

文章编号: 2096-1618(2017)03-0289-08

同化 Argo 海洋廓线观测对 CAS-ESM-C 的上层海洋温度模拟的改进

杜梦蛟^{1,2}, 陈权亮¹, 林壬萍², 郑飞²

(1. 成都信息工程大学大气科学学院 高原大气与环境四川重点实验室, 四川 成都 610225; 2. 中国科学院大气物理研究所 国际气候与环境科学中心, 北京 100029)

摘要:基于中国科学院地球系统模式气候分量系统(CAS-ESM-C)最新发展的海洋资料同化系统,分别同化 Argo(array for real-time geostrophic oceanography,实时地转海洋学观测阵)海洋温盐廓线观测和 SST(sea surface temperature,海表温度)观测资料,并与实际观测数据及模式自由积分结果对比,研究同化海洋廓线对海气耦合模式海温模拟的改进。分析结果表明,同化海洋廓线和 SST 观测均能减小模拟的 SST 偏差,有效改进热带太平洋暖池、冷舌结构的模拟。但对于海洋上层 200~400 m 温度而言,同化 SST 的改进效果微弱,同化海洋廓线观测能显著改进模式对其模拟的效果,使得同化后的 1000 m 深度以上海温的均方根误差(root mean square error, RMSE)平均减小至 1 °C,减小幅度超过 60%;同时对于热带太平洋上层海温的垂直分布及温跃层结构模拟改进显著,西太平洋暖池区 200~400 m 海温模拟偏差减小约 6 °C,减小幅度超过 80%。

关键词:海洋资料同化;Argo 海洋廓线观测;海洋温度模拟;CAS-ESM-C

中图分类号:P456.7

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2017.03.010

0 引言

气候系统模式能反映气候系统各圈层间复杂相互作用,是研究当前气候的特征和行为、了解其过去演变、预测其未来变化的不可替代的工具。中国科学院大气物理研究所(简称 IAP),一直在不断致力于气候系统模式的发展研究工作,中国科学院地球系统模式气候分量系统是日前较为成熟的气候系统模式。对该模式性能的初步评估表明,它和国际上一些主要气候系统模式模拟能力基本相当^[1];没有明显的气候漂移,各分量的气候平均态整体上都比较合理;模式能真实地模拟出海冰覆盖的季节循环;东亚季风降水的季节迁徙特征在模式中的再现,说明模式对东亚季风气候有着较好的模拟能力;在对 ENSO(el niño-southern oscillation)事件周期(包括发生、发展、衰退阶段)的模拟中,可以较好地模拟出热带太平洋 SST 的年循环和年际变化特征,以及 ENSO 的季节锁相特征。同时,该模式同目前国际上大多数耦合模式在海洋模拟中存在的问题类似^[2-3],比如,在从厄尔尼诺转变至拉尼娜事件发生的相互作用过程中,由于模式模拟的热带太平洋温跃层结构呈现为非常浅薄的缓坡结构,主要存在以“双赤道辐合带(intertropical convergence zone, ITCZ)”,热带太平洋冷舌偏强、暖池偏弱

的为代表的热带偏差,从而导致模式模拟的 ENSO 周期较短,年际变率平均振幅偏强^[4]。经过对该模式选用不同的积云对流参数化方案后研究发现,云量模拟的改进不易实现同时对“双 ITCZ”与冷舌、暖池模拟效果的改进^[5]。

地球的气候系统是一个由多圈层共同组成的有机整体,在目前国际上常见的耦合气候模式当中,描述各圈层之间能量交换的方程不够完善,并且模式初始场具有较大的不确定性。而海洋拥有巨大的热容量与热惯性,相比大气而言对于气候变化有更强的“记忆”能力,说明仅依赖大气模式的模拟结果进行气候预测是不现实的,海洋模式自身的性能对于耦合气候模式意义重大。因此大多数模式基本都使用了同化海洋观测资料的方法,为模式提供合理的海洋初始场,改进耦合模式整体模拟性能,并运用于科学研究及业务之中,对于天气预报与气候预测的能力均有提高^[6-10]。

基于上述原因,在 CAS-ESM-C 模式中采用根据集合最优插值(ensemble optimal interpolation, EnOI)方法新发展的全球海洋资料同化系统后,可以同化卫星高度计、SST 等多源的海洋观测资料。目前,对其初步的评估表明耦合模式海洋各变量的模拟结果都更加接近观测,误差更小,与观测场的相关性更好^[11]。在仅同化加入 SST 卫星观测资料后,海表与次表层海温的模拟偏差有所减小,对于 ENSO 周期及振幅的模拟有所

加强,其对于大气的反馈,如全球海平面气压场、降水分布等变量的模拟同样有所改善,改进了中国所在的东亚地区夏季降水与环流场模拟。但是仅同化 SST 仍无法有效提高整个海洋的模拟改进,比如,其对于全球海温的模拟影响只能到200 m深度左右,耦合模式的 ENSO 周期与模式自由积分基本一致,表现为周期较短,年际变率平均振幅偏强^[12],说明需要加入更多的海洋上层观测来进一步改进目前 CAS-ESM-C 模式中的海洋资料同化结果。

