

2006年夏季西太平洋热带气旋活动的初步研究

刘 舸^{1,2} 张庆云¹ 孙淑清¹

1 中国科学院大气物理研究所和地球流体力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 100049

摘 要 2006年夏季西太平洋热带气旋活动主要有如下特征: 1) 生成时间具有明显的阶段性, 且强度强, 登陆中国数偏多。2) 登陆热带气旋有其各自特点。例如“碧利斯”影响范围大、降水强度大、持续时间长; “桑美”风速大, 登陆后迅速减弱。作者针对上述2个特点进行了初步分析。研究发现: 1) 2006年6月27日~8月31日, 来自印度洋的热带西风增强并东推延伸及115~140°E的越赤道气流的加强都有利于热带气旋的生成, 并在西太平洋副热带高压北移、季节内振荡(Madden-Julian Oscillation, 简称MJO)的湿位相、高低层纬向风切变弱和菲律宾以东地区热带辐合带(Intertropical Convergence Zone, 简称ITCZ)对流活跃等背景条件配合下, 使热带气旋在这一阶段频发。2) 2006年夏季水汽含量与供给对登陆热带气旋的影响显著。“碧利斯”和“桑美”的水汽来源不同是造成这两个登陆热带气旋明显差异的重要原因。

关键词 热带气旋 热带辐合带 副热带高压

文章编号 1006-9585 (2007) 06-0738-13 **中图分类号** P433 **文献标识码** A

A Preliminary Study on Activities of Tropical Cyclones over the Western North Pacific during the Summer in 2006

LIU Ge^{1,2}, ZHANG Qing-Yun¹, and SUN Shu-Qing¹

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 the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049*

Abstract The characteristics of tropical cyclones over the western North Pacific during summer in 2006 are as follow: 1) The intensity of tropical cyclones over the Northwest Pacific in the summer 2006 is stronger than that in the normal years. These tropical cyclones tend to cluster temporally around some period (27 June—31 August). Therefore more tropical cyclones landed on China to make heavier disasters during this period. 2) The most damaging landing typhoons are Bilis and Saomai, the former influenced a great area, brought heavy precipitation, and lasted for a long time; the latter brought strong wind, and decayed very soon. Some primary researches are performed in terms of the two characteristics. The circulation features are compared between tropical cyclone clustering period and no cyclogenesis period. The results show that: during the first period (1—26 June), the Western Pacific Subtropical High was more south than the climate average one, and the Intertropical Convergence Zone (ITCZ) is also more south. Near 5°N, the vertical shear of zonal wind (200—850 hPa) is small. These circulation conditions resulted in the few formation of tropical cyclones. On the contrary, during the second period (27 June—31 August), both the Western Pacific Subtropical High and the ITCZ moved north. The weak vertical shear of zonal

收稿日期 2006-12-19 收到, 2007-06-12 收到修定稿

资助项目 国家重点基础研究发展规划项目 2004CB418303, 上海台风所台风研究基金 2006STB01 和国家自然科学基金资助项目 40523001

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

wind is just over the ITCZ. The cyclogenesis favors these atmospheric circulation conditions. The Indian Monsoon extends east or not, and the intensity of the cross-equatorial flow may also play a very important role on cyclogenesis. The reason why Bilis and Saomai have different features is also researched. The results show that the difference between Bilis and Saomai are derived from different vapor channels and origin.

Key words tropical cyclone, intertropical convergence zone, western pacific subtropical high

1 引言

台风是发生在热带洋面上具有暖中心结构的强烈的热带气旋。台风所到之处, 因大风、暴雨以及风暴潮等造成严重的灾害, 使国家财产和人民生命安全遭受巨大损失。对台风活动的研究始终是一个十分重要的课题, 我国学者作过大量的研究。例如, 丁一汇等^[1]研究了影响西太平洋台风形成的大尺度环流条件, 指出赤道辐合带 (Inter-tropical Convergence Zone, 简称 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°N 附近, 而少台风季位于 10°N 附近。张庆云等^[2,3]研究指出, 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, 并有利于台风登陆。李崇银^[4]研究指出 El Niño 对应的大气环流和海温的异常对西太平洋台风生成不利, 而 La Niña 事件则对其有利。陈联寿^[5]研究发现当东亚大陆上发展长波槽时, 副热带纬度常出现经向环流, 有利于台风转向; 而当亚洲中部 ($80\sim 100^{\circ}\text{E}$) 或日本东部长波槽发展时, 副热带纬度上常转变为纬向环流, 有利于台风西行。这些研究从台风生成、路径和登陆等角度分析了西太平洋台风的活动规律, 取得了一定的成果。

西太平洋台风的生成数、路径、登陆数以及造成的灾害每年都有差异, 2006 年夏季 (6~8 月) 的台风活动也有其鲜明的特点。从整体情况来看, 2006 年夏季西太平洋台风生成时间具有明显的阶段性, 且与多年平均相比, 强度较强, 登陆中国数偏多, 造成的灾害偏重。那么造成台风呈阶段性生成的原因是什么? Harr 和 Elsberry^[6]指出西北太平洋活跃 (不活跃) 季风时期同热带气旋的活跃 (不活跃) 时期相联系。丁一汇等^[1]发现, 弱的西南季风对应着多台风季, 强西南季风对应少台风季。王慧等^[7]认为, 台风活跃阶段

的西北太平洋季风槽比不活跃阶段的季风槽发展的更为偏东, 且季风槽强度更强。西风越强则西北太平洋季风槽越强, 台风生成得越多。同样是 1998 年, 李曾中等^[8]发现, 夏季 $90\sim 180^{\circ}\text{E}$ 区间里越赤道气流明显偏弱是西北太平洋台风频数偏少的重要原因。而孙颖等^[9]指出, 由于低纬大气对印度尼西亚附近异常热源强迫的相应, 西太平洋地区对流层低层出现了异常的东风, 不利于低层季风西风气流进一步向东伸展, 使得季风槽偏西, 且很不明显, 从而台风活动异常偏少。可见台风活跃和不活跃的原因复杂多样, 不同的研究往往有不同的侧重点, 并有不同的结论。那么 2006 年夏季热带气旋阶段性活动的原因何在? 2006 年赤道西风和南半球信风加强造成的偏强赤道气流在 2006 年夏季的变化特征是怎样的, 到底哪一个是热带气旋阶段性频发的最主要原因? 它们之间有无联系?

另外, 从台风个例来看, 2006 年夏季登陆我国的 4 号热带风暴“碧利斯 (BILIS)”和 8 号强台风“桑美 (SAOMAI)”使我国遭受了重大人员伤亡和财产损失。它们各自的特点十分明显: “碧利斯”具有影响范围广、降水强度大、持续时间长的特点。“桑美”则强度强、风速大、移速快, 登陆后迅速减弱。所造成的灾害也有明显差别, 前者主要是暴雨灾害, 而后者则以大风灾害为主。使这两个台风具有明显差异的原因是什么?

