

一次强飚线的中分析

南空司令部气象处气象室
空字六二三部队训练部

一九七五年三月

56.446
4318

56.45
4318

一次强飊线的中分析

南空司令部气象处气象室
空字六二三部队训练部

一九七四年六月十七日，南京地区经过了一条飊线。这次飊线势力强、生命长，先后影响了鲁、苏、皖、浙、赣五省的一些地区。飊线在南京过境时，出现了持续一小时之久的20米/秒以上大风，瞬时风速达38.9米/秒，十分钟最大降水量为18.6毫米，有的地方还下了象拳头大的冰雹。这样的大风、冰雹天气是南京地区历史上罕见的。

列宁指出：“个别一定与一般相联而存在。”^①这样特殊的天气过程，一定也反映出一般飊线活动所共有的某些特点。本文的目的，主要是通过中尺度分析，找出这次飊线天气过程的特殊本质，由此进一步认识飊线活动的一般规律，并指出预报飊线天气的一些线索。

一、飊线天气过程

17日08时，飊线产生于山东北部的沾化、掖县一线（见图1）。生成的标志是，出现了

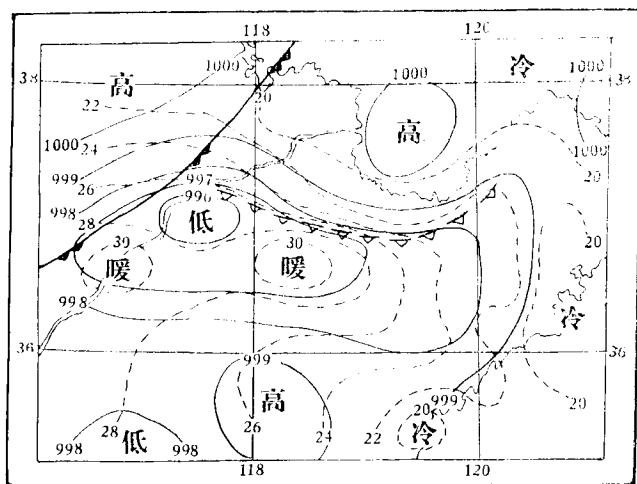


图1 17日08时地面天气图

狭长的雷暴云带、云带底下有中心值为1001毫巴的雷暴高压，高压前缘等温线密集，平均水平温度梯度为 $6^{\circ}\text{C}/50$ 公里。这个近东西向的等温线密集带，正是飊线所在的位置。在飊线所经过的地区，气温急降，气压陡升，并伴有雷雨大风天气。如掖县从07时到08时，1小时气温下降 3.9° 、气压涌升3.3mb，气压曲线表现出明显的“雷暴鼻”，同时有20米/秒的

① 《谈谈辩证法问题》。《列宁全集》第38卷，第409页。

大风，下了暴雨。这些情况表明，这次飑线从开始形成就是比较强的。飑线形成后，以45—50公里/小时速度向西南南西方向移动。在移动的过程中，又经历了相当长的发展过程，直到18日01时最后消亡，生命长达18小时。马克思说：“一切发展，不管其内容如何，都可以看做一系列不同的发展阶段，它们以一个否定另一个方式彼此联系着。”^①这条飑线也是如此。根据各时刻飑线及其附近中系统的强度情况，它的整个生命史分为初生、发展、成熟和消亡四个阶段。

（一）初生阶段

08时至10时为飑线的初生阶段。这个阶段，地面图上飑线附近的水平温度梯度为6—10°C/50公里，雷暴高压的范围逐步扩大，同冷区基本重合，但强度较弱，中心气压值仍为1001毫巴。飑线过境时，1小时气温下降5°C，气压涌升3毫巴左右，所出现的大风不超过20米/秒，局部地区（如高密）的风速还不到大风的程度；过程累积降水量，一般在20—30毫米。这些现象说明，飑线不算很强，还是刚刚开始发展。我们看到，大风的出现时间，一般都落后于一小时最大降水量出现的时间。如在掖县，两者相差近一小时。可见雷暴大风确是由于降水蒸发，在雷雨云下形成冷空气堆的一个结果。

从6月17日白天接收的红外云图来看，山东北部出现的飑线也是很清楚的。在8时的云图上（见图2），那里有一片积雨云区，云区色调很白，纹理光滑，在上风的一侧有整齐的边界。这种积云系特征，表明有飑线存在。飑线位置同云系边界一致。不过，由于高空风速小，卷云砧向下风方向伸展的现象并不明显。在10时的红外云图上，积雨云区已向西南南西方向移动，范围扩大，色调明亮（见图3）。对比分析前后两次时间的卫星云图，形象的看到飑线在初生阶段的移动、发展情况。



图2 17日08时红外云图

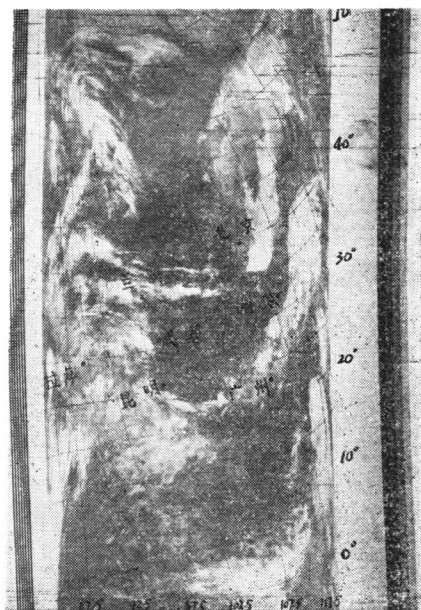


图3 17日10时红外云图

^① 马克思：《道德化的批评和批评化的道德》（一八四七年）。《马克思恩格斯全集》第4卷，人民出版社1958年第1版，第329页。

(二) 发展阶段

从10时到15时，飑线附近的水平温度梯度加大到 $10-12^{\circ}\text{C}/50$ 公里，雷暴高压加强，并在其后部出现了中心数值为 990 毫巴的尾流低压，在飑线南侧的江苏泗洪、建湖附近，出现了两个中尺度暖性低压，低压内天气晴好。前中低和尾流低的出现，说明飑线进入了一个新阶段。随着飑线的发展，雷暴云前后的上升和下降气流，已有相当的强度。12时59分徐州的雷达回波照片上，雷雨云带的回波发生了扰动（见图4），“扰动”形状回波的地方是地面

