

# 西太平洋副热带高压和台风相互作用的数值试验研究<sup>\* 1</sup>

任素玲<sup>1,2</sup> 刘屹岷<sup>1</sup> 吴国雄<sup>1</sup>

1 中国科学院大气物理研究所, LASG, 北京, 100029

2 中国气象局国家卫星气象中心, 北京, 100081

## 摘 要

利用 1958—1998 年台风资料, 对台风路径进行分类, 挑选出 3 类常见路径作为研究对象, 通过合成分析, 证实不同的台风路径所对应的副热带高压(副高)形势不同。台风西行时, 西太平洋副热带高压势力强大, 呈东西向带状, 台风沿着副高南部西行, 副高在整个过程中西伸; 转向路径时, 副高开始呈东西向带状, 随着台风的移动副高主体东退, 在 160°E 附近中间断裂; 北上路径的台风对应的副高主体偏东。在此基础上, 利用气候模式 R42L9 在不同的初始场中加入相同的温度扰动, 成功模拟出西行和北上路径的台风, 验证了不同副高形态对台风路径的不同影响。对模拟结果的分析还发现, 台风可以引起正压 Rossby 波向中高纬度的传播。由于背景流场不同, 不同移动路径的台风其波动能量的传播路径也不同, 从而对中高纬度环流和西太平洋副高产生不同的影响: 与北上台风不同, 西行台风在其西北方向激发出正变高, 使西太平洋副高加强西伸。

**关键词:** 台风, 西太平洋副热带高压, 相互作用, 数值试验。

## 1 引 言

热带气旋是影响中国夏季天气的重要系统。气象学者多年来对其分布、结构及其与不同尺度系统的相互作用开展一系列的深入研究<sup>[1]</sup>, 认为大尺度引导气流是影响热带气旋移动的最重要和最基本的因素, 热带气旋的运动突变往往是存在大尺度气流的调整比如副高的进退、ITCZ 的断裂、赤道缓冲带的形成与消退、行星波经纬向流型的转换以及信风和季风的交替。Wu 和 Wang<sup>[2]</sup> 认为热带气旋可以认为是环流场正位势涡度(PV)异常, 热带气旋的移动方向和正位势涡度倾向有关。对大尺度引导气流的研究还表明<sup>[3-4]</sup>, 台风的移动和从底层到高层的多层的平均风场特别是 700、600 和 500 hPa 的平均有更好的对应关系。Harr 等<sup>[5]</sup> 研究了热带气旋路径类型与大尺度环流场异常的关系, 表明热带气旋路径类型和其生成时

的大尺度 700 hPa 风异常有很好的对应关系。天气尺度系统也可以通过与热带气旋的相互作用而导致热带气旋的异常运动<sup>[6-9]</sup>。徐晶等<sup>[10]</sup> 和王志烈<sup>[11]</sup> 利用观测研究和动力诊断等手段, 从上下游效应、中低纬相互作用的角度进行探讨, 其结果表明西太平洋台风和青藏高原高空天气系统及亚洲上空西风带长波槽存在密切关系。在众多影响热带气旋路径和强度的因素中, 西太平洋副高是最主要的因素。

西太平洋副高的年内演变可以分为 3 种时间尺度<sup>[12]</sup>, 即季节尺度、半个月左右的长周期活动和一周左右的短周期活动。以往对西太平洋副高的研究主要着重其周围的大尺度系统对它的影响, 比如南亚高压、东亚季风、中高纬度西风环流以及赤道辐合带。喻世华和潘春生<sup>[13]</sup>、钱贞成和喻世华<sup>[14]</sup>、张韧等<sup>[15]</sup>、吴国雄等<sup>[16]</sup>、Liu 等<sup>[17]</sup> 和 Rodwell 等<sup>[18]</sup> 对东亚季风的研究表明: 东亚季风降水的潜热释放对副

\* 初稿时间: 2005 年 5 月 31 日; 修改稿时间: 2007 年 6 月 12 日。

资助课题: 国家重点基础研究发展规划项目(2006CB403607), 中国科学院团队国际合作伙伴计划“气候系统模式研发及应用研究”国家自然科学基金资助项目(40475027、40221503、40575028、40523001)。

作者简介: 任素玲, 主要从事台风方面的研究以及卫星资料在灾害性天气和气候监测分析中的应用。

E-mail: rensll@cma.gov.cn; slren@mail.iap.ac.cn

高的活动有很重要的影响。Nikaidon<sup>[19]</sup> 也认为热带西太平洋的降水对副高的增强有重要作用。由于热带气旋伴随着强烈的降水,所以在夏季频繁发生的热带气旋的活动应该会对西太平洋副高的变异起很重要的作用<sup>[20]</sup>。以往的研究比较多地考虑西太平洋副高对热带气旋移动路径的影响<sup>[21]</sup>,对热带气旋及其对流降水影响西太平洋变异的研究<sup>[22-24]</sup> 偏少。本文试图利用统计合成的方法以及数值实验的方法对发生在西太平洋的热带气旋和西太平洋副高的相互影响进行研究,以揭示两者之间相互作用的原因。

## 2 资料和计算方法

### 2.1 台风和大气环流资料

本文所用的台风资料是中国气象局提供。资料的内容包括热带气旋发生的时间、中心位置、中心最低气压和最大风速,每天 4 个时次:02:00、08:00、14:00 和 20:00 UTC(世界时,下同)。所用到的其他大气环流资料为 NCEP/NCAR<sup>[25]</sup> 逐日高空和地面资料,除降水资料是  $1.875^{\circ} \times 1.875^{\circ}$  外,其他的资料都为  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ,资料为每天 4 个时次:00:00、06:00、12:00 和 18:00 UTC,其中降水资料是降水率,在应用的时候转化成降水量。在以下的分析中,台风用每天 02:00 的位置来代表当天的位置,台风发生时所对应的位势高度场和风场均为当天 00:00 的值。

### 2.2 大气环流场的合成方法

本文利用合成方法来研究热带气旋与西太平洋副热带高压的关系,目的是为了消除小尺度的偶然因素对热带气旋移动的影响,因为以往的研究已经表明,热带气旋的移动主要受引导气流控制<sup>[3-5]</sup>,还受到其他一些偶然因素的影响<sup>[6-8]</sup>。引导气流的强弱又和西太平洋副高的位置和强弱有密切关系,所以合成方法可以突出主要和共同的因素,更好表现出热带气旋的路径和副高形态的配置关系。为了能够正确地描述热带气旋周围的环流场的性质和降水的分布,对各类台风合成的时候,所有的台风都移动到了依赖台风的相应时刻的平均位置(图 1d)。各类台风个例发生时所对应的位势高度场、风场和降水场也同时跟着台风个例中心位置向台风平均位置的移动而移动到相应的格点。移动后的位势高度场、风场和降水场的相应算术平均就为各类路径的台风发生该天平均的环流场和降水场,而经度和纬

度坐标均相对于相应的平均场而言。

### 2.3 3 类路径台风个例的选择

在以下的研究过程中把发生在西北太平洋常见的台风路径分为 3 类:西行和西北行路径;转向路径和北上路径。本文所选择的台风是发生在 1958—1998 年的 7 和 8 月,西行和西北行路径的台风选择了 23 个个例,图 1a 中 1—23 对应的台风编号(台风年鉴)分别为:6219、6310、6313、6318、6412、6517、6724、6815、6817、6907、7118、7119、7121、7218、7617、7706、7911、8012、8209、8210、8213、8303、9714,多数为登陆台风。转向路径的台风也选择了 23 个个例,图 1b 中 1—23 对应的台风编号(台风年鉴)分别为:6522、6213、5906、6521、6808、6411、6311、7217、6210、6714、8009、8708、7810、5822、6912、6621、6220、7918、9310、8714、9010、9503、9211,大部分在海上转向。北上路径的台风一般生命周期比较短,为了和前两类路径进行对比,要求选择的台风生命期在 8 d 或者 8 d 以上,又由于北上路径的台风每年发生的个数比较少并且在经度分布上比较分散,如果选择的个例在经度方向分布上太分散会影响到结果。所以北上的台风选择了 7 个个例,个例的路径如图 1c 所示。对所选择的这 3 类台风的逐日位置进行平均,可得其平均路径(图 1d)。

