

文章编号: 2096-1618(2023)04-0450-09

# “8·12”随州极端暴雨的中尺度特征分析

钱 宪<sup>1</sup>, 谌 芸<sup>1,2,3</sup>, 肖天贵<sup>1</sup>

(1. 成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225; 2. 国家气象中心, 北京 100081; 3. 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海), 广东 珠海 519082)

**摘要:**为进一步研究湖北暖季短时强降水特征,利用自动站逐小时降水资料、地面与高空常规观测资料、探空资料、FY-4A 卫星资料逐小时数据及新一代多普勒天气雷达探测资料和 ECWMF 0.25°×0.25°再分析等资料,主要采用中尺度分析的方法对 2021 年随州“8·12”极端暴雨过程的中尺度特征进行研究,结果表明:(1)此次极端暴雨过程以持续短时强降水为特征,具有短时强降水的贡献率大、对流性强、强降雨总量大,时段集中、极端性强等特点;(2)此过程在江淮梅雨环流背景下产生,伴随副热带和温带天气系统的同步调整,低空中尺度偏东风急流建立,暖式切变线加强,梅雨锋得到增强,在高温高湿及不稳定条件下形成;(3)冷暖空气交汇于低层切变线附近,形成东西向强辐合抬升区,影响随州地区的中 $\beta$ 尺度低涡系统沿切变线东移。其中,随州附近持续驻留的中 $\gamma$ 尺度对流系统列车效应明显,为强降雨的发展和维持提供条件。(4)在鄂西北复杂地形的影响下,中尺度对流系统被触发并缓慢移动,遇到山体被迫抬升,并形成一定高度的多个涡旋触发对流,复杂地形对维持加强短时强降水的影响和具体机制则需要进一步研究。

**关键词:**大气科学;中尺度气象学;极端暴雨;短时强降水;列车效应

**中图分类号:**P459

**文献标志码:**A

**doi:**10.16836/j.cnki.jcuit.2023.04.012

## 0 引言

短时强降水(flash heavy rain)是指小时雨量 $\geq 20$  mm或3 h雨量 $\geq 50$  mm的降水事件<sup>[1]</sup>。作为一种强对流天气,短时强降水多发生在有利的大尺度环流背景下,由中小尺度天气系统直接造成,具有持续时间短、雨强大、来势迅猛、局地性强等特点<sup>[2]</sup>,极易引发山洪、泥石流、山体滑坡、城乡内涝等严重的次生灾害,给当地生产发展带来极大的经济损失。

目前对短时强降水的成因展开了许多研究<sup>[3-5]</sup>,研究的角度和重点也各有不同,取得了大量成果。对短时强降水的各物理量特征和主要影响天气系统进行普查分析,可以归纳出不同的天气模型和各类天气系统影响下短时强降水特征<sup>[6-9]</sup>;根据天气形势系统配置,结合卫星云图云型的演变特征,可以总结提炼出与短时强降水过程相关的特征云型分类<sup>[10-12]</sup>;地形对降水的作用也比较显著,主要通过触发地形重力波的生成,从动力和热力方面促进天气系统的发展,从而影响到强降水的强度、移动和落区<sup>[13-14]</sup>;基于中尺度数值模式和卫星雷达资料,探讨中小尺度系统在降雨增强与维持中的作用,研究短时强降雨触发的机制<sup>[15-16]</sup>;

从雷达回波、卫星云图方面进行分析和探讨短时强降水预报预警思路也为此类科学研究提供了基础和参考<sup>[17-19]</sup>。

2021年8月11日夜至8月12日下午,襄阳、随州出现暴雨到大暴雨,局部特大暴雨,引发严重洪涝灾害和重大人员伤亡。此次过程是由短时强降水导致的极端暴雨过程,其中尺度特征及形成机制等都是值得分析的问题。本文利用自动站逐小时降水资料、地面与高空常规观测资料、探空资料、FY-4A 卫星云顶相当黑体亮温(TBB)逐小时数据以及新一代多普勒天气雷达探测资料和 ECWMF 0.25°×0.25°再分析等资料对此次过程进行分析,以期提高此类暴雨过程的科学认识,为此类暴雨预报提供参考。

## 1 降水特征分析

2021年8月11日夜至12日下午(北京时,下同),湖北襄阳、随州等地出现大到暴雨,局地特大暴雨。降水主要位于湖北省北部的南漳北部、宜城、随县南部、孝感局部等地,雨量大值区分布在襄阳、随州、孝感至武汉一带,100 mm以上的地区呈西北-东南带状分布。有7站超过300 mm、3站超过400 mm,其中随县柳林站达到518.5 mm、宜城莺河达到494.7 mm(图1a)。

由最大降水中心柳林站与莺河站逐小时雨量图

收稿日期:2022-04-06

基金项目:国家自然科学基金重大集成资助项目(91937301);国家自然科学基金面上资助项目(41975001)

通信作者:谌芸. Email:chenyun@cma.gov.cn

(图1)可见:柳林站12日03–09时连续7 h雨强超过20 mm(1区),短时强降水过程对全过程总雨量的贡献达93.98%(保留两位小数,下同),04–08时连续5 h雨强超过50 mm,已达到极端短时强降水标准(1 h雨量 $\geq 50$  mm或3 h雨量 $\geq 100$  mm的降水),其中05时和06时连续2 h雨强分别达105.4 mm和103.7 mm(2区),仅2 h的降水量对总降水量贡献即达到40.33%。次降水中心襄阳莺河站,11日23时–12日07时(3区),共计连续9 h雨强超过20 mm,短时强降水过程对全过程总雨量的贡献达92.78%。整个过程中小时最大雨强117.9 mm/h,出现在宜城朝阳寺12日06时,其次是12日05时随州柳林站为105.4 mm/h。此次极端暴雨过程以持续短时强降水为特征,具有短时强降水的贡献率大、对流性强、强降雨总量大,时段集中、极端性强等特点。

