

# 人类活动影响与三大洋海表水温的变化及数值模拟

王英俊, 刘群燕, 蒋国荣, 陈奕德

(南京解放军理工大学气象学院, 南京 211101)

**摘 要:** 本文利用实测的全球气温、海表水温资料以及全球海气耦合气候模式的控制试验与 CO<sub>2</sub> 加倍试验模拟结果资料来探讨人类活动对三大洋海温的可能影响。结果表明: 近百年来三大洋海温总体呈现上升趋势, 但太平洋海温有其独立变化特点; FGOALS1.0\_g 耦合模式有较好地模拟三大洋海温的能力; 模式模拟结果证实了人类活动影响 (CO<sub>2</sub> 浓度增加) 将会使全球气候变暖; 但模式模拟结果没有证实由于 CO<sub>2</sub> 浓度增加会导致三大洋海表水温明显的增高趋势。

**关键词:** 全球变暖; 海表温度; 耦合大气环流模式; 人类活动影响; 数值模拟

**中图分类号:** P731 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003 - 0239 (2008) 4 - 0090 - 12

## 1 引言

全球变暖是目前气候变化的一个主要论题<sup>[1]</sup>。根据近 100 多年全球气温资料的仔细分析, 全球平均地面温度已升高 0.3 ~ 0.6°C, 其中 11 个最暖的年份发生在 20 世纪 80 年代中期以后, 因而全球变暖现象是一个事实。众所周知, 在地球的气候系统中, 海洋和大气是最活跃的两个子系统<sup>[2]</sup>, 那么, 在全球变暖这种气候背景下, 海洋和大气系统会发生什么变化? 一些资料诊断分析研究发现<sup>[3]</sup>, 20 世纪 70 年代中期气候系统出现了一次跃变 (这与全球地面气温的再度增暖是对应的), 导致 ENSO 事件演变、青藏高原热量源汇及夏季风活动均产生了大的变化。Akio et al<sup>[6]</sup>利用一个全球耦合大气-海洋环流模式探讨了大气 CO<sub>2</sub> 增加时亚洲夏季风的变化, 发现印度洋夏季季风降水随着全球增暖显著增加了。Francis et al<sup>[7]</sup>利用第二代加拿大气候模拟中心的大气环流模式模拟了由于 CO<sub>2</sub> 加倍, 表面气候极值的变化, 模拟结果分析发现, 降水极值增加变化最大的地方是西北印度洋, 它与该区域的夏季风增加相关联; 热带和中纬度风极值的适度减小与 CO<sub>2</sub> 加倍气候中径向温度梯度减少一致。Gerald et al<sup>[8]</sup>也利用一个全球耦合气候模式研究了人类活动对气候的影响。这些研究均表明, 人类活动所导致的气候增暖会对海洋和大气环流系统产生一些影响。

本文主要研究以下问题: 第一、利用实测的全球气温及海表水温资料分析近百年来全球气温及海表水温的变化; 第二、利用一个全球海气耦合气候模式的控制试验与 CO<sub>2</sub> 加倍试验模拟结果, 分析 CO<sub>2</sub> 增加时全球气温及三大洋海表水温的变化。目的是探讨人类活动影响对三大洋海温的可能影响。

## 2 资料、分析方法与数值模式简介

### 2.1 数值模式简介

本文中所使用的耦合气候系统模式是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(LASG)最新发展的第四代耦合气候系统模式 FGOALS 1.0\_g(Flexible Global Ocean-Atmosphere-Land System Model, Version 1.0\_g), 该耦合模式利用一个通量耦合器将海洋、大气、陆面和海冰 4 个分量模式耦合在一起, 在模式界面上考虑了热量、动量和淡水通量的耦合, 并且没有使用任何形式的通量订正技术。

### 2.2 资料

本文研究近百年来气候状况所使用的全球、半球气温资料是最有代表性的 Jones 序列资料, 该序列应用了大约 1 亿个陆地测站的数据及 6 千万个海洋船舶观测数据, 对海温观测方法改变及城市热岛效应的影响均作了适当处理; 根据王绍武的研究<sup>[9]</sup>, Jones 序列较好, IPCC 公布的一个新序列, 也是在 Jones 序列的基础上建立的。

本文所使用的海温资料是 Kaplan<sup>[10]</sup>重建的全球 SSTA 资料, 该资料的序列长度为 1856 年 1 月到 2003 年 12 月共 137 年 1764 个月,  $5^{\circ} \times 5^{\circ}$  经纬度网格; 此序列中, 1981 年后的资料是基于 NCEP 最优插值(OI)处理的遥感与船舶观测相结合的资料, 而 1856 ~ 1980 年的资料, 为 Kaplan 等用对 1981 年后资料 EOF 分解得到 80 个 EOFs 空间分布内插到英国气象局船舶观测资料得到; 此资料较好地校正了 1946 年以前 COADS 资料中因大量缺测造成的严重误差, 资料质量较以往有很大提高。

本文所使用的海气耦合模式模拟资料分别是保持工业革命前的二氧化碳浓度不变(280 ppm)的控制试验(相当于忽略人类活动影响的自然变率), 以及大气中二氧化碳浓度从工业革命前的 280 ppm 以 1% 等比增加到 560 ppm 的加倍试验(代表人类活动影响)2 个试验对应时段的全球气温与三大洋海温资料。

