

一次低涡型成都大暴雨的分析研究

李昕翼, 王瑜娉, 汪 玲

(成都市气象局, 四川 成都 610072)

摘要:利用气象、卫星和多普勒雷达资料对2015年8月16–17日出现在成都地区的一次区域性大暴雨天气过程进行了分析。结果表明:低压槽东移诱发的高原涡和西南涡是此次大暴雨过程的直接影响系统,且卫星云图的TBB资料显示,此次降雨过程中对流云团活动频繁、强度大、持续时间长,具有明显的中尺度复合体演变特征;雷达产品呈现了暴雨发生前后两个阶段雨团生消演变的不同特征,揭示了暴雨流场的特征;ECWMF形势场的预报准确率明显高于T639。

关键词:高原涡;西南涡;暴雨;MCC;雷达

0 引言

暴雨是四川省的主要灾害性天气,暴雨预报作为当今世界气象科学的难题之一,也是国内气象学者攻克的主要目标。陶诗言^[1–3]对暴雨与低空急流的配置关系进行了深入研究;众多气象专家的大量研究表明,暴雨的发生与水汽的辐合、大气不稳定层结、位势不稳定释放机制和高低空急流等密切相关,大气环流形式的演变以及各个层结的不同配置决定着暴雨过程的降水强度^[3–5]。而气象卫星、多普勒雷达的不断进步也为暴雨特别是暴雨的短时临近预报提供了更好的技术支撑。本文利用实况观测值以及卫星云图、雷达等资料,对2015年8月16–17日成都出现的一次低涡型暴雨天气过程从形势背景、中小尺度系统和强对流云团、多普勒雷达回波特征等进行了分析,旨在为今后的暴雨预报提供一些参考或借鉴。

1 天气概况

2015年8月16–17日成都地区出现区域性暴雨到大暴雨的强降雨天气过程(图1)。此次过程具有持续时间长、小时雨强不强的特点,属低温暴雨过程。降雨落区主要集中在成都市平坝地区,其中新都、郫县、温江、金堂达区域性大暴雨。据自动观测站的资料显示,16日20时到17日20时有2个自动站累计雨量超过200 mm,88个自动站累计雨量超过100 mm,过程最大雨量240.3 mm。主要降水时段有两段,第一阶段集中

出现在16日08时–15时,成都市普降小到中雨,部分地方大雨到暴雨,最大降雨量出现在都江堰天马镇(68.8 mm),最大小时降雨量为24.3 mm/h;第二阶段出现在16日23时–17日19时,是一次区域性暴雨天气过程,部分地方大暴雨,最大降雨量出现在郫县友爱镇为182.1 mm,最大小时降雨量为25.2 mm/h。

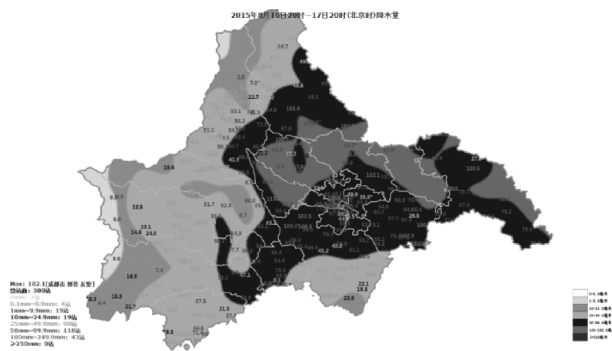


图1 16日20时–17日20时过程累计雨量

2 环流背景

200 hPa高度图上,8月16日08时印度到高原东部为青藏高压控制,青藏高原北侧为高空副热带西风急流,MCC生成于西风急流轴出口区的左侧强的辐散区域,辐散中心强度为 $2.2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 。

500 hPa高度图上,巴尔克斯湖到贝加尔湖以西存在一非常强的低压槽,而川西高原到盆地为弱脊(15日20时),青藏高原中部有高原涡生成。随着低压槽的东移,高原涡东移至川西高原一带,盆地转为低涡前侧的偏南气流影响,在成都地区西部有弱的气旋性辐合存在(16日08时),西太平洋副热带高压脊线位于 25°N 附近。16日20时高低空形势配置可见,500 hPa

低压槽继续东移,形成蒙古低压,而低压槽前正涡度平流所造成的低层减压诱发了700 hPa、850 hPa西南低涡的生成(即盆地涡)。此时西太平洋副热带高压较前期略有西进北抬,其西侧的偏南气流有利于引导低层的水汽向盆地输送。而后蒙古低压维持并缓慢东移,低压后部的偏北风携带冷空气南下促进了盆地涡的加强,西太平洋西热带高压 588 线的稳定维持具有一定阻塞作用,利于西南低涡在源地稳定少动,从而引起持续性的降水(16 日 20 时到 18 日 20 时西南低涡维持),因此,西南低涡是此次天气过程的主要影响系统。

地面图上,在降水前24 h,四川为暖低压控制,随着巴尔克斯湖到贝加尔湖之间的冷高压加强东移南压,其冷锋前沿在 16 日 08 时到甘肃中部一带,成都地区西部的第一轮降雨开始;而后冷高压不断分裂冷空气南下,在 95 °E、40 °N 附近有一冷高压中心存在(1017.5),冷高压后部不断有冷空气的补充,使得冷高压缓慢东移,16 日 20 时冷空气沿甘肃南部翻越秦岭进入四川盆地,成都开始大范围降水。因此,地面弱冷空气的参与对此次暴雨天气有一定的促进作用。

综上,中高纬度巴尔克斯湖到贝加尔湖以西强低槽的稳定维持为有利的环流形势,随着低压槽的逐渐东移诱发高原涡和西南涡的生成是此次暴雨发生的主要原因之一;高原涡和西南涡的前后影响是此次大暴雨过程的直接影响系统,高原涡沿高原切变线东南移,直接影响成都地区西部,随后西南涡在盆地生成,强烈的辐合上升作用,为暴雨提供了十分有利的动力条件和能量条件。加之,暴雨过程期间西太平洋副热带高压 588 线的稳定少动使较强的偏南气流长时间维持,为本地带来充沛的水汽供给;而地面冷空气的参与提供了很好的动力抬升作用。

