

一九七七年华南前汛期
暴雨实验研究报告选编

热带天气科研协作领导小组办公室
广东省热带海洋气象研究所

印

1978

目 录

前 言	1
“77.5”特大暴雨的大尺度分析	4
“七七·五”华南暴雨降水量计算的初步分析	20
华南暴雨天气过程的地面中尺度分析	26
一次锋前暖区暴雨过程的中分析	32
一九七七年五月卅一日粤中暴雨过程分析	42
“77.5”特大暴雨的中小分析	49
1977年5月27日—6月1日广东海陆丰特大暴雨分析	52
1977年5月29日广东地区降水的中小系统和雷达回波分析	61
1977年5月31日粤中地区暴雨过程雷达回波系统的分析	68
粤中、闽西地区一次暴雨过程中雷暴活动的中分析	80
华南前汛期暴雨落区预报的初步探讨	89
暴雨落区动力学初步探讨	99
一次华南前汛期暴雨过程的综合分析	105
龙岩地区暴雨成因的个例分析	117
一次桂东北特大暴雨过程分析	127
一次暴雨衰减过程的初步分析	132
广东地区一次华南静止锋前暴雨的分析	141

前 言

根据中央气象局委托,热带天气科研协作领导小组组织了“华南前汛期暴雨成因及预报实验研究”。在三个重点实验区(桂北、粤中、闽西)建立较稠密的测站网,并在1977年5月10日—6月30日进行了预演实验。对若干次暴雨过程取得了时间空间都比较稠密的观测资料。并于9—11月先后进行了分省的和集中的科研会战,取得了初步的成果。

1977年的华南前汛期,共有10—15次暴雨过程,按其雨情可以分为三类,一是一般性常见的暴雨,雨量50—300mm。二是历史上罕见的特大暴雨,共二次。三是局部地点的特大暴雨,也有二次。

一、“77.5”粤东特大暴雨分析

1977年5月27日—6月1日,粤东汕头地区南部沿海出现历史上罕见的特大暴雨,过程总雨量普遍在500mm以上,最大中心陆丰县的炎龙公社白石门水库达1461mm,最大日雨量884mm,最大6小时雨量634mm,最大45分钟雨量174mm。雨量强度创广东省暴雨的新记录,在全国亦属历史上罕见。

“77.5”粤东特大暴雨过程的大尺度分析表明它具有以下特征:

1.特大暴雨是在西风带环流异常形势下产生的。中高纬度为二脊一槽长波型,波长极短(约3000—4000公里)、振幅极大(90—100°E处从75°N直到40°N为一片强偏北气流控制,经向度极大)、极其稳定(维持6—8天之久)。在地面图上,华西有一热低压异常发展(中心气压低达992.5mb),使华南各站48小时降压8—10mb,南海海域气压梯度非常大,以致全海域都吹6级以上西南大风。这样的高空地面形势是过去10年间所未见的。

2.特大暴雨与热带气流密切相关。由于印尼地区有一赤道反气旋增强北上,它外围的西南强风带(与外围云带相对应)也北上,对于南海中北部低空西南风速加大到8—10m/S以上,起了最初的推动作用。同时印度北部有一典型季风低压建立和发展,使得西南季风大规模爆发。加上华西热低压的异常发展。就使得华南沿海出现一支稳定持久(5.29—6.1)和强烈($\geq 18-20\text{m/S}$)的低空西南急流,输送了大量水汽、动量和热量,为特大暴雨的形成提供了最有利的条件。

在6月24—29日广西特大暴雨期间,也发现中南半岛北部一连串东西向排列的纺锤状的季风云团,往东北方向涌进,与来自贵州的低涡云系在广西北部合并扩大增强。这次中低纬度系统相互作用的结果,在桂北造成一次罕见的特大暴雨。鹿寨站7小时内降雨355mm。

3.低空中间一中尺度辐合扰动可能是特大暴雨的触发机制。由于沿海低空强西南风急流输送大量的热量、水汽和不稳定能量,在粤东地区及其附近海面出现一个中间尺度的地面—850mb的等 θ_{se} 线密集区—能量锋区。在汕头测风时间剖面图上,这一时期发现有4条SE—SW气流之间的中间—一中尺度切变(辐合线)过境。这在5月27—28日表现为从福建浙江出海冷高脊后部的东南回流与来自南海的西南气流之间的中间尺度辐合带,在5月29—31日则

表现为低空强西南急流中的中尺度辐合带。另外，在汕头地区一天三次小天气图上，5月27日—6月1日期间，曾出现25次中尺度气旋性涡旋活动，其位置都落在 $\geq 500\text{mm}$ 的特大暴雨区中。因此，在有利的大尺度环流背景中，在这些中间一中尺度辐合扰动触发之下，高温高湿空气中巨大的位势不稳定能量得以爆发性地释放出来，而造成“77.5”特大暴雨。

二、一般性暴雨过程分析

对6次一般性暴雨过程的大中尺度分析表明：

1. 这几次暴雨过程都发生在中高纬二脊一槽型，副高脊线位于 $15^{\circ}\text{--}20^{\circ}\text{N}$ ，冷暖空气在华南交汇的有利形势下，西风带低值系统和低空西南急流则是主要的影响系统。低空西南急流本身一面北上，一面不断上升，明显增暖增湿，使大气趋于强烈不稳定状态，加上低层辐合高层辐散整层上升运动的动力作用，这些都是暴雨过程的共同特征。

2. 大中尺度暴雨天气系统有不同的表现，也有一定的联系。如在午后西南风加强情况下，华南沿海切变线可断裂成三条东北—西南走向的中尺度切变线，分别与大切变线后部辐散带内各个辐散中心之间的相对辐合区相对应。散度场计算则表明，在中尺度的计算范围（ $23^{\circ}\text{--}25^{\circ}\text{N}$ 、 $112^{\circ}\text{--}116^{\circ}\text{E}$ ）内，当有雨团存在时，雨团附近的散度量级为 10^{-4}sec^{-1} ，整个计算范围平均值为 10^{-5}sec^{-1} ，二者相差一个量级（计算网格距为 $1/3$ 经纬距）。

3. 造成华南暴雨的中尺度系统大致有：

包线和中尺度高压。（包是指风字旁的包，以下同）

中尺度切变线和辐合线，当同时伴有风速辐合时，更易产生暴雨。

暖式切变或南风切变线。在大尺度形势有利时，由于海陆风效应，白天南风增强北推，在珠江三角洲平原北部与粤北山地之间的地形过渡带，常易产生东西走向的中尺度南风切变线，这里正是雨团最易发生发展的地区，也是气候上多暴雨带地区。另外，雷州半岛也会发展南北向的海风辐合带。

中尺度低压。尤其当中尺度切变线上有准静止的中尺度涡旋存在时，雨团也常停滞少动而造成大的暴雨。

露点锋，这是华南常见的暴雨触发机制。当南——西南气流活跃时，某些地区可出现一个向北——东北伸展的暖湿舌，二侧为相对的干冷舌，西侧就有一个露点梯度最大区，即露点锋或干锋。在露点锋附近常常有中尺度切变线相配合，因而在这里或暖湿舌的顶端最易产生雨团。

