

1995 年中国的中- α 尺度对流系统^{*}

陶祖钰 王洪庆 王 旭 马 禹

(北京大学地球物理系, 暴雨监测和预测国家重点实验室, 北京, 100871)

摘 要

1995 年 6 ~ 8 月中国及其沿海共发生了 102 个中- α 尺度的对流系统(M α CS)。它们主要分布在以下 3 个地区: 华南西部, 四川盆地附近和黄河及长江中下游地区。文中还给出了 6 个发生在不同地区的 M α CS 个例, 用以展示中国 M α CS 在发生和发展过程及其云顶黑体温度分布上所表现出来的多样性。

关键词: 中尺度对流系统, 地理分布, 多样性。

1 引 言

中- α 尺度对流系统, 简称 M α CS (Meso- α Convective System), 是水平尺度在 200 km 以上的对流系统, 它是中国夏季造成暴雨和洪涝灾害的主要天气系统之一。由于生命史较短, 只有数个小时或十几个小时, 因此具有较高时间分辨率的地球同步卫星红外云图是监测和研究 M α CS 最基本的手段。中国的 M α CS 已有过不少研究, 特别是其中的中尺度对流复合体(MCC)的研究。但是, 早期的研究因只有云图的照片, 故不能对 M α CS 的云图特征进行定量的分析, 因此把研究的重点放在产生 M α CS 的环境条件上。方宗义^[1]对 1980 ~ 1983 年梅雨期中 8 个中间尺度云团进行了合成研究, 指出静止锋西端、季风云系北端和高原东移的短波槽相交处有利于云团的产生。1989 年李玉兰等^[2]从 1983 ~ 1986 年的云图照片对中国西南和华南地区的 MCC 进行了普查, 找出了 5 个 MCC 并与美国的 MCC 进行了对比。认为中国 MCC 的数量较少、生成地区比较集中、生命史较短。1989 年以来有了数字展宽红外云图的数值资料, 可以对卫星云图进行坐标变换、局部放大和冷云盖黑体温度(TBB)反演等定量的处理。1995 年项续康和江吉喜^[3]从 1989 ~ 1993 年的云图中选取了 10 个 MCC 个例, 进一步指出 MCC 发生在高温、高湿的低空急流的前方, 以及中国 MCC 的偏心率比北美小、生命史比北美稍长。陶祖钰^[4]通过 TBB 的反演, 得到了一个 MCC 典型个例的冷云盖演变特征。1996 年石定朴等^[5]对 1992 年 8 月初中国 M α CS 的 TBB 进行了反演, 发现冷云盖周围 TBB 等值线的疏密对预报 M α CS 的发展有指示意义。

国外对 M α CS 的研究相当多, 特别是对其中的 MCC 有比较系统的普查工作。如 Velasco 和 Fritsch^[6]以及 Miller 和 Fritsch^[7]对南北美洲和西太平洋地区的 MCC 进行了普

* 初稿时间: 1996 年 12 月 10 日; 修改稿时间: 1997 年 6 月 2 日。

资助课题: 国家自然科学基金项目(49675269)和国家教委博士点基金资助。

查。虽然其普查结果对了解全球范围 MCC 的概况很有意义,但由于所使用的是圆盘云图照片并且照片的时间间隔过长,这种普查工作还有待提高。Augustine 和 Howard^[8,9]利用数字化卫星云图资料对1985年,1986和1987年美国的 MCC 进行了详细的普查,获得了更为确切的北美 MCC 活动全貌的认识。但是,由于一张云图的资料量为几兆,一天24张云图的资料量高达近百兆,要把全部云图的数值资料都储存下来并进行分析处理,必须有很好的计算机系统,因此中国在普查方面的工作还很少。方宗义、李玉兰和项续康等的工作^[1,2,3],虽然他们所用资料的时间跨度不短,但都是针对中国某些特定区域的,并未对中国进行全面的普查。所得到的个例数量也不够多,分别为8个,5个和10个,所以也不能展示中国中尺度对流系统的全貌。

1995年暴雨监测和预测国家重点实验室引进了一套 TeraScan 卫星接收和分析系统,比较完整地储存了每小时一次的展宽红外云图数值资料,使对中国 MCS 进行普查成为可能。考虑到已经发现的 MCC 的地区差异以及 MCC 定义的局限性,将普查的对象从 MCC 扩大到更有普遍意义的 M α CS。在下一节中将给出 M α CS 的定义。对1995年6~8月发生在中国的 M α CS 的普查结果将在第3节中给出,并与 MCC 的已有工作进行比较。最后用一些 M α CS 个例展示中国 M α CS 在发生发展过程和冷云盖的 TBB 分布等方面所具有多样性。有关 M α CS 生命史等的统计将另文讨论。

2 资料和方法

所用的资料为 TeraScan 卫星接收和处理系统产生的 Lambert 正积投影的 GMS-5 卫星的逐时红外云图数值资料。时间从1995年6月4日到8月31日共计1904张。资料的完整率为89.2%。缺收的资料主要集中在上午(09~11 BST)对流最不活跃的时段。资料的覆盖范围为15~60 N 和78~150 E。资料的水平分辨率为9.6 km。一张云图的资料量为610×800 个字节。

