

曾波, 谌芸, 肖天贵. 2013. 我国中东部地区夏季 MCS 统计分析. 气象, 39(2): 180-185.

我国中东部地区夏季 MCS 统计分析^{* 1}

曾 波^{1,2} 谌 芸³ 肖天贵²

1 中国气象局成都高原气象研究所, 成都 610072

2 成都信息工程学院, 成都 610225

3 国家气象中心, 北京 100081

提 要: 目前较详细的中尺度对流系统(MCS)分类普查研究还较少。文章使用我国风云 2 号地球静止卫星红外数字图像资料分类普查了 2008—2010 年夏季(6—8 月)我国中东部地区(27°~40°N、110°~124°E)中尺度对流系统时空特征。根据尺度大小将 MCS 分类为 α 中尺度对流系统($M_{\alpha}CS$)和 β 中尺度对流系统($M_{\beta}CS$), 又根据 MCS 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($M_{\beta}CCS$)和 β 尺度持续拉长状对流系统($M_{\beta}ECS$)。3 年夏季共识别了 208 个 MCS, 其中 68 个 $M_{\alpha}CS$ 和 140 个 $M_{\beta}CS$, 拉长状系统居多, 占 MCS 总数 79.3%, 这表明拉长状的 MCS 是该区域夏季的主要对流系统。从月际变化来看, 7 月最多, 8 月次之, 6 月最少。大部分 MCS 移动路径自西向东, 少数为自南向北或自北向南的移动路径, 自东向西的路径极少。MCS 形成高峰时段为 9—10 UTC(世界时), 成熟高峰时段为 10—11 UTC, 消散高峰时段为 12—13 UTC, 生命史约为 6.5 h。 $M_{\alpha}CS$ 从形成到成熟需 3~4 h, 成熟至消散需 4~5 h; $M_{\beta}CS$ 发展和减弱时间相当, 为 2~3 h。

关键词: MCS, 地理分布, 移动路径, 月变化, 日变化

中图分类号: P458

文献标识码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2013.02.006

Statistical Analysis of MCS in Summer in Central-Eastern China

ZENG Bo^{1,2} SHEN Yun³ XIAO Tianguai²

1 Institute of Plateau Meteorology of CMA, Chengdu 610072

2 Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225

3 National Meteorological Centre, Beijing 100081

Abstract: There are less classification studies on mesoscale convective system (MCS) at present. Based on the FY-2 geostationary satellite infrared digital cloud images during summer time (June—August) of 2008—2010, the space and time characteristics of MCS were investigated in central-eastern China (27°—40°N, 110°—124°E). According to the size, the classification scheme used for this study includes two previously defined categories; meso- α scale convective system ($M_{\alpha}CS$) and meso- β scale convective system ($M_{\beta}CS$). Then on the basis of the shape, $M_{\alpha}CS$ can be classified into mesoscale convective complex (MCC) and persistent elongated convective system (PECS), and $M_{\beta}CS$ can be classified into meso- β circular convective system ($M_{\beta}CCS$) and meso- β elongated convective system ($M_{\beta}ECS$). The results have revealed that there are 208 MCSs in summer during the three years, including 68 $M_{\alpha}CS$ s and 140 $M_{\beta}CS$ s. Elongated systems accounted for 79.3% of the total MCS sample that indicates the elongated system is the most common type of MCS in summer in this region. On monthly variation view, there are most MCSs in July, the second in August, and the least in June. On the whole, most MCSs move from the west to the east and some from the south to the north or the north to the south. There is also the least path of the east to the west. The

* 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201006005 和 GYHY200906003)及国家自然科学基金(41175048)共同资助

2011 年 11 月 10 日收稿; 2012 年 2 月 2 日收修定稿

第一作者: 曾波, 从事天气气候研究. Email: bozeng126@126.com

peak time of MCS initiation is between 09:00 and 10:00 UTC, and the MCSs reach their maximum size mainly between 10:00 and 11:00 UTC. Most of the system dissipate between 12:00 and 13:00 UTC. The life scale of MCS is about 6.5 hours. $M_{\alpha}CS$ s from the initiation to mature stage need about three to four hours, while from mature to termination phase should last for about four to five hours. And for $M_{\beta}CS$ s, the development and weakening stages have the same time about two to three hours.

