

基于静止卫星红外云图的 MCS 普查研究 进展及标准修订^{* 1}

费增坪¹⁾ 郑永光²⁾ 张焱¹⁾ 王洪庆¹⁾

¹⁾(北京大学物理学院大气科学系,北京 100871) ²⁾(国家气象中心,北京 100081)

摘 要

基于静止卫星红外云图的 MCS 普查标准不统一不利于各种 MCS 普查结果的对比分析,该文在总结 MCS 普查研究进展的基础上,依据 Orlanski 尺度分类标准对 M β CS 普查的最小尺度标准作了修订,修订为 TBB 值 ≤ -32 °C 的连续冷云区直径 ≥ 20 km。根据马禹等的 M β CS 普查标准和该文修订的 M β CS 普查标准,利用 GOES-9 卫星红外云图普查了 2003 年 6 月 19 日—7 月 22 日淮河大水期间的 MCS,结果发现共有 10 个 M α CS 和 24 个 M β CS,并对 24 个 M β CS 作了普查标准修订前后的统计结果对比,发现新的普查标准比根据马禹等的 M β CS 普查标准获得的结果多 7 个 M β CS,并且这 7 个 M β CS 中有 6 个都引起强降水,因此这种对比分析结果表明:新 M β CS 普查标准对揭示淮河大水和 MCS 的关系更具合理性。此外,还分析了 3 个因 M β CS 而引起局地强降水的典型个例,这些 M β CS 的直径尺度只有几十至一百多公里,不符合马禹等的 M β CS 普查标准。对这 3 个 M β CS 分析结果表明:该文新 M β CS 普查标准有助于对产生剧烈天气的 MCS 的普查研究和预报。

关键词: 卫星云图; MCS; 普查标准; 修订

引 言

暴雨、冰雹、雷雨大风和龙卷等灾害天气经常是由中尺度对流系统(Mesoscale Convective System, 简称 MCS)造成的^[1-6]。1980 年 Maddox 根据增强红外云图上云团的形状、尺度、生命期提出了中尺度对流复合体 MCC(Mesoscale Convective Complexes)^[2]定义。国内外学者对 MCC 做了较多详细研究,并指出 Maddox 基于美国中部典型个例分析得到的 MCC 定义过于严格,从而对 MCC 定义做了修订^[7-8]。近年来,国内外中尺度对流系统研究中已较少使用 MCC 这个名称,取而代之的是结合 Maddox 定义和 Orlanski 尺度分类标准^[1]提出的更具普遍性的 M α CS(α -中尺度对流系统)^[8-9]和 M β CS(β -中尺度对流系统)^[8]。但由于 M α CS 和 M β CS 的定义和普查标准尚未统一,不利于各种普查结果的对比和 MCS 特性分析^[8],因此本文在静止卫星红外云图 MCS 普查研究进展基础上,根据我国天气的实际情况对有利于

中小尺度监测预报的 M β CS 最小尺度判断标准进行了相应修订,并通过 2003 年淮河大水期间 MCS 的普查研究以及若干造成局地强降水 M β CS 个例研究,对标准修订后的普查结果进行了分析。

1 MCS 普查研究进展及标准修订

1980 年, Maddox 运用堪萨斯州卫星服务站提供的 1978 年 3—9 月时间间隔为 30 min 的增强红外卫星图像资料进行普查^[2],发现并分类出了 43 个经常穿越美国中部有组织的、准圆形且按 Orlanski 标准定义为 α -中尺度(250 ~ 2500 km, 生命期 ≥ 6 h)的对流性天气系统,并将这些基于增强红外云图的特殊类型的 MCS 定义为 MCC,且按其普查的结果首次提出了 MCC 定义和普查标准(表 1)。MCC 除了导致大范围的降水外,并且往往伴随龙卷风、冰雹、大风、破坏性的山洪暴发和强烈的闪电现象。在 Maddox 普查得到的 43 个 MCC 中,只有 8 个没有出现上述

* 国家自然科学基金项目(40305004)、高等学校博士学科点专项科研基金(20040001008)和国家 973 项目(2004CB418300)共同资助。
2007-01-11 收到,2007-07-03 收到再改稿。

天气现象。虽然 MCC 并非次网格天气系统,但由于当时对 MCC 发展的物理机制还不太清楚,所以当时使用的数值模式参数化方案还不能对 MCC 的发展演变做出相应的预报^[2]。但 Maddox 认为以后对 MCC 的研究和预报都是可行的,因为这种基于增强红外云图的 MCC 的时间和空间尺度标准主要是由详细普查获得的^[2]。

表 1 Maddox 的 MCC 定义^[2]

Table 1 Maddox's definition of MCC^[2]

物理特征	
尺度	① TBB 值 ≤ -32 °C 的连续冷云区面积 > 100000 km ² ; ② TBB 值 ≤ -52 °C 的连续冷云区面积 > 50000 km ²
生成	第一次满足尺度定义①和②的时刻
生命期	满足尺度定义①和②的时间 > 6 h
最大的空间范围	连续冷云罩(TBB 值 ≤ -32 °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	尺度定义①和②不再满足的时刻

中纬度地区 MCC 普查研究的标准是基于增强红外图像的物理特征,其尺度和生命期标准(在美国中部地区)已经过高空探测器对系统环流的检验;在尺度特征中,TBB 值 ≤ -52 °C 主要是确定系统的活跃和降雨落区,在形状特征中的椭圆率标准是为了

