

我国西南—华南地区中尺度对流 复合体(MCC)的研究

李玉兰 王婧娈

郑新江

过文娟 黄文根

(中国科学院大气物理研究所)

(国家气象局卫星气象中心)

(北京气象学院)

提 要

本文普查了 1983—1986 年 4—9 月我国西南—华南地区 MCC 活动的基本特征, 并以一个典型的例子讨论它的形成和成熟期的结构, 云顶黑体温度(T_{BB})演变过程及降水等。

一、引 言

在我国大陆地区, 经常可以从卫星云图上观测到引起强对流天气和暴雨的白亮而又紧密的云团, 通常称之为中尺度或中间尺度云团。后来又广义的采用暴雨云团, 这在时间和空间尺度上没有一定的标准。最近几年来又广泛的引用中尺度对流复合体(MCC)这一概念。过去国内多数工作采用的是黑白云图和假彩色分层显示云图, 没有定量的云顶温度资料。因此, 怎样区别, 定义适合我国大陆上的 MCC, 并研究其结构、物理机制、天气等特征, 是广大气象工作者关心和感兴趣的问题。

二、资料及 MCC 的基本特征

我们使用的云图资料: GMS 红外增强显示分层云图(6 小时间隔), GMS 黑白云图(3 小时间隔)和日本 GMS 微缩胶卷(半小时间隔)。参考 Maddox^[1]的标准, 将 MCC 定义为: $T_{BB} \leq -33^\circ\text{C}$ 的冷云区面积 ≥ 10 万平方公里; $T_{BB} \leq -54^\circ\text{C}$ 的内部冷云区面积 ≥ 5 万平方公里; 生命史 ≥ 6 小时; 外形椭圆或近似椭圆。除没有考虑短轴/长轴 ≥ 0.7 外, 基本与 Maddox 定义相同。另外, 1983 年使用上海气象局增强红外显示云图, 其增强档数为 -43°C , -53°C , -62°C , $< -73^\circ\text{C}$ 。其它年份取自国家气象局卫星气象中心。二者有些差异, 因此, 在计算 MCC 面积时做了适当的调整^[2]。

在我们普查中经过筛选满足上述定义的共有 5 例(见表 1)。看来为数不多。与美国中部出现的 MCC(年平均 20 个)相比, 显然少得多。生成地区比较集中, 除 1984 年 7 月一例生成地区偏东外, 基本集中在 105°E , 23°N — 28°N 这一地区, MCC 生成后东移减弱或稳定少动, 在原地减弱消失。生命史较短, 平均 12 个小时。由于我们

利用的是每隔 6 小时一张的增强显示云图, 在统计生命史时比 3 小时一张的间隔有一定的出入。 $T_{BB} \leq -33^{\circ}\text{C}$ 的冷云区面积最大不超过 $400 \times 10^3 \text{ km}^2$, 5 个例子平均为 $262.7 \times 10^3 \text{ km}^2$, 根据 Maddox 10 个例子计算 $T_{BB} \leq -32^{\circ}\text{C}$ 的冷云面积结果, 最大面积达 $924 \times 10^3 \text{ km}^2$, 平均 $392.6 \times 10^3 \text{ km}^2$, 因此, 我国的 MCC 不论时间尺度或空间尺度均比美国的小, 带来的天气以降水为主, 有时伴有雷暴天气, 美国中部出现的 MCC 常常带来龙卷、强风、冰雹、下击暴流等强天气。

三、MCC 云顶温度的演变和降水

关于云顶温度变化与暴雨的关系, Yamashita 等^[3]曾指出: 红外黑体温度冷云面积和强降水是相对应的, 黑体温度低于 230K 的云区, 约有 50% 的面积降水强度大于中等强度 (4mm/1h), Fujita^[4]指出: 具有特定云顶温度的中尺度对流复合体面积, 随着时间的变化产生不同类型的天气, 作者^[5]曾将暴雨云团进行假彩色增强显示, 增强 4 档与 6 小时降水量作了比较, 分层档次与不同降水量是相对应的。这里我们以 1983 年 6 月

