

# 西太平洋副热带高压中期 进退的环流机制\*

喻世华 王绍龙

(空军气象学院, 南京)

在西太平洋副热带高压(以下简称西太副高)进退过程中,存在着副热带西南季风上升气流和北支高空热带东风下沉气流构成的副热带季风环流圈,它是联系西太副高进退的一支主要气流;高纬地区Ferrel环流的存在,把西风带气流和副高联系起来,但这支西风带气流是通过加强副热带季风环流圈对副高起作用的。东亚夏季季风系统内各成员之间可能存在一种自我调整机制,从而使西太副高呈现出进退现象。

西太副高是夏季月份影响我国的重要的天气系统之一。不少专家学者曾作过研究。早年陶诗言等人<sup>[1,2]</sup>得到副热带长波调整与西太副高进退的关系。以后,许多人的工作<sup>[3-5]</sup>从不同的角度肯定了东亚100hPa流型的调整与西太副高进退的关系。它们之间究竟是什么关系,叶笃正等<sup>[6]</sup>认为由于热力作用在高原产生的上升气流平均而言不能直接流到西太平洋,由此推测它们之间的关系是一种动力上的关系。林本达等<sup>[7]</sup>则认为要注意这一地区加热场的演变,大陆东部加热中心的建立有利于其上层反气旋环流的增强和副高的北跳。杨广基等人<sup>[8]</sup>从个例分析得到来自东、西、南、北四支下沉气流对西太副高的作用,其中特别是来自北面气流的作用。叶笃正等<sup>[6]</sup>强调来自东面的下沉气流的作用。

作者通过分析曾经发现,在东亚季风地区存在一支由副热带西南季风气流上升和北支高空东风气流下沉组成的季风环流圈<sup>[9]</sup>,为区别通常所说的热带季风环流圈,我们称它为副热带季风环流圈,它是作用西太副高进退的一支主要气流。最近我们<sup>[10,11]</sup>通过夏季月份东亚地区逐日经向环流的分析,讨论了这支季风环流的建立过程,以及它和热带季风环流在我国大陆上的交替出现对我国降水的关系。本文通过8次西太副高进退过程的合成分析,试图将东亚副热带季风环流的变动和西太副高的进退进一步联系起来,提出作用西太副高中期进退的一种可能机制。

## 一、资料来源和处理方法

本文选用1979—1981年7—8月8次西太副高进退过程,计81天资料,取自国家气象局历史天气图。进、退的划分标准是:500hPa 588位势什米线的西脊点24小时西移2个经距以上为西进,共有33天;24小时东移2个经距以上为东退,有27天;其他21天为稳定。按西进、东退、稳定三种情况分别以500hPa上120°E副高脊线的平均位置为坐标原

本文于1987年8月15日收到,修改稿于1988年1月5日收到。

• 国家自然科学基金资助项目。

点，然后按三种情况分别平移到各自的坐标原点进行合成。分别读出850、700、500、300、200、100hPa 各层网格 ( $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ ) 的  $u$ ,  $v$  值。用公式

$$\zeta = \frac{\partial v}{a \cos \psi \partial \lambda} - \frac{\partial u}{a \partial \psi} + v \frac{\tan \psi}{a}$$

$$D = \frac{\partial u}{a \cos \psi \partial \lambda} + \frac{\partial v}{a \partial \psi} - v \frac{\tan \psi}{a}$$

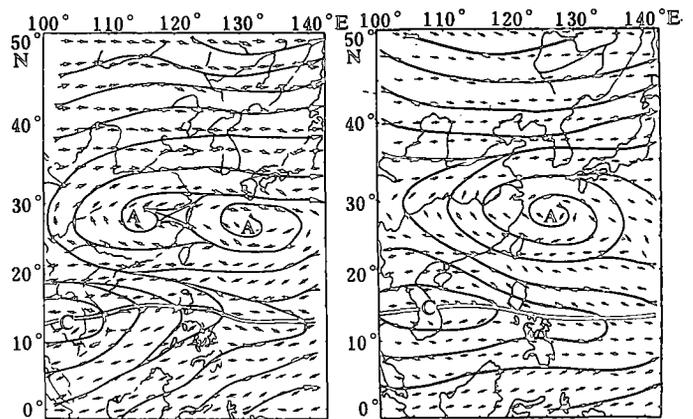
计算出各层的涡度和散度值。垂直速度值的计算采用文献 [6] 的方法，下界自850hPa 算起，850hPa 上的垂直速度  $w_{850}$  为：

