

东亚季风经向环流数值模拟及结果分析*

II. 模式性能检测及个例分析

王同美¹, 袁卓建¹, 郭裕福²

(1. 中山大学大气科学系, 广东 广州 510275;

2. 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, 北京 100080)

摘要: 局地经向环流诊断模式性能检验及对 1994 年 5 月 1 日世界时 12 时东亚季风区局地平均经向环流的模拟分析, 分析所用的是经中科院大气物理研究所处理过的 NCEP/NCAR 再分析逐日资料. 结果表明, 在现行资料条件下模拟达到了预期的效果, 证明该模式对局地经圈环流模拟性能良好. 在此基础上, 根据线性方程的叠加原理, 进一步诊断分析方程中各强迫项对经向环流所起的作用. 对 1994 年 5 月 1 日世界时 12 时东亚季风区局地平均经向环流而言, 模拟出的各项的作用与对天气实况进行理论上的定性分析结果是相吻合的. 在东亚季风区的经向环流形成过程中, 温度平流及绝热加热的作用相当显著. 非绝热加热的作用在本文中未作确切地比较, 因其计算受到水汽资料精度和各层辐射资料缺乏的限制. 另外, 对流中的云物理过程也暂时未加以考虑.

关键词: 数值模拟; 季风经向环流; 东亚季风

中图分类号: P434 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2001) 01-0097-04

吴国雄^[1,2]在研究全球纬向平均经向环流时指出, 环流水平支的惯性矩与地面角动量源以及涡动角动量散度平衡; 环流垂直支的绝热变温效应与自由大气的非绝热加热以及热通量散度平衡; 全球纬向平均经向环流的演变主要受大气的动量和热量输送特征影响^[3].

此外, 与局地经向环流有关的季风研究发现^[4], 印度地区和东亚地区夏季风建立迟早与对流层中上层经向温度梯度的逆转密切相关. 进一步分析表明, 两地区经向温度梯度逆转的先后又受陆地上空季节性增温快慢的影响. 东亚地区上空季节性增温快的主要原因是该地区受非绝热加热和暖平流的共同作用, 而印度地区上空季节性增温慢的主要是同期该地区仍受冷平流的影响.

鉴于本研究所用(诊断局地经向季风环流流函数的二阶线性偏微分)方程中的强迫项反映了大气中各种热力和动力的作用, 该方程可被用来探讨以上各物理机制对经向季风环流演变的作用和贡献.

1 对模式结果的检验

模式检验指将模拟结果与对应的观测结果作对比, 若两种结果越接近, 则表明模式性能越

好. 本文数值模拟的对象是经向环流场, 因此有两种检验方案: 一是比较流函数; 二是比较经向风场. 对于流函数来说, 不存在观测场, 若比较流函数还必须先从观测风场计算出对应的流函数, 这是一个在球坐标系中求解泊松方程的复杂过程, 而且求出的所谓观测的流函数必然包含有各种误差, 难以将其作为标准结果来检验模拟的结果, 故我们采用第二种检验方案: 比较经向风场. 即用模式模拟得出的流函数和该流函数 ψ 与经向风 v_ψ 的关系式^[5]计算出模拟的经向风, 再根据文献^[6]的结论: $v_\psi \approx v_{ag}$, 将模拟的 v_ψ 与从观测资料直接求出的非地转风 v_{ag} 进行比较来实现对模式结果的检验.

2 对 19940501 东亚季风区经向环流模拟及诊断分析

根据 1998 年国际“南海季风试验”中南海季风暴发的定义及数年南海季风暴发日期的统计结果, 1994 年南海北部地区季风于 5 月 1 日暴发, 比正常年份偏早. 1994 年 5 月 1 日世界时 12 时天气图表明, 500 hPa 天气图显示南海以北地区上空气压场形势为西高东低型(图 1a), 结

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (49675264, 49875021)

收稿日期: 2000-01-18; 作者简介: 王同美 (1974-), 女, 讲师.

