

# 2005 年夏季中国登陆台风的环流特征

刘舸<sup>1,2</sup> 张庆云<sup>1</sup> 孙淑清<sup>1</sup>

1 中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体物理学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029

2 中国科学院研究生院, 北京 100039

**摘 要** 利用 NCEP/NCAR 再分析资料和中国台风网提供的 2005 年台风资料, 研究了 2005 年夏季台风登陆及中国东部频发性台风暴雨的环流特征及南北半球环流系统的相互作用。2005 年夏季登陆我国的台风存在显著的阶段性变化, 即 6 月 10 日~7 月 11 日西太平洋无热带气旋生成, 7 月 12 日~9 月 30 日西太平洋热带气旋频繁活动, 造成登陆我国台风间隔时间短、频数高、强度强, 使得我国东部台风暴雨频繁发生。研究指出, 6 月 10 日~7 月 11 日西太平洋无热带气旋生成与西太平洋副热带高压位置偏南、越赤道气流较弱、东亚热带辐合带 ( $5^{\circ}\text{N}\sim 15^{\circ}\text{N}$ ,  $120^{\circ}\text{E}\sim 150^{\circ}\text{E}$ ) 对流偏弱有关。而在 7 月 12 日~9 月 30 日, 西太平洋热带气旋活动频繁与西风槽的多次南下、西太平洋副热带高压断裂(或东撤)、东亚热带辐合带对流加强有关。进一步研究发现, 气候平均态的西太平洋越赤道气流分别位于  $125^{\circ}\text{E}$  和  $145^{\circ}\text{E}$  附近, 2005 年夏季  $125^{\circ}\text{E}$  和  $145^{\circ}\text{E}$  附近的越赤道气流减弱, 然而在 7 月 12 日~9 月 30 日,  $130^{\circ}\text{E}\sim 135^{\circ}\text{E}$  附近的越赤道气流加强并维持时间较长。 $130^{\circ}\text{E}\sim 135^{\circ}\text{E}$  附近越赤道气流加强与澳大利亚高压东移以及  $140^{\circ}\text{E}\sim 180^{\circ}\text{E}$  赤道低压加深有关。

**关键词** 热带气旋 赤道辐合带 越赤道气流 澳大利亚高压 赤道低压

**文章编号** 1006-9895(2007)05-0909-10

**中图分类号** P444

**文献标识码** A

## The Circulation Characteristics of Frequent Activities of Typhoons over Eastern China during the Summer of 2005

LIU Ge<sup>1, 2</sup>, ZHANG Qing-Yun<sup>1</sup>, and SUN Shu-Qing<sup>1</sup>

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 *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049*

**Abstract** Landing typhoons exert important influence on the rainfall over eastern China. Several intense rainfalls over eastern China are caused by landing typhoons in 2005, moreover they are frequent after the middle of July. The activity of tropical cyclones (TCs) over the western North Pacific in 2005 has its own features. The frequency of tropical cyclogenesis in 2005 is a little less than the mean frequency (1951-2000). However, the intensity of tropical cyclone is stronger, and the percentage of the frequency of landing typhoons to the frequency of cyclogenesis is greater. These frequent landing typhoons result in intense rainfalls over eastern China. The activity of tropical cyclones can be divided into two phases: the first phase, less TC phase (10 June-11 July) and the second phase, more TC phase (12 July-30 September). To explain the above phenomenon, the climatological feature of rainfall caused by landing typhoon is studied, and the relationship between tropical cyclone activity and north (south) hemispherical low latitude circulations is primarily researched in this paper. The results show that, in the less TC phase, the

**收稿日期** 2006-03-21, 2006-05-26 收修定稿

**资助项目** 国家重点基础研究发展规划项目 2004CB418303, 中国科学院知识创新工程重要方向项目 KZCX3-SW-221, 国家自然科学基金资助项目 40523001

**作者简介** 刘舸, 男, 1976 年出生, 博士生, 主要从事天气、气候诊断和统计分析研究。E-mail: liuge@mail.iap.ac.cn

western Pacific subtropical high was more southern than normal, and it restrained the cross-equatorial flow. The convection over the inter-tropical convergence zone (ITCZ) ( $5^{\circ}\text{N} - 15^{\circ}\text{N}$ ,  $120^{\circ}\text{E} - 150^{\circ}\text{E}$ ) was weaker. Thus no TC originated in this phase. In the more TC phase (12 July - 30 September), the waves of westerly were frequent, the influence of trough of westerly wind was more southern than normal, the convection over the ITCZ was stronger, and the western Pacific subtropical high moved north and east accompanied by several breaks in the same phase. In brief, there were more TCs in this phase because of the influence of westerly trough, subtropical high and ITCZ. The reason why the above circulations occur in the more TC phase is studied. It is found that, there are two cross-equatorial flows in climatological average years, which are located near  $125^{\circ}\text{E}$  and near  $145^{\circ}\text{E}$ , respectively. However, in the more TC phase of 2005, the above two cross-equatorial flows weakened while the cross-equatorial flow near  $130^{\circ}\text{E} - 135^{\circ}\text{E}$  strengthened and was maintained. Moreover it is found when Australian high strengthened and moved east, the equatorial low deepened within  $140^{\circ}\text{E} - 180^{\circ}$ . The equatorial low and Australian high cooperated to strengthen the cross-equatorial flow near  $135^{\circ}\text{E}$ . The cross-equatorial flow activated the convection over the ITCZ. Due to that, TCs were more active in the more TC phase.

In brief, the main mechanism of frequent landing typhoon rainfall in the second phase is as follows. In the second phase (12 July - 30 September) of 2005, Australian high was more eastern than that in climatological average year. As soon as Australian high moved east, the equatorial low deepened. Both the equatorial trough and Australian high strengthened the cross-equatorial flow near  $135^{\circ}\text{E}$ . Then the cross-equatorial intensified the convection over the ITCZ. The rainfalls caused by landing typhoon occurred more actively and frequently in this area owing to the strong convection.

**Key words** tropical cyclone, cross-equatorial flow, Australian high, equatorial low

## 1 引言

持续性大暴雨是我国夏季常见的一种灾害性天气,对人民生命财产和国民经济有重大影响。夏季我国东部持续性、频发性的暴雨过程与东亚夏季风环流异常以及台风频繁登陆我国有关。

迄今为止,我国气象工作者对东亚夏季风环流异常引发的持续性暴雨已有较多的研究。例如,林建等<sup>[1]</sup>研究发现西太平洋副高偏南、偏强、脊点偏西,并且鄂霍次克海高压加强,整个欧亚环流形势稳定,有利于长江中下游地区多暴雨天气。张琼等<sup>[2]</sup>指出长江流域大涝的天气、气候背景特征为 500 hPa 西太平洋副热带高压偏南偏西并显著偏强,高层 100 hPa 南亚高压中心持续稳定于青藏高原上空,脊线偏南,强度偏强,全球海温呈大范围的正距平。据建华等<sup>[3]</sup>研究发现,东亚强季风涌年,准 30~60 d 振荡的影响显著,容易造成长江中下游多雨;东亚弱季风涌年,准 30~60 d 振荡减弱,10~20 d 低频振荡为主要的振荡周期,容易造成长江中下游干旱。张庆云等<sup>[4]</sup>更详细地分析了造成夏季长江流域暴雨的天气、气候条件,指出长江流域暴雨洪涝的气候背景是东亚夏季风环流偏弱。夏季长江流域暴雨的大尺度特征表现为东亚地区

