

2016年7月21日-22日成都地区短时强降水分析

徐栋夫¹, 曹萍萍²

(1. 成都市气象局, 四川 成都 610072; 2. 四川省气象局, 四川 成都 610072)

摘要:利用地面自动站加密资料、探空资料、雷达和卫星资料分析了2016年7月21日20时至22日08时成都地区的短时强降水天气,结果表明:(1)此次过程发生在夜间,强降水中心移动快。(2)过程发生前,盆地天气晴好,气温、地面露点温度高,有利于不稳定能量积累。副高稳定少动形成阻挡形势,使得低槽维持在川西高原,副高外围的偏南暖湿气流为盆地输送水汽和能量,为此次短时强降水天气提供了有利的环流背景条件。(3)200 hPa南亚高压脊线和500 hPa切变线提供了系统抬升条件,中低层南风扰动以及偏东风分量的地形辐合对强对流天气起到了触发和维持的作用,充足的对流有效位能和较厚的暖云厚度是短时强降水发生的关键因素之一。(4)此次过程雷达回波呈片状或带状,移动速度较快,回波强度从低到高依次减弱,不存在强回波悬垂,呈低质心特征;径向速度图表明强天气过程阶段有低空急流存在。卫星红外云图显示对流云团具有MCC特征,MCC冷中心从乐山向北发展,并与绵阳的对流云团合并影响成都地区。表明低空急流的维持是本次短时强降水持续的重要原因之一。

关键词:短时强降水;物理量;雷达回波;卫星云图

0 引言

四川盆地位于川西高原东侧,其地形地貌环境特殊,盆地、山区、丘陵并存,气候特征也复杂多样,常常遭受洪涝灾害的侵袭,短时强降水引发的滑坡泥石流等次生灾害严重影响着人民生命财产安全和国民经济的顺利发展。由于导致短时强降水的系统为中小尺度天气系统,很难被常规气象观测网捕捉到,预报主要依靠自动站、雷达、卫星、闪电定位、风廓线雷达等非正规观测资料和中尺度数值模式,方法主要为雷暴识别追踪和外推预报技术、数值预报技术和以分析观测资料为主的概念模型预报技术等^[1-2]。因此许多针对短时强降水预报技术、特征和成因的研究都是根据这些非常规资料和数值模式开展的。郑永光等^[3]总结了近年国内外强对流天气短时临近预报业务现状、技术进展、目前国内的技术支撑状况和所面临的挑战。俞小鼎^[4]对短时强降水主观临近预报的主要思路和方法进行了综述,从雨强和强降水持续时间两方面讨论了短时强降水的临近预报。郝莹等^[5]统计了安徽省不同强度的短时强降水的时空分布特征,并分析典型短时强降水过程的环境背景场特征,建立了短时强降水的三种概念模型。何晗等^[6]研究了冷涡背景下短时强降水的统计特征,指出冷涡背景下的短时强降水主要集中在京津和河北东南部,以及东北平原地区,7月最多,日变化表现为午后至傍晚时段多发。张小玲等^[7]研究了梅雨锋上短时强降水系统的发展模态,结

果表明与梅雨锋相伴的短时强降水系统回波演变模态主要为纬向型、经向型、转向型和合并型四类,纬向型、转向型和合并型MCS以后向传播为主,但它们的生命史、移速和产生强降水持续时间有很大差别。陈炯等^[8]分析了中国暖季短时强降水的时空分布特征,研究指出50 mm/h以上的短时强降水时次频率非常低,地理分布差异显著,短时强降水发生频率最高的区域为华南,其次为云南南部、四川盆地、贵州南部、江西和长江下游等地。王佳津等^[9]统计分析了四川省区域暴雨过程中短时强降水的时空分布特征,指出短时强降水主要出现在雅安-乐山-眉山地区、遂宁-资阳地区、绵阳-广元-巴中地区,主要发生在后半夜到凌晨。周长春等^[10]分析了成都一次短时强降水过程地面中尺度特征,研究表明重力波的传播和频散是此次过程中尺度系统发生发展的重要因素。许多学者还从雷达、卫星等资料研究短时强降水特征和临近预报预警技术。李德俊等^[11]利用恩施多普勒雷达和常规分析资料找出了适合恩施山区强冰雹和短时强降水天气的雷达临近预警指标。丑士连等^[12]分析了吉林省东南部一次短时强降水过程,指出多普勒雷达资料中雷达回波的强度和缺口、径向速度的大小和零线形状以及逆风区,对预报短时强降水具有较好的指示意义。陈永仁等^[13]利用SWAN产品和自动站雨量资料,分析了四川区域性暴雨中的短时强降水雷达特征,并给出SWAN拼图产品中短时强降水预警临近指标:3 km高度处CAPPI回波 ≥ 30 dBZ,组合反射率CR中心强度 ≥ 40 dBZ,VIL > 5 kg/m²,45 dBZ以上的回波中心厚度

