

中高纬大气环流异常和低纬 30~60 天低频对流活动对南海夏季风爆发的影响

温之平^{1,2} 黄荣辉² 贺海晏¹ 蓝光东¹

1 中山大学季风与环境研究中心/大气科学系, 广州 510275

2 中国科学院大气物理研究所, 北京 100081

摘要 利用 1979–2003 年 NCAR/NCEP-2 再分析全球日平均资料, 及 1979~2003 年全球候平均的 CMAP 降水和 NOAA 日平均的向外长波辐射资料, 分析了中高纬大气环流异常和低纬 30~60 天低频对流的活动对南海夏季风爆发迟早的影响。分析结果表明, 当 5 月 1~15 日期间乌拉尔山及其以西地区对流层出现位势高度负距平(低频气旋)、中纬度大陆为位势高度正距平(低频反气旋)、我国东部沿岸地区为位势高度负距平(低频气旋)、鄂霍次克海地区为位势高度正距平(低频反气旋)时, 副热带高压脊较早撤出南海, 与此同时, 孟加拉湾东部低频对流活跃东传, 菲律宾南部周围低频对流发展西移, 华南地区低频对流活动南移以及加里曼丹低频对流活跃北移。在这种情况下, 南海夏季风爆发偏早。相反, 当 5 月 1~15 日期间乌拉尔山及其以西地区对流层出现位势高度正距平(低频反气旋)、中纬度大陆为位势高度负距平(低频气旋)、我国东部沿岸地区为位势高度正距平(低频反气旋)、鄂霍次克海地区为位势高度负距平(低频气旋)时, 副热带高压脊撤出南海较迟; 与此同时, 孟加拉湾东部低频对流不活跃、东传晚, 菲律宾南部周围低频对流不活跃、其西移与孟加拉湾东部低频对流的东传反位相, 华南地区低频对流活动也不活跃, 加里曼丹低频对流较弱。在这种情况下, 南海夏季风爆发偏迟。

关键词 环流异常 30~60 天振荡 低频对流 夏季风 爆发迟早

文章编号 1006-9895 (2006) 05-0952-13

中图分类号 P461

文献标识码 A

The Influences of Anomalous Atmospheric Circulation over Mid-High Latitudes and the Activities of 30–60 d Low Frequency Convection over Low Latitudes on the Onset of the South China Sea Summer Monsoon

WEN Zhi-Ping^{1,2}, HUANG Rong-Hui², HE Hai-Yan, and LAN Guang-Dong¹

1 Center for Monsoon and Environment Research/Department of Atmospheric Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275

2 Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080

Abstract The influences on the onset of South China Sea summer monsoon (SCSSM) of anomalous atmospheric circulation over mid-high latitude areas and the activities of 30–60 d low frequency convection over low latitude areas are studied by using the NCEP/NCAR-2 reanalysis data, CMAP (NOAA NCEP Climate Prediction Center Merged Analysis of Precipitation) precipitation data and NOAA OLR (outgoing longwave radiation) data. The results show that when there exists a anomalous wave train with negative anomalies of geopotential height field (low frequency cyclone) over the Ural Mountains and its western region and along the seacoast of eastern Asia, the positive anomaly (anomalous anticyclone) over middle latitude continent and the Sea of Okhotsk during May 1–15, the ridge of sub-

收稿日期 2006-05-11, 2006-06-01 收修定稿

资助项目 国家自然科学基金资助项目 40275026、40505015

作者简介 温之平, 男, 1963 年出生, 副教授, 主要从事季风气象学、热带大气环流与气候变化的研究工作。

E-mail: eeswzp@mail.sysu.edu.cn

tropical high will withdraws from the South China Sea (SCS) earlier. At the same time, low-frequency convection (LFC) over the eastern part of the Bay of Bengal is active and moves eastward, that around the Philippines develops and moves westward, that over South China is active and moves southward and that over Kalimantan is also active and moves northward. In this case, the establishment of SCSSM is earlier. On the other hand, when there exists a anomalous wave train with positive anomalies of geopotential height field (low frequency anticyclone) over the Ural Mountains and its western region and along the seacoast of eastern Asia, the negative anomaly (anomalous cyclone) over middle latitude continent and the Sea of Okhotsk during the first half month of May, the ridge of subtropical high will withdraws from the South China Sea (SCS) later. At the same time, the low-frequency convection (LFC) over the eastern part of the Bay of Bengal is not active and moves eastward later, that around the Philippines is also not active and its westward movement is opposite in phase with the eastward movement of the LFC over the eastern part of the Bay of Bengal, that over South China is not active and the intensity of that over Kalimantan is also weak. In this case, the establishment of SCSSM is later.

Key words circulation anomaly, 30 - 60 d oscillation, low frequency convection, summer monsoon, the earlier and later onset

1 引言

南海夏季风的爆发标志着东亚夏季风的来临和中国东部雨季的开始, 其异常活动不仅会影响我国东部以及日本地区降水异常, 而且, 因南海夏季风异常引起的南海/菲律宾沿东亚至北美的大气遥相关型变化, 将影响北美地区乃至北半球的大气环流和气候异常^[1~3]。因此, 南海夏季风越来越受到世界各国特别是南海周边国家 and 地区的气象学家们的高度重视, 研究南海夏季风并不仅仅关系到区域气候变化问题, 对全球行星尺度气候变化也有重要意义。

近年来, 国内外学者对 30~60 天振荡与南海夏季风的关系进行了许多研究^[4~6]。这些研究工作证实了南海-热带西太平洋地区的夏季风环流中存在一种 30~60 天的振荡模, 强调了印度洋低频振荡的东传对南海夏季风爆发的影响, 并指出之前菲律宾以东洋面上的低频气旋的存在、发展和向南海的扩展对南海夏季风爆发具有十分重要的作用, 认为南海夏季风的维持和中断受到 30~60 天振荡的控制。相比之下, 有关中高纬大气环流异常与南海夏季风爆发的研究工作则相对较少。一些学者也关注到北半球中高纬环流系统与南海夏季风爆发的联系, Chang 等^[7]认为与初夏雨季爆发有关的中纬度锋本身就是南海夏季风的触发机制。吴池胜等^[8]认为, 南下接近副热带一定强度的中纬度槽-锋系统的强迫, 可引起南海地区副热带高压脊的减弱东撤, 因而有利于南海夏季风的建立。但较多的研究多集中于夏季中高纬环流异常对西太平洋副热带高

压和我国东部降水的影响^[9~12]。

陶诗言等^[13]和叶笃正等^[14]早在 20 世纪 50 年代就指出, 亚洲大气环流的季节变化过程从冬到夏是突发性的, 在从春到夏季过渡时期有一个跳跃性的突变, 这种行星尺度环流的异常才导致了东亚夏季风的爆发。事实上高、低纬大气环流是一整体, 在全球大气环流的季节转换和年际变化过程中, 它们既相互联系又相互制约。关于南海夏季风爆发的研究, 国内外学者多注重中低纬环流的作用, 较少涉及中高纬大气环流的影响, 尤其是中高纬度大气环流的异常与低纬低频环流的关系及其对南海夏季风爆发的影响尚不清楚。为此, 本文围绕这一科学问题进行分析, 以期得到中高纬大气环流异常、低纬 30~60 天振荡与南海夏季风爆发迟早的关系图像。

本文分析主要用到的资料有: (1) 1979~2003 年 NCAR/NCEP-2 再分析全球逐日的平均资料^[15], 网格分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$; (2) 1979~2003 年全球候平均的 CMAP (NOAA NCEP Climate Prediction Center Merged Analysis of Precipitation) 降水^[16]和 NOAA 向外长波辐射资料^[17], 网格分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。

2 南海夏季风爆发迟早的定义

2.1 构建南海夏季风爆发指数的区域选定

由于季风区气候具有冬夏风向逆转年变化以及夏湿冬干的特点, 所以通常用低层风场或局地降水的季节性变化来确定季风的爆发。图 1 为 1979~2003 年南海夏季风爆发期间 (第 23~34 候) 积云对