排除线性类 MCS。

Augustine 等^[10]研究表明:TBB 值 ≤ -52 °C 冷云罩面积达到 Maddox 标准而 TBB 值 ≤ -32 °C 冷云罩面积达不到标准的 MCC 个例极少。为了简化 MCC 的鉴别和处理,去掉了 TBB 值 ≤ -32 °C 冷云罩面积尺度的要求(表 2)。

表 2 MCC 判断标准的修改之一^[10]

Table 2 The first modified MCC definition^[10]

物理特征	
尺度	TBB 值 ≤ -52 °C 的连续冷云区面积 > 50000 km ²
生成	第一次满足尺度定义的时刻
生命期	满足尺度定义时间 > 6 h
最大的空间范围	连续冷云罩(TBB 值 ≤ -52 °C)的最大面积
形状	在最大空间范围时(TBB 值 ≤ -52 °C)椭圆率(短轴/长轴) ≥ 0.7
消亡	尺度定义不再满足的时刻

1989 年,Cotton 等根据 MCC 的水平尺度相对于变形的罗斯贝半径的大小提出了 MCC 的动力定义^[11],1998 年,Anderson 等提出了 MCS 另一个大的分类 PECS^[7](Persistent Elongated Convective Systems),PECS 可以被认为线性类的 MCC,如表 3 所示。

表 3 MCC 判断标准的修改之二^[7]

Table 3 The second modified MCC definition^[7]

MCS 类型	尺寸	生命期	形状
MCC	TBB 值 ≤ -52 °C 的连续冷云区面积 > 50000 km ²	满足尺度定义时间 > 6 h	最大尺度时离心率 ≥ 0.7
PECS			$0.2 \leq$ 最大尺度时离心率 < 0.7
M β CS	TBB 值 ≤ -52 °C 的连续冷云区面积 ≥ 30000 km ² 并且最大面积必须 ≥ 50000 km ²	满足尺度定义时间 > 3 h	最大尺度时离心率 ≥ 0.7
M β ECS			$0.2 \leq$ 最大尺度时离心率 < 0.7

早期由于卫星资料和计算机存储处理能力的限制,MCS 的普查大多局限于 MCC。Velasco 等^[12]普查了南北美洲的 MCC,Miller 等^[13]普查了西太平洋的 MCC,Laing 等^[14]普查了非洲的 MCC。在其普查结果中,我国东部广大地区 MCC 的数量非常少^[14],不符合我国实际情况。李玉兰等^[15]依据 Maddox^[12]的定义,利用 1983—1986 年 GMS 的云图照片资料普查了我国西南和华南地区,发现 5 个 MCC,认为我国的 MCC 数量较少,生成地区比较集中,生命史较短。1989 年出现数字展宽红外云图的数值资料以后,可以对卫星云图进行坐标变换、局部放大和相当黑体亮度温度(TBB)反演等定量处理。项续康等^[16]从 1989—1993 年的数字红外云图中选取了 10 个典型 MCC 个例,并指出中国 MCC 的离心率比北美小,生命史比北美稍长,所以把 Maddox 定义冷云

罩最大范围时离心率由原来的 ≥ 0.7 改为 ≥ 0.6 。马禹等^[8]和陶祖钰等^[17]采用类似 Maddox 定义 MCC 的方法,并结合 Orlandi^[1]的尺度划分标准(其中 200~2000 km 为 α -中尺度,20~200 km 为 β -中尺度,2~20 km 为 γ -中尺度)重新定义了基于静止卫星红外云图普查 M α CS 和 M β CS 的标准。因为 Maddox 定义的 MCC TBB 值 ≤ -32 °C 冷云盖面积为 100000 km²,相当于一个直径为 365 km,即 3.2 个纬距(一个纬距等于 111 km)圆的面积,所以马禹等^[8]和陶祖钰等^[17]将 M α CS 和 M β CS 定义为红外云图上具有圆形或椭圆形冷云盖的对流系统,其 TBB 值 ≤ -32 °C 冷云盖的短轴长度在 1.5~3.0 纬距之间的为 M β CS,超过 3.0 纬距的为 M α CS。因为 3.0 纬距直径的圆形面积为 87092 km²,所以马禹等^[8]和陶祖钰等^[17]所定义的 M α CS 与 Maddox 的

MCC 的 TBB 值 ≤ -32 °C 冷云盖面积至少达到 100000 km² 的定义大致相同。马禹等^[8]和陶祖钰等^[17]根据 Augustine 等^[10]的工作,不再对 MCS 定义 TBB 值 ≤ -52 °C 冷云盖面积。同时,马禹等^[8]和

陶祖钰等^[17]为了能将满足 Orlandi^[1] α -中尺度和 β -中尺度的对流系统都包括在内使研究更具普遍性,对 M α CS 和 M β CS 维持时间长短未作限定(表 4)。

表 4 马禹等^[8]与陶祖钰等^[17]的 M α CS 和 M β CS 普查标准
Table 4 The definition of M α CS and M β CS in studies of Ma et al^[8] and Tao et al^[17]

判据	M α CS	M β CS
最小尺度	TBB 值 ≤ -32 °C 连续冷云区的短轴不小于 3.0 个纬距	TBB 值 ≤ -32 °C 连续冷云区的短轴为 1.5 ~ 3.0 纬距
持续时间	不限	不限
形状	-32 °C 连续冷云区达最大范围时, 椭圆率(短轴/长轴) ≥ 0.5	-32 °C 连续冷云区达最大范围时, 椭圆率(短轴/长轴) ≥ 0.5
发生时间	开始满足最小尺度的时间	开始满足最小尺度的时间
最大范围(成熟)时间	连续冷云区(TBB 值 ≤ -32 °C)达到其最大面积的时间	连续冷云区(TBB 值 ≤ -32 °C)达到其最大面积的时间
终止时间	不再满足最小尺度的时间	不再满足最小尺度的时间

