

文章编号:1673-8411 (2015) 02-0008-05

不同起始时间的 IPRC-RegCM 模式对西北太平洋热带气旋预测误差对比分析 *

苏志重¹, 孙丞虎², 周学鸣¹, 石顺吉¹

(1.厦门市气象局, 厦门 361012; 2. 国家气候中心, 北京 100081)

摘要: 利用 IPRC 高分辨率区域气候模式设计了两组不同初始时刻(3 月和 5 月)的试验, 分别对 6-10 月热带气旋活动的特征及其大尺度环境场进行了 17 年的模拟试验。结果表明, 两组试验对大尺度环流场都具有较好的刻画能力; 但对于热带气旋活动的影响则差异明显, 5 月份起报时, 模式对热带气旋活动的年际变率, 季节循环特征、热带气旋强度等热带气旋活动特征方面优于 3 月起报的结果。这一结果反映了使用临近预测信息, 可以有效地提高汛期热带气旋季节预测的技巧, 这也反映了汛期滚动预测订正工作的重要性。

关键词: 热带气旋; 区域气候模式; 季节预测; 初始条件

中图分类号: P457.8

文献标识码: A

Different predictability of the tropical cyclones in the northwest pacific on different Initial moment by using IPRC-RegCM model

SU Zhi-zhong¹ SUN Cheng-hu² ZHOU Xue-ming¹ SHI Shun-ji¹

(1.Xiamen Municipal Meteorological Service, Xiamen 361012; 2. National Climate Center, Beijing 100081, China;

Abstract: Based on IPRC high resolution regional climate model, two sets of test on different initial moment (March and May) were designed and the test of 17 years for characteristics of tropical cyclone activity (June - Octobers) and the large-scale environment were respectively simulated. The results show that: two group of tests both has great capability in simulating the associated large-scale environmental conditions, but they have significantly different in the effect to the TCs's activity. The test which was simulated from May is better in TCs's annual variability, seasonal cycle, intensity and other TCs's activity characteristics than the test from March. It reflects that using the latest forecasting information can improve the TCs prediction skill in flood season, and it also reveals the importance of rolling prediction.

Key words: tropical cyclone; regional climate model; seasonal prediction; initial conditions

1 引言

热带气旋(TC)是影响我国最主要的自然灾害之一,常给人民的生命财产带来巨大的损失^[1-4]。因此开展热带气旋活动季节预测,对提高台风活动规

律的认识和台风业务预报水平,更好地服务社会经济建设和各级领导决策指挥防灾减灾具有十分重要的意义。

理论研究已验证了利用数值模式开展热带气旋动力季节预测的可行性^[5-8],近年来,随着高分辨率

收稿日期:2015-03-15

基金项目:973 项目 2012CB955901、中国气象局气象关键技术集成与应用项目 CMAGJ2013M23、水利部公益性行业专项经费基金资助项目(201101033-2)

作者简介:孙丞虎(1978-),男,博士,高级工程师,主要从事短期气候预测研究。

的区域气候模式和中尺度数值模式的发展,热带气旋的动力季节预测逐步由理论研究走向实际业务^[9-11]。如 ECMWF 从 1997 年就建立了基于海气耦合模式的动力季节性预测系统,并从 2001 年开始逐月对全球海区做出业务化的 TC 季节预测。IRI (International Research Institute) 从 2003 年开始试验性对各全球主要热带气旋活跃区域的热带气旋活动进行季节预测,其预测的方法是基于大气模式 (ECHAM4.5) 的输出结果,识别和追踪其中的类似热带气旋的涡旋^[12]。此外,韩国的 National Typhoon Center (NTC)、国家气候中心 (NCC)、上海台风所 (STI) 也开始发展各自的动力季节性热带气旋预测系统^[13-14]。国家气候中心引进了夏威夷大学国际太平洋研究中心的高分辨率区域模式 (IPRC-RegCM),并实现了准业务化运行。苏志重等^[11]检验了该模式台风季节预报的能力,认为该模式对西北太平洋热带气旋大尺度环境场具有较好的刻画能力,对发生在南海和西太平洋地区的热带气旋发生频数具有较好的潜在预报能力,其能较好的模拟出西北太平洋地区热带气旋活动的年循环及其年际变率特征,具有一定的应用价值。

在国家气候中心,为了提高汛期预测的技巧,业务预测中一般采用滚动会商预测的形式 (一般每年 3 月底-4 月初为第一次汛期会商,5 月底-6 月初进行第二次会商),以便适时调整和修正预测结论。因此,在进行全国汛期会商时,需要在 3 月底左右和 5 月底左右分别给出模式对 6-10 月的西北太平洋 TC 活动预测。然而,对于上述两次不同预测时间节点的动态预测结果,在采用了滚动预测后,临近预测时段的预测效果是否会更佳,从而能提供更好的预测服务? 为了客观回答这一问题,本文将利用 IPRC-RegCM 模式分别以 3 月底和 5 月底为预测初始时间,通过对西北太平洋 6-10 月热带气旋的主要活动特征进行 17 年的回报模拟,客观比较两组试验中热带气旋活动潜在可预测性上的差异,为汛期滚动会商业务流程的客观、定量设计提供合理借鉴。

