

董广涛,陈葆德,陈伯民,等. 2016. 边界强迫场订正的区域气候模式对 2013 年夏季中国东部极端高温预测的改进试验. 气象, 42(1):97-106.

边界强迫场订正的区域气候模式对 2013 年夏季中国东部极端高温预测的改进试验^{*}

董广涛^{1,2} 陈葆德³ 陈伯民² 史 军²

1 南京信息工程大学大气科学学院, 南京 210044

2 上海市气候中心, 上海 200030

3 中国气象局上海台风研究所, 上海 200030

提 要: 使用 NCEP 再分析资料对国家气候中心全球海气耦合模式 BCC_CM1.0 的多年平均场进行订正, 然后嵌套区域气候模式 RegCM3, 建立基于边界强迫场订正的区域气候模式系统。使用该系统进行 28 年夏季回报及 2013 年夏季业务预测, 并与直接使用 BCC_CM1.0 模式与 RegCM3 模式嵌套的模式系统进行对比。结果表明, 引入边界强迫场订正技术后, 区域气候模式系统对多年平均夏季气温、降水回报能力有了显著提高, 且回报的高温界限值分布更接近于观测。除对 2013 年夏季东北地区气温距平预测效果变差外模式系统对于 2013 年中国东部中部地区夏季气温距平异常偏高、夏季高温日数异常偏多等观测事实的预测性能有显著提高。区域气候模式系统回报的多年平均夏季西太平洋副热带高压与观测更为接近是其对 2013 年夏季极端高温事件预测能力提高的关键所在。

关键词: 2013 年夏季极端高温, 区域气候模式, 边界强迫场订正, 回报试验, 跨季度季节预测

中图分类号: P468

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2016.01.012

The Improvement of Predicting Extreme Heat Event of Eastern China in Summer 2013 Through Correcting Lateral Boundary Condition of Regional Climate Model

DONG Guangtao^{1,2} CHEN Baode³ CHEN Bomin² SHI Jun²

1 College of Atmospheric Science, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

2 Shanghai Climate Centre, Shanghai 200030

3 Shanghai Typhoon Institute, CMA, Shanghai 200030

Abstract: The 28-year hindcast experiments (1983—2010) and the 2013 summer prediction are performed by using regional climate model (RegCM3) which is embedded in the global atmosphere ocean coupled model (BCC_CM1.0) whose climatological means are adjusted based on the NCEP-R2 reanalysis datasets. A traditional dynamical downscaling (TDD) parallel run by using RegCM3 that is driven by original BCC_CM1.0 output is also conducted. The results indicate that after using GCM (Global Climate Model) bias corrected method, the capability of hindcasting multi-year mean summer temperature and precipitation is greatly improved. Compared to TDD approach, although the predictability of temperature anomaly in northeastern China declines, the prediction of summer extreme heat event over the central part of Eastern China in 2013 is remarkably enhanced. The enhanced

^{*} 国家自然科学基金项目(41205060 和 41571044)、公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306021)、国家重大基础研究计划项目(2012CB956000)、中国科学院战略性先导科技专项子课题(XDA05090204)、江苏省普通高校研究生科研创新计划项目(CXLX12_0492)和上海市气象局研究型业务专项(YJ201502)共同资助

2015 年 1 月 21 日收稿; 2015 年 11 月 5 日收修定稿

第一作者: 董广涛, 主要从事气候监测预测及区域气候模式应用研究. Email: gtdong@163.com

performance of hindcasting multi-year averaged Western Pacific subtropical high (WPSH) mainly leads to the improvement of predicting summer extreme heat event in 2013.

Key words: extreme heat event in summer of 2013, regional climate model, GCM bias corrected method, hindcast experiments, extra-seasonal prediction

引言

区域气候模式由于在区域尺度气候及其变率的模拟方面能给出比分辨率较粗的全球模式(AGCM或AOGCM)更细致的特征,在区域气候研究和业务中发挥了重要的作用。近年来,区域气候模式在区域气候模拟、极端事件动力学归因诊断及高分辨率区域气候变化情景预估等方面得到越来越广泛的应用(陆其峰等,2003;刘晓东等,2005;鞠丽霞等,2006;高学杰等,2010;吴佳等,2011;Karmalkar et al,2011;Gianotti et al,2011;陈怀亮等,2012;曾先锋等,2012;古月等,2013;曹富强等,2014)。然而目前来看,区域气候模式主要是作为动力降尺度或机理诊断的研究工具,利用区域气候模式进行实时短期气候预测业务还比较少。近几年,中国科学院大气物理研究所曾利用区域气候模式 RegCM3 单向嵌套全球大气环流模式 IAP9L-AGCM 对 1982—2001 年中国夏季短期气候进行了跨季度集合回报试验。国家气候中心利用第一代全球海气耦合业务模式 BCC_CM1.0 嵌套区域气候模式 RegCM_NCC 进行准业务季度预测(刘一鸣等,2005;孙林海等,2008;2009)。上海市气候中心于 2007 年将国家气候中心区域气候模式 RegCM_NCC 移植成功并开始进行业务化季度预测(陈伯民等,2008;杨紫薇等,2008;董广涛等,2008),并于 2010 年实现区域气候模式 RegCM3 与国家气候中心全球模式(BCC_CM1.0)的嵌套,建立基于 RegCM3 模式的业务化季节预测系统并利用该系统进行十年回报及 2010 年各个季节业务预报(董广涛等,2012)。

无论是国家气候中心利用全球气候模式 BCC_CM1.0 嵌套区域气候模式 RegCM_NCC 还是上海市气候中心利用 BCC_CM1.0 嵌套区域气候模式 RegCM3 开展季节预测,区域气候模式多年回报的平均夏季降水均与观测多年平均夏季降水存在较大差异(刘一鸣等,2005;孙林海等,2008;董广涛等,2012)。而利用再分析资料 NCEP-R2 嵌套区域气候模式 RegCM3 进行多年夏季模拟则表明,模式模

