

1983 年亚洲夏季风爆发过程的诊断研究*

黄 真 陶 诗 言

(中国科学院大气物理研究所)

提 要

本文利用 1983 年 5~6 月 ECMRWF 资料, 从 1983 年亚洲夏季风爆发过程的诊断分析中, 就印度季风和南海季风的相对独立性和互相联系性作了探讨。结果表明, 印度季风区和南海季风区具有独立的季节变化中心; 印度季风和南海季风在季风爆发的时间上、季风爆发的物理机制上、季风爆发过程中风、温湿场的相互关系上均有明显差异; 季风爆发后两个子季风区的季风环流的演变逐步趋向同步, 维持季风及季风区温湿场的物理过程也趋向一致, 平均垂直运动在联系两个子季风中起了重要作用。

一、引 言

亚洲季风区是全球最显著的季风区。长期以来, 亚洲夏季风的爆发一直是气象学家们所重视的问题。50 年代, 叶笃正、陶诗言等^[1]注意到了伴随着北半球大气环流“六月突变”而发生的印度西南季风的爆发。随着研究的深入, 人们对亚洲夏季风有了一些新的认识。近年来, 陈隆勋等人的研究^[2]表明, 亚洲季风系统有两个子季风系统: 印度季风系统和东亚季风系统。它们既有相对独立性又互相紧密联系, 并指出, 亚洲夏季风的爆发具有自东向西传播的特征。

对于亚洲夏季风存在两个子季风系统这个基本观点, 目前人们尚有异议。本文利用 1983 年 5—6 月 850 hpa ECMRWF 资料, 从 1983 年亚洲夏季风爆发过程的分析中, 对此问题作了探讨, 得到的结果是肯定的。我们首先从“六月突变”着手, 确定了与两个子季风系统活动有关的季节变化显著区, 进而对两个子季风爆发过程以及主要物理机制的差异进行了研究, 并从两个子季风系统随时间演变规律及盛行期季风维持过程的物理机制的研究中, 探讨了两个子季风系统的互相联系性。

二、印度季风和南海季风爆发过程的相对独立性

亚洲的两支热带子季风——(印度季风和南海季风)是否是互相独立的季风系统, 它们之间的互相作用, 是以印度季风影响南海季风还是反之, 对这两个问题人们看法不一。王作述等^[3]在研究越赤道气流与季风的关系时, 指出南海季风的加强是由于印度季风的

