

2016年和1998年长江中下游梅雨季风环流异同点及物理机制对比分析

鲍媛媛

国家气象中心, 北京 10008

摘要 对比强厄尔尼诺次年2016年和1998年长江中下游梅雨季风环流异同点, 并探讨其物理机制, 结果表明: (1) 2016年梅雨期和1998年两段梅雨期季风环流有诸多相似特征: 副高(西北太平洋副热带高压)偏强偏西, 南亚高压偏强偏东, 孟加拉湾到南海西南季风偏弱; 此外, 华北东部到江淮均有冷槽维持; 副高持续稳定地将西南季风引导至长江中下游形成强西南暖湿气流, 并与来自冷槽的北方南下干冷空气辐合, 在高层辐散形势配合下形成强降雨。(2) 3段梅雨期, 青藏高原附近均为高压脊控制, 受暖平流及高原热源、梅雨凝结潜热等因素影响, 青藏高原到江南、华南一带大气中高层呈大范围强温度正距平; 印度尼西亚群岛附近洋面为海温正距平, 对流和热源偏强; 此二因素是季风环流相似特征形成的重要原因。(3) 2016年梅雨期, 青藏高原暖脊最强, 东部冷槽最浅, 海温正距平范围最大最北, 因而南亚高压和副高位置最北, 梅雨雨带也最北; 梅雨结束后, 中高纬地区无持续冷空气南下, 菲律宾以东洋面、南海及东海海域海温正距平增强, 对流活跃, 因此, 副高显著偏北, 不再出现第2段梅雨。(4) 1998年7月中旬至8月初, 青藏高原上空高压脊较浅, 北部呈位势高度负距平, 冷空气势力较强, 温度偏低, 东部冷槽深, 西北太平洋海温正距平区域维持不变, 故南亚高压和副高异常偏南, 从而出现第2段梅雨。

关键词 青藏高原热力作用 海温异常 季风环流 梅雨

文章编号 doi:10.3878/j.issn.1006-9895.2101.20174

中图分类号: P466

文献标志码 A

Similarities and Differences of Monsoon Circulation during Meiyu in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River between 2016 and 1998 and the Physical Mechanisms

BAO Yuanyuan

National Meteorological Center, Beijing 100081

Abstract The similarities and differences of monsoon circulation during Meiyu in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River between 2016 and 1998 following strong El Nino and the Physical Mechanisms are analyzed here. The results show that: (1) The monsoon circulation during Meiyu in 2016 and two Meiyu periods in 1998 has several similarities: WPSH (Western Pacific Subtropical High) is stronger and westward than usual, SAH(South Asia High) is stronger and Eastward, and Southwest Monsoon is weaker from the bay of Bengal to South China Sea. WPSH continuously guides Southwest Monsoon to the middle and lower reaches of the Yangtze River, forming a strong warm and humid southwest air flow, which converges with the dry and cold air from the cold trough, and causes heavy rainfall under the condition of

收稿日期 2020-06-23; **网络预出版日期**

作者简介 鲍媛媛, 女, 1970 年出生, 正研级高级工程师, 主要从事中期延伸期天气预报及灾害性天气研究。E-mail: baoyy@cma.gov.cn

资助项目 国家重点研发计划重点专项项目 2018YFC1507804, 国家科技支撑计划课题 2015BAC03B06, 中国气象局气象预报业务关键技术发展专项 (YBGJXM (2020) 04), 国家自然科学基金项目 42030611、91937301

Funded by Key Special Projects of National Key R&D Program of China(2018YFC1507804), National Science and Technology Support Program (2015BAC03B06), Key Technology Development Project of Meteorological Forecast of CMA (YBGJXM (2020) 04), National Natural Science Foundation of China (NSFC) (42030611, 91937301)

high-level divergence. (2) During the three periods of Meiyu, there existed a warm ridge above Qinghai Tibet Plateau and nearby. The obviously positive temperature anomalies at middle-upper levels over most of Qinghai Tibet Plateau to Jiangnan and South China due to the warm advection, heat sources over Plateau and latent heat of condensation of Meiyu, Positive SSTA with strong convection and heat sources over Indonesian archipelago, both factors led to the similar characteristics of monsoon circulation. (3) In 2016, during Meiyu period, the strongest warm ridge over Qinghai Tibet Plateau, the shallowest eastern cold trough, the greatest and the most northerly positive SSTA lead to the most northerly SAH and WPSH, and the most northerly Meiyu rain belt. After Meiyu, there was no continuous cold air flowing southward, and the positive SSTA over South China Sea, the eastern ocean of the Philippines and even the East China Sea increased rapidly with active convection, all these led to strong and northerly WPSH, so there is no longer a second Meiyu. (4) In 1998, from middle July to early August, the ridge over Qinghai Tibet Plateau was weak with negative geo-potential height anomalies, so the cold air over northern Qinghai Tibet Plateau was strong, the cold trough in the East was deep, and there was no significant change of positive SSTA in equatorial Northwest Pacific, so SAH and WPSH continued to be strong and abnormally southward, so that the second section of Meiyu appeared.

Keywords Tibetan Plateau thermal effect, SSTA, Summer monsoon, Meiyu

1 引言

我国属于典型而又复杂的季风气候，季风异常是暴雨洪涝和高温干旱等灾害性天气的重要原因。大量的研究表明，海陆热力差异作为驱动季风的根本因素在季风建立和维持中起着至关重要的作用（Li et al., 2017; 丁一汇等, 2018），青藏高原作为一巨大抬升热源对亚洲季风有重要影响（Duan, et al., 2013; Wu, et al., 2015; 吴国雄等, 2018; 姚秀萍等, 2019; 张镇宏等, 2019），而青藏高原雪盖是影响其热力强度的关键因素（朱玉祥等, 2009; Bao, et al., 2010; 段安民等, 2018）。此外，ENSO 循环作为海气相互作用的强信号对季风环流和中国天气气候异常也起着极其重要的作用（Weng, et al., 2011; Kitoh, 2017; 宗海锋等, 2017; 薛峰等, 2018; Shan, et al., 2018; Zhang, et al., 2018; 张宏杰等, 2018; 唐颢苏等, 2019）。上述研究为我国夏季旱涝气候预测提供了重要理论依据。但截至目前，大多研究是针对气候预测需要，采用气候学统计方法在年际差异分析的基础上对某一主要因素的分析或者敏感试验，且研究方向多为“气候因子”对后期环流和旱涝事件的遥相关影响分析。

虽然西北太平洋副热带高压（以下简称副高）、南亚高压、西南季风等季风环流成员作为我国夏季天气变化的直接影响系统，每一个中短期预报员每天都要面对，但对许多预报员而言，季风仍然是一个气候概念，极少有人去分析青藏高原热力作用、ENSO 等“气候因子”对具体天气过程的影响。近年来，10-30 天延伸期天气预报或次季度预报已成为国际气象科学研究新热点领域。新兴的延伸期预报或次季度预报在时效上介于中期预报和气候预测之间，气候因子对大气环流的影响相对于中期预报更为重要。但长期以来气候预测和中短期预报分属不同业务体系，造成天气学与气候学相融合的延伸期天气过程机理研究严重缺乏，因而影响了预报业务发展。

1997-1998年，赤道东太平洋发生了一次超强厄尔尼诺事件。大量研究揭示了该事件对夏季长江全流域性大洪水和嫩江、松花江流域特大洪涝灾害的影响（李维京, 1999; 陈烈庭, 2001; 王钦等, 2012）。2014—2016年，赤道中东太平洋发生了一次1951年以来强度最强持续时间最长的厄尔尼诺事件，峰值强度超过1997-1998年（袁媛等, 2016; 翟盘茂等, 2016）。国家气候中心在2016

年3月基于该事件预测了汛期长江流域异常多雨。汛期来临前，国家气象中心（中央气象台）多次组织学术交流和中期延伸期预报会商，与1998年进行对比。实况，2016年长江中下游确实出现了异常强降雨，但雨带变化与1998年有较大差异。对此，郭栋等（2016）分析认为，1997/1998年El Nino事件中赤道西太平洋海温明显偏冷，而2015/2016年基本表现为偏暖，可能是造成1998年6-7月副高较2016年同期偏西偏南的原因。袁媛等（2017年）分析认为是前冬至春季海温距平分布、青藏高原积雪等不同引起的。上述两位主要基于月平均资料进行气候学诊断分析，能揭示海洋和青藏高原积雪等对大气环流和降水的远期影响。但是，由于缺少对两次事件发展过程的详细对比分析，不能完全揭示造成降水时空差异，特别是雨带过程变化差异的物理原因。