自 20 世纪 90 年代 Argo 计划实施至今,尤其 2004 年之后各国加大了对 Argo 浮标的投放后,提供了大量海水温度与盐度的剖面(深度为 0 ~ 2000 m)观测资料^[13]。这些资料的利用无疑将会大大促进海洋和大气科学的发展,将使人类加深对海洋过程的了解,揭示海-气相互作用的机理,为建立新一代全球海洋和大气耦合模型的初始化条件、资料同化和动力一致性检验提供了一个前所未有的巨大数据库,提高长期天气预报和短期气候预测的能力^[14]。目前,已有多个国家的机构将 Argo 同化资料投入到业务预报系统当中,对于模式的海洋模拟能力及短期气候预测水平有着较为明显的提高^[15-19]。

将基于新发展的海洋资料同化系统,介绍在 CAS-ESM-C 模式中同化加入 Argo 海洋廓线资料后对模式上层海洋温度模拟的改进。

1 资料和方法

1.1 模式介绍

CAS-ESM-C 是一个具有模块化结构,以耦合器作为核心,包含大气模式、海洋模式、陆面模式和海冰模式 4 个地球物理动力模块的全球耦合模式。

CAS-ESM-C 的大气分量是中国科学院大气物理研究所最新发展的第四代大气模式 IAPAGCM-4 (IAP4)。IAP4 水平分辨率为 $1.4^\circ \times 1.4^\circ$,垂直方向共有 26 层。海洋分量采用 LICOM,它是对 LASG/IAP (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)第三代全球大洋环流模式 L30T63 改进后而形成的新版本,水平分辨率 $1^\circ \times 1^\circ$,垂直方向 30 层。除了北极点被处理为一个孤岛外,模式范围是全球的。陆面分量为 NCAR 发展的通用陆面模式 CLM3。海冰分量为 NCAR 研制的 CSM 海冰模式 CISM5。耦合器采用 NCARCCSM3 的耦合器 CPL6。在耦合模式运行过程中,4 个分量模式同时积分,以一定的时间间隔与耦合器交换信息。耦合器从分量模式接收物理场,计算、投影和合并有关数据,随后再将其

发送给各分量模式,从而完成数据交换,完成耦合。

1.2 同化方法

使用 EnOI 方法^[20-21],是一种常用的资料同化方法,通过求解如下分析方程得到:

$$\psi^a = \psi^b + \alpha(C \cdot P)HT(\alpha H(C \cdot P)H^T + R)^{-1}(\psi^o - H\psi^b) \quad (1)$$

其中, $\psi = (h_0, t, s, u, v)$ 代表模式的状态向量, h_0 为海面高度, t 为海温, s 为盐度, u, v 代表水平流速;上标 a, b, o, T 分别表示分析场、背景场、观测及矩阵的转置; H 是观测算子; C 是一个相关函数,用于将背景场误差协方差局地化; R 是观测误差协方差矩阵; α 是一个标量系数,用来调整背景场误差协方差和观测误差,使用的 $\alpha = 0.4$;协方差的相对大小 P 是背景场误差协方差矩阵,由下式给定:

$$P = \frac{A'A'T}{N-1} \quad (2)$$

其中, N 是集合样本数, A 是静态样本矩阵,为 N 个模式状态的集合,是模式状态异常的集合; N 为集合样本数,采用 108 个静态样本,即 $N = 108$ 。

1.3 数据

英国气象局 (Met Office) Hadley 气候中心提供的经偏差订正等质量控制过程之后得到了一套 Argo 海洋廓线观测资料^[22-23]。

(1)英国气象局 Hadley 气候中心通过对 EN4 温盐廓线观测数据进行客观分析得到的 EN4 再分析数据。此数据格式为常见的格点资料,水平分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$,垂直分层按模式分层插值后为 30 层,覆盖全球,时间分辨率为 1 月,此资料作为观测结果使用。

(2)英国气象局 Hadley 气候中心提供的海洋温盐观测资料集,该资料是非常规的格点资料,数据分布不均匀,随实际观测位置变动而变动,在全球范围内大致满足 $3^\circ \times 3^\circ$ 的分布,在热带海洋分布较密,高纬海洋观测数据则相对较少,同化 Argo 海洋廓线试验使用此资料。

(3)NOAA(美国国家海洋和大气管理局)提供的 SST 的逐日高分辨率融合分析资料 (OISST),由 AVHRR(改进的超高分辨率辐射计)红外卫星 SST 资料,以及船舶、浮标的现场观测资料通过最优插值分析得到。同化前对该资料进行了稀疏化处理,将水平分辨率改为 $1^\circ \times 1^\circ$,覆盖全球,时间分辨率为 1 天,同化 SST 试验使用此资料。

1.4 试验方案

对耦合气候模式中海洋部分采用 EnOI 方法分别对 Argo、OISST 两种海洋观测资料进行同化,见表 1。

表1 用 EnOI-方法对 Argo, OISST 两种海洋观测资料同化结果

试验名称	试验简称	同化数据及窗口时间	试验时长
同化 Argo 海洋廓线资料试验	Argo_Assim	Argo7 天同化一次	2004-2014 年
同化 OISST 观测资料试验	SST_Assim	OISST7 天同化一次	1986-2015 年,选取 2004-2014 年
模式自由积分对照试验	Control	不同化	积分 30 年,选取最后 11 年

