

1998年7月21~22日鄂东沿江 连日特大暴雨成因探讨*

胡伯威^{1,2)} 崔春光¹⁾ 房春花¹⁾

1) (武汉暴雨研究所, 武汉 430074)

2) (北京大学暴雨监测与预测国家实验室, 北京 100871)

摘要 分析了1998年7月21~22日连续两天发生在鄂东沿江的特大暴雨的环流背景特点和尺度演变过程, 并对其成因作了初步探讨。揭示了一种晚梅雨期特有的能把沿江东移的暴雨系统阻滞在鄂东形成持续和重复大暴雨的环流形势。结合当时的环境气流背景, 讨论了大别山与鄂东南山地之间的NW-SE向河谷地形导致暴雨在夜间沿河谷产生和持续的可能机制。其中包括地形的机械和热力作用导致的中尺度环流变化, 和在此情况下形成的一种长生命, 强对流云系动态结构。

关键词: 特大暴雨; 中尺度分析; 地形作用

1 引言

1998年7月21~22日大致以武汉—黄石为轴心的鄂东沿江一带, 发生了历史上罕见的连续两天特大暴雨。两天内武汉市鹦鹉洲降水633 mm, 黄石气象站降水501.8 mm。在武汉等大、中城市造成空前严重的渍水。这是1998年长江流域特大洪涝时期最突出的一次暴雨过程。实际上是由21日凌晨—午后和22日凌晨—午后两场特大暴雨组成, 两者起讫时间很相似, 而且都是发生在从汉水—长江汇流处的三汉(汉川、汉阳、汉口)附近, 向大别山与鄂东南山地之间的NW-SE向谷地延续约200余公里, 宽约60~70 km(图1)。相继两天在相似的时段和相似的狭窄地段, 发生罕见的强降水, 而且所处的环流背景和天气学条件, 较之以往出现过的长江中游梅雨期特大暴雨过程, 也有一些独特之处。对这样的过程, 当时的预报和事后的分析难度都比较大。本文根据现有资料对这次连续特大暴雨的天气学特点和成因作一个初步探讨。第2节和第3节简略列举有关的天气学事实要点, 第4节据事实讨论可能的成因, 第5节给出基本结论。

2 发生暴雨的天气形势

在整个暴雨过程中, 从贝加尔湖到朝鲜半岛有一个长轴NW-SE向的冷涡。这种形式的冷涡很稳定, 在此次暴雨过程之前数天已存在。冷涡后部从蒙古到黄海、东海有

1999-06-22收到, 2000-06-12收到再改稿

* 国家自然科学基金资助项目49875011

一支强劲的西北气流 (图 2)。在它控制的地带, 连日晴空或淡云, 对流层下部干而暖 (图 3), 下沉运动盛行。西太平洋副高脊很弱, 在南海有一个高压中心; 江南的低层西南气流强度平常; 鄂东特大暴雨开始之前低层切变线不明显。

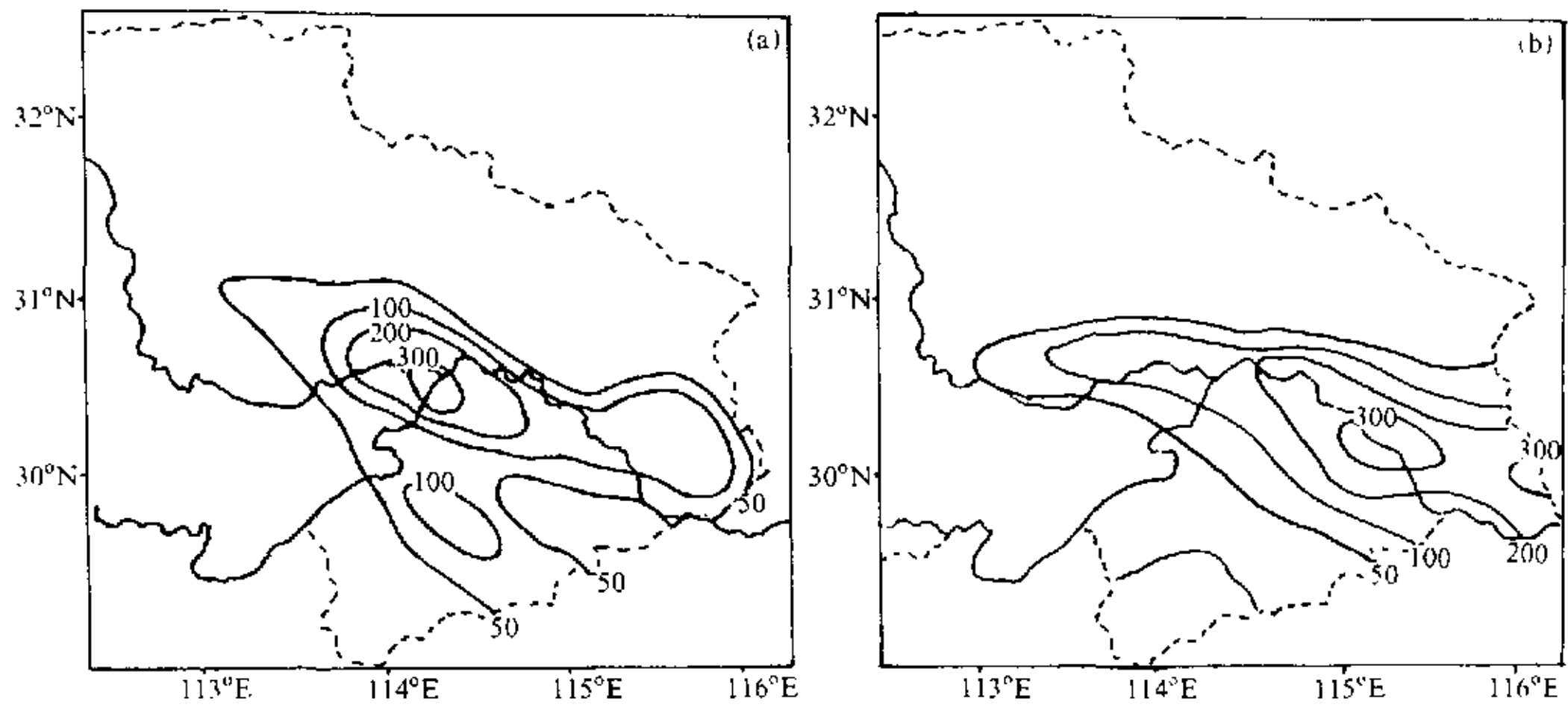


图 1 1998 年 7 月 20 日~22 日鄂东 24 h 雨量图 (等值线单位: mm)
 (a) 7 月 20 日 20 时~21 日 20 时; (b) 7 月 21 日 20 时~22 日 20 时

