

黄勇, 李崇银, 王颖. 太平洋经向模态对西北太平洋热带气旋影响的数值模拟研究[J]. 热带气象学报, 2011, 27(4): 433-441.

文章编号: 1004-4965(2011)04-0433-09

太平洋经向模态对西北太平洋热带气旋影响的数值模拟研究

黄勇¹, 李崇银^{1,2}, 王颖³

(1. 解放军理工大学气象学院, 江苏 南京 211101; 2. 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029;
3. 总参气象水文空间天气总站, 北京 100081)

摘 要: 在分析研究太平洋海气耦合经向模(Pacific Meridional Mode——PMM)和西北太平洋生成热带气旋频数变化关系的基础上, 利用NCAR的大气环流模式CAM3模拟研究了太平洋海气耦合经向模态对西北太平洋生成热带气旋的影响。结果表明, 海气耦合的经向模态通过影响热带气旋生成的大尺度环境从而影响热带气旋的频数和强度。在模式中当增加了PMM的海温强迫后, 纬向风切变变小, 对流层中低层相对湿度变大, 热带西太平洋对流层低层出现西风异常, 在西北太平洋地区形成一个异常的气旋性环流, 并且匹配有较大的正涡度异常; 对流层高层出现赤道东风异常和一个与低层气旋性环流相匹配的反气旋性环流, 有利于对流活动的发展, 从而有利于热带气旋的生成和发展。在增加了PMM的海温强迫的试验中, 热带气旋中心的海平面最低气压降低, 850 hPa中心附近最大切向风速增加, 气旋中高层的暖心强度增强。热带气旋强度总体增加。数值模拟结果与资料分析相互印证, 揭示了太平洋经向模态对西北太平洋热带气旋有重要影响。

关键词: 热带气旋; 太平洋经向模; 大气环流模式

中图分类号: P444

文献标识码: A

Doi: 10.3969/j.issn.1004-4965.2011.04.001

1 引 言

热带气旋是非常重要的天气现象, 对亚洲和太平洋区很多国家和地区均有重要影响^[1-2]。了解热带气旋的生成、发展和相关的典型特征已成为过去几十年里气象学领域具有挑战性的课题。其中关于大气和海洋气候模态变化对热带气旋影响研究是当前热带气旋研究的一个热门话题, 许多讨论的根本问题都是关于这种影响是如何引起的, 以及产生这种影响的物理机制是什么。

早期的学者已经注意到太平洋海气环境对西北太平洋热带气旋活动的影响, 也做了许多研究^[3-4]。李崇银^[5]提出西北太平洋台风发生频数与El Niño有明确关系, El Niño(La Niña)年平均台风数

少于(多于)多年平均。Chan^[6]进一步分析了El Niño及La Niña发生的前一年、当年及之后对西太平洋热带气旋活动频次的影响, 应用于西北太平洋热带气旋的季节预测^[7]。此外还有一些海气条件或天气系统^[8-10], 诸如: 风垂直切变、海表温度、大气的条件不稳定、对流层中低层相对湿度、低层相对涡度、季风槽、平流层准两年振荡等, 也与热带气旋活动有密切关系。近期的研究发现气候模态的变化与台风的频数变化存在明显联系。王会军等^[11]的研究指出, 作为南半球中高纬主要气候模态的南极涛动与西北太平洋台风生成频次有很好的相关关系, 从南半球中高纬到赤道西太平洋区的遥相关波列可能是联系南极涛动和台风活动的一个关键纽带。范可^[12]指出北太平洋

收稿日期: 2009-10-18; 修订日期: 2010-05-23

基金项目: 国家重点基础研究发展计划“973”项目(2007CB411805); 国家自然科学基金(U0833602); 解放军理工大学气象学院博士(后)科研启动基金共同资助

通讯作者: 黄勇, 男, 江苏省人, 博士, 主要从事热带气旋的研究。E-mail: huangyong_1024@yahoo.com.cn

海冰与西北太平洋台风生成频次存在相关。

热带气旋是一种海气相互作用的产物,一方面它的生成能量来源于海洋的蒸发和靠近中心的对流云的发展^[13]。另一方面大气环境变化也影响热带气旋的生成与运动,所以海气环境的变化对热带气旋的影响非常重要,这在先前的研究工作中都有反映。因此热带气旋的生成与运动必然受到海气耦合环境的影响。经向模表征了各大洋经向海气耦合的基本模态,Xie等^[14]的研究揭示了大西洋经向模的变化与北大西洋飓风路径的变化存在相关。Vimont等^[15]的研究指出大西洋经向模态和飓风的活动存在很好的相关关系,这种相关是因为大西洋经向模与许多大西洋大尺度气候条件存在相关而造成的。可见关于海气耦合模态与热带气旋关系方面的研究在大西洋已有开展,Chiang等^[16]指出太平洋有和大西洋相似的经向模存在,而且这种模态是太平洋自身本质物理上存在的模态。至于为什么会出现这样的模态,现在有两种解释:Nobre等^[17]认为这种模态是外强迫造成的。两个外强迫源是:ENSO和NAO。而Chang等^[18]认为海表温度(SST)梯度和越梯度流是一种正反馈(即风-蒸发SST反馈),认为风速影响蒸发加强了SST梯度。可见对于太平洋经向模生成的机制还存在着不同见解,但这个模态对热带气旋生成频数的影响却非常重要。黄勇等^[19]研究指出太平洋经向模与西北太平洋热带气旋活动的周期性在年际变化上存在较强的相关,这种关系的产生是由于与太平洋经向模有关的许多气候条件都对热带气旋的活动产生影响。但是太平洋经向模对热带气旋的结构、强度以及季节变化和年际变化的影响如何,仍是一个未完全搞清楚的问题。数值模拟是一种很有效的研究方法,能有针对性地研究太平洋经向模态对热带气旋的影响。因此本文通过数值模拟方法研究太平洋经向模(PMM)与西北太平洋地区生成热带气旋的关系,并初步分析其中的可能机制。