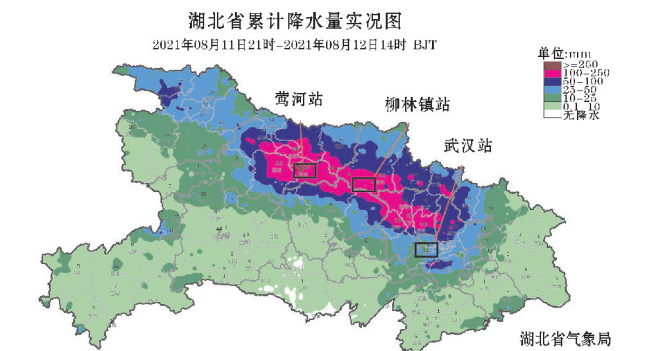


图1 2021年8月11日20时–12日14时湖北地区累计雨量分布

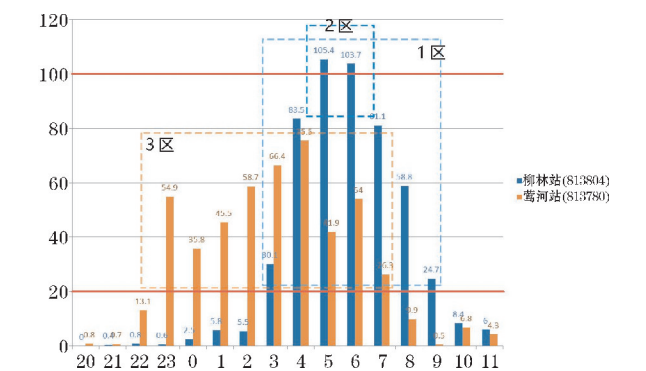


图2 2021年8月11日20时–12日11时柳林站与莺河站逐小时雨量序列(3个框区分别为1区:柳林站12日03时–09时雨量,2区:柳林站12日05时–06时雨量,3区:莺河站11日23时–12日07时雨量)

## 2 大尺度环流背景与环境场条件

### 2.1 环流背景

从图3可以看出,8月10日,500 hPa西太副高西界位于中国东南海域,中高纬度为两槽一脊形势,东北地区为弱的低压切变区,11–12日,500 hPa副高逐渐

西伸北抬,588线北界至江汉和江淮一带稳定少动,西脊点至四川盆地一带,降水过程一直处于588线附近暖湿气流中。与此同时,伴随中纬度西风带槽脊系统的演变,8月11日中国东北地区出现一次东北冷涡发展加强的过程,冷涡后部的冷空气南下经渤海黄海后,以低空东风急流的形式沿着淮河流域到达湖北北部,低空急流主要在900~950 hPa,风速10~12 m/s,经过洋面和淮河流域后比湿显著增加,达到18 g/kg左右。显著的低空水汽输送,增加了江汉江淮等地的条件不稳定层结。而副高和东北冷涡的同步加强,导致梅雨锋加强。此外,200 hPa南亚高压在8月6–15日中心一直稳定地位于西藏南部一带,脊线稳定维持在中国江南地区,脊线北侧西北气流与偏西气流在湖北北部形成明显的辐散区。低层低涡、切变线为暴雨发生提供了良好的动力抬升条件,再加上高层分流辐散抽吸作用,垂直上升运动持续发展。

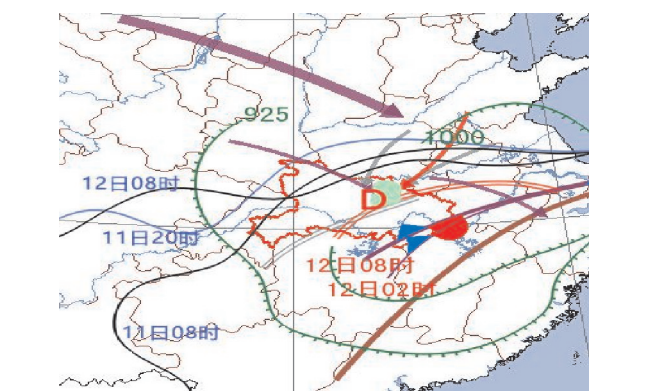


图3 2021年8月11日–12日环流形势综合分析图(红棕色实线为南亚高压脊线,双实线为切变线,箭头为急流,绿线是湿区;如未特殊说明,紫:200 hPa,蓝:500 hPa,灰:925 hPa)

### 2.2 低涡演变分析

此次特大暴雨与低层低涡的发生发展密切相关。襄阳地区强降水于11日21时以后发生,主要位于低层偏东急流南侧附近,此时中低层环流中尚无明显的气旋环流。12日02时前后随州附近的气旋性切变进一步增强(图4b),之后正涡度区缓慢东移发展,在鄂西北发展形成低涡,短时强降水位于低涡中心。随着偏东急流和西南气流的同时加强,低涡在原地稳定少动,强度加强,短时强降水位于低涡中心及右侧,降水出现最强时段。14时后降水明显减弱,但低涡维持(图4c)。在此次降水过程中,低涡东移发展至随州后,在有利的环境和地形条件下进一步增强了宜城和随州一带的降水效率,最后东移至孝感后,由于低空偏东风急流的湿度减弱,虽然低涡依然维持,但降水明显减弱。另外,在随州降水的最强时段,强降水并非位于

低涡中心或涡度最大区域,而是较低涡中心偏南约0.5个纬度,强降水区的涡度并不强。低涡在此次随州强

降水过程中的作用及其与强降水位置关系等还需要做进一步的分析。

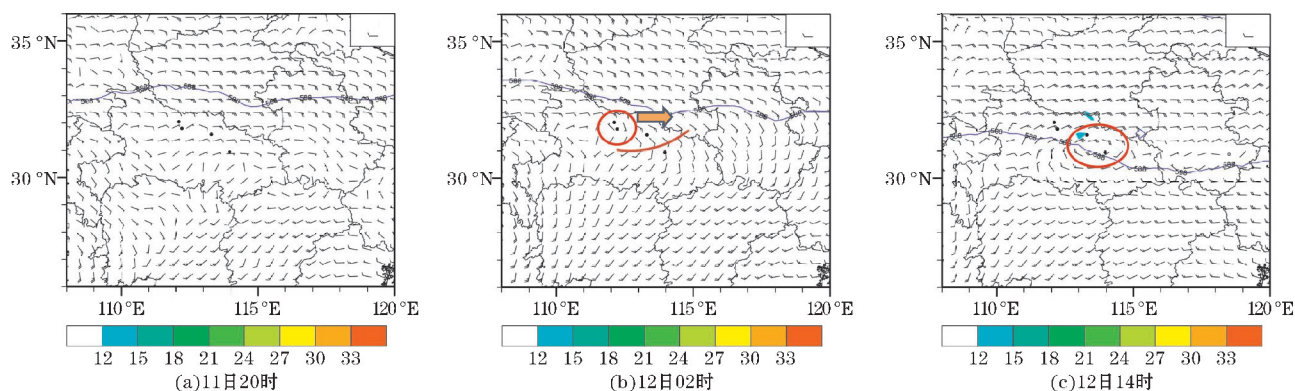
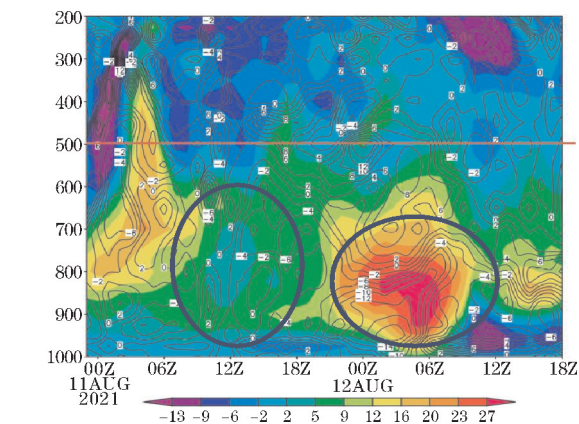
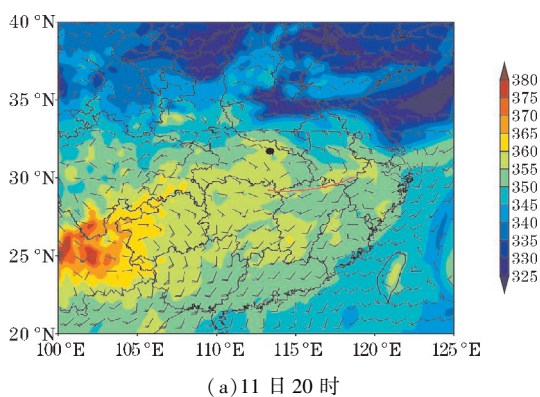


