

# 南海夏季风爆发与华南前汛期锋面 降水异常变化的联系\*

林爱兰, 谷德军, 李春晖, 郑 彬, 梁建茵

(中国气象局广州热带海洋气象研究所//热带季风重点开放实验室, 广东 广州 510080)

**摘 要:** 利用 1958–2000 年 NCEP/NCAR 再分析日平均资料、中国气象局气候中心常规地面观测日降水资料, 分析南海夏季风爆发异常情况下大气结构的变化特征, 讨论华南冷空气活动、前汛期锋面降水情况与南海夏季风爆发异常之间的关系。结果表明: ① 南海夏季风爆发日期的异常变化主要取决于低层纬向风变化。② 200 hPa 以下对流层温度经向梯度逆转较早(晚), 并且有(无)从上往下逐渐传播的变化趋势, 则南海夏季风爆发偏早(晚)。③ 华南春季冷空气活跃(不活跃), 降水偏多(偏少), 南海季风爆发偏早(晚)。④ 综合提出了一个关于华南冷空气活动、锋面降水与夏季风爆发之间关系的物理概念模型。

**关键词:** 南海夏季风; 爆发异常; 结构变化; 冷空气; 前汛期锋面降水

中图分类号: P466 文献标志码: A 文章编号: 0529-6579(2010)05-0127-07

## Relationship between the Onset of the South China Sea Summer Monsoon and Abnormal Variations of frontal Precipitation during the First Rainy Period in South China

LIN Ailan, GU Dejun, LI Chunhui, ZHENG Bin, LIANG Jianyin

(Key Open Laboratory for Tropical Monsoon Institute of Tropical and Marine Meteorology of Guangzhou, CMA, Guangzhou 510080, China)

**Abstract:** The daily NCEP/NCAR reanalyzed data and daily rainfall data during 1958–2000 from the National Climate Center of China Meteorology Administrator are used to analyze dynamic and thermodynamic characteristics under the abnormal onset of South China Sea Summer Monsoon. Relationships among the cold air activity in South China, precipitation in the yearly first rainy period and abnormal onset of the South China Sea Summer Monsoon are explored. The results indicate: 1) the abnormal change of onset dates of the South China Sea Summer Monsoon is mostly decided by zonal wind. 2) The early (late) onset of the South China Sea Summer Monsoon is related to the early (late) reversal of the troposphere temperature meridional gradient under 200 hPa and the trend transmitting downwards. 3) The more active cold air is in spring and the more precipitation there is in South China, the earlier the onset of the South China Sea Summer Monsoon occurs. 4) A synthetic physical concept model about the relationships among South China cold air activity, precipitation in the yearly first rainy period and anomalous onset of the South China Sea Summer Monsoon is presented.

**Key words:** South China Sea Summer Monsoon; anomalous onset; change of dynamic and thermodynamic characteristics; cold air; frontal precipitation in the yearly first rainy period

\* 收稿日期: 2009-06-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40675055, 41075073); 广东省自然科学基金资助项目(06020745, 04003915); 热带海洋气象科学研究基金项目(200807)

作者简介: 林爱兰(1963年生), 女, 副研究员; E-mail: allin@grmc.gov.cn

南海夏季风爆发的早晚、强弱及其活动对我国华南乃至江淮和华北降水和旱涝都有重要的影响,而且南海夏季风爆发时间的年际变幅度大,近几十年来爆发时间最早年与最晚年相差达一个半月<sup>[1]</sup>。因此南海夏季风爆发研究是季风研究的重点科学问题。丁一汇等<sup>[2]</sup>认为,海陆热力差异的季节演变是基本因子,海温与青藏高原的热源是一种区域性直接导致或增强季风爆发的因子,中纬度的扰动、热带天气系统和低频振荡是重要的触发因子。已有研究表明<sup>[3-5]</sup>,与初夏雨期爆发有关的中纬度锋系本身是南海夏季风爆发的一种触发机制。近期监测分析表明,2009年广东省3月5日进入汛期,较常年提前近40 d<sup>[6]</sup>;南海夏季风于4月17日在南海中南部地区爆发,爆发时间比气候平均情况偏早一个月,是1958年以来爆发最早的年份<sup>[7]</sup>。那么,2009年广东开汛与夏季风爆发两者在时间上的异常,是偶然的巧合,还是两者之间存在内在的联系,需要进一步探讨。作者在文献[8]中,已经从气候平均态了解季节转换期间南海地区大气热力结构、动力结构配置的独特性,初步揭示华南前汛期第一阶段锋面降水对南海夏季风爆发的影响机理。本文将进一步讨论以下问题:南海夏季风爆发异常情况下,大气结构特征有何变化?来源于中纬度冷空气的强弱、华南前汛期锋面降水的多寡或开汛迟早与南海夏季风爆发异常之间是否存在联系?其影响关系如何?

