

刘祥宇,陈学恩,张洪欣.东海区风场降尺度模拟影响因子研究[J].海洋气象学报,2017,37(2):74-82.
Liu Xiangyu, Chen Xueen, Zhang Hongxin. Influence factors on dynamical downscaling of sea surface winds over East China Sea[J].
Journal of Marine Meteorology, 2017, 37(2): 74-82. DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2017.02.009. (in Chinese)

东海区风场降尺度模拟影响因子研究

刘祥宇^{1,2}, 陈学恩¹, 张洪欣²

(1. 中国海洋大学海洋与大气学院, 山东 青岛 266100; 2. 国家海洋局北海海洋技术保障中心, 山东 青岛 266033)

摘要: 基于中尺度 WRF 模式, 采用 NCEP FNL 最终分析资料作为初始场和侧边界条件, 以 2009 年为例, 对中国东海区风场进行了动力降尺度研究, 旨在检验 WRF 模式长期积分的动力降尺度能力, 并考察动力降尺度方法在东海区的适用情况, 为东海区多年时间尺度的风场降尺度研究提供参考。结果表明, 3 种不同积分方式模拟的风场均能较好地描述东海区风场的季节变化, 且整体在冬季的模拟, 要优于夏季的模拟。5DAY 试验模拟效果最优, 其他两组试验稍差。说明每 5 d 更新一次初始场的积分方式能够最好地描述东海区风场。每 10 d 更新一次初始场比起 1 a 连续积分模拟效果并无优势, 连续长期积分模拟虽会导致系统误差累积, 但定期更新初始场的方法并不一定能有效改善东海区风场的模拟效果。对于加入谱逼近方案的 3 种积分方式模拟的风场, 每 10 d 更新一次初始场的试验对加入谱逼近方案响应最为明显。但就总体试验效果, 5DAYS 试验模拟效果仍然是最好的。加入谱逼近方案使得 1 a 连续积分这种积分方式模拟效果变差。由此说明, 加入谱逼近方案后, 采用 5 d 更新一次初始场的方式驱动, 每次积分时间较短, 初始场的作用还较强, 故其改善效果不如 10 d 更新一次初始场; 对于 1 a 连续积分, 谱逼近方案使得初始场的改变导致了连续积分的误差积累增大。

关键词: WRF 模式; 降尺度; 谱逼近方案

中图分类号: P435 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-3599(2017)02-0074-09

DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2017.02.009

Influence factors on dynamical downscaling of sea surface winds over East China Sea

LIU Xiangyu^{1,2}, CHEN Xueen¹, ZHANG Hongxin²

(1. College of Oceanic and Atmospheric Sciences, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 2. North China Sea Marine Technical Support Center, SOA, Qingdao 266033, China)

Abstract For the representation of the winds over the East China Sea, the paper investigated the applicability of dynamically downscaling the NCEP FNL (Final Analysis) data by the weather and research forecasting (WRF) model. Three numerical experiments were conducted: 1) simply 1-year control integration of WRF (i.e., YEAR); 2) update the FNL initialization data every 5 days (i.e., 5DAY); and 3) update the FNL initialization data every 10 days (i.e., 10DAY). The results showed that all the three experiments were able to simulate the winds reasonably, especially in winter, and the

收稿日期: 2017-02-03; 修订日期: 2017-06-09

基金项目: 国家重点研发计划专项 (2016YFC1401300); 海洋公益性行业科研专项 (201505007); 山东省重点研发计划项目 (2016CYJS04A01)

作者简介: 刘祥宇 (1989—), 男, 硕士, 主要从事海洋调查观测技术和数据分析研究, lxylxy2121@163.com。

通信作者: 陈学恩 (1971—), 男, 博士, 教授, 主要从事海洋环流动力学理论与数值模拟以及海洋仪器装备海上试验平台技术的研究, xchen@ouc.edu.cn。

experiment 5DAY preformed best among them. Moreover, the paper added the spectral nudging scheme into the three experiments and explored its effects on each experiment.

Key words WRF model; downscaling; spectral nudging scheme

引言

近年来,对于一些极端的天气和气候事件,由于其发生的区域性比较强,对其分析及预测仍然存在诸多难题。此外,现有的全球大气观测资料在时空分布上很不均匀,尤其是在海洋上的气象观测资料极为匮乏,进一步加大了分析及预测天气和气候过程的难度。随着数值模型、数据同化以及计算资源的快速发展,多个全球气候模式被用来建立气候变化场景^[1-3]。新一代的全球大气模式已被证明能够模拟很多大尺度和全球的气候过程^[4]。然而,因受限于气候变化的影响对于局地变化更加地敏感,单纯应用全球大气模式资料对区域气候影响的研究仍然没有很好的解决办法^[5]。为了解决这一问题并满足区域性信息的需要,区域气候模式的研究有了很大的进展,并且已经成为气候模式研究中最常用的方法之一。一般来说,全球模式的空间分辨率是相对较低的(几百千米),不能很准确地刻画区域特征。降尺度方法是一个解决全球气候模式模拟区域气候问题非常有效的方法,现在最常用的方法是动力降尺度。动力降尺度是一种利用相对较粗分辨率的全球气候模式或再分析资料获得目标区域高分辨率的气候或者气候变化信息的方法。利用这种方法,全球大气模式数据可以为一个有限区域模型提供侧边界条件,海表面温度(SST)以及初始地表状态参量。

