

HYCOM模式SST的预报误差订正

韩玉康¹, 余丹丹¹, 申晓莹¹, 周媛媛²

(1. 中国人民解放军31010部队, 北京 100081; 2. 中国人民解放军91208部队, 山东 青岛 266102)

摘 要: 尝试了一种新的通过自回归模型进行模式预报订正的方法:通过1992—2006年的卫星遥感和NERSC-HYCOM模式模拟的SST资料,计算模式15 a的历史误差序列,建立自回归模型AR(p),来估算2007年和2008年两年的误差,并用来对输出的模式资料进行修订,对修订后的模式预报结果进行检验。可以得出:经过数据订正以后,模式SST的均方根误差明显减小,相关系数增大,模式误差在很大程度上得到消减,订正效果明显;同时,订正效果也存在时间和空间上的差异,不同时刻,不同海域订正效果不尽相同。该方法计算过程简单,计算量小,便于实现。总体而言,利用本文方法对模式SST的预报订正具有很强的操作性和可应用性。

关键词: HYCOM; SST; 误差订正; 自回归模型

中图分类号: P731.31 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2018)03-0076-05

1 引言

随着海洋环流模式的改进和发展,人们对局部海洋和各大洋的海洋水文要素和海况的模拟和预报日益精细化,计算精度和准确度不断提高。但是,无论是大气模式还是海洋模式,虽然模式自身不断完善,但是模式值和实况值之间始终存在误差。为减小误差,人们作了很多工作:利用模式嵌套技术,最大可能的提高模式分辨率;不断改进、发展各种同化技术,通过资料同化,来提高模式的初始场精确度;优化参数化过程,减小因参数化而带来的模式误差;改进模式的计算网格,减小计算误差。除此之外,模式数值预报的误差订正也成为一种减小模式误差的有效方式,很多学者提出了不同的订正方法和释用技术,如Kalman滤波^[1-2],集合Kalman滤波^[3-4],人工神经网络BP模型^[5-6],演化算法^[7],支持向量机^[8],变分^[9],回归^[10]、统计^[10-11]等等,都取得了一些成效。

但是这些方法都是应用于气象数值预报的误差订正,对于海洋数值模式的误差订正的工作我们

至今还鲜有知晓。随着人们对海洋的日益重视,海洋的精细化预报也变得越来越重要。南海位于最大的大陆和最大的大洋之间,地理位置特殊,是西北太平洋面积最大的一个半封闭边缘海,大致位于98.5°~122.5°E, 0°~24.5°N之间,最大水深5 000 m,具有其独特的气象海洋环境。本文尝试一种新的方法,对NERSC-HYCOM(Nansen Environmental and Remote Sensing Center-Hybrid Coordinate Ocean Model)模式的南海SST的数值预报进行误差订正,以增进模式预报准确性。

2 方法和资料

2.1 误差订正原理与方法

2.1.1 数值模式与误差

模式数值预报的原理就是一个赋给初值的微分方程的求解过程,可以表示为:

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} = L(\xi) \quad (1)$$

$$\xi(r, t_0) = \xi_0(r) \quad (2)$$

收稿日期: 2017-07-18; 修回日期: 2017-08-21。

基金项目: 国家自然科学基金(41306010)。

作者简介: 韩玉康(1990-), 工程师, 硕士, 主要研究海洋环流数值模拟研究。E-mail: yukang_han@163.com

式中: $\xi(r, t)$ 是模式的变量, r 和 t 表示空间和时间, $L(\xi)$ 代表模式对变量的运算, (1)式表示模式对变量随时间变化的计算; $\xi_0(r)$ 代表 $\xi(r, t)$ 在 $t=0$ 时刻的值, (2)式表示给定模式的初始场。

但是实际大气海洋过程和模式计算之间并不会完全相同, 二者之间存在一定的误差, 记为 $E(\xi)$, (1)式可变为:

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} = L(\xi) + E(\xi) \quad (3)$$

从式(3)来看, 如果能找到或者计算出模式和实际物理过程之间的误差, 就可以对模式预报的变量进行修订, 使之更加接近真实情况, 预报更加准确。

2.1.2 自回归模型

p阶自回归模型, 又称AR(p):

$$X_t = \phi_1 X_{t-1} + \phi_2 X_{t-2} + \cdots + \phi_p X_{t-p} + a_t \quad (4)$$