## 1 资料

本文所用资料包括:①来源于中国气象局气候资料中心的1951-2000年共50 a全国700多个常规观测站每日降水量资料;②1958-2000年(共43 a)NCEP/NCAR再分析日平均资料(温度、经向风和纬向风),等压面选取1000~100 hPa共12层,格点资料的水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 经纬度。

## 2 南海夏季风爆发异常年大气结构特征

根据文献[1]定义的南海夏季风爆发日期,选择1958-2000年期间9个偏晚年(5月11日之前)和8个偏早年(5月28日之后)分别进行合成分析。图1是南海季风爆发偏晚年(a)、偏早年(b)分别合成的区域平均纬向风的时间-气压剖面图(经5 d滑动平均处理,下同)。由图可见,从对流层高层(200 hPa)来看,春夏季节转换期间,在爆发偏晚年(图1a)和偏早年(图1b)纬向风的转向(西风转东风)时间仅相差一候(分别是5月1候和4月6候),且在爆发前4月份偏晚年西风较强,偏早年西风较弱;在夏季风期间,偏晚年东风较强,偏早年东风较弱。而从对流层低层(850 hPa)来看,爆发偏晚年和偏早年纬向风的转向时间竟相差一个月(分别是6月1候和5月

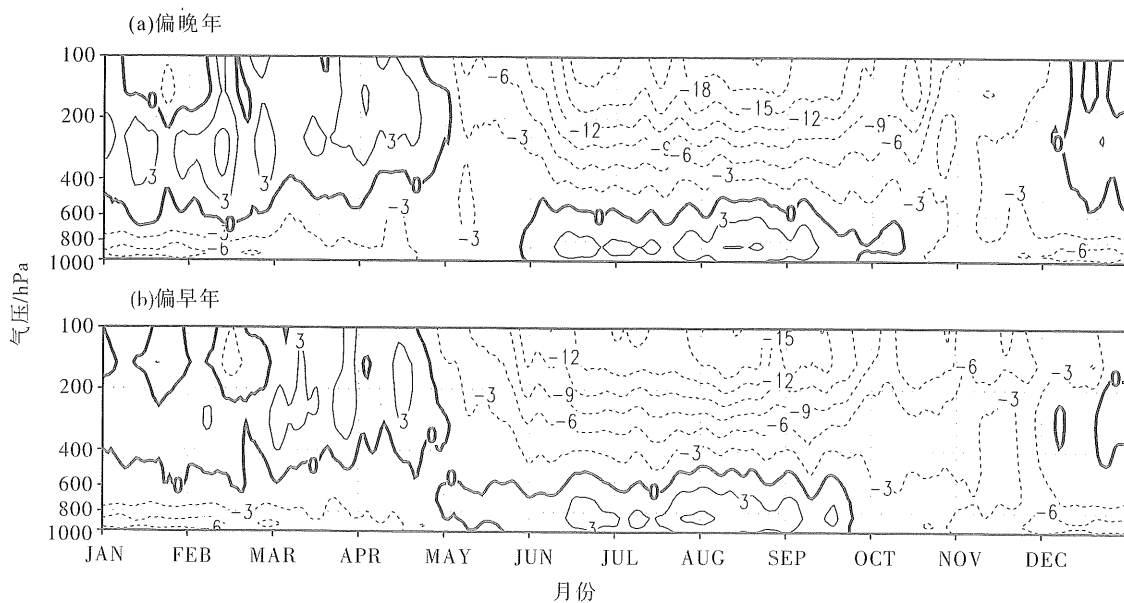


图1 南海季风爆发偏晚年、偏早年合成的区域平均纬向风(m/s)的时间-气压剖面  
Fig. 1 Time-pressure section of zonal wind over South China Sea (unit: m/s) during the years of early and late onset of summer monsoon