图4 500 hPa 高度场和 850 hPa 风场(箭头)、涡度场(填色)(打点位置自西向东为:襄阳、宜城、随州和孝感)

最大涡度中心在水平方向呈现往东南方向移动的特征,沿柳林站地区的纬度做垂直剖面随时间变化显示(图5),8月11日20时,正涡度区主要位于中低层500 hPa以下。12日02时,正涡度区进一步发展,涡度明显增强,与正涡度区伴随的辐合和上升运动,使降水进一步增强和组织化。至12日14时前后,低涡进一步东移,涡度和风场上的气旋式环流进一步增强,此时降水趋于减弱。低涡生成后,本身具有较长的生命史和移动特征,但能否激发和增强降水,与当时的风场和层结条件有关。

时已经发展出了气旋性环流,形成低层辐合。



(a) 11 日 20 时

(b) 12 日 08 时

图5 2021年8月11日08时-13日02时,柳林站纬度(31.72°N)

散度(等值线)、涡度(填色)的时间高度剖面

图6 850 hPa 风场(箭头)和假相当位温(填色)

## 2.3 水汽、热力条件分析

由850 hPa风场和假相当位温(图6)可见,强降水发生前,湖北大部分地区850 hPa的假相当位温大于355 K,处于高温高湿区,12日08时低涡后部的干冷空气渗透,南北假相当位温差达到20℃以上,形成较强的水汽梯度梅雨锋加强,更有利于降水的发生发展。从风场来看,两个时刻的风场有着较大的转变,11日20时位于切变线附近,尚无明显的气旋环流,12日10

由850 hPa的水汽通量和水汽通量散度图(图7)可见:过程发生前,随州地区的水汽通量散度在 $0 \sim -50 \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{hPa})$ ,水汽通量方向偏东或东南为主(图7a);12日00时,随州地区水汽通量散度逐渐增强,形成强的水汽辐合(图7b);08时,水汽辐合中心正位于随州地区,发展达到最强,水汽通量散度也达到了 $-100 \sim -150 \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{hPa})$ ,且水汽通量形成闭合环流,低涡系统附近有强的水汽交换,有利于强降水的形成(图7c)。20时水汽通量散度减弱,降水系统移出(图7d)。

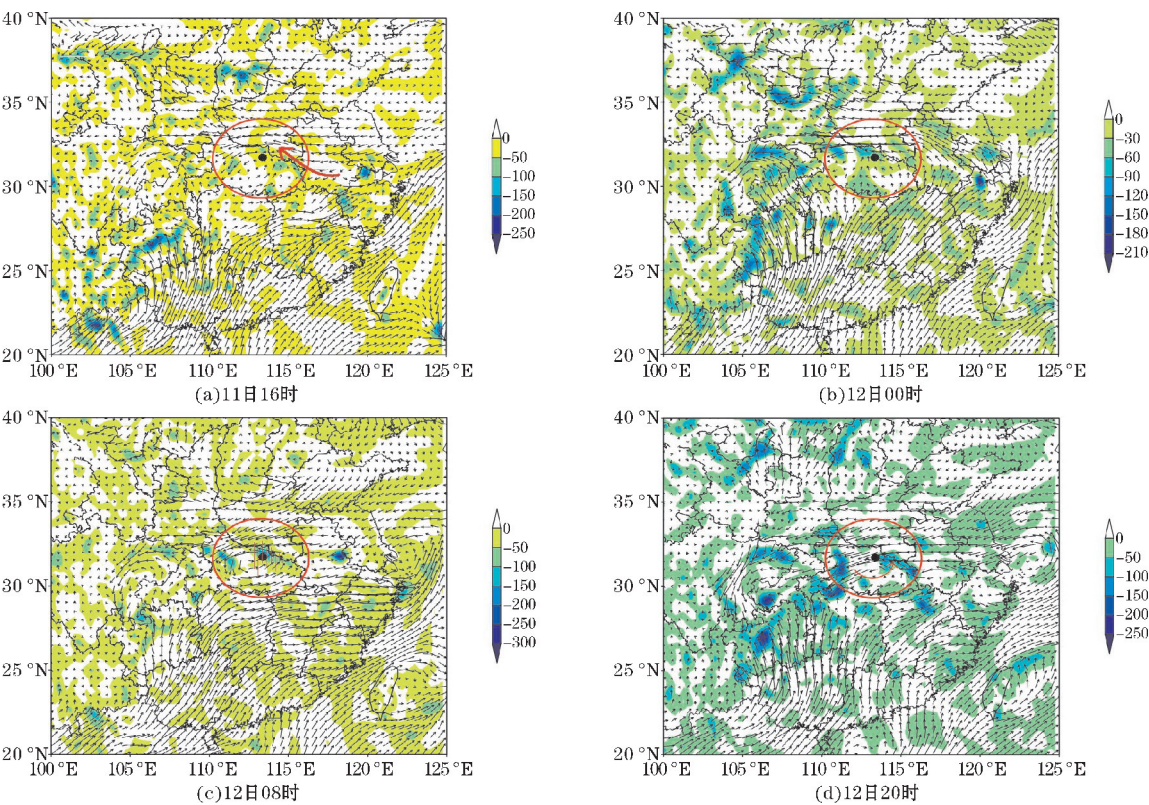


图 7 850 hPa 的水汽通量(箭头)和水汽通量散度(填色)

