

郜彦娜,何立富. 2011 年 7 月 12—20 日华北冷涡阶段性特征. 应用气象学报, 2013, 24(6): 704-713.

## 2011 年 7 月 12—20 日华北冷涡阶段性特征

郜彦娜<sup>1)</sup> 何立富<sup>2)</sup>\*

<sup>1)</sup>(南京信息工程大学, 南京 210044) <sup>2)</sup>(国家气象中心, 北京 100081)

### 摘 要

利用常规天气、地面危险天气报、自动站加密、NCEP/NCAR 再分析资料等,对 2011 年 7 月 12—20 日持续 9 d 的华北冷涡过程阶段性特征进行分析。结果表明:冷涡过程降水主要分布在内蒙古东北部、华北和东北南部,发展阶段对流性强,多雷暴大风和冰雹,水汽来源于西南和东南气流,850 hPa 上有强暖温度脊,高空急流较完整;减弱阶段以短时强降水为主,水汽来源于偏东气流;两阶段 700 hPa 以下为斜压,上升运动区主要位于东侧;发展阶段 500 hPa 为干区,南侧存在干空气侵入和  $\theta_e$  梯度;减弱阶段整层相对湿度较大,  $\theta_e$  锋区及不稳定性减弱。中层冷平流及中高层正涡度平流随高度增强是冷涡发展的主要因子,冷涡减弱是由低层冷平流进入冷涡中心、中层冷平流及中高层正涡度平流减弱共同影响所致。

**关键词:** 华北冷涡; 位势高度距平; 斜压结构

### 引 言

华北冷涡一般多指活动在华北和内蒙古东部附近地区的高空冷涡系统<sup>[1-3]</sup>,此类冷低涡经常从西风带中切断出来。郁珍艳等<sup>[4]</sup>将华北冷涡定义为 500 hPa 上 35°~55°N, 110°~130°E 范围内出现闭合等高线,并有冷中心或冷槽相配合,持续 2 d 或以上的低压环流系统,本研究也采用此定义。华北冷涡常给我国北方地区带来大风、冰雹、暴雨、雷暴、飚线等强对流天气<sup>[5-7]</sup>。由于其突发性强、影响范围大而且往往会持续数天,导致受影响地区严重的经济损失和人员伤亡,如 2005 年 5 月 31 日北京局地强冰雹、“96·8”河北特大暴雨及洪水、2005 年 5 月 25 日赤峰市龙卷风等。统计发现,北京接近 70% 的雷暴大风与冷涡有关<sup>[8]</sup>。

华北冷涡同中纬度温带气旋的发生、发展不同,温带气旋是发生在中低层的低压系统,通常在地面有对应的地面气旋,其快速发展主要是由于斜压扰动<sup>[9-10]</sup>;而华北冷涡属于中高层的深厚冷性低涡系统<sup>[11-12]</sup>,影响其发生、发展的因子被认为有多种:

Petterssen 等<sup>[13]</sup>认为高空涡度平流是其发展的主要影响因子;丁一汇等<sup>[14]</sup>、王欢等<sup>[15]</sup>、郁淑华等<sup>[16]</sup>则指出,500 hPa 冷空气入侵是冷涡发生、发展的动力条件之一;Hsieh<sup>[17]</sup>分析表明,冷涡的发展和加强主要取决于沿冷中心四周和上部的风场是否维持和加强,如强西风带进入冷涡北部时冷涡气旋性风场将减弱,使得冷涡迅速消亡。对于冷涡影响下的强天气发生、发展条件,已有不少学者进行了研究:陶诗言等<sup>[18]</sup>将卫星云图上的华北冷涡划分为预兆、发生、成熟、消散 4 个阶段,指出在成熟阶段降水范围和强度达到最大;刘英等<sup>[19]</sup>则指出在冷涡的发展、维持以及消退期均可发生强对流天气;孙力等<sup>[20]</sup>对 16 个东北冷涡降水个例的合成对比分析后发现,暴雨类冷涡其暴雨发生在冷涡发展阶段,而非暴雨类冷涡的暴雨通常发生在成熟阶段;张云等<sup>[21]</sup>提出暴雨也可能发生在冷涡的衰退阶段;Hsieh<sup>[17]</sup>给出了与高空冷涡相联系的降水分布,构成冷涡的云以对流云为主,大多位于冷涡中心的东侧。由于华北冷涡在不同季节和不同发展阶段上其动力、热力结构及天气特征等方面存在差异,但到目前为止,相关研究成果鲜见报道。2011 年 7 月 12—20 日一次华北

2013-03-20 收到, 2013-07-31 收到再改稿。

资助项目:公益性行业(气象)科研专项(GYHY200906003)

\* 通信作者, email: helifu@cma.gov.cn

冷涡天气过程在内蒙古东北部附近地区和华北西部长时间回旋,给华北地区造成长达 9 d 的雷雨天气,部分地区出现雷暴大风和冰雹,其持续时间之长十分罕见。本文利用常规天气资料、地面危险天气报资料、逐小时自动站降水资料、NCEP/NCAR 再分析资料,对此次冷涡过程分阶段探讨冷涡的天气特征及动力热力结构,对其在发展阶段及减弱阶段的维持机制进行深入分析,以揭示其阶段性特征,为精细化预报提供参考。

### 1 华北冷涡天气特征

2011 年 7 月 12—20 日是一次生命史超长、移动路径特殊、对流性天气频繁发生的华北冷涡过程。从生成到消亡持续 9 d,给内蒙古东部、华北等地带

来持续性雷雨天气,部分地区出现雷暴大风和冰雹。分析表明(图 1),此次冷涡系统 7 月 12 日 20:00(北京时,下同)生成于内蒙古东北部附近地区,500 hPa 位势高度场出现闭合中心,其后部有温度槽配合;其后可划分为 3 个阶段:7 月 13—15 日冷涡系统在蒙古国东部地区回旋,温度槽落后于高度槽,冷中心维持在一 12℃ 左右,500 hPa 冷涡平均中心强度为 5720 gpm,冷涡处于发展阶段;16—17 日冷涡向西南方向大幅移动,500 hPa 冷涡平均中心强度为 5745 gpm,相应的冷中心强度为一 10℃ 左右,为移动阶段;18 日 20:00—20 日 08:00 冷涡进入华北西部,此后回旋少动,温度槽逐渐赶上高度槽,冷中心减弱至一 8℃ 左右,冷涡强度也随之减弱至 5760 gpm,为减弱阶段;至 20 日 20:00 冷涡系统填塞消亡。

