

# 南半球环流异常对夏季西太平洋热带气旋生成的影响及其机理

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

<sup>1</sup> 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

<sup>2</sup> 中国科学院研究生院, 北京 100049

**摘要** 利用中国气象局提供的热带气旋资料、NCEP/NCAR 再分析资料和美国 NOAA 向外长波辐射 (OLR) 等资料, 研究了西太平洋 (125°E~150°E) 夏季热带气旋生成频数多寡的可能机理, 讨论了南北半球环流系统共同作用的物理过程及其对热带辐合带 (Intertropical Convergence Zone, 简称 ITCZ), 进而对热带气旋频数的影响, 并重点探讨了从澳大利亚东侧位势高度异常到北半球西太平洋热带气旋频数响应的可能物理过程。研究发现: 澳大利亚东侧的环流异常和西太平洋热带气旋活动频数密切相关。南半球的澳大利亚东侧环流异常可能不完全是通过越赤道气流, 而主要是通过 Rossby 波的传播造成的南北半球遥相关作用, 影响北半球环流系统的, 进而影响菲律宾以东赤道辐合带对流活动的强弱, 导致西太平洋热带气旋生成频数的多寡差异。当澳大利亚东侧的位势高度为正距平时, 相应地在菲律宾以东地区也会出现正距平。即西太平洋副高偏强, 且偏南西伸, 抑制热带辐合带的对流活动发展, 使菲律宾以东的对流活动偏弱, 从而使热带气旋生成频数偏少。而当澳大利亚东侧的位势高度为负距平时, 相应地在菲律宾以东地区也会出现负距平。也即西太平洋副高偏弱, 且位置偏北。菲律宾以东地区对流活动偏强, 热带气旋生成频数偏多。另外, 西太平洋 (125°E~150°E) 以西的上游赤道西风也对热带气旋频数也有重要影响。具体表现为, 当 90°E 附近的越赤道气流强时, (5°N~15°N, 125°E~150°E) 范围内的西风也随之加强, 从而使菲律宾以东对流活动加强, 西太平洋热带气旋频数增高。反之, 当该支越赤道气流弱时, 上游赤道西风随之之偏弱, 从而造成菲律宾以东对流活动偏弱, 西太平洋热带气旋生成偏少。

**关键词** 南半球 热带气旋 澳大利亚高压 遥相关

**文章编号** 1006-9895 (2007) 06-1189-12

**中图分类号** P433

**文献标识码** A

## The Influence of the Circulation Anomalies in the Southern Hemisphere on the Tropical Cyclone Frequency in Summer over the Western Pacific and Its Mechanism

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

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

<sup>2</sup> Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

**Abstract** Based on the tropical cyclone data, NCEP/NCAR reanalysis data, and the Outgoing Longwave Radiation (OLR) data from NOAA, the influence of the circulation anomalies in the Southern Hemisphere on the tropical cyclone frequency in summer over the western Pacific (125°E - 150°E) is studied. Moreover, the possible mechanism

**收稿日期** 2007-05-30, 2007-07-24 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-226, 国家自然科学基金资助项目 40523001, 上海台风所台风研究基金 2006STB01

**作者简介** 孙淑清, 女, 1936 年出生, 研究员, 主要从事天气动力学研究。E-mail: ssq@lasg.iap.ac.cn

on the influence is researched. The results show that, the circulation anomalies over the east of Australia are closely related to the frequency of tropical cyclones over the western Pacific. The geopotential height anomalies affect the convection over Intertropical Convergence Zone (ITCZ) near the east of the Philippines not only through the cross-equatorial flow, but through the Rossby wave transportation. Accordingly, the convection over the ITCZ results in the difference of tropical cyclone frequency. The proposed mechanism is as follows. If the geopotential height anomalies over the east of Australia are positive, there will be corresponding positive geopotential height anomalies in the east area of the Philippines. The positive anomalies mean the western Pacific subtropical high is stronger, and extends west and south. The convection over ITCZ near the east of the Philippines is weaker under the control of the stronger western Pacific subtropical high. Thereby, the frequency of tropical cyclones is less than normal. On the contrary, if the geopotential height anomalies over the east of Australia are negative, there will be corresponding negative geopotential height anomalies in the east area of the Philippines. The negative anomalies indicate the western Pacific subtropical high is weaker, and retreats east and north. The convection over ITCZ near the east of the Philippines is stronger. Hence, the frequency of tropical cyclones is greater than normal.

In addition, the westerlies within the area ( $5^{\circ}\text{N} - 15^{\circ}\text{N}$ ,  $125^{\circ}\text{E} - 150^{\circ}\text{E}$ ) also play an important role in the frequency of tropical cyclones. For the cross-equatorial flow near  $90^{\circ}\text{E}$  is stronger, the westerlies mentioned above are strengthened. The stronger westerlies are beneficial to the convection over the ITCZ near the east area of the Philippines. As a result, the frequency of tropical cyclones over the western Pacific increases, and vice versa.

**Key words** the Southern Hemisphere, tropical cyclone, Australian anti-cyclone, teleconnection

## 1 引言

热带气旋是发生在热带洋面上的一种强气旋性涡旋,它常常带来大风、暴雨及风暴潮等严重灾害,是一种破坏性极大的灾害性系统。其中,夏季发生在西太平洋上的热带气旋登陆我国的机率较高,使我国国家财产和人民生命安全遭受巨大损失和威胁。夏季西太平洋热带气旋的生成频数有明显的年际变化,而生成频数的多少又与登陆热带气旋频数有直接联系,因此,研究夏季西太平洋热带气旋生成频数的年际变化规律,并找出影响其变化的具体原因是十分重要且有实际意义的课题。

夏季西太平洋热带气旋的发生与发展与热带辐合带(Intertropical Convergence Zone,简称ITCZ)之间有密切的关系。丁一汇等<sup>[1]</sup>指出ITCZ的位置和强度对西太平洋台风的频率和形成地区有明显的影响。多台风季ITCZ位于 $20^{\circ}\text{N}$ 附近,而少台风季位于 $10^{\circ}\text{N}$ 附近。蒋乐贻等<sup>[2]</sup>认为热带气旋偏多年,热带辐合带北抬至 $10^{\circ}\text{N} \sim 15^{\circ}\text{N}$ ,有利于热带气旋生成;而热带气旋偏少年的热带辐合带偏南, $10^{\circ}\text{N} \sim 25^{\circ}\text{N}$ 间的西太平洋上为明显的对流弱区,不利于热带气旋生成。张庆云等<sup>[3]</sup>和刘舸等<sup>[4]</sup>的研究进一步指出,ITCZ的对流活动较强时,对应热带辐合带上的热带气旋活动较多,并有利于其登陆。

ITCZ是南北半球两个副热带高压之间气压最低、气流汇合的地带,因此ITCZ的位置和强弱势必受南北半球环流系统的共同影响。而越赤道气流是南北半球大气环流系统相互联系的重要纽带,也是南北半球大气质量、动量、角动量以及水汽交换的主要途径。所以,对越赤道气流和ITCZ乃至西太平洋热带气旋活动关系的研究是对西太平洋夏季热带气旋生成频数研究中的一个重要环节。早在1936年,李宪之<sup>[5]</sup>即提出澳大利亚寒潮爆发时,冷空气受气压场和地转偏向力的支配与东南信风的迫使,越过赤道侵入北半球,而致成台风。李曾中等<sup>[6]</sup>认为,1998年夏季 $90^{\circ}\text{E} \sim 180^{\circ}$ 区间里越赤道气流明显偏弱,西北太平洋台风发生数随之偏少。我们之前的研究也表明,2005年7月12日~9月30日 $130^{\circ}\text{E} \sim 135^{\circ}\text{E}$ 的越赤道气流加强并长时间维持是该阶段台风频发的主要原因之一<sup>[3]</sup>。上述研究主要是针对越赤道气流短、中期变化与热带气旋的关系。那么,越赤道气流年际变化与热带气旋频数的关系又是如何?何金海等<sup>[7]</sup>研究了7~10月平均越赤道气流年际变化与西北太平洋热带气旋发生频数的关系,发现热带气旋生成较多的年份大部分越赤道气流并不偏强,反而是偏弱的,特别是 $150^{\circ}\text{E}$ 附近的越赤道气流强度和热带气旋频数为显著负相关(相关系数为 $-0.55$ ,超过 $0.01$ 的显著水平)。

他们的解释是: 热带气旋偏多时, 虽然越赤道气流的强度季节平均偏弱, 但其扰动较强。那么, 夏季西太平洋热带气旋发生频数的多寡是否仅取决于越赤道气流扰动的强弱, 而与季节平均特征无关? 越赤道气流的强度是否为南半球环流异常影响西太平洋台风活动的唯一途径?

