

## 夏季热带经向环流双圈结构的观测研究

黄真 陶诗言

(中国科学院大气物理研究所)

### 提 要

本文利用1980—1983年7月 ECMWF 资料,分析了夏季热带地区经向环流的结构及它们的区域和年际差异。指出夏季热带经向环流具有双圈结构。在季风区,对流层下部为季风环流,在非季风区,为 Hadley 环流;对流层上部存在一独立的环流圈,季风区的中心偏北半球,非季风区的中心偏南半球;热带经向环流的双圈结构在一般年份均存在,但在异常年份(1983年),强大的垂直运动将对流层上、下部两个相对独立的环流圈紧密连接起来,成为整层统一的大范围季风环流。

### 一、引 言

大气环流的基本运动是纬向运动。经向环流对于大气中的动量和热量输送与平衡起着重要作用。人们对经向环流作过大量研究。长期以来一般认为,在全球纬圈平均状况下,经向环流可分为热带 Hadley 环流和中纬度 Ferrel 环流以及高纬度环流,而热带经向环流最强大、Vuorela 和 Tuominen(1964)<sup>[1]</sup>根据北半球夏季平均经向风分布推算出来的热带经向环流是垂直方向上的一个完整的环流——南边上升暖空气和北边下沉冷空气所构成的直接环流圈。以后人们分析所得 Hadley 环流结构与此结构特征基本类似(Kidson, et al., 1969<sup>[2]</sup>, Newton, 1972)。

近年来,随着观测网的日趋加密,获得了更完整的资料。吴国雄等(1987)<sup>[4]</sup>从 ECMWF 资料分析中发现双圈 Hadley 环流的结构,他们所计算的平均经向风的分布有新的发现,即在热带垂直方向上存在两层回流,而平均垂直运动存在两个强度中心。这个发现无疑对于热带大气环流的性质和理论提出了一个新的课题。这个结果是从气候平均统计分析得到的。这种双圈 Hadley 环流有否年际差异?这是本文要讨论的一个问题。另一方面,这个结果是对全球纬圈平均所得到的图象。而事实上,这种纬圈平均状态是不能很好地反映具有剧烈纬向变化的那些纬度带的环流特征的,其中变化最大的是热带,尤其是在季风区,在夏季存在与 Hadley 环流方向相反的季风经向环流。本文将对夏季风期间双圈 Hadley 环流的区域性特征加以分析,考察双圈环流在季风区的特征以及与非季风区的差异。

本文选用1980—1983年 ECMWF 资料。所取的季风区域范围以 Ramage(1971)<sup>[5]</sup>所给出的季风气候区域分布图为依据。亚非季风区为 $30^{\circ}\text{W}$ — $150^{\circ}\text{E}$ ,其中非洲季风区为 $30^{\circ}\text{W}$ —

40°E, 印度季风区为40°E—100°E, 东亚季风区为100°E—150°E。

## 二、双圈 Hadley 环流的区域特征

### 1. 各区平均经圈环流的异同

我们利用1980—1983年 ECMWF 资料, 分析了四年平均夏季风时期(7月)的全球纬圈平均 $[v]$ 和 $[w]$ 的纬度-高度分布图, 图1是根据 $[v]$ 和 $[w]$ 所给出的热带地区(30°N—30°S)垂直经圈环流图, 它直观地显示了热带地区清晰的双圈 Hadley 环流结构。图2给出了季风区平均经向环流剖面。

