

# “98.7”武汉及其附近地区特大暴雨中 若干观测事实的分析\*

徐夏因

(国家气象中心,北京 100081)

## 提 要

利用高空和地面加密观测资料、常规观测报告及每小时 GMS IR 卫星云图,分析了 1998 年 7 月 20~23 日出现在长江中下游各省的暴雨过程,重点揭示发生在武汉及其附近地区特大暴雨的若干观测事实。研究指出,造成该地区特大暴雨的直接影响系统是对流层中低层的中  $\alpha$  尺度辐合中心,该系统具有冷心结构特征,它的上空对流层上部为暖心,出现强烈的增温。高层扰动、地面流场的中小尺度扰动与暴雨增幅紧密关联。

关键词:特大暴雨 观测事实 中尺度辐合中心 系统结构

## 引 言

1998 年夏季,长江流域继 1954 年后的又一次大洪水和东北嫩江、松花江百年不遇的特大洪水举世瞩目。其中,7 月下旬的 20~23 日,常年应该已进入盛夏伏旱季节的长江中下游地区连降暴雨,武汉及其附近地区出现了罕见的特大暴雨,鄂东南地区的降水量普遍有 150~400 mm,湖北省的武汉和黄石分别达 457.4 和 513.2 mm。与此同时,重庆、湖南、江西北部、安徽南部、浙江和江苏南部等地也分别出现了大到暴雨或大暴雨。此时,正值长江上游第三次洪峰形成期间,无疑对前期已经维持高水位而且普遍超过警戒水位的长江中下游干流更是雪上加霜,致使两湖水系水位急涨,抗洪形势更为严峻<sup>[1]</sup>。

本文分析了 1998 年 7 月 20~23 日出现在长江中下游各省的暴雨过程,重点揭示发生在武汉及其附近地区特大暴雨的若干观测事实。目的是为进行更为深入的诊断分析研究、数值试验和模拟,寻找暴雨的物理成因和改进暴雨的预报提供可靠的依据。

## 1 资 料

本文使用的资料有湖北省整理的 1998 年 7 月 20 日 12:00 UTC~22 日 12:00 UTC 共 77 个站的每小时降水量和地面风的记录,淮河流域试验(GAME/HUBEX)的部分加密观测资料,包括每日 4 次的探空报告、地面风和降水量观测记录,以及国家气象中心收集到

\* 本文得到国家重点基础研究发展规划项目 G1998040906 和国家自然科学基金重大项目 No.49794030 共同资助。

2000-03-29 收到,2000-07-27 收到修改稿。

的各种常规观测报告和每小时 GMS IR 卫星云图资料。

## 2 暴雨过程的概况

### 2.1 降雨分布

这次强暴雨发生在 1998 年 7 月下旬初长江中下游地区雨带再建的过程中。雨带十分窄长,以武汉及其附近地区的特大暴雨区最强( $>300$  mm)。强暴雨主要集中在两个时段,分别出现在 7 月 21 日和 22 日的凌晨至下午。武汉和黄石の日雨量(12:00~12:00 UTC)21 日和 22 日分别达 285.7 和 360.4 mm。其中,武汉 20 日 22:00 至 23:00 UTC 的 1 h 降雨量达 88.4 mm,至 24:00 UTC 的 2 h 降雨量为 140 mm。图 1 给出了 7 月 20 日 00:00 UTC~23 日 00:00 UTC 的过程降水量图。

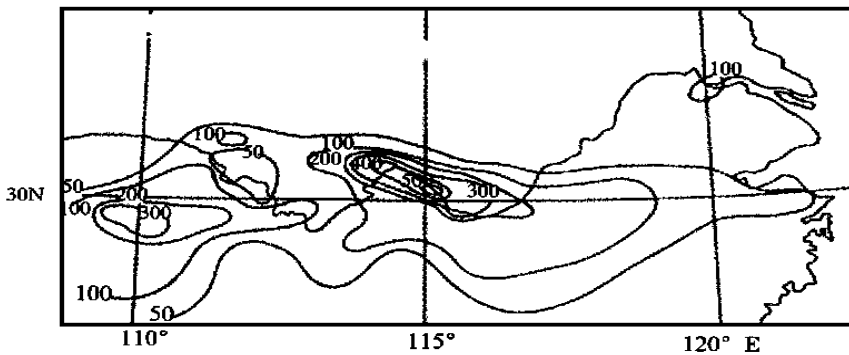


图 1 1998 年 7 月 20 日 00:00 UTC~23 日 00:00 UTC  
(其中,湖北省为至 22 日 12:00 UTC) 降水量图  
(等雨量线单位为 mm)