从整个纬向平均的大空间尺度来看, 南半球中高纬地区大尺度环流第一模态表现为南极涛动(AAO)。很多研究表明<sup>[8, 9]</sup>, 南极涛动能够影响东亚夏季环流强弱进而影响长江中下游地区的旱涝。刘舸等<sup>[10]</sup>研究指出, 澳大利亚高压(简称澳高)东侧局地位势高度异常在很大程度上反映了30°S纬圈环流的变化, 它对南极涛动的贡献很大。尽管南极涛动反映的是南半球中、高纬度纬向平均大尺度的环流变化, 而实际上, 与长江中下游夏季降水密切相关的主要南半球系统还是澳高东侧局地位势高度的异常。澳高位置东移或东扩(西缩), 南极涛动指数( $I_{AO}$ )也随之偏大(小), 澳大利亚东侧位势高度异常通过南北半球高度场遥相关影响到北半球副热带地区的大气环流, 进而使长江中游夏季降水偏多(少)。由此我们想到, 澳大利亚东侧的环流异常是否也能影响夏季西太平洋热带气旋频数? 它又是通过什么途径对热带气旋生成频数产生影响的?

另外, 来自印度洋的赤道西风作为 ITCZ 气流汇合的重要一支, 对 ITCZ 的强度和位置的影响也是不可忽略的。这支赤道西风可能与西太平洋热带气旋活动也有一定的直接或间接的关系。丁一汇等<sup>[1]</sup>研究发现, 弱的西南季风对应着多台风季, 而强西南季风对应着少台风季。那么西南季风的强弱变化又是什么引起的? 沈如金等<sup>[11]</sup>认为尽管有时强盛的印度季风可以到达西太平洋地区, 从而影响西南气流的强弱, 然而大多数情况下印度季风主要影响孟加拉湾和南海地区, 对于西太平洋地区, 西南气流主要是该地区南半球信风气流加强的结果。然而这些研究选取的个例较少, 且多采用 20 世纪 70、80 年代的资料, 所以有必要利用新的资料研究赤道西风活动年际变化与赤道辐合带乃至西太平洋热带气旋频数的关系, 并分析其年际变化的可能原因。

为解决上述问题, 本文选取热带气旋生成的关键区, 研究了该区域内西太平洋夏季热带气旋频数

的年际变化的可能机理, 讨论了南北半球环流系统共同作用的物理过程及其对热带辐合带, 进而对热带气旋频数的影响。

## 2 资料与研究区域的选取

本文选用资料包括: (1) 中国气象局提供的 1979~2003 年热带气旋资料。(2) NCEP/NCAR 的月平均再分析资料, 包括位势高度场、风场等, 水平分辨率为  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$  经纬网格。(3) 美国 NOAA 的 1979~2003 年向外长波辐射 (Outgoing Longwave Radiation, 简称 OLR) 逐月资料。我们之所以选择 1979 年以后的资料, 鉴于两个原因, 一是由于 1979 年之前卫星资料未能广泛应用, 热带气旋频数可能会被低估<sup>[12]</sup>, 二是因为有效的 OLR 资料也是从 1979 年开始的。

热带气旋生成位置有很大的差异, 据统计, 在西北太平洋和南海, 有 85% 发生于赤道辐合带的扰动, 10% 来自东风波扰动, 另外有 5% 发生在中纬度冷涡和热带高空冷涡中<sup>[13]</sup>。如果我们笼统地把西太平洋热带气旋(包括南海)作为一个整体进行研究, 将不利于分析研究影响热带气旋生成的环流系统, 也不利于理解热带气旋的成因机理。所以需要选取热带气旋生成的关键区域。图 1a、b 分别为 1979~2003 夏季(6~8 月)热带气旋(最大风速在 17.2 m/s 以上)年平均生成数和夏季登陆热带气旋的平均生成数的空间分布。图 1a 的阴影区域为夏季热带气旋生成较多的位置, 平均生成数在 4 个以上。图 1b 中的阴影表示夏季登陆我国的热带气旋主要是在该区域生成, 平均生成数在 2 个以上。无论是热带气旋生成或登陆, 150°E 以西的阴影区域都是非常关键的。另外, 考虑到南海地区的热带气旋和西太平洋(不包括南海)热带气旋生成的环流背景不同, 有必要将两者分开研究。因此, 根据图 1a、b, 我们以 125°E 为界划分南海及西北太平洋, 125°E 以西为南海区。125°E~150°E 的西太平洋区, 即本文研究的关键区域, 下文提及的西太平洋热带气旋都特指在这一区域内生成的。

## 3 西太平洋热带气旋频数与南半球及热带环流的关系

### 3.1 ITCZ 与热带气旋生成频数的关系

很多研究<sup>[1~4]</sup>表明, 夏季西太平洋热带气旋的

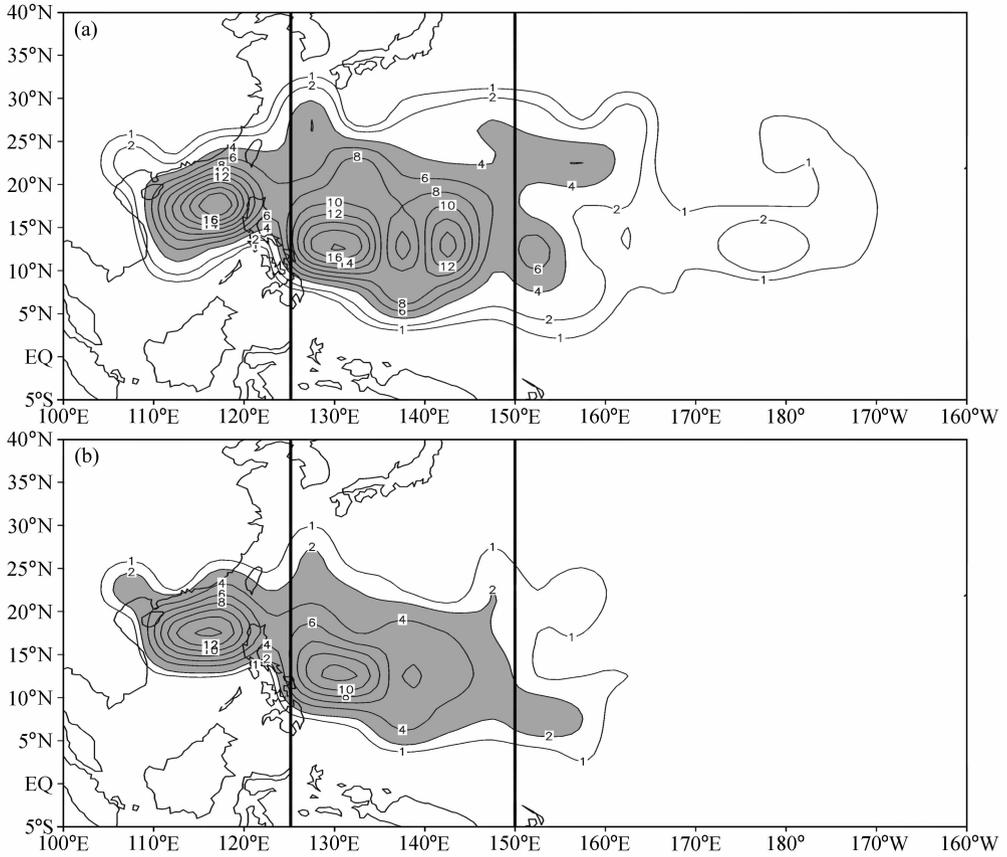


图1 1979~2003 夏季热带气旋年平均生成数空间分布: (a) 夏季生成的热带气旋分布, 阴影为平均热带气旋数在 4 个以上的区域; (b) 登陆热带气旋的生成数分布, 阴影为平均热带气旋数 2 个以上的区域。图中两条黑色竖直线之间为本文的研究关键区  
 Fig. 1 The spatial distribution of yearly-average number of tropical cyclones in summer from 1979 to 2003: (a) Average tropical cyclogenesis number, the shaded area represents the average number is over 4; (b) landfall tropical cyclone number, the shaded region shows the average number is over 2. The region between two black vertical lines is the research focus in this paper

