

# 北半球夏季全球热带和副热带 200 hPa 平均辐散环流的研究\*

丁一汇\*\* 赵深铭\*\*\* 张 键

(中国科学院大(物理研究所))

大气的运动场或风场包括两部分,一是旋转部分,另一是辐散部分。虽然旋转部分的方差占总运动场方差的大部分(约占80%),但与辐散风相联系的垂直环流对于天气系统的发展是重要的。Krishnamurti等人<sup>[1,2]</sup>最早研究了全球热带的辐散环流。最近他<sup>[3]</sup>的研究表明,辐散风场的大部分是属于纬向的行星尺度垂直环流的水平分支,这意味着行星尺度系统总是热力直接环流,并且以纬向环流为主。Van der Boogard<sup>[4]</sup>计算了7月多年平均的速度势场,发现对流层上层最强的辐散中心在中南半岛上空。

作者曾用1968—1980年200 hPa风场计算了北半球夏季(6,7,8月)全球热带平均辐散环流的高空水平分布<sup>[5]</sup>,得到了一些有意义的结果。本文是用同样的资料研究北半球夏半年(5—10月)各月200 hPa多年平均辐散场的水平分布及其月际变化,希望以此进一步了解行星尺度辐散环流的演变过程。

## 1. 资料和计算方法

利用1968—1980年13年200 hPa 5—10月一天两次的NMC(美国National Meteorologic Center)热带风分析,计算了各年逐月的平均 $u, v$ 分量,然后再求逐月13年的 $u, v$ 平均值。(计算区为 $45^{\circ}S-45^{\circ}N$ ,网格点格距取 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ )。散度、速度势和辐散风的计算公式如下:

$$D = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v \cos \varphi}{\cos \varphi \partial y} \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 \chi}{\partial x^2} + \frac{\partial}{\cos \varphi \partial y} \left( \cos \varphi \frac{\partial \chi}{\partial y} \right) = -D \quad (2)$$

$$u_x = \frac{\partial \chi}{\partial x}, \quad v_x = \frac{\partial \chi}{\partial y} \quad (3)$$

上式中 $D$ 是散度, $\chi$ 是速度势, $u_x$ 和 $v_x$ 分别是辐散风的东和南北分量。 $dx = a \cos \varphi d\lambda$ ,  $dy = a d\varphi$ ,  $a$ 是地球半径。在求解(2)时,南北边界条件为 $\chi = 0$ 。

## 2. 平均辐散环流的分布及其月际变化

热带地区大尺度辐散环流的分布与加热场有密切关系,实际上它是对局地加热不平衡的动力调整的结果。设总加热场为 $\dot{Q} = \dot{Q}_n + \dot{Q}_c + \dot{Q}_s$ ,式中 $\dot{Q}_n$ 为净辐射加热率, $\dot{Q}_c$ 为凝结加热率, $\dot{Q}_s$ 为感热加热率。在热带和副热带的无云或少降水区(如沙特阿拉伯,非洲东北部,太平洋中东部等),由于射出的长波辐射大于净的入射太阳辐射,大气是辐射冷却的( $\dot{Q}_n < 0$ )<sup>[6]</sup>。这些地区 $\dot{Q}_c$ 可以忽略, $\dot{Q}_s$ 加热主要限于底层,因而这些地区的空气柱应不断冷却。反之在季风区或多降水区(如孟加拉湾和西太平洋地区), $\dot{Q}_c$

\* 本文于1984年6月11日收到,1986年5月9日收到最后修改稿。

\*\* 丁一汇现在国家气象局气象科学研究所工作。

\*\*\* 赵深铭现在国家气象局,气象卫星中心工作。

成为主要的加热项,它不但可以抵消 $Q_2$ 的冷却作用,而且可不断使空气柱明显地增暖。因而大气必须产生动力调整来补偿或消除这种局地热力不平衡。根据热力学方程,对于无云或少雨区,需要绝热增温(即下沉运动)来补偿冷却作用。在季风或多降水区,需要绝热冷却(即上升运动)来补偿加热作用,这就分别导致对流层上部动力辐合和动力辐散;而在低层则反之。这就形成了热力强迫的辐散环流。因而辐散环流的分布和变化实际上反映了大气冷热源的分布和变化。

