

夏季南海季风活动的诊断分析

谢立安

提 要

本文通过诊断分析研究了初夏和盛夏南海季风的的活动情况。结果表明,由于初夏和盛夏加热场特征不同导致南海季风活动在初夏和盛夏具有不同的特点。初夏南海季风系统和印度季风系统之间的相互作用是重要的,而盛夏则南海季风系统与南半球环流的相互作用更重要。

Krishnamurti, T. N. 在文献[1]中研究了印度季风爆发对非均匀加热的响应问题并讨论了季风活动期间的 $\psi \cdot \chi$ 相互作用,指出恰在印度季风雨爆发之前,无辐散气流的动能 K_v 有迅速的增加。在另一些研究[2][3]中又指出,应用一般的大气环流模式,不能模拟季风环流的大尺度特征,也不能模拟季风区外环流系统的许多实测特征。但是,若在这些大气环流模式中适当地引入海、陆地区的加热作用,就能成功而逼真地模拟出季风的许多大中尺度特征。可见,加热场特征是左右季风活动的重要因素。为此,本文着重讨论初夏和盛夏的冷热源分布对南海季风活动的影响。

一、诊断方程与方法

水平风 \vec{V} 可以分解为无旋分量 \vec{V}_χ (辐散风)和无辐散分量 \vec{V}_v (无辐散风),三者之间的关系为

$$\vec{V} = \vec{V}_v + \vec{V}_\chi \quad (1a)$$

$$\vec{V}_v = \vec{k} \times \nabla \psi \quad (1b)$$

$$\vec{V}_\chi = -\nabla \chi \quad (1c)$$

$$\nabla \cdot \vec{V} = -\nabla^2 \chi \quad (1d)$$

$$\vec{k} \cdot \nabla \times \vec{V} = \nabla^2 \psi \quad (1e)$$

1995年3月7日收到,5月1日收到修改稿

* $\psi \cdot \chi$ 表示 ψ 场和 χ 场的动能转换,参见文献[1]

式中 ψ 是流函数, χ 是速度势函数。相应地, 单位质量空气的水平运动动能 K 可以用辐散风动能 K_ψ 和无辐散风动能 K_χ 来表示

$$K = K_\psi + K_\chi - J(\psi, \chi)$$

这里 $K_\psi = \frac{1}{2} |\nabla\psi|^2$, $K_\chi = \frac{1}{2} |\nabla\chi|^2$ 分别表示单位质量空气的无辐散风动能和辐散风动能, $J(\quad)$ 为雅可比算符。

无辐散风和辐散风的动能方程^[1]为

$$\frac{\partial K_\psi}{\partial t} = B_\psi + f\nabla\psi \cdot \nabla\chi + \nabla^2\psi \nabla\psi \cdot \nabla\chi + \frac{1}{2} |\nabla\psi|^2 \nabla^2\chi + \omega J\left(\psi, \frac{\partial\chi}{\partial p}\right) + F_\psi \quad (2)$$

$$\frac{\partial K_\chi}{\partial t} = B_\chi - \chi \nabla^2\phi - f\nabla\chi \cdot \nabla\psi - \nabla^2\psi \nabla\chi \cdot \nabla\psi - \omega J\left(\psi, \frac{\partial\chi}{\partial p}\right) - \frac{1}{2} |\nabla\psi|^2 \nabla^2\chi + F_\chi \quad (3)$$