2 资料和模式介绍

本文主要利用中国气象局1961—2000年共40年的热带气旋资料、英国Hadley中心分辨率为

$1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 的月平均海表温度资料、NCEP/NCAR的分辨率为 $2.5^{\circ}\times 2.5^{\circ}$ 再分析月平均风场资料(用于进行SVD分解提取PMM模态)和欧洲中期天气预报中心(ECMWF)分辨率为 $2.5^{\circ}\times 2.5^{\circ}$ 的日平均再分析资料ERA40(用于从中识别热带气旋与模拟结果进行比较)。通过资料分析和数值模拟的方法研究太平洋经向模态影响西北太平洋热带气旋的可能机制。

本文利用美国国家大气研究中心(NCAR)研制的第五代全球大气环流模式CAM3.0进行数值模拟。模式选用欧拉谱动力框架、 T_{42} 分辨率(纬向为均匀分布的128个格点,经向为高斯格点,共64个)。垂直方向26层采用混合 η 坐标,刚盖设为2.917 hPa,其中近地层为纯 σ 坐标层,往上至83.142 5 hPa为 σ - p 混合坐标层,83.142 5~2.917 hPa为纯 p 坐标层^[21]。NCAR的大气环流模式CAM3.0经过长期的修改、发展和完善,已经具备较为完备的物理过程,一些数值模拟的研究试验表明,该模式能较好地描述大气环流的基本状况及其变化^[22]。

3 太平洋经向模及其与热带气旋频数的关系

太平洋经向模的定义使用与Chiang等^[16]相同的方法:(1)取1961—2000年太平洋($120^{\circ}\text{E}\sim 70^{\circ}\text{W}$, $30^{\circ}\text{S}\sim 30^{\circ}\text{N}$)的SST和表面风作距平场;(2)采用Clark等^[20]的方法将全球变暖和ENSO的信号从数据中剔除;(3)对处理过的这两个结果场的时间协方差矩阵进行奇异值分解(SVD),从而得到各模态的空间结构和时间演变。图1是剔除全球变暖和ENSO影响的SVD分解第一模态的空间分布。由图1可见,作为太平洋海气耦合经向模的主模态,太平洋经向模(PMM)表现为穿越平均ITCZ位置的异常经向SST梯度和流向暖异常半球穿越梯度的大气边界层风^[16]。从我们的资料中保留ENSO的影响,太平洋经向模的空间分布和时间系数演变(图略)几乎仍然一样,这与Chiang等^[16]的结论一致。说明虽然ENSO对太平洋经向模的非线性作用非常强烈,但是太平洋经向模是独立于ENSO存在的。

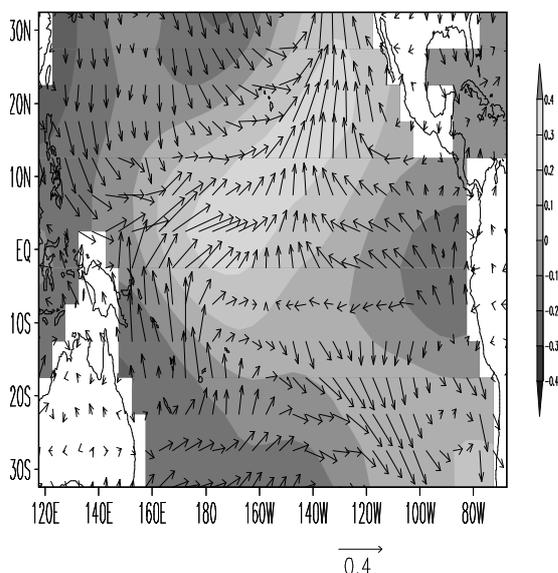


图1 PMM模态空间的分布特征

风场单位：m/s，海温场单位：℃。

为了研究太平洋经向模对热带气旋活动的影

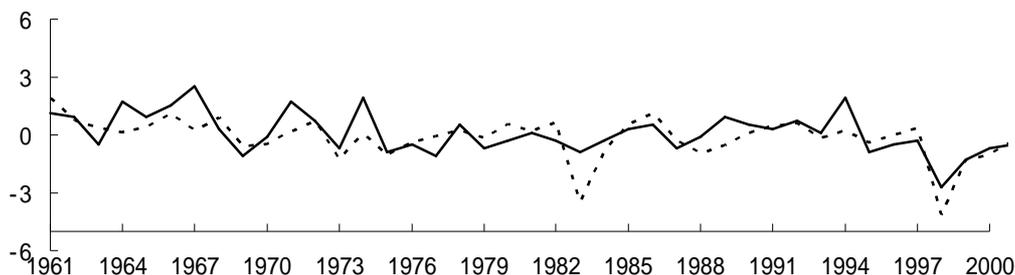


图2 1961—2000年经向模指数(细实线)和西北太平洋热带气旋生成频数时间序列(粗实线) 横坐标为年份。

4 试验方案和模拟结果分析

根据太平洋经向模变化特征，本文设计了两组数值模拟试验方案。(1) 控制试验：采用模式自带的强迫场资料，对模式作1961—2000年的40年积分作为控制试验，海温场为英国Hadley中心的海表温度(SST)资料，其他的强迫场采用模式初始定义的量，模式其他参数不变。(2) 敏感性试验：对40年月平均的原始海温距平和风场距平滤去ENSO和全球变暖的信号，由SVD分解第一个模态及其时间系数重建代表PMM的分量，海温距平主要表现为PMM的分布特征，将这个代表PMM的海温距平加入到模式自带的实测海温中，重新构造出一套海温强迫场，用于强迫大气

