

2004年夏季经向型雨带及其与印度洋偶极模异常海温的关系

肖子牛^{1, 2, 3} 梁红丽⁴

1 中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029

2 云南省气象局, 昆明 650034

3 中国科学院研究生院, 北京 100049

4 云南省曲靖市气象局, 曲靖 655000

摘要 针对2004年夏季降水为南北向雨带分布的异常特点, 利用NCEP/NCAR再分析资料对可能造成2004年准经向降水分布的海温场、高度场及水汽输送特征进行了分析, 并与夏季降水呈纬向分布的2003年进行了比对。分析结果表明, 2004年夏季西太平洋副热带高压偏北、偏东, 中国大陆中纬度地区东部为异常偏东水汽输送, 西部为异常偏西的水汽输送, 东、西风在110°E形成南北向交界, 有利于形成南北经向型的水汽辐合和降水分布。而在2003年夏季, 西太平洋副热带高压偏南、偏西, 在长江以南形成稳定的带状副高, 有利于雨带长时间稳定在副高北侧的淮河流域, 同时中国大陆35°N以南地区为异常偏西水汽输送, 以北地区为异常偏东的水汽输送, 正、负异常纬向风形成东西向交界, 有利于形成东西纬向型的水汽辐合和带状降水分布。对海温状况的分析发现, 虽然2003年和2004年太平洋异常海温信号较弱, 但印度洋和中国大陆近海海温却有明显的差异, 2004年夏季西北太平洋异常海温北高南低, 西印度洋海温异常偏冷, 赤道热带印度洋海温呈东暖西冷的偶极模负相位特征。而在2003年淮河强降水发生同期, 西北太平洋异常海温南高北低, 西印度洋海温异常偏暖, 赤道热带印度洋海温呈东冷西暖的偶极模正相位特征。因此, 印度洋异常海温偶极模的不同相位可能是造成2003、2004年中国夏季降水不同雨带分布型的重要原因。利用中国160个代表站1950~1999的降水资料, 进一步分析了印度洋偶极模不同相位异常海温对中国夏季降水的影响, 结果发现, 印度洋偶极模正相位有利于中国南方降水的西移和北方降水的东进, 趋向于形成东西纬向型降水分布; 而印度洋偶极模负相位有利于中国南方降水的东退和北方降水的西移, 趋向于形成南北经向型降水分布。

关键词 雨带分布型 印度洋偶极模 异常海温 水汽输送

文章编号 1006-9895(2006)05-0791-11

中图分类号 P461

文献标识码 A

The Meridian Pattern of Summer Rainfall in 2004 and Its Relationship with Indian Ocean Dipole

XIAO Zi-Niu^{1, 2, 3} and LIANG Hong-Li⁴

1 *State Key Laboratory of Numerical Modelling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*

2 *Meteorological Administration of Yunnan Province, Kunming 650034*

3 *Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049*

4 *Qujing Meteorological Bureau of Yunnan Province, Qujing 655000*

Abstract To the question of meridian pattern characteristic of 2004 summer rainfall, the characteristics of sea sur-

收稿日期 2006-05-15, 2006-06-08 收修定稿

资助项目 云南基金课题 2003D0085M, 国家自然科学基金资助项目 D050740233033

作者简介 肖子牛, 男, 1965年出生, 研究员, 博士研究生, 目前主要从事季风、气候变化研究。E-mail: xiaozn@cma.gov.cn

face temperature anomalies (SSTA), geopotential height and moisture transportation are studied by data analysis. The comparison with those in 2003, when the summer rainfall appears with a characteristic of zonal patterns, is made as well. The analysis shows obvious differences between 2003 and 2004 in summer. During the summer 2004, the location of the Pacific subtropical high is more north and east. There are positively anomalous zonal wind over western China but negatively anomalous zonal wind over eastern China in middle latitude regions. East wind meet west wind around 110°E , which is advantageous to form south-north meridian moisture convergence and precipitation pattern. But in summer 2003, the location of Pacific subtropical high is more south and west. The subtropical high poses a zonal shape to the south of the Yangtze River, which benefits to maintain a precipitation zone over the Huaihe River basin. At the same time, there are positively anomalous zonal wind over southern China but negatively anomalous zonal wind over northern China. The dividing line between east wind and west wind is around 35°N , which is in favor of forming a zonal moisture convergence and precipitation pattern. Though the Pacific SSTA signals are weak in 2003 and 2004, there are obvious differences between the Indian Ocean and the seas near the China mainland. The Indian Ocean Dipole is in negative phase in summer 2004 but in positive phase in summer 2003. Based on the 160 stations observation data, it is revealed that the different phase of the Indian Ocean Dipole is closely related to the summer rainfall patterns over China. The positive phase of the Indian Ocean Dipole will increase precipitation in southwest but decrease in northwest in China. It seems advantageous to form an east-west zonal summer rainfall pattern. Otherwise, the negative phase of the Indian Ocean Dipole will decrease precipitation in southwest but increase in northwest in China. It seems to benefit to engender a south - north meridian summer rainfall pattern in China.

Key words rainfall pattern, Indian Ocean Dipole, SSTA, moisture transportation

1 引言

2004 年夏季我国雨带分布异常,呈南-北向的准经向分布,与国家气候中心划分的夏季中国东部地区三类常见雨型^[1]:北方型、中间型、南方型相比,有很大差异。来自海洋的水汽输送是影响中国季风降水的重要原因^[2],通常认为印度季风控制的孟加拉湾地区、东亚季风控制的南海和西太平洋地区是主要的水汽源地^[3]。孟加拉湾处于印度低压的东南方,水汽通过西南风输送进入我国,南海和西太平洋的水汽则经过西太平洋副热带高压南缘的南风和西南风输送进入我国内陆。在过去十年间,1998 年和 2003 年夏季分别在我国的长江流域和淮河流域发生了严重的洪涝灾害,许多研究工作^[3~6]揭示了其与水汽异常输送的密切联系。

水汽输送对降水有重要的影响,而海洋作为水汽的来源地,对降水强度和分布的影响更是不争的事实。自 20 世纪 80 年代以来,人们对太平洋异常海温的气候影响已经做过大量的研究工作,Wallace 和 Hore^[7]首先认为赤道东太平洋海温激发了大气对海洋的响应,并通过 PNA 波列引起了很多地区的气候异常。在此之后,海温对气候影响的研究就一直是人们关注的焦点,李崇银^[8]、刘永强

等^[9]和赵振国^[10]研究了 ENSO 事件对我国气温和降水的影响,黄荣辉等^[11]研究了赤道东太平洋和西太平洋暖池对中国旱涝的影响,Lau 等^[12]和 Ropelewski 等^[13]也分析研究了 ENSO 对季风和降水的影响。大量对观测资料的分析研究和数值模拟研究表明,ENSO 与亚洲季风存在强烈的相互作用。