拟的多年平均夏季降水与观测差异不大(刘晓东等,2005)。故可认为,区域气候模式多年回报的平均降水与观测的误差主要是由与之相嵌套的全球模式所造成。近年,国际上一些学者在利用全球气候模式嵌套区域气候模式进行气候变化预估时,曾采用先将全球模式的多年平均场订正后再驱动区域气候模式进行预估的方法,取得了不错效果(Holland et al,2010;Xu et al,2012)。本文借鉴此方法,将国家气候中心全球模式 BCC_CM1.0 每一年用于驱动区域模式 RegCM3 的预测变量场分解为多年(1983—2010 年)平均场和相对于多年平均的扰动场,将再分析资料 NCEP-R2 也做类似分解,将 NCEP-R2 的多年平均场与 BCC_CM1.0 的扰动场相加得到新的边界强迫场,驱动区域模式 RegCM3 进行 28 年回报试验,并在分析基于边界强迫场订正的区域气候模式系统对多年夏季平均气温及降水回报能力的基础上,评估此模式系统对 2013 年夏季中国东部大范围极端高温事件的预测性能。同时,与直接利用全球模式驱动区域气候模式的系统进行对比,分析有无改进并对内在机制进行初步分析。

1 模式系统及回报、预报试验介绍

本文建立了两套模式系统,分别如下:

(1)RegCM3_CGCM_{old} 模式系统:直接利用国家气候中心全球气候模式 BCC_CM1.0 嵌套区域气候模式 RegCM3。

(2)RegCM3_CGCM_{new} 模式系统:首先将国家气候中心全球海气耦合模式 BCC_CM1.0 用于驱动区域模式 RegCM3 的每一个时次(逐 12 h)的变量场(包括位势高度、温度、风、相对湿度、表面温度及海平面气压等变量)分解成多年(1983—2010 年)平均场和相对于多年平均场的扰动场[式(1)];

$$CGCM_{old} = \overline{CGCM}^{1983-2010} + CGCM' \quad (1)$$

再分析 NCEP-R2 资料也做类似分解(其中求多年平均时,年份要与全球海气耦合模式求平均时一致)[式(2)]。

$$NCEP = \overline{NCEP}^{1983-2010} + NCEP' \quad (2)$$

在每一个时次(逐 12 h)上,将再分析的多年平均场与全球模式 BCC_CM1.0 的扰动场相加,得到新的边界强迫场资料[式(3)]

$$CGCM_{new} = \overline{NCEP}^{1983-2010} + CGCM' = CGCM_{old} + (\overline{NCEP}^{1983-2010} - \overline{CGCM}^{1983-2010}) \quad (3)$$

利用此新的边界强迫场资料驱动区域气候模式 RegCM3 进行历史回报和实时季节预测[式(3)],该模式系统称为 RegCM3_CGCM_{new} 模式系统。

文中分别利用 RegCM3_CGCM_{old} 模式系统和 RegCM3_CGCM_{new} 模式系统开展过去 28 年夏季跨季度回报及 2013 年业务预报,每年 2 月 1 日开始积分,至当年 10 月 31 日结束,取 6 月 1 日至 8 月 31 日的结果作为当年夏季的结果进行分析。RegCM3 模式的水平分辨率为 60 km,中心点位于(33.5°N、100°E),格点数为 112×80(东西×南北),范围覆盖包含青藏高原在内的整个中国地区,模式垂直方向 18 层,顶层在 5 hPa。模式物理过程参数化方案的选择依次为:辐射采用 CCSM3 的长短波辐射方案,积分对流采用 Grell 方案,海表通量参数化方案使用 Zeng 方案,行星边界层采用 Holtslag 方案,陆面过程采用改进的 BETS 方案。侧边界采用指数松弛方案,每 12 h 输入一次,侧边界缓冲区为 15 圈。

将模式回报距平与观测距平进行对比,其中实况距平使用实况气候场,模式距平使用模式气候场。取 1983—2010 年模式回报的 28 年平均作为模式气候场。由模式回报场和模式气候场得到模式回报距平(距平百分率)场。观测资料使用中国气象局发布的 756 个观测站 1983—2013 年逐日平均气温、日最高气温、日最低气温及日降水量资料。取观测资料 28 年平均(1983—2010 年)作为观测气候场,观测距平(距平百分率)场由观测值和观测气候值得到。

2 两个模式系统 28 年回报评估

要检验模式系统的跨季度预报能力,首先需考察模式系统回报的多年平均态是否与观测比较接近。本文主要分析两个模式系统 28 年回报(1983—2010 年)的平均夏季气温、降水分布是否比较接近于观测。同时对利用模式系统多年回报资料确定夏季极端高温界限值分布及其与观测的差异也进行了分析。

2.1 模式 28 年回报平均状况及系统误差

图 1 给出观测及两个模式系统回报的 28 年平

均夏季气温及其差值。其中区域模式积分范围覆盖整个中国地区,由于 2013 年大范围高温过程主要发生在中国东部的中部地区,故本文所有图只给出中国东部地区(16°~51°N、103°~136°E)分布。从图中可以看出,实况 28 年平均夏季温度在中国东部地区由北向南逐渐增高,内蒙古东部及东北地区北部最低,为 13~22℃,最高为华南地区,达 28~31℃。两个模式系统回报的温度分布与实况基本一致,与实况不同之处在于最大温度中心位于华中地区。与观测的差值表明,RegCM3_CGCM_{old} 模式系统在 28°~40°N 的中部地区与观测相差不大,该系统与观测相差比较大的地区主要位于内蒙古东部地区、东北地区西部少部分地区以及华南地区,其中在内蒙古东部地区及东北地区西部少部分地区该模式系统比观测偏高 4~6℃,在华南地区比观测偏低 4~8℃;相比于 RegCM3_CGCM_{old} 模式系统,RegCM3_CGCM_{new} 模式系统对内蒙古东部地区及东北地区西部少地区部分的回报效果有了显著改善,回报的该地区多年平均夏季气温比观测偏低 0~2℃。不足之处在于 RegCM3_CGCM_{new} 模式系统回报的华南地区多年平均夏季气温相对于观测的冷偏差虽有所减小,但冷偏差最大仍达 4~6℃,可能与区域气候模式 RegCM3 自身性能有关(张冬峰等,2007)。由 28 年平均观测气温场与 28 年平均模式回报气温场的 Taylor 图分布(图 1f)可知,相比于 RegCM3_CGCM_{old} 模式系统,RegCM3_CGCM_{new} 模式系统回报的多年平均气温场与观测多年平均气温场的均方根误差明显减小,与观测多年平均气温场的空间相关系数也明显提高(RegCM3_CGCM_{new} 模式系统与观测的相关系数为 0.88,RegCM3_CGCM_{old} 模式系统与观测的相关系数为 0.48,均通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验)。

