

我国西南地区MCC发生的大尺度天气形势条件和卫星云图特征

张伟廉 张少洪

(空军第七研究所)

提 要

据根具体情况,重新定义了我国MCC的物理特征和条件。分析研究了1986年6月14—17日天气过程期间,华南静止锋天气形势下发生的13次MCC云团。较为详细地论述了其大尺度天气形势、卫星云图演变特征、降水分布以及动力、热力结构。

一、概 述

中尺度对流复合体(Mesoscale Convective Complex, 简称MCC),是由增强红外(EIR)卫星云图的特征来定义的一种中尺度深厚对流天气系统。这种天气系统,在美国中部经常发生。自80年代以来,美国R. A. Maddox和J. M. Fritsch, D. J. Perkey等人发现并对它进行了研究。我国因EIR云图的使用还不普遍,因此,对MCC的研究较少。

我们参照Maddox定义MCC所具有的物理特性和条件,根据我国MCC发生的情况,将它原定的偏心率 ≥ 0.7 、冷云盾的红外温度 $\leq -32^{\circ}\text{C}$,改为偏心率 ≥ 0.6 、增强温度处理的第一档 $T_{\text{BB}} = -46 \sim -55^{\circ}\text{C}$ 。其他条件不变。根据以上定义,我们普查了1982、1983年5—6月的EIR云图及气象资料,发现我国也经常发生MCC,而且活动频繁。在这两年的4个月里,共有16次MCC天气

过程,其中,1982年的两个月内发生4次,一般强度较弱,1983年的两个月内发生了12次,有的强度较大。年际分布不均匀,是由于大尺度环流的年际差异而引起的。从地区分布看(图1),以贵州南部和广西地区为一个较集中的多发地区。

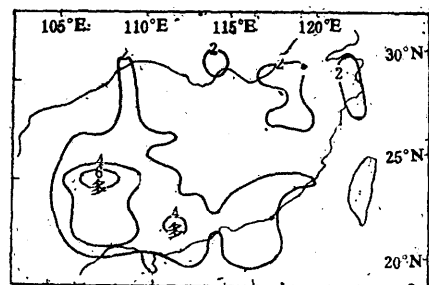


图1 1982、1983年5—6月MCC($T_{\text{BB}} \leq -51^{\circ}\text{C}$)云区的分布频率

图2绘出MCC的开始形成、发展成熟、最后消亡时间的分布和生命史。从图可见,

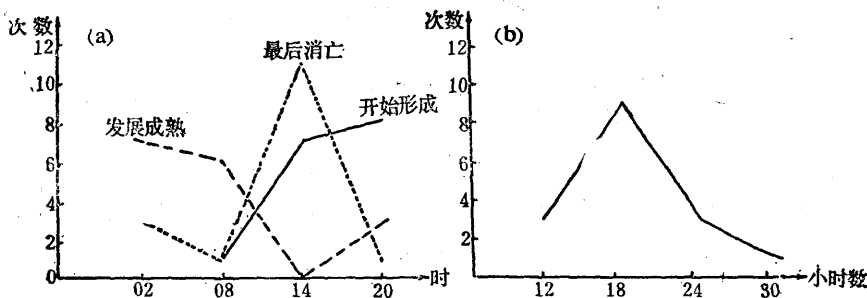


图2 MCC演变各阶段的时间分布(a)及生命史(b)

MCC的开始形成时间有两个高峰,即 14^h 和 20^h ,占15/16;70%左右在 14^h 左右最后消亡;发展成热时间一般在 02^h (7/16)和 08^h (6/16)。大多数MCC的生命史是18小时左右(9/16),其次是12小时和24小时(各为3/16)。

从发生的16次MCC天气过程分析,它们在两类天气形势下产生。一类是华南准静止锋西段发生的MCC;另一类为气旋波内弱冷锋西部或切变线前部暖区中发生的MCC。

本文主要对华南准静止锋天气形势下产生的MCC进行分析研究。选择1983年6月14—17日的天气过程,此间共发生13次较典型的MCC云团,从大尺度的天气形势条件、卫星云图上的演变特征、降水分布以及动力、热力结构等方面,作了较详细的论述,从而为预报提供了有益的依据。