### 2.3 分析方法

本文所使用的分析方法主要有 EOF 展开与小波分析方法。这两种分析方法是海洋与大气中经常使用的方法, 这里我们不作介绍, 可参考相应的教科书或参考文献。

## 3 近百年来全球气温与三大洋海温的变化

### 3.1 近百年来全球气温的变化

图 1 是用 Jones 气温资料绘制的百年来全球、北半球及南半球气温距平的变化曲线。其中, 气温距平值是以 1950 ~ 1979 年的气温值为基准计算得出的。由图可以看出, 百

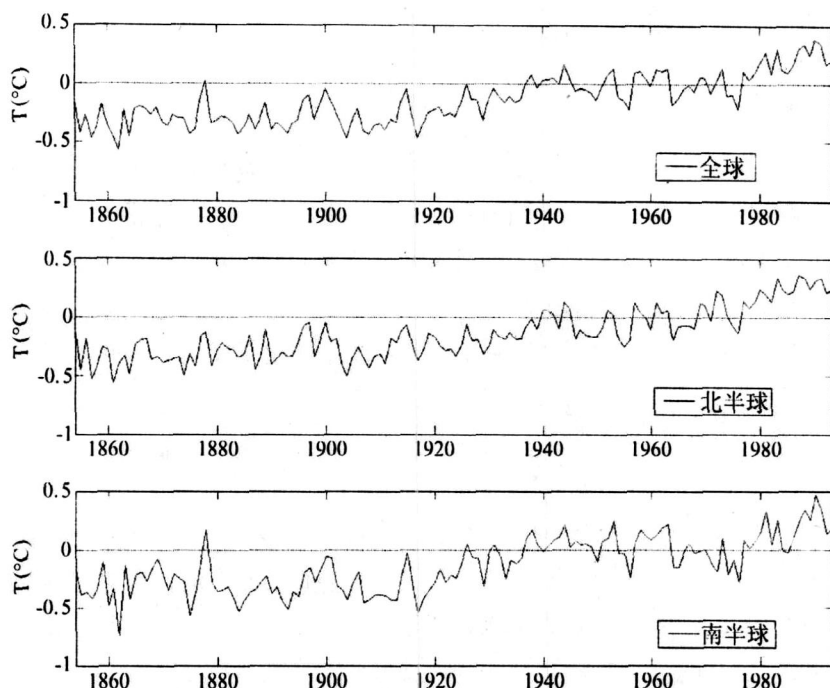


图 1 一百年来全球、北半球及南半球气温距平的变化曲线(Jones 气温资料)<sup>1)</sup>

年来全球、北半球及南半球的气温存在一个明显的上升趋势。

### 3.2 三大洋海温的变化

在气候系统的5个子系统中,海洋与大气子系统是最活跃的两个系统。研究表明<sup>[9,11]</sup>,海气相互作用可能是产生较长时间尺度,如年代际气候变率的机制之一;在地球的3个主要大洋中,许多学者相继发现<sup>[12~14]</sup>了几个重要的海气系统模态,如 ENSO 模态、大西洋与印度洋偶极子模态,并探讨了这些海气系统模态各自的特点及其在气候变化中的作用<sup>[14~18]</sup>。本节将利用 Kaplan 海表水温,采用 EOF 分解方法探讨相关问题,并主要关注其长期变化趋势与年代际变化。

根据以上的已有的研究,选择了3块区域分别代表太平洋(30°S ~ 60°N, 120°E ~ 80°W),热带大西洋(30°S ~ 30°N, 60°W ~ 10°E)和热带印度洋(30°S ~ 30°N, 30°E ~ 20°E)进行 EOF 分解。由于 Kaplan 的海表水温资料较长,因此,我们可以主要讨论长期变化趋势与年代际变化。

(1) 太平洋模态:图 2a 给出了对上述太平洋区域的海表水温场用 EOF 分析方法得到的空间第一模态。此模态占总方差的 30.54%。图2b是与空间第一模态对应的时间系数变化曲线(图中曲线是对原始序列进行尺度分解后得到的时间尺度超过10年以上的小波分析结果,代表年代际变化,主要用于描述长期趋势,以下各图类同)。从空间结构上看,这是典型的太平洋 ENSO 模态<sup>[12]</sup>,即赤道中、东太平洋为正距平;西北太平洋为