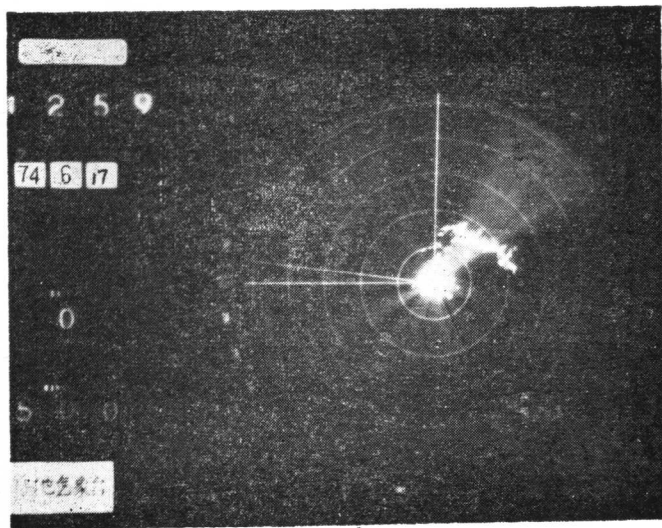


图4 12时59分徐州雷达回波平面显示。仰角 0° ，距离每圈 100 公里

气旋环流区，其中有较强的辐合气流，有利于对流发展。在高度显示器上回波呈“塔状”，塔顶高达 10 公里（见图5），表明飑线上的对流云系已有较强的发展。

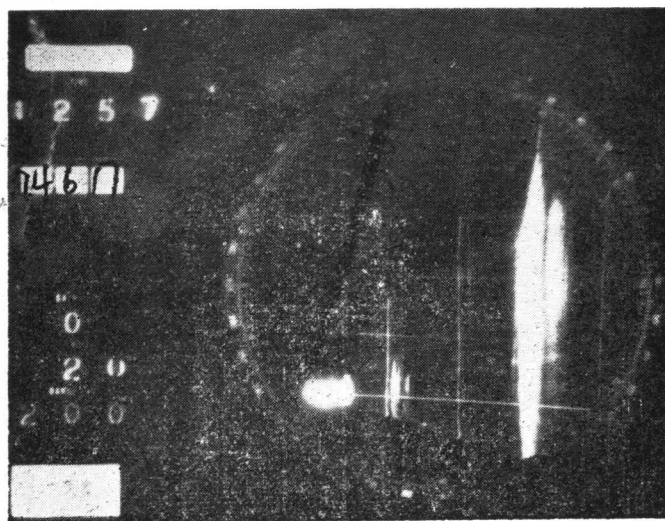


图5 12时57分徐州雷达回波距离高度显示。方位角 80° ，距离高度每格 20 公里

由于雷暴高压加强，以及前后中低压的出现，飑线过境时的气象要素变化也比前期明显，1小时气温下降 10° ，半小时气压涌升3毫巴以上。如江苏干榆45分钟气温下降 11° ，东海30分钟气压涌升3.7毫巴。

飑线在此阶段仍向南南西方向移动，但移速加大到60公里/小时。飑线移过的地区，大风、雷雨都有所增强。10时以后地面风速普遍增大，从图6可以看到这个事实。图中记录了17日地面极大风速， $\curvearrowright$ 表示有大风但不知具体风速， ∇ 表示有飑， ∇ 表示只有风速报告，角

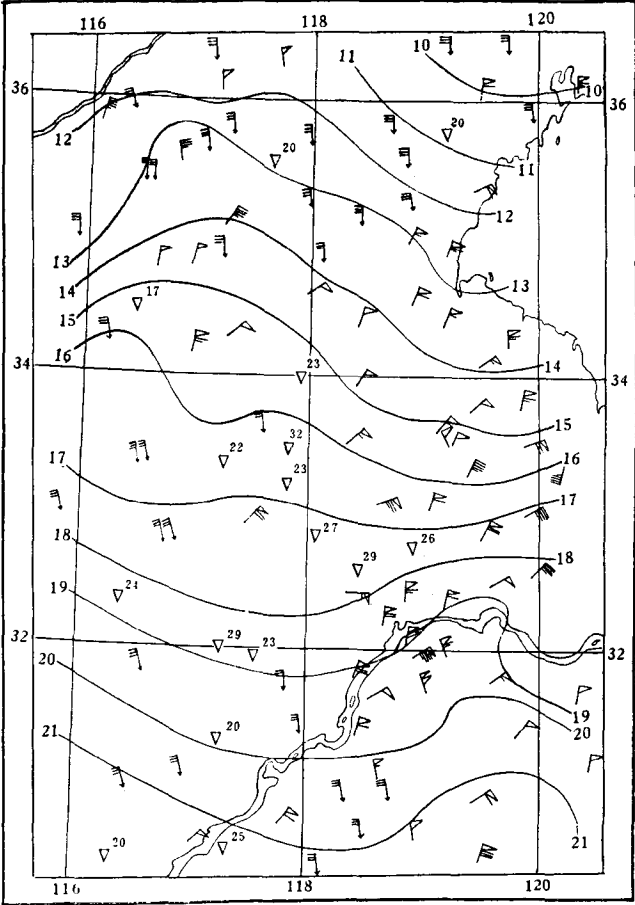


图6 地面极大风速分布

上填的数码是风速，画的实线为大风出现等时线。在10时和15时的大风出现等时线间，瞬时最大风速多在20—25米/秒，最大的如江苏响水、干榆等地风速达到26米/秒。雨量大的区域也比前期扩大，过程累积降水量出现了50毫米以上的中心，局部地区还出现了冰雹。

因为雷雨云发展，从云下流散开来的冷空气已扩展到雷雨云的前方，所以在降水和大风出现时间的关系上，与前一阶段不同，最大风速出现的时间超前于一小时最大降水量出现的时间，一般相差20—25分钟。

(三) 成熟阶段

15 时 30 分合肥的雷达回波照片上(见图 7), 在徐州以西出现了一条东北至西南向的带状回波。这是从西北方向移来的冷锋, 当东移到大气低层湿舌的边缘时, 在露点锋上形成的雷暴云系。另一回波带是由北移来的飑线上的雷雨云带, 两者构成“人”字形回波。以后, 两个不同尺度系统交接处的雷暴云体渐渐结合在一起, 并迅速南移, 结果, 16 时 50 分形成了近“一”字形的带状回波(见图 8), 回波明亮, 宽度较窄, 增益衰减 20db 后, 回

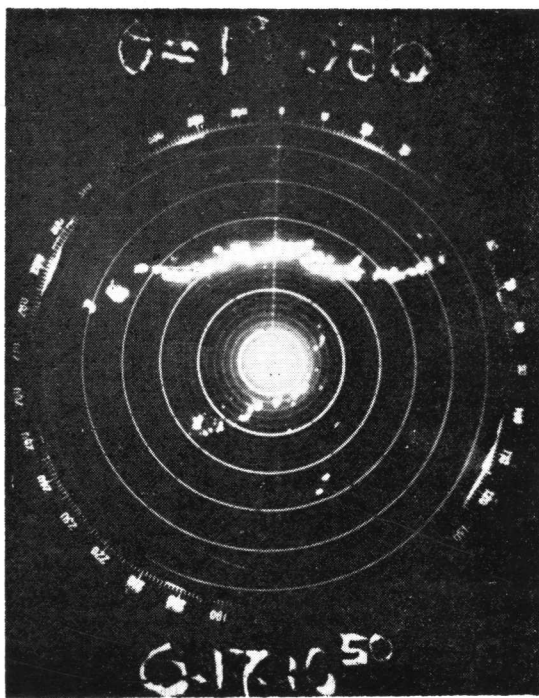
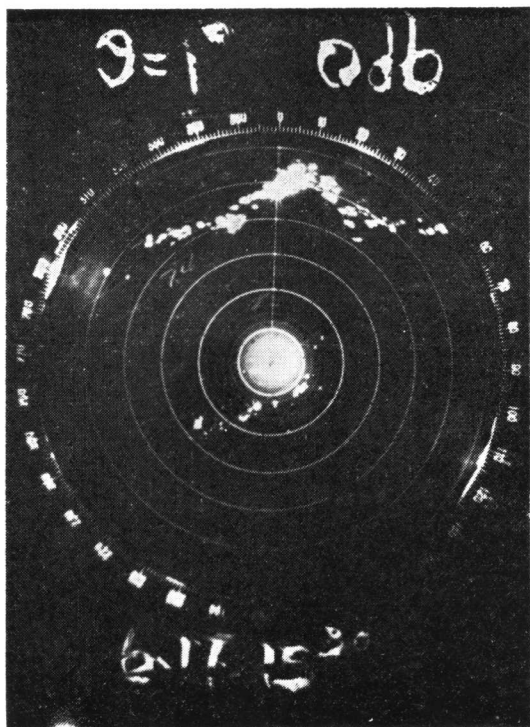


