

夏季南亚季风系统中期变动 过程中的200hPa辐散环流*

杨维武 喻世华

(空军气象学院, 南京)

摘 要 本文用合成资料讨论了夏季南亚季风系统中期变动过程中200hPa辐散环流的变化, 揭示了一些有意义的新事实: (1) 南亚季风区到太平洋信风区存在两个主要的辐散中心, 它们分别位于菲律宾以东海面和西太平洋的加罗林群岛。前者存在明显的东西振荡过程, 它和南亚季风环流的中期变动有密切的联系, 后者位置稳定少变, 但强度变化明显。(2) 对澳大利亚高压起着主要作用的是源自加罗林群岛辐散中心的南支辐散气流, 而不是源自南海的辐散流; 在源自上述两个辐散中心的南支辐散气流的共同作用下, 在澳大利亚以西海面上还维持一个独立的辐合下沉实体, 其强弱变化有明显的准双周振荡过程。(3) 在黄淮地区存在一个与东亚大陆季风雨带相对应的次级辐散中心, 其向南的辐散气流与源自南海到西太平洋向北的辐散气流在东亚大陆的副热带地区汇合下沉, 引导西太平洋副高伸入大陆; 一旦这一次级中心消失, 副高随即退出大陆。(4) 当菲律宾以东海面的辐散中心移到中南半岛, 则与加罗林群岛辐散中心之间的辐散气流在南海地区辐合下沉, 这时该地区赤道反气旋活跃, 表明其动力性质明显。

关键词 南亚季风 辐散环流

前 言

大气运动的辐散部分虽然只占其总方差的小部分(约20%), 但与之相联系的垂直环流对天气系统的发生发展起着重要作用。因而用辐散风场来诊断环流系统的发展变化近年来受到重视。Krishnamurti^[1,2]最早研究了北半球夏季平均辐散环流, 提出了南亚季风区东西向环流的概念。他后来的研究^[3]表明, 辐散风主要是属于纬向行星尺度垂直环流的水平分支, 意味着行星尺度系统总是与热力直接环流相联系。Van der Boogard^[4]计算的7月多年平均速度势, 得到的对流层上部最强的辐散中心位于中南半岛。丁一汇等人^[5]用NMC1968~1980年夏季月份的200hPa热带风场资料计算了夏季平均辐散风场的水平分布, 得到夏季全球

本文于1990-07-20收到, 修改稿于1990-11-10日收到。

• 国家自然科学基金资助项目

200hPa最强辐散中心位于菲律宾。最近, 他们^[6]用同一资料研究了5~10月各月200hPa多年平均辐散风场的水平分布及其月际变化, 得到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和南北向的大尺度辐散环流相联系, 其中以西太平洋辐散中心最强, 并随季节北移。

上述工作都是用月平均资料讨论平均环流状况。实际上, 辐散环流是一种热力强迫环流, 它与季风区降水非绝热加热紧密相关, 而季风区的降水随季风的活跃与中断存在明显的中期振荡过程^[7,8]。基于此, 本文用200hPa合成场资料讨论了南亚季风系统中期变动过程中辐散风场的变化, 发现一些有意义的新事实。

1 资料处理和计算方案

本文的诊断场是用ECMWF的 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 网格资料, 对1980~1983年7、8月12次西太平洋副高(以下简称西太副高)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。其合成方法如下: 先将12次过程以 120°E 经度上的每日500hPa副高脊线平行移动到其平均纬度 27.5°N , 然后按副高西进、东退两类, 分别对5880gpm特征线的西脊点位置落在同一经度范围内(例如 $90^{\circ} \sim 95^{\circ}\text{E}$)的各次资料分别不同层次(500hPa、200hPa、...)进行合成, 得到的合成场称为一个合成日的合成场, 按此依次得到各不相同经度间隔(例如, $95^{\circ} \sim 100^{\circ}\text{E}$, $100^{\circ} \sim 105^{\circ}\text{E}$, ...)所对应的各合成日的合成场。所得合成场, 东西进退过程共16个合成日, 如图1(中)第1~8日为副高的西进期, 第9~11日为稳定期, 第12~14日为东退期, 第15合成日又开始新的一次西进过程。在西太副高的西进东退过程中, 相应地南亚高压有一次东伸西缩过程(图1中), 西风带有一次长波调整(图1上), 低纬ITCZ有一次活跃与中断过程(图1下), 表明合成场较好地反映了南亚夏季环流的中期变动过程。

