

文章编号: 2096-1618(2021)02-0198-08

2016年华南地区一次持续性异常降水过程分析

蒋淑艺^{1,2}, 王伟¹, 任晓玥^{1,3}, 胡佳洁¹

(1. 成都信息工程大学大气科学学院 四川省高原大气与环境重点实验室, 四川 成都 610225; 2. 北京师范大学全球变化与地球系统科学研究院, 北京 100875; 3. 海南省气象信息中心, 海南 海口 570203)

摘要:为了解持续性异常降水的天气过程,利用 NOAA 提供的逐日降水数据和欧洲中心提供的逐日气象数据集,分析了2016年6月10-17日华南地区持续性降水过程的降水实况和相应的环流特征及物理量场。结果表明:(1)此次降水过程中,华南大范围地区累计降水量超过100 mm,相当于日总降水量在10 mm以上,逐日降水大值区从东南逐渐往西北方向移动;(2)200 hPa上南亚高压的东伸以及高空急流南侧气流拖曳产生的切变而形成反气旋,使华南地区高空处于辐散场中;500 hPa上西太平洋副热带高压(简称副高)缓慢北移,其西北侧与北上的暖湿气流汇合带动水汽在华南交汇,华南地区降水区位于副高西北侧;(3)700 hPa低层南支槽前暖湿气流稳定维持,整层水汽通量矢量的输送大值区与850 hPa西太平洋反气旋西北侧配合良好,孟加拉湾和南海为此次持续性降水过程提供了充足的水源;(4)高低空配置呈现为一深厚系统,有利于此次持续性异常降水的发生、发展和维持。

关键词:气象学;天气分析;华南地区;持续性降水;南亚高压;西太平洋副热带高压;急流

中图分类号:P458.1+21.1

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2021.02.012

0 引言

华南位于中国东部季风区的南边,其主要特征是降水多,雨热同期。2016年3月21日华南前汛期开始,较常年平均偏早16天。华南前汛期(3月21日-6月18日)共计出现19次强降水过程。赣、琼、鄂、闽、粤、湘、浙、桂等地降水量平均达687 mm,是1976年以来同期平均降水量最多的年份。由持续性强降水引发的泥石流、山体滑坡和城乡积涝等次生灾害,造成的直接经济损失约80亿。

Li等^[1]发现太平洋中部海温异常偏暖时,华南东北部夏季降水量增加。刘瑞鑫等^[2]发现切变线型、低涡型、南风型和回流型是华南暖区持续性降水的主要天气形势类型。高守亭等^[3]发现形成华南前汛期暴雨的机理是低空南风向北推进时不稳定重力位势形成上升运动;风场在急流前部交汇后分流,集中的正涡度发展垂直运动形成持续性降水。林爱兰等^[4]、王黎娟等^[5]、王红军等^[6]、郭琳晶等^[7]发现热带季风前沿停滞、位涡的演变特征、东北冷涡和南海北部水汽输送的纬向分量对华南降水有指示作用,华南持续性降水过程开始于南海夏季风不活跃时期,与热带季风季节内振荡往北传播到华南有关;在持续性降水过程中,副高偏西偏南,华南异常气旋性低压,强劲季风潮使水汽通量异常多输送,异常加热源使得南亚高压维持在青藏高原南部和华南,华南位于西太平洋高压北侧和高空

西风急流南侧的强上升运动中,东亚阻塞高压的异常增强以及乌拉尔山长波槽的异常发展使经向环流异常发展等现象有利于持续性降水的发生和维持。郭琳晶等^[7]还指出西南暖湿气流上变化的能量锋和水汽辐合区与持续性强降水发生的落区和时间相对应。司东等^[8]发现副高西伸对应华南持续性降水的发生发展,东退对应持续性降水间歇。李雪松等^[9]发现高原及周边大气温度会因青藏高原地表感热加热作用而产生变化;相对应的热成风平衡调整,对流层低层到高层的大气环流产生非常明显的变化,最终增强华南持续性强降水。Luo等^[10]发现青藏高原的地形影响低空风场。王晓芳等^[11]发现形成华南持续性降水过程的重要中尺度对流系统为涡旋。据建华等^[12]发现夏季东亚季风区大气季节内振荡经向上可传播至35°N以北。苗芮等^[13]发现华南前汛期以10~20天振荡(准双周振荡)为主,其低频信号来源为Rossby波能量沿着低频遥相关波列的频散和热带东印度洋的准双周振荡,华南环流异常的低频变化也是由这两者配合低频水汽输送造成的,最终引起华南低频降水异常。李丽平等^[14]发现水汽源地的低频水汽异常输送环流特征可以提前6天预测10~20天的低频降水。Wu等^[15]发现汛期的持续性降水和非持续性降水的数量有2~5年的振荡变化,这种振荡变化在华南前汛期的时候最为明显。赵欢等^[16]在两次持续性强降水过程的分析中,发现二者的大尺度环流场有明显区别,一次是受低层强垂直风切变导致的大气斜压不稳定而形成的大尺度环流场,另一次是高低空急流的强耦合作用影响形成的大尺度环流场,且准平衡态的热力适应过程是两

收稿日期:2019-11-25

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41005034);公益性行业(气象)科研专项资助项目(GYHY201506001)

次降水过程的内在物理机制。

华南是中国异常持续性降水的频发区之一。华南前汛期的特点为降水集中、持续、频发。所以,了解华南前汛期持续性降水的环流特征、影响因素等,有利于提高汛期预报能力,以便提前做好防灾减灾工作。本文选取2016年6月10-17日发生在华南地区(18°N~28°N,105°E~120°E)的持续性异常降水事件,对其大尺度环流、温度场、高度场和特殊物理量等进行分析,探讨此次持续性降水的形成、发展机制以及影响因素。

