

梅雨锋云系中尺度系统回波结构及其与暴雨的关系*

洪延超 黄美元 吴玉霞**

(中国科学院大气物理研究所)

提 要

梅雨锋云系中尺度回波带主要有对流带和混合带二种类型,中尺度回波团一般为混合型回波。对流云回波带在初生、成熟和消散三个不同的演变阶段结构特征不同,下垫面对回波带的演变有一定的影响。中尺度系统能够产生高强度降水,多个中尺度系统相继通过一地或中尺度系统与对流回波群的汇集可以造成梅雨期的局地性暴雨和大暴雨。产生暴雨的中尺度系统常具有混合型回波结构,它们降水强度大,对降水的贡献也大。

一、引 言

1979年到1983年,我们先后在安徽省屯溪和芜湖两地分别使用711雷达(3 cm)和305雷达(3和0.86 cm两个波长)观测了梅雨云系,并对此云系的回波和降水分布特征、层结状况^[1],回波亮带^[2]和层状云的不均匀结构^[3]等问题作了分析研究。鉴于中尺度系统在研究暴雨的形成和预报,尤其是暴雨的临近预报方面的重要性,本文再对梅雨云系中尺度在 10^1 — 10^2 km的中尺度系统的回波分布型式、结构和中尺度系统与暴雨之间关系进行初步研究。据观测,中尺度系统主要有回波带和回波团这两种分布型式。

二、中尺度回波带的结构和演变特征

中尺度回波带一般由对流云回波组成,按其生存环境的差异可分成对流带和混合带二种类型,前者以晴空大气为发展环境,后者则是嵌入层状云中的对流带。有些中尺度回波带与天气系统相联系,如冷锋雨带、暖锋雨带和暖区雨带。回波带的移动方向与天气系统有关,而移速与高空风有关。

1. 对流带

对流带一般在锋区及其南侧暖区出现,它是由一些强度、尺度和发展阶段不同的一块块对流单体回波组成。单体垂直发展强烈,反射率梯度大,回波结实。单体的PPI回波呈圆块和椭圆块状,反射率梯度分布均匀,部分在移向前缘反射率梯度较大。从带上单体分布看,有单体以几乎相等的间隔顺次排列成线状、单体组成若干定向排列的小回波群和单体分布没有规律等几种情况。下面给出1982年7月15日在芜湖观测的两例与冷锋配合的对流带。

* 本文于1984年9月12日收到,1985年7月8日收到最后修改稿。

** 金秋弟和罗泳平(南京气象学院毕业生)参加部分工作。

图 1 中的对流带在开始观测时(14 时 24 分)正处于强盛阶段,它由多个对流单体依次排列而成,单体的 PPI 回波近似呈椭圆状,反射率梯度分布也较均匀,边缘平滑整齐,垂直发展旺盛,顶高 13—17 km,单体间的间距也差不多,排列是有规律的。在回波带向东

