冬夏季环流隔季相关的数值试验

杨辉陈隽孙淑清

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试验室,北京 100029

摘 要利用海气耦合和大气气候模式研究东亚冬季风异常对夏季环流的影响,结果表明,东亚冬季风异常对于 后期环流及海洋状态异常都起了很大的作用。一般情况下,强的冬季风与后期弱的东亚夏季风和较强的南海季 风相对应。与强(弱)冬季风异常相关的风应力的改变可以使热带太平洋海温从冬季至夏季呈现 La Niñna (El Niño)型异常分布。试验得到的由冬季风异常所产生的海洋及夏季环流的变化与实况是相当接近的。在异常的冬 季风偏北风分量强迫下,西太平洋上形成的偏差气旋环流在夏季已不存在,这时东亚夏季风反而增强。而冬季赤 道西风分量所产生的影响,则在西太平洋上形成显著的偏差气旋环流,使东亚副热带夏季风减弱,南海夏季风加 强。对于东亚大气环流而言,与强弱冬季风对应的热带海洋海温异常强迫下,不仅是冬季,后期春季和夏季风流 的特征都能得到很好的模拟。但是从分区看,西太平洋暖池区的海温异常比东太平洋更为重要。单纯的热带中东 太平洋的海温异常对东亚大气环流的影响主要表现在冬季,对后期的影响并不十分清楚。整个热带海洋的异常 型分布(不论是 El Niño 还是 La Niña)型,对冬夏季风的影响是重要的,而单纯的某个地区的海温异常都比它的整 体影响要小。从试验结果看,海温在大尺度冬夏季环流的隔季相关中起了十分重要的作用。 关键词 东亚冬季风 海气相互作用 夏季风 隔季相关 数值试验

文章编号 1006 - 9895(2005)03 - 0396 - 13 中图分类号 P461 文献标识码 A

Numerical Experiment on the Interseasonal Connection of Circulation

YANG Hui, CHEN Jun, and SUN Shu-Qing

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

Abstract Based on numerical experiments of the Global Ocean-Atmosphere-Land System Model(CGCM) and the atmosphere general circulation model (LGCM) developed by State Key Laboratory of Atmospheric Sciences and Ge-ophysical Fluid Dynamics (LASG), the influence of East Asian winter monsoon on the circulation of coming spring and summer is studied. Sensitivity experiments show that the anomalous East Asian winter monsoon plays a main role in interseasonal connection of circulation and SST anomaly (SSTA) distribution. Strong winter monsoon is accompanied by the posterior weak East Asian summer monsoon and strong South China Sea summer monsoon. Anomalous wind stress forcing of strong (weak) winter monsoon makes the tropical Pacific SSTA form La Niña (El Niño) pattern. Both the circulation and SSTA distribution forced by anomalous winter monsoon are in good agreement with the observed results. The northerly component of the winter monsoon becomes stronger. The tropical westerly component over the winter monsoon anomaly makes the anomalous cyclone over the western Pacific form and the East Asian summer monsoon becomes stronger. The circulation and the East Asian summer monsoon stronger. The circulation and the East Asian summer monsoon stronger.

收稿日期 2003-10-29, 2004-03-17 收到修定稿

资助项目 国家重点基础研究专项经费(编号: 2004CB418303),国家自然科学基金资助项目 40135020,40233033、40325015

作者简介 杨辉, 女, 1962年出生, 副研究员, 主要从事气候变化的研究。E-mail: yanghui@mail. iap. ac. cn

tions over East Asia in winter and coming spring and summer are well simulated by the tropical SSTA effect in LCGM. Influence of the western Pacific warm pool SSTA is more important than the eastern tropical Pacific. The eastern tropical Pacific SSTA is favorable to the East Asian circulations in winter instead of coming seasons. The whole tropical SSTA pattern (El Niño or La Niña) plays a main role in winter and summer monsoons in comparison with the western Pacific warm pool or the eastern tropical Pacific SSTA. These results suggest that the sea surface temperature plays an important medium role in interseasonal connection.

