

何晗, 谌芸, 肖天贵, 等. 2015. 冷涡背景下短时强降水的统计分析. 气象, 41(12): 1466-1476.

冷涡背景下短时强降水的统计分析^{* 1}

何 晗¹ 谌 芸² 肖天贵¹ 王 娟³ 陈 玥⁴

1 成都信息工程大学, 成都 610225

2 国家气象中心, 北京 100081

3 北京昌平气象台, 北京 102200

4 南京信息工程大学, 南京 210044

提 要: 本文首先给出冷涡的定义, 然后根据此定义识别出 2009—2013 年 4—9 月的冷涡有 65 个, 分析冷涡的时空分布特征及生命史特征发现: 冷涡的月变化特征明显, 7 月冷涡个数和维持的天数最多。冷涡主要发生在贝加尔湖东部、蒙古的东部和东北的西北部地区, 生命史大多为 3 d。利用自动站小时雨量资料统计分析冷涡背景下短时强降水特征及其与冷涡的关系, 结果表明: 冷涡背景下的短时强降水主要集中在京津和河北东南部, 以及东北平原地区, 7 月最多, 日变化表现为午后至傍晚时段多发。冷涡的各个时期都能产生短时强降水, 发展时期最多, 降水主要位于冷涡中心的东南部和西南部, 不同类型的冷涡降水分布不同。

关键词: 冷涡, 短时强降水, 统计分析

中图分类号: P458

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2015.12.004

Statistical Analysis of Severe Short-Time Precipitation Under Cold Vortex Background

HE Han¹ CHEN Yun² XIAO Tiangui¹ WANG Juan³ CHEN Yue⁴

1 Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225

2 National Meteorological Centre, Beijing 100081

3 Changping Meteorological Observatory of Beijing, Beijing 102200

4 Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

Abstract: Cold vortex is firstly defined in this paper. And then 65 cold vortexes are identified from April to September of 2009—2013 based on the definition. Their spatio-temporal distributions are studied. The monthly variation of cold vortexes is obvious, and the most of them occur in July, mainly from the east of Lake Baikal and Mongolia to the northwest of Northeast China. Most cold vortexes live for more than 3 days. Hourly rainfall data of automatic weather station are used to analyze the characteristics of the severe short-time precipitation under the background of cold vortex and its relations with cold vortex. The results show that severe short-time precipitation accompanying cold vortex mainly occurs in the southeast of Hebei, Beijing, Tianjin and the Northeast Plain in July. Besides, such events are often seen from afternoon to evening. Severe short-time precipitation can occur in any phases of cold vortexes, mainly during the developing phases. Besides, it is located mainly in the southeast and southwest of vortex center. And the distribution of severe short-time precipitation is different in different cold vortexes.

Key words: cold vortex, severe short-time precipitation, statistical analysis

* 国家自然科学基金面上项目(41175048)和公益性行业(气象)科研专项(GYHY201206004 和 GYHY201406001)共同资助

2015 年 3 月 7 日收稿; 2015 年 5 月 8 日收修定稿

第一作者: 何晗, 主要从事中尺度天气研究. Email: hehan0413@163.com

通信作者: 谌芸, 主要从事中尺度天气研究. Email: chenyun@cma.gov.cn

引 言

冷涡作为中、高纬度地区的冷性闭合低压环流系统,是影响我国天气的重要系统之一。冷涡常能带来冰雹、雷暴、大风和短时强降水等强对流天气,引发重大的灾害,因此一直以来备受关注。前人对冷涡进行研究发现:冷涡全年各月均可发生,但在夏季最容易发生(苏博颖,1996;闫玉琴等,1995)。东北冷涡具有很明显的年际变率,且存在 2.5 a 左右的主振荡周期(胡开喜等,2011)。空间分布的密集区主要位于大兴安岭背风坡东北平原的北端和三江平原(黑龙江、松花江和乌苏里江)的低洼地上空,其发展演变与地形有关(孙力等,1994)。

冷涡是造成强对流天气的重要系统。京津冀地区的冰雹、大风和龙卷一半以上都是在华北冷涡背景下产生的(郁珍艳等,2011)。东北地区由冷涡引发的雷暴日数是最多的(唐晓玲等,1997),53%的雹暴和 22.4%的暴雨是由冷涡引起的(Zhang et al, 2008)。我国东北和华北地区在冷涡背景下易产生中尺度对流系统(MCS)(王磊等,2013),进而引发强对流天气。诸多学者进一步研究得到冷涡与强对流天气的关系:苏永玲等(2011)指出京津冀地区在冷涡天气形势下容易产生冰雹,强对流落区出现在冷涡下游。张仙等(2013)指出京津冀地区的降雹主要为长生命史冷涡下的连续降雹过程,不同移速的冷涡背景产生的降雹位置不同。雷雨顺等(1978)指出雷暴出现在冷涡东南部的机会比西部多。孙力等(1995)则通过对东北冷涡暴雨过程和弱降水过程的合成对比发现发展阶段的冷涡易出现暴雨。在冷涡衰退阶段,在弱的不稳定环境条件下,与低空急流脉动产生的重力不稳定也能触发暴雨天气(张云等,2008)。姜学恭等(2001)和陈力强等(2005)通过数值模拟较成功地揭示了冷涡背景下 MCS 的一些结构特征,指出了 MCS 产生的有利条件。柴东红等(2011)就对一次华北冷涡影响下的强对流天气进行分析,验证了低涡东南象限利于强对流天气的发生。李云静等(2013)对冷涡背景下强对流不稳定条件的成因作了分析。孙建华等(2015)对引发强降水的东北冷涡演变机理和能量进行了研究。为得到冷涡背景下强对流发生发展的机制,众多学者做了大量的诊断分析工作(方宗义等,2003;陈力强等,2006;王慧清等,2013;张一平等,2011;沈浩等,2014;傅慎明

等,2014)。

冷涡背景下的强对流天气中短时强降水引发的灾害往往是非常大的。例如在 2013 年 8 月,东北地区短时强降水天气频发,使得山洪暴发,造成了巨大经济损失和人员伤亡。2012 年 7 月 21 日的北京特大暴雨小时雨量最大的高达 $100.3 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$,超过 $50 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的范围非常大,由于降水的高效率和局地性,在短时间内造成内涝,给人民生命财产造成了巨大的破坏。京津冀地区 41.91%的短时强降水都产生于华北冷涡背景下,在天津、河北东北部及南部地区分布较多,空间分布受到了地形影响(郁珍艳等,2011)。短时强降水由于其空间尺度小、突发性强、对流强度大的特点,对它的预报一直是个难点,而目前对冷涡背景下的强对流天气研究主要集中在冰雹、暴雨等天气的研究,对冷涡背景下短时强降水天气的研究较少。因而本文对 2009—2013 年 4—9 月冷涡进行特征分析,利用天气图资料和加密自动站观测资料对冷涡背景下短时强降水的时空分布特征进行统计分析,寻找其与冷涡之间的关系,了解其活动特征,为冷涡背景下短时强降水概念模型的建立,提高预报准确率提供一定的理论依据。

