

文章编号: 1673-8411(2019)02-0012-04

# 一次副高边缘特大暴雨的成因分析

贾显锋, 刘蕾

(柳州市气象局, 广西 柳州 545001)

**摘要:** 利用常规资料, NCEP/NCAR 的  $1^\circ \times 1^\circ$  每6h再分析资料和柳州多普勒雷达资料, 对2017年7月9-10日发生在柳州一次副高边缘特大暴雨进行了分析。结果表明: 高空槽、低空急流以及地面辐合线是这次过程的主要影响系统, 副高脊线的稳定维持, 使得暴雨区主要出现在柳州中北部; 孟加拉湾与南海源源不断的水汽输送为这次暴雨提供了充分的水汽条件; 地面弱冷空气的侵入增强了柳州上空的不稳定度, 并在地面形成中尺度辐合线触发暴雨产生。地面中尺度辐合线的长久维持为强降水提供了动力抬升的条件, 有利于强降水的维持; 低质心、高效率的“列车效应”回波反复经过柳州市北部三县, 造成了特大暴雨。

**关键词:** 特大暴雨; 副热带高压; 地面辐合线

**中图分类号:** DH

**文献标识码:** A

## Cause Analysis of a Torrential Rain on the Edge of Subtropical High

Jia Xianfeng, Liu Lei

(Liuzhou Meteorological Service, Liuzhou Guangxi 545001)

**Abstract:** By using the conventional materials, NCEP/NCAR per 6h reanalysis data and doppler radar data, a severe rainstorm that occurred on the edge of subtropical high in Liuzhou from July 9 to 10, 2017 was analyzed. The results showed that the high trough, low jet and ground convergence line were the main influencing systems of this process. The stable ridge line of subtropical high made the rainstorm area mainly appear in the north-central part of Liuzhou. Continuous flow of water vapor from the bay of Bengal and the south China sea provided adequate vapor conditions for the rainstorm. The invasion of weak cold air on the ground enhanced the instability over Liuzhou, and the long-term maintenance of mesoscale convergence line provided the conditions for dynamic uplift of heavy precipitation. The "train effect" echoes with low centroid and high efficiency passed through three counties in the north of Liuzhou City repeatedly, resulting in heavy rainstorms.

**Keywords:** a severe rainstorm; subtropical high; surface concentrated line

## 引言

暴雨是华南地区常见的灾害性天气之一, 常给人民生命财产及工农业生产带来严重危害。众多研究表明, 华南暴雨与中低纬的天气系统关系密切<sup>[1-2]</sup>, 特别是与西太平洋副热带高压之间存在相互作用与制约的关系<sup>[3-5]</sup>。陶诗言指出副高西北侧是暴雨的频发区, 副高环流的变化对暴雨

产生具有重要作用<sup>[6-7]</sup>。由于副热带高压边缘的降水差异较大, 有突发性强、降水集中、局地性强等特征, 这些特征决定了副高边缘的暴雨预报难度极大。针对华南暴雨和副高位置关系, 气象工作者开展了许多的研究工作, 得出了一些有意义的结论<sup>[8-12]</sup>。2017年7月9-10日, 受高空低槽、低空切变线、西南季风共同影响, 柳州出现了暴雨到大暴雨, 局部特大暴雨降水过程, 强降水主

收稿日期: 2019-01-10

基金项目: 广西柳州市科技攻关与新产品试制项目 (2018BK10501)

作者简介: 贾显锋 (1969—), 男, 广西融水人, 高级工程师, 主要从事预报服务管理和研究工作。E-mail: Jone7318@126.com

要出现在柳州市的北部地区, 最大降雨出现在三江程村乡, 24h 雨量达 308.9mm (7 月 9 日 20 时–10 日 20 时)。从此次降水的特征看, 降水落区和时段较为集中, 降水具有“列车效应”, 整体降水强度强。下面将利用常规观测资料、NCEP/NCAR 的  $1^\circ \times 1^\circ$  的每 6h 一次的再分析资料及多普勒雷达资料, 从环流形势, 动力、热力及水汽条件等方面分析产生此次特大暴雨的原因, 以期对柳州副高边缘暴雨的预报提供参考。