由距离强降水中心最近的武汉站(57494) TlogP 图(图 8)可见:11 日 20 时和 12 日 08 时都具有一定的不稳定能量,自由对流高度都不高。11 日 20 时,K 指数为 39℃,SI 指数为-0.65℃,为弱的不稳定,中低层相对湿度均大于 80%,湿层深厚;风随高度逆转,低层是偏东气流,700 hPa 出现西北风急流,中低层有较强

的垂直风切变,有利于对流的组织和发展。自由对流高度为 850 hPa,根据以往资料,环境大气为条件性静力不稳定,在暖湿气流中容易发生“列车效应”<sup>[21]</sup>。12 日 08 时,空气湿度增大,K 指数上升,垂直风切变显著减弱,仅在 925~1000 hPa 有偏东风量。

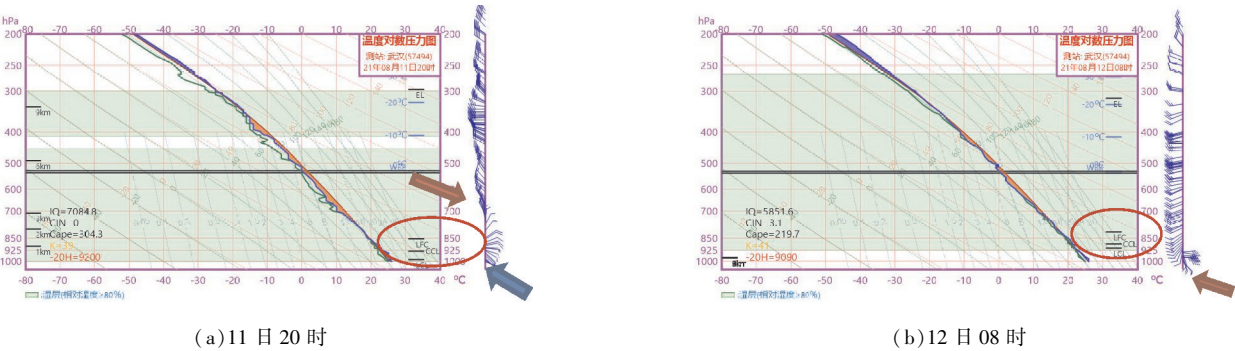


图 8 2021 年 8 月 11-12 日、武汉站(57178)的 TlogP 图

3 中尺度特征分析

此次极端暴雨过程以持续短时强降水为主,短时强降水的贡献率大、对流性强。下面利用卫星和雷达资料对此次过程的中尺度特征进行分析。

3.1 中尺度云团和雨团的发展演变

分析 FY-4A 红外云图 TBB 演变(图 9)可见:12

日凌晨,随州和宜城两地均有局地对流云团发展,在十堰附近有一较小尺度的对流云团(云团 A)发展起来,并逐渐东移向随州靠拢。12 日 01 时,在随州上空已有的两个局地对流云团合并发展成近椭圆形,长轴约 150 km 的中尺度对流云团 B,亮温低值区位于云团后部即宜城一带,中心亮温值 206 k。之后云团强度维持并缓慢东移。同时,尺度较小的云团 A 在云团 B 后部发展东移,05 时(图 9f)两云团在柳林一带合并发展为云团 C,组织性得到加强,06 时(图 9g),中尺度对流云