二、大尺度天气形势条件

1983年6月15日,在 25°N 附近准静止的冷锋,其最西段形成了云贵静止锋。云贵静止锋的建立和稳定维持,开始了MCC天气过程。从6月14—17日,在云贵交界和广西地区,连续3天在类似地点和时间内,产生每天一次周期性的MCC天气过程。其移动路径及用平均场所表示的环境系统三维配置和相互关系见图3。

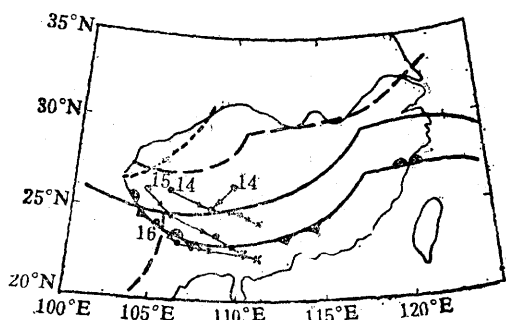


图3 3次MCC移动路径(箭头)和锋面、850hPa切变线(实线)、700hPa切变线或槽线(断线)、500hPa槽线(虚线)的平均位置

路径取自EIR 6小时一次的中心位置,数字为日期

* 上海气象局观象台卫星组提供。

** 依据上海气象局观象台卫星组1983年的有关规定划分。

图中,6小时一次的EIR云图上MCC的中心位置,以矢量联接。日期和时间为:

第1次,6月14日 20^h 开始形成,15日 14^h 消亡;第2次,6月15日 20^h 开始形成,16日 14^h 消亡;第3次,6月16日 20^h 开始形成,17日 14^h 消亡。

3次MCC在EIR云图上的云型演变见图4中1、4、7行的云型素描。素描的云型共增强4级,划分**最外围线相对应的 T_{BB} 为 $-46--55^{\circ}\text{C}$,其余3级依次为 $-55--63^{\circ}\text{C}$ 、 $-63--71^{\circ}\text{C}$ 、 $T_{BB}<-71^{\circ}\text{C}$ 。

MCC开始形成阶段时的对流单体,一般都在静止锋西段发展起来,直至17日静止锋消失,这种相对稳定的天气形势转换为其他天气系统控制,MCC也就不再发生了。

850hPa高度上系统的演变,基本和地面相似。在静止锋形成的同时,相应地在 25°N 、 $100--113^{\circ}\text{E}$ 附近建立了一条东—西向的切变线,在14—16日,切变线的位置稳定少变,其最西端与静止锋相交,MCC开始形成阶段的对流单体就在它们相交处附近发生发展后东移。17日,切变线的西段向东收缩消失,MCC天气过程始告结束。

对流层中层的系统变化与低层稍有不同,切变线随高度向北倾斜,在700hPa上,切变线的西段位于 $26--28^{\circ}\text{N}$ 一带。值得注意的是,在云南东部及云贵交界处、广西等地区的SW气流中,产生MCC的3天内,每天有一次周期性的中尺度短波槽产生,一般在 20^h 产生,东移至广西东部消失。槽线北端与850hPa的切变线和地面静止锋正交,并沿锋面向东移动,MCC开始形成阶段的对流活动,就在700hPa槽线北端与850hPa切变线相交点附近地区首先触发产生,此后,MCC的移动、发展及消亡,基本与此短波槽的活动相一致。

500hPa上,青藏高原中部有一个明显的短波槽,当槽东移出高原到达内陆上空时,仅对 27°N 以北地区影响较大,产生MCC的云南、贵州和广西交界处,只是处于槽底,

但在涡度场上却连续3天有一对正负涡度中心移过该处(特别是正涡度中心更为明显),17日MCC天气过程结束后,也就没有此现象出现了。

300hPa上, MCC的位置, 接近副高, 在它以北为极锋急流, 其南、北端呈现了显著的经向风切变。17日, 在MCC所在处的左上方出现了NW急流, 南、北端的水平风切变消失, MCC的过程也就结束。