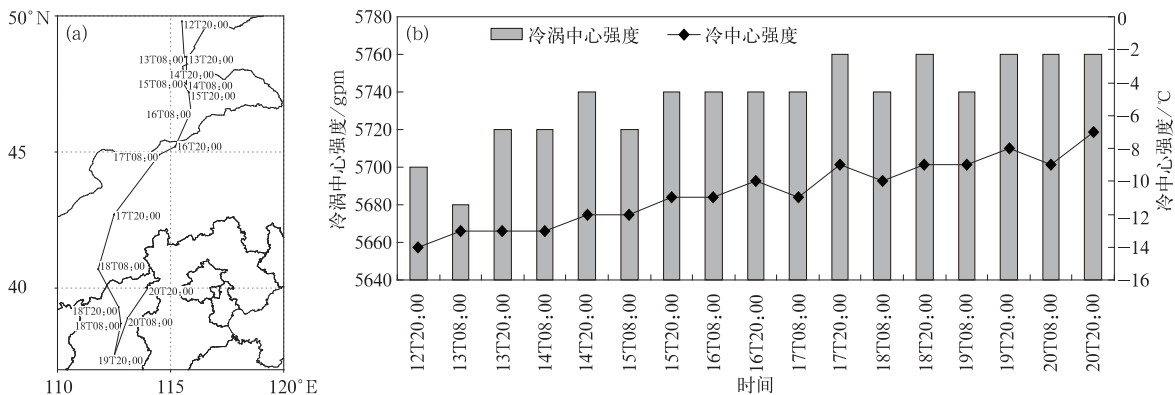


图 1 2011 年 7 月 12—20 日 500 hPa 冷涡中心移动路径(a)及冷涡中心强度和冷中心强度日变化(b)

Fig. 1 The cold vortex center moving path(a) and daily variation of cold vortex center intensity and cold center intensity(b) from 12 July to 20 July in 2011

由冷涡活动期间降水量分布图和危险天气分布图(图略)可以看出,发展和减弱阶段的降水主要集中在内蒙古东北部、华北和东北南部,但发展阶段的降水量级明显弱于减弱阶段,发展阶段的过程降水量多为 25~50 mm,而减弱阶段多为 50~100 mm,有的甚至达到 100~200 mm。发展阶段雷暴天气主要分布在华北中北部、辽宁和内蒙古东部,其中 18 个站出现大风天气,7 个站出现冰雹天气,且 7 月 15 日在华北地区引起的强对流天气最强烈。减弱阶段有 17 个站出现短时强降水,主要分布与东北西北部、内蒙古东北部的中部和华北西部;只有 1 个站出现大风天气,2 个站出现冰雹天气。可以看出,发展阶段以对流性大风、冰雹天气为主,减弱阶段以短时强降水为主。

### 2 冷涡的阶段性环流特征

此次华北冷涡是由高空冷槽切断形成的,前期(发展阶段)在内蒙古东北部发展加强,回旋少动,后期(减弱阶段)西移南下进入华北地区,逐渐减弱消亡。由发展阶段和减弱阶段的平均形势场图(图 2)可以看出,发展阶段 500 hPa 冷涡中心位于 47.4°N, 115°E,中心强度达到 5720 gpm,温度槽落后于高度槽,有冷中心与之相配合,冷中心强度为一 10℃;200 hPa 冷涡位于高空急流出口区的北侧,高空急流发展比较完整,急流中心超过 40 m/s;850 hPa 有强暖温度脊存在,有两条近似东西向的暖式切变线,位于内蒙古东北部和东北地区南部,切变线附近对