响，把去除全球变暖和ENSO影响所得到的第一模态风场时间系数在6—9月的平均定义为经向模指数。将一年中日界线(180°)以西、赤道以北范围内生成的热带风暴、强热带风暴和台风数目的和定义为西北太平洋生成热带气旋频数。图2是经向模指数和西北太平洋热带气旋生成频数在1961—2000年的时间变化曲线，所有曲线都做了标准化距平，太平洋经向模指数和西北太平洋热带气旋频数的线性相关达到0.63(超过99%的信度水平)，可见，太平洋经向模指数与西北太平洋热带气旋频数在年际变化上有显著的相关关系。这样为从海气耦合模态的热动力角度揭示西北太平洋热带气旋生成频数的年际变化提供了一个新思路。那么太平洋经向模通过什么机制影响西北太平洋热带气旋呢？因为在实测资料中无法单独考虑这种模态的影响，因此对于物理机制的分析非常需要借助数值模拟的方法来实现。

环流模式，以此来研究PMM对热带气旋的影响。两组试验结果的差值可以认为是PMM的变化所引起的。试验的目的是研究在PMM的强迫作用下，热带气旋以及影响热带气旋生成的大尺度环境受到的影响是什么样的。以下的工作所提到的合成差值分析，主要是指两组试验结果合成的差值，即用敏感性试验的合成结果减去控制试验的合成结果所得差值。

首先通过分析与热带气旋发生发展有关的大尺度环境的变化来研究太平洋海气耦合经向模态对热带气旋的影响。Gray^[23]在研究中就指出大尺度环境场的相对湿度、垂直风切变、低层辐合、高层散度等与热带气旋的生成有密切的关系。这里首先通过分析这些参数，讨论PMM影响热带气

旋生成频数的物理机制。

4.1 PMM 对大气环境的影响

对于热带气旋的生成而言,相对湿度是一个非常环境条件,这是因为生成热带气旋的对流运动开始发生在中尺度对流系统中,对流运动所产生的降水会造成对流系统中上升气流的下沉。如果对流层低层湿度太小,会引起水汽蒸发,水汽的蒸发将造成温度降低,并进一步加强这种下沉气流,从而抑制对流发展。因此对流层低层具有较高的相对湿度有利于热带气旋的生成^[24]。这里以 500 ~ 700 hPa 平均相对湿度代表对流层低层的相对湿度。图 3 是敏感性试验减去控制试验得出的 500 ~ 700 hPa 平均相对湿度的合成差值分布,由图可见,在整个 30°N 以南,180°以西的西北太平洋热带气旋生成区域主要是相对湿度的正异常值分布区域。由此可见,在敏感性试验里 PMM 的强迫为生成更多的热带气旋提供有利的水汽条件。这就从水汽条件方面揭示了 PMM 的强迫会有更多热带气旋生成的原因。

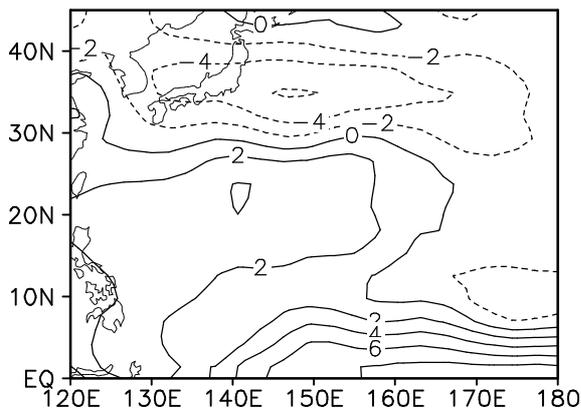


图3 西北太平洋500~700 hPa的月平均相对湿度(单位:%)差值分布

从上面分析看到,太平洋经向模态海温强迫对西北太平洋热带气旋生成区域的大气相对湿度变化有明显的影响。这种影响造成大气环境向有利于热带气旋生成的条件下变化。垂直风切变是另一个非常重要的环境条件,因为热带气旋的形成通常出现在垂直风切变较小的环境里,大的垂直风切变会抑制对流发展,从而限制上层暖心和涡旋的形成^[25],而较小的垂直风切变可以使得初始扰动的对流凝结所释放的潜热能集中在一个有

限的空间范围,热量能在对流层中上层集中,形成暖心结构,促使初始扰动的气压不断下降,有利热带气旋的形成。文中的研究考虑西北太平洋 850 ~ 200 hPa 月平均纬向风的垂直切变 ($u_{200}-u_{850}$)。图 4a、4b 分别为控制试验合成和两组试验合成差值的纬向风垂直切变分布,可以看出控制试验中 22°N 以南的热带气旋生成区域纬向风垂直切变的分布特点明显:在 150°E 以西的区域以负值切变为主,在 160°E 以东的区域主要是正值切变,而 150 ~ 160°E 之间是垂直切变较小和接近零值的区域。从图 4b 的切变异常可见,敏感性试验相对于控制试验在 150°E 以西,20°N 以南的负值切变区有明显的正异常,而在 160°E 以东的正值切变区在 22°N 附近有明显的大的负异常中心存在。由此可见,在西北太平洋热带气旋生成的大部分区域,敏感性试验相对于控制试验而言存在更小的垂直风切,也就是在通风条件上更易产生热带气旋。因此,敏感性试验为热带气旋的生成提供了更有利的弱的通风条件是导致生成热带气旋相对较多的原因之一。

