学报, 1998, 56(5): 619—625.
- [8] WANG B, WU R-G, FU R-H. Pacific - East Asian teleconnection: how does ENSO affect East Asian climate? [J]. J Climate, 2000, 13: 1 517—1 536.
- [9] 王东晓, 谢强, 周发琇. 南海及邻近海域异常海温影局部大气环流的初步试验[J]. 热带气象学报, 2001, 20(3): 82—89.
- [10] 中国气象局国家气候中心. 98' 中国大洪水与气候异常[M]. 北京: 气象出版社, 1998. 63—69.
- [11] WYRTKI K. Some thoughts about the West Pacific Warm Pool[A]. Proceeding of the Western Pacific International Meeting and Workshop on TOGA - COARE[C]. New Caledonia, 1989. 99—109.
- [12] TOURRE Y M, WHITE W B. ENSO signals in global upper ocean temperature[J]. J Phys Oceanogr, 1995, 1 317—1 332.
- [13] MCPHADEN M. Genesis and evolution of the 1997 - 98 El Niño[J]. Science, 1999, 283: 950—954.
- [14] TRENBERTH K E, SHEA D J. On the evolution of the South Oscillation[J]. Mon Wea Rev, 1987, 115: 3 078—3 096.
- [15] RAMAGE C. Monsoon Meteorology[A]. International Geophysics Series[C]. San Diego, Calif: Academic Press, 1971, 15: 296.
- [16] 陈隆勋, 宋毅, 村上胜人. 夏季风爆发时期对流云团的变化特征[A]. 亚洲季风研究的新进展[C]. 北京: 气象出版社, 1996. 54—65.
- [17] 丁一汇, 赵深铭, 张键. 北半球夏季全球热带和副热带 200 hPa 平均辐散环流的研究[J]. 气象学报, 1987, 45(1): 120—127.
- [18] KRASHNANURTI T N. Tropical east-west circulation during the northern summer[J]. J Atmos Sci, 1971, 28: 1 342—1 347.
- [19] WEBSTER P J, MAGANA V O, et al. Monsoon: processes, predictability, and the prospects for prediction[J]. J Geophys Res, 1998, 103(c7): 1 4451—1 4510.
- [20] 陈水利, 白学志, 赵永平, 等. 南海夏季风爆发与热带海洋海温和大气环流异常变化关系研究[J]. 气候与环境研究, 2000, 5(4): 388—399.

## The relation between the South China Sea summer monsoon onset and the heat content variations in the tropical western Pacific warm pool region

CHEN Yong-li<sup>1</sup>, HU Dun-xin<sup>1</sup>

(1. *Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China*)

**Abstract:** Multi-year JEDAC data of heat content in upper ocean and NCEP/NCAR reanalysis data were used to analyse the relationship between the heat content anomalies in the warm pool (WP) area of the western Pacific and onset of South China Sea summer monsoon (SCSM). The results show that the warm pool area is the place where heat content in the tropical upper layer changes with maximum range and which is most obviously influential on the SCSM. Compared with the central and eastern equatorial Pacific, the thermal state change in the WP area has more direct influence on Asian monsoon. Onset of the SCSM is very closely related to the heat content anomaly during the previous period (previous winter and spring) of the WP so that the heat content of March to April in the WP area is very good predictor for the onset of the SCSM. When the heat content of the WP area is positive convection center will be located in the South China Sea - West Pacific with strong convection, a positive anomaly of monsoon circulation and Walker circulation will take place and the subtropical high will be weaker and farther east. Positive anomalous monsoon circulation and Walker circulation will be favorable for westerly and southwesterly flow — the SCSM breaks off earlier than normal. Otherwise, the SCSM comes later than usual. Large-scale anomalous change of monsoon circulation and Walker circulation seems one of the important mechanisms to influence the SCSM.

**Key words:** anomaly of heat content in warm pool area; onset of South China Sea summer monsoon; monsoon circulation and Walker circulation