1候);爆发偏晚年4月东风较强,爆发偏早年则4月东较弱,这可以作为南海季风爆发的预测信号;另外还可以看出,爆发偏早年在爆发后一个月内西风较弱(小于3 m/s),直到6月中旬西风才加强,不论爆发偏早年还是爆发偏晚年,较强西风(大于等于3 m/s)都在6月中旬开始出现,这可能与大气环流季节背景有关。图1还显示,对流层高层秋冬转换季节(夏季风撤退时)差异较明显,在爆发偏早(晚)年东风强(弱)、西风出现偏晚(早);而对流层低层西南风撤退时间与爆发时间关系不太大,只是在爆发偏晚年,西风撤退有大约

1旬(9月下旬至10月上旬)的过渡期。

春夏季节转换期间,南海对流层经向风转向(从北风转为南风)比纬向风转向早(4月中下旬),且上下层风转向时间比较一致。在南海夏季风爆发偏晚年和偏早年之间经向风转向时间仅相差1-2候(图2)。可见南海夏季风爆发日期的异常变化主要取决于纬向风。秋冬季节转换期间,在爆发偏早年,低层南风撤退有大约1个月(10月份)的过渡期,说明夏季风爆发偏早,秋冬季节转换期间冷空气较弱,冬季风在该地区建立偏晚。

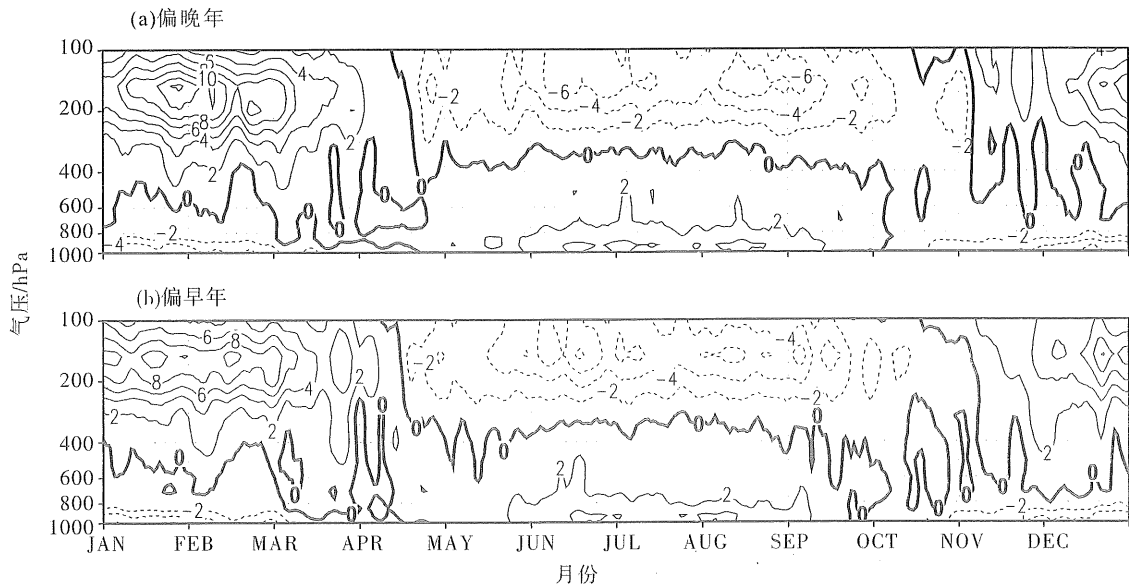


图2 南海季风爆发偏晚年、偏早年合成的区域平均经向风(m/s)的时间-气压剖面  
Fig. 2 Time-pressure section of meridional wind (m/s) over the South China Sea during the years of early and late onset of summer monsoon

图3是表明,从春夏季节转换期间温度经向梯度零等值线可以看出,在爆发偏早年(图3b),200 hPa以下对流层温度经向梯度逆转较早,并且基本上是从上往下逐渐传播,200 hPa在4月底就发生逆转,1000 hPa到6月初才逆转;在爆发偏晚年(图3a),200 hPa以下对流层温度经向梯度逆转较晚,并且没有从上往下逐渐传播的规律,零等值线呈“之”字型,对流层高层200 hPa和中低层700、850 hPa同时在5月初就发生逆转,中层600~400 hPa在5月下旬逆转,而最底层1000 hPa直到6月中旬才逆转。从差值图(图3c)可以看到,4-5月差异明显:对流层中高层为正,对流层低层为负。说明季风爆发异常早、晚年份,对流层中高层(600~200 hPa)与低层(1000~700 hPa)温度经向梯度具有相反的异常趋势:夏