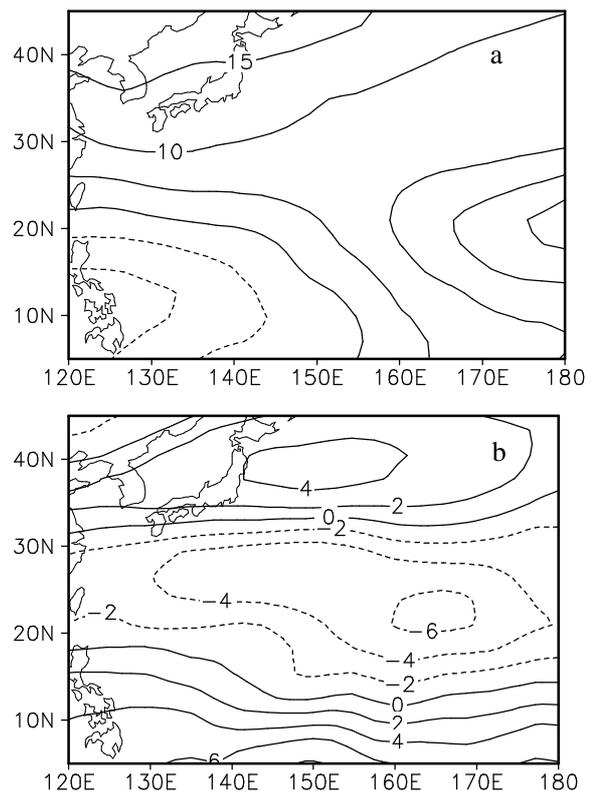


图4 西北太平洋850~200 hPa月平均纬向风垂直切变控制试验合成(a)及两组试验差值分布(b) 单位:m/s。

热带气旋自身低层气旋性辐合和高层反气旋性辐散的结构决定了高(低)层良好的辐散(辐合)条件有利于其生成。海温异常强迫除了影响大气中的水汽分布和风的垂直切变状态,对气流的辐合、辐散场也有十分重要的作用。因此我们分别计算了敏感性试验减去控制试验所得的 850 hPa 风场合成差值、涡度场合成差值(图 5a)和 200 hPa 风场合成差值、散度场合成差值(图 5b),可见在 PMM 海温强迫作用下,风场和涡散场的变化很明显,在对流层低层 850 hPa 热带太平洋存在

明显的西风异常,异常的风在西北太平洋热带气旋集中生成区域(120~160°E, 5~25°N)形成异常的气旋性环流,阴影区显示与气旋性环流相匹配有明显的低层异常气旋性涡度。对流层高层 200 hPa 的风场和散度场的合成异常分布则刚好相反(图 5b),在西北太平洋热带气旋生成区域形成一个明显的反气旋环流,匹配有明显的高层异常辐散流场,这种高低层风场和涡散场配置更有利于低层辐合、高层辐散的加强,利于对流活动发展,从而也有利于热带气旋的生成和发展。

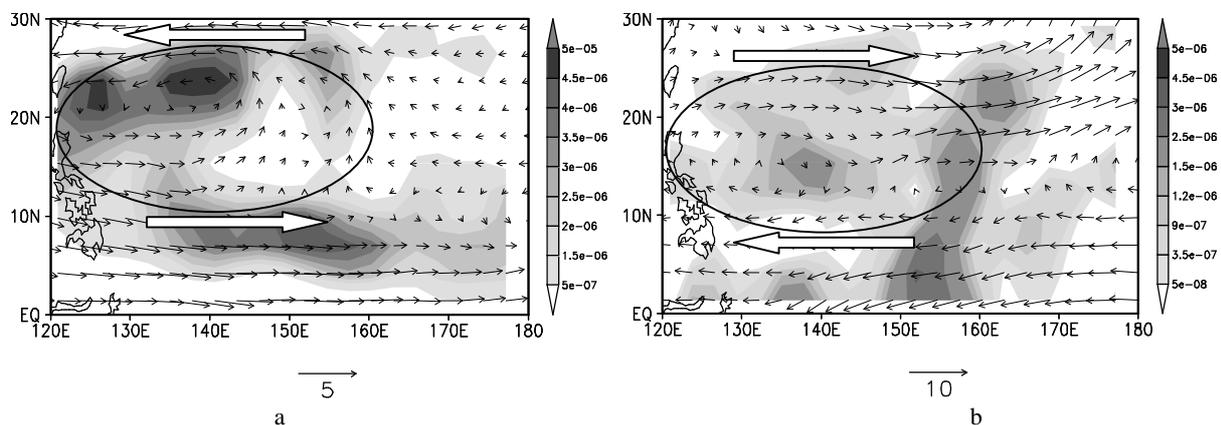


图5 西北太平洋850 hPa (a) 合成差值风场、涡度场(阴影区为涡散度绝对值大于 $5 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ 的区域)和200 hPa (b) 合成差值风场、散度场(阴影区为散度绝对值大于 $5 \times 10^{-8} \text{ s}^{-1}$ 的区域) 风场单位: m/s, 涡散场单位: s^{-1} 。

4.2 PMM 对热带气旋的影响

为了识别模式输出资料中的热带气旋,采用 Suzana 等^[26]的识别方法,从 40 年的模式输出资料中挑选出热带气旋,具体标准如下。

(1) 将挑选热带气旋的位置限定在西北太平洋地区(100°E~170°W, 0~30°N)。

(2) 850 hPa 高度上气旋的相对涡度大于 $3.5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 。