图 2 给出观测及两个模式系统回报的 28 年平均夏季降水及差值。28 年夏季平均的实况降水量呈现从西到东、从北到南逐渐增加的分布。RegCM3_CGCM_{old} 模式系统回报的 28 年平均夏季降水与观测差异较大,该模式系统回报的夏季降水在华中大部及华南沿海为小值区,大值区主要位于中国东北地区;由该模式系统与观测的差值距平百分率[(模式-观测)/观测]可见,该模式系统回报的夏季降水量在中国南方地区普遍比观测偏少 60%以上,华中南部及华南大部比观测偏少 80%以上;该模式系统回报的 28 年夏季平均降水场与观测 28

年平均夏季降水场的空间相关系数仅为 0.09,未通过 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验。相比于 RegCM3_CGCM_{old} 模式系统,RegCM3_CGCM_{new} 模式系统对夏季降水的回报效果有较明显改善。RegCM3_CGCM_{new} 模式系统回报的夏季降水量分布与观测比较一致,呈现由北至南逐渐增加的分布,该模式系统回报的 28 年平均夏季降水场与观测 28 年平均夏季降水场的空间相关系数达 0.58(图 2f),通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验。相比于 RegCM3_CGCM_{old} 模式系统,RegCM3_CGCM_{new} 模式系统回报的

28 年平均夏季降水场与观测 28 年平均夏季降水场的差值明显减小,在中国南方地区普遍比观测偏少 20%~60%(图 2e),RegCM3_CGCM_{new} 模式系统回报的 28 年平均夏季降水场与观测 28 年平均夏季降水场的均方根误差也明显减小(图 2f)。需要指出的是,虽然 RegCM3_CGCM_{new} 模式系统回报的多年平均夏季降水场明显更接近于观测,但该系统回报的多年平均夏季降水在中国南方大部地区仍然较观测偏少 40%~60%。研究表明,利用不同全球再分析资料驱动区域气候模式,模拟的中国夏季降水存

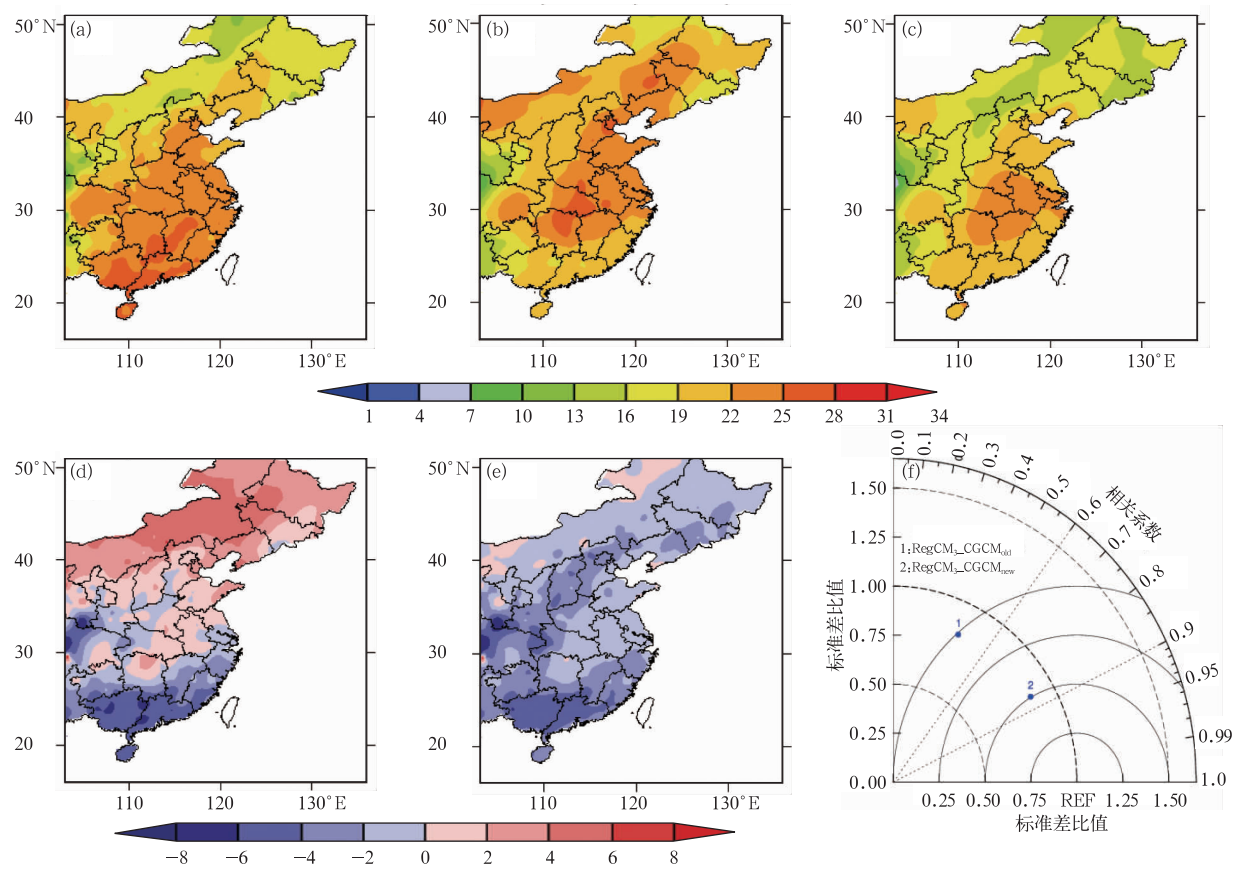


图 1 观测、RegCM3_CGCM_{old} 模式系统及 RegCM3_CGCM_{new} 模式系统回报的 28 年(1983—2010 年)夏季平均气温及差值分布(a)观测气温,(b)RegCM3_CGCM_{old} 回报气温,(c)RegCM3_CGCM_{new} 回报气温,(d)RegCM3_CGCM_{old} 回报气温-观测气温,(e)RegCM3_CGCM_{new} 回报气温-观测气温,(f)观测 28 年夏季平均气温场与两个模式系统回报的 28 年夏季平均气温场 Taylor 图 (Taylor 图中相关系数以及模式自身标准差与观测自身标准差的比值为无量纲量,横坐标均为模式自身标准差与观测自身标准差的比值;均方根误差为实线图,单位为 $^{\circ}\text{C}$; REF 代表效果最好的,在些点处相关系数为 1.0,模式标准差与观测标准差的比值的为 1,模式与观测的均方根误差为 0)