为解决这些问题, 我们有必要针对 2006 年夏季西太平洋台风活动的上述特征进行分析研究, 重点讨论台风阶段性变化的可能成因机理, 以期台风预报提供可能的参考思路。

本文所用资料包括: 1) 上海台风研究所中国台风网提供的 2006 年台风资料。2) NCEP/NCAR 再分析大气环流资料。主要为 2006 年风场、位势高度场和绝对湿度等逐日平均资料, 水平分辨率为 $2.5^{\circ}\times 2.5^{\circ}$ 。3) 美国 NOAA 向外长波辐射 (Outgoing Longwave Radiation, 简称

OLR) 2006 年逐日平均资料。

2 2006 年夏季热带气旋活动概况

2006 年夏季西太平洋生成的热带气旋有 11 个, 比同期多年平均 (12 个) 略少。2006 年夏季热带气旋的强度偏强, 其中超强台风就有两个, 分别是 3 号台风“艾云尼”和 8 号台风“桑美”。达到台风级强度也有 4 个, 它们是 5 号台风“格美”、6 号台风“派比安”、7 号台风“玛利亚”和 12 号台风“伊欧凯”。2006 年夏季登陆我国的热带气旋偏多, 为 6 个, 同期多年平均是 4 个。这就造成了西太平生成的热带气旋登陆中国的登陆率较高 (55%), 仅次于 1995 年和 2003 年。综上所述, 2006 年夏季西太平洋热带气旋活动具有生成数略少, 但强度大, 登陆中国数偏多, 登陆率高等特点。图 1 为 1951~2006 年夏季热带气旋登陆中国率 (登陆中国台风数/西太平洋生成台风数) 的标准化值的时间序列, 它显示热带气旋登陆率有明显的年代际变化, 1951~1979 年登陆率偏低, 而自 1980 年以来, 登陆中国台风率明显增高。特别是在 1995~2006 年, 热带气旋登陆率最高的 3 年都发生在这一阶段, 分别是 1995、2003 和 2006 年。Kazuyoshi 等^[10]利用 20 km 网格全球大气模式模拟预测 2001~2010 年热带气旋活动情况时表明, 提高温室气体浓度和海表温度, 将导致西太平洋热带气旋频数降低, 而强热带气旋数增加。从近几年热带气旋活动的趋势来看, 这种预测有一定的可信性。而且, 西太平洋热带气旋的这种变化趋势很可能是登陆率增高的一个重要原因。本文旨在分析 2006 年夏季热带气旋活动, 对年代际变化不做具体研究, 然而 2006 年夏季热带气旋的高登陆率提醒我们应继续密切关注热带气旋生成、强度乃至登陆率的变化趋势。

另外, 2006 年夏季西太平洋台风活动具有明显的阶段性, 6 月 1~26 日, 无台风生成。6 月 27 日至 8 月末, 台风生成多, 活动频繁。本文第 3 节将重点研究 2006 年夏季热带气旋阶段性活动的大尺度环流背景差异, 并分析其可能原因。

2006 年夏季登陆我国的热带气旋中, 有 2 次使我国遭受了重大灾害, 它们分别是 4 号强热带风暴“碧利斯”和 8 号强台风“桑美”。“碧利斯”

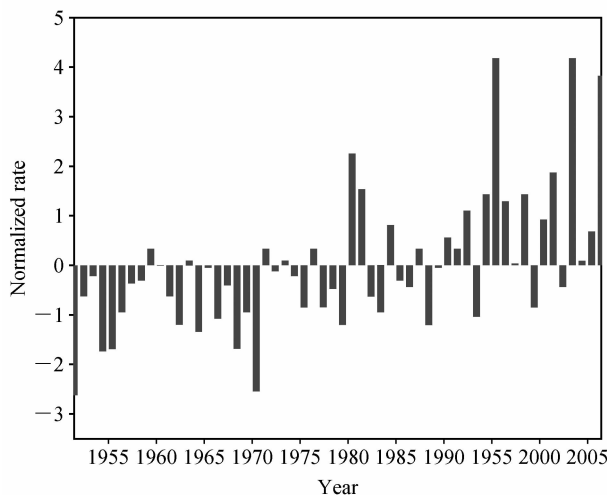


图 1 1951~2006 年夏季热带气旋登陆中国率标准化值的时间序列

Fig. 1 The time series of the normalized rate of tropical cyclones landfalling China in summer, 1951—2006

和“桑美”又各有特点: 前者影响范围大、降水强度大、持续时间长; 后者风速大, 移速快, 登陆后迅速减弱。在第 4 节, 我们将具体分析造成这 2 个登陆热带气旋明显差异的原因。

最后需要说明的是, 2006 年夏季还出现了 3 台风现象。8 月 5 日, 7 号台风“玛利亚”在日本南部九州洋面生成, 西北而行到达日本。8 月 6 日, 8 号超强台风“桑美”在菲律宾以东洋面上生成, 西北方向行进在浙江登陆。8 月 6 日, 第 9 号强热带风暴“宝霞”在台湾东部洋面生成, 西行在台湾登陆。这 3 个台风几乎在同一时间生成, 生成后以不同路径向 3 个方向移动。这种现象并不多见, 也是 2006 年夏季西太平洋台风活动的特征之一。关于多台风现象前人已有一定的研究^[11,12], 本文对此不另行讨论。

3 热带气旋生成的流场背景

3.1 热带气旋活动的不同阶段背景条件对比

前面提到 2006 年夏季西太平洋台风活动具有明显的阶段性。具体来说, 6 月 1~26 日, 这一阶段无台风生成, 将其定义为第 1 阶段。6 月 27 日至 8 月 31 日, 台风活动频繁, 定义为第 2 阶段。

图 2 为两个阶段 500 hPa 位势高度场和向外长波辐射 (OLR) 的合成。图 2a 显示, 第 1 阶段

西太平洋副热带高压（以下简称副高）与气候平均态（1968~1996 年平均，以虚线表示）相比偏南，南侧的 5 880 gpm 线（实线）在菲律宾以东地区偏南至 10°N 附近，OLR 值小于 $220 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 的对流活跃区（即图中的阴影区）也随之偏南至赤道附近，也即热带辐合带偏南。而近赤道地区地转偏向力 f 较弱，不利于该地区气旋性绝对涡度的发展。尽管该地区也有较强的对流活动，但它缺乏足够的对流层低层气旋性绝对涡度，因此也较难发展成台风。而在第 2 阶段（如图 2b），西太平洋副高位置偏北，南侧的 5 880 gpm 线在 20°N 附近，OLR 值小于 $220 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 的对流活跃区也北抬至 15°N 附近，OLR 中心值更小于 $200 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ，也即热带辐合带北移。该地区的强对流活动加上

足够的地转偏向力作用，有利于台风的生成。

图 3 为两个阶段的 850 hPa 矢量风场。在第一阶段（如图 2a），菲律宾以东地区主要受东风控制。而在第二阶段（如图 2b），该地区北侧是副高南缘的东南风，南侧为赤道西风。它们产生气旋性切变，加强了对流层低层的气旋性绝对涡度，形成了台风的生成的有利条件。

另外，在纬向风垂直风切变弱的地方，有利于热带气旋的生成和发展。据此，我们做了两个阶段 u 风垂直切变（200 与 850 hPa 的 u 风场之差）（图略）。第 1 阶段， u 风垂直切变弱的地区偏南，位于 5°N 附近。第 2 阶段，垂直切变偏弱的地区偏北，恰在菲律宾以东的热带辐合带上空。