(3) 在7×7的网格里850 hPa最大水平风速大于11 m/s。

(4) 在7×7的网格中心海平面气压最低。

(5) 300、500、700 hPa的7×7的网格中心点的温度异常之和大于1 °C。

(6) 850 hPa高度上7×7的网格平均风速大于300 hPa。

(7) 满足以上标准的气旋中心如果与上一个时间步长分析得到的气旋中心之间的距离小于3个网格距,并且生成后持续时间大于24小时,就

定为一个模式气旋。

通过对挑选出的模式气旋的频数、强度和结构进一步分析,研究 PMM 对模式气旋频数、强度和结构所产生的影响。以下是所研究的 40 年分别识别出的 1 243 (ECMWF)、1 114 (Control) 和 1 173 (PMM) 个热带气旋的分析结果。

图 6 给出由两组试验和 ECMWF 的观测资料分析而得的 1961—2000 年平均的热带气旋频数的季节变化。可见模式控制试验(Control)和敏感性试验(PMM)均很好反映出热带气旋冬春季较少、夏秋季较多,主要生成于6—10月的特点,模式的模拟很好地反映出西北太平洋热带气旋频数的季节变化。但具体比较不同试验和 ECMWF 的观测资料的差异可以发现,控制试验与敏感性试验热带气旋频数的差异主要集中在热带气旋生成最多的6—10月,而6—9月敏感性试验的热带气旋频数明显多于控制试验,只有10月控制试验生成的热带气旋略多于敏感性试验。由此可见

PMM 产生对热带气旋频数的影响主要是通过影响台风季(6—10 月)热带气旋频数而实现的, PMM 对热带气旋频数的影响关键在台风季节。另一方面, 数值模拟与 ECMWF 的观测资料的差异主要集中在 10、11 月, 而此时控制试验和敏感性试验之间的差异很小, 这主要反映了模式总体对 10、11 月热带气旋模拟能力相对偏弱。就台风季而言, ECMWF 的观测资料结果基本介于控制试验和敏感性试验之间, 可见模式较好地模拟出台风季热带气旋的生成状况, 而 PMM 对热带气旋频数的影响关键在台风季, 所以模拟结果对于研究的问题是可信的。

图 7 为观测资料(ECMWF)、控制试验(Control)和敏感性试验(PMM)中 1961—2000 年热带气旋频数的年际变化的序列。由图可见, 数值模式模拟出了热带气旋频数存在明显年际变化, 在 40

年的模拟中控制试验平均每年生成 27.8 个热带气旋, 敏感性试验平均每年生成 29.3 个, ECMWF 的观测平均每年为 31 个。由此可见, 数值模拟的热带气旋频数均低于观测, 其中控制试验的热带气旋频数少于敏感性试验, 与先前的分析一致。主要是由于 PMM 强迫所产生的大气环境变化造成的。

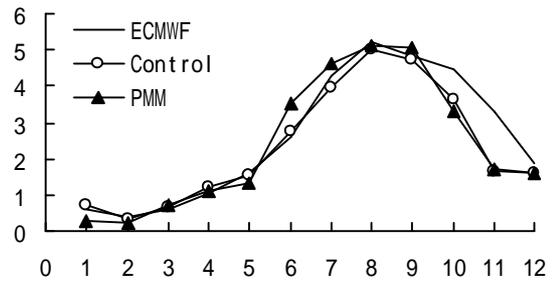


图6 1961—2000年热带气旋频数的季节变化
横坐标为月份。

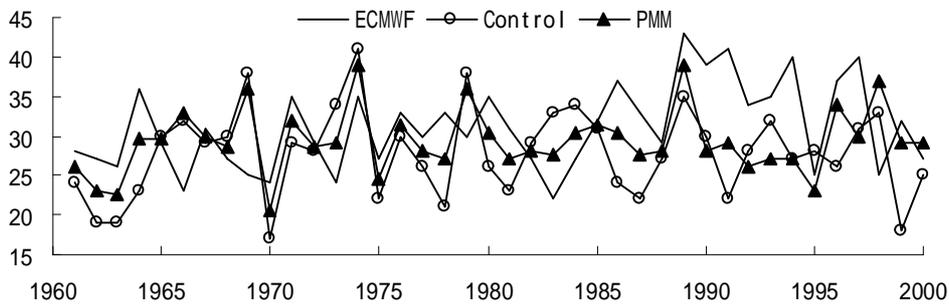


图7 1961—2000年热带气旋频数的年际变化
横坐标为年份。

为了进一步分析PMM引起的热带气旋强度和结构的变化, 对使用热带气旋识别方法所挑选出的热带气旋进行合成分析, 通过合成分析可以发现, CAM3.0模式在两组试验中均很好地模拟出热带气旋低气压中心(图8a、8b), 低层气旋性辐合流入和高层反气旋性辐散流出(图略), 中高层暖心结构(图10a、10b)等基本特征。为研究在控制试验和敏感性试验两种不同海温强迫状况下热带气旋强度和结构的变化, 分别对两组试验合成的海平面气压场、850 hPa风场和温度异常垂直剖面进行分析。图8为控制试验、敏感性试验和敏感性试验减去控制试验的海平面气压场, 由图8a、8b可以看出, 模式模拟的气旋中心都存在明显的闭合低气压中心, 比较而言, 敏感性试验的海平面气压中心1 004 hPa的闭合等压线所包围

