

东风低空急流暴雨的中尺度分析

徐双柱¹ 王 丽² 叶成志^{1,3} 谢义明⁴ 毛 亮⁵

(1. 中国气象局武汉暴雨研究所, 武汉 430074; 2. 武汉中心气象台;
3. 湖南省气象台; 4. 扬州市气象局; 5. 湖南省衡阳市气象局)

提 要: 东风低空急流暴雨在湖北比较少见。使用卫星云图、武汉多普勒雷达资料和地面中尺度资料, 针对2004年6月4~5日发生在湖北中东部地区的一次东风低空急流暴雨过程进行了中尺度分析, 得到: (1) 东风低空急流暴雨是在有利的大尺度背景场条件下, 在特定的地域触发产生的; (2) 东风低空急流在暴雨的形成和发展中起到重要的作用; (3) 东风低空急流暴雨是由中尺度回波团和中尺度复合体造成的; (4) 东风低空急流暴雨是在多种尺度天气系统相互作用的情况下发生发展的, 而中小尺度系统是其产生的最直接的系统。

关键词: 中尺度分析 暴雨 东风低空急流

A Mesoanalysis of a Heavy Rainfall in Low-level Southeaster Jet

Xu Shuangzhu¹ Wang Li² Ye Chengzhi^{1,3} Xie Yiming⁴ Mao Liang⁵

(1. Institute of Heavy Rain, CMA, Wuhan 430074; 2. Wuhan Center Observatory;
3. Hunan Meteorological Office; 4. Yangzhou Meteorological Bureau;
5. Hengyang Meteorological Office, Hunan Province)

Abstract: The heavy rain in the southeasterly jet in the low-level occurs less in Hubei Province. A mesoscale analysis of this kinds of heavy rain occurred on 4th—5th of June, 2004 in east-central part of Hubei Province is conducted with the satellite pictures, Doppler radar data and surface mesoscale observations. It was found that (1) the heavy rain was produced in the

资助项目: 科技部科研院所社会公益研究专项 2002DIB20059; 中国气象局武汉暴雨研究所开放基金课题 2004ZD01 共同资助

收稿日期: 2005年4月18日; 修定稿日期: 2005年6月16日

favorable scale background and the special region. (2) The low-level jet plays an important role in the development of the heavy rain. (3) The heavy rain was directly produced by the meso-scale echo mass and complex; (4) the meso-scale system was one of the most directly affection systems of the heavy rain.

Key Words: mesoanalysis heavy rain low-level jet

引言

人们最早发现低空急流现象是在20世纪30年代。20世纪50年代,陶诗言^[1]在研究长江流域梅雨时指出,梅雨锋南侧西南气流对降水区起到水汽输送作用。20世纪70年代后期开始,有关西南低空急流与暴雨的关系的研究取得了许多成果^[2~5]。但是,有关东风低空急流对于暴雨发生、发展的作用则研究较少,只是在研究台风暴雨时,探讨过东风急流的作用^[6]。本文选取了2004年6月4~5日发生在湖北中东部地区的一次东风低空急流暴雨过程,根据卫星云图、武汉多普勒雷达资料、地面中尺度资料的分析,结合多年统计的事实,概述了该地区这类暴雨发生发展的成因和中尺度系统,为该地区进行这类暴雨的分析和预报提供一些有意义的依据。

1 大尺度背景场分析

2004年6月3日20时(北京时,下同),500hPa图上从内蒙古到西藏高原东部

有一低槽,100°E以东40°N以南的中国大部地区为一致的偏南风,在28°N、130°E西太平洋有一热带低压,热带低压北部存在16~20m·s⁻¹的偏东风急流;中低层700hPa、850hPa(图1)从川东有一低涡,其南侧芷江、长沙一线有一支较强的西南急流,而115°E以东30~40°N沿大别山北缘的南京、徐州为偏东风急流,而且在800~1500m上空偏东风急流更加显著。4日08时在1500m以下(图略)从郑州、许昌、钟祥形成一支10~16m·s⁻¹较强的东北风。分析整个暴雨过程的高空风场发现,3日20时到4日08时低空为东风急流和西南风急流,4日08时~20时低空为较强的东北风和东南风急流强烈辐合于湖北中东部。在湖北中东部的中低层,偏东风急流和西南风急流的强辐合线上产生的中小尺度涡旋,配合地面锋生,在该地(湖北中东部、湖南和江西北部)触发产生强烈的暴雨。