本文将基于逐日资料采用天气学诊断方法详细分析2016年和1998年我国东部主雨带变动过程，分析此两年季风环流异同点及其主雨带的影响。并通过对比分析此两年亚太地区大气热力结构、热带对流、热源、海温等过程性变化的异同点，探讨青藏高原热力作用、海温异常等传统意义上的“气候因子”的区域性阶段性变化对季风环流和主雨带延伸期尺度变化的影响和机制，为延伸期和次季度业务预报提供思路。

2 资料和方法

本文所用资料包括：（1）NCEP/NCAR（National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research）2016年和1998年6-8月逐日平均风、位势高度、温度、比湿等气象要素及其多年平均再分析资料（ $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ）；（2）NOAA（National Oceanic and Atmospheric Administration）2016年和1998年6-8月逐日OLR及其多年平均资料；（3）NOAA 2016年和1998年逐日平均海温距平；（4）国家气象中心2016年和1998年全国2435个站点降水资料。热源按照Yanai等（1973）提供的公式计算。文中涉及的地图是基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为GS(2016)1600号的中国地图和GS(2016)1567号世界地图制作，底图无修改。

3 降雨时空分布对比

图1为2016年和1998年6-8月中国东部地区 $107.5^{\circ} \sim 120^{\circ} \text{E}$ 平均日降雨量的纬度-时间剖面图。可见，2016年夏季长江中下游仅在6月19日7月6日梅雨期间出现了持续性强降雨过程（图1a），强降水中心出现在沿江一带，湖北东部、安徽南部、江西北部等地大部地区累计降雨量有600~800毫米，部分地区超过800毫米（图2a）。

1998年长江中下游有两段持续性强降雨过程，分别出现在6月12-27日（第1段梅雨）、7月17日至8月2日（第2段梅雨）（图1b）。两段梅雨强降雨中心均出现在江南北部（图2b、c），较2016年梅雨雨带偏南。第1段梅雨，湖南东北部、江西北部、福建西北部等地累计降雨量有600~900毫米、局部1000毫米以上。第2段梅雨，强降雨出现在湖北东部、安徽南部、江西北部等地，降雨量有400~600毫米、局部800毫米以上。

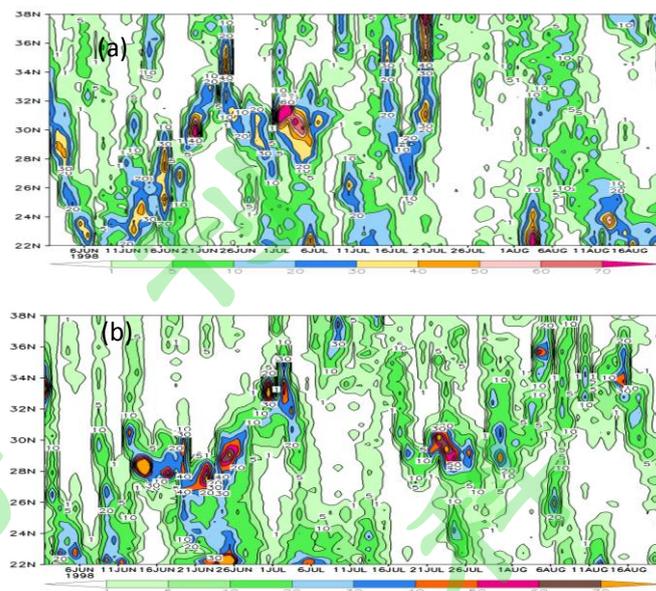


图1 2016年(a)及1998年(b)年6月至8月20日107.5°~120°E平均日降雨量(单位: mm)的纬度-时间剖面
Fig.1 Profile of average daily precipitation (units: mm) along 107.5°-120°E from June to August 20 in 2016 (a) and 1998 (b)

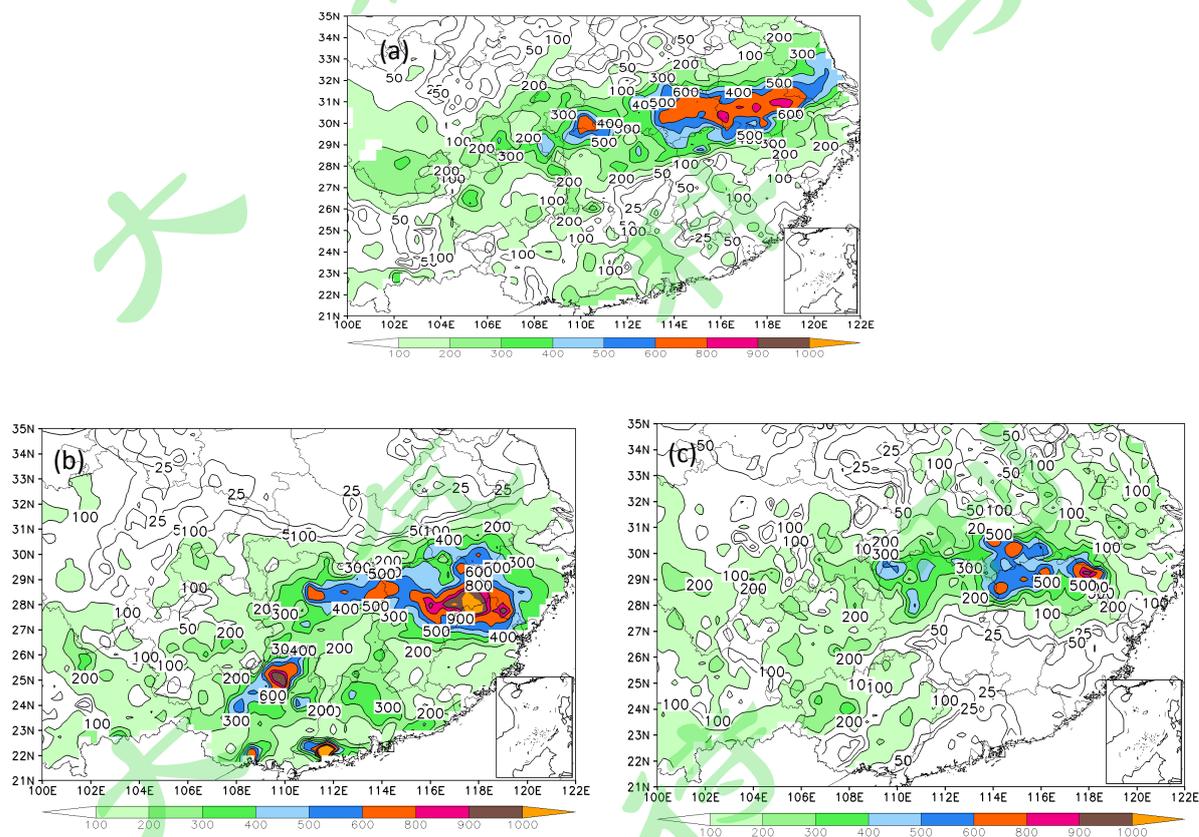
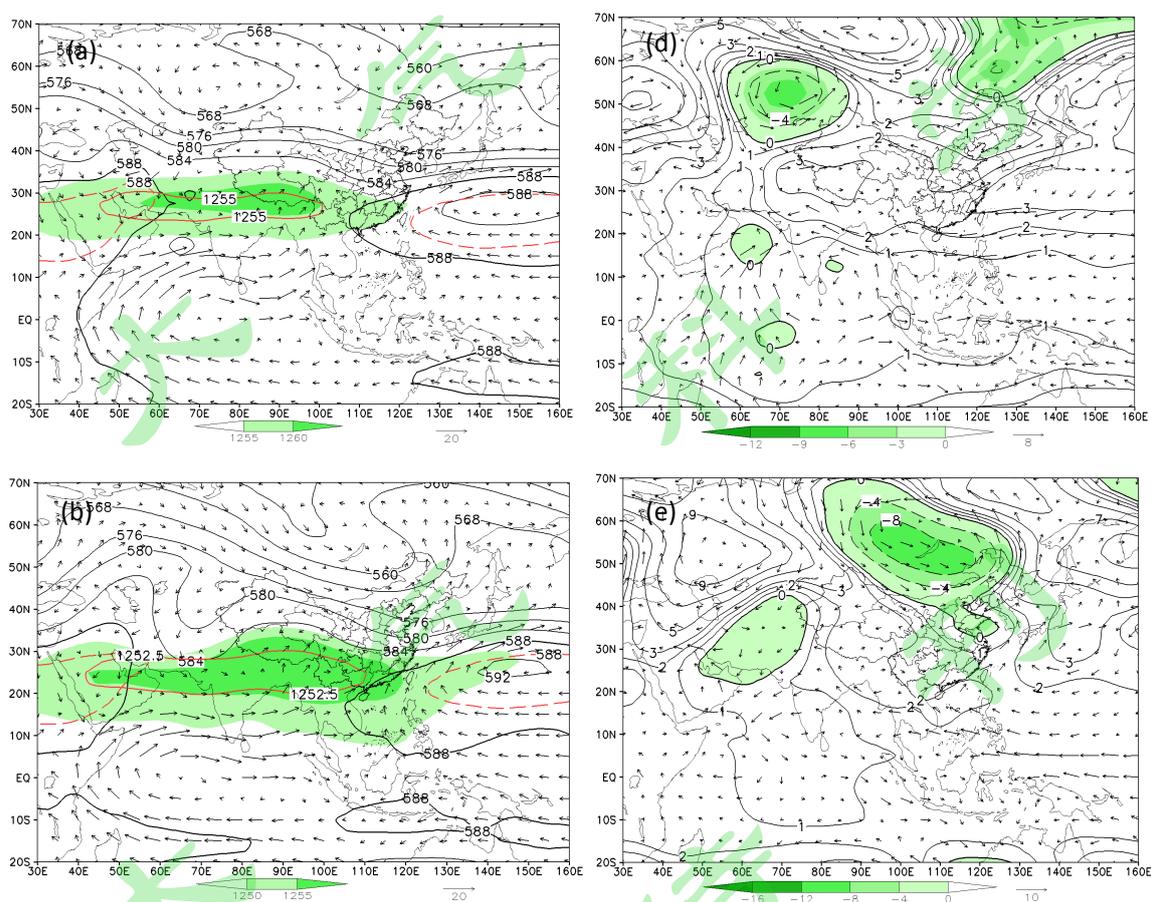