2 模式和资料

2.1 模式简介

模式采用了美国夏威夷大学国际太平洋研究中

心区域气候模式 (IPRC-RegCM),该模式是在高分辨率的热带气旋模式 TCM3 的基础上发展而成的。模式采用静力原始方程组,水平方向采用球面坐标系,垂直方向为坐标。模式包含了云微物理方案、对流参数化方案、陆面过程、辐射方案等物理过程,Wang 等^[15]对模式进行了细节的描述,并评价了模式对东亚区域气候的模拟性能。目前该模式由国家气候中心引进并准业务化运行,所出产品为热带气旋季节预测业务提供参考。

2.2 试验设计

本文采用两种不同的起报初始时刻,对 1990-2006 年 6-10 月热带气旋活动特征进行 17 年回报检验,并比较在不同的初始条件下模式对热带气旋潜在可预测性的影响。具体设计为:

1) 试验 1: 初始时刻为每年的 5 月 25 日 00 时 (世界时,下同),连续积分至每年 10 月 30 日 24 时 (本文简称 T5)。2) 试验 2: 时刻为每年的 3 月 25 日 00 时,连续积分至每年 10 月 30 日 24 时 (本文简称 T3)。除了初始时刻不同,两个试验的区域范围、积分步长、物理过程、边界条件等模式参数设置均相同 (见表 1)。此外,本文对模式潜在可预测性技巧分析研究时段均为每年的 6 月 1 日-10 月 30 日。

表 1 2 个试验的参数设置

属性	参数
模拟区域	15°S-56.5°N,100°E-160°W
模式水平分辨率	0.5°
模式输出时间分辨率	6hr
积分时间步长	600s
初始场	NCEP逐6小时全球再分析资料 (2.5°*2.5°, L17)
边界场	NCEP逐6小时全球再分析资料 (2.5°*2.5°, L17)
海温场	Reynolds最优插值全球海表面温度资料 ^[16]

2.3 资料和方法

本文主要使用 NCEP/NCAR 月平均再分析资料,以及中国气象局上海台风研究所提供的 CMA-STI 热带气旋最佳路径数据集对比检验模式的潜在可预报性。为客观分析和评价模式的潜在可预测性差异,本文主要采用偏差 (Bias)、均方差 (Rmse)、距平相关系数 (Corr) 等统计量加以分析^[17-19]。

2.4 热带气旋 (TC) 客观识别标准

本文采用了 Stowasser 等^[20]、苏志重等^[11]的热带气旋生成判定标准,从试验中查找热带气旋。判定

表 2 热带气旋的识别标准

物理量	标准
850hPa 涡度	大于 $5.0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$
气旋中心	最大涡度 8 个格点内最小海平面气压处定义为气旋中心
暖心	500–200hPa 平均温度最高点
暖心位置	暖心与热带气旋中心距离小于 2.5 个纬距
气旋中心附近风速	850hPa 处风速大于 300hPa 处风速
10m 高度风速	大于 $17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
热带气旋生命史	36h 以上

标准都是基于真实热带气旋的结构特征定义的,包括气旋中心、暖心、风速特征、热带气旋生命史等,具体的识别标准如表 2。

模式输出要素中,符合以上标准的天气系统特征将被判定为热带气旋,并以此建立相应的模式热带气旋季节统计特征。

3 大尺度环流场的预测试验对比分析

本文首先分析了两组试验中 500hPa 位势高度场预测误差,对比模拟的 6–10 月 500hPa 位势高度场(图 1b,图 1c)与观测场(图 1a)后发现,模式对平均环流形势具有较好的模拟能力,例如对东亚地区夏季的两个行星

尺度环流系统—西太平洋副热带高压和东亚大槽的位置大致相同。从预测误差场(图 1d,图 1e)上看,T3 和 T5 的模拟的副高强度明显偏强,整个副高控制区模拟位势高度偏高 10–20 gpm,东海及台湾以东洋面模拟位势高度比观测的低,在这一区域 T5 模拟预测的高度场误差值小于 T3,显示出较好的模拟效果。