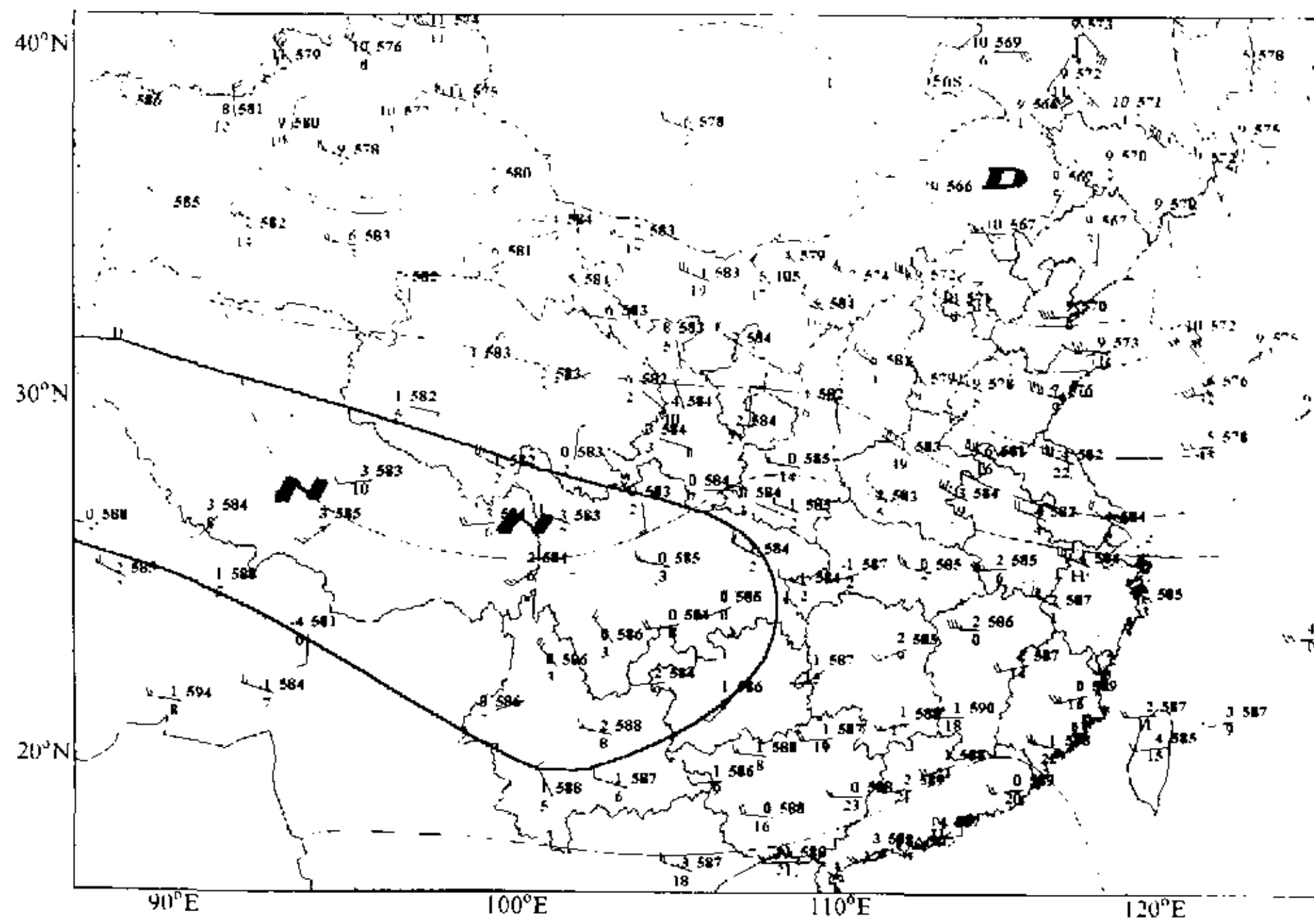


图 2 1998 年 7 月 20 日 20 时 500 hPa 高空图

19 日 08 时, 500 hPa 有一个伴有冷舌的小槽出现在青海湖, 后来移到华北减弱, 对我国东部温度场没有什么影响。但这个槽在移过川北时引起对流发展, 19 日夜间开始在四川盆地发展起一个西南低涡 (图 4)。于是 20 日白天在涡前西南气流强风区前沿, 亦即前述高空西北下沉气流右侧, 出现一条 NW-SE 向 (鄂东—江西) 的对流云带 (图 5a)。

西南低涡的主体停留在四川盆地, 移动极慢, 但在低涡南部的活跃对流云带东端, 有直径 200 km 以上的对流云团离开准静止西南涡继续东移, 所经之处都有暴雨。这个云团于傍晚 (20 时左右) 在鄂东南—赣西北边境附近, 汇入上述 NW-SE 向的天气尺度对流云带, 并与原先在此带中的对流云团合并, 折向东南方移动。此后不久, 当这个云团在江西衰退时, 在它的西北方, 即鄂东沿江, 便有新生云团发展起来, 酿成持续的特大暴雨。次日, 按照大致相同的时间, 经历大致类似的演变过程, 带来第二场鄂东特大暴雨。

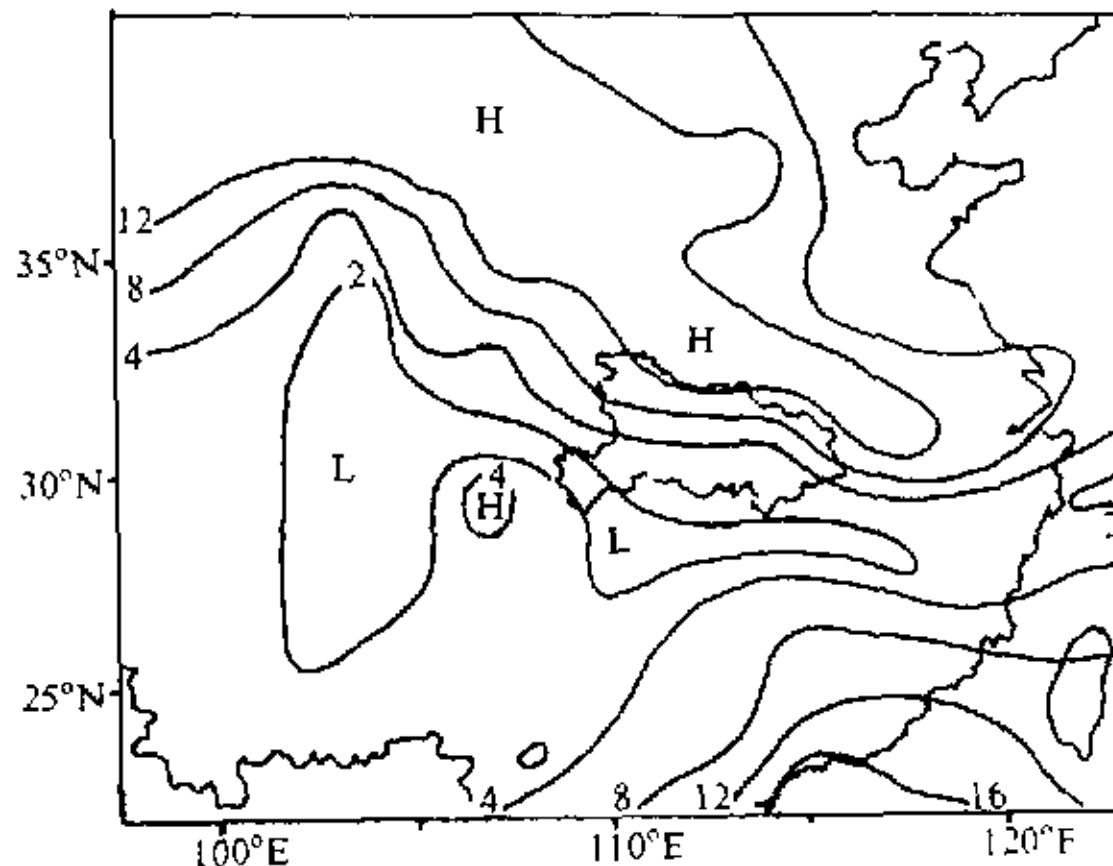


图 3 1998 年 7 月 20 日 20 时 700 hPa $T - T_d$ 图 (等值线单位: K)