按照通用的 Orlanski^[10] 尺度划分标准,中- α 尺度系统的水平尺度是从200 km 到2000 km。Maddox^[11]定义的 MCC 其-32 冷云盖面积为100000 km²,相当于一个直径为356 km,即3.2个纬距(一个纬距等于111 km)的圆的面积。因此, MCC 应属于中- α 尺度系统。为了使对 M α CS 的普查结果便于与 MCC 的已有结果相比较,同时在云图上又比较容易确定系统的大小,将 M α CS 也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-32 冷云盖的短轴的长度达到3.0纬距,椭圆率(短轴和长轴之比)达到0.5的对流系统。3.0 纬距直径的正圆形面积为87092 km²。由于一个短轴长度达到或超过3.0纬距的椭圆形的面积大于相同直径的正圆形面积,故定义的 M α CS 的大小应基本上达到 Maddox^[15]定义的 MCC 的大小。根据 Augustine 和 Howard 的工作^[8,9],满足-32 冷云盖面积积的 MCC,其-54 的面积都达到50000 km²,因此只规定了 M α CS 的-32 冷云盖的大小。根据项续康和江吉喜的研究^[3],中国 MCC 的椭圆率较小,故将 M α CS 椭圆率的条件降低为0.5。(李玉兰等未对 MCC 的椭圆率作限定。^[2])此外必需说明,对 M α CS 维持时间的长短未作限定。这样做的目的是为了能把满足 Orlanski 中- α 尺度的对流系统都包括在内使研究更具有普遍性,同时又能使研究成果可以和已有的 MCC 研究结果相比较。

为了找出 GMS 卫星红外云图上的全部 M α CS,首先对展宽红外云图的数值资料进

行增强处理。用黑、深灰、浅灰和白色分别表示 TBB 在 -32 到 -41.5 、 -42 到 -55.5 、 -56 到 -74.5 和低于 -75 的云区。然后将云图的数值资料文件转换成微机上的 Windows 图象文件,并在激光打印机上输出。通过对每张增强后的云图的普查,确定每个 $M\alpha CS$ 的发生时间(即首次达到上述定义的时次), $M\alpha CS$ 的成熟时间(指 -32 冷云盖达到最大的时次)及位置,和终止时间(指不再满足 -32 冷云大小的时次)。

为分析 $M\alpha CS$ 典型个例的发生发展过程及其冷云盖的温度分布特征,对 $M\alpha CS$ 附近的云图进行了 Mercator 投影的局部放大并绘制了它的冷云盖 TBB 等值线图。

3 地理分布

1995年6月4日到8月31日中国大陆和近海地区共发生了102个 $M\alpha CS$ 。图1给出了这102个 $M\alpha CS$ 成熟时的位置。和美国1985, 1986和1987年3 a 中分别发生了59, 58和44个 MCC ^[8,9] 相比,中国1995年发生的 $M\alpha CS$ 比美国的年 MCC 发生数要多一倍。其原因当然与定义的 $M\alpha CS$ 的条件比 MCC 更宽有关,它反映了中国和 MCC 水平尺度大体相当的 $M\alpha CS$ 的椭圆率较小,生命史较短。Miller 和 Fritsch^[7] 曾普查了1983 ~ 1985年3 a 中西太平洋地区的 MCC 。在所给的 MCC 散布图上,中国及其近海地区3 a 中总共约只发生了49个 MCC ,大大少于美国的年 MCC 发生数。其原因除了和 MCC 与 $M\alpha CS$ 的定义不同有关外,还可能与他们所使用的是卫星云图的照片而且其时间间隔太长(为3 h)有关。正如 Miller 和 Fritsch 在文中所说,给出的结果是一个非常保守的估计。

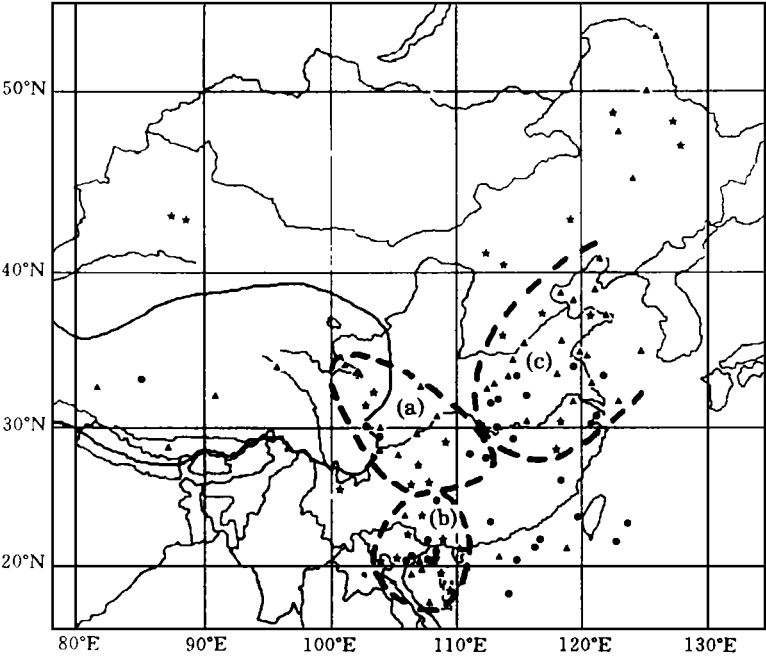


图1 1995年102个 $M\alpha CS$ 的分布
(○、△、●分别表示6, 7, 8月 $M\alpha CS$ 成熟时的中心位置)