由 3 类台风的平均路径(图 1d)可以看到,西行西北行的台风移动速度较快,北上的台风在第 1—6 天移动较慢,第 6—8 天北上台风的移动速度和其他两类的移动速度基本一样。西行西北行的台风的发源地在经度上和北上的台风基本一致,在  $145^{\circ}\text{E}$  附近,在纬度上位置偏南,位于  $10.5^{\circ}\text{N}$ 。转向台风的发源地偏东,在  $150^{\circ}\text{E}$  附近,在  $26^{\circ}\text{N}$  和  $130^{\circ}\text{E}$  附近开始北上和转向。北上台风发源地偏北。西行路径、转向路径和北上路径的台风第 1 天的位置分别为  $10^{\circ}$ 、 $12^{\circ}$  和  $15^{\circ}\text{N}$ 。

## 3 不同台风路径所对应的副热带高压形势

图 2、3 和 4 分别为西行西北行路径(以下称为西行路径)、转向路径和北上路径的台风所对应的 500 hPa 位势高度场和风场的隔日演变,区域为  $(0^{\circ}-50^{\circ}\text{N}, 80^{\circ}\text{E}-180^{\circ})$ ,其中阴影部分为大于 5880 gpm 的区域,代表西太平洋副高控制的区域。由图中可以看到,对于不同路径的台风西太平洋副高的形势有很大的差异。

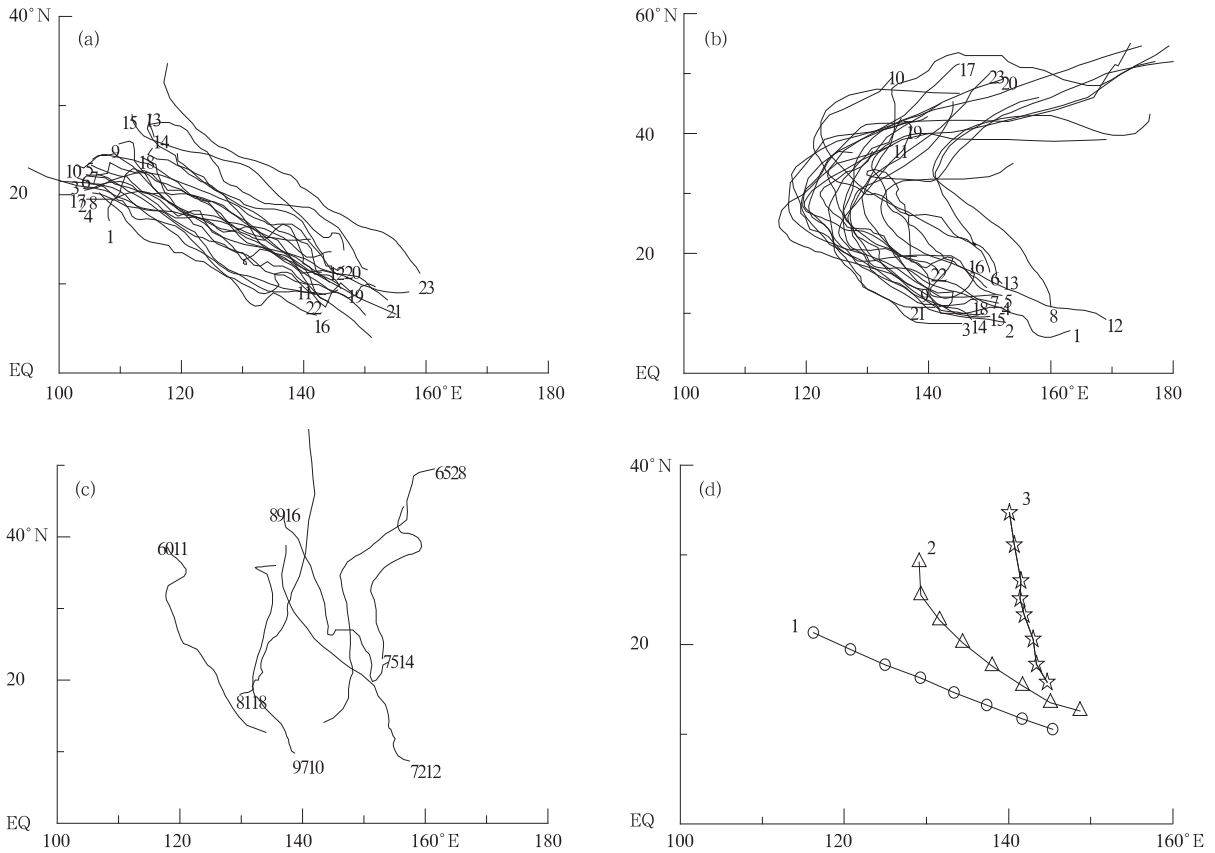


图 1 台风个例路径

(图 a、b 中 1—23 为台风路径编号; a. 西行西北行路径类, b. 转向路径类, c. 北上路径类, d. 图 1a、b 和 c 中台风的平均路径, 空心圆, 三角和五星分别代表西行西北路径、转向路径、北上路径的台风在第 1—8 天 02:00 的平均位置)

Fig. 1 Three typical kinds of Northwest Pacific typhoon track cases and their average tracks

(1—23; TC's number are given in (a, b) and directly labeled in (c), (a) Westward and northwestward tracks (23 cases); (b) recurving tracks (23 cases); (c) northward tracks (7 cases); (d) average tracks of westward and northwestward (solid line with open circles), recurving (solid line with triangles), and northward (solid line with five-pointed stars) tracks at 02:00 UTC for the first eight days, respectively)

西行路径的台风(图 2)初始时对应的副高呈东西带状走向, 纬向发展强烈。副高北部的中高纬度上西风带平直, 没有明显的槽脊。在台风西行的开始阶段, 也就是台风在副高南侧的东风带里西行的过程中, 副高西部的面积减小, 强度减弱。到第 4 天, 台风将移动到副高西侧时, 副高西部的强度减小到整个过程中的最弱, 在这个阶段副高并没有发生东西方向上的进退。在第 5—8 天, 副高的西伸脊点由台风发生第 4 天时的 134°E 西伸到第 8 天的 124°E。随着台风向西北偏西方向移动, 副高西伸很明显, 副高西部经向发展, 并且副高的范围向北伸展。

对转向路径类(图 3), 在台风移动的整个过程中, 副高整体比西行路径类偏东, 副高的经向发展也

没有西行路径类的强。在台风的中心位置 150°E 附近, 中高纬度西风带中有低压槽, 带状副高在此处经向范围窄。第 2 天开始, 带状的副高整体减弱。在第 4 天台风位于副高西侧时, 副高的经向发展很强烈。第 5 天开始, 副高北侧的西风带内的槽脊逐渐加深, 副高主体在 160°E 低槽处断裂。第 7 天台风开始转向, 此时, 位于东亚大陆的槽也移动到了 120°E 附近, 与文献[11]的结论一致, 即 120°E 有长波槽时, 大多数台风将在海上转向。分析进一步表明, 这里的低槽突然发展、减弱、更替和倒退对台风路径有重要影响。整体来看, 副高的主体偏东, 有利于台风在海上转向。台风位于副高的西侧时, 西风带内的槽脊发展。