综上所述, 可概括出, 静止锋型的MCC, 产生在地面西南热低压北部、华南静止锋西段, 并在850hPa切变线、700hPa短波槽和500hPa槽底上下相互叠加的地区。当这种形势由天气尺度的高空槽从西移来而重新调整后, MCC天气过程最终结束。

三、MCC在卫星云图上的演变特征和天气现象

MCC云型演变, 在EIR云图上的表现, 可分为4个阶段。

1. 开始形成阶段

一般从14^h开始, 在青藏高原东南麓有若干对流单体发展起来, 到傍晚时已逐渐减弱。但此时在700hPa上, 有一中尺度小槽出现, 使该地区重新组织起了新的对流活动。500hPa上, 同时有一个正涡度中心加入, 更促使对流活动发展, 从一个发展成几个对流中心, 最后, 逐渐合并为一个较大的 α 中尺度对流云团, 有时还伴随着出现1—2个 β 中尺度的对流云团。中心密蔽云区达到 $T_{BB} \leq -71^\circ\text{C}$, 但从最冷云盾的面积和形状等方面都尚未具备MCC应有的标准。从云图上分析, 云团边缘的温度梯度很大, 表明了该云团主要为对流云组成。实际天气表现为雷暴、阵雨等对流性降水, 但降水量不大, 图4中1、4、7行20^hEIR云图素描即属本阶段的云型特征。

2. 发展成熟阶段

到了午夜或清晨, 对流云团离开源地向ESE—SE移动, 再次合并发展成为一个成熟的MCC(见图4中02^h、08^h云图素描)。云团孤立存在, 呈圆形或椭圆形, EIR的 T_{BB} 呈均匀的对称分布, $T_{BB} < -51^\circ\text{C}$ 的

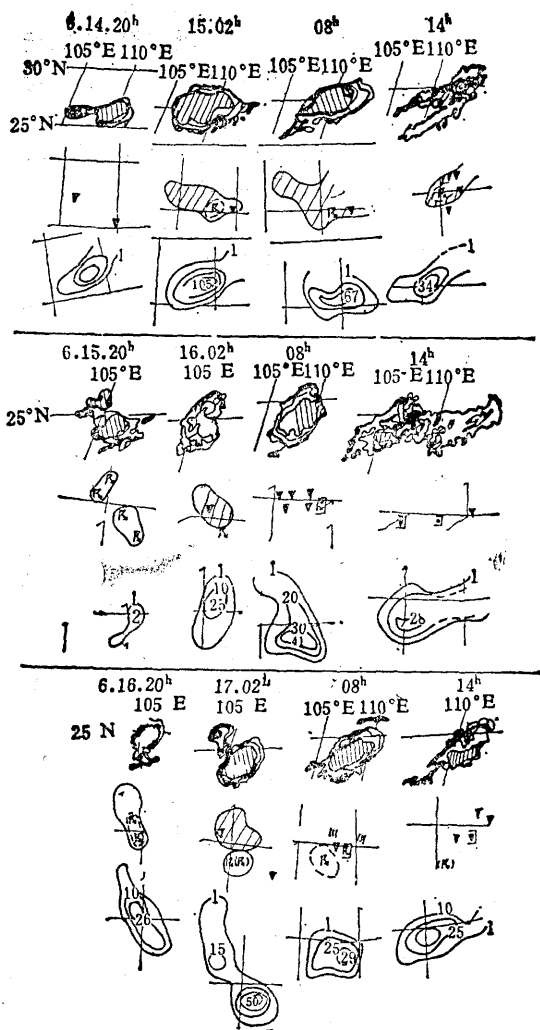


图4 EIR云图上MCC云型素描(1、4、7行, 外围线 $T_{BB} \leq -51^\circ\text{C}$, 斜线区 $T_{BB} < -71^\circ\text{C}$ 、地面天气图上天气区(2、5、8行)及6小时降水分布(3、6、9行)

