

孙丹, 周天军, 刘景卫, 等. 2011. 变网格模式 LMDZ 对 1998 年夏季东亚季节内振荡的模拟 [J]. 大气科学, 35 (5): 885–896. Sun Dan, Zhou Tianjun, Liu Jingwei, et al. 2011. Simulation of the East Asian intraseasonal oscillation in 1998 with the variable-resolution model LMDZ [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 35 (5): 885–896.

变网格模式 LMDZ 对 1998 年夏季 东亚季节内振荡的模拟

孙丹^{1,2} 周天军¹ 刘景卫^{1,2} 薛峰¹

1 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 100029

2 中国科学院研究生院, 北京 100049

摘 要 本文利用法国国家科研中心 (CNRS) 动力气象实验室 (LMD) 发展的变网格大气环流模式 LMDZ4, 对 1998 年夏季东亚季节内振荡 (ISO) 现象进行了模拟研究。分析表明, 该模式能准确模拟出 1998 年夏季东亚地区 ISO 的准周期信号, 并能较好地再现 30~60 天振荡经向上北传、纬向上西传的传播特征, 对 ISO 动能强度的模拟在低纬地区稍强, 中纬地区较弱。模式能再现降水季节内振荡的主周期, 但仍存在一定的偏差。观测资料表明, 东亚降水 30~60 天振荡在北传过程中, 大约在 15°N、27°N 以及 37°N 附近会出现明显的高值中心, 分别对应我国东部地区三条雨带。模式能再现其北传特征, 但 30°N 以南地区模拟偏弱, 30°N 以北地区偏强, 导致 ISO 高值中心分布在 30°N 以北。这可能是由于对降水强度和雨带位置的模拟偏北有关。

关键词 变网格模式 LMDZ 东亚 季节内振荡 降水

文章编号 1006-9895 (2011) 05-0885-12

中图分类号 P462

文献标识码 A

Simulation of the East Asian Intraseasonal Oscillation in 1998 with the Variable-Resolution Model LMDZ

SUN Dan^{1,2}, ZHOU Tianjun¹, LIU Jingwei^{1,2}, and XUE Feng¹

1 *State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics (LASG), Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*

2 *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049*

Abstract The East Asian intraseasonal oscillation (ISO, 30–60 day) in the summer of 1998 is simulated by using a variable-resolution atmospheric general circulation model LMDZ4 developed by the French National Center for Scientific Research (CNRS) Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD).

The model can simulate the evident periodic signal of intraseasonal oscillation in East Asia in the summer of 1998, and the basic propagating features including the meridional northward propagation and zonal westward propagation. The simulation of the ISO kinetic energy strength is strong in low latitude region but weak in middle latitude region. In addition, the model can reproduce the dominant scale of the precipitation intraseasonal oscillation al-

收稿日期 2010-10-19, 2011-04-28 收修定稿

资助项目 国家自然科学基金资助项目 40890054, 国家重点基础研究专项经费 2010CB951904, 国家科技支撑计划项目 2007BAC29B03, 中国科学院知识创新工程重要方向项目 KZCX2-YW-Q11-04

作者简介 孙丹, 女, 1982 年出生, 博士研究生, 主要从事季节内振荡和东亚季风变率的分析及数值模拟研究。E-mail: sundan@lasg.iap.ac.cn

though with some deviations. The observation results show that there are three precipitation centers at about 15°N , 27°N , and 37°N in the course of northward propagating, corresponding to the three rain belts. But the simulations are weak to the south of 30°N and strong in the north area, which causes the distributions of ISO high value centers to the north of 30°N . The reason of this deviation may be related to the simulation of the precipitation strength and rain belt location.

Key words variable-resolution model, LMDZ, East Asia, intraseasonal oscillation, precipitation

1 引言

大气季节内振荡 (Intraseasonal Oscillation, 简称 ISO) 是大气环流的重要模态, 自从 20 世纪 70 年代初, Madden and Julian (1971, 1972) 首先在热带地区发现存在显著的 40~50 天周期振荡之后, 大气季节内振荡就一直是气候学家关注的问题。最初的研究集中在热带地区, 但随后发现东亚季风区也存在显著的 ISO 变率, 且表现出 10~30 天和 30~60 天两个主要周期 (Lau et al., 1988; Chen et al., 2000)。与热带 ISO 纬向上以东传为主不同, 该地区 ISO 多表现出西传特征。经向上传播则在 30°N 以南从赤道向北、 30°N 以北向南传播 (Chen and Xie, 1988; Huang, 1994; 李崇银等, 2003; Hsu et al., 2004)。

大气季节内振荡活动复杂, 具有较强的区域性特征。作为连接天气变化与年际变化的重要纽带, 数值模式对 ISO 模拟能力如何, 直接影响短期气候预测能力。因此, ISO 的数值模拟将是一个国际热点话题。对大气环流模式比较计划 (AMIP) 结果的分析表明, 仅少数模式能较好地模拟出热带大气 ISO (Slingo et al., 1996), 再现其斜压结构以及印度洋地区对流异常在季节内时间尺度上的发生发展和衰减 (Sperber et al., 1997)。具体对比四个大气环流模式和耦合的大气海洋环流模式结果, 虽然都能再现低层纬向风中 MJO (Madden-Julian Oscillation) 的东传, 但在东太平洋偏强、印度洋偏弱 (Zhang et al., 2006)。国内中国科学院大气物理研究所的 IAP GCM 被较早用于大气低频振荡现象的模拟研究 (薛峰等, 1996), 该模式能合理再现低频振荡的地理分布、垂直结构和传播过程的主要特征。气候模式近年来取得了快速发展, 对 IAP/LASG 大气环流谱模式 SAMIL 模拟的 MJO 进行分析表明, 该模式在热带地区可以模拟出明显的 MJO 准周期信号以及基本传播特征, 并且模拟的

MJO 强度较许多大气模式有显著提高 (贾小龙和李崇银, 2004, 2007a)。造成 ISO 模拟偏差的原因很多, 包括对流参数化方案的影响 (Maloney and Hartman, 2001; Liu et al., 2005; Zhang and Mu, 2005; 贾小龙和李崇银, 2007b)、模式分辨率的影响 (Inness et al., 2001; Jia et al. 2008)、平均气候态背景场的作用 (Inness et al., 2003; Zhang, 2005; Yang et al., 2009)、海气相互作用 (Kemball-Cook et al., 2002; Zheng et al., 2004; Sperber et al., 2005) 等。

此前关于 ISO 的数值模拟研究多使用全球模式, 但对局部地区 ISO 的模拟仍存在很大的问题 (Lin et al., 2008)。ISO 具有显著的地域性特征, 区域气候模式 (RCM) 分辨率相对较高, 对区域地形、海陆分布、陆面过程等的刻画更为细致 (Dickinson et al., 1989; Giorgi, 1990), 使用区域气候模式来研究 ISO 区域变化特征, 或许具有一定优势。例如, 有研究表明 RegCM3 模式对东亚降水低频振荡具有较强模拟能力 (胡轶佳等, 2008a, 2008b)。迄今为止, 利用区域气候模式研究 ISO 的工作相对较少, 多是在模拟季风的讨论中略有涉及 (Ding et al., 2006), 并且区域耦合模式对 ISO 的模拟效果更好 (Ratanam et al., 2009)。东亚季风区夏季 ISO 的活动对降水有着重要影响, 从赤道北传的 ISO 与中高纬南传的 ISO 在长江中下游地区汇合, 易造成该地区降水偏多 (Yang and Li, 2003; 琚建华等, 2007, 2008)。为理解这一过程, 有必要利用区域气候模式进行模拟研究。

除 RCM 外, 变网格模式是进行区域气候模拟的另一种重要工具。法国国家科研中心 (CNRS) 动力气象实验室 (LMD) 发展的可变网格的格点大气环流模式 LMDZ (Hourdin et al., 2006) 在欧洲、非洲以及东亚等地都得到了应用 (Krinner and Genthon, 1998; Zhou and Li, 2002; Sepulchre et al., 2006; Xin et al., 2008; Zou et al., 2010), 但尚

