第11卷 第3期
1988年9月

南京气象学院学报
Journal of Nanjing Institute of Meteorology

Vol.11, No.3
Sep., 1988

中尺度对流复合体的若干特征

寿 绍 文

提 要

本文根据美国俄克拉荷马州6年共30次春季主要降水事件的卫星云图资料，探讨了中尺度对流复合体(MCC)与一般的中尺度对流系统(MCS)的区别、MCC在MCS中所占的比例和MCC的天气型、生命史、内部结构以及天气形势背景。

Maddox(1980)[1]把一类特殊的中尺度对流系统(MCS)定义为中尺度对流复合体(MCC)。自那以后，提出了许多问题，例如：MCC在MCS中占多大的比例？MCC与一般的MCS有哪些主要区别？MCC的天气特征和内部环流如何？天气形势背景又有何特征？等等。回答这些问题，需要有大量的MCS个例资料。Houze教授等[2]为了研究中尺度降水系统的雷达回波型，搜集了美国俄克拉荷马州6年59次春季主要降水事件的资料。本文试图用这份资料来探讨上述关于MCC的问题。

一、资料和方法

上面所说的主要降水事件是指24小时(中午至中午)内，在至少占整个研究区(即以俄克拉荷马州的Norman市为中心、半径200千米的圆周以内的范围)的10%的面积上有25毫米(1吋)或以上降水的事件。自1977年至1982年春季(4—6月)共有59次主要降水事件。本文只研究其中有较完整的卫星云图资料的30次事件。

为了确定MCC，我们分析了每次主要降水事件的增强显示红外卫星云图。云图的间隔一般为1小时，有时为半小时。在云图上可根据灰暗度区分6个温度区间。用求积仪分别把温度低于－32℃和低于－52℃的面积求出，并根据－52℃的轮廓线决定MCS的形状，同时求出其长短轴的长度比。然后按照Maddox关于MCC的定义(表1)逐个判别MCS是否符合MCC的标准。

1987年4月20日收到，9月8日收到修改稿

表1 Maddox关于MCC的定义(根据增强显示红外卫星云图的分析)

大小：(1)连续的冷云盖(≤－32℃)面积≥100 000千米^2

(2)温度≤－52℃的冷云区面积≥50 000千米^2

时间：从开始达到大小标准(1)和(2)的时刻起，(1)、(2)两条标准必须在6小时以上的时间内始终符合

最大范围：红外温度≤－32℃的连续冷云盖的大小达最大时的范围

形状：在范围达最大时，偏心率(短轴/长轴)≥0.7

终止：大小标准(1)和(2)不再满足

二、分析结果

1.MCC在MCS中的比例

在30次主要降水事件中，每次都有中尺度云团。但在这些MCS中符合MCC定义的只有8例。这就是说，MCC在MCS中占的比例只有27%，而73%的MCS为非MCC(Non－MCC)。在所有的非MCC中，有64%是由于没有达到MCC的大小标准，其余的则是由于没有符合形状或持续时间的标准。

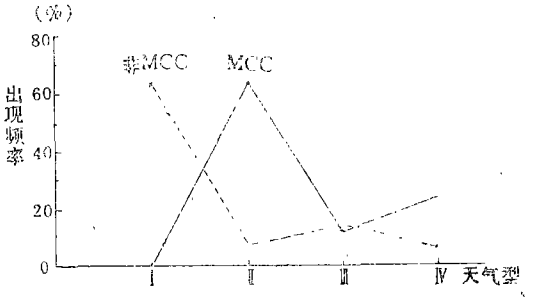


图1 MCC和非MCC所对应的天气型的出现频率

2.MCC的天气型

在文献[3]中，我们将53次俄克拉荷马春季主要降水事件的天气划分成4型。其中，Ⅰ型是雨和强天气都相对较少的事件；Ⅱ型是雨相对较少而强天气较多，即以强天气为主的事件；Ⅲ型是强天气较少，而降雨较多，即以降雨为主的事件；Ⅳ型是雨和强天气都相对较多，即雨和强天气的混合型事件。

图1表示MCC及非MCC所对应的天气型的出现频率。由图可见，63%的非MCC为Ⅰ型天气，即雨和强天气都相对较少的相对较弱的天气。只有少数的非MCC可能有较多的雨或较强的天气。与之相对照，与MCC相伴的天气有7/8为Ⅱ或Ⅳ型，1/8为Ⅲ型，而没有1个是Ⅰ型的。这说明MCC的天气是以多雨或多强天气为特征的。