表 1 MCC 特征一览表

起始时间 (北京时)	1983.5 20 ⁰² —20 ¹⁴	1983.6 14 ²⁰ —15 ⁰⁸	1983.6 15 ²⁰ —16 ¹⁴	1983.6 16 ²⁰ —17 ⁰²	1984.7 31 ²⁰ —8.1 ⁰²
生成时的 中心位置	106.5 °E 27.6 °N	109.0 °E 26.3 °N	106.9 °E 23.6 °N	105.3 °E 24.5 °N	114.5 °E 25.4 °N
达到最强时刻	20 ⁰⁸	15 ⁰²	16 ⁰⁸	17 ⁰²	31 ²⁰
生命史(小时)	12	12	18	6	6
云型特征	椭圆	椭圆	椭圆	椭圆	近似椭圆
最强时刻 云顶面积 ($\leq -43^{\circ}\text{C}$ (-33°C)	152.4	306.7	283.8	207.6	363.0
单位: $\times 10^3 \text{ km}^2$ $\leq -53^{\circ}\text{C}$	120.0	258.3	238.9	186.3	242.0
前期云 系特征	二块对流 云合并	气旋波云 系西南部 生成	气旋波云系西南, 积云线北侧对流 云合并	二块对流 云合并	环状散乱 云聚合而成
移动特征	东面移动 减弱消失	较稳定 减弱消失	东南移动 减弱消失	东南移动 减弱消失	少动 原地消失
6 小时最大降水量 (单位: mm)	25	105	33	50	53
相对应的 天气形势	500hPa 高原短 波槽东移, 850 hPa 槽前	850—700 hPa 切变线, 地面弱低涡	850—700 hPa 切变线	850—700 hPa 切变线	850hPa 暖高压 南侧
增强档数	4	4	4	4	3

