

中高纬环流对 1998 年 7 月西太平洋副热带高压短期变化的影响机制^{*}

任荣彩 刘屹岷 吴国雄

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

摘 要 针对 1998 年 7 月长江中下游地区二度梅期间副热带高压的短期演变特征, 利用 NCEP 逐日资料, 首先揭示了此期间西太平洋副热带高压发生东西断裂、副高单体发展的短期异常特征, 进而指出了中高纬环流调整与副高短期变异的对应关系。在发现与中高纬环流调整相伴随的强冷空气是副高发生变异的关键因素的基础上, 利用大气热力学基本原理, 研究副高短期变异的动力机制, 发现在副高边缘的冷暖空气活动通过与南北风发展直接关联, 而影响副高的短期变异, 是副高短期变异的重要机制之一。最后, 利用 R42L9/LASG IAP 大气环流模式, 通过敏感性数值试验证实了上述冷暖空气活动影响副高发生变异的动力机制。

关键词: 副热带高压; 短期变异机制; 数值试验

文章编号 1006-9895 (2004) 04-0571-08 **中图分类号** P434 **文献标识码** A

1 引言

中高纬环流是影响西太平洋副热带高压(以下简称副高)异常变化的重要因子之一^[1]。早期, 陶诗言等^[2]曾指出长波调整与副高脊进退之间存在密切联系; 黄土松^[3]曾研究了西风急流北跳与副高北跳的时间关系, 指出西风急流北跳超前于副高脊的北跳。章淹^①在研究西太平洋副高的多时间尺度变化过程中, 曾指出副高的 5~7 天的变化与中纬度冷空气的活动密切相关, 在冷空气活动地区, 副高脊线有随冷空气南下而南撤、随冷空气减弱而北抬的周期性变化趋势。近期的研究又指出, 每一次东移南下强冷空气的上游, 往往有副高脊加强北抬^[4]。然而, 中高纬环流究竟通过怎样的动力和热力过程影响西太平洋副高的短期变化, 尚不十分清楚。

1998 年夏季, 我国长江中、下游地区发生了严重洪涝。降雨形势与往年不同的是中、下游地区经历了两次梅雨, 即“二度梅”^[5,6]。分析指出, 出现二度梅雨是由于西太平洋副高加强北抬后又异常减弱南落造成的^[7]。副高的这种变化无论从时间尺度上, 还是从减弱南落的时间来看, 都不属于正常的季节变化。本文将研究此期间西太平洋副高本身所出现的这种异常及其演变特征, 探讨中高纬环流影响副高异常变化的机制和原因。以揭示二度梅出现的天气动力机制。

2003-03-03 收到, 2003-05-07 收到修改稿

^{*} 中国科学院重要方向项目 ZKCX2-SW-210, 国家自然科学基金资助项目 40135020、40221503 和 40023001 共同资助

^① 个人交流

本文第 2 节首先揭示 1998 年西太平洋副高的短期异常特征及其与中高纬环流的关系；第 3 节利用热力学基本原理，研究中高纬环流影响 1998 年西太平洋副高短期变异的过程和机制；第 4 节通过数值敏感性试验对西太平洋副高短期变异的机制进行数值验证。最后第 5 节给出本文的结论。

2 1998 年 7 月西太平洋副高的短期异常特征及其与中高纬环流的关系

2.1 1998 年 7 月西太平洋副高的短期异常

刘平^[8]曾经将 1998 年 7 月西太平洋地区 (120~160°E) 副热带高压的逐日纬向平均脊线位置与多年同期平均脊线位置进行比较，认为 7 月上旬副高脊线偏北，尤其在上旬末，脊线位置偏北约 4 个纬度；二度梅期间，脊线偏南 10 个纬度以上。然而，根据逐日高度及降雨资料，并参考陶诗言等^[5]和黄荣辉等^[6]的分析结果，我们知道 7 月 5 日以前，长江中、下游地区处在第一次梅雨的结束期 (图 1a)；6 日开始西太平洋副高