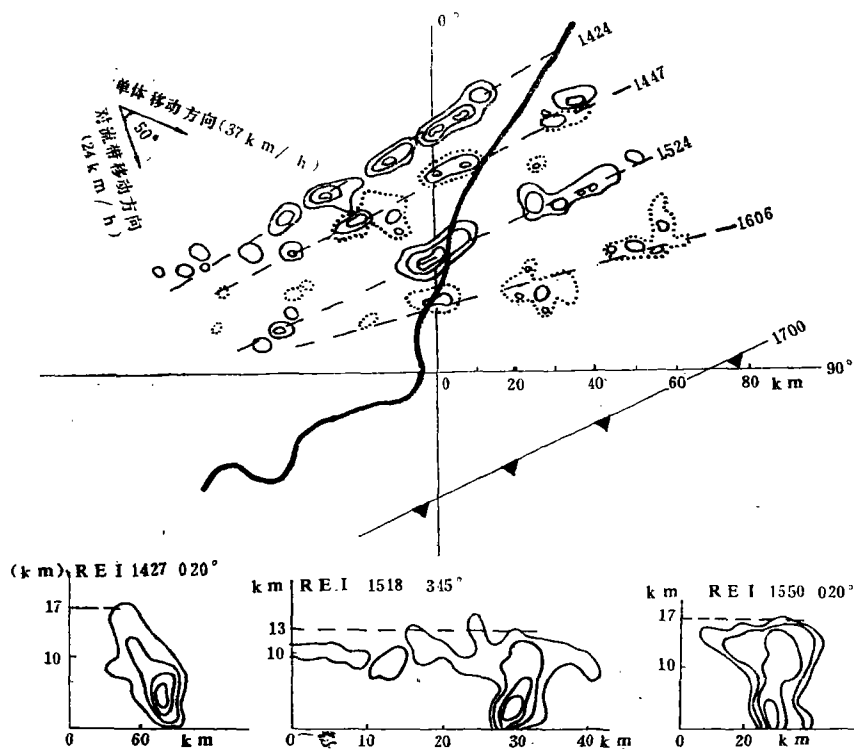


图 1 1982 年 7 月 15 日在芜湖观测到的一条线状对流带的结构和演变过程
(回波廓线间隔 10 dB。虚线是回波带轴线,粗实线代表芜湖附近长江的位置。PPI 回波仰角 2°)

南偏南方向移动过程中,带上大部分单体在过江后回波边缘变得有些不规则,单体间距拉大,块状回波中呈多个强回波中心,这可能是单体减弱分裂的结果。这个对流带在 16 时 43 分完全消散。

图 2 中的对流带在大部分生命期与图 1 中的对流带共存。开始测站西部 80 km 处有一些对流单体排成带状,然后这些单体发展而合并成较大的单体群,带的北端不断有新单体形成,到 16 时 22 分已形成长 140 多公里的中尺度对流带,此时带上多个强回波中心组成走向一致的线状排列,到 16 时 55 分带中部回波并合,形成的大块回波中含有几乎等距离排列的强回波中心。在此期间对流带发展强烈,回波顶高接近 20 km,强度约 37 dBz (图 2 b)。但对流带通过测站时只有较小降水(测站 17 时到 17 时 50 分降水,总降水量 5.6 mm,最大雨强 19.2 mm/h),原来是由于发展强烈的对流带移经长江到达测站时回波强度、单体的垂直尺度都大为减小(见 17 时 41 分 PPI 和 17 时 48 分 REI 回波),回波带北部单体过江后已消散,中部带的宽度明显扩展并出现层状云回波结构,这可能对流带消散的另一种迹象。