### 2.2 中尺度雨团的发生发展

每小时的 GMS IR 云图分析表明,集中在 21 和 22 日两个时段的强暴雨有着明显的中尺度特征。20 日后半夜,在云带中,位于  $115^{\circ}\text{E}$  附近的中  $\alpha$  尺度云团,明显地向东移动并有所减弱(如图 2a、b 和 c 所示)。但是,次日凌晨至中午,在  $30^{\circ}\text{N}$ 、 $114^{\circ}\text{E}$  附近地区有尺度更小的中  $\beta$  尺度云团产生,在原地停滞并逐渐向西发展、扩大(见图 2c、d 和 e),十余小时后的下午至傍晚迅速减弱(图 2f、g 和 h)。21 日后半夜至 22 日下午的 IR 云图上,又出现一次类似的中  $\beta$  尺度云团的发生发展到减弱的过程(图略)。

图 3a、b 给出了  $113^{\circ}\sim 116^{\circ}\text{E}$  的鄂东南地区 20 日 12:00 UTC~22 日 12:00 UTC 沿东西向最大雨量轴各站的每小时降水量和地面风的记录,简要地表明中尺度雨团的活动。由图 3 可见,无论是 21 日还是 22 日,每小时的降雨量最大中心都随时间由东向西扩展。也就是说,中  $\beta$  尺度的雨团是在鄂东南地区就地发生发展、停滞(或缓慢移动)并向西扩展的,这与 IR 云图的分析结果一致。