未有利用该模式进行 ISO 模拟的研究。1998 年长江流域出现 20 世纪第三次持续性严重洪涝灾害,梅雨期间呈现典型的“二度梅”形势,有迹象表明大气季节内振荡是影响强降水的重要过程(陶诗言等, 1998; 徐国强等, 2004)。因此, 1998 年夏季东亚 ISO 活动可以作为数值模拟研究的最佳个例。本文的目的是利用 LMDZ 模式模拟 1998 年夏季东亚地区大气季节内振荡, 分析风场 ISO 模拟效果及与降水季节内振荡之间的联系, 探讨变网格模式对东亚地区 ISO 的模拟能力。

2 模式、资料和分析介绍

本文使用的模式是法国动力气象实验室(LMD)发展的一个具有可变网格特征的大气环流模式 LMDZ (Sadourny and Laval, 1984; Li, 1999; Zhou and Li, 2002)。该模式经纬向均可伸缩, 可用于区域加密。在加密区外利用再分析资料强迫, 能进行区域气候模拟。本文使用的是最新版本 LMDZ 4.0 (Hourdin et al., 2006), 以下简称 LMDZ。

LMDZ 4.0 标准版本中全球经纬向网格数为 96×71 。为了提高模式对东亚复杂地形的刻画能力, 本文提高了模式水平分辨率, 将经纬向网格数增加为 200×100 , 使得东亚加密区的水平分辨率为 $0.36^\circ(\text{经度}) \times 0.36^\circ(\text{纬度})$ (约为 37 km), 模式中心点为 $(30^\circ\text{N}, 110^\circ\text{E})$, 加密区范围 $(13.8^\circ\text{N} \sim 46.2^\circ\text{N}, 83^\circ\text{E} \sim 137^\circ\text{E})$, 覆盖了东亚大部分地区, 垂直方向 19 层。为保证环流模拟的有效性, 在模式加密区内, 预报场每 10 天向再分析资料恢复一次, 加密区外半小时恢复一次。模式主要物理过程包括修正后的欧洲中心中尺度天气预报(ECMWF)辐射方案(Fouquart and Bonnel, 1980; Morcrette et al., 1986)、Emanuel 积云对流参数化方案(Emanuel, 1993)、ORCHIDEE 地表动态植被模式(de Rosnay et al., 2002; Krinner et al., 2005)等。

模式使用的强迫场为 NCEP/DOE (R2) 逐 6 小时再分析资料(以下简称 NCEP2) (Kanamitsu et al., 2002), 包括速度(u 和 v)、温度和比湿。原始资料水平分辨率为 $2.5^\circ(\text{经度}) \times 2.5^\circ(\text{纬度})$, 垂直方向 17 层, 本文利用双线性插值方法将其插值到模式网格。下边界强迫场为 AMIP II 提供的气

候态海表温度 and 海冰(Hurrell et al., 2008)。模式积分时间段为 1998 年 5 月 1 日~8 月 31 日。

为验证模拟结果, 本文用到的观测资料除 NCEP/DOE R2 外, 还包括 GPCP (Global Precipitation Climatology Project) 逐日降水资料(Huffman et al, 2001)。

为了提取 ISO 的活动特征, 本文使用 Butterworth 函数对风场、降水等变量进行 30~60 天带通滤波(李崇银, 1993); 使用经过带通滤波后的 u 和 v 计算季节内振荡动能, 以此考察 ISO 强度(贾小龙和李崇银, 2004)。

3 结果分析

东亚地区夏季存在较强的 30~60 天季节内振荡, 并且在我国东部地区低频波的变化与雨带位置相对应。下文以 NCEP2 和 GPCP 降水资料作为对比, 探讨 LMDZ 模式对 ISO 周期特征的模拟, 分析 1998 年夏季(5~8 月) 30~60 天季节内振荡的传播特征和强度, 最后考察模式对降水季节内振荡的模拟效果。

3.1 东亚地区 ISO 的周期和传播特征

将 1998 年 5~8 月 NCEP2 资料和 LMDZ 模拟的 850 hPa 纬向风作小波分析(尤卫红, 1998), 结果如图 1 所示。可见, NCEP2 表现出 9 天、13 天、24 天以及 45 天的峰值振荡周期, LMDZ 模拟结果与之基本一致, 表明该模式对东亚 ISO 具有较强的

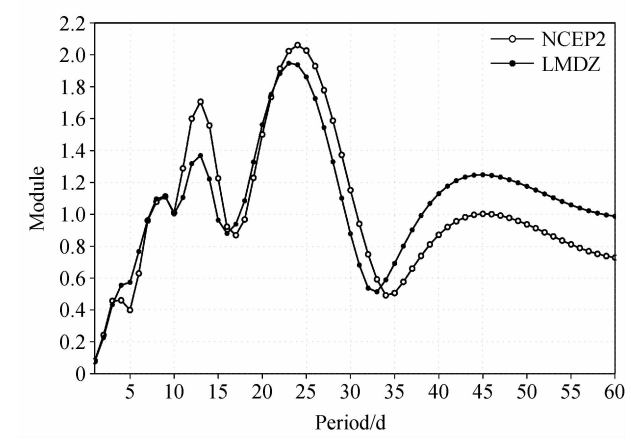


图 1 沿 $(15^\circ\text{N} \sim 45^\circ\text{N}, 105^\circ\text{E} \sim 122.5^\circ\text{E})$ 区域平均 850 hPa 纬向风小波系数模值的时间尺度分布
Fig. 1 The timescale spectrum of the time mean modules of wavelet transforms for 850-hPa zonal wind averaged over $(15^\circ\text{N} \sim 45^\circ\text{N}, 105^\circ\text{E} \sim 122.5^\circ\text{E})$

模拟能力。此外,功率谱分析亦表明 NCEP2 资料和 LMDZ 模拟结果都存在明显的 30~60 天振荡周期(图略),这是进一步讨论 30~60 天季节内振荡模拟效果的基础。

ISO 的传播可分为经向传播和纬向传播。首先考察东亚地区夏季 ISO 的经向传播特征,图 2 为 30~60 天带通滤波后 850 hPa 纬向风沿 105°E~122.5°E 平均的纬度—时间剖面图。在 NCEP2 中,ISO 表现出明显的向北传播。5 月上旬 15°N 附近出现 ISO 低值区,从下旬开始转为高值区并向北传;6 月中旬传到 25°N,并出现一高值中心,随后继续北传,于 7 月上旬末到达 35°N,其北界位置可达 38°N,这次由南向北的传播时间约为 55 天。在这次中心值为正值的 ISO 向北传播的同时,6 月中旬在 15°N 附近又出现一中心值为负值的 ISO 活动,于 7 月上旬北传到 26°N(图 2a)。LMDZ 模式能很好地模拟出这一北传特征,传播周期与观测基本吻合,但在强度以及大值中心位置上有所差异(图 2b)。在 NCEP2 资料中,ISO 正值区 6 月中旬在 25°N 以南出现高值中心,表明 ISO 强度在该区域有所增强,但这一过程在模拟结果中不明显,其中心位置位于 25°N 以北。7 月 1 日出现在 33°N 的高值中心得到合理模拟,但强度较之再分析资料偏强。类似的情况出现在 6 月中旬 ISO 负值北传过程的模拟中。

东亚 ISO 的纬向传播以西传为主,同时也伴有东传现象。再分析资料中,从经度—时间剖面图(图 3a)上看,从 5 月 20 日开始,85°E 和 135°E 地区的 ISO 正值区分别向东、向西传播,向西传播的 ISO 强于向东传播的 ISO。当西传的 ISO 正值中心于 6 月 16 日到达 115°E~120°E 时,正好对应图 2a 中 25°N 附近 ISO 的增强。模拟结果中(图 3b),该中心出现的位置和时间同 NCEP2 资料相吻合,但强度偏弱,这与图 2 的分析一致。

