

# 副热带季风环流圈的特征 及其与东亚夏季环流的关系\*

喻世华 杨维武  
(空军气象学院)

## 提 要

本文利用 ECMWF 的  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$  网格资料对 1980—1983 年夏季 12 次西太平洋副高的中期进退过程进行合成分析。通过对合成场的诊断,论证了夏季东亚季风区存在着在大陆雨带中上升,副热带地区下沉的副热带季风环流圈。它是大陆季风雨带凝结加热驱动的上升辐散气流在向南运行过程中与南海 ITCZ 上空向北运行的上升辐散气流在副热带地区汇合下沉而构成的热力环流圈。这一环流圈的存在在东亚夏季环流中起着重要作用。

## 一、引 言

1958 年, Koteswaram<sup>[1]</sup> 推测在南亚季风区可能存在着和信风环流相反的垂直环流。尔后用实际资料证实了这一推测。近年, 叶笃正<sup>[2]</sup> 指出, 由于孟加拉湾到亚洲大陆在夏季是个巨大的热源, 在西南季风区的季风环流的上升气流范围很大, 而这一垂直环流的下沉气流区主要在赤道以南。Hahn 和 Manabe<sup>[3]</sup> 不仅模拟出了这一季风环流圈, 还模拟出在高原的南北侧各有一个次一级的环流圈, 和实况颇为一致, 只是位置有些差异。作者<sup>[4]</sup> 在分析一次西太平洋副高进退过程时, 发现在高原东侧的东亚季风区除存在热带西南季风在南海 ITCZ 区上升到南半球下沉的热带季风环流圈(以下缩写为 TMC)外, 在东亚大陆上空还存在大陆季风雨带上升, 在其南侧副热带地区下沉的季风环流圈, 它是副热带地区内的产物, 我们称之为副热带季风环流圈(以下缩写为 STMC)。最近, 我们通过对东亚地区逐日经圈环流分析, 讨论了这一季风环流圈的存在和建立过程, 在文献[5]中我们还提出东亚夏季环流的中期变化表现为单一的 TMC 和双季风环流圈(TMC 和 STMC)交替出现, 它与东亚季风雨带的强弱变化相对应。在同一时期, 尹树新等<sup>[6]</sup> 提出季风流管的概念, 认为它是东亚地区上空初夏季节一种常见的瞬变的天气尺度的季风环流系统。他所指的季风流管和我们提出的副热带季风环流圈的实体是一致的。不过这一环流圈不限于出现在东

本文 1990 年 3 月 22 日收到, 7 月 23 日收到修改稿。

\* 国家自然科学基金和国家气象局季风课题基金资助。

亚地区的初夏季节,而是该地区整个夏季环流的一个重要组成部份,它对东亚夏季环流的中期变化,尤其是对西太平洋副高的进退起着重要作用。本文拟就这些问题作一讨论。

## 二、资料和方法

本文的诊断场是用 ECMWF 的  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$  网格点资料,对 1980—1983 年夏季月份 12 次西太平洋副高的中期进退过程进行合成得到的合成资料,共 121 天,其中西进 82 天,东退 39 天。合成方法如下:先将 12 次过程以  $120^\circ\text{E}$  经度上的每日 500hPa 副高脊线平行移到  $27.5^\circ\text{N}$ (副高脊线的平均纬度),然后按副高西进、东退两类,分别对 500hPa 上 5880gpm 特征线的西脊点位置落在同一经度范围内(例如  $90^\circ\text{—}95^\circ\text{E}$ )的各次资料进行合成,得到的合成场称为一个模式日的合成场。按此依次得到各不相同的经度范围所对应的各不相同的模式日的合成场,相应地其它各层(1000、850、700、300、200、100hPa)亦按此方法进行合成,从而得到合成后的东西进退过程共 16 个模式日的合成资料。通过对合成场的分析给出了如图 1 所示的西太平洋副高和青藏高原的东西进退情况。西太平洋副高第 1—6 模式日为西进期,第 7—11 模式日为稳定期,第 11 模式日以后为东退期。

