

IAP AGCM 对全球海温异常的响应 —— CO₂ 引起气候变化的等效研究*

王万秋 张学洪 曾庆存

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100080)

提 要

本文用 IAP AGCM 研究全球海温异常引起的气候变化, 这种变化可以看作是由于 CO₂ 含量改变引起的响应. 按照 Ramanathan 和 Cess 等的观点, 太阳常数的改变、CO₂ 含量的增减及全球海温异常对地气系统能量收支的影响是一致的, 主要受控于射出净辐射的改变. 本工作分别以 +4℃ 和 -4℃ 作为全球海温异常得到两次积分, 分别记为 *I* 和 *D*, 模式的长期气候平均用作基本状态试验, 记为 *C*.

当海温增加 4℃ 时, 地表气温约增加 4.4℃, 而且主要由于热带对流加热的影响, 气温的变化随高度增加, 冬半球地表气温的增加明显大于夏半球, 这是由雪的反照率和垂直温度递减率的反馈作用引起的. 虽然全球平均总云量随海温增加而减少, 但其纬向分布是不均匀的, 尤其对个别类型的云更是如此. 云的反馈在辐射能量收支中起着重要作用, 例如, 热带模式层顶净向下太阳辐射 (*S*) 和净向上长波辐射 (*R*) 减少 (或增加最少) 就归咎于穿透性对流云的增加.

全球平均降水 *I* 比 *C* 多 18%, 降水的变化呈正反馈趋势, 即热带降水最大的地区降水加大, 而在副热带地区降水增加很小, 甚至减少. 纬度-时间图上, 降水的变化呈带状分布, 正象降水本身的变化一样.

虽然我们得到的全球平均和纬向平均与 Mitchell 的结果一致, 但区域性海温异常响应存在很大差别.

关键词: 大气环流模式; 全球海温异常; CO₂.

一、引 言

按照 Ramanathan^[1] 和 Cess 等^[2] 的观点, 太阳常数的改变, CO₂ 浓度的增加和全球海温异常对地气系统能量收支的影响是一致的. 因此我们可以用全球的海温异常代替大气中 CO₂ 浓度的增加, 从而研究在全球能量收支改变时大气的变化以及这种变化过程中的各种反馈机制. Mitchell 等^[3] 研究了 CO₂ 浓度加倍并且全球海温异常 (+2℃) 和只有全球海温异常 (+2℃) 而不改变 CO₂ 浓度两种情况下大气的响应, 其结果 (如表 1) 指出, 在这两种情况下, 大气的响应非常一致, 而两者之差 (假定相当于仅由 CO₂ 浓度加倍而海温不变的影响) 是很小的. Gates 等^[4] 所作的 CO₂ 浓度加倍和增加三倍

1991 年 1 月 14 日收到, 4 月 9 日收到修改稿.

* 本工作得到国家自然科学基金部分资助.

(海温保持不变)也同样指出如果只改变 CO_2 的浓度而海温不变, 则大气的响应是很微弱的, 事实上, 对大气系统来讲, 其上边界能量通量的改变必然引起下边界能量通量的改变, 或者说大气的变化是上下边界能量通量变化的总效果, CO_2 浓度增加时, 仍然保持海温不变, 即相当于假定海洋热容量是无限的, 这显然是不合理的。

表 1 海温增加 2°C 引起的全球平均的变化(上)和相当于仅由 CO_2 加倍引起的全球平均的变化(下)^[3]

	全 球	陆 地	海 洋
大气辐射冷却 (W/m^2)	7.1 -3.8	5.8 -3.8	7.8 -3.8
对流层温度 ($^\circ\text{C}$)	2.90 0.12	2.91 0.16	2.91 0.12
地表气温 ($^\circ\text{C}$)	2.21 0.04	2.64 0.23	2.00 --
大气湿度 (g/kg)	0.57 -0.01	0.46 -0.01	0.66 0.00
降水 (mm/d)	0.23 -0.09	0.20 -0.09	0.26 -0.10
蒸发 (mm/d)	0.24 -0.07	0.05 -0.02	0.37 -0.12
感热 (W/m^2)	0.1 -1.1	0.8 -0.3	0.1 -1.5
地表净向下的长波辐射 (W/m^2)	3.2 0.1	2.1 -0.1	3.8 0.1

