

我国东部沿海地区“高后型飑线”的一种形成机制*

林锡怀 钱家声

(空军气象学院, 南京 211101)

提 要

该文分析了1988年5月初出现于苏皖东部地区的一次飑线。下部深厚的辐合层与上部强烈的辐散层迭置为其存在空间; 低层低空急流轴与 θ_{se} 场高值轴几乎重合, 使该空间不仅有丰富的能量贮存, 而且有利于扰动动能释放; 沿低空急流的重力波传播与高压后部回流冷空气前缘的重力波“相交处”, 冲击力可能很大, 飑线正在此处出现。

关键词: 高压后部回流; 飑线; 急流; 重力波。

引 言

春末夏初, 大陆冷高压变性后, 往往以移动性的、不深厚的高压形式东移出海, 其南伸的脊, 有的只达山东, 有的可达江浙, 有的甚至掠过闽北, 出海的高压脊(或小高压)往往诱导海上冷空气向陆上回流。受其影响, 有时可见回流低云, 有时有小范围的雷阵雨, 有时甚至出现雷暴群, 形成飑线。回流冷空气受出海冷高压支配, 一般比较浅薄, 势力也不会太强, 它单独作用, 一般不足以引起飑线。如若出现飑线, 势必还有别的有利的特殊条件伴随。本文拟通过实例来探索其相伴的条件。剖析的实例为1988年5月初出现于苏皖东部的一次飑线。该月2日20时, 有一与出海变性冷高压相联系的小高压在东台附近, 中心为1011.1 hPa, 轴长约200 km。与此同时, 徐州、清江一线出现雷暴天气。至3日02时, 小高中心值为1005.8 hPa, 略有东移, 而雷暴区比原来扩大, 由接近100000 km²到超过这个范围, 位置向西南方向移了大约70 km, 北边的雷暴高压与南边的中低压都很清晰, 是一个典型的出现于高压后边的飑线(见后面附图1a, 3e)。

1 资料与处理方法

天气区范围、大尺度天气系统位置强度的确定依据国家气象局出版的天气图集; 背景场的物理量依据国家气象局及空军提供的高空资料, 进行客观分析后(取格距150 km)计算获得, 其中垂直速度是用连续方程方法计算的。此外, 还利用加密的地面资料、

* 国家自然科学基金资助项目。
1994-11-14 收到, 1995-06-09 收到修改稿。

空军航空报及危险天气报资料进行地面有关场分析. 还应用 Barnes 方案^[1]计算获得所需的中尺度场.

2 事实与分析

2.1 深厚的辐合层与强大的辐散层相迭置

这次飑线雷暴区如图上的左上方所示, 实线范围为 5 月 2 日 20 时的雷暴区, 虚线范围为 5 月 3 日 02 时的雷暴区.

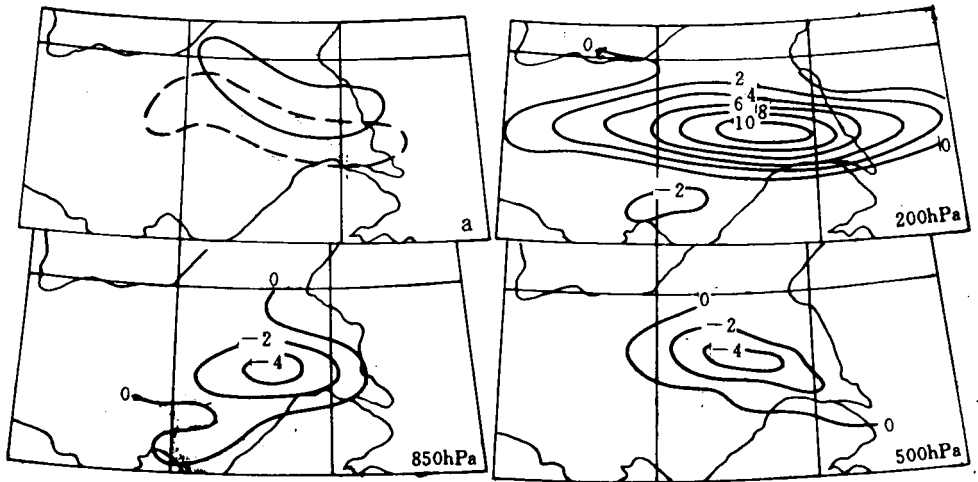


图 1 飑线雷暴区(a)及各层的散度分布(单位: 10^{-5} s^{-1}) (图 1a 实线为 5 月 2 日 20 时雷暴区, 虚线为 5 月 3 日 02 时雷暴区)