的面积明显大于控制试验, 可见增加了经向模海温强迫后气旋中心海平面气压偏低, 图8c给出了两组试验13×13网格中所有格点的海平面气压差, 海平面气压场存在明显的负异常, 可见增加了经向模海温强迫后明显降低了气旋低层的海平面气压值。由此可得, 海温模态中增加了PMM的模式会降低气旋中心附近的海平面气压, 从而增加热带气旋的强度。

图9是类似图8的850 hPa切向风场分布, 由图9a、9b可见, 模式较好地模拟出了热带气旋低层的不对称风场结构, 其风场极大值中心均出现在气旋中心的东南象限, 比较而言, 敏感性试验的最大风速强于控制试验, 在最大风速中心存在14 m/s的闭合风速等值线, 从敏感性试验减控制试验所得的异常风场分布(图9c)也可以看出, 在气

旋风速极值的位置存在明显的正异常风速中心。 风速的极值从而增强热带气旋的强度。 这从另一个角度说明了经向模海温通过增强气旋

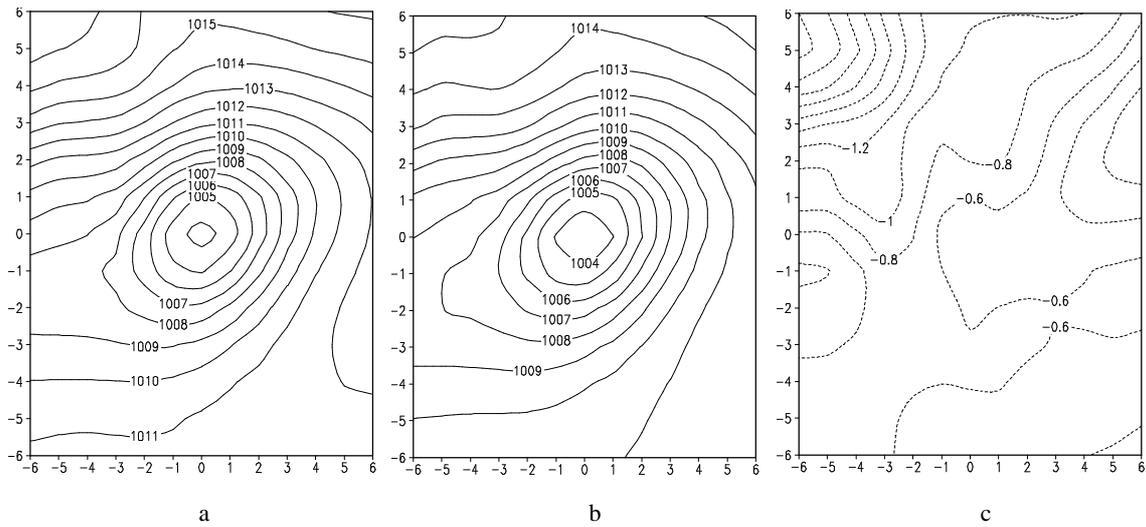


图8 控制试验 (a)、敏感性试验 (b) 和敏感性试验减去控制试验的差值场 (c) 中热带气旋的海平面气压场 (单位: hPa) 分布

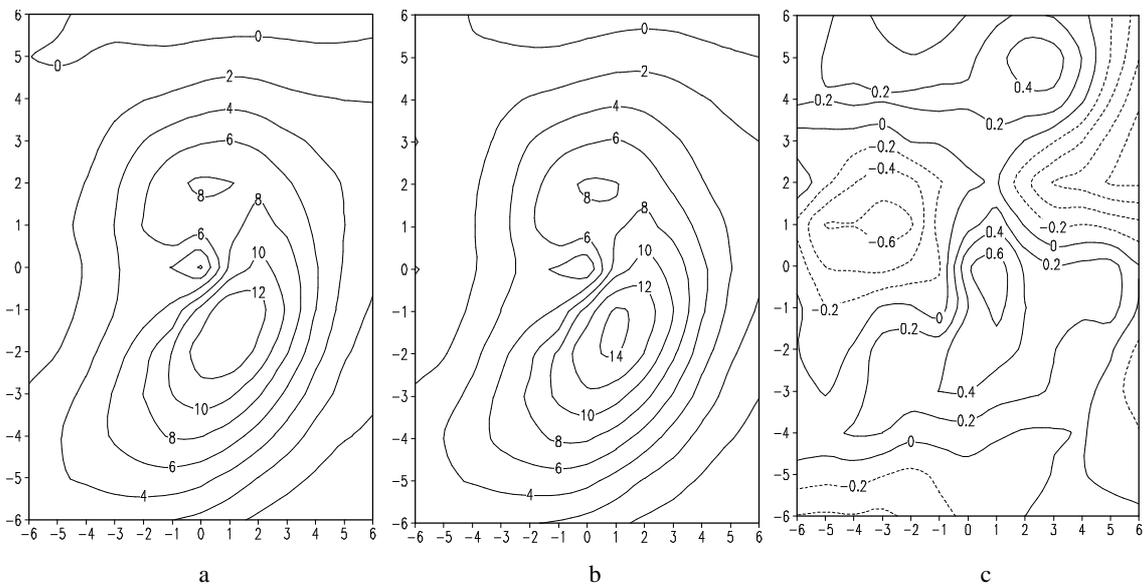


图9 同图8, 但为850 hPa的切向风场 单位: m/s。

为考察两组试验中热带气旋暖心结构的垂直分布, 给出了如图10a、10b所示的经过热带气旋中心温度异常场的纬向-高度剖面, 其经向取气旋中心东西方向各6个格点, 垂直方向取1 000 ~ 200 hPa。由图可见, 控制试验和敏感性试验均模拟出热带气旋在对流层中高层的暖心结构, 在400 hPa附近的暖心强度都达到2.4 °C, 但就暖心伸展的范围而言, 敏感性试验强于控制试验, 由图10a可见控制试验的2.1 °C的等温线达到650 hPa, 而