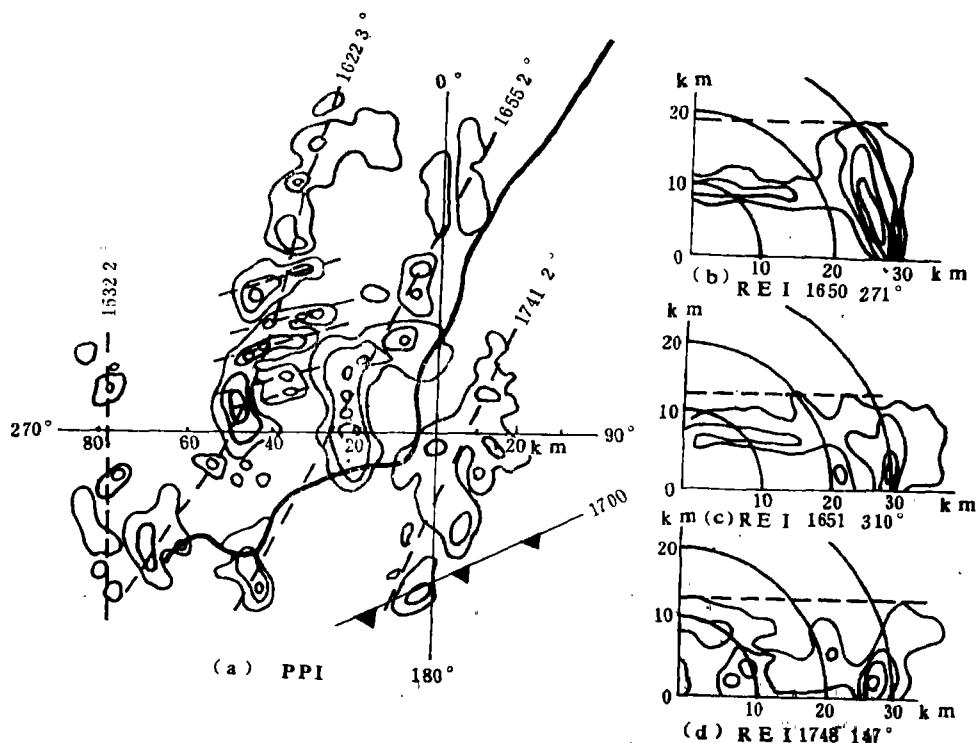


图 2 1982 年 7 月 15 日在芜湖观测到的另一条线状对流带的结构和演变过程
(说明同图 1, PPI 回波仰角在图上标出)

2. 混合带

混合带是梅雨云系中最常见的回波带,它一般在锋区出现,很多暴雨天气都与混合带有关。线状混合带和平行短带组成的混合带是常见的类型。由于层状云较弱或降水和距离衰减影响,常常只看到层状云中的强回波区。

(1) 线状混合带 它与线状对流带一样,是由对流单体顺次排列而成。有时单体 PPI 回波呈椭圆状,大小相等,之间间隔几乎相等并作定向排列。这种混合带宽度小,一般只有 5—10 km。

图 3 说明一条线状混合带的演变过程。雨带处于静止锋北侧 80—90 km 处,锋后有与锋线走向一致的带状云区。最初混合带是作为几个对流单体出现的,单体向东北方移动(移向与对流层中低层风向基本一致,见图 3 插图)。9 时 32 分,回波带明显伸长,北半部回波已连成一体,此时南部山脉的南侧亦即带南端又有几个新生单体出现,由于它们向东北方移动和发展,9 时 50 分回波带强回波区向南扩展形成很有组织的线状回波带,其显著结构特征是椭圆形强回波区呈线状等间隔排列。10 时 10 分雨带达本站,最大瞬时雨强为 108 mm/h 并伴有大风。回波因强降水衰减有很大畸变。和 9 时 50 分相比,10 时 40 分的雨带结构有很大变化,大部分单体分布没有规律,带明显拓宽,但带南部单体回波连成一体,最强回波区(~ 38 dBz)仍为线状排列,这可能与白际山脉抬升有关。10 时 58

