

# 5—8月东北冷涡降水过程统计特征及其降水特征对比研究

崔景琳<sup>1,2</sup> 白爱娟<sup>1</sup>

(1 成都信息工程大学大气科学学院, 成都 610225; 2 沈阳市气象局, 沈阳 110168)

**摘要:** 定义了东北冷涡降水过程, 利用NCEP提供的FNL再分析资料和地面降水观测资料, 识别了2010—2014年5—8月的40次冷涡降水过程, 对这些过程的统计分析结果表明: 东北地区5—8月约有1/4的天数受冷涡降水影响。其中, 5月冷涡降水过程天数最多, 但移速快、降水弱; 7月次之, 移速慢、降水强; 6和8月冷涡降水过程相对较少, 降水强度适中。40例冷涡降水过程中有20例为暴雨型冷涡, 其余为非暴雨型; 暴雨型冷涡在7月最多, 非暴雨型冷涡5月最多。为探究冷涡强降水的形成条件, 选择了2010年7月25日的冷涡暴雨和2013年5月28日的冷涡小雨过程, 在二者的冷涡强度和环流形势相似的前提下, 对比分析了两次过程中降水的形成机制。分析发现: 两次过程降水初期的水汽条件相似。暴雨型冷涡大尺度背景下的上升条件更佳。暴雨型冷涡南部持续的垂直风切变, 形成了持续的上升运动和强水汽辐合, 是造成暴雨的原因; 而非暴雨型冷涡过于强盛的偏北气流破坏了冷涡北部的水汽辐合中心, 过程中仅产生弱降水。冷涡垂直方向上的温压结构和风场结构并不对称, 冷涡降水中心位于南北气流交汇的一侧。

**关键词:** 东北冷涡, 统计特征, 强降水形成条件, 对比分析

**DOI:** 10.3969/j.issn.2095-1973.2018.01.002

## Statistical and Comparative Study on Precipitation Characteristics in NECV for May to August

Cui Jinglin<sup>1,2</sup>, Bai Aijuan<sup>1</sup>

(1 College of Atmospheric Science, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225;  
2 Shenyang Meteorological Bureau, Shenyang 110168)

**Abstract:** The northeast cold vortex (NECV) precipitation process is defined in this paper. Based on surface observational precipitation data and the FNL reanalysis data provided by NCEP, the NECV precipitation processes are identified for May to August in 2010—2014. Fourty cases of the identified NECV precipitation processes were analyzed, and two of them were compared for researching the characteristics of NECV precipitation. The results of statistical analysis are following: about 1/4 of days were controlled by NECV in China for May to August. In May, it is found that on the most number of NECV days, the NECV velocities were relatively fast while the precipitation were the smallest. It is noticed that the less NECV day, the slower NECV movement, while the heavier precipitation in July comparing to that in May. July is the month occurred the most rainstorms. The number of NECV precipitation processes was similarly relative less in June and August, yet the precipitation intensities were moderate in June and August. There are 20 rainstorm and 20 non-rainstorm processes. The rainstorm process on July 25, 2010 and the non-rainstorm process on May 28, 2013 were selected to compare and study the forming conditions of the cold vortex heavy precipitation. Under the premise of similarity of cold vortex intensity and circulation, the formation mechanism of precipitation in the two processes was compared and analyzed. The results show that the water vapor conditions are similar at the beginning in the two processes. The ascending condition of rainstorm type cold vortex is better at large scale background than that at small scales. The continuous vertical wind shear in the southern part of the NECV may form a continuous ascending motion and strong convergence of water vapor, which is the cause of the rainstorm, in the southern part of NECV. The strong northerly flow destroyed the convergence center in the NCEV with only weak precipitation. The vertical temperature and pressure structure and wind field structure in the NECV were not symmetrical. The cold vortex precipitation center was located in the confluence side of north-ward and south-ward airflow.

**Keywords:** NECV, statistical characteristics, formation conditions of rainstorm, comparative analysis

收稿日期: 2016年10月30日; 修回日期: 2017年5月17日  
第一作者: 崔景琳(1991—), Email: cuijl1991@126.com

## 0 引言

东北冷涡是影响我国东北地区的一种重要的切断低压系统, 在夏季常带来降水、大风甚至强对流天

气。据1956—1990年各月的资料统计分析,在4—10月东北地区37%的天数受东北冷涡影响,6—8月42%的天数受冷涡影响<sup>[1]</sup>。东北冷涡与中尺度天气现象有较明显的关系<sup>[2]</sup>。在冷涡的形成、发展、持续甚至消退期均可伴有暴雨、冰雹、雷暴、短时大风,甚至龙卷等强对流天气<sup>[3]</sup>。近40%的东北冷涡能够产生连阴雨天气<sup>[4]</sup>。东北夏季70%的低温时段是由冷涡造成的<sup>[5]</sup>。有些冷涡没有降水出现,可能伴随涡后的大风或者降温天气。东北地区独特的地形特征,使得国内外研究其他切断低压的成果很难被直接借鉴。因此,本文对降水型冷涡进行分析,对了解东北冷涡的降水天气具有很重要的意义。

国际上对中纬度切断低压的研究始于20世纪40年代<sup>[6]</sup>。随后我国对东北冷涡也展开了研究<sup>[7]</sup>。但对冷涡降水的研究则起步较晚,陶诗言指出夏季在我国东北部和内蒙古的切断低压停滞少动,每隔12~24 h从冷涡中有小股冷空气向南爆发,会带来一次中间尺度的对流性天气<sup>[8]</sup>。随后学者们对东北冷涡的天气学和气候学特征展开研究,得到诸多成果<sup>[9-10]</sup>。

夏季冷涡降水是东北地区重要的天气过程类型之一,尤其是当冷涡与副热带高压、西南急流共同存在时,可导致强降水、区域性暴雨甚至致洪暴雨。如2010年7月27—29日冷涡暴雨过程,造成了吉林等地的洪涝灾害等。因此冷涡产生的暴雨一直是被关注的重点。本文拟对夏季冷涡降水特征统计分析,对比研究冷涡环流形势和其降水特征的差异,探究冷涡产生暴雨的原因,为冷涡强降水的预报提供依据。

## 1 资料选取与方法介绍

### 1.1 资料选取

东北地区夏半年中,5—8月冷涡活动频繁<sup>[11]</sup>,降水量大,故本文选用2010—2014年5—8月的资料来分析冷涡降水过程特征。利用东北地区336个常规观测站地面降水资料 and NCEP提供的FNL再分析资料,对近5年5—8月的冷涡降水过程进行统计和分析。