季风爆发偏早年,对流层中高层温度经向梯度为正异常,对流层低层温度经向梯度为负异常;夏季风爆发偏晚年,对流层中高层温度经向梯度为负异常,对流层低层温度经向梯度为正异常。比较图1(a、b)、图3(a、b)表明,与气候平均类似,在爆发异常年,850 hPa西风建立时间与对流层中层(600~400 hPa)温度经向梯度逆转时间也有很好的对应关系。

图3还显示,秋冬转换季节(夏季风撤退前后),不论夏季风爆发偏早年还是偏晚年,对流层低层温度经向梯度都在9月中旬就逆转,比850 hPa东北风建立早。从夏季风爆发偏早年与偏晚年之差值(图3c)可见,对流层低层温度经向梯度逆转之后,在9月中旬-10月初夏季风爆发偏早年的负经向梯度较强。

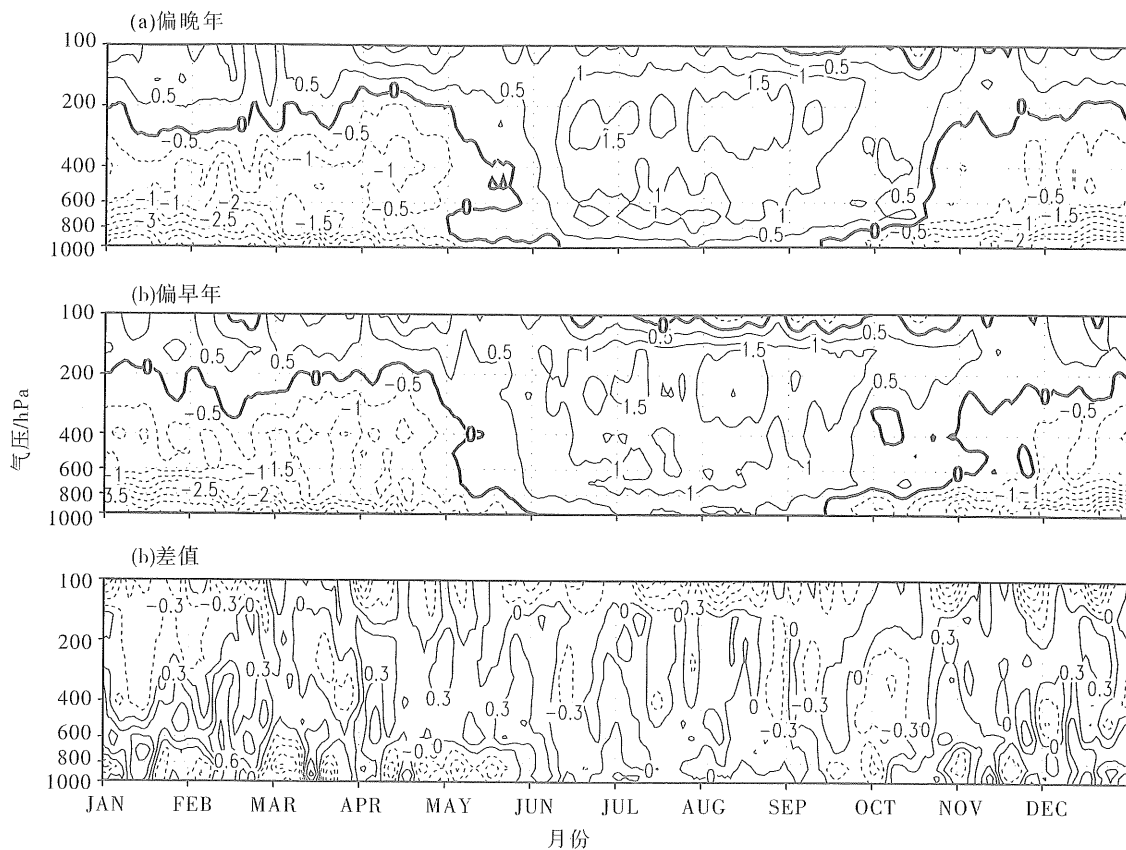


图 3 南海季风爆发偏晚年、偏早年及其差值的区域平均温度经向梯度 ( $10^{-3}$  K/km) 的时间-气压剖面

Fig. 3 Time-pressure section of meridional temperature gradient over the South China Sea (unit:  $10^{-3}$  K/km) during the years of early and late onset of summer monsoon and their difference