东、西、南、北天气系统最佳配合及其环流演变过程出现显著的 20~30 天低频振荡。张顺利等<sup>[5]</sup>研究也指出太平洋副热带高压、南海季风涌、中高纬度冷空气和青藏高原中尺度对流系统的最佳组配(或锁定),容易形成长江流域大范围、时间尺度较长的暴雨过程。另外,薛峰等<sup>[6]</sup>研究指出,当北半球从春至夏(南半球从秋至冬)马斯克林高压增强时,中国长江流域至日本一带多雨,华南到台湾以东的西太平洋以及东亚中纬度大部分地区少雨。与马斯克林高压相比,澳大利亚高压的影响仅限于华南地区,当澳大利亚高压增强时,华南多雨。

登陆台风是中国夏半年的主要灾害之一,台风登陆时,总是伴有狂风暴雨。有关西太平洋热带气旋生成,特别是影响我国的台风,现已有了一定的研究。如丁一汇等<sup>[7]</sup>从年际变化角度研究了副高、极涡、西风带、热带环流系统、中东太平洋和西太平洋等与西太平洋台风发生频率的关系。李崇银<sup>[8]</sup>的研究指出,El Niño 相应的大气环流状态以及海温的异常变化,对西太平洋台风的形成不利,反 El Niño 相应的大气环流状态则有利于西太平洋台风的形成。孙秀荣等<sup>[9]</sup>研究了东亚夏季风与西北太平洋地区(包括中国南海)热带气旋频数的关系,发现在强夏季风年西北太平洋地区热带气旋频数偏多,

弱夏季风年同期热带气旋频数异常偏少而后期趋于正常, 正常夏季风年热带气旋频数基本正常。张庆云等<sup>[10]</sup>研究了夏季东亚环流、大气视热源和视水汽汇的年际及年代际变化与登陆中国台风频数的关系, 指出夏季登陆中国台风多寡与西太平洋热带大气视热源、视水汽汇及西太平洋热带海温的变化有关。李英等<sup>[11]</sup>指出外界持续的水汽输送有利于热带气旋旋性环流在陆地上维持, 减缓其登陆后的强度衰减, 水汽输送通过影响热带气旋的热力结构来影响热带气旋强度。另外, 最近王会军等<sup>[12]</sup>首次利用气候模式对我国 2006 年夏季西太平洋地区台风活动频次进行了实时气候预测。这些研究对热带气旋生成、登陆、登陆后强度变化乃至台风活动的预报都有涉及, 然而对于西太平洋热带气旋或台风频繁登陆的环流异常特征, 特别对南半球环流及南北半球环流系统的相互作用研究不多。2005 年虽然热带气旋总生成数比多年平均略偏少, 但由于具有明显的阶段性, 造成登陆我国的台风时间间隔短、频数高、强度强, 我国东部从华南到渤海湾先后出现了由台风引发的暴雨过程。本文在前人工作的基础上, 重点探讨了 2005 年夏季西太平洋台风频繁登陆我国的环流特征, 特别是南北半球低纬大气环流异常特征及出现这种异常特征的成因机理。

## 2 资料

选用的资料包括: (1) 中国气象局上海台风研究所中国台风网提供的 2005 年台风资料。(2) NCEP/NCAR 再分析大气环流资料。主要是 2005 年风场、位势高度场的逐日平均资料以及 1968~1996 年平均的气候态逐日资料, 水平分辨率均为  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$  经纬度网格。(3) 美国 NOAA 提供的 2005 年逐日平均以及 1979~1995 年平均的气候态逐日向外长波辐射 (Outgoing Longwave Radiation, 简称 OLR) 资料。(4) 1981~2005 年 NOAA 最佳差值逐周海表温度 (OISST) 资料及以此计算出的 1982~1996 年平均的气候态 SST 逐周数据, 其水平分辨率为  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 。

## 3 2005 年夏季台风暴雨特征

2005 年夏季 (6~8 月) 全国大部地区降雨量偏多, 全国平均降雨量较常年偏多 28.9 mm, 为 1999 年以来最多的一年, 盛夏以后我国东部地区

从华南到华北先后都出现了由台风引发的暴雨。图 1 是中国东部沿海 5 个区域夏季 (6~8 月) 逐日平均降水, 这 5 个区域分别是渤海沿海地区 ( $32.5^{\circ}\text{N} \sim 42.5^{\circ}\text{N}$ ,  $117.5^{\circ}\text{E}$  以东)、长江流域下游 ( $28^{\circ}\text{N} \sim 32.5^{\circ}\text{N}$ ,  $112.5^{\circ}\text{E}$  以东)、华南东部 ( $28^{\circ}\text{N}$  以南,  $112.5^{\circ}\text{E}$  以东的我国沿海)、台湾和海南岛, 其中以点线连接表示是同一个台风活动过程引发的降水。从图 1 可见, 台风海棠登陆 (7 月 18 日~21 日) 分别给台湾、华南东部, 长江流域下游带来暴雨过程。台风麦莎登陆 (8 月 6~9 日) 为长江下游、渤海沿海地区带来暴雨, 它是继 1997 年第 11 号台风后, 近 8 年来对我国东部沿海和华东地区影响最为严重的台风之一。台风天鹰登陆 (7 月 30 日~8 月 1 日) 为海南带来了大量的降水。台风珊瑚登陆 (8 月 12 日~13 日) 致使广东、福建等华南的部分地区遭受暴雨。从图 1 台风暴雨过程可见, 2005 年夏季台风登陆带来的降水都集中在 7 月中旬以后。此外, 2005 年最大风速在 45 m/s 以上的台风占总热带气旋数的 57.9%, 远高于多年平均 39.4%, 这说明 2005 年热带气旋 (或台风) 强度较大。为什么 2005 年登陆我国的台风具有明显的阶段性, 且在 7 月中旬以后频繁地出现较强台风登陆? 为此, 我们深入探讨东亚大气环流异常特征。

## 4 东亚大气环流异常与台风活动的关系

张庆云等<sup>[9]</sup>研究指出, 夏季登陆中国台风的多少与东亚夏季风环流强弱有关, 东亚夏季风偏强 (热带辐合带对流强) 有利台风登陆。图 2 给出 2005 年 6~9 月东亚热带辐合带 ( $5^{\circ}\text{N} \sim 15^{\circ}\text{N}$ ,  $120^{\circ}\text{E} \sim 150^{\circ}\text{E}$ ) 区域内的 OLR 5 天滑动平均, 从图中可见, OLR 出现显著的阶段性变化, 6 月 10 日~7 月 11 日的第一阶段为高值段 (OLR 高于  $220 \text{ W/m}^2$  时段), 表明热带辐合带上对流较弱, 热带气旋活动少; 7 月 12 日~9 月 30 日的第二阶段为 OLR 的低值段 (OLR 低于  $220 \text{ W/m}^2$  时段), 表明热带辐合带上对流较强, 对应热带气旋活动较多, 登陆我国的台风也集中在这一时段。说明热带辐合带上对流强有利于台风登陆我国, 这与张庆云等<sup>[9]</sup>的结论一致。