北半球冬季世界上最强的辐散环流中心在印尼—新几内亚一带<sup>[7]</sup>,同时冬季强大的热源也在这里。随着季节向夏季过渡,大气热源的位置发生变化,因而 200 hPa 最大的辐散中心和辐散环流也发生变化。5 月份,200 hPa 全球热带地区有三个主要的辐散中心,它们大致对应三个主要上升运动区,并与大气热源的分布一致<sup>[8]</sup>。最强的一个中心在西太平洋 2°N, 138°E 附近。这表明该中心已从冬季位置开始向北移动(图 1)。相应有四支气流从这个庞大辐散中心流向四个辐合中心。一支从西太平洋流向西南,越过赤道到达马达加斯加岛以东洋面;另一支向西流入阿拉伯半岛和阿富汗地区。前者主要在马斯克林高压区下沉,后者主要在沙特阿拉伯的热低压区下沉。这主要由辐射冷却作用引起<sup>[9]</sup>。第三支由辐散中心向东则流入东太平洋的辐合中心区,即瓦克环流的高空支;这里也是明显的大气冷源的位置<sup>[8]</sup>。另外还有一支气流流入南半球的 24°S, 178°W 的辐合中心。

另一个辐散中心是在南美北部和中美洲一带(这里是半永久性对流区),一支气流从这里向西流入东太平洋的辐合中心,另一支向东流入大西洋东部的辐合中心。第三个辐散中心在西非,从这个辐散中心一支气流向东南流到马达加斯加岛以东的辐合中心,另一支气流流到大西洋东部的辐合中心。

最强的辐散风位于 $\chi$ 场梯度最大的地方。可以看到,它主要在印度半岛和孟加拉湾地区、中国和日本上空以及澳大利亚北部到新几内亚之间的地区。

6 月,太平洋地区的辐散风中心向西北移动到南海东部地区(15°N, 118°E)(图 2),这里是一个重要的热源中心。马达加斯加岛附近的辐合中心加强,它与低空索马里急流的加强有关。在阿拉伯半岛—阿富汗的辐合中心减弱并移到埃及—东地中海地区。东太平洋的辐合中心也加强,在赤道南北各有一个中心。南半球的一个辐合中心减弱,因而现在成为明显的三个辐散环流支。原在南美北部的辐散中心主体也北移到中美洲一带并加强。非洲的辐散中心变化很小。速度势的最大梯度仍位于印度夏季季风区上空,中国东部和印尼地区。而在青藏高原的东部梯度加大,辐散风加强,这可能与高原上空大气热源的加强有关。

7 月,南海东部的辐散中心移到菲律宾以东海面的 16°N, 127°E 处,量值也有增加(图 3)。中美洲的辐散中心向北移动到 7.5°N, 80°W。西太平洋辐散中心的这个位置与 Van der Boogard 的位置差别很大,后者的中心在中南半岛上空。造成这种差别的原因主要是使用的资料年代长短和数量不同。Van der Boogard 只使用了几年的台站资料直接计算了速度势场,在海洋上资料很少。而这里使用了更多年数的客观分析资料,其中包括大量的海上高空飞机报告(在 200—300 hPa 层附近)和卫星测风资料(主要在对流层下层和 200 hPa),由此计算出的 $\chi$ 场的中心位置应该更可靠。

8 月,西太平洋庞大的辐散中心达到了最北位置,在 18.5°N, 133°E,强度也最大(图 4)。其它特征基本上与 7 月份相同。9 月(图 5)西太平洋辐散中心明显减弱,中心位置略向西南移动,非常相接近于 7 月份的位置。中美洲的辐散中心也向东南移到加勒比海南部。十分有意思的是这个辐散环流是加强的。8 月到 9 月辐散风变化图(图 6)清楚地表明了这种情况。在加勒比海和小安的列斯群岛有大范围负 $\chi$ 偏差场。我们知道大西洋飓风的发生频率最大值在 9 月,因而有可能这是导致这个地区高空辐散加强的一个原因。反之在亚洲和西太平洋地区出现明显的减弱,尤其是在中南半岛,南海和青藏高原地区。这显然与亚洲夏季风的大范围减弱有密切关系。

10 月,西太平洋辐散中心南退到 7.5°N, 125°E,强度进一步减弱(图 7),而马达加斯加岛以东的和东大西洋的辐合中心趋于消失,因而从西太平洋流出的气流向西主要流入波斯湾上空的辐合中心。这