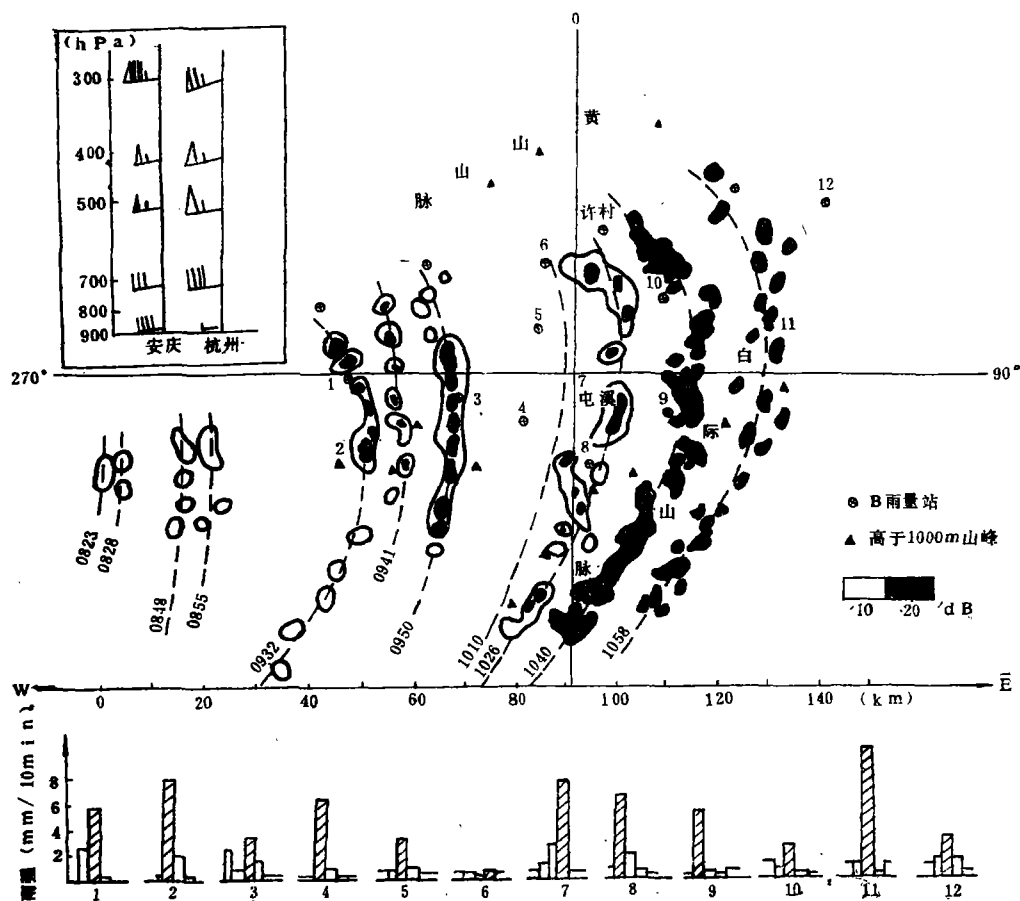


图 3 1980 年 6 月 22 日电溪观测的线状混合带(上图)及其通过测站的 10 min 雨量(下图)

(图中数字 1, 2, 3……12 代表站名依次为流口、田里、上溪口、月坛、休宁、洽舍、屯溪、大阜、石门、夕县、小川和三阳坑。PPI 回波仰角 5°, 左上图为屯溪上游站安庆和下游站杭州 07 时测风资料)

分,雨带上较强回波区面积大为减小,单体数目增多,分布更为凌乱,雨带宽度更大,虽然有些单体较强,雨带多半进入消散阶段。

在这个例子中,测站南部山脉的抬升可能对混合带的形成起促进作用,新单体在带南端形成后向东北移动,经过山脉抬升发展强烈而在山脉北边缘附近测站产生较强降水(例如田里、月坛、屯溪和大阜 10 min 雨量为 6.4—8.0 mm,小川为 10.0 mm;而远离南部山脉的测站,如休宁、洽舍和夕县只有 0.4—3.2 mm 降水,许村无降水)。

(2) 短带混合带 这种混合带内单体分布很有规律,它们排列成一条条相互平行的短带,短带走向与主带有较大交角(图 4 d)。

图 4 是一个例子。1982 年 7 月 20 日测站芜湖 2 时到 5 时处于冷锋锋区。1 时 29 分只在回波带的东南部出现弧状短带,以后西北部单体也排列成短带。从图 4b—4d 看,短带走向近东-西向和东北-西南向,与主带走向不同。短带相互平行,之间间隔大致相等。消散

