

杨辉, 李崇银, 潘静. 2011. 一次引发华南大暴雨的南海季风槽异常特征及其原因分析 [J]. 气候与环境研究, 16 (1): 1-14. Yang Hui, Li Chongyin, Pan Jing. 2011. Cause and anomalous characteristics of the South China Sea monsoon trough producing heavy rainfall in South China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 16 (1): 1-14.

一次引发华南大暴雨的南海季风槽 异常特征及其原因分析

杨辉¹ 李崇银^{1,2} 潘静¹

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 2007年8月10日第7号台风“帕布”在广东沿海消失后, 尾随而上的南海季风槽给华南沿海和台湾岛带来持续多日的暴雨和大暴雨。由于南海季风槽是华南最主要的降水系统, 因此研究了8月第3候引发华南大暴雨的南海季风槽的异常特征及其可能的原因。首先分析了季风槽的气候平均时空特征。研究表明低层辐合、高层辐散位于季风槽的南侧, 表现了季风槽独立的空间结构特征。南海季风槽强度8月中旬最强。对2007年季风槽的分析表明, 该年8月第3候的南海季风槽强度偏强, 低层正涡度、辐合以及高层辐散偏强。同时印度季风槽也偏强。南亚高压中心位于青藏高原上空并加强是整个亚洲季风槽增强的主要原因。青藏高原上空增温引起高空东风急流和低空西南季风的加强, 增加了华南沿海高空辐散和低空辐合, 对于南海季风槽的加强和维持起着重要的作用。此外, 西太平洋副热带高压位于日本上空并且强度偏强, 西风带长波槽偏强并向我国西南深入也有利于南海季风槽加强。南海季风槽具有30~60天季节内振荡特征, 30~60天大气季节内振荡对南海季风槽向北迁移及加强有重要影响。

关键词 南海季风槽 华南降水 原因

文章编号 1006-9585 (2011) 01-0001-14 **中图分类号** P732 **文献标识码** A

Cause and Anomalous Characteristics of the South China Sea Monsoon Trough Producing Heavy Rainfall in South China

YANG Hui¹, LI Chongyin^{1,2}, and PAN Jing¹

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 *Meteorological College, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101*

Abstract Atmospheric processes associated with the South China Sea (SCS) monsoon trough which caused the heavy rainfall in pentad 3 of August 2007 in South China are analyzed using the reanalysis data of NCEP and satellite images. The results indicate that the Asian summer monsoon trough has independent space structure, convergence in the low layers and divergence in the high layers are in the south of the Asian summer monsoon trough. The climate analysis shows that both the Indian monsoon trough and the SCS monsoon trough reach their maximum in Au-

收稿日期 2009-12-17收到, 2010-10-18收到修定稿

资助项目 国家重点基础研究发展规划项目 2009CB421401, 国家科技支撑计划课题 2009BAC51B02, 国家自然科学基金项目 40875049, NSFC-云南联合基金项目 U0833602

作者简介 杨辉, 女, 副研究员, 主要从事气候变化的研究。E-mail: yanghui@mail.iap.ac.cn

gust. The SCS monsoon trough in pentad 3 of August 2007 was located in South China coastal areas and had strong intensity. The convergence in the low layers and divergence in the high layers were also stronger. The Indian monsoon trough was also stronger. The strengthened South Asian high locating over the Tibetan Plateau is the main cause for the strengthening of the Asian monsoon trough. The subtropical high in the western Pacific is located over Japan and is intensified, which is propitious to the northward movement and the enhancing of the SCS monsoon and monsoon trough. The increased temperature over the Tibetan Plateau induces the stronger easterly in the upper levels, westerly in the low levels, and the enhancing convergence in the low layers and divergence in the high layers of the SCS monsoon trough. The long-wave trough in the westerly belt is intensified and extends to Southwest China, which causes the SCS monsoon trough to become stronger. The SCS monsoon trough has an intraseasonal period. The intraseasonal oscillation has an important effect on the northward movement and enhancement of the SCS summer monsoon trough.

Key words the SCS monsoon trough, precipitation in South China, cause

1 引言

亚洲季风是由南亚季风和东亚季风组成。进一步又将东亚季风分为南海季风和副热带季风 (Zhu et al., 1986; 何金海等, 2008)。季风槽是夏季地表面上形成并维持的气压较低的地带。由于季风槽是一个低压槽, 所以低层大气向这个地带辐合, 进而产生降水, 因而也是降雨区所在之处。印度季风槽是南亚季风系统中的辐合带, 南海季风槽是南海季风系统中的辐合带, 这两个季风槽都具有明显的热带辐合带特征。而梅雨锋是副热带季风系统中的辐合带。

印度季风槽的形成, 是由于西南季风受缅甸山脉的阻挡, 发生转向喜马拉雅山, 因此印度北部平原吹偏东风。这种气旋性风系统就形成了印度北部平原的准定常的低气压系统。印度季风槽线的平均位置与喜马拉雅山南麓大致平行, 东端位于孟加拉湾北部, 产生有组织的湿对流。西端位于拉贾斯坦邦和接壤的巴基斯坦, 产生浅云层的干对流。大约只有 30% 的季风槽在平均位置, 季风槽的位置有南北向移的周期变化, 也与季风的活动有一定关系。季风槽的位置对北印度降水的空间变化有重要影响。Krishnamurti and Subrahmanyam (1982) 发现南亚季风槽脊在缓慢北移中有 30~50 天的周期振荡, 南亚夏季风槽脊的 30~50 天周期性振荡及缓慢向北传播很可能是由 β 效应与对流凝结加热反馈共同作用所产生的移动性 CISK 波激发和驱动的 (王玉清, 1993)。关于印度季风槽的维持、边界层结构及模拟已有一些研究 (Keshavamurty and Awade, 1970; Goel and Srivastava, 1990;

Potty et al., 2001), 并且分析了引发南亚大暴雨过程的印度季风槽、季风低压的三维结构以及低压区域的涡度、水汽收支 (孔期等, 2005)。

从越南向东伸展的西南季风与西太平洋副热带高压脊所带来的东南风的辐合, 将构成南海季风槽。南海季风槽对台风的发生、发展以及季风低压的活动有重要作用 (谢义炳等, 1963; 容广坝和谭锐志, 1991; Chang et al., 1996; Lander, 1996; 高建芸等, 2008)。谭锐志和容广坝 (1991) 从结构特征、维持机制、内部能量转换特征等方面对陆地和海洋两类南海季风槽作了对比研究。季风槽不仅对初夏南海和华南地区的天气有重大影响 (王荫桐和彭洪, 1985), 也是华南后汛期 (7~9 月) 除了热带气旋之外的主要降水系统。南海季风槽伴随热带气旋登陆导致热带气旋降水强烈增幅的天气现象发生在盛夏季节 (卢生等, 2008)。7 月中旬以后西太平洋副热带高压脊线就一直稳定在 $33^{\circ}\text{N}\sim 35^{\circ}\text{N}$ 之间, 华南主要受印度西南季风和副热带高压南侧偏东风里的热带天气系统的影响 (吕梅等, 1998)。史学丽和丁一汇 (2000) 也指出, 7 月份的降水是在热带季风气流的辐合线上, 受热带系统影响导致暴雨过程。进一步黄忠等 (2005) 对广东后汛期季风槽暴雨期间的环流形势和天气系统进行了统计分析。

2007 年第 7 号热带风暴“帕布”于 8 月 5 日 14 时 (北京时间, 下同) 在菲律宾以东的洋面上生成, 8 月 6 日 14 时加强为强热带风暴, 强热带风暴“帕布”8 日 16 时减弱为热带风暴, 于 10 日 16 点左右在香港新界屯门附近沿海登陆, “帕布”于 8 月 10 日 18 时 30 分在中山市沿海地区再次登陆后继续向偏西方向移动, 并于 10 日夜间在江门

市境内减弱消失。受“帕布”和热带辐合带共同影响，广东南部地区发生强降水，雷州半岛南部降了特大暴雨。“帕布”消失后，在华南维持一个季风槽，给华南带来持续多日的暴雨和大暴雨，造成严重水灾。分析研究这次南海季风槽异常的特征和原因，进而寻求预测和预报的途经和方法，无疑是国家建设的重大需求。

潘静和李崇银（2006）曾对印度季风槽和南海季风槽的结构和演变特征作过初步分析，并对南海季风槽的年际变化、原因和影响作了研究（李崇银和潘静，2007）。在空间结构和演变特征上南海季风槽也与东亚副热带夏季风槽有明显区别（王黎娟等，2006）。由于季风槽是季风环流中最主要的降水系统，因此有必要进一步研究季风槽异常的原因和机理。我们选取 2007 年作为个例详细研究南海季风槽的时空演变特征、在 8 月中旬广东持续性强降水中的作用以及从整个大气背景场异常的角度分析南海季风槽异常发生的原因和机理。资料来自 NCAR/NCEP 的逐日再分析资料，做气候平均的时段是 1980~2004 年。