Key words East Asian winter monsoon, air-sea interaction, summer monsoon, interseasonal connection, numerical experiment

1 引言

东亚冬季风是北半球冬季信号较强的系统,它 控制东亚大陆可达半年之久。从长期天气过程演变 角度来看,对后期的大气环流有重要影响。而东亚 冬季风又有明显的年际变化,所以冬季风异常必将 造成后期大气环流及气候的异常。

观测研究表明:东亚冬季风异常与后期环流形 势存在较好相关。liu等^[1]曾讨论过北半球冬季天 气型与随后春季中国降水的关系,他们用聚类分析 的方法把北半球冬季 500 hPa 流场主要概括为 5 类,用它们去寻找中国大陆春夏季不同时段降水的 最佳关系,发现冬季北半球 500 hPa 上的第4类流 型与次年春季我国华南前汛期的降水有很好的相 关。孙淑清等^[2]发现,江淮夏季旱(涝)年前冬大型 环流已出现较大差别。旱年前冬欧亚中高纬呈现经 向环流,寒潮活动频繁,冷涌强度大,使南海至菲 律宾地区对流活动趋于活跃,该经度上跨赤道偏北 气流也较强,是强冬季风的特征;而涝年前冬则呈 现相反趋势。

陈隽等^[3,4]从冬季风异常出发,研究了冬季风 与全球环流特别是低纬大气环流的关系,指出由于 冬季风异常所带来的最大变化发生在热带太平洋地 区。强冬季风年中,西太平洋暖池地区的对流辐合 引起的上升运动加强,中东太平洋信风也较强,使 低纬的 Walker 环流远强于弱冬季风年。这些主要 特征具有明显的持续性,与冬季风异常相应的大尺 度环流异常一直持续至春季和夏季。从季节过渡 看,强冬季风年所对应的未来夏季降水及季风强度 都与弱冬季风年截然不同。冬季风的异常还明显影 响到南海夏季风的爆发早晚和强度^[5]。陈文等^[6]也 讨论过冬夏季风的相互关系以及异常冬季风对后期 夏季降水的影响,结果也是比较一致的。这些都说 明冬夏环流之间确实存在较好的隔季相关。

在探讨冬夏季环流相互联系的机制时,研究认 为可能的物理过程之一是通过下垫面热状况(如海 温、积雪等)的改变来影响后期环流。通过冬季风 强度与后期海温的相关分析揭示了海温作为下垫面 在冬夏季风相互作用中的中介作用[7]。研究结果还 表明,强冬季风造成的低纬流场异常极有利于热带 太平洋海温西高(暖池区)东低(东太平洋)的异常分 布,大体与La Niña 的海温型一致,而在亚洲大陆 近海及南海地区,则维持较强的负距平,海水温度 明显偏低;而弱冬季风年则相反^[4]。这种特殊的海 温型也有持续性, 它可以持续至夏季, 这样必将反 过来影响后期的天气和环流,因此,冬季风在海气 相互作用中起着推动的作用,而海温可能是维持冬 夏季环流持续异常的中介^[8]。纪立人等^[9]在研究强 弱冬季风对比的基础上,也指出冬季风异常造成环 流隔季相关,并认为海温在这种滞后相关中起重要 的作用,他们的数值试验还给出冬季风对随后夏季 隆水的影响。

为了进一步研究和证实这种联系,我们针对冬季风异常时风场的突出变化以及海洋作为隔季相关的中介这两点,用数值试验的方法研究它对环流隔季相关的影响,即在风场异常强迫下,夏季环流的变化以及在与冬季风异常相对应的海温强迫下对大气环流的影响。

2 模式和试验方案介绍

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研制的全球海气耦 合模式(简称 CGCM)能够克服"气候漂移"问题,对 大气和海洋的气候平均态及其年际变化有较好的模 拟能力^[10],模式输出结果与观测资料分析基本相 符,充分说明了大气和海洋之间的变化包含着内在 的联系。由此看来,CGCM 能够较好地描述大气与 海洋状况的年际变化,而且它所体现的冬季风异常 大 气 科 学 Chinese Journal of Atmospheric Sciences

