

长江中游一次大暴雨的中尺度分析^①

徐双柱¹ 沈玉伟² 王仁乔³ 叶成志¹

(1. 中国气象局武汉暴雨研究所, 430074; 2. 南京大学; 3. 武汉中心气象台)

提 要

通过对 2003 年 7 月 8 日发生在长江中游的一场大暴雨进行中尺度分析,初步研究了暴雨的形成及发展过程,总结了暴雨的产生与中小尺度系统的关系,着重阐述了低空急流在暴雨形成中的作用,以及在低空急流左侧强正涡度中心附近形成中尺度涡旋,激发暴雨云团等。

关键词: 中尺度分析 暴雨 低空急流

引 言

2003 年 7 月份长江中游地区连降暴雨,其中 8 日湖北中、东部出现一场大暴雨,在宜都还发生了历史上罕见的泥石流灾害。这次大暴雨,是 8 日凌晨开始于鄂西南,之后沿

西南—东北方向,从宜昌到武汉形成一条狭长的降雨带(图略)。7 日 20 时~8 日 20 时(北京时,下同),沿江汉平原到鄂东北一线有 16 个气象站的雨量超过 100mm,两个暴雨中心分别位于公安和京山。

^① 资助项目:科技部公益研究项目“我国南方致洪暴雨预测预警系统研究”

一般情况下,在假定微物理条件(如气层的凝结核、冰晶、水滴碰并等)已经具备时,暴雨的产生主要考虑以下两方面情况:

(1)宏观的物理条件:充沛的水汽,对流层下层饱和比湿大,饱和层厚,有源源不断的水汽供应。强烈的上升运动,其重要性在于使气流不断上升,水汽凝结成云致雨;将平流输送来的水汽,不断向上输送,使形成降水的过程持续循环地进行。较长的持续时间,形成降水的天气系统移动缓慢或具有重复出现的特点。有利的地形作用,局地地形的强烈抬升作用可以增强上升运动和水汽辐合,对暴雨有较强的增幅作用。

(2)天气系统的作用:天气尺度系统,如气旋、锋面、低槽、低涡、切变线以及台风等热带天气系统的活动。中尺度天气系统,一般认为暴雨是在几种尺度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,因此暴雨在本质上是中尺度天气现象。在一些中尺度雨团、中尺度雨带、中低压、中尺度低空急流等强烈中尺度系统中,地面气流辐合量级很高,铅直速度很大。在高温、高湿、位势不稳定等条件下,为暴雨

的形成提供必要条件。

本文主要研究在强烈的大尺度低空急流的条件下,在长江中游地区的暴雨的发生、发展与哪些中尺度系统有关,以及这些中尺度系统的演变在暴雨形成中的作用。

1 大尺度环流形势

图1是2003年7月7日20时亚洲地区500hPa和850hPa高度图。由图1可见,500hPa从内蒙古东部穿过陕西到高原东部有一深厚低压槽,引导冷空气南下,与暖湿的西南气流辐合于川东、鄂西地区。850hPa上在川东、贵州北部有一低涡和切变线,其南侧芷江、长沙一线有一支较强的西南急流,风速在 $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上,并且不断增强,到8日08时加强到 $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上,强辐合线也由西向东移到湘西北、湖北中部。在2003年7月8日02时的地面图上,沿河套有一股弱冷空气南下,川东、鄂西南有一暖低压发展,弱冷空气入暖槽产生锋生。在湘西北至湖北中部的强辐合线上产生中小尺度涡旋,配合地面锋生,沿着鄂西山地到江汉平原过渡带触发生强烈的暴雨。