雨成锋区。曾经发现，一个地区由于有强烈降水而不能升温，周围地区则因日变而正常升温，结果原先雨区形成相对的低温中心，其前部有较大的温度梯度，即雨成锋区。这里也易产生新的雨团活动带。

4. 地形不仅对雨团和中尺度系统的发生发展有影响，尤其对雨团的移动影响更大。雨团不能直接翻越 1000m 以上高山，将绕过高山而折向，或穿过几座高山之间的低地峡谷，过山后雨团很快减弱消失。

三、局部地点的特大暴雨分析

1977年5—6月曾出现二次局部地点的特大暴雨。它的尺度特别小，只有 $20\text{--}30$ 公里以

下,雨量在200—300mm以上。如广西兴安的华江公社12小时降雨372.3mm(3小时降雨268.2mm),相距仅20公里的兴安站雨量0.9mm。这种特大暴雨在天气图上毫无反映。但这二次过程都发生在先有静止锋北抬,后有冷锋南下逼近的锋前暖区中,低空西南急流活跃。在雷达回波上则有明显反映,一个小而强的回波移到1000m以上的高山的迎风坡上,停滞增强。这时回波的铅直增长率大大超过水平增长率,回波顶高达16—20Km,衰减20db后仍达12km以上。特大暴雨就在这里产生。

四、暴雨的落区预报探讨

对1977年前汛期暴雨过程,探索有关物理量与暴雨发生地区的统计关系,得出以下几点:

暴雨常出现在850mb西南急流轴的左前方;850mb上 $\theta_{se} \geq 80^\circ\text{C}$, $q \geq 14\text{g/Kg}$;地面或850mb的低层辐合区;位势不稳定区。据此拟出七条指标作24小时暴雨落区预报试验,拟合率较好。

同时据一些个例分析发现,在低纬,平均 θ_{se} 场与铅直切变风场之间存在着类似于中高纬的平均温度场与热成风的关系。并据此初步进行了理论探讨。

在1977年予演实验取得资料的基础上,除了分省区的和集中的会战外,各协作单位亦分别或双边和多边的进行了一些研究工作,而且有些研究工作还一直在深入进行,已经提出了二十多篇研究报告。热带天气科研协作领导小组办公室为了及时整理交流有关研究成果,委托编辑小组将收到的研究报告,进行选编,收入十七篇,编成这个集子。由于篇幅的限制,一般都压缩了文字和附图,同时大体上照顾整个集子的整体,作了一些必要的删改。因为时间匆促,未能广泛征求意见,错漏不妥之处,在所难免,敬希各方原宥。

编辑工作由李真光、包澄渊、丁一汇、梁必骐、林仙祥负责。

《一九七七年华南前汛期暴雨实验研究报告选编》编辑小组

一九七八年四月

“77.5”特大暴雨的大尺度分析

华南前汛期暴雨会战组*

1976年底至1977年5月上旬的冬春二季,华南地区连续干旱。1977年5月中旬起,广西、广东、福建三省区先后进入雨季,开始出现明显的降水过程,并陆续出现大到暴雨。尤其是5月27日至6月1日三省区大范围暴雨过程,中心最大雨量都在200mm以上。而粤东的海陆丰地区更出现了历史上罕见的特大暴雨。现从大尺度天气过程的角度,综合加以分析。

一、雨 情

“77.5”特大暴雨包括相互联系但又有所区分的二个暴雨过程。一是桂北、粤中至粤北直至福建的大范围暴雨过程,一是粤东海陆丰地区较小范围的特大暴雨过程。

华南三省区大范围暴雨过程总雨量100mm以上的雨区横贯广西、广东、福建三省区并且最大雨量正好落在“华南暴雨实验”的三个重点实验区:桂北、粤中、闽西(图1)。其中过程雨量超过200mm的就有十点之多,大片地区在100mm以上。

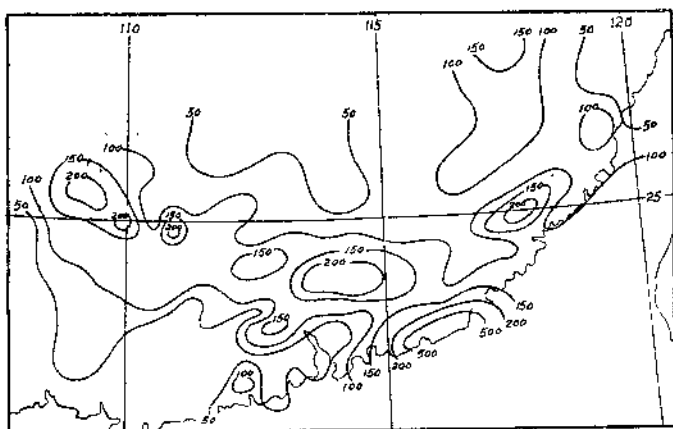


图1 1977年5月27日~6月2日08时过程总雨量

广西暴雨开始于28日晚至29日凌晨,最大日雨量139mm。30日间歇一天后,31日至6月1日再降暴雨。福建暴雨于29日白天开始,比广西晚半天左右,最大日雨量124.2mm,中间也歇一天,31日至6月1日又出现暴雨。粤中至粤北则为持续3天暴雨,最大日雨量

* 本文参加工作单位:福建省气象局,广西柳州地区气象台,云南省气象台,广东省气象台,广东省热带海洋气象研究所,广州市气象台,中国科学院大气物理研究所,南京大学,中山大学,北京大学,水电部水调所。由包澄澜、方宗义执笔。

202mm。

粤东海陆丰特大暴雨于5月27日至6月1日出现在汕头地区的中部和南部沿海，西起海丰、陆丰，经惠来、普宁南部，东至潮阳、汕头市。过程总雨量都在300mm以上，大于500mm的范围东西长达130km，南北宽约30—40km。陆丰县的潭西、东海、炎龙、金厢、河西、博美等六个公社总雨量都在1000mm以上。陆丰县站达1169mm，最大雨量集中出现在30日18时至31日14时，16小时降水646mm，距县城以东约3km的炎龙公社白石门水库，过程总雨量达1461mm，最大24小时雨量（30日14时至31日14时）884mm，31日08—14时达634mm，均创广东省暴雨强度的最新记录，在国内历史上亦属罕见，仅次于台湾省新寮“67.10”，河北省“63.8”，河南省“75.8”等特大暴雨。

