

张端禹,郑彬,汪小康,等.2015.华南前汛期持续暴雨环流分型初步研究[J].大气科学学报,38(3):310-320. doi: 10.13878/j.cnki.dqkxxb.20130520002.

Zhang Duan-yu, Zheng Bin, Wang Xiao-kang, et al. 2015. Preliminary research on circulation patterns in the persistent heavy rain processes during the first rainy season in South China[J]. Trans Atmos Sci, 38(3): 310-320. (in Chinese).

华南前汛期持续暴雨环流分型初步研究

张端禹¹, 郑彬², 汪小康¹, 崔春光¹, 赵玉春¹

(1. 中国气象局 武汉暴雨研究所 暴雨监测预警湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430205;

2. 中国气象局 广州热带海洋气象研究所/热带季风重点开放实验室, 广东 广州 510080)

摘要:采用 1961—2010 年 NCEP/NCAR 逐日再分析资料和台站观测降水量资料,按一定标准选取了华南前汛期 24 个持续暴雨过程;并且按基本判据确定逐年华南夏季风降水开始日期。然后依据南亚高压环流型和相对于该年夏季风降水开始的早晚,将这些暴雨过程划分为夏季风降水前、后南亚高压东部型,夏季风降水后南亚高压带状、西部型共 4 个类型;其中,夏季风后南亚高压西部型次数最多、平均持续时间最长。所有类型持续暴雨的相同点是:广东东北部附近均为暴雨频率和雨量高值区;暴雨期间华南 150 hPa 位势高度增加、500 hPa 位势高度减少;华南处在 150 hPa 偏西风急流南侧辐散区中;850 hPa 华南沿海有明显的西南气流,低层辐合在华南东北部最明显;两广沿海为可降水量大值区;华南的整层水汽输送主要呈现西南向。不同点是:夏季风后南亚高压西部型平均雨量较小,夏季风后南亚高压带状型与西部型在印度洋上存在明显的偏东风高空急流;夏季风后南亚高压类型在两广沿海的可降水量数值较大。

关键词:华南前汛期;持续暴雨;南亚高压;华南夏季风降水;环流型

文章编号:1674-7097(2015)03-0310-11 **中图分类号:**P426.62 **文献标志码:**A

doi:10.13878/j.cnki.dqkxxb.20130520002

Preliminary research on circulation patterns in the persistent heavy rain processes during the first rainy season in South China

ZHANG Duan-yu¹, ZHENG Bin², WANG Xiao-kang¹,
CUI Chun-guang¹, ZHAO Yu-chun¹

(1. Hubei Key Laboratory for Heavy Rain Monitoring and Warning Research, Institute of Heavy Rain, China Meteorological Administration, Wuhan 430205, China;

2. Guangzhou Institute of Tropical Marine and Meteorology/Key Open Laboratory for Tropical Monsoon, China Meteorological Administration, Guangzhou 510080, China)

Abstract: Based on the NCEP/NCAR daily reanalysis data and observational rainfall data from 1961 to 2010, 24 persistent heavy rain events are selected in the first rainy season in South China, and the beginning dates of annual South China summer monsoon rainfall (SCSMR) are chosen according to the basic criterion. According to the SCSMR beginning date and the average circulation pattern of South Asia High (SAH) at 150 hPa during a heavy rain event, the 24 persistent heavy rain events fall into four categories, including east SAH pattern before SCSMR, east SAH pattern after SCSMR, belt SAH pattern after SCSMR, and west SAH pattern after SCSMR. Among them, west SAH pattern after SCSMR is the most with the longest average duration. The same points of persistent heavy rain events in all SAH patterns show that: The center of both high frequency and large rainfall locates near northeast Guangdong

收稿日期:2013-05-20; 改回日期:2014-06-27

基金项目:公益性行业(气象)科研专项(GYHY201106003; GYHY201206003); 国家自然科学基金资助项目(41105073)

通信作者:张端禹, 硕士, 副研究员, 研究方向为暴雨机理, 540601662@qq.com.

Province; During the heavy rain, South China geopotential height increases at 150 hPa but decreases at 500 hPa; South China lies in the 150 hPa divergence zone to south side of westerly jet; The southwesterly is obvious over coastal area of South China at 850 hPa, and the low level convergence over northeast South China is the most obvious; Precipitable water vapor (PWV) over coastal area of both Guangdong and Guangxi provinces is the most. Direction of water vapor transportation integrated from surface to 300 hPa is mainly southwest over South China. The differences show that the mean rainfall is the least in the west SAH pattern after SCSMR; The easterly jet over the Indian Ocean emerges in both the belt and the west SAH patterns after SCSMR; PWV in the patterns after SCSMR is larger than that in the pattern before SCSMR over the coastal area of both Guangdong and Guangxi provinces.

Key words: the first rainy season in South China; persistent heavy rain; South Asia high; South China summer monsoon rainfall; circulation pattern

0 引言

南亚高压是夏季出现在青藏高原及邻近地区对流层上部的大型高压系统(朱乾根等, 2000), 有明显的年际和年代际变化(张琼等, 2000)。Qian et al. (2002)指出, 南亚高压存在两个季节平衡态, 即夏半年大陆高压和冬半年海洋高压, 加热场对南亚高压的季节变化有重要作用。南亚高压活动对我国夏季较大范围旱涝分布有着重要影响(陈永仁等, 2009; 胡景高等, 2010; 张玲和智协飞, 2010; 朱玲等, 2010; Liu et al., 2011; 张娇等, 2012; 朱科和张文娟, 2012; 曹鑫等, 2013)。以往人们多关注它对我国东部夏季旱涝分布的影响, 而依照其环流特点来划分华南前汛期持续暴雨类型的研究还不多见。

南海夏季风的爆发和向北推进是每年我国天气气候的重要事件, 其爆发最显著的特征就是南海地区低层西南风的突然增强和降水的明显增多(Zheng et al., 2011)。根据郑彬等(2006)的研究, 华南夏季风降水开始于南海夏季风爆发之后; 就气候平均状态而言, 南海夏季风推进到华南的时间约为1候。池艳珍等(2005)比较华南前汛期(4—6月)不同时段降水特征发现, 前汛期降水由锋面降水和夏季风降水两个时段组成; 夏季风降水时段南亚高压跃上高原, 华南地区处于高压东部, 对流发展极其旺盛。华南前汛期包含着锋面降水和夏季风降水两个时段的结论得到较为广泛的证实(袁媛等, 2012)。

南亚高压活动与亚洲南部夏季风建立早晚密切联系。李黎娟与郭帅宏(2012)研究了4—5月南亚高压在中南半岛上空建立与亚洲南部夏季风的关系, 发现: 南亚高压建立偏早年, 孟加拉湾东部—中南半岛夏季风和南海夏季风爆发早; 南亚高压建立偏晚年, 孟加拉湾东部—中南半岛夏季风和南海夏

季风爆发晚。本文既考察南亚高压环流型, 又考虑华南夏季风是否建立, 以此来划分华南前汛期持续暴雨的环流类型。具体作法是, 在依据一定标准选出华南前汛期持续暴雨历史个例的基础上, 按照华南夏季风降水开始的基本判据, 把每年华南前汛期划分为夏季风降水开始前、后两个阶段; 再在这两个阶段内根据南亚高压特点, 对各持续暴雨进行分型。最后, 比较夏季风降水开始前、后不同南亚高压环流型控制下, 持续暴雨主要影响天气系统的异同。该项工作有助于我们提高对华南前汛期持续暴雨形成机理的认识。

