

杨珊珊, 谌芸, 李晟祺, 等. 2016. 冷涡背景下飏线过程统计分析. 气象, 42(9): 1079-1089.

冷涡背景下飏线过程统计分析^{*1}

杨珊珊¹ 谌芸² 李晟祺³ 肖天贵¹ 凌婷¹

¹ 成都信息工程大学, 成都 610225

² 国家气象中心, 北京 100081

³ 南京信息工程大学, 南京 210044

提 要: 文章首先给出冷涡的定义, 根据其定义, 利用 2008—2013 年 4—9 月的天气图识别出 73 个冷涡, 然后根据飏线的标准筛选出符合条件的飏线过程。利用多普勒雷达资料和 $1^\circ \times 1^\circ \times 6 \text{ h}$ 的 NCEP FNL 资料, 对飏线的时空分布、移动特征、形成、消散方式以及飏线和冷涡的关系等方面进行详细分析。结果表明: (1) 2008—2013 年 6 年共识别出 73 个冷涡、17 条飏线, 飏线主要形成于我国江淮流域、华北地区和东北地区。(2) 飏线的发生有明显的月变化和日变化, 约 58.8% 的飏线发生在 7 月, 52.9% 的飏线发生在午后到傍晚。(3) 飏线主要形成在冷涡的南部, 在冷涡的不同时期飏线形成的位置有所不同。(4) 飏线一部分受西风带系统影响自西向东偏南方向移动, 另一部分由西北向东南方向移动, 具体移动方向具有不一致性。冷涡背景下的飏线移速较快。(5) 本文统计的冷涡背景下飏线过程大都伴随短时强降水, 主要形成方式为嵌套区线型(EA 型), 主要消散方式为颠倒破碎面型(RBA 型), EA 型飏线多产生于高潮湿环境中。

关键词: 冷涡, 飏线, 统计分析

中图分类号: P456

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2016.09.005

Analysis of Squall Lines Under the Background of Cold Vortex

YANG Shanshan¹ CHEN Yun² LI Shengqi³ XIAO Tiangui¹ LING Ting¹

¹ Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225

² National Meteorological Centre, Beijing 100081

³ Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

Abstract: Cold vortex is identified based on the definition of cold vortex, and 73 cold vortexes during 2008—2013 are identified. According to the screening criteria of squall line, the qualified squall lines are screened out. Digital radar mosaics of composite radar reflectivity are used in this study to perform the survey. Detailed analyses are carried out on the spatio-temporal distribution, moving characteristics, formation, dissipating way of squall lines and the relationship between cold vortex and squall lines. The results show that (1) 73 cold vortexes and 17 squall lines during 2008—2013 are identified, which mainly formed in Huaihe River Basin, North China and Northeast China. (2) Squall lines have obvious features of monthly and diurnal variations, with nearly 58.8% in July, and 52.9% from afternoon to evening. (3) Squall lines form mainly in the south of the cold vortex. During the different stages of cold vortex, squall line develop in different positions. (4) Some squall lines move towards east-south influenced by the mid-latitude westerlies weather system, and others move from northwest to southeast. Due to the influence of the cold vortex system, squall lines move fast. (5) Most squall lines under the background of cold vortex are accompanied by heavy rainfall. The main forming mode is embedded areal (EA), the main dissipation mode

* 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

2016 年 2 月 25 日收稿; 2016 年 7 月 17 日收修定稿

第一作者: 杨珊珊, 主要从事中尺度天气研究. Email: 664717358@qq.com

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

is reversed broken areal (RBA), and EA type squall lines are often seen in highly humid environment.

Key words: cold vortex, squall lines, statistical analysis

引 言

冷涡常能带来冰雹、雷暴、大风和短时强降水等强对流天气,是造成中国东北、华北和西北地区强对流天气的重要天气系统(房一禾等,2016;傅慎明等,2015;何晗等,2016)。64%的飑线与冷涡有关(唐晓玲等,1997),飑线的发生发展过程中会伴随着强对流天气。因此研究冷涡背景下飑线的特征及其与冷涡的关系对冷涡背景下形成的强对流天气的研究和预报有重要意义。国内外不少专家学者针对飑线过程进行过深入研究。Bluestein 等(1985)总结出中纬度飑线可能有断线型(broken line)、后续线型(back building)、离散区线型(broken areal)和嵌套区线型(embedded areal)四种形成方式。Parker 等(2000)指出飑线的组织模式可分为三种:trailing stratiform(TS)、parallel stratiform (PS)和 leading stratiform(LS)。Jirak 等(2003)、Maddox(1980)研究指出大多数的中尺度对流系统(mesoscale convective system, MCS)形成于下午到傍晚,在夜间达到最大,在清晨消亡。Meng 等(2013)对 2008—2009 年中国东部的飑线进行统计分析指出:冷涡是飑线产生时的 6 种常见天气系统之一。余志敏(1988)指出东北冷涡背景下飑线初始回波多于中午或者午后在河北北部山区产生,在由山区移向华北平原的过程中发展增强。陈贵川等(2013)指出“地面冷空气触发西南涡其东侧辐合上升运动强烈发展,高层强辐散,因而产生了对流性暴雨天气过程”。白人海等(1997)指出飑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。冷涡常能带来冰雹、雷暴、大风和短时强降水等强对流天气,是造成中国东北、华北和西北地区强对流天气的重要天气系统。杨涵洧等(2012)指出东北冷涡出现后具有一定的静止性并可以持续发展,一般可维持四五天,最多可达十余天。64%的飑线与冷涡有关(唐晓玲等,1997),飑线的发生发展过程中会伴随着强对流天气。王磊等(2013)指出我国东北和华北地区在冷涡背景下易产生 MCS。杨吉等(2015)指出雷达资料具有时空分辨率高和覆盖范围广的优点,因

此在 MCSs 的研究中被广泛应用。

飑线与冷涡关系密切,冷涡背景下飑线过程有其特点,但前期的研究大都集中在从个例中探讨冷涡背景下的某一次飑线的特征变化,而对于冷涡背景下飑线的统计特征分析较少。本文依据飑线的定义,挑选出 73 个冷涡背景下 17 条飑线,并对飑线的时空分布、移动特征、形成、消散方式以及飑线和冷涡的关系等方面进行详细分析,以期提高对冷涡背景下的飑线过程的认识,提高冷涡背景下的强对流天气的预报准确率。