二、环流背景

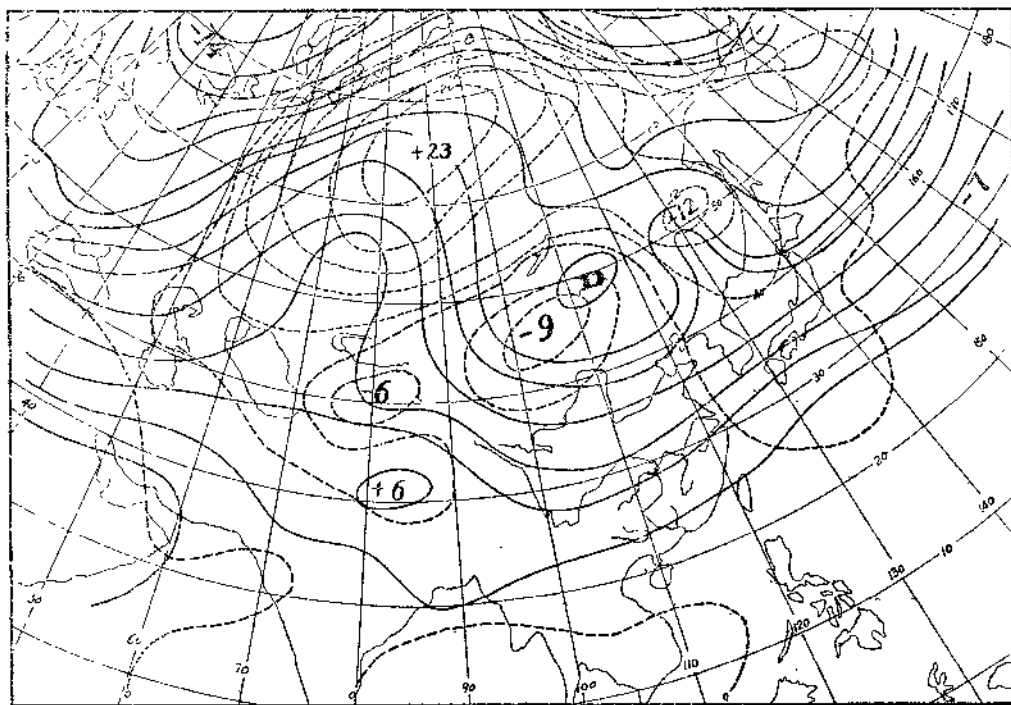


图2 1977年5月26—31日平均500mb和距平差

图2是1977年5月26—31日的候平均图，图上虚线是候平均距平，从图上不难看出，在东经70—80度处是一个东北至西南向的脊线，与其相对应的是24位势什米的正距平区，在贝加尔湖附近的东经100—110度是一很深的长波槽，槽南对应为90位势什米的负距平区。在它的下游，东经130—140度维持另一长波脊，也对应着一片正高度距平区。副热带高压西环的平均脊线约在北纬15度以南。东经90度的孟加拉湾上空是一明显的南支槽，高空锋区大约在北纬35度。在这样波长短、振幅大的高空形势下，随着贝加尔湖地区长波槽一次又一次替换带来一次次冷空气活动。南支槽与副热带高压的稳定维持则把大量暖湿空气从南海输送到华南地区上空，与北方频繁南下的冷空气相交绥，为持续性暴雨提供了有利的背景条件。

环流形势中另一个突出的特点是印度季风低压的建立。以850mb为例，在5月26日以前，印度北部为一弱气旋式环流，26日20时至27日08时甚至出现反气旋式环流。28日以后，形势逐渐改变，印度北部低压逐渐加深，30日成为140位势什米的强季风低压（图3）。马德拉斯减去新德里的高度差，23—27日为0—2位势什米，28日为+3，29日达+4，30日竟达+6位势什米。随着季风低压的加深发展，27—28日起，孟加拉湾至中印半岛北部有大片强弱不等的活跃的季风云团活动（云图略）。而850mb风速也从4~6m/s以下逐日增强。5月30日整个南亚、东南亚为强烈的西南季风所控制。印度半岛上的W-WNW风速8—12m/s，中印半岛北部为10—14m/s的W-WSW气流。到下游的南海北部和华南地区更增强为12—16m/s以上的WSW-SW气流。从而完成了一次明显的西南季风潮的爆发。这种季风潮形势不仅使印度、孟加拉湾和中印半岛出现活跃的季风云团和强烈的季风雨，而且也影响下游华南地区的天气变化。

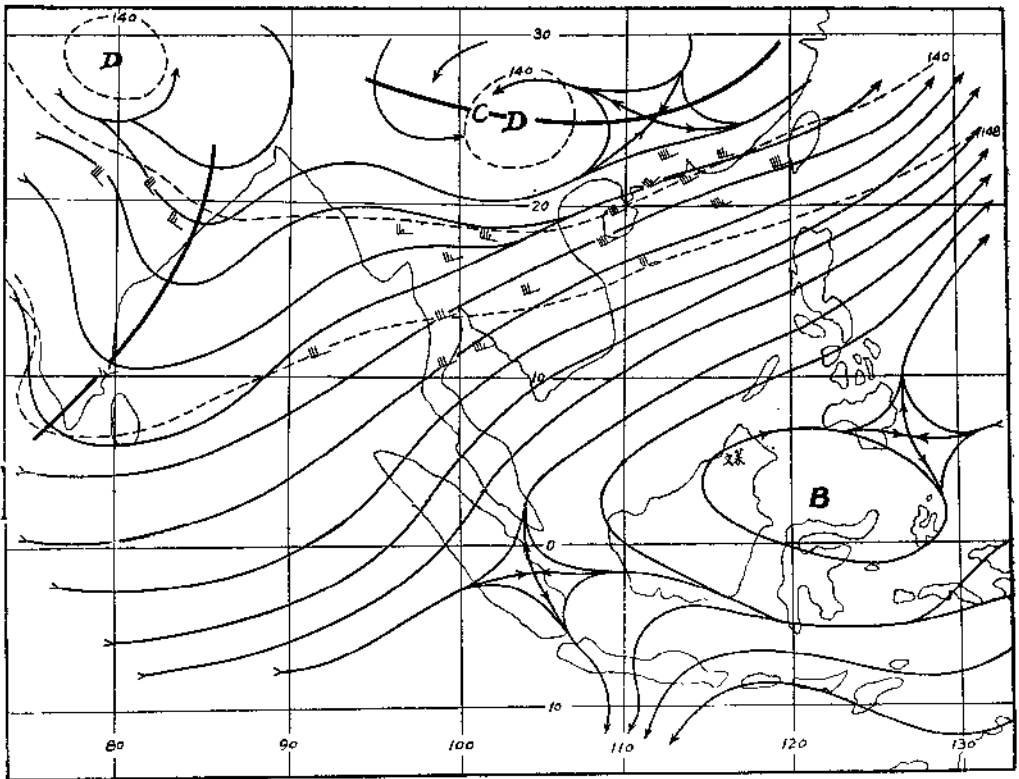


图3. 5月30日08时850mb图 —— 等高线 ——> 流 线

因此，历史上罕见的粤东特大暴雨及其相联系的三省区大范围暴雨过程，它们产生时的环流背景的主要特征是：中高纬度出现少见的波长很短，振幅很大的二脊一槽形势，持久不断引导冷空气南下。热带高层环流已进入交季形势，而南退至北纬10度左右的付高脊又为华南提供了源源不断的暖湿气流。印度季风低压的发展加强，引起一次强烈的西南季风爆发，大大加深了低空西南气流的作用。正是在这样极其有利的环流背景之下，粤东出现历史上最大的特大暴雨，广西、广东、福建三省区也同时出现大范围的暴雨过程。