$$w_{850} = \sqrt{\frac{K}{2f} \zeta}$$

式中， $f = 2\Omega \sin \psi$  为柯氏参数， $\zeta$  为850hPa 的涡度， $K$  为涡度粘滞系数取为30米<sup>2</sup>秒<sup>-1</sup>。由于100 hPa 上的垂直速度  $w_{100}$  值可能有积累误差，为消除这种误差，人为地把  $w_{100}$  值减小 9/10，并按比例修正下面各层的垂直速度值， $w_{850}$  的修正系数为零。利用修正后的垂直速度再对散度进行修正，得到修正后的散度场。从分析看来，求得的涡度场、散度场和垂直速度场上下配置基本相适。

## 二、西太副高进退的环流机制

副高西进期500hPa 合成流场上副高脊线位于  $28.5^\circ \text{N}$  (图1a)。副高有两个中心，主体位于海上  $132^\circ \text{E}$ ，另一个位于大陆上  $114^\circ \text{E}$  处。副高北面的高纬地区  $115^\circ \text{E}$  附近有一长波脊，长波脊的位置有利于西太副高向华东移动 [12]。副高南侧的热带辐合带约位于  $15^\circ - 17^\circ \text{N}$ 。200hPa 我国大陆上空为南亚高压，脊线位于西太副高北侧的  $32.5^\circ \text{N}$  (见图5)。副高东退期，500hPa 副高脊线位于  $28^\circ \text{N}$  (图1b)，高压中心位于  $125^\circ \text{E}$  附近，但大陆上空的副高中心已不存在，仅表现为一个减弱了的高压脊。副高北面  $115^\circ \text{E}$  附近原来为脊所控制的地区变成槽区，这种形势有利于副高东退 [12]。副高南侧的热带辐合带位于  $15^\circ \text{N}$  以南，槽内辐合明显减弱。高层200hPa 南亚高压脊线南移到  $30^\circ \text{N}$  (见图6)。



(a) 西进期

(b) 东退期

图1 500hPa 合成流场图

为了解西太副高进退过程的三维环流结构,我们分别作了 $20^{\circ}$ — $50^{\circ}$ N,  $105^{\circ}$ — $135^{\circ}$ E范围内各经纬向垂直环流圈。在西进期沿 $120^{\circ}$ E的 $30^{\circ}$ — $40^{\circ}$ N范围内有一支宽广的上升气流(图2),上升到高空后向南流去,在副高范围内下沉,形成一个闭合环流圈,即我们所称的副热带季风环流圈〔9-11〕。作用于副高范围内的另一支下沉气流是来自底层ITCZ的上升气流,它是Hadley环流的反映。在高纬 $45^{\circ}$ N以北地区还有一支下沉气流,即Ferrel环流。这支偏北下沉气流汇合到副热带季风环流圈上升支中。在沿着 $30^{\circ}$ N的东西方向上, $120^{\circ}$ E以东和以西各有一个东面上升,西面下沉的闭合环流圈(图3)。它们的下沉支分别和海上高压主体和大陆的高压脊相对应。在 $120^{\circ}$ E附近为上升,这里正是副高两个中心之间的地区。

