

何 慧,赖 晟,郑风琴,等.2023年6月一次北部湾低压极端暴雨过程天气气候特征[J].气象研究与应用,2024,45(2):102-108.
HE Hui, LAI Sheng, ZHENG Fengqin, et al. Weather and climate characteristics of an extreme rainstorm process caused by a tropical depression in the Beibu Gulf in June, 2023[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2024, 45(2): 102-108.

2023年6月一次北部湾低压极端暴雨过程天气气候特征

何 慧, 赖 晟, 郑风琴, 刘 璐

(广西壮族自治区气候中心, 南宁 530022)

摘要:利用逐日再分析资料,对2023年6月7—10日北部湾低压持续性极端暴雨过程的天气气候特征进行研究。结果表明,(1)持续性极端暴雨前期和期间,副热带高压异常偏北偏西,位置稳定。孟加拉湾—南海—菲律宾一带热带辐合带活跃,南海西部有低压系统生成,并移入北部湾。(2)季节内振荡(MJO)处在第2、3位相,受其东传影响,中高纬度环流形成的槽脊位置有利冷空气南下影响广西。中层500 hPa我国东北地区附近有东北低涡维持,低涡后部强盛偏北风引导冷空气南下,受偏北偏西的副高阻挡,有小股冷空气渗透南下影响广西。(3)低层850 hPa印度洋越赤道气流和西南季风强盛但活动偏南,印度洋—中南半岛—南海的西南风急流受台风“古超”阻挡转向成南风,使气流在北部湾形成气旋性弯曲。广西西北部有弱东北风,增强北部湾周边气流的气旋性辐合。(4)广西南部及北部湾一带位于200 hPa东亚副热带高空急流右侧与850 hPa西南风低空急流左侧,高空辐散和低层辐合,1 000~300 hPa水汽通量辐合区水汽条件充沛。中、低纬度天气系统的协同作用,为这次持续性极端暴雨提供有利的稳定大尺度环流背景,以及充分的热力、动力条件。

关键词:持续性极端暴雨;北部湾低压;副热带高压;高低空急流

中图分类号: P434

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2024.2.17

北部湾位于中国南海西北部,东临雷州半岛和海南岛,北连广西陆地,西接中南半岛,被中越两国陆地和海岛环抱,海域总面积约 $12.8 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。广西南部的北部湾及周边地区属于热带、亚热带季风气候区,天气气候复杂多变,气象灾害频繁,其中极端暴雨天气尤为突出^[1-3]。2023年广西北部湾地区极端降水事件频发,导致北海2023年仅汛期(4—10月)的累积降水量达到3 034.9 mm,远超其累年降水量气候平均值(1 821.9 mm),北部湾地区多地降水量偏多3~9成,并因此入选2023年全国十大天气气候事件^[4]。期间北部湾地区出现3次极端强降水事件,其中台风“海葵”和台风“三巴”分别造成9月8—14日和10月18—22日的极端暴雨,而6月7—10日桂南破纪录暴雨事件则与北部湾低压活动有密切联系。

北部湾低压是指在北部湾及附近活动的热带

扰动、热带气旋、季风低压、季风低槽等低气压天气系统,其对广西天气的影响,早在上世纪80年代已被气象工作者关注,杨彩福^[5]在80年代中期就注意到在适宜的海温、不稳定性度的背景下,有些低压移入北部湾后会加强成台风。吕兆驩^[6]探讨北部湾台风生成及发展的物理量场特征。陈见等^[7]指出台风“尤特”残留低涡在北部湾附近与季风急流(季风涌)相遇,获得潜热能,促进降水增幅;另外还分析台风“威马逊”和“达维”进入北部湾后的强度变化的原因,以及“威马逊”强度与降水变化的相互作用等^[8-9]。何小娟^[10]对广西北部湾地区台风暴雨的特征进行统计。黎树式等^[11]利用影响广西北部湾地区的热带气旋数据,分析影响北部湾地区热带气旋变化的影响因素,构建北部湾地区热带气旋频数预测模型。

以上研究多数是针对达到热带风暴以上强度

收稿日期: 2024-04-26

基金项目: 广西重点研发计划项目(桂科AB21075008)、国家自然科学基金项目(42065004)