1 资料与方法

资料有: 1) 1961—2010年NCEP/NCAR $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 日平均再分析资料, 包括位势高度、可降水量、经向风、纬向风、地面气压和比湿等; 2) 1961—2010年中国气象台站逐日地面降雨观测资料。

文中华南包括广东、广西以及湖南、江西、福建三省 26.0°N 以南的地区。华南前汛期持续暴雨是指在该地区每年4—6月满足以下规定的降水过程: 1) 过程开始日与结束日, 华南至少有15个站点日降水超过50 mm, 即均为区域暴雨日; 2) 区域暴雨日持续5 d及以上。期间可以有华南日降水量超过50 mm站数低于15的雨日, 但这样的雨日不得连续出现。依照朱乾根等(2000)方法区分华南持续暴雨期间150 hPa南亚高压位势高度场分布特征; 若南亚高压中心位于 90°E 以西属于西部型, 位于 90°E 以东属于东部型, 位于 90°E 附近或有几个强度相当的中心呈东西向分布就称为带状型。

因为华南夏季风降水开始前、后降水性质有较大的差别, 所以在对华南前汛期持续暴雨分型时, 不但要考虑南亚高压环流型, 还要考虑持续暴雨发生时间与华南夏季风降水开始时间的先后关系。郑彬

等(2006)给出了华南夏季风降水开始的基本判据: 100 hPa 纬向风由西风转为东风并维持 5 d 以上。本文先应用该判据得出 1961—2010 年逐年华南夏季风降水开始日期,然后在划分每个持续暴雨过程环流型时,应用这些日期数字确定暴雨发生时间相对于华南夏季风降水开始时间的早晚。除了特别说明外,后文夏季风均指华南夏季风。

2 华南前汛期持续暴雨过程

表 1 表明,1961—2010 年华南前汛期共有 24 个持续暴雨过程,年均 0.48 个,平均每个持续 7.3 d。其中,有 6 个发生在夏季风降水开始前的南亚高压东部型形势下,它们主要发生在 5 月,平均持续 5.8 d;有 2 个发生在夏季风降水开始后的南亚高压东部型形势下,它们发生在 6 月,平均持续 6.5 d;有

表 1 1961—2010 华南前汛期持续暴雨过程的统计结果

Table 1 Statistics of persistent heavy rain processes during the first rainy season in South China

序号	暴雨过程日期	过程雨量中心	夏季风降水开始日期	南亚高压型
1	1964-06-11—15	粤西沿海与粤北	1964-05-20	带状型
2	1965-06-12—19	福建沿海	1965-06-02	带状型
3	1968-05-19—24	粤西沿海	1968-06-06	东部型
4	1968-06-08—24	粤北地区	1968-06-06	西部型
5	1969-05-12—16	粤北地区	1969-06-04	东部型
6	1972-05-04—11	粤中沿海	1972-06-07	东部型
7	1972-06-14—18	粤东沿海	1972-06-07	西部型
8	1973-05-31—06-04	赣南至闽西南	1973-06-14	东部型
9	1974-06-21—25	粤东沿海	1974-06-03	带状型
10	1977-05-27—31	粤东沿海	1977-05-31	东部型
11	1982-05-27—06-01	粤中、粤东沿海	1982-05-31	东部型
12	1983-06-15—21	桂东北与粤东沿海	1983-05-24	东部型
13	1993-06-07—11	粤东沿海	1963-06-01	西部型
14	1994-06-08—19	粤西沿海与桂北	1994-05-22	西部型
15	1996-06-20—24	粤东沿海	1996-06-19	西部型
16	1998-06-18—25	粤西沿海	1998-05-31	西部型
17	2000-06-08—12	福建沿海	2000-06-04	带状型
18	2001-06-03—13	粤西沿海	2001-05-21	西部型
19	2002-06-10—17	桂东北地区	2002-06-02	西部型
20	2005-06-01—06	广西南部	2005-06-01	东部型
21	2005-06-011—23	广东中部	2005-06-01	带状型
22	2007-06-06—10	粤闽赣交界地区	2007-05-21	西部型
23	2008-06-05—13	粤中沿海地区	2008-05-21	西部型
24	2008-06-25—29	粤北地区	2008-05-21	西部型

5 个发生在夏季风降水开始后的南亚高压带状型形势下,它们发生在 6 月,平均持续 7.2 d;有 11 个发生在夏季风降水开始后的南亚高压西部型形势下,它们发生在 6 月,平均持续 8.2 d。

华南前汛期持续暴雨过程的南亚高压环流型,夏季风前东部型有 6 次,以下简称 EB 型;夏季风后东部型有 2 次,以下简称 EA 型;夏季风后带状型有 5 次,以下简称 BA 型;夏季风后西部型有 11 次,以下简称 WA 型。暴雨过程平均持续时间,EB 型最短,WA 型最长。南亚高压东部型主要发生在夏季风降水开始之前,而南亚高压带状型与西部型则都发生在夏季风降水开始之后。华南前汛期持续暴雨多发生在夏季风降水开始之后。其中,WA 型次数最多,平均持续时间最长。

研究表明,华南前汛期暴雨与高空急流、南亚高压等形成的辐散,中层扰动,低层低涡、低空急流以及偏南风加强等形成的辐合等关系密切(姜丽萍等,2007;Meng et al.,2008;赵玉春和王叶红,2009;何编和孙照渤,2010;丁治英等,2011;何编等,2012;Yuan et al.,2012;张楠等,2013)。下面将分析各型暴雨过程中这些天气系统的演变特征。

3 各型暴雨过程暴雨频率与日降雨量

各型暴雨过程中,站点暴雨天数除以所有过程总天数,得到该型站点暴雨频率分布(图 1)。可以看出,EB 型、EA 型暴雨高频区均呈东西走向,主要位于广东、广西;BA 型与 WA 型暴雨高频区呈西南至东北走向,主要位于华南的东部。在各型持续暴雨中,广东均为暴雨频率高值区,广西南部均为暴雨频率低值区。从各型暴雨过程平均来看,广西南部暴雨低频区可能与当地低层 850 hPa 弱辐散区有关,后文将对此进行分析。

计算前汛期持续暴雨过程各型的平均雨量,发现华南大部地区日均降雨量都超过 10 mm · d⁻¹(图

略)。其中,对于超过 30 mm · d⁻¹ 的较强降雨区,EB 型主要位于粤东到粤北,EA 型主要位于粤东和桂北,BA 型主要位于粤东和粤西,WA 型主要位于粤东、粤西与桂北。各型平均的较强降雨中心出现地点与表 1 统计的各型单过程降雨中心较多出现的地点基本一致。各型平均的日降雨量在广西南部附近,比华南其他地方都略小,其原因可能与广西南部低层为弱的辐散有关。

4 各型暴雨过程 150 hPa 与 500 hPa 位势高度场演变

4.1 150 hPa 位势高度场演变

由图 2a 可见,6 场 EB 型持续暴雨过程 150 hPa 位势高度场的合成特点是:南亚高压中心偏在 90°E 以东,脊线偏在 20°N 以南;南亚高压中心位势高度在所有类型中最低,为 1 430 dagpm;暴雨过程平均与暴雨之前 1~5 d 平均相减,华南正变高为 2 dagpm,说明暴雨区高层位势高度增加。由图 2b 可见,2 场 EA 型持续暴雨过程 150 hPa 位势高度场的