### 1.2 东北冷涡降水过程的定义

东北冷涡常造成我国东北地区的低温和降水天气。朱乾根等<sup>[12]</sup>定义东北冷涡是指在我国东北地区附近具有一定强度(闭合等高线多于两根)、能维持3~4 d,且有深厚冷空气(厚度达300~400 m)的高空气旋性涡旋。孙力等<sup>[1]</sup>根据研究需要,对东北冷涡给出了具体的定义:东北冷涡是指在500 hPa天气图上35°—60°N, 115°—145°E范围内出现等高线的闭合圈,并伴有冷中心或冷槽,且持续3 d及以上的低压环流系统。

本文针对冷涡及其降水,确定了“东北冷涡降水过程”(简称冷涡降水过程)。该定义在上述定义的基础上增加了伴随降水生成的条件,同时为了尽可能多的保留冷涡过程个例,将冷涡持续时间调整为2.5 d。即选取在500 hPa天气图上,我国东北三省和内蒙古东部地区(35°—60°N, 115°—145°E)范围内有闭合低压中心,并伴有冷中心或冷槽,持续2.5 d及以上,且在冷涡背景下产生降水的过程为一次冷涡降水过程。其中,冷涡过程中低涡中心和低压槽所在的区域上,有10%以上的站次日降水量超过1 mm即为一次冷涡降水过程。定义后的冷涡降水过程更能突出其产生的降水特征。

### 1.3 冷涡降水过程的统计及个例选取方法

根据冷涡降水过程的定义,识别出2010—2014年5—8月的40次冷涡降水过程,对其月际变化、环流形势特征及其降水进行统计分析。从分析结果出发,选取有代表性的个例进行对比分析,探究它们的降水形成机制。

## 2 冷涡降水过程的统计和分析

### 2.1 各月冷涡降水过程的天数变化特征

表1给出了5—8月各月冷涡降水过程的统计结果。其间共发生冷涡降水过程40例,每次过程平均持续3.6 d,共145 d,占全部天数的23.6%,达到孙力<sup>[1]</sup>统计的夏季全部冷涡过程的天数百分比的2/3左右。其中5月的冷涡降水过程最多,有14例,日数达到53 d,占5月天数的34.2%。7月次之,共发生11例冷涡过程,达到39 d,占全部日数的25.2%。6和8月的冷涡降水过程天数相当,且相对其他月份偏少。各月的冷涡降水过程平均天数相差不大,均在3.6 d左右,从5月至8月逐月稍有递减。

表1 2010—2014年5—8月冷涡降水过程的统计  
Table 1 Statistics of the NECV precipitation for May to August in 2010—2014

	5月	6月	7月	8月	合计
冷涡天数/d	53	29	39	24	145
天数占当月天数的百分比/%	34.2	19.3	25.2	15.5	23.6
冷涡过程次数/次	14	8	11	7	40
平均过程天数/d	3.8	3.6	3.5	3.4	3.6

### 2.2 冷涡降水过程的降水特征

表2分析了冷涡产生降水的特征与冷涡的发生月份、移速间的关系。按照冷涡降水过程的强度,将上述40例过程分为暴雨型(有一个以上测站降水量达到50 mm以上)和非暴雨型(各站均未达到50 mm以上)两类。在40例冷涡降水过程中,暴雨型和非暴雨

型的冷涡各有20例。在暴雨型的20例冷涡降水过程中，有10例发生在7月，5例发生在8月，4例发生在6月，仅有1例发生在5月。在非暴雨型的20例冷涡中，有13例发生在5月，4例发生在6月，2例发生在8月，仅有1例发生在7月。

表2 2010—2014年5—8月冷涡移速与降水量级的统计分析  
Table 2 Statistical analysis of the NECV velocity and rainfall-level for May to August in 2010–2014

	暴雨型					非暴雨型				
	5月	6月	7月	8月	合计	5月	6月	7月	8月	合计
快速型	1	2	3	3	9	10	3	1	2	16
慢速型	0	2	7	2	11	3	1	0	0	4
合计	1	4	10	5	20	13	4	1	2	20

根据冷涡低压中心的移速进行分类。其24 h内纬向移速大于4个经度，或经向移速大于2个纬度的冷涡为快速型；反之为慢速型。在40例冷涡降水过程中，快速型有25例，其中5月有11例，6和8月均有5例，7月仅有4例。慢速型冷涡有15例，其中7月有7例，5和6月均有3例，8月仅有2例。非暴雨型冷涡则在5月最多、7月最少。总之，5月的冷涡以弱降水为主，而且冷涡多移速快。相反7月的冷涡以强降水为主，冷涡多移速慢。6和8月冷涡移速和降水强度较为适中。

为探究冷涡降水强度与冷涡位置变化之间的关系，将冷涡初生（闭合中心形成时）和强盛（中心气压达到最低值时）对应的冷涡中心标注在图1中。其中除去了冷涡初始时刻低压中心位置不明显，或强盛阶段因冷涡中心位置摆动很大而无法确定中心位置的12例过程。针对余下的28例（非暴雨16例，暴雨12例）冷涡降水过程分析发现，初生时刻中心位置在50°N以北时，产生非暴雨的冷涡数量偏多。初生时刻中心位置在50°N以南时，产生暴雨或者非暴雨的个例数量差异不大。图1与表2共同分析发现，非暴雨型冷涡大多移速快，在其初生至强盛过程中，位置变化也较大。暴雨型冷涡的快速型与慢速型数量相当，但其初生至强盛时刻位置变化不会太大。具体统计50°N以北的冷涡数目，共有14例，其中5例暴雨型冷涡均为慢速型，其余9例快速型冷涡中有5例未产生暴雨。

可见，冷涡是东北地区5—8月主要的天气系统之一，其间约1/4的天数有冷涡降水，一半的冷涡产生较强天气，其余为弱降水过程。其中非暴雨冷涡多移动较快，而暴雨型冷涡移速相对缓慢。偏北位置生成的冷涡通常会产生非暴雨天气，而位置偏南的冷涡，可能产生暴雨或者非暴雨天气，降水强度差异较大。鉴于冷涡产生的降水强度差异很大，暴雨和弱降水都有可能出现，以下选取两次降水强度明显不同的冷涡过