团面积扩大,结构更为紧密,亮温低值区位于柳林镇上空,中心亮温值低于200 k。此后云团范围扩大但移速

仍较慢,08时30分(图9h)云团C东移出柳林,向东逐渐扩散消亡。

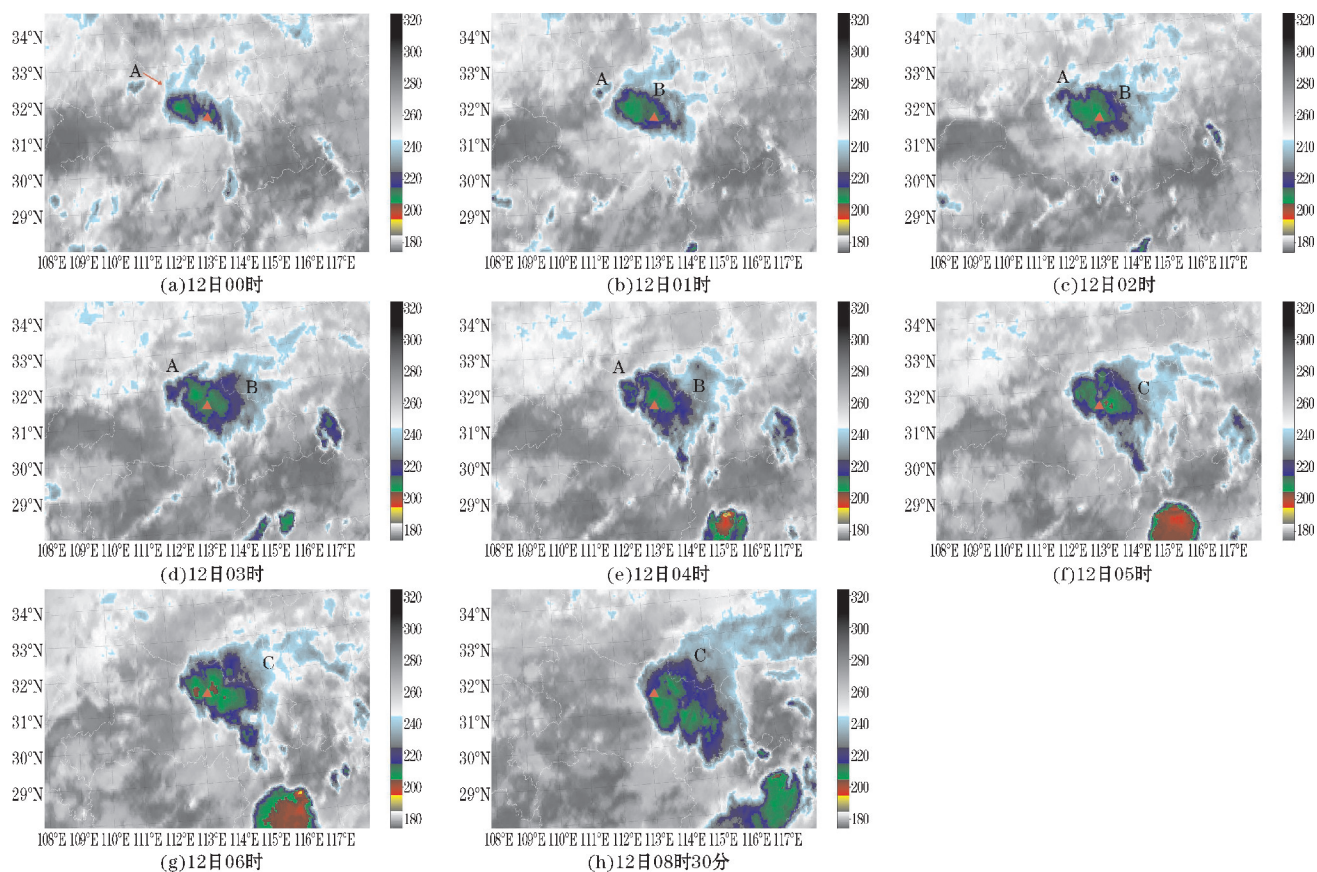


图9 2021年8月12日00时-08时30分FY-4A红外云图TBB演变(打点位置是柳林站)

由逐小时雨量分布图(图10)可以看到:降水过程最早在11日夜间形成于襄樊、宜城等地,且有多个站点的小时雨量在20 mm以上,突发性极强。直到12日04时,雨团前部在襄阳、宜城和南漳区域增强发展,多站雨量达到50 mm以上,雨团后部在鄂西北包括襄阳、十堰等地均有所发展增强,对应了此时云团A正在发展的趋势,并逐渐向西北扩散;与此同时,降水中心还有不断东移南移的趋势,这与卫星云团TBB的低值中心( $<210$  K)和移动方向有显著对应,降水落区的范围也在扩大,到05时和06时,随州柳林镇附近也发展出现了一个降水最大值区域,此时前部雨团的雨量达到峰值,柳林站、宜城朝阳寺等站出现了小时雨量在100 mm以上的降水,云团也发展到最旺盛,短时强降水的落区恰好对应了云团TBB低值中心( $<200$  K)和梯度大值区。此后,雨团前部不断向东南方向移出,08时位于云梦、孝感一带,降水落区增大,分布呈西北-东南走向的线型,雨强也逐渐减弱,雨团后部不再发展,此时云团发展也进入消亡阶段,结构松散范围增大;到了11时,雨团已转移到孝感、武汉地区,雨量减

小,整体雨团都逐渐减弱消散。

### 3.2 雷达回波演变特征

8月11日20时-12日01时(如图11),襄阳南部至宜城有涡旋带状对流A发展,回波强度45~50 dBZ,同时随州南部位于柳林镇上游地区有局地块状对流发展。涡旋带状对流和块状对流缓慢东移,最大小时雨强为86 mm,出现在宜城西部。12日01-05时,涡旋带状对流A维持于宜城北部,柳林南部与京山交界地区有一个中 $\gamma$ 尺度(5 km左右)对流B新生,向北移动增强,而原随州南部对流向南传播触发出中 $\gamma$ 尺度(20 km左右)对流C,02时明显发展东移。04时,对流A、B在柳林镇附近合并成块状对流D,强回波发展壮大,尺度约25 km,原地维持至05时,导致04、05时柳林镇小时雨量分别达83.5 mm和105.4 mm。12日05-08时,涡旋带状对流A东移过程中,前沿有对流触发,与柳林镇对流D合并成带状对流E,对流带呈近东西走向,长度约70 km,对流带上有多雷暴单体传播,在传播路径前端的雷暴单体不断发展增强,后方的

雷暴也没有消失,而是不断有弱对流北移并入汇合新生发展,中  $\gamma$  尺度对流系统驻足在宜城—柳林一带;与此同时雨带的位置相对变化不甚明显,雨量达到峰值,

06–08 时柳林镇小时雨量达 103.7 mm、81.8 mm、58.8 mm,这一时间段的列车效应明显。08 时,带状对流 E 东移南压,柳林镇降雨减弱趋于结束。

