

黄芳,刘国忠,黄增俊,等.“22·06”广西极端暴雨过程低空急流作用[J].气象研究与应用,2023,44(3):01-08.

HUANG Fang,LIU Guozhong,HUANG Zengjun,et al. The effect of low-level jet during the “22·06”extreme heavy rainstorm in Guangxi in 2022[J].Journal of Meteorological Research and Application,2023,44(3):01-08.

“22·06”广西极端暴雨过程低空急流作用

黄芳¹,刘国忠^{1*},黄增俊²,梁生²,张丁丁²

(1.广西壮族自治区气象台,南宁 530022;2.南宁市气象局,南宁 530029)

摘要:利用多源气象资料,对 2022 年 6 月 17—22 日广西极端暴雨过程低空急流与暴雨的关系进行精细化时空分析。结果表明:(1)该次极端暴雨是发生在中高低纬天气系统有利对峙的暖区降雨系统中,极端低空急流的脉动和高空槽的东移触发极端暴雨天气。(2)强降雨区主要位于 925 hPa 急流顶端以北、850 hPa 急流核以北偏左侧的急流梯度最大区域附近,急流位置和强度与强降雨落区和强度相关。(3)低空急流建立强劲的水汽通道,强降雨对应水汽辐合中心。强降雨区位于 $\Delta\theta_{se}$ 负中心南侧和东侧的等值线密集区域内,并沿着等值线密集区分布。低空急流为暴雨区上空的正涡度柱和低层辐合、高层辐散动力机制提供有利条件。(4)极端低空急流下,前倾槽过境,低层强烈辐合高层强烈辐散、深厚正涡度柱及水汽异常充沛是极端暴雨形成的重要原因。

关键词:极端暴雨;低空急流;降雨特征;中小尺度分析

中图分类号: P458.1+21.1

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2023.3.01

低空急流于上个世纪三十年代被人们所发现后便受到广泛的关注,它可以为极端暴雨天气过程提供充足的水汽、能量条件及有利的天气背景场条件^[1-2],并能促进极端降水事件的发生。陶诗言^[3]、何立富等^[4]研究指出,低空急流及其附近的风速脉动或辐合区可形成或触发华南暖区暴雨。江敦春等^[5]认为暴雨具有时间短、雨强大,从而释放出大量的凝结潜热引起扰动发展,并造成大气层结越发不稳定,水汽凝结加热作用越明显,因此低空急流强度增强。刘鸿波等^[6]指出,在所有的天气系统中,低空急流与降水的关系最为密切。许多研究成果认为暖区暴雨基本伴有低空急流的发展^[7-8]。赵玉春等^[9]总结近 30 a 华南前汛期暴雨研究成果指出,低空急流是形成暴雨的重要天气系统,大约 75%~80%的暴雨与低空急流有关,东南风急流也在暴雨中起重要作用。高安宁等^[10]分析广西低涡暴雨成因指出,发展深厚且伴有强西南低空急流的过程有利于强降水。对比分析不同环境风场条件下的华南西部低涡暴雨过程,

发现西南低涡的影响下有无低空急流配合对强降雨的强度和维持有重大影响。赵金彪等^[11]分析暖区暴雨形成机制时强调,高空急流稳定维持与低空急流持续加强是暖区暴雨发生发展的动力机制。李向红等^[12]认为,广西锋面暴雨过程发生时,暴雨区位于高空急流出口右侧正散度区和 500 hPa 强上升区内,低空急流的左侧。罗建英等^[13]利用中尺度数值模式对广西的一次暖区暴雨过程进行数值模拟,认为高空急流稳定维持与低空急流持续加强是暖区暴雨发生发展的动力机制,低空急流核以接力振荡的形式快速东传,而不是向北面的锋区运动,有利于暖区累积充沛的水汽和不稳定能量及有组织的对流活动在暖区反复生成和发展,从而导致了暖区不仅降雨量大,而且雨强更强。李向红等^[14]分析表明桂林 2022 年“龙舟水”暴雨触发与低空急流加强、切变线、低涡系统的控制,以及副热带高压加强有关。覃皓等^[15]研究得出低空急流的日变化可由惯性振荡机制解释。夜间在低空急

收稿日期:2023-03-06

基金项目:中国气象局复盘总结专项项目(FPJZJ2023-095)、广西分钟级对流尺度数值预报模式系统建设项目(桂气科 2022ZL005)、

广西极端暴雨形成机理及预报技术研究创新团队项目

第一作者简介:黄芳(1983—),女,工程师,主要从事预报服务业务及研究。E-mail:120161644@qq.com

* 通讯作者:刘国忠,正研级高级工程师,主要从事预报服务业务及研究。E-mail:baiselgz@sina.com

流顶端附近不断有对流系统发生发展,造成强降水。到目前为止针对暴雨过程的研究,主要集中于低空急流形成及大尺度作用方面的分析研究,对于低空急流中小尺度作用方面精细化分析研究比较少见,应加强这方面的分析研究,从而提高暴雨精细化分析预报能力。