源于印度洋的西南季风是亚洲气候系统的重要组成部分,也是影响中国水汽输送的重要源地和路径,因此,印度洋海温异常对亚洲地区的作用是不容忽视的。事实上,早在 20 世纪 70 年代,Shukla^[14]就研究过印度洋海表温度异常对夏季印度季风的影响,之后,我国学者就印度洋海温异常对我国夏季季风的影响也作过资料分析和数值模拟的很多研究工作。1999 年 Saji 等^[15]指出,赤道印度洋东西海温距平 (SSTA) 的变化存在一种偶极子型振荡,这种印度洋偶极子与太平洋的 ENSO 并非都有关系,而是独立的。对印度洋异常海温的特殊气候影响的研究引起了人们的重视^[16]。随后的研究表明印度洋偶极子事件对邻近区域,如东非、印度尼西亚、印度、东南亚和中国等夏季风区域的气候有重大的影响^[17~19]。李崇银和穆明权^[20]指出,印度洋偶极子与亚洲南部流场、青藏高原和西太平洋副高都有明

显关系, 说明它对季风活动有重要的影响。肖子牛等^[21]研究了 El Niño 期间印度洋海温异常对亚洲气候的影响, 指出印度洋东冷西暖异常海温结构会增加我国西南地区的降水, 并对形成我国夏季纬向型带状降水分布有重要的作用。

由于异常海表温度对气候影响的重要性, 异常海温的强迫作用常用来作为研究气候异常的线索。与其他海域相比, 热带赤道太平洋的海温具有最大、最显著的振幅, ENSO 事件是影响气候异常的强信号, 但其他海域的作用也是不容忽视的, 特别是在 ENSO 信号不显著的时候。2004 年太平洋的海表温度并没有显现出异常信号, 但 2004 年中国夏季降水的分布型出现了与常年南北推移、纬向分布雨带非常不相同的特点, 这是否是印度洋海温等其他弱信号的影响和作用? 本文将基于水汽输送、印度洋海温的资料分析, 重点研究形成这种异常降水分布的原因。为了与纬向分布型雨带年进行合理的比对研究, 我们选取没有 ENSO 海温强信号的 2003 年作为纬向型雨带典型对照年, 将 2004 年异

常经向型雨带与 2003 年淮河流域纬向型雨带的水汽输送特征差异进行对比, 以便更好地揭示水汽输送和印度洋等临近海区温度对 2004 年雨带异常的影响。

本文所利用的资料包括: 1948~2004 年美国 NCEP/NCAR $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 分辨率的再分析资料, Hadley 中心 1871~1999 年 $1.0^\circ \times 1.0^\circ$ 分辨率的海温资料, 1950~1999 年中国 160 站降水资料, 2003 年、2004 年中央气象台实测降水分布图、NCEP/NCAR $1.0^\circ \times 1.0^\circ$ 海温资料等。分析方法采用合成分析法。

2 2004 年夏季经向型雨带及其背景特征分析

图 1a 给出了 2004 年 6~8 月全国降水量距平百分率分布, 从图中可见, 除了新疆西部、青藏高原大部降水偏多外, 在中国中东部降水异常偏多地区位于广西北部、贵州东部、湖南、湖北、河南、山东、山西到内蒙古中部一线, 为西南-东北向雨带。

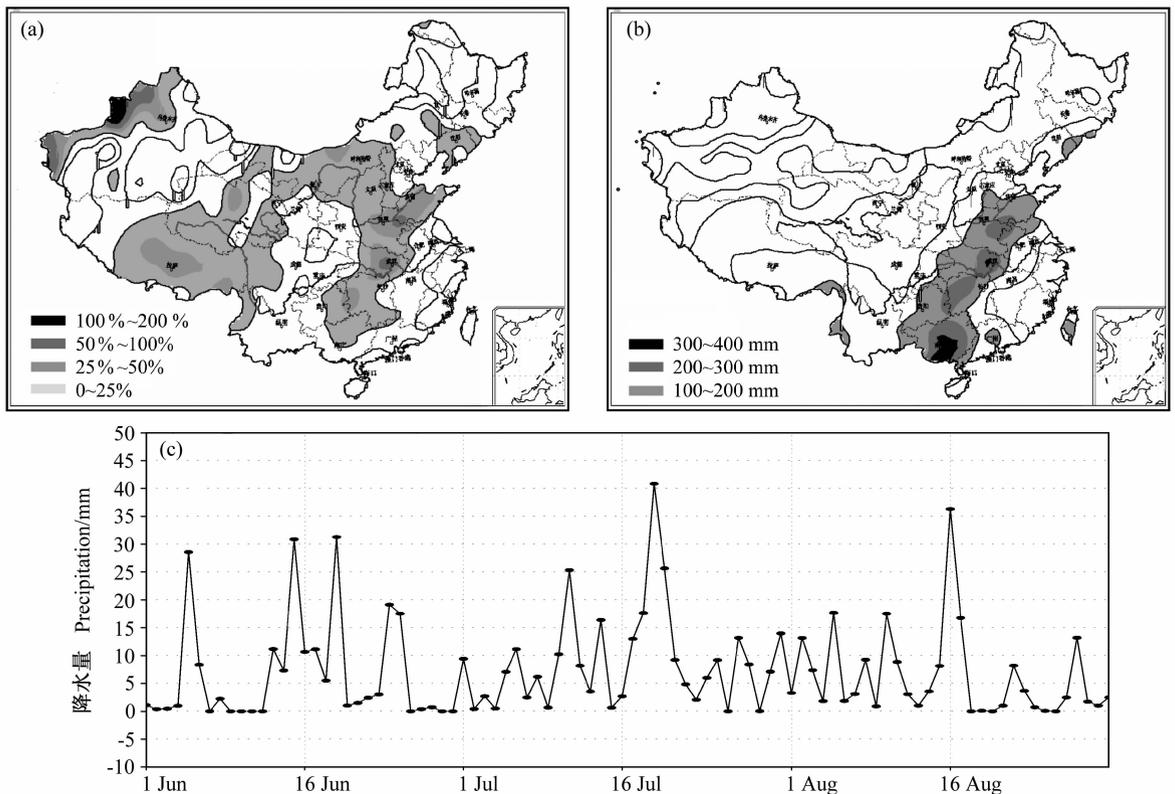


图 1 (a) 2004 年 6~8 月全国降水量距平百分率图, 阴影区为正距平区; (b) 2004 年 7 月 10 日~20 日全国降水量实况图, 阴影区雨量大于 100 mm; (c) 2004 年 6~8 月逐日降水量序列

