

李华实,马智,黄秋丰,等.广西天等县“5·28”极端特大暴雨中尺度成因初探[J].气象研究与应用,2022,43(1):101–106.

Li Huashi, Ma Zhi, Huang Qiufeng, et al. Preliminary study on the mesoscale cause of an extreme rainstorm in Tiandeng County, Guangxi on May 28[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2022, 43(1): 101–106.

广西天等县“5·28”极端特大暴雨中尺度成因初探

李华实, 马 智, 黄秋丰, 陆小晓, 农明哲

(崇左市气象局, 广西 崇左 532200)

摘要: 运用常规气象观测资料、ERA5 再分析资料,对广西天等县 2019 年“5·28”极端特大暴雨过程进行中尺度成因进行探究。结果表明,此次极端强降水在强盛的南亚高压反气旋辐散中心区域以及高空槽加深东移引导低层低涡和辐合切变线缓慢南压的大尺度环流背景下发生,高层强劲的抽吸作用与地面暖低压发展相耦合,有利于地面倒槽锋生,使地面中尺度辐合线长时间维持,触发中尺度对流;湿层较厚,LCL 较低,中层有弱干层,垂直温差大,0~6km 垂直风切变较小,CAPE 较之前有所增大,层结处于不稳定为对流的持续发展提供了较佳的环境条件。低层等假相当位温线密集,呈现出明显的能量锋,锋区随高度上升向北倾斜,偏南和东南气流源源不断补充,形成强水汽辐合,且沿锋面爬升,加上地形抬升作用,降水效率增大,产生强烈降水。

关键词: 暖云降水;垂直风切变;能量锋;水汽强辐合;地形抬升

中图分类号: P458.1+21.1

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2022.1.18

极端性天气的频繁出现,尤其极端性强降水时有发生,其引发次生灾害如洪涝、山体滑坡、泥石流等给人民群众造成了巨大的生命财产损失,极端强降水预报一直是气象工作者研究的重点和难点。2018 年 IPCC 特别报告^[1]指出,近年来全球升温,极端天气、海平面上升、北极海冰减少以及其他变化,造成的自然灾害异常严重,如果全球继续升温 1.5℃,极端天气更加频繁,造成的自然灾害异常严重。湛芸和孙军等^[2-3]对北京“7·21”特大暴雨进行极端性分析,认为在华北地形作用下暖区和锋面降水得到增幅,干冷空气的侵入使得对流云团发展更强烈,并探讨极端性降水的短期和短临预报思路。Jones^[4]从东西风异常和 MJO 等角度,对加利福尼亚的极端降水进行探讨。董颜等^[5]从多模式可预报性对西南地区强降雨评估,为预报模式的解析应用和改进提供参考;季晓东和漆梁波^[6]则通过评估欧洲中心模式降水与 EFI 指数,得出两者在不同预报时效内暴雨的预报效果;吴琼等^[7]利用数值模拟分析地

形重力波拖曳对降水的增幅作用。张萍萍等^[8]从气象因子极端性等方面对湖北梅雨期极端降水进行特征分析,给出极端强降雨的概念模型以及相应气象因子异常度的阈值。在雷达同化技术方面,邱学兴等^[9]利用 EnKF 循环同化雷达径向速度资料,在一定程度上能模拟出深厚对流系统,对强降水落区可以较准确预报。王东海等^[10]应用切变风和热成风的螺旋度在东北冷涡强降水预报业务中,计算简化,效果优于传统螺旋度。

上述研究从不同角度探讨了强降雨尤其极端性强降雨的特征及其可预报性,对我们的预警预报提供了思路。然而,不同地区不同天气形势下的极端性强降雨触发机制和特征也不尽相同,本文拟综合利用常规资料、ERA5 逐小时再分析资料(水平分辨率 0.25°×0.25°)等,探究强雷雨云团发展的环流特征和物理环境场以及局地环流与地形作用,以及广西崇左北部“5·28”极端强降水中尺度成因,为今后极端强降雨短期以及短时临近预报提供一定的参考价

收稿日期: 2021-10-09

基金项目: 广西壮族自治区崇左市科技项目(崇科攻 2021ZC009)