### 3 冷空气活动、华南锋面降水与南海夏季风爆发异常

以上分析表明, 夏季风爆发偏早(晚)年, 对流层中高层温度经向梯度为正(负)异常, 对流层低层温度经向梯度为负(正)异常, 这里我们进一步讨论其原因。海平面气压变化能很好地反映冷空气活动情况, 图 4 是南海季风爆发偏晚年、偏早年的  $110 \sim 120^{\circ}\text{E}$  平均海平面气压及其差值的时间-纬度剖面。由图可见, 夏季风爆发偏早年, 当年春季(3-5月)华南-南海北部气压偏高, 即冷空气较强; 夏季风爆发偏晚年, 当年春季(3-5月)华南-南海北部气压偏低, 即冷空气较弱。说明华南-南海北部地区冬季(1-2月)冷空气偏弱, 春季(3-5月)冷空气偏强, 有利于南海夏季风早爆发。

图 5 是南海季风爆发偏晚年、偏早年的  $110 \sim 120^{\circ}\text{E}$  平均降水量的时间-纬度剖面。南海季风爆发偏晚年, 华南( $20 \sim 25^{\circ}\text{N}$ ) 4月底出现大于  $5 \text{ mm/d}$  降水; 而南海季风爆发偏早年, 华南 4月中旬就出现  $5 \sim 9 \text{ mm/d}$  降水。可见, 华南开汛偏晚,

4月降水偏少, 则南海季风爆发偏晚; 华南开汛正常或偏早, 4月降水偏多, 则南海季风爆发偏早。将图 5 与图 2 比较可以发现, 4月份南海地区对流层低层(600 hPa 以下) 经向风的转向、南风的建立, 与华南地区降水的加强(降水大于  $5 \text{ mm/d}$ ) 有相当好的对应关系, 4月南海南风偏强(弱), 则华南降水偏多(少), 这与低层气流辐合上升有利于降水密切相关。个例分析进一步证明了华南降水与南海季风爆发之间的关系(图 6)。1991 年是近几十年来南海季风爆发异常偏晚年(6月 8 日), 1985、1999 年是爆发异常偏早年(4月 22 日), 1991 年在 6 月 2 候之前降水大于  $5 \text{ mm/d}$  的天数极少, 而 1985、1999 年降水量明显比 1991 年多。

实际上, 冷空气南侵是华南前汛期降水的有利条件之一, 因此, 春季(3-5月)冷空气偏强与华南锋面降水偏多有关。南海季风爆发偏早、晚年冷空气活动、华南降水的差异, 正好解释了大气结构特征的差异。南海季风爆发偏早年, 华南春季冷空气活跃, 4月降水偏多, 对流释放潜热偏多, 使华南-南海北部地区对流层中高层大气升温, 南海温度经向梯度为正异常, 而对流层底层温度经向梯