郑永光等^[18]对 M α CS 的最小尺度标准采用 TBB 值 ≤ -32 °C 的连续冷云区面积 > 100000 km² (表 5)。虽然为了普查和揭示 M α CS 发生源地的特点及规律,增加了发生时刻的标准和形心的规定,但这些修订都没有改变 M α CS 定义的 6 条基本标准。

表 5 M α CS 普查标准的修订^[18]
Table 5 Modified M α CS definition^[18]

判据	描述
最小尺度	TBB 值 ≤ -32 °C 的连续冷云区面积 $> 10^5$ km ²
持续时间	不限
形状	-32 °C 连续冷云区达到最大范围时, 椭圆率 ≥ 0.5
初生	从不小于 γ 尺度的对流云团开始算起
形成	开始满足最小尺度的时刻
最大范围(成熟)	连续冷云区(TBB 值 ≤ -32 °C)达到其最大面积的时刻
消亡	不再满足最小尺度的时刻
路径	-32 °C 冷云盖的面积中心(即形心)替代整个 M α CS, 标识其位置

综上所述,从 Maddox 提出 MCC 的定义^[2]以来,国内外基于静止卫星红外云图资料的 MCS 普查研究,特别是 M α CS 的普查研究取得了很大进展。

其中,许多研究成果都结合了各国天气的实际情况对 Maddox 最初的 MCC 判断标准做了更合理的修订。我国研究者对 M α CS 的 6 条判断标准认识渐趋一致,即最小尺度采用 TBB 值 ≤ -32 °C 冷云区的面积大于 100000 km² 或短轴大于 3 个纬距,连续冷云区达最大范围时的椭圆率(短轴/长轴)修改为 ≥ 0.5 ,取消了持续时间的限制。由于早期受计算机存储处理能力和卫星云图时间分辨率的限制,对 M β CS 的研究相对较少。马禹等^[8]初次提出的 M β CS 普查中最小尺度标准为 TBB 值 ≤ -32 °C 冷云盖短轴长度在 1.5 ~ 3.0 纬距之间。根据我国许多剧烈灾害天气往往是由空间尺度几十公里至一、二百公里的强对流系统(β -中尺度对流系统)造成的实际情况,费增坪等^[19]在分析了 MCS 普查标准修订的基础上,结合 Orlandi^[1] 的尺度分类标准,对 M β CS 定义的最小尺度标准进行了修订,即 TBB 值 ≤ -32 °C 的连续冷云盖的直径 ≥ 20 km,如表 6,并用这一标准对 2003 年淮河大水期间的 M β CS 进行了普查分析。

表 6 M α CS 和 M β CS 普查标准的修订^[19]
Table 6 Modified definitions of M α CS and M β CS^[19]

判据	M α CS	M β CS
最小尺度	TBB 值 ≤ -32 °C 的连续冷云区面积 > 100000 km ²	TBB 值 ≤ -32 °C 的连续冷云区直径 ≥ 20 km
持续时间	不限	不限
形状	-32 °C 的连续冷云区达最大范围时, 椭圆率(短轴/长轴) ≥ 0.5	-32 °C 的连续冷云区达最大范围时, 椭圆率(短轴/长轴) ≥ 0.5
发生时间	开始满足最小尺度的时间	开始满足最小尺度的时间
最大范围(成熟)时间	连续冷云区(TBB 值 ≤ -32 °C)达到其最大面积的时间	连续冷云区(TBB 值 ≤ -32 °C)达到其最大面积的时间
终止时间	不再满足最小尺度的时间	不再满足最小尺度的时间

除了以上提到的国内对 MCS 的普查工作,其他还有针对东北地区^[20]、青藏高原^[4,21]、新疆地区^[22]、黄海及周边地区^[9,18]、云南及周边地区^[23]等的 MCS 普查研究工作。Jirak 等综合使用静止卫星红外云图与雷达组合反射率资料对 1996—1998 暖季美国的圆形与长条形 MCS 进行了普查研究^[24]。郑永光等^[25]使用 1997—2004 年共 8 年的地球静止卫星红外云图 TBB 资料对北京及周边地区的 TBB 值 ≤ -52 °C 深对流分布进行了时空分析,发现影响北京及其周边地区的盛行对流系统有两大类:一类是春末夏初发生在中纬度大陆变性极地气团中的对流,它具有典型的热对流特征,主要发生在午后到傍晚的西部和北部山区,常伴随雷雨大风和冰雹天气;另一类是盛夏季节发生在低纬度暖湿气团中的湿对流,主要发生在华北平原和渤海周边地区,并具有夜发性,常伴随暴雨天气。该研究成果表明长时间序

列 TBB 资料的对流统计结果更能客观、全面地代表对流天气的气候特征,并能够弥补使用地面观测资料与闪电观测资料分析结果的不足。

2 2003 年淮河大水 MCS 普查分析

2003 年 6 月 21 日—7 月 22 日,淮河流域发生了 1949 年以来的第 3 次流域性洪水,流域平均降雨次于 1954 年,超过了 1991 年。淮河流域地处我国东部,介于长江和黄河流域之间。马禹等^[8]的普查结果表明该地区是 MCS 的多发区之一。为了揭示 MCS 和 2003 年淮河大水的关系,使用表 6 的标准普查了 2003 年 6 月 21 日—7 月 22 日淮河流域大水期间的 $M\alpha CS$ 和 $M\beta CS$ 。2003 年淮河大水期间 MCS 的类型、生命史、形成时刻、最大时刻、消亡时刻普查的结果如表 7^[19]。表 7 中,序号是按照 MCS 形成时