1 冷涡及飑线的定义

1.1 冷涡的定义与识别

本文所研究的冷涡包括东北冷涡、蒙古冷涡及华北冷涡。冷涡的定义采用孙力等(1994),郁珍艳等(2011),张仙等(2013)的定义。将 500 hPa 上天气图上 $35^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{N}$ 、 $85^{\circ}\sim 145^{\circ}\text{E}$ 范围内出现闭合等高线,并配合有冷中心或冷槽,持续时间在 2 d 及 2 d 以上的低压环流系统定义为冷涡。根据冷涡定义,利用中国气象局提供的每日两次的 500 hPa 天气图资料,2008—2013 年 4—9 月共识别出 73 个冷涡过程,平均持续 3~7 d。

73 个冷涡的形成期和成熟期位置的地理分布如图 1 所示。冷涡主要在蒙古地区形成(图 1a),大都在我国东北地区发展成熟(图 1b),极个别的在我国的华北地区。冷涡中心主要位于东北地区到贝加尔湖以东地区。产生飑线的冷涡形成位置主要为两个地区:贝加尔湖东北部到我国之间和我国东北地区的北部。大都在我国东北地区发展成熟。冷涡大都随西风带系统自西向东移动。

1.2 冷涡背景下飑线定义及识别

对于飑线的定义,众多学者进行了定义。Chen 等(1993)定义为:(1)降水回波 12 dBz 区域的长轴至少 150 km,并连续存在 5 h 以上。(2)成熟阶段,最大雷达反射率达到 36 dBz 以上,长宽比例 3:1 以上。Geerts(1998)用于筛选飑线的定义:(1)雷达反射率 >20 dBz 区域的长轴至少为 100 km,并持续

4 h 以上。(2)雷达反射率的 >40 dBz 的区域持续 2 h 以上。(3)40 dBz 区域的长宽比例 5 : 1 以上。Parker 等(2000)对于飏线的定义:(1)一个连续的或准连续的 40 dBz 反射带延伸至少 100 km 持续 3 h 以上。(2)线性或准线性对流区有一个明显边界。Meng 等(2012)的定义:(1)一个连续的或者准连续的 40 dBz 反射带延伸至少 100 km 持续 3 h 以上;(2)线性或者准线性对流区有一个明显的边界;(3)镶嵌有 40 dBz 区域的 35 dBz 区域是严格连续

的。

本文冷涡背景下的飏线是指在有冷涡发生的前提下(冷涡的形成期、成熟期、消亡期均可),从 10 min 一次的雷达拼图上看满足以下几个条件:(1)一个连续的或者准连续的 40 dBz 反射带延伸至少 100 km 持续 3 h 以上;(2)线性或者准线性对流区有一个明显的边界;(3)镶嵌有 40 dBz 区域的 35 dBz 区域是严格连续的。按照这个定义对飏线进行筛选。飏线在雷达上的特征如表 1。

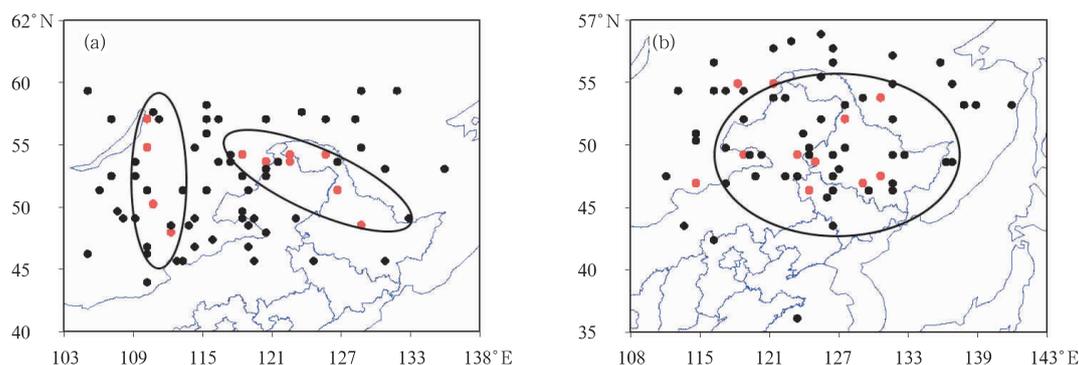


图 1 2008—2013 年 4—9 月 73 个冷涡形成期(a),成熟期(b)中心位置的地理分布图
(黑点表示冷涡中心位置,红色点表示产生飏线的冷涡)

Fig. 1 The formative period (a) and mature period (b) geographical distribution of 73 cold vortexes in the period from April to September during 2009—2013
(The black dots represent position of cold vortex center, red dots are the positions of cold vortex center with squall lines)

表 1 飏线的雷达特征定义

Table 1 Definition of various radar traits of squall lines

雷达特征	具体解释
形成时间	雷达反射率 40 dBz 区域第一次出现的时候
消散时间	雷达反射率区域不再维持最强的时刻起
最大长度	准连续的 40 dBz 反射率区域的最大直长轴的长度
成熟时间	飏线的最大长度形成时
移动速度	连接 40 dBz 区域前缘的等时线的中点的直线的长度除以时长
最大强度	飏线生命史期间的最大雷达组合反射率
生命史	从飏线开始形成到飏线彻底消散的时间
形成方式	用于表示一个飏线的形成过程(断续线型,后续线型,离散区线型,嵌套区线型)
消散方式	用于表示一个飏线的消散方式(颠倒破碎面型,收缩线型和倒虚线型)

2 冷涡背景下飏线时空分布特征

2.1 飏线的空间分布

2.1.1 飏线的地理位置

根据飏线的标准,普查发现发生在冷涡背景下的飏线一共有 17 条,73 个冷涡中有 11 个冷涡背景

下产生了飏线,占冷涡总数的 15%。由图 2 可见:飏线主要形成于我国江淮流域(山东、河南、安徽、江苏)、华北地区(河北、北京)和东北地区(辽宁、吉林),形成在江淮流域的飏线数量最多,长度居中;形成在华北地区的飏线数量次之,比较长;形成在东北地区的飏线较短,数量最少。从飏线成熟时期位置和地形图的结合,可以看出,飏线大多在海拔较低的平原地区发展成熟,这可能是由于平原地区,低层暖