2 模拟结果对比分析

2.1 对 SST 模拟的改进

从图1给出的全球 SST 长期平均分布,可以清楚地看到对照试验结果表现出对冷舌的模拟强度偏弱、西伸过长,西太平洋暖池模拟强度偏弱、范围偏小的现象。两个同化试验的模拟结果与对照试验相比均有所改善,能够模拟出热带太平洋西部暖池、东部冷舌的正确结构。在北半球中、高纬度地区,如西北太平洋黑潮

区、北大西洋湾流区等中尺度涡较为集中,混合层深度较深的区域,同化廓线能有效地减少同化 SST 在这些区域存在的较大偏差,改进幅度可达 $6\text{ }^{\circ}\text{C}$;在热带地区,同化廓线的模拟结果略好于同化 SST。相比对照试验,两组同化试验对 SST 的模拟均有改进,但同化 SST 试验偏差较大的区域,均为温跃层结构模拟难度偏大的区域,即表明以温跃层为代表的海洋次表层结构对于 SST 模拟存在一定影响,仅同化表层信息在上述区域不足以完全改进次表层海温模拟,从而使得 SST 模拟存在较大偏差。

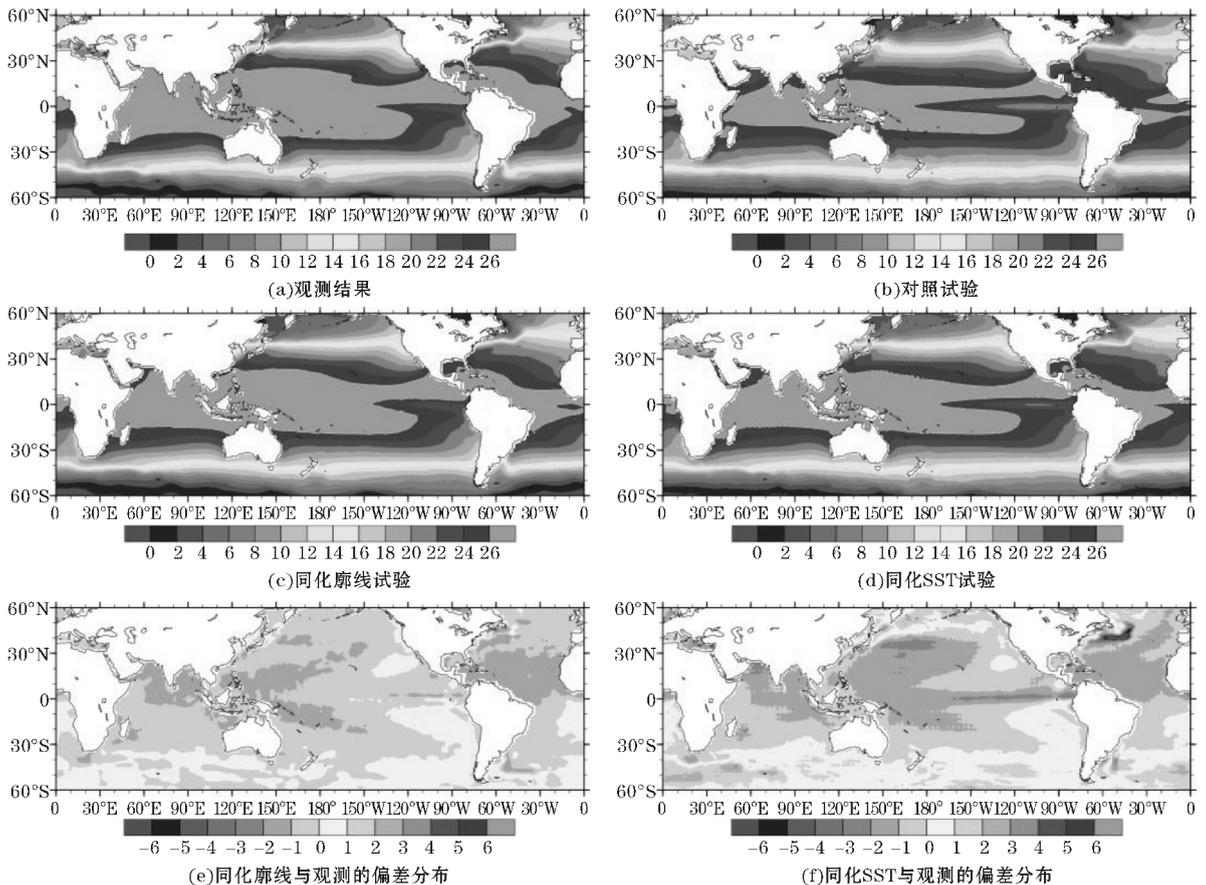


图1 2004-2014 年 SST 长期平均结果的空间分布

2.2 对上层海温模拟的改进

从图2给出的全球海温的 $RMSE$ 垂直分布可见,尽管从图1的 SST 空间分布上同化 SST 在个别区域的偏差大于同化廓线,但在海洋表层,同化 SST 的全球海

