

文章编号:1673-8411 (2015) 03-0034-06

# 2014年5月10-11日柳州强降水过程诊断分析

李宜爽, 刘 蕾, 李家文

(柳州市气象局, 广西 柳州 545001)

**摘 要:**利用 Micaps 资料、地面加密自动观测资料、NCEP/NCAR 的  $1^\circ \times 1^\circ$  每 6h 再分析资料, 对 2014 年 5 月 10-11 日发生在柳州的一次强降水过程进行了诊断分析。结果表明: 500hPa 南支槽、850hPa 低涡切变线及低空急流、地面冷锋为此次降雨过程提供了有利的天气尺度背景场; 近地层冷空气入侵是本次过程的触发机制, 高层强辐散以及低层辐合的有利配置为此次强降水的产生提供了较好的动力条件; 强盛的西南急流提供了较好的水汽及能量条件; 水汽通量散度、涡度中心值的强弱变化及移动均与强降水中心有着很好的对应关系。

**关键词:**锋面暴雨; 低涡切变线; 地面辐合线; 急流

**中图分类号:** P458.1

**文献标识码:** A

## An Analysis on the Heavy Precipitation on May 10 to 11th, 2014 in Liuzhou

Li Yi-shuang, Liu Lei

(Liuzhou Municipal Meteorological Service, Liuzhou Guangxi 545001)

**Abstract:** In this paper, the analysis of a heavy precipitation on May 10 to 11th, 2014 in Liuzhou is performed by using Micaps data, surface intensive observations data, and NCEP/NCAR  $1.0^\circ \times 1.0^\circ$  degree reanalysis (every 6 hours) data. The results show that 500hPa south branch groove, 850hPa low vortex shear line, and surface cold front provided a favorable synoptic scale background field for the heavy precipitation; the invasion of the cold air of surface layer is the triggering mechanism of the precipitation, and the assemblage of upper-level divergence and lower-level convergence created a suitable dynamic environment for its occurrence; the strong southwest jet stream provided a preferable vapor and energy condition for the heavy rainfall; the vapor flux divergence and the change of the intensity of the center of vorticity as well as its movement correspond well with the heavy precipitation center.

**Key words:** frontal rainstorm; low vortex shear line; surface convergence line; jet stream

## 1 引言

暴雨属灾害性天气, 常造成洪涝、山体滑坡、泥石流等, 对人们的生产、生活带来极大的危害。华南地区暴雨影响系统复杂, 既受西风带系统的影响, 又受到热带地区天气系统的影响, 加之复杂地形、下垫面以及海陆热力差异等作用, 中小尺度对流系统活动频繁, 预报难度非常大<sup>[1]</sup>, 因此大气科学界历来对

华南地区暴雨极为关注。孙兴池<sup>[2]</sup>等指出冷区暴雨具有明显后倾结构和较强斜压锋区, 暴雨出现在 850hPa $\theta_{se}$  暖湿舌后部密集区, 其垂直运动沿锋面大范围抬升, 动力条件更强。方翀等<sup>[3]</sup>研究表明, 低层切变线与地面辐合线相交的地区, 是对流单体初生和强烈发展的区域; 根据中层风的风向风速及地面辐合线的位置和走向, 可以大致判断对流单体的移动方向及是否存在列车效应。刘国忠<sup>[4]</sup>等指出, 低

收稿日期: 2015-05-17

作者简介: 李宜爽 (1991-), 女, 助工, 从事预报服务工作。

涡切变造成的暴雨天气仅次于热带气旋。赵玉春<sup>[5]</sup>指出锋面暴雨视热源和视水汽汇皆呈单峰分布,但是加热中心并不在同一高度,因而除连续性降水外,也存在一定的对流性降水。近年来不少对华南暴雨的个例研究<sup>[6-12]</sup>,深入分析了暴雨形成的环境条件及其动力、热力条件,加深了对华南暴雨尤其是锋面暴雨的认识。