* 本文于 1989 年 10 月 25 日收到, 1990 年 8 月 24 日收到修改稿。

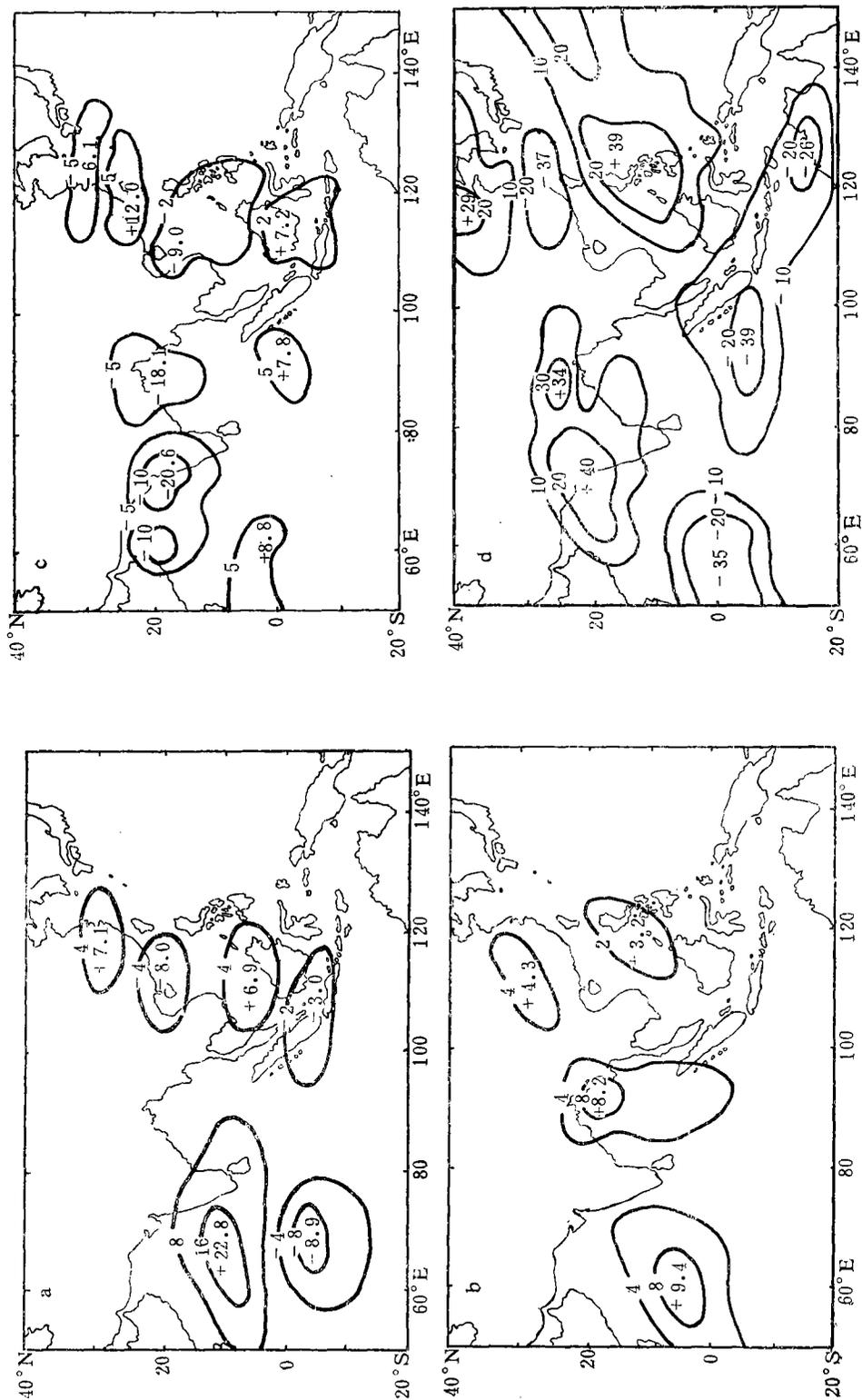


图 1 1983 年季风爆发后 (6.21—6.30) 和季风爆发前 (5.21—5.30) 850 hPa 纬向风(a)、
 经向风(b)、垂直速度(c)、相对湿度(d)差值分布
 (单位：风速，m/s；垂直速度， 10^{-4} hPa/s；相对湿度，%)

东传;陈隆勋等^[2]则从两个季风系统中期振荡的研究中,得出对于热带季风中盛行的准两周振荡是自南海季风区传至印度季风区的。我们将从 1983 年亚洲夏季风爆发过程的研究中,从两个热带子季风爆发过程的差异中探讨它们的相对独立性。

1. 两个子季风区有各自独立的季节变化中心

帅方红^[4]曾对 1983 年南亚季风建立前后大尺度流场的变化作了分析,得出 1983 年亚洲夏季风爆发时间约在 6 月 14 日。本文取季风爆发后(6 月 21 日—30 日)10 天平均和季风爆发前(5 月 21 日—30 日)10 天平均的各物理量之差值,分析了 850 hPa 等压面上这些差值的分布状况,发现各物理量在季风爆发前后有几个明显的变化区域。图 1 a—d 分别给出 1983 年季风爆发后(6.21—6.30)和季风爆发前(5.21—5.30)850 hPa 纬向风、经向风、垂直速度和相对湿度的差值分布。从这些图可以看出,在整个亚洲夏季风区,存在三个子季风系统:印度季风、南海西太平洋季风,这两个是热带季风;还存在一个副热带季风,位于长江流域及沿海海域(本文不作讨论)。这几个子季风区随季节的变化在各物理量上(温度、高度差值分布图略)均表现有各自独立的季节变化中心。

