

南海夏季风爆发前后低纬 大气环流突变特征*

简茂球 乔云亭 罗会邦

(中山大学大气科学系, 广州 510275)

摘 要 利用 1982~1996 年 15 年平均的 NCEP 再分析资料, 研究南海夏季风爆发前后低纬大气环流的突变特征。结果表明, 东南亚地区对流层中上层厚度(温度)场、高低风场和大气层顶净辐射加热率(QRT)都有突变发生。海温场的变化相对其他要素较为缓慢, 但也存在明显的转折点。QRT 突变最早, 其次是海温场变化出现明显转折, 再是厚度(温度)场、低层风场突变, 高层风场的突变最迟; 低层风场突变最快, 其次是厚度(温度)场, 最后是 QRT 和高层风场。南海地区的降水、水汽场的突变发生在南海夏季风爆发前, 而且突变较快。

关键词: 南海夏季风; 爆发; 低纬大气环流; 突变

1 引言

南海季风是东亚季风系统中的重要组成部分。近年来, 国内外在南海夏季风爆发过程中大气环流的演变研究方面已做了大量的工作, 并取得了显著的进展。早在 50 年代, 叶笃正等^[1]就指出在 5 月末或 6 月初亚洲地区的大气环流有一次突变, 而这种突变与印度西南季风爆发相重合。自 80 年代初东亚季风系统这一概念被明确提出后, 沈如桂等^[2]用 1974~1980 年天气分析资料对流场的研究表明, 南海季风的建立伴随着南北半球低纬大尺度环流的一次突变。以后, 据建华等^[3]的个例研究也发现在南海季风建立阶段东亚地区的大气环流有一次大的调整, 其中西太平洋副热带高压东退约 10 个经度。此外, He 等^[4]的分析表明, 亚洲季风区南北温度的逆转过程也存在阶段性与突发性。在南海夏季风建立期间, 青藏高原东部和中国东部平原地区(85°E 以东)的对流层出现了爆发性增温现象, 使得该地区先出现北暖南冷的逆转, 然后再向西发展。最近, 江宁波等^[5]和李崇银等^[6]分别用多年资料详细讨论南海季风爆发前后亚洲地区大气环流演变的多年平均特征, 并指出环流变化的突变性和显著性。

然而, 上述研究缺少用较客观定量的指标对大气环流变化的突变性和显著性进行分析。本工作的目的是试图用较客观定量的指标对南海夏季风爆发前后低纬大气环流的突变特征进行分析, 以便进一步研究环流突变与南海季风爆发之间的联系。

2 资料及方法

本文所用资料为 1982~1996 年 15 年平均 3~7 月逐日的 NCEP 再分析资料, 包括高度、风场、海平面温度、辐射资料、降水、蒸发和地面比湿场。

分析方法采用曾庆存等^[7]提出的表示持续性和突变性的方法之一。具体如下: 设函数 $F(\theta, \lambda, p, t)$ 为定义在空间 (θ, λ, p) 上随时间 t 变化的任一气象要素场, F 可以是标量, 也可以是矢量, 则该要素场的相似性、持续性和突变性可以用滞后相关 $R_\tau(t)$ 、滞后离差等来表示。滞后相关 $R_\tau(t)$ 定义如下:

$$R_\tau(t) = \frac{1}{S} \iint_S F(\theta, \lambda, p, t) F(\theta, \lambda, p, t - \tau) dS / [\|F(t)\| \cdot \|F(t - \tau)\|], \quad (1)$$

其中, S 为研究区域面积, τ 为滞后时间,

$$\|F(t)\|^2 = \frac{1}{S} \iint_S F(\theta, \lambda, p, t) F(\theta, \lambda, p, t) dS. \quad (2)$$

我们约定当 $R_\tau(t)$ 小于临界相关系数 R_c (参照时间序列相关临界系数确定法) 时, 则认为两滞后相关场的差异是显著的。由于要素场的突变本质上是指迅速且显著的变化, 所以使两滞后相关场有显著差异的时间间隔 τ 不能太长, 在本文我们初步定为不超过 10 天。满足以上条件时, 则称某要素场在时刻 t 发生突变。另外, 实际计算 $R_\tau(t)$ 时, 采用的是各要素相对 3~7 月平均空间场的距平场。