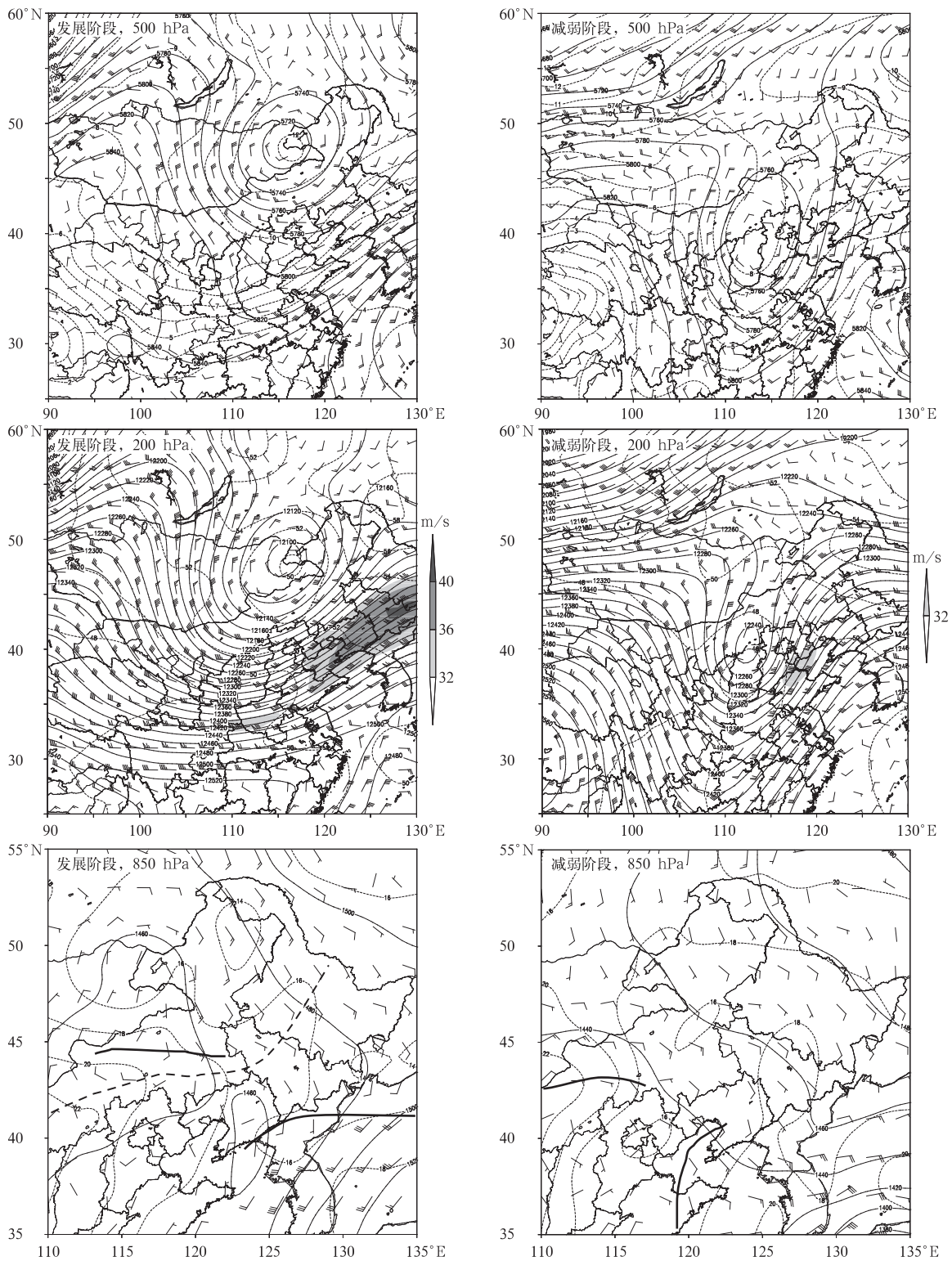


图2 冷涡发展阶段和减弱阶段500 hPa,200 hPa,850 hPa 环流形势  
 (实线为高度场,单位:gpm;虚线为温度场,单位:℃;阴影为200 hPa 水平风;  
 850 hPa 环流场虚粗线为温度脊,粗实线为切变线)

Fig.2 500 hPa,200 hPa,850 hPa geopotential height(solid line,unit:gpm), temperature(dash line,unit:℃),  
 200 hPa wind speed(the shaded),850 hPa warm ridge(thick dash line),shear line(thick solid line)  
 in the development stage and the weakening stage

应着气流的辐合,利于不稳定能量的积累。减弱阶段,500 hPa 冷涡中心位于 39.1°N,112.6°E,中心强度为 5760 gpm,温度槽和高度槽几乎重合,有冷槽与之配合;200 hPa 急流很弱,冷涡中心东南侧只有大风核存在,风速中心超过 32 m/s,范围小;850 hPa 暖脊明显减弱,存在东南和东北风的暖式切变线,低层东风有利于东部海区水汽向华北和东北地区输送,为降水提供了良好的水汽条件。

由此可知,此次冷涡为深厚的冷性系统。发展阶段,温度槽落后于高度槽使得冷涡不断发展加强,850 hPa 有强暖温度脊存在,为低层暖高层冷的不稳定结构,有利于强对流天气的发展,高层高空急流发展比较完整;减弱阶段,850 hPa 虽然有切变线存在,但暖脊明显减弱,导致对流条件减弱,由于低层水汽条件的增强,有利于降水的发展加强。

### 3 冷涡的结构特征

#### 3.1 等压面热力结构

冷心结构是华北冷涡的主要特征之一,为了揭示冷涡的热力结构特征,给出沿冷涡中心的温度场和位势高度场距平的纬向垂直剖面图(图 3),其方法为先计算研究区域垂直方向每层的温度和位势高度平均值,再用每层上各点的温度和位势高度值减去同层的相应平均值,最后将不同时间段相应值求平均<sup>[22]</sup>。可以看出,发展阶段(图 3a)位势高度距平中心位于 250 hPa 附近,中心值在 -136 gpm 以下,200 hPa 以下冷涡中心上空为一致的温度负距平,负距平最大区位于 300~400 hPa,有两个中心存在,分别位于 300 hPa 和 700 hPa 附近,强度为 -4℃

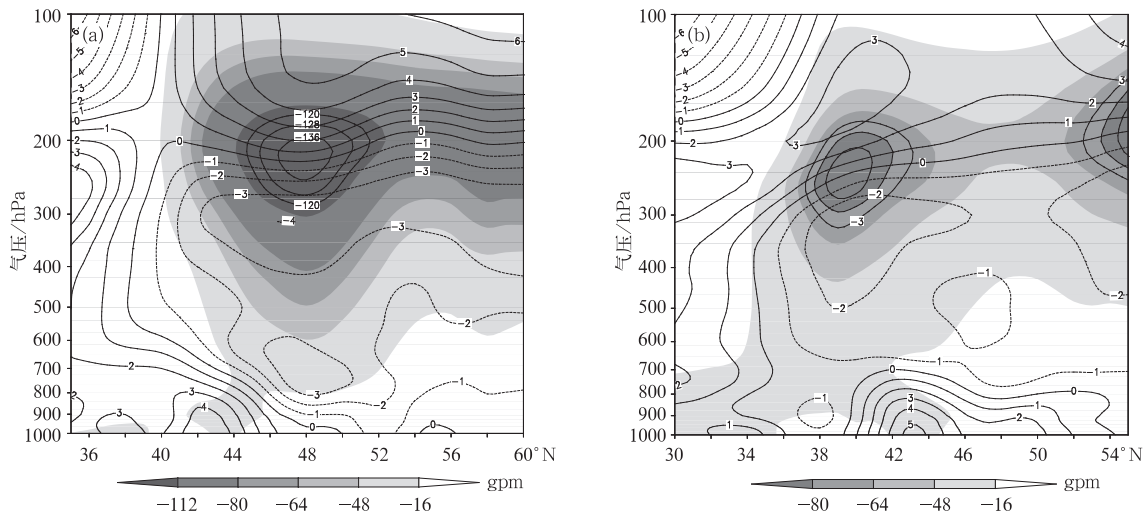


图 3 沿发展阶段(a)和减弱阶段(b)冷涡中心温度距平(等值线,单位:℃)和位势高度距平(阴影)的经向垂直剖面图

Fig. 3 Meridional section of temperature anomaly(contour,unit:℃) and height anomaly(the shaded,unit:gpm) along the cold vortex center in the development stage(a) and the weakening stage(b)

和 -3℃。冷涡南侧 700 hPa 以下为暖距平,暖中心位于边界层,距冷涡中心 6 个纬距。减弱阶段(图 3b)位势高度距平中心也位于 250 hPa 附近,但强度偏弱,中心值在 -88 gpm 以下。温度负距平最大区也位于 300~400 hPa,强度略弱,为 -3℃。冷涡北侧 700 hPa 以下为暖距平区,暖中心距冷涡中心 3 个纬距。