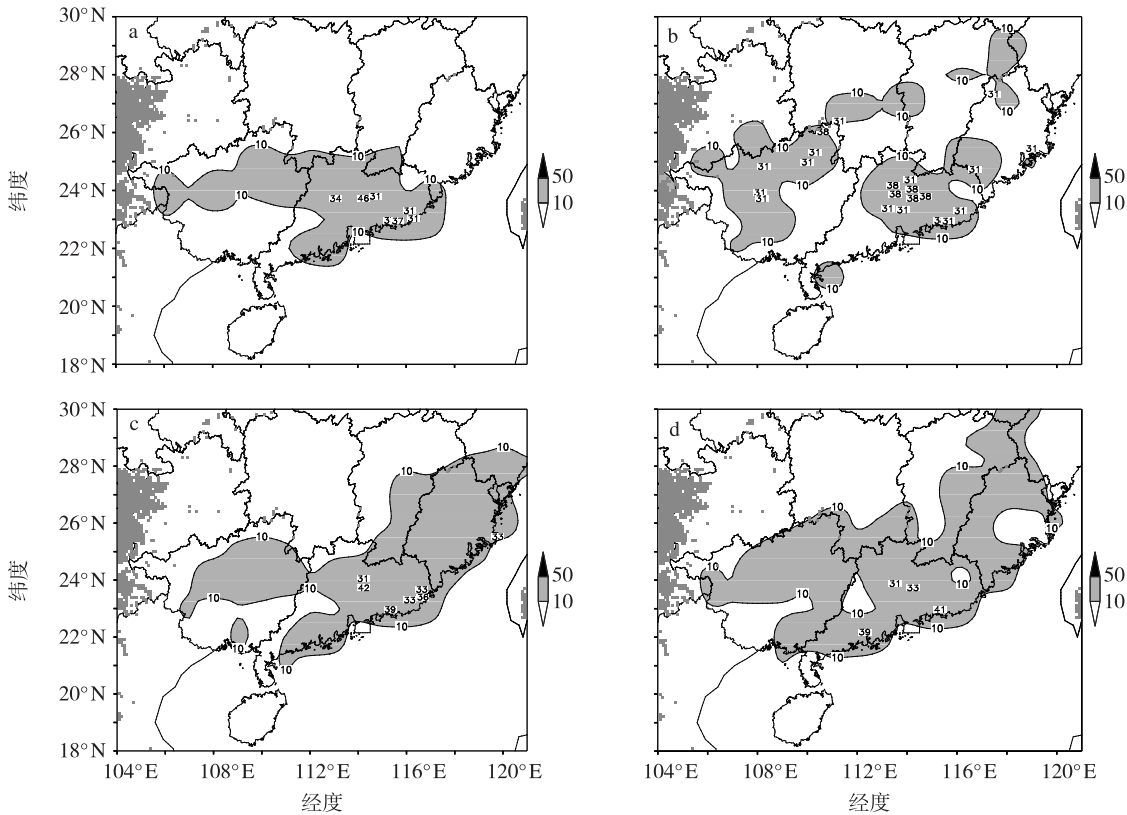


图 1 各型平均华南前汛期持续暴雨的频率分布(阴影表示频率≥10%) a.EB 型;b.EA 型;c.BA 型;d.WA 型
Fig.1 Frequency distribution of persistent heavy rain processes during the first rainy season in South China(units:%;shadings denote the frequency greater than or equal to 10%) a.east SAH(South Asia high) before SCSMR(South China summer monsoon rainfall);b.east SAH after SCSMR;c.belt SAH after SCSMR;d.west SAH after SCSMR

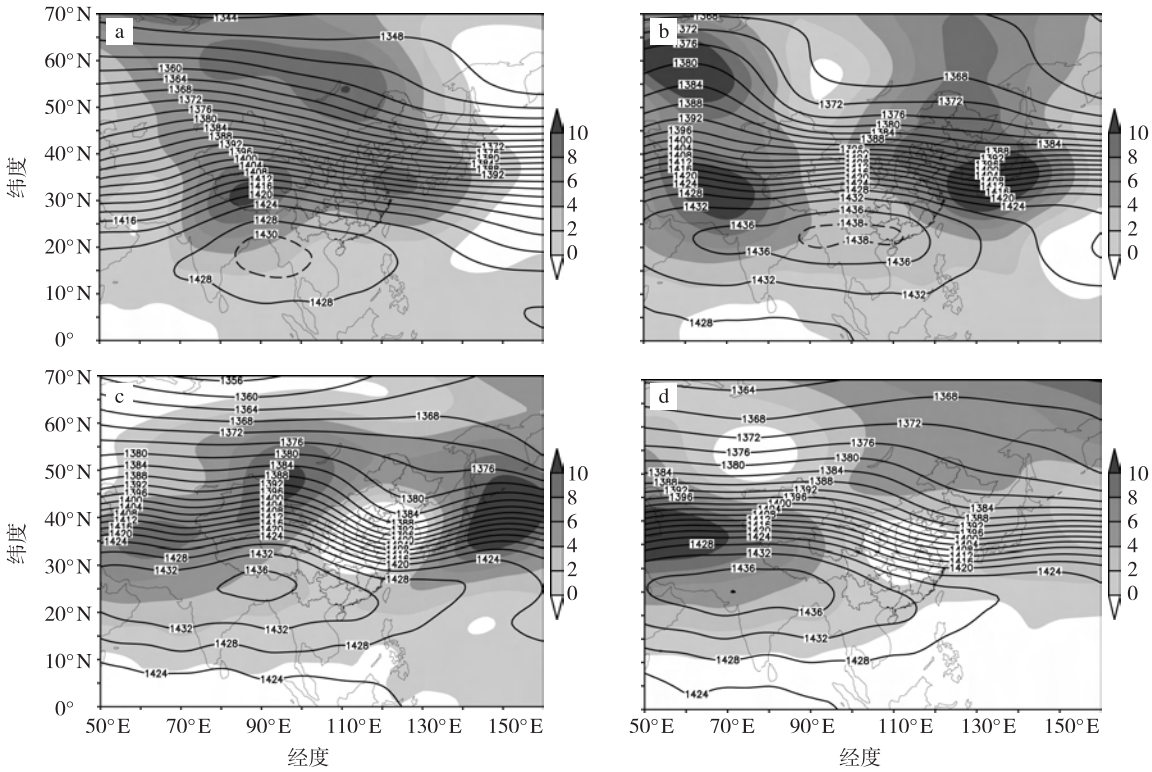


图 2 各型平均华南前汛期持续暴雨过程的 150 hPa 位势高度 (单位: dagpm) 及其与暴雨前 1~5 d 平均的差值 (阴影; 间隔: 2 dagpm) a. EB 型 (虚线为 1 430 dagpm); b. EA 型 (虚线是 1 438 dagpm); c. BA 型; d. WA 型

Fig.2 Composite 150 hPa geopotential height (units: dagpm) in the persistent heavy rain processes during the first rainy season in South China, and its difference (shadings; interval: 2 dagpm) with that averaged from one to five d before the persistent heavy rain processes a. east SAH before SCSMR (dashed line is 1 430 dagpm); b. east SAH after SCSMR (dashed line is 1 438 dagpm); c. belt SAH after SCSMR; d. west SAH after SCSMR