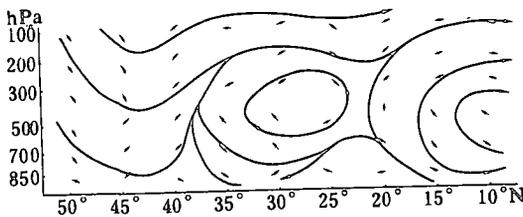


图 2 西进期沿 $120^{\circ}$ E的垂直环流图

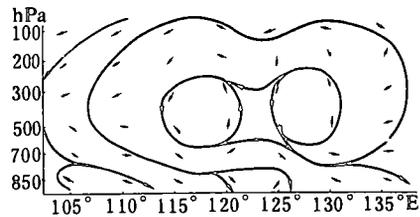


图 3 西进期沿 $30^{\circ}$ N的垂直环流图

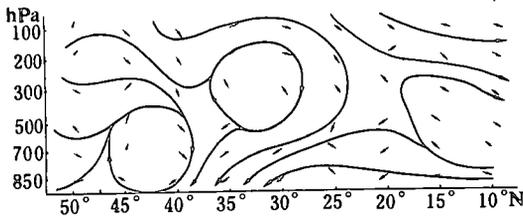


图 4 东退期沿 $115^{\circ}$ E的垂直环流图

在东退期(图4),这几支环流圈已发生很大的变化。Ferrel环流圈汇合到副热带季风环流圈内的气流大大减弱,主要是直接下沉到高纬 $40^{\circ}$ N附近的底层。从而副热带季风环流圈显著减弱,其上升支仅在500

hPa以上的高层,主要下沉气流已南移到 $25^{\circ}$ N以南。 $15^{\circ}$ N附近的热带辐合带也开始减弱,其上空已出现下沉气流。在综合西太副高进退时期,东亚地区内每隔5度绘制的经、纬向垂直环流的基础上,绘制出西太副高西进和东退时期的三维环流结构。在副高西进期作用于副高及附近几支气流(图5)如下。

第一支气流为副热带季风环流。副高西北侧的西南上升气流到500hPa以上转为东北风上升,300hPa以上转成南亚高压脊北侧的西北风上升,越过脊线后变成东北风下沉气流,到底层转东南下沉。这支下沉气流正好对应500hPa上位于大陆上的副高中心,它是作用副高西伸的一支主要气流。在 $120^{\circ}$ E以东的海上还有一支性质完全相同的环流圈作用于西太副高主体,使高压得以维持。

第二支气流为Hadley环流。来自850hPa热带辐合带的东南上升气流,然后东南下沉到850hPa的 $30^{\circ}$ N, $120^{\circ}$ E处。它所达的高度低于500hPa,因此,它只对副高在低层的强度起作用。

第三支气流为Ferrel 环流。它是来自200hPa 副热带急流轴南侧的偏西下沉气流。值得注意的是这支下沉气流不是直接下沉到副高里，而是汇合到第一支气流的上升气流中。它对加强副热带季风环流圈起了重要作用。