温平均 $RMSE$ 略小于同化廓线,即同化 SST 对于模式模拟 SST 的改进略优于同化廓线。在 $50\sim 400\text{ m}$ 深度,模式模拟的海温较其它深度而言存在较大误差,尤其为对照试验的 $RMSE$ 最大(大于 $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$);同化 SST 在此深度内的改进相当有限,大致只能维持到 200 m

深度附近,再加深时结果基本与对照试验的 $RMSE$ 相等,即同化 SST 不能完全实现对模式中上层海温模拟的改进,这与海温的垂直分布有关:温跃层分割表层与中下层海水,温跃层本身为一温度和密度发生巨大变化的浅薄水层,SST 资料所包含的海温信息很难穿越海温变化剧烈的温跃层到达下方海水,从而导致对于中上层海温模拟的改进微弱;同化廓线虽然在这一深度内的 $RMSE$ 相比其它深度略大,但与对照试验、同化 SST 试验对比,明显降低了海温模拟的 $RMSE$,能够有效减小模拟偏差,使得模拟结果更为接近观测,对模式改进明显,即廓线所包含的上层海温信息能够通过同化程序传递进入包括温跃层在内的中上层海洋中,并维持模式对于该深度海温更为接近观测的长期模拟。在400 m以下深度,3种模拟试验的结果均表现出较小的 $RMSE$,其中同化廓线的 $RMSE$ 稍少于对照与同化 SST 试验。表明廓线虽包含有此深度范围内的观测信息,但模式自身模拟结果与观测值已经较为接近,模拟误差与观测误差较为接近甚至较小,因此同化对模拟能够起到一定的改善作用,但不如在模式误差较大深度(50~400 m)处作用明显。

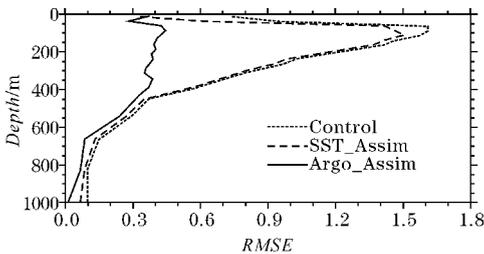


图2 2004-2014年模拟的全球平均海温的 $RMSE$ 垂直分布

基于上述结果,将模式的海温分为0~50 m,50~400 m,400~1000 m 3个深度范围进行讨论,以便更为直观的分析同化试验对于不同深度海温模拟的改进。

从0~50 m海温分布从图3可见,对照试验与同化 SST 试验的偏差分布较为一致,集中在北半球中、高纬大洋和热带太平洋地区,尤其是北大西洋湾流区,偏差及 $RMSE$ 均大于6℃。同化廓线对于中、高纬大洋的海温模拟则有明显改进,黑潮区与湾流区的偏差及 $RMSE$ 均减小到接近1℃;但同化廓线对于东太平洋海温模拟与同化 SST 相比,改进不如中、高纬海温明显,可能由于该地区受 ENSO 事件循环影响(尤其是 CP 型厄尔尼诺事件),海温的年际变化较其它海域更为剧烈,而时间平均后的海温空间分布无法完全反映出这一变化,由此表现为一定的偏差。

图4的50~400 m平均海温显示对照试验与同化 SST 试验对于热带西太平洋的暖池及温跃层结构的模拟存在超过6℃以上的偏差,这一偏差很可能对模式中热带太平洋的能量循环及对大气模式的耦合反馈都应存在着一定影响;同化廓线使得热带东太平洋的偏差及 $RMSE$ 减少了约2℃,模式对于 ENSO 年际循环的模拟能力应将有所提升。北半球中高纬大洋模拟结果的偏差分布基本与0~50 m一致;南半球中高纬大洋的海温模拟,3种试验的结果相差不大,应是模式本身的性能较好、模式误差较小,也可能与廓线观测资料在此地区较为稀少有关。值得注意的是,0~50 m和50~400 m海温模拟,同化廓线都能将大部分海温的 $RMSE$ 减小到1℃以内,仅有各别地区接近2℃,即同化廓线使得海洋模式海温模拟有较好的整体改进。

