

张仙, 谌芸, 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):1570-1579.

冷涡背景下京津冀地区连续降雹统计分析^{*}

张 仙¹ 谌 芸² 王 磊³ 曾 波⁴

1 南京信息工程大学, 南京 210044
2 国家气象中心, 北京 100081
3 成都信息工程学院, 成都 610225
4 中国气象局成都高原气象所, 成都 610072

提 要: 首先对冷涡进行定义, 利用 2000—2011 年 4—9 月天气图普查冷涡, 分析冷涡的时空分布特征及生命史特征。应用 2000—2011 年 4—9 月京津冀地区 176 站灾害天气报资料和分辨率为 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ NCEP 再分析资料, 统计分析冷涡背景下京津冀地区 4—9 月连续降雹天气过程的时空分布特征及其与冷涡的关系。结果表明: 2000—2011 年 4—9 月的冷涡个数呈增长趋势, 主要发生在东北地区到贝加尔湖以东地区, 70% 为长生命史冷涡。2000—2011 年 4—9 月京津冀地区的降雹主要为长生命史冷涡背景下连续降雹, 且具有明显的日变化, 山区多于平原, 北部多于南部。京津冀地区连续降雹主要是位于冷涡中心的偏南方位, 能够发生在冷涡的各个时期。连续降雹的位置在冷涡中心偏南 200~1200 km, 主要受冷涡直接影响和冷涡后部横槽影响。不同移速的冷涡产生连续降雹过程的位置距离冷涡中心的位置不同。

关键词: 冷涡, 连续降雹, 统计, 动态合成

中图分类号: P458 **文献标志码:** A **doi:** 10. 7519/j. issn. 1000-0526. 2013. 12. 005

Statistical Analysis of Continuous Hailfall Under the Background of Cold Vortex in the Beijing-Tianjin-Hebei Region

ZHANG Xian¹ CHEN Yun² WANG Lei³ ZENG Bo⁴

1 Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044
2 National Meteorological Centre, Beijing 100081
3 Chengdu University of Information and Technology, Chengdu 610225
4 Institute of Plateau Meteorology, CMA, Chengdu 610072

Abstract: Cold vortex is firstly defined. Using synoptic chart from April to September during 2000—2011, the spatio-temporal distribution and life characteristics of cold vortex are studied. Besides, disaster weather data from 176 stations in Beijing-Tianjin-Hebei region from April to September during 2000—2011 and NCEP $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ reanalysis data are used to analyze the spatio-temporal distribution characteristics of continuous hailfall of Beijing, Tianjin, Hebei Region and its relations with cold vortex. The results show that the number of cold vortexes is increasing, which mainly occur from Northeast China to the east of Lake Baikal, and long-lived cold vortexes account for 70%. It is the long-lived vortex that causes the continuous hailfall in the Beijing-Tianjin-Hebei Region and the continuous hail in the context of cold vortex exhibits significant diurnal variation, appearing more in mountains than on plains, more in the north than in the south. Continuous hail mainly occurs in the south of vortex center, and can occur in any stages of cold

^{*} 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、GYHY201006005 和 GYHY200906001)共同资助
2012 年 11 月 29 日收稿; 2013 年 7 月 16 日收修定稿
第一作者: 张仙, 主要从事中尺度天气研究. Email: zhangxian0625@sina. com
通信作者: 谌芸, 主要从事中尺度天气研究. Email: chenyun@cma. gov. cn

vortex. The distance between continuous hail and cold vortex is about 200—1200 km. The continuous hail-falls are mainly affected by the cold vortex and its rear transverse trough, and occur in different position corresponding to cold vortex with different speeds.

Key words: cold vortex, continuous hail, statistics, storm-relative composites

引 言

冷涡是指存在于中、高纬地区对流层中、上层的冷性闭合低压环流系统。由于冷涡经常能带来诸如暴风雪、雷暴、大风、冰雹、暴雨等灾害性天气,很早以前就为气象学家所重视。孙力等(1994)统计分析了东北冷涡时间分布:主要出现在春末夏初,空间分布主要出现在大兴安岭背风坡东北平原的北端和三江平原。东北冷涡的发生频数一般主要与贝加尔湖以东地区的高度场呈正相关分布,表明该地区有高压脊异常发展而形成稳定的阻塞形势,东北地区容易有冷涡生成。冷涡是造成京津冀暖季突发性强对流天气的重要天气系统,并且其影响范围较广,往往会持续数日,在其生成、发展成熟、消亡阶段均可伴随暴雨、大风、冰雹及龙卷等强对流天气,例如 2005 年 5 月 31 日的北京局部强冰雹。郁珍艳等(2011)指出京津冀地区除短时强降水外,其余的强天气一半以上是在华北冷涡背景下发生的。华北冷涡(东蒙冷涡)是河北降雹的主要影响系统,与冷涡相关的降雹占 90%(河北省气象局,1987)。张春喜等(2005)指出与冷涡有关的北京地区雷暴大风占到总的雷暴大风天气的将近 70%,而与冷涡环流直接影响的占到 42%。

符琳等(2011)研究表明我国降雹主要集中在北方和青藏高原,降雹主要集中在 4—10 月。张芳华等(2008)对中国冰雹日数的时空分布特征分析得到 1971—2000 年华北的东北部降雹日数呈非常显著的减少趋势。杨贵名等(2003)研究表明华北地区降雹构成了“T”型,降雹峰值出现在 6 月,日变化的峰值在 15—17 时。胡淑兰等(2006)利用关中东部各气象站和各县防雹站的资料,统计分析了连续性降雹的时空分布、环流特征、物理量场以及强回波移动规律,并指出低涡型天气形势占 52%,连续降雹一般出现在冰雹多发期,连续性降雹主要出现在 5 月下旬至 8 月中旬。丁一汇等(1982)指出冷涡强对流天气一般发生在午后到傍晚。冷涡长时间维持,会造成连续降雹,连续性降雹一般持续时间长、影响范

