

文章编号:1673-8411 (2016) 04-0022-05

2016年5月桂北地区一次对流性暴雨过程诊断分析

覃靖, 潘海, 苏小玲

(广西柳州市气象局, 广西 柳州 545001)

摘要:利用常规观测资料、中尺度自动站资料、NCEP $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 再分析资料和雷达回波资料,对2016年5月19-20日发生在桂北地区的对流性暴雨过程进行了诊断分析。结果表明:这次暴雨过程是受高空槽前西南气流控制,冷空气侵入地面倒槽,由地面辐合线触发对流而引起的。高空急流提供了很好的辐散条件,有利于上升运动的维持和发展。925hPa水汽辐合中心和850hPa垂直螺旋度大值区与暴雨中心有很好的对应关系。中- α 尺度低空急流的脉动可以激发对流云生成、使降水增幅。在雷达回波图上表现为回波合并和低质心、高效率的“列车效应”。

关键词:桂北地区;对流性暴雨;垂直螺旋度;“列车效应”

中图分类号:P458.1+21.1

文献标识码:A

Diagnostic analysis of a Convective Rainstorm Process in North of Guangxi in May 2016

QIN Jing, PAN Hai, SU Xiao-ling

(Liuzhou Municipal Meteorological Service, Liuzhou 545001)

Abstract: Based on the conventional observation data, automatic weather station data, NCEP $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ reanalysis data and Doppler radar products, the convective rainstorm occurred in north of Guangxi in May 2016 was analyzed. The results showed that this rainfall event was caused by the southwesterly current in the front of the high level trough, cold air, and surface convergence line. The high-level jet provided a good divergence condition, which was conducive to the maintenance and development of ascending motion. There was a good corresponding relationship between 925hPa water vapor convergence center and 850hPa vertical helicity large value area and rainstorm center. The α -mesoscale low-level jets can stimulate the formation of convective clouds and increase precipitation. The radar echo map shows echo merging and low mass center and high efficiency "train effect".

Key words: north of Guangxi; convective rainstorm; vertical helicity; "train effect"

1 引言

暴雨是桂北地区前汛期最主要的气象灾害之一,尤其是大暴雨,常造成人员伤亡和严重的经济损失。因此,暴雨研究工作一直以来受到气象学者的高度关注,在大尺度系统与中尺度系统的相互作用、急流、位涡、螺旋度等方面取得了许多重要成果,例如,

张信华^[1]等揭示了中尺度影响系统和与雨团之间的关系;吴启树^[2]等揭示了水汽通量散度和暴雨之间的关系。针对广西地区的暴雨研究也取得了一些成果^[3-6],但是由于每次暴雨过程的成因不尽相同,即使影响系统相似,暴雨落区和强度也会有较大差异,所以仍需对一些疑难或重大暴雨过程个例进行分析总结,加深对暴雨形成机制的认识,有利于当地暴雨

收稿日期:2016-05-18

作者简介:覃靖(1982-),女,工程师,主要从事短期、短临天气预报及研究。

预报技术的提高。

2016 年 5 月 19 日傍晚至 20 日凌晨, 桂北地区出现了一次大范围的暴雨天气过程, 局地出现特大暴雨, 大暴雨落区位于融水-永福-富川一线, 19 日 20 时至 20 日 08 时累积最大雨量为桂林南部的永福金鸡河水库 269.8mm(图 1), 最大雨强为 71.1mm·h⁻¹, 出现在永福三皇乡。同时, 多个乡镇自动站出现 6~8 级阵风, 并伴有雷暴, 降水具有明显对流性质。

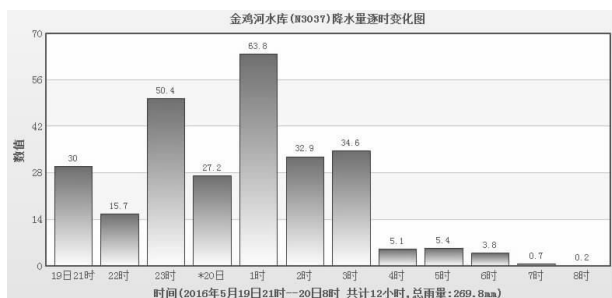


图 1 永福金鸡河水库雨量时序图

本文利用 Micaps 常规观测资料、中尺度自动站资料、NCEP1°×1°再分析资料和雷达回波资料, 对此次暴雨过程进行了诊断分析, 探讨其成因, 为对流性暴雨预报积累经验。