Key words: MCS, geographical distribution, shift path, monthly variation, diurnal variation

引 言

引发强对流天气的中尺度对流系统(MCS)是造成我国灾害的直接系统之一,经常导致突发性的短历时暴雨。国内外对 MCS 已作了相当多的研究,Miller 等(1991)和 Velasco 等(1987)指出我国西南—南海地区为 MCC 活动中心。李玉兰等(1989)将中国西南和华南地区 MCC 与美国 MCC 进行了对比,发现中国的 MCC 数量较少,生成地区较集中、时间尺度和空间尺度较小。项续康等(1995)指出中国的 MCC 多在山地或高原的背风坡初生,偏心率和空间尺度比北美小。陶祖钰等(1998)研究发现,我国有三个 $M_{\alpha}CS$ 的集中区:四川盆地及其周围,华南西部和北部湾附近地区,黄河和长江中下游地区。马禹等(1997)和郑永光等(2008)将中尺度对流系统分成 $M_{\alpha}CS$ 和 $M_{\beta}CS$ 两类普查了中国及其邻近地区,发现黄河和长江中下游地区是 MCS 活跃区。

目前国内的 MCS 普查(马禹等,1997;郑永光等,2004;2008)只根据 MCS 的大小分类为 $M_{\alpha}CS$ 和 $M_{\beta}CS$,未考虑 MCS 的形状特征,还存在较大缺陷,因此有必要根据形状特征进一步深入分析 MCS 的分类分布特征。

较多的已有研究(陶祖钰等,1998;马禹等,1997;郑永光等,2008)发现我国中东部地区($27^{\circ}\sim 40^{\circ}N$ 、 $110^{\circ}\sim 124^{\circ}E$)是中尺度对流系统多发区。从目前的业务实践来看,线状对流系统经常导致严重的冰雹、雷雨大风等灾害性强对流天气。但对该区

域的 MCS 分类普查研究工作还较少,因此加强对该地区 MCS 系统的普查分析,可为该地区强对流天气预报提供参考。

1 MCS 的分类标准及资料

目前 MCS 的分类标准还有较大的不一致。1980 年 Maddox(1980)定义了严格的 MCC 识别标准,Augustine 等(1988;1991)及国内外一些研究者(Miller et al, 1991; McAnelly et al, 1989; 郑永光等,2010; 祁秀香等,2009a; 2009b; 江吉喜等,1996; 石定朴等,1996; 杨本湘等,2005)去掉了 $\leq -32^{\circ}C$ 冷云盖面积的限制条件。而且郑永光等(2007)研究指出亮温 $\leq -52^{\circ}C$ 的强对流是导致淮河流域强降水的重要天气系统。因此,本文也只考虑 $\leq -52^{\circ}C$ 冷云区面积。Jirak 等(2003)对 MCS 重新分类,将 MCS 划分为四类,即 α 中尺度对流系统($M_{\alpha}CS$)和 β 中尺度对流系统($M_{\beta}CS$),其中 $M_{\alpha}CS$ 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,简称 PECS), $M_{\beta}CS$ 包括 β 中尺度对流复合体(Meso- β -scale MCC,简称 $M_{\beta}CCS$)和 β 中尺度持续拉长状对流系统(Meso- β -scale PECS, $M_{\beta}ECS$)。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。本文 MCS 划分标准在 Jirak 等(2003)基础上做了一些修订,去掉了 β 尺度对流系统中的限定条件—— $TBB \leq -52^{\circ}C$ 的最大面积必须 $\geq 50000 km^2$ (如表 1 所示,其中偏心率指 MCS 外形所拟合椭圆的短轴与长轴之比)。

表 1 MCS 的分类标准

Table 1 Classification criteria of MCS

MCS 类型	尺度标准	持续时间	形状(偏心率定义)
MCC	$TBB \leq -52^{\circ}C$ 的连续冷云区		最大尺度时偏心率 ≥ 0.7
PECS	面积 $\geq 50000 km^2$	满足尺度标准时间 $\geq 6 h$	$0.2 \leq$ 最大尺度时偏心率 < 0.7
$M_{\beta}CCS$	$TBB \leq -52^{\circ}C$ 的连续冷云区		最大尺度时偏心率 ≥ 0.7
$M_{\beta}ECS$	面积 $\geq 30000 km^2$	满足尺度标准时间 $\geq 3 h$	$0.2 \leq$ 最大尺度时偏心率 < 0.7