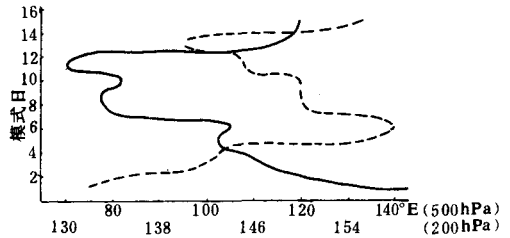


图 1 合成过程 500hPa 上 5880gpm 特征线西脊点(实线)和 200hPa 上 12480gpm 特征线东脊点(虚线)随模式日的东西变化

## 三、副热带季风环流圈的特征

东亚季风是南亚季风的一个子系统,它不同于印度的单一热带季风。东亚夏季低层季风的性质,由于南海 ITCZ 的存在,其南为源自南半球越过赤道进入南海的热带西南季风气流,在 ITCZ 以北则是来自西太平洋副高南侧的东南气流转西南气流,这支气流是源自副热带地区,其属性有别于热带季风气流,为副热带季风气流。在夏季东亚地区的对流层上部,存在北支东风(最大风速轴线约位于  $25^\circ\text{N}$ )和南支东风(轴线约位于  $5^\circ\text{N}$ )<sup>[7]</sup>,在南海 ITCZ 的上空相对是东风气流比较小的地区。东亚不同性质的季风气流对应有两条雨带,即东亚大陆雨带和南海 ITCZ 雨带。

我们用合成资料计算各模式日各层的速度势。图 2 给出西北太平洋副高伸入东亚大陆盛期的 100hPa 辐散风场。图上有两条东西向的辐散区引人注目:其一,从印度北部平原到西太平洋的辐散区,它和 ITCZ 相对应;其二,  $105^\circ\text{E}$  以东的  $30^\circ\text{—}35^\circ\text{N}$  间的辐散区,它和东亚大陆季风雨带相对应。南辐散区向北的辐散气流和北辐散区向南的辐散气流在东亚副热带地区汇合,构成一条东西向的辐合区,和西太平洋副高脊线相对应。根据对流层上部的辐散风场分布,从夏季东亚雨带的位置可推论:东亚地区存在从季风雨带上升,在其南侧副热带地区下沉的环流圈。从辐散风场的时间剖面图看出(图略),在副高进退过程中,南海对流层上部的辐散区始终是存在的,这和夏季平均辐散环流相一致。而与东亚大

陆季风雨带相对应的高空辐散区仅在副高伸入大陆并得以维持的第5—10模式日里存在,主要表现为风向的辐散。当西太平洋副高进入大陆期间,副热带地区对流层上部存在一条东西向的辐合区,构成了大陆雨带上升,副热带地区下沉的环流圈,即副热带季风环流圈。

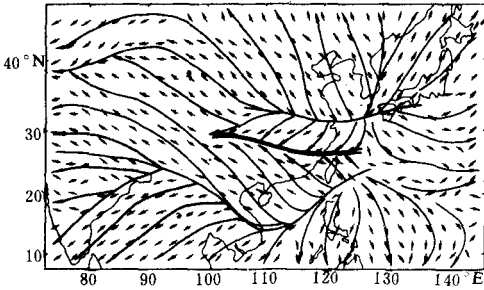


图2 12次西太平洋副高中期进退过程第10模式日100hPa辐散风场  
(图中双实线为辐合区,粗实线为辐散区)

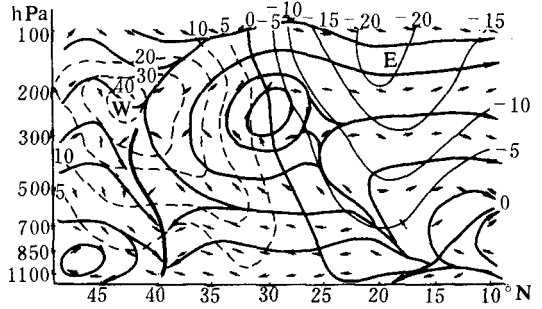


图3 合成第7模式日沿120°E经向垂直环流  
(图中细实线为东风分量,细断线为西风分量 单位:m/s)

