

夏季南海季风槽与印度季风槽的气候特征之比较

潘 静¹ 李崇银^{1, 2}

1 中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学国家重点实验室, 北京 100029

2 解放军理工大学气象学院, 南京 211101

摘 要 亚洲夏季季风槽包括两大重要组成部分, 即南海夏季风槽和印度夏季风槽。两个季风槽同属于热带夏季风系统, 具有热带辐合带的性质。但由于所处地理位置、海陆分布、受到的影响系统不同等原因, 两个季风槽有明显的异同点。利用气候平均资料分析, 揭示南海夏季风槽和印度季风槽的结构特征和演变特征的异同点, 有利于提高对亚洲夏季风系统的认识。作者首先讨论了结构特征方面的差异, 从季风槽的对流特征、环流场配置特征、热力结构特征等方面探讨了两个季风槽的区别, 分析结果表明南海夏季风槽和印度夏季风槽在结构特征方面区别不算很大, 都具有热带季风辐合带的典型结构, 低层辐合, 高层辐散, 有明显的季风经圈环流, 热力结构特征均是低层偏冷, 中高层偏暖。相对来说, 印度夏季风槽比南海夏季风槽强且深厚。其次对南海夏季风槽和印度夏季风槽的演变的气候特征所进行的分析表明, 季风槽建立时间与季风爆发时间是一致的。南海夏季风槽爆发早且突然, 撤退缓慢, 维持时间长; 印度夏季风槽则是渐进式的爆发, 撤退迅速, 维持时间较短。两个季风槽的温湿演变特征也有所不同。

关键词 南海夏季风 印度夏季风 季风槽 气候特征

文章编号 1006-9895(2006)03-0377-14 **中图分类号** P463 **文献标识码** A

Comparison of Climate Characteristics Between Two Summer Monsoon Troughs over the South China Sea and India

PAN Jing¹ and LI Chong-Yin^{1, 2}

1 *State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*

2 *Institute of Meteorology, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101*

Abstract The Asian summer monsoon trough consists of two major components: the South China Sea (SCS) summer monsoon trough and the Indian summer monsoon trough. Although they both belong to the tropical monsoon systems, and carry the characteristics of the tropical convergence zones, there are significant differences and similarities due to the geographic locations, land/sea, impressed systems, etc. From a climate perspective, this paper focuses on the structural similarities and differences between the South China Sea and Indian monsoon troughs, and also addresses the differences in the evolution of the troughs. First, the similarities and differences of the three dimensional configurations of the two troughs are presented. The results show there are no significant differences between these two troughs. Both carry the characteristics of the tropical convergence zones, that is, convergence in the trough area in the low layers, divergence in the high layers and monsoon vertical circulations. In regard to the thermal feature, it is cold in the trough zones in the low layers and warm in the medium and high layers. The Indian summer monsoon trough is stronger than the SCS one in most factors. Second, the climatological evolution characteristics of

收稿日期 2005-03-22, 2005-08-26 收修定稿

资助项目 国家自然科学基金资助项目 40233033, 中国科学院创新项目 KZCX3-SW-226

作者简介 潘静, 女, 1978 年出生, 博士, 主要从事季风和气候变化研究。E-mail: pan@mail.iap.ac.cn

both troughs are analyzed. The results show that the occurrence of the summer monsoon trough is in accordance with the monsoon onset. The SCS summer monsoon trough occurs early, retreats late and maintains longer, while the Indian summer monsoon trough occurs late, retreats quickly and maintains shorter. There are also some differences in the temperature and humidity evolution process.

Key words the South China Sea summer monsoon, Indian summer monsoon, monsoon trough, climate characteristics

1 引言

季风环流是全球大气环流的重要组成部分,也是亚非地区大气环流的主要特点。虽然东亚季风区和南亚季风区连在一起,同属于全世界最显著和典型的亚洲季风区系统,但是东亚夏季风相对于南亚夏季风来说是一个有相对独立性的季风子系统。早在 20 世纪末,我国气象学者就指出亚洲季风区存在两支互相独立又互相联系的季风子系统,即南亚(印度)季风系统和东亚季风系统^[1~3],而且进一步提出东亚季风又可划分为南海-西太平洋热带夏季风和中国大陆-日本的副热带夏季风^[4]。

一般认为,南亚夏季风系统的组成成员主要包括马斯克林高压、索马里跨赤道气流、印度季风槽、南亚高压、热带东风急流及其向南半球的高空越赤道气流。Krishnamurti^[5]给出了该系统的平均结构模式。同样,南海夏季风系统中也存在类似的环流系统,即澳大利亚冷高压、南海南部低空越赤道气流、南海季风槽(ITCZ)、西太平洋副热带高压、高空南支东风气流及越赤道气流。这些具体的环流系统共同组成了三维的、时间变化复杂的亚洲夏季风体系。对这些具体环流系统的认识,对于了解亚洲夏季风系统的空间结构和时间变化具有重大意义。一些分析表明,上述两个相互独立而又相互联系的夏季风系统,在孟加拉湾和南海都有一个水汽含量高值区和强热源中心,在马斯克林(Mascarene)和澳大利亚各有一个冷值中心^[6]。孟加拉湾热源和南半球的冷源维持了印度季风的上升支和下沉支;南海热源和澳大利亚冷源就是南海季风系统的季风经圈环流的主要驱动因子,维持了南海季风的上升支和下沉支。

亚洲夏季风是地球气候系统中最重要最活跃的成員。基于亚洲夏季风的重要性,国内外许多学者对亚洲夏季风进行了比较详尽和细致的研究。对于亚洲夏季风槽,它主要是由分别从属于南亚夏季风

系统的印度夏季风槽和南海夏季风系统的南海夏季风槽组成,这两个季风子系统的性质都是热带季风系统,因此这两个夏季风槽都有比较明显的热带辐合带的特征。以前对亚洲夏季风槽的研究还相对较少,对印度夏季风槽与南海夏季风槽差异的研究更为有限。研究季风槽的特征,了解印度季风槽和南海夏季风槽的区别,对我们认识热带辐合带、认识夏季风系统都是很有必要的。另外,东亚夏季风(包括南海夏季风)和印度夏季风的演变特征自然也是国内外学者在季风研究中的重点^[7~9],而到目前为止,有关季风槽演变特征的研究还是比较少的,所以,本文主要从气候特征的角度对比分析南海夏季风槽、印度夏季风槽的结构和演变特征,希望能够加深对热带季风槽这个热带夏季风系统重要成员的了解,进而更好地认识亚洲夏季风系统。

本文第 2 节是资料说明,第 3 节是南海夏季风槽和印度夏季风槽的气候特征对比,第 4 节是南海夏季风槽和印度夏季风槽演变的气候特征对比,最后是总结和讨论。

2 资料说明

本文主要是从气候角度研究季风槽,风场等要素资料来自 NCAR/NCEP 的逐日再分析资料,做气候平均的时段是 1960 年到 1998 年。还有 NOAA 的逐日向外长波辐射资料(简称 OLR),资料长度从 1980 年到 1998 年,分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。

3 南海夏季风槽与印度夏季风槽气候特征对比

南海夏季风环流和印度季风环流虽存在一定联系,但系统还是具有其独立性^[10]。印度夏季风和南海夏季风都是热带夏季风,相比较来说,印度夏季风主要受到青藏高原的屏蔽作用,它的主要季风气流源于南半球马斯克林高压越赤道的西南气流,降水的主要原因就是季风槽和季风低压的活动,是

比较单纯的热带环流系统。而南海季风气流的来源主要是来自印度洋的西南气流、南海越赤道气流和来自西太平洋副高南侧的偏东气流。所以，南海夏季风槽应该比印度夏季风槽更复杂一些。

3.1 位置特征和对流特征的对比

图 1 是多年平均 (1980~1998 年) 夏季海平面气压场和 OLR 场 (阴影部分表示 OLR 值低于 230 W/m^2)，从图上可以发现有很明显的呈纬向分布的低压槽自印度大陆西北部穿越印度大陆北部和孟加拉湾，经过中南半岛和南海地区延伸至西太平洋。季风槽/ITCZ 在海平面上的表现就是低压槽的存在，所以亚洲地区夏季海平面气压槽线也可以表示亚洲夏季风槽。沿着亚洲夏季风槽线，很明显的分布着两个闭合的低压中心，即印度夏季风低压中心和南海夏季风低压中心。从槽线的走向，可以比较容易确定亚洲夏季风槽是西北-东南走向的。从图 1 还可以看出印度夏季风槽的范围是 ($15^\circ\text{N}\sim 25^\circ\text{N}$, $70^\circ\text{E}\sim 95^\circ\text{E}$)，从印度大陆的西北部向东南延伸至孟加拉湾，季风槽有部分位于陆地，有部分位于孟加拉湾。而南海夏季风槽的范围则在 ($10^\circ\text{N}\sim 20^\circ\text{N}$, $105^\circ\text{E}\sim 120^\circ\text{E}$) 之间，槽的主体都在南海海面。