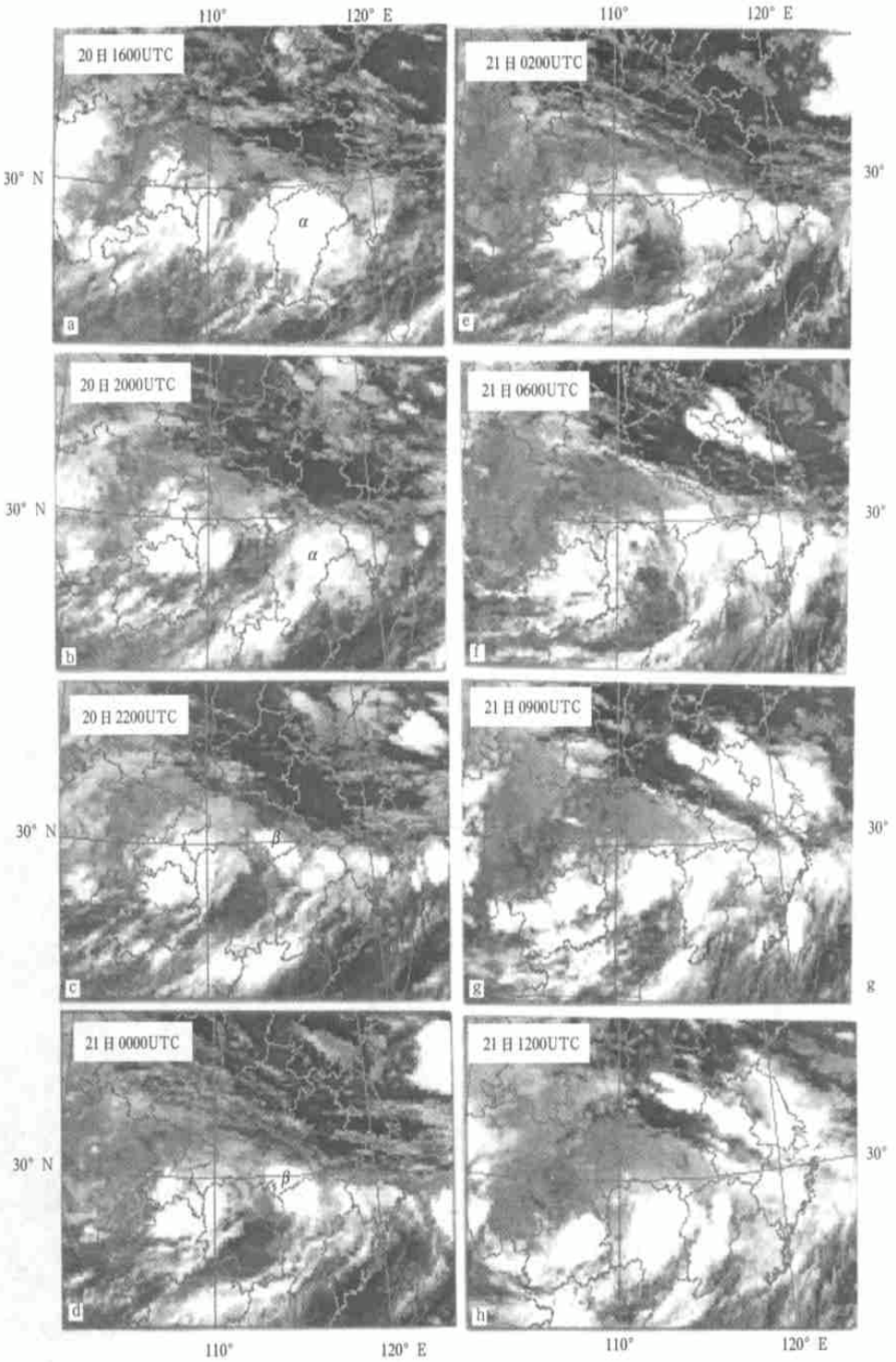
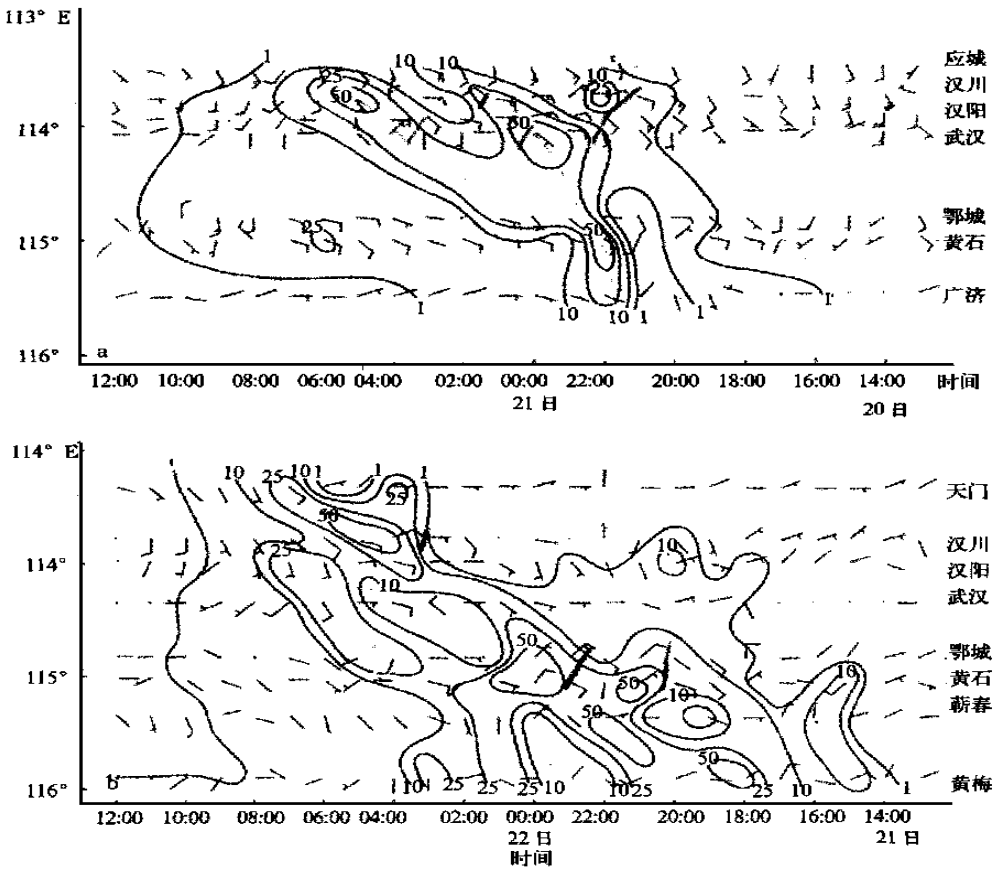


图 2 1998 年 7 月 20 ~ 21 日武汉及其附近地区 GMS IR 云图



3 1998年7月20日12:00UTC~22日12:00UTC武汉及其附近地区每小时降水量和地面风的演变  
 (a) 20日12:00UTC~21日12:00UTC (b) 21日12:00UTC~22日12:00UTC  
 (降水量单位: mm; 风速单位: m/s, 风矢上长划表示4 m/s, 短划表示2 m/s)

### 3 系统的结构特征和暴雨成因简析

本次暴雨出现于淮河流域试验结束前夕,每日4次、每次间隔6h的高空加密观测资料为分析暴雨系统的结构演变和暴雨的成因提供了宝贵的信息。

#### 3.1 流场、中 $\alpha$ 尺度辐合中心

暴雨出现前后,在高空流线上华东沿海地区对流层中低层是“ $\Omega$ ”型的暖性高压脊,它位于高空西风急流中心前方的下沉气流中。以往的研究表明<sup>[2]</sup>,这类高压脊的存在和稳定,对其西侧风场不连续带中的中尺度辐合中心的生成和停滞十分有利。