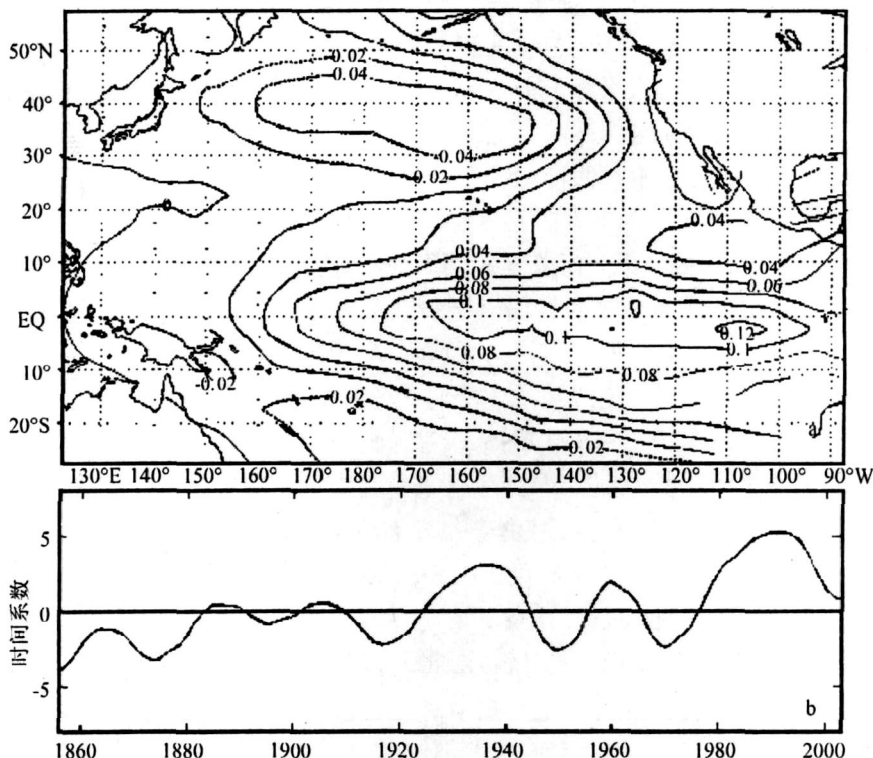


图2 太平洋区域海表水温场 EOF 展开的空间第一模态(a)与对应的时间系数年代际变化曲线(b)其中,时间系数变化曲线为经过小波分解后时间尺度大于10年的滤波结果(以下各图同)

负距平。将图2b的时间系数序列与 nino3 指数求相关,其相关系数高达 0.9030,这更说明了第一模态与 ENSO 的对应性。

热带太平洋在强迫全球气候异常方面具有显著作用,其主要原因就在于最强的年际气候振荡的 ENSO 现象的存在<sup>[11]</sup>, ENSO 是海气耦合模态的一个典型例子,太平洋海温 EOF 分析方法的空间第一模态即为 ENSO 模态,表明 ENSO 的确是太平洋海温变化的主分量。ENSO 的典型周期是 4 年左右,但也存在年代际变化,参看图 2b,可以看出其变化也有明显的年代际变化,周期约为 200 年。从更长的时间尺度即长期趋势来看,太平洋海温的变化也有一个明显的增暖趋势,这与全球的气温增暖总体趋势基本类似。从最近的几十年来看,自 20 世纪 70 年代中后期,海温处于偏暖阶段,这与许多已有的研究成果一致<sup>[3,9]</sup>,但不同的是,近几年有明显的下降趋势,这与全球气温的变化(见图 1)并不相同,反映出太平洋海温变化的独立性,太平洋海温的这种变化可能是其自身的 200 年的年代际变化在起作用。

(2) 大西洋模态:对选定的热带大西洋区域同样进行了 EOF 展开,图 3 分别为 EOF 分析得到的空间第一(见图 3a)与第二模态(见图 3c),其方差分别占总方差的 42.30%与 17.90%,二者的总和已达到 60%,应可代表热带大西洋 SST 的主要变化。有趣的是,第

二模态(见图 3c)是典型的偶极子模态,与 LATIF<sup>[11]</sup>等用 GISST1904~1994 逐年资料得到的结果完全一致(方差略小了一些, LATIF 等为 23%),也证实了 Chang 等<sup>[13]</sup>大西洋存在偶极子模态的结论。但与太平洋 ENSO 模态不同,热带大西洋 SST 偶极子模态仅为第二主模态,表明其作用将弱于 ENSO 模态。

图 3b 与图 3d 分别为热带大西洋 SST 空间第一模态与第二模态对应的时间系数年代际变化曲线。将其分别与大西洋偶极子指数、太平洋第一主模分别求相关,结果得到大西洋偶极子指数与热带大西洋第一模态与热带第二模态的相关系数分别为-0.1827 和-0.9214,此结果表明大西洋第一模态与大西洋偶极子关联不大,而热带大西洋第二模态的确可代表大西洋偶极子变化;太平洋第一主模与大西洋第一模态及第二模态的相关系数分别为 0.3476 和-0.1784,表明热带大西洋第一主模与太平洋第一主模有同步变化关系,而大西洋偶极子模态与太平洋第一主模(即 ENSO)关联较弱。

从偶极子模态时间系数(见图 3d)的变化来看,大西洋偶极子模态有明显的年代际变化,但偶极子模态并无明显的长期趋势;与此相反,大西洋第一主模的时间变化(见图 3b)除有明显的年代际变化外,还存在明显的长期增暖趋势,这与太平洋第一主模类似,两者较好的同步变化关系也证实了这一点。