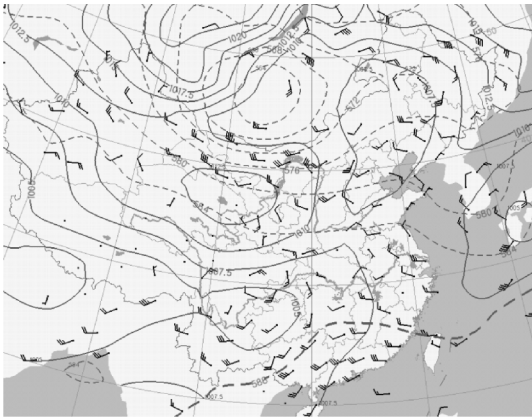


图2 8月17日08时500 hPa 位势高度($\times 10\text{gpm}$)、地面气压(hPa) 700 风场(500 hPa 位势高度:虚线;地面低压:实线)

3 西南涡的演变

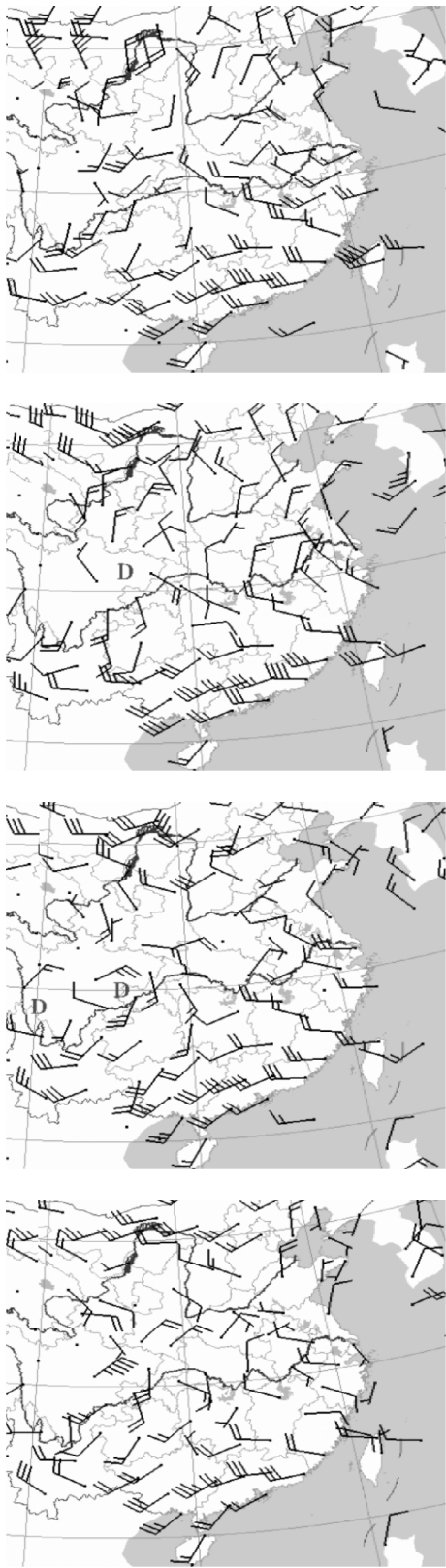


图3 2015年8月16日08时-17日20时700 hPa 风向风速实况

分析表明,此次强降水过程低层的西南涡扮演了重要的作用。西南涡主要发生在盆地上空对流层下

层,故对低层西南涡的进一步分析能很好地反应 MCC 的演变情况。

8 月 16 日 08 时,新疆中部到青藏高原西部有低压槽存在,川西高原有一高原涡,河套到甘肃南部有切变;随后 16 日 20 时在低压槽东移的过程中,槽前西南气流增强,700 hPa 北风南压,成都和达州的风向发生明显转变,偏北气流和偏南气流的作用在盆地形成一个气旋性低压系统,即盆地涡。MCC 生成于低空南风气流出口区的左侧,低涡中心的东南侧第四象限中。以往的研究表明,西南涡是一个十分深厚的系统,它是一个向西南倾斜的、深厚的 β 尺度低涡,具有低层辐合高层辐散的暴雨典型垂直结构。到强降水时段 17 日 08 时,盆地东部的偏南气流和东南气流有所增强,低涡

达到最强盛期(此时九龙也有一低涡生成,即九龙涡),在 850 hPa 重庆本站东南风达 $12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,低涡维持, MCC 生成于偏南风最大值前端强的暖平流中。

综上,西南涡是此次大暴雨的中小尺度系统。而 700 hPa 的偏南气流携带水汽来自孟湾,850 hPa 偏南气流携带水汽来自南海,两支从不同方向的气流源源不断地向本地输送水汽,为此次暴雨的持续提供了动力、热力及水汽条件。200 hPa 青藏高压北侧的副热带西风急流与低空气流的耦合作用,为暴雨的发展、发展提供了很好的动力条件。