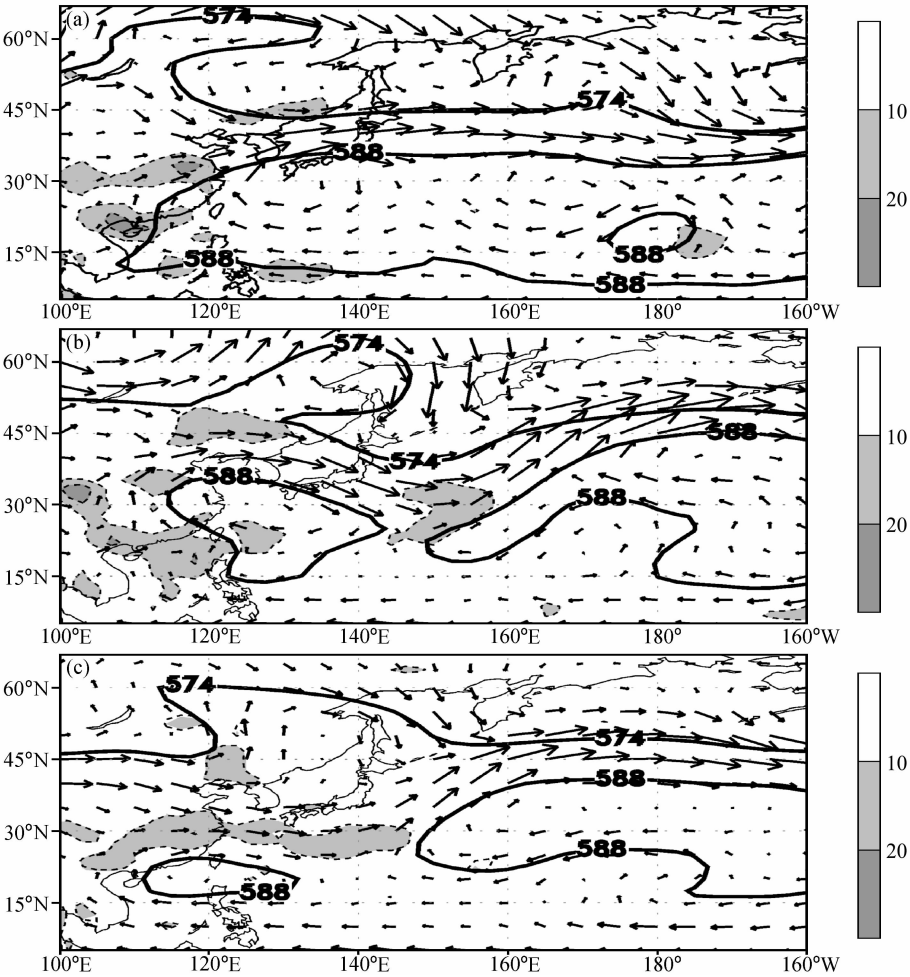


图 1 1998 年 7 月梅雨不同阶段 500 hPa 副高形态 (等值线)、水平风场及降雨带 (mm d⁻¹, 阴影) 的平均分布
(a) 1~5 日, 第一次梅雨后期; (b) 6~13 日, 梅雨间歇期; (c) 14~31 日, 二度梅雨期

北抬,第一次梅雨完全结束,进入梅雨间歇期(图 1b);7 月 14 日以后副高减弱,长江中、下游地区二度梅雨开始(图 1c)。另外,由图 1b 可知,在梅雨间歇期,西太平洋副高的北抬,并不是整体向北发展,而是呈现为单体型式增强。原来的带状副热带高压带在 145°N 附近发生了东西断裂,东亚沿岸地区副高单体向北发展控制长江中下游地区,造成了雨带偏北、偏西。因此,刘平^[8]所采用的 $120\sim 160^{\circ}\text{E}$ 的纬向平均脊线位置,实际上是将副高单体发展区与副高断裂区一起进行了平均,这样显然掩盖了副高单体的北抬发展强度。为了更清楚地揭示 1998 年二度梅期间副高的异常变化特征,我们根据脊线的定义(纬向风 $u=0$ 和 $\partial u/\partial y>0$),确定了逐日副高脊线位置所在的纬度,并给出了 500 hPa 逐日副高脊线纬度分布的经度—时间演变图(图 2a)。由图 2a 可见,7 月初海上($120\sim 140^{\circ}\text{E}$)的副高脊线位于 30°N 以北,而陆上沿岸地区($115\sim 120^{\circ}\text{E}$)的副高脊线一直位于 30°N 以南,它对应着高度场(图 2b)上中国沿海的“东高西低”形势及长江中、下游地区第一次梅雨后期。7 月 5 日进入梅雨间歇期后,沿岸地区的副高脊线持续北抬到 30°N 以北,同时海上副高脊线持续南落到 25°N 以南(图 2a),纬度值的分布由“东高西低”逐渐转化为“西高东低”,对应我国沿岸地区的位势高度场也转变为“西高东低”的分布形势。7 月 13 日以后,沿岸地区副高单体脊线迅速南撤,我国东部及沿海地区($110\sim 130^{\circ}\text{E}$)副高脊线逐渐呈东西分布,对应着二度梅降雨期的开始。

根据图 2a,梅雨间歇期副高单体脊线位置最北时,达到了 32°N 以北,与多年同期脊线平均纬度^[8]相比,至少偏北了 6~7 个纬度以上;而在副高断裂区(145°E 附近),脊线纬度则比多年同期平均脊线偏南 6~8 个纬度以上,说明此期间西太平洋副高的异常变化具有鲜明的地区差别。

总之,1998 年 7 月上旬,东亚沿岸地区副高脊线曾异常北抬超过 32°N ,同时西太平洋 145°E 附近的海上副高强度急剧减弱、脊线异常南移,使副高出现断裂,位势高度场在我国近海地区由“东高西低”逐渐转化为“西高东低”。这是由一度梅雨期转入梅雨间歇期副高变化的异常特征。另外,东亚沿岸副高单体迅速减弱消失,副高转为