表 7 2003 年淮河大水期间 MCS 普查列表

Table 7 MCS occurrences during the period of flooding over Huaihe River Basin in 2003

序号	类型	生命史/h	形成时刻	最大时刻	消亡时刻
1	β	7	06-19T16:25	06-19T19:25	06-19T23:01
2	β	5	06-19T14:25	06-19T16:25	06-19T19:25
3	α	6	06-20T16:25	06-20T19:25	06-20T22:01
4	α	15	06-21T18:13	06-22T05:25	06-22T09:25
5	α	14	06-22T18:13	06-22T22:25	06-23T08:01
6	β	3	06-26T06:49	06-26T08:01	06-26T09:25
7	α	4	06-27T00:49	06-27T02:25	06-27T04:01
8	β	4	06-30T11:01	06-30T14:01	06-30T15:25
9	β	2.5	07-01T23:01	07-02T00:49	07-02T01:25
10	α	6	07-02T05:01	07-02T09:25	07-02T11:01
11	β	5	07-03T04:25	07-03T07:25	07-03T09:25
12	β	5	07-03T04:25	07-03T07:25	07-03T09:25
13	β	6	07-03T21:01	07-04T01:25	07-04T03:25
14	β	6	07-04T04:01	07-04T06:49	07-04T10:01
15	α	6	07-05T04:25	07-05T09:25	07-05T10:01
16	β	5	07-05T16:25	07-05T19:25	07-05T21:01
17	β	5	07-05T22:25	07-06T01:25	07-06T03:25
18	β	6	07-08T18:49	07-08T22:01	07-09T00:13
19	β	7	07-08T22:25	07-09T02:25	07-09T05:01
20	β	6	07-10T23:01	07-11T02:01	07-11T05:01
21	β	5	07-12T20:01	07-12T23:01	07-13T01:25
22	β	6	07-13T05:01	07-13T09:25	07-13T11:01
23	β	7	07-13T01:25	07-13T05:01	07-13T08:01
24	β	8	07-14T03:25	07-14T08:01	07-14T11:01
25	β	3	07-14T18:13	07-14T20:01	07-14T21:25
26	β	3	07-16T23:01	07-17T01:25	07-17T02:01
27	β	3	07-18T20:01	07-18T21:25	07-18T23:01
28	α	5	07-19T21:01	07-20T00:13	07-20T02:01
29	β	3	07-20T00:13	07-20T02:01	07-20T03:25
30	β	6	07-20T03:25	07-20T08:01	07-20T09:25
31	α	4	07-21T05:01	07-21T08:01	07-21T09:25
32	α	7	07-21T18:13	07-21T23:01	07-22T01:25
33	β	6	07-22T06:13	07-22T10:01	07-22T12:49
34	α	4	07-22T22:01	07-22T23:01	07-23T02:01

间的先后顺序进行编号;MCS的类型分为 α -中尺度和 β -中尺度;MCS的生命史是从形成时刻至消亡时刻的时长;MCS形成、最大和消亡时刻均为北京时间,下同。

统计结果表明,在整个淮河大水期间共有34个MCS产生,分别是10个 $M\alpha$ CS和24个 $M\beta$ CS。在24个 $M\beta$ CS中,如果参照马禹等^[8]和陶祖钰等^[17]定义的1.5~3.0纬距尺度标准,则有7个 $M\beta$ CS会被剔除在外,分别是第2号、17号、23号、25号、26号、29号和33号。而在这7个 $M\beta$ CS中,只有1个即第2号 $M\beta$ CS没有出现降水,其余6个都伴有强降水。图1是第17号 $M\beta$ CS的移动路径(箭头线)和相应的24h降水。由此可见修订的 $M\beta$ CS的最小尺度普查标准有助于中尺度局地降水系统的研究。

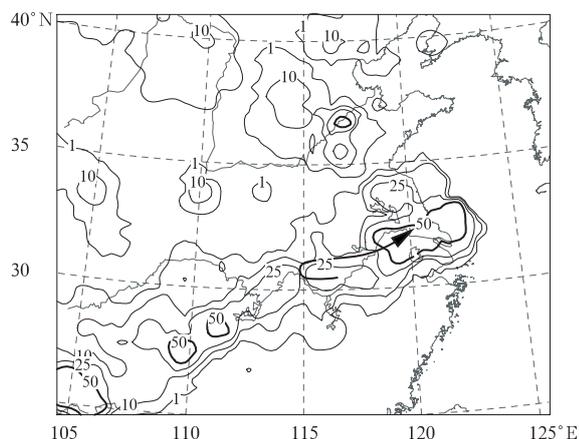


图1 2003年7月6日08:00的24h降水

(单位:mm;箭头线为第17号 $M\beta$ CS的移动路径)

Fig.1 24-hour precipitation at 08:00 on July 6, 2003

(unit: mm; the black thick line with arrowhead is 17# $M\beta$ CS path)