为揭示南亚夏季风中期变动过程中辐散环流的变动规律, 我们分别计算了各合成日200hPa的速度势和辐散风场。其计算公式如下:

$$D = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v \cos \varphi}{\cos \varphi \partial y},$$

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

$$u_x = \frac{\partial \chi}{\partial x}, \quad v_x = \frac{\partial \chi}{\partial y}.$$

上式, D 是散度, χ 是速度势。求解速度势的范围取 70°S 和 70°N 之间的整个球带, 南北边界条件是 $\chi=0$ 。在M-340计算机上迭代300次得到的 χ 场。

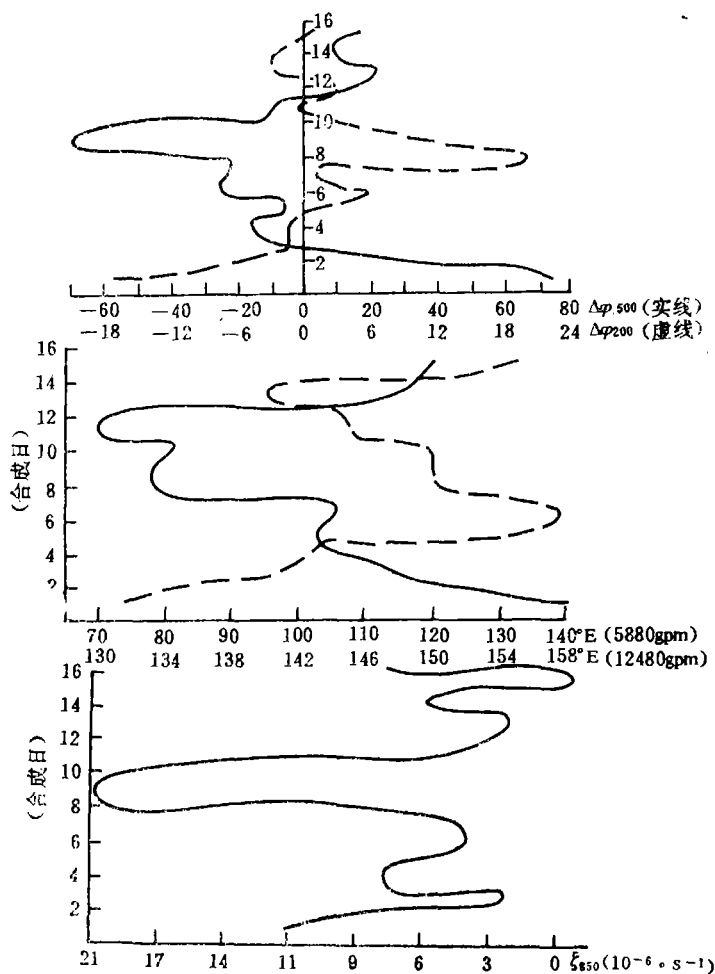


图 1 合成场500hPa和200hPa西风带长波调整(上, 纵轴系合成日), 500hPa5880gpm特征线西脊点和200hPa12480gpm特征线东脊点(中), 用850hPa涡度表示的ITCZ强弱(下)随合成日的变化

$$\Delta\phi_{500} = \phi_1 \begin{bmatrix} 135^\circ \sim 145^\circ \text{E} \\ 45^\circ \sim 55^\circ \text{N} \end{bmatrix} - \phi_2 \begin{bmatrix} 105^\circ \sim 115^\circ \\ 45^\circ \sim 55^\circ \text{N} \end{bmatrix}, \quad \Delta\phi_{200} = \phi_1 \begin{bmatrix} 105^\circ \sim 115^\circ \text{E} \\ 45^\circ \sim 55^\circ \text{N} \end{bmatrix} - \phi_2 \begin{bmatrix} 135^\circ \sim 145^\circ \text{E} \\ 45^\circ \sim 55^\circ \text{N} \end{bmatrix}, \quad \zeta_{850} = \begin{bmatrix} 95^\circ \sim 130^\circ \text{E} \\ 10^\circ \sim 20^\circ \text{N} \end{bmatrix} \zeta_{850}$$