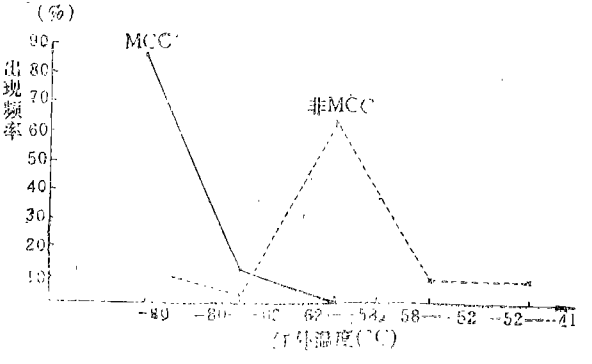


图2 与MCC和非MCC相对应的云顶最低温度的出现频率

3.MCC中的云顶最低温度

除了上述的形状、大小、持续时间和天气特征以外，云顶最低温度也是MCC与一般MCS的显著区别之一。图2表示与MCC及非MCC相对应的云顶最低

温度出现的频率。由图可见，几乎所有的MCC的云顶最低温度都低于－62℃，而85%以上的MCC的云顶最低温度都低于－80℃。与之相对照，82%的非MCC的云顶最低温度都高于－62℃。MCC的云顶温度低，说明MCC的云顶高。根据8个MCC的平均探空曲线，用气块法求出的平均云顶高度约为220百帕。MCC的云顶较高与它的天气较强烈是相一致的。

4.MCC的生命史

一个MCC的典型生命史包括3个阶段，即初始阶段、成熟阶段和消亡阶段。图3给出了一个MCC生命史的典型例子。在初始阶段，许多小对流系统共存；在成熟阶段小系统合并成单一系统；在消亡阶段，大系统破碎或分裂成几个次系统。下面对各阶段进行详细讨论。

(1)初始阶段　对于初始阶段，值得注意的问题是对流系统初始发生的位置以及它们发展的方式。

首先讨论MCS的初始发生位置。大部分MCS都是在俄克拉荷马以西开始发展的。它们的初始位置可以从得克萨斯西部或新墨西哥的东南部向北延伸到堪萨斯西南部和科罗拉多东南部，有的则在俄克拉荷马州的北部或南部发生，但能发展成MCC的MCS几乎都起始于俄克拉荷马外部、落基山脉的东麓。因此MCC的起源可能与落基山脉东坡的地形作用有较密切的关系。

其次讨论对流系统的初始发展方式。MCS有两种不同的初始发展方式：自发型和再生型。所谓自发型，即系统是在先前并无对流活动的区域中发生的，而再生型是指系统是在先前已经存在的对流活动区中重新生长发展的。统计表明，在所有的MCS(包括MCC)例子中，77%是自发型的，10%是再生型的，13%不能明确判断。在所有的MCC例子中，75%是初始自发型的。

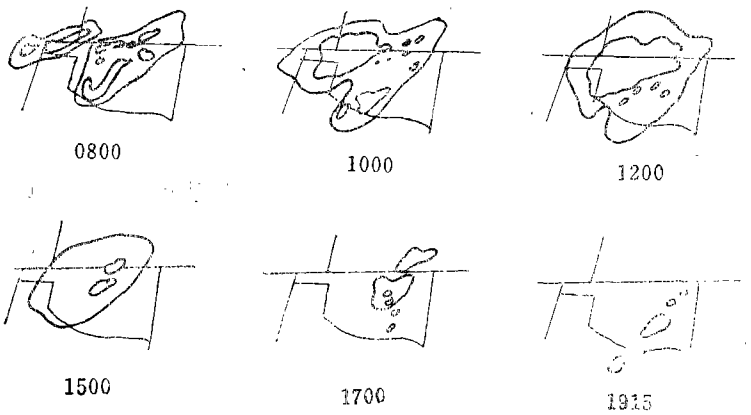
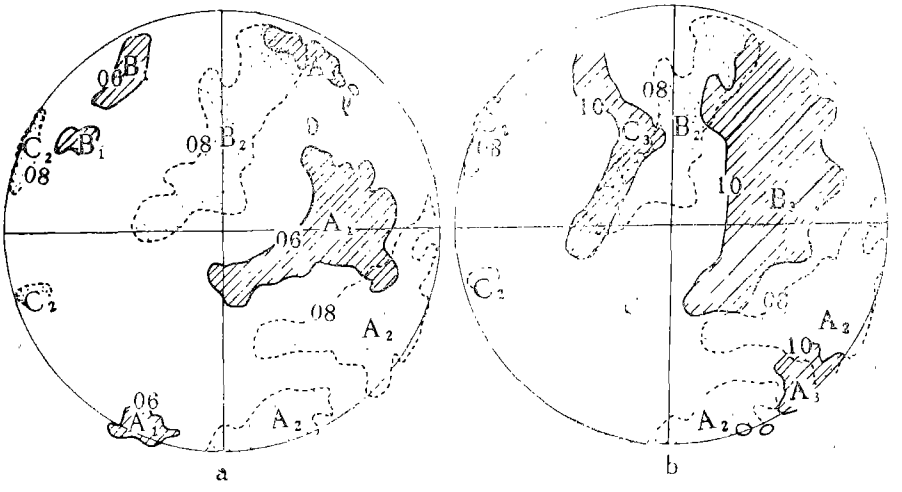