本文所用资料为 2008—2010 年 6—8 月 FY-2C (2008—2009 年)和 FY-2E(2010 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),区域范围为 $27^\circ \sim 40^\circ \text{N}$ 、 $110^\circ \sim 124^\circ \text{E}$ 。

2 MCS 地理分布特征

依据上述划分标准对 2008—2010 年夏季(6—8 月)我国中东部地区($27^\circ \sim 40^\circ \text{N}$ 、 $110^\circ \sim 124^\circ \text{E}$)中尺度对流系统进行普查,3 年该地区共发生了 208 个 MCS,其中 $M_\alpha\text{CS}$ 有 68 个, $M_\beta\text{CS}$ 共 140 个。 $M_\alpha\text{CS}$ 中 11 个 MCC,占 MCS 总数的 5.3%;57 个 PECS,占 27.4%; $M_\beta\text{CS}$ 中 32 个 $M_\beta\text{CCS}$,占 15.4%;108 个 $M_\beta\text{ECS}$,占 51.9%;拉长状 MCS 占总数的 79.3%,这表明较小尺度的 MCS 和拉长状 MCS 是该区域夏季的主要对流系统。

图 1 是我国中东部地区 MCS 生成的地理分布图。从图中可以看到,长江中下游地区是 MCS 生成较集中的地区,其数量远大于黄河中下游地区。MCC(图中●)生成较分散;PECS(图中■)主要在 35°N 以南地区生成,且较为分散,在沿长江地区相对集中。 $M_\beta\text{CCS}$ (图中▲)有三个集中区:湖北—湖南沿长江一带、江苏—浙江、河南—山东; $M_\beta\text{ECS}$ (图中○)生成较分散,沿江地区产生较多。总的看,

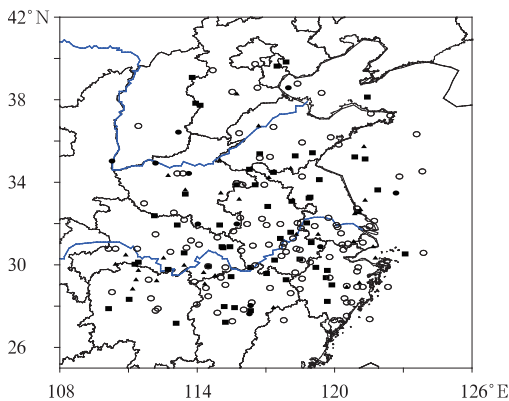


图 1 2008—2010 年我国中东部地区 208 个 MCS 生成地理分布图

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

Fig. 1 Geographical distribution of generation of 208 MCSs from 2008 to 2010 in central-eastern China

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

MCS 主要在陆地上生成较多,而在海上生成较少。

3 MCS 移动路径

分别将四类 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)位置(形心位置)点绘在图中,并将三个位置连接,即 MCS 的移动路径(图 2)。从图中可以看到,MCC(图 2a)主要在陆地生成(只有一个在洋面形成),MCC 形成后移动较少,主要自西向东偏南方向移动,只有一个自北向南移动,该系统产生于锋面,随着锋面系统自北向南移动。 $M_\beta\text{CCS}$ (图 2b)系统只有两个形成于洋面,移动也较少,主要移向和 MCC 较一致,即自西向东偏南方向移动。PECS(图 2c)和 $M_\beta\text{ECS}$ (图 2d)移动方向较一致,主要自西向东偏北方向移动,有少数自南向北、自北向南和自东向西的移动路径,仔细分析这些路径发现大都是由于锋面、台风的移动及副热带高压的西伸东退和北抬影响造成,有极个别是由于在追踪过程中,云团的合并造成。对比四类 MCS 移动路径可看到,PECS(图 2c)移动最大,MCC 移动最小(图 2a),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),这可能与影响产生圆状 MCS 和拉长状 MCS 的天气系统强弱有关,具体原因还有待进一步分析。MCS 生成后主要向东移动,这与现我国中纬度西风带天气系统的移动路径基本一致,但由于受锋面、台风及副高等较大天气系统的影响,会出现不同的移动方向。