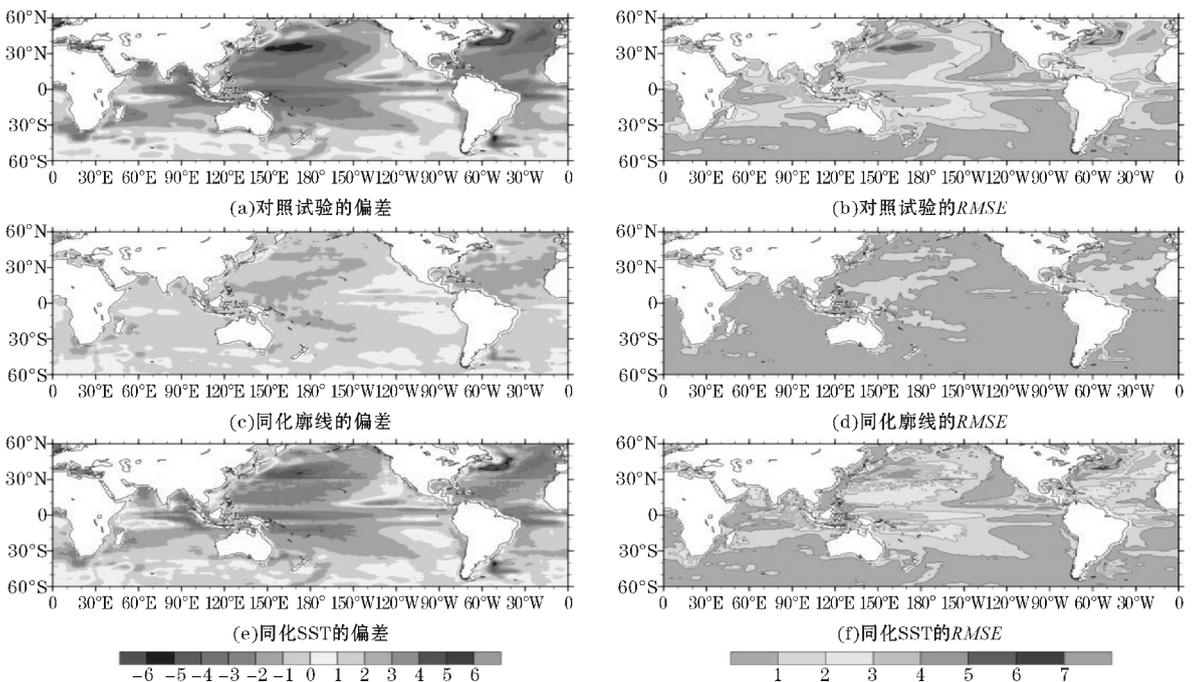


图3 0~50 m海温模拟与观测的 Bias 及 $RMSE$ 空间分布

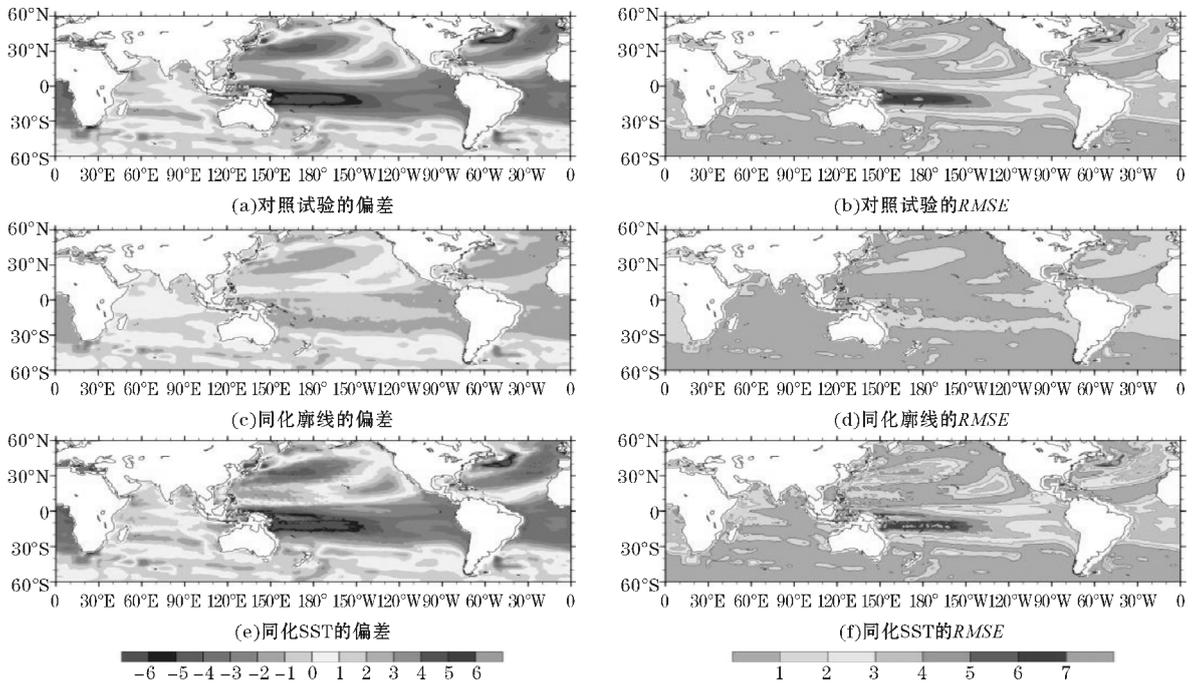


图4 50~400 m 海温模拟与观测的偏差及 RMSE 空间分布

上述对于时空平均的分析未包含模拟结果随时间演变的情况,为此结合图2的海温垂直分布结果,将海温的时间序列分为3类深度进行分析(图5)。从图5可见,全球、热带海温表现出较为一致的变化趋势,热带海温各层的 RMSE 较全球偏大,即模拟结果的偏差在热带更为显著,这与之前的结果相一致,是因为大气模式降水和高云、低云的模拟误差经海洋-大气的耦合反馈作用放大,经过一系列演变后形成了模式表现出的热带海温偏差。在0~50 m的 RMSE 时间序列中,同化 SST 的结果稍好于对照试验,但与同化廓线存在着接近1℃的误差,也印证了图2仅有表层模拟结