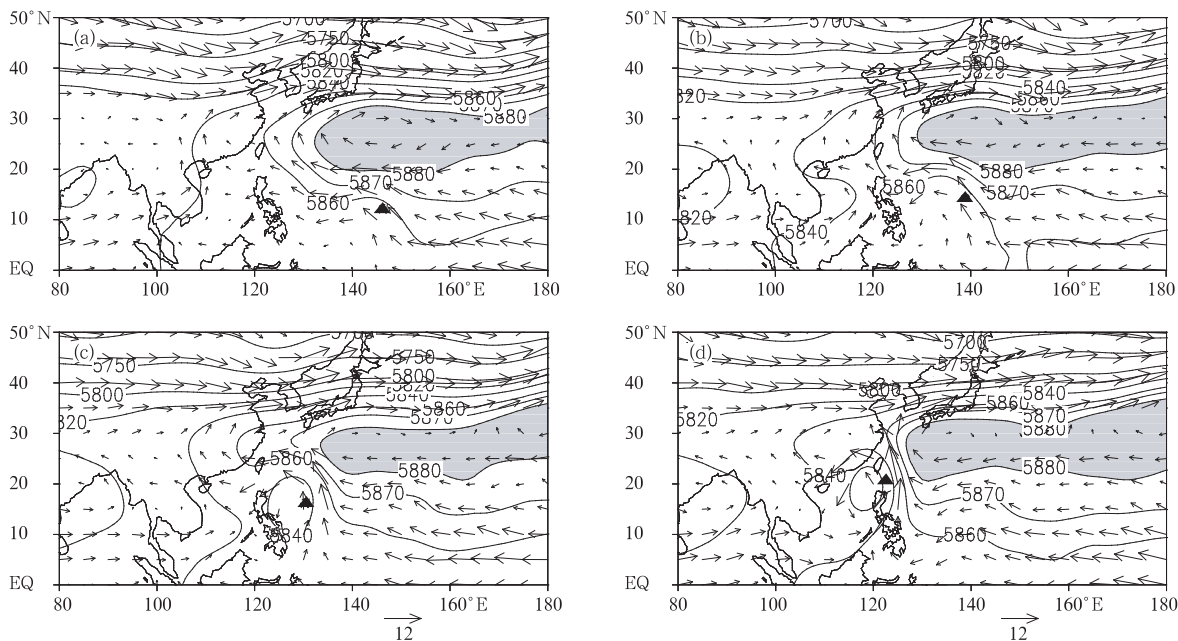


图 2 西行台风隔天 00:00 时 500 hPa 位势高度场(实线,小于 5800 gpm 时等值线间隔为 50 gpm,大于 5800 gpm 时为 20 gpm)和 wind 场(矢量线,箭头线长代表 12 m/s 风速)(阴影部分为 5880 gpm 线包围的区域,代表副热带高压;▲代表 02:00 时刻台风的中心位置)(a. 第 1 天; b. 第 3 天; c. 第 5 天; d. 第 7 天)

Fig. 2 00:00 UTC 500 hPa geopotential height

(solid line, the interval is 50 gpm/20 gpm when the geopotential height is greater/less than 5800 gpm, respectively, and the geopotential height greater than 5880 gpm is shaded, representing the Northwest Pacific subtropical high and wind (vector, m/s) fields for westward tracks. ▲ represents the typhoon's center at 02:00 UTC (a) First day; (b) third day; (c) fifth day; (d) seventh day)