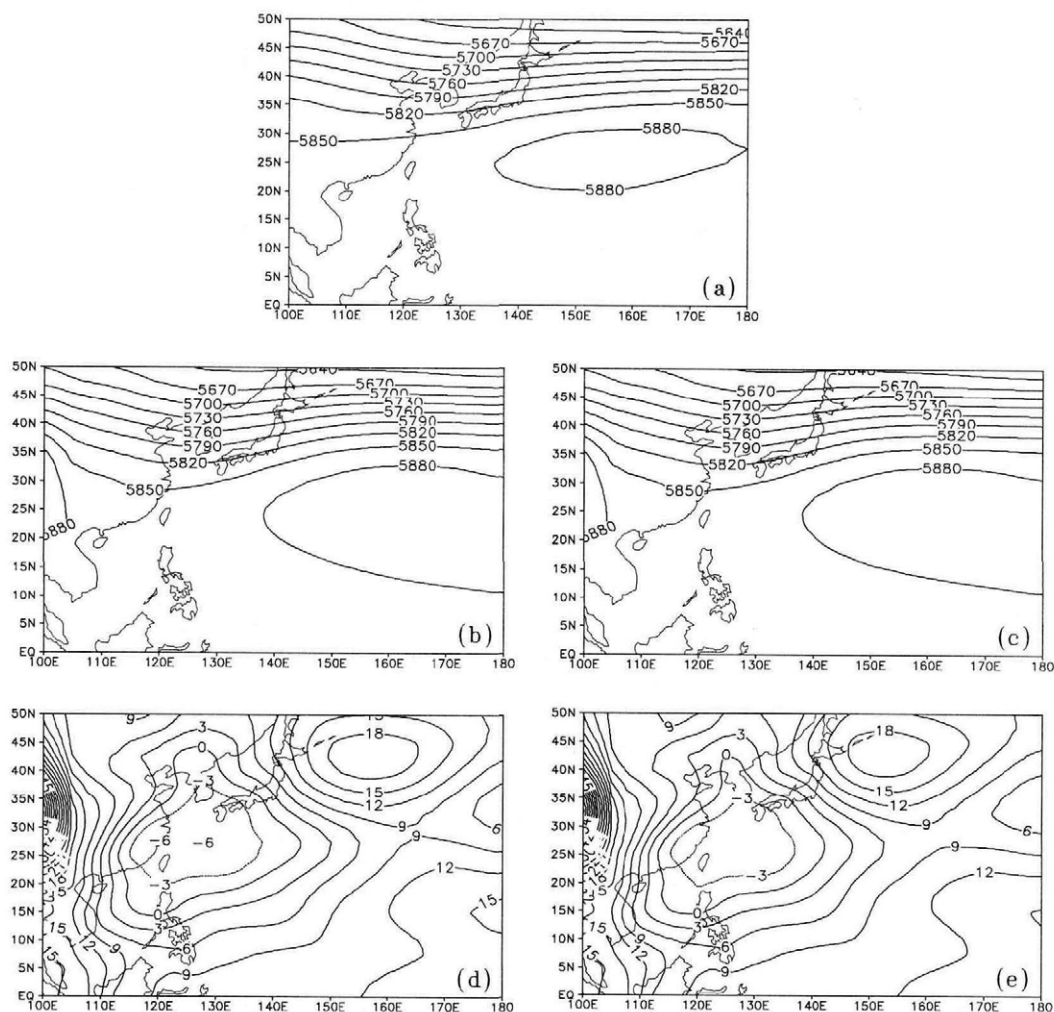


图 1 6–10 月平均 500hPa 位势高度场(单位:gpm)

(a.实况;b.T3 预测值;c.T5 预测值;d.T3 预测误差值;e. T5 预测误差值)

图 2 给出了 850hPa 相对涡度的模拟结果,可以看出 6-10 月平均 850hPa 相对涡度与观测类似,10°N~20°N 之间的区域,存在一条明显的带状的正涡度区,且在南海地区有一最大正涡度值,副高地区为大范围的负涡度区。试验 T3(图 2b)与试验 T5(图 2c)的模拟结果较接近,其偏差分布几乎一致,均是南海和台湾以东洋面模拟的涡度较观测偏大,菲律宾以

东地区预测值偏小。不同的是在南海的涡度预测模拟, T5 比 T3 的预测误差更大。

在风速垂直切变的比较上,模拟的弱风速垂直切变(<9m/s)(图 3b,图 3c)分布与实况(图 3a)类似呈带状,主要分布在 25°N~30°N 之间和赤道中太平洋地区,最小风速垂直切变带在台湾以南洋面上, T3(图 3d)和 T5(图 3e)几乎没有多大的区别,两个