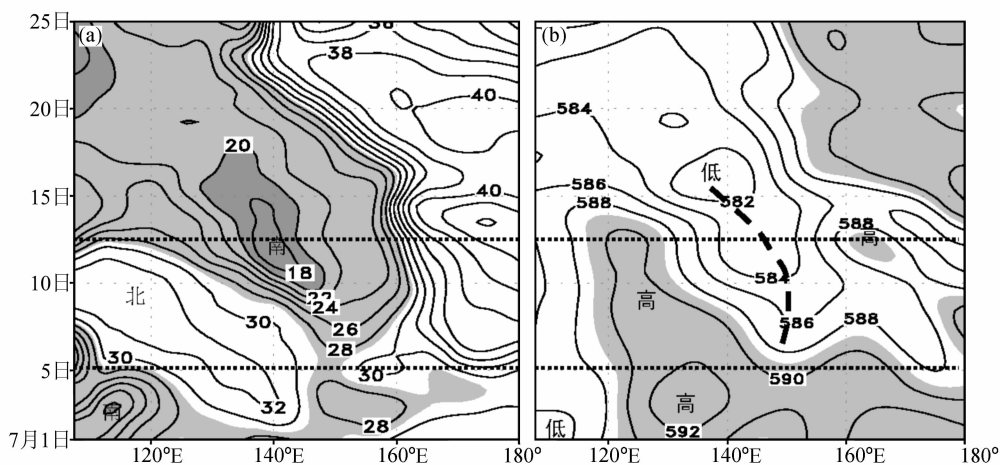


图 2 1998 年 7 月逐日 500 hPa 副高脊线纬度值及位势高度的经度—时间演变图

(a) 副高脊线纬度值; (b) 沿 30°N 位势高度

纬向分布时,二度梅雨开始。

2.2 西太平洋副高的短期异常与中高纬环流调整

根据中高纬度阻塞高压的分布,我们选用 57.5°N 的高度演变来说明高纬度的环流演变情况。由沿该纬度 500 hPa 位势高度的时间演变图(图 3)可见,7 月初高纬度有阻塞高压(阴影区)在贝加尔湖地区建立,并以较快速度向东移,此时东半球($0\sim 180^{\circ}\text{E}$)为单阻型而西半球($180\sim 0^{\circ}\text{E}$)为双阻型,西太平洋副高稳定,对应着第一次梅雨后期;7 月 6 日乌拉尔山以东地区有另外一个阻塞高压建立;贝加尔湖阻塞高压东移抵达鄂霍次克海附近,以后稳定少动,在其前部有低槽加深。此时东半球变为稳定的双阻型,欧亚地区呈三槽两脊;而西半球变为单阻型。在此期间东亚沿岸副热带高压单体北抬发展、副高断裂,对应着梅雨间歇期(图 1b)。11 日以后乌拉尔山阻高与鄂霍次克阻高相继减弱西退,至 13 日鄂霍次克阻高崩溃,对应长江流域梅雨间歇期结束,二度梅开始(图 1c)。值得注意的是梅雨间歇期副高断裂所在的地区($140\sim 150^{\circ}\text{E}$),正是双阻形势下鄂霍次克阻高前部东北气流引导高纬度冷空气南下的经度(图 1b)。这意味着副热带高压单体在沿岸附近的西伸发展,可能与此高纬冷空气的南下有重要联系。

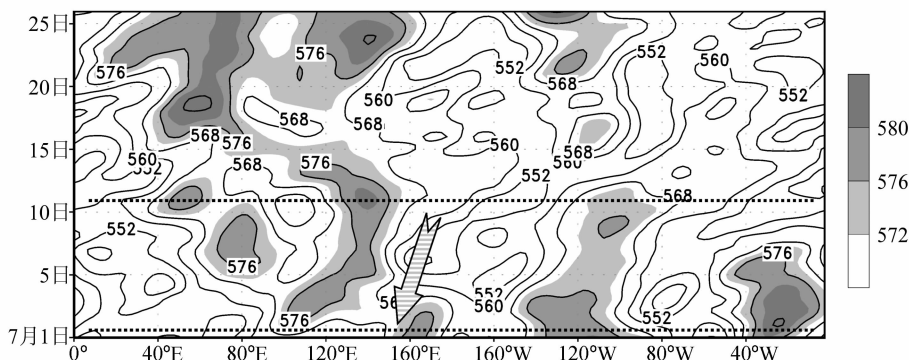


图 3 1998 年 7 月 500 hPa 沿 57.5°N 位势高度的时间演变图

3 中高纬冷暖空气活动影响 1998 年 7 月西太平洋副高短期变异的机制

上面的分析表明,从第一次梅雨后期副高呈带状稳定,到梅雨间歇期东亚沿岸副高单体向北发展及副高带断裂,以及到 13 日以后该副高单体迅速减弱消失,高纬度环流经历了一次单阻—双阻—双阻西退崩溃的调整过程。下面着重分析与中高纬环流调整相伴随的冷空气活动对副热带高压活动的影响过程。

3.1 冷暖空气活动与副高边缘南北风发展

上一节在分析副高由带状到东西断裂、单体异常发展的过程时,我们注意到副高的变异在水平风场上,可以看作为南北风在原纬向副高边缘的异常发展(见图 1 风场分布)。

图 4(见图版 I)是副高变异之前(7 月 2 日和 7 月 5 日)和副高变异期间(7 月 13 日) 500 hPa 位势高度(粗实线)、温度(虚线)和经向风(阴影)的分布,由图可见,副高变异之前(图 4a、b)冷空气一直位于 40°N 以北,系统性南北风(阴影区)区也

主要位于高纬阻塞高压的上下游。西太平洋副高稳定呈纬向分布,除了在其西北边缘存在小范围的弱南风中心外,在副高的北部边缘盛行纬向风。对比图 4c 可见,副高发生变异时 -10°C 的冷空气区在 $140^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{E}$ 附近南伸至 35°N ,同时副高边缘出现较强的经向风中心,且最强北风和南风分别出现在南下冷空气中心的西部和东部。另外,在图 4c 中东亚沿岸地区副高单体的西部还有一相对较弱的南风中心。表明副高的变异过程对应着高纬冷空气的南下以及副高边缘南北风的发展。

为了清楚地说明副高边缘冷空气的活动与南北风发展的关系,图 5 (见图版 I) 给出了副高变异期间沿冷暖空气活动纬度 (35°N) 处位温纬向偏差 (反映冷暖区域) 与南北风 (阴影) 分布的垂直剖面图。由图 5 可见,7 月 5 日时,主要北风区 (阴影负值区) 位于 120°E 附近的高空,中心在 200 hPa 附近,200 hPa 以下的对流层内北风强度随高度增加,200 hPa 以上北风随高度减弱。对应的位温纬向偏差分布为:200 hPa 以下由高原上空东伸的暖舌 (温度偏差正值区) 在 120°E 附近与前方冷空气 (温度偏差负值区) 形成东冷西暖的温度梯度,200 hPa 以上则为相反的东暖西冷温度梯度。沿 120°E 附近 500 hPa 层以上的强北风区与等位温偏差线密集带 (即纬向温度梯度大值区) 重合。6~7 日,大陆上空的暖舌东伸并向低空扩展;中太平洋高空冷空气南下加强,北风区随之向东移到 140°E 并向低空 (700 hPa 以下) 发展,北风中心依然与相应的最大温度梯度区重合。7~9 日,由于中太平洋对流层内的冷中心有所减弱, 140°E 附近的北风强度也明显减弱。9 日以后, 145°E 以东又一股强冷空气南下,与西部暖舌形成愈来愈强的水平温度梯度,对应的北风强度也逐渐增加并在 14 日 (图略) 达到最强。此期间在该强冷空气的前部也有南风 (阴影正值区) 强烈发展。该强烈南、北风发展之处,正是副高发生东西断裂的地区。