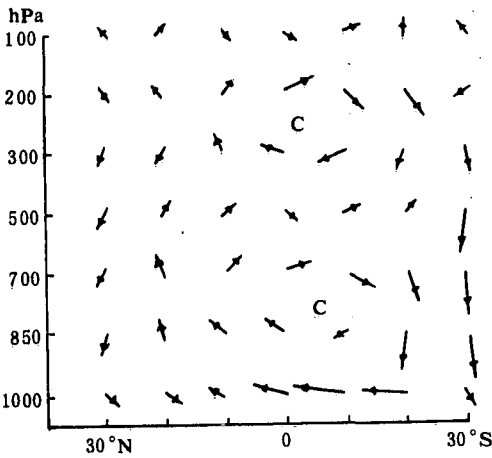


图1 1980—1983年7月全球纬圈平均经向环流

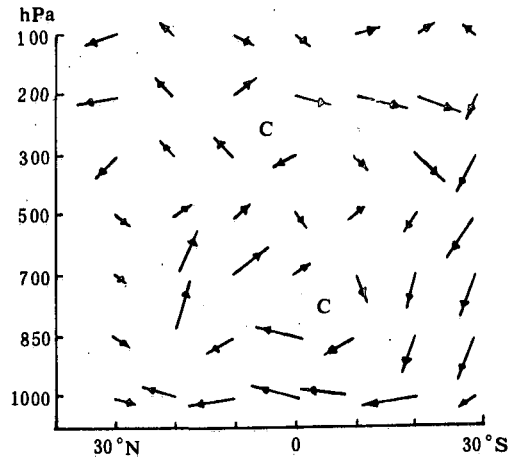


图2 1980—1983年7月季风区平均经向环流

由图1, 2可见, 季风区平均经向双圈 Hadley 环流与全球纬圈平均的经向双圈 Hadley 环流的结构基本一致, 环流都具有双圈型式, 且环流的方向相似。但两者也存在一些差异: 一是季风区的环流强度比后者要大得多; 二是季风区对流层上部环流圈的范围平均在0—10°N 纬度带, 而在纬圈平均图上, 对流层上部的环流范围则与对流层下部范围相当(20°N—20°S)。

图3给出在热带非季风区的平均经向环流。由图可见在对流层下部为 Hadley 环流, 表现为在赤道附近(10°S—16°N)上升, 20—30°N(S) 纬度带下沉, 该环流圈只限于500hPa 以下层; 在对流层上部10°N—20°S 区域存在

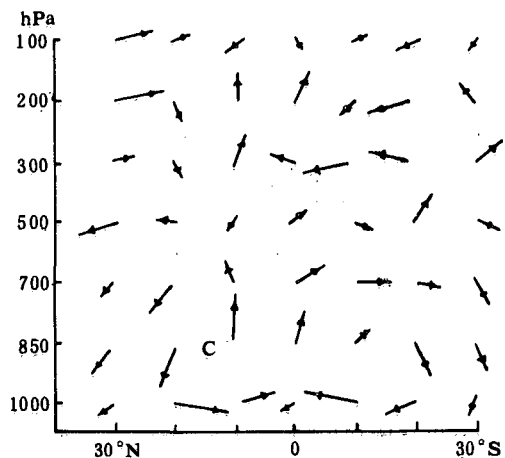


图3 1980—1983年7月非季风区平均经向环流

一个闭合环流圈,由此而构成了非季风区平均的双圈 Hadley 环流结构。它与季风区经向环流的差异表现在:

- (1)在对流层下部,季风区为季风环流,非季风区为 Hadley 环流;
- (2)在对流层上部,环流圈方向一致,但在季风区环流范围较小( $0-10^{\circ}\text{N}$ ),中心位于北半球,非季风区环流范围较大( $10^{\circ}\text{N}-20^{\circ}\text{S}$ ),中心位于南半球;
- (3)季风区经向环流的强度较非季风区经向环流强得多。

由上可知,所谓热带经向环流的双圈结构,主要表现在对流层上部存在一个与低层环流相对独立的环流中心,而在对流层下部与气候状态无异。

由图1、2、3分析说明,季风区经向环流是纬圈平均经向环流的主要分量,季风区经向环流对热带经向环流的贡献要大于非季风区。所以,热带季风区在全球大气环流中起了重要作用。

## 2. 季风区环流的特征

亚非季风区可分为三个子季风区,即非洲、印度和东亚季风区。许多研究(Krishnamurti, 1976<sup>[6]</sup>; Tao, Chen, 1987<sup>[7]</sup>; 金祖辉, 陈隆勋, 1982<sup>[8]</sup>)表明,它们的结构及活动状况有很大的差异。