从图1所给的 $M\alpha CS$ 散布图可见, $M\alpha CS$ 有3个明显的集中区。一是西藏高原东侧的四川盆地及其周围, 二是华南西部和北部湾附近的地区(包括越南的北部), 三是黄河和长江中下游地区。这3个地区中分别发生了19, 21和34个 $M\alpha CS$, 约占1995年总数的3/4。其中四川盆地和华南西部这一 $M\alpha CS$ 的集中区与方宗义^[1]和项续康^[3]等指出的, 在静止锋切变线的西端利于中- α 尺度对流系统发生是一致的。在项续康等所给出的10个 MCC 中, 有5个位于四川盆地附近, 有4个位于华南西部和北部湾, 有一个位于长江中下游, 与这次研究所得的结果比较接近。从李玉兰等^[2]给出的5个 MCC 的发生地看, 4个位于105~110 E 之间, 只有一个位于110 E 以东。项续康等和李玉兰等的工作只对长江以南的华南地区进行了普查, 不能反映黄河和长江中下游地区这一 $M\alpha CS$ 的集中区。

与国际上的工作相比, Miller 和 Fritsch^[7]所给的1983~1985年西太平洋 MCC 的分布中, 本文提出的前两个 $M\alpha CS$ 的集中区也是 MCC 的集中区。但是, 在 $M\alpha CS$ 的第3个集中区中却只有少数几个 MCC。但是与 Velasco 和 Fritsch^[6]所给的1981~1983年南北美洲 MCC 的分布相比, 南美洲在30 S 附近和北美洲在40 N 附近都有一个 MCC 的集中区, 它们和中国位于30~40 N 的第3个 $M\alpha CS$ 集中区的纬度比较接近, 而且它们都是大山脉东侧广阔的平原地区。因此, 1995年 $M\alpha CS$ 的分布表明, 中国太行山和秦岭及大巴山以东的黄河和长江中下游的平原地区也应是对流系统容易发展到中- α 尺度的区域。此外在图1中还可以看到, 海上的 $M\alpha CS$ 较少。这与国外的研究结果相符合, 即中- α 尺度对流系统主要发生在陆地上。但是在南海北部, $M\alpha CS$ 相对较多。其原因可能与中国夏季风比较活跃以及初夏常有静止锋维持在南海北部有关。

$M\alpha CS$ 的散布图还表明, 在中国东部, $M\alpha CS$ 的发生纬度可高达50 N。另外, 在中国的新疆和西藏高原上也有少量 $M\alpha CS$ 发生。

上述讨论表明, 1995年中发生的102个 $M\alpha CS$ 的分布基本上可以反映中国夏季存在3个有利于对流系统发展到中- α 尺度的地区。下面将给出一些 $M\alpha CS$ 的典型个例以说明我国 $M\alpha CS$ 的多样性。

4 典型个例

(1) 准静止的 $M\alpha CS$ 个例(7月21~22日, 图2)

这个 $M\alpha CS$ 是从午后(16 BST)四川盆地中许多小对流单体组成的对流群发展而成的。其形成过程是, 入夜后(20 BST)位于重庆附近的一个对流单体首先强烈发展(见图2a), 两小时后它已和其它对流单体合并形成了一个 $M\alpha CS$ 并继续发展。到午夜(02 BST)面积达到最大(见图2b), 以后逐渐减弱, 到凌晨(06 BST)消散(见图2c), 生命史为8个小时。这是一个椭圆率较大, 生命史较长, 夜间发生凌晨消散的具有典型 MCC 特征的 $M\alpha CS$ 个例。

值得指出的是这类与西南涡相联系的 $M\alpha CS$ (见图2g), 从形成到消散其位置的移动非常小, 主要表现为冷云盖的范围不断地向北扩张, 而它的南部边界移动很少。过去曾指出^[4], 这种扩张主要发生在 TBB 等值线最密集的部位。如图2d-f 所示, 从形成到消散, 最密集的 TBB 等值线始终位于它的北部, 冷云盖的重心呈现显著的偏心现象。

(2) 由一个单体发展成的 $M\alpha CS$ 个例(6月21~22日, 图3)

