

文章编号: 2096-1618(2018)03-0335-08

# 云南一次短时强降水过程的中尺度特征及成因分析

朱莉<sup>1</sup>, 张腾飞<sup>2</sup>, 李华宏<sup>1</sup>, 尹丽云<sup>2</sup>

(1. 云南省气象台, 云南 昆明 650034; 2. 云南省气象局人影中心, 云南 昆明 650034)

**摘要:**为揭示云南短时强降水的成因,提高短时强降水的预报准确率,应用常规观测资料、卫星、多普勒雷达和闪电定位资料对2013年6月9-10日发生在云南一次较大范围的短时强降水过程的中尺度特征及成因进行分析,研究表明:冷锋切变线提供动力抬升条件触发不稳定能量释放,诱发短时强降水;高空槽后冷平流的补充南下激发云南金沙江河谷地区中尺度对流系统(MCS)不断生成并南移,使得MCS维持较长时间,为滇中及滇南短时强降水的发生提供有利条件,短时强降水出现在MCS和中尺度对流单体(MCC)云团移向的前部边缘地区;雷达回波资料显示,飚线的维持和移动造成滇南的短时强降水,短时强降水发生在飚线前部的入流槽口处,云南中部的短时强降水与逆风区的形成和维持有直接关系;负地闪频数最大值出现的时间比短时强降水的发生有30 min~3 h左右的提前量,负地闪频数的跃增对短时强降水的预测预警有较好的指示作用。

**关键词:**气象学;天气预报;短时强降水;冷锋切变线;飚线;入流槽口;逆风区;地闪频数

**中图分类号:**P458.2

**文献标志码:**A

**doi:**10.16836/j.cnki.jcu.2018.03.017

短时强降水是致灾性大的一种强对流天气,是大气动力、热力过程与云中微物理过程相结合的产物<sup>[1]</sup>。在短时强降水预报方法的研究方面,郝莹等<sup>[2]</sup>使用统计分析方法建立大尺度天气背景概念模型,沈澄等<sup>[3]</sup>根据各物理量参数在各月短时强降水事件中的阈值,确定了江苏短时强降水预报的判定指标。随着新一代多普勒天气雷达的广泛应用,引发短时强降水的中尺度对流系统的特征得到更好的揭示,同时为短时强降水的预报和预警提供了有利的依据;李大为等<sup>[4]</sup>使用雷达资料研究了回波特征与短时强降水的关系,指出弓形回波的形成提示中尺度对流系统达到成熟阶段,弓形回波周围特别是前部入流缺口地区最容易出现短时强降水天气,中气旋维持1小时可以发布预警信号。

云南地处低纬高原地区,其特殊的地理位置和复杂的地形条件使得云南夏季一小时降水在20 mm以上的短时强降水多发,并且具有很强的局地性,雷达回波及地闪资料在云南强对流天气的预报预警方面发挥了重要作用;陈小华等<sup>[5]</sup>在不利的大尺度环境背景下通过雷达资料的分析识别出引发丽江局地大暴雨的 $\beta$ 中尺度对流系统,尹丽云等<sup>[6]</sup>研究一次雷暴过程中雷暴云的发展演变与正负地闪的关系,指出当 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 层

高度上雷达回波强度 $\geq 35\text{ dBZ}$ 时,才有地闪活动发生,并且有6~30 min的提前时间,回波顶越高,地闪频数越大,张腾飞等<sup>[7]</sup>应用卫星和闪电定位仪资料研究引发两次短时强降水的中尺度雷暴云团的地闪和云顶亮温之间的关系指出,频繁的负地闪出现在 $\text{TBB} \leq -56\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的中部云区及其前部,负地闪频数越高,中尺度雷暴系统发展越剧烈,负地闪频数达到峰值表明中尺度雷暴系统达到成熟阶段。

2013年6月9-10日,云南出现了一次较大范围的短时强降水天气过程,伴有雷暴大风强对流天气,据不完全统计,此次强对流天气过程给云南省玉溪、红河、楚雄等地区造成较大影响,农田淹水、城市内涝,带来直接经济损失978.25万元,农业受灾面积712.61公顷,给人民的生产生活带来很大影响。使用高空、地面常规观测资料、卫星、雷达和闪电定位资料对过程的成因进行分析,以期在一定程度上提高该类暴雨的预报预警准确率。

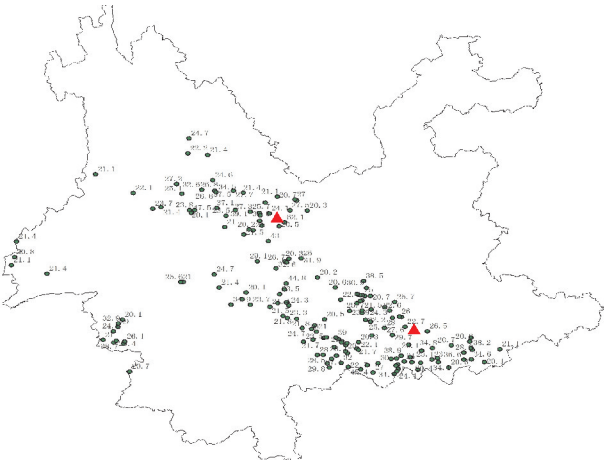
## 1 强对流天气概述

2013年6月9日17时起,云南自东向西开始出现短时强降水(1小时降雨量 $\geq 20\text{ mm}$ ),短时强降水最为集中的时段为6月9日20时-10日08时,云南省区域自动站短时强降水分布图(图1a),图中数值为最大小时雨量,北部红色三角代表大姚县所在位置,南部红色三角代表开远县所在位置。可见,6月9日20