式中 B_ψ 和 B_χ 表示边界通量, F_ψ 和 F_χ 表示外源和耗散作用。(3)式中的 $-\chi \nabla^2\phi$ 项也在位能方程中出现, 但符号相反, 因此它表示辐散风动能与位能之间的相互转换。式中的其余各项为无辐散风动能与辐散风动能的相互转换项。为讨论方便, 依次称之为 $\psi \cdot \chi$ (I)、 $\psi \cdot \chi$ (II)等。由方程(2)和(3)可知, 对于一个闭合系统, 在没有耗散和 $\psi \cdot \chi$ 相互作用的情况下, 无辐散风的区域总动能是守恒的。因此, 总的无辐散风动能只能通过 $\psi \cdot \chi$ 相互作用得到。非均匀加热决定了总位能的制造, 它通常伴随着暖空气上升、冷空气下沉(即区域平均的 $-\overline{\omega T} > 0$), 这种过程把已产生的内能和位能转换成无旋运动动能, $\psi \cdot \chi$ 相互作用再把无旋运动动能转换成季风无辐散运动动能。可见, 分析加热场的分布对环流发展的作用有助于了解季风活动的物理机制。因此, 我们设计了一套诊断分析程序, 以南海地区ITCZ(赤道辐合带)的北移为季风活跃的主要特征, 选择了1982年初夏(6月15至21日)和盛夏(7月18至24日)的两个个例。首先, 对这两个个例的水平风场和环流特征进行了分析, 以确定两次过程中季风活跃的起始日期。然后计算两次过程中逐日逐层的 ψ 、 χ 、 K_ψ 、 K_χ 以及 $\psi \cdot \chi$ 相互作用各项的值, 以进一步了解季风活跃前后的无旋场和无辐散场特征。为了说明非均匀加热的作用, 采用文献[4]中所给的热源诊断方程

$$Q = C_p \left[\vec{V} \cdot \nabla T - \left(\frac{\gamma_d \alpha}{g} - \frac{\partial T}{\partial p} \right) \omega \right] \quad (4)$$

倒算出两次过程中逐日逐层的加热场, 式中的温度 T 是用静力学方程

$$\overline{T} = -\frac{g}{R} (H_1 - H_2) / \ln(P_1/P_2) \quad (5)$$

通过高度场算得。在计算过程中垂直速度是用运动学修正方案^[5]计算。所有物理量的计算都是在 $35^\circ\text{N} - 35^\circ\text{S}$, $65^\circ - 135^\circ\text{E}$ 范围内, 1000、850、700、500、300、200、100百帕各层经纬度 5° 的格点上进行。

二、过程概述

1982年6月15至21日和7月18至24日在南海地区分别出现了一次西南季风活跃过程。为确定南海季风开始活跃的日期, 定义一个定性反映南海季风活动的面积指数 I_M :

$I_M = \text{南海吹西南风格点数} / \text{南海地区} \cdot \text{格点总数}$

两个个例中 850 和 700 百帕的 I_M 变化曲线如图 1a, b 所示。由图可见, 6 月 17 日和 7 月 20 日的 I_M 值均比前一天大得多, 我们把这两天作为两次过程的季风活跃起始日。

两次过程的经向风场变化特征如图 2 所示。图 2a 为 6 月 15 至 21 日 850 百帕等压面上经向风速 v 的赤道—时间剖面图; 由图可见, 17 日以前在 $90^\circ - 120^\circ \text{E}$ 范围内基本上为北风分量, 18 日以后, 105°E 附近虽转为南风, 但风速只有 2 米/秒左右, 而这时南海季风已处于活跃阶段, 足见在这次过程中越赤道气流不是导致南海季风活跃的主要因素。

图 2b 表示 7 月 18 至 24 日 850 百帕等压面上经向风速 v 的赤道—时间剖面图。由图可见, $105^\circ - 110^\circ \text{E}$ 处的越赤道气流 18 日已有一定强度, 并随时间增强。值得指出的是, 在这次过程中 $105^\circ - 110^\circ \text{E}$ 越赤道气流是先于南海季风活跃而出现, 它可能是南海季风活跃的重要因素。

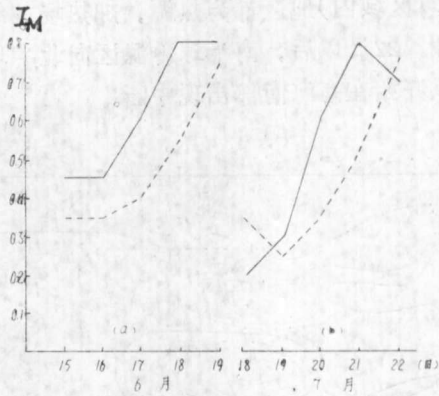


图 1 南海西南季风活动的面积指数
图中实线为 850 百帕, 虚线为 700 百帕

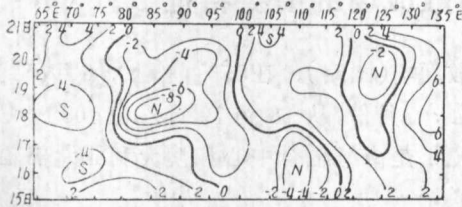


图 2a 1982 年 6 月 15—21 日赤道—
时间剖面 v 分量 (850 百帕)

