

# 东亚地区夏季风爆发过程\*

陈隆勋 李薇 赵平

陶诗言

(中国气象科学研究院, 北京 100081)

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

**摘要** 利用中国 194 站 1961~1995 年日降水资料及 NCEP 1979~1997 年候格点降水资料, 探讨了亚洲地区自春到夏的雨季开始分布。结果表明, 东亚地区自春到夏存在副热带季风雨季开始和热带季风雨季开始。前者于 4 月初开始于华南北部和江南地区, 随后向南和向西南扩展, 于 4 月末扩展到华南沿海和中南半岛, 这个雨带主要是冷空气和副热带高压西侧转向的 SW 风以及南亚地区冬春副热带南支西风槽中西风汇合而形成的, 是副热带季风雨季开始。后者是南海热带季风爆发后使原来由江南移到华南沿岸的副热带季风雨带随副热带高压北进而北进, 前汛期雨季进入盛期, 江南出现第二次雨峰, 形成梅雨期和江淮及华北雨季。同时, 热带季风雨带也自东向西传播到达南亚地区而形成热带季风雨季。还讨论了 1998 年东亚地区夏季风爆发过程, 指出南海夏季风爆发期的季风由副高北侧形成的新生气旋进入南海造成南海中部西风和南海越赤道气流转向的 SW 季风加强汇合而形成, 因而是东亚季风系统中环流系统季节变化造成的, 和印度季风无关。在南海季风爆发期阿拉伯海仍由副热带反气旋控制, 南亚仍是上述副热带反气旋北侧 NW 风南下后转向的偏西副热带气流所控制, 索马里低空急流仍未爆发, 赤道西风并未影响南海。

**关键词:** 副热带季风; 热带季风; 雨季开始; 夏季风爆发

## 1 引言

1987 年, 陶诗言和陈隆勋<sup>[1]</sup>综合中国和印度学者以前的结果, 提出了一张亚洲夏季风爆发日期分布图。依该图结果, 南海是夏季风爆发最早地区。这个结果成为在 1998 年进行的南海季风试验 (SCSMEX) 的主要依据之一 (SCSMEX 科学计划, 1996)<sup>[2]</sup>。随后, 不少学者<sup>[3~5]</sup>对季节变化作了进一步研究, 依向外长波辐射 (OLR)、风和降水提出了各自的亚洲夏季季风雨季开始日期, 一致提出中南半岛雨季开始最早, 但各人提出的中南半岛雨季开始日期各不同, 自 4 月 28 日到 5 月 10 日。另一方面, 不少中国学者<sup>[6~9]</sup>研究了南海季风爆发的气候日期, 虽然所用方法和资料各不相同, 但几乎一致定为 5 月第 4 候。因此, 虽然中南半岛和南海东西只相差 5~10 经度而夏季风爆发却相差 10~20 天, 必须要找出其原因。陈隆勋等<sup>[10]</sup>提出, 东亚季风系统中存在热带季风和副热带季风, 海南直到华南降水均存在双峰型, 第一次雨峰发生可早至 3 月份, 平均为 4 月中旬, 这就是华南前汛期雨季开始。自热带夏季风爆发后, 华南前汛期雨季才达到盛期, 并向北推进。因而, 我们需研究中南半岛和华南 4 月雨季开始是否可能是副热带季风雨季, 其雨带是否是由华南伸向中南半岛, 是否是副热带高压西侧转向的西南风和

冷空气汇合造成的。本文对这个问题进行了研究。结果表明, 亚洲地区存在副热带雨季开始和热带雨季开始。副热带雨带中许多地区降水呈双峰型, 早在 4 月, 由冷空气和副热带高压西侧转向的 SW 风及来自印度的冬春副热带西风槽中西风汇合形成了一条雨带, 并自华南北部或江南开始后向西南扩展到中南半岛和向南扩展到南海北部, 这是第一次副热带雨季开始; 接着是热带季风雨季开始, 热带季风在南海爆发后雨带由赤道附近北跳到  $10\sim 15^{\circ}\text{N}$ , 中南半岛副热带季风雨带转变为热带季风雨带, 华南副热带雨带开始随副热带高压北进而北进, 这就是文献[1]中提出的 5 月中旬以后华南雨带北进。本文还对 1998 年夏季风爆发进行了讨论。

## 2 资料和雨季开始日定义

本文采用了以下资料: (1) 中国 194 站 1951~1995 年和 1998 年日降水资料; (2) 1980~1998 年  $1^{\circ}\times 1^{\circ}$  分辨率日本 GMS 的 TBB 资料; (3) 1979~1997 年 NCEP 全球格点地面降水候总量资料, 分辨率为  $2.5^{\circ}\times 2.5^{\circ}$ ; (4) NCEP/NCAR 的再分析 850 hPa 风场资料以及南海季风试验中的客观分析资料。