研究表明，可以用 OLR 值低于 230 W/m^2 来表示强对流区或者对流性积云多发区。从多年平均的 OLR 场，同样可以发现有明显的强对流区 (OLR 低

值区) 与海平面低槽区相对应。而对应两个低压中心的存在，就有两个 OLR 低值中心与之对应存在，这也说明亚洲夏季风槽槽区对流活动较强。与海平面气压 (SLP) 槽线相比，OLR 低值区的中心要偏南，说明强对流一般发生在 ITCZ (Intertropical convergence zone) 偏南部分。从图 1 上还可以看到南海夏季风槽要弱于印度夏季风槽，不仅表现在季风槽的低压中心，也表现在对应的深对流的强弱。

3.2 高低空流场配置和垂直环流特征之对比

风场同样是反映季风槽 (ITCZ) 的重要资料，低层流场的气旋性辐合带也可以用来表示 ITCZ。我们分析了不同高度场 (从 1000 hPa 到 100 hPa) 上多年平均夏季流场，发现亚洲夏季风槽主要存在于对流层的中低层。南海夏季风槽的伸展高度为 400 hPa ，而印度夏季风槽的伸展高度略高一些。印度夏季风槽和南海夏季风槽一样都是在低层近乎垂直，但随高度略微向北倾斜。图 2 是多年平均夏季的不同高度上的流场和涡度场。这里分别以对流层低层 850 hPa 、中层 500 hPa 、高层 200 hPa 的形势图来说明高低空的配置。

从图 2a 可以看出，印度夏季风槽主要是由夏季来自印度洋和南半球的温暖湿润的西南风及其转向形成的辐合带，它主要受到北部青藏高原的屏障影响；而南海夏季风槽主要是由来自孟加拉湾的暖湿西南气流与西太平洋的副热带高压南部的偏东气

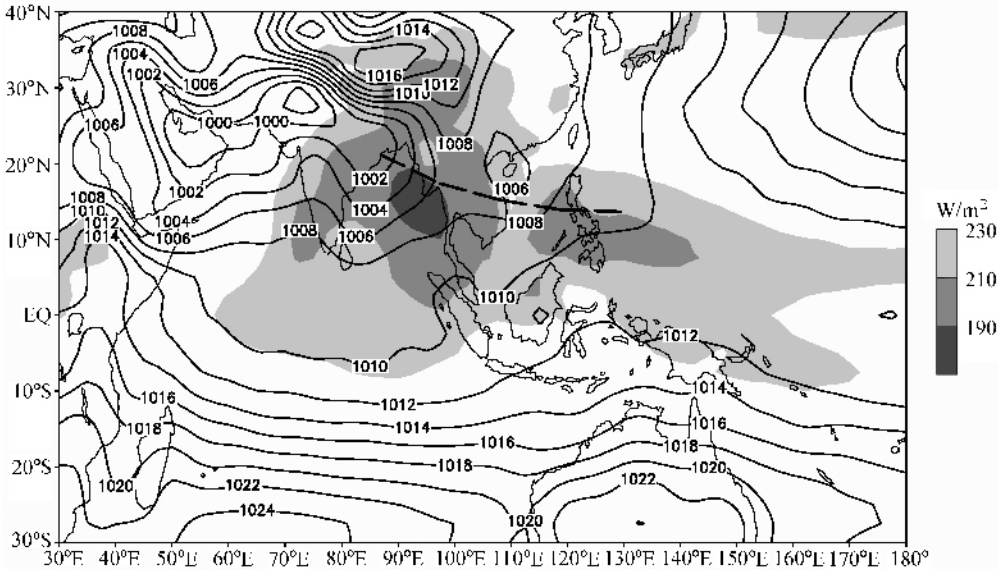


图 1 1980~1998 年平均的夏季平均海平面气压场 (单位: hPa) 和 OLR 场 (阴影区)，粗虚线表示亚洲夏季风槽线
Fig. 1 The averaged summer sea level pressure (hPa) and OLR (shaded) from 1980 to 1998, the dashed thick line represents the Asian summer monsoon trough

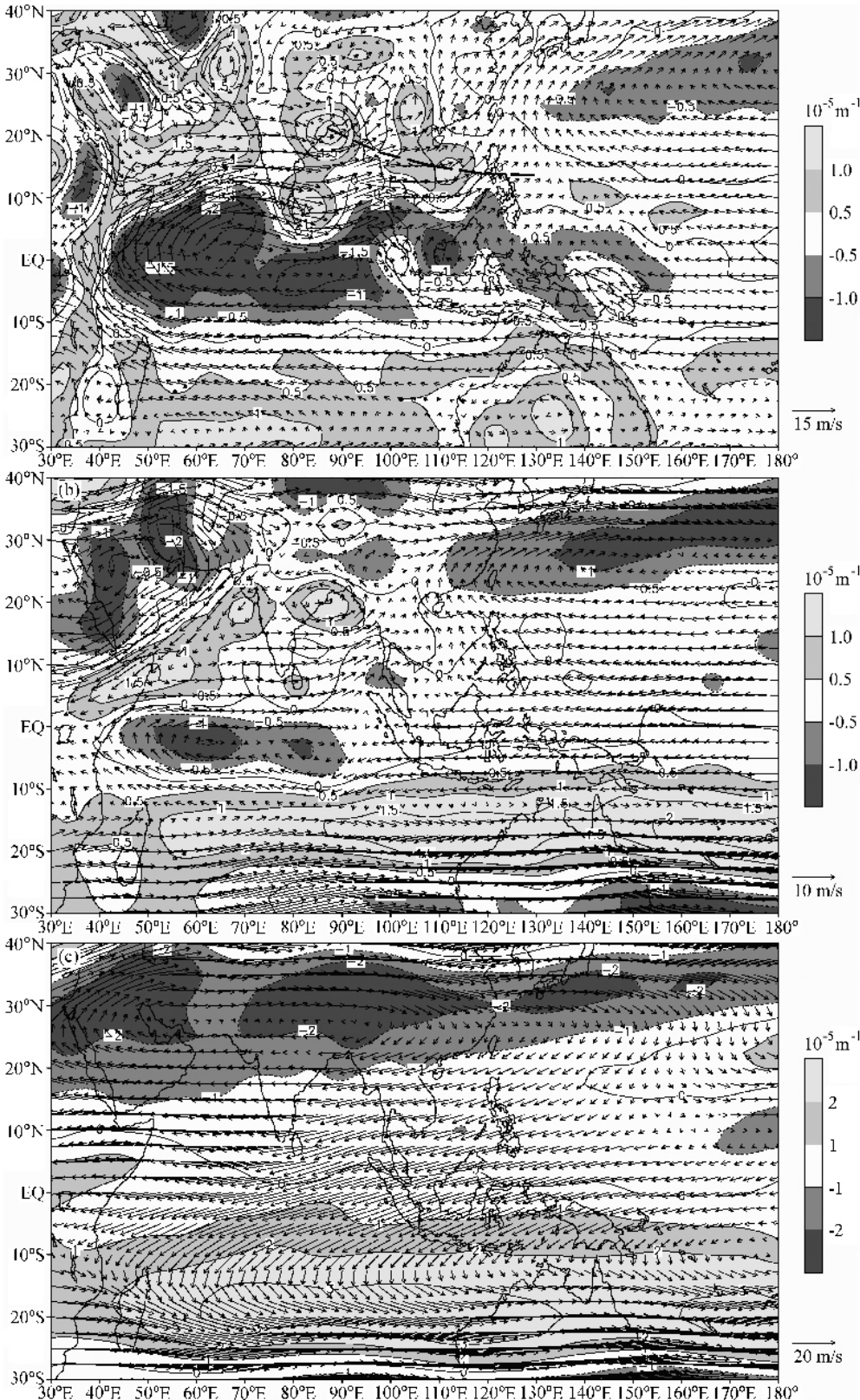


图 2 不同高度上的多年平均夏季流场和相对涡度场(阴影部分): (a) 850 hPa, 粗虚线表示亚洲夏季风槽槽线; (b) 500 hPa; (c) 200 hPa
Fig. 2 The distribution of stream field and relative vorticity field (shaded) during summer; (a) 850 hPa; (b) 500 hPa; (c) 200 hPa. The dashed thick line represents the Asian summer monsoon trough