图2 2016年梅雨期(a)和1998年第1段(b)、第2段(c)梅雨期累计降雨量(单位: mm)
Fig.2 Accumulated precipitation(units: mm) during Meiyu in 2016 (a) , during the first (b) and the second (c) period of Meiyu in 1998

4 季风环流异常变化特征对比

图 3 为 2016 年和 1998 年梅雨时段环流形势及距平图。可见，3 段梅雨季风环流有诸多相似之处：副高偏强偏西，南亚高压偏强偏东，从孟加拉湾到南海西南季风偏弱。3 段梅雨季风环流的差异表现在：2016 年梅雨期副高西段和南亚高压东段（图 3a）均较 1998 年两段梅雨期（图 3b、c）偏北；2016 年梅雨期，索马里急流明显偏强，孟加拉湾至南海越赤道气流大体接近常年（图 3d）；1998 年两段梅雨期，赤道印度洋至南海越赤道气流无明显异常（图 3e、f）。此外，2016 年梅雨期，中高纬度为 3 阻型，1998 年两段梅雨期中高纬为双阻型；3 段梅雨期，青藏高原附近均为高压脊，以 2016 年梅雨期高压脊最强，1998 年第 2 段梅雨期最弱，青藏高原北部地区甚至为位势高度负距平（图 3f）。3 段梅雨期，华北东部到江淮东部一带均为冷槽，以 2016 年最浅，1998 年第 2 段梅雨期最深。3 段梅雨期，长江中下游均处于南亚高压东北象限气流发散处；虽然西南季风偏弱，但强大的副高持续稳定地将西南季风引导至江南至华南北部，使得这一带西南暖湿气流偏强，与冷槽引导的北方南下干冷空气在长江中下游辐合，在高层辐散形势配合下形成强降雨。2016 年梅雨期，副高和南亚高压均最北，冷槽最浅，因而雨带最北。



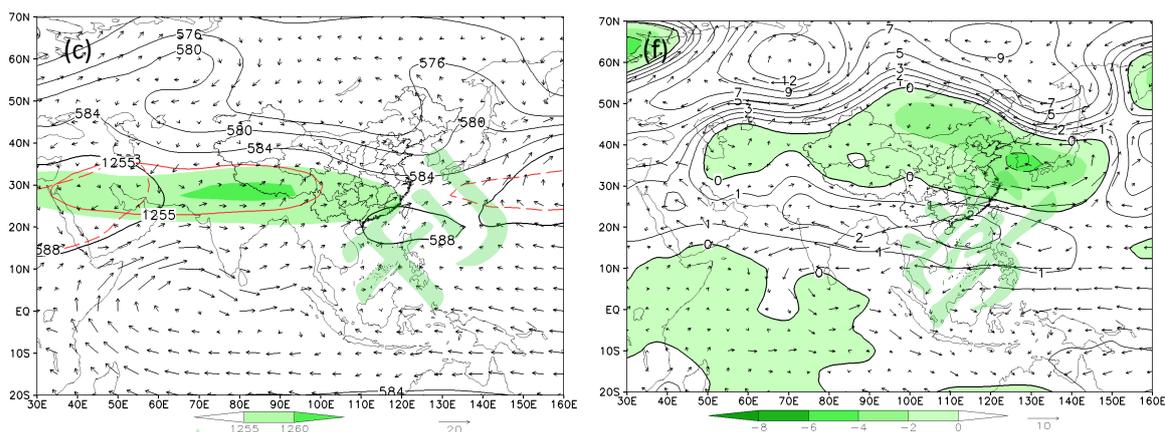


图3 2016年梅雨期(a)、1998年第1段(b)和第2段(c)梅雨期平均500hPa(黑实线)和200hPa(阴影)位势高度(单位: dagpm)及850hPa风(矢量,单位: $m s^{-1}$) (红色虚线为多年平均500hPa 588dagpm线,红色实线为多年平均200hPa位势高度线); d、e、f分别为相应时段500hPa位势高度距平(线条,阴影表示负值,单位: dagpm)和850hPa风矢量距平(单位: $m s^{-1}$)

Fig.3 Mean 500hPa (black solid lines) and 200hPa (shaded) geo-potential heights (units: dagpm) and 850 wind vectors (units: $m s^{-1}$) during Meiyu in 2016 (a), the first (b) and the second (c) period of Meiyu in 1998 (Red dotted lines represent multiyear average 500hPa 588dagpm lines, red solid lines represent multiyear average 200hPa heights,); d, e, f is the respective anomalies of 500hPa geo-potential heights (lines, the shaded indicates negative, units: dagpm) and 850 winds (vectors, units: $m s^{-1}$)

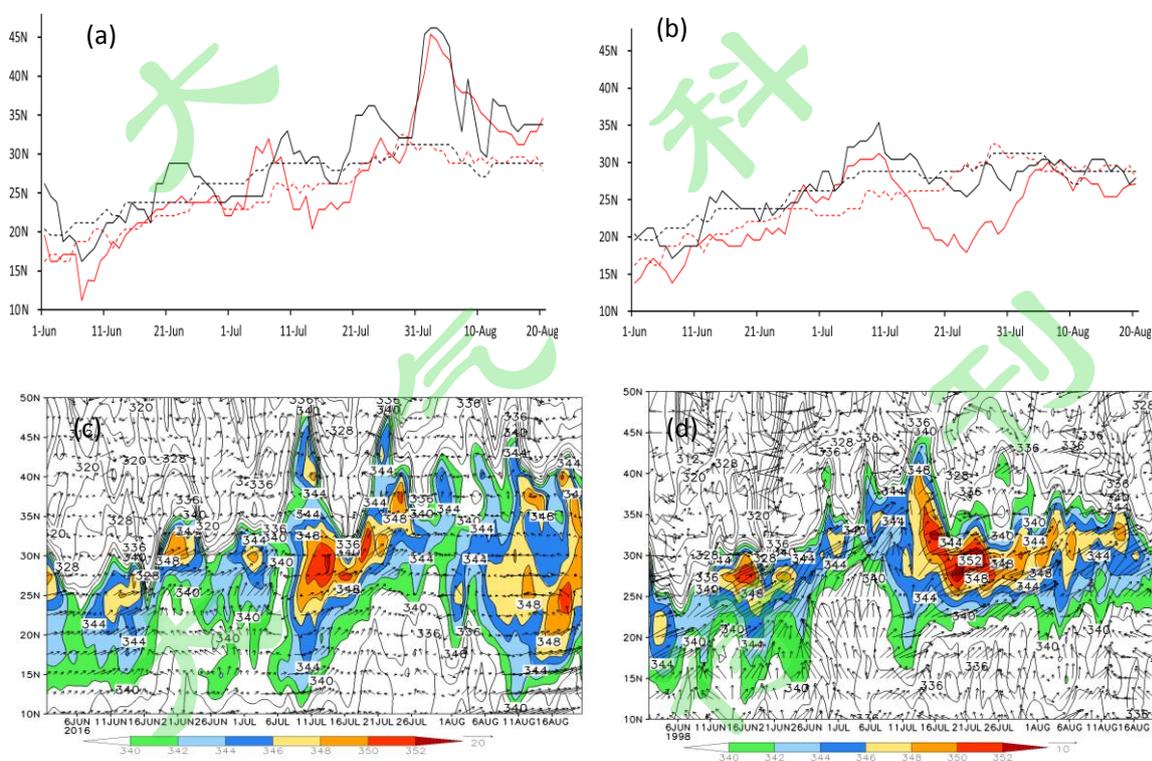


图4 2016年(a)和1998年(b)6月至8月20日副高西段脊线(红色实线)及南亚高压东段脊线(黑色实线)所在纬度(单位: $^{\circ}$)随时间演变(红色、黑色虚线分别为相应多年平均); c和d分别为此两年沿 $107.5^{\circ} \sim 120^{\circ}E$ 平

