

泥石流暴雨个例中尺度分析

徐双柱¹ 金 琪¹ 肖艳娇¹ 李 俊²

(1 湖北省气象局武汉中心气象台, 2 武汉暴雨研究所, 武汉 430074)

摘要 对 2003 年 7 月 8~9 日发生在湖北中部并且造成泥石流灾害的大暴雨过程进行了中尺度分析, 结果表明: ①在有利的大尺度系统下产生的中小尺度系统是暴雨产生的最直接的系统; ②湖北省泥石流灾害发生在特殊的地理位置, 秭归、宜昌、宜都等鄂西山地到江汉平原的过渡带是泥石流灾害的多发地; ③暴雨尤其是泥石流发生地周围的历时短、局地性强的暴雨是泥石流灾害直接的诱发原因; ④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; ⑤多普勒雷达是监测中尺度系统的强有力工具, 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; ⑥中尺度涡旋形成于低空急流左侧强正涡度中心附近。

关键词 泥石流 暴雨 中尺度分析

引言

湖北省尤其是鄂西山地是局地山洪、泥石流灾害的多发地。泥石流^[1]是介于水流和滑坡之间的一系列过程, 包含重力作用下的松散物质、水体和空气三者构成的块体运动。局地山洪、泥石流灾害的发生一般对应着历时短、局地性的大暴雨。2003 年 7 月 8~9 日在宜都发生了历史上罕见泥石流灾害。7 日 08:00 至 9 日 08:00(北京时, 下同) 两天时间, 宜都降雨量为 94 mm, 其西部长阳的降雨量为 93 mm, 其南部松滋的降雨量为 228 mm, 其中 8 日 05:00 到 06:00 长阳 1 h 降雨量高达 40.2 mm, 强暴雨诱发了泥石流灾害。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。本文通过对 2003 年 7 月 8~9 日发生在湖北中部并且造成泥石流灾害的大暴雨过程进行中尺度分析, 旨在得到以下问题的答案, 湖北省泥石流灾害的发生与那些中小尺度系统有关? 这些中小尺度系统演变的规律是什么? 如何分析和预报这些中小尺度系统?

1 大尺度背景场和卫星云图分析

2003 年 7 月 7 日 20:00, 500 hPa 从河套到高原

东部有一低槽(图 1a), 中低层 700 hPa、850 hPa 从川东、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急流, 到 8 日 08:00 西南急流加强到 20 m/s 以上。7 日 20:00 至 8 日 08:00 强辐合线由西向东移到湘西北至湖北中部。从 2003 年 7 月 8 日 02:00 的地面图 1b 上可以看出, 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的中小尺度涡旋, 配合地面锋生, 沿着鄂西山地到江汉平原过渡带触发产生强烈的暴雨。

2003 年 7 月 7 日 20:00 的卫星云图(图 2a)上, 在川东、贵州北部有一涡旋云系, 在其南侧有对流云团生成。对流云团在东移过程中发展, 于 7 月 8 日 04:00 在湖南和鄂西山地到江汉平原的过渡带形成一个直径 300 km 左右中 α 尺度云团, 其 TBB 值在 -60°C 以下(图 2b)。该云团 7 月 8 日 03:00 开始形成, 7 月 8 日 10:00 左右在鄂东减弱消亡, 生命史为 7~8 h, 在 7 月 8 日 05:00 最强时造成湖北公安 1 h 雨量 55.7 mm 的强降水。该云团造成湖南北部和湖北中部地区普遍的暴雨到大暴雨天气。