度为负异常，因此在热成风关系约束下，高层 南海季风爆发偏晚年，则情况相反。  
(200 hPa) 西风偏弱，低层 (850 hPa) 东风偏弱。

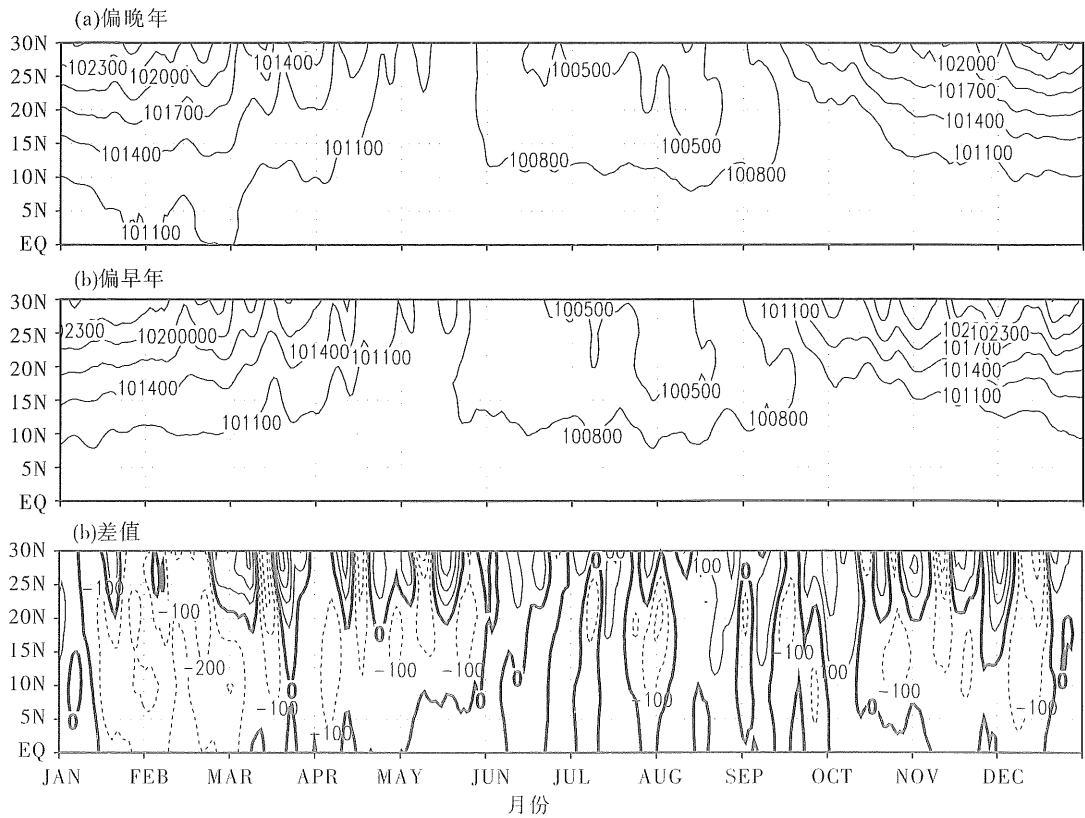


图 4 南海季风爆发偏晚年、偏早年及其差值的 110 ~ 120°E 平均海平面气压的时间 - 纬度剖面 (单位: Pa)  
Fig. 4 Time-pressure section of sea surface pressure ( $10^{-3}$  K/km) over the South China Sea during the years of early and late onset of summer monsoon and their difference

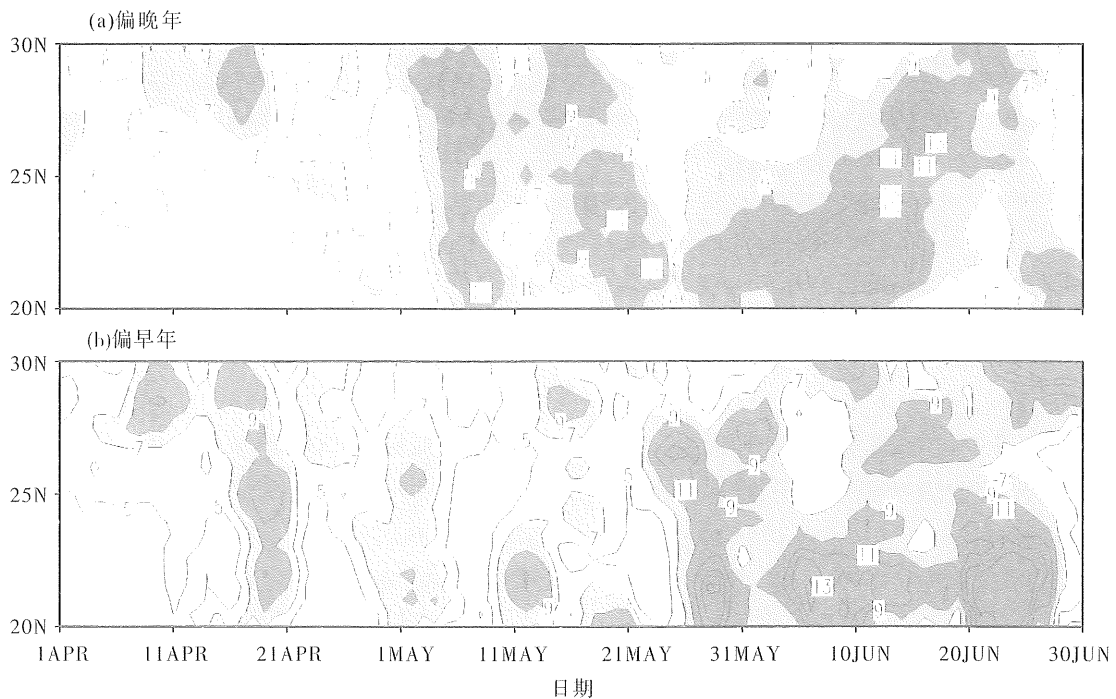


图 5 4-6 月日平均降水量纬度 - 时间剖面图 (阴影区为降水 > 5 mm/d)  
Fig. 5 Time-latitude section of daily precipitation from April to June (unit: mm/d, shading is greater than 5 mm/d)