2022年6月17—22日,广西出现了严重极端暴雨过程^[16-17]。过程期间,环江国家气象观测站日雨量打破当地历史记录,柳州市融水县香粉乡区域自动站6h雨量打破了当地及广西历史记录。刘国忠等^[17]对该次暴雨过程的环境场特征分析指出,暴雨过程广西急流深厚,具有暖区暴雨层结特征。本文利用地面高空常规气象观测资料、广西国家气象观测站资料、区域中尺度自动气象观测站资料和欧洲中心(EC)ERA5空间分辨率为 $0.25^{\circ}\times 0.25^{\circ}$ 、时间分辨率为1h格点再分析资料,对此次低空急流与暴雨的关系进行精细化分析,以揭示低空急流对暴雨的作用,为暴雨预报提供多视角的精细化分析思路和方法。

1 资料与方法

(1)广西区域850hPa急流:百色、河池、桂林、南宁、梧州、北海等6个气象探空站中,观测时次(08时或20时,北京时,下同)850hPa有一个站以上风速 $\geq 12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,即广西区域850hPa急流。广西区域925hPa急流:6个气象探空站中,观测时次925hPa有一个站以上风速 $\geq 12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,即广西区域925hPa急流。广西区域低空急流:广西区域为850hPa急流或925hPa急流,即广西区域低空急流。

(2)利用地面高空常规气象观测资料、广西国家气象观测站资料、区域中尺度自动气象观测站资料和欧洲中心(EC)ERA5空间分辨率为 $0.25^{\circ}\times 0.25^{\circ}$ 、时间分辨率为1h格点再分析资料,分析2022年6月17—22日广西极端暴雨过程的天气系统及降雨特征。

(3)利用气象探空站观测资料和欧洲中心(EC)ERA5空间分辨率为 $0.25^{\circ}\times 0.25^{\circ}$ 、时间分辨率为1h格点再分析资料,采用天气学诊断分析方法,分析2022年6月17—22日广西极端暴雨过程期间广西区域低空急流的特征及其与暴雨的关系。

2 结果与分析

2.1 天气系统及降雨特征

暴雨过程期间,亚洲中高纬500hPa环流呈两槽一脊型,脊位于贝加尔湖一带,两低槽分别位于西伯利亚和鄂霍次克海,东槽槽线向南延伸至长江中下游沿江一带,我国西部地区中纬度不断有短波槽东移,850hPa切变线在广西西北部到贵州一带摆动。副热带高压稳定西伸,588dagpm线在南海西北部至华南沿海一带摆动,孟加拉湾至中南半岛北部为低值区,不断有低纬度槽移出,广西为低值区与副高之间的东高西低稳定环流形势。广西925hPa、850hPa、700hPa均为西南风急流区且急流轴集中于广西东部至南部地区,500hPa为 $\geq 12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 偏西风显著气流区,地面为西南低压槽区前部西南至东北向等压线较为密集区,无冷空气影响。广西区域为相对稳定的暖区降雨形势。

16日前,500hPa副高逐渐加强西伸,588dagpm线西伸至华南沿海一带,17日08时,青藏高原槽、低纬度孟加拉湾槽东移合并并在广西南部加深,与副高对峙,气压梯度加大,广西的南部至东部中低空爆发了西南风急流,广西6个气象探空站925、850、700hPa最大急流分别达到了16、16、18 $\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,500hPa为14 $\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的显著气流,在850hPa、700hPa急流轴及500hPa显著气流轴的左侧,925hPa急流出口前端,500hPa高空槽前及附近,桂东北出现了大范围、集中度高的暴雨到大暴雨、局地特大暴雨,最大24h雨量为271.1mm,最大小时雨量为101.1 $\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ (图1a)。18日,随着高空槽的东移北收减弱消失,急流向北扩展,位于南部至东北部一线,受高原移出至广西西北部高空槽影响,桂东北出现范围小的暴雨到大暴雨、局地特大暴雨天气,最大24h雨量为498.2mm,最大小时雨量为149.4 $\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ (图1b),特殊地形辐合处融水县香粉乡6h雨量427.6mm,打破广西历史纪录。在急流稳定少动的情况下,广西西北部高空槽快速东移北收减弱消失的同时,19日,又一高空槽移至广西西北部,受其影响,造成了广西东北部同样出现范围小的暴雨到大暴雨、局地特大暴雨天气,最大24h雨量为388.7mm,最大小时雨量为82.2 $\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ (图1c)。

19日后,由于受热带低值系统影响,副高减弱东退、南落,500hPa上588dagpm线东退、南落至台湾岛至海南岛一线南侧,广西中低空急流又南落至南部至东部一带。20日,缓慢移出的低纬度孟加拉湾槽和高原槽又一次东移合并并在广西南部加深,中低空急流再次加强,广西6个气象探空站925、850、