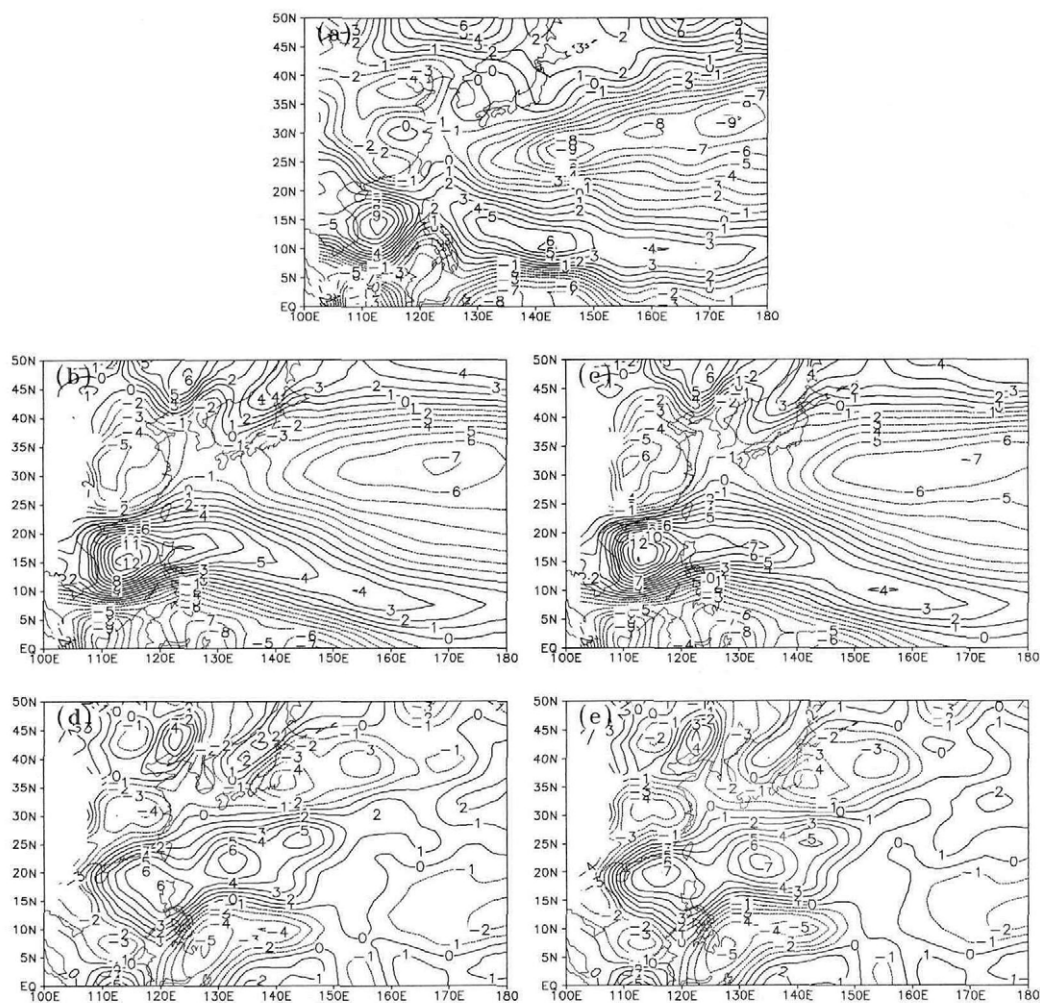


图 2 6-10 月平均 850hPa 相对涡度(单位: $10^{-6}S^{-1}$)
(a.实况;b.T3 预测值;c.T5 预测值;d.T3 预测误差值;e. T5 预测误差值)

预测试验结果误差几乎相同,均是在南海的模拟风速垂直切变比观测小,副高和菲律宾以东地区的数值比观测略大,日本及朝鲜地区有一偏差负值中心。

4 西北太平洋热带气旋预测试验对比比较

4.1 生成热带气旋个数

图 4 给出了模拟和实况的年 TC 频数曲线,可

以看出 T3 和 T5 试验模拟预测中识别出的 TC 频数年际变化就有很大的差异性。多年平均热带气旋年频数实况值为 19.8 个, T5 预测得到的多年平均值为 15.8 个, T3 为 16.8 个,模拟预测得到的年频数均小于实况值,但 T3 的模拟频数比 T5 更接近于实况。其次,台风频数的年际变化也不尽相同,在 1990-1993 年间, T3 模拟的台风数量为先减少后增

