

1998年“二度梅”期间突发强暴雨系统的 中尺度分析*

贝耐芳 赵思雄 P426 A

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

摘 要 采用实测资料, 对造成7月20日至22日期间的特强暴雨过程进行了分析, 认为, 除去副热带高压南退且稳定维持这种有利的大尺度条件外, 一系列 β 中尺度天气系统在长江中游(即鄂东河谷地区)的发生发展是造成本次强暴雨的最直接原因, 这类系统的发生发展具有很大的局地性和突发性。分析表明, 对流层中低层的水汽的大量集中以及对流不稳定条件的存在可能对此类系统发展提供了有利环境, 对其启动的机制作了初步的讨论, 认为地形的热力强迫及梅雨锋上的中尺度扰动可能对此类系统的发生发展起了触发作用。

关键词: 长江流域; 特强暴雨; β 中尺度

1 引言

1998年长江流域的暴雨和洪涝灾害对我国国民经济建设和人民的生活构成严重的威胁。其中第二阶段的梅雨, 即所谓的“二度梅”, 有很重要的影响。总的来讲, 应该说对这次长江流域大暴雨的预测是成功的, 服务工作也是及时而有效的, 但是, 从另一方面来看, 也有不少科学问题值得反思^[1~4]。诸如, 产生这次特大暴雨的成因是什么? 这次过程中, 为什么在一地暴雨频繁突发且量大。而数值模式对于这次突发暴雨的预报尚不尽如人意。为了弄清这些重要的问题, 我国气象工作者已开展了一些工作。陶诗言等^[5]已对引发这次洪涝灾害的气候背景和大尺度环境条件进行了研究, 黄荣辉等^[6]对这次特大洪涝特征及其成因进行了探讨。

已有的结果表明, 暴雨是在大尺度环流背景的影响下引起中小尺度天气系统发生发展的结果, 过去对暴雨的大尺度环流背景已有较多分析研究, 这是很有必要的^[7~12]。但是要解决暴雨的问题需要对直接引发暴雨的中尺度对流系统进行深入的研究。观测资料表明, 1998年夏季我国长江流域发生的罕见的持续性降水期间的确伴有较强的突发性和局地性的中尺度暴雨系统。赵思雄等^[13]对1998年7月长江流域特大洪水期间暴雨特征作了分析, 指出, 在“切变线附近不断有中尺度系统发生发展, 其中一部分中尺度系统达到了很强烈的程度, 甚至引发了 88.4 mm h^{-1} 的强降水”。另外, 中尺度低压从7月20日至26日一直维持在长江中上游, 王俊^[14]已对切变线上的中尺度低压的结构和演变进行了分析。

2000-04-17收到, 2001-06-09收到修改稿

* 国家重点基础研究发展规划项目 G1998040907“我国重大气候和天气灾害形成机理和预测理论的研究”第II部分、国家自然科学基金资助项目 49735180 以及“水灾分析和决策支持的数据融合”(ANFAS)项目共同资助

但中尺度低压仅仅为暴雨的发生提供了一种有利条件, 而其中突然和短历时的暴雨可能是由更小尺度的系统所造成。为此, 本文将利用尽可能收集到的资料, 对 1998 年“二度梅”期间突发的局地强暴雨过程及其有关的 β 中尺度系统做一初步的分析研究。

本文除了使用常规高空和地面资料外, 还使用了湖北省区域测站每小时一次的地面降水、风速风向及卫星提供的每小时的 TBB (temperature of black-body) 资料。图 1 是湖北省的地形分布及主要观测站的分布图, 可以看出, 湖北省的东南端 (即武汉和黄石附近) 处于大别山的西南部和幕阜山的西北部水汽可由其东南和西南方向输送到湖北省的东南端, 有可能为中尺度系统的发生发展提供了较好的水汽条件。另外, 气流也容易在这样的地形处发生辐合。地形的分布可能对此次强暴雨系统的发生发展起了促进的作用 (地形的作用将另文作深入讨论)。

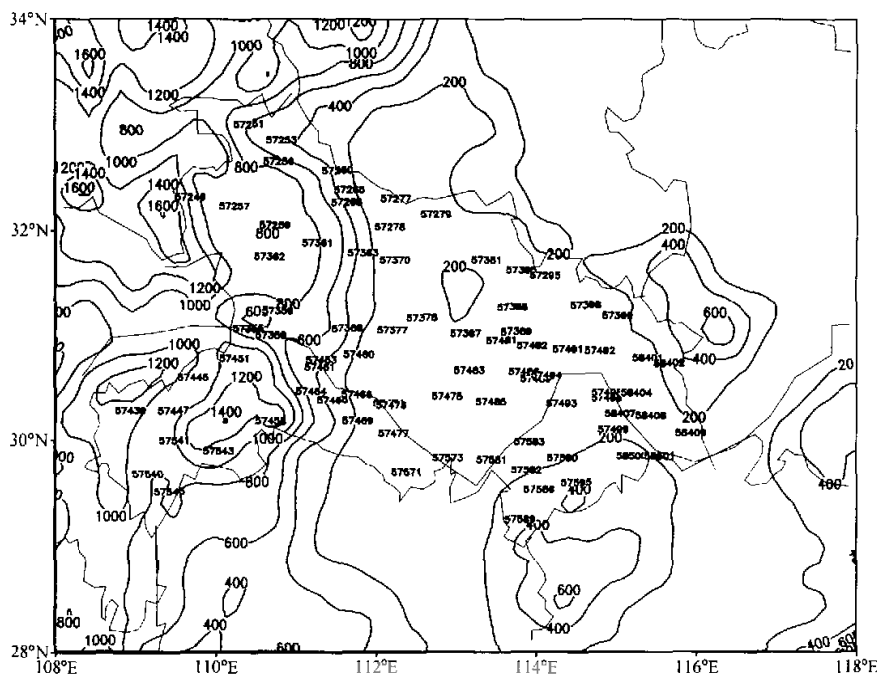


图 1 湖北省的地形和站点分布图

2 “北槽南涡”形势的稳定与维持

从对流层中低层和高层的流场和高度场的分布看 (图 2), 7 月 20 日至 22 日, 在对流层低层 (700 hPa), 在长江流域一直维持着一条切变线, 在这条切变线上有低涡发展并稳定维持, 低涡中心大约位于 (29°N, 107°E)。从对流层中层 (500 hPa) 的高度场上可以看到, 以 5880 线为代表的闭合的副热带高压南退至华南后基本稳定, 而在 (25

