

王磊, 谌芸, 张仙, 等. 2013. 冷涡背景下 MCS 的统计分析. 气象, 39(11):1385-1392.

冷涡背景下 MCS 的统计分析^{* 1}

王 磊¹ 谌 芸² 张 仙³ 曾 波⁴

1 成都信息工程学院, 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

4 成都高原气象研究所, 成都 610072

提 要: 文章首先给出冷涡的定义, 根据冷涡的定义识别出冷涡, 2005—2011 年 4—9 月 7 年共识别出 60 个冷涡, 主要形成在蒙古和我国的东北地区。然后根据中尺度对流系统(MCS)的标准按尺度大小将 MCS 分类为 α 中尺度对流系统($M_{\alpha}CS$)和 β 中尺度对流系统($M_{\beta}CS$), 又按 MCS 的形状将 $M_{\alpha}CS$ 分类为中尺度对流复合体(MCC)和持续拉长状对流系统(PECS), $M_{\beta}CS$ 分类为 β 中尺度对流复合体($M_{\beta}CC$)和 β 中尺度持续拉长状对流系统($M_{\beta}ECS$)。利用 FY-2C(2005—2009 年)和 FY-2E(2010—2011 年)的 TBB 资料对 60 个冷涡背景下的 MCS 进行识别并对其时空分布特征及其与冷涡的关系进行统计分析。结果表明:(1) 60 个冷涡过程识别出 61 个 MCS, MCS 通常产生在我国东北和华北, MCC 和 PECS 生成较分散; $M_{\beta}CC$ 主要集中在华北和东北地区; $M_{\beta}ECS$ 主要集中在东北地区。(2) 6 月生成的 MCS 最多, 有 16 个, 9 月最少。MCS 大多形成于当地的下午和晚上, 此时对流发展旺盛, 有利于中尺度对流系统的产生, 到了夜间 MCS 发展成熟, 至凌晨一日出时分消散。(3) 冷涡背景下的 MCS 的移动路径多数是从西向东偏北的, 其生成后主要向东移动, 这和我国中纬度西风带天气系统的移动路径基本一致, 但由于受冷涡等天气系统的影响, 会出现不同的移动方向。位于冷涡东侧且距离冷涡中心距离较近的 MCS 有向东偏北方向移动的趋势; 位于冷涡南侧且距离中心较远的 MCS 有向东偏南方向移动的趋势。(4) 冷涡背景下的 MCS 主要产生在冷涡的发展阶段, 成熟和消散阶段相对较少。(5) 冷涡背景下的 MCS 主要形成在冷涡的东南部, 西南部也有一小部分。(6) $M_{\beta}CS$ 系统发展较 $M_{\alpha}CS$ 系统快, 持续的时间也较 $M_{\alpha}CS$ 短。

关键词: 冷涡, MCS, 统计分析

中图分类号: P458

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2013.11.001

Statistical Analysis of Mesoscale Convective System in the Context of Cold Vortex

WANG Lei¹ CHEN Yun² ZHANG Xian³ ZENG Bo⁴

1 Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225

2 National Meteorological Centre, Beijing 100081

3 Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

4 Institute of Plateau Meteorology, CMA, Chengdu 610072

Abstract: Cold vortex is identified based on the definition of cold vortex, and 60 cold vortexes are identified in 2005—2011, formed mainly in the northeastern region of China and Mongolia. According to the size, the mesoscale convective system (MCS) is classified into meso- α scale convective system ($M_{\alpha}CS$) and meso- β scale convective system ($M_{\beta}CS$). Then, $M_{\alpha}CS$ is classified into mesoscale convective complex (MCC) and persistent elongated convective system (PECS), while $M_{\beta}CS$ into meso- β scale convective complex

* 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 5 月 7 日收修定稿

第一作者: 王磊, 主要从事中尺度气象研究. Email: tjnhltwl@163.com

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

(M β CC) and meso- β elongated convective system (M β ECS). Based on the FY-2 geostationary satellite infrared images the MCS is identified and its spatial-temporal features and its relationship with the 60 cold vortexes are analyzed. The result reveals: (1) 61 MCSs are identified; MCS usually appears in Northeast China and North China; MCC and PECS are generated more decentralized. M β CC mainly concentrates in Northeast China and North China and M β ECS mainly in Northeast China. (2) MCS in June is the most and in September the least. Most MCSs are produced in the afternoon and dusk when the convection is prosperous and conducive to production of MCS. MCS gets matured at night and dissipates in the early morning. (3) Most MCSs move from west to east, consistent with the motion of westerlies weather system in middle latitude in China. However due to the impact of cold vortex and other weather systems, there exist different moving paths. The MCS located in the east of cold vortex and near the cold vortex center has the trend of moving easterly and northerly; the MCS in the south of cold vortex and far from the cold vortex center has the trend of moving east-southeast. (4) Most MCSs are generated in the developly stage of cold vortex. (5) MCS is mainly produced in the southeast of cold vortex. (6) M β CSs develop faster than M α CSs, and the lasting time is shorter than M α CSs.