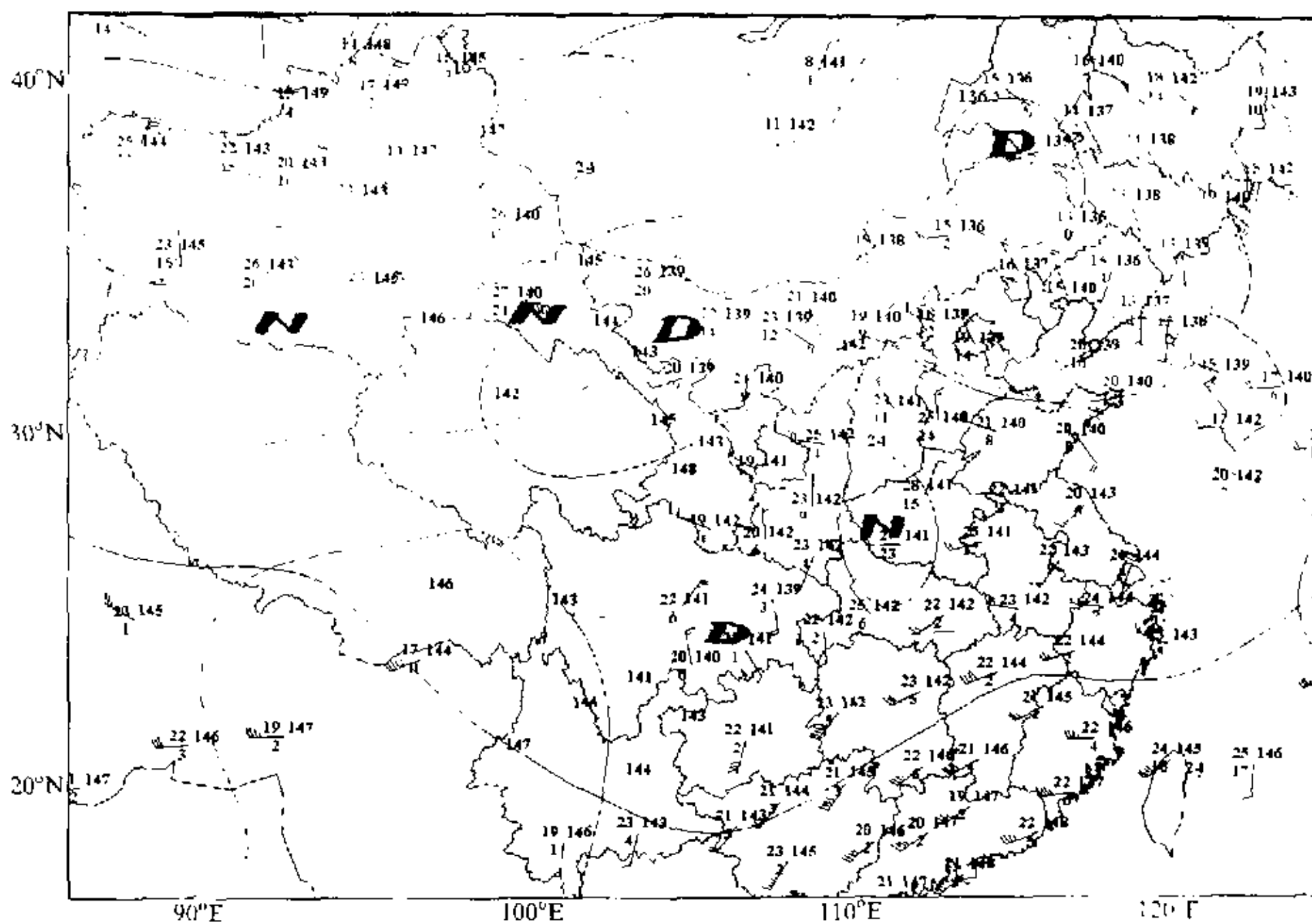


图 4 1998 年 7 月 20 日 08 时 850 hPa 高空图

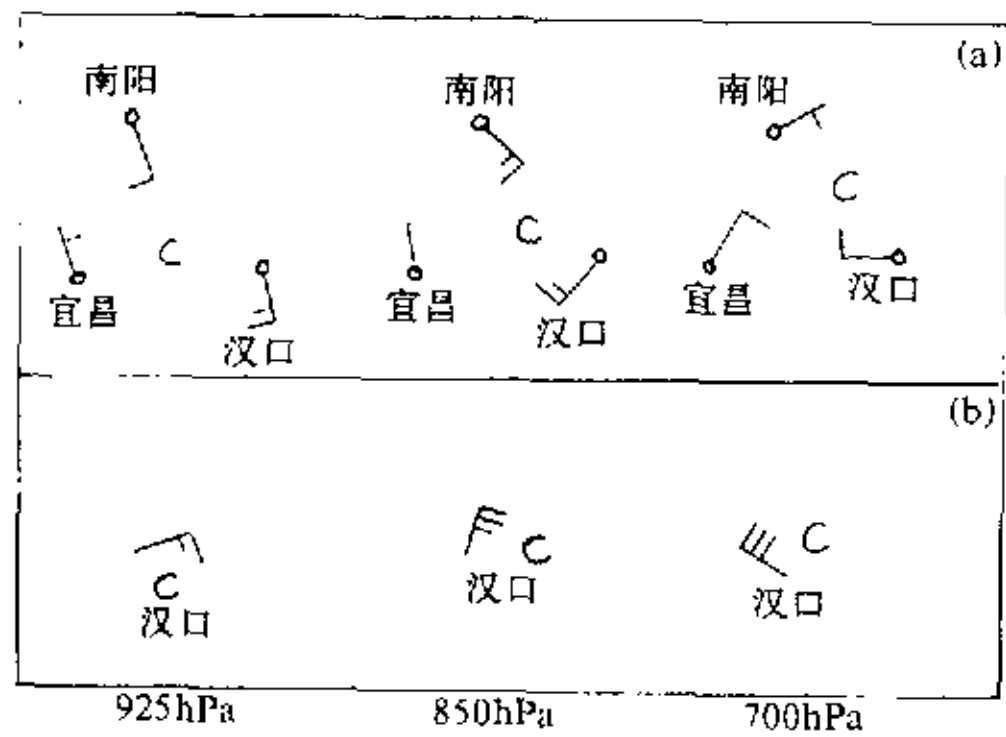


图 6 1998 年 7 月 20~22 日暴雨前、暴雨中小涡分析
 (a) 7 月 20 日 20 时小涡附近高空风场 (站点依次为南阳、汉口、宜昌); (b) 7 月 21 日 08 时汉口 700 hPa, 850 hPa, 925 hPa 风向风速, “C”表示小涡中心, 风的填图符号均根据实测记录

可判断涡的中心随高度增加向 NNE 方倾斜 (图 6b)。

一般情况下高空站网只能分辨出 α 中尺度以上的扰动, 上述对小涡的分析是利用常规高空风资料结合云、雨团变化的一种判断。值得注意的是 21 日 08 时正值鄂东暴雨高峰时间, 暴雨中心附近的武汉高空风与周围探空站相比, 显出不连续差异, 而且风很强, 我们判断一个强的中尺度风场扰动正在武汉附近。

21 日 08 时 925 hPa 有一个明显的冷区与风场小涡及暴雨区重合 (图 7), 北面的高空西北风下沉区和湖南的下沉晴空区则是明显的暖区; 850 hPa 和 700 hPa 温度场也与此一样; 小涡上面直到 500 hPa 还略冷于周围; 而 300 hPa 和 200 hPa 则呈现明显的暖中心。可见在此次特大暴雨高峰时刻, 虽然有极强的积云对流加热, 但强烈的上升运动带来的局地降温, 在对流层中下部却超过了非绝热加热, 使增温层集中在 500 hPa 以上。

21 日 08 时 925 hPa 有一个明显的冷区与风场小涡及暴雨区重合 (图 7), 北面的高空西北风下沉区和湖南的下沉晴空区则是明显的暖区; 850 hPa 和 700 hPa 温度场也与此一样; 小涡上面直到 500 hPa 还略冷于周围; 而 300 hPa 和 200 hPa 则呈现明显的暖中心。可见在此次特大暴雨

3.2 21 日鄂东特大暴雨强对流系统的演变

(1) 发生、发展阶段

上述“前导云团”刚移到江西时, 鄂东残云一度消失, 而当江西云团迅速减弱的时候, 江汉平原到鄂东南出现一些零散的中尺度对流云体 (图 8a), 03~04 时有相应的零散小片降水, 其中咸宁降水强度已达到 11.7 mm/h。此后两个小时对流云逐渐集中, 形成从大洪山南麓的京山到阳新、武穴

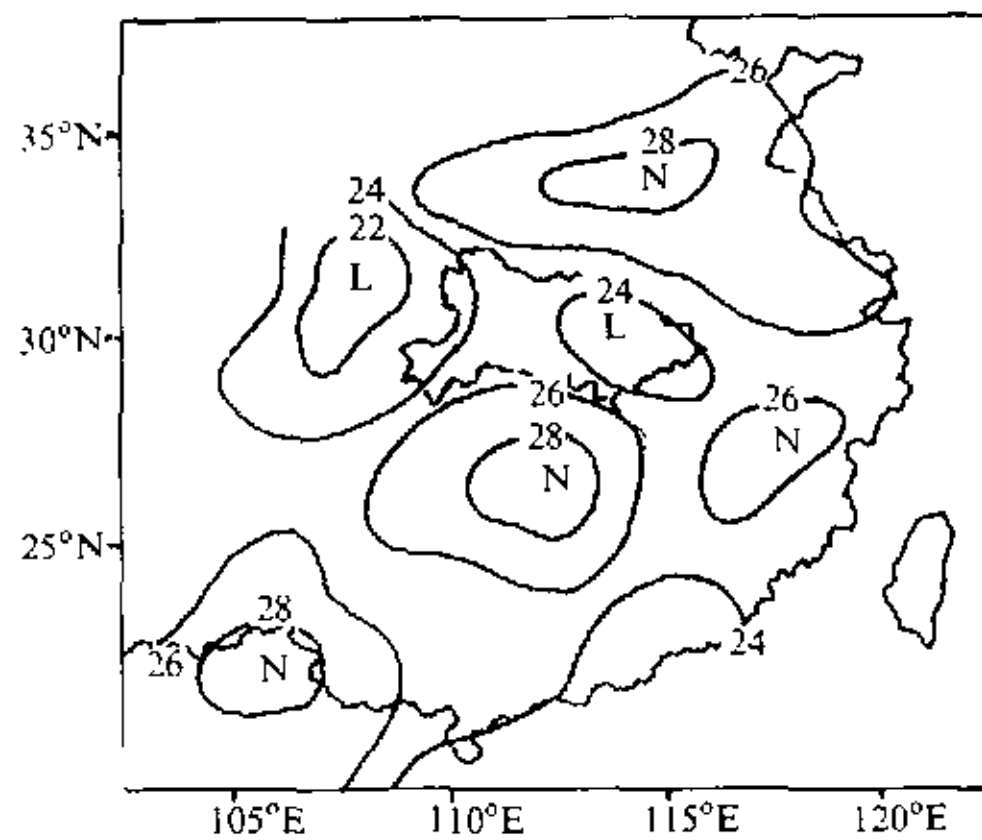


图 7 1998 年 7 月 21 日 08 时 925 hPa 温度场 (单位: $^{\circ}\text{C}$)