2 卫星云图分析

地面实况资料分析表明,6月4日凌晨

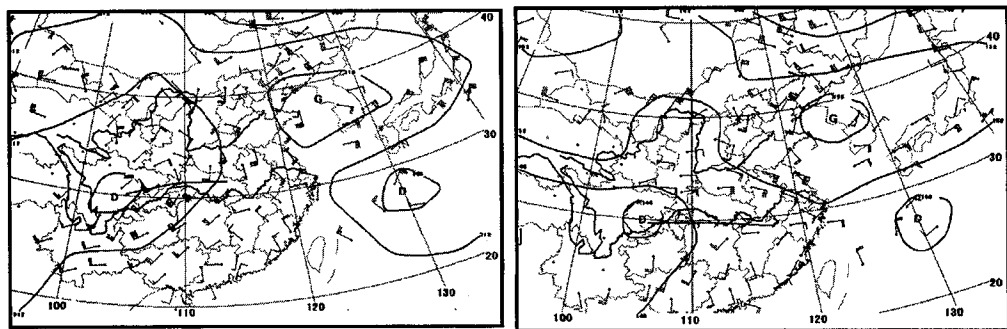


图1 2004年6月3日20时700hPa(a)和850hPa(b)高度场、风场

开始到 5 日凌晨结束的湖北省中东部暴雨, 持续的时间不到 24 小时。对逐时降水资料分析发现, 这场大暴雨存在两个强降水时段: 6 月 4 日 03~08 时和 13~18 时, 最强降水发生在 6 月 4 日午后的鄂东南赤壁市, 14~15 时 1 小时雨量达 32.5mm, 14~17 时 3 小时降水量达 78.7mm。

卫星红外云图分析表明, 2004 年 6 月 4~5 日湖北省中东部的暴雨是由 3 个中- β 尺度云团活动造成的。

第一个中- β 暴雨云团 (称之为 M 云

团), 7 月 4 日 02 时在江汉平原潜江附近生成, 初生时尺度较小, 直径为 50km, 云顶温度为 -42°C 。04~05 时 M 云团处于发展增强阶段, 最强时云团尺度达到 100km, 云顶温度在 -54°C 以下, 并以 $30\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 的速度东移, 它维持了 6 个多小时, 于 08 时在武汉东部消亡 (图 2)。M 云团经过江汉平原东部时, 造成湖北省中东部出现第一个强降水时段, 仙桃 04~07 时 3 小时降水量达 43.2mm。这段时间仙桃正好处在 M 云团的强中心上。