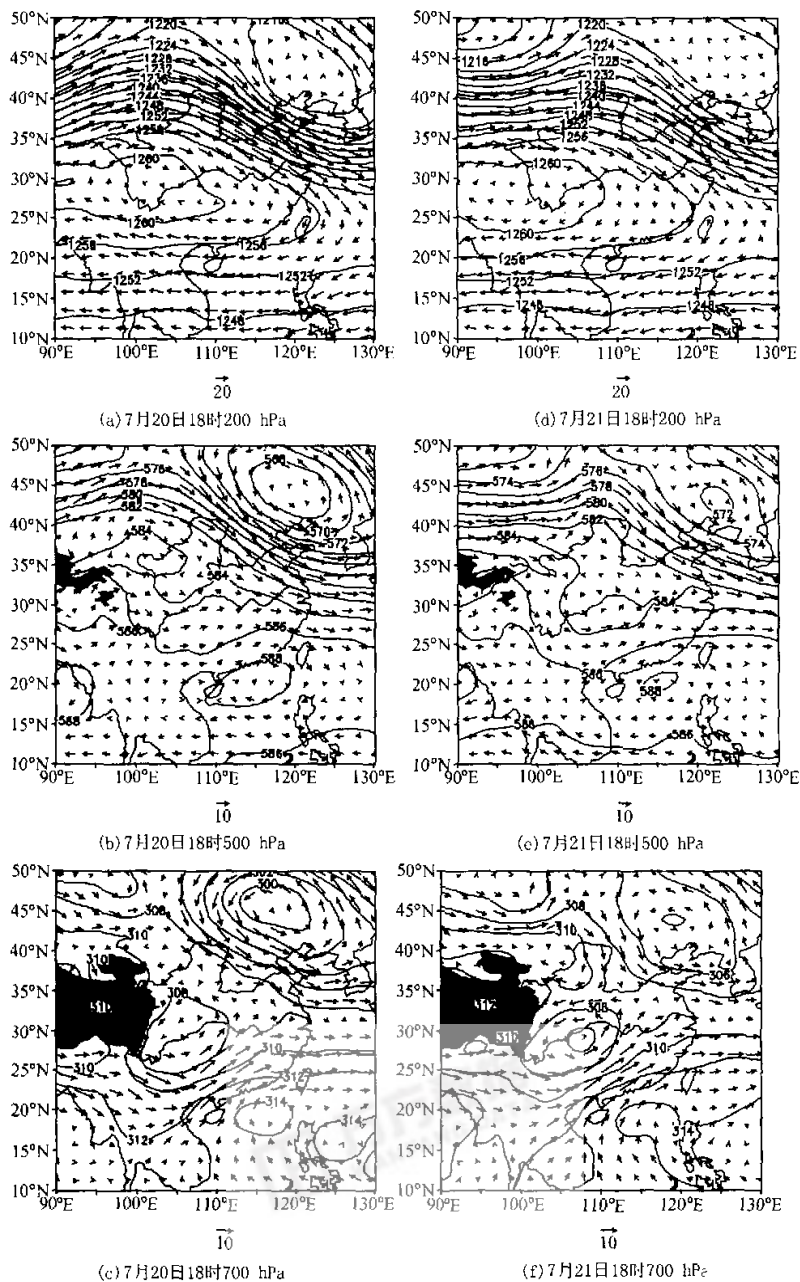


图2 7月20日18时(UTC)、21日18时(UTC) 200 hPa、500 hPa、700 hPa的风场和高度场
阴影区为地形高度大于3500 m(700 hPa)和5000 m(500 hPa)的区域

~35°N, 105°E) 处, 即我国陕南和川北一带, 有一高空短波槽, 该槽相对稳定, 与低层的低涡系统恰呈“北槽南涡”的有利配置。涡与槽均呈稳定少动的态势。而高层 (200 hPa) 处于青藏高压的东北侧, 属于相应的高度场的高值区和辐散区。这种低空有较强的辐合, 高空有较强的辐散的形势十分有利于强对流天气系统发生发展。

3 强降水系统及其中尺度特征

图 3 给出了 1998 年 7 月 20 日 00 时~23 日 00 时 (UTC, 下同) 长江流域中下游地区的过程降水量, 这大体可反映中国大陆 (尤其是中国东部) 的情况。可以看到最明显的特点是沿长江流域的切变线上降水分布是不均匀的、主要有两片雨区。一片位于鄂东, 有一个 400 mm 的中心存在, 另一个位于鄂西南及湘西北边界附近, 中心达 300 mm, 只有很小的区域达到 400 mm。这两片主要的降水区相距约 500 km, 它们与切变线上的扰动相对应。本文的目的是集中讨论东边的一片降水。为了更仔细地分析降水的分布特点, 我们利用了测站更密的湖北省 1 h 降水资料, 分析了 1998 年 7 月 19 日 12 时~22 日 12 时湖北省的过程降水量 (图 4)。与图 3 上最显著的不同是雨区的结构更细, 400 mm 以上的极值中心已不是一个, 可以很清楚地看到有两个中心, 一个位于武汉以南, 一个位于黄石附近。整个雨带呈西北西—东南东的走向, 与这一段长江流域河谷的走向似乎相一致。这两个强暴雨中心的水平尺度均小于 100 km, 其宽度约 30 km, 而其长度约 60 km, 面积约 1 800 km², 两个暴雨中心从时间上看还是先后形成, 因此, 面积无法合在一起计算。因而, 是属于很典型的 β 中尺度系统, 而且比起美国 Maddox^[15] 所定义的 MCC, 低于 -32 °C 和低于 -52 °C 的红外云区面积分别要大于

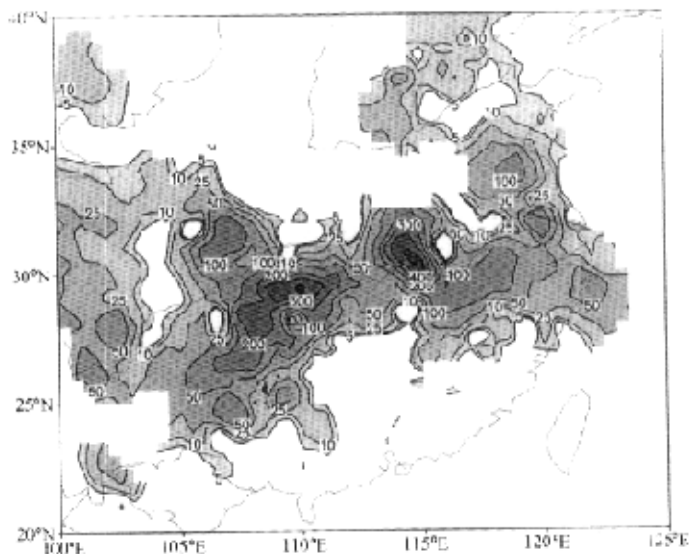


图 3 7 月 20 日 00 时至 23 日 00 时 (UTC) 的过程降水量 (mm)