作者简介: 李华实(1990—),男,理学学士,工程师,主要从事中短期天气预报工作。E-mail: 550753767@qq.com

值。

1 降水概况及影响

2019 年 5 月 26 日 20 时至 29 日 20 时(北京时间 BJT,下文同),崇左市出现一次强度大、强降雨落区集中的暴雨、局部特大暴雨的天气过程,强降水主要出现在崇左市北部天等、大新两县,降雨量超过 250mm 的有 11 个乡镇,100~249.9mm 的有 17 个乡镇,50~99.9mm 的有 13 个乡镇,25~49.9mm 的有 20 个乡镇,最大降雨出现在天等县龙茗镇龙英村为 449.5mm(图 1)。

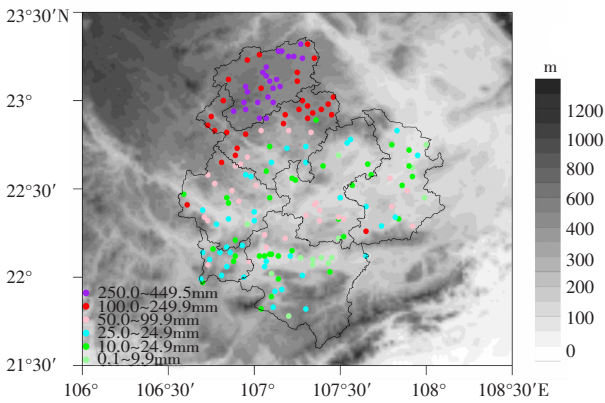


图 1 2019 年 5 月 26 日 20 时—29 日 20 时崇左市降雨量(色斑)和地形高度(阴影)

此次天气过程特点:一是降雨强度大且强降雨落区集中,暴雨、大暴雨区集中在崇左市北部较高海拔的天等、大新两县,其中 28 日天等站日降水量为 266.2mm,为建站以来的历史极大值,而南部主要以中到大雨为主。二是强降雨时段性明显,最强降雨集中时段为 28 日 04 时到 07 时,最大小时雨强出现在小山乡 86.2mm。

2 环流形势背景

不少研究已表明^[11-14]中小尺度对流系统的生消离不开大尺度环流天气的制约与激发,对其环流形势背景的分析有助于了解中尺度系统发展的有利背景。

2019 年 5 月 27 日 08:00,200hPa 南亚高压强盛,环流清晰,广西位于其反气旋环流中心区域,高层辐散明显,抽吸作用强劲^[3],有利于较长时间的垂直上升运动。500hPa 欧亚大陆中高纬地区为“两槽两脊”环流形势,东部的东亚大槽分裂南下的高空槽影响中低纬度广西,副高西北部边缘高能量不稳定区域影响广西。中低层 700hPa 和 850hPa 低涡缓慢南压至湘黔桂交界处,急流位于桂西南一带往桂西北输送暖湿水汽,且在桂西南一带有明显的气旋性弯曲。此外,近地面层 925hPa 辐合线南压至桂北一线,在越南北部与广西西南交界处,开始形成低涡环流系统,且强度在加强,并向东发展,这是强降水在崇左北部维持的主要原因之一。配合地面暖低压发展,有利于倒槽锋生,使地面中尺度辐合中心生成并长时间维持,触发激烈对流。

3 中尺度环境场以及物理量分析

3.1 垂直不稳定条件、对流参数以及能量分析

表 1 表示 27 日 20 时百色和南宁探空站对流参数。可以看出,桂西南湿层较厚,抬升凝结高度 LCL 较低,且低层几乎接近饱和,南宁站上空 700~600hPa 有弱的干层,南宁探空 850hPa 和 500hPa 垂直温差较百色大,增强区域对流不稳定性,对短时强降水十分有利。百色和南宁探空站 K 指数分别为 36℃和 35℃,说明桂西南具有强的对流潜势。同时,桂西南 0~6km 垂直风切变较小,利于极端短时强降雨的发生和发展。由于 27 日 20 时百色南部的极端强降水已经发生,因此百色探空站 CAPE(414.2J·kg⁻¹)较小,但南宁探空站 CAPE(1224.3J·kg⁻¹)仍然较大,两站的 CIN 值较小,非常有利于桂西南强对流的触发和维持。