然而,在区域模式的降尺度研究中,区域模式对积分时间的敏感程度是一个尚待解决的问题。Qian等^[6]针对模式对积分时间的敏感程度,考察不同积分时间后的统计结果与真实气候态的差异,他们利用区域气候模式 RegCM2,比较了长期的连续积分与分段的中期和短期积分的相对表现,以及在动力降尺度过程的误差增长,发现每10 d更新一次初始场,在提高降尺度能力方面更有优势。Denis等^[7]通过研究区域气候模式在降水预报上的能力,对比地面平均降水率的时间序列发现,在最初的2天里模拟准确率表现较差,而在随后的第2天至12天里表现出较高的准确率,然后从第13天开始准确率逐渐降低,这主要是由于长期积分带来的系统误差累积造成的。

除了积分时间因素外,区域气候模式有许多其他误差来源,例如数值计算的近似、有限的分辨率、次网格尺度的物理作用参数化以及地形的有限描述等。在区域气候模式中增加小尺度特征并保留大尺度特征的尝试已经对平衡模式性能产生了挑战。针对这一问题,Waldron等^[8]提出了在区域模式中引入谱逼近方法,这种方法是在谱空间向模式内加入逼近项,以调整模式内部的大尺度环流场向强迫场靠近,而模式可以自主发展中小尺度的物理过程。

然而,谱逼近方法的适用性,也是重要的研究课题^[9-12]。Von Storch等^[9]率先将谱逼近方法应用到区域气候模式中,其模拟试验结果表明,谱逼近方法确实能够使高空大尺度环流场向强迫场逼近,同时在很大程度上改善模拟效果。但Yhang和Hong^[10]探究了谱逼近技术对东亚夏季风模拟的作用,通过对为期26 a的东亚夏季风的模拟,他们认为谱逼近方法对于夏季风季节模拟效果总体来说是中立的,并无明显的优势。

东海是中国三大边缘海之一,是中国岛屿最多的海域,包括中国的钓鱼岛。东海处于海陆过渡带之东亚季风气候区,并常受到气候异常和极端天气过程的影响。然而,东海区的气象观测资料分布不均匀、分辨率不足,特别是海上观测资料极为有限。目前,针对中国海区的风场进行动力降尺度的研究较少,没有专门针对东海区风场的动力降尺度研究。

WRF(Weather Research and Forecasting)模式已被广泛应用于天气尺度的模拟,本文将利用FNL(Final Operational Analysis)再分析资料驱动WRF模式,分别进行三组不同积分时间(5 d、10 d、1 a)的试验,对风场的风速和风向模拟结果与多平台交叉海面风场计划(CCMP)资料进行比较,并对3组试验再分别加入谱逼近方案对比其对模拟的优化程度,检验WRF模式长期积分的动力降尺度能力并考察动力降尺度方法在东海区的适用情况,为东海区更长时间尺度风场的降尺度研究提供参考。

1 WRF降尺度不同积分方式对比试验

1.1 试验设计与数据

本文使用区域模式WRF3.4.1对东海海域进行

动力降尺度模拟,模式积分的初始场和侧边界条件由美国国家环境预报中心(NCEP)提供的水平分辨率为 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$,6 h 一次的最终分析资料(FNL),并以NOAA的每天更新1次、 $0.5^{\circ}\times 0.5^{\circ}$ 的海温资料为模式底边界条件。模拟过程由控制试验(YEAR试验)和2组对比试验(5DAY试验和10DAY试验)3部分组成。控制试验在积分过程中初始场不进行更新,只提供1次初始场,5DAY试验每5 d更新1次初始场,10DAY试验每10 d更新一次初始场,并且2组对比试验每次积分的spin-up time均为2 d,该时段内的数据不予分析,除此之外的其他设置均相同。

模式模拟的区域设置:模式选用墨卡托投影方式,模式的中心经度为 125°E ,中心纬度为 28°N ,采用双重双向嵌套网格,不仅母网格会起到驱动子网格的作用,子网格的信息也会向母网格反馈。大区分辨率为30 km,经向和纬向的格点数分别为127和94,小区分辨率为10 km,经向和纬向的格点数分别为151和166,模拟区域覆盖整个东海海域(图1),垂直方向44层。

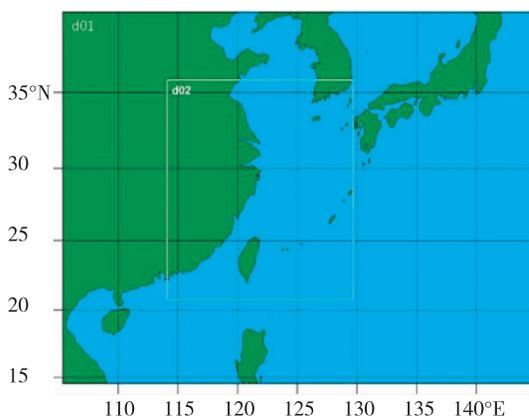


图1 模式嵌套模拟采用的大小区域
Fig.1 The setting of the experiment's domain

模式模拟采用主要的物理参数化方案有:WSM6微物理方案,KF积云参数化方案,YSU边界层参数化方案,RRTM长波辐射方案,Dudhia短波辐射方案,Monin-Obukhov近地面层方案和Noah陆面过程方案。

因为考虑到spin-up的2 d时间,并且为了使得3组试验(5DAY试验、10DAY试验和YEAR试验)积分时间相等,模式模拟时间为362 d,即2009年1月1日00时—12月28日18时。每6 h输出一次结果,共计1 448个时刻的结果,去掉最开始2 d的spin-up结果,即1 440个时刻的结果。

为了反映各试验对于加入谱逼近方案的响应程度以及加入谱逼近方案后各试验之间的差距变化,又设计了3组试验(5DAYS试验、10DAYS试验和YEARS试验),分别是在原有积分时间试验基础上只加入谱逼近方案的试验,其他模拟方式完全相同,再对结果进行比较和分析。