模式	名称	异常强迫源	强迫范围	强迫时间	强迫图例
Model	Name	Forcing	Area	Duration	Figure
CGCM	C1	实际风矢量	季风区(10°S~50°N, 40°E~160°E)	三个月	图 la、b
		Real wind vector	(10°S~50°N, 40°E~160°E)	3 months	Figs. 1a, b
	C2	实际纬向风			图 1c、d
		Real zonal wind			Figs. 1c, d
	C3	实际经向风			图 1e、f
		Real meridional wind			Figs. 1e, f
LGCM	L1	实际海温	热带海洋(16°S~38°N, 40°E~100°W)	三个月	图 7a、b
		Real SST	(16°S~38°N, 40°E~100°W)	3 months	Figs. 7a, b
	L2	实际海温	西太平洋(7°S~20°N, 120°E~165°E)		
		Real SST	(7°S~20°N, 120°E ~165°E)		
	L2b	加倍海温			
		Double SST			
	L3	实际海温	东太平洋(7°S~20°N, 180°~100°W)		
		Real SST	$(7^{\circ}S\sim 20^{\circ}N, 180^{\circ}\sim 100^{\circ}W)$		
	L3b	加倍海温			
		Double SST			

表 1 敏感性试验一览表 Table1 Sensitivity experiments

特征与观测资料分析结果基本一致,因此其计算结 果是可信的。

为了进一步验证该模式对实际气候的模拟能力,我们在国际大气环流模式比较计划(AMIP)提供的十年实测海温强迫下对去掉海洋过程但包括陆面过程的大气模式(简称LGCM)进行积分,并对其输出结果进行分析。结果表明,在冬季风较强或较弱的年份,无论是同期还是后期的环流等特征都模拟得相当成功,比CGCM的结果更加接近实测资料分析的冬季风异常特征(图略)。

下面,我们将通过此模式的敏感性试验来研究 东亚冬季风异常在 ENSO/季风循环中的作用,试 验主要分为两个部分:

(1)通过完整的海气耦合模式(CGCM)的冬季 风异常型风应力敏感性试验考察冬季风异常对大气 和海洋状态的影响。

由于海洋和大气之间存在着双向影响的非线性 相互作用,冬季风异常所引起的大气和海洋状态变 化又会产生各自的影响效应,因而在 CGCM 中我 们得到的是海气相互影响的结果,为了更深入地了 解其中的大气环流和下垫面(如海洋)等因子的作 用,还必须对 CGCM 作必要的简化。

(2)为了考察下垫面因子的作用,去掉 CGCM 中的海洋变化过程,用与冬季风异常相匹配的异常

海温来强迫其中的大气环流模式(LGCM,仍含有陆面过程),研究重点是大气对海洋热力变化的响应。

各个敏感性试验如表1所示,异常强迫分别来 源于实际资料的强弱冬季风年^[5](强冬季风年: 1984、1985、1986年,弱冬季风年:1987、1991、 1993年)冬季(DJF)平均的合成分析结果。由于资 料等原因,试验积分从1月1日开始,试验中的冬 季为1月和2月平均。

3 海气耦合模式风应力敏感性试验

本文着重从东亚冬季风异常入手,力图探讨冬 季风异常在大气和海洋的气候变异中的作用,因 此,在设计耦合模式的敏感性试验时主要考虑与东 亚冬季风异常相应的风应力异常强迫。

CGCM 控制试验以海气耦合模式第 2300 年 12 月 31 日最后一个时刻输出的大气和海洋积分结果 作为初始场,然后在气候平均的反照率、辐射、海 温、雪盖、冰盖、植被等条件下积分一年,并把其 输出结果作为各个敏感性试验的参照状态。敏感性 试验的步骤与控制试验基本相同,唯一的差别是在 某个时期对海洋模式进行积分时加上一定的异常风 应力。异常风应力的选取是用实际分析的资料。异 常风应力的计算公式为: $T = \rho_a C_b |\Delta V|V$,其中, T 为 风 应 力, V 为 异 常风, ρ_a 为 大 气 密 度(取 1.275



图 1 CGCM 敏感性试验风应力异常强迫示意图 (单位: N•m⁻²): (a) 强年风矢量; (b) 弱年风矢量; (c) 强年纬向风; (d) 弱年纬向风; (e) 强年经向风; (f) 弱年经向风

Fig. 1 Anomalous wind stress forcing(units: $N \cdot m^{-2}$): (a) Strong wind vector; (b) weak wind vector; (c) strong zonal wind; (d) weak zonal wind; (e) strong meridional wind; (f) weak meridional wind

kg・m⁻³), $C_{\rm D}$ 为粘滞系数(取 2.2×10⁻³), $|\Delta V| = \sqrt{u^2 + v^2}$ 是大气风速值。

为了尽可能地接近实际,所取的风应力范围较 大,基本覆盖了整个东亚冬季风区(10°S~50°N, 40°E~160°E)。风应力异常强迫如图1所示,来源 于实测资料的强弱冬季风合成分析结果。我们把源 于强冬季风年水平风场距平的异常风应力敏感性试 验称为"强风试验"、源于弱冬季风年距平风场的试 验称为"弱风试验"。每个试验中风应力异常强迫从 1月持续至3月,然后撤消,即恢复气候状态的风 应力。

