

冷涡形势下强飑线的雷达探测和临近预报

余志敏

(中尺度气象研究所)

提 要

本文利用北京 713 雷达探测的分层显示资料和其它探测资料,分析了1987年8月24日强飑线出现的环境场、卫星云图和雷达回波特征。结合以往的探测实践和分析研究结果,指出冷涡形势下,京津冀地区强飑线活动的若干特点和临近预报的着眼点。

1987年8月24日晚,河北北部、京津唐地区先后遭受强飑线袭击,出现强雷雨、瞬时大风和冰雹等强烈天气(图1)。飑线过北京时,雷雨云中的雷电使故宫博物院的景阳宫遭雷击起火。

我所的 713 雷达对这次飑线系统进行了连续跟踪观测,并在该系统影响北京之前作出了临近预报。本文重点分析此次飑线降水回波的中尺度特征,简要介绍飑线发生的环境条件和卫星云图特征,结合以往探测实践和分析研究结果,指出冷涡形势下,影响京津冀地区强飑线活动的若干特点。目的在于当综合使用各种探测资料时,充分发挥雷达探测在飑线系统临近预报中的作用。

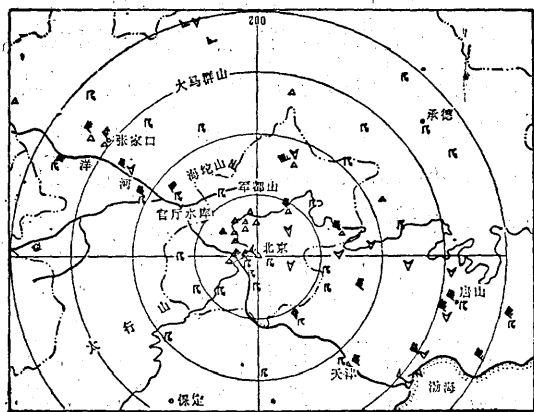


图1 地面强对流天气分布

细实线为 100m 等高线,黑三角为大(鸡蛋大小)冰雹区

一、雷达回波演变特征

此次飑线从8月24日下午在内蒙古地区初生至25日凌晨抵东北南部、渤海一带减弱消散,生命期约14小时,可以划分为三个阶段。

1. 形成阶段

使用华北区域雷达回波综合图,可以看出飑线系统初生阶段的回波特征。8月24日13时15分综合图上(图2a),呼和浩特市N—NE方50—100km处有一块雷阵雨回波在发展,强中心为40—50dBz,最高9km,移向ESE,时速30km/h。它位于地面切变线南段,对应图8卫星云图上蒙古冷涡中心云区南部对流云线南段对流云系A的位置。两小时后发展成一条长约250km的宽带(图

2b),强中心达50—60dBz,高14km,有冰雹。此带的NE方有零散雷雨回波,与云图上B云系位置对应,回波前沿接近内蒙古和河北交界处。17时15分回波带已与其前部雷雨回波合并(图2c),东段进入河北省张家口地区,前沿接近张家口市。

与此相对应,北京713雷达16—17时在北京的NW—W部,200—300km距离内探测到多块对流回波。17时卫星云图(图8)上,A、B云系已聚合、发展成长约400km的飑线云系。

2. 发展旺盛阶段

18时58分北京雷达站NW—N部的回波已连成长约240km、宽30—90km的飑线降水回波带(图3)。回波带上有多个强度>40

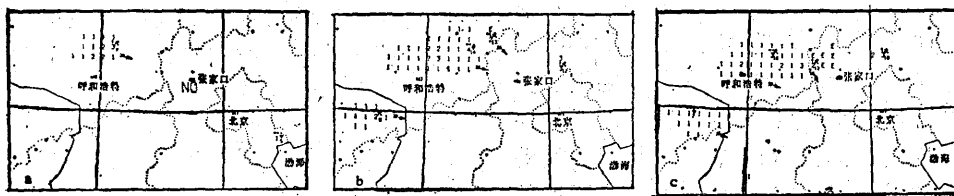


图2 华北区域雷达回波综合图(a,13时15分;b,15时15分;c,17时15分)