的一条 NW-SE 向对流云雨带。其中有两个突出的中尺度云团, 一个在“三汉”地区; 另一个在黄石附近 (图 8b)。相应地有两个强降雨团, 东南段的强降雨团于 05~06 时之间达到强度高峰, 黄石降水 52.5 mm/h。此时原在西北方大洪山南麓京山附近的一个新生雨团, 在向东南移动过程中与汉口附近的雨团相遇。06~07 时合并加强的北雨团移到汉口站南面, 汉口降水 88.4 mm/h。因此从总的发展趋势看, 降水强度高峰的出现先在东南, 而后西北。但具体的单个雨团移动方向恰好相反。

(2) 成熟阶段

上述原在黄石附近的南雨团中心 06~07 时向东南移到武穴附近。从逐小时的卫星云团上可以更细致地查知, 除两个强云团明显向东南移动以外, 云带中其余一些云顶温

(3) 20 日 20 时以后, 大别山南麓的西南风消失转为弱东南风, 23 时开始因鄂东南山区短历时特强降水区出流到达大别山南麓, 一度又出现 SSW 风, 但两小时后又消失。

(4) 自 21 日 07 时以后, 整个鄂东沿江对流云雨带发展成熟期间, 地面气流从江西省的衰退云区下面, 首先沿广济以东开阔的 E-W 向河谷西进, 继而沿广济以上更狭窄的 NW-SE 向河谷上溯进入云雨带强核心。强云雨团内部地面风场零乱多变, 而它的西北端又有明显的东南风流出, 直达大洪山东南坡。这里就是中尺度新云团频频产生的地方。在这股东南主流

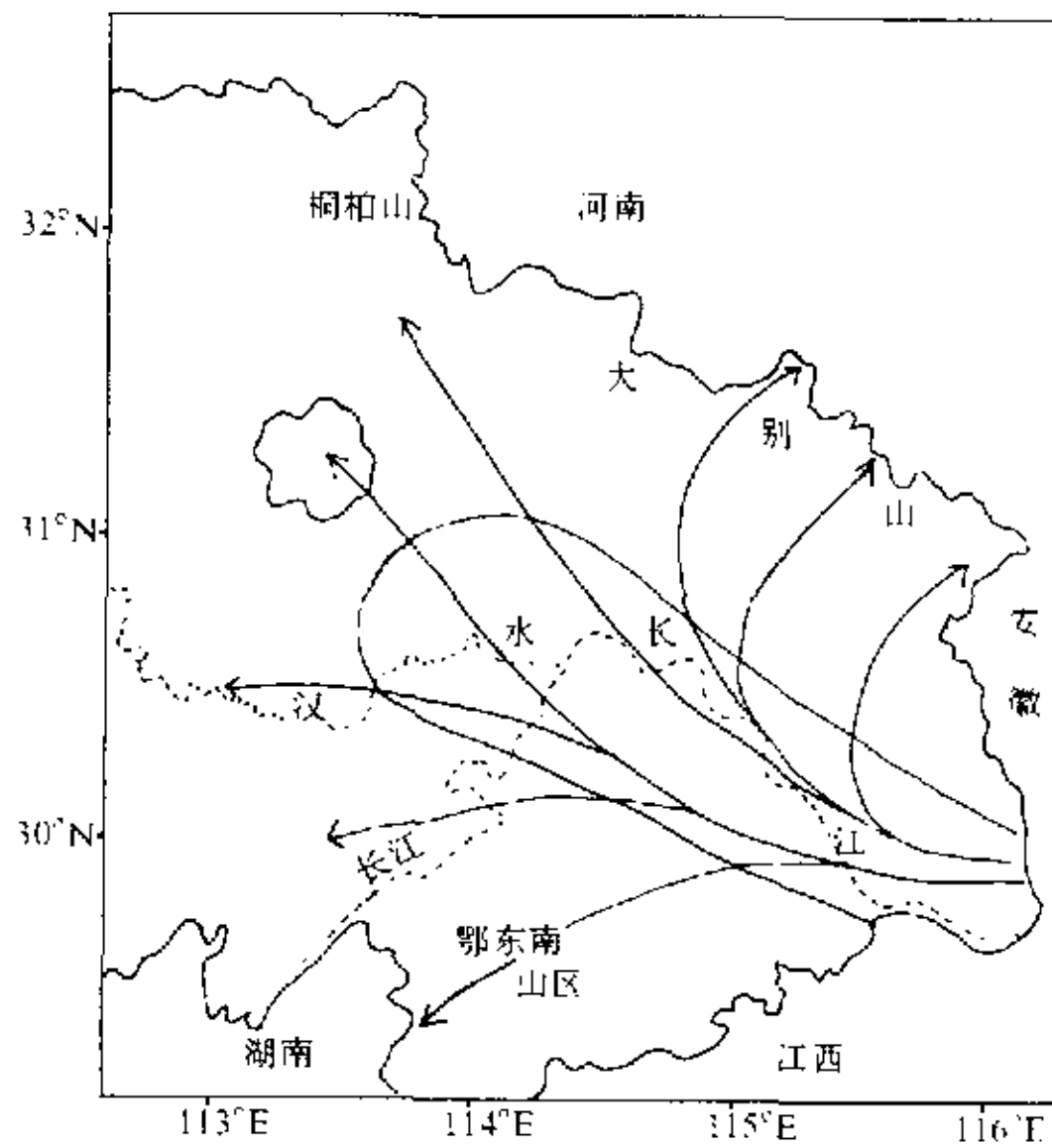


图 9 特大暴雨盛期鄂东地面流场示意图

两侧, 即强对流云雨带两侧有明显的辐散气流分别向大别山和鄂东南山区折转 (图 9)。这是强对流雨云中下沉冷空气在近地面弥合铺展的表现。

3.4 第二场特大暴雨过程特点

在第一场鄂东特大暴雨于 21 日午后逐渐减弱瓦解时, 比前一天位置略偏南的西南低涡前方又以生、消、传播的方式导致湘鄂边境山区东侧迅速发展一个暴雨云团, 并同样有一个低层小涡相伴。这个云团的强度于 21 日 18 时左右达到顶峰, 在它影响下, 石首、监利降水分别有 111.4 mm 和 93.4 mm。这次强度的突增可能与它遭遇第一场鄂东暴雨末期的近地面出流有关。(21 日 16 时监利、洪湖分别出现 8 m/s 东风和 6 m/s NE 风。) 以后, 云团的范围扩大但云顶高度下降, 雨强减弱。22 时左右, 在鄂皖赣交界的长江谷口迅速发展起一个新的对流云团。同样, 当它移到江西并迅速减弱时, 自 22 日 02 时起, 鄂东沿江又出现几个 β 中尺度对流云体, 继而发展成带。然后于 22 日上午又发展成自鄂东沿江河谷向江西展开的扇形云团。整个说来暴雨强度与第一场相差无几, 但主要强中心略偏于下游, 在黄石附近。这一天的背景形势略有变化, 长江中游低层切变线在先后相继的暴雨云团活动过程中发展增强, 东北方的高空冷涡则有所减弱 (由于与 21 日过程大致相似, 本小节图从略)。

4 特大暴雨成因讨论

4.1 晚梅雨期间特殊的鄂东阻滞形势

这次特大暴雨发生在 7 月下旬, 一般年份此时已进入长江中游的盛夏季节。在这个季节如果当北方有较强冷空气直下长江中下游, 并仍保持着较明显的冷锋特征 (显著的温度梯度), 可能带来一次冷锋暴雨, 登陆台风也可带来暴雨。但这两种暴雨都未曾在

同一地区连续两天出现过。此次鄂东特大暴雨则基本上是属于梅雨形势下的。稳定的东北冷涡后部和巴尔喀什湖长波槽前部相继有小股冷空气输向长江中下游,但到达此地均已完全变性。北来空气的温度甚至略高于南方暖湿空气,只是特别干燥,形成纯粹的“湿度锋”。

