

卢楚翰, 秦育婧, 王黎娟. 2012. 春季南亚高压在中南半岛上空建立与 500 hPa 副高断裂的关系[J]. 大气科学学报, 35(5):564-569.

Lu Chu-han, Qin Yu-jing, Wang Li-juan. 2012. Relationship between establishment of South Asia high over the Indo-China Peninsula and splitting of 500 hPa subtropical high over the Bay of Bengal in springtime[J]. Trans Atmos Sci, 35(5):564-569. (in Chinese)

春季南亚高压在中南半岛上空建立与 500 hPa 副高断裂的关系

卢楚翰^{1,2}, 秦育婧^{1,2}, 王黎娟^{1,2}

(南京信息工程大学 1. 气象灾害省部共建教育部重点实验室; 2. 大气科学学院, 江苏 南京 210044)

摘要: 利用 NCEP/NCAR 再分析资料及 NOAA 的 OLR 资料, 研究了春季南亚高压在中南半岛上空建立与 500 hPa 副高在孟加拉湾上空断裂的关系。结果表明, 南亚高压建立之前, 对流从“海洋大陆”向北推进, 首先在中南半岛建立; 而孟加拉湾地区由于青藏高原感热作用在对流层中低层形成一个反 Hadley 环流型的局地经圈环流, 15°N 附近 500~700 hPa 有下沉运动中心, 它抑制了孟加拉湾对流的建立, 也不利于 500 hPa 副高带断裂。南亚高压在中南半岛建立之后, 位于高压中心西南侧的孟加拉湾上空出现一个强的辐散中心, 孟加拉湾地区 15°N 附近的下沉运动消失, 对流发展起来, 降水量增加并释放大量的潜热, 非绝热加热中心位于 500 hPa, 此时副高脊线断裂。因此, 高层南亚高压建立所产生的辐散运动很可能对孟加拉湾上空 500 hPa 副高带断裂及对流建立起到了触发作用。

关键词: 南亚高压; 副高; 孟加拉湾; 中南半岛; 对流

中图分类号: P466 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-7097(2012)05-0564-06

Relationship between establishment of South Asia high over the Indo-China Peninsula and splitting of 500 hPa subtropical high over the Bay of Bengal in springtime

LU Chu-han^{1,2}, QIN Yu-jing^{1,2}, WANG Li-juan^{1,2}

(1. Key Laboratory of Meteorological Disaster of Ministry of Education;
2. School of Atmospheric Sciences, NUIST, Nanjing 210044, China)

Abstract: Based on the NCEP/NCAR reanalysis and NOAA OLR data, this paper studies the relationship between the establishment of South Asian high (SAH) over the Indo-China Peninsula (ICP) and the splitting of 500 hPa subtropical high over the Bay of Bengal (BOB) in springtime. Results show that, before the establishment of SAH, the convective activity extends northward from the “Maritime Continent” and establishes initially over the ICP. In concert with this, a local anti-Hadley cell displays in the mid-lower tropospheres over BOB due to the sensible heating induced by the Tibet Plateau. This local meridional cell results in a descending center near the 15°N of BOB from 500 hPa to 700 hPa, which suppresses the development of convective activity and thus becomes unfavorable for the splitting of 500 hPa subtropical high in this region. After the establishment of SAH over ICP, a strong divergence centre shows in the upper troposphere over BOB, accompanied by disappearance of the mid-low tropospheres descending center near the 15°N of BOB. Consistent with this, convective activity develops over BOB and coincides with increasing of precipitation and releasing of latent heating. This induces a dia-

收稿日期: 2012-05-01; 改回日期: 2012-07-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40975057; 41005046); 国家重点基础研究发展计划项目(2012CB417403); 江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)

作者简介: 卢楚翰(1981—), 男, 广西梧州人, 博士, 讲师, 研究方向为气候变率, luchuhan@yahoo.com.cn.

batic maximum center at 500 hPa and thus intercepts the ridge of subtropical high over BOB. Therefore, the divergence effect induced by the upper SAH establishment possibly triggers the establishment of convective activity and the splitting of 500 hPa subtropical high over BOB.

