

华南地区一次暴雨过程的中分析

梁必骐 罗会帮

(地理系气象专业)

1977年5月31日至6月1日,华南地区出现一次较大范围的暴雨过程。它正好发生在华南前汛期暴雨实验期间,三个暴雨中心也正好出现在三个重点实验区(桂北、粤中、龙岩地区)。实验区取得了可供中尺度分析的加密观测资料。本文利用这些站网密度一般小于20公里的每小时的压、温、湿、风、雨量和雷暴资料,在1977年华南前汛期暴雨会战成果⁽¹⁾、⁽²⁾的基础上,对这次暴雨过程做了进一步的中分析,重点分析了广东实验区的暴雨过程。

一、暴雨和中尺度系统产生的大尺度背景

暴雨过程的发生一般总是与环流调整过程相关联的。这次暴雨过程是发生在亚洲中高纬地区阻塞形势崩溃,贝加尔湖低槽东移,蒙古横槽转豎的调整过程中,这种形势有利于冷空气频繁南下。与此同时,付热带高压位置偏南,且较稳定,有利于大量暖湿气流向华南上空输送。冷暖空气在华南地区不断交绥,为这次暴雨过程提供了有利的环流背景条件。

这次暴雨过程是一次锋前暖区降水过程。造成暴雨的主要天气系统有地面冷锋、低空切变线、高空槽和低空西南急流。如图1所示,5月31日08时,原在华南的静止锋消失,而在南昌、桂林一线出现另一冷锋,850毫巴切变线几乎与冷锋位置重合,500毫巴低槽位于广西西部上空,

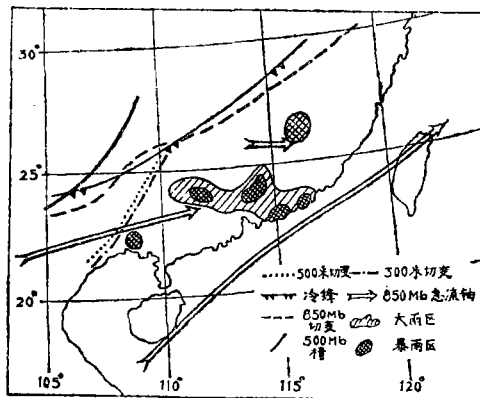


图1. 1977年5月31日08时系统配置图

槽前的低空是一气流辐合区,300米、500米和1000米上空的切变线都位于桂林——南宁附近,三者近于重合。这种高层辐散、低层辐合的形势,为实验区暴雨的产生

提供了有利的动力条件。另外,在华南沿海和广西、粤西一带各有一支低空西南急流,不断地向实验区输送大量的热量和水汽,为暴雨的维持提供了较好的热力条件。

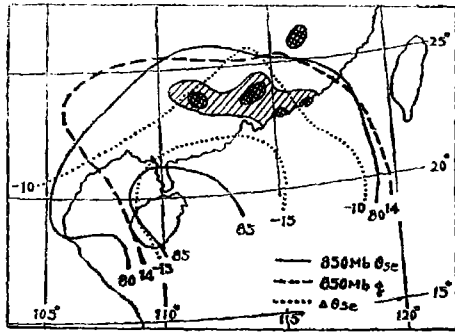


图2. 1977年5月31日08时物理量分布图

计算结果也表明,实验区内存在高层辐散,低层辐合,且有正的涡度平流。广东实验区正位于暖脊、湿舌重迭区(图2),850毫巴 $\theta_{se} > 80^\circ\text{C}$, $q > 14$ 克/千克,而且水汽辐合主要集中在低层,800毫巴以下的水汽纯输入量约占整个水汽输入量的70%左右。另外,这里正是处在位势不稳定($\Delta\theta_{s,850}^{800} < -5^\circ\text{C}$)区内,暴雨就发生在不稳定区中心的下风方。

实验区有利的地形作用也是这次暴雨过程产生的一个重要因素。广东实验区位于三面环山、向南开口的喇叭口地形区内,有利偏南风气流的汇合。纵贯全区的北江又是冷空气入侵的通道。实验区内广布丘陵山地,尤其是一些向南开口的马蹄形小地形,常造成气流辐合,或者是雨团汇集、停滞,因而导致暴雨和雷暴的发生发展。广西、福建实验区处于山区,也与广东实验区一样具有类似的有利暴雨产生的地形条件。