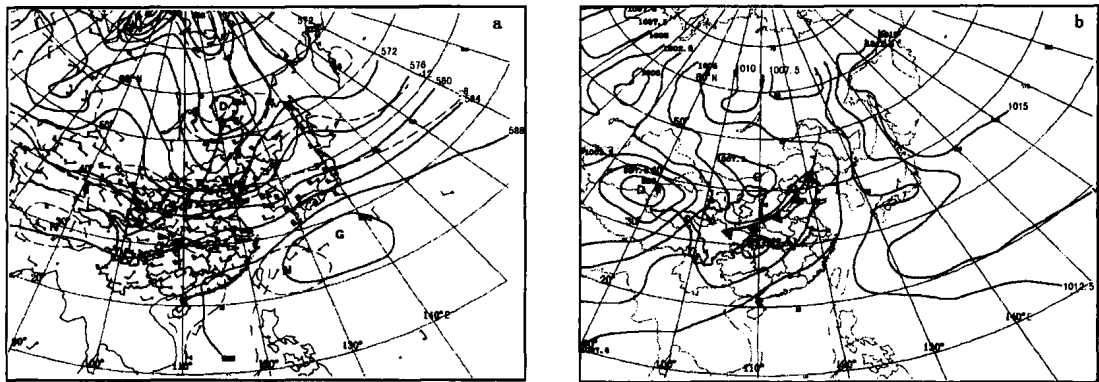


图 1 (a) 2003 年 7 月 7 日 20:00 500 hPa 温压场 ;(b) 2003 年 7 月 8 日 02:00 地面气压场

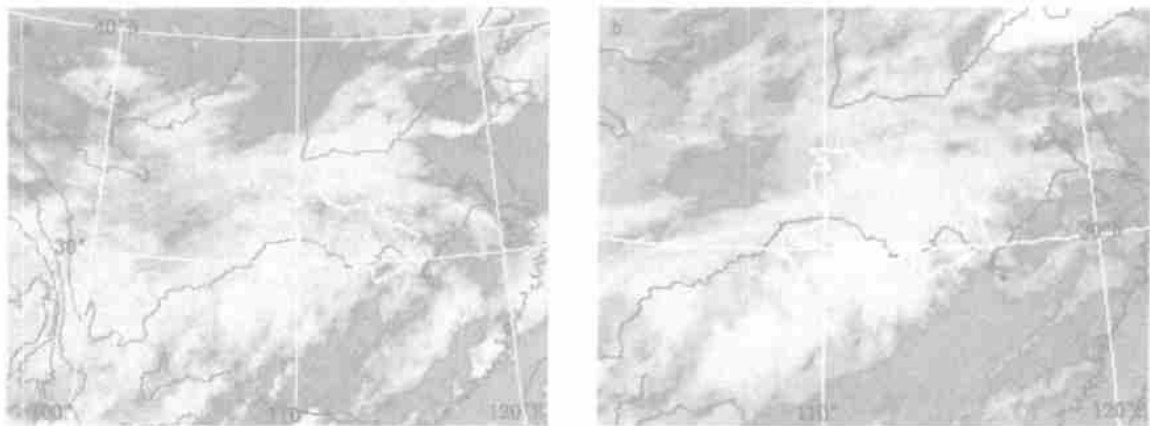


图 2 (a) 2003 年 7 月 7 日 20:00 红外云图 ;(b) 2003 年 7 月 8 日 04:00 红外云图

2 地形和中尺度雨团分析

2.1 泥石流灾害形成的地形特征

泥石流是一种形成于山地,由水、泥沙和石块组成的混合流。其运动的特点是阵发性、速度快、破坏力强,运动过程中搬运大量的泥沙和石块。一场泥石流,按其发生到最后停积下来所流经的区域可划分为发生区、流通区和堆积区。在泥石流发生区,有大量的松散固体物质储备,一般受降水激发而运动。泥石流产生的三大要素为大量的固体物质、丰富的水量和陡峭的地形。据统计^[1],我国的泥石流主要发生在三个地形阶梯间的两个过渡带,即青藏高原向次一级的高原或盆地的过渡带,以及次一级的高原或盆地向我国东部低山丘陵或平原的过渡带。宜都位于巫山、武陵山和江汉平原的过渡带。在秭归、宜昌、宜都等鄂西山地到江汉平原的过渡带境内,多以石灰岩、紫色岩、砂页岩为主。山脉呈西北向东南倾斜状,长江由西向东呈 30°~60° 倾角切断了巫山