2 辐散环流的变化与南亚季风系统的关系

在南亚季风系统的中期变动过程中相应南亚季风区的辐散环流有明显的变化. 图2给出了合成场200hPa辐散环流这种变化过程. 第1合成日(图2a)在西太平洋地区有两个明显的辐散中心. 其一, 位于菲律宾以东海面(20°N, 127.5°E), 和文献〔6〕所提7、8月份的平均位置一致. 另一辐散中心约位于157°E赤道附近的加罗林群岛, 这一中心在文献〔6〕的月平均图上没有反映出来. 但Kubota^{〔9〕}计算的7、8月大气加热场, 在140°E的15°N以南的低

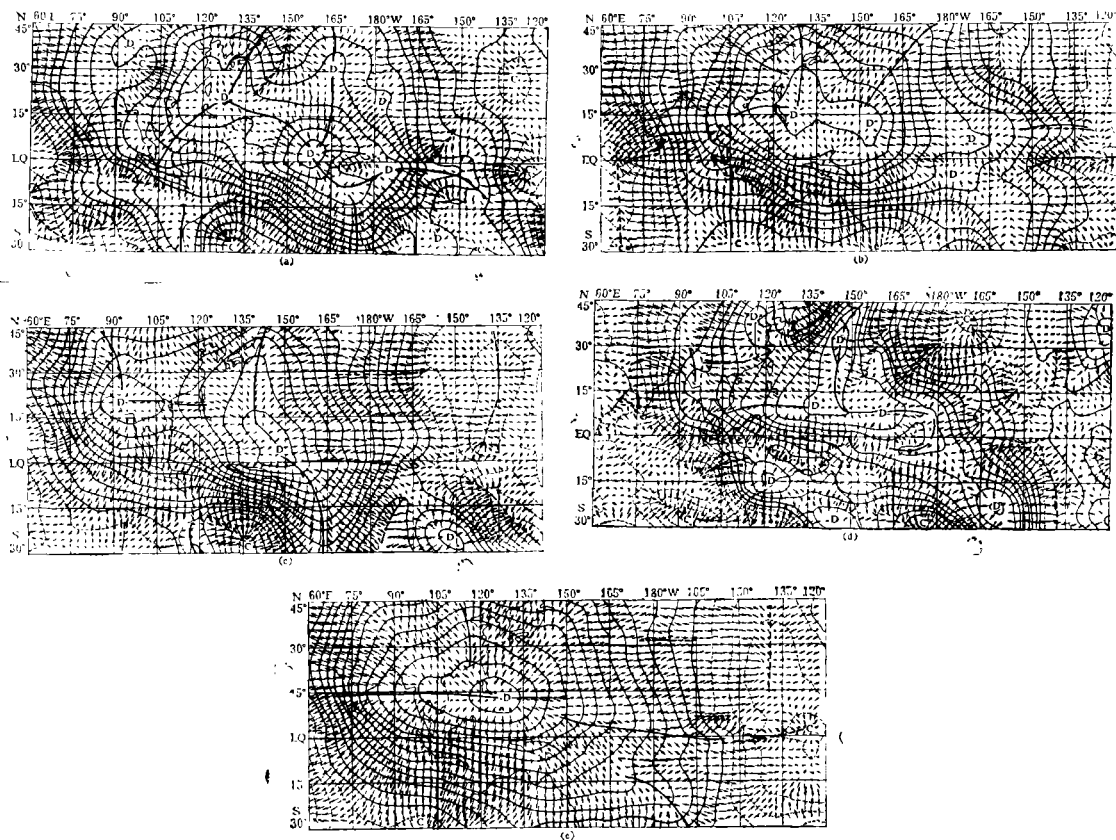


图 2 南亚季风区200hPa速度势和辐散风场

图(a)、(b)、(c)、(d)、(e)分别为第1、3、6、9、12合成日, 图中细实线为速度势正值区, 细断线为速度势负值区, 粗实线为辐散风的辐散带, 粗断线为辐散风的辐合带

纬地区存在一个加热大值中心。其加热率比菲律宾以东的加热中心还大 $2^{\circ}\text{C}/\text{天}$, 这里也是高海温中心所在地^[10], 由此可以推断这一辐散中心是可信的。上述两个辐散区代表了这一地区两个主要上升运动区, 与大气的热源分布相一致^[9]。在季风环流的变动过程中, 位于菲律宾以东海面的辐散中心位置有一次明显的东西振荡过程如图3, 该中心自第3合成日开始