(H) ≥ 3 km。

上述研究成果丰富,提高了预报员对短时强降水的认识,但在实际预报业务中,短时强降水预报仍是难点,一些中小尺度天气系统的物理结构及其发生发展过程和机理尚不清楚。因此有必要对近期发生的一些短时强降水天气过程进行分析。文中对 2016 年 7 月 21 日至 22 日成都短时强降水天气过程进行分析,以期为提高短时强降水预报预警能力提供参考。

1 短时强降水天气概况

2016 年 7 月 21 日 20 时至 7 月 22 日 08 时成都市出现了明显的短时强降水天气,全市普降中到大雨,局部暴雨,并伴有明显的闪电活动(图 1)。全市有 39 个站累计雨量超过 50 mm,1 个站累计雨量超过 100 mm,最大值出现在新津一中 103.1 mm。短时强降水主要出现在金堂西部、简阳西部、青白江、彭州、郫县、温江、崇州东部、大邑东部、双流西部、新津以及市区西部。全市共有 74 个站出现短时强降水,最大小时降水量超过 30 mm/h 的有 49 站,超过 50 mm/h 的有 22 站,最大值出现在新津一中 78.4 mm/h(图 2)。

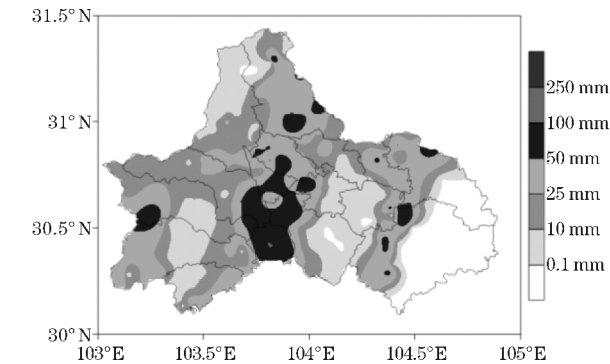


图 1 成都市 7 月 21 日 20 时至 7 月 22 日 08 时累计降水量

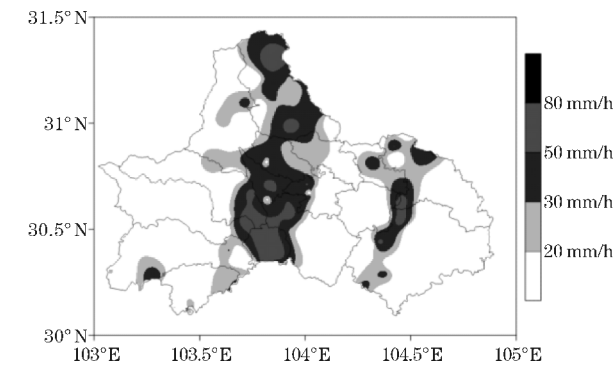
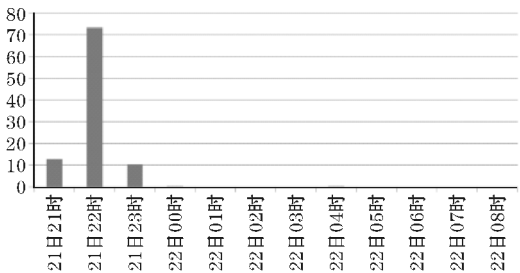