700、500 hPa 均达急流,最大急流分别达 18、16、20、 $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,急流明显强于 17 日,是这次过程最强的急流日,广西的东北部出现了大范围、集中度高的暴雨到大暴雨、局地特大暴雨,最大 24 h 雨量为 448.8 mm,最大小时雨量为 $110.3 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$,环江城区日降雨量 280.3 mm 突破历史极值,桂林宛田乡出现 438.8 mm 极端降雨(图 1d)。21 日,广西经历了和 18 日类似的天气形势过程,造成类似的强降雨(图 1e)。22 日,亚洲中高纬 500 hPa 环流由两槽一脊型转纬向型环流,副高西伸北抬和大陆高压有合并趋势,中低空急流北抬减弱,急流轴由集中转分散,强降雨趋于结束(图 1f)。

2.2 低空急流与暴雨的关系

2.2.1 低空急流与暴雨落区关系

分析 925 hPa 边界层和 850 hPa 低空急流全风速与暴雨落区的关系(图 1)发现,17 日(图 1a),925 hPa 急流核位于北部湾海面,中心值 $\geq 14 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,从北部湾海面向广西内陆延伸为脊区, $\geq 12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 急流顶端位于贵港,850 hPa 急流核位于贵港与梧州交界北部,中心值 $\geq 15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $\geq 12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 急流区的北界位于桂林南部一带,强降雨区主要位于 925 hPa 急流顶端以北、850 hPa 急流核以北偏左侧的急流梯度最大区域附近的桂东北。18 日(图 1b),925 hPa 急流核中心值增强为 $\geq 17 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,脊区向北扩展, $\geq 12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 急流顶端位于柳州南部,850 hPa 急流核稍南落,位

于玉林与梧州交界,中心值增大为 $\geq 20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $\geq 12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 急流区的北界北扩至柳州北部至桂林北部一线,强降雨区主要位于 925 hPa 急流顶端以北、850 hPa 急流核以北偏左侧的急流梯度最大区域附近的柳州北部至桂林北部一带,最大 24h 雨量和最大小时雨量均增大。19 日(图 1c),925 hPa 和 850 hPa 急流位置少变,强度稍有减弱,强降雨区位置少动,强度稍有减弱。

20 日(图 1d),925 hPa $\geq 12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 急流顶端南落过程中变得扁平,位于南宁东部-贵港-梧州一线,北部湾海面的急流核中心值再增强为 $\geq 17 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,850 hPa $\geq 12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 急流区的北界南落至桂林南部至柳州南部一线,急流核位置少动,中心值增大至 $\geq 21 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,为该次过程最强的急流日,在位于 925 hPa 急流顶端以北、850 hPa 急流核以北偏左侧的急流梯度最大区域附近的桂东北出现本次过程最大范围、最强的强降雨,出现极端暴雨日。21 日(图 1e)经历与 18 日相似过程。22 日(图 1f),925 hPa 急流核减弱为 $\geq 15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,脊区北扩, $\geq 12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 急流顶端位于柳州中部,850 hPa 急流核北抬至来宾-柳州一带,中心值减弱 $\geq 18 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $\geq 12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 急流区的北界移出广西,强降雨趋于结束。