2014年5月10—11日柳州市出现的一次强降水天气过程,强降水主要出现在柳城县、融水县南部、融安县南部以及鹿寨县北部。降水时段主要集中在5月11日凌晨02时至05时,最强降水182.2mm出现在融水县的和睦镇。本文试基于此个例,利用Micaps资料、地面加密自动观测资料、NCEP/NCAR的 $1^\circ \times 1^\circ$ 每6h再分析资料等对这次强降水过程进行诊断分析,为提高柳州汛期暴雨预报水平积累经验,为业务预报提供一定的科学依据。

## 2 强降水发生的环流背景分析

### 2.1 大尺度环流背景

10日08时,亚洲中高纬呈“两槽一脊”型,在西伯利亚西部及亚洲东亚的中高纬度地区为高压脊,贝加尔湖为低槽,乌拉尔山以东的高压脊前不断有冷空气自北冰洋南下,使贝加尔湖出现切断低压。我国大部分地区受冷涡底部阶梯槽影响,广西上空有短波槽东移,副高脊线位于我国南海,柳州市受584线外围偏西气流控制;700hPa上在我国四川与重庆交界一带有低涡生成,涡底有南北向切变线压

在广西上空,涡底偏西风较强,最大 $22\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,达到急流标准;850hPa西南涡位于贵州上空,柳州市位于冷切和暖切之间的西南急流中;925hPa上,从中南半岛北上的西南风与从南海北上的东南风两股气流正好在广西的中北部汇合,且两股气流都达到急流的强度,而强降水正好发生在850hPa与925hPa急流交汇区;地面图上在广西、贵州、云南三省交界处有暖低压生成,低压倒槽从贵州延伸到长江中下游地区,且等压线向西折形成东高西低、北高南低的形势,广西位于低压系统的前部。

10日20时,蒙古国上空的冷涡东移北上,广西上空的高空槽东移至湖南到广东上空,副高依然维持在我国南海;中低层西南涡向东北方向移动,涡底不断有弱冷空气随引导气流划过广西上空,且西南急流略有加强;700hPa上切变线维持;850hPa的切变线进一步发展加强,从华北一直延伸到云南东部,呈东北西南向;地面图上有江淮气旋生成,地面倒槽中可分析出一条从江淮气旋伸出的冷锋,一直延伸到柳州上空。10日白天地面气温回升明显,暖低压有所发展,暖湿气流明显加强,西南倒槽也较宽较强,随着锋面逐渐进入倒槽后,辐合区集中在广西,对广西的中北部地区暴雨更有利,且倒槽气旋性弯曲位于桂北地区。综合分析,柳州市降水主要是受高空槽和中低层切变线的影响,地面上的低压系统和锋面提供了良好的触发机制,配合强盛的西南急流为柳州市的降水提供了良好的水汽条件,因此10日夜間柳州市出现了大范围的强降水。

