

文章编号: 1004-4965(2010)01-0093-05

东亚夏季风过程大气低频振荡的数值模拟研究

倪文琪¹, 蒋国荣²

(1. 总参气象水文空间天气总站, 北京 100081; 2. 解放军理工大学气象学院, 江苏 南京 211101)

摘 要: 利用区域气候模式 RegCM3 对东亚夏季风及其中的大气低频振荡 (LFO) 进行了模拟研究。(1) 进行控制试验, 借助 Lanczos 带通滤波等方法分析了实测及模拟结果 LFO 强度和传播等特征, 检验 RegCM3 对夏季风 LFO 的模拟能力;(2) 通过增、减南海表面海温两个敏感试验探讨海温异常变化对 LFO 各特征的影响, 并探究异常海温下的 LFO 与季风爆发时间的可能联系。结果表明: 季风 LFO 强值集中在低纬地区, 低纬夏季强冬季弱, 高纬则相反。季风爆发前后的发生南传向北传的转换。模式 RegCM3 对季风区 LFO 基本特征有较好的把握, 但高纬地区偏强。南海异常增(减)温有利于季风提前(推迟)爆发, 也有利于 LFO 传向发生转换时间的提前(推迟)。说明季风爆发时间与 LFO 传向转换存在一定联系。两个试验均有使振荡能量大值区南移的趋势, 且通过 LFO 的变化造成较高纬地区季风后期的气候异常。

关 键 词: RegCM3; 东亚季风; 低频振荡 (LFO); 传向转换; 季风爆发

中图分类号: P456.7

文献标识码: A

Doi: 10.3969/j.issn.1004-4965.2010.01.014

1 引 言

季风气候现象是全球大气环流中重要的一环。在东亚季风区内, 时间尺度在 10 天以上 100 天以内的大气运动变化称为大气低频振荡 (Low-Frequency Oscillation, 记作 LFO), 是 1980 年代普遍重视的大气运动特征^[1]。东亚夏季风的发生、发展及演变对东亚天气造成很大的影响, 探讨东亚季风区低频振荡的特征, 有助于了解东亚夏季风的变化规律及异常原因^[2]。但对季风区大气低频振荡的模拟研究存在一些不足: (1) 对 LFO 的模拟集中在全球分布及传播特征上, 对于东亚季风区的大气 LFO 以及与季风相互联系的特征研究比较少; (2) 分辨率比较粗, 难以准确刻画区域的气候。区域气候模式 RegCM3 的水平分辨率为 15 ~ 125 km 不等, 可以弥补全球模式精度上的缺陷, 适于有限区域的模拟研究^[3]。同时, RegCM3 作为较新发展模式, 也要具备模拟大气低频振荡基本特征的能力。因此本文首先利用区域气候模式 RegCM3 对季风区低频振荡特征进行模拟验证。其次通过设计南海海温异常的敏感试验,

分析南海海温异常对季风区低频振荡的影响以及与季风之间的联系。由于南海海温异常的研究多偏重于诊断分析, 数值试验所用的模式也多是分辨率较粗的大气环流模式。因此有必要利用高分辨率的区域模式对其进行数值试验和研究。本文利用 RegCM3 模式进行增、减南海表面海温 (SST) 敏感试验来验证南海海温异常变化对季风过程中大气低频振荡特征的影响, 并探讨季风与 LFO 的关系。

2 模式简介和试验方案

区域气候模式通过单向嵌套技术, 利用全球大气模式输出的模拟结果或实测资料来为区域气候模式提供时变的边界条件和初始场, 从而提高分辨率。相对于全球环流模式, 区域气候模式具有分辨率高、对地形及地表植被有较好刻画、拥有各种先进的参数化方案等特点, 是研究区域气候变化的有力工具^[3]。1988 年是一个赤道东太平洋冷水年, 因此可被认为是一个海温正常年。何金海等^[4]指出, 1988 年夏季风正常爆发在 5 月 5 日, 因此 1988 年也是一个季风爆发正常年, 发生在 1988 年的许多情况可以代