图3　1977年5月31日08时00分—19时15分（世界时，下同），在俄克拉荷马地区的一个MCC的发生、发展和消亡的生命史　轮廓线外圈为黑体温度小于－52°C的范围，内圈为小于－62°C的范围

在初始阶段开始后，一个新的问题是分散的对流单体是否会合并起来形成MCS。统计表明，73%的例子有明显合并，而27%的例子合并不明显，可看作无合并。但在所有的MCC例子中，初始阶段开始后，对流单体都有明显合并。因此，可以说大部分MCS

或所有MCC都是通过对流单体的合并而趋于成熟的。

(2)成熟阶段　关于成熟阶段，我们主要讨论MCC成熟时的结构问题。当温度低于－52℃的云盖面积达最大时，可认为MCC已达到成熟阶段。在增强显示红外卫星云图上，在MCC中可能有几条亮带，它们代表最低黑体温度所在处，也就是云顶最高的地方。这些亮带实际上是不同的对流云带。这表明，尽管层状云区已合并成一个统一的云团，但内部的对流云带仍然可以分散存在。例如，1980年6月20日09—10时(世界时，下同)，在俄克拉荷马有一个MCC(图略)。这个MCC是由几条对流云带合并而成的。不仅在卫星云图上可以从MCC云团中识别出几条亮带，而且从雷达回波图上也可以清楚地看



a　06—08时　　b　08—10时

图4　1980年6月20日06—10时，在俄克拉荷马Norman市观测到的对流回波带的动态图　(轮廓线表示回波带，轮廓线上的数字06、08及10表示该回波区出现的时间。雷达探测半径200千米)

到几条回波带连续移进俄克拉荷马地区的过程。图4a是06—08时，在俄克拉荷马中心的Norman市观测到的回波带的动态图。由图可见，在06时，在雷达萤光屏上有2条回波带A_1和B_1，到08时，A_1和B_1分别移到A_2和B_2的位置上。此时，第3条回波带C_2开始从西北方移入屏幕。图4b表示从08—10时，A_2、B_2和C_2三条回波带随时间的变化。它们分别在10时移到A_3、B_3和C_3的位置上。这几条回波带都是在MCC的内部，可见MCC内包含几条对

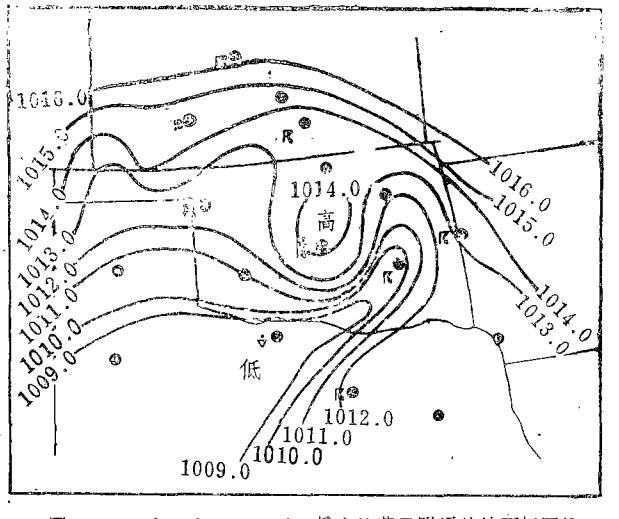


图5　1980年6月20日09时，俄克拉荷马附近的地面气压场(实线为等压线，单位为百帕)