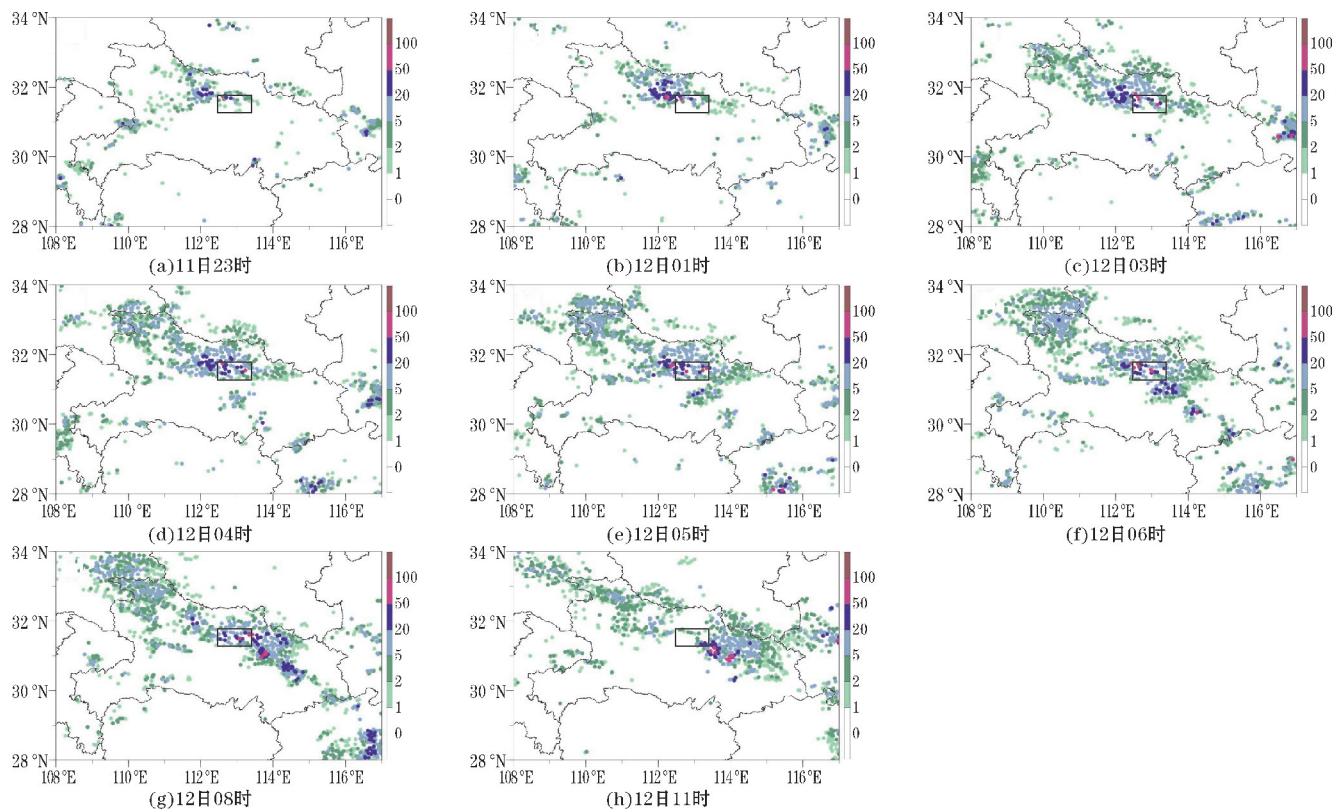


图 10  2021 年 8 月 11 日 23 时–12 日 11 时自动站逐小时雨量分布框选区域是柳林站和莺河站

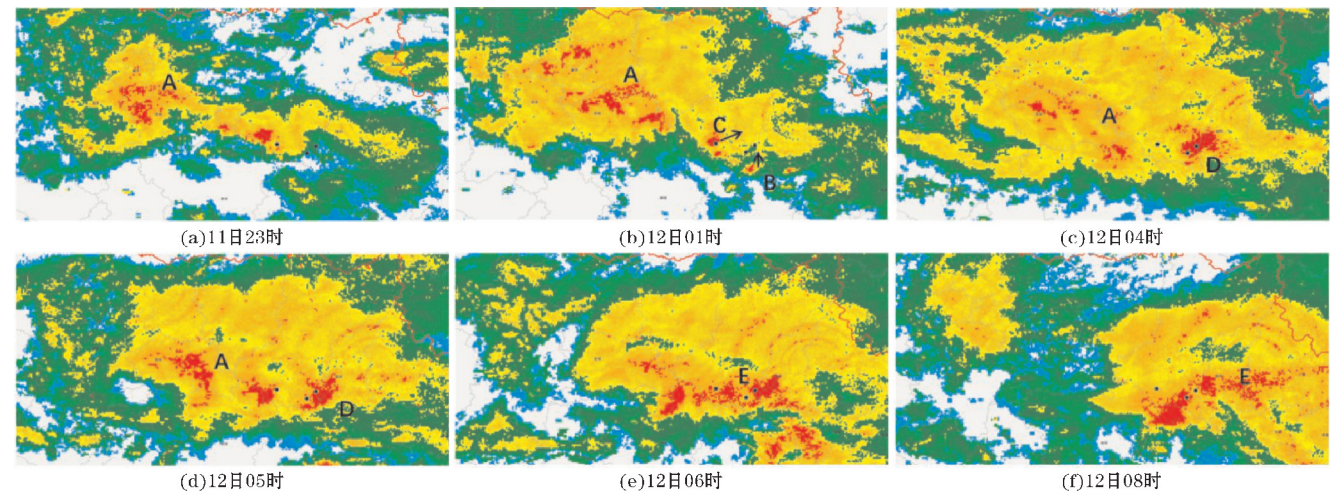


图 11  SWAN 雷达组合反射率因子演变(黑点自西向东向右表示长岗、古庙村、柳林自动站位置,箭头表示回波移动方向)

以 12 日 05 时 36 分随州单站雷达观测资料为例(图 12),对诱发短时强降水的中尺度对流系统的结构特征进行分析。造成随州强降雨的中  $\gamma$  对流系统水平尺度约为 25 km(黑色圆圈内)。不同仰角的雷达径向速度观测显示,边界层为东北气流(黑色箭头),中层 5~6 km 高度上存在风速约 16~18 m/s 的中  $\gamma$  尺度西

南急流脉动(红色箭头),极端短时强降水区位于西南入流的急流脉动左侧。由图 13 中径向速度剖面可见:西南方向的急流脉动入流是倾斜抬升的(红色箭头),其在 15 km 的水平输送距离中,急流脉动中心由 3 km 抬升至 8 km 左右。强劲的暖湿入流急流配合剧烈的抬升运动是造成随州附近高效率对流性降雨的重要原因。