20日后半夜,未来暴雨区上空,850 hPa及其以下对流层下层是比较一致的偏南气流,700 hPa沿30°N附近为横贯长江中下游地区的暖性切变线(见图4a和d)。此时,正是上述中  $\alpha$  尺度云团东移,鄂东南地区降雨量很小的时段。20日21:00UTC后,30°N附近113°~115°E之间中  $\beta$  尺度云团开始发展加强(图2c、d和e),黄石和武汉等地的强暴

雨突然发展(图 3a)。21 日 00:00 UTC 在 700 hPa 和 850 hPa 及以下,分别在切变线上和偏南气流中产生扰动,形成尺度仅为 200 ~ 500 km 的中  $\alpha$  尺度辐合中心(见图 4e 和 b)。

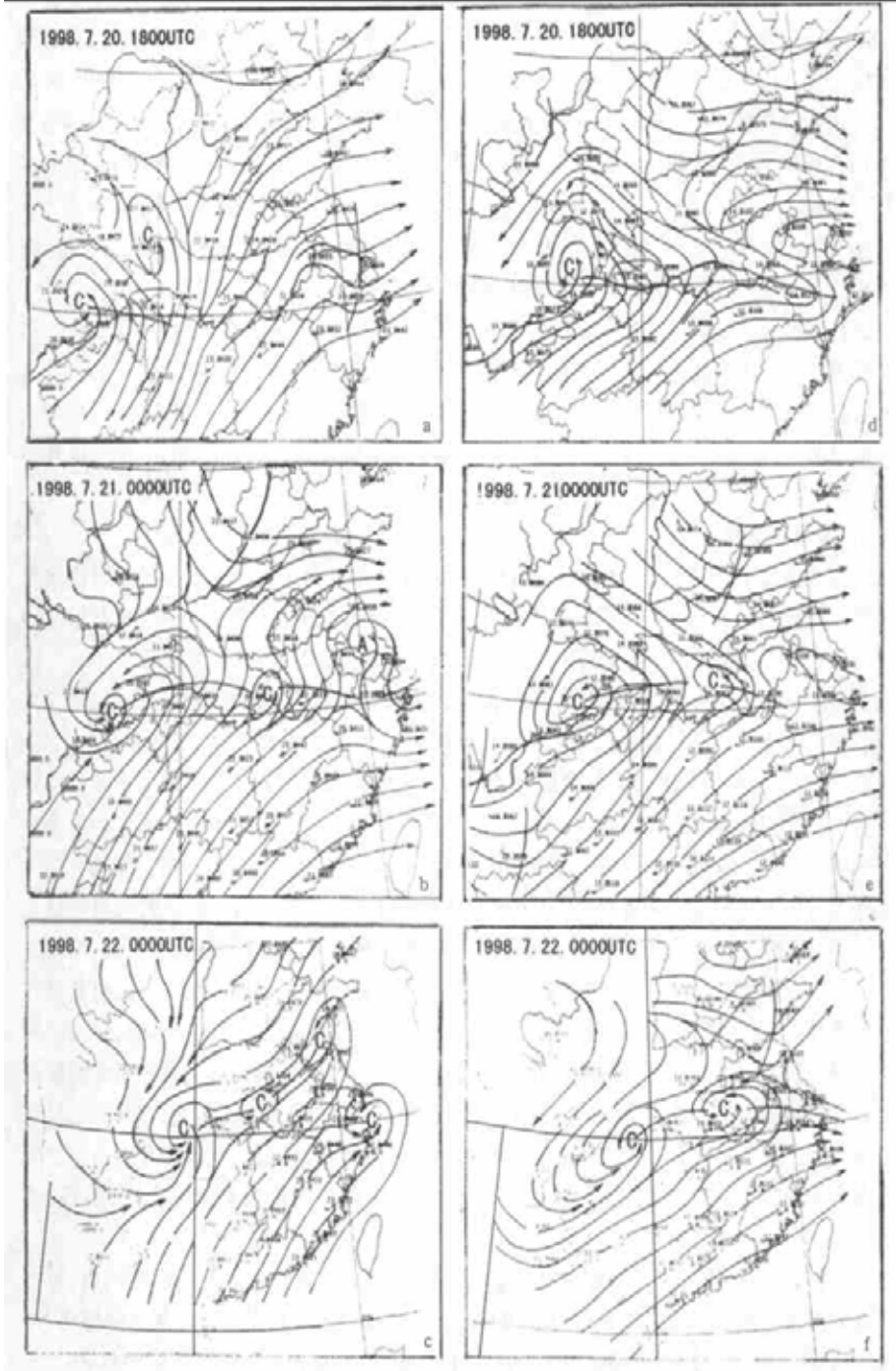


图 4 1998 年 7 月 20 ~ 22 日高空流线图  
(a) (b) 和 (c) 850 hPa, (d) (e) 和 (f) 700 hPa

中  $\alpha$  尺度辐合中心的环流以 700 hPa 最为明显, 850 hPa 以下气旋性环流或切变都随高度的降低而逐渐减弱。低空西南风急流中心在  $30^{\circ}\text{N}$  以南的 850 ~ 700 hPa 之间。21 日 06:00 UTC, 该辐合中心在鄂东、皖西 700 和 850 hPa 仍十分清楚, 900 和 925 hPa 上还有反映, 975 hPa 及以下则已不明显。21 日傍晚, 鄂东南的降雨已基本停止, 12:00 UTC 该辐合中心在各层也已减弱消失而不复存在。在 500 hPa 上无论是切变线还是辐合中心环流都已不十分清楚, 但从高原及其附近地区有中(或中间)尺度的低值系统、正涡度区向东移或向长江中下游地区输送, 对流层上部西风急流南侧和南亚反气旋东北侧的扇形辐散区位于暴雨区上空(图略)。这种低值系统和流场的配置构成了暴雨发生的有利条件。

在第二时段的暴雨过程中, 22 日 00:00 UTC 鄂东中  $\alpha$  尺度辐合中心再次形成(见图 4c 和 f), 其演变过程与前一天极为相似, 在此不再详述。

由本次过程每日 4 次的高空各等压面图的分析表明, 21 日和 22 日晨开始的特大暴雨的直接系统是先形成于武汉附近对流层低层的两个中  $\alpha$  尺度辐合中心。就目前观测网时空分辨率, 这类中  $\alpha$  尺度辐合中心的发生发展、减弱消失, 与中  $\beta$  尺度暴雨云团和强降雨云团的生成加强、减弱消失几乎可视为同时出现, 在常规观测条件下很难追踪。