综上可见,强降雨区主要位于 925 hPa 急流顶端以北、850 hPa 急流核以北偏左侧的急流梯度最大区域附近,每一次急流的增强对应了日雨量的增强,

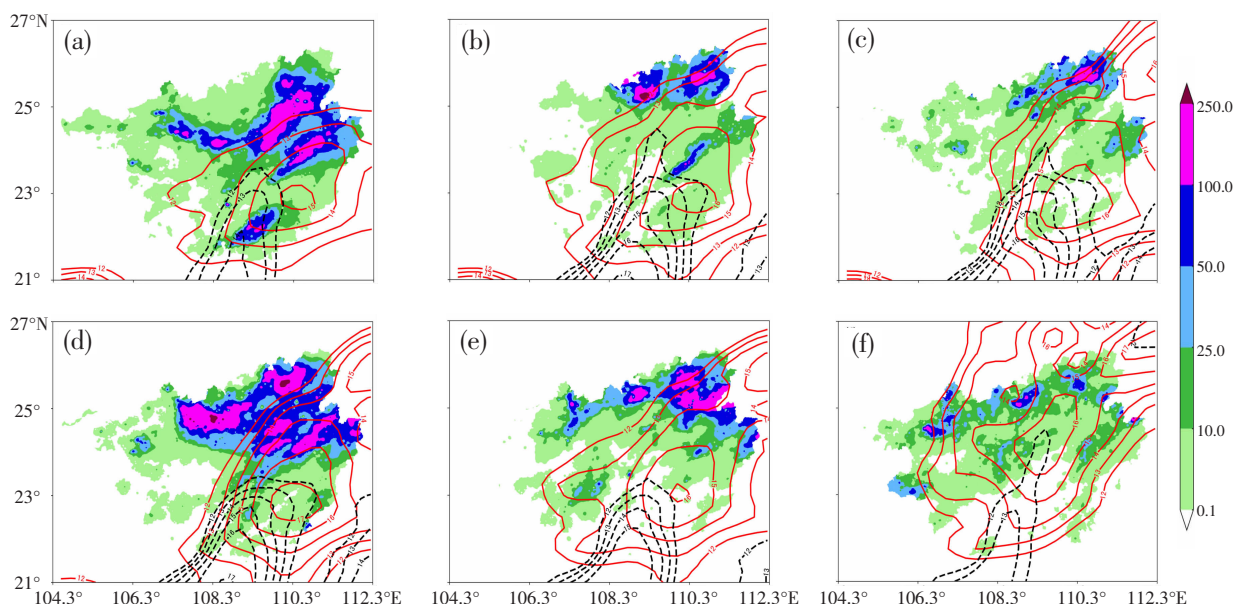


图 1 广西日降雨量(阴影,单位:mm)、850hPa 日平均全风速图(红色等值线 $\geq 12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)、925hPa 日平均全风速图(黑色等值虚线 $\geq 12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)

(a)17 日;(b)18 日;(c)19 日;(d)20 日;(e)21 日;(f)22 日

反之亦然,急流位置和强度与强降雨落区和强度有较好的相关性。

2.2.2 低空急流与暴雨强度关系

分析暴雨过程及前后广西 6 个气象探空站 850 hPa 和 925 hPa 的低空急流(表 1)发现,整个暴雨过程,850 hPa 和 925 hPa 均达急流日指标,受持续的
低空急流影响,850 hPa 和 925 hPa 上空大部均受西南或偏南急流影响,特别是 850 hPa 均为一致西南急流。按每日达到急流站次数表示急流的强弱,17 日后达到急流的站次数迅速增加,暴雨期间站次数大多为 10~12 站次,19 日最多,最大范围、最强暴雨出现在急流达到最强的后一天,具有低空急流越强,

暴雨强度越大的特征。

分析广西 6 个气象探空站 850 hPa 和 925 hPa 低空急流值的日变化发现,08 时至 20 时风速减弱,部分气象站点风速降低至 $12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下,达不到急流强度,20 时至 08 时风速增强到急流强度,08 时 850 hPa 达到急流强度的站次数占广西总站次数一半以上(表 1),23 日之后 850 hPa 和 925 hPa 急流强度明显减弱,强降雨也随之减弱,急流具有明显的日变化特征,这与暴雨过程具有夜雨特征相吻合,急流夜间增强,暴雨增强,暴雨与急流的时间脉动相关。

表 1 暴雨发生当日广西区域内低空急流类型和强度
(每日急流统计的时次为上一日 20 时及当日 08 时)

日期	时间	850hPa				925hPa				低空急流
		急流类型	该时次急流	该日急流	达到站次数	急流类型	该时次急流	该日急流	达到站次数	
06-16	20 时	无	否	是	0/6	无	否	是	0/6	是
06-17	08 时	西南	是		3/6	西南	是		1/6	
	20 时	西南	是	是	1/6	西南	是		1/6	是
06-18	08 时	西南	是		5/6	西南和南	是		3/6	
	20 时	西南	是	是	3/6	西南和南	是		2/6	是
06-19	08 时	西南	是		5/6	西南	是		2/6	
	20 时	西南	是	是	2/6	西南和南	是		2/6	是
06-20	08 时	西南	是		4/6	西南	是		2/6	
	20 时	西南	是	是	2/6	西南和南	是		2/6	是
06-21	08 时	西南	是		5/6	西南	是		2/6	
	20 时	西南	是	是	1/6	无	否		0/6	是
06-22	08 时	西南	是		5/6	西南和南	是		2/6	
	20 时	西南	否	是	2/6	无	否		0/6	是
06-23	08 时	西南	是		4/6	南	是	是	1/6	

3 低空急流的水汽、热力、动力作用

3.1 低空急流的水汽输送作用

暴雨期间,与 850 hPa 低空急流相对应形成明显的水汽通道(图 2),急流对应水汽通量 $\geq 15\text{ g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$,急流核对应水汽通量 $\geq 20\text{ g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$,其中 20 日急流核对应水汽通量 $\geq 25\text{ g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$

(图 2d),水汽输送十分充沛,水汽输送强度与急流强度成正比。

与暴雨区相对应存在明显的水汽通量辐合区(图 2),暴雨区水汽通量散度中心 $\leq -25\times 10^{-6}\text{ g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。6 月 17 日、20 日为暴雨过程的最强两个降雨日,强降雨位于广西东北部,两天的强降雨区域位置基本重叠,但 20 日的强降雨区域和累积雨量更