本文用于模式对比的资料是CCMP(Cross-Calibrated, Multi-Platform)资料。CCMP由NASA地球科学事业提供项目支持,该数据集采用增强的变分同化分析法,同化了来自SSM/I, TMI, AMSR-E, QuikSCAT/SeaWinds和ADEOS-II/SeaWinds等多种海洋被动微波和散射计遥感平台的海面风或近地面风资料,空间分辨率为 $0.25^{\circ}\times 0.25^{\circ}$ 。对CCMP资料按照模式小区域的网格,进行分辨率为10 km的差值处理。

1.2 不同积分方式下风速试验结果分析

本部分要对3种积分方式的模拟结果与CCMP资料进行风速的对比和分析。首先对3种积分方式的模式结果进行月平均,与CCMP资料的月平均结果进行对比分析,再将3种积分方式模拟结果的1年全部时次(1天4次)的风速结果与CCMP资料风速进行对比和分析。

图2为3组试验的模拟结果与CCMP资料在1月、4月、7月、10月月平均的海面风场对比图。从图中可以发现:3组试验对于东海区风场的季节变化均得以体现,夏季受西南风控制,冬季由偏北风控制。但在风速的模拟上,冬、春季3组试验模拟误差较小;夏、秋季节,5DAY试验和10DAY试验模拟偏强,YEAR试验模拟偏弱。

为了进一步清晰地比较3种积分方式的模拟风速结果与CCMP资料,将3种积分方式模拟结果的风速与CCMP资料做差进行比较(图3)。从图中可以发现,在冬、春季节,3组试验在东海近岸海域以及台湾海峡风速模拟偏大;整体而言,3组试验模拟结果差距不明显。在夏、秋季节,YEAR试验整体在东海大部分海域内模拟风速偏弱 $1\sim 2\text{ m/s}$,5DAY和10DAY试验风速结果相对更加接近CCMP资料,5DAY试验和10DAY试验在东海近岸海域和东海东南部模拟风速偏强 $1\sim 2\text{ m/s}$;整体而言,5DAY试验模拟效果最好,其他2组试验稍差。

模拟场与对比实测资料的均方根误差(RMSE)反映了两者的偏差程度,数值越大代表模拟效果越差。计算了3种积分方式的模拟结果在12个月里的月平均风速与CCMP资料的均方根误差(图4a)。

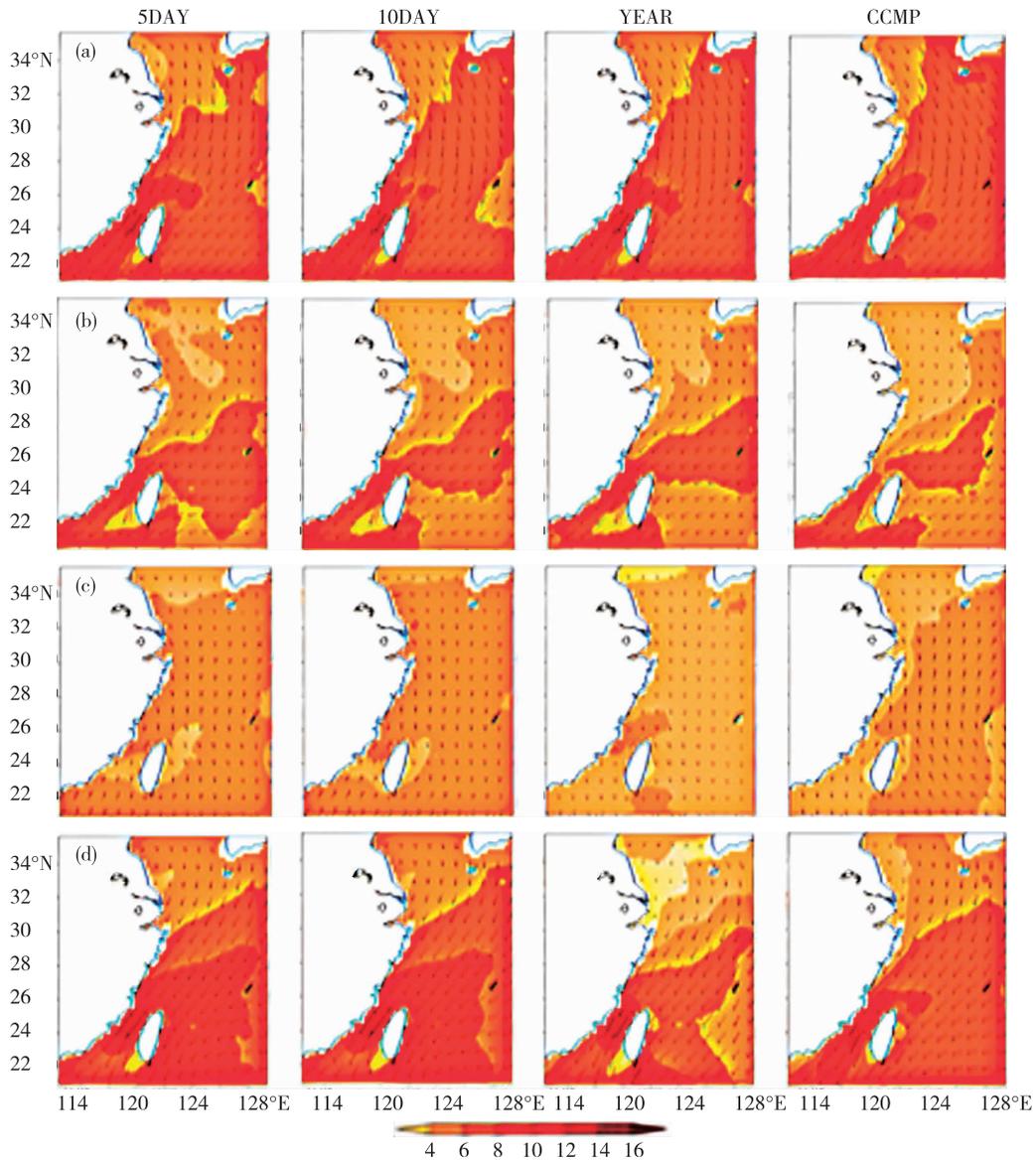


图 2 3 组试验结果以及 CCMP 资料在 1 月(a)、4 月(b)、7 月(c)和 10 月(d)月平均风场对比(填色为风速,单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
 Fig.2 Monthly mean wind field of the simulation and CCMP (Cross-Calibrated, Multi-Platform) in January (a), April (b), July (c) and October (d) (Color represents wind speed, unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