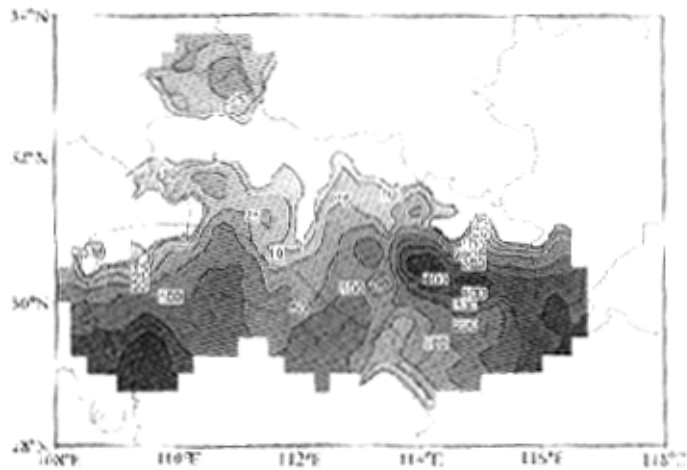


图 4 7 月 19 日 12 时至 22 日 12 时 (UTC) 湖北省的过程降水量 (mm)

100 000 km² 和 50 000 km² 的规定要小的多, 仅为其 1/30 至 1/50。因此, 毫无疑问, 要捕捉和预报这种尺度的现象无疑是比较困难的。但是应该说, 还是有某些特征, 是有所反映的。

为了揭示上述两个强暴雨中心是如何随时间而演变的具体过程, 我们分析了每小时一次的降水量图。图 5 和图 6 分别是 1998 年 7 月 20 日 20 时至 23 时和 7 月 21 日 20 时

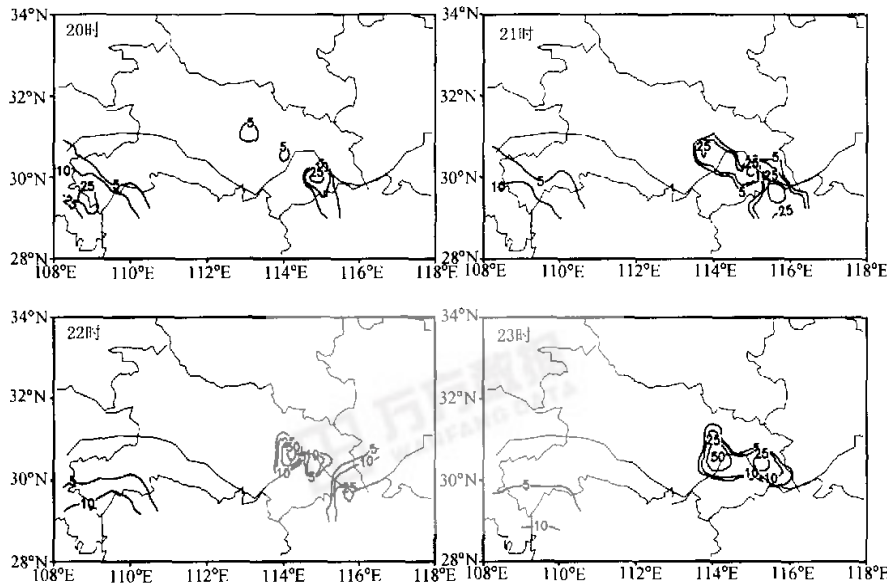


图 5 7 月 20 日 20 时至 23 时 (UTC) 湖北省的 1 h 降水量 (mm)

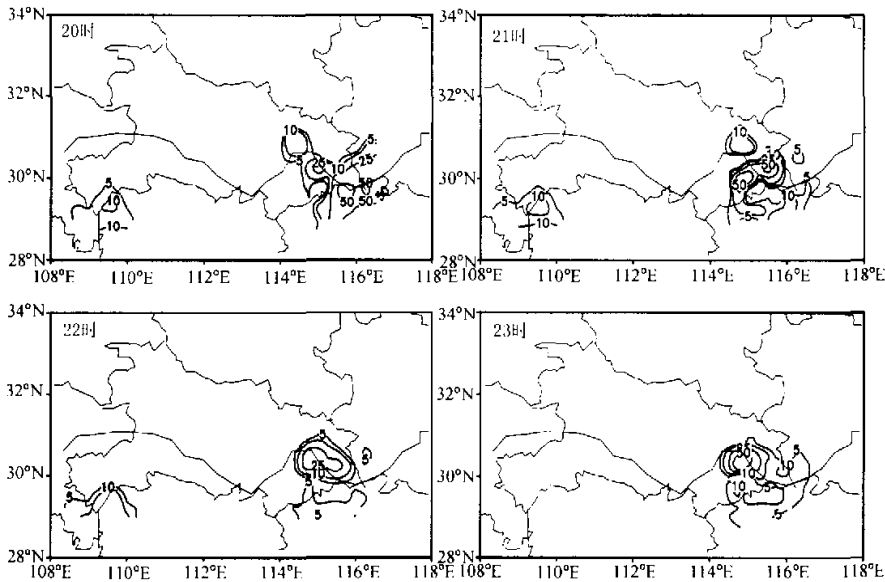


图 6 7 月 21 日 20 时至 23 时 (UTC) 湖北省的 1 h 降水量 (mm)

至 23 时的情况。这主要是因为降水主要集中于这两个时段。这两场雨共同的特点都是从凌晨开始而至下午结束。在 20 日 20 时 (相当于北京时 21 日 04 时, 即凌晨的情况), 可以看到这时在鄂东的降水基本上未成片出现, 而是分散于三个小区域中, 最大降水的中心为 25 mm, 20 日 21 时有成片降水出现, 在武汉至黄石有一条雨带, 20 日 22 时, 武汉附近出现大于 50 mm 的降水, 22 日 23 时, 在武汉附近仍有大于 50 mm 的降水区维持。另一场强降水出现在 21 日 20 时, 可以看到有强度不等的四个中尺度雨团, 沿长江流域排列, 21 日 21 时在黄石的东西两侧各有一大于 50 mm 的强降水区出现, 21 日 22 时, 雨区范围扩大, 降水强度减弱, 至 21 日 23 时, 在武汉和黄石间又出现大于 50 mm 的降水区分布。上述情况表明 21 日的降水以西侧, 即武汉地区较强, 而 22 日的降水以东, 即黄石地区附近较强, 即图 4 上两个强暴雨中心在分布时段上, 雨峰相距时间约为一夭。