四川盆地有活跃而停滞的西南涡;长江中游低层横切变在暴雨发生之前极不明显,伴随着接二连三的暴雨云团活动而逐渐发展起来。直接带来暴雨的是,从西南涡前方释放东移的常规探空站网难以完整显示的小涡,和伴随的 α 中尺度对流云团,这些都是暖切变型梅雨锋暴雨的典型特点^[1,2]。以往我们分析过的长江中游的几次集中的特大暴雨,往往都发生在一种能阻滞小涡东移的形势下,起阻滞作用的多半是700 hPa在华东停滞少动的小高压或脊。这次鄂东连日两场特大暴雨也都发生在东移小涡受阻停滞时,小涡停留在鄂东,而相伴的对流云团则似被阻而折向东南,在它后部立即有新的云团发展取代。但导致小涡阻滞的环流形势比较特殊,显然与东北冷涡后部高空西北风下沉气流有关。在这股下沉气流右侧原已有一条NW-SE向的对流云雨带,西来小涡和云团不能穿越下沉气流带继续东移,只能停滞和折向。时至7月下旬,如果出现华东高压稳定的形势,则副热带高压将很快北进,不可能形成常规梅雨期的阻滞形势(为了不与长波阻塞形势混谈,此处用“阻滞”一词)。因此位置适宜的东北冷涡后部西北气流的阻滞作用,可能是导致象这样特殊的晚梅雨时期鄂东持续特大暴雨的一种重要条件。

4.2 “前导云团”与鄂东特大暴雨的关系

连续两天两场鄂东特大暴雨都不是产生在从上游移到这里原来的强云团中,而是当此云团移到江西并迅速减弱时,暴雨产生在它“后面”相距300~400 km的鄂东沿江就地新生的强对流系统中。提前预报的困难主要就在于这种被预报员称为“杀回马枪”的突发方式。把前面的云团称为“前导云团”是假定其间有内在联系,但从现在已掌握的观测事实还很难说清这种内在联系的机理。作者^[1,3,4]曾多次提出,暴雨云团沿暖切变型梅雨锋上下游生消替代的现象,它们与此次过程有一个共同的特点,就是当原来的一个云团发展到特别旺盛(其中雨强出现50 mm/h以上)之后转而迅速减弱,此时在其上游或下游就有对流发生,并迅速发展成新的强对流云团。这种传播有时还导致云团波列的现象。由于暖切变型梅雨锋基本上是相当正压结构,而且上述云团“波列”的波长为300~500 km,很难用斜压波生来解释。对流层上部惯性-重力波的能量频散,可能是原先强盛的对流云团在陡然衰落时触发其附近产生新对流云团的重要机制^[5],强云团陡衰时,上空强大的上升运动由发展或持续状态转为震荡状态。由于对流层上部环境层结稳定,便有惯性重力波传播。虽然这种波的群速小于相速,不会发生波前产生新波的现象,但因上升运动随着相速推移所经之处条件不同,在条件特别有利的地方有可能触发新的对流云团。实际上,新云团发生、发展的“三汉”到鄂东长江谷地,处于前面提到的东西向和NW-SE向辐合线交汇处。前一个云团的东移路径偏南,没有经过这里,原先积聚的水汽和能量未曾释放,再加上后面将要讨论的有利的地形条件,都可能使这里成为新云团触发的优势地点。

4.3 地形影响

所谓“三汉地区”是在两湖平原(或称盆地)北部向东嵌入山区的一个袋形区。继续向东从汉口以下,长江折向东南,进入大别山与鄂东南山区之间的谷地。21、22日两

场各自长达 10 多个小时的特大暴雨重复地集中在这样一个狭长地带, 而且都是从后半夜开始, 延续到次日午后。这暗示着在这次连续大暴雨过程中, 鄂东的这种特殊地形对暴雨系统的作用(其中也包括地形的热力作用)可能是特别重要的。根据降水气候统计, 这个盆、谷地带与其两侧的鄂东北山区和鄂东南山区相比, 降水相对偏少。但这一带年际降水变率很大, 即在多数降水形势下, 这里的降水比南边或北边的山区弱。但在一些特大暴雨过程中, 强降水又恰恰集中在这个盆、谷地带。例如 1959 年 6 月 9 日特大暴雨, 1962 年 7 月 4~5 日特大暴雨, 1982 年 6 月 19~20 日特大暴雨, 1983 年 7 月 3~4 日特大暴雨等。1982 年 6 月特大暴雨的时空分布特点与本例 21 日特大暴雨更相似, 最强中心在“三汉”地区, 次强暴雨带伸向汉口下游谷地, 强降水集中时段也是从后半夜到次日中午。那次暴雨发生前地面盛行东南风, 但在白天东南风从河谷盆地向两侧山区折转辐散, 入夜辐散减弱, 半夜变成从山区向谷地辐合, 暴雨开始发生、发展, 所以, 山谷风热力环流对盆、谷地带的特大暴雨的夜间触发可能起到重要作用。此次鄂东特大暴雨近地面风场演变特征与 1982 年那次不同, 20 日白天鄂东全境包括大别山南麓盛行西南风(图 10a); 前半夜由于上述“前导云团”在鄂东南山区引起短时特强降水, 产生近地面出流, 使盆、谷地区南风更强, 但大别山南麓各站风速明显减弱、风向零乱(图 10b); 后半夜盆、谷地区盛行与大别山西南坡平行的东南风(图 10c)。虽然地面观测的风场因受地面复杂条件的影响, 大大削弱而且零乱, 不能完全代表边界层风场, 但可以反映大概的趋势。如上可见, 白天盛行的边界层西南气流, 入夜时逐渐受阻于大别山麓, 后半夜暴雨前已转为沿山坡走向的东南气流。白天到夜间这样一种风向变化, 也可能包含有山谷风环流变化的因素, 但主要的更象是由于边界层大气层结稳定度的变化, 导致山脉强迫扰动风场模态的变化。由武汉市地面气温的变化(图表略)可以看到, 傍晚至 23 时, 先后由于日辐射的终止和鄂东南强对流降水区冷出流的漫及, 出现了第一次显著降温。后半夜本地降水开始和加强之后, 又发生了第二次显著降温。这使大别山南侧边界层的稳定度增大, 因而弗劳德数 Nh_m / U (N 为表征层结稳定度的浮力频率, h_m 为山脉高度, U 为正交于山脉的基本风速分量)显著加大。这可能使山脉强迫扰动风场由爬越转变为迎风坡前滞缓和左转顺坡绕行^[6], 使低层辐合上升被推到山前一定距离的盆、谷地带。在以 20 日 20 时为初始时刻的中尺度数值模拟中(将另文发表)也看到近地面降温, 稳定度增大, 继而山前气流阻滞的现象。

4.4 强对流暴雨系统的中尺度结构和暴雨持续机制推测

虽然中尺度资料很不充分, 但根据本文第 2、3 节所述环境高空风场和温度场结构, 逐时卫星云图和逐时雨量图反映出来的对流云系的生、消、移动的情况, 和暴雨区及其附近的地面风场, 我们尝试构想暴雨盛期这样一个持续准静止的暴雨系统模型。图 11 表示云系的俯视结构。强对流云系的主体由鄂东沿江的 2~3 个直径 20~50 km 的 β 中尺度强对流云团组成 (A_1 、 A_2 、 A_3), 它们都沿着高空气流方向移动, 即沿河谷逐个向东南移动, 虚线所围扇状区为层状或趋向层状的云体。其中 B_1 部分的形成除了强对流云主体部分高层的溢出以外, 还有原来移到江西的对流云团, 其下部已消散, 上部残留但仍具有略高于四周环境的温度, 因此仍有主动上升继续凝结降水的活力, 是一种主动的云砧 (active anvil), 这有观测事实的支持。图 12 是沿图 11 中 a_1 - a_2 线的垂直运动剖面示意图。其中图 12a 是根据 2 日 08 时常规探空站网资料计算结果绘制的, 对流

