

# “07.6”广西柳州极端暴雨过程 的多尺度特征分析

杨 春<sup>1,2</sup> 谌 芸<sup>2,1</sup> 方之芳<sup>1</sup> 李泽椿<sup>2</sup>

(1. 成都信息工程学院, 成都 610225; 2. 国家气象中心)

**提 要:** 利用 NCEP  $1^\circ \times 1^\circ$  再分析资料、常规观测资料、自动站、雷达及 FY-2C 卫星资料, 分析了 2007 年 6 月 12—13 日广西柳州极端暴雨过程的多尺度特征, 并探讨了此次暴雨过程的成因。结果显示: 500hPa 高原东侧的低槽引导冷空气南下, 地面准静止锋南移进入广西境内, 在地面形成锋面低槽的形势。暴雨发生在 850hPa 低涡切变线上, 暴雨中心与  $\beta$  中尺度低涡扰动有很好的对应关系。这次过程的主要降水系统是南部的对流云团和锋面附近的中尺度对流复合体(MCC)。柳州极端暴雨由两个雨团造成, 其中一个雨团强度大, 持续时间长, 这与强降水回波的列车效应和地面中尺度辐合线有关, 是柳州高强度降水得以长时间维持的主要原因。

**关键词:** MCC 雨团 列车效应 暴雨

## Multi-scale Characteristics Analysis of Liuzhou Server Heavy Rainfall in June, 2007

Yang Chun<sup>1,2</sup> Chen Yun<sup>2,1</sup> Fang Zhifang<sup>1</sup> Li Zechun<sup>2</sup>

(1. Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225; 2. National Meteorological Center)

**Abstract:** Based on multiple meteorological data, including NCEP  $1^\circ \times 1^\circ$  reanalysis data, routine-observational data, automatic weather station data, Doppler radar data and FY-2C satellite TBB data, the multi-scale characteristic of the server heavy rain happened in Liuzhou during 12—13 June 2007 was analyzed and its mechanism was also discussed. The results show that: because of the guidance function of east plateau low trough on 500hPa, the cold air gone south. The quasi-stationary front moved from Guizhou to Guangxi and “the front-low trough situation” formed at ground surface. The heavy rain developed in the

本文由国家重点基础研究发展规划项目(2004CB418307)、国家自然科学基金(40675059)和国家气象中心自筹项目(ZK2007-1401)共同资助

收稿日期: 2009 年 1 月 11 日; 修定稿日期: 2009 年 3 月 20 日

850hPa low trough, the center of heavy rain had a better relation to the meso- $\beta$ -scale low vortex disturbance. The precipitation systems were the convective cloud clusters from south Guangxi and MCC near the frontal surface. Liuzhou heavy precipitation was created by two rain clusters. Because of the train effect of precipitation echo and ground mesoscale shear line, one of rain clusters had heavy intensity and long persistent time, this was a main reason which Liuzhou server heavy rainfall produced.

**Key Words:** MCC(mesoscale convective complex) rain clusters the train effect heavy rain

## 引 言

华南前汛期是我国夏季雨带季节性北移的第一个阶段,它的早晚、强度与中国其后各区域的降水有着必然的联系,对于理解东亚夏季风的全过程是一个不可缺少的环节<sup>[1]</sup>。因此对华南暴雨的研究一直被科学家们所重视。

但是,过去对华南前汛期暴雨实验研究的重点区域在珠江三角洲及闽台地区<sup>[2]</sup>,对华南西部的广西壮族自治区涉及较少。一方面广西处于广东、福建、台湾的上游,境内的天气系统经常影响其下游地区;另一方面广西位于热带和副热带交界处,且毗邻云贵高原,产生降水的系统复杂,强降水的发生与华南其他地区有所不同<sup>[3-4]</sup>。贾显锋等<sup>[5]</sup>的研究指出,进入20世纪90年代以来,广西柳江流域致洪暴雨发生的频率和强度都有增加的趋势;黄香杏等<sup>[6]</sup>研究指出,500hPa西风槽带动高原东部槽东移至广西上空,呈前倾状态;低层的暖湿气流在前倾槽扰动激发下,产生上升运动并造成广西西江流域的致洪暴雨。吴恒强<sup>[7-8]</sup>分析了海南岛绕流效应与广西南部中尺度降水系统的关系,并指出,桂西北的“东、巴、凤”地区是中尺度低涡高频出现的区域,该区域与气候上的降水大值中心相对应。1994年6月,华南发生历史上罕见的特大暴雨,过程最大降水出现在广西北部及东北部,孙建华等<sup>[9-10]</sup>,伍星赞等<sup>[11]</sup>,对此次