图 7 15 时 30 分合肥雷达回波。仰角 1° , 距离每圈 50 公里 图 8 16 时 50 分合肥雷达回波。仰角 1° , 距离每圈 50 公里

波仍为带状, 回波高度在 15 公里左右^[1]。这时飑线已经相当强了。飑线过境, 天气表现强烈, 大风、暴雨接踵而至。

在此以后飑线仍在继续加强。17 时 20 分南京大校场的雷达观测表明, 在整个带状回波的前沿多处出现“人”形缺口, 增益衰减 40db 后, 可以发现回波前沿有若干最亮点, 这是回波最强的地方。这些最亮点同其两侧的回波一起, 呈现出“小鼓包”形状的回波。回波前沿的局部地区(如安徽天长附近), 出现了“指”状回波(见图 9 中箭头所指处), 并向“钩”状发展。这种迹象表明回波区有很强的辐合气流。根据这种回波的发展趋势, 估计在雷雨云系中, 可能出现小尺度的旋转性雷暴^[2]。在回波高度显示器上, 柱状回波明显, 结实浓密, 顶部冒尖, 高达 17 公里, 对流发展十分旺盛, 造成天长 10 分钟降水量达 30.6 毫米, 极大风速达 26 米/秒。

19 时附近, 飑线移近南京, 它的东端同苏南地区的另一条飑线相遇, 产生了锢囚过程, 飑线强度达到顶峰, 此时飑线已经成熟。

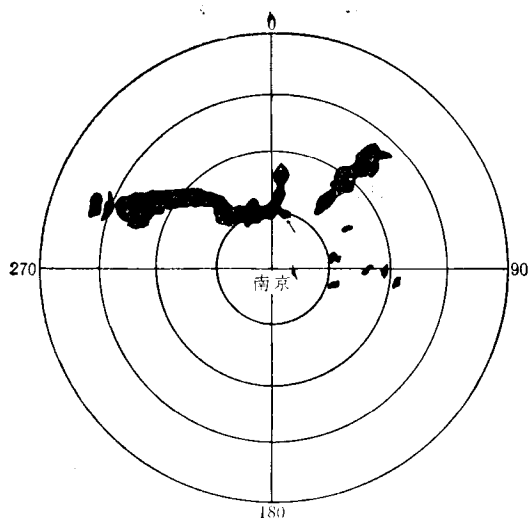


图9 17时20分南京大校场雷达回波仰角 1° 距离每圈50公里

成熟阶段飊线的温压场特征：水平温度梯度 $12-14^\circ\text{C}/50$ 公里，飊线后部出现几个与冷区完全重合的雷暴高压，高压的范围东西长300公里，南北宽近100公里，中心强度达1007毫巴。尾流低压也发展得最强，中心数值达997毫巴，低压南侧还有8米/秒以上的偏南大风，飊线前部的中尺度暖性低压，此伏彼起，时有出现。飊线所经之地，气象要素均有剧烈的变化，如图10所示，南京45分钟气压涌升6.8毫巴，15分钟气温下降 11°C 。伴随这些气象要素变化的是狂风、暴雨天气。10分钟最大雨量，安徽天长30.6毫米，怀远24.9毫米，

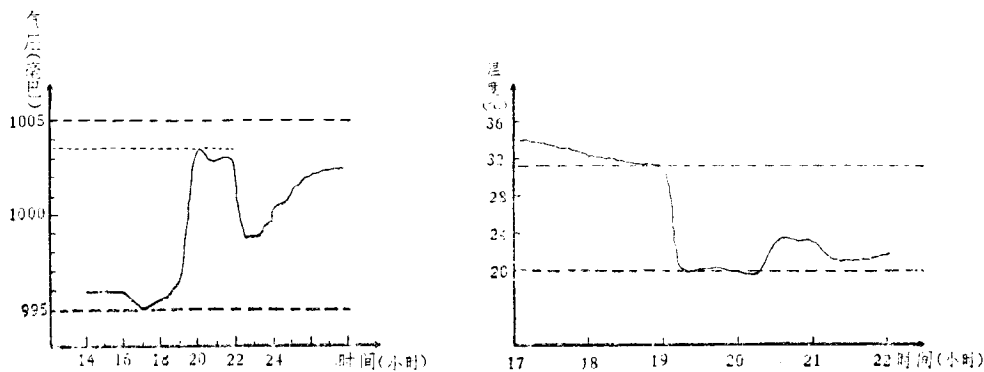


图10 17日南京气压、气温自记曲线

南京也有18.6毫米。过程累积降水量在天长附近达65毫米以上。地面风速普遍在30米/秒以上。瞬间最大风速江苏溧水到达40米/秒。南京也出现了38.9米/秒大风，是1934年以来没有见过的。在强风的袭击下，很多直径30公分以上的大树被连根拔起。狂风在长江掀起了2米多高的巨浪，将停泊在码头的一艘一万七千吨重的货船从长江北岸一下推到长江南岸，撞坏了南岸的码头。在许多地方还下了蚕豆或鸡蛋大的冰雹，而在江宁县下的一个冰雹重达1.2斤。冰雹也带来了不小灾害，在南京下关，就将五百亩瓜田砸个净光。这次飊线天气造成了很大的破坏，使生命财产受到了损失。

(四) 消亡阶段

21时以后，飊线势力大减，水平温度梯度已在 $6^{\circ}/50$ 公里以下，雷暴高压范围扩大，强度减弱，其后部的尾流低压也渐渐消失，飊线影响的地区，风速未超过 20 米/秒，10 分钟雨强未超过 15 毫米，过程累积降水量在 35 毫米以下。从 21 时 40 分合肥的雷达回波照片（图 11）看，回波强度减弱，并散开呈絮状，高度已降至 12 公里。飊线减弱的情况在卫星云图上也有反映，从 21 时接收的红外云图（见图 12）中看到，飊线的积雨云系前部边界已变得凹凸不平，明亮的云区出现缝隙，而分裂成若干云团，这是飊线正在瓦解的标志。23 时 19 分飊线经过江西九江时，尽管有雷雨，25 米/秒的大风持续了 25 分钟。但从 23 时 31 分的雷达回波来看，雷雨云系的回波带已经不明显，而变成孤立分散的小块回波，回波高度也只有 6 公里，表明飊线已是“强弩之末”。从合肥 18 日 01 时 31 分的雷达回波照片看，这时飊线已经消亡。在 18 日 02 时地面天气图上飊线也已消声匿迹，只剩下一条风的切变线了。