14—15日一例进行讨论。该例是一个比较典型的MCC快速发生发展和减弱的过程。图1给出这次过程的红外增强显示素描图。MCC于14日20时产生在贵州、湖南与广

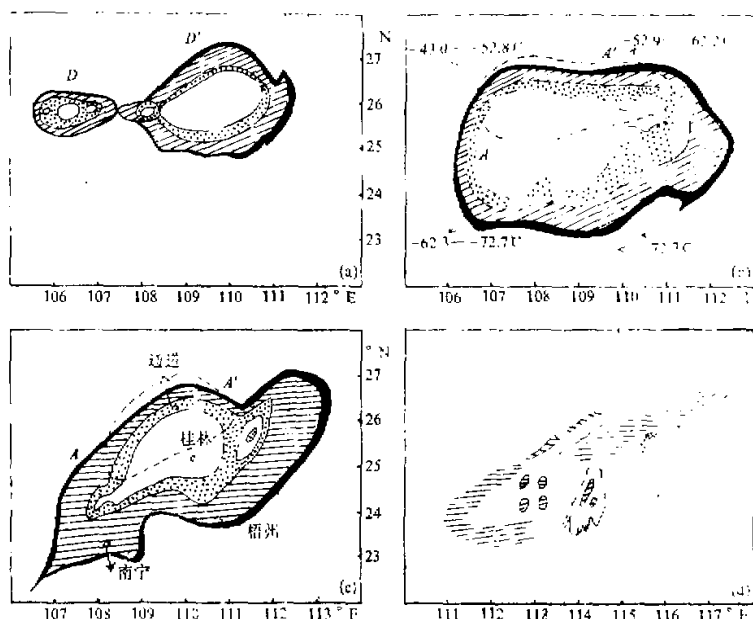


图1 1983年6月14日20时(a)、15日02时(b)、15日08时(c)、15日20时(d)红外增强素描图

虚线为 $\geq 25\text{mm}/6\text{h}$ 的降水区

西交界处。文献[6]也曾指出:该地是中间尺度云团的发源地。从图1a可以看到有两个低于 -43°C 的冷云区(以D和D'表示),它们的面积分别为 $18.5 \times 10^3 \text{ km}^2$ 和 $121.0 \times 10^3 \text{ km}^2$,达到增强4档的标准,且云顶温度分布比较均匀。在每隔半小时一张的云图上看到14日17时D云团已经生成,其尺度不到100km,一小时以后开始增大,并逐渐东移,14日18时30分靠近D'云团,与D'云团相配合的六小时(14日14—20时)雨量达43mm。15日00时D和D'两云团合并。在增强显示红外云图上15日02时才可以看到这一合并现象(图1b)。图2(见图版I)给出该时刻的GMS-2红外增强显示云图。明显表现出冷云区面积扩大,低于 -43°C 的面积达到 $306.7 \times 10^3 \text{ km}^2$ 。云顶温度梯度分布变得不均匀,西北侧A—A'处梯度大,东南侧梯度小。最大降水量偏于梯度大的一侧。14日20时—15日08时6小时最大降水量105mm,其暴雨中心在湖南省的通道县。15日08时(图1c),冷云区有些拉长,出现两个低于 -73°C 的温度区,但仍处于强盛阶段,6小时降水量达67mm,在桂林出现雷暴天气。之后MCC稍东移快速减弱,只表现出散乱的云区(图1d),出现零星小雨,6小时降水量不超过10mm。从上述分析可以看出,最大雨量主要出现在14日20时—15日08时这一时段内。这正是初生的MCC到成熟的MCC时段,面积约扩大了二倍多。而6小时大于25mm的降水区只占低于 -53°C 冷云区面积的 $1/2—1/3$ 。

上述过程是一次850hPa低涡切变线生成和加强的过程。低涡切变线形成于14日20

时,低涡生成后迅速东移,切变线西端维持在 25°N 附近.于此同时,切变线南侧的低空西南急流相应加强,从华南沿海向东北方向伸展,长度在 1000km 以上. 850hPa 高度上的西南风由 14 日 20 时的 13m/s 增加到 15 日 08 时的 18m/s . 急流中心位于 MCC 南侧附近.从 MCC 冷云区内的桂林单站风时空图(图略)上可以看到,14 日 20 时到 15 日 08 时西南风不但增强,而且也在加厚,其高度达到 500hPa ,对 MCC 的加强起着重要的作用.作者在文献[5]中曾强调南风加强和加厚对暴雨云团的重要性.另外,由于 500hPa 短波槽的逼近,处于槽前的桂林站出现 20m/s 的偏南风.因此,在对流层中、下层,急流轴的西端偏南风远远大于北侧的偏北风.风向和风速的辐合在 MCC 附近最强.在暴雨出现的时段内,对流层低层($1000 - 700\text{hPa}$)出现一个水汽辐合区,中心最大值达 $-69.3 \times 10^{-7}\text{g/cm}^2 \cdot \text{hPa}$,位于 MCC 云顶温度梯度最大的地方.上述分析表明:由于低空急流轴北侧辐合的加强,并伴有暖平流(850hPa 上的 $\vec{V} \cdot \nabla T = 1.3 \times 10^{-4}^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$)产生强迫上升运动,是本次暴雨过程的主要抬升条件.

四、MCC 结构的分析

我们采用三角形法取格距为 150km ,进行客观分析,计算七层($1000, 850, 700, 500, 300, 200, 100\text{hPa}$)物理量,为了进一步讨论 MCC 的平均状况,将 MCC 自初始形成一成熟阶段分别取其中心 7—9 个格点的平均值.这样对描述较大水平尺度($400 - 660\text{km}$)的 MCC 结构还是可以的,基本上反映了 $\leq -53^{\circ}\text{C}$ 冷云区的平均情况.图 3—5 给出 14 日 20 时和 15 日 08 时的涡度、散度和垂直运动的平均垂直廓线,同时也给出文献[7]中 MCC 强盛期所占区域内平均散度和垂直运动廓线.从图 3 看出初

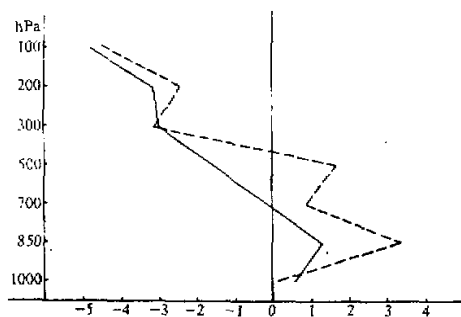


图 3 1983 年 6 月 14 日 20 时(实线),
15 日 08 时(虚线) MCC 低于
 -53°C 区域内的平均涡度垂直
廓线 单位: $\times 10^{-5}\text{s}^{-1}$

