综合评述

南海热带环流系统的若干研究

梁必骐

（中山大学气象系）

南海地区是东亚大气运动的热量和水汽的重要源地之一，热带大气环流系统非常活跃。尤其在夏半年，南海经常是热带东风与夏季风（西南季风和东南季风）交绥之处，不仅东风带环流系统活动频繁，季风环流系统及其与东风带环流的相互作用而形成的环流系统也相当活跃。这些环流系统对我国特别是华南的天气有十分重要的影响。

近年来大量的研究表明，南海地区各种尺度的热带环流系统都可能出现。例如，行星尺度的热带辐合带和热带东风急流，天气尺度的东风波、台风和热带云团，中间尺度的中层气旋和季风低压等都很活跃。仅出现在中低层的还有赤道缓冲带和赤道反气旋，以及低空急流。本文就南海夏季环流系统的结构以及几个主要热带环流系统的活动和结构特点进行讨论。

一、南海夏季环流系统的结构特征

由于青藏高原和亚洲大陆的影响，南海热带环流的结构颇为复杂。图1a给出了南海夏季环流系统结构配置示意图。由图可见，南海低层主要存在三支影响气流，一支是来自西太平洋的热带东风，与西太平洋副热带高压相联系，位于副高南缘；一支是来自印度季风槽的西南季风；还有一支源于南半球的澳大利亚高压，在105°E附近越过赤道，转向为西南气流。这支低空越赤道气流往往与来自印度的西南季风相结合，在南海形成一支季风急流。热带东风与西南季风汇合，构成一条横贯南海的热带辐合带（ITCZ）。

在南海和中南半岛上空存在两支东风急流，北支位于15°N附近的100毫巴上，即通常所称南亚高空东风急流，南支位于5°N附近的150毫巴上空。南支东风急流可以越过赤道进入南半球上空，这支高空越赤道气流常常与低空越赤道气流结合，构成南海的季风经圈环流，对南海和中南半岛西南季风的维持有着重要作用。

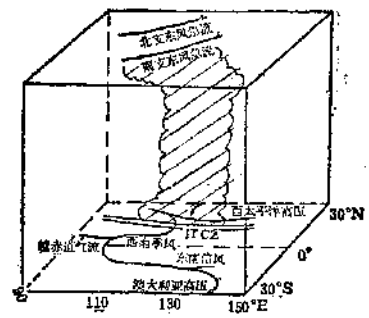


图 1a　南海热带环流系统结构示意图

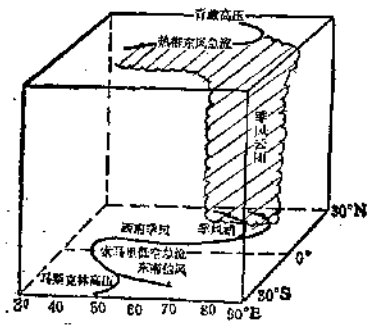


图 1b　印度夏季风环流系统配置示意图

上述环流系统的配置与印度夏季风环流系统的配置（图1b）颇为相似。印度夏季风环流系统主要有马斯克林冷高压、索马里低空急流、印度季风槽以及青藏高压和热带东风急流。两者不同的是，南海夏季风与西太平洋高压相联系，而且存在一支明显的高空越赤道气流。陈隆勋等认为，南海季风系统和印度夏季风系统可能是两个相互独立而又相互联系的夏季风系统，而且主要是南海季风系统影响印度季风系统。显然，这还需要

有更多的资料加以证实。

二、南海热带辐合带的结构和中期变动

热带辐合带（ITCZ）是南海地区夏季最常见的一个行星尺度环流系统。研究表明，南海和中南半岛ITCZ的形成过程主要有五种类型，其中由高空东风下传而与赤道西风构成的ITCZ是一种特殊类型。在南海ITCZ发生发展过程中，其上空风速垂直切变不断减小，中下层逐步增暖，这表明第二类条件不稳定可能是南海ITCZ形成和维持的重要机制。

在结构上，南海ITCZ不象南亚ITCZ那样具有明显的锋面性质和“鼻状结构”，也与大西洋ITCZ的热力结构有明显差异。图2给出了南海ITCZ的结构模式，该模式是概括国内一些研究结果得到的。它表明，南