3.1 CGCM 风矢量应力异常强迫试验(试验 C1)

在数值试验中,我们更为关注的是冬季风异常 对后期环流的影响。为了节约篇幅,这里只给出强 风试验减去弱风试验的 1000 hPa 风场差值的结果, 它们相当于放大的强风试验与控制试验之差,事实 上强风试验和弱风试验与控制试验的对比结果基本 呈相反趋势(图略)。为了进行对比,我们给出了用 观测资料分析的与实际强弱冬季风相对应(强冬季 风年:1984、1985、1986 年,弱冬季风年:1987、 1991、1993 年)的 1000 hPa 风场差值图(图 2)。在 东亚地区,强的距平北风一直伸展到菲律宾北部,



图 2 观测分析的 1000 hPa 风场差值(强冬季风年 1984、1985、1986 年与弱冬季风年 1987、1991、1993 年之差) Fig. 2 Observed 1000-hPa wind vector difference [the strong (1984, 1985, 1986) minus weak (1987, 1991, 1993) winter monsoon]



图 3 CGCM 风矢量强迫试验 C1 的 1000 hPa 风场差值(强风试验与弱风试验之差)

在该处出现一个差值的气旋式环流。这些特征一直 维持到春季和夏季。再来注意试验的结果:从图 3 可见,在强风作用下,冬季最显著的低空风场异常 区出现在东亚大陆沿海一带,为大片的北风距平 区,菲律宾以东的西太平洋上则出现距平气旋环 流,这显然就是强冬季风的形势,并且与图2的实 际差值图中的特征十分一致;在此后的春季和夏季 图中,该偏差气旋环流基本维持,东亚沿海为偏北 距平风, 使得东亚副热带夏季风减弱, 而南海南部 的夏季风则加强。这些基本特征与图 2 的实况是一 致的。与孙淑清和陈隽的分析结果[4,8] 也是一致 的。模拟的图 3 与实况图 2 比较,冬季模拟的印度 洋上的气旋性差值环流位置偏西,孟加拉湾南部为 异常偏东风,索马里越赤道气流异常向北,但是冬 季印度洋上的赤道西风主体还是预报得很好。春季 模拟的东亚大陆为异常偏南风, 但风速不大, 由于 在强风作用下,最显著的低空风场异常区出现在东 亚大陆沿海一带,为大片的北风距平区,这符合观 测事实。冬、春季模拟的赤道西太平洋为异常向南 越赤道气流,但是风速小干1m•s⁻¹。总之,主要

的环流形势预报出来了。

在 1000 hPa 风场的差值图(图 3)中,冬季赤道 西太平洋上为东风异常。但在春季,海洋大陆的西 风异常就比较明显了。到了夏季之后,低空的西风 异常已经非常强烈地发展起来,这在 850 hPa 水平 风场的季节演变图上表现得更为清晰(图略)。这说 明,在强冬季风的持续强迫下,赤道西风将不断发 展,这个信号预示着海温的变化(这个问题在以后 将进一步研究)。

与大气环流的变化相对应,海洋表面温度也出现 了明显的异常。强冬季风使得东亚沿海尤其是南海北 部从冬季至夏季一直维持着冷海温距平(见图 4),而 热带西太平洋,则为明显的暖区,但是冬季的强度要 强。赤道东太平洋基本上是一个负距平区,随着季节 的推移,负距平有所发展。到夏季成为典型的 La Niñā 型海温距平。这种变化及分布与观测事实也是一致 的^[5]。值得注意的是,虽然西太平洋一直维持暖海温, 但是从冬季到夏季,该暖海温区有向东扩展的趋势。 因此,海温对于冬季风异常有明显的响应并有季节持 续性,反过来它必将影响后期的环流。



图 4 CGCM 风矢量强迫试验 C1 的海温差值(强风试验与弱风试验之差,单位:℃): (a)冬季; (b)春季; (c)夏季 Fig. 4 Same as Fig. 3, but for SSTA (units: ℃)

