

1998 长江大水期间对流云团活动特征研究^{*}

师春香 江吉喜 方宗义

(国家卫星气象中心, 北京 100081)

摘要 运用 1998 年 6~8 月逐日逐时 GMS 辐射亮度温度 T_{BB} 资料, 统计和分析了长江流域 4 个大暴雨时段中各自中尺度对流云团活动的一些主要特征, 指出长江流域的这场罕见大水是在特定的环流形势下, 由 315 个 β 中尺度和 α 中尺度对流云团直接造成的。与此同时, 对 7 月 21~22 日发生在武汉及其以东黄冈地区的特大暴雨作了较详细的分析, 发现它是由 4 次强对流云团形成发展及向西传播造成的, 并指出低空强西南风急流与切变线及特定的地形条件是对流云团形成和发展的根本原因。

关键词: 长江流域; 大水; 对流云团

1 引言

1998 年夏季 (6~8 月), 长江流域出现了 4 个时段的持续性大暴雨, 酿成了继 1954 年以来又一次罕见的大洪水, 造成了极严重的损失, 其中湖北、湖南、江西等省受灾最为严重。长江中下游 (6 月 12~27 日、7 月 21~31 日) 和上游地区 (6 月 27~7 月 22 日、8 月 1~31 日) 各出现的两个时段大暴雨, 相间轮流发生, 导致整个夏季长江流域连续出现大暴雨, 形成了 8 次洪水过程, 其中 7 月 21~22 日武汉、黄石市的特大暴雨, 破历史记录。

暴雨的发生涉及多种尺度系统及其相互作用, 是一个十分复杂的问题。近年来的研究表明, 暴雨是在一定的天气尺度形势下由中尺度系统直接产生的^[1]。比如: 1991 年 5~7 月江淮地区出现的严重暴雨中, 6 月 30 日~7 月 13 日的第二段梅雨是由云顶亮温低于 -60°C 的 200 个中尺度对流云团直接造成的^[2]。高时空分辨率的卫星探测资料, 对中尺度对流系统的活动可以进行强有力的跟踪和监测^[3]。本文运用日本 GMS 逐时红外探测的亮度温度 (T_{BB}) 资料, 分析 1998 年 6~8 月长江流域 4 个大暴雨时段中的中尺度对流云团活动特征。与此同时, 还结合其他资料对 7 月 21~22 日武汉及其以东黄冈地区出现的特大暴雨成因作进一步分析。

2 6~8 月中尺度对流云团的统计分析

2.1 T_{BB} 资料特征

气象卫星的辐射亮度温度 (T_{BB}) 是由气象卫星红外窗区通道测得的来自地球表面和云顶部的辐射值, 通过应用普朗克函数处理, 转换成 T_{BB} 值。因此, 在无云和少云

1999-07-26 收到, 1999-08-25 收到修改稿

^{*} 本研究得到“1998 年汛期特大暴雨成因及机理分析研究”课题资助

区, T_{BB} 是地表辐射温度, 其值较高, 从而 T_{BB} 高值区常常与高气压系统相对应; 云区中的情况则相反, T_{BB} 是云顶的辐射温度, 其值较低, 故低值区一般为云区, T_{BB} 越低云顶越高, 对流越旺盛, 尤其在夏季和热带地区更是如此。

2.2 中尺度对流云团的提取方法

在长江流域 ($25^{\circ}\sim 33^{\circ}\text{N}$, $95^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$), 将每小时处理出的 $0.1^{\circ}\times 0.1^{\circ}$ 经纬度 T_{BB} 格点值做 3 h 平均, 并转换成 $0.5^{\circ}\times 0.5^{\circ}$ 经纬度格点值, 然后分析每一个经度上各格点的 T_{BB} 值及其分布, 提取全部具备相邻 3 个以上 $T_{BB} \leq -30^{\circ}\text{C}$ 的格点值求平均, 得到每 3 h 的 $25^{\circ}\sim 33^{\circ}\text{N}$ 纬度带中每个经度上的 T_{BB} 平均值, 最后形成各月的 T_{BB} 时间-经度剖面图 (图 1)。