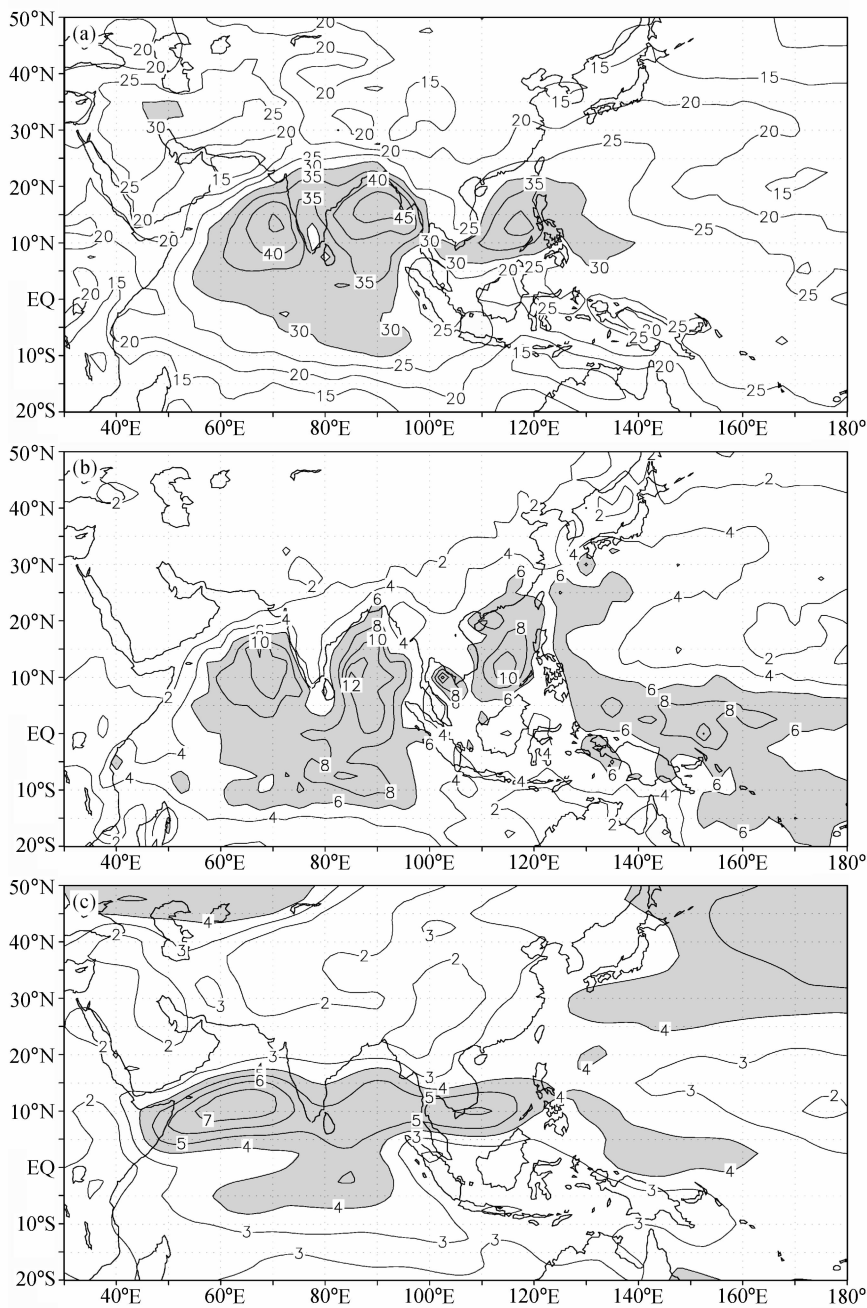


图1 1979~2003年第23~34候候平均OLR、CMAP降水率和纬向风的标准差分布:(a) OLR(单位: W/m^2); (b) CMAP降水率(单位: mm/d); (c) 850 hPa纬向风(单位: m/s)

Fig. 1 The standard deviation of pentad mean OLR, CMAP precipitation rate and zonal wind from pentad 23 to pentad 34 between 1979 and 2003; (a) OLR (W/m^2); (b) CMAP precipitation rate (mm/d); (c) zonal wind (m/s) at 850 hPa

流(OLR)、降水率和850 hPa纬向风的标准差分布(为了与CMAP降水率相匹配,OLR和850 hPa纬向风均处理成候平均资料)。由图1可知,南海夏季风爆发期间,热带地区无论是对流、降水率还是低层纬向风都存在明显的年际变化。OLR标准差大值区($>30 \text{ W}/\text{m}^2$)位于北印度洋、印度半岛和南海及菲

律宾以东海区(图1a);降水的年际变化的局地性更明显,标准差大值中心分别位于阿拉伯海东南部、孟加拉湾、南海和150°E附近的赤道西太平洋(图1b);与对流和降水相比,低层纬向风的年际变化具有更大尺度的特征,标准差大值区主要呈东西向位于(5°N~15°N, 50°E~120°E)之间热带地区,赤道西太平

洋和南半球赤道印度洋中部也有较大的标准差(图 1c)。由此可见,若既考虑低层纬向风的年际变动情况,又考虑降水和积云对流年际变化的局地性特征,我们认为用于定义南海夏季风爆发的区域之东西范围以 110°E~120°E 为宜。

南海地区由于其特殊的地理位置,降水的局地性很强,易受非季风性天气系统的影响,因此单纯用降水来判断季风的爆发较为困难。为了既客观又简洁地定义南海夏季风爆发,首先有必要分析一下低层纬向风和降水演变的气候平均特征。从气候平均的 850 hPa 水平流场和降水率沿 110°E~120°E 平均的时间-经度剖面可知(图略),大约在第 28 候(5 月 16~20 日),5°N~17.5°N 范围内的 850 hPa 水平风向一致性地发生了明显的季节变化,由偏东风转为偏西风,风向转变的时间正好反映了南海夏季风爆发的平均日期。由于受西太平洋副热带高压脊的西伸影响,20°N 的水平风向早在 2 月中就发生了

转变。与 850 hPa 纬向风的季节转换相一致,5°N~20°N 纬带内的降水也一致地明显增加(>6 mm/d)。因此,我们认为,选取(5°N~17.5°N, 110°E~120°E)区域平均纬向风的季节性突变来定义南海夏季风爆发会有很好的指示意义,同样范围内平均的降水率可用来描述南海雨季的开始,这与 Wang 等^[18]划定的区域略有差别。

2.2 南海夏季风爆发指数

为了更好地考虑南海夏季风建立时低层副热带高压向东撤出南海这一环流形势的变化,我们定义如下季风指数:

$$I_{UH} = \begin{cases} I_U \frac{I_H}{|I_H|}, & I_U > 0, \\ I_U, & I_U < 0, \end{cases}$$
$$I_U = U_{850},$$
$$I_H = H_s - H_n,$$

表 1 本文定义的南海夏季风爆发日期与 Wang 等^[18]定义的日期及何金海等^[19]得出的优势候
Table 1 The onset date of the South China Sea summer monsoon defined in this paper and that obtained by Wang et al^[18] and the onset date generally recognized obtained by He et al^[19]