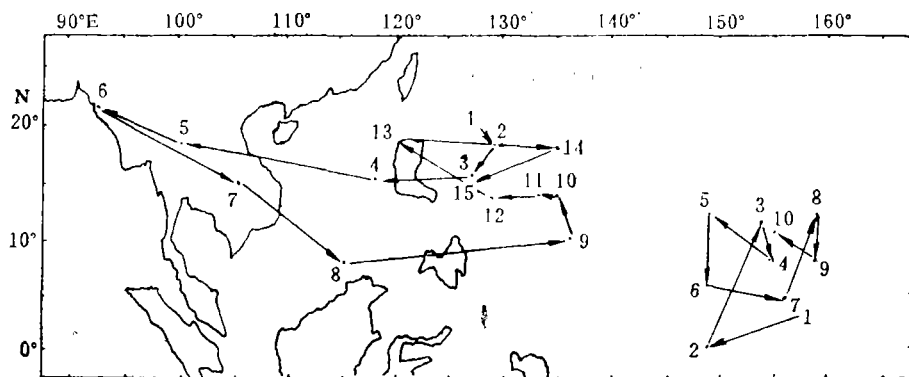


图 3 200hPa辐散中心位置随合成日的变化

图中数字为合成日日期

西进,第4合成日进入南海,第6合成日达最西位置缅甸的西海岸(21.5°N , 92.5°E)。这时正是南海ITCZ开始活跃,西太副高急剧西伸、南亚高压东伸时期。第7合成日以后,西太副高达到最西、南亚高压伸到最东位置(见图1)。6日以后,该辐散中心开始东退,8日退回到南海,9日回到菲律宾以东海面,然后在这附近活动并持续到第15日合成日。辐散中心9日退回到菲律宾以东海面以后,低纬ITCZ迅速减弱,随后南亚高压西缩,西太副高东退。

南亚对流层上部辐散中心的分布和变化反映了季风区对流层内大气冷热源 的分布和变化。如图2a、b、c,菲律宾以东海面辐散中心的西移先是表现为等 χ 线的向西伸展的舌区,然后在中南半岛形成闭合中心,逐渐代替原在菲律宾以东的中心;东退过程则相反,先表现为等 χ 线向东伸展,然后在南海地区形成闭合中心代替了位于中南半岛的中心,并继续移到菲律宾以东海面。

在上述变动过程中,位于加罗林群岛的辐散中心位置稳定少变(图3),但其强度有明显的变化(图2),第1~6合成日辐散中心减弱不甚明显,第7合成日以中心明显减弱,11日以后趋于消失。

由图2b可看出,在南半球的 180°E 以西副热带地区有3个辐合中心,它们分别位于马达加斯加岛附近、澳大利亚以及澳大利亚以西海面的 $90^{\circ}\sim 115^{\circ}\text{E}$ 副热带地区。前两个中心是人们熟知的,它们分别和马斯克林高压、澳大利亚高压相对应。值得注意的是,当菲律宾以东海面出现辐散中心时,其向南的辐散气流在澳大利亚以西海面常维持有明显的辐合中心(如图2b、d、e),当菲律宾以东辐散中心移至中南半岛时,这一辐合中心消失或变得不明显(图2c),可见澳大利亚以西海面的辐合中心也有明显的中期变动过程。在这一地区的夏季对流层下部月平均图上^[11]表现为马斯克林高压的东伸脊,而在候平均图上则可看到这里 有反气旋单体的活动,在逐日热带天气图上^[12]可经常看到在印度洋到西南太平洋上有三个反气旋环流单体,其中间一个正好位在这里。这一高压的低频振荡可能和南亚季风系统的准双周活动有密切的关系¹⁾。

过去人们强调孟加拉湾热源支持了印度季风环流,南海热源支持了东亚季风环流。从本文合成资料来看,加罗林群岛辐散中心对澳高的作用尤为重要,如图2a、b、c。从此中心向南的流出气流对澳高的维持起了更为重要的作用。当加罗林群岛辐散中心消失时(如图2e),与澳高相对应的辐合中心随之消失,可见澳高的强弱变化与加罗林群岛辐散中心的变化关系密切。当菲律宾以东海面的辐散中心移到中南半岛上空或辐散带向这里伸展时(图2c),其向西南的辐散气流在马达加斯加岛附近辐合下沉,对马斯克林高压的维持起着重要作用,同时在印度半岛和阿拉伯海东部出现最强的辐散气流,这一强辐散气流带向南延伸到 20°S 以南的南印度洋地区。