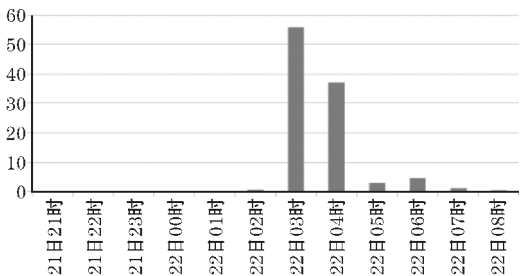
图 2 7 月 21 日 20 时至 7 月 22 日 08 时最大小时降水量

此次过程主要发生在 22 日 02 时至 06 时,特点是以短时强降水为主,强降水中心移动快,并伴有强烈的

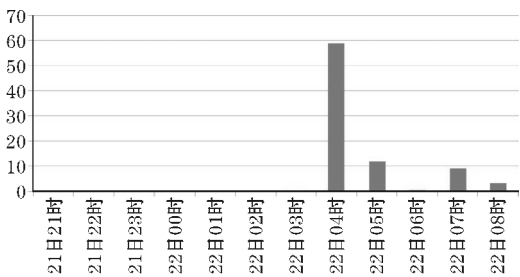
闪电活动。主要过程开始前,21 日 20 时至 21 日 23 时在成都市东部龙泉山脉一带出现了短时强降水天气,其余地方无明显降水;主要过程出现在 22 日 02 时至 22 日 06 时,短期强降水天气首先在新津出现,然后迅速向北经大邑东部、崇州东部、双流西部、温江、市区西部、郫县移动,最后从彭州移出成都市。从简阳、新津、崇州和彭州选的 4 个站点来看(图 3),此次过程小时降水量大,小时降水量均在 50 mm 以上,持续时间短,主要降水集中在 1-2 h,22 日 6 时以后强降水中心移出成都市,此次短时强降水天气过程趋于结束。



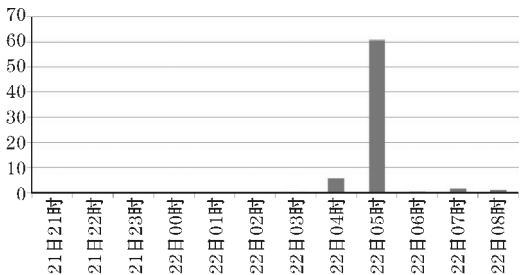
(a) 简阳周家镇



(b) 新津一中



(c) 崇州崇阳工业区



(d) 彭州

图 3 成都市各站点 7 月 21 日 20 时至 7 月 22 日 08 时小时降水量时序(单位:mm)

2 强对流天气形势分析

2.1 环流形势场分析

此次强对流天气发生前,四川省主要受500 hPa高压环流控制,地面为一热低压,天气晴好,气温高,有利于不稳定能量积累。7月21日08时,200 hPa南亚高压中心位于西藏上空,四川盆地位于其脊线附近;500 hPa盆地受反气旋环流控制,内蒙古西部到青藏高原东部有一低槽,华北地区为一低涡,副高588线控制华南地区;700 hPa盆地内为西南风,水汽输送较好。22日08时,副高588线稳定少动形成阻挡形势,使得低槽维持在川西高原,环流形势稳定,同时副高外围的偏南暖湿气流为盆地输送水汽和能量。21日08时温江地区500 hPa和850 hPa假相当位温差达到了 -20 K ,大气层结不稳定,从21日20时地面三线图来看(图4),19日、20日、21日最高气温均在 35°C 左右,露点温度在 $23^{\circ}\text{C}\sim 24^{\circ}\text{C}$ 。以上的形势为盆地短时强降水的发生提供了有利的环流背景条件。

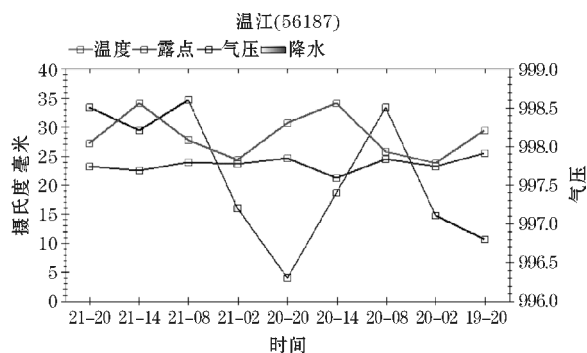


图4 21日20时温江地面三线图

2.2 中尺度分析

7月21日20时中尺度分析显示(图5),200 hPa南亚高压中心位于西藏到川西高原一带,其脊线从甘孜州沿雅安、成都、德阳、绵阳广元呈西南东北走向,脊线附近易出现强对流天气。500 hPa副高588线有所西伸,盆地受副高外围偏西南气流控制;青海东部到川西高原有一切变线存在,切变后有 -6°C 的变温中心,切变线南部有旺盛的对流云团活动;此外在攀西地区东部到云南北部有一切变。700 hPa盆地盛行偏南风,西昌风速 12 m/s ,达到了低空急流标准,有利于水汽的输送,除盆地东北部外,盆地空气较饱和,其中温江站露点温度差仅为 1°C ;西北地区有一支偏北气流携带冷空气沿河西走廊到达甘肃南部,与盆地内的偏南风在甘南到盆地西北部形成切变,切变后部的偏北气流中有大范围的显著负变温区,最大24 h变温达 -12°C ,