图4,5,6分别给出了非洲、印度和东亚三个子季风区平均经向环流的垂直剖面。由图

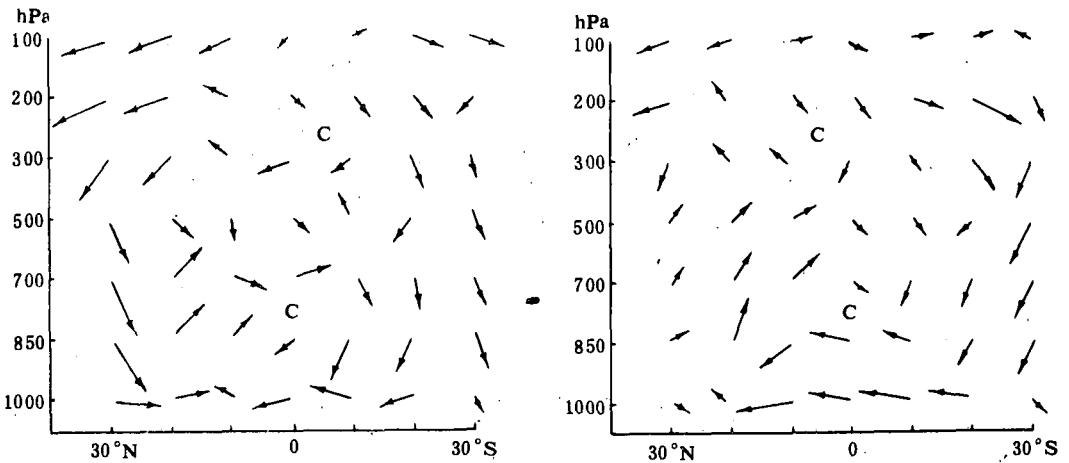


图4 1980—1983年7月非洲季风区平均经向环流 图5 1980—1983年7月印度季风区平均经向环流

可见,在非洲和印度季风区存在明显的双圈环流结构,在对流层下部,环流中心均位于赤道附近,在对流层上部,非洲季风区的环流中心偏于南半球,印度季风区的环流中心偏于北半球;而在东亚季风区表现为整层的反 Hadley 环流——季风环流,环流中心位于850—700hPa 层之间。对照图2、5可见印度季风区平均的双圈环流的结构与整个季风区平均的双圈环流结构非常一致。因而我们认为,在季风区中,对双圈环流贡献较大的是印度季风

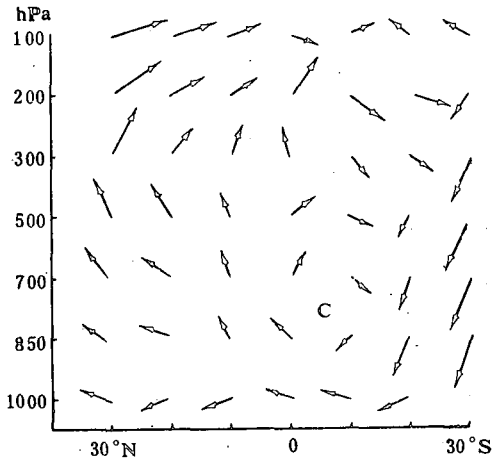


图6 1980—1983年7月东亚季风区平均经向环流

区的经向环流。这说明,印度季风在季风区中占有重要的地位。这与过去的许多研究是一致的。事实上,印度季风通常较其余两支子季风强大而显著,已为许多研究所证实。

### 三、双圈 Hadley 环流的年际差异

大气环流具有年际变化特征,尤其是在热带,季风环流的年际变化是很显著的。本文分析 1980—1983 年各年夏季热带经向环流的特点,以 1983 年为例与其它三年情况作比较。从讨论全球纬圈平均的双圈 Hadley 环流的年际差异出发,进而对季风区及各子季风区的年际差异进行分析。