3 低纬大气环流的突变特征

贺海晏等^[8]利用上述 15 年平均的候资料分析得出南海夏季风爆发时间是 5 月第 4 候, 而李崇银等^[6]用 1980~1991 年 NCEP 逐日再分析资料得到南海夏季风平均在 5 月 16 日左右爆发。两者的结果是基本一致的。下面参考上述爆发时间进行讨论。

3.1 500~200 hPa 层厚度场的突变

图 1a~c 给出了 15 年平均 (60°E ~ 150°E , 0° ~ 30°N) 范围内 500~200 hPa 厚度最大值中心位置的经度、纬度和强度的时间变化曲线。可以发现, 最大厚度值中心在 4 月 26 日至 5 月 7 日间快速摆动式地西移了 15 个经度至 97.5°E (图 1a), 而在该段时间前、后, 厚度中心的東西向移动都是非常缓慢的。需指出的是, 由于我们所选范围只到 150°E , 故 4 月上旬以前的厚度中心基本维持在 150°E 。厚度中心位置在南北方向的显著变化则要比显著的西移来得晚 (图 1b)。在 5 月 10~19 日间, 厚度中心迅速从 12.5°N 北跳至 22.5°N , 正好对应南海夏季风爆发。从上可知, 季风爆发前后厚度中心位置的显著变化主要发生在东亚季风区。而厚度中心强度的明显增强则出现在 5 月 14 日以后, 并持续到 6 月中 (图 1c), 此期间经历了南海季风和印度季风的爆发 (6 月第 2 候)。以上 500~200 hPa 厚度场的演变实际上代表了该层平均温度场的变化特征。

由于厚度中心的位置、强度的显著变化在时间上并不一致。下面用空间场的滞后相关来反映东亚低纬季风区 (取 90°E ~ 120°E , 0° ~ 30°N) 厚度 (温度) 场的总体变化特

征。取临界相关系数 $R_c = 0.16$ (95%信度)。经计算, 使滞后相关系数 $R_\tau(t)$ 出现小于 R_c 值的滞后时间 τ 最短为 7 (< 10) 天, 我们不妨称这时的 τ 值为突变阈 (下同), 结果如图 1d 所示。从图可知, 在 5 月第 3~5 候 $R_\tau(t)$ 较小, 说明厚度场的变化较明显; 而在其余时段 $R_\tau(t)$ 值都接近 1, 说明厚度场在这些时段的持续性较稳定; 但小于 R_c 的 $R_\tau(t)$ 出现在 5 月 16 日, 据此我们定义这天为东亚低纬季风区厚度场的突变点, 这与李崇银等^[6]得到的南海夏季风多年平均爆发日期非常吻合。

图 2 给出厚度场在突变点及其 7 天前的空间分布。比较两天的分布可知, 厚度场的突变主要表现在中南半岛南部的厚度中心从 12.5°N 北跳至 17.5°N , 中心强度也增强了约 10 gpm。