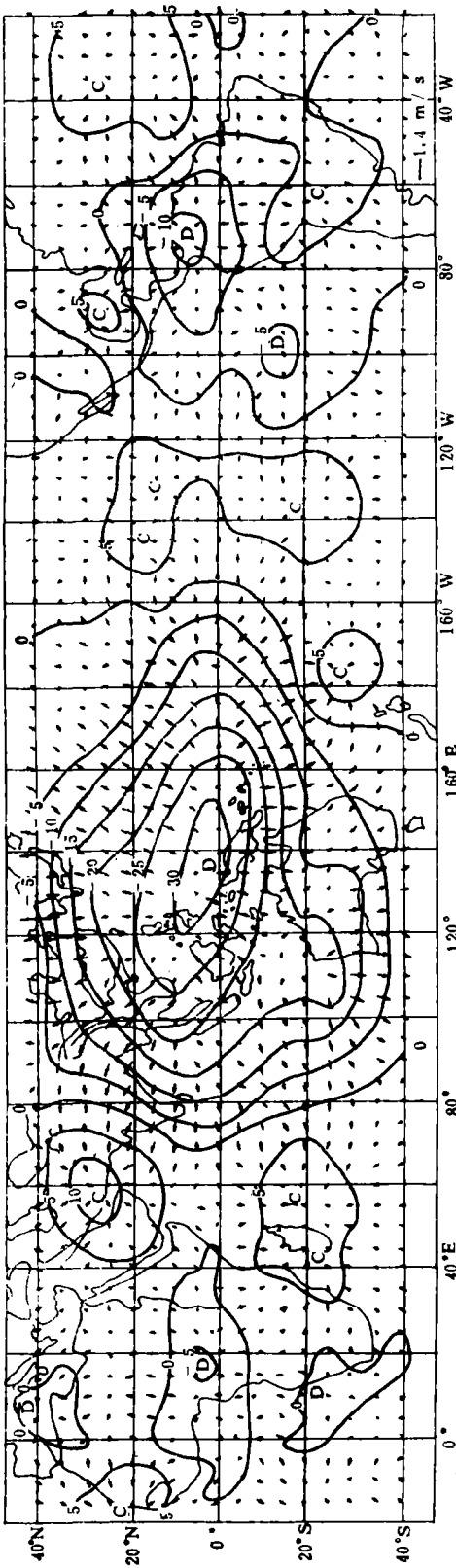


图 1 5月 200 hPa 多年平均(1968—1980年)的辐散风场  
(箭头表示辐散风向量, 箭头长度表示量值, 单位为  $10^2 \text{ m}^2/\text{s}$ , D 表示高空辐散, C 表示高空辐合)