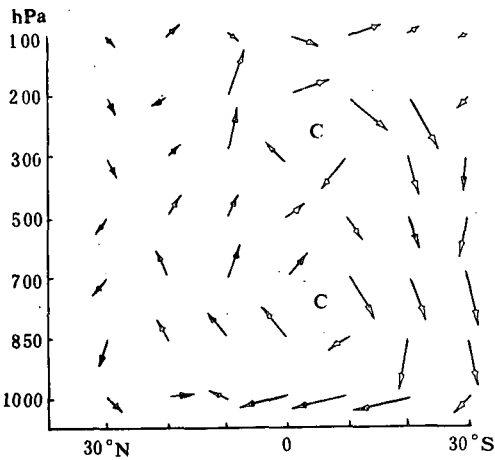


图7 1983年7月全球纬圈平均经向环流

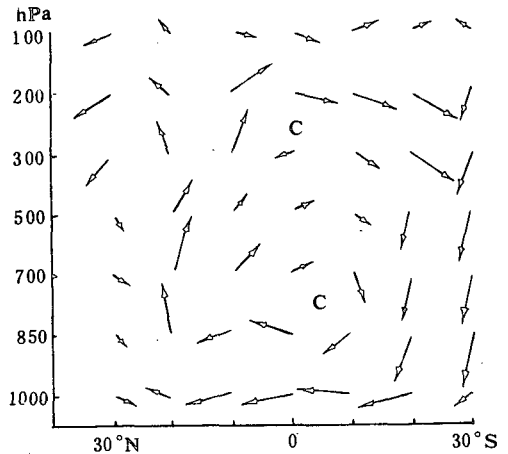


图8 1983年7月季风区平均经向环流

在全球纬圈平均状况下,热带经向环流在各年均具有双圈结构。年际差异主要是:

1983年的垂直分量(见图7)比1980年—1982年这三年环流的垂直分量(图略)大,尤其是在高层。高层闭合环流圈限于南半球( $0-10^{\circ}\text{S}$ )范围,而主要表现为更大范围( $20^{\circ}\text{N}-30^{\circ}\text{S}$ )的整体环流。其余年份对流层上部和下部的环流圈具有相对的独立性,高层环流范围较大( $10^{\circ}\text{N}-20^{\circ}\text{S}$ )。由此分析认为,在异常年份(如1983年),当垂直运动强烈发展时,双圈环流的对流层上部环流圈就会收缩,主要表现为整层环流圈控制。在一般年份,热带经向环流表现为相对独立的双圈环流特征。

1980—1982年季风区平均热带经向环流具有清晰的双圈结构(与图2类似,图略),而1983年(图8)高层的环流圈异常收缩(只限于赤道附近很小范围,几乎无可辨认),表现为整层的季风环流圈(图8)。这种年际差异与全球纬圈平均状况相似。这说明季风区双圈环流的年际变化在很大程度上反映了整个热带纬圈平均双圈环流的年际变化。