3 几次典型 $M\beta$ CS个例分析

中小尺度的局地性强对流天气一直是预报难点和热点,而许多剧烈灾害性天气往往是由空间尺度仅几十公里至一、二百公里的强对流系统(β -中尺度)造成的。目前雷达和静止气象卫星是监测这类中尺度对流系统的有效方法。

3.1 2004年7月10日北京局地强降水分析

2004年7月10日16:00—20:00北京城区发生局地强降水,2h内城区普遍降水50mm以上,至20:00天坛雨量最大达109mm,其中丰台地区1h

的雨量达52mm(图2)^①。分析卫星云图可知这次暴雨过程发生在河套东部一带冷锋云系前方的暖空气区中。由于季风云系向北伸展,推动河南北部一带强对流云团北进。在与东北大冷涡云系西侧外围南下弱冷空气相遇中,造成对流云团发展。图3是14:00 GOES-9静止卫星红外云图的TBB分布,箭头所指处是造成这次暴雨过程的主要云团,其短轴直径约为1纬距,符合本文修订的 $M\beta$ CS普查标准。

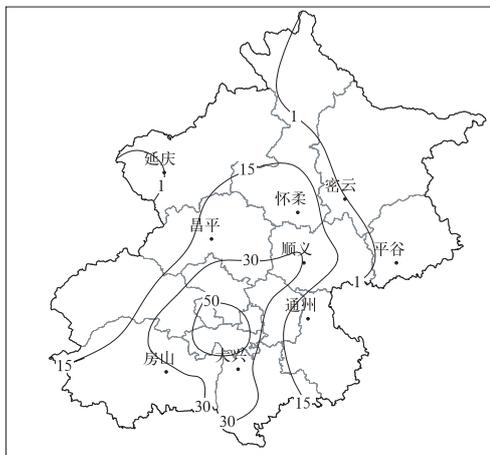


图2 2004年7月10日14:00—20:00北京地区降水量分布图^①(单位:mm)

Fig.2 The precipitation over Beijing during 14:00—20:00 on July 10, 2004^①(unit: mm)

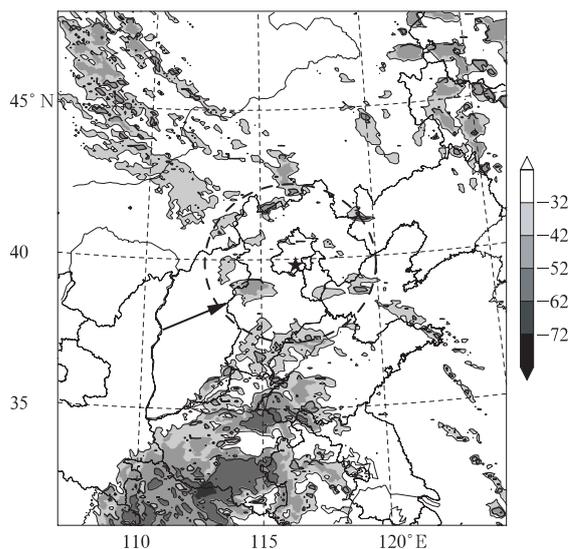


图3 2004年7月10日14:00 GOES-9红外TBB分布(单位:°C)

Fig.3 GOES-9 IR TBB distribution at 14:00 on July 10, 2004(unit: °C)

① 许小峰. 从“710”到“610”——中小尺度天气系统监测预警探讨. 新一代天气雷达在短时临近天气预报中的应用研讨会, 天津, 2005.

3.2 2005 年 6 月 10 日黑龙江沙兰镇暴雨分析

2005 年 6 月 10 日 11:00—14:00, 黑龙江省宁安市的沙兰镇上游突降暴雨, 包括沙兰镇中心小学 103 名学生、2 名幼儿在内共 177 人在这次暴雨引起的泥石流中遇难。FY-2C 静止气象卫星对“610”沙兰镇的暴雨监测显示这次暴雨强对流天气是由高空冷涡云系外围局地新生的强对流云团造成的。该云团西南部边界齐整、光滑, 云顶最低亮温为 $-42 \sim -52 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间。

图 4 是 11:00—14:00 红外云图的 TBB 分布, 圆圈内有多个 β -中尺度的对流云团。11:00 图中, 箭头所指处 M β CS 尺度仅为几十公里, 它是直接影响沙兰镇的对流云团, 12:00 该 M β CS 略有加强, 其东北方向的云团向沙兰镇方向延伸, 至 13:00 该对流云团进一步加强、云顶亮温降低。从连续几小时的 TBB 分布可以发现, 沙兰镇的北侧方向也有许多对流云团发展, 这些对流云团都引起了局地强降水。