受冷空气触发影响,广元已有明显的对流云团活动。850 hPa盆地受带气旋性曲率的偏东风影响,重庆为达 10 m/s 的东南风,受地形作用影响,有利于在西部沿山一带产生短时强降水天气。200 hPa、500 hPa和700 hPa有天气系统的存在,850 hPa有显著的东南气流,中低层水汽输送通道打开,甘肃南部有明显冷空气,盆地内水汽条件充沛,为本次短时强降水天气的发生提供了必要条件。

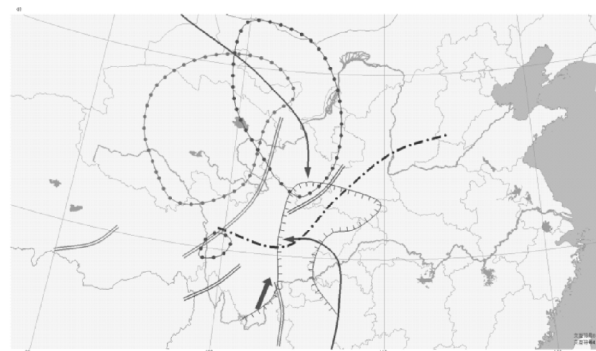


图5 7月21日20时高空综合图

2.3 物理量分析

短时强降水的发生、发展主要依赖大气的热力及动力条件,近几年,随着探测、数值模拟等技术手段的提高以及理论水平的完善,一些气象条件和物理参数诸如Cape值、水汽条件、假相当位温差、K指数、SI指数等被证明和短时强降水有密切关系。表1为强对流天气发生期间的温江站K指数、SI指数、 $\theta_{se500-850}$ 、Cape、700 hPa比湿、抬升指数、零度层高度、抬升凝结高度和暖云层厚度(抬升凝结高度到融化层高度之间的厚度)变化,图5为温江TlogP图,从图表中可以看出:

7月21日08时四川盆地大部地区Cape值较小,中低层湿度较低,但大气层结不稳定,暂不满足大范围短时强降水发生的条件。21日08时成都地区近地面有逆温层存在,并有较大的对流抑制有效位能,不利于不稳定能量的积累。从物理量指数来看,K指数为34,SI指数为0.82,抬升指数为1.84,不利于短时强降水的发生,但500 hPa与850 hPa的假相当位温差达到了 -16 K ,大气层结具有较强的对流不稳定性。从风场来看,500 hPa为西风,中低层为偏西南气流,有利于暖湿气流的输送。

21日14时,成都地区近地面逆温层消失,Cape值仍然较小,但对流抑制有效位能减小为0,随着气温继续升高,有利于不稳定能量的积累;K指数上升到40,SI指数为1.76,抬升指数为1.66,500 hPa与850 hPa的假相当位温差为 -15 K ,层结仍不稳定;700 hPa南风维持,比湿从08时 9.59 g/kg 上升到 12.57 g/kg ,水汽条件显著改善,具有上干下湿的层结,水汽和能量条件均

预报员识别强对流天气回波、判断强对流天气落区及强度有十分重要的意义^[14-18]。

3.1 雷达资料分析

从雷达回波图上来看,此次过程以对流性降水为

主,主要集中在22日凌晨。图7为强天气时段雷达基本反射率和径向速度演变图。成都站雷达显示,21日20时左右,在龙泉山脉中江-金堂-龙泉驿-简阳一带出现了强回波,中心强度达55 dBZ。同时段的雷达径向速度图上可以看出,在中江至简阳龙泉山脉一带有