从大西洋第一主模的空间分布来看,南北分布的变化为同符号变化,但南半球变化

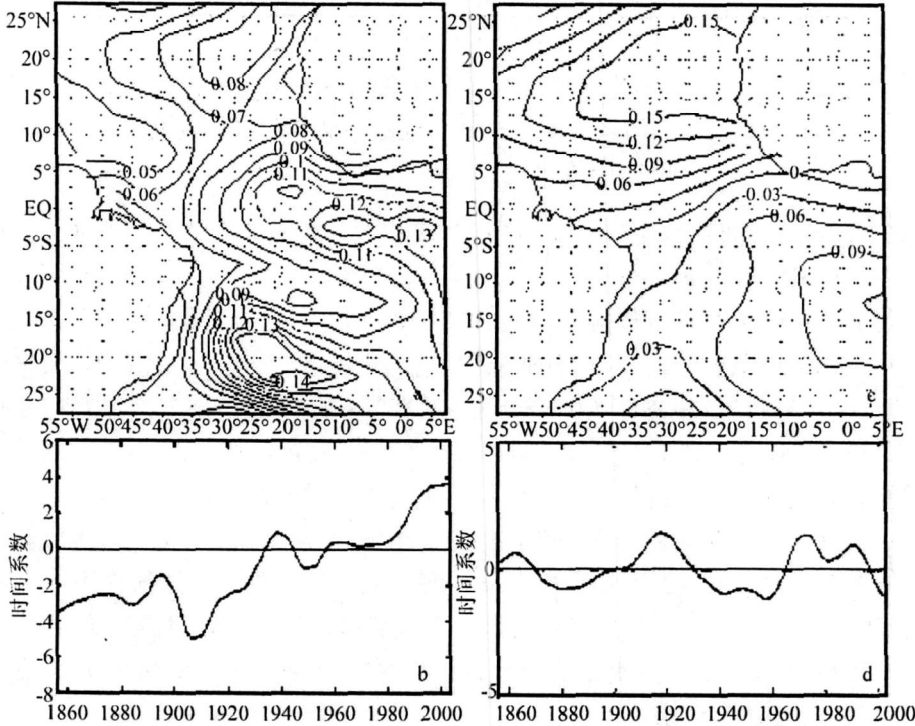


图 3 大西洋区域海表水温场 EOF 展开的空间第一模态(a)与第二模态(c)分布图及对应的年代际变化曲线(对应第一模态(b), 对应第三模态(d))

明显要大,南北向仍存在较大的温度梯度,属于单极分布。由于它是大西洋第一主模,所占方差较大(42.30%),在后面的分析中应更关注它的变化。

(3) 热带印度洋模态:图4是对所选择的印度洋区域进行 EOF 展开得到的印度洋空间分布第一模态(a)与第二模态(c),其方差分别占总方差的 38.58%与 10.11%,以及对应第一模态与第二模态的时间系数年代际变化曲线(b与d)。与大西洋类似,印度洋第一主模的空间分布也是一种同符号变化分布,但东西部变化有差异,在暖位相阶段,西北部海温较东南部海温偏高,东西向存在较大的温度梯度。何金海、张人禾、谭言科等<sup>[16]</sup>在讨论热带印度洋海温异常的变率特征时发现,若以东西部海温距平的符号为依据,可将印度洋海温的分布分为单极子(东西向海温距平同符号)和偶极子(东西向海温距平反符号),虽然本文的印度洋第一主模的空间分布与何金海等<sup>[16]</sup>得到的单极子空间分布并不完全一致,但总体趋势是一致的,因此,印度洋第一主模的空间分布实际上是单极子(引用何金海等的定义,以下同);而印度洋第二主模的东西向海温分布反符号,是类偶极子分布。可见,在热带印度洋海温距平的变率中,单极子与偶极子分布的确是其主要变化型,这从另一方面进一步证实了何金海等<sup>[16]</sup>的一些结论。如从方差比例来看,单极子型分布明显强于偶极子分布,是印度洋 SST 距平的主要变化型。

图 4b、图 4d 分别为与印度洋空间分布第一模态和第二模态相对应的时间系数的年代际变化曲线。如果将其与 Saji 的印度洋偶极子指数<sup>[14]</sup>、太平洋第一主模求相关。结