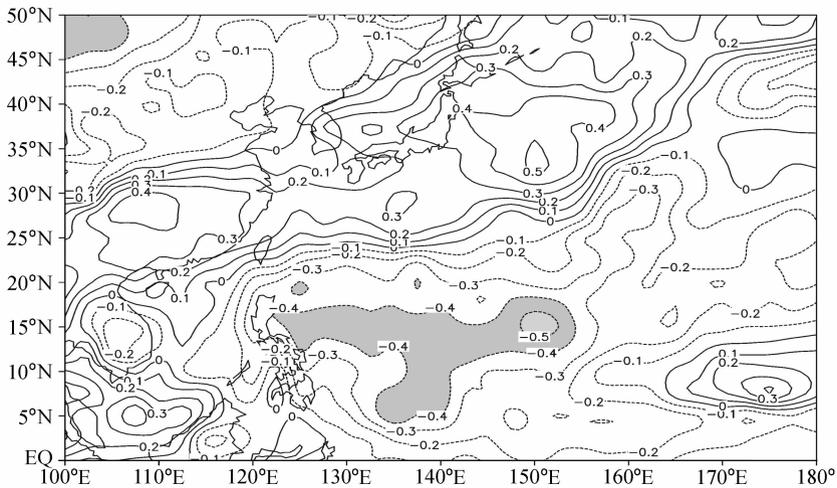


图2 1979~2003 年夏季西太平洋热带气旋生成频数与同期 OLR 的相关, 阴影表示超过 0.05 显著水平的区域  
 Fig. 2 The correlation between the frequency of tropical cyclones in the western Pacific in summer from 1979 to 2003 and OLR, the shaded area is over 0.05 significance level

发生、发展和登陆都与 ITCZ 的对流活动有关。图 2 为 1979~2003 年夏季西太平洋热带气旋生成频数与同期 OLR 的相关。从图 2 可以看出, 在菲律宾以东, 25°N 以南为大范围的负相关区, 该负相关区与图 1a、b 的热带气旋多发区一致, 而且超过 0.05 的显著水平的阴影区域 (5°N~15°N, 125°E~150°E) 也正对应着热带气旋频数最高的地方。即在 ITCZ 上的对流活动较强时, 相应区域上的热带气旋生成也较多。这就促使人们在研究热带气旋活动时把它紧紧地与 ITCZ 的变化联系在一起。

### 3.2 南半球环流异常与热带气旋的生成

从上节看, 研究 ITCZ 对流活动的强度变化的原因是一个十分重要的问题。很多研究<sup>[3, 5, 6]</sup>注意到越赤道气流的作用。我们在探讨越赤道气流之前先来看看南半球位势高度场与西太平洋热带气旋频数及 ITCZ 对流活动的关系。西太平洋夏季生成的热带气旋频数与澳大利亚东侧位势高度有很好的相关关系, 从 1000 hPa 到 200 hPa, 各层在澳大利亚东侧都有显著负相关区。图 3a 为 1979~2003 年夏季西太平洋热带气旋生成频数与同期 500 hPa 位势高度场的相关, 如图所示, 在澳大利亚东侧是一个显著负相关区 (阴影为超过 0.05 显著水平的区域), 区域中心的相关系数高达 -0.6。这表明, 澳大利亚东侧的环流异常和西太平洋热带气旋频数密切相关, 当澳大利亚东侧位势高度偏高时, 西太平洋热带气旋频数偏低, 而当澳大利亚东侧位势高度

偏低时, 热带气旋生成频数偏多。实际上, 澳大利亚东侧位势高度异常能够影响 ITCZ 的对流活动强弱。研究发现, (5°N~15°N, 125°E~150°E) 范围内的对流活动的强度与澳大利亚高压东部的位势高度异常密切相关, 特别是在对流层中、高层 (500 hPa、300 hPa、200 hPa) 上都有体现。其中 300 hPa 最为清晰, 这里仅给出图 3b, 1979~2003 年的 (5°N~15°N, 125°E~150°E) 范围内平均 OLR 的时间序列与 300 hPa 位势高度场的相关。图 3b 显示, 在澳大利亚东侧为显著正相关区 (阴影表示超过 0.05 显著水平的区域), 该区域中心的相关系数高达 0.5。也就是说, 当澳大利亚东侧位势高度偏高时, (5°N~15°N, 125°E~150°E) 内的对流活动偏弱。而当澳大利亚东侧位势高度偏低时, 该范围内的对流活动偏强。可见, 澳大利亚东侧的环流异常对 ITCZ 有重要影响, 进而也影响西太平洋热带气旋活动频数。

### 3.3 澳大利亚东侧位势高度异常影响 ITCZ 的可能机制

那么, 澳大利亚东侧的环流异常又是怎样影响到 ITCZ, 进而影响热带气旋生成频数多寡的? 我们作了 1979~2003 年夏季澳大利亚东侧 (25°S~35°S, 150°E~170°E) 平均 500 hPa 位势高度场与同期同层位势高度场相关的空间分布 (图 4a)。由图 4a 可见, 澳大利亚东侧与南海至菲律宾东部的相关系数达 0.5 以上, 通过 0.05 的显著水平 (图中

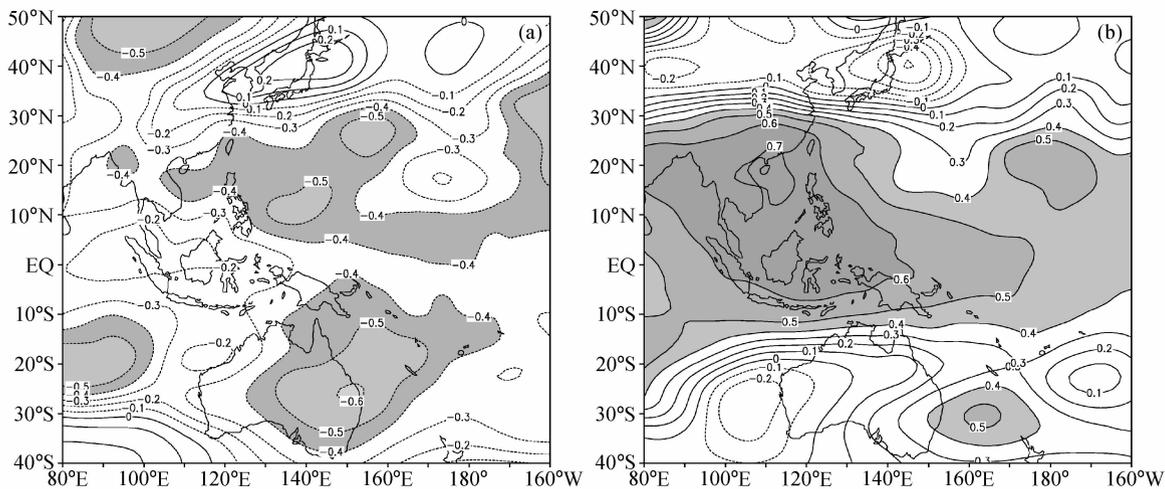


图 3 (a) 1979~2003 年西太平洋热带气旋生成频数与 500 hPa 位势高度场的相关; (b) 1979~2003 年的 (5°N~15°N, 125°E~150°E) 范围内平均 OLR 的时间序列与 300 hPa 位势高度场的相关。阴影表示超过 0.05 显著水平的区域