总体来说,LMDZ 模式能较好地模拟东亚地区 ISO 活动,其对 ISO 中心位置和强度的模拟有偏差,但具体传播路径和周期与再分析资料一致。

3.2 ISO 的强度

许多大气模式对 ISO 强度的模拟都存在不足(Slingo et al., 1996)。为检验 LMDZ 的能力,图 4 分别给出 NCEP2 资料和 LMDZ 模拟的整个东亚地区及其不同纬度带平均的 850 hPa 动能变化。从区

域平均来看(图 4a),模式模拟的动能波动趋势与再分析资料基本一致,但强度有所差异,模式结果在 7 月之前偏弱,7 月之后偏强。进一步根据图 2 中 ISO 大值中心的位置,将该区域划分为三个纬度带(图 4b~d),可以发现,不同纬度带模拟的 ISO 强度随时间变化的差异不同。在 15°N~30°N 之间,模拟的 ISO 强度较之 NCEP2 资料偏强,且偏强幅度在 6 月之后更大。在 30°N~40°N 之间,7 月之前的波动趋势有些微差异,模拟结果偏弱,7 月之后波动趋势一致,模拟结果明显偏强。40°N~45°N 纬度带的情况相反,模式模拟的动能强度在 7 月之前偏弱,7 月之后与 NCEP2 资料相差不大。因此,对整个区域平均动能的模拟而言,波动趋势与再分析资料基本一致,强度上的偏差在 7 月之前主要是因为中纬度地区的模拟偏弱,7 月之后则与低纬地区的模拟偏强有关。

3.3 东亚地区降水 ISO 特征分析

在我国东部地区,ISO 低频波的变化与我国夏季雨带相对应,当长江中下游地区出现强的 ISO 活动年时易发生洪涝(据建华等,2005;韩荣青等,2006)。因此,下文主要考察对降水 30~60 天季节内振荡的模拟情况。

首先,对 1998 年 5~8 月 GPCP 降水和 LMDZ 模拟的降水作小波分析,得到降水变化的主要特征时间尺度(图 5)。GPCP 资料的周期为 5~10 天、15~20 天以及 30~45 天,模拟结果则主要为 15~20 天和 35~45 天两个峰值,5~10 天周期特征不显著。此外,GPCP 降水的功率谱分析虽然存在 30~60 天振荡周期,但未通过显著性检验,LMDZ 的模拟结果对 30~60 天振荡周期的表现更明显(图略)。

对降水资料进行 30~60 天滤波后,沿 105°E~122.5°E 平均得到纬度—时间剖面图(图 6)。GPCP 资料中(图 6a)降水逐渐向北移动。5 月 20 日在 15°N 附近出现正值区,20 天后北传至 25°N~30°N,在此出现高值中心后继续向北,于 7 月 5 日到达 35°N~40°N。模拟结果中,在 27°N 以南,北传特征不明显;在 27°N 以北,北传特征显著。在北传过程中,GPCP 资料两个高值中心位置主要位于 25°N~30°N 和 35°N~40°N,而模式模拟的多个高值中心分布在 30°N 以北。因此,模拟的降水 ISO 在 27°N 以南偏弱、以北偏强。

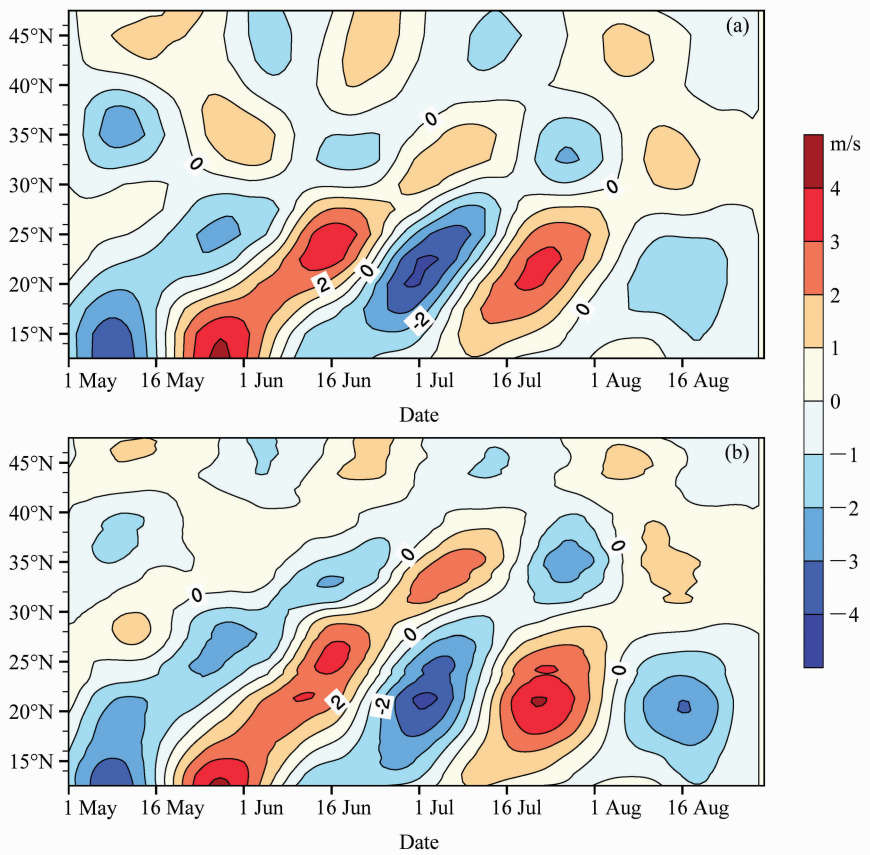


图 2 1998 年夏季 (5~8 月) 30~60 天带通滤波的 850 hPa 纬向风沿 105°E~122.5°E 的纬度—时间剖面图 (单位: m/s): (a) NCEP2 资料; (b) LMDZ 模拟

Fig. 2 Latitude–time section of 850-hPa zonal wind averaged between 105°E–122.5°E after 30–60 day band-pass filtering in the summer (MJJA) of 1998: (a) NCEP2 data; (b) LMDZ simulation