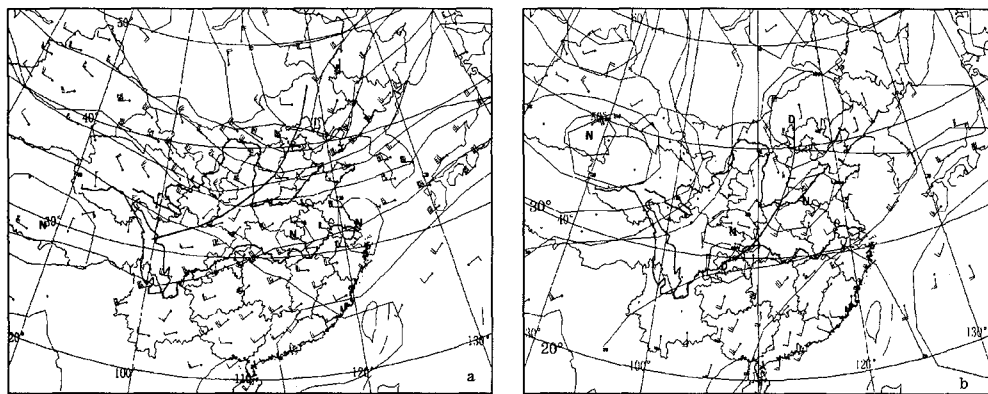


图1 2003年7月7日20时500hPa(a)和850hPa(b)高度场、温度场及风场

从7日20时的卫星云图上可以明显看到(图略),川东、贵州北部有一涡旋云系,其南侧有对流云团生成,对流云团在东移过程中强烈发展,于7月8日04时在湖南和鄂西

山地到江汉平原的过渡带形成一个直径约300km的中- α 尺度云团。该云团7月8日03时开始形成,7月8日10时左右在鄂东减弱消亡,生命史为7~8小时,在7月8日05

时最强时造成湖北公安 1 小时雨量 55.7mm 的强降水。该云团造成湖南北部和湖北中、东部的长江中游地区普遍的暴雨到大暴雨天气。

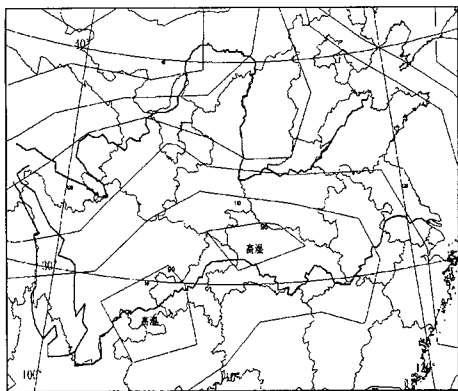
2 中尺度辐合系统对暴雨的作用

一般认为,暴雨是在几种尺度系统相互作用的情况下发生发展的,而中小尺度系统则是其产生的最直接的系统。中尺度系统的源地与地形有较大的关系,有两类地形易形成中尺度系统,一类是西南气流的背风波,如鄂西南山地东侧的长阳、宜都、湘西北的石门、慈利、幕阜山东北侧的阳新,九岭山东南一线等;二是大山体的中小尺度盆地。这可能与绕过大尺度山体的气流容易在背风坡形成中小尺度环流有关,因为在地形障碍下,其背风面出现的大气波动主要是由于障碍物引起空气在垂直方向上振荡造成的,在稳定层结条件下,这种振荡沿水平气流向下游传播,形成背风波。若水平风速较强且有垂直切变,则在背风坡下游出现波状气流或转气流,进而在有利的条件下可以发展出中尺度系统。通常情况下,中尺度辐合系统先于暴雨而存在,它们出现后较少变化,对暴雨的产

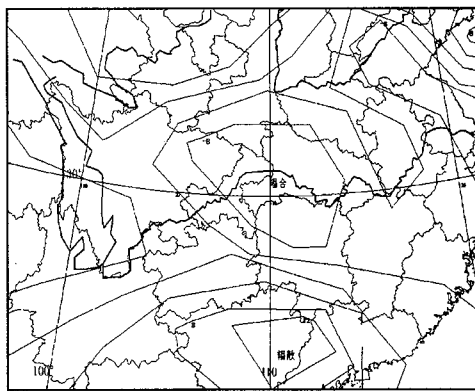
生有较直接的影响。中尺度辐合系统有中尺度辐合线和中尺度涡旋两种形式,前者与低空急流有密不可分的关系。

2.1 形成水汽输送带和水汽辐合中心

分析 850hPa 相对湿度和水汽通量散度发现,暴雨发生前,与低空偏南风急流对应的是一条从孟加拉湾延伸至四川盆地和鄂西南的强水汽输送带,其相对湿度大于 70%,中心相对湿度超过 90%,形成向东北伸展的湿舌。随着西南急流的增强,水汽输送带也在不断地向东北方向伸展,至 8 日 08 时,湖北北部相对湿度已经达到 90% 以上(图 2a),而且向上一直延伸到 400hPa 高度左右(图略),说明这里是一个深厚的高湿层。此外,青藏高原东侧有两个水汽辐合中心,其中一个辐合中心长时间处于湖北境内(超过 24 小时),且基本位于切变线附近。对照图 1 和图 2 可见,低空西南风急流不仅将孟加拉湾的水汽向北输送至鄂西地区,还在低空急流中心左前方形成了一个强水汽辐合中心。所以,暴雨发生前,低空急流的水汽输送和最大风速出口区左前方的水汽辐合中心,为此次暴雨过程创造了十分有利的水汽条件。



(a) 相对湿度场



(b) 水汽通量散度场

图 2 2003 年 7 月 8 日 08 时 850hPa 相对湿度(a)和水汽通量散度(b)