果同化 SST 稍好,但对于中上层海温改进不明显的结论。在50~400 m,同化廓线的 RMSE 能维持较小的数值,而对照试验与同化 SST 的 RMSE 均大于1℃,个别时间甚至与廓线相差超过1℃以上,即同化廓线在这一深度能够持续的对海温模拟进行有效改进。在400~1000 m,3种模拟试验的结果与图2所示的垂直分布结果一致, RMSE 均较小,且彼此相差不到0.1℃,但同化廓线的 RMSE 最小,原因与前文所述相同,该深度内模拟误差较小,导致同化的改进作用不如400 m以上海洋明显。

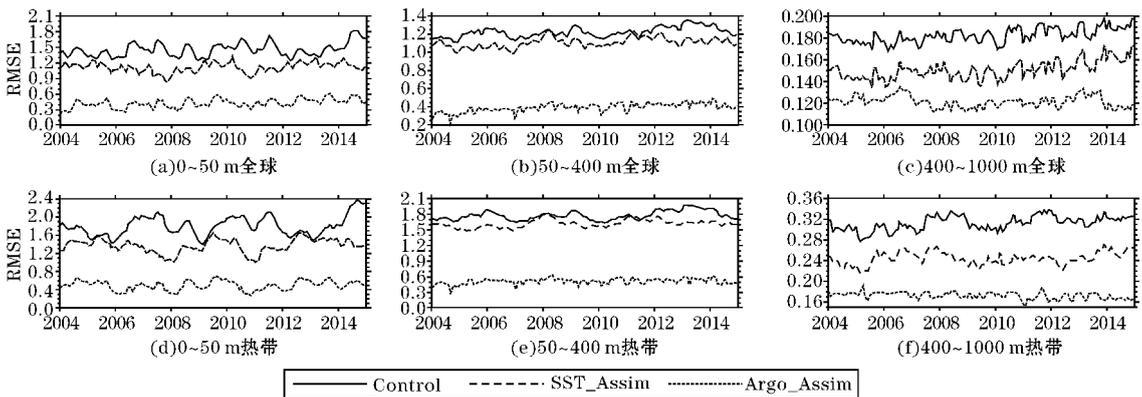


图5 全球热带海温 RMSE 的时间序列

2.3 对热带太平洋海温模拟的改进

占全球表面积8.2%的热带太平洋在全球气候变化中扮演着极为重要的角色,其年际及年代际的 SST

下降是造成当前全球变暖停滞的主要原因^[24-25],而从前文可知模式模拟的海温在热带太平洋表现出较大偏差,可能对全球气候变化研究存在一定影响。

从图6的热带太平洋海温垂直剖面分布图可见,

加入 SST 同化后,对200 m以上的海温模拟有改进,200 m以下则基本没有变化,即同化 SST 对于中下层的海温偏差没有修正,尤其在热带太平洋西侧暖池区200~400 m的海温中存在着一个超过6℃的冷偏差区,这一偏差严重影响了模式对于热带太平洋的模拟性能,使得温跃层表现为一条接近水平的带状结构,而不是观测表现出的西深东浅的坡状分布,很可能导致模式模拟的 ENSO 循环及大气的响应与观测事实不符。因 SST 所包含的表层信息很难穿过温跃层,无法影响到与表层海洋的物理过程存在区别的中下层海洋;同化廓线试验表明,加入廓线同化后,由于携带了大量有关热带太平洋2000 m以上的温度、盐度信息,经

由我们的同化程序可以有效传递到模式当中,使得热带太平洋的海温模拟得到了显著改进,整个热带太平洋的海温模拟更为接近观测, *RMSE* 均小于2℃,除东、西两侧及800 m深度左右部分区域的海温之外,大部分地区海温的 *RMSE* 小于1℃,这种从表层到深层的整体改进,相比对照试验及同化 SST 试验,消除了模式在热带太平洋西侧暖池区200~400 m存在的极大冷偏差,使得前文所述的在国际上大多数耦合模式中表现出的温跃层浅薄缓坡结构,于此模式中得到了明显改善与解决,对于模式海洋模拟的性能得以有效提升,经由耦合模式对于大气的反馈,应能够更好的运用于全球气候变化的研究当中。