和大巴山余脉。由于特殊的地理位置和较复杂的地貌、气候、土壤等因素影响,使得秭归、宜昌、宜都等鄂西山地到江汉平原的过渡带成为泥石流灾害的多发地。根据实地地形考察,2003 年 7 月 8~9 日在湖北宜都发生的泥石流灾害所在地王家畈和松木坪,为相对低洼的盆地,其周围为 1000~1500 m 高山。

2.2 中尺度雨团的活动

造成宜都泥石流的暴雨是由 4 个中尺度雨团组成,即 1 号秭归雨团,2 号松滋雨团,3 号长阳雨团和 4 号松滋雨团。1 号秭归雨团于 7 月 8 日 02:00 在秭归形成,直径 30 km,在原地停留 2 h,然后向东南方向运动在宜昌减弱消失,维持了 2~3 h。2 号松滋雨团于 7 月 8 日 03:00 在松滋形成,直径近 100 km,以 20 km/h 的速度向东北方向运动,于 8 日 08:00 在潜江减弱,维持了 4~5 h,它在最强时造成公安 8 日 04:00~05:00 55.7 mm 的强降水。3 号长阳雨团于 7 月 8 日 05:00 在长阳形成,直径近 50

km,以20 km/h的速度向偏东方向运动,于8日07:00合并到2号松滋雨团中,维持了2 h。值得注意的是,3号长阳雨团从一形成就造成8日05:00到06:00长阳1 h降雨量高达40.2 mm的强降水。该雨团是诱发泥石流灾害的直接原因。4号松滋雨团于7月8日07:00在松滋形成,直径近50 km,以20 km/h的速度向东南方向运动,于8日11:00在石首减弱消失,维持3~4 h。

综上所述,造成泥石流暴雨的中尺度雨团,尺度一般在30~100 km,生命史为2~5 h,雨团尺度越大,生命史越长。雨团移动的方向与其上层的引导气流一致,一般是向东北或偏东方向运动。

根据长江中上游20世纪80年代7次大范围暴雨过程的逐小时资料,用雨峰分析方法可得到中尺度系统源地^[2]。分析结果表明,中尺度系统的源地比较分散,且与地形有关,有两类地形易形成中尺度系统,一是西南气流的背风坡,如鄂西南山地东侧的长阳、宜城、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,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。二是大山体的中小尺度盆地。在河谷地区,如汉江、湘江、

沅江、赣江河谷则较少出现中尺度系统。此外,大别山区迎风坡的红安、麻城、罗田、英山等地没有生成过中尺度系统。如果分区域统计源地,可发现鄂西南、湘西、江汉平原中部和鄂东南是最主要的源区,其中17%的中尺度系统又源于鄂西南,它是湖北暴雨系统最重要的源区。

3 宜昌多普勒雷达资料分析

泥石流灾害与地形条件、暴雨强度密切相关。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。宜昌多普勒雷达较好地监测到3号长阳雨团和4号松滋雨团的演变过程。2003年7月8日06:18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 km×50 km,强度50~60 dBz对流回波复合体(图3a),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(图3b)。强回波就位于涡旋前部的中尺度切变线上,强回波对应强降水。

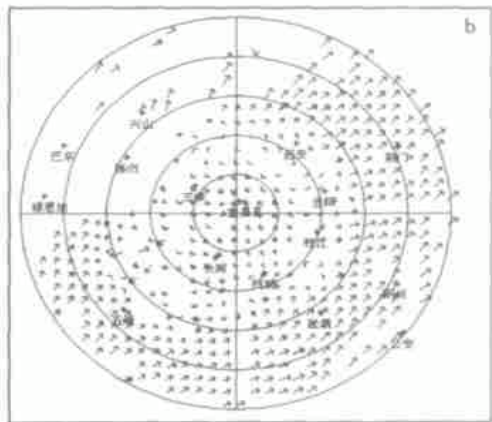
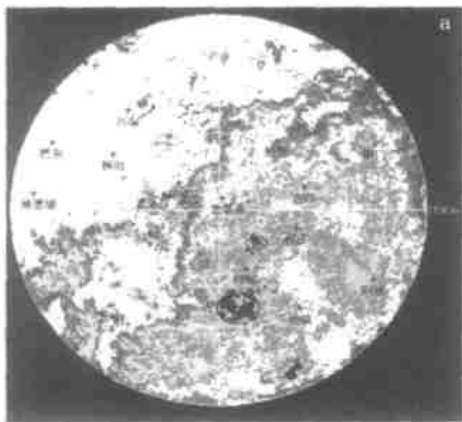