雨季开始日定义如下:

$$C_N = [R(N)/N] / [R(\text{年})/365],$$

降水相对系数  $C_N$  反映了计算的  $N$  日内, 日平均降水量  $R$  相对于全年的日平均降水量  $R$  的大小程度。某一场雨后 (指日降水量  $\geq R_x$ , 单位: mm),  $C_5$ 、 $C_{10}$ 、 $C_{15}$  均  $\geq C_x$ , 则定义这个雨日为雨季开始日。其中,

$$C_5 = [R(5)/N] / [R(\text{年})/365],$$

$$C_{10} = [R(10)/N] / [R(\text{年})/365],$$

$$C_{15} = [R(15)/N] / [R(\text{年})/365].$$

中国幅员辽阔, 各地气候差异较大, 定义雨季的开始用统一的标准显然是不合适的。因此针对不同地区,  $R_x$ 、 $C_x$  的取值如下: (1) 西部地区:  $R_x = 1.5$ ,  $C_x = 1.2$ ; (2) 华南地区:  $R_x = 10.0$ ,  $C_x = 1.5$ ; (3) 华北和东北:  $R_x = 10.0$ ,  $C_x = 1.8$ ; (4) 其他:  $R_x = 3.0$ ,  $C_x = 1.5$ 。

用上述方法定义的中国测站的雨季开始日期 (图 1), 大致能反映出各地的气候特点。中国以外地区我们只有候平均资料, 则直接用候降水量和全年总降水量百分率大于 2% 来定义雨季开始。

## 3 亚洲雨季开始的气候分布

为了比较各个学者提出的亚洲特别是东亚的雨季开始日期分布, 我们收集了他们的结果综合成图 1。我们看到, 各学者确定的中南半岛中部雨季开始 (除林之光结果外) 日期分别为 5 月 20 日、5 月 5~10 日、4 月 28 日和 5 月 10~15 日。而中国华南沿岸雨季开始分别为 (除 Matsumoto 外) 5 月 10 日、5 月 25 日、5 月下旬、6 月 2 日。两地

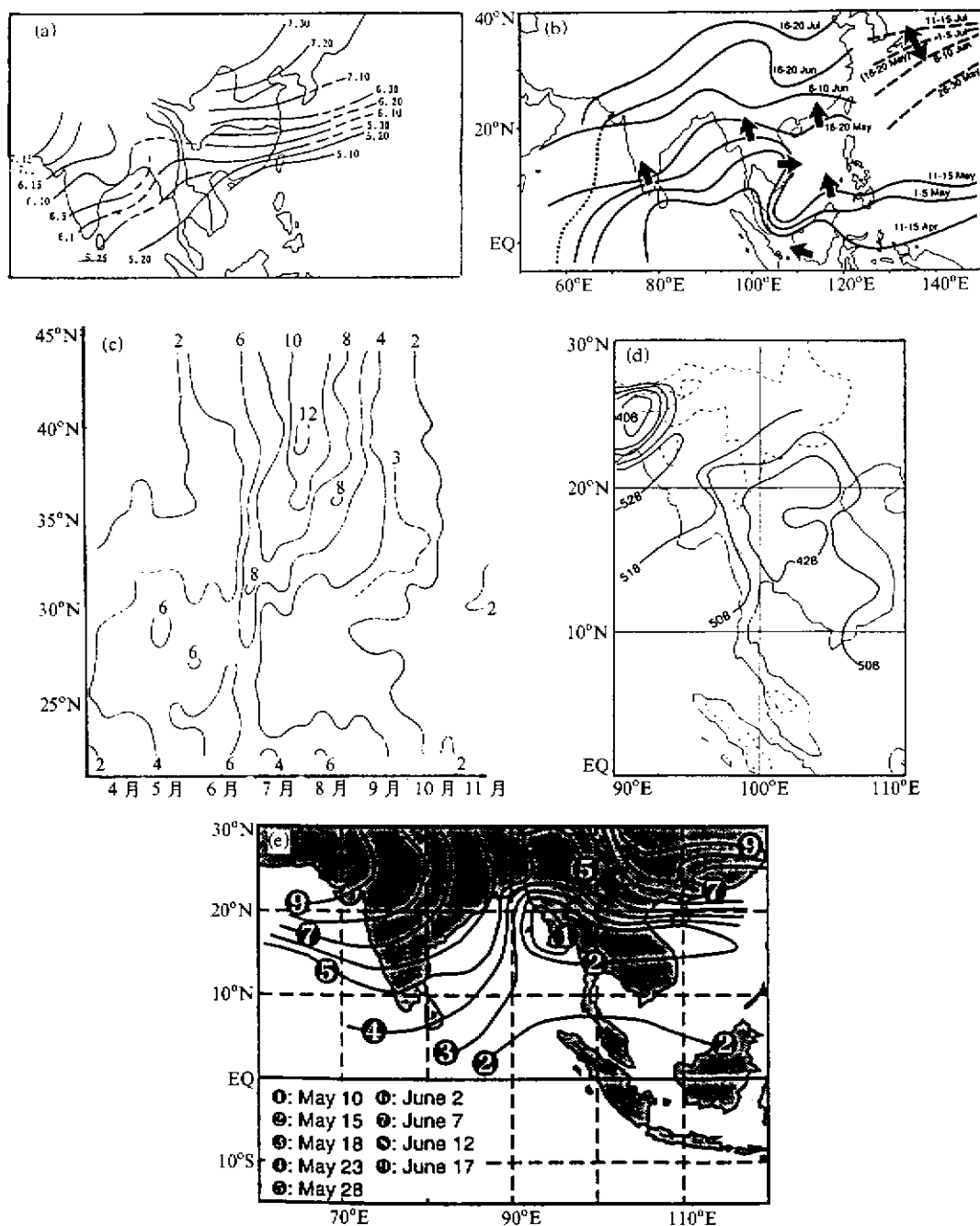


图 1 各个学者提出的亚洲各地雨季开始日期分布

(a) 文献[1]; (b) 文献[3]; (c) 文献[11]; (d) 文献[4]; (e) 文献[5]