流辐合形成的, 北部没有明显的地形影响, 东边的副高应该是对季风槽影响最大的环流系统。从风场上, 我们同样可以发现从印度大陆向东南方向延伸的风场辐合带, 这种由风场辐合带确定的亚洲夏季风槽的位置特征与海平面气压场确定的季风槽的位置是相吻合的。在动力结构方面, 我们还发现了南海夏季风辐合带的动力结构是不对称的, 从水平风场上看, 印度夏季风槽、南海夏季风槽所对应的区域并不是强风区, 强风区(风速大值区)是位于季风槽的南部。在季风槽的南侧存在着一最大风速中心轴线, 这种分布说明了西南气流在辐合带形成中的重要地位和作用。

由于季风槽具有强辐合性的特点, 所以涡度也是反映季风槽强弱的一个很好的指数。从相对涡度场多年平均情况来看, 正相对涡度带由印度大陆经过孟加拉湾和中南半岛, 延伸至我国南海地区和热带西太平洋地区。该正相对涡度带的大值区与槽线的位置比较吻合, 同样说明了亚洲夏季风槽槽区在对流层低层具有很明显的辐合的特征。沿着槽线分布的就是亚洲夏季风槽中的主要系统, 印度季风低压和南海夏季风低压。从相对涡度上看, 印度夏季风槽也要强于南海夏季风槽。

中层流场的情况可以通过图 2b 表现出来, 显然, 亚洲夏季风槽的发展高度可以达到对流层中层, 在风场上印度季风槽和南海季风槽的辐合形势还是很明显的, 但是, 在涡度场上南海夏季风槽的强辐合中心已消失。所以, 印度夏季风槽伸展高度较高, 比较深厚; 而南海夏季风槽伸展高度低, 比较浅薄。

图 2c 反映的是高层的情况, 夏季亚洲季风区高空最明显的特点就是南亚反气旋环流系统, 印度、孟加拉湾地区和南海、西太平洋地区均是处于南亚高压的偏东气流的控制之下。对应低层亚洲夏季风槽的位置出现的东风气流并不是最强, 最强的东风急流是在此位置偏南。从高层的情况看, 并没有出现两支东风气流的情况, 只是在南海夏季风槽上空就有明显的辐散流型。同样, 图 2c 中的涡度分布也说明了强大的南亚高压的存在。

从高低空的配置来看, 可以认为亚洲夏季风槽的主要特点就是低层辐合、高层辐散。低层主要受到暖湿的西南季风气流的影响, 而高空则是强大的南亚高压南边的东风气流所控制。这种配置特征很

容易使低层的对流和上升运动得以建立和加强。

为了更好地分析夏季风槽的三维结构, 我们沿 85°E 和 112.5°E 作了垂直剖面。这两个剖面分别显示印度夏季风槽和南海夏季风槽的垂直环流特征(图 3)。图 3 的阴影部分表示垂直运动速度, 负的垂直速度表示上升运动。正的垂直速度则表示下沉运动。从多年平均的夏季垂直环流图可以发现, 印度夏季风槽和南海夏季风槽槽区对应的是比较明显的上升运动, 在槽区 [南海夏季风槽在 $10^{\circ}\text{N}\sim 20^{\circ}\text{N}$ (图 3b) 印度夏季风槽在 $0^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{N}$ (图 3a)] 范围内有强大的上升气流, 该上升气流到对流层高层后转而向南, 在赤道乃至更南下沉。因此, 在印度夏季风槽和南海夏季风槽的垂直剖面图上都可以发现有明显的一个经向环流圈: 从槽区上升, 赤道乃至南半球下沉, 低空盛行南风, 高空是北风。这种环流圈在南海夏季风槽要显得对称性更强一些, 而印度季风槽区由于北部青藏高原的关系, 垂直环流场则复杂得多。这种夏季风经圈环流不同于 Hadley 环流, Hadley 环流是一种热力环流, 环流圈的上升支在赤道附近, 下沉支在副热带地区。从垂直上升速度来看, 可以发现在季风槽区上空都是很明显的强烈上升运动, 最大上升速度都在 300 hPa 附近, 印度夏季风槽的上升速度要大于南海夏季风槽。

3.3 温湿场特征之对比

ITCZ 在地球表面的不同地点, 流场特点表现得也不尽相同, 同样, 在温湿场上也有较大的差异。已有研究结果说明在不同地点, ITCZ 在中低层的热力结构是不尽相同的^[11~14]。北半球夏季的温度场有很明显的纬向分布不对称性, 这与海陆热容量不同所决定的温度季节变化大小不同有关。图 4 是多年平均夏季 850 hPa 纬向温度距平场特征, 从中可以发现亚洲夏季风槽不管是南海夏季风槽还是印度夏季风槽, 在槽区附近范围内都是相对冷区, 一般比周围温度低 0.5°C 以上。在我国南海及周围地区冷中心基本在槽线附近, 比槽线位置略为偏北。在南海和西太平洋地区的槽线南部可以发现有明显的暖区存在, 而在印度季风槽南部则没有这么明显的暖区, 南海夏季风槽的水平温度梯度, 在其南北两侧都比较小, 不会超过 3°C , 不具备有明显的锋面性质和鼻状结构, 这与已有研究结果也是相符合的^[15]。印度夏季风槽的南北温度梯度相对较大, 尤其是在北侧。

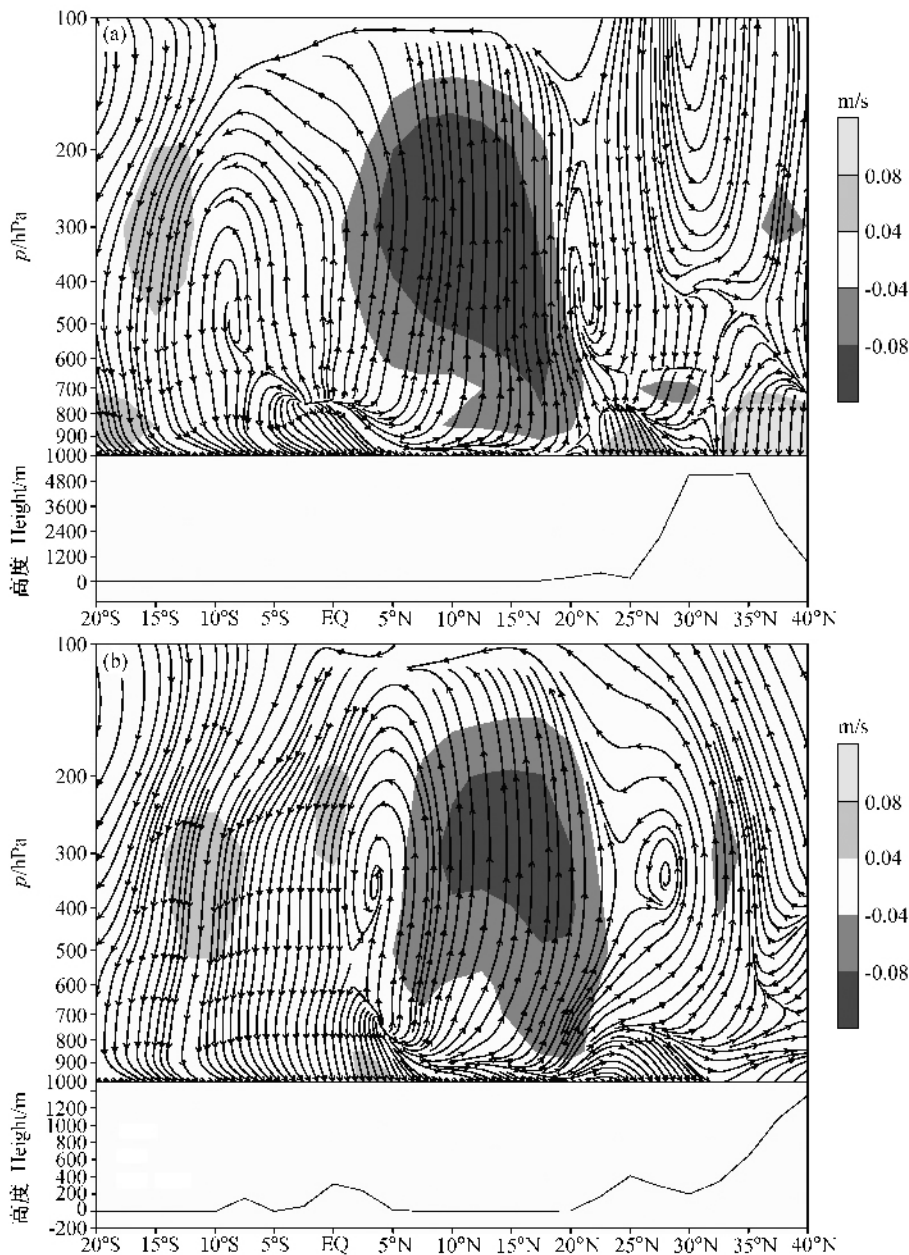
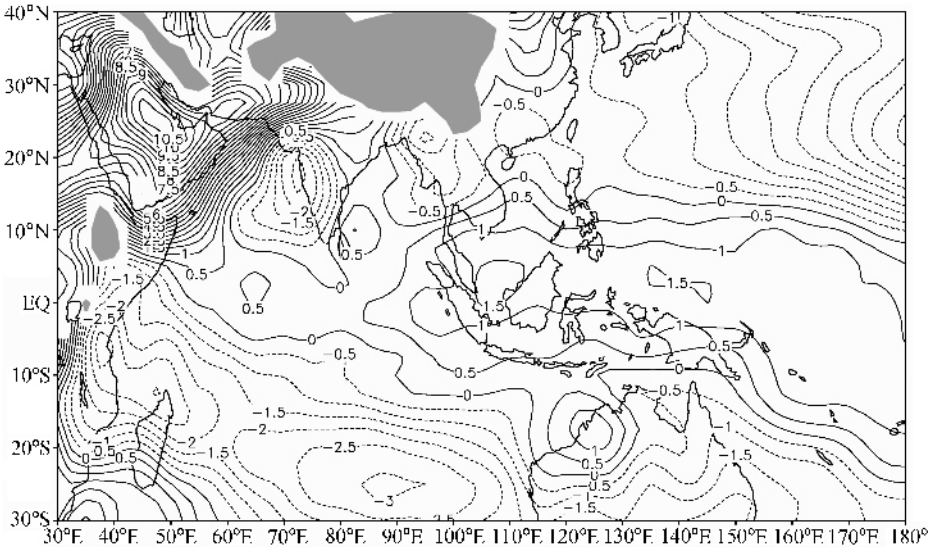