三、影响天气系统

1. 锋系和高空槽

在这次三省区大范围暴雨过程中，与高空西风槽相对应的冷空气南下的锋系活动，是一种主要的影响系统。由于中高纬度环流形势的稳定持久，从贝湖至蒙古的长波槽中，不断有分裂的高空西风槽南下东移，相应地槽后脊前的强偏北风不断引导冷空气频繁南下。在5月27日至6月1日的六天中，共有三次冷锋和高空西风槽活动（图4）。

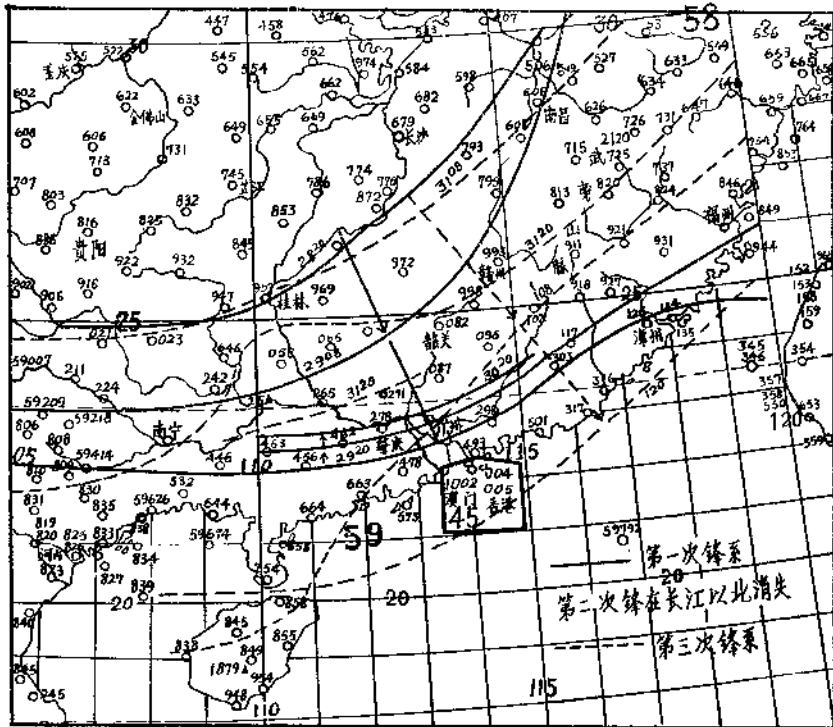


图4 锋系动态图

第一次冷锋活动，27日02时由蒙古、宁夏至青海一线西路南下；29日02时西段先到达广西，使桂北实验区首先开始第一次暴雨过程。29日20时冷锋已越过南岭在广西，粤中至闽南静止下来，这时锋系进入西南热低压指向福建的地面倒槽之中，虽已有些减弱锋消，但从铅直剖面图上却可以看到，在广州与连平之间，850mb以下的近地面层，仍有较弱但明显的锋面结构，结合地面图上要素及天气分布，确认从桂南至粤中至闽南有一弱的静止锋在30日维持不消。与第一次冷空气活动的同时，第一次500mb 西风槽有规律地自西向东移动，与地面冷锋及卫星云图上的云系都有良好的配合（图略）。

第二次冷锋南下到达长江流域后，因为进入南岭以北，东经105度以东的大半个中国都位于入海高压后部和华西低压前部，大片偏南气流的大范围的负 ΔP_{24} 区中，29—30日迅速减弱锋消，对华南没有影响。对应的第二个高空西风槽东移至东经110—115度之间，因第三

个高空槽东移和加深而被替换,结果就消失于第三个槽前一致的西南气流之中。

第三次冷空气以较强的冷锋形式,从青藏高原东侧快速南下,31日08时到达南岭以北后,虽然移速减慢,但仍继续南下,1日直达南海北部。这次冷锋同样有高空槽配合。冷锋南下时,锋前及锋际造成三省区第二次暴雨过程。冷锋过后,天气很快转好。

暴雨期间共有二次切变线活动。

图5是850mb切变线动态图。可以看出第一次切变线29日08时到达南岭后,东段仍缓慢南下,西段呈准静止状态,直到30日20时为止,都与第一条冷锋、静止锋相对应。在这期间,850mb切变线上常有一连串气旋性环流中心(小涡)活动,如图5所示的29日20时的情况。它们与云图上的涡漩状云团很相一致,冷锋云系从北纬35度,东经120度往西南伸向北纬25度,东经110度,涡漩状云团就在锋面云系的尾端,而在锋面云系南面(二者明显分离)还有一个大的云团,这正是造成汕头特大暴雨的云团(图略)。

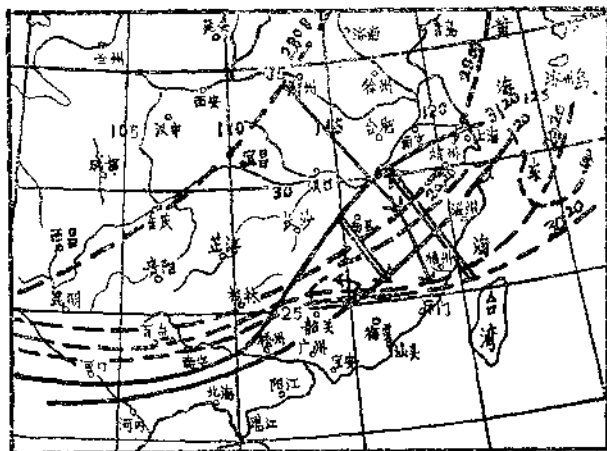


图5 850mb切变线动态图

第二次切变线照理说应与第三次冷锋对应,从西北移向华南。但在850mb图上却表现为第一条切变线东段自30日20时起逐次北抬,变成暖式切变。31日20时至6月1日20时第二条切变线才与第三条冷锋相对应而较快的南下到华南沿海。事实上,这是由于第一条切变线已位于华西低压槽内,由于第三次冷空气的850mb冷高从四川盆地南下,其前方切变线东段在24小时内反而北推了约5纬距,同时低空西南强风从粤东闽南一直往北扩展到整个闽浙赣地区。