2.2 有利于暴雨区形成动力耦合结构

与低空西南风急流对应的是鄂西南对流层低层中- α 尺度低压中心的活跃和发展。

图 3a 是 8 日 08 时 850hPa 涡度场(实线)和散度场(虚线),而在 8 日 08 时 850hPa 高度场上对应辐散中心与涡度中心有中- α 尺度

低压存在。

分析发现,低空急流发展时,对流层中低层的散度发生了明显的变化,7日08时的散度均是正值,随着低空急流的发展,从7日20时至8日08时,中低层的散度全部是负值,暴雨区中低层从辐散气流变成了辐合气流,中心散度值已小于 -10^{-4}s^{-1} 。同时,正涡度也发展至最强盛,中心值大于 $2\times 10^{-4}\text{s}^{-1}$,且最大涡度中心与强散度中心交叠,在对流层低层形成正涡度中心和强散度中心相耦合的动力结构,说明此处有强烈的上升运动。对应上述耦合中心和中- α 尺度低压中心有涡旋发展(图3a),它形成于低空急流左侧强正涡度中心附近,且沿切变线向东移动,对照云图(图3b)可以看出涡旋靠急流区一侧有对流云强烈发展。正是这种由低空急流的加强导致正涡度中心和强散度中心耦合处

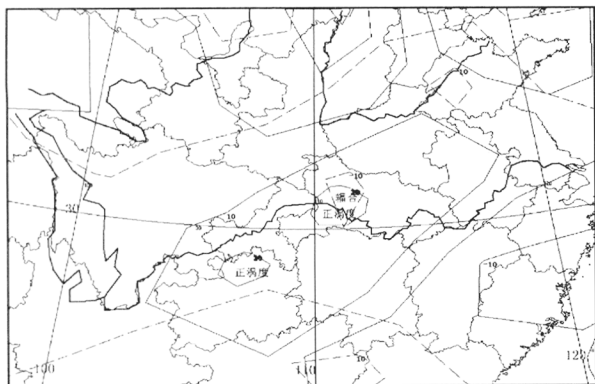


图3a 2003年7月8日08时涡度场(实线)、散度场(虚线)

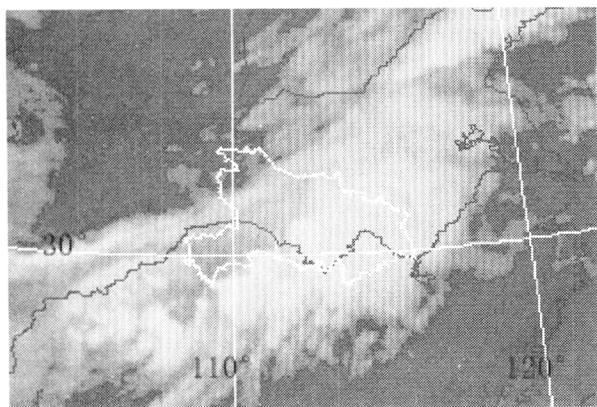


图3b 2003年7月8日08时红外云图

不断激发低涡发展,再配合低层位势不稳定和高湿的特性,从而引起强暴雨的发生。

3 中尺度雨团的多普勒雷达资料分析

从上面分析得知,在低空急流左侧强正涡度中心附近有低涡发展,并且在低涡靠急流区一侧由于强辐合和上升运动激发强对流,在雷达上反映为产生对流单体回波。但这些对流单体回波很少直接产生暴雨,当大尺度天气系统东移、南压的过程中,与中尺度辐合系统交汇或合并时,雷达回波合并加强,暴雨过程开始。宜昌多普勒雷达较好地监测到这次大暴雨过程中的长阳雨团和松滋雨团的演变过程。从连续回波动画中看出:长阳雨团于7月8日05时在长阳形成,直径近50km,以 $20\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 的速度向偏东方向移动,维持了2小时,8日07时与二号松滋雨团合并。松滋雨团于7月8日07时在松滋形成,直径近50km,以 $20\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 的速度向东南方向移动,于8日11时在石首附近减弱消失,维持了约4小时。

从图4可以看出,8日06时在鄂西南和江汉平原中西部有一混合回波团,其中在长阳东部和松滋西部分别有一个 $30\text{km}\times 50\text{km}$,强度 $50\sim 60\text{dBz}$ 对流回波复合体,并在偏西风的引导气流下向偏东方向移动。