湿气流供应充沛(余志敏,1998)。

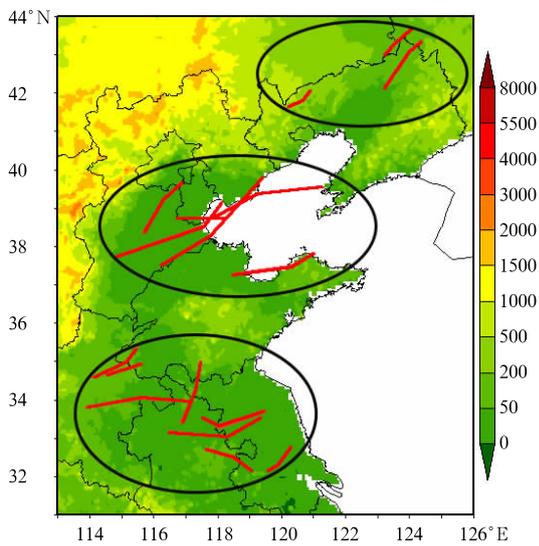


图 2 2008—2013 年冷涡背景下 17 条
飚线发展成熟时地理分布图
(红线表示飚线,阴影表示地形)

Fig. 2 The geographical distribution of
17 squall lines under the background of
cold vortex from 2008 to 2013
(Red line indicates squall line,
shadow represents terrain)

2.1.2 飚线与冷涡的位置关系

为了研究冷涡与飚线的位置关系采用动态合成的方法进行研究,它不同于一般意义的合成,此方法可以减少在平均时造成样本物理量的互相抵消,使得两种系统保持相对的完整。本文参考 Gray 等(1979)的方法,公式如下:

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

式中, $\bar{S}_t(x, y)$ 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。

图 3 可见: 在冷涡的不同时期都可以发生飚线。飚线主要发生在冷涡形成期(8 条), 形成在冷涡的东南部。发生在冷涡成熟期的飚线数量次之(6 条)形成在冷涡的西南部。也有可能发生在冷涡的消亡期(3 条), 形成在冷涡的西南部。

总体来看, 飚线一般形成在冷涡的南部。这与白人海等(1997)、易笑园等(2010)和王磊等(2013)的研究中指出: 强对流天气一般出现在冷涡南部的结论是一致的。在冷涡的不同时期形成的飚线与冷涡的相对位置不同, 在冷涡的形成期产生的飚线大都位于冷涡的东南部, 而在冷涡的成熟期和消亡期

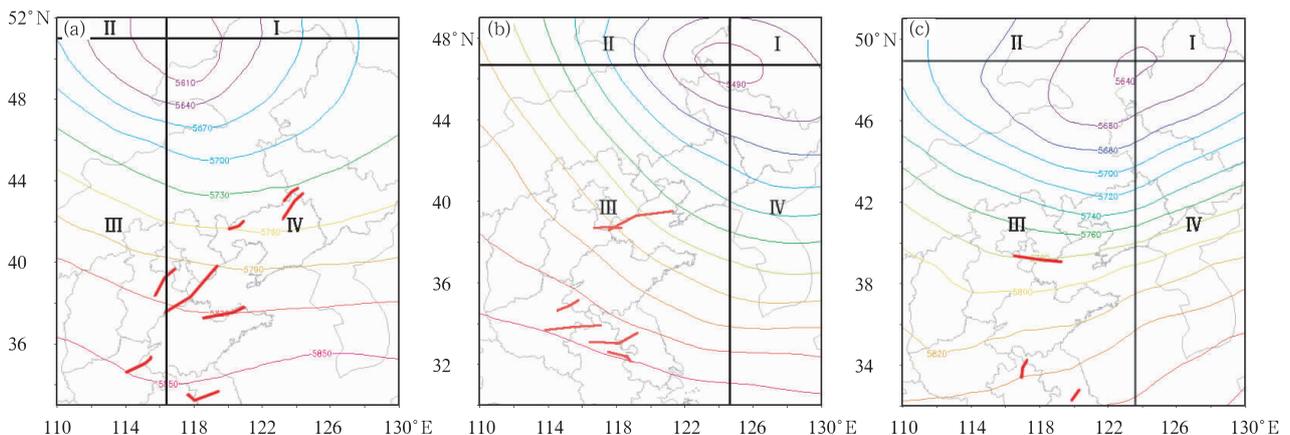


图 3 在冷涡的(a)形成期,(b)成熟期和(c)消亡期中飚线的位置

Fig. 3 Squall lines positions in (a) formation period, (b) mature period and (c) dissipation period of cold vortex

产生的飚线都位于冷涡的西南部。冷涡的南部各层系统的配置有利于引发对流天气。低层由南向北的偏南风将洋面的暖湿气流源源不断地输送至我国大陆地区, 高空西风急流将干冷空气输送到我国北方地区, 上干下湿提供了层结不稳定条件。低层有切变线存在, 在冷涡的南部易形成飚线。

冷涡的南部通常是冷暖空气的交界处, 冷涡西部常有冷空气不断补充南下, 冷涡的三维结构有利于飚线垂直结构的形成, 冷涡系统能造成低空辐合, 高空辐散, 形成上升运动, 且冷涡的南部有利于不稳定层结的形成, 为飚线提供一个有利的天气背景和物理条件(白人海等, 1997), 从而易形成飚线。

2.2 飏线的时间分布特征

2.2.1 月变化

本文统计的冷涡包括东北冷涡、华北冷涡、蒙古冷涡,5月是蒙古冷涡的多发季节(郜彦娜,2013),图4可见,本文统计的冷涡高发期也是5月,冷涡背景下的飏线基本发生在6、7和8月,其中7月的飏线10条(约58.8%),此时是飏线产生的高峰期,发生在6月的飏线为6条,8月的飏线只有1条。7月西太平洋副热带高压发生第二次季节性北跳,季风不断带来暖湿气流,水汽充足,在冷涡背景下易产生不稳定层结,容易产生飏线过程。