Fig. 1 Divergence distribution of thunderstorm region (a) with squall line over 850, 500 and 200 hPa (unit: 10^{-5} s^{-1}) (For Fig. 1a solid line: 20: 00, 2, May. dashedline: 20: 00, 3 May)

这次雷暴区上方的无辐散层高度很高. 如果以 2 日 20 时的垂直运动垂直分布来判定, 它接近 300 hPa 层高度. 因为 300 hPa 层垂直速度最大, 达 $-21.2 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$, 其上 200 hPa 层为 $15.2 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$, 其下 500 hPa 层为 $-19.7 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$. 如果按图 1 所示的散度垂直分布来判定, 无辐散层在 300~400 hPa 层上下. 从低层一直到 500 hPa, 均受辐合场控制, 200 hPa 为辐散, 300 hPa 为很弱的辐散. 这样高的无辐散层平时是少见的, 这个季节里无辐散层一般在 600 hPa 上下. 著名的河南“75.8 特大暴雨”期间, 暴雨区上空无辐散层高度曾达 300 hPa 以上, 飑线频频产生, 造成严重的灾害.

这次无辐散层如此之高与中层出现辐合不无关系. 从 500 hPa 图看, 飑线上方为槽前, 即一般认为槽前易产生辐散的地方, 但由于槽底以西, 阜阳附近有 $30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的强风核, 雷暴区上方顺气流方向纵向辐合量很大, 无辐散层因而处于上方. 500 hPa 在无辐散层下方, 虽在槽前部位, 但按皮叶克尼斯-洪波理论, 此处只能产生辐合效应. 因而, 在这 500 hPa 层上槽前实际出现的为如图 1 右下所示的辐合场.

低层的辐合场, 主要为低空急流的纵向辐合及东西向横切变共同的效应. 850 hPa

层辐合场如图 1 左下所示。

值得提出的,这次飊线区上方 200 hPa 层的辐散场特强(见图 1 右上),辐散中心值为 $1.08 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$,比一般大尺度辐散大 1 个量级.这个强辐散区处在急流入口区右侧,强大的急流对这个辐散区的形成只能说有一部分作用,确切的原因还难以说清。

2.2 低层 θ_{se} 场与急流的配置

低层 θ_{se} 场与低空急流的特殊配置,使飊线产生区不仅贮有丰富的能量,而且不断有能量输送过来。

图 2 为 1988 年 5 月 2 日 20 时 1000 hPa 层 θ_{se} 场及低空急流.从图可见,雷暴群正出现于 θ_{se} 线密集区, θ_{se} 梯度达 $12.3 \text{ K}/100 \text{ km}$. 这里为能量锋区^[2]所在,场中贮存着丰富的能量。

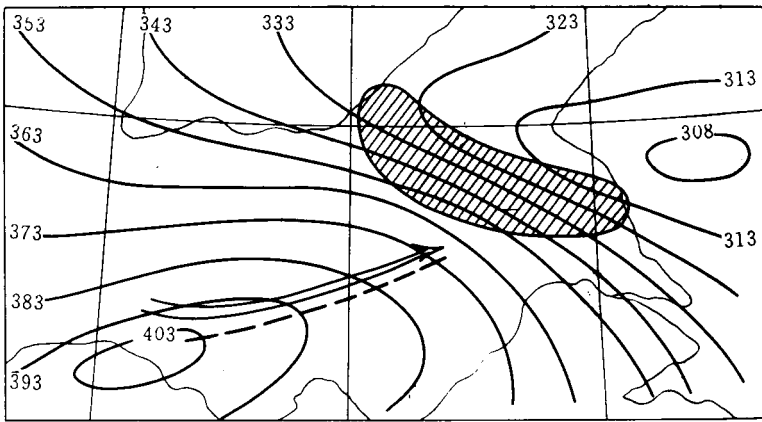


图 2 1000 hPa θ_{se} 场(其高值轴以虚线表示)、低空急流(空心矢线为低空急流轴)及雷暴区(阴影区)