4 中尺度复合体的演变特征

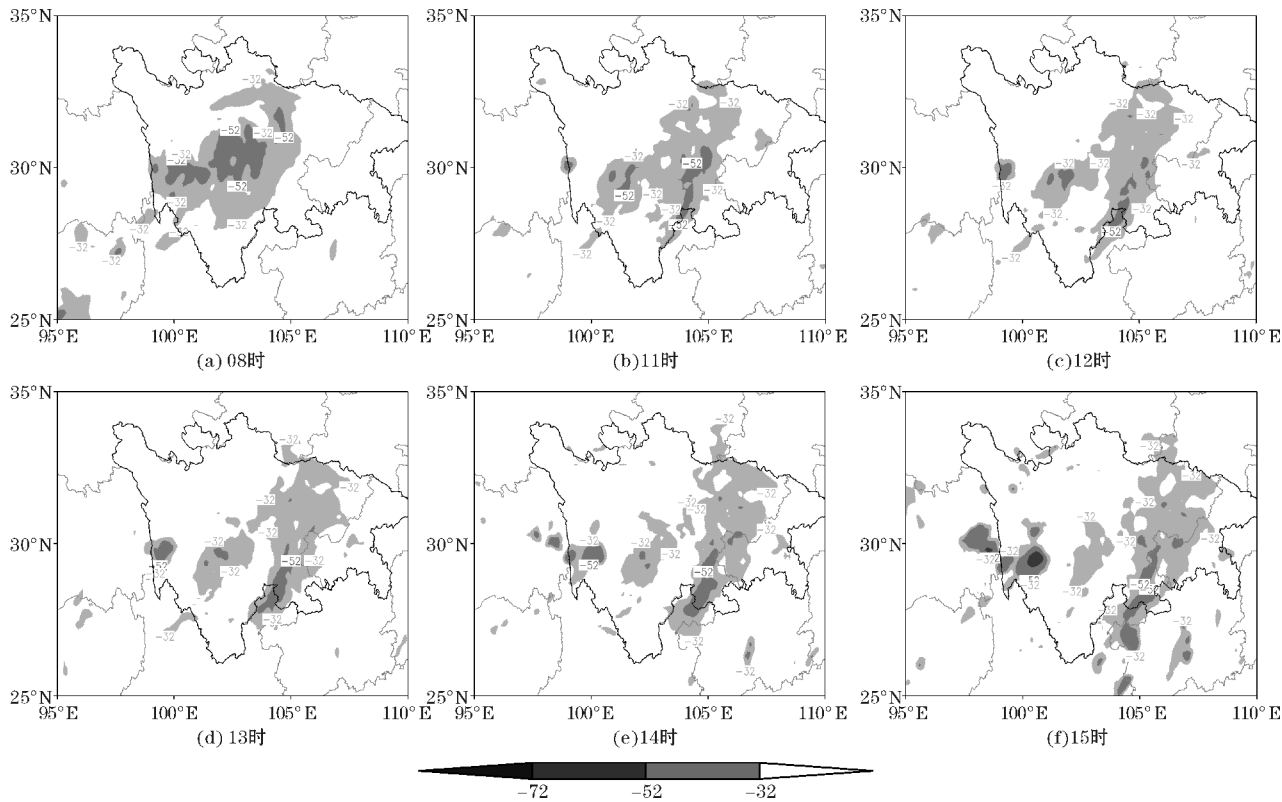


图 4 2015 年 8 月 16 日 TBB 云图

从 FY-2C 卫星云图的 TBB 资料(图 4)分析发现,此次降水过程主要集中在两个时段,第一阶段是 16 日 11 时-16 时,从 16 日 08 时的实况图上可以看到高原低涡中心东移东经 95°E 以东,以往的研究表明,高原涡生成后移出 95°E 有利于盆地西部出现暴雨量级的降水。至川西高原(图略),对应图 4 可以看到,外围呈涡旋状的云系十分明显,主体位于川西高原东南部,其前沿位于盆地西部沿山一带。成都地区西部已位于其前部的 -52°C 的云团中,出现了局地暴雨,小时最大降雨量 24.3 mm (都江堰天马镇)。随后低涡云系逐渐减弱,其主体向东南方向移动,在 11 时低涡云系逐渐

演变成南北状 5 : 1 的中尺度对流云带,成都地区仍处于 $-32^{\circ}\text{C} \sim -52^{\circ}\text{C}$ 的云团影响中。随后这条对流云带主体继续东移,成都地区的第一轮降雨逐渐减弱,可以看到此轮降雨主要系高原涡造成。

第二阶段主要降雨时段在 17 日 06 时-16 时,500 hPa 切变维持,中低层西南低涡后稳定少动,尽管小时雨强普遍在 $10 \sim 20\text{ mm}$,但小时降雨量 $\geq 10\text{ mm}$ 的持续时间达 7 个小时,持续降雨时间在 14 个小时及以上,故造成了成都出现大暴雨的降雨天气过程。该次暴雨过程的特点是主要降雨时段出现在白天,小时雨强不大,但持续时间长,属低温稳定型暴雨类别。