### 3.2 系统垂直结构

图 5 给出了 7 月 21 日和 22 日沿  $114^{\circ}\text{E}$  和  $30^{\circ}\text{N}$  附近南北向及东西向的垂直空间剖面图。由该图和标准等压面的分析发现,  $30^{\circ}\text{N}$  附近的暴雨带上空, 500 hPa 及其以下的对流层中低层, 温度场的不连续不是很强; 在 700 hPa 及其以下, 中  $\alpha$  尺度辐合中心处在  $30^{\circ}\text{N}$  附近的東西向的冷温度槽中, 其中心是冷心结构, 愈接近地面愈明显(见图 5a 和 b), 辐合中心附近的武汉气温最低, 975 hPa 和地面的气温分别为  $23 \sim 24^{\circ}\text{C}$  和  $24 \sim 25^{\circ}\text{C}$ 。但是, 武汉地区第一时段的特大暴雨发生时, 在 21 日 00:00 UTC, 对流层低层的中  $\alpha$  尺度辐合中心上空, 在 400 hPa 以上的对流层中上部暖心结构十分明显, 等温线随高度的增高显著地上突, 直达 100 hPa 以上的对流层顶(见图 5a), 辐合中心上空的这种暖心结构在同时刻的东西向的剖面上也非常清楚(见图 5b), 300 和 100 hPa 等压面上武汉的气温分别比周围高  $3^{\circ}\text{C}$  和  $5^{\circ}\text{C}$ , 此现象直到 21 日 06:00 UTC 的经向和纬向剖面图上都很明显(图略)。

21 日 00:00 UTC, 正下着特大暴雨的武汉上空的对流层中上部, 存在一支向北倾斜的显著锋区, 这支锋区与高空西风急流相配合; 在 700 hPa 以下的对流层下部, 锋区结构不清楚。700 ~ 500 hPa 之间锋面不仅明显而且近乎垂直(见图 5a), 这种几乎垂直的锋面有利于对流云发展和强降水发生。21 日 12:00 UTC, 武汉降雨停止, 其上空锋区消失(见图 5c)。但又有一支锋区在郑州附近上空出现, 造成郑州雷雨。22 日晨, 鄂东南的第二时段暴雨开始出现, 中  $\alpha$  尺度辐合中心再次形成, 锋区在武汉附近上空亦再建(图 5d 所示)。

分析认为: 对流层中低层东西向冷温度槽和中  $\alpha$  尺度辐合中心的冷心的形成, 可能与强降雨水分蒸发吸收热量有关; 强对流降水时, 强烈的水汽对流凝结释放大量潜热, 造成对流层上部明显增温; 与锋面相伴随的冷空气的活动对暴雨的加强起着积极贡献。