#### 3.2 风场特征

由沿冷涡中心经向风和垂直速度纬向剖面图

(图 4)可以看到,发展阶段(图 4a)冷涡西侧以北风为主,大值区位于 200 hPa 附近,离中心比较远;冷涡东侧为南风,风速随高度加强;南风大值中心位于 250 hPa 附近,达到 16 m/s,低层 700 hPa 以下主要为东南风;零风速线代表了冷涡的轴线,700 hPa 以下斜压结构明显,700 hPa 以上为正压结构;垂直上升运动区主要位于冷涡中心附近及冷涡东部。减弱阶段(图 4b)西侧北风大值中心增大,超过 18 m/s,离中心较近;东侧中高层的南风风速增大,南风大值

中心仍位于 250 hPa 附近,为 26 m/s;斜压结构与发展阶段类似,但中心斜压性减弱;冷涡中心东侧 3~7 个经距处 500 hPa 以下为下沉运动,最大上升区距冷涡中心 8 个经距。

分析表明,发展阶段和减弱阶段 700 hPa 以下

斜压结构明显,700 hPa 以上为正压结构,其东侧均为主要的上升运动区,但减弱阶段冷涡中心东侧 3~7 个经距处 500 hPa 以下为下沉运动,且低层 700 hPa 以下东南风明显增大。

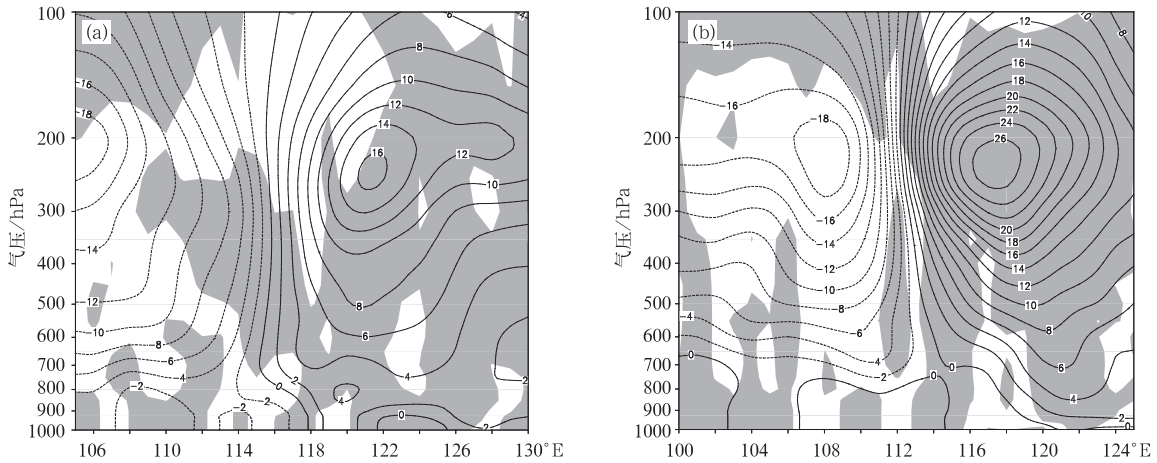


图 4 沿 500 hPa 冷涡中心发展阶段(a)和减弱阶段(b)经向风速(等值线,单位:m/s)垂直剖面图(阴影为垂直上升区)

Fig. 4 Vertical cross-section of meridional wind(black line,unit:m/s) along the cold vortex center in the development stage(a) and the weakening stage(b)(the shaded denotes ascending motion)

### 3.3 涡度场特征

冷涡是一个天气尺度的正涡度系统,由沿 500 hPa 冷涡中心的相对涡度经向剖面图(图 5)可以看到,发展阶段(图 5a)涡度最大值位于 300 hPa 附近,中心值达到  $8 \times 10^{-5} s^{-1}$ ,800 hPa 以上为一致的正涡度,500 hPa 涡度值为  $7 \times 10^{-5} s^{-1}$ ,冷涡中心涡度随高度几乎垂直,向南略倾斜;减弱阶段(图 5b)

涡度最大值位于 250 hPa 附近,为  $14 \times 10^{-5} s^{-1}$ ,较发展阶段增强,500 hPa 涡度值为  $3 \times 10^{-5} s^{-1}$ ,500 hPa 涡度值较发展阶段减小。

分析表明,发展阶段和减弱阶段冷涡系统深厚,减弱阶段涡度大值中心比发展阶段向对流层上层抬升,但中低层涡度值减弱。

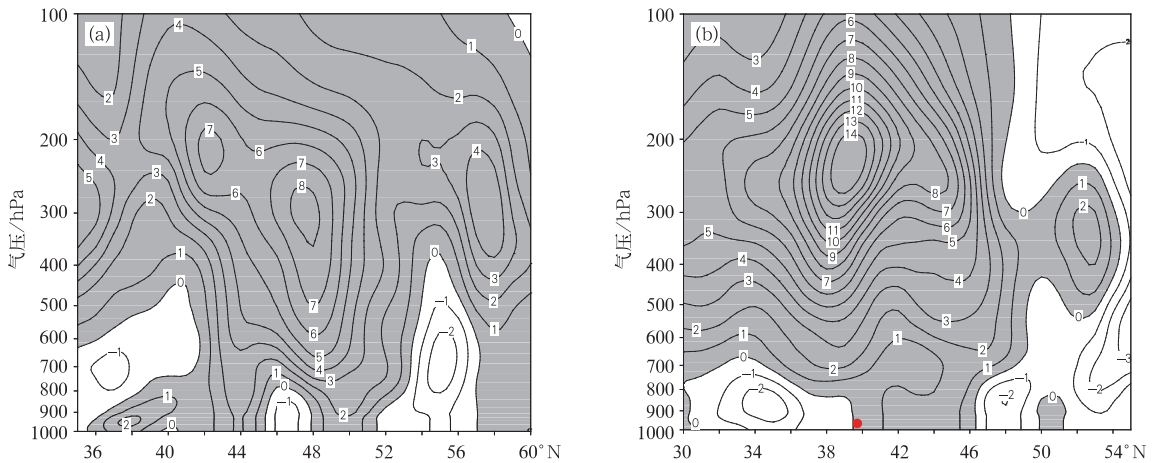


图 5 沿 500 hPa 冷涡中心发展阶段(a)和减弱阶段(b)相对涡度的经向垂直剖面图(等值线为涡度,单位: $10^{-5} s^{-1}$ ;阴影为正涡度)

Fig. 5 Meridional cross-section of the relative vorticity(contour,unit: $10^{-5} s^{-1}$ ; the shaded denotes the positive value) along the cold vortex center in the development stage(a) and the weakening stage(b)