大,从水汽通量散度(图 2a、图 2d)可以看出,这两天存在 $\leq -30 \times 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 水汽辐合中心,17 日在桂东北存在范围较小的水汽辐合中心 $-50 \times 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,20 日存在范围较大的水汽辐合中心 $-50 \times 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,水汽辐合明显强于 17 日,是过程最强的水汽辐合日。因此,20 日强降雨范围最大、强度最强。可见,低空急流为强降水提供了稳定持续的水汽条件。

3.2 低空急流的热力输送作用

低空急流为强降水带来丰沛的水汽同时,也带

来了其所需的对流不稳定层结和热量。从图 3 $\Delta\theta_{se}$ 空间分布可以看出,在 6 月 17—21 日, $\Delta\theta_{se}$ 负中心均维持在黔桂交界附近,中心值从 17 日的 -8K 逐渐下降到 21 日的最低值 -18K ,强降雨区位于负中心南侧和东侧的等值线密集区域内,也就是锋区的南侧对流不稳定区域内,不处于最不稳定区域,沿着等值线密集区分布^[18],22 日(图 3f)负中心移出广西北部。另外,广西南部 $\Delta\theta_{se}$ 正中心的变化与负中心的变化是相反的,是一个逐渐减小的过程,从 17 日的 20K 逐渐减小到 22 日的最低值 6K ,说明低空急

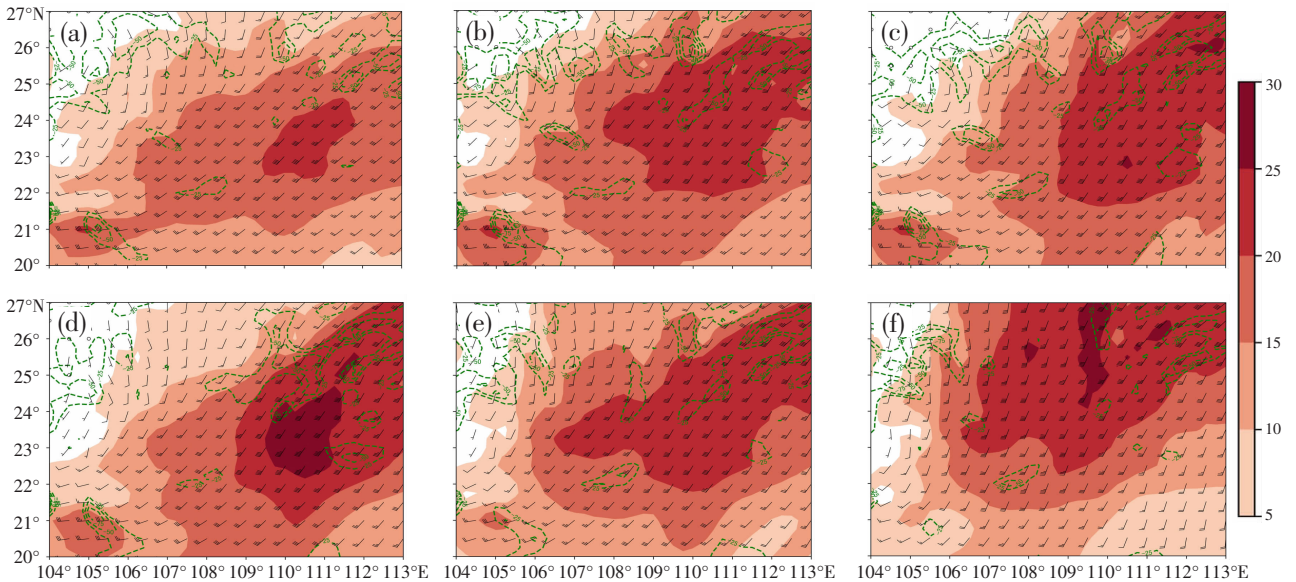


图 2 850hPa 水汽通量(阴影,单位: $\text{g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、水汽通量散度(等值线,单位: $10^{-6} \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、全风速图(风杆,单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