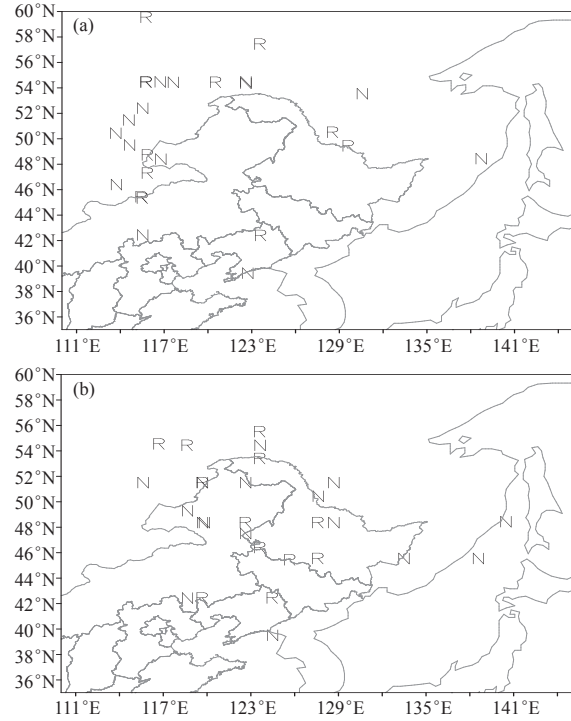


图1 28例冷涡初生 (a) 和强盛 (b) 时刻冷涡中心位置分布 (R: 暴雨过程; N: 非暴雨过程)

Fig. 1 Center locations at primary time (a) and at strong powerful time (b) of 28 cases of the NECV (R: rainstorm process; N: nonrainstorm process)

程，对比分析冷涡产生强降水的有利条件。

### 3 两次不同强度冷涡降水过程的对比分析

选取2010年7月25—29日暴雨过程（下称过程一）和2013年5月28日—6月1日非暴雨过程（下称过程二）进行对比，探究冷涡产生强降水的有利条件。

#### 3.1 两次冷涡降水过程的选取

两次过程的降水实况对比见表3。两次过程降水均持续4 d。过程一中产生降水的323个站次中，有122个站次为中雨以上量级，有10个站次发生暴雨，4个站次发生大暴雨，最大降水量达到147 mm，为一次暴

表3 两次冷涡降水过程常规观测站降水概况对比  
Table 3 Comparison of precipitation in two observations of the NECV

	过程一 (2010年7月25—29日)	过程二 (2013年5月28日—6月1日)
降水天数	4	4
降水总站次(即黑龙江、吉林、辽宁及内蒙古部分地区)	323	224
最大日降水量/mm	147	34
24 h降水量≥50 mm站次	14	0
24 h降水量≥25 mm站次	35	4
24 h降水量≥15 mm站次	73	32

雨型冷涡过程。过程二共有224个站次发生降水，以小雨和中雨为主，最大降水量仅为34 mm，为一次非暴雨天气过程。

两次降水过程的降水落区也存在一定差异，如图2。

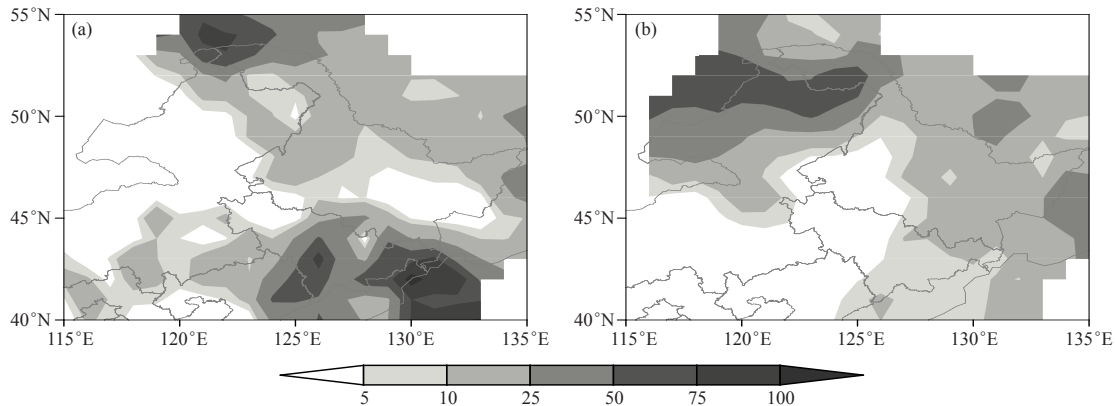


图2 两次冷涡过程累积降水量分布 (单位: mm)

(a) 2010年7月25日08时—29日08时, (b) 2013年5月28日08时—6月1日08时)

Fig. 2 Maps of cumulative precipitation in the two NECVs (Unit: mm)

(a) for 08 BT 25 to 08 BT 29 July 2010, (b) for 08 BT 28 May to 08 BT 1 June 2013

对比两次过程的环流形势(表4),发现它们具有较大的相似性。两次冷涡均在内蒙古东北部边界处生成,沿黑龙江北侧边界发展和移动,其强度相当。冷涡形成3 d过后,均从黑龙江东北界移出我国。过程一最终在鄂霍茨克海以西消亡,过程二在俄罗斯东部消亡。冷涡均有500 hPa副热带高压和200 hPa高空急流相配合。但过程一的副高和急流均较过程二的偏北,这一差异将在下面的环流形势中具体分析。

上述两次冷涡降水过程降水的强度和落区差异甚大,但其冷涡系统强度及其环流形势相似。故选取这两次降水过程进行研究,对比分析相似的冷涡强度和环流形势下造成降水强度差异的原因,探究冷涡产生强降水的有利条件。

### 3.2 两次过程的环流形势简介及高空辐散特征对比

#### 3.2.1 环流形势对比分析

根据冷涡闭合等压线的条数和中心位势高度值的强弱变化定义冷涡的各个阶段:将冷涡形成和维持一个闭合环流圈的时段定义为初生阶段,将闭合环流圈数增加和中心位势高度变低的时段定义为发展阶段,将冷涡低压环流圈条数和中心强度维持的时段称为成熟阶段,冷涡的减弱时段为消亡阶段。

过程一2010年7月26日02—08时,在黑龙江与内蒙古北部的交界处生成一个闭合环流圈,低涡后有冷中心配合,为冷涡初生阶段(图3a)。26日08时—27日20时,冷涡中心发展加深,最强达552 dagpm,冷