间隔 6 h 的垂直空间剖面图的分析发现, 暴雨发生前武汉地区从地面到对流层低层大气明显增温, 低空  $\theta_{e}$  值增加, 积聚了大量的能量, 为暴雨的发生准备了条件。暴雨降落



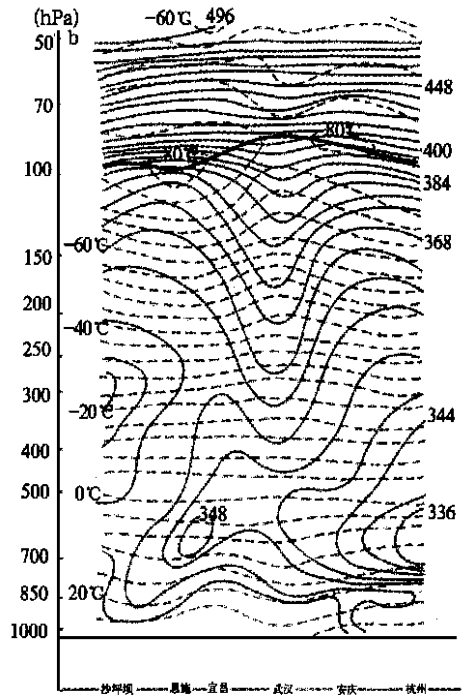
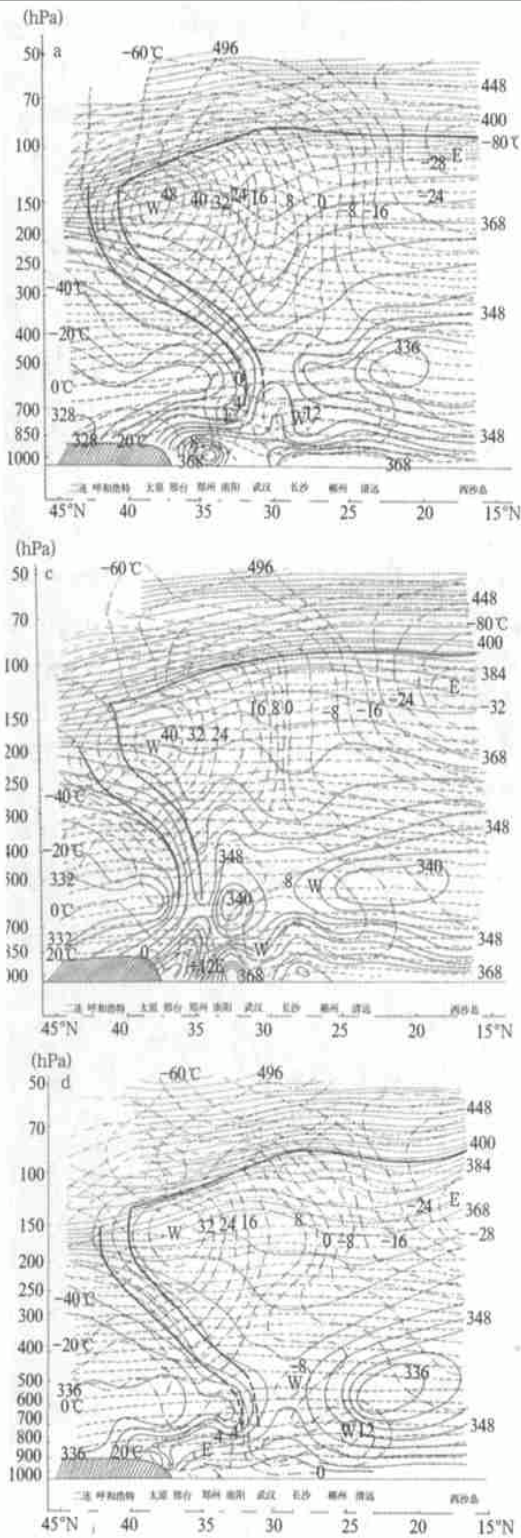


图 5 1998 年 7 月 21 ~ 22 日垂直空间剖面图 (a) 7 月 21 日 00:00 UTC 沿 114°E, (b) 7 月 21 日 00:00 UTC 沿 30°N, (c) 7 月 21 日 12:00 UTC 沿 114°E, (d) 7 月 22 日 00:00 UTC 沿 114°E (细实线: 等假相当位温  $\theta_{se}$  线, 间隔为 4 K, 和  $> 400$  K 为 8 K; 断线: 等温线, 间隔为 4 °C; 点断线: 垂直于剖面图的等西风风速线, 间隔为 4 m/s; 粗实线: 锋区和对流层顶)