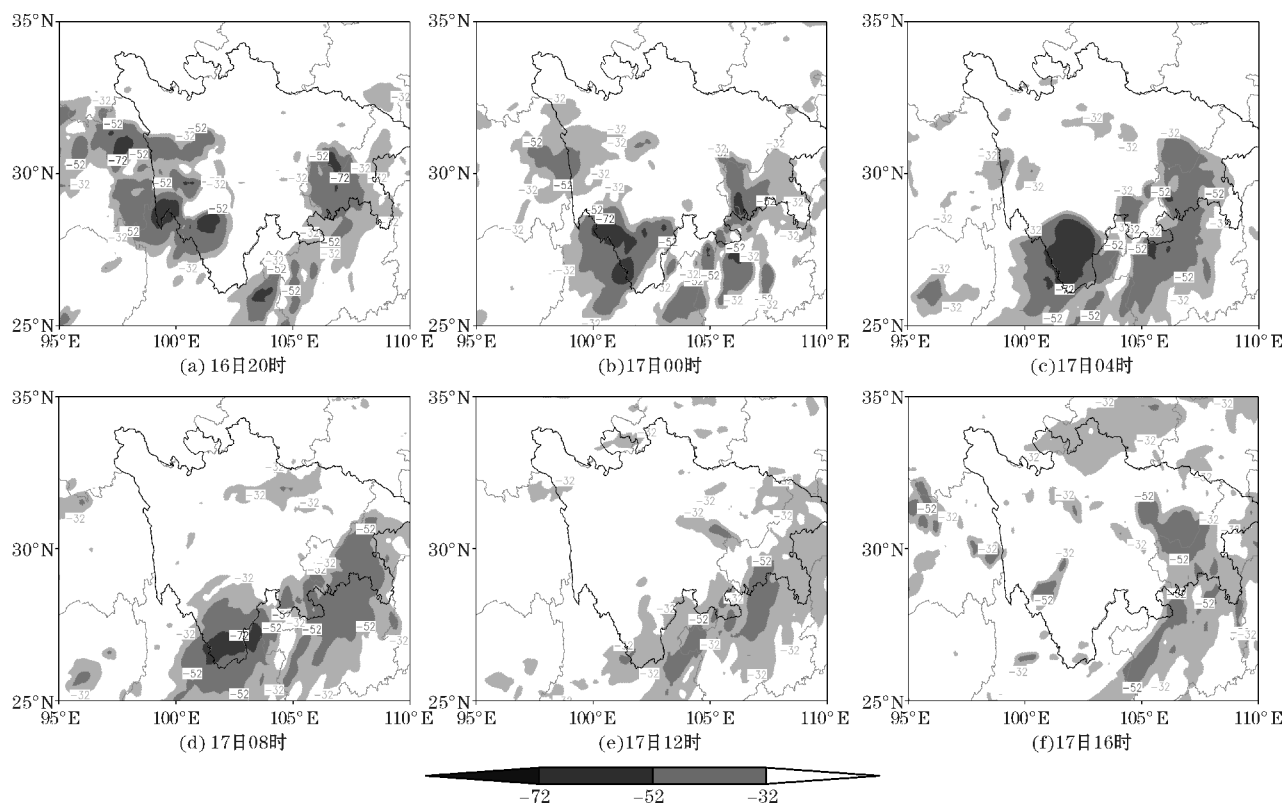


图5 2015年8月16-17日TBB云图

从700 hPa的高空实况资料可以看到(图略),16日20时,随着北风的南压,西南涡在盆地东北部一带生成,在盆地东部到重庆西部一带有一明显似原型的MCC(图5),其中心强度达到了 -72°C 。从云团来看,云团经历了从“弱-强-弱-强”交替及再生的过程。17日04时由于低涡的稳定维持,对流云团稳定少动,覆盖面积达到 25000 km^2 左右,沿着低涡外围不断有小尺度的对流云团在生成发展,成都地区一直处于 $-32^{\circ}\text{C} \sim -52^{\circ}\text{C}$ 的云团影响中,降水持续;到12时,盆地中部有一对流云团发展旺盛,中心值在 $-52^{\circ}\text{C} \sim -72^{\circ}\text{C}$,且之后的4~5个小时,对流云带迅速发展,范围逐渐变大,由带状逐渐发展为一约 $200\text{ km} \times 200\text{ km}$ 的椭圆形云体且稳定在($106^{\circ}\text{E}, 31^{\circ}\text{N}$)附近,成都地区出现了持续性大面积的降雨天气,郫县友爱出现了 $120\text{ mm}/8\text{ h}$ 的强降水,其中1小时最大降雨量在 25 mm 左右。之后,云团主体向东南移动,中低层南风气流逐渐减弱,成都地区的降水也逐渐趋于减弱。可见,暴雨过程有着显著的中尺度特征,强降水与对流云团的稳定少动及持续再生有着紧密的联系。

综上,此次降雨天气过程的直接影响系统是高原低涡(第一阶段)和西南涡(第二阶段),由于大尺度环流的阻塞作用使得西南涡稳定少动,从TBB资料分析可以看到,此次降雨过程中对流云团活动频繁、强度大、持续时间长,故造成强降水的产生。

5 多普勒雷达回波特征

暴雨是各种天气系统相互作用的产物,卫星云图

上可以看到这次暴雨的MCC属于 α 中尺度系统,而多普勒雷达探测到MCC内部的各种 β 尺度系统,更细致地反映MCC内核结构。

本次降水过程主要分为两个阶段,均属于层状云降水阶段(对流性不强),小时雨强不大,持续时间较长。第一阶段(16日11时-15时),都江堰天马镇最大小时雨强为 24.3 mm ,5个小时(11时-16时)降雨量为 62.6 mm ;第二阶段(17日06时-16时),降雨量 $\geq 10\text{ mm}$ 的持续时间达7个小时,郫县友爱镇7小时(17日06时-12时)累计降雨量达 133.5 mm 。

5.1 基本反射率因子特征

从成都单站的多普勒天气雷达回波资料可以看到,本次降水过程主要分为两个阶段,均为层状云降水回波。第一个阶段16日11时到16时,从温江站的探空图上可以看到,成都本地处于高能高湿的状态,K指数为41,SI指数为 -0.82 ,层结处于极不稳定的状态。成都西部沿山出现分散性的暴雨天气。16日08时高原低涡中心东移至川西高原一带,卫星云图上有明显的近似圆形的对流云团发展,受成都雷达可探测范围的限制,11时才有回波反映。到13时位于川西高原的对流云团已发展为典型的MCC,云顶亮温在 -52° 度左右。成都地区西部沿山降水明显,从雷达回波的演变可以看到(图6a-d)整个回波强度不强,回波从西部沿山开始逐渐向东北方向发展,到17时回波明显减弱,成都地区降水逐渐减弱。

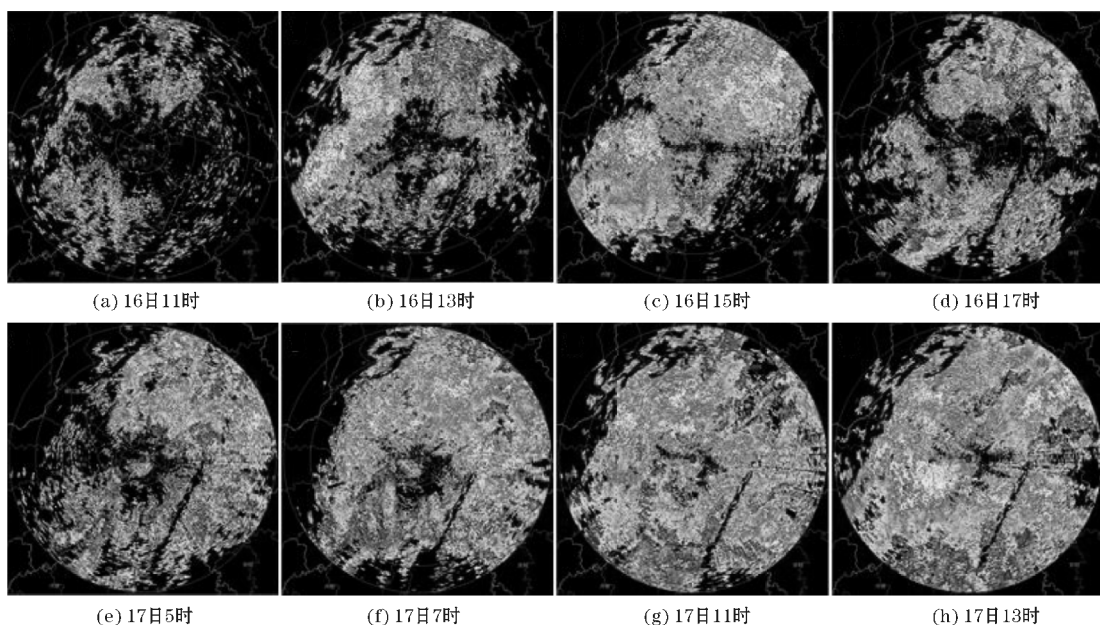


图6 2015年8月16-17日雷达基本反射率因子(0.5°仰角)