围广,常给农业生产造成毁灭性的危害。

冷涡属于天气尺度系统,但冷涡所造成的强对流却带有明显的局地性和不对称性。对于冷涡引起的连续性强对流给预报业务带来了很大的困难,强对流天气的强度、落区和时间容易出现空报和漏报。对于连续降雹过程的研究多为个例研究,许多研究(廖晓农等,2008;王华等,2007;闵晶晶,1997)都是关于降雹本身,冷涡背景下的连续降雹研究较少,研究冷涡背景下连续降雹的气候态特征有助于更好地理解其发生规律,是强对流预报得以依赖的大尺度背景,更好地开展冰雹的预测、预警工作。因而本文对 2000—2011 年 4—9 月冷涡进行时空分布特征分析及生命史分析,利用京津冀地区 176 站灾害天气报资料及分辨率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ NCEP 再分析资料,对冷涡背景下京津冀地区连续降雹的空间分布和时间变化特征进行统计分析,以便了解这一区域冷涡背景下冰雹活动规律及宏观特征,以期京津冀地区冷涡背景下连续降雹预报提供理论依据。

1 冷涡特征分析

1.1 冷涡的定义

春夏季出现在我国北方地区的冷涡常给北方地区带来暴雨、大风、冰雹等强对流天气。郑秀雅等(1992)指出了冷涡可从切断低压发展而来,也可从地面气旋发展而来,但切断低压是冷涡的主要组成部分。对于冷涡的定义,多数研究都是对东北冷涡的定义:郑秀雅等(1992)、孙力等(1994)按照当地地方气象台的业务规定,将 500 hPa 等压面上, $35^{\circ} \sim 60^{\circ} \text{N}$ 、 $115^{\circ} \sim 145^{\circ} \text{E}$ 范围内至少出现一条闭合的等高线,并有冷中心或冷槽相配合,持续 3 d 或以上的低压环流系统定义为冷涡。郁珍艳等(2011)对华北冷涡的定义为 500 hPa 上 $35^{\circ} \sim 55^{\circ} \text{N}$ 、 $110^{\circ} \sim 130^{\circ} \text{E}$ 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。

本文所研究的冷涡不仅仅是东北冷涡,还包括出现在蒙古、华北地区的冷涡,因此将 500 hPa 上

30°~60°N,85°~145°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定义为冷涡。这个范围就包括了蒙古冷涡、东北冷涡和华北冷涡。

1.2 冷涡生命期的定义

根据冷涡的定义,把 500 hPa 位势高度的演变趋势作为划分冷涡不同阶段的依据,即 500 hPa 低位势高度闭合低中心的位势高度值呈降低的趋势,定义为冷涡发展增强阶段,反之为冷涡减弱消亡阶段(包括冷涡中心消散后高空槽)。若 500 hPa 低位势高度中心较前后时刻增强或减弱趋势不明显,则认为是冷涡成熟维持阶段。

1.3 冷涡时空分布特征分析

利用 2000—2011 年 4—9 月 500 hPa 天气图普查得到冷涡 123 个,其中有 91 个在形成初期有阻塞高压的存在。孙力等(1994)统计表明:大约 77% 的东北冷涡与东亚地区阻塞高压的发展变化有关,而且这类冷涡的持续时间比一般冷涡生命周期平均长 2.1 d。从图 1 可以看到 2000—2011 年 4—9 月的冷涡生成的个数略呈增加趋势。2001—2004 年冷涡个数少于平均值。冷涡个数最多的是 2006 年,有 15 个;最少的是 2004 年,仅为 5 个。从图 2 可以看到 4、5、6、7 月冷涡个数都超过了 20 个。

通过统计 500 hPa 成熟期冷涡中心的位置可以看到(图 3)成熟期冷涡主要位于 43°~53°N、107°~132°E 范围内,即东北地区到贝加尔湖以东地区,华北主要处于冷涡成熟期中心以南的位置。孙力等(2005)研究得到冷涡系统东侧偏南和南侧偏东距中心大约 300~400 和 700~800 km,这些区域处于

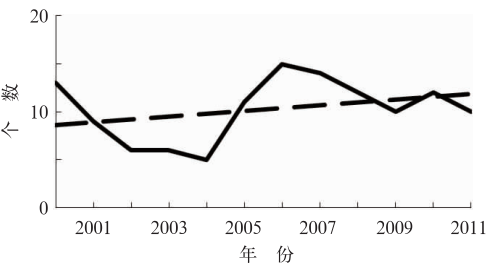


图 1 2000—2011 年 4—9 月冷涡个数变化曲线
(虚线为冷涡个数趋势线)

Fig. 1 Number of cold vortex during
April to September of 2000—2011

(Dashed line denotes number of cold vortex trend line)

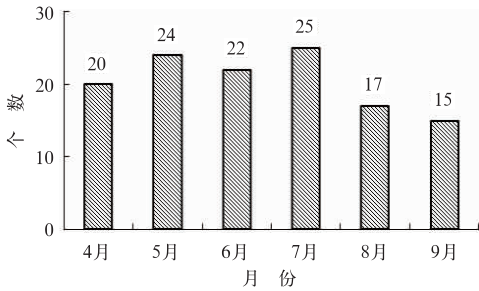


图 2 2000—2011 年 4—9 月冷涡个数月变化
Fig. 2 The monthly change of cold vortex number
during April to September of 2000—2011

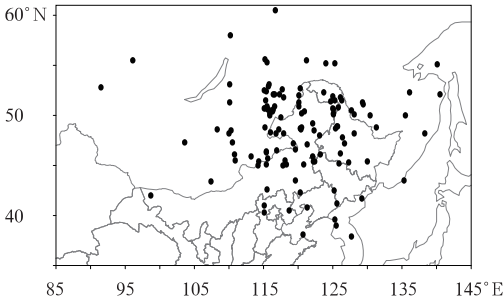


图 3 2000—2011 年 4—9 月冷涡
成熟期中心位置分布
Fig. 3 Location of mature cold vortex
during April to September of 2000—2011

低层辐合、高层辐散以及中低层涡度、水汽通量散度以及 θ_{se} 高值区,也是冷涡中尺度活动比较频繁的地方。而华北地区大致处于以上位置,所以该地区天气受冷涡系统的影响比较显著。