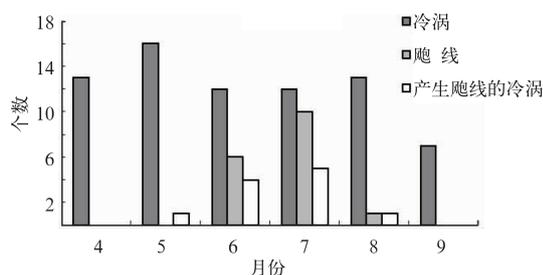


图4 飏线的月变化特征

Fig. 4 Monthly variation characteristics of squall lines

2.2.2 日变化

飏线的发生有明显的日变化,从图5可以看出,冷涡背景下飏线的形成时间(飏线40 dBz区域出现的时间)午后到傍晚(12—18 BT)为高峰期(9条),约一半(52.9%)的飏线在此时段产生。这可能是由于在午后,太阳辐射,导致地表升温,上升速度加快,对流发展旺盛,有利于对流系统的产生(王磊等,2013;Jirak et al,2003;Maddox,1980),且在冷涡系统下容易形成位势不稳定层结,因此易形成飏线。

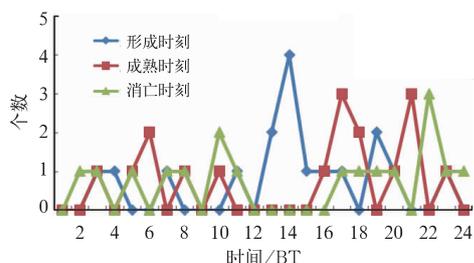


图5 飏线的日变化特征

Fig. 5 Daily variation characteristics of squall lines

飏线的成熟时间在16—18时的有6条,此时为飏线成熟期的高峰期,飏线成熟期发生在18—24时的有5条,飏线一般在午后到夜间发展成熟,在上午时段较少,飏线一般在夜间减弱消失。

2.2.3 生命史和最大强度

10条(占58.8%)飏线的生命史为6 h以上。而Meng等(2013)中国东部飏线中61条(占64.8%)飏线的生命史为3~5 h,Meng等(2012)所有台前飏线的生命史均为3~5 h,生命时长较短。冷涡背景下飏线最大强度为60~65 dBz的飏线有10条(约为64%),Meng等(2012)对中国东部飏线的统计表明64.7%的飏线强度为55~60 dBz。冷涡背景下的飏线过程均为强飏线过程,生命史长,强度大。这可能与冷涡的生命周期较长有关,在冷涡背景下,持续不断的冷空气对对流的触发和对飏线的组织和维持机制需要做进一步的分析研究。

2.2.4 飏线与冷涡的发展阶段关系

本文根据500 hPa位势高度场的演变趋势作为划分冷涡不同阶段的标准,冷涡的发展增强阶段:500 hPa闭合等高线值降低至最低值的过程。冷涡成熟阶段:500 hPa闭合等高线值较前后时刻增强或减弱趋势不明显。冷涡的消亡阶段:闭合等高线值从最低值开始减弱。

飏线在冷涡的各个阶段都可以产生,尤其是冷涡的形成阶段较多(8条),在冷涡的成熟阶段产生的飏线数量次之(6条)。消亡阶段生成的飏线最少(3条),与冷涡背景下MCS形成情况一致(王磊等,2013)。产生在冷涡的形成期的飏线基本出现在我国的华北、东北地区,飏线的强度较小(55~60 dBz的有6条),持续时间比产生在冷涡成熟期的飏线短(一半在4~5 h内),冷涡形成期产生的飏线的移动速度大部分均在 $10\sim 14\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 内,产生在冷涡的成熟期的飏线最大雷达反射率均在60~65 dBz,均在5 h以上,移动速度也较快,均在 $18\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上。

中尺度天气多发生在冷涡发展和维持阶段,白人海等(1997)指出在冷涡的发展维持阶段,温压结构不稳定、大气斜压强,这种不稳定形式有利于强对流的发生,在一定组织条件下可形成飏线。飏线也会产生在冷涡的消亡期,可能是由于当冷涡逐渐减弱,槽后还有源源不断的冷空气补充的缘故。

3 冷涡背景下飊线的移动特征

3.1 移动方向

将飊线的形成(40 dBz 区域第一次出现的时刻)、成熟(飊线达到最大长度的时刻)、消散(飊线不再维持最大长度时刻)位置(形心位置)点绘在图中,并将三个位置连接,即飊线的移动路径(图 6)。从

图 6a 中可以看出,冷涡背景下的飊线一部分受西风带系统影响自西向东偏南方向移动。另一部分(图 6b,6c,6d)由西北向东南方向移动,这可能是由于多单体结构风暴的运动是平流和传播的合成(吴正华等,1992)。飊线的移动与对流回波、出流边界以及引导气流等相关(郑媛媛等,2014),再加上冷涡系统的影响,所以冷涡背景下飊线的移动方向存在不一致性。