Key words: cold vortex, MCS, statistical analysis

引 言

冷涡在我国一年四季都可以出现,是影响我国北方地区的主要天气系统之一。陶诗言等(1979)指出东北低压或冷涡型是我国暴雨的特点之一,常常造成东北地区、华北北部暴雨或雷阵雨。也有研究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(郁艳珍等,2011)。由此可以看出冷涡常给我国北方地区带来大风、冰雹、雷电等强对流天气。强对流天气给各行各业及人们生活带来的灾害有目共睹,破坏力极大,其影响波及到农业、工业、电力、通讯、城市建设、航空、交通运输等各行各业,严重危及到人民的生命财产安全。而强对流天气多数是由中尺度对流系统(MCS)所引起的, MCS所引发的暴雨突发性强、强度大、历时短,常造成突发性局地暴雨并引起山洪、滑坡、泥石流等自然灾害。因此研究冷涡背景下的 MCS 的特征及其与冷涡的关系对冷涡强对流天气的研究和预报有重要的意义。目前我国对 MCS 的研究主要集中在 MCS 的分布、云图、降水特征、成因等方面(陶祖钰等,1998;郑永光等,2002;2004;杨本湘等,2005;马禹等,1997;陈乾,1989;陈涛等,2013;李云静等,2013)。

对于冷涡背景下 MCS 的研究,其中有对 MCS 的数值模拟。姜学恭等(2001)利用 MM5 非静力模式成功对 1998 年 8 月 8—9 日一次东北冷涡暴雨过程进行了数值模拟,揭示了此次过程的一些中尺度

特征。陈力强等(2005)应用 MM5 模式对 2002 年 7 月 12 日东北冷涡诱发的强风暴进行了数值模拟,较成功地模拟出了 MCS 强对流风暴结构。袁美英等(2010)分析了冷涡背景下 MCS 引发的一次短时特大暴雨过程中 MCS 的发展过程,及其发生的天气尺度背景和中尺度环境与触发机制。白人海(1998)对冷涡过程中的飏线从天气尺度环流背景、大尺度动力条件和中尺度系统等几个方面进行了分析。本文利用 2005—2011 年 4—9 月风云 2 号地球静止卫星红外数字图像资料和中国气象局提供的每日两次的 500 hPa 天气图资料,识别出冷涡和冷涡背景下的 MCS,继而得出冷涡背景下 MCS 的特征及 MCS 与冷涡的关系。

1 冷涡的定义及识别

对于冷涡的定义,多数研究都是针对东北冷涡(孙力,1994):(1)在 500 hPa 天气图上至少能分析出一条闭合等高线,并有冷中心或明显冷槽配合的低压环流系统;(2)冷涡出现在 35°~60°N、115°~145°E 范围内;(3)冷涡在上述区域内的生命史至少为 3 d 或 3 d 以上。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,所以本文所识别的冷涡定义是:500 hPa 上天气图上 35°~60°N、100°~145°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 3 d 或 3 d 以上。

根据上述冷涡的定义,利用中国气象局提供的

每日两次的 500 hPa 天气图资料,识别出 2005—2011 年 4—9 月共 60 个冷涡过程,以 5 月出现的冷涡个数最多,有 16 个,4 和 6 月次之,9 月最少,只有 5 个。这是因为 5 和 6 月是春夏交替时期,冷暖空气活动比较活跃。而 9 月的大气状态相对稳定。冷涡的个数相对较少。冷涡一共出现了 223 d,占该时期总天数的 17.3%,平均持续 3.7 d,由此可以看出冷涡是影响我国的一个重要天气系统。60 个冷涡的形成位置的地理分布如图 1 所示,可以看出冷涡主要形成在贝加尔湖的东部,主要集中在蒙古和我国的东北地区。图中圈起的三个区域为冷涡形成的密集区,三个集中区域分别为 I:贝加尔湖东南部到我国内蒙古之间;II:蒙古和我国内蒙古北部的交界处;III:贝加尔湖东部到我国内蒙古东北部之间。本文后面还将对这三个区域进行研究。

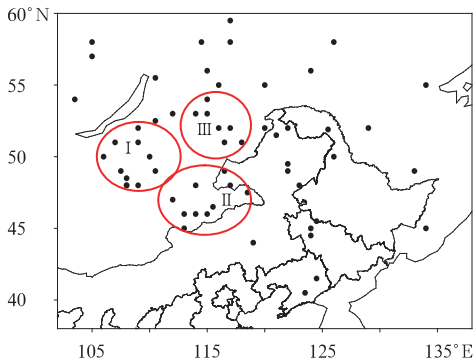


图 1 2005—2011 年 4—9 月 60 个冷涡形成位置的地理分布图

Fig. 1 Geographical distribution of the 60 cold vortices formed in April–September of 2005–2011