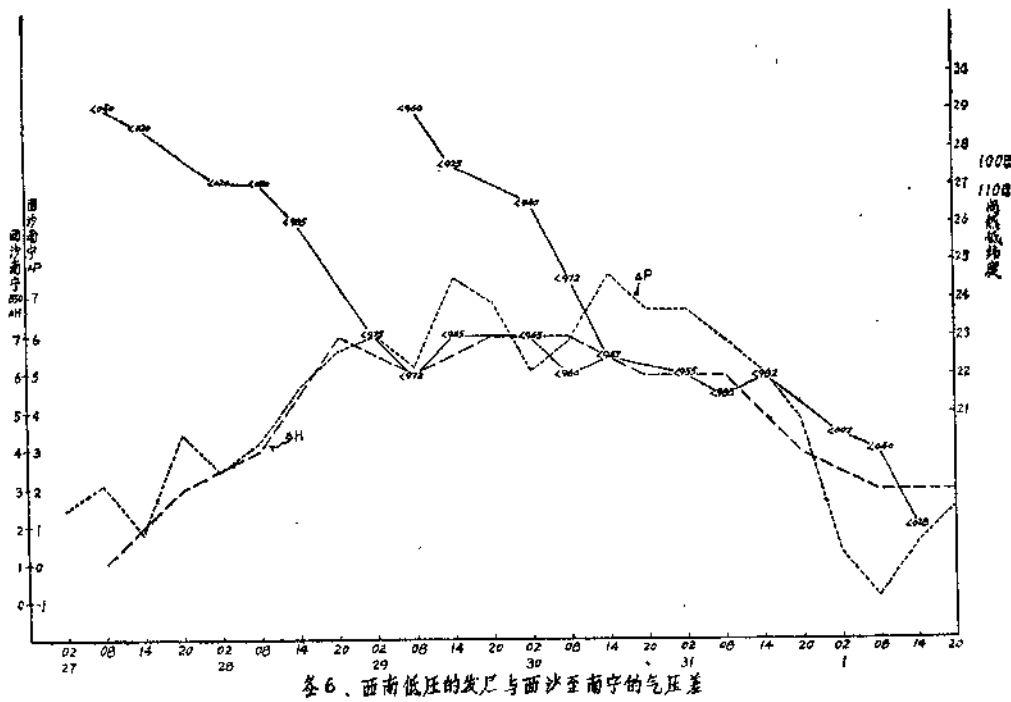
另外,在北纬25度以南有二次南支槽活动。第一次南支槽28日08时已东移到汕头沿海,与粤东早期降水有关系。第二次南支槽则自27日从孟加拉湾东移,29日20时移到珠江口一线,它与第一次北支西风槽一起对三省区第一次暴雨过程有所贡献。

2. 西南低压与地面倒槽

通常在变性冷高压出海后,华西常有低压发生发展。在这次暴雨期间,西南低压异常地强烈发展,由于华西海拔较高,采用地面负 ΔP_{24} 中心追踪其来源。发现26至27日二天内,各有一个负 ΔP_{24} 中心徘徊于昌都附近及四川盆地,28日08时分别往东南和南方移动,28日14时二个中心合并于云贵广西交界处,这时西南低压强烈发展。29日14时贵州的中心最低气压竟达992.5mb,南面的分裂中心亦达994.5mb。这个分裂低压从广西往东伸展出个倒槽,与第一条冷锋、静止锋结合成静止锋倒槽。在29日02时以前,西南低压一直是暖性的,低压中心及其前方的负 ΔP_{24} 中心,在云图上都位于无云区之中,29日14时以后,负 ΔP_{24} 中心及其倒槽才与一个云团及雨区相结合,从而与其母体低压具有完全不同的热力与动力特征。

由于西南热低压的异常发展,使得华南地区各站48小时内普遍降压8—10mb,西沙——

南宁间的气压差高达 6—8mb (850mb 高度差 6—7 位势什米), 从图 6 可以看得很清楚。若从北部湾到菲律宾计, 则 NW—SE 的气压差为 10.0—12.5mb。这样导致整个南海海域自 29 日 08 时起都吹 6 级以上的西南大风, 成为一次南海西南季风潮。



据过去十年 5 月份资料统计, 还未发现过如此强烈的西南低压发展 (即中心气压 995mb 以下, 南海气压差 10mb 以上, 整个海域 6 级西南强风)。满足其中任二个条件的基本相似过程仅有 5 次。除一次在 2 天后广西出现暴雨外, 其余四次都是 1—3 天后在珠江口至粤东出现暴雨到大暴雨, 其中 1976 年 5 月 30 日至 6 月 3 日, 最大日雨量达 193mm。

由此可见, 这样异常强烈的地面西南低压的发展, 在历史上亦属罕见。它是造成南海西南季风潮及低空西南急流的直接原因之一, 显然也是与粤东罕见的特大暴雨以及三省区大范围暴雨过程直接有关的。

3. 低空西南急流

低空西南急流作为输送水汽热量和能量的主要运载工具, 对暴雨的发生发展起着极重要的作用。

这次暴雨过程初期的 5 月 27 日, 由于北方有一变性冷高压出海, 从地面直到 850mb, 高压后部回流的东—东南风一直往西伸展到珠江口一带, 西南气流局限于南海西部, 这时没有出现西南急流。以后随着高压及东南气流的东撤, 西南气流逐渐往东扩展到整个南海海域。28 日 08 时起首先在西沙和海口的最低层 (300m 高度) 出现 12—13m/s 的强西南风 (低空急流)。20 时在 1000m 高度上强风中心东传到汕尾——汕头沿海 (中心 13m/s), 29 日 08 时南海北部海面已形成一支尺度 1500—2000km 以上, 中心位于东沙——香港、汕头之间, 风

速估计在19—20m/s 以上的低空强西南风急流, (图7)。从5月29日——6月1日3—4天内, 从西沙——海口之间往东北方经东沙——汕头之间直到台湾省的南海北部海面850mb 以上, 一直稳定维持一条低空西南急流。这从图8也可以证实。海口自28日01—08时, 在500—1000米处出现12m/s西南风, 29日——6月1日, 一直在1500—2000米高度上稳定维持一个16m/s 的低空急流。与此同时, 随着长江流域以南切变线的形成和南压, 28日在南岭以北出现一支12m/s以上的低空西南急流, 到29日08时南压到广西——粤中——闽南一线, 这样就在南海北部海面——华南的低空形成二支相互分开但又互相联系的西南急流。图9表示5月29日08时地面冷锋850mb 切变线, 二支急流轴与其后24小时(29⁰⁸—30⁰⁸)雨量的相互关系。可以看出, 冷锋, 切变线与北支急流之间是三省区大范围暴雨所在, 而粤东特大暴雨区则与海上低空急流轴密切相关。