Key words: South Asia high; subtropical high; Bay of Bengal; Indo-China Peninsula; convective activity

0 引言

南亚高压是北半球对流层高层除极涡外最强大、最稳定的环流系统(Mason and Anderson, 1958),它与高低纬不同环流系统都存在相互作用和相互影响(朱福康等,1980)。研究表明,对流层高层的南亚高压和中层的副热带高压存在密切联系。20世纪60年代,陶诗言等(1963)、陶诗言和朱福康(1964)就已经指出夏季南亚高压的北移通常比西太平洋副高的北跳早10 d左右,二者位置的纬向中期振荡具有“相向而行”或“相背而去”的特征。近年来有不少研究都进一步验证了二者相向或相背移动的趋势,并认为南亚高压东伸是西太平洋副高西伸加强的重要原因,南亚高压在东移过程中,高空负涡度平流动力强迫的下沉运动在中层副高区域产生辐散,从动力上影响副高内的负涡度发展(罗玲等,2005;赵兵科等,2005;刘还珠等,2006;任荣彩等,2007;张玲和智协飞,2010)。此外,许多研究还从不同角度肯定了南亚高压的调整与西太平洋副高进退的关系(赵振国和陈国珍,1995;张琼等,1997;黄樱和钱永甫,2003;黄燕燕和钱永甫,2004;谭晶等,2005;王黎娟等,2005)。

以上研究成果对于认识南亚高压和500 hPa副高带之间的相互关系及作用机制具有重要意义。但其主要集中在夏季二者北跳或是东西振荡的关系上,春季季节转换过程中二者的相互联系还少有涉及。已有不少研究表明,在春季大气环流由冬向夏的转换过程中,伴随着对流活动的发展,高层南亚高压通过中心分裂—重建过程在中南半岛上空建立(简称南亚高压建立),中层500 hPa副高脊线在孟加拉湾上空断裂,它们均为南海夏季风的建立提供了重要条件(何金海等,2002;毛江玉等,2002;刘伯奇,2009;王黎娟和郭帅宏,2012)。因此,研究季节转换过程中南亚高压建立与500 hPa副热带高压带(简称副高带)断裂的关系有利于加深我们对南海夏季风爆发的认识。

1 资料与方法

资料:1)1979—2008年NCEP/NCAR再分析资

料,包括高空各层的风场、温度场、高度场、垂直速度场、比湿场逐日资料,水平分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 。2)NOAA提供的1979—2008年向外长波辐射(outgoing longwave radiation, OLR)逐日资料,分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 。3)1979—2008年CMAP候平均降水资料,分辨率为 $2^\circ \times 2^\circ$ 。

大气视热源用倒算法由热力学方程计算得到(Yanai et al., 1973),方法如下:

$$Q_1 = c_p \left[\frac{\partial T}{\partial t} + \mathbf{V} \cdot \nabla T + \left(\frac{p}{p_s} \right)^k \omega \frac{\partial \theta}{\partial p} \right]. \quad (1)$$

其中: T 为温度; ω 为 p 坐标下的垂直速度; $k = R/c_p$, R 和 c_p 分别是干空气气体常数和定压比热容; \mathbf{V} 为水平风矢量,由此可以计算各等压面层的 Q_1 。计算对流层整层的大气热源 $\langle Q_1 \rangle$ 时,设对流层顶为100 hPa,其上 $\omega = 0$ 。因而大气热源整层的垂直积分值 $\langle Q_1 \rangle$ 由下式计算

$$\langle Q_1 \rangle = \frac{1}{g} \int_{p_t}^{p_s} Q_1 dp. \quad (2)$$

式中: p_s 为地面气压; p_t 指的是大气顶气压(设 $p_t = 100$ hPa)。

2 南亚高压建立与副高带断裂

图1a给出了1979—2008年南亚高压建立时间与副高带断裂时间的变化曲线。可以看出,南亚高压的建立时间与副高带的断裂时间呈现较一致的协同变化,二者相关系数达0.69,通过了0.01显著性水平的 t 检验。据图1a统计了500 hPa副高断裂超前及滞后南亚高压建立候数的频数(图1b),发现30 a中只有4 a(1985、1994、2000、2001年)南亚高压建立时间晚于副高带断裂,多数年份(20 a)南亚高压建立早于副高带断裂,说明这两个同处亚洲副热带区的高压系统季节变化间可能存在一定的联系。