1.4 冷涡生命史特征

对冷涡生命史统计可得(图 4):冷涡生命史为 2 d 的有 35 个,3 或 4 d 的均有 27 个,5 d 的有 13 个,6 d 的有 9 个,7 d 以上的有 12 个。统计得到冷涡

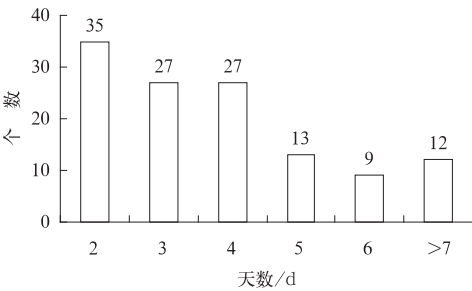


图 4 2000—2011 年 4—9 月冷涡生命史特征
Fig. 4 Cold vortex life features during
April to September of 2000—2011

的生命史为 2 d 的最多,若定义生命史持续 3 d 以上的冷涡为长生命史冷涡(包括 3 d),长生命史的冷涡能占到总数的 70%以上。张春喜等(2007)的研究得到,东亚地区 61%的冷涡事件维持时间在 1~3 d,31%的在 4~7 d,只有 8%的能超过 7 d。本文工作结果与张春喜等的结论基本一致。由于冷涡生命史长,位置少动或缓慢移动,冷空气源源不断下来,造成连续数日的降雹。

2 冷涡背景下京津冀地区降雹特征分析

2.1 冷涡背景下京津冀地区连续降雹定义

冰雹是一种由强对流系统所引发的剧烈天气现象,通常发生在暖背景下(Knight et al, 1971; Chagon et al, 2000)。根据 2000—2011 年京津冀地区 176 站灾害天气报资料,在冷涡存在的背景下以 20 时为日界,区域内某天至少 1 站出现降雹则为一个冰雹日,连续 2 d 以上出现降雹则定义为一次冷涡背景下连续性降雹过程。以下文中所指的连续降雹均为冷涡背景下京津冀地区的连续降雹过程。

2.2 京津冀地区降雹特征

利用京津冀地区 2000—2011 年 4—9 月 176 站灾害天气报资料,对京津冀地区的总降雹、冷涡背景下的降雹以及冷涡背景下的连续降雹分别进行了统计,以此分析冷涡对京津冀地区降雹的影响。

经统计得到(图 5a 和 5b),2000—2011 年京津冀地区总降雹站数呈减少趋势(图 5a),日数略有减

少(图 5b)。符琳等(2011)研究也指出近 50 年来我国冰雹呈显著下降趋势,20 世纪 70 年代末大尺度环流系统的一系列调整是我国北方冰雹减少的主要原因,伴随着大尺度环流的调整,局地垂直温度场结构的变化是影响冰雹次数的一个重要原因。2000—2011 年 4—9 月京津冀地区降雹总站数有 1220 站,总日数有 407 d。其中 2001 年降雹站数最多达到了 178 站,其次 2005 年为 159 站;而 2007 年降雹站数最少,为 55 站。2003 年降雹日数最多,为 50 d;2010 年降雹日数最少,为 26 d。

对冷涡背景下京津冀地区降雹的统计得到,冷涡背景下京津冀地区的降雹站数有 761 站,占降雹总站数的 62.4%,冷涡背景下的降雹日数有 202 d,占降雹总日数的 49.6%。其中 2001 和 2007 年冷涡背景下降雹站数占当年降雹站数的比例较大,分别为 87.6%、80%;2003 年冷涡背景下降雹站数仅占当年降雹总站数的 19.8%。2006 年冷涡背景下的降雹日数占同年降雹总日数的 75%,2003 年冷涡背景下降雹日数最少,占同年降雹总日数的 16%(图 5a 和 5b)。

2000—2011 年 4—9 月冷涡背景下京津冀地区的连续降雹有 38 次,连续降雹每年都有发生。连续降雹站数达到 584 站,占冷涡背景下降雹站数的 76.7%;日数有 135 d,占冷涡背景下降雹天数的 66.8%。其中 2001 年连续降雹站数最多,为 113 站;2005 年连续降雹日数最多,为 22 d,2005 年连续降雹站数、日数占冷涡背景下降雹站数、日数比例最大,均达到了 88%;2010 年连续降雹站数是占同年冷涡背景下降雹站数的比例最少,为 61.5%;2003 年连续降雹日数占同年冷涡背景下降雹日数

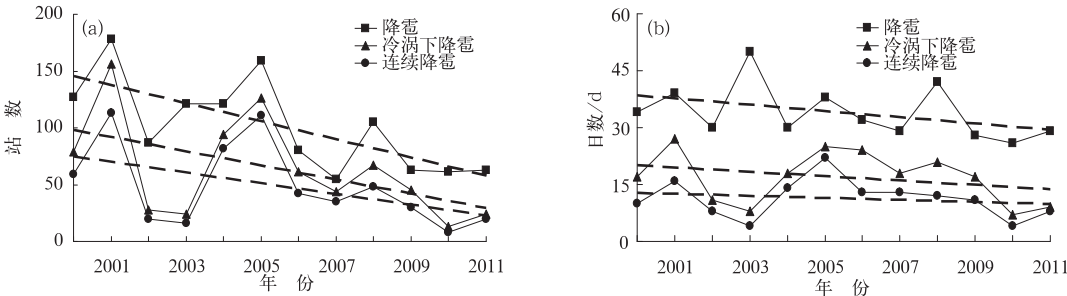


图 5 2000—2011 年 4—9 月京津冀降雹站数(a)、日数(b)变化曲线
(虚线为趋势线)

Fig. 5 The variations of hail during April to September of 2000—2011 in the Beijing-Tianjin-Hebei Region
(a) stations, (b) days
(Dashed line denotes trend line)

的比例最少,为 50%。

从京津冀降雹的 4—9 月的月分布图(图 6a 和 6b)可以看到 6 月降雹站数、日数均为最多。2000—2011 年这 12 年 6 月降雹平均能达到 30 站以上和 10 d 以上。4 和 9 月发生的降雹较少,冷涡背景下的连续降雹就更少了。其他各个月的降雹几乎有一半以上是发生在冷涡背景下,与郁珍燕等(2011)研