4 MCS 时间变化特征

4.1 月分布特征

图 3 是 2008—2010 年我国中东部地区各类 MCS 6—8 月的个数。总的看,7 月生成的 MCS 最多,有 99 个,其他两个月相当,6 月稍少。四类系统在 7 月生成皆比另两个月份多,7 月冷暖空气交汇频繁,产生的 MCS 较多,生成概率相对 6 和 8 月较高。6 月是大气的转换季节,冷、暖空气势力相当,虽然 6 和 8 月 MCS 的数量相当,但 MCC 在 6 月生成较 8 月多。表 2 和表 3 分别是 2008—2010 年我国中东部地区各类 MCS 逐月和整个夏季统计特征。从表 2 可以看到,PECS 成熟时的平均面积和偏心率从 6 月到 8 月逐渐增大,生命期递减,到

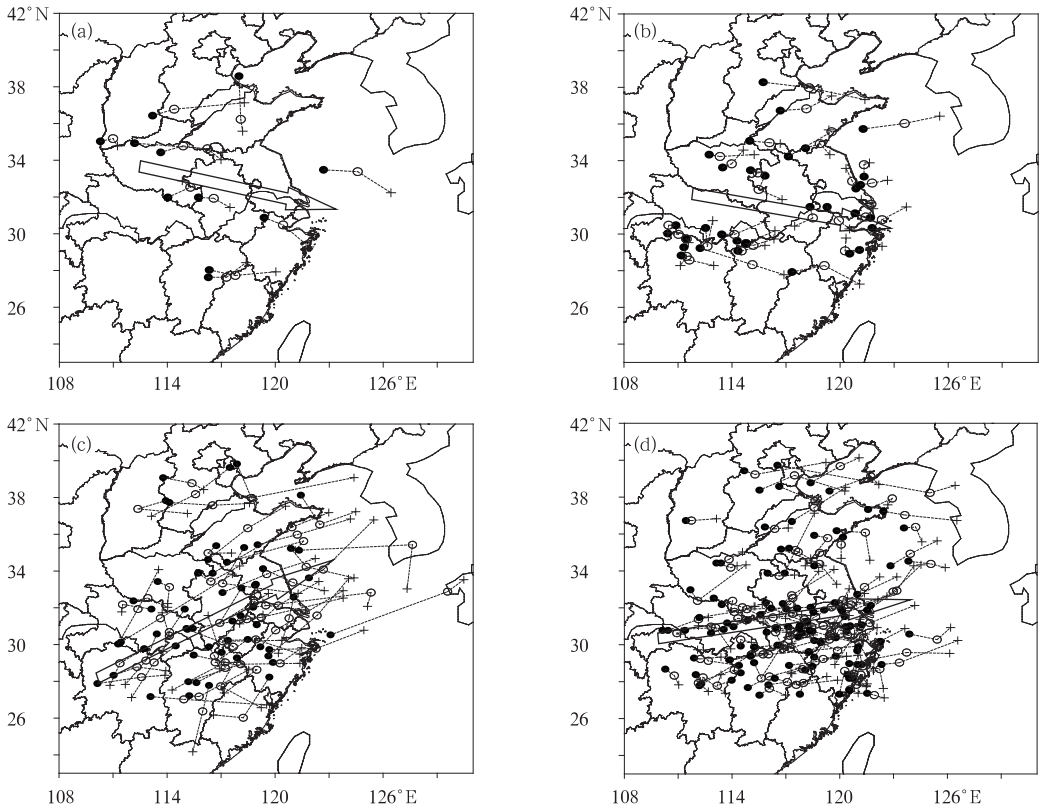


图 2 2008—2010 年我国中东部地区 208 个 MCS 的移动路径
 (a)、(b)、(c)、(d) 是 MCC、MβCCS、PECS、MβECS 的移动路径
 (●、○和+分别代表形成、成熟、消散位置)

Fig. 2 Shift track of 208 MCSs from 2008 to 2010 in central-eastern China
 (a), (b), (c), (d) respectively represent MCC, MβCCS, PECS, MβECS moving path
 (●, ○ and + respectively represent locations of generation, maturity, dissipation)