### 3.4 水汽场特征

相对湿度反映了空气中水汽的饱和程度,对降水有很好的指示作用。将相对湿度小于 60% 视为干空气<sup>[19]</sup>,由沿冷涡中心的相对湿度场经向剖面图(图 6)可知,发展阶段(图 6a)800 hPa 以下为干层,250~800 hPa 为湿区,有两个显著湿层,分别位于 300 hPa 和 700 hPa 附近,中层 400~500 hPa 湿度很小接近干区。边界层冷涡南部 4 个纬距处有 1 个干中心,其上空 500 hPa 以上存在明显的干空气侵入,北侧从低层到高层几乎均为湿区。减弱阶段(图 6b)冷涡中心附近整层相对湿度均较大,400 hPa 干空气侵入不明显,800 hPa 以下的干层位于冷涡北侧。

由各层相对湿度分布图(图略)可知,发展阶段 500 hPa 主要为干区,冷涡北侧有一弱的湿区;

850 hPa 冷涡南侧干空气增强,湿区由冷涡东南呈气旋式向冷涡中心卷入,使得冷涡东侧湿度增大;减弱阶段 500 hPa 冷涡西南侧相对湿度进一步减少,但冷涡中心及东侧南风加大,湿区面积增大,相对湿度增大到 80% 以上;850 hPa 西干东湿的特征更加明显。

分析低层水汽通量和水汽通量散度(图 7)可知,发展阶段(图 7a)水汽通量来源于东南和西南气流。在冷涡北部和远离其中心的东侧有水汽辐合,东南部也有 1 条东北—西南向的水汽通量辐合带,对照降水分布图,降水带出现在这一辐合带附近;减弱阶段(图 7b)水汽通量来源于偏东气流,水汽沿冷涡外围在北侧形成水汽通量的大值带,水汽源位于冷涡东部的渤海地区。冷涡环流周围均有水汽通量的辐合。

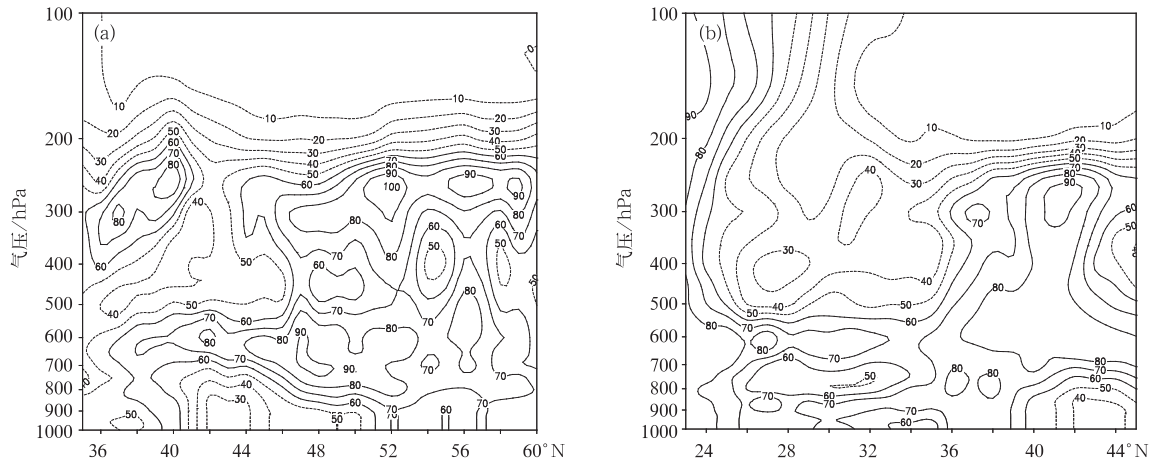


图 6 沿 500 hPa 冷涡中心发展阶段(a)与减弱阶段(b)相对湿度的经向垂直剖面图(单位:%)  
Fig. 6 Meridional cross-section of relative humidity(unit:%) along the cold vortex center at 500 hPa in the development stage(a) and the weakening stage(b)

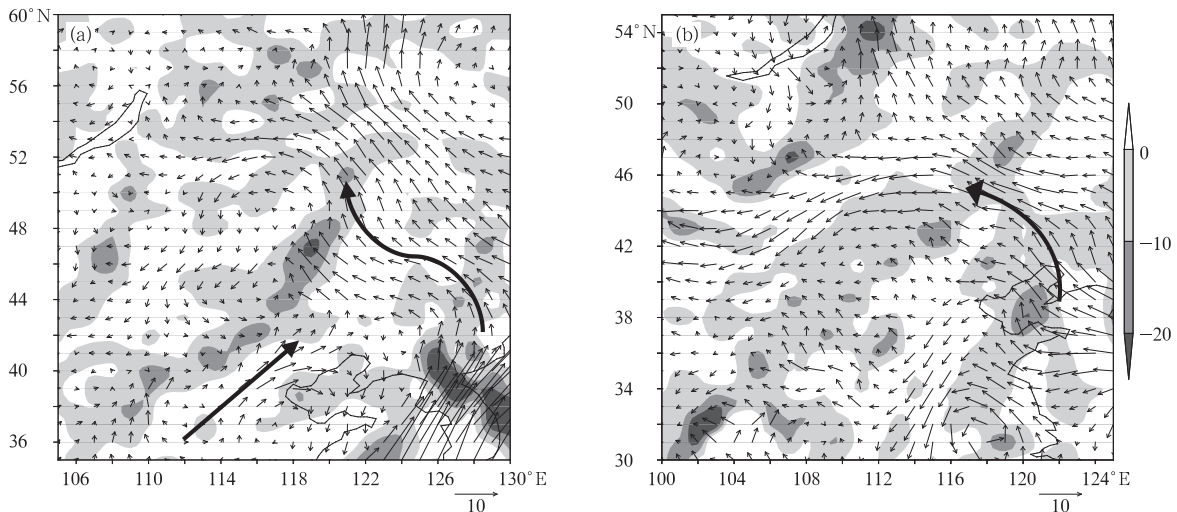


图 7 850 hPa 冷涡发展阶段(a)和减弱阶段(b)水汽通量(矢量,单位:g/(cm·hPa·s))和水汽通量散度(阴影,单位:g/(cm·hPa²·s))

Fig. 7 The water vapor flux(vector, unit:g/(cm·hPa·s)) and the water vapor flux divergence (the shaded,unit:g/(cm·hPa²·s)) at 850 hPa in the development stage(a) and the weakening stage(b)