## 1 环流背景分析

分析暴雨发生前 2017 年 7 月 9 日 20 时环流形势 (图略), 200hPa 上广西处于南亚高压前部分流区, 高层强烈的“抽吸”作用为强降水的产生提供了较好的高层辐散条件, 有利于上升运动的维持; 500hPa 中高纬呈两脊一槽形势, 贝加尔湖以东为一冷涡, 冷涡中心的槽线一直延伸至贵州南部, 副高脊线位于  $20^\circ \text{N}$  附近, 冷涡后部的偏北气流与副高西北侧的西南暖湿气流在柳州市上空交汇, 为强降水的产生提供了水汽及动力条件; 850hPa 切变线呈东北–西南向南压至广西西北部, 且西段南压速度快于东段, 切变线南侧为强劲的西南风; 地面有静止锋在桂北摆动, 静止锋北部弱冷空气的侵入对此次降水有较好的触发作用。由上述分析可知, 500hPa 的高空槽、低空急流以及地面辐合线是此次过程的主要影响系统, 500hPa 上副高脊线的稳定维持, 使得暴雨区位置主要出现在柳州中北部。

## 2 特大暴雨产生原因分析

### 2.1 动力条件

为了更好地分析此次暴雨过程中高低层配置情况, 本文沿特大暴雨区 ( $109.5^\circ \text{E}$ ,  $25.4^\circ \text{N}$ ) 作了高低层散度 (图 1a)、涡度 (图 1b) 随时间演变的剖面图。分析散度图, 暴雨发生前, 低层有较弱的辐合, 但是高层的辐散不是很强烈, 对应的降水也较弱。9 日 20 时左右, 强的低层辐合主要位于 925hPa, 中心为  $-3 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ 。10 日 02 时后, 随着高层辐散的逐渐增强, 低层的辐合区有所增强, 10 日 14 时, 在 500hPa 左右出现了  $-3 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$  的辐合中心, 对应高层 200hPa, 出现中心值达  $8 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$  强辐散中心, 低层的辐合高层强烈的“抽吸”作用有利于上升运动的加强和维持, 为强降水的产生和持续提供了较好的动力条件。降水也随之增强, 对应特大暴雨发生点三江程村乡的逐小时降水演变图 (图略), 强降

水主要发生在 10 日 00 时至 10 日 09 时。分析涡度场发现, 降水发生期间 (9 日 20 时–10 日 20 时), 低层为正涡度区, 9 日 20 时随着强降水的开始, 低层正涡度开始增强并向上伸展, 到 10 日 08 时在 850hPa 附近出现正涡度中心, 中心值达  $10 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ 。涡度柱随高度有所倾斜, 一直伸展到 400hPa 附近, 400hPa 以上为负涡度区。10 日 20 时后, 随着低层正涡度区的减弱, 降水也随之减弱。

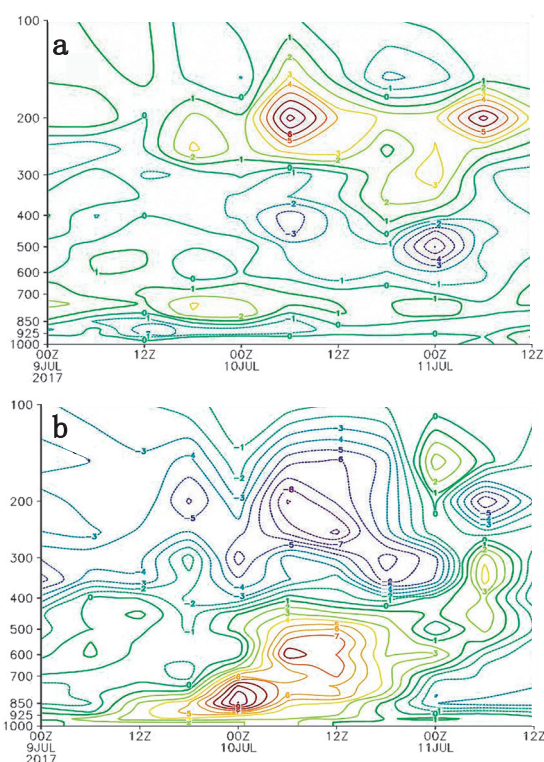


图 1 散度 (a)、涡度 (b) 随时间变化的垂直剖面图  
(图中时间为世界时) (单位:  $10^{-5} \text{s}^{-1}$ )