支树林等^[15]研究结果印证了暖云降水的微物理理论,即暖云层越厚,降水效率越高,而暖云层厚度取决于抬升凝结高度 LCL 与 0℃层高度之间的垂直厚度。从百色探空站资料可以分析,26 日至 27 日百色抬升凝结日平均高度(08 和 20 时平均,下同)从 888.0hPa 大幅降到 951.5hPa,而日平均 0℃层高度

表 1 2019 年 5 月 27 日 20 时对流参数

参数 站点	T-Td (700hPa)(℃)	T-Td (500hPa)(℃)	T ₈₅₀₋₅₀₀ (℃)	T-Td (850hPa)(℃)	K (℃)	ZH (m)	CAPE (J·kg ⁻¹)	SHR 0~6km(m·s ⁻¹)	CIN (J·kg ⁻¹)
百色	1	3	21	4	36	5601	444.2	4.4	27.4
南宁	6	1	24	3	35	5223	1224.3	3.5	25.6

则从 5280.6m 较大幅度上升到 5404.8m, 数据表明, 27 日夜间至 28 日凌晨, 暖云层厚度明显增加, 配合地面长时间维持的低层低涡以及地面中尺度辐合中心, 高的暖云降水效率是造成 28 日凌晨开始崇左北部出现极端强降水的重要原因之一。

寿绍文等^[12]和梁红丽等^[16]指出大气层结不稳定条件产生强对流天气重要因素之一, 而假相当位温 (θ_{se}) 能够综合表征大气中能量与水汽条件, 通过研究其水平和垂直分布可以定性判断能量分布和大气稳定度状态。从 28 日 02 时 850hPa 假相当位温场 θ_{se} 来看^[7-8](图 2a), 广西均处于高能量区, 不稳定能量较之前有所增大, 桂西的不稳定层结条件趋于最佳状态。28 日 05 时沿 108°E 降水中心经向-高度剖

面(图 2b)显示, 强降雨中心处于强的对流不稳定区, 低层等假相当位温线密集, 呈现出明显的能量锋, 主要位于 22°~24°N, 锋区随高度上升向北倾斜, 暖湿气流沿倾斜的锋面爬升, 冷暖空气剧烈交绥, 发生强烈降水。

3.2 中尺度动力分析

锋生函数是由水平运动项、垂直运动项、非绝热变化项和摩擦等因素对锋生作用的物理量, 表征锋区生消。由于非绝热变化项和摩擦作用项计算复杂^[16], 本文以 θ_{se} 为热力参数从动力(水平运动、垂直运动)角度进行锋生函数 F 的简化, 并定义桂西区域为 (105°~108°E, 22°~24°N):

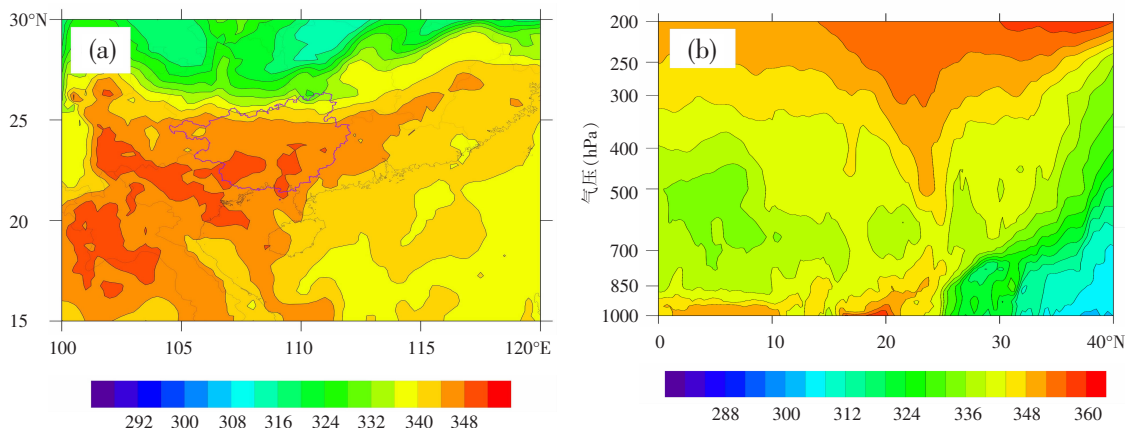


图 2 (a)2019 年 05 月 28 日 02 时 850 百帕假相当位温(单位:K)(紫色为广西区域)和(b)05 时沿 108°E 强降水中心的经向-高度剖面