可以发现,在冬、春季节 3 组试验均方根误差相差不大,均在 0.9 m/s 左右。但在夏、秋季节 3 组试验相差较大,5DAY 试验均方根误差在 $0.8 \sim 1.3 \text{ m/s}$; 10DAY 试验均方根误差更大些,都在 1.2 m/s 以上,8 月甚至达到 2.6 m/s 左右。

空间相关系数(CC)反应了模拟场与对比实测资料间空间形态分布的相似程度,数值越大代表空间分布的相似程度越高。计算了 3 种积分方式的模拟结果在 12 个月里的月平均风速与 CCMP 资料的空间相关系数(图 4b)。可以发现,在冬、春季节 3 组试验的空间相关系数相差不大,均在 $0.7 \sim 0.9$ 之间。但在夏、秋季节,3 组试验的结果差距较大,而

且 5DAY 试验明显优于 10DAY 试验,10DAY 试验明显优于 YEAR 试验,3 组试验的相关系数均通过 99% 的置信度检验。

综合以上两个统计指标,可以发现,对于月平均的东海区风场风速季节的模拟能力,5DAY 试验模拟效果最好,10DAY 试验与 YEAR 试验模拟效果相对较差。

对 3 种积分方式模拟结果的全部时次风速与 CCMP 资料对应所有时次进行对比分析,分析每个格点 1 440 个时次的整体模拟效果,进一步比较 3 种积分方式的风速模拟效果。

首先计算模式风速结果与 CCMP 资料风速的

时间相关系数。从图5中可以发现,5DAY的模拟效果最好,东海大部分区域内相关系数均在0.7以上,且在台湾海峡、长江口等附近海域相关系数达到0.75以上。而10DAY试验相对效果最差,只在台湾海峡和东海北部效果较好;在台湾岛以东海域相关系数较低,在0.45以下。YEAR试验相对10DAY试验要好些,但在东海大部分海域的相关系数仍不及5DAY试验。

此外,计算了模式风速结果与CCMP资料风速的均方根误差。从图6中可以发现,5DAY试验整体均方根误差最低;在东海北部,均方根误差普遍小于 2.4 m/s ;在台湾岛附近海域均方根误差较大,在 3 m/s 左右。YEAR试验均方根误差相对较大一些,在东海大部分海域内较5DAY试验偏高,且在琉

球以东海域均方根误差偏大。10DAY试验均方根误差整体最大,东海大部分海域在 3.0 m/s 以上。上述比较分析进一步验证,5DAY试验模拟效果最好,YEAR试验模拟效果次之,10DAY试验模拟效果较差。

综合以上对3种积分方式模拟性能的比较和分析,可知3种积分方式模拟月平均风场的结果均能较好地刻画东海区月平均风场的风速,且在冬季的风速模拟要优于夏季。其中,5DAY试验在风速模拟中,不管是在月平均计算方法下,还是在全部时次的比较下,效果均为最好;其他2组试验中,YEAR试验相比10DAY试验在风速的模拟效果上较好。