均 850hPa 风矢量和假相当位温 θ_{se} (线条和阴影; 单位: K) 的时间-纬度剖面

Fig.4 Time series of the latitude of WPSH western ridge (red solid line) and SAH eastern ridge (black solid line) from June to August 20 in 2016(a) and 1998(b) (Dotted lines represent multi-year average); c and d is the respective latitude-time profile of winds and potential pseudo-equivalent temperature θ_{se} (lines and shading, units: K) along 107.5°-120°E

副高西段脊线和南亚高压东段脊线所在纬度的逐日演变曲线 (图 4a、b) 显示, 这两年, 副高和南亚高压脊线两者变化趋势基本一致。2016 年 6 月中旬开始, 副高脊线逐渐北抬, 6 月 19 日接近多年平均值, 梅雨开始; 7 月 6 日突然北跳到 30°N, 梅雨结束。在此期间, 850hPa 季风涌在 30°N 附近摆动 (图 4c)。7 月中旬, 副高脊线明显南落到 20°~23°N, 但由于中高纬度为移动性槽脊, 没有冷空气持续影响长江中下游地区, 因而没有出现持续性降雨。7 月下旬, 副高脊线再次北抬, 至 8 月底前, 较常年显著偏北, 主雨带再也没能南退到长江中下游。

1998 年, 副高脊线于 6 月 12 日北抬到 19°~20°N, 至 6 月 27 日均稳定少变; 江南北部出现持续性季风涌 (图 4d), 由此带来第 1 段梅雨。6 月 28 日, 副高脊线北抬至 25°N, 第 1 段梅雨结束。7 月 17 日, 副高脊线南落至 23°N 以南, 直至 8 月 2 日, 较常年偏南达 5~12 个纬距, 最南达到 18°N 附近。江南北部至汉水下游出现持续性季风涌, 由此带来第 2 段梅雨。在此期间, 江淮及江南东北部地区由于冷槽过于偏深, 为冷气团控制, 降水较弱。8 月 3 日后, 副高脊线北抬, 至 8 月中旬, 一直在 25°~28°N 之间摆动, 与常年同期相比仍偏南; 处于副高西部和北部外围的长江上游及黄淮出现强降雨过程。

5 季风环流异同点成因分析

5.1 亚太热力结构对比

图 5 为 3 段梅雨期大气中高层 (300~500hPa) 平均温度及其距平。可见, 3 段梅雨期亚太大气暖中心均位于青藏高原南部至孟加拉湾北部, 比多年平均明显偏强, 青藏高原及至江南、华南呈大范围温度正距平, 因而对于南亚高压偏强偏东有利 (Liu et al., 2004; Qian et al., 2002; 彭丽霞等, 2016)。同时南亚高压偏强偏东对副高偏强偏西也有利 (刘还珠等, 2006; 余丹丹等, 2014)。显然, 温度正距平与高压脊控制下冷空气势力弱有关。同时, 也与中纬度西风带暖平流、南亚和东南亚反气旋暖平流以及青藏高原及附近地区热源有关。此外, 江南、华南一带温度正距平与梅雨凝结潜热释放也有关。2016 年梅雨期 (图 5a) 和 1998 年第 1 段梅雨期 (图 5b), 青藏高原北部为庞大的高压脊和强位势高度正距平 (见图 3 a、b、d、e), 温度正距平更明显; 其中, 又以 2016 年最为显著, 同时该年东亚槽也最浅, 因而南亚高压最强最北, 副高西段也最强最北。1998 年第 2 段梅雨期 (图 5c), 青藏高原北部高压脊较浅, 500hPa 位势高度为负距 (见图 3c、f), 冷空气势力较强, 受高纬度冷平流影响最为显著, 呈温度负距平, 暖中心偏南; 此外, 东部冷槽也最深; 因此, 南亚高压明显偏南, 副高也显著偏南。从逐日演变来看 (图略), 3 段梅雨出梅和入梅过程中, 副高脊线的变动多与青藏高原大气中上层温度变化有关, 其中 1998 年偏早入梅主要是因为青藏高原

处于暖脊控制下，呈强的温度正距平，南亚高压加强北跳，副高受其吸引北抬，并西伸至青藏高原东南部，脊线达到入梅的标准（图略）。

2016 年梅雨期，赤道印度洋至赤道太平洋大气中高层温度均较常年同期偏高 $0.5\sim 1^{\circ}\text{C}$ 。70°E 以西印度半岛西北部至阿拉伯海北部温度正距平在 $1.5\sim 2^{\circ}\text{C}$ 之间，高于同经度赤道洋面，因而，索马里越赤道气流和西南季风偏强；70°E 以东，印度洋东部至印度尼西亚群岛温度正距与同经度孟加拉湾北部至南海北部一带温度正距平大体相当，越赤道气流无明显倾向性偏差。1998 年两段梅雨期，赤道印度洋西段温度正距平较弱，对应同经度印度半岛西北部至阿拉伯海北部温度正距平也较弱；印度洋东部至印度尼西亚群岛温度正距平相对较明显，达到了 $0.5\sim 1^{\circ}\text{C}$ ，但与同经度孟加拉湾北部至华南一带温度正距平也大体相当；因此，从赤道印度洋至印度尼西亚群岛越赤道气流均接近常年。

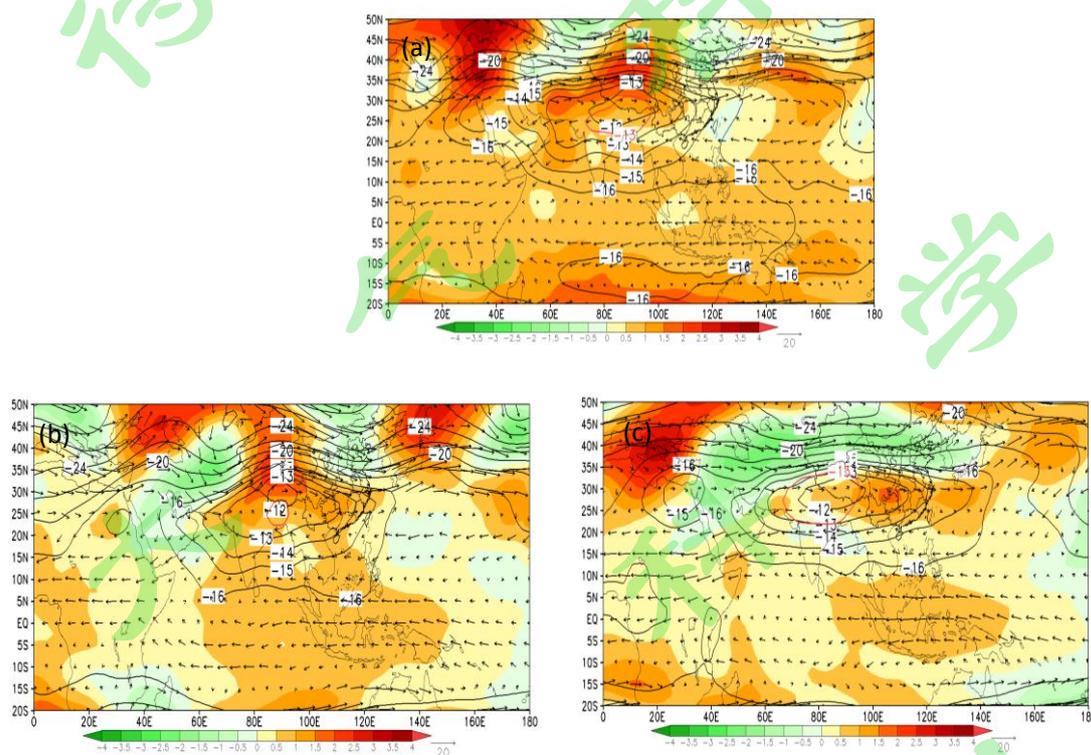


图 5 300~500hPa 平均温度（黑实线，单位： $^{\circ}\text{C}$ ）及其距平（阴影）、平均风（矢量，单位： m s^{-1} ）（a 为 2016 年梅雨段，b、c 分别为 1998 年第 1、第 2 段梅雨，红色线为多年平均温度 -13°C 、 -12°C 线）

