

CO₂增加引起的温室效应对我国沿海 台风影响的数值模拟试验*

高学杰¹, 林一骅², 赵宗慈¹, Filippo Giorgi³

(1. 国家气候中心, 北京 100081; 2. 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029;
3. The Abdus Salam International Center for Theoretical Physics, Trieste, Italy)

摘要:使用 RegCM2 区域气候模式单向嵌套澳大利亚 CSIRO R₂₁L₉ 全球海-气耦合模式, 进行了 CO₂ 加倍情况下影响中国的台风变化的数值试验研究。首先分析了区域模式对中国气候的模拟能力, 结果表明, 区域模式由于具有较高的分辨率, 因而对中国区域地面气温和降水的模拟效果较全球模式有了较大提高。随后就温室效应对台风的影响情况进行了分析, 发现计算区域内台风生成的个数将有一定增加, 而登陆我国的台风数目会有明显增加; 同时台风的路径将以由南向北移动, 在华南登陆影响我国的方式为主。

关键词: 气候模拟; 区域气候模式; 温室效应; 台风活动

中图分类号: P732 **文献标识码:** A

众所周知, 人类活动引起的大气中 CO₂ 等温室气体含量增加产生的温室效应给全球气候造成了严重的影响, 因此对温室效应的研究成为当今气候研究的热点之一。

温室效应的研究工具一般是全球环流模式(GCM)。由于计算条件的限制, 现有全球环流模式的分辨率一般较低(水平分辨率一般在 200—500km), 不能适当地描述复杂地形、地表状况和某些物理过程, 从而在区域气候模拟及气候变化试验等方面产生较大偏差, 影响其可信程度; 同时, 全球环流模式的模拟主要反映了大尺度、长时期的气候特征, 难以描述更细节的如因小地形引起的温度和降水的波动及如台风等尺度较小的系统的变化。

为解决计算机能力和区域气候模拟要求之间的矛盾, 除了利用降尺度(downscaling)等方法对模式结果进行统计和经验方法上的修正外, 模式本身也在不断改进。20 世纪 80 年代末至 90 年代初出现区域气候模式^[1], 并得到了广泛的发展和應用^[2]。

我们使用一个区域气候模式(RegCM2)嵌套到一个全球环流模式(澳大利亚 CSIRO AOGCM R₂₁L₉)中, 对影响我国的台风及其在大气中 CO₂ 浓度加倍情况下的变化进行了数值模拟和试验研究。

收稿日期: 2002-09-13; **修订日期:** 2003-05-15

基金项目: 国家杰出青年基金项目(40125014); 全球环境变化对策与支撑技术研究项目(2001-BA611B-01)

作者简介: 高学杰(1966—), 男, 河北省石家庄市人, 研究员, 博士, 主要从事气候模式以及气候变化方面的研究。

E-mail: gaouxj@ema.gov.cn

* 澳大利亚 CSIRO 的 John McGregor 博士和 Martin Dix 博士提供了运行区域模式所需的全球模式资料。特此致谢。

1 模式简介和试验设计

1.1 全球模式

选用 CSIRO R₂₁L₉ 海气耦合模式作为用于嵌套的 GCM。模式大气部分的水平分辨率大约为 5.6°(经度)×3.2°(纬度),垂直方向采用 σ 坐标,层数为 9 层;海洋模式(GFDL)采用通量调整方式与大气模式耦合,垂直方向为 12 层,深度从表层的 25m 到下层的 900m;海冰模式包含有动力和热力部分。在一个温室效应“瞬时”(transient)试验中^[3],模式从一个相当于 1881 年的初始时刻开始积分,其中的 CO₂ 含量采用实测值,积分至相当于 1990 年后,将模式中的 CO₂ 按每年约 1% 的速度增加至加倍。将试验中相当于 1981—1990 年 10a 的结果作为模式对当代气候的模拟(控制试验);将模式积分至 CO₂ 加倍时左右的 10a,作为模式对未来 CO₂ 加倍情况下气候的模拟(敏感性试验)。

1.2 区域气候模式

区域气候模式选为 RegCM2^[3,4],其动力部分基于 Penn State/NCAR MM4 中尺度气象模式。嵌套区域模式需要给出模式的初始场及随时间变化的侧边界场,包括各层风场、温度场、湿度场及地面气温、气压场等。这些变量和场参照以前的工作^[6],从上述全球模式结果中得到。采用指数松弛技术设置边界缓冲区,缓冲区个数取为 30。