年份 Years	爆发日期 Onset date	爆发日期 Onset date ^[18]	优势候 Onset date generally recognized	年份 Years	爆发日期 Onset date	爆发日期 Onset date ^[18]	优势候 Onset date generally recognized
1979	May 13	27 候 Pentad 27	5 月第 3 候 Third pentad of May;	1992	May 15	28 候 Pentad 28	5 月第 4 候 Fourth pentad of May
1980	May 15	27 候 Pentad 27	/	1993	Jun 5	32 候 Pentad 32	/
1981	May 30	31 候 Pentad 31	5 月第 3 候 Third pentad of May	1994	May 2	25 候 Pentad 25	5 月第 1 候 First pentad of May
1982	May 30	31 候 Pentad 31	6 月第 1 候 First pentad of June	1995	May 12	27 候 Pentad 27	5 月第 3 候 Third pentad of May
1983	Jun 2	31 候 Pentad 31	5 月第 5 候 Fifth pentad of May	1996	May 6	26 候 Pentad 26	5 月第 2 候 Second pentad of May
1984	May 23	29 候 Pentad 29	4 月第 6 候 Sixth pentad of April	1997	May 17	28 候 Pentad 28	5 月第 4 候 Fourth pentad of May
1985	May 27	30 候 Pentad 30	/	1998	May 20	29 候 Pentad 29	5 月第 5 候 Fifth pentad of May
1986	May 10	27 候 Pentad 27	5 月第 3 候 Third pentad of May	1999	Apr 22	30 候 Pentad 30	/
1987	Jun 7	32 候 Pentad 32	6 月第 2 候 Second pentad of June	2000	May 9	26 候 Pentad 26	/
1988	May 20	29 候 Pentad 29	5 月第 5 候 Fifth pentad of May	2001	May 8	26 候 Pentad 26	/
1989	May 17	28 候 Pentad 28	5 月第 4 候 Fourth pentad of May	2002	May 15	/	/
1990	May 17	28 候 Pentad 28	5 月第 4 候 Fourth pentad of May	2003	May 16	/	/
1991	Jun 9	32 候 Pentad 32	6 月第 2 候 Second pentad of June	平均 Average	May 18 - 19	28.7 候 Pentad 28.7	

其中, U_{850} 为 ($5^{\circ}\text{N}\sim 17.5^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{E}$) 区域平均 850 hPa 纬向风, H_s 和 H_n 为 (5°N , 117.5°E) 和 (17.5°N , 117.5°E) 两个选定点上的 850 hPa 位势高度。正值 I_H 表示南海高压脊已东撤。因此, 南海夏季风盛行时, I_{UH} 为正值, 表征高层为偏东风, 低层为西南风且南海高压东撤的环流特征。

为了使定义的指数有较好的可操作性, 本文规定, 4 月 21 日以后, $I_{UH} > 0$ 持续 5 天以上或连续 10 天中 $I_{UH} < 0$ 少于 3 天, 则将出现 $I_{UH} > 0$ 的第一天定为爆发日。根据上述原则, 确定了 1979~2003 年逐年南海夏季风建立的时间 (表 1), 就 25 年平均而言, 其爆发日期为 5 月 18~19 日, 属 5 月第 4 候 (5 月 16~20 日)。

2.3 南海夏季风爆发日期的年际变化

由表 1 可知, 本文定义的 1979~2003 年期间南海夏季风爆发事件中, 1999 年爆发最早 (4 月 22 日), 1991 年爆发最晚 (6 月 9 日), 早晚相差达 47 天。与 Wang 等^[18]定义的爆发 (候) 相比, 1979~2001 年间仅有 1999 年相差较大, 其他年份则基本一致; 而与何金海等^[19]得出的优势候相比, 1979~1998 年间相差较明显的也只有 1981 和 1984 年。由此可见, 本文定义的指数是基本合理的。

图 2 给出了 1979~2003 年南海夏季风爆发日期的标准化变化曲线, 由图可知, 南海夏季风爆发存在明显的年际变化特征。为了选取足够的样本研究引起南海夏季爆发迟早大气环流的动力学特征, 本文以其 0.5 个标准差为阈值, 规定小于 -0.5 为爆发早年, 大于 0.5 为爆发晚年。这样, 爆发早年为 1986、1994、1995、1996、1999、2000、2001 年共 7 年; 晚年为 1981、1982、1983、1985、1987、

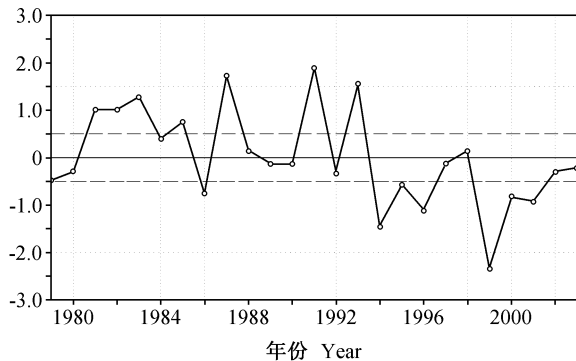


图 2 1979~2003 年南海夏季风爆发日期标准化变化图

Fig. 2 The variation of standard deviation of onset date of the South China Sea summer monsoon from 1979 to 2003

1991、1993 年共 7 年。

3 引起南海夏季风爆发迟早的位势高度场的异常特征

为了更好地突出引起南海夏季风爆发迟早的不同大气环流特征, 选取相对合理的时段是进行对比分析的关键。图 3 给出了南海地区 ($5^{\circ}\text{N}\sim 17.5^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{E}$) 区域平均 OLR 和 850 hPa 纬向风距平的变化曲线。如图 3a 所示, 南海夏季风爆发早年的 4~5 月份, 南海地区 OLR 基本为负距平, 爆发迟年则基本为正距平, 且有 3 个时段存在明显的反向变化, 这 3 个时段分别是: 4 月 1~15 日、4 月 24~30 日和 5 月 1~16 日。从图 2b 可以看出, 夏季风爆发迟、早年的 4~5 月份, 南海地区平均的 850 hPa 纬向风距平仅呈现出 1 次明显的反向变化, 时段为 5 月 1~15 日。因此, 综合南海地区动力和热力要素的变化特征, 我们认为选取 5 月 1~15 日作为比较的时段为宜。

图 4 给出了 5 月 1~15 日平均的 500 hPa 位势高度的气候平均场、南海夏季风爆发早年 and 迟年的距平场。500 hPa 气候平均场上 (图 4a), 高压带位于 $20^{\circ}\text{S}\sim 20^{\circ}\text{N}$ 之间, 2 个高压中心分别位于南海和阿拉伯半岛, 孟加拉湾北部为一浅槽; 中纬度低槽位于东亚沿岸, 高压脊位于欧亚大陆中部, 乌拉尔山及其以西地区的环流较平直, 鄂霍次克海有一弱高压脊。

比较图 4b 和 c 可知, 南海夏季风爆发迟、早年的 5 月 1~15 日 500 hPa 位势高度异常存在明显的差异。爆发早年, 中纬度东亚大槽和大陆脊都明显偏强, 乌拉尔山及其以西地区上空位势高度场明显偏低, 鄂霍次克海上空高压脊则明显偏强 (图 4b); 爆发迟年, 大陆高压偏弱, 东亚大槽较浅, 乌拉尔山及其以西地区上空为强大的高度正距平区, 而鄂霍次克海上空则为负距平区 (图 4c)。另外, 低纬地区位势高度的异常也同样有明显的差异。图 4b 显示, 除了 150°E 附近的热带西太平洋暖池区上空为弱的正距平外, 热带高压带偏弱, 2 个负距平中心分别位于阿拉伯海东南部 and 孟加拉湾, 这表明爆发早年的 5 月 1~15 日期间, 孟加拉湾低槽偏强以及副热带西太平洋高压西伸脊偏弱。南海夏季风爆发迟年同期的情况则基本相反 (图 4c)。

