

梅雨锋强暴雨中低层系统物理图象研究 : 特大暴雨的雨团活动与地面流型

周 军¹, 闫冠华², 唐 镭³

(1. 南京气象学院 大气科学系, 江苏 南京 210044; 2. 山西省忻州地区气象局, 山西 忻州 034000; 3. 南京气象学院 气象台, 江苏 南京 210044)

摘要: 通过对 1998 年 7 月典型特大暴雨过程的分析, 揭示了湖北省境内两类重复出现的地表流型的结构特征、演变过程及其与中尺度雨团活动的相互联系。建立了具有明显地理特征的梅雨锋强暴雨过程中的地面流型与中尺度雨团活动相互联系的物理图象。

关键词: 地面流型; 梅雨锋; 暴雨; 物理联系; 中尺度雨团

中图分类号: P426. 615

文献标识码: A

已有的研究表明^[1~3], 湖北省地形特殊, 地面流场常受地形影响而出现许多具明显日变化特点的中尺度结构形式; 而且还受大气低空流型的影响, 出现不同的响应方式。地形通过对地面流场的影响作用于暴雨降水实体, 使湖北 7 月份降水既具有地区分布的规律, 又有复杂的时空演变方式。

1998 年 7 月 20 日 15 时至 22 日 20 时发生在湖北省境内的特大暴雨, 在 66 h 内造成两个 300 mm 以上的特大暴雨区(图略)。范围最大强度最强的一个出现在湖北省东部, 513 mm 的最大雨量中心在黄石, 457 mm 的次中心在汉口。本文利用湖北省气象局提供的全省 77 个地面站每小时一次的风和降水资料, 集中分析了湖北省东部特大暴雨区地面风场结构、演变方式与雨团活动的关系, 获得了有意义的结果。

1 9807 暴雨过程天气形势简介

20 日 08 时 500 hPa 天气图上(略), 中高纬环流呈两槽一脊型, 西槽在西伯利亚, 东槽在亚洲东海岸, 脊在蒙古国东部, 我国淮河流域以北受脊前西北气流影响。低纬副高在南海形成闭合环流, 长江以南受副高外围西南气流控制。30°N 附近是平直西风气流。20 日 08 时后中高纬环流发生调整, 系统每天东移约 5 个经度, 22 日 08 时后移速加快, 23 日 08 时西槽已移到蒙古国和我国东北边界, 即将取代初始时刻的东槽。

影响本次天气过程的低层系统是 850 hPa 和 700 hPa 上的西南涡、切变线和低涡前的西南风低空急流, 低空急流范围大、势力强。与低层流型相对应, 雨区附近有地面静止锋存在, 其上风场微弱, 切变明显, 南北摆动多变。

2 第一阶段雨团活动与地表流场变化特征

为叙述方便, 分别把 1 h 降水量大于 5 mm、10 mm 的降水区定义为雨团和强降雨团, 把同时覆盖相邻两个测站以上的雨团称为大面积雨团, 大面积雨团中有多个大于 30 mm 的强降水中心称为复合型雨团。

如图 1 所示, 东部暴雨区降水可分为 3 个阶段, 20 日 18 时至 21 日 01 时为第一阶段, 该阶段降水集中在幕阜山北麓, 18 ~ 19 时以孤立性雨团为主, 19 时后发展成大面积雨团, 持续 5 h, 前 4 h 是发展期。

本次大面积雨团活动与地面流场演变关系密切。由图 2a 可见, 20 日 17 时湖北省东部的偏南气流中, 武汉以东长江段南岸出现一中- 尺度辐合线。它 15 时形成于长江沿岸, 然后逐渐向幕阜山区移动。19 时辐合线附近出现孤立性雨团, 20 时发展成大面积雨团, 21 ~ 22 时中