在中尺度对流云团的划分中, 用上述的资料处理方法, 只涉及 β 中尺度和 α 中尺度云团, 即图 1 中的云团, 凡纬向方向上 < 3 经距, 持续时间 ≤ 6 h 定为 β 中尺度云团, 而以上者则为 α 中尺度云团; 与此同时还规定, 当云团面积或持续时间与规定条件不符时, 则以面积条件为主。由此, 本文 β 中尺度和 α 中尺度对流云团的标准分别

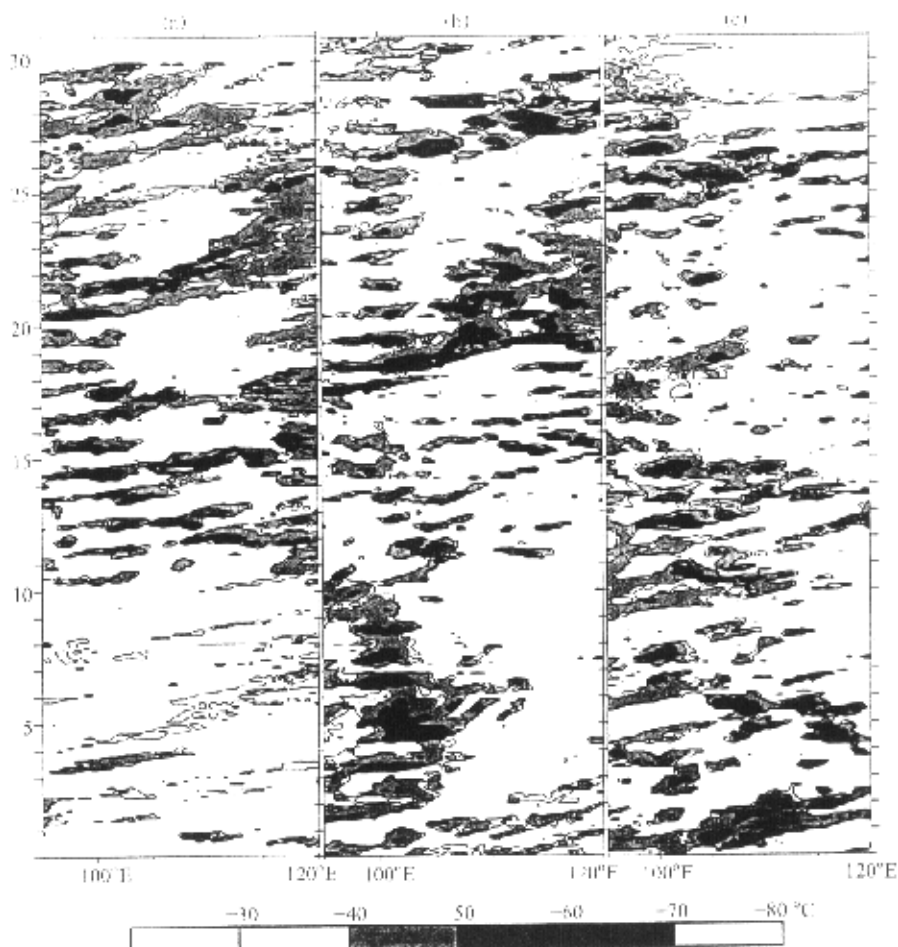


图 1 1998 年 6~8 月 (a, b, c) 逐时 $25^{\circ}\sim 33^{\circ}\text{N}$ 纬度带中 $95^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 各经度上 GMS $T_{BB} \leq -30^{\circ}\text{C}$ 平均值的时间-经度剖面图

是: 云顶 $T_{BB} \leq -30^{\circ}\text{C}$ 的面积 $\leq (>) 45\,000\text{ km}^2$ 、生命史 $\leq (>) 6\text{ h}$ 。