收稿日期: 2008-06-23; 修订日期: 2008-12-12

通讯作者: 倪文琪, 女, 江西省南昌市人, 助理工程师, 硕士, 研究方向: 物理海洋学。E-mail: niwenqi@126.com

表气候状态的特征^[4]。因此本文选取 NCEP 1988 年的大气再分析资料和 OISST(Optimally Interpolated Sea-Surface Temperature)的周平均海温资料输入模式,运行区域气候模式 RegCM3。

模拟区域为东亚区域及西太平洋部分海区(90°~130°E, 0°~45°N),中心点取在 20°N, 110°E,南北方向格点数为 120,东西方向为 100,水平分辨率取 60 km。模式垂直方向非均匀分为 18 层,顶层高度气压为 10 hPa。积云对流参数化方案选择基于 Arakawa-Schubert 闭合假设的 Grell 方案。行星边界层方案采用 Hotslag 的非局地行星边界层方案。辐射过程采用最新的 CCM3 辐射传输方案。陆面过程采用 BATS1E,包括一层植被,一层积雪和三层土壤。模式侧边界采用指数张弛时变边界方案,边界缓冲区选为 10 圈。积分时段为 1987 年 12 月 1 日 00 时—1988 年 12 月 31 日 00 时,1987 年 12 月作为 spin-up 阶段不予分析。敏感试验将南海海区(100°~120°E, 0°~20°N)分别加入 SST±2℃异常,选择 4—7 月为南海 SST 异常的维持期。通过分析敏感试验与控制试验的差异,探讨南海 SST 异常对东亚夏季风 LFO 的影响以及 LFO 与季风的可能联系。

3 控制试验中南海夏季风爆发时间的计算

验证 RegCM3 对南海夏季风特征的模拟水平,首先应通过爆发日期的确定来评估模式结果的优劣。表征季风强弱变化的指数有很多,在文献[4]中介绍了以高低空风场作为标准构造季风指数的有:李崇银等基于南海夏季风环流的基本特征,用南海区域对流层上下层的散度差平均值作为季风爆发指数,当该指数第一次稳定地由正值变为负值的日期即南海夏季风爆发的日期;姚永红等的高低层涡度差正负转换时间作为南海夏季风爆发时间;谢安等制定的南海中南部(5°~15°N, 105°~120°E)的平均纬向风由东风转变为西风,且维持至少两候时为南海夏季风爆发。

利用实测资料分别计算以上三种指数值,发现与实际爆发时间 5 月 5 候比较接近的指数为用文献[4]方法所计算的指数,南海的中南部平均纬向风由东风转变为西风。因此用其来计算控制试验中季风爆发日期。图 1A 为实测资料的季风指数,指数由

负值稳定变为正值的时间为 5 月 24 日。图 1B 为控制试验的季风指数,指数由负值稳定变为正值的时间为 5 月 21 日,与实测资料略有偏差。可以看出,控制试验中季风指数比实测资料偏大,高低层涡度差值基本维持在零值线以上,即高层涡度比实测偏大,低层偏弱,这可能与高层南亚反气旋模拟得偏南有一定关系,但随时间的变化趋势基本一致,可以说模式基本具备模拟季风爆发时间的能力。