由上可见,南亚季风区的辐散风场随东亚环流的中期变动经历着一次东西振荡(菲律宾以东的辐散中心)和强弱变化(加罗林群岛辐散中心)过程,它反映了这一地区环流的变化对加热场变动的影响,加热场的变动通过辐散环流和南亚夏季风系统各成员的活动联系起来,从而又反馈于南亚季风系统的变动。

1) 刘忠辉、喻世华,南亚夏季风系统双周振荡的研究,待发表。

3 辐散环流的变动与西太副高的进退关系

辐散环流的变化与西太副高的进退有很好的对应关系.第3合成日以前,副高尚位在海上,5880gpm特征线的西脊点位在 120°E 以东(见图1),这时辐散风场在 27.5°N 的东海地区仅有微弱的辐合与之对应(图2a).到第3合成日(图2b),在江淮季风雨带上空有东南~西北向的辐散带出现,在此以南有向西的辐散气流,它和南海ITCZ区相对应的向北辐散气流在 $105^{\circ}\sim 125^{\circ}\text{E}$ 的 $25^{\circ}\sim 27.5^{\circ}\text{N}$ 间辐合,相应西太副高于第3合成日以后进入大陆.到第7合成日以后(图2d),东亚地区的辐散风场发生很大的变化,原位于菲律宾以东的辐散中心移到中南半岛,南海地区ITCZ处于活跃期,由此向北的辐散气流加大,此外在江淮地区出现次级辐散中心,从这里有向南的辐散气流,并在高原东侧出现一条南北走向的辐散带,其向东的辐散气流和前述两条辐散气流汇集于我国大陆的副热带地区,构成一条近于东~西走向的辐合带,这时正是西太副高伸入大陆的极盛时期.到第9合成日以后,中南半岛到西太平洋的辐散带减弱,由此向北的辐散气流虽仍然存在,但与江淮雨带相对应的次级辐散中心消失,高原东侧的辐散气流也不再存在了,我国大陆副热带上空转为辐散气流(图2e),此后西太副高急速退出大陆.

由上可见,源自南海ITCZ向北的辐散气流,江淮雨带向南的辐散气流和高原东侧向东的辐散气流在我国大陆副热带地区上空汇合,是引导西太副高进入大陆的几支主要气流,一旦这一条件破坏,在大陆的副热带地区转为辐散气流,副高将退出大陆.这和我们^[13,14]曾经讨论过的西太副高进退的环流机制所得的结果相吻合.

4 辐散环流的变动与赤道反气旋的活动

赤道反气旋的形成,Fujita^[17]强调南半球东南信风突然向北半球推进,在地转折向力作用下由流场的反气旋式折向而形成.从辐散风场来看,赤道反气旋的动力性质不可忽视.第5、6合成日(图2c),原位于菲律宾以东的辐散中心已移到中南半岛,达最西位置,而加罗林群岛的辐散中心仍很清楚,来自这两个辐散中心的辐散气流在南海地区汇合,这时也正是澳大利亚上空辐合最强,其来自澳高的越赤道气流活跃,有利于赤道反气旋的生成^[18].查阅组成第5、6合成日共23天的逐日热带历史天气图资料,发现在这些天里,南海地区几乎每天都有赤道反气旋活动.其中出现赤道反气旋的占19/23,出现赤道缓冲带的占3/23,仅有1天没有明显的赤道反气旋或赤道缓冲带活动.可见赤道反气旋具有明显的动力性质,它的生成除越赤道气流受地转折向力作用外,季风地区的热源所支持的辐散气流在该地区的汇合,可能是这里易于出现赤道反气旋的重要原因.顾平^[19]在研究南海赤道反气旋的结构中也发现有来自菲律宾以东的下沉气流.东太平洋也是赤道反气旋活跃的地区^[17],可能与前面讨论的Walker环流的下沉支有关.由于菲律宾以东的辐散中心在东亚季风环流中期变动过程中有明显的东西振荡,它与加罗林群岛辐散中心在南海地区造成的辐合下沉也必有一个强弱变化过程,从而可以推测南海地区赤道反气旋的活动有一定的活跃期与间歇期.