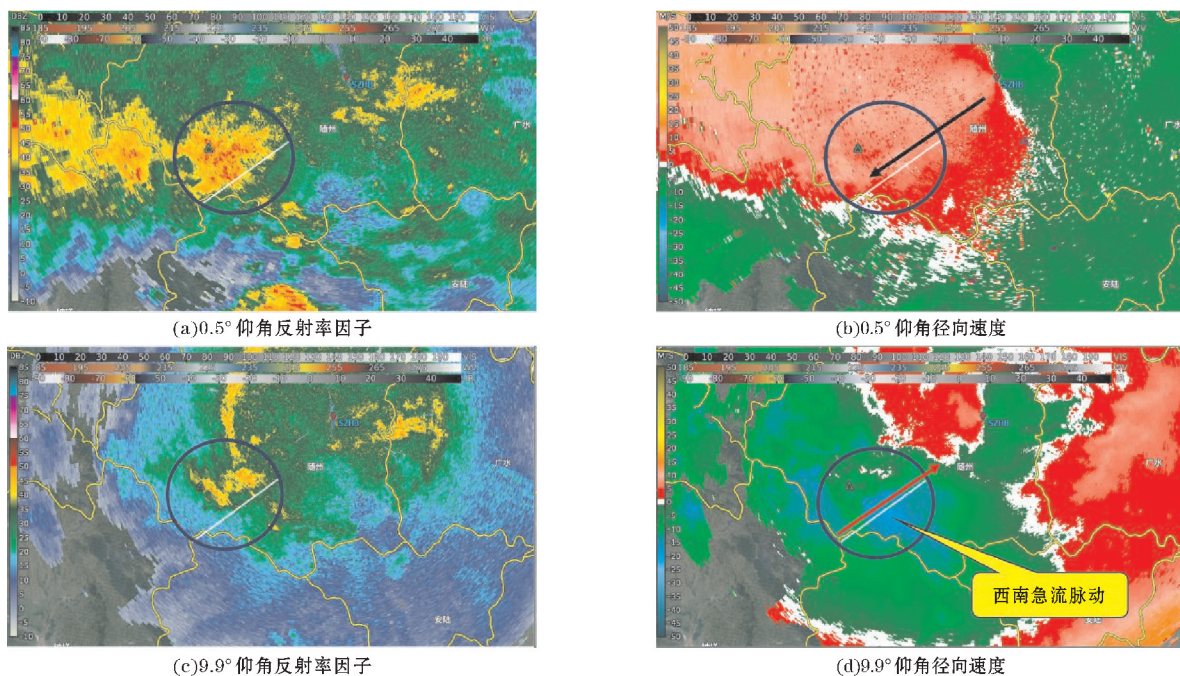


图12 8月12日05时36分随州雷达观测图

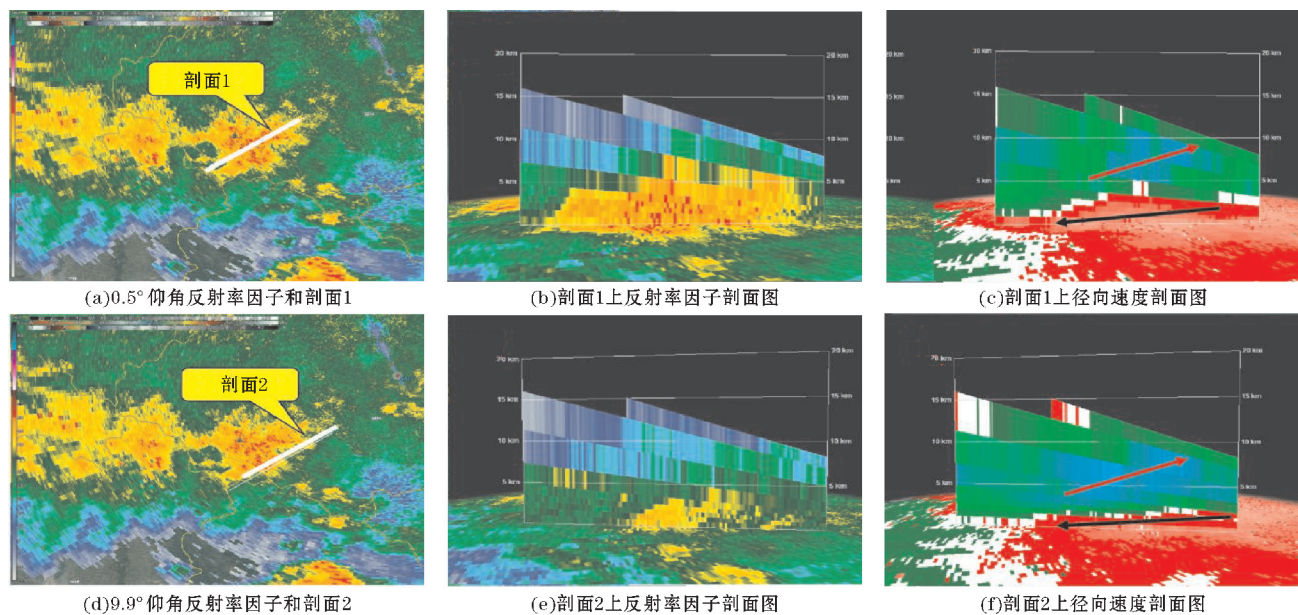


图13 柳林镇降水系统不同位置剖面

#### 4 地形在随州地区强降水天气过程中的作用

随州极端降水过程是梅雨锋加强形成有利于强降水的层结和湿度条件下,在特殊地形条件下中尺度对流系统被触发并缓慢移动形成的。地形在此次极端暴雨过程中的作用值得考虑,随州地区西高东低(见图14),选取降水开始前(11日12时)和强降水产生时(12日08时)两个时间段,在降水开始前,随州地区的高空主要是偏西风,低层为偏东风。低层偏东气流

遇山体阻挡后,被迫抬升,并形成一定高度的多个涡旋(有可能为地形重力波,还需要做进一步分析)。该地区垂直速度最大可达0.4 m/s左右,强降水产生时(12日08时)垂直速度最大可达0.5 m/s以上,上升运动加强。另外在该区域山前出现了上升、下沉、上升、下沉运动。低层偏东风遇山体在山前产生的抬升和地形重力波的相互作用有可能触发对流,对流触发后产生的冷池、潜热反馈对风场和急流的改变等过程又进一步与地形相互作用,从而对强降水的维持和加强起到一定的作用,也需要做进一步的分析。

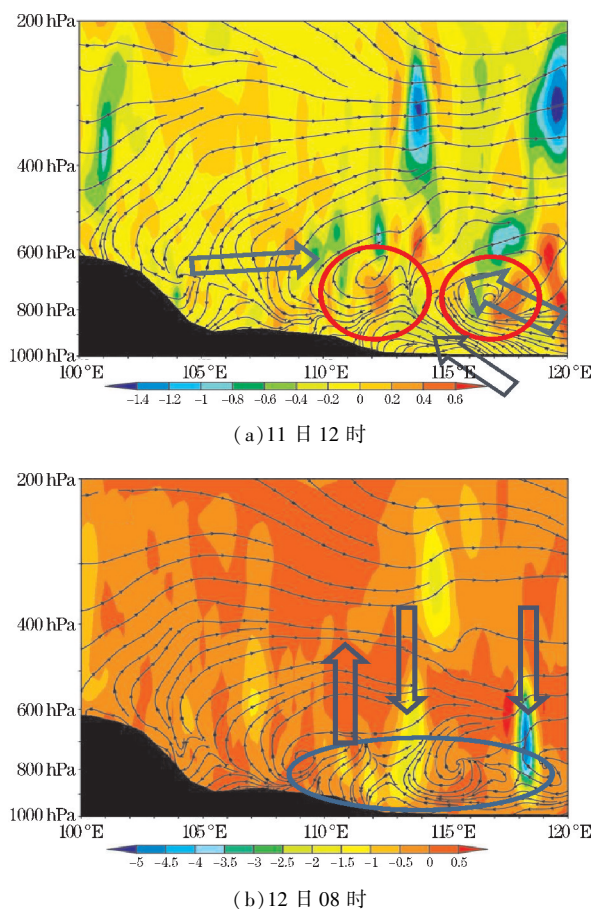


图14 过柳林站纬度(31.72°N)的垂直速度(彩色阴影)、  
流场(线条)和地形(黑色阴影)的纬向垂直剖面

## 5 结论

本文通过对自动站逐小时降水资料、地面与高空常规观测资料、探空资料、卫星雷达资料和再分析等资料,对随州“8·12”极端暴雨过程进行分析,得到以下主要结论:

(1)此次极端暴雨过程以持续短时强降水为特征,具有短时强降水的贡献率大、对流性强、强降雨总量大,时段集中、极端性强等特点。

(2)此次极端暴雨过程在江淮梅雨环流背景下,伴随副热带和温带天气系统的同步调整,低空中尺度偏东风急流建立,暖式切变线加强,梅雨锋得到增强,高湿和不稳定层结进一步促进了降水的发生发展。