Fig.5 300~500hPa mean temperature (black solid lines, units: $^{\circ}\text{C}$) and the anomalies (shaded), mean winds (vectors, units: m s^{-1}) (a is for Meiyu in 2016, b and c is for the first and the second period of Meiyu in 1998, the red lines are multi-year average temperature of -13°C 、 -12°C)

5.2 热带对流

研究表明，热带对流加热可能是联系亚洲季风与 ENSO 的关键因素（Ju and Slingo, 1995; Huang et al., 2012）。黄荣辉和孙凤英等（1994）研究表明，西太平洋暖池对流活动对副高异常活动有重要影响。在中期预报中，热带对流或者台风是否活跃也是判断副高发展动向的重要依据。2016 年梅雨期（图 6a）和 1998 年第 1 段梅雨期（图 6b），海南南部、印度尼西亚群岛、菲律宾群岛及以

东洋面均为明显偏强的对流区，与副高偏强偏西一致，其中 2016 年梅雨期对流区更北，副高也更北。1998 年第 2 段梅雨期（图 6c），南海大部、菲律宾群岛附近对流偏弱，对流偏强区域位于赤道印度洋东部、印度尼西亚群岛，较常年赤道辐合带显著偏南，副高也显著偏南。

110°~140°E 平均 OLR 及其距平的纬度—时间剖面显示（图 7），2016 年 ITCZ（图 7a）与副高脊线（见图 4a）变化趋势基本一致。6 月 17 日开始，赤道辐合带非常活跃，副高北抬，随后梅雨开始；至 7 月 4 日，赤道辐合带北界维持在 16°N 左右，副高脊线维持少变。7 月 5 日后，ITCZ 北抬，副高脊线北抬，梅雨随之结束。7 月 10 日至中旬，ITCZ 明显偏弱，副高南落。7 月下旬开始，赤道辐合带再次活跃，副高显著偏北。

1998 年入梅时 ITCZ 并不活跃（图 7b），副高脊线北抬主要受南亚高压影响。6 月下旬中后期，赤道辐合带加强北抬，从而副高北抬，第 1 段梅雨结束。7 月中旬中后期，赤道辐合带明显南掉减弱，副高变化与之一致，由此出现第 2 段梅雨。8 月初，赤道辐合带再次加强北抬，但较常年仍偏南，副高脊线也偏南，这种偏南趋势一致维持到 8 月中旬。

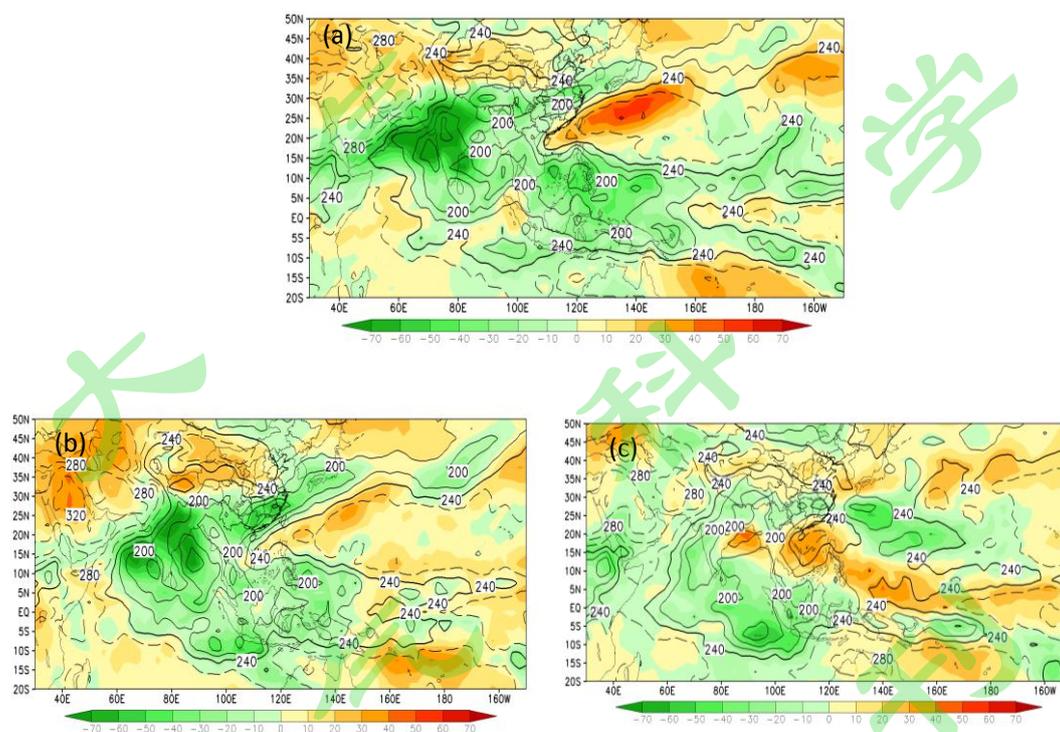


图 6 平均 OLR（线条，单位： W m^{-2} ）及其距平（阴影，单位： W m^{-2} ）（a 为 2016 年梅雨期、b 和 c 分别为 1998 年第 1、第 2 段梅雨）

Fig.6 Mean OLR (lines, units: W m^{-2}) and the anomalies (shaded, units: W m^{-2}) (a is for Meiyu in 2016, b and c is for the first and the second period of Meiyu in 1998)

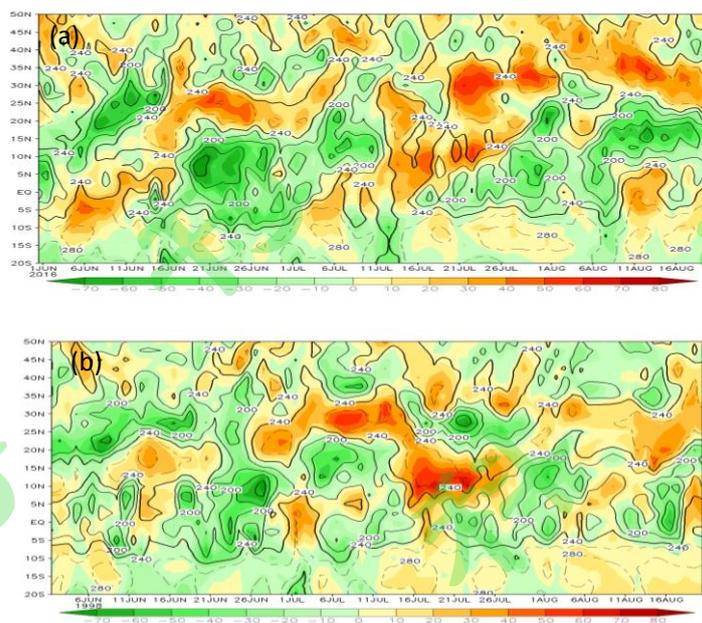


图7 2016年(a)及1998年(b)6月至8月20日110°~140°E平均OLR(线条,单位:W m⁻²)及其距平(阴影,单位:W m⁻²)的纬度—时间剖面

Fig.7 Latitude-time profile of OLR (lines, units: W m⁻²) and the anomalies (shaded, units: W m⁻²) along 110°-140°E from June to August 20 in 2016 (a) and 1998 (b)

5.3 热源

整层积分的大气视热源<Q1>及其距平以及视水汽汇<Q2>及其距平(图8)显示,3段梅雨期,印度尼西亚群岛附近对流偏强区域(见图6)均为偏强视热源和视水汽汇。2016年梅雨期,对流最强范围最大,视热源和视水汽汇也最强,范围最大,最为偏北,其北侧达到了南海及菲律宾中部及以东洋面(图8a、d);该热源的存在对副高偏强偏西以及偏北非常有利(刘屹岷等,1999)。1998年两段梅雨期,视热源正距平(图8b、c)和视水汽汇正距平(图8e、f)位置均较2016年梅雨期偏南,第2段梅雨期偏南尤为显著,有利于副高西段偏南。