第一作者: 何慧(1967—),正高级工程师,主要从事气候分析与预测。E-mail: hi.hehui@163.com

的北部湾低压来开展的,然而有时强度较弱的北部湾低压也能诱发持续性的极端强降水天气过程,且并非一个孤立现象,但所开展的研究仍较少。本文对 2023 年 6 月发生的“北部湾低压”极端暴雨过程进行天气气候背景特征分析,以期能加深对北部湾低压降水的认识。

1 资料与方法

文中使用的观测资料为 2023 年 6 月 7—10 日广西地面自动气象站降水数据,资料来自广西壮族自治区气象信息中心大数据云平台,数据经过初步质控处理,筛选期间数据缺测率不超过 10% 的站点,共筛选出 2 755 个自动气象站;再分析资料为欧洲中期天气预报中心提供的 ERA5,气象要素包括位势高度、风场、比湿等,空间分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$,时间分辨率为 6 h,常年平均为 1991—2020 年。

2 结果与分析

2.1 极端暴雨过程特征

图 1 给出 2023 年 6 月 7—10 日广西南部过程累计降水量以及 3 个代表站的 1 h 降水量时间序列。可以看到在此次过程中,整个桂南沿海地区的累计降水量达到 100 mm 以上,其中沿海地区东南部在 250 mm 以上,北海市南部和玉林市东南部共有 19 个乡镇在 400 mm 以上,北海市沿海的过程累计降水量超过 600 mm,过程最大降水量出现在北海市铁山港区兴港镇,为 820.5 mm。此次过程不仅累计雨量大,而且强降水持续时间长、极端性显著,过程期间北海市、钦州市东南部和玉林市南部连续 2 d 出现日雨量 ≥ 100 mm 的大暴雨,其中北海市南部连续 2 d 出现日雨量 ≥ 250 mm 的特大暴雨。根据监测统计,北海铁山港区兴港镇最大 1 h 雨量达到 119 mm(9 日 03 时);最大 3 h 雨量 272.3 mm(9 日 01—04 时),突破北海市历史极值(243.7 mm),最大 6 h 雨量 440.5 mm(8 日 22 时—9 日 04 时),突破广西历史极值(427.6 mm),24 h 雨量 614.7 mm(8 日 05 时—9 日 05 时),突破北海市历史极值(585.7 mm)。

此次极端暴雨对农林牧渔业、房屋财产、基础设施等造成严重的直接经济损失,白沙河、大风江、武利江等桂南沿海江河出现 1~5 m 的涨水过程,共有钦江、大风江、白沙河等 9 条河流 9 个站出现超警 0.11~2.63 m 的洪水,超警最大为白沙河博白县博白龙潭水文站。其中南流江支流合江博白县合江水

文站出现 2007 年以来最大洪水,为 5 a 一遇的洪水;白沙河博白县白沙水文站出现 2016 年建站以来最大洪水。

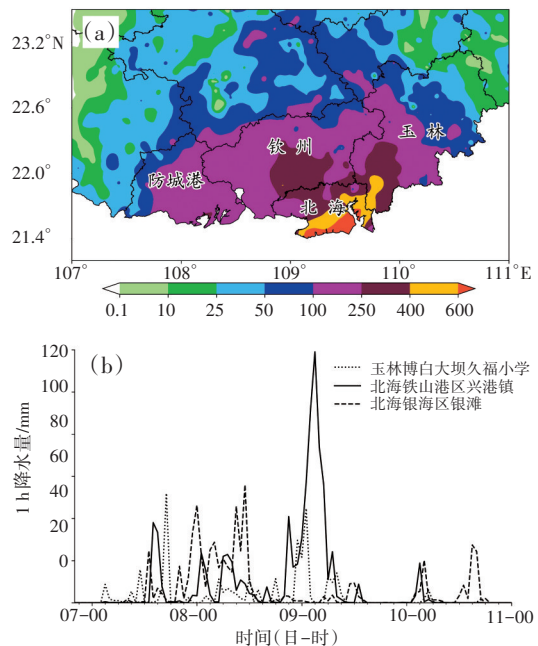


图 1 2023 年 6 月 7—10 日广西南部过程累计降水量分布 (a) 和代表站逐小时雨量变化 (b), 上图中蓝、红、绿色三角分别对应下图相同颜色代表站的位置