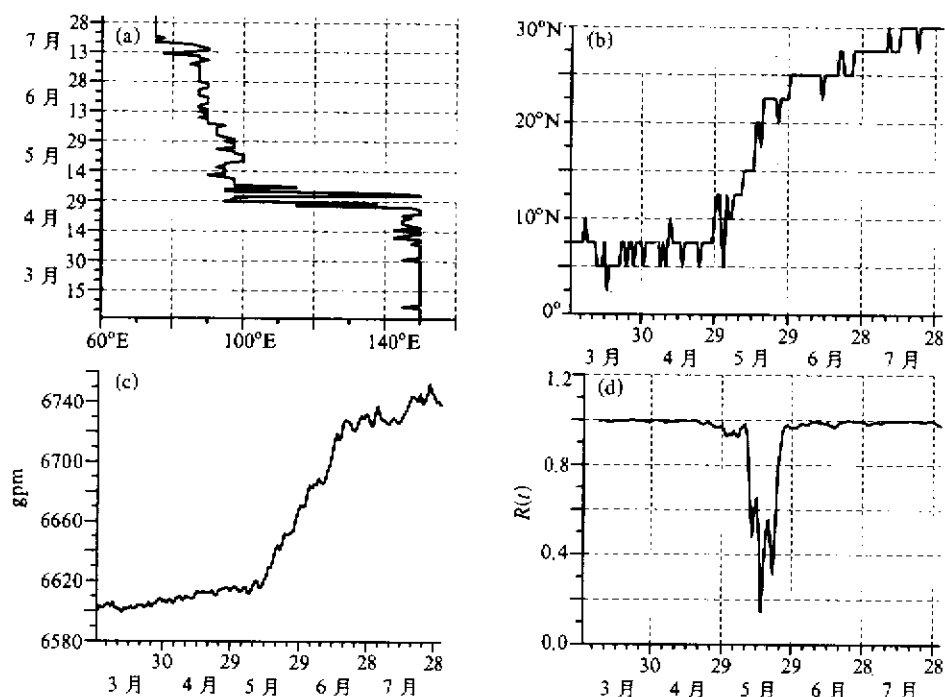


图 1 (60~120°E, 0~30°N) 范围内 15 年平均的逐日 500~200 hPa 层厚度最大值中心的经度—时间曲线 (a), 时间—纬度曲线 (b), 强度变化曲线 (c) 和空间场 (90~120°E, 0~30°N) 的滞后相关曲线 ($\tau=7$) (d)

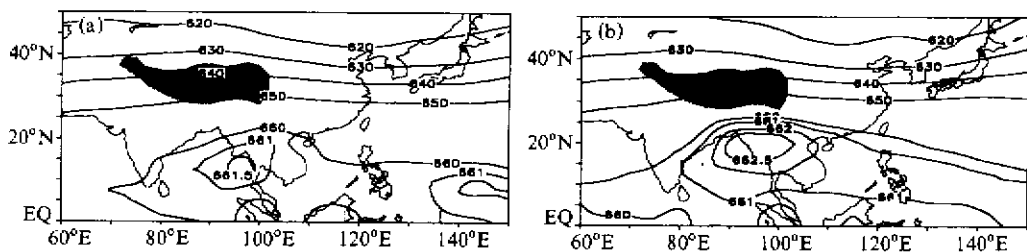


图 2 15 年平均 500~200 hPa 厚度分布
(a) 5 月 9 日, (b) 5 月 16 日。单位: 10 gpm

3.2 高低层风场的突变

类似于厚度场的分析，经计算得出东亚低纬季风区 850 及 200 hPa 风场的突变阈 τ 各为 4 天和 9 天，对应的滞后相关系数 $R_{\tau}(t)$ 曲线如图 3 所示。从图 3 不难发现，850 及 200 hPa 风场的突变点分别在 5 月 16 日和 5 月 19 日。这些结果表明，高层风场的变化要比低层风场相对平缓，突变也稍晚些。图 4 给出 200 hPa 纬向风在突变前后的空间分布。从图 4 可发现，突变后东亚热带季风区的高层东风北界明显北进约 5° ；中南半岛北部至中国华南一带的西风减弱了约 8 m/s ，而高原东部上空的西风则明显加强，这反映了东亚上空的西风急流中心北退西伸现象。

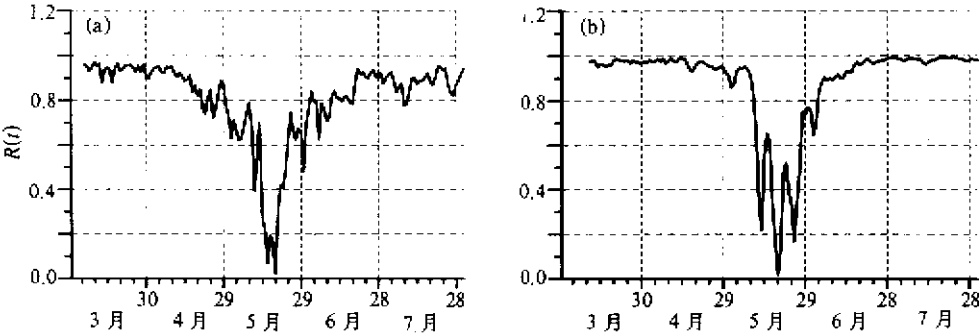


图 3 区域 ($90^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$, $0^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{N}$) 风场的滞后相关系数时间变化
(a) 850 hPa ($\tau=4$); (b) 200 hPa ($\tau=9$)