$$F = \frac{d}{dt} |\nabla \theta_{se}| = \frac{1}{|\nabla \theta_{se}|} \left[\left(\frac{\partial \theta_{se}}{\partial x} \right)^2 \frac{\partial u}{\partial x} + \left(\frac{\partial \theta_{se}}{\partial y} \right)^2 \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial \theta_{se}}{\partial x} \frac{\partial \theta_{se}}{\partial y} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right] - \frac{1}{|\nabla \theta_{se}|} \frac{\partial \theta_{se}}{\partial p} \left(\frac{\partial \theta_{se}}{\partial x} \frac{\partial \omega}{\partial x} + \frac{\partial \theta_{se}}{\partial y} \frac{\partial \omega}{\partial y} \right) \quad (1)$$

$|\nabla \theta_{se}|$ 表示 θ_{se} 梯度, $F > 0$ 时, 表示锋生即 θ_{se} 梯度加大; 反之, 锋消即 θ_{se} 梯度加大。

从图 3a 可知, 28 日 05 时强锋生仍位于崇左北部, 与低层切变和地面中尺度辐合中心长时间维持对应一致; 从图 3b 显示, 桂西强动力锋生起初位于 875~600hPa, 高度较高, 持续性强降水尚未发生; 27 日 20 时左右, 强锋生高度迅速降低发展至地面, 强锋生维持时间较长(27 日 20 时—28 日 11 时左右), 最强锋生与强降水时段对应一致, 说明锋生函数与强降水有较好的指示作用, 对今后预报具有参考意义。

从 28 日 02 时 800~200hPa 垂直风切可知, 整个桂西地区处于弱切变区, 甚至由于低层急流存在, 南宁到崇左一带出现负垂直风切变。弱的垂直风切变, 有利于强降雨系统的维持, 利于暖云降水的发展, 正如前文所言, 高效率的暖云降水又加强了降雨。

3.3 水汽条件分析

寿绍文等^[12]和杨志军等^[17]研究表明极端性强降水的产生需要源源不断的水汽补充, 尤其是低层水汽的输送或辐合。从 850hPa 水汽通量和风场来看(图 4), 27 日 23 时—28 日 08 时桂西低涡环流明显且长时间维持, 移动缓慢。850hPa 水汽来源主要有两支, 一支来自孟加拉湾(偏南气流), 另一支来自南海(东南气流), 两支水汽在桂西一带长时间交汇, 配合低涡环流呈现较明显的水汽辐合^[14], 与崇左市北部的极端强降水区较吻合。因此, 强的水汽辐合以及