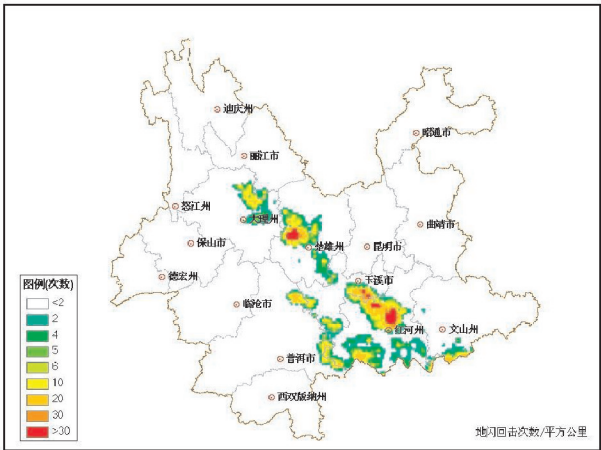
收稿日期:2017-11-17

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41265001、41565004、41765003);云南省科技厅科技惠民资助项目(2016RA096);中国气象局预报员专项资助项目(CMAYBY2015-070)

时-10日08时,云南中部及南部出现了密集的短时强降水天气。伴随短时强降水,雷电活动也较频繁,6月10日08:00过去12 h的地闪密度分布图(图1b)显示,在发生短时强降水的大理州、楚雄州、玉溪市和红河州都有每平方公里6次以上的地闪发生,其中楚雄西部及红河北部地闪密度在30次以上,地闪密度分布与短时强降水落区基本对应。



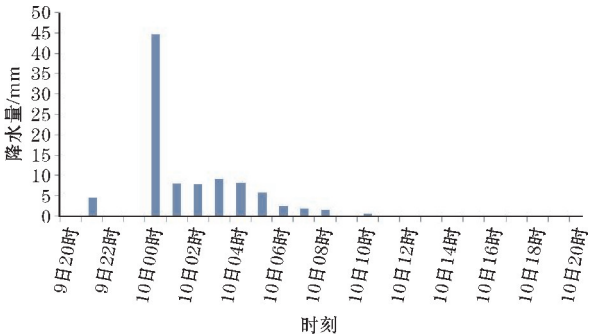
(a) 短时强降水分布图



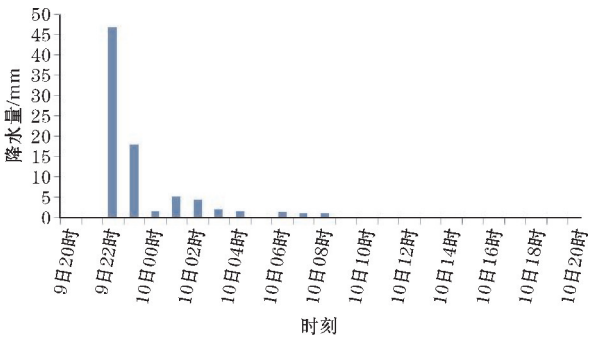
(b) 地闪密度分布图

图1 2013年6月9日20时-10日08时  
云南区域自动站强对流天气实况

短时强降水发生时间段,小时最大雨量大值区分别位于楚雄大姚县及红河开远县境内(图1a红色三角处),正好对应地闪频数的两个大值中心。从大姚和开远两个县级自动雨量站逐时降水柱状图可见,大姚站短时强降水发生在6月10日00时,雨强为44.7 mm/h(图2a),开远站短时强降降水发生在6月9日22时,雨强为46.6 mm/h(图2b)。从其余站点的自动雨量站逐时降水分布图(图略)的分析均可见本次短时强降水过程主要发生在6月9日20时以后,具有突发性强、历时短、强度大的特点。



(a) 大姚县级自动站



(b) 开远县级自动站

图2 2013年6月9日20时-10日20时逐时降水柱状图

2 天气背景以及不稳定潜势分析

2.1 影响系统分析

短时强降水是由中小尺度系统直接引发的,而中小尺度系统又是在有利的大尺度背景下发生发展的,因此分析大尺度天气背景是揭示中小尺度天气系统演变过程以及强对流天气发生原因的基础。

此次短时强降水过程的主要影响系统是冷锋切变线。使用高空及地面常规观测资料绘制500 hPa、700 hPa和地面系统配置图(图3),棕色实线为500 hPa高空槽,蓝色虚线为500 hPa温度槽,红色双实线为700 hPa切变线,蓝色带三角实线为地面冷锋。从图3可见,在短时强降水发生前(8日20时-9日20时),500 hPa高度上高空槽从四川中部移至重庆东部,期间中高纬地区有浅槽生成并南下,形成阶梯槽的形势,使得南部的高空槽得以维持并东移缓慢,云南中部以北地区受到高空槽的影响,除此之外,高空温度槽深厚,表明高空槽后有较强冷平流输送,9日20时-10日20时温度槽东南移,云南大部受到高层冷空气的影响,有利于层结不稳定条件的建立<sup>[8]</sup>;随着500 hPa高空槽的东移,槽后西北气流引导700 hPa川滇之间的低涡切变线于9日20时移动到云南中部,10日08时进一步南压至滇西及滇南一带;地面冷锋较700 hPa切变线早12 h左右进入云南境内,之后随着切变线的南压逐渐向西南方向移动,冷锋位置略超前于低涡切变线,短时强降水出现在切变线附近及切变线与冷锋锋面之间。

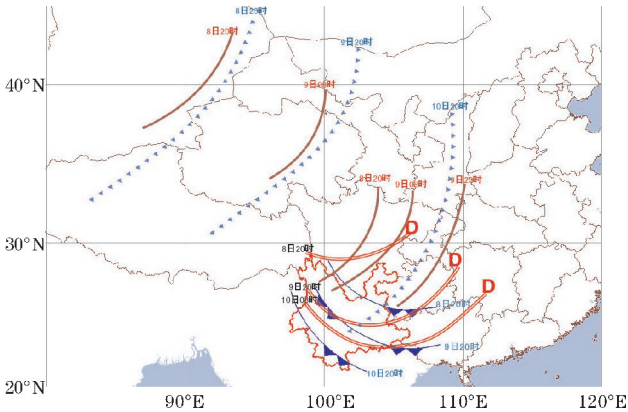
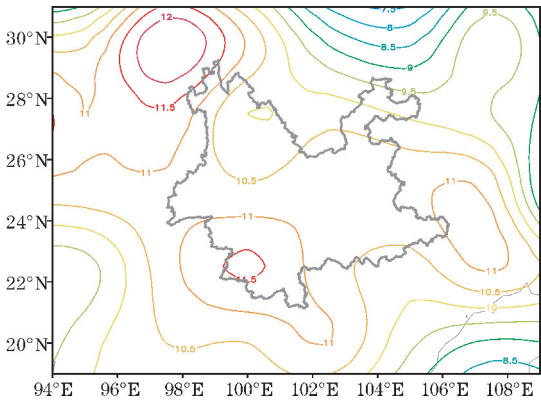