Fig. 3 The correlations (a) between the frequency of tropical cyclones in the western Pacific and the geopotential height at 500 hPa and (b) between OLR averaged over (5°N-15°N, 125°E-150°E) and the geopotential height at 300 hPa during 1979-2003. The shaded area indicates the significance level over 0.05

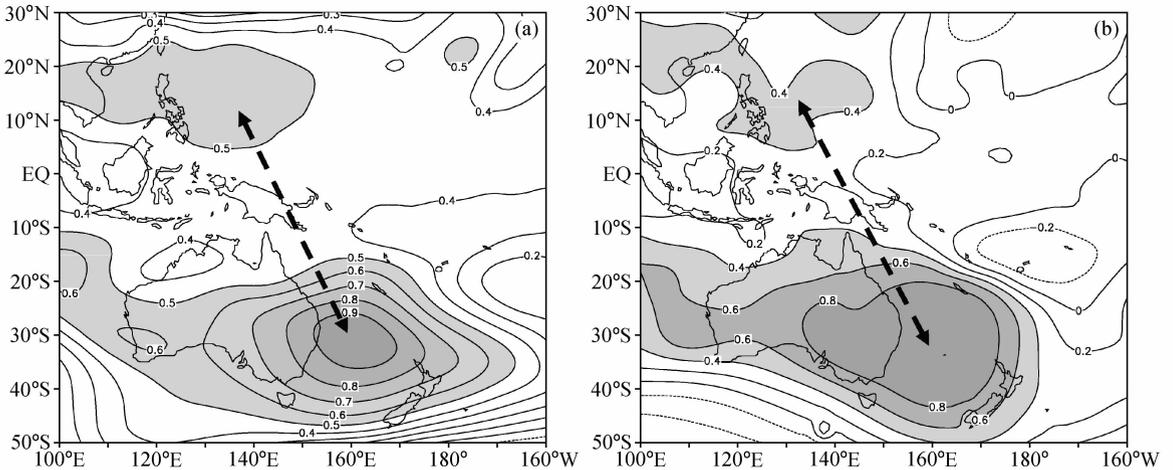


图 4 1979~2003 年澳大利亚东侧 (25°S~35°S, 150°E~170°E) 平均 500 hPa 位势高度场的时间序列与同期同层位势高度场相关的空间分布: (a) 夏季, 阴影为相关系数 $\geq 0.5$ 的区域; (b) 热带气旋多发期, 阴影为超过 0.05 显著水平的区域

Fig. 4 The correlation between the time series of 500 hPa geopotential height averaged over (25°S–35°S, 150°E–170°E) and the geopotential height: (a) In summer, the shadow shows the correlation coefficient is over 0.5; (b) in the period of more tropical cyclogenesis, the shadow area is over 0.05 significance level

阴影区域)。这说明, 当澳大利亚东侧的位势高度为正距平时, 相应地在菲律宾以东地区也会出现正距平。而该处位势高度的正距平是西太平洋副高偏强, 且偏南西伸的体现。西太平洋副高的加强和偏南可影响 ITCZ 对流活动, 使其偏弱或偏南, 导致热带气旋生成频数偏少。而当澳大利亚东侧的位势高度为负距平时, 在菲律宾以东地区也会出现负距平。表明西太平洋副高偏弱, 且位置偏北。相应地, 菲律宾以东地区对流活动偏强, 使热带气旋生成频数偏多。

以上讨论是针对夏季平均而言的, 事实上, 热带气旋的生成有明显的阶段性<sup>[13]</sup>。经常是热带气旋频繁发生的活跃阶段和中断阶段交替出现, 一般来说, 夏季 (6~8 月) 会出现一、二次频发期, 而其他时间热带气旋生成很少。因此, 如果采用历年的夏季平均, 可能会混淆热带气旋频发期和中断期的环流特征, 难以体现热带气旋频数生成的真正大气环流背景。为此, 我们将 6~8 月热带气旋生成时间集中在两周内的阶段定义为频发期。将历年 (1979~2003) 热带气旋频发期内的各种气象要素 (如 OLR、风场、位势高度场等) 进行阶段内分析, 这更有利于找出影响热带气旋频数异常的主要环流系统。

我们作了热带气旋频发期澳大利亚东侧 (25°S~35°S, 150°E~170°E) 平均 500 hPa 位势高度场与同期同层位势高度场相关的空间分布 (图 4b)。该图

说明, 在热带气旋频发期, 澳大利亚东侧和菲律宾以东地区的位势高度相关系数也在 0.4 以上, 通过 5% 的信度检验。在热带气旋频发期, 南北半球这两个区域的遥相关现象也是显著的。由此可推断, 南北半球遥相关可能是澳大利亚东侧环流异常影响西太平洋热带气旋频数的一个可能联系机制。

南北半球高度场遥相关的一个可能解释是 Rossby 波从一个半球穿过赤道向另一个半球的传播。Webster 等<sup>[14]</sup>曾经指出, 在对流层上层赤道附近的纬圈上一般为东风, 但在太平洋上空, 常会出现赤道西风带, 当其延伸过赤道时, 扰动将通过赤道西风区进行传播。若赤道西风足够强的话, 传播还可延伸到相邻的半球。尽管从气候平均来看, 夏季西太平洋上的赤道地区对流层上层不是西风, 然而从日平均情况看, 该处的西风通道有时会出现, 并持续一段时间。研究还发现这种遥相关现象主要表现在对流层中、上层, 在低层相对较弱, 而我们知道 Rossby 波的传播也是在对流层中上层较为明显, 因此这种遥相关现象和 Rossby 波的传播可能确有一定的联系。当然, 这种机制只是一个初步的推测, 尚需诊断分析、数值模拟工作进行验证。

### 3.4 ITCZ 对流活动强度的变化

澳大利亚东侧位势高度异常是一种准正压的结构。前面也提及, 从 1000 hPa 到 200 hPa 各层在澳大利亚东侧都有与热带气旋生成频数的显著负相关

区。也就是说, 在对流层的中、高、低层, 都存在澳大利亚东侧位势高度偏低(高)时, 西太平洋热带气旋生成偏多(少)的配置关系。在对流层中、上层, 澳大利亚东侧位势高度异常可能会通过 Rossby 波的传播影响到北半球西太平洋副热带高压, 进而影响到 ITCZ 乃至热带气旋生成频数。两者的关系同样也反映在对流层低层。下面, 我们来看看 850 hPa 上的 ITCZ。图 5a 为澳大利亚东侧位势高度偏弱年(1981、1986、1989、1990、1992 年)的 850 hPa 风场流线合成, 配合同时期的风矢量距平(图 5b), 可以看出, 澳大利亚东侧位势高度偏低, 出现了气旋性距平风。同样, 在以  $20^{\circ}\text{N}$  为中心的热带太平洋地区也存在气旋性距平风(图 5b), 表明该处的 ITCZ 将加强。这两处的的气旋性距平风可能是南北半球遥相关在低层的反映。另外, 菲律宾地区及其西部的西风偏强(图 5a 中的实线箭头表示偏强的西风), 使越赤道气流偏转为西南风。西南风与副热带高压南缘的偏东风辐合, 在菲律宾以东形成 ITCZ(季风槽), 槽中的风速较小, 扰动较为活跃, 有利于热带气旋的生成。图 5 显示 ITCZ 所在位置(图 5a 中的虚线)和气候平均的夏季热带气旋频发区一致(图 1)。即当澳大利亚东侧和  $20^{\circ}\text{N}$  附近的热带太平洋存在一对气旋性矢量风距平, 且菲律宾地区及其西部的赤道西风偏强时, ITCZ 的位置和对流强度都有利于西太平洋热带气旋的发生、发展。