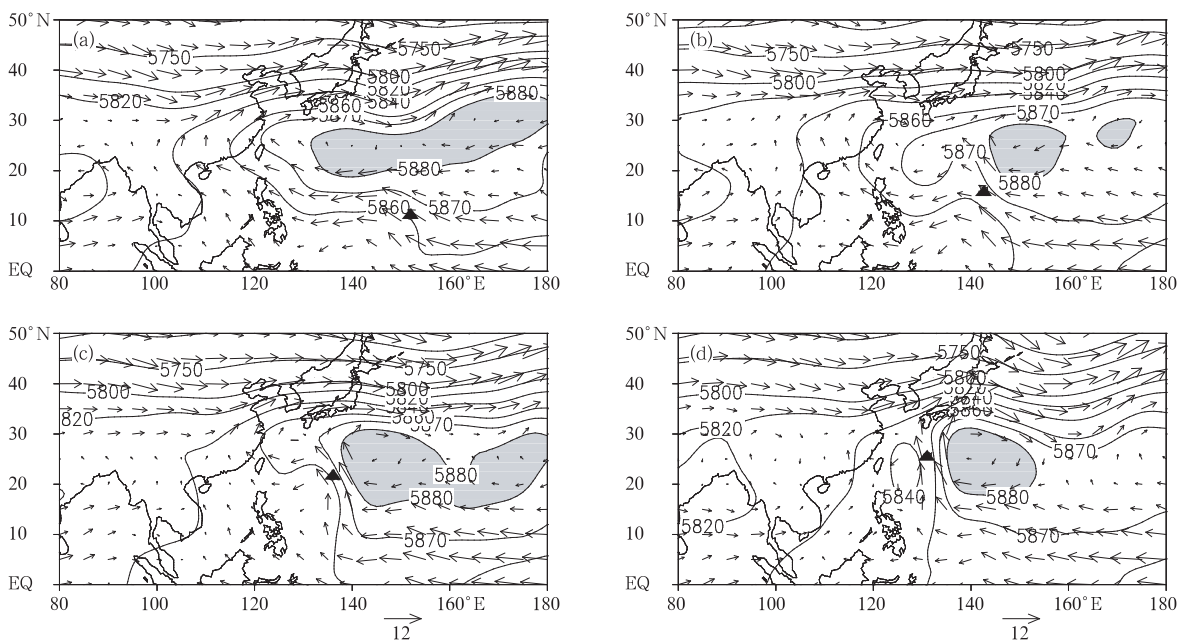


图 3 同图 2, 但为转向路径时的情况

Fig. 3 Same as Fig. 2 but for recurving tracks

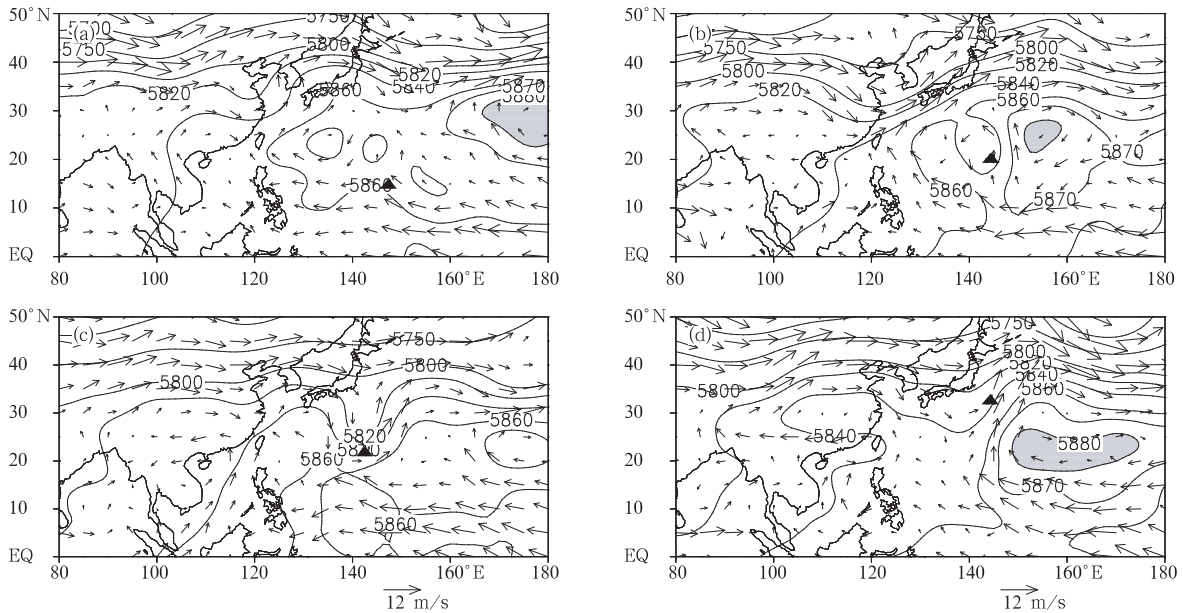


图 4 同图 2, 但为北上路径时的情况

Fig. 4 Same as Fig. 2 but for northward tracks

北上路径台风(图 4)所对应的副高主体在 3 类路径中最偏东,副高强度最弱,西风带中存在明显的波动。第 1 天位于东亚 120°E 附近的小槽在第 2 和第 3 天逐渐加深,第 4 天低压槽有一次向东的跳跃过程,和台风低压系统合并到一起,第 5 天以后随着台风的向北移动台风东侧的副热带高压逐渐加强,其西部向北发展;台风西侧反气旋环流也逐渐加强,到第 8 天发展成由 5860 gpm 线包围的小高压中心。整体来看,北上路径的台风位于副高南侧北上时,副高环流在台风的北部分裂成两个反气旋中心,台风从中间的低压区穿过,当台风移到副高的北侧时,位于台风东侧的反气旋环流增强,可以导致台风过后副高的突然西伸。

由合成分析可以得到结论:西太平洋副高形势和 3 类台风路径有很好的对应关系,这与以往的个例分析结果是一致的。为了验证以上的结论并且研究不同路径的台风对西太平洋副高的影响,下面将利用气候模式来模拟不同副高形态对台风移动路径的影响,并探讨台风对副高影响的可能机制。

## 4 数值试验

### 4.1 模式介绍

本章所用的模式为气候系统模式 LASG/IAP

GOALS R42L9 它是在原有 R15L9<sup>[26-27]</sup>的基础上改造而成的。模式大气环流部分的水平分辨率为 2.8125°(经度)×1.66°(纬度),垂直分为 9 层,为  $\sigma$  坐标<sup>[28]</sup>。陆面模式部分为 SSiB 模式<sup>[29-30]</sup>。辐射过程采用 Shi<sup>[31]</sup>的 K-分布方案,每 6 h 更新一次。在试验中海洋模式关闭,太阳高度角固定为 7 月 15 日的值。积分的初始场为 1978 年 1 月 1 日,积分共 4 a,作为控制试验。分别取积分第 4 年的第 271 天作为西行路径敏感试验的初始场,积分第 4 年的第 63 天作为北上路径敏感试验的初始场。这是因为第 271 天的 500 hPa 位势高度场在西太平洋副高呈纬向带状(图 5b),与观测到的西行台风初始场(图 2a)相似;而第 63 天的 500 hPa 位势高度场中,西太平洋副高在日本附近断裂(图 5c),与观测到的北上台风的初始场(图 4a)相似。上述两组积分各进行 10 d,并分别被定义为试验 1 和 2。

### 4.2 试验设计

根据观测到的台风中对流潜热加热廓线的特征,在试验的初始场中加入如图 5a 所示的温度扰动的分布:在第 6 层(336 hPa)加入一个南北方向为 6.68°、东西方向为 5.625°的矩形温度扰动,扰动中心为 16°C,中心周围的 14 个格点都为 5°C,第 7 层只在中心格点加入 10°C 的扰动,第 5 层只在中心格



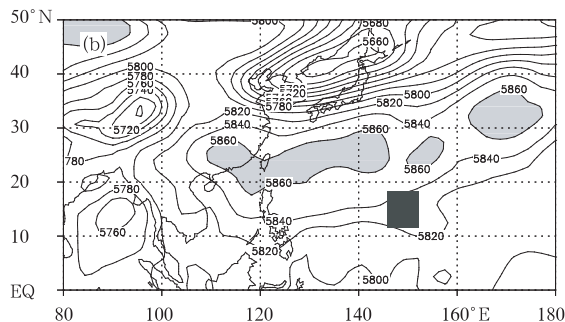
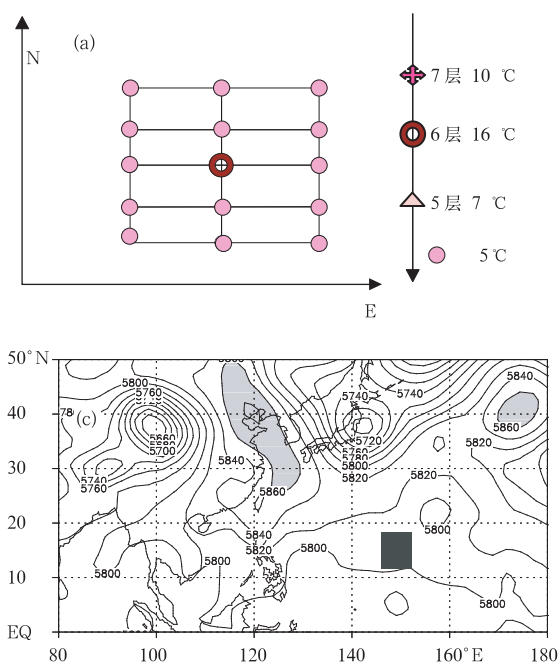


图5 在敏感试验中加入的温度扰动的分布(a); 试验1(b)和试验2(c)的500 hPa位势高度初始场(阴影部分为大于5860 gpm的区域;黑方格指示初始扰动的位置)

Fig. 5 (a) Position of the temperature disturbance added in sensitive experiments; and (b) and (c) are initial 500 hPa geopotential heights in experiments 1 and 2, respectively, with the geopotential height greater than 5860 gpm shaded and the location of the temperature disturbance denoted by a solid-rectangle

点加入7℃的扰动。加热的中心格点为(54,45)即(14.85°N,149.0625°E)。根据位涡可逆性原理<sup>[32]</sup>,这种初始温度强迫相当于在对流层上层引进一个正的强位涡强迫。试验结果表明,这种初始强迫能够迅速在低空激发出台风(图6)。

## 5 台风和副高相互作用的数值试验

在图5b和图5c对应的初始场中的矩形阴影区分别加入图5a对应的温度扰动,然后积分10 d,图6给出了积分第2—4天850 hPa的位势高度场和风场,以及涡度的最大正值中心(用来表示台风的位置)在前5 d的位置和移动路径。可见上述的初始扰动在两个试验中均激发出强台风:北上台风中心位势低于1280 gpm,而西行台风的强度更可达1160 gpm。从图中还可看到台风和副高相互作用的重要结果:

(1) 试验1对应西行、西北行路径的台风,在积分第5天以后,台风登陆。试验2中台风的移动方向在初始的前两天北上略微偏西,在以后的几天里向北移动,对应北上路径的台风。这和利用合成方法诊断出来的西太平洋副高和台风路径配置结果吻合。进一步证实了传统的结论,即西太平洋副高纬向带状的分布有利于台风西行和西北行;西太平洋副高在中部断裂有利于台风北上。

(2) 在西行台风的试验1中,副高的主体及脊

线随着台风的西移而不断向西发展;而在北上台风的试验2中,副高的中心偏东少动。这意味着不同的台风移动路径对西太平洋副高存在不同的影响。

## 6 台风影响副高变异的一种可能机制

为了分析台风对西太平洋副高的影响,图7给出了试验1和试验2中的500 hPa位势高度场减去相对应的控制积分的500 hPa位势高度,表示由于台风引起的500 hPa位势高度的变化。可以看到,对于西行和北上路径两种情况在积分1 d以后引起热源西部位势高度降低,位势高度改变的强度和范围大致相同。积分第2天开始,两试验在日本及日本以东附近(图8中区域I)位势高度增加。到积分第3天,试验1和试验2出现很大差异:试验1中不仅在日本附近的位势高度增加,而且区域面积向西扩展,在此增高区域的西北部(图8中区域III)又出现强度相当范围也比较大的位势高度的增强区。在试验2中,区域I的位势高度增加很大,达到80 gpm,但没有向西扩展。在以后的第4、5和6天里,试验1中区域III处的位势高度的增强区强度逐渐加强并且向东向南扩展,区域III处位势高度的增强区一直为西风气流;试验2中区域III处一直为东风气流,位势高度的改变也比较小。简言之,对于西行路径台风,随着台风区域的负高度差异区逐渐西移,其西北—北部和东北部分别为两个正高度差异区,对