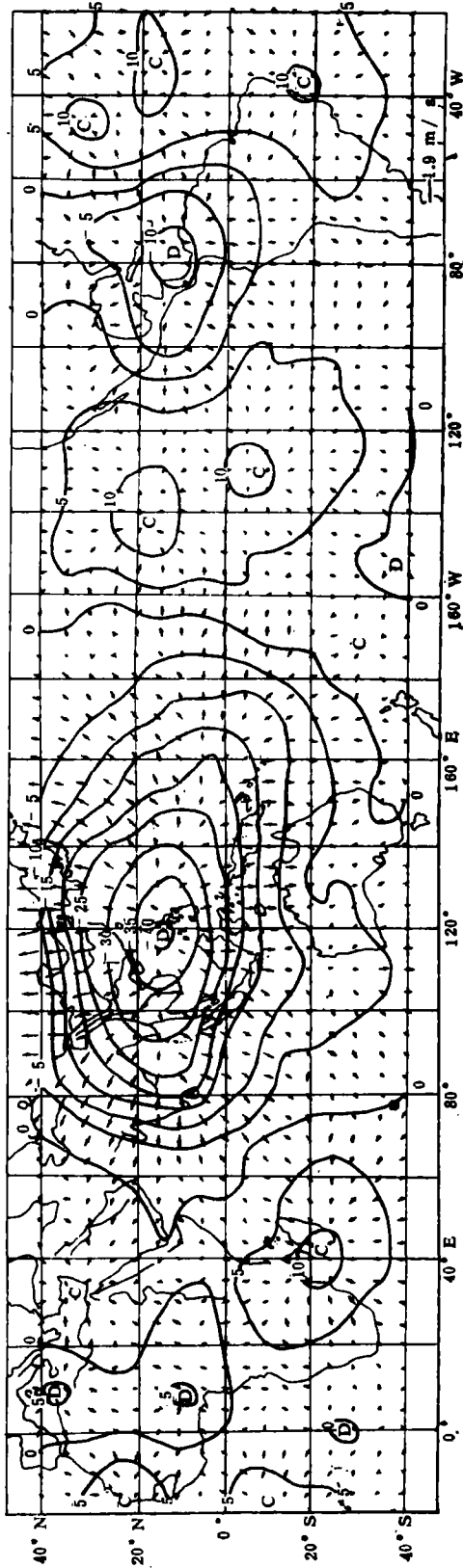


图 2 6月 200 hPa 多年平均的辐散风场  
(图例同图 1)

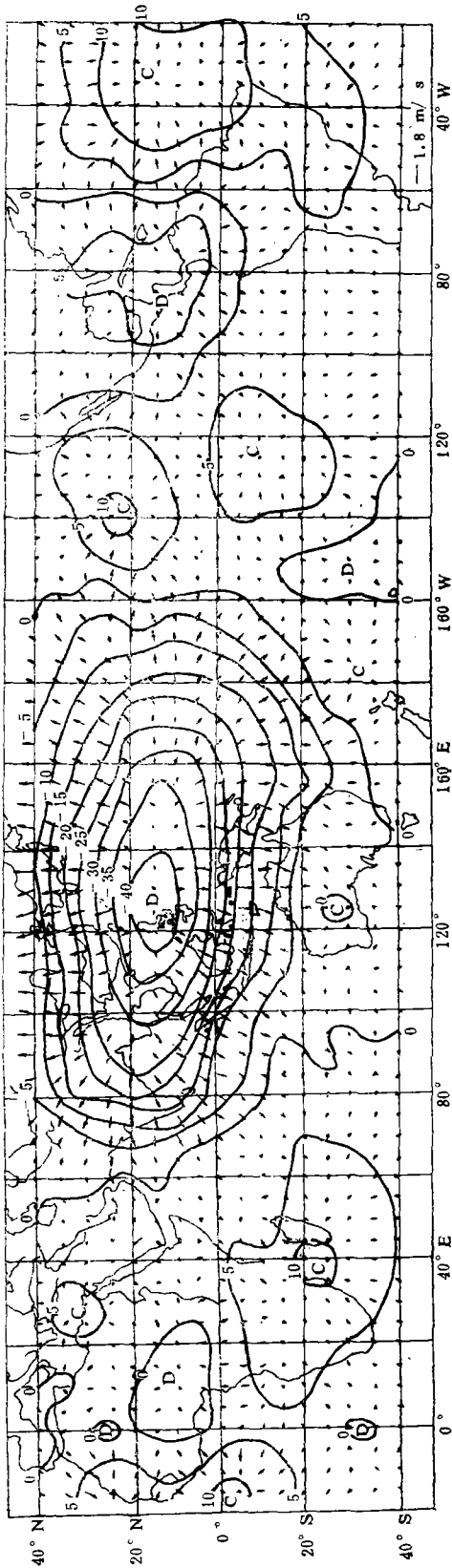


图 3 7 月 200 hPa 多年平均的辐散风场  
(图例同图 1)