以南亚高压建立当候为参考点,合成了前1候(-1候)、当候(0候)及后1候(+1候)500 hPa流场和涡度场(图2)。可以看出,-1候,在副热带高压带中存在两个具有闭合高压中心的单体,中心分别位于西太平洋和阿拉伯海以西地区,整体呈“猫眼”状(Li and Chou, 1998)分布,副高脊线完整连续,孟加拉湾仍处于负涡度区内;值得注意的是,斯

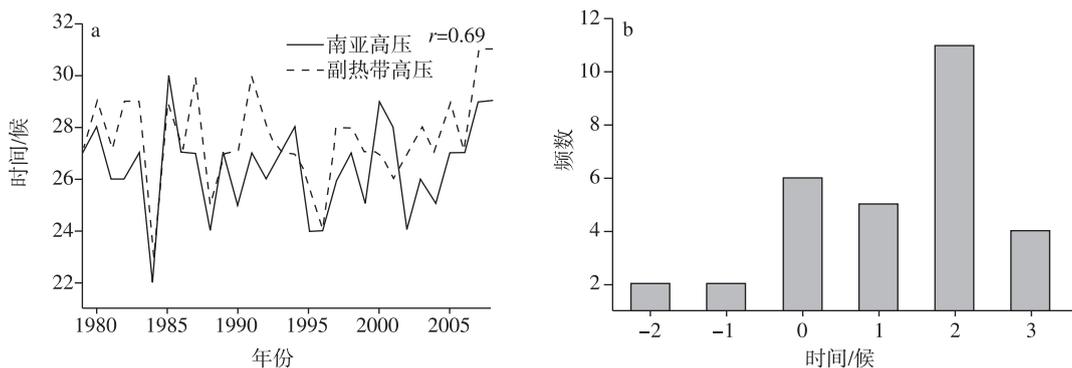


图 1 1979—2008 年南亚高压建立时间(实线)与 500 hPa 副热带高压带断裂时间(虚线)(a)以及 500 hPa 副热带高压断裂超前(负值)及滞后(正值)南亚高压建立的频数分布(b)

Fig. 1 (a) Time series of establishment time of South Asia high (solid line) and splitting time of 500 hPa subtropical high (dashed line) from 1979 to 2008, and (b) frequency distribution of the splitting time of 500 hPa subtropical high leading (negative) or lagging (positive) to the establishment time of South Asia high