而第二阶段主要集中在17日06时到12时,主要是低层的西南低涡造成。在16日20时,随着北风的南压,西南涡在盆地东北部一带生成,在盆地东部到重庆西部一带有一明显似原形的MCC对流云团(图5),其中心强度达到 -72°C 。到17日08时温江站K指数有一个明显的下降(35),不稳定能量有所释放,表明第二阶段的降水主要以稳定性降水为主。成都位于西南低涡后部,低涡外围云系不断旋转,从雷达回波可以探测到(图6e-h),雷达回波先是在成都地区东北部开

始形成,然后呈现气旋性环流的特征先后在成都地区北部西部形成。低涡的稳定维持,使对流云团稳定少动而造成成都出现大面积的大暴雨天气过程。

综上,两个阶段的降水均以层状云降水为主,第一阶段的局地暴雨主要是高原涡的影响,回波具有自西向东移动的特征;第二阶段的全区暴雨主要是西南涡的影响,回波具有自东向西移动的趋势。

5.2 径向速度特征

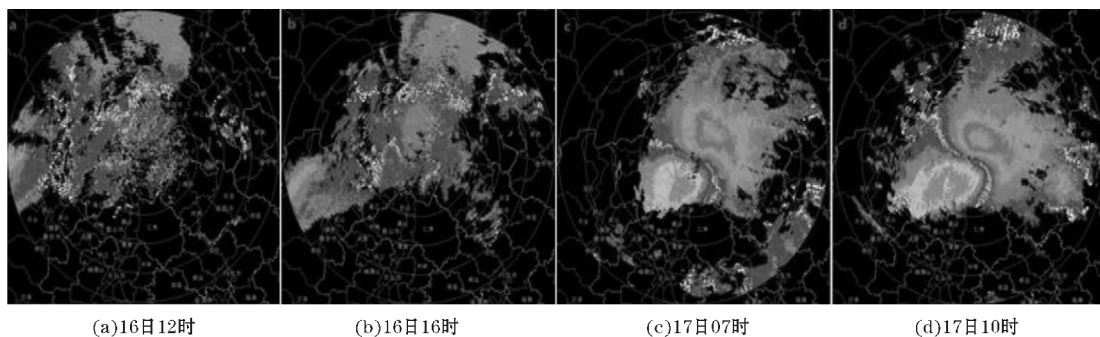


图7 2015年8月16-17日基本速度

16日12时速度零线为S型(图7),说明低层有暖平流(与风廓线图对应),都江堰有逆风区存在,表示有对流发展,有辐合,在基本反射率因子图上(图略)都江堰一带回波明显。随后14时前后崇州、大邑地区有逆风区存在,上述区域有对流发展。随后东北风转为了北风,绿色有个大值区,有风速辐合,暖平流逐渐减弱,降水减弱。

第二阶段的降水可以看到在17日07时速度图上(图7c)呈现出近似弓形状的辐合零线,并且具有明显的牛眼特征,表明低层有急流存在。到上午10时,“S”

形零速度线特征非常明显,表明暖平流有所增强。由于南风气流的暖湿输送,从而能够维持辐合线的水汽供应,使其得以稳定发展并长时间维持。22时以后正负速度中心数值减小,入流急流减弱,降水趋于结束。