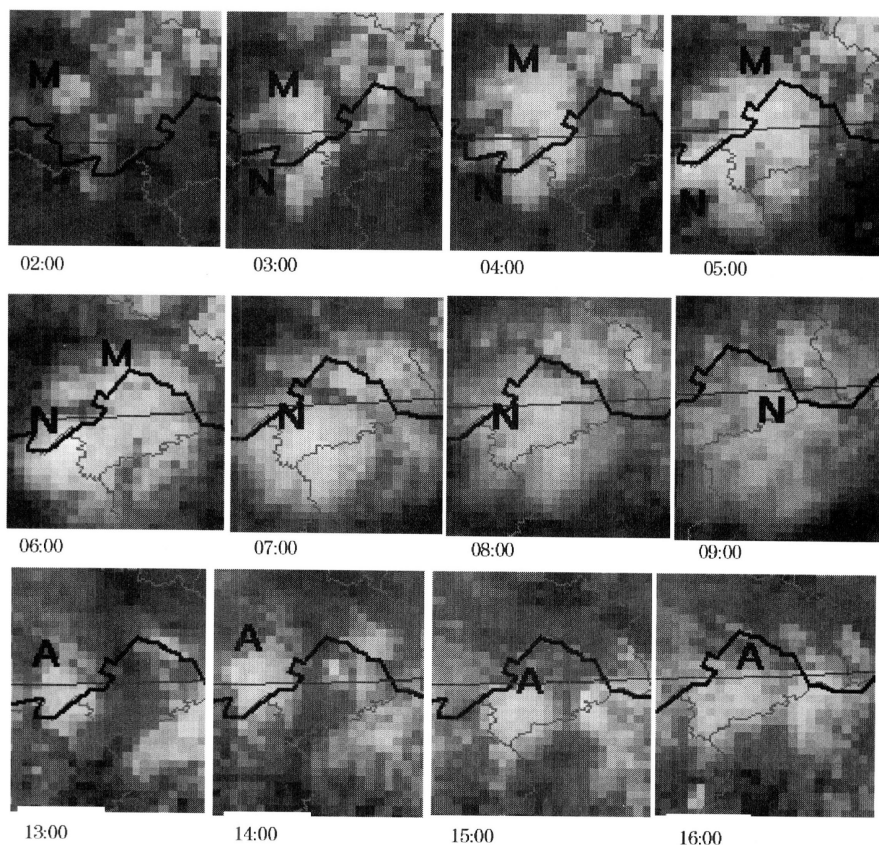


图 2 2004 年 6 月 4 日 02:00~16:00 红外云图

第二个中- β 暴雨云团 (称之为 N 云团), 位于 M 云团南端, 是 7 月 4 日 03 时在洞庭湖北岸公安、石首附近新生的, 刚开始时尺度较小, 为一西北~东南向的长条形

云团, 宽度为 10km, 云顶温度为 -42°C 。05~07 时 N 云团处于发展增强阶段, 云团迅速发展成为圆形, 最强时直径达到 150 km, 云顶温度在 -54°C 以下, 并以 30

$\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 的速度东移, 维持了近 10 个小时于 12 时在江西北部消亡。N 云团经过鄂东南时, 造成嘉鱼 06~07 时 1 小时降水量达 20.4mm, 05~08 时 3 小时降水量达 43.5mm。嘉鱼 06~07 时正好处于 N 云团的强中心 (见图 2)。

第三个中- β 暴雨云团 (称之为 A 云团), 是 7 月 4 日 13 时在洪湖附近新生, 云团的直径为 50km, 云顶温度为 -54°C 。到 14 时 A 云团直径增大到 80km, 云顶温度也达到 -65°C , 以 $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 的速度东移, 于 18 时在江西北部消亡。14 时 A 云团移到赤壁市, 小于 -65°C 云区的直径在 40km 左右, 也是该云团处在最强的时候, 它造成 14~15 时赤壁市强降水, 1 小时雨量达 32.5mm, 此时赤壁市正好位于 A 云团的强中心。A 云团经过鄂东南时, 造成湖北省中东部出现了第二个强降水时段, 14~17 时赤壁市 3 小时降水量达 78.7mm。

卫星云图分析表明, 东风低空急流在暴雨的形成和发展中起到重要的作用。物理量分析也表明, 在暖气团中, 东风低空急流主要是起输送水汽和能量作用, 而在冷暖空气交汇过程中, 东风低空急流还起到抬升作用。值得一提的是, M、N 云团是在低层偏东风急流和西南风急流的辐合区中产生的, 而 A 云团则是在低层较强的东北风和东南风急流的辐合区中产生的。分析结果表明,

这场大暴雨是由中- β 暴雨云团直接造成的。中- β 暴雨云团的空间尺度的直径为 50~150km, 生命史为 5~10 小时, 以 $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 左右的速度东移, 强降水与强云团中心相吻合。

3 武汉多普勒雷达资料分析

一般认为, 暴雨是在几种尺度系统相互作用下发生发展的, 而中小尺度系统则是其产生的最直接的系统^[7~9]。武汉多普勒雷达较好地监测到这次暴雨的演变过程。

2004 年 6 月 4 日 02 时 05 分在江汉平原中东部有一条由对流云和层状云组成的混合回波带, 其中在潜江到监利有一个 $30 \text{ km} \times 100 \text{ km}$, 中心强度 40~50dBz 对流回波短带, 该回波短带在东移过程中逐渐演变成中尺度回波团 (图 3 箭头所指)。连续动画可见中尺度回波团呈气旋性转动, 武汉多普勒雷达风场可见在中尺度回波团上有一条偏东风和偏南风的中尺度切变线和涡旋 (图略)。强回波就位于中尺度涡旋前部的中尺度切变线上, 强回波对应强降水。进一步分析发现, 这种呈气旋性转动的中尺度回波团与云图上的中- β 尺度 M、N 云团相对应, 是在低层偏东风急流和西南风急流输送的暖湿气团中, 由于低层辐合造成的强烈上升运动引起的强降水。