(3)冷暖空气交汇于低层切边线附近,形成东西向强辐合抬升区域,影响随州地区的中 $\beta$ 尺度低涡系统沿切变线东移,其中,随州附近持续驻留的中 $\gamma$ 尺度对流系统列车效应明显,为强降雨的发展和维持提供了有利条件。

(4)在鄂西北复杂地形的影响下,中尺度系统被触发并缓慢移动,遇到山体被迫抬升,并形成一定高度

的多个涡旋,低层偏东风遇山体在山前产生的抬升和地形重力波的相互作用有可能触发对流,此外,鄂西北复杂地形对维持加强短时强降水的影响和具体机制还需要进一步研究。

## 参考文献:

- [1] 俞小鼎. 短时强降水临近预报的思路与方法[J]. 暴雨灾害, 2013, 32(3): 202-209.
- [2] 庄晓翠, 张云惠, 周雪英, 等. 新疆短时强降水天气雷达回波特征[J]. 气象, 2021, 47(11): 1402-1415.
- [3] 王晓丽, 赵桂香, 杨璐, 等. 一次引发局地暴雨的中尺度对流系统降水及风场结构特征[J]. 气象与环境科学, 2021, 44(5): 40-48.
- [4] 张桂莲, 杭月荷, 付丽娟, 等. “列车效应”诱发的一次河套地区致灾暴雨成因[J]. 高原气象, 2020, 39(4): 788-795.
- [5] 陈豫英, 苏洋, 杨银, 等. 贺兰山东麓极端暴雨的中尺度特征[J]. 高原气象, 2021, 40(1): 47-60.
- [6] 吴翠红, 王晓玲, 龙利民, 等. 近10 a湖北省强降水时空分布特征与主要天气概念模型[J]. 暴雨灾害, 2013, 32(2): 113-119.
- [7] 苏军锋, 张锋, 黄玉霞, 等. 甘肃陇南市短时强降水时空分布特征及中尺度分析[J]. 干旱气象, 2021, 39(6): 966-973.
- [8] 付超, 谌芸, 单九生, 等. 江西省暖季重大短时强降水敏感性参数分析及概念模型[J]. 气象科学, 2021, 41(1): 39-49.
- [9] 刘新伟, 段海霞, 杨晓军, 等. 甘肃东部两次短时强降水天气过程对比分析[J]. 干旱气象, 2017, 35(5): 868-873.
- [10] 狄潇泓, 王小勇, 肖玮, 等. 高原边坡复杂地形下短时强降水的云型特征分类[J]. 气象, 2018, 44(11): 1445-1453.
- [11] 苏爱芳, 孙景兰, 谷秀杰, 等. 河南省对流性暴雨云系特征与概念模型[J]. 应用气象学报, 2013, 24(2): 219-229.
- [12] 韦惠红, 赵玉春, 龙利民, 等. 湖北省卫星云图短时暴雨概念模型研究[J]. 暴雨灾害, 2010, 29(1): 14-19.
- [13] 王文, 刘佳, 蔡晓军. 重力波对青藏高原东侧一次暴雨过程的影响[J]. 大气科学学报, 2011, 34(6): 737-747.
- [14] 易军, 寿绍文, 张庆奎. 一次梅雨锋暴雨过程中的重力波特征[J]. 干旱气象, 2015, 33(6): 918-925.

- [15] 刘裕禄,邱学兴,黄勇. 发生短时强降雨的对流云合并作用分析[J]. 暴雨灾害,2015,34(1): 47-53.
- [16] 翟菁,胡雯,冯妍,等. 不同发展阶段对流云合并过程的数值模拟[J]. 大气科学,2012,36(4):697-712.
- [17] 湛芸,孙军,徐珺,等. 北京721特大暴雨极端性分析及思考(一)观测分析及思考[J]. 气象,2012,38(10):1255-1266.
- [18] 张端禹,崔春光,徐明,等. 2015年湖北省梅雨期一次暴雨过程对流云活动分析[J]. 气象与环境学报,2017,33(2):8-17.
- [19] 祁东平,周建志,王珊珊,等. 一次局地强降水过程的中尺度特征及预报难点分析[J]. 暴雨灾害,2008(1):42-48.
- [20] 陶局,唐燕玲,易笑园,等. 近10 a浙江省极端短时强降水时空特征分析[J]. 暴雨灾害,2021,40(6):599-607.
- [21] 孙继松,何娜,郭锐,等. 多单体雷暴的形变与列车效应传播机制[J]. 大气科学,2013,37(1):137-148.

## Mesoscale Characteristics Analysis of the Extreme Rainstorm in Suizhou on August 12, 2021

QIAN Xian<sup>1</sup>, CHEN Yun<sup>1,2,3</sup>, XIAO Tianguai<sup>1</sup>

(1 College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu, 610225, China; 2 National Meteorological Center, CMA, Beijing, 100081, China; 3 Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Zhuhai), Zhuhai, 519082, China)

**Abstract:** In order to further study the characteristics of the flash heavy rain in Hubei Province during warm season, using hourly precipitation data from automatic stations, ground and high-altitude observation data, radiosonde data, hourly data from FY-4A satellite data, new generation Doppler weather radar detection data and ECWMF  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  re-analysis data, the mesoscale analysis method was mainly used to study the mesoscale characteristics of the extreme rainstorm process in Suizhou on August 12, 2021. The results show that: (1) The extreme rainstorm process is characterized by continuous flash heavy rain with a great contribution rate of flash heavy rain, severe convection, large total amount of heavy rainfall, concentrated time period, and strong extreme; (2) The precipitation process occurs in the background of the Jianghuai Meiyu circulation, with the synchronous adjustment of the subtropical and temperate weather systems, the low-air-scale easterly jet is established, the warm shear line is strengthened, and the Meiyu front is also strengthened, is formed under high temperature, high humidity and unstable conditions; (3) The cold and warm air converges near the low-level shear line, forming an east-west strong convergence and uplift area, which affects the meso- $\beta$ -scale vortex system in Suizhou area to move eastward along the shear line. The train effect of the meso- $\gamma$ -scale convective system that persists near Suizhou is obvious, which provides conditions for the development and maintenance of heavy rainfall; (4) Under the influence of the complex terrain in northwestern Hubei, the mesoscale system is triggered and moved slowly, the mountain is forced to rise, and multiple vortices with a certain height are formed to trigger convection. The impact of the complex terrain on maintaining and strengthening flash heavy rain and specific mechanism need further research.

**Keywords:** atmospheric science; mesoscale meteorology; extreme rainstorm; flash heavy rain; train effect