过程作了详细的分析,并较早地引进中尺度模式研究过程中的中尺度对流系统。2005年6月中旬,华南再次发生罕见持续性暴雨天气过程,广西东部、北部是本次过程的主要暴雨中心之一,造成了西江流域的严重洪涝灾害。不少专家学者从不同角度对这次暴雨过程作了深入的研究,并揭示一批新的事实<sup>[12-17]</sup>。随着人们对精细化预报要求的不断提高,利用更加精细的常规和非常规资料对该地区的暴雨天气过程的研究无论在理论上还是在实际运用中都是很有意义的。

2007年6月12—13日广西境内普降暴雨,柳州市和柳江县的24小时降水均打破建站以来日雨量的历史记录,造成柳州、柳江等地严重的内涝。由于暴雨的发生是一个多尺度系统相互作用的复杂问题,本文将利用NCEP  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 再分析资料、常规观测资料、FY-2C卫星资料、雷达资料及地面自动站资料综合分析这次过程的多尺度特征并探讨柳州极端暴雨形成的原因,希望能够揭示一些新的事实,为这类暴雨的预报提供参考依据。

## 1 雨情分析

2007年6月13日20时(北京时,下同)的24小时降水实况图(图1a)上:大范围降水呈东北—西南带状分布,大尺度雨带中有一条 $\alpha$ 中尺度的暴雨带(降水大于50mm的区域)和数个暴雨中心,暴雨中心位于广西柳州(24.35°N、109.40°E)、大新(22.84°N、107.20°E)、

防城港(21.79°N、108.35°E)地区及广东东部和江西西部地区。最大降水出现在柳州地区的柳江县(307mm/24h)。柳州(234mm/24h)、柳江两站日雨量均打破建站以来的历史记录。从图1b可以看到,柳州、柳江降水主要集中在12日20时至13日07时,降水可分为两个阶段:第一阶段为12日20—23时,最强降水出现在22时;第二阶段为12日23时至13日07时,最强降水出现在13日03时,小时雨量分别为54.1mm/h和105mm/h,03时以后降水迅速减小。第二阶段的降水强度比第一阶段大。柳州地区降水持续时间短,强度大,具有明显的中尺度特征。

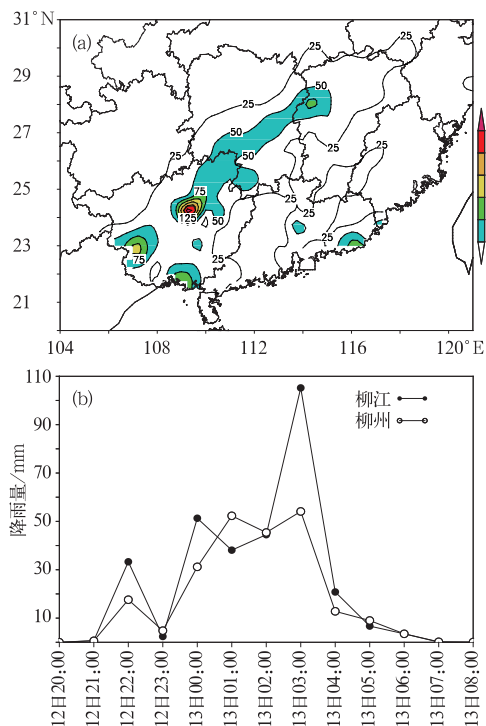


图1 2007年6月13日20时的24小时降水(a)和柳州、柳江12日20时—13日20时小时雨量演变(b),阴影区为暴雨区(单位:mm)

## 2 极端暴雨的大尺度环流背景及诊断分析

### 2.1 环流背景

在2007年6月12日20时500hPa

(图2)高度场上:欧亚大陆中高纬地区为两槽一脊的形势。高原东侧为一低槽,华南地区位于槽前,冷空气沿高原东侧南下,影响华南地区。日本上空为一阻塞高压,由于阻高作用,其西部的低槽位置稳定少动。副高位置偏南,脊线位置在15°N附近。200 hPa图上(图略),华南地区位于南亚高压的东北部,副热带西风急流的右侧。850 hPa切变线从我国东海延伸至华南地区,切变线西端的广西西部有一中尺度涡旋(图4a)。暴雨发生前,广西地区为明显的低层辐合、高层辐散的形势,为暴雨中尺度系统的发生提供了有利的大尺度动力条件。13日08时,低层辐合系统已经移过柳州地区,柳州强降水结束。