分析表明,发展阶段冷涡中心附近边界层为干区,700 hPa和300 hPa相对湿度较大,中层相对湿度弱,南侧500 hPa干空气侵入明显,500 hPa主要为干区,低层水汽来源于西南和东南气流输送。减弱阶段边界层附近存在干层,但整层湿度比较大,水汽通量来源于偏东气流,西干东湿的特征更为显著。

## 4 冷涡发生发展条件

### 4.1 相当位温特征

由850 hPa相当位温的分布(图8a,8b)可以看出,发展和减弱阶段115°E附近均有一相当位温密集带,呈东北—西南向,但发展阶段这一密集带梯度明显偏强,且122°E也有一弱的相当位温密集带。发展阶段 $\theta_e$ 锋区位于冷涡南部,离冷涡中心大约5

个纬距。锋区南部有一暖舌, $\theta_e$ 为328 K,暖舌由东南北上。减弱阶段 $\theta_e$ 锋区位于冷涡东部,在冷涡中心附近,东部暖舌梯度也弱很多,呈南北向。

给出过 $\theta_e$ 锋区(40°N,115°E和39°N,114.5°E)的相当位温随时间变化剖面图(图8c,8d),发展阶段400 hPa以下 $\frac{\partial \theta_e}{\partial z} < 0$ , $\theta_e < 324$  K区域顶部整个阶段维持在对流层顶300 hPa附近。2011年7月13日900 hPa以下为 $\theta_e$ 大值区,14日 $\theta_e$ 大值区伸展到550 hPa附近,15日维持在800 hPa,整个阶段几乎为上干冷、下暖湿的不稳定结构,且14—15日 $\Delta \theta_e$ 明显增大,不稳定结构加强。减弱阶段 $\theta_e$ 小值区随时间由低层向高层发展,且强度偏弱,边界层 $\theta_e$ 也有所减弱。

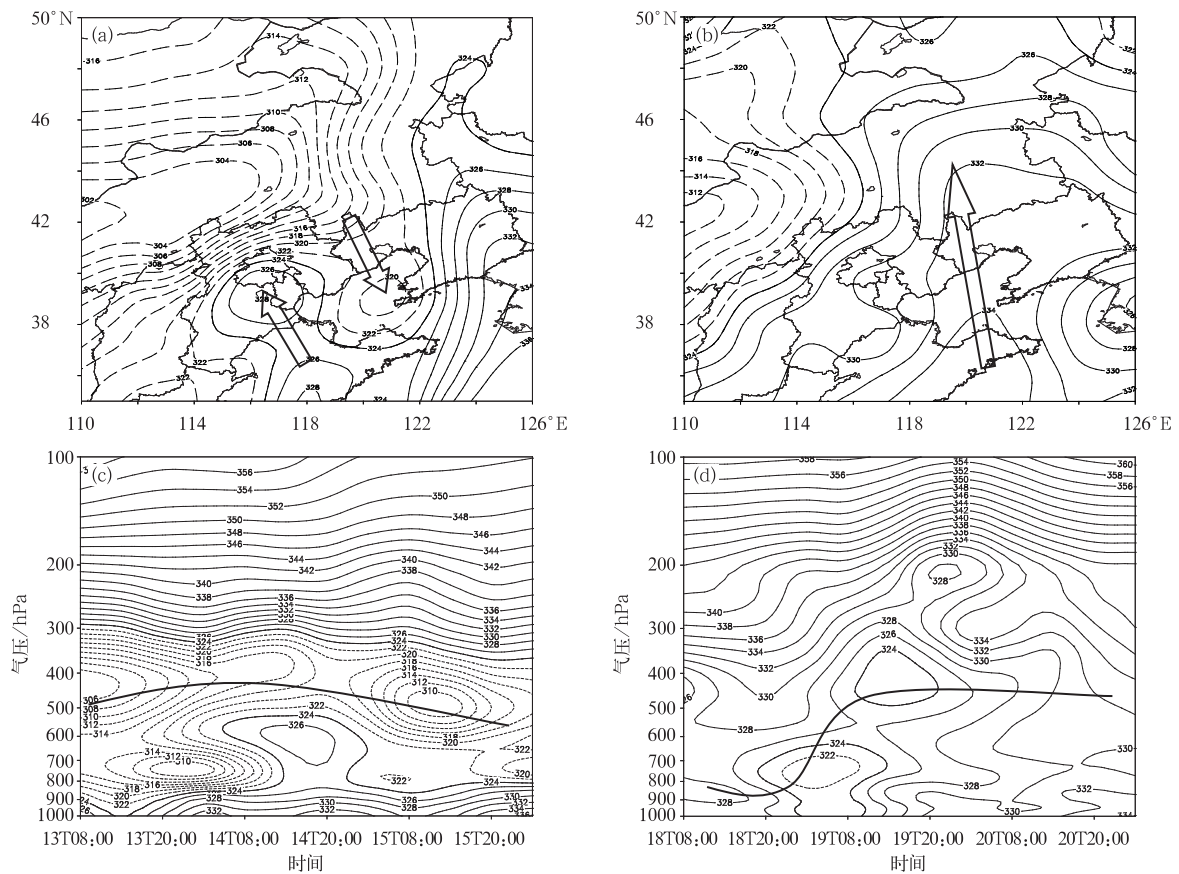


图8 2011年7月13—20日冷涡发展阶段与减弱阶段相当位温分布(单位:K)

(a)发展阶段,850 hPa相当位温,(b)减弱阶段,850 hPa相当位温,(c)发展阶段过锋区40°N,115°E相当位温时间-高度剖面图,(d)减弱阶段过锋区39°N,114.5°E相当位温时间-高度剖面图

Fig. 8 The potential temperature in the development stage and the weakening stage of cold vortex from 13 July to 20 July in 2011 (unit:K) (a)potential temperature at 850 hPa in the development stage,(b)potential temperature at 850 hPa in the weakening stage,(c)height-time section of potential temperature at 40°N,115°E in the development stage,(d)height-time section of potential temperature at 39°N,114.5°E in the weakening stage

### 4.2 冷涡发生发展的热力动力条件

由 35°~50°N 温度和涡度平流区域平均时间演变(图 9)可以看到,发展阶段 850 hPa 冷涡东侧有弱冷平流(图 9a)。500 hPa 冷涡东侧冷平流加强,西侧为暖平流(图 9b),根据位势倾向方程,冷涡东部冷平流随高度的加强使得冷涡不断发展加深。减弱阶段 850 hPa 冷平流从槽后进入冷涡中心,使得冷涡附近冷平流加强。而中层 500 hPa 东侧冷平流较发展阶段明显减弱。西侧由暖平流转换为冷平流,中层冷平流的减弱使得冷涡的强度减弱。