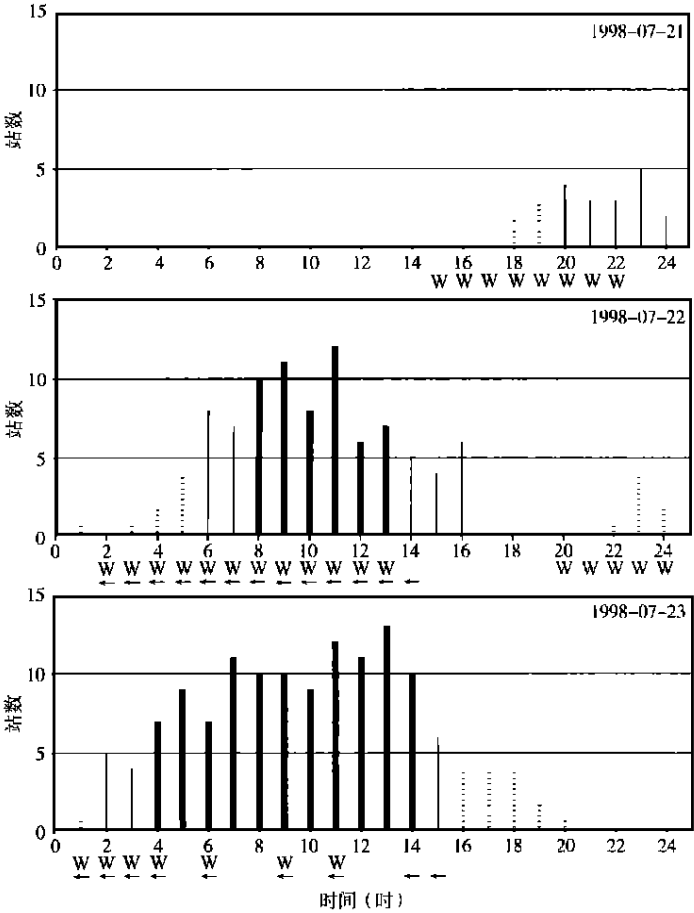


图 1 湖北省东部暴雨区 1 h 降水 ≥ 5.00 mm 站数随时间演变

· · · · · : 分散性雨团; — : 大面积雨团; — : 复合型雨团

W 表示有地面复合线存在, ← 表示有穿谷风存在

Fig. 1 Time series of number of stations with rainfall ≥ 0.5 mm in one hour over rainstorm region in the east of Hubei. The length of dotted bar, thin solid bar and thick solid bar denote the stations number of scattered rainmass, large area rainmass and complex rainmass respectively.

W and ← denote that the rain is accompanied with surface convergence belt and cross-valley wind respectively

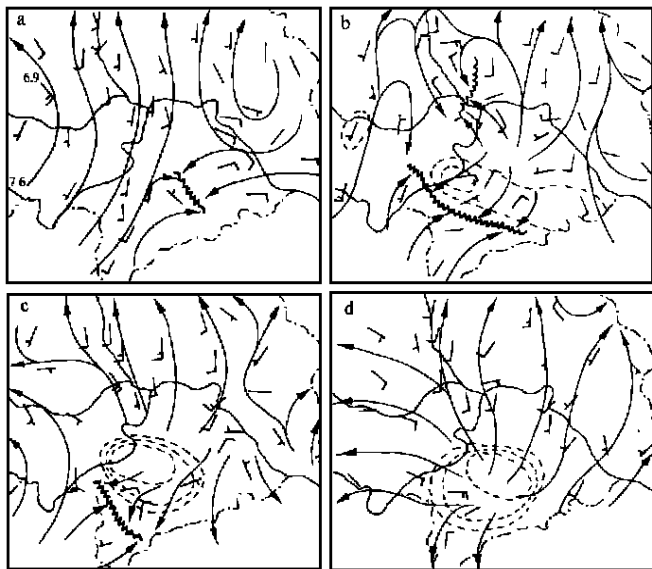


图 2 1998 年 7 月 20 日 17~23 时雨团和地面风场演变(虚线从外到里为 5、10、30 mm 降水区)

a. 17 时; b. 20 时; c. 22 时; d. 23 时

Fig. 2 Rainmass and surface wind distribution at 1700 BST (a), 2000 BST (b), 2200 BST (c) and 2300 BST (d), July 20, 1998