2 环流形势及探空资料分析

19 日 08 时 (图略), 500hPa 在川东到滇东地区有一冷槽, 槽后偏北气流几乎与等温线垂直, 强劲的冷平流使低槽加深东移, 槽前正涡度平流增强, 有利于上升运动发展。19 日白天地面倒槽发展, 辐合线稳定维持在贵州和湖南南部, 桂北地区不断增暖, 最高气温较前一日升高 5℃左右, 积累了大量不稳定能量。至 20 时(图 2), 500hPa 低槽和 850hPa 切变线移至黔桂交界附近, 切变线南侧偏南气流将南海水汽源源不断向北输送, 虽然低空急流还未建立(只有桂林站达到 12m·s⁻¹), 但桂北地区 850hPa 和 925hPa 比湿已经达到 16g·kg⁻¹ 和 18g·kg⁻¹, 并且有明显增暖, 24 小时变温达 3℃, 850hPa 与 500hPa 温差也扩大到 24℃, 低层暖湿平流输送使气层的不稳定性增强。冷空气侵入地面倒槽使辐合线加强南移进入桂北地区, 触发了对流的发展, 水汽在桂北地区强烈辐合上升, 200hPa 高空急流

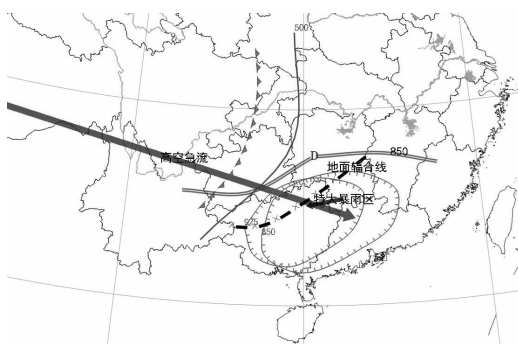


图 2 2016 年 5 月 19 日 20 时综合分析图

出口区左侧强烈辐散造成的“抽吸效应”使上升运动加强和维持, 对暴雨十分有利。可以看出, 暴雨中心正好位于高空急流出口区左侧、高空槽前、低层切变线右侧、地面辐合线附近与低层湿舌左前方重叠的区域。

19 日 20 时河池和桂林 T-logp 图(图 3)显示出桂北地区上空湿层非常深厚, T-Td≤4℃的湿层伸展到了 400hPa 以上, 有利于暴雨的出现。700hPa 附近均存在一浅薄的干层, 说明有干冷空气卷入, 使气层不稳定性增加, 有利于对流发生。从表 1 可以看出, 两站的 K 指数 ≥38℃, SI 指数 ≤-3℃, θse850-θse500≥10℃, 是非常有利于短时强降水的环境条件^[7]。同时, 两站之间的一些指数也存在明显差异: 河池具有更大的 CAPE 值和更高的平衡高度, 说明对流所能伸展的高度更高, 同时具有强的深层垂直风切变^[8], 有利于高度组织化的对流系统发展; 而桂林具有更低的抬升凝结高度和中等强度的垂直风切变, 850hPa 西南风达 12m·s⁻¹, 水汽输送更好, 更利于出现暴雨。这就是河池降水较弱却出现 19.9m·s⁻¹ 雷暴大风而暴雨中心出现在桂林附近的原因之一。

3 物理量诊断分析

3.1 水汽条件

通过前面探空资料的分析, 得知桂北地区上空

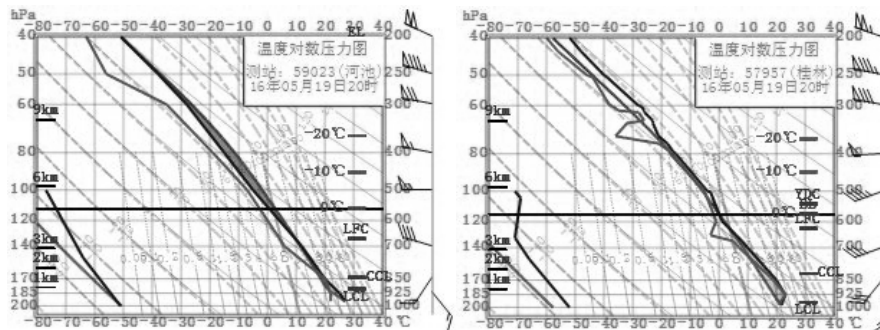


图 3 2016 年 5 月 19 日 20 时河池(左)和桂林(右)T-logp 图

表 1 2016 年 5 月 19 日 20 时探空站各项指数

	K	SI	CAPE	$\theta_{se850}-\theta_{se500}$	抬升凝结高度	平衡高度	0~6km 垂直风切变
	/°C	/°C	/(j · kg ⁻¹)	/°C	/hPa	/hPa	/(m · s ⁻¹)
河池	39	-5	676.8	18	903.6	205	20
桂林	40	-3	9.7	11	970	572	16