1 资料和方法

降水数据选用美国国家海洋和大气管理局提供的2016年全球逐日降水数据,空间分辨率为 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 。大气环流场数据,选用了欧洲中期天气预报中心提供的2016年逐日4次再分析资料,水平分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$,垂直分23层。

整层大气水汽输送通量矢量 \mathbf{Q} 的计算公式为

$$\mathbf{Q} = \frac{1}{g} \int_p^{p_s} \bar{\mathbf{V}} q dp \quad (1)$$

其中, $\bar{\mathbf{V}}$ 为该单位气柱内各层大气的风速矢量, q 是各层大气的比湿, P_s 、 P 分别是大气柱下界气压(地表气压)和上界气压(取300 hPa), g 是重力加速度, \mathbf{Q} 的单位为 $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$ 。

2 结果分析

2.1 持续性异常降水的时空分布

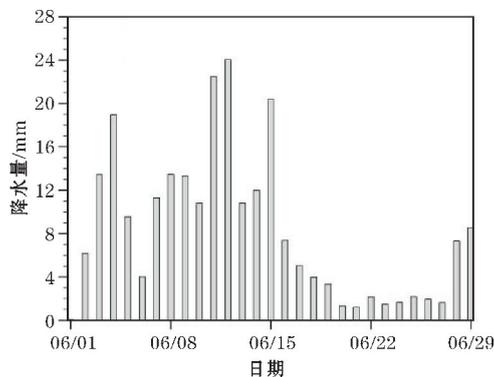
受2015-2016年超强厄尔尼诺的影响,2016年中国人汛早,降水多,持续性降水强。2016年6月10-17日,南方出现大范围持续时间长的强降水事件^[17](图1a)。根据中国气象局划分的雨量等级(表1,由于蒸发耗散,1 mm以下的降水当作无雨)。在图1(a)中,显示了2016年6月的24 h降水量变化,2016年6月华南区域平均后,有3天日总降水量小于1 mm,视为无雨;有17天的日总降水量在1~10 mm,为小雨;有10天的日总降水量超过了10 mm,为中雨。本文重点选择6月10-17这8天作为持续性异常降水过程,在持续性异常降水过程中,日最大降水量达到25 mm(中雨),且这几日的日均降水为15.3 mm(中雨)。然后研究华南持续性异常降水发生前(6月5-9日)、发生时(6月10-17日)以及发生后(6月18-23日)的环流形势、水汽通量输送、水汽通量散度和相对湿度。图1(b)为6月10-17日持续性异常降水过程的累计降水量空间分布,华南大范围地区累计降水量超过了100 mm,相当于日总降水量在10 mm以上(中雨)。逐日降水空间分布演变图(图略)显示:强降水多发生于江西、广东和广西

等地;逐日降水大值区从东南移往西北。

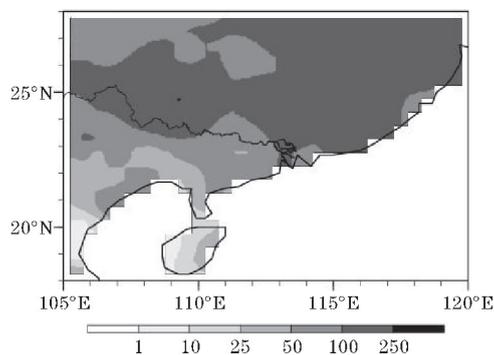
表1 雨量等级表

单位:mm

雨量等级	24 h 雨量
无雨	≤ 1
小雨	1 ~ 10
中雨	10 ~ 25
大雨	25 ~ 50
暴雨	50 ~ 100
大暴雨	100 ~ 200
特大暴雨	≥ 200



(a) 逐日降水量演变序列



(b) 降水量空间分布

图1 2016年6月华南地区区域平均的逐日降水量演变序列和2016年6月10-17日累计降水量空间分布

2.2 大尺度环流特征

2.2.1 200 hPa 环流特征

图2为2016年持续性降水发生前(图2a)、发生时(图2b~e)、发生后(图2f)200 hPa风场的空间分布演变图。急流带位于华南北部,华南雨区(图1b)位于高空急流南侧。急流南侧较大风与较小风的相互作用产生反气旋性切变,在高空急流南侧产生辐散。在持续性降水发生前(图2a),即6月5-9日,华南处于反气旋东北侧的西风;在持续性异常降水发生过程中6月10-15日(图2b~d),反气旋东伸,华南高层位于强大反气旋环流中,急流加强且维持,高空辐散加强;在持续性异常降水发生过程的6月16-17日(图2e),