(c) 为 110~120°E 上大陆测站旬降水量对年降水量的百分率, (d) 中数值第 1 位为月, 第 2~3 位为日

雨季开始中南半岛比大陆沿岸早 10~20 天。中南半岛中, Lau 等<sup>[3]</sup>的结果为东岸最早, Webster 等<sup>[5]</sup>为西岸最早, 而 Matsumoto<sup>[4]</sup>则为中部最早。图 1b、d 和 e 均认为中

南半岛最早, 然后传播到南海。但从中国大陆的降水曲线来看, 华南地区自春到夏许多站均为双峰型, 实际上中南半岛也为双峰型 (见文献[4]中图 2)。

为了了解  $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$  雨季的开始及变化, 我们作了  $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$  多年候平均降水量和候降水量占全年总降水量百分率的时间剖面图 (图 2)。图 2 中  $22^{\circ}\text{N}$  以北根据中国测站 1961~1995 年平均的逐日雨量计算出候总量而作出, 而  $22^{\circ}\text{N}$  以南由 NCEP 资料 1979~1995 年平均候降水量作出,  $22^{\circ}\text{N}$  附近由于二种资料不完全衔接, 加了平滑。我们看到, 无论是降水量 (图 2a) 还是百分率 (图 2b) 都是在 4 月初 (第 19 候) 在  $25^{\circ}\sim 27^{\circ}\text{N}$  间出现降水大值带, 候降水量大于 30 mm, 百分率大于 2%。此带一直维持到 4 月初, 在  $27^{\circ}\sim 28^{\circ}\text{N}$  出现大于 40 mm 和 2.5% 的中心, 随后此带向南移动于 4 月第 4 候到达华南沿海  $21^{\circ}\sim 22^{\circ}\text{N}$ , 维持到 5 月中旬随后又开始迅速北进, 于 6 月第 4 候到达长江, 7 月第 4 候到达华北。因而在  $23^{\circ}\sim 28^{\circ}\text{N}$  的 4 月中到 5 月之间, 降水存在双峰, 即 4 月为一个雨峰, 之后减少, 5 月中到 6 月初降水又增加。前一个雨带 (4~5 月) 是向南传播的, 后一个雨带 (5~7 月) 是向北传播的。根据这个事实, 我们应该区分这两个雨带。前一个雨带应该是华南前汛期雨季开始期的雨带; 而后一个雨带应是华南前汛期雨季盛期开始的雨带。前一个雨带是北方冷空气和副热带高压转向的 SW 风以及南亚冬春西风槽中西风汇合而形成的, 此时亚洲各地热带夏季风尚未爆发, 是副热带季风雨带; 后一个雨带是热带夏季风爆发后副热带高压季节性北进形成的雨带, 也是副热带季风雨带, 但它随副高北进而北进。

基于以上事实, 我们根据中国测站资料以及 NCEP 降水格点资料, 由第 2 节的雨季开始定义计算出了 4~5 月副热带季风雨季开始日期和 5 月以后的热带季风爆发后热带季风和副热带季风雨季开始日期 (见图 3)。在图 3 中, 我们基本以计算出的雨季开始日期为准, 参考了各个学者对中国各地所定的雨季开始日期<sup>[12~20]</sup>。

从图 3a 可见, 在 3 月末, 从江南直到华南北部的浙江、江西、湖南等省南部和福建已开始出现雨季, 随后雨带向南扩展, 广东中部于 4 月第 2 候, 华南沿岸于 4 月第 3~4 候开始进入雨季, 雷州半岛于 4 月第 5 候, 海南岛于 5 月第 1 候以后自北向南进入雨季。因而, 雨季开始是自北向南扩展的。此外, 它还向西南方向扩展到广西, 我们虽然还未有证据证明它自中国大陆扩展到中南半岛, 但中南半岛于 4 月第 6 候到 5 月第 1 候开始进入雨季。其日期和华南沿岸雨季开始日期完全相同。此外, 从雨季开始日期分

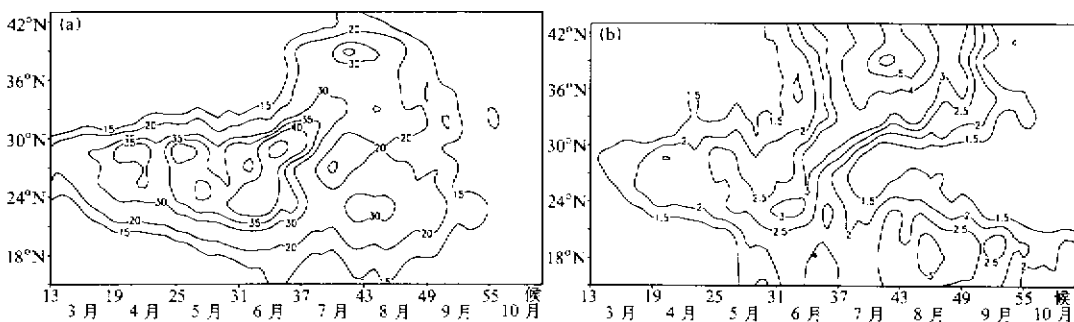


图 2 沿  $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$  多年平均候降水量 (mm) 和候降水量百分率 (%) 时间剖面图