合成特点是: 南亚高压中心偏在 90°E 以东, 脊线稍微偏在 20°N 以北; 南亚高压中心位势高度超过 1 438 dagpm 的范围较大; 暴雨过程平均与暴雨之前 1~5 d 平均相减, 华南正变高超过 2 dagpm, 在所有类型中增加最明显。图 2c 表明, 5 场 BA 型持续暴雨过程 150 hPa 位势高度场的合成特点是: 南亚高压中心偏在 90°E 附近, 高压中心区呈东西向带状走向, 且脊线偏北在 25°N 附近; 高压中心位势高度为 1 436 dagpm; 暴雨过程平均与暴雨之前 1~5 d 平均相比, 华南正变高为 2 dagpm。图 2d 显示, 11 场 WA 型持续暴雨过程 150 hPa 位势高度场的合成特点是: 南亚高压中心在 70°E 附近, 明显偏西, 其中心区域呈东西向带状走向, 脊线偏北于 25°N 附近; 南亚高压中心位势高度偏高, 为 1 438 dagpm; 暴雨过程平均与暴雨之前 1~5 d 平均相减, 华南位势高度正变化数值低于 2 dagpm。

华南前汛期持续暴雨过程中, 华南 150 hPa 均

受南亚高压东伸脊影响。其中, EB 型持续暴雨过程南亚高压相对较弱, 脊线位置偏南。这可能与它们发生时间偏早 (均在 5 月) 有关。EA 型持续暴雨过程, 南亚高压中心最强, 距离华南最近, 华南地区位势高度增幅也最大。华南 150 hPa 位势高度增加有利于高层辐散和暴雨维持。张娇等 (2012) 分析淮河流域持续性强降水过程也发现, 流域上空 200 hPa 位势高度增加有利于暴雨的发生和维持。本文得到类似结论。

4.2 500 hPa 位势高度场演变

图 3 显示, 6 场 EB 型持续暴雨过程的 500 hPa 位势高度场的合成特点是: 副高呈东西向带状分布, 且位于南海中部到菲律宾群岛以东洋面上, 其脊线偏在 20°N 以南, 中心位势高度较低, 为 586 dagpm, 在所有类型中, 此型副高位置最偏西南, 强度最弱; 华南受本区西部低槽影响。2 场 EA 型持续暴雨过程的 500 hPa 位势高度场的合成特点是: 副高主体

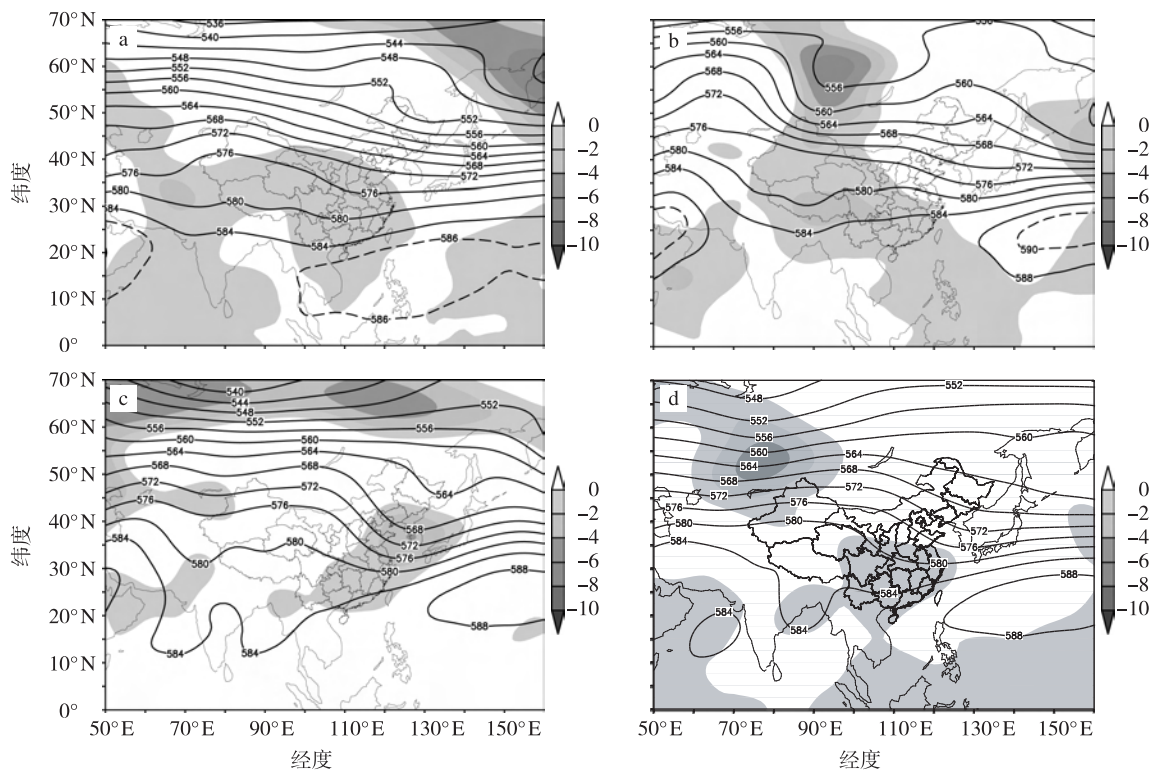


图 3 各型平均华南前汛期持续暴雨过程的 500 hPa 位势高度(单位:dagpm)及其与暴雨前 1~5 d 平均的差值(阴影;间隔:2 dagpm) a.EB 型(虚线是 586 dagpm);b.EA 型(虚线是 590 dagpm);c.BA 型;d.WA 型

Fig.3 Composite 500 hPa geopotential height(units:dagpm) in the persistent heavy rain processes during the first rainy season in South China,and its difference(shadings;interval:2 dagpm) with that averaged from one to five d before the persistent heavy rain processes a.east SAH before SCSMR(dashed line is 586 dagpm);b.east SAH after SCSMR(dashed line is 590 dagpm);c.belt SAH after SCSMR;d.west SAH after SCSMR

位于台湾以东洋面,其位势高度偏高,为 590 dagpm,副高脊线偏在 20°N 以北;西藏南部到孟加拉湾北部为低槽区,此型无论是在副高主体范围上,还是在华南上空的位势高度,于各型中均最大。5 场 BA 型与 11 场 WA 型持续暴雨过程各自位势高度场的合成特点是:副高主体均位于台湾以东洋面,位势高度均超过 588 dagpm,其脊线均偏在 20°N 以北。华南地区 BA 型受孟加拉湾南支槽前西南气流影响,WA 型受本区西部低槽影响。另外,各型暴雨期间平均与前期 1~5 d 平均相减,华南地区 500 hPa 位势高度均下降,说明从暴雨之前到暴雨期间华南 500 hPa 位势高度在降低,有利于该层等位势高度线在华南气旋性曲率的增加。

4 型华南持续暴雨过程 500 hPa 位势高度的共同点是,与暴雨前期相比,暴雨过程华南位势高度降低。不同点是,夏季风降水开始之前,较弱的副高主体位于菲律宾附近洋面,华南受副高北侧低槽影响;夏季风降水开始后,较强副高主体位于台湾以东洋面,华南受副高西侧的西南或偏西气流影响。

5 各型暴雨过程高、低层风场与散度场特征

5.1 150 hPa 高空急流与辐散

图 4 显示了各型持续暴雨期间平均 150 hPa 高空急流的分布。可见,东亚中纬度地区特别是我国华北平原上空都有偏西风急流,偏西风急流中心多位于青藏高原东侧至日本中部一带。BA 型与 WA 型在印度半岛以南印度洋上空有偏东风急流活动,中心位于斯里兰卡附近。各型 150 hPa 水平风散度场显示,华南上空为辐散气流控制,最大散度均超过 $8.0 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$;其中 EA 型辐散最明显,最大散度超过 $10.0 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 。