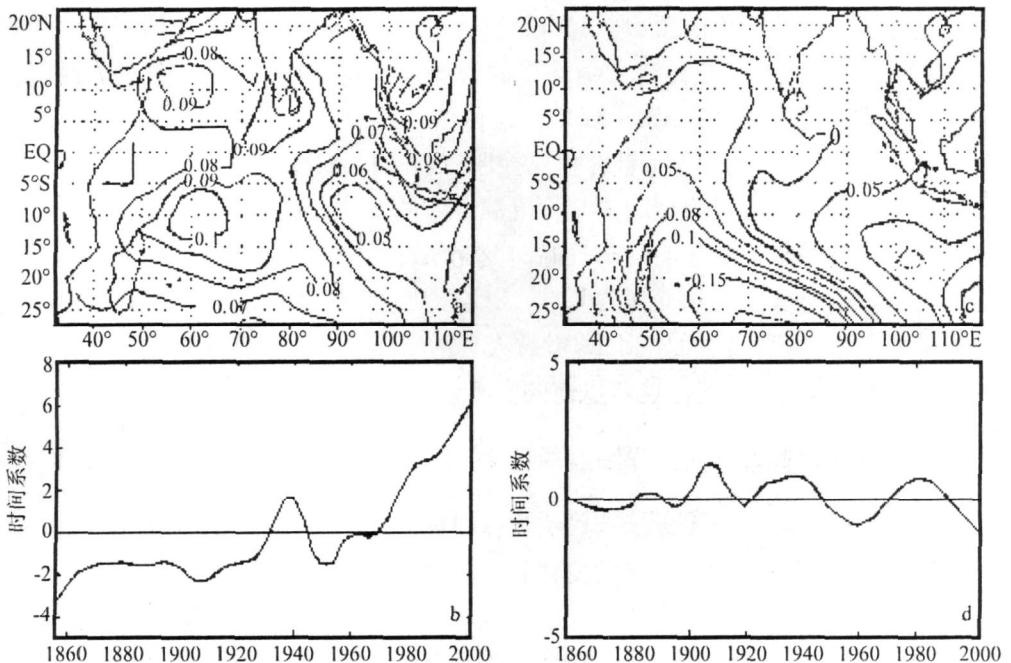


图 4 印度洋区域海表水温场 EOF 展开的空间第一模态(a)与第二模态(c)分布图以及分别对应空间第一模态(b)、空间第二模态(d)的时间系数的年代际变化曲线

果得到, Saji 的印度洋偶极子指数的变化与印度洋第二主模的变化最高, 相关系数达 0.4605, 而与印度洋第一主模的相关系数仅 0.1946, 表明印度洋第二主模可代表印度洋偶极子; 与此相反, 印度洋空间分布第一主模的与太平洋第一主模的相关较好, 相关系数达 0.5874, 而印度洋第二主模与太平洋第一主模的相关系数仅为 0.1884, 关联不大。此结果与何金海等<sup>[16]</sup>的相关结论类似。他们研究得出, 偶极型海温分布的形成可能与热带印度洋和西太平洋海洋性大陆局地的海气耦合有关, 而单极型海温分布则可能更多地受到印度洋以外区域如热带中西太平洋海气相互作用的影响。

从长期变化趋势来看, 印度洋第一主模与印度洋第二主模的变化均存在年代际变化。偶极子模态的年代际变化更为明显, 但似乎周期有变长趋势; 偶极子模态没有明显的长期增暖趋势。单极子模态的年代际变化相对而言不太明显, 但其增暖的长期趋势却十分明显, 何金海等也得到同样结论。

## 4 海气耦合模式模拟结果分析

### 4.1 人类活动影响所产生的增暖趋势

作为主要的温室气体,  $\text{CO}_2$  浓度的增加可能造成气候增暖的预测研究早在 1975 年就由 Manabe 和 Wetherald 进行了尝试, 他们得出当  $\text{CO}_2$  浓度增加一倍时, 全球表面气温可升高  $2 \sim 3^\circ\text{C}$  的结论, 他们使用的是一个相当简化的模式。近些年来, 海洋-气候耦合模式对温室气体引起增暖所作的预测研究有了很大发展, IPCC 在 1995 年的第二次报告中指出, 到 21 世纪末, 考虑到大气  $\text{CO}_2$  浓度的增加、气溶胶的作用和气候模式敏感性的估计, 全球平均温度可能升高  $1.0 \sim 3.5^\circ\text{C}$ , 最佳估计为  $2.0^\circ\text{C}$ 。

图 5 给出了由 FGOALS 1.0\_g 耦合模式控制试验、 $\text{CO}_2$  浓度以 1% 等比增加到 560ppm 的加倍试验模拟的选择时段全球地面平均气温差时间变化曲线。它代表了由于人类活动影响导致  $\text{CO}_2$  浓度增加所引起的全球气温的变化状况。图中明显显示出, 若以保持工业革命前的  $\text{CO}_2$  浓度不变的自然变化为基准,  $\text{CO}_2$  浓度以 1% 速率等比增加在 60 年里将使全球地面平均气温升高大约  $0.9^\circ\text{C}$ , 即考虑人类活动影响导致温室气体增加 (本文仅考虑  $\text{CO}_2$ ) 将会使全球气候变暖, 这与以前的学者研究结果完全一致<sup>[2]</sup>。

### 4.2 模拟的气候增暖背景下三大洋海温的变化

图 5 的模拟结果显示出人类活动影响将使全球气候变暖, 与实测的结果一致。那么, 对应这一气候增暖背景三大洋海温的变化状况如何呢?

图 6 是 FGOALS 1.0\_g 耦合模式加倍试验 ( $\text{CO}_2$  含量以 1% 等比增加到 560ppm) 与控制试验 ( $\text{CO}_2$  含量保持工业革命前量值 280ppm 不变) 模拟的研究时段太平洋海表水温之差 EOF 展开分析得到的空间第一模态 (a) 与第二模态 (c) 及相对应的时间系数年代际变化曲线 (见图 b、d)。代表人类活动影响下太平洋海表水温的变化状况。

由图 6a 可以看出, 海气耦合模式模拟的太平洋海表水温空间第一模态基本为 ENSO

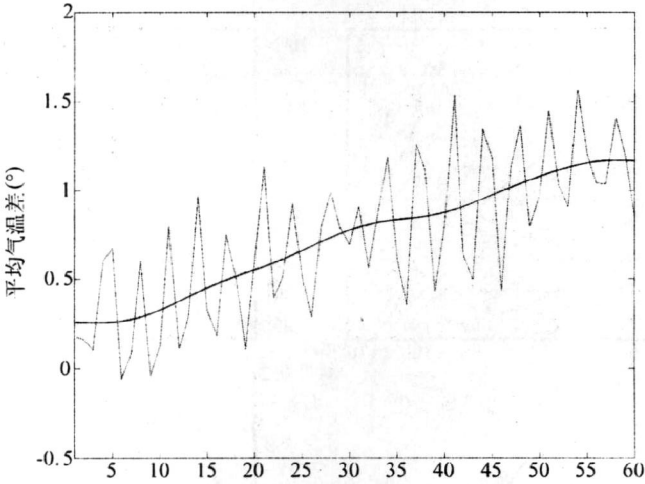


图 5 FGOALS1.0\_g 耦合模式加倍试验(CO<sub>2</sub> 含量以 1% 等比增加到 560ppm)与控制试验 (CO<sub>2</sub> 含量保持工业革命前量值 280ppm 不变)模拟的研究时段 全球地面平均气温之差随时间变化曲线