2 季风槽的气候平均特征

采用 850 hPa 涡度表示季风槽的位置和强度（潘静和李崇银，2006）。对于夏季（6~8 月）气候平均的情况，南海季风槽和印度季风槽都是对流层中、低层为正涡度，高层位于南亚高压的负涡度影响范围（图略）。图 1 给出了 850 hPa 印度季风槽（沿 $80^{\circ}\text{E}\sim 95^{\circ}\text{E}$ 平均）和南海季风槽（沿 $105^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 平均）的纬度时间剖面图。从图 1 可以看到，季风槽的强度随时间变化明显，在 8 月强度为最强。印度季风槽位置变化不大，中心位于 19°N 左右，强度分别在 6 月中旬、7 月中旬和 8 月中上旬达到峰值。南海季风槽位置变化明显，6 月位于 14°N 左右，8 月底北移到 17°N 左右，9 月有南退到 14°N 左右。强度的变化非常明显，8 月中旬和 9 月初是南海季风槽最强的时期。低层辐合强度也表现明显的时间变化，8 月辐合最强。低层辐合、高层辐散都位于季风槽的南侧（图 2），表现了季风槽独立的空间结构特征。

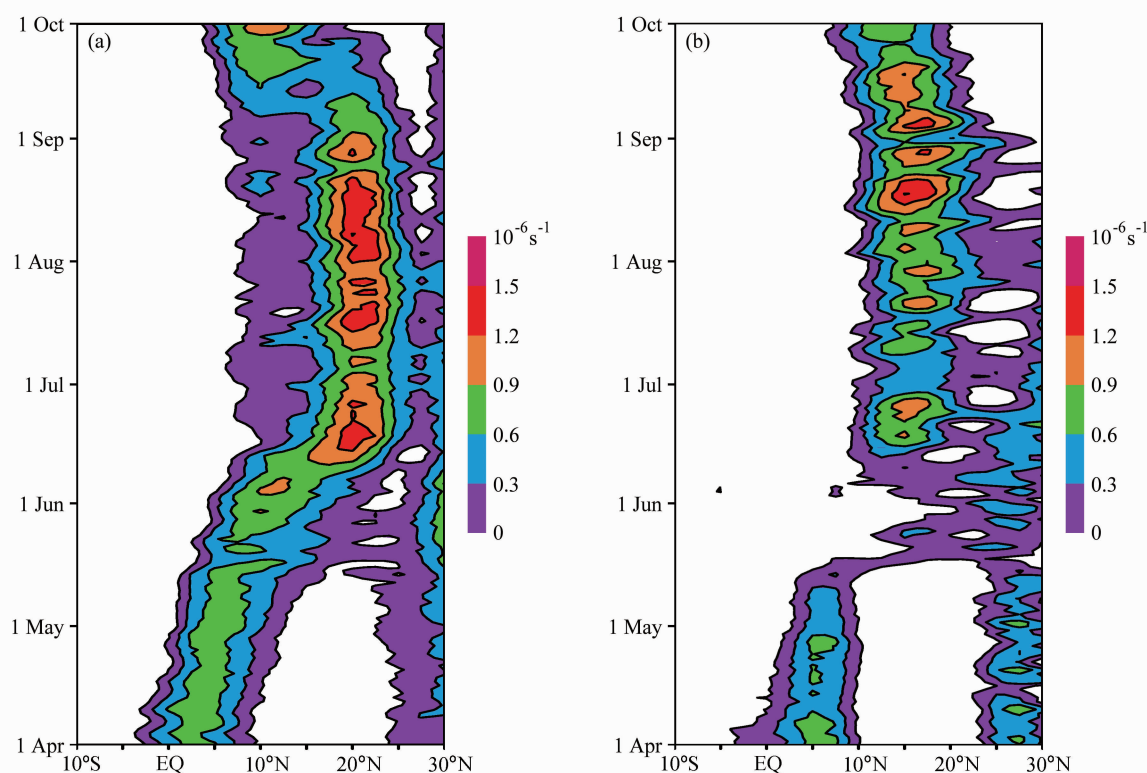


图 1 多年平均 850 hPa 涡度的纬度—时间剖面图：(a) 沿 $80^{\circ}\text{E}\sim 95^{\circ}\text{E}$ 平均；(b) 沿 $105^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 平均

Fig. 1 Latitude-time cross sections of the climatic 850-hPa vorticity averaged over (a) $80^{\circ}\text{E}\sim 95^{\circ}\text{E}$ and (b) $105^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{E}$

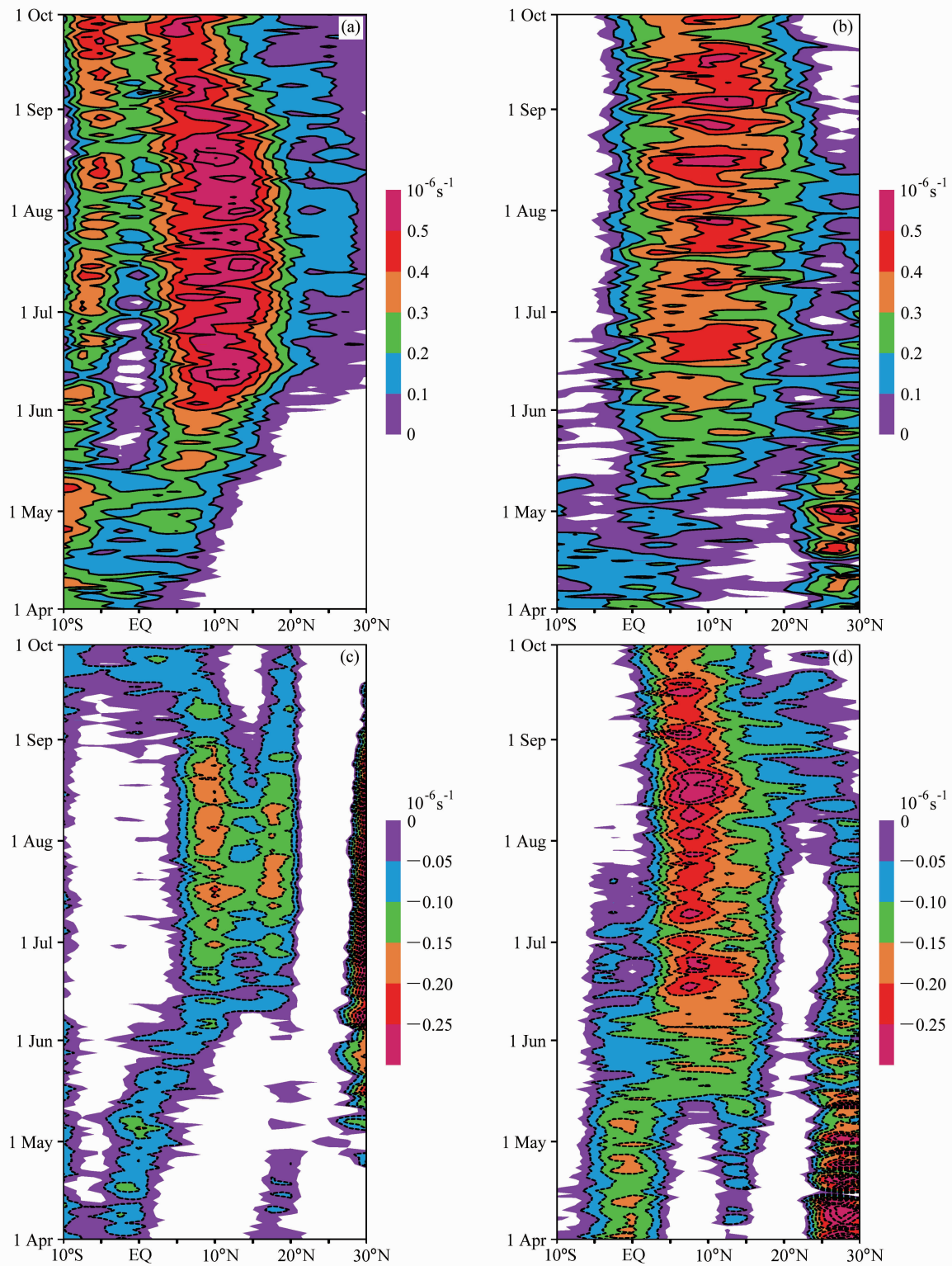


图2 多年平均 (a)、(b) 200 hPa 和 (c)、(d) 850 hPa 散度的纬度—时间剖面图: (a)、(c) 沿 80°E~95°E 平均; (b)、(d) 沿 105°E~120°E 平均