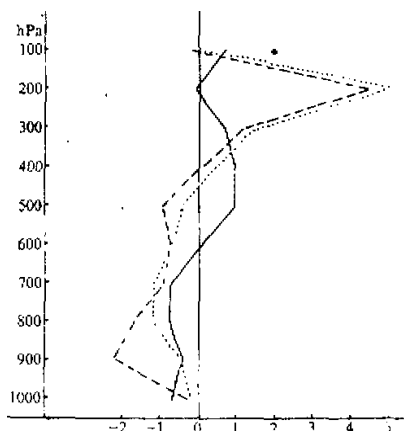


图 4 1983 年 6 月 14 日 20 时(实线)、15 日 08 时
(虚线) MCC 低于 -53°C 区域内平均散度
廓线
点线是文献[7]中强盛期 MCC 所占区域内的平均
散度廓线. 单位: $\times 10^{-5}\text{s}^{-1}$

生时的 MCC 在对流层低层为正涡度, 最大正涡度位于 850hPa 高度上, 以上为负涡度, 并随高度增大。到强盛期正涡度伸展到 500hPa, 出现双峰值, 且 850hPa 上正涡度明显加强。500hPa 正涡度的出现表明高原 500hPa 短波槽的东移是这个正涡度出现的主要原因, 而对流层低层正涡度正好在切变线上偏北风和偏南风最大值之间, 涡度的增大是由气旋切变造成的。正涡度中心几乎与 MCC 云顶温度梯度最大的地方相重叠。散度的垂直分布如图 4。明显的特征是成熟的 MCC 比初生的 MCC 辐合气柱变厚, 无辐散层由 700—600hPa 之间抬升到 400—500hPa 之间, 400—200hPa 为辐散层, 最大辐散出现在 200hPa 上, 平均为 $4.46 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, 比初生 MCC 辐散增加 4 倍多。这一结果与 Maddox^[7] 的结果相一致。从散度平面图上分析看到在切变线西端 850hPa 高度上有一个 $-2.0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 的辐合区与成熟的 MCC 范围相一致, 最大辐合中心 ($-4.4 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$) 偏于 MCC 云顶温度梯度大的一侧。因此, 这次切变线上 MCC 上空正涡度区的形成主要是气流辐合的结果, 而切变线南侧西南低空急流的形成和加强又是辐合的主要来源。

从图 5 看到不论是初生的 MCC 还是成熟的 MCC 整层均为上升运动。成熟的 MCC 上升运动有明显的增强, 其值由 $-2.9 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 增大到 $-5.9 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$, 高度由 600hPa 抬升到 400hPa。这种大尺度上升运动的抬升可能与 MCC 北侧旺盛的积云对流加强、灰度梯度增大有关。通过 MCC 中心经向剖面(图 6), 表明最强的上升运动主要在 MCC 中心北侧, 南侧则为下沉运动。同时, 在 MCC 上空对流层上层出现明显的增暖现象, 300hPa 高度上出现 -26°C 的暖心结构。高层增暖的结果, 引起高空质量外流, MCC 出现卷云辐散流出。

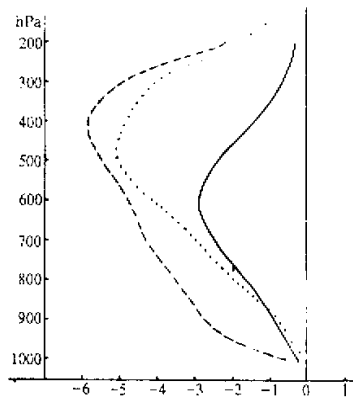


图5 1983年6月14日20时(实线)、15日08时(虚线)MCC 低于 -53°C 区域内的平均垂直运动廓线
其它说明同图4

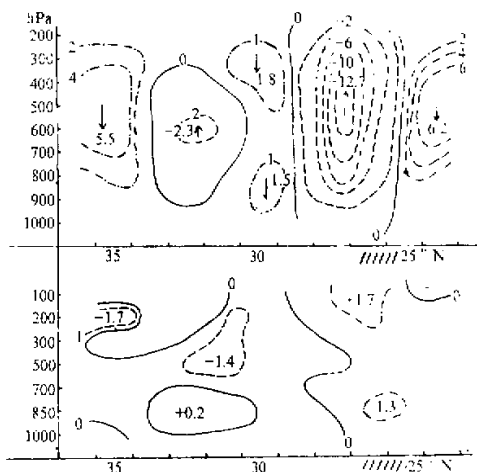


图6 1983年6月15日08时通过MCC中心经向剖面
斜线为MCC范围, 上图为垂直运动, 下图为温度平流

五、结 论

(1) 西南—华南地区 MCC 出现机会不多, 时空尺度小, 天气以降水为主, 有时伴有雷暴等强天气, 它的发生发展与天气尺度系统(切变线、高空槽、低空急流等)相联系, 孤立地出现的很少. 对流层中、下层不一定有低涡相对应.