图3 多年平均沿不同经度的夏季垂直环流剖面: (a) 沿 85°E; (b) 沿 112.5°E。阴影表示垂直上升速度; 黑色曲线表示地形高度

Fig. 3 Cross section of averaged meridional circulation during summer along different longitudes: (a) 85°E; (b) 112.5°E. Rising areas are shaded, black curve: orographic height

对流层中层 500 hPa 温度分布则与低层有很明显的不同(图 5), 在 500 hPa 上可以发现亚洲夏季风槽是在暖区外围的控制下, 暖中心存在于青藏高原上空。对流层中层的增暖主要是青藏高原的夏季热力作用造成的, 而且一直影响到更高层, 以至对流层高层(200 hPa)的情况与 500 hPa 温度场的形势比较类似, 也是在青藏高原附近有很明显的暖中心。

在湿度场(图 6)上, 可以发现在北半球夏季, 比湿大值区(超过 12 g/kg)主要出现在季风区。对应着亚洲夏季风槽的走向, 也有类似的湿度“槽”与之相对应, 只不过是湿度“槽”的位置更偏北一些。这说明在北半球的夏季, 亚洲夏季风槽附近都对应着明显的高湿区。这个高湿区还比较深厚, 可以伸展到 500 hPa 高空以上。亚洲这个广大的高湿区的走向和分布与夏季风槽有很好的对应和配合关系。



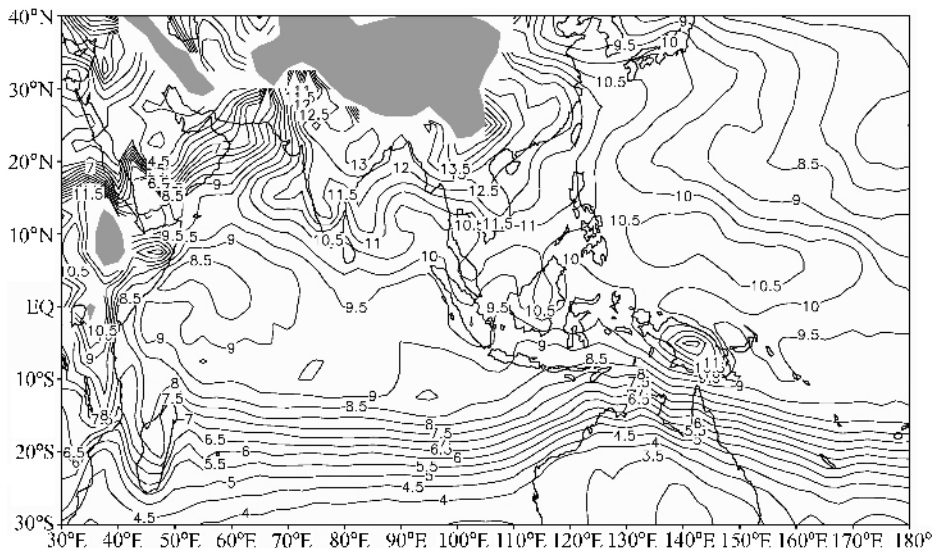


图6 多年平均夏季 850 hPa 比湿场 (单位: g/kg)

Fig. 6 The averaged specific humidity (g/kg) at 850 hPa during summer

南海爆发的,南海夏季风爆发的主要标志是:副热带高压脊撤出南海,南海地区由西南风控制,还有大范围深对流出现。南海夏季风建立时,强大的西南季风气流控制了南海大部分地区,暖湿的西南气流与撤出南海地区的副热带高压南侧的偏东气流交汇,形成南海夏季风槽。所以,南海夏季风槽的建立也是南海夏季风爆发的重要标志之一。关于南海夏季风的爆发,很多学者^[16~18]从不同角度定义了不同的指数,有的强调降水和对流特征,有的则通过盛行风向改变来定义夏季风的爆发时间,也有学者^[19~21]把风场和对流场结合在一起考虑。因为我国东部初夏降水不像印度那样只受热带环流影响,还受到北部中高纬环流的影响;又因为南海地区西南季风的经向分量比较大,如果采用降水指标或者 Webster-Yang 的指数^[22],表征南海夏季风槽的爆发和强度都具有一定的局限性^[22]。这里根据季风槽的主要特点是强辐合,我们就用这个特点来确定季风槽建立的时间,季风槽建立是南海夏季风爆发的重要标志,季风槽的建立时间与南海夏季风爆发时间是基本一致的。

南海夏季风槽建立的标志应该是南海地区有明显的正涡度出现,同样也有深对流出现。那么定义南海夏季风槽建立时间的标准是:(1)南海地区 850 hPa 涡度从负涡度变成正涡度并持续 5 天以上的时间;(2)相应地区平均的 OLR 值低于 230 W/m^2 超过 5 天以上。再对应 850 hPa 风场情况,我们确定

了 1980~1998 年南海夏季风爆发和季风槽建立的时间。从多年平均来看,夏季风槽建立时间处于 5 月 16 日~20 日之间,这与已有研究结果得到的南海夏季风爆发的日期为 5 月第 4 候是一致的。从资料分析结果可以看到,南海夏季风槽最早建立在 4 月底,最晚在 6 月上旬,逐年差别也是比较大的。这从一方面说明了南海夏季风爆发所受的影响因子比较多,也比较复杂,另一方面表明其具有明显的年际和年代际变化特征。

从低层平均涡度的纬度-时间剖面图(图 7)可以明显看出,两个季风槽的建立有不同的特征。南海季风槽建立的时间是 5 月中旬后期,表现为 $10^\circ\text{N}\sim 20^\circ\text{N}$ 上突然出现正涡度;而印度季风槽的建立时间为 6 月初,表现为 $15^\circ\text{N}\sim 25^\circ\text{N}$ 有正涡度向北扩展。在印度夏季风槽建立的时候,槽的强度比南海季风槽强,而且印度季风槽的建立是渐进的,表现为正涡度的逐步向北扩展;而南海季风槽的建立具有爆发性和突然性,这个结果与其他学者的类似研究结果^[23~25]是一致的。