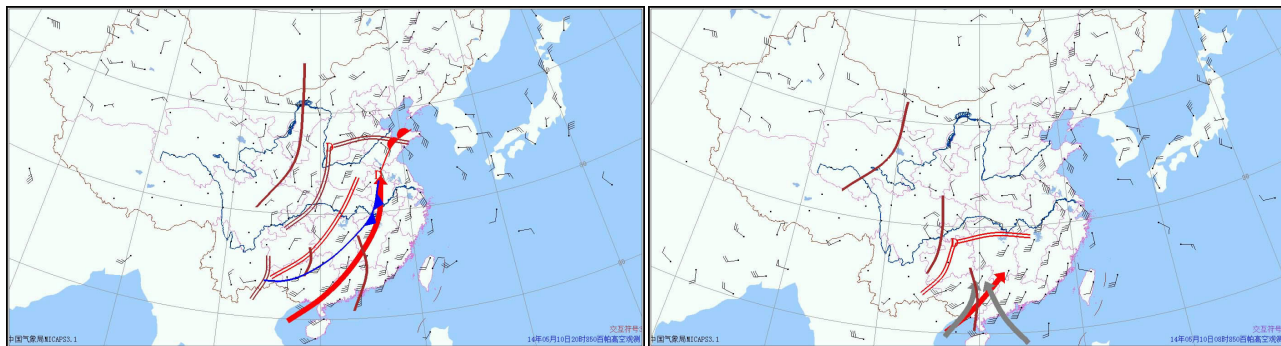


图1 850hPa中尺度分析(a)10日08时,(b)10日20时

### 2.2 卫星云图分析

红外云图是最能直观反应暴雨云团的发生发展,我们选取10日17时至11日08时的红外云图(图2,见彩页)分析发现,10日17时柳州市上空开始有较小尺度的对流云团A生成,对应此时部分地区开始出现降水,在其西南侧和西北侧分别有对流

云B、C生成,且在桂林上空还有一块较大的对流云D存在;18时四块对流云都有所加强,A和B有融合的趋势,另外在C、D之间有对流云E生成;21时A、B、C都有所南压,其中C发展旺盛,形成西北东南向的条形结构,对流E则逐渐向东移动和对流云D合并加强;22时对流云A、B合并减弱消失,对流

云 C 也开始减弱断裂,只有尾部还在影响柳州市,对应此时的降水也出现了减弱,另外在 C 的后部则有新的对流云 F 生成,桂林上空的对流云团继续发展加强;23 时,对流云 C 的前部已经断裂消失,尾部以及新生对流云 F 开始与桂林上空的对流云团 D、E 合并,形成了较大尺度的对流云团;随后这个对流云团不断发展壮大,且不断向南移动影响柳州市,11 日 0 时已经压在了柳州市上空,03 时对流云团已经发展成为较大尺度的 MCS,且云顶温度只有 197K,说明这块对流云团云顶很高,上升气流很强,发展很旺盛,这段时间正好也是我市降水最强的时间段。随后对流云团继续向南移动,形状开始变的不规则,云顶高度降低,到了 07 时云顶温度已经升到 202K 以上,说明此时对流云团里下沉气流开始加强,强度开始减弱,而此时我市的南部地区还是受对流云的尾部影响,但是降水强度已经大大减弱;08 时对流云已经完全移出柳州市,降水也趋于结束。

另外分析可见光云图(图略)可以发现,10 日 20 时对流云都比较白亮,云顶呈凸起状,且云顶的背光一侧都有不同程度的暗影区,说明对流云比较厚,以 Cb 为主,上升运动强,比较有利于暴雨的发生。从 10 日 20 时的水汽云图(图略)上也可以分析出四块对流云,且比较白亮,同样说明云顶比较高,对流云比较深厚;在对流云的南侧灰白色的示踪物移动,说明西南急流携带的水汽在移动,为暴雨的持续发展提供了良好的水汽输送条件。

### 3 强降水发生原因分析

#### 3.1 动力条件

较好的动力抬升是暴雨的发生发展必要条件,图 3(a)是沿北纬 24.5°作散度的垂直剖面,可以看出,气流辐合主要集中在 800hPa 以下,辐合中心强

度最大可达  $6 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ ,气流辐合中心上方 200hPa 附近始终有一个气流辐散中心与之对应,其中心强度最大可达  $8 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ 。从涡度场的分析可知,强降水集中时段的涡度场有明显增强(图 3b),从近地面到 300hPa 均为正涡度,形成明显的垂直涡柱,300hPa 和 850hPa 附近各有一大值中心,强度均为  $6 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ 。正是因为这种深厚的涡旋为水汽层提供了强劲的抬升动力。垂直速度反映大气上升或下沉运动的强度,强烈的上升运动是强对流、暴雨产生的必要的动力条件。沿东经 109.5°作垂直速度的垂直剖面图,可以看出,10 日 20 时(图略),柳州为垂直上升运动区,高度可达 200hPa 附近,中心位于 700hPa 附近,强度达  $-1.8 \text{Pa/s}$ 。11 日 02 时(图 3c),在柳州市中南部形成强的上升中心,中心位于 600hPa 附近,强度达到最强,中心强度达到了  $-2.1 \text{Pa/s}$ ,强劲而持久的上升运动将低层大量的水汽携带到高空。这种低层辐合高层辐散的配置形成强烈的抽吸作用,并长时间维持,使得水汽源源不断地辐合抬升,最终凝结形成强降水。11 日 08 时(图略)正涡度大值中心逐渐向南压,因此降水大值区也逐渐南压,柳州市降雨趋于减弱。