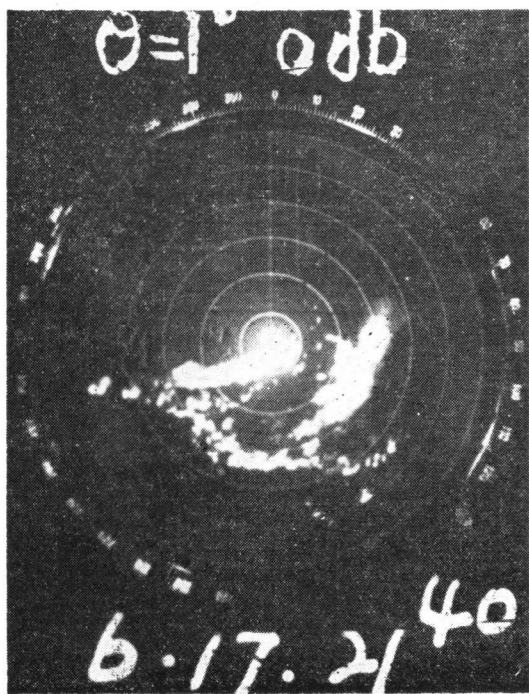


图11 21时40分合肥雷达回波



图12 17日21时红外云图

二、大尺度天气背景

从 16 日 20 时 500 毫巴空中图中可以看出，在 $30^{\circ}-60^{\circ}\text{N}$ 、 $105^{\circ}-125^{\circ}\text{E}$ 的范围内，南北分布着三个低压槽（见图 13）：在长江下游有一低槽，槽内已出现低压中心；华北北部有一等高线呈疏散状的短波槽，贝加尔湖之东为一强度很大的长波横槽。这三个槽排列成阶梯形，我们统称为“阶梯”槽。这次飊线就是在贝湖横槽转竖，并在我东部沿海，同南边低

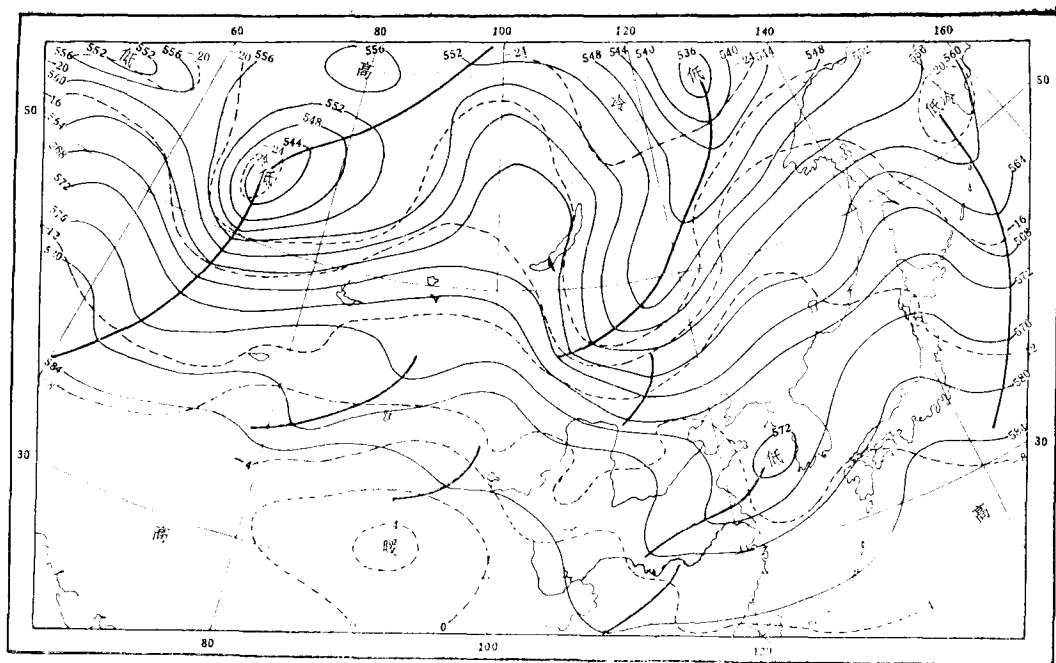


图13 1974年6月16日20时亚欧500毫巴图

槽合并加深的一次长波调整过程中发生的。“阶梯”槽的形成，是这次飑线形成、发展的主要大尺度环流背景。

“阶梯”槽形成的过程是：14日08时，500毫巴上的阻塞暖高位于叶尼塞河与鄂毕河之间，其东西两侧各有一个冷性低压。东侧的低压，同横槽联系在一起。在暖高南边的西风气流里，有一短波低槽（以后简称南支槽），位于我新疆东部。以后迅速移进青藏高原，16日20时到达长江下游，这时，槽内已出现了冷性低压。14日至16日期间，北部阻塞高压缓慢东移，15日08时暖高东侧的横槽移至贝湖以东。在横槽稳定期间，锋区处于槽的北部，温度槽落后于气压槽。16日20时锋区已移至横槽的南部，槽后的冷平流也逐渐扩展至槽前，于是，横槽开始转竖，阻塞形势崩溃。贝湖横槽转为竖槽的同时，在冷平流的作用下，槽前的疏散等高线中，又形成了短波小槽。

以上情况说明，“阶梯”槽的形成，是南支槽东移发展，贝湖横槽破坏东南移的共同结果。

辩证法是从事物的相互联系来考察事物，而非孤立地考察事物的。“阶梯”槽之间是互相联系，互相影响的。疏散槽的出现，给南支槽带来冷平流，这就有利于南支槽的发展；南支槽东移发展，使北边横槽槽前等高线疏散，形成疏散槽，尔后又加强了疏散槽前东南方向的正涡度平流，促使它向南支槽靠拢；由于疏散槽后有冷平流，又使贝湖横槽加速南摆。互相作用的结果，至17日20时，三个槽在我国东部沿海合并加强，形成东亚大槽，完成了一次长波调整过程。

从17日08时300毫巴等风速线图可以看出，在贝湖横槽前部有支温带急流，最大风速为40米/秒（见图14）。在南支槽前部有副热带急流，最大风速为32米/秒（见图14），南