同样, 对 850 hPa 和 200 hPa 位势高度场异常的特征进行分析可知 (图略), 南海夏季风爆发迟, 早年

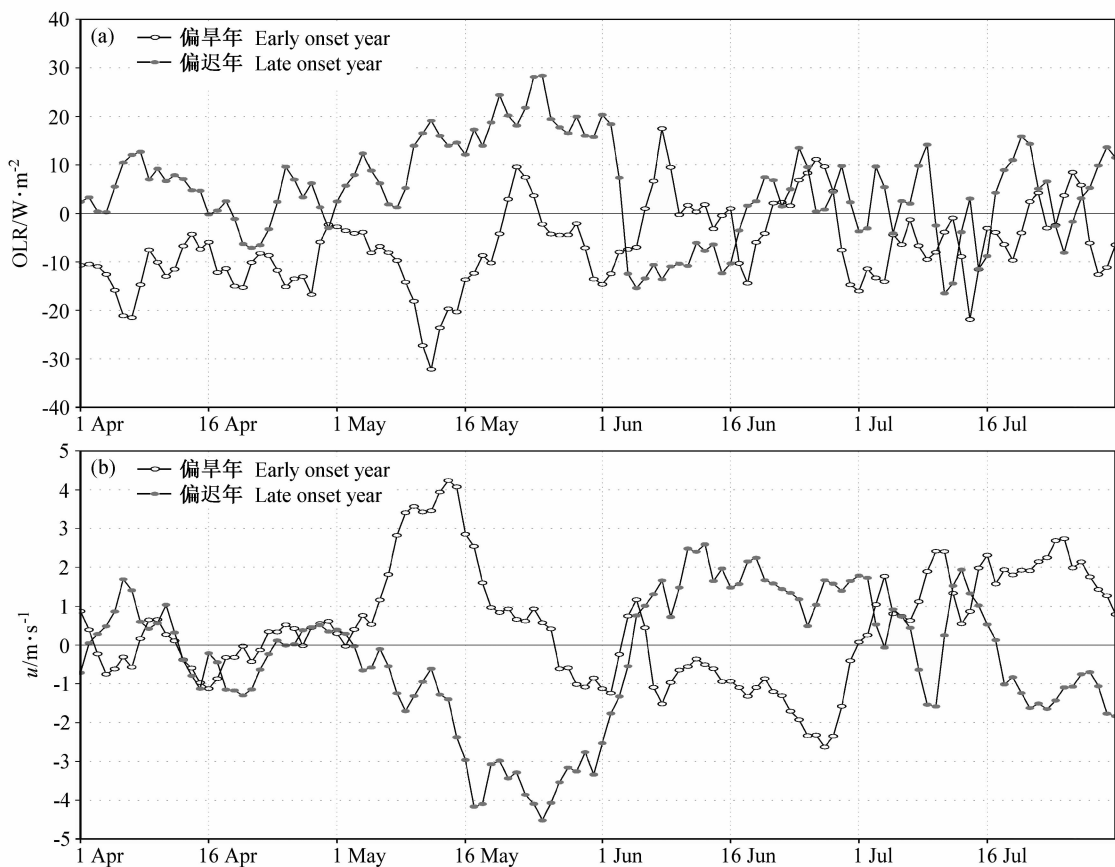


图 3 南海地区区域平均 OLR (a) 和 850 hPa (b) 纬向风距平变化曲线
Fig. 3 The variation of the anomalies of OLR (a) and zonal wind at 850 hPa (b) averaged over the South China Sea

的这一时段中高纬地区位势高度异常存在类似相反 的分布特征。这表明南海夏季风爆发迟、早年的 5 月 1~15 日期间,北半球中高纬地区对流层位势高 度异常为相当正压结构,即北半球乌拉尔及其以西 地区高度场偏低、鄂霍次克海上空高压脊加强、中 纬度地区大陆高压脊加强、东亚大槽加深时,南海夏 季风爆发偏早。反之,南海夏季风爆发偏迟。

4 引起南海夏季风爆发迟早的 30~ 60 天振荡的大气环流特征

为了研究大气环流的 30~60 天振荡特征,本 文应用带通滤波器对 1979~2003 年逐日的 850 hPa、500 hPa 和 200 hPa 经纬向风进行 30~60 天 周期的带通滤波^[20]。

图 5 给出了南海夏季风爆发迟年和早年 5 月 1 ~15 日平均,经 30~60 天低频滤波的 850 hPa 水 平流场分布,由图可知,爆发早年 and 晚年的低频环 流特征有着明显的差异。爆发早年的 5 月 1~15 日 (图 5a),热带地区有一低频槽(气旋)位于孟加拉

湾西部,热带印度洋中部盛行低频西风,南海和副 热带西太平洋也为低频气旋性环流所控制,华南吹 低频东北风,105°E 附近有明显的低频越赤道南 风。与此同时,中纬度环渤海地区为低频气旋控制, 高纬度有一个强大的低频气旋性环流位于乌拉尔山 及其以西地区,鄂霍次克海地区则为低频反气旋性 环流。爆发迟年的同期,低频环流的分布有着较大 的差别(图 5b)。热带地区的低频形势基本与早年 同期相反,有一低频反气旋位于孟加拉湾,热带印 度洋盛行低频东风,南海北部和副热带西太平洋为 低频反气旋性环流控制,华南地区为低频西南气 流。中高纬地区的低频环流形势显示,乌拉尔山及 其以西地区为强大的低频反气旋性环流所控制,鄂 霍次克海地区的低频反气旋中心消失。

爆发迟、早年低层水平流场的 30~60 天低频振 荡的差异在对流层中、上层是否也存在? 图 6 给出 了爆发早年 5 月 1~15 日平均,经 30~60 天低频滤 波的 500 hPa 和 200 hPa 的水平流场分布。图 6a 显 示,爆发早年的 5 月 1~15 日,500 hPa 水平流场的