反气旋性环流与急流带分别分裂成两个小反气旋性环流和两个小急流带。华南在分裂的两个反气旋性环流中部,高层辐散减弱,持续性降水减弱;在持续性降水

结束的后6天(图2f),反气旋西退离开华南,急流带较大值区从16-17日的60 m/s变为了40 m/s,急流减弱,持续性降水结束。

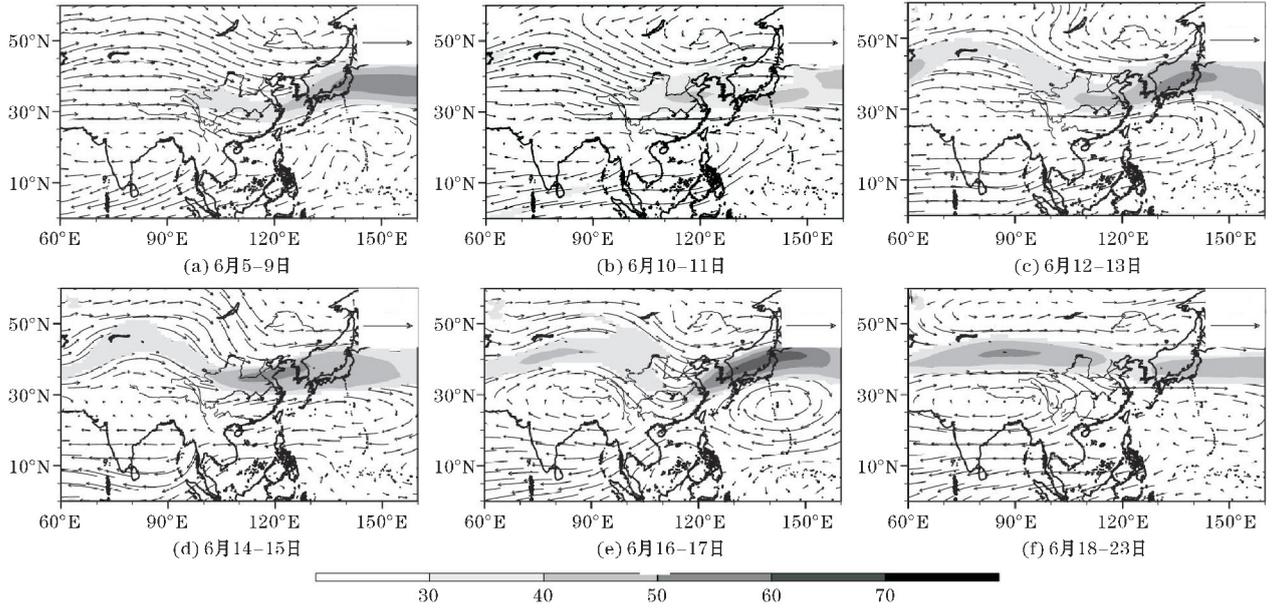


图2 2016年6月10-17日持续性降水发生前、发生时、发生后200 hPa风场的空间分布演变图(阴影为风速大于30 m/s)

2.2.2 200 hPa 高度场和温度场特征

图3为2016年持续性降水发生前(图3a)、发生时(图3b~e)、发生后(图3f)200 hPa温度场和位势高度场的空间分布演变图。12520线(12520位势米)代表南亚高压主体。持续性降水发生前(图3a),12520线在130°E以西,范围小,华南气温较高,为224 K;随后南亚高压东移(10-15日,图3b~d),南亚高压面积

扩大,覆盖整个华南。东亚大槽与槽后脊加深东移,图3(b)~(e)脊上暖中心由228 K逐渐变为222 K,脊上的暖中心减弱;6月18-23日(图3f),南亚高压面积逐渐减小,西退,东亚大槽减弱入海,槽后脊以及随脊带动南下冷空气减少,脊上暖中心范围变大,中高纬完成一次长波调整,该长波调整与10-17日降水过程匹配,为其提供了高空长波背景。

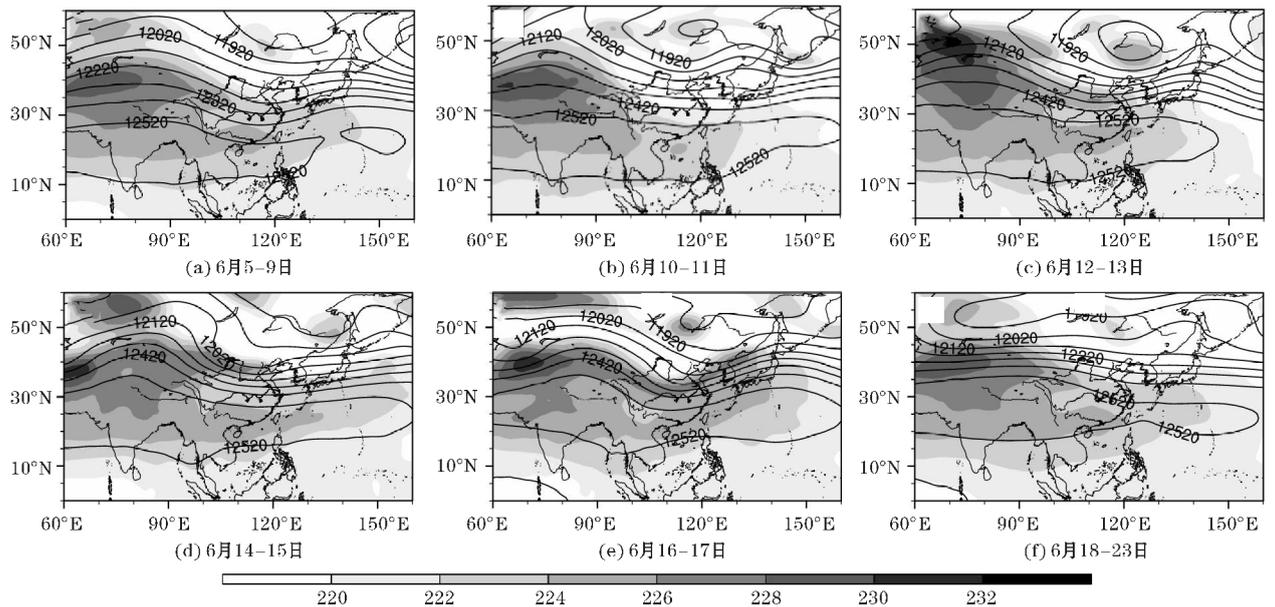


图3 2016年6月10-17日持续性降水发生前、发生时、发生后200 hPa温度场(阴影)和位势高度场(等值线)的空间分布演变图

2.2.3 500 hPa 环流、高度场和温度场特征

司东等^[8]发现华南处于副高的西北侧时,雨区与副高西北侧有良好的对应关系。图4给出了2016年

6月10-17日持续性降水发生前(图4a)、发生时(图4b~e)、发生后(图4f)500 hPa风场、温度场和位势高度场的空间分布演变图。欧亚大陆中高纬环流形势为

两槽一脊,即乌拉尔山和东亚有槽,西伯利亚为脊,西太平洋有强反气旋性环流,即副高。6月10-11日(图4b),西伯利亚阻高经向发展,冷空气南下华南温度大值区范围变小,华南大范围温度为270 K。6月14-15日(图4d),副高主体(即5880位势米线)断裂于华南以南,阻高西退,经向发展变强,带动更多冷空气南下,华南大范围温度为265 K,略微降温;随后6月16-17