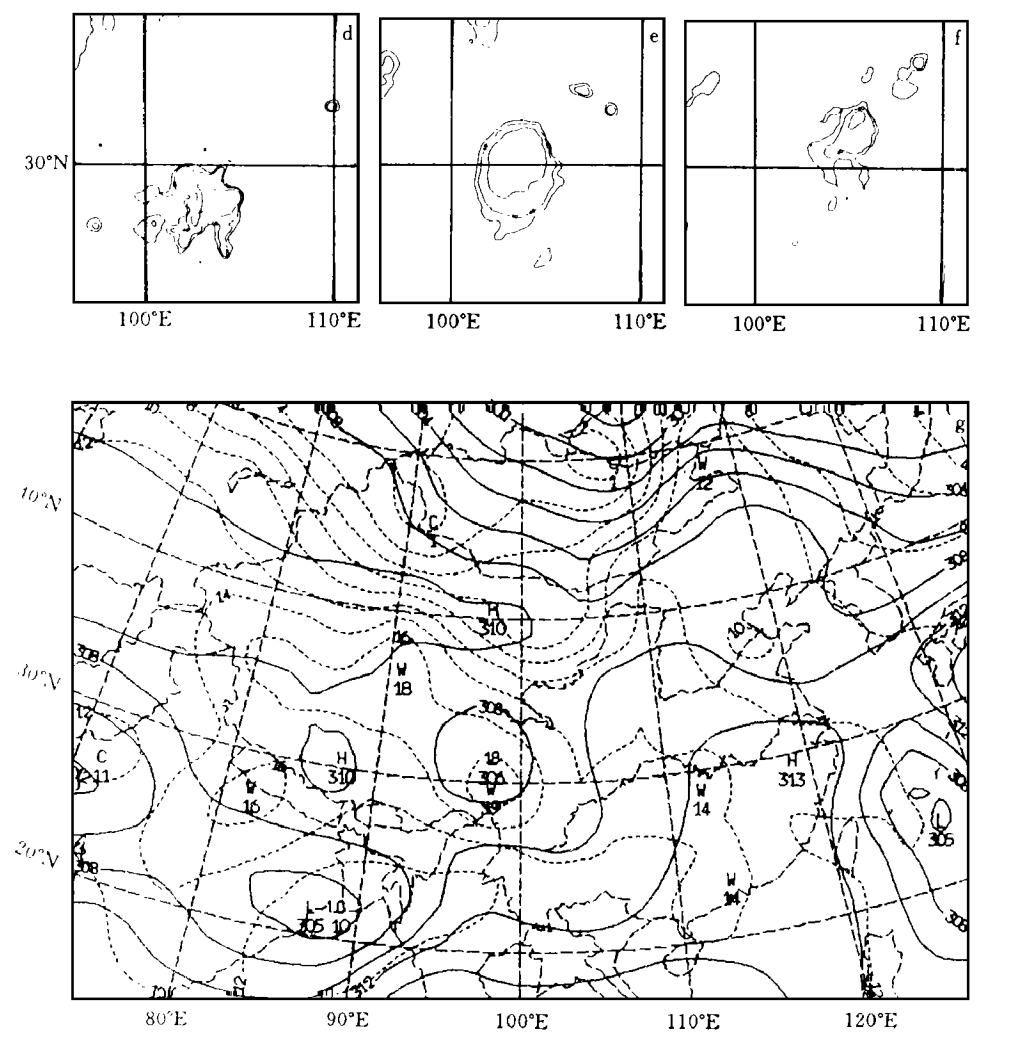
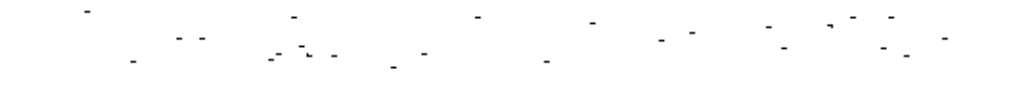


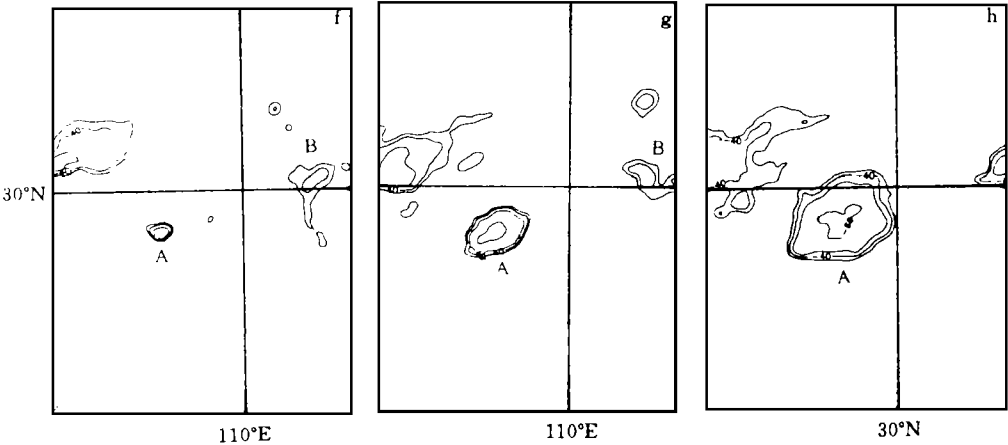
图2 1995年7月21~22日与西南低涡相联系的 M α CS 个例

(a, b, c 为 20, 02, 06 BST 的增强红外云图; 白色区域的云顶温度低于 -32°C , 黑色区域低于 -46°C , 深灰色区域低于 -56°C , 浅灰色区域低于 -75°C , 下同; d, e, f 为相应的冷云盖 TBB 分布 (从 -30°C 开始, 等值间隔 10°C , 下同; g 为 7 月 21 日 20 BST 的 700 hPa 天气图; 实线为等高线, 虚线为等温线)

这是一个最后融合到锋面云带中的 $M\alpha CS$ 。它的形成过程与例一不同, 是由一个孤立的对流单体强烈发展, 从中- γ 尺度直接发展成中- α 尺度。如图3所示, 6月20日20 BST 位于四川东部的一个很小的对流系统, 经过4 h 的连续发展, 到午夜成为一个 $M\alpha CS$ 。它维持了8 h, 在05 BST 时面积达到最大。到08 BST, 这个 $M\alpha CS$ 分裂为二, 并在11 BST 其残余的云体和东边的对流系统连在一起形成一条延伸到长江口外的锋面云带。700 hPa 的流线分析表明, 这个 $M\alpha CS$ 的发生与一条东西向的切变线西端的辐合有关。



Figure 3. Evolution of a convective system over time, showing its growth from a small isolated system to a large frontal cloud band.