1 冷涡概况

我国对冷涡的定义多针对东北冷涡,朱乾根等(1992)的定义为:中国东北附近地区具有一定的强度、能维持 2~3 d 且有深厚冷空气的高空气旋性涡旋称之为东北冷涡。后有学者根据研究需要对冷涡出现的区域和维持天数做了具体规定(郑秀雅等,1991)。本文对冷涡的定义为:500 hPa 天气图上, $35^{\circ} \sim 60^{\circ} \text{N}$ 、 $105^{\circ} \sim 145^{\circ} \text{E}$ 范围内出现等高线的闭合圈,并有冷中心或者冷槽配合,持续 2 d 或以上的低压环流系统。利用 2009—2013 年 4—9 月 500 hPa 天气图资料,经主观分析一共识别出 65 个冷涡过程,平均生命史为 3.7 d,共维持了 241 d,占总天数的 26.3%,可见在夏季(4—9 月)近 1/4 的时间该区域受冷涡系统的影响。生命史为 3 d 的冷涡最多,达 32.3%。在冷涡形成前期东亚地区有阻塞高压存在的有 28 例,占 43.1%,平均生命史为 3.9 d。一半以上的长生命史(大于 6 d)的冷涡都伴随有阻塞存在。这与孙力等(1994)和张仙等(2013)得到的研究结论是一致的,当贝加尔湖以东有高压脊发展形成阻塞形势时,研究区域易产生冷涡,且这类冷涡

的生命史比一般冷涡都要长。月分布特征分析得到:4和7月出现的冷涡个数最多,为13个,4—8月冷涡个数均超过了10个,9月最少,仅有8个。9月冷暖空气活动不如夏季活跃,大气状态趋于相对稳定,因此冷涡出现的相对较少(孙力,1997)。同样7月冷涡维持的天数最多,达53 d,其次为6月,达44 d。

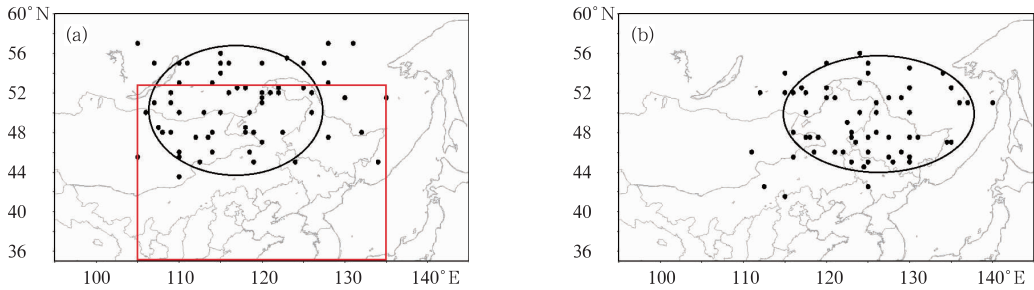


图1 2009—2013年4—9月冷涡形成时(a)和成熟时(b)中心地理位置分布
(方框代表短时强降水的研究区域)

Fig. 1 Geographical distribution of cold vortex in forming (a) and maturing (b) phases
from April to September of 2009—2013

(Box marks the study area of severe short-range precipitation)

2 所选区域短时强降水的特征

2.1 短时强降水的定义

本文沿用中央气象台对短时强降水作出的业务规定,将1 h降水量 ≥ 20 mm的降水定义为短时强降水。以08时为界,只要有一站有短时强降水出现,则记为一个短时强降水日。统计分析冷涡特征发现,冷涡中心的活动区域位于 $43.5^{\circ}\sim 57^{\circ}\text{N}$ 、 $105^{\circ}\sim 135^{\circ}\text{E}$,因此选取受冷涡影响下的 $35^{\circ}\sim 53^{\circ}\text{N}$ 和 $105^{\circ}\sim 135^{\circ}\text{E}$ 内的区域作为冷涡背景下的短时强降水的研究区域(如图1a方框区域所示)。本文所用降水资料来源于中国国家气象信息中心,是经过质量控制后的加密自动站逐小时降水量资料。

2.2 短时强降水的特征

利用全国加密自动站观测资料,对2009—2013年4—9月研究区域内的小时雨量进行统计分析,从短时强降水累计发生的次数即发生频次的分布图(图2a)可以看出,发生频次从东南向西北方向递减,高值中心有两个:一个位于山东大部、天津、河北东部和辽宁南部沿海,另一个在东北平原。前人统

图1分别给出了500 hPa冷涡形成和成熟时中心位置,可以看出冷涡的形成位置主要集中于贝加尔湖东部、蒙古的东部和东北的西北部地区,而成熟时冷涡的中心位置主要位于东北地区。周琳(1991)曾指出东北处于大兴安岭东侧和高空急流的背面,独特的地形和急流为冷涡的形成创造了动力和热力条件,使得东北地区上空容易出现冷涡。

计发现处于太行山和小兴安岭的迎风坡地区短时强降水的发生频率较高(樊李苗,2012),短时强降水的分布除受地形影响外,还与水汽条件相关(郁珍艳等,2011)。该区域靠近渤海,有着丰富的水汽来源,北有燕山山脉,西靠太行山,地势由西北向东南倾斜,地形作用为水汽的辐合创造了良好的条件。大兴安岭呈东北—西南走向,阻碍了夏季东南季风的继续推进,容易造成水汽的辐合抬升,使得东北平原地区降水天气多发。图中所示的短时强降水高发区正是处于有利的地形和水汽条件之下。由短时强降水的站点分布图(图2b~2d)可见:其分布范围很广,强度为 $20\sim 30\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ (图2b)和 $30\sim 50\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ (图2c)的短时强降水发生的密集区位于华东北部、华北南部和东北部分地区,与频次分布较一致。强度超过 $50\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ (图2d)的短时强降水分布比较零散,在辽宁、河北和山西部分地区分布的较多。

从图3a可以看出,该区域短时强降水的站次数和时次数没有明显的年变化,相对来说2013年的站次数和时次数最多。从月变化特征来看(图3b),7月发生最为频繁,其次为8月。受东亚夏季风影响雨带从7月中旬迅速移至华北,进入华北雨季,8月进一步移至东北地区,该地区短时强降水天气的月变化特征与东亚夏季风的推进有关。