另外由图 5 可见,在西太副高单体发展的过程中 (6~11 日),其上游在高原的东部 (110°E 以西) 同时有南风发展东移。该区域正好处于高原西部 (85°E) 600~250 hPa 层的弱冷空气和其东部的较强暖气团之间的强水平温度梯度区 (9~11 日)。13 日以后该冷空气与前方的暖气团均逐渐减弱,相应的南风也随之减弱。西太平洋副高单体在 14 日后的减弱消失 (图 1) 显然与此南风的减弱消失密切相关。

总之,1998 年 7 月副高变异期间,西太副高单体边缘冷暖空气活动形成的纬向温度梯度与南北风的发展相对应,后者与西太副高的异常变化密切相关。

3.2 与南北风发展相联系的副高短期变异机制

根据水平涡度的定义,反气旋周边环流的变化会导致相应的涡度发展。研究副高的短期异常在一定程度上可以归结为研究副高周边流场的变化。因为大尺度的大气运动近似满足热成风关系:

$$\frac{\partial v_g}{\partial z} = -\frac{g}{fT} \nabla_p T \times \mathbf{k},$$

$$\text{或} \quad \frac{\partial u_g}{\partial z} = -\frac{g}{fT} \frac{\partial T}{\partial y}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial v_g}{\partial z} = \frac{g}{fT} \frac{\partial T}{\partial x}. \quad (2)$$

东/西风随高度的变化依赖于南北方向温度梯度的分布;而南/北风随高度的变化则依赖

于东西方向温度梯度的分布。如果由于中高纬度环流调整,在副高的边缘有冷空气向南侵袭,或在副高边缘有暖空气向北发展,则会形成明显的纬向温度梯度。那么在冷气团中心的西侧 $\partial T / \partial x$ 负值增大,根据(2)式,该区域北风必随高度增强(即 $\partial v / \partial z < 0$);相反,在暖气团中心的西侧有 $\partial T / \partial x > 0$,则会有利于上层南风的发展[图6(见图版II)]。因此,在冷空气西侧的暖区上空,会有反气旋环流发展。这时,南北风发展所对应的正、负涡旋中心的分布即如图6所示。类似地,南北向温度梯度(通常南暖、北冷)最大处所对应的西风发展,也必然有利于负涡度在其南侧发展(示意图略)。

对比图5我们发现,1998年夏季副高的东西断裂以及副高单体的发展,正是由于副高边缘的冷暖空气活动所造成的。副高断裂区($140 \sim 150^{\circ}\text{E}$)有从高纬度南下的强冷空气;其西侧有从高原向东伸的暖空气;再加上高原上空出现的弱冷空气,从副热带东亚的陆上地区到西北太平洋地区形成了冷—暖—冷的温度分布,因而相应的南北风发展类似于图6所示。

4 中高纬冷暖空气活动影响西太平洋副高短期变异的数值试验

4.1 控制试验

R42L9/LASG IAP 是在原大气环流谱模式 R15L9/LASG IAP^[9,10]基础上提高水平分辨率后的版本,其大气模式的水平谱截断波数从15波提高为42波,相当于水平分辨率由原来的 $7.5^{\circ}(\text{经度}) \times 4.5^{\circ}(\text{纬度})$ 提高到了 $2.8125^{\circ}(\text{经度}) \times 1.66^{\circ}(\text{纬度})$ ^[11]。积分步长也由原来的30分钟缩短为15分钟。其余的物理过程保留不变。

我们从 R42L9/LASG 模式积分39年的逐日结果中,筛选出一次因冷暖空气活动影响副高断裂及异常变化的过程,作为控制试验。图7(见图版II)即为控制试验给出的7月3~9日模式日东亚及太平洋地区500 hPa副高形态演变(实线)以及冷暖气团(阴影)的配置图,为了突出冷暖空气的分布,图中采用了温度的纬向偏差来表示冷暖区域。由图可见,7月3日(模式日,图7a)副高呈东西带状,主体(584位势什米)在 125°E 以东的太平洋上。在副高的西部,从东亚陆上地区一直到西太平洋的西部为一宽广的相对暖区;在副高的东部,中太平洋地区为相对的冷区;在副高的北部中高纬有一小范围冷区域,中心位于 40°N 以北。副高边缘 $30 \sim 40^{\circ}\text{N}$ 纬带内气流近于纬向,与该地区纬向温度梯度较弱、少有南北风发展相对应。随着高纬度 120°E 附近阻塞高压的发展(见图7b),其前部($120 \sim 140^{\circ}\text{E}$)的东北气流里有温度偏差达 -5°C 的冷空气南下至 30°N 附近,从而在东亚副热带陆上至副热带中太平洋($100 \sim 180^{\circ}\text{E}$)地区,形成了纬向冷暖对比强烈的暖—冷—暖温度分布,同时原纬向带状的副高在 140°E 附近出现了东西断裂,在东亚沿岸和中太平洋地区副高分别向北发展。7月7日(图7c),冷空气进一步加强南下到 30°N 以南,纬向温度对比及副高的断裂更为清楚。7月9日(图7d),高纬度阻塞高压东移崩溃,原构成冷暖对比的冷空气减弱,导致副高边缘纬向温度对比减弱;对应着副热带高压又恢复为东西带状形式,北部边缘也重新建立起近于纬向的西风气流。