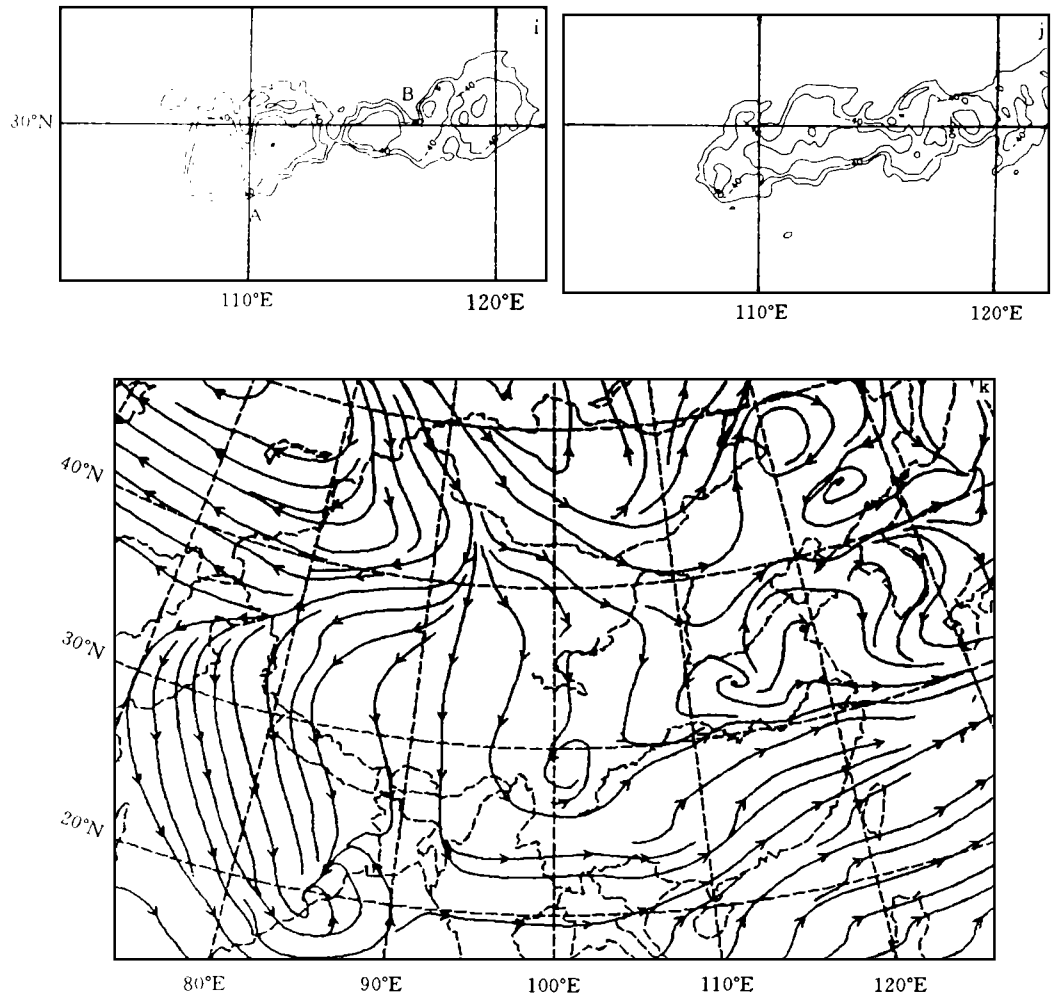


图3 1995年6月21~22日与切变线相联系的M α CS个例
(a,b,c,d,e为20,22,01,08,11 BST的增强红外云图;f,g,h,i,j为相应时刻的冷云盖TBB分布;k为6月21日20 BST的700 hPa流线图)

此例和例一不同之处还在于它的冷云盖温度分布比较对称,云盖四周的TBB等值线都较密,它的冷云盖不仅向北扩张,同时也向南扩展。仔细观察它的TBB分布可以发现,其南侧的等值线要略微更密一些。最密的等值线位于它的西南方的突出处。在一个华北MCC个例分析中曾指出,这一特征可能和暖湿气流从它的西南方的流入有关^[12]。

(3) 分裂后再度发展的M α CS个例(6月16~17日,图4)

这是一个在华南静止锋西端的M α CS个例。如图4所示,它是由3个位于中越边境的对流单体逐渐发展而成。在16 BST这3个对流单体已经产生,但直到19 BST才迅猛发展,并合并成一个尺度比较大的M α CS。此例的特点不仅是形成过程较长,从对流的开始发动到形成M α CS(22 BST)历时长达7 h,而且它的消散过程也比较特殊。它在01 BST达到