2 冷涡背景下 MCS 的时空分布特征

2.1 MCS 的识别标准

对于 MCS 的分类标准有很多种,其中 Maddox (1980)最早利用红外卫星云图,根据生命史、形状大小和云顶亮温等参数,定义了中尺度对流复合体(MCC)(表 1),并规定了四个条件:(1)云团中云顶亮温 $\leq -32^{\circ}\text{C}$ 的冷云盖面积 $\geq 100000\text{ km}^2$;(2)云团中云顶亮温 $\leq -52^{\circ}\text{C}$ 的冷云盖面积 $\geq 50000\text{ km}^2$;(3)当云顶亮温 $\leq -32^{\circ}\text{C}$ 的冷云盖面积达到最大时,其偏心率(短轴/长轴) ≥ 0.7 ;(4)云团持续时

间 $\geq 6\text{ h}$ 。当满足以上四个条件时,就称为 MCC。根据这个识别标准,有些 MCS 会被遗漏掉。本文中,根据 Jirak 等(2003)对 MCS 进行的分类方法,将 MCS 划分为四类,即 α 中尺度对流系统($M_{\alpha}\text{CS}$)和 β 中尺度对流系统($M_{\beta}\text{CS}$),其中 $M_{\alpha}\text{CS}$ 包括中尺度对流复合体(MCC)和持续拉长状对流系统(permanent elongated convective system, PECS), $M_{\beta}\text{CS}$ 包括 β 中尺度对流复合体(meso- β scale MCC, $M_{\beta}\text{CC}$)和 β 中尺度持续拉长状对流系统(meso- β scale PECS, $M_{\beta}\text{ECS}$)。这种划分标准既考虑了 MCS 的大小,同时又兼顾了维持时间和形状,是一种较为科学的划分标准。在本文中,降低了偏心率的标准。如表 2 所示,其中偏心率指 MCS 外形所拟合椭圆的短轴与长轴之比。识别 MCS 所用的资料为 2005—2011 年 4—9 月 FY-2C(2005—2009 年)和 FY-2E(2010—2011 年)地球静止卫星红外云图资料,水平分辨率为 $0.05^{\circ}\times 0.05^{\circ}$,时间分辨率基本为 0.5 h(部分时段间隔 1 h)。

表 1 Maddox(1980)的 MCC 定义

Table 1 Definition of MCC by Maddox (1980)

物理特征	
尺度	(a) TBB 值 $\leq -32^{\circ}\text{C}$ 的连续冷云区面积 $\geq 100000\text{ km}^2$; (b) TBB 值 $\leq -52^{\circ}\text{C}$ 的连续冷云区面积 $\geq 50000\text{ km}^2$
生成	第一次满足(a)和(b)的时刻
生命期	满足(a)和(b)的时间 $\geq 6\text{ h}$
最大的空间范围	连续冷云罩(TBB 值 $\leq -32^{\circ}\text{C}$)的最大面积
形状	在最大空间范围时椭圆率(短轴/长轴) ≥ 0.7
消亡	不再满足(a)和(b)的时刻

2.2 冷涡背景下 MCS 的空间分布特征

依据 MCS 的分类标准,对 2005—2011 年 4—9 月 60 个冷涡背景下的 MCS 进行普查,挑选出对我国产生影响 MCS 共 61 个,这 61 个 MCS 是产生在 60 冷涡中其中的 31 个冷涡的背景下的。文章后面对冷涡和 MCS 的关系研究主要是针对 31 个冷涡及其背景下的 61 个 MCS 展开的。61 个 MCS 中有 $M_{\alpha}\text{CS}$ 24 个, $M_{\beta}\text{CS}$ 37 个。 $M_{\alpha}\text{CS}$ 中有 4 个 MCC, 占 MCS 总数的 6.6%; 20 个 PECS, 占 32.8%; $M_{\beta}\text{CS}$ 中 16 个 $M_{\beta}\text{CC}$, 占 26.2%; 21 个 $M_{\beta}\text{ECS}$, 占 34.4%; 拉长状 MCS 占总数的 67.2%, 这表明较小尺度的 MCS 和拉长状 MCS 是冷涡背景下产生的主要对流系统。

表 2 MCS 的分类标准

Table 2 Classification criterion of MCS

MCS 类型	尺度标准	持续时间	形状(偏心率定义)
MCC	TBB 值 $\leq -52^{\circ}\text{C}$ 的连续冷云区面积 $\geq 50000 \text{ km}^2$	满足尺度标准时间 $\geq 6 \text{ h}$	最大尺度时偏心率 ≥ 0.5
PECS	TBB 值 $\leq -52^{\circ}\text{C}$ 的连续冷云区面积 $\geq 50000 \text{ km}^2$	满足尺度标准时间 $\geq 6 \text{ h}$	$0.2 \leq$ 最大尺度时偏心率 < 0.5
$M\beta\text{CCS}$	TBB 值 $\leq -52^{\circ}\text{C}$ 的连续冷云区面积 $\geq 30000 \text{ km}^2$	满足尺度标准时间 $\geq 3 \text{ h}$	最大尺度时偏心率 ≥ 0.5
$M\beta\text{ECS}$	TBB 值 $\leq -52^{\circ}\text{C}$ 的连续冷云区面积 $\geq 30000 \text{ km}^2$	满足尺度标准时间 $\geq 3 \text{ h}$	$0.2 \leq$ 最大尺度时偏心率 < 0.5