4.2 季风槽强度的演变特征

在不同的年份,南海夏季风槽的强度和位置不尽相同,因此应该说确定客观的、有代表性的量化指标,对演变过程的分析是很重要的。考虑到南海夏季风槽主要存在于对流层的中下层,而且在低层是结构少变,近乎垂直。我们以低层涡度的平均值来作为季风槽强度的指数,如果平均值越大,说明

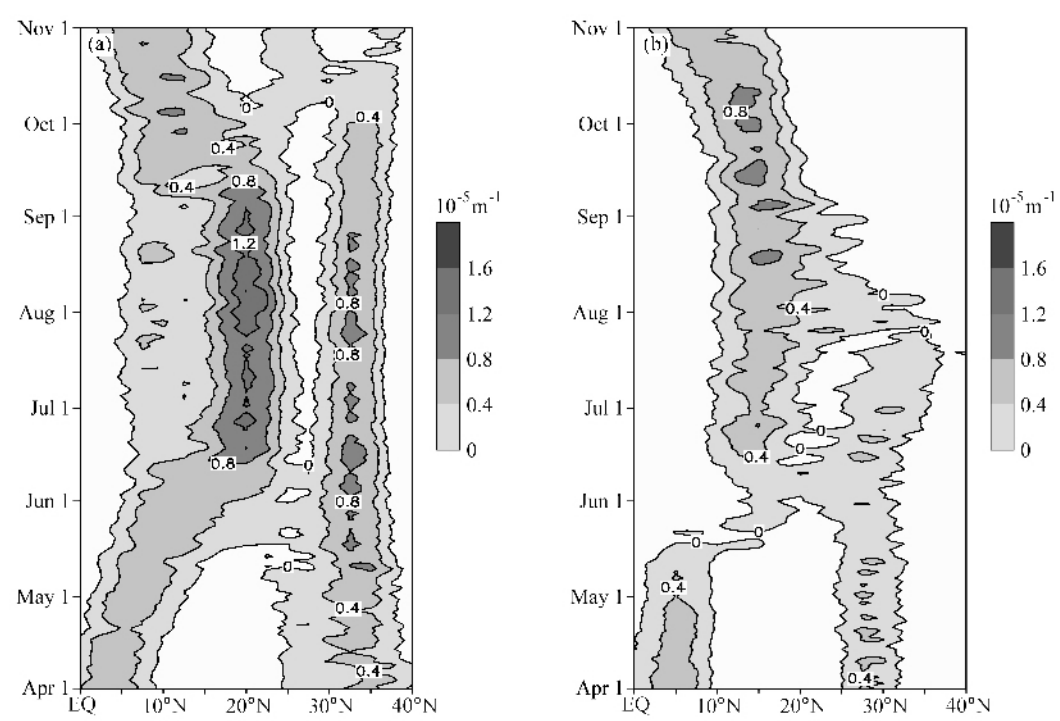


图 7 多年平均低层平均涡度的纬度-时间剖面图：(a) 沿 80°E~95°E 平均；(b) 沿 105°E~120°E 平均

Fig. 7 Latitude-time cross section of the composite low-level vorticity averaged along (a) 80°E-95°E and (b) 105°E-120°E

季风槽越强，反之季风槽越弱。为了考察季风槽强度随时间的变化，我们沿 105°E~120°E 经度的平均作了季风槽强度随时间变化的剖面图，为了比较，也作了 80°E~95°E 经度平均的低层平均涡度的时间-纬度剖面图(图 7a)。

南海季风槽建立以后，就进入一个不长的不活跃期，甚至是中断期。在进入 6 月后，季风槽逐渐加强，辐合也加强，槽的位置停留在 15°N 左右，对应的正涡度值增大。进入 7 月份后，季风槽强度稍有减弱，位置略北移至 20°N 附近。8 月份开始后，季风槽有比较明显的增强，在 8 月中旬达到最北的位置 20°N，然后季风槽逐渐南移、减弱。印度季风槽在 6 月份季风爆发时建立，但却没有一个不活跃期，而是在强度上一直加强，位置北移。6 月中旬以后，季风槽在位置上少变，稳定的停留在 15°N~25°N 之间。在强度上，也是在 8 月份有增强，进入 9 月份以后季风槽迅速减弱南退，这要比南海季风槽快得多。

4.3 对流的演变特征

从对流(OLR)的时间-纬度剖面图(图 8)上可以看出，对流和平均涡度的变化是比较一致的，OLR 的纬度-时间剖面图同样显示了南海夏季风槽

建立的突然性。在 5 月中旬，原来位于 5°S~5°N 间的深对流(OLR 值 ≤ 230 W/m²)突然向北扩展到 10°N 以北，很明显，原来处于赤道附近的 ITCZ 跳至南海地区，南海夏季风爆发，南海夏季风槽建立。印度夏季风槽建立较晚，对应的深对流发展强烈，位于赤道附近的 ITCZ 则花了两个月左右的时间从赤道逐渐向北移动到孟加拉湾地区。与印度夏季风槽对应的深对流在 6 月初有明显加强，强度达到 190 W/m² 以下，标志着印度夏季风的爆发、夏季风槽的建立。深对流所反映的两个季风槽的位置也是稳定少变的，特别是印度夏季风槽几乎停留在 15°N 以北，没有什么变动。深对流所反映的两个季风槽的撤退时间也有区别，印度夏季风槽在进入 9 月以后，迅速南移、减弱；而南海夏季风槽则在撤退方面较慢，直到 10 月份才退到 10°N 以南。

总的来说，对流场和涡度场相配合是比较好的，只不过对流的低值区比涡度的正值区偏南 2~3 个纬度。这也说明了在季风槽的南部有比较明显的深对流、比较激烈的上升运动和天气过程，或者说激烈天气现象比较容易出现在亚洲夏季风槽的南部。

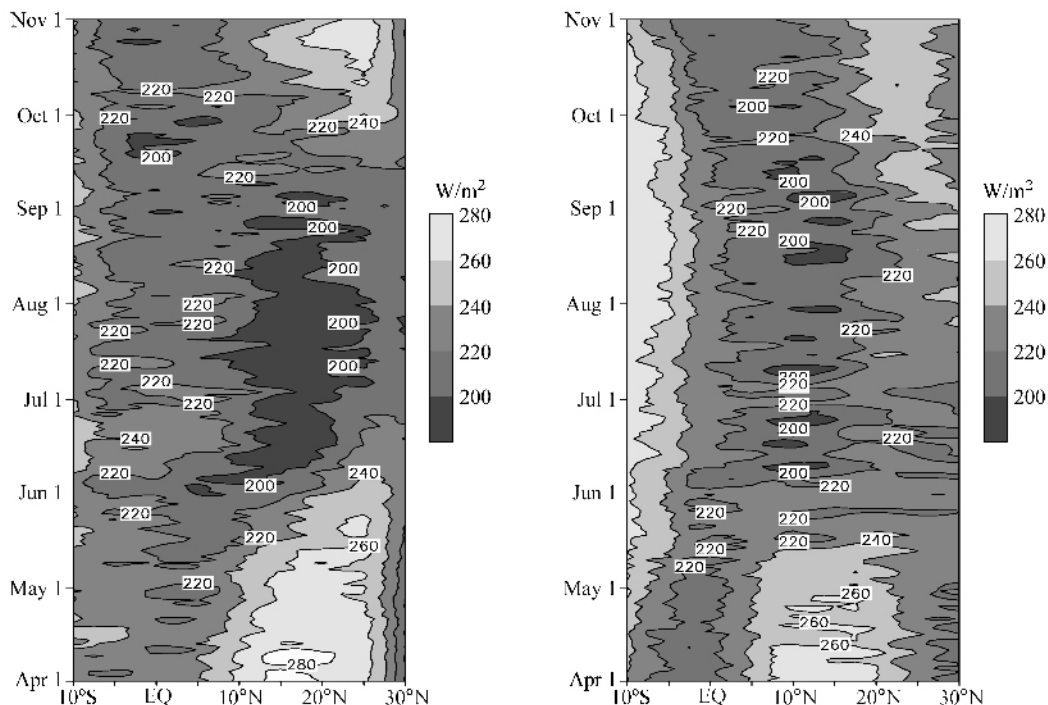


图 8 多年平均 OLR 的纬度-时间剖面: (a) 沿 $80^{\circ}\text{E}\sim 95^{\circ}\text{E}$ 平均; (b) 沿 $105^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 平均

Fig. 8 Latitude-time cross section of the composite OLR averaged along (a) $80^{\circ}\text{E}\sim 95^{\circ}\text{E}$ and (b) $105^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{E}$