日(图4e),副高少许北上,副高的西北侧维持在华南,华南受到副高西北侧西南气流影响,水汽不断地从孟湾、南海输送到华南。阻高减弱,东亚大槽东移入海,中高纬完成一次长波调整;在持续性降水结束后(图4f),副高北移较多,其西北侧离开华南,阻高开始新的经向发展,持续性降水在江淮一带发生。中层副高和阻高为此次异常降水的持续提供了稳定的背景形势。

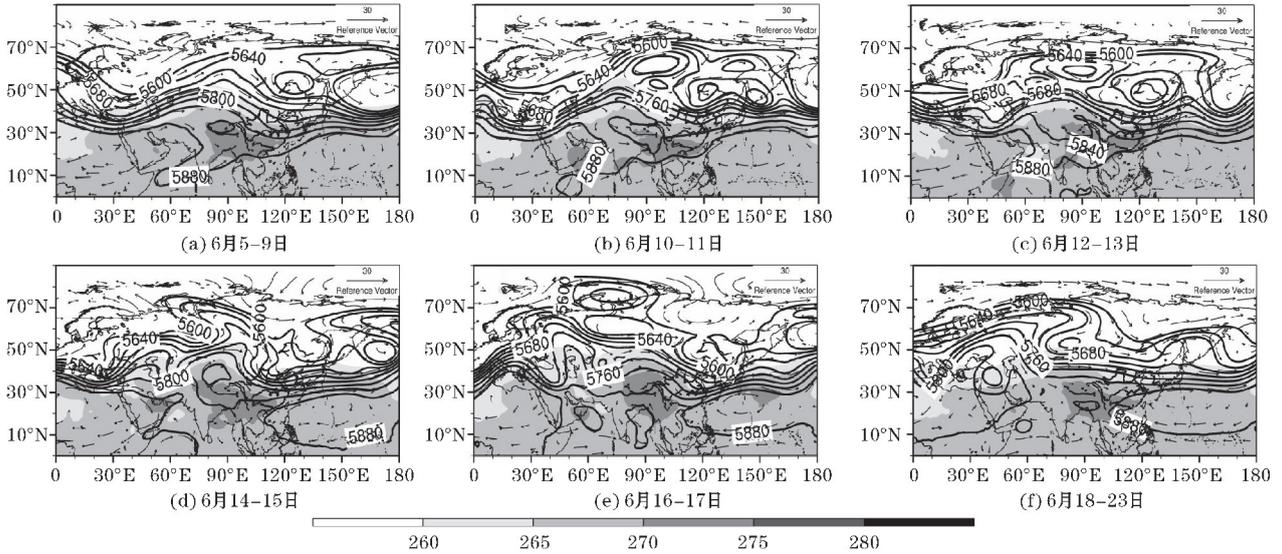


图4 2016年6月10-17日持续性降水发生前、发生时、发生后500 hPa 风场、位势高度场和温度场的空间分布演变图

2.2.4 700 hPa 环流特征

700 hPa 风场分布演变图显示(图5),持续性降水发生前(图5a),华南位于南支槽前西南风中,印度半岛处有一槽;持续性降水发生时(图5b~e),西太平洋的反气旋性环流和环流西北侧的低空急流往西北方向移动,华南此时处于西南低空急流左侧。气旋性切变产生于急流与左侧较小风的拖曳作用中,伴随气流辐合上升,因此低空急流左侧通常产生降水。孟湾北上暖湿气流与西太平洋反气旋西侧北上气流于华南汇

合,南支槽快速移动到孟湾,低层水汽充沛;随着西太平洋反气旋以及低空急流带的西北向移动,华南的低层受反气旋控制呈辐散状态,上升运动减弱,持续性降水逐渐减弱直至结束(图5f)。在此次持续性降水过程中,我国东北的气旋性环流分裂为两个小气旋性环流,分裂的气旋性环流绕原气旋性环流逆时针旋转入海,原气旋性环流西侧南下的冷空气与华南北上的暖空气汇合,在江淮一带转为西风,华南此次降水可能受到夏季风的影响。