3.2 纬向与经向风应力异常强迫对后期风场的影响(试验 C2、C3)

试验 C2、C3 分别把强迫场中的风矢量分解成 纬向风和经向风,然后以与试验 C1 同样的方式和 范围对模式进行积分,每一个试验也都包含了强冬 季风(强风试验)和弱冬季风(弱风试验)强迫。其异 常风应力分布见图 1 c~f。可以看出,虽然强迫范 围仍较大,但实际西风异常主要表现在热带地区。

先来看看纬向风强迫的情况。十分有趣的是, 虽然强迫场中只留下纬向风,但东亚地区的冬、 春、夏季风场仍然受到较大影响。从各季节的1000 hPa风场距平图(强减弱,下同)(图5)上可以看到, 在冬季,东亚中高纬沿海仍有北风出现,从春季到 夏季大陆上北风距平还有所加强,并在西太平洋上 形成显著的距平气旋环流,但纬度较高。该气旋环 流表明东亚大陆上副热带夏季风减弱、南海夏季风 加强。此外,从春季开始,热带西太平洋上的西风 异常也逐渐发展起来。这与试验C1的结果是较为 相似的。但是总体而言,无论是东亚大陆沿岸的北 风还是西太平洋上的距平气旋环流都较试验C1为 弱。模拟的图 5 在冬、春季印度洋上为东风异常, 这与实况图 2 是相反的。但在夏季印度洋上为西风 异常,与实况符合。

对于经向风应力异常强迫试验(试验 C3),"强 风试验"与"弱风试验"中的异常风应力如图 1e、f 所示,其地域范围及持续强迫时间与前两个试验相 同。比较 1000 hPa 风场距平的季节演变图(图 6) 与前两个试验结果,其主要特征是相似的,尤其是 冬春季节东亚沿海地区的北风和西太平洋上的气旋 环流,但到夏季,距平气旋已不存在,这时东亚夏 季风反而增强。这与试验 C1(风矢量强迫)的结果 是完全不同的,说明单纯的偏北风强迫不能达到风 矢量应力强迫的效果。值得注意的是,仅有北风强 迫时,赤道西太平洋上的西风异常也出现了,只是 强度没有前两个试验大。

由以上三个敏感性试验结果可见,冬季风异常 对后期大气环流产生影响是十分明显的。在强冬季 风强迫下,后期夏季南海季风偏强,而东亚副热带 季风则偏弱;弱冬季风强迫的结果则与此相反。当 强迫的风矢量变成纬向或经向风时,它们对后期东



图 5 CGCM 纬向风强迫试验 C2 的 1000 hPa 风场差值(强风试验与弱风试验之差)



图 6 CGCM 经向风强迫试验 C3 的 1000 hPa 风场差值 Fig. 6 Same as Fig. 5, but for the C3 experiments

亚大气环流所产生的作用就有差异,纬向风的强迫 作用看来更为重要。

4 冬季海洋热状况对后期环流影响——陆气耦合模式试验

在引言中已经指出,强、弱冬季风所对应的热带海温是极其不同的,而且这种海温的差别有季节性的持续。因此,海温可能在环流的隔季相关中起中介的作用。为了进一步证实这一点,更加深入探索海温异常的作用,研究与冬季风异常相对应的海温分布对后期大气环流所起的作用,特别要研究各个海域海温异常的作用。因此把CGCM中的海洋变化过程去掉,用陆气耦合模式(简称为LGCM),以异常海温作为下垫面条件来对模式进行强迫。

LGCM 控制试验仍以 GOLAS/LASG 第 2300 年 12 月 31 日最后一个时刻输出的大气积分结果为 初始场,在气候平均的反照率、辐射、冰雪、植被 等条件下积分 8 个月,将其输出结果作为各个敏感 性试验的参照状态。本节所有敏感试验中的海温异 常强迫场来源于实测资料强弱冬季风年的合成分析 结果^[5],为了尽可能地接近实际,海温异常强迫场 范围较大(16°S~38°N,40°E~100°W),涉及亚洲 东部的太平洋和南部的印度洋,但距平中心主要在 热带太平洋上(图7)。异常海温强迫时间为1月至 3月,主要突出冬季海温异常的作用。