二、模式及试验过程

本文所用的是 IAP 两层大气环流模式, 文献 [5] 已对该模式进行了完整的描述, 模式中包含四种不同类型的云, 其中第一种云 (CL_1) 由中对流或深对流所形成。

下面给出的是用 IAP 两层大气环流模式所作的关于全球海温异常的试验, 给出的结果涉及到三个积分试验: 1) 海温取为观测的气候值, 积分十年(记为 C); 2) 全球海温均比气候值高 4°C , 积分 13 个月, 取后 12 个月的结果(记为 I); 3) 全球海温均比气候值低 4°C , 积分 13 个月, 取后 12 个月的结果(记为 D)。分析表明, I 与 C 之差 ($I-C$) 同 C 与 D 之差 ($C-D$) 基本上是一致的, 所以在下面的讨论中, 有时只给出 $I-C$ 的结果。

三、结果分析

1. 全球平均

表 2 给出海温正异常引起的全球平均的变化 ($I-C$)。气温在各层次上均是增加的

表 2 海温异常引起的全球平均量的变化 ($I-C$)

地表气温变化 (°C)	4.43	
800hPa 气温变化 (°C)	4.46	
400hPa 气温变化 (°C)	5.39	
地表湿度的变化 (g/kg)和变化百分率 (%)	2.04	28.1
850hPa 湿度的变化 (g/kg)和变化百分率 (%)	1.70	25.2
500hPa 湿度的变化 (g/kg)和变化百分率 (%)	0.71	53.1
降水变化 (mm/d)和变化百分率 (%)	0.49	17.9
地表蒸发的变化 (mm/d)和变化百分率 (%)	0.49	17.9
模式层顶净向上的长波辐射变化 (W/m^2)和变化百分率 (%)	11.78	5.8
模式层顶净向上的短波辐射变化 (W/m^2)和变化百分率 (%)	6.85	3.5
总云量的变化 (10^{-1})和变化百分率 (%)	-0.0122	-1.3

(地表气温变化为4.43 °C)。气温增加的幅度随高度增加，以后我们会看到，这主要是由热带对流凝结加热的变化所致。大气湿度、地表蒸发量和降水都随海温增加而增加，即全球水分循环加强，总云量则由于饱和比湿的增加而减少(但后面的结果指出对流云量是增加的)。大气水分增加、总云量减少以及地表反照率的减弱致使地气吸收的太阳辐射增加。与表 1 比较可以发现，海温增加 4 °C 引起的变化大约是海温增加 2 °C^[1]的两倍。

2. 纬向平均

海温异常引起纬向平均气温的变化如图 1 所示。在 12, 1, 2 月 (DJF) 和 6, 7, 8 月 (JJA)，冬半球气温的增加比夏半球大，气温在夏半球高纬改变最小，这与雪盖反照率反馈及温度垂直递减率反馈相联系^[1, 2]。在热带，气温的增幅随高度增大，这种变化与热带对流凝结加热的改变有关。图 2 给出年平均云量和大气顶净长波辐射以及短波辐射通量的变化。虽然总云量是减少的，但对流云明显增加了(尤其在热带地区)。可以看到，对流凝结在热带随海温增加而加强，从而使高层增暖。辐射通量的变化与云量的变化对应，而且长波辐射和短波辐射的变化有互相补偿的作用。同时，我们注意到 $I-C$ 和 $C-D$ 的结果在热带有明显的差别，正海温异常引起的变化 ($I-C$) 比负海温异常引起的变化 ($C-D$) 小。这说明在不同的基本气候状态下的扰动所引起的变化是不同的^[2]。