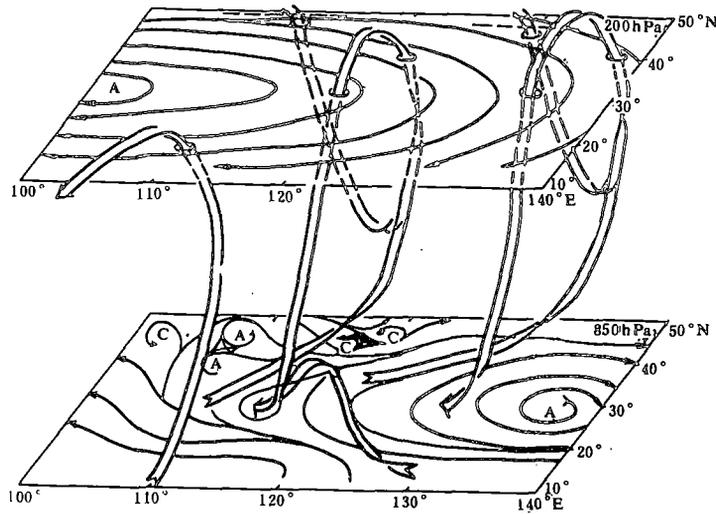


图 5 西进期副高范围内三维环流图

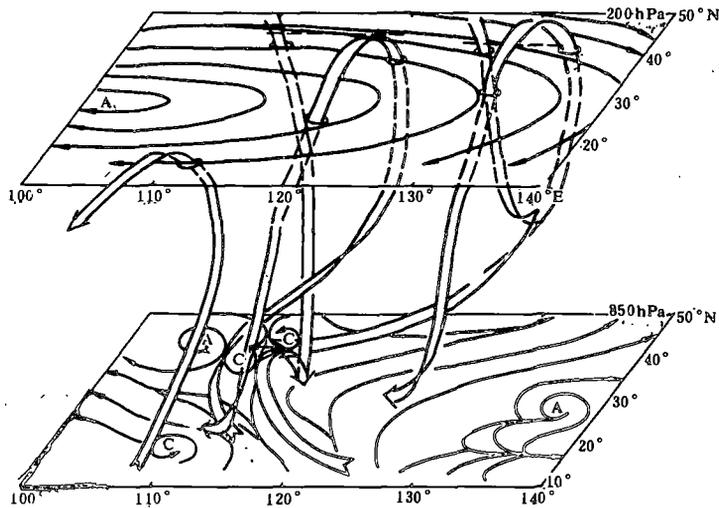


图 6 东退期副高范围内三维环流图

第四支气流为热带季风环流。位于西太副高南侧，它由热带西南季风上升到南海季风槽附近的高空后转东北气流向南半球流去。

副高东退期(图6),海上作用西太副高主体的几支气流变化不大。但此时大陆上的环流发生了显著变化,大陆副高北侧的Ferrel环流与副热带季风环流分开,直接下沉到底层。大陆上的副热带季风环流圈不仅强度减弱,且其下沉支南移到 $25^{\circ}\text{N}$ 以南地区,它将导致副高减弱南退。

综上所述,我们得到西太副高进展的环流机制:当高纬Ferrel环流的下沉支和副热带西南季风气流汇合成一支巨大的上升气流时,副热带季风环流得以加强,通过它将南亚高压内的空气质量从对流层上部输送给其南侧的大陆副热带地区,使西太副高得以西伸入大陆, Hadley环流从对流层的注入对副高脊的西伸也有一定作用;当Ferrel环流和副热带季风环流分开时,副热带季风环流减弱南移,这时尽管有Hadley环流的作用,因它作用的高度较低,强度也相应减弱,而由于作用西太副高这支主要气流的减退,其高层已转辐散气流,这时大陆上的副高脊难以维持,将减弱南移。

### 三、讨 论

通过以上分析,得到如下看法。

1. 叶笃正等<sup>[6]</sup>指出,对西太副高的维持起着主要作用的是来自太平洋中部槽后的下沉气流。而杨广基<sup>[8]</sup>认为,从北部过来的下沉气流比较重要。袁恩国<sup>[13]</sup>通过分析夏季逐日经圈环流的调整和西太副高变动的关系得到一反环流圈与西太副高有关。他们指出的这些事实启发我们去探讨西太副高维持的机制是重要的。这些气流的天气实体是什么?合成分析表明它们是由东亚副热带西南季风和热带北支高空东风组成的副热带季风环流圈在纬向和经向的一个分量。

2. 合成分析表明,西太副高的进退和南亚高压的活动通过副热带季风环流圈的作用联系在一起。问题是副热带季风环流是独立于南亚高压和西太副高的环流系统,还是它们本身环流系统的反映?从本文合成分析来看,东亚大陆上空的南亚高压(脊)是一热力性高压(图略),它和副高北侧的季风雨带相重叠<sup>[14]</sup>。副热带季风环流圈正是受这雨带中的潜热源所驱动的热力环流。最近王谦谦、王安宇等的数值模拟<sup>[15]</sup>考虑东亚地区非绝热加热条件下成功地模拟出东亚夏季风环流,所得结果和本文合成分析吻合。他们不仅模拟出了副热带季风环流,在此以北还模拟出了Ferrel环流。以上说明副热带季风环流圈维持了对流层上部的南亚高压和西太副高。

3. 西风带与副高的关系,从不同角度有过许多讨论。陶诗言<sup>[1]</sup>从长波调整出发得到副高进退与西风带的长波调整有关。潘菊芳<sup>[12]</sup>得出西风脊东移,有利副高西进,西风槽东移,有利副高东退。它们是怎样对副高的进退起作用呢?本文指出Ferrel环流圈的下沉支不直接下沉到副高里,而是通过和副热带西南季风气流的汇合上升以加强季风环流圈来对副高起作用的。事实也正是这样,每当一次长波脊移入东亚大陆上空,往往对应有一次较强的冷空气活动,它和西南季风气流之间的辐合造成一次强降水过程,释放的凝结潜热驱动了这一热力性环流的加强,引导南亚高压由西部型转为东部型<sup>[16]</sup>,向东伸展,西太副高向西推进。