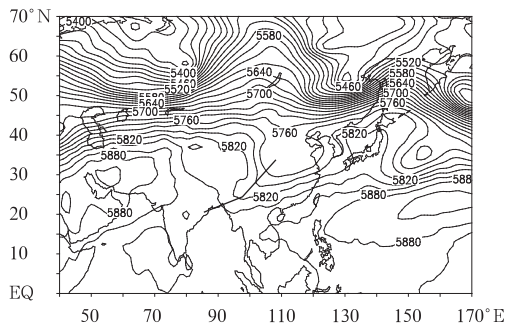


图2 2007年6月12日20时500hPa位势高度场(单位:gpm,粗实线代表槽线)

### 2.2 低层系统特征与降水

黄士松等<sup>[18]</sup>指出,华南前汛期地面常出现一个向偏西方向开口的纬向低槽,低槽北侧为冷高脊,南侧副高脊(或变性冷高),大多数低槽有锋面移入或槽内有锋生,形成地面锋面低槽形势。在本次暴雨过程中广西地面出现了明显的锋面低槽形势。如图3所示,由于热低压东移和中层槽共同作用,广西地面出现向西开口的倒槽,槽北部等温线密集,是锋线所在区域。地面锋向东南缓慢移动,呈准静止状态。当锋面进入倒槽,倒槽加深,地表辐合加强。地面降水随锋面低槽形势的移动而移动,当这种形势移过柳州,柳州降水

结束。一般认为<sup>[1]</sup>,华南前汛期特大暴雨一般发生在锋前暖区,为暖区暴雨。由图3可见,柳州地区位于倒槽东北端的等温线密集区,此时锋线正经过柳州,随后并产生了强降水,可见柳州极端暴雨是一次明显的锋面降水过程。

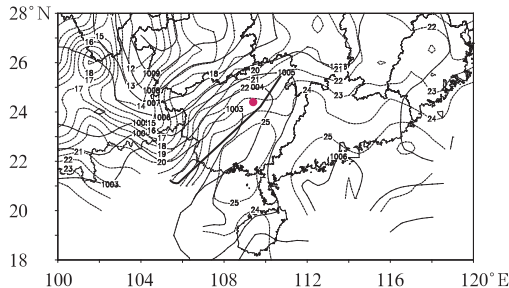


图3 2007年6月12日23时地面气压(实线,单位:hPa)和温度(虚线,单位:℃)  
小圆点标记的位置是柳州,粗实线代表槽线

周秀骥等<sup>[1]</sup>指出,低层系统对华南前汛期暴雨最具决定性作用。在华南前汛期,暖区湿空气沿准静止锋爬升,在850hPa形成一条与地面锋线对应的切变线;切变线上常伴有低涡扰动,低涡沿切变线发展和移动。此次暴雨过程中,由于地面热低压和高空槽前正涡度输送的作用,12日20时(图4a)850hPa广西西部出现一个 $\alpha$ 中尺度低涡。随着北部冷高压南下,副高北移,13日02时(图4b),850hPa $\alpha$ 中尺度低涡演变成低槽,槽区气旋性切变增强。低槽槽中形成两个 $\beta$ 中尺度低涡扰动,扰动处的气旋性切变辐合作用最强。08时(图4c)与02时相比,低槽变宽,槽内依然存在两个低涡,但范围变得更大。由于低槽内强烈的辐合作用,容易激发低层高温高湿大气产生暴雨中尺度对流系统。6小时降水主要位于低槽内切变线上,强降水中心出现在 $\beta$ 中尺度低涡扰动附近气旋性切变最显著的地方。切变线及其上的 $\beta$ 中尺度低涡扰动对本次暴雨落区的预报有较好的指示意义。