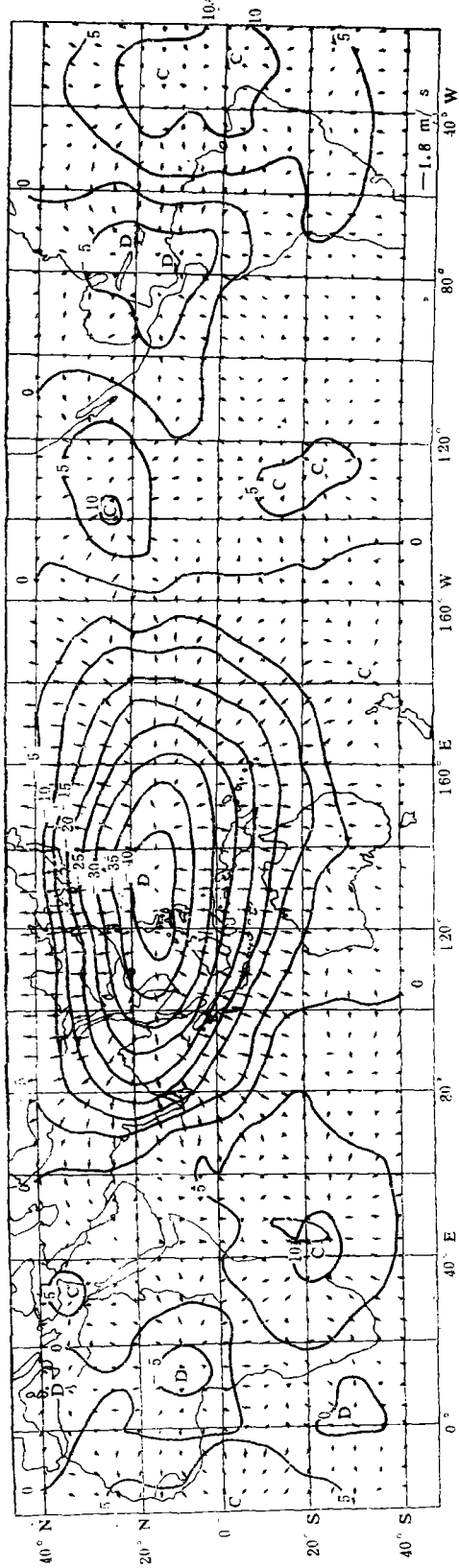


图 4 8 月 200 hPa 多年平均的辐散风场  
(图例同图 1)

亚季风区上空的辐散环流减弱得尤其明显。在中美洲,辐散环流开始显著减弱,这说明主要热源区已移到了南美北上空(如委内瑞拉地区)。另外从南美北部辐散中心流出的气流主要向西流入到东太平洋,向东的一支东西向环流很不清楚。因而东太平洋的辐合下沉中心平均而言似是一个全年都存在的永久性中心,而东大西洋的中心具有明显的季节变化和移动。这也间接说明了全球热带地区最显著的纬向环流是位于从中美洲向西经过太平洋到印度地区的东西环流。一般它由三个热力直接的辐散环流圈组成。它们的年际变化与埃尔·尼诺/南方涛动(ENSO)现象有密切关系。

### 3. 平均辐散环流的变化与亚洲夏季风活动的关系

不少人计算了夏季风时期季风区及其它地区的加热场分布,发现在季风爆发之后最强的热源位于孟加拉湾及其邻近地区<sup>[9]</sup>。这显然与季风爆发后季风雨释放大量潜热有关。另一个热源中心在南海和西太平洋地区。而在马达加斯加岛附近和澳大利亚—新西兰地区为冷源。人们认为孟加拉湾热源和马达加斯加冷源以及西太平洋热源和澳大利亚—新西兰冷源分别对推动印度夏季风系统和东亚季风系统

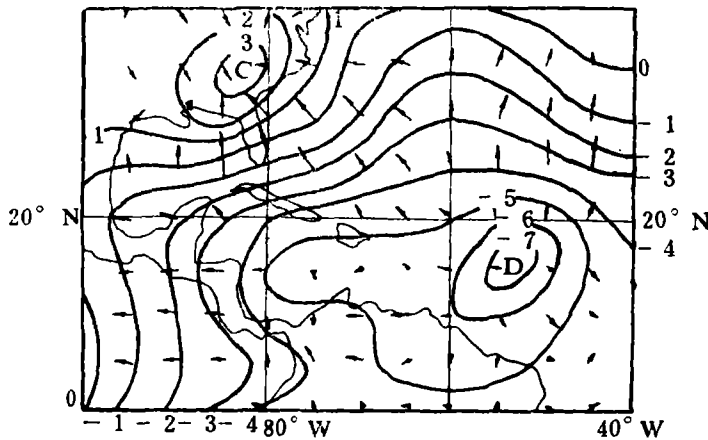


图 6 8 月到 9 月 200 hPa 多年平均的辐散风场和速度势场的月际变化  
(辐散风向量表示法同图 1, 速度势的单位为  $10^6 \text{m}^2/\text{s}$ )

