

程娅蓓,任宏利,谭桂容. 东亚夏季风模式跨季预测的 EOF-相似误差订正. 应用气象学报,2016,27(3):285-292.  
doi:10.11898/1001-7313.20160303

## 东亚夏季风模式跨季预测的 EOF-相似误差订正

程娅蓓<sup>1)2)</sup> 任宏利<sup>2)</sup> 谭桂容<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup>(南京信息工程大学气象灾害教育部重点实验室/气候与环境变化国际合作联合实验室/  
气象灾害预报预警与评估协同创新中心,南京 210044)

<sup>2)</sup>(中国气象局国家气候中心气候研究开放实验室,北京 100081)

### 摘 要

利用国家气候中心第 2 代季节气候预测模式 BCC\_CSM1.1(m) 的 1991—2010 年每年 2 月起报的历史回算资料集,考察模式对于 5 个夏季风指数的预测能力,并通过发展基于经验正交函数分解与相似分析的 EOF-相似误差订正方法,对 5 个夏季风指数的模式预测进行再修正。交叉检验和独立样本检验结果表明:该模式对 1991—2010 年东亚夏季风指数与西北太平洋夏季风指数预测技巧较高;EOF-相似误差订正方法适用于模式预测技巧较低的指数,这些指数经订正后预测效果均有不同程度改进,而预测技巧较高的夏季风指数经订正后改进效果不明显;在交叉检验中,线性部分订正多优于非线性部分订正效果,而对于独立试报的年份,非线性部分订正多优于线性部分订正效果,显示出良好的应用前景。

**关键词:** 夏季风指数; 动力预测; 相似分析; 统计订正

### 引 言

东亚夏季风强烈影响季风区内的天气和气候<sup>[1]</sup>,其异常变化的准确把握和有效预测对我国社会经济发展有重要意义。东亚夏季风预测也是短期气候预测研究和业务中一直关注的重要问题<sup>[2-3]</sup>。在过去的几十年中,尽管热带气候季节预测有了显著进展<sup>[4]</sup>,但由于夏季风预测存在一定难度,如何提高其预测水平一直是重要研究课题<sup>[2,5]</sup>。

目前,气候模式是夏季风预测的重要工具<sup>[6-7]</sup>,相关研究已取得了一定进展。曾庆存等<sup>[8]</sup>使用中国科学院大气物理研究所的大气-海洋环流模式 IAP-CGCM 进行了两次跨季度预测试验,表明该模式能够较好地预测出东亚地区各月和各季度的降水距平。10 个气候系统模式的集合结果表明,提前 1 个月时能够准确预测出亚澳季风年际变率的前两个模态的主要特征,包括随季节演变的空间特征与年际

变化特征<sup>[9]</sup>。Zhou 等<sup>[10]</sup>采用美国国家大气研究中心通用大气模式(CAM3)研究了多个东亚夏季风指数的可预报性,由东亚地区 850 hPa 与 200 hPa 的纬向风切变定义的夏季风指数可预报性较高,而由东亚大陆与北太平洋的海平面气压差定义的夏季风指数可预报性较低。Ma 等<sup>[11]</sup>研究表明,基于第 4 代通用气候系统模式(CCSM4)的全球预测系统对于夏季气候,尤其是热带夏季气候有很好的预测能力,对亚洲夏季风的年际变化有一定模拟能力。Liu 等<sup>[3]</sup>全面评估了国家气候中心第 2 代气候预测模式 BCC\_CSM1.1(m)对亚洲夏季风的预测能力,该模式对东南亚夏季风指数<sup>[12]</sup>有较高的预测技巧,而对 Webster-Yang 指数<sup>[13]</sup>与南亚夏季风指数<sup>[14]</sup>的预测结果不够理想。

由于气候模式在物理过程参数化等方面不可避免地存在误差,而这些误差在对季风进行预测时会产生很大影响<sup>[2]</sup>。大量研究表明,需要采用动力-统计相结合的方法,对模式预测结果进行订正,以提高

2015-12-05 收到,2016-01-03 收到再改稿。

资助项目:公益性行业(气象)科研专项(GYHY201406022),国家重点基础研究发展计划(2015CB453203),国家自然科学基金项目(41375062)

\* 通信作者, email: tanguirong@nuist.edu.cn

预测准确率<sup>[15]</sup>。Zeng等<sup>[16]</sup>总结了订正模式误差的4种方法:平均误差订正、最大相似度、最小偏差、基于经验正交函数分解(EOF)的耦合模态方法。李芳等<sup>[17]</sup>分别用 EOF 与奇异值分解(SVD)方法对中国科学院大气物理研究所发展的 IAP9L-AGCM 后报的东亚季风区跨季度夏季降水距平场进行回归订正,两种订正方案均能明显提高夏季东亚季风区降水预报准确率。任宏利等<sup>[18]</sup>提出了利用历史相似信息对模式预报误差进行预报的新思路,并发展了一种基于相似误差订正的预测方法(FACE)。该方法通过选取能够较好地反映目标变量场之间物理相似性的相似变量场,并利用模式提取历史相似信息,以达到提高预报技巧的效果。国家气候中心的 NCC/IAP T63 海气耦合模式在跨季度预测试验中,夏季平均环流与降水经 FACE 订正后,在一定程度上,预报误差减少,预报水平得到提高。基于上述对模式预报误差进行预报的思路,郑志海等<sup>[19]</sup>发展了针对季节气候可预测分量的相似误差订正方法(FACEPC),并研究数值预报误差的相似性规律<sup>[20]</sup>,结果表明:FACEPC 可识别模式预报结果中对初值相对不敏感的可预报分量,降低模式预报的不确定性。他们利用相似初值的模式预报误差具有相似性特点,为发展相似-动力方法奠定了基础。谭桂容等<sup>[21]</sup>利用回归-相似相结合的误差订正方法对 Météo France 模式预报资料中的北半球中高纬度地区 500 hPa 高度场的预报场进行订正,取得了一定效果。