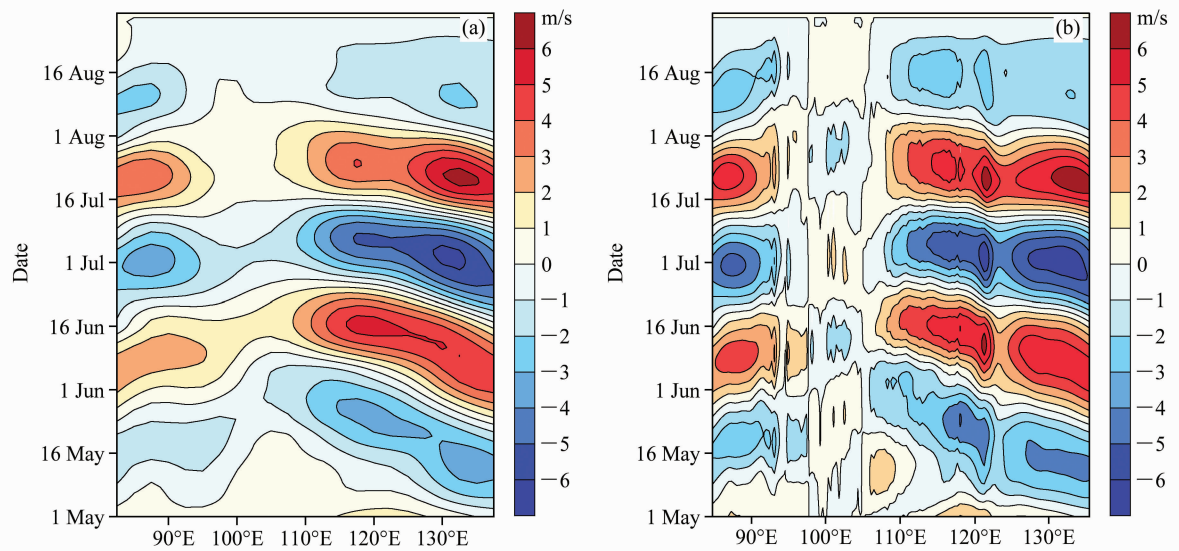


图 3 同图 2, 但为沿 25°N 的经度—时间剖面图

Fig. 3 Same as Fig. 2, but for the longitude–time section along 25°N

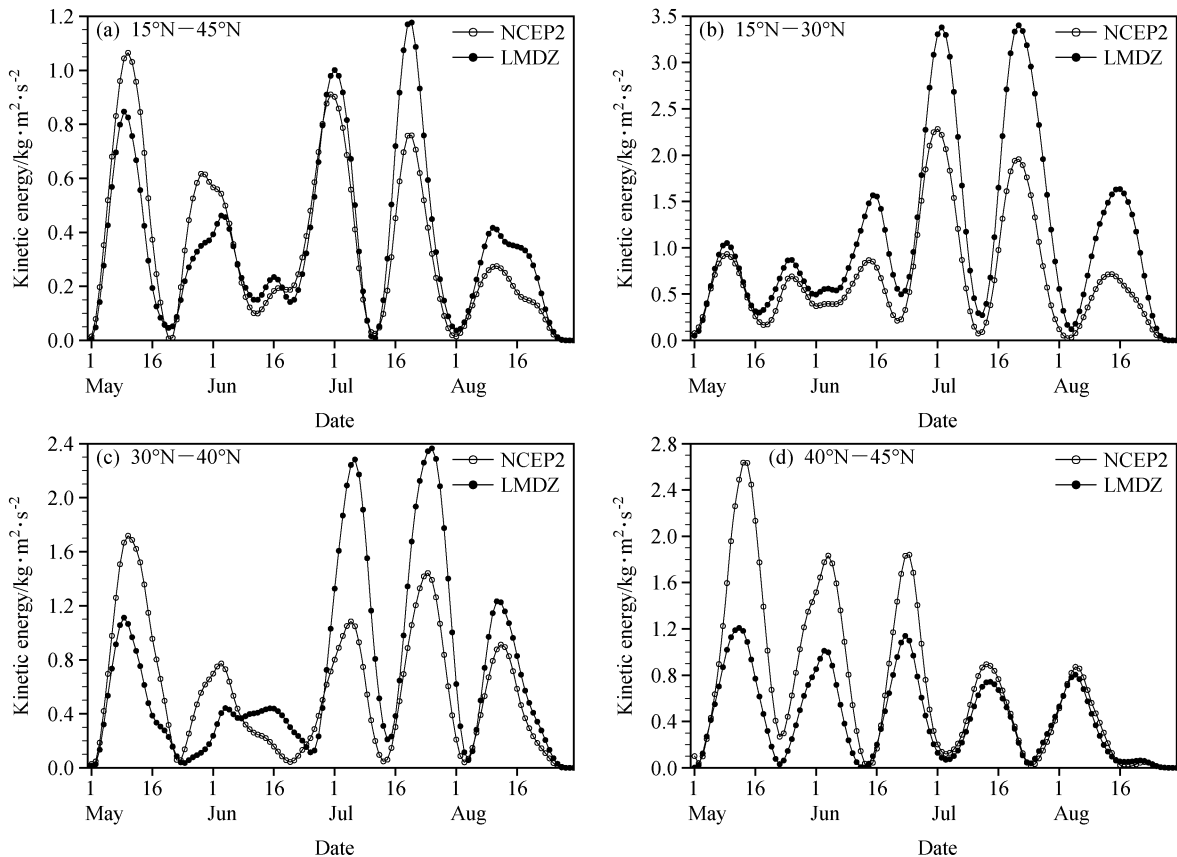


图 4 30~60 天带通滤波后沿 105°E~122.5°E 平均的 850 hPa 动能随时间变化 (单位: $\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$): (a) 15°N~45°N; (b) 15°N~30°N; (c) 30°N~40°N; (d) 40°N~45°N

Fig. 4 Time series of kinetic energy averaged between 105°E–122.5°E at 850 hPa after 30–60 day band-pass filtering: (a) 15°N–45°N; (b) 15°N–30°N; (c) 30°N–40°N; (d) 40°N–45°N

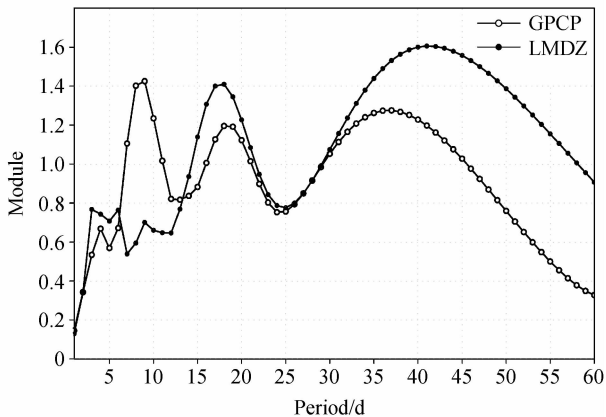


图 5 同图 1, 但为降水

Fig. 5 Same as Fig. 1, but for the precipitation

为了检查与低频降水对应的垂直环流结构,选取图 6a 中 25°N~30°N 之间低频降水出现大值中心的时间 6 月 11~20 日,给出该时间段平均的各物理量纬度—高度剖面图。再分析资料的低频纬向

风垂直剖面图中 (图 7a), 低频西风呈倾斜结构, 低层最大风速中心位于 700 hPa, 高层位于 150 hPa。在 18°N 附近低层低频东风向西风转换, 27°N 附近低频西风向东风转换。最大上升区和下沉区分别位于 18°N 和 27°N, 且整层表现出一致的上升或下沉运动 (图 7b)。低频散度场也与垂直速度相对应, 在上升区低层辐合, 高层辐散, 散度中心低层位于 925 hPa, 高层位于 150 hPa (图 7c)。

在模拟结果中 (图 7d–f), 高低层低频纬向风的倾斜特征以及风速中心与再分析资料一致。但低层低频东西风转换位置位于 30°N, 较之 NCEP2 资料偏北 3 个纬度。相应地, 垂直上升区中心位置偏北、强度偏强, 18°N 附近的下沉运动未能体现, 而 30°N 地区的垂直上升运动则偏强。低频散度中心位置和强度也偏北偏强, 高层散度中心大约位于 250 hPa。

在长江中下游地区, 降水相对集中的时段对应

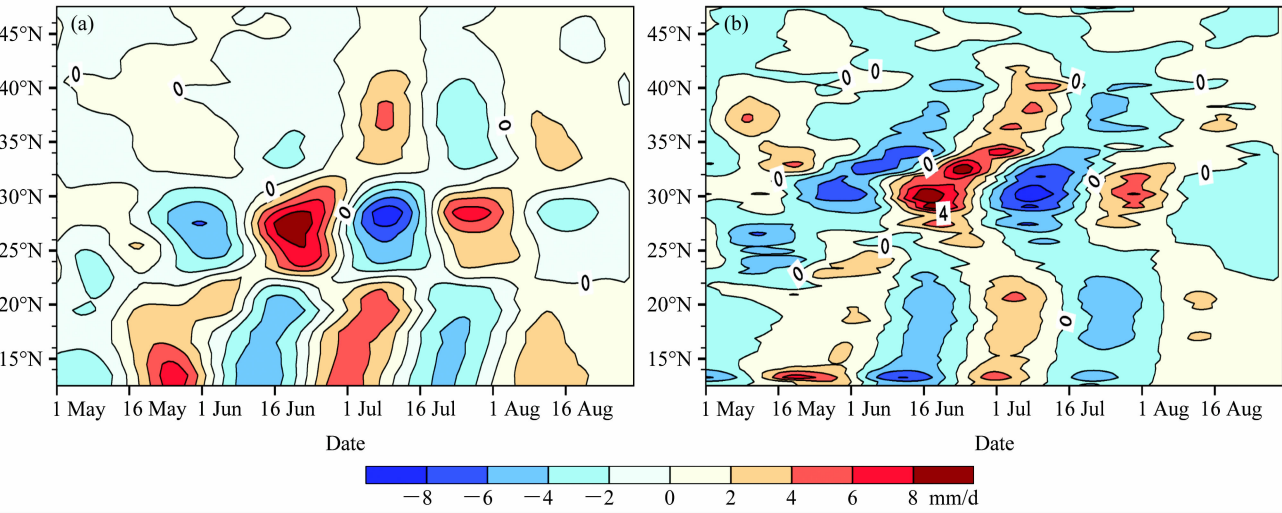


图 6 同图 2，但为降水（单位：mm/d）：(a) GPCP 资料；(b) LMDZ 模拟
Fig. 6 Same as Fig. 2, but for the precipitation; (a) GPCP data; (b) LMDZ simulation