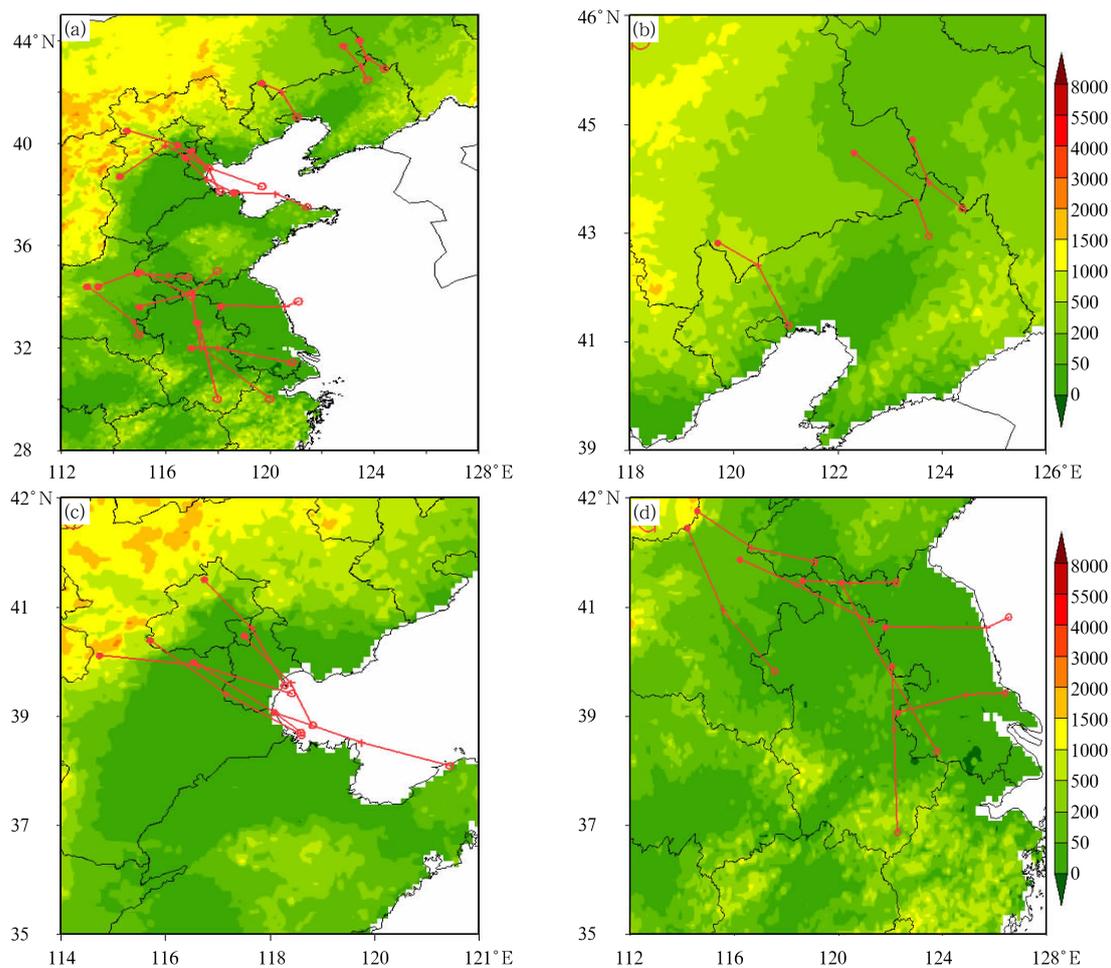


图 6 (a)17 条飊线的移动路径,(b)东北地区的飊线移动路径,
(c)华北地区的飊线移动路径,(d)江淮流域的飊线移动路径
(•+○ 分别代表形成、成熟、消散位置,阴影表示地形)

Fig. 6 The moving path of squall lines

(a) 17 squall lines, (b) Northeast, (c) North China, (d) Changjiang-Huaihe River Basin
(•+○ respectively represent locations of formation, maturity and dissipation; shadow represents terrain)

3.2 移动速度

冷涡背景下的飊线的移动速度比台前飊线(Meng et al,2012)的移动速度均较大,82%的台前

飊线移动速度在 $14 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以内,而本文统计的飊线一半以上(58%)在 $14 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上。飊线离冷涡中心越近,飊线的移动速度越慢。靠近冷涡中心的三条飊线,速度均在 $10 \sim 14 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,远离冷涡中心

位置的飚线的移动速度较大,但又存在差异,有9条飚线的移动速度达到了 $18 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上,占52.9%。

发生在冷涡不同阶段的飚线移动速度不一样,在冷涡形成期产生的飚线的移动速度明显比在冷涡成熟期产生的飚线的移动速度慢,在冷涡形成期产生的飚线的移动速度大部分均在 $10 \sim 14 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,而在冷涡成熟期产生的飚线的移动速度均在 $18 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上,最大的达到了 $26 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。这可能是由于在冷涡的发展成熟阶段,对流发展旺盛。

4 冷涡背景下飚线形成与消散方式

4.1 冷涡背景下飚线的形成方式

Bluestein 等(1985)将飚线的形成方式分为四类(图7):(1)嵌套区线型(embedded areal,EA):中尺度对流回波带嵌在大片降水回波中而形成飚线。(2)断续线型(broken line,BL):在低层辐合带上,当对流发生的条件成熟时,沿辐合带不断形成小的对流单体,形成飚线。(3)离散区线型(broken areal,BA):小的对流单体大片零星形成,一旦受到某种中尺度系统的组织,零星单体集成成带,镶嵌移动或者传播形成飚线。(4)后续线型(back building,BB):在低层辐合带的某一部分不断有对流单体生成,或在老单体后部生成新单体并与老单体合并,移出的单体不断发展成熟,最后形成飚线。根据此分类方案,如表2本文统计飚线的形成方式中主导方

式为EA型,共10条飚线(图8a~8j),比例达58.8%。Meng等(2013)对中国东部飚线统计中EA型有20条,占21%,Bluestein等(1985)对Oklahoma春季飚线的统计中EA型有5条,占12.5%,本文统计的飚线有4条形成方式是BL型(图8k~8n),占23.5%。Meng等(2013)统计的中国东部飚线中BL型占38%,Bluestein等(1985)对Oklahoma春季飚线的统计中BL型有14条,占35%。本文统计的形成方式为BA型(11.8%,图8o,8p)和BB型(5.9%,图8q)的飚线所占的比例低于Meng等(2013)所统计的结果(BA 19%,BB 22%)和Bluestein等(1985)对Oklahoma春季飚线的统计结果(BA 20%,BB 32.5%)。

表2 飚线形成方式统计表

形成方式	杨珊珊等	Bluestain 等(1985)	Meng 等(2013)
EA	10	5	20
BL	4	14	37
BA	2	8	18
BB	1	13	21

冷涡背景下的飚线过程大都伴随着短时强降水(14条),3条飚线伴随着冰雹天气。最大短时降水可达 $112 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 。图9a~9d显示的是2013年7月1日一次嵌套区线型(EA)飚线过程,在飚线的形成过程中,对应地区均出现短时强降水(黑框内区域降水为 $20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 以上)。图9e~9h显示的是断续线型(BL),对流单体一边发展,一边逐渐弥合组成一带状对流回波并向前移动,形成飚线,伴随此次过程的短时强降水在16时达最大 $61 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 。图9i~9l显示的是2009年6月5日江苏、安徽交界处的一次离散区线型(BA)飚线过程,小时雨量在19时最大达 $42 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 。图9m~9p显示的是2011年8月1日吉林省和内蒙古交界处的一次后续线型(BB)飚线过程,这种形成方式的飚线范围比其他形成方式的飚线的长度宽度都小,小时雨量在17时达最大 $47 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

图10是形成方式为EA型的飚线过程:在冷涡的东南部出现大片降水回波。在00时(图10a)大片降水回波中出现对流单体,06时(图10b)降水回波内的对流单体个数增多,12时(图10c)多个对流单体发展合并成线状,飚线发展成熟。图10所示伴随飚线的形成过程925 hPa有辐合线出现,飚线沿辐合线形成。925 hPa上超低空急流由湖北一直伸