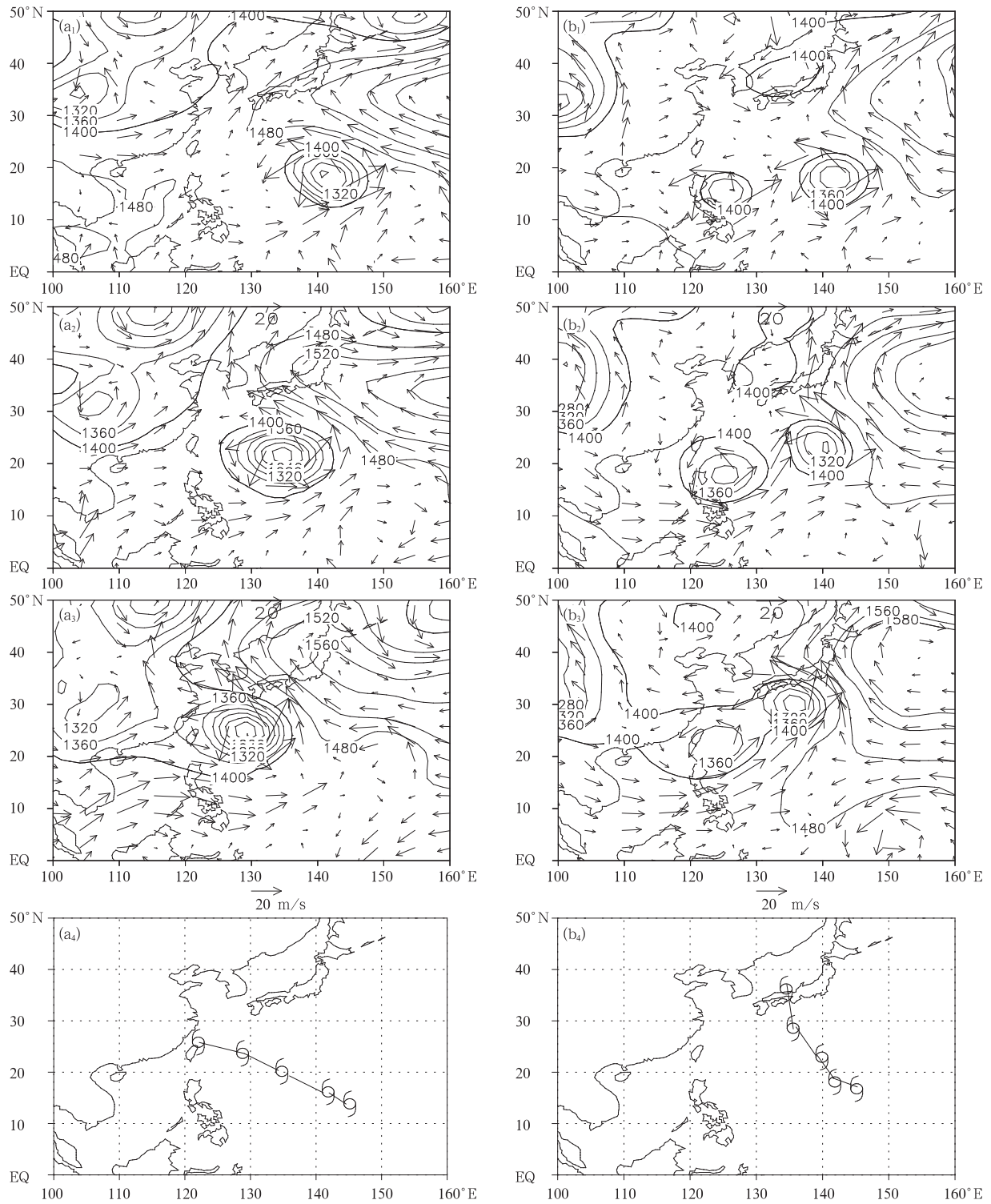


图6 试验1(a)和试验2(b)中积分第2天(a<sub>1</sub>、b<sub>1</sub>)、第3天(a<sub>2</sub>、b<sub>2</sub>)和第4天(a<sub>3</sub>、b<sub>3</sub>)的850 hPa位势高度场和风场  
 (大于1440 gpm的等值线间隔为20 gpm,小于1440 gpm的等值线间隔为40 gpm;a<sub>1</sub>、b<sub>1</sub>为  
 两个试验中第1—5天850 hPa台风最大涡度中心的连续演变)

Fig. 6 850 hPa geopotential height (solid line, the interval is 20 gpm/40 gpm when the geopotential height is greater/less than 1440 gpm, respectively) and wind (vector; m/s) fields on the second, third and fourth day, as indicated, in simulation experiments 1 (a) and 2 (b)

(The tracks of maximum vorticity centers at the typhoon centers from the first to fifth day in the two experiments are shown in the two bottom panels, respectively)