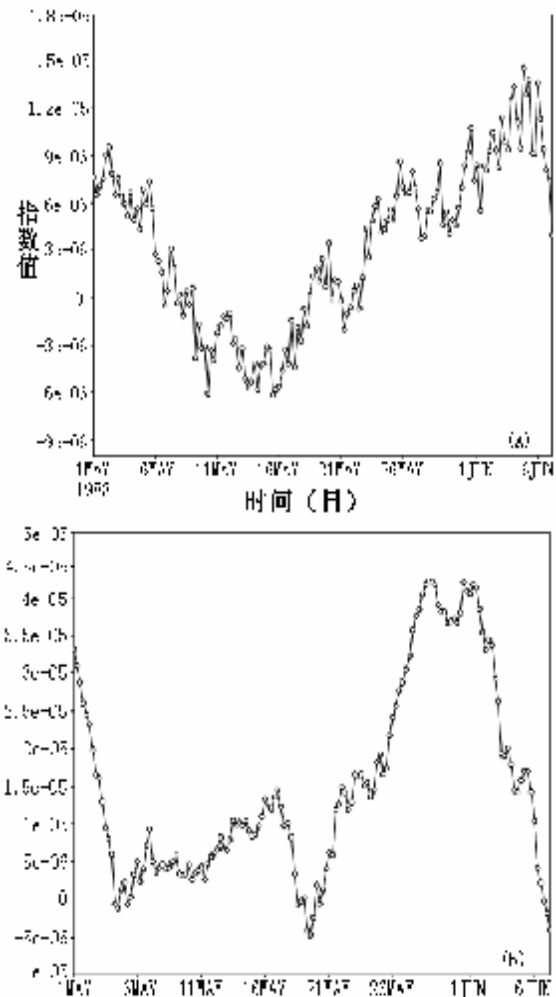


图 1 实测(A)和控制试验(B)的季风爆发指数随时间变化^[4]

4 LFO 强度和经向传播分析

对 850 hPa 纬向风进行 20~90 天滤波,取 100°~120°E 纬向平均,经向的时间-纬度剖面如图 2 所示。从图 2 可以看出,实测(图 2A)和控制试验(图 2B)结果中各纬度均存在明显的周期性变化,其中高纬地区弱、低纬地区强,能量主要集中在 5°~15°N 之间,并且强度随纬度的减小而增大,低纬夏季强、冬季

弱,能量主要集中在 4—10 月;而高纬 LFO 冬季强、夏季弱,控制试验对高纬度强度模拟偏强。季风爆发前即 4 月底以前, LFO 由高纬向低纬地区传播;季风爆发前后即 5 月下旬, 低纬低频纬向风由极小值突变为极大值, 对应季风爆发时南海上空东风向西风的转变。此时振荡最强烈, LFO 开始由向南传播改为向北传播, 可以看到对于传向的改变时间模式模拟得很准确;在 6—7 月底, 大气 LFO 北传至

20°N 附近, 同时较高纬地区的大气 LFO 也在向南传播, 20°N 为南北 LFO 汇合处。在控制试验中较高纬与较低纬地区 LFO 的汇合没有模拟出来, 只有系统的北传特征, 直到 10 月又恢复由北向南传播。因此可以说模式对高纬大气 LFO 的强度模拟偏强, 但其经向时间演变趋势模拟较好, 尤其是振荡由南传向北传转变的时间十分准确, 低纬地区上空的大气 LFO 强度模拟比较接近实际。