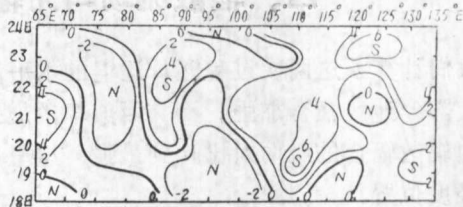


图 2b 1982 年 7 月 18—24 日赤道—
时间剖面 v 分量 (850 百帕)

三、加热场分析

按照公式 (4) 我们倒算了 6 月 15 至 21 日和 7 月 18 至 24 日所讨论区域内各层逐日的加热场。计算结果表明, 加热场的分布主要由高层情况决定, 这可能与凝结潜热主要在高层 (300 百帕附近) 释放有关, 故我们主要讨论 300 百帕的加热场。

6 月 15 到 21 日亚洲季风区加热场的演变大致分为三个阶段: 第一阶段 (活跃前期) 南海强加热, 其西部陆地和沿海为冷源或较弱的热源。整个亚洲季风区呈由东向西的纬向型加热梯度, 经向加热梯度较小 (见图 3a)。第二阶段 (活跃期), 南海热源相对减弱, 经向加热差的作用相对增大。第三阶段 (活跃后期) 南海为较弱的热源或冷源, 而孟加拉湾成为主要热源。亚洲季风区纬向加热梯度出现反向, 成为不利于南海季风活跃的因素, 结果导致南海季风中断, 而这种加热梯度对印度季风活跃十分有利, 促使印度季风活跃。

• 南海地区指的是 $105^\circ - 120^\circ \text{E}$, $0^\circ - 20^\circ \text{N}$ 所围的矩形区域, 共 20 个格点。

图3b是7月18日整层平均的加热场。可见，在105°E附近存在一个明显的经向加热梯度，在5°—15°N范围内为强加热中心，而0°—10°S范围内为强冷却中心。北半球热带（计算区域内）地区都为热源，加热场的纬向梯度不大，南海地区加热梯度主要表现为经向型。22日以后，南半球冷源区向北半球扩展，导致南海南部加热梯度减小，使南海夏季季风开始在南海南部出现中断。

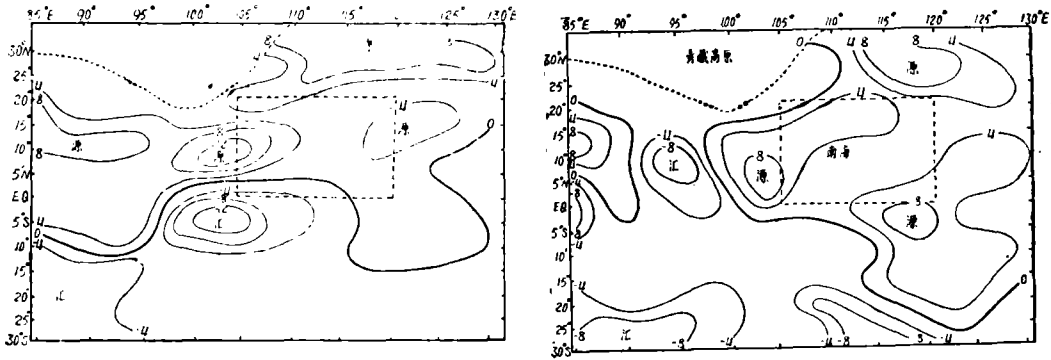


图3 地面—300百帕平均加热场 a(左图)1982年6月16日, b(右图)1982年7月18日
(单位: 10^{-6} 千克秒 $^{-1}$, 折合法定单位为 4.1868×10^{-9} 千瓦 $^{-1}$)

四、辐散流场与无辐散流场的演变特征

我们计算了这两次过程逐日逐层的水平散度场(图略)。在850百帕上, 6月15到16日南海大部分地区辐合加强, 而其西部辐散加强, 7月份, 从18到19日, 在105°—110°E范围内辐散辐合的经向对比达到最强, 这里也正是南海辐合中心和澳大利亚北部辐散中心的经度位置。