Fig. 1 (a) Precipitation anomaly percentage over China from Jun to Aug 2004 (shaded; positive anomaly); (b) precipitation anomaly over China from 10 to 20 Jul 2004 (shaded; over 100 mm precipitation); (c) the variation of precipitation from Jun to Aug 2004

其中贵州和湖南交界处、湖北东部、河南东北部和山东大部降水偏多 25% 以上, 局部地区降水距平百分率在 50% 以上。而降水异常偏多区两侧的长江中上游地区、四川盆地和长江下游地区、我国东南沿海降水量异常偏少, 多雨带呈明显的经向型分布, 这与我国汛期经常出现的纬向型多雨带分布有很大不同。

为了更清楚地揭示雨带异常的时间分布特征, 用 2004 年 6~8 月南宁、芷江、黄石、开封、济南逐日雨量的平均做时间序列 (如图 1c 所示), 从图 1c 中的实况雨量变化曲线可见, 较强的降水主要集中在四个时段: 6 月 5 日前后、6 月 15 日至 19 日、7 月 19 日前后和 8 月 16 日前后, 其中降水最强的时段出现在 7 月 19 日前后。图 1b 给出了 2004 年 7 月 10 日至 20 日全国降水量实况分布, 图中的阴影区为累积降水量大于 100 mm 的区域, 其走向与图 1a 十分相似。普查 2004 年汛期降水可以发现, 各过程降水的雨带分布多为经向型。

3 2004 年经向型雨带的环流特征分析及与 2003 年环流特征的对比

海温异常是雨带分布预测的重要依据, 太平洋海温异常状况是预测我国汛期雨带分布的强信号。例如, 1997~1998 年曾发生了一次强 El Niño 事件, 1998 年的雨带分布预测依据 El Niño 海温强信号获得了成功。但 2004 年在太平洋并没有异常海温强信号存在, 造成雨带经向型分布的原因何在, 是一个有趣的问题。在过去十年间, 1998 年和 2003 年夏季出现的异常降水呈明显的纬向分布,

分别在长江流域和淮河流域发生了严重洪涝灾害, 不同的是: 1998 年东太平洋出现了 ENSO 暖事件, 而 2003 年太平洋海表温度并没有出现明显的异常。因此, 为分析比较非 ENSO 背景下中国异常雨带分布纬向型年和经向型年的差异, 仅将纬向型异常雨带分布的 2003 年与经向型雨带分布的 2004 年进行对比分析, 由于 2003 年的降水主要出现在 6~7 月, 分析中也选用了 6~7 月同期的环流特征进行对比。

图 2a、b 分别是 2004 年 6~8 月和 2003 年 6~7 月的 500 hPa 高度距平场, 从图中可以看到 2004 年与 2003 年夏季高度距平场的明显差异。2004 年夏季, 欧亚中高纬度 500 hPa 异常高度场为西高东低的形势, 以蒙古为中心的东亚地区是大范围的正距平区, 贝加尔湖东南侧有 40 gpm 的正距平中心, 东亚大槽位于 160°E 附近, 与常年平均位置相比偏东。值得注意的是, 中国华北到日本列岛南部为正异常中心控制, 这种高度场的形势有利于西太平洋副热带高压偏北、偏东, 副高主体呈块状。而在 2003 年夏季, 欧亚中高纬度 500 hPa 异常高度场为东高西低的形势, 但是中国华北到日本列岛南部为负异常中心控制, 中国南方、孟加拉湾到南中国海为正异常区, 500 hPa 高度异常场有利于北方冷空气不断经华北南下, 西太平洋副热带高压偏南、偏西, 副热带高压呈带状分布, 长江以南的大部地区都在强大的副高控制之下, 有利于雨带长时间稳定在副高北侧的淮河流域。

黄荣辉等^[2]的研究指出, 东亚季风区水汽通量的辐合主要由季风气流带来的水汽平流所造成。图

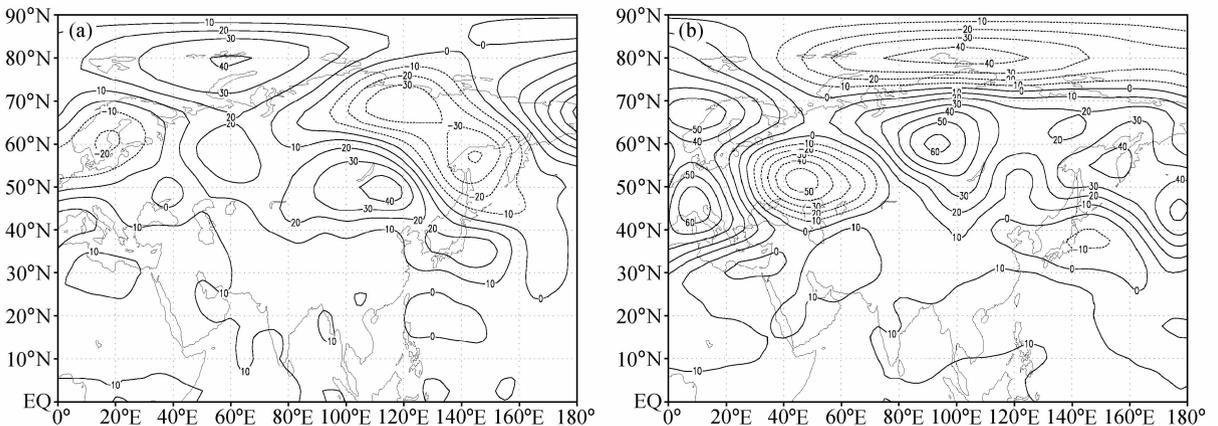


图 2 2004 年 6~8 月 (a)、2003 年 6~7 月 (b) 500 hPa 高度距平场分布 (单位: gpm)

Fig. 2 The height anomalies (gpm) at 500 hPa during the periods of (a) Jun to Aug 2004 and (b) Jun to Jul 2003

3a 给出了 2004 年 6~8 月中低层 (1000~300 hPa) 水汽通量距平场分布, 从图中可以看到, 2004 年夏季索马里急流的水汽输送得到加强, 南海南部到西太平洋热带地区有较强的异常西风水汽输送, 但从孟加拉湾到中南半岛向东输送的水汽减少。我国中东部地区有自北向南的异常水汽输送, 说明经南海

向我国内陆的水汽输送是减弱的, 但值得注意的是, 在中国大陆 35°N 以南地区有明显的偏东风输送, 偏东的异常水汽输送一直西伸到 110°E 附近, 而这一带地区平均状况为偏西气流的水汽输送, 西风平流使水汽在东西纬向上趋于平均, 有利于形成东西纬向型的降水分布。因此, 异常的偏东水汽输