季风爆发后,印度季风区和南海季风区具有相对独立的西风气流加强区,在其南侧存在对应的东风气流加强区(图 1 a);在印度季风区,存在两支较强的南风脉动区,分别位于阿拉伯海和孟加拉湾(图 1 b),与此相应存在两个北部上升、南部下沉的经圈环流(图 1 c),即季风爆发后生成的迭加在原有气流上的季风环流,南海季风区也存在类似的南风脉动区和季风环流圈;湿度增加带也与各子季风区相一致(图 1 d),并且在其南侧,均存在相应的湿度减小带。

2. 两支子季风爆发的时间与南半球环流变化的关系

图 2 a, b 分别给出了 1983 年 5—6 月 850 hPa 印度季风区和南海季风区平均纬向风速随时间演变。由图可知,印度季风和南海季风爆发的时间不同,分别发生在 6 月 13 日和 6 月 1 日。

通常认为,南亚夏季风的爆发起源于南半球大气环流的季节变化。我们考察了两支热带子季风的基本西风气流与相应的南半球东风气流随时间演变的相互关系。在南海季风区,西风的变化超前于东风的变化,而在印度季风区,西风的变化与东风的变化基本同步(甚至落后)。(见图 3 a, b)。我们还进一步考察了南海季风区和印度季风区越赤道南风气流随时间的演变,结果发现,南海季风的爆发超前于越赤道气流的爆发,而印度季风的变化趋势则与阿拉伯海越赤道气流的变化具有很好的同步性质,这说明,印度季风和南海季风在与南半球大气环流季节变化的关系上是不尽相同的。

3. 两个子季风区风场和温湿场变化的相互关系不同

风场和温湿场之间有一定关系,它们相互适应、

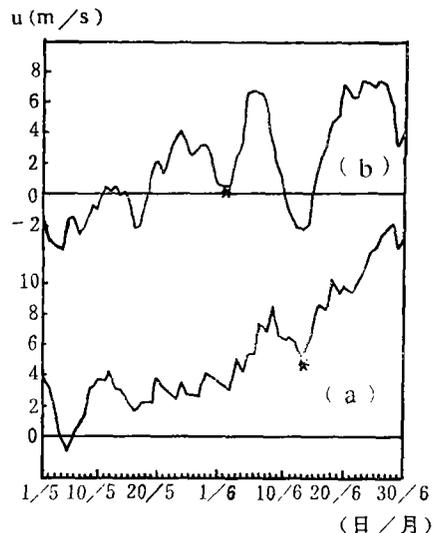


图 2 1983 年 5—6 月 850 hPa 印度季风区(a)和南海季风区(b)平均纬向风速(m/s)随时间演变

相互调整。风场的变化会引起温湿场的重新调整,而温湿场的改变也将造成大气环流的变化。在 1983 年夏季风的爆发过程中,印度季风区和南海季风区风场和温湿场的相互关系是不同的。

图 4 a, b 分别是印度季风区和南海季风区 850hPa 风场和 850hPa 湿度场演变关系图。可明显地看出,印度季风的变化滞后于印度季风区湿度的相应变化,而南海季风的变化则超前于南海季风区湿度的变化,并逐步趋于同步。因此,在热带季风爆发过程中,印度季风的变化是对印度季风区湿度场变化的响应,而南海季风区湿度场的变化则是南海季风变化的结果。对于温度场,也有类似的结果。

4. 两支热带子季风爆发物理机制的不同

我们取季风西风气流及相对湿度爆发(或增长)日期(t)之后 3 天($t+1, t+2, t+3$)与之前 3 天($t-1, t-2, t-3$)之差值,对比纬向动量及水汽诊断方程中各物理过程的量值,找出引起季风及维持季风所必需的水汽的变化的主要物理机制。对于季风爆发后季风及充沛水汽的维持过程,考虑到 6 月 25 日前后两支热带子季风均达到最强,因此,我们取 6 月 25 日前后一周(6 月 22 日—28 日)各物理量的总和,来研究维持过程的主要物理因子。