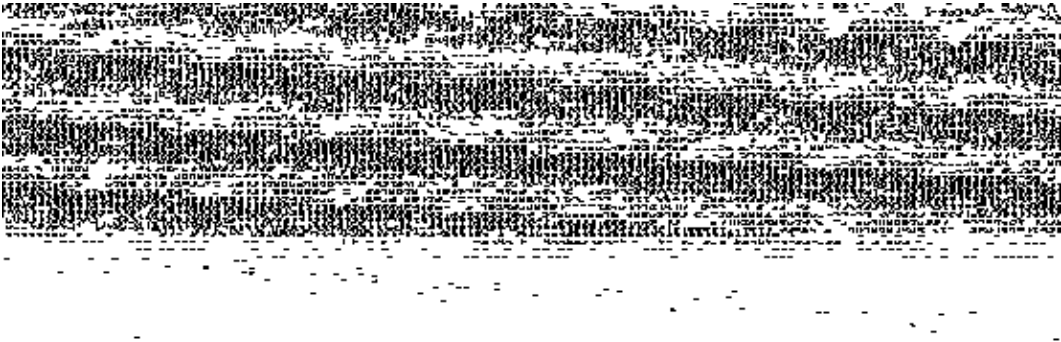
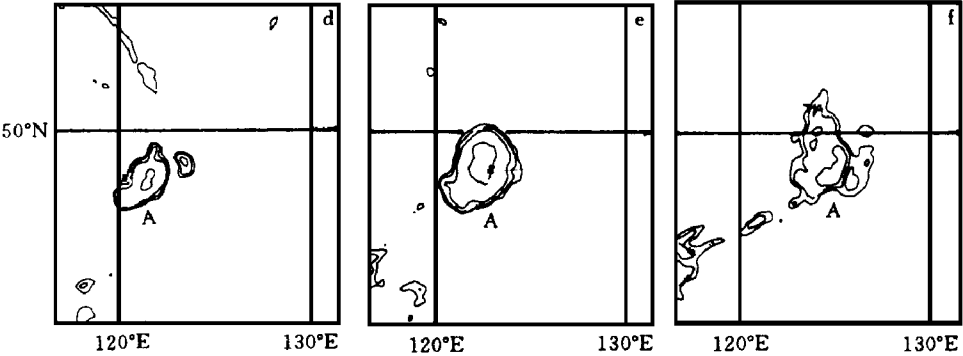


图4 1995年6月16~17日静止锋西端的 $M\alpha CS$ 个例
(a, b, c, d 为19, 01, 03, 07 BST 的增强红外云图)

最大面积后逐渐分裂为两个较小的 $M\alpha CS$, 并同时减弱。到07 BST, 虽然西面的一个已消散, 但东面的一个却从06 BST 开始再度发展并一直维持到15 BST。

(4) 冷锋云带中的 $M\alpha CS$ 个例(8月21日, 图5)

这是一个位于冷锋云带中的 $M\alpha CS$ 个例, 是发生在较高纬度的少数 $M\alpha CS$ 之一。它的特点是形成时间早(19 BST), 生命史短(23 BST 消散), 其位置随冷锋向东移动。



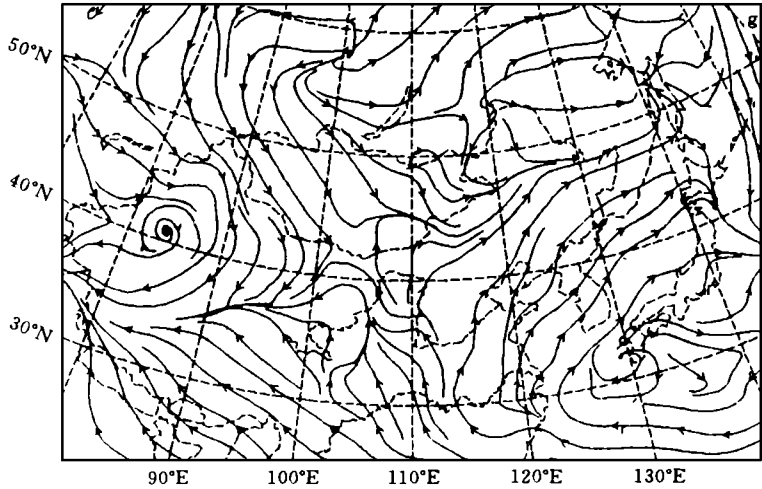


图5 1995年8月21日冷锋上的 $M\alpha CS$ 个例
(a, b, c 为 17, 19, 23 BST 的增强红外云图; d, e, f 为相应时刻
的冷云盖 TBB 分布; g 为 8月21日 20 BST 的 850 hPa 流线图)

(5) 青藏高原上的 $M\alpha CS$ 个例(8月9~10日, 图6)

这是一个发生在青藏高原上的 $M\alpha CS$ 个例。它具有和其它地区 $M\alpha CS$ 相同的特点, 即入夜后开始发展, 形成于午夜(23 BST), 并在凌晨(07 BST)消散。图6 中给出了它的初