起着很重要的作用。在给出的多年平均辐散环流图上,这两个冷热源系统的作用也有清楚的反映。由 1—5 可以看到,图 1 高空气流从南亚到西太平洋强辐散中心向西南明显的流入到马达加斯加岛附近。然后辐合下沉,在低空作为回流支以跨赤道气流(索马里急流)和西南季风又流回到南亚季风区。另一方面,在西太平洋—澳大利亚—新西兰地区则以哈特莱环流高空支的形式气流从西太平洋流入到南半球,以后又以跨赤道气流和西南气流回到南海和西太平洋。

从平均辐散环流的月际变化图上(图 8)可以更清楚地看到上述两个热源区的影响。从 5 月到 6 月辐散环流变化最大的地方在孟加拉湾地区(图 8a)。这与 6 月南亚季风的爆发和在大范围地区迅速建立密切有关。根据热源热汇的计算,最强的热源这时也移到这里<sup>[9]</sup>。无论是多年平均和个别年份(如 1979 年)情况都是如此。从 6 月到 7 月(图 8b)辐散环流最大变化是位于西太平洋和中太平洋的部分地区。这可能是盛夏该区热带系统频繁活动的结果。另外两个热源环流加强的地方分别在青藏高原和落基山地区,这与夏季这两个地区热源的加强有关。7 月到 8 月平均辐散环流的变化很小(图略)。从 9 月起,在亚洲和西太平洋地区平均辐散环流开始减弱,尤其是在中南半岛,南海和西太平洋地区。青藏高原地区也有一些减弱。在月际变化图上(图 8c),在这些地区气流变成辐合。上述辐散环流的减弱反映了从青藏高原到西太平洋地区热源强度的减弱<sup>[10]</sup>。

印度夏季风一般从 9 月下旬或 10 月上旬开始撤退。这在平均辐散环流场上也有明显的反映。山

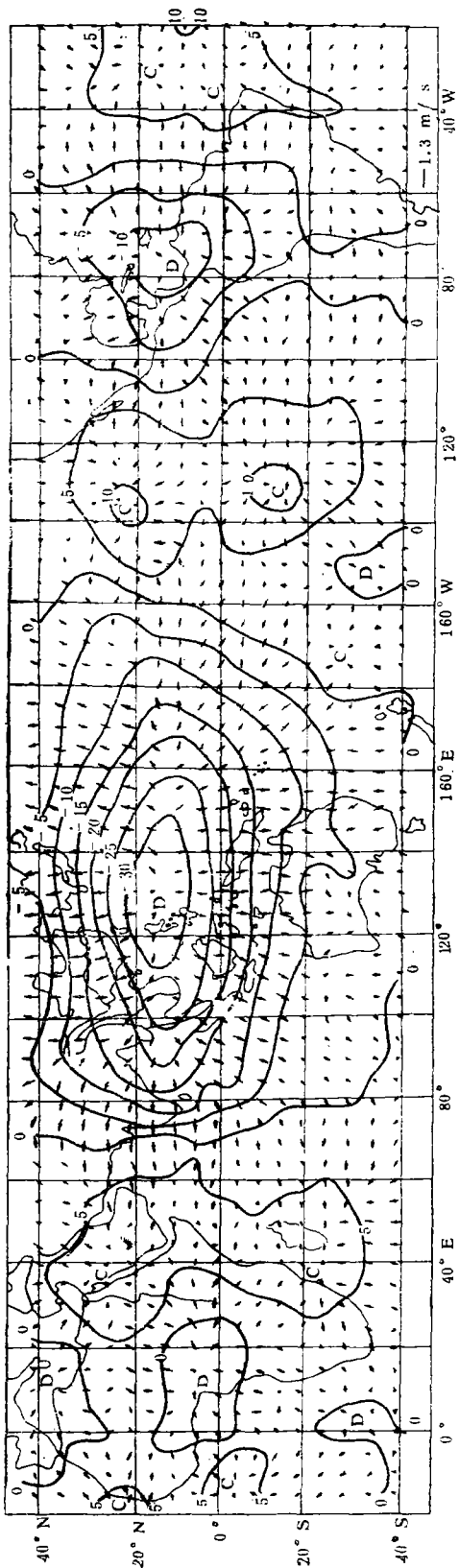


图 5 9 月 200 hPa 多年平均的辐散风场 (图例同图 1)