将过程降水量与冷涡流场图(图3)对比,过程一的降水落区主要位于冷涡中心附近地区,以及东南侧的槽前偏西气流中;而过程二的降水落区位于冷涡中心附近区域。

中心稍落后于低压中心,沿黑龙江北界向东南方向移动,为冷涡的发展阶段(图3c)。27日20时—28日20时冷涡中心稳定维持在556 dagpm,位置移动缓慢,温度中心与高度中心接近重合,为冷涡的成熟阶段(图3e)。这一阶段中产生的降水最强,有9个站次6 h降水量超过50 mm。随后冷涡在黑龙江东侧移出我国并减弱,为冷涡消亡阶段(图3g)。在冷涡发展和成熟阶段,均有3~4个闭合环流圈。各阶段中,500 hPa西太平洋副热带高压维持在35°—40°N的日本至黄海地区。200 hPa高空急流位于45°—51°N,急流核位于蒙古西部地区,冷涡位于高空急流出口区的左前侧,此处存在的高层辐散有利于冷涡背景下中尺度系统的垂直上升运动。

过程二2013年5月28日14时(图3b),在内蒙古东北侧形成闭合低压中心,冷槽位于内蒙古中部地区,冷中心不明显,至20时为冷涡初生阶段。28日20时—29日08时,冷涡中心发展加深至540 dagpm,冷中心明显,温度槽稍落后于高度槽,共同沿黑龙江北界向东南移动,为冷涡的发展阶段(图3d)。29日08时—31日08时,冷涡强度维持,温度槽与高度槽接近重合,为冷涡的成熟阶段(图3f)。31日08时后冷涡从黑龙江北侧移出我国,为冷涡的消亡阶段(图3h)。冷涡的发展和成熟阶段,均有3~4个闭合环流圈。过程二中副热带高压588 dagpm线维持在30°N附近的黄海地区。200 hPa高空急流位于36°—41°N的我国华北地区。在发展和成熟阶段,冷涡均位于高空急

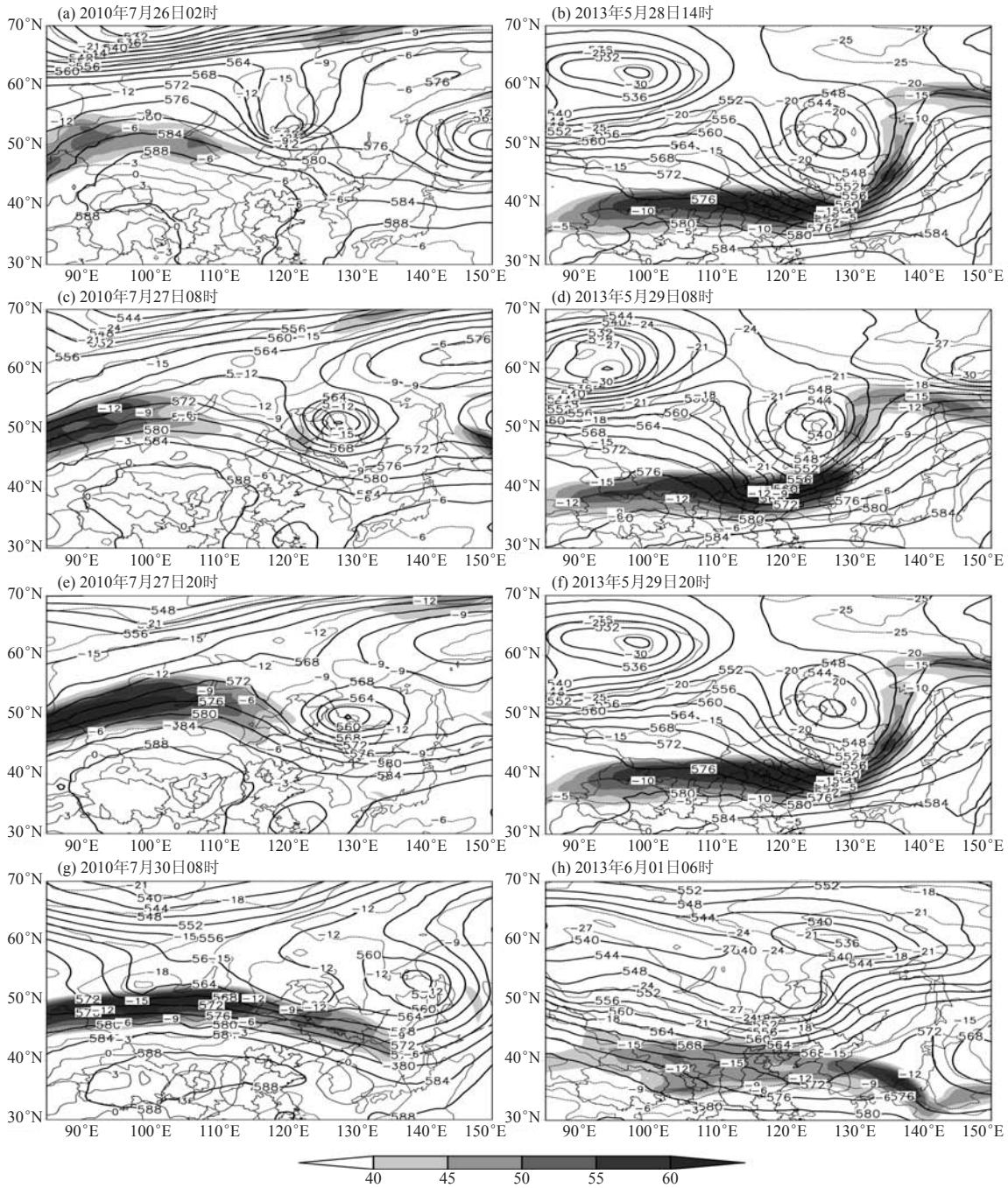


图3 两次过程500 hPa高度场(实线,单位: dagpm)、温度场(虚线,单位:  $^{\circ}\text{C}$ )和200 hPa大风速带(阴影,单位: m/s)的对比

Fig. 3 Comparison of the 500 hPa height field (solid line, unit: dagpm), temperature field (dashed line, unit:  $^{\circ}\text{C}$ ) and 200 hPa wind velocity zone (shading, unit: m/s) between the two NECV processes

流核的北侧,与过程一冷涡处于急流出口区的左前侧相比,过程二对冷涡附近区域的辐合和上升运动并不十分有利。

对比两次过程的环流形势,冷涡发展和成熟阶段冷涡强度和位置十分相似。过程一中冷涡位于高空急流出口区的左前侧,高空急流出口区的次级环流有利

于冷涡及其附近地区的辐合和上升运动。过程二中冷涡位于高空急流核的北侧,与过程一相比,则冷涡的辐合上升条件稍差。过程一的副热带高压更偏北,与过程二相比,可能具有更有利的水汽条件。