Fig. 1 Observed average summer surface air temperature and that hindcasted by RegCM3_CGCM_{old} and RegCM3_CGCM_{new} over Eastern China during 1983—2010 along with responding differences (a) observed, (b) hindcasted by RegCM3_CGCM_{ole}, (c) hindcasted by RegCM3_CGCM_{new}, (d) difference of the hindcasted by RegCM3_CGCM_{old}, and observed, (e) difference of the hindcasted by RegCM3_CGCM_{new} and observed, (f) non-dimensional Taylor diagram of 28-y average surface air temperature and the two RegCM3 (unit: $^{\circ}\text{C}$)

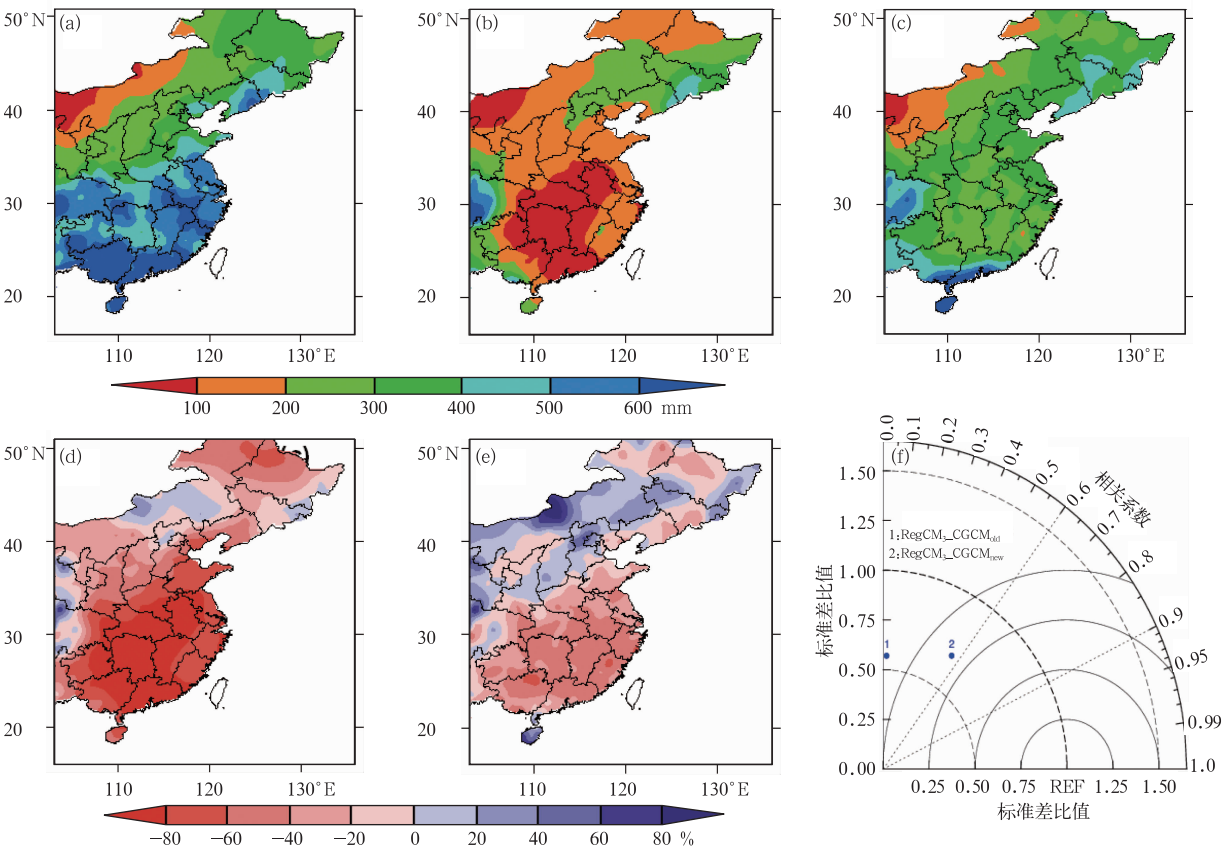


图 2 同图 1,但为夏季降水(单位:mm)
Fig. 2 Same as Fig. 1, but for precipitation in summer (unit: mm)

在较大差异(Yang et al,2011)。利用其他再分析资料(如 ERA-40 再分析资料)或多种再分析资料的集合对全球模式 BCC_CM1.0 进行订正,是否比用再分析资料 NCEP-R2 效果好,是下一步值得研究的问题。

2.2 模式回报 28 年夏季高温界限值的确定及与观测对比

在确定某点观测的夏季高温界限值时,首先对该点观测的 28 年夏季逐日最高气温(每年 92 d,共 2576 d)按从大到小进行排序,选定第 15%个值为该点的高温界限值,若某日最高气温大于等于该界限值,则定义为 1 个高温日。之所以选第 15%个值是因为在中国中部及南方地区,大部分站点多年夏季第 15%个值为 35℃左右。

图 3 给出利用上述方法确定的观测及两个模式系统的高温界限值分布。观测的高温界限值由北向南呈现低-高-低的分布;23°~31°N 之间的中国东部

地区最高,达 35~37℃;31°~40°N 之间的中国东部地区及 18°~23°N 之间的中国东部地区次高,为 32~35℃;40°N 以北的中国东部地区最低,为 28~32℃。RegCM3_CGCM_{old} 模式系统确定的高温界限值分布与观测存在较大差异;35°N 以北的中国东部地区以及华中地区明显比观测偏高,内蒙古大部及东北大部地区甚至达 37℃以上;两广地区仅为 28~31℃,明显比观测偏低;该模式系统确定的高温界限值分布与观测的空间相关系数仅为 0.03(图 3d),未通过 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验。相比于 RegCM3_CGCM_{old} 模式系统,RegCM3_CGCM_{new} 模式系统确定的高温界限值分布明显更接近观测,尤其在 35°N 以北的中国东部地区与观测的误差明显减小,只是在两广地区仍比观测明显偏低;RegCM3_CGCM_{new} 模式系统确定的高温界限值分布与观测的空间相关系数为 0.66(图 3d),通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验,且与观测的均方根误差也比 RegCM3_CGCM_{old} 模式系统明显减小(图 3d)。