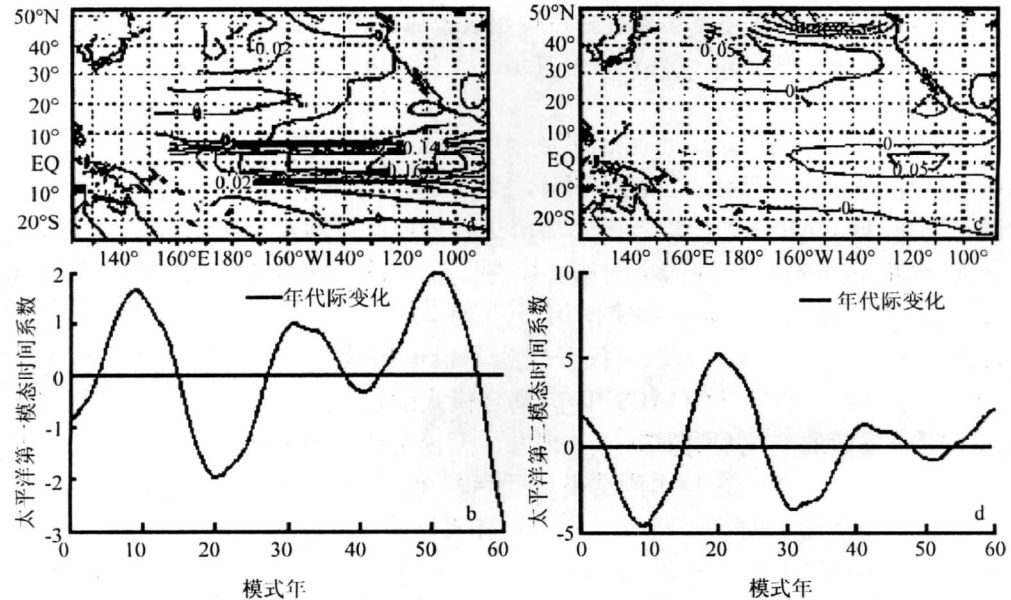


图 6 FGOALS1.0\_g 耦合模式加倍试验与控制试验模拟的太平洋海表水温之差的空間第一 (a)、第二模态 (b) 分布图及对应的时间系数年代际变化曲线

模态,即赤道中东太平洋为正距平,西北太平洋为负距平,表明模拟结果基本反映了 ENSO 的变化,但与实测结果差别较大处主要是正距平过于偏强和偏纬向分布。从对应的时间系数年代际变化曲线(见图 6b)来看,模拟的人类活动影响下的太平洋海温主模态