图中1表示回波强度<30dBz; 2为30—40dBz; 3为40—50dBz; 4为50—60dBz; E为711雷达站探测资料,表示有回波

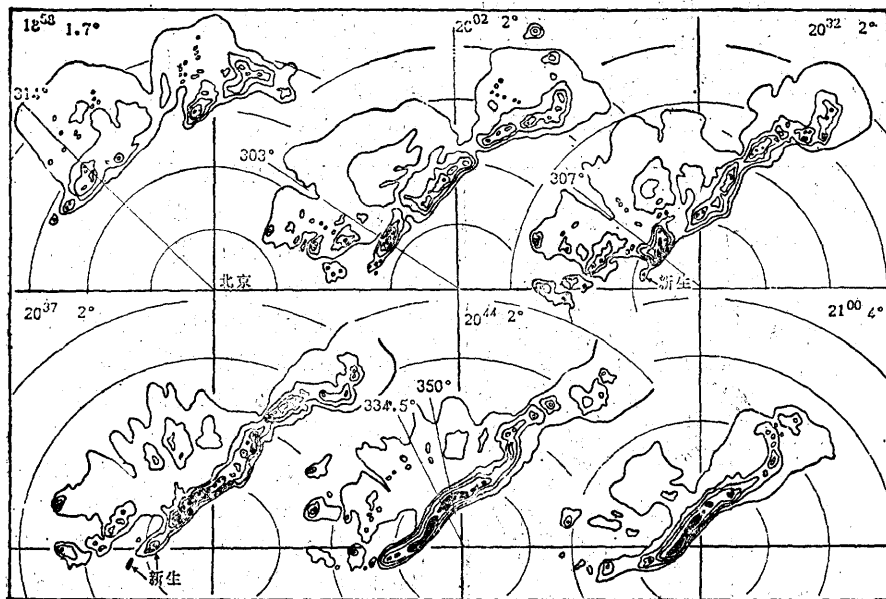


图3 飑线发展旺盛阶段平显回波素描图

回波廓线由外向里依次为<20dBz, 20—30dBz, 30—40dBz, 40—50dBz, 50—60dBz, 距离每圈50km

dBz 的强中心, 强核宽约 4—10km, 最强为 50—60dBz, 高 13—14km。20 时 02 分回波带继续发展, 前沿距北京雷达站最近处为 60km, 前沿排列着 10 多个强度 > 40dBz 的强核, 最强的为 50—60dBz, 回波前沿强度梯度很大。回波带前沿的中等强度回波 (指 > 30dBz, 相应 $R > 2.7\text{mm/h}$) 区的宽度为 5—10km, 其后部为一片范围较广的弱回波区。回波带大致可以分为北、中、南三段 (按中等强度以上回波划分, 图 4)。中段已由海坨山主峰东部 SE 移, 进入延庆盆地和怀柔县白河河谷, 强烈发展成为一条长约 60km, 宽 10km 左右的直线状短带, 有多个强核; 南段回波已移到官厅水库, 成为长约 30km, 宽不到 10km 的孤状回波, 强中心 (303°, 70km) 后部出现由强降水对电磁波的严重衰减而造成的“V”形缺口 (图 3)。此后, 回波带中、南段继续发展。20 时 37 分回波带前沿距雷达站最近处为 30km, 回波带的南段已形成带状回波波动型式, 波动中心在 350°, 40km 处, 附近的垂直剖面 (图 5) 上, 50—60dBz 的强回波区顶端达 13.5km, 云体顶部回波强度垂直梯度极大, 为典型的雹云回波, 所经之地出现成片的强雷雨、大风、冰雹、飑等天气现象。21 时 10 分前后飑线影响北京西郊, 气压涌升、气温陡降, 出现强雷雨、冰雹和瞬时