上述图7所显示的高纬度环流调整引发冷暖空气活动,造成副高异常变化的过程,除了副高单体发展的位置略偏西偏南外,与1998年7月上、中旬西太副高断裂、单体

发展的过程非常类似。为此, 我们仿照图 5 给出了沿冷暖空气活动纬度(34°N)制作了温度纬向偏差与南北风分布的垂直剖面图[图 8(见图版 III)], 由图可见, 在东冷西暖温度梯度的区域北风随高度加强; 相反在温度梯度西冷东暖的区域有南风随高度发展。7 月 3 日对应 500 hPa 的带状副高(图 7a), 西太平洋($130\sim 140^{\circ}\text{E}$)地区的中低空南北风发展也较弱(图 8a)。7 月 6~7 日东西冷暖温度梯度加强, 对应着整层的大范围北风和南风的发展(图 8b、c)及 500 hPa 副高断裂(图 7b、c), 至 7 月 9 日东西温度梯度与南北风又同时减弱, 副高恢复带状。由此表明, 在此次副高异常变化过程中, 的确存在着如第 3 节所指出的冷暖空气活动导致南北风发展、从而引起副高变异的动力机制。

4.2 试验设计及试验结果

根据控制试验中冷暖空气活动和副高变异发生的区域, 我们在敏感试验中人为将该区域内的纬向温度梯度消除(即 $\partial T / \partial \lambda \approx 0$), 即消除了副高北部边缘的冷暖空气活动, 然后分析上述副高变异过程发生的变化。具体地, 将 $29\sim 41^{\circ}\text{N}$ 纬带内 $110\sim 180^{\circ}\text{E}$ 经度范围内(见图 7c 矩形框)的温度用该范围内的纬向平均温度代替, 并从 7 月 1 日开始积分。图 9(见图版 III)分别给出了控制试验和敏感试验中 7 月 5~7 日 500 hPa 高度和南北风(阴影)水平分布的对比, 由图可见, 控制试验中伴随东西冷暖温度梯度的存在(图 7 及图 8)以及副高的断裂、异常发展, 在副高的边缘有大范围系统的南风 and 北风中心(图 9a、b、c)。敏感试验中消除纬向温度梯度以后(图 9d、e、f), 原较大范围的南北风中心不复存在, 只在 $120\sim 140^{\circ}\text{E}$ 存在一对范围很小的南北风中心, 且整个太平洋地区盛行纬向气流。副热带高压变得很弱, 没有出现断裂及其两侧高压发展的形势。

总之, 上述敏感试验的结果证实, 中高纬度冷暖空气活动所造成的副热带地区纬向温度的不对称(不均匀), 的确可以通过影响南北风发展而对副高的形态、位置和强度变化产生重要影响, 这种机制应是夏季副高短期变异过程中的重要和基本机制之一。

5 结论

本文首先揭示了 1998 年夏季副热带高压的短期演变特征。由第一次梅雨结束进入梅雨间歇期, 到二度梅雨开始, 副热带高压不仅仅是经历了加强发展到减弱南落的变化过程, 而且还表现为东西断裂以及高压单体型式发展控制长江中下游地区等异常变化过程。

将副高视为大气环流系统中的普通一员, 探讨 1998 年 7 月副高短期异常变化的原因时发现, 副高的短期变化与高纬度的环流调整, 以及阻塞高压的建立、崩溃和移动有密切联系。当东(西)半球由单(双)阻转为双(单)阻形势时, 西太平洋副热带高压单体发展、副热带高压带出现东西断裂; 当东半球双阻西退、崩溃时, 副高单体减弱消失、脊线南落。另外, 我们还注意到双阻形势下稳定在鄂霍次克海附近的阻高, 其前部的东北气流引导高纬度冷空气的长驱南下, 是副高发生变异的关键(图 1 及图 3)。

利用热成风基本关系研究中高纬冷暖空气活动影响副高短期变异的动力机制发现, 强烈冷(暖)空气活动所造成的纬向温度梯度, 通过影响副高边缘的南北风发展而直接与副高的短期变异相联系。利用大气环流模式进行的敏感性数值试验, 也从反面证明了第 3 节所揭示的中高纬冷暖空气活动影响西太平洋副高短期变异的机制。虽然进一步证实该机制还需要大量的个例诊断以及数值试验, 但本文从个例诊断、基本理论

和数值试验三方面研究的结果, 依然可以说明该机制是中高纬环流影响副高短期变异的重要机制之一。

参 考 文 献

- 1 刘屹岷、吴国雄, 副热带高压研究回顾及对几个基本问题的认识, 气象学报, 2000, **58** (4), 498~512.
- 2 陶诗言、朱福康, 夏季亚洲南部 100 毫巴流型的变化及其与西太平洋副热带高压进退的关系, 气象学报, 1964, **34** (4), 385~390.
- 3 黄土松, 有关副热带高压活动及其预报问题的研究, 大气科学, 1978, **2**, 159~168.
- 4 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, 72~73.
- 5 陶诗言、张庆云、张顺利, 1998 年长江流域洪涝灾害的气候背景和大尺度环流条件, 气候与环境研究, 1998, **3** (4), 290~299.
- 6 黄荣辉、徐予红、王鹏飞等, 1998 年夏季长江流域特大洪涝特征及其成因探讨, 气候与环境研究, 1998, **3** (4), 300~313.
- 7 张顺利、陶诗言、张庆云等, 1998 年夏季中国暴雨洪涝灾害的气象水文特征, 应用气象学报, 2001, **12** (4), 384~389.
- 8 刘平, 副高带、西太副高年际变化特征及其与海表温度异常的联系, 中国科学院大气物理研究所博士学位论文, 1999, 166pp.
- 9 吴国雄、张学洪、刘辉等, 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.
- 10 Zhang Xuehong, Shi Guangyu, Liu Hui et al., *IAP Global Ocean-Atmosphere-Land System Model*, Science Press, Beijing, 2000, 252pp.
- 11 Wu Tongwen, Liu Ping, Wang Zaizhi et al., The performance of atmospheric component model R42L9 of GOALS/LASG, *Adv. Atmos. Sci.*, 2003, **20** (5), 726~742.