图3 2003年7月8日06:18宜昌雷达图:(a)反射率,半径115 km;(b)TVAD风场反演,半径115 km

研究表明^[3],混合回波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。混合回波一般有3种表现形式:混合回波团、混合回波带和“人”字形混合回波带。混合回波是中 α 尺度暴雨云团在数字化雷达上的主要表现形式。中 α 尺度暴雨云团是指在云图上尺度较大呈圆形或椭圆形,相对比较独立的单一积雨云团。它常与天气图上的低涡东移

相联系。分析表明,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,将会造成强降水。混合回波的强回波中心与云团的移向有一种相关性。一般东移的云团表现为强回波位于混合回波右后方,而从西南来的朝东北方向移动的云团的强回波在右前方。在连续暴雨过程中,经常是混合回波团与混合

回波带相互交替的过程。其中在强持续性区域暴雨中,可见回波带的波动。由平直回波带发展成最大幅度波动需要 3 h 左右,由最大幅度波动减弱成平直回波带需要 4 h 左右,强降水就发生在这两段时间内。波动回波带存在波动源,波动源位于宜昌以东的荆州地区中部和南部。大别山地形的阻挡作用产生的扰动也促进波动回波带的发生。连续回波动画分析表明,波动回波带是回波团或短带叠加合并的结果。从西南或南部的新生回波不断两两合并或辐合叠加。

混合回波是由散乱的层状云降水回波和对流单体回波经过弥合而成。回波连续动画显示有时可以看出次天气尺度的涡旋。2003 年 7 月 8 日 04:00 在长江中游有几个混合回波团,它与中 α 尺度云团(图 2b)相对应,其中一个在宜昌、荆州附近。东面的回波团向东北方向移动,西面的回波团朝东南方向移动。与次天气尺度低涡相配合就是位于涡的前部和尾部。两个回波团相向运动往往是次天气尺度低涡沿切变线东移。分析表明,有时两个回波是同向运动,这种情况则是次天气尺度涡旋沿切变线向东北方向运动的结果。

初始回波是指在一次暴雨过程中,雷达监测首次发现的降水回波。统计结果表明^[4],长江中游暴雨发生前,存在以下几个初始回波源地:①大洪山与桐柏山之间,②幕阜山与大别山之间,③鄂西山地与江汉平原之间的斜坡式过渡带。地面风矢量中尺度分析表明,长江中游地区由于特定地形影响,存在着一些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常形成于两个地方:一个是 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。由此可见,初始回波源地正好是准常定中尺度辐合系统产生的地方。它们之间有较好的对应关系。计算表明,这些中尺度地面辐合系统的量级为 10^{-5} s^{-1} 。它们可以触发对流,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,与准常定中尺度辐合系统交汇或合并时,交汇处辐合加强可达 10^{-4} s^{-1} 量级。雷达回波上表现为回波合并加强,对应暴雨开始。研究表明^[5],准常定的中尺度系统存在明显的有规律日变化。它们是因为地形、地貌热力差异和动力作用造成的。

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。本文利用中科院大气所 AREM 模式的 700 hPa 和 850 hPa 的模拟计算资料对这次过程进行分析。

以 2003 年 7 月 7 日 08:00 作为初始时刻,模拟 18.24 h 700 hPa 和 850 hPa 的风场。如图 4 所示,2003 年 7 月 7 日 20:00 到 8 日 08:00,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。在低涡的南部存在湿位温 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 3 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。