图 5c、d 分别为澳大利亚东侧位势高度偏高年(1987、1988、1993、1998 年)的 850 hPa 风场流线合成和矢量风距平。图 5d 表明, 由于澳大利亚东侧位势高度偏高, 造成该处出现了反气旋性距平风。与此对应,  $20^{\circ}\text{N}$  附近的热带太平洋也存在反气旋性距平风场(图 5d)。图 5c 中的虚线箭头表示菲律宾地区及其西部的赤道西风偏弱, 不利于越赤道气流充分偏转为西南风。因此, 南半球的东南信风越过赤道后表现为偏南风, 并与副热带高压西侧的南风交汇成渐近线型的辐合区。该辐合区中的风速较大, 扰动较弱, 不利于热带气旋的生成。所以当澳大利亚东侧和  $20^{\circ}\text{N}$  附近的热带太平洋地区为反气旋性距平风, 菲律宾地区及其西部的赤道西风偏弱时, 不利于形成易于西太平洋热带气旋的发生、发展的 ITCZ。

从澳大利亚东侧位势高度偏强、弱年的 OLR

合成图(图 6)可以清楚地看出: 澳大利亚东侧位势高度偏弱年(图 6a), 菲律宾以东地区的 OLR 距平值  $\leq -4 \text{ W/m}^2$  (阴影区), 即该地区对流活动与气候平均相比偏强, 有利于西太平洋上热带气旋频数偏多; 而澳大利亚东侧位势高度偏强年的 OLR 合成(图 6b)表明, 菲律宾以东地区的 OLR 距平值  $\geq 8 \text{ W/m}^2$ , 也即当澳大利亚东侧位势高度偏强时, 菲律宾以东对流活动偏弱, 因而西太平洋热带气旋频数偏少。

简而言之, 在 850 hPa 风场上, 也有南北半球遥相关的体现, 并对 ITCZ 的位置和对流活动的强度有重要影响。另外, 菲律宾地区及其西部的赤道西风强弱也能够影响 ITCZ 的位置及扰动的强弱。

当澳大利亚东侧为气旋性距平风时(图 5b), 在该系统的北侧为西北风距平。对应 850 hPa 流场图, 说明赤道以南的东南信风与气候平均相比偏弱(图 5a 中的虚线箭头表示偏弱的东南信风), 越赤道气流也稍弱。而这时对应着菲律宾以东地区 ITCZ 对流强, 热带气旋频数偏多; 而当澳大利亚东侧为反气旋性距平风时, 则在其北侧表现为东南风距平(图 5d)。对应图 5c, 可以看出赤道以南的东南信风比气候平均强(图 5c 中的实线箭头), 越赤道气流随之略强。菲律宾以东地区 ITCZ 对流反而偏弱, 热带气旋频数偏少。

那么, 为什么越赤道气流的强度和菲律宾以东地区 ITCZ 对流活动强弱不一致? 越赤道气流的强弱对 ITCZ 的位置和强度的影响是怎样的? 为了找出西太平洋越赤道气流关键的几支, 并分析这几支越赤道气流强度与 ITCZ 对流活动的关系, 我们采用奇异值分解(Singular Value Decomposition, 简称 SVD)的方法进行分析。图 7 为 1979~2003 年夏季 OLR 与同期 850 hPa  $v$  风场 SVD 的第一模态空间分布型, 第一模态的解释方差 37.21%, 具有很好的代表性。OLR 的空间分布显示, 通过 0.05 显著水平的高负相关区位于  $150^{\circ}\text{E}$  以东,  $10^{\circ}\text{N}$  以南(图 7a)。图 7b,  $v$  风场的空间分布图中的正相关区在  $130^{\circ}\text{E}$  和  $150^{\circ}\text{E}$  附近跨越赤道, 高相关中心的相关系数达 0.6 以上。这对空间分布型说明, 当  $130^{\circ}\text{E}$  和  $150^{\circ}\text{E}$  附近的越赤道气流增强时,  $150^{\circ}\text{E}$  以东,  $10^{\circ}\text{N}$  以南地区的对流活动较强, 反之亦然。我们分别作了夏季  $130^{\circ}\text{E}$  和  $150^{\circ}\text{E}$  的越赤道气流( $v$  风场)与同期 OLR 的相关(图略), 也证实了上

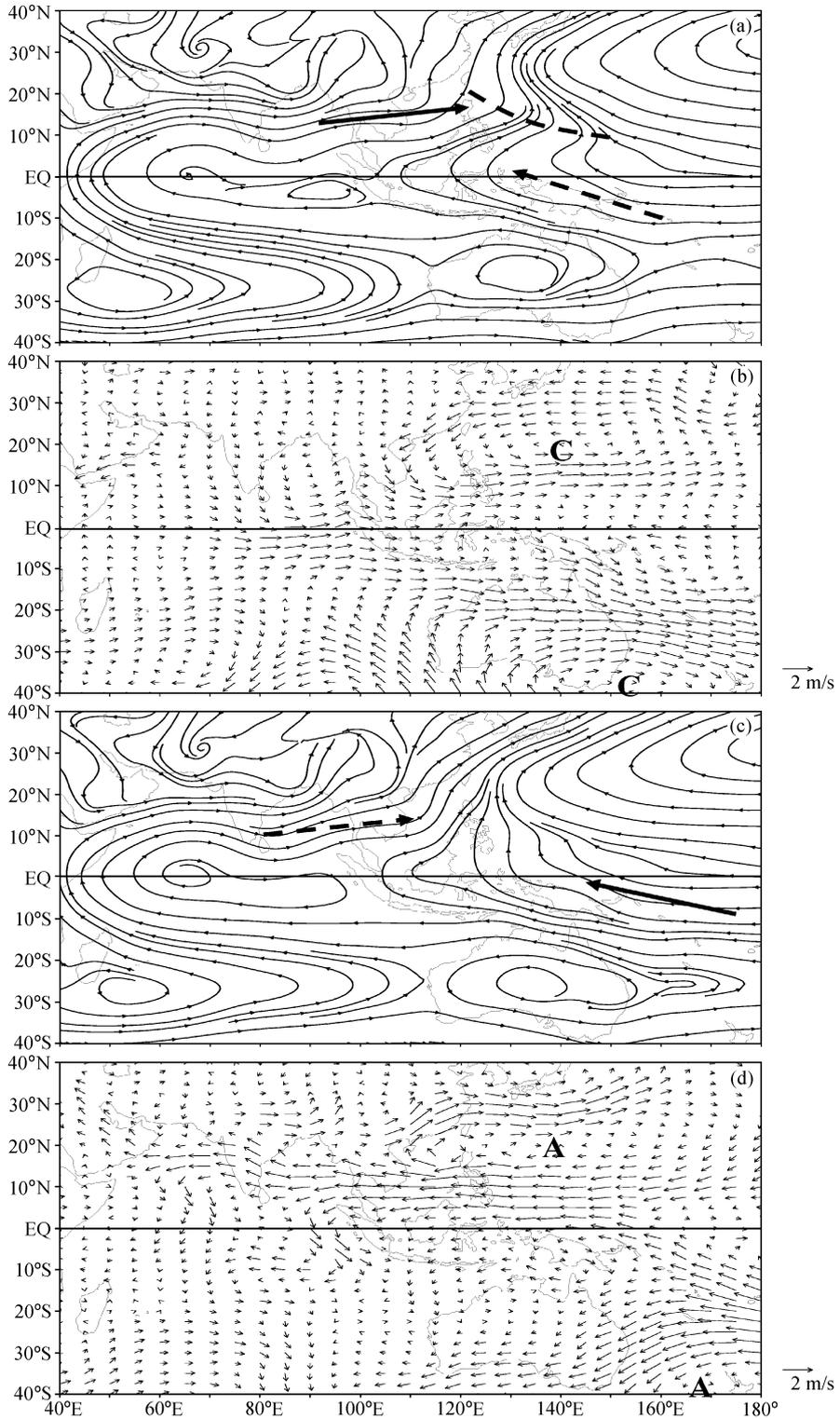


图 5 澳大利亚东侧位势高度偏弱年 (a, b) 和偏强年 (c, d) 的夏季 850 hPa 风场流线合成 (a, c) 和风矢量距平 (b, d), 图中 “C” 表示气旋, “A” 代表反气旋