这次暴雨过程和频繁的中尺度系统就是在上述有利的环流背景、天气形势和大尺度物理条件下发生的,地形作用则为它们的加强提供了有利条件。

二、暴雨的中尺度特征

暴雨是一种中尺度现象。分析每小时雨量图可以看到,暴雨带中包含着若干个中尺度雨团。广东实验区在这次暴雨过程中先后有10多个雨团(雨强 ≥ 5 毫米的雨区)活动,每个雨团过程都对应有中尺度降水系统活动。分析这些中尺度雨团,具有如下一些特点:

1) 雨团的水平尺度:一般为30—40公里,但几个雨团组合,可形成长达100公里以上的雨团。这种较大的雨团常成带状分布,其走向与山脉走向基本一致,多呈东北—西南向,可见其分布与地形影响有关。

2) 雨团的生命史:一个中尺度雨团从产生到消亡一般经历5小时左右。雨团活动过程中如有新生的雨团与之合并,其维持时间可达10小时以上。

3) 雨团的强度变化:图3是广东实验区7个强降雨团(≥ 25 毫米)的雨强中心随时间变化图,由图可见,雨团活动具有三个相对集中的阶段,其雨强变化也似有三个高峰。由此可见这次暴雨过程是由三场降水而造成的。

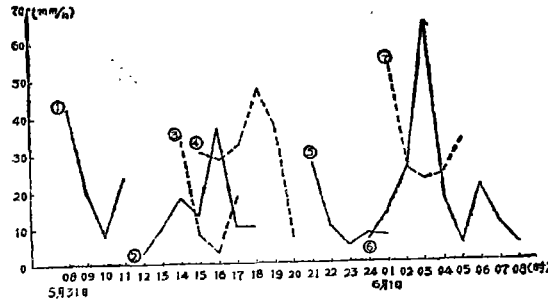


图3. 雨团中心随时间变化图

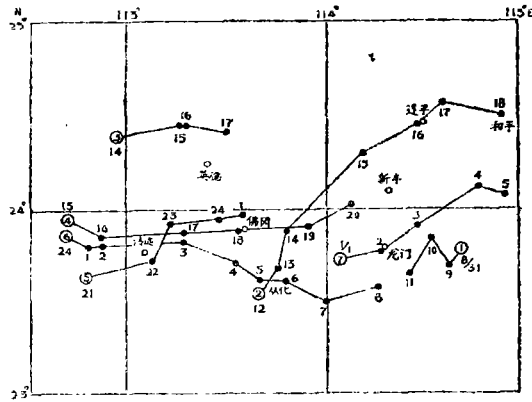


图4. 雨团路径图 (小圆的数字是雨团编号, 旁边数字是时间)

4) 雨团的移动: 雨团产生后多随500或700毫巴气流自西向偏东方向移动, (图4), 二者的偏角约±20°左右。平均移速为25公里/小时, 约相当于500毫巴平均风的速度50%。还有些是属停滞性雨团, 常呈准静止或路径打转。另外, 一些临近冷锋的雨团, 往往随冷锋自西北向东南方向移动。

计算每小时散度场 (网格距为1/3纬距) 可以看到, 有雨团存在时, 其散度量级为 10^{-4} 秒 $^{-1}$, 而计算范围内同一时刻的平均散度量级为 10^{-5} 秒 $^{-1}$, 这反映出散度场的中尺度扰动。例如, 31日17时雨团区的散度为 -1.07×10^{-4} 秒 $^{-1}$, 其周围的散度为 0.78×10^{-4} 秒 $^{-1}$, 而整个计算范围的平均散度为 -0.95×10^{-5} 秒 $^{-1}$ 。同一时刻计算的水汽通量散度($\nabla \cdot \vec{q} \vec{v}$)也有同样的反映, 中尺度扰动的最大 $\nabla \cdot \vec{q} \vec{v}$ 为 -2.1×10^{-3} 克/千克·秒, 其周围的最大 $\nabla \cdot \vec{q} \vec{v}$ 为 1.6×10^{-3} 克/千克·秒, 而计算范围内的平均值为 -2.1×10^{-4} 克/千克·秒。这些都反映出在大尺度辐合场中存在中尺度扰动, 使得产生强烈的辐合, 由此必伴有强烈的上升运动。这种中尺度散度场扰动一般是随雨团移动的。未来一小时雨团中心基本上在散度场极小值附近, 而与雨团相应的中尺度辐合区随雨团移动而向下游传播。