4.4 风场的随时间演变

南海夏季风在季风爆发过程中表现出明显的风向逆转的情况。从对流层低层(850 hPa)水平风矢量沿 $80^{\circ}\text{E}\sim 95^{\circ}\text{E}$ 平均和 $105^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 平均的纬度-时间剖面图(图 9)中,可以很明显看出在南海夏季风的演变过程中,夏季风爆发之前,也就是 5 月中旬以前,在南海地区主要都是偏东风。在南海地区 5 月 15 日是一个分界点,在此时间之后,也就是季风爆发使原来盛行于南海地区的偏东风被强大的西南风所代替,风向逆转是比较突然的。而图 9a 揭示的则是从 4 月中旬开始,赤道东印度洋地区($0^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{N}$)就有明显的西南气流,这支暖湿的西南气流随着时间的变化逐渐向北扩展,在 6 月初,扩展到 15°N 左右,印度季风爆发,季风槽建立。比较图 9a、b 两图还可以发现,对于印度夏季风来说,西风分量显得尤为重要,经向风分量影响则比较小;而构成南海夏季风槽西南风中的经向分量,相对来说也是不容忽视的。同样,我们做了沿 15°N 风矢量的经度-时间剖面图(图 10)。从图 9a 可以看出,在印度洋($80^{\circ}\text{E}\sim 95^{\circ}\text{E}$)上从 5 月中旬就出现比较明显的西风,不过该西风分量比较小,主要是受来自印度大陆北部中纬度西风带的影响。随着越

赤道气流的加强,索马里急流的产生,印度半岛上的西北风被暖湿的西南气流代替,6 月初,西风加强很明显,标志着印度夏季风爆发和印度季风槽形成。图 9b 反映的是在 5 月中旬南海夏季风爆发之前控制南海地区的都是东风,这时候主要是有强大的副热带高压控制南海地区。来自赤道印度洋的暖湿西南气流在 5 月中旬加强并侵入南海地区取代这里的偏东气流,南海夏季风爆发。从风场的演变,我们可以发现在南海夏季风槽建立过程中风向逆转是一个很明显的指示因子,所以,南海地区东风转换成西风也被许多专家学者作为一个指标来揭示南海夏季风的爆发。对于印度夏季风槽来说,季风爆发过程没有伴随明显的风向逆转的过程,而且西南气流的经向分量小,主要特征是西风的增强。

4.5 温度场和湿度场随时间的演变特征

热力特征的时间演变也是我们研究演变特征的内容之一,图 11 是 850 hPa 多年平均温度的纬度-时间剖面图。两个区域的温度演变过程也不尽相同。从图 11 a 可以看出,在 $80^{\circ}\text{E}\sim 95^{\circ}\text{E}$ 经度带上,在印度夏季风爆发之前(6 月初),在季风槽出现的位置($15^{\circ}\text{N}\sim 25^{\circ}\text{N}$)有很明显的增温,而且增温很快,在 5 月中旬还有高温中心,这是因为印度大陆

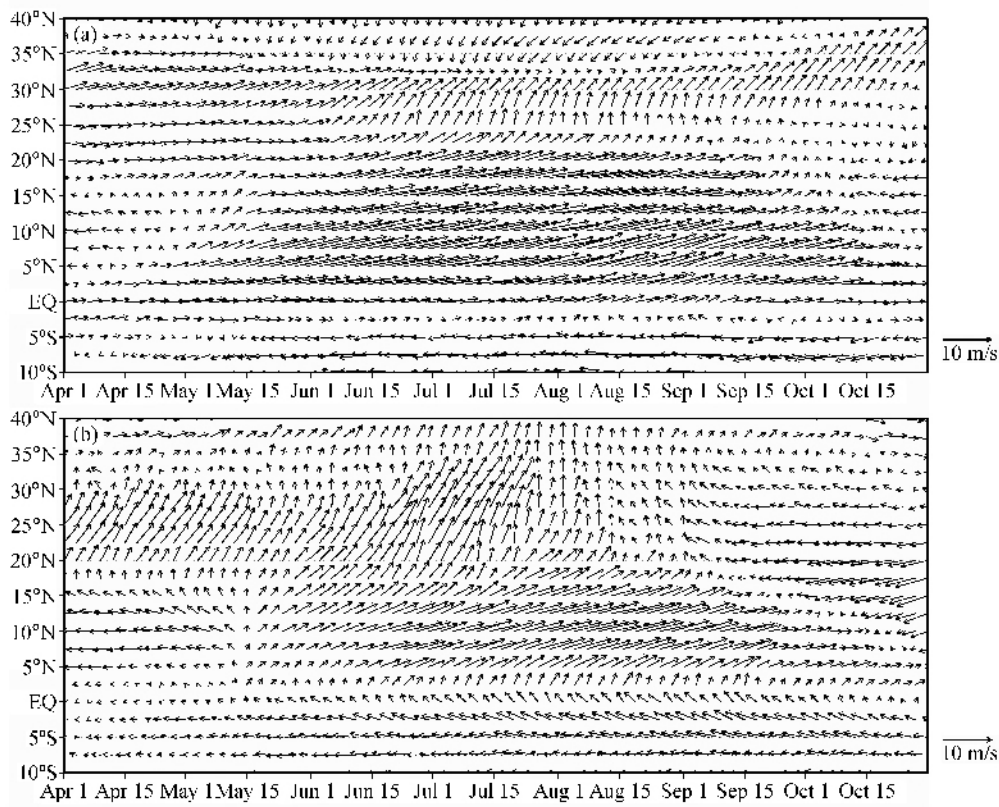


图 9 对流层低层(850 hPa) 水平风矢量沿 80°E~95°E 平均 (a) 和 105°E~120°E 平均 (b) 的纬度-时间剖面图
Fig. 9 Latitude-time cross section of the composite wind vector at 850 hPa averaged along (a) 80°E~95°E and (b) 105°E~120°E

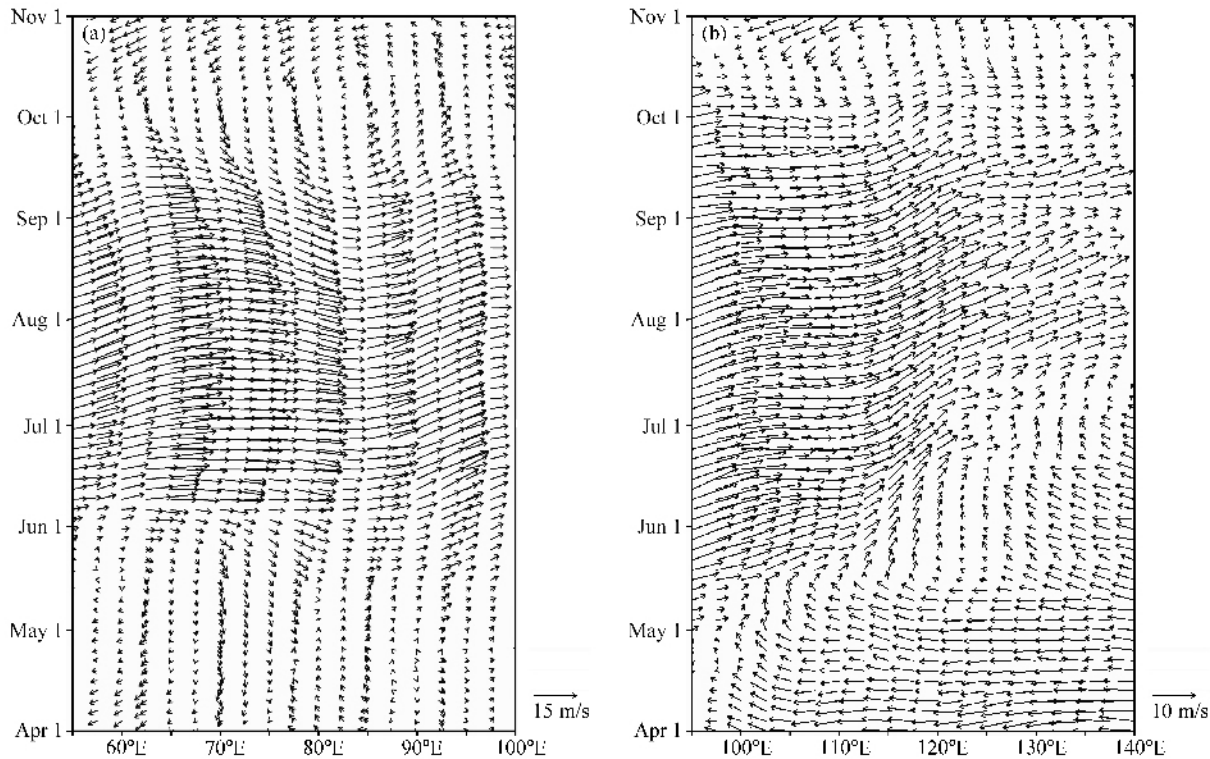


图 10 多年平均夏季 850 hPa 水平风矢量的经度-时间剖面图: (a) 沿 15°N; (b) 沿 10°N
Fig. 10 Longitude-time cross section of the composite 850 hPa wind vector averaged along (a) 15°N and (b) 10°N