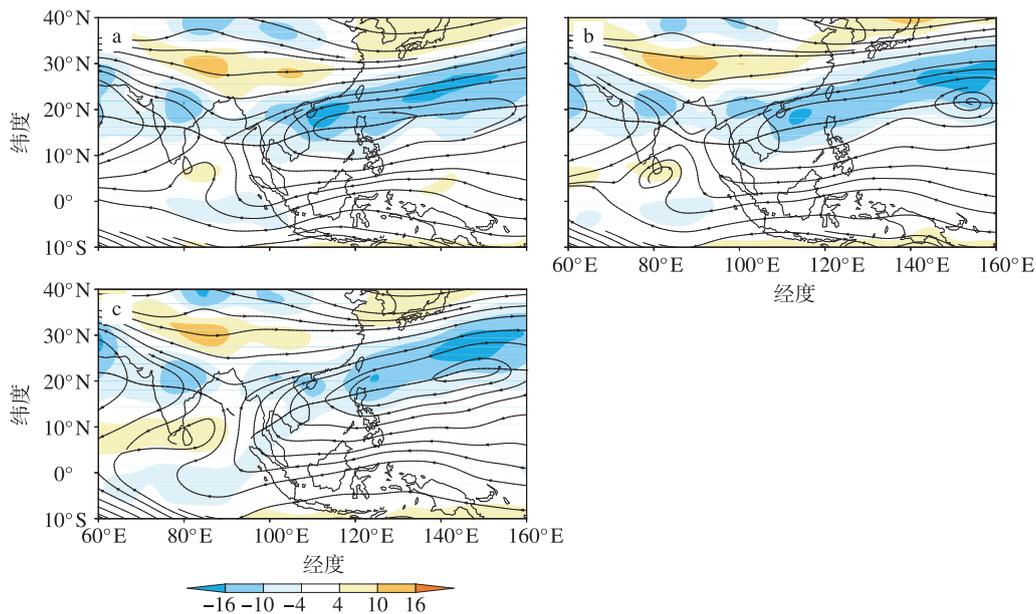


图 2 南亚高压建立前后 500 hPa 流场和相对涡度场(阴影;单位: 10^{-6} s^{-1} ;图中粗实线表示副热带高压脊线) a. -1 候;b. 0 候;c. +1 候

Fig. 2 The 500 hPa stream field and relative vorticity field (shadings; units: 10^{-6} s^{-1}) during the establishment process of South Asia high (the bold line denotes the ridge of the subtropical high) a. pentad -1; b. pentad 0; c. pentad +1

里兰卡的东南侧有一个槽发展, 对应有正涡度, 青藏高原南侧也存在地形槽(图 2a)。0 候, 两个副高单体的位置基本没有变化, 高压脊线仍然连续; 此时高原南侧的槽略有加深, 南伸至孟加拉湾地区, 而斯里兰卡附近的槽则发展成一个闭合气旋, 并有所北抬(图 2b)。+1 候, 两个副高单体的位置仍然没有太大变化, 但副高脊线在孟加拉湾上空断裂开来, 不再连续, 闭合气旋已控制孟加拉湾上空的大部分地区,

正涡度区域扩大, 负涡度带在孟加拉湾断裂(图 2c)。这表明南亚高压建立 1 候之后, 副高带在孟加拉湾断裂。到 +2 候时, 闭合气旋与高原槽完全打通, 从高原南侧到斯里兰卡纵穿孟加拉湾的大槽形成(图略)。

以上分析表明, 春季南亚高压在中南半岛上空完全建立之后, 副高带在孟加拉湾上空断裂。那么南亚高压的建立对副高带的断裂有何作用?

3 南亚高压建立对副高断裂的可能影响

3.1 南亚高压建立后孟加拉湾的对流活动

中南半岛对流从4月中旬开始活跃,诱导南亚高压在中南半岛上空建立(He et al., 2006; 刘伯奇等, 2009)。那么南亚高压建立之后,中南半岛及孟加拉湾的对流活动有何变化? 这对副高带的断裂又有何影响? 图3给出了南亚高压建立前后10~20°N的OLR及降水演变。可以看出,在南亚高压建立之前3候(-3候),中南半岛上空已有对流开始发展。到-1候时,对流进一步增强,OLR值降至 $220 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。南亚高压建立当候(0候),中南半岛出现大于 $6 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 的降水,对流继续发展。然而,此时孟加拉湾地区的对流活动并不活跃。到+1候时,孟加拉湾才开始出现较强的对流和降水。之后,孟加拉湾的降水量超过中南半岛地区,这与其下垫面为海洋有关。

如前所述,对流活动首先在中南半岛发展,南亚高压建立之后,孟加拉湾的对流才开始活跃。分析孟加拉湾上空的垂直运动及视加热率发现,在南亚

高压建立前1候(图4a),上升运动主要维持在10°N以南;此外,青藏高原及春季孟加拉湾暖池(Wu et al., 2010)的感热加热作用使它们的上空均出现了明显的上升运动,在20~30°N对流能发展到600 hPa层次,在该层附近汇合从高层下沉的气流向南

