

白人海

(黑龙江省气象台, 哈尔滨 150030)

谢安

(北京大学, 100871)

提 要

利用哈尔滨站的飏线资料和常规高空、地面观测资料,对冷涡过程中的飏线从天气尺度环流背景、大尺度动力条件和中尺度天气系统等几个方面进行了分析。结果指出:① 飏线发生在冷涡发展较强阶段,② 飏线发生在冷涡温压场结构不对称性较强的锋区上,③ 层结不稳定、低层水汽输送与辐合、强烈的上升运动等是必要的天气尺度条件,④ 地面上有明显的中尺度系统,⑤ 飏线发生时天气尺度动能明显向中尺度系统转换。

关键词: 冷涡 飏线 中尺度

引 言

东北冷涡是影响东北地区的主要天气系统之一。它是具有一定强度的高空冷性涡旋,是至少高达 400~300hPa 高度的深厚冷性系统。东北冷涡是一个比较稳定的天气系统,一般可维持数日之久。冷涡所造成的天气在其发展过程的各个阶段有很大的差别,且各冷涡过程所表现的天气现象也有相当大的差异,有的体现在低温上,有的则可产生较强的阵性降水,甚至包含有明显的强对流天气。这种天气现象的差异使我们认识到除了了解冷涡过程中较大尺度的运动外,还必须了解其所包含的一些较小尺度运动的作用。

本文将对冷涡过程中所产生的飏线进行综合分析,说明冷涡飏线的天气背景条件,并

进行一些中尺度过程分析。

1 冷涡中的飏线现象

飏线是一条雷暴或积雨云云线,它是由许多排列成带状的雷暴群所构成的,其水平尺度长度为 100~300km,宽度 1km 左右,存在时间仅为几小时。飏线伴有激烈的天气,如雷暴、暴雨、狂风、冰雹甚至龙卷等。按以前的观点,飏线仅是指上述这条狭长带以及其所伴随的激烈天气现象。现在则普遍用飏线系统这个术语来指除包括飏线外,还要加上有关的中尺度天气系统,如雷暴高压、飏线前低压和尾流低压等。这里显然是取后面的说法。

根据哈尔滨站的气象资料,1951~1993 年期间共记录到 177 次飏线。飏线的发生有明显的日变化,发生在午后到夜间(12~23

D 本工作得到中国气象局“东北冷涡研究”项目资助。

时,北京时)的占 87.6%,更集中在 15~18 时发生。由于冷涡过程是根据 1972~1991 年的天气图查出的,这期间记录到的飚线有 55 次,其中与冷涡过程相关的为 35 次,占 63.6%。由此可见飚线与冷涡天气的关系是比较密切的。

飚线过境时,往往会出现单站气压涌升,气温骤降、湿度急升和风向突变、风速急增的现象。根据 12 次飚线过境时自记记录的统计,气温平均下降 7.3℃,相对湿度平均上升 19%,气压平均变化 2.2hPa。

2 飚线发生在冷涡发展阶段

根据飚线出现时冷涡所处发展阶段的统计,飚线往往是发生在冷涡发展的强盛时期。此时,冷涡的温压结构是不对称的,涡中心的垂直轴线略呈前倾,尤其是 700~500hPa 层。这种不稳定的形势有利于强对流的发生。图 1 是一次冷涡发生飚线的典型天气形势个例。

若以冷涡中心为原点,与纬线相切向东为 X 方向,沿经线向北为 Y 方向,则与冷涡有关的 35 次飚线中分别有 1、0、6、28 次发生在 1~4 各象限中,3、4 象限占 80.0%。这里是处于发展阶段的冷涡低层偏暖的一侧。