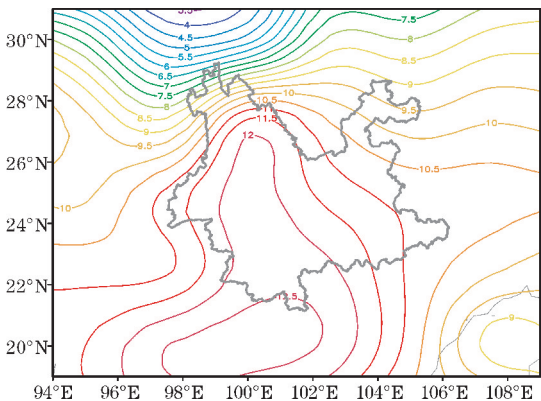
图 3 2013 年 6 月 8 日 20 时~10 日 08 时  
500 hPa、700 hPa 和地面系统配置图

2.2 水汽条件分析

短时强降水的形成机制与高降水率对应,需具备好的动力抬升条件及高水汽含量<sup>[9]</sup>。从前面分析可见,冷锋切变线为动力抬升机制;从 700 hPa 比湿分布图(图 4)可见,在短时强降水发生前,6 月 9 日 08 时云南大部比湿在 10 g/kg 以上(图 4a),到 9 日 20 时,700 hPa 比湿进一步增大,滇中及以东以南地区比湿增加至 11 g/kg(图 4b),湿区维持时间较长,水汽含量高,具备较优的水汽条件,利于短时强降水的发生。



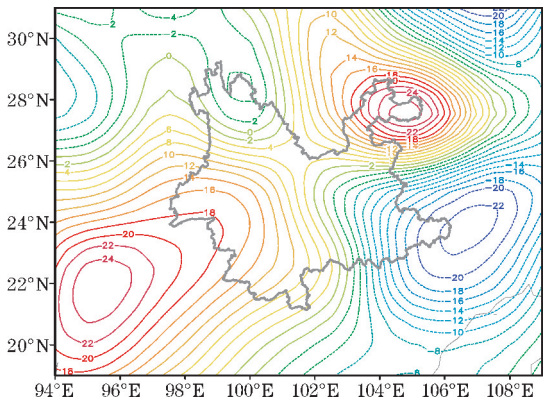
(a) 2013 年 6 月 9 日 08 时



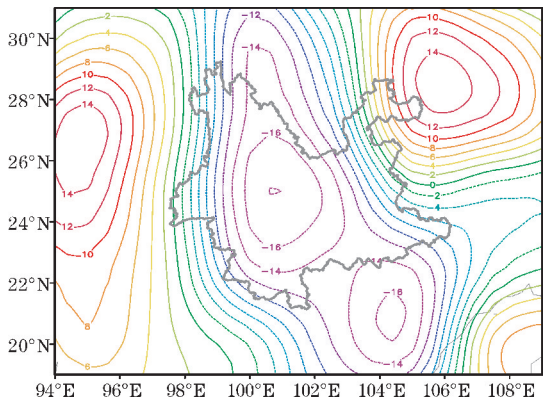
(b) 2013 年 6 月 9 日 20 时

图 4 700 hPa 比湿实况分布图

水汽通量散度能同时反映动力机制及水汽输送条件。从 700 hPa 水汽通量散度分布图(图 5)可见,随着冷锋切变线南移进入云南,6 月 9 日 08 时云南东南部 700 hPa 水汽通量散度小于 0,表明有水汽辐合,(图 5a),到 6 月 9 日 20 时,水汽辐合区进一步向西向北扩展,短时强降水集中的滇中、滇南地区水汽通量散度值为 $-14 \times 10^{-6} \sim -16 \times 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ (图 5b),较强水汽辐合为短时强降水的发生提供有利条件。



(a) 2013 年 6 月 9 日 08 时



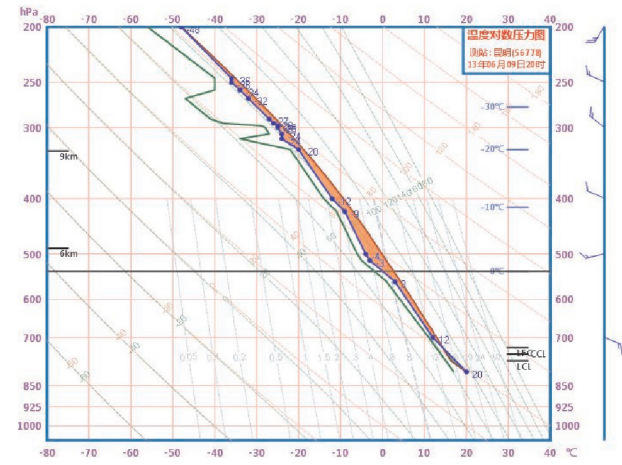
(b) 2013 年 6 月 9 日 20 时

图 5 700 hPa 水汽通量散度实况分布图  
(实线大于零,虚线小于零)