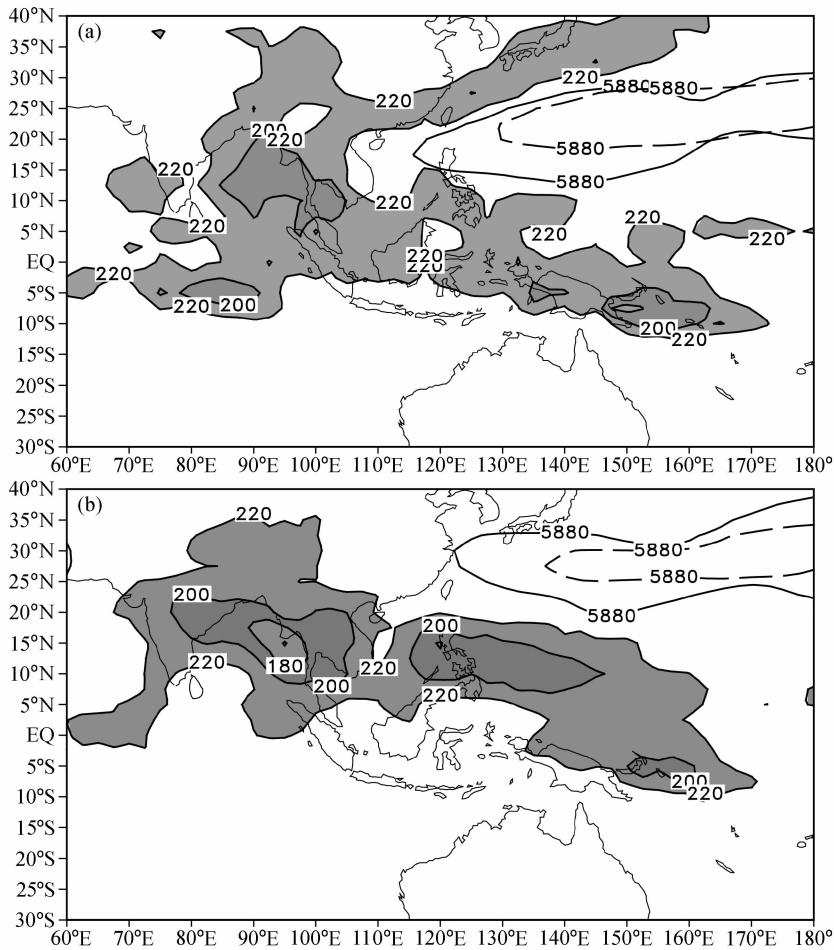


图 2 500 hPa 位势高度场（单位：gpm）和 OLR（单位： $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ）的合成：(a) 第 1 阶段；(b) 第 2 阶段。阴影 OLR 值低于 $220 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ，实线为 2006 年各阶段平均 5 880 gpm 线，点线为气候平均的 5 880 gpm 线

Fig. 2 The composites of OLR (units: gpm) and geopotential height (units: $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) at 500 hPa: (a) at the first phase; (b) at the second phase. the shade areas represent the OLR values of less than $220 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, the solid lines show average 5 880 gpm lines at the two phases, and the dash lines indicate climate average 5 880 gpm lines

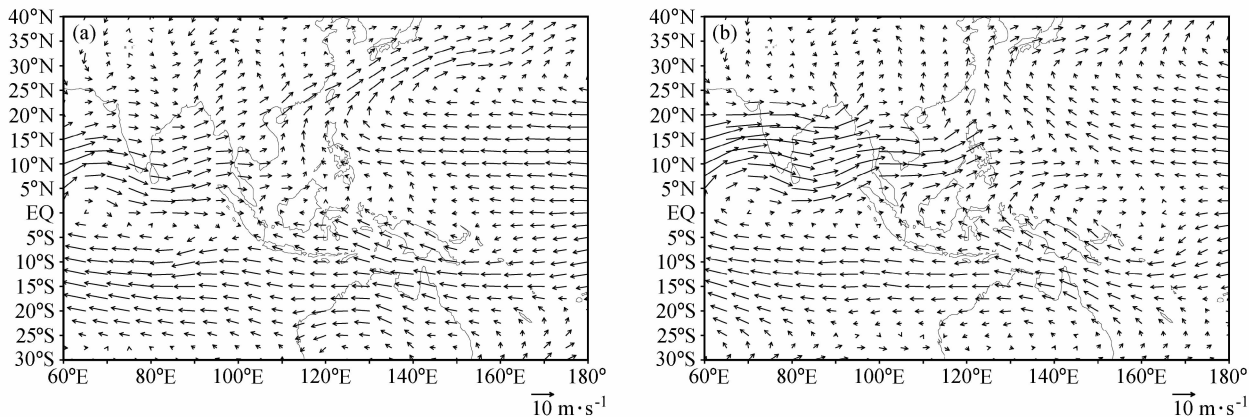


图3 850 hPa 矢量风场: (a) 第1阶段; (b) 第2阶段

Fig. 3 The winds at 850 hPa: (a) phase 1; (b) phase 2

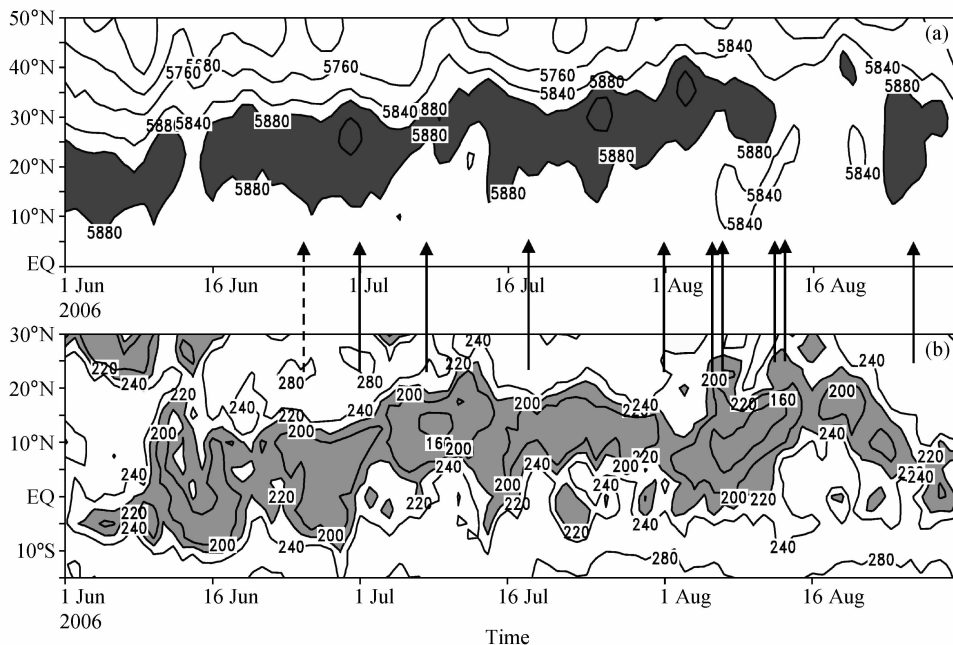


图4 120~150°E 经向平均的时间-纬度剖面: (a) 500 hPa 位势高度 (单位: gpm, 阴影区表示位势高度大于 5 880 gpm); (b) OLR (单位: $W \cdot m^{-2}$, 阴影区表示 OLR 值小于 $220 W \cdot m^{-2}$, 实线箭头对应西太平洋台风生成时间, 虚线箭头对应南海台风生成时间)

Fig. 4 The time-latitude sections of the 120—150°E longitudinal average (a) of potential height at 500 hPa (units: gpm, the shaded areas indicate the potential height of greater than 5 880 gpm); (b) of OLR (units: $W \cdot m^{-2}$, the shades show the OLR value of less than $220 W \cdot m^{-2}$. The solid arrows point the formation time of tropical cyclones in the western Pacific, and the dash arrows point the formation time of tropical cyclones in South China Sea)

第2阶段的上述环境背景条件符合 Gray^[13,14]所总结的有利于台风生成的条件。2006 年夏季西太平洋台风活动具有明显的阶段性正是由两阶段的环境背景条件差异所引起的。那么造成两阶段环境背景条件差异的具体环流系统情况如何? 哪些环流系统影响 2006 年夏季热带气旋阶段性活动? 为此, 我们针对 2006 夏季热带气旋生成条件

做了进一步研究。

3.2 影响热带气旋生成的具体环流系统研究

很多研究表明^[1,3,15], 夏季西太平洋台风的发生、发展与热带辐合带之间有密切的关系。此外, 叶英等^[16]指出热带气旋的活动与西太平洋副热带高压有很好的关系。因此, 我们分析了 2006 年夏季热带气旋活动、ITCZ、副热带高压三者之间的