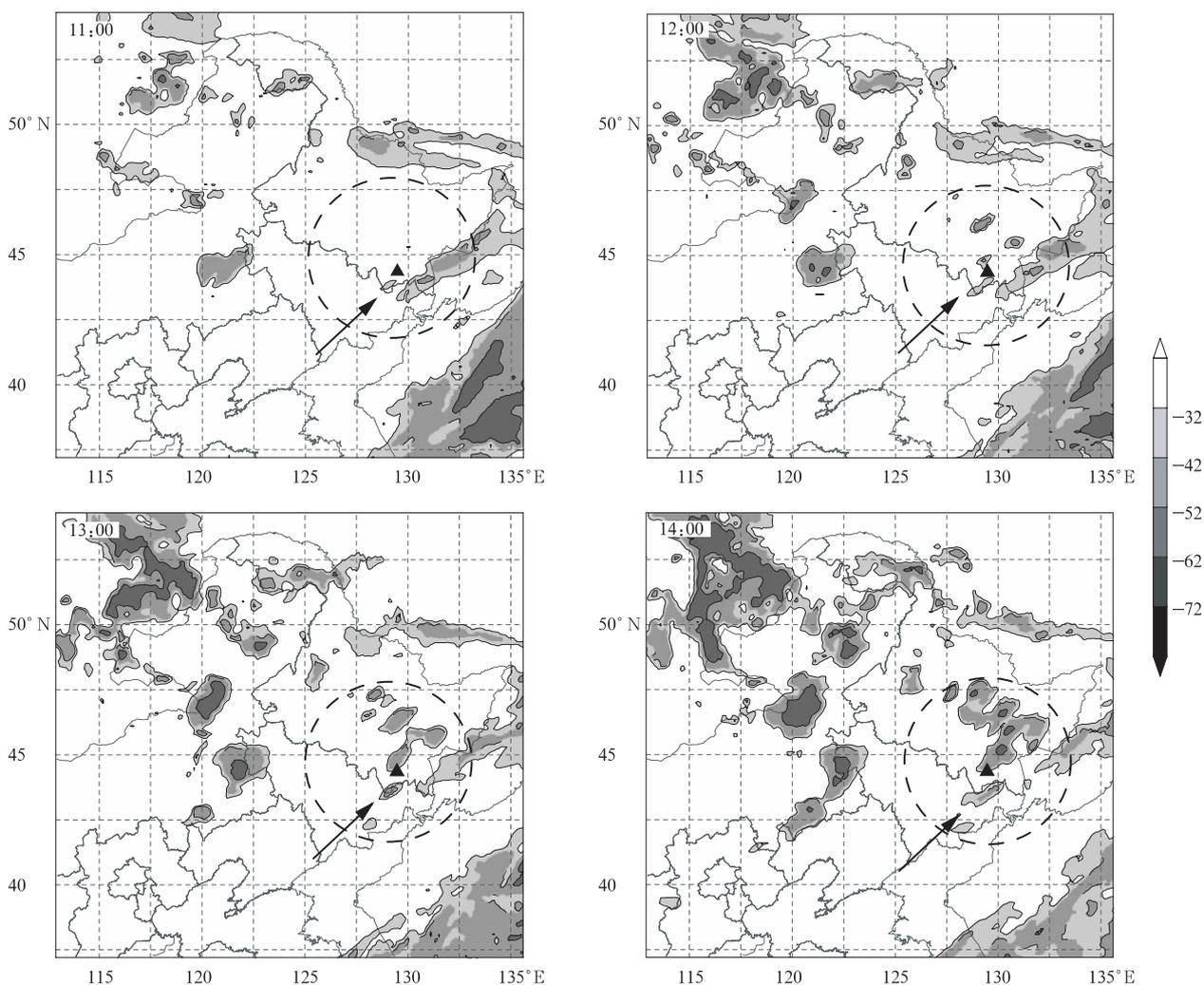


图 4 2005 年 6 月 10 日 11:00—14:00 FY-2C 红外 TBB 分布
(黑色三角为宁安市, 单位: $^{\circ}\text{C}$)

Fig. 4 FY-2C IR TBB distribution at 11:00—14:00 on June 10, 2005
(the black triangle denotes Ning'an City, unit: $^{\circ}\text{C}$)

3.3 2004 年 7 月 12 日上海地区暴雨分析

2004 年 7 月 12 日 17:30—19:30, 上海地区受到飊线侵袭, 最大风速 11 级 (29 m/s), 45 min 的局部地区最大降水达 26.5 mm , 造成 7 人死亡, 20 多

人受伤。通过分析卫星云图和雷达资料可以发现, 在此期间上海地区曾先后遭受两次空间范围仅几十公里的强对流系统的袭击, 强对流系统移速达 40 km/h 以上, 对流云的云顶高度达 16 km 。图 5 是

GOES-9 红外 TBB 分布。图中箭头所指处清晰地显示这个强对流云团的尺度仅为几十公里,15:25 位于杭州湾南侧,16:25 移至上海上空,17:25 逐渐减