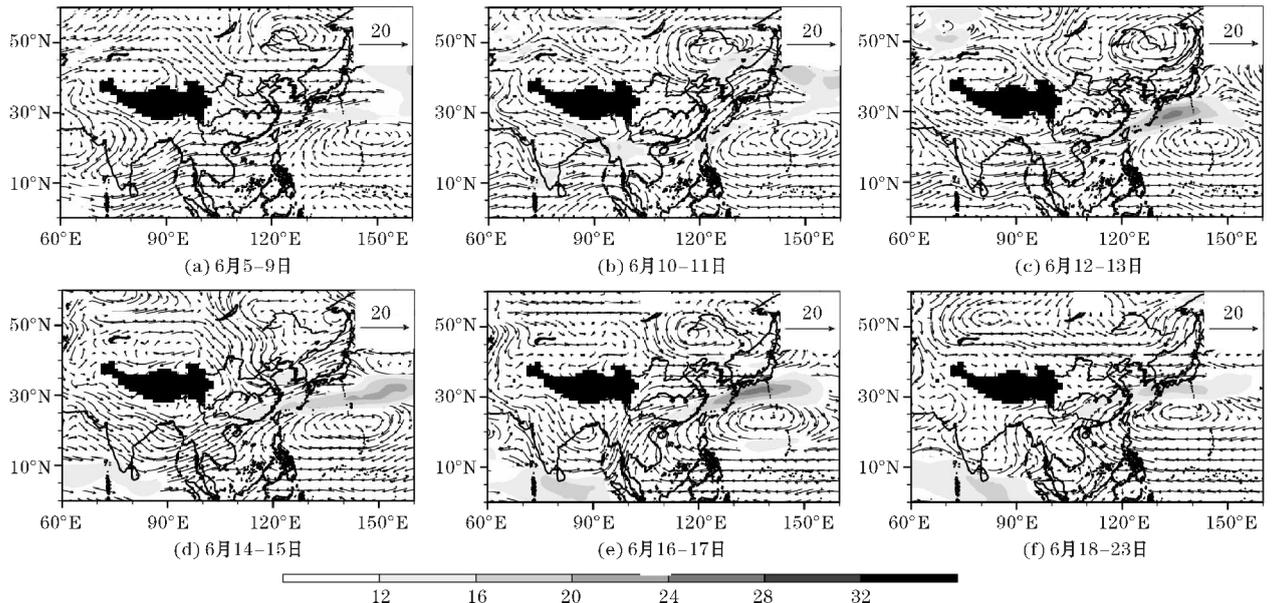


图5 2016年6月10-17日持续性降水发生前、发生时、发生后700 hPa 的风场分布演变图(阴影为低空急流,风速大于10 m/s)

2.2.5 700 hPa 高度场和温度场特征

图 6 给出了此次降水过程前后各阶段700 hPa位势高度场和温度场的空间分布演变。在降水发生过程中,华南温度于6月10-15日(图6b~d)升高,即大范围的由280 K逐渐变为了285 K,低层气温增加,热空气膨胀做绝热上升运动,与降水的时空分布相对应(图2b),且温度上升越多对应的降水强度越强。在6月16-17日(图6e),华南低空略微降温,华南大范围温

度再次变为285 K,对应此次过程减弱至结束。华南受南支槽前气流影响,气压在持续性降水从初始(图6b)到发展旺盛时(图6d)逐渐降低,低空低压与孟加拉湾和西太平洋反气旋往北的气流流入相匹配,气压降低,低层气流上升;随着降水减弱(图6f),华南低层气压变低。低层的气压降低与气温升高,为此次持续性降水过程提供强上升运动。

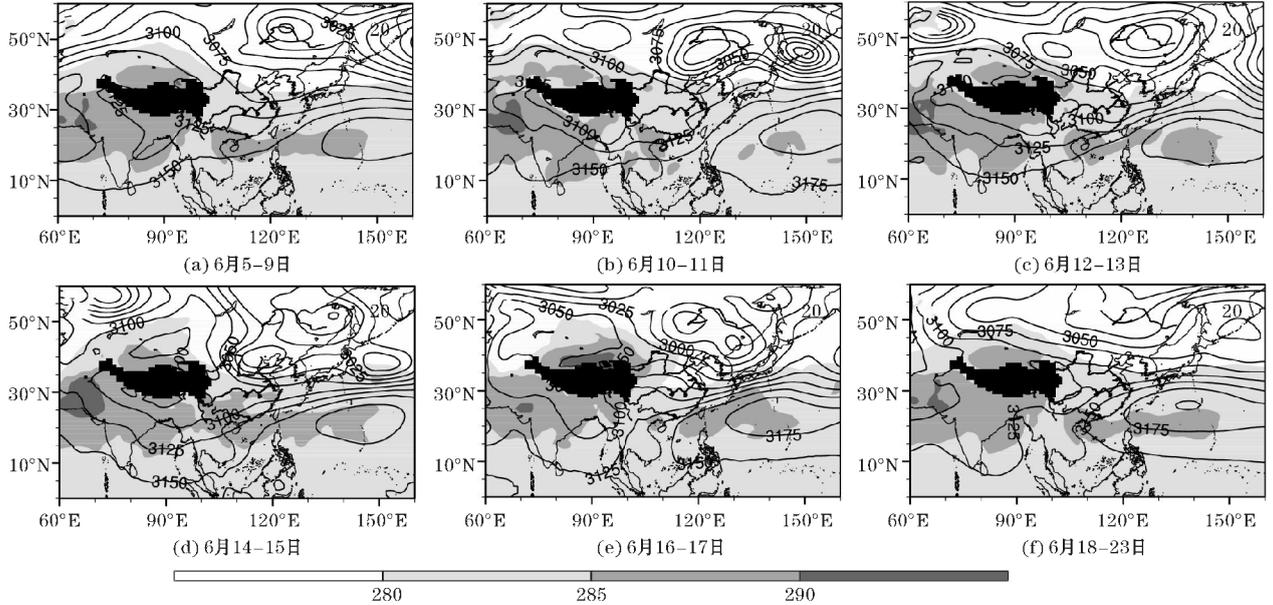


图6 2016年6月10-17日持续性降水发生前、发生时、发生后700 hPa的位势高度场和温度场的空间分布演变图

2.2.6 整层水汽通量输送以及水汽通量散度特征

持续性降水发生前(图7a),华南的水汽输送带在400 kg/(m·s)以下,850 hPa西南风将孟加拉湾水汽带入华南,太平洋反气旋环流西北侧对应较大水汽通量矢量(500 kg/(m·s)左右)。持续性降水发生时(图7b~e),反气旋环流范围往西扩大,其西北侧有较

大水汽通量在华南缓慢移动。华南水汽通量大值区范围越大,对应空间分布降水越强;在16日以后(图7f),较大水汽通量范围减小并北移,华南的东南部水汽更少,为300 kg/(m·s)。低层850 hPa又被反气旋性环流控制,处于气流辐散状态,上升运动减弱,华南持续性降水减弱。