模式中心点取为 110°E、37.5°N,模式水平分辨率取为 60km×60km,南北方向的格点数为 80,东西方向的格点数为 150;垂直方向取为 16 层,顶层气压为 10hPa。湿度方案取为显式方案,对流参数化选用 Grell 方案,陆面过程采用 BATS 方案。

从模式地形分布看(图略),由于分辨率较高,模式对东亚地区的海岸线、岛屿、地形等的描绘比较细致,如我国西南部的四川盆地、东南部的武夷山脉、东北地区的长白山脉等在其中都得到了较详细的描述,远远优于用于嵌套的全球模式。它所取的计算区域很大,除了包括整个中国大陆外,在东西方向上又作了一些延伸。西部的延伸主要是基于大气运动的纬向性考虑,从而使中国区域尽量少受全球模式计算结果的影响;东部区域范围取得也较大,从而可以考察西太平洋地区的一些情况(其中模式东半部区域可以参见图 2、3)。

以上述全球模式 10a 控制试验中后 5a 的结果制作区域模式所需的初始场和侧边界场,侧边界场每 12h 输入到区域模式中一次,共进行了 5a 时间的积分,即为区域模式的控制试验。将其输出结果作为区域模式对中国现代气候的模拟。

使用全球模式中 10a 敏感性试验中后 5a 的结果,制作区域模式所需的初始场和侧边界场,驱动区域模式;同时相应改变其中 CO₂ 含量,进行 5a 时间积分,即为区域模式 CO₂ 加倍的敏感性试验。

2 模式对中国区域气候的模拟能力

在进行模式结果与观测资料(实况)的对比分析中,因为模式结果是在格点上,而观测

资料一般位于不规则的站点上,因此存在一个插值的问题。一般的做法是将站点上的观测资料插值到格点上,作为实况场。我们这里采用的方法是将模式资料插值到站点上,这样可以对模式结果进行更严格的检验。取中国标准 160 个观测站 1956—1990 年 35a 观测资料的平均作为中国当代气候状况,计算模式模拟的 160 站中国各月平均气温、降水分别与实况的相关系数,数值参见图 1。

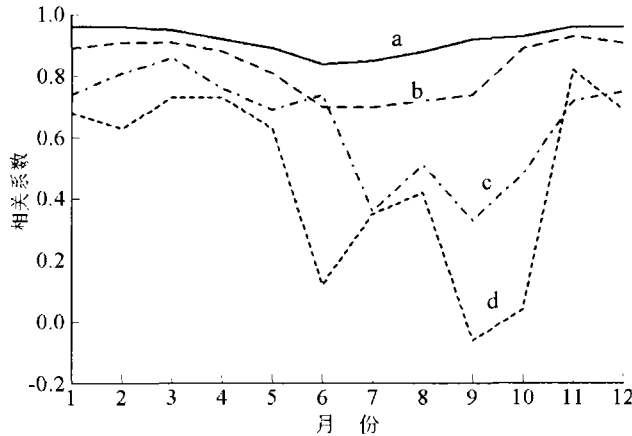


图 1 模式模拟月平均气温、降水和实况的相关系数
a. 区域模式模拟的气温与实况; b. 全球模式模拟的气温与实况;
c. 区域模式模拟的降水与实况; d. 全球模式模拟的降水与实况

Fig. 1 Correlation coefficients of monthly mean air temperature and precipitation between simulation and observation

由图 1 可见,区域气候模式由于较高的分辨率和较完善的物理过程,其对中国气候的模拟较全球模式有了很大提高。如模拟的中国地区各月地面气温与实况的相关系数,全年平均由全球模式的 0.83 提高到了 0.92; 降水的改善更明显一些,由 0.48 提高到了 0.65。对其模拟结果更详细的分析请参见文献[7]。区域模式对中国地区气候较好的模拟能力,使得其对温室效应对我国气候影响的模拟较全球模式有更高的可信度。

3 CO₂加倍引起的影响我国台风的变化

在 CO₂加倍对中国气候的影响方面,国内外已经有了较多的研究工作,这里不再详细列举。但以往的工作很少对影响中国的台风进行分析。由于本研究所采用的区域气候模式具有较高的水平分辨率和较大的覆盖范围,使得模式能够模拟出影响中国的台风及其运动,从而使得我们能够对 CO₂倍增对它们的影响进行研究分析;同时较长的积分时间使得这种分析具有一定的气候意义。

分别对各 5a 时间区域模式的控制试验和 CO₂加倍试验 7、8 月份海平面气压场人工进行逐日观察判断。将在模式计算区域内的海上生成、或从计算区域外的海面上移入区域、气压小于 1005hPa、并且维持 3d 以上的天气系统,粗略地定义为模式模拟出的“台风”(热带气旋)。