云区和 $T_{BB} < -70^\circ\text{C}$ 的最冷云区面积都达到了最大的水平范围, 面积 $\geq 10^5\text{km}^2$, 此面积的持续时间为6小时以上, 完全符合Maddox定义MCC的标准。此时 $T_{BB} < -51^\circ\text{C}$ 的云区比 $T_{BB} < -70^\circ\text{C}$ 的云区范围显然要大, MCC各方向上的温度梯度基本均匀分布。天气表现为对流性的雷暴暴雨和稳

定性降水天气, 降水量很大。

3. 稳定维持阶段

此阶段的时间一般在开始形成后第二天上午(图4中08^h云图素描)。云团仍保持MCC的各种特性, 但随着700hPa上小槽的东移, 亦向东偏南移动。云区范围略有缩小, 云团的长轴顺时针转了10—20°, 云区趋于拉长。此阶段的持续时间不等, 一般在6—12小时左右。 $T_{BB} < -51^{\circ}\text{C}$ 的云区比VIS图上云区明显小, $T_{BB} < -70^{\circ}\text{C}$ 的云区在 $T_{BB} = -51^{\circ}\text{C}$ 云区内占的比例更小, 表明了云区内的温度梯度继续减小, 中心强度也趋于减弱, 此时虽仍有雷阵雨, 但以稳定性降水为主, 而且稳定性降水区域明显扩大。

4. 消亡阶段

此阶段一般在午后, 随着700hPa小槽东移减弱的同时, 云团的一个明显特征是: 不再具备MCC所特有的形状、尺度、足够最冷云区面积和持续时间等特性, $T_{BB} < -51^{\circ}\text{C}$ 和 $T_{BB} < -70^{\circ}\text{C}$ 的云盾范围很快收缩, 云型支离破碎不成形(见图4中14^h云图素描)。此时的天气为零星阵雨和小雨。

四、MCC云型演变各阶段

与降水分布的关系

MCC发展各阶段云型特征和地面天气图上的天气区范围, 以及6小时降水量分布有着密切关系, 从它们相互比较分析中, 可得到天气预报的启示。由图4可看出如下几点。

1. MCC的开始形成和最后消亡阶段降水量最小(为使EIR与云图时次相一致, 图4用的是6小时降水量。17日14^h降水量大, 是由于有另外的天气系统渗透发展所致)。发展成熟阶段6小时降水量达到本过程的第一个峰值, 3次MCC此时的降水量分别为105mm、41mm、50mm, 降水分布范围、形状与云团的面积、形状的吻合程度最高。稳定维持阶段, 降水量为本过程的第2个峰值, 分别为67mm、28mm、29mm, 降水分布和云团特征大致吻合。

2. 6小时降水分布与 $T_{BB} < -51^{\circ}\text{C}$ 云区的关系

此种关系可从图4中1、4、7行与3、6、9行的比较得出。

(1) EIR图上最强中心 $T_{BB} < -70^{\circ}\text{C}$ 的云区, 与 $R_0 > 10\text{mm}$ 的分布区域大致吻合; $R_0 = 1 - 10\text{mm}$ 的降水区比 $T_{BB} = -51 - -71^{\circ}\text{C}$ 的云区范围大。

(2) 不稳定降水一般发生在 $T_{BB} < -71^{\circ}\text{C}$ 云区内。

3. EIR云图中, $T_{BB} < -51^{\circ}\text{C}$ 云区范围与同时的天气图上天气区范围相差较大(图4中1、4、7行与2、5、8行相比较)。天气图上天气区范围甚至小于 $T_{BB} < -71^{\circ}\text{C}$ 的云区范围, 有时, 即使有成片的冷云盾, 在天气图上也分析不出成片或连续的降水区域。这主要是观测站网密度小的缘故, 因此, 在作短时外推预报和估计天气实况时, 必须以云图的范围为准。