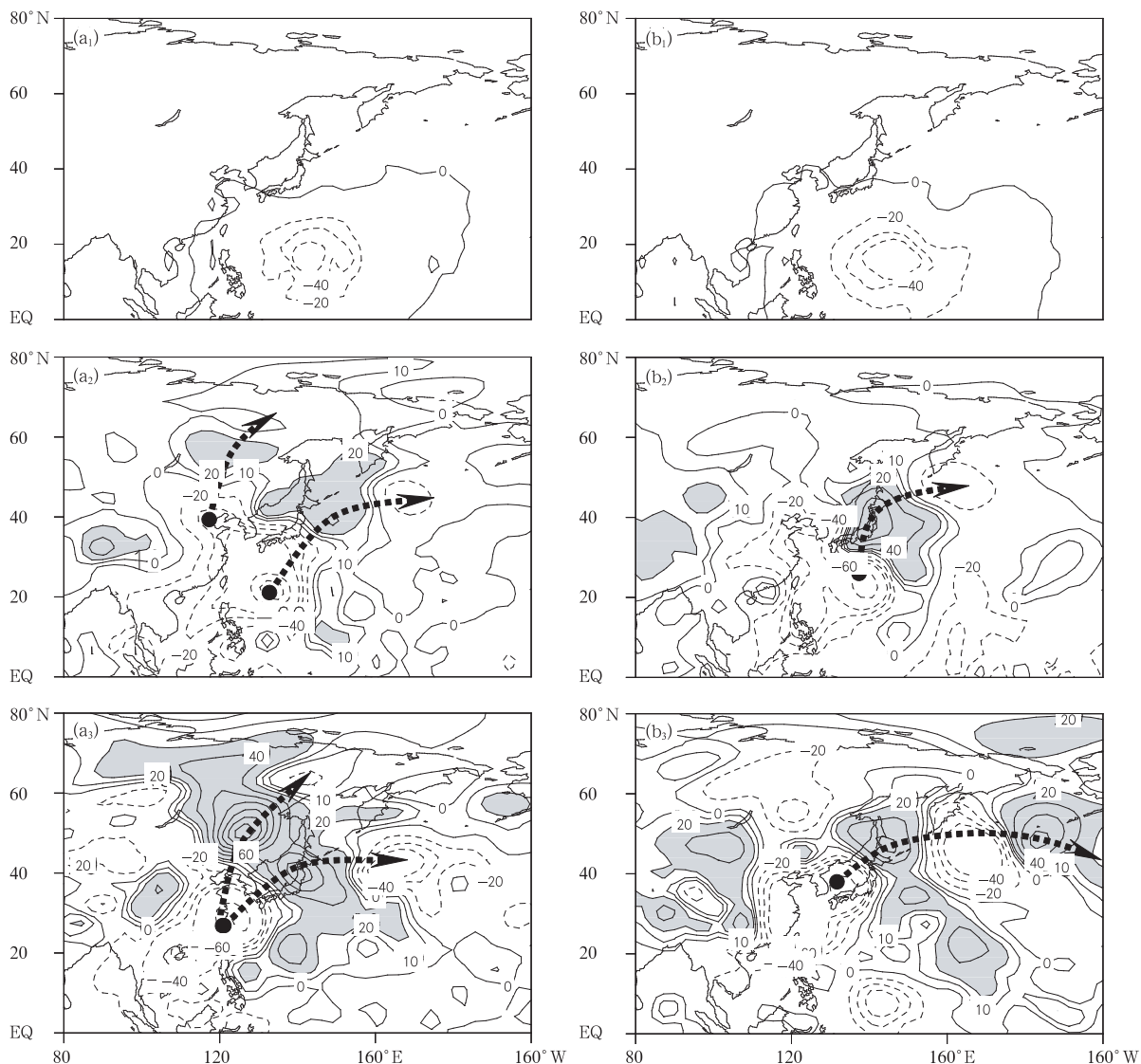


图 7 试验 1(a)和试验 2(b)中 500 hPa 位势高度减去对应的控制积分 500 hPa 位势高度场的差异在积分第 1(a<sub>1</sub>、b<sub>1</sub>)、3(a<sub>2</sub>、b<sub>2</sub>)和 5 天(a<sub>3</sub>、b<sub>3</sub>)的分布(单位:gpm,带箭头虚线指示波动能量传播的路径,阴影区为高度差大于 20 gpm 的区域)

Fig. 7 Difference of 500 hPa geopotential heights(gpm) between sensitive experiment and control run at the first, third and fifth day, as indicated, for experiment 1 (a) and 2 (b)

(Differences greater than 20 gpm are shaded, and dashed arrows indicates energy transmit tracks)

应着两个明显的波列,能量传播路径的前(东)方也出现两个负的差值中心。对于北上路径的台风,在传播台风路径的东北方的 500 hPa 位势高度正、负差值中心只有一个,对应着一个明显的向东波列。由分析可以看出,由于西行台风的西北部出现正变高,因此西太平洋副高随着台风的西移而西伸加强(图 6a);在台风北上的场合,正变高只出现在台风东北部,因此西太平洋副高的位置偏东且不西伸(图 6b)。

图 8 给出了试验 1 和试验 2 积分第 3 天位势高

度差异场的高低空分布(200、500 和 850 hPa)。由图可见,西行路径和北上路径的台风对应的高度差异场在台风附近的 200 hPa 为正、500 和 850 hPa 为负。在台风区域以北的临近区域,东侧位势高度增强(I 区),西侧位势高度降低(II 区),波动为正压结构。两试验的最大差异发生在图中所示的区域 III:在西行路径的情况下,区域 III 处整个对流层为正的高度偏差,导致 500 和 700 hPa 上的西太平洋副高明显西伸;而在北上路径的台风的场合区域 III 没有明



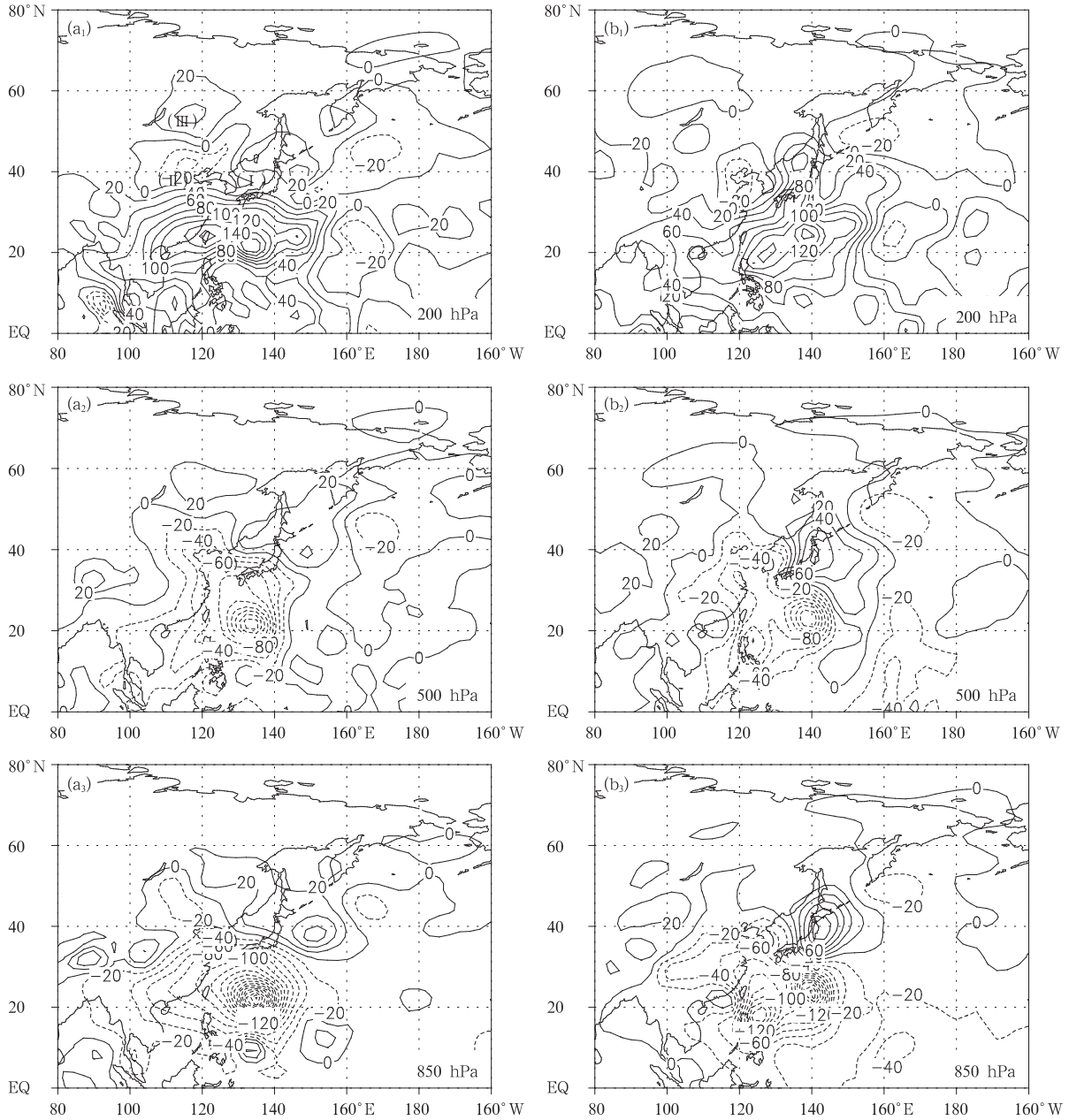


图 8 积分第 3 天试验 1(a)和试验 2(b)的位势高度减去对应的控制积分的位势高度场在 200、500 和 850 hPa 的分布

Fig. 8 Differences of geopotential heights between sensitive experiments and control run at the third day at 200, 500 and 850 hPa, as indicated, for experiments 1 (a) and 2 (b)