究结论一致。其中 4、5、6、7、8 和 9 月发生连续降雹的次数分别为 1、6、14、9、6、2 次。6 月由于冷暖空气的交汇频繁,冷涡系统的影响次数较多,出现的连续降雹过程较多。也可以看到冷涡背景下的降雹有 2/3 为连续降雹。统计过程也发现京津冀地区的连续降雹主要是发生在长生命史冷涡背景下的(表 1)。

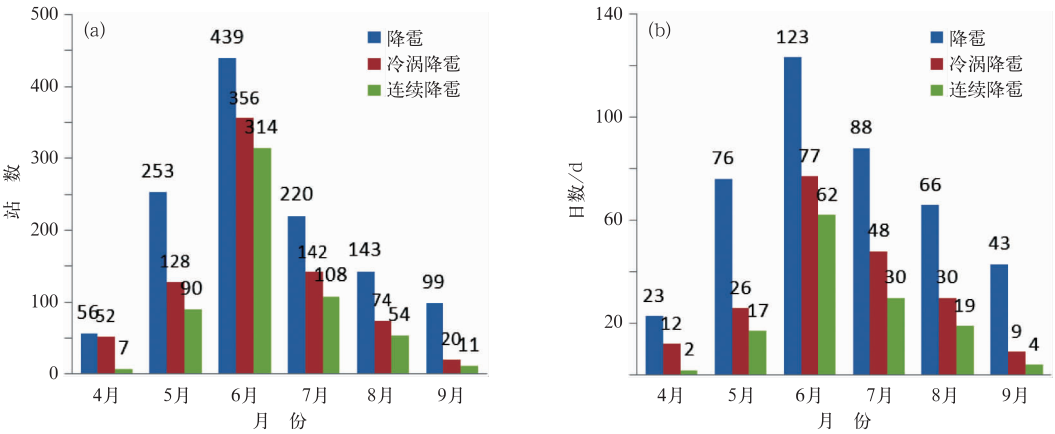


图 6 2000—2011 年 4—9 月京津冀降雹站数(a)和日数(b)月变化

Fig. 6 The monthly change of hail in the Beijing-Tianjin-Hebei Region during April to September of 2000–2011 (a) stations, (b) days

表 1 2000—2011 年 4—9 月京津冀冷涡背景下连续降雹过程冷涡生命史统计

Table 1 The statistical life history of cold vortex causing continuous hail in Beijing-Tianjin-Hebei Region during April to September of 2000–2011

冷涡生命史/d	2	3	4	5	6	>7
冷涡个数	4	7	5	2	3	7

综上可得,冷涡是京津冀地区发生降雹的主要影响系统,且降雹主要为长生命史冷涡背景下连续降雹,6 月发生频率最大。

3 冷涡背景下京津冀地区连续降雹特征统计分析

3.1 连续降雹日变化特征

冷涡背景下连续降雹具有明显的日变化(图 7),呈单峰曲线;而雷雨大风、短时暴雨日变化呈双峰曲线(苏永玲等,2011)。连续降雹主要发生在 12—20 时,高峰值在 14—16 时(121 站,33%)。午后这时段地表吸收了一定的太阳辐射能量,空气

垂直上升加快,形成绝对不稳定层结,为降雹强天气的产生创造了条件。

3.2 连续降雹空间分布特征

华北整个地势由西北向东南倾斜,高原和山地所占面积很多。从 16 次连续性降雹次数的空间分布(图 8)来看,有以下特点:连续降雹随地势高低从

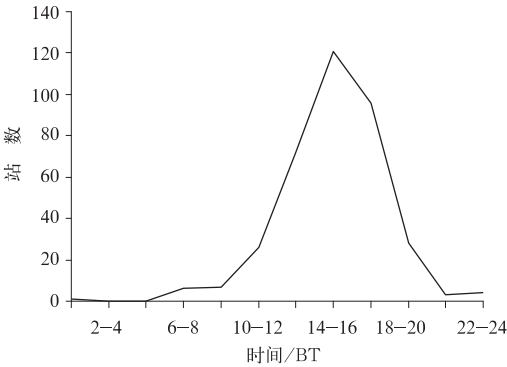


图 7 2000—2011 年 4—9 月京津冀连续降雹日变化

Fig. 7 Daily change of continuous hail in the Beijing-Tianjin-Hebei Region during April to September of 2000–2011

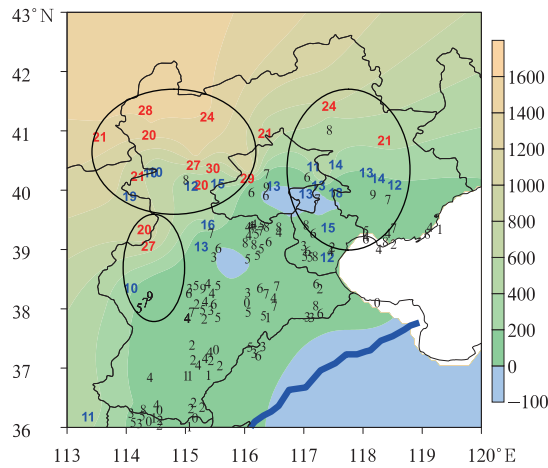


图 8 2000—2011 年 4—9 月京津冀
连续降雹次数空间分布

(红色数字表示降雹次数在 20 次以上,蓝色
数字表示降雹次数在 10 次以上,黑色数字
表示降雹次数在 10 次以下)

Fig. 8 The frequency distribution of continuous
hail in the Beijing-Tianjin-Hebei Region
during April to September of 2000—2011

(The red numbers indicate hail number more than 20 times,
the blue numbers indicate hail number more than 10 times,
the black numbers indicate hail number less than 10 times)