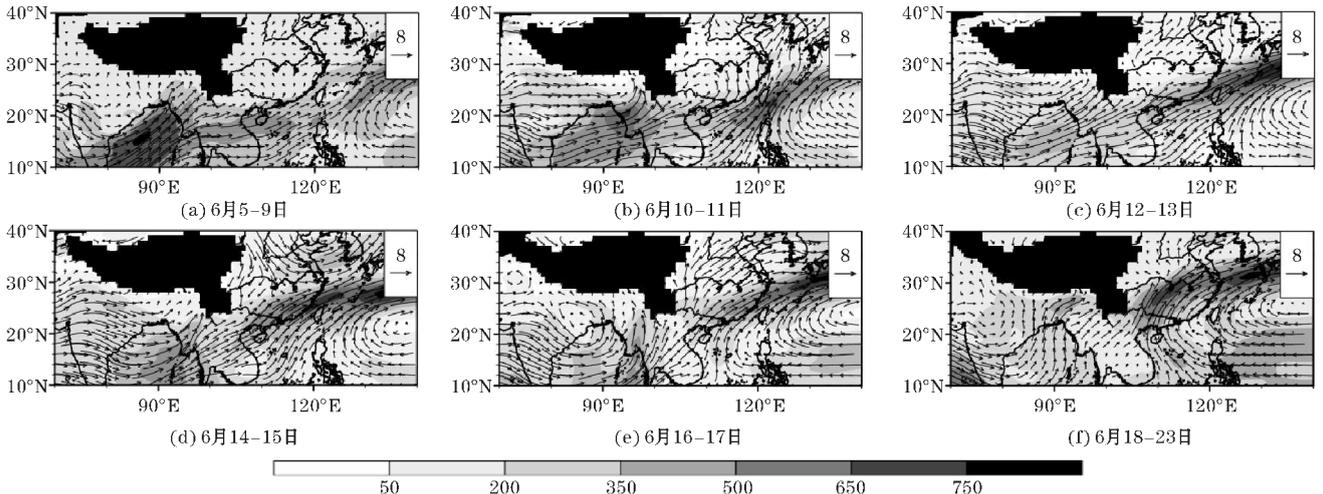


图7 2016年6月10-17日持续性降水发生前、发生时、发生后整层水汽通量(阴影)和850 hPa风场的空间分布演变图

持续性降水发生前5天水汽通量散度平均分布图(图8a)显示,广东、广西的东部和西部及云贵部分地

区为水汽通量辐合区(即值小于0);随着持续性降水的发生发展,广西广东的水汽通量散度辐合带逐渐减

小至消失,云贵、湖南、江西和福建的水汽通量散度辐合带范围慢慢拓宽,雨区逐渐北移;但 6 月 12-13 日(图 8c),华南南部和北部大部分地区为水汽通量散度辐散带(即值大于 0)。持续性降水结束后 6 天时间的

平均图(图 8f)显示,广西广东为水汽通量散度辐散中心,湖南和江西少部分地方有水汽通量散度辐合中心。水汽辐合区由东南往西北移进,与降水大值区空间分布相一致。

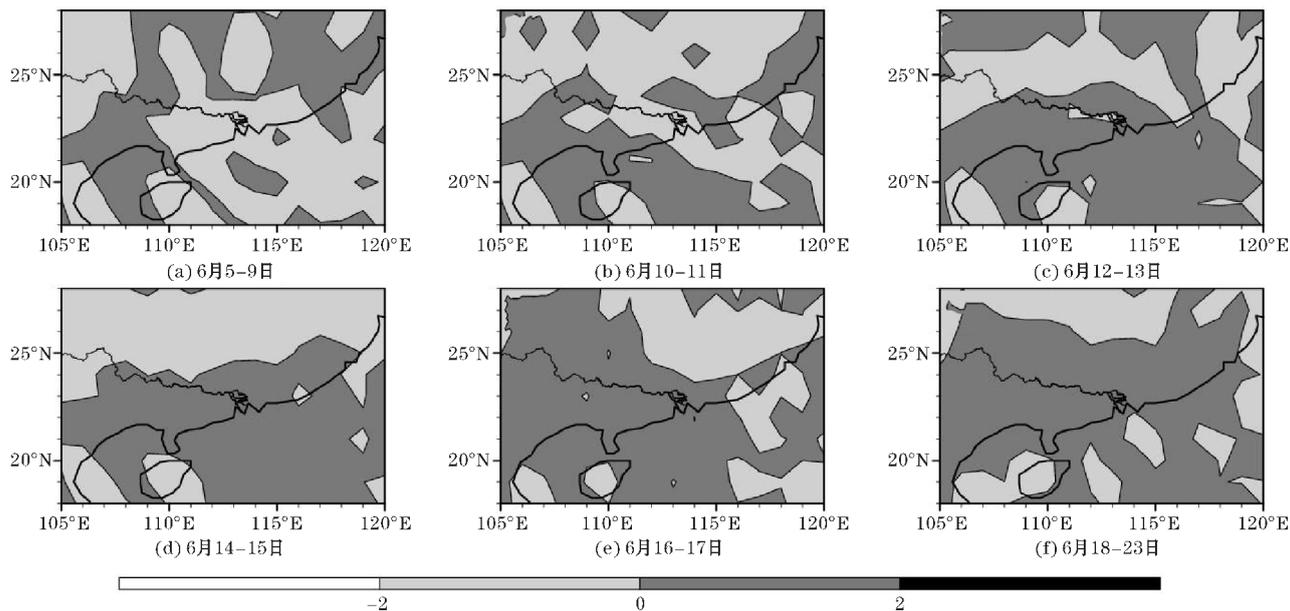


图 8 2016 年 6 月 10-17 日持续性降水发生前、发生时、发生后 850 hPa 水汽通量散度图

2.2.7 整层大气相对湿度和垂直速度的经向-垂直剖面特征

沿 115°E,图 9 给出了相对湿度和垂直速度的经向-垂直剖面演变图。在持续性降水发生前(图 9a),低纬一带都是上升运动,在 30°N 附近有弱的下沉运动,正好对应三圈环流中的哈德莱环流圈的下沉支;华