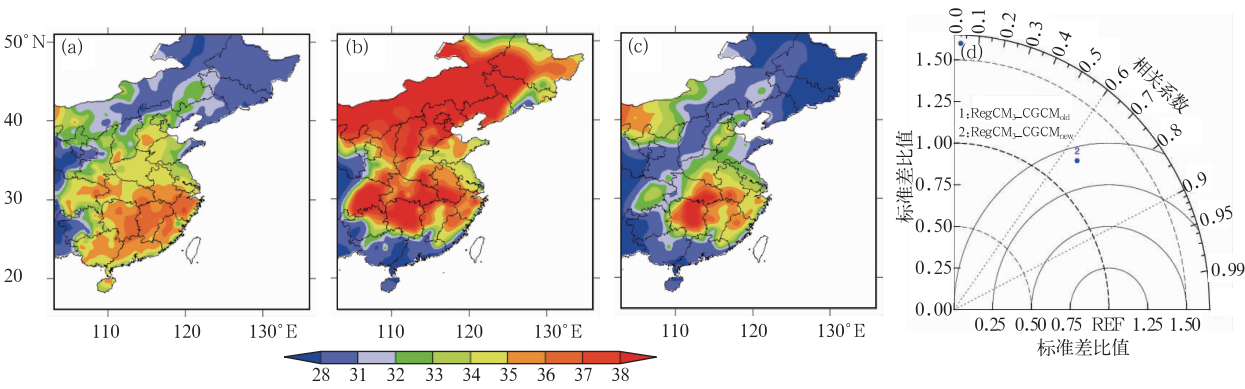


图 3 观测(a)、RegCM3_CGCM_{old}模式系统(b)及 RegCM3_CGCM_{new}模式系统(c)确定的高温界限值分布及 Taylor 图(d)

Fig. 3 Observed maximum surface air temperature threshold and that hindcasted by RegCM3_CGCM_{old} and RegCM3_CGCM_{new} along with responding difference

(a) observed, (b) hindcasted by RegCM3_CGCM_{old}, (c) hindcasted by Regcm3_CGCM_{new}, (d) Taylor chart (unit: $^{\circ}\text{C}$)

3 两个模式系统对 2013 年夏季实时业务预测分析

本节给出两个模式系统对 2013 年夏季业务预测结果及与观测的对比,主要分析两个模式系统对于 2013 年夏季气温、降水以及中国东部的中部地区夏季极端高温的预测能力。同时分析相比于 RegCM3_CGCM_{old} 模式系统,RegCM3_CGCM_{new} 模式系统对夏季极端高温的预测性能有无改进,并对促使其改进的内在机制进行了初步分析。

3.1 两个模式系统对 2013 年夏季气温、降水预测及与观测对比

2013 年夏季中国东部遭遇历史罕见持续性极端高温(龚志强等, 2014; 唐恬等, 2014; 邹海波等, 2015)。图 4 给出观测及两个模式系统预测的 2013 年夏季气温距平及降水距平百分率分布,在此需要强调的是计算气温距平或降水距平百分率时,观测参考场为观测气候场(观测的 1983—2010 年夏季平均),模式常年值为模式气候场(模式回报的 1983—2010 年夏季平均)。2013 年夏季气温,除内蒙古东部少部分地区、北京周边、广东大部及广西部分地区较常年偏低外,中国东部大部分地区较常年偏高,其中 $25^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$ 之间的中国东部地区较常年偏高 1°C 以上,尤其在华中部分地区及华东地区中部部分地区较常年偏高 2°C 以上。就 $25^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$ 之间的中国

东部地区夏季气温距平预测而言,RegCM3_CGCM_{old} 模式系统预测的该区域大部分地区仅较常年偏高 $0.5\sim 1^{\circ}\text{C}$,而 RegCM3_CGCM_{new} 模式系统预测的该区域大部分地区较常年偏高 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$,明显更接近于观测,只是 RegCM3_CGCM_{new} 模式系统预测的温度正距平高于 1°C 的范围比观测小且呈西北—东南走向(观测的温度正距平高于 1°C 的地区基本呈东西走向)。另外 RegCM3_CGCM_{new} 模式系统对东北地区 2013 年夏季气温距平预测效果要差于 RegCM3_CGCM_{old} 模式系统。

3.2 两个模式系统 2013 年夏季高温日数预测及与观测对比

图 5 给出观测及两个模式系统预测的 2013 年夏季高温日数分布。在此需要说明的是:在确定某点的高温日数时所采用的高温界限值为图 3 中所示的高温界限值,而并非传统意义上阈值温度 35°C ,该点某日日最高气温大于等于该点高温界限值即定义为 1 个高温日。2013 年夏季高温日数大值区位于 $25^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$ 之间的中国东部地区,该地区中的绝大多数站点高温日超过 25 d,大部分站点高温日超过了 30 d,其中湖南中北部部分地区、江苏南部部分地区、上海大部及浙江东北部部分地区高温日超过了 40 d。RegCM3_CGCM_{old} 系统和 RegCM3_CGCM_{new} 系统均能预测出高温日大值区位于 $25^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$ 之间的中国东部地区的这一特点。但就 $25^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$ 之间的中国东部地区夏季高温日数预测而言,

RegCM3_CGCM_{old} 模式系统预测的该区域大部分地区夏季高温日为 15~25 d;而 RegCM3_CGCM_{new} 模式系统预测的该区域绝大部分地区高温日在 25 d 以上、该地区的大部分地区高温日在 30 d 以上,其中江西大部、福建大部及浙江西南部高温日在 40 d 以上,明显更接近于观测。只是 RegCM3_CGCM_{new}

模式系统预测的高温日数在 25 d 以上的地区呈西北—东南走向,而观测的高温日数在 25 d 以上的地区呈东西走向;且 RegCM3_CGCM_{new} 模式系统预测的高温日数最大值中心位于江西大部、福建大部及浙江西南部,比观测的高温日数最大值中心略偏南。