为了探讨东亚热带辐合带上对流在第二阶段 (7 月 12 日~9 月 30 日) 异常偏强的原因, 我们分析东亚中高纬环流及西太平洋副热带高压活动与夏季

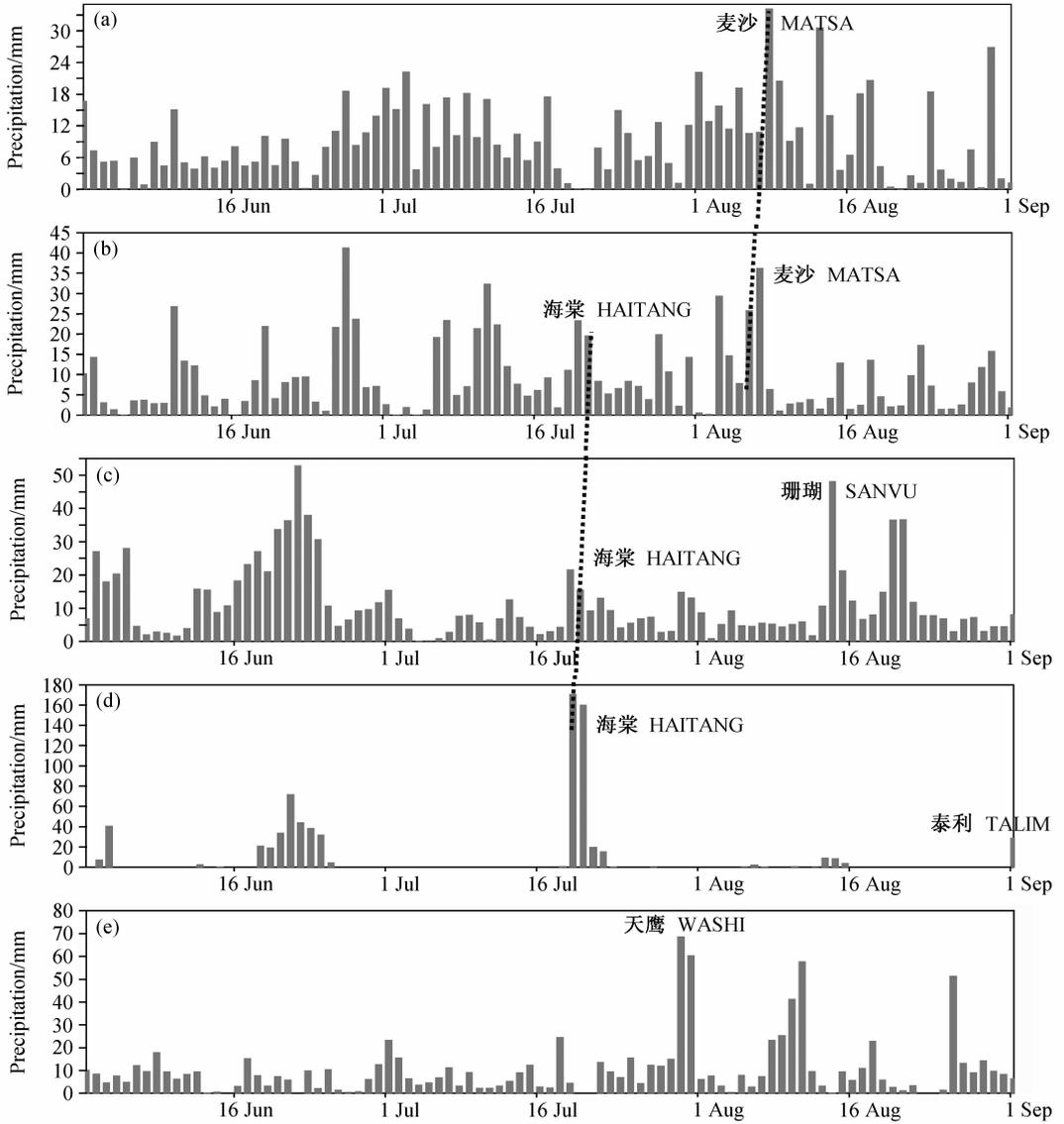


图1 中国沿海各区域 2005 年夏季 (6~8 月) 日平均降水: (a) 渤海沿海地区; (b) 长江流域下游; (c) 华南东部; (d) 台湾; (e) 海南

Fig. 1 Daily mean precipitation over China coastal areas during the summer of 2005: (a) The Bohai Sea coast; (b) the lower reach of the Yangtze River; (c) eastern area of South China; (d) Taiwan; (e) Hainan

东亚热带辐合带关系。图 3 是 2005 年 7 月 12 日~9 月 30 日平均 500 hPa 位势高度距平图。从图 3 可见, 位势高度正距平分别出现在东亚大陆 (中心达 40 gpm) 和北太平洋中纬度地区 (中心达 60 gpm), 这表明东亚大陆和北太平洋中纬度地区位势高度比气候态偏高, 在两个偏高区域之间  $120^{\circ}\text{E}\sim 150^{\circ}\text{E}$  的位势高度场相对偏低, 即此范围内受西风槽活动影响。另外, 500 hPa 距平风场流线图 (图略) 也显示, 在  $120^{\circ}\text{E}\sim 150^{\circ}\text{E}$  范围内出现偏北风距平, 且偏北风距平南下到  $20^{\circ}\text{N}$  以南, 即 2005 年 7 月 12 日

~9 月 30 日,  $120^{\circ}\text{E}\sim 150^{\circ}\text{E}$  范围受东亚中高纬度偏北气流影响, 因此西太平洋副热带高压及东亚热带辐合带上对流异常与东亚中高纬度环流型有关。

为了更清楚地看出 2005 年夏季东亚中高纬度环流、西太平洋副热带高压与东亚热带辐合带上对流的强弱关系, 图 4a 给出  $120^{\circ}\text{E}\sim 150^{\circ}\text{E}$  平均 500 hPa 位势高度的逐日时间-纬度剖面图, 其中阴影区表示位势高度大于 5880 gpm 的西太平洋副热带高压活动。气候平均态的副高 6 月初不断北进, 8 月底到达最北纬度后开始南撤。2005 年夏季 6 月