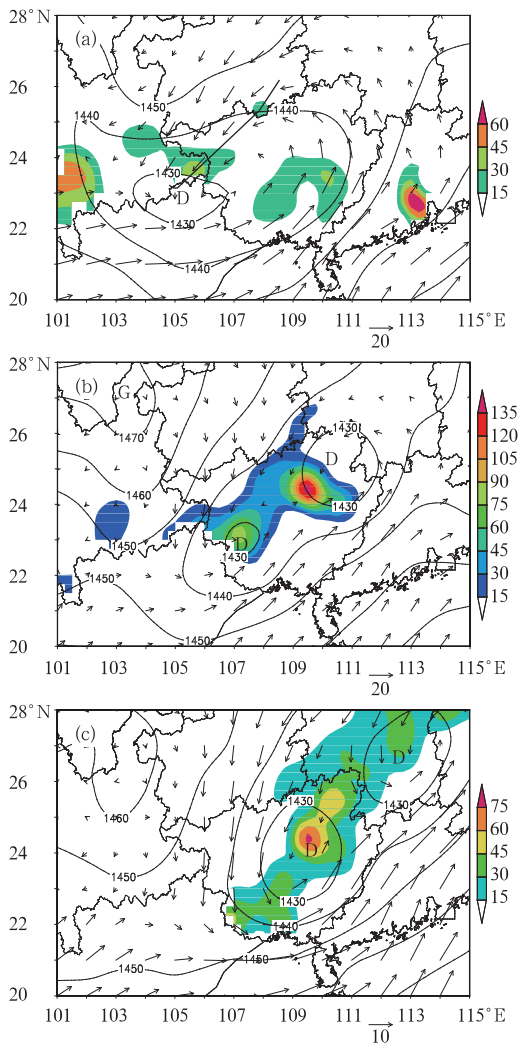


图4 2007年6月12日20时(a)、13日02时(b)与08时(c)850 hPa高度场(单位:gpm)、风场和6小时降水,实线是等位势高度线,阴影区是 $\geq 10$ mm的降水区

## 2.3 水汽、大气稳定度及垂直运动分析

由于西南季风作用,本次降水过程中从孟加拉湾到我国长江流域存在一条巨大的湿舌。广西中部和北部地区的相对湿度达到90%以上。暴雨发生前,整层大气可降水量最大值区也位于两广地区。从柳州暴雨中心的经向剖面图可以看到:12日20时(图5a)柳州第一个降水峰值出现前,其南部的24°N

附近,低层(1000~650hPa)为较强的水汽通量辐合,最强辐合中心在900hPa。13日02时(图5b),低涡演变成低槽,低槽内的低涡扰动使辐合加强,水汽通量辐合区延伸到500hPa,大值中心北移到柳州,柳州第二阶段的强降水峰值随后出现。随着水汽辐合中心的南移,柳州地区的降水趋于结束。

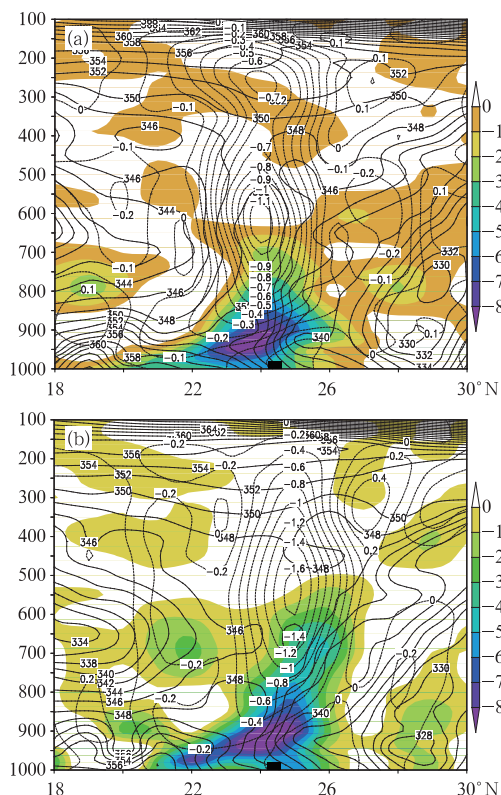


图5 2007年6月12日20时(a)和13日02时(b)沿柳州暴雨中心的经向(110°E)剖面图  
实线是假相当位温,虚线是垂直速度,  
阴影是水汽通量散度小于0的区域,  
单位分别是 K,  $\text{pa} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $10^{-7} \text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。  
黑点为柳州地区

从柳州暴雨中心假相当位温( $\theta_{\text{se}}$ )经向剖面图上可见:12日20时(图5a),锋前暖区的 $\theta_{\text{se}}$ 中低层出现 $\Omega$ 型;柳州950~600hPa气层为潮湿中性层结,等 $\theta_{\text{se}}$ 线分布近乎垂直,1000~950hPa为浅薄的弱不稳定层结。13

日02时(图5b),随着对流的发生,凝结潜热释放,柳州地区925hPa以上层结逐渐变得稳定。柳州强降水发生在锋面附近的中性层结大气中。随着锋区向东南方向移动,柳州地区的降水逐渐减小。

在柳州强降水发生前,华南地区出现大范围的上升运动,强度不大。大范围上升运动是由于锋面抬升和锋前暖平流作用造成的。陶诗言等<sup>[19]</sup>指出,大尺度上升运动提供了中、小尺度上升运动发生发展的环流背景和环境条件,是暴雨发生发展的重要先决条件。到20时(图5a),24°N附近发生对流,上升运动发展到对流层顶,并出现了两个极大值中心,分别在650hPa和250hPa。13日02时(图5b),随着柳州地区对流的发生,凝结潜热释放,上升运动进一步加强,最大上升运动中心位于550hPa。随着地面冷空气移过柳州,上升运动减弱,降水结束。