Fig. 5 The composite streamline fields (a, c) and wind anomalies (b, d) at 850 hPa during summer in the years with weaker geopotential height (a, b) and stronger geopotential height (c, d) over the east of Australia, “C” and “A” indicate Cyclones and Anticyclones, respectively

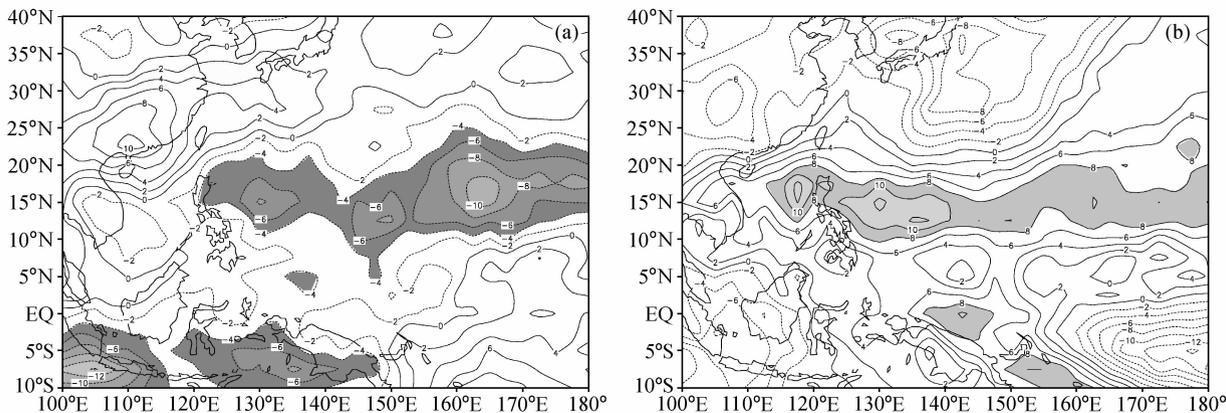


图 6 澳大利亚东侧位势高度偏强、弱年的 OLR 距平合成图: (a) 澳大利亚东侧位势高度偏弱年, 阴影区 OLR 距平值  $\leq -4 \text{ W/m}^2$ ; (b) 澳大利亚东侧位势高度偏强年, 阴影区 OLR 距平值  $\geq 8 \text{ W/m}^2$

Fig. 6 The composite OLR anomalies in summer in the years with weaker (a) and stronger (b) geopotential height, the OLR anomalies in the shadows are less than  $-4 \text{ W/m}^2$  and greater than  $8 \text{ W/m}^2$  in (a) and (b), respectively

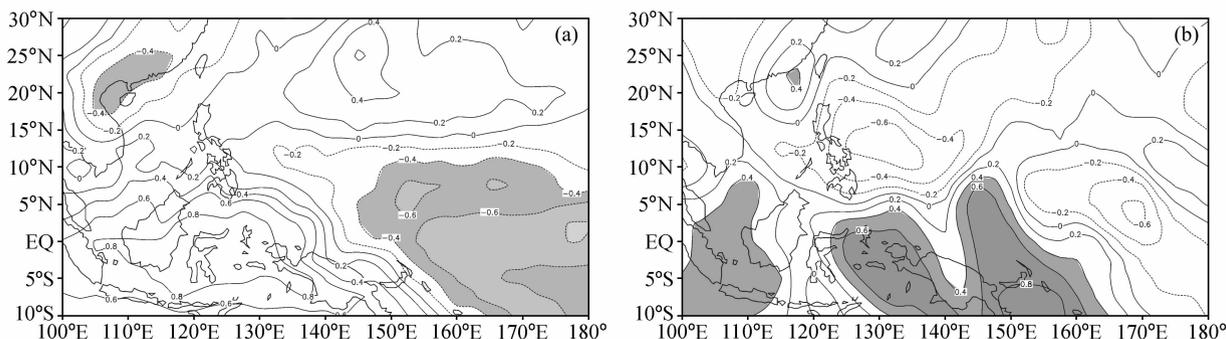


图 7 1979~2003 年夏季 OLR(a)与同期 850 hPa  $v$  风场(b)SVD 的第一空间分布型。阴影为超过 0.05 显著水平的区域

Fig. 7 The spatial distributions of the first SVD mode for (a) OLR and (b) meridional wind, the shadow is over 0.05 significance level

述结果。然而, 这一对流活动加强的区域和夏季西太平洋热带气旋的气候平均多发区并不符合 (图 1a)。也即越赤道气流的加强, 仅能造成  $150^\circ\text{E}$  以东,  $10^\circ\text{N}$  以南地区的对流活动增强, 而对  $125^\circ\text{E} \sim 150^\circ\text{E}$  的西太平洋区上的对流强弱影响不显著, 所以夏季平均的越赤道气流偏强时, 西太平洋热带气旋频数也并不偏多。

同样, 我们做了 1979~2003 年热带气旋频发期的 OLR 与同期 850 hPa  $v$  风场 SVD 分析 (图略), 并根据 SVD 前两个模态的空间分布图确定了关键的两支越赤道气流, 作了这两支越赤道气流与 OLR 的相关。图 8a、b 分别为热带气旋频发期的  $130^\circ\text{E} \sim 140^\circ\text{E}$ 、 $150^\circ\text{E} \sim 160^\circ\text{E}$  平均 850 hPa  $v$  风场与同期 OLR 的相关。与图 7 夏季平均的结果类似, OLR 的高负相关区同样在  $150^\circ\text{E}$  以东,  $15^\circ\text{N}$  以南, 比夏季平均略向北移  $5^\circ$ 。而  $150^\circ\text{E}$  以西,  $15^\circ\text{N}$  以

北的大部分地区为正相关区。这说明在热带气旋频发期, 越赤道气流的加强, 也不能使  $125^\circ\text{E} \sim 150^\circ\text{E}$  的西太平洋区上的对流活动加强, 因而西太平洋热带气旋频数也并不偏多。综上所述,  $130^\circ\text{E}$ 、 $150^\circ\text{E}$  附近的越赤道气流的强度对 ITCZ 的影响不显著, ITCZ 的位置和对流活动的强度主要受南北半球遥相关及菲律宾地区及其西部的赤道西风的影响。

### 3.5 赤道西风对西太平洋热带气旋频数的影响

上一节提到菲律宾地区及其西部的赤道西风强弱也能够影响 ITCZ 的位置及扰动的强弱。为了对此作进一步说明, 我们给出了图 9a, 1979~2003 年 ( $2^\circ\text{N} \sim 15^\circ\text{N}$ ,  $80^\circ\text{E} \sim 100^\circ\text{E}$ ) 范围内夏季 850 hPa 平均  $u$  风与同期 OLR 的相关。图 9a 中显示, 在菲律宾附近及其东侧为一显著负相关, 其中相关系数在 0.6 以上的区域位于 ( $5^\circ\text{N} \sim 15^\circ\text{N}$ ,  $125^\circ\text{E} \sim 150^\circ\text{E}$ ) 范围内, 这正是气候平均的热带气旋多发