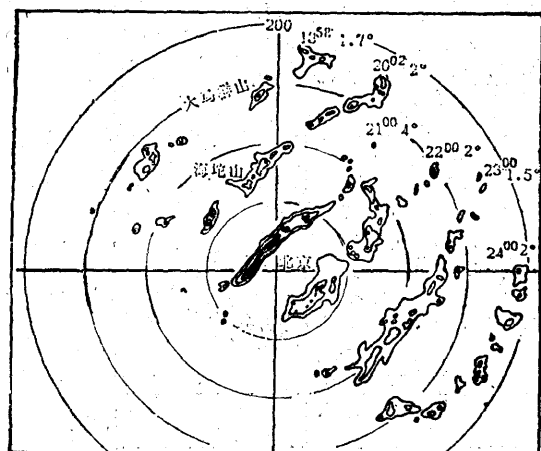


图 4 强度 > 30dBz 回波动态图
回波廓线由外向里为 30—40dBz,
40—50dBz, 50—60dBz

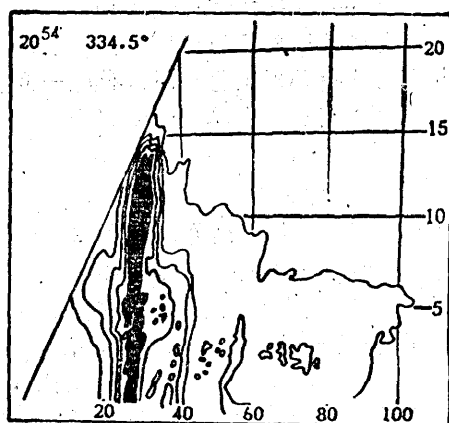


图 5 波动型回波高显素描图
回波廓线说明同图 3

大风天气。

飑线回波带发展旺盛阶段持续约 5 小时, 而带状回波波动型仅维持 1 小时。回波带平均移速高达 60km/h, 是地面天气最强烈的阶段, 冰雹直径一般为 6—10mm, 最大的形如鸡蛋。

3. 减弱阶段

飑线回波带移过北京后, 波动型消失, 平显上原窄条状强回波断裂为小块, 而中等强度回波带宽度加大, 由强盛阶段的 5—10km 展宽为 10—25km (图 4), 回波带结构变松, 回波强度水平梯度迅速减小。高显上回波顶高降至 12km, 50—60dBz 的强回波区顶降至 5km 以下, 顶部回波强度垂直梯度减小极快, 表明飑线已开始减弱。与此同时, 在减弱的强回波中心的前部又有新的对流单体新生、发展, 不断地取代老单体。这种新陈代谢作用使飑线回波带移速高达 60—70km/h。此阶段持续约 5 小时, 飑线回波带所经之地仍出现雷雨、瞬时大风和飑等天气现象。

二、飑线发生的环境场 和卫星云图特征

图 6a、b 分别给出 1987 年 8 月 24 日 08 和 20 时的 500hPa 图, 可以看出强飑线产生在高空蒙古东部冷涡南部的强西北气流中, 冷涡南部的短波槽 24 日上午已移过北京, 其后有明显的冷平流, 低空为暖湿西南气流, 风

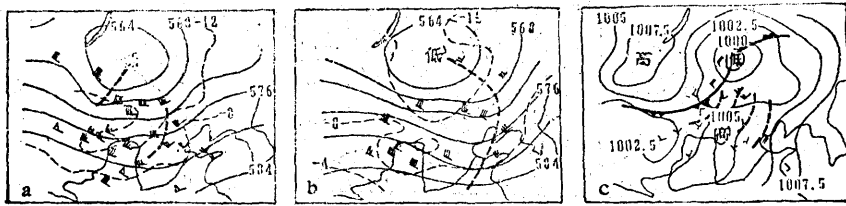


图6 1987年8月24日天气图

a, 08时500hPa图; b, 20时500hPa图; c, 08时地面图 (粗虚线为不同时间切变线位置)

力不强, 有明显湿舌 (图略)。地面 (图6c) 在蒙古冷锋前暖区中。24日13时北京探空资料表明, 850hPa以下增温, 850—330hPa明显降温。由13时的T-lnp图上 (图略) 可以看出, 除920—750hPa有很窄的负面积外, 其余高度上均为宽的正不稳定能量面积, 对流上限达230hPa (约11km)。19时不稳定能量分布与13时的类似。状态曲线-20℃处与层结温度之差, 在13时和19时分别为10℃和12℃, 远大于形成冰雹的临界温度差值5℃。两时刻的 $\Delta\theta_{se}$ (500—850) 为-6.4和-6.9℃, 表明大气为对流性不稳定。另外北京站高空风垂直风切变也较强。上述分析表明, 环境场的动力、热力属性均有利于强对流天气的发展。

图7是GMS红外云图演变素描图。可

以看到08时蒙古冷涡云系中心在48°N、113°E附近, 与其南部短波槽相联系的宽云带已移到华北东部, 在其西部的晴空区中出现一条间断的对流云线。14时对流云线南段的对流云系聚合发展。17时对流云系南部已发展成两块对流云系。20时对流云线南段云系合并, 进一步增强成为结构密实、颜色明亮、前沿光滑整齐的独立中尺度飢线云系, 云区范围扩大, 长约500km, 轴向从近E—W向转为NE—SW向, 脱离原对流云线, 云系前沿接近北京。23时飢线云系前沿已移过北京, 云系外形呈倒逗号状 (向NE方向延伸出一条松散的丝缕状云尾)。25日02时飢线云系前沿移到渤海, 前沿发毛, 亮度变暗, 开始减弱。05时云系成丝缕状, 飢线云系消散。