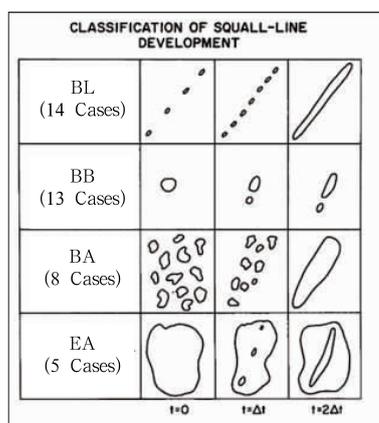


图7 飚线形成方式理想化示意图

(Bluestein et al,1985)

Fig.7 Idealized depiction of squall-line formation

(Bluestein et al,1985)

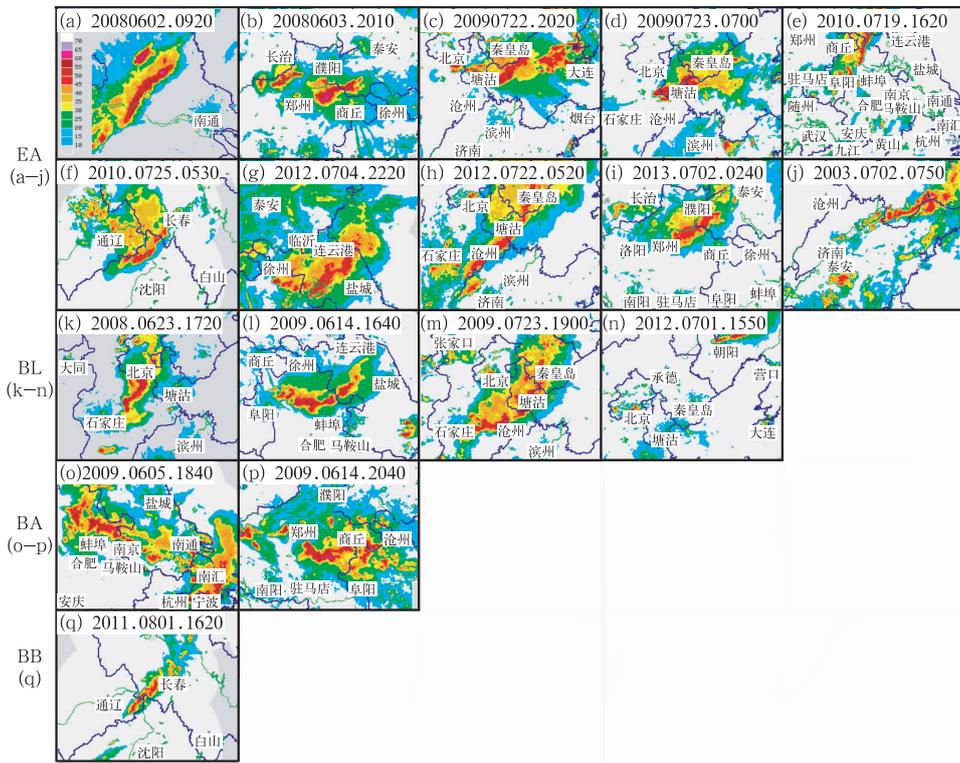


图 8 17 条飚线成熟时刻雷达回波图(单位: dBz)

Fig. 8 Composite radar reflectivity(color shaded,unit: dBz) of all 17 squall lines at their mature stages

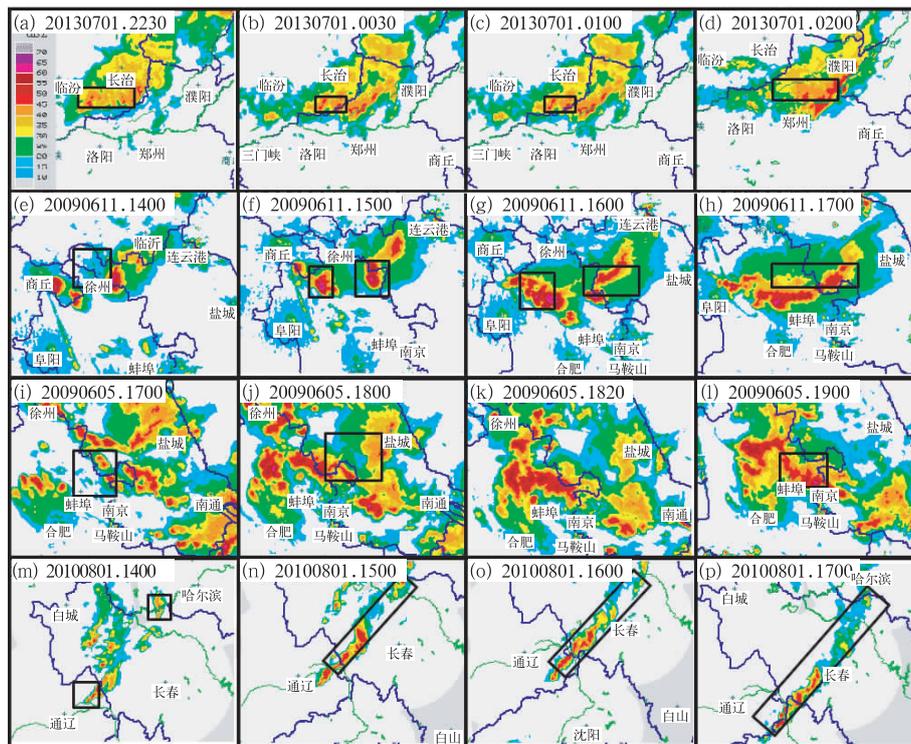


图 9 冷涡背景下飚线的形成方式示意图

(a,b,c,d)2013 年 7 月 1 日 EA 型,(e,f,g,h)2009 年 6 月 11 日 BL 型,
(i,j,k,l)2009 年 6 月 5 日 BA 型,(m,n,o,p)2010 年 8 月 1 日 BB 型
(黑框内为短时强降水区域)

Fig. 9 The composite radar reflectivity (shading in dBz) of four examples of the squall lines with different formation modes (a,b,c,d) EA on 1 July 2013, (e,f,g,h) BL on 11 June 2009, (i,j,k,l) BA on 5 June 2009, (m,n,o,p) BB on 1 August 2010