(a) 候降水量; (b) 候降水量对年降水量百分率 (%)

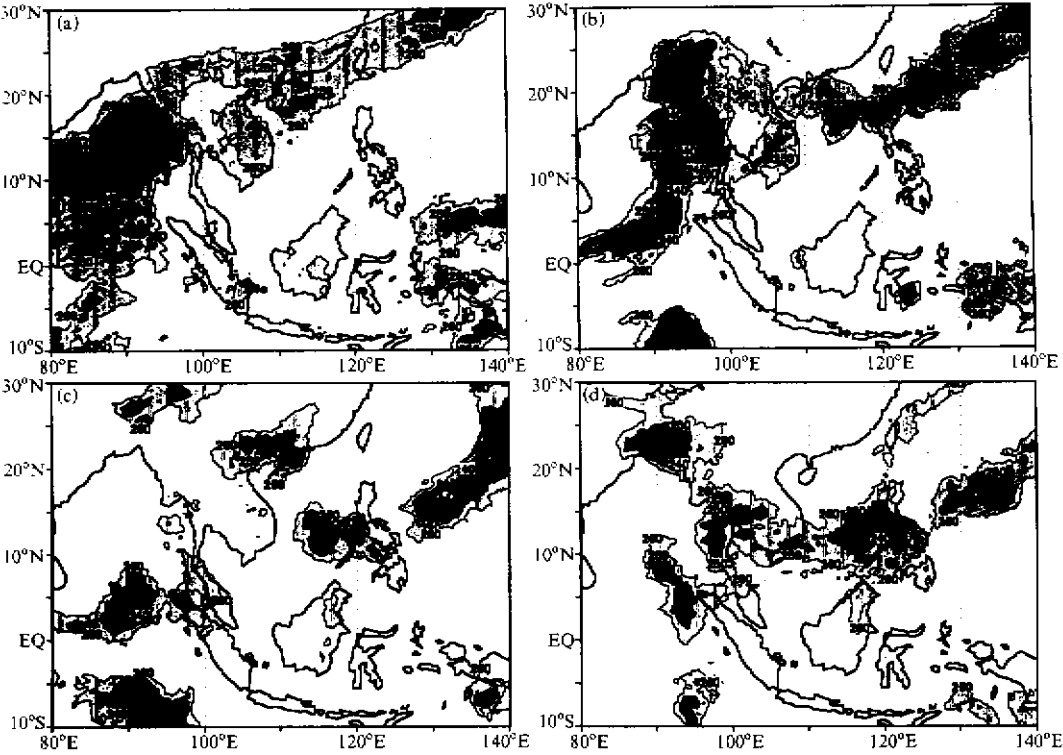


图5 1998年5月10~27日3天平均TBB值分布图  
(a) 16~18日; (b) 19~21日; (c) 22~24日; (d) 25~27日  
图中数值单位为K

来自西太平洋)。另外，1998年5月期间中南半岛对流云带发展过二次：第一次是在5月21日前，由孟加拉湾风暴和华南前汛期云带西伸造成的，前者的属性主要是副热带性质的，但后者明显的是副热带性的；第二次发展在25~27日，明显的属于热带夏季风爆发期的，是热带性云带，并且22~24日先在南海发展，25~27日在中南半岛西部发展。

5 1998年雨季开始的流场特征

图6为1998年5月4~27日每3天平均的850 hPa流线图（资料取自SCSMEX分析）。我们还做了NCEP资料的流场，用以讨论90°E以西的流场。在该年5月4~9日，副热带反气旋控制整个7~25°N亚洲地区，阿拉伯海有反气旋中心，印度东岸以东亦有反气旋控制。赤道西风只出现在5°N以南90°E以西热带地区。5月10~12日开始，印度南端有气旋发展，直到5月15日，中心位于斯里兰卡上空。 $\theta_{se}$ 的暖湿中心位于该气旋的东南部，冷舌自北方伸入到气旋中心， $\theta_{se} < 340\text{ K}$ 。因而，直到5月13~15日，该气旋是一个副热带气旋。16~18日，该气旋北上并猛烈发展，中心变性为暖中心（ $\theta_{se} > 345\text{ K}$ ），原来的冷中心退到气旋西北。气旋东侧的SW气流一直位于印度

的<sup>[21]</sup>。

图 3b 为热带夏季风爆发后各地雨季开始日期分布。我们要注意到, 热带夏季风爆发后, 中国东部大陆的雨带仍是副热带高压以北的雨带, 因而仍是副热带季风雨带, 但它随副高北进而北进。副高以南的雨带才是热带季风雨带。由于亚洲夏季风爆发最主要标志是副热带高压退出中南半岛甚至退出南海, 所以南海热带夏季风爆发后出现于南海以西的雨季应是热带季风雨带。我们看到, 随着热带夏季风在南海于 5 月中旬爆发, 赤道雨带北跳到  $15^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{N}$ 。随后, 中南半岛由副热带季风气流影响变为热带季风气流影响, 降水有一次增加, 并向西推进到孟加拉湾, 向北到加尔各答, 经缅甸到云南西双版纳, 西双版纳当地气象台站定其雨季开始于 6 月第 1 候。因而, 热带季风雨季开始为自东向西传播。