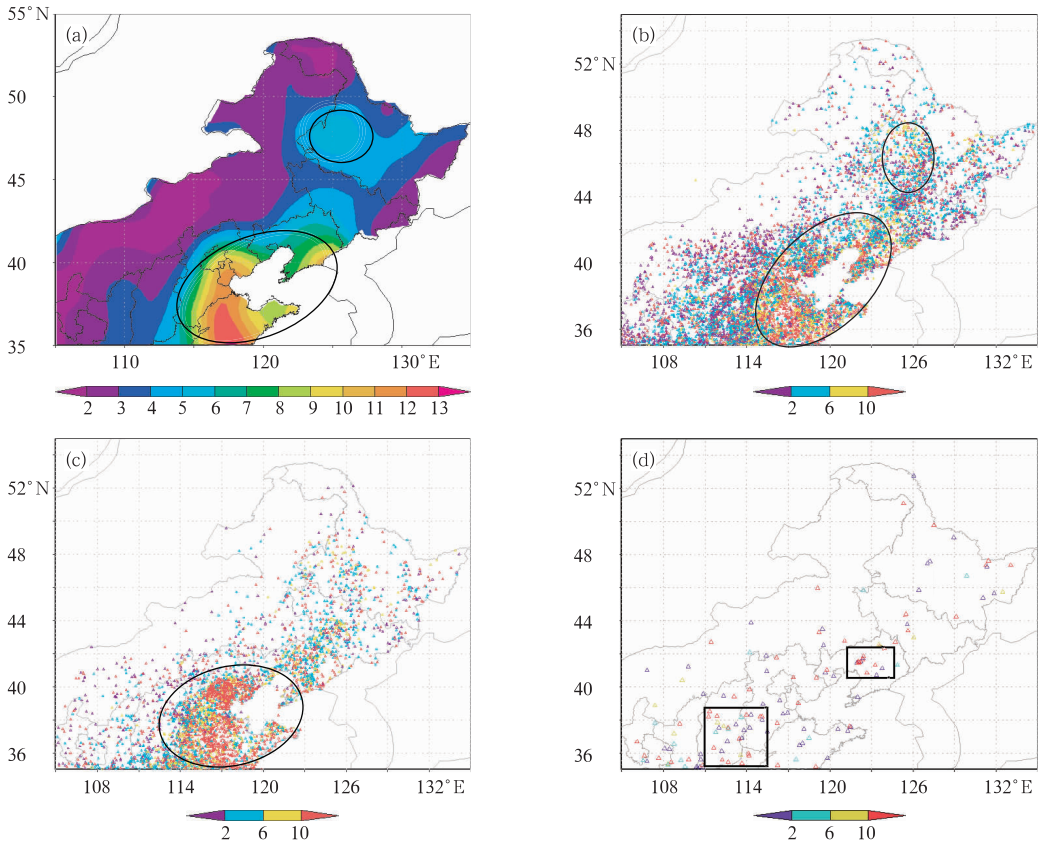


图 2 2009—2013 年 4—9 月短时强降水发生的频次分布(a)和强度分别为 20~30 mm · h⁻¹(b)、30~50 mm · h⁻¹(c)、≥50 mm · h⁻¹(d)的短时强降水站点分布 (色标为频次划分)

Fig. 2 Frequency distribution of severe short-time precipitation (a), station distribution of 20—30 mm · h⁻¹(b), 30—50 mm · h⁻¹(c) and ≥50 mm · h⁻¹(d) precipitation intensity from April to September of 2009—2013 (Color code denotes frequency division)

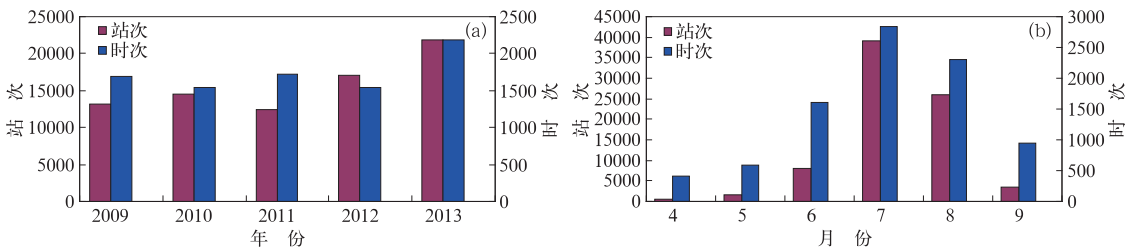


图 3 短时强降水的站次、时次年变化(a)和月变化(b)特征

Fig. 3 The annual variation (a) and monthly variation (b) of stations number and times of severe short-time precipitation

3 冷涡背景下短时强降水的特征分析

结合统计出的 2009—2013 年 4—9 月冷涡资料和研究区域内的短时强降水资料,通过 MICAPS 系

统根据地面自动站逐小时观测资料和各高度场资料逐一进行排查:当冷涡为研究区域内唯一的影响系统,保留冷涡生命期内的所有短时强降水过程;当冷涡存在并伴随有其他可能引发降水的影响系统时,剔除明显由副热带高压边缘、热带低值系统(例如台

风倒槽及变性后的低压)、高空低槽等影响系统造成的成片短时强降水过程,仅保留冷涡附近(以冷涡中心为圆心,以冷涡中心至冷槽底部为半径作圆的区域)的短时强降水过程。由此得到冷涡背景下的短时强降水资料,并进行统计特征分析。

3.1 空间分布特征

冷涡背景下研究区域内的短时强降水站次数占总站次的 19.4%,降水量占总降水量的 19.8%,该地区的短时强降水近 1/5 是在冷涡背景下产生的。冷涡背景下的短时强降水发生频次的分布同研究区域内的不同,它有多个高值中心,最大的位于北京、天津和河北东南部(图 4a)。这些区域常受冷涡西

南气流的控制,为短时强降水的发生提供了极为有利的水汽和动力条件。另一个高值中心也在东北平原,同冷涡最强时的平均位置相对应,冷涡可能对该区域的短时强降水的产生有一定作用,但相关的形成机制还需要进一步的诊断分析。强度为 $20 \sim 30 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的短时强降水发生的密集区(图 4a)与频次分布的大值区相类似。郁珍艳等(2011)指出京津冀地区的短时强降水逾四成是在华北冷涡背景下发生的,本文统计发现 $30 \sim 50 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的短时强降水在该区域也比较多发。强度超过 $50 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的短时强降水有 487 个站次,占总站次的 3.2%,主要集中在华北的部分地区。