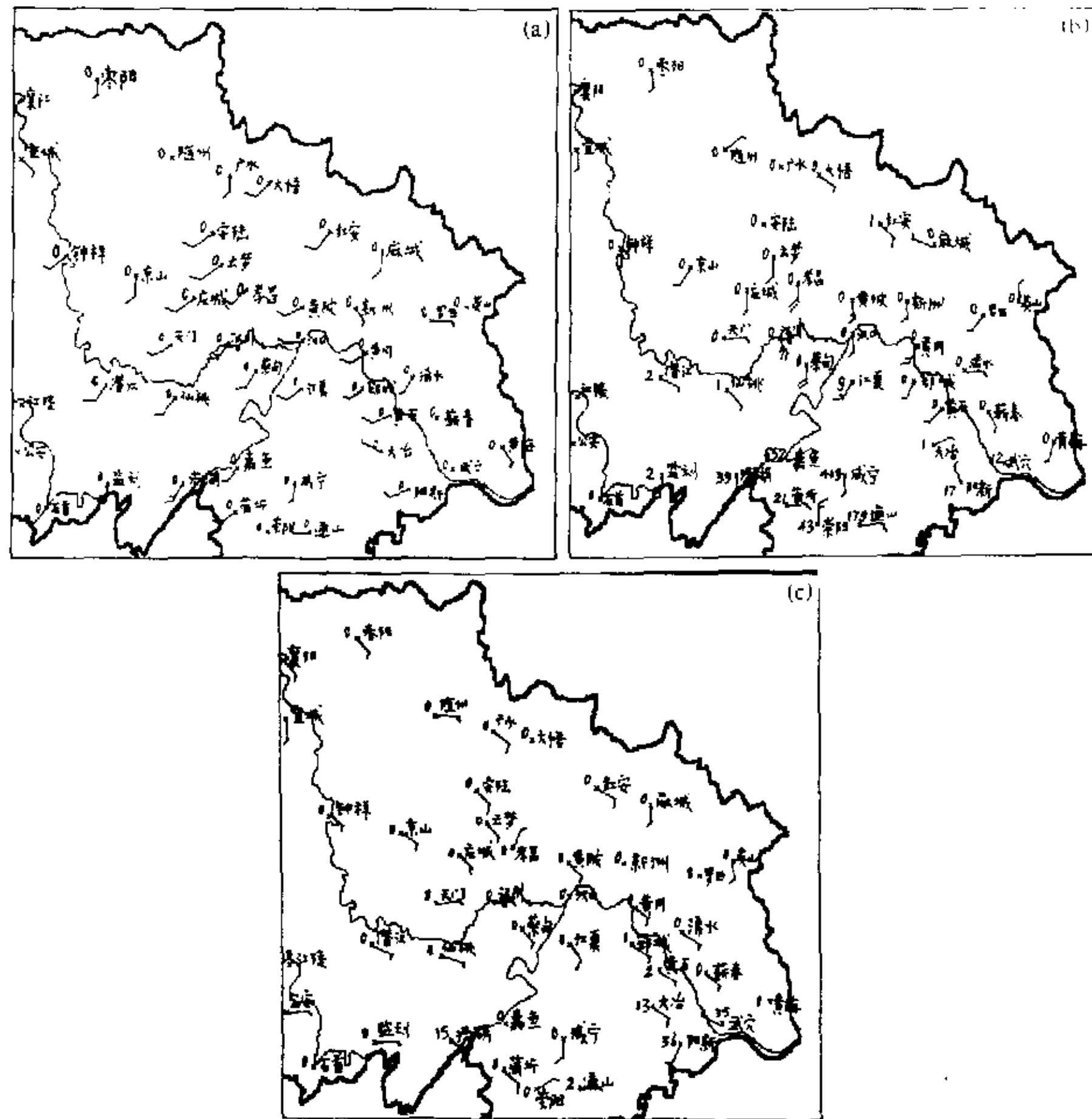


图 10 1998 年 7 月 20~21 日特大暴雨开始前鄂东地面风场变化
(a) 7 月 20 日 11 时; (b) 7 月 20 日 22 时; (c) 7 月 21 日 02 时

云团主体部分有强而深厚的上升运动; B_1 部分 (图右方) 对流层中、下部上升运动很弱, 300~200 hPa 的上升运动看似反而略比云带主体部分强, 但是因为云带主体部分宽不过 60~70 km, 而实际的强上升运动是集中在这里; 所以根据常规探空网资料计算的结果, 上升运动的范围偏大, 强度偏弱。图 12b 是根据这一分析主观修正的结果, 最强中心移到强对流云系主体上方, 这种垂直运动分布与上述对流云系统结构是相符的, B_2 部分则纯粹是云随高层辐散的溢出, 即被动的云砧 (passive anvil) 下面没有降水。

盆、谷强对流降水地带的云中冷下沉造成如图 9 的辐散流场; 云雨带西北端的流出气流触发产生新的对流云; 迎风的大洪山东南坡反复有较强的中尺度对流系统生成 (图 11 中的 A_4), 这些对流系统在高空西北气流引导下汇入云带, 对云带起着补充维持的作用。特别是在中尺度对流系统合并时大大增强, 使云带西北端 (A_3) 经常是整个云系的强核所在。

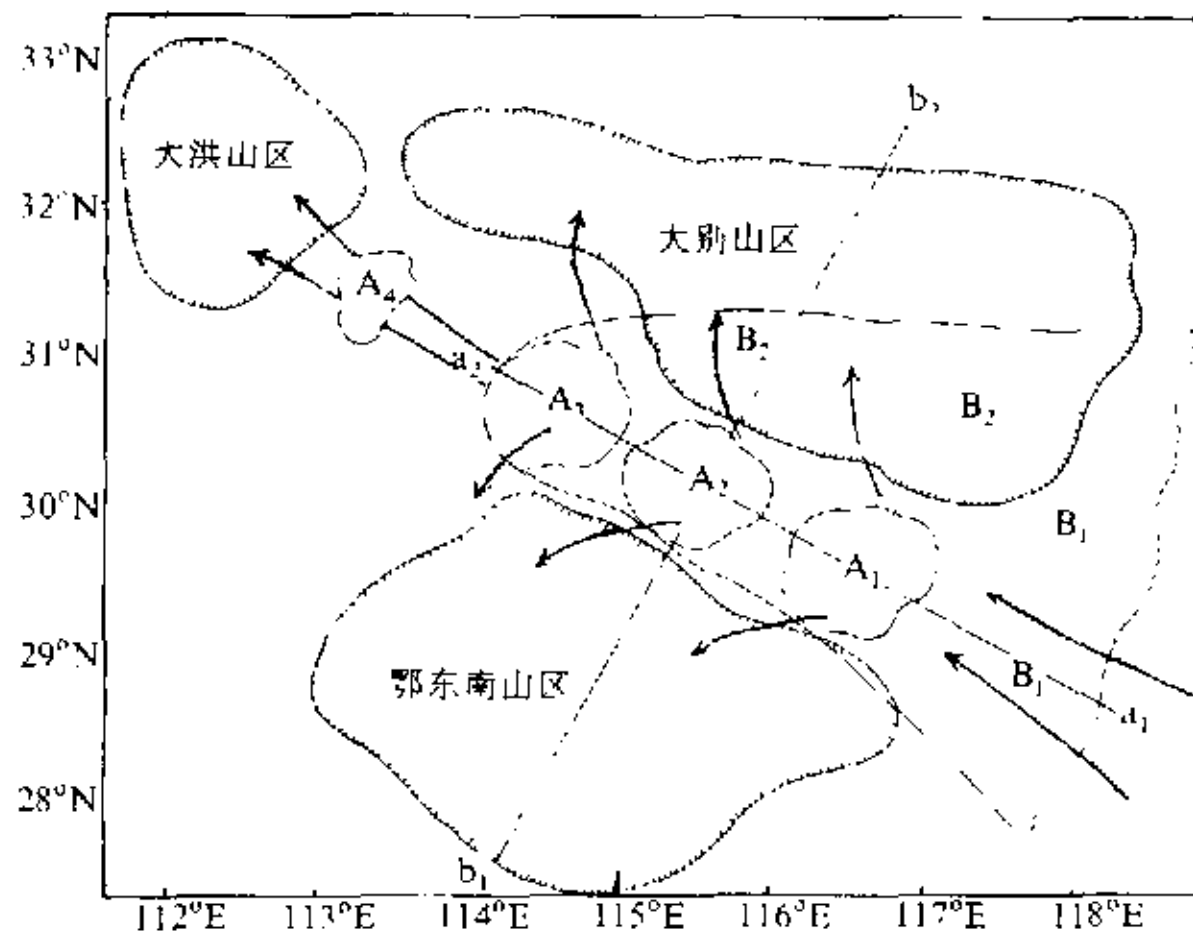


图 11 暴雨盛期对流云团俯视结构示意图

这种对流云单体移动方向与触发新生单体方向相反, 从而使强对流系统整体长时间持续的机制类似长生命的雹线系统模式^[7,8]。但由于复杂地形条件的影响, 其生消不发生在雨带横侧而在长轴两端。其准静止机制类似 Chappel^[9]的准静止 MCC 模式, 但不是出现在准静止锋上。除了强对流单体沿雨带方向的生消、移动之外, 还可能有一种跨雨带方向垂直环流的持续机制。