2.3 中尺度对流云团活动特征

图 1 较为全面地展示了 1998 年中尺度对流云团的时空分布特征。6 月 (图 1a) 11 日以前, 整个长江流域 $T_{BB} \leq -30^{\circ}\text{C}$ 的对流云系出现很少, 降水很弱。12~28 日, 长江中下游地区 (110°E 以东) 中尺度对流云团活动频繁, 强度较大, 对应于长江中下游地区第 1 个梅雨时段和江南地区的大暴雨。长江上游地区 (110°E 以西), 11~26 日期间 $T_{BB} \leq -30^{\circ}\text{C}$ 对流云团的各日演变呈波状, 表现出典型的日变化特征, 即每日下午 4~12 时 (北京时) 左右的 8 h 中对流云系形成和发展, 这是由长江上游地区的山地效应造成的。6 月 27 日~7 月 22 日 (图 1b), 对流云的这种日变化特征消失, 中尺度对流云系十分活跃并且强度大, 表明有天气系统影响, 造成了长江上游地区的第 1 个强降雨时段, 其中以 6 月 27 日~7 月 10 日和 7 月 19~21 日两个时段的对流云最强。与此同时, 7 月 20~31 日期间除 26~27 日外, 长江中下游及江南地区对流云系非常活跃和强盛, 对应长江中下游地区的第 2 段梅雨。8 月 (图 1c), 对流云系活动几乎全集中在长江上游地区, 除 21~24 日外对流云系也相当活跃, 对应为连续出现大暴雨。长江中下游及江南地区, 仅在月初出现过两次 1~2 天的对流云系活动, 其余时间只是局地出现短时的对流云系, 因此, 整体而言, 降水很弱。

上述分析显示, 图 1 中 T_{BB} 所展示的对流云系的活动时段与用常规降水资料确定的降水时段十分吻合, 并且还可以通过各个时段中对流云系强度、日际变化以及出现地区等, 更加细致地判断出强降水的时空分布及强度等特征。这对于常规雨量测站稀少的长江上游地区很有意义, 并且对长江中下游的防汛十分重要。

根据上述 β 中尺度对流云团和 α 中尺度对流云团的划分标准, 对上述 4 个大暴雨时段中的对流云团作了统计 (表 1), 得到了它们以下一些特征:

(1) 一共出现了 315 个中尺度对流云团, 其中 α 中尺度对流云团 138 个, β 中尺度对流云团 177 个。

(2) α 中尺度对流云团平均生命史为 17~20 h, 最长为 27~36 h; β 中尺度对流云团则分别为 4~5 h 和 9~15 h。

(3) α 中尺度对流云团平均强度为 $-49\sim-55^{\circ}\text{C}$ 、最大强度为 $-60\sim-70^{\circ}\text{C}$; β 中尺度对流云团则分别为 $-36\sim-38^{\circ}\text{C}$ 和 $-50\sim-60^{\circ}\text{C}$ 。

3 7 月 21~22 日武汉市及其以东地区特大暴雨的分析

3.1 雨情简况

7 月 21~22 日, 武汉市、黄石市及湖北省东部的黄冈地区出现了罕见的特大暴雨。两天的总雨量有 11 个站 $> 200\text{ mm}$, 其中 6 站 $> 300\text{ mm}$, 2 站 $> 400\text{ mm}$ (黄石市 463.1 mm, 汉口 440.2 mm)。21 日有 7 站雨量 $> 100\text{ mm}$, 其中 2 站 $> 200\text{ mm}$, 汉口最大 (274.0 mm), 仅 20 日 23UTC 1 h 雨量就达 88.4 mm; 强降雨主要出现在 20 日 22UTC~21 日 07UTC, 并且强降雨中心在武汉市。22 日的强降水时段主要出现在 21 日 19UTC~22 日 07UTC, 降雨量 $> 100\text{ mm}$ 的有 11 站, 其中 $> 200\text{ mm}$ 的 4 站, $> 300\text{ mm}$ 的 1 站 (黄石市 344.3 mm), 并且鄂州 (22 日 00UTC)、黄石市 (22 日