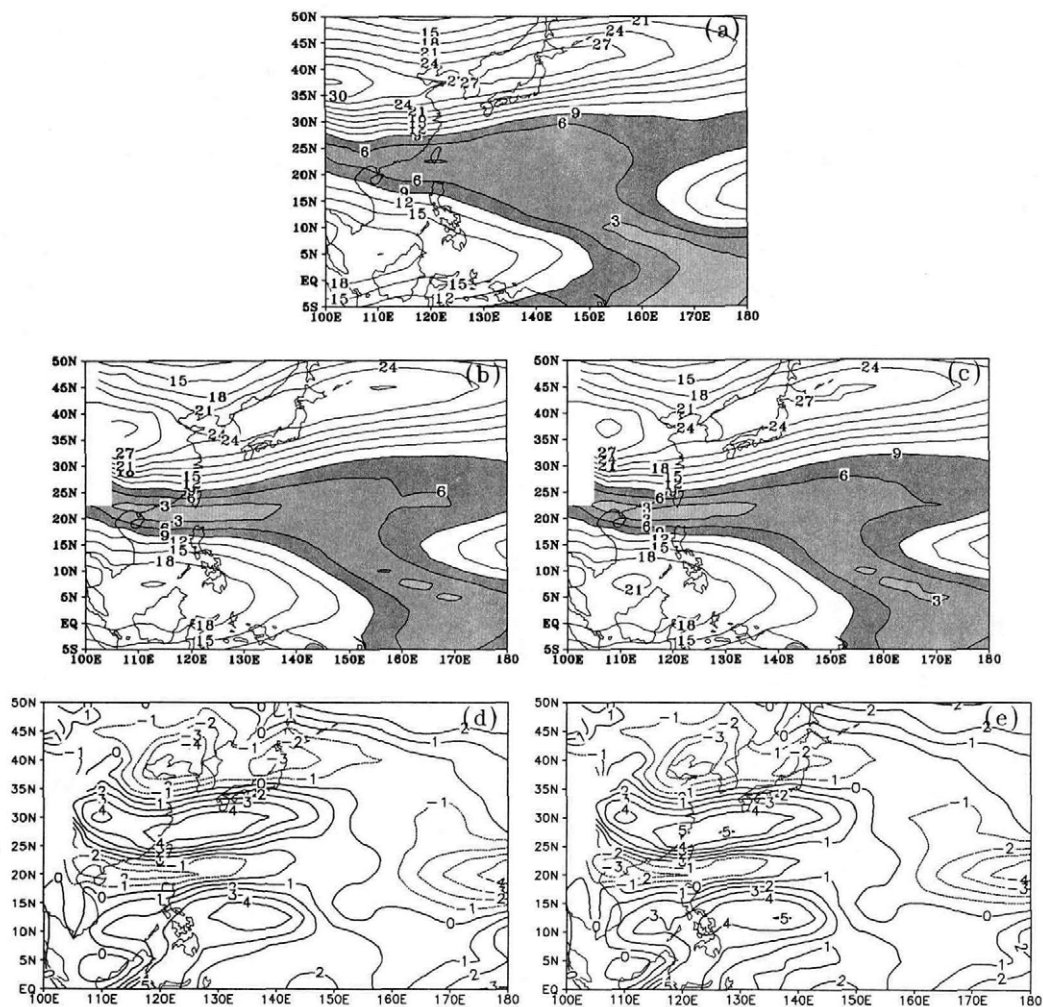


图3 6-10月平均风垂直切变(单位:m/s)

(a.实况;b.T3 预测值;c.T5 预测值;d.T3 预测误差值;e. T5 预测误差值)

加,而 T5 模拟预测值则是先略增加后明显减少。1999-2002 年间,T3 模拟预测的台风数量基本保持在 14-17 个,而 T5 模拟的台风数量则是由 11 个逐年增多到 22 个的趋势。T3 和 T5 均能较好的模拟出 98、99 年 La Nina 期间 TC 频数的异常偏少,且与实况的偏差较小;T3 模拟的 91、97 年 El Nino 时期的 TC 频数偏差比 T5 大。整体上,在 1990-2006 年间,

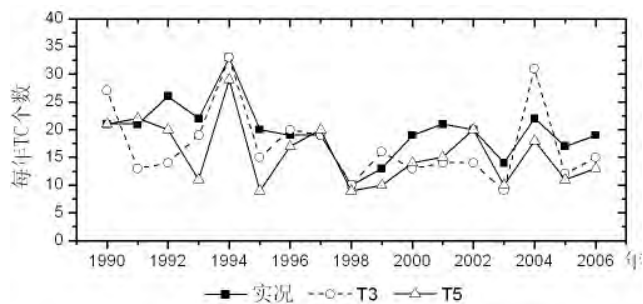


图4 6-10月热带气旋生成频数的年际变化

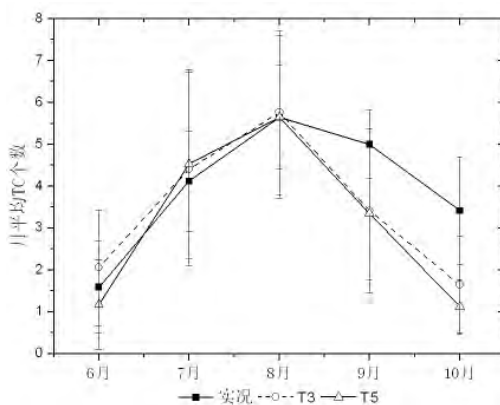


图5 多年平均 6-10月热带气旋生成频数的季节变化

T3 模拟的 TC 个数与实况的相关系数为 0.68, 小于 T5 与实况的 0.77, 两者均超过了 0.01 的信度检验。这说明,T5 试验对 TC 活动年际变率的可预报能力比 T3 更好一些。

进一步检验模拟的 TC 频数的季节循环特征可

看出(图5), TC 实况值在8月前是上升的趋势,并在8月份达到最大,随后在9、10月逐步下降。模拟的 TC 个数也具有这样的分布,两者在8月及8月前的 TC 频数与实况相当,但后期9-10月的偏差相对较大。T3 与实况的月平均 TC 个数的相关系数为 0.78, T5 与实况的相关系数为 0.82, T5 的模拟好于 T3。