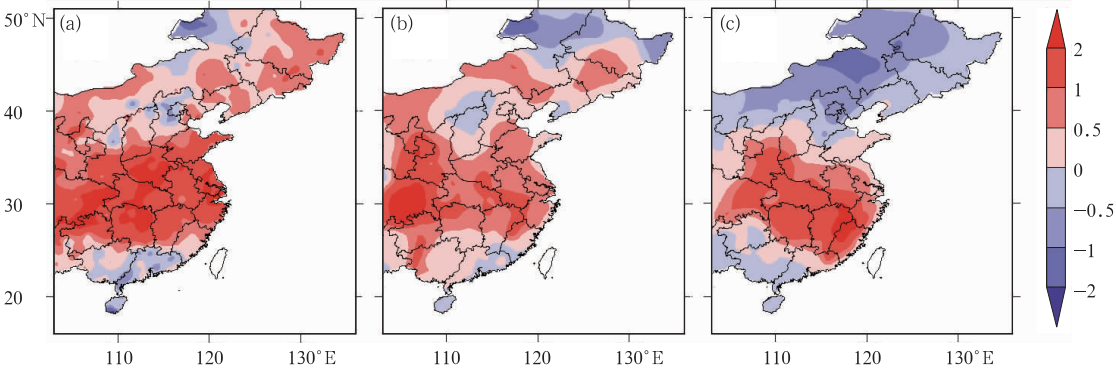


图 4 观测及两个模式系统预测的 2013 年夏季气温距平(单位:℃)
(a) 观测气温距平, (b) RegCM3_CGCM_{old} 预测气温距平, (c) RegCM3_CGCM_{new} 预测气温距平

Fig. 4 Observed temperature anomaly and that predicted by the two RegCM3 model systems in summer 2013 (unit: °C)
(a) observed, (b) by RegCM3_CGCM_{old}, and (c) by RegCM3_CGCM_{new}

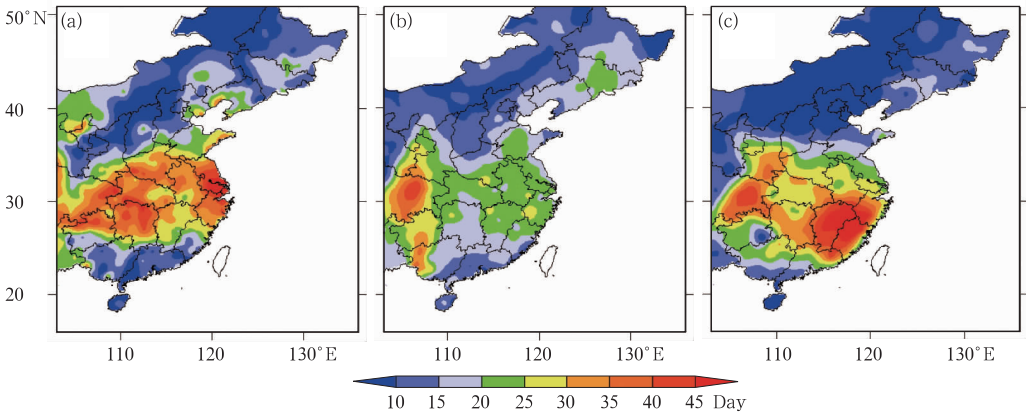


图 5 同图 4, 但为夏季高温日数分布(单位: d)
Fig. 5 Same as Fig. 4, but for heat-wave days (unit: d)

3.3 2013 年夏季高温日数预测改进内在机制初步分析

由上分析可知,相比于 RegCM3_CGCM_{old} 模式系统,RegCM3_CGCM_{new} 模式系统对于 2013 夏季 25°~35°N 之间的中国东部地区高温日数异常偏多的分布进行了更为准确的预测。下面将对导致模式系统改进的内在机制进行初步分析。2013 年夏季

25°~35°N 之间的中国东部地区高温日数较常年异常偏多的原因主要是西太平洋副热带高压较常年偏强偏西偏北(龚志强等, 2014; 柯宗建等, 2014; 邹海波等, 2015)。表现在 500hPa 高度距平场(图 6c)主要有两个特征:(1)25°~40°N 之间的中国东部地区为位势高度正异常区;(2)正异常最大区位于 32°~38°N 之间的中国东部地区,位于正异常区的中北部。全球模式 BCC_CM1.0 预测的西太平洋副热带

高压较常年偏强的特征与观测一致(图 6d);但由于其回报的多年平均夏季副热带高压脊线过于偏北(位于 28°N,较观测偏北约 4 个纬度,图 6b),导致 RegCM3_CGCM_{old} 模式系统未能预测出 2013 年夏季副热带高压体面积偏大、脊线位置偏北和正距平范围偏大、最大中心区位于 32°~38°N 之间的中国东部地区的特征。而 RegCM3_CGCM_{new} 模式系统对于 500 hPa 高度场上两个主要特征均作出了较为

准确的预测,与观测基本符合,故其预测的 25°~35°N 之间的中国东部地区高温日数较常年异常偏多的特征也与观测比较一致。需要指出的是,无论是全球模式 BCC_CM1.0 还是 RegCM3_CGCM_{old} 模式系统以及 RegCM3_CGCM_{new} 模式系统,均未能预测出观测的 40°N 以北为位势高度负异常区的特征。说明无论是全球气候模式还是区域气候模式都有需要进一步改进的地方。

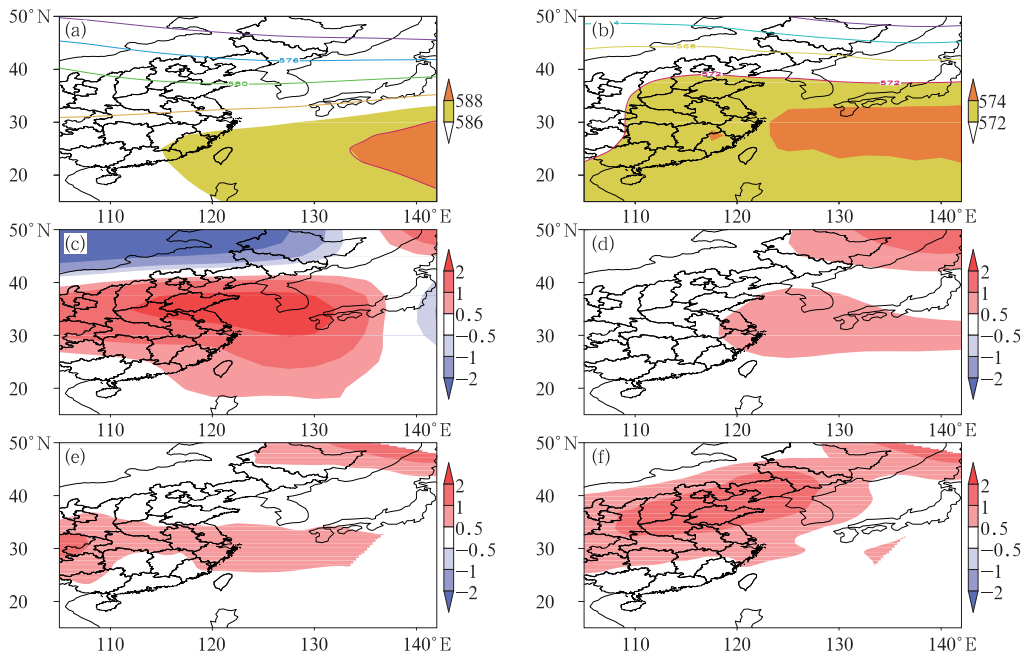


图 6 观测和模式回报预报多年平均夏季 500 hPa 高度场及 2013 年高度距平场(单位: dagpm)