在这次暴雨过程中,据气象雷达探测到的几条降水回波带⁽⁸⁾,多呈带状结构,水平尺度100—200公里,生命期多不超过10小时。这也反映出这次暴雨的中尺度特征。

分析发现,暴雨和中尺度系统的产生,固需有利的大尺度背景条件,还须具备一定的中尺度条件,其中主要有二条:①中尺度温湿场上为高温高湿区或温湿梯度最大区,常表现为有中尺度温度脊和湿舌相伴出现,或者是存在能量锋区;②流场上存在中尺触发机制,如中尺度辐合区(气流辐合或风速辐合)。例如,31日15时在佛冈以东地区为一致的偏南风辐合区,而且有明显的暖湿舌相配合(图5),因而16时在这里新生一条中尺度切变线,这与中尺度散度场的计算结果是一致的。由此可以初步概括出雨团落点模式如图6所示。

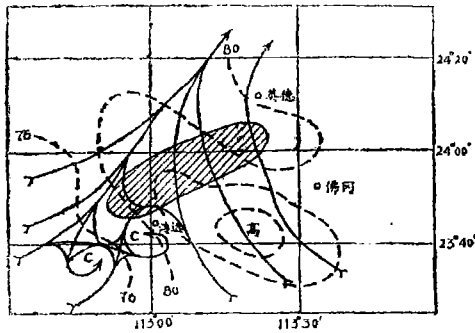


图5(a) 1977年5月31日15时地流场图
--- 等能(T_e)线 雨团

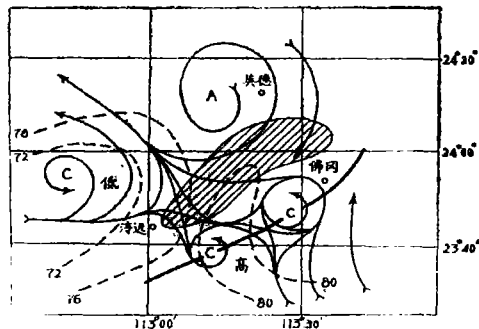


图5(b) 1977年5月31日16时流场图
--- 等能线 — 切变线

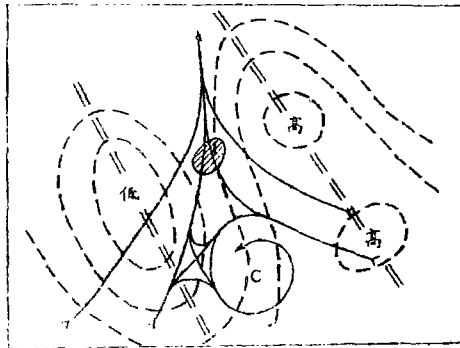


图5(c) 雨团落点模式之一

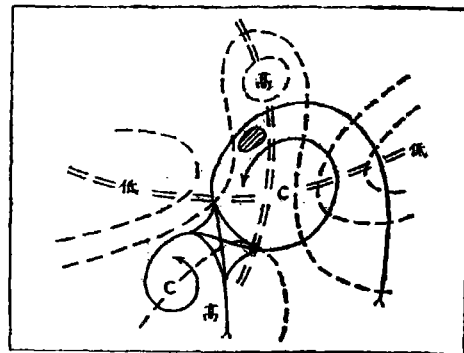


图6(b) 雨团落点模式之二

--- T_e 等值线 === 高能轴
— 流场 ● 后一小时雨团中心

三、中尺度系统的活动及其与暴雨的关系

大尺度天气背景条件和有利的地形作用,为暴雨区中尺度系统的发生发展提供

了有利的条件。

就广东实验区而言,从5月31日至6月1日先后出现30多个中系统,80%左右的中系统过程与雨团和雷暴活动密切关联,实际上,这些中系统也就是这次暴雨过程的直接影响系统。