京津冀西北部像东南方向递减,山区要多于平原。同样是山区,北部的山区多于南部的山区。连续降雹大值中心主要集中在京津冀地区的西北部、东北部及中西部山区,海拔基本在 800 m 以上。连续降雹次数最多的是河北赤城站,达到了 30 次,赤城县平均海拔 1000 m 左右,整个地势由西北向东南倾斜下降。

3.3 冷涡背景下连续降雹个例挑选

为统计冷涡背景下京津冀地区连续降雹的特征,挑选了 2000—2011 年 4—9 月冷涡背景下京津冀地区连续降雹的站数在 10 站以上的连续降雹过程(表 2),共有 16 个个例,均是发生在 5—8 月,6、7 月各有 6 例,5、8 月各有 2 例。16 个个例中有 13 例连续降雹日数持续 3 d 以上的,影响范围较广;有 3 例连续降雹日数为 2 d,影响范围相对较小。连续降雹总站数在 10 站左右的有 7 例,在 20 站以上的有 9 例(其中连续降雹总站数达到 50 站以上的有 3 例)。特别是 2001 年 6 月 12—22 日这次过程,连续降雹总站数有 80 站,连续降雹日数达到了 11 d,日降雹最多站数达到了 15 站。此次过程冷涡移动较

为缓慢,500 hPa 上,50°N 以北、贝加尔湖到东北以西为阻塞高压,从鄂霍次克海经东北至华北为一横槽,横槽中有闭合的低中心,与此配合的冷温度槽明显。850 hPa 上,在河北地区有低涡或切变线,温度场上为暖脊。之后冷涡向东移动缓慢,受阻塞高压影响,从冷涡分裂出新的低压中心直接影响到京津冀地区,低压中心东移与冷涡合并,冷涡后部横槽继续影响到华北地区。受冷涡和横槽带来的冷空气的共同影响,造成京津冀地区连续 11 d 的降雹。在冷涡的发展期京津冀降雹主要位于冷涡中心的东南方向,在冷涡成熟阶段,冷涡东移,京津冀地区处于冷涡中心的西南方向,降雹位置向京津冀地区的东、南扩展。6 月 15 日降雹站数最多,为 15 站。

根据连续降雹总站数与日数,我们可以得到日平均降雹站数最多的是 2005 年 5 月 31 日至 6 月 2 日这次过程,日平均降雹站数达到了 13 站,说明此次过程影响范围较广;而日平均降雹站数最少的是 2011 年 7 月 12—17 日,仅为 2 站,影响时间虽较长,但影响范围不大。单日降雹站数最多的是 2000 年 5 月 17—19 日、2005 年 5 月 31 日至 6 月 2 日、2005 年 6 月 7—14 日这 3 次过程,均达到了 23 站,单日降雹影响范围较广。

表 2 2000—2011 年 4—9 月京津冀
连续降雹个例统计

Table 2 The continuous hail processes in the
Beijing-Tianjin-Hebei Region during
April to September of 2000—2011

年-月-日	连续降雹 日数/d	降雹总站 数/个	日降雹最多 站数/个
2000-05-17—19	3	41	23
2000-08-26—28	3	10	5
2001-06-12—22	11	80	15
2001-07-13—14	2	12	8
2001-08-23—25	3	21	10
2003-06-27—28	2	10	6
2004-06-17—24	8	52	15
2004-07-03—05	3	16	8
2005-05-31—06-02	3	39	23
2005-06-07—14	7	53	23
2005-07-08—13	6	22	8
2006-06-23—07-01	9	33	9
2007-07-09—11	3	17	12
2008-06-22—28	7	30	15
2009-7-22—23	2	10	7
2011-07-12—17	6	13	3

3.4 连续降雹与冷涡的生命史及发展阶段关系

16 个个例均在长生命史冷涡背景下影响发生

的(表 3),长生命史冷涡的存在是连续降雹的持续性的重要条件。结合表 2 与表 3 可以看到,连续降雹日数与冷涡生命史相关,冷涡生命史愈长,连续降雹的天数愈长。冷涡在旋转、东移过程中不断有冷空气分离南下,中层干冷空气明显,冷空气侵入中高层促进层结不稳定,降雹过程地面几乎都伴有冷锋,触发对流,进而造成连续数日的降雹。之前对于冷涡的统计得到 2000—2011 年冷涡个数略有增加,但降雹却呈现递减的趋势,冷涡虽然是降雹的一个主要影响系统,但是影响降雹的因子较多,例如 0℃与 -20℃的高度等,这些因子的变化特征及冰雹过程减少的原因还需要做进一步的分析。

表 3 连续降雹与冷涡生命史、移动类型、不同发展阶段

Table 3 Continuous hail and cold vortex life, type, and different developing stages

年-月-日	冷涡生命史/d	冷涡发展阶段	冷涡移动类型
2000-05-17—19	4	成熟	A
2000-08-26—28	3	发展、成熟	B
2001-06-12—22	8	发展、成熟、消亡	C
2001-07-13—14	3	成熟	A
2001-08-23—25	4	消亡	C
2003-06-27—28	3	成熟	A
2004-06-17—24	12	发展、成熟	B
2004-07-03—05	3	成熟	B
2005-05-31—06-02	5	成熟	A
2005-06-07—14	3	发展、成熟	B
2005-07-08—13	4	成熟、消亡	C
2006-06-23—07-01	10	发展、成熟	A
2007-07-09—11	3	发展、成熟	B
2008-06-22—28	8	发展、成熟	B
2009-07-22—23	8	成熟	B
2011-07-12—17	9	发展、成熟	B

降雹能够发生在冷涡的发展、成熟、消亡的各个时期,但是发生在冷涡发展、成熟期连续降雹过程出现的几率大些(表 3)。当冷涡逐渐减弱,闭合等值线消失,槽后还有源源不断的冷空气补充,依然能够带来连续降雹,例如 2001 年 8 月 23—25 日这次过程,受冷涡中心消散后的槽的影响,发生了连续 3 d 的降雹。白人海等(1997)的研究也曾指出,中尺度天气多发生在冷涡发展和维持阶段,即温压结构不对称、大气斜压性强时,而在冷涡减弱时相对较少。连续降雹在冷涡各个发展时期的发生影响范围有所不同。在冷涡成熟期发生的降雹有 313 站,要多于发展期的 92 站,消亡期发生最少,为 54 站(图 9)。发生在发展期的降雹日数有 22 d,成熟期有 42 d,消