表 1 1998 年 6~8 月长江流域 4 个暴雨时段中尺度对流云团活动的一些统计特征

时 段	位 置	α 尺度 / β 尺度				
		个 数	平均生命史 / h	最长生命史 / h	平均强度 / $^{\circ}\text{C}$	最大强度 / $^{\circ}\text{C}$
6 月 12~27 日	中下游	19 / 22	17 / 5	33 / 9	-49 / -36	-60 / -50
6 月 27 日~7 月 22 日	上 游	48 / 60	19 / 5	27 / 15	-52 / -38	-60 / -60
7 月 21~31 日	中下游	13 / 10	20 / 4	36 / 9	-55 / -38	-60 / -50
8 月 1~31 日	上 游	58 / 85	17 / 4	30 / 15	-50 / -37	-60 / -50

注: 表中“强度”是按 10℃ 间隔的上限计算的, 比如: -40~-50℃ 云区按 -40℃ 计算

01UTC) 1 h 雨量分别达 77.0 mm 和 76.4 mm; 强降水中心先出现在黄冈地区, 而后西移至武汉市及其西部附近, 强度略有减弱。

图 2 给出了湖北省东部有代表性的 5 站逐时降雨量演变。从中可以清楚地看到, 21

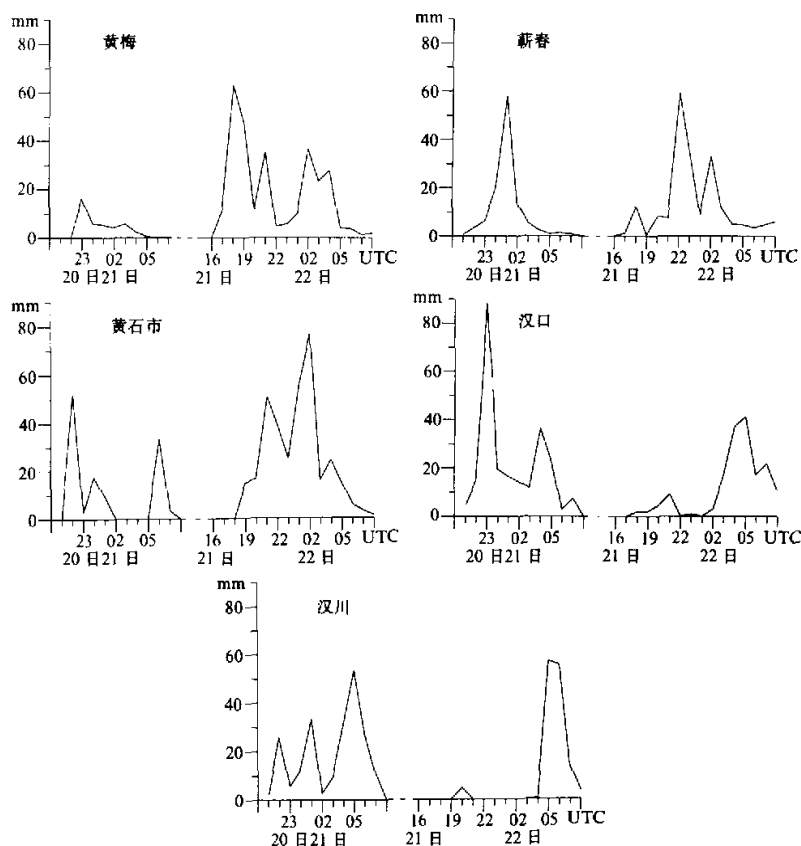


图 2 1998 年 7 月 20 日 21UTC~21 日 07UTC 和 21 日 17UTC~22 日 07UTC
湖北省东部两个强降水时段中 5 站逐时降雨量演变曲线图
自东往西依次为黄梅、薪春、黄石市、汉口、汉川站

~22 日的大暴雨主要由 4 个暴雨中心连续西移造成的。21 日的两个暴雨中心, 一个是 20 日 22UTC~21 日 01UTC 从黄石市西移至汉川, 汉口的最强降水就出现在这次过程中; 另一个是 21 日 01UTC~05UTC 从蕲春西移至汉川。22 日的两个暴雨中心, 一个是 21 日 18~21UTC 从黄梅县西移至黄石市; 另一个是 21 日 21UTC~22 日 05UTC 从黄梅西移至最西部的汉川县, 它的时间最长, 降雨量最大, 其中黄石市 1 h 雨量达 76.4 mm。