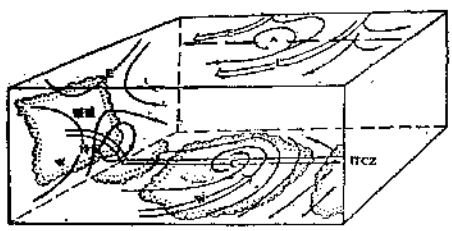


图2　南海ITCZ结构模式

海ITCZ一般随高度向南或西南倾斜，倾斜坡度比锋面坡度大得多。在温湿场上，它具有低层冷湿，中上层暖湿，对流层顶附近有冷中心相对应的结构特点。动力结构一般是不对称的，最强辐合和正涡度中心多位于ITCZ南侧，所以较强的上升运动和天气区也主要出现在地面ITCZ的南侧。ITCZ的上升支与赤道缓冲带的下沉支常在ITCZ南侧构成一个季风经圈环流，这对南海西南季风和ITCZ的维持有重要作用。在ITCZ的北侧，则存在一个哈得莱经圈环流。

南海ITCZ的活动存在周期振动。谱分析指出，在亚洲热带季风区存在三种明显的周期振动：5—7周、准两周和7—9天。5—7周振动集中表现在赤道西风和热带东风的强弱振动上，南海ITCZ随之出现活跃北移和减弱南退（或消失）的交替变动。西太平洋副高的纬向变动和南半球越赤道气流的强弱振动，则会导致ITCZ强度和位置的准两周振动。

三、东风波及其对华南天气的影响

国外有人认为，夏季在东南亚、南海和华南地区由于低层盛行西南季风，很难有东风波出现。国内一些气象工作者则认为，在西南季风之上的高空东风波可移入南海，影响华南地区。分析近年来夏季（7—9月）的天气图和卫星云图资料发现，东风波不仅可以进入华南沿海，而且可以在南海就地产生。平均每年夏季出现5—6个。影响华南的东风波主要有三类，即：高层东风波，中低层东风波和深厚东风波。其中出现最多的是中低层东风波（占总数的58%），而高层东风波只占25%。不同类型东风波的热力和动力结构以及天气模式有明显的差异。在东风风速随高度减小的情况下产生的东风波，与Riehl的经典东风波模式相似，即槽前辐散下沉，槽后辐合上升，天气区主要发生在槽后；东风风速随高度增大的东风波，结构模式与经典模式相反，天气区主要出现在槽前或槽线附近。图3给出了各类东风波与天气分布的几

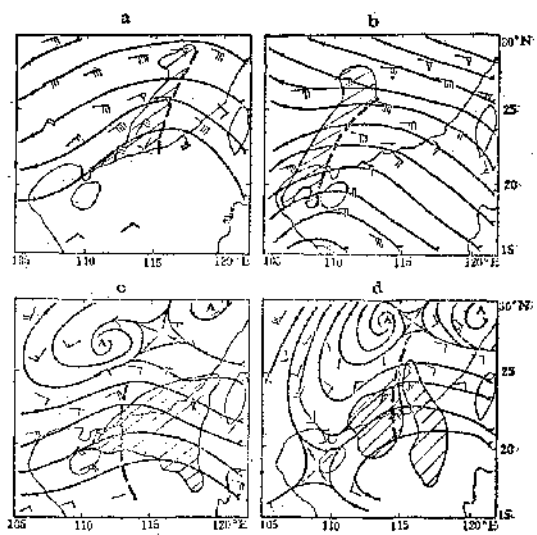


图3　各类东风波示意图
实线为流线，虚线为东风波槽，阴影区为卫星云图上的云区

个实例，图3 a、b分别为深厚东风波和高层东风波，图3 c、d是中低层东风波。

东风波一般都会给华南带来阵雨和雷暴天气，只有当与其它系统相互作用时，才能造成较大降水。主要有三种类型的相互作用：（1）与低层低涡迭加，在适当条件下可发展成台风；（2）与西南季风相互作用，造成明显的降水；（3）与低层低涡和切变线配合，造成可观的降水。据59次东风波过程统计，其中有32次带来了大一暴雨，占总数的54%。降水大都在东风波槽前及槽线附近，约占总数的2/3。在卫星云图上，东风波云系进入南海和华南后，稠密云区范围缩小，云型演变成逗点状、条状或涡旋状，很少见大洋上常出现的倒“V”型结构云系。

四、南海台风的活动和结构特征

南海地区是台风活动最频繁的海区之一，各月都有台风活动。影响南海的台风有两类，一类是来自西太平洋的台风，另一类是在南海海域生成的台风，即所谓南海台风。据1949—1982年的台风资料统计，在南海活动的台风约有52%来自西太平洋，48%形成于南海；强台风有70%来自西太平洋，30%生成于南海。每年平均有5个台风生成于南海，其中30%为强台风。6—11月是南海台风盛期。南海台风有半数在我国沿海登陆，其中80%登陆广东沿海，登陆时间集中在7—9月，9月份登陆次数最多。