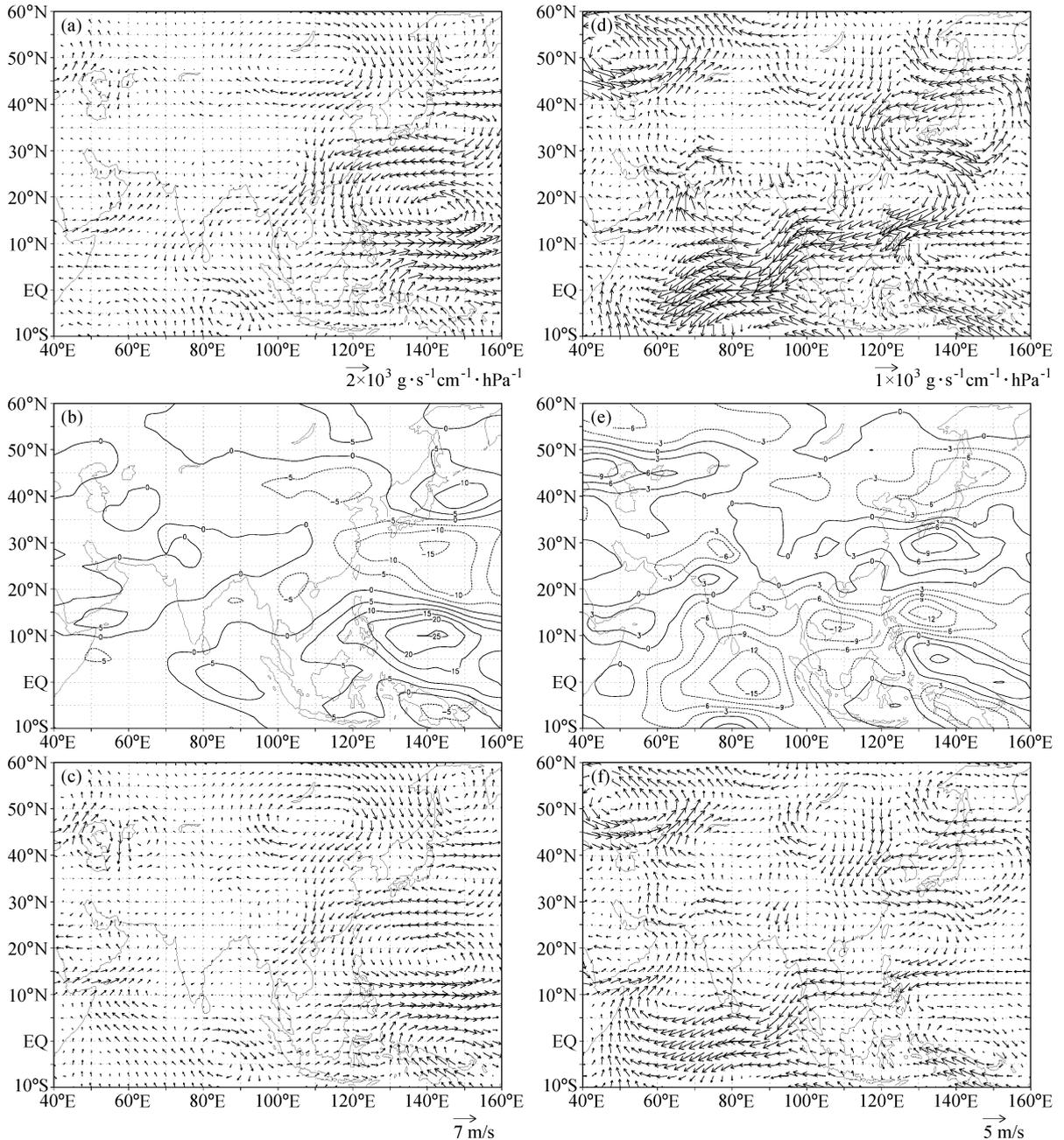


图 3 2004 年 6~8 月 (a, b, c) 及 2003 年 6~7 月 (d, e, f) 地面至 300 hPa 整层大气水汽通量矢量距平场 (a, d), 850 hPa 纬向水汽通量 (b, e, 单位: $10^2 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$), 850 hPa 矢量风场距平场 (c, f)

Fig. 3 Moisture flux vector from surface to 300 hPa (a, d), zonal moisture transportation ($10^2 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$) at 850 hPa (b, e); wind vector at 850 hPa (c, f) during the periods of Jun to Aug 2004 (a, b, c) and Jun to Jul 2003 (d, e, f)

送不利于纬向带状降水区的形成。图 3b 给出了 2004 年夏季 850 hPa 纬向水汽通量距平场, 从图中可以看到中国中东部地区到华南均为异常东风, 热带东印度洋、南海中南部到热带西太平洋为异常西风, 还有一个异常西风的中心出现在日本列岛的中部, 中国大陆 $25^{\circ}\text{N}\sim 35^{\circ}\text{N}$ 地区在 110°E 以东为异常东风, 而在 110°E 以西为弱的异常西风, 东、西风形成南北向交界, 在 110°E 形成异常风场辐合。图 3c 进一步给出了 850 hPa 距平风矢量场, 图中显示 850 hPa 低层的矢量风场与水汽通量距平特征基本一致。与 2004 年夏季对比, 图 3d 给出了 2003 年 6~7 月中低层 (1000~300 hPa) 水汽通量距平场分布, 从图中可以看到与 2004 年类似的是: 西印度洋自南向北的水汽输送得到加强, 从孟加拉湾到中南半岛向东输送的水汽减少, 我国中东部地区从南到北的水汽输送受到削弱。但不同的是, 南海南部到印度洋热带地区有较强的异常东风水汽输送, 中国南部异常偏西水汽输送一直西伸到 100°E 附近, 方向一致的异常偏西水汽输送有利于纬向带状降水区的形成。图 3e 给出了 2003 年 6~7 月 850 hPa 的纬向水汽通量距平场, 从图中可以看到中国大陆 35°N 以南地区到西太平洋中纬度地区、赤道西太平洋均为异常西风输送, 中东印度洋、南海、菲律宾以东洋面为异常东风水汽输送, 中国北方地区到日本列岛的中部也为异常偏东输送区。在中国大陆 35°N 以南地区为明显的偏西风水汽输送, 以北为异常偏东水汽输送, 东、西风交界呈纬向, 在 35°N 附近地区形成异常水汽辐合。图 3f 为 850 hPa 距平矢量风场, 图中更清楚地显示了与 2004 年夏季矢量风场的差别, 并进一步说明低层异常风场的特征与水汽通量距平特征的一致性。

比较 2003 年和 2004 年环流场的异同, 中国大陆自南海向北的水汽输送减弱是由于东亚季风在近年来减弱的趋势所造成的, 而在东亚中纬度地区纬向风的差异以及副热带高压位置的不同, 可能是造成异常雨带不同分布型的重要原因。