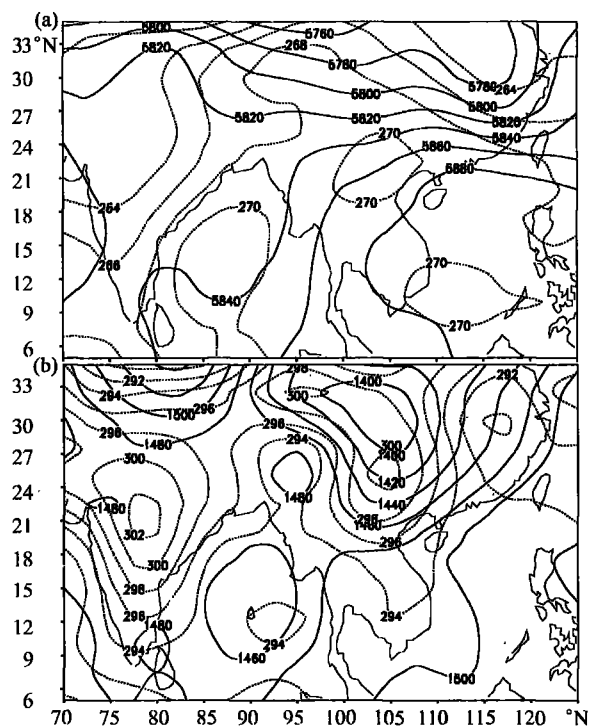


图1 1994年5月1日12时(UTC)等压面图

Fig.1 The distributions of geopotential height and temperature at 1200 UTC May 1, 1994

(a) 500 hPa; (b) 850 hPa

实线为等高线(m), 虚线为等温线(K)

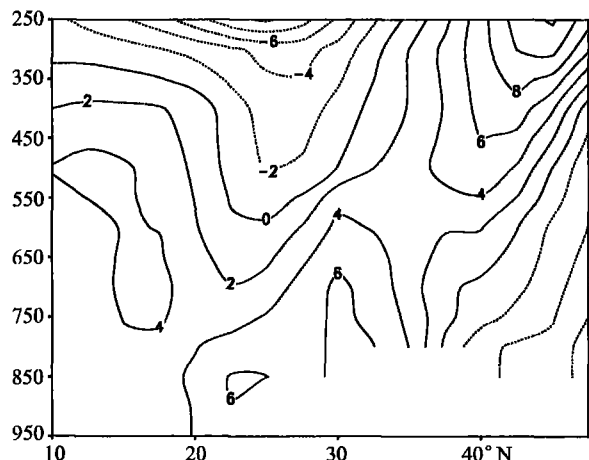


图2 1994年5月1日12时(UTC)东亚地区纬向平均经向风剖面图

Fig.2 "Observed" local-zonal-mean meridional wind at 1200 UTC May 1, 1994 with positive value for southerly component and negative value for northerly component in the East Asian meridional plane

正代表南风, 负代表北风

合温度场可见南海以北地区已有明显的暖平流, 而850 hPa气压场呈东高西低的形势(图1b), 南海及其附近区域低层出现大范围较强的西南风, 高空出现偏北风。在经向剖面上(图2), 东亚地区纬向平均经向风场(地转和非地转之

和)显示, 东亚低层已出现了深厚的偏南风, 高空则为浅薄的偏北风, 而相应的非地转风分量的分布(图3)则表明在东亚上空900~600 hPa已为偏南风所控制。

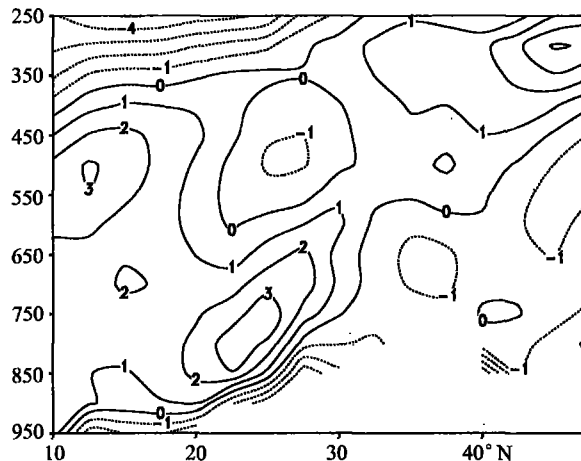


图3 1994年5月1日12时东亚地区纬向平均(95~122.5°E)非地转经向风剖面图

Fig.3 The same as Fig.2 except for "observed" ageostrophic meridional wind (ms^{-1})