为了进一步了解这场暴雨过程的时空分布特点, 我们从图 5 和图 6 上暴雨区附近选出 8 个测站, 分析了从 7 月 19 日 12 时至 22 日 12 时共 72 h 内每小时降水量的连续演变情况 (图 7)。可以发现, 这次降水过程中, 8 个站的记录均表明从 7 月 19 日 12 时起至 20 日 12 时这段时间内, 就整个区域而言, 无明显的降水, 暴雨是在 20 日夜至 21 日凌晨突然发生的。其中 6 个站的降水具有双峰型的特点, 表明在 21 日白天降水出现间隙。其中, 20 日 22~23 时和 22 日 00~01 时武汉站和黄石站的 1 h 降水量分别达到了 88.4 mm 和 76.4 mm, 其中在武汉和黄石附近的测站降水出现双峰型, 而在武汉以西的天门站 (57483) 和黄石以东的黄梅站 (58409) 其双峰型不明显。这 8 个站所在区域的水平尺度也就是 300~400 km 的大小。这再一次表明, 在上述两个时段内, 确实存在

造成强降水的 β 中尺度天气系统的活动。

从湖北省每小时降水量图上可以看到（例如图 5、图 6），20 日至 22 日期间湖北省的降水主要集中在武汉和黄石附近，其中经过武汉和黄石附近的主要中尺度雨团（此处定义 1 h 降水量大于 10 mm，生命史 ≥ 2 h 且范围达到或超过几十公里的雨区为雨团）有 7 个（见表 1）。从表 1 可以看出，雨团的生命史一般在 3~7 h 间，范围为几十至几百公里之间。从 1 h 降水量资料的连续演变看，这次降水的强度分布很不均匀，20 日

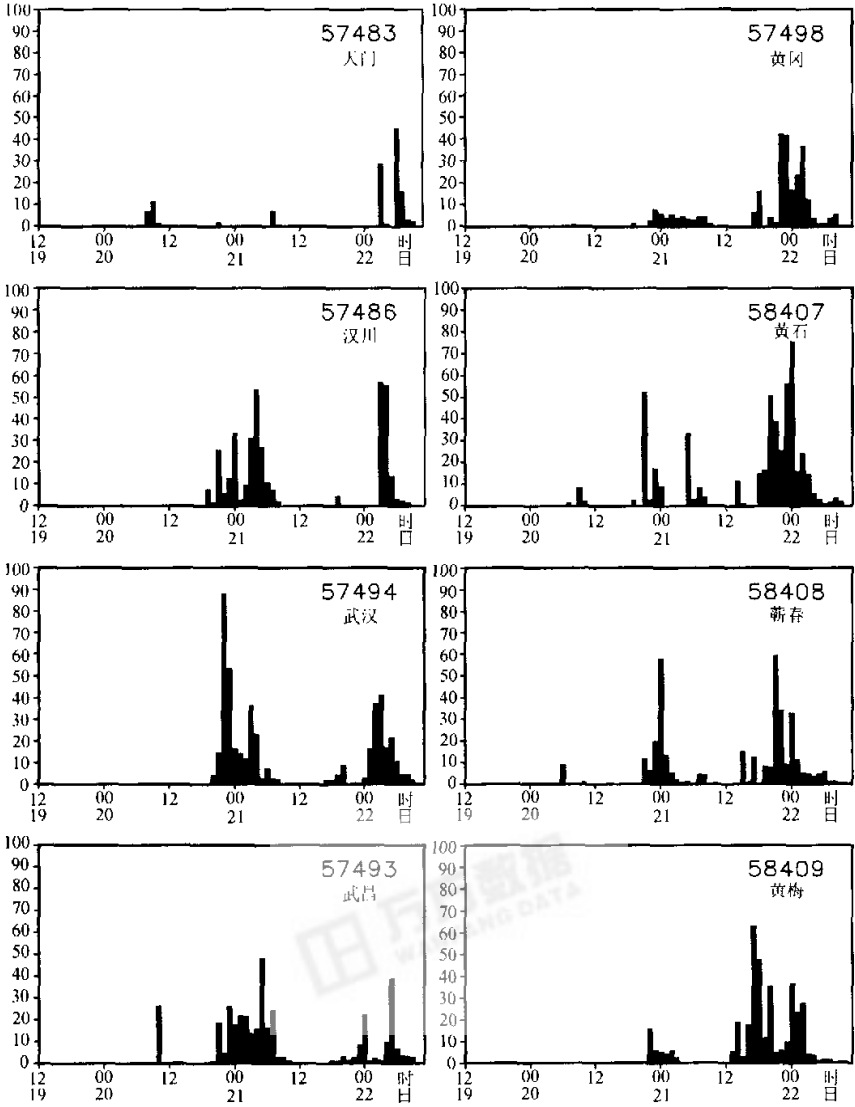


图 7 7 月 19 日 12 时至 22 日 12 时 (UTC) 期间 1 h 雨量的时间演变图 (mm)

表 1 7 月 20 日至 22 日期间湖北省的雨团活动概况

序列号	生成时间 (UTC)	消亡时间 (UTC)	生命期 (h)	最大覆盖范围 (km ²)	最大中心雨强 (mm/h)
1	20 日 09 时	20 日 11 时	3	50×50	37.7
2	20 日 12 时	20 日 15 时	4	100×50	65.2
3	20 日 19 时	21 日 01 时	7	150×50	88.4
4	21 日 02 时	21 日 07 时	6	100×50	53.5
5	21 日 08 时	21 日 11 时	4	100×50	91.1
6	21 日 18 时	22 日 01 时	7	60×50	76.4
7	22 日 02 时	22 日 06 时	6	150×40	57.1

22 时和 22 日 00 时，武汉站和黄石站的 1 h 降水量分别达到了 88.4 和 76.4 mm（图 7）。同时，在 20 日 22 时和 22 日 00 时附近，武汉站和黄石站周围的一些站也都有相应的雨峰值，这表明，在上述两个时间段内确实存在造成强降水的 β 中尺度天气系统的活动。

4 β 中尺度对流系统的云系特征

图 8、图 9 分别是 20 日 19 时~22 时和 21 日 20 时~22 日 00 时的红外云图，沿长江流域有一系列的白亮云团存在，这是对流活动旺盛的地区。尤其是在 20 日 19 时和 21 日 20 时，在湖北省的东南端（即武汉和黄石附近）开始有一个较强的 β 中尺度云团