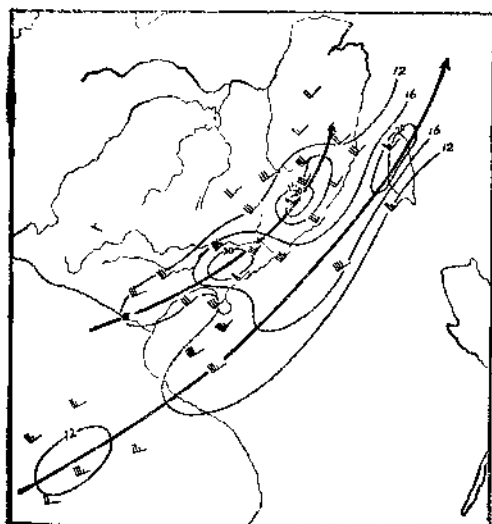


图7. 1977年5月29日08时850mb天气图

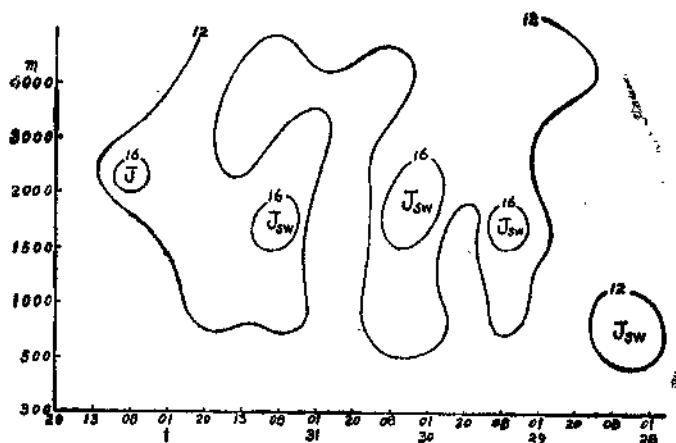


图8. 海口测风时间剖面图

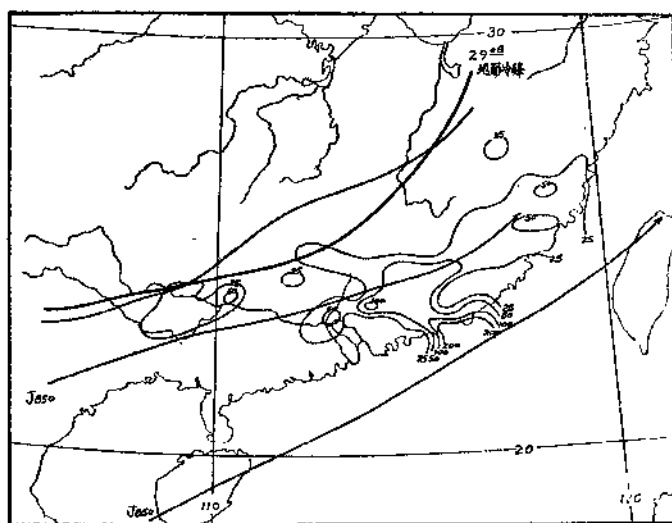


图9. 5月29日08时, 低空急流位置与其后24小时雨带

以后在30——31日之间，由于低空切变线东段北抬的同时，北支强风带东端也明显北推并有所加强。31日这两者又一次南下，使得粤中和福建雨量增强，出现第二个暴雨时段。而南海北部海面则一直维持一支较强的低空西南风急流，不过沿急流轴则有二个强风中心从西往东移动传播（见图10）。5月30日位于 110°E 的 20m/s 强风中心的东传，对于30日晚上——31日上午在 115°E —— 116°E 间的海、陆丰地区的特大暴雨，应当有一定关系。但限于资料，未能进一步探讨。

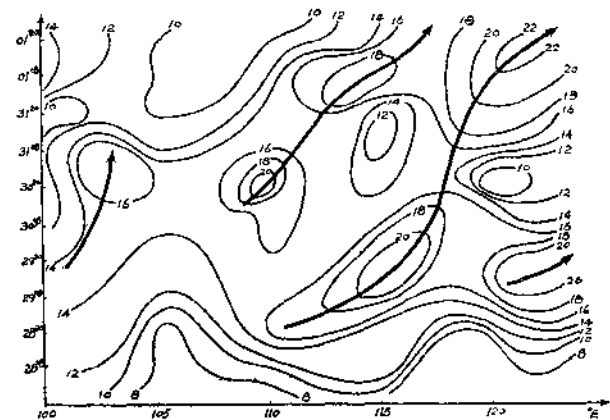


图10. 沿1500米急流轴大风轴动态图 (单位 m/s)

南海北部的西南急流，中心所在高度并非始终都在同一个位面上。以29日08时发展较强时为例（图11），最西南端的西沙，急流中心在300米高度，海南岛的东方和海口在500——1000米处，阳江升高到1500米，广州的急流中心高度达2000米，加上急流最早在上游最低层形成，然后往下游向上空扩展。可以认为，南海——华南的低空西南急流，它的入口处位于最低层，越往下游，高度越是升高。也即西南急流轴也有一个坡度，从上游往下游逐渐升高。因此，西南急流内部就存在逐渐向上爬升的现象，是一种三维空间的运动，这种现象对于急流下游的大暴雨显然是有利的。

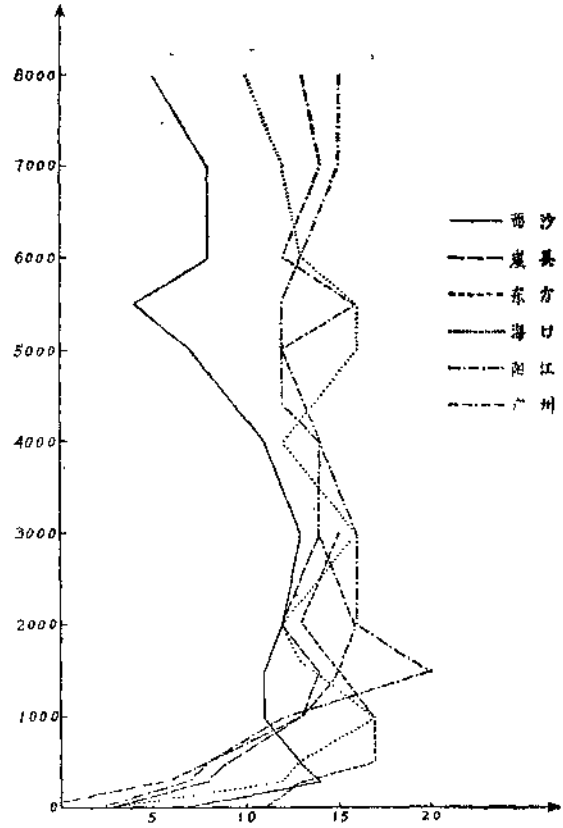


图11. 5月29日08时高空风速廓线

关于西南急流的形成，除了前已提及的地面西南低压的异常发展，印度季风低压的建立和加强外，赤道反气旋的北上亦有一定的影响。5月25日至26日，印度尼西亚有一赤道缓冲带位于 5°S 附近，并逐渐北上经赤道进入北半球（图12中的虚线）。在其中逐渐形成一个赤道反气旋，27日20时北上到达 5°N 左右，28日08时到达 10°N 左右。由于赤道反气旋的北上，位于加里曼丹岛北部的文莱站27日20时850 mb风速曾达 10m/s 与这个

赤道反气旋外围大风带对应的云带，从 3°N ， 112°E 附近。这时西贡、西沙、马尼拉一带风速都很小，只有 $1\text{—}2\text{m/s}$ 。下一个时次的28日08时，赤道反气旋北上到 10°N 左右，文莱风速已减小为 4m/s ，但其外围云带却从 $12\text{—}13^{\circ}\text{N}$ ， 113°E 伸向 $14\text{—}15^{\circ}\text{N}$ ， 120°E 一线，12小时内大致北推 $4\text{—}5$ 个纬距。大风带似也应北推同样距离。事实上，西贡、西沙、马尼拉一带西南风已增强为 $8\text{—}10\text{m/s}$ 。这表明赤道反气旋外围大风带对于南海中北部西南风速的加大是起了推动作用的。以后，尽管赤道反气旋南退，但由于西南热低等的共同作用，南海西南风继续加大。