2.2 北部湾低压活动特征

从逐日海平面气压场和低层风场(图 2)分析,6 月 5 日在南海西北部区域开始有中心气压 1 004 hPa 低压闭合环流形成,6 日低压系统向西北方向移动至海南岛,强度维持不变。7 日低压系统进入北部湾地区,广西南部受其东北侧的偏东南风影响开始出现暴雨天气。8 日北部湾低压北抬至广西南部,9 日环流中心位置略有南落、强度有所加强,中心气压降至 1 001 hPa,进一步加强的辐合上升运动和充沛的水汽输送,使暴雨天气的极端性增强,过程最强降水就出现在 8 日夜间至 9 日清晨(图 1)。10 日北部湾低压虽然继续加强,中心气压下降至 1 000 hPa,但中心位置逐渐向雷州半岛移动,广西南部转受低压西侧的东北风影响,降水也随之减弱。

2.3 关键影响系统天气气候特征

2.3.1 西太平洋副热带高压和热带辐合带

2023 年 5—6 月赤道中东太平洋已进入厄尔尼诺状态,同时印度洋海盆一致型(IOBW)处于正位相,海温均异常偏暖,而赤道西太平洋海温相对

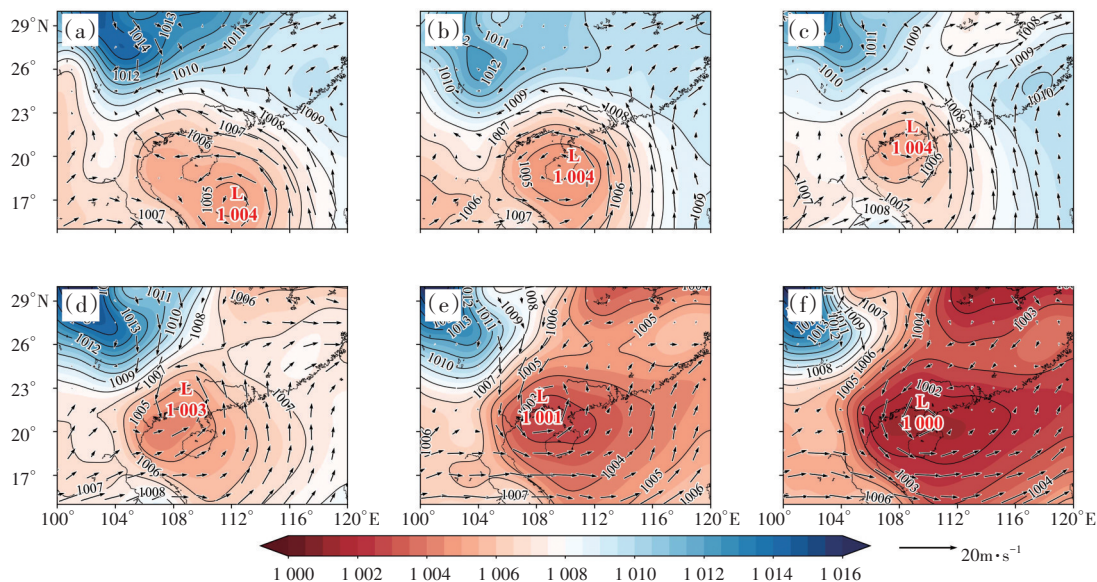


图2 2023年6月5—10日逐日海平面气压(填色和等值线,单位:hPa)和850 hPa风场(矢量)

(a)06-05;(b)06-06;(c)06-07;(d)06-08;(e)06-09;(f)06-10

偏冷,这有利于赤道中东太平洋和印度洋上空出现异常上升气流,并在西太平洋一带强烈下沉,导致副热带高压(以下简称副高)强度偏强、位置偏西偏北。在极端暴雨过程前期(6月1—5日)的500 hPa平均位势高度场上(图3(a)),可以看到西太平洋副高偏北,脊线位于 $25^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{N}$ 附近,较常年异常偏北约5个纬度,接近7月气候态,并且西伸脊点偏西,5880 gpm线位于 110°E 附近,形状呈方头状,比常年偏西约10个经度。亚洲中低纬度地区是北高南低的距平分布,我国华东和华南大部在西太平洋副高稳定控制之下为正距平区,西太平洋副高南侧的菲律宾以东洋面上的热带辐合带(ITCZ)开始有热带扰动活动,孟加拉湾和南海北部为负距平区,青