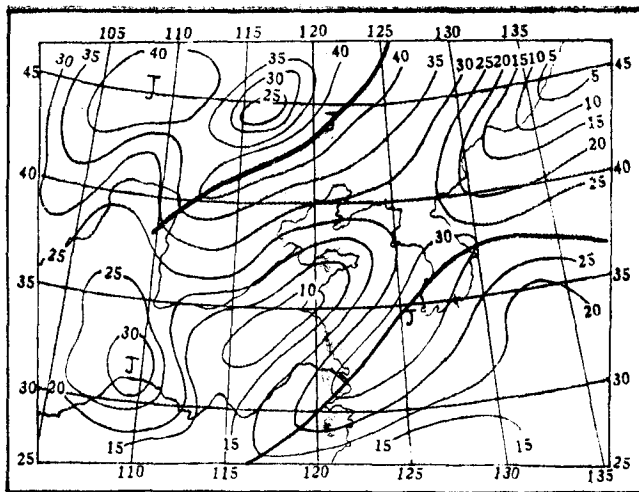


图14 17日08时300毫巴等风速线

北两支急流之间有一8—10米/秒的弱风区。这次飊线在温带急流南侧弱风区的底下形成，以后向副热带急流区移动并加强发展，在副热带急流的右侧消散。温带气流、副热带急流与“阶梯”槽同时出现，是这次飊线过程大尺度环流背景的重要特征。

在温带急流的南侧有上升气流，副热带急流的北侧有下沉气流，而在两支急流之间的山东、江苏地区上空，100毫巴为西北风，300毫巴是西南风，到了500毫巴又转为西北风，直至近地面层又是偏南风。两支急流间的经圈环流，上下存在着两个逆环流。在下方的逆环流中，低层的偏南气流将水汽和热量源源不断地向北输送，并在40°N以南地区辐合，又将它们垂直输送到较高的气层。

地面图上，原在江苏北部的高压，于14日20时东移入海，我国东部广大地区处于高压后部偏南气流内。随着高空贝湖横槽转竖，高空气流引导蒙古高压南下，于是，地面出现了一次强冷空气活动过程。16日08时，1023毫巴的冷高压中心在蒙古西部，前缘冷锋已移至我国东北的西部、华北北部地区，冷锋呈东北至西南走向，冷锋中部温都尔庙附近有穿心低压，与冷锋一起向东南偏南方向移动，山东、安徽、江苏等地逐渐处于冷锋和低压前方，气压梯度增大，偏南风增强，从而加强了这些地区的暖湿平流。

大家知道，飊线生成、发展的主要条件是：1. 有大量不稳定能的储存；2. 低层有充分的水汽（湿舌）；3. 促成不稳定能释放的触发机制。这次大尺度天气背景充分地提供了这些条件。

（一）低层西南风与水汽输送

许多研究指出，强烈的天气过程往往同低空急流的活动有关。这次飊线形成之前，在长江下游与黄河下游之间的300—600米的低空，有一支6—8米/秒的西南风，最大风速为12米/秒（图15）。下面分析这支西南气流的形成和作用。

这次南支槽在中空以上反映明显，低层反映不明显，地面没有与南支槽相配合的锋面。随着南支槽东移发展，至17日08时，地面在黄海东部才有与空中槽相配合的锋面与低压出现。自14日20时高压由江苏北部入海起，我国东部一直维持偏西南气流。当16日冷锋伴随穿

心低压向黄河下游移动的过程中，这支西南气流继续维持和加强。从而使江南的暖湿空气，不断地向北输送。从图16看出，15日08时地面露点温度 20°C 线（虚线）顶端在大别山区，16日08时已移至山东南部（点划线），17日08时又移至山东北部和河

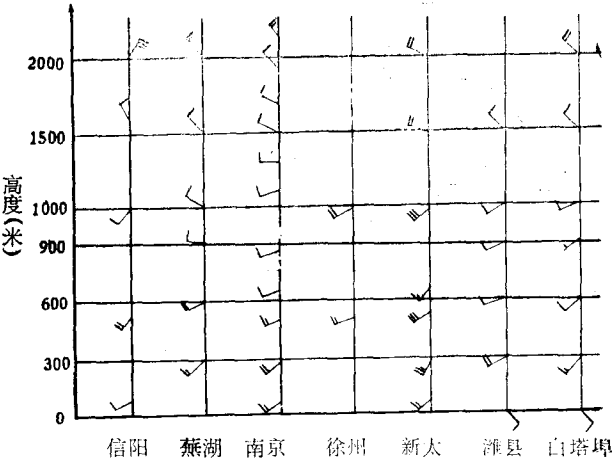


图15 17日晨低层高中风垂直剖面图

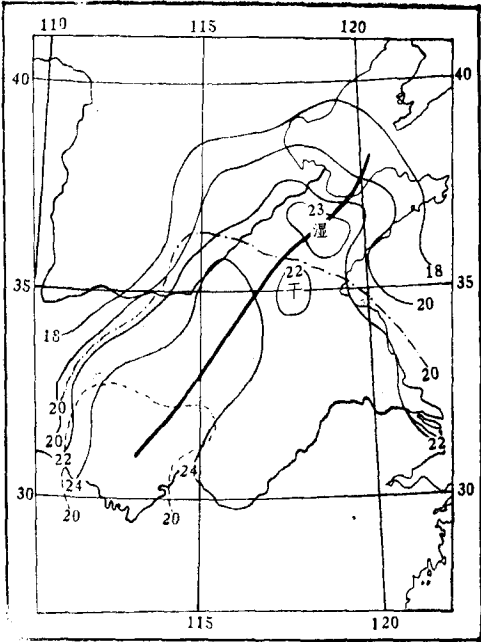


图16 17日08时地面露点温度分布

北南部地区（实线）。地面和850毫巴上的湿舌已经形成。在冷锋到达这个地区之前，给飊线的形成准备了充分的水汽条件。图中粗实线表示湿度平流最强的地方。

（二）高、低空温度平流与大气层结变化

16日下午，在南支槽前，长江下游以南广大地区都出现了雷阵雨天气。南支槽后700mb以下，有东北——西南走向的暖温度脊，槽后为暖平流，但在500mb以上有冷平流。在这种作用的影响下，气层的不稳定度增加很快。例如从15日20时至17日08时，阜阴500mb温度由 -3.9°C 降至 -6.7°C ，而850mb温度却由 15.8°C 增加至 21.8°C ，850mb至500mb的气温差 ΔT 由 19.7°C 增至 28.5°C ，净增 8.8°C ，其它台站都有类似的情况（见表1）。这就为飊线的发展准备了不稳定的条件。

地 点	15日20时 $\Delta T_{850-500\text{mb}}$	17日08时 $\Delta T_{850-500\text{mb}}$	变 化 值
阜 阴	19.7	28.5	8.8
徐 州	19.3	27.3	8.0
南 京	18.3	23.7	5.4
郑 州	25.5	34.2	8.7

此外，在500mb以上，随着南北槽的合并加深，在我国东部沿海地区高空又造成了一次冷空气入侵。16日20时，在贝湖横槽转竖的过程中，500mb图上的冷温槽内分裂出一个

-20°C 的切断冷中心，它随大槽后的偏北风南移。17日20时500mb图上廿四小时变温，在长江南北均为负值。如阜阴 -2.2°C ，上海 -3.2°C ，安庆 -1.2°C 。在此期间，700mb以上为温度脊控制，温度平流不明显，因而这些地区的大气层结进一步趋于不稳定，这又给飑线发展提供了新的能量。