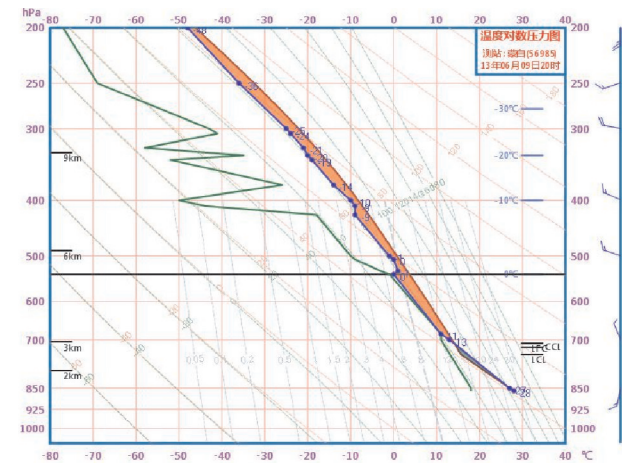
2.3 不稳定潜势分析

T-lnP 图中高低层的温度、湿度配置以及能量、稳定度指数对气层的不稳定潜势分析有较好的指示作用,唐钱奎等<sup>[10]</sup>使用沙氏指数(SI)和抬升指数(LI)等不稳定指数来判断气层的不稳定性。此次短时强降水过程主要分布在滇中及滇南,选择分析昆明及蒙自探空站的探空图代表滇中及滇南的层结性质。从昆明探空站的 T-lnP 图(图 6a)可见,近地面至 350 hPa 高度均为湿区,湿层较深厚,350 hPa 以上为干区,湿度条件方面为“上干下湿”的配置;CAPE 值为 642.5 J/kg,有较强不稳定能量的蓄积;近地面至 400 hPa 高度风随高度

的增加顺转,有暖平流,高层400 hPa至250 hPa风随高度逆转,有冷平流,与2.1节影响系统槽后冷平流输送相对应,整层为“上冷下暖”的配置;稳定度指数中的沙氏指数为 $-1.95\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,抬升指数为 $-3.88\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,表明气层有较强的条件不稳定性。从蒙自探空站的 T-lnP 图(图 6b)可见,近地面至550 hPa高度为湿区,水汽条件仍较好,550 hPa以上为干区,湿度条件方面同样为“上干下湿”的配置;CAPE 值达 $1052.7\text{ J/kg}$ ,有强不稳定能量蓄积;近地面至700 hPa高度风随高度的增加顺转,有暖平流,高层700 hPa至对流层顶风随高度逆转,有冷平流,仍为“上冷下暖”的配置;沙氏指数为 $-1.88\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,抬升指数为 $-1.74\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,仍维持条件不稳定层结。



(a)昆明探空站



(b)蒙自探空站

图6 2013年6月9日20时 T-lnP 图

综合影响系统、水汽条件及不稳定潜势的分析,良好的水汽条件、一定厚度的湿层、“上干下湿”的水汽环境、较强的不稳定能量积累为短时强降水的发生提供了有利的水汽及能量条件,高层冷平流及冷锋切变线的动力抬升利于层结不稳定和对流不稳定条件的建

立,地面冷锋的侵入触发不稳定能量的释放,引发短时强降水天气的发生。

### 3 中尺度对流云团结构及演变分析

分析卫星云图演变特征可以判断中尺度对流系统生成-发展-成熟-消亡的整个生命史,是预报短时强降水的一个有力工具。张腾飞等<sup>[7]</sup>应用卫星和闪电定位仪资料深入研究了雷暴云的结构及其各阶段的特征,指出 MCS 中部云区及其前部负地闪密集,容易出现强对流天气。杨有仁等<sup>[11]</sup>指出,丽江地区 73.7% 的强对流天气个例均是由中高层偏北气流造成,从卫星云图的分析可以发现本次短时强降水过程受到高空槽后西北气流的影响在金沙江河谷(丽江东部地区)生成的中尺度对流系统。

6月9日02时,四川中部至云南东北部(图中A云团)以及滇黔交界处(图中B云团)为两个较大范围的MCC(图中“A”和“B”所指之处)所控制(图7a),04时两个MCC逐渐靠拢,B云团的范围扩大而A云团完整的MCC结构逐渐解体。06时两个MCC合二为一,强度减弱并逐渐东移南压(图7b),到15时MCC云团主体(B云团)移动至广西并呈带状分布,由于高空槽后冷平流的输送,在云南北部的金沙江河谷地带(丽江东部)激发出絮状中 $\beta$ 尺度的对流云团(图中“C”所指之处),并在16时得到进一步发展(图7c)。到了18时,中小尺度的对流云团相互合并增长,并顺着金沙江河谷逐渐向南移动,阶梯槽的存在使得云南北部高空槽后不断有冷平流补充南下,金沙江上游地区不断有新的对流云(D云团)生成、南移,与旧的中尺度对流系统合并使其进一步发展(图7d)。到了20时,滇中地区的中尺度对流单体(C云团)达到成熟阶段(图7e)并在22时与B云团合并(图7f),B云团前侧边缘的云南中部和南部发生短时强降水,上游地区的MCS则继续发展、成熟、合并(图7g),10日00时D云团前侧边缘滇中地区的大姚等地也相继出现短时强降水。到了10日02时在滇中和滇南地区的MCS(D云团)和南部的MCC(B云团)沿切变线呈带状分布(图7h),从这一时刻开始金沙江上游地区没有新的对流单体形成,滇中地区达到成熟阶段的MCS(D云团)在03时开始减弱,并于06时消亡,而此时B云团还处于成熟阶段。随着切变线的西移南压,MCC(B云团)从09时开始由边界光滑的椭圆形逐渐解体(图7i),到15时减弱为对流云带并逐渐移出云南边境,滇中和滇南的短时强降水过程也随之结束。