海温异常试验分为三个方面:一是热带地区海 温异常的影响;二是主要研究西太平洋以暖池区海 域为中心的热状况,包括它的不同强度异常对环流 的作用;最后是不同强度的东太平洋海温异常对环 流作用的试验。

4.1 冬季热带海温对后期环流的影响(试验 L1)

从冬季 1000 hPa 水平风场(图 8)上,我们看到 强冬季风型海温异常强迫使得东亚大陆及沿海地区 的偏北风显著加强,尤其有意思的是西太平洋暖池 区出现了西南风距平,在菲律宾附近形成了一个较 强的偏差气旋环流(图 8b);而弱冬季风型海温异 常强迫则使东亚冬季风偏弱,并在菲律宾附近产生 了反气旋性偏差环流(图 8c)。这些结果与实测资 料分析的强弱冬季风形势完全一致^[4],这不但说明 该模式对气候变化确实有很强的模拟能力,而且也



图 7 LGCM 所用的异常海温强迫(单位:℃):(a)强冬季风;(b)弱冬季风

Fig. 7 Anomalous SST forcing (units: °C) corresponding to strong winter monsoon (a) and weak winter monsoon (b)



图 8 LGCM 热带异常海温强迫试验 L1 的冬季 1000 hPa 水平风场分布: (a) 控制试验; (b) 强年距平; (c) 弱年距平 Fig. 8 1000-hPa wind vector in winter in the L1 experiments: (a) Control; (b) SSTA forcing of strong winter monsoon; (c) SSTA forcing of weak winter monsoon

404

能说明热带太平洋的海温异常与东亚冬季风异常之间存在着非常密切的关系。

LGCM 不仅能够很好地模拟出冬季风异常与 海温的关系,而且也能较好地描述海温异常对后期 大气环流的影响。在1000 hPa 风场差值(强减弱) 图上(图略),冬季东亚大陆有较强的偏北风以及热 带西太平洋上空的气旋式差值环流,这与上一节描 述的冬季形势是一致的。春季和夏季的情况大致与 实况相同(与图2比较),只是在春季,暖池区的偏 差气旋环流似乎不明显,但在菲律宾北侧仍保留较 强的偏北风。对于夏季的模拟结果,这里给出夏季 的 850 hPa 风场(图 9)。在对应于强冬季风的海温 异常强迫下,出现了加强的索马里急流和印度、南 海夏季风,东亚副热带夏季风则减弱,与实况及海 气耦合模式试验结果十分一致。而弱冬季风海温强 迫下的夏季形势则相反。虽然弱冬季风海温强迫下 的夏季形势在长江及以北地区为较弱的北风距平, 但是与强弱冬季风对应的后期东亚副热带夏季风最 显著的差异在长江以南地区(如图 2c)。

由此可见,就冬夏季季风环流的隔季相关而 言,海温起了十分重要的作用。在这种情况下,不 论是完全的海气耦合模式或单纯以海温作为外强迫 的大气环流模式,其试验结果基本上是一致的。

在对热带海洋的研究中,大量的观测分析还表明,热带西太平洋及东太平洋海域的海温异常对亚 洲地区天气的影响最大,也最受人们的关注。下面 我们分别来研究它们的异常在环流隔季相关中的作 用。

4.2 冬季热带西太平洋海温异常的影响(试验 L2)

本试验的海温异常强迫依然如图 7 所示,只是 范围限制在热带西太平洋(7°S~20°N,120°E~ 165°E),距平中心主要在暖池区内,其余地区则取 气候平均值。海温异常强迫时间为1月至3月。

在单纯的西太平洋暖海温强迫下,考察冬、 春、夏三个季节的流场(图10)发现,在冬季它仍能 很好地反映冬季风各项特征,只是强度要比全热带 海温强迫下的略小(图略)。夏季的情形则稍差,虽 然在东亚地区也出现了偏北风,但量值要比全热带 海温强迫下的风要小。

当我们把异常海温强度加倍(试验 L2b)后,从 1000 hPa 风场(图略)上看,冬季风加大了,夏季东 亚地区的偏北风距平也更接近全热带海温强迫结



图 9 LGCM 热带异常海温强迫试验 L1 的夏季 850 hPa 水平风场分布: (a) 控制试验; (b) 强年距平; (c) 弱年距平 Fig. 9 Same as Fig. 8, but for the summer 850-hPa wind