正代表南风, 负代表北风

本文用处于95.0~122.5°E, 5.0~52.5°N范围内的这一时刻的资料对与非地转分量有关的经向环流进行模拟。为检验模式的可信度, 我们将模拟出来的经向风场(图4a)与非地转经向风场(图3)进行比较, 发现除近地面浅薄的北风分量层外, 两图都存在下层南风、上层北风的反哈得莱环流型, 即季风环流型, 且二者正、负中心的大致位置和量级都基本相同。至于图4a地面附近的一些小尺度负中心, 进一步的研究表明是由于模式中潜热加热计算不好造成的, 如果减去潜热加热过程, 这些虚伪的负中心就消失了(图4b), 但原处于(15°N, 550 hPa)附近的南风中心也随之减弱下移, 这表明潜热加热是一个非常重要的因素。

潜热加热的计算精度低有2个原因: 一是所用资料中没有该模拟时刻对流云中的云物理的信息, 模式中也缺少关于云物理过程的描述; 二是水汽资料精度与温、压、风资料精度相比较低。在现有资料条件下, 潜热量计算出现较大误差是意料中的事。可以预见, 在取得准确的水汽资料; 加入正确的云物理过程, 获得合理的潜热加热计算方案并收集到适用的辐射资料后, 模式的模拟能力将更强。

从以上的模式检验可以看到, 在现有的资料

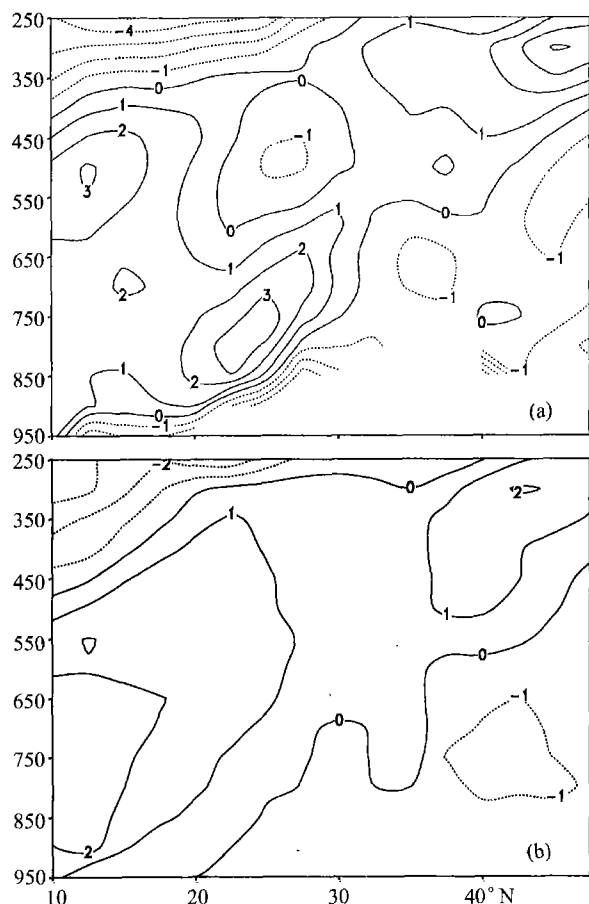


图4 对图3的模拟结果, a 包含所有强迫项及边界作用; b 未包括潜热加热过程
 Fig.4 (a) Simulated horizontal branch of local-zonal-mean ($95^{\circ} \sim 122.5^{\circ}\text{E}$) Anti-hadley circulation at 1 200 UTC May 1, 1994 with positive value southerly component and negative value for northerly component in the East Asia meridional plane. This simulation takes all the forcing processes into account.
 (b) The same as Fig.4 (a) except for that the simulation eliminates latent heat releasing process.