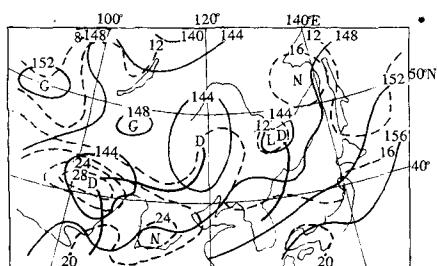


图 1 1980 年 7 月 21 日 08 时(北京时)850hPa 图
实线为等高线,虚线为等温线,粗实线为槽线

3 飚线发生的天气尺度条件

飚线这类强对流系统发生的天气尺度条件可以归纳为丰富的水汽、条件不稳定层结

和抬升气块到凝结高度的启动机制等,冷涡系统经常是能够达到这些必要条件的。

3.1 位势不稳定层结

位势不稳定是指对流不稳定和条件不稳定相结合,即 $\partial \alpha_{sc} / \partial z < 0$ 和 $\gamma > \gamma_m$ 。根据冷涡过程中发生飚线时哈尔滨站的探空记录统计结果可知,对流不稳定主要是发生在对流层的中下层,850~600hPa 层的 $\partial \alpha_{sc} / \partial z$ 平均为 $-0.7^\circ\text{C}/100\text{m}$,且所有的个例均小于零;有 75% 个例的 $\gamma > \gamma_m$,700hPa 的 γ 和 γ_m 分别平均为 $0.56^\circ\text{C}/100\text{m}$ 和 $0.50^\circ\text{C}/100\text{m}$,可见大多数情况下是符合条件不稳定的。由于层结属于位势不稳定,故容易发生象飚线这类强对流天气。

分析飚线发生时的探空曲线,850hPa 以下均有较弱的逆温存在,而且低层的大气也比较潮湿。到高层以后,相对湿度变小,大气是干冷的。逆温层暂时阻挡了对流的发展,一旦逆温被破坏,就会产生爆发性的强对流活动。

冷涡的三维结构有利于上述垂直结构的形成。在冷涡的高层往往是很强的冷平流,使空气变得更冷更干;低层温压结构明显的不对称性,使冷涡后部是冷平流,前部是暖平流。在冷涡的前部就有利位势不稳定层结形成。

3.2 低层水汽输送与辐合

水汽的输送与辐合对强对流的发展起着重要的作用,尤其是低层。

东北冷涡的形成,多是由于环流经向度加大,造成切断低涡。又只有在冷涡下游东部地区有高压阻挡时,冷涡才能移动缓慢。因此,东北冷涡往往伴有很强的向北输送水汽的通道,使水汽源源不断地从南向冷涡前半部输送,且在那里辐合。最终形成冷涡西北部干冷,东南部暖湿的分布。图 2 是图 1 个例的水汽通量散度分布。计算结果统计表明,12 次飚线个例 850hPa 的水汽辐合中心值平均

为 $-60.0 \times 10^{-9} \text{g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

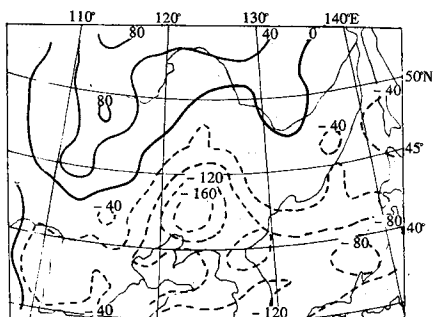


图2 1980年7月21日08时850hPa水汽通量散度
单位: $10^{-9} \text{g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$

3.3 垂直运动

强烈的对流运动是由于强烈的上升运动造成的。分析表明冷涡系统可能造成低空有较强的辐合区,在高空造成较强的辐散区。1980年7月21日飊线发生时,850hPa的辐合为 $-10.4 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$, 200hPa的辐散为 $10.0 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ 。由于这种典型的辐散结构,造成较强的整层上升运动。700hPa的上升运动速度为 $-5.6 \times 10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。12次个例的平均为 $-1.5 \times 10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

4 飊线中尺度分析

严格地讲,靠目前气象站网的资料很难进行中尺度分析,无论是空间尺度还是时间尺度都达不到要求。这里采用一些适当的方法,对飊线过程进行有关的中尺度分析。

4.1 飊线中尺度天气系统

将飊线经过地区的各地面站的气压、气温、风订正后进行中尺度系统分析^[1]。从1980年7月21日的分析图(图3)可以看到:紧接飊线的后部有雷暴高压存在,形状为沿飊线的狭长状,有两个高压中心,强度分别为997.5和996.2hPa。在雷暴高压的前后分别有中尺度低压。高、低压之间的气压差可达8~10hPa。前面的低压范围较小,与高压距离较近,强度较弱,中心值为991.5hPa;后面的低压范围大,与高压相距较远,但中心较强,

为987.8hPa。温度的分析表明,飊线后有明显的冷中心与高压中心位置基本重合,气温下降8℃。靠近飊线附近的降温梯度较大,气温下降急剧;低温过后气温回升较缓,两者梯度大约相差一倍。因为处在同一气团中,再其后气温又恢复正常分布。