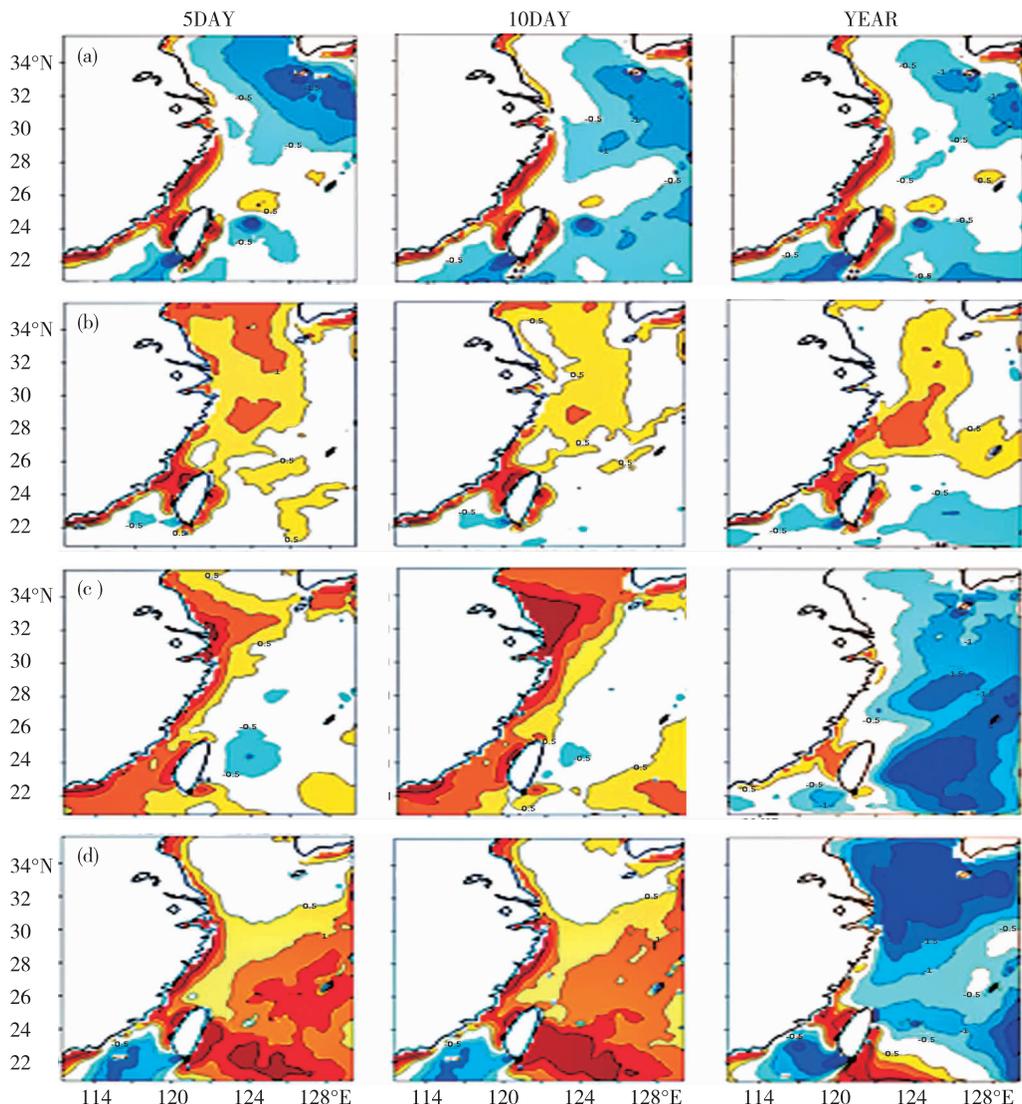


图3 3组试验结果与CCMP资料在1月(a)、4月(b)、7月(c)和10月(d)月平均风速差值对比(填色为风速,单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
Fig.3 Monthly mean wind speed bias of the simulation and CCMP in January (a), April (b), July (c) and October (d) (Color represents wind speed, unit: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

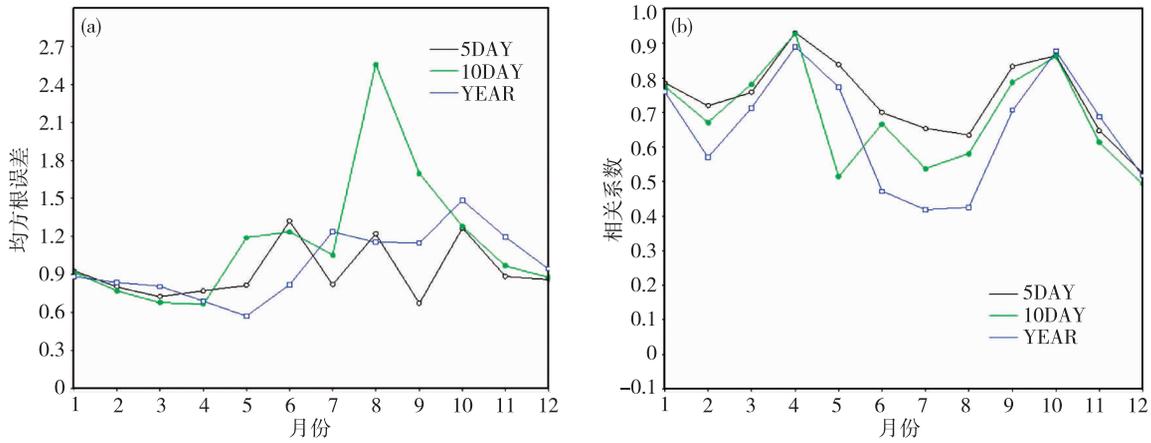


图 4 3 组试验结果与 CCMP 资料各月月平均风速场均方根误差(a)与空间相关系数(b)
 Fig.4 Monthly mean RMSE (a) and CC (b) of wind speed from three tests' results

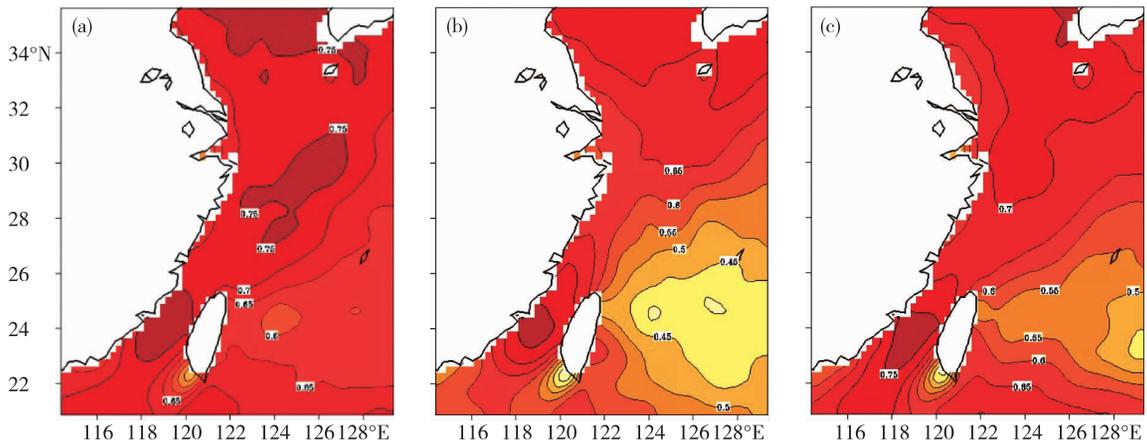


图 5 3 组试验结果全场风速与 CCMP 资料 1 440 个时次的时间相关系数分布(a. 5DAY, b. 10DAY, c. YEAR)
 Fig.5 The CC of wind speed from three tests' 1 440 results (a. 5DAY, b. 10DAY, c. YEAR)