时,经向垂直剖面上,中  $\alpha$  尺度辐合中心上空是高能区,在暴雨区以南和以北分别为副热带干暖空气和西风带干空气的低能区(图 5a 和 d);东西向垂直剖面上,武汉附近上空同样也是高能区,其西四川境内的西南低涡东侧虽然也在降雨,但相对而言却是能量较低区(见图 5b)。21 日 06:00 UTC 武汉仍继续下着暴雨,其上空等  $\theta_{se}$  356 K 线打通,高值区的“漏斗”状结构更为清楚(图略)。22 日暴雨发生时等  $\theta_{se}$  分布也类似。

武汉探空记录的垂直时间剖面分析表明,在暴雨发生前的 7 月 19 和 20 日近地面边界层内水汽含量就十分充沛(见图 6),3000 m 以下的等比湿线梯度非常大。19 日 600 ~ 500 hPa 之间是比湿低值区,随着暴雨的临近,此高度上空气中的水汽迅速增加。21 日强降雨发生时,强烈的对流将大量的水汽输送到很高的高空,等比湿线显著上突,对流层上部的 150 hPa 以 21 日 06:00 和 12:00 UTC 的值最高,达 0.07 g/kg。22 日 06:00 UTC 第二时段的暴雨发生时,200 hPa 以上的比湿虽不如 21 日 06:00 UTC 大,但以下各层仍非常高。

### 3.3 对流层顶部附近的高空扰动

在 7 月 19 ~ 23 日武汉高空垂直时间剖面图中,给出了高度和温度对 19 ~ 23 日 5 天平均的扰动(图 6)。分析表明,200 hPa 以上的对流层上部至平流层中下部的扰动要比对流层下部明显。21 日 00:00 UTC,50 hPa 附近等压面高度正扰动中心超过 15 dagpm,此时也正是特大暴雨降落之时;22 日白天暴雨再次发生时,100 hPa 以上的高空出现低于 -7 dagpm 的中心。温度场的扰动以 21 日 00:00 UTC 200 hPa 和 70 hPa 附近的 +4 °C 中心最显著,22 日 200 hPa 以上为负扰动。在高层等压面高度、温度扰动产生的同时,对流层顶的高度也出现很大的波动,振动可达千米以上。这种对流层上部至平流层下部的高空强扰动有可能激发强暴雨的产生。胡伯威等<sup>[3]</sup>在同一次过程的暴雨成因的研究中,用数值模拟捕捉到这次对流层上部惯性重力波现象。

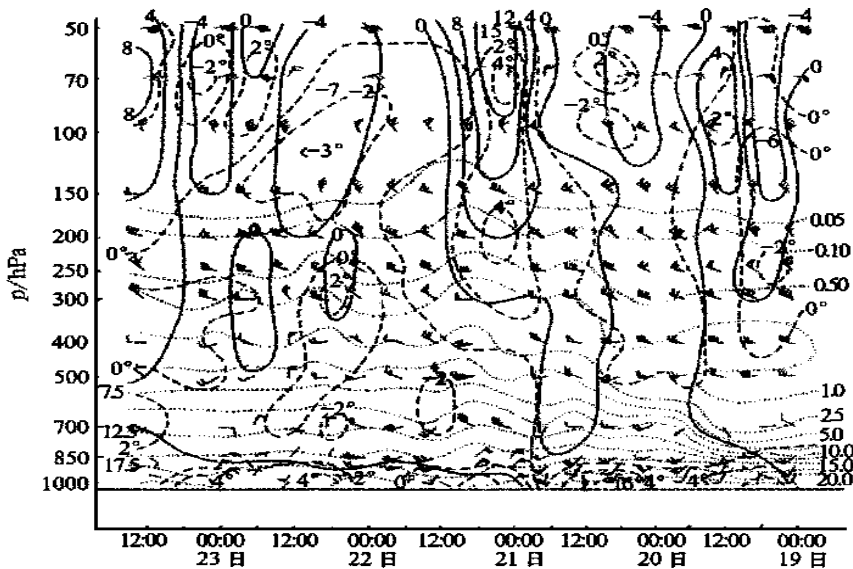


图 6 1998 年 7 月 19 ~ 23 日武汉高空垂直时间剖面图

(点线:等比湿线 g/kg,实线:高度时间扰动 等高线间隔 4 dagpm,断线:温度时间扰动 等温线间隔 2 °C)