图 2 是冷涡背景下的 MCS 形成位置的地理分布图,从图中我们可以看出冷涡背景下的 MCS 通常产生在我国东北和华北地区,MCC(图中●)和 PECS(图中■)生成较分散; $M\beta\text{CCS}$ (图中▲)主要集中在我国华北和东北地区; $M\beta\text{ECS}$ (图中○)主要集中在东北和江淮地区。总的来看,冷涡背景下的 MCS 主要生成于我国的东北和华北地区,主要位于冷涡的形成位置的下游地区。

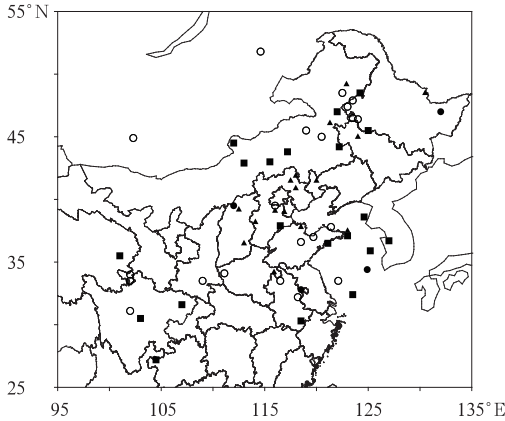


图 2 2005—2011 年 4—9 月冷涡背景下 61 个 MCS 生成地理分布图

(●, ■, ▲, ○ 分别表示 MCC、PECS、 $M\beta\text{CCS}$ 和 $M\beta\text{ECS}$)

Fig. 2 Geographical distribution of the 61 MCSs from 2005 to 2011 on the context of cold vortex

(●, ■, ▲, ○ respectively represent MCC, PECS, $M\beta\text{CCS}$, $M\beta\text{ECS}$)

2.3 冷涡背景下 MCS 的时间分布特征

2.3.1 月分布特征

图 3 为 2005—2011 年冷涡背景下各类 MCS 的 4—9 月的分布。总的来看,6 月生成的 MCS 个数最多,有 19 个,9 月最少,仅有 3 个。这是因为 6 月是春夏两季的交换时期,冷暖空气活动活跃,冷涡生成的个数相对较多,产生 MCS 的数量较其他月份多。9 月大气状态相对稳定,所以形成的 MCS 个数

相对较少,分类来看 PECS 和 $M\beta\text{ECS}$ 在 4—9 月均可以产生, $M\beta\text{ECS}$ 和 PECS 在 6 月产生的最多,9 月最少。MCC 和 $M\beta\text{CCS}$ 不是 4—9 月全能产生,MCC 在 4、6 和 7 月都能生成,以 7 月最多; $M\beta\text{CCS}$ 在 5、6、7 和 8 月生成,5、6 和 7 月的个数相当,8 月生成的个数最少。

表 3 是 2005—2011 年冷涡背景下 MCS 的 4—9 月的整体特征,从表中我们可以看出,4—9 月 MCC 成熟时的 $TBB \leq -52^{\circ}\text{C}$ 平均面积最大,比 PECS 的大, $M\beta\text{ECS}$ 成熟时的 $TBB \leq -52^{\circ}\text{C}$ 平均面积比 $M\beta\text{CCS}$ 大;PECS 的持续时间比 MCC 长, $M\beta\text{ECS}$ 的持续时间比 $M\beta\text{CCS}$ 的时间长; $M\beta\text{CCS}$ 的偏心率最大,最小的是 $M\beta\text{ECS}$;MCC 和 $M\beta\text{CCS}$ 的偏心率都在 0.6 左右,PECS 和 $M\beta\text{ECS}$ 的偏心率都在 0.4 左右。比美国的四类相应系统的成熟面积、持

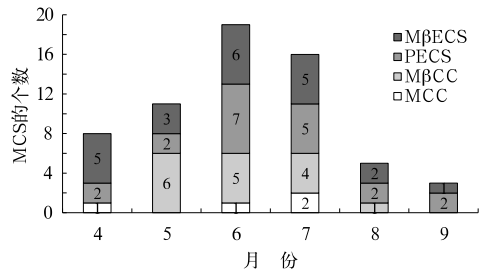


图 3 2005—2011 年我国冷涡背景下各类 MCS 4—9 月分布

Fig. 3 Distribution of all MCSs between April and September from 2005—2011 on the context of cold vortex