表 1 给出了两个子季风区区域平均纬向动量方程的诊断结果。量级较大的物理过程是科氏力和地转风,其次是平流过程,垂直动量输送过程作用较小。导致印度季风爆发与南海季风爆发的主要物理机制不同:前者是科氏力的作用;后者主要是地转风的作用。对于季风西风基本气流的维持,科氏力的作用对两个子季风区均是主要的。

科氏力的作用表征了南半球环流的影响,地转风的作用则是季风区内部气压场的效应。因此,印度季风的爆发起源于南半球,南海季风的爆发则主要是北半球季风区自身气压场变化的结果。但对于两支热带子季风的维持,来自南半球的影响是主要的。

对于南海季风的维持,平流过程也起了一定作用,这说明,在亚洲季风大范围爆发以后,印度季风对南海季风有一定的影响。但其量级较科氏力的作用小一个量级,所以认为,来自西侧的西风动量平流的影响相对较小,从而南海季风是相对独立的。

区域平均水汽方程的诊断结果(表 2)表明,在湿度的季节性转折和爆发性增长过程

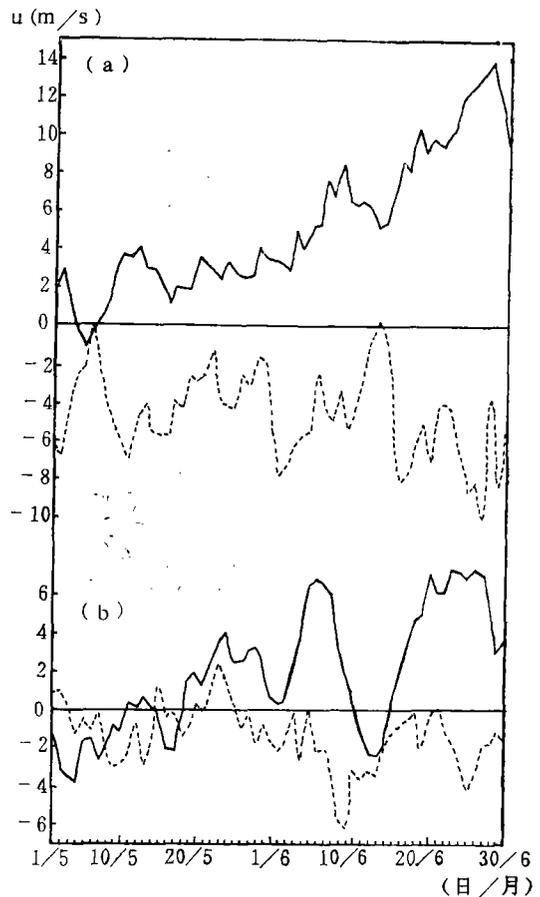


图 3 印度季风区(a)南海季风区(b) 850 hPa 西风与南半球 850 hPa 东风演变关系图 (实线为西风风速(m/s),虚线为东风风速(m/s))

中, 平流过程在两个子季风区中均起了重要作用。前面分析已指出, 对应于两个子季风区的增湿区, 在其南侧均存在减湿区, 这里的诊断分析进一步说明了季风区充沛的水汽来自南半球的水汽平流过程。由表 2 还可知, 在两个子季风区水汽的季节变化过程中, 水平辐合辐散过程和区域平均垂直运动过程具有反相振荡的特点, 即当水平辐散因子在某个子季风区起主要作用时, 垂直运动就在另一子季风区起主要作用, 反之亦然。这进一步证明两个子季风系统特征变化的相对独立性。对于季风盛行期湿度场的维持, 两个子季风区的主要物理过程均是区域平均垂直运动。