3.2 中尺度对流云团的发展演变

为了追踪和分析上述两个大暴雨时段中尺度对流云团的活动, 制作了 $25^{\circ}\sim 33^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 区域中逐时 T_{BB} 图 (图 3), 并叠加了地形高度。

21 日两个大暴雨中心活动时段中, 20 日 20UTC 有两条 $T_{\text{BB}} \leq -30^{\circ}\text{C}$ 的对流云带, 其中一条在 $29^{\circ}\sim 30.5^{\circ}\text{N}$, $113.6^{\circ}\sim 116.0^{\circ}\text{E}$ 区域呈准东西向, 其北侧为大别山, 南侧是幕阜山和九岭山 (图 4), 内嵌着两个 $-40^{\circ}\sim -50^{\circ}\text{C}$ 的较强对流中心; 另一条云带在 30°N 以南, 115°E 以东呈西南—东北向, 位于九岭山与其以东的武夷山和环玉山、九华山之间, 云带中的西北部分嵌有一个 T_{BB} 为 $-50^{\circ}\sim -60^{\circ}\text{C}$ 的对流云团。随后 (21UTC), 该对流云团并入上述第一条对流云带中, 在 30°N , 115°E 附近发展出一个 -60°C 以下的 β 中尺度强对流云团, 云带轴向也顺转成东南—西北走向, 暴雨随之开始。22UTC, 上述两条对流云带合并成一条东南—西北向主云带, 位于大别山、幕阜山和九岭山之间的低地上空, 云带中嵌入的 -60°C 以下对流云团继续发展, 并且增至 3 个。23UTC, 它们合并成一个 α 中尺度对流云团, 中心处的 T_{BB} 达 -70°C 以下, 汉口的降水量达极值 (88.4 mm)。21 日 00~01UTC, 云团中心处的 $< -70^{\circ}\text{C}$ 的对流云区消失, 强对流在减弱, 但 $< -60^{\circ}\text{C}$ 云区面积已扩大, 其东南部尤为明显。这样, 第 1 次大暴雨过程随之结束, 第 2 次大暴雨过程在湖北的东部开始。02UTC 起, $< -60^{\circ}\text{C}$ 对流云区向西北方向扩展, 04UTC, 在武汉东南部附近又发展出 $< -70^{\circ}\text{C}$ 的强对流中心, 到 05UTC, 面积达到最大, 降水量达到最强, 以后中心强对流减弱, $< -70^{\circ}\text{C}$ 的强对流云区消失, $< -60^{\circ}\text{C}$ 对流云区破碎, 降水也随之减弱。在上述两次大暴雨的形成和演变中, $< -60^{\circ}\text{C}$ 的对流云团移动特征不明显, 只是表现出对流云区的面积膨胀和缩小, 以及内嵌的 $< -70^{\circ}\text{C}$ 的强对流中心的生消及缓慢传播。

22 日的两次暴雨过程, 强对流云团的活动特征与 21 日相似, 只是对流云团所在的云带为准东西走向。21 日 16~18UTC, 大别山东南端与九华山西南端之间的强对流云团强烈发展为 α 中尺度对流云团, 内嵌的 $< -70^{\circ}\text{C}$ 对流云区范围很大, 大暴雨随即开始; 19UTC, $< -70^{\circ}\text{C}$ 对流云区面积急剧缩小, 但 $< -60^{\circ}\text{C}$ 对流云区面积扩大, 外围的 $< -30^{\circ}\text{C}$ 对流云区向西北方向伸至武汉附近, 中心处的降水强度迅速减小, 强降水中心随之向西北方向移至黄石市一带, 并且在 21UTC 以后减弱消失, 第 1 次暴雨过程结束。与此同时, 21UTC 在 $< -60^{\circ}\text{C}$ 对流云区范围缩小的情况下, 在其西部中又发展出一个 $< -70^{\circ}\text{C}$ 对流中心, 第 2 次大暴雨又从湖北最东部开始, 并随着 $< -60^{\circ}\text{C}$ 对流云区向西偏北伸展, 暴雨中心也随之偏西移, 这其中包括有 22 日 00UTC 的对流强发展和 05UTC 起的云团合并再次发展和明显向西传播, 直到 08UTC 对流云区破碎和逐渐消散, 暴雨过程结束。