根据广东实验区每小时流场和气压场的分析,可以把这些中尺度系统大致分为三大类:

第一类是中尺度气旋类,其中包括中尺度低压,中尺度涡旋和辐合点。这类中尺度系统的特点是气流明显向中心辐合,水平尺度较小,约15—25公里,生命史较短,一般只维持2—3小时,移动路径不规则,移速较慢,其中不少是属停滞性系统。

中尺度气旋大多产生于中尺度切变线上,特别易于产生在两条切变线的交汇点附近。它是造成暴雨的重要系统,几乎所有的这类系统都直接与雨团有联系,特别是一些强降雨团大多是这类系统和切变线共同作用的结果。

第二类是中尺度反气旋类,其中有雷暴高压,中尺度高压(脊)和辐散点。其主要特点是气流是辐散的,水平范围较大,一般尺度为40—50公里,生命史较长,有的可维持10小时以上,路径多偏东,平均移速20公里/小时。

这类系统除雷暴高压外,一般都很少产生降水,特别是暖性中高压,即使有切变线配合也一般无明显降水。雷暴高压在流场上有明显的反气旋辐散,在气压场上也常有小高压与之对应。在热力结构上,它一般与干冷中心或干冷舌相配合。雷暴高压实质上是降水的产物,它常常是随着降水的加强而相伴出现,随着降水的减弱,也往往随之减弱消失。

第三类是中尺度辐合线类,包括中尺度切变线,风速辐合区,辐合渐近线(偏南风辐合区)等。中尺度切变线水平尺度约80—100公里,生命史较长;风速辐合区和偏南风辐合区水平尺度较小,一般约数十公里,生命史也较短,仅维持2—3小时左右。

这类系统都与雨团和雷暴活动关系密切,尤其是中尺度切变线是这次暴雨过程的重要角色。中尺度切变线一般产生于温度、湿度较大和中尺度辐合的地区,它大多在实验区产生,有的来源于上游的广西东部和广宁、怀集地区。切变线常与中高压相伴出现,有时一条切变线后可同时出现2—3个中高压。当两个中高压相向移动时,往往促使两条切变线相交,形成所谓“锢囚切变”,如图7所示。中尺度切变线降水分布不均匀,主要降水出现于雷暴高压前缘的切变线附近,以及切变线明显辐合的地区,特别是两条切变线相交的“锢囚点”附近常有中低压发展,雨团明显加强。

这次暴雨过程就是这些中尺度系统相互作用的结果。分析广东实验区每小时地面流线图可以看到,几乎每个时次都有一条或者两条、以至三条中尺度切变线活动,有时可横贯全区,切变线附近常有一系列雷暴高压、中低压和中气旋的活动,尤其是清远、佛冈一带的地形非常有利中系统的发生发展,所以这里中系统特别活跃,

因而这里是这次过程的主要暴雨中心。下面以31日14时至21时雨团过程来讨论几种中系统与暴雨的关系。

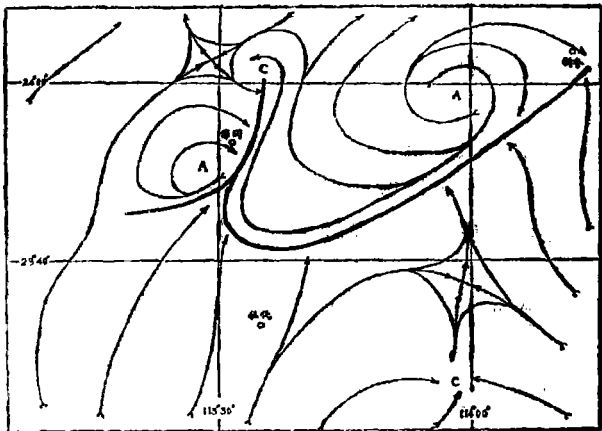


图7 1977年5月31日13时地面流场图

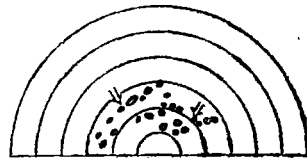


图8 佛山12:30雷暴回波
(每图50Km)