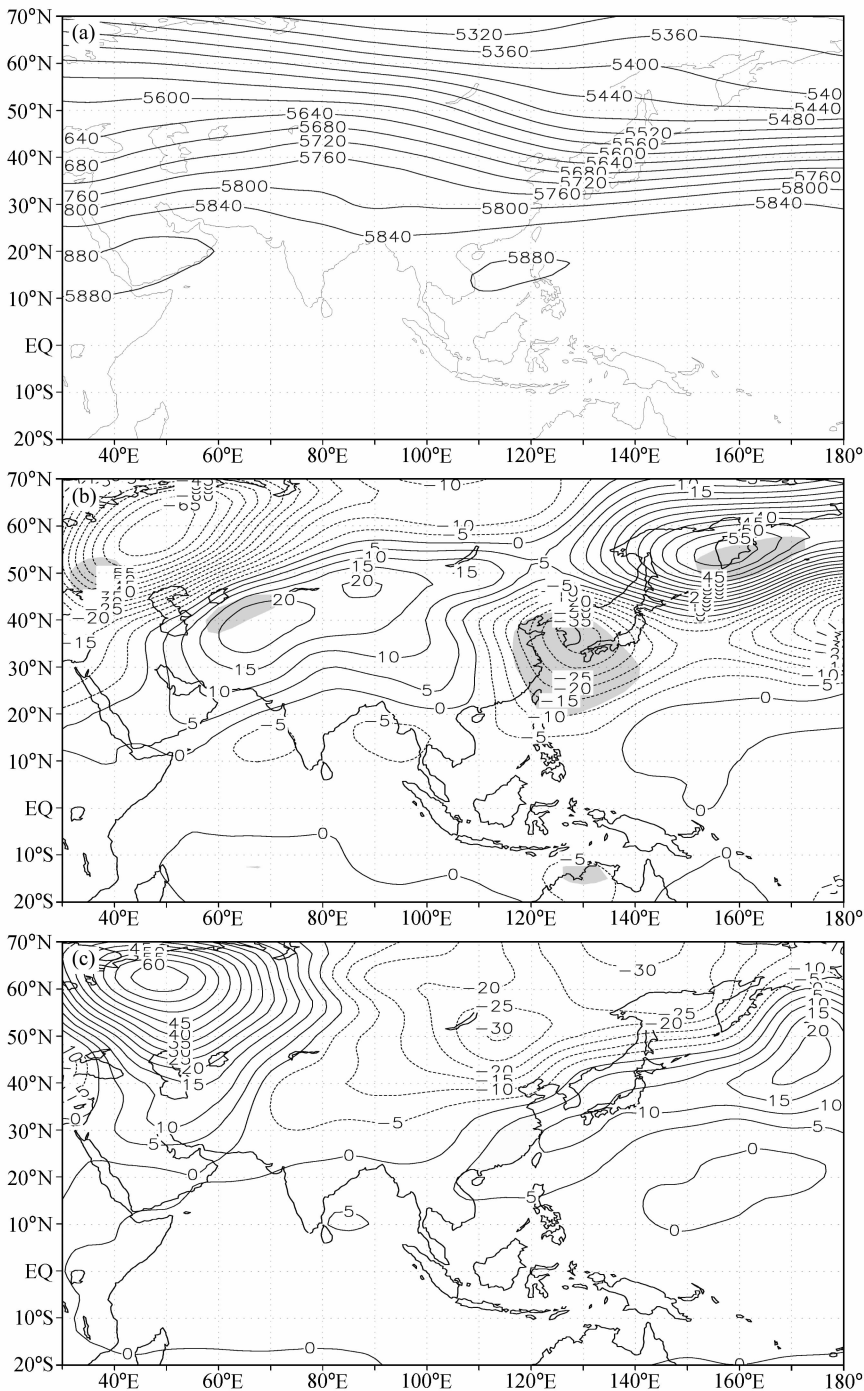


图 4 5 月 1~15 日平均的 500 hPa 位势高度 (单位: gpm, 阴影区为通过 95% 信度区域): (a) 气候平均场; (b) 早年距平场; (c) 迟年距平场
Fig. 4 The geopotential height (gpm) at 500 hPa averaged between May 1 and May 15 (95% confidence level is shaded): (a) Climatological mean; (b) anomaly in early onset years; (c) anomaly in late onset years

30~60 天低频振荡的形势分布与同期的距平流场形势也十分相似 (图 4b)。乌拉尔山及其以西地区为一个强大的低频气旋所控制, 中纬度大陆上空为低频反气旋环流, 而东亚沿岸、热带低纬地区和西太平洋则为低频气旋性环流控制, 热带印度洋和南海地区

盛行低频西风, 一个强大的低频反气旋性环流控制了鄂霍次克海上空。与此同时, 欧亚大陆高层 200 hPa 存在一个非常明显的低频波列 (图 6b)。乌拉尔山及其以西地区为强大的低频气旋所控制, 一个明显的低频反气旋位于中纬度大陆地区, 东亚

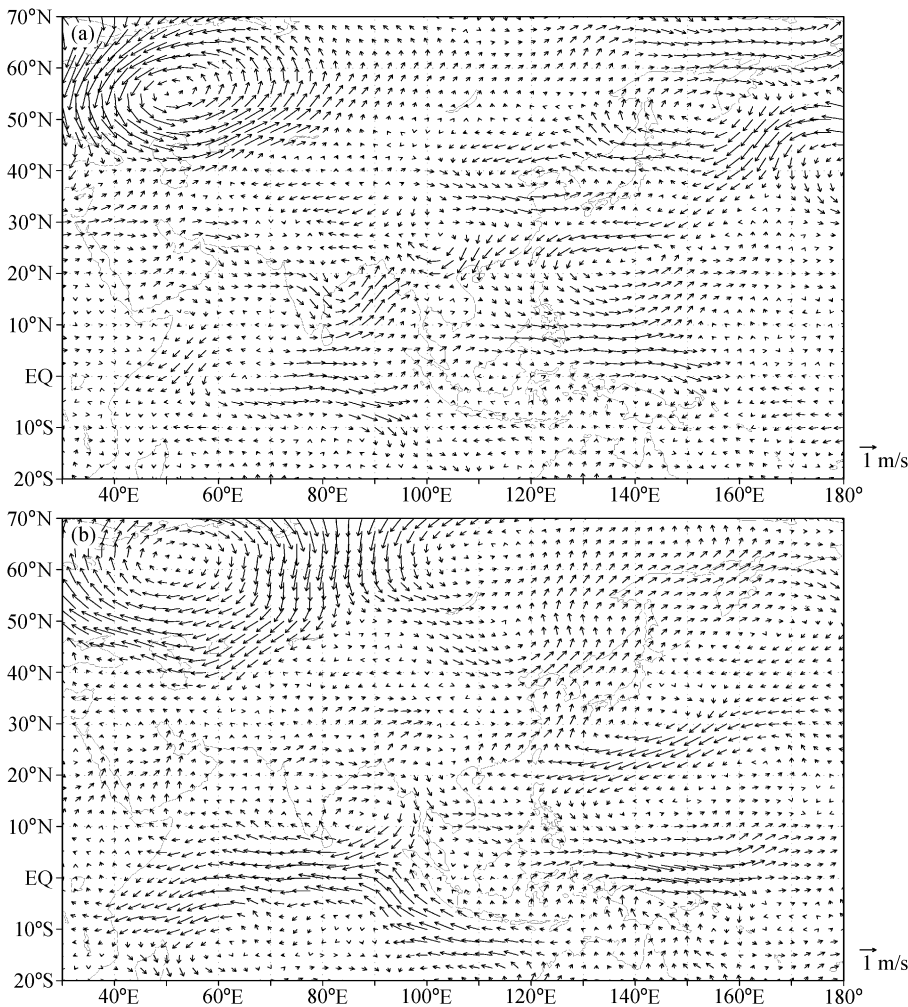


图 5 5 月 1~15 日平均 30~60 天低频滤波的 850 hPa 水平流场分布: (a) 早年平均场; (b) 晚年平均场
Fig. 5 The 30 - 60 d filtered horizontal wind averaged between May 1 and May 15 at 850 hPa for (a) early onset years and (b) late onset years

沿岸及附近地区为强大的低频气旋性环流控制, 鄂霍次克地区则为明显的低频反气旋性环流。爆发迟年对流层中上层低频环流的特征则基本相反 (图略)。

由此可见, 引起南海夏季风爆发迟早的高、中、低层的 30~60 天低频水平流场特征在 5 月 1~15 日期间存在显著的差异, 这种差异与距平位势高度场的异常相对应, 表明 5 月 1~15 日期间, 30~60 天低频振荡对同期的大气环流异常有重要作用。当呈现乌拉尔及其以西地区上空为强大的低频气旋, 中纬度大陆上空为低频反气旋, 东亚沿岸及西太平洋上空为低频气旋, 鄂霍次克海上空为低频反气旋性环流这一低频波列时, 西太平洋副热带高压偏弱、位置偏东, 从而有利于南海夏季风较早爆发; 反之, 导致南海夏季风爆发偏迟。

5 引起南海夏季风爆发迟早的低纬地区 OLR 的 30~60 天低频振荡传播特征

5.1 经向传播特征

图 7 给出了沿 110°E~120°E 平均, 经 30~60 天低频滤波的 OLR 纬度-时间分布。在气候平均场 (图 7a) 上, 低频 OLR 有明显的经向传播特征。3 月初至 4 月中旬, 南海以北主要表现为低频 OLR 自中纬度向南海地区的传播, 此间南海以南低频 OLR 无明显的自南向北传播特征; 5 月初, 正的 OLR 低频中心位于南海地区, 此时江南地区低频对流活动较弱, 且向南传播不明显, 但加里曼丹岛南部的低频对流活动加强并向南海地区传播, 5 月中旬低频对流活动传到南海北部并开始显著加强,