关系。图 4a 是 120~150°E 经向平均 500 hPa 位势高度的时间-纬度剖面。图 4b 为同经度范围平均的 OLR 时间-纬度剖面。阴影区表示 OLR 值小于 $220 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。实线箭头对应西太平洋台风生成时间, 虚线箭头对应南海台风生成时间。结合图 4a 和 4b 可发现, 在第 1 阶段 (6 月初至 6 月末), 副高偏南, 5 880 gpm 线南界位于 10°N 附近, OLR 小值区也偏南, 中心位置位于赤道附近, 即热带辐合带偏南, 不利于台风生成。而在第 2 阶段 (6 月末至 8 月末), 副高特别是副高南界北移, OLR 的小值区也北上, 中心位置北移至 10°N 附近, 即热带辐合带偏北, 对应着西太平洋台风频繁活动 (实线箭头)。值得注意的是 8 月 27 日, 12 号台风伊欧凯生成时 (最右侧实线箭头), 副高位置偏南, 热带辐合带也偏南, 本不利于台风生成, 但

伊欧凯是在 180°附近而不是在菲律宾以东地区生成的, 因此和该区域对流活动无对应关系。可见副高位置的南北变动和热带辐合带的对流活动关系密切, 并和热带气旋的生成有密切关系。

图 3b 显示, 在菲律宾以东地区, 副高南缘的东南风及其南侧的赤道西风共同形成了对流层低层的气旋性切变, 有利于该地区对流活动的加强, 从而促进热带气旋的生成。副高南缘东南风的位置变化显然与副高位置的南北变动有关, 这也是副高和 ITCZ 南北位置呈一致性变动的重要原因之一。作为形成气旋性切变的另一支重要气流, 该区域南侧西风的强弱变化势必也和 ITCZ 对流活动有密切关系, 进而影响热带气旋的生成。2006 年 6 月 1 日~8 月 31 日逐日 (5~10°N, 125~140°E) 850 hPa 平均 u 风与 OLR 的相关 (图略) 显示,

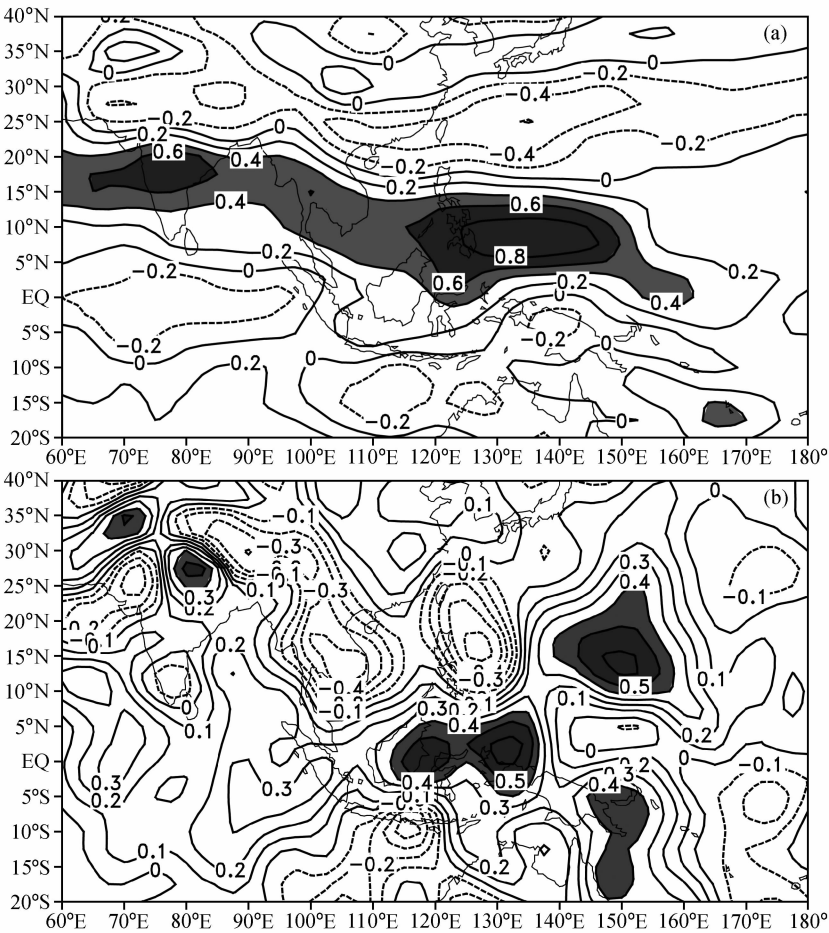


图 5 6 月 1 日~8 月 31 日 (5~10°N, 125~140°E) 范围内 850 hPa 平均西风与 850 hPa 风场的相关: (a) u 风场; (b) v 风场。阴影区的相关系数大于 0.4

Fig. 5 The correlations between the average u wind within (5—10°N, 125—140°E) at 850 hPa: (a) u wind; (b) v wind. The shaded regions represent the correlation coefficient of greater than 0.4

在菲律宾以东的洋面上存在显著负相关区，其中心相关系数高达 -0.5 。该负相关区也正是第 2 阶段热带气旋频发的位置。也就是说，当菲律宾东南部西太平洋上的西风强（弱）时，菲律宾以东地区 ITCZ 的对流活动较强（弱），进而影响热带气旋的活动，使其生成频数偏多（少）。

下面我们进一步追溯 2006 年夏季菲律宾以西太平洋上的这支西风强弱变化的原因。沈如金等^[17]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。王作述等^[18]认为，在 15°N 以南的南亚到西北太平洋的热带地区，其西

南季风主要由两支气流构成。一支是印度南部的西南季风，另一支是由 150°E 附近越赤道气流转向形成的西南气流。那么 2006 年夏季西太平洋西风的强弱变化又是什么原因造成的？图 5a 为 6 月 1 日~8 月 31 日（ $5^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{N}$ ， $125^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$ ）850 hPa 平均西风与 850 hPa u 风场的相关。可以看到，菲律宾以西的西风 and 上游西风带显著正相关，相关系数达 0.4 以上，特别是和上游地区（ $15^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{N}$ ， $65^{\circ}\sim 85^{\circ}\text{E}$ ）范围内的印度季风的相关系数高达 0.6。也即当阿拉伯海和印度上空的西风强并向东延伸时，下游菲律宾以西的西风也同时加强。再来考察越赤道气流的作用。图 5b 为 6 月 1 日~8 月 31 日（ $5^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{N}$ ， $125^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$ ）范围内 850 hPa 平均西风与同层 v 风场的相关。赤道上 $115^{\circ}\sim$