TVAD风场反演资料表明,在长阳、宜都和松滋有一条偏东风和偏南风的中尺度切变线和涡旋,在其南侧存在西南风急流(如图4b)。强回波就位于涡旋前部的中尺度切变线上,因为这里辐合最为强烈,强回波对应强降水,长阳雨团从一形成就造成8日05~06时长阳1小时降雨量高达40.2mm的强降水,该雨团是诱发宜都泥石流灾害的直接原因。

这次过程的回波表现出,在有利的湿度、动力等条件下,强的中尺度辐合系统触发对流,产生中- α 尺度暴雨云团,在数字化雷达上主要表现为产生混合回波。混合回波是由

大面积的层状云降水回波和许多对流云降水回波混合组成,从雷达回波强度图上可以看出,一个中- α 尺度云团中可以是一个也可以有两个以上的混合回波团或带。如果回波团或带两两合并叠加,将会造成剧烈的降水。如这次回波过程中,在比较大的范围内,回波边缘呈支离破碎状,回波中夹有一个个结实的团块,似一团团棉花絮,回波强度强,结构密实,在8日07时34分回波团合并叠加,形成了一个强度在40~50dBz的大回波团,对应松滋雨团的形成。

4 中尺度数值模拟分析

研究表明,在江淮梅雨期的暴雨过程中,

低空急流是为暴雨提供热力学和动力学条件的重要天气系统,具有独特的特点和结构特征,并与暴雨的强度有关。本文利用中国科学院大气所 AREM 模式的 700hPa 和 850hPa 的模拟计算资料对这次过程进行分析。以2003年7月7日08时作为初始时刻,模拟18、24小时700hPa和850hPa的风场。如图5所示,2003年7月7日20时到8日08时,从川东有一中尺度低涡沿切变线向东移动。它形成于低空急流左侧强正涡度中心附近。在低涡的南部存在 θ_w 等值线的密集带,强上升区位于 θ_w 的高值区内。在低涡前部的切变线是西南、西北和东北方向的

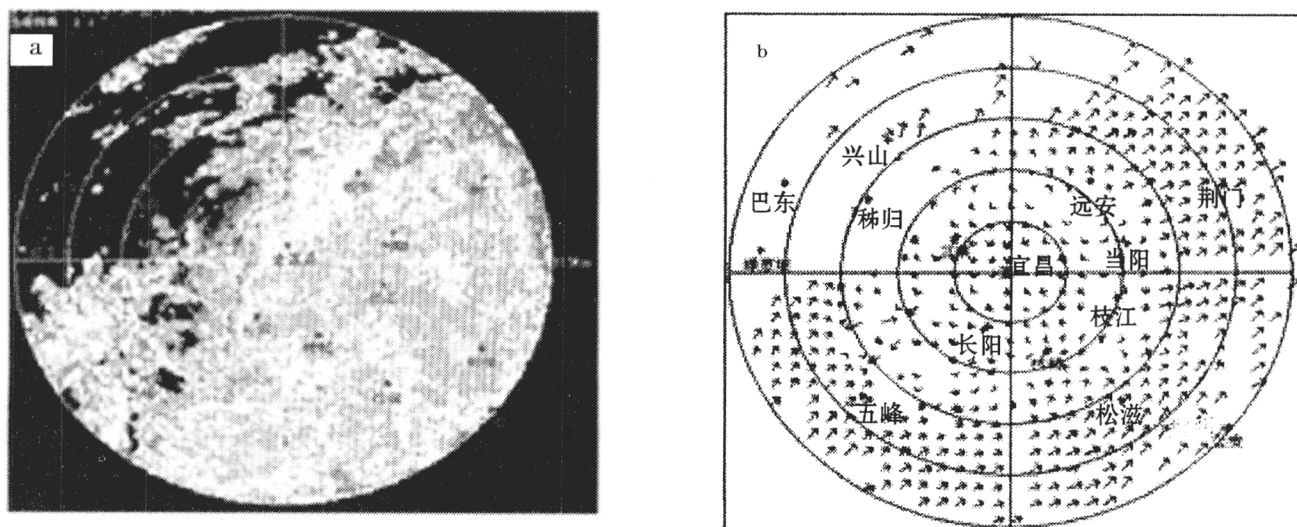


图4 2003年7月8日06:18宜昌多普勒雷达资料(每圈距离20km)