亡期有 9 d,得到冷涡在各个阶段的降雹测站的平均数,分别为发展期 4 站,成熟期 7 站,消亡期 6 站。发生在成熟期的连续降雹日平均降雹站数最多,消亡期产生降雹总站数较少,但是消亡期连续降雹日平均站数却较大。

3.5 连续降雹与冷涡中心的距离及方向关系

在统计中发现发生连续降雹的位置与冷涡中心的距离主要在 200~1200 km(图 10)。高值区在 600~800 km 之间,其次是 400~600 和 800~1200 km。易笑园等(2010)研究指出冷涡中心距研究代表点的距离(L)与强对流天气的强弱有关,弱对流过程时, $L>1260$ km。本文得到的结果中虽然有距离 >1260 km,但是个数较少。

在统计分析中发现,京津冀地区发生降雹时处于冷涡的中心偏南方向。这是因为冷涡的南部为上升区,通常是冷暖空气的交界处,也是暖湿舌的后部,从高度场看位于风切变处,地面对应于低压或冷锋。冷涡西部常有冷空气不断补充南下,有利于冷

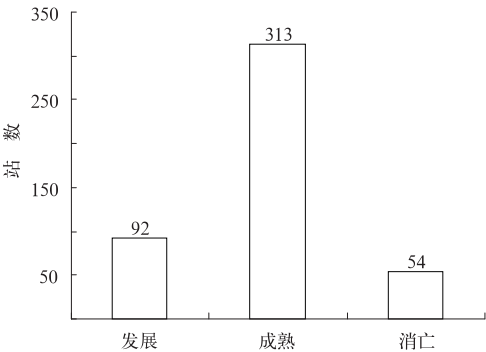


图 9 冷涡各个发展阶段连续降雹站数分布
Fig. 9 The stations of continuous hail in different stages of cold vortex

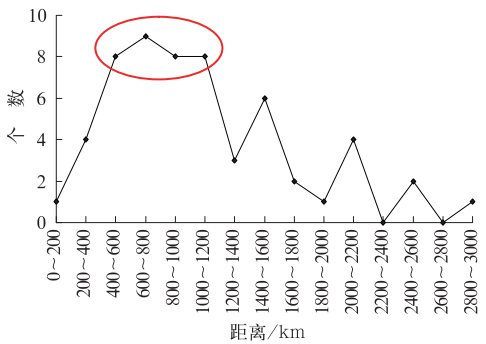


图 10 连续降雹与冷涡中心的距离
Fig. 10 The distance between continuous hail and the center of cold vortex (unit: km)

涡的西、西南、南到东南部发生强对流天气。

3.6 冷涡对连续降雹的影响分类

将冷涡对于京津冀地区的连续降雹影响大致分为是直接影响(即冷涡中心闭合等压线能够影响到京津冀地区)、冷涡中分裂冷空气影响(即冷涡的低压槽能够影响到京津冀地区)、冷涡后部横槽影响(即冷涡处于京津冀东北部,从日本海到华北存在横槽)。其中有 13 例会受到冷涡直接影响,有 12 例会受到冷涡后部横槽影响,有 3 例受到冷涡中分裂冷空气影响,因此冷涡后部横槽影响产生强对流天气是不容忽视的。统计得到(图 11)16 个个例中受冷涡直接影响的日数和站数分别为 43 d 和 306 站,冷涡中分裂冷空气影响的日数和站数分别为 5 d 和 17 站,冷涡后部横槽影响的日数和站数为 30 d 和 135 站。因此京津冀地区连续降雹主要受冷涡直接影响和冷涡后部横槽影响。随着冷涡系统向东向南方向移动,16 个个例冰雹落区均是向东向南移动扩展。

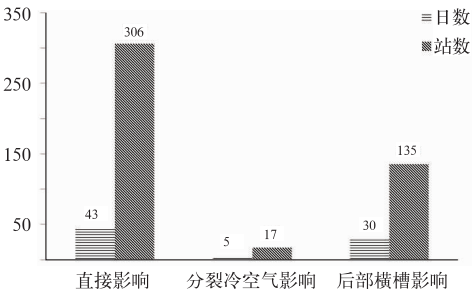


图 11 冷涡对降雹的不同影响
Fig. 11 Different effect of cold vortex on hail

3.7 连续降雹与冷涡移动关系

冷涡移动的快慢及原地旋转与京津冀地区发生降雹处于冷涡中心位置相关,故根据冷涡移速及冷涡的不同发展阶段将冷涡分为 3 类:A 类指冷涡快速移动,移动距离 24 h 达到 5 个经距;B 类指冷涡移动缓慢或维持在原地;C 类指冷涡中心闭合线消失后,高空槽依然能影响到京津冀地区产生降雹。

表 3 可见,在这 16 个个例中有 5 个个例是冷涡向东南方向移动(A 类);有 8 个个例是冷涡基本维持在原地或缓慢东移(B 类);有 3 个个例冷涡维持一段时间后,逐渐减弱,闭合等值线消失,受高空槽的影响也发生降雹天气过程(C 类)。例如 2001 年 6 月 12—22 日这次过程,冷涡缓慢向东移动,在 19

日之后冷涡中心消散后,横槽继续影响到京津冀地区,造成降雹,这次过程连续降雹日数达到了 11 d,总站数 80 站,而在冷涡消亡期中连续降雹日数为 3 d,降雹站数达到了 22 站。

为了更清楚地了解冷涡移动对于连续降雹的影响,选用了动态合成方法。采用移动的格点坐标,经纬范围 $30^{\circ} \times 20^{\circ}$ 和 $40^{\circ} \times 20^{\circ}$ 。本章参考 Gray (1979)的合成方法,后来一些研究者将此方法运用到台风中,得到了较好的研究结果,公式如下:

$$\overline{S}_t(x,y) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N S_t(x,y)$$