藏高原西部有低槽活动,华南地区处在副热带高压西侧,暖湿气流强盛。此时东亚整体环流形势与华南后汛期季风槽暴雨的天气形势特征类似^[12]。

在极端暴雨过程期间(图3(b),6月6—10日),青藏高原西部槽东移与孟加拉湾一带低槽合并,使得南支槽加深加强,高度场距平中心加强至-20 gpm以下。与此同时,菲律宾以东洋面上的热带扰动发展成为2303号台风“古超”,并在副高西南侧缓慢移动并加强,这样在异常偏强偏北的西太副高南侧,从孟加拉湾到中南半岛、途经北部湾和南海北部再到菲律宾以东的西南太平洋形成一条活跃的ITCZ,这为北部湾低压的活动生成和维持提供极佳的背景条件。

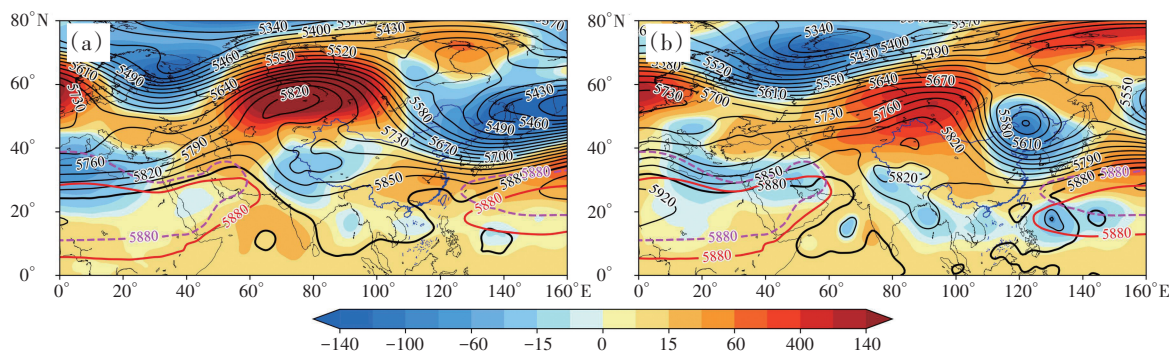


图3 500 hPa位势高度(等值线,红色和紫色5880线分别为同期和7月的1991—2020年平均值,单位:gpm)以及距平(填色)

(a)6月1—5日;(b)6月6—10日

2.3.2 高低空急流配置

程正泉等^[13]对热带气旋研究时,指出热带气旋

暴雨往往与热带气旋外围的低空急流相联系,急流的存在为台风水汽输送和环流维持提供有利条件。

刘爱鸣等^[14]在分析低空急流对 0212 号热带气旋“北冕”后部暴雨的影响及数值试验时也证实低空急流的作用。图 4 为 850 hPa 平均风场和相对涡度的空间分布, 可以看到印度洋越赤道气流强盛, 与南支槽前的西南气流合并成西南低空急流, 穿越中南半岛后在南海东部分支, 一支继续向东穿越菲律宾群岛后并入台风“古超”南侧, 加强台风气旋性环流, 另一支受台风西侧偏北风阻挡而转向变为偏南风急流, 从而发生气旋性弯曲, 此时在南海北部和北部湾的相对涡度为 $6 \sim 10 \text{ s}^{-1}$, 利于这一区域的低涡系统活动和维持, 这也与王远超等^[15]归纳的热带低压加强发展成北部湾热带风暴的主要大气环流形势特征相一致。