### 3.4 地面流场的中小尺度扰动

20 日后半夜开始,常规地面天气图上处于地面暖低压东北侧的湘鄂赣交界处,可分析出一条中尺度暖性切变线,切变线两侧出现风向不连续,并伴有对流降水;21 日 00:00 UTC,切变线已北抬至鄂东南至赣西北(图略)。在此背景下,每小时地面加密观测资料分析指出:暴雨增幅与地面切变线北侧的中尺度东风扰动有关。以图 3a 中武汉为例,20 日 22:00 ~ 23:00 UTC 地面风向由 SSE 转为 E,同时地面风速由 2.3 m/s 增加到 4.0 m/s,降雨强度增强为 88.4 mm/h。几乎同时,汉阳和汉川也有这样类似的东风倒槽型扰动过境,促使降雨量加大。21 日 20:00 UTC 和 22:00 ~ 23:00 UTC,黄石和鄂城又分别有中尺度东风扰动过境,降雨再次加强。

此外,每小时地面流场的分析发现,在鄂东南的中尺度风向切变、辐合线和辐散区等系统与中尺度降雨团的活动和暴雨增幅有着密切的关系,本文不一一例举。

## 4 小结和讨论

本文使用地面和高空的常规观测资料,淮河流域试验(GAME/HUBEX)的加密观测资料和湖北省 77 个站的每小时地面风及降水量的记录,着重分析了“98.7”发生在武汉及其附近地区的特大暴雨的观测事实。指出:(1)造成这次特大暴雨的直接影响系统是先后形成于对流层中低层的两个中  $\alpha$  尺度辐合中心。这类中  $\alpha$  尺度辐合中心在鄂东南地区重复出现,引起该地区的连续暴雨。(2)中尺度辐合中心的水平尺度为 200 ~ 500 km,闭合环流以 700 hPa 为最强,向上和向下分别随高度的增加和降低而减弱,500 hPa 以上和地面环流不清楚。辐合中心位于对流层下部的东西向冷温度槽中,中心温度最低。系统中心上空的对流层上部,等温面与对流层顶一起上突,其增温幅度和出现高度均属少见。(3)切变线上与辐合中心相配合的中  $\beta$  尺度云团及降雨云团就地发生发展、停滞加强并向西扩展。(4)在引起暴雨的诸多原因中,对流层顶部附近的高空强扰动、地面流场的中小尺度扰动和高空冷空气的活动可能是激发这次强暴雨的重要原因。此外,在稳定的环流背景下,造成连续降水、反复生成的中尺度系统有可能反过来也对大尺度系统的稳定及雨带的相对稳定起积极贡献。

研究认为,就目前常规观测网的时间和空间密度条件而言,监测这类造成强暴雨的中尺度系统十分困难,预报它们就更加困难。使用气象雷达和卫星等非常规观测和加密观测,有可能监测到此类系统的发生发展。但是,目前对这类天气形成的过程和机理尚缺乏足够认识。因此,要准确地预报这种天气过程条件还是十分不成熟。只有清楚地认识这类中尺度天气形成过程,找出暴雨形成的确实的物理条件和物理机制,建立合理的数学物理模型,才能为预报它们提供可靠的依据。通过各种加密观测资料的分析,真实地揭示暴雨过程的观测事实,是完成上述研究工作的基础。基于上述认识,本文对 1998 年 7 月 20 ~ 22 日发生在武汉及其附近地区的特大暴雨的观测事实作初步揭示,更加深入的有关暴雨形成机制、物理模型和预报着眼点等问题的研究正在进行中。

## 参考文献

- 1 中国气象局国家气候中心. 98 中国大洪水和气候异常. 北京: 气象出版社, 1998. 15 ~ 16.
- 2 徐夏囡, 焦佩金. 夏季江淮气旋的结构. 大气科学, 1984, 6(8): 189 ~ 196.
- 3 胡伯威, 崔春光, 房春花, 等. 1998 年 7 月 21 ~ 22 日鄂东沿江特大暴雨成因探讨. 杭州: 第四届东亚及西太平洋气象与气候研讨会, 1999. 213 ~ 216.

## ANALYSIS OF SOME OBSERVATIONAL FACTS RELATED TO TORRENTIAL RAINS IN JULY 1998 IN WUHAN AND THE VICINAL AREA

Xu Xianan

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

### Abstract

Some observational facts of the torrential rain event occurred in Wuhan and the vicinal area from 20 to 23, July 1998 are analyzed by using conventional and intensive observational data as well as satellite data. The results show that this event was directly caused by a meso- $\alpha$  scale convergence center in the lower troposphere. The meso- $\alpha$  scale system has a cold core structure and a warm core in the upper troposphere. The strong disturbance in the upper troposphere and lower stratosphere and the mesoscale disturbance at surface are related with this torrential rain.

**Key words:** Torrential rain    Observational fact    Mesoscale convergence center    System structure