31日12时50分,佛山雷达站观测到阳山、怀集一线出现一条东北—西南向的结构松散回波带(图8),14时在广宁、梧州一线对应有一条中尺度切变线,并有中低压发展,相伴有一条雨带,14时43分雷达回波带已趋于减弱,只在广宁附近残留一块回波,但15时与之对应的雨团东移入清远后又再度增强,中心为30.5毫米/小时,这显然与这里偏南风辐合区的加强有关。由于珠江三角洲一致偏南风气流的北上,给实验区带来大量热量和水汽,加之清远附近一带向南开口的喇叭口地形使南风气流在这里汇合,这就为中尺度切变线的生成提供了有利的中尺度条件,因而造成这一带产生频繁的雷暴和雨团的增强。18时36分,佛山雷达观测到佛山东北面存在一条长达200公里的东西向回波带(图9),这是一条准静止回波带,它从13—21时一直在佛冈、清远一带活动。在地面流场图上,则相应地有一条中尺度切变线在这一带摆动(图10),切变线后面经常有雷暴高压活动,因而使雷暴活动频繁,雨强

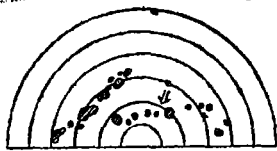


图9 佛山18:36雷暴回波
(每图50Km)

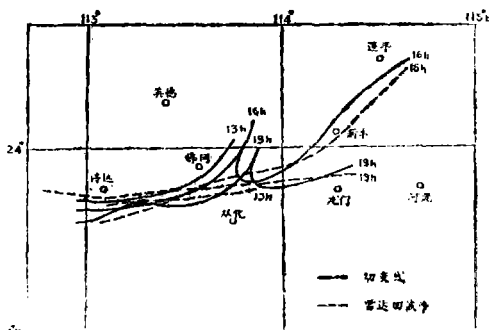


图10 1977年5月31日中尺度切变线和雷达回波带示意图

中心从15—19时基本上都维持在30毫米/小时以上,尤其是当这条切变线与实验区东面的连平、新丰一线的切变线相交,在佛冈附近形成“锢囚切变”,并在“锢囚点”出现中低压和辐合点时,雨团更增强至47.1毫米/小时(18时)。随着切变线南移消失,以及雷暴高压和中低压的减弱消失,雨团也随之减弱消亡。

四、讨论

1.暴雨的中尺度分析,主要是雨团和压温湿、风场分析。雨量分析是了解雨情和暴雨中尺度特征的重要手段,一般要分析每小时雨量、以至10分钟雨量。每小时气压场分析,可以较客观准确地确定中系统的位置,但在低纬地区由于气压分布比较均匀,有些中系统在气压场上有时反映不出来,然而在流场上却可分析出来,所以每小时流场的分析应是暴雨中分析的重要工具。不过,由于流场分析带有较大的主观性,分析结果可以因人而异,所以应该结合气压场和雨量图一起分析。在暴雨中分析中,最好能配合雷达回波资料分析。

2.中系统的产生有一定的源地,它的发生发展需要有利的大尺度背景条件,还需一定的中尺度条件。因此,细致的中尺度分析是解决暴雨落点短时预报的重要途径之一。从分析暴雨产生的物理条件入手,作出暴雨落区预报后,再根据大尺度天气背景和中尺度条件仔细分析中尺度系统的活动和可能出现的地点,便可大致确定暴雨的落点。

3.暴雨中系统的移动有一定的规律性,这次暴雨过程中的中系统,一般都是向偏东方向移动,这可能与500毫巴高空西南气流的引导和呈东北—西南走向的地形影响有关。另外,还有些中系统(例如中尺度切变线)存在一种跳跃式地移动,即原有切变线消失,其前部切变线新生的传播移动过程。

4.暴雨与地形的关系密切,不仅有利的大地形作用是暴雨产生的重要条件,而且小地形(例如马蹄形地形等)的影响也相当重要,所以它也是暴雨中分析必须注意的一个问题。

以上分析只是对一次暴雨过程的中分析,分析结果和所得结论,不一定具有普遍意义。