4 2004 年与 2003 年印度洋异常海温场的特征分析

过去的研究表明, 不仅太平洋的热带海洋温度异常对中国的天气气候有重要影响, 印度洋热带海温异常的影响也是不容忽视的, 特别是赤道印度洋海温 (SST) 偶极振荡的作用应该引起更多的重视。李崇银和穆明权^[20]揭示了印度洋偶极子与亚洲季风系统的活动有明显的关系, 肖子牛等^[18, 19, 21]的研究也表明印度洋偶极子对亚洲地区的气候有重要的影响。

图 4a 是 2004 年 6~8 月海温距平分布, 从图中可以看到, 阿拉伯海、孟加拉湾、南海南部海域以及赤道西太平洋为负距平区, 海温异常偏低, 而赤道印度洋、 10°N 以北南海海域和西太平洋中纬度海域为正距平, 海温异常偏高。2003 年 6~7 月海温距平分布如图 4b 所示, 孟加拉湾、西太平洋中高纬度海域、东亚大陆沿岸近海海域、西南印度洋到印度尼西亚附近海域为负距平区, 海温异常偏低, 阿拉伯海、印度洋中西部、南海和西太平洋中低纬度地区为正距平区, 海温异常偏高。值得注意的是西印度洋、东印度洋赤道附近海域、西太平洋等海区的异常海表温度在 2003 年 6~7 月与 2004 年夏季有显著的差异。对比图 4a、b, 2004 年夏季西北太平洋中高纬度地区海温偏高, 正异常中心偏东, 有利于西太平洋副热带高压偏北、偏东; 2003

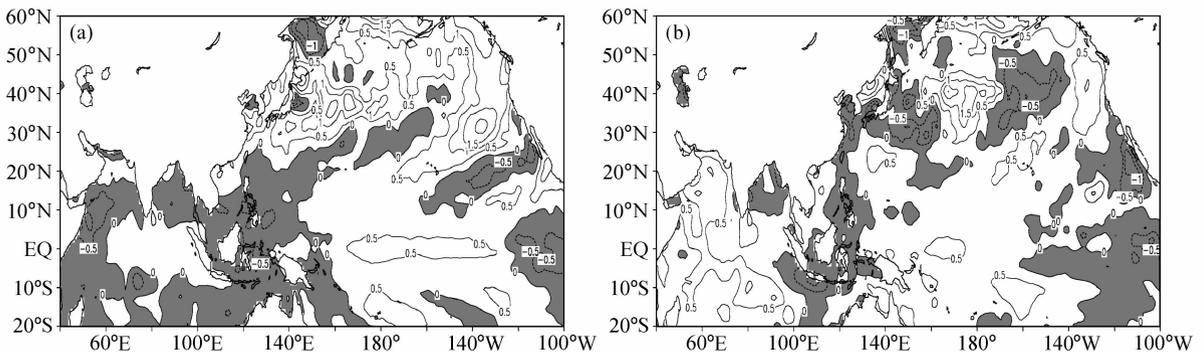


图 4 2004 年 6~8 月 (a)、2003 年 6~7 月 (b) 海温距平场分布 (单位: $^{\circ}\text{C}$, 阴影为负距平区)

Fig. 4 SST anomaly ($^{\circ}\text{C}$, negative shaded) during the periods of Jun to Aug 2004 (a) and Jun to Jul 2003 (b)

年 6~7 月西北太平洋中高纬度地区海温偏低, 而西太平洋低纬度热带地区、中国南海有正异常海温, 有利于西太平洋副热带高压偏南、偏西。同时, 印度洋海温在两年间的差异是十分显著的, 2004 年夏季印度洋为东暖西冷的海温结构, 而 2003 年 6~7 月其为东冷西暖的异常海温结构, 两年均具有明显印度洋偶极模的特征, 即印度洋热带赤道地区异常海温均为东西反相位结构, 且 2003 年夏季到 2004 年夏季印度洋偶极结构发生了逆转。从图 4a、b 我们还可以看到, 印度洋异常海温东西最大差异超过 1.0°C , 印度洋异常海温比太平洋异常海温量级小, 约为太平洋异常海温振幅的三分之一。根据对印度洋偶极模的研究, 印度洋异常海温东西差异超过 1.0°C 已经具备了印度洋偶极模的基本特征。肖子牛等^[21]通过数值模拟研究指出, 印度洋东冷西暖的异常海温结构, 也就是印度洋偶极模正相位异常海温结构, 对形成中国夏季降水的纬向带状分布具有重要的作用, 因此, 2003 年 6~7 月和 2004 年夏季降水的分布特征可能与同期印度洋赤道热带地区东、西异常海温偶极特征有着重要的联系。

5 印度洋偶极模异常海温与中国夏季雨带分布型的关系

为了进一步证实印度洋偶极模异常海温对形成 2003 夏季和 2004 年夏季雨带纬向、经向分布类型所起的关键作用, 以下将统计分析印度洋偶极模不同相位典型年与中国夏季降水的联系。

选取李崇银等^[20]定义的印度洋偶极子指数, 即将 ($5^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$, $50^{\circ}\text{E}\sim 65^{\circ}\text{E}$) 海区平均 SSTA 与 ($10^{\circ}\text{S}\sim 5^{\circ}\text{N}$, $85^{\circ}\text{E}\sim 100^{\circ}\text{E}$) 海区平均 SSTA 的差定义为印度洋偶极模指数 (IODI), 用印度洋偶极子指数的正负和绝对值大小可表征印度洋偶极模的相位和强度。利用 1950 年到 1999 年 Hadley 中心的 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 全球海表温度资料计算可得到印度洋偶极子指数。图 5 给出了 1950~1999 年印度洋偶极指数 (IODI) 的年际变化曲线, 从图中可以看到: 1951、1961、1962、1972、1982、1987、1994 和 1997 年 IODI 指数明显较大, 可定为印度洋海温偶极指数正相位典型年, 而 1950、1958、1959、1964、1984、1992 和 1996 年 IODI 指数明显较小, 可定为印度洋海温偶极指数负相位典型年。