表 3 2005—2011 年我国冷涡背景下各类 MCS 4—9 月特征

Table 3 Characteristics of all MCSs between April and September from 2005—2011 on the context of cold vortex

MCS 类型	MCC	PECS	$M\beta\text{CCS}$	$M\beta\text{ECS}$	全部
个数	4	20	16	21	61
面积/ 10^4 km^2	19.32	17.39	5.46	8.95	12.78
偏心率	0.55	0.45	0.66	0.30	0.49
持续时间/h	9.0	9.6	6.3	6.5	7.85

续时间和偏心率小(Jirak et al, 2003),这可能是冷涡背景 MCS 的一个特点之一,具体原因还需要做进一步的分析。

2.3.2 日变化特征

图 4 是 MCS 三个阶段(形成、成熟和消散)的日变化特征。从图 4 中可以看出,MCS 的形成时间呈现多峰变化,大多形成于 06—07(午后)和 14—16 UTC,另一个形成高峰期在 18—19 UTC(凌晨)。成熟时间是单峰型,高峰期在 13—14 UTC(傍晚)。消散的高峰期在 23—24 和 17—18 UTC(凌晨)。MCS 生消和发展变化都较快。 $M\beta$ CS 的生消时刻峰值同 MCS 变化趋势一致(图略)。图 5 是 $M\alpha$ CS 三个阶段(形成、成熟、消散)的日变化特征。 $M\alpha$ CS 的形成高峰期在 15—16 UTC, $M\alpha$ CS 的成熟高峰期在 14—15、18—19 和 23—24 UTC。消散的高峰期在 19—20 和 23—24 UTC。综合分析可以得出,冷涡背景下的 MCS 多数形成于当地的下午和晚上,此时对流发展旺盛,有利于中尺度对流系统的产生,到了夜间 MCS 发展成熟,至凌晨一日出时分消散,这和所有的 MCS 日变化特征基本一致(郑永光, 2004; Jirak et al, 2003)。

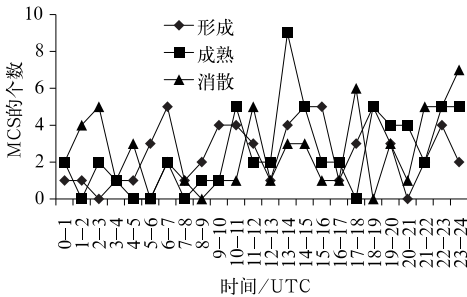


图 4 MCS 日变化特征

Fig. 4 Characteristics of daily MCS change

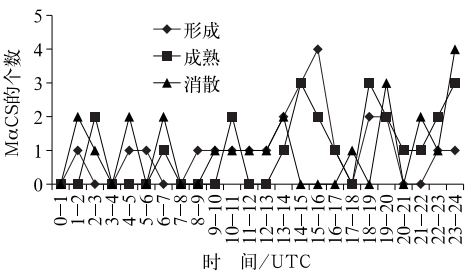


图 5 $M\alpha$ CS 日变化特征

Fig. 5 Characteristics of daily $M\alpha$ CS change

3 冷涡背景下 MCS 的移动路径

分别将四类冷涡背景下 MCS 的形成(第一次满足尺度标准的时刻)、成熟(尺度标准最大的时刻)、消散(不再满足尺度标准的时刻)的位置(亮温最低处)点绘在图中,并将三个位置连接,即 MCS 的移动路径(图 6)。从图 6 中可以看出,MCC(图 6a)主要生成在陆地上,只有一个生成在海面上,主要是自西向东偏北方向移动。 $M\beta$ CC(图 6b)系统形成于陆地上面,移动较少,主要自西向东偏北方向移动,与冷涡自西向东同时逆时针方向转动相一致。PECS(图 6c)和 $M\beta$ ECS(图 6d)移动方向较一致,有两条主要的移动路径:一条是自西向东偏北向移动,这和 $M\beta$ CC 的移向一样,与冷涡有很大的关系;另一条是自西向东偏南移动。

对比四类 MCS 移动路径可看到,PECS(图 6c)移动最大, $M\beta$ CC 移动最小(图 6b),偏心率大的 MCS 系统比偏心率小的系统移动少(圆状系统比拉长状系统移动少),具体原因还有待进一步分析。总的来看,MCS 生成后主要向东移动,这和我中纬度西风带天气系统的移动路径基本一致,但由于受冷涡天气系统的影响,移动方向具有很大的不一致性,位于冷涡东侧且距离冷涡中心距离较近的 MCS 有向东偏北方向移动的趋势;位于冷涡南侧且距离中心较远的 MCS 有向东偏南方向移动的趋势。也有少部分 MCS 生成后由东北向西南方向或由东向西移动的。同所有的 MCS 的大都向东移动的移动路径不同。