除低空急流之外, 持续性暴雨的发生与维持还需高空急流配合^[16-17]。从 200 hPa 纬向风急流核以

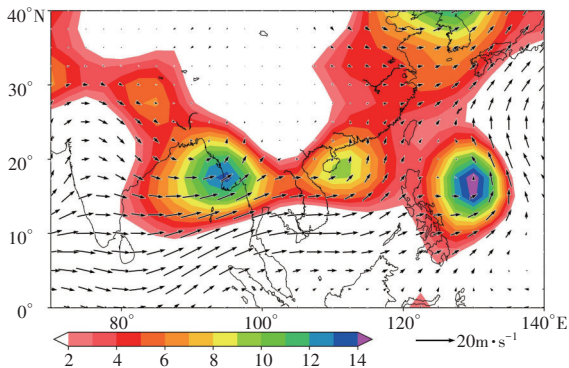


图 4 2023 年 6 月 6—10 日 850 hPa 平均风场(矢量)以及相对涡度(仅填色正涡度, 单位: 10^{-6} s^{-1})

2.3.3 中高纬度环流和冷空气活动

6 月 7—10 日季节内振荡(MJO)处在第 2、3 位相, 其活跃期东传进入南海。研究表明, MJO 的东传影响着中高纬度地区槽脊的分布和传播, 当其处在第 2、3 位相时, 形成的槽脊位置有利冷空气南下影响广西^[20]。在持续性极端暴雨前期和期间的 500 hPa 平均位势高度及其异常场上(图 3), 亚洲中高纬度上空为一脊一槽的形势, 从乌拉尔山到贝加尔湖之间为高压脊, 高度场距平中心高于 140 gpm, 而我国东北地区附近有东北低涡维持, 高度场距平中心低于 -120 gpm, 在高压脊前部和东北低涡后部的河套地区附近, 强盛偏北风引导冷空气南下至长江流域上游一带。

从逐日海平面气压场和 850 hPa 风矢量分布(图 2)可以看到, 5—7 日冷空气主体受西太副高和

及距平图(图 5)上可以看到, 此次极端暴雨发生时东亚副热带高空急流轴位于 $30^{\circ} \sim 40^{\circ} \text{N}$, $90^{\circ} \sim 130^{\circ} \text{E}$ 附近, 中心平均风速超过 $40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 与常年平均相比, 急流位置偏南、强度偏强 $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上。此时华南因为位于东亚副热带高空急流轴的南侧, 高空为反气旋性切变所以伴随有强的辐散运动, 而在低层相应出现辐合上升补偿, 这种抽气作用十分有利于地面气压降低, 进而使得北部湾低压发展。同时, 北部湾沿海地区处在低空急流的左前方, 与高空急流相互耦合作用进一步加强和维持了上升运动, 为暴雨的加强和维持提供有利条件^[18]。另外, 较强的高空西风急流稳定维持, 使得西太副高位置得到锚定^[19], 这也间接导致 ITCZ 在此期间位置稳定少动, 低压系统在北部湾一带停滞而产生此次持续性极端暴雨。

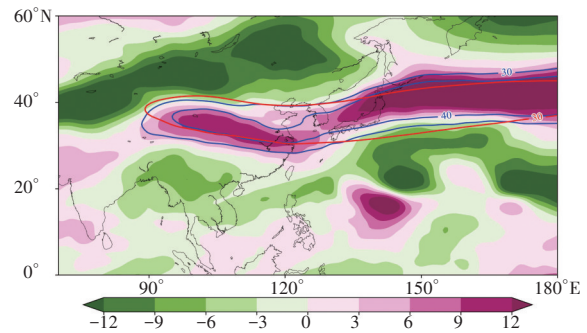


图 5 2023 年 6 月 6—10 日 200 hPa 纬向风急流核(蓝线, 红线为 1991—2020 年同期平均值, 单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)及纬向风距平(填色, 单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

低压外围东南风急流的阻挡, 停滞在滇黔交界一带。8 日开始, 西太副高受台风“古超”影响而逐渐东退, 同时北部湾低压北抬进入广西南部, 滇黔交界一带的弱冷空气从桂西一带南下, 汇入北部湾低压环流西侧的偏北风中, 冷空气的卷入不仅加强北部湾低压的气旋性涡度, 并给暴雨的发生提供扰动和不稳定条件。

2.3.4 水汽输送和收支

研究表明^[12,18,21], 华南暴雨发生时边界层的水汽输送具有重要的作用, 且水汽经向输送异常是华南旱涝的主要原因。从 6 月 6—10 日对流层(1 000—300 hPa)整层积分水汽通量来看(图 6(a)), 索马里越赤道气流经阿拉伯海时, 水汽通量达到 $600 \sim 700 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$; 在 90°E 附近有越赤道气流向北输送, 水汽通量约为 $200 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。两支越赤道气流在孟