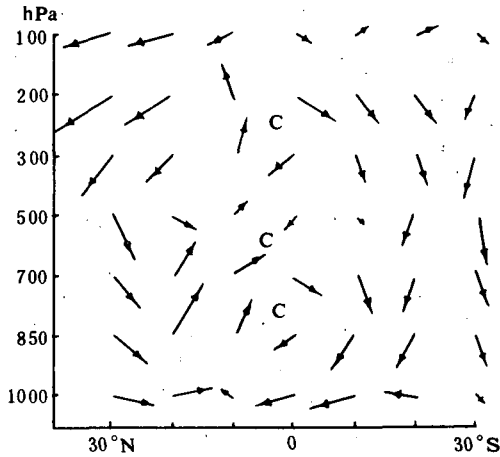


图9 1983年7月非洲季风区经向环流

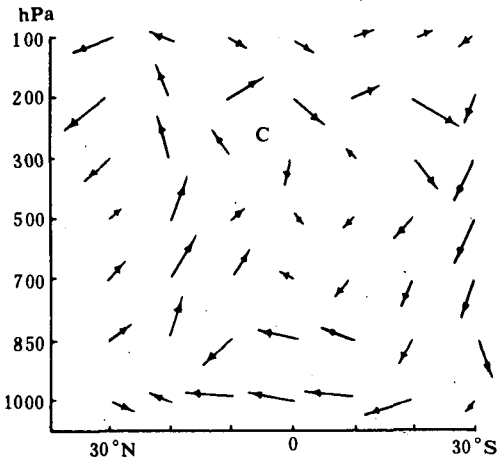


图10 1983年7月印度季风区经向环流

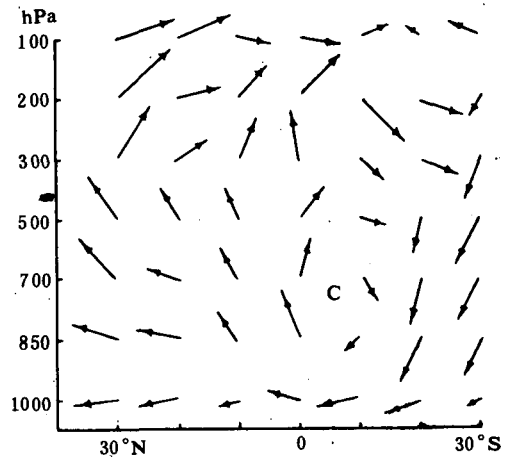


图11 1983年7月东亚季风区经向环流

对各子季风区经向环流年际变化的分析结果表明:在非洲季风区,各年均存在双圈环流,主要年际差异为:1983年(图9)环流的垂直分量较其余年份(与图4类似,图略)强,尤其是在对流层上部。高层环流的北风回流支较其余年份强,且环流中心位于北半球 $0-10^{\circ}\text{N}$ 之间,而其余年份的中心位于南半球。

在印度季风区,各年也均存在双圈环流,主要的年际差异是:在1983年(图10)对流层上部的环流圈南风较弱,而其上的北风回流较强,其余年份则相反(图略);对流层下部的环流圈南风气流强大而深厚,北风气流则较弱且浅薄,因而从整个对流层来看,中部的经向风分量较弱。此外,1983年对流层上部的垂直运动与对流层下部的垂直运动强度相当甚至更强,尤其是北半球的上升运动区;其余年份主要的强垂直运动只限于500hPa以下层。这种异常的经向风垂直分布以及向高层扩展的强垂直运动使得1983年印度季风区的双圈环流成为包围在整体季风环流中的两个子环流型式。

在东亚季风区,热带经向环流各年均均为反Hadley环流,显著的年际差异是1983年的垂直运动异常地强大,尤其是赤道附近的上升运动(图11)。

综上所述,各子季风区的一个共同年际差异特点是1983年环流的垂直分量较其余年份强,其中非洲和印度季风区这种异常表现为强垂直运动向高层伸展,东亚季风区则为强上升运动由北半球移向赤道,结果整个季风区平均的垂直运动强度加强,使得季风区平均的双圈环流在对流层上部的环流圈发生变化——垂直方向上向高层发展,经向上向赤道收缩。

#### 四、结 论

本文分析表明,热带经向环流具有双圈结构,这种双圈环流具有明显的区域差异:在季风区,对流层下部为季风环流,非季风区则为Hadley环流;对流层上部均存在一个独立的环流圈,季风区的中心偏于北半球,非季风区的中心偏南半球;在各个子季风区,对流层下部均为季风环流,对流层上部在非洲季风区和印度季风区存在独立的环流圈,非洲季风区的环流中心偏南半球,印度季风区的环流中心偏北半球;东亚季风区环流无明显的双圈结构。

热带双圈环流在一般年份均存在,且对流层上部环流圈和对流层下部环流圈具有相对独立性。但在异常年份(1983年),对流层上部的环流圈在经向上收缩,在垂直方向上强烈发展,强大的垂直运动将上下层两个相对独立的环流圈紧密地联系起来,成为包容在整层大范围季风环流圈中的两个子环流。

从气候平均状态来说,印度季风区的双圈环流在很大程度上体现和反映了季风区乃至整个热带纬圈平均的经向环流;而异常年份季风区经向环流则具有东亚季风区单圈整体环流的特征。