On the Short-Term Variation of Subtropical Anticyclone over the Western Pacific Affected by the Mid-High Latitudes Circulation in July 1998

Ren Rongcai, Liu Yimin, and Wu Guoxiong

(State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract The daily NCEP/NCAR reanalysis data are employed to study the short-term evolution of the subtropical anticyclone over the western Pacific (SAWP) in July 1998. Firstly, the characteristics of SAWP related to the three distinct periods of Meiyu are analyzed. It is found that the breaking of the belt-type SAWP is closely related to the variation of the circulation in the mid-high latitudes. Specifically, the intrusion of cold air from the mid-high latitudes into the subtropics is very important to the breaking of the belt of SAWP. Then the dynamic processes related to the short-term variation of SAWP are studied based on the general thermodynamic theory. It is shown that the southward/northward intrusion of cold/warm air contributes to the development of north/south wind around SAWP, and result in the SAWP anomalies. At last, this mechanism is verified by a numerical experiment based on the atmospheric circulation model R42L9/LASG IAP.

Key words: subtropical anticyclone; short-term variation; numerical experiment

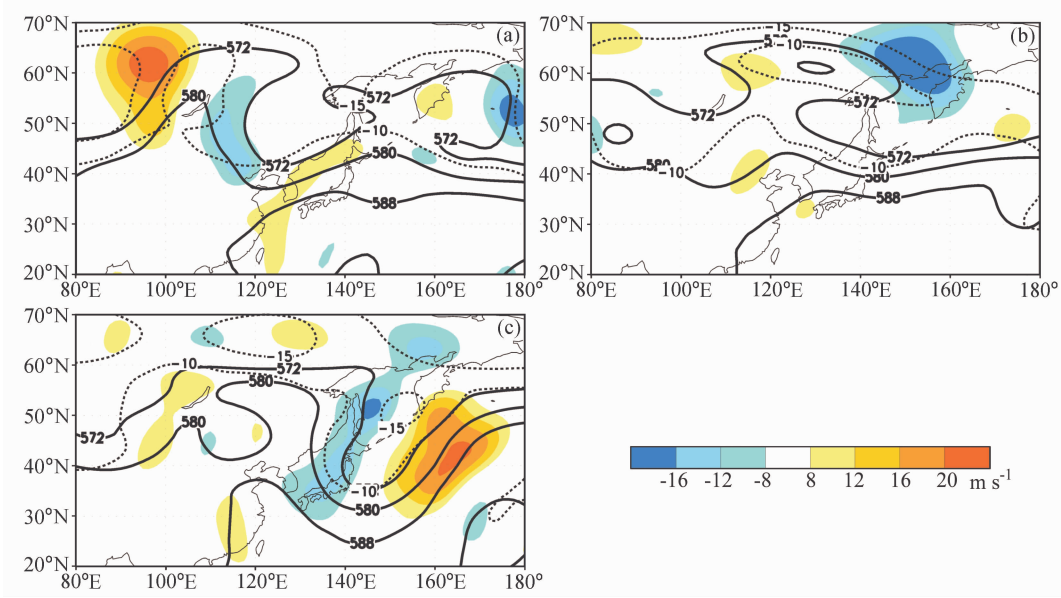


图 4 1998 年 7 月副高变异前后 500 hPa 位势高度（粗实线，gpm）、冷空气（虚线，℃）与经向风（阴影）分布
(a) 2 日；(b) 5 日；(c) 13 日