弱消失,同时杭州湾南侧又生成一个 M β CS, 18:49 该 M β CS 又移至上海上空。

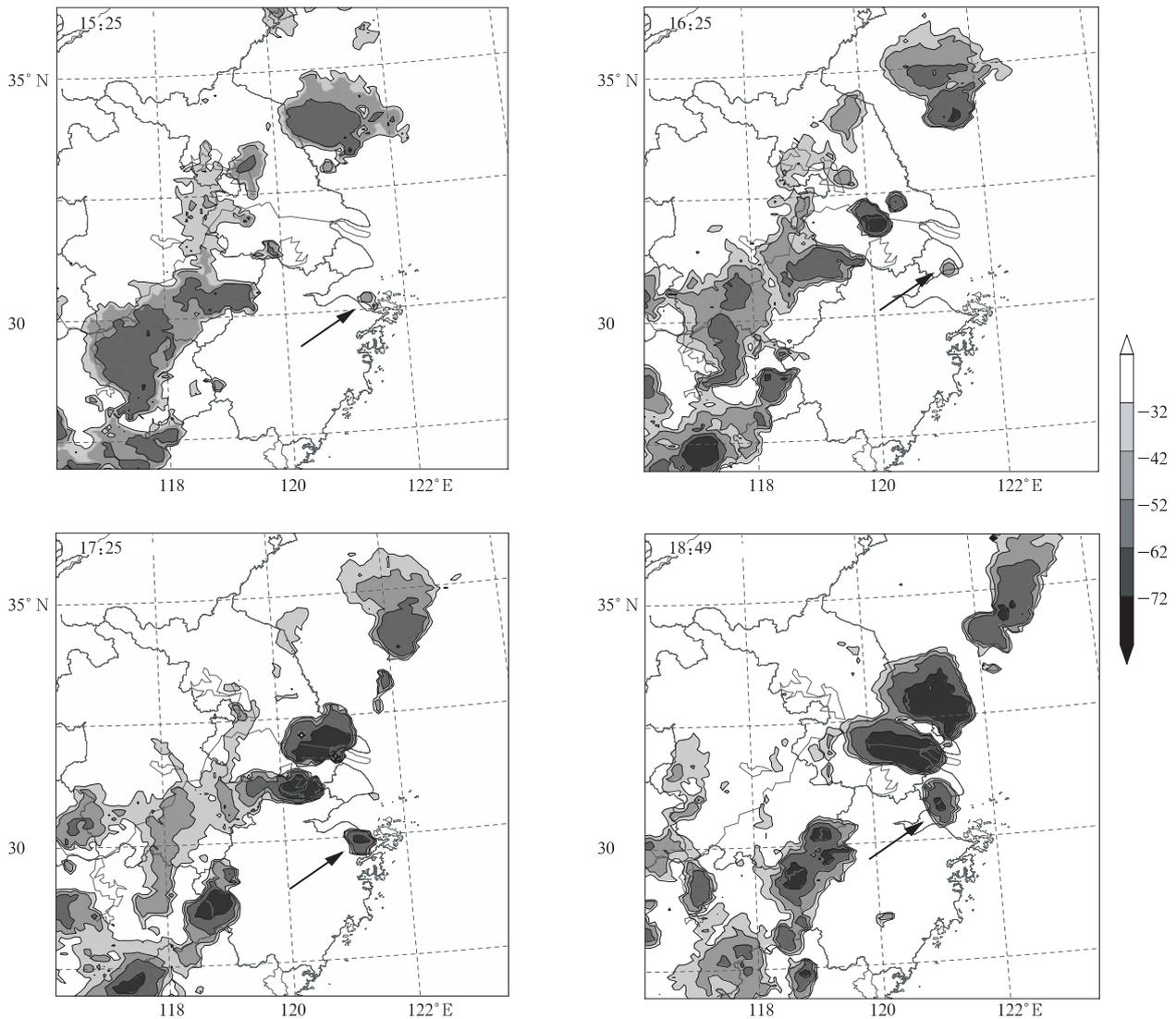


图5 2004年7月12日15:25—18:49 GOES-9 红外 TBB 分布(单位: $^{\circ}\text{C}$)

Fig. 5 GOES-9 IR TBB distribution at 15:25—18:49 on July 12, 2004 (unit: $^{\circ}\text{C}$)

以上3个典型局地强降水个例都是由 M β CS 引起的。如果依据表4中1.5~3.0纬距的尺度标准来普查这些 M β CS 则都被剔除在外。因此改进后的 M β CS 尺度普查标准有助于加强对局地强对流降水天气系统的研究和预报。

4 结论与讨论

本文在综述静止卫星红外云图 MCS 普查研究进展的基础上,对有利于中尺度天气监测预报的

M β CS 普查最小尺度标准进行了修正,即 TBB 值 $\leq -32^{\circ}\text{C}$ 的连续冷云区直径 $\geq 20\text{ km}$ 。

对2003年淮河大水期间的 MCS 普查分析发现有10个 M α CS 和24个 M β CS。对24个 M β CS 分析发现如果依据马禹等^[8]的短轴长度为1.5~3.0个纬距的判断标准则会有7个 M β CS 会被剔除在外,而这7个 M β CS 中有6个伴有强降水现象,因此 M β CS 普查标准中最小尺度的修订对揭示淮河大水和 MCS 的关系更具科学性。

对3次造成严重灾害天气的典型局地性强降水

进行了卫星资料分析,发现都是由符合本文的 M β CS 普查标准但未符合其他普查标准的 M β CS 造成的。因此,对 M β CS 普查标准的最小尺度修订有助于加强对中尺度强对流性天气系统的普查研究和预报。