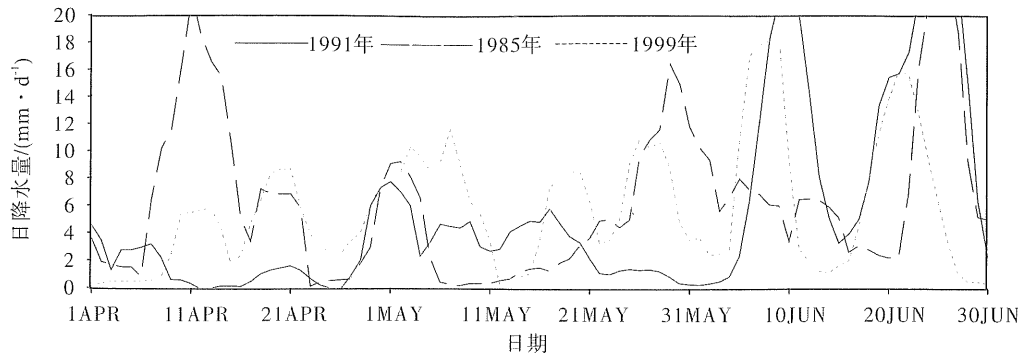


图 6 4 月 1 日 - 6 月 30 日华南地区 (18 - 25°N, 110 - 120°E) 平均降水量的时间变化 (mm/d)

Fig. 6 Mean precipitation over South China (18 - 25°N, 110 - 120°E) from 1<sup>st</sup> April to 30<sup>th</sup> June (unit: mm/d)

前面分析表明, 在爆发偏早 (晚) 年, 200 hPa 以下对流层温度经向梯度逆转较早 (晚), 并且有 (无) 从上往下逐渐传播的变化趋势。这同样与冷空气活动、降水情况密切相关, 南海季风爆发偏晚年, 冷空气较浅薄, 中低层 700 hPa、850 hPa 基本不受冷空气影响, 气温较高, 因此温度经向梯度逆转比其上层和下层早, 使温度经向梯度零等值线呈“之”字型。

综合有关文献及本工作分析, 可以得到一个关于冷空气活动、华南锋面降水与夏季风爆发之间关系的概念模型。首先, 大气低层冷空气活跃、南海地区南风偏强 (夏季风爆发前为东南或偏南风), 气流在华南地区辐合, 使华南降水偏强, 对流较强, 释放潜热偏多, 有利于中高层大气加热, 在热成风关系约束下, 副热带高压脊面向北倾斜, 高层南亚高压北移。这一点我们从副热带高压脊线位置

的中、高层纬度差 (表征脊面倾斜状态) 的时间变化曲线 (图 7) 能得到很好的证明, 夏季风爆发偏早年曲线 (短虚线) 位于偏晚年 (长虚线) 之上, 爆发偏早年在 4 月底 5 月初就达到 0 值 (相当于中、高层脊面垂直), 爆发偏晚年则 5 月中下旬才达到 0 值。同样根据热成风关系, 可以说明爆发偏早年, 这段时间华南锋面降水偏多, 潜热加热较强, 爆发偏晚年则相反。其次, 春季 850 hPa 以下的底层 (1 000、925 hPa) 为弱东风, 冷空气南压至华南沿海时, 冷平流作用下南海经向温度梯度仍然为负值, 在热成风关系约束下, 850 hPa 出现西风。最后, 从天气角度看, 冷空气南压, 迫使暖湿空气抬升, 对流有效位能 (CAPE) 释放, 促使对流发展<sup>[5]</sup>。这几方面共同作用, 使南海季风偏早爆发。

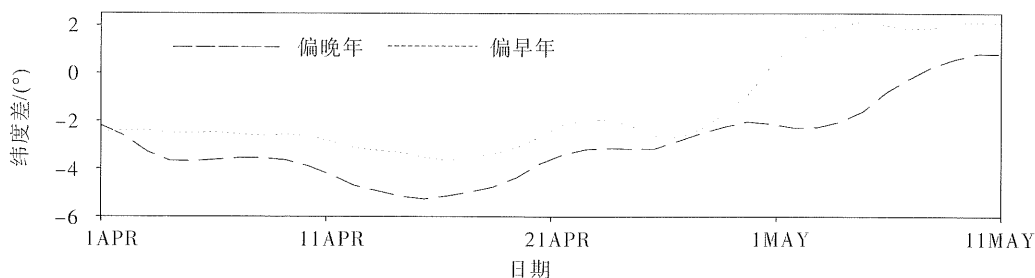


图 7 4 月 1 日 - 5 月 11 日中、高层副热带高压脊线位置纬度差的时间变化 (200 hPa 减 500 hPa, 单位: 纬度)