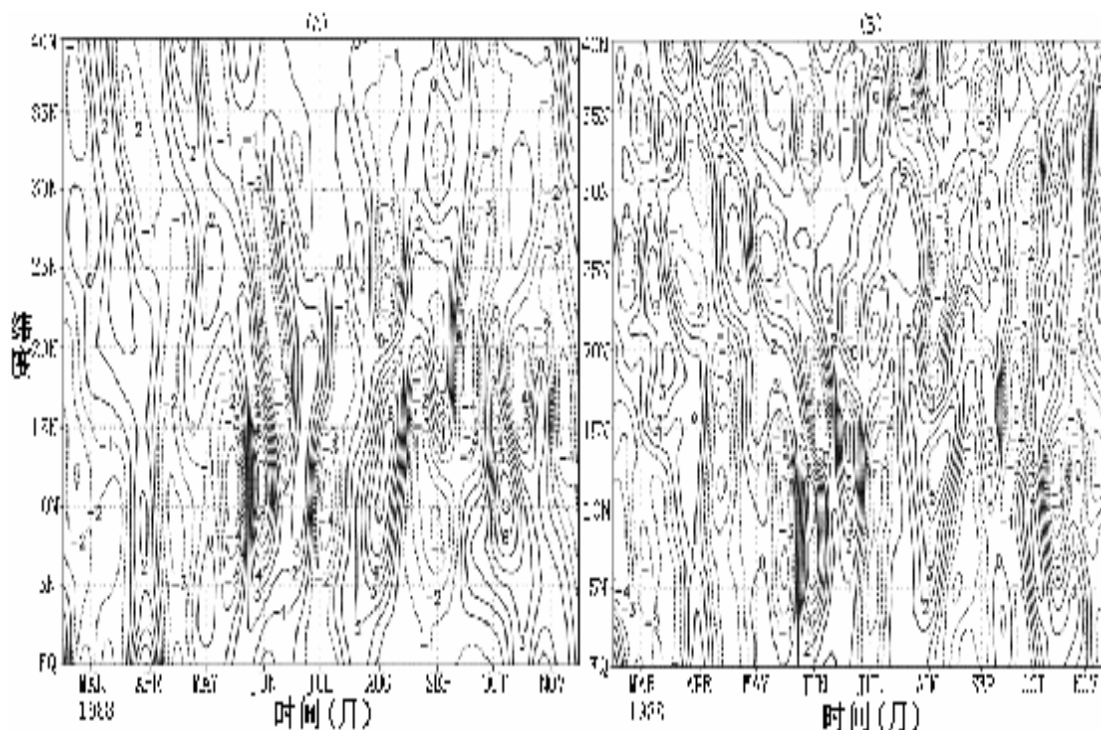


图 2 实测(A)和控制试验(B)的 850 hPa 100~120°E 平均低频纬向风的经向时间-纬度剖面

5 异常海温对南海夏季风爆发时间的影响

由于模式模拟的大尺度背景场由 NCEP 再分析资料提供, 排除了失真的大尺度环流场对区域模式的影响。并且模式选用指数松弛技术设置边界缓冲区, 能够有效地阻止异常南海表面海温的强迫造成的边界波反射, 从而不影响模式内部各个系统的发展。并且敏感试验方案中修改的边界是南海表面海温, 在海面上不存在地形强迫产生的附加误差, 所以敏感试验可以比较合理地反映海温异常增减情况下对季风 LFO 真实的影响程度, 而忽略边界条件的对区域模式可信度的影响, 因此可利用敏感试验结果做出分析与讨论。

针对南海海温异常现象对南海季风爆发时间的

影响已有许多研究成果, 可以认为南海海温与季风爆发时间有直接的联系, 即南海异常增温时促进夏季风爆发, 减温则相反。利用文献[4]的季风指数计算方法对敏感试验结果进行计算, 得到南海增、减温试验的季风爆发指数图对其进行验证。

作出增温试验中南海对流层上下层涡度差稳定由负值变为正值的时间在 5 月 19 日左右, 比控制试验提前 2 天。这与孙照渤^[5]、陈隆勋等^[6]关于南海及西太平洋暖池表面海温正负距平对热带夏季风爆发影响的分析结论一致。为了清楚地看出南海异常海温对季风爆发时间的影响, 作出增、减温试验与控制试验季风指数差值(图 3A、3B)。可见增温试验中指数差基本为正值, 说明南海海温升高有利于使季风爆发指数更快地由负值转为正值, 即南海增温有利于季风提前爆发。减温条件下指数差基本维