综上所述,暴雨发生前,受锋面低槽、低涡切变线和500hPa低槽的共同作用,暴雨区低层辐合、高层辐散,为暴雨中尺度系统的产生提供了有利大尺度动力条件,西南季风的水汽输送造成暴雨区大气高温高湿。低层辐合系统造成暴雨中心强烈的水汽通量辐合,并有利于激发中尺度对流系统的产生,高层质量和能量的疏散有利于对流系统的维持和加强。

### 3 中尺度分析

暴雨是在有利大尺度背景下,由中小尺度对流系统造成的。前文分析了此次暴雨过程发生的有利大尺度动力条件和环境场,下面将利用精细的地面自动站资料、卫星资料和雷达资料,分析造成此次暴雨过程的中小尺度对流云团、雨团的演变特征,并讨论地面中尺度辐合系统对柳州极端暴雨形成的作用。

### 3.1 降水云团的演变特征

由FY-2C的TBB分布图(图6)可见:12日14时,广西西部锋面上生成一个对流单体A,南部暖区生成两个对流单体B、C。A向东发展,B、C向东北发展。18时(图6a)A呈东西向带状,B、C发展到强盛阶段,A、B、C东西排列。20时(图6b)A发展增强,B、C向北扩展,并逐渐减弱。随着锋面低槽的形成和850hPa低涡演变成低槽,低槽区辐合加强,A云团在低槽区发展;到22时(图6c)

A云团发展为中尺度对流复合体(MCC)<sup>[20]</sup>,B云团 $-52^{\circ}\text{C}$ 冷云盖扩展到柳州上空,并造成柳州第一个降水峰值。13日01时,A云团发展到最强阶段(图6d), $\leq -52^{\circ}\text{C}$ 的面积约为 $400\text{km}\times 500\text{km}$ ;B云团消失。此时A云团位于850hPa的低槽内,与低涡扰动相对应。02—03时(图6e),MCC面积缩小,开始衰亡,并向东北方向缓慢移动。07时(图6f),A云团南部有新的对流云团D发展,A云团逐渐减弱消失。

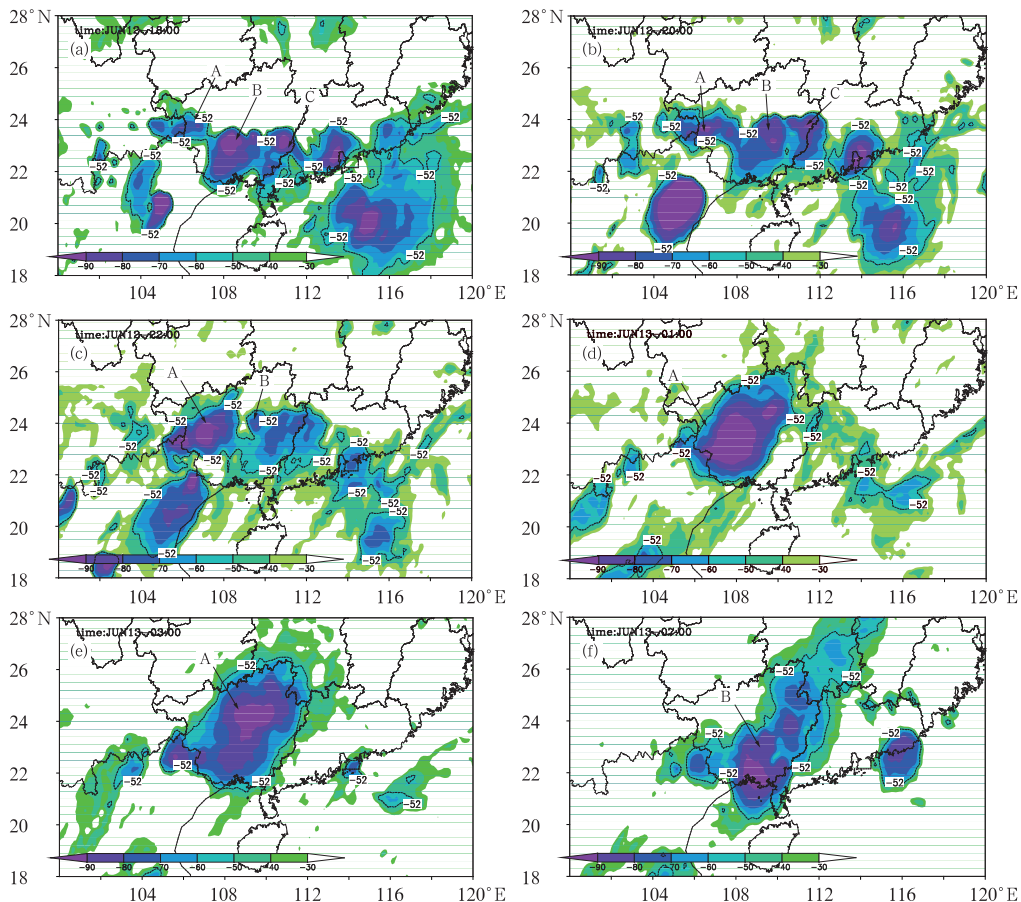


图6 2007年6月12日18时(a)、20时(b)、22时(d)、13日01时(e)、03时(f)和07时(g)的FY-2C的TBB分布  
(单位: $^{\circ}\text{C}$ ,阴影区为 $\leq -22^{\circ}\text{C}$ 的范围)