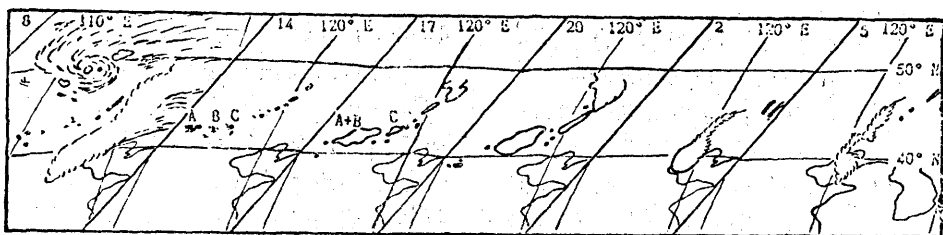


图7 1987年8月24—25日GMS云图素描图 (08时为全貌, 其余均为局部)

三、地面中尺度流场、地形对飢线回波带发展的作用

飢线影响北京之前, 地面图上天津附近为一小高压, 其西至西北部的平原是倒槽区, 为偏S或SE气流, 官厅水库到延庆盆地和怀柔、昌平、门头沟一带午后各有一长约100km、相互平行的边界层辐合带形成 (图8)。14时地面要素场, 在辐合带南部平原为

露点温度的大值区。午后地面增温, 辐合带附近仅有少量积云。傍晚从渤海湾到华北平原为较大范围的SE气流。边界层辐合带的北侧, SE气流一直延伸到延庆盆地、官厅水库和洋河河谷。北京19时的层结曲线表明, 边界层辐合带的厚度约1km, 在其顶部有一厚约20hPa的逆温层。该逆温层阻碍了热量和水汽的垂直交换, 起了贮存不稳

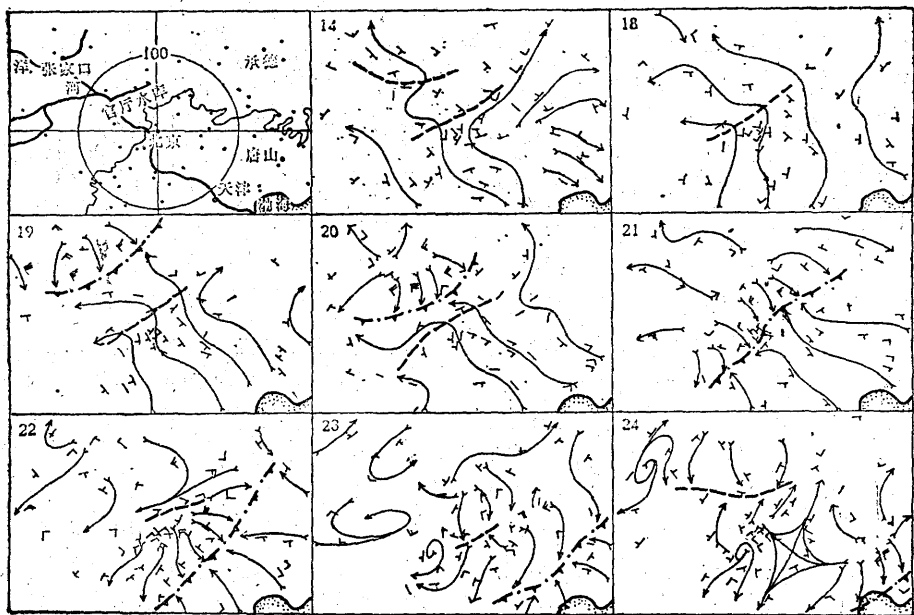


图8 地面中尺度流场图
粗虚线为边界层辐合带

定能量的作用。

从不同时间弧状回波演变和垂直剖面的结构可以看出, 飚线回波带南端的弧状回波是在飚线南段由山区移入洋河河谷, 进入低层暖湿 SE 气流的通道而迅速发展起来的。18时58分飚线回波带南段由山区进入河谷, 相近时间的垂直剖面上为发展阶段的雹云特征 (图 9a), 前砧明显, 40—50dBz 的强回波区顶高 9.5km, 其间仅有小块 50—60dBz 的强中心; 20时02分, 弧状回波已移到官厅水库一带, 强度为 50—60dBz, 移速加快, 时速约 60km/h, 是整个飚线回波带中移速最快的部位, 回波前沿梯度大, 高显上 (图 9b) 40—50dBz 强回波已呈柱状, 顶部升高至 11km, 回波顶部强度的垂直梯度增大, 并出现假回波; 20时32分弧状回波已越过笔架山, 高显上 (图 9c) 出现超级单体云云特征, 50—60dBz 的强回波区在 6—10km 高度上的宽度为 5—8km, 是 2km 高度以下回波宽度的两倍, 呈上大下小的形态, 回波前沿梯度极大, 5km 高度以上强回波区前倾, 出现穹窿结构, 其位置与最高回波顶相对应,