加拉湾 $5^{\circ}\sim 15^{\circ}\text{N}$ 、 90°E 附近汇合向东,使得孟加拉湾至中南半岛南部一带的水汽通量达到 $700\text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上,距平为 $300\sim 350\text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$,较常年同期偏强约一倍(图 6(b));孟湾附近的气流在汇合后又出现分支,一支沿孟加拉湾低压东部向北,另一支则以 $500\sim 600\text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 的通量继续向东输送。进入南海地区的西南风水汽输送在南海中部再次出现分支,一支穿越菲律宾群岛继续向东,另一支在南海中部转向向北,水汽输送方向沿北部湾低压环流由向北逐渐转为向西北,这使得北部湾沿海地区的水汽通量达到 $300\sim 450\text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$,此次极端暴雨过程的水汽和不稳定能量主要来源于这一支异常偏强

的西南季风急流输送,季风气流的卷入也是此次北部湾低压得到发展的另一重要因素。

暴雨发生过程中,不仅要关注是否有充足的水汽输送,还要关注是否有水汽辐合,从对流层整层水汽通量散度看(图 6(b)),中南半岛的大部、南海西北部和华南南部沿海等地的水汽通量散度是显著负值区,中心值在 $-3\times 10^{-2}\text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下,且风向在南海北部有显著气旋性弯曲,形成强烈的水汽辐合带,广西南部处在水汽辐合带内,有利于暴雨的产生和维持。广西北部的对流层整层水汽通量散度为显著正值,普遍在 $5\times 10^{-2}\text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上,是水汽通量辐散区,不利暴雨形成。

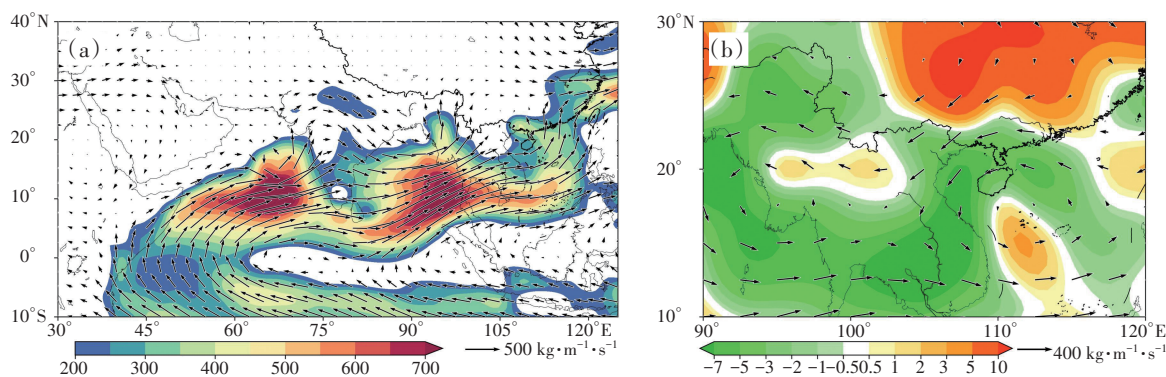


图 6 2023 年 6 月 6—10 日对流层(a)整层积分水汽通量(矢量和填色)和(b)水汽通量距平(矢量)及水汽通量散度距平(填色,单位: $10^{-2}\text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)

3 结论和讨论

2023 年 6 月 7—10 日,广西南部出现持续性极端暴雨过程,此次过程具有累计雨量大、持续时间长、极端性强等特点,过程最大 3 h 和 24 h 雨量突破北海市历史极值,最大 6 h 雨量突破广西历史极值。持续性极端暴雨造成 9 条中小河流水位出现超警洪水,导致北海、防城港、钦州、玉林等 4 市 9 县(区)出现洪涝和衍生灾害。这次持续性极端暴雨是北部湾低压、冷空气、热带辐合带等中低纬度多系统共同影响造成的,其天气气候背景特征可归结为:

(1)2023 年 6 月赤道中东太平洋已进入厄尔尼诺状态,印度洋 IOBW 处于正位相,海温均异常偏暖,共同导致西太平洋副热带高压强度偏强、位置异常偏北,并且南支槽、孟加拉湾季风低压和西北太平洋台风均处于活跃状态,这有利于从孟加拉湾到中南半岛、途经北部湾和南海北部再到菲律宾以东的西南太平洋形成一条活跃的 ITCZ,为北部湾低

压的活动生成和维持提供极佳的背景条件。

(2)在持续性极端暴雨前期和期间,200 hPa 东亚副热带高空急流强度偏强、位置偏南,高空急流的抽气作用,及其与低空偏南风急流耦合作用,给北部湾低压增强、强降水发生和维持提供有利的大尺度环境条件,同时还锚定西太副高和 ITCZ 的位置。

(3)6 月 7—10 日季节内振荡 MJO 处在第 2、3 位相,使得中高纬度槽脊位置有利于冷空气南下影响广西。我国东北地区附近有东北低涡维持,低涡后部强盛偏北风引导冷空气南下,受偏北偏西的副高阻挡,冷空气主体在长江流域一带的副高北界停滞,8—9 日有小股冷空气渗透南下,不仅增强北部湾低压的气旋性涡度,而且给极端暴雨的发生提供扰动和不稳定条件。

(4)索马里的越赤道气流经阿拉伯海,与 $80^{\circ}\sim 90^{\circ}\text{E}$ 附近越赤道气流经印度洋,在孟加拉湾东南部一带汇合,使得孟加拉湾至中南半岛南部的对流层

整层水汽通量比常年同期偏强 1 倍, 异常偏强的水汽向东、向北输送汇入北部湾低压环流, 为此次极端降水过程提供丰富的水汽和不稳定能量。中南半岛的大部、南海西北部和华南南部等地的对流层整层水汽通量散度是显著负值区, 且风向在南海北部有显著气旋性弯曲, 形成强烈的水汽辐合带, 广西南部处在水汽辐合带内, 利于极端暴雨的出现。

本文仅从天气气候的角度分析中、低纬度多系统对此次北部湾低压持续性暴雨过程的影响, 各个系统之间是否存在协同作用? 除了厄尔尼诺和印度洋 IOBW 正位相之外, 是否还有其他因素导致过程期间西太副高异常偏强偏北? 另外, 历史上北部湾低压的活动特征以及在其影响下的北部湾地区降水精细化特征也值得未来进一步研究。

参考文献:

- [1] 刘占明, 陈子燊, 胡宝清, 等. 广西环北部湾地区降水的时空变化特征[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2017, 56(4):154-160.
- [2] 肖志祥, 姚才, 赵金彪, 等. 广西热带气旋预报业务和研究进展[J]. 气象研究与应用, 2020, 41(4):20-27.
- [3] 李华实, 王东海, 陆虹, 等. 广西汛期大范围持续性强降水特征与天气学分型研究[J]. 热带气象学报, 2023, 39(2):242-255.
- [4] 中国气象局国家气候中心. 2023 国内十大天气气候事件[N]. 中国气象报, 2024-01-22.
- [5] 杨彩福. 北部湾台风[J]. 海洋通报, 1986, 5(3):87-89.
- [6] 吕兆驩. 北部湾台风的生消与发展[J]. 广西气象, 1985(3):13-16.
- [7] 陈见, 赖珍权, 罗小莉, 等. “尤特”超强台风残留低涡引发的广西特大暴雨成因分析[J]. 暴雨灾害, 2014, 33(1):19-25.
- [8] 陈见, 孙红梅, 高安宁, 等. 超强台风“威马逊”与“达维”进入北部湾强度变化对比分析[J]. 暴雨灾害, 2014, 33(4):394-400.
- [9] 覃皓, 郑凤琴, 伍丽泉. 台风威马逊(1409)强度与降水变化的相互作用[J]. 应用气象学报, 2022, 33(4):477-488.
- [10] 何小娟. 广西北部湾地区台风暴雨的统计特征[J]. 气象研究与应用, 2007, 28(2):31-35, 53.
- [11] 黎树式, 黄鹄, 佟智成, 等. 广西北部湾地区热带气旋频数预测研究——基于线性回归模型[J]. 北部湾大学学报, 2022, 37(4):1-5.
- [12] 黄忠, 张东, 林良勋. 广东后汛期季风槽暴雨天气形势特征分析[J]. 气象, 2005, 31(9):19-24.
- [13] 程正泉, 陈联寿, 李英. 登陆热带气旋与夏季风相互作用对暴雨的影响[J]. 应用气象学报, 2012, 23(6):660-671.
- [14] 刘爱鸣, 刘铭, 林毅. 低空急流对 0212 号台风“北冕”后部暴雨影响的分析和数值试验[J]. 台湾海峡, 2004, 23(1):1-7.
- [15] 王远超, 黎玲. 北部湾热带风暴的气候特征及生成形势[J]. 气象研究与应用, 2007, 28(增刊 II):38-39, 52.
- [16] 朱乾根, 周伟灿, 张海霞. 高低空急流耦合对长江中游强暴雨形成的机理研究[J]. 南京气象学院学报, 2001, 24(3):308-314.
- [17] 王小曼, 丁治英, 张兴强. 梅雨暴雨与高空急流的统计与动力分析[J]. 南京气象学院学报, 2002, 25(1):111-117.
- [18] 柳龙生, 许映龙. 台风“暹芭”(2203)残涡陆上维持并引发大范围降水过程的成因[J]. 高原气象, 2024, 43(3):683-695.
- [19] 丁一汇, 张建云, 许小峰, 等. 暴雨洪涝[M]. 北京:气象出版社, 2009:1-290.
- [20] 覃卫坚, 李耀先, 廖雪萍. MJO 活动对广西 6 月阶段性降水的影响研究[J]. 气象研究与应用, 2015, 26(1):25-30.
- [21] 周后福, 陈健, 姚筠, 等. 一次梅雨锋特大暴雨中尺度气旋和 MCS 的分析[J]. 气象科技, 2023, 51(4):551-561.

Weather and climate characteristics of an extreme rainstorm process caused by a tropical depression in the Beibu Gulf in June, 2023

HE Hui, LAI Sheng, ZHENG Fengqin, LIU Lu
(Guangxi Climate Center, Nanning 530022, China)

Abstract: The weather and climate characteristics of the persistent extreme rainstorm process of a depression in the Beibu Gulf from 7 to 10 June 2023 were studied using daily reanalysis data. The results show that: (1) the subtropical high was abnormally north-westerly and in a stable position during the pre-and period of the persistent extreme rainstorm. The tropical convergence zone along the Bay of Bengal–South China Sea–Philippines was active, and a low-pressure system was generated in the western part of the South China Sea and moved into the Beibu Gulf. (2) The intra-seasonal oscillation (MJO) was in the 2nd and 3rd phases, influenced by its eastward transmission, and the position of the trough–ridge formed by the mid-and high-latitude circulation was favourable for cold air to move southward to affect Guangxi. There was a northeast low-vortex maintaining near the northeastern China at 500 hPa, and the strong northerly wind behind this vortex guided the cold air to the south, which was blocked by the north-westerly subtropical high, causing a small cold-air infiltration to affect Guangxi to the south. (3) The trans-equatorial airflow in the Indian Ocean and the southwesterly monsoon were strong at 850 hPa in the lower layers, but their activities were skewed to the south, and the southwesterly jets of the Indian Ocean–Central South Peninsula–South China Sea was blocked by Typhoon Guchol and shifted into southerly winds, which led to the cyclonic convergence of the airflow around the Beibu Gulf. There is a weak northeasterly wind in northwestern Guangxi, which enhanced the cyclonic convergence of the airflow around Beibu Gulf. (4) The southern part of Guangxi and the Beibu Gulf area were located to the right of the 200 hPa East Asian subtropical high-level jet stream and to the left of the 850 hPa southwesterly jet streams, with high-level divergence and low-level convergence, and abundant water vapour conditions in the 1 000~300 hPa water vapour flux convergence zone. Overall, the above collaborative effect of the mid-and low-latitude weather systems provided a favourable and stable large-scale circulation background, as well as adequate thermal and dynamical conditions for this persistent extreme rainstorm.

Key words: persistent extreme rainstorm; depression in the Beibu Gulf; subtropical high; high-and low-level jets