柳州站的降水主要由对流云团 B 和 MCC 造成,其中 MCC 是柳州极端暴雨的主要降水系统。对比图 3 可知,从云南、贵州接壤区向广西西部伸出一条冷舌,A 云团的产生与地面冷舌对应,说明该云团可能是由冷舌触发潮湿不稳定大气而产生。A 云团在地面斜压区及 850hPa 低槽内发生发展并最终形成 MCC。准静止锋南侧暖区大气潮湿不稳定,西南季风将暖湿空气和不稳定能量向 MCC 所在区域输送,为 MCC 的形成和发展提供水汽条件和能量条件。MCC 是高度组织的中尺度对流系统,其内部同时存在多个尺度更小的积云单体,这些积云单体的产生与锋面系统和低涡切变线的辐合激发作用密切相关;低涡切变线区的正涡度气流对积云单体起到组织作用,这可能是积云单体形成 MCC 的重要原因;高层辐散作用有利于 MCC 的维持。MCC 随锋面切变线缓慢向东移动,并沿锋面向东北扩展。

### 3.2 雨团分析

MCC 包含多个尺度小得多,生命史短得

多的积云单体,这些单体的生消、合并与地面雨团的形成和加强紧密相关,并使地面降水分布很不均匀。为了更直观地了解 MCC 降水的时空分布特征和柳州极端暴雨的形成过程,本文采用文献[1]中的方法,用自动站逐小时降水资料分析地面雨团的特征(如图 7)。

12 日 21 时雨团呈东—西向分布(图略),与云团的分布(图 6b)一致,最强雨团出现在广西西部,与 A 云团对应,是 MCC 初生阶段所产生的降水。22 时(图 7a)广西西北部雨团呈东北—西南分布,形成中尺度雨带。此时柳州位于 B 云团的北缘(图 6c),柳州、柳江的小时雨量分别为 17.6mm/h 和 33.3mm/h(雨团 I)。随着 MCC 发展加强,雨带向东南方向移动,MCC 内部出现多个积云单体活动,雨带出现多个小尺度强降水中心。13 日 00 时(图略),MCC 发展到强盛阶段,中尺度雨带以北出现两个雨团 II 和 III,雨团 III 开始造成柳州地区第二阶段的降水。01 时(图 7b),雨团 II 明显减弱,雨团 III 的范围增大,强度增强,此时柳州地区的降水达到

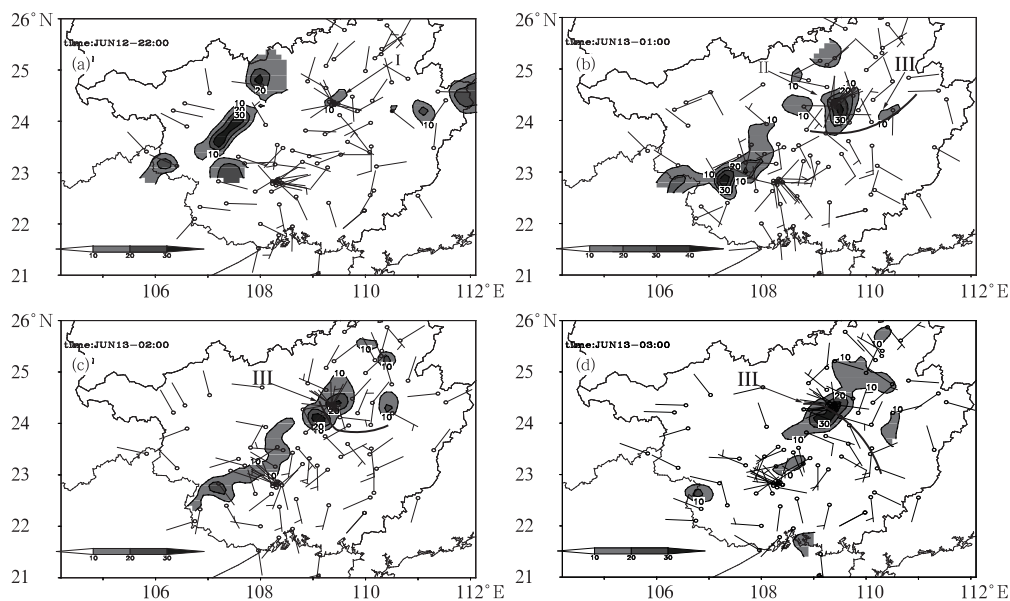


图 7 2007 年 6 月 12—13 日小时雨量(单位:mm)及地面风场  
(a) 12 日 22 时,(b)、(c)、(d)分别是 13 日 01 时、02 时和 03 时,粗实线是辐合线