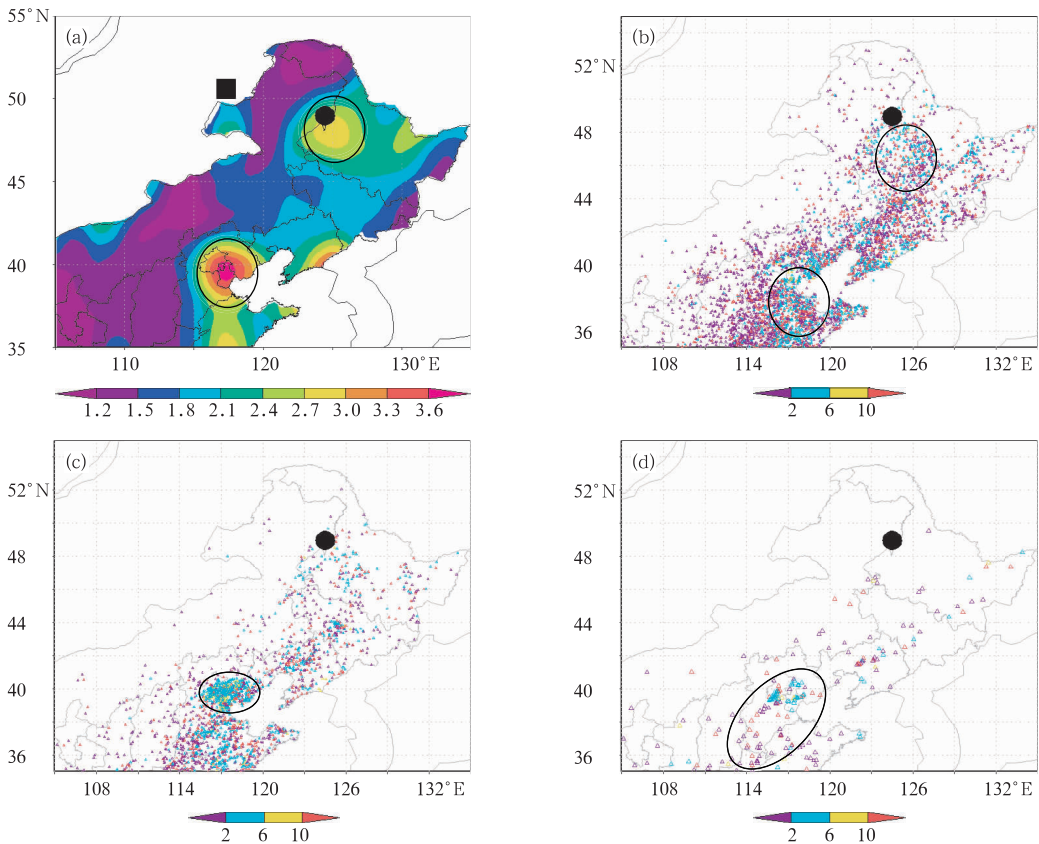


图 4 2009—2013 年 4—9 月冷涡背景下短时强降水发生的频次分布(a)和强度分别为 $20 \sim 30 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ (b)、 $30 \sim 50 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ (c)、 $\geq 50 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ (d) 的短时强降水站点分布

(黑色方块表示冷涡形成时的平均位置,黑点表示冷涡最强时的平均位置)

Fig. 4 Frequency distribution of severe short-time precipitation under the background of cold vortex (a), station distribution of $20 \sim 30 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ (b), $30 \sim 50 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ (c) and $\geq 50 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ (d) precipitation intensities from April to September of 2009—2013

(Black box is for the cold vortex's center location when it forms, and black spot is for the cold vortex's center location when it is strongest)

3.2 时间分布特征

3.2.1 年分布特征

由图 5a 可见,冷涡背景下的短时强降水天气的站次和时次呈一定的年际变化,2012 年站次最多,达 4716 个,其次为 2013 年,达 4485 个,而 2013 年的时次最多。

3.2.2 月分布特征

冷涡背景下的短时强降水在 7 月达到最大值(图 5b),站次占冷涡背景下短时强降水的 63.9%,时次占 43.8%。从时次上来看,其次为 6 和 8 月,这与冷涡活跃多发期有着很好的对应关系。7 月冷涡活动最为频繁,西太平洋副热带高压发生第二次季节性北跳,东南季风和西南季风源源不断带来暖湿气流,水汽充足,只要有触发条件就很可能产生短时强降水天气(章国材,2011)。

3.2.3 日分布特征

从冷涡背景下短时强降水的站次日变化曲线(图 6)上可以看出,午后至夜晚(15—20 时)这个时间段内发生短时强降水的站次最多,另外在 03—04 时达到另一个小高峰,而早上至中午则少发。降水量的日变化与站次完全一致。进一步统计各时段的平均雨强,发现在 21—22 和 02—03 时为两个峰值。午后下垫面吸收太阳辐射,地面明显增温,常在近地层形成下暖上冷的不稳定层结,动力和热力抬升使得不稳定能量触发和释放,如配合丰富的水汽条件,极易出现短时强降水。而凌晨时的多发可能与低空急流有着密切联系,低空急流的一个重要特征是有明显的日变化,常在凌晨日出之前达到最大值,它作为一种动量、热量和水汽的高度集中带,常常是对流不稳定层结的建立者和维持者。

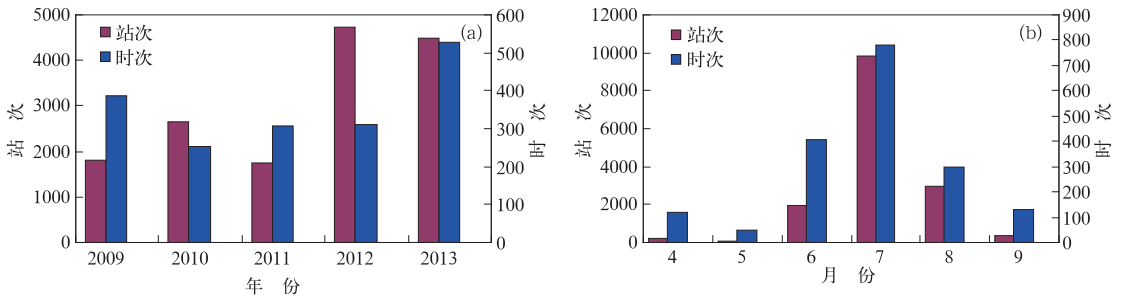


图 5 2009—2013 年 4—9 月冷涡背景下短时强降水的站次、时次年变化(a)和月变化(b)特征
Fig. 5 The annual variation (a) and monthly variation (b) of station number and time number of severe short-time precipitation under the background of cold vortex from April to September of 2009—2013