尺度辐合线位置少动, 两侧风力增大, 辐合增强, 北侧大面积雨团雨势也增强, 22 时雨团发展至最强, 嘉鱼降水达 $65.2 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ (图 2c)。23 时地面辐合线消失, 雨势开始减弱。之后 2 h 内雨团范围变小, 至 21 日 02 时, 雨团完全消失。

第一阶段的大面积雨团活动, 反映 5 个基本事实: 1) 先有地面辐合线的形成, 后有大面积雨团的形成, 先有辐合线的消失, 后有大面积雨团的减弱消失, 辐合线的出现与消失先于雨团的形成和消失约 3~4 h; 2) 新生雨团紧邻于辐合线北侧出现, 降水发生后, 雨团北侧又出现一个紧邻雨团的中尺度地面辐散流场, 中尺度雨团在发展阶段介于地面辐合线和辐散区之间; 3) 强降水发生后地面辐合线的强度也增强(图 2b、c), 主要原因是辐合线北侧降水区出流增强; 4) 雨团增强阶段辐散流场也在增强, 相对位置逐渐接近并慢慢进入雨团内部, 到中尺度雨团发展达最强盛时刻, 辐散区位置与中尺度雨团重合(图 2c、d), 之后雨团减弱消亡; 5) 本阶段后期出现的大面积雨团与辐合线、辐散区三者水平尺度相当。虽然缺乏中尺度的探空资料, 但可以推论, 雨团发展阶段, 南北向剖面内中尺度垂直环流圈水平尺度也一定很小, 很可能也是中-尺度的。

3 第二阶段雨团活动与地面流场变化

第二阶段降水从 21 日 04 时开始, 至当日 16 时结束(图 1), 降水集中在云梦以东鄖水-汉水下游段和武汉以东长江段沿岸十分狭窄的范围内。孤立性雨团出现 2 h 后, 于 06 时形成两个大面积雨团, 西部一个位于汉阳-武汉, 东部一个位于黄石-广济附近(图 3a)。它们位置稳定, 原地发展, 08 时连成一片, 成为东西向近 200 km 的中-尺度特大强暴雨雨团(图 3b、c)。11 时起雨团东部雨势减弱逐渐消失, 雨团西部继续发展并向西延伸(图 3d), 一直维持到 16 时。该阶段降水特强, 06 时后有 18 个站次 1 h 雨量超过 20 mm, 有 7 个站次超过 50 mm,

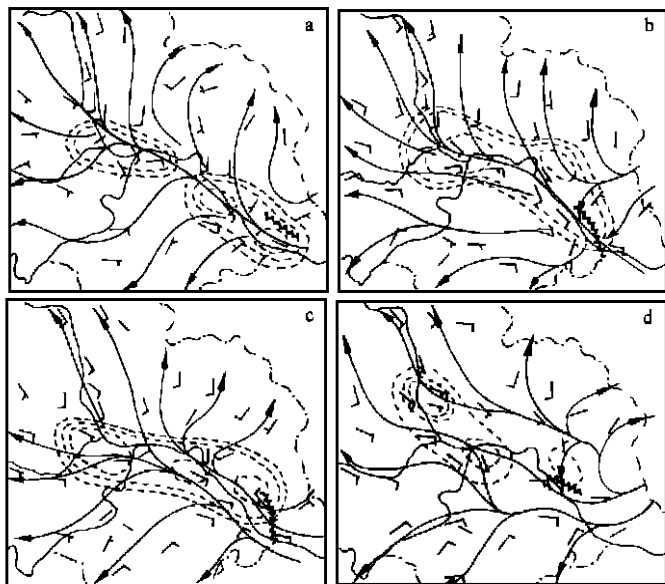


图3 1998年7月21日地面流场与雨团分布(虚线从外到里为5、10、30 mm降水区)

a. 06 时; b. 08 时; c. 09 时; d. 11 时

Fig. 3 Rainmass and surface wind distribution at 0600 BST (a),
0800 BST (b), 0900 BST (c) and 1100 BST (d), July 21, 1998