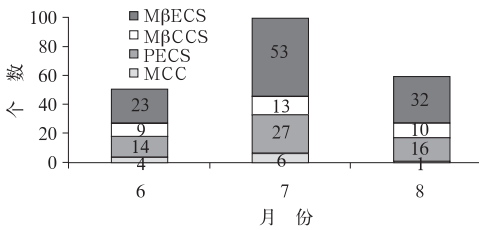


图 3 2008—2010 年我国中东部地区各类 MCS 6—8 月 MCS 分布

Fig. 3 Distribution of all MCSs between June and August from 2008 to 2010 in central eastern China

8 月 PECS 维持的时间最短。MβECS 成熟时平均面积也随着月份增加而增大, 8 月达到最大。除 PECS 系统外, 其余三类系统偏心率先增大后减小, MβCCS 和 MβECS 生命期先减小后增大, 这两类系统偏心率越大, 生命期越短。MCC 的生命期却是随着月份增加而减小, 6 月 MCC 生命期平均为 12 h, 比其他三类系统各月的生命期长, 6 月 MCC 长时间在

该地区的维持导致该地区强对流天气的产生。

从表 3 可以看到, 整个夏季 PECS 成熟时的 $TBB \leq -52^\circ\text{C}$ 平均面积最大, 比 MCC 的都大, MβECS 成熟时的 $TBB \leq -52^\circ\text{C}$ 平均面积也比 MβCCS 大, 这可能与 PECS 和 MβECS 在发展时经常会有几个尺度较大的云团合并有关; MCC 的持续时间比 PECS 长, MβECS 持续时间比 MβCCS 长; 偏心率最大的是 MCC, 最小的是 PECS; MCC 和 MβCCS 的偏心率均值都在 0.8 左右, 比 Jirak 等 (2003) 研究的美国的四类相应系统的成熟面积、持续时间和偏心率小, 这可能是因为 MCS 产生的环境条件有所不同, 具体原因还需要进一步的分析。

4.2 日变化特征

图 4 是 MCS 三个阶段(形成、成熟、消散)日变化特征。从图中可以看到, MCS 的形成、成熟和消散的日变化特征都是双峰结构, 大多形成于 9—10 和 6—7 UTC(午后), 另一个形成高峰期在 17—

表 2 2008—2010 年我国中东部地区各类 MCS 6—8 月特征

Table 2 Characteristics of all MCSs between June and August from 2008 to 2010 in central-eastern China

MCS 类型	6 月				7 月				8 月			
	个数	面积/ 10 ³ km ²	偏心率	生命期 /h	个数	面积/ 10 ³ km ²	偏心率	生命期 /h	个数	面积/ 10 ³ km ²	偏心率	生命期 /h
MCC	4	122.67	0.775	12.0	6	114.13	0.824	8.2	1	114.86	0.808	6.5
PECS	14	140.13	0.438	9.4	27	152.55	0.467	8.9	16	160.76	0.484	8.5
M β CCS	9	58.65	0.797	4.9	13	69.04	0.814	5.8	10	54.78	0.781	4.8
M β ECS	23	68.61	0.468	5.9	53	71.57	0.490	5.2	32	79.39	0.462	5.5

表 3 2008—2010 年我国中东部地区各类 MCS 整个夏季特征

Table 3 Characteristics of all MCSs during summer time from 2008 to 2010 in central-eastern China

MCS 类型	MCC	PECS	M β CCS	M β ECS	四类
个数	11	57	32	108	208
面积/10 ³ km ²	117.30	151.80	61.66	73.258	95.328
偏心率	0.805	0.464	0.799	0.477	0.540
持续时间/h	9.4	9.0	5.3	5.4	6.6