式中, $\overline{S}_t(x,y)$ 为样本平均场, $S_t(x,y)$ 为 t 时刻物理量场,本文的 $t=1$,即只有一个时刻, (x,y) 为所选区域的坐标, N 为样本个例总数。在动态坐标中,系统的中心位置始终是位于研究区中心的。这种合成方法的物理意义与一般意义的合成显著不同,此方法可以减少在平均时造成样本物理量的相互抵消作用,在合成过程中避免因将各系统之间混合一起导致合成结果被平滑,使得系统结构保持相对的完整。

资料时段为 2000—2011 年 4—9 月的 NCEP 再分析资料,时间分辨率为 6 h,空间分辨率 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 。通过选取 A 类每例中的其中 3 d 的 06 UTC 时分别进行动态合成(图 12),并将 5 个个例冷涡中心位置取平均,得到京津冀地区与冷涡中心的位置关系。我们可以看到连续降雹的位置从冷涡中心位置的第 IV 象限移动到第 III 象限。当京津冀地区处于冷涡中心的东南方向时,温度场落后于高度场,京津冀地区处于槽前上升区,冷暖空气交汇,产生降雹;冷涡向东移动 24 h 左右后,冷槽加强为冷中心,京津冀受到槽后干冷空气影响促进层结不稳定,触发对流天气,产生降雹天气。冷涡继续东移仍然受到冷空气影响,京津冀地区依然能产生降雹。

选取 B 类每例中的其中 3 d 的 06 UTC 时分别进行动态合成(图 13),同样将 8 个个例冷涡中心位置取平均,得到京津冀地区与冷涡中心的位置关系。温度场落后于高度场,冷槽带来冷空气南下,冷涡移动缓慢或维持在原地旋转一段时间,冷槽加强为冷中心,与 A 类不同的是温度场依然落后于高度场,有可能也是冷涡能够维持较长时间的原因之一。冷涡位于京津冀地区的以北地区,冷涡后部不断有冷空气补充,进而给京津冀地区带去影响范围较广的连续降雹过程,降雹位置处于冷涡中心偏南方向。

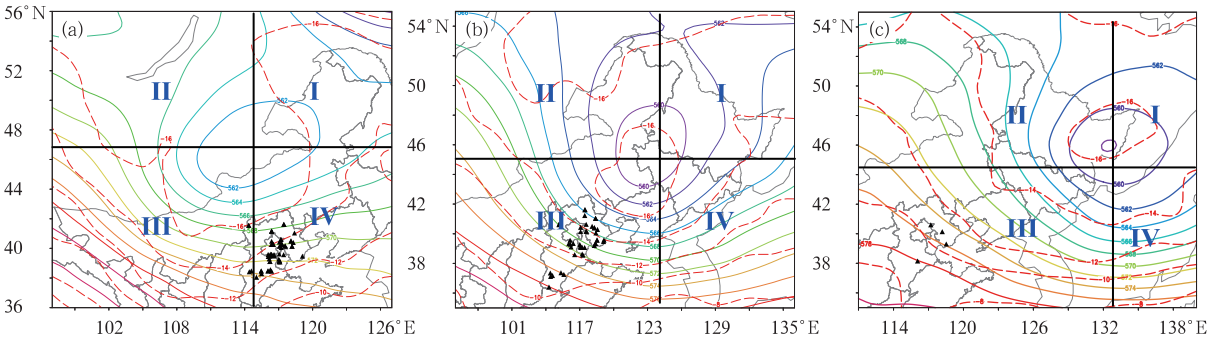


图 12 冷涡快速东移的 3 个时次的 5 个个例高度场的动态合成
(黑色实线为冷涡象限分隔)

Fig. 12 Storm-relative composites of 500 hPa height field of 5 rapid east-moving cold vortices
(Black line denotes cold vortex separate line)

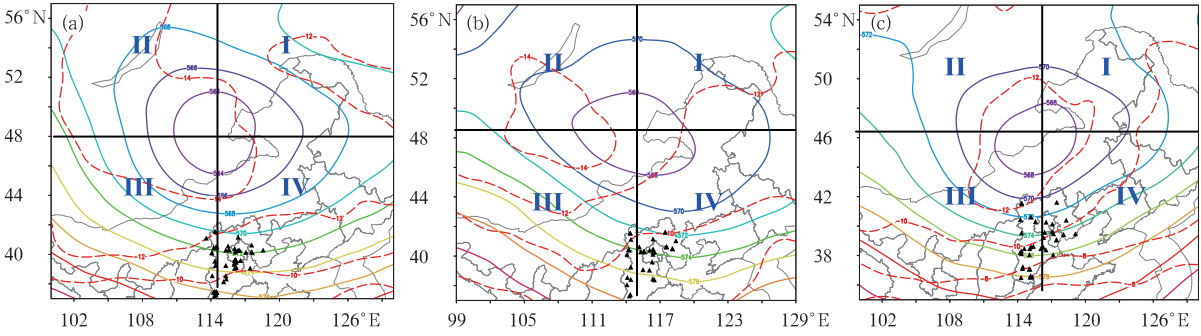


图 13 冷涡缓慢移动及维持的 3 个时次的 8 个个例高度场的动态合成
(黑色实线为冷涡象限分隔)

Fig. 13 Storm-relative composites of 500 hPa height field of 8 slow-moving cold vortices
(Black line denotes cold vortex separate line)

冷涡维持一段时间后,冷涡中心闭合线消失后受到高空槽的影响发生降雹(C类)。选取C类每例中2d的06 UTC时次进行了动态合成(图14),因

高空槽影响范围较广,将冷涡中心消散后高空槽的动态合成经纬范围取为 $40^{\circ} \times 20^{\circ}$ 。冷涡东移过程中,京津冀地区受冷涡影响在冷涡中心的偏南方向