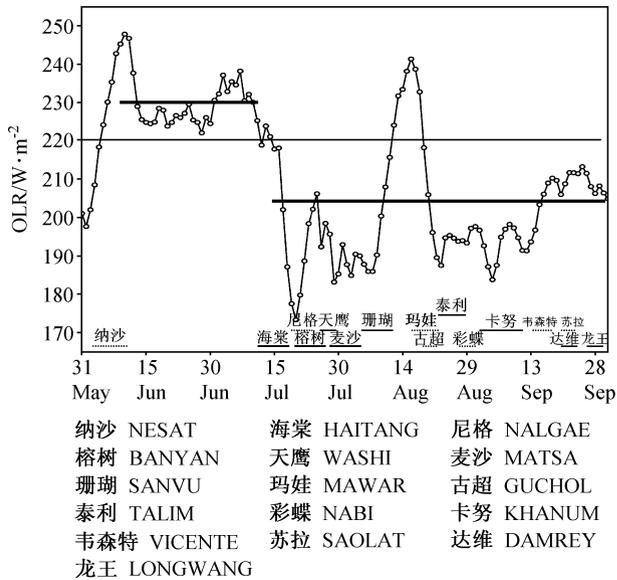


图2 2005年6~9月热带辐合带区域(5°N~15°N, 120°E~150°E)内的OLR 5天滑动平均。粗线表示热带气旋活动多、少时段;图底部细线表示各次热带气旋活动起止时间

Fig. 2 The 5-day running mean of OLR area-averaged over ITCZ (5°N-15°N, 120°E-150°E) during Jun-Sep. The wide lines show the more tropical cyclones (TCs) period and the less TCs period, and the thin lines at the bottom indicate the lasting time of every tropical cyclone

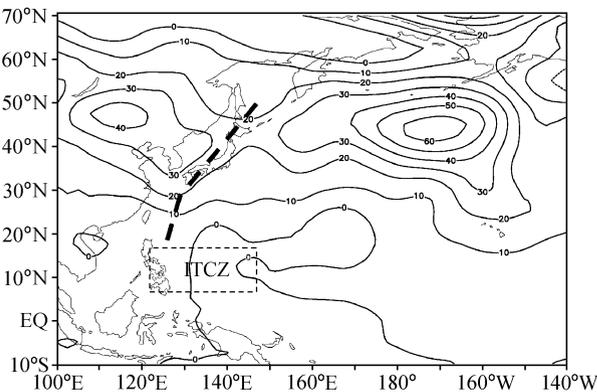


图3 2005年第二阶段(7月12日~9月30日)500 hPa位势高度距平场(单位:gpm)

Fig. 3 The geopotential height anomalies (gpm) at 500 hPa during the period of 12 Jul-30 Sep 2005

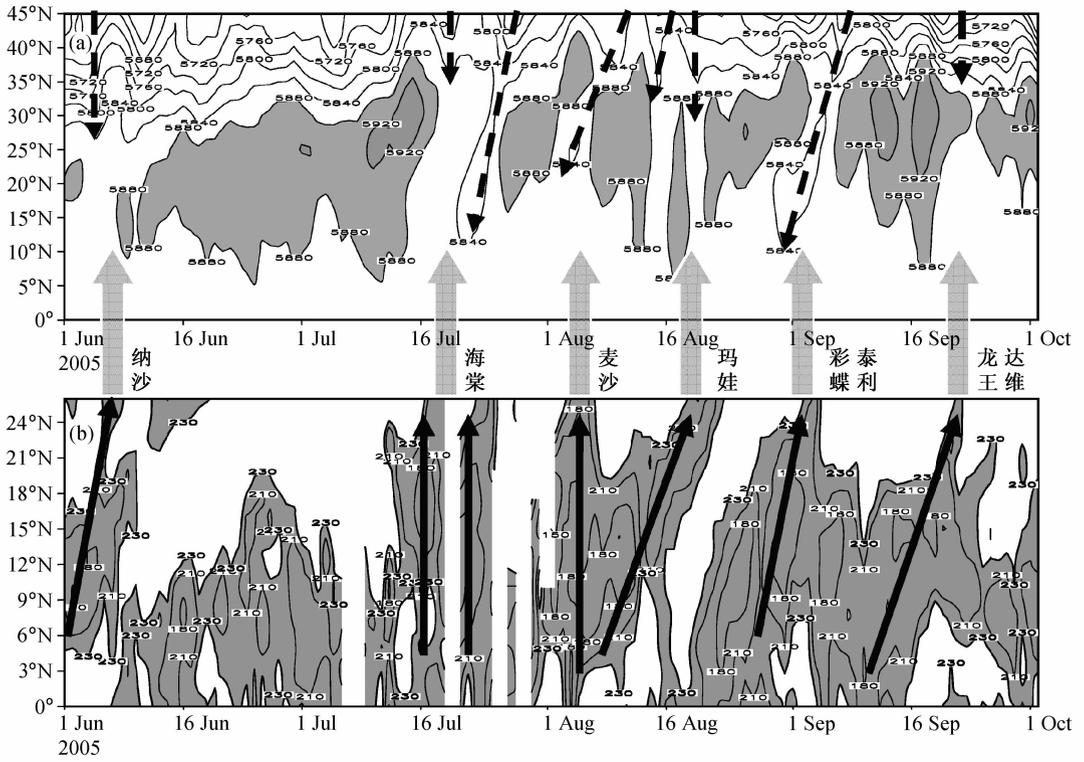
10日~7月11日第一阶段副高较稳定且位置偏南,其南界位于10°N附近,相应东亚热带辐合带对流偏弱;在7月12日以后西太平洋副热带高压南界位置偏北,平均位于20°N附近,且多次出现断裂(或东撤),这与中纬度西风带活动有关。图4a的虚线箭头指示中纬度西风带的活动,表示西风槽的

位置。从图4a可见,对应西风槽一次次南伸,西太平洋副热带高压出现了一次次的断裂(或东撤)。图4b给出的是120°E~150°E平均的OLR时间-纬度剖面图,其中阴影区域为OLR小于230 W/m²的区域,它表示东亚热带辐合带上强对流的活动。如图4b所示,7月12日以后,副高的每次断裂(或东撤)都对应一次低纬热带辐合带上对流加强并北进(实线箭头所示)。由此可见,东亚热带辐合带上对流加强北伸与中高纬西风带活动及副热带高压在120°E~150°E范围内减弱密切相关。

我们还进一步分析了西太平洋副热带高压东、西向活动的情况。图5a为22.5°N上5天滑动平均500 hPa位势高度经度-时间剖面图,阴影区表示位势高度大于5880 gpm,代表副热带高压。在6月10日~7月11日的第一阶段,副高不断西伸,从140°E西伸到100°E附近,此阶段热带辐合带上对流活动较弱(图5b)。在第二阶段,气候平均态的副高西脊点位于120°E,而2005年同时段副高西脊点平均位于130°E以东(图5a),比气候平均位置偏东10个经度,而且多次东撤。对应每一次副高西脊点的东撤,热带辐合带上对流都出现一次加强,并对应着一个登陆台风。由此可见,2005年7月12日以后,台风频繁登陆我国与西太平洋副热带高压西脊点位置比气候态偏东及东亚热带辐合带对流活动加强有关。大量研究已表明,东亚热带辐合带上对流强弱除了与副热带高压活动、中高纬度环流变化有关外,还与南半球环流变化有关,因此我们进一步探讨2005年夏季越赤道气流及南半球环流的变化。