(2) 云顶温度梯度的变化与暴雨分布有一定的关系. 初生 MCC 云顶温度梯度分布比较均匀, 降水强度弱. 成熟 MCC 云顶温度梯度分布不均匀, 暴雨容易产生在梯度大的一侧. 同时只占低于 -53°C 冷云区面积的 $1/2 - 1/3$.

(3) 成熟的 MCC 有深厚的辐合层, 中层有强的上升运动, 辐散层浅薄. 对流层上层有明显的增暖现象.

致谢: 杨艳霞同志参加了本文的资料和计算工作, 特此致谢.

参 考 文 献

- [1] Maddox, R. A., 1980, Mesoscale convective complexes, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **61**, 1374—1387.
- [2] 黄文根等, 1987, 长江中上游中尺度对流复合体的结构特征, 北京气象学院学术论文集, 39—47.
- [3] Yamashita, H., Miki, Y., Shibata, N., Shimizu, N., 1981, Infrand parameters for nowcasting severe rainstorms. Nowcasting: Mesoscale observation an short-range prediction, ESA, 1984, 59—62.
- [4] Fujita, T. T., 1981, Mesoscale aspects of convective storms, Nowcasting: Mesoscale observation an short-range prediction, ESA, 1984, 3—10.
- [5] 李玉兰等, 1986, 登陆台风南侧低空急流与暴雨云团的诊断分析, 气象, **12**, No.10, 2—5.
- [6] 江吉喜等, 1986, 我国中间尺度云团的分析和探讨, 气象科学院院刊, **1**, No.2, 33—41.
- [7] Maddox, R. A., 1983, Large scale meteorological condition associated with midlatitude mesoconvective complexes, *Mon. Wea. Rev.*, **111**, No.7, 1475—1491.

勘 误 表

本刊 13 卷 1 期有如下排校错误, 需作勘误:

页	行	误	正
93	倒1	$K^3 - K \left \frac{\partial \vec{v}}{\partial z} \right ^2 l^4 - \frac{rgH}{C_p \rho T} l^4 = 0$	$K^3 - K \left \frac{\partial \vec{v}}{\partial z} \right ^2 l^4 - \frac{\gamma gH}{C_p \rho T} l^4 = 0$
94	4	$B = \frac{rgH}{C_p \rho T} l^4$	$B = \frac{\gamma gH}{C_p \rho T} l^4$



图2 1983年6月15日02时(北京时)GMS-2红外增强显示云图

图中 M 为 MCC

#####

欢迎订阅 1990 年《地球科学进展》

《地球科学进展》由国家自然科学基金委员会地球科学部、中国科学院地学情报网、中国科学院兰州文献情报中心联合主办。主要刊登地球科学的学科进展情况,提供天地生综合研究资料,报道边缘学科交叉学科信息;以及高新技术在地球科学中的应用;介绍国家自然科学基金项目选题意向,公布基金评审情况,交流基金项目管理经验,宣传基金项目具体内容和研究成果。主要栏目:学科发展与研究;地学与四化建设;基金项目管理与介绍;基金项目成果与应用;新学科·新发展·新考证;学术研究动态;探索与争鸣;国外地学考察散记等栏目。

《地球科学进展》适宜从事地球科学和资源环境科学方面的科技人员、管理人员、图书情报人员，也可供高等院校的有关师生参阅。

《地球科学进展》双月刊，公开发行，每期定价1.65元 全年定价9.90元，需订购的单位和个人请与中国科学院兰州文献情报中心发行组联系

地址： 兰州天水路 236 号

邮政编码：730000

开户银行：兰州市科技信用社帐号：01-20