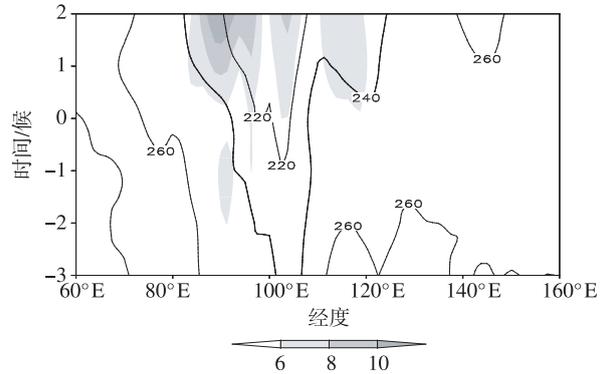


图3 南亚高压建立前后10~20°N平均OLR(等值线;单位: $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)和降水(阴影;单位: $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$)演变(-3候至+2候)

Fig. 3 Evolution of 10—20°N averaged OLR (contour lines; units: $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) and precipitation (shadings; units: $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$) during the establishment process of South Asia high (from pentad -3 to pentad +2)

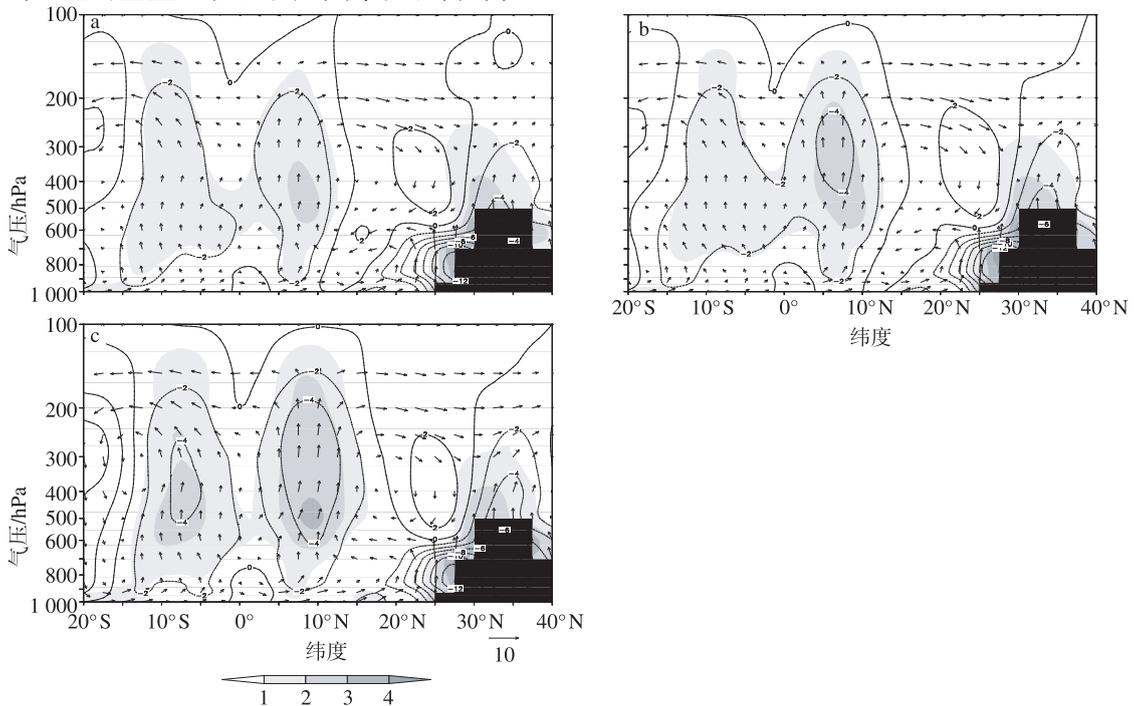


图4 南亚高压重建完成前后80~95°E平均经圈环流(矢量)、垂直速度(等值线;单位: $10^{-2} \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$)及加热率 Q_1/c_p (阴影;单位: $\text{K} \cdot \text{d}^{-1}$) a. -1候;b. 0候;c. +1候