湿层深厚且接近饱和,暴雨的产生需要大量的水汽源源不断输送。水汽通量表示水汽输送的强度和方向,由图 4 可知,此次暴雨过程的水汽源地有两个,分别在孟加拉湾和南海,以南海为主。水汽通量大值区位于广西东部,中心数值达 $18\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$,切变线位于黔桂交界一带,桂北地区等值线非常密集,说明有水汽在此强烈辐合,为暴雨的出现提供水汽条件。

水汽通量散度是表示水汽集中程度的物理量。从 925hPa 水汽通量散度图上(图 5)可以看出,19 日 20 时桂北地区处于水汽辐合大值区,开始有分散的短时强降水出现,水汽通量散度中心值达到 $-8\times 10^{-7}\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$,位于桂林南部到贺州北部一带。

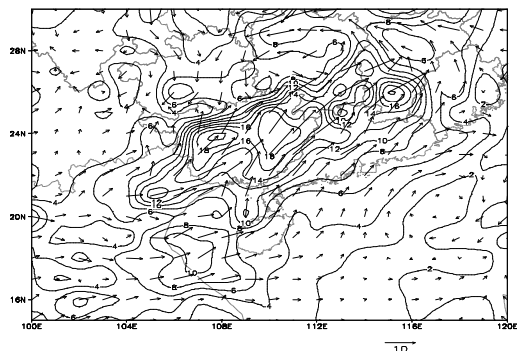


图 4 2016 年 5 月 19 日 20 时 850hPa 水汽通量 (单位: $\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$) 和风场 (单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) 分布

20 日 02 时水汽辐合大值区随着切变线缓慢南移,且明显增强,中心值达到 $-12\times 10^{-7}\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$,并且停滞在桂林南部到贺州北部一带,此阶段降水强度达到最大,多个自动站出现大于 $50\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 的降

水,最大值出现在桂林南部的永福三皇乡,为 $70.1\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 。之后随着水汽辐合大值区进一步南移,桂北地区降水逐渐减弱。由此看出 925hPa 水汽辐合中心与暴雨中心位置基本吻合,可以很好的指示暴雨落区。

3.2 假相当位温

短时强降水要求湿层厚、水汽含量高,为了实现对流,要有较强的层结不稳定,假相当位温 θ_{se} 是表征大气湿度、压力、温度的综合特征量,对流层中高值区代表高能区,也是锋面形成的重要参数^[9-10],从 θ_{se} 垂直剖面图上可以分析对流不稳定能量的积聚和释放过程^[11]。此次过程中 θ_{se} 的垂直分布显示出大气层结维持着“上干冷、下暖湿”的不稳定状态,非常有利于对流的发生。从图 6 可以看出,800hPa 以下为大值区,中心值达 360K,大气表现为高温高湿特性,风场上表现为强盛的偏南风,说明低层暖湿平流强盛;而 800hPa~400hPa 之间为低值区,中心值为 338K,900hPa 和 600hPa 之间 θ_{se} 差值达到 22K;同时 500hPa 以上为明显的西北风,说明中高层为干冷平流,叠加在低层暖湿平流之上,这种“上干冷、下暖湿”的不稳定形势导致暴雨过程中出现多次短时强降水,具有明显的对流特征。

3.3 动力条件

暴雨的产生还需要有强的上升运动,从图 7 可见,从 19 日白天开始,暴雨区上空 200hPa 附近为辐散,800hPa 以下为辐合,高层辐散小于低层辐合。19 日 20 以后高层辐散和低层辐合明显增强,此时开始出现短时强降水,至 20 日 02 时高层辐散和低层辐合同时达到极大值,分别为 $7\times 10^{-5}\text{s}^{-1}$ 和 $-5\times 10^{-5}\text{s}^{-1}$,且