图 10 LGCM 西太平洋热带异常海温强迫试验 L2 的 1000 hPa 水平风场差值

Fig. 10 1000-hPa wind vector difference (the strong minus weak winter monsoon SSTA forcing) in the L2 experiments



Fig. 11 Same as Fig. 10, but in the L3 experiments

果,但是印度夏季风却发生了很大变化,它变成了 偏东的距平风,与全热带海温强迫试验的情况正好 相反。对比以上几组试验结果即可发现,即使东太 平洋海温没有出现太大的异常,西太平洋海温的热 力强迫对于亚洲地区的环流影响仍是很大的。但是 对于印度夏季风而言,情况要复杂得多。

可见,在强烈的暖池区异常海温强迫下,亚洲 大陆环流都会受到较大的影响。

4.3 热带东太平洋海温异常的影响(试验 L3)

在关于海气相互作用的讨论中,西太平洋和东 太平洋海温对东亚大气环流影响的相对重要性问题 一直受到关注。暖池区虽然靠近亚洲大陆但海温异 常幅度小;而东太平洋虽远离亚洲但海温异常幅度 大(见图 7)。本节考察东太平洋海温异常对冬夏环 流的影响。

试验 L3 的海温异常分布参照图 7, 但范围限 制在热带中东太平洋 (7°S~20°N, 180°~100°W), 其余海温为气候值。强迫时间为冬季三个月。

在与强冬季风对应的东太平洋海温异常强迫 下,低空1000 hPa风场异常在冬季是:东亚为强冬 季风,暖池区也形成了差值气旋(见图11a),与西 太平洋暖海温强迫的效果相同。这说明单纯的东太 平洋海温异常可能会通过某种物理过程影响西太平 洋和东亚地区的大气环流。这种效应在后期春、夏 季仍然存在,不过它对东亚夏季风影响(见图11c) 却与西太平洋海温异常的作用结果相反(见图 10c),这与观测事实也是不符的(对比图2)。可见 对于亚洲的夏季环流而言,仅有单纯的东太平洋海 温异常而无西太平洋特别是暖池区相应的海温异常 分布,其影响作用是不够的,必须是一种特定的海 温分布型,其作用才明显。这也说明了 El Niño (或 La Niña)现象对东亚大气环流影响的复杂性。

在强度加倍的东太平洋海温异常试验(试验 L3b)中,东亚冬季风异常幅度变大,但是它对东亚 夏季风的改变仍不明显(图略)。这进一步说明了单 纯的东太平洋海温异常对东亚环流的影响是不够明 显的。

从以上两组试验(L2 与 L3)看,只改变冬季的 西太平洋暖池区或东太平洋的海温,而其他地区海 温作为气候平均对流场进行强迫,则后期的环流或 季风特征都很难与实况接近。只有在整个热带海温 发生相应变化时,其作用才明显并与实况接近。这 个结果与纪立人等^[9]的数值试验结论是一致的。他 们也特别强调热带海温异常作为一个整体对冬夏季 环流的影响的重要性。单纯的某个地区的海温异常 都比它的整体影响要小得多。比较而言,西太平洋 暖池区的海温异常对于东亚地区大气环流的作用, 不论是同期还是后期,都比东太平洋海温更为重 要。

5 结论

采用中国科学院大气物理研究所(IAP)大气科 学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室 (LASG)的全球海气耦合气候模式和大气模式进行 各种敏感性试验,研究东亚冬季风异常对夏季风的 作用。

(1) 东亚冬季风异常对于后期环流及海洋状态 异常都起很大的作用。与强(弱)冬季风异常相关的 风应力的改变可以使海温呈现 La Niña(El Niño)型 异常分布。这些变化无疑影响了后期环流。一般情 况下,强的冬季风与后期弱的东亚夏季风及较强的 南海季风相对应。由冬季风异常所产生的海洋及夏 季环流变化的试验结果与实况是相当接近的。

(2) 在冬季风异常的偏北风分量强迫下,西太 平洋上形成的偏差气旋在夏季已不存在,这时东亚 夏季风反而增强。在冬季赤道西风分量所产生的影 响下,西太平洋上形成显著的偏差气旋环流,使东 亚副热带夏季风减弱,印度和南海夏季风加强。