4 冷涡背景下的 MCS 与冷涡的关系

4.1 冷涡不同发展阶段 MCS 的特征

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 闭合等高线增强至最低值,定义为冷涡发展增强阶段,闭合等高线从最低值开始减弱,定义为冷涡消亡减弱阶段。若 500 hPa 闭合等高线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。图 7 是冷涡不同发展阶段 MCS 形成个数的关系图,从图 7 中我们可以看出, MCS 在冷涡的各个阶段都可以产生,尤其以冷涡的发展阶段最多,消散阶

段生成的 MCS 最少。对比四类 MCS 可以看出,在冷涡的发展阶段,PECS 生成的个数最多,MCC 的个数最少;在冷涡的成熟阶段,MβECS 的个数最多,MCC 的个数最少;冷涡的消散阶段与冷涡的成熟阶

段的情况相同。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。

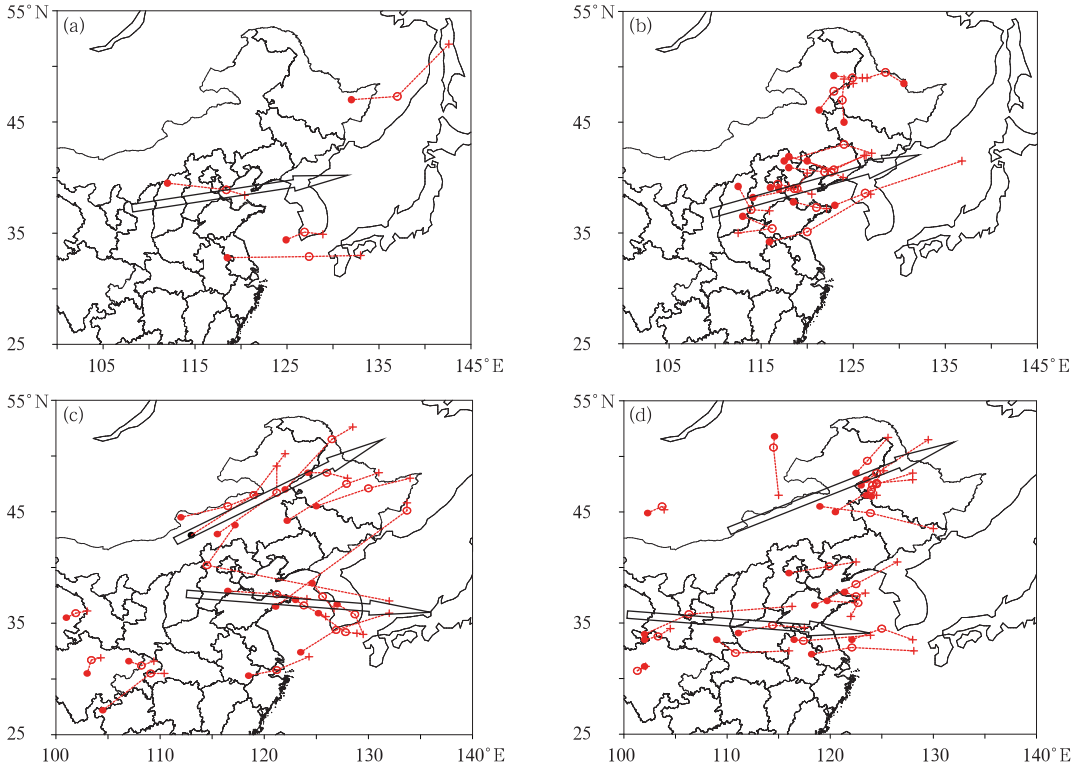


图 6 2005—2011 年 4—9 月冷涡背景下 61 个 MCS 移动路径
(a) MCC, (b) MβCC, (c) PECS, (d) MβECS
(●,○和+分别代表形成、成熟、消散位置)

Fig. 6 Shift track of 61 MCSs from 2005 to 2011
(a) MCC, (b) MβCC, (c) PECS, and (d) MβECS

(●, ○ and + respectively represent location of initiation, maturity, termination)

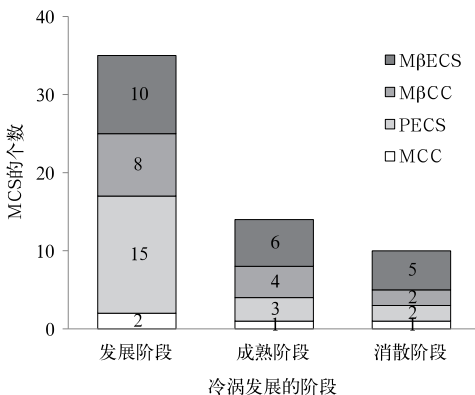


图 7 MCS 与冷涡的时间关系

Fig. 7 Time relationship between MCSs and cold vortex

4.2 冷涡与 MCS 的位置关系

为了研究冷涡与 MCS 的位置关系采用动态合成方法进行研究。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相互抵消,使得两种系统保持相对的完整。本文参考 Gray (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 为样本个数总数。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 8 中的 3 幅图分别表示的是在上文中提到的 3 个冷涡形成集中区域中形成的冷涡与 MCS 的位置关系,分别将出现在上述 3 个区域的冷涡进行动态合成,从图 1 中可以看出,在 I 区域中,一共用 10 个冷涡进行合成,从图 8a 中看出合成出的冷涡位置在贝加尔湖东南部到我国内蒙古地区, MCS 主要出现在冷涡的东南部,西南部位也可以形成 MCS。从图 8b 看出 II 区域中的 10 个冷涡合成出来的位置在我国内蒙古东北部和蒙古的交接部位, MCS 主要出现在该区域冷涡的南部。图 8c 是区域 III 中的 7 个