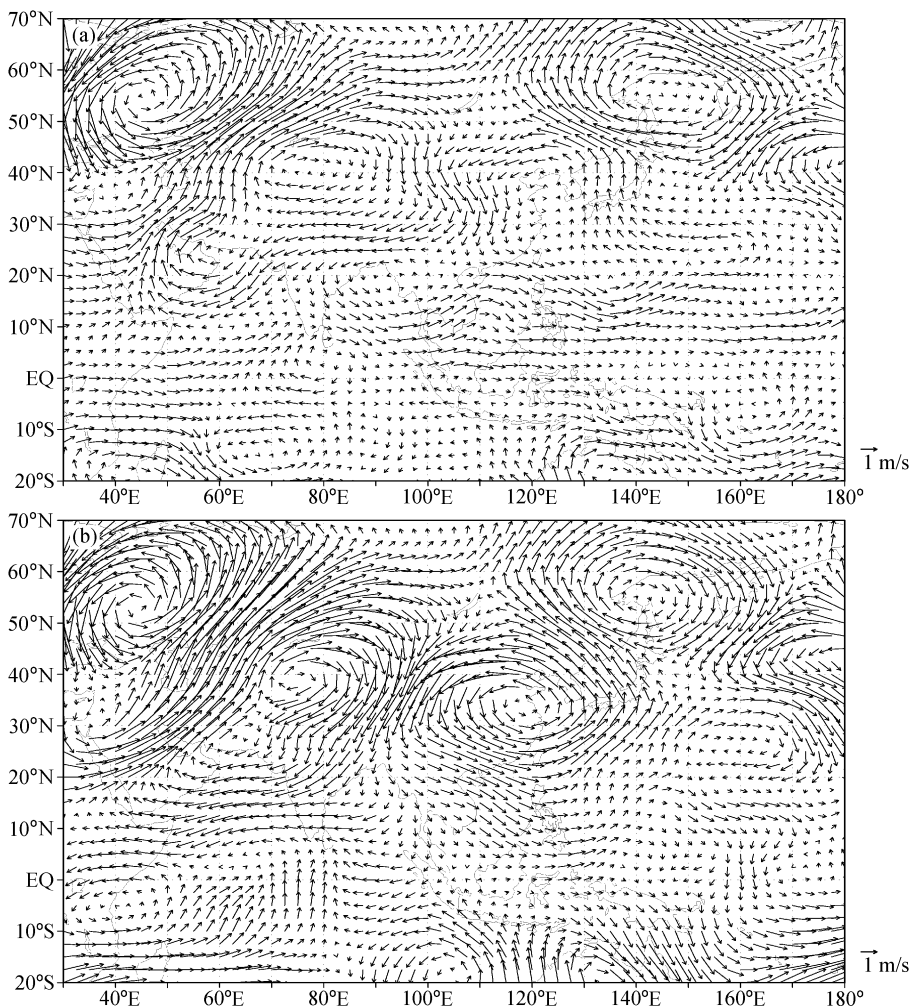


图6 南海夏季风爆发早年5月1~15日平均30~60天低频滤波的水平流场分布:(a) 500 hPa; (b) 200 hPa

Fig. 6 The 30-60 d filtered horizontal wind averaged between May 1 and May 15 in early onset years: (a) 500 hPa; (b) 200 hPa

南海中部低频对流达到最强的时间与南海夏季风爆发的平均时间相一致。

南海夏季风爆发早年(图7b),东亚地区的低频对流活动显著偏强,经向传播更加明显。南海以北的低频对流活动比常年约早1周,4月中开始,正的低频OLR异常区位于南海,异常中心出现的时间比常年也约早1周;与此同时,我国东部地区低频对流活动明显偏强,向南传播明显,而且加里曼丹南部的低频对流也明显比常年偏强,其向北传播的低频对流与我国东部向南传播的低频对流于5月7日左右开始在南海地区相遇,使得南海地区低频对流迅速加强,从而有利于南海夏季风爆发偏早。反观爆发迟年(图7c),5月初前后我国东部地区的低频对流虽然也比较强,但却无明显的向南传播特征;5月中以前,加里曼丹南部低频对流也很弱,且无明显的向

北传播特征,且南海地区的低频对流活动与早年基本反位相。因此,使得南海夏季风爆发偏迟。

5.2 纬向传播特征

为了研究低频OLR的纬向传播特征,图8给出了沿5°N~17.5°N平均,经30~60天低频滤波的OLR经度-时间剖面分布。图8a显示,就气候平均而言,3~4月份南海及其以西的中南半岛、孟加拉湾和以东的热带西太平洋上低频对流活动都很弱;5月初,中南半岛低频对流活动开始加强,迅速向东传播,与此同时,140°E~150°E西太平洋暖池区的低频对流也开始增强并迅速向西传播,两者在南海地区相遇并迅速加强,低频对流达到最强的时间也与南海夏季风爆发的平均时间相一致。

爆发早年的3~4月份(图8b),孟加拉湾东部和140°E~150°E西太平洋暖池区的低频对流活动

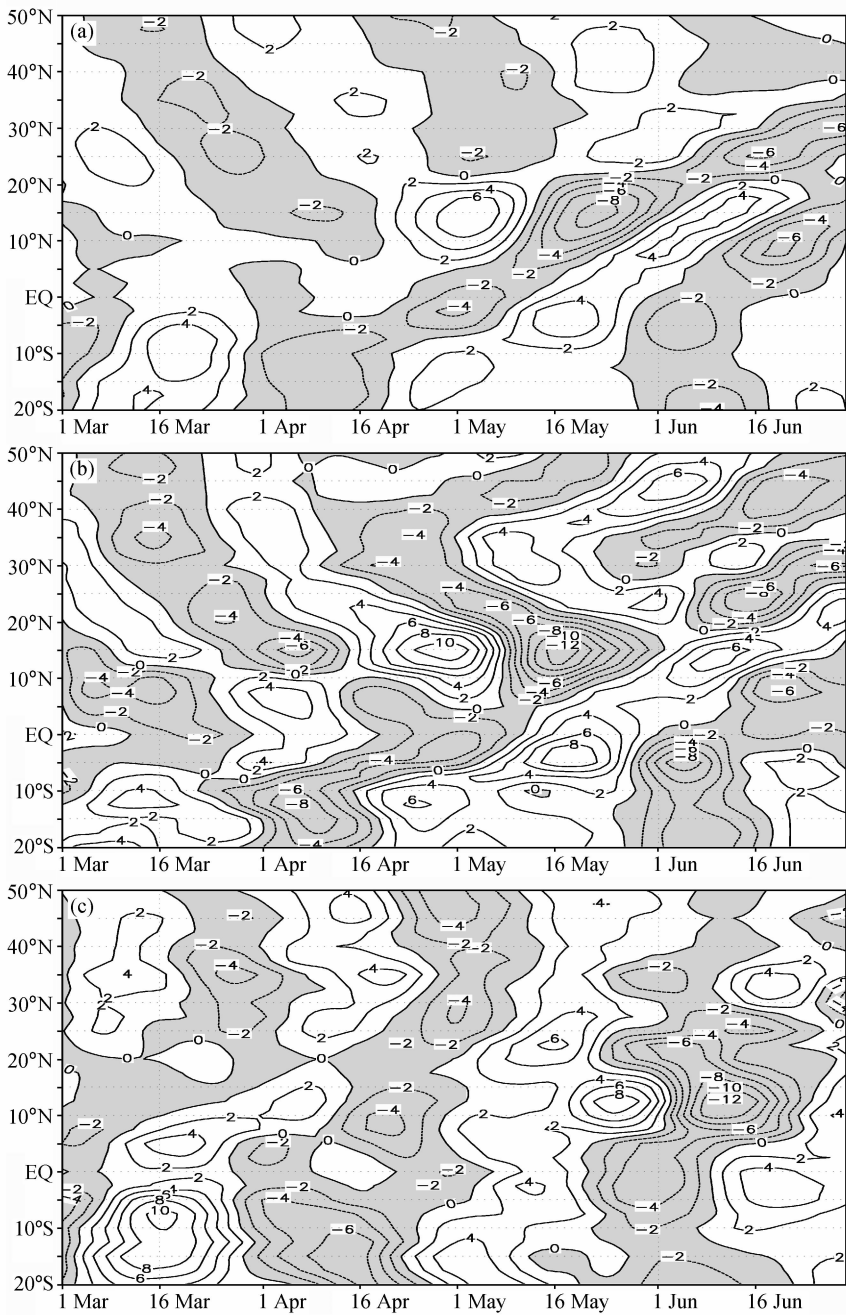


图 7 沿 110°E~120°E 平均 30~60 天低频滤波的 OLR 纬度-时间分布 (单位: W/m^2): (a) 气候平均; (b) 早年平均; (c) 迟年平均
Fig. 7 The latitude-time cross sections of the 30 - 60 d filtered OLR (W/m^2) averaged over 110°E - 120°E: (a) Climatological mean; (b) for early onset years; (c) for late onset years