Fig. 2 θ_{se} field at 1000 hPa (dashed line: axes of high value, hollow vector line: axes of low level jet, shaded area: thunderstorm region)

更有趣的是,低空急流轴与 θ_{se} 场高值轴几乎重合,低空急流成为典型的能量输送带^[3].且这次低空急流轴两侧风速梯度达 10^{-4} s^{-1} ,这样大的量级,凭借急流的气流可将能量及扰动动能不断向飊线产生区输送。

2.3 重力波与低空急流的配置

在冷性高压后部回流冷空气扇形区前缘的重力波与低空急流前端相交处,为本次飊线形成的区域。

过去一些文献比较强调中空槽后冷空气下泻并向前冲击不稳定空气,激发飊线形成.这次不同,飊线所在区的中低空均为上升运动,不仅如此,就连雷暴群的西方,包括中空槽后部分地区(只要在强风核以东)都出现上升运动.冲击触发雷暴群形成的,不太可能是来自中空槽后的下击暴流。

图 3 为以地面加密资料,用 Barnes^[1]方案过滤分离的中尺度场.由图 3 可见:

(1) 飊线雷暴群位置在地面的投影区正好落在高压后部回流冷空气向西南方向扩散的前缘地带.以下一些征象可作说明:① 对照图 1 左上雷雨区与图 3b 温度场,飊线雷

雨区处在冷区西南边缘；② 对照图 3b 与图 3a，这个冷区西南边缘正是高压后部回流冷空气扇形散开区所在；扇形区前缘呈向南南西突出的弧状曲线，而雷雨区南缘也呈相似的弧状；③ 2 日 20 时~3 日 00 时，冷性小高压由靠近海岸到中心出海，回流是加强的，相应地“扇形”是向南展开，而雷雨区也是南压的。从这 3 点，我们认为这次飕线是与高压后部回流冷空气有关系的。

(2) 高压后部回流冷空气前缘有重力波存在，雷暴群贴近其传播范围：① 对照图 3b 与 3c，可以看出，冷空气前缘，在从东南东向西北西的一条弧线上，中尺度辐散(D)辐合(C)区是相间配置的；② 对照图 3c 与 3d，可以看出中尺度辐散辐合区与中尺度正涡度