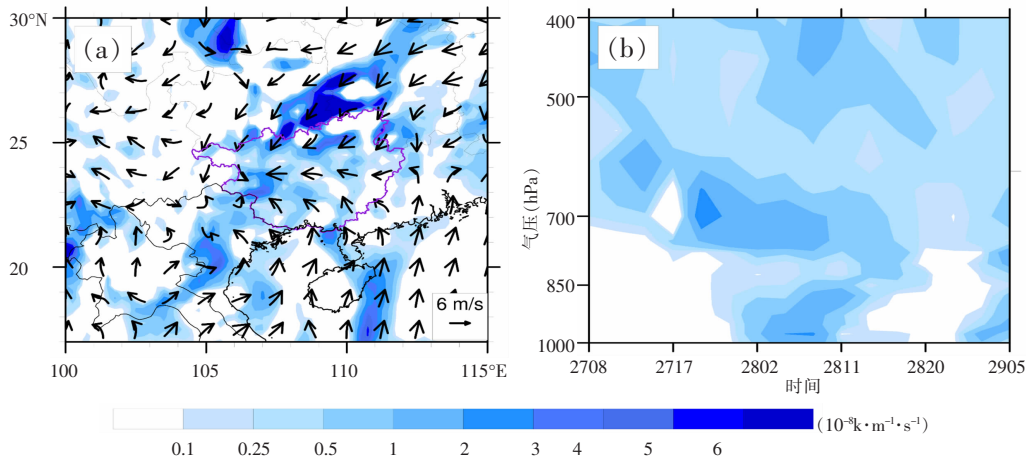


图3 (a)28日05时850hPa锋生及925hPa风场;(b)桂西锋生函数时间-高度剖面

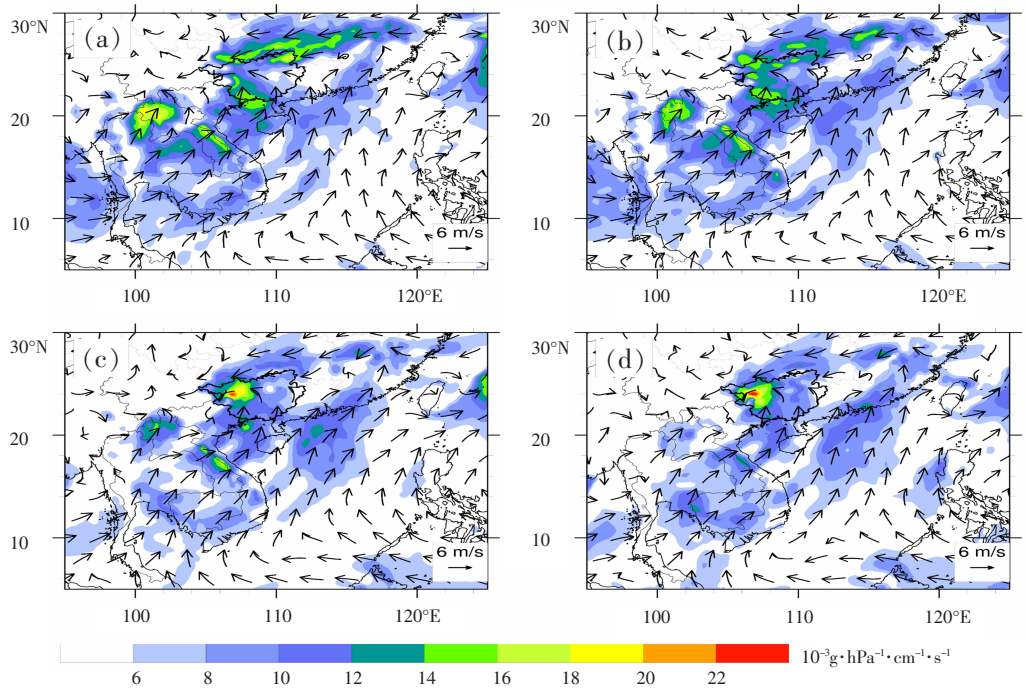


图4 850hPa水汽通量和风场

(a)27日23时;(b)28日02时;(c)28日05时;(d)28日08时

偏南和东南气流源源不断的补充是此次极端降水的主要原因之一。

4 局地环流与地形对降水作用探讨

不少研究^[18-21]已表明地形对降水有重要影响,由于地形对暖湿气流的阻挡使其被迫抬升而降温,凝结成更多水滴乃至雨滴,因此在迎风坡面降水增幅较明显,本小节拟对局地环流与地形对降水作用进行探究分析。

从边界层925hPa流场的分布图(略)可以探讨低层偏南和东南风与地形的作用。从分布图可知,强降水中心的天等地处云贵高原东南缘,其海拔相对较高,崇左市中部、南宁市东部高,925hPa低涡环流长时间维持且移动缓慢,在这有利的天气尺度辐合上升运动背景下,低涡东南侧的偏南气流和东南气流在崇左北部较高海拔地区系统性爬升,降水效率得到明显提高;而由于缺乏辐合条件,偏南气流爬升崇左南部的较高海拔地区后继续往北输送水汽,因此崇