5.2 850 hPa 低层西南大风与辐合

图 5 显示,前汛期各型持续暴雨过程的 850 hPa 上,华南沿海受西南风影响,且最大风速超过 $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;其中以 BA 型风速最强,最大风速超过 $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

各型暴雨过程的 850 hPa 上,广西南部为弱辐

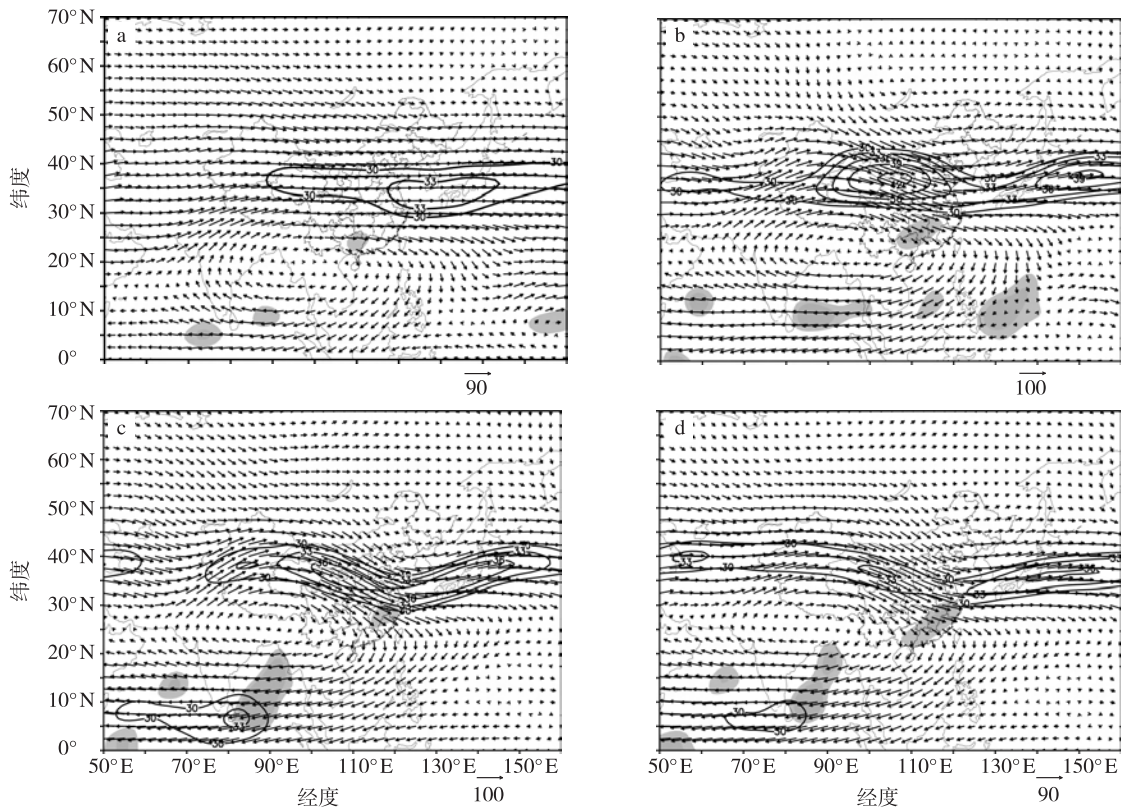


图 4 各型平均华南前汛期持续暴雨的 150 hPa 高空急流区(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)与水平散度(深、浅阴影分别超过 $10.0 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 和 $8.0 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$) a.EB 型;b.EA 型;c.BA 型;d.WA 型

Fig.4 Composite upper level jet stream zone(units: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) and horizontal divergence(shallow and dark shadings denote the divergence more than $8.0 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ and $10.0 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$, respectively) at 150 hPa in the persistent heavy rain processes during the first rainy season in South China a.east SAH before SCSMR;b.east SAH after SCSMR;c.belt SAH after SCSMR;d.west SAH after SCSMR

散区,其中 BA 型辐散最显著,散度大于 $2.0 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 。低层弱辐散造成广西南部暴雨频率与平均雨量都较小。低层明显辐合区出现在华南的东北部即赣南、闽南到粤东北一带,其中 EA 型辐合相对较小。

6 各型暴雨过程可降水量与整层水汽输送特征

6.1 可降水量

图 6 显示,华南前汛期各型持续暴雨期间,华南西部为西南—东北走向的可降水量锋区。其原因可能在于大气中水汽主要分布在低层,而云贵高原海拔高,是可降水量的小值区;同时,两广沿海为可降水量的大值区。两广沿海可降水量大值中心在夏季风降雨之前较小,仅为 $52 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$,而在夏季风降水开始之后较大,超过 $56 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

6.2 整层积分水汽输送

依据刘芸芸等(2006)方法,单位边长整层大气

的水汽输送通量 Q 的计算公式为:

$$Q = \frac{1}{g} \int_p^{p_s} \mathbf{V} q dp. \tag{1}$$

式中: $\mathbf{V}$ 为该单位气柱内各层大气的风矢量; q 是各层大气的比湿; p_s 、 p 分别是大气柱下界气压(地面气压)和上界气压(取 300 hPa); g 为重力加速度;水汽输送通量 Q 的单位为 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。刘芸芸和丁一汇(2008)计算了单位气柱内水汽输送通量矢量。张端禹等(2010)分析 2008 年 8 月末湖北连续大暴雨过程发现,暴雨发生时整层水汽输送呈西南走向,当其转变为西北走向时降雨减弱。

图 7 显示,6 次 EB 型持续暴雨过程的地面至 300 hPa 积分的整层水汽输送,华南大部超过 $40 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,广东西部沿海附近超过 $50 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,多为西南—东北向的水汽输送。赤道附近及其以北的印度洋上,整层水汽输送大值区位于斯里兰卡南侧。2 次 EA 型持续暴雨过程的整层水汽输送,华南大部超过 $30 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,广西、