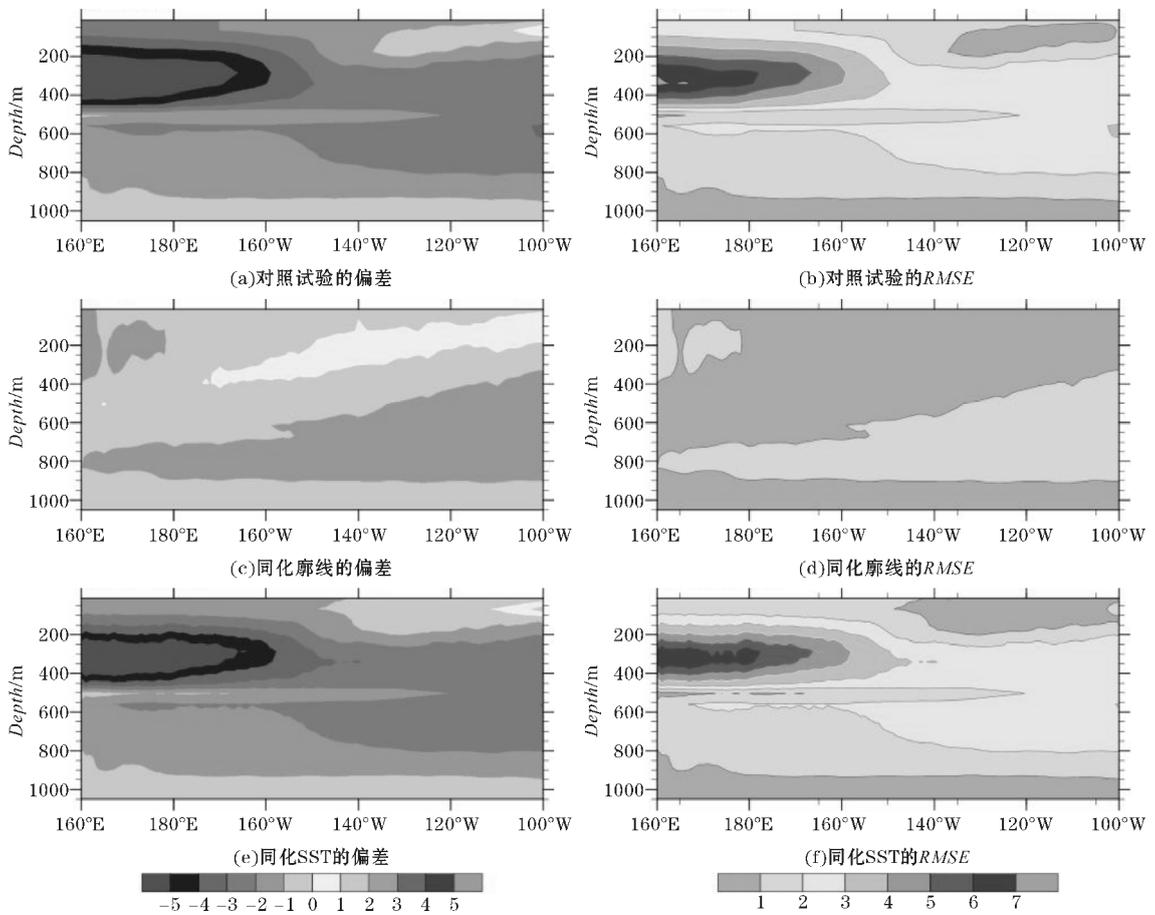


图6 热带太平洋(160°E~100°W,15°S~15°N)模拟海温垂直剖面的 Bias 及 *RMSE*

3 结论与讨论

基于中国科学院地球系统模式气候分量系统最新发展的海洋资料同化系统,分别同化了海洋 Argo 温盐廓线观测与海表温度 SST 观测,对比了不同类型观测资料对于耦合模式海温模拟的影响。结果表明,对于模式模拟热带太平洋 SST 出现的冷舌偏强、暖池偏弱等热带偏差,在同化海温观测资料后均能够得到一定

改进,与观测得到的 SST 分布有着较好一致性。对于全球海温的模拟,同化廓线能够明显改进1000 m以上的海温模拟,尤其对400 m以上的上层海温模拟改进最为明显,在海温模拟的时间序列中,同化廓线的 *RMSE* 始终维持在0.8℃以下,比其他两组试验减小约1℃。相比同化 SST 试验,同化廓线能够将热带太平洋西侧暖池中上层海温的模拟偏差减小6℃以上,模拟的温跃层结构得到了明显改进。

需要说明的是,文中仅分析了同化海洋廓线对于

模拟海温模拟的改进,对于 ENSO 周期及振幅的模拟情况 & 耦合模式经耦合交换后对大气模式中气温、气压、风场、降水等变量的模拟情况没有进一步检验分析,下一步工作将集中于检验同化试验对于模式短期气候预测性能的影响。

参考文献:

- [1] 孙泓川,周广庆,曾庆存,等. IAP 第四代大气环流模式的气候系统模式模拟性能评估[J]. 大气科学,2012,36(2):215-233.
- [2] Zheng Y, Lin J, Toshiaki S. The equatorial Pacific cold tongue simulated by IPCC AR4 coupled GCMs: Upper ocean heat budget and feedback analysis[J]. Journal of Geophysical Research Oceans, 2012,117(C5):78-91.
- [3] Hirota N, Takayabu Y N, Watanabe M, et al. Precipitation Reproducibility over Tropical Oceans and Its Relationship to the Double ITCZ Problem in CMIP3 and MIROC5 Climate Models[J]. Journal of Climate,2011,24(18):4859-4873.
- [4] Tonghua S U, Feng X, Sun H, et al. The El Niño Southern Oscillation cycle simulated by the climate system model of Chinese Academy of Sciences[J]. 海洋学报(英文版),2015,34(1):55-65.
- [5] Tonghua S U, Feng X, He Z. Simulating the Intraseasonal Variation of the East Asian Summer Monsoon by IAP AGCM4.0[J]. 大气科学进展,2014,31(3):570-580.
- [6] Ji M, Behringer D W, Leetmaa A. An Improved Coupled Model for ENSO Prediction and Implications for Ocean Initialization. Part II: The Coupled-Model[J]. Monthly Weather Review, 1998, 126(4):1022.
- [7] Carton J A, Giese B S. A Reanalysis of Ocean Climate Using Simple Ocean Data Assimilation (SODA) [J]. Monthly Weather Review, 2010, 136(8):2999.
- [8] Behringer D W, Xue Y. Evaluation of the Global Ocean Data Assimilation System at NCEP: The Pacific Ocean[C]. Oceans. 2004.
- [9] Karspeck A R, Yeager S, Danabasoglu G, et al. An Ensemble Adjustment Kalman Filter for the CCSM4 Ocean Component[J]. Journal of Climate, 2013,26(19):7392-7413.
- [10] Zhang S, Harrison M J, Rosati A, et al. System Design and Evaluation of Coupled Ensemble Data Assimilation for Global Oceanic Climate Studies [J]. Monthly Weather Review, 2007, 135(10):3541-3564.
- [11] 路泽廷,朱江,符伟伟,等. 全球海洋资料同化系统 ZFL_GODAS 的研制和初步评估试验[J]. 气候与环境研究,2014,19(3):321-331.
- [12] Xiao, DONG, Renping Lin, et al. Evaluation of Ocean Data Assimilation in CAS-ESM-C: Constraining the SST Field [J]. 大气科学进展,2016,33(7):795-807.
- [13] 孙朝辉,刘增宏,朱伯康,等. 全球海洋中 Argo 剖面浮标运行状况分析[J]. 海洋技术学报,2006,25(3):127-134.
- [14] 张人禾,刘益民,殷永红,等. 利用 ARGO 资料改进海洋资料同化和海洋模式中的物理过程[J]. 气象学报,2004,62(5):613-622.
- [15] 张人禾,朱江,许建平,等. Argo 大洋观测资料的同化及其在短期气候预测和海洋分析中的应用[J]. 大气科学,2013,37(2):411-424.
- [16] Mignac D, Tanajura C A S, Santana A N, et al. Argo data assimilation into HYCOM with an EnOI method in the Atlantic Ocean [J]. Ocean Science,2015,11(1):195-213.
- [17] Balmaseda M, Anderson D. Impact of initialization strategies and observations on seasonal forecast skill [J]. Geophysical Research Letters, 2009,36(1):737-739.
- [18] Chang Y S, Zhang S, Rosati A, et al. An assessment of oceanic variability for 1960-2010 from the GFDL ensemble coupled data assimilation [J]. Climate Dynamics, 2012, 40(3-4):775-803.
- [19] Zhang S, Rosati A. An Inflated Ensemble Filter for Ocean Data Assimilation with a Biased Coupled GCM [J]. Monthly Weather Review, 2010, 138(10):3905-3931.
- [20] Evensen G. The Ensemble Kalman Filter: theoretical formulation and practical implementation [J]. Ocean Dynamics, 2003, 53(4):343-367.
- [21] Oke P R, Brassington G B, Griffin D A, et al. The Bluelink ocean data assimilation system (BODAS). Ocean Model [J]. Ocean Modelling,

2008,21(1-2):46-70.

- [22] Gouretski V, Reseghetti F. On depth and temperature biases in bathythermograph data: Development of a new correction scheme based on analysis of a global ocean database[J]. Deep Sea Research Part I Oceanographic Research Papers, 2010,57(6):812-833.
- [23] Levitus S, Antonov J I, Boyer T P, et al. Global ocean heat content 1955-2008 in light of recently revealed instrumentation problems[J]. Geophysical Research Letters, 2009,36(7):157-163.
- [24] Kosaka Y, Xie S P. Recent global-warming hiatus tied to equatorial Pacific surface cooling[J]. Nature, 2013,501(7467):403-7.
- [25] Trenberth K E, Caron J M, Stepaniak D P, et al. Evolution of El Niño-Southern Oscillation and global atmospheric surface temperatures [J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 2002,107(7):5-1.

Argo Profile Data Assimilation in CAS-ESM-C: Benefits for Improving the Simulations of Upper Ocean Temperature

DU Meng-jiao^{1,2}, CHEN Quan-liang¹, LIN Ren-ping², ZHENG Fei²

(1. College of Atmosphere Sciences, Chengdu University of Information Technology, and Key Laboratory of Sichuan Province of Plateau Atmosphere and Environment, Chengdu 610225, China; 2. Center for International Climate and Environmental Sciences, the Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: In this study, the Argo profile and observed sea surface temperature are assimilated into CAS-ESM-C using the newly developed ocean data assimilation system. The simulation of assimilation experiments are evaluated by comparing with the observations and model free integration. The results are the bias of SST in the assimilation experiments can be reduced compared to model free integration, and the simulation of warm pool and cold tongue structure in the tropical Pacific also be improved. For the simulation of upper ocean temperature in 200-400 m, the assimilation SST experiment have little improvement, but in the assimilation Argo profile experiment can be significantly improved, making the *RMSE* of the upper ocean (above 1000 m) temperature mean decrease to 1°C, reduced more than 60%. In the assimilation Argo profile experiment, the simulation of ocean temperature distribution and thermocline structure is improved obviously in the tropical Pacific, the deviation was reduced by nearly 6°C (more than 80%) in the 200-400 m of Western Pacific Warm Pool Area.

Keywords: ocean data assimilation; argo temperature and salinity profile; ocean temperature simulation