(a)6月17日;(b)6月18日;(c)6月19日;(d)6月20日;(e)6月21日;(f)6月22日

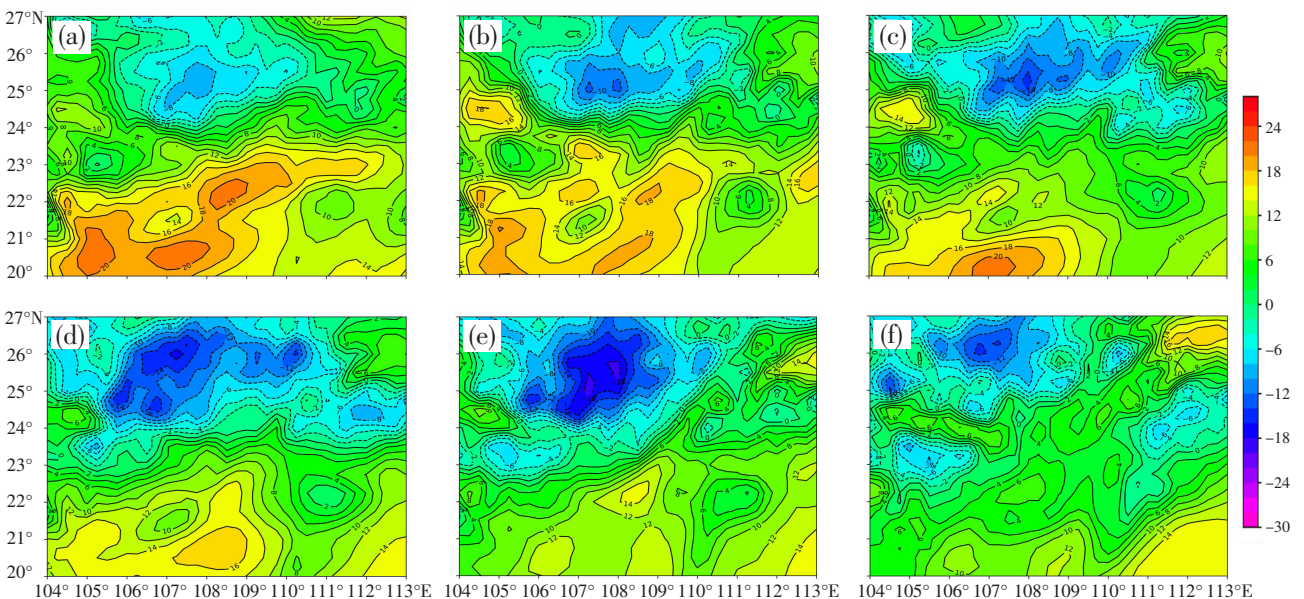


图 3 500 hPa 与 850 hPa 假相当位温差空间分布(单位: K)

(a)6月17日;(b)6月18日;(c)6月19日;(d)6月20日;(e)6月21日;(f)6月22日

流提供的不稳定能量在 22 日明显减弱, 趋于结束, 强降水过程也随之结束。

3.3 低空急流的动力作用

暴雨期间, 广西上空处于低空急流影响, 为论证低空急流产生的动力机制, 分别制作沿 $107^{\circ}\sim 112^{\circ}\text{E}$ 平均垂直速度、散度纬向-高度剖面(图 4a)和平均涡度、位涡纬向-高度剖面(图 4b)。

分析图 4a, $23^{\circ}\sim 25^{\circ}\text{N}$ 自低层到高层表现为辐合-辐散交替特征, 低层 925 hPa 到 850 hPa 散度值大多为 $(-20\sim -30)\times 10^{-6}\text{ s}^{-1}$, 25°N 附近有 $-40\times 10^{-6}\text{ s}^{-1}$ 低值中心, 对应明显的辐合上升运动, 北侧的下沉运动使得不稳定区域范围限制在桂东北, 并形成低层辐合高层辐散的垂直结构。在 22°N 以南区域也出现明显的辐合辐散特征及上升运动, 但是其高度在 800 hPa 以下, 低层辐合高层辐散的垂直结构高度不够, 不利于强降雨的充分发展。统计分析 16 日 20 时至 22 日 08 时逐日南宁站和桂林站的气象探空资料,

发现南宁站上空的平均自由对流高度为 900 hPa, 桂林站上空的平均自由对流高度为 890 hPa, 两站都存在一定的对流抑制有效位能(CIN), 与图 4a 的垂直速度对比可以发现, 南宁站到 700 hPa 后上升速度为 0, 而桂林站的上升运动一直到 100 hPa, 上升运动十分明显, 说明南宁站上空的上升运动虽然突破了自由对流高度, 但是上升的高度不够, 不利于对流的发展, 而桂林站上空的对流条件十分有利于对流产生。

分析图 4b 发现, $23^{\circ}\sim 26^{\circ}\text{N}$ 的 925~500 hPa 存在明显的正涡度柱, 500 hPa 附近形成 $40\times 10^{-6}\text{ s}^{-1}$ 的正涡度中心, 中心位于 25°N 附近, PV 的情况也类似, 两者都说明低空急流的加强和维持使得在 $23^{\circ}\sim 26^{\circ}\text{N}$ 之间上空的涡旋或者切变线系统得以维持和发展。