30~40mm/h。02时(图7c)中尺度雨带的强度减弱;雨团Ⅲ继续加强且在其上出现两个小尺度的强降水中心;到03时(图7d),两个强降水中心叠置、重合,降水强度陡增,柳州、柳江观测到过程中的最强降水,分别为54mm/h和105mm/h。此后,MCC开始消亡,雨团分布松散,柳州地区的降水迅速减弱结束。

可见,对流云团B发展北上,造成了柳州极端暴雨第一阶段的降水(雨团Ⅰ);MCC发展到强盛阶段产生的雨团Ⅲ,造成了柳州极端暴雨的第二阶段的强降水,雨团的叠加形成了第二阶段的降水峰值。

### 3.3 地面中尺度系统分析

由图7可见:暴雨期间,柳州降水中心附近多次出现中尺度辐合线。12日22时(图7a),西北风、西南风和东南风在柳州辐合,雨团Ⅰ位于辐合区,雨团Ⅰ的形成与地面中尺度辐合紧密相关。从12日23时到13日04时,柳州附近处于冷、暖空气的交汇区,风场上表现为偏南风与偏北风的中尺度辐合线,长约150km,生命史为6小时左右,且稳定少动。雨团Ⅲ位于中尺度切变线的西端

(图7b、c、d),风向辐合明显,中尺度辐合线增加该地区的水汽和能量积聚,对柳州降水雨团的产生和加强起到了重要作用。地面中尺度辐合系统与地面雨团的密切关系在文献[1]和[15]中曾多次提到,可见,地面自动站提供的较高分辨率资料对这次柳州极端暴雨的形成具有指示意义,并可以为短时临近预报提供重要的参考信息。

### 3.4 降水回波分析

从柳州雷达的反射率因子分布图(图8)上可以看到:12日22时08分,柳州站出现强度大于45dBz的孤立对流回波单体,柳州西部的中尺度强回波带与地面中尺度雨带相对应。22时14分,柳州西南部产生多个回波单体,并成西南—东北向排列(图略);22时56分,新生回波单体发展,与中尺度强回波带西南段相连;23时39分,回波带上的对流单体形成强度大于40dBz强回波线。由前文的分析可知,中尺度回波带(线)位于低槽内,在有利的水汽条件和不稳定条件下,由于低涡切变线和地面中尺度辐合扰动激发作用,不断有 $\gamma$ 中尺度回波单体在柳州的上风方产生。在中低层西南气流的引导下,单体

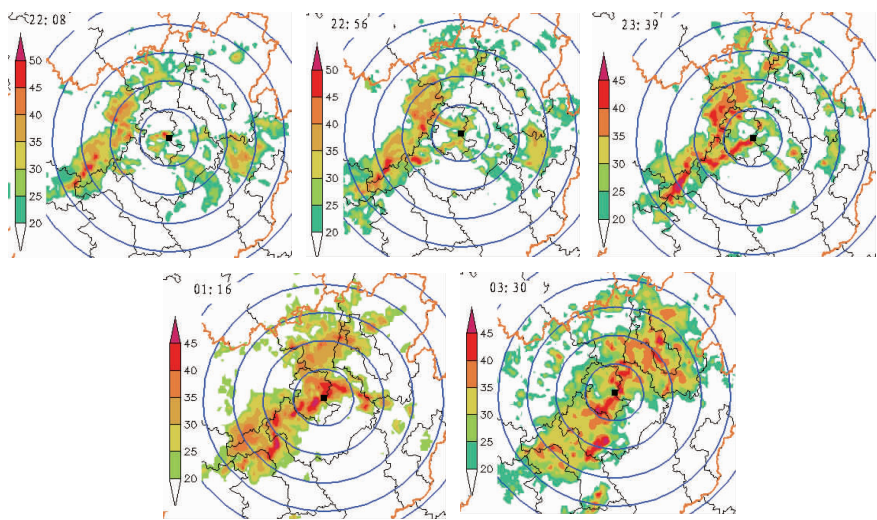


图8 柳州2007年6月12日22时—13日04时雷达回波(单位:dBz)

不断从西南方向移向柳州,形成明显的“列车效应”,使柳州、柳江高强度降水维持4小时以上,并造成了此次极端暴雨过程。随着中尺度强回波带减弱东南移,柳州降水也随之减弱结束。