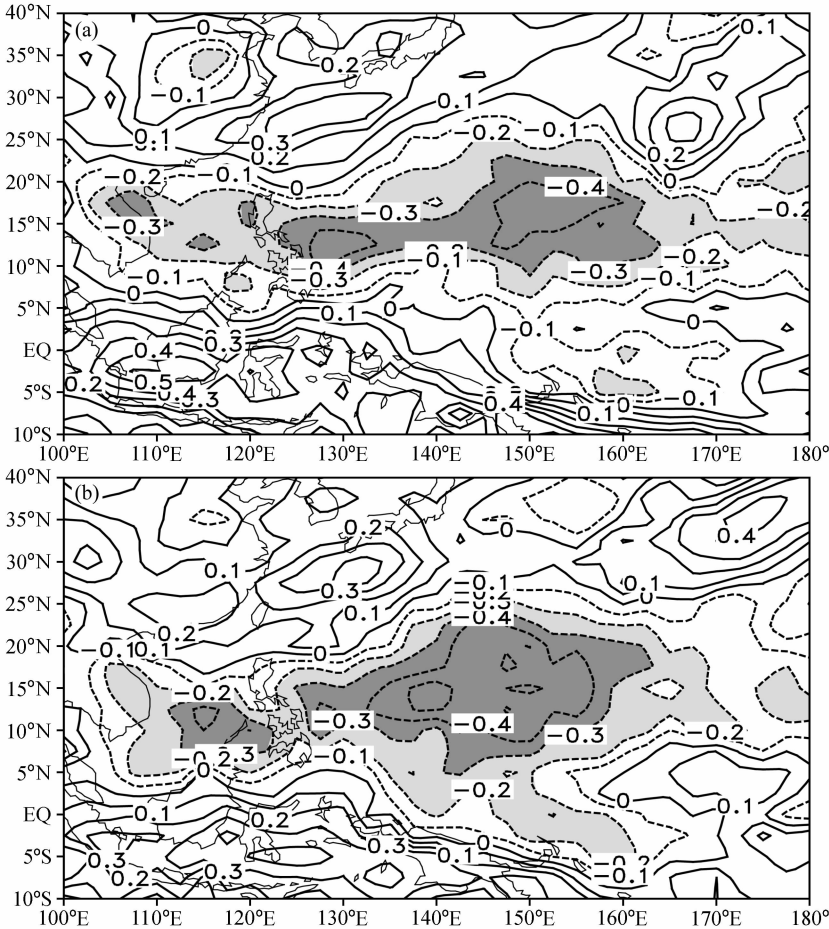


图 6 (a) 2006 年夏季逐日 850 hPa ($15^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{N}$ ， $65^{\circ}\sim 85^{\circ}\text{E}$) 平均 u 风场与同期 OLR 的相关以及 (b) $115^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$ 范围内赤道上的平均 v 风场与 OLR 的相关。深、浅阴影区分别通过 1% 和 5% 显著性检验

Fig. 6 The correlations between OLR during summer in 2006: (a) average u winds within ($15^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{N}$ ， $65^{\circ}\sim 85^{\circ}\text{E}$) at 850 hPa; (b) average cross-equatorial flow of $115^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$. The light and dark shaded areas are over 1% and 5% significance levels, respectively

140°E 的相关系数为 0.4 的显著正相关区表示, 越赤道气流加强穿越赤道, 在科里奥利力作用下转向成西南风, 导致下游菲律宾以东的西风也同时加强。由此可见, 2006 年夏季西太平洋上西风的强弱变化受印度季风和 115~140°E 附近的越赤道气流的共同影响。

来自阿拉伯海和印度洋的热带西风强并向东延伸, 以及 115~140°E 附近的越赤道气流加强穿越赤道转向, 都会导致下游菲律宾以西的西风也加强, 有利于菲律宾以东地区对流层低层气旋性切变的产生, 使这一地区对流活跃, 热带气旋频发。图 6a 为 2006 年夏季逐日 850 hPa (15~20°N, 65~85°E) 平均 u 风场与同期 OLR 的相关。图 6b 为 115~140°E 范围内赤道上的平均风场与 OLR 的相关。如图 6a 和 6b 所示, 在菲律宾东、

西洋面上都存在通过 5% 显著性检验的负相关区, 菲律宾以东至 160°E 的负相关中心可通过 1% 的显著性检验。这说明 2006 年夏季印度季风和 115~140°E 范围内的越赤道气流对菲律宾以东 ITCZ 的对流活动都有明显的贡献。另外, 图 6b 通过 1% 显著性检验的高负相关区的面积比图 6a 中的负相关区大, 中心相关系数值也相对更高 (达 -0.5)。仅就相关程度而言, 这可能表示越赤道气流比印度上空西风对 ITCZ 上对流活动的影响更为重要。

为了说明越赤道气流、印度上空的西风、菲律宾东侧西太平洋上的西风三者之间的关系以及它们对热带气旋生成的影响, 我们进一步分析了它们的时间演变特征。图 7a 为 (15~20°N, 65~85°E) 850 hPa 平均 u 风的时间序列, 它代表了印度半岛及其两侧的季风强度。图 7b 为 (5~10°N,

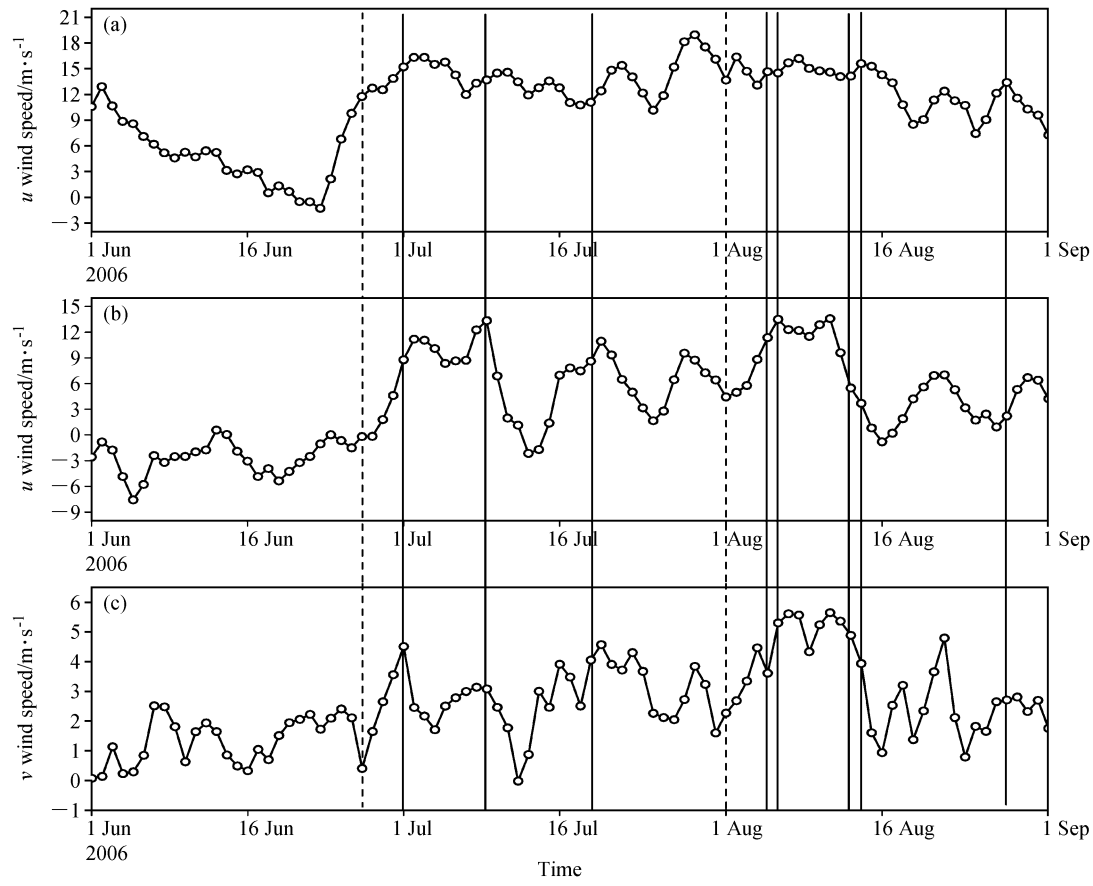


图 7 (a) (15~20°N, 65~85°E) 和 (b) (5~10°N, 125~140°E) 850 hPa 高度上的平均 u 风的时间序列; (c) 赤道上 115~140°E 平均 850 hPa 的 v 风场时间序列。竖实线代表西太平洋台风生成的时间, 竖虚线对应南海台风生成时间

Fig. 7 The time series of (a) the average u winds within (15—20°N, 65—85°E) at 850 hPa, and (b) within (5—10°N, 125—140°E); (c) the average cross-equatorial flow of 115—140°E. The solid vertical lines indicate the formation time of tropical cyclones in the western Pacific, and the dash vertical lines show that in South China Sea