至河北中部,南方暖湿空气源源不断地向北输送。飊线成熟阶段对应地区水汽通量散度为负(图 10c),水汽供应充足,为飊线的发生提供了很好的水汽条件。

在冷涡背景下,冷涡的南部往往有很强的自南输送来的水汽通量,南方潮湿空气源源不断的输送

至冷涡前半部分,而且在冷涡的前半部易存在水汽辐合,在冷涡的前部容易有不稳定层结的形成(白人海等,1997),东北冷涡型强对流区域 850 hPa 或 925 hPa 有辐合线存在(郑媛媛,2014),Meng 等(2013)指出 EA 型飊线多产生于高潮湿环境中。因此冷涡背景下易形成 EA 型飊线。

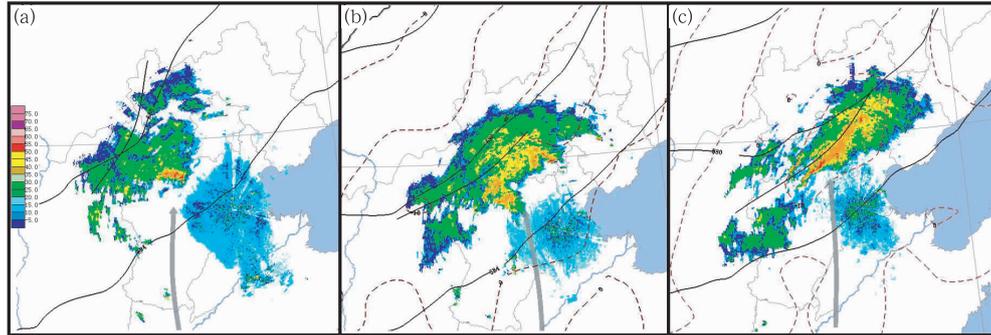


图 10 2012 年 7 月 21 日 00 时(a),06 时(b),12 时(c)雷达反射率(彩色阴影区,单位 dBz)、500 hPa 高度场(黑实线)、水汽通量散度(虚线)、925 hPa 辐合线(单实线)及 925 hPa 急流轴(灰箭头)

Fig. 10 The radar reflectivity (color shadow, unit: dBz), 500 hPa height (black solid line) and 925 hPa vapor flux divergence (dashed line, unit: $10^{-5} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$), 925 hPa convergence line (single solid line), 925 hPa jet (grey line with arrow) in 00 BT (a), 06 BT (b) and 12 BT (c) 21 July 2012

4.2 冷涡背景下飊线的消散方式

根据 Meng 等(2013)对飊线消散方式的分类方法将飊线分为三类(图 11): (1)颠倒破碎面型(reversed broken areal, RBA):对流带逐渐消散,变成分散的对流单体。(2)倒虚线型(reversed broken line, RBL):连续的 40 dBz 带分解成几个对流细胞并逐渐消散。(3)收缩线型(shrinking line, SL):40 dBz 带连续收缩,飊线逐渐消散。根据本文的统

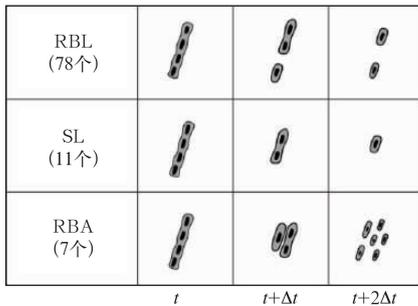


图 11 飊线的消散方式示意图 (Meng et al,2013)

Fig. 11 Idealized depiction of squall-line dissipation (Meng et al,2013)

计,冷涡背景下飊线中 RBA 型有 10 条,4 条为 RBL 型,收缩线型 SL 有 3 条,SL 型所占比例最少。如图 12 所示,EA 型飊线的消散方式大部分为 RBA 型。

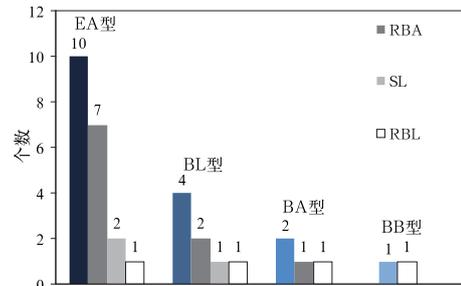


图 12 飊线的形成方式(EA、BL、BA、BB),消散方式(RBA、SL、RBL)

Fig. 12 Formation mode (EA, BL, BA, BB), dissipation mode (RBA, SL, RBL)

飊线消散阶段也会伴随着短时强降水,强度明显比飊线形成过程弱。图 13 为三种典型的飊线消散方式的雷达回波拼图,其中图 13a~13c 是 2009 年 6 月 5 日安徽境内的一次飊线过程,这次飊线过

程的消散方式呈明显的倒虚线型。图 13d~13f 为 2013 年 7 月 2 日河南境内的一次飊线过程,此次飊线过程的消散方式呈现典型的收缩线型,此过程中

21 时的小时雨量达 $16 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 。图 13g~3i 为 2008 年 6 月 2 日江苏境内的一次飊线过程,其消散方式呈典型的颠倒破碎面型。