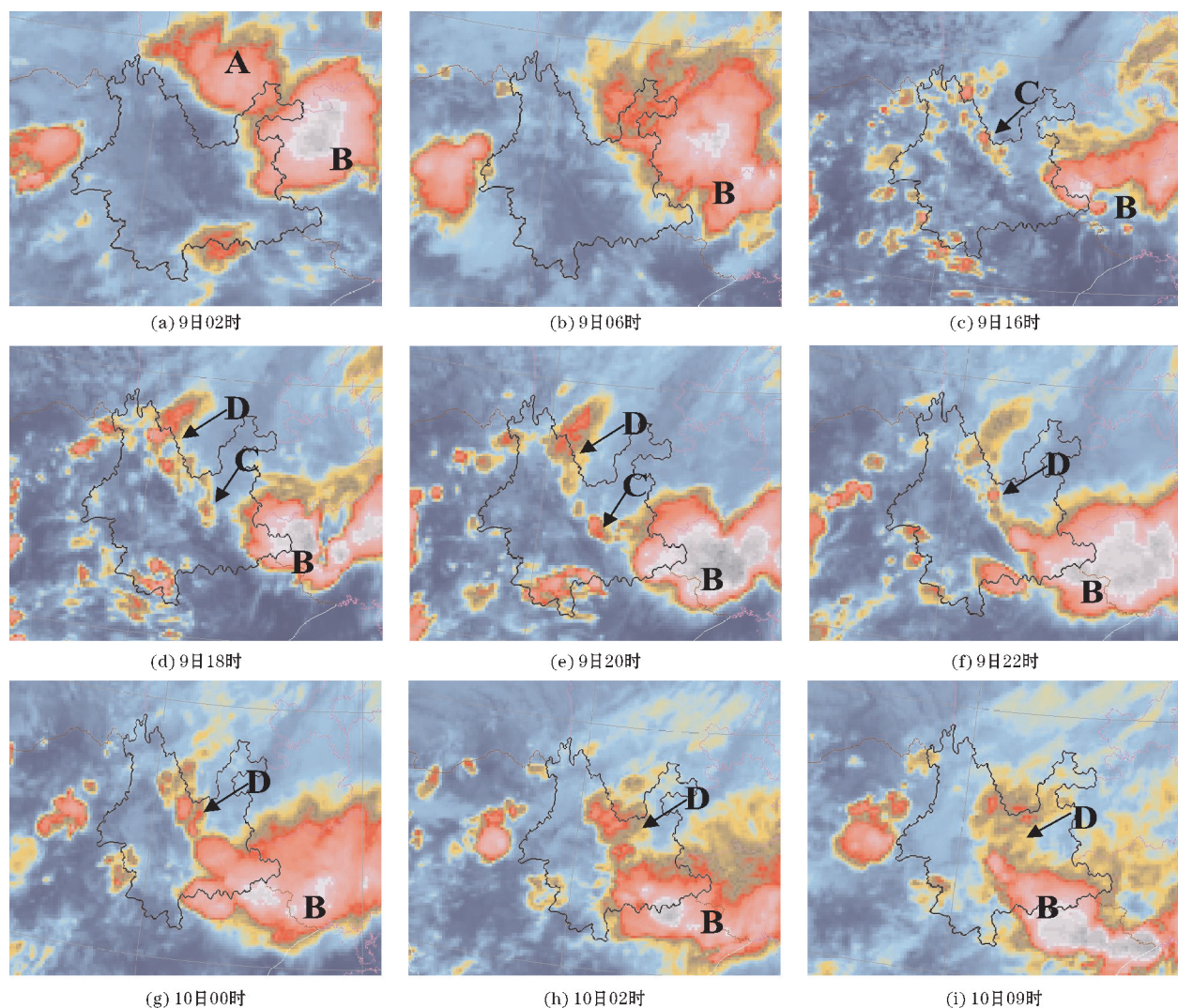


图7 2013年6月9日02时-10日09时FY-2E卫星云图

由以上分析可见,高空槽后冷平流的补充南下增加层结不稳定性,在高空槽底部的云南金沙江河谷地区不断有MCS的生成并沿着河谷地带南移,与滇中地区的MCS合并增长,MCS维持较长的生命史并与滇南的MCC合并,引发了滇中及滇南的短时强降水,短时强降水发生在MCS及MCC的前部边缘。

## 4 雷达及地闪特征分析

冯桂力等<sup>[12]</sup>研究指出,闪电与对流降水有相关性,地闪密集区和强回波重合的区域发生对流性降水的概率是层状云的20倍。分析雷达回波以及地闪资料可进一步揭示短时强降水的中尺度特征及成因。

### 4.1 雷达回波强度特征分析

从文山雷达站 $0.5^\circ$ 仰角的基本反射率因子图可以看出,在开远短时强降水发生前3 h左右(6月9日19:39),开远东南侧和西畴县有块状回波生成(图8a),

之后块状回波增强并形成由多个小单体组成的带状回波,回波强度最强的单个单体的反射率因子达到55 dBZ,之后,开远东南侧和西畴县的多单体向东南方向移动,并且文山市也有块状回波在原地发展,并且在20:00与西畴县的带状回波相连接,且宽度变窄,开远市东南侧的回波继续东南移,在20:38与文山南侧的回波连接,形成了长度约为120 km的带状回波(图8b),带状回波由多个风暴单体组成,其宽度是长度的1/5,为典型的飚线系统<sup>[13]</sup>,此飚线系统东南移动,至21:53飚线系统中的单体风暴以及开远境内的对流单体强度均达到最强,飚线中有4个单体的回波强度达到55~60 dBZ并且在上风方向形成入流槽口(图8c),随即开远在22:00发生短时强降水。之后飚线进一步向南移动,23:14带状回波宽度增加,单体结构变得松散,单个单体上风方仍然有多个入流槽口(图8d)。飚线中单体之间的断裂处或入流槽口处的个旧、建水、金平相继出现短时强降水天气,与李大为等得出的结论是一致的。