图10b敏感性试验中2.1 °C的温度异常等温线可达到750 hPa, 伸展的范围明显高于控制试验。图10c为9×9网格平均的温度异常垂直廓线和敏感性试验减控制试验(PMM-Control)差值的垂直廓线。可见在整个1 000 ~ 200 hPa的高度上敏感性试验的温度异常明显高于控制试验, 这两者相减的异常差值也均大于零。由此可见经向模态的强迫作用明显增强了热带气旋的暖心强度。

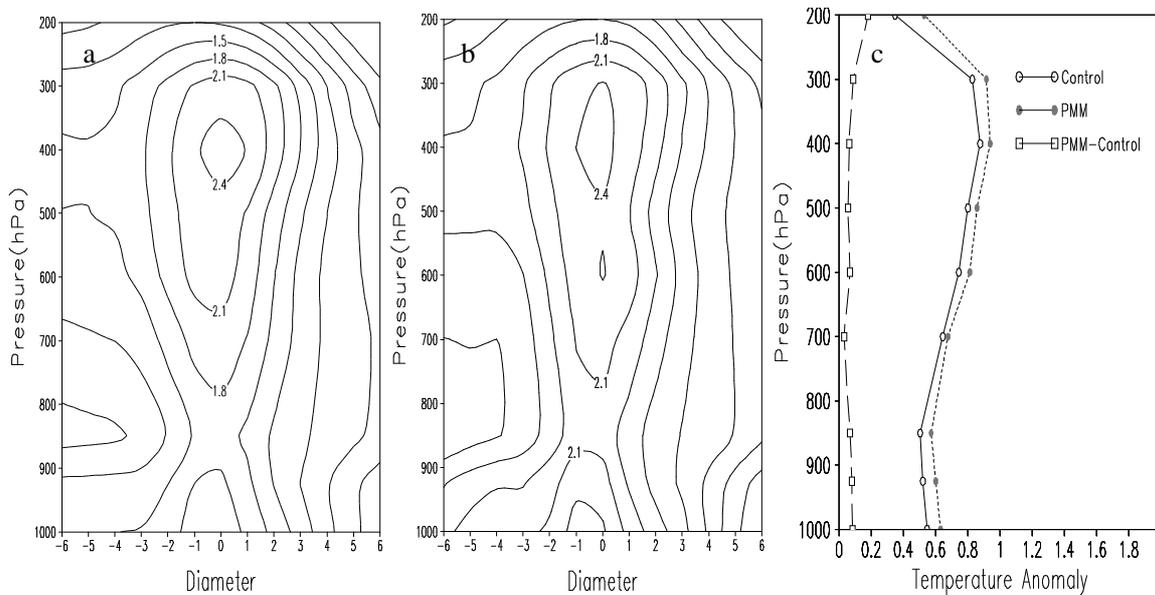


图10 控制试验(a)、敏感性试验(b)中热带气旋的温度异常的垂直剖面 and 温度异常垂直廓线分布(c) 单位: $^{\circ}\text{C}$ 。

5 结 论

(1) 数值模拟试验得到了与资料分析基本一致的结果, 模式模拟出了热带气旋频数的季节和年际变化, 揭示了太平洋海气耦合经向模态对西北太平洋热带气旋的生成频数、强度及生成热带气旋的大尺度环境有重要的影响事实。

(2) PMM与太平洋大尺度气候条件存在较好的相关关系, PMM通过影响这些大尺度环境从而对热带气旋的频数和强度变化产生影响。数值模拟结果显示, 在增加PMM的海温强迫后, 西北太平洋热带气旋生成区域的对流层中低层的相对湿度增大, 纬向风垂直切变减小, 热带西太平洋

对流层低层出现西风异常, 西北太平洋地区形成一个异常的气旋性环流, 并且匹配有较大的正涡度异常; 对流层高层出现赤道东风异常和一个与低层气旋性环流相匹配的反气旋性环流。这些大气环境的变化均有利于对流活动发展, 从而有利于热带气旋的生成和加强, 最终影响热带气旋的生成频数。

(3) PMM还对西北太平洋热带气旋的强度有明显影响。在增加PMM的海温强迫试验中, 热带气旋中心的海平面最低气压降低, 850 hPa中心附近最大切向风速增加, 气旋中高层的暖心强度增强, 表明总体上增加了热带气旋的强度。

参 考 文 献:

- [1] GRAY W M, LANDSEA C W. African rainfall as a precursor of hurricane-related destruction on the US east coast[J]. Bull Amer Meteor Soc, 1992, 73(9): 1 352-1 364.
- [2] MENG Zhi-yong, CHEN Lian-shou, XU Xiang-de. Recent progress on tropical cyclone research in China[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2002, 19(1): 103-110.
- [3] CHAN J C L. Tropical cyclone activity in the northwest Pacific in relation to the El Niño/Southern oscillation phenomenon[J]. Mon Wea Rev, 1985, 113(4): 599-606.
- [4] WANG B, CHAN J C L. How strong ENSO events affect tropical storm activity over the western North Pacific[J]. J Clim, 2002, 15: 1 643-1 658.
- [5] 李崇银. 厄尔尼诺与西太平洋台风活动[J]. 科学通报, 1985, 14: 1 087-1 089.
- [6] CHAN J C L. Tropical cyclone activity over the western North Pacific associated with El Niño and La Niña events[J]. J Climate, 2000, 13(16): 2 960-2 972.
- [7] CHAN J C L, SHI J E, LAM C M. Seasonal forecasting of tropical cyclone activity over Western North Pacific and the South China Sea[J]. Weather Forecast, 1998, 13(4): 997-1 004.