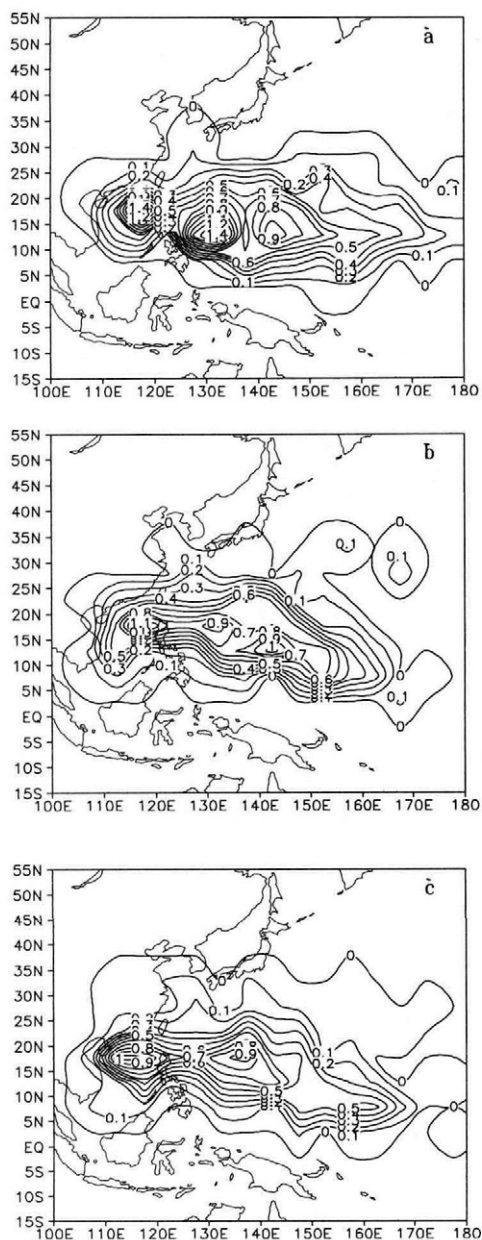


图6 6-10月热带气旋生成频数空间分布
(a.实况;b.T3;c.T5)

4.2 热带气旋生成源地分布特征

为了得到热带气旋路径频数的分布情况,本文首先将热带气旋路径频数插值到 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 经纬度

网格上,图6a是1990—2006年6—10月热带气旋路径的频数分布。可以看出,T3(图6b)和T5(图6c)模拟的热带气旋生成频数分布中心区域位置位于南海、菲律宾群岛以东以及马里亚纳群岛附近,与观测较为吻合。而这些区域是西南季风和偏东信风的汇合区,是夏季季风槽所在的位置,热带气旋容易在这一带生成,是热带气旋的主要生成源地。说明模式在季风槽位置的模拟上比较成功。T3在马里亚纳群岛附近的 TC 频数比 T5 高,生成频数中心的位置比 T5 偏东。两组试验在南海地区都有一个生成频数中心,显示出模式在这一带的模拟性能较为稳定且较好。

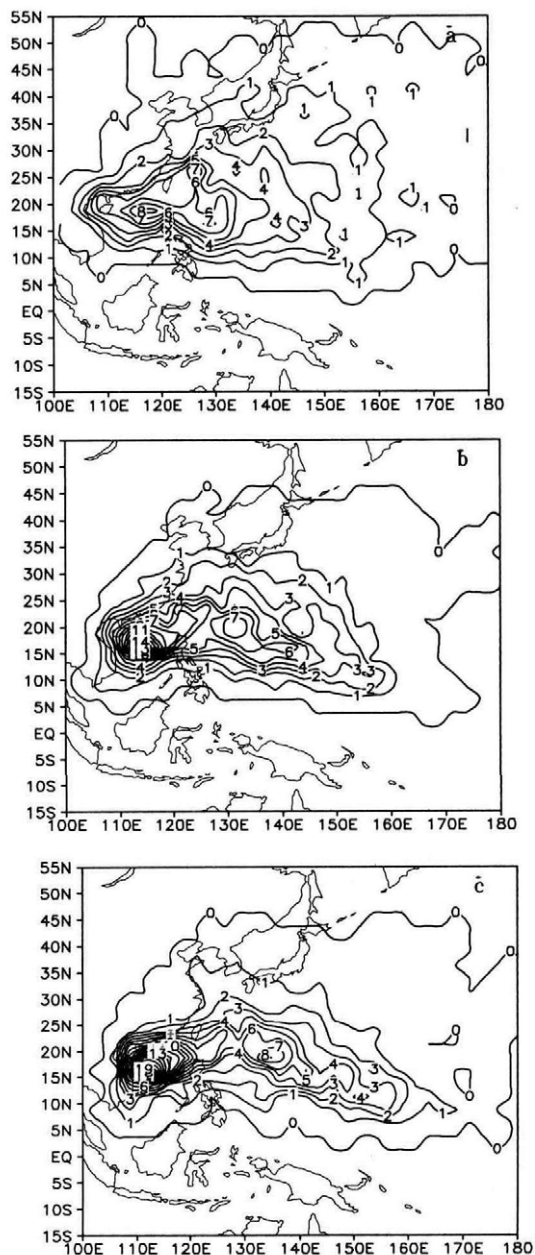


图7 6-10月热带气旋路径频数空间分布
(a.实况;b.T3;c.T5)