从以上四个方面的分析来看, 在 1983 年亚洲热带夏季风的爆发过程中, 印度季风和南海季风的变化是相对独立的。

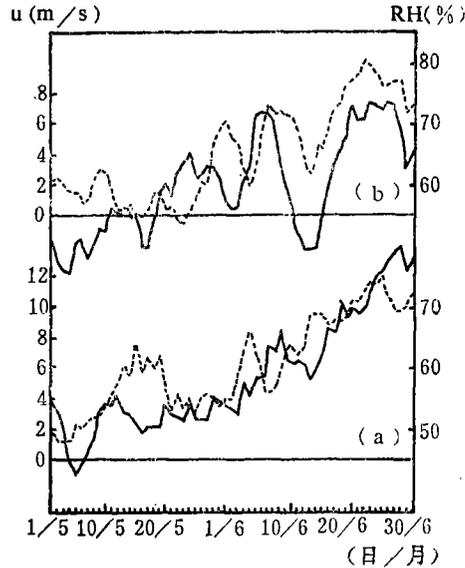


图 4 850 hPa 印度季风(a)与南海季风(b)和相应季风区 850 hPa 相对湿度演变关系图 (图中实线代表西风风速(m/s), 虚线代表相对湿度(%))

表 1 1983 年夏季风爆发、维持过程动量诊断分析结果

	6月1日		6月13日		维持过程	
	印度	南海	印度	南海	印度	南海
平流过程	-1.92	-0.79	2.81	0.67	-16.81	9.6
平均垂直运动输送	0.32	0.17	0.48	-0.53	-0.26	-0.18
涡动垂直运动输送	0.97	-0.18	0.77	-0.11	2.3	-0.39
地转风	-4.79	*17.82	-10.6	*20.17	51.2	-36.25
科氏力	*13.28	8.04	*14.0	-4.13	*129.8	*65.7

注: (1) *表示主要物理过程。

$$(2) \text{ 诊断方程: } \frac{\partial[u]}{\partial t} = -\left[u \frac{\partial u^*}{\partial x} + v \frac{\partial u^*}{\partial y} \right] - [\omega] \frac{\partial[u]}{\partial p} - \left[\omega^* \frac{\partial u^*}{\partial p} \right] - \left[\frac{\partial \phi^*}{\partial x} \right] + f[v] + [F_x]$$

表 2 1983 年夏季风爆发、维持过程水汽诊断结果

	季节性转折		爆发性增长		维持过程	
	印度	南海	印度	南海	印度	南海
平流过程	*12.76	*13.31	*18.56	*10.05	-27.85	-1.38
辐合辐散	2.63	*11.19	*14.14	-2.66	-28.15	-3.63
平均垂直运动	*15.87	-1.81	4.29	*12.6	*131.3	*26.62
涡动垂直运动	1.38	0.91	-3.72	1.28	23.6	2.42
水汽源汇	-15.89	-15.86	-18.77	-7.37	-97.18	-30.19

注: (1) *表示主要物理过程。

$$(2) \text{ 诊断方程: } \frac{\partial[q]}{\partial t} = -\left[u \frac{\partial q^*}{\partial x} + v \frac{\partial q^*}{\partial y} \right] - \left[q \left(\frac{\partial u^*}{\partial x} + \frac{\partial v^*}{\partial y} \right) \right] - [\omega] \frac{\partial[q]}{\partial p} - \left[\omega^* \frac{\partial q^*}{\partial p} \right] + \text{水汽源汇}$$