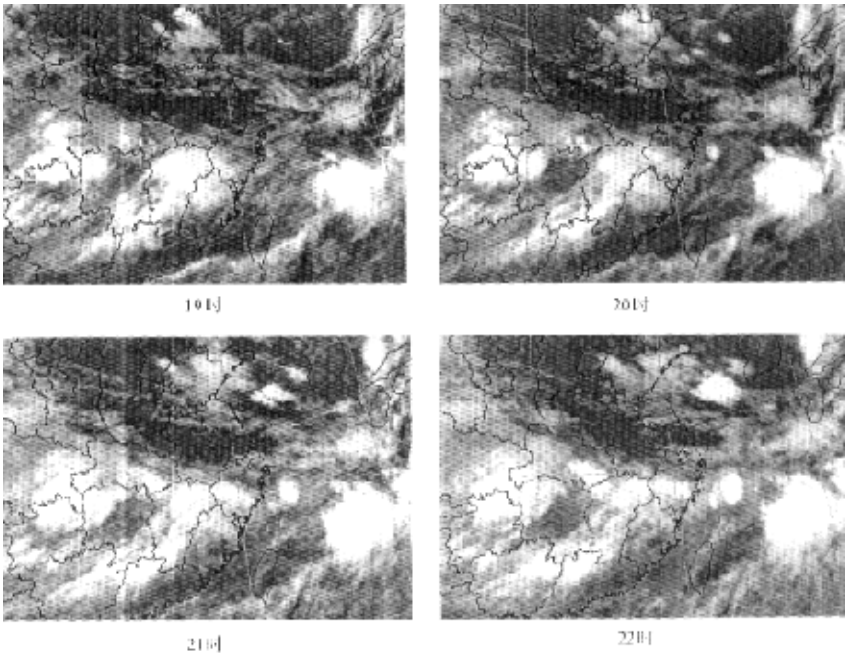


图 8 1998 年 7 月 20 日 19 时至 22 时（UTC）的红外云图

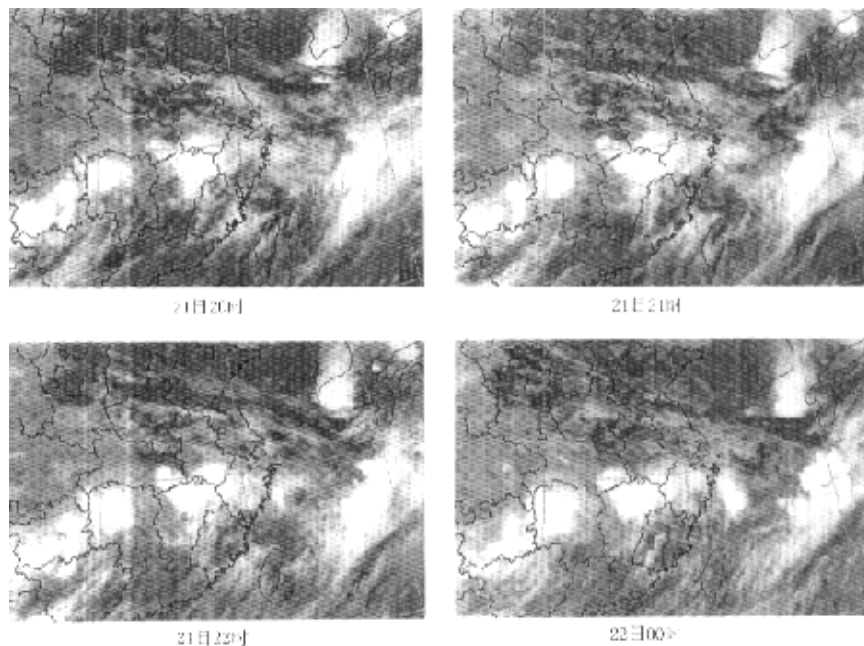


图9 1998年7月21日20时至22日00时(UTC)的红外云图

发生发展,并在20日22时和22日00时达到最强,这是直接造成20日22~23时、22日00~01时的武汉和黄石强降水的系统。从分辨率为 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 的TBB图上可以很清楚地看到(图10、图11),7月20日~22日期间,长江中下游地区对流云团相当活跃。其中,7月20日20时,沿长江流域有两片大的云区,一个位于长江中上游,即湘、鄂、黔交界地区,另一片位于江南,即赣、皖、苏地区。在长江中游的湖北省境内基本为一晴空区,但是仔细分析后,可发现在江汉平原也有一片TBB低于 -40°C 的区域存在,不过面积较小。大体位于武汉和黄石附近,似乎还有两个中心,其数值分别为 -50°C 左右。至20日21时,该云区面积扩大,数值达 -60°C ,20日22时,范围继续扩大,且维持。20日23时,范围至鄂东,强度达 -70°C ,这正好是与图7上第一次雨峰的过程相对应。此后,云区变小、减弱。从图11上也可以清楚地看到,另一次过程即7月21日19时,沿长江流域仍有两片雨区,一片由贵州伸至鄂西南,另一片为江南的苏赣皖交界地区。在湖北江汉平原基本为晴空少云,但仔细分析仍可以清楚地看到,在武汉和黄石间有一小片 -40°C 的区域。21日20时,此云区强度变为 -50°C ,且与赣皖云区连成一片。21日21时,主体云区 -60°C 线向西伸至鄂皖边界,21日22时,鄂皖边界出现 -70°C 闭合中心,21日23时, -70°C 闭合中心西移入湖北境内,黄石以东地区,22日00时, -70°C 中心继续维持,区域有所扩大。这一片 -70°C 中心的生成和发展与图7上的第二次雨峰有很好的对应关系。从TBB图上的结果看与降水量图的分布一致,再次表明这次过程有明显的突发和局地的特征,与 β 中尺度系统有关。