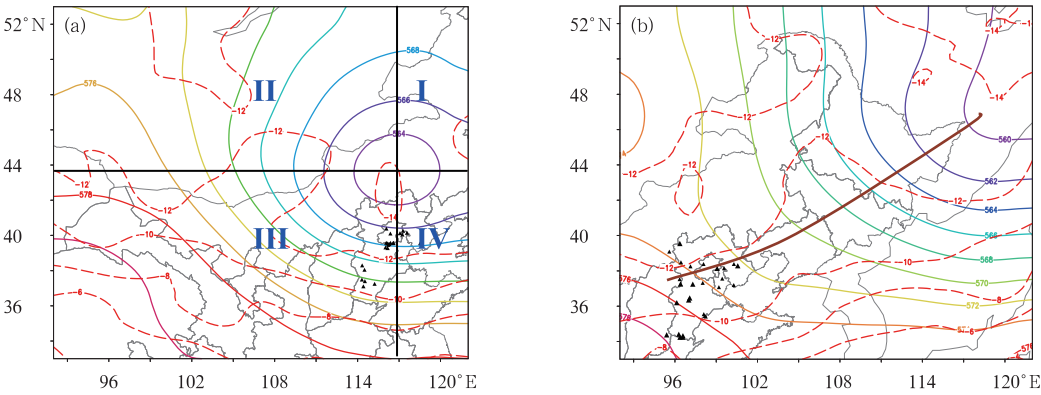


图 14 冷涡消散的 2 个时次的 3 个个例高度场的动态合成
(黑色实线为冷涡象限分隔,右图粗实线为槽线)

Fig. 14 Storm-relative composites of 500 hPa height field of 3 dissipated cold vortices
(Black line denotes cold vortex separate line, solid line in (b) is trough line)

产生降雹,而在冷涡中心闭合线消失后,高空槽后又有新的冷空气中心形成,仍然能给京津冀地区补充冷空气,降雹位置由冷涡中心位置偏南方向甚至西南方向移到高空槽后位置。由此可见在冷涡移动的各个时期都能产生降雹,给预报工作带来较大的难度。对于冷涡不同移速对降雹位置产生的影响及原因有待进一步的研究。

4 结论与讨论

本文重点研究分析了2000—2011年4—9月冷涡天气系统及其背景下京津冀地区连续降雹天气过程的统计特征,得到下面几点结论:

(1) 冷涡的时空分布特征:2000—2011年4—9月冷涡生成的个数略呈增加趋势,主要发生在东北地区到贝加尔湖以东地区,长生命史冷涡占到70%。京津冀地区的降雹主要为长生命史冷涡背景下连续降雹过程。

(2) 冷涡背景下京津冀地区连续降雹过程的时空分布特征:连续降雹过程具有明显的日变化,主要发生在12—20时,高峰值在14—16时。连续降雹次数从西北向东南方向随高度递减,山区多于平原,北部多于南部。

(3) 冷涡与连续降雹的关系:连续降雹能够发生在冷涡的发展、成熟、消亡期等各个时期,发生在成熟期的日平均降雹站数最多,在消亡期的降雹总站数较少,但是消亡期连续降雹日平均站数却较大;连续降雹主要是位于冷涡中心的偏南方位;连续降雹的位置与冷涡中心的距离大约在偏南地区的200~1200 km,主要集中在600~800 km之间。可能与这些区域冷涡中尺度活动比较频繁,高低层配置有利于降雹发生有关。降雹主要受冷涡直接影响和冷涡后部横槽影响。在不同移速的冷涡背景下产生的连续降雹位置距离冷涡中心南部的的位置不同。在快速移动的冷涡背景下,连续降雹开始产生于冷涡的东南部,随着冷涡的移动,连续降雹发生在冷涡的偏南及西南方向。缓慢移动的冷涡背景下,连续降雹主要发生在冷涡的偏南方向。京津冀地区也会受冷涡中心消散后的横槽影响产生降雹。

由于京津冀地区危险报资料时间较短,长期的年际变化特征等方面没有做研究,对于冷涡背景下

连续降雹机理有待于做进一步研究,并对不同冷涡类型下连续降雹的差异进行深入的分析。

致谢:感谢河北省气象局在资料方面提供的帮助。

参考文献

- 白人海,孙永罡.1997.东北冷涡中尺度天气的背景分析.黑龙江气象,(3):6-12.
- 丁一汇,李鸿洲,章名立,等.1982.我国飕线发生条件的研究.大气科学,6(1):18-27.
- 符琳,李维京,张培群,等.2011.近50年我国冰雹年代际变化及北方冰雹趋势的成因分析.气象,37(6):669-676.
- 河北省气象局.1987.河北省天气预报手册.北京:气象出版社,160.
- 胡淑兰,武麦凤,王旭仙,等.2006.关中东部连续性降雹特征分析.高原气象,25(1):159-163.
- 廖晓农,俞小鼎,于波.2008.北京盛夏一次罕见的大雹事件分析.气象,34(2):10-17.
- 闵晶晶,曹晓钟,段宇辉,等.2012.近30年京津冀地区冰雹的气候特征和突变分析.气象,38(2):189-196.
- 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,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.
- 孙力,王琪,唐晓玲.2005.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.
- 王华,孙继松,李津.2007.2005年北京城区两次强冰雹天气的对比分析.气象,33(2):49-56.
- 杨贵名,马学款,宗志平.2003.华北地区降雹时空分布特征.气象,29(8):31-34.
- 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.
- 郁珍艳,何立富,范广洲,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):89-94.
- 张春喜,廖晓农,郑永光,等.2005.北京雷暴大风的天气气候分析//中国气象学会2005年年会文集,北京:气象出版社,2181-2190.
- 张春喜,王洪庆,陶祖钰.2007.冷涡的气候统计及其中尺度对流云带研究.北京:北京大学.
- 张芳华,高辉.2008.中国冰雹日数的时空分布特征.南京气象学院学报,31(5):687-693.
- 郑秀雅,张廷治,白人海.1992.东北暴雨.北京:气象出版社,219.
- Changon S A,Changnon D.2000. Long-term fluctuations in hail incidence in the United States. Climate,13(3):658-664.
- Gray W M.1979. Recent advances in tropical cyclone research from rawinsonde composite analysis. WMO Programme on Research in Tropical Meteorology. Colorado:Fort Collins,407.
- Knight C A,Knight N C.1971. Hailstones. Scientific American,224(4):40-47.