图 3 给出海温异常引起的降水差异随季节的演变。降水的改变在热带辐合带最为明显。在高纬地区，虽然蒸发的变化并不大，但水汽的经向输送使这些区域的降水也明显增大。降水差异的时间-纬度剖面近似呈带状分布。随着季节的变化，降水的差异北移或南移，正象降水本身的季节变化一样。

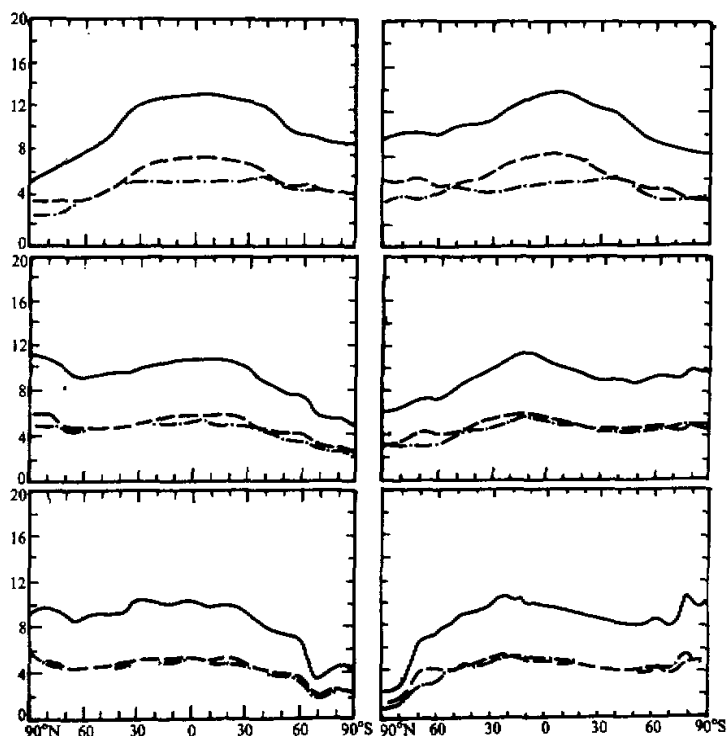


图1 海温异常引起冬季(左)和夏季(右)400hPa(上),800hPa(中)和地面(下)纬向平均气温的变化(°C)
实线: I-D; 点划线: I-C; 虚线: C-D.

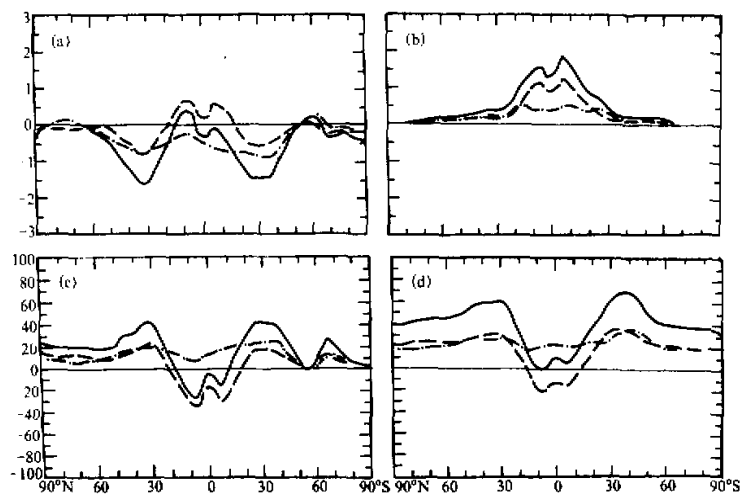


图2 海温异常引起的纬向和年平均变化

(a) 总云量 (10^{-1}); (b) 对流云量 (10^{-1}); (c) 模式层顶(200hPa)净向上的长波辐射 (W/m^2);
(d) 模式层顶(200hPa)净向下的短波辐射 (W/m^2). 实线: I-D; 点划线: I-C; 虚线: C-D.