图3是沿120°E的经向环流,它表明在东亚地区存在从大陆季风雨带上升,在其南面下沉的副热带季风环流圈。在两个季风环流圈之间为Hadley环流圈,它将东亚地区的热带西南季风和副热带西南季风分割开来。东亚季风环流圈则是由TMC和STMC组成的双季风环流圈。双季风环流圈不仅在合成经向剖面上可看到,就是在东亚地区的多年7月平均经向环流上亦能清楚地显示出来<sup>[8]</sup>。

STMC有一定的结构特征,以其发展盛期的第7模式日为例,在大陆上的环流中心较高,在110°E上的环流中心位于150hPa左右;海洋上的环流中心较低,140°E环流中心位于550hPa。再往东进入信风地区,STMC已不再存在了。STMC有其自身的发展过程(图略)。第3模式日STMC位于海上,其环流中心在700hPa以下。第5模式日迅速向西伸展到110°E,环流中心升高到300hPa。7日到达最盛。10日以后,环流圈东缩,高度降低。总的演变是西伸期环流圈高度升高,东缩期环流圈高度降低。这样一次由发展到减退消失过程约两周左右,和这一地区季风系统成员的准双周振荡相一致。由于STMC的生消变化显著,因而在季节平均环流上不及TMC明显,这也是和行星尺度的TMC不同的另一个方面。

#### 四、副热带季风环流圈和加热场的关系

图4给出了用合成资料计算的东亚地区大气凝结加热(包括大尺度加热和积云对流加热)纬向平均(110°—120°E)时间剖面。由图可见,在副高进退过程中,东亚季风地区明显地存在两个大值加热区。其一位在27.5°—35°N,加热率2—4℃/天;其二位在12.5°—17.5°N,加热率1—3℃/天。它们分别和东亚大陆季风雨带和南海ITCZ雨带相对应。在两个大值加热区之间是加热率较小的区域。加热场的这种分布和文献<sup>[8]</sup>计算的结果一致。

两个加热区的对流层上部对应着高空辐散(图 2),是强上升运动地区。在两辐散气流之间的副热带地区是辐合下沉区。由此构成北上升南下沉的环流圈即为 STMC。陈受钧<sup>[9]</sup>最近在梅雨末期暴雨过程中高低空环流的耦合数值实验中也强调了潜热加热对这一环流圈的作用。

值得注意的是南、北加热带的加热率是反位相的。如图 4 所示,当北加热率大时,南加热率小;反之亦然。例如:第 7 模式日,北加热率最大,出现  $4.3^{\circ}\text{C}/\text{天}$  的加热率,这时的南加热率小,仅  $1^{\circ}\text{C}/\text{天}$ ;第 9 模式日,南加热率出现最大,  $3.3^{\circ}\text{C}/\text{天}$ ,这时的北加热率小,仅  $0.9^{\circ}\text{C}/\text{天}$ 。计算结果还表明对流加热对潜热加热有重要贡献。对流加热的经向时间剖面显示出积云对流加热和整个凝结加热率的分布极为吻合(图略),加热中心几乎完全重合在一起,它表明了积云对流加热在整个凝结加热中的重要性。南北两条加热带之间的关系表明,当南海 ITCZ 区断裂时(南区加热率小,如第 3—8 模式日),热带西南季风进入我国大陆,带来丰沛的水汽在东亚大陆上与西风带气流汇合,造成大—暴雨天气,这时北区加热率达到最大(如第 6—8 模式日)。当南海 ITCZ 活跃时(南区加热率大,如第 9—10 模式日),切断了热带西南季风进入我国大陆,北区加热率达最小。这和在文献[10]中从谱分析得到的结果相一致。

上述北区加热带内加热率随时间的演变和 STMC 的变化关系密切。第 4 模式日北区加热率开始增大,到第 7 模式日加热率达最大,第 5 模式日在大陆上建立起 STMC,第 7 模式日 STMC 相应达到最强。第 9 模式日以后北区加热率减弱,相应地该日以后大陆上 STMC 减弱东退。可见大陆季风雨带的凝结热源不仅驱动了 STMC,而且它的强弱变化还决定 STMC 的变化。