是本次特大暴雨过程的重要阶段。

由图 3a 可见, 东部大面积雨团的形成和发展与黄石以东长江段沿江穿谷流的形成及其北侧存在的中尺度辐合线有关。其相互联系是 21 日 02 时长江穿谷流形成(图略), 并与大别山腹地中尺度反气旋环流前部的偏北风下山气流在鄂州以东长江北岸构成中尺度辐合线, 辐合线形成后 3 h (05 时), 附近出现中尺度雨团(图略), 06 时黄石—广济出现大面积雨团(图 3a); 之后长江穿谷流和其北侧的辐合线一直维持到 14 时, 15 时黄石以东沿江各站地面风向与长江走向交角增大, 穿谷流和北侧的辐合线消失, 东部强降水维持到 16 时, 其间降水强度随前 1 ~ 2 h 辐合线强度的变化而变化。

降水第二阶段西部大面积雨团的形成与天门、潜江以东地面辐合线的出现有关, 02 时起天门、潜江两站风向逆转, 04 时转成东北风, 与南侧的东南风构成辐合线, 在汉川出现雨团, 06 时发展成大面积雨团(图 3a)。之后该雨团发展, 与东部雨团连接成中—尺度雨团。西部大面积雨团形成后, 天门、潜江辐合线即消失, 但西部降水区一直维持在郢水—汉水—长江交汇处的地面辐散流场内(图 3b~d), 长达 10 h 的大面积强暴雨雨团始终存在于一个地面中—尺度辐散区内, 这一情况是十分少见的。

4 第三阶段雨团活动与地面流场演变

第三阶段降水从 21 日 22 时开始至 22 日 20 时结束(图 1), 最初 4 h 降水以大别山南麓的孤立性雨团为主; 最后 4 h 也以出现在幕阜山北麓和汉水下游的孤立性雨团为主。第三阶段最强的降水出现在 22 日 02 ~ 15 时, 降水集中于武汉以东沿江各站和云梦—武汉间的郢水—汉水河谷, 22 日 02 时, 在鄂州和黄冈黄梅附近各出现一个大面积雨团(图 4a), 它们发展合并, 于 04 时形成一个接近中—尺度的强复合雨团(图 4b)。22 日 05 时郢水下游第一次出现大面积雨

团,雨团发展东移 2 h 后消失。22 日 12 时,郢水- 汉水交汇处又出现一个大面积强降雨团(图 4d), 发展后再次与武汉以东的强复合雨团合并, 构成东西长 200 km 的中- 尺度强复合型雨团, 15 时中- 尺度雨团分裂, 16 时消失, 03 ~ 12 时降水中心长时间稳定在鄂州、黄石附近, 形成黄石 10 h 328 mm 的降水量, 是导致黄石特大暴雨的主要雨团。

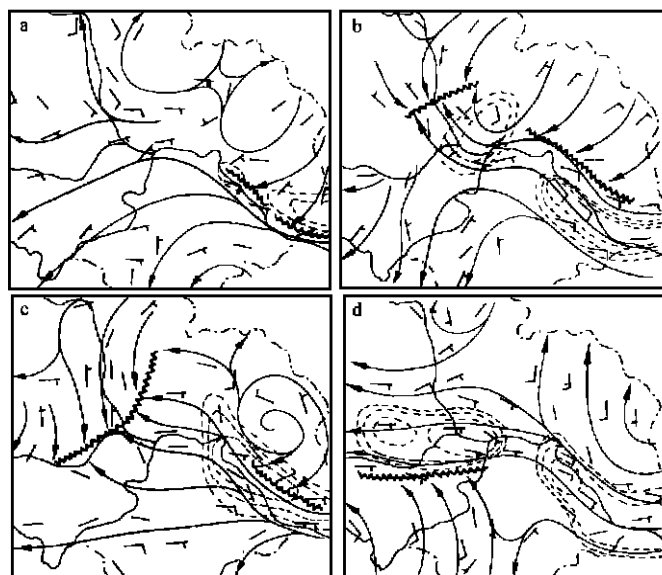


图 4 1998 年 7 月 22 日 01 ~ 11 时沿江穿谷流与后 1 h 雨团分布(虚线从外到里为 5、10、30 mm 降水区)

a. 01 时; b. 03 时; c. 06 时; d. 11 时

Fig. 4 Cross-valley flow field along the Yangtze River at 0100 BST(a), 0300 BST(b), 0600 BST(c) and 1100 BST(d), July 22, 1998, and the rainmass distribution after one hour