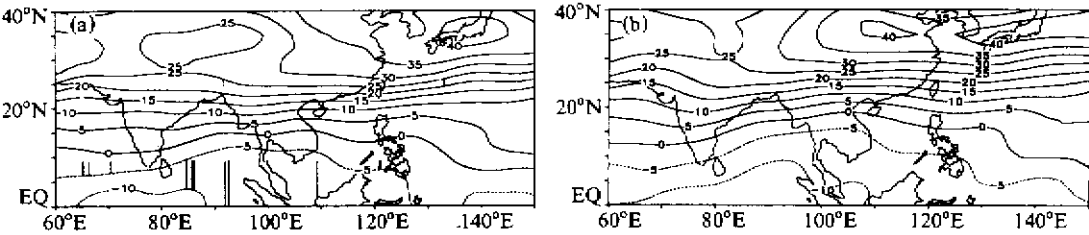


图 4 200 hPa 纬向风速
(a) 5 月 10 日; (b) 5 月 19 日。单位: m/s

4 海平面温度场的演变特征

东南亚热带海温场的滞后相关系数 $R_{\tau}(t)$ 曲线如图 5a 所示。由于使 $R_{\tau}(t)$ 出现小于 R_c 值 (0.165) 的最短 τ 为 19 天，超过约定的 10 天界限，故对海温而言不存在突变。换言之，海温的变化率相对较慢。另外， $R_{\tau}(t)$ 最小值出现在 5 月 8 日，此时对应南海地区的海温差不多达到最高值 (图 5b)，为方便，我们称该点为海温场变化的转折点。

5 大气层顶净辐射 QRT 突变特征

辐射是影响地气系统热量收支的重要因素之一。最近，罗会邦^[9]用卫星观测资料得到的大气层顶净辐射加热率 QRT 来研究海陆差异对亚洲季风年际变化的影响，发

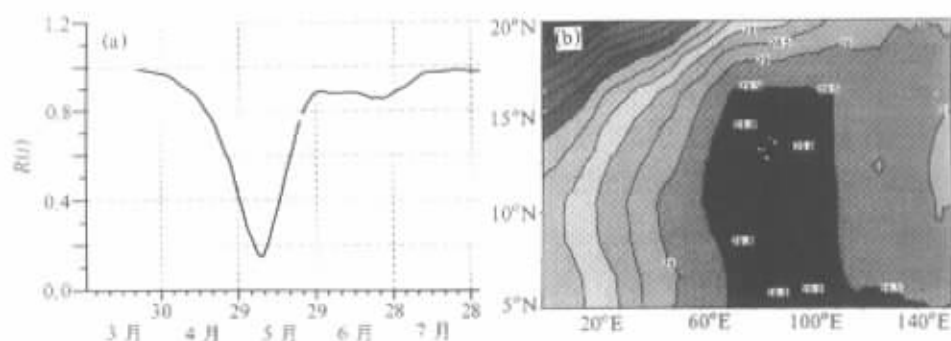


图5 (a) 区域 (90°~120°E, 0°~25°N) 的海平面温度 SST 的滞后相关系数时间曲线 ($\tau=19$);

(b) SST 沿 115°E 的时间—纬度剖面 (单位: °C), 横坐标为时间: 3 月 1 日~7 月 31 日

现 QRT 距平场的水平分布依赖于海陆分布, 而且与季风的年际变化有非常密切的关系。这意味着 QRT 的变化与季风建立过程同样也是有联系的。为此, 我们分析了东亚热带季风区 QRT 的突变特征, 得出突变阈 τ 为 9 天。QRT 的 $R_{\tau}(t)$ 曲线如图 6 所示。在 4 月中至 5 月初这一段的相关系数都较小, 表明该时段 QRT 的变化较明显; 小于临界值 0.16 的相关系数分别出现在 4 月 18 日及 5 月 1 日, 它们就是 QRT 的突变点。显然, QRT 发生突变要比前面提到的其他要素来得早。

图 7 给出两突变点的 QRT 场与它们 9 天前的场的差值分布。可以发现, 4 月中旬的突变表现在亚洲季风区大部分地区的 QRT 都增强 (图 7a), 其中以高原至中国东部地区最明显; 而在 5 月初的突变中, 只有南海中北部, 巴士海峡及其以东地区的 QRT 有明显的增强 (图 7b)。