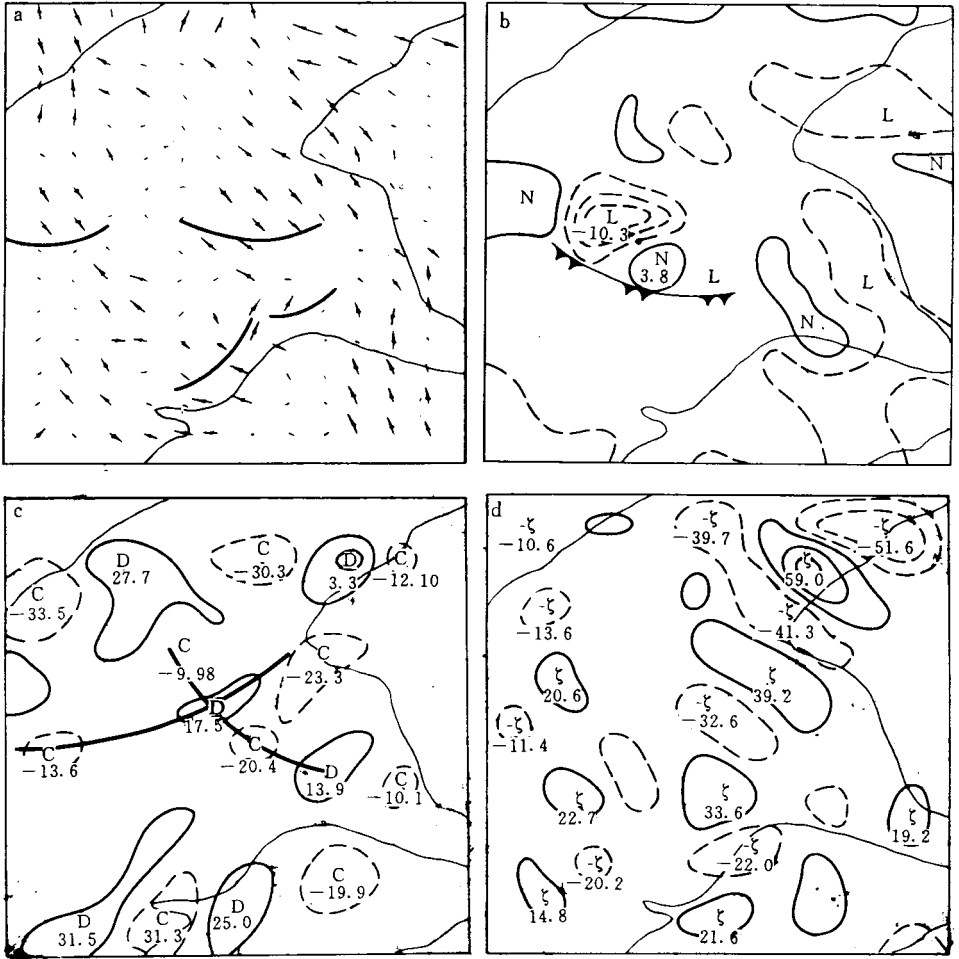
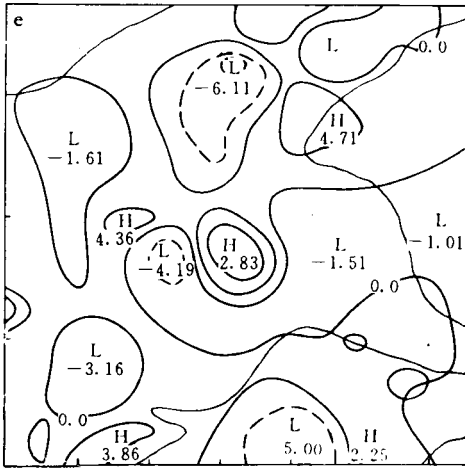


图 3 1988 年 5 月 2 日 20 时地面中尺度场 (a) 风场 (b) 温度场 (c) 散度场 (单位： $\times 10^{-5} s^{-1}$) (d) 涡度场 (单位： $\times 10^{-5} s^{-1}$) (e) 气压场 (单位：hPa)

Fig. 3 Surface mesoscale field at 20:00 May 2, 1988 (a) wind, (b) temperature, (c) divergence ($\times 10^{-5} s^{-1}$), (d) vorticity ($\times 10^{-5} s^{-1}$), (e) pressure field (unit in hPa)



续图 3

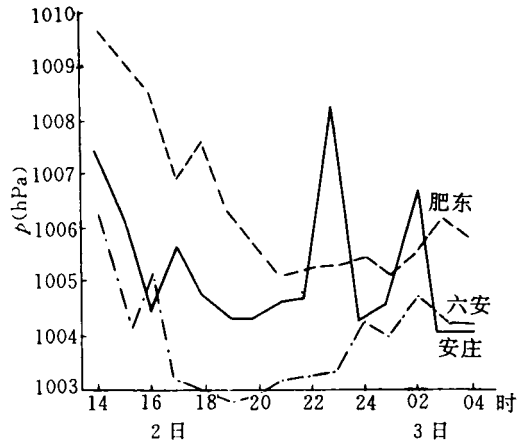


图 4 1988年5月2~3日低空急流轴附近诸站(安太、肥东、六安)的地面气压逐时演变

Fig. 4 Hourly evolution of surface pressure for stations (Anqing, Feidong, Liuan) around axes of low level jet on May 2~3, 1988

区(中心 ξ)负涡度区(中心 $-\xi$)并不重合,两者大体错开 $\pi/2$ 位相,这是存在重力波征象.

由此,我们认为雷暴区是贴近重力波的传播范围的.但并不是冷空气前缘都充满雷暴,它只盛行于其中一段上,说明这里还存在别的有利因素.