### 3.2.2 高空急流及辐散特征对比分析

对比两次过程初始阶段高空急流和高空辐散场。

表4 两次冷涡降水过程环流形势对比  
Table 4 Comparison of circulation patterns in two NECV precipitation processes

	过程一 (2010年7月25—29日)	过程二 (2013年5月28日—6月1日)
冷涡初生时的位置	26日02时在内蒙古东北部边界生成	28日14时在内蒙古北边界生成
冷涡的发展和移动	26日08时—27日20时冷涡强度加深, 沿黑龙江北侧边界东移	28日20时—31日14时冷涡强度加深, 由生成地向东移
冷涡移出我国时的位置	29日02时在黑龙江东北界移出	30日14时在黑龙江东北界移出
冷涡消亡时的位置	30日02时在鄂霍茨克海以西消亡	1日08时在俄罗斯东部消亡
发展阶段的等压线条数	3~4条闭合等压线	3~4条闭合等压线
温度场的配合	500 hPa持续有冷中心配合	500 hPa有时有冷中心配合, 各时段均有冷槽配合
500 hPa副热带高压的配合	584 dagpm位于冷涡中心以南10°左右	584 dagpm位于冷涡中心以南15°左右
200 hPa高空急流概况	冷涡位于急流核前方至左前方	冷涡位于急流核左侧

如图4a, 过程一冷涡位于200 hPa高空急流出口区的左前侧, 在冷涡东侧第二与第三条闭合圈内有一南北走向的强辐散中心, 强度达到 $60 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 向南延伸至黑龙江、吉林西侧的冷涡槽区。高空辐散

为冷涡降水提供了良好的动力条件。过程二冷涡位于200 hPa急流核的东北侧附近, 辐散区则位于急流出口区的左前侧, 即冷涡最外层闭合圈的东侧, 且冷涡的低槽区域没有高空辐散区配合, 这样的辐散条件则不

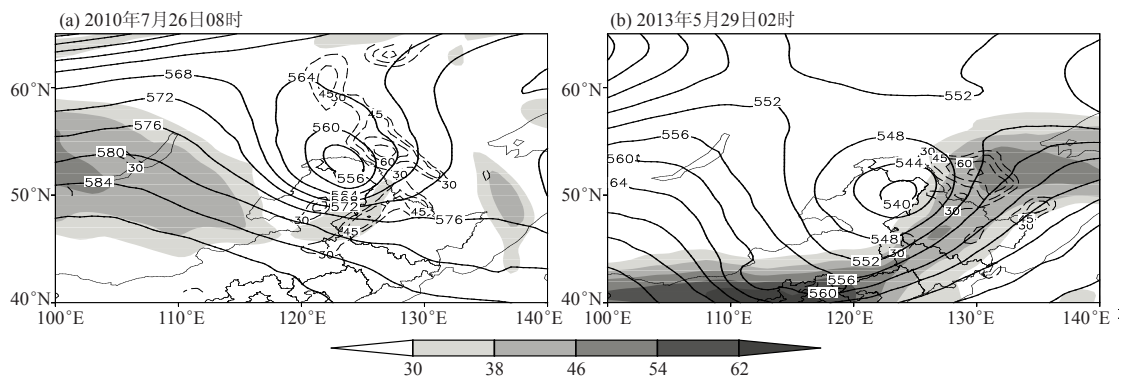


图4 两次过程500 hPa初生阶段高度场(单位: dagpm)、200 hPa大风速带(阴影, 单位: m/s)和散度场(单位:  $10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )对比分析

Fig. 4 Comparison of the 500 hPa height field (solid line, unit: dagpm), 200 hPa wind velocity zone (shading, unit: m/s) and divergence field (solid line, unit:  $10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )

利于提供上升运动的背景条件。

从冷涡的环流形势来看, 两次过程冷涡各个阶段的位置和强度十分相似, 移动方向和持续时间也较相似。两次过程200 hPa高空急流相对冷涡的位置有所差异, 则高空急流的次级环流上升支对应的高空辐散区相对于冷涡的位置有差异, 导致两次过程的动力条件有所差异, 过程一更有利于大气的持续上升运动。

### 3.3 降水差异对比及其原因分析

两次过程的显著降水时段均在冷涡的发展阶段和成熟阶段。选取其中降水最强的24 h降水量对比分析(图5), 过程一降水中心位于冷涡槽前的吉林东南部, 为暴雨量级。过程二降水落区位于冷涡附近地区的黑龙江与内蒙古交界处冷涡, 降水强度以小雨到中雨为主。从对比分析环流形势和降水差异的结果出发, 分别对比分析冷涡各阶段的动力条件和水汽条

件, 诊断分析两次过程降水强度差异的原因。

#### 3.3.1 冷涡动力条件对比分析

沿冷涡中心做经向垂直剖面, 对比分析系统的南北风分量以及垂直运动条件(图6)。过程一初期冷涡低层及其南侧为偏北气流区, 高层及冷涡北侧为偏南气流区。在冷涡初生阶段(图6a), 在冷涡南侧400 hPa附近的偏南气流与偏北气流的交汇区, 形成了较强的上升运动区中心, 强度达到 $-0.6 \text{ Pa/s}$ 。在冷涡发展阶段(图6c), 冷涡上空的偏南气流区被偏北气流切断, 在冷涡南侧, 上空形成一个强盛的偏南气流中心, 中层为偏北气流区, 超低空为另一偏南气流区。这样的南北方向气流在垂直方向上的耦合叠加, 产生了强烈的垂直上升运动, 达 $-1.2 \text{ Pa/s}$ , 上升区对应降水中心所在的区域。在冷涡成熟阶段(图6e), 高空偏南气流减弱, 但高低空的风向切变以及空气的

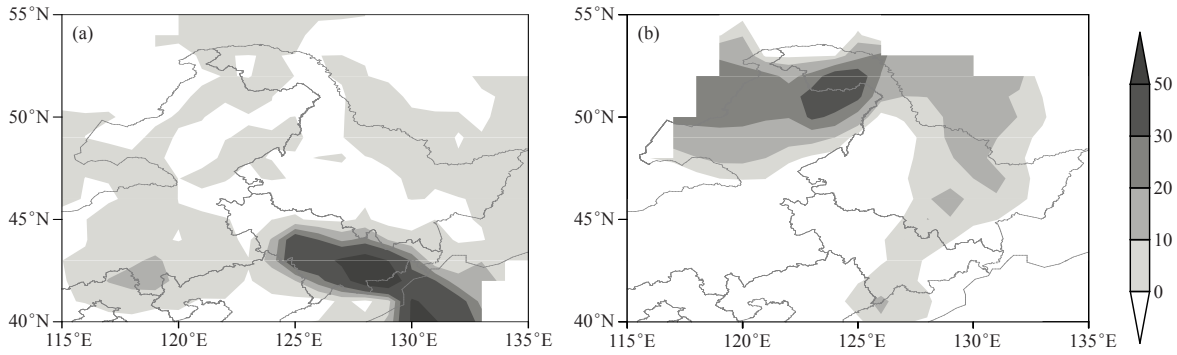


图5 两次冷涡过程中显著降水时段的24 h降水量 (单位: mm)