### 2.2 热力条件

分析 9 日 20 时桂林、河池的 T-Lnp 图 (图略) 发现, 暴雨发生前桂北地区湿层深厚, 有利于强降水的产生。7 月 9 日 08 时桂林站对流有效位能 CAPE 为  $467 \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ , K 指数为  $36^\circ \text{C}$ , 河池站对流有效位能 CAPE 为  $1219.4 \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ , K 指数为  $36^\circ \text{C}$ ; 到 9 日 20 时 (表 1), 桂林站及河池站 CAPE 分别增加到  $1351.9 \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $1316.9 \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ , K 指数都增加到了  $37^\circ \text{C}$ , 说明在暴雨发生前不稳定能量有个急剧积蓄的过程; 桂林站 850 ~ 700hPa 风速达到了  $12 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 说明中低层存在较强的低空急流, 有利于水汽和热量向暴雨区输送。从上述热力条件分析发现, 暴雨发生前有不稳定能量的积累, 中低层存在较强的低空急流, 低的抬升凝结高度表明的抬升条件要求较低, 稍微有一点触发条件就可以产生对流, 零度层高度为 5.5km 左右, 暖云层

较深厚。另外从两个站的平衡高度来看，桂林、河池站分别为 131.7hPa、114.8hPa，高的平衡高度表明对流能伸展到较高的高度。而且整层高湿

的环境降低了蒸发率，有利于出现范围较大的降水。较厚的暖云层、深厚的湿层及较大的 CAPE 值都十分有利于强降水的发生。

表 1 2017 年 7 月 9 日 20 时探空站各项指数

指数	K 指数 (℃)	SI 指数 (℃)	CAPE (J·kg <sup>-1</sup> )	抬升凝结高度 (hpa)	平衡高度 (hpa)	零度层高度 (vn)
河池	39	-1.12	1316.9	960.8	114.8	5436.9
桂林	37	0.82	1351.9	957	131.7	5640.8

2.3 水汽条件

通过前面动力及热力条件分析，得知桂北地区上空有较好的动力配置且湿层深厚，而源源不断的水汽供应则是暴雨产生的必要条件。分析此次降水过程中低层 925hPa 平均水汽通量（图略）发现，暴雨区的水汽主要来自于孟加拉湾与南海地区，在海南岛东西两侧各有一支水汽通量大值区，西侧流经广西的水汽通量较强，其中在北部湾地区等值线密集，水汽输送中心数值达  $22\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ，说明广西上空有较强的水汽输送，为暴雨的出现提供很好的水汽。水汽通量散度是表示水汽集中程度的物理量。分析暴雨发生前（9 日 20 时）925hPa 水汽通量散度图（图 2a）发现，桂北地区有较强

的水汽辐合，柳州西北部一带水汽通量散度中心值达到  $-6\times 10^{-7}\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ；10 日 02 时（图略），水汽辐合区仍维持在桂北一带，中心值维持在  $-6\times 10^{-7}\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ，此阶段降水强度达到最大，多个自动站出现大于 30–40mm/h 的降水；10 日 08 时（图 2b）水汽辐合大值区略有南压且范围略有缩小，但水汽通量大值区还是在柳州西北部地区维持，中心值仍为  $-6\times 10^{-7}\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 。之后随着水汽辐合大值区减弱，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。柳州地区上空有较强的水汽输送及柳州北部地区长达 18h 的水汽辐合是造成柳州市北部的特大暴雨重要原因。