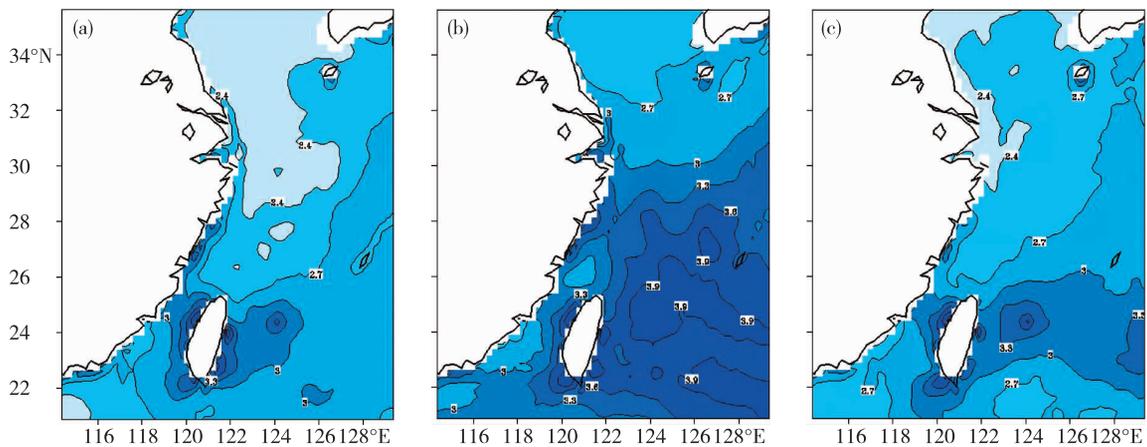


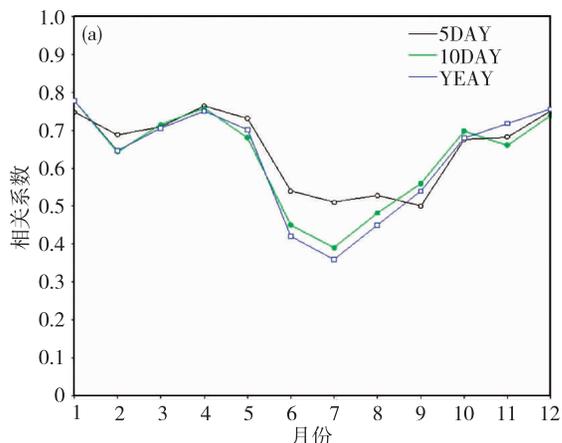
图 6 3 组试验结果风速与 CCMP 资料全场 1 440 个时次的均方根误差分布(a. 5DAY, b. 10DAY, c. YEAR)
 Fig.6 The RMSE of wind speed from three tests' 1 440 results (a. 5DAY, b. 10DAY, c. YEAR)

1.3 不同积分方式下风向试验结果及分析

计算 3 种积分方式的模拟结果,对风向进行月

平均处理,具体是采用 u, v 分量的矢量相加再做平均的方法,再与 CCMP 资料进行对比。通过计算 3

种积分方式的模拟结果在12个月里的月平均风向与CCMP资料的空间相关系数(图7a)可知,5DAY试验相关系数整体最高,尤其表现在夏季相关系数整体高于其他2组试验,相关系数在0.5以上;



10DAY试验次之;YEAR试验表现较差。从图7b可以看出,5DAY试验均方根误差较低,一般在 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 之间;在夏、秋季节,3组试验差距较大,而且5DAY均方根误差最小,其他2组试验相对较差。

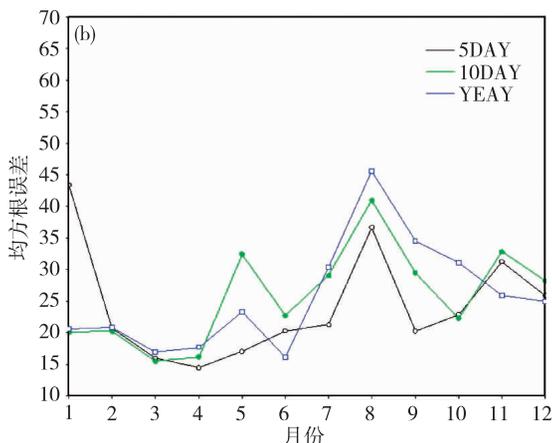


图7 3组试验结果与CCMP资料各月月平均风向空间相关系数(a)与均方根误差(b)

Fig.7 Monthly mean CC(a) and RMSE(b) of wind direction from three tests' results

进一步计算模式风向结果与CCMP资料风向全部时次的时间相关系数。从图8中可以发现,5DAY的模拟效果最好,东海南部大部分区域内相关系数均在0.6以上,且在台湾海峡和台湾海峡南部等附近海域相关系数可达到0.75以上,但在东海

北部相关系数稍低。而10DAY试验相对效果稍差,在台湾海峡南部和东海北部效果较好,在台湾岛以东海域相关系数较低,在0.45以下。YEAR试验相对10DAY试验较差,琉球附近海域的相关系数不及0.4,但在台湾海峡相关系数仍在0.65以上。