正代表南风, 负代表北风

条件下, 模式已显示出良好的模拟性能. 我们可以进一步利用它的线性特征来定性定量地探讨各动力和热力因子对经向环流的作用和贡献. 例如: 为了考察东西向气压梯度力的贡献, 在诊断方程强迫项中(文献[6]公式(5))只保留包含有气压梯度力作用的第1项而去掉其它强迫项, 然后将南北边界封闭起来(即设 5.0°N 、 52.5°N 处的 $\psi = 0$), 这样运行模式得出的就是只由纬向气压梯度力造成的流函数和经向风场(图5). 模拟结果表明, 东西向的气压梯度力导致了一个完美的夏季季风环流型(图5a), 东亚地区低层吹偏南风, 高层吹偏北风(图5b). 这一结果与天气形势(图1)和理论结果^[9]是完全一致的, 因为该时刻东亚地

区气压场形势特点是: 下层为东高西低型, 上层为西高东低型, 这样的气压场分布将导致大气上层产生偏北风, 下层产生偏南风.

用同样的方法可以计算出其它项的贡献. 结果表明, 科氏力的作用和气压梯度力作用相反, 两者相互抵消(图略); 因摩擦力 F_A 与纬向风有关, 而在 30°N 以下层吹偏西风, F_A 的这种分布将导致低层北风和高层的南风, 产生一哈得莱型经向环流(图略), 量级比较发现, 摩擦力的作用比其它项要小许多.

温度平流和绝热加热的共同作用可以通过运行只保留有关的项的模式获得(图6). 结果表明, 该时刻温度平流与绝热加热共同导致东亚地区低层的偏南风和高层偏北风. 这一结果还可以从天气分析与理论分析上得到证实: 天气图(图

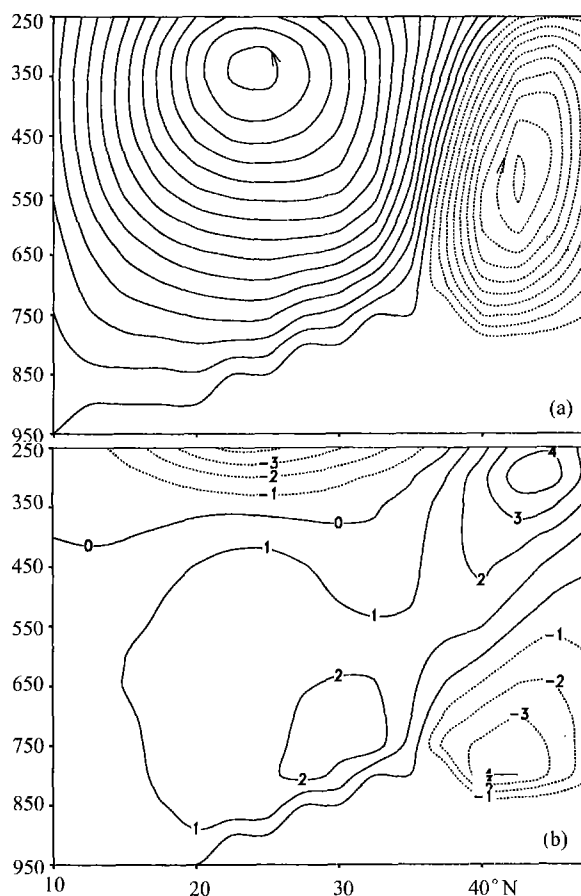


图5 模拟纬向气压梯度力对局地经向环流的贡献(不包含边界作用), a 为流函数场, 箭头代表环流方向; b 为纬向平均非地转经向风场, 正代表南风, 负代表北风

Fig.5 The same as Fig.4 except for (a) simulated stream function of local-zonal-mean Anti-hadley circulation and (b) the corresponding horizontal branch. This simulation takes only the pressure gradient force into account