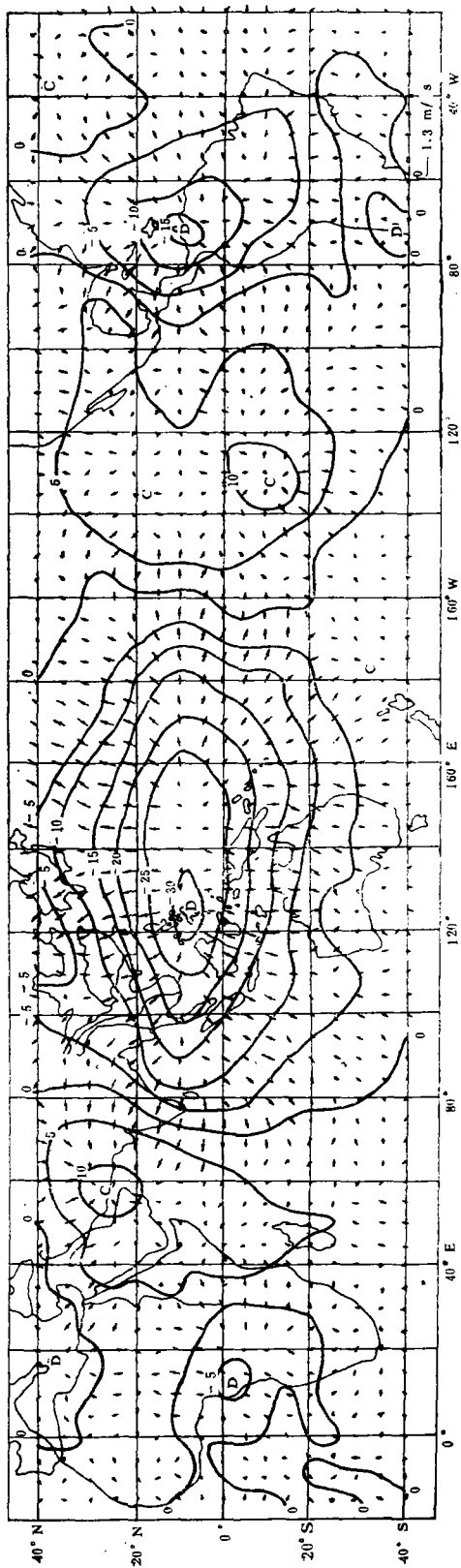


图 7 10 月 200 hPa 多年平均的辐散风场 (图例同图 1)

图8d可见,一个正 $\omega$ 中心(代表辐合风场)位于孟加拉湾和印度北部。在西太平洋和南海地区辐散场进一步减弱。通过上面的分析可见亚洲的夏季风对于大范围地区的辐散环流有非常显著的影响。

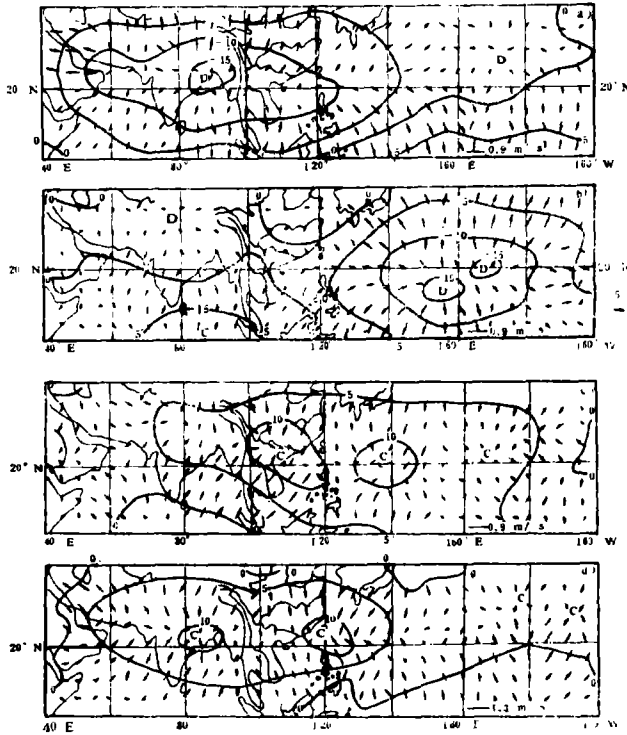


图8 夏半年(5—10月)200 hPa多年平均的辐散风和速度势场的月际变化

((a) 5月到6月, (b) 6月到7月, (c) 8月到9月, (d) 9月到10月。辐散风向量表示法同图1, 速度势的单位为 $10^6 \text{m}^2/\text{s}$ )