五、MCC的动力、热力结构

由于3次MCC的大尺度天气形势稳定少变, 因此, 它们的动力、热力结构也基本相似。图5是6月16日08^hMCC天气过程

发展成熟阶段时垂直 θ_{se} 场和 $\frac{\Delta\theta_{se}}{\Delta p}$ 场的分

布以及低空急流轴和MCC位置配置情况。从图中可见, MCC位于850hPa的 θ_{se} 大值中心及其北部的 θ_{se} 密集区内, 直到300hPa都处于 θ_{se} 的大值区内, θ_{se} 大值中心随高度稍向北偏移, 低空SW急流轴位于MCC南端, 呈NE→SW向, 它在3次MCC过程中始终存在, 在 θ_{se} 大值中心区内, MCC则发生在SW急流轴的左后方, 从各种分析看, 低空SW急流是产生MCC水汽输送的必要条件。以上的空间结构, 表明了MCC纯属暖区内的系统。图5中500hPa和700hPa虚线形式类同, MCC在0线附近及靠正区的一侧发展, 此处位势不稳定度大, 易于发展MCC。在MCC的SW→S→

SE各方向都处于 $\frac{\Delta\theta_{se}}{\Delta p}$ 的正大值中心区

内, 更有助于MCC的发展。

图6是由3次MCC中心各7个点的平

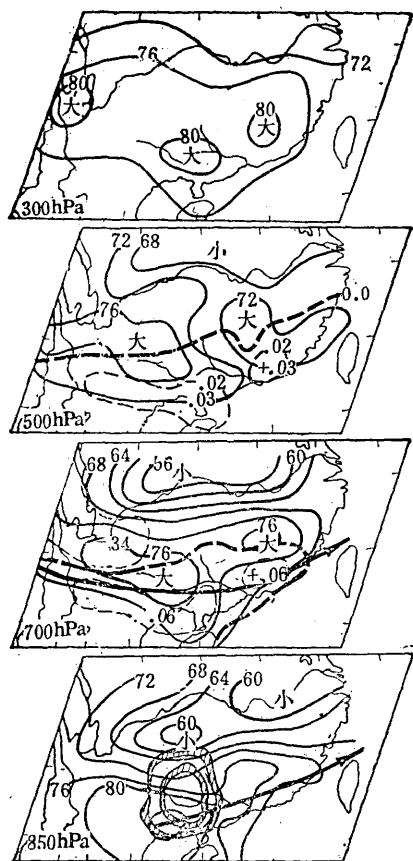


图5 MCC发展成熟阶段 θ_{se} 场和 $\frac{\Delta\theta_{se}}{\Delta p}$

场的空间结构

实线: 等 θ_{se} 线 粗实线: SW 急流轴 斜线区:

EIR云图上的MCC 虚线: $\frac{\Delta\theta_{se}}{\Delta p}$ 线, 500hPa为

$\frac{\Delta\theta_{se}(850-500)}{\Delta p}$, 700hPa为 $\frac{\Delta\theta_{se}(850-700)}{\Delta p}$

均值制成的垂直廓线。它表明了MCC各阶段涡度、散度和垂直速度的垂直廓线。

(1) 涡度分布 在MCC开始形成和发展成熟阶段, 正涡度的层次较厚, 从地面一直到400hPa。400hPa以上才转为负涡度。消亡阶段正涡度层次降低到700hPa以下。但无论在哪个阶段, 最大正涡度都出现在850hPa上, 且 $\zeta \geq 6 \times 10^{-5} \cdot s^{-1}$ 。

(2) 散度分布 在MCC开始形成阶

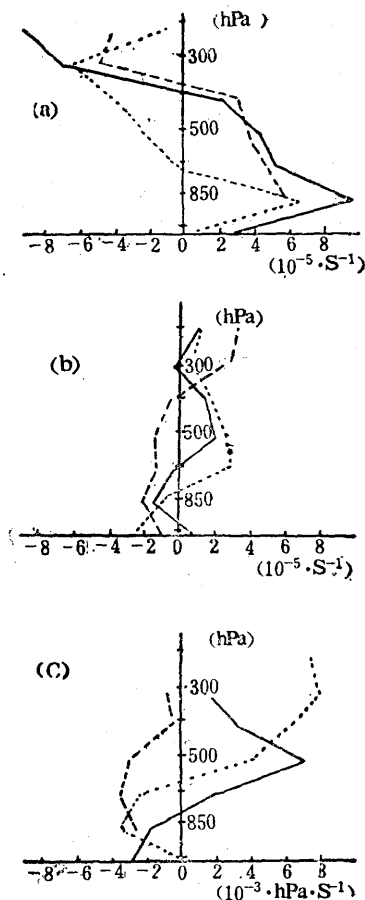


图6 3次MCC演变各阶段中心附近平均涡度(a), 散度(b), 垂直速度(c)