南垂直方向上虽然相对湿度在 60% 以下,但上升运动还是很强;6 月 10-11 日(图 9b),在 20°N ~ 25°N 地区 1000 ~ 700 hPa 相对湿度高达 90% 以上,低层水源充分,加上强上升气流,利于持续性降水的发生和维持。高层 200 hPa 以上有相对湿度高达 90% 以上的水汽丰富带,此时哈得来环流的下沉支北移到了 40°N 附

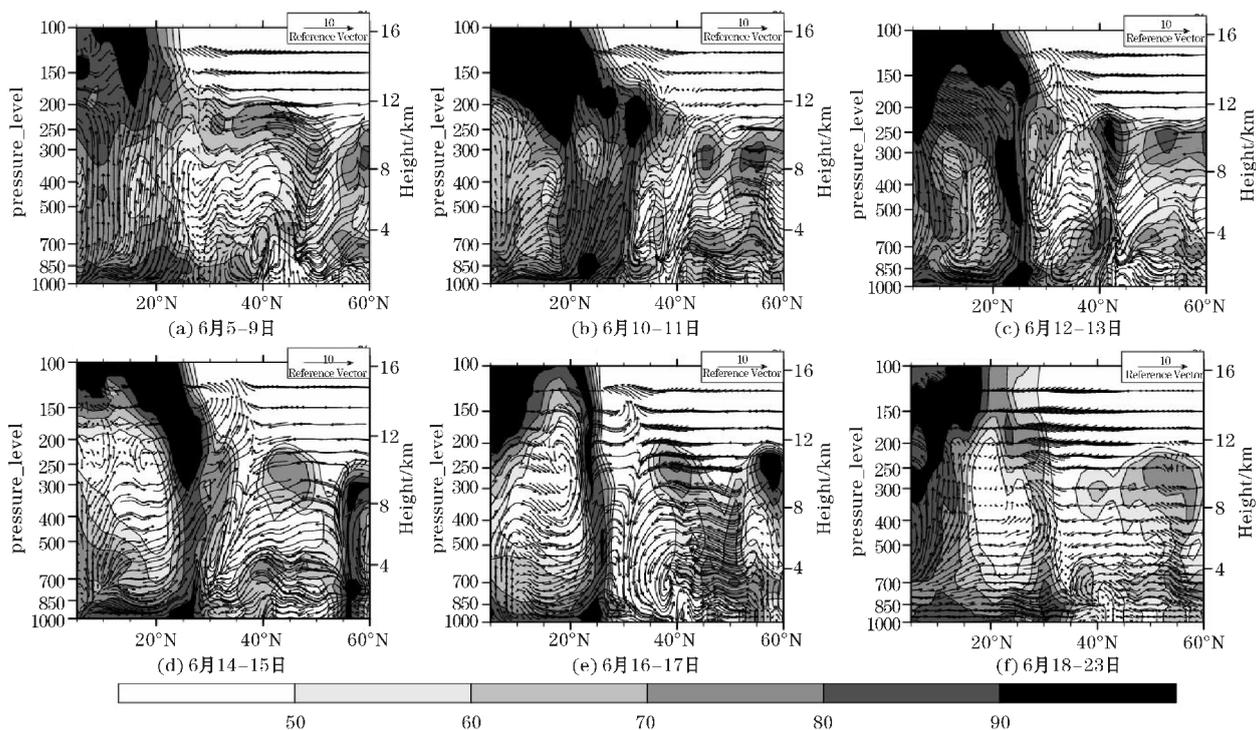


图 9 2016 年 6 月 10-17 日持续性降水发生前、发生时、发生后经向环流和相对湿度(阴影)沿 115°E 的经向-垂直剖面图

近;在12-13日(图9c),华南不仅在低层有大于90%以上的相对湿度,在中高层600~250 hPa也有湿度大值中心,水汽更加充足,但下沉气流又南移到30°N附近,华南稍微靠北的地方上升运动弱,降水减弱,与同时段降水空间分布图(图略)配合完好;6月14-15日(图9d),中层水汽大值中心减弱,留有高层与低层的水汽大值中心,华南还是有较强的上升运动,哈得来环流的下沉支又略微往北移,对应(图略)华南20°N以南的地方降水减弱,其余地方降水还是挺强;在6月16-17日(图9e),华南相对湿度大值中心遍布范围减小,下沉支又往南移动少许,在30°N附近,会影响华南较北的位置,因此华南较北部雨量减少,持续性降水逐渐衰弱;在持续性降水结束后(图9f)虽有上升运动,但是华南相对湿度小,垂直高度上水汽不充分,持续性降水结束。水汽和上升运动对持续性降水过程都会有影响。

3 结论与讨论

对2016年华南一次持续性降水过程发生前5天(6月5-9日)、发生过程中(6月10-17日)以及发生后6天(6月18-23日)的环流形势和特征物理量进行了分析,主要结果如下:

(1)此次降水过程持续了8天(6月10-17日),日最大降水量达到25 mm(中雨),日均降水为15.3 mm(中雨),华南大范围地区累计降水量超过100 mm;在降水演变过程中,逐日降水大值区从东南逐渐往西北方向移动。

(2)高层(200 hPa)南亚高压东伸、高空急流南侧拖拽作用显著、气流辐散;中层(500 hPa)西太副高缓慢北移,其西北侧与北上暖湿气流在华南上空交汇;低层南支槽快速移动、水汽聚集、气流辐合上升运动明显。

(3)高低空环流系统和水汽输送带的配置有利于持续性降水的产生:高空急流南侧、副高西北侧、水汽输送大值区、水汽辐合区与降水大至落区位置对应良好。

(4)通过环流形势和物理量场分析可知:此次过程中,高低空配置为一个深厚系统,辐合上升运动显著,来自孟加拉湾和南海的水汽充沛,为华南地区此次持续性异常降水的发生、发展和维持提供了非常有利的动热力等条件。