#### 3.2 水汽条件

形成暴雨的必要条件之一,是要有足够多的水汽,单靠当地已有的水分是不可能形成暴雨的,必须要有水汽源源不断地输入暴雨区。水汽通量可表示水汽输送的强度和方向。图 4(a,见彩页)是 850hPa 9 日 20 时-11 日 20 时水汽通量平均与风场合成图,从图中可以看出,850hPa 切变线位于北纬 27°附近,水汽通量大值区位于华南沿海到南海一带,中心值达到  $18 \times 10^{-2} \text{g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。切变线与其南侧水汽通量大值区之间均有一等值线密集区,说明水汽通量梯度大,水汽在此区域强烈辐合。通过分析水汽

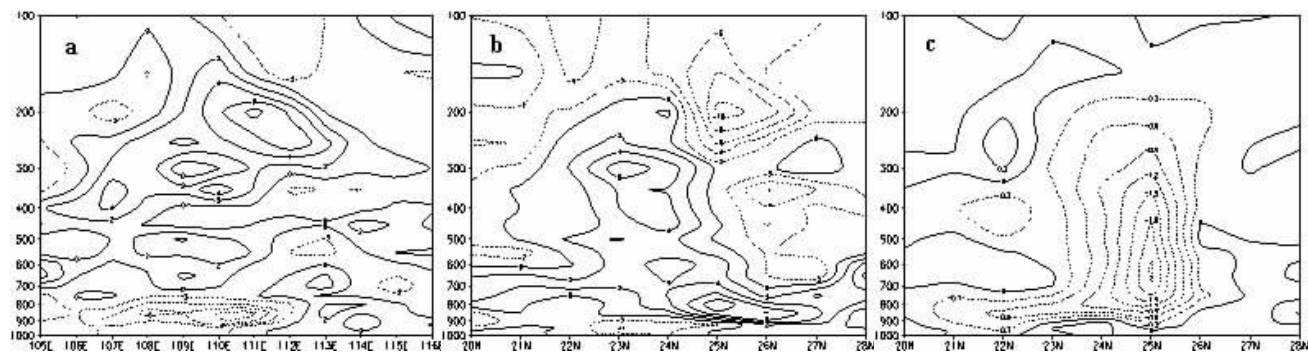


图 3 2014 年 5 月 11 日 02 时沿 24.5°N 作散度(单位:  $10^{-5} \text{s}^{-1}$ )的垂直剖面图(a),沿 109.5°E 作涡度(单位:  $10^{-5} \text{s}^{-1}$ )的垂直剖面图(b),垂直速度(单位:  $\text{Pa/s}$ )的垂直剖面图(c)



的垂直分布发现,这次强降水过程水汽辐合主要集中在 850hPa 附近。图 4(b,见彩页)是 11 日 02 时 850hPa 水汽通量散度图,从图中可以看出,水汽的辐合带集中在广西北部到湖南南部一带,中心强度达到 $-12\times10^{-8}\text{g}\cdot\text{hPa}^{-1}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ,柳州中南部位于水汽辐

合带内,850hPa 切变线南压到柳州中南部,此时降水开始明显增强。由此上述分析可见,来自孟湾的水汽源源不断地向北输送,并且在柳州一带强烈辐合,造成柳州地区的强降水。随着切变线的逐渐南压,柳州的降雨也趋于减弱。