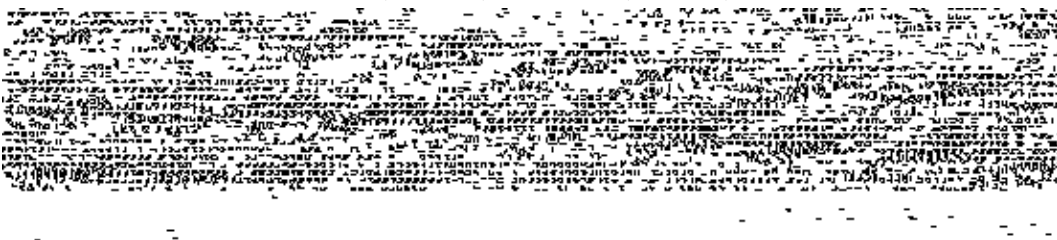


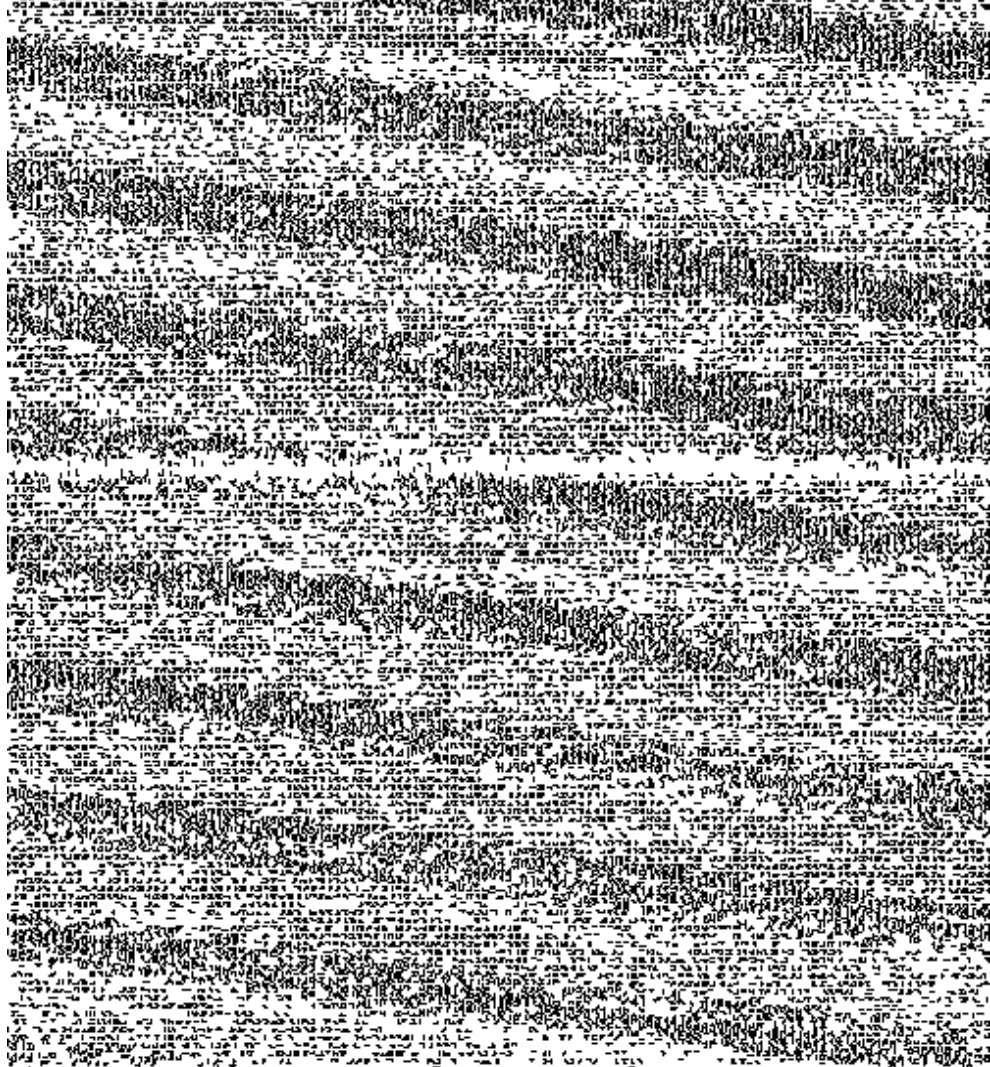
图6 1995年8月9~10日青藏高原上的 $M\alpha CS$ 个例

(a, b, c 为 20, 22, 02 BST 的增强红外云图; d, e, f 为相应时刻的冷云盖 TBB 分布)

始发展过程(a 和 b)及面积最大时的情况。此个例冷云盖的 TBB 等值线分布也具有南部密集的特点,它可能反映高原 M α CS 的发生和来自印度半岛的暖湿气流有关。

(6) 对流群融合成的 M α CS 个例(7月26~27日,图7)

此例也是一个高原上的 M α CS,但它的形成过程和前面所提到过的形成过程都不相同。从图7可见,它是由午后高原上一片范围很大的对流区中许多小对流单体在傍晚时“融合”而成的,而不是象多数 M α CS 是由一个或几个对流单体强烈发展而成。在这种“融合”过程中,所有的单体都在逐渐扩大,最后“融合”成一个形状完整尺度很大的 M α CS。图7仅给出它在形成过程中和形成后的两个时次的云图和 TBB 分布。值得指出的是,这个