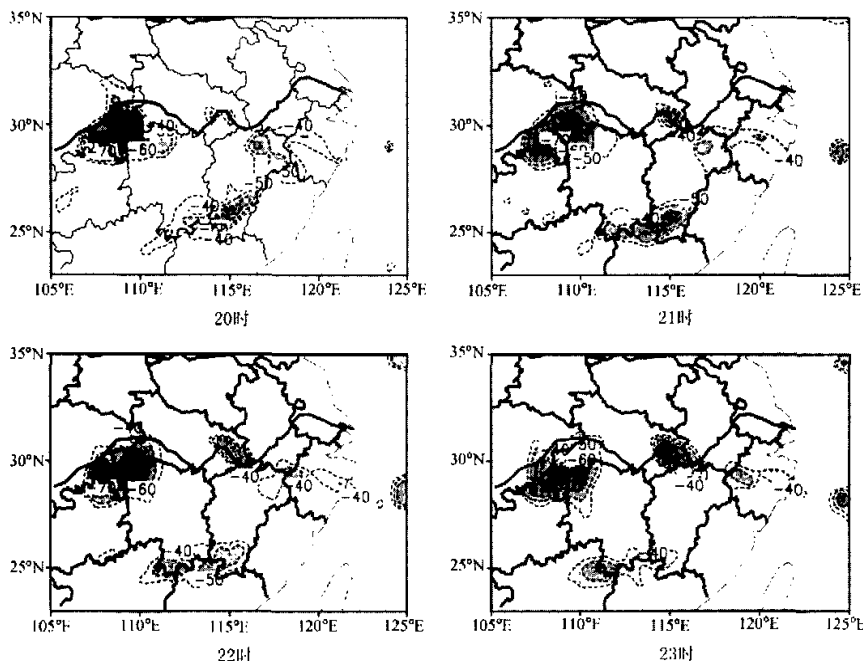


图 10 7 月 20 日 20 时至 23 时 (UTC) TBB 云顶温度的分布图

5 强降水系统的动力热力特征

为了讨论这次突发暴雨过程中对流系统及其环境场的三维结构, 我们采用 T106 的同化分析资料 (图 12~14) 和加密资料 (图 15) 对其动力和热力特征进行了分析。

从图 12 上给出了我国东部地区的整层水汽通量散度的分布, 其中负值区表示有水汽的辐合, 即有水汽向该区域集中。图 12a 为 7 月 20 日 18 时, 可以看出沿长江流域基本上为辐合区, 但是, 此辐合区主要分为两部分, 即长江流域中上游及长江中下游, 其间在 110°E 附近为辐散区所分隔。武汉和黄石的大暴雨可能与东部的辐合区有关。图 12b 是 7 月 21 日 18 时, 即北京时 22 日 02 时的分布情况, 形势与图 12a 大约相近。

而从每 3 h 的地面温度露点差 (图略) 的分析可以发现, 在 20 日 21 时, 可以清楚地看到沿着长江流域, 基本上为温度露点差小值区, 即高湿区之所在。有两个中心, 一处主要集中于鄂东, 温度露点差为零, 即整个区域已达饱和, 另一处为鄂西, 温度露点差为 0.5 °C, 即接近饱和。此种分布形式大体维持, 直到 22 日 00 时, 形势基本上与上述情况类似, 但是饱和区略向东移动。

从沿 30.4°N 方向上的 θ_{se} 垂直剖面图 (图略) 看, 20 日 18 时的图上大体反映了沿梅雨锋东西走向上的情况, 我们可以看到, 就整个区域而言, 从地面至大约 600 hPa 这

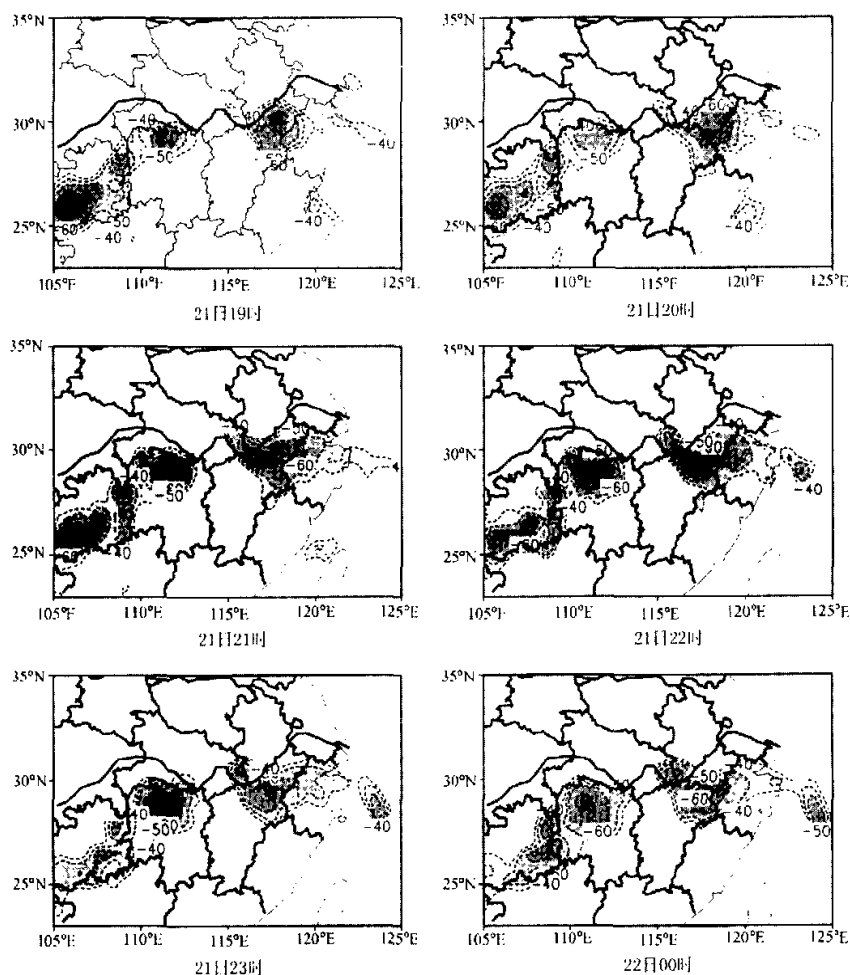


图 11 7 月 21 日 19 时至 22 日 00 时 (UTC) TBB 云顶温度的分布图

一层内, θ_{se} 随高度减小, 这表明, 这一地区的对流层低层处于条件不稳定状态。而 21 日 18 时的情况, 与前一天的分布类似。这表明, 在这两天的降水过程中这种不稳定的状态均有明显的作用。

上述的不稳定还可以从里查森数的垂直剖面图上看出来。从 20 日 12 时的图中 (图 13) 可以看出, 在 850 hPa 以下的层次中, 里查森数小于 1 的区域在 113°E 和 123°E 附近, 与上升运动区相对应。里查森数的大小常被人们作为扰动发展的一个标志, 因而较小里查森数区域的存在, 可能使行星边界层内的湍流交换大大加强, 增加了大气的不稳定性, 更易于对流系统的启动与发展。6 h 以后, 在 115°E 以东 (图 13), 里查森数小于 1 的区域已达行星边界层之上, 而这里也正好对应于上升运动区, 其两边的一边虽然也是里查森数小值区, 但上升运动不甚明显, 因而, 对鄂东地区即武汉地区的暴雨的