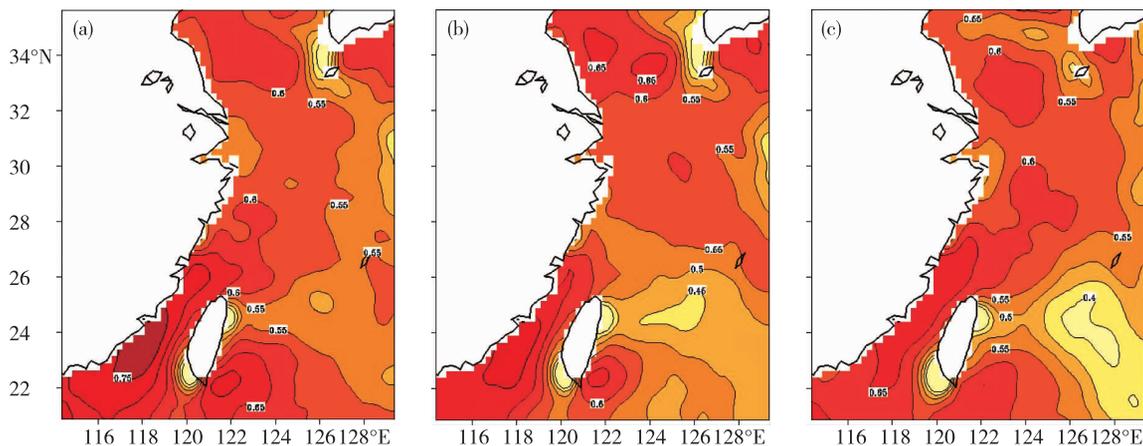


图8 3组试验结果全场风向与CCMP资料1440个时次的时间相关系数分布(a. 5DAY, b. 10DAY, c. YEAR)

Fig.8 The CC of wind direction from three tests' 1440 results (a. 5DAY, b. 10DAY, c. YEAR)

最后计算模式风向结果与CCMP资料风向的均方根误差。从图9中可以发现,5DAY试验整体均方根误差最低;在东海北部以及台湾海峡,均方根误差普遍小于 45° ;东海东部海域均方根误差较大,均方根误差在 50° 以上。10DAY试验与YEAR试验相对5DAY试验均方根误差大一些,在东海大部分海域内较5DAY试验偏高,并在琉球以东海域

均方根误差偏大。由以上比较分析可知,5DAY试验模拟效果最好,其他2组试验风向模拟效果稍差。

综合以上对3种积分方式模拟性能的比较和分析,可知3种积分方式模拟的结果均能较好地刻画东海区风场的风向,且在冬季的风向模拟上要优于夏季。5DAY试验模拟效果最优,其他2组试验稍差。说明每5d更新1次初始场的积分方式能够最

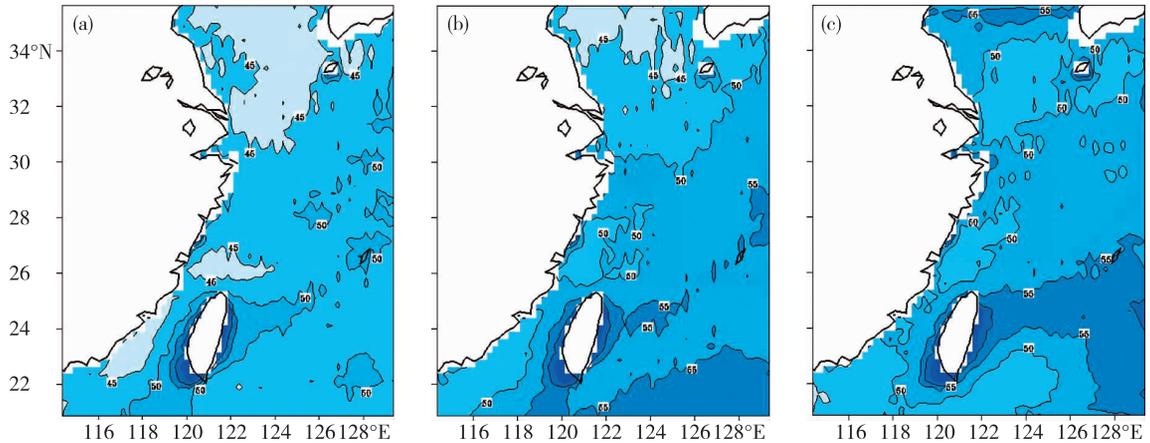


图 9 3 组试验结果风向与 CCMP 资料全场 1 440 个时次的均方根误差分布(a. 5DAY, b. 10DAY, c. YEAR)
Fig.9 The RMSE of wind direction from three tests' 1 440 results (a. 5DAY, b. 10DAY, c. YEAR)

好地描述东海区风场。每 10 d 更新 1 次初始场比起 1 a 连续积分模拟效果并无优势,连续长期积分模拟虽会导致系统误差累积,但定期更新初始场的方法并不能够一定有效改善东海区风场的模拟效果。

2 谱逼近方案对 WRF 降尺度的评估

为了反映各试验对于加入谱逼近方案的响应程度以及加入谱逼近方案后各试验之间的差距变化,又设计了 3 组试验(5DAYS 试验、10DAYS 试验和 YEARS 试验),分别是在原有积分时间试验基础上只加入谱逼近方案的试验,其他模拟方式完全相同,再对结果进行比较和分析。

现将 6 组试验全时次风速风向的区域全场平均值由表 1 列出。从表中可以发现,对于不加入谱逼近方案的 3 组试验,正如第 1 部分的结论一样,5DAY 试验模拟效果最好,其他 2 组试验稍差,这一结论在风向风速的空间相关系数(CC)和均方根误差(RMSE)中均有体现;对于加入谱逼近方案后的 3 组试验,不难发现,不同积分方式的模拟效果对比仍然是和第 1 部分的结论一致,并且 YEAR 试验反而在加入谱逼近方案后结果变差。

为了更加清晰地对比不同积分方式的试验在加入谱逼近方案的响应程度,根据表 1,通过做差计算得到表 2。从表中可以发现,对于加入谱逼近方案后,每 10 d 更新 1 次初始场的积分方式响应程度好于每 5 d 更新 1 次初始场的积分方式,改善效果最好,并且体现在风向风速的 RMSE 和 CC 的 4 组数据上,对于 1 年连续积分的结果,加入谱逼近方案反而使模拟效果变差,同样体现在风向风速的