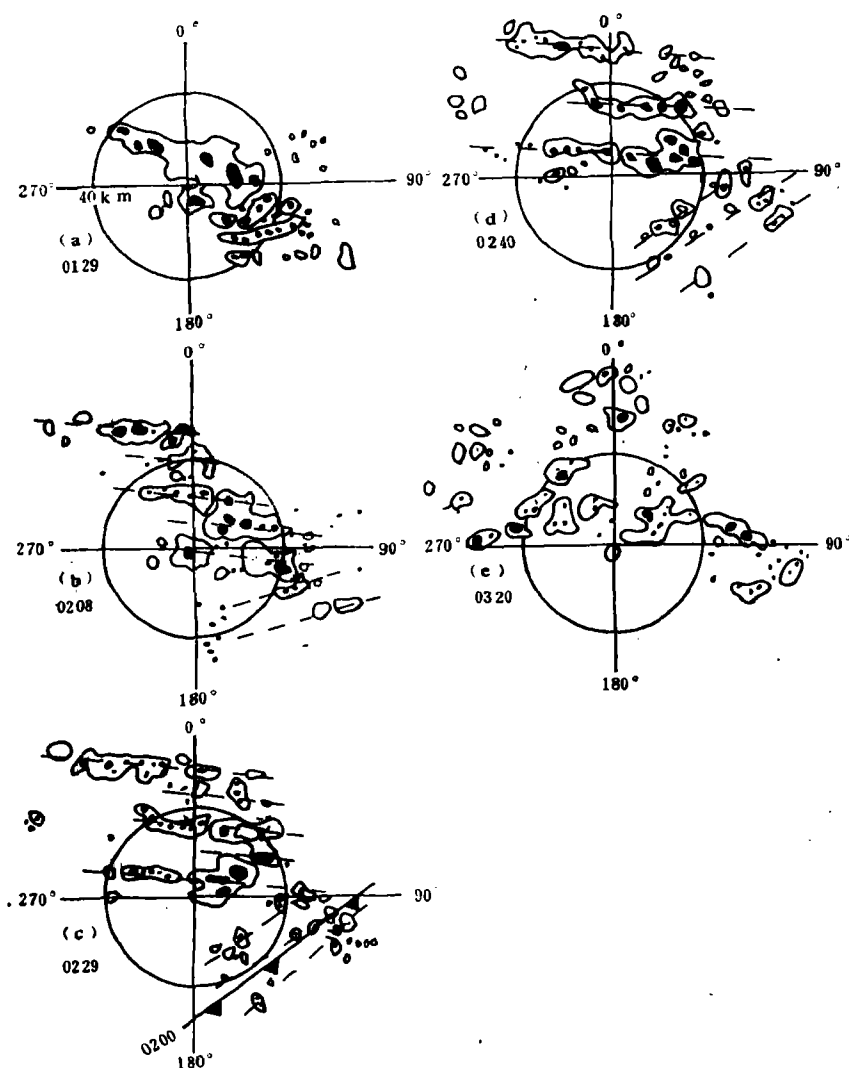


图 4 短带混合带的结构和演变,
(虚线是短带轴线, PPI 回波仰角 3° , 芜湖, 1982 年 7 月 20 日)

前, 平行短带结构消失(见图 4 e)。

上面介绍的只是中尺度对流回波带的典型结构, 实际情况比这复杂得多, 但从几个例子来看, 对流云回波带在不同演变阶段结构特征是不同的: 形成的最初阶段, 回波带是作为几个对流单体出现的, 直到强盛阶段之前, 单体的排列比较整齐, 对流单体自身发展和扩展, 与其他单体和新生单体的合并是中尺度回波带形成的一种方式; 在强盛阶段, 有的带上对流单体有规律地定向排列成相互平行的短带, 有的等间隔地作顺次的线状排列, 同时对流单体回波边缘整齐光滑, PPI 回波呈圆或椭圆块状; 一旦回波带接近消散阶段, 单体排列往往比较凌乱, 单体分裂, 回波带明显拓宽, 有时还会演变成层状云回波。我们可以利用对流回波带的演变特征初步识别它所处的演变阶段。另外个例还表明, 下垫面对

回波带发展有一定影响,水面可使回波带强度减弱,山脉抬升能够加强和促进对流带的发展。这些都为利用雷达作暴雨的临近预报提供一种重要的信息。

三、中尺度回波团的结构

中尺度回波团是指尺度在 10^1 — 10^2 km 的回波群,它多半为混合型回波,内有对流云回波带、回波短带或小回波群,也有一些随机分布的对流单体回波。中尺度回波团常在锋区和气旋暖区出现,它也可以引起局地性暴雨天气。