图例同图2

段, 地面到700hPa为辐合层, 700hPa以上为辐散层; 发展成熟阶段, 辐合层明显加厚, 在400hPa已成为辐合层, 辐合量亦增大, 最大值出现在850hPa上, $D = -2 \times 10^{-5} \cdot s^{-1}$, 400hPa以上转为辐散层, 最大值出现在200hPa, $D = 3.2 \times 10^{-5} \cdot s^{-1}$; MCC最后消亡阶段时, 只有地面到850hPa为辐合, 且辐合量减小, 850hPa以上全为辐散层, 最大值出现在700hPa上, $D = 2.8 \times 10^{-5} \cdot s^{-1}$ 。

(3) 垂直速度 MCC开始形成阶段首先在地面到850hPa浅层内有上升运动发

展,在发展成熟阶段,上升运动已扩展到300hPa高度,最大值在700hPa上, $\omega = -3.4 \times 10^{-3} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$; 进入最后消亡阶段时,上升运动又降低至700hPa以下的高度,下沉运动随高度急剧增大,最大值出现在300hPa, $\omega = 7.8 \times 10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

(4) 水汽散度场(图略) 在MCC开始形成阶段,在800hPa以下,由于气流的平流和辐合,出现了一个很大的水汽辐合值($-67 \times 10^{-5} \text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$),随着时间的推移,对流的不断发展,低层水汽不断向上输送,在MCC发展成熟时,水汽辐合的湿层一直达到450hPa附近,最大值在850hPa上($-61 \times 10^{-5} \text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)。在400hPa附近则出现水汽辐散的大值($23 \times 10^{-5} \text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$); MCC最后消亡阶段,整层大气基本为水汽辐散。

六、结语

1. 本文的研究结果,与文献〔2〕Maddox的10个MCC的大尺度气象条件的合成分析相比较,有很多相同的方面。然而,在定义我国MCC形状时,我们采用偏心率 ≥ 0.6 的标准。在普查中发现,我国MCC在其他条件相同情况下,椭圆云型多,圆型少,故采用此标准,这对确定MCC的性质并没有影响。

2. 本文应用EIR云图,从我国MCC云型发展演变特征的实际出发,分为开始形成、发展成熟、稳定维持、最后消亡4个阶段,而Maddox根据大尺度天气形势条件,分为生成、强盛、衰弱3个时期。

从云图上将云型特征分阶段,得出的MCC云型图象,有它的实际预报意义,因为,目前对MCC形成的物理机制尚未认识清楚,但它是一个较稳定和缓慢移动的中尺度对流天气系统,从EIR云图上的云型变化出发,较容易认识和掌握它们各个发展阶段不同的云型,从而预计它们的发展。类似华南静止锋型的MCC,在稳定少变的大尺度天气形势下,甚至有可能展望3—4天的中期降水天气趋势。

参考文献

- 〔1〕R. A. Maddox, Mesoscale Convective Complexes, Bull. Amer. Meteor. Soc. 61, 1374—1387, 1980.
- 〔2〕R. A. Maddox, Large-Scale Meteorological Conditions Associated with Midlatitude, Mesoscale Convective Complexes, Mon. Wea. Rev. Vol. III, 1475—1493, 1983.
- 〔3〕Takaks Akiyama, A Medium-Scale Cloud Cluster in a Baiu Front, Journal of the Meteorological Society of Japan, Vol. 62 (3), 485—521, 1984.

The Large-scale synoptic situation of MCC generation and their satellite image features in Southwest China

Zhang Weilian Zhang Shaohong

Air Force Institute of Meteorology

Abstract

According to the practice, we have re-defined and analysed the 13 MCC, that occurred during Huanan quasi-stationary front. In this paper the large scale synoptic situation and the features of their satellite image, rainfall area, dynamical and thermal structure have been described.