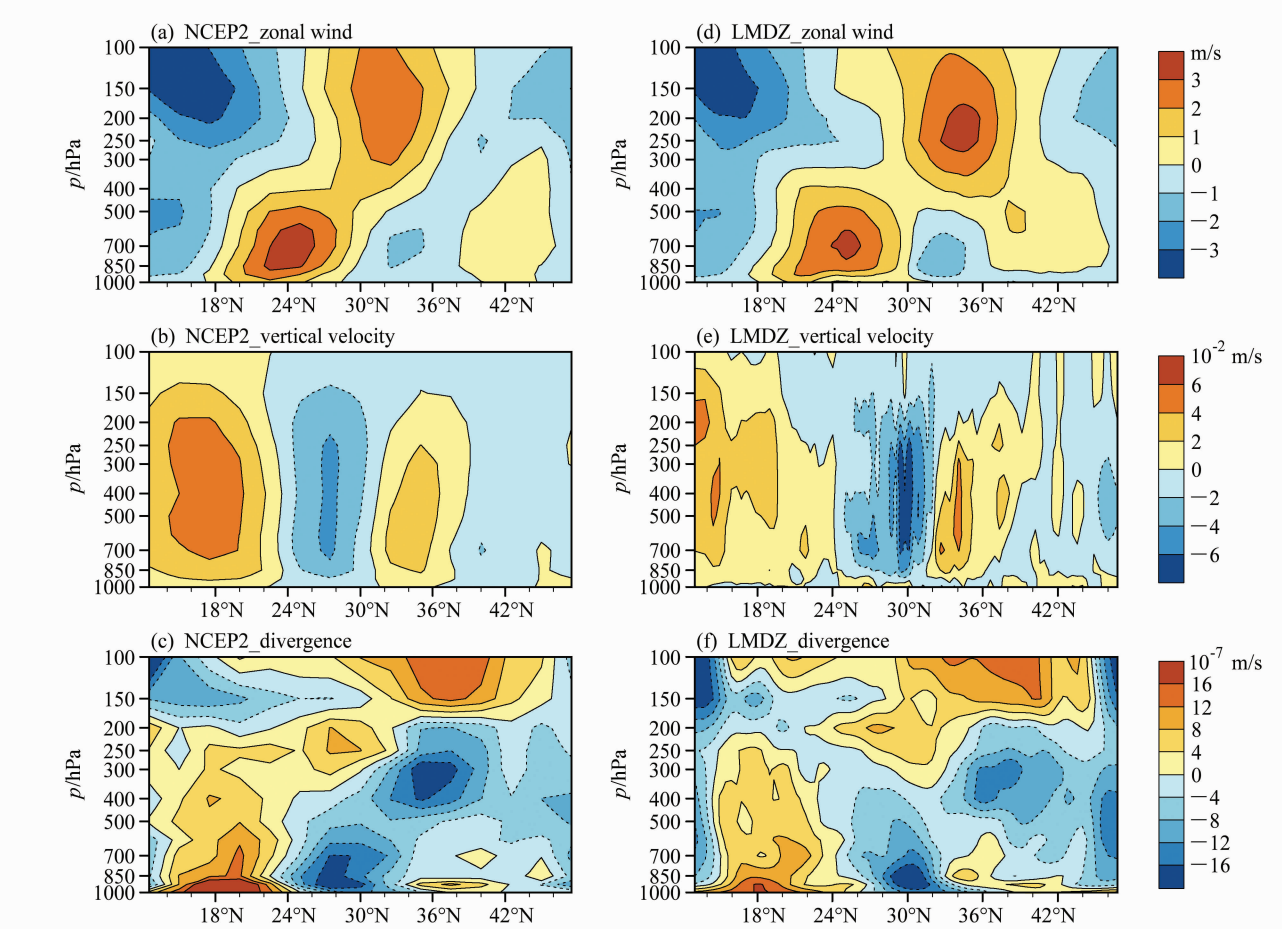


图 7 1998 年 6 月 11~20 日 30~60 天带滤波的纬向风 (a、d)、垂直速度 (b、e)、散度 (c、f) 沿 105°E~122.5°E 平均的纬度—高度剖面图：(a-c) NCEP2 资料；(d-f) LMDZ 模拟
Fig. 7 Latitude-height sections of 30–60 day filtered (a, d) zonal wind, (b, e) vertical velocity, and (c, f) divergence averaged between 11–20 Jun 1998; (a–c) NCEP2 data; (d–f) LMDZ simulation

ISO 较强的波峰值 (据建华等, 2005, 2007)。为了探讨 ISO 与我国东部地区降水之间的关系, 将东部地区划分为三个区域, 分别代表华南 (20°N~26°N, 105°E~122.5°E)、长江中下游地区 (26°N~32°N, 105°E~122.5°E) 和华北 (32°N~40°N, 105°E~122.5°E)。图 8 给出 1998 年 5~8 月 ISO 活动与各个区域平均降水随时间的演变图, 针对 ISO 波动特

征的模拟, 对华南地区模拟的时间变化和强度都接近再分析资料; 在长江中下游地区, 7 月中旬之前, 模拟的 ISO 波峰波谷与 NCEP2 资料基本一致, 但强度偏强, 7 月中旬之后, 模拟的 ISO 波峰超前于 NCEP2 资料; 对华北地区模拟的 ISO 时间变化接近实际, 只是在强度上略有不同。