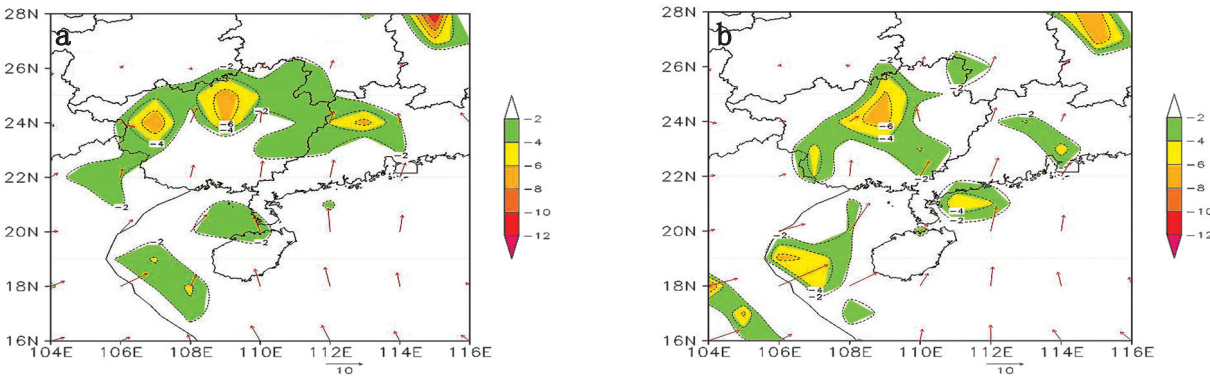


图 2 水汽通量散度图（单位： $10^{-7}\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ），7 月 9 日 20 时（a），7 月 10 日 08 时（b）

2.4 触发机制分析

分析 10m 流场及 V 风量叠加图，9 日 20 时（图 3a），在柳州西北部有一东北–西南向的中尺度辐合线，地面冷空气从百色、河池一带侵入，辐合线南部为偏南暖湿气流。10 日 08 时（图 3b），辐合线南侧偏南气流有所增强，辐合线稍有北抬，10 日 14 时随着冷空气的增强，辐合线又有所增强并南压，从其演变情况看，这一中尺度辐合线在柳州市西北部维持了 14h 之久，结合

雷达，中尺度辐合线附近不断有降水回波生成，并沿着副高西北侧西南引导气流不断向东北方向移动，“列车效应”造成了柳州市北部地区的特大暴雨。10 日 20 时，随着地面偏南气流的北推，辐合线减弱北抬，柳州市上空转为一致的偏南气流控制，降水也随之减弱。此次暴雨过程中，地面弱冷空气的侵入一定程度上增强了柳州上空的不稳定度，并在地面形成中尺度辐合线，触发了强降水的发生，地面中尺度辐合线的长久维持为强降水提供了动力抬升的条件，有利于强降水的维持。



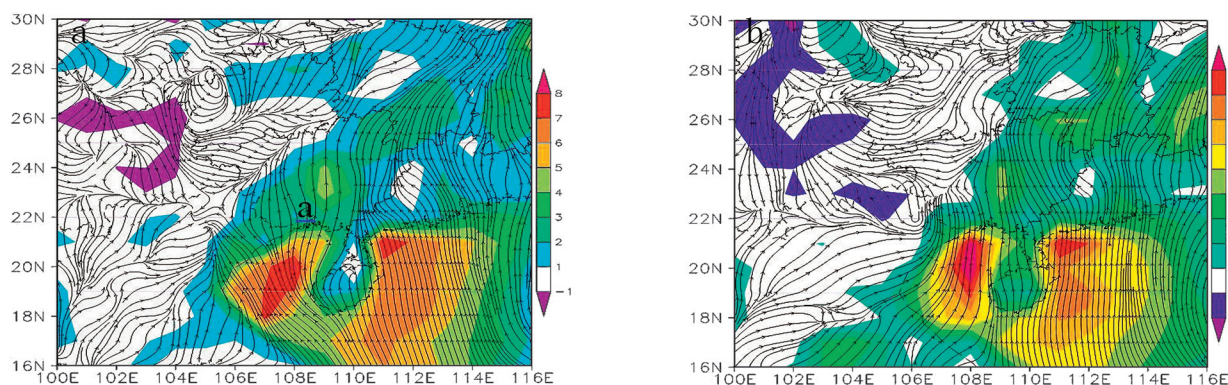


图 3 10m 流场及 V 风 (阴影, 单位:  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) 叠加图 (a, 9 日 20 时; b, 10 日 08 时)