图 13 是跨云带主体 (沿图 11 中 b_1 - b_2 线) 的垂直环流

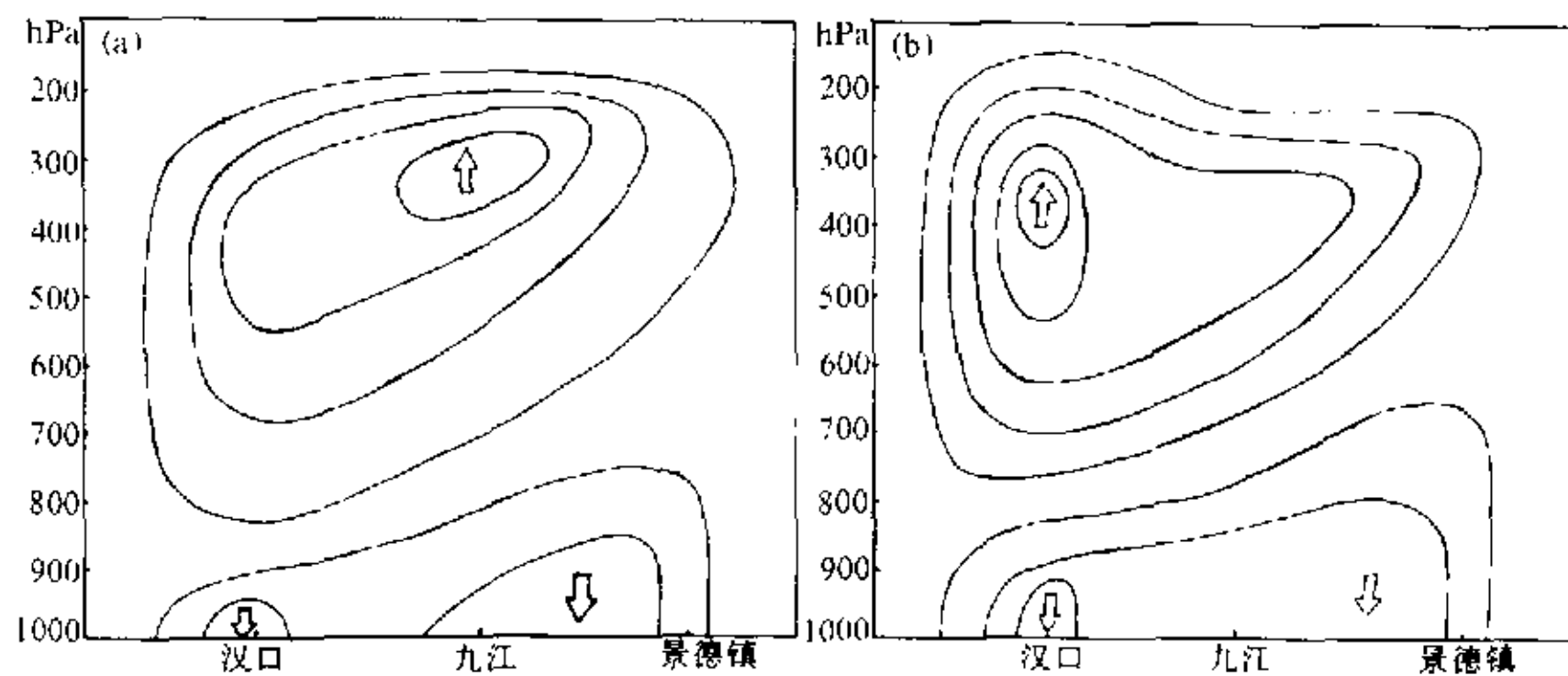


图 12 沿图 11 中 a_1 - a_2 线垂直运动剖面图
 (a) 根据计算值粗绘; (b) 根据云、雨场修正
 本图为定性示意, 等值线无具体数值

剖面示意图。同样也是根据暴雨盛期常规站网提供的天气尺度高空风场背景, 地面中尺度风场, 卫星云图反映的对流云带结构、降水分布等综合推想的中尺度环流。第三节所述对流层下部比较厚的相对冷层表明, 云带内部低层有较明显的下沉运动。地面风场表明下沉气流在近地面层向两侧山地方向辐散, 但由于对流层中、上部有一个强烈加热驱动的垂直环流, 山区上空有补偿的下沉运动, 加之边界层层结稳

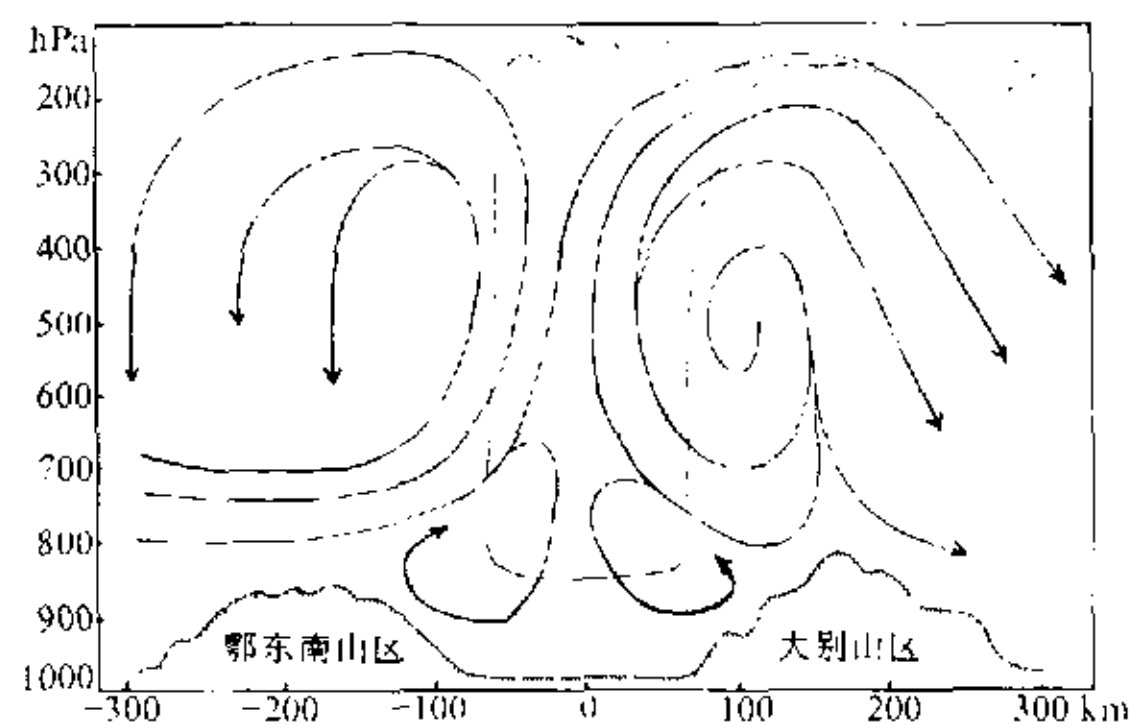


图 13 跨云带主体 (沿图 11 中 b_1 - b_2 线) 垂直环流示意图

定, 弗劳德数值大, 近地面辐散气流在迎风坡处爬升受阻, 在边界层顶附近转而向云带内辐合。此外由于低层小涡即正涡度风场停滞在鄂东, 而两面的山区使那里摩擦层抬高, 产生海平面以上 800~1500 m 层从山区向谷地上空的摩擦辐合, 恰好同方向叠加在加热驱动的垂直环流下支上。这个外强迫有助于延长强对流暴雨系统及其中尺度垂直环流的生命周期, 使得暴雨到白天还能在谷地、盆地持续较长时间。

以上讨论都还有待今后在具备充分的中尺度观测(特别是中尺度三维风场观测)的条件下得到更可靠的验证。

5 结论

根据所能得到的气象资料, 对 1998 年 7 月 21~22 日发生在鄂东沿江的连日特大暴雨过程作了详细分析, 并对其成因作了初步探讨。

对于造成一般强降水(暴雨)的诸方面条件, 人们都已十分熟悉。而在一个地方发生稀有的特大暴雨, 尤其是连日的特大暴雨, 最关键的, 能与一般暴雨相区别的条件是: 强造雨机制的停滞性和持续性。因为不仅总降水量需要时间的积累, 而且降水的滞留、延续与强度(单位时间降水量)往往是相辅相成的。1998 年 7 月 21~22 日由于环流形势, 当地天气的运动和热力结构, 以及中尺度地形的配合, 使一种强造雨机制持续停留在鄂东沿江地带。