3段梅雨期间,青藏高原视热源均偏强,对其上空温度正距平有利。其中,青藏高原南部为明显视热源和视水汽汇,对流也偏强(见图6),说明凝结潜热在热源中占据重要地位;而青藏高原北部对流偏弱,视水汽汇也偏弱,说明热源以感热为主。2016年梅雨期和1998年第1段梅雨期间,青藏高原北部热源正距平较弱,显然,大气中高层温度显著偏高跟暖脊和暖平流输送关系更为密切。1998年第2段梅雨期,青藏高原北部为弱热源负距平,跟较强的温度负距平也不匹配,温度偏低主要由冷平流造成。

2016年梅雨期,阿拉伯海北部显著偏强对流区域对应显著偏强视热源和视水汽汇,对流凝结潜热释放在这一带形成强温度正距平(见图5a),且高于同经度赤道地区;因而,索马里越赤道气流明显偏强。即使在索马里急流偏强的情况下,受强大副高影响,孟加拉湾至南海一带西南季风仍然偏弱。1998年两段梅雨期,印度半岛中北部对流和热源与同经度赤道印度洋西部无显著差异,温度

距平也相当，索马里急流接近常年同期。

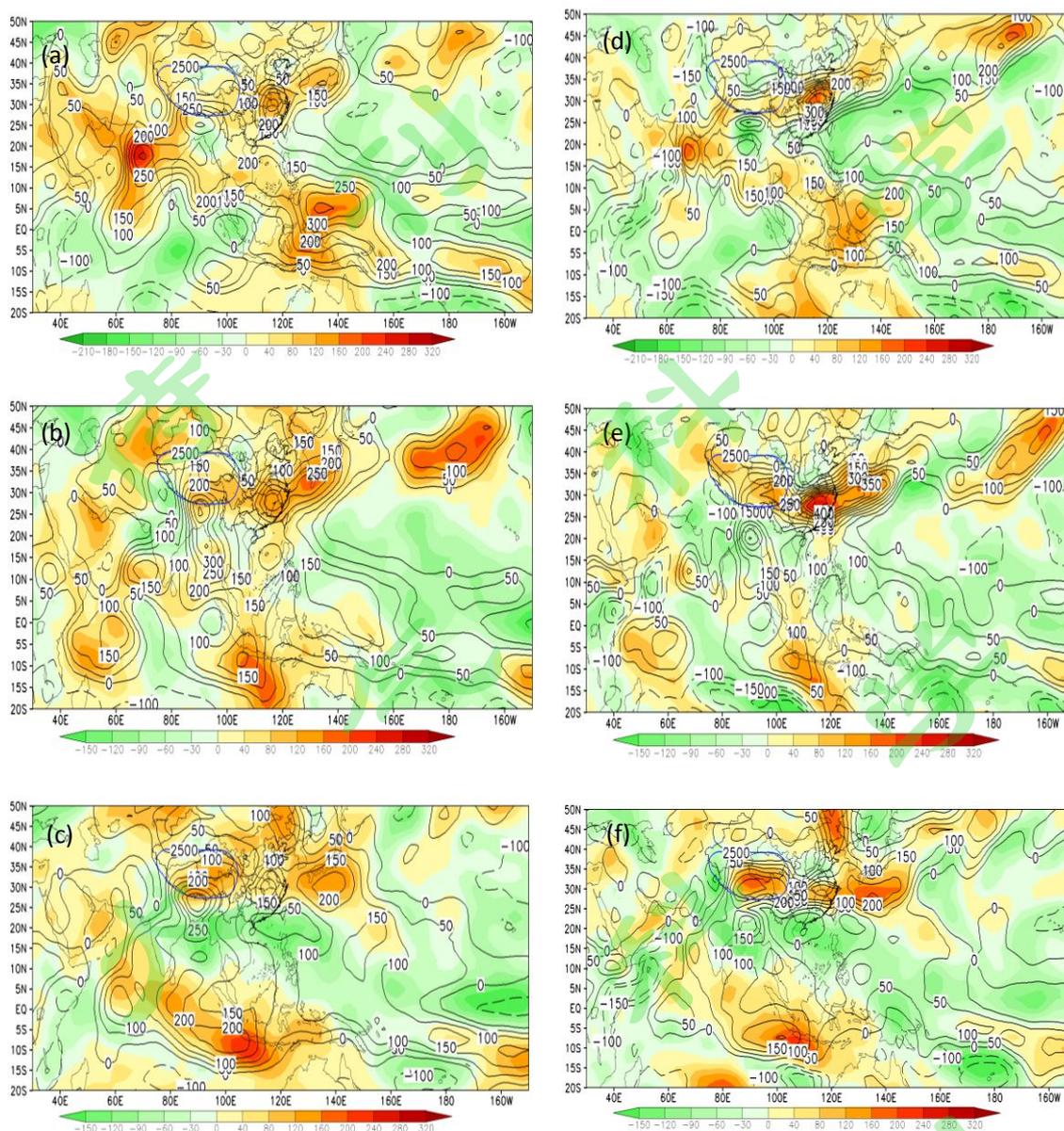


图8 整层积分的视热源（线条，单位： W m^{-2} ）及其距平（阴影）（a为2016年梅雨期、b和c分别为1998年第1、第2段梅雨）；d-f为相应视水汽汇（线条，单位： W m^{-2} ）及其距平（阴影）

Fig.8 Whole levels integrated heat sources (lines, units: W m^{-2}) and the anomalies(shaded) (a is for Meiyu in 2016, b and c is for the first and the second period of Meiyu in 1998) ;d-f is the respective moisture sinks(lines, units: W m^{-2}) and the anomalies(shaded)

5.4 海温异常对比

图9为三个梅雨时段实时海温距平分布。可见，三段梅雨期，海温距平有相似之处，在印度尼西亚群岛周边海域均为海温正距平，对应对流和热源均偏强，对副高偏强偏西有利。2016年梅雨期（图9a），赤道西太平洋海温正距平相对于1998年两个梅雨期（图9b、c）强度更强、范围更大，对流和热源也更强、范围更大，副高也最强最北；赤道印度洋西部海温主要呈负距平，而阿拉伯海

北部海温呈显著正距平, 对流和热源明显偏强, 大气中高层温度明显偏高, 对应索马里越赤道气流明显偏强。

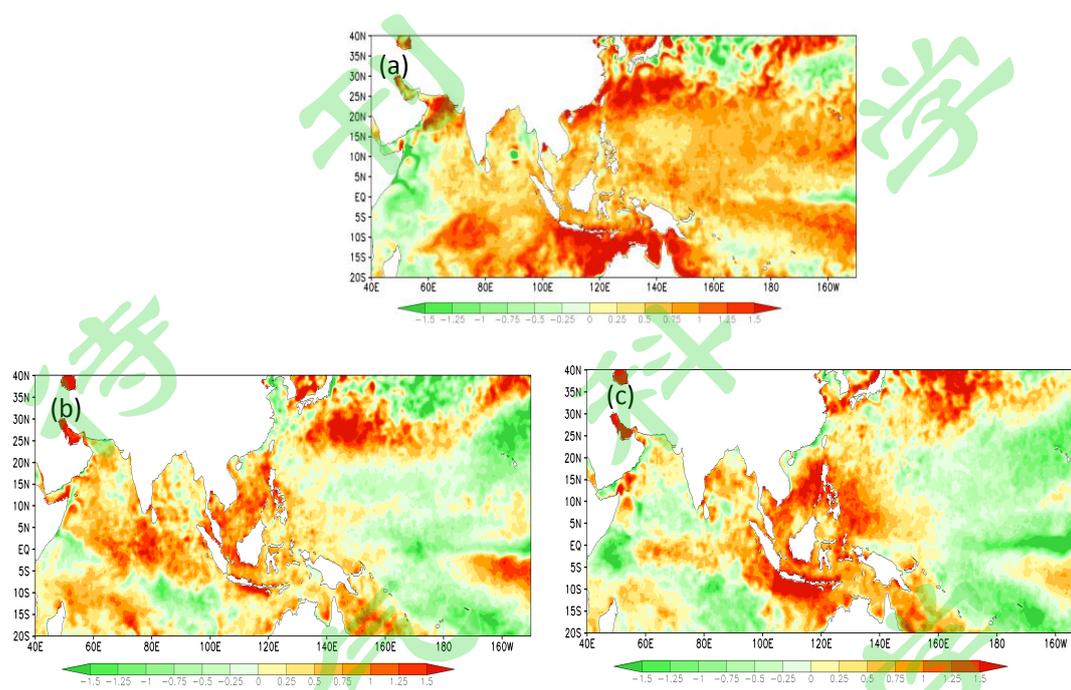


图9 海温距平 (a 为 2016 年梅雨期, b 和 c 分别为 1998 年第 1、第 2 段梅雨期, 单位: $^{\circ}\text{C}$)