原位于华南沿岸的副热带雨带在南海热带季风爆发后便随副高北进而北进。5 月下旬开始从南向北推进, 于 6 月中旬到达长江中下游。实际上, 6 月中旬之前, 在 4~5 月份, 长江早已开始雨季, 但降水不大, 依图 2a,  $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$  平均候总量小于 40 mm, 而热带夏季风爆发后雨带强度增强, 大于 40 mm。西藏的雨季也随热带夏季风爆发于 6 月上旬开始向西向北推进<sup>[21]</sup>。

从以上讨论来看, 文献[1]的夏季风爆发日期中并未讨论南海夏季风的爆发, 只是讨论了南海夏季风爆发后热带季风在热带的推进以及副热带季风在中国大陆的北进, 其结论基本上是正确的。

## 4 1998 年亚洲雨季开始

由于未得到 1998 年中南半岛降水资料, 无法用降水来决定雨季开始日期, 但我们可用 TBB 资料来决定各地雨季开始日期。为此, 我们作了 5 月 4~27 日每隔 3 天的平均 TBB 值分布图。由于 4~15 日对流云带只出现于赤道附近, 形势十分一致, 这里只给出 10~27 日的图 (图 5)。在 5 月 10~12 日 (图略) 印度南端有一个副热带气旋迅速发展, 13~15 日在  $90^{\circ}\text{E}$  以西  $13^{\circ}\text{N}$  以南出现一个对流云团。同一时期, 华南沿岸出现一条冷锋云带。到 16~18 日, 孟加拉湾云团中心北上到达 ( $15^{\circ}\text{N}$ ,  $90^{\circ}\text{E}$ ), 而中国大陆华南沿岸云带向西伸到中南半岛东中部。19~21 日孟加拉湾东岸仍残留对流云团而华南云带南下, 到达南海北部 ( $15^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{N}$ ) 和中南半岛东部。这表明 1998 年南海降水开始于北部, 显然是来自北方的副热带云带形成的。22~24 日, 中南半岛基本上没有对流云带, 但南海自北方南下的云带分裂成二段, 在南海的云团继续南下到达  $10^{\circ}\sim 15^{\circ}\text{N}$ , 这是南海热带季风爆发期, 该时期原在孟加拉湾的对流云团已消失, 在  $5^{\circ}\text{N}$  以南维持赤道云带, 在  $10^{\circ}\sim 15^{\circ}\text{N}$  没有云带。由此可见, 就 1998 年热带夏季风爆发期热带云团而言, 最早出现于南海, 而不是出现于中南半岛或孟加拉湾。到 25~27 日, 南海中部对流云团得到加强, 中南半岛到孟加拉湾东岸的云团才开始出现, 二者开始相连。因而, 在  $10^{\circ}\sim 15^{\circ}\text{N}$ ,  $95^{\circ}\sim 125^{\circ}\text{E}$  出现一条热带对流云带。由上可见, 1998 年南海热带夏季风爆发期对流云带是由大陆冷锋云带南移到南海中部受南海热带夏季风爆发影响后再度发展而成的。陈隆勋等<sup>[5]</sup>分析了南海热带夏季风爆发期对流云带来源, 提出 1975~1993 的 19 年中, 有 5 年云带来自北方, 13 年来自赤道附近 (包括越赤道气流和