(3)对于东亚大气环流而言,在与强弱冬季风 对应的热带海洋海温异常强迫下,不仅是冬季,后 期春季和夏季环流的特征都能得到很好的模拟。但 是从分区看,西太平洋暖池区的海温异常比东太平 洋更为重要。单纯的热带中东太平洋的海温异常对 东亚大气环流的影响主要表现在冬季,对后期的影 响似乎不十分清楚,甚至与西太平洋及全热带海温 强迫影响相反。整个热带海洋的异常型分布(不论 是 El Niño 还是 La Niña)对冬夏季风的影响是重要 的,而单纯的某个地区的海温异常都比它的整体影 响要小。从试验结果看,海温在大尺度冬夏季环流 的隔季相关中起了十分重要的作用。

参考文献

[1] Liu H, Tosi E, Tibalti S. The relationship between northern hemisphere weather regimes in winter time and spring precip-

itation over China. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 1994, **120**: 185~194

- [2] 孙淑清,孙柏民.东亚冬季风环流异常与中国江淮流域夏季 旱涝天气的关系.气象学报,1995,53(4):440~450
 Sun Shuqing, Sun Bomin. The relationship between the anomalous winter monsoon circulation over East Asia and summer drought/flooding in the Yangtze River and Huaihe River valley. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 1995, 53(4): 440~450
- [3] 陈隽, 孙淑清. 东亚冬季风异常与全球大气环流变化 I. 强弱 冬季风影响的对比研究. 大气科学, 1999, 23(1): 101~111 Chen Jun, Sun Shuqing. Eastern Asian winter monsoon anomaly and variation of global circulation. Part I. A comparison study on strong and weak winter monsoon. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 1999, 23(1): 101~111
- [4] 陈隽,孙淑清.东亚冬季风异常与全球大气环流变化 II. 冬季风异常对全球热带海温变化的影响.大气科学,1999,23
 (3):286~295

Chen Jun, Sun Shuqing. Eastern Asian winter monsoon anomaly and variation of global circulation. Part II. Influence on SST by winter monsoon. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 1999, **23**(3): 286~295

- [5] 孙淑清,陈隽.异常东亚冬季风对夏季南海地区风场及热力 场的影响. 气候与环境研究, 2000, 5(4): 400~416 Sun Shuqing, Chen Jun. Influences of Anomalous East Asian Winter Monsoon on the Wind and thermal fields of the South China Sea Monsoon. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2000, 5(4): 400~416
- [6] Chen Wen, Graf H F. The interannual variability of East Asian winter monsoon and its relation to global circulation.

Max-Plank-Institute for Meteorology Report, No. 250, 1998

[7] 孙柏民,孙淑清.海温在东亚冬季风影响江淮流域旱涝中的 作用.见:黄荣辉主编.灾害性气候的过程及诊断.北京:气 象出版社,1996.46~53

Sun Bomin, Sun Shuqing. The role of SST in the East Asian winter monsoon affecting summer drought/flooding in the Yangtze River-Huaihe River valleys. *The Processes of Disastrous Climate and Its Diagnostics* (in Chinese), Huang Ronghui, Ed. Beijing: China Meteorological Press, 1996. $46 \sim 53$

- [8] 孙淑清,陈隽.冬季风异常与环流的隔季相关.见:何金海主编.亚洲季风研究的新进展——中日亚洲季风机制合作研究论文集.北京:气象出版社,1996.99~107
 Sun Shuqing, Chen Jun. The anomalous winter monsoon and its relation to the interseasonal connection of circulation. The Recent Advances in Asian Monsoon Research—The Proceedings of P. R. China Japan Cooperation Research Project on Asian Monsoon Mechanism (in Chinese), He Jinhai, Ed. Beijing: China Meteorological Press, 1996.99~107
- [9] Ji Liren, Sun Shuqing, Arpe K, et al. Model study on the interannual variability of Asian winter monsoon and its influence. Advances in Atmospheric Sciences, 1997, 14(1), 2~ 22
- [10] 吴国雄,张学洪,刘辉,等. LASG 全球海洋-大气-陆面系统 模式(GOALS/LASG)及其模拟研究. 应用气象学报,1997, 8:15~28

Wu Guoxiong, Zhang Xuehong, Liu Hui, et al. Global ocean-atmosphere-land system model of LASG (GOALS/ LASG) and its performance in simulation study. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), 1997, **8**: 15 \sim 28