Fig. 1 Latitude-time cross sections of the climatic (a), (b) 200-hPa and (c), (d) 850-hPa divergence averaged over (a), (c) 80°E-95°E and (b), (d) 105°E-120°E

3 2007 年夏季季风槽的异常情况

3.1 云图分析

为了表示 2007 年 8 月中旬南海季风槽的活动，在图 3 中分别给出 2007 年 8 月 10~15 日 08 时 33 分日本静止卫星云图。可以看到，10 日一条

云带位于 20°N 附近的南海和台湾以东洋面，11 日云带向北移到华南沿海，12 日云带沿着海岸线位于华南和沿海上空，13 日云带断裂，但在广西和台湾及以南洋面云团加强，14 日云带建立，15 日云带加强，但位于海上，16 日云带明显减弱（图略），17 日云带消失，华南受季风槽的影响结束。因此台风登陆华南沿海减弱消失后在华南维

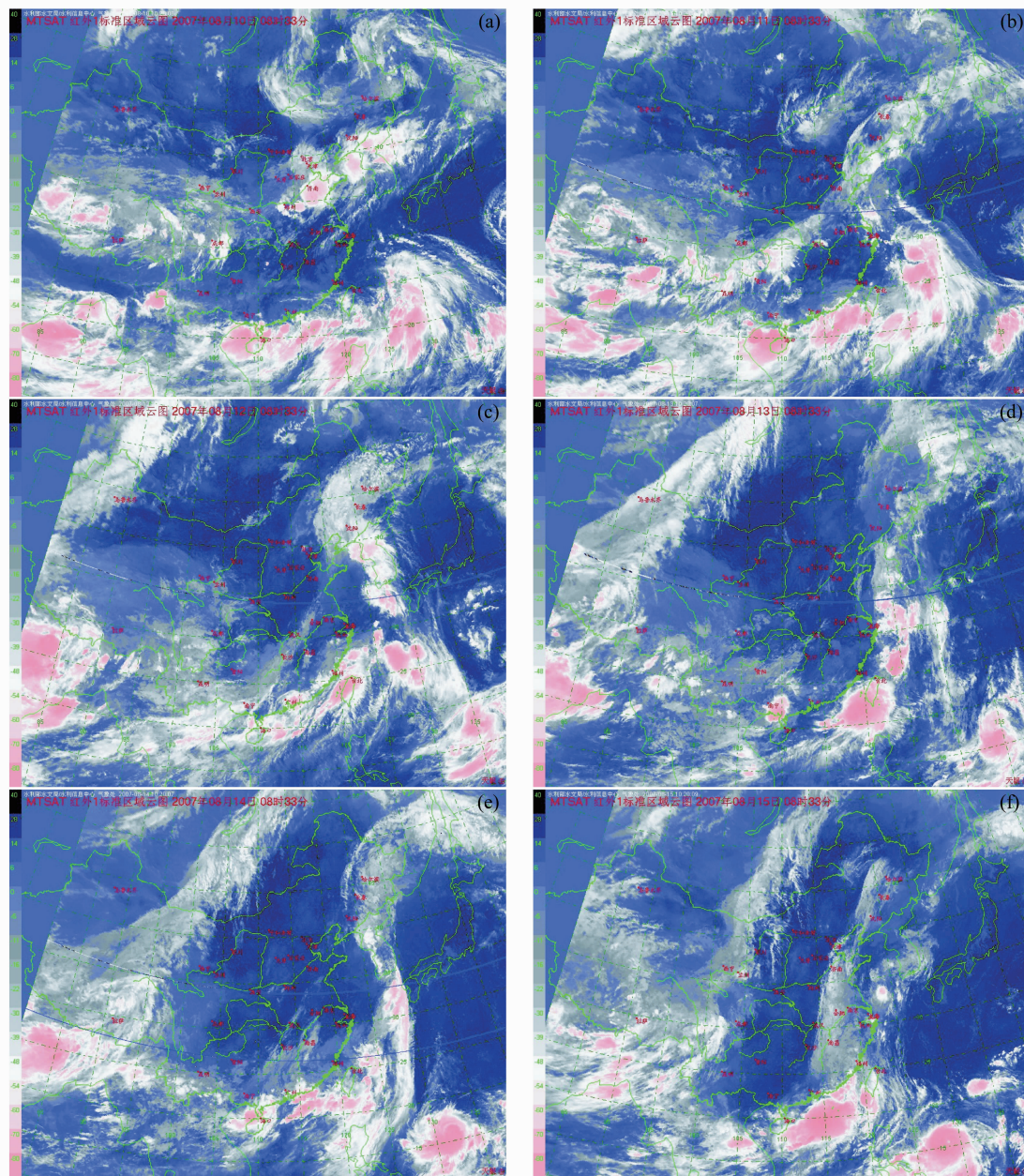


图 3 2007 年 8 月 10~15 日 08 时 33 分日本静止气象卫星云图（引自水利部水文局水利信息中心）：(a) 10 日；(b) 11 日；(c) 12 日；(d) 13 日；(e) 14 日；(f) 15 日

Fig. 3 Japan geostationary meteorological satellite cloud images at 0833 LST from 10 to 15 Aug 2007 (from Water Resources Information Center, the Ministry of Water Resources of China): (a) 10 Aug; (b) 11 Aug; (c) 12 Aug; (d) 13 Aug; (e) 14 Aug; (f) 15 Aug

持一个季风槽, 给华南造成持续多日的暴雨和大暴雨。

3.2 季风槽的活动情况

图 4 是 2007 年 4~9 月 $80^{\circ}\text{E}\sim 95^{\circ}\text{E}$ 平均和

$105^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 平均的 850 hPa 涡度的时间—纬度剖面图, 分别表示印度季风槽和南海季风槽的强度。可以看出, 2007 年夏季南海出现了 3 次主要季风槽活跃期, 分别在 6 月下旬至 7 月上旬、8 月