作为一个例子,图 2a—d 给出模式模拟出的一次上述台风活动过程。台风在第 0 天生成于 20°N 以南、 140°E — 150°E 之间的地区(图 2a);随后加强,向西偏北方向移动,图 2b、c 为第 3 天和第 6 天的情况;第 9 天这个台风在我国江苏沿海一带登陆(图 2d)、消亡。

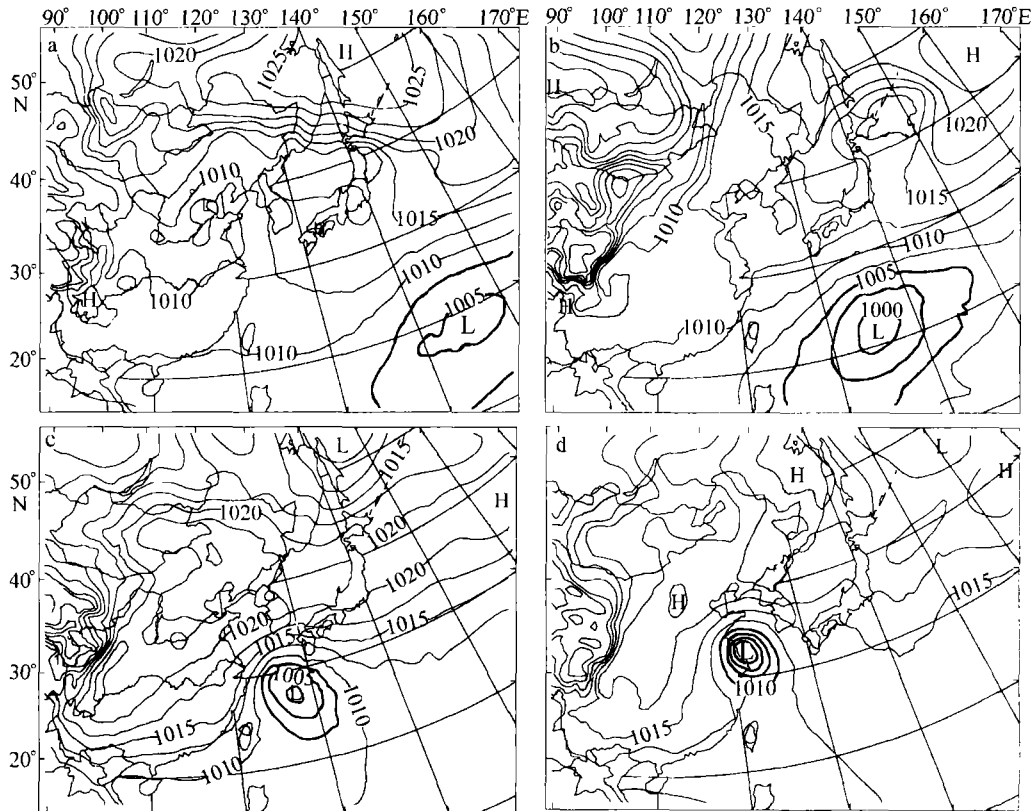


图 2 区域模式模拟的一次台风过程

a. 第 0 天; b. 第 3 天; c. 第 6 天; d. 第 9 天

Fig. 2 A typhoon simulated by RCM

对控制试验和 CO_2 加倍试验每年 7、8 月份中台风出现的次数分别进行统计,同时粗略地观察了其移动路径情况,将结果列于表 1。其中台风的移动路径简要地分成了两种:一种自东向西移动,随后影响我国或转而北上(路径 I);另一种为由南向北移动,台风首先到达南海或附近地区后影响我国或转向东北方向(路径 II)。

由表 1 可以看出, CO_2 加倍后,计算区域内的台风生成数目将有所增加,增加率大约在 $1/4$ 左右;而登陆台风的个数有了较大增加,增加值达到一倍;生成台风中登陆的比例也有了一定增加,由原来占不到一半增加到占 $2/3$ (表 1)。

从台风的移动路径上看, CO_2 加倍后,生成台风中沿路径 I(由西向东)移动的台风数量将减少 $1/3$ 左右;而沿路径 II(由南向北)移动的台风数目则有了较大增加,增加幅度在一倍以上;同时,生成台风中按路径 I 移动的占生成台风总数的比例由 $2/3$ 减少到 $1/3$;而沿路径 II 移动的由占总数的 $1/3$ 增加到 $2/3$ (表 1)。