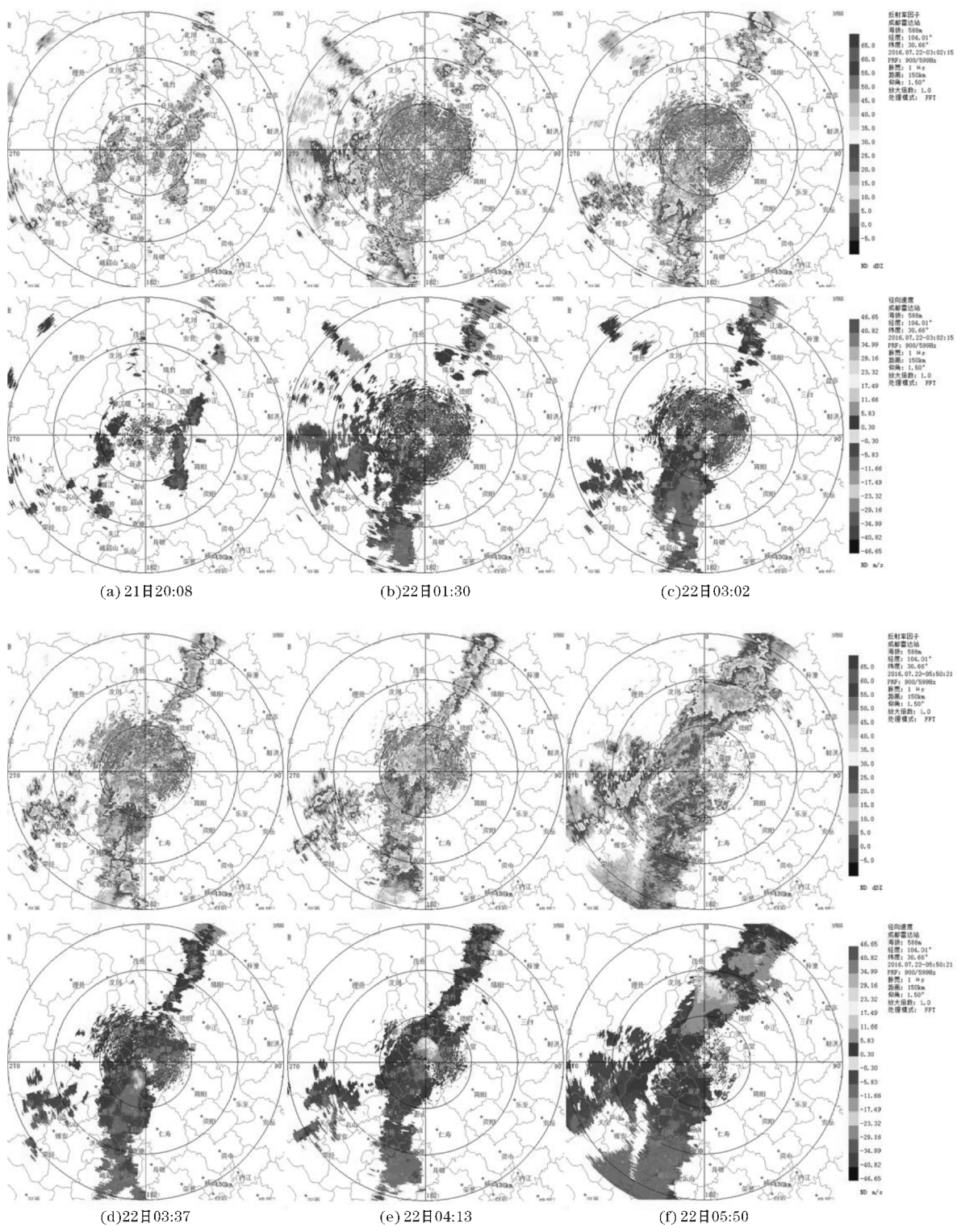


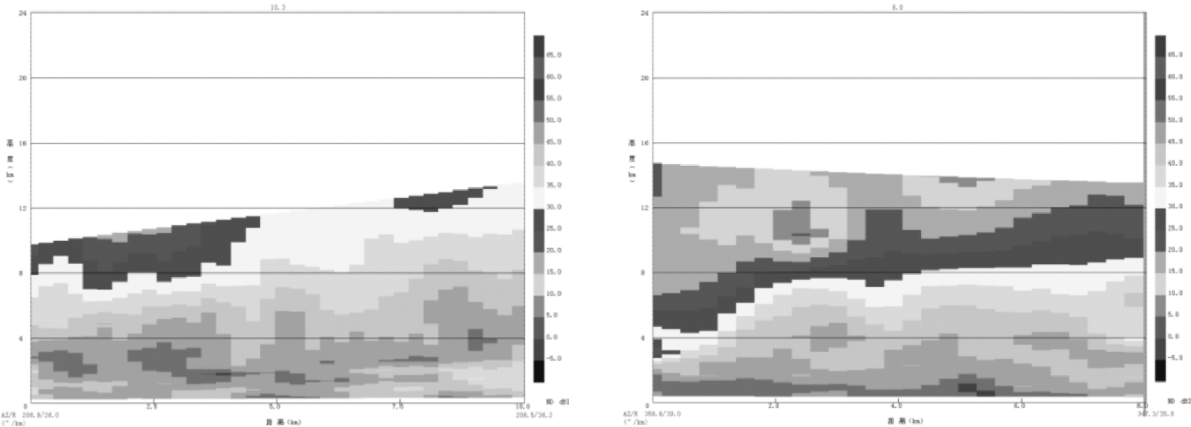
图7 成都站1.5度仰角基本反射率(单位: dBZ)和同时段的1.5度仰角基本径向速度(单位: m/s)

明显的负速度区,中心区径向速度为 -10 m/s 左右,表明有较强的东风气流,在地形辐合抬升作用下,造成了成都市东部的短时强降水和雷暴;21 日 22 时成都东部回波减弱。22 日 01 时左右,在乐山市市中区、青神、眉山市区、彭山县有分散的强回波,中心位置位于乐山市市中区、中心强度达 55 dBZ ,并向北缓慢移动发展;同时段的径向速度图显示,乐山有成片的负速度区,有较为明显的偏南气流,在彭山、仁寿有辐合,实况显示在乐山市中区到青神一带出现了短时强降水和雷暴,强天气中心向北缓慢移动。22 日 01 时 30 分,乐山-青神-彭山一带回波加强,并连接成片向北移动;同时段径向速度显示,乐山负速度区和眉山的辐合仍然存在,表明南风维持。

22 日 03 时,强回波中心移动至彭山和成都南部,为成片的积状云降水回波,垂直液态水含量基本在 $15\sim 35\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 之间;径向速度显示,负速度中心移动至彭山,速度增大,为 -17 m/s 左右,表明南风有显著加强,辐合区向北凸起移动至成都市新津,实况显示新津

有 60 mm 以上小时雨强出现,并有强烈的雷暴活动。03 时 30 分左右,强回波中心迅速移至双流、大邑及崇州东部、温江、郫县一带;径向速度中心北移至双流,速度范围增大,中强度达 -25 m/s ,辐合区呈东北西南走向,表明低空偏南急流有所加强。