Fig.9 SST anomalies (a is for Meiyu in 2016, b and c is for the first and the second period of Meiyu in 1998, units: $^{\circ}\text{C}$)

2016 年出梅后, 南海、菲律宾以东洋面及东海海域海温正距平显著增强, 对流活跃 (图略), 副高脊线逐步北抬; 8 月上旬之后, 这一带海温正距平的影响更加凸显 (图略), 赤道辐合带加强北抬, 副高显著偏强偏北。1998 年第 1 段梅雨后, 海温正距平区域无明显变化, 只是强度有所增强, 南海中南部海域和菲律宾中南部以东洋面海温正距平增加明显, 有利于副高西段偏南和第 2 段梅雨出现。直到 8 月初之后, 南海北部海域和菲律宾北部及以东洋面海温正距平继续维持并加强 (图略), 副高西段强大, 脊线北抬, 但仍较常年略偏南, 其西北部外围长江上游出现强降雨过程, 再次给长江带来洪峰。

6 结论和讨论

本文对比分析了两个强 El Nino 事件次年 2016 年和 1998 年长江中下游梅雨季风环流变化异同点, 探讨了造成异同点的物理机制, 得出以下结论:

(1) 2016 年梅雨期和 1998 年两段梅雨期季风环流具有诸多共同特点: 副高偏强偏西, 南亚高压偏强偏东, 孟加拉湾到南海西南季风偏弱。此外, 3 段梅雨期, 华北东部到江淮均有冷槽维持。副高持续将西南季风引导至长江中下游形成偏强西南暖湿气流, 并与冷槽干冷空气辐合, 在高层辐散形势配合下形成强降雨。2016 年梅雨期, 副高西段脊线和南亚高压东段脊线均较 1998 年两段梅

雨期明显偏北，东部冷槽最浅，因而雨带偏北；梅雨结束后，无持续冷空气南下，7月下旬之后副高和南亚高压脊线北抬，较常年同期明显偏北，因而未能出现第2段梅雨。1998年，入梅偏早，7月中旬后期至8月初，副高脊线显著偏南，因而出现第2段梅雨。

(2) 中高纬度环流对青藏高原热力条件的影响以及东部冷槽活动是造成季风环流异同点的重要因素。3段梅雨期，青藏高原附近均为高压脊控制。受暖平流及高原热源、梅雨凝结潜热等因素影响，青藏高原到江南、华南一带均呈现大范围强温度正距平，有利于南亚高压偏强偏东、副高偏强偏西。2016年梅雨青藏高原附近暖脊最强、东部冷槽最浅，因而南亚高压脊线和副高脊线最北；梅雨之后，中高纬度无明显阻塞形势，青藏高原上空为强温度正距平，东部无冷槽维持，有利于南亚高压和副高偏北。1998年7月下旬至8月初，青藏高原附近高压脊最浅，高原北部为高度负距平，冷空气势力偏强，温度偏低，东部槽偏深，有利于副高和南亚高压脊线偏南。

(3) 实时海温是造成季风环流变化异同点的另一重要因素。3段梅雨期，印度尼西亚群岛附近洋面均为海温正距平，对应对流和热源偏强，对副高偏强偏西有利。2016年梅雨期，印度尼西亚群岛附近海温正距平范围更大，对流和热源更强范围更大，对副高偏强以及偏北有利；梅雨之后，南海、菲律宾以东洋面及东海海域海温正距平增强，对流活跃，有利于副高进一步北抬。1998年第1段梅雨后，海温正距平区域无明显变化，只是强度有所增强，有利于副高持续偏南。

从上述分析可知，虽然2016年和1998年同为超强厄尔尼诺事件次年，但是中高纬度环流形势以及实时海温的不同时空分布特征等因素造成了不同的季风环流和梅雨雨带变化特征。在ENSO大背景下，海温异常的区域性差异及阶段性变化，中高纬度环流对青藏高原及附近地区热力结构的影响等细节是气候预测难以掌握的，是影响气候趋势准确度的重要因素，但却是延伸期预报的着眼点和切入点以及价值所在。因此，延伸期天气预报不能只分析数值模式的环流和要素产品，也需要将“青藏高原热力作用”、ENSO等传统观念中的“气候因子”的阶段性和区域性特色变化分析引入日常预报技术流程，形成天气学和气候学相融合的延伸期预报思路，这才是延伸期天气预报区别于中短期预报的本质特色。

参考文献 (References)

- Bao Y Y, Jv J H, Jin R H. 2010. Reasons for the late onset and anomalous southward persistence of the China Sea Summer Monsoon in 2005[J]. *Journal of Tropical Meteorology*, 16 (1) :27-34
- 陈烈庭. 2001. 青藏高原异常雪盖和 ENSO 在 1998 年长江流域洪涝中的作用 [J]. *大气科学*, 25(2):184-192.
- Lieting. 2001. The role of the anomalous snow cover over the Qinghai-Xizang Plateau and ENSO in the great floods of 1998 in the Changjiang river valley[J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 25(2) :184-192
- 丁一汇, 司东, 柳艳菊, 等. 2018. 论东亚夏季风的特征、驱动力与年代际变化 [J]. *大气科学*, 42(3) :533-558.
- Ding Yihui, Si Dong, Liu Yanju, et al. 2018. On the characteristics, driving forces and inter-decadal variability of the East Asian summer monsoon [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*,

- 42(3):533-558. doi:10.3878/j.issn.1006-9895.1712.17261
- Duan A M, Wang M R, Lei Y H, et al. 2013. Trends in summer rainfall over China associated with the Tibetan Plateau sensible heat source during 1980-2008 [J]. *Journal of Climate*, 26(1): 261-275. doi:10.1175/Jcli-D-11-00669.1
- 段安民, 肖志祥, 王子谦. 2018. 青藏高原冬春积雪和地表热源影响亚洲夏季风的研究进展[J]. *大气科学*, 42(4):755-766. Duan Anming, Xiao Zhixiang, Wang Ziqian. 2018. Impacts of the Tibetan Plateau winter/spring snow depth and surface heat source on Asian summer monsoon: A review [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 42(4): 755-766. doi:10.3878/j.issn.1006-9895.1801.17247
- 郭栋, 王琳玮, 李震坤, 等. 2016. 2015/2016和1997/1998超强El Nino衰减年我国夏季降水异常的比较 [J]. *大气科学学报*, 39(6):835-844. Guo Dong, Wang Linwei, Li Zhenkun, et al. 2016. Comparison between anomalies of summer rainfall in China in decaying years during super El Nino events of 2015/2016 and 1997/1998 [J]. *Transactions of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 39(6):835-844. doi:10.13878/j.cnki.dqkxxb.20160828010
- Huang R H, Chen J L, Wang L, et al. 2012. Characteristics, processes, and causes of the spatio-temporal variabilities of the East Asian monsoon system [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 29(5):910-942. doi:10.1007/s00376-012-2015-x
- 黄荣辉, 孙凤英. 1994. 热带西太平洋暖池的热状态及其上空的对流活动对东亚夏季气候异常的影响[J]. *大气科学*, 18(2): 141-151. Huang Ronghui, Sun Fengying. 1994. Impacts of the thermal state and the convective activities in the tropical western warm pool on the summer climate anomalies in East Asia[J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 18(2): 141-151
- Kitoh A. 2017. The Asian monsoon and its future change in climate models: a review[J]. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 95(1):7-33. doi: 10.2151/jmsj.2017-002
- Li Y, Ding Y H, Li W J. 2017. Interdecadal variability of the Afro-Asian summer monsoon system[J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 34(7):833-846. <https://doi.org/10.1007/s00376-017-6247-7>
- 刘还珠, 赵声蓉, 赵翠光, 等. 2006. 2003年夏季异常天气与西太副高和南亚高压演变特征的分析[J]. *高原气象*, 25(2):170-178. Liu Huanzhu, Zhao Shengrong, Zhao Cuiguang, et al. 2006. Weather abnormal and evolutions of Western Pacific Subtropical High and South Asian High in Summer of 2003[J]. *Plateau Meteorology (in Chinese)*, 25(2):170-178
- 刘屹岷, 吴国雄, 刘辉, 等. 1999. 空间非均匀加热对副热带高压形成和变异的影响. III: 凝结潜热加热与南亚高压及西太平洋副高[J]. *气象学报*, 57(5): 525-538. Liu Yimin, Wu Guoxiong, Liu Hui, et al. 1999. The effect of spatially non-uniform heating on the formation and variation of Subtropical High Part III: Condensation heating and South Asia High and Western Pacific Subtropical High[J]. *Acta Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 57(5): 525-538
- Liu Y M, Wu G X, Ren R C. 2004. Relationship between the subtropical anticyclone and diabatic heating