(1) 据以往所见, 在正常的梅雨季节, 将暴雨系统滞留在鄂东的环流条件, 是稳定的 700 hPa 华东高压(或“高压坝”或“负倾斜脊”)。这一次在异常晚梅雨期出现一种特殊的阻滞形势, 就是南插的冷涡后部, 控制华东地区一支稳定的西北下沉气流。阻滞的具体方式, 除了降水系统移到这支下沉气流右侧因受阻转向而移速滞缓以外, 还表现为暴雨云团移出鄂东迅即减弱, 紧接着在鄂东沿江新生发展。这种传播的机制可能是对流层上部的惯性—重力波。

(2) 在上述 α 中尺度降水环流系统被滞留在鄂东的背景下, 南、北山脉环绕夹持的地形强迫, 使得连续两天各自长达 10 多个小时的特大暴雨, 更进一步被牵制集中在 β 中尺度的沿江盆、谷地带。地形强迫的主要机制是下午至傍晚的先期对流降水使近地面温度下降, 日落后更甚。这使边界层稳定性和弗劳德数增大, 阻碍了迎山气流的爬越, 山前滞流使强迫辐合出现在盆、谷地带。

(3) 当地的气流垂直结构配合特定地形, 使强对流单体的移动方向与触发新生单体的方向分别位于暴雨带两端, 有利于系统维持准定常状态。而跨雨带两侧的隆起地形, 使 Ekman 抽吸环流抬高, 恰好叠加增强了暴雨盛期的积云对流加热正反馈环流, 形成一种外强迫与内部动态过程配合的带状准静止, 长生命, 强对流暴雨系统。

参 考 文 献

- 1 胡伯威, 彭广, 长江流域梅雨锋产生和发展的个例分析, 气象学报, 1995, 53, 613~621.
- 2 胡伯威, 彭广, 暖切变型梅雨锋结构及其形成和维持机制, 大气科学, 1997, 21, 679~686.
- 3 胡伯威, 潘鄂芬, 顾中华, 梅雨锋上暴雨云团活动的个例分析, 应用气象学报, 1992, 3, 42~50.

- 4 胡伯威, 潘鄂芬, 梅雨期长江流域两类气旋性扰动和暴雨, 应用气象学报, 1996, 7, 138~144.
- 5 Curry, M. J. and R. C. Murty, Thunderstorm-generated gravity waves, *J. Atmos. Sci.*, 1974, 31, 1402~1408.
- 6 Pierrehumbert, R. T. and B. Wyman, Upstream effects of mesoscale mountains, *J. Atmos. Sci.*, 1985, 42, 977~1003.
- 7 Rotunno, R., J. B. Klemm and M. L. Weisman, A theory for strong long-lived squall lines, *J. Atmos. Sci.*, 1988, 45, 463~485.
- 8 Smull, B. F. and R. A. Houze, Jr., A mid-latitude squall line with a travelling region of stratiform precipitation, radar and satellite observation, *Mon. Wea. Rev.*, 1985, 113, 117~130.
- 9 Chappell, C. F., Quasi-stationary convective events, Published on the symposium of academic exchanges on the heavy rain between P.R.C. and U.S.A., 1985.

Causes of a Two-Day Successively Extremely Heavy Rain along the Changjiang Valley in the Eastern Hubei Province during 21~22 July 1998

Hu Bowei^{1,2)}, Cui Chunguang¹⁾ and Fang Chunhua¹⁾

1) (Wuhan Heavy Rain Institute, Wuhan 430074)

2) (Laboratory of Severe Storm Research, Peking University, Beijing 100871)

Abstract The characteristics of the synoptic background and meso-scale evolution process of the extremely heavy rain which successively occurred along the Changjiang Valley in the eastern Hubei Province during 21~22 July 1998 are analysed, and the causes of this striking event are preliminarily probed in this paper. One kind of obstructive synoptic situations peculiarly in late Meiyu season is found. In this situation, the heavy-rain systems which move eastward along the Changjiang River will be detained near the eastern Hubei Province and result in continued and successively heavy rain there. The possible mechanism how the terrain of a NW-SE-oriented valley between the Dabie Mountains and the southeastern Hubei Province mountain area interacts with the environmental air flow in special structure resulting in the nocturnal initiation and long maintenance of the heavy rain along the valley is tentatively discussed.

Key words: extremely heavy rain; meso-scale analysis; terrain effect

- 4 胡伯威, 潘鄂芬, 梅雨期长江流域两类气旋性扰动和暴雨, 应用气象学报, 1996, 7, 138~144.
- 5 Curry, M. J. and R. C. Murty, Thunderstorm-generated gravity waves, *J. Atmos. Sci.*, 1974, 31, 1402~1408.
- 6 Pierrehumbert, R. T. and B. Wyman, Upstream effects of mesoscale mountains, *J. Atmos. Sci.*, 1985, 42, 977~1003.
- 7 Rotunno, R., J. B. Klemm and M. L. Weisman, A theory for strong long-lived squall lines, *J. Atmos. Sci.*, 1988, 45, 463~485.
- 8 Smull, B. F. and R. A. Houze, Jr., A mid-latitude squall line with a travelling region of stratiform precipitation, radar and satellite observation, *Mon. Wea. Rev.*, 1985, 113, 117~130.
- 9 Chappell, C. F., Quasi-stationary convective events, Published on the symposium of academic exchanges on the heavy rain between P.R.C. and U.S.A., 1985.

Causes of a Two-Day Successively Extremely Heavy Rain along the Changjiang Valley in the Eastern Hubei Province during 21~22 July 1998

Hu Bowei^{1,2)}, Cui Chunguang¹⁾ and Fang Chunhua¹⁾

1) (Wuhan Heavy Rain Institute, Wuhan 430074)

2) (Laboratory of Severe Storm Research, Peking University, Beijing 100871)

Abstract The characteristics of the synoptic background and meso-scale evolution process of the extremely heavy rain which successively occurred along the Changjiang Valley in the eastern Hubei Province during 21~22 July 1998 are analysed, and the causes of this striking event are preliminarily probed in this paper. One kind of obstructive synoptic situations peculiarly in late Meiyu season is found. In this situation, the heavy-rain systems which move eastward along the Changjiang River will be detained near the eastern Hubei Province and result in continued and successively heavy rain there. The possible mechanism how the terrain of a NW-SE-oriented valley between the Dabie Mountains and the southeastern Hubei Province mountain area interacts with the environmental air flow in special structure resulting in the nocturnal initiation and long maintenance of the heavy rain along the valley is tentatively discussed.

Key words: extremely heavy rain; meso-scale analysis; terrain effect

- 4 胡伯威, 潘鄂芬, 梅雨期长江流域两类气旋性扰动和暴雨, 应用气象学报, 1996, 7, 138~144.
- 5 Curry, M. J. and R. C. Murty, Thunderstorm-generated gravity waves, *J. Atmos. Sci.*, 1974, 31, 1402~1408.
- 6 Pierrehumbert, R. T. and B. Wyman, Upstream effects of mesoscale mountains, *J. Atmos. Sci.*, 1985, 42, 977~1003.
- 7 Rotunno, R., J. B. Klemm and M. L. Weisman, A theory for strong long-lived squall lines, *J. Atmos. Sci.*, 1988, 45, 463~485.
- 8 Smull, B. F. and R. A. Houze, Jr., A mid-latitude squall line with a travelling region of stratiform precipitation, radar and satellite observation, *Mon. Wea. Rev.*, 1985, 113, 117~130.
- 9 Chappell, C. F., Quasi-stationary convective events, Published on the symposium of academic exchanges on the heavy rain between P.R.C. and U.S.A., 1985.

Causes of a Two-Day Successively Extremely Heavy Rain along the Changjiang Valley in the Eastern Hubei Province during 21~22 July 1998

Hu Bowei^{1,2)}, Cui Chunguang¹⁾ and Fang Chunhua¹⁾

1) (Wuhan Heavy Rain Institute, Wuhan 430074)

2) (Laboratory of Severe Storm Research, Peking University, Beijing 100871)

Abstract The characteristics of the synoptic background and meso-scale evolution process of the extremely heavy rain which successively occurred along the Changjiang Valley in the eastern Hubei Province during 21~22 July 1998 are analysed, and the causes of this striking event are preliminarily probed in this paper. One kind of obstructive synoptic situations peculiarly in late Meiyu season is found. In this situation, the heavy-rain systems which move eastward along the Changjiang River will be detained near the eastern Hubei Province and result in continued and successively heavy rain there. The possible mechanism how the terrain of a NW-SE-oriented valley between the Dabie Mountains and the southeastern Hubei Province mountain area interacts with the environmental air flow in special structure resulting in the nocturnal initiation and long maintenance of the heavy rain along the valley is tentatively discussed.

Key words: extremely heavy rain; meso-scale analysis; terrain effect