Fig. 4 Vertical-latitude cross section of 80—95°E averaged meridional circulation (vector), vertical velocity (contour; units: $10^{-2} \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$) and Q_1/c_p (shadings; units: $\text{K} \cdot \text{d}^{-1}$) during the establishment process of South Asia high a. pentad -1; b. pentad 0; c. pentad +1

至 15°N 附近下沉。因此,此时的孟加拉湾局地 Hadley 环流发生了变形,在 $10 \sim 30^{\circ}\text{N}$, 600 hPa 以下层次出现了一个由高原及孟加拉湾暖池感热加热产生的与 Hadley 环流反向的环流圈,它导致 15°N 附近的 $500 \sim 700 \text{ hPa}$ 之间出现较强的下沉运动,下沉中心刚好在 500 hPa 副高脊线附近,这是不利于副高断裂的因素。因此,尽管此时低层 850 hPa 的副高带已经断裂(图略),但 500 hPa 副高带仍然连续。南亚高压建立当候(0 候), 15°N 附近的下沉运动减弱,中心消失,同时 10°N 以南的上升中心增强并有所北扩(图 4b)。1 候之后,上升运动迅速发展推进到 15°N 以北,原 15°N 附近的下沉运动转为上升运动,低层(500 hPa 以下)从 5°N 以北皆为上升运动(图 4c)。这与图 3 中显示的孟加拉湾对流发展增强的时间是一致的。结合图 2 可发现,孟加拉湾对流的发展与 500 hPa 上斯里兰卡附近闭合气旋的北推配合得很好,说明南亚高压建立后,孟加拉湾对流迅速发展,这有利于副高带的断裂。

3.2 南亚高压建立后的高层辐散运动

分析南亚高压建立前后高层(150 hPa)的流场、散度场及大气整层视热源演变(图 5)可发现,整层大气视热源正值区与高层辐散区有很好的对应关系。 -1 候,南亚高压尚未完全建立,存在两个中