Fig. 7 Latitude difference between high and low level of subtropical high ridge during the April 1st - May 11<sup>th</sup> (unit: latitude degree)

## 4 结 论

本文在分析南海夏季风爆发异常年 (偏早或偏晚年) 大气结构特征的基础上, 研究探讨了冷空气活动、华南锋面降水情况对南海夏季风爆发异

常的影响, 得出以下结论:

1) 南海夏季风爆发日期的异常变化主要取决于对流层低层 (850 hPa) 纬向风变化。春夏季节转换期间, 对流层低层纬向风的转向时间, 爆发偏晚年和偏早年相差一个月 (分别是 6 月 1 日和 5 月

1 候); 对流层高层 (200 hPa) 纬向风的转向时间在爆发偏晚年和偏早年仅相差一候 (分别是 5 月 1 候和 4 月 6 候)。对流层低层经向风转向早于纬向风转向, 爆发偏晚年和偏早年分别是 4 月中旬和下旬。

2) 在夏季风爆发偏早 (晚) 年, 后期秋冬转换季节转换期间 (即夏季风撤退前后), 对流层高层东风偏强 (偏弱)、西风出现偏晚 (偏早); 对流层低层冷空气较弱 (强), 北风偏弱, 冬季风影响南海地区偏晚 (早)。

3) 南海夏季风爆发偏早年, 华南春季冷空气活跃, 降水偏多, 对流释放潜热偏多, 使华南 - 南海北部地区对流层中高层大气升温, 南海温度经向梯度为正异常, 而对流层底层温度经向梯度为负异常, 因此在热成风关系约束下, 高层 (200 hPa) 西风偏弱, 低层 (850 hPa) 东风偏弱。反之亦然。

4) 在爆发偏早 (晚) 年, 200 hPa 以下对流层温度经向梯度逆转较早 (晚), 并且有 (无) 从上往下逐渐传播的变化趋势。这与冷空气活动、降水情况密切相关。

5) 依据资料诊断分析, 得到一个关于冷空气活动、华南锋面降水与夏季风爆发之间关系的物理概念模型, 需要利用大气环流模式进一步模拟验证。需要指出的是, 华南锋面降水对南海夏季风爆发的影响是一种局地性作用, 其前提是建立在行星尺度大气环流调整基础上的。

#### 参考文献:

- [1] LIANG Jianyin, WU Shangseng. Diagnostic analysis of interdecadal changes of the summer monsoon in the South China Sea[J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2003, 17(suppl.): 81-95.
- [2] 丁一汇, 李崇银, 何金海, 等. 南海季风试验与东亚夏季风[J]. *气象学报*, 2004, 62(5): 559-586.
- [3] CHANG, C P, CHEN G T J. Tropical circulation associated with southeast monsoon onset and westerly surge over the South China Sea[J]. *Mon Wea Rev*, 1995, 123: 3254-3267.
- [4] DING Y H, LIU Y J. Onset and the evolution of the summer monsoon over the South China Sea during SCS-MEXfield experiment in 1998[J]. *J Meteor Soc Japan*, 2001, 79: 255-276.
- [5] CHAN J C L, WANG Y G, XU X L. Dynamic and thermodynamic characteristics associated with the onset of the 1998 South China Sea summer monsoon[J]. *J Meteor Soc Japan*, 2000, 78: 367-380.
- [6] 2009年3月广东省气候影响评价[EB/OL]. (2009-04-04[2009-05-01]) <http://172.22.12.43/list.asp?id=266&mainID=402>
- [7] 2009年1期季风监测报告[EB/OL]. (2009-04-28)[2009-05-01] <http://113.108.192.91/grapes/jcgb2009.htm>
- [8] 林爱兰, 李春晖, 郑彬, 等. 南海夏季风爆发与华南前汛期锋面降水气候平均的联系[J]. *中山大学学报: 自然科学版*, 2010, 49(4): 134-143.