(a) 观测多年平均, (b) 全球模式 BCC_CM1.0 多年回报平均, (c) 观测 2013 年距平, (d) 全球模式 BCC_CM1.0 预测 2013 年距平, (e) RegCM3_CGCM_{old} 模式系统预测 2013 年距平, (f) RegCM3_CGCM_{new} 模式系统预测 2013 年距平

Fig. 6 Observed 28 year average summer geopotential height at 500 hPa and that hindcasted by the two RegCM3 model systems and the global model BCC_CM1.0 along with its 2013 anomaly(unit: dagpm)

(a) observed 28 year average, (b) 28 year average by BCC_CM1.0, (c) observed anomaly in 2013, (d) anomaly of 2013 predicted by BCC_CM1.0, (e) anomaly of 2013 predicted by Reg CM3_CGCM_{old}, (f) anomaly of 2013 by predicted by RegCM3_CGCM_{new})

4 结论和讨论

本文建立了两套区域气候模式预测系统,分别为直接利用使用国家气候中心全球海气耦合模式 BCC_CM1.0 嵌套区域气候模式 RegCM3 组成的 RegCM3_CGCM_{old} 模式系统和将 BCC_CM1.0 模式的多年平均场利用 NCEP 再分析资料的多年平均场进行订正,然后嵌套区域气候模式 RegCM3 组成的 RegCM3_CGCM_{new} 模式系统。利用两套模式系

统开展了 28 年夏季回报及 2013 年夏季业务预测。在评估 RegCM3_CGCM_{new} 模式系统对 28 年夏季平均气温、降水回报能力较 RegCM3_CGCM_{old} 模式系统有无改进的基础上,评估 RegCM3_CGCM_{new} 模式系统对 2013 年夏季气温、降水及中国东部极端高温事件的预测性能较 RegCM3_CGCM_{old} 模式系统有无改进,并对导致改进的内在机制进行初步分析,得到以下结论:

(1) 两个模式系统回报的多年平均夏季温度分布与实况基本一致,呈北低南高的分布。RegCM3_

CGCM_{old} 模式系统在内蒙古东部地区及华南地区与观测相差较大。相比于 RegCM3_CGCM_{old} 模式系统, RegCM3_CGCM_{new} 模式系统回报的多年平均夏季气温场分布与观测更为接近。只是 RegCM3_CGCM_{new} 模式系统在华南地区仍然较观测存在较大冷偏差,这可能是 RegCM3 模式自身的性能不足所致。

(2) RegCM3_CGCM_{old} 模式系统回报的多年平均夏季降水与观测存在较大差异,该模式系统回报的夏季降水量在中国南方地区普遍比观测偏少 60% 以上,且与观测多年平均夏季降水场的空间相关系数未通过 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验。相比于 RegCM3_CGCM_{old} 模式系统, RegCM3_CGCM_{new} 模式系统对夏季降水的回报效果有较明显改善,与观测 28 年平均夏季降水场的空间相关系数通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验。只是 RegCM3_CGCM_{new} 模式系统回报的多年平均夏季降水在中国南方大部仍较观测偏少 40%~60%。下一步使用其他再分析资料(如 ERA-40 再分析资料)或多种再分析资料的集合对全球模式 BCC_CM1.0 进行订正,或许可进一步减少模式系统回报的多年平均夏季降水与观测的偏差。

(3) 利用百分率方法,确定观测及模式回报的 28 年夏季逐日最高气温的第 15% 个值为某点的高温界限值。RegCM3_CGCM_{old} 模式系统确定的高温界限值分布与观测存在较大差异, 35°N 以北的中国东部地区以及华中地区明显比观测偏高,两广地区明显比观测偏低,与观测的空间相关系数也未通过 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验。RegCM3_CGCM_{new} 模式系统确定的高温界限值分布明显更接近观测,尤其在 35°N 以北的中国东部地区与观测的误差明显减小,与观测的空间相关系数也通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验。

(4) 利用两个模式系统开展了 2013 年夏季业务预测。两个模式系统预测的 2013 年夏季气温距平和降水距平百分率分布均与观测比较相似,而对于观测的 25°~35°N 之间的中国东部地区夏季气温距平较常年异常偏高特点, RegCM3_CGCM_{new} 模式系统做出了更为准确的预测。不过 RegCM3_CGCM_{new} 模式系统对于 2013 年夏季东北地区气温距平的预测效果差于 RegCM3_CGCM_{old} 模式系统。

(5) RegCM3_CGCM_{old} 系统和 RegCM3_CGCM_{new} 系统均能预测出 2013 年夏季高温日大值区位

于 25°~35°N 之间的中国东部地区的这一特点。但 RegCM3_CGCM_{new} 模式系统预测的该地区中的大部分站点高温日明显更接近于观测。

(6) 机制分析表明,全球模式 BCC_CM1.0 回报的多年平均夏季副热带高压脊线明显比观测偏北,导致 RegCM3_CGCM_{old} 模式系统对 2013 年夏季副热带高压体面积、脊线位置和正距平范围、最大中心区域的预测,均与观测结果有出入。而 RegCM3_CGCM_{new} 模式系统对于 500 hPa 高度场上两个主要特征均给出了较为准确的预测,与观测基本符合,故其预测的 25°~35°N 之间的中国东部地区高温日数较常年异常偏多的特征也与观测比较一致。