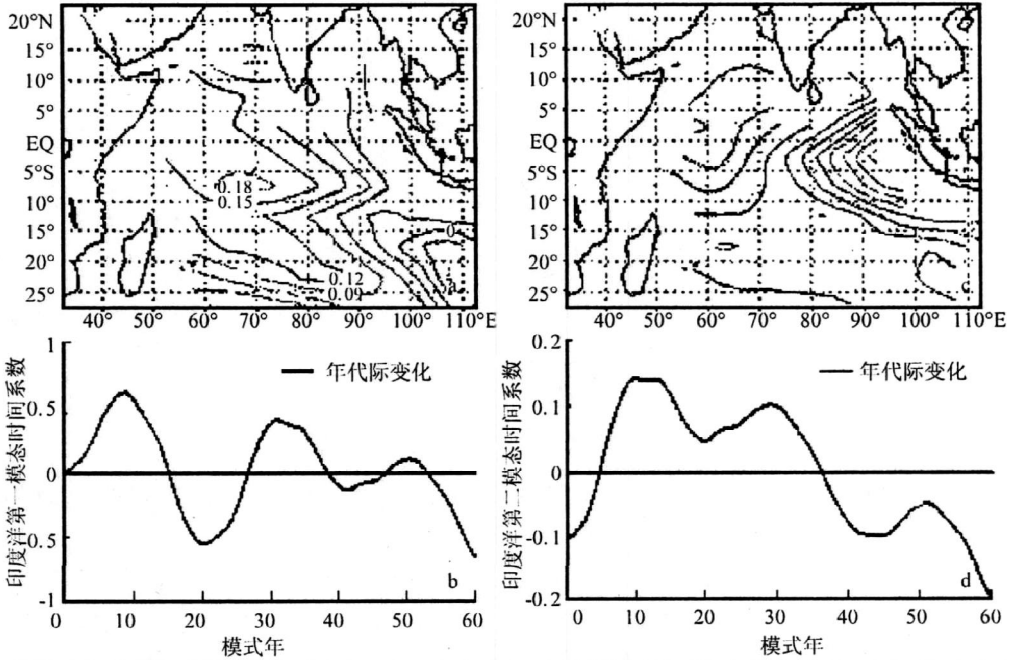


图 7 FGOALS1.0\_g 耦合模式加倍试验与控制试验模拟的印度洋洋海表水温之差的空间第一 (a)、第二模态 (b) 分布图及对应的时间系数年代际变化曲线

并无明显的长期上升趋势,反而在后期有一定下降趋势。即模式模拟结果未证实人类活动影响造成了与全球气温相对应的太平洋海表水温增高趋势。

图 7 则是 FGOALS1.0\_g 耦合模式加倍试验与控制试验模拟的研究时段印度洋洋海表水温之差 EOF 展开分析得到的空间第一模态 (a) 与第二模态 (c) 及相对应的时间系数年代际变化曲线 (见图 7b、d)。由空间第一、第二模态 (见图 7a、c) 可以看出,模拟的印度洋洋海表水温第一主模、第二主模分别为单极子和偶极子分布,这与实测分析结果 (见图 4) 基本一致,表明 FGOALS1.0\_g 耦合模式能较好地再现自然界印度洋洋海温的变化。而从时间系数的变化 (见图 7b、d) 来看,无论是单极子分布还偶极子分布,模拟时段的长期趋势是降低的,这与实测结果 (见图 4b、d) 并不一致。实测的单极子分布其时间变的长期趋势是增加的,而偶极子分布没有明显的上升或下降趋势。

图 8 是 FGOALS1.0\_g 耦合模式加倍试验与控制试验模拟的研究时段大西洋海表水温之差 EOF 展开分析得到的空间第一模态 (a) 与第二模态 (c) 及相对应的时间系数年代际变化曲线 (见图 8b、d)。从空间第一、第二模态 (见图 8a、c) 来看,模拟的大西洋海表水温第一主模、第二主模也分别为单极子和偶极子分布,这与实测分析结果 (见图 4) 基本一致,表明 FGOALS1.0\_g 耦合模式也能较好地再现自然界大西洋海温的变化。进一步从时间系数的变化 (见图 8b、d) 来看,无论是空间第一模态 (单极子分布) 还是第二模态 (偶极子分布),模拟时段的长期趋势都不存在明显的上升或下降趋势,这与实测结

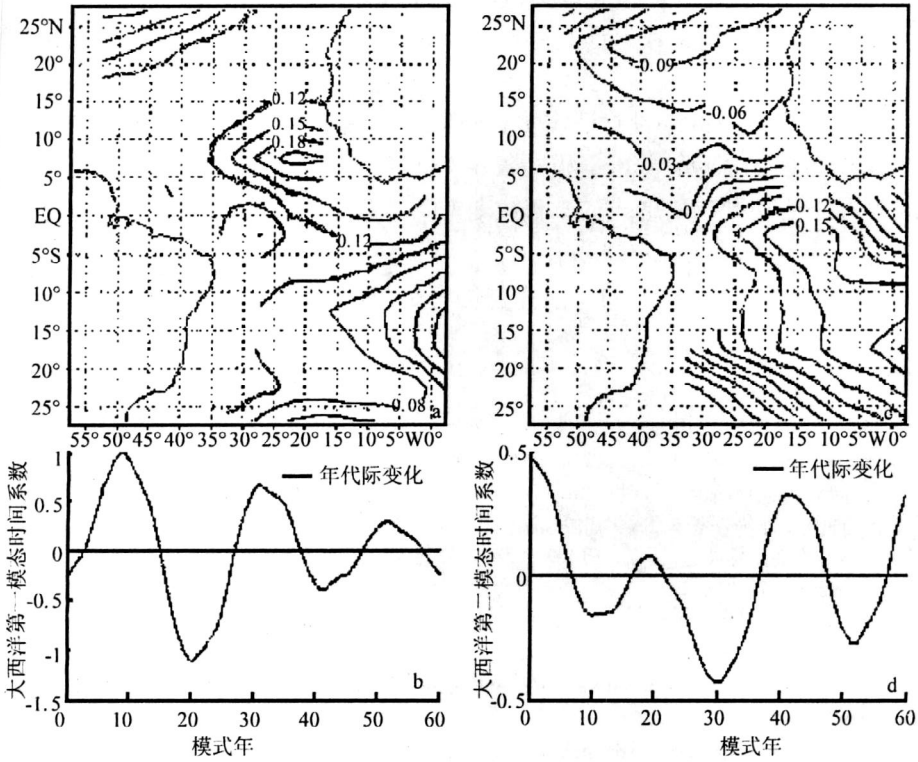


图 8 FGOALS 1.0\_g 耦合模式加倍试验与控制试验模拟的大西洋洋海表水温之差的空  
第一 (a)、第二模态 (b) 分布图及对应的时间系数年代际变化曲线。

果(见图 3)有部分相同。实测的单极子分布其时间变的长期趋势是增加的,模拟结果未证实这一趋势;而实测大西洋偶极子分布没有明显的上升或下降趋势,模拟结果类似。

## 5 总结与讨论

全球气候增暖已是不争的事实,它可能是人类活动影响造成的。为了探讨人类活动对三大洋海温的可能影响,本文首先利用实测资料分析近百年来全球气温及三大洋海温的变化;然后利用了一个海气耦合模式模拟结果来检验实测结果。得到以下结论:

(1) 实测分析结果表明:代表太平洋海表水温主模态的模、大西洋海表水温第一模态(单极子分布)以及印度洋海表水温第一模态(单极子分布)所对应的时间系数呈现明显的上升趋势,即近百年来三大洋海温总体呈现上升趋势,但太平洋海温有其独立变化特点。大西洋海表水温偶极子模态(第二模态)与印度洋海表水温偶极子模态(第二模态)所对应时间系数变化没有明显的上升或下降趋势。