持在零线以下,说明季风爆发指数由负值稳定转为正值的时间向后推迟,即南海异常低温有利于季风推迟爆发。尽管上述两个差值的绝对值非常小,可

以说模式能够模拟出南海异常增(减)温对季风爆发时间具有提前(推迟)的作用。

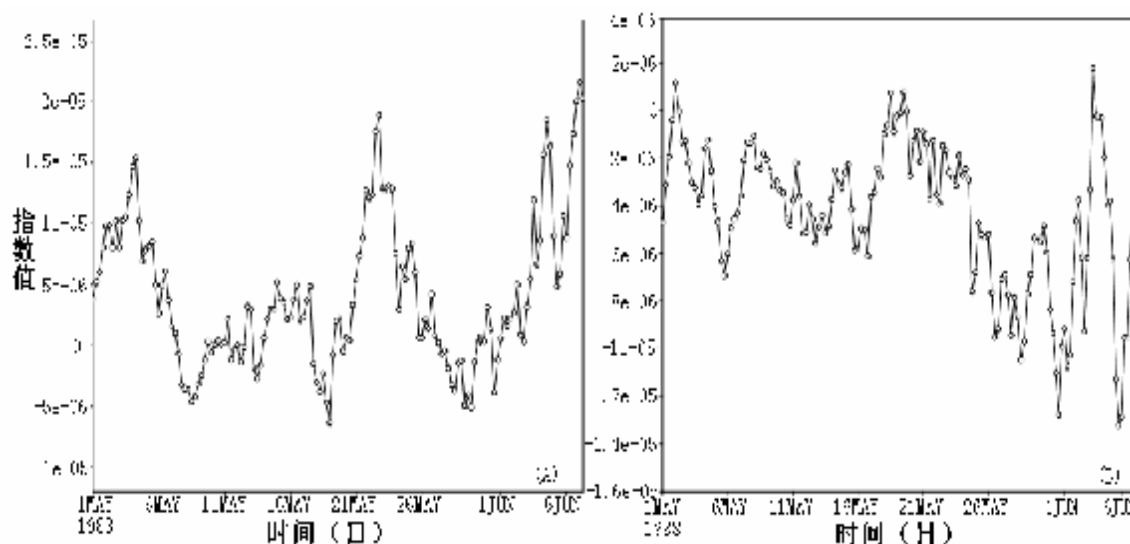


图3 南海增(A)、减(B)表面海温试验与控制试验季风指数差值随时间变化

6 异常海温对季风区 LFO 强度、经向传播的影响分析

首先分别将南海增、减温敏感试验结果中 850 hPa 纬向风进行 20~90 天滤波之后取 100~120 °E 平均得到低频纬向风的经向时间变化(图 4A、4B)。南海增温试验中,较高纬地区夏秋季的强度增强,强值区仍集中在低纬地区,且强度比控制试验有所增强。可见,南海异常升温促使季风区整个振荡能量的增加,尤其是低纬地区,且可以发现整个振荡

能量有向南移 5~6 个纬度的趋势。LFO 的向南到向北传播的临界时间也提前到 5 月初。5 月初之前振荡为自北向南传播,5—10 月底振荡为自南向北传播。减温试验中,大气 LFO 在 6 月上旬发生传向的南北转换,比控制试验推迟 10 天左右。6—10 月下旬均为自南向北传播。低纬地区低频振荡能量较控制试验弱,但较高纬地区夏秋季振荡仍然有所增强,并且低频能量强值区也有南移 4 个纬度的趋势。这说明南海异常增、减温都能通过低频振荡对 30 °N 左右地区季风后期的大气运动造成异常影响,并且都有使整个经向低频能量南移的趋势。