显的高度差异,正高度差异区只出现在台风的东北部的区域 I。

现在分析环流场对 Rossby 波动传播的影响以及在图 8 试验 1 中区域 II 以北出现正位势高度差异的原因。在基本气流  $\bar{u}=\bar{u}(y)$  时,正压水平无辐散的定常 Rossby 波的线性波动方程可写为<sup>[33]</sup>

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial}{\partial x}\right) \frac{\partial \Psi'}{\partial y} + \left(\beta_0 - \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2}\right) \frac{\partial \Psi'}{\partial x} = 0$$

设  $\Psi' = \bar{\Psi}(y)e^{ik(x-\sigma)}$ , 在  $\bar{u}-c \neq 0$  时

$$\frac{d^2 \bar{\Psi}}{dy^2} + l^2 \bar{\Psi} = 0$$

其中  $l^2 \equiv \frac{\beta_0 - \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2}}{\bar{u} - c} - k^2$  称为  $y$  方向的折射指数。 $l^2$

>0 时,波在  $y$  方向上能够传播(方程有振解),波的传播方向为折射指数最大的区域。当  $l^2 < 0$  时, Rossby 波的经向传播受阻。

对于定常的 Rossby 波,有  $l^2 = K_0^2 - k^2$ , 其中

$$K_0 = \sqrt{\frac{\left(\beta_0 - \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2}\right)}{\bar{u}}}$$

因此,定常的 Rossby 波得以经向传播的条件为

$$0 < \bar{u} < \left(\beta_0 - \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2}\right) \cdot k^{-2}$$

也就是说在弱纬向西风的场合, Rossby 波可以穿越西风传播;而在东风气流中 Rossby 波的经向传播

受阻。图 9 为试验 1(a)和试验 2(b)中穿越区域 II 和 III 沿东经 122°E 的纬向西风分量的剖面分布。在西行台风的场合,中纬度区域 II 受弱西风控制(图 9a),台风所激发的 Rossby 波能够穿越区域 II 向北进入区域 III,使该区位势高度增加,西太平洋副高西伸。在北上路径的情况下,在区域 II 及以北的中纬区域都为东风控制(图 9b),波动不能穿过该区向北传播,因此副热带高压并不西伸。由此可见,对于同样的初始台风扰动,如果背景流场不同,能量的传播路径也不同,从而对中高纬度环流的影响和对副热带高压的影响也不同。

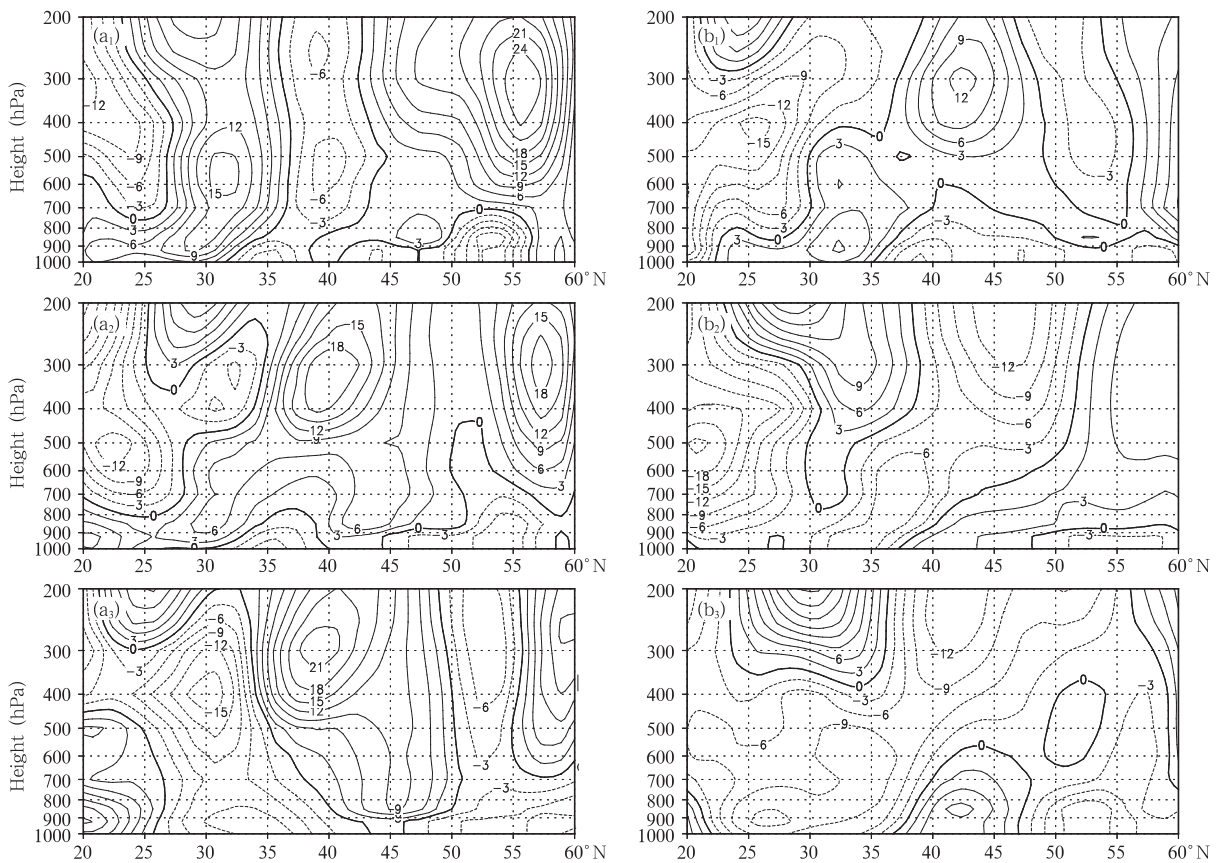


图 9 试验 1 和试验 2 中穿越区域 II 和 III 沿东经 122°E 的纬向西风  $u$  的垂直剖面  
(单位为 m/s,虚线为负(东风),实线为正(西风))

Fig. 9 Vertical cross section of the zonal wind (m/s) in area II and III in Fig. 8a along 122°E in experiment 1 (a) and 2 (b) (Dashed line: negative, solid line: positive, thick line: zero contour)

### 7 结论和讨论

本文通过对不同台风路径的合成分析再次确认副高形态对台风的移动路径有重要影响:西行路径

的台风对应的副高呈带状,所控制的区域纬向范围大,副高的西伸脊点比其他两类偏西且副高的西部势力比较强,副高北部的西风带平直;转向路径时,副高开始呈东西带状,随着台风在副高南侧的移动

副高西部减弱,在台风转向的过程中,副高的西部有所发展,并且副高北侧的西风带内有槽脊的发展,东亚 120°E 和大洋中部有低压槽,副高在洋中槽处减弱以至中间断裂;北上路径的台风对应的副热带高压的强度最弱,主体最偏东,形状也不规则,台风从弱高压区中部的断裂处穿越北上。合成分析还表明,不同的台风移动可能对副热带高压的形态有不同的作用。

利用气候模式(R42L9),本文进一步模拟和分析了台风和副高的相互作用,结果显示:在比较平直的东风带、副高呈东西带状的背景下台风向西移动,对应西行路径;当背景场的东风比较弱,西太平洋副高在日本附近中部断裂,台风向北移动,对应北上路径。这一模拟结果与前面合成分析的结果相一致。与此同时,台风移动也对副高的变化产生重要影响。台风对副高的影响不仅仅局限于台风距离副高比较近的区域,还可以通过能量的传播影响到距离台风比较远的热带外区域,从而影响中高纬度的环流和西太平洋副高的变异。西行和北上路径两种情况下均存在向东向北方向传播的波列,波动能量的传播路径基本相同。但由于背景环流场不同,波动能量的传播也呈现出显著差异:西行路径台风的西北部为西风背景,穿越该西风带产生新的向北的能量传播,使副高加强西伸至中国大陆上空,并阻止台风北上。在北上路径的场合,台风的能量只有一个向东北的传播路径;台风的西北部为东风气流,波动的经向传播受阻,副高没有西伸发展,利于台风向北移动。