考察涡度平流,发展阶段 500 hPa 冷涡中心附近及东部为正的涡度平流(图 9c),300 hPa 冷涡中心附近及东部正涡度平流明显加强(图 9d)。冷涡中心及东部正涡度平流随高度增加使得冷涡不断发展加深。减弱阶段 500 hPa 冷涡附近正涡度平流较发展阶段减弱。300 hPa 上冷涡中心东侧正涡度平流也比发展阶段减弱,至 7 月 20 日 20:00,冷涡附近转为负涡度平流控制。可见,冷涡附近中高层正涡度平流的减弱及消亡是冷涡减弱消亡的主要原因。

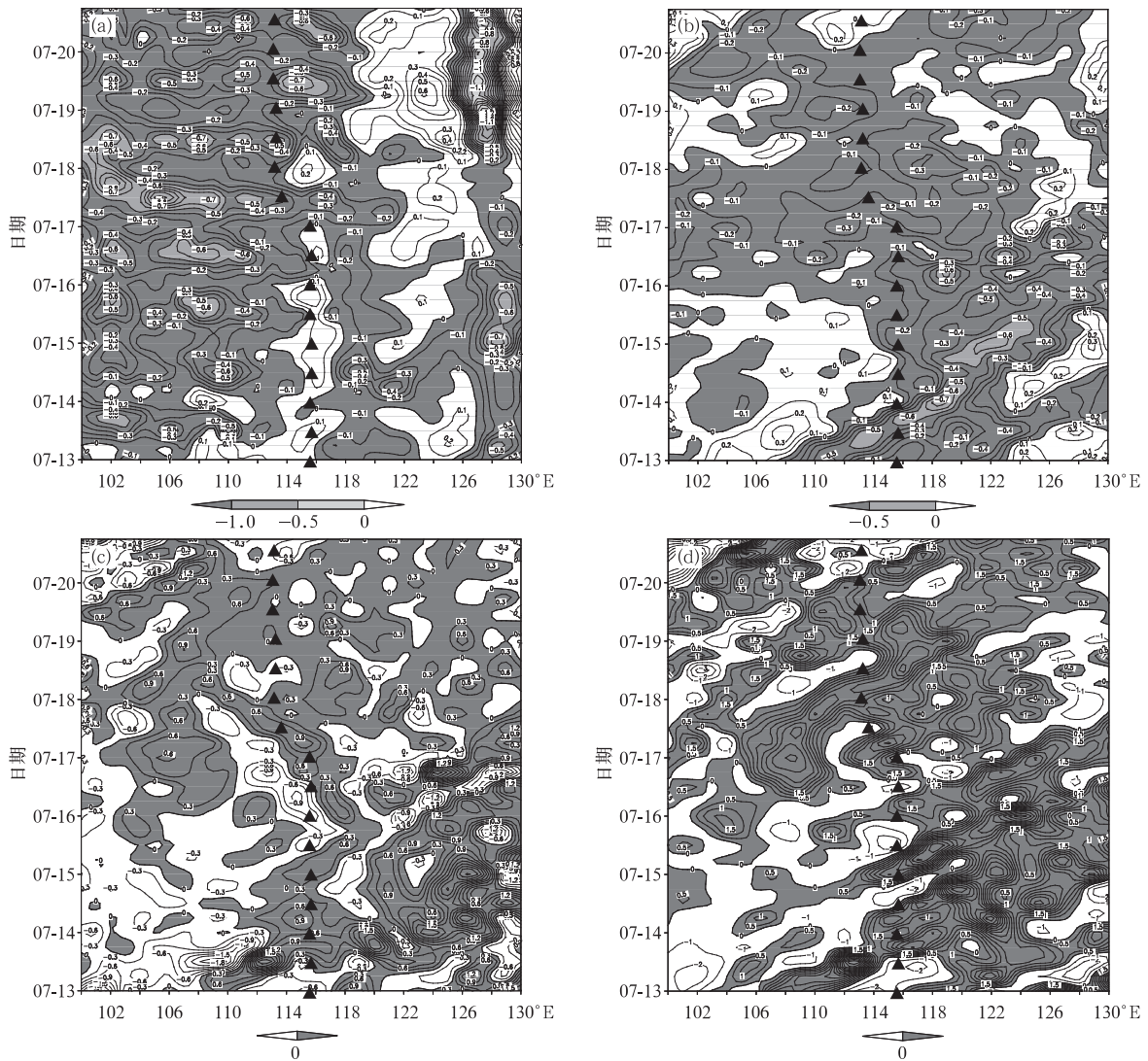


图 9 2011 年 7 月 13—20 日 35°~50°N 平均温度平流(单位:10<sup>-5</sup>s<sup>-1</sup>)和涡度平流(单位:10<sup>-7</sup>s<sup>-2</sup>)  
时间-纬向演变(▲为冷涡中心所在位置)

(a)850 hPa 温度平流,(b)500 hPa 温度平流,(c)500 hPa 涡度平流,(d)300 hPa 涡度平流

Fig. 9 Evolution of thermal advection(unit:10<sup>-5</sup>s<sup>-1</sup>) and vorticity advection(unit:10<sup>-7</sup>s<sup>-2</sup>)  
averaged over 35°—50°N from 13 July to 20 July in 2011(▲ denotes the cold vortex center)

(a)thermal advection at 850 hPa,(b)thermal advection at 500 hPa,  
(c)vorticity advection at 500 hPa,(d)vorticity advection at 300 hPa



## 5 结论和讨论

本文对2011年7月12—20日持续9 d的华北冷涡过程阶段性特征进行了分析,结论如下:

1) 冷涡过程降水主要分布在内蒙古东北部、华北和东北南部,发展阶段对流性强,多雷暴大风和冰雹,低层水汽来源于西南和东南气流输送。减弱阶段以短时强降水为主,降水量级大,水汽通量来源于偏东气流。

2) 发展阶段850 hPa上有强暖温度脊存在,高空急流发展比较完整,对流层整层为冷心结构;减弱阶段低层东风明显增强,冷心结构维持,但强度有所减弱。发展阶段和减弱阶段700 hPa以下斜压结构明显,上升运动区主要位于东侧。