### 5 越赤道气流及南半球环流异常与台风活动的关系

李宪之<sup>[13]</sup>的研究指出,南半球冷空气从澳洲向东侵袭时,不发生台风,而向东北侵袭越过赤道时,容易导致台风。李曾中等<sup>[14]</sup>的研究还发现:1998年夏季(6~9月)东半球90°E~180°区间越赤道气流明显偏弱,而0°~90°E区间里,特别是位于40°E~45°E的索马里急流处,越赤道气流极强是造成1998年南海及西北太平洋台风发生数目特少的重要原因。可见,越赤道气流对西北太平洋台风的生成与活动有较大的影响。为此,我们进一步分析了2005年夏季越赤道气流及南半球环流的异常



纳沙 NESAT 海棠 HAITANG 麦沙 MATSA 玛娃 MAWAR  
彩蝶 NABI 泰利 TALIM 龙王 LONGWANG 达维 DAMREY

图 4 120°E~150°E 经向平均的时间-纬度剖面图: (a) 500 hPa 位势高度(单位:gpm), 阴影区为位势高度 $\geq 5880$  gpm 的区域; (b) OLR (单位:  $W/m^2$ ), 阴影区为 OLR 值小于  $230 W/m^2$  的区域。图 a、b 之间的箭头表示热带气旋活动

Fig. 4 The time-latitude sections of  $120^{\circ}E-150^{\circ}E$  averages: (a) Geopotential height (gpm) at 500 hPa, the shaded area indicates the value is greater than 5880 gpm; (b) OLR ( $W/m^2$ ), the shaded area indicates the value is less than  $230 W/m^2$ . The arrows between (a) and (b) indicate every activity of tropical cyclone

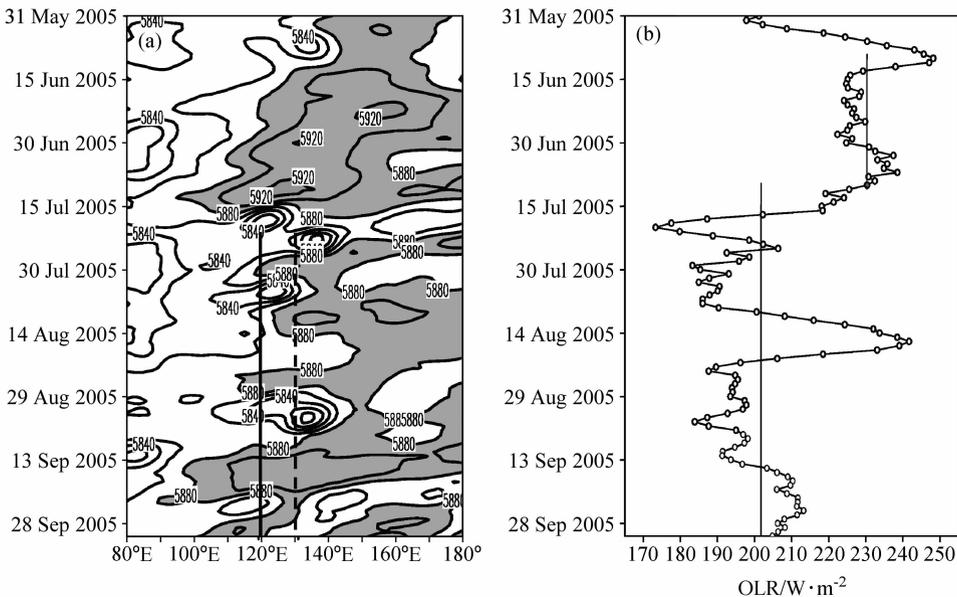


图 5 (a) 沿  $22.5^{\circ}N$  5 天滑动平均的 500 hPa 位势高度经度-时间剖面图, 阴影为位势高度 $\geq 5880$  gpm; (b) 2005 年 6~9 月热带辐合带区域 ( $5^{\circ}N-15^{\circ}N, 120^{\circ}E-150^{\circ}E$ ) 内的 OLR 5 天滑动平均

Fig. 5 (a) Time-longitude sections of the 5-day running mean geopotential height at 500 hPa along  $22.5^{\circ}N$ , the shaded area indicates the value is greater than 5880 gpm; (b) the 5-day running mean of OLR area-averaged over ITCZ ( $5^{\circ}N-15^{\circ}N, 120^{\circ}E-150^{\circ}E$ ) during Jun-Sep

特征。图 6 为 925 hPa 高度上赤道  $v$  风场经度-时间剖面图，其中图 6a 为气候平均态情况，气候平均态的西太平洋地区越赤道气流有两支，分别位于 125°E 和 145°E 附近（见图中阴影区）。图 6b 给出的是 2005 年夏季情况，从图可见，2005 年夏季位于 125°E 和 145°E 附近的越赤道气流偏弱，在 7 月以后，虽然 125°E 和 145°E 附近的越赤道气流仍偏弱，但 130°E~135°E 附近的越赤道气流偏强并长时间维持（见图中阴影区）。为了清楚地看出各阶

段的变化，图 7a 给出气候平均态 925 hPa 的矢量风，较大的偏南风即越赤道气流，分别位于 125°E 和 145°E 附近；图 7b、c 分别是 2005 年第一阶段和第二阶段的矢量风距平。图 7b 显示，125°E 和 145°E 附近出现偏北风距平，这说明此阶段越赤道气流强度比气候平均态偏弱；图 7c 显示，125°E 和 145°E 附近仍为偏北风距平，即这两处越赤道气流强度仍比气候平均态偏弱，但 130°E~135°E 附近出现了偏南风距平，表明 130°E~135°E 越赤道气

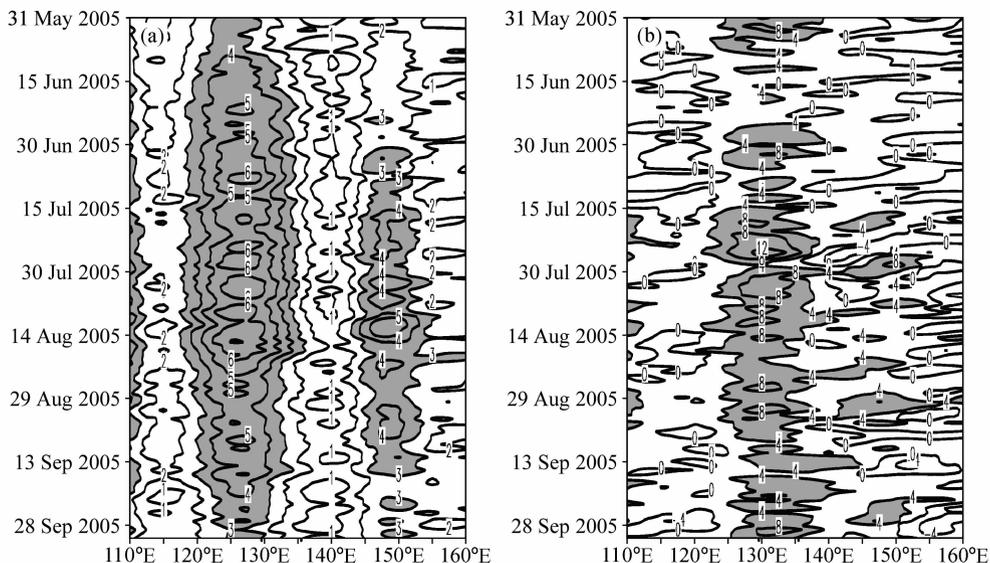


图 6 925 hPa 越赤道气流  $v$  风场的经度-时间剖面图：(a) 气候平均态，阴影表示越赤道气流经向风速大于 3 m/s；(b) 2005 年，阴影表示越赤道气流经向风速大于 4 m/s