(三) 逆温层与不稳定能的储存

分析17日02时至08时的探空曲线，发现一个颇有意义的现象：在山东、安徽、江苏的许多地方，在700mb以下，普遍存在着两个逆温，850mb与700mb之间有一下沉逆温，近地面层有一辐射逆温（见图17）。逆温层对于大气低层不稳定能的储存有重要作用。

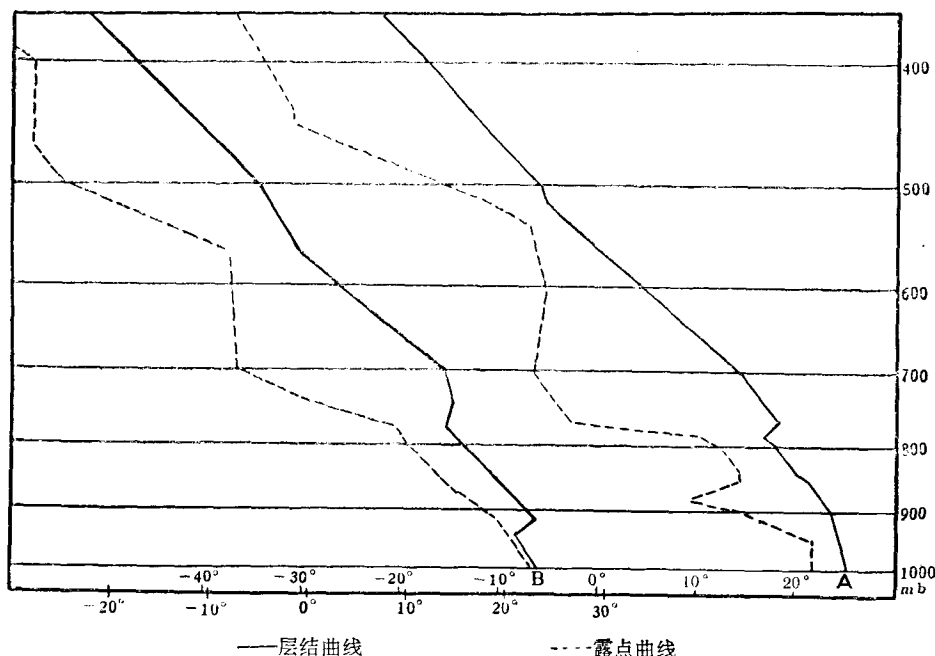


图17 17日07时徐州(A)和南京(B)探空曲线

16日20时以后，长江以北的山东、江苏各地处于高空槽后，天气晴朗。17日清晨，由于夜间的地面辐射冷却，使这些地方大雾弥漫。这个地区处于副热带急流的左侧，也是南支槽后，有下沉运动。这种下沉作用，在700mb与850mb之间，造成明显的下沉逆温，逆温厚度为250~600米，顶底温差约 2°C 左右。逆温层上部 $\gamma \approx \gamma_a$ 。在700mb附近形成了一个干区，温度和露点的差值达 20°C 以上。因为有以下沉逆温存在，上午地面雾消散以后，只能出现矮小的积云或层积云。逆温层阻碍了湿空气向上穿透，再通过水平平流和日间加热，使逆温层以下的气层变得更暖更湿。同时，对流层中层和上层可以变得更冷。这样，在下沉逆温层以下的深厚气层里，积累更多的潜在不稳定能量，气层的对流不稳定程度更大。一旦有某种机制使逆温消失，强烈的对流就会爆发。正如过去许多文献指出，逆温是出现强烈天气的一个重要因素^[3]，这次飑线出现如此之强，也是同逆温的存在分不开的。

(四) 疏散槽与触发机制

16日08时，疏散槽形成于蒙古沙音山德东部上空、贝湖横槽前部的疏散等高线中，从

700mb 到 300mb 都很明显。从当日上午 9 时 37 分的红外云图上可以看出，在疏散槽前出现了丝缕状卷云云系（见图18），表明高空槽前存在辐散气流。在这片云区中的较为明亮的云块，则是对流云系。丝缕状卷云覆盖在对流云上空，预示着对流云将继续发展，未来有雷雨发生。事实上，午后这个地区就出现了一片雷阵雨区。与疏散槽配合，在槽前的地面冷锋上有一低压，它随疏散槽移动，雷雨区则在低压的东北方（见图19）。



图18 6月16日 9时37分卫星云图

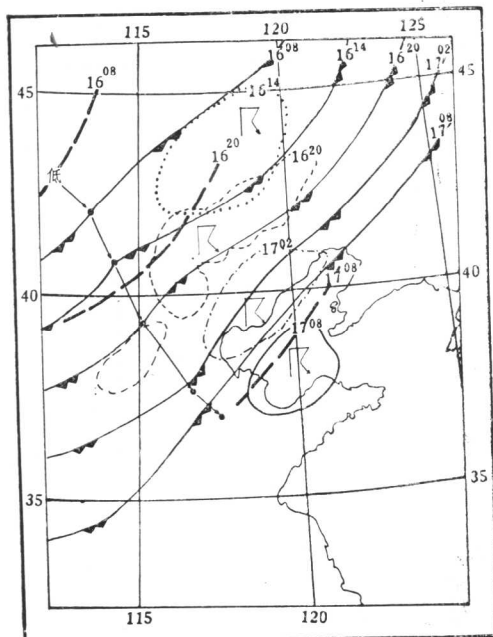


图19 冷锋、不稳定天气区、低压综合动态图

在 16 日 08 时 500mb 图上，正涡度输送最强的地方是在疏散槽的东南方，因而槽向着东南方向移动。槽前的上升气流，对大气低层不稳定能的释放，起着触发作用，所以，在槽前伴随有一片雷雨区。至 17 日 08 时，这片雷雨区同疏散槽一起已移到渤海。疏散槽的触发作用，后来就成为山东北部飊线产生机制的一部分。

从以上大尺度天气背景的分析，说明在我国山东、江苏地区已具备出现强烈天气的条件。然而，这是什么样的强烈天气，它又在何时何地出现，还不能肯定，而仍有它的偶然性。当然，偶然也包含了必然。恩格斯说：“**被新定为必然的东西，是由纯粹的偶然性构成的，而所谓偶然的东西，是一种有必然性隐藏在里面的形式**”。① 一条飊线在某时某地产生，除了大尺度天气背景的影响之外，必然还有其特定的具体天气条件，否则，是不能实现的。下面，我们就来进一步分析飊线的生成、发展的中尺度天气条件。