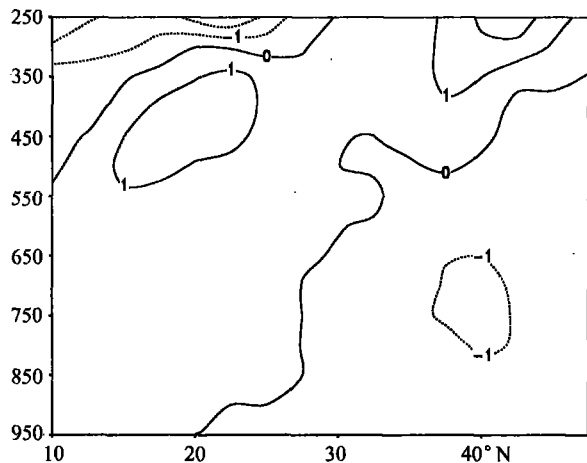


图6 模拟温度平流和绝热加热共同造成的纬向平均非地转经向风场(不包含边界作用)

Fig.6 The same as Fig.4 except for that this simulation takes temperature advection and adiabatic heating processes into account

正代表南风,负代表北风

1) 表明南海附近地区上下层都有暖平流随纬度增大的特点,这一热力过程将使南海北部地区相对于南部变暖,由此导致的直接环流必然呈现为一反哈得莱环流型.在本模拟中,与惯性力有关的项的共同作用相对温度平流和绝热加热的共同作用小(图略),地面潜热和感热通量的作用均造成东亚地区的季风环流型,但量级也相对较小(图略).由于水汽潜热的计算受资料等原因的限制,本文暂不作详细讨论和比较.综合以上对各力作用和贡献的对比分析得知,除了非绝热加热过程,温度平流和绝热加热的共同作用对该个例季风经向环流的贡献最为显著.

由于资料的限制以及潜热加热计算方案的粗糙,文中对季风局地经圈环流的模拟暂时没有考虑辐射过程,对水汽潜热的作用亦未作详细讨论.初步的结果表明:

(1) 模式对季风区域平均经向环流的模拟是成功的;

(2) 对各因子作用的诊断也表明,模拟结果与对天气实况定性分析的结果相吻合;

(3) 在1994年5月1日12时的东亚季风经向环流的形成过程中,除了非绝热加热以外,以温度平流和热力对流的作用最为显著.这一结果与过去某些对东亚夏季风建立迟早的机制分析结果^[4]相吻合.

参考文献:

- [1] 吴国雄,刘还珠.全球大气环流时间平均统计图集[M].北京:气象出版社,1987.212.
- [2] 吴国雄,TIBALDI S. 平均经圈环流在大气角动量和感热收支中的作用[J].大气科学,1988,12(1):8-17.
- [3] 吴国雄,蔡雅萍.大气热力强迫和动力强迫的调配及平均经圈环流的仿真模拟[J].气象学报,1994,52(2):138-148.
- [4] 简茂球,贺海晏.亚洲夏季风建立前后对流层温度场演变特征及其热力成因[J].热带气象,2000,16(2):97-105.
- [5] 袁卓建,王同美.局地经向环流的诊断方程[J].东亚季风和暴雨,1998,496-505.
- [6] 袁卓建,王同美,郭裕福.东亚季风经向环流数值模拟及结果分析1.算法设计[J].中山大学学报(自然科学版),2000,39(6):112-116.

A Numerical Simulation of Local-zonal-mean Hadley Circulation over East Asia

II. A Case Study

WANG Tong-mei¹, YUAN Zhuo-jian¹, GUO Yu-fu²

(1. Department of Atmospheric Sciences, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China;

2. The Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract: A case study is performed numerically with the linear partial differential equation for the stream function of the forced Hadley circulation within monsoon region (given in previous papers). The data used for the study are NCEP/NCAR reanalysis data provided by Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Science in Beijing. The numerical results show that the Local-zonal-mean (95°~115°E) simulated meridional wind pattern agrees quite well with the "observed" meridional wind pattern at 1200 UTC May 1, 1994 over the East Asia. Based on this convincing result, an investigation of the contribution made by individual internal physical process is carried out with the benefit of the linearity of the diagnostic equation. The investigation shows that temperature advections combined with adiabatic processes play an important role in forcing the meridional circulation at 1200 UTC May 1, 1994 over East Asia besides the diabatic processes.

Keywords: numerical simulation; monsoon meridional circulation; the East Asian monsoon