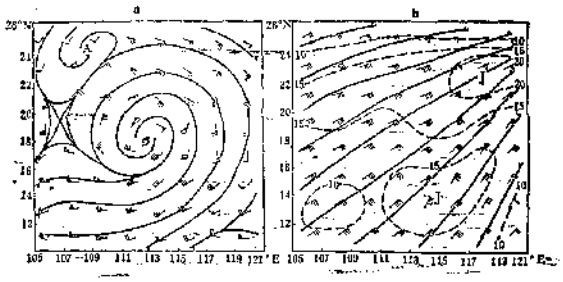


图4 南海台风的水平流场
a. 850毫巴 b. 200毫巴
矢线为流线，虚线为等风速线

与西太平洋台风相比，南海台风的尺度、强度都较小，生命史也较短，而且其发生的最低纬度大约比西太平洋台风偏北5个纬度左右。

对发生在南海中北部的15个强度相近的南海台风进行合成分析表明，南海台风环流的平均半径约600—700公里，气旋性环流伸展的高度可达250毫巴（见图4）。在夏季，南海北部经常存在一支热带东风急流，低层盛行西南季风，南海台风往往形成在这种特殊的环境流场中，使其热力和动力结构与西太平洋台风有许多不同的特点。由图5可见，在南海台风中心附近，850—200毫巴的

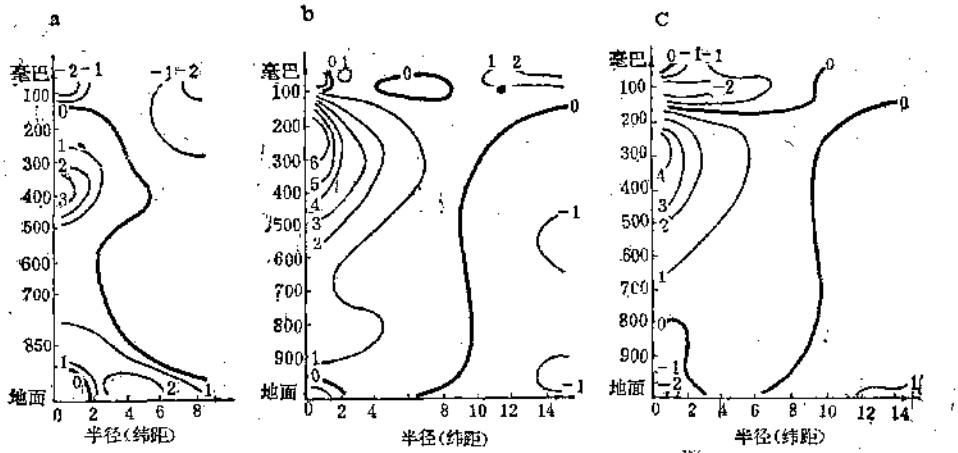


图5 合成台风的温度距平垂直剖面
a. 南海台风 b. 太平洋台风 c. 大西洋飓风

温度都是正距平，以400毫巴暖心最强，太平洋台风则以250毫巴增暖最强，而且数值较前者大一倍。在湿度场上，南海台风的中低层是极湿区，西北侧为相对干区。在动力结构上，南海台风一般是不对称的。在台风中心附近，辐合区和气旋性涡度区可达200毫巴左右，最大中心都位于850毫巴上；200毫巴以上为辐散区和反气旋性涡度区。中低层是一致的上升运动，最强上升运动中心位于400毫巴附近的台风中心西侧，在西北部和台风中心的高层存在下沉运动。此外，南海台风云系也不象西太平洋台风那样具有典型的台风云系结构，而一般是云区范围小、螺旋云带结构不够完整，眼区和辐散卷云不很明显。主要云区和强降水区都出现在台风中心附近及其东北侧。

五、南海季风低压的结构及其与印度季风低压和南海台风的比较

南海季风低压是南海地区西南季风时期较常见的一个季风扰动系统，它对华南天气有重要影响，而且是南海台风的重要初始扰动之一。据1974—1983年夏季资料统计，南海季风低压每年平均出现4个，8月份出现最多。约1/3的季风低压可能发展为台风，这一点与印度季风低压不同。

南海季风低压环流的水平半径约600公里，垂直范围可达400毫巴，以700毫巴最明显。中心轴线随高度近于垂直。中心附近，近地层是冷湿区，中低层是暖湿区，上层是暖干区。最强暖心位于400毫巴附近。低压区的中低层是正涡度、辐合上升区，最大中心出现在850—700毫巴。强降水区位于低压中心附近。

南海季风低压与印度季风低压性质是相同的，结构有许多相似之处，但也存在一些明显差异，尤其是热力结构，前者是准对称的，后者是不对称的；垂直运动也存在这种差别。

对比分析南海季风低压与南海台风的合成结构及其加热场和涡度收支的计算结果，可以看到，两者存在明显差异。台风发生于风速垂直切变零线附近，而低压则远离切变零线（图6a）。台风比季风低压辐合层深厚，两者在中低层涡度积累都较大，上层涡度亏损，但台风比低压表现更明显，量值大一倍以上。在垂直运动场上，低压中心附近上空不象台风那样存在下沉运动，而且上升运动较弱（如图6b）。局地涡度变化都主要取决