图3 1998年7月20UTC~21日00UTC, 21日16UTC~22日08UTC武汉市
及其以东地区两个大暴雨时段逐时 GMS T_{88} 等值线图
黑三角为武汉市, 浅阴影区及内嵌的深阴影区分别为海拔高度 ≥ 300 m 和 700 m 的山地;
细虚线为 T_{88} 0℃线, 粗实线为 -60℃线, T_{88} 等值线间隔 -10℃

3.3 对流云团发展和传播成因

上述的中尺度对流云团的形成和发展, 与特定的环流形势和天气系统的活动以及地

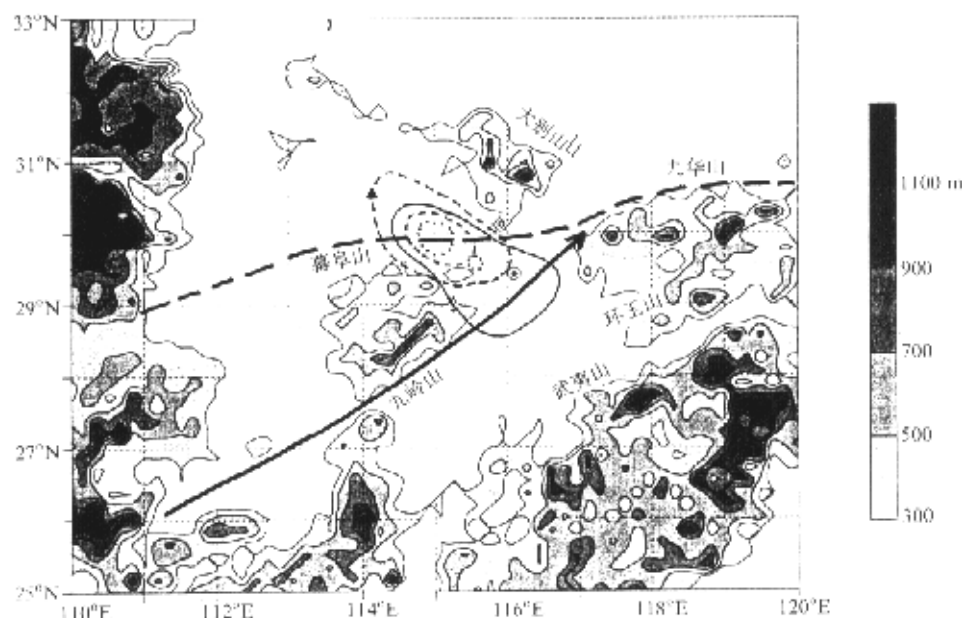


图 4 1998 年 7 月 21 日 00UTC 对流云团形成发展的 850 hPa 主要大气系统位置及地形高度图
粗虚线为切变线, 粗实线为 12~16 m/s 西南风轴线; 细线为不同时刻云团 T_{BB} 为
-60℃ 和 -70℃ 等值线, 如细点线为 20 日 21UTC, 细虚线为 20 日 23UTC,
细实线为 21 日 01UTC; 阴影区及其上的等值线为海拔高度

形特征密切相关。7 月 20 日亚洲中高纬 500 hPa 环流形势转为两脊一槽型 (图略), 即 60°E 附近和俄罗斯远东至日本一带各为一个长波脊区, 二者之间为宽广槽区。在这种形势下, 中高纬度地区不断有冷空气分裂南下影响长江流域。对应 700 hPa 上, 长江流域维持一条强东西向切变线, 并在其内的四川盆地东部至洞庭湖一带为一个较强低压区。切变线南侧的西南气流很强, 并且来自中国南海至孟加拉湾一带, 它为中尺度云团的上述发展和大暴雨的产生源源不断地提供着水汽。切变线北侧, 长江中游以北至河套为狭长脊区, 脊前的偏东北气流将北方冷空气向偏南方向输送至切变线中, 与抵达这里的西南气流强烈辐合, 十分有利于中尺度对流云团的形成和发展。