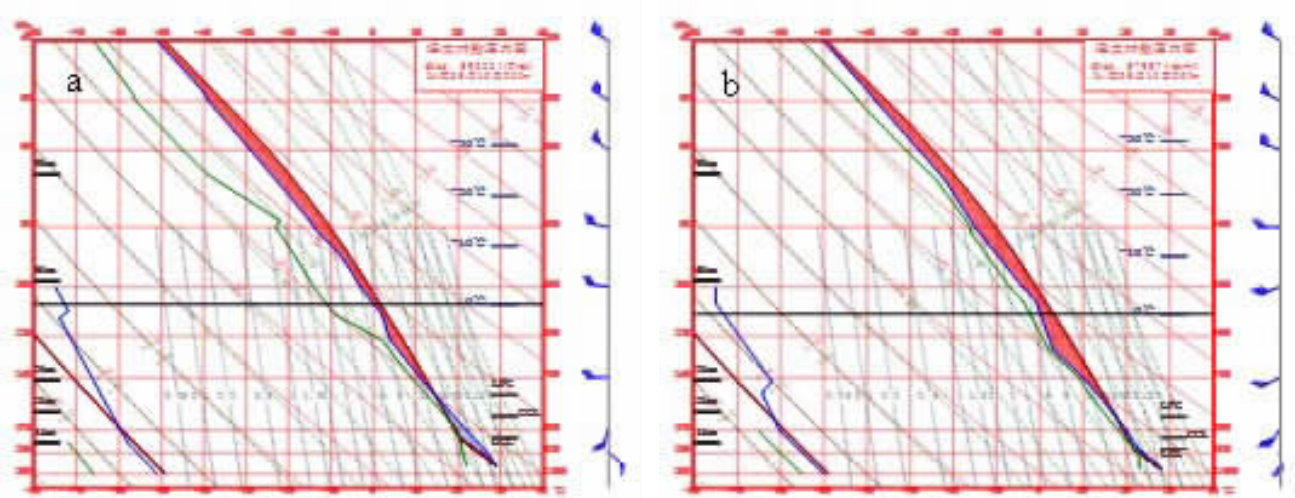


图 6 (a)5 月 10 日 20 时河池探空 T-lnp 图,(b)5 月 10 日 20 时桂林探空 T-lnp 图

3.3 热力条件及不稳定层结分析

3.3.1 假相当位温

假相当位温  $\theta_{se}$  是反映大气稳定性和湿度条件的综合指标,可以用来分析大气的能量分布状况和锋区的位置。图 5(见彩页)分别是 10 日 20 时和 11 日 02 时假相当位温  $\theta_{se}$ 、垂直速度及  $V$ (阴影)风量的经向剖面图,由图 5a 可以看到,假相当位温密  $\theta_{se}$  密集区位于  $27^{\circ}\text{N}$ – $28^{\circ}\text{N}$ 、 $31^{\circ}\text{N}$ – $32^{\circ}\text{N}$  这两个区域,南北风交汇于  $26.5^{\circ}\text{N}$  附近,冷锋的前锋已到达柳州北部;锋区前部  $23^{\circ}\text{N}$ – $26^{\circ}\text{N}$  区域出现了型的不稳定能

量区, $\theta_{se}$  高能舌随高度向北侵斜,950hPa 到 700hPa 之间有较大的南风分量,有利于暖湿气流向柳州上空输送;锋区前部有较强的上升运动,上升运动伸展到 200hPa,中心值为 $-1.8\text{pa/s}$ ,这种强烈的上升运动配合高能高湿的环境,非常有利于柳州出现强降水。11 日 02 时  $\theta_{se}$  密集区南压至  $25^{\circ}\text{N}$  附近,结合  $V$  风量可以看到,近地层有冷空气的渗透,由于浅薄冷空气从边界层南下时并不改变边界层上部的暖湿空气的环境条件,反而更有利的暖湿空气的抬升,触发对流的发展,增加降水量<sup>[15]</sup>,垂直速度也