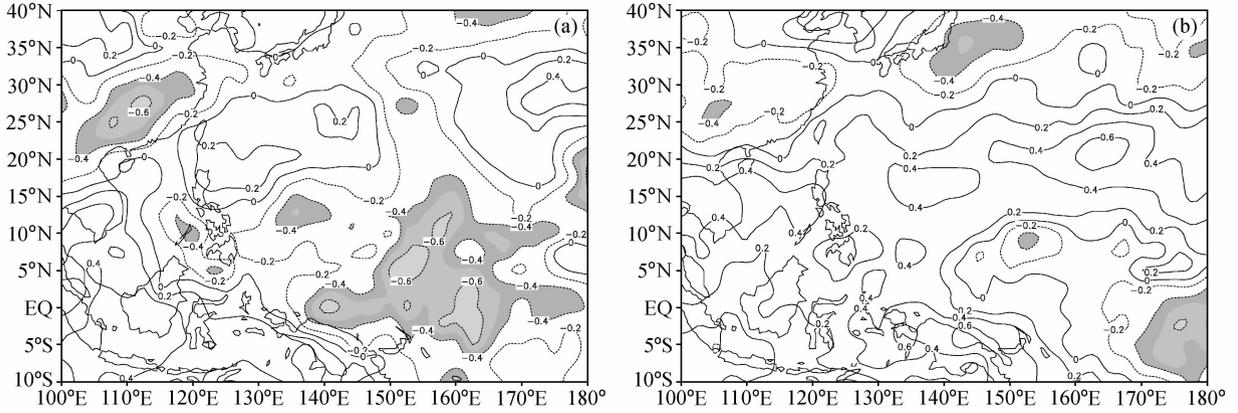


图 8 热带气旋频发期的 850 hPa  $v$  风场与同期 OLR 的相关: (a) 130°E~140°E 平均  $v$  风; (b) 150°E~160°E 平均  $v$  风。阴影为超过 0.05 显著水平的负相关区

Fig. 8 The correlations (a) between the OLR and meridional wind averaged over 130°E-140°E and (b) between the OLR and meridional wind averaged over 150°E-160°E during the period of more tropical cyclogeneses, the shadow shows the negative correlation significance level is over 0.05

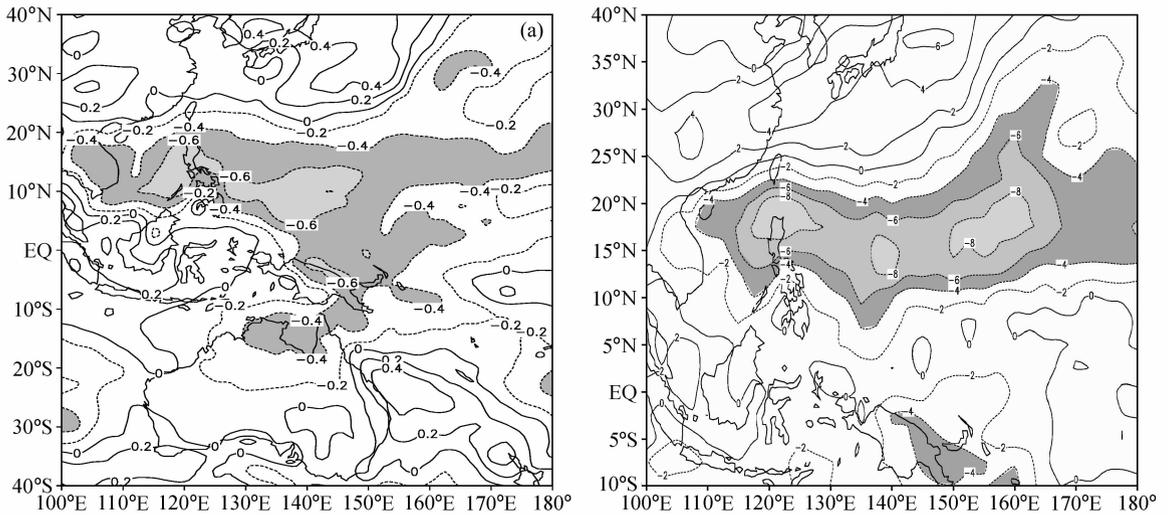


图 9 (a) 1979~2003 年 (2°N~15°N, 80°E~100°E) 范围内夏季 850 hPa 平均  $u$  风与同期 OLR 的相关, 阴影区通过 5% 的信度检验; (b) (2°N~15°N, 80°E~100°E) 范围内平均西风强年 OLR 距平图, 阴影区表示 OLR 距平  $\leq -4$  W/m<sup>2</sup>

Fig. 9 (a) The correlation between 850 hPa zonal wind averaged over (2°N-15°N, 80°E-100°E) in summer and OLR from 1979 to 2003, the shadow area is over 0.05 significance level; (b) the composite OLR anomalies in the years with strong westerly averaged over (2°N-15°N, 80°E-100°E), the shadow area means that the OLR anomalies are less than -4 W/m<sup>2</sup>

位置。另外, 从 (2°N~15°N, 80°E~100°E) 范围内平均赤道西风强年 (1981、1982、1984、1985、1986、1990、1994、2001 年) 的 OLR 距平 (图 9b) 来看, OLR 的负距平区同样在菲律宾附近及其东侧。无论是相关还是合成分析, 都表明上游赤道西风的强度对 (5°N~15°N, 125°E~150°E) 范围内的对流活动的影响显著, 因而也对西太平洋热带气旋的生成频数有重要作用。

进一步研究发现, (2°N~15°N, 80°E~100°E)

范围内赤道西风的强弱取决于 90°E 附近的越赤道气流的强度。图 10 是 1979~2003 年 (2°N~15°N, 80°E~100°E) 范围内夏季 850 hPa 平均  $u$  风与同期、同高度上  $v$  风的相关, 阴影表示通过 5% 信度检验的区域。该图显示, 在 90°E 和 110°E 附近的赤道上为显著正相关区。而 110°E 位于平均  $u$  风的 (2°N~15°N, 80°E~100°E) 范围以东, 也即赤道西风的下游地区, 因此对该范围内的西风强弱应无直接影响。所以起主要作用的应该是 90°E 附近的

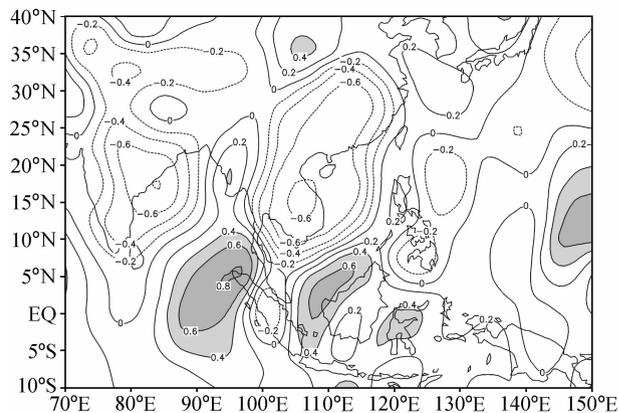


图 10 1979~2003 年 ( $2^{\circ}\text{N}\sim 15^{\circ}\text{N}$ ,  $80^{\circ}\text{E}\sim 100^{\circ}\text{E}$ ) 范围内夏季 850 hPa 平均  $u$  风与同期同高度上  $v$  风的相关。阴影表示超过 0.05 显著水平的区域

Fig. 10 The correlation between 850 hPa zonal wind averaged over ( $2^{\circ}\text{N}\sim 15^{\circ}\text{N}$ ,  $80^{\circ}\text{E}\sim 100^{\circ}\text{E}$ ) in summer and 850 hPa meridional wind in the same season from 1979 to 2003, the shadow area is over 0.05 significance level

越赤道气流的强度。当这支越赤道气流强时, ( $5^{\circ}\text{N}\sim 15^{\circ}\text{N}$ ,  $125^{\circ}\text{E}\sim 150^{\circ}\text{E}$ ) 范围内西风也随之加强, 从而使菲律宾以东对流活动加强, 西太平洋热带气旋频数增高。反之, 当该支越赤道气流弱时, 赤道西风随之偏弱, 从而造成菲律宾以东对流活动偏弱, 西太平洋热带气旋生成偏少。