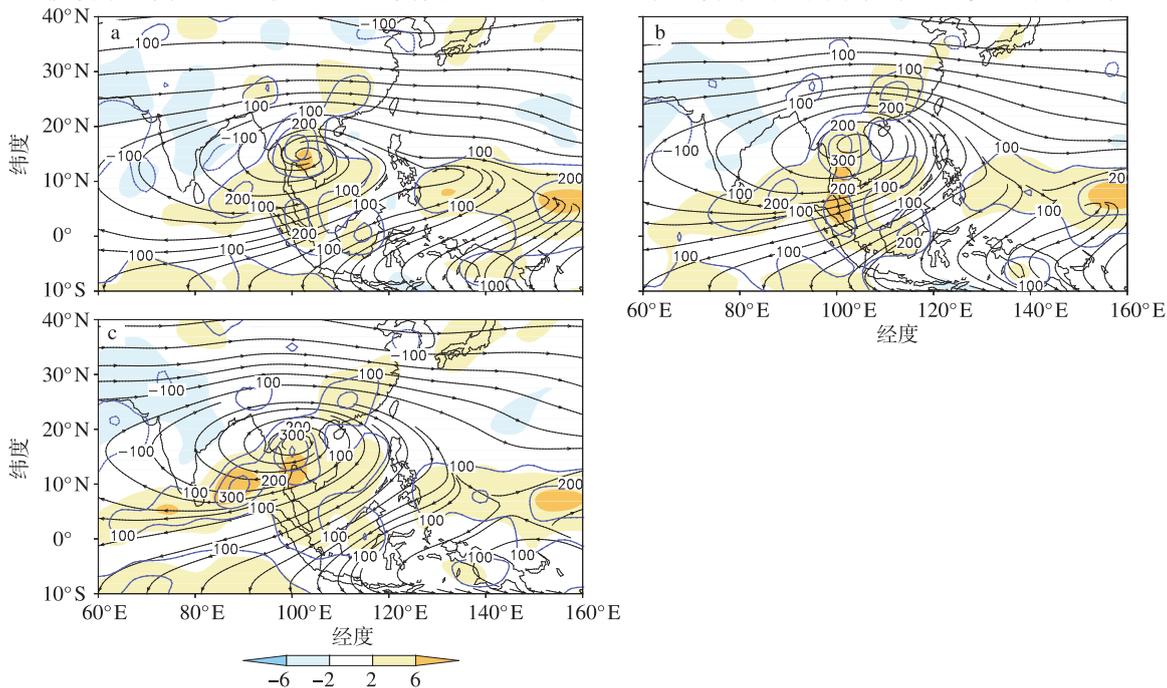


图 5 南亚高压建立前后 150 hPa 流场、散度场(阴影;单位: 10^{-6} s^{-1})和大气视热源 $\langle Q_1 \rangle$ (等值线;单位: $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)
a. -1 候; b. 0 候; c. $+1$ 候

Fig. 5 The 150 hPa stream field, divergence field (shadings; units: 10^{-6} s^{-1}) and $\langle Q_1 \rangle$ (contours; units: $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) during the establishment process of South Asia high a. pentad -1 ; b. pentad 0; c. pentad $+1$

心,位于中南半岛的西部中心较强,对应较强的辐散中心与非绝热加热中心。已有研究表明,旺盛的对流释放潜热有利于南亚高压在中南半岛建立(刘伯奇, 2009; 刘伯奇等, 2009)。0 候,南亚高压已完全建立,环流中心位于中南半岛中部,与之相配合的辐散中心向南扩展,其对应的整层非绝热加热开始增强。这体现了南亚高压建立之后通过辐散运动对流活动及潜热释放的正反馈作用。 $+1$ 候,南亚高压稳定在中南半岛上空,辐散区域进一步扩大,除了中南半岛的中心外,孟加拉湾也出现了一个强的辐散中心,其对应的非绝热加热中心增强。由前面分析可知,此时孟加拉湾对流迅速推进至 15°N 以北,原来 15°N 附近一直维持的下沉运动转为上升运动。这说明高层南亚高压建立所产生的辐散运动是孟加拉湾对流建立的一个触发机制,它有利于副高带的断裂。

4 结论与讨论

利用 NCEP/NCAR 再分析资料及 NOAA 的 OLR 资料,研究了春季南亚高压在中南半岛上空建立与 500 hPa 副高在孟加拉湾上空断裂的关系。结果表明,南亚高压建立之前,对流从“海洋大陆”向北推进,首先在中南半岛建立;而孟加拉湾地区由于

青藏高原感热作用在对流层中低层形成一个反Hadley环流型的局地经圈环流,15°N附近500~700 hPa有下沉运动中心,它抑制了孟加拉湾对流的建立,也不利于500 hPa副高带断裂。南亚高压在中南半岛建立之后,位于高压中心西南侧的孟加拉湾上空出现一个强的辐散中心,孟加拉湾地区15°N附近的下沉运动消失,对流发展起来,降水量增加并释放大量潜热,非绝热加热中心位于500 hPa,此时副高脊线断裂。因此,高层南亚高压建立所产生的辐散运动很可能对孟加拉湾上空500 hPa副高带断裂及对流建立起到了触发作用。

在季节转换过程中,高中低层环流发生了一系列变化,其与南海季风爆发的关系历来受到广泛关注。研究表明,副高带最先在孟加拉湾附近的低层(850 hPa)断裂(何金海等,2002;毛江玉等,2002),这与中南半岛、印度半岛的垂直加热率不同以及孟加拉湾季风爆发涡旋北上有关(温敏等,2004;Wu et al.,2010)。本文的结果也表明,在南亚高压完全建立之前,低层850 hPa的副高带已经断裂,但由于15°N附近的下沉气流,副高带断裂只限于低层,500 hPa副高仍然连续,孟加拉湾对流尚未建立。南亚高压建立后,孟加拉湾上空出现强辐散运动,触发了孟加拉湾对流的建立及500 hPa副高的断裂,体现了南亚高压建立对对流和降水的正反馈作用。但这仅是基于资料诊断所得的结果,其内在机制需要进一步深入研究。

参考文献:

何金海,温敏,施晓晖,等.2002.南海夏季风建立期间副高带断裂和东撤及其可能机制[J].南京大学学报:自然科学,38(3):318-330.