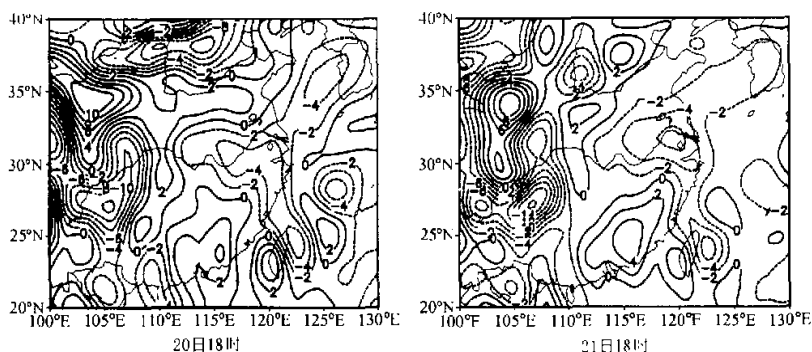


图 12 7 月 20 日 18 时和 21 日 18 时 (UTC) 的整层水汽通量散度 ($10^5 \text{ g s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ hPa}^{-1}$)

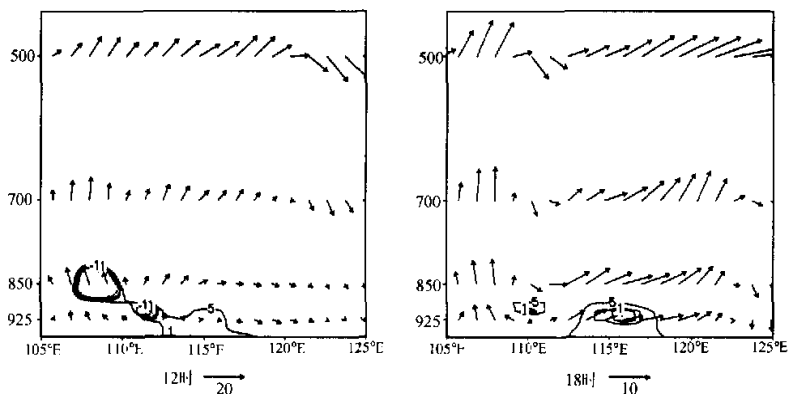


图 13 7 月 20 日 12 时、18 时 (UTC) 沿 30.375°N 的低层里查森数和流场 (其中 $w \times 500$, 单位: m s^{-1}) 的垂直剖面

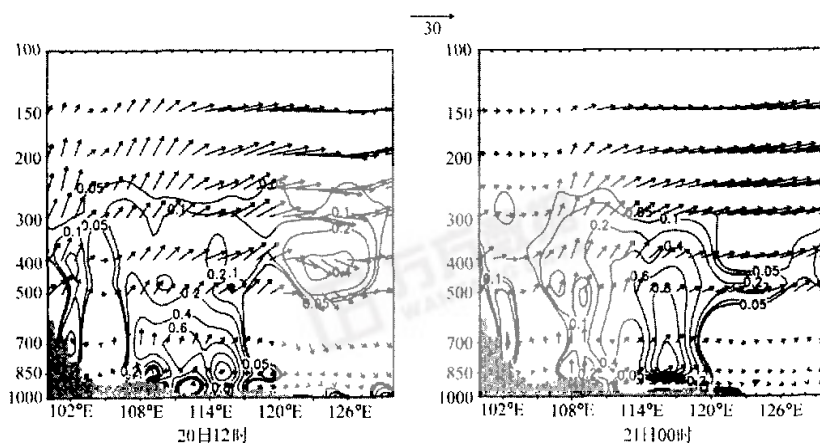


图 14 7 月 20 日 12 时和 21 日 00 时 (UTC) 沿 30.375°N 的扰动比湿 (单位: g kg^{-1}) 和 $v-w$ 剖面 ($w \times 500$, 单位: m s^{-1})

产生是有利的。

与此同时,垂直剖面上比湿扰动量的分布也有明显的变化。为了讨论对流活动区与非活动区的区别,我们先将比湿沿水平方向取平均值,再用每个格点上的实测值减去平均值,这样可得出其扰动值,这一求离差值的办法,在研究中小尺度系统的演变特征时是常常用到的。图 14a 和 14b 分别给出了 7 月 20 日 12 时和 21 日 00 时扰动湿度分布的情况。可以看到前者 0.6 g kg^{-1} 的等值线大体位于 700 hPa 及其以下的层次中,而后者 0.6 g kg^{-1} 的等值线甚至可达到大约 400 hPa 的高度,这表明其湿层明显向上扩展,而这一区域也正是上升运动最明显的地区。

强的上升运动区的周边常常伴有强的下沉区,而下沉气流常引起地面的加压^[18]。为此,对暴雨区域附近的 3 h 地面变压的情况进行了分析(图 15a、b),我们发现,7 月 21 日 00 时,3 h 正变压中心在武汉附近,其数值为 1.75 hPa;而 22 日 00 时,3 h 正变压在黄石附近,其中心值为 1.5 hPa,这两场强暴雨的相对强的中高压中心均出现在强对流活动区附近,这可能是对流活动的结果,而不是对流活动的原因。因为,我们注意到在两场暴雨发生前武汉和黄石分别为负变压的大值区(图略)。

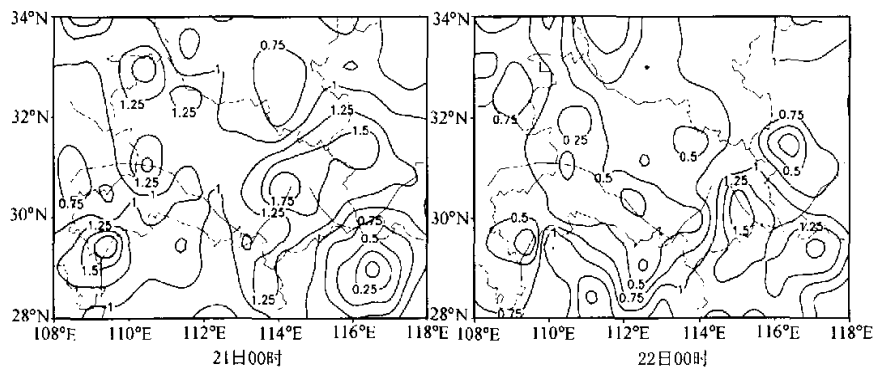


图 15 7 月 21 日 00 时至 22 日 00 时 (UTC) 的地面 3 h 变压 (hPa)

6 结论和讨论

通过采用多种常规和非常规资料,对 7 月 20~22 日期间突发强暴雨过程的分析,结果表明,除了有利的大尺度背景场(风的水平切变、对流不稳定和水汽条件等)外, β 中尺度的天气系统的发生发展是直接造成强降水的原因。这种系统的发生发展具有很强的局地性和突发性,主要取决于当地的地形条件及大尺度背景场,其中,对流不稳定可能是重要的原因之一。