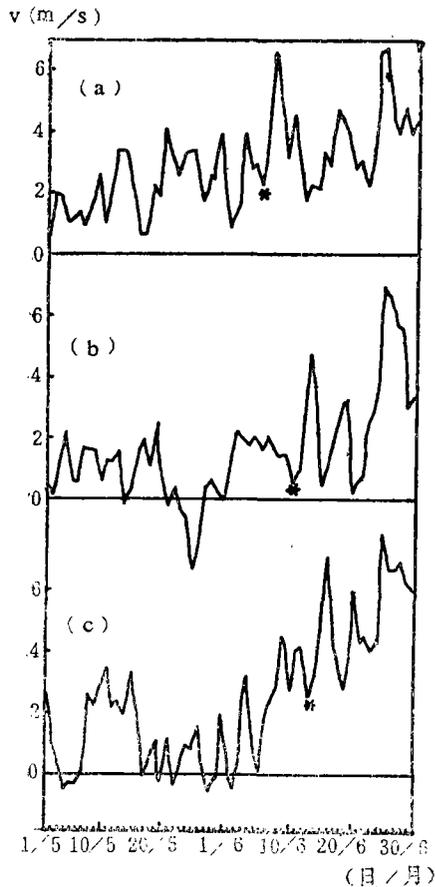


图 5 1983 年 5—6 月 850 hPa 南海(a)、孟加拉湾(b)和阿拉伯海(c)平均经向风随时间演变

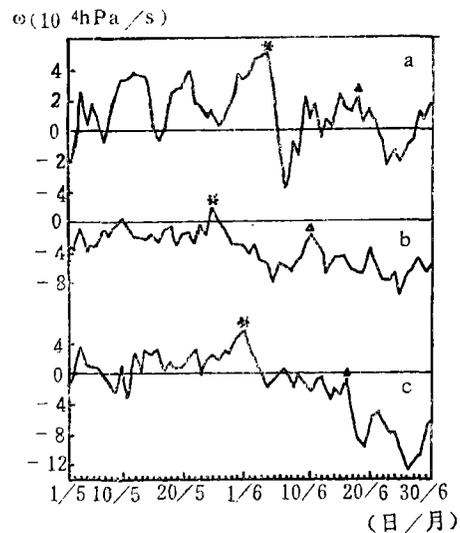


图 6 1983 年 5—6 月 850 hPa 阿拉伯海(a)、孟加拉湾(b)和南海(c)平均垂直运动随时间演变

值得进一步指出的是,在夏季风大范围爆发后,印度季风和南海季风的变化逐渐趋向同步并同时达到最强,并且维持两支子季风动量和水汽的主要物理过程也一致。我们将在下一节对此问题作详细讨论。

三、印度季风和南海季风的互相联系性

很多研究指出,印度季风和南海季风是亚洲夏季风系统中两个相对独立而又互相紧密联系的季风子系统,并且它们强度的年际变化具有反相振荡的特点^[5]。上一节的研究表明它们的爆发过程是相对独立的。本节将进一步讨论它们的相互联系。

1. 季风爆发过程向西传播,季风爆发后变化逐步趋于同步

在上一节中,我们从两个子季风区域平均季风西风基本气流随时间的演变分析中得出,南海季风的爆发早于印度季风的爆发,这说明了亚洲夏季风爆发过程向西传播的基本特征。低层南风越赤道气流是夏季风系统的一个重要成员。图 5 a, b, c 分别给出了亚

洲季风区三支主要的低空越赤道气流随时间的演变。在5—6月,来自南半球的越赤道气流存在突变性质的季节转变,这种转变由南海经孟加拉湾至阿拉伯海自东向西发生。进一步考察可发现,这三支主要南风在季节变化后都发生了3次脉动,通过这三次脉动,它们的变化逐步趋于同步振荡,均在6月25日达到最强强度。此外,季风西风气流以及相应的南半球东风气流也具有这种向西传播并逐步趋于同步的季节变化特征。这说明亚洲夏季风的两个子季风是互相紧密联系的。

我们还用区域平均经向动量方程分别对两个子季风区南风气流变化的物理过程作了诊断分析,结果表明,在印度季风区,平流过程对南风的发展起了较重要的作用,而在南海季风区,平流过程使南风减弱,这说明两个热带子季风通过南风动量的向西传播而紧密联系在一起。

2. 季风垂直环流源于孟加拉湾热源中心,季风爆发后变化与水平环流趋于同步

季风区垂直运动的季节转变以孟加拉湾发生得最早,阿拉伯海次之,南海最后。图6 a, b, c 分别给出3个海域区域平均垂直运动的演变。与季风区上升运动相对应的南半球下沉运动的季节转变也有类似的演变顺序。因此,季风垂直环流是自孟加拉湾向东西两侧传播的。由图6可知,3个海域的上升运动随时间的演变逐步趋向同步,并在6月25日前后达到最大强度。