04 时 10 分左右,强回波中心北移至成都市区北部、郫县、新都 and 彭州一带,在新都有正速度中心,中心最大速度达 27 m/s 以上,有较为清晰的牛眼结构特征,表明有较强的南风急流维持;实况显示在新津、大邑东部、崇州东部、双流北部、温江、郫县和彭州均有 40 mm 以上的小时雨强出现。22 日 06 时左右,强回波中心从彭州北移出成都,成都西部仅有一些层状云积云混合型降水回波,此次短时强降水天气趋于结束。

图 8 为新津 22 日 02 时 26 分和彭州 04 时 28 分的反射率因子垂直剖面图。从图中可以看出回波强度从低到高依次减弱,不存在强回波悬垂,反射率因子大于 45 dBZ 主要集中在 4 km 以下, 50 dBZ 伸展高度最高可达 4 km 左右,但达不到 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 层高度,呈低质心特征。



(a) 新津 22 日 02 时 26 分

(b) 彭州 22 日 04 时 28 分

图 8 反射率因子垂直剖面(单位: dBZ)

3.2 卫星资料分析

图 9 为强天气时段 FY2G 卫星红外云图演变。此次短时强降水过程在卫星红外云图上也有明显的反应,21 日 21 时,在龙泉山脉一带有发展旺盛的对流云团活动,造成成都市东部的强对流天气。22 日 01 时左右,龙泉山脉附近对流云团已经减弱。22 日 01 时 45 分红外云图显示,盆地西南部发展旺盛,形成 MCC,冷中心位置位于乐山。22 日 01 时 45 分至 22 日 06 时 MCC 发展旺盛阶段。22 日 03 时, MCC 冷中心位于云团北部边缘,范围扩大,呈椭圆状向北发展,冷云顶区已覆盖乐山、眉山和成都南部;此外,在绵阳中部有旺