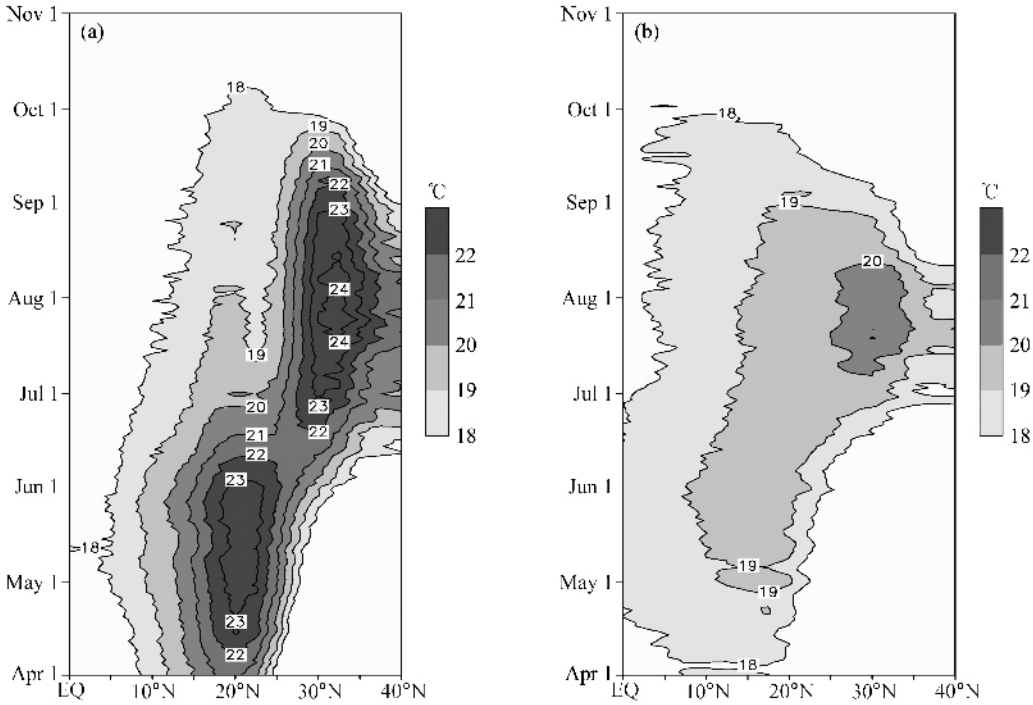


图 11 多年平均 850 hPa 温度的纬度-时间剖面图: (a) 沿 80°E~95°E 平均; (b) 沿 105°E~120°E 平均
Fig. 11 Latitude-time cross section of the composite temperature at 850 hPa averaged along (a) 80°E–95°E and (b) 105°E–120°E

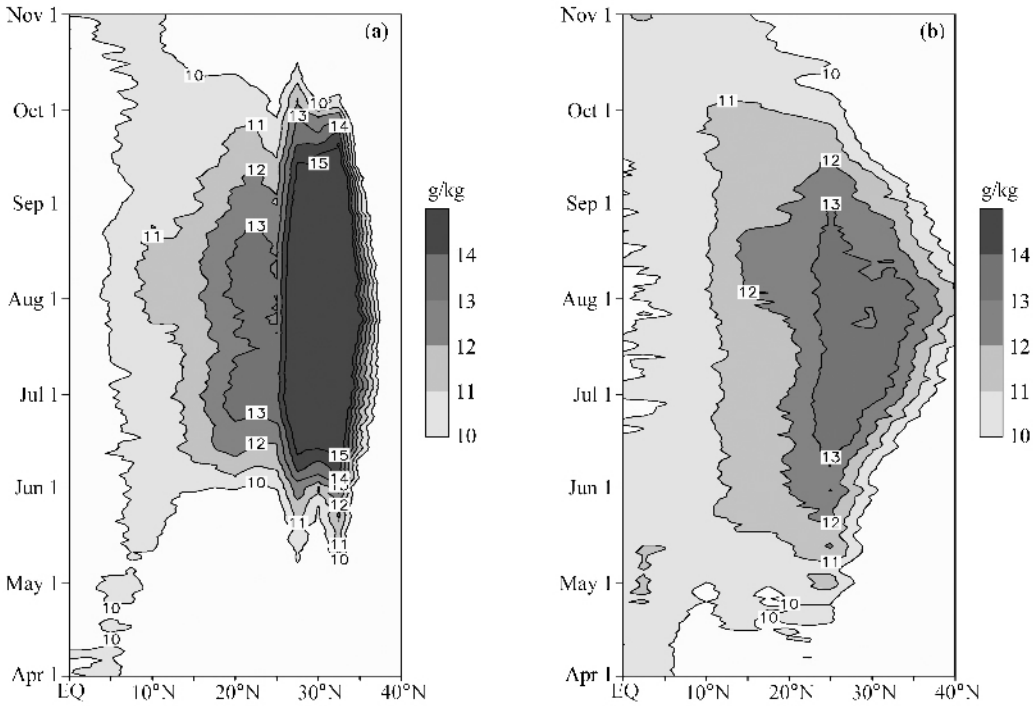


图 12 多年平均 850 hPa 湿度的纬度-时间剖面图: (a) 沿 80°E~95°E 平均; (b) 沿 105°E~120°E 平均
Fig. 12 Latitude-time cross section of the composite humidity at 850 hPa averaged along (a) 80°E–95°E and (b) 105°E–120°E

在夏季风爆发之前, 降水很少, 受太阳辐射影响, 地面加热增温比海洋快。季风槽爆发之后, 高温中心转移到北部, 7 月和 8 月在 25°N~35°N 出现温度高值中心, 这是因为青藏高原强大的热力作用的

关系。对应涡度场体现的季风槽的位置演变, 我们可以发现印度夏季风槽建立后, 季风槽所在区域的温度是降低的。原因是季风爆发后西南季风十分强大, 季风降水加之蒸发冷却效应, 造成季风槽所在位置的温度降低。对于 $105^{\circ}\text{E} \sim 120^{\circ}\text{E}$ 经度带来说, 在南海夏季风槽建立之前, 在季风槽的区域没有很明显的温度高值中心出现, 而南海北部地区受初春北方冷空气影响较明显, 使得南海地区在夏季风爆发前南北之间温差很小。在南海夏季风爆发后, 南海地区仍然维持着偏暖的状态, 这是因为受到太阳辐射及季风降水的影响, 导致在季风槽北部温度偏高, 而季风槽南部温度偏低, 而且这种形势随时间有向北推移的现象, 到了 8 月中旬后才南退。

图 12 是多年平均 850 hPa 比湿的纬度-时间剖面图, 可以显示湿度的演变情况。如图 12 b 所示南海夏季风爆发之前, ITCZ 位于 $0^{\circ} \sim 5^{\circ}\text{N}$, 有相应的湿度大值区 (大于 10 g/kg) 与之相匹配。在南海夏季风建立之前 (5 月初), 湿度大值区开始北扩, 南海夏季风爆发的时候南海地区西南季风增强引起了蒸发和水汽辐合, 大气湿度增加, 湿度达到 11 g/kg 以上。此后, 南海地区一直处在高湿区的南部, 直到 10 月份季风撤退。进入 6 月份, 东亚夏季风爆发, 与梅雨锋出现相对应, 在南海地区以北出现强于 13 g/kg 的高湿区。对于印度夏季风槽 (图 12 a) 来说, 在印度夏季风爆发之前, ITCZ 位于 10°N 以南, 发展较弱, 但 5 月中旬开始也有明显的湿度带的北扩, 而且印度季风槽的湿度增长要比南海地区快。6 月份在 30°N 左右出现的高湿带是由于青藏高原的地形作用形成的。