2015-2016年发生的超强厄尔尼诺导致中国2016年入汛早,降水多,持续性降水强。2016年华南前汛期(3月21日-6月18日)共计出现19次强降水过程,多地降水量突破1976年以来同期平均降水量的上限。本文着眼于2017年长江中下游地区的一次持续

性异常降水事件,采用美国国家海洋和大气管理局提供的格点降水和欧洲中期天气预报中心提供的再分析资料,对其实况和环流形势进行了分析,初步得到了一些有意义的结果。但对其研究还需继续深入,后续将采用超前滞后相关等方法,引入卫星数据,探寻有预报意义的前兆信号,并将结合WRF数值模式对其内在机理进行探究。

参考文献:

- [1] Li J, Huang D, Li F, et al. Circulation characteristics of EP and CP ENSO and their impacts on precipitation in South China [J]. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 2018, 179: 405-415.
- [2] 刘瑞鑫, 孙建华, 陈鲍发. 华南暖区持续性降水事件的筛选与分类研究[J]. *大气科学*, 2019, 43(1): 119-130.
- [3] 高守亭, 周玉淑, 冉令坤. 我国持续性降水形成机理及预报方法研究进展[J]. *大气科学*, 2018, 42(4): 833-846.
- [4] 林爱兰, 梁建茵, 李春晖, 等. “0506”华南持续性降水的季风环流背景[J]. *水科学进展*, 2007, 18(3): 423-424.
- [5] 王黎娟, 管兆勇, 何金海. 2005年6月华南致洪持续性降水的大尺度环流特征及成因探讨[J]. *大气科学学报*, 2007, 30(2): 145-152.
- [6] 王红军, 潘维玉. 2008年华南前汛期异常降水的大尺度环流特征及成因分析[J]. *热带地理*, 2009, 29(3): 219-224.
- [7] 郭琳晶, 陈芳丽, 曾丹丹. “5.23”华南局地性强降水天气过程分析[J]. *气象研究与应用*, 2016, 37(s1): 1-2.
- [8] 司东, 温敏, 徐海明, 等. 2005年6月华南持续性降水期间西太平洋副高西伸过程分析[J]. *热带气象学报*, 2008, 24(2): 169-175.
- [9] 李雪松, 罗亚丽, 管兆勇. 2010年6月中国南方持续性强降水过程: 天气系统演变和青藏高原热力作用的影响[J]. *气象学报*, 2014(3): 428-446.
- [10] Luo H, Yanai M. The Large-Scale Circulation and Heat Sources over the Tibetan Plateau and Surrounding Areas during the Early Summer of 1979. Part I: Precipitation and Kinematic Analyses [J]. *Mon. wea. rev.*, 1983, 111(5): 922-924.
- [11] 王晓芳, 徐明, 闵爱荣, 等. 2010年5月我国南方持续性降水过程分析[J]. *持续性降水灾*

- 害, 2010, 29(2):91-97.
- [12] 据建华, 孙丹, 吕俊梅. 东亚季风区大气季节内振荡经向与纬向传播特征分析[J]. 大气科学, 2008, 32(3):523-529.
- [13] 苗芮, 温敏, 张人禾. 2010年华南前汛期持续性降水异常与准双周振荡[C]. 中国气象学会年会 s2 副热带气象与气象灾害风险, 2016:155-166.
- [14] 李丽平, 许冠宇, 柳艳菊. 2010年华南前汛期低频水汽输送对低频降水的影响[J]. 热带气象学报, 2014, 30(3):423-431.
- [15] Wu H, Zhai P. Changes in persistent and non-persistent flood season precipitation over South China during 1961-2010[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2013, 27(6):788-798.
- [16] 赵欢, 张人禾, 温敏. 2013年5月华南强降水与中国南海夏季风爆发[J]. 气象学报, 2015, 73(3):442-458.
- [17] 周可, 王伟, 任晓玥. 2010年夏季长江中下游持续性异常降水低频特征分析[J]. 成都信息工程大学学报, 2018(4):448-455.

Analysis of a Persistent Abnormal Precipitation Process over South China in 2016

JIANG Shuyi^{1,2}, WANG Wei¹, REN Xiaoyue^{1,3}, HU Jiajie¹

(1. College of Atmospheric Science, Chengdu University of Information Technology and Plateau Atmospheric and Environment Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610225, China; 2. College of Global Change and Earth System Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. Hainan Province Meteorological Information Center, Haikou 570203, China)

Abstract: In order to understand the weather process of persistent abnormal precipitation, the daily precipitation data provided by NOAA and the daily meteorological dataset provided by ECWMF were used to analyze the process of persistent abnormal precipitation over South China from June 10-17, 2016 and the corresponding circulation characteristics and physical quantity fields. The results show that: (1) During this precipitation process, the accumulated precipitation in many regions of South China exceeded 100 mm, which is equivalent to that a total daily precipitation is more than 10 mm. The large daily precipitation areas gradually moved from the southeast to the northwest. (2) At 200 hPa, the eastward extension of the South Asian High and the shear caused by the airflow drag on the south side of the upper-level jet formed an anticyclone, which made the upper air in South China in the divergent field. At 500 hPa, upper Western Pacific Subtropical High (hereinafter referred to as the "subtropical high") slowly moved northward, and convergence of the warm and wet airflow in the northwest side of the subtropical high drives the water vapor to converge over South China. The rain-band over South China is located on the northwest side of the subtropical high. (3) At 700 hPa, the warm and wet airflow in front of the south branch trough is maintained steadily. The large value area of water vapor flux vector in the whole layer cooperates well with the northwest side of the 850 hPa western Pacific anticyclone. The Bay of Bengal and the South China Sea provide sufficient water source for this persistent precipitation process. (4) The high and low altitude configuration presents a deep and profound system, which is beneficial to the occurrence, development and maintenance of this persistent abnormal precipitation.

Keywords: meteorology; weather analysis; South China; persistent precipitation; South Asia high; Western Pacific subtropical high; jet stream