125~140°E) 850 hPa 平均 u 风的时间序列, 它代表了菲律宾以东西太平洋上的西风强度。图 7c 为赤道上 115~140°E 850 hPa 平均 v 风场时间序列, 它表示该经度范围内平均越赤道气流的强度。图 7a 显示从 6 月初至 6 月 23 日, u 风速从 $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右持续下降。而从 6 月 23 日开始 u 风速增加, 于 7 月初增加至 $15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右, 并一直持续至 8 月底。印度洋热带西风的这种阶段性的变化和台风活动少和多阶段比较一致。印度洋热带西风突然加强和下游菲律宾以东海域的西风在第 2 阶段的增强一致, 同时对应着台风活动多发阶段 (图 7b)。另外, 越赤道气流也存在一致的阶段性变化, 越赤道气流的扰动自 6 月 27 日开始有明显增强 (如图 7c)。图 7 中历次西太平洋台风生成的时间, 基本对应着越赤道气流以及菲律宾以东海域的西风的峰值, 这表示越赤道气流增强时, 菲律宾以东海域的西风也增强, 西太平洋台风也随之生成。图 7 表明, 在 2006 年夏季, 上游印度上空西风的加强可能是造成热带气旋频发的较长时间尺度的背景条件, 而历次热带气旋的生成主要受越赤道气流的影响。另外, 值得注意的是, 印度上空西风的增强要比越赤道气流在第 2 阶段的增强早 4 日。

由此可见, 尽管从相关程度而言, 越赤道气流比印度上空西风对 ITCZ 上对流活动的影响更为重要, 然而印度季风东推延伸可影响下游菲律宾以东洋面西风的强弱, 为热带气旋频发提供有利的背景条件。而且从阶段性上来看, 印度季风的增强略早于越赤道气流的增强, 或许可作为热带气旋频发阶段的一个预报因子。因此上游印度西风和越赤道气流两者的作用都不可忽视。

台风生成及其相伴随出现的环境条件的阶段性还与热带地区大气季节内振荡有关。大气季节内振荡 (Madden Julian Oscillation, 简称 MJO) 可能是其原因之一。MJO 通常是指近赤道地区向东传播, 纬向为一个波数, 热带风场表现出斜压结构的大气 30~60 d 周期振荡现象。Nakazawa^[19] 指出, 西太平洋多数的热带气旋容易发生在 MJO 的湿位相中, MJO 对流系统表现出一种复合结构, 中尺度强对流活动往往形成在向东传播的 MJO 对流系统中, 它表现为超级对流体形成的波包。由于多数台风最初发生在这样的对流系统中,

因此 MJO 对台风的生成具有明显的调制作用。Liebmann 等^[20] 也注意到, 尽管在 MJO 的活跃 (湿) 位相更易于热带气旋的生成, 然而热带气旋的频发更倾向于与 ITCZ 一致而不是与 MJO 位相一致。我们考察了 2006 年夏季的情况。5 天滑动平均的 200 hPa 速度势标准化异常经度-时间剖面 (图略, 见 NOAA 气候预测中心 (CPC)) 显示, 负值区 (也即湿位相) 所对应的高空辐散为对流发展旺盛, 正值区 (干位相) 为对流较弱。正负位相的交替出现反应了大气季节内振荡特征。2006 年夏季西太平洋热带气旋几乎都生成在 MJO 的湿位相中, 生成时间也和台风生成偏多阶段相一致。也即是说, 2006 年夏季 MJO 湿位相与 ITCZ 对流活跃阶段相叠加, 使热带气旋在第 2 阶段频繁生成。

4 水汽输送对登陆热带气旋的影响

2006 年夏季登陆我国的热带气旋中, 有 2 次使我国遭受了重大灾害, 它们分别是 4 号强热带风暴“碧利斯”和 8 号强台风“桑美”。国家气候中心公布^[21], “碧利斯”于 7 月 14 日 12 时 50 分 (北京时间, 下同) 在福建省霞浦县一带沿海登陆, 登陆时中心附近最大风力有 11 级 ($30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), 登陆后向偏西方向移动并于当天下午在该省闽侯县境内减弱为热带风暴, 7 月 15 日凌晨进入江西省境内, 下午在该省西部减弱为热带低压, 热带低压缓慢西行。16 日强度继续减弱, 8 时中心位于湖南, 20 时闭合低压消失, 以后以倒槽形式影响西南地区东部。“碧利斯”具有影响范围广、降水强度大、持续时间长的特点。受“碧利斯”及其减弱的低气压影响, 7 月 13~18 日, 浙江、福建、广东、广西、江西和湖南等地出现了大到暴雨, 部分地区出现了大暴雨。浙江、福建等 6 省遭受了严重的洪涝、滑坡和泥石流灾害, 因灾死亡 637 人, 失踪 210 人, 约占 2006 年以来全国因灾死亡 (失踪) 人口总数的 40%。这也是自 1998 年大洪水以来, 人员伤亡最为严重的一次特大灾害。8 号强台风“桑美”于 8 月 10 日 17 时在浙江省苍南县登陆, 登陆时中心附近最大风速 $68 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 风力 17 级, 中心气压 920 hPa, 之后进入福建境内, 强度逐步减弱, 11 日

9 时在江西转为热带低气压。它具有强度强、风速大、移速快等特点，给浙江、福建造成严重的人员伤亡和财产损失。下面我们对这两次台风过程进行的对比分析，探讨造成两者明显差异的可能原因。

分别作了“碧利斯”和“桑美”登陆后的 500 hPa 位势高度场（图略），发现这两次热带气旋登陆后，在它们的北侧都为大陆高压控制，因而难以和中高纬度的西风槽结合。那么两个热带气旋登陆后的异常变化很可能是低纬度地区水汽输送差异引起的。

水汽含量与供给对台风的发生和成长十分重要。郑良杰等^[22]指出赤道西风是 7504 号台风发展的主要水汽通道，对其发展起重要作用。台风登陆后或者迅速减弱衰亡，或者较长时间维持引起持续性暴雨。台风登陆后填塞减弱的主要原因是水汽的供应被切断，登陆后填塞的快慢主要与水汽供应情况有关，而这又依赖于台风外围的大尺度环流形势^[23]。陈红等^[24]也指出，西南气流提供的高温高湿有利环境是“碧利斯”持续时间长的可能原因之一。为此我们对从水汽供应方面对“碧利斯”和“桑美”进行对比分析。图 8a、8b 和 8c 分别为“碧利斯”生成、成熟和登陆阶段的 850 hPa 水汽通量，从图中可以看到，从“碧利斯”生成直至其登陆，一直存在一条水汽输送通道，印度洋西风一直为其从印度洋和孟加拉湾带

来大量的水汽，这种源源不断地水汽供应，给“碧利斯”引起的持续不断的大范围暴雨提供了必要的水汽条件。同样地，我们给出了“桑美”生成、成熟和登陆阶段的 850 hPa 水汽通量图（图 9），它显示印度洋西风未能持续地直接地为“桑美”输送水汽。特别是在它的成熟和登陆阶段，水汽主要由东风输送而来。因此尽管“桑美”的水平风速大，强度强，但暴雨灾害却不如“碧利斯”严重，而是主要表现为大风灾害。

以下分析它们在垂直方向的伸展和对流情况。图 10a 和 10b 分别是“碧利斯”和“桑美”在各高度上垂直速度的时间序列。通过比较发现，“碧利斯”垂直上升运动很强，从生成到登陆，900～200 hPa 高度上的垂直速度可达 $-0.2 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上，特别是在 7 月 14 日登陆前夕，850～400 hPa 高度上的垂直速度更高达 $-0.45 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。登陆后直至 7 月 17 日，850～400 hPa 高度范围内的垂直速度仍在 $-0.2 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上。这说明“碧利斯”从生成到登陆直至消失之前垂直上升运动强烈，始终有深厚对流系统维持，这也是造成大范围持续性暴雨的一个原因。而“桑美”从生成到登陆乃至登陆之后，垂直上升运动都很弱，登陆后垂直速度仅为 $-0.05 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ ，远远小于“碧利斯”的垂直速度。也即是说“桑美”未形成明显深厚对流，所以其降水范围小，持续时间也短，主要表现为大风灾害。