辐散流场的上述特征在速度位势 χ 场上的表现也是十分清楚的。图4a、b是两次过程

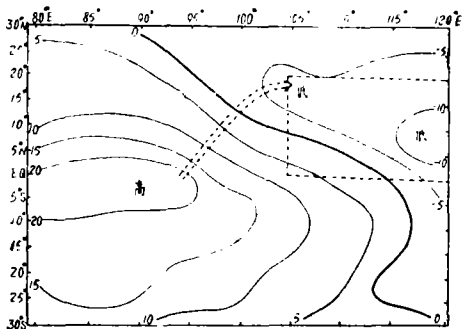


图 4a 1982年6月16日850百帕速度位势场(单位: 10^5 米 2 /秒)

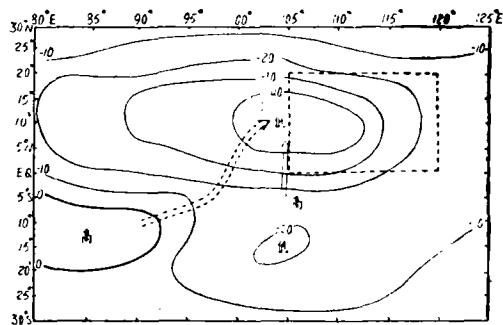


图 4b 1982年7月19日850百帕速度位势场(单位: 10^5 米 2 /秒)

前期的850百帕 χ 场。图中箭头所指的方向为 χ 场极大梯度方向, 它反映了辐散风的方向。由图可见无论在初夏或盛夏在季风活跃前期辐散风均有利于南海季风发展。另外也发现在季风活跃以后辐散风又往往转为不利于南海季风发展的形式(图略)。

五、 $\psi \cdot \chi$ 相互作用的计算结果

从计算两次过程逐日逐层的 $\psi \cdot \chi$ 相互作用项,发现 $\psi \cdot \chi(I)$ 比其它各项大得多。因我们主要关心发生于低空的南海季风,所以只讨论850或700百帕上的 $\psi \cdot \chi(I)$ 当 $\psi \cdot \chi(I)$ 大于零,表明辐散风动能向无辐散风动能转换,我们称这种转换为正转换,否则为负转换。图5表示6月16日850百帕的 $\psi \cdot \chi(I)$ 值,可以看出在南海西部有一明显的正转换区。在整个过程中南海地区的 $\psi \cdot \chi(I)$ 值以16日最大,17日以后便开始减弱。印度季风区的 $\psi \cdot \chi(I)$ 值出现相反的变化,15日,16日主要呈现出负转换,17日开始逐渐增大。

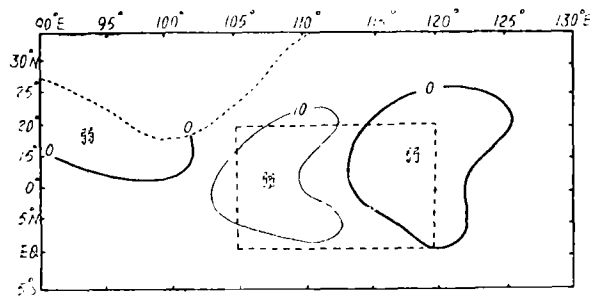


图5 1982年6月16日850百帕 $\psi \cdot \chi(I)$ 值(单位: $10^{-5} \text{米}^2/\text{秒}^2$)

7月份也有类似情况,18日、19日南海地区正转换加强,20日开始减弱。且在南海地区为强转换时,印度地区往往为较弱的转换;而南海地区为弱转换时,印度季风区转换又较强。

$\psi \cdot \chi$ 相互作用的这种演变特征与加热场的观测结果在时间和空间上都有较好的对应关系。 $\psi \cdot \chi$ 相互转换值的正负与强弱同非均匀加热的梯度密切相关。在我们所讨论的个例中从加热场到 K_{\downarrow} 场的演变特征是:

初夏

6月15日、16日南海指向孟加拉湾的加热梯度加强,随之,南海地区辐合加强,其西侧辐散加强,南海地区出现由西向东的辐散风。

6月16日, $\psi \cdot \chi$ 相互作用在南海地区出现正中心。

6月17日, K_{\downarrow} 场能量增加,南海季风开始活跃。

盛夏

6月18日、19日北半球指向南半球的经向加热梯度在 105° — 110° E处出现强中心。在相应经度上出现由南半球指向北半球的散度梯度(即南半球辐散,北半球辐合)。 χ 场所指示的辐散风为西南风。

7月18日、19日南海地区 $\psi \cdot \chi$ 值增大。

7月18日开始 105° — 110° E处越赤道气流加强。

7月19—20日,南海地区 K_{\downarrow} 显著增大,南海季风随之增强。

六、讨论和结论

通过以上分析,我们提出如下看法,从 $\psi \cdot \chi$ 相互作用的角度来说,非均匀加热对南海夏季风活动的影响是通过下述过程来实现的:

1. 在某种物理过程(如凝结潜热释放)制约下形成了特定的非均匀加热场。
2. 非均匀加热增加了全位能并通过释放有效位能转换为动能以推动辐散气流, K_x 增加,形成特定的辐散场。

3. $\psi \cdot \chi$ 大于零时,辐散流场通过 $\psi \cdot \chi$ 相互作用向无辐散流场提供能量。

4. 无辐散运动动能增加,南海季风活跃.与上述相反的过程则导致南海季风中断.从风压场相互调整的角度来看,非均匀加热对季风活动的影响可解释为按下述过程实现的:

1. 非均匀加热破坏风压平衡。

2. 风压场不平衡激发强辐散运动。

3. 风压场向平衡方向进行调整, $\psi \cdot \chi$ 相互作用为正。

4. K_x 减小(非平衡分量减小), K_d 增加(平衡分量增加),风压场逐渐趋于平衡(这平衡允许存在较弱的辐散分量),季风活跃。

上面两种解释实际上是同一问题的两个方面。 K_x 的大小实际上是风压不平衡程度的一种定量描述, $\psi \cdot \chi$ 相互作用的大小又正是风压适应过程的一种定量描述。

通过以上讨论,我们得出以下初步结论。

1. 南海夏季风活动对非均匀加热的响应是敏感的.这种响应从能量变化上讲是通过 $\psi \cdot \chi$ 相互作用来实现的.实际上也是在外源(非均匀加热)强迫下风压场的重新调整。

2. 实际的加热梯度可以分解为纬向和经向两个分量,在南海季风活动的各阶段加热梯度表现为不同的特征.初夏主要表现为纬向型,盛夏则主要表现为经向型.初夏的纬向型加热梯度决定了南海季风系统与印度季风系统的相互作用,这种相互作用是在半球内进行的.盛夏的经向型加热梯度决定了南海季风系统与南半球环流之间的相互作用,这种相互作用是在两半球间进行的,越赤道气流是这种相互作用的连接机制.因此,对于南海夏季风活跃过程来说,越赤道气流在初夏不是主要的,而在盛夏则可能很重要。

本文是在导师朱乾根先生指导下完成的,在此深表感谢。

参 考 文 献

- (1) Krishnamurti, T.N., Sensitivity of the Monsoon Onset to Differential Heating, *J. Atmos. Sci.* 39, 1290—1306, 1982.
- (2) Murakami, T., Godbole, R. and Keikar, R.R., Numerical Simulation of the Monsoon along 80°E, Proc. Conf. Summer Monsoon, Southeast Asia Navy Weather Research Facility, Norfolk Virginia, U.S.A., 39—51, 1970.
- (3) Krishnamurti, T.N., Compendium of Meteorology, Vol. 4, Tropical Meteorology, WMO 1979.
- (4) 顾震潮等, 动力气象学论文集, 38—64, 科学出版社, 1961.
- (5) 朱乾根等, 天气学原理和方法, 气象出版社, 1981.

DIAGNOSTIC STUDY OF SUMMER MONSOON OVER THE SOUTH CHINA SEA

Xie Li'an

ABSTRACT

Behavior of the monsoon over the South China Sea during the early and late summer is investigated diagnostically. The result shows that there is a distinction in the characteristic features of the monsoon between these two periods of time owing to the different structure of the heating field between early and late summer. In the former period, the monsoon over the South China Sea is mainly associated with the Indian monsoon while in the latter case, the interaction with the Southern Hemispheric circulation becomes prominent.