三、飊线生成、发展的机制

这次飊线生成、发展的特点是：生成早、发展强、生命长。毛主席说：“**尤其重要的，**

① 恩格斯：《路德维希·费尔巴哈和德国古典哲学的终结》，《马克思恩格斯选集》第 4 卷，人民出版社 1972 年版，第 240 页。

成为我们认识事物的基础的东西，则是必须注意它的特殊点。”^① 本节就是弄清在大尺度天气背景之下，飑线生成、发展的机制，以探讨这次强飑线天气过程发展的特殊本质。

（一）飑线的生成

这次飑线是在山东北部风的辐合线上形成的。

在17日02时的地面上明显地见到，渤海有一条近东西走向的风的辐合线。其北侧为东北偏东风，南侧为偏南风。这条辐合线只是出现在大气低层，到1500米以上就消失了。

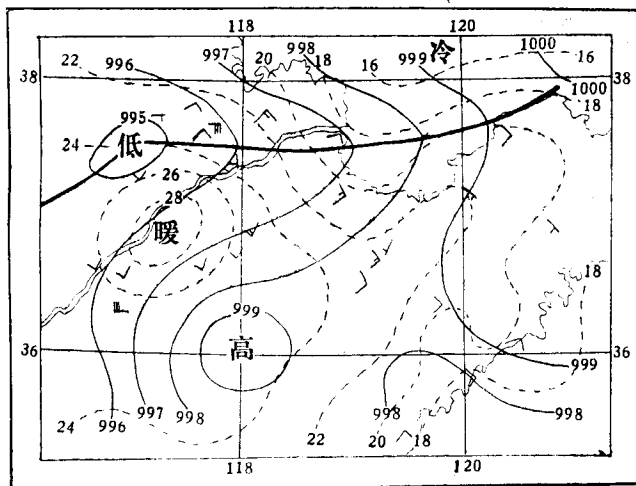


图20 6月17日05时地面天气图

低空辐合线的出现主要是同辽东半岛的高脊加强东伸相联系的。16日14时，从山东北部至辽东半岛，处于高压脊的后部，均是偏南气流。以后，在辽东半岛及其以北地区，主要由于上升气流造成的绝热降温作用，1000至500毫巴的气柱平均温度下降，因而地面出现了高压区，20时图上正变压中心值达5.7毫巴。高脊线由西北至东南向，转为东西方向。于是，辽东半岛和华北北部沿海各测站的地面风由偏南转为东北偏东风。山东北部地面仍保持偏南气流，因而在渤海形成了风的辐合线。辐合线出现后，在它北边的风速又逐渐增强，北风分量较为明显，在北来气流的作用下，辐合线移向山东，05时它已移到山东北部（见图20）。

辐合线在山东北部出现，有利于低层的水汽向那里集中。从16日20时850毫巴温度分布看，已有一湿舌自南向北伸到山东半岛。在17日08时850毫巴湿度图（见21图）上，山东北部形成了一个13.4克/千克的湿中心。这个值同某些国外文献〔4〕指出形成强雷暴的比湿6—8克/千克相比，则要大得多。

辐合线附近，低层湿度虽大，但在700毫巴以上就是干区。在这种湿度分布的情况下， θ_{se} 随高度是减小的。在山东北部，850毫巴和700毫巴的 θ_{se} 的差值是 -5° — -10° ；气层处于对流不稳定状态。一旦气层被抬升到相当的高度，就会出现剧烈的对流天气。

起初，在辐合线上基本是稳定天气（只是在海上的某些测站，后半夜有过霁雨），但是，时隔数小时，沿海辐合线上的许多测站出现了cb，7时半后，山东北部的沾化、垦利、

^① 《矛盾论》。《毛泽东选集》，第283页。

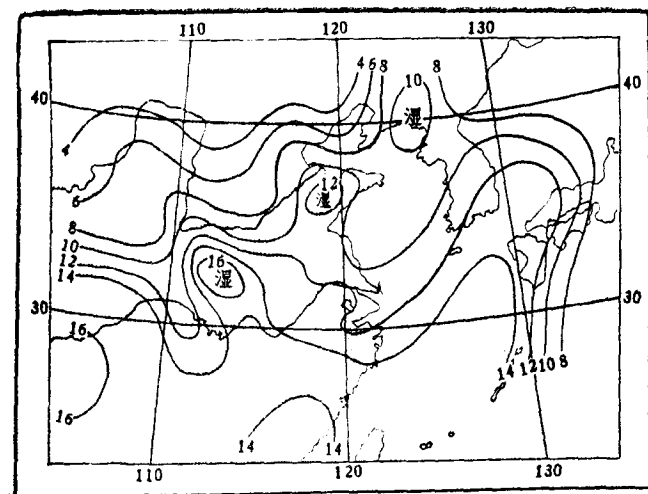


图21 17日08时850毫巴比湿分布

广饶、羊角沟、昌邑、掖县、招远、平度等地相继下雨，并在8时左右出现雷暴，形成了东西走向的雷雨云带。这些现象说明，山东北部地区的天气发生了由稳定天气向不稳定天气的转化。

然而，这种转化的实现，必定是有条件的。正如毛主席所说的：“**在这里，条件是重要的。没有一定的条件，斗争着的双方都不会转化。**”^①在17日08时，高空疏散槽正好叠置在地面辐合线上，这就是山东北部大气不稳定能释放的触发机制。

自16日08时以后，高空疏散槽以30公里/时的平均速度，从西北向东南方向移动。17日08时，槽线之前，按简化后的垂直速度(ω)方程计算出的大尺度垂直运动为 $-4-5$ 毫巴/时。速度尽管不大，但由于疏散槽从700毫巴一直伸展到300毫巴以上，上升气流存在于深厚的气层之中，它对不稳定能量的释放仍然起着重要作用。16日14时到后半夜后，槽前伴随一片雷雨区的事实，足以证明它的这种作用。当17日08时疏散槽移到渤海上空，同地面辐合线叠置在一起，显然又会加强上升气流的速度，以致出现雷雨云带。

必须指出，在高空疏散槽槽前的下方，有冷锋穿过的地面低压的东北部，从16日14时后一直有一片雷雨区。17日02时雷雨区的前沿已移到渤海。从雷雨云下辐散出来的冷气流冲击着前方低层的暖湿空气。这种触发作用，可以使气层不稳定能释放，并在雷雨云前发展出新的对流单体。渤海上的雷暴冷堆，自然对于山东北部气层中的潜在不稳定能的释放有触发作用，因而它对飑线的形成，也是不可忽视的一个因素。

上午08时，在山东北部形成飑线。飑线的位置是在湿舌顶端、对流不稳定区的北侧。由于水汽充沛，飑线过境时的降水是较大的。从08时的水汽通量散度($\nabla \cdot q \vec{V}$)分布看(见图22)，在飑线前沿的东西两边，有两个水汽通量辐合中心，因而降水集中在飑线后部的东西两段。飑线经过山东北部地区时，位于它东段的掖县，降水量就达58.6毫米，西段的垦利孤岛，降水也有24.2毫米。值得注意的是掖县雨急量大(10分钟雨强35.7毫米)，这可能是正处于高空疏散槽前上升运动最强地方的缘故。