## 五、副热带季风环流圈与东亚环流的关系

STMC 是东亚夏季环流的组成部分,它在联系东亚环流各成员之间起着重要作用。

### 1. STMC 是影响西太平洋副高进退的一支主要气流

按经典模式副热带高压是由 Hadley 和 Ferrel 环流维持的。近年杨广基等人<sup>[11]</sup>提出了西太平洋副高的“四支气流”,在“四支气流”中叶笃正等人<sup>[2]</sup>强调来自太平洋中部槽后的下沉气流起主要作用。这支下沉气流究竟是什么天气实体?据我们所做工作<sup>[12]</sup>得出这支下沉气流即 STMC 的下沉支,它是影响西太平洋副高进退的一支主要气流。从图 2 看出,在副高进退过程中,在低纬 ITCZ 区的对流层高空始终存在辐散气流。在东亚大陆的副热

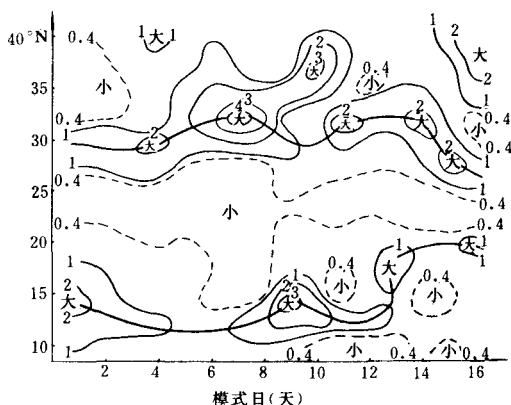


图 4 合成场大气凝结加热在  $110^{\circ}\text{E}-120^{\circ}\text{E}$  的平均时间剖面图

(单位  $^{\circ}\text{C}/\text{天}$ ,图中粗实线为大值加热率带)

带地区的高空出现辐合下沉气流的关键性条件是在其北侧的  $30^{\circ}$ — $35^{\circ}$ N 间要有高空辐散存在,即 STMC 存在。如前讨论,STMC 是东亚季风地区西南上升气流和高空北支东风下沉气流组成的环流圈,它对西太平洋副高的作用正是表现为太平洋中部槽后的下沉气流。

从合成场的逐日各经度剖面垂直环流来看(图略),西太平洋副高的东西进退和 STMC 的西伸东退紧密相联。第 3 模式日,STMC 主要位于海上,到第 5 模式日,它向西伸展到  $110^{\circ}$ E 以西,相应地表征西太平洋副高的 5880gpm 特征线的西脊点也西进到  $110^{\circ}$ E 以西(参见图 1),第 12 日 STMC 东退至  $120^{\circ}$ E,次日其西脊点也东退到  $120^{\circ}$ E。可见 STMC 不仅是影响西太平洋副高进退的一支主要气流,而且有超前于副高进退的指示意义。

## 2. STMC 与 TMC 相互依存与制约

作者曾指出<sup>[5]</sup>,东亚夏季经向环流并非单一 TMC,而是双季风环流圈和单一 TMC 的交替出现。它们的转变,可能存在一种自我调整机制:当热带西南季风进入我国大陆与西风带气流汇合形成强季风雨天气时,将激起 STMC 的发展和西太平洋副高的西伸,从而切断热带西南季风进入我国大陆,使单一 TMC 转变为双季风环流圈。双季风环流圈出现时,大陆季风雨将减弱,STMC 难以维持而东退,西太平洋副高随之东退,南海 ITCZ 断裂,热带西南季风又将进入我国大陆。可见,在东亚地区,TMC 与 STMC 总是相互依存相互制约的。

## 3. STMC 与高低空气流的耦合

如图 3 所示,STMC 位于副热带西风急流以南,其急流中心位于 200hPa 附近,中心风速达  $41\text{m/s}$ 。强西风向下向南延伸到对流层下部,它是西太平洋副高北侧低空急流的反映。在 STMC 南侧的对流层上部是北支东风急流,其中心风速  $23\text{m/s}$ 。STMC 的上升支位于副热带西风急流以南及低空西南急流以北,而其下沉支位于北支热带东风以北。那么,STMC 通过低空西南风急流向北的横向运动在柯氏力作用下将增强其西风风速,而其东风急流的北侧向南的横向运动将增强其东风风速。由此增强了的低空西南风急流和东风急流,并通过质量—动量调整以利于季风环流圈的维持<sup>[9]</sup>。