4.3 热带气旋路径分布特征

图 7a 是 1990—2006 年 6—10 月实况热带气旋路径的频数分布。从热带气旋路径的频数分布来看, T3(图 7b)和 T5(图 7c)均表现出较好的西行路径, 在北上路径的模拟上, 同样表现不佳, 模拟的北上路径明显偏少。在南海的模拟与观测相比频数明显偏多, T3 的路径频数最大值在该地区比 T5 小, T3 向北的路径频数分布比 T5 更大一些。

4.4 热带气旋强度特征

为了了解模式模拟的热带气旋强度的潜在预测能力, 采用 Emanuel^[22]定义的热带气旋总能量(PDI)对台风年际 PDI 总量进行分析。图 8 为年际 PDI 总量分布, T3 与观测的相关系数为 0.530, T5 与观测的相关系数为 0.535, 两个相关系数几乎没有差别, 模式较为成功地模拟出了 PDI 的年际变化趋势。两个试验的平均年 PDI 总量均小于观测, 说明模式模拟的热带气旋活动总体比观测弱。

与气候平均态模拟表现一致不同, T3 和 T5 模拟的 TC 活动变化表现出了差异性: T5 模拟的热带气旋活动变化在频数年际变化、季节内变化、TC 总能量方面与实况的相关性优于 T3 试验; 生成频数分布和路径频数分布与实况的差距都十分的明显, 但两者的差距不大。说明, 尽管模式的边界条件相同, 但是由于初始条件的差异, 模式模拟的误差分布仍会对台风活动产生影响。在实际业务工作中, 模式模拟的、特别是临近更新预测的台风频数预测具有一定的参考价值, 但能量预报, 路径和生成位置预报的表现还有待于更进一步的研究和改进。

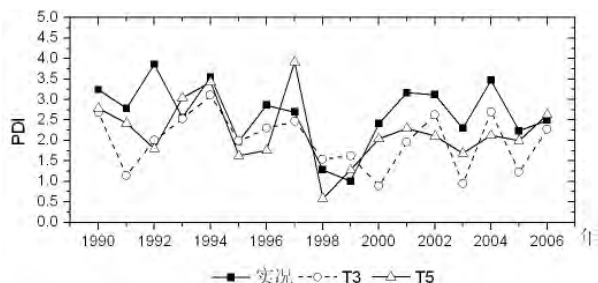


图 8 6—10 月 PDI 年际变化 单位: $10^{11} \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$

5 总结和讨论

对两组试验进行比较, 结果发现:

1) 模拟的大尺度环流比较分析来看, 预测时段(6—10 月)内, 两组试验模拟的大尺度背景特征十分接近, 与误差大小和分布也极为相似, 但 5 月起报的

效果相对更好。

2) 对于不同起始时间的西北太平洋热带气旋预测结果来看, 两组试验中热带气旋的季节循环特征很相似, 热带气旋的生成频数分布和路径频数分布特征和位置差异较小, 三个传统上的热带气旋生成中心位置也较吻合。但路径频数同样出现了南海地区偏多, 北上偏少的问题, 这可能与模式的分辨率、物理过程、参数化方案等有关。

3) 从热带气旋活动预测结果的年际变化看, 3 月和 5 月起报试验预报值与实况值的相关系数分别为 0.68 和 0.77, 均超过了 0.05 的信度检验, 季节相关系数分别为 0.78 和 0.82。5 月份起报时, 模式对热带气旋活动的年际变率, 季节循环特征、热带气旋强度等热带气旋活动特征方面优于 3 月起报的结果, 这一结果反映了汛期滚动预测订正工作的重要性。

参考文献:

- [1] 秦鹏, 黄浩辉, 李春梅. 1949—2009 年影响粤东沿海的热带气旋特征及最大强度计算 [J]. 气象研究与应用, 2012, 33 (4): 10—13.
- [2] 胡娅敏, 杜尧东, 罗晓玲. 近 50 年影响珠江流域热带气旋的气候统计分析 [J]. 广东气象, 2012, 34 (6): 1—3.
- [3] 苏丽欣, 黄茂栋, 黄晴晴, 等. 近 10 年西北太平洋海域登陆台风的环境场特征分析 [J]. 气象研究与应用, 2007, 28 (4): 11—16.
- [4] 李艳兰, 欧艺, 唐炳莉, 等. 近 50 年影响广西的热带气旋变化特征 [J]. 气象研究与应用, 2009, 30 (2): 1—3.
- [5] Manabe S, Holloway J L, Stone H M. Tropical circulation in a time-integration of a global model of the atmosphere [J]. J Atmos Sci, 1970, 27: 580—613.
- [6] Camargo SJ, Barnston AG, Zebiak SE., 2005a: A statistical assessment of tropical cyclones in atmospheric general circulation models. Tellus A 57: 589—604.
- [7] Bengtsson L, Hodges KI, Esch M. Tropical cyclones in a T159 resolution global climate model: comparison with observations and reanalysis. Tellus 2007, 59A: 396—416.
- [8] Yokoi S, Takayabu YN, Chan JCL. Tropical cyclone genesis frequency over the western North Pacific simulated in medium-resolution coupled general circulation models. Clim Dyn, 2009, 33: 665—683.
- [9] Andie Y. M. Au-Yeung, Johnny C. L. Chan. Potential use of a regional climate model in seasonal tropical cyclone activity predictions