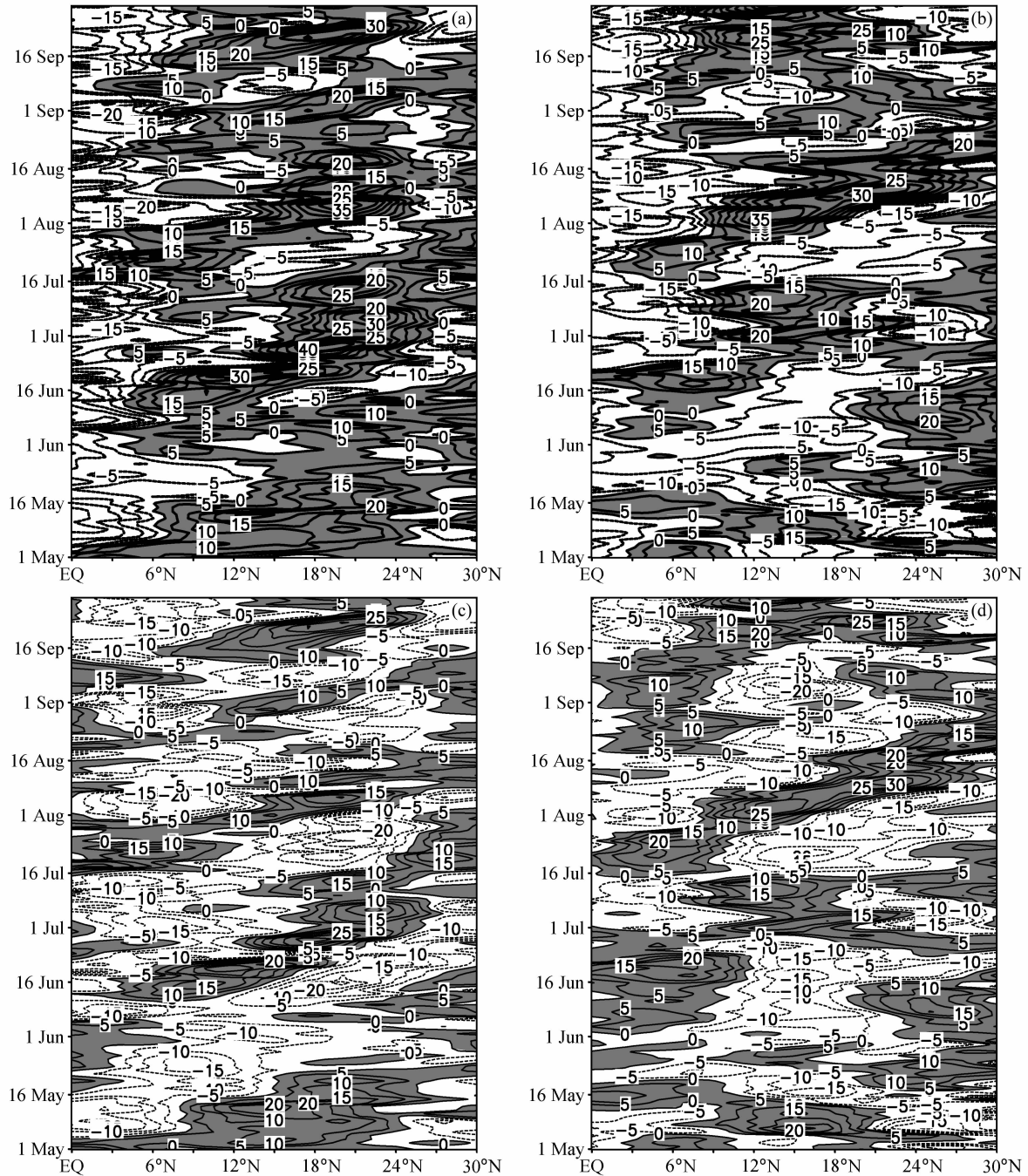


图 4 2007 年 5~9 月 850 hPa (a)、(b) 涡度 (单位: 10^{-6} s^{-1}) (c)、(d) 及其距平 (单位: 10^{-6} s^{-1}) 的纬度—时间剖面图: (a)、(c) 沿 $80^{\circ}\text{E}\sim 95^{\circ}\text{E}$ 平均; (b)、(d) 沿 $105^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 平均

Fig. 4 Latitude-time cross section of 850-hPa (a), (b) vorticity (10^{-6} s^{-1}) and (c), (d) its anomaly (10^{-6} s^{-1}) from May to Sep 2007 averaged over (a), (c) $80^{\circ}\text{E}\sim 95^{\circ}\text{E}$ and (b), (d) $105^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{E}$

上半月和 9 月下半月, 其他时间季风槽或者间断或者不活跃, 表现明显的季节内时间尺度的变化。其中 8 月这次季风槽的强度最强, 并且影响到华南地区。8 月初季风槽在南海南部建立, 随后向北移到华南上空并稳定维持, 带来持续性暴雨。从图 5 给出的 2007 年 8 月的风场分布可以看到, 8 月第 3 候强偏南气流和季风槽登陆华南沿海, 南海季风云团涌到华南上空, 造成强烈降水。

8 月第 2 候南海季风槽位于南海北部, 距平风场显示南海北部为气旋式距平环流, 表示南海季风槽异常偏强 (图 5a、b)。8 月第 3 候华南上空为气旋环流和气旋式距平环流, 表示南海季风槽北移到华南并且强度偏强 (图 5c、d)。8 月第 4 候气旋环流和气旋式距平环流南移到海上, 南海季风槽对华南的影响结束 (图 5e、f)。印度季风槽在 8 月第 2 候强度最强, 表现为印度北部存在明显的气旋环流和气旋式距平环流。8 月第 3

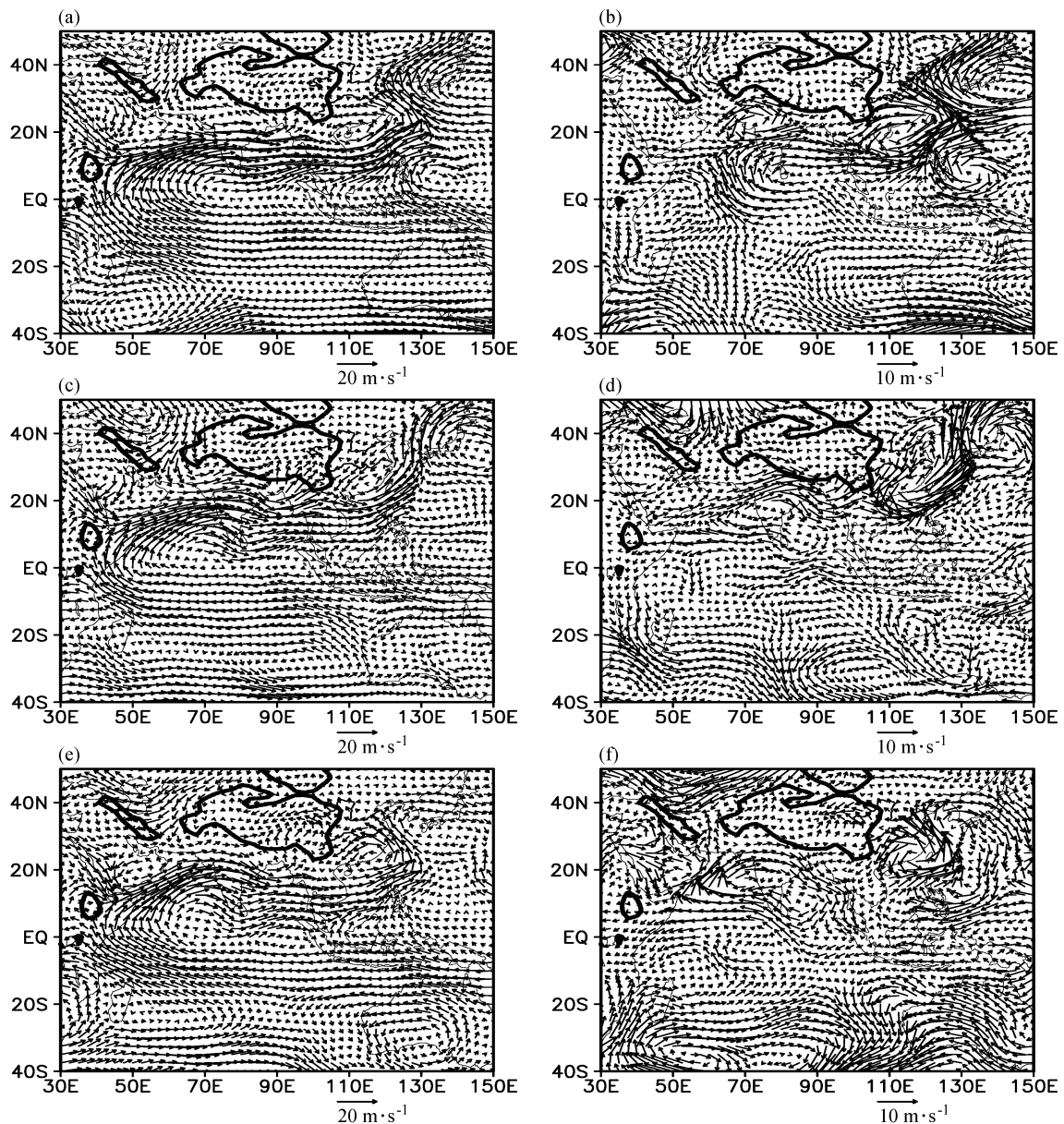


图 5 2007 年 850 hPa 风场 (左列) 和风场距平 (右列): (a)、(b) 8 月第 2 候; (c)、(d) 8 月第 3 候; (e)、(f) 8 月第 4 候

Fig. 5 Wind (left column) and its anomaly (right column) at 850 hPa in (a), (b) pentad 2, (c), (d) pentad 3, and (e), (f) pentad 4 of Aug 2007

候和第 4 候, 印度季风槽位于西藏高原的南侧, 西藏高原南侧距平气流也有明显的气旋性切变, 说明印度季风槽在这段时间都是偏强的。图 4 的 850 hPa 涡度纬度—时间剖面图清楚地表示印度季风槽的季节内振荡非常明显, 南海季风槽和印度季风槽的变化几乎是同位相的, 南海季风槽的偏强, 同时印度季风槽也偏强。从图 5 还可以看到, 8 月第 2~3 候从印度洋到南海整个西南季风都是偏强的, 也就是说西南季风强, 南海季风槽也强, 说明西南季风对南海季风槽具有加强的作用。所以 8 月第 3 候南海季风槽的加强是在整个亚洲西南季风和季风槽偏强的大背景下产生的。

4 南海季风槽加强的成因分析

上面的分析表明南海季风槽加强是在整个亚洲西南季风和季风槽偏强的大背景下产生的。但南海季风槽的异常必然有一定的大气环流系统的异常与之相配合。因此, 我们首先分析可能引起南海季风槽加强的大气环流异常形势。

4.1 高层大气环流异常

在图 6 中分别给出了 100 hPa 高度和距平场形势。从图 6 清楚看到, 在 2007 年 8 月, 南亚高压强度和位置的变化及异常是十分显著的。8 月 1~3 候, 南亚高压中心位于西藏上空, 8 月第 4 候, 南亚高压中心移到青藏高原的东北侧。8 月第 1 候 (图 6a), 南亚高压中心强度只有 1684 dagpm 左右, 整个南亚高压强度为负距平; 8 月第 2 候, 即在南海季风槽登陆华南的前 1 候 (图 6b), 南亚高压强度开始增强, 1684 dagpm 线扩展到整个青藏高原, 东伸到 105°E 左右, 中心强度大于 1688 dagpm, 高压中心附近为正距平, 同时印度季风槽达到最强; 8 月第 3 候 (图 6c), 南亚高压东脊西退, 1684 dagpm 线西退到 95°E 左右, 但高压中心附近仍为正距平, 中心强度大于 1688 dagpm, 此时南海季风槽加强并维持在华南沿海; 8 月第 4 候 (图 6d), 南亚高压移到青藏高原的东北侧, 强度减弱, 高原上变为负异常, 印度季风槽和南海季风槽减弱。因此南亚高压中心位于青藏高原上空并加强有利于整个亚洲季风槽增强。

图 7 给出了 8 月第 2~4 候 200 hPa 风场和辐散场。由于南亚高压增强, 南侧东风气流中的高空辐散加大, 有利于季风槽的维持和发展 (图 7a)。在南海季风槽登陆华南时 (图 7b), 西风带长波槽脊发展, 青藏高原上空为长波脊, 而东 (110°E)、西 (60°E) 两侧为长波槽, 日本海为长波脊, 并形成闭合的高压环流。110°E 附近的长波槽强烈加深, 其南端可伸到华南北部。从图 7b 看, 华南沿海高层辐散加强并维持一个非常明显的反气旋闭合环流。因此西风大槽前的西风急流有利于产生南海季风槽的高层辐散以及高层反气旋切变。而南亚高压的发展引起的东风急流的发展同样为增加了华南沿海高层辐散以及高层反气旋切变, 有利于南海季风槽加强 (尤丽钰等, 1990)。8 月第 4 候 (图 7c), 随着东风气流中的高空辐散位于南海及其附近和强度的减弱, 南海季风槽南退到海上并减弱。

4.2 中层大气环流异常

图 8 分别是 2007 年 8 月第 2~4 候 500 hPa 高度和距平场形势。从图 8 我们可以看到, 西太平洋副热带高压位于日本附近, 并且有明显的正距平, 这说明副热带高压明显偏强。8 月第 4 候, 副热带高压脊西伸, 南海季风槽强度减弱。

同时, 从图 8 我们还可以看到西风带长波槽、脊的发展十分明显。在 8 月第 3 候 (图 8b), 我国东部为长波槽, 南海季风槽正好在长波槽的底部, 我国东部一直维持着负的高度距平, 表明长波槽偏强。长波槽的持续偏强并向西南深入, 使得槽后的偏北气流进入季风槽, 加强了低层的辐合, 同时冷空气的输入也有利于位势不稳定, 对于南海季风槽的加强和维持也起着重要的作用。而在青藏高原上空为西风带长波脊, 因此南亚高压中心对应的 200 hPa 以下是下沉运动。空气下沉增温和晴空条件下的辐射加热, 使得气温持续异常偏高。上升运动位于季风槽上空 (图略)。随着西风带槽、脊的东移, 西风带长波脊控制我国东部, 南海季风槽减弱 (图 8c)。

4.3 温度场的异常

图 9 是 200~500 hPa 平均温度的水平分布。8 月第 1 候, 青藏高原上空是 -24 °C 等温线控制 (图 9a)。8 月第 2 候, 即在南海季风槽加强的前一候, 青藏高原上空开始增温, -24 °C 等温线范

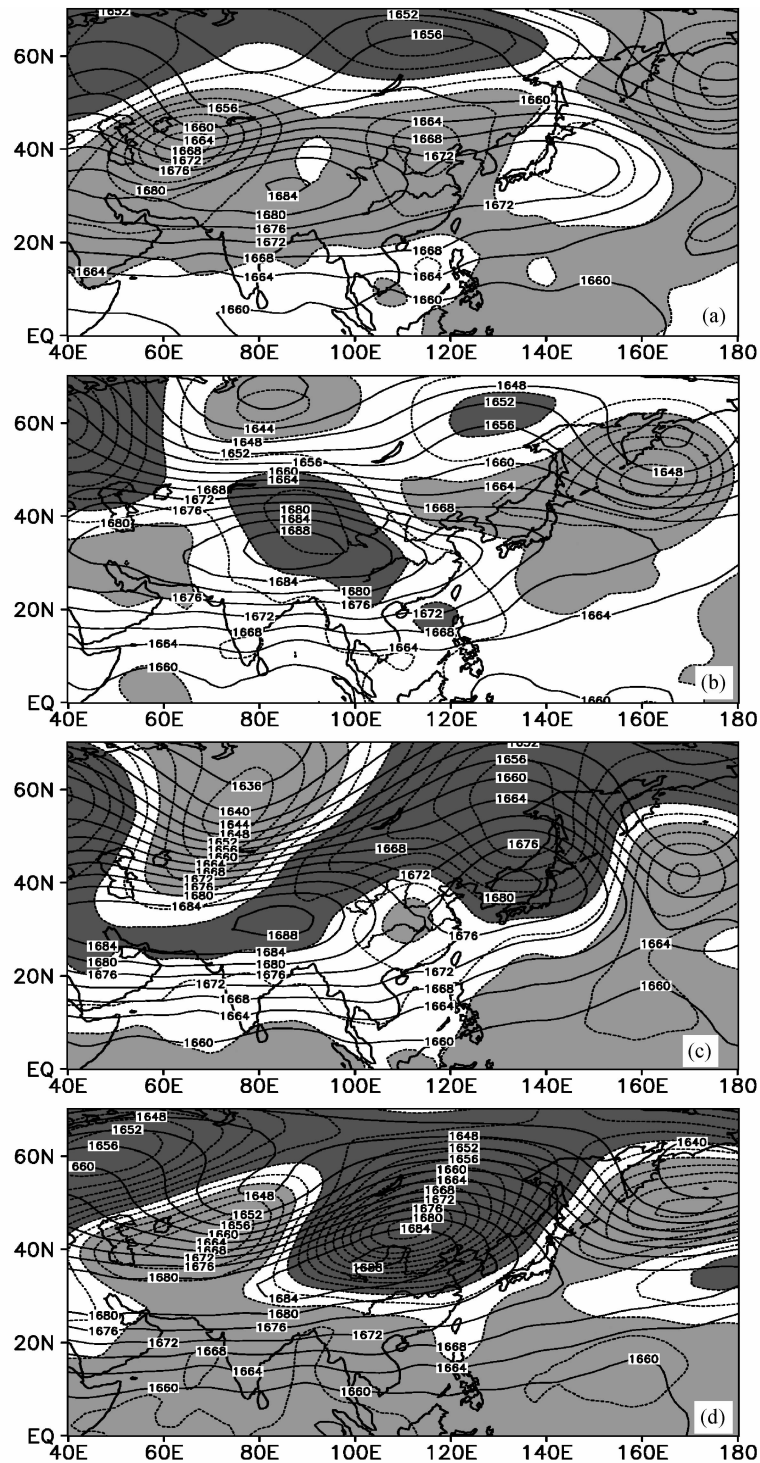


图6 2007年100 hPa位势高度(实等值线,等值线间隔为4 dagpm)和异常位势高度场(虚等值线,等值线间隔为2 dagpm,深阴影区 ≥ 2 ,浅阴影区 ≤ -2 dagpm): (a) 8月第1候; (b) 8月第2候; (c) 8月第3候; (d) 8月第4候

Fig. 6 Geopotential height (solid contour spacing 4 dagpm) and its anomaly (dashed contour spacing 2 dagpm, the dark shading ≥ 2 dagpm, the light shading ≤ -2 dagpm) at 100 hPa in (a) pentad 1, (b) pentad 2, (c) pentad 3, and (d) pentad 4 of Aug 2007

围明显扩大,并出现 -22°C 等温线(图9b)。8月第3候,即在南海季风槽最强时, -22°C 等温

线范围明显扩大(图9c)。南海季风槽减弱时,即8月第4候,青藏高原上空开始降温, -22°C 等

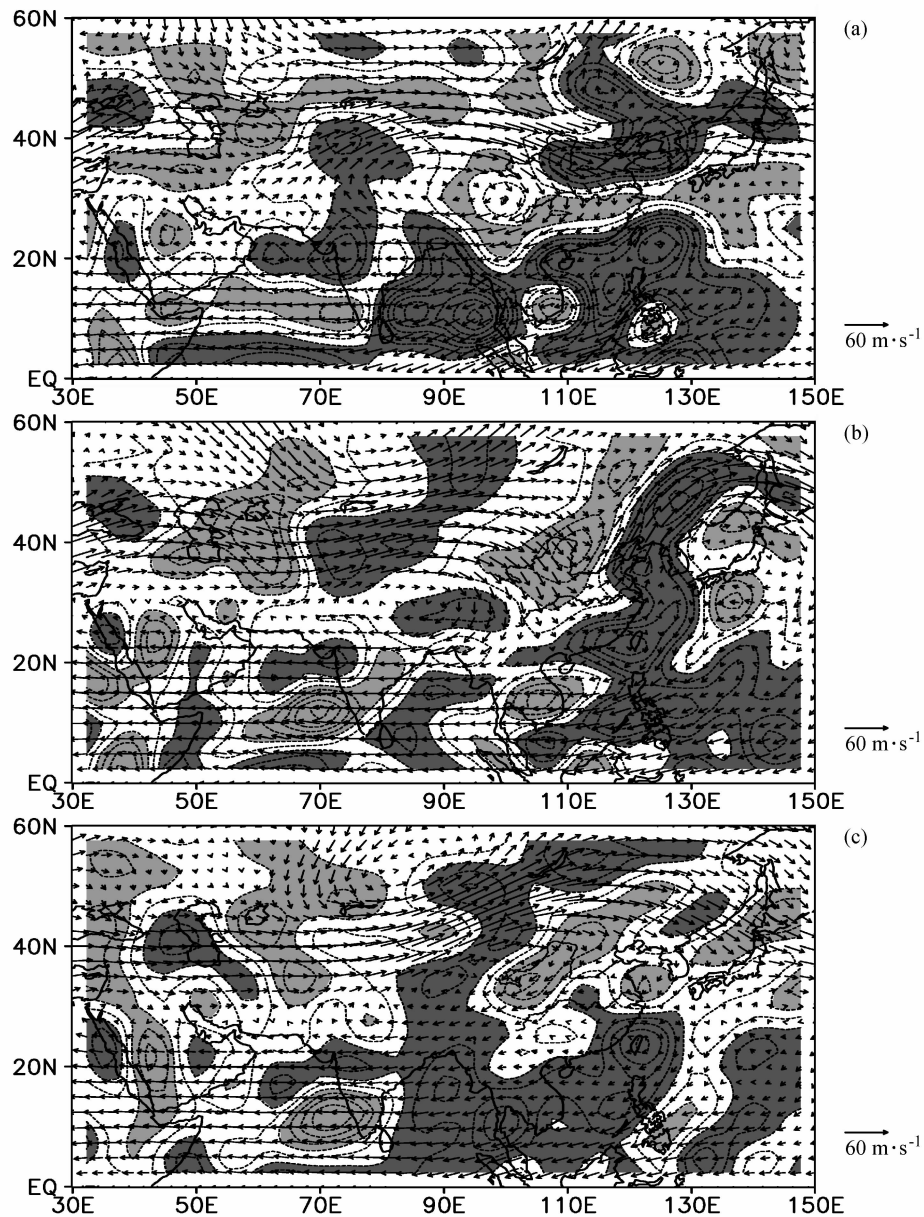


图7 2007年200 hPa风场和散度场(等值线间隔为 $2 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$, 深阴影区 $\geq 2 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$, 浅阴影区 $\leq -2 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$): (a) 8月第2候; (b) 8月第3候; (c) 8月第4候

Fig. 7 Wind and divergence (contour spacing $2 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$, the dark shading $\geq 2 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$, the light shading $\leq -2 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$) at 200 hPa in (a) pentad 2, (b) pentad 3, and (c) pentad 4 of Aug 2007

温线消失(图9d)。这种增温不仅在高原低层,在整个对流层增温都是明显的(图略)。这种热力结构的变化,必然产生偏东热成风,使低层西南风、高层东北风加强。从图5的距平风可以看到,青藏高原上空温度最强的8月2~3候,西南季风异常偏强。而西南季风的偏强引起季风北侧气流气旋性辐合增强,也是南海季风槽加强的原因之一。

4.4 大气季节内振荡

从图4涡度及其距平的时间—纬度剖面可以看到,季风槽的季节内变化十分明显。为了清楚地显示季节内振荡对南海季风槽的作用,图10给出了2007年850 hPa低频纬向风沿 $105^\circ\text{E} \sim 120^\circ\text{E}$ 平均的纬度—时间剖面。从图10看,季节内振荡经向传播明显,正位相对应南海季风槽的加强。季节内振荡不仅有向北的传播,而且在南海北部

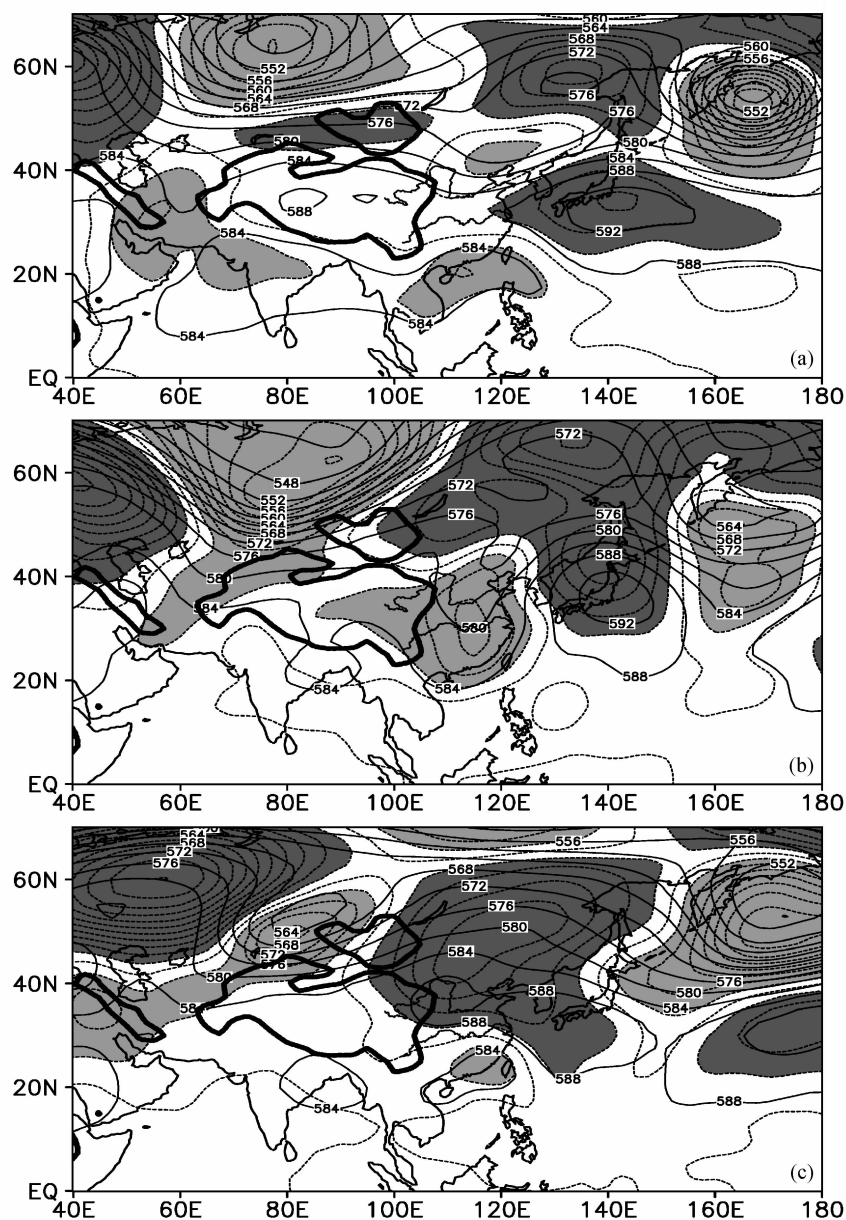


图 8 2007 年 500 hPa 高度 (实等值线, 等值线间隔为 4 dagpm) 及其异常场 (虚等值线, 等值线间隔为 2 dagpm, 深阴影区 ≥ 2 dagpm, 浅阴影区 ≤ -2 dagpm): (a) 8 月第 2 候; (b) 8 月第 3 候; (c) 8 月第 4 候

Fig. 8 Geopotential height (solid contour spacing 4 dagpm) and is anomaly (dashed contour spacing 2 dagpm, the dark shading ≥ 2 dagpm, the light shading ≤ -2 dagpm) at 500 hPa in (a) pentad 2, (b) pentad 3, and (c) pentad 4 of Aug 2007

局地加强。季节内振荡加强和北移有利于南海季风槽的加强和北移。但季节内振荡纬向传播不明显 (图略)。

2007 年 850 hPa 低频环流形势 (图 11) 主要表现为, 8 月第 1 候从印度中部到南海中部上空为一个低频气旋性环流 (LFC), 而日本的东南海域上空为一个低频反气旋 (LFAC)。华南及其附近受这对 LFC 和 LFAC 之间的低频东风影

响。8 月第 2 候, LFC 北移并加强, 其中低频西风的加强是十分明显的。西北太平洋上 LFAC 也开始加强。8 月第 3 候南海上空的 LFC 北移到华南沿海, 强度进一步增强。而印度上空的 LFC 开始减弱。8 月第 4 候南海上空的 LFC 继续北移北侧并减弱。可见 LFAC 是副热带高压位置位于日本的东南海域上空的重要原因。因此这种低频环流形势有利于南海季风槽的北移和加强, 南海季

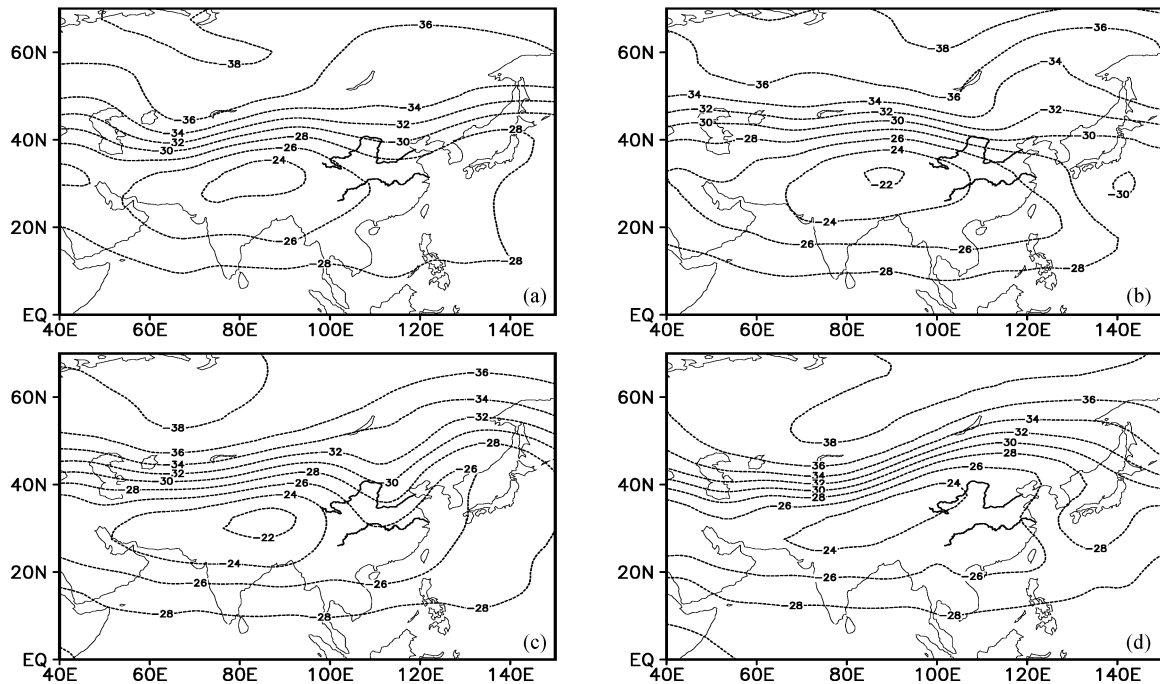


图9 2007年200~500 hPa平均温度(单位:°C): (a) 8月第1候; (b) 8月第2候; (c) 8月第3候; (d) 8月第4候

Fig. 9 200–500 hPa layer mean temperature (°C) in (a) pentad 1, (b) pentad 2, (c) pentad 3, and (d) pentad 4 of Aug 2007

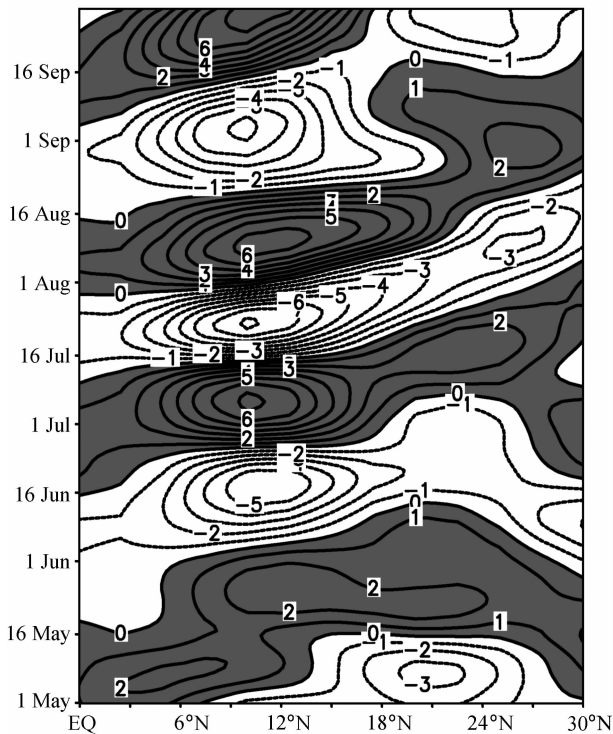


图10 2007年850 hPa低频纬向风沿105°E~120°E平均的纬度-时间剖面图

Fig. 10 Latitude-time cross section of 30–60 day band pass filtered zonal wind at 850 hPa averaged over 105°E–120°E

风槽易于随着LFC向北移动,并在我国华南维持和加强。

5 结语

2007年8月10日台风“帕布”给华南带来了强降水,同时尾随而上的南海季风槽给华南沿海和台湾岛带来持续多日的暴雨和大暴雨。本文对2007年8月第3候引发华南大暴雨的南海季风槽的特征及原因进行了分析研究,得到了以下一些值得注意的结果:

(1) 低层辐合、高层辐散位于季风槽的南侧,表现了季风槽独立的空间结构特征;印度季风槽和南海季风槽的强度随时间有明显的变化,从气候平均看,8月中强度最强。

(2) 2007年8月第3候的南海季风槽强度强,低层辐合以及高层辐散偏强。同时印度季风槽也偏强。此次南海季风槽的加强是在整个亚洲西南季风和季风槽偏强的大背景下产生的。南亚高压中心位于青藏高原并加强是亚洲季风槽增强的主要原因。南亚高压的发展引起的东风急流的发展增加了华南沿海的辐散,有利于南海季风槽加强。

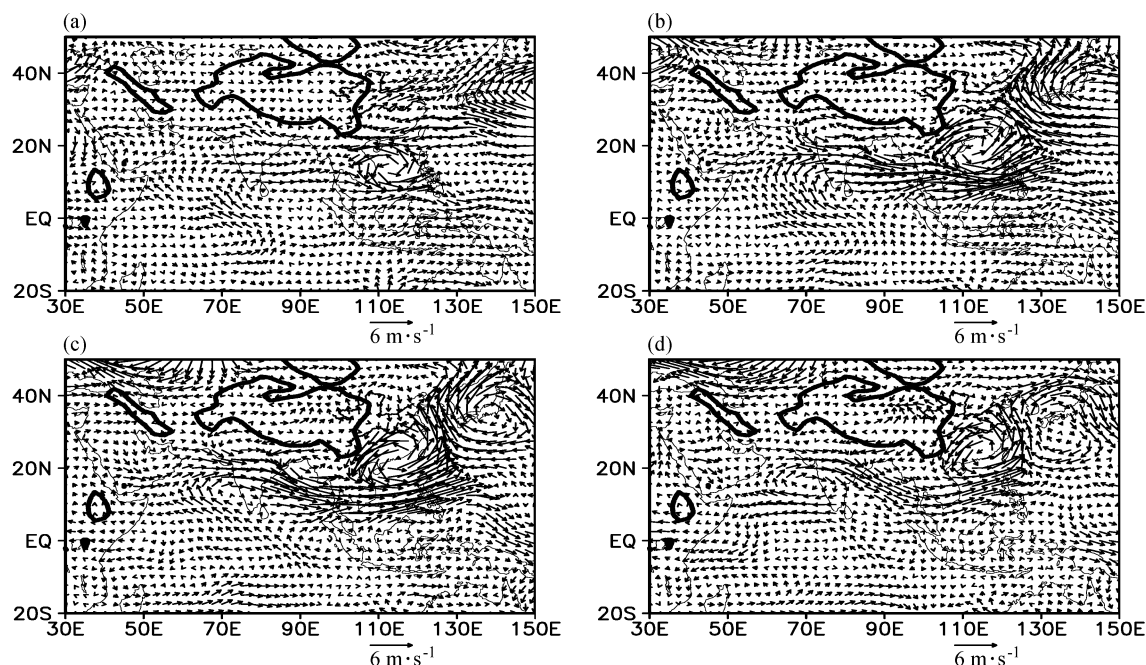


图 11 2007 年 850 hPa 低频风场：(a) 8 月第 1 候；(b) 8 月第 2 候；(c) 8 月第 3 候；(d) 8 月第 4 候

Fig. 11 30–60 d band pass filtered wind vector at 850 hPa in (a) pentad 1, (b) pentad 2, (c) pentad 3, and (d) pentad 4 of Aug 2007

(3) 西太平洋副热带高压位于日本上空并偏强，亚洲东部是东高西低的气压环境。西南季风偏强以及西风带长波槽偏强并向西南深入是引起南海季风槽加强的直接原因。8 月第 3 候，西风带长波槽脊发展，青藏高原上空为长波脊，而东 (110°E)、西 (60°E) 两侧为长波槽。 110°E 附近的长波槽强烈加深，其南端可伸到华南北部，西风大槽前的西风急流有利于南海季风槽的高层辐散以及高层反气旋切变。青藏高原上空空气下沉增温和晴空条件下的辐射加热，使得气温持续异常偏高。这种热力结构的变化，必然产生偏东热成风，使低层西南风、高层东北风加强。而西南季风的偏强引起季风北侧气流气旋性辐合增强，也是南海季风槽加强的主要原因。

(4) 南海季风槽具有 30~60 天季节内振荡特征，季节内振荡对南海季风槽向北迁移及加强有重要影响。南海上空低频气旋性环流的加强和北移有利于南海季风槽的加强和北移，而日本的东南海域上空为一个低频反气旋，有利于副热带高压的稳定维持。

参考文献 (References)

- Chang C P, Chen J M, Harr P A, et al. 1996. Northwestward propagating wave patterns over the tropical western North Pacific during summer [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 124: 2245–2266.
- 高建芸, 张秀芝, 江志红, 等. 2008. 西北太平洋季风槽异常与热带气旋活动 [J]. *海洋学报*, 30 (3): 35–47.
- Gao Jianyun, Zhang Xiuzhi, Jiang Zhihong, et al. 2008. Anomalous western North Pacific monsoon trough and tropical cyclone activities [J]. *Acta Oceanologica Sinica* (in Chinese), 30 (3): 35–47.
- Goel M, Srivastava H N. 1990. Monsoon trough boundary layer experiment (MONTBLEX) [J]. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 71: 1584–1600.
- 何金海, 赵平, 祝从文, 等. 2008. 关于东亚副热带季风若干问题的讨论 [J]. *气象学报*, 66 (5): 683–696.
- He Jinhai, Zhao Ping, Zhu Congwen, et al. 2008. Discussions on the East Asian subtropical monsoon [J]. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 66 (5): 683–696.
- 黄忠, 张东, 林良勋. 2005. 广东后汛期季风槽暴雨天气形势特征分析 [J]. *气象*, 31 (9): 19–23.
- Huang Zhong, Zhang Dong, Lin Liangxun. 2005. Synoptic analysis of heavy rain related to monsoon trough in the latter flood season of Guangdong [J]. *Meteorological Monthly* (in Chinese), 31 (9): 19–23.
- Keshavamurty R N, Awade S T. 1970. On the maintenance of the mean monsoon trough over North India [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 98 (4): 315–320.
- Krishnamurti T N, Subrahmanyam D. 1982. The 30–50 day mode at 850 mb during MONEX [J]. *J. Atmos. Sci.*, 39: 2088–2095.
- 李崇银, 潘静. 2007. 南海夏季风槽的年际变化和影响研究 [J].

- 大气科学, 31 (6): 1049-1058. Li Chongyin, Pan Jing. 2007. The interannual variation of the South China Sea summer monsoon trough and its impact [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 31 (6): 1049-1058.
- 孔期, Rasul G, 赵思雄. 2005. 一次引发南亚大暴雨的季风低压结构、涡度与水汽收支分析 [J]. 气候与环境研究, 10 (3): 526-542. Kong Qi, Rasul G, Zhao Sixiong. 2005. Study of the structure, vortex budget, and moisture supply of a monsoon depression producing heavy rainfall in South Asia [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 10 (3): 526-542.
- Lander M A. 1996. Specific tropical cyclone track types and unusual tropical cyclone motions associated with a reverse-oriented monsoon trough in the western North Pacific [J]. Mon. Wea. Rev., 11 (2): 170-186.
- 卢生, 吴乃庚, 薛登智. 2008. 南海季风槽影响下热带气旋暴雨增幅的研究 [J]. 气象, 34 (6): 53-59. Lu Shan, Wu Naigeng, Xue Dengzhi. 2008. Research on the enhancement of tropical cyclone rainstorm influenced by monsoon trough of South China Sea [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 34 (6): 53-59.
- 吕梅, 成新喜, 陈中一, 等. 1998. 1994 年华南暴雨期间夏季季风槽暴雨的特征及其对水汽的输送 [J]. 热带气象学报, 14 (2): 135-141. Lü Mei, Cheng Xinxi, Chen Zhongyi, et al. 1998. The character of summer monsoon and its transport to moisture in the range of South China heavy rain of 1994 [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 14 (2): 135-141.
- 潘静, 李崇银. 2006. 夏季南海季风槽与印度季风槽的气候特征之比较 [J]. 大气科学, 30 (3): 377-390. Pan Jing, Li Chongyin. 2006. Comparison of climate characteristics between two summer monsoon troughs over the South China Sea and India [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 30 (3): 377-390.
- Potty K V J, Mohanty U C, Raman S. 2001. Simulation of boundary layer structure over the Indian summer monsoon trough during the passage of a depression [J]. Journal of Applied Meteorology, 40 (7): 1241-1254.
- 容广坝, 谭锐志. 1991. 初夏南海季风低压发展的数值试验 [J]. 大气科学, 15 (4): 79-86. Rong Guangxun, Tan Ruizhi. 1991. Numerical experiment on development of monsoon depression over the South China Sea in early summer [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 15 (4): 79-86.
- 史学丽, 丁一汇. 2000. 1999 年中国华南大范围暴雨过程的形成与夏季风活动的研究 [J]. 气象学报, 58 (6): 666-678. Shi Xueli, Ding Yihui. 2000. A study on extensive heavy rain processes in South China and the summer monsoon activity in 1994 [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 58 (6): 666-678.
- 谭锐志, 容广坝. 1991. 初夏华南两类季风槽的对比研究——1. 诊断分析 [J]. 热带气象学报; 7 (2): 49-59. Tan Ruizhi, Rong Guangxun. 1991. A comparative study for two kinds of monsoon trough over Southern China in early summer [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 7 (2): 49-59.
- 王荫桐, 彭洪. 1985. 初夏季风低槽活动与华南降水 [J]. 热带气象, 4: 340-349. Wang Yintong, Peng Hong. 1985. The relationship between monsoon trough and precipitation in South China during early summer [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 4: 340-349.
- 王玉清. 1993. β 效应和移动性 CISK 波与南亚夏季季风槽脊的活动 [J]. 大气科学, 17 (4): 385-394. Wang Yuqing. 1993. Movable CISK wave with β effect and the behavior of South Asia summer monsoon trough ridge [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 17 (4): 385-394.
- 王黎娟, 何金海, 管兆勇. 2006. 东亚副热带夏季季风槽的气候特征及其与南海夏季季风槽的比较 [J]. 气象学报, 64 (5): 583-593. Wang Lijuan, He Jinhai, Guan Zhaoyong. 2006. Climatological features of East Asian subtropical summer monsoon trough and its comparison with South China Sea summer monsoon trough [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 64 (5): 583-593.
- 谢义炳, 陈受钧, 张一良, 等. 1963. 东南亚基本气流与台风发生的一些事实的统计与分析 [J]. 气象学报, 33 (2): 206-221. Xie Yibing, Chen Shoujun, Zhang Yiliang, et al. 1963. A preliminarily statistic and synoptic study about the basic currents over southeastern Asia and the initiation of typhoons [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 33 (2): 206-221.
- 尤丽钰, 沈如桂, 冯志强. 1990. 高层辐散对热带季风发展的作用 [J]. 中山大学学报 (自然科学版), 29 (3): 168-176. You Liyu, Shen Rugui, Feng Zhiqiang. 1990. Effects of divergent fields in the upper troposphere to the development of summer monsoons in East Asia [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni (in Chinese), 29 (3): 168-176.
- Zhu Qianguan, He Jinhai, Wang Panxing. 1986. A study of circulation difference between East-Asian and Indian summer monsoon with their interactions [J]. Adv. Atmos. Sci., 3 (4): 466-477.