黄燕燕,钱永甫.2004.长江流域、华北降水特征与南亚高压的关系分析[J].高原气象,23(1):68-74.

黄樱,钱永甫.2003.南亚高压与华北降水关系[J].高原气象,22(6):602-607.

刘伯奇.2009.4—5月南亚高压季节突变过程特征及其可能机制[D].南京:南京信息工程大学.

刘伯奇,何金海,王黎娟.2009.4~5月南亚高压在中南半岛上空建立过程特征及其可能机制[J].大气科学,33(6):1319-1332.

刘还珠,赵申蓉,赵翠光.2006.2003年夏季异常天气与西太平洋副高和南亚高压演变特征的分析[J].高原气象,25(2):169-178.

罗玲,何金海,谭言科.2005.西太平洋副热带高压西伸过程的合成特征及其可能机理[J].气象科学,25(5):465-473.

毛江玉,吴国雄,刘屹岷.2002.季节转换期间副热带高压带形态变异及其机制的研究I:副热带高压结构的气候学特征[J].气象学报,60(4):400-408.

任荣彩,刘屹岷,吴国雄.2007.1998年7月南亚高压影响西太平洋副热带高压短期变异的过程和机制[J].气象学报,65(2):183-197.

谭晶,杨辉,孙淑清,王盘兴.2005.夏季南亚高压东西振荡特征研究[J].南京气象学院学报,28(4):452-460.

陶诗言,朱福康.1964.夏季亚洲南部100 mb流型的变化及其与西太平洋副热带高压进退的关系[J].气象学报,34(4):385-395.

陶诗言,王作述,朱福康,等.1963.中国夏季副热带天气系统若干问题的研究[M].北京:科学出版社.

王黎娟,郭帅宏.2012.4-5月南亚高压在中南半岛上空建立的年际变化特征及其与亚洲南部夏季风的关系[J].大气科学学报,35(1):10-23.

王黎娟,罗玲,张兴强,等.2005.西太平洋副热带高压东西位置变动特征分析[J].南京气象学院学报,28(5):577-585.

温敏,何金海,肖子牛.2004.中南半岛对流对南海夏季风建立过程的影响[J].大气科学,28(6):864-875.

张玲,智协飞.2010.南亚高压和西太平洋副高位置与中国盛夏降水异常[J].气象科学,30(4):438-444.

张琼,钱正安,陈敏莲.1997.关于夏季南亚高压的进一步研究I.与我国西北地区降水关系的统计分析[J].高原气象,16(1):52-62.

赵兵科,姚秀萍,吴国雄.2005.2003年夏季淮河流域梅雨期西太平洋副高结构和活动特征及动力机制分析[J].大气科学,29(5):771-779.

赵振国,陈国珍.1995.初夏西太平洋副热带高压位置长期变化的成因及预报[J].热带气象学报,11(3):332-339.

朱福康,陆龙骅,陈咸吉,等.1980.南亚高压[M].北京:科学出版社.

He J H, Wen M, Ding Y H, et al. 2006. Possible mechanism of the effect of convection over Asian-Australian "land bridge" on the East Asian summer monsoon onset[J]. Sci China Earth Sci, 49(11):1223-1232.

Li J P, Chou J F. 1998. Dynamical analysis on splitting of subtropical high-pressure zone Geostrophic effect[J]. Chinese Science Bulletin, 43(15):1285-1288.

Mason R B, Anderson C E. 1958. The development and decay of the 100mb summertime anticyclone over southern Asia[J]. Mon Wea Rev, 91(1):3-12.

Wu G X, Guan Y, Wang T M, et al. 2010. Vortex genesis over the Bay of Bengal in spring and its role in the onset of the Asian summer monsoon[J]. Sci China Earth Sci, 54(1):1-9.

Yanai M, Esbensen S, Chu J H. 1973. Determination of bulk properties of tropical cloud clusters from large-scale heat and moisture budgets[J]. J Atmos Sci, 30(4):611-627.

(责任编辑:倪东鸿)