流云带。但是从地面气压场来看，MCC显然已组织成一个统一的系统。在MCC前部是一个深的中尺度倒槽，后部是中尺度高压，然后是尾流低压槽(图 5)。从卫星云图可见，对流云带之间的层状云区是完全弥合的。这和层状云区在系统成熟阶段面积增大有关。这一点可由图 6 说明。图 6 表示雷达回波图上层状回波面积达最大的时间与卫星云图上温度低于－52℃的云盖面积达最大的时间之间的对应关系。由图可见，当层状回波区面积达最大的时刻较晚时，温度低于－52℃的冷云区面积达最大的时刻也相应地较晚。

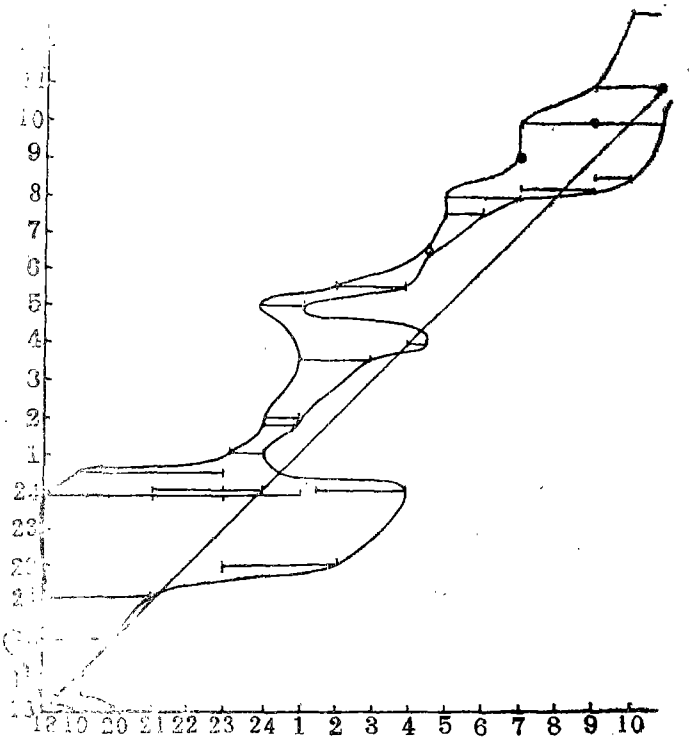


图 6　雷达层状回波区面积达最大的时间(纵轴，美国中部标准时CST)与卫星云图上冷云区(≤－52°C)面积达最大的时间(横轴，CST)之间的对应关系　(横线表示在一次MCS过程中云图上冷云区面积为最大的时段，曲线表示各次MCS过程的冷云区面积最大时段上下界的连线)

(3)消亡阶段　这里将主要讨论MCS的消亡方式和位置。MCS有两种明显不同的消亡方式，即破碎或分裂成较大的次系统。统计表明，57%的 MCS 是破碎的，而40%是分裂的。少数不能明确判断。在所有破碎消亡的 MCS 中，71%都有邻近对流区，即在俄克拉荷马州邻近的 3 州中有对流存在。反过来，在所有的有邻近对流区的例子中，有63%的消亡方式是破碎消亡。这说明破碎消亡与邻近对流区的存在可能有一定的关系。

关于消亡的位置，大部分MCS(67%)是在研究区，即俄克拉荷马州内部消亡的。然而MCC则多数是在俄克拉荷马州外部消亡的。这显然是由于 MCC有较长的生命史的缘故。

5．MCC的天气形势背景

MCC通常位于短波槽脊之间。图 7 是MCC的形势背景的合成。图中水平轴是沿

MCC中心附近上空的500百帕风向而设立的。把所有的MCC中心放在水平轴上的同一点上，并把500百帕等压面上的等高线、500百帕和850百帕的急流轴位置分别描绘在一起。由图可见，大部分MCC都位于500百帕等压面上波长为1000—2000千米的短波槽和脊之间。在卫星云图上常见到在MCC云团前方有反气旋性曲率的卷云线。显然这种卷云线是