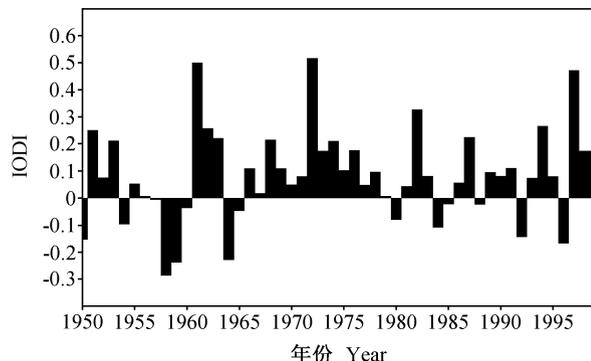


图 5 1950~1999 年 IODI 指数的年际变化

Fig. 5 The variation of IODI (Indian Ocean Dipole Index) from 1950 to 1999

因为印度洋偶极模与太平洋 ENSO 事件有密切的联系, 为剔除 ENSO 信号的影响, 我们将印度洋偶极模典型年分为两类: ENSO 背景下的印度洋偶极模典型年和非 ENSO 背景印度洋偶极模典型年。从 1950 年到 1999 年 50 年间共发生 EL Niño 事件 13 次, 其中印度洋偶极模处于较明显的正相位异常海温有 6 年, 分别是 1951、1972、1982、1987、1994 和 1997 年, 这 6 年即为 El Niño 背景下印度洋偶极模正相位典型年, 而 1961 和 1962 年则为非 ENSO 背景下印度洋偶极模正相位典型年。同样, 从 1950 年到 1999 年其间共发生有 La Niña 事件 11 次, 其中印度洋偶极模处于较明显负相位异常海温有 4 年, 分别是 1964、1984、1992 和 1996 年, 将这 4 年作为 La Niña 背景下印度洋偶极模负相位典型年, 而 1950、1958 和 1959 年则为非 ENSO 背景下印度洋偶极模负相位典型年。在对不同类别典型年进行合成分析的基础上, 可以分类研究探讨印度洋偶极模不同相位异常海温对中国夏季降水的影响。

利用 1950~1999 年全国 160 个代表测站的降水资料, 可得到不同背景下印度洋偶极模不同相位典型年中国夏季 6~8 月降水距平。图 6a、b 分别为 ENSO 背景下印度洋偶极模正相位和负相位异常海温典型年中国夏季 6~8 月降水距平的合成, 从图 6a 中可以看到, 在印度洋偶极模正相位典型年, 中国夏季降水为南多北少, 中国南方有显著的正距平, 异常降水基本上呈纬向带状分布。在印度洋偶极模负相位典型年, 中国北方夏季降水明显增加 (图 6b), 与图 6a 相比, 华北和华中降水明显偏

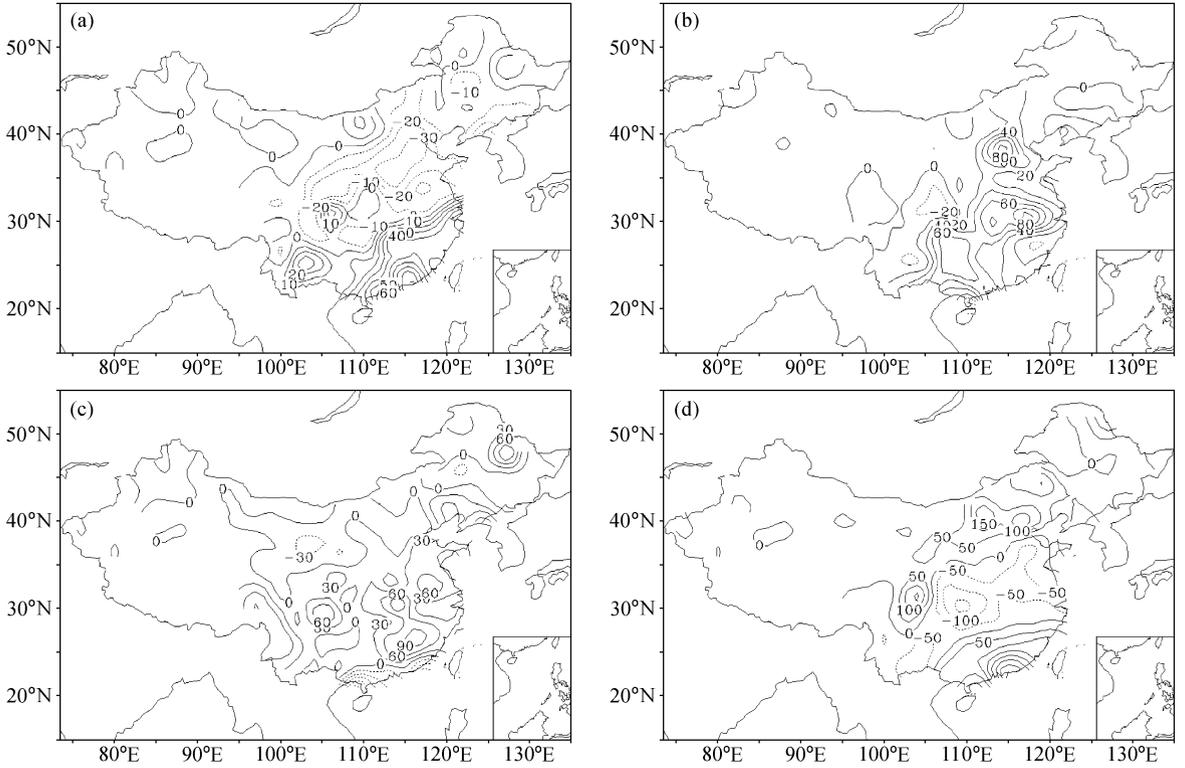


图 6 中国夏季 (6~8 月) 降水距平合成分布图 (单位: mm): (a) El Niño 背景印度洋偶极模正相位年; (b) La Niña 背景印度洋偶极模负相位年; (c) 非 ENSO 背景印度洋偶极模正相位年; (d) 非 ENSO 背景印度洋偶极模负相位年

Fig. 6 The summer precipitation anomaly (mm) distribution over China during typical years (a) with El Niño and the Indian Ocean Dipole (IOD) positive phase SST anomaly (SSTA), (b) with La Niña and IOD negative phase SSTA, (c) with no ENSO and IOD positive phase SSTA, (d) with no ENSO and IOD negative phase SSTA

多, 西南地区和东南沿海地区降水减少, 异常降水分布型由纬向带状分布趋变为东北-西南向的准经向分布。图 6c、d 分别为非 ENSO 背景下印度洋偶极模正、负相位异常海温典型年中国夏季 6~8 月降水距平的合成, 从图 6c 中可以看到, 在印度洋偶极模正相位典型年, 中国东部地区和东北地区降水普遍增加, 西北地区东部和华南沿海降水减少, 其中值得注意的是西南地区 and 长江流域有显著的正距平。而图 6d 显示在印度洋偶极模负相位典型年, 中国北方和华南地区夏季降水明显增加, 西南地区和长江流域降水减少。

由于影响降水因素的复杂性, 从异常降水分布很难直观地显示单一因子的作用, 肖子牛等^[21]的研究也表明, 虽然东太平洋暖异常海温经常性地与印度洋东冷西暖 (印度洋偶极模正相位) 海温异常紧密相关联, 但是它们对亚洲气候的影响并不相同。综合图 6a~d, 印度洋偶极模正相位异常海温有利于南方的雨带北抬 (与 El Niño 的影响相反),