(a) 2010年7月27日20时—28日20时, (b) 2013年5月28日20时—29日20时

Fig. 5 The 24-hour precipitation during the main precipitation period in the two NECV (a) 20 BT 27 to 20 BT 28 July 2010, (b) 20 BT 28 to 20 BT 29 May 2013

上升运动仍然维持。在成熟阶段后期(图6g), 高空偏南气流消失, 上升运动强度维持, 但其区域开始缩小。这一过程中, 冷涡南北气流的高低空切变区及上升运动区, 一直与6 h降水中心(图略)区域位置对应。至消亡阶段(图略), 上升运动区域缩小, 强度骤减至 $-0.6 \text{ Pa/s}$ , 冷涡降水也随之减弱。

在过程二的初生阶段(图6b), 经过冷涡中心的经向垂直方向上以偏南气流为主, 在冷涡北侧的低层区域有小范围的偏北气流区, 在南北气流交汇的500 hPa附近存在上升运动的强中心, 达 $-1.2 \text{ Pa/s}$ 。在冷涡发展阶段(图6d), 冷涡北侧的中低层有偏北气流侵入, 南北气流交汇明显, 该处的上升运动区也明显增大, 这一区域与冷涡的6 h降水中心吻合, 且降水强度在这一时段内相对最强。冷涡成熟阶段, 强盛的偏北气流由低层至高层侵入到冷涡内部(图6f), 冷涡中层和下层均为偏北气流控制, 上升运动也仅存于冷涡北侧的弱切变区, 强度微弱, 降水强度也随之骤减。至成熟阶段后期(图6h), 冷涡由低层至300 hPa均为强盛的偏北气流控制, 冷涡的垂直运动微弱。冷涡成熟阶段后期及消亡阶段, 尽管冷涡低压中心强度仍在维持, 但其内部被偏北气流占据, 使冷涡主体变得干冷, 降水微弱。

两次过程冷涡中心附近的南北气流分布明显不对称。过程一垂直方向上, 南北气流切变位于冷涡的南侧, 且偏南气流和偏北气流在较长的时间内强度差异不大, 这样使得风向的垂直切变强烈且持续存在, 上升运动则在冷涡南侧得以维持。而过程二南北气流的切变区位于冷涡的北侧, 且在冷涡发展阶段后期, 偏北气流开始大范围侵入, 阻碍并切断了南北气流的交汇, 冷涡系统下的切变和垂直运动也随之减弱和停止。

可见, 在不同的冷涡过程中, 南北气流交汇区的位置差异可能很大, 位于冷涡的南侧或北侧均有可能。降水中心则位于南北气流交汇的强上升运动区内, 这是造成两次过程降水中心落区差异的原因之一。冷涡内部的偏北气流的大范围增强, 会导致切变、上升运动以及降水强度的骤减。关注冷涡内部南北气流的强度和位置变化对于冷涡降水的强度和落区变化十分重要。

### 3.3.2 水汽条件的对比分析

对比分析两次过程发生显著降水前期的相对湿度和整层可降水量(图7)发现: 在显著降水发生的前期, 降水中心及附近的相对湿度均达到90%。过程一降水区域的整层可降水量达到 $600 \sim 900 \text{ g/m}^2$ , 过程二的整层可降水量为 $600 \sim 1200 \text{ g/m}^2$ 。两次过程降水初期的水汽条件良好且相似。可见降水初期的水汽条件并不是导致降水强度差异的原因。

对比两次过程显著降水时段水汽输送条件, 选取两次过程显著降水时段中多个时次的850 hPa水汽通量散度和水汽通量场进行对比分析。过程一850 hPa(图8a~8c)由辽宁向吉林南部地区有一较强的水汽通量带。冷涡系统南侧有一个强水汽辐合中心, 强度达到 $-6 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 稳定位于吉林东南部地区, 维持了24 h以上。过程二28日20时, 在内蒙古东北部有较小的水汽通量和极小范围的水汽辐合中心, 位于冷涡气旋北侧(图8d)。至29日02时水汽的辐合区东移至黑龙江北部, 范围略有增大(图8e)。至29日08时, 冷涡附近的水汽辐合中心消失(图8f)。水汽辐合区在冷涡北侧的持续时间不足6 h。