下转第 20 页

- 版社, 2004.
- [6] 罗宁, 许炳南, 文继芬等. 贵州大气降水的时空分布规律研究 [J]. 贵州气象, 2006, 30 (4): 3-7.
- [7] 吉廷艳, 李玉柱, 杨利群. 贵州气温、降水及温度等气象要素的空间分布特征 [J]. 贵州气象, 2000, 24 (1): 19-22.
- [8] 伍红雨, 王谦谦. 近 49 年贵州降水异常的气候特征分析 [J]. 高原气象, 2003, 22 (1): 65-70.
- [9] 张艳梅, 江志红, 王冀. 贵州夏季暴雨的气候特征 [J]. 气候变化研究进展, 2008, 4 (3): 182-186.
- [10] 杨洋, 刘益兰. 中 β 尺度地形与贵州冰雹和暴雨的关系 [J]. 高原气象, 1997, 16 (2): 197-203.
- [11] 池再香, 杜正静, 赵群剑, 等. 中尺度西南涡、切变线对“07.7”贵州西部暴雨影响的分析与模拟 [J]. 高原气象, 2010, 29 (4): 929-938.
- [12] 吴哲红, 虞苏青, 丁治英, 等. 贵州地区一次暴雨的数值模拟及不稳定性诊断分析 [J]. 高原气象, 2008, 27 (6): 1307-1314.
- [13] 杨新, 柯文华, 张小荣, 等. 两次副高边缘特大暴雨对比分析 [J]. 气象研究与应用, 2014, 35 (4): 1-4.
- [14] 洪展. 一次台风暴雨过程的水汽特征分析 [J]. 气象研究与应用, 2014, 35 (4): 16-18.
- [15] 陈冰, 江满桃, 郭潮升, 等. 化州暴雨气候特征分析及极端事件重现期计算 [J]. 气象研究与应用, 2014, 35 (4): 19-23.
- [16] 谭敏玲, 何如, 罗红磊. 近 55 年广西融水县降水气候特征分析 [J]. 气象研究与应用, 2014, 35 (3): 27-30.

(上接第 14 页)

- in the western North Pacific. *Climate Dynamics*, 2012, 39: 3-4, 783-794
- [10] 王咏青, 宋天元, 梁驹, 等. 西北太平洋台风季节预报的数值模拟 [J]. 大气科学学报, 2012, 35 (1): 24-31.
- [11] 苏志重, 余锦华, 孙丞虎, 等. IPRC 区域气候模式对西北太平洋热带气旋潜在预测能力的初步检验 [J]. 热带气象学报, 2010, 26 (2): 165-173.
- [12] Camargo, S. J., A. G. Barnston, P. J. Klotzbach and C. W. Landsea.: Seasonal tropical cyclone forecasts [J]. *World Meteorological Organization Bulletin*, 2007, 56 (4): 297-309.
- [13] Ruifen Zhan, Yuqing Wang, Ming Ying. Seasonal Forecasts of Tropical Cyclone Activity over the Western North Pacific: A Review [J]. *Tropical Cyclone Research and Review*, 2012, 1 (3): 307-324.
- [14] 贾小龙, 陈丽娟, LUO Jing-jia. 利用海气耦合模式预测的大尺度环流进行热带气旋年频数的预测试验 [J]. 热带气象学报, 2013, 29 (1): 37-46.
- [15] Wang Y. An explicit simulation of tropical cyclone with a triply nested movable mesh primitive equation model: TCM3. Part I: Model description and control experiment [J], *Mon Wea Rev*, 2001, 129 (6): 1 370-1 394.
- [16] Reynolds, R.W., N.A. Rayner, T.M. Smith, D.C. Stokes, and W. Wang, 2002: An Improved In Situ and Satellite SST Analysis for Climate, *J. Climate*, 15, 1609-1625.
- [17] 胡轶佳, 钟中, 闵锦忠. 月和季节尺度区域气候模拟的对比分析 [J]. 高原气象, 2007, 26 (4): 862-873.
- [18] 廖国莲, 程鹏. 南宁市大气能见度变化特征及影响因素分析 [J]. 气象研究与应用, 2007, 28 (4): 26-28.
- [19] 江晓南, 简茂球, 江帆. 福建春季开汛实际变化特征及其与后期降水量关系 [J]. 气象研究与应用, 2009, 30 (4): 1-4.
- [20] Stowasser M, Wang Y, Hamilton K P. Tropical cyclone changes in the western North Pacific in a global warming scenario [J]. *J Climate*, 2007, 20 (11): 2 378-2 396.
- [21] Giorgi F, Shields C. Tests of precipitation parameterizations available in latest version of NCAR regional climate model (RegCM) over continental United States. *J Geophys Res*, 1999, 104, 6353-6375 窗体底端
- [22] Emanuel, K. Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. *Nature*, 2005, 436, 686-688