明显比常年偏强,但 4 月下旬以前其纬向传播都不明显。4 月下旬开始,孟加拉湾东部强劲的低频对流向东传播,与同时由 140°E~150°E 西太平洋暖池区向西发展的低频对流在南海地区相遇,使得南海地区的低频对流在 5 月 12 日前后达到最强,因而有利于南海夏季风爆发偏早。在南海夏季风爆发迟年(图 8c),4 月底以前,虽然孟加拉湾东部的低

频对流也较强,140°E~150°E 西太平洋暖池区也有过较明显的低频对流活动,但由于两者的位相基本相反,且孟加拉湾东部的低频对流无明显东传的特征,因而使得南海夏季风爆发偏迟。
由此可见,30~60 天低频对流活动的经、纬向传播的差异对南海夏季风爆发迟早有着重要的影响。当我国东部地区的低频对流活跃并向南传播,

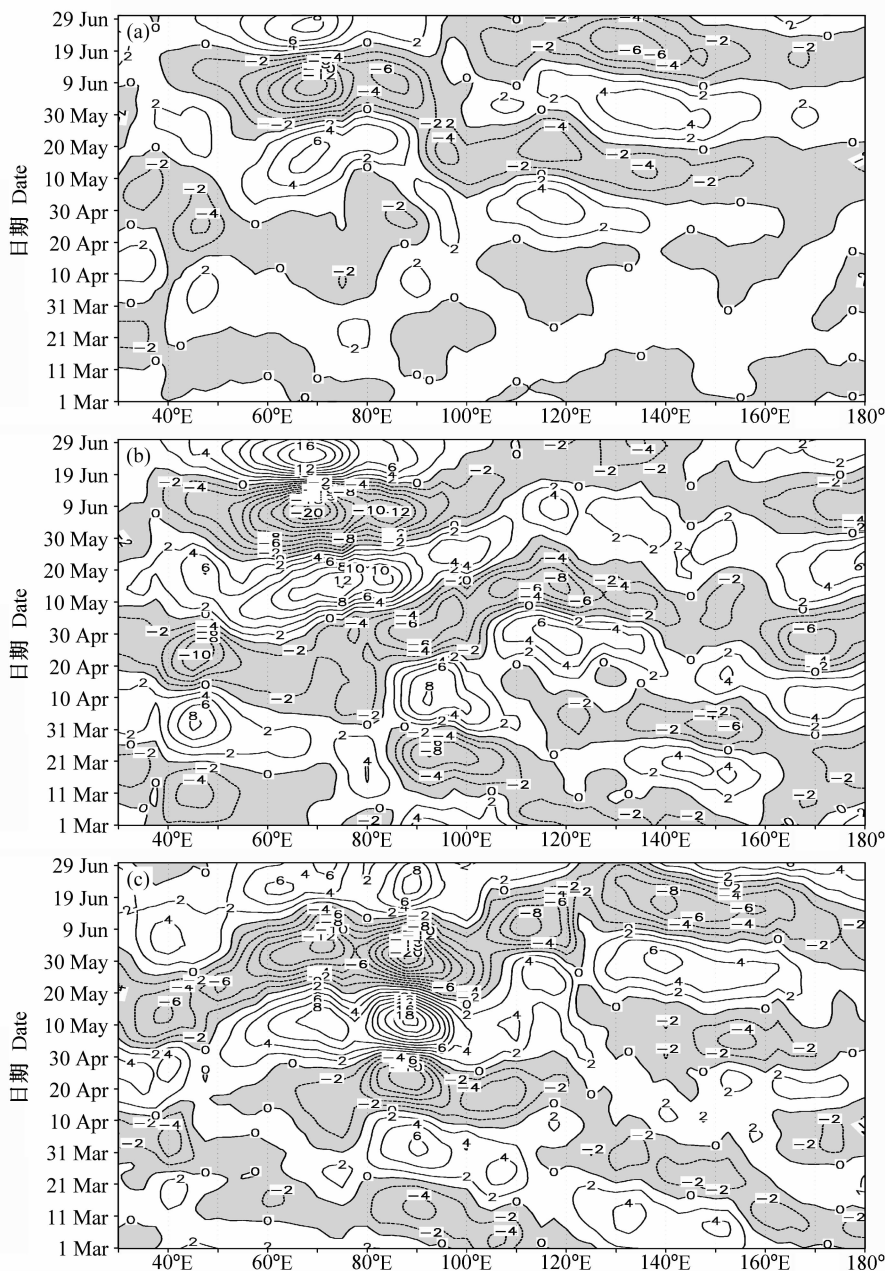


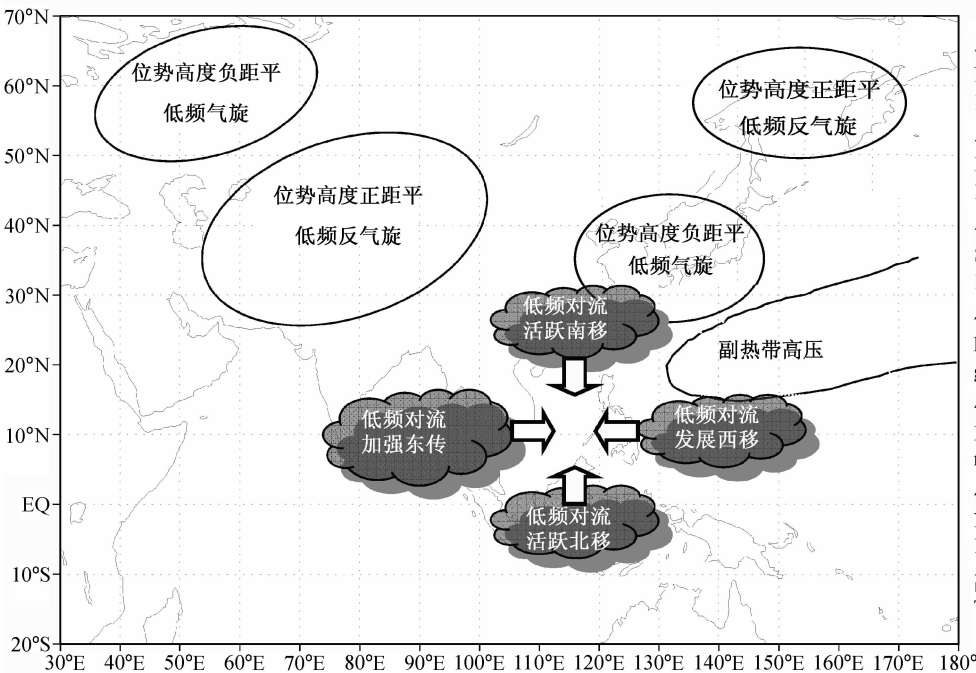
图 8 沿 $5^{\circ}\text{N}\sim 17.5^{\circ}\text{N}$ 平均 30~60 天低频滤波的 OLR 经度-时间分布 (单位: W/m^2): (a) 气候平均; (b) 早年平均; (c) 迟年平均

Fig. 8 The longitude-time cross sections of OLR (W/m^2) averaged over $5^{\circ}\text{N}\sim 17.5^{\circ}\text{N}$: (a) Climatological mean; (b) for early onset years; (c) for late onset years

加里曼南部的低频对流加强并向北传播, 孟加拉湾东部的低频对流活动加强向东传播, $140^{\circ}\text{E}\sim 150^{\circ}\text{E}$ 西太平洋暖池区的低频对流向西发展并在南海地区耦合时, 有利于南海夏季风爆发偏早。反之, 当我国东南地区低频对流活动活跃的位相较晚并无向南传播特征, 同时孟加拉湾东部低频对流活跃的位相较早且与西太平洋暖池区低频对流反位相, 又无向东传播的特征时, 会使得南海夏季风爆发偏迟。

6 结论

本文利用气候平均的 850 hPa 水平风场资料、OLR 和 CMAP 降水率资料, 首先确定了衡量南海季风爆发的区域, 继而利用此区域平均 850 hPa 纬向风与南海地区位势高度的南北差异相结合, 构建了定义南海夏季风爆发的指数, 确定了 1979~2003 年逐年南海夏季风的爆发日期。通过合成分析等方