通过对 7 月 20 日至 22 日期间大尺度三维流场、水汽条件、不稳定条件、地形等做的分析,得到如下结论:

- (1) 长江流域中上游地区对流层中低层一直维持着较强的低涡、切变线;

(2) 长江流域及其以南地区一直是水汽通量辐合的大值区, 其中, 水汽的主要来源可能是南海和孟加拉湾;

(3) 对 TBB 资料的分析表明, 7 月 20 日至 22 日期间, 长江流域的对流云团相当活跃, 尤其是 20 日 22~23 时及 22 日 00~01 时是 β 中尺度的天气系统发展最强的时间, 因而造成了强降水;

(4) 对不稳定条件的分析表明, 长江中下游地区对流层中低层一直是对流不稳定区, 不稳定层最高达 500 hPa, 如此深厚的不稳定层是中尺度系统发生发展的重要条件之一, 有几种可能的机制能使这种不稳定得以触发, 具体到底属于何种, 还需要作进一步的研究。

由于是突发性和局地性暴雨, 因而对这次降水成因的分析是一件比较困难的事情。而且初步的分析表明, 它还有一些与当地多年平均暴雨状况不同的特点。从地形分布与降水实况和相关资料的对比分析表明, 地形可能对 20 日 22 时及 22 日 00 时的强降水有增幅的作用。

地形具体如何起作用, 还有待进一步弄清。我们已注意到, 这两日内的两场强降水是沿鄂东河谷地区分布的。多年的观测资料表明^[16], 鄂东山区迎风坡是暴雨更为常见的区域, 河谷地区尚不能算多发地区。暴雨发生于谷区, 可能是有其某种内在的机制。另外, 地面风场的分析表明(图略), 在暴雨发生时该区有东南风沿河谷进入鄂东, 然后一支向北折向鄂东北山地, 一支向南折向鄂东南山地, 从大尺度分布看呈辐散形势。而强烈的对流要有强烈的上升运动, 强烈的上升运动应源于低层强的辐合。这两场爆发于后半夜的强降水是否是由于夜间山谷风效应, 使南北坡的下坡风辐合, 还是由于梅雨锋上扰动激发出的重力波的启动^[17], 以造成了局部地区的强烈上升, 这些都更需要更多的资料来做深入的分析和模拟研究。为此, 除了应开展新的现场加密观测试验外, 适当利用高分辨率非静力模式模拟所得的资料, 对文中所提的 β 中尺度系统的发生发展过程做某些分析及模拟研究是应该进行的工作。这方面的内容将另文发表。

致谢: 湖北省气象局对本项研究给予大力支持帮助, 并提供有关资料, 特此致谢。

参 考 文 献

- 1 颜宏, 1998 年中国特大洪涝灾害的天气气候特点, 成因分析及气象预报服务, 气候与环境研究, 1998, 3(4), 323~334.
- 2 李泽榕, 郭进修, 董立清, 天气预报在 1998 年夏抗洪防灾中的作用——暴雨成灾引起的气象科学问题的思考, 气候与环境研究, 1998, 3(4), 335~338.
- 3 林朝晖, 李旭, 赵彦, 周广庆, 王会军, 袁重光, 郭裕福, 曾庆存, IAP 短期气候预测系统的改进及其对 1998 年全国汛期旱涝形势的预测, 气候与环境研究, 1998, 3(4), 339~348.
- 4 陈红, 孙建华, 贝耐芳, 王俊, 张宝严, 杜长奎, 蔡则怡, 赵思雄, 1998 年中国科学院大气物理研究所气候与环境预测研究中心汛期暴雨短期数值预测, 气候与环境研究, 3(4), 382~389.
- 5 陶诗言, 张庆云, 张顺利, 1998 年长江流域洪涝灾害的气候背景和大尺度环流条件, 气候与环境研究, 1998, 3(4), 290~299.
- 6 黄荣辉, 徐子红, 王鹏飞, 周连童, 1998 年夏长江流域特大洪涝特征及其成因探讨, 气候与环境研究, 1998, 3(4), 300~313.
- 7 陶诗言, 中国之暴雨, 北京: 科学出版社, 1980, 1~225.

- 8 张丙辰主编, 长江中下游梅雨锋暴雨的研究, 华东中尺度天气试验成果(2), 北京: 气象出版社, 1982.
- 9 施曙、赵思雄, 梅雨锋上与强暴雨有关的中低压及其三维环境流场的诊断研究, 大气科学, 1994, 18(4), 476~484.
- 10 邓秋华, 长江中游中尺度对流系统辐合体暴雨过程分析, 暴雨科学、业务试验和天气动力学理论的研究, 北京: 气象出版社, 1996, 12~20.
- 11 胡伯威、彭广, 暖切变型江淮梅雨锋结构及其形成和维持的机制, 大气科学, 1996, 20(4), 463~472.
- 12 Ninomiya, K. And H. Muraki, Large scale circulation over East Asia during Baiu period of 1979, *J. Meteor. Soc. Japan*, 1986, 64, 409~429.
- 13 赵思雄、孙建华、陈红、张凤, 1998年7月长江流域特大洪水期间暴雨特征的分析研究, 气候与环境研究, 1998, 3(4), 368~381.
- 14 王俊, 1998年“二度梅”期间低涡和暴雨的研究, 中国科学院大气物理研究所硕士学位论文, 1999.
- 15 Maddox, R. A., Mesoscale convective complexes, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1980, 61, 1374~1387.
- 16 赵明明等, 长江中上游地区暴雨气候图集, 北京: 气象出版社, 1995.
- 17 李麦村, 重力波对特大暴雨的触发作用, 大气科学, 1978, 2(3), 201~209.

Mesoscale Analysis of Severe Local Heavy Rainfall during the Second Stage of the 1998 Meiyu Season

Bei Naifang and Zhao Sixiong

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract The process of the heavy rainfall during the period of 21~22, July 1998 is analyzed using denser observational data, especially satellite data and surface data. It is found that a series of meso- β weather system occurred and developed along the middle reaches of the Yangtze River and caused the severe heavy rainfall in this area. The occurrence and evolution of these weather systems have the characteristics of local phenomena and are also very paroxysmal. It is emphasized that the existence of the convergence of rich water vapor and the condition of convective instability in the middle and low troposphere probably provided the favorable environment for development of heavy rainfall. In addition, the mechanism of mesoscale systems is discussed and the results implied that the thermal forcing of the terrain and the mesoscale disturbances on Meiyu (Baiu) front was probably related with the occurrence and evolution of strong weather systems.

Key words: Yangtze River; severe heavy rainfall; mesoscale systems