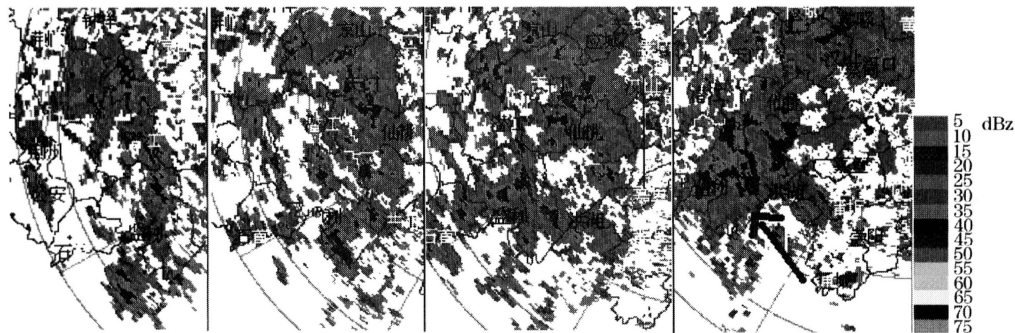


图3 2004年6月4日02:00~06:00武汉多普勒雷达回波强度
图中箭头所指为中尺度回波团

2004 年 6 月 4 日 12 时 10 分在江汉平原中东部到鄂东中部的混合回波带变为东西向, 在以后的演变中可见回波带的波动, 13 时 53 分在混合回波带南部洪湖新生对流回波, 该新生对流回波一边东移一边与来自主体的混合回波带上南下的回波合并, 14 时 29 分在赤壁市形成一个直径为 50km 的中尺度复合体回波, 该复合体回波维持了 2 小时左右, 以后从上游地区即赤壁市的西南部有新的中尺度复合体回波形成并东移影响赤壁市(图略)。进一步分析发现, 这种由层状云降水回波和对流云降水回波混合组成的中尺度复合体回波, 与云图上的中- β 尺度 A 云团相对应, 它是在低层较强的东北风和东南风急流的辐合作用下, 由低层东北风带来的干冷空气和低层东南风急流带来暖湿空气交互作用, 正是这种强烈的斜压作用造成的强烈上升运动带来强烈的降水。

4 东风低空急流暴雨的中尺度系统

4.1 准常定的中尺度系统

地面中尺度分析表明, 长江中游地区由于特定地形影响, 存在着准静止的中尺度辐合系统, 这些中尺度辐合系统先于暴雨而存在, 它们出现后较少变化。准常定的中尺度辐合系统有中尺度辐合线和中尺度涡旋两种形式。准常定的中尺度辐合线常形成于两地: 一是大别山与幕阜山之间, 另一个是大别山与大洪山之间。准常定的中尺度涡旋多形成于两个地方: 一是大别山南侧, 另一个是鄂西山地与江汉平原之间的斜坡式过渡带。当大尺度天气系统影响时, 与准常定中尺度辐合系统交汇或合并, 交汇处辐合加强, 雷达回波上表现为回波合并加强, 对应暴雨开始。研究表明^[7], 准常定的中尺度系统存在明显的日变化规律, 它们是因为地形、地貌、热力差异和动力作用造成的。

4.2 移动性中尺度辐合系统

地面中尺度分析表明, 长江中游移动性中尺度辐合系统有如下几种形式: ①暖式切变线; ②冷式切变线; ③东风切变线; ④涡旋; ⑤东风气流汇合线; ⑥北风气流汇合线。

移动性中尺度辐合系统是在暴雨发生后形成的。暴雨的发生和加强, 在多普勒雷达回波上, 表现为相同性质回波或不同性质回波的辐合、合并。回波的辐合、合并其实就是移动性中尺度辐合系统在雷达上的表现。多普勒雷达的径向速度资料反演出来的水平风场可以比较好地证实移动性中尺度辐合系统与雷达强回波之间的关系。分析武汉多普勒雷达径向速度资料发现, 2004 年 6 月 4 日 02~12 时, 在鄂东南的嘉鱼和赤壁附近, 低层为西南风、东南风和西北风构成的汇合流场, 并且有明显的气旋性弯曲, 这正好与回波短带位置对应(图略)。移动性中尺度辐合系统的演变可概述为: 暴雨发生后, 地面对应存在下沉辐散气流, 暴雨前侧的辐散出流与背景场东南风急流汇合形成新的中尺度辐合系统, 中尺度辐合系统重新组织对流, 对流单体组织合并后, 形成新的暴雨区。

4.3 中尺度低压

东风低空急流暴雨常常发生在地面中尺度低压的北部或东部, 这种中尺度低压是暖性的, 并有一较强的中尺度水汽辐合中心与它相伴。由于长江中游特定地形影响, 地面常常可以分析出两个地方性中尺度低压, 即: 当阳、枝江附近的中尺度低压和武汉附近的中尺度低压。当阳、枝江附近的中尺度低压是由于鄂西山地与大洪山形成的喇叭口地形和山脉背风坡等共同作用下造成的; 而武汉附近的中尺度低压, 则是由于鄂东山脉所围盆地曲率中心正好处在武汉周围的缘故。东风低空急流暴雨发生前, 在武汉到鄂