位势高度负距平、低频气旋
Negative anomaly of geopotential height, low-frequency cyclone
位势高度正距平、低频反气旋
Positive anomaly of geopotential height, low-frequency anticyclone
低频对流活跃南移
Southward movement of active low-frequency convection
低频对流加强东传
Intensification and eastward propagation of low-frequency convection
低频对流发展西移
Development and westward movement of low-frequency convection
低频对流活跃北移
Northward movement of active low-frequency convection
副热带高压
The western Pacific subtropical high

图 9 爆发偏早年 5 月 1~15 日期间中高纬地区位势高度距平场、低频流场、低纬地区低频对流活动、副热带高压和南海夏季风爆发的关系示意图

Fig. 9 Schematic map of the relationships among geopotential height anomaly and low frequency horizontal wind over mid-high latitude areas, low frequency convective activities over low latitude areas, the western Pacific subtropical high and the onset of the South China Sea summer monsoon during May 1-15 in the early onset years

法,对南海夏季风爆发迟早及相关环流的年际变化进行了分析。主要结果有:

(1) 南海夏季风的爆发日期有明显的年际变化。以爆发日期的 0.5 个标准差为阈值,对南海夏季风爆发迟早的年份进行了确定,爆发的早年份为 1986、1994、1995、1996、1999、2000 和 2001 年共 7 年,晚年为 1981、1982、1983、1985、1987、1991 和 1993 年共 7 年。

(2) 在南海夏季风爆发迟、早年的 5 月 1~15 日,对流层高中低层的位势高度和 30~60 天低频环流的异常分布存在明显的差异:在爆发早年,存在乌拉尔山及其以西地区为高度场负距平(低频气旋)、中纬度大陆地区为位势高度正异常(低频反气旋)、东亚沿岸为位势高度显著负异常(低平气旋)、鄂霍次克海上空为高度场正距平区(低频反气旋)的波列;而在爆发迟年的情况基本相反。

(3) 当前期我国东部地区的低频对流活跃并向南传播,加里曼丹南部的低频对流加强并向北传播,孟加拉湾东部的低频对流活动加强向东传播,140°E~150°E 西太平洋暖池区的低频对流向西发展时,有利

于南海夏季风爆发偏早。反之,当我国东南地区低频对流活动活跃较晚并无南传特征,同时孟加拉湾东部低频对流活跃较早且与西太平洋暖池区低频对流反位相,又无东传特征时,会使得南海夏季风爆发偏迟。

5 月 1~15 日期间中高纬地区位势高度异常(低频流场)、低纬地区低频对流活动和副热带高压与南海夏季风爆发的关系可概略为图 9 所示。这种关系对预测南海夏季风爆发的迟早有较好的参考意义。

参考文献 (References)

[1] Lau K M, Chan P H. Aspects of the 40-50 day oscillation during the northern summer as inferred from outgoing long-wave radiation. *Mon. Wea. Rev.*, 1986, **114**: 1354~1367
[2] Nitta T. Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the Northern Hemisphere summer circulation. *J. Meteor. Soc. Japan*, 1987, **41**: 373~390
[3] 黄荣辉,李维京. 夏季西太平洋热源异常的作用, 大气科学, 1988 (特刊): 107~117
Huang Ronghui, Li Weijing. Influence of the heat source anomaly over the western Pacific. *Chinese J. Atmos. Sci. (Scientia Atmospherica Sinica)* (in Chinese), 1988, (Special

Issue): 107~117

- [4] Chen T C, Chen J M. An observational study of the South China Sea monsoon during the 1979 summer: Onset and life cycle. *Mon. Wea. Rev.*, 1995, **123**: 2295~2318
- [5] Lau K M, Wu H T, Yang S. Hydrologic processes associated with the first transition of the Asian summer monsoon: A pilot satellite study. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1998, **79**: 1871~1882
- [6] Li C Y, Wu J B. On the onset of the South China Sea summer monsoon in 1998. *Adv. Atmos. Sci.*, 2000, **17**: 193~204
- [7] Chang C P, Chen G T. Development of low-level southwest-erlies over the south China Sea: A comparison between May and June. *Mon. Wea. Rev.*, 1994, **123**: 3254~3267
- [8] 吴池胜, 王安宇, 冯瑞权, 等. 1994 年南海夏季风爆发的数值模拟和分析研究, 大气科学, 2001, **25** (4): 455~464
Wu Chisheng, Wang Anyu, Fong Soi-Kun, et al. A numerical study of the onset of the South China Sea summer monsoon of 1994. *Chinese J. Atmos. Sci.* (in Chinese), 2001, **25**: 455~464
- [9] 陶诗言, 朱福康. 夏季亚洲南部 100 毫巴流型的变化及其与西太平洋副热带高压进退的关系. 气象学报, 1964, **34** (4): 385~395
Dao Shih-Yen, Chu Fu-Kang. The 100-mb flow Patterns in southern Asia in summer and its relation to the advance and retreat of the west-Pacific subtropical anticyclone over the Far East. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1964, **34**: 385~395
- [10] 杨广基. 夏季 500 毫巴西太平洋副热带高压进退的短期预报试验. 大气科学, 1978, **2** (3): 263~266
Yang Guangji. The short-term forecast experiment on advance or retreat of subtropical high at 500 hPa over western Pacific in summer. *Chinese J. Atmos. Sci.* (*Scientia Atmospherica Sinica*) (in Chinese), 1978, **2**: 263~266
- [11] 李峰, 丁一汇. 近 30 年夏季亚欧大陆中高纬度阻塞高压的统计特征. 气象学报, 2004, **62** (3): 347~354
Li Feng, Ding Yi-Hui. Statistical characteristic of atmospheric blocking in the Eurasia high-mid latitudes based on recent 30-year summers. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2004, **62**: 347~354
- [12] 任荣彩, 刘屹岷, 吴国雄. 高纬环流对 1998 年 7 月西太平洋副热带高压短期变化的影响机制. 大气科学, 2004, **28** (4): 571~578
Ren Rongchi, Liu Yimin, Wu Guoxiong. On the short-term variation of subtropical anticyclone over the western Pacific affected by the mid-high latitudes circulation in July 1998. *Chinese J. Atmos. Sci.* (in Chinese), 2004, **28**: 571~578
- [13] 陶诗言, 陈隆勋. 夏季亚洲大陆上空大气环流结构. 气象学报, 1957, **28**: 234~247
Dao Shih-Yen, Chen Lung-Shun. The structure of general circulation over continent Asia in summer. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1957, **28**: 234~247
- [14] 叶笃正, 陶诗言, 李麦村. 六月和十月大气环流的突变现象. 气象学报, 1958, **29**: 249~263
Yeh Tu-Chen, Dao Shih-Yen, Li Aei-Tsun. The abrupt change of the atmospheric circulation during June and October. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1958, **29**: 249~263
- [15] Kanamitsu M, Ebisuzaki W, Woollen J, et al. NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2). *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 2002, **83**: 1631~1643
- [16] Xie P, Arkin P A. Globe precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical outputs. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1997, **78**: 2539~2558
- [17] Liebmann B, Smith C A. Description of a complete (interpolated) outgoing longwave radiation dataset. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1996, **77**: 1275~1277
- [18] Wang B, Lin H, Zhang Y, et al. Definition of South China Sea monsoon onset and commencement of the East Asia summer monsoon. *J. Climate*, 2004, **17**: 699~710
- [19] 何金海, 丁一汇, 高辉, 等. 南海夏季风建立日期的确定与季风指数. 北京: 气象出版社, 2001. 123pp
He Jinhai, Ding Yihui, Gao Hui, et al. *The Determination of Onset Date of South China Sea Summer Monsoon and Monsoon Index*. Beijing: China Meteorological Press, 2001. 123pp
- [20] Murakami M. Large-scale aspects of deep convective activity over the gate area. *Mon. Wea. Rev.*, 1979, **107**: 994~1013