左南部较高海拔地区并未出现强降水。这在一定程度上说明局地环流与地形合理配置, 才能产生高效率的降水增幅, 局地环流与地形作用是强降水产生的重要原因之一。

5 结论

(1) 200hPa 南亚高压强盛, 稳定维持数日, 广西位于其反气旋环流中心区域, 高层辐散明显, 抽吸作用强劲, 有利于较长时间的垂直上升运动。500hPa 东亚大槽分裂南下的高空槽影响中低纬度的广西, 副高西北部边缘高能量不稳定区域影响广西。中低层 700hPa 和 850hPa 低涡缓慢南压至湘黔桂交界处, 急流位于桂西南一带往桂西北输送暖湿水汽, 且在桂西南一带有明显的气旋性弯曲。此外, 近地面层 925hPa 辐合线南压至桂北一线, 在越南北部与广西西南交界处, 开始形成低涡环流系统, 且强度在加强, 并向东发展, 是强降水在崇左北部维持的主要原因之一。配合地面暖低压发展, 有利于倒槽锋生, 使地面中尺度辐合中心生成并长时间维持, 触发激烈对流。

(2) 桂西南湿层较厚, 抬升凝结高度 LCL 较低, 700~600hPa 有较明显的弱冷空气的干侵入, 850hPa 和 500hPa 垂直温差大, 增强区域对流不稳定性, 0~6km 垂直风切变较小, CAPE 仍然较大, 非常有利于桂西南强对流的触发和维持。

(3) 27 日夜间至 28 日凌晨, 暖云层厚度明显增加, 配合地面长时间维持的低层低涡以及地面中尺度辐合中心, 高的暖云降水效率是造成 28 日凌晨到上午崇左北部出现极端强降水的重要原因之一。整个桂西地区处于弱切变区, 甚至由于低层急流存在, 南宁到崇左一带出现负垂直风切变, 高效率的暖云降水又加强了降雨。

(4) 广西均处于高能量区, 不稳定能量较之前有所增大, 桂西的不稳定层结条件趋于最佳状态。强降雨中心处于强的对流不稳定区, 低层等假相当位温线密集, 呈现出明显的能量锋, 锋区随高度上升向北倾斜, 暖湿气流沿倾斜的锋面爬升, 冷暖空气剧烈交绥, 发生强烈降水。桂西有明显的水汽辐合, 偏南和东南气流源源不断的输送补充, 造成了桂西的极端降水。

(5) 崇左北部地处云贵高原东南缘, 海拔较高, 配合低涡环流南侧东南气流在此系统性爬升, 降水效率明显提高, 是造成强降水的一个重要原因。

参考文献:

- [1] IPCC. IPCC's Special report on global warming of 1.5°C [M]. UK: Cambridge University Press, 2018.
- [2] 湛芸, 孙军, 徐珺, 等. 北京 721 特大暴雨极端性分析及思考(一)观测分析及思考[J]. 气象, 2012, 38(10): 1255-1266.
- [3] 孙军, 湛芸, 杨舒楠, 等. 北京 721 特大暴雨极端性分析及思考(二)极端性降水成因初探及思考[J]. 气象, 2012, 38(10): 1267-1277.
- [4] Charles J. Occurrence of extreme precipitation events in California and Relationships with the Madden-Julian Oscillation [J]. Journal of Climate, 2000, 13(20): 3576-3587.
- [5] 董颜, 王东海, 卞赞. 西南地区持续性强降水的多模式可预报性评估[J]. 中国科技论文, 2018, 13(9): 1078-1086.
- [6] 季晓东, 漆梁波. ECMWF 模式降水预报与极端天气预报指数在暴雨预报中的评估与应用[J]. 暴雨灾害, 2018, 37(6): 566-573.
- [7] 吴琼, 梅海霞, 秦孟晟, 等. 一次大暴雨过程中地形重力波拖曳作用的研究[J]. 气象研究与应用, 2021, 42(2): 7-12.
- [8] 张萍萍, 孙军, 车钦, 等. 2016 年湖北梅汛期一次极端强降雨的气象因子异常特征分析[J]. 气象, 2018, 44(11): 1424-1433.
- [9] 邱学兴, Zhang F Q. EnKF 同化雷达资料对一次极端局地强降水事件预报影响及其可预报性分析[J]. 中国科学: 地球科学, 2016, 46(1): 27-42.
- [10] 王东海, 杨帅, 钟水新, 等. 切变风螺旋度和热成风螺旋度在东北冷涡暴雨中的应用[J]. 大气科学, 2009, 33(6): 1238-1246.
- [11] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理和方法 [M]. 北京: 气象出版社, 2000.
- [12] 寿绍文. 中尺度气象学 [M]. 北京: 气象出版社, 2009.
- [13] 孙继松. 短时强降水和暴雨的区别与联系[J]. 暴雨灾害, 2017, 36(6): 498-506.
- [14] 李佳颖, 翟丽萍, 覃月凤, 等. 广西一次大范围西南涡暴雨过程多尺度特征分析[J]. 气象研究与应用, 2018, 39(3): 7-10, 129.
- [15] 支树林, 包慧濛, 张弛. 一次夜间发展起来的大暴雨的中尺度对流条件及特征分析[J]. 暴雨灾害, 2017, 36(1): 42-52.
- [16] 梁红丽, 祁文, 陈艳, 等. 一次极端降水过程中不同相态降水过程的锋生特征对比研究[J]. 自然灾害学报, 2018, 27(2): 149-160.
- [17] 杨志军, 向钢, 唐佐阳, 等. 湖南一次持续性极端暴雨过程成因分析[J]. 气象研究与应用, 2018, 39(3): 17-20, 47, 130.
- [18] 苏玉婷, 林开平, 肖志祥, 等. 广西沿海地形对超强台风

- “威马逊”影响的数值试验 [J]. 气象研究与应用, 2018, 39(1):11–14, 154.
- [19] 王凌梓, 苗峻峰, 韩芙蓉. 近 10 年中国地区地形对降水影响研究进展[J]. 气象科技, 2018, 46(1):64–75.
- [20] 钟水新. 地形对降水的影响机理及预报方法研究进展 [J]. 高原气象, 2020, 39(5):1122–1132.
- [21] 周云霞, 翟丽萍, 何珊珊. 2019 年“5.27”广西靖西市极端暴雨成因及可预报性分析[J]. 气象研究与应用, 2020, 41(2):68–74.

Preliminary study on the mesoscale cause of an extreme rainstorm in Tiandeng County, Guangxi on May 28

Li Huashi, Ma Zhi, Huang Qiufeng, Lu Xiaoxiao, Nong Mingzhe
(Chongzuo Meteorological Bureau, Chongzuo Guangxi 532200, China)

Abstract: Using conventional meteorological observation data and ERA5 reanalysis data, this paper explored the mesoscale causes of an extreme rainstorm process in Tiandeng County, Guangxi on May 28, 2019. The extreme heavy rainfall occurred under the background of the strong South Asian high–pressure anticyclone divergence center and the large–scale circulation in which the high trough deepened and moved eastward, leading the low–level vortex and the convergence shear line to press southward slowly. The strong suction of the upper layer was coupled with the development of warm and low pressure on the ground, which was conducive to the generation of inverted trough frontogenesis on the ground, maintaining the ground mesoscale convergence line for a long time and triggering the mesoscale convection. The wet layer was thick, the LCL was low; there was a weak dry layer in the middle layer; the vertical temperature difference was large, the vertical wind shear of 0~6km was small, the CAPE was larger than before, and the stratification was unstable, which provided better environmental conditions for the sustainable development of convection. The low–level iso–equivalent potential temperature lines were dense, showing obvious energy fronts. The frontal area tilted northward with the rise of height, and the southerly and southeastern air currents continued to supplement, forming strong water vapor convergence and climbing along the frontal surface. Coupled with the topographic uplift, the precipitation efficiency increased and strong precipitation occurred.

Key words: warm–cloud precipitation; vertical wind shear; energy front; strong convergence of water vapor; topographic uplift