对比图5和图6可发现,低层越赤道南风的季节转变较相应的季风区上升运动季节转变晚,这说明,热带季风区垂直环流的变化并不完全取决于水平辐合辐散场的动力作用的改变。依陈隆勋等^[6]的多年夏季平均加热场的计算,孟加拉湾地区的加热率在整个季风区是最大的。他们还指出,季风区大气热源的自冬到夏的季节变化,在5月中心移到孟加拉湾,并在其后的整个夏秋季,均为季风区最强大的热源。我们知道,季风垂直环流是热力直接环流,因此,垂直环流的季节转变与大气热源的季节变化有着密切的关系。正是以孟加拉湾为中心的大气热源和垂直环流将两个热带子季风区紧密地联系在一起,经过热力因子与动力因子的相互调整和相互作用,两个子季风区的垂直环流及水平运动的变化均趋于同步。这进一步说明了两个热带子季风的相互联系性。

我们从区域平均热力学方程的诊断分析结果中发现,对于季风盛行期温度场的维持,两个子季风区的主要物理过程均是区域平均垂直运动的垂直热量输送,并且其它物理过程的作用在两个子季风区也相同。对于湿度场的维持也是如此。这说明季风垂直环流在调整维持季风所需温湿场,使两个子季风的变化趋于同步上起了重要作用。

四、结 论

本文对1983年夏季季风爆发过程作了诊断研究,结果表明,印度季风和南海季风是两个相对独立而互相紧密联系的热带子季风。其独立性表现在它们的爆发过程中:印度季风区和南海季风区各自具有独立的季节变化中心;南海季风爆发的时间比印度季风早;导致印度季风和南海季风爆发的主要物理机制不同,前者是科氏力,后者是地转风;印度季风区和南海季风区风场和温湿场演变的关系不同,前者风场变化落后于温湿场,后者则反之。其联系性表现在季风爆发后的维持过程中:两个热带子季风区的水平环流、垂直环

流随时间的演变逐步趋向同步；维持两个热带子季风以及季风区温湿场的物理过程趋向一致；其中平均垂直运动在联系两个子季风、维持它们稳定的温湿场中起了重要作用。

需要指出，以上结论是由1983年夏季风爆发过程的研究得出，还须用更多年代的资料进一步加以研究。

参 考 文 献

- [1] 叶笃正、陶诗言、李麦村，在六月和十月大气环流的突变现象，气象学报，29，4，249—263，1958。
- [2] 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季风环流系统的相互关系，1982年全国热带夏季风学术会议文集，204—217，1983。
- [3] 王作述、何诗秀，南海至西太平洋一带夏季低空越赤道气流和季风的初步研究，气象学报，37，4，67—78 1979。
- [4] 帅方红，1983年南亚季风建立前后大尺度流场的变化分析，中国科学院大气物理所硕士论文，8-12，1987。
- [5] Tao, S., and L. Chen, A review of recent research on the East Asian summer monsoon in China, Monsoon Meteorology, Oxford monographs on geology and geophysics, No. 7, 60-93, 1987.
- [6] 陈隆勋、李维亮，亚洲季风区各月的大气热源结构，1982年全国热带夏季风学术会议文集，246—258，1983。

DIAGNOSTIC STUDY ON THE ONSET PROCESS OF ASIAN MONSOON DURING THE SUMMER OF 1983

Huang Zhen Tao Shiyan

(Institute of Atmospheric Physics, Academia Sinica)

Abstract

The onset process of Asia summer monsoon during 1983 is analysed and the independence and the relation between India monsoon and South-China sea monsoon are studied by using ECMRWF data. The results show that there are independent centers of seasonal variation in India monsoon region and in South-China sea monsoon region respectively; the beginning dates, the physical mechanisms of monsoon onset and the relation between wind and temperature or humidity during the onset process in India monsoon region are different from those in South-China sea monsoon region; after the onset, the variations of the monsoon circulations and the physical processes which maintain monsoon and its temperature and humidity fields in the two sub-monsoon regions tend to consist with each other; vertical movement plays an important role in the relation between the two sub-monsoons.