## 4 结论与讨论

本文研究了西太平洋 ( $125^{\circ}\text{E}\sim 150^{\circ}\text{E}$ ) 夏季热带气旋历年生成频数多寡的可能机理。讨论了南北半球环流系统共同作用对热带辐合带, 进而对热带气旋频数的影响。重点讨论了从南半球环流异常到北半球西太平洋热带气旋频数响应的可能的物理链接过程。研究主要发现:

(1) ITCZ 上 [ $5^{\circ}\text{N}\sim 15^{\circ}\text{N}$ ,  $125^{\circ}\text{E}\sim 150^{\circ}\text{E}$ ] 范围内的对流活动强时, 相应区域上的热带气旋生成频数也偏多。

(2) 澳大利亚东侧的环流异常与西太平洋热带气旋活动频数密切相关, 当澳大利亚东侧位势高度偏高时, 西太平洋热带气旋频数偏低, 而当澳大利亚东侧位势高度偏低时, 热带气旋生成频数偏多。

(3) 南北半球遥相关是澳大利亚东侧环流异常影响西太平洋热带气旋频数的一个可能联系机制。当澳大利亚东侧的位势高度为正距平时, 相应地在菲律宾以东地区也会出现正距平。即西太平洋副高

偏强, 且偏南西伸, 抑制 ITCZ 的对流活动发展, 使菲律宾以东的对流活动偏弱, 从而使热带气旋生成频数偏少。而当澳大利亚东侧的位势高度为负距平时, 相应地在菲律宾以东地区也会出现负距平。西太平洋副高偏弱, 且位置偏北。菲律宾以东地区对流活动偏强, 热带气旋生成频数偏多。

(4)  $130^{\circ}\text{E}$ 、 $150^{\circ}\text{E}$  附近的越赤道气流的强度对菲律宾东侧的 ITCZ 对流强弱的影响不是很显著, ITCZ 的位置和对流活动的强度受南北半球遥相关及菲律宾地区及其西部的赤道西风的影响比较重要。

(5) 当  $90^{\circ}\text{E}$  附近的越赤道气流强时, ( $2^{\circ}\text{N}\sim 15^{\circ}\text{N}$ ,  $80^{\circ}\text{E}\sim 100^{\circ}\text{E}$ ) 范围内的西风也随之加强, 从而使菲律宾以东对流活动加强, 西太平洋热带气旋频数偏多。反之, 当该支越赤道气流弱时, 上游赤道西风随之偏弱, 从而造成菲律宾以东对流活动偏弱, 西太平洋热带气旋生成偏少。

简而言之, 南半球的澳大利亚东侧环流异常可能不完全是通过越赤道气流影响 ITCZ, 而 Rossby 波的传播造成的南北半球遥相关作用可能会对北半球环流系统产生影响, 导致西太平洋热带气旋生成频数的多寡差异。有研究<sup>[15]</sup>表明亚澳季风区恰为南北半球 Rossby 波传播的主要通道。那么 Rossby 波传播的具体过程如何? 亚澳各环流系统在这种机制下是如何演变的? 是否有一个更大的体系制约着南北半球遥相关过程? 这些问题都值得进一步研究。

另外, 本文仅讨论了  $125^{\circ}\text{E}\sim 150^{\circ}\text{E}$  范围内的西太平洋热带气旋生成频数。从地域上来看, 比较重要的南海热带气旋未纳入研究范围; 从研究对象上看, 本文也未涉及热带气旋的强度以及其登陆情况。这些工作都将另行深入分析研究。

## 参考文献 (References)

- [1] 丁一汇, 莱特 E R. 影响西太平洋台风形成的大尺度环流条件. 海洋学报, 1983, 5 (5): 561~574  
Ding Yihui, Reiter E R. Large-scale circulations conditions affecting the typhoon formation over the Northwest Pacific. *Acta Oceanologica Sinica* (in Chinese), 1984, 3 (3): 327~338
- [2] 蒋乐怡, 应明. 华东地区热带气旋年频数异常的分析. 应用气象学报, 2002, 13 (1): 88~95

- Jiang Leyi, Ying Ming. Analysis of anomalous frequency of tropical cyclone in East China. *Journal of Applied Meteorological Science* (in Chinese), 2002, **13** (1): 88~95
- [3] 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
- [4] 刘舸, 张庆云, 孙淑清. 2005 年夏季中国登陆台风的环流特征. *大气科学*, 2007, **31** (5): 909~918
- Liu Ge, Zhang Qingyun, Sun Shuqing. The circulation characteristics of frequency activities of typhoons over Eastern China during the summer of 2005. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2007, **31** (5): 909~918
- [5] 李宪之. 台风的研究. *中国近代科学论著丛刊——气象学*. 北京: 科技出版社, 1955. 119~145
- Li Xianzhi. On typhoon. *A Series of Modern Science in China—Meteorology* (in Chinese). Beijing: Science and Technology Press, 1955. 119~145
- [6] 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
- [7] 何金海, 韩慎友. 越赤道气流时空变化特征及其与西北太平洋热带气旋发生频数的关系. 第十三届全国热带气旋科学讨论会论文集, 2004
- He Jinhai, Han Shenyou. The characteristics of cross-equatorial air flow and the relation to tropical cyclone frequency in the Northwest Pacific. *Proceedings of the 13th National Science Seminar on Tropical Cyclones* (in Chinese), 2004
- [8] 高辉, 薛峰, 王会军. 南极涛动的年际变化对江淮梅雨的影响和预报意义. *科学通报*, 2003, **48** (增刊): 87~92
- Gao Hui, Xue Feng, Wang Huijun. Influence of interannual variability of Antarctic oscillation on Mei-yu along the Yangtze and Huaihe River valley and its importance to prediction. *Chinese Science Bulletin*, 2003, **48** (suppl. 2): 61~67
- [9] 范可. 南半球环流异常与长江中下游夏季旱涝的关系. *地球物理学报*, 2006, **49** (3): 672~679
- Fan Ke. Atmospheric circulation in Southern Hemisphere and summer rainfall over Yangtze River valley. *Acta Geophysica Sinica* (in Chinese), 2006, **49** (3): 672~679
- [10] 刘舸, 张庆云, 孙淑清. 澳大利亚东侧环流及海温异常与长江中下游夏季旱涝的关系. *大气科学*, 2007(已录用)
- Liu Ge, Zhang Qingyun, Sun Shuqing. The relationship between circulation and SST anomaly over the east of Australia and the summer rainfall over the Yangtze River. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2007 (to be accepted)
- [11] 沈如金, 杨义碧, 罗绍华, 等. 西太平洋及南海地区一次热带辐合带环流和结构的初步分析. *大气科学*, 1978, **2** (1): 38~47
- Shen Rujin, Yang Yibi, Luo Shaohua, et al. A preliminary analysis on the circulation and structure of intertropical convergence zone over the western Pacific and South China Sea. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica)* (in Chinese), 1978, **2** (1): 38~47
- [12] Chan J C L. Tropical cyclone activity in the northwest Pacific in relation to the El Niño/Southern Oscillation phenomenon. *Mon. Wea. Rev.*, 1985, **113**: 599~606
- [13] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. *天气学原理和方法*. 北京: 气象出版社, 1981. 385pp
- Zhu Qian'gen, Lin Jinrui, Shou Shaowen, et al. *Principle and Methods of Synoptic Meteorology* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1981. 385pp
- [14] Webster P J, Holton J R. Cross-equatorial response to middle-latitude forcing in a zonally varying basic state. *J. Atmos. Sci.*, 1982, **39** (4): 722~733
- [15] 李建平. 定常波传播和南北两半球大气的相互作用. 济南会议, 2004
- Li Jianping. The propagation of stationary waves and the atmosphere interaction between the two hemispheres. The Report from the Conference in Jinan. 2004