除华南地区外, 长江中下游和华北地区降水比

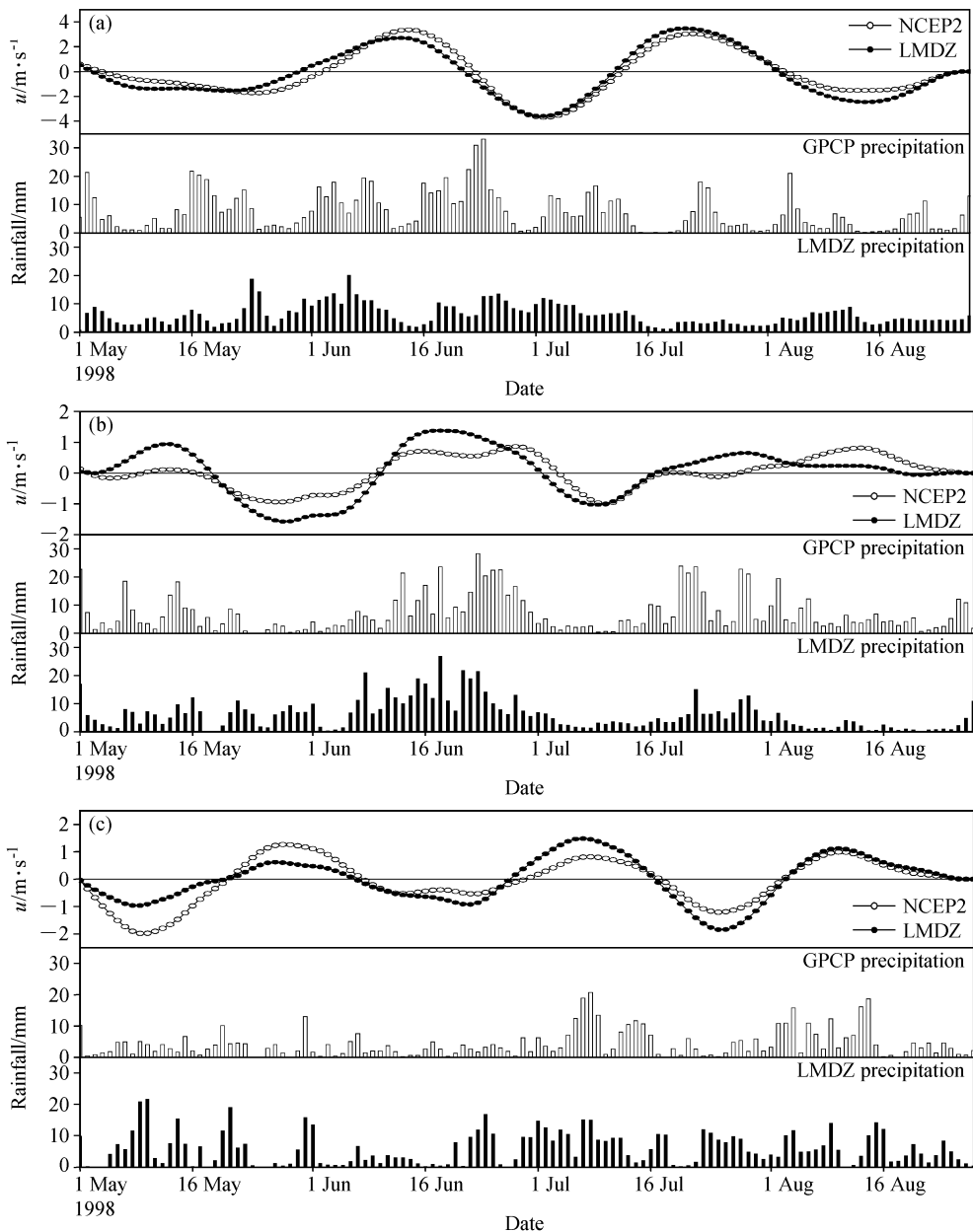


图 8 1998 年夏季 5~8 月 850 hPa 纬向风 30~60 天滤波曲线 (实线) 和区域平均降水逐日演变图 (直方图): (a) 华南地区; (b) 长江中下游地区; (c) 华北地区

Fig. 8 Time series of 30 - 60 day band-pass filtered 850-hPa zonal wind (solid lines) and mean rainfall (histogram) in summer (MJJA) in 1998: (a) South China; (b) the middle to lower reaches of the Yangtze River; (c) North China

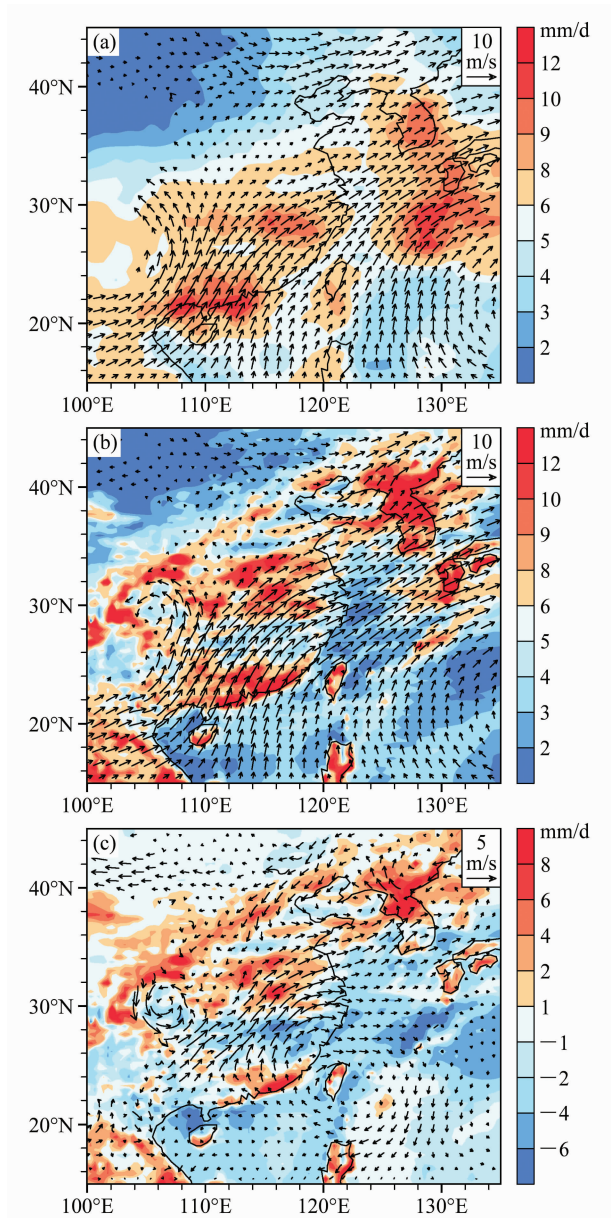


图 9 1998 年夏季 5~8 月平均降水 (彩色) 与 850 hPa 风场分布 (矢量): (a) NCEP2 资料; (b) LMDZ 模拟; (c) 模拟结果与观测的差值

Fig. 9 The summer (MJJA) mean precipitation (shaded) and 850-hPa wind field (vector) in 1998: (a) NCEP2 data; (b) LMDZ simulation; (c) difference between the simulation and observation

较集中的阶段,正好对应着 ISO 波动峰值。长江中下游地区主要出现在 6 月 12~28 日和 7 月 20~30 日,为该地区的“二度梅”形势,而两段集中降水时段的间歇期则对应着 ISO 波谷。模式基本能合理再现这一特征,但模拟的第一次梅雨过程开始时间比 GPCP 降水资料偏早,模拟的第二次梅雨过程强度偏弱。在华北地区,7 月 5~18 日和 8 月 1~15

日 ISO 波峰与降水集中期基本对应,模拟的第一阶段降水接近实况,但后期降水明显偏强。

利用 LMDZ 对东亚夏季降水年际变率进行的模拟研究表明 (Zou et al., 2010),由于低层西南风和水汽偏强,无论是降水的气候平均态,还是主模态, LMDZ 模拟的雨带位置与观测相比都偏北。为检查降水 ISO 模拟的偏差是否也与此有关,图 9 将 1998 年 5~8 月平均降水和 850 hPa 风场与模式结果进行比较。在 GPCP 资料中,降水主要集中在华南、长江中下游以南地区,华北降水偏少,大致以 30°N 为界,呈现“南多北少”分布型。从 850 hPa 风场来看,整个东亚都为西南风控制,但由南至北风速逐渐减弱。模式基本能模拟出降水及风场的分布形势,但中心位置及强度有所差异,主要表现在:华南地区降水中心偏东、强度偏强;长江中下游地区雨带位置偏北,集中在 30°N 以北的江淮流域,30°N 以南降水偏少;华北地区降水偏多。另外,模式模拟的东亚地区西南风强度较再分析资料偏强,这一特征在差值场 (图 9c) 中表现更为明显,特别是 30°N 以北降水偏多的区域西南风仍然偏强。因此,模式对降水和环流场平均态的模拟偏差,直接影响到对 ISO 的模拟效果。

4 总结

本文利用变网格模式 LMDZ,针对 1998 年夏季东亚地区 30~60 天季节内振荡进行模拟研究,讨论变网格模式在东亚 ISO 研究中的适用性,以及影响模拟偏差的原因。主要结论如下:

(1) 再分析资料表明,1998 年夏季东亚地区 ISO 表现出 9 天、13 天、24 天和 45 天的峰值振荡周期,其传播特征主要为经向上北传和纬向上西传。LMDZ 能较好地再现 ISO 振荡周期以及传播的周期和路径,但传播过程中出现的大值中心位置和强度略有偏差,25°N 大值中心较之再分析资料偏北、偏弱,33°N 大值中心则偏强。

(2) 模式模拟的东部地区 ISO 动能波动趋势与再分析资料较为一致,但强度在 7 月之前偏弱、7 月之后偏强。对不同纬度带的分析表明,7 月之前主要是因为中纬度地区的模拟偏弱,7 月之后则与低纬地区的模拟偏强有关。