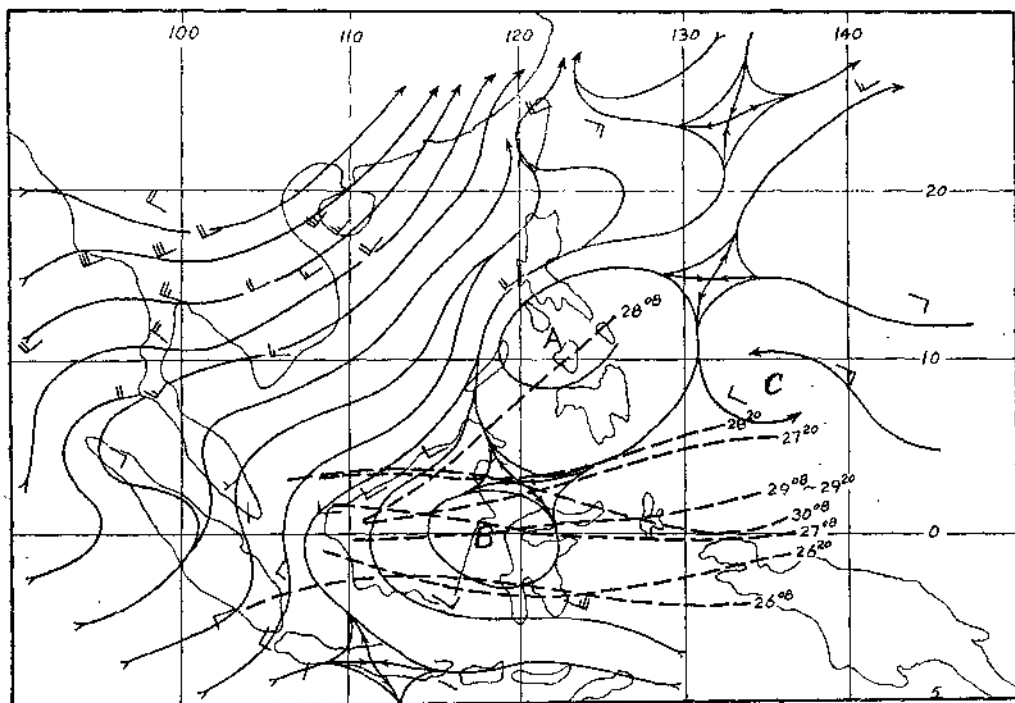


图12. 1977年5月28日08时850mb流线及 $26^{\circ}\text{S}\text{—}30^{\circ}\text{S}$ 赤道缓冲带动态图
(粗断线为赤道缓冲带)

因此，这次低空西南急流形成的大尺度背景可以归纳为：在北方变性冷高东去后，赤道反气旋北上，使得南海北部受到低空西南气流的控制，风速有所加大。而西南热低压异常发展，大大增强了南海气压梯度。印度季风低压的建立和加强，形成一次西南季风潮爆发，影响一直扩展到南海地区。这三个因素的综合作用，就使得南海北部有一支宽广而较大的低空西南急流形成，并维持较久的时间，从而直接影响了粤东特大暴雨的发生发展。

4. 低空西南气流与东南气流的汇合

1977年5月26日，500mb有一次明显的高空槽东移出海，地面—850mb有一个变性冷高压由华东地区出海，27日20时850mb高压中心位于 27°N ， 125°E 海面，出海变性高压后部冷湿的东南气流，从太平洋上经台湾省——巴士海峡，南海东北部海面一直伸展到珠江口一带，这时西南季风正处于逐步加强的阶段。从中、印半岛北部向东——东北方向扩展到西沙——东沙的南海北部海面。这支西南暖湿气流输送大量的水汽和热量（它的24小时变温达

+2——+3℃，增温是明显的），这样暖湿的西南气流与冷湿的东南回流之间就在粤中——粤东沿海形成一条暖式切变线——汇合带。27日08时，300、500、1000米高度的暖式切变线位于西江——珠江口一带，大致是WNW——ESE走向。切变前方广州站东南风从300米高度的4m/s递增到1000米高度的9m/s，切变后面阳江站的西南风从3m/s增为6m/s。而1500米高度的暖式切变线已位于广州以东。到28日08时，暖式切变——汇合带已进一步东移，并有更明显的随高度往东倾斜的趋势。切变前方兴宁站1500米高度东南风更达12m/s。

这种西南与东南气流之间的暖式切变或汇合带，造成了强烈的低层辐合和降水，这在卫星云图上有明显的反应（图略）。暖式切变——汇合带在云图上表现为113——117°E，20—25°N间对对流比较旺盛NE—SW走向的云带。28日08时的二股气流汇合带也与114—118°E左右从18°N往北伸向25°N的一个云团相对应。这正是粤东特大暴雨过程前期的暴雨——大暴雨（二天最大日雨量分别为146、195mm）的形成原因。到28——29日以后，随着入海高压的进一步东移，西南季风的加强东进，暖式切变——汇合带东移过了台湾省，这个系统对于粤东降水的影响结束，而被低空西南急流所取代了。

四、暴雨过程中的一些物理量分析

本节讨论产生这次暴雨的一些物理条件。

1. 位势不稳定场

大气中贮存的位势不稳定能量的释放以供给中尺度系统的发展，是产生暴雨的一个重要条件，源源不断的位势不稳定能量的制造和供给则是持续性暴雨发生所必须的。我们用K指数*的分布， θ_{se} 及 $\Delta\theta_{sc}$ 的变化来分析这次暴雨过程中的位势不稳定能量的产生维持和输送情况。

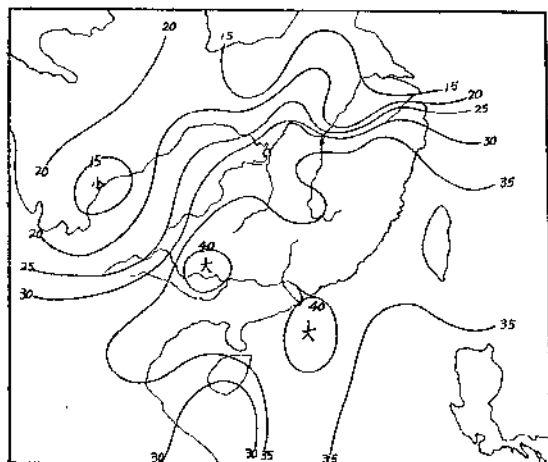


图13a. 5月31日08时K指数分布图

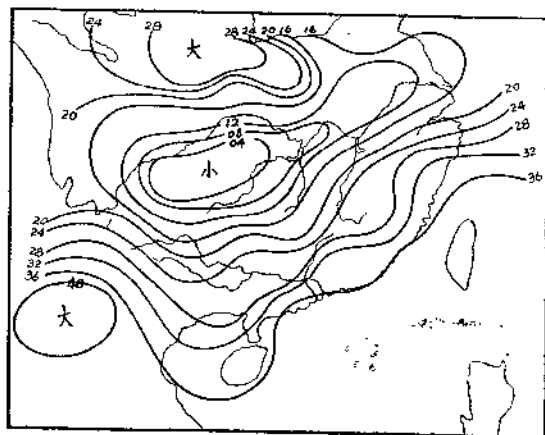


图13b. 6月1日20时K指数分布图

图13a为1977年5月31日08时的K指数分布，它在整个暴雨时期具有一定的代表性，

* K指数定义为 $K = (T_{850} - T_{500}) + T_{d850} - (T - T_d)_{700}$ ，它综合表示了大气的的不稳定程度及对流下部的水汽含量和饱和程度。