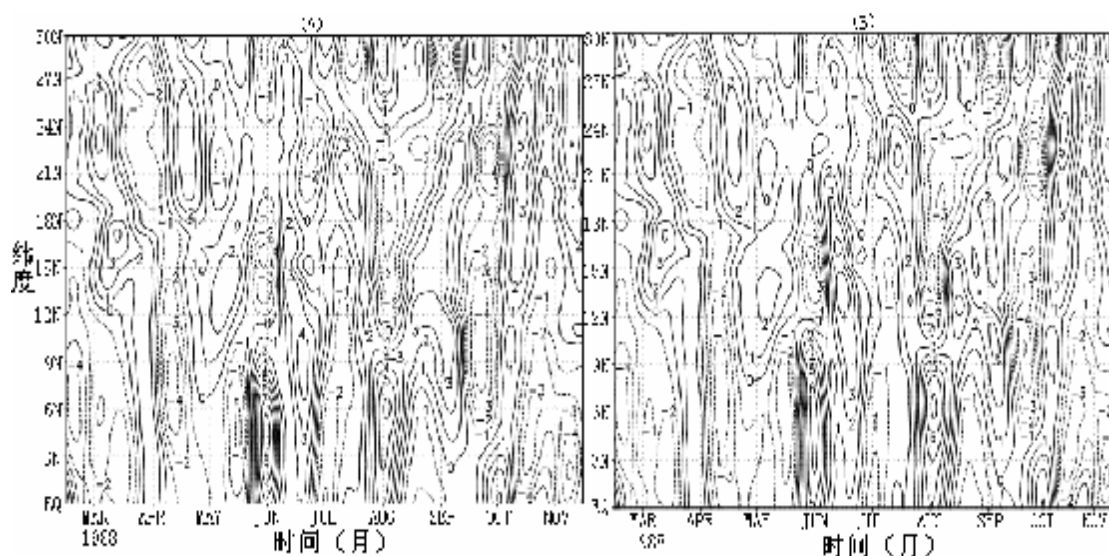


图4 增温试验(A)和减温试验(B)的 850 hPa 100~120 °E 平均低频纬向风经向时间分布

7 结 论

(1) 区域气候模式 RegCM3 对东亚夏季风爆发时间及其大气 LFO 强度分布和传播特征把握较好。尤其是季风爆发前后 LFO 传向发生转换的时间模拟较准确, 但是高纬度地区强度模拟得偏强。敏感试验基本能模拟出南海异常增(减)温对季风爆发具有促进(抑制)作用。

(2) LFO 在低纬地区尤为强烈, 并且夏季强冬季弱, 高纬地区则正好相反。

(3) 南海异常增、减海温均使经向振荡能量大值区向南移大约 4~6 个纬度, 且通过 LFO 的变化造成较高纬度地区季风爆发之后的气候异常。

(4) 季风爆发前后, LFO 的传向由之前的向南改为之后的向北传播。南海增(减)温使 LFO 由向南传到向北传的临界时间提前(推迟)。可以认为季风 LFO 的传向转换与季风爆发时间之间存在一定的关系。

参 考 文 献:

- [1] 李崇银. 大气低频振荡[M]. 北京: 气象出版社, 1991.
- [2] 宋玉宽, 陈隆勋. 夏季低频振荡的数值模拟[C]//亚洲季风研究的新进展——中日亚洲季风机制合作研究论文集. 北京: 气象出版社, 1996.
- [3] 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(2): 113-119.
- [4] 何金海, 丁一汇, 徐海明, 等. 南海夏季风建立日期的确定与季风指数[M]. 北京: 气象出版社, 2001: 45-46.
- [5] 孙照渤, 章基嘉, PALMER T N. 南海表面温度距平对我国夏季风和降水影响的数值实验[J]. 热带气象, 1992, 8(2): 113-116.
- [6] 陈隆勋, 王予辉. 南海和西太平洋暖池表面海温对东亚季风影响的数值实验[C]//亚洲季风研究的新进展. 北京: 气象出版社, 1996: 184-198.

A NUMERICAL STUDY OF ATMOSPHERIC LOW FREQUENCY OSCILLATION DURING THE EAST ASIA MONSOON PROCESS

NI Wen-qi¹, JIANG Guo-rong²

- (1. Meteorological, Hydrological and Space Weather Observatory of General Staff, Beijing 100081, China;
2. Institute of Meteorology, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101, China)

Abstract: The regional climate model RegCM3 is used here to study the East Asian summer monsoon and its atmospheric low-frequency oscillation(LFO). First, a control experiment was conducted to analyze the intensity and other characteristics of LFO with the help of Lanczos pass filter of both NCEP data and simulation results, and test the simulation capability of RegCM3 with regard to LFO during the summer monsoon. Secondly, two sensitivity tests were performed in which the surface temperature of the South China Sea was either increased or decreased to discuss the change of LFO and possible relationships between LFO and monsoon onset time. The results show that the intensity of LFO was high mainly in the low latitudes and stronger in summer than in winter, and otherwise was true for high latitudes. There was a change in the propagation direction of LFO from southward to northward around the time of monsoon onset. RegCM3 has the ability of simulating the basic characteristic of LFO, but performs better in high latitudes. Anomalously high(low) temperature of South China Sea is favorable for bringing the outbreak of the monsoon forward (backward), while anomalously high(low) temperature is also favorable for pushing the shift of LFO propagation direction forward(backward). It shows that there must be some relationships between the onset of monsoon and LFO change in propagation direction. Both tests tend to move areas of strong oscillation southward and affect the climate anomalies of high latitudes during the late monsoon stage through LFO changes.

Key words: RegCM3; East Asian monsoon; low-frequency oscillation (LFO); change of propagation direction; monsoon outbreak