5 季风环流与信风环流的关系

南海到西太平洋地区的辐散中心,通过向北向南的Hadley型辐型环流将南北半球的副热带系统联系起来,亦可通过向东的Walker型辐散环流将南亚季风和太平洋信风联系起来。

南亚季风和太平洋信风环流的联系,则是源自加罗林群岛(如图2b、c)或位在菲律宾以东的辐散中心(如图2e)。其向东北的一支辐散流出气流和来自落基山的向西辐散流出气流在 135°W 的东太平洋汇合,这里正是东太平洋副高活动的地区,通过这里低层的偏东信风气流,从对流层低层又流回东亚季风地区,构成Krishnamurti等人^[1]提出过的东西向环流。不过这里看到的东西向环流,其高层辐散流出不是源自青藏高原附近,而是源自西太平洋地区。另一支源自这一辐散中心位于赤道两侧向东的辐散气流在 165°W 以东的东太平洋赤道附近汇合,即Bjerknes^[15]早年提出的Walker环流。第12合成日(图2e),菲律宾以东辐散中心明显,而加罗林群岛的辐散中心消失。从这里向东的辐散气流在 140°W 的东太平洋汇合,这时,在太平洋上的副热带地区东西向环流明显,赤道附近的Walker环流仍明显可见。

由上可见,源自西太平洋向东的辐散气流与来自落基山地的辐散气流在东太平洋地区汇合下沉,这支下沉气流强大而稳定,正是东太平洋副高强大而稳定的原因。通过大气低层稳定的偏东信风又回到南亚季风地区,构成强大的东西向环流,把东、西太平洋大气的活动联系起来,这里也正是大气遥相关密切的地区之一^[16]。在中太平洋的 30°N 附近虽然也有和大洋中部槽相对应的东西向的辐合带,但其辐合一般较弱(如图2c、e),主要来自南北向的辐合,这里副热带高压一般相对较弱。但在第8、9、10合成日在日本东部海面出现辐散中心(图2d),其向东的辐散气流和加罗林群岛向北的辐散气流,北美落基山向西的辐散气流汇集于 170°W ,在这里造成强的辐合下沉。在西太平洋到东亚大陆地区,不仅辐散风的辐合较弱,且取决于大陆季风雨带的凝结加热,由于其加热率呈现准双周变化,这里正是副高强度弱,进退明显的地区。

6 小结与讨论

综上所述,得到以下几点结果:

1. 南亚季风地区的对流层上部有两个明显的辐散中心,分别位于菲律宾以东洋面和西太平洋的加罗林群岛附近。前者在东亚环流中期变动过程中活动于中南半岛与菲律宾以东海面,有明显的东西振荡,后者位置稳定少动,但强度变化明显。这两个辐散中心代表了这一地区主要上升运动区,它的分布和变化反映了这一地区大气热源的变化。这种变化对这一地区的环流变化带来重要影响。

2. 自辐散中心有向南的几条辐散气流和南半球的副热带高压联系了起来。其一,当菲律宾以东的辐散中心移入南海或中南半岛时(图4),其向西南的一支辐散气流流向马斯克林高压;其二,源自加罗林群岛辐散中心向南的辐散气流在澳大利亚下沉,是作用澳大利亚高压的一支主要气流;其三,源自上述两个辐散中心向南的辐散气流在澳大利亚以西洋面上