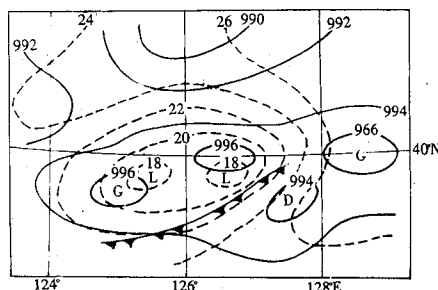


图3 飊线中尺度天气系统分析
实线为等压线,虚线为等温线

4.2 中尺度上升运动

利用 Shapiro 对二维场的平滑滤波公式^[2],取 $S = 0.5$,进行三次平滑滤波,得到中尺度风场资料。由此计算出中尺度垂直速度。1980年7月21日个例雷暴高压上空700hPa的垂直速度为 $10.7 \times 10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$,飊线前低压上空为 $-4.2 \times 10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。7次个例计算结果的平均值分别为 $3.3 \times 10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $-1.3 \times 10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。与前面天气尺度上升运动相比,中尺度所占的比例相当可观。

4.3 尺度间能量转换

尺度间相互作用研究表明,在中尺度系统发展过程中,天气尺度与中尺度运动之间有明显的能量转换。利用文献^[3]提供的尺度间能量转换公式计算飊线发生前后尺度间的能量转换。在 X, Y, P, t 坐标系中,不考虑摩擦的通量形式的运动方程为

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial wv}{\partial p} + k \times fv = -\nabla \cdot \Phi$$

式中的符号是气象上常用的。对运动方程进

行平滑并整理得:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial \hat{u}v}{\partial x} + \frac{\partial \hat{v}v}{\partial y} + \frac{\partial \hat{w}v}{\partial p} + k \times f v = -\nabla \hat{\phi} + \hat{I}$$

$$\hat{I} = - \left[\frac{\partial}{\partial x} (\hat{u}v - u\hat{v}) + \frac{\partial}{\partial y} (\hat{v}v - v\hat{v}) \right] - \frac{\partial}{\partial p} (\hat{w}v - w\hat{v})$$

表示切应力。再用 \hat{v} 去点乘即得到天气尺度的动能平稳方程,最右面一项($\hat{v} \cdot \hat{I}$)为中尺度运动对天气尺度动能的贡献。当 $\hat{v} \cdot \hat{I}$ 为负值时,表示天气尺度动能向中尺度转换,促进中尺度系统发展;反之,表示中尺度系统对天气尺度系统起反馈作用。计算时将 1000~100hPa 大气均匀分成 10 层,分别取飑线发生前后各两次探空资料计算的平均值代表飑线发生前后尺度间动能的转移。12 次飑线发生前 100% 个例的 $\hat{v} \cdot \hat{I}$ 都是负值,平均为 $-19.9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$,结束后 67% 个例的 $\hat{v} \cdot \hat{I}$ 是正值,平均为 $11.5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。由此可见,在飑线发生前天气尺度为中尺度运动提供充分的动能;之后中尺度运动对天气尺度运动起到

一定的反馈作用。

5 小结

本文利用常规观测资料,对冷涡过程中所发生的飑线进行统计分析。结果表明冷涡系统能够为飑线这类较强的中尺度天气系统提供一个有利的天气背景和物理条件,促成飑线的发生。飑线发生后又对冷涡的天气尺度运动产生一定的反馈作用。

当然,由于受到资料的限制,本工作尚不能提供更详细的中尺度分析结果,有待进行专门的加密观测以获取更多的资料再进行深一层的分析。

参考文献

- 1 王德翰,吴宝俊. 暴雨分析方法. 北京:气象出版社, 1985:198~201.
- 2 陶祖钰,谢安. 天气过程诊断分析原理和实践. 北京:北京大学出版社,1989:68~76.
- 3 陈受钧,谢安. 次天气尺度与天气尺度系统间动能交换的诊断分析. 气象学报,1981年,39:408~415.

Analysis of squall lines occurrign in cold vortexes over Northeast China

Bai Renhai

(Meteorological observatory of Heilongjiang, Haibin 150030)

Xie An

(Department of Geophysics, Peking University, Beijing 100871)

Abstract

Squall lines which occurred in cold vortexes over Northeast China were analyzed by using data observed at the Harbin weather station and other data sets. The results show that ① The squall lines mostly occurred when the cold vortexes developed strongly and were over the front regions, which had thermodynamically unstable structure. ② There are basically three necessary conditions for the occurrence of squall lines, i. e. unstable thermodynamically structure, convergence of water vapor in the low levels and strong convection. ③ A mesoscale weather system occurred near surface. ④ The synoptic-scale kinetic energy was transferred to the mesoscale system when the squall lines enhanced.

Key Words: cold vortex squall line mesoscale system