- [J]. *Journal of Climate*, 17:682-698.
- 李维京. 1999. 1998年大气环流异常及其对中国气候异常的影响[J]. *气象*, 25(4):20-25. Li Weijing. 1999. General atmospheric circulation anomaly in 1998 and their impact on climate anomaly in China[J]. *Meteorological Monthly (in Chinese)*, 25(4):20-25
- 彭丽霞, 孙照渤, 陈海山, 等. 2016. 夏季南亚高压多中心特征及其热力影响因子分析[J]. *大气科学*, 40(5): 1089-1106. Peng Lixia, Sun Zhaobo, Chen Haishan, et al. 2016. Analysis on the multi-center structure of summer South Asia high and its thermal influence factor [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 40(5):1089-1106. doi:10.3878/j.issn.1006-9895.1601.14310
- Qian Y F, Zhang Q, Yao Y H, et al. 2002. Seasonal variation and heat preference of the South Asia high [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 19(5):821-836
- Shan L J, Zhang L P, Song J Y, et al. 2018. Characteristics of dry-wet abrupt alternation events in the middle and lower reaches of the Yangtze River Basin and the relationship with ENSO[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 28(8):1039-1058. doi: <https://doi.org/10.1007/s11442-018-1540-7>
- 唐颖苏, 胡开明, 黄刚. 2019. El Niño 衰退年夏季西北太平洋异常反气旋季节内演变特征及其机制[J]. *气候与环境研究*, 24(4):525-536. Tang Haosu, Hu Kaiping, Huang Gang. 2019. Characteristics and mechanisms of sub-seasonal evolution of Northwest Pacific anomalous anticyclone during the El Niño decaying summer [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 24(4):525-536. doi:10.3878/j.issn.1006-9585
- 王钦, 李双林, 付建建, 等. 2012. 1998 和 2010 年夏季降水异常成因的对比分析: 兼论两类不同厄尔尼诺事件的影响[J]. *气象学报*, 70(6): 1207-1222. Wang Qin, Li Shuanglin, Fu Jianjian, et al. 2012. On the formation of anomalous summer precipitation in the years of 2010 and 1998; A comparison of the El Niño's impact between Modoki and typical El Niño cases[J]. *Acta Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 70(6): 1207-1222
- Weng H, Wu G X, Liu Y M, et al. 2011. Anomalous summer climate in China influenced by the tropical Indo-Pacific Oceans[J]. *Climate Dynamics*, 36:769-782
- Wu G X, Duan A M, Liu Y M, et al. 2015. Tibetan Plateau climate dynamics: Recent research progress and outlook[J]. *National Science Review*, 2(1):100-116. doi:10.1093/nsr/nwu045
- 吴国雄, 刘屹岷, 何编, 等. 2018. 青藏高原感热气泵影响亚洲夏季风的机制[J]. *大气科学*, 42(3):488-504. Wu Guoxiong, Liu Yimin, He Bian, et al. 2018. Review of the Impact of the Tibetan Plateau Sensible Heat Driven Air-Pump on the Asian Summer Monsoon[J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 42(3):488-504. doi:10.3878/j.issn.1006-9895.1801.17279
- 薛峰, 段欣妤, 苏同华. 2018. El Niño 发展年和 La Niña 年东亚夏季风季节内变化的比较[J]. *气候与环境研究*, 23(3):321-331. Xue Feng, Duan Xinyu, Su Tonghua. 2018. Comparison of intra seasonal variation of the East Asian summer monsoon between El Niño developing years and La Niña years[J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 23(3):321-331. doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2017.17044
- Yanai M, Esbensen S, Chu J H. 1973. Determination of bulk properties of tropical cloud clusters from

- large-scale heat and moisture budgets [J]. *Journal of Atmospheric Science*, 30(4): 611-627
- 姚秀萍, 张硕, 闫丽朱. 2019. 青藏高原大气热源及其影响的研究进展 [J]. *大气科学学报*, 42(5): 641-651. Yao Xiuping, Zhang Shuo, Yan Lizhu. 2019. Research progress on the atmospheric heat source over the Tibetan Plateau and its influence [J]. *Transactions of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 42(5):641-651. doi:10.13878 /j.cnki.dqkxxb.20181227001
- 余丹丹, 张韧, 赵越超, 等. 2014. 西太平洋副高的东西进退与东亚夏季风系统的相互影响与关联 [J]. *大气科学学报*, 37(3): 304-312. Yu Dandan, Zhang Ren, Zhao Yuechao, et al. 2014. Correlation between the subtropical high abnormal longitudinal position and the East Asian summer monsoon system [J]. *Transactions of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 37(3):304-312
- 袁媛, 高辉, 李维京, 等. 2017. 2016 年和 1998 年汛期降水特征及物理机制对比分析 [J]. *气象学报*, 75(1):19-38. Yuan Yuanyuan, Gao Hui, Li Weijing, et al. 2017. Analysis and comparison of summer precipitation features and physical mechanisms between 2016 and 1998 [J]. *Acta Meteorologica Sinica(in Chinese)*, 75(1):19-38. doi:10.11676/qxxb2017.019
- 袁媛, 高辉, 贾小龙, 等. 2016. 2014-2016 年超强厄尔尼诺事件的气候影响 [J]. *气象*, 42(5): 532-539. Yuan Yuan, Gao Hui, Jia Xiaolong, et al. 2016. Influences of the 2014-2016 super El Nino event on climate [J]. *Meteorological Monthly (in Chinese)*, 42(5): 532-539
- 翟盘茂, 余荣, 郭艳君, 等. 2016. 2015/2016 年强厄尔尼诺过程及其对全球和中国气候的主要影响 [J]. *气象学报*, 74(3): 309-321. Zhai Pangmao, Yu Rong, Guo Yanjun, et al. 2016. The strong El Nino in 2015/2016 and its dominant impacts on global and China climate [J]. *Acta Meteorologica Sinica(in Chinese)*, 74(3): 309-321. doi:10.11676/qxxb2016.049
- 张宏杰, 武亮, 黄荣辉. 2018. 两类 El Niño 型对西北太平洋季风槽及热带气旋生成的可能影响 [J]. *气候与环境研究*, 23(2): 150-160. Zhang Hongjie, Wu Liang, Huang Ronghui. 2018. Possible impacts of two types of El Niño events on the western North Pacific monsoon trough and tropical cyclone genesis [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 23(2):150-160. doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2017.17055
- 张镇宏, 蔡景就, 乔云亭, 等. 2019. 青藏高原夏季大气视热源与中国东部降水的关系的年代际变化 [J]. *大气科学*, 43(5):990-1004. Zhang Zhenhong, Cai Jingjiu, Qiao Yunting, et al. 2019. Interdecadal Change in the Relation between Atmospheric Apparent Heat Sources over Tibetan Plateau and Precipitation in Eastern China in Summer [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 43(5):990-1004. doi:10.3878/j.issn.1006-9895.1901.18141
- Zhang Z Q, Sun X G, Yang X Q. 2018. Understanding the inter-decadal variability of East Asian summer monsoon precipitation: joint influence of three oceanic signal [J]. *Journal of Climate*, 31:5485-5506. doi:10.1175/JCLI-D-17-0657.1
- 朱玉祥, 丁一汇, 刘海文. 2009. 青藏高原冬季积雪影响我国夏季降水的模拟研究 [J]. *大气科学*, 33(5):903-915. Zhu Yuxiang, Ding Yihui, Liu Haiwen. 2009. Simulation of the influence of winter snow depth over the Tibet

- an Plateau on summer rainfall in China [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 33(5):903-915
- 宗海锋. 2017. 两个典型ENSO 季节演变模态及其与我国东部降水的联系[J]. *大气科学*, 41 (6):1264-1283. Zong Haifeng. 2017. Two typical ENSO seasonal evolution modes and their relations with rainfall over eastern China [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 41(6):1264-1283. doi:10.3878/j.issn.1006-9895.1704.16279

气

科

风

学

学

科

风

刊

学

气