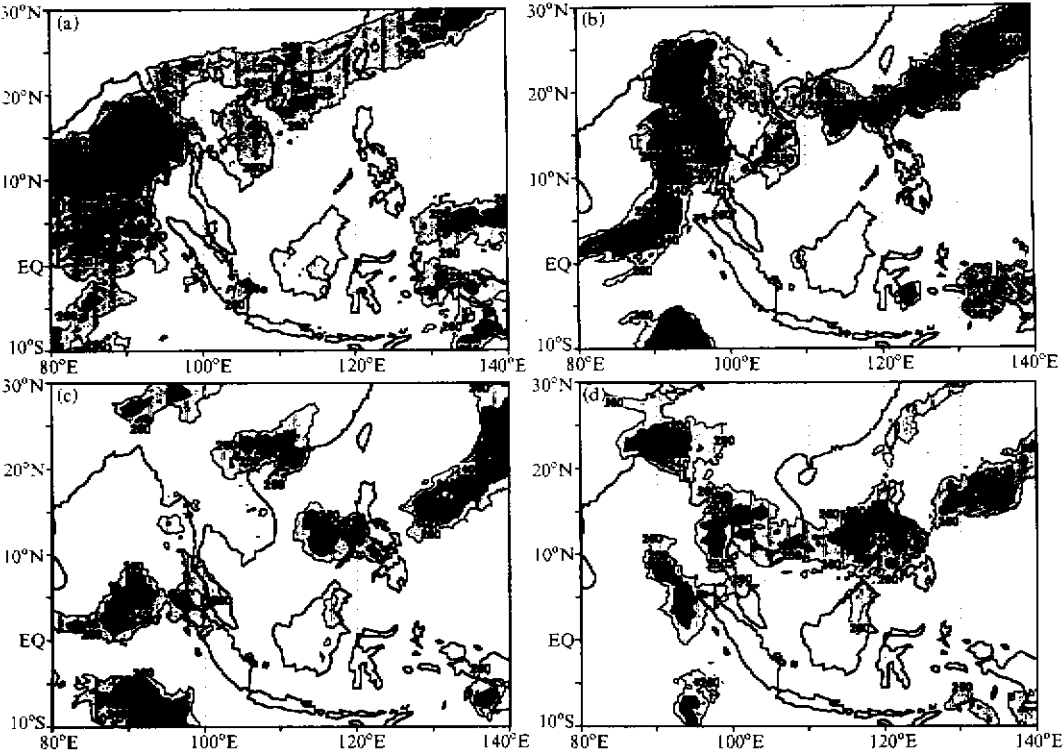


图5 1998年5月10~27日3天平均TBB值分布图  
(a) 16~18日; (b) 19~21日; (c) 22~24日; (d) 25~27日  
图中数值单位为K

来自西太平洋)。另外，1998年5月期间中南半岛对流云带发展过二次：第一次是在5月21日前，由孟加拉湾风暴和华南前汛期云带西伸造成的，前者的属性主要是副热带性质的，但后者明显的是副热带性的；第二次发展在25~27日，明显的属于热带夏季风爆发期的，是热带性云带，并且22~24日先在南海发展，25~27日在中南半岛西部发展。

5 1998年雨季开始的流场特征

图6为1998年5月4~27日每3天平均的850 hPa流线图（资料取自SCSMEX分析）。我们还做了NCEP资料的流场，用以讨论90°E以西的流场。在该年5月4~9日，副热带反气旋控制整个7~25°N亚洲地区，阿拉伯海有反气旋中心，印度东岸以东亦有反气旋控制。赤道西风只出现在5°N以南90°E以西热带地区。5月10~12日开始，印度南端有气旋发展，直到5月15日，中心位于斯里兰卡上空。 $\theta_{se}$ 的暖湿中心位于该气旋的东南部，冷舌自北方伸入到气旋中心， $\theta_{se} < 340\text{ K}$ 。因而，直到5月13~15日，该气旋是一个副热带气旋。16~18日，该气旋北上并猛烈发展，中心变性为暖中心（ $\theta_{se} > 345\text{ K}$ ），原来的冷中心退到气旋西北。气旋东侧的SW气流一直位于印度