冷涡合成的位置,可以看出冷涡合成位置的在贝加尔湖的东部到我国内蒙古东北部之间, MCS 主要生成在冷涡的东南部。总的来看,冷涡背景下的 MCS 主要形成在冷涡的东南部,西南部也有一小部分。这与白人海等(1997)、孙力(1997)、孙力等(2010)、易笑园等(2010)和王维国(1997)的研究称强对流天气一般出现在冷涡的南部或东南部的结论也是相一致的。这是因为冷涡的南部通常是冷暖空气的交界处,此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。

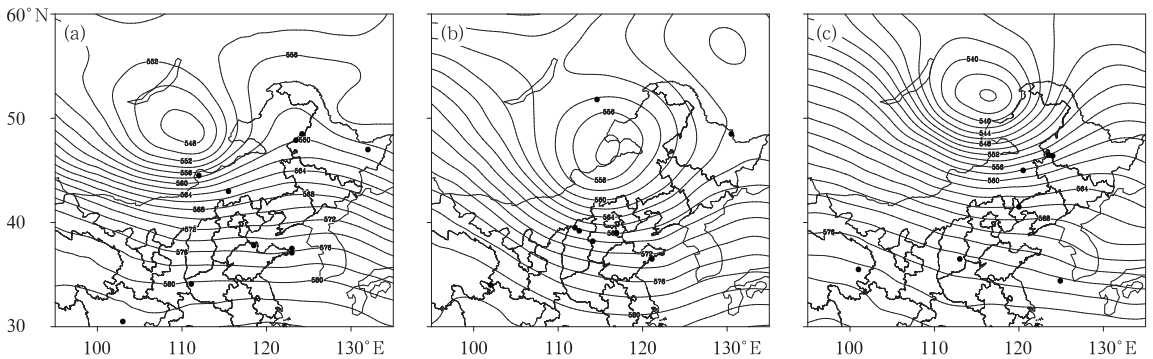


图 8 MCS 与冷涡的位置关系

(等值线表示冷涡生成时刻的 500 hPa 高度场合成,●代表 MCS 的生成位置)

Fig. 8 Location relationship between MCSs and cold vortex

(contours refer to the 500 hPa height composite at the moment of cold vortex generation, ● marks the location of MCS)

4.3 冷涡背景下的 MCS 的生命史特征

图 9 是 $M_{\alpha}CS$ 和 $M_{\beta}CS$ 的生命史特征,发展代表 MCS 从形成到成熟的过程,减弱为从成熟到消散的过程,总长就是从产生到消散共经历的时长。从图 9a 中可以看到, $M_{\alpha}CS$ 从产生到成熟和从成熟到消散均需 3~5 h, 67% 的 $M_{\alpha}CS$ 成熟和消散的时间在 3~5 h 内,发展与减弱相当, 46% $M_{\alpha}CS$ 持续

时间在 9~11 h。对于 $M_{\beta}CS$ 发展和减弱需要的时间相当,为 2~4 h, 65% 的 $M_{\beta}CS$ 的成熟时间在 2~4 h, 68% 的 $M_{\beta}CS$ 的减弱时间在 2~4 h。 β 中尺度 MCS 系统发展和减弱的速度相当,过程一般持续 5~7 h。总的来说, $M_{\beta}CS$ 系统发展较 $M_{\alpha}CS$ 系统快,持续的时间也较 $M_{\alpha}CS$ 短。冷涡背景下的 MCS 的生命史与全国 MCS 的平均生命史相一致(马禹等, 1997)。