式中: X_t 为p阶自回归过程, ϕ_i ($i=1, 2, \cdots, p$) 称作自回归系数, 且 ϕ_p 异于0, a_t 是一个白噪声过程。它描述了一个以白噪声 a_t 及 X_t 的以往值 X_{t-k} ($k=1, 2, \cdots, p$) 为输入, 以 X_t 为输出的递归滤波线性关系。求解自回归模型系数, 有 Yu-Walker 法和 Burg 法, 前者是用自相关函数确定自回归系数, 后者用预报误差之和为最小的原则计算自回归系数。

本文通过 15 a (1992—2006 年) 的历史资料, 计算模式的历史误差序列; 建立自回归模型, 来估算 2007 年和 2008 年两年的误差, 并用来对输出的模式资料进行修订, 得到修订后的模式预报结果。具体流程如下:

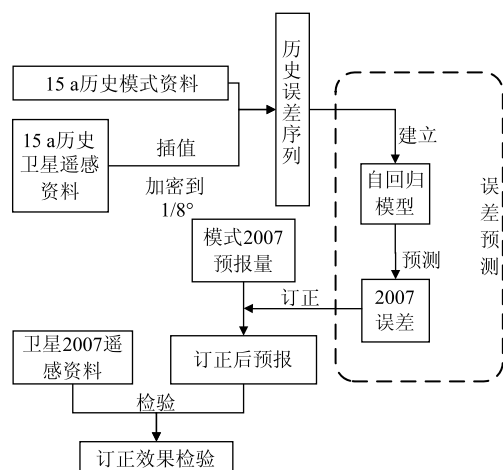


图 1 误差订正流程

2.2 资料

本文的模式资料来自挪威的南森环境遥感中心基于标准版 HYCOM 模式而改进的 NERSC-HYCOM 海洋环流模式。时间分辨率为 1 d, 空间分辨率为 $1/8^\circ$ 。SST 卫星遥感资料是 NOAA 1/4 degree Daily OI SST Analysis, 时间分辨率为 1 d, 空间分辨率 $1/4^\circ$ 。

3 结果分析

3.1 均方根误差

均方根误差又称标准误差, 是用来衡量观测值与真值之间的偏差, 表示为:

$$S = \sqrt{\frac{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + \cdots + (x_n - y_n)^2}{N}} \quad (5)$$

式中: S 就是均方根误差, x_1, x_2, \cdots, x_n 为观测值序列, y_1, y_2, \cdots, y_n 为真值序列, N 是每种资料的序列的样本数。在本文中, 观测值指模式资料 (x 序列), 真值指卫星遥感资料 (y 序列)。

图 2 反映了对模式预报进行数据订正前后, 模式相对于卫星遥感资料的均方根误差, 细线代表原始均方根误差, 粗线代表数据订正后的误差。可以看出, 订正之前, 模式误差较大值主要出现在夏季最大值达到 2°C 以上, 其次是秋季和春季, 冬季最小, 平均在 1°C 左右。反应模式基本具有比较好的模拟效果, 但是仍存在一定的误差。在进行了订正之后, 效果比较明显, 特别是在夏季, 在 2007 年夏季, 平均的均方根误差由 2°C 减小到平均 0.7°C , 减小了 60% 多; 在其他季节, 由于本来的误差相对较小, 所以改进效果不如夏季明显, 但是仍然具有平均 0.25 左右的减小。

3.2 相关系数

相关系数是表示两个要素之间的相关程度的特征值。两个数列的相关系数 r 表示为:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (6)$$