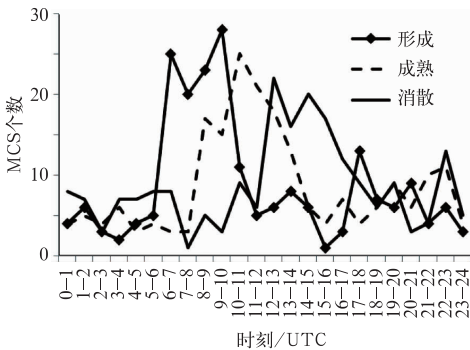
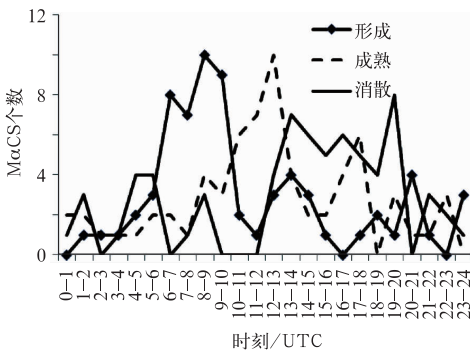


图 4 MCS 日变化特征

Fig. 4 Characteristics in diurnal variation of MCS

图 5 M α CS 日变化特征Fig. 5 Characteristics in diurnal variation of M α CS

略)。从 M α CS 的日变化特征图(图 5)上可见: M α CS 三个阶段的日变化特征呈现多峰结构,形成的主要峰值为 8—9 和 6—7 UTC(午后),其次在 13—14, 20—21 UTC 等也是高发期。成熟峰值为 12—13 UTC, 17—18 UTC 等也是成熟的峰值期。消散高峰值为 19—20 UTC, 13—14 UTC 等也是消散的高值时段,相对 β 中尺度的对流系统, M α CS 生消和发展变化较慢。

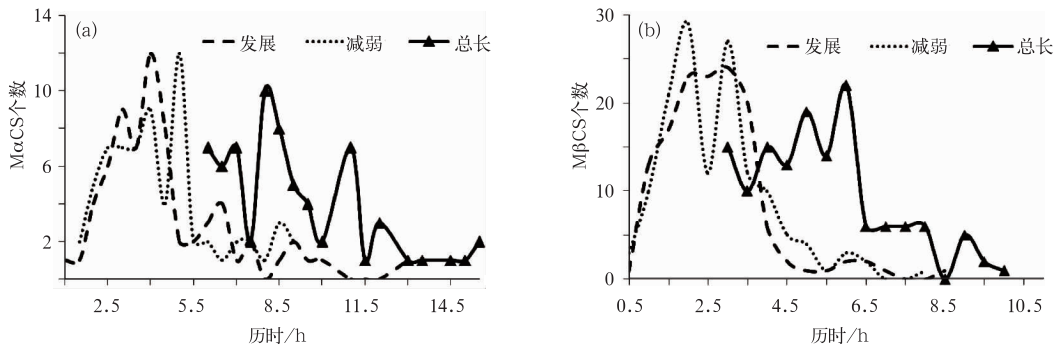
综上所述可以看出, MCS 形成于当地时间的下午至傍晚,此时对流发展旺盛,有利于中尺度对流系统的产生,到了夜间 MCS 发展成熟,至凌晨日出时分消散,这也和国内外研究者得到的结论一致。

5 生命史特征

图 6 是 M α CS(图 6a)和 M β CS(图 6b)的生命史特征,发展代表形成到成熟过程,减弱为成熟到消散过程,持续就是从产生到消散共经历的时长。从图中可以看到, M α CS 从产生到成熟需 3~4 h, 从成熟到消散需 4~5 h, 发展比减弱快,一旦形成很快就发展起来,这些系统一般能够持续约 8.5 h。持续时间次峰值为 7 和 11 h(图 6a)。对于 M β CS 发展和减弱需要的时间相当(图 6b),为 2~3 h, β 中尺度 MCS 系统发展和减弱的速度相当,过程一般持续 5~6 h。

总的来说, M β CS 系统发展较 M α CS 系统快,持续的时间也较 M α CS 短,这可能是因为影响 β 中尺度对流系统的天气系统比影响 α 中尺度对流系统的范围小和强度弱。两类系统的平均生命史与马禹等

18 UTC。成熟的高峰期在 10—11 和 8—9 UTC, 另一个成熟的高峰期在 22—23 UTC。消散的高峰期在 12—13 和 14—15 UTC, 另一个消散的高峰期为 22—23 UTC。MCS 生消和发展变化都较快。M β CS 的生消时刻峰值与 MCS 变化趋势一致(图