Fig. 6 The time-longitude sections of  $v$  wind of cross-equatorial flow at 925 hPa; (a) For climate mean, the shaded area indicates the value is greater than 3 m/s; (b) in 2005, the shaded area indicates the value is greater than 4 m/s

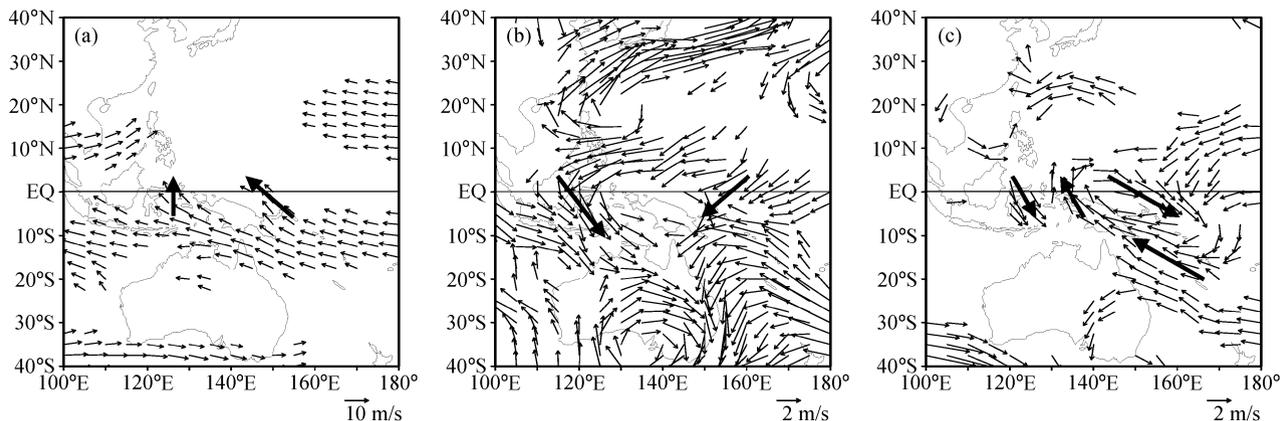


图 7 925 hPa 矢量风场 (单位: m/s): (a) 气候平均 (只画  $\geq 5$  m/s); (b) 2005 年热带气旋偏少时段 (第一阶段) 距平 (只画  $\geq 1.5$  m/s); (c) 热带气旋偏多时段 (第二阶段) 距平 (只画  $\geq 1.5$  m/s)

Fig. 7 The vector wind at 925 hPa: (a) For climate mean, the velocity less than 5 m/s is deleted; (b) wind anomalies during the period of less TCs in 2005, the anomalies less than 1.5 m/s are deleted; (c) wind anomalies during the period of more TCs in 2005, the anomalies less than 1.5 m/s are deleted

流加强(图 7c)。

2005 年夏季越赤道气流强弱对东亚热带环流有何影响? 我们进一步探讨了 2005 年夏季二个阶段的南北半球整层  $v$  与  $\omega$  变化。图 8 为 2005 年  $130^{\circ}\text{E}\sim 135^{\circ}\text{E}$  平均  $v$  距平矢量风与  $\omega$  距平矢量风的纬度-高度合成, 它反映了赤道地区越赤道气流附近整层大气环流的变化。图 8a 是第一阶段情况,  $15^{\circ}\text{N}\sim 20^{\circ}\text{N}$  热带地区出现下沉距平气流, 表明东亚热带辐合带对流活动偏弱, 下沉气流在低层辐散, 从而使在对流层低层 850 hPa 以下呈现偏北风距平, 也即越赤道气流减弱; 而在第二阶段(图 8b), 对流层低层 850 hPa 以下呈现偏南风距平, 即  $130^{\circ}\text{E}\sim 135^{\circ}\text{E}$  附近的越赤道气流加强, 引导南半球的暖空气与来自北方的冷空气在东亚  $10^{\circ}\text{N}\sim 15^{\circ}\text{N}$  出现辐合上升运动距平, 即热带辐合带上对流活动加强。可见, 东亚热带辐合带上的对流加强与

越赤道气流加强有关。

为什么在 2005 年夏季 7 月中旬以后  $130^{\circ}\text{E}\sim 135^{\circ}\text{E}$  越赤道气流显著加强, 我们的分析表明这可能与澳大利亚高压的位置偏东有关。图 9 给出 2005 年第一、二阶段的 1000 hPa 位势高度距平场。图 9a 为 6 月 10 日~7 月 11 日的位势高度距平场, 可以看出, 东亚热带辐合带上为位势高度正距平区(中心达 20 gpm), 说明副高位置偏南, 从而抑制了该处对流发展, 造成第一阶段热带气旋活动偏少。图 9b 为 2005 年 7 月 12 日~9 月 30 日的位势高度距平场, 澳大利亚东侧呈现一个正距平区(中心达 20 gpm), 正距平区以北赤道附近  $140^{\circ}\text{E}\sim 180^{\circ}\text{E}$  范围内是负距平区(中心为 -10 gpm), 比第一阶段(图 9a)赤道附近的负距平区(中心为 -5 gpm)范围更大, 值也更低。这说明在 2005 年第二阶段(7 月 12 日~9 月 30 日)  $130^{\circ}\text{E}\sim 135^{\circ}\text{E}$

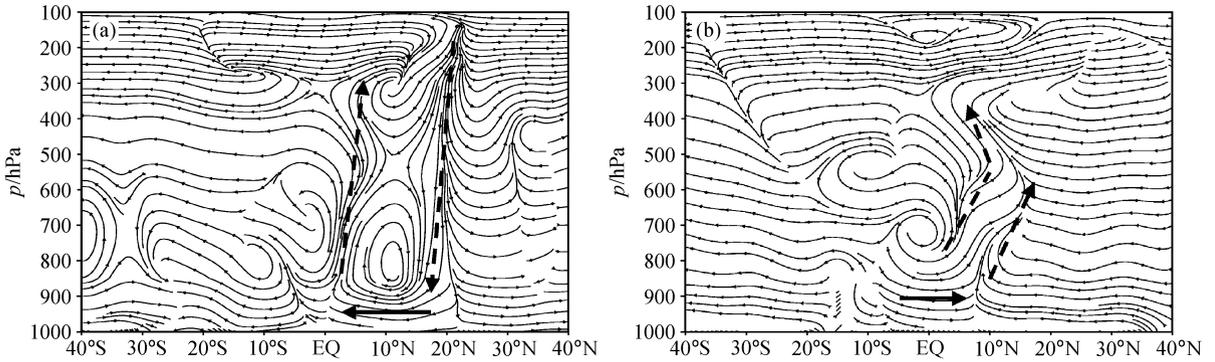


图 8 2005 年  $130^{\circ}\text{E}\sim 135^{\circ}\text{E}$  平均  $v$ 、 $\omega$  ( $\times(-10)$ ) 矢量风距平流场合成图: (a) 热带气旋偏少时段; (b) 热带气旋偏多时段  
Fig. 8 The composite streamline patterns of  $v$ 、 $\omega$  ( $\times(-10)$ ) wind anomalies averaged over  $130^{\circ}\text{E}\sim 135^{\circ}\text{E}$ : (a) The period of less TCs; (b) the period of more TCs