22 日 02 时后东部大面积雨团的发展和接近中- 尺度强复合型雨团的形成也与沿江穿谷流的建立和演变有关(图 4), 22 日 01 时起, 汉口以东沿江各站风向发生逆转, 由东北风转成平行于长江河谷的东南风或偏东风, 沿江穿谷流开始形成(图 4a)。22 日 03 时沿江穿谷流发展进入最强时期, 气流逆江而上到武汉后未随长江河谷折向西南, 而是继续向西北方穿入汉水、郢水河谷, 形成从广济经武汉到云梦一支近 220 km 长的沿江穿谷流, 它的东段与大别山西南侧的强东北气流在长江北岸聚合, 构成长江北岸辐合带, 与长江南岸的微弱东北风系构成长江南岸辐散带。这一宽度很窄、相互平行、间隔很近的辐合、辐散带的形成与发展, 促进了局地垂直环流的发生与发展, 改变了本阶段前期雨团分布的分散性特点, 最终在辐合线存在的区段出现了大面积强降雨雨团(图 4b)。实况表明, 该中尺度辐合、辐散带形成后 1 ~ 2 h, 雨团开始沿辐合、辐散带聚扰; 中尺度辐合、辐散带达最强状态后 1 ~ 2 h, 东段大面积强降雨团正式形成。中尺度强降雨雨团出现后, 降水体自身的中尺度环流叠加在沿江穿谷流和与其对应的地面辐合、辐散带上, 使风场变得凌乱, 鄂州以东长江段穿谷流和辐合线时隐时现(图 1), 最终消失。对流体靠其自身环流的支持持续较长一段时间后消失。

第三阶段 05 时和 15 时在郢水汉水下游出现的大面积雨团也与当地穿谷流和其上的辐合线有关。03 时郢水上游出现偏北风, 与下游穿谷流在云梦- 应城迎面辐合, 04 ~ 05 时辐合线上出现大面积雨团(图 4b), 之后东移消失。11 时汉水穿谷流与南侧偏南气流构成辐合线, 12 时辐合线北侧出现大面积雨团(图 4d), 该雨团发展, 与其东侧的雨团连成中- 尺度强复合雨团,

成为第三阶段后期中—尺度雨团内的主要降水系统。

5 小结——地面流场与雨团活动联系方式分析

第二、第三阶段雨团和地面流场的演变是相似的。两次穿谷流形成后,鄂州以东都出现大面积雨团,郢水、汉水交汇处也都出现大面积雨团(图3、图4),而且都在发展后连接成中—尺度复合雨团。两次穿谷流均形成于午夜,消散于午后14时前后,有组织的大面积雨团或复合型雨团也都形成于后半夜到清晨,消散于午后15~16时(图1),反映了沿江穿谷流和有组织强对流活动之间有规律的联系和明显的日变化形式。

必须指出,图4b中大别山西南麓的东北风明显强于长江与幕阜山之间的东北风系,是与地形风的日变化有关的。根据作者的研究结果^[1~2],湖北省夏季深夜是平均意义上的下山风最明显的时刻。当湖北省东部环境气流是东北风时,大别山西南侧的下山风与环境风系同向叠加,使当地东北风较大;而长江幕阜山间的下山风与大尺度东北气流反向叠加,使该地东北风弱于大别山西南侧。图4中的实况映证了上述结论,也说明第二阶段和第三阶段中后期湖北东部中—尺度复合雨团的形成与发展,受到了当地特殊地形的影响。