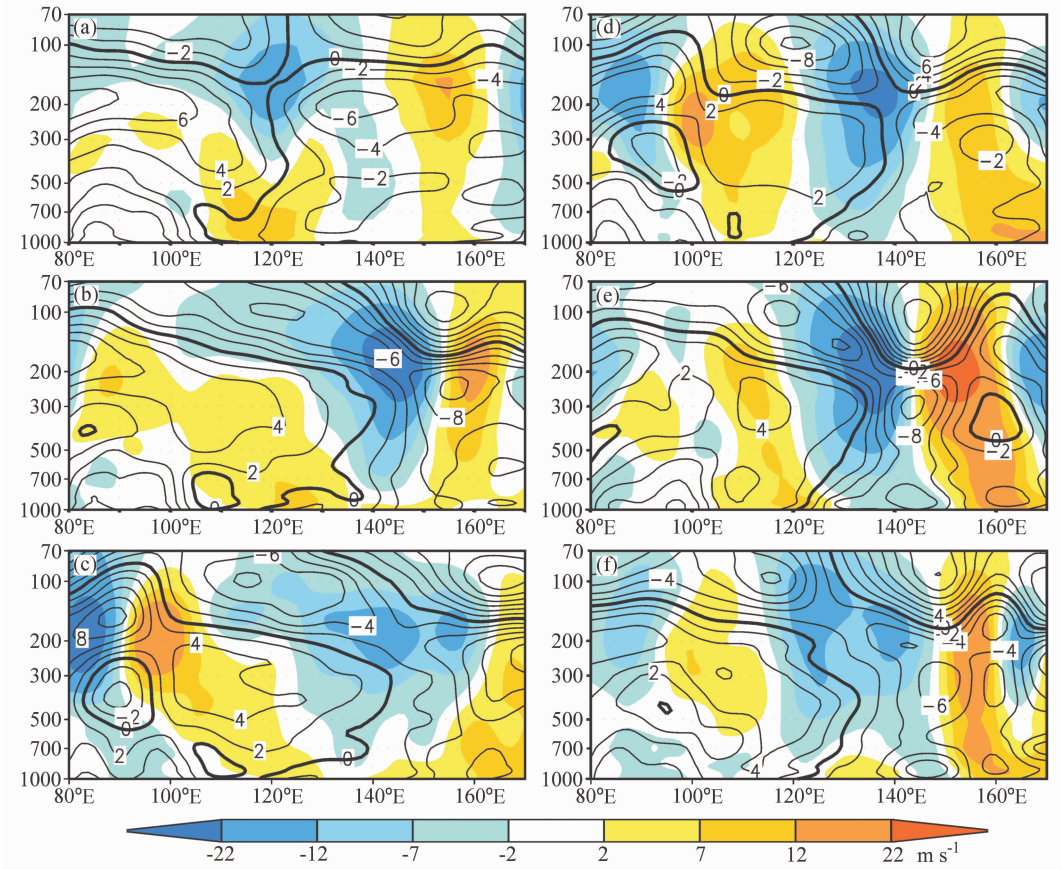


图 5 1998 年 7 月副高变异期间沿 35°N 纬向垂直剖面上的南北风（彩色阴影）与位温纬向偏差（等值线，℃）分布
(a) 5 日；(b) 7 日；(c) 9 日；(d) 11 日；(e) 13 日；(f) 15 日

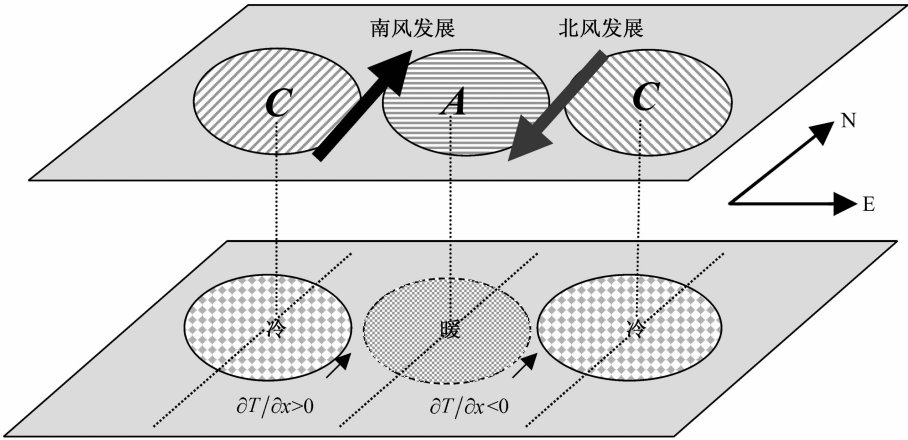


图 6 冷暖空气活动、南北风分布及涡旋垂直配置示意图

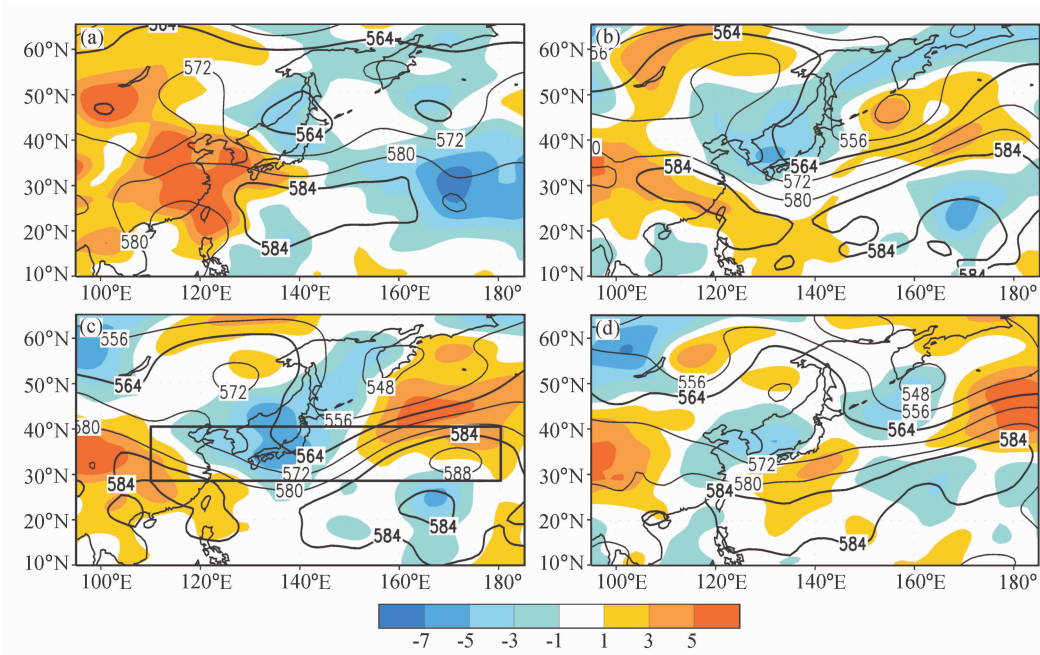


图 7 控制试验 7 月 500 hPa 高度（等值线，gpdm）及冷暖气团（阴影， $^{\circ}\text{C}$ ）配置
彩色阴影为温度的纬向偏差；c 中矩形框区域为敏感试验消除纬向经度梯度的区域
(a) 3 日；(b) 6 日；(c) 7 日；(d) 9 日