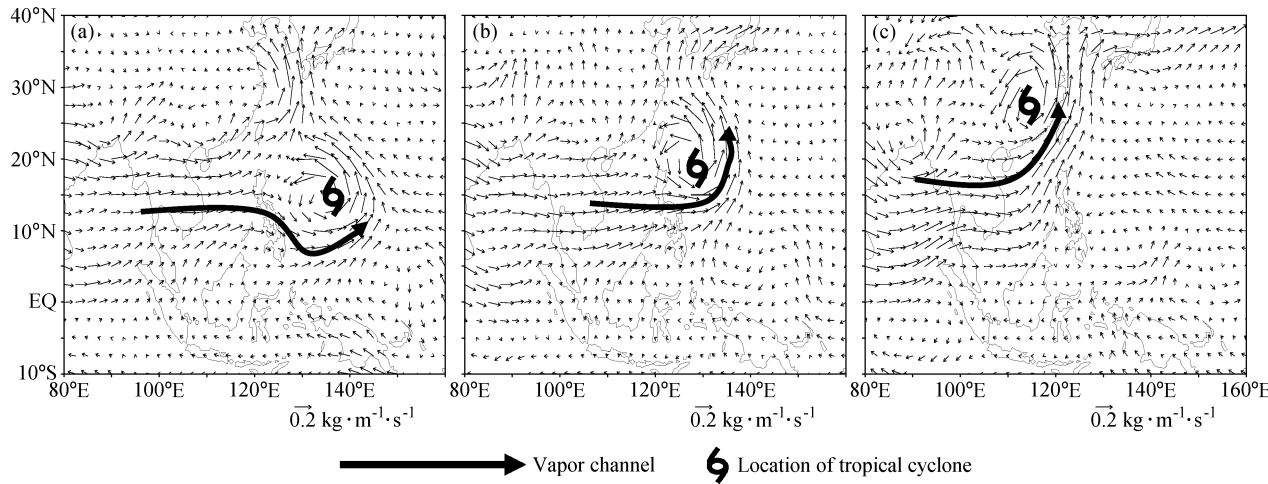


图 8 “碧利斯”生成、成熟和登陆阶段的 850 hPa 水汽通量：(a) 7 月 9 日；(b) 7 月 11 日；(c) 7 月 15 日
Fig. 8 The vapor fluxes of Bilis during formation, mature and landfall at 850 hPa; (a) 9 Jul; (b) 11 Jul; (c) 15 Jul

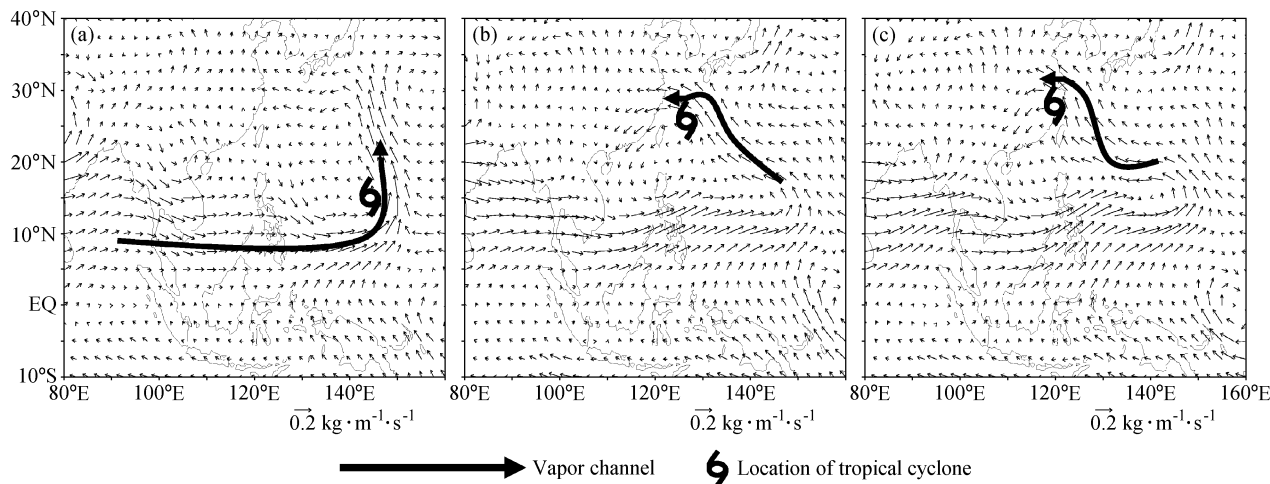


图9 “桑美”生成、成熟和登陆阶段的850 hPa水汽通量：(a) 8月6日；(b) 8月9日；(c) 8月10日

Fig.9 The vapor fluxes of Saomai during formation, mature and landfall at 850 hPa; (a) 6 Aug; (b) 9 Aug; (c) 10 Aug

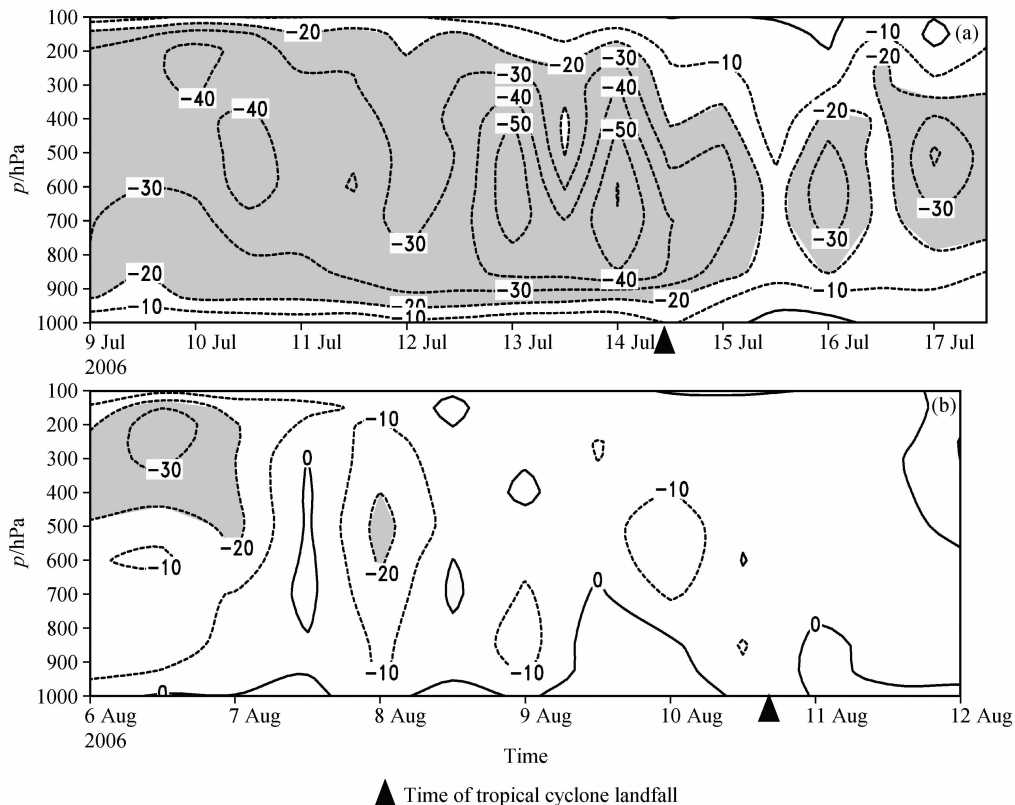


图10 台风在各层上垂直速度 ω 的时间序列（单位： $10^{-2} \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ ）：(a) “碧利斯”；(b) “桑美”