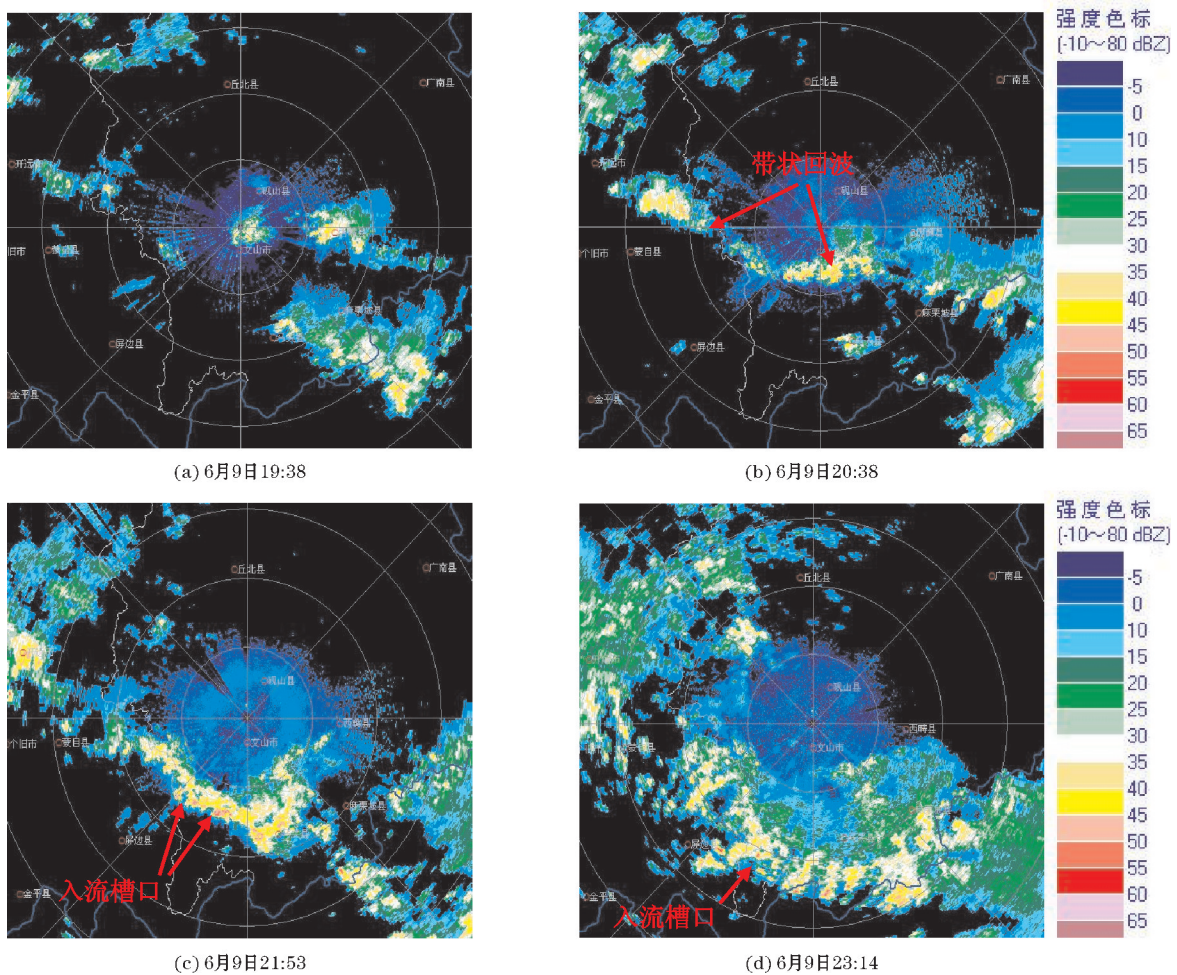


图8 文山雷达站0.5°仰角的基本反射率因子图

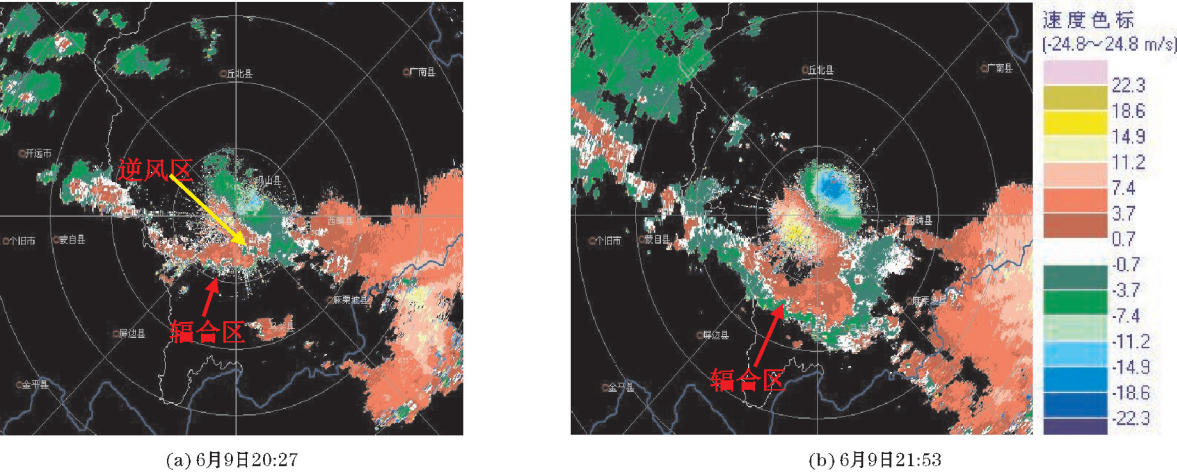


图9 文山雷达站1.5°仰角径向速度图

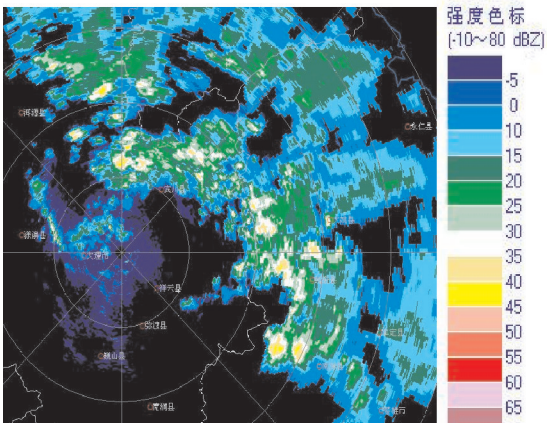
4.2 雷达速度特征

文山雷达站1.5°仰角径向速度图显示,6月9日20:06文山市低层有东北低空急流,文山南部地区出现小范围的辐合区(图略),9日20:27辐合区范围扩大呈线状,并在文山南部有逆风区形成(图9a),逆风

区维持到20:54,之后文山出现短时强降水,21:53屏边和文山之间形成一条完整的辐合线,与反射率因子图中的飑线系统位置相对应,此时文山附近的东北低空急流达到最强,最大风速约为17 m/s(图9b)。东北低空急流为辐合线的维持和南移提供了动力条件,东北低空急流和辐合线维持期间在辐合线前沿的文山南