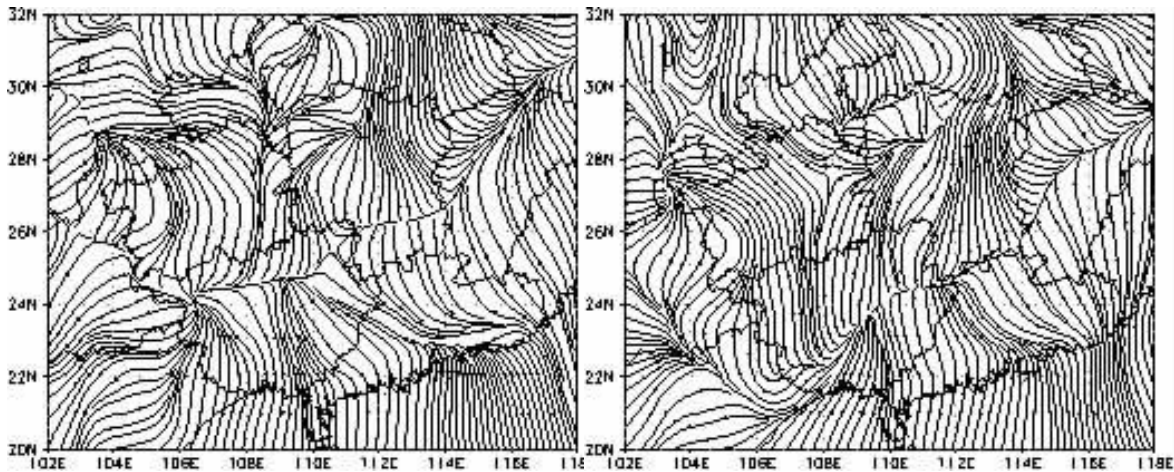


图 7 2014 年 5 月 11 日 02 时(a),11 日 08 时(b)地面 10m 流场

较 10 日 20 时有所增强, 上升运动一直伸展到 150hPa, 强上升中心位于 650hPa 附近, 中心值达到了  $-2.1\text{pa/s}$ , 随着冷锋的不断南压以及降水对能量的损耗, 原先的高能舌消失。11 日 14 时(图略), 切变线及锋面压过柳州, 柳州上空为一致北风控制, 降水停止。

### 3.3.2 K 指数

K 指数( $K=(T850-T500)+Td850-(T-Td)700$ )反映大气的层结稳定情况, K 指数越大层结越不稳定。从 K 指数的演变分析, 10 日有不稳定区从湖南向广西南压的过程, 柳州市 K 指数一直大于  $36^{\circ}\text{C}$ , 10 日 20 时在柳州市附近出现了  $40^{\circ}\text{C}$  的中心, 表明具有很好的层结不稳定条件, 降水开始前大气不稳定能量一直比较高, 低层有较强的暖湿空气; 11 日 08 时, K 指数略有下降, 处在  $32\sim 36^{\circ}\text{C}$  之间, 说明 10 日夜间有一定能量的释放。

### 3.3.3 探空分析

分析河池站和桂林站的探空图 6 可以发现, 在 10 日 20 时两站的不稳定能量都比较强, 河池站的 K 指数为  $43^{\circ}\text{C}$ , 沙氏指数为  $-3.88$ , CAPE 为  $1122.1\text{J/kg}$ ; 桂林站的 K 指数为  $41^{\circ}\text{C}$ , 沙氏指数为  $-2.18$ , CAPE 达到  $1266.1\text{J/kg}$ , 说明降水开始前, 柳州上空大气不稳定能量较强, 为对流的触发提供了很好的条件。从湿层来看, 河池站的湿层达到了 600hPa 左右, 而桂林站则是整层大气湿度都比较大, 较厚的湿层为暴雨的发生提供了良好的水汽条件。另外分析风场可以发现, 两站 700hPa 和 850hPa 的风速都比较大, 基本上都达到了  $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 说明中低层西南急流较强, 且两站的风向随高度都有明显的顺转, 说明中低层有暖平流, 暖湿空气势力较强。11 日 08 时(图略), 两站的不稳定能量都有大幅度的下降, 说明 10 日夜间不稳定能量得到了释放, 河池站的湿层达到了 500hPa, 说明 10 日夜间有对流性降水产生; 另外两站的高层风速加大, 且湿度减小, 说明有干冷空气卷入。