a. 雷达反射率 b. TVAD 风场反演

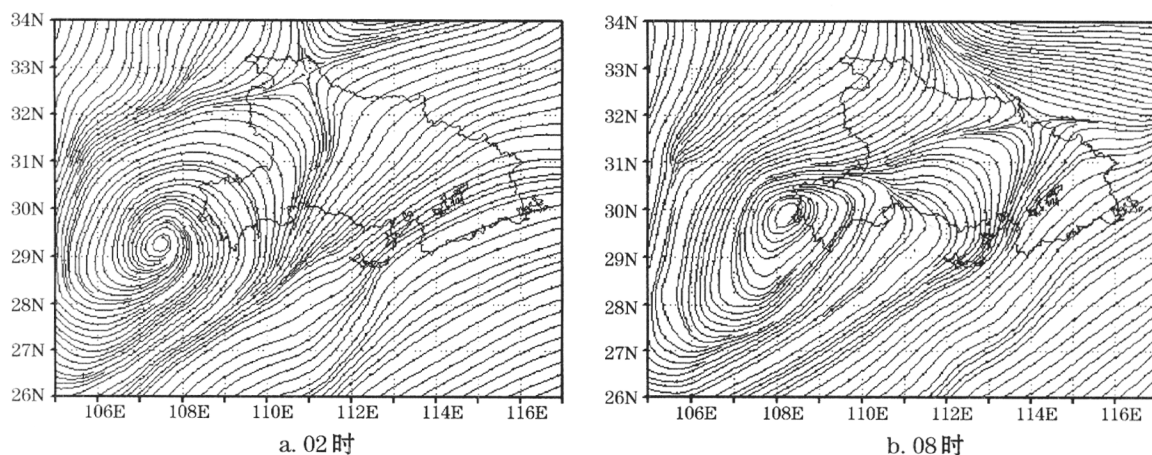


图5 数值预报模拟2003年7月8日700hPa风场

三支气流组成,且西南气流较强。这与宜昌多普勒雷达 TVAD 风场反演资料的结果是一致的。

5 结 论

通过以上分析,可以得到以下几点结论:

(1)暴雨是在几种尺度系统相互作用的情况下发生发展的,在有利的大尺度系统下产生的中小尺度系统则是其产生的最直接的系统。中尺度系统的源地与地形有关,在西南气流的背风坡容易形成中尺度系统。

(2)低空西南风急流形成了从孟加拉湾至高原东侧的强水汽输送带,在鄂西北形成强水汽辐合区,为暴雨创造了十分有利的水汽条件。同时,由于急流区的强辐合与强切变,在对流层低层形成正涡度中心和强散度中心相耦合的动力结构,并极易在低空急流左侧强正涡度中心附近产生中尺度涡旋。

(3)强回波位于涡旋前部的中尺度切变线上,而且对应强降水。引起强暴雨的中- α 尺度云团是由一个或一个以上的雨团共同作用,并在偏西风的引导气流下向偏东方向移动,在雷达上则表现为一个或一个以上的混合回波团或带。如果回波团或带两两合并叠

加,引起回波加强,将会造成剧烈的降水。

(4)中尺度涡旋形成于低空急流左侧强正涡度中心附近。在低涡的南部存在 θ_w 等值线的密集带,强上升区位于 θ_w 的高值区内。

参考文献

- 1 陆汉城. 中尺度天气原理和预报. 北京:气象出版社, 2000:4~30.
- 2 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.
- 3 赵明明, 熊安元, 叶愈源等. 长江中上游地区暴雨气候图集. 北京:气象出版社, 1995:4~13.
- 4 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.
- 5 徐双柱. 暴雨数字化云图与回波特征的比较. 湖北气象, 1990, 2: 7~10.
- 6 雷恒池, 王 宏, 胡朝霞等. 1998 年 7 月 21 日武汉暴雨小尺度动力特征的数值模拟研究. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2002, 26(5): 647~662.
- 7 郁淑华. 诱发泥石流灾害的四川盆地大暴雨过程分析. 气象, 2002, 28(8): 30~33.
- 8 徐枝芳, 徐玉貌, 葛文忠. 雷达和卫星资料在中尺度模式中的初步应用. 气象科学, 2002, 22(2): 167~174.

Mesoanalysis of a Heavy Rainfall in the Middle Reaches of the Changjiang River

Xu Shuangzhu¹ Shen Yuwei² Wang Renqiao¹ Ye Chengzhi³

(1. Wuhan Institute of Heavy Rain, 430074; 2. Nanjing University;

3. Wuhan Center Observatory)

Abstract

By mesoanalysis of a precipitation that occurred in the middle reaches of the Changjiang River, 8th Jul. in 2003, the formation and development of the event, its relation with the meso-microscale system are studied, it is emphasized that the low-level jet would cause favorable thermodynamic, moisture and dynamic conditions for the heavy rainfall in the middle reaches of the Changjiang River and that the mesoscale vortex formed in the left of the low-level jet would stimulate strong convective clouds and cause the heavy rain.

Key Words: mesoanalysis heavy rain low-level jet