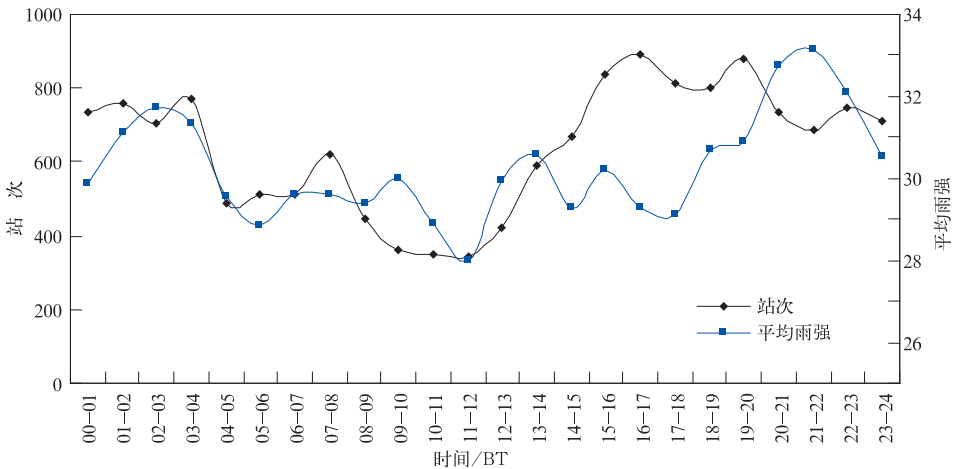
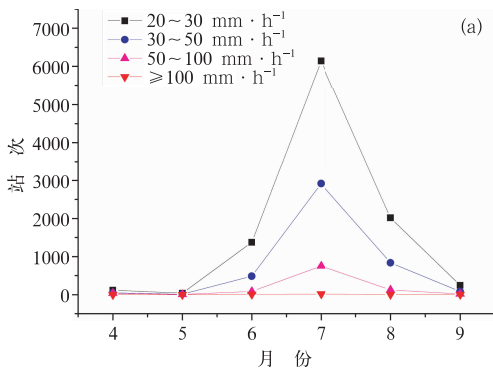


图 6 2009—2013 年 4—9 月冷涡背景下短时强降水的站次和平均雨强日变化
Fig. 6 Diurnal variation of the station number of severe short-time precipitation and the average rainfall intensity from April to September of 2009—2013

3.3 强度特征

为进一步得到冷涡背景下短时强降水的特征,按照常规划分方法将短时强降水按照强度分为 $20\sim 30\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 、 $30\sim 50\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 、 $50\sim 100\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 和 $\geq 100\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 四个等级。图 7a 表明强度在 $20\sim 30\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 的短时强降水站次在 7 月达到最大,其次为 8 月。四个等级的短时强降水降水量分别占冷涡背景下总的短时强降水量的 50.8%、34.6%、13.7% 和 0.9%,说明短时强降水主要集中在 $20\sim 30\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 强度的, $30\sim 50\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 的所



占比也很高,大量级的短时强降水较少。从各月不同强度的短时强降水量所占百分比来看, $20\sim 30\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 均为最多,4 月 $50\sim 100\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 强度的短时强降水量所占比例同 $20\sim 30\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 的差不多。其余月份短时强降水量级越高,降水量所占比例越低。 $\geq 100\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 的短时强降水出现了 32 次,7 月 17 次,6 月 9 次。

利用国家级气象观测站 2009—2013 年 08—08 时 24 h 降水量资料进行统计,在冷涡背景下有暴雨发生,且暴雨过程中有短时强降水出现的站点共 227 个(图 8),密集区主要位于北京、天津、河北东部

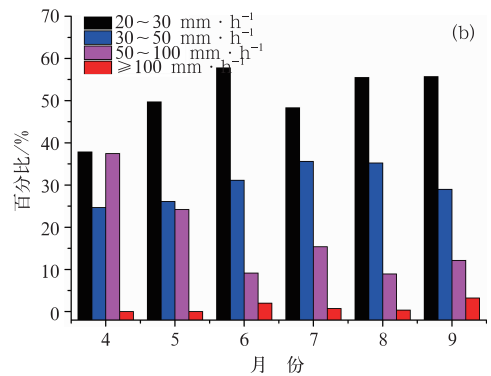


图 7 2009—2013 年 4—9 月冷涡背景下各量级短时强降水站次(a)和降水量占各月总降水量的百分比(b)逐月分布

Fig. 7 The monthly variation of stations with severe short-time precipitation under the background of cold vortex (a) and the percentage of precipitation against the total rainfall of each month from April to September of 2009—2013

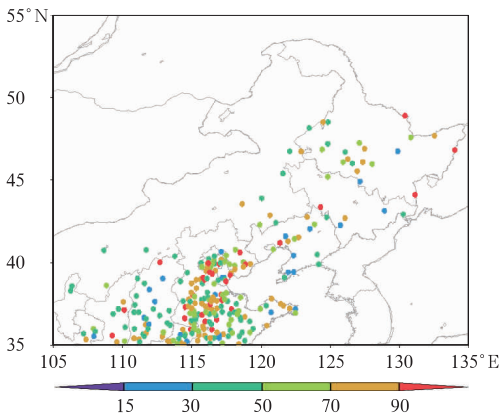


图 8 2009—2013 年 4—9 月有短时强降水的暴雨站点分布及短时强降水的贡献率(色标表示贡献率大小)

Fig. 8 The distribution of stations with severe short-time precipitation and their contribution rates from April to September of 2009—2013 (Color code denotes contribution rate)

和南部、山东省西部地区。统计这些站点中短时强降水量占总降水量的比例,即其对暴雨的贡献率,可以发现:贡献率最低为 17.13%,63.4% 的站点的贡献率在 50% 以上,38.8% 的站点贡献率大于 70%。表明冷涡背景下短时强降水对暴雨天气降水量的贡献是比较大的。

4 冷涡背景下短时强降水与冷涡的关系

4.1 与冷涡生命史和发展阶段的关系

统计发现 65 个冷涡中有 24 个发生短时强降水的站次数超过 100 个,冷涡的平均生命期达 4.2 d。10 个冷涡过程无短时强降水发生,平均生命期只有 2.7 d。其余的 31 个冷涡平均生命期为 3.5 d。生命史越长的冷涡短时强降水可能发生的越多。

根据孙力等(1994)等的规定:当冷涡中心某时次的 500 hPa 低位势高度闭合中心的位势高度值较上一时次有所降低时,称此时次为冷涡发展阶段,反之为冷涡减弱消亡阶段,若变化趋势不明显,则认为是成熟阶段。统计发现在冷涡的各个发展阶段均可发生短时强降水,由表 1 可见:在冷涡的发展时期发生短时强降水的站次最多,成熟时期略少于发展时期,消亡时期最少。而在发展阶段平均降水量最多。进一步统计发现在有短时强降水发生的 51 个冷涡过程中,成熟阶段无短时强降水发生的冷涡最少,而消散阶段最多,达 12 个。由于冷涡在发展和维持阶段温压结构不对称,大气斜压性较强,更容易发生中尺度天气(白人海,1997),短时强降水天气更容易出现。而在减弱阶段,在冷涡中心低层上升气流减弱,导致降水明显减少(刘英等,2012)。