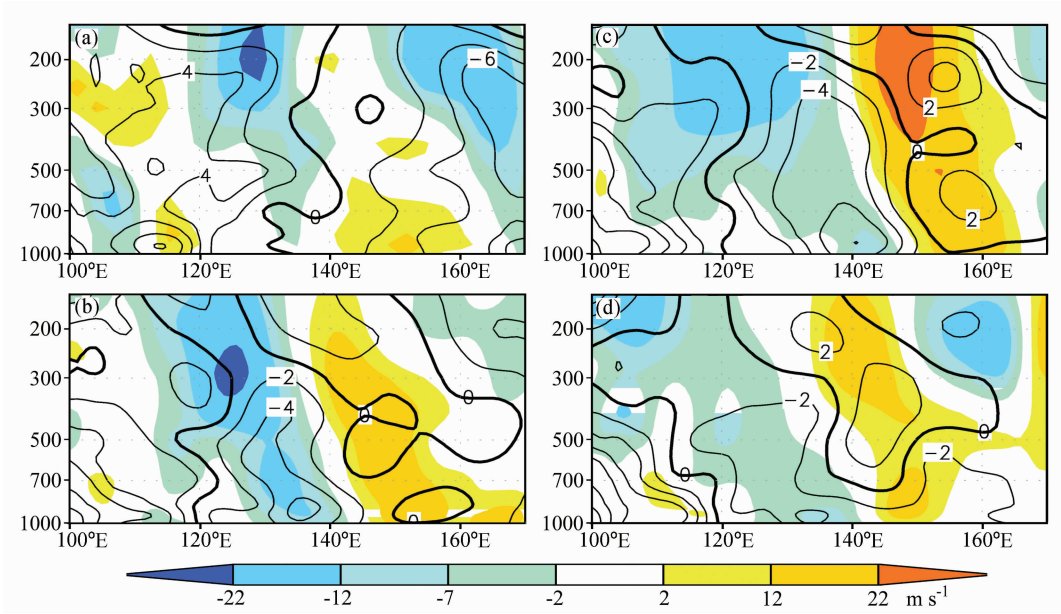


图 8 控制试验 7 月沿 34°N 温度纬向偏差 (等值线, °C) 和南北风 (彩色阴影, 单位: m s^{-1}) 分布的垂直剖面图
(a) 3 日; (b) 6 日; (c) 7 日; (d) 9 日

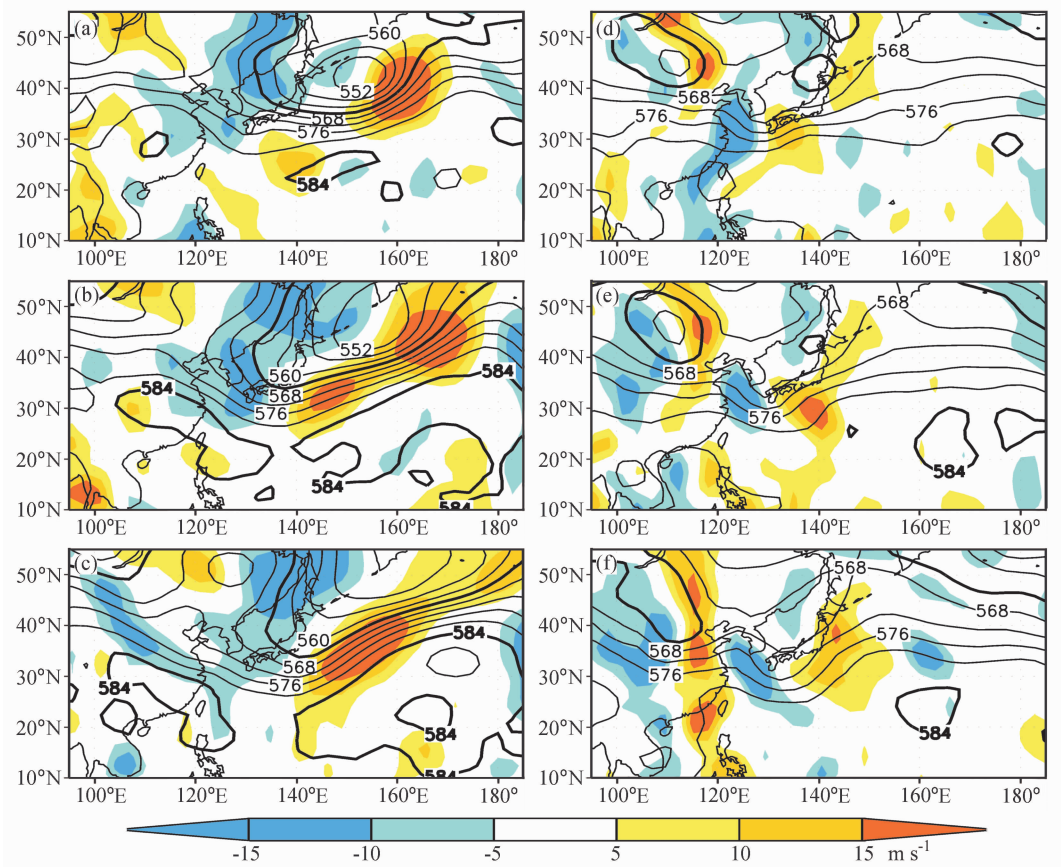


图 9 敏感试验与控制试验的 500 hPa 副高形态 (等值线, gpm) 及南北风分布 (彩色阴影) 对比
(a) 控制试验 7 月 5 日; (b) 控制试验 7 月 6 日; (c) 控制试验 7 月 7 日;
(d) 敏感试验 7 月 5 日; (e) 敏感试验 7 月 6 日; (f) 敏感试验 7 月 7 日