(2) 模拟结果分析表明:模式模拟结果较好地再现了 ENSO 分布模态、大西洋海表水温的单极子及偶极子模态以及印度洋的单极子及偶极子模态,表明 FGOALS1.0\_g 耦合模式有较好的模拟三大洋海温的能力。

(3) 耦合模式模拟结果证实了人类活动影响( $\text{CO}_2$  浓度增加)将会使全球气候变暖。

(4) 耦合模式模拟结果没有证实由于  $\text{CO}_2$  浓度增加会导致三大洋海表水温明显的增高趋势。

对于耦合模式模拟结果没有证实实测结果所反映出的三大洋水温的增暖趋势,我们认为可能有两方面的原因:第一、模式仅用  $\text{CO}_2$  浓度增加代表人类活动影响可能有一定偏差,因为人类活动影响所造成的不仅仅是  $\text{CO}_2$  浓度增加,还有其它因素的变化;第二、数值模式本身可能还存在一定缺陷。

因此,模式的改进和实验的不断完善仍将是今后努力的方向。

## 参考文献:

- [1] 张兰生,方修琦,任国玉. 全球变化[M]. 北京:高等教育出版社,2000.
- [2] 李崇银. 气候动力学引论[M]. 北京:气象出版社,1995.
- [3] Wang Bin. Interdecadal changes in El Nino onset in the last four decades[J]. J Climate, 1995,8 (2):267 ~ 285.
- [4] 赵平,陈隆勋. 35年来青藏高原大气热源气候特征及其与中国降水的关系[J]. 中国科学,2001,31(4):327 ~ 332.
- [5] 何金海,李峰. 东亚夏季风与太平洋 SSTA 关系的年代际变化及其机制研究. ENSO 循环机理和预测研究[M],北京:气象出版社,2003:16 ~ 28.
- [6] Akio K, S Yukimoto, A Noda, T Motoi. Simulated changes in the Asian summer monsoon at times of increased atmospheric  $\text{CO}_2$  [J]. Journal of the Meteo. Soc. Japan, 1997,75 (6):1019 ~ 1031.
- [7] Francis W Z, V V Kharin. Changes in the extremes of the climate simulated by CCC GCM2 under  $\text{CO}_2$  Doubling[J]. J Climate, 1998,11 (9):2200 ~ 2222.
- [8] Gerald A M, W M Washington, J M Arblaster, T W Bettge, W G Strand Jr. Anthropogenic forcing and decadal climate variability in sensitivity experiments of twentieth- and twenty-first-century climate,[J]. J Climate, 2000,13 (11):3728 ~ 3744.
- [9] 王绍武. 近百年气候变化与变率的诊断研究[J]. 气象学报,1994,52 (3):261 ~ 273.
- [10] 赵永平,吴爱明. 热带太平洋海温异常气候态变率与我国气候异常. ENSO 循环机理和预测研究[M],北京:气象出版社,2003,68 ~ 73.
- [11] Latif M. Dynamics of interdecadal variability in coupled ocean-atmosphere models[J]. J Climate, 1998,11 (4):602 ~ 624.
- [12] Zhang yuan, J M Wallace, D B Battisti. ENSO-like Interdecadal variability: 1900-93. J Climate, 1997,10 (5):1006 ~ 1020.
- [13] Chang Ping, Link Ji, Hong Li. A decadal climate variation in the tropical Atlantic Ocean from thermodynamic air-sea interaction[J]. Nature, 1997,385(2):516 ~ 618.
- [14] Saji H H, B N Goswami, P N Vinayachandran et al. A dipole mode in the tropical Indian Ocean. Nature, 1999,401(9):360 ~ 363.
- [15] 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[J]. 大气科学,2001,25 (4):433 ~ 443.
- [16] 何金海,张人禾,谭彦科,等. 热带印度洋海温异常的变率特征分析. ENSO 循环机理和预测研究,北京:气象出版社,2003,279 ~ 293.
- [17] 叶笃正,曾庆存,郭裕福. 当代气候研究[M],北京:气象出版社,1991.
- [18] Wang Cunzai. Atmospheric circulation cells associated with the El Nino-southern oscillation[J]. J Climate, 2002,15 (2):399 ~ 419.
- [19] 李丽平. 海气系统季节内振荡现象的气候学研究[D]. 南京气象学院博士论文,2004.

## The changes of three ocean SST under anthropogenic influences and numerical simulation

WANG Ying-jun , LIU Qun-yan , JIANG Guo-rong , CHEN Yi-de

(Institute of Meteorology, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101 China)

**Abstract :** The Pacific SST, the Atlantic SST and the Indian Ocean SST may be affected by human activities ( $\text{CO}_2$  concentration increase). In this article, the possible changes of the three oceans' SST are analyzed by diagnosing the measured global atmospheric temperature, the ocean SST and simulating the experiments of  $\text{CO}_2$  concentration steady and double with the coupled GCM-FGOALS 1.0\_g. The result shows that the Pacific SST changes independently though the three oceans' SST tend to increase in total during the recent hundred years. The three oceans' SST are able to be simulated well by the coupled GCM-FGOALS 1.0\_g. Anthropogenic influence ( $\text{CO}_2$  concentration increase) will induce global climate warming and that has been conformed by the simulation, but the simulation hasn't make sure whether the  $\text{CO}_2$  concentration increase will result in the three oceans' SST higher evidently.

**Key words :** global warming ; SST ; coupled general circulation model (CGCM) ; anthropogenic influence, numerical simulation