表 1 有短时强降水发生的 51 个冷涡各个发展阶段短时强降水站次和降水量

Table 1 Characteristics of stations and amounts of severe short-time precipitation in each phase of the 51 cold vortices accompanying severe short-time precipitation

| | 站次 | 平均降水强度 /mm · h ⁻¹ | 无短时强降水的 冷涡个数/个 |
|----|------|---------------------------------|-------------------|
| 发展 | 7125 | 31.4 | 8 |
| 成熟 | 6072 | 29.5 | 4 |
| 消亡 | 2176 | 29.6 | 12 |

4.2 冷涡背景下短时强降水个例挑选

为得到冷涡背景下短时强降水的典型特征,以短时强降水站次不少于 100 个作为基本标准,共选取 18 个个例(表 2),均是发生于 6—8 月的,其中 7 月最多有 9 例,其次 6 月 5 例,8 月有 4 例。有 8 例日平均短时强降水站次多于 100,影响较大。根据短时强降水的时次,第 9 个个例影响时间最长,其次为第 12 例。第 12 例 2012 年 7 月 21—26 日这次过程,短时强降水站次达 3782 个,平均降水强度和日平均降水站次均最多。短时强降水主要集中在山西北部、京津冀和东北地区。此次过程冷涡移动较为缓慢,500 hPa 上冷涡比较深厚,中心位于贝加尔湖地区,高空槽从贝加尔湖延伸到河套一带,华北和东北地区位于槽前强西南气流中。与此同时冷涡后部有强冷空气堆积,随着大槽的移动不断向南扩散。850 hPa 西北地区有低涡和暖切变线,低空急流不断向北扩展,输送丰富的水汽和不稳定能量,同时冷涡缓慢东移,冷空气移近,在锋面触发作用下造成了大范围的短时强降水天气。短时强降水主要发生在冷涡的发展和成熟阶段,分布于冷涡的西南和东南方向,随着冷涡的东移减弱,降水减少,主要位于冷涡的西南方向。

表 2 2009—2013 年 4—9 月冷涡背景下短时强降水的个例统计

Table 2 Statistics of severe short-time precipitation cases with cold vortex from April to September of 2009—2013

| 序号 | 冷涡时间 /年月日时 | 冷涡生命史/d | 短时强降水站次 | 时次 | 平均降水强度 /mm · h ⁻¹ | 日平均短时 降水站次 |
|----|-------------------|---------|---------|-----|---------------------------------|---------------|
| 1 | 09061908—09062608 | 7 | 414 | 58 | 31.4 | 59 |
| 2 | 09062708—09070108 | 4 | 442 | 67 | 29.2 | 111 |
| 3 | 09070608—09071008 | 4 | 314 | 57 | 28.6 | 79 |
| 4 | 09071608—09071908 | 3 | 112 | 20 | 26.3 | 37 |
| 5 | 09072020—09072220 | 2 | 258 | 17 | 30.5 | 129 |
| 6 | 10061620—10061820 | 2 | 346 | 31 | 30.4 | 173 |
| 7 | 10080908—10081308 | 4 | 381 | 33 | 29.2 | 95 |
| 8 | 11070508—11071020 | 6 | 319 | 72 | 29.6 | 53 |
| 9 | 11071408—11072120 | 8 | 1274 | 156 | 30.7 | 159 |
| 10 | 12060720—12061520 | 8 | 427 | 101 | 26.0 | 53 |
| 11 | 12063020—12070320 | 3 | 245 | 54 | 26.5 | 82 |
| 12 | 12072108—12072608 | 5 | 3782 | 103 | 34.6 | 756 |
| 13 | 13061508—13061908 | 4 | 120 | 41 | 27.5 | 30 |
| 14 | 13070208—13070420 | 3 | 214 | 28 | 27.9 | 71 |
| 15 | 13071508—13072020 | 6 | 1195 | 88 | 27.8 | 199 |
| 16 | 13080108—13080320 | 3 | 474 | 55 | 29.6 | 158 |
| 17 | 13080720—13081108 | 4 | 360 | 62 | 30.0 | 90 |
| 18 | 13081120—13081408 | 3 | 954 | 43 | 29.0 | 318 |

4.3 与冷涡的位置关系

选取的 18 个例中,冷涡形成时中心点的平均位置位于 (50.89°N、115°E), 经度范围为 106°~131°E, 定义形成于 105°~114°E 内的冷涡为西涡, 114°~120°E 内的为中涡, 120°E 以东的为东涡。并且根据冷涡中心点每日移动的经距或纬距判断冷涡移动的快慢, 若每日移动距离达到 4 个经距或 2 个纬距, 该冷涡快速移动, 其余的则是缓慢移动或少动。因此可将个例中的冷涡分为 6 种类型, 快速移动的冷涡有 6 个, 缓慢移动的有 12 个, 其分布如图 9 所示。

图 10 可见, 西涡类发展阶段短时强降水主要集中在冷涡的东南方向, 成熟阶段在东南和西南方向均有降水, 快速移动类在消散阶段西南方向有少量短时强降水分布, 而缓慢移动类在消散阶段东南方向仍有降水存在。图 11 可见, 对于中涡, 在发展阶段冷涡中心的东南和西南方向均有短时强降水发生, 若冷涡快速东移, 降水区只处于西南方向, 冷涡缓慢移动, 降水区在西南和东南方向都存在。图 12 可见, 快速移动的东涡在整个阶段短时强降水位于西南方向, 缓慢移动的东涡在西南和东南方向均有降水, 但大部分仍集中在西南方向。

冷涡的各个时期都能产生短时强降水, 尤其在发展和成熟阶段, 短时强降水大部分都发生在冷涡

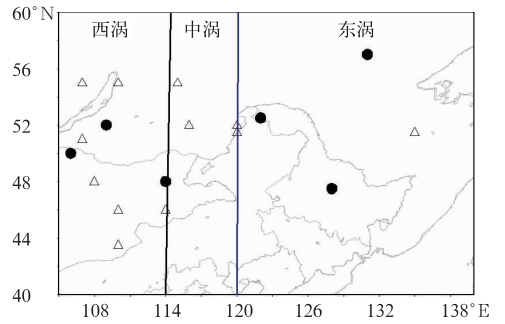


图 9 不同类型的冷涡分布
(黑点代表快速移动的冷涡, 三角形代表缓慢移动的冷涡)