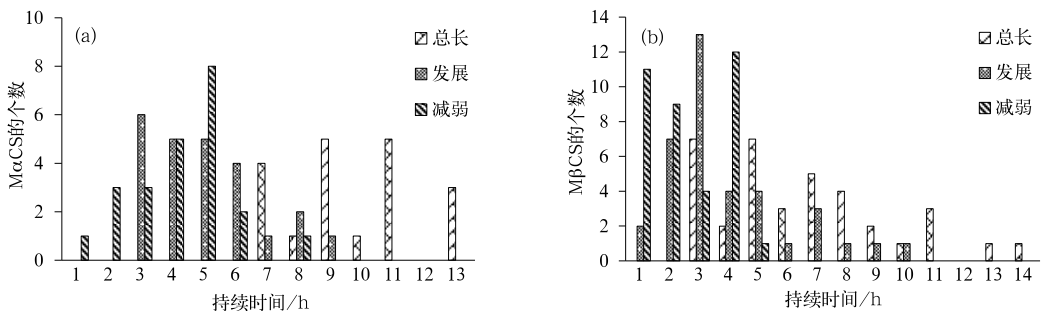


图 9 $M_{\alpha}CS$ (a)和 $M_{\beta}CS$ (b)的生命史特征

Fig. 9 Life characteristics of $M_{\alpha}CS$ and $M_{\beta}CS$

5 结 论

本文利用中国气象局提供的每日两次的 500 hPa 天气图资料识别出了冷涡,又利用 FY-2C (2005—2009 年)和 FY-2E(2010—2011 年)的 TBB 资料识别出冷涡背景下的 MCS,进而对 MCS 的特征及与冷涡的关系进行了统计分析,得出以下结论:

(1) 2005—2011 年 7 年共识别出 60 个冷涡,主要形成在蒙古和我国的东北地区。60 个冷涡过程识别出 61 个 MCS, MCS 通常产生我国东北和华北, MCC 和 PECS 生成较分散; $M\beta$ CC 主要集中在华北和东北; $M\beta$ ECS 主要集中在东北地区。

(2) 6 月生成的 MCS 最多,有 16 个,9 月最少。MCS 形成于当地的下午和晚上,此时对流发展旺盛,有利于中尺度对流系统的产生,到了夜间 MCS 发展成熟,至凌晨一日出时分消散。 $M\beta$ CS 系统发展较 $M\alpha$ CS 系统快,持续的时间也较 $M\alpha$ CS 短。

(3) 冷涡背景下的 MCS 的移动路径多数是从西向东偏北的, MCS 生成后主要向东移动,这和我国中纬度西风带天气系统的移动路径基本一致,但由于受冷涡等天气系统的影响,会出现不同的移动方向。位于冷涡东侧且距离冷涡中心距离较近的 MCS 有向东偏北方向移动的趋势;位于冷涡南侧且距离中心较远的 MCS 有向东偏南方向移动的趋势。

(4) 冷涡背景下的 MCS 主要产生在冷涡的发展阶段,成熟和消散阶段相对较少。MCS 主要形成在冷涡的东南部,西南部也有一小部分。

致谢:感谢国家卫星中心的覃丹宇老师和黄勇提供的 MCS 计算机自动识别算法和结果。

参考文献

- 白人海. 1998. 东北冷涡过程中的飏线分析. 气象, 4(24): 37-40.
 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, (03): 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.
 陈乾. 1989. 夏季中国副热带湿区中尺度 α 类对流云团的统计特征. 高原气象, 8(3): 252-260.
 陈涛, 代刊, 张芳华. 2013. 一次华北飏线天气过程中环境条件与对流发展机制研究. 气象, 39(8): 945-954.
 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.
 李云静, 张迎春, 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.
 马禹, 王旭, 陶祖钰. 1997. 中国及其邻近地区对流系统的普查和时空分布特征. 自然科学进展, 7(6): 701-706.
 孙力. 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, 3(5): 297-303.
 孙力. 1997. 东北冷涡持续活动的分析研究. 大气科学, 3(12): 297-307.
 孙力, 安刚, 廉毅, 等. 2010. 夏季东北冷涡持续性活动及其大气环流异常特征的分析. 气象学报, 58(6): 704-714.
 陶诗言, 丁一汇, 周晓平. 1979. 暴雨与强对流天气的研究. 大气科学, 3(3): 227-238.
 陶祖钰, 王洪庆, 王旭, 等. 1998. 1995 年中国的中- α 尺度对流系统. 气象学报, 56(2): 166-177.
 王维国. 1997. 一次强华北冷涡的分析. 气象, 9(23): 50-53.
 杨本湘, 陶祖钰. 2005. 青藏高原东南部 MCC 的地域特点分析. 气象学报, 63(2): 236-241.
 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, 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.
 袁美英, 李泽椿, 张小玲. 2010. 东北地区一次短时大暴雨 β 中尺度对流系统分析. 气象学报, 68(1): 125-136.
 郑永光, 陶祖钰, 王洪庆. 2002. 黄海及周边地区 α 中尺度对流系统发生的环境条件. 气象学报, 60(5): 613-619.
 郑永光, 朱佩君, 陈敏, 等. 2004. 1993-1996 黄海及其周边地区 $M\alpha$ CS 的普查分析. 北京大学学报(自然科学版), 40(1): 66-72.
 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.
 Jirak I L, Cotton W R, McAnelly R L. 2003. Satellite and radar survey of mesoscale convective system development. Mon Wea Rev, 131(10): 2428-2449.
 Maddox R A. 1980. Mesoscale convective complexes. Bull Amer Meteor Soc, 61: 1374-1387.