本文着眼于国家气候中心第2代季节预测模式 BCC\_CSM1.1(m) 的东亚夏季风跨季预测方法研究,在 FACE 与 FACEPC 基本思想的基础上,通过利用 EOF-相似订正方法(empirical orthogonal function-analogue correction of errors),对拟进行订正的变量场进行统计分析,并利用其自身的主要统计信息进行相似选取和误差订正。订正时根据该模式对东亚季风区观测的固定模态的预测效果,针对模式预测效果不好的模态进行订正;订正时考虑分为仅对模式预测的时间系数(线性部分)进行订正,以及在此基础上再对模式截断误差(非线性部分)进行订正,并分别讨论两种订正方案的效果。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料

本文所用模式资料为模式 BCC\_CSM1.1(m)

1991—2010年2月起报的对当年夏季(6月、7月、8月)的历史回算资料集;观测资料使用的是同时段的 NCEP/NCAR 再分析资料集中的 850 hPa 风场与海平面气压场。

### 1.2 EOF-相似误差订正方法

以下给出 EOF-相似误差订正方法的具体方案。本文检验分为交叉检验和独立样本检验,即对前 11 年(1991—2001 年)进行交叉检验,对后 9 年(2002—2010 年)进行独立试报或独立样本检验。

为了能够在订正过程中,综合考虑 5 个代表性夏季风指数寻找相似年份,首先将所选取的 5 个夏季风指数视为 5 个空间点,对其前 11 年的观测值进行 EOF 分析,得到的 EOF 模态作为固定基底模态,再将观测与模式预测结果分别投影到上述的固定基底模态上(式(1)和式(2)),得到时间系数(线性部分)和截断误差(非线性部分),并忽略模式本身的截断误差。

$$\mathbf{X}_{\text{obs}} = \mathbf{E}\mathbf{A} + \boldsymbol{\varepsilon}_1, \quad (1)$$

$$\mathbf{X}_{\text{mp}} = \mathbf{E}\mathbf{B} + \boldsymbol{\varepsilon}_2. \quad (2)$$

其中,  $\mathbf{X}_{\text{obs}}$  为观测值,  $\mathbf{X}_{\text{mp}}$  为模式预测值,  $\mathbf{E}$  为观测资料经 EOF 分析得到的模态,  $\mathbf{A}$  为观测模态对应的时间系数,  $\mathbf{B}$  为相应的模式模态对应的时间系数,  $\boldsymbol{\varepsilon}_1$  和  $\boldsymbol{\varepsilon}_2$  分别为观测和模式的截断误差。

根据  $\mathbf{A}$  和  $\mathbf{B}$  对应序列的相关性确定需要进行订正的模态,即对模式预测与观测相关性不理想的模态进行订正,而对两者相关性较好的模态则以模式预测为最终的预测值。

根据模式预测变量场各模态时间系数寻找相似年,以相似年观测对应模态的时间系数和模式预测的时间系数计算该模态的模式预测误差,假定订正年模式预测对应模态的时间系数误差与相似年最为接近,那么,以相似年模式预测误差与模式对订正年对应模态的预测值订正该年对应模态的时间系数(式(3)),即对线性部分进行订正,根据式(4)得到线性部分订正结果。

$$\mathbf{B}'_i = (\mathbf{A}_{is} - \mathbf{B}_{is}) + \mathbf{B}_i, \quad (3)$$

$$\mathbf{X}_{\text{lec}} \approx \mathbf{E}\mathbf{B}'. \quad (4)$$

其中,  $\mathbf{B}'_i$  为线性部分订正后的时间系数,  $i$  代表第  $i$  个模态,  $s$  代表相似年,  $\mathbf{X}_{\text{lec}}$  为线性部分订正后的结果。

在式(3)、式(4)的基础上,再以相似年观测对应的截断误差作为模式预测的截断误差的订正值,即对非线性部分进行订正,根据式(5)得到非线性部分订正的结果。

$$\mathbf{X}_{\text{nlec}} \approx \mathbf{E}\mathbf{B}' + \boldsymbol{\varepsilon}'_2. \quad (5)$$

式(5)中,  $\mathbf{X}_{\text{nlcc}}$  为非线性部分进行订正的结果,  $\varepsilon'_2$  为截断误差订正值。

EOF-相似误差订正方法实施方案流程如图 1 所示。

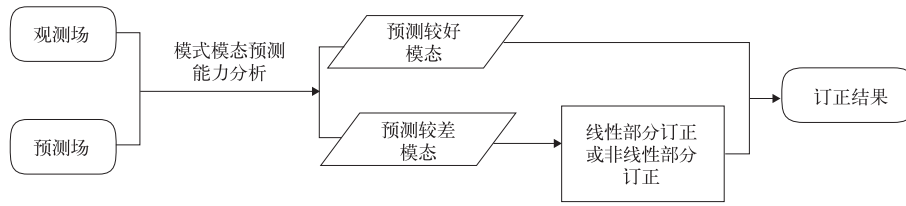


图 1 