## 六、结 论

综上所述,可以得到以下几点结果:

1. 夏季东亚季风地区存在自东亚大陆季风雨带上升,副热带地区下沉的热力环流圈。它是由低空副热带西南季风和高空北支东风组成的东北—西南向倾斜的季风环流圈,即 STMC。它是东亚季风内部特有的一种天气尺度系统,其生消演变具有准双周振荡的特性。

2. STMC 是大陆季风雨带凝结加热驱动的辐散上升气流在向南运行过程中和南海 ITCZ 区向北的辐散上升气流在副热带地区汇合下沉构成的环流圈。大陆季风雨带的凝结热源不仅驱动了 STMC,而且它的强弱变化决定了 STMC 的变化。

3. STMC 在东亚夏季环流中起重要作用。它是影响西太平洋副高进退的一支主要气流,副高的东西进退和 STMC 的西伸东退紧密相联;STMC 和 TMC 相互依存与制约,从而

在东亚季风区表现为单一 TMC 与双季风环流圈交替出现,它们之间存在一种“自我调整”机制;STMC 通过对流层低层向北的横向运动和高层向南的横向运动以增强低层的西南风风速和高层的东风风速,增强了的高低空急流,通过质量—动量调整又反馈于季风环流圈的维持。

### 参 考 文 献

- [1] Koteswaram, P., Symposium on monsoons of the world, New Delhi, 105—110, 1958.
- [2] 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, 1—11, 1979.
- [3] Douglas, G. Hahn and Syukuro Manabe, The role of mountains in the south Asian monsoon circulation, *J. Atmos. Sci.*, 32, 1515—1541, 1975.
- [4] 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, 1, 1985.
- [5] 喻世华、茅卫平, 1979 年东亚夏季环流特征及其与降水的关系, 热带气象, 4, 349—353, 1986.
- [6] 尹树新等, 初夏东亚上空季风流管的活动, 青藏高原气象科学实验文集(二), 科学出版社, 172—181, 1984 年.
- [7] 陈隆勋等, 夏季亚洲季风环流的结构及其与大气环流季节变化的关系, 《1980 年热带天气会议文集》, 82—92, 科学出版社, 1980 年.
- [8] 李维亮等, 亚洲上空夏季平均环流的结构及其热源分析, 气象学报, 41, 43—54, 1983.
- [9] 陈受钧, 梅雨末期暴雨过程中高低空环流的耦合——数值试验, 气象学报, 47, 8—15, 1989.
- [10] 喻世华、钱贞成, 东亚夏季环流的中期变动特征和可能机制, 应用气象学报, 待发表.
- [11] 杨广基, 王兴东, 夏季西太平洋副高结构的个例分析, 气象, 6, 19—20, 1978.
- [12] 喻世华, 王绍龙, 西太平洋副热带高压中期进退的环流机制, 海洋学报, 11, 373—377, 1989.

## THE FEATURES OF THE SUBTROPICAL MONSOON CIRCULATION CELL AND ITS RELATIONSHIP WITH SUMMER CIRCULATION OVER EAST-ASIA

Yu Shihua Yang Weiwu

(Air Force Institute of Meteorology)

### Abstract

In this paper, using the daily grid data of the ECMWF/WMO, we made the composite analysis on 12 mediumrange variation processes of the subtropical high over the western Pacific in summer during 1980—1983. It is found that there is the subtropical monsoon circulation cell over East-Asia. We also discussed its features. The results show that the subtropical monsoon circulation cell is formed through the following process: when one divergent updraft driven by the condensation heating of the continental monsoon rain belt in East-Asia was moving southward, it met another one moving northward from Nanhai sea, and then these two currents had a confluence, and formed a downdraft over the subtropical area. And, it plays an important role in summer circulation over East-Asia.