#### 4 结论

通过上述分析,得到以下结论:

(1) 柳州地区的极端暴雨过程是在有利的大尺度环流背景下发生的,500hPa高原东侧的低槽、850hPa低涡切变线与地面锋面低槽形成暴雨区低层辐合高层辐散的形势,为暴雨中尺度对流云团的产生提供了有利的大尺度环境场和触发机制。

(2) 6小时强降水主要位于850hPa辐合显著的低槽内,强降水中心与低槽中的 $\beta$ 中尺度低涡扰动有很好的对应关系。

(3) 柳州极端暴雨是由其南部对流云团发展北上和生成于云贵高原东南侧的MCC共同造成的,MCC的产生与地面冷舌活动密切相关,并在低层辐合区发展加强。

(4) 自动站资料揭露,地面中尺度辐合线对柳州强降水雨团的形成和加强起到了重要作用,并对此暴雨的短时临近预报具有重要的指示意义。

(5) 产生于低层辐合区的强对流回波单体在西南气流引导下向柳州移动形成的列车效应,使柳州降水雨团合并加强,是柳州极端暴雨形成的重要原因。

#### 参考文献

- [1] 周秀骥,薛纪善,陶祖钰,等. 98 华南暴雨科学试验研究[M]. 北京:气象出版社,2003:1-220.
- [2] 贝耐芳,赵思雄. 一次引发台湾地区强降水的锋面及中尺度系统分析研究[J]. 气候与环境研究,2005,10(3):474-491.
- [3] 董海萍,赵思雄,曾庆存. 我国低纬高原地区初夏强降水天气研究 I:2001 年 5 月印缅槽维持期间云南暴雨及其中尺度特征[J]. 气候和环境研究,2005,10(3):443-459.
- [4] 董海萍,赵思雄,曾庆存. 我国低纬高原地区初夏强降水天气研究 II:2005 与 2001 年 5 月云南旱涝成因的对比分析[J]. 气候和环境研究,2005,10(3):460-473.
- [5] 贾显锋. 广西柳州致洪暴雨成因分析[D]. 硕士论文,2007.
- [6] 黄香杏,姚才,林开平,等. 广西西江流域致洪暴雨与不致洪暴雨的对比分析[J]. 广西气象,1997,18(4):9-13.
- [7] 吴恒强. 雨季海南岛绕流效应与粤桂南部中尺度降水系统的关系[J]. 广西气象,1991,12(1):7-10.
- [8] 吴恒强. 在广西造成严重天气的中尺度系统概述[J]. 热带地理,2001,21(4):323-328.
- [9] 孙建华,赵思雄. 华南“94.6”特大暴雨的中尺度对流系统及其环境场研究 I. 引发暴雨的 $\beta$ 中尺度对流系统的数值模拟研究[J]. 大气科学,2002,26(4):541-557.
- [10] 孙建华,赵思雄. 华南“94.6”特大暴雨的中尺度对流系统及其环境场研究 II. 物理过程环境场以及地形对中尺度对流系统的作用[J]. 大气科学,2002,26(5):633-646.
- [11] 伍星赞. 华南地区 MCC 云图特征分析[J]. 气象,1996,22(4):32-36.
- [12] 覃丽. 广西前汛期暖区特大暴雨 MCC 的数值模拟与诊断分析[D]. 硕士论文,2007.
- [13] 徐晓林. 2005 年 6 月华南致洪暴雨的成因分析及可预报性研究[D]. 硕士论文,2007.
- [14] 夏茹娣,赵思雄,孙建华. 一次华南锋前暖区暴雨 $\beta$ 中尺度系统的环境特征分析研究[J]. 大气科学,2006,30(5):988-1008.
- [15] 梁科. 0506 华南致灾暴雨的多尺度分析和数值模拟[D]. 硕士论文,2005.
- [16] 廖胜石,罗建英,蔡芴宁. 2005 年 6 月华南致洪暴雨过程中 FY-2C 卫星 TBB 场分析[J]. 气象,2007,33(1):82-86.
- [17] 赵玉春,李泽椿,肖子牛. 南半球冷空气爆发对华南连续性暴雨影响的个例分析[J]. 气象,2007,33(3):40-47.
- [18] 黄士松,李真光,包澄澜,等. 华南前汛期暴雨[M]. 广州:广东科技出版社,1982:1-236.
- [19] 陶诗言等. 中国之暴雨[M]. 北京:科学出版社,1980:9.
- [20] Maddox R A. Large-scale meteorological conditions associated with midlatitude mesoscale convective complexes[J]. Mon Wea Rev,1983,111:1475-1493.