式中: \bar{x} 是序列 x_i ($i=1, 2, \cdots, n$) 的均值, \bar{y} 是序

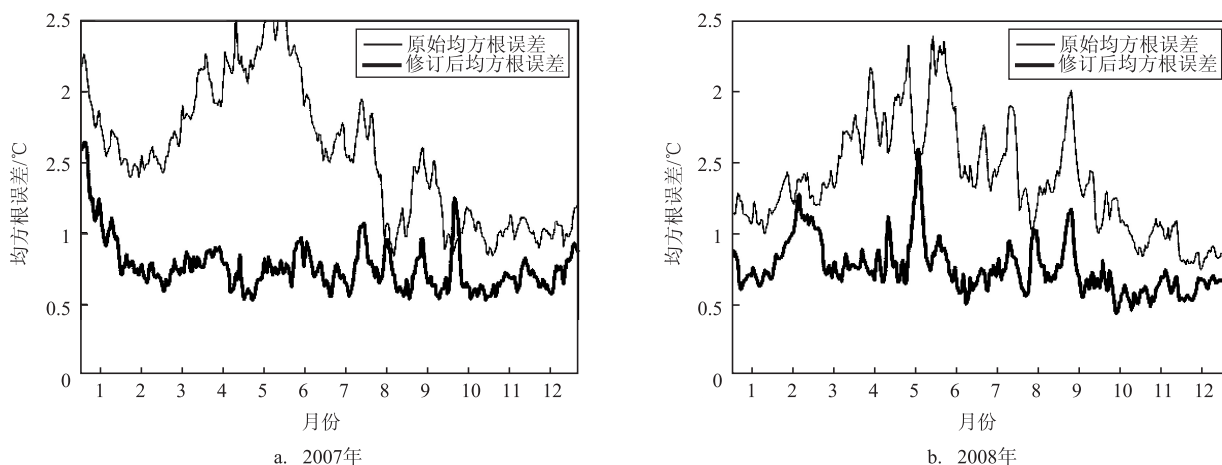


图2 2007年和2008年订正前后的均方根误差对比

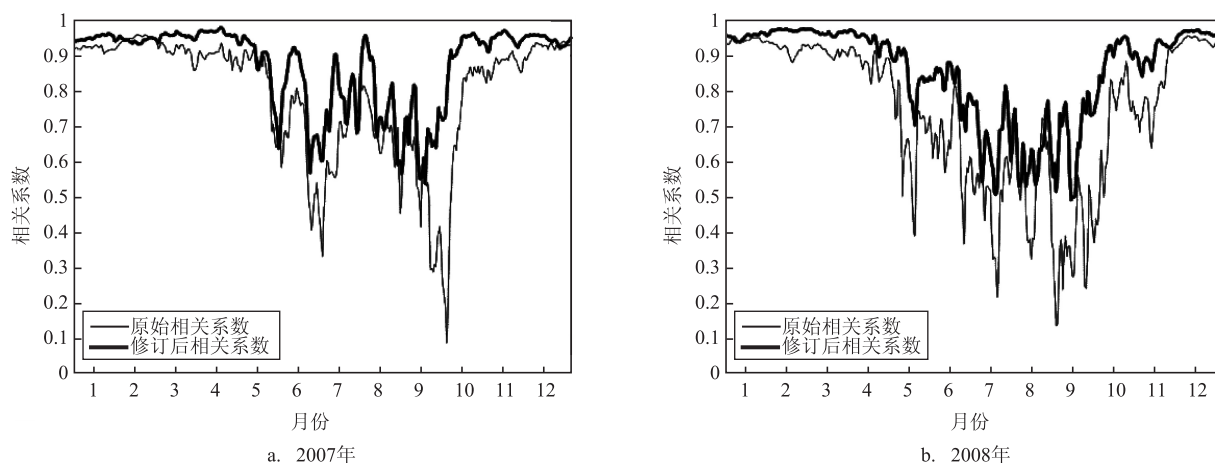


图3 2007年和2008年订正前后的相关系数对比

列 y_i ($i=1, 2, \dots, n$) 的均值, n 为每个序列的样本数。

从相关系数中也可以看出,模式的模拟误差主要存在于夏季和秋季,春季和冬季的相关系数都能达到0.95以上,而夏季和秋季相对较差。探究原因,夏秋季,特别是夏季,南海台风过程较多,台风过程导致南海海表面温度降低,而模式在海气相互作用方面相对薄弱,导致误差较大及相关系数较低。另一方面,南海夏秋季海流相对较强,黑潮较强,南海的中尺度涡及一些次级涡旋较多,涡旋对海水垂向运动影响较大,改变海表面温度,也是模式误差大、相关性低的一个很重要的原因。

经过订正,就相关系数来看,整体增加,有一定

的改进;但是由于夏、秋季自身原始相关性较差,所以改进后相关性虽然有了一定提高,但是仍然还没有达到冬季和春季一样较好的相关好。

3.3 单站的 SST 修订

为了更加直观的看出订正前后 SST 与卫星遥感资料的对比结果,我们选取南海中央一单点(115°E、15°N点),观察其 SST 在 2007 年和 2008 年的模式订正前、后的值与卫星遥感值随时间的变化(见图 4)。可以看出模式资料基本可以反映南海 SST 的一年中随时间的变化,一个先增大再减小的趋势,但是也存在一定的误差,夏季误差最大,秋季和春季次之,冬季拟合效果比较好,误差最小。经过订