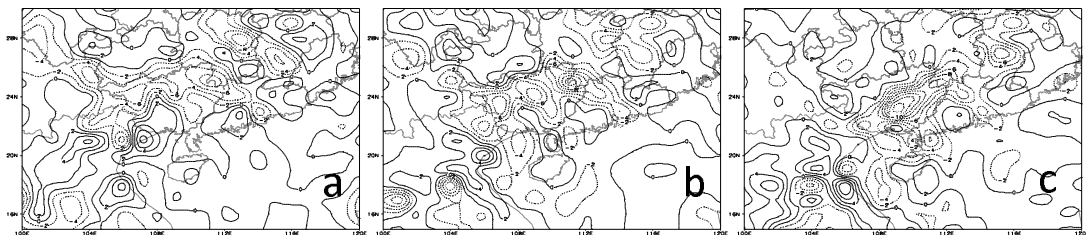


图 5 2016 年 5 月 19 日 20 时(a)、20 日 02 时(b)和 20 日 08 时(c)925hPa 水汽通量散度 (单位: $10^{-7}\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$) 分布

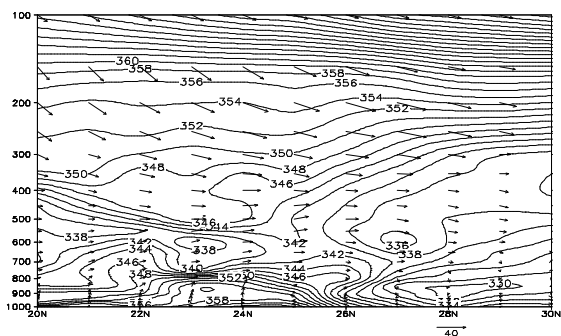


图 6 2016 年 5 月 19 日 20 时 θ_{se} (单位: K) 和 wind (单位: $m \cdot s^{-1}$) 沿 $108^\circ E$ 垂直剖面

高层辐散明显大于低层辐合, 强烈的“抽吸效应”使上升运动加强, 从而使降水增幅, 降水强度达到最大。之后低层辐合减弱, 降水随之减弱。

由于垂直螺旋度相比涡度和垂直速度在大雨以上重要天气发生和发生后量级变化更为明显^[12], 对强对流天气和大范围暴雨有较好的指示意义。因此对此次过程的垂直螺旋度进行了计算, 来分析垂直螺旋度与降水的关系。19 日 20 时, 桂北地区有一中

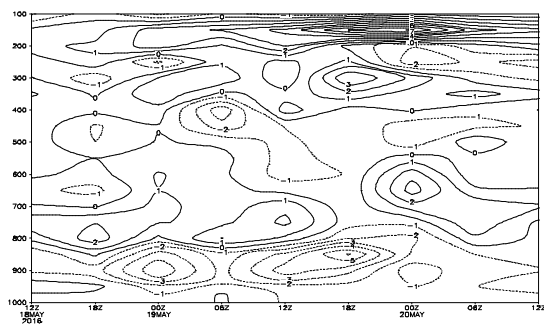


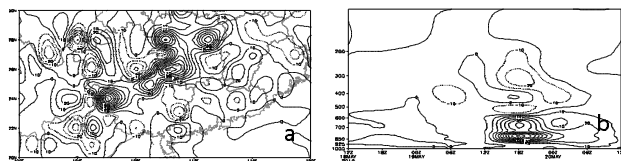
图 7 暴雨中心上空散度随时间 (世界时) 的变化 (单位: $10^{-5} s^{-1}$)

心值为 $70 \times 10^{-5} hPa \cdot s^{-2}$ 的垂直螺旋度大值区 (图 8a), 其走向与低层切变线一致, 并随切变线逐渐南移, 强度不断增强。至 20 日 02 时, 永福上空 300hPa 附近出现中心值为 $-20 \times 10^{-5} hPa \cdot s^{-2}$ 的负垂直螺旋度, 850hPa 的垂直螺旋度增强到 $90 \times 10^{-5} hPa \cdot s^{-2}$, 这表明该区域上空形成了垂直环流, 有利于能量的交换和暴雨系统的发展, 此时降水强度达到最大, 之后

高层负涡度辐散和低层正涡度辐合均逐渐减弱, 降水随之减弱。从以上分析可以看出, 暴雨易发生在 850hPa 垂直螺旋度大值区, 大值中心的移动和发展反映出暴雨系统的移动和发展情况, 垂直螺旋度剖面上负下正的配置有利于暴雨系统的发展, 与强降水时段有很好的对应关系。