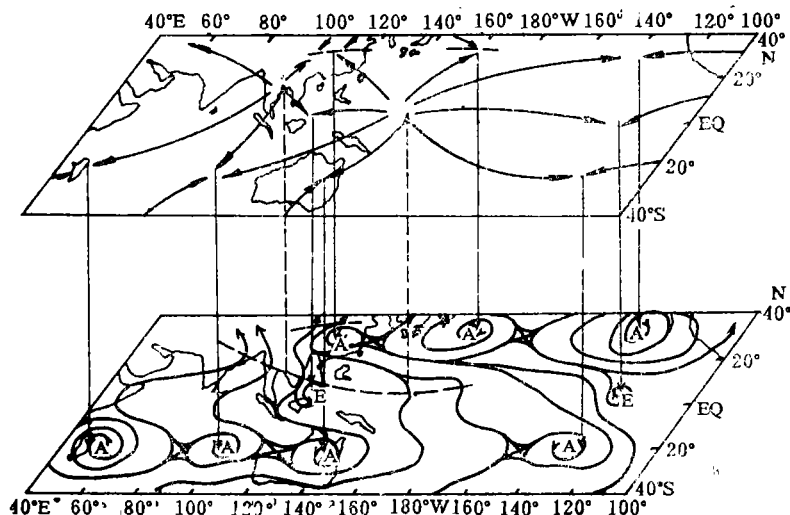


图 4 中南半岛出现辐散中心时200hPa辐散环流与低层天气系统的联系示意图
图中细实箭头表示下沉运动, 细断箭头表示上升运动, 粗断线表示ITCZ

汇合下沉, 构成另一个辐合中心, 在这里出现独立的反气旋环流, 人们往往把它误认为是马斯克林高压或澳大利亚高压的组成部分. 这三个辐合中心在对流层下部分别对应 $40^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{E}$ 、 $130^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{E}$ 、 $80^{\circ}\sim 100^{\circ}\text{E}$ 三条主要越赤道气流, 从而勾绘出南亚季风区的大尺度辐散环流.

3. 菲律宾以东洋面的辐散中心在西移过程中, 其向北的辐散气流进入东亚大陆, 这时若在江淮地区的对流层上部出现与大陆季风雨带相对应的次级辐散中心, 则其向南的辐散气流在大陆副热地区与之汇合下沉(图4), 引导西太副高伸入大陆; 只有当江淮地区的次级辐散中心消失, 随即东亚大陆副热带地区的辐合下沉消失或转为辐散上升气流, 西太副高急速撤出大陆.

4. 从西太平洋辐散中心向东的一支辐散气流在东太平洋与来自落基山高地的辐散气流汇合下沉, 然后又通过低层的偏东信风回流到南亚季风区, 从而构成强大而稳定的东西向辐散环流, 把东西部太平洋大气的活动联系了起来(图4). 在赤道附近, 通过Walker型辐散环流, 在东太平洋的赤道附近下沉, 可能利于这里赤道反气旋的活动. 当菲律宾以东的辐散中心移至中南半岛, 它与加罗林群岛辐散中心在南海地区辐合下沉, 这时这里赤道反气旋活跃, 表明赤道反气旋是季风区热力直接环流作用的结果.

参考文献

- 1 Krishnamurti T N. Tropical east-west circulation during the northern summer. J. Atmos. Sci., 1971, 28, 1342~1347
- 2 Krishnamurti T N, M Kanamitsu, W J Koss and J D Lee. Tropical east-west circulations during the northern winter. J. Atmos. Sci., 1973, 30, 780~787
- 3 Krishnamurti T N. Large-scale features of the tropical atmosphere, Meteorology over Tropical Oceans. Royal Met. Soc. England, 1981, 35~56
- 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结果. 科学通报, 1984, 29, 414~416
 - 6 丁一汇, 赵深铭, 张 健. 北半球夏季全球热带和副热带200hPa平均辐散环流的研究. 气象学报, 1987, 45, 120~127
 - 7 Krishnamurti T N and H N Bhalme. Oscillations of a monsoon system. Part I. Observational aspects. J. Atmo.Sci., 1976, 33, 1987~1954
 - 8 Y.Shihua (喻世华) *et al.* The variation of East Asia summer monsoon system with the medium-range scales. International Conference on Tropical Meteorology. Australia, 1988
 - 9 Kubota Isao. Seasonal variation of energy sources in the earth surface layer and in the atmosphere over the Northern Hemisphere. J.Met.Soc.of Japan, 1970, 48, 30~45
 - 10 白德宝, 李学坤, 姜月秋. 太平洋海面热平衡图集. 北京: 海洋出版社, 1990, 15~28
 - 11 中央气象台. 全球热带地区平均环流图集. 北京: 气象出版社, 1988
 - 12 Krishnamurti T N *et al.* Quick look 'Summer MONEX Atlas', International summer monsoon experiment, 1979
 - 13 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, 1989, 11, 373~377
 - 14 喻世华, 潘春生. 一次西太平洋副高中期进退过程环流机制的分析. 热带气象, 1989, 5, 220~225
 - 15 Bjerknes, T. Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. Mon.Wea.Rev., 1969, 97, 163~179.
 - 16 陈烈庭, 詹志强. 1984, 科学通报, 1968, 29, 481~483
 - 17 Fujita T, K Watanabe, T Izawa. Formation and structure of equatorial anticyclone caused by large-scale cross-equatorial flows determined by ATS-1 photographs. J. Appl Met., 1969, 8, 649~667
 - 18 包澄澜. 热带天气学, 北京: 科学出版社, 1980
 - 19 顾 平, 邢向群. 1979年7、8月东亚地区赤道缓冲带的结构及其活动. 热带气象, 1985, 4, 350~356