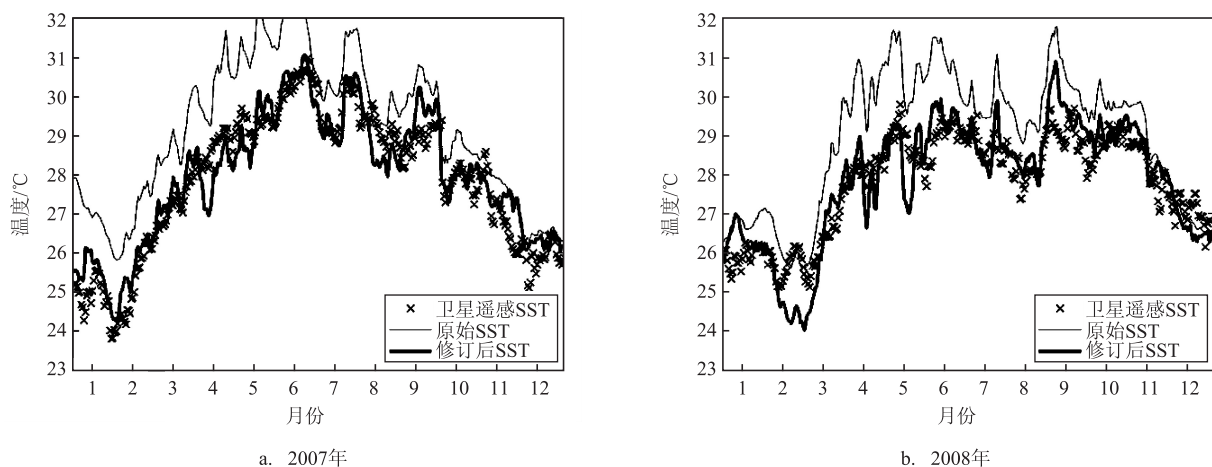


图4 2007年和2008年南海中部单站的订正前后的温度和卫星遥感资料的对比

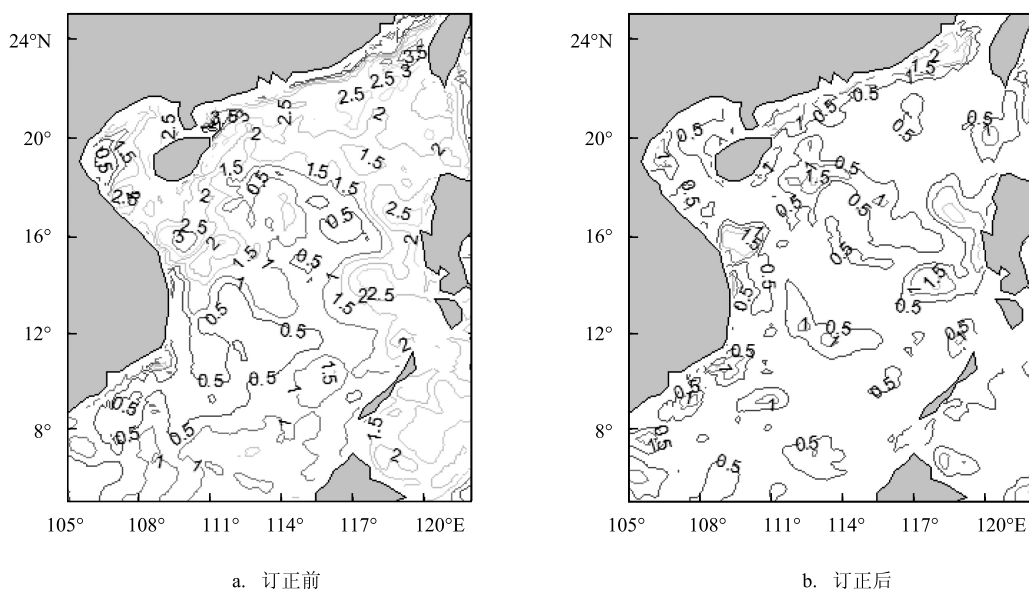


图5 2007年南海误差分布

正以后,误差减小明显,卫星遥感资料和修订后的数据之间比较接近,二者图像基本重合,很多时刻,误差的减小量达到接近 2°C 。从图中可以直观的看出,经过修订的模式预报与真实值更加接近,预报更加准确。