(3) 雷暴群集中的地方正是低空急流东端所指的地方,具体地说,当低空急流在地面的投影与冷空气前缘相交叉的地区上. ① 日本学者在研究中间尺度扰动和我国学者斯公望等在解剖低空急流时指出^[3, 4],沿低空急流存在具有重力波性质的扰动.将图 3c 与 3d 向西延伸,看到辐合辐散区以及正负涡度区也存在与上述相类似的相间配置.因此,我们认为这次低空急流带上也存在具有重力波扰动; ② 低空急流的中、上游段并没有强对流天气,但在飑线区雷暴群发展前,低空急流上有明显的气压扰动.如图 4 是用加密资料制作的逐时气压演变图.安庆站在低空急流轴近旁,2日16时~3日02时明显地出现一系列的气压扰动,峰值附近1小时变压达2~4 hPa以上.实践经验表明,除台风、龙卷等临近外,一般1小时气压变化达2~4 hPa以上是极少见的.从图可见,离急流轴不远处,如六安、肥东等站也出现类似的扰动.2日16时起有扰动顺六安、安庆、肥东方向东移,20时东台附近出现飑线;22时后轴附近有更强的扰动,3日02时飑线达最强. ③ 我们以低空急流带上各站的气压日变化平均作为平均日变化,以各站气压与日变量之差作为受扰动影响的量,发现同一时间内,沿低空急流正负扰动是相间分布的,前后时次比较扰动是东传的(图略).

根据以上一些事实,我们判定沿低空急流也存在具有重力波性质的某种扰动.再综合本节中诸多事实,以及图 3c 上显示,作为冷空气前缘相间分布的辐合辐散区中的一个小的辐散区,在低空急流端点所指的地方,顺低空急流延伸方向发展明显.我们认为,这很可能是两个系列的扰动交叉处所在.因为两种扰动交叉,冲击力较大,所以此处产

生了飑线。

3 讨 论

(1) 本例中，深厚的辐合层被强的辐散层覆盖为飑线产生提供了有利空间。与中空槽相伴的强风核处于槽底以西，使槽前辐合是飑线产生的关键。

(2) 飑线形成需要大的能量贮存是众所周知的事实。本例只是明确了一种有利获得大能量的型式，即以等 θ_w 线密集带显示的能量锋与 θ_w 场高值轴和低空急流轴几乎相重合的能量输送带联结，有利于能量积累到产生飑线的程度。

(3) 分析认为，冷性高压后部回流冷空气前缘的重力波扰动与沿低空急流具有重力波性质的扰动交叉是产生飑线的一种冲击力。当然，由于目前天气资料时效与计算条件等限制，实际在作预报前，要先认定扰动的性质几乎十分困难。但回流冷空气前缘原先为低碎云或层积云，后来转成积雨云，表明有较强的扰动在形成；以及沿低空急流有偏离气压日变化较大的中尺度气压扰动等是容易把握的。作者认为预报前特别要注意这两个系列的扰动有否交叉或“碰头”的可能。

参 考 文 献

- 1 丁一汇编著. 大气动力学诊断方法. 北京: 气象出版社, 1984.
- 2 雷雨顺编著. 能量天气学. 北京: 气象出版社, 1986.
- 3 二宮 九三. 梅雨锋暴雨与中间尺度及中尺度扰动. 日本《气象研究纪要》, 1974年8月.
- 4 斯公望, 俞樟孝, 李浩然等. 一次梅雨锋低空急流形成的分析. 大气科学, 1982, 6(2): 165~170.

THE FORMATION MECHANISM OF SQUALL LINE WITH A BEHIND HIGH PATTERN OVER THE COAST OF EASTERN CHINA

Lin Xihuai Qian Jiasheng

(Institute of Meteorology, P. L. A. Air Force, Nanjing 211101)

Abstract

A squall line weather process on 2 May 1988 was analysed over the eastern Anhui-Jiangsu provinces. The analysed result shows that there was a deep convergence layer on the low level, and severe divergence layer on the upper level; the axis of low jet stream on the low level was almost coincident with the axis of high value of the θ_w field. So that the space of the squall line not only had abundant energy storage, but also was favourable to the release of disturbance kinetic energy. In the crossing site of the gravity wave along the low jet stream and that of forward sector of backflow, the impulsive force might be very strong, and a squall line just appeared there.

Key words: Backflow behind high pattern; Squall line; Jet stream; Gravity wave.