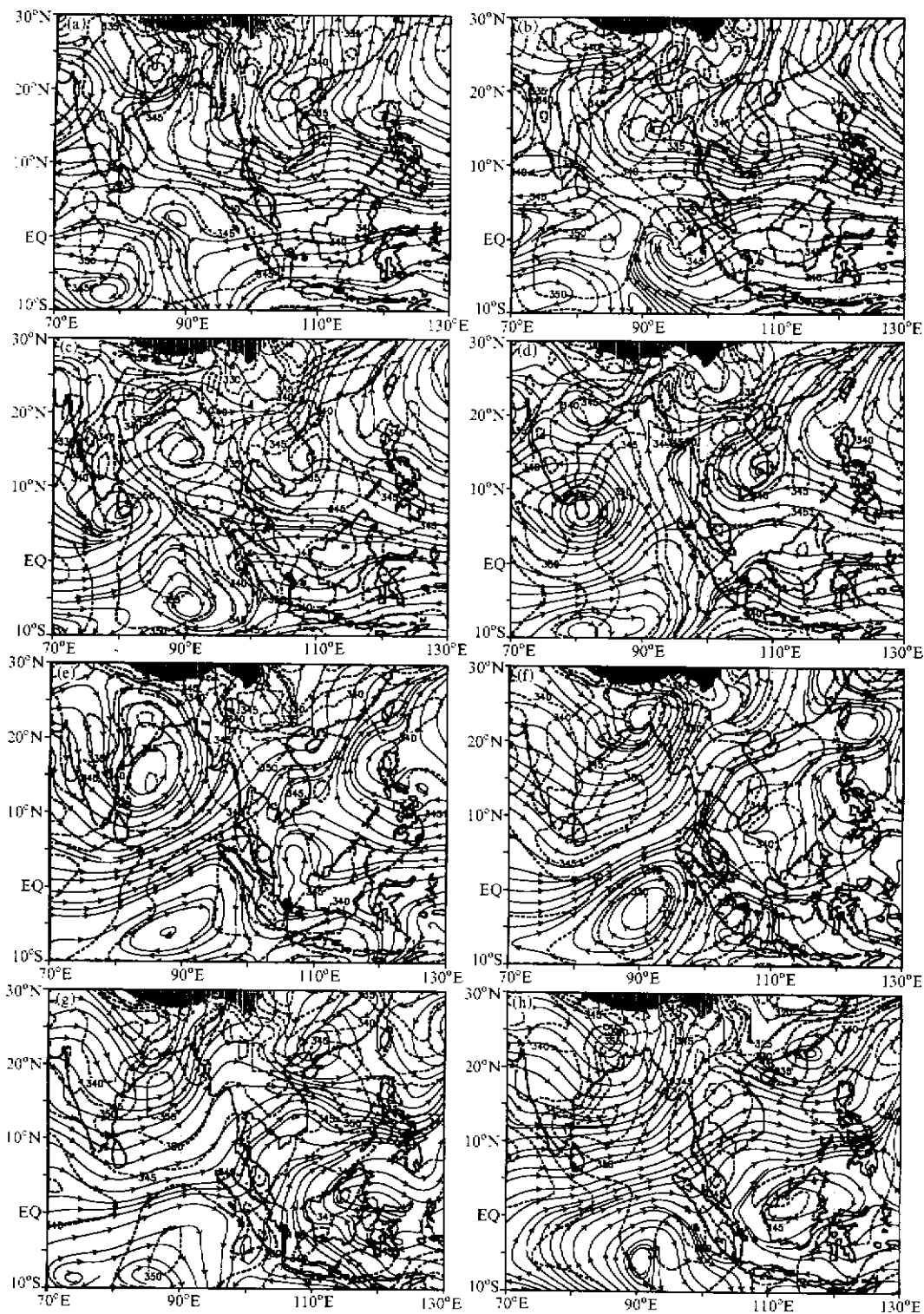


图 6 1998 年 5 月 4~27 日 850 hPa 3 天平均流线及  $\theta_{e\text{c}}$  图

(a) 4~6 日; (b) 7~9 日; (c) 10~12 日; (d) 13~15 日;

(e) 16~18 日; (f) 19~21 日; (g) 22~24 日; (h) 25~27 日

洋反气旋和南海—西太平洋反气旋北侧。这支气流由二支气流组成, 气流北部由阿拉伯海副热带反气旋的 NW 气流转向而成, 为副热带气流, 南侧为赤道西风, 二支气流交界约在  $5^{\circ}\text{N}$ 。到 19~21 日, 气旋中心又变为冷中心。与此同时, 在台湾岛以东的西太平洋在反气旋以北新生一个气旋, 22~24 日西移到南海, 此气旋的西北侧有冷空气入侵, 气旋的 NW 风及其转向的西风控制南海北部同时有一条对流云带自北向南而到达南海中北部 (图 5)。气旋仍位于反气旋以北, 因而南海北部的 SW 风不是热带性的。到 5 月 22~24 日, 来自澳大利亚并在南海越赤道的 SW 气流突然加强, 在南海南部出现强 SW 风, 因而南海明显的出现二支西风, 中北部为南海气旋发展引起的副热带 NW 气流而南部为南海越赤道转向的热带 SW 气流。二者在南海中部汇合, 出现热带性对流云团。25~27 日二支气流完全合并。因而该年南海夏季风爆发主要是受南海北部发展的气旋南部的副热带西风和南海越赤道气流的转向热带 SW 季风组合而形成的, 与西侧的印度季风无关。需要讨论的是, 来自印度地区的西风是热带性的还是副热带性的。解决这一问题需要看阿拉伯海气流。依 NCEP 流场, 直到 5 月 24 日, 阿拉伯海仍由反气旋控制, 反气旋北侧的西北风到达  $10^{\circ}\text{N}$ , 然后在孟加拉湾向东。因而, 南亚地区  $10^{\circ}\text{N}$  以北的西风气流是副热带气流而不是热带季风。

结合 TBB 资料, 可以看到 1998 年无论是从对流云带还是气流, 南海夏季风爆发仍是亚洲地区最早, 南海季风爆发主要受东亚季风环流系统成员季节变化造成的。

## 6 结论

(1) 在气候学上, 4~6 月, 亚洲地区经历了二个雨带的影响。从 4 月起, 中国大陆东南部 ( $25\sim 27^{\circ}\text{N}$ ) 出现副热带季风雨带, 此雨带生成后便向南传播, 华南开始前汛期雨季, 同时也向西南传播直到广西。中南半岛 4 月份出现的雨带是和上述雨带相连的。这是由冷空气和副高转向的 SW 风和冬春西风槽西风汇合而形成的, 是典型的副热带雨带。5 月中旬以后南海热带夏季风爆发, 热带夏季风向西传播, 雨季开始也由东向西传播。中南半岛则表现为二个雨峰, 即 4 月出现副热带季风雨峰后, 降水有减少, 热带夏季风爆发向西传播后降水又被激活而出现第二个雨峰。随着南海夏季风爆发, 副热带高压随季节北进, 原来由北向南传播到华南沿海的副热带季风雨带又回过来向北推进, 在  $27^{\circ}\text{N}$  以南出现第二次雨峰。北进的雨带仍是副热带季风雨带。在长江中下游, 称为梅雨带。

(2) 1998 年南海夏季风爆发由南海北部气旋发展形成的副热带西风和来自南海越赤道转向的 SW 季风汇合而成。其云带亦由北向南进入南海并受南海 SW 季风爆发而加强, 中南半岛对流云带的出现落后南海约 3~5 天。因而, 1998 年南海夏季风爆发主要受东亚季风系统控制。在南海季风爆发期, 印度地区仍受副热带气流控制对南海热带季风爆发影响不大, 实际上, 直到 5 月 24 日 (即南海夏季风爆发), 阿拉伯海由副热带反气旋所控制, 自阿拉伯海到孟加拉湾  $10^{\circ}\text{N}$  以北仍由副热带气流所控制。因而, 整个亚洲南海部, 热带夏季风爆发仍以南海最早, 南海爆发后向西传播。