RMSE 和 CC 的 4 组数据上。但对于改善更多的 10DAYS 试验,模拟效果仍不及 5DAYS 试验,并且模拟风速结果不如 YEARS 试验。

表 1 6 组试验全时次风速风向区域全场平均值

Table 1 The average of wind speed and direction of full times

试验名称	风向 RMSE/ (°)	风速 RMSE/ (m · s ⁻¹)	风向 CC	风速 CC
5DAY	47.88	2.672	0.586 5	0.697 1
5DAYS	47.13	2.663	0.597 0	0.702 2
10DAY	51.69	3.309	0.559 7	0.586 4
10DAYS	50.01	3.175	0.573 2	0.607 5
YEAR	52.48	2.772	0.554 0	0.644 9
YEARS	53.21	2.775	0.544 6	0.644 4

表 2 加入谱逼近方案后的优化程度

Table 2 The extent of improvement on the experiment added spectral nudging schemes %

积分方式	风向 RMSE	风速 RMSE	风向 CC	风速 CC
5 d 更新	1.57	0.33	1.79	0.73
10 d 更新	3.25	4.05	2.41	3.60
1 a 连续	-1.39	-0.11	-1.70	0.08

对于加入谱逼近方案的 3 种积分方式模拟的风场,每 10 d 更新 1 次初始场的试验对加入谱逼近方案响应最为明显。但就总体试验效果,5DAYS 试验模拟效果仍然是最好的。

加入谱逼近方案使得 1 a 连续积分这种积分方式模拟效果变差。由此说明,加入谱逼近方案后,采用 5 d 更新 1 次初始场的方式驱动,每次积分时间较短,初始场的作用还较强,故其改善效果不如 10 d 更新 1 次初始场;对于 1 a 连续积分,谱逼近方

案使得初始场的改变导致了连续积分的误差积累增大。

3 结论

本文基于 WRF 模式,对东海区风场进行降尺度研究,通过对比每 5 d 更新 1 次初始场、每 10 d 更新 1 次初始场,以及 1 a 连续积分这 3 种积分方式的试验来对比不同积分方式的模拟效果,再对这 3 组试验分别加入谱逼近方案,进行模拟效果的对比,评价谱逼近对于东海区风场降尺度的模拟效果和最佳积分方式的适用情况。主要研究结论如下:

1) 3 种积分方式模拟的风场均能较好地描述东海区风场的季节变化,且整体上来说,在冬季的模拟,要优于夏季的模拟。5DAY 试验模拟效果最优,其他 2 组试验稍差。说明每 5 d 更新 1 次初始场的积分方式能够最好地刻画东海区风场。每 10 d 更新 1 次初始场比 1 a 连续积分模拟效果并无优势,连续长期积分模拟虽会导致系统误差累积,但定期更新初始场的方法并不一定能够有效改善东海区风场的模拟效果。

2) 对于加入谱逼近方案的 3 种积分方式模拟的风场,每 10 d 更新 1 次初始场的试验对加入谱逼近方案响应最为明显。但就总体试验效果,5DAYS 试验模拟效果仍然是最好的。加入谱逼近方案使得 1 a 连续积分这种积分方式模拟效果变差。由此说明,加入谱逼近方案后,采用 5 d 更新 1 次初始场的方式驱动,每次积分时间较短,初始场的作用还较强,故其改善效果不如 10 d 更新 1 次初始场;对于 1 a 连续积分,谱逼近方案使得初始场的改变导致了连续积分的误差积累增大。

参考文献:

- [1] Ji M, Kumar A, Leetmaa A. A multiseason climate forecast system at the National Meteorological Center[J]. Bull Amer Meteor Soc, 1994, 75(4):569-577.
- [2] Palmer T N, Alessandri A, Andersen U, et al. Development of a European multimodel ensemble system for seasonal-to-interannual prediction (demeter)[J]. Bull Amer Meteor Soc, 2004, 85(6):853-872.
- [3] Stockdale T N, Anderson D L T, Alves J O S, et al. Global seasonal rainfall forecasts using a coupled ocean-atmosphere model [J]. Nature, 1998, 392 (6674): 370-373.
- [4] Solomon S, Qin D, Manning M, et al. IPCC, 2007. Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007:996.
- [5] Shukla J. Predictability in the midst of chaos: A scientific basis for climate forecasting [J]. Science, 1998, 282 (5389):728-731.
- [6] Qian J H, Seth A, Zebiak S. Reinitialized versus continuous simulations for regional climate downscaling [J]. Mon Wea Rev, 2003, 131(11):2857-2874.
- [7] Denis B, Laprise R, Caya D, et al. Downscaling ability of one-way nested regional climate models: The Big-Brother Experiment [J]. Climate Dyn, 2002, 18 (8): 627-646.
- [8] Waldron K M, Paegle J, Horel J D. Sensitivity of a spectrally filtered and nudged limited-area model to outer model options [J]. Mon Wea Rev, 1996, 124 (3): 529-547.
- [9] Von Storch H, Langenberg H, Feser F. A spectral nudging technique for dynamical downscaling purposes [J]. Mon Wea Rev, 2000, 128(10):3664-3673.
- [10] Yhang Y B, Hong S Y. A study on large-scale nudging effects in regional climate model simulation[J]. Asia-Pac J Atmos Sci, 2011, 47(3): 235-243.
- [11] 曾先锋,周天军.谱逼近方法对区域气候模式性能的改进:不同权重函数的影响[J].气象学报,2012,70(5): 1084-1097.
- [12] 宋寔,汤剑平.谱逼近方法在东亚夏季降水区域模式模拟中的适用性研究:区域大小和位置的影响[J].气象学报,2011,69(2):297-309.