以上说明, 低空急流为桂北上空的正涡度柱和低层辐合高层辐散动力机制提供有利条件, 带来强烈上升运动, 有利于强降雨的发生发展。

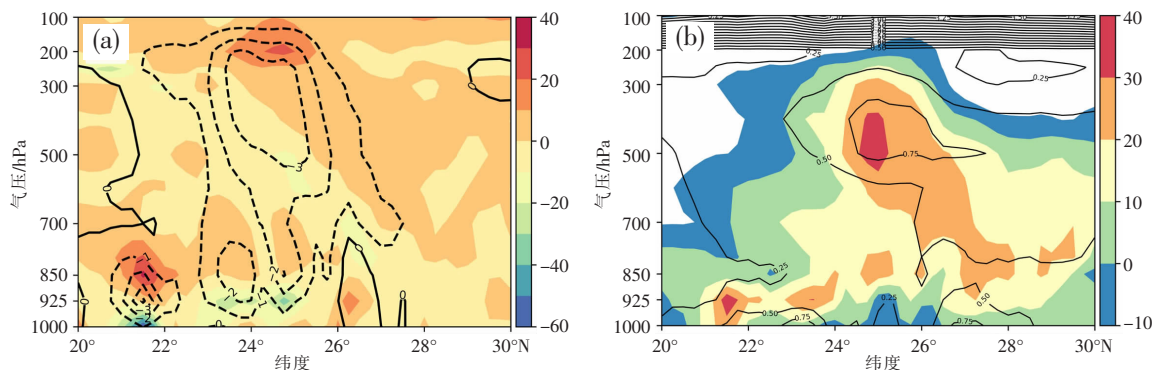


图 4 2022 年 6 月 17 日—22 日沿 $107^{\circ}\sim 112^{\circ}\text{E}$ 平均剖面图

(a) 垂直速度(等值线, 单位: $10^{-1}\text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$)、散度(填色, 单位: 10^{-6} s^{-1})的纬度-高度剖面;
(b) 涡度(填色, 单位: 10^{-6} s^{-1})、位涡(等值线, 单位: PVU)的纬度-高度剖面

4 低空急流与暴雨极端性分析

暴雨期间, 环江国家气象观测站日雨量 280.3 mm, 打破该站建站以来历史记录, 下面进行极端性成因分析。

环江毛南族自治县气象站 6 月 16 日 08 时至 23 日 20 时逐小时时间综合廓线图显示, 环江国家气象观测站 850~700 hPa 为风速都在 $8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上的西南风, 风速最大达 $20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 低层 800 hPa 西南急流长时间维持, 中层 500 hPa 风场经历多次西南风转西北风转换, 高层 300 hPa 以上为东北或偏北风。

19 日 20 时—20 日 20 时, 环江毛南族自治县低

层维持强盛低空急流, 400~800 hPa 高层到低层依次由西南风转为西北风, 高空槽先高层后低层过境, 为明显的前倾槽过境影响。850 hPa 以下维持 $(-20\sim -40)\times 10^{-6}\text{ s}^{-1}$ 负散度值, 部分时段可达 $-60\times 10^{-6}\text{ s}^{-1}$, 850 hPa 以上的中高层均为 $(20\sim 40)\times 10^{-6}\text{ s}^{-1}$ 正散度值, 部分时段可达 $60\times 10^{-6}\text{ s}^{-1}$, 形成低层强烈辐合、高层辐散的有利条件。850 hPa 以上维持 $(20\sim 40)\times 10^{-6}\text{ s}^{-1}$ 正涡度柱, 300 hPa 附近中心值达到最大值 $140\times 10^{-6}\text{ s}^{-1}$, 对应的垂直速度柱 500 hPa 中心值达到 $-6\times 10^{-1}\text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ 。低层急流输送下, 850 hPa 以下比湿为 15~20 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 水汽十分充足。可见, 强盛低空急流下, 前倾槽过境, 低层强烈辐合高层强烈辐散、深厚正涡度柱

及水汽异常充沛,是极端暴雨形成的重要原因。

5 结论

利用地面高空常规气象观测资料、广西国家气象观测站资料、区域中尺度自动气象观测站观测资料和欧洲中心(EC)ERA5 空间分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 、时间分辨率为 1h 格点再分析资料,对 2022 年 6 月 17—22 日广西极端暴雨过程低空急流与暴雨的关系进行精细化分析,得到以下主要结论:

(1)该次极端暴雨是发生在中高低纬天气系统有利对峙的暖区降雨系统中,极端低空急流的脉动和高空槽的东移触发了极端暴雨天气。暴雨区位于 850 hPa、700 hPa 急流轴左侧、925 hPa 急流出口前端、500 hPa 高空槽前及附近。强降雨发生时,各层急流轴集中,急流轴转分散时,强降雨结束。

(2)强降雨发生时,925 hPa 急流核位于北部湾海面,850 hPa 急流核在广西东部到东北部摆动,强降雨区主要位于 925 hPa 急流顶端以北、850 hPa 急流核以北偏左侧的急流梯度最大区域附近,强降雨范围与 925 hPa 急流顶端形状有关,越扁平强降雨范围越大,急流位置和强度与强降雨落区和强度有对应关系。最大范围、最强暴雨出现在急流达到最强的后一日。暴雨过程具有夜雨特征,暴雨与急流的时间脉动相关。

(3)低空急流建立强劲的水汽通道,水汽输送强度与急流强度成正比,强降雨区存在水汽辐合中心,辐合越强降雨越强,低空急流为强降水提供了稳定持续的水汽条件。强降雨区位于 $\Delta\theta_{se}$ 负中心南侧和东侧的等值线密集区域内,并沿着等值线密集区分布。低空急流为桂东北上空的正涡度柱和低层辐合、高层辐散动力机制维持发展提供有利条件。

(4)强盛低空急流下,前倾槽过境,低层强烈辐合高层强烈辐散、深厚正涡度柱及水汽异常充沛是极端暴雨形成的重要因素。

参考文献:

- [1] 刘鸿波,何明洋,王斌,等.低空急流的研究进展与展望[J].气象学报,2014,72(2):191–206.
- [2] 黄小彦,孙继松,刘文婷.地形作用下低空急流的演变与

强降雨对流风暴系统的相互作用[J].气象学报,2020,78(4):551–567.