4 触发条件

孙靖^[13]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, 近地



正速度区内镶嵌有小块负速度,即所谓的“逆风区”,说明低层存在小尺度辐合,水汽辐合强烈的地方开始出现短时强降水,与张沛源^[15]等的研究结果一致。同时,1.5~2km 高度附近的风速由白天的 $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 突然增大到 $18\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,中- α 尺度低空急流的脉动激发了暖区的对流云生成。随着北面的回波带与暖区的对流云逐渐靠近,至 19 日 23 时趋于合并(图 10b,见彩页),回波范围扩大、强度增强,并向偏东方向移动。相应速度图(图 10e,见彩页)上表现为中尺度辐合区,“逆风区”移到永福附近,低空急流增强到 $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。此时强降水范围迅速扩大,降水强度也明显增强,永福广福村出现 $66.6\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 的强降水,回波的合并使辐合抬升作用增强,加上低空急流增强,水汽输送更好,使降水增幅。至 20 日 01 时(图 10c、f,见彩页),回波合并成东西向的带状,强度达到最大,回波带中部出现一个小的弓形回波,速度图上有风速核与之对应,前端伴有中气旋,该弓形回波造成地面 6~7 级阵风。单体的移向为偏东方向,正好经过永福,长时间的“列车效应”造成了永福的特大暴雨。沿单体的移动方向作回波带的反射率因子垂直剖面(图 11,见彩页),可以看出,混合性降水回波中镶嵌着多个呈线性排列的水平尺度为 5~10km 的对流回波柱,向上伸展的高度为 9~12km,45dbz 以上的强回波核大都在 6km 以下,这种低质心、高效率的“列车效应”回波很容易产生暴雨或大暴雨,正是由于这些对流性强盛的单体反复经过永福,造成该区域的特大暴雨。

6 小结

(1) 此次暴雨过程的影响系统是 500hPa 低槽、低层切变线和地面辐合线;高空急流出口区左侧强烈辐散造成的“抽吸效应”使上升运动加强和维持;中- α 尺度低空急流为暴雨区输送大量水汽和不定能量;冷空气侵入地面倒槽使辐合加强,触发对流发展。

(2) 暴雨发生前大气层结维持着“上干冷、下暖湿”的不稳定状态,导致暴雨过程中出现多次短时强降水,具有明显的对流特征;较低的抬升凝结高度和适中的垂直风切变有利于对流性暴雨。

(3) 925hPa 水汽辐合中心和 850hPa 垂直螺旋度大值区与暴雨中心有很好的对应关系,可以指示

暴雨落区的移动和发展。

(4) 回波合并和低质心、高效率的“列车效应”造成了永福的特大暴雨;中- α 尺度低空急流的脉动可以激发对流云生成、使降水增幅造成暴雨,利用雷达的径向速度图可以及时捕捉到较小尺度低空急流的变化,弥补了探空资料时空分辨率低的不足。

参考文献:

- [1] 张信华, 蒋宗孝, 付伟辉, 等. 闽北汛期强降水中尺度特征分析 [J]. 气象科技, 2007, 35 (3): 351-354.
- [2] 吴启树, 郑颖青, 林金淦, 等. 一次暴雨过程的动力诊断 [J]. 气象科技, 2010, 38 (1): 21-25.
- [3] 陈见, 高安宁, 陈剑飞, 等. 广西超大范围锋面暴雨发生特征及预报方法研究 [J]. 气象研究与应用, 2013, 34 (1): 7-12.
- [4] 李勇, 覃武, 钟利华, 等. 广西 2012 年前汛期 3 次暴雨过程环流和中尺度特征 [J]. 气象研究与应用, 2013, 34 (2): 31-35.
- [5] 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): 30-35.
- [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.
- [7] 吴翠红, 龙利民, 等. 湖北省暴雨中尺度天气分析图集(预印本), 2010.
- [8] 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, 2005.
- [9] 杨利群, 杨静, 廖移山, 等. 贵州南部两次局地大暴雨天气过程对比分析 [J]. 暴雨灾害, 2010, 29 (3): 208-215.
- [10] 尹结, 郑婧, 张瑛, 等. 一次梅雨锋特大暴雨过程分析及数值模拟 [J]. 气象, 2011, 37 (7): 827-837.
- [11] 梁生俊. 2003 年渭河流域一次致洪暴雨过程综合分析 [J]. 暴雨灾害, 2008, 28 (1): 32-36.
- [12] 刘健文, 郭虎, 李耀东, 等. 天气分析预报物理量计算基础 [M]. 北京: 气象出版社, 2005: 123-126.
- [13] 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.
- [14] 陈文龙, 谌贵珣, 李文杰. 凉山“8·31”致洪暴雨过程的中尺度诊断分析 [J]. 成都信息工程学院学报, 2013, 28 (3): 291-297.
- [15] 张沛源, 陈荣林. 多普勒速度图上的暴雨判据研究 [J]. 应用气象学报, 1995, 6 (3): 373-376.