(3) GPCP 资料表明 1998 年夏季东亚降水周期存在三个峰值,模式仅能模拟出 15~20 天和

35~45 天两个峰值, 5~10 天周期特征不明显。模式模拟的 27°N 以南降水 30~60 天振荡北传特征不明显, 27°N 以北较为显著, 但出现多个高值中心, 比 GPCP 资料高值中心位置偏北。对应的垂直上升运动也较之再分析资料偏北偏强。这主要是因为模式模拟的我国东部地区雨带位置偏北, 华南降水偏弱、华北降水偏强, 因此模式对降水 ISO 的模拟能力与对降水平均态模拟的能力有关。

需要指出的是, 纬向风和降水都可以作为表征 ISO 的变量, 已有研究表明无论是在观测还是模式中, 使用低层平均西风能更好地刻画 ISO (Inness et al., 2003; Zhang and Dong, 2004)。但对于模式而言, 使用不同变量衡量 ISO 的模拟性能, 其结果不同。LMDZ 模式对环流场的模拟优于降水, 本文同时采用纬向风和降水进行比较, 目的在于说明平均态模拟的好坏是决定 ISO 模拟的重要因素之一。另外, 本文只采用 1998 年作为个例分析, LMDZ 模式对 ISO 气候态的模拟效果怎样, 改善模式对降水位置的模拟偏差能否提高降水 ISO 的模拟等, 都是未来亟待展开的研究工作。

参考文献 (References)

- Chen Longxun, Xie An. 1988. Westward propagation low-frequency oscillation and its teleconnections in the Eastern Hemisphere [J]. *Acta Meteor. Sinica*, 2 (2): 300–312.
- Chen T C, Yen M C, Weng S P. 2000. Interaction between the summer monsoons in East Asia and South China Sea: Intraseasonal monsoon modes [J]. *J. Atmos. Sci.*, 57 (9): 1373–1392.
- de Rosnay P, Polcher J, Bruen M, et al. 2002. Impact of a physically based soil water flow and soil-plant interaction representation for modeling large-scale land surface processes [J]. *J. Geophys. Res.*, 107, doi: 10.1029/2001JD000634.
- Dickinson R E, Errico R M, Giorgi F, et al. 1989. A regional climate model for the western United States [J]. *Climatic Change*, 15 (3): 383–422.
- Ding Y H, Shi X L, Liu Y M, et al. 2006. Multi-year simulations and experimental seasonal predictions for rainy seasons in China by using a Nested Regional Climate Model (RegCM_NCC). Part I: Sensitivity study [J]. *Adv. Atmos. Sci.*, 23 (3): 323–341.
- Emanuel K A. 1993. A cumulus representation based on the episodic mixing model: The importance of mixing and microphysics in predicting humidity [M]// *The Representation of Cumulus Convection in Numerical Models of the Atmosphere*, Meteor. Monogr., Amer. Meteor. Soc., 185–192.
- Fouquart Y, Bonnel B. 1980. Computations of solar heating of the earth's atmosphere: A new parameterization [J]. *Contrib. Atmos. Phys.*, 53: 35–62.
- Giorgi F. 1990. Simulation of regional climate using a limited area model nested in a general circulation model [J]. *J. Climate*, 3 (9): 941–963.
- 韩荣青, 李维京, 董敏. 2006. 北半球副热带-中纬度太平洋大气季节内振荡的纬向传播与东亚夏季旱涝 [J]. *气象学报*, 64 (2): 149–163. Han Rongqing, Li Weijing, Dong Min. 2006. The impact of 30–60 day oscillations over the subtropical Pacific on the East Asian summer rainfall [J]. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 64 (2): 149–163.
- Hourdin F, Musat L, Bony S, et al. 2006. The LMDZ4 general circulation model: Climate performance and sensitivity to parameterized physics with emphasis on tropical convection [J]. *Climate Dyn.*, 27 (7–8): 787–813.
- Hsu H H, Weng C H, Wu C H. 2004. Contrasting characteristics between the northward and eastward propagation of the intraseasonal oscillation during the boreal summer [J]. *J. Climate*, 17 (4): 727–743.
- 胡轶佳, 钟中, 闵锦忠. 2008a. 两种积云对流参数化方案对 1998 年区域气候季节变化模拟的影响研究 [J]. *大气科学*, 32 (1): 90–100. Hu Yijia, Zhong Zhong, Min Jinzhong. 2008a. Impacts of cumulus parameterization scheme on the seasonal variation simulation of regional climate in 1998 [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 32 (1): 90–100.
- 胡轶佳, 钟中, 王晓婷. 2008b. 1998 年夏季长江中下游地区大气多尺度振荡的区域气候模拟 [J]. *热带气象学报*, 24 (6): 700–707. Hu Yijia, Zhong Zhong, Wang Xiaoting. 2008b. Regional climate modeling of the multi-scale oscillations over the lower and middle reaches of Yangtze River in summer [J]. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 24 (6): 700–707.
- Huang Ronghui. 1994. Interactions between the 30–60 day oscillation, the Walker circulation and the convective activities in the tropical western Pacific and their relations to the interannual oscillation [J]. *Adv. Atmos. Sci.*, 11 (3): 367–384.
- Huffman G J, Adler R F, Morrissey M M, et al. 2001. Global precipitation at one-degree daily resolution from multisatellite observations [J]. *J. Hydrometeor.*, 2 (1): 36–50.
- Hurrell J W, Hack J J, Shea D, et al. 2008. A new sea surface temperature and sea ice boundary dataset for the community atmosphere model [J]. *J. Climate*, 21 (19): 5145–5153.
- Inness P M, Slingo J M, Woolnough S J, et al. 2001. Organization of tropical convection in a GCM with varying vertical resolution: Implications for the simulation of the Madden-Julian Oscillation [J]. *Climate Dyn.*, 17 (10): 777–793.
- Inness P M, Slingo J M, Guilyardi E, et al. 2003. Simulation of the Madden-Julian oscillation in a coupled general circulation model. Part II: The role of the basic state [J]. *J. Climate*, 16 (3): 365–382.
- 贾小龙, 李崇银. 2004. 热带大气季节内振荡的一个数值模拟研究