6 多普勒雷达二次产品分析

6.1 组合反射(CR)、回波顶高(ET)、垂直累积液态水含量(VIL)分析

图8很好地反映了此次降水的变化特点。两个阶

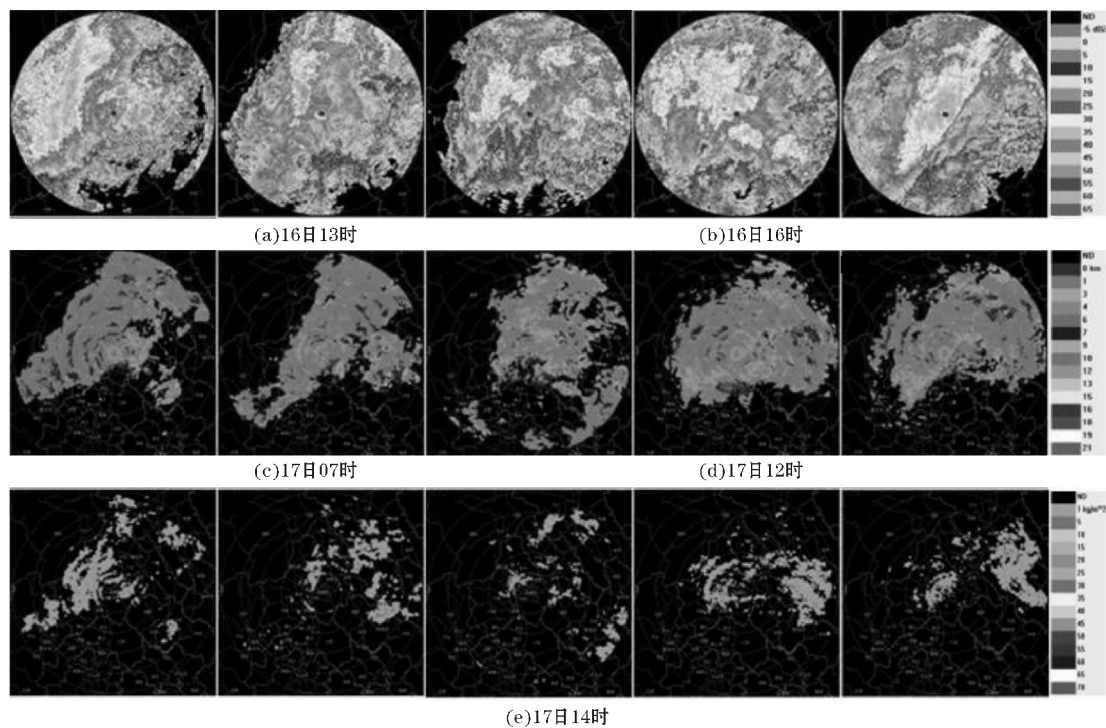


图8 2015年8月16~17日雷达组合反射率、回波顶高、垂直液态水含量产品的时间演变

段的降水均以层状云降水为主,回波顶高度均在10 km以下。第一阶段对应的组合反射率,回波具有自西向东移动的特征。成都雷达捕捉到的回波首先是在西部沿山都江堰、崇州、大邑一带,16日13时最大回波强度为45 dBZ,对应回波顶高在9 km左右,垂直液态水含量大值区也位于成都地区西部一带,后回波自西向东移动并减弱;而第二阶段的降雨主要是受西南低涡的影响,回波具有自东向西移动的特征。成都雷达首先捕捉到的回波大值区位于成都的东部一带,而

后呈旋转的特征先沿西北方向移动后阻滞在成都地区北部西部新都郫县一带,对应上述区域回波顶高度在7~9 km左右,有一定的垂直液态水含量。
综上,此次降水回波顶高高度较低,表明不是积云降水(雨强大,降水时间短),而是层状云与积云共同造成的降水,小时雨强不大,降水时间长。

6.2 垂直风廓线(VWP)变化特征

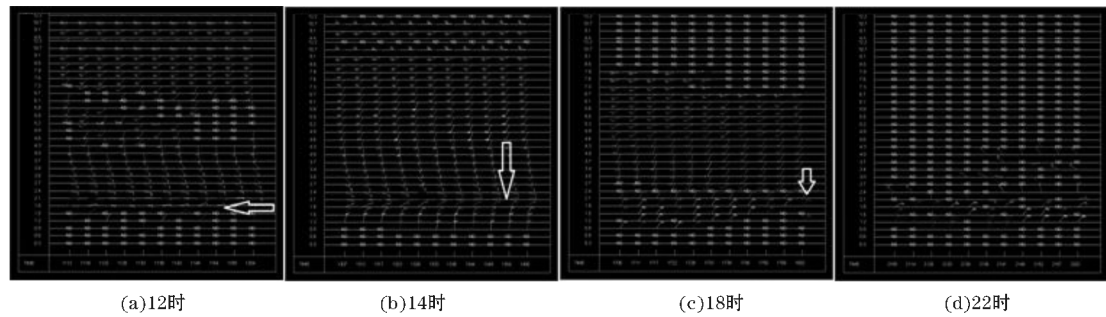


图9 2015年8月16日风廓线变化

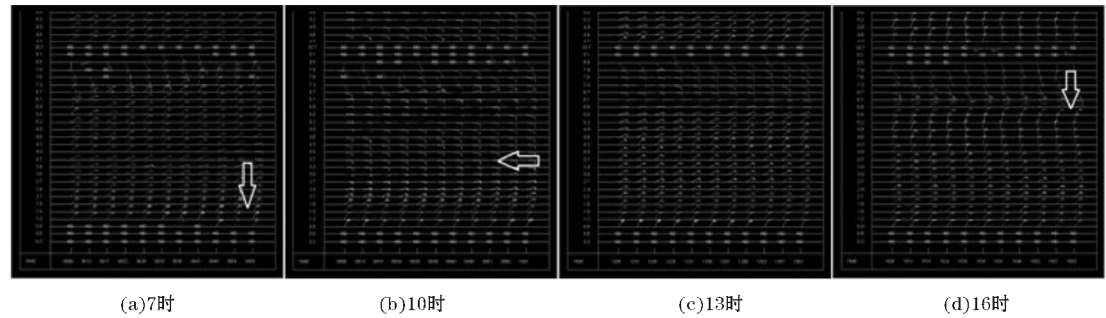


图10 2015年8月17日风廓线变化

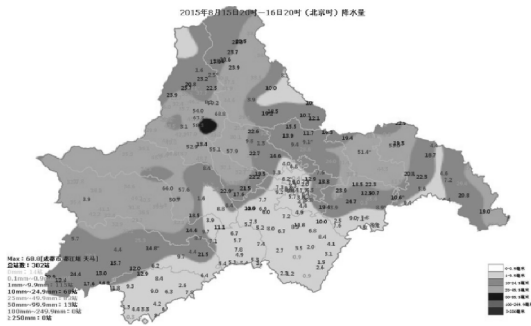
由图9、10可见,第一阶段风向呈顺滚特征,为利于降雨的形势。16日上午本站上空近地层有弱的东

北风存在,中高层为偏南暖湿气流,风随高度呈顺时针旋转,为典型的利于降雨形势,但偏南风风速不太大(表明水汽的输送不算太强)。随着偏南风逐渐减弱,暖平流也逐渐减弱,到了 22 时低层偏北风高度逐渐增加,高层的暖平流特征逐渐消失,降雨趋于减弱。

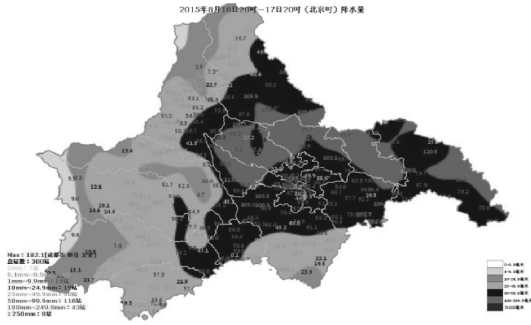
17 日 00 时开始,低层的东北风出现了明显的增强,且高度呈现出逐渐升高的趋势。到 17 日 07 时受西南低涡的影响,本站整层为东北风控制,暖湿水汽输送明显,而地面有弱冷空气进入(图略),冷暖气团的交汇利于降水的发生。因西南低涡长时间的维持使成都市上空一直维持上述形式的配置,低层一直维持很强的东北风,水汽输送强,造成了成都市持续性稳定性的降水。尽管小时雨强不强,但累计降雨量却很大。