Fig. 10 The time series of vertical velocity omega at multi-levels (units: $10^{-2} \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$): (a) Bilis; (b) Saomai

5 小结和讨论

2006年夏季西太平洋热带气旋生成数维持正常，但强度较强，登陆数偏多，造成的灾害偏重，

而且登陆的热带气旋又具有各自的特征，造成的灾害类型也有明显的差异。为此，本文对2006年夏季西太平洋热带气旋生成的环流背景和登陆热带气旋的特征等进行了分析。主要结论为：

(1) 2006年夏季西太平洋热带气旋活动具有

明显的阶段性, 第 1 阶段西太平洋副热带的高压偏南, 热带辐合带偏南, u 风垂直切弱的地区位于 5°N 附近, 至使热带气旋活动较少。而在第 2 阶段, 西太平洋副高位置偏北, 热带辐合带也偏北, u 风垂直切弱的地区恰位于菲律宾以东的热带辐合带上空, 有利于热带气旋的生成和发展, 热带气旋活动频繁。

(2) 印度洋西风东推延伸可影响下游菲律宾以东洋面西风的强弱, 为热带气旋的频发提供有利的背景条件, 历次热带气旋的生成主要受越赤道气流的影响。印度季风的增强略早于越赤道气流的增强, 或可作为热带气旋频发阶段预报参考因素。

(3) 2006 年夏季 MJO 湿位相与 ITCZ 对流活跃阶段相叠加, 使热带气旋在第 2 阶段频繁生成。

(4) 来自印度洋的西风一直为“碧利斯”从印度洋源源不断地带来大量的水汽, 而且它的垂直上升运动强烈, 始终有深厚对流系统维持, 而造成大范围持续性暴雨。而“桑美”的水汽主要由东风输送而来, 水汽通量也较弱。“桑美”未形成明显深厚对流。所以其降水范围小, 持续时间短, 主要表现为大风灾害。

2006 年 7~8 月, 印度洋西风加强, 在低层风场上具体表现为阿拉伯海和印度上空的西风从 6 月 27 日开始明显增强并长时间维持。这使下游地区西太平洋的西风也随之增强, 从而加强了对流层低层的气旋性切变, 造成菲律宾以东 ITCZ 上对流活跃, 热带气旋在这一阶段频发。这是 2006 年夏季热带气旋阶段性变化的大尺度环流背景的一个重要特征。那么印度季风对 ITCZ 乃至西太平洋热带气旋活动的影响是否有一定的普遍性? 印度季风强的年份是否一定影响热带气旋活动? 印度季风的爆发与强弱变化是否可以作为热带气旋集中活动的信号? 这些问题都有待进一步研究。

致 谢 卫捷博士为该项工作提出了宝贵的建议, 作者在此对她自始至终的无私帮助表示由衷的感谢。

参考文献 (References)

[1] Ding Yihui, Elmar R Reiter. Large-Scale circulations conditions affecting the typhoon formation over the Northwest

Pacific. *Acta Oceanologica Sinica*, 1984, **3** (3): 327~338

[2] 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 inter-decadal 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

[3] 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

[4] 李崇银. 厄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

[5] 陈联寿. 盛夏亚洲中高纬度流型与西太平洋台风路径的关系. *气象学报*, 1965, **35** (4): 229~236
Chen Lianshou. Flow patterns in westerlies in relation to the East-Asia typhoon tracks. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1965, **35** (4): 229~236

[6] Harr P A, R L Elsberry. Large-scale circulation variability over the tropical western North Pacific. Part I: Spatial patterns and tropical cyclone characteristics. *Mon. Wea. Rev.*, 1995, **123**: 1225~1246

[7] 王慧, 丁一汇, 何金海. 西北太平洋夏季风的变化对台风生成的影响. *气象学报*, 2006, **64** (3): 345~356
Wang Hui, Ding Yihui, He Jinhai. Influence of western North Pacific summer monsoon changes on typhoon genesis. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2006, **64** (3): 345~356

[8] 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

[9] 孙颖, 丁一汇. 1998 和 1999 年西北太平洋热带气旋的异常特征及其大尺度条件. *气象学报*, 2002, **60** (5): 527~537
Sun Ying, Ding Yihui. Anomalous activities of tropical cyclone over the western North Pacific and the related large-scale circulation features during 1998 and 1999. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2002, **60** (5): 527~537

- [10] Kazuyoshi Oouchi, Jun Yoshimura, Hiromosa Yoshimura, et al. Tropical cyclone climatology in a Global-Warming climate as simulated in a 20km-mesh global atmospheric model: Frequency and wind intensity analyses. *J. Meteor. Soc. Japan*, 2006, **84** (2): 259~276
- [11] 炎利军, 田永祥, 黄先香. 双台风相互作用的数值研究. 热带气象学报, 2004, **20** (2): 167~175
Yan Lijun, Tian Yongxiang, Huang Xianxiang. A numerical study of the interaction of twin typhoons. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 2004, **20** (2): 167~175
- [12] 田永祥, 江燕如, 赵远东. 相同强度双台风相互作用的物理机制. 南京气象学报, 1998, **21** (2): 215~222
Tian Yongxiang, Jiang Yanru, Zhao Yuandong. Physical mechanism of interaction of binary typhoons with the same intensity. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology* (in Chinese), 1998, **21** (2): 215~222
- [13] Gray, W. M. Global view of the origin of tropical disturbances and storms. *Mon. Wea. Rev.*, 1968, **96**: 669~700
- [14] Gray, W. M. Tropical cyclone genesis. *Dept. of Atmos. Sci.*, Paper No 232, Colorado State University, Ft. Collins, CO, 1975. 121pp
- [15] 蒋乐贻, 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
- [16] 叶英, 董波. 西太平洋强热带气旋活动的年代际变化. 气象, 1998, **24** (7): 29~34
Ye Ying, Dong Bo. Inter-decadal change of strong tropical cyclones over the western Pacific. *Meteorological Monthly* (in Chinese), 1998, **24** (7): 29~34
- [17] 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. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 1978, **2** (1): 38~47
- [18] 王作述, 何诗秀. 南海至西太平洋一带夏季低空越赤道气流和季风的初步研究. 气象学报, 1979, **37** (4): 67~78
Wang zuoshu, He Shixiu. A preliminary study on the low-level cross-equatorial air flow and the summer monsoon from South China Sea to the west Pacific. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1979, **37** (4): 67~78
- [19] Nakazawa T. Tropical Superclusters within Intraseasonal Variations over the Western Pacific. *J. Meteor. Soc. Japan*, 1988, **66**: 823~839
- [20] Liebmann B, Hendon H H, Glick J D. The relationship between tropical cyclones of the western Pacific and Indian Oceans and the Madden-Julian oscillation. *J. Meteor. Soc. Japan*, 1994, **72**: 401~412
- [21] 国家气候中心最新动态, <http://ncc.cma.gov.cn/Website/index.php?ChannelID=2>
National Climate Center website, <http://ncc.cma.gov.cn/Website/index.php?ChannelID=2>
- [22] 郑良杰, 陈受钧, 张玉玲. 热带辐合带上台风发展的数值模拟. 气象学报, 1981, **39** (4): 394~407
Zheng Liangjie, Chen Shoujun, Zhang Yuling. Numerical simulation of typhoon development along the tropical convergence zone. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1981, **39** (4): 394~407
- [23] 陶诗言, 等. 中国之暴雨. 北京: 科学出版社, 1980. 129pp
Tao Shiyan, et al. *Heavy Rain in China*. (in Chinese). Beijing: Science Press, 1980. 129pp
- [24] 陈红, 卫捷, 孙建华, 等. 2006 年夏季主要天气系统及环流特征分析. 气候与环境研究, 2007, **12** (1): 8~19
Chen Hong, Wei Jie, Sun Jianhua, et al. The weather and its circulation in summer of 2006. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2007, **12** (1): 8~19