上述环流形势及天气系统的活动虽然有利于对流云团的形成和发展, 然而并非切变线上随处都可以有对流云团发生。7 月 21 日对流云团形成和发展的基本原因可能有四个 (图 4): 一是云团发生发展地位于低空 12~16 m/s 急流左前侧强气旋性切变涡度区中, 并且还有切变穿过这里; 二是这里位于大别山和幕阜山和九岭山之间的东南—西北向平原之中, 该处的喇叭口地形朝着西北方向的武汉市, 并且该处还是幕阜山和九岭山的背风一侧, 有利于低空急流左前侧的气流向西北方向绕流; 三是武汉西南方的西南风从地面至 700~500 hPa, 十分深厚, 而其东北方的偏北风也较深厚, 二者在武汉附近形成深厚辐合层, 暖湿层 (高 θ_{se}) 非常深厚 (图略); 四是小对流云团快速合并, 形成大云团和对流急剧加强。另外, 可能还与切变线的南北略小摆动以及低空西南风急流中风速振荡相关。22 日, 对流云团的活动特征与 21 日十分相似, 只是西南风低空急流的偏西分量更大一些, 并且西南风向上伸展至 500 hPa, 更深厚一些; 切变线东端南移

至 30°N 附近 (图略), 相应的强对流云带转成准东西向, 对流云团的活动主要在湖北东部更偏东的黄冈地区。随着低空西南风急流减弱消失和切变线随之减弱, 这两天的大暴雨结束。

4 小结

高时空分辨率的 GMS T_{BB} 直观, 全面地揭示了直接产生大暴雨的中尺度对流云系的活动, 大大弥补了常规气象观测资料时空尺度的不足, 从而为研究和认识 1998 年长江大水的成因提供了重要帮助。1998 年长江特大暴雨是在特定环流形势下由 138 个 α 中尺度对流云团和 177 个 β 中尺度对流云团直接造成, 它们的平均生命史分别为 17~20 h 和 4~5 h, 平均强度分别为 $-50\sim-55^{\circ}\text{C}$ 和 $-36\sim-38^{\circ}\text{C}$ 。7 月 21~22 日, 武汉及其以东黄冈地区的特大暴雨是在有利的大尺度环流形势下, 在低空强西南风急流左前方强切变涡度区中的切变线上, 并在有利的地形条件下产生的 4 次强对流云团向西传播造成的。

参 考 文 献

- 1 丁一汇, 暴雨和中尺度气象学问题, 气象学报, 1994, 52(2), 274~283.
- 2 丁一汇主编, 1991 年江淮流域持续性特大暴雨研究, 气象出版社, 1993, 108~130.
- 3 江吉喜, 项续康, 96.8 河北特大暴雨成因的中尺度分析, 应用气象学报, 1998, 9(3), 304~313.

A Study on the Features of Severe Convective Cloud Clusters Causing Serious Flooding over Changjiang River Basin in 1998

Shi Chunxiang, Jiang Jixi and Fang Zongyi

(National Satellite Meteorology Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081)

Abstract The mainly features of mesoscale convective cloud clusters during four heavy rainfall stages in Changjiang River Basin have been studied by using GMS T_{BB} data of every hour on every day from June to August in 1998. The main conclusions have been made as follows: the severe heavy rainfall in Changjiang River Basin was directly caused by 315 meso- β and meso- α convective cloud under special weather situation. At the same time, the very heavy rainfall on 21~22 July in Wuhan city and Huanggan in the eastern Hubei Province has been studied and we found that it is brought by the initiation, development and propagation of four heavy convective cloud clusters. The fundamental reasons of which are strong southwest jet and shear line at 850 hPa as well as special terrain condition.

Key words: Changjiang River Basin; flooding; convective cloud cluster