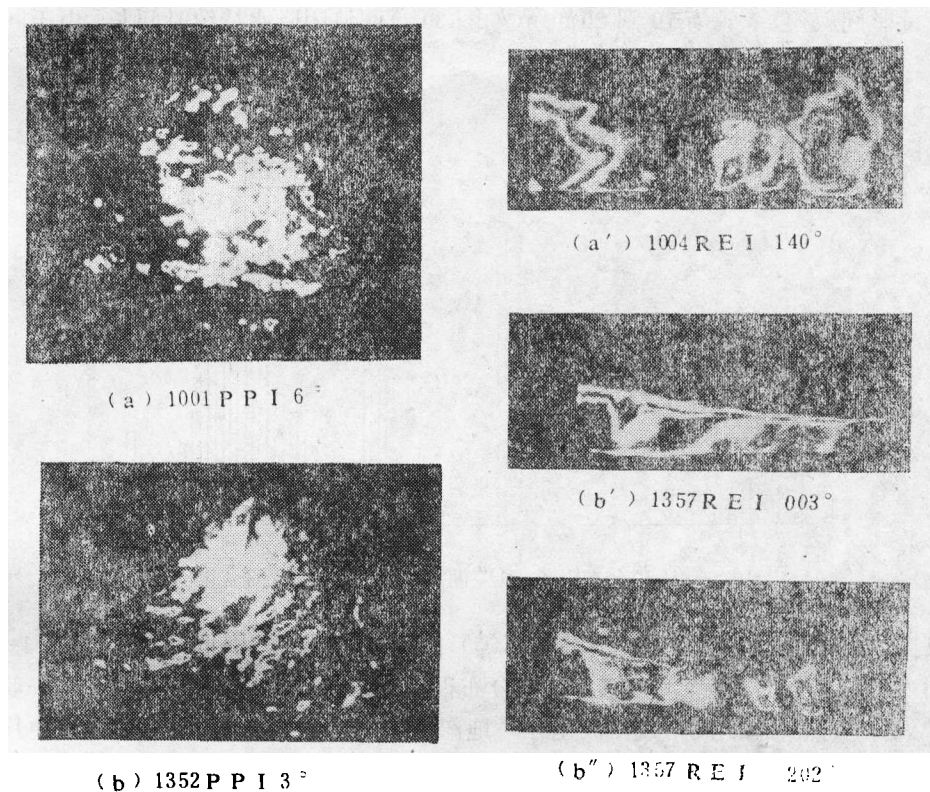


图 5 中尺度回波结构
(1982 年 7 月 20 日, 芜湖, 层间 5 dB, 距标 10 km)

图 5a 中的回波团是以对流云为主的混合型回波,范围约 100×100 [km]², 其内北半部对流云回波分布没有规律,南半部组成长约 110 km 的回波带,对流云回波顶高约 10 km(图 5 a')。回波团在雷达站降水约 2 个小时,最大 10 min 平均雨强为 49.6 mm/h,降水量 36 mm。

图 5b 中的回波团与上例不同,回波分布较有规律,其北半部是层状云回波(图 5 b'),中部和南部有对流云回波,它们组成多条回波带。整个回波团有些象逗点状,结构类似于梅雨锋上中间尺度回波团^[4]。由于测站附近是层状云回波,雨强不到 12 mm/h。

四、中尺度系统和暴雨的关系

梅雨锋云系产生暴雨有两种方式,一种是大范围、长时间雨强在 3—5 mm/h 的层状云降水,虽然层状云降水强度低但降水可持续十到几十个小时,因此降水量也可达暴雨程度,然而强烈的局地性暴雨常与中尺度系统有关。

1. 多个中尺度系统相继通过某地会产生暴雨

中尺度系统会产生高强度降水。回波带降水比附近层状云大得多,降水阵性明显,强降水持续时间较短,一般为 10 到 20 min(如图 3)。回波团降水持续时间长,由于回波团