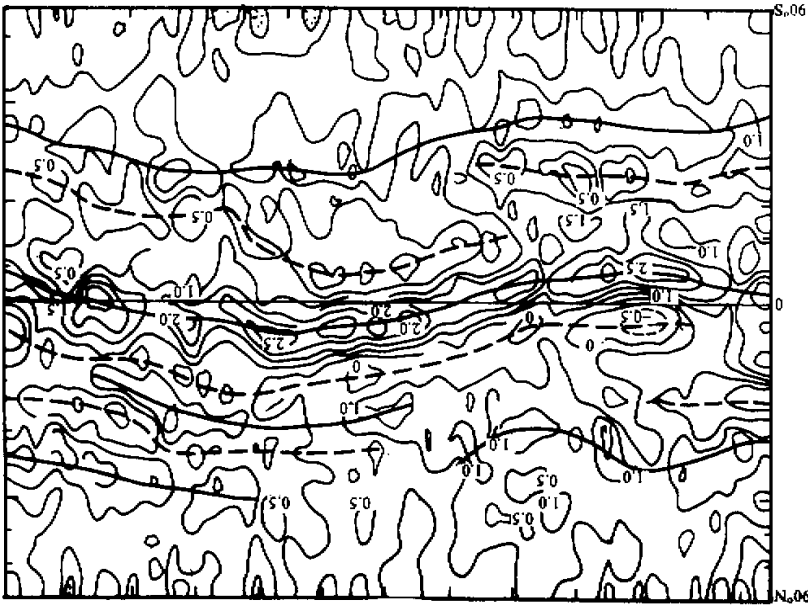
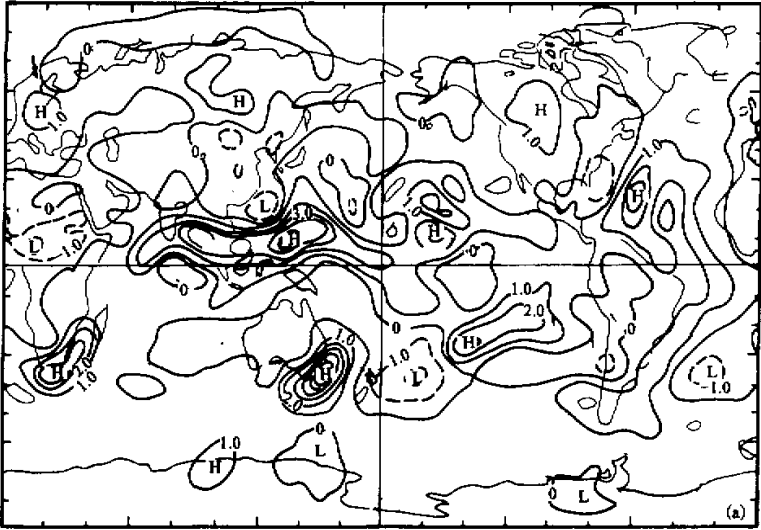


图3 海温异常引起的降水差异 ($I-D$) 随时间的演变 (mm/d)

3. 全球分布



(a)



图4 海温异常引起北半球夏季降水的变化(mm/d)

(a) $I-C$; (b) 文献[3], 阴影区为降水减少的范围.

一般地讲, 地表气温、土地温度和降水的变化之间是相互关联的. 降水的增加使土壤变湿, 从而地表向大气的潜热输送增加, 土壤降温, 地表感热输送减少, 地表气温降低. 对于全球分布状况我们只给出北半球夏季降水分布.

图4给出北半球夏季(6, 7, 8月)平均的降水变化($I-C$)和文献[3]中海温增加 2°C 所引起的降水变化. 虽然两者有一些相似之处, 但局地差别较大, 如我们的结果($I-C$)中东亚地区降水减少, 而文献[3]中该地区降水增加非常明显; 另外, 在北美洲, 我们的结果是东部减少, 西部增加的东西向对比, 而文献[3]的结果则显示出降水变化的南北差异.