表1 台风统计

Tab. 1 Statistics of Typhoon number and route

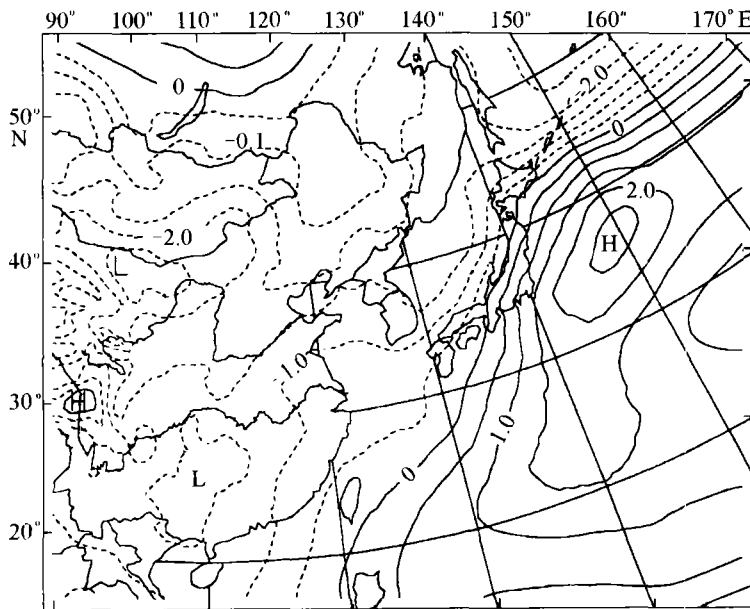
	控制试验	CO ₂ 加倍试验	变化%
年均生成个数	3.8个	4.8个	+26
年均登陆个数(占总数的比例)	1.6个(42%)	3.2个(67%)	+100
生成个数中按路径Ⅰ移动的个数(占总数的比例)	2.6个(63%)	1.6个(33%)	-38
生成个数中按路径Ⅱ移动的个数(占总数的比例)	1.4个(37%)	3.2个(67%)	+129
登陆个数中按路径Ⅰ移动的个数(占该路径总数的比例)	0.4个(15%)	1.0个(63%)	+150
登陆个数中按路径Ⅱ移动的个数(占该路径总数的比例)	1.2个(86%)	2.2个(69%)	+83

另外,从表1可以看出,在CO₂加倍后,自东向西移动的台风(路径Ⅰ)数目虽然减少了,但沿这种路径移动的台风相对会更多地登陆影响我国,登陆数目增加的比例达到1.5倍;按此路径移动台风中,登陆台风所占的比例由原来的仅15%增加到60%以上。

表1表明,沿路径Ⅱ移动的台风登陆的数目也有较大的增加,幅度大约在80%左右;但登陆数目所占比例变化不大,且略有减少。

对上述变化进行*t*检验,结果表明,除台风生成个数增加外,其它变化都达到了90%的信度。

图3给出计算区域内海平面气压场7—8月的平均变化。从图中可以看出,CO₂加倍后,陆地上的海平面气压将降低,而海面上的气压将升高,这主要是由陆地温度增加较海面多、引起陆地上热低压活动频繁所引起。我国东部海上气压的增加,对台风自西向东的移动产生了阻挡作用,使得台风的路径发生变化,台风更多地从南部影响我国。而台风一旦能够沿自西向东的路径移动,在接近我国大陆时,由于大陆上的气压较低,它们也更容易

图3 CO₂加倍引起的7、8月平均海平面气压场变化(单位:hPa)Fig. 3 SLP changes in July and August due to doubled CO₂ concentration (unit: hPa)

易登陆我国。另外从中高层如 500hPa 高度场的变化上同样能看出,中高层环流场的变化形式也是陆地上空高度升高较小、海面上空高度升高较多,相应产生的引导气流也有利于台风的上述移动方式(分析及图略)。

台风生成数目的增加,主要是由于海面气温及海表水温升高引起的。

4 结论和讨论

(1)使用 RegCM2 区域气候模式,嵌套到澳大利亚 CSIRO AOGCM R₂₁L₉ 全球环流模式中,进行了 CO₂加倍情况下影响中国的台风变化的研究。区域气候模式对中国当代气候具有较强的模拟能力,较高的水平分辨率使得我们能够利用它对 CO₂倍增情况下台风的变化情况进行一些分析和探讨。

(2)研究表明,在温室效应的作用下,西太平洋地区台风的生成个数将有一定程度的增加,而登陆我国大陆的台风数目会有明显增加;同时台风的路径将主要以由南向北移动,在华南登陆影响我国为主。需要指出的是,同时有研究表明,在温室效应情况下西太平洋地区台风的强度将增大^[8]。综合两者的研究结果,可以预计未来影响中国的台风将会出现数目增多、强度加大的现象,由此造成我国特别是华南地区的台风灾害和损失加大。