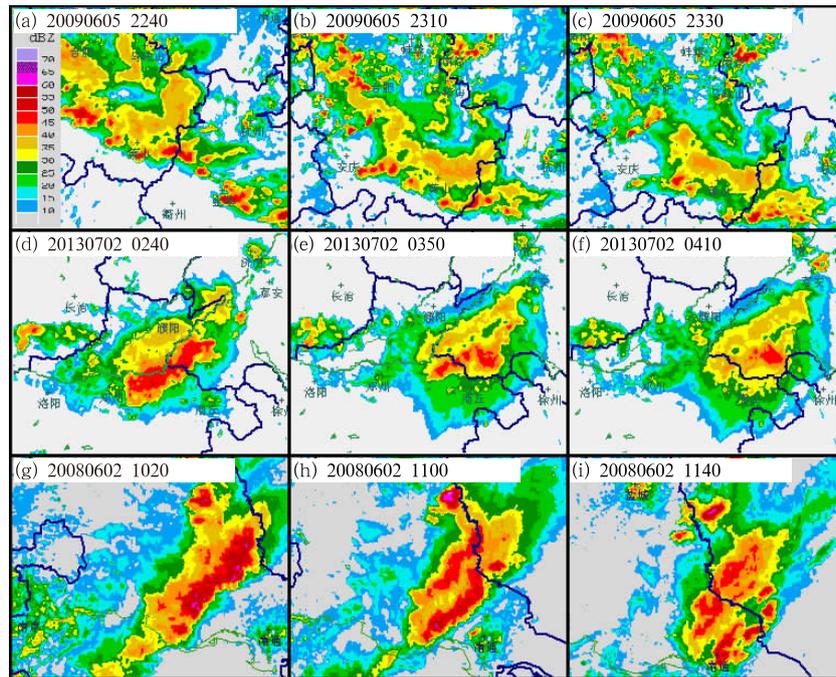


图 13 冷涡背景下飊线的消散方式示意图:(a,b,c)2009 年 6 月 5 日倒虚线型, (d,e,f)2013 年 7 月 2 日收缩线型,(g,h,i)2008 年 6 月 2 日颠倒破碎面型

Fig. 13 Three examples of the squall lines with different dissipation modes

(a,b,c) RBL on 5 June 2009, (d,e,f) SL on 2 July 2013,

(g,h,i) RBA on 2 June 2008

5 结 论

本文探讨的 2008—2013 年期间冷涡背景下飊线的时空特性和冷涡的关系等,基于 500 hPa 天气图识别筛选出冷涡过程、利用雷达资料是被筛选出飊线过程,利用 FNL 资料等,对冷涡背景下飊线进行统计分析,并得出下面几点结论:

(1)2008—2013 年 6 年共识别出 73 个冷涡,主要形成在蒙古和我国东北地区。73 个冷涡过程共识别出了 17 条飊线,飊线主要形成于我国江淮流域、华北地区和东北地区。

(2)冷涡背景下的飊线基本发生在 6、7 和 8 月,约 58.8%发生在 7 月,而且冷涡背景下飊线的发生有明显的日变化,约 52.9%的飊线发生于午后到傍晚。

(3)冷涡背景下的飊线主要形成在冷涡的南部,东南部也有一小部分。在冷涡的不同时期形成的飊线与冷涡的相对位置不同,在冷涡的形成期产生的飊线大都位于冷涡的东南部,而在冷涡的成熟期和消亡期产生的飊线都位于冷涡的西南部。

(4)冷涡背景下的飊线一部分受西风带系统影响自西向东偏南方向移动,另一部分由西北向东南方向移动,但是由于受对流回波、出流边界引导气流和冷涡系统的影响,具体移动方向具有不一致性。冷涡背景下的飊线移速较快。

(5)本文统计的冷涡背景下飊线过程大都伴随短时强降水,主要形成方式为嵌套区线型(EA 型),主要消散方式为颠倒破碎面型(RBA 型),EA 型飊线多产生于高潮湿环境中,东北冷涡往往伴有很强的向北输送的水汽通道,使水汽源源不断地从南向冷涡前半部输送,且在那里辐合,水汽供应充足。

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):6-7,12.
- 白人海,谢安.1998.东北冷涡过程中的飏线分析.气象,24(4):37-40.
- 陈贵川,湛芸,张勇,等.2013.“12.7.21”西南涡极端强降雨的成因分析.气象,39(12):1529-1541.
- 房一禾,龚自强,陈海山.2016.东北冷涡降水集中期的客观识别研究.气象,42(1):80-88.
- 傅慎明,孙建华,张敬萍,等.2015.一次引发强降雨的东北冷涡的演变机理及能量特征研究.气象,41(5):554-565.
- 何晗,湛芸,肖天贵,等.2015.冷涡背景下短时强降雨的统计分析.气象,41(12):1466-1476.
- 郝彦娜.2013.华北和东蒙冷涡的天气学特征及其中尺度对流系统发生发展研究.南京信息工程大学.
- 孙力,郑秀雅.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.
- 唐晓玲,等.1997.吉林省冷涡降雹的若干统计事实.沈阳:辽宁出版社,1-2.
- 王磊,湛芸,张仙,等.2013.冷涡背景下MCS的统计分析.气象,39(11):1385-1392.
- 吴正华,丁一汇.1992.甚短期天气预报.北京:气象出版社,109-116.
- 杨涵涌,封国林,沈柏竹,等.2012.中国夏季东北冷涡强度的定量分析.大气科学,36(3):487-494.
- 杨吉,郑媛媛,夏文梅,等.2015.雷达拼图资料上中尺度对流系统的跟踪与预报.气象,41(6):738-744.
- 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.
- 余志敏.1988.冷涡形势下强飏线的雷达探测和临近预报.气象,14(7):8-14.
- 郁珍艳,何立富.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):1570-1579.
- 郑媛媛,张雪晨,朱红芳,等.2014.东北冷涡对江淮飏线生成的影响研究.高原气象,33(1):261-269.
- Bluestein H B, Jain M H. 1985. Formation of mesoscale lines of precipitation: severe squall lines in Oklahoma during the spring. J Atmos Sci, 42(16):1711-1732.
- Chen GT -J, Chou H -C. 1993. General characteristics of squall lines observed in TAMEX. Mon Wea Rev, 121:726-733.
- Grady R L, Verlinde J. 1997. Triple-Doppler analysis of a discretely propagating, long-lived, high plains squall line. J Atmos Sci, 54: 2729-2748.
- Geerts B. 1998. Mesoscale convective systems in the southeast United States during 1994-95: A survey. Wea Forecasting, 13: 860-869.
- Jirak I L, Cotton W R, McAnelly R L. 2003. Satellite and radar survey of mesoscale convective system development. Mon Wea Rev, 131(10):2428-2439.
- Maddox R A. 1980. Mesoscale convective complexes. Bull Amer Meteor Soc, 61:1374-1387.
- Meng Z, Yan D, Zhang Y. 2013. General features of squall lines in East China. Mon Wea Rev, 141:1629-1647.
- Meng Z, Zhang Y. 2012. On the squall lines preceding landfalling tropical cyclones in China. Mon Wea Rev, 140:445-470.
- Parker M D, Johnson R H. 2000. Organizational modes of midlatitude mesoscale convective systems. Mon Wea Rev, 128:3413-3436.