- [8] GRAY W M. Recent advances in tropical cyclone research from rawinsonde composite analysis[R]. World Meteorological Organization, 1981: 407.
- [9] GRAY W M. Atlantic seasonal hurricane frequency: Part I: El Niño and 30 mb quasi-biennial oscillation influences[J]. *Mon Wea Rev*, 1984, 112(9): 1 649-1 668.
- [10] JONES C G, THORNCROFT C D. The role of El Niño in Atlantic tropical cyclone activity[J]. *Weather*, 1998, 53: 324-336.
- [11] 王会军, 范可. 西北太平洋台风生成频次与南极涛动的关系[J]. *科学通报*, 2006, 51(24): 2 910-2 914.
- [12] 范可. 北太平洋海冰, 一个西北太平洋台风生成频次的预测因子?[J]. *中国科学D辑: 地球科学*, 2007, 37(6): 851-856.
- [13] HOLLAND, E D. The global guide to tropical cyclone forecasting[R]. World Meteorological Organization, 1993: 337.
- [14] XIE L, YAN T Z, PIETRAFESA L J, et al. Climatology and interannual variability of North Atlantic hurricane tracks[J]. *J Climate*, 2005, 18(24): 5 370-5 381.
- [15] VIMONT D J, KOSSIN J P. The Atlantic meridional mode and hurricane activity[J]. *Geophys Res Lett*, 34, L07709, doi:10.1029/2007GL029683.
- [16] CHIANG J C H, VIMONT D J. Analogous Pacific and Atlantic Meridional Modes of tropical atmosphere-ocean variability[J]. *J Climate*, 2004, 17(21): 4 143-4 158.
- [17] NOBRE P, J SHUKLA. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America[J]. *J Climate*, 1996, 9(10): 2 464-2 479.
- [18] CHANG P, JI L, LI H. A decadal climate variation in the tropical Atlantic Ocean from thermodynamic air-sea interactions[J]. *Nature*, 1997, 385: 516-518.
- [19] 黄勇, 李崇银, 王颖. 太平洋海气耦合经向模态和西北太平洋热带气旋生成频数的关系[J]. *热带气象学报*, 2009, 25(2): 169-174.
- [20] CLARK C O, COLE J E, WEBSTER P J. Indian Ocean SST and Indian summer rainfall: Predictive relationships and their decadal variability[J]. *J Climate*, 2000, 13(14): 2 503-2 519.
- [21] COLLINS W D, RASCH P J. Description of the NCAR Community Atmosphere Model(CAM3.0)[R]. Technical Report NCAR/TN-464+STR, National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado, 2004: 210 .
- [22] <http://www.cesm.ucar.edu/models/atm-cam/sims/cam3.0/>. [2004-06-11]. [2007-06-01].
- [23] GRAY W M. Global View of the origin of tropical disturbance and storms[J]. *Mon Wea Rev*, 1968, 96(10): 669-700.
- [24] EMANUEL. The physics of tropical cyclogenesis over the eastern Pacific, Tropical Cyclone Disasters[M]. Peking: Peking University Press, 1993: 136-142.
- [25] DEMARIA M. The effect of vertical shear on tropical cyclone intensity change[J]. *J Atmos Sci*, 1996, 53(14): 2 076-2 087.
- [26] SUZANA J CAMARGO, STEPHEN E ZEBIAK. Improving the Detection and tracking of tropical cyclones in atmospheric general circulation models[J]. *Weather Forecasting*, 2002, 17(6): 1 152-1 162.

NUMERICAL SIMULATIONS ON THE PACIFIC MERIDIONAL MODE IMPACTS OF TROPICAL CYCLONES ACTIVITY OVER THE WESTERN NORTH PACIFIC

HUANG Yong¹, LI Chong-yin^{1,2}, WANG Ying³

- (1. Institute of Meteorology, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101, China;
2. LASG, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;
3. Meteorological, Hydrographic and Spatial Weather General station of General Staff, Beijing 100081, China)

Abstract: Based on the analyses of relationship between Pacific Meridional Mode(PMM) and frequency of Tropical Cyclones activity over the Western North Pacific, the impacts of the PMM on tropical cyclones activity over the Western North Pacific is studied by using numerical simulation with a AGCM(CAM3) of NCAR. The result shows the PMM impacts the large-scale environment of tropical cyclones generating, thus affecting the frequency and strength of tropical cyclones. The numerical simulations using the NCAR CAM3 indicate that the sensitivity test adding the forcing of SST of PMM coincide with the decreased magnitude of the vertical zonal wind shear, larger proportion of relative humidity, anomalous westerly wind at low level and anomalous easterly wind at high level, matches the anomalous cyclonic circulation at low level and anomalous anti-cyclonic circulation at high level over tropical western pacific. Thus PMM provides favorable environment for the typhoon genesis. Tropical cyclones in the sensitivity test have higher strength. It has lower sea surface pressure of the center, stronger tangential wind of 850 hPa and intensity of warm core at high level. In this paper, the simulation results are similar with that in the data analyses , the important impact of the PMM on tropical cyclones activity over the Western North Pacific has been exposed practically.

Key words: tropical cyclones; the pacific meridional mode; atmosphere general circulation