说明此部位是最大上升气流区; 20时37分回波带南段的弧状回波移速高达 70km/h, 回波带中段已过军都山, 两者均进入边界层辐合带, 强烈发展成一条长约 100km 的带状回波波动型式 (图 3), 强回波区连成窄条状, 强核后部出现多个弱回波通道; 20时44分 50—60dBz 的强核也已基本相连。

带状回波波动型是雷达回波的一种特殊结构形式, 是由于回波带上相邻部分回波移速不同而出现的正弦形波动。许多强风暴天气是在其附近发展的, 嵌在波动型回波中的弧状回波是与地面灾害性大风密切相关的^[1]。此例中波动型回波尺度仅 100 多 km, 弧状回波尺度更小。受资料限制, 对其中尺度流场结构还不清楚, 但从上述回波演变和地面每小时风场资料的综合分析可知, 此次飚线回波带上特殊形态回波的形成, 与局部地形、地面中尺度流场有密切关系。边界层辐合带将低层的水汽和热能积聚起来, 当飚线系统进入时, 逆温层破坏, 形成垂直方向的深厚不稳定层, 使飚线降水云体更进一步发展。也就是说, 边界层辐合带成为对流回

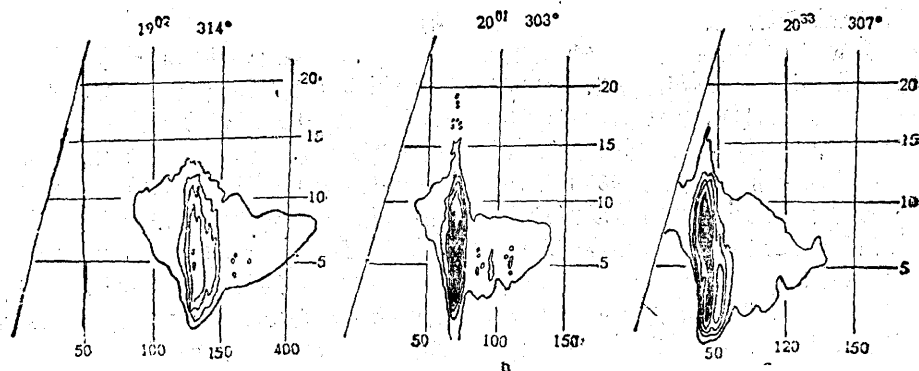


图9 弧状回波强中心垂直剖面图

波发展的低层水汽和热能输送的重要渠道〔2〕。

四、对流回波的新陈代谢作用是飚线回波得以发展、维持的重要条件

通过对加密观测的分层显示回波资料的分析，可以看出飚线回波带的新陈代谢有以下两种方式：

1. 在飚线回波带进入河谷和平原地区后，由于低层暖湿气流供应充沛，在回波带的SW方不断有新的单体生成、发展，成为新的强中心，并入主回波带，这种过程贯穿在飚线生命期的各个阶段，但以发展阶段最明显。图3反映得很清楚，20时32分新生回波强度弱，仅为20—30dBz；20时37分回波强度已增到50—60dBz，外围已与主带上弧状回波相连，其SW方又有新生回波出现；20时44分新生回波都并入主带，成为强回波带的一部分。而这时飚线回波带的NE方，发展成熟的强回波中心则逐渐消亡（见图4中20时02分以后回波带北段强中心的变化）。

上述作用一方面使飚线回波带保持其强度，另一方面又使飚线回波带的移向明显偏向于高空500hPa引导气流的右方约30°（高空风向270—280°，回波带移向125—130°）。

2. 在飚线减弱阶段，原强中心前部又有新单体生成、发展，替代了原强中心，在高显上呈现出明显的多单体结构。如图10所示，22时03分方位99°，距离40—50km的