关于热带经向环流的双圈结构是否存在问题,目前还有一定争议。有人从NMC资料的分析中并不能得到这种结构。有人认为这种环流的存在,可能是由于资料的模式化处理所造成的影响(ECMWF资料经过初始化处理);或是反映了气候本身的变迁(最新的八十年代资料分析所得)。

根据环流场可以推知,双圈 Hadley 环流的出现要求在 300hPa 附近,传统上认为是北风的气层中存在一支南风气流。夏季在亚洲季风区上空为一巨大的反气旋环流,在此反气旋的南部,300hPa 上北半球热带(0—20°N)100°E 以西存在较明显的南风分量(乌元康,1987<sup>[9]</sup>),在非洲季风区,这种南风随纬度的增高而增强,在印度季风区则相反。在 100°E 以东的东亚季风区则由基本平直的纬向气流向较强北风变化。这是由三个子季风区相对于这个巨大的青藏—伊朗反气旋的位置所决定的,由此而形成三个子季风区不同的经向环流结构。因此,季风区的双圈环流与对流层高层青藏—伊朗高压及其垂直结构有关。对于非季风区,众所周知,对流层上部大洋中部槽呈 ENE—WSW 走向,向热带伸展。在 300hPa 上,热带非季风区的广大地区盛行槽前偏南气流。因此,我们认为这种双圈 Hadley 环流结构并非气候本身的变迁,也非资料模式化的影响所致,而是大气环流的一个事实。作为进一步的研究,深入了解对流层上部大尺度运动系统的垂直结构很重要。

### 参 考 文 献

- [1] Vuorela, L. A. & Tuominen, On the mean zonal and meridional circulations and the flux of moisture in the Northern Hemisphere during the summer season, *Pure Appl. Geophys.*, **57**, 167—180, 1964.
- [2] Kidson, J. W., D. G. Vincent, & R. E. Newwell, Observational studies of the general circulation of the tropics, Long term mean values. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **95**, 258—287, 1969.
- [3] Palmén, E. & C. W. Newton, 《Atmospheric Circulation Systems, their structure and physical interpretation》, Academic Press, 1972.
- [4] 吴国雄,刘还珠,《全球大气环流时间平均统计图集》,气象出版社,1987年。
- [5] Ramage, C. S., 《Monsoon Meteorology》, Academic Press, 1971.
- [6] Krishnamurti T. N., et al., oscillations of Monsoon System Part I, Observational Aspects, *J. Atmos. Sci.*, **33**, 10, 1937—1954, 1976.
- [7] Tao S. and L. Chen, A review of recent research on the East Asian summer monsoon on China, 《Monsoon Meteorology》, Oxford monographs on geology and geophysics, No. 7, 60—93, 1987.
- [8] 金祖辉,陈隆勋,夏季东亚季风环流系统的中期变化及其与印度环流的相互关系,《全国热带夏季风学术会议文集》,云南人民出版社,1982年。
- [9] 乌元康,《热带季风图集》,气象出版社,1987年。

## OBSERVATIONAL STUDY ON THE TWO—CELL STRUCTURE OF TROPICAL MERIDIONAL CIRCULATION IN SUMMER

Huang Zhen Tao Shiyan

(Institute of Atmospheric Physics, Academia Sinica)

### Abstract

The structure of tropical meridional circulation in summer and its regional differences and interannual variations are studied by using the July 1980—1983 ECMWF data. It is found that the tropical meridional circulations show a two-cell structure. In the lower troposphere, there are

monsoon circulations in the monsoon region and Hadley circulations in the non-monsoon region; while in the upper troposphere, there is an independent circulation in both monsoon and non-monsoon regions, with its center located in the Northern Hemisphere for monsoon region and in the Southern Hemisphere for non-monsoon region. This two-cell structure always exists in normal years. However, in the abnormal year (1983), the circulation in the upper troposphere is much weaker and can hardly be recognized, and the strong vertical motion results in a one-cell meridional circulation throughout the troposphere.

---