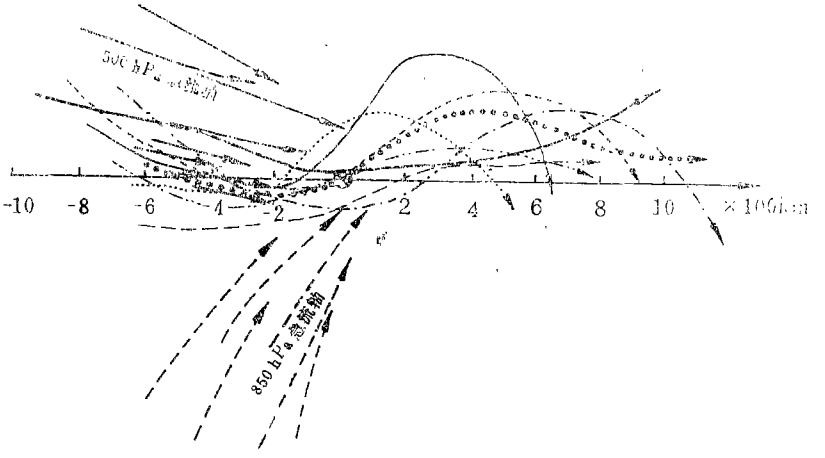


图7 MCC形势背景主要特征的合成（波状箭头线为各个例的500百帕地转风流线，粗实线箭头为500百帕急流轴，虚线箭头为850百帕急流轴，⊗表示MCC中心所在位置）

和短波脊相联系的。由图7还可见，MCC位于高、低空急流轴上下叠置的地方。图8是8个MCC前期俄克拉荷马市(OKC)的风速u、v分量的平均值的垂直分布廓线。图8同样反映了在MCC附近高空偏西风急流与低空偏南风急流上下叠置的形势特点。

Maddox(1983)[4]曾合成了10个MCC的天气形势背景，指出在MCC发展前大形势的一些突出特征。在850百帕等压面上，经常是偏南风急流(风速>10米/秒)，并有湿舌和暖平流配合。在MCC将要发展地区的东南部常为不稳定区。在500百帕等压面上，有一个弱的短波槽在大尺度锋区中移动，促使对流发展。我们的合成结果与Maddox的合成结果相一致。

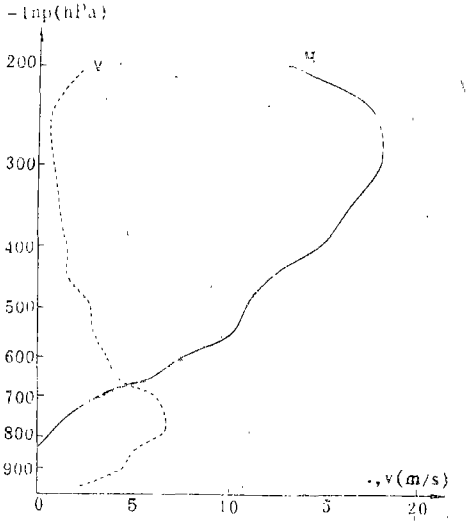


图8 MCC前期OKC风速u、v分量平均值的垂直廓线

三、小　结

综上分析表明，MCC在MCS中只占小的比例(27%)，它的天气相对较强烈，最低黑体温度较低(85%低于-80℃)。MCC大部分起源于落基山脉东麓，通过合并而趋于成

熟。成熟阶段的MCC中可包含几条对流云带，但倾向于有统一环流。MCC与高空短波及高、低空急流有密切的联系。

致谢：本工作承蒙美国华盛顿大学大气科学系Houze教授指导，谨致深切谢意。

参 考 文 献

[1] Maddox, R.A., Mesoscale convective complexes, Bull.Amer.Meter.Soc., Vol. 61(1980), 1374—1387.

[2] Houze, R.A.Jr., Smull, B.F., Dodge, P., Shou Shao-wen, Kingsmill, D., Springtime rainstorms in Oklahoma:radar echo patterns and severe weather.（待发表）

[3] 寿绍文，中尺度降水系统的环境条件，南京气象学院学报，（待发表）

[4] Maddox, R.A., Large-scale meteorological conditions associated with midlatitude mesoscale convective complexes, Mon.Wea.Rev.Vol.111 (1983), 1475—1493.

FEATURES OF MESOSCALE CONVECTIVE COMPLEXES

Shou Shaowen

ABSTRACT

Based on the enahnced IR satellite imageries of the 30 springtime major rain events over Oklahoma, U.S., a survey of the mesoscale convective complexes (MCCs) was presented. The differences between the MCCs and the non-MCCs, the proportion of the MCCs in the mesoscale convective systems (MCSs), and the weather patterns, life cycle, inner structure and synoptic situations of the MCCs were all discussed.