四、小 结

通过分析 IAP AGCM 对全球海温异常的响应, 我们有如下结论:

- (1) 全球平均气温随海温增加而增加, 大气湿度、地面蒸发、降水也同时增大, 海温增加 4°C 所引起的变化大约是文献[3]的海温增加 2°C 引起的变化的两倍.
- (2) 冬半球气温变化比夏半球明显. 热带气温的增幅由于对流凝结加热的变化而随高度增加.
- (3) 总云量随海温增加而减少, 但热带对流云随海温增加而增多. 模式层顶(200hPa)辐射通量的变化主要受云量变化的控制, 但长波辐射和短波辐射之间的变化可以互相补偿. 而这些变化的大小在热带与基本状况有关, 即 $I-C$ 和 $C-D$ 在热带有明显差异.
- (4) 北半球冬季中高纬陆地上降水普遍增加, 但北半球夏季陆地上降水差异较大.

降水变化在热带最突出, 另外降水的变化主要受大气环流的影响, 纬向平均降水变化的纬度—时间剖面呈带状分布, 随着季节的变化, 海温异常引起降水差异的变化随大尺度辐合带的经向移动而移动, 正象降水本身的季节变化那样。

(5) 虽然全球平均的变化与 Mitchell 等^[3]的结果相似, 但区域性海温异常的响应存在着许多差别。

参 考 文 献

- [1] Ramanathan, V., 1981, The role of ocean atmosphere in the CO₂ climate problems. *J. Atmos. Sci.*, **40**, 1884—1896.
- [2] Cess, R. D. and G. L. Potter, 1988, A methodology for understanding and intercomparing atmospheric climate feed back processes in general circulation models, *J. Geophys. Res.*, **93**, No. D7, 8305—8314.
- [3] Mitchell, J. F. B., 1983, The Seasonal response of a general circulation model to changes in CO₂ and sea surface temperature, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **109**, 113—152.
- [4] Gates W. L., K. H. Cook, and M. E. Schlesinger, 1981, Preliminary analysis of experiments on the climatic effects of increased CO₂ with an atmospheric general circulation model and a climatological ocean, *J. Geophys. Res.*, **86**, 6385—6393.
- [5] Zeng, Q. C., X. H. Zhang, X. Z. Liang, C. G. Yuan and S. F. Chen, 1989, Documentation of IAP Two-level Atmospheric General Circulation Model, DOE/ER/60314-H1, Dist. Category UC-11, TRO44.

Responses of IAP AGCM to Global SST Anomalies —— An Equivalent Study of CO₂-induced Climate Changes

Wang Wanqiu Zhang Xuehong Zeng Qingcun

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract

The two-layer atmospheric general circulation model of the Institute of Atmospheric Physics (IAP AGCM) is used to study climate changes caused by global sea surface temperature (SST) anomalies. As indicated by Ramanathan (1981), changes in the solar constant, in the carbon dioxide concentration and in sea surface temperatures have the same effects to the atmospheric energy budgets. The control integration (referred as to C) is obtained by prescribing SSTs according to the observed climatology. In this work, two anomalous integrations with SSTs respectively increased and decreased by 4 °C are carried out and referred as I and D.

Increases of the surface air temperatures in the winter hemisphere are larger than those in summer hemisphere due to the snow-albedo and lapse-rate feedbacks and the minimum

exists in the polar region of the summer hemisphere.

Although the global mean total cloud amount is reduced in the higher-SST integration, the amount of cloud type 1 (CL_1) formed by middle-level or penetrative convection is increased with increases of SSTs, especially in the tropics. CL_1 makes radiative components compensate each other by reducing the absorption of the solar radiation and emission of the infrared radiation of the earth-atmosphere system.

Global mean precipitation increases by 18% when the SSTs increase by 4°C . Large scale converging is attributed to the changes of precipitation. The time-latitude section of zonal mean changes in precipitation shows a band structure like the variation of the precipitation itself.

Although the global and zonal means in our experiment are similar to those in the experiment of Mitchell et al., the regional distributions are very different from each other.

Key words: AGCM; Global SST anomalies; CO_2 .