(1) 本次暴雨过程中可见到3种地面流场和中尺度雨团的联系方式。第一种方式是第一阶段出现在幕阜山北麓的范围较小、生命期较短的中—尺度雨团,该方式下地面流场和雨团活动的配置过程是:1)先出现中—尺度地面辐合线;2)2~3h后辐合线北侧紧邻辐合线的地方出现新生雨团,新生雨团另一侧出现中尺度辐散区,此时雨团和辐散区范围均较小,辐散区气流穿过雨区,使辐合线增强;3)新生雨团发展,雨势增强,范围扩展,中尺度辐散区也发展,四周辐散气流增强,辐散中心逐渐靠近和“进入”中尺度雨区,地面辐合线开始远离中尺度暴雨区;4)雨团发展至全盛阶段,暴雨区和辐散区主体重合,暴雨区四周较大范围均由辐合气流控制,辐合线已远离中尺度雨团;5)雨团减弱消失,过程示意图2。

(2) 第二种方式是出现在武汉以东沿江穿谷流上的接近中—尺度雨团。联系方式是:1)沿江穿谷流形成,地面基本气流与穿谷流交角较大,基本气流与沿江穿谷流在黄石以东长江南北岸分别形成辐散、辐合带,它们很稳定,相距很近,促使对流发展,长江出口处首先形成雨团(图4a);2)雨团发展西伸,形成接近中—尺度的复合型雨团。郢水、汉水穿谷流上有辐合线生成,附近也出现大面积雨团,发展东扩(图3a、4b);3)东西两雨团发展,联接成中—尺度雨团,长时间稳定存在(图3b、c);4)长江出口处环境流场改变,或者因强对流发展,使沿江地面流场凌乱,辐合线及穿谷流消失,中—尺度雨团西缩减弱(图3c);5)雨团进一步向西收缩,郢水、汉水下游穿谷流上辐合线也消失,西部雨团也消失。

(3) 第三种方式与第二种有些相似和联系,是出现在郢水—汉水下游穿谷流上的大面积雨团,其方式是:1)郢水—汉水流域出现穿谷流,环境场与穿谷流交角较大形成沿岸辐合带,或者穿谷流上游风向逆转,与下游逆江穿谷流迎面相遇,形成辐合带(图4b、d);2)辐合带上出现大面积雨团(图3a、4b、4d);3)雨团东移消失,或者发展后与东雨团连接,形成中—尺度复合雨团(图3b),然后按方式二5)、6)步骤演变。

参 考 文 献

- [1] 周 军, 徐文金, 汪克富. 湖北省中尺度试验区地形对气象要素场的综合影响[J]. 南京气象学院学报, 1990, 13(4): 512 ~ 516.
- [2] 徐文金, 周 军, 段永明. 地形的热力作用对湖北省暴雨的影响[J]. 南京气象学院学报, 1989, 12(3): 270 ~ 276.
- [3] 周 军, 徐传玉. 江汉平原地表风场对几种典型低空流型的响应[J]. 大气科学, 1993, 17(6): 679 ~ 687.

**Study on the Physical Representation
of the Low-Level System for
Meiyu Frontal Rainstorm :
Analysis of Rainmass Activity for an
Exceptional Torrential Rainfall Event in
Association with Surface Flow Pattern**

Zhou Jun¹⁾ Yan Guanhua²⁾ Tang Lei³⁾

(1) Department of Atmospheric Sciences, NIM, Nanjing 210044;

2) Xinzhou Meteorological Bureau of Shanxi, Xinzhou 034000; 3) Meteorological Observatory, NIM, Nanjing 210044)

Abstract: Following the targets defined by the program “China Heavy Rainfall Experiment and Study”, research is undertaken of a typically exceptional torrential rainfall event in July 1998, revealing the features, evolution and interrelation with meso-scale rainmass activity of recurring structures of surface flow patterns of two kinds in Hubei of central China, whereupon is established a physical representation of the interrelation of the surface flow patterns with meso rainmass activity during an intense Meiyu frontal rainstorm typical of its occurring region.

Key words: surface flow pattern, Meiyu front, physical relation, meso-scale rainmass