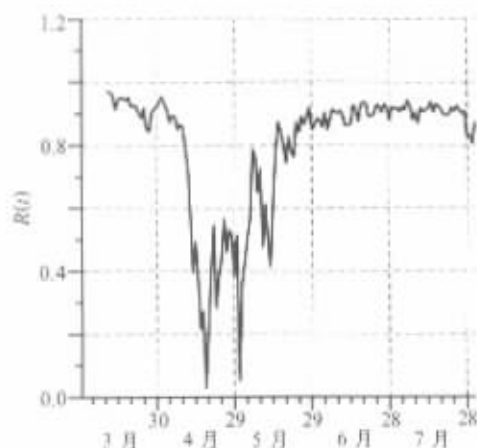


图6 区域 (90°~120°E, 0°~30°N) 的 QRT 滞后相关系数时间曲线 ($\tau=9$)

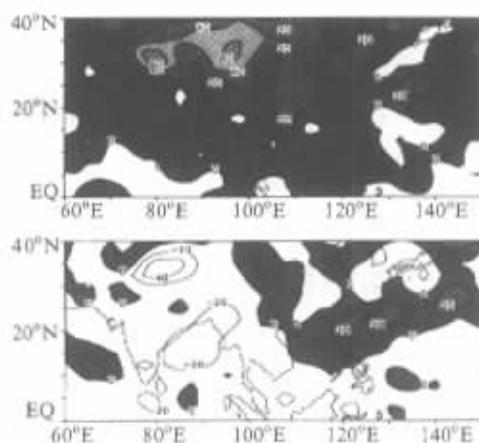


图7 突变前后 QRT 差值分布。单位: $W \cdot m^{-2}$
(上) 4 月 18 日~4 月 9 日; (下) 5 月 1 日~4 月 22 日

6 南海降水及水汽的突变

图 8 给出南海降水场的滞后相关曲线。从图 8 可看出, 第一次突变发生在 5 月 14

日 (临界相关系数 R_c 为 0.26, 95% 信度), 其中突变阈 τ 为 2 天, 比南海夏季风爆发的时间要早 2 天。另外, 在 5 月底也有显著的突变发生。第一次突变前后南海区域的降水分布如图 9 所示。可以发现, 突变后南海中南部降水明显增强了 $2 \sim 3 \text{ mm/d}$, 并形成一西南—东北向的高值带。而南海水汽汇场的突变特征与降水的突变特征非常相似 (图略)。这是因为该区域水汽汇场的变化主要由降水的变化所控制。另外, 我们也对南海地区大气低层 2 米高的比湿场作突变分析, 结果发现比湿场的突变发生在 5 月 1 日, 突变阈为 3 天, 主要表现为南海南部的比湿中心北移并增湿 (图略)。

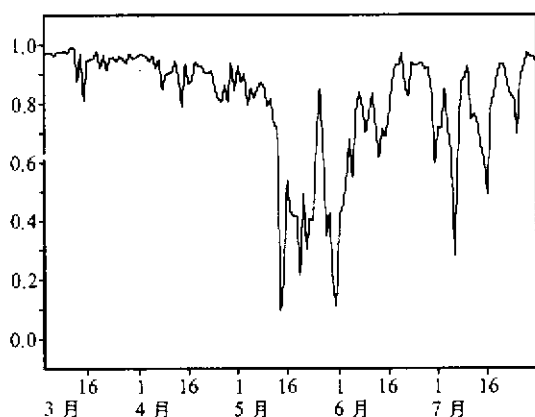


图 8 南海 ($110 \sim 120^\circ\text{E}$, $5 \sim 20^\circ\text{N}$) 滞后相关系数时间曲线 ($\tau = 2$)