- [3] 陶诗言.中国之暴雨[M].北京:科学出版社,1980:1–255.
- [4] 何立富,陈涛,孔期.华南暖区暴雨研究进展[J].应用气象学报,2016,27(5):559–569.
- [5] 江敦春,韦统健.西南低空急流的能量学分析[J].南京气象学院学报,1983(2):204–214.
- [6] 广东省气象局《广东省天气预报技术手册》编写组.广东省天气预报技术手册[M].北京:气象出版社,2006:90–126.
- [7] 寿绍文.中国暴雨的天气学研究进展[J].暴雨灾害,2019,38(5):450–463.
- [8] 湛芸,陈涛,汪玲瑶,等.中国暖区暴雨的研究进展[J].暴雨灾害,2019,38(5):483–493.
- [9] 赵玉春,王叶红.近 30 年华南前汛期暴雨研究概述[J].暴雨灾害,2009,28(3):193–202,228.
- [10] 高安宁,赖珍权,张瑞波,等.不同环境风场条件下两次华南西部低涡暴雨个例对比分析[J].气象,2013,39(1):11–19.
- [11] 赵金彪,罗建英,高安宁,等.2008 年 6 月广西锋前暖区暴雨过程分析[J].热带地理,2010,30(2):145–150.
- [12] 李向红,蒋丽娟,姚立宏.夏季风系统影响下广西锋面型强暴雨动力及水汽输送特征[J].气象科技,2006(3):254–259.
- [13] 罗建英,廖胜石,黄归兰,等.广西前汛期锋前暖区暴雨过程的模拟与分析[J].气象,2009,35(10):50–57.
- [14] 李向红,张雅昕,周希源,等.2022 年桂林“龙舟水”降水特征及形成机制分析[J].气象研究与应用,2023,44(1):26–32.
- [15] 覃皓,农孟松,邱滋,等.2022 年广西“龙舟水”暖区暴雨中低空急流的日变化机制[J].气象研究与应用,2023,44(1):20–25.
- [16] 黄雪松,李妍君,何洁琳,等.广西 2022 年“龙舟水”期间极端暴雨特征及强度分析[J].气象研究与应用,2023,44(1):76–80.
- [17] 刘国忠,覃月凤,覃卫坚,等.2022 年广西极端“龙舟水”暴雨过程环境场特征分析[J].气象研究与应用,2023,44(1):7–13.
- [18] 章淹,林宗鸿,陈渭民,等.暴雨预报[M].北京:气象出版社,1987:78–80.

The effect of low-level jet during the “22·06” extreme heavy rainstorm in Guangxi in 2022

HUANG Fang¹, LIU Guozhong¹, HUANG Zengjun², LIANG Sheng², ZHANG Dingding²

(1. Guangxi Meteorological Observatory, Nanning 530022, China;

2. Nanning Meteorological Bureau, Nanning 530029, China)

Abstract: Based on multi-source meteorological data, the effect of low-level jet on the extreme rainstorm in Guangxi during June 17–22, 2022 was analyzed in a refined spatio-temporal perspective. The results show that: (1) The extreme heavy rainfall occurred in a warm-region rainfall system with favorable confrontation of high- to low-latitude weather systems. The pulsation of the extreme low-level jet stream and the eastward movement of upper-level trough triggered the occurrence of the extreme heavy rainfall weather. (2) The heavy rainfall area was mainly located near the largest jet gradient area north of the top of the 925hPa jet and left of the north of the 850hPa jet core. The position and intensity of the jet were related to the location and intensity of heavy rainfall. (3) The low-level jet has established a strong water vapor channel, and the heavy rainfall corresponded to the water vapor convergence center. The heavy rainfall area was located within and distributed along the dense area of contours on the south and east sides of the negative center of $\Delta\theta_{se}$. The low-level jet provided favorable conditions for the positive vorticity column and the dynamic cooperation mechanism of low-level convergence and high-level divergence over the rainstorm area. (4) Under the extreme low-level jet, the transit of the upper-level forward trough, the strong low-level convergence and strong upper-level divergence, the deep positive vorticity column, and the anomalous abundance of water vapor are important factors for the formation of this extreme rainstorm.

Key words: extreme heavy rainfall; low-level jet; rainfall characteristics; meso-micro scale analysis