盛的对流云团发展。22 日 04 时, MCC 继续发展,冷中心仍位于云团北部,呈椭圆状,范围继续向北扩大,冷云顶区已覆盖乐山、眉山、雅安和成都大部地区;位于绵阳的对流云团发展旺盛,并向南发展,向 MCC 冷中心靠近。22 日 05 时, MMC 与其北部的对流云团合并,发展至最为旺盛的阶段, MCC 冷中心呈狭长的椭圆状,冷中心长轴约 350 km ,短轴长度约 160 km ,冷云顶区已覆盖乐山、眉山、雅安、成都、德阳和绵阳的南部。06 时后, MCC 开始减弱,冷中心范围向北收缩,07 时 45 分 MCC 冷中心范围减小,位于绵阳中部,其下风方向云团结构变得松散, MCC 趋于消亡。

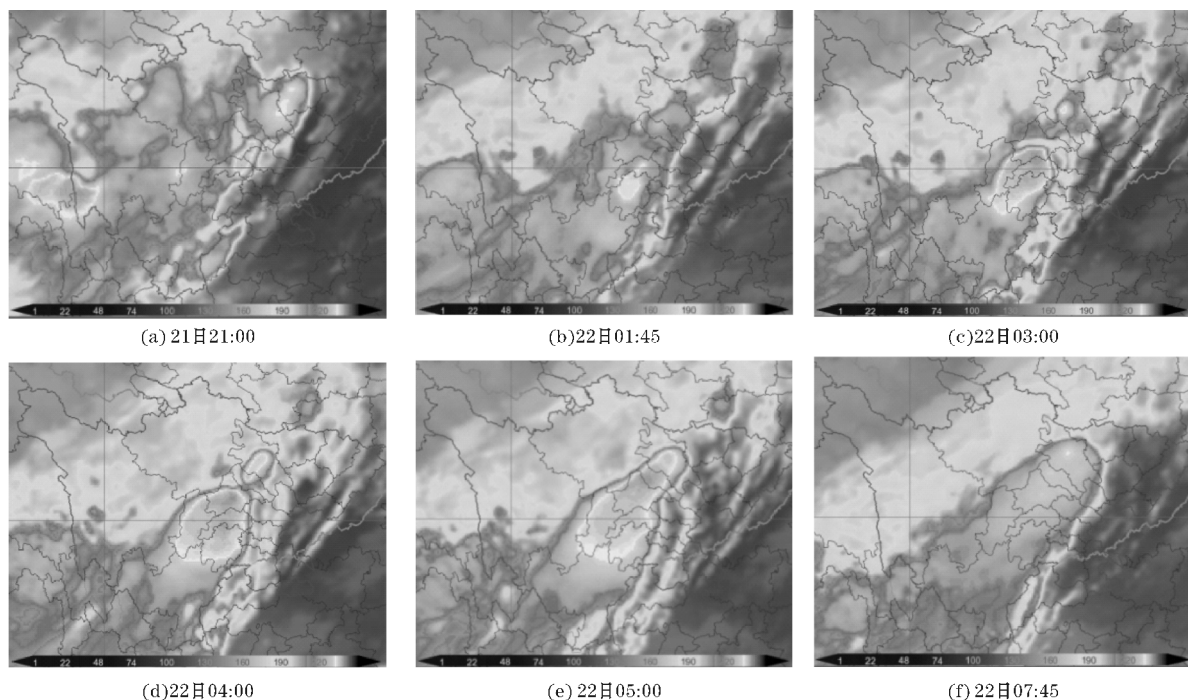


图9 FY2G 卫星红外云图

综合分析可得:此次过程雷达回波呈片状或带状,其移动方向和回波的长轴方向相近,回波的移动速度较快,产生列车效应。回波强度从低到高依次减弱,不存在强回波悬垂,反射率因子大于45 dBZ主要的集中在4 km以下,达不到0℃层高度,呈低质心特征;径向速度图表明强天气过程阶段有低空急流存在。卫星红外云图显示对流云团具有MCC特征,MCC冷中心在南风作用下从乐山向北发展,并与绵阳的对流云团合并,发展旺盛,影响成都地区。表明低空急流的维持是本次短时强降水持续的重要原因之一。