### 3 雷达回波分析

从雷达回波形态看, 9 日 22 时 (图略), 由地面辐合线触发的对流云团沿着副高边缘的西南暖湿气流不断向东北方向移动, 柳州西北部的对流云发展较强, 反射率因子达 45dbz 以上。由于副高的稳定维持, 副高西北侧的暖湿气流中不断有降水回波生成发展, 并沿着其边缘向东北方向移动, 密实的降水回波不断经过柳州市的北部三县, 10 日 04 时 (图略), 回波范围有所扩大, 小时降水强度逐渐增强, 三江程村乡出现了 45.7mm/h 的强降水 (07 时), 加上低空急流增强, 水汽输送较好, 使降水增幅, 长时间的“列车效应”造成了三江程村乡的特大暴雨。沿单体的移动方向作回波带的反射率因子垂直剖面 (图略), 此次暴雨过程主要以 35dbz 以下的层状云回波为主, 对流单体分散地镶嵌于大片层状云降水回波中, 反射率因子梯度较小, 降水回波的伸展高度大概在 8–9km 之间, 40dbz 以上的回波大都在 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, 正是由于这些高效率的降水回波反复经过柳州市北部三县, 造成三江程村乡的特大暴雨。

### 4 结论

采用常规气象观测资料、广西中尺度自动站资料及 NCEP1°×1° 格点再分析资料分析了 2017 年 7 月 9–10 日柳州特大暴雨天气过程, 主要得到以下结论:

(1) 500hPa 的高空槽、低空急流以及地面辐合线是此次过程的主要影响系统, 200hPa 南亚高压为强降水的产生提供了较好的高层辐散条件, 500hPa 上副高脊线的稳定维持, 使得暴雨区位置主要出现在柳州中北部。

(2) 孟加拉湾与南海源源不断的水汽输送为此次暴雨提供了充分的水汽条件; 较厚的暖云层、深厚的湿层及较大的 CAPE 值都十分有利于强降水

的发生, 整层高湿的环境降低了蒸发率, 有助于出现范围较大的降水。

(3) 地面弱冷空气的侵入一定程度上增强了柳州上空的不稳定度, 并在地面形成中尺度辐合线, 触发了强降水的发生, 地面中尺度辐合线的长久维持为强降水提供了动力抬升的条件, 有利于强降水的维持。低质心、高效率的“列车效应”回波反复经过柳州市北部三县, 造成了特大暴雨。

#### 参考文献:

- [1] 黄荣辉, 李维京. 夏季热带西太平洋上空的热源异常对东亚上空副热带高压的影响及物理机制 [J]. 大气科学, 1998, 12 (S1): 107–116.
- [2] 黄荣辉, 顾雷, 陈际龙, 等. 东亚季风系统的时空变化及其对我国气候异常影响的最近研究进展 [J]. 大气科学, 2008, 32 (4): 691–719.
- [3] 刘还珠, 姚明明. 降水与副热带高压位置和强度变化的数值模拟 [J]. 应用气象学报, 2000, 11 (4): 385–391.
- [4] 王黎娟, 温敏, 罗玲, 等. 西太平洋副高位置变动与大气热源的关系 [J]. 热带气象学报, 2005, 21 (5): 488–496.
- [5] 王黎娟, 陈璇, 管兆勇, 等. 我国南方洪涝暴雨期西太平洋副高短期位置变异的特点及成因 [J]. 大气科学, 2009, 33 (5): 1047–1057.
- [6] 陶诗言, 等. 中国之暴雨 [M]. 北京: 科学出版社, 1980: 33.
- [7] 陶诗言, 卫捷, 张小玲. 2007 年梅雨锋降水的大尺度特征分析 [J]. 气象, 2008, 34 (4): 3–15.
- [8] 杨新, 柯文华, 张小荣, 等. 两次副高边缘特大暴雨对比分析 [J]. 气象研究与应用, 2014, 35 (4): 1–4, 15.
- [9] 蒙蒙, 李有为, 黎大美. 一次副高控制下的桂西北大暴雨天气过程分析 [J]. 气象研究与应用, 2016, 37 (S1): 82–84.
- [10] 黄翠银, 赖雨薇, 陈剑飞. 2015 年 11 月广西秋季连续性暴雨研究 [J]. 气象研究与应用, 2018, 39 (3): 33–37, 45.
- [11] 李勇, 覃武, 钟利华. 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.
- [12] 陈伟斌, 高安宁, 陈见, 等. 不同环境风场条件下两次暴雨过程对比分析 [J]. 气象研究与应用, 2012, 33 (3): 14–20.