综合分析两次过程的动力条件和水汽条件发现: 过程一冷涡内部的南北气流强度相当, 在冷涡南侧有持续的垂直风切变存在, 冷涡南部的上升气流强烈而

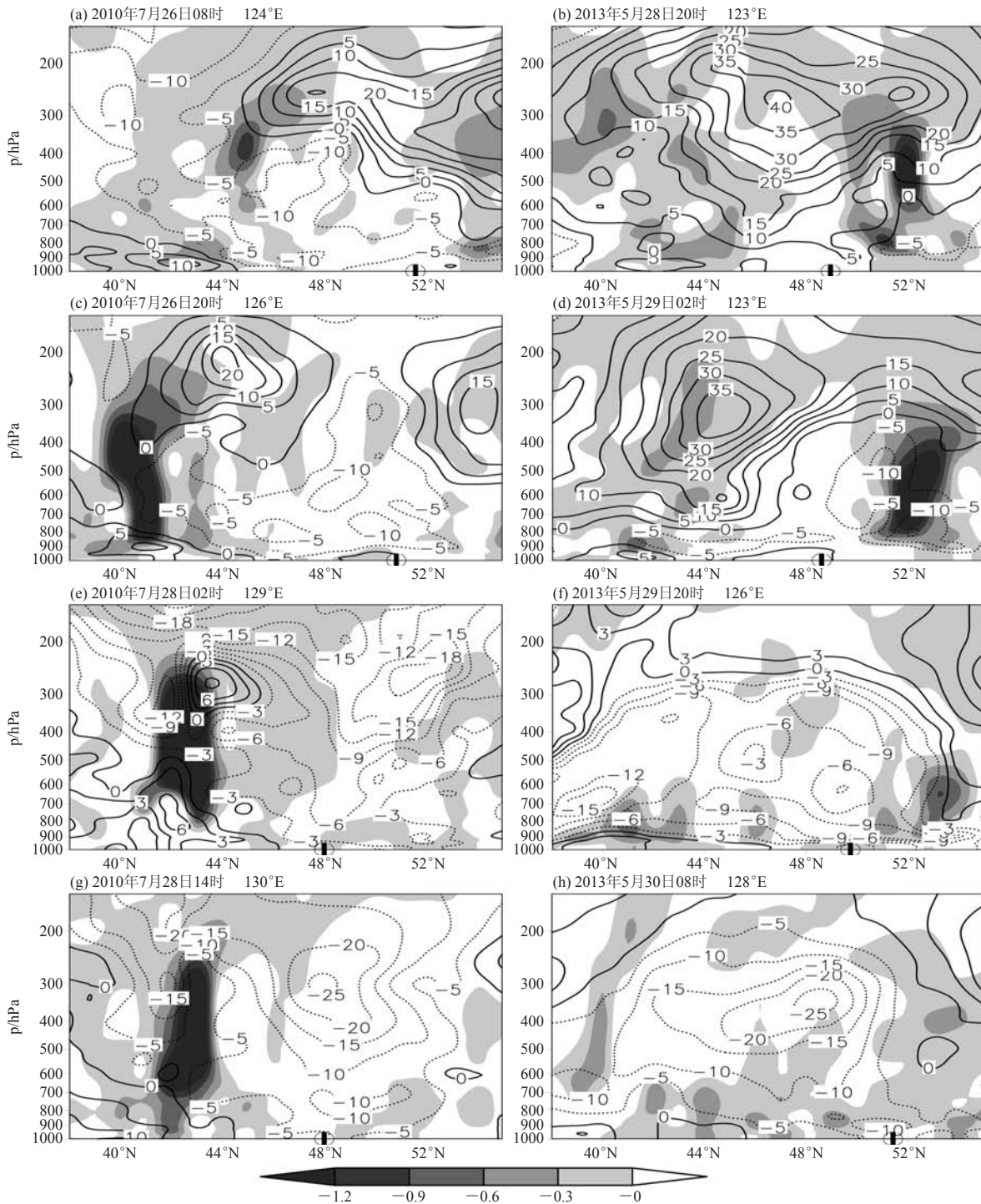


图6 两次过程沿冷涡中心所在经度的经向速度 (实线: 偏南风, 虚线: 偏北风, 单位: m/s) 和垂直速度 (阴影, 单位: Pa/s) 垂直剖面 (纬度轴上的标注为各时次冷涡中心所在位置)

Fig. 6 Zonal velocity profile and vertical profiles of the center of the NECV (solid line: southerly wind, dashed line: northerly wind, unit: m/s. The location of the center of NECV marked on latitude axis)

持久, 形成了持续且强盛的水汽辐合条件, 这是过程一产生暴雨的原因。过程二在冷涡发展过程之后, 偏北气流强盛, 迅速侵入到整个冷涡结构内, 南北气流的切变减弱消失。过程二切变的短暂存在, 不利于产

生强烈的上升运动和持续的水汽辐合, 仅导致弱降水的形成。

#### 4 结论

本文定义了东北冷涡降水过程, 利用常规观测资

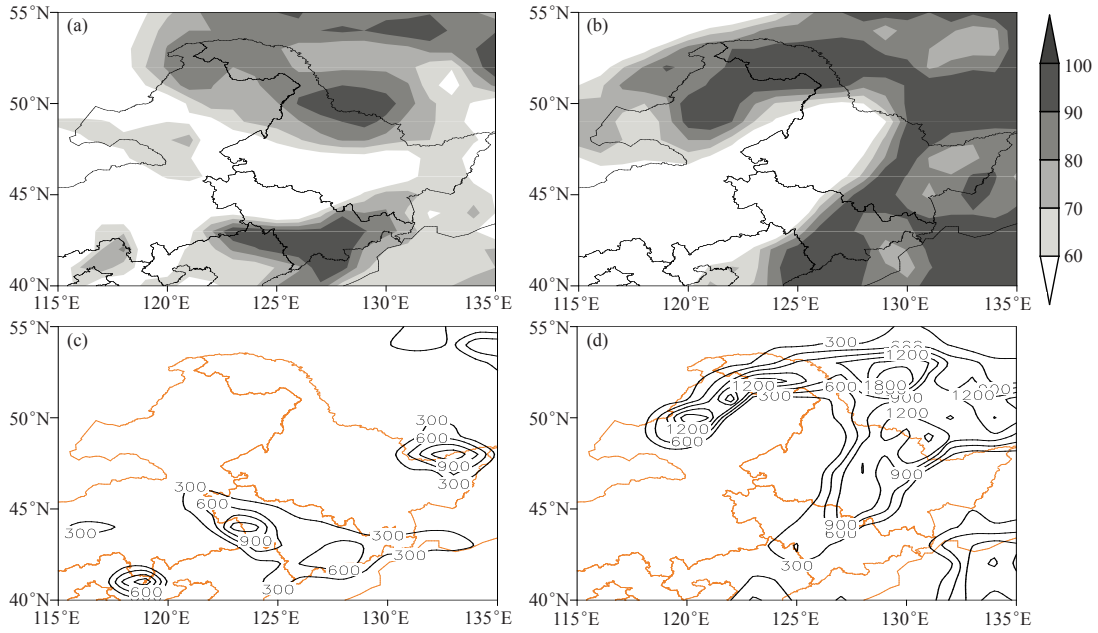


图7 两次冷涡过程中显著降水时段初期850 hPa相对湿度 (a, b, 单位: %), 整层可降水量 (c, d, 单位:  $\text{g}/\text{m}^2$ ) 的对比 (a, c: 2010年7月27日12时; b, d: 2013年5月28日00时)  
Fig 7 The contrast of relative humidity (a, b, unit: %) and the whole layer precipitable water vapor (c, d, unit:  $\text{g}/\text{m}^2$ ) before the main precipitation period at 850 hPa (a, c: 12 BT 27 July 2010; b, d: 00 BT 28 May 2013)