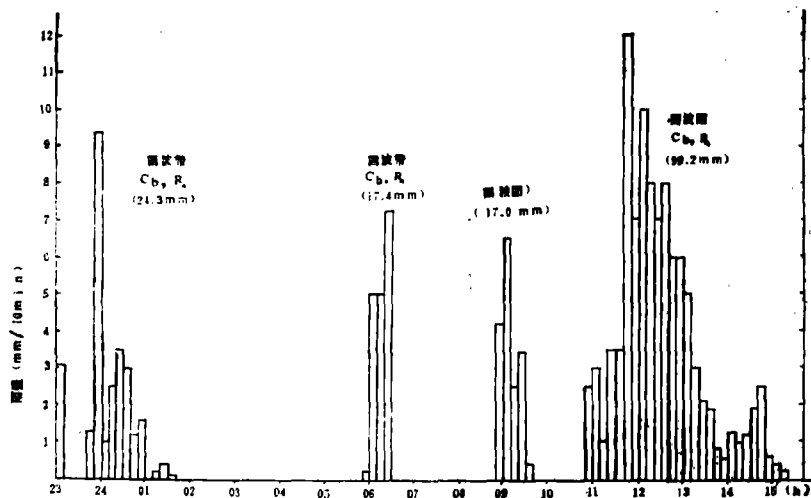


图 6 1982 年 7 月 20 日芜湖 10 min 雨量的时间变化

水平尺度差别大(从几十到一、二百公里不等),降水持续时间差别也大,但一般为 1—2 h。回波团内对流云分布情况复杂,降水时空分布很不均匀,可有多峰值,降水量一般也比回波带大。虽然一个回波带或回波团在一地产生的雨量常常不是很大,但多个中尺度系统依次通过某地则会产生暴雨或大暴雨。如 1982 年 7 月 20 日,芜湖多次位于锋区且受到锋面气旋影响,中尺度系统活动较多,使芜湖日降水量为 157.9 mm,降水分四个时段,每个时段的峰值降水都是中尺度系统造成的。图 6 是芜湖 10 min 雨量的时间变化情况,前两个时段的峰值降水是回波带造成的,带上对流单体回波顶高超过 10 km,有雷电。第三时段是图 5 中的回波团降水,降水约 1 个小时。第四时段降水时间最长,约 4.5 个小时,降水分布有多个峰值,总降水量约 99.2 mm,它是由几个回波团共同造成的。

2. 中尺度系统与对流回波群汇集产生暴雨

梅雨云系中回波的汇集往往产生强烈降水,有的回波团就是由回波汇集形成的。图 7 中,10 时 24 分位于暖锋区的回波群 A、C 和中尺度回波带 B 都明显隔开(图 7 a),由于回波群 A 向东南移动,回波带 B 向北移动,它们在雷达站汇集(图 7 c),形成的回波团具有深厚的层状云回波(顶高约 8 km),其内含有较强的对流单体回波。汇集形成的回波团降水对应图 6 第四时段峰值区,最大 10 min 平均雨强 72 mm/h,连续降水一个多小时,总降水量约 66 mm。

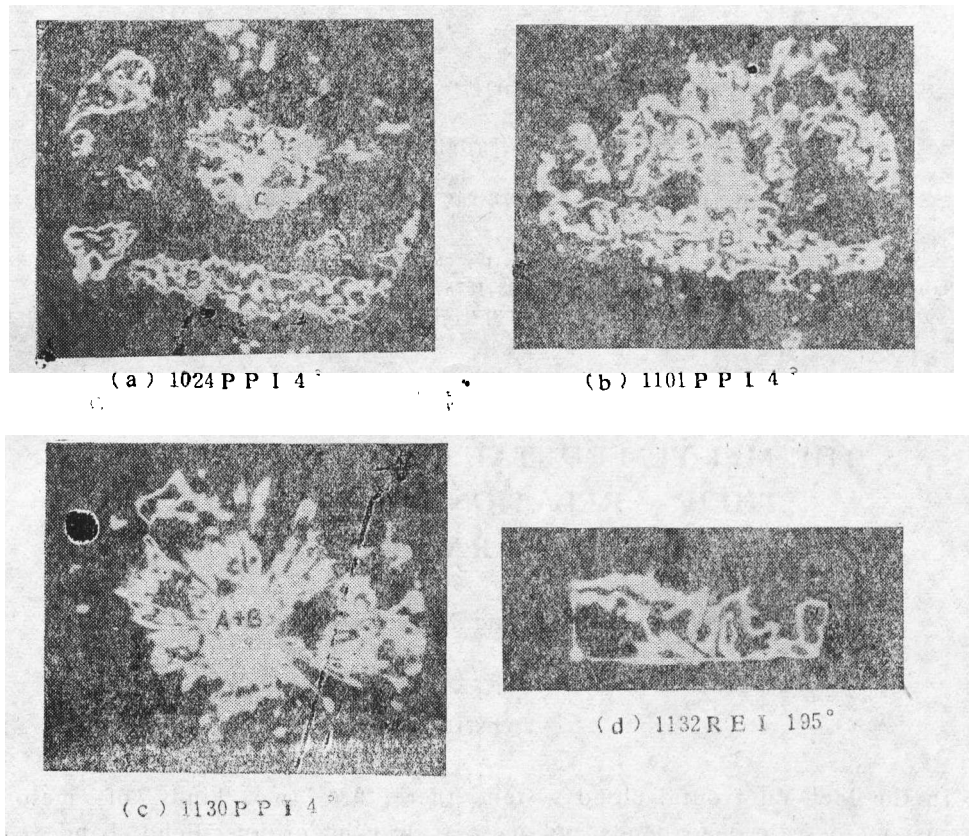


图 7 回波汇集形成的回波团(1982年7月20日, 芜湖, 层间 5 dB, 距标 10 km)