引入边界强迫场订正技术后,区域气候模式系统对多年平均夏季气温、降水回报能力有了显著提高,且回报的高温界限值分布明显更接近于观测,对 2013 年中国东部极端高温事件的预测能力也有很大提高。利用不同全球再分析资料驱动区域气候模式,模拟的中国夏季降水存在较大差异(Yang et al, 2011)。文中对全球模式 BCC_CM1.0 的多年平均值进行订正时,主要使用的是 NCEP-R2 再分析资料。利用其他再分析资料(如 ERA-40、JMA25 等)或多种再分析资料的集合对全球模式 BCC_CM1.0 进行订正,是否比再分析资料 NCEP-R2 效果好,是值得进一步研究的问题。同时,将全球模式分解成多年平均场和相对于多年平均场的扰动场时,取多年平均时的年份选择对回报效果影响是否显著也需深入一步研究。另外本文 RegCM3 的水平分辨率定为 60 km 是为了和先前利用 RegCM_NCC 模式进行的回报试验保持一致以便比较,更高分辨率(20 km)的研究正在进行中。

参考文献

- 曹富强,丹利,马柱国. 2014. 区域气候模式与陆面模式的耦合及其对东亚气候模拟的影响. 大气科学, 38(2): 322-336.
- 陈伯民,杨雅薇,董广涛,等. 2008. 区域气候模式 RegCM_NCC 在华东地区的业务应用(I): 2007/2008 年冬季业务预报及回报试验. 高原气象, 27(增刊): 22-31.
- 陈怀亮,徐祥德,李飞,等. 2012. 大规模城镇化对黄淮海地区气候及水资源影响的数值试验. 气象, 38(4): 385-391.
- 董广涛,陈伯民,杨雅薇,等. 2008. 区域气候模式 RegCM_NCC 在华东地区的业务应用(III): 十年春、秋季回报试验. 高原气象, 27(增刊): 42-51.
- 董广涛,陈伯民,陈葆德. 2012. 区域气候模式 RegCM3 在华东地区的业务应用 - 十年回报及 2010 年夏季业务预报. 高原气象, 31

- (6):1601-1610.
- 高学杰,石英,Giorgi F. 2010. 中国区域气候变化的一个高分辨率数值模拟. 中国科学(D 辑),40(7):911-922.
- 龚志强,王艳娟,王遵亲,等. 2014. 2013 夏季气候异常特征及成因简析. 气象,40(1):119-125.
- 古月,陈葆德,董广涛. 2013. 区域气候模式在不同分辨率下对西北太平洋热带气旋生成气候特征的比较研究. 气象,39(2):137-145.
- 鞠丽霞,王会军. 2006. 用全球大气环流模式嵌套区域气候模式模拟东亚现代气候. 地球物理学报,49(1):52-60.
- 柯建建,王永光,龚振淦. 2014. 2013 年汛期气候预测的先兆信号及其应用. 气象,40(4):502-509.
- 刘晓东,江志红,罗树如,等. 2005. RegCM3 模式对中国东部夏季降水的模拟试验. 南京气象学院学报,28(3):351-359.
- 刘一鸣,丁一汇,李清泉. 2005. 区域气候模式对中国夏季降水的 10 年回报试验及其评估分析. 应用气象学报,16(增刊):41-47.
- 陆其峰,潘晓玲,钟科,等. 2003. 区域气候模式研究进展. 南京气象学院学报,26(4):557-565.
- 孙林海,艾锐秀,宋文玲,等. 2009. 区域气候模式对我国冬春季气温和降水预报评估. 应用气象学报,20(5):546-554.
- 孙林海,刘一鸣. 2008. 区域气候模式对中国夏季平均气温和降水的评估分析. 气象,34(11):31-39.
- 唐恬,金荣花,彭相瑜,等. 2014. 2013 年夏季我国南方区域性高温天气的极端性分析. 气象,40(10):1207-1215.
- 吴佳,高学杰,张冬峰,等. 2011. 三峡水库气候效应及 2006 年夏季川渝高温干旱事件的区域气候模拟. 热带气象学报,27(1):44-52.
- 杨雅薇,陈伯民,董广涛,等. 2008. 区域气候模式 RegCM_NCC 在华东地区的业务应用(II):十年夏季回报试验. 高原气象,27(增刊):32-41.
- 曾先锋,周天军. 2012. 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. 气象学报,70(5):1084-1097.
- 张冬峰,欧阳里程,高学杰,等. 2007. RegCM3 对东亚环流和中国气候模拟能力的检验. 热带气象学报,23(5):444-452.
- 邹海波,吴珊珊,单九生,等. 2015. 2013 年盛夏我国中东部高温天气的成因分析. 气象学报,录用.
- Gianotti R L,Zhang D F,Eltahir E A B. 2011. Assessment of the Regional Climate Model Version 3 over the Maritime Continent using different cumulus parameterization and land surface schemes. J Climate,doi:10.1175/JCLI-D-11-00025.1.
- Giorgi F. 1990. Simulation of regional climate using a limited-area model nested in a general circulation model. J Climate,3(3):941-963.
- Giorgi F,Marinucci M R,Bates G T. 1993a. Development of a second generation regional climate model (RegCM2). Part I: Boundary-layer and radiative transfer processes. Mon Wea Rev,121:2794-2813.
- Giorgi F,Marinucci M R,Bates G T,et al. 1993b. Development of a second-generation regional climate model (RegCM2). Part II: Convective processes and assimilation of lateral boundary conditions. Mon Wea Rev,121:2814-2832.
- Holland G J,Done J,Bruyere C,et al. 2010. Model investigations of the effects of climate variability and change on future Gulf of Mexico tropical cyclone activity. 2010 Offshore Technology Conference held in Houston,Texas,USA.
- Karmalkar A V,Bradley R S,Diaz H F. 2011. Climate change in central America and Mexico: regional climate model validation and climate change projections. Clima Dyn,37:605-629.
- Pal J S,Giorgi F,Bi X Q,et al. 2007. The ICTP RegCM3 and RegCM2: Regional climate modeling for the developing world. Bull Amer Meteor Soc,88(9):1395-1409.
- Xu Z F,Yang Z L. 2012. An Improved Dynamical Downscaling Method with GCM Bias Corrections and Its Validation with 30 Years of Climate Simulations. J Climate,25(18):6271-6286.
- Yang H W,Wang B,Wang B. 2011. Reduction of systematic biases in regional climate downscaling through ensemble forcing. Clima Dyn,DOI 10.1007/s00382-011-1006-4.