4 结论

2016年7月21日20时至7月22日08时成都市出现了明显的短时强降水天气,通过此次过程降水分布特点、天气形势、物理量和雷达卫星资料分析可以得到以下几点结论:

(1)此次过程发生在夜间,强降水中心移动快,并伴有强烈的闪电活动。

(2)此次短时强降水天气发生前,盆地受高压环流控制,天气晴好,气温高,地面露点温度高,大气层结不稳定,有利于不稳定能量积累。副高稳定少动形成阻挡形势,使得低槽维持在川西高原,同时副高外围的偏南暖湿气流为盆地输送水汽和能量,为此次短时强降水天气提供了有利的环流背景条件。

(3)200 hPa 南亚高压脊线和500 hPa 切变线提供了系统抬升条件,中低层南风扰动以及偏东风分量的地形辐合对强对流天气起到了触发和维持的作用,充足的对流有效位能和较厚的暖云层厚度是短时强降水发生的关键因素之一。

(4)此次过程雷达回波呈片状或带状,其移动方向和回波的长轴方向相近,回波的移动速度较快。回波强度从低到高依次减弱,不存在强回波悬垂,反射率因子大于45 dBZ主要的集中在4 km以下,呈低质心特征;径向速度图表明强天气过程阶段有低空急流存在。卫星红外云图显示对流云团具有MCC特征,MCC冷中心在南风作用下从乐山向北发展,并与绵阳的对流云团合并,发展旺盛,影响成都地区。表明低空急流的维持是本次短时强降水持续的重要原因之一。

参考文献:

- [1] Wilson J W, Crook Na, Mueller, et al. Nowcasting thunderstorms: a status report[J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 1998, 79: 2079-2099.
- [2] 陈明轩, 俞小鼎, 谭晓光, 等. 对流天气临近预报技术的发展与研究进展[J]. 应用气象学报, 2004, 15(6): 754-766.
- [3] 郑永光, 张小玲, 周庆亮, 等. 强对流天气短时临近预报业务技术进展与挑战[J]. 气象, 2010, 36

- (7):33-42.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 何晗, 湛芸, 肖天贵, 等. 冷涡背景下短时强降水的统计分析[J]. 气象, 2015, 41(12): 1466-1476.
- [7] 张小玲, 余蓉, 杜牧云. 梅雨锋上短时强降水系统的发展模态[J]. 大气科学, 2014, 38(4): 770-781.
- [8] 陈炯, 郑永光, 张小玲, 朱佩君. 中国暖季短时强降水分布和日变化特征及其与中尺度对流系统日变化关系分析[J]. 气象学报, 2013, 71(3): 367-382.
- [9] 王佳津, 陈朝平, 龙柯吉, 冯良敏. 四川区域暴雨过程中短时强降水时空分布特征[J]. 高原山地气象研究, 2015, 35(1): 16-20.
- [10] 周长春, 王春国. “7.3”成都短时强降水可预报性和地面中尺度特征分析[J]. 高原山地气象研究, 2012, 32(2): 65-69.
- [11] 李德俊, 唐仁茂, 熊守权, 等. 强冰雹和短时强降水天气雷达特征及临近预警[J]. 气象, 2011, 37(4): 474-480.
- [12] 丑士连, 陈长胜, 王奎云. 2010年7月31日吉林省东南部短时强降水过程分析[J]. 气象与环境学报, 2012, 28(4): 58-64.
- [13] 陈永仁, 李跃清. 基于SWAN产品的短时强降水雷达特征及预警分析[J]. 高原山地气象研究, 2013, 33(1): 72-79.
- [14] 张家国, 王珏, 周金莲, 等. 暴雨多普勒天气雷达回波特征分析及临近预警[J]. 暴雨灾害, 2008, 27(4): 326-329.
- [15] 俞小鼎, 王迎春, 陈明轩. 新一代天气雷达与强对流天气预警[J]. 高原气象, 2005, 24(3): 456-464.
- [16] 张沛源, 杨洪平, 胡绍萍. 新一代天气雷达在临近预报和灾害性天气警报中的应用[J]. 气象, 2008, 34(1): 3-11.
- [17] 俞小鼎, 姚秀萍, 熊廷南, 等. 多普勒天气雷达原理与业务应用[M]. 北京: 气象出版社, 2006.
- [18] 伍志方, 叶爱芬, 胡胜, 等. 中小尺度天气系统的多普勒统计特征[J]. 热带气象学报, 2004, 20(4): 391-400.