7 模式预报检验

汛期暴雨过程的起始时间是预报的一个难点,下面从 EC 和 T639 模式对此次过程开始期的把握进行一下对比检验:此次过程的主要降水时段为 16 日 20 时-17 日 20 时,但在主过程前的 24 h,成都地区西部沿山已经出现了分散的暴雨点(图 11)。



(a) 15 日 20 时-16 日 20 时



(b) 16 日 20 时-17 日 20 时

图 11 24 h 累计降水量

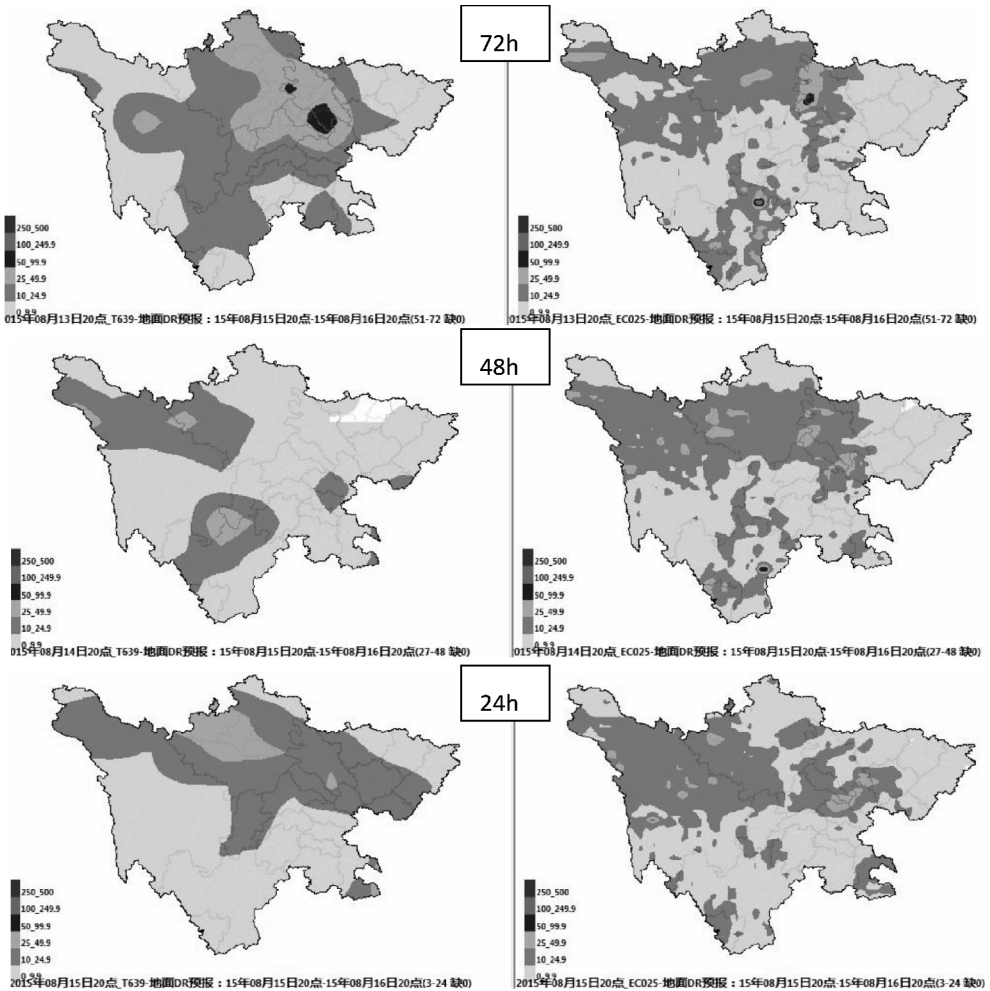


图 12 T639 和 EC 模式不同起报时间的 8 月 15 日 20 时-16 日 20 时 24 h 降水量(左列:T639 右列:EC)

从图 12 看出,尽管 T639 模式没有预报出暴雨点,但在 72 h 时预报盆地西北部、中部有大雨,在 48 h 时将降水的预报量级明显调小,24 h 时仅仅在成都的西

部北部地区报了中雨量级的降水;EC 模式在 72 h、48 h、24 h 对 16 日的局地暴雨基本漏报。由此可以看出,对于局地暴雨两家模式的预报相对把握均不太好。