(3)注意到近年来的观测并没有表明影响我国的台风数目增加,这可能主要是由于近年来 ENSO 活动处于暖位相,对应西太平洋地区的海温以偏低为主。海温的这种自然变率不利于影响中国地区台风的生成,从而在很大程度上抵消了温室效应对台风的增加效应,使得观测中没有发现台风的明显变化。

(4)区域气候模式的计算量非常大,我们的控制试验和敏感性试验的积分时间各为 5a,虽然是目前国内同类研究中积分时间最长的,但用来讨论气候问题还是显得不够;同时由于计算资源的限制,模式计算区域选择不够大,没有能够覆盖西太平洋地区台风的整个生成和活动区域;此外数值模式对台风等极端气候事件的模拟能力还有待于提高。因此本文作为非常初步的研究结果,仅具有一定的描述意义;在温室效应对台风的影响方面还需要做许多工作才能减少研究中的不确定性,得到可靠程度更高的结论。

参考文献:

- [1] Giorgi F, Marinucci M R, Visconti G. Use of a limited-area model nested in a general circulation model for regional climate simulation over Europe[J]. *J. G. R.*, 1990, **95**(D11): 18 413—18 432.
- [2] 赵宗慈, 罗 勇. 二十世纪九十年代区域气候模拟研究进展[J]. *气象学报*, 1998, **56**: 225—246
- [3] Gordon H B, Farrell P O. Transient climate change in the CSIRO coupled model with dynamic sea ice[J]. *Mon. Wea. Rev.*, 1997, **125**: 875—907.
- [4] Giorgi F, Marinucci M R, Bates G T. Development of a second-generation regional climate model (RegCM2). Part I: Boundary-layer and radiative transfer processes[J]. *Mon. Wea. Rev.*, 1993, **121**: 2 794—2 813.
- [5] Giorgi F, Marinucci M R, Bates G T, *et al.* Development of a second-generation regional climate model (RegCM2). Part II: Convective processes and assimilation of lateral boundary conditions[J]. *Mon. Wea.*

Rev. , 1993, **121**: 2 814—2 832.

- [6] 罗 勇, 赵宗慈. NCAR RegCM2 对东亚区域气候的模拟试验[J]. 应用气象学报, 1997, (增刊): 124—133.
- [7] Gao Xuejie, Zhao Zongci, Ding Yihui, *et al.* Climate change due to green-house effects in China as simulated by a regional climate model[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2001, **18**(6): 1 224—1 230.
- [8] Knuston, Thomas R, Tuleya R E, *et al.* Simulated increase of hurricane intensities in a CO₂-warmed climate [J]. Science, 1998, **279**: 1 018—1 020.

IMPACTS OF GREENHOUSE EFFECT ON TYPHOON OVER CHINA AS SIMULATED BY A REGIONAL CLIMATE MODEL

GAO Xue-jie¹, LIN Yi-hua², ZHAO Zong-ci¹, Filippo Giorgi³

(1. National Climate Center, Beijing 100081, China;

2. Institute of Atmospheric Physics, CAS, Beijing 100029, China;

3. The Abdus Salam International Center for Theoretical Physics, Trieste, Italy)

Abstract: Impacts of greenhouse effect (doubled concentration of CO₂) upon typhoons affecting China as simulated by a regional climate model over China were investigated. The model was based on RegCM2 and was one-way nested to the CSIRO AOGCM R₂₁L₉ model. The simulations of present climate in China by the two models were analyzed briefly first, and then the changes of typhoon due to doubled concentration of CO₂ were analyzed. The results indicated that the simulation by RegCM2 with a high resolution was much better than that by the global model, and typhoon activities can be identified in the simulation by the regional model due to its higher resolution. Under the condition of doubled concentration of CO₂, an increase of 26% in the number of affecting typhoons was found. Greenhouse effect also causes route changes of typhoons. In the control run, most typhoons (63%) follow route I (moving from the western tropical Pacific and impinging upon central/east China); while in the simulation of doubled CO₂ concentration, about 67% of typhoons follow route II (moving from south to north across the South China Sea towards the coastal regions of south China), which leads to a substantial increase of landing typhoons over China and consequently results in a greater number of tropical storms over China. One of the reasons for the change of routes can be understood by analyzing the simulated changes in SLP.

Key words: climate simulation; regional climate model; greenhouse effect; typhoon