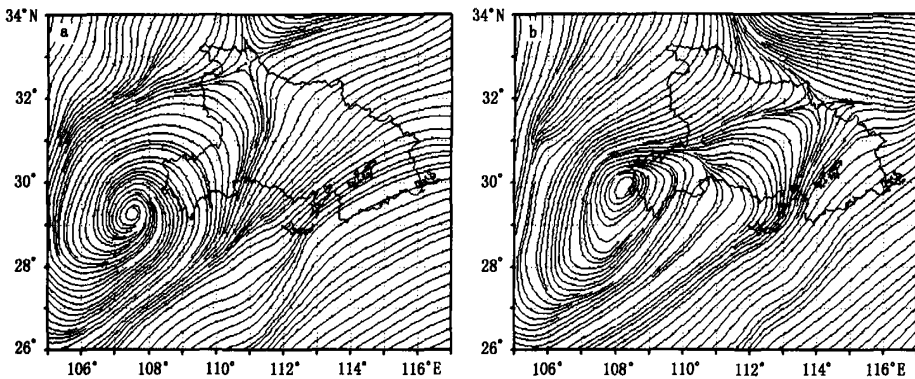


图 4 2003 年 7 月 8 日 700 hPa 风场:(a) 02:00,(b) 08:00

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。

(2) 湖北省泥石流灾害发生在特殊的地理位置,受复杂的地貌、气候和土壤等因素影响,秭归、宜昌、宜都等鄂西山地到江汉平原的过渡带是泥石流灾害的多发地。

(3) 暴雨尤其是泥石流发生地周围的历时短、局地性强的暴雨是泥石流灾害直接的诱发原因。暴雨一般由几个雨团组成,雨团的尺度一般在 30 ~ 100 km,生命史为 2 ~ 5 h,雨团尺度越大,生命史越长。雨团移动的方向与其上层的引导气流一致,一般是向东北或偏东方向运动。

(4) 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,如鄂西南山地东侧的长阳、宜城、湘西北的石门、慈利等。

(5) 多普勒雷达是监测中尺度系统的强有力工具,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,将会造成强降水。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。

(6) 中尺度涡旋形成于低空急流左侧强正涡度中心附近。在低流的南部存在 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 王礼先,于志民. 山洪及泥石流灾害预报. 北京:中国林业出版社,2001
- 2 赵明明,熊安元. 长江中上游地区暴雨气候图集. 北京:气象出版社,1995
- 3 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
- 4 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
- 5 周军. 湖北省地形风日变化的特征及其数值模拟. 南京气象学院学报,1990,13(4):24-29

Mesoscale Analysis of a Heavy Rainfall Causing Mud-Rock Flow

Xu Shuangzhu¹ Jin Qi¹ Xiao Yanjiao¹ Li Jun²

(1 Wuhan Central Weather Office, Wuhan 430074; 2 Institute of Heavy Rain, CMA, Wuhan 430074)

Abstract: By analyzing a heavy rainfall that brought out a mud-rock flow in the central Hubei Province from 8 to 9 July 2003, it was found: (1) the meso- and small-scale system resulted in directly the heavy rainfall; (2) the occurring locations of the mud-rock flow are situated in a geographically special zone in Hubei Province, such as Zigui, Yichang, Yidu, etc, the transitional zone of plain and mountainous areas where mud-rock flow disasters occurs frequently; (3) the local short-range heavy rainfall was the direct cause of the mud-rock flow; (4) the source area of the meso-scale system was related to the topography, and meso-scale systems form frequently on the downwind hillside under southwest winds; (5) Doppler radar is a useful tool for monitoring the meso-scale system, and a mid- α scale cloud cluster may include one or even more mixed echo masses or belts; (6) the mesoscale vortex formed near the strong vorticity center on the left side of the lower-troposphere jet.

Key words: mud-rock flow, heavy rain, mesoscale analysis