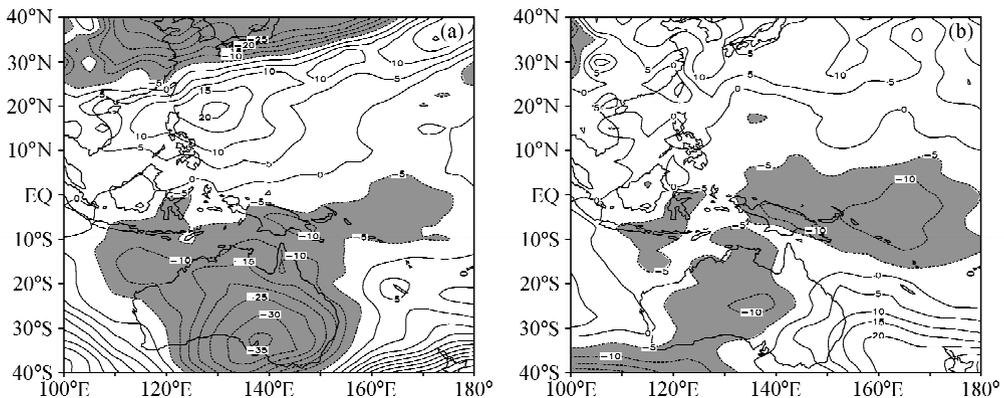


图 9 2005 年第一、二阶段 1000 hPa 位势高度距平场(单位: gpm): (a) 第一阶段; (b) 第二阶段。阴影为位势高度距平在 -5 gpm 以下的负距平区  
Fig. 9 The geopotential height anomalies (gpm) at 1000 hPa during (a) the first phase (10 Jun - 11 Jul) and (b) the second phase (12 Jul - 30 Sep) in 2005. The shaded area indicates the value is lower than -5 gpm

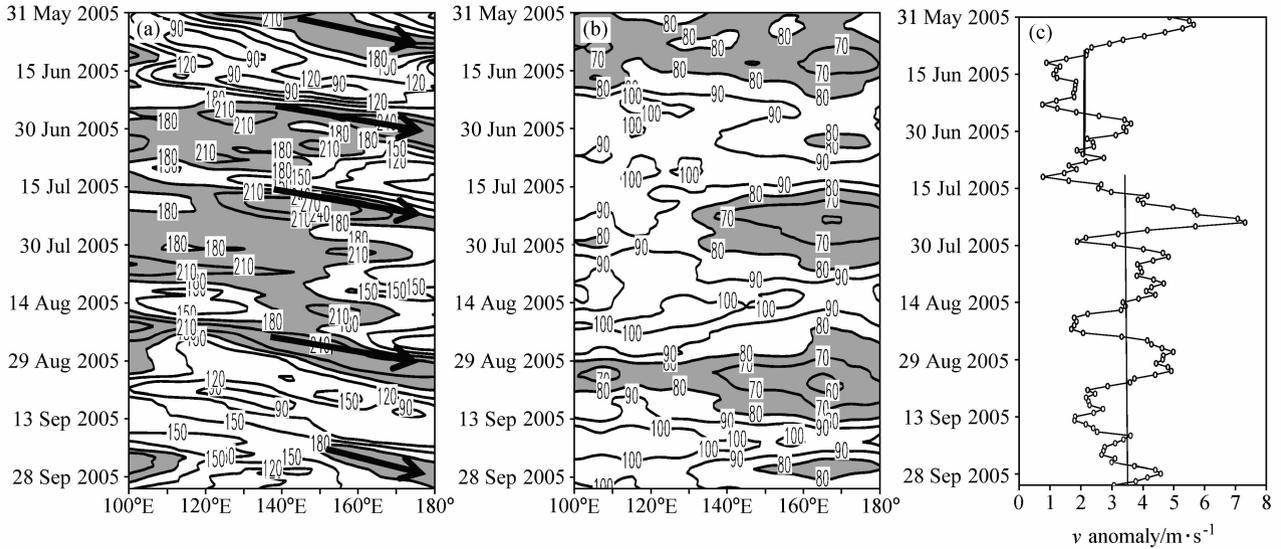


图 10 5 天滑动平均的 1000 hPa 位势高度场经度-时间剖面图：(a) 30°S 处的位势高度场，代表澳高，阴影为位势高度大于 180 gpm；(b) 赤道上的位势高度场，代表赤道低压槽，阴影为位势高度小于 80 gpm；(c) 130°E~135°E 的平均越赤道气流  $v$  风距平时间序列，两条实线表示第一、第二阶段的  $v$  风距平平均值，分别为 1.89 m/s、3.55 m/s

Fig. 10 Longitude-time sections of the 5-day running mean geopotential height at 1000 hPa; (a) At 30°S, representing the Australian high, the shaded area indicates the geopotential height greater than 180 gpm. (b) at the equator, representing the equatorial trough, the shaded area indicates the geopotential height less than 80 gpm. (c) The time series of  $v$  wind anomalies of the cross-equatorial flow (130°E-135°E average), the two solid lines indicate the average values during the two phases, respectively

越赤道气流显著加强可能与澳大利亚高压中心位置偏东、赤道低压槽进一步加深有关。与澳大利亚东侧正距平区及赤道低压槽加深相对应，925 hPa 距平风 (图 7c) 表现为东南风距平，在 130°E~135°E 附近形成较强的越赤道气流，造成东亚热带辐合带上对流活动加强。

为了清楚地看出澳大利亚高压中心东移与赤道低压槽加深的关系，图 10a 给出了沿 30°S 的 1000 hPa 位势高度场 5 天滑动平均的经度-时间剖面图，阴影区为位势高度大于 180 gpm，它表示出澳大利亚高压一次次东移过程 (实线箭头)。图 10b 是沿赤道的 1000 hPa 位势高度场 5 天滑动平均经度-时间剖面图，其中阴影区是位势高度小于 80 gpm 的区域，代表赤道低压。图 10 表明，每当澳大利亚高压 (图 10a 阴影区) 东界偏东达 180° 日界线时，都对应一次赤道低压 (140°E~180°E) 加深 (图 10b 阴影区)。受澳大利亚高压偏东和赤道辐低压加深的共同作用，形成较强的偏东南风，造成 130°E~135°E 越赤道气流加强 (图 10c)。值得注意的是，在 6 月中旬，澳大利亚高压东移后，也对应赤道低压加深，但越赤道气流并未随之加强。这与 2005 年第一阶段 (6 月 10 日~7 月 11 日)，西太平洋副热带