4. 早年, 人们在作西太副高活动的预报时, 都从中高纬度着手考虑<sup>[1,2]</sup>, 近年来, 黄士松<sup>[17]</sup>、杨广基<sup>[8]</sup>等人已注意到东风带气流对副高的作用。合成分析发现, 副热带季风环流圈的变化是促使西太副高进退的关键所在。因此, 我们在实际工作中, 对西太副高的进退预报, 应着重在东亚季风环流系统的变动上。东亚季风环流系统各成员之间可能存在着这样一种内在的关系: 当盛夏南海季风槽处于不活跃时期, 自孟加拉湾到中南半岛的热带西南季风可长驱直入我国大陆, 这时若当 $115^{\circ}\text{E}$ 的 $40^{\circ}\text{N}$ 以北地区有一长波脊出现时, 热带西南季风和北方偏北气流汇合, 加强了副热带季风环流, 使得大陆上空的南亚高压得以加强与东伸。这种加强了副热带季风环流圈在南亚高压南侧的大陆上空和沿海地区下沉, 引导西太副高西伸, 又将会激发低纬热带辐合带的活跃。一方面Hadley环流要加强, 使得副高进一步加强西伸, 另一方面切断了热带西南季风的入侵大陆, 遂使我国东部大陆上处于热带季风中断期。大陆的西南季风和西风带偏北气流之间的辐合上升将减弱, 大陆雨带降水弱, 减弱了的潜热源又将导致副热带季风环流减退, 从而西太副高减弱东退。大陆上又将处于热带季风活跃期, 引起一次新的副高西进过程。从本文的合成分析来看, 在盛夏期间东亚季风环流系统之间存在这样一种自我调整机制是完全可能的。弄清以上东亚季风环流系统之间的关系, 无疑对预极西太副高是有重要意义的。

### 参 考 文 献

- [1] 陶诗言等, 夏季中国大陆及其邻近海面副热带高压活动的天气学研究, 中国夏季副热带天气系统若干问题的研究, 科学出版社, 1963, 106—123。
- [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, 34 (1964), 4: 385—395。
- [3] 余鹤书等, 副热带高压振荡周期及其中期预报, 气象科学技术集刊(6), 气象出版社, 1983, 9—16。
- [4] 赵卫等, 南亚高压与我国天气的关系, 气象科学技术集刊(1), 气象出版社, 1981, 11—17。
- [5] 黄士松、汤明敏, 夏季海洋上副热带高压的成长、维持与青藏高压的联系, 南京大学学报(自然科学版), 1977, 1: 141—145。
- [6] 叶笃正等, 东亚和太平洋上空平均垂直环流(一)夏季, 大气科学, 3 (1979), 1: 1—10。
- [7] 林本达、缪锦海, 1977年出梅时期副高北跳过程的动力学分析, 大气科学, 5 (1981), 3: 257—265。
- [8] 杨广基、王兴东, 夏季西太平洋副高结构的个例分析, 气象, 1978, 6: 19—20。
- [9] 喻世华、张立建, 一次西太平洋副热带高压的结构及其进退机制的分析研究, 空军气象学院学报, 1985, 1: 29—37。
- [10] 喻世华、颜景容, 1979年东亚夏季季风环流建立过程的分析, 热带气象, 2 (1986) 1: 55—61。
- [11] 喻世华、茅卫平, 1979年东亚地区夏季季风环流特征及其与降水的关系, 热带气象, 2 (1986), 4: 349—354。
- [12] 潘菊芳, 太平洋高压移动规律的探讨, 气象学报, 25 (1954), 1: 101—122。
- [13] 袁恩国, 夏季经圈环流的调整和西太平洋副热带高压活动的关系, 大气科学, 5 (1981), 1: 60—67。
- [14] 陈桂英、廖荃荪, 100毫巴南亚高压和我国夏季降水, 气象科学技术集刊(6), 气象出版社, 1983, 41—51。
- [15] Wang Qianqian *et al.* The effects of the Qinghai-Xizang Plateau on the mean summer circulation over East Asia, *Advances in Atmospheric Sciences*, 3 (1986), 1: 72—85。
- [16] 叶笃正、高由禧等, 青藏高原气象学, 科学出版社, 1979, 136。
- [17] 黄士松、汤明敏, 夏季东半球海上越赤道气流与赤道西风、台风及副热带高压活动的联系, 南京大学学报(气象学), 1982, 1—16。