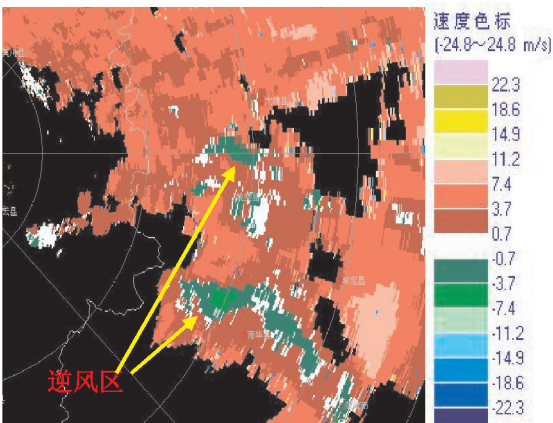
部及红河南部地区发生短时强降水和雷暴天气。

从 6 月 9 日 22:47 大理雷达站 0.5°仰角反射率因子图(图 10a)可以看出回波形态为层状云回波夹杂着絮状对流回波,但反射率因子值较小(30 ~ 40 dBZ),



(a) 0.5° 仰角反射率因子图

然而同一时次 1.5°仰角径向速度图显示大姚县和南华县之间出现逆风区(图 10b),并一直维持至 9 日 1:51,逆风区维持期间大姚、姚安发生短时强降水。



(b) 1.5° 仰角径向速度图

图 10 2013 年 6 月 9 日 22:47 大理雷达站反射率因子图及径向速度图

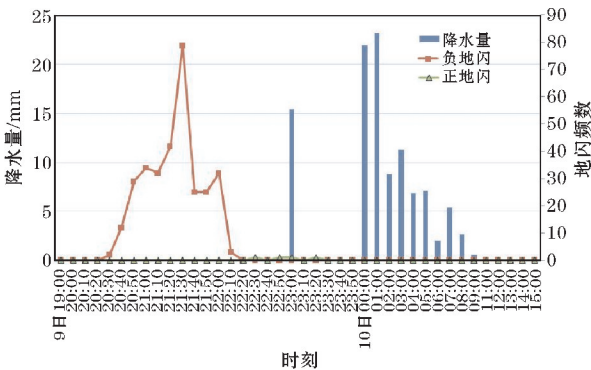
从以上分析可以看出,云南南部的短时强降水由飑线系统引发,飑线维持时间较长,滇南的短时强降水出现在强对流单体发展成熟之时及飑线上风方入流槽口处,飑线移向的右侧对应风向辐合,为短时强降水的发生提供动力抬升条件。逆风区的形成和维持造成了云南中部短时强降水的发生。

4.3 短时强降水与正负地闪的关系

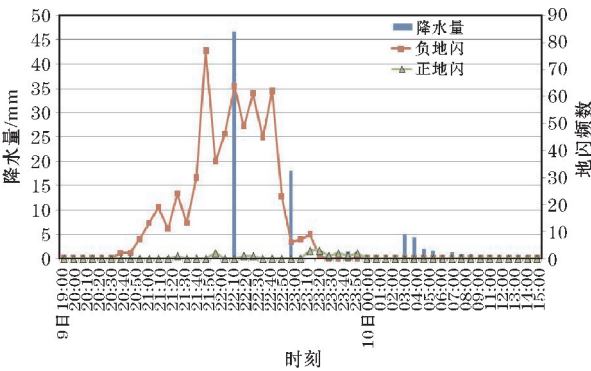
对此次短时强降水个例雷达回波特征的分析表明,不同强对流天气个例的雷达回波特征有差异,较大反射率因子可预示强天气的发生,而反射率因子值较小的区域也有可能发生强天气,因此,多种资料的综合应用对短时强降水的预测显得尤为重要。相关研究<sup>[14-15]</sup>表明地闪频数对 MCS 中降水的位置及强度有较好的指示作用,因此分析地闪频数与短时强降水之间的关系可以为该类强对流天气的预报提供参考依据。

文中使用闪电定位资料和自动站降水资料直接分析发生短时强降水的姚安、开远两个观测站所属县区的地闪频数与短时强降水的对应关系。从 10 min 间隔的地闪资料和 1 h 间隔的雨量资料时序图(图 11)可以看出,姚安自动站在 6 月 10 日 00:00 发生短时强降水,降水强度为 21.9 mm/h,01:00 短时强降水持续,降水强度为 23.2 mm/h,之后降水强度减弱,09:00 以后降水结束;短时强降水发生前从 20:30-22:10 有地闪活动并以负地闪为主,负地闪频数出现了 3 次跃增,第

一次负地闪频数峰值出现在 6 月 9 日 21:00,数值为 34 次/10 min,第二次负地闪频数峰值出现在 9 日 21:30,数值为 79 次/10 min,第三次负地闪频数峰值出现在 9 日 22:00,数值为 32 次/10 min,最大负地闪频数



(a) 姚安自动站



(b) 开远自动站

图 11 自动站逐小时降水与地闪频数的时间序列综合图

峰值及最大幅度的跃增出现后 2 小时 30 分发生短时强降水(图 11a)。开远自动站在 6 月 9 日 22:00 发生短时强降水,降强度高达 46.6 mm/h,23:00 开始降水强度就开始减弱,10 日 09:00 以后降水结束;整个降水维持期内共出现了 7 次负地闪频数的跃增,短时强降水发生前仍然出现了 3 次负地闪频数的跃增,第一次负地闪频数峰值出现在 9 日 20:40(19 次/10 min),第二次负地闪频数峰值出现在 9 日 21:00(24 次/10 min),最大负地闪频数峰值即最大幅度跃增出现在 9 日 21:30(77 次/10 min),之后 30 min 就发生了短时强降水(图 11b)。

对此次短时强降水个例而言,负地闪频数发生大幅度跃增的时间出现比短时强降水的发生有 30 min ~ 3 h 的提前量,因此当负地闪频数出现较大幅度的跃增时可以考虑短时强降水的预测预警。