参考文献

- [1] Orlandi L A. A rational subdivision of scales for atmospheric processes. *Bull Amer Meteor Soc*, 1975, 56(5): 527-530.
- [2] Maddox R A. Mesoscale convective complexes. *Bull Amer Meteor Soc*, 1980, 61(11): 1374-1387.
- [3] Shibagaki Y, Yabanaka MD, Shimizu S, et al. Meso- β to meso- γ -scale wind circulations associated with precipitating clouds near Baiu front observed by the MU and meteorological radars. *J Meteor Soc Japan*, 2000, 78(1): 69-91.
- [4] 江吉喜,项续康,范梅珠. 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*, 1996, 7(4): 474-478.
- [5] 何立富,陈涛,谌芸,等. 大气探测资料在中尺度暴雨中的分析和应用. *应用气象学报*, 2006, 17(增刊): 88-97.
- [6] 国家气象中心,国家卫星气象中心. '98 中国大洪水与天气预报. 北京: 气象出版社, 1999.
- [7] Anderson C J, Arritt R W. Mesoscale convective complexes and persistent elongated convective systems over the United States during 1992 and 1993. *Mon Wea Rev*, 1998, 126(3): 578-599.
- [8] 马禹,王旭,陶祖钰. 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*, 1997, 7(6): 701-706.
- [9] Zheng Yongguang, Tao Zuyu, Wang Hongqing, et al. Environment of meso- α -scale convective system development in Yellow Sea region. *Progress in Natural Science*, 1999, 9(7): 842-848.
- [10] Augustine J A, Howard K W. Mesoscale convective complexes over the United States during 1986 and 1987. *Mon Wea Rev*, 1991, 119(7): 1575-1589.
- [11] Cotton W R, Lin M S, McAnelly R L, et al. A composite model of mesoscale convective complexes. *Mon Wea Rev*, 1989, 117(4): 765-783.
- [12] Velasco L, Fritsch J M. Mesoscale convective complexes in Americas. *J Geophys Res*, 1987, 192(D8): 9591-9613.
- [13] Miller D, Fritsch J M. Mesoscale convective complexes in the western Pacific region. *Mon Wea Rev*, 1991, 119(12): 2978-2992.
- [14] Laing A, Fritsch J M. Mesoscale convective complexes in Africa. *Mon Wea Rev*, 1993, 121(8): 2254-2263.
- [15] 李玉兰,王倩熔,郑新江,等. 我国西南-华南地区中尺度对流复合体(MCC)的研究. *大气科学*, 1989, 13(4): 417-422.
- [16] 项续康,江吉喜. 我国南方地区的中尺度对流复合体. *应用气象学报*, 1995, 6(1): 1-17.
- [17] 陶祖钰,王洪庆,王旭,等. 1995 年中国的中- α 尺度对流系统. *气象学报*, 1998, 56(2): 166-177.
- [18] 郑永光,朱佩君,陈敏,等. 1993—1996 黄海及其周边地区 M α CS 的普查分析. *北京大学学报(自然科学版)*, 2004, 40(1): 66-72.
- [19] 费增坪,郑永光,王洪庆. 2003 年淮河水大期间 MCS 的普查分析. *气象*, 2005, 31(13): 18-22.
- [20] 谢静芳,王晓明. 东北地区中尺度对流复合体的卫星云图特征. *气象*, 1995, 21(5): 41-44.
- [21] 杨本相,陶祖钰. 青藏高原东南部 MCC 的地域特点分析. *气象学报*, 2005, 63(2): 236-242.
- [22] 马禹,王旭,陶祖钰. 新疆特大暴雨过程中的中尺度对流系统特征. *新疆气象*, 1998, 21(6): 3-7.
- [23] 段旭,张秀年,许美玲. 云南及其周边地区中尺度对流系统时空分布特征. *气象学报*, 2004, 26(2): 243-249.
- [24] Jirak I L, Cotton W R, McAnelly R L. Satellite and radar survey of mesoscale convective system development. *Mon Wea Rev*, 2003, 131(10): 2428-2449.
- [25] 郑永光,陈炯,陈明轩,等. 北京及周边地区 5—8 月红外云图亮温的统计学特征及其天气学意义. *科学通报*, 2007, 52(14): 1700-1706.

MCS Census and Modification of MCS Definition Based on Geostationary Satellite Infrared Imagery

Fei Zengping¹⁾ Zheng Yongguang²⁾ Zhang Yan¹⁾ Wang Hongqing¹⁾

¹⁾ (Department of Atmospheres Science, School of Physics, Peking University, Beijing 100871)

²⁾ (National Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract

MCSs (mesoscale convective systems) are significant weather systems causing heavy rain and other severe weather events during the warm season, which are very difficult to forecast in operation. Geostationary satellite infrared imagery with higher spatial and temporal resolution can provide much available information for MCS surveillance and forecasting. Since Maddox defined the MCCs (mesoscale convective complexes) based on enhanced satellite IR imagery, there are many detailed studies on the MCSs, but these studies revealed that Maddox's MCC definition is too strict. Then the MCS definition based on satellite imagery is always modified. In recent years, some studies classified MCS to $M\alpha$ CS (meso- α convective system) and $M\beta$ CS (meso- β convective system). But because the definition of MCS based on satellite imagery is not uniform, it is very hard to compare various results of MCS census. First, the progress of MCS census research is reviewed, and the smallest horizontal scale of $M\beta$ CS (meso- β convective system) is modified as that the diameter of cold cloud continuous area of TBB value ≤ -32 °C is more than 20 km. Secondly, based on the new definition of $M\beta$ CS, the mesoscale convective systems are investigated over the Huaihe River Basin utilizing GOES-9 satellite IR imagery during June 21—July 22 2003, the results reveal that there are 10 $M\alpha$ CSs and 24 $M\beta$ CSs. Comparing the definition of $M\beta$ CS with that in the study of Ma et al, there are 7 $M\beta$ CSs which can not satisfy the $M\beta$ CS definition of Ma et al, and 6 of them lead to heavy rain over Huaihe River Basin. It shows that the new $M\beta$ CS definition can better reveal the relationship between heavy rain and MCSs over the Huaihe River Basin. Finally, the other three typical $M\beta$ CSs which produced heavy rainfall over Beijing are analyzed, Shalan Town of Heilongjiang Province, and Shanghai. The diameter of these three $M\beta$ CSs is about 20—150 km, so they satisfy the new $M\beta$ CS definition, but do not satisfy the $M\beta$ CS definition of Ma et al. The results reveal that the new $M\beta$ CS definition is very helpful to investigate and forecast the MCSs producing severe weather events in China.

Key words: satellite IR imagery; MCS; definition; modification