由此可得到初步的结论:台风和副高的影响是双向的。台风的路径和强度既受到副高形态的影响,其所激发的强大扰源还通过能量频散对副高的变异产生重要影响。本文所用的气候模式对研究副高的变异来说比较合适。利用在初始场中加入一个理想热源来激发台风的实验方法在理论和实践中也证明是合理可行的。但低分辨率的气候模式不能模拟台风内部的动力过程。

## 参考文献

- [1] 陈联寿,孟智勇.我国热带气旋研究十年进展.大气科学,2001,25(3):420-432
- [2] Wu Liguang, Wang Bin. A potential vorticity tendency diagnostic approach for tropical cyclone motion. *Mon Wea Rev.* 2000, 128(6): 1899-1911
- [3] Johnny C L Chan, William M Gary. Tropical cyclone movement and surrounding flow relationships. *Mon Wea Rev.* 1982, 110(10): 1354-1374
- [4] Johnny C L Chan. Identification of the steering flow for tropical cyclone motion from objective analyzed wind fields. *Mon Wea Rev.* 1985, 113(1): 106-116
- [5] Patrick A Harr, Russell L Elsberry. Tropical cyclone track characteristics as a function of large-scale circulation anomalies. *Mon Wea Rev.* 1991, 119(6): 1448-1468
- [6] 范永祥.台风现场科学业务试验综述//85-906项目组.台风科学业务试验和天气动力学理论研究(一).北京:气象出版社,1996:113pp
- [7] Dong Keqin, Charles J Neumann. On the relative motion of binary tropical cyclones. *Mon Wea Rev.* 1983, 111(5): 945-953
- [8] 罗哲贤,马镜娴.副热带高压南侧双台风相互作用的数值研究.气象学报,2001,59(4):450-458
- [9] Chen Lianshou, Lou Zhexian. Effect of the interaction of different-scale vortices on the structure and motion of typhoons. *Adv Atmos Sci.* 1995, 12(2): 207-214
- [10] 徐晶,陈联寿,徐祥德.青藏高原高空流型对西北太平洋台风路径的影响的诊断分析.应用气象学报,1999,10(4):410-420
- [11] 王志烈.亚洲上空西风带长波槽对西太平洋台风路径的影响.大气科学,1981,5(2):198-205
- [12] 北京大学地球物理系气象教研室.天气分析和预报.北京:科学出版社,1978:570pp
- [13] 喻世华,潘春生.一次西太平洋副热带高压中期进退过程环流机制的分析.热带气象,1989,5(3):220-225
- [14] 钱贞成,喻世华.东亚地区凝结加热的中期变化与西太平洋副高准双周期震荡的关系.热带气象,1991,7(3):259-267
- [15] 张韧,史汉生,喻世华.西太平洋副热带高压非线性稳定性问题的研究.大气科学,1995,19(6):687-700
- [16] 吴国雄,刘屹岷,刘平.空间非均匀加热对副热带高压形成和变异的影响 I:尺度分析.气象学报,1999,57(3):257-263
- [17] Liu Y M, Wu G X, Liu H, et al. Condensation heating of the asian summer monsoon and the subtropical anticyclone in the eastern hemisphere. *Climate Dyn.* 2001, 17(4): 327-338
- [18] Rodwell M J, Hoskins B J. Subtropical anticyclones and summer monsoons. *J Climate.* 2001, 14: 3192-3211
- [19] Nikaidon Y. The PJ-like north-south oscillations found in 4-month integrations of the global spectral model T42. *J Meteor Soc Japan.* 1989, 67: 687-604
- [20] Edward B Rodgers, Jong-Jin Baik, Harold F Pierce. The environmental influence on tropical cyclone precipitation. *J Applied Meteorology.* 1994, 33(5): 573-593
- [21] 杨美川,朱永□.热带气旋穿越副热带高压的数值试验.热带气象学报,1998,14(1):85-90
- [22] 罗哲贤.热带气旋对副热带高压短时间尺度变化的影响.气

- 象学报, 2001, 59(5): 549-559
- [23] 吴国雄, 丑纪范, 刘屹岷等. 副热带高压形成和变异的动力学问题. 北京: 科学出版社, 2002: 314pp
- [24] 刘屹岷, 吴国雄, 刘辉等. 空间非均匀加热对副热带高压带形成和变异的影响Ⅲ: 凝结潜热加热与南亚高压及西太平洋副高. 气象学报, 1999, 57(5): 525-538
- [25] Kalnay E, Coauthors. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull Amer Meteor Soc*, 1996, 77(3): 433-471
- [26] Zhang X H, Shi G Y, Liu H, et al. IAP Global Ocean-Atmosphere-Land System Model. Beijing, New York: Science Press, 2000: 252pp
- [27] 吴国雄, 张学洪. LASG 全球海洋-大气-陆面模式(GOALS/LASG)及其模拟研究. 应用气象学报, 1997, 8(增刊): 15-28
- [28] Wu T W, Liu P, Wang Z Zhi, et al. The performance of atmospheric component model (R42L9.0) of GOALS/LASG. *Adv Atmos Sci*, 2003, 20(5): 726-742
- [29] Liu Hui, Wu Guoxiong. Impacts of land surface on climate of July and onset of summer monsoon: A study with an AGCM plus SSIB. *Adv Atmos Sci*, 1997, 14(3): 289-308
- [30] Xue Y K, Sellers P J, Kinter J L, et al. A simplified biosphere model for global climate studies. *J Climate*, 1991, 4(3): 345-364
- [31] Shi G Y. An accurate calculation and the infrared transmission function of the atmospheric constituents [Ph D Thesis]. Dept of Sci, Tohoku University of Japan, 1981
- [32] Hoskins B J, McIntyre M E, Robertson A W. On the use and significance of isentropic potential vorticity maps. *Q J Roy Meteor Soc*, 1985, 111(470): 877-946
- [33] 刘式适, 刘式达. 大气动力学. 北京: 北京大学出版社, 1991: 536pp

## INTERACTIONS BETWEEN TYPHOON AND SUBTROPICAL ANTICYCLONE OVER WESTERN PACIFIC REVEALED BY NUMERICAL EXPERIMENTS

Ren Suling<sup>1,2</sup> Liu Yimin<sup>1</sup> Wu Guoxiong<sup>1</sup>

1 *State Key Lab of Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics (LASG), Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*

2 *National Satellite Meteorological Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081*

### Abstract

Three familiar kinds of typhoon tracks are sorted based on a set of typhoon data from 1958 to 1998. The result of composite analysis confirms that different typhoon tracks correspond to different patterns of the subtropical anticyclone over Western Pacific (SAWP). When the tracks are westward the subtropical high is strong with a zonal form, and stretches westward; when tracks are recurving ones, the main body of the subtropical high moves eastward and breaks near longitude 160°E; and when tracks are northward the subtropical high locates much more east of normal position. Based on this result and using the GOALS R42L9 climate model, a temperature disturbance is added into two different initial fields to force the formation of typhoon. Westward tracking and northward tracking typhoons are successfully simulated, thus verifying the finding that different patterns of SAWP have different effects on typhoon tracks. Results also show that typhoons can induce barotropic Rossby waves propagating towards the mid and high latitudes. Under different background zonal flows, wave trains triggered by typhoons of westward and northward tracks are also different, and their effects on the mid and high latitude circulation and the SAWP are different: compared to the northward tracking typhoon, the westward tracking typhoon is able to induce positive geopotential height anomaly to its north and northwest, resulting in the strengthening and westward stretching of the SAWP.

**Key words:** Typhoon, Subtropical anticyclone over Western Pacific, Interaction, Numerical Experiment.