3.4 误差分布

为了能够了解在整个南海海域的订正效果,我们选取2007年的中间时刻(第183 d),作为订正对象,将模式的SST在整个南海进行订正(见图5)。

从订正之前的误差来看,主要误差较大区域存在于台湾岛西南、海南岛东北、越南东部沿岸和菲律宾西部沿岸,南海中部、南部海域模式误差较小,预报效果比较好。经过订正以后,整个南海的预报效果都有了一定程度的改进,台湾岛西南和海南岛东部分海域的误差都得到了很好的消减,其他两个误差较大海域也有一定的订正效果,但是效果有待改进。可以看到订正效果存在区域差异,不同海域的订正效果不尽相同,主要误差存在于靠近海岸的区域。近岸存在较大误差,可能是模式自身模拟误差导

致,也可能是由于卫星资料在近岸反演误差较大造成,还需在今后寻找其他实况资料,做进一步的验证。

4 小结

本文尝试了一种新的模式预报订正方法,通过自回归模型进行模式误差的预测,并对 NERSC-HYCOM 模式的 SST 预报进行订正和效果检验,可以得出:

(1)NERSC-HYCOM 的模式对南海 SST 的预报比较好,能得到其基本状况和变化趋势。模式的误差,从时间上来看主要存在于夏季,从空间位置上来看主要存在于沿岸海区;

(2)经过数据订正以后,模式 SST 的均方根误差明显减小,相关系数增大,订正效果明显;

(3)订正效果也存在时间和空间上的差异,不同时刻,不同海域订正效果不尽相同。

总体而言,利用本文方法对模式 SST 的预报订正具有一定的操作性和可应用性。

参考文献:

[1] 佟华,郭品文,朱跃建,等.基于大尺度模式产品的误差订正与统

计降尺度气象要素预报技术[J].气象,2014,40(1):66-75.

[2] 王辉赞,张韧,王彦磊,等.基于 Kalman 滤波的副热带高压数值预报误差修正[J].热带气象学报,2006,22(6):661-666.

[3] 刘科峰,张韧,徐海斌,等.支持向量机与卡尔曼滤波集合的西太平洋副热带高压数值预报误差修正[J].气象学报,2007,65(3):450-457.

[4] Smith K W. Cluster ensemble Kalman filter[J]. *Tells A: Dynamic Meteorology and oceanography*, 2007, 59(5): 749-757.

[5] 徐海斌,张韧,刘科峰,等.小波分解与 SOFM-BP 网络结合的西太平洋副高数值预报产品优化技术[J].热带气象学报,2007,23(3):265-270.

[6] Zhang R, Yu Z H, Jiang Q R. Neural network BP model approximation and prediction of complicated weather systems[J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2001, 15(1): 105-115.

[7] 万仕全,何文平,封国林,等.数值模式误差订正方法初探[J].高原气象,2014,32(2):460-466.

[8] Griffith A K, Nichols N K. Adjoint methods in data assimilation for estimating model error[J]. *Flow, Turbulence and Combustion*, 2000, 65(3-4): 469-488.

[9] 符伟伟,周广庆.利用回归修正方法改善区域耦合模式中的 ENSO 模拟[J].中国科学 D 辑:地球科学,2007,37(5):705-712.

[10] 李佰平,智协飞. ECMWF 模式地面气温预报的四种误差订正方法的比较研究[J].气象,2012,38(8):897-902.

[11] 张兰慧,尚可政,程一帆,等.数值预报产品的误差订正方法[J].兰州大学学报(自然科学版),2011,47(3):44-49.

Study on the correction of SST prediction of HYCOM

HAN Yu-kang¹, YU Dan-dan¹, SHEN Xiao-ying¹, ZHOU Yuan-yuan²

(1. Unit 31010 of PLA, Beijing 100089 China; 2. Unit 91208 of PLA, Beijing 266102 China)

Abstract: A new error-correction model was proposed based on the AR(p) in the paper. Based on the historical SST error sequence derived from the satellite remote sensing data and model data from 1992 to 2006, the AR(p) was built to estimate the model error of 2007 and 2008, and to correct the model data. The results showed after being corrected, the MSE (Mean Squared Error) of model SST reduced significantly and the correlation coefficient increased, reflecting good effect of this method. The effects of correction were changed in time and space. The method had its own advantage: simple process, small calculation, easy to implement. The method we used to correct model error was very operable and applicable.

Key words: HYCOM; SST; error-correction; AR(p)