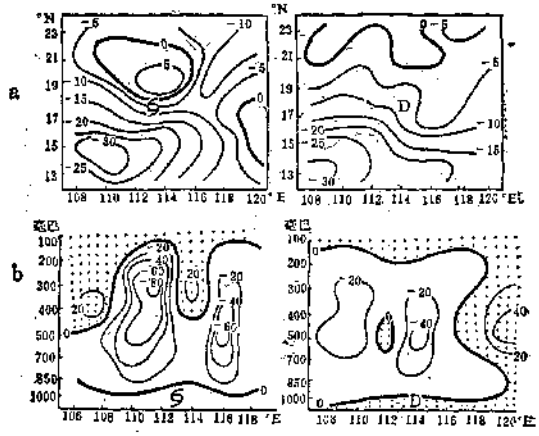


图6　南海台风（左）和季风低压（右）的环境场
a.风速垂直切变场（单位：米/秒）
b.垂直运动场（单位：10^{-4}毫巴/秒）

于散度项、水平平流项和垂直输送项，但就这些项的水平分布和加热场结构而言，台风比低压更不对称，而且量值比低压大得多。

六、南海中层气旋的结构及其形成机制

在南海及其附近地区，夏半年常有类似于副热带气旋的中层气旋活动，但它的活动特点和形成过程不完全与东北太平洋的副热带气旋相同，结构也有些差异。这类气旋可带来强烈降水、雷暴等天气，有的还可发展成台风和锋面气旋，是影响华南的暴雨系统之一。

据近22年资料统计，夏半年在南海地区平均每年出现3个中层气旋，主要生成于南海北部。它可以由ITCZ上的涡旋扰动、切变低涡、东风扰动、季风扰动等发展而成，也可以由台风迅速填塞时出现的气流补偿作用而诱发生成。南海中层气旋的结构同其他热带气旋（台风、季风低压等）比较相似，所不同的是它在中层表现最明显，最强气旋

性环流、最大辐合中心和正涡度中心都位于700—500毫巴，最强上升运动也出现在中层。在温度场上具有上暖下冷的结构(图7)。

南海中层气旋中心附近的中低层是冷心结构，对应有强的辐合上升运动，西北方的强下沉运动区正好是高温干燥区(图8)，可见大气的加热不完全依赖于潜热的释放，而且

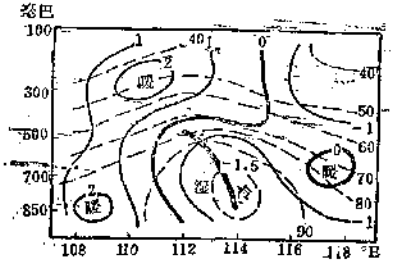


图 7　南海中层气旋的温、湿场
实线为温度距平，虚线为相对湿度

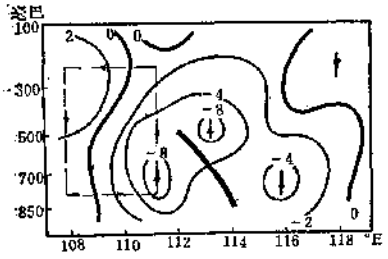


图 8　南海中层气旋的垂直运动场
(单位10^{-3}毫巴/秒)

它在近地面层的气旋性流环不明显，即边界层摩擦辐合不明显，其形成不完全符合第二类条件不稳定（CISK）机制。它也不象阿拉伯海气旋那样与低空急流的活动密切联系。但它生成时，南海上空有一支强东风气流，低层则盛行西南季风，所以风速水平切变不很大，但垂直切变较大。这表明，斜压不稳定机制比正压不稳定更重要。但南海中层气旋尺度较小，单纯用斜压不稳定机制来解释也不合适。考虑斜压和CISK联合不稳定机制，得到扰动发展的尺度和中层气旋的尺度是吻合的。进一步考察积云对流和基本气流的摩擦作用，也得出扰动的不稳定性。此外，我们计算了涡度和热量收支，结果表明，大尺度涡度倾向是中层气旋生成的必要条件，尤其是散度项的贡献最显著。积云对流的作用，不仅有利于加热中层大气，而且将低层正涡度向高层输送，促使中层气旋发展和维持。显然，南海中层气旋的形成机制是复杂的，但可以认为，它是中纬度斜压不稳定系统和热带扰动相互作用的产物。

此外，对南海赤道反气旋，华南低空急流和南海高压等环流系统也作了一些研究，得到若干有意义的结果。

（参考文献略）。