Fig. 9 Distribution of different cold vortices
(Dark spot denotes rapid moving vortex, and triangle denotes slow moving vortex)

的东南或西南方向。这与白人海(1997)、孙力等(1994)、易笑园等(2010)研究结论是相一致的。因为冷涡的南部通常是冷暖空气交界处, 也是暖湿舌的后部(朱占云等, 2010)。冷涡中心的东南方向一般是槽前上升区, 冷暖空气交汇处, 配合其他条件极易容易产生对流性, 出现短时强降水天气。而西南方向由于受槽后干冷空气的影响, 形成不稳定层结, 也会造成对流天气(张云等, 2008)。对于快速东移的冷涡, 降水区相对于冷涡中心点向西移动, 一般到消散阶段短时强降水只存在于西南方向, 且降水也明显变少, 而缓慢移动的冷涡在西南和东南方向一

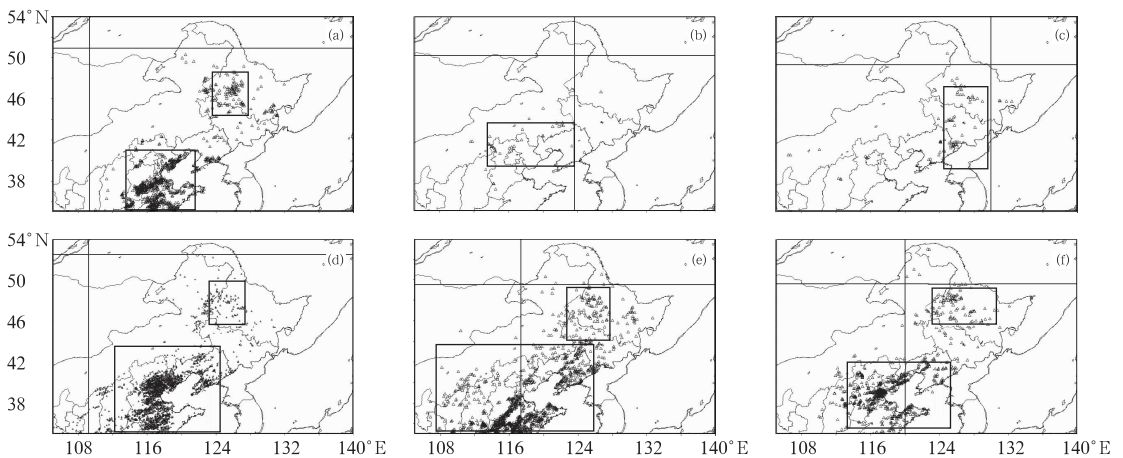


图 10 快速移动(a, b, c)和缓慢移动(d, e, f)的西涡各发展阶段短时强降水分布
(a, d)发展阶段, (b, e)成熟阶段, (c, f)消散阶段
(黑色实线相交处为冷涡形成时中心点的平均位置)

Fig. 10 Distribution of severe short-time precipitation in the three phases under rapid (a-c) and slow (d-f) moving western cold vortex
(a, d) developmental phase, (b, e) mature phase, (c, f) dying phase
(The intersection of black line denotes the location of cold vortex)

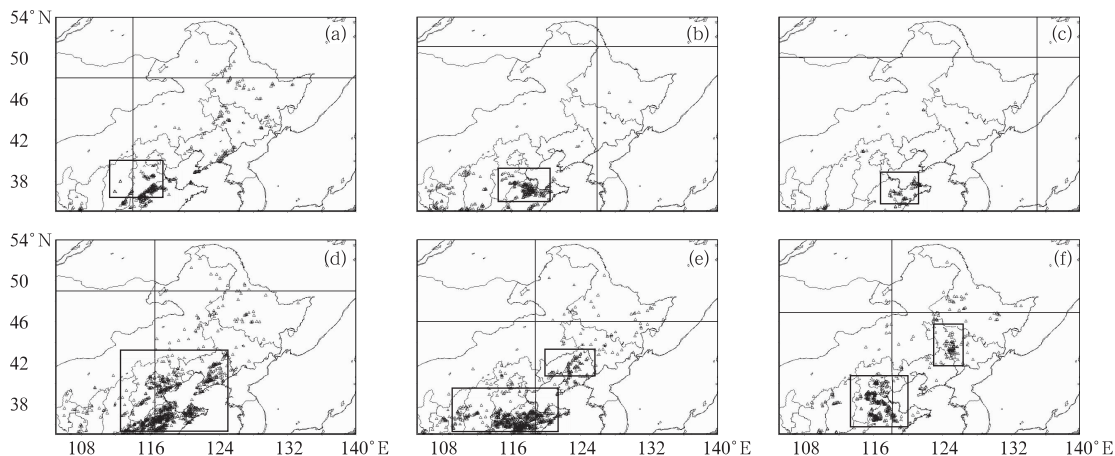


图 11 同图 10, 但为中涡各发展阶段短时强降水分布

Fig. 11 Same as Fig. 10, but for the middle vortex

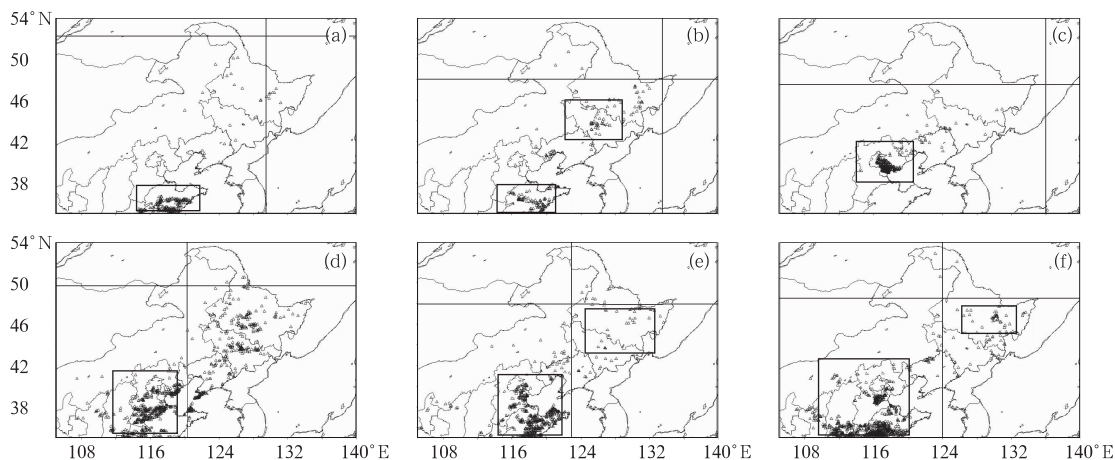


图 12 同图 10, 但为东涡各发展阶段短时强降水分布

Fig. 12 Same as Fig. 10, but for the eastern vortex

直有短时强降水分布,且降水有减少,但不如快速移动的明显。

5 结论与讨论

(1) 2009—2013 年冷涡的个数逐年变化不大,7 月冷涡的个数和维持的天数均最多。冷涡主要发生在贝加尔湖东部、蒙古的东部和东北的西北部地区,生命史大都为 3 d,占冷涡总个数的 32.3%,生命史越长冷涡个数越少。