$K \geq 35^{\circ}\text{C}$ 区遍及广西、广东、福建和南海北部，二个 $K \geq 40^{\circ}\text{C}$ 的大值中心分别在广西西部和西沙——粤东地区，这与低空急流的分布有一定的对应关系。24 小时内，暴雨就发生在这片大 K 值区范围内，并主要发生在从海上伸入大陆的大 K 值带内。如与图 13b（1977 年 6 月 20 时 K 指数分布图）相比较，由于较强冷空气南下， $K \geq 35^{\circ}\text{C}$ 区已退出我国大陆，川鄂湘黔交界处是 $K < 5^{\circ}\text{C}$ 的小值中心区，华南大陆的 K 值已大大减小，这时正是这次暴雨即将完全结束的时刻。这表明，这次暴雨过程中，位势不稳定条件是满足的。

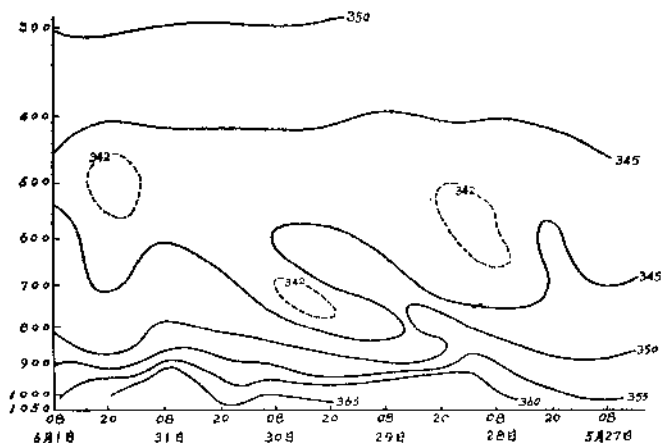
图 14 附江站 O_{2r} 时间剖面图

图14是海陆丰特大暴雨区上游的阳江站的 θ_{se} 时间剖面图。在图中 ($\theta_{se}600—\theta_{se}1000$) 的差值逐日在增大着的, 而 28^{20} 和 31^{08} 达到 -21°C 这一最大位势不稳定值。在该站对流层中上层, 温度、湿度没有明显变化, 表现为 500mb 以上等 θ_{se} 线与等压面大致平行, 在对流层下部, 主要是 850mb 以下的近地面层逐日增暖增湿, 到 31 日 08 时 θ_{se} 达最大值。这些事实说明, 阳江站的位势不稳定能量是逐日增加的。而且主要标志着它具有更多的热带天气的特征。其次, 我们比较一下阳江与汕头的 $\Delta\theta_{se}$ 的逐日变化曲线 (图15), 处于特大暴雨区上游的阳江站贮存了相当大的位势不稳定能量。而位于特大暴雨区下游的汕头站 (该站在 5 月 31 日—— 6 月 1 日也产生了暴雨) 位势不稳定能量就很小。这是由于暴雨过程中强烈上下交换使 $\frac{\partial\theta}{\partial p}$ 趋近于零的结果。有意思的是阳江站 $\Delta\theta_{se}$ 的二次峰值与低空风速的二次增大有良好的对应关系, 这也正是二次强风中心低空急流轴在本站附近通过的时候。在我们分析的暴雨时期内, 对流层中下部为一致的 WSW—SW 气流, 上游近地面层增温增湿所产生大量位势不稳定能量, 通过西南气流特别是低空急流, 持续不断地输送到暴雨区上空, 在当地大中尺度天气系统触发下不断释放, 供给这里产生暴雨所需要的大气运动能量。

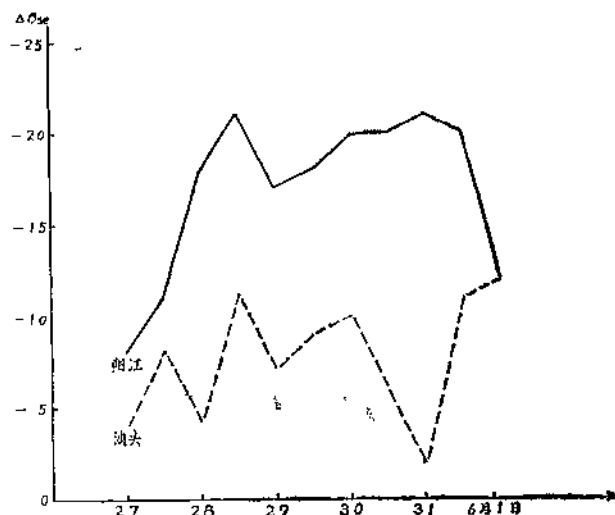
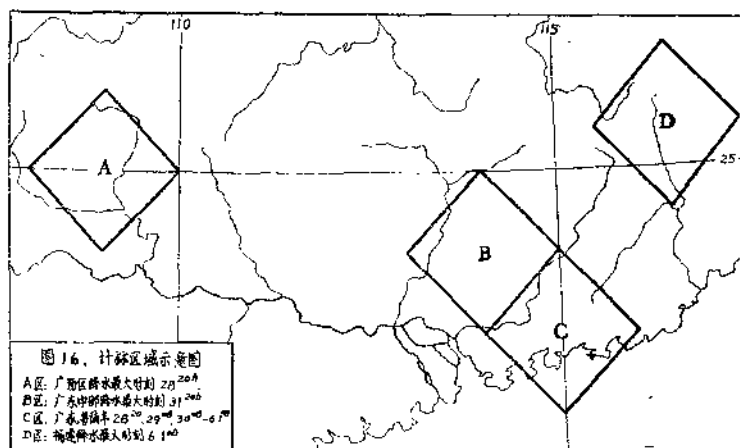


图15 阳江与汕头 $\Delta\theta_{se}$ 变化的比较

2. 水汽输送

充沛的源源不断的水汽供应是产生持续性暴雨的重要条件之一，我们计算了不同的暴雨区域（图16）不同暴雨时刻各个层次的水汽通量和水汽通量散度。对海陆丰特大暴雨区（C区）还计算了各个层次各个方位的水汽通量散度随时间的变化。



在计算中采用了 (x, y, p) 座标^{*}，水汽通量按 $\frac{1}{g} \vec{\nabla} q$ 计算，水汽通量散度则是 $\frac{1}{g} \nabla \cdot \vec{\nabla} q$ 。

如不考虑500mb以上水汽作用时，可近似地认为 $-\frac{1}{g} \int_{1000}^{500} \nabla \cdot \vec{\nabla} q dp$ 代表整个气柱的水汽收支情况

^{*} 这采用X座标指向45°为正，Y座标指向315°为正以分解水平风速，则当风向为180—225°时仍可解出对东南方位边界的流入分量，这与习惯使用U、V分量是有出入的，也易引起误解。