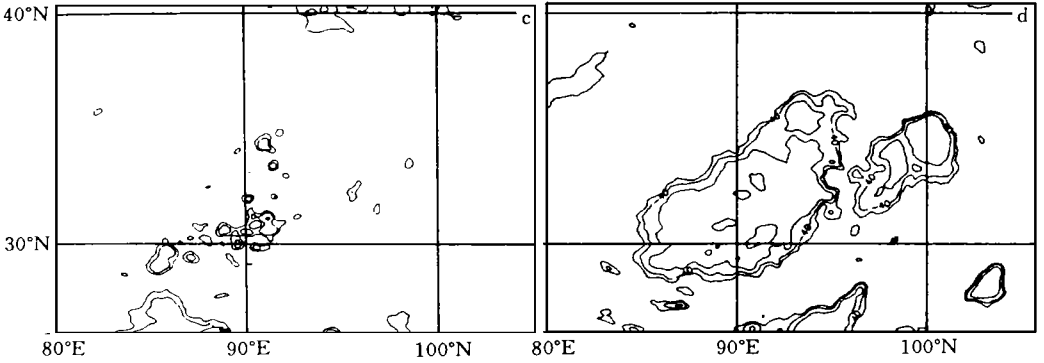


图7 1995年7月26~27日青藏高原上的 $M\alpha CS$ 个例
(a, b 为 14, 20 BST 的增强红外云图; c, d 为相应时刻的冷云盖 TBB 分布)

$M\alpha CS$ 在午夜后就趋于消散重新变成一片有许多小单体的对流区。但在云图上可以从这些对流单体的排列中看出有螺旋状结构。500 hPa 天气图表明, 高原上确有涡旋系统存在。这个 $M\alpha CS$ 的生消过程可能反映了高原涡旋的产生与高原上对流群的活动有关。

5 结 论

1. 1995年夏季(6~8月) $M\alpha CS$ 的地理分布表明, 中国的 $M\alpha CS$ 有3个集中区, 它们是华南西部、四川盆地附近及黄河和长江中下游地区。与南北美洲 MCC 分布的对比表明, 位于太行山、秦岭及大巴山以东的黄河和长江中下游的平原地区也是对流系统容易发展到中- α 尺度的区域。

2. 通过6个 $M\alpha CS$ 个例表明, 中国 $M\alpha CS$ 的发生发展及其云顶黑体温度的分布特征具有多样性。有的 $M\alpha CS$ 发生在午后, 傍晚时成熟, 入夜后消散; 有的 $M\alpha CS$ 在上半夜形成, 凌晨达到最大, 然后消散。有的 $M\alpha CS$ 由单个对流单体直接发展形成; 有的由多个对流单体发展合并形成。青藏高原上的对流群有时也会融合成 $M\alpha CS$ 。 $M\alpha CS$ 冷云盖的 TBB 分布有的比较对称, 有的不对称。不对称的 $M\alpha CS$, 其冷云盖边缘的 TBB 等值线, 有的南部边缘密集, 有的北部边缘密集, 但 TBB 等值线的密集处都是 $M\alpha CS$ 冷云盖扩展最显著的地方。造成 $M\alpha CS$ 多样性的原因还有待今后更深入的研究。

致谢: 感谢毛节泰教授在收集 GMS-5 卫星云图资料上所付出的辛勤劳动以及在使用 TeraScan 卫星接收系统方面给予的指导和帮助。感谢南京气象学院沈桐立教授提供了常规天气分析软件。

参考文献

1 方宗义. 夏季长江流域中尺度云团的研究. 大气科学进展, 1986, 2(3): 334~340
2 李玉兰, 王倩熔, 郑新江等. 中国西南-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
3 项续康, 江吉喜. 中国南方地区的中尺度对流复合体. 应用气象学报, 1995, 6(1): 9~17
4 Tao Zuyu, Wang Hongqing, Bai Jie, et al. A case of mesoscale convective complex evolving into a vortex. 1995, Acta Meteor Sinica, 9(2): 184~189

- 5 石定朴, 朱文琴, 王洪庆等. 中尺度对流系统红外云图云顶黑体温度的分析, 气象学报, 1996, 54(5): 600 ~ 611
- 6 Velasco L and Fritsch J M. Mesoscale complexes in the Americas. J Geophys Res, 1987, 92: 9591 ~ 9613
- 7 Miller D and Fritsch J M. Mesoscale convective complexes in the western Pacific region. Mon Wea Rev, 1991, 119: 2978 ~ 2992
- 8 Augustine J A and Howard K W. Mesoscale convective complexes over the United States during 1985. Mon Wea Rev, 1988, 116: 686 ~ 701
- 9 Augustine J A and Howard K W. Mesoscale convective complexes over the United States during 1986 and 1987, Mon Wea Rev, 1991, 119: 1575 ~ 1589
- 10 Orlanski L. A rational subdivision of scales for atmospheric processes. Bull Amer Meteor Soc, 1975, 56: 527 ~ 530
- 11 Maddox R A. Mesoscale convective complexes. Bull Amer Meteor Soc, 1980, 61(11): 1374 ~ 1387
- 12 陶祖钰, 黄伟, 顾雷. 常规资料揭示的中尺度对流复合体的环流结构. 热带气象学报, 1996, 12(4): 373 ~ 379

A SURVEY OF MESO- α -SCALE CONVECTIVE SYSTEMS OVER CHINA DURING 1995

Tao Zuyu Wang Hongqing Wang Xu Ma Yu

(National Laboratory for Severe Storm Research, Department of Geophysics, Peking University, Beijing, 100871)

Abstract

There were 102 meso- α -scale convective systems (M α CS) genesis over China and the neighboring sea during June-August 1995. Those M α CSs concentrated in three major areas: the west of southern China, the Sichuan Basin, and the middle-to-lower reaches basin of the Yangtze River and the Yellow River. Six cases of M α CS in different regions are given to show the variety of the M α CS genesis and development by the distributions of their cold-cloud-shield black body temperature.

Key words: Mesoscale convective system, Geographic distribution, Variety.