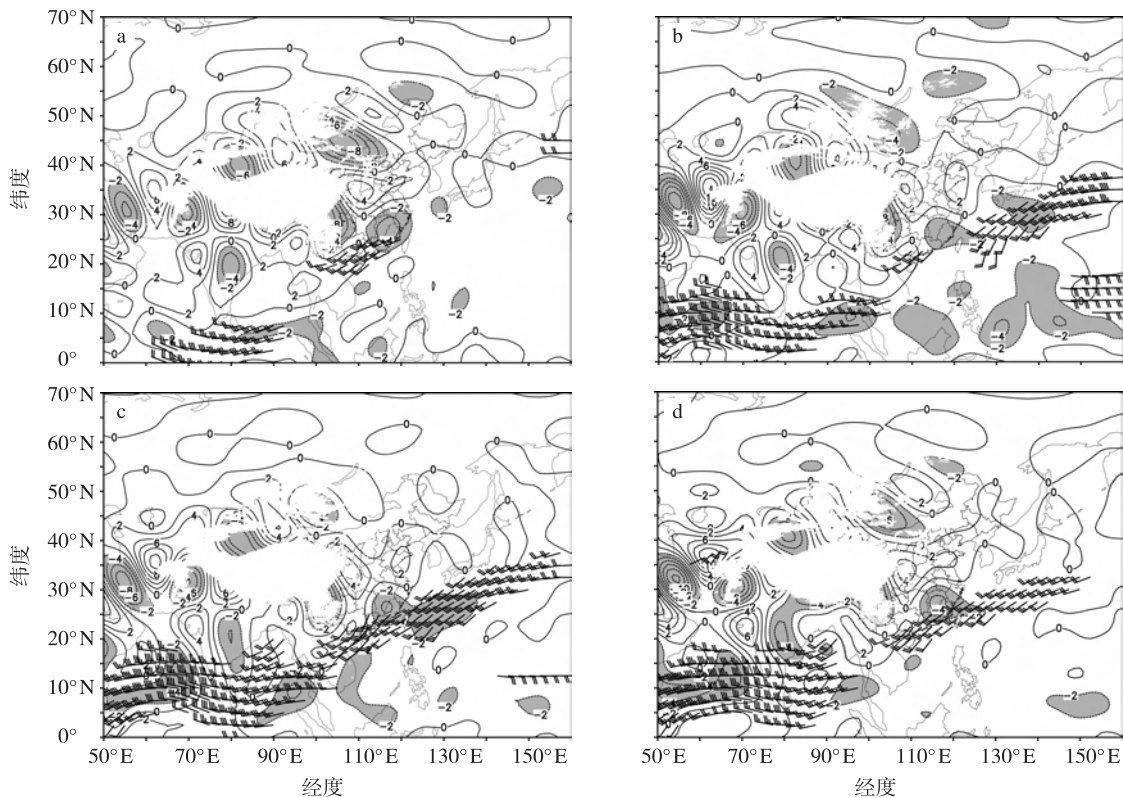


图 5 各型平均华南前汛期持续暴雨过程的 850 hPa 低层风(风标超过 $8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)与水平辐合区(阴影低于 $-2.0\times 10^{-6}\text{ s}^{-1}$) (不规则空白区表示地形超过 1 500 m) a.EB 型;b.EA 型;c.BA 型;d.WA 型

Fig.5 Composite 850 hPa wind(wind barbs are more than $8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) and horizontal divergence(shadings are the divergence less than $-2.0\times 10^{-6}\text{ s}^{-1}$) in the persistent heavy rain processes during the first rainy season in South China (Irregular blank area denotes topography more than 1 500 m) a.east SAH before SCSMR;b.east SAH after SCSMR;c.belt SAH after SCSMR;d.west SAH after SCSMR

广东交界处超过 $40\text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$,华南整层水汽输送多为西南—东北走向。赤道附近及其以北的印度洋上空整层水汽输送大值区位于索马里以东至斯里兰卡南侧、孟加拉湾一带。5 次 BA 型持续暴雨过程的整层水汽输送,华南东南部超过 $40\text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$,局部超过 $50\text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$,华南大部整层水汽输送为西南—东北走向。赤道附近及其以北的印度洋上空整层水汽输送大值区位于索马里以东至斯里兰卡南侧、孟加拉湾一带。11 次 WA 型持续暴雨过程的华南东南部整层水汽输送超过 $40\text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$,其中粤东至闽南超过 $50\text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$,华南大部整层水汽输送为西南—东北走向。赤道附近及其以北的印度洋上空整层水汽输送大值区位于索马里以东到斯里兰卡南侧、孟加拉湾一带。

可见,无论夏季风降雨开始与否,持续暴雨过程华南上空整层积分水汽输送均为西南—东北走向。南亚高压东部型,华南水汽输送大值中心位于广东西部附近;BA 型与 WA 型,华南水汽输送大值中心

位于东南沿海。夏季风降雨开始以前,印度洋北部的水汽输送大值区位于斯里兰卡南侧;夏季风降雨开始以后,印度洋北部的水汽输送大值区位于索马里以东,经斯里兰卡南侧到孟加拉湾一带。

7 结论

1) 华南前汛期持续暴雨过程少数出现在夏季风降水开始之前(5 月),多数出现在夏季风降水开始之后(6 月)。暴雨过程分型结果按数量从多到少依次是 WA 型、EB 型、BA 型与 EB 型;按平均持续时间从长到短依次是 WA 型、BA 型、EA 型与 EB 型。WA 型是华南前汛期最重要的持续性暴雨类型。

2) 4 类持续暴雨过程的相同之处在于,广东东北部附近为暴雨频率与雨量高值区。暴雨期间华南 150 hPa 高层受南亚高压东伸脊影响,且与前期相比,位势高度升高;500 hPa 中层则位于副热带高压的北侧或西侧,且位势高度降低;华南高层位于西风带急流南侧的辐散区中;华南沿海低层有较明显的

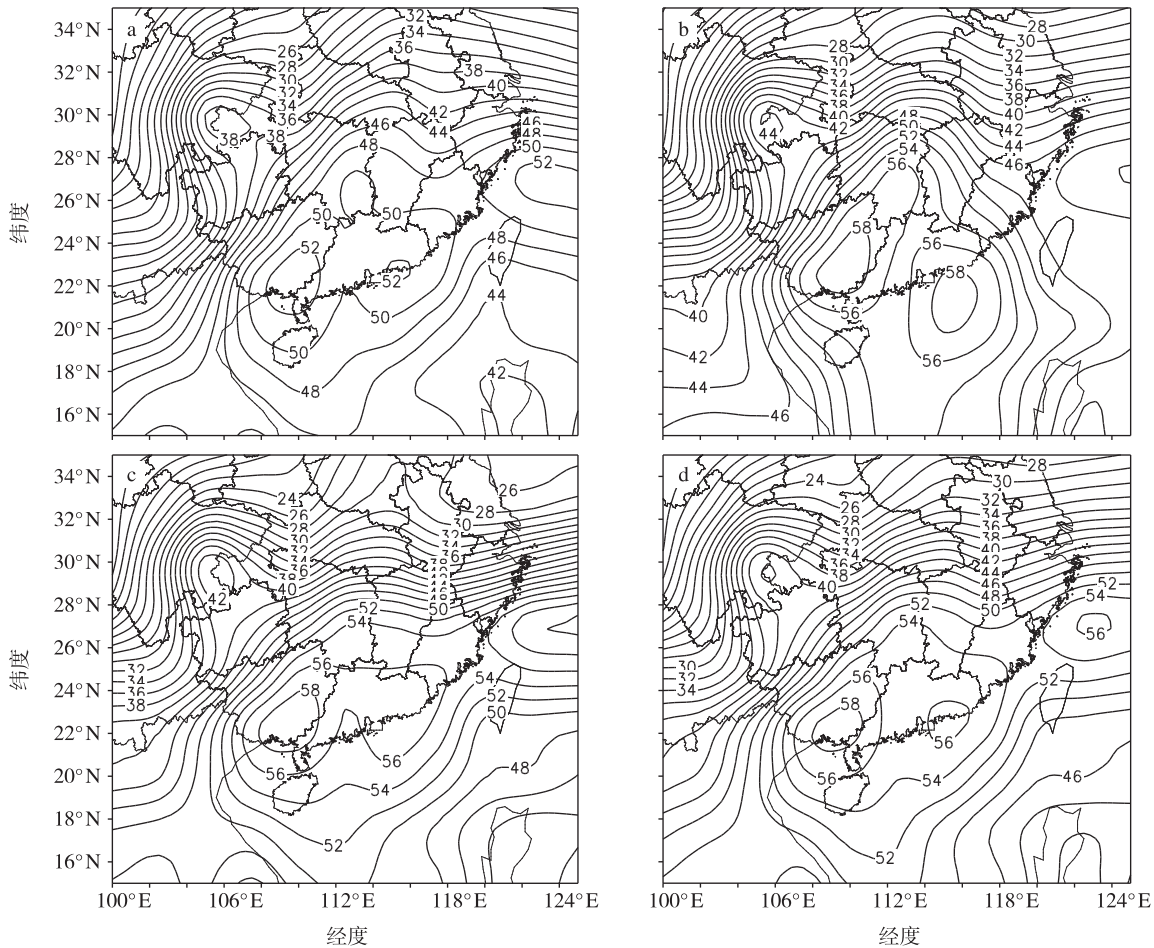


图 6 各型平均华南前汛期持续暴雨过程的可降水量分布(单位: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$) a. EB 型; b. EA 型; c. BA 型; d. WA 型