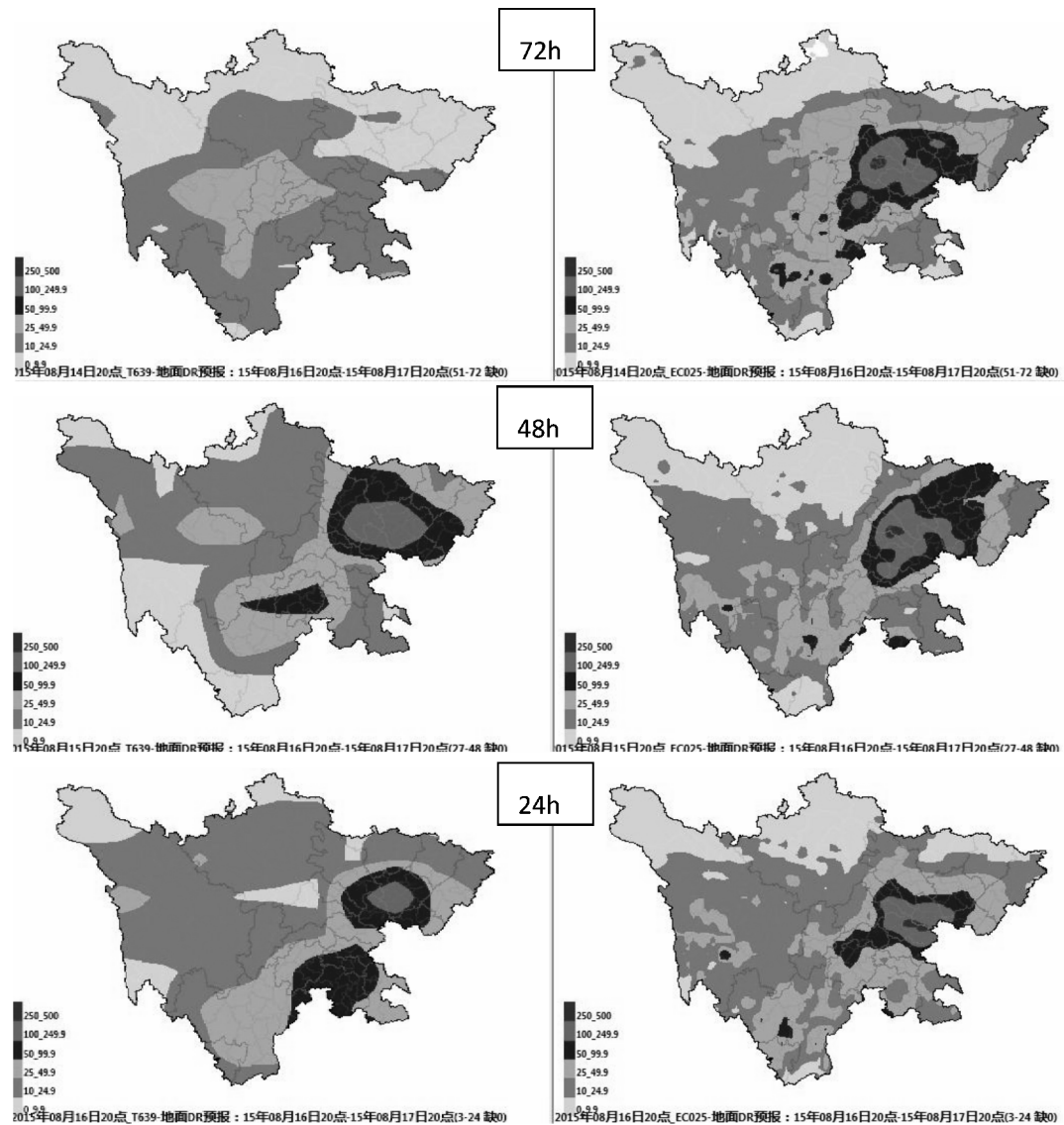


图 13 T639 和 EC 模式不同起报时间的 8 月 16 日 20 时-17 日 20 时 24h 降水量(左列:T639 右列:EC)

从图 13 看出,在对于此次过程主过程的降水量级和落区把握上,EC 模式从 72 h、48 h 到 24 h 基本稳定的预报暴雨落区在盆地中部,在成都地区中部到东部报了一些暴雨到大暴雨两级的降水,比实况略偏南,大暴雨落区也较实况略偏南,但总体上预报效果较好。而 T639 模式在 72 h 的预报较实况偏差较大,但 48 h 和 24 h 迅速调整,暴雨落区的位置基本在盆地中部偏北的位置,尤其是大暴雨落区较实况接近,但对成都中部到东部的预与实况偏差较大。综上所述,对于主过程的预报,两家模式各有优缺点,相比较而言,EC 模式较为稳定,降水两级上把握较好。

综上,对于此次降雨天气过程开始期的把握,EC 模式要优于 T639 模式。EC 模式对于主过程的预报随

着预报时效的临近,较为稳定,且在强降水落区的预报上有较好的参考性。因此在今后的预报中,预报员在定落区和量级上可以综合两家模式,以稳定度较好的 EC 模式为参考(EC 模式对于大尺度的天气系统把握比较稳定),强降水落区可以参考多家模式,以此来进行调整。

8 结论

(1) 中高纬度巴尔克斯湖到贝加尔湖以西强低槽的稳定维持为有利的环流形势,随着低压槽的逐渐东移诱发高原涡和西南涡的生成是此次暴雨发生的主要原因之一。

(2)高原涡和西南涡的前后影响是此次大暴雨过程的直接影响系统,高原涡沿高原切边线东南移,直接影响成都地区西部,随后西南涡在盆地生成,强烈的辐合上升作用,为暴雨提供了十分有利的动力条件和能量条件。加之,暴雨过程期间西太平洋副热带高压588线的稳定少动使较强的偏南气流长时间维持,为本地带来充沛的水汽供给。

(3)高原涡和西南涡引发的中尺度对流复合体MCC为这次暴雨的中小尺度影响系统,降水过程中对流云团活动频繁,强度大,对流云团多属于中 α 和中 β 尺度系统,是此次暴雨强度强的原因。

(4)多普列雷达回波特征特可以看到,此次暴雨过程主要分两个阶段,第一阶段的局地暴雨主要是高原涡的影响,回波具有自西向东移动的特征;第二阶段的全区暴雨主要是西南涡的影响,回波具有自东向西移动的趋势,均属于层状云降水回波。降雨时段出现在白天,小时雨强不大,持续时间较长,属低持续性稳定型暴雨类别。另外,在径向速度图上“S”形零速度线特征非常明显,具有典型的牛眼特征,能很好地反出低层的暖湿气流输送。垂直风廓线图上,低涡外围的东北风持续时间较长,中低层为顺滚流特征,中高层是反时针,表明有冷平流,这种配置也有利于对流发生。

西南低涡的维持使成都市上空一直维持上述形式的配置,低层一直维持很强的东北风,水汽输送强,造成了成都市持续性稳定性的降水。尽管小时雨强不强,但累计降雨量却很大。

(5)模式预报检验得出,对于局地暴雨EC、T639两家模式的预报相对把握均不太好,而对于区域性暴雨大暴雨的预报,两家模式各有优缺点,相比较而言,EC模式较为稳定,降水两级上把握较好。

参考文献:

- [1] 陶诗言. 中国之暴雨[M]. 北京:气象出版社, 1980.
- [2] 廖菲,洪延超,郑国光. 地形对降水的影响研究概述[J]. 气象科技,2007,35(3):309-315.
- [3] 杨宏青,陈正洪,石燕,等. 长江流域近40年强降水的变化趋势[J]. 气象,2005,31(3):66-68.
- [4] 商兆堂,濮梅娟,蒋名淑. 盐城发生大暴雨的天气类型分析[J]. 气象科学,2007,27(4):436-440.
- [5] 尹东屏,张备,赵凯,等. 2005年淮北大暴雨成因诊断的个例分析[J]. 气象科学,2008,28(S1):46-51.