- [J]. 气象学报, 62 (6): 725–739. Jia Xiaolong, Li Chongyin. 2004. A GCM study on tropical interseasonal oscillation [J]. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 62 (6): 725–739.
- 贾小龙, 李崇银. 2007a. 热带大气季节内振荡的季节性特征及其在 SAMIL-R₁₂L₉ 中的表现 [J]. 热带气象学报, 23 (3): 219–228. Jia Xiaolong, Li Chongyin. 2007a. Seasonal variations of the tropical intraseasonal oscillation and its reproduction in SAMIL-R₁₂L₉ [J]. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 23 (3): 219–228.
- 贾小龙, 李崇银. 2007b. 热带大气季节内振荡数值模拟对积云对流参数化方案的敏感性 [J]. 气象学报, 65 (6): 837–855. Jia Xiaolong, Li Chongyin. 2007b. Sensitivity of numerically simulated tropical intra-seasonal oscillations to cumulus schemes [J]. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 65 (6): 837–855.
- Jia Xiaolong, Li Chongyin, Ling Jian, et al. 2008. Impacts of a GCM's resolution on MJO simulation [J]. *Adv. Atmos. Sci.*, 25 (1): 139–156.
- 据建华, 钱诚, 曹杰. 2005. 东亚夏季风的季节内振荡研究 [J]. 大气科学, 29 (2): 187–194. Ju Jianhua, Qian Cheng, Cao Jie. 2005. The intraseasonal oscillation of East Asian summer monsoon [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 29 (2): 187–194.
- 据建华, 孙丹, 吕俊梅. 2007. 东亚季风涌对我国东部大尺度降水过程的影响分析 [J]. 大气科学, 31 (6): 1129–1139. Ju Jianhua, Sun Dan, Lü Junmei. 2007. The influence of the East Asian monsoon stream on the large-scale precipitation course in eastern China [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 31 (6): 1129–1139.
- 据建华, 孙丹, 吕俊梅. 2008. 东亚季风区大气季节内振荡经向与纬向传播特征分析 [J]. 大气科学, 32 (3): 523–529. Ju Jianhua, Sun Dan, Lü Junmei. 2008. The relay character analysis of the zonal and longitudinal propagations of the atmospheric intraseasonal oscillation in the East Asian monsoon region [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 32 (3): 523–529.
- Kanamitsu M, Ebisuzaki W, Woollen J, et al. 2002. NCEP-DOE AMIP-II reanalysis (R-2) [J]. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 83 (11): 1631–1643.
- Kemball-Cook S, Wang B, Fu X H. 2002. Simulation of the intraseasonal oscillation in the ECHAM-4 model: The impact of coupling with an ocean model [J]. *J. Atmos. Sci.*, 59 (9): 1433–1453.
- Krinner G, Genthon C. 1998. GCM simulations of the last glacial maximum surface climate of Greenland and Antarctica [J]. *Climate Dyn.*, 14 (10): 741–758.
- Krinner G, Viovy N, de Noblet-Ducoudre N, et al. 2005. A dynamic global vegetation model for studies of the coupled atmosphere-biosphere system [J]. *Global Biogeochem. Cycles*, 19, GB1015, doi: 10.1029/2003GB002199.
- Lau K M, Yang G J, Shen S H. 1988. Seasonal and intraseasonal climatology of summer monsoon rainfall over East Asia [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 116 (1): 18–37.
- 李崇银. 1993. 大气低频振荡 [M]. 北京: 气象出版社, 310pp. Li Chongyin. 1993. *Low-Frequency Oscillation in the Atmosphere* (in Chinese) [M]. Beijing: China Meteorological Press, 310pp.
- 李崇银, 龙振夏, 穆明权. 2003. 大气季节内振荡及其重要作用 [J]. 大气科学, 27 (4): 518–535. Li Chongyin, Long Zhenxia, Mu Mingquan. 2003. Atmospheric intraseasonal oscillation and its important effect [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 27 (4): 518–535.
- Li Zhaoxin. 1999. Ensemble atmospheric GCM simulation of climate interannual variability from 1979 to 1994 [J]. *J. Climate*, 12 (4): 986–1001.
- Lin J L, Weickman K M, Kiladis G N, et al. 2008. Subseasonal variability associated with Asian summer monsoon simulated by 14 IPCC AR4 coupled GCMs [J]. *J. Climate*, 21 (18): 4541–4567.
- Liu P, Wang B, Sperber K R, et al. 2005. MJO in the NCAR CAM2 with the Tiedtke convective scheme [J]. *J. Climate*, 18 (15): 3007–3020.
- Madden R A, Julian P R. 1971. Detection of a 40–50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific [J]. *J. Atmos. Sci.*, 28 (5): 702–708.
- Madden R A, Julian P R. 1972. Description of globe-scale circulation cells in the tropics with a 40–50 day period [J]. *J. Atmos. Sci.*, 29 (6): 1109–1123.
- Maloney E D, Hartmann D L. 2001. The sensitivity of intraseasonal variability in the NCAR CCM3 to changes in convective parameterization [J]. *J. Climate*, 14 (9): 2015–2034.
- Morcrette J J, Smith L, Fouquart Y. 1986. Pressure and temperature dependence of the absorption in longwave radiation parameterizations [J]. *Beitr. Phys. Atmos.*, 59 (4): 455–469.
- Ratnam J V, Giorgi F, Kaginalkar A, et al. 2009. Simulation of the Indian monsoon using the RegCM3 – ROMS regional coupled model [J]. *Climate Dyn.*, 33 (1): 119–139.
- Sadourny R, Laval K. 1984. January and July performance of the LMD general circulation model [M]//Berger A, Nicolis C. *New Perspectives in Climate Modeling*, Elsevier, Amsterdam, 173–197.
- Sepulchre P, Ramstein G, Fluteau F, et al. 2006. Tectonic uplift and Eastern Africa aridification [J]. *Science*, 313: 1419–1423. doi: 10.1126/science.1129158.
- Slingo J M, Sperber K R, Boyle J S, et al. 1996. Intraseasonal oscillation in 15 atmospheric general circulation models: Results from an AMIP diagnostic subproject [J]. *Climate Dyn.*, 12 (5): 325–357.
- Sperber K R, Gualdi S, Legutke S, et al. 2005. The Madden-Julian oscillation in ECHAM4 coupled and uncoupled GCMs [J]. *Climate Dyn.*, 25 (2–3): 117–140.
- Sperber K R, Slingo J M, Inness P M, et al. 1997. On the maintenance of the Madden-Julian oscillation in the NCAR CCM3

- nance and initiation of the intraseasonal oscillation in the NCEP/NCAR reanalysis and the GLA and UKMO AMIP simulations [J]. *Climate Dyn.*, 13 (11): 769–795.
- 陶诗言, 张庆云, 张顺利. 1998. 1998 年长江流域洪涝灾害的气候背景和大尺度环流条件 [J]. *气候与环境研究*, 3 (4): 290–299.
- Tao Shiyang, Zhang Qingyun, Zhang Shunli. 1998. The great floods in the Changjiang River valley in 1998 [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 3 (4): 290–299.
- Xin Xiaoge, Li Zhaoxin, Yu Rucong, et al. 2008. Impacts of upper tropospheric cooling upon the late spring drought in East Asia simulated by a regional climate model [J]. *Adv. Atmos. Sci.*, 25 (4): 555–562.
- 薛峰, 梁信忠, 王万秋, 等. 1996. 大气低频振荡的数值模拟 [J]. *大气科学*, 20 (6): 654–661.
- Xue Feng, Liang Xinzhong, Wang Wanqiu, et al. 1996. A numerical simulation of low frequency oscillations in the atmosphere [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica) (in Chinese)*, 20 (6): 654–661.
- 徐国强, 朱乾根, 薛纪善, 等. 2004. 1998 年中国区域降水低频变化的传播机制的初步分析 [J]. *大气科学*, 28 (5): 736–746.
- Xu Guoqiang, Zhu Qian'gen, Xue Jishan, et al. 2004. A pilot study of propagation mechanisms of precipitation low-frequency variation over China in 1998 [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 28 (5): 736–746.
- Yang H, Li C Y. 2003. The relation between atmospheric intraseasonal oscillation and summer severe flood and drought in the Changjiang–Huaihe River basin [J]. *Adv. Atmos. Sci.*, 20 (4): 540–553.
- Yang Jing, Wang Bin, Wang Bin, et al. 2009. The East Asia–western North Pacific boreal summer intraseasonal oscillation simulated in GAMIL 1.1.1 [J]. *Adv. Atmos. Sci.*, 26 (3): 480–492.
- 尤卫红. 1998. 气候变化的多尺度诊断分析和预测的多种技巧方法研究 [M]. 北京: 气象出版社.
- You Weihong. 1998. Multiscale Diagnosis Analyses and Forecast Methods of Climate Changes (in Chinese) [M]. Beijing: China Meteorological Press.
- Zhang C D. 2005. Madden-Julian oscillation [J]. *Rev. Geophys.*, 43, RG2003, doi: 10.1029/2004RG000158.
- Zhang C D, Dong M. 2004. Seasonality of the Madden-Julian oscillation [J]. *J. Climate*, 17 (16): 3169–3180.
- Zhang C D, Dong M, Gualdi S, et al. 2006. Simulations of the Madden-Julian oscillation in four pairs of coupled and uncoupled global models [J]. *Climate Dyn.*, 27 (6): 573–592.
- Zhang G J, Mu M Q. 2005. Simulation of the Madden-Julian oscillation in the NCAR CCM3 using a revised Zhang-McFarlane convection parameterization scheme [J]. *J. Climate*, 18 (19): 4046–4064.
- Zheng Y, Waliser D E, Stern W F. 2004. The role of coupled sea surface temperatures in the simulation of the tropical intraseasonal oscillation [J]. *J. Climate*, 17 (21): 4109–4134.
- Zhou Tianjun, Li Zhaoxin. 2002. Simulation of the East Asian summer monsoon by using a variable resolution atmospheric GCM [J]. *Climate Dyn.*, 19 (2): 167–180.
- Zou L W, Zhou T J, Li L, et al. 2010. East China summer rainfall variability of 1958–2000: Dynamical downscaling with a variable-resolution AGCM [J]. *J. Climate*, 23 (23): 6394–6408.