#### 4. 结 论

北半球夏季全球热带地区有三个主要辐散中心,分别位于西太平洋、中美洲和西非。每个辐散中心都与几个东西向(瓦克型)和南北向(哈特莱型)的大尺度辐散环流相联系。西太平洋辐散中心最强,主要有三个东西向环流:一个流入沙特阿拉伯到地中海地区;一个流入到非洲东南海区(马达加斯加岛地区);一个流入到东太平洋。第三个最稳定,几乎全年不变。头两个有明显的季节变化或只出现在北半球夏半年(如第二个),因而是与季风有关的辐散环流。中美洲辐散中心主要有两个辐散环流,一个流向东太平洋,一个流向东大西洋,后者是一个随季节变化较大的辐散环流。西非的辐散中心有两个辐散环流:一个流向东大西洋,一个流向非洲东南海区。这两个都随季节有明显的变化。因而从上面可见,最稳定的辐散环流是太平洋西部到东太平洋和中美洲到东太平洋这两个辐散环流。

南亚夏季风对200 hPa辐散风场有非常重要的影响。这主要反映在季风爆发和撤退时可导致辐散风场在季风区出现最显著的变化。最大变化中心与季风区的热源变化和位置密切相关。青藏高原和落基山地区辐散风场也有明显的变化,但不是最强的。

夏季全球热带地区最强的辐散中心位于南海到西太平洋地区,并且随季节北移。这个结果与过去是不同的<sup>[1]</sup>。亚洲季风的的活动主要造成了印度和孟加拉湾地区出现最显著的辐散风场变化,但并不能

使整个辐散中心移到这个地区。辐散中心随季节不断向西太平洋移动的现象表明，可能是热带扰动和台风的频繁活动引起的强烈对流维持了十分强大的热源和庞大的辐散环流。中美洲—加勒比海地区的辐散中心也可能是通过同样的机制维持。西非的辐散中心则与该地区赤道辐合带附近的大量降水活动有关。

### 参 考 文 献

- [1] Krishnamurti, T. N., Tropical east-west circulation during the northern summer. *J. Atmos. Sci.*, 28, 1342-1347, 1971.
- [2] Krishnamurti, T. N., M. Kanamitsu, W. J. Koss and J. D. Lee, Tropical east-west circulations during the northern winter, *J. Atmos. Sci.*, 30, 780-787, 1973.
- [3] Krishnamurti, T. N., Large-scale features of the tropical atmosphere, *Meteorology over Tropical Oceans*, 31-56, Royal Met. Soc. England, 1981.
- [4] Van der Boogard, Henry, The mean circulation of the tropical and subtropical atmosphere—July, NCAR, Tech. Note, Sept. 1977.
- [5] 丁一汇、赵深铭、何诗秀. 全球夏季热带200hPa平均环流研究的某些新结果, 科学通报, 第29卷, 第7期, 414-416, 1984.
- [6] Stephens, G. L., and P. J. Webster, Sensitivity of radiative forcing to variable cloud and moisture, *J. Atmos. Sci.*, 36, 1452-1556, 1979.
- [7] Chang, C. P., and K. M. Lau, Northeasterly cold surges and near-equatorial disturbances over winter MONEX during December 1974, part II: Planetary-scale aspects, *Mon. Wea. Rev.*, 108, 289-312, 1980.
- [8] Lsao Kubota, Seasonal variation of energy sources in the earth surface layer and in the atmosphere over the Northern Hemisphere, *Jour. of Meteoro. Soc. of Japan*, 48 (1), 30-45, 1969.
- [9] 陈隆勋、李维亮, 亚洲季风区春季大气热量收支, 1981年全国热带夏季风学术会议文集, 86-101. 云南人民出版社, 1983.

## STUDY OF THE GLOBAL 200hPa DIVERGENT CIRCULATIONS IN THE TROPICS AND SUBTROPICS IN SUMMER

Ding Yihui Zhao Shenming Zhang Jian

(*Institute of Atmospheric Physics, Academia Sinica*)

### Abstract

Utilizing the wind data at 200hPa for recent 13 years, the global tropical divergent wind fields from May through October have been calculated. It has been found that the center of the strongest divergent wind is located in the region from the South China Sea to the West-Pacific. The maximum monthly variation, however, of the divergent wind fields is found in India and the region of the Bay of Bengal.