(2) 2009—2013 年 4—9 月所选区域短时强降水主要集中在山东大部至天津、河北东部和辽宁沿海。月变化呈现单峰型特征,7 月短时强降水的发生最为频繁,其次为 8 月。

(3) 冷涡背景下的短时强降水多发区位于北

京、天津和河北东南部,以及东北平原。与冷涡的活跃期相对应,7 月短时强降水最多发,其次为 8 和 6 月,不同强度等级的短时强降水也表现出了该特征。日变化表现为午后至夜晚多发。

(4) 在冷涡的各个发展时期都能产生短时强降水,发展时期略多于成熟时期,消亡时期最少。短时强降水大部分都发生在冷涡的东南或西南方向。西涡发展阶段短时强降水集中在东南方向,中涡在东南和西南方向均有,东涡在西南方向,对于快速移动的冷涡,降水区相对于冷涡中心点迅速西移,消亡阶段只存在于西南方向,而缓慢东移的冷涡在消亡阶段东南和西南方向均有短时强降水存在。

由于选用的加密观测资料时间较短,冷涡和短时强降水的特征未做气候上的统计分析。利用一天两个时次 500 hPa 的 MICAPS 资料对冷涡的发展

阶段进行划分,时间精度不高主观性较大。另外对不同类型的冷涡背景下的短时强降水的特征应进行深入的分析。

致谢:感谢国家气象中心在资料方面提供的帮助。

参考文献

- 白人海. 1997. 东北冷涡中尺度天气的背景分析. 黑龙江气象, (3): 6-12.
- 陈力强, 陈受钧. 2005. 东北冷涡诱发的一次 MCS 结构特征数值模拟. 气象学报, 63(2): 173-183.
- 陈力强, 张立祥, 杨森. 2006. 东北冷涡诱发的一次连续强风暴环境条件分析. 气象与环境学报, 22(6): 1-5.
- 柴东红, 侯瑞钦, 等. 2011. 一次华北冷涡影响下的强对流天气落区分析. 第 28 届中国气象学会年会.
- 方宗义, 项续康, 云翔, 等. 2005. 2003 年 7 月 3 日梅雨锋切变线上的中尺度暴雨云团分析. 应用气象学报, 16(5): 569-575.
- 傅慎明, 沈浩, 杨军, 等. 2014. 干空气入侵对东北冷涡降水发展的影响. 气象, 40(5): 562-569.
- 樊李苗. 2012. 短时强降水发生的环境条件和个例分析. 硕士论文.
- 胡开喜, 陆日宇, 王东海. 2011. 东北冷涡及其气候影响. 大气科学, 35(1): 179-191.
- 姜学恭, 孙永刚, 沈建国. 2001. 一次东北冷涡暴雨过程的数值模拟试验. 气象, 27(1): 25-30.
- 雷雨顺, 吴宝骏, 吴正华. 1978. 冰雹概论. 北京: 科学出版社, 26-28.
- 李云静, 张建春, 王捷纯, 等. 2013. 一次冷涡背景下强对流不稳定条件的成因分析. 气象, 39(2): 210-217.
- 刘英, 王东海, 张中锋, 等. 2012. 东北冷涡的结构及其演变特征的个例综合分析. 气象学报, 70(3): 354-370.
- 沈浩, 杨军, 祖繁, 等. 2014. 干空气入侵对东北冷涡降水发展的影响. 气象, 40(5): 562-569.
- 苏博颖. 1996. 东北冷涡与 1993 年 6 月份降水分析. 水文.
- 苏永玲, 何立富, 巩远发, 等. 2011. 京津冀地区强对流时空分布与天气学特征分析. 气象, 37(2): 177-184.
- 孙力. 1997. 东北冷涡持续活动的分析研究. 大气科学, 21(3): 297-307.
- 孙力, 王琪, 唐晓玲. 1995. 暴雨类冷涡与非暴雨类冷涡的合成对比分析. 气象, 21(3): 7-10.
- 孙力, 郑秀雅, 王琪. 1994. 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, 5(3): 297-303.
- 孙建华, 张敬萍, 李崑. 2015. 一次引发强降水的东北冷涡的演变机理及能量特征研究. 气象, 41(5): 554-565.
- 唐晓玲, 丁力, 廉毅. 1997. 吉林省冷涡降雹的若干统计事实. 东北冷涡研究文集: 1-2.
- 王慧清, 王文, 彭彬. 2013. 东北冷涡影响下呼伦贝尔市一次强降雨天气过程成因浅析. 内蒙古气象, 12(1): 16-19.
- 王磊, 湛芸, 张仙, 等. 2013. 冷涡背景下 MCS 的统计分析. 气象, 39(11): 1390-1391.
- 闫玉琴, 韩秀君, 毛贤敏. 1995. 东北冷涡的环流形式分类及其谱特征. 辽宁气象, 11(4): 3-6.
- 郁珍艳, 何立富, 范广州, 等. 2011. 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, 27(1): 90-94.
- 易笑园, 李泽椿, 李云, 等. 2010. 长生命史冷涡影响下持续对流性天气的环境条件. 气象, 36(1): 17-25.
- 周琳. 1991. 东北气候. 北京: 气象出版社: 122.
- 张云, 雷恒池, 钱贞成. 2008. 一次东北冷涡衰退阶段暴雨成因分析. 大气科学, 32(3): 481-496.
- 张仙, 湛芸, 王磊, 等. 2013. 冷涡背景下京津冀地区连续降雹统计分析. 气象, 39(12).
- 张一平, 牛淑贞, 席世平, 等. 2011. 东北低涡槽后型河南强对流过程的天气学特征分析. 暴雨灾害, 30(3): 193-201.
- 章国材. 2011. 强对流天气分析与预报. 北京: 气象出版社: 7.
- 郑秀雅, 等. 1991. 东北暴雨. 北京: 气象出版社: 129-130.
- 朱乾根, 等. 1992. 天气学原理(3). 北京: 气象出版社: 372.
- 朱占云, 何金海. 2010. 东北冷涡的特征、影响及其可能机制的研究. 气象与减灾研究, 33(4): 1-7.
- Zhang C, Zhang Q, Wang Y. 2008. Climatology of warm season cold vortices in East Asia: 1979-2005. Meteor Atmos Phys, 100(1-4): 291-301.