并有利于西南地区降水增加而西北东部降水减少; 而印度洋偶极模负相位异常海温有利于在华北北部及以北地区和华南形成两个降水带, 南北雨带更加分离, 同时印度洋偶极模负相位异常海温还有利于西南地区降水减少和西北地区东部降水增加。从中国降水的整体特征来看, 夏季降水带呈现南北推移的特征, 因此, 中国南方降水的西移和北方降水的东进, 将趋向于形成东西纬向型降水分布, 而中国南方降水的东退和北方降水的西移, 将趋向于形成南北经向型降水分布。对照图 4 可知, 2004 年印度洋异常海温具有明显的东暖西冷偶极模负相位特征, 因此有利于夏季降水形成南北经向型异常分布。

为了验证印度洋偶极模对形成中国夏季降水分布型的可能影响, 我们考察了印度洋偶极模正、负相位异常海温典型年 850 hPa 异常纬向风场, 可以发现印度洋偶极模正相位期间, 中国大陆纬向风沿东西方向基本为一致的偏西风或偏东风; 而在印度

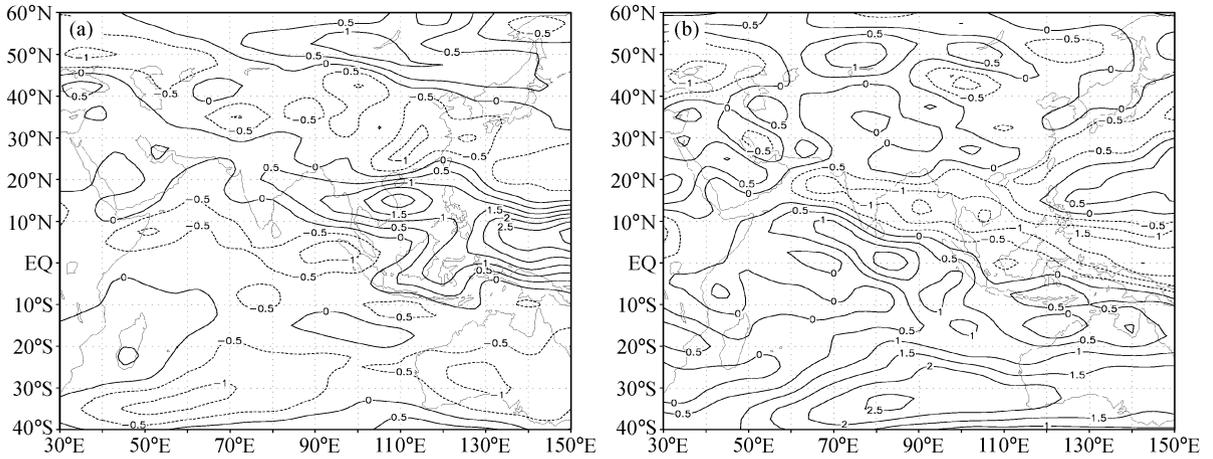


图 7 印度洋偶极模正相位年 (a) 和印度洋偶极模负相位年 (b) 850 hPa 夏季纬向距平风场 (单位: m/s)

Fig. 7 850 hPa zonal wind anomaly (m/s) distribution in summer (Jun to Aug) during typical years with IOP (a) positive phase and (b) negative phase SSTA

洋偶极模负相位期间, 中国大陆纬向风正负异常区有呈经向分布的特征。图 7a 给出所有具有印度洋偶极模正相位特征典型年 850 hPa 纬向异常风场合成图, 从图中可见, 西北印度洋和赤道印度洋为异常东风, 印度、孟加拉湾、南海到赤道西太平洋为异常西风, 中国大陆异常东、西风为纬向分布, 异常东、西风的交界呈东西走向。图 7b 为印度洋偶极模负相位特征典型年 850 hPa 纬向异常风场合成图, 印度洋大部为异常西风, 印度次大陆、孟加拉湾、南海到赤道西太平洋为异常东风, 中国大陆异常东、西风分布不均, 但基本为准经向分布, 异常东、西风的交界呈淮南北走向。由此可见, 印度洋偶极模不同相位的异常海温与中国夏季纬向风异常有重要的联系, 印度洋偶极模通过影响纬向风而影响对中国的水汽输送特征, 进而对中国夏季降水的分布型产生作用。

6 小结

本文通过对形成 2004 年夏季南北经向型雨带和 2003 年 6~7 月东西纬向型雨带的背景场进行对比分析, 研究了 2004 年夏季异常雨带分布与同期印度洋异常海温的关系, 进而重点讨论了印度洋偶极模异常海温不同相位对中国夏季降水经、纬向分布型的可能影响, 并对 1950~1999 年印度洋偶极模不同相位典型年中国夏季降水分布进行了分类分析, 通过合成对比分析可以得到如下初步结论:

(1) 2004 年夏季, 欧亚中高纬度 500 hPa 异常

高度场为西高东低的形势, 副热带高压偏北、偏东, 有利于副高主体呈块状形态。异常纬向风在中国中纬度东、西部地区反相, 以 110°E 为界分别为异常东风和西风, 东、西风的南北向交界形成纬向风的辐合, 有利于形成淮南北向降水带。

(2) 而在 2003 年夏季, 欧亚中高纬度 500 hPa 异常高度场为东高西低的形势, 西太平洋副热带高压偏南、偏西, 副热带高压呈带状分布, 长江以南的大部地区都在副高控制之下, 有利于雨带长时间稳定在副高北侧的淮河流域。异常纬向风在中国大陆南、北反相, 以 35°N 为界分别为异常东风和西风, 东西风的東西向交界形成异常纬向风场的辐合, 有利于形成东西纬向降水分布。

(3) 2003 年 6~7 月和 2004 年夏季降水的分布特征可能与同期的印度洋异常海温有重要的联系。历史资料的合成分析显示, 印度洋偶极模正相位 (东冷西暖) 异常海温有利于中国西南降水增加和西北降水减少, 南方异常降水的西移和北方降水的东进, 将趋向于形成东西纬向型降水分布; 而印度洋偶极模负相位 (东暖西冷) 异常海温使中国西南降水减少, 西北降水增加, 南方降水的东退和北方降水的西移, 将趋向于形成南北经向型降水分布。

(4) 印度洋偶极模不同相位异常海温主要通过影响中国纬向风的异常分布来影响降水的分布型, 印度洋偶极模正相位 (东冷西暖) 异常海温中国大陆异常纬向风呈东西一致型分布, 东、西风的交界线呈纬向; 而印度洋偶极模负相位 (东暖西冷) 异