Fig.6 Composite precipitable water vapor (PWV) in the persistent heavy rain processes during the first rainy season in South China(units: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$) a. east SAH before SCSMR; b. east SAH after SCSMR; c. belt SAH after SCSMR; d. west SAH after SCSMR

西南气流活动, 华南的东北部水平气流辐合最明显; 广西南部低层弱辐散区直接导致当地暴雨频率与强度较小; 华南西部有较明显的可降水量锋区; 两广沿海为可降水量大值区; 华南整层水汽输送主要为西南向。

3) 4 类持续暴雨过程的不同之处在于, WA 型平均雨量相对较小。暴雨期间 BA 型与 WA 型在印度洋上有明显的高空偏东风急流区; 两广沿海 PWV 大值中心, 在夏季风降水开始之前数值较小, 在夏季风降水开始之后数值较大。

华南前汛期暴雨具有影响范围较广、持续时间较长、降水强度大等特征, 其形成机理较复杂, 本文初步研究了华南前汛期持续暴雨的环流分型。由于不同的资料存在差异性, 所以本文结论有待得到更多华南前汛期连续暴雨过程的验证。

致谢: 武汉暴雨研究所徐明、赖安伟同志在数据分析

中给予帮助, 谨致谢忱!

参考文献 (References):

曹鑫, 任雪娟, 孙旭光. 2013. 江淮流域夏季持续性强降水的低频特征分析[J]. 气象科学, 33(4): 362-370. Cao Xin, Ren Xuejuan, Sun Xuguang. 2013. Low-frequency oscillations of persistent heavy rainfall over Yangtze-Huaihe River Basin[J]. J Meteor Sci, 33(4): 362-370. (in Chinese).

陈永仁, 李跃清, 王春国, 等. 2009. 夏季南亚高压与川渝地区降水的关系研究[J]. 高原气象, 28(3): 539-548. Chen Yongren, Li Yueqing, Wang Chunguo, et al. 2009. Study on the relationship between South Asia High and rainfall of Sichuan-Chongqing regions in summer[J]. Plateau Meteorology, 28(3): 539-548. (in Chinese).

池艳珍, 何金海, 吴志伟. 2005. 华南前汛期不同降水时段的特征分析[J]. 南京气象学院学报, 28(2): 163-171. Chi Yanzhen, He Jinhai, Wu Zhiwei. 2005. Features analysis of the different precipitation periods in the pre-flood season in South China[J]. J Nanjing Inst Meteor, 28(2): 163-171. (in Chinese).

丁治英, 刘彩虹, 沈新勇. 2011. 2005—2008 年 5、6 月华南暖区暴雨与

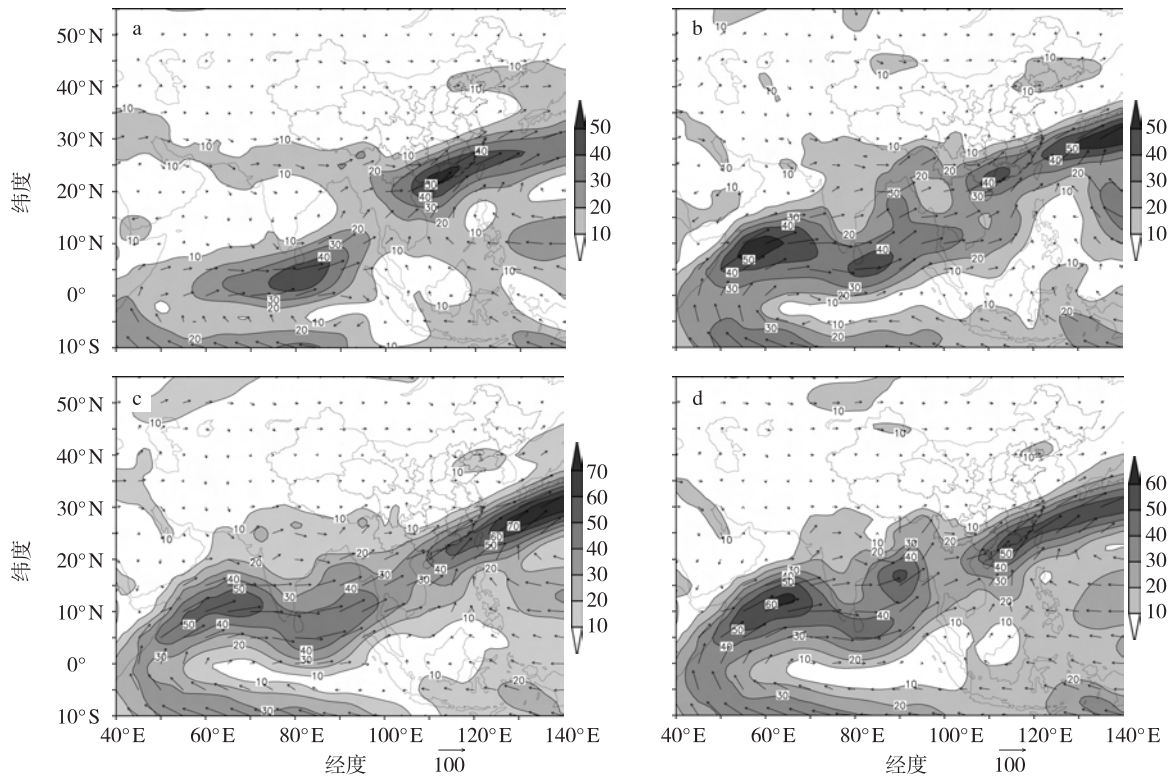


图 7 各型平均华南前汛期持续暴雨过程的整层水汽输送(箭矢;单位: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$;阴影区表示水汽输送超过 $10 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) a.EB 型;b.EA 型;c.BA 型;d.WA 型

Fig.7 Composite water vapor transport(arrows;units: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) integrated from ground to 300 hPa in the persistent heavy rain processes during the first rainy season in South China(shadings denote the water vapor transport more than $10 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) a.east SAH before SCSMR;b.east SAH after SCSMR;c.belt SAH after SCSMR;d.west SAH after SCSMR

高、低空急流和南亚高压关系的统计分析[J].热带气象学报,27(3):307-316. Ding Zhiying, Liu Caihong, Shen Xinyong. 2011. Statistical analysis of the relationship among warm sector heavy rainfall, upper and lower tropospheric jet stream and South Asia High in May and June from 2005 to 2008 [J]. J Trop Meteor, 27(3): 307-316. (in Chinese).

何编,孙照渤.2010.“0806”华南持续性暴雨诊断分析与数值模拟[J].气象科学,30(2):164-171. He Bian, Sun Zhaobo. 2010. Diagnostic analysis and numerical simulation of persistent torrential rain in South China in June 2008 [J]. Scientia Meteorologica Sinica, 30(2):164-171. (in Chinese).

何编,孙照渤,李忠贤.2012.一次华南持续性暴雨的动力诊断分析和数值模拟[J].大气科学学报,35(4):466-476. He Bian, Sun Zhaobo, Li Zhongxian. 2012. Dynamic diagnosis and numerical simulation of a persistent torrential rain case in South China [J]. Trans Atmos Sci, 35(4):466-476. (in Chinese).