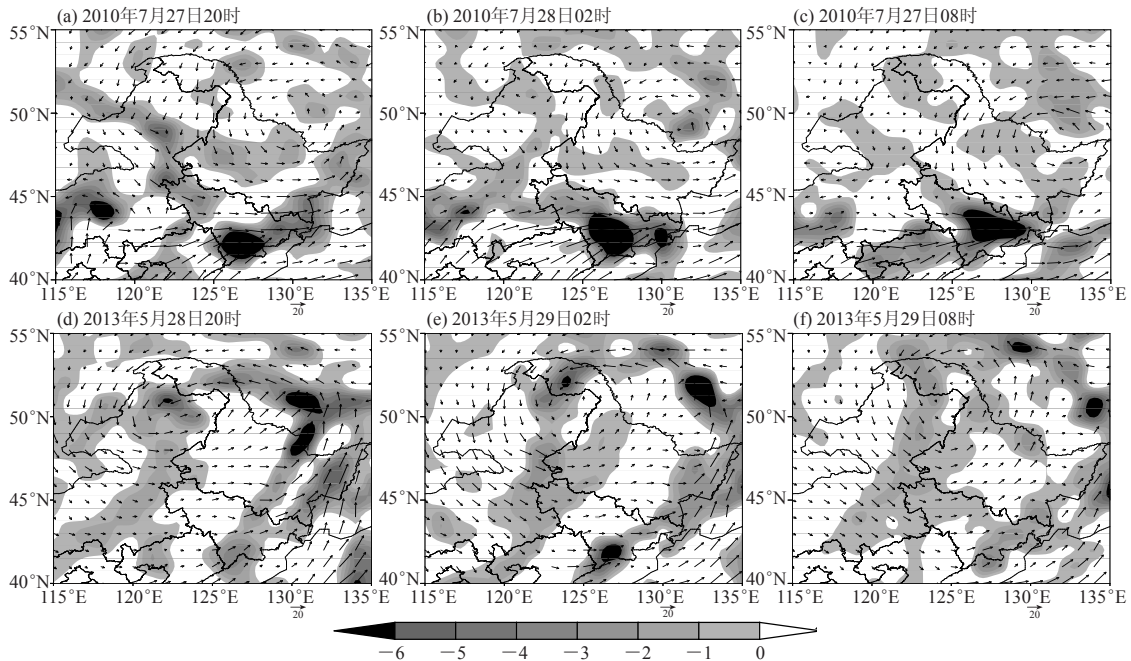


图8 两次冷涡过程中显著降水时段的850 hPa水汽通量散度 (阴影; 单位:  $10^{-4} \text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) 和水汽通量的对比  
Fig. 8 The contrast of water vapor flux divergence (shaded, unit:  $10^{-4} \text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) and water vapor flux during the main precipitation period of two NCEV processes at 850hPa

料和FNL再分析资料, 识别出了2010—2014年5—8月的40例冷涡降水过程, 对其月际变化、冷涡及降水特征进行统计分析, 选择其中两次冷涡强度和位置均十分相似的暴雨和非暴雨冷过程进行对比分析。主要结

论如下:

1) 东北地区5—8月约有1/4的天数有冷涡降水天气。其中5月冷涡降水过程天数最多, 但移速快, 降水弱。7月次之, 冷涡移速慢, 降水强。6和8月天数

相对各月最少,且数目相当,降水强度适中。暴雨型和非暴雨型冷涡降水过程数量相当。非暴雨冷涡多且移动较快,而产生暴雨的冷涡均移速相对缓慢。偏北位置生成的冷涡通常会产非暴雨天气,而位置偏南的冷涡可能产生暴雨或者非暴雨天气,降水强度差异较大。

2) 本文选取的两次暴雨型和非暴雨型冷涡,产生降水的强度和落区差异甚大。但其初生、发展和消亡时所在的位置、强度和持续时间均十分相似。

3) 两次过程降水初期的水汽条件相似。暴雨型冷涡大尺度背景下的上升条件更佳。暴雨型冷涡其南部持续的垂直风切变,使得冷涡南部形成了持续的上升运动以及强水汽辐合,这是过程一产生暴雨的原因。非暴雨型冷涡过于强盛的偏北气流破坏了冷涡北部的的水汽辐合中心,过程中仅产生弱降水。

4) 冷涡垂直方向上的温压结构和风场结构并不对称,冷涡降水中心位于南北气流交汇的一侧。在冷涡降水预报中,关注冷涡垂直方向上南北气流的交汇

区域及其持续时间,对冷涡降水的量级和落区预报有很重要的意义。

#### 参考文献

- [1] 孙力,郑秀雅,王琪.东北冷涡的时空分布特征及其与东亚大型环流系统之间的关系.应用气象学报,1994,5(3):297-303.
- [2] 白人海,孙永罡.东北冷涡中尺度天气的背景分析.黑龙江气象,1997,(3):6-12.
- [3] 张立祥,李泽椿.东北冷涡研究概述.气候与环境研究,2009,14(2):218-228.
- [4] 孙力.东北冷涡低温连阴雨的气候学特征//东北冷涡研究文集.沈阳:辽宁出版社,1997:6-7.
- [5] 丁士晟.东北低温冷害的气候分析//东北夏季低温长期预报文集.北京:气象出版社,1983:9-16.
- [6] Hsieh Y P. An investigation of a selected cold vortex over North America. Journal of the Atmospheric Sciences,1949,6:401-410.
- [7] Sato T. On the structure of cold vortex. Meteorological Research Institute,1951,3(2):157-171.
- [8] 陶诗言.有关暴雨分析预报的一些问题.大气科学,1977,1(1):64-72.
- [9] 杨红梅,陶祖钰.强天气冷涡云系结构的分析和物理解释.大气科学,1992,16(1):77-84.
- [10] 胡开喜,陆日宇,王东海.东北冷涡及其气候影响.大气科学,2011,35(1):179-191.
- [11] 蒋大凯,王江山,阎琦,等.1961—2010年5—9月东北冷涡气候特征及其对辽宁气温的影响.气象与环境学报,2012,28(2):5-9.
- [12] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等.天气学原理和方法(第四版).北京:气象出版社,2007:374.

## 新书架 NEW BOOK

感兴趣的读者可以到中国气象局图书馆查阅



《云计算与大数据》

编著者:孙宇熙  
出版者:人民邮电出版社  
出版年:2016



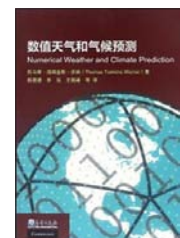
《基于RS/GIS的降雨条件下  
滑坡风险性评估研究》

编著者:李巍岳等  
出版者:科学出版社  
出版年:2016



《从哥本哈根到巴黎:国际气候制度的变迁和发展》

编著者:朱松丽等  
出版者:清华大学出版社  
出版年:2017



《数值天气和气候预测》

编著者:托马斯·汤姆金斯·沃纳著;  
陈葆德等译  
出版者:气象出版社  
出版年:2017