常海温使中国大陆异常纬向风呈东、西反向分布,东、西风的交界线呈准经向。

由于影响降水的因素很多,单一影响机制的考虑很难得到全面的解释,本文的分析仅仅是对印度洋偶极模异常海温对中国降水分布型可能影响的一个初步分析。与太平洋异常海温相比,印度洋异常海温是一个较弱的信号,其影响中国降水的机制还有待进一步研究。

致谢 感谢国家气候中心提供的全国降水资料以及段玮先生提供的帮助,特别感谢审稿人和编辑的耐心审阅和修改。

参考文献 (References)

- [1] 赵振国. 中国夏季旱涝及环境场. 北京: 气象出版社, 1999. 1~11
Zhao Zhenguo. *The Precipitation Anomaly over China and Its Environmental Fields in Summer* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1999. 1~11
- [2] 黄荣辉, 张振洲, 黄刚, 等. 夏季东亚季风区水汽输送特征及其与南亚季风区水汽输送的差别. 大气科学, 1998, **22** (4): 460~469
Huang Ronghui, Zhang Zhenzhou Huang Gang, et al. Characteristics of the water vapor transport in East Asian monsoon region and its difference from that in South Asian monsoon region in summer. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica)* (in Chinese), 1998, **22** (4): 460~469
- [3] Xu Xiangde, Zhou Li, Zhang Shengjun, et al. Characteristics of the correlation between regional water vapor transport along with the convective action and variation of the Pacific subtropical high in 1998. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2003, **20** (2): 269~283
- [4] 杨支中, 沙文钰. 1998 年夏季南海和孟加拉湾地区的大尺度经向水汽输送诊断分析. 海洋预报, 2001, **18** (2): 13~21
Yang Zhizhong, Sha Wenyu. A diagnostic analysis of the large-scale vapor meridional diagnostic transfer from South China Sea and Bangladesh's territory in 1998 summer. *Marine Forecasts* (in Chinese), 2001, **18** (2): 13~21
- [5] 姚文清, 徐祥德, 张雪金. 1998 年长江流域梅雨期暴雨过程的水汽输送特征. 南京气象学院学报, 2003, **26** (4): 496~503
Yao Wenqing, Xu Xiangde, Zhang Xuejin. Water vapor features in the heavy monsoon precipitation processes of 1998 over the Yangtze basin. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology* (in Chinese), 2003, **26** (4): 496~503
- [6] 康志明. 2003 年淮河流域持续性大暴雨的水汽输送分析. 气象, 2004, **30** (2): 20~24
Kang Zhiming. Analysis of moisture transfer associated with sustained heavy rain in 2003 over Jianghuai valley. *Meteorological Monthly* (in Chinese), 2004, **30** (2): 20~24
- [7] Wallace J M, Horel J D. Planetary-scale atmospheric phenomena associated with the Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, 1981, **109**: 813~829
- [8] 李崇银. El Niño 事件与中国东部气温异常. 热带气象学报, 1989, **5** (3): 210~219
Li Chongyin. El Niño event and the temperature anomalies in eastern China. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 1989, **5** (3): 201~219
- [9] 刘永强, 丁一汇. ENSO 事件对我国季节降水和温度的影响. 大气科学, 1995, **19** (2): 200~208
Liu Yongqiang, Ding Yihui. Reappraisal of the influence of ENSO events on seasonal precipitation and temperature in China. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica)* (in Chinese), 1995, **19** (2): 200~208
- [10] 赵振国. 厄尔尼诺现象对北半球大气环流和中国降水的影响. 大气科学, 1996, **20** (4): 422~428
Zhao Zhenguo. Impact of El Niño events on atmospheric circulations in the Northern Hemisphere and precipitation in China. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica)* (in Chinese), 1996, **20** (4): 422~428
- [11] 黄荣辉, 孙凤英. 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. 大气科学, 1994, **18** (2): 141~151
Huang Ronghui, Sun Fengying. Impacts of the thermal state and the convective activities in the tropical western pacific warm pool on the summer climate anomalies in East Asia. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica)* (in Chinese), 1994, **18** (2): 141~151
- [12] Lau K M, Wu H T. Intrinsic modes of coupled rainfall/SST variability of the Asian summer monsoon: A reassessment of the monsoon-ENSO relationship. *J. Climate*, 2001, **14** (13): 2880~2895
- [13] Ropelewski C F, Halpert M S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, 1987, **115**: 1606~1626
- [14] Shukla J. Effect of Arabian Sea surface temperature anomaly on Indian summer monsoon: A numerical experiment with the GFDL Model. *J. Atmos. Sci.*, 1975, **32**: 503~511
- [15] Saji N H, Goswami B N, Viayachandrom P N, et al. A dipole mode in the tropical Indian Ocean. *Nature*, 1999, **401**: 360~363
- [16] Webster P T, Moore A M, Loschnig J P, et al. Coupled ocean-atmosphere dynamics in the Indian Ocean during 1997-98. *Nature*, 1999, **401**: 356~360
- [17] 肖子牛, 晏红明. El Niño 位相期间印度洋海温异常对中国南部初夏降水及初夏亚洲季风影响的数值模拟研究. 大气科学, 2001, **25** (2): 174~183
Xiao Ziniu, Yan Hongming. A numerical simulation of the

- Indian Ocean SSTA influence on the early summer precipitation of the southern China during an El Niño year. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2001, **25** (2): 174~183
- [18] 肖子牛, 晏红明, 李崇银. 印度洋地区异常海温的偶极振荡与中国降水及温度的关系, *热带气象学报*, 2002, **18** (4): 335~344
- Xiao Ziniu, Yan Hongming, Li Chongyin. The relationship between Indian Ocean SSTA dipole index and the precipitation and temperature over China. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 2002, **18** (4): 335~344
- [19] 闫晓勇, 张铭. 印度洋偶极子对东亚季风区天气气候的影响. *环境与气候研究*, 2004, **9** (3): 435~444
- Yan Xiaoyong, Zhang Ming. A study of the Indian Ocean dipole influence on climate variations over East Asian monsoon region. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2004, **9** (3): 435~444
- [20] 李崇银, 穆明权, 赤道印度洋海温偶极子型振荡及其气候影响, *大气科学*, 2001, **25** (4): 433~443
- Li Chongyin, Mu Mingquan. The dipole in the equatorial Indian Ocean and its impacts on climate. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2001, **25** (4): 433~443
- [21] 肖子牛, 孙绩华, 李崇银. El Niño 期间印度洋海温异常对亚洲气候的影响. *大气科学*, 2000, **24**: 461~469
- Xiao Ziniu, Sun Jihua, Li Chongyin. Influence of the Indian Ocean SSTA on Asian climate during an ENSO period. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2000, **24**: 461~469