胡景高,陶丽,周兵.2010.南亚高压活动特征及其与我国东部夏季降水的关系[J].高原气象,29(1):128-136. Hu Jinggao, Tao Li, Zhou Bing. 2010. Characteristic of South Asia High activity and its relation with the precipitation of East China in summer [J]. Plateau Meteorology, 29(1):128-136. (in Chinese).

姜丽萍,尤红,夏冠聪,等.2007.广东罕见特大致洪暴雨形成机理个例分析[J].气象科技,35(3):374-378. Jiang Liping, You Hong,

Xia Guancong, et al. 2007. Formation mechanism analysis of a flood-inducing heavy rain in Guangdong Province [J]. Meteorological Science and Technology, 35(3): 374-378. (in Chinese).

Liu M, Pei H Y, Yu J W, et al. 2011. On the relationship between 100-hPa South Asia High and Mei-yu in Jiangsu province [J]. J Trop Meteor, 17(3): 302-309.

刘芸芸,丁一汇.2008.印度夏季风与中国华北降水的遥相关分析及数值模拟[J].气象学报,66(5):789-799. Liu Yunyun, Ding Yihui. 2008. Analysis and numerical simulation of the teleconnection between India summer monsoon and precipitation in North China [J]. Acta Meteor Sinica, 66(5): 789-799. (in Chinese).

刘芸芸,何金海,梁建茵,等.2006.亚澳季风区水汽输送季节转换特征[J].热带气象学报,22(2):138-146. Liu Yunyun, He Jinhai, Liang Jianyin, et al. 2006. Features of moisture transport in seasonal transition over Asian-Australian monsoon regions [J]. J Trop Meteor, 22(2): 138-146. (in Chinese).

Meng W G, Zhang Y X, Dai G F, et al. 2008. The formation and development of a mesoscale convective system with heavy rainfall along South China coastal area [J]. J Trop Meteor, 14(1): 57-60.

Qian Y F, Zhang Q, Yao Y H, et al. 2002. Seasonal variation and heat preference of the South Asia High [J]. Adv Atmos Sci, 19(5): 821-836.

王黎娟,郭帅宏.2012.4—5月南亚高压在中南半岛上空建立的年际变化特征及其与亚洲南部夏季风的关系[J].大气科学学报,35

- (1):10-23. Wang Lijuan, Guo Shuaihong. 2012. Interannual variability of the South-Asia high establishment over the Indo-China Peninsula from April to May and its relation to Southern Asian summer monsoon[J]. *Trans Atmos Sci*, 35(1):10-23. (in Chinese).
- Yuan F, Chen W, Zhou W. 2012. Analysis of the role played by circulation in the persistent precipitation over South China in June 2010[J]. *Adv Atmos Sci*, 29(4):769-781.
- 袁媛, 任福民, 王艳娇, 等. 2012. 2012 年华南前汛期降水特征及环流异常分析[J]. *气象*, 38(10):1247-1254. Yuan Yuan, Ren Fuming, Wang Yanjiao, et al. 2012. Analysis of the precipitation feature and general circulation anomaly during the pre-flood season in South China in 2012[J]. *Meteor Mon*, 38(10):1247-1254. (in Chinese).
- 张端禹, 王明欢, 陈波. 2010. 2008 年 8 月末湖北连续大暴雨的水汽输送特征[J]. *气象*, 36(2):48-53. Zhang Duanyu, Wang Minghuan, Chen Bo. 2010. Features of moisture transportation in a continuous torrential rain in Hubei Province at the end of August 2008[J]. *Meteor Mon*, 36(2):48-53. (in Chinese).
- 张娇, 郭品文, 王东勇, 等. 2012. 淮河流域持续性强降水过程的环流变化特征[J]. *大气科学学报*, 35(3):322-328. Zhang Jiao, Guo Pinwen, Wang Dongyong, et al. 2012. Atmospheric circulation change during the persistent and strong precipitation process over the Huaihe River Valley[J]. *Trans Atmos Sci*, 35(3):322-328. (in Chinese).
- 张玲, 智协飞. 2010. 南亚高压和西太副高位置与中国盛夏降水异常[J]. *气象科学*, 30(4):438-444. Zhang Ling, Zhi Xiefei. 2010. South Asia high and the subtropical western Pacific high and its relation to the mid-summer precipitation anomalies over China[J]. *Scientia Meteorologica Sinica*, 30(4):438-444. (in Chinese).
- 张楠, 沈新勇, 杨宇红, 等. 2013. 2008 年 6 月一次华南暴雨过程的云分辨模拟分析[J]. *大气科学学报*, 36(4):447-457. Zhang Nan, Shen Xinyong, Yang Yuhong, et al. 2013. Analysis of cloud-resolving simulation of a heavy rainfall process in South China during June 2008[J]. *Trans Atmos Sci*, 36(4):447-457. (in Chinese).
- 张琼, 钱永甫, 张学洪. 2000. 南亚高压的年际和年代际变化[J]. *大气科学*, 24(1):67-78. Zhang Qiong, Qian Yongfu, Zhang Xuehong. 2000. Interannual and interdecadal variations of the South Asia High[J]. *Chinese J Atmos Sci*, 24(1):67-78. (in Chinese).
- 赵玉春, 王叶红. 2009. 近 30 年华南前汛期暴雨研究概述[J]. *暴雨灾害*, 28(3):193-202; 228. Zhao Yuchun, Wang Yehong. 2009. A review of studies on torrential rain during pre-summer flood season in South China since the 1980's[J]. *Torrential Rain and Disasters*, 28(3):193-202; 228. (in Chinese).
- 郑彬, 梁建茵, 林爱兰, 等. 2006. 华南前汛期的锋面降水和夏季风降水 I. 划分日期的确定[J]. *大气科学*, 30(6):1207-1216. Zheng Bin, Liang Jianyin, Lin Ailan, et al. 2006. Frontal rain and summer monsoon rain during pre-rainy season in South China. Part I: Determination of the division dates[J]. *Chinese J Atmos Sci*, 30(6):1207-1216. (in Chinese).
- Zheng B, Lin A L, Gu D J, et al. 2011. Determination of onset date of the South China Sea summer monsoon in 2006 using large-scale circulations[J]. *J Trop Meteor*, 17(3):202-208.
- 朱科, 张文娟. 2012. 江淮流域持续性暴雨过程前期环流特征[J]. *气象科技*, 40(3):423-427. Zhu Ke, Zhang Wenjuan. 2012. Preceding atmospheric circulation characteristics of persistent heavy rainfall in Yangtze and Huaihe River basin[J]. *Meteorological Science and Technology*, 40(3):423-427. (in Chinese).
- 朱玲, 左洪超, 李强, 等. 2010. 夏季南亚高压的气候变化特征及其对中国东部降水的影响[J]. *高原气象*, 29(3):671-679. Zhu Ling, Zuo Hongchao, Li Qiang, et al. 2010. Characteristics of climate change of South Asia High in summer and its impact on precipitation in eastern China[J]. *Plateau Meteorology*, 29(3):671-679. (in Chinese).
- 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 2000. 天气学原理与方法[M]. 3 版. 北京: 气象出版社: 484-491. Zhu Qiangen, Lin Jingrui, Shou Shaowen, et al. 2000. The principle and method of synoptic meteorology[M]. 3rd ed. Beijing: Meteorological Press: 484-491. (in Chinese).

(责任编辑:倪东鸿)