① 《关于正确处理人民内部矛盾的问题》，《毛主席的五篇哲学著作》，第302页。

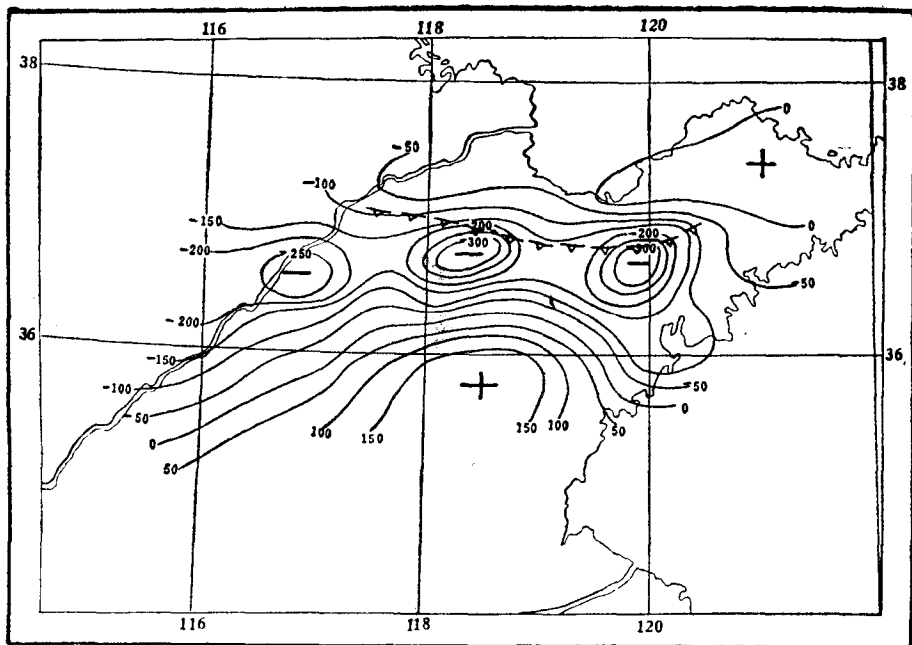


图22 17日08时地面水汽通量的散度 $r \cdot qV$ ($6 \times 10^{-6} g/Kg/s$) 分布

(二) 飊线的发展

列宁说：“发展是对立面的‘斗争’。”^① 飊线加强的原因，也必须从有利和不利于飊线发展的两个方面作用的对立斗争去探讨。我们分析这次飊线发展的过程，有利于它加强的作用有如下的几个：

1. 地面的加热作用

处于飊线前方的山东南部、江苏、安徽等省的广大地区，处于500毫巴南支槽后，天气晴朗，白天地面增温十分明显。从08时至14时，各地差不多都增加了7—8°C，低层大气层结趋向于不稳定。我们以南京为例，将13时的层结曲线和08时的比较，13时地面气温增加了8°C。由于地面气温升高，在930毫巴的辐射逆温已经消失，近地面层的大气层结变得接近于干绝热递减率。930毫巴到700毫巴气层的温度也略有升高，这是暖平流引起的增温。原先在780毫巴的下沉逆温，由于槽后下沉气流的作用，变得更强大。这个逆温层之上的大气层结也趋于不稳定。大气中的潜能明显增加，计算自由对流高度以上的不稳定能量，正面积所占的厚度(Δp)，从500毫巴增加至750毫巴，状态曲线与层结曲线间的最大温差由11°增至15°。随着时间的推移，南京低层气温还在继续增加，层结必然更趋于不稳定，因而使大气储存更多的不稳定能量。

2. 雷雨云体互相合并的作用

许多观测事实表明：当几块对流云合并为一大块对流云时，可以使动能和水汽进一步集中，引起对流云更猛烈的发展〔5〕。这次飊线的发展，同雷雨云体互相合并的作用有着密切

① 《谈谈辩证法问题》。《列宁全集》第38卷，第408页。

的关系，每当发生一次合并过程之后，飊线就有明显的增强。

由于热力和动力的原因，在地面的暖湿区域中，局地常有浅层的中尺度低压出现，低压是气旋环流和辐合区。低压区的辐合气流使暖湿空气向低压集中，有对流运动发生、发展。在已有对流云存在的情况下，就会使低压区的对流单体迅速靠拢合并加强，成为排列紧密的强大雷暴群。图 23 和图 24 分别是 17 日 15 时和 16 时地面流场图，上面描了飊线附近雷雨云体的雷达回波，实线为散度($0.25 \times 10^{-4} \text{秒}^{-1}$) 等值线。

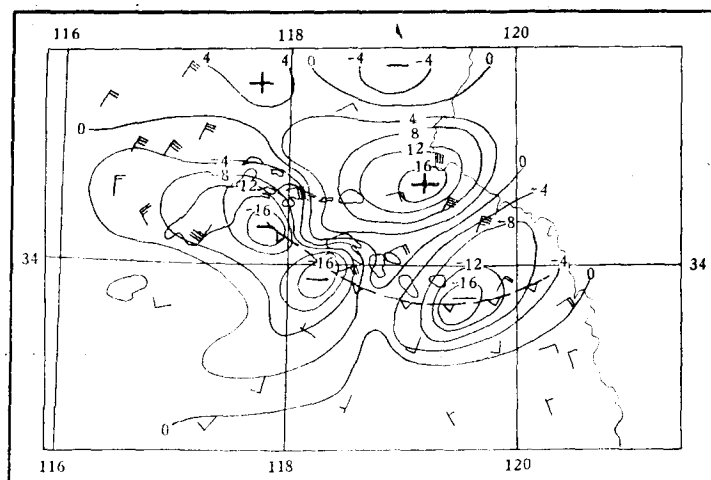


图23 15时地面流场

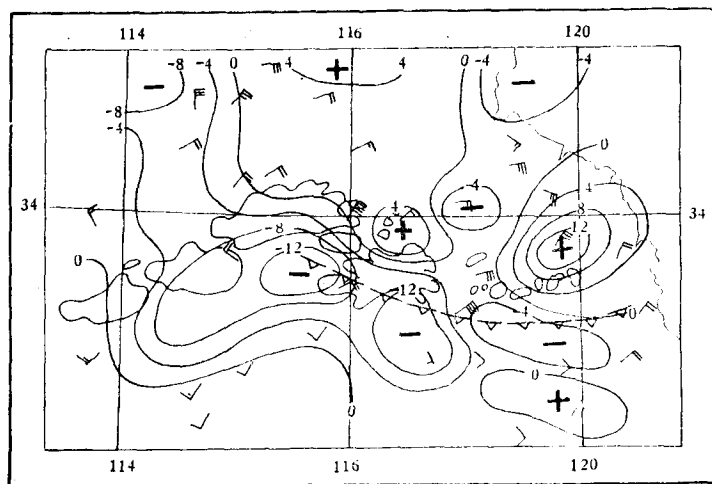


图24 16时地面流场

从图23看出，在江苏泗洪之北，有一个辐合中心（中间一个），它对应着一个中尺度低压。低压附近的孤立分散的对流云体，受地面辐合气流的影响，向低压区合并（见图24），雷雨云获得猛烈发展，结果 15 时 40 分以后，在泗洪地区降水 40mm，同时还下了冰雹。这种在中尺度低压区域产生云体合并的现象，在整个飊线的发展过程中，曾经发生过多次，而每次雷雨云体的合并，都促使飊线发展，产生了更为强烈的对流天气。15 时以后，在江苏