东南附近形成一个中尺度低压,它是由于其西南方的西南气流和东南方的东南气流的堆积形成的。当冷空气沿江汉河谷迅速南下时,在中尺度低压的北部或东部地区形成中尺度锋区,触发形成暴雨。分析地面逐时观测资料发现,2004年6月4日02~12时,在武汉到鄂东南附近一直维持着一个中尺度低压(图4)。

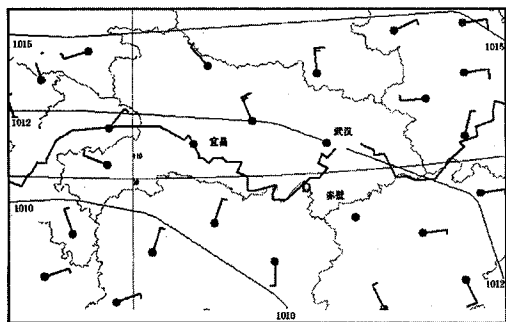


图4 2004年6月4日08:00地面天气图
(等压线和风场,D为中尺度低压)

5 结论

通过以上分析,可以得到以下几点结论:

(1) 东风低空急流暴雨是在有利的大尺度背景场情况下,由于在中低层偏东风急流和西南风急流的强辐合区中产生的中小尺度涡旋,配合地面冷空气的锋生作用,在特定的地域(如湖北中东部、湖南和江西北部)触发产生的。

(2) 东风低空急流在暴雨的形成和发展中起到重要的作用。在暖气团中,东风低空急流主要是起输送水汽和能量作用,而在冷暖空气交汇过程中,东风低空急流还起到抬升作用。暴雨是由中- β 暴雨云团直接造成的。中- β 暴雨云团的空间尺度的直径为50~150km,生命史为5~10小时,以 $30\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 左右的速度东移,强降水与强云团

中心相吻合。

(3) 东风低空急流暴雨是由中尺度回波团和中尺度复合体造成的。呈气旋性转动的中尺度回波团是在低层偏东风急流和西南风急流输送的暖湿气团中,由于低层辐合造成的强烈上升运动引起的。中尺度复合体是在低层较强的东北风和东南风急流的辐合作用下,由于低层较强的东北风带来的干冷空气和低层东南风急流带来暖湿空气,它们交互作用产生的强烈上升运动造成的。

(4) 东风低空急流暴雨是在多种尺度天气系统相互作用的情况下发生发展的,而中小尺度系统是其产生的最直接的系统。地面中尺度分析表明,东风低空急流暴雨存在多个中尺度系统,如准常定的中尺度系统、移动性中尺度辐合系统、中尺度低压等。卫星、多普勒雷达和地面中尺度观测网一起能较好地监测到暴雨的中尺度系统。湖北省特定地形对于中尺度系统的形成和发展起重要的作用。

参考文献

- 1 陶诗言. 长江中上游暴雨短期预报研究. 北京: 气象出版社, 1965: 59~67.
- 2 朱乾根. 低空急流与暴雨. 气象科技资料, 1975, 21 (8): 12~18.
- 3 徐亚梅. 低空急流的加强对深厚西南低涡发展及稳定维持的作用. 浙江大学学报, 2003, 30 (1): 98~102.
- 4 孙淑清, 瞿国庆. 低空急流的不稳定性及其对暴雨的触发作用. 大气科学, 1980, 4 (4): 178~188.
- 5 刘淑媛, 郑永光, 陶祖钊. 利用风廓线雷达资料分析低空急流的脉动与暴雨关系. 热带气象学报, 2003, 19 (3): 285~290.
- 6 王春红, 蒋全荣. 一次华南低空急流暴雨的数值模拟. 热带气象学报, 1997, 13 (2): 186~192.
- 7 徐双柱, 邓秋华. WSR-81S 数字化雷达对暴雨监测的分析研究. 大气科学, 1998, 22 (5): 798~804.
- 8 徐双柱, 沈玉伟, 王仁乔等. 长江中游一次大暴雨的中尺度分析. 气象, 2005, 31 (9): 24~29.
- 9 徐双柱. “98.7”武汉市特大暴雨的中尺度分析. 气象, 2002, 28 (7): 54~57.