## 参 考 文 献

- 1 Tao Shiyan and Chen Longxun, A review of recent research on the East Asian summer monsoon in China, *Monsoon Meteorology*, Oxford University Press, 1987, 60~92.
- 2 PRC-US Scientific Working Group, Scientific Plan of the South China Sea Monsoon Experiment, 1995, 1~65.
- 3 Lau K.-M. and Song Yang, Climatology and interannual variability of the southeast Asian summer monsoon, *Advances in Atmospheric Sciences*, 1997, 14, 141~162.
- 4 Jun Matsumoto, Seasonal transition of summer rainy season over Indochina and adjacent monsoon region, *ibid*, 1997, 14, 231~245.
- 5 Webster P. J. et al., Monsoon: processes, predictability, and the prospects for prediction, *Jour. of Geophys. Res.*, 1998, 103, 14451~14510.
- 6 谢 安, 刘 霞, 叶 谦, 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, 1996, 132~141.
- 7 阎俊岳, 南海西南季风爆发的气候特征, 气象学报, 1997, 55, 174~186.
- 8 陈隆勋, 刘洪庆等, 南海及邻近地区夏季风爆发的特征及其机制的初步研究, 气象学报, 1999, 57, 16~29.
- 9 梁建南, 吴尚森, 1998 年南海西南季风建立特征分析, 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, 52~56.
- 10 陈隆勋等, 东亚季风, 北京: 气象出版社, 1991, 1~362.
- 11 林之光, 我国东部地区夏季风雨带进退规律的进一步研究, 国家气象局气象科学研究所气象科学技术集刊第 10 期, 1987, 24~31.
- 12 广东省气象局资料室, 广东气候, 广州: 广东科技出版社, 1987, 1~363.
- 13 蒋德隆, 长江中下游气候, 北京: 气象出版社, 1991, 1~426.
- 14 王文辉, 内蒙古气候, 北京: 气象出版社, 1990, 1~427.
- 15 徐裕华, 西南气候, 北京: 气象出版社, 1991, 1~297.
- 16 钱林清, 黄土高原气候, 北京: 气象出版社, 1991, 1~426.
- 17 白肇烨, 中国西北天气, 北京: 气象出版社, 1988, 1~442.
- 18 李江风, 新疆气候, 北京: 气象出版社, 1991, 1~302.
- 19 戴加洗, 西藏气候, 北京: 气象出版社, 1990, 1~356.
- 20 张家诚, 中国气候总论, 北京: 气象出版社, 1991, 1~476.
- 21 Li Wei and Chen Longxun, Characteristics of the seasonal variation of rainy season over the Tibetan Plateau in 1998 with its impact on East Asian weather, *Acta Meteor. Sinica*, (in press)

## On the Process of Summer Monsoon Onset over East Asia

Chen Longxun, Li Wei and Zhao Ping

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Tao Shiyan

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

**Abstract** Using daily observational rainfall data covered 194 stations of China from 1961 to 1995 and NCEP model analyzed pentad precipitation data of global grid point from 1979 to 1997, the distribution of rainy season onset over Asian area from spring to summer is discussed. The results show that there exists two stages of rainy season onset over East Asia region from spring to summer—rainy season onset accompanying subtropical monsoon and tropical monsoon respectively. The former started over north of South China and south of the Yangtze River basin in early April and then extended southward to South China coastal regions and westsouthward to the Indo-China Peninsula by the end of April.

The corresponding rain belt is mainly formed by the convergence of cold air and the recurved southwesterly flow from the western part of subtropical high and westerly flow from the so-called western trough of subtropical region occurred during winter to spring over South Asia. We usually call it as "starting period of pre-flood rainy season over South China". So it should belong to the onset of subtropical monsoon rainy season. The latter is formed in the process of subtropical monsoon rainy belt over inshore regions of South China Sea originally came from the Yangtze River basin advancing with northward shift of subtropical high after the onset of tropical monsoon over South China Sea. The pre-flood rainy season over South China region then came into mature period and the second peak of rainy season appeared, "plum season", rainy season over the Yangtze River basin—the Huihe River basin and North China then formed consequently. Meanwhile the tropical monsoon rain belt has propagated westward to South Asia and formed tropical monsoon rainy season. The process of summer tropical monsoon onset over South China Sea in 1998 is also discussed. It indicated that the monsoon during summer tropical monsoon onset over South China Sea is the result of the westerly flow over middle of South China Sea from the new generated cyclone formed in north subtropical high entering into South China Sea converged with the tropical southwesterly flow recurved by the "intensified cross-equatorial flow". Therefore the monsoon onset over SCS is mainly caused by the seasonal variation of circulation system in East Asian monsoonal system but has no relationship with Indian monsoon. During monsoon onset over South China Sea, Arabian Sea is still controlled by subtropical anticyclone, South Asia is controlled by the recurved westerly flow of the south-moving northwesterly flow from north part of pre-mentioned subtropical anticyclone, and the Somali low-level jet has not outbroken yet. The equatorial westerly over Southern Asia does not affect South China Sea.

**Key words:** subtropical monsoon; tropical monsoon; onset of rainy season; summer monsoon onset