将图 11 与图 12 相比较可以发现, 在夏季风槽建立后, 高湿和高温的分布是一致的, 尤其是印度季风区, 这充分显示了夏季风的特征。

5 结论和讨论

南海夏季风槽和印度夏季风槽是各自南海夏季风和印度夏季风的主要成员, 它们也是亚洲夏季风系统的重要组成部分, 都具有热带辐合带强对流、强辐合的特征, 但是, 这两个季风槽也各自有其特点。本文主要是从气候特征角度比较研究这两个季风槽之异同。首先, 讨论了结构特征方面的差异, 从季风槽的对流特征、环流场配置特征、热力结构

特征等方面探讨两个季风槽的区别, 得到了南海夏季风槽和印度夏季风槽在结构特征方面区别不算很大, 都是热带季风辐合带的典型结构, 只不过印度夏季风槽明显要比南海夏季风槽强, 发展比较深厚。

季风槽的演变特征也是季风槽的重点之一, 对南海夏季风槽和印度夏季风槽的演变气候特征所进行的分析表明, 南海地区夏季风槽的建立时间是 5 月第 4 候, 表现为对流层低层南海地区的负涡度到正涡度的转变和相应的强对流的出现, 南海夏季风爆发和季风槽的建立有突变性。而印度夏季风槽的建立时间则是 6 月初, 在涡度场上印度夏季风槽主要表现为正涡度的增加, 而且是渐进的。这两个季风槽强度变化不太大, 都是在 6 月份和 8 月份偏强。而从位置特征看这两个季风槽都较为稳定, 尤其是印度季风槽。在撤退方面, 南海夏季风槽撤退缓慢, 维持到 10 月份才出现明显的南撤; 而印度夏季风槽在 9 月份就撤退到 10°N 以南, 撤退十分迅速。总的来说, 南海夏季风槽爆发早且突然, 撤退缓慢, 维持时间长; 印度夏季风槽则是渐进式的爆发, 撤退迅速, 维持时间较短。

从温度场的演变特征可以看出, 南海夏季风槽和印度夏季风槽建立后相应地区的温度均是降低的, 这主要是由于季风爆发、季风槽建立后的季风降水以及因西风加强、蒸发冷却造成的。湿度场的演变特征则体现出当南海夏季风槽和印度夏季风槽建立时都有湿度带的北扩与之对应, 在整个夏季风槽的生命史中, 都对应着湿度的大值带, 不过印度夏季风槽的强度优势使得印度夏季风的湿区也比较大、比较强, 而且湿度变化也较南海地区快。

参考文献 (References)

- [1] 金祖辉, 陈隆勋. 夏季东亚季风环流系统的中期变化及印度季风系统的相互关系. 全国热带夏季风学术会议论文集, 昆明: 云南人民出版社, 1982. 204~215
Jin Zuhui, Chen Longxun. On the medium-range oscillation of the East Asian monsoon circulation system and its relation with the Indian monsoon system. In: *The National Symposium Collections on the Tropical Summer Monsoon* (in Chinese). Kunming: People's Press of Yunnan Province, 1982. 204~215
- [2] Tao Shiyan, Chen Longxun. A review of recent research on the East Asian summer monsoon in China. *Monsoon Meteorology*, Chang C P, and Krishnamurti T N, Eds. Oxford Uni-

- versity Press, 1987. 60~92
- [3] 黄真, 陶诗言. 1983 年亚洲夏季风爆发过程的诊断研究. 气象学报, 1992, **50**: 210~221
Huang Zhen, Tao Shiyan. Diagnostic study on the onset process of Asian monsoon during the summer of 1983. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1992, **50**: 210~221
- [4] Zhu Qiangen, He Jinhai, Wang Panxing. A study of the circulation differences between East Asian and Indian summer monsoons with their interaction. *Adv. Atmos. Sci.*, 1986, **3**: 466~477
- [5] Krishnamurti T N. Tropical Meteorology, Compendium of Meteorology, Vol. II, Part 4. WMO-NO. 1979. 364 pp
- [6] 陈隆勋, 金祖辉. 夏季东亚季风环流系统中起变化的南北半球相互作用. 全国热带夏季风学术会议文集. 昆明: 云南人民出版社, 1983. 218~231
Chen Longxun, Jin Zuhui. On the interaction of circulations between the two hemispheres in the East Asian monsoon circulation system during summer. In: *The National Symposium Collections on the Tropical Summer Monsoon* (in Chinese). Kunming: People's Press of Yunnan Province, 1983. 218~231
- [7] 王启伟. 东亚季风的气候学研究. 北京大学博士学位论文, 1995
Wang Qiyi. Study on East Asian monsoon climatology. Ph. D. dissertation (in Chinese), Peking University. 1995
- [8] Wang Bin, Wu Renguang. Peculiar temporal structure of the South China Sea summer monsoon. *Adv. Atmos. Sci.*, 1997, **14**: 177~193
- [9] Lim Y-K, Kim K-Y. Temporal and spatial evolution of the Asian summer monsoon in the seasonal cycle of synoptic fields. *J. Climate*, 2002, **15**: 3630~3644
- [10] 张庆云. 夏季东亚季风与印度季风的关系. 东亚季风和中国暴雨. 北京: 气象出版社, 1998. 266~273
Zhang Qingyun. Relationship between East Asian monsoon and Indian monsoon during summer. *East Asian Monsoon and Torrential Rain in China* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1998. 266~273
- [11] Estoque M A. Structure of the mid-oceanic Intertropical Convergence Zone. *J. Meteor. Soc. Japan*, 1975, **53**: 317~321
- [12] Godbole R V, Ghosh S K. The structure of the ITCZ and equatorial westerlies during MONEX-1973. *Tellus*, 1975, **27**: 123~131
- [13] Fernandez-Partagas J, Estoque M A. Characteristics of the ITCZ over the eastern Pacific, 5 - 8 June 1979. *Mon. Wea. Rev.*, **113**: 99~105
- [14] Frank W M. The structure and energetics of the East Atlantic Intertropical Convergence Zone. *J. Atmos. Sci.*, 1983, **40**: 1916~1929
- [15] 蒋全荣, 余志豪. 南海及其邻近地区赤道辐合带的活动及其结构的个例分析. 热带环流和系统学术会议论文集. 北京: 海洋出版社, 1983. 105~119
Jiang Quanrong, Yu Zhihao. Some aspects of the ITCZ around the south China sea and a case analysis on its structure. *The Symposium Collections on Tropical Circulations and Systems* (in Chinese). Beijing: Ocean Press, 1983. 105~119
- [16] Lau K M, Yang S. Climatology and interannual variability of the Southeast Asian summer monsoon. *Adv. Atmos. Sci.*, 1997, **14**: 141~162
- [17] He Jinhai, Xu Haiming, Zhou Bing, et al. Large scale features of SCS summer monsoon onset and its possible mechanism. *Climatic Environ. Res.*, 2000, **5**: 333~344
- [18] Wang Bin, Lin Ho. Rainy season of the Asian-Pacific summer monsoon. *J. Climate*, 2002, **15**: 386~398
- [19] Matsumoto J. Seasonal transition of summer rainy season over Indochina and adjacent monsoon region. *Adv. Atmos. Sci.*, 1997, **14**: 231~245
- [20] 谢安, 刘霞, 叶谦. 南海夏季风爆发特征及其指数. 亚洲季风研究的新进展. 北京: 气象出版社, 1998. 132~142
Xie An, Liu Xia, Ye Qian. The climatic characteristics of summer monsoon onset over South China Sea. *The Recent Advances in Asian Monsoon Research* (in Chinese), He Jinhai Ed. Beijing: China Meteorological Press, 1998. 132~142
- [21] 李崇银, 张利平. 南海夏季风活动及其影响. 大气科学, 1999, **23**: 257~266
Li Chongyin, Zhang Liping. Summer monsoon activities in the South China Sea and its impacts. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 1999, **23**: 257~266
- [22] Webster P J, Yang S. Monsoon and ENSO: Selectively interactive systems. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1992, **118**: 877~926
- [23] 李崇银, 屈昕. 伴随南海夏季风爆发的大尺度大气环流演变. 大气科学, 2000, **24**: 1~14
Li Chongyin, Qu Xin. Large scale atmospheric circulation evolutions associated with summer monsoon onset in the South China Sea. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2000, **24**: 1~14
- [24] He Jinhai, Wang Lijuan, Xu Haiming. Abrupt change in elements around 1998 SCC summer monsoon establishment with analysis of its characteristic process. *Acta Meteorologica Sinica*, 2000, **14** (4): 426~432
- [25] Chen Longxun, Li Wei, Zhao Ping, et al. On the process of summer monsoon onset over East Asia. *Acta Meteor. Sinica*, 2001, **15** (4): 436~449