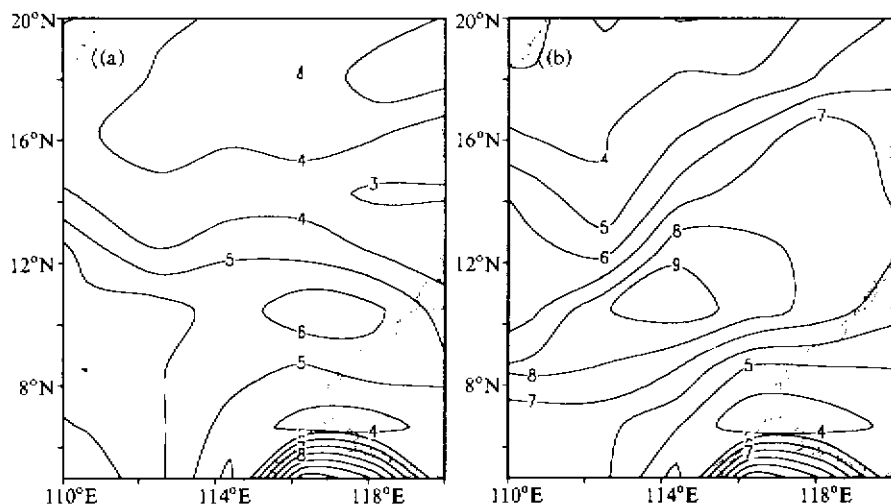


图 9 突变前后南海区域的降水分布
(a) 5 月 12 日; (b) 5 月 14 日。单位: mm/d

7 小结与讨论

(1) 在南海夏季风爆发前后, 东南亚地区对流层中上层厚度 (温度) 场、高低风场和大气层顶净辐射加热率 QRT 都有突变发生; 东南亚地区的海温场的变化相对其他要素而言较为缓慢, 但其变化也存在明显的转折点。

(2) 从时间上看, QRT 的突变出现最早, 其次是海温场变化转折点的出现, 再到厚度 (温度) 场、低层风场突变, 高层风场突变最迟。

(3) 就突变的快慢(用突变阈度量)而言,低层风场最快,其次是厚度(温度)场,再者为 QRT 和高层风场。

(4) 南海地区的降水、水汽场的突变发生在南海夏季风爆发前,而且突变较快。

以上各个要素突变的迟早次序为我们今后进一步研究南海季风爆发的物理机制提供了一定的依据。必须指出,本文的结果可能会因选择区域的不同而有差别。

参 考 文 献

- 1 叶笃正,陶诗言,李麦村,在六月和十月大气环流的突变现象,气象学报,1958, 29, 249~263.
- 2 沈如桂,陶全珍,赖莹莹,郭恩华,华南前汛期对流层高低空的低纬环流变动和降水,全国热带夏季风学术会议文集(1982),《会议文集》编辑组,昆明:云南人民出版社,1983, 10~18.
- 3 琚建华,罗会邦,东亚夏季风建立过程中大气热源结构及其与热带环流的关系,气象科学技术集刊(10),国家气象局气象科学研究所编,北京:气象出版社,1987, 103~114.
- 4 He H., McGinnis J. W., Song Z. et al., Onset of the Asian summer monsoon in 1979 and the effect of the Tibetan Plateau, *Mon. Wea. Rev.*, 115, 1987, 1966~1995.
- 5 江宁波,罗会邦,南海夏季风爆发前后亚洲地区的大尺度环流突变,热带气象学报,1995, 11, 289~296.
- 6 李崇银,屈昕,南海夏季风爆发的大气演变特征,南海季风爆发和演变及其与海洋相互作用(丁一汇,李崇银主编),北京:气象出版社,1999, 5~12.
- 7 曾庆存,张邦林,论大气环流的季节划分和季节突变 I. 概念和方法,大气科学,1992, 16, 641~647.
- 8 贺海晏,温之平,简茂球,随中兴,1982~1996 年亚洲热带夏季风建立迟早的探讨 I. 热带季风环流的主要特征和季风建立指数,中山大学学报(自然科学版),2000, 39(3), 92~96.
- 9 Luo Huibang, The effect of land-sea contrast on interannual variability of the Asian monsoon, *Acta Meteor. Sinica*, 2000, 14, 200~209.

The Abrupt Change of the Circulation in Low-Latitudes During the Period From April to June

Jian Maoqiu, Qiao Yunting and Luo Huibang

(Department of Atmospheric Sciences, Zhongshan University, Guangzhou 510275)

Abstract The abrupt change of the general circulation over the South China Sea (SCS) and surrounding areas during the period from April to June is studied by using the 15-year mean NCEP daily data of 1982~1996. The significant abrupt change exists in the thickness (averaged temperature) between 500 and 200 hPa levels, the wind at 850 and 200 hPa, and the net radiative heating (QRT) at the top of the atmosphere. The sea surface temperature (SST) evolves more slowly than other variables mentioned above but with a turning point around early May. The abrupt changes in QRT occur around mid-April and at the end of April. Around mid-May occur the abrupt changes simultaneously in the thickness of 500~200 hPa and the wind field at 850 hPa, then followed by the high-level wind. The abrupt changes in the precipitation and the specific humidity over SCS come quite fast and early before the onset of the SCS monsoon.

Key words: summer monsoon over South China Sea; onset; circulation; abrupt change