## 3.4 近地面层触发条件

孙靖<sup>[16]</sup>等研究表明中尺度切变线触发对流, 使对流单体组织化发展, 而中尺度辐合可能在对流系统的连续发展过程中有更加直接的触发作用。分析地面 10m 流场(图 7)可以看出, 11 日 02 时, 在河池到桂林一带出现了一条由东北风和东南风组成的东西向的中尺度辐合线, 同时从雷达回波拼图上看到, 在罗城—柳城—平乐一线出现了一条强回波带, 05

时辐合线南压到都安—忻城—象州一带, 强回波也随之南压到上述地区, 08 时桂东南出现了强降雨天气。分析发现地面辐合线和强回波区有很好的对应关系, 说明地面风场辐合明显, 有利于中尺度对流系统的进一步加强和维持。

## 4 结论

本文利用 Micaps 资料、地面加密自动观测资料、NCEP/NCAR 的  $1^{\circ}\times 1^{\circ}$  每 6h 再分析资料, 对 2014 年 5 月 10—11 日发生在柳州的一次强降水过程进行了诊断分析, 得到以下结论:

(1) 此次暴雨过程是典型的锋面暴雨, 500hPa 南支槽、850hPa 低涡切变线及低空急流、地面冷锋提供了有利的天气尺度背景场。

(2) 近地层冷空气入侵是本次过程的触发机制, 高层强辐散以及低层辐合的有利配置为此次强降水的产生提供了较好的动力条件; 强盛的西南急流提供了较好的水汽条件; 低层暖平流、高层冷平流的上下层配置, 使不稳定能量得以聚集, 为对流发展提供必要的能量条件。

(3) 水汽通量散度、涡度中心值的强弱变化及移动均与强降水中心有着很好的对应关系, 很好的反应了冷暖系统的交汇、850hPa 低涡切变是此次强降水过程主导系统。

(4) 500hPa 南支槽东移引导低层切变线的快速东移南压, 以及地面较大的锋区梯度是造成此次降水强度大且持续时间短的主要原因。

### 参考文献:

- [1] 薛纪善.1994 年华南夏季特大暴雨研究 [M]. 北京: 气象出版社, 1999: 185.
- [2] 孙兴池, 王业宏, 迟竹萍.2006.气旋冷暖区暴雨对比分析.气象, 32 (6): 59-65.
- [3] 方翀, 毛冬艳, 张小雯等.2012.2012 年 7 月 21 日北京地区特大暴雨中尺度对流条件和特征初步分析 [J]. 气象, 38 (10): 1278-1287.
- [4] 刘国忠, 丁治英, 贾显锋, 等.2007.影响华南地区西南低涡及致洪低涡活动的统计研究 [J]. 气象, 33 (1): 45-50
- [5] 赵玉春, 李泽椿, 肖子牛.2008.华南锋面与暖区暴雨个例对比分析 [J]. 气象科技, 36 (1): 48-54.
- [6] 黄远盼, 宁玉梅, 莫家壳, 等.广西前汛期两次暴雨天气过程对比分析 [J]. 气象研究与应用, 2014, 35 (1): 12-16

(2) 气温快速回升导致室外露点温度高于室内物体温度是“回南天”出现的充分必要条件,“回南天”开始前经常有雾出现,能见度较差,“回南天”过程开始后,绝对湿度明显增大,“回南天”过程维持时有些时段不一定有雾。