3) 发展阶段700 hPa和300 hPa相对湿度比较大,500 hPa主要为干区,冷涡南侧500 hPa存在干空气侵入和 $\theta_e$ 锋区, $\theta_e$ 梯度垂直方向上表现为上干冷、下暖湿的不稳定结构;减弱阶段整层湿度比较大,西干东湿的特征显著, $\theta_e$ 锋区位于冷涡中心附近,锋区梯度和不稳定度减弱。

4) 发展阶段中层冷平流和中高层正涡度平流随高度增强,是冷涡发展的主要因子;冷涡减弱是由于低层冷平流进入冷涡中心、中层冷平流逐渐减弱以及中高层正涡度平流减弱的共同影响所致。

本文仅通过对一次长生命史华北冷涡过程在发展阶段和减弱阶段的天气特征和动力热力结构进行分析,对华北冷涡阶段性特征的还需要对更多个例进行综合分析,同时此次过程中,2011年7月16—17日冷涡大幅向西南方向移动,与以往冷涡的回旋东移减弱明显不同,其移动机制较为复杂,仍需进行针对性分析。

### 参考文献

- [1] 田秀霞,邵爱梅. 一次河北大暴雨的华北低涡结构和涡度收支分析. 暴雨灾害,2008,27(4):320-325.
- [2] 李江波,王宗敏,王福侠,等. 华北冷涡连续降雹的特征与预报. 高原气象,2011,30(4):1119-1131.
- [3] 刘海文,丁一汇. 华北汛期的起讫及其气候学分析. 应用气象学报,2008,19(6):687-696.
- [4] 郁珍艳,何立富,范广洲,等. 华北冷涡背景下强对流天气的基本特征分析. 热带气象学报,2011,27(1):89-94.
- [5] 孙力,安刚. 1998年夏季嫩江和松花江流域东北冷涡暴雨的成因分析. 应用气象学报,2002,13(2):156-162.
- [6] 闵晶晶,刘还珠,曹晓钟,等. 天津“6.25”大冰雹过程的中尺度特征成因. 应用气象学报,2011,22(5):525-536.
- [7] 纪晓玲,王式功,穆建华,等. 宁夏雷暴天气过程划分及环流分型和环境场特征. 应用气象学报,2010,21(3):329-334.
- [8] 梁爱民,张庆红,申红喜,等. 北京地区雷暴大风预报研究. 气象,2006,32(11):73-81.
- [9] Ogura Y, Juang H M H. A case study of rapid cyclogenesis over Canada. Part I: Diagnostic study. *Mon Wea Rev*, 1990, 118:655-672.
- [10] Juang H M H, Ogura Y. A case study of rapid cyclogenesis over Canada. Part II: Simulations. *Mon Wea Rev*, 1990, 118:674-704.
- [11] 钟水新,王东海,张人禾,等. 基于CloudSat资料的冷涡对流云带垂直结构特征. 应用气象学报,2011,22(3):257-264.
- [12] 杨红梅,赵亚民. 冷涡暴雨的物理结构及概念模型//中尺度气象文集. 北京:气象出版社,1993.
- [13] Petterssen S, Smebye S J. On the development of extra tropical cyclones. *Quart J R Meteor Soc*, 1971, 97:457-482.
- [14] 丁一汇,李鸿洲,章名立,等. 我国飑线发生条件的研究. 大气科学,1982,6(1):18-27.
- [15] 王欢,寿绍文,解以扬,等. 干侵入对2005年8月16日华北暴雨的作用. 南京气象学院学报,2008,31(1):97-103.
- [16] 郁淑华,肖玉华,高文良. 冷空气对高原低涡移出青藏高原的影响. 应用气象学报,2007,18(6):737-747.
- [17] Hsieh Yi-Ping. An investigation of a selected cold vortex over north America. *J Atmos Sci*, 1949, 6:401-410.
- [18] 陶诗言. 中国之暴雨. 北京:科学出版社,1980.
- [19] 刘英,王东海,张中锋,等. 东北冷涡的结构及其演变特征的个例综合分析. 气象学报,2012,70(3):354-370.
- [20] 孙力,王琪,唐晓玲. 暴雨类冷涡与非暴雨类冷涡的合成对比分析. 气象,1995,21(3):7-10.
- [21] 张云,雷恒池,钱贞成. 一次东北冷涡衰退阶段暴雨成因分析. 大气科学,2008,32(3):481-498.
- [22] Browning K A. The dry intrusion perspective of extra-tropical cyclone development. *Meteor Appl*, 1997, 4(4):317-324.

## The Phase Features of a Cold Vortex over North China

Gao Yanna<sup>1)</sup> He Lifu<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> (Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044)

<sup>2)</sup> (National Meteorological Center, Beijing 100081)

### Abstract

Using the conventional weather data, disastrous weather data, hourly precipitation data observed by automatic weather station and NCEP/NCAR reanalysis data, the phase features over North China during 12—20 July in 2011 are analyzed. The result indicates that the precipitation of the vortex is located in the northeast of Mongolia, North China and the south of Northeast China. Thunderstorm, gale and hail occur in the development stage, while short-time strong rainfall occurs in the weakening stage. Strong warm ridge is located at 850 hPa, a full jet stream exists at 200 hPa, and cold-core structure is presented on the whole troposphere in the development stage. The strong warm ridge isn't obvious in the weakening stage, the east wind is enhanced at the lower layers, and the cold-core also increases. The vortex is baroclinic at 700 hPa, the ascending motion is located in the east area and becomes stronger in the weakening stage, and the southeast wind is also speeded up. The relative humidity is larger at 300 hPa and 700 hPa, but it's dry at 500 hPa, and the south of cold vortex is invaded by dry and cold air in the development stage. The relative humidity is large at the whole layer in the weakening stage, as the vapor is brought by east wind. A northeast—southwest  $\theta_e$  frontal zone exists in both stages of the cold vortex. The gradient of  $\theta_e$  becomes significantly strong in the development stage, and the structure is unstable with dry and cold at the upper layer while warm and wet at the lower layer in the vertical direction. The  $\theta_e$  frontal zone and the unstable structure weakens in the weakening stage. The cold advection which is located at the low and middle layers and the vorticity advection which is located at the middle and high layers play main roles for the cold vortex in the development stage. As the cold advection at the low layer enters the cold vortex center, the cold advection becomes weak at the middle layer, the positive vorticity advection recedes at the medium-to-high level, and the cold vortex weakens.

**Key words:** cold vortex over North China; geopotential height anomaly; baroclinic structure