原强中心，云体高度降为11km，50—60dBz的强回波已降到4km高度以下，成为雷雨回波，其前部（50—55km）的中空出现30—40dBz的回波在发展；22时05分，方位74°，距离70—80km处原强中心已减弱至40—50dBz，且高度都在5km以下，其前方（80—90km）已出现强度为50—60dBz的强单体，由于强回波区在4—7km高度，用2°仰角观测，90km距离处波束离地面约3.5km，因此在平显上反映不出这个强回波中心。

这种前面生成、发展，后面减弱的过程使飚线回波带仍维持一定的强度并高速向前移动，造成下游的雷雨大风天气。这种新陈代谢过程反映了强对流单体（群体）猛烈发展后，其强降水造成的局部下沉气流向四周流出，在其前方对低层暖湿SE气流的强迫抬升作用增强，激发起新生对流单体并发

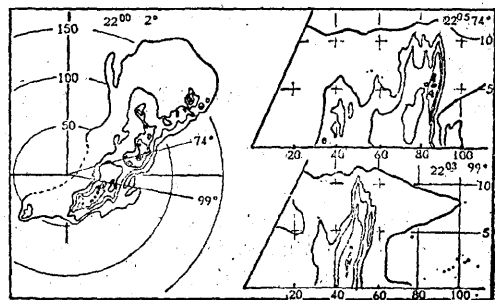


图10 回波素描图
回波廓线说明同图3

展。

五、飑线临近预报的着眼点

高空冷涡是京津冀地区出现强飑线的重要天气形势。在1979—1983年,北京713雷达探测的从NW向SE移动的29例对流回波带中,有17例(占58%)是在冷涡形势下的,其中不少是飑线回波带。结合对1980年6月20日^[3]冷涡形势下强飑线的分析和以往的分析研究,提出以下几点制作冷涡形势下飑线临近预报的着眼点。

1. 在高空蒙古(东北)冷涡形势下,当其南部的主槽或短波槽已移过北京,上游转为偏西气流,天气转晴时,要注意上游有否冷平流或温度槽,并同时注意地面相应在内蒙古或河北北部山区的切变线或副冷锋活动,它往往是强飑线的触发系统。一般飑线回波多于中午或午后在内蒙古或河北北部山区产生,在由山区移向华北平原的过程中发展增强。

2. 在卫星云图上,与冷涡相联系的高空槽或冷锋云带移过北京后,应注意其后部晴空区中出现的向冷涡中心区辐合的螺旋状对流云带或对流云线的位置,以及云系的发展、移动。

3. 华北区域雷达回波综合图有利于监视飑线初生阶段的回波强度和移动。飑线回波带的发展受其移动前方的地面中尺度流场、局部地形特点的影响。另外要考虑京津冀地

区边界层辐合带的位置、强度及其与飑线的相互作用。

4. 飑线回波带整体移动方向与高空500 hPa引导气流大体一致,在发展强盛阶段约右偏30—40°;移动速度在形成阶段小于引导气流速度,进入发展阶段后移速加大,等于甚至大于引导气流速度。在移向华北平原的过程中,因地形条件的不同,往往是北段移速慢,南段移动快,使回波带走向逆转。某些有利的地面流场和地形条件,会使回波带出现特殊的形态或结构,相应地这时地面的天气往往更激烈。

5. 回波的新陈代谢作用是强飑线回波带得以发展和维持的重要条件。这种作用不仅反映了地面中尺度流场对回波带发生发展的影响,也反映了回波系统强烈发展后,强降水携带的下沉气流对地面中尺度流场的反馈作用。在飑线回波带发展旺盛阶段以后,更要注意这种作用。

6. 可以利用分层显示的回波资料,根据上游回波带的强度、宽度、变化趋势和移向移速,来预报天气现象和估算强降水持续时间和降水量。

参考文献

- [1] T.T.藤田,下击暴流,31—34,气象出版社,1981。
- [2] 许祥秀,中尺度雨带与京津冀边界层辐合区相互作用的分析,雷达气象文集,17—27,气象出版社,1981。
- [3] 余志敏,王慕维,1980年6月20日强飑线的中尺度特征,强对流天气文集,99—104,1983。

Radar detecting and nowcasting of severe squall line in cold vortex pattern

Yu Zhimin

(Institute of Mesoscale Meteorology, AMS)

Abstracts

Using the 713 radar data and other meteorological observations, the characteristics of the ambient field condition, satellite imagery and radar echo in the case of a severe squall line on 24th August of 1987 are analyzed in the paper. The important characteristics of the severe squall line activities in Beijing, Tianjin and Hebei Province in cold vortex pattern and some reference points for the nowcasting of squall line are presented here.