(3) 低层快速转南风后,“回南天”开始时,从南海北部到两广地区为水汽通量大值区,水汽输送通道建立,对“回南天”的形成和维持有利。

(4) “回南天”有两种结束方式,一种是冷性结束,即新的冷空气南下影响广东,气温露点明显下降,露点低于室内物体温度时“回南天”结束。另一种是暖性结束,即回暖的时间长到一定程度,室内物体温度逐渐超过室外空气露点时“回南天”结束。

#### 参考文献:

- [1] 何飞, 柴广萍, 黄远盼. 贺州市冬春季节回潮现象分析及预报方法初探 [J]. 气象研究与应用, 2011, 32 (3): 36-38.
- [2] 陈芳丽, 李明华, 吴蔚. 2010 年冬末春初“回南天”环流背景场特征分析 [J]. 热带地理, 2011, 31 (6): 570-574.
- [3] 余江华. 广东沿海地区“回南天”初探 [J]. 广东气象, 2010, 32 (S1): 13-15.
- [4] 郭媚媚, 麦冠华, 高俊杰, 等. 肇庆市春季“回南天”的天气特征 [J]. 广东气象, 2013, 33 (1): 27-31.
- [5] 陈剑兵, 刘洲荣. 柳州市一次“回南天”过程分析 [J]. 气象研究与应用, 2013, 34 (S2): 37.
- [6] 张东, 汪瑛, 冯业荣. 广东“回南天”现象分析及预报 [J]. 气象科技, 2014, 42 (2): 302-308.
- [7] 王庆国, 黄归兰, 黄增俊. “回南天”的客观分析方法研究 [J]. 气象研究与应用, 2014, 35 (2): 1-6.
- [8] 陈锦冠. 露点温度计算公式和计算程序的介绍 [J]. 广东气象, 1993, (2): 46.
- [9] 蒋静, 凌宗良, 李新华. 广西防城港市一次连续大雾天气的特点 [J]. 广东气象, 2010, 32 (2): 39-41.
- [10] 邓英姿, 李勇, 许文龙. 广西沿海地区大范围雾气候特征与天气形势分析 [J]. 气象研究与应用, 2008, 29 (4): 20-22.
- [11] 廖国莲, 程鹏. 南宁市大气能见度变化特征及影响因素分析 [J]. 气象研究与应用, 2007, 28 (4): 26-29.
- [7] 黄翠银, 陈剑飞. 2013 年 12 月广西一次暴雨落区变化原因分析 [J]. 气象研究与应用, 2014, 35 (1): 29-35.
- [8] 廖幕科, 唐桥义, 伍静等. 2010 年 4 月桂东北一次暖区暴雨天气分析 [J]. 气象研究与应用, 2010, 31 (4): 20-22.
- [9] 李菁, 黄治逢, 高安宁, 等. 广西重大锋面暴雨天气过程的特征分析 [J]. 气象研究与应用. 2008, 29 (1).
- [10] 贾显峰. 一次低空急流导致的深秋连续大暴雨过程分析 [J]. 气象研究与应用, 2009, 30 (S2): 8-9.
- [11] 李亚琴. 一次华南静止锋上的 mcs 的云图特征及成因分析 [J]. 气象研究与应用, 2011, 32 (3): 12-15.
- [12] 高安宁, 陈见. 流场中的奇异线(点)特征与汛期广西暴雨分析 [J]. 气象研究与应用, 2007, 28 (3): 1-7.
- [13] 曾小团, 农孟松, 赵金彪. 广西几次不同类型天气系统造成暴雨过程的物理量分析 [J]. 气象研究与应用, 2007, 28 (4): 1-7.
- [14] 林宗桂, 林开平, 陈翠敏等. 一次暴雨过程天气尺度云系演变特征分析 [J]. 广西气象, 2005, 26 (3): 1-4, 8.
- [15] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文等. 天气学原理和方法. 北京: 气象出版社, 2007: 348.
- [16] 孙靖, 王建捷, 等. 北京地区一次引发强降水的中尺度对流系统的组织发展特征及成因讨论 [J]. 气象, 2010, 36 (12): 18-27.

(上接第 38 页)