3. 暴雨中尺度系统常具有混合型回波

就形成暴雨的回波类型而言, 主要是层状云和对流云的混合型回波, 这不但因为层状云降水范围大和时间长, 更主要一点就是层状云内的对流云降水强度高, 降水量大。据 1979 到 1981 年观测的 12 条梅雨云系中的回波带统计表明, 混合带的平均降水强度约为对流带的 4 倍。数值模拟^[5]也说明层状云中对流云具有较高的降水效率($\approx 76\%$, 孤立积云只有 24%), 较大的降水强度和降水量(比孤立积云大几十倍)。因此层状云内的中尺度对流系统与暴雨关系更为密切, 它对总降水量的贡献也大。例如 1980 年 6 月 22 日的混合带(图 3)从 9 时 32 分到 10 时 58 分东移约 84 km, 降水时间 86 min, 这个期间平均带长约 75 km, 宽约 9.7 km, 带平均雨强为 5.5 mm/10 min, 层状云平均雨强 0.4 mm/10 min(雨强据图 3 中 12 个雨量站资料计算), 复盖面积为 $75 \times 9.7 \text{ km}^2$ 的混合带 86 min 总降水量为 $3.4 \times 10^7 \text{ t}$, 而层状云在雨带扫过的面积 ($75 \times 84 \text{ km}^2$) 上 86 min 总降水量为 $2.2 \times 10^7 \text{ t}$, 可见雨带的总降水量比层状云大, 虽然它降水范围小。另外雨带在大部分站降水量都占该站日降水量的 40—60%。

综上所述, 梅雨锋云系的中尺度系统与暴雨有关, 多个中尺度系统或中尺度系统与回波群的汇集可在某地产生暴雨或大暴雨, 暴雨往往是由混合型回波产生的, 具有混合型回波的中尺度系统降水强度大, 降水量大, 对总降水量贡献也大。

参 考 文 献

- [1] 洪延超、黄美元等, 梅雨云系回波结构、降水特征和层结状况分析, 南方云物理和人工降雨学术交流会文集 (2), 16—28 页, 1983 年, 广州。
- [2] 洪延超、黄美元、王首平, 梅雨云系中亮带不均匀性的理论探讨, 大气科学, 第 8 卷, 第 2 期, 197—204 页, 1984 年。
- [3] 黄美元、洪延超, 在梅雨锋云系内层状云回波结构及其降水的不均匀性, 气象学报, 第 42 卷, 第 1 期, 80—87 页, 1984 年。
- [4] Akiyama, T., Mesoscale pulsation of convective rain in medium-scale disturbances developed in Baiu front, *J. Meteor. Soc. Japan*, 56, 267—283, 1978.
- [5] 黄美元、徐华英、洪延超, 混合云系中层状云的存在对对流云发展的影响的数值模拟研究, 29—36 页, 同[1]。

ECHO STRUCTURE OF MESOSCALE SYSTEMS IN THE MEI-YU FRONTAL CLOUD SYSTEM AND THEIR RELATIONS WITH THE HEAVY RAINFALL

Hong Yanchao Huang Meiyuan Wu Yuxia

(*Institute of Atmospheric Physics, Academia Sinica*)

Abstract

In the Mei-Yu frontal cloud system there are two kinds of meso-scale systems: meso-scale echo bands and meso-scale echo groups. Echo band consisting of convective clouds has different echo structure in different evolution stages. Water surface and mountains have an effect on it's evolution. Analysis of precipitation shows that if several meso-scale systems pass successively through a place, or meso-scale echo bands and echo groups converge at the place, there will be local heavy rainfall. Also, meso-scale systems producing heavy rain are of mixed cloud types, in which stratiform clouds and convective clouds coexist.