## 5 结论

(1)良好的水汽条件、一定厚度的湿层、“上干下湿”的水汽环境、较强的不稳定能量积累为短时强降水的发生提供了有利的水汽及能量条件,高层冷平流及冷锋切变线的动力抬升利于层结不稳定和对流不稳定条件的建立,地面冷锋的侵入触发不稳定能量的释放,引发短时强降水天气的发生。

(2)高空槽后冷平流的补充南下增加层结不稳定性,激发云南金沙江河谷地区 MCS 的生成,新的 MCS 南移与滇中地区的 MCS 合并增长,使 MCS 维持较长的生命史并与滇南的 MCC 合并,引发了滇中及滇南的短时强降水,短时强降水发生在 MCS 及 MCC 的前部边缘。

(3)雷达资料分析表明,飚线系统维持时间较长,且移速缓慢,是降水强度大的原因之一,飚线附近有明显的风向辐合,为滇南地区短时强降水的发生提供动力抬升条件,短时强降水发生在飚线前部风暴单体之间的入流槽口处;逆风区的形成和维持造成云南中部短时强降水的发生。

(4)闪电定位仪和自动雨量站资料分析表明,负地闪频数发生大幅度跃增的时间出现比短时强降水的发生有 30 min ~ 3 h 的提前量,因此当负地闪频数出现较大幅度的跃增时可以考虑短时强降水的预测预警。

## 参考文献:

- [1] 廖菲,洪延超,郑国光. 影响云和降水的动力、热力与微物理因素的研究概述[J]. 气象,2006,32(11):3-11.
- [2] 郝莹,姚叶青,郑媛媛,等. 短时强降水的多尺度分析及临近预警[J]. 气象,2012,38(8):903-912.
- [3] 沈澄,孙燕,魏晓奕,等. 基于物理量参数的江苏短时强降水预报模型的研究[J]. 气象,2016,42(5):557-566.
- [4] 李大为,梁红,贾冬婵,等. “20110714”沈阳短时强降水多普勒雷达回波特征[J]. 气象与环境学报,2013,29(2):75-80.
- [5] 陈小华,李华宏,何钰,等. 2015 年 9 月 15 16 日华坪及昌宁大暴雨中尺度特征分析[J]. 云南大学学报(自然科学版),2017,39(2):225-234.
- [6] 尹丽云,张腾飞,许迎杰,等. 低纬高原中部一次强对流天气过程的多普勒雷达和闪电特征分析[J]. 高原气象,2010,29(4):1026—1035.
- [7] 张腾飞,尹丽云,张杰,等. 云南两次中尺度对流雷暴系统演变和地闪特征[J]. 应用气象学报,2013,24(2):208-219.
- [8] 张腾飞,张杰,尹丽云,等. 滇南春季一次强对流风暴系统特征及成因[J]. 云南大学学报(自然科学版),2016,38(2):245-255.
- [9] 孙继松,戴建华,何立富,等. 强对流天气预报的基本原理与技术方法[M]. 北京:气象出版社,2014:49-50.
- [10] 唐钱奎,鲁燕,黄先伦. “8.26”成都区域性短时暴雨天气过程的对流指数分析[J]. 成都信息工程学院学报,2010,25(5):518-523.
- [11] 杨有仁,和卫东. 丽江市强对流天气背景条件研究[J]. 云南大学学报(自然科学版),2012,34(S2):357-363.
- [12] 冯桂力,郅秀书,袁铁,等. 雷暴的闪电活动特征与降水结构研究[J]. 中国科学 D 辑:地球科学,2007,37(1):123-132.
- [13] 俞小鼎,姚秀萍,熊廷南,等. 多普勒天气雷达原理及业务应用[M]. 北京:气象出版社,2006:122.
- [14] 柳臣忠,周筠珺,张凌,等. 成都地区一次强对流天气中地闪产生的天气动力学条件分析[J]. 成都信息工程学院学报,2015,30(5):512-520.
- [15] 翟婵,周筠珺. 四川 2008 年“9.23”强对流天气中雷电活动和降水结构关系的研究[J]. 成都信息工程学院学报,2010,25(4):399-408.

[1] 廖菲,洪延超,郑国光. 影响云和降水的动力、热

## Analysis on Meso-scale Features and Forming Reasons of a Short Time Intensive Precipitation Case in Yunnan Province

ZHU Li<sup>1</sup>, ZHANG Teng-fei<sup>2</sup>, LI Hua-hong<sup>1</sup>, YIN Li-yun<sup>2</sup>

(1. Yunnan Meteorological Observatory, Kunming 650034, China; 2. Weather Modification Center of Yunnan Meteorological Bureau, Kunming 650034, China)

**Abstract:** In order to reveal the forming reason of short time intensive precipitation in Yunnan province and increase forecasting accuracy rate of intensive precipitation, conventional observation data, satellite data, doppler radar echo and lightening locating data were used to analyze the forming reason and meso-scale features of a wider range short time intensive precipitation case in Yunnan province from June 9th to June 10th in 2013. Research indicated that cold front shear line triggered the releasing of unstable energy, which induced the short time intensive precipitation. It moved southward of cold advection in back of the high-level and made the MCS in Jinshajiang Valley of Yunnan grow, and then the MCS moved southward. For this reason, the MCS maintained a longer lifetime, then it caused the short time intensive precipitation in middle and in south of Yunnan, and short time intensive precipitation happened at foreside brink of MCS and MCC cloud's moving direction. Radar echo indicated that the maintaining and moving of squall line made the short time intensive precipitation in south Yunnan which happened at inflow nick in front of quall line, and the forming and maintaining of adverse wind regions contributed directly to the short time intensive precipitation in middle of Yunnan. The appearing time of CG lightning frequency number's maximum value was 30 min-3 h earlier than short time precipitation. So CG lightning frequency number's increase vast scaly can denote the forecasting or warning for short time precipitation.

**Keywords:** meteorology; weather forecasting; short time intensive precip; cold front shear line; squall line; inflow nick; adverse wind region; CG lightning frequency number