图6 $M_{\alpha}CS(a)$ 和 $M_{\beta}CS(b)$ 的生命史特征Fig. 6 Life characteristics of $M_{\alpha}CS$ (a) and $M_{\beta}CS$ (b)

(1997)对全国 MCS 平均生命史的普查结果($M_{\alpha}CS$ 持续 7~8 h, $M_{\beta}CS$ 持续 5~6 h)一致。

6 结论与讨论

通过对我国中东部地区的 2008—2010 年夏季(6—8月)MCS 的普查结果表明黄河及长江中下游地区是 $M_{\alpha}CS$ 和 $M_{\beta}CS$ 的活跃区,这种地理分布特征同以前的研究结果(陶祖钰等,1998;马禹等,1997;石定朴等,1996)相一致。还得出以下结论:

(1)MCS 以拉长状系统为主,圆状系统有 43 个,拉长状系统 165 个,MCS 移动路径主要自西向东,较少自南向北,自北向南和自东向西移动路径。

(2)7 月产生的 MCS 最多,6 月最少,但 6 和 8 月较接近。同种类型的 MCS 成熟时的偏心率和 $TBB \leq -52^{\circ}C$ 的平均面积以及生命期都比美国同种类型的 MCS 偏小。

(3)大多 MCS 形成于下午至傍晚,到夜间成熟,凌晨时消散。 $M_{\alpha}CS$ 从形成到成熟需 3~4 h,然后到消散需 4~5 h,发展比减弱快,平均生命史约 8.5 h 左右; $M_{\beta}CS$ 发展和减弱时间相当,都为 2~3 h,平均生命史约 5~6 h。

致谢:感谢国家气象中心强天气预报中心的郑永光博士和林隐静博士提供的资料及 MCS 计算机自动识别算法和结果。

参考文献

江吉喜,项续康,范梅珠. 1996. 青藏高原夏季中尺度强对流系统的时空分布. 应用气象学报, 7(4): 473-478.
 李玉兰,王婧娈,郑新江,等. 1989. 我国西南—华南地区中尺度对流复合体(MCC)的研究. 大气科学, 13(4): 417-422.
 马禹,王旭,陶祖钰. 1997. 中国及其邻近地区中尺度对流系统的普查和时空分布特征. 自然科学进展, 7(6): 701-706.

祁秀香,郑永光. 2009a. 2007 年夏季川渝与江淮流域 MCS 分布与日变化特征. 气象, 35(11): 17-28.
 祁秀香,郑永光. 2009b. 2007 年夏季我国深对流活动时空分布特征. 应用气象学报, 20(3): 286-294.
 石定朴,朱文琴,王洪庆,等. 1996. 中尺度对流系统红外云图云顶黑体温度的分析. 气象学报, 54(5): 600-611.
 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): 166-176.
 项续康,江吉喜. 1995. 我国南方地区的中尺度对流复合体. 应用气象学报, 6(1): 9-17.
 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): 236-242.
 郑永光,陈炯,费增坪,等. 2007. 2003 年淮河流域持续暴雨的云系特征及环境条件. 北京大学学报(自然科学版), 43(2): 157-165.
 郑永光,陈炯,朱佩君. 2008. 中国及周边地区夏季中尺度对流系统分布及其日变化特征. 科学通报, 53(4): 471-481.
 郑永光,王颖,寿绍文. 2010. 我国副热带地区夏季深对流活动气候分布特征. 北京大学学报(自然科学版), 46(5): 793-804.
 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. 40(1): 66-72.
 Augustine J A, Howard K W. 1988. Mesoscale convective complexes over the United States during 1985. Mon Wea Rev, 116(3): 686-701.
 Augustine J A, Howard K W. 1991. Mesoscale convective complexes over the United States during 1986 and 1987. Mon Wea Rev, 119(7): 1575-1589.
 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(11): 1374-1387.
 McAnelly R L, Cotton W R. 1989. The precipitation life cycle of mesoscale convective complexes over United States. Mon Wea Rev, 117(3): 784-808.
 Miller D, Fritsch J M. 1991. Mesoscale convective complexes in the western Pacific region. Mon Wea Rev, 119(12): 2978-2992.
 Velasco L, Fritsch J M. 1987. Mesoscale complexes in the Americas. J Geophys Res, 92(8): 9591-9613.