高压位置偏南并维持稳定有关。这说明南半球越赤道气流的加强，除了受澳大利亚高压和赤道低压环流影响，还受北半球中高纬系统的影响。

## 6 结论与讨论

2005 年夏季登陆我国的台风存在显著的阶段性：6 月 10 日~7 月 11 日西太平洋无热带气旋生成，7 月 12 日~9 月 30 日西太平洋热带气旋活动频繁，登陆我国台风间隔时间短、频数高、强度强，使得我国东部台风暴雨频繁发生。本文研究了 2005 年夏季中国东部台风暴雨的天气气候特征以及南北半球低纬环流异常与登陆台风集中的原因。研究发现：

(1) 在 2005 年夏季 7 月 12 日~9 月 30 日这一阶段，台风登陆频率高、强度强、引起台风暴雨频发，这与东亚热带辐合带上对流加强有关；

(2) 东亚热带辐合带上对流加强不仅与东亚中纬度西风带活动以及西太平洋副热带高压位置偏东偏北有关，同时还与 130°E~135°E 越赤道气流加强有关；

(3) 2005 年 7 月 12 日~9 月 30 日，130°E~135°E 越赤道气流加强并长时间维持与澳高东移及

140°E~180°E 赤道低压加强有关。

综上所述,2005年7月12日~9月30日台风频繁登陆我国并引起台风暴雨频繁发生的可能机制如下:在这一阶段,澳大利亚高压位置偏东,同时赤道低压槽加深。澳高和赤道低压槽共同作用使越赤道气流在135°E附近增强。在135°E附近加强的越赤道气流又能引导南半球的暖空气与来自北方的气流在10°N~15°N附近辐合上升,使热带辐合带上的对流活动加强,并与副热带高压、西风带波动相互配合,造成热带气旋活动频繁,且中国东部登陆台风频数高、强度强,台风暴雨频繁发生。

### 参考文献 (References)

- [1] 林建,何金海,张依英. 夏季东亚大气遥相关型变化特征及其与长江中下游旱涝的关系. 南京气象学院学报, 1999, **22** (3): 312~320  
Lin Jian, He Jinhai, Zhang Yiyong. Relationship of summer EAP to the rainfall in the middle-lower reaches of the Yangtze River. 1999. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology* (in Chinese), **22** (3): 312~320
- [2] 张琼,吴国雄. 长江流域大范围旱涝与南亚高压的关系. 气象学报, 2001, **59** (5): 569~577  
Zhang Qiong, Wu Guoxiong. The large area flood and drought over Yangtze River valley and its relation to the South Asia high. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2001, **59** (5): 569~577
- [3] 据建华,赵尔旭. 东亚夏季风区的低频振荡对长江中下游旱涝的影响. 热带气象学报, 2005, **21** (2): 163~171  
Ju Jianhua, Zhao Erxu. Impacts of the low frequency oscillation in East Asian summer monsoon on the the drought and flooding in the middle and lower valley of the Yangtze River. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 2005, **21** (2): 163~171
- [4] 张庆云,陶诗言,张顺利. 夏季长江流域暴雨洪涝灾害的天气气候条件. 大气科学, 2003, **27** (6): 1018~1030  
Zhang Qingyun, Tao Shiyang, Zhang Shunli. The persistent heavy rainfall over the Yangtze River valley and its associations with the circulations over East Asia during summer. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2003, **27** (6): 1018~1030
- [5] 张顺利,陶诗言,张庆云,等. 长江中下游致洪暴雨的多尺度条件. 科学通报, 2002, **47** (6): 467~473  
Zhang Shunli, Tao Shiyang, Zhang Qingyun, et al. Large and meso- $\alpha$  scale characteristics of intense rainfall in the middle and lower reaches of Yangtze River. *Chinese Science Bulletin*, 2002, **47** (9): 779~786
- [6] 薛峰,王会军,何金海. 马斯克林高压和澳大利亚高压的年际变化及其对东亚夏季风降水的影响. 科学通报, 2003, **48** (3): 287~291  
Xue Feng, Wang Huijun, He Jinhai. The interannual variations of the Mascarene high and Australian high and their influence on the summer monsoon precipitation in East Asia. *Chinese Science Bulletin*, 2003, **48** (5): 492~497
- [7] Ding Yihui, Reiter E R. Large-scale circulations conditions affecting the typhoon formation over the Northwest Pacific. *Acta Oceanologica Sinica*, 1984, **3** (3): 327~338
- [8] 李崇银. 厄尔尼诺影响西太平洋台风活动的研究. 气象学报, 1987, **45** (2): 229~236  
Li Chongyin. A study on the influence of El Niño upon typhoon action over western Pacific. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1987, **45** (2): 229~236
- [9] 孙秀荣,端义宏. 对东亚夏季风与西北太平洋热带气旋频数关系的初步分析. 大气科学, 2003, **27** (1): 67~74  
Sun Xiurong, Duan Yihong. A Study of the relationships between the East Asian summer monsoon and the tropical cyclone frequency in the northwestern Pacific. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2003, **27** (1): 67~74
- [10] 张庆云,彭京备. 夏季东亚环流年际和年代际变化对登陆中国台风的影响. 大气科学, 2003, **27** (1): 97~106  
Zhang Qingyun, Peng Jingbei. The interannual and interdecadal variations of East Asian summer circulation and its impact on the landing typhoon frequency over China during summer. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2003, **27** (1): 97~106
- [11] 李英,陈联寿,徐祥德. 水汽输送影响登陆热带气旋维持和降水的数值试验. 大气科学, 2005, **29** (1): 91~98  
Li Ying, Chen Lianshou, Xu Xiangde. Numerical experiments of the impact of moisture transportation on sustaining of the landfalling tropical cyclone and precipitation. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2005, **29** (1): 91~98
- [12] 王会军,郎咸梅,范可,等. 关于2006年西太平洋台风活动频次的气候预测试验. 气候与环境研究. 2006, **11** (2): 133~137  
Wang Huijun, Lang Xianmei, Fan Ke, et al. Real-time climate prediction experiment for the typhoon frequency in the western North Pacific for 2006. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2006, **11** (2): 133~137
- [13] 李宪之. 论台风. 北京: 气象出版社, 1983. 59~60  
Li Xianzhi. *On Typhoon* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1983. 59~60
- [14] 李曾中,程明虎,杨振斌,等. 1998年台风与飓风异常成因分析. 热带气象学报, 2004, **20** (2): 161~166  
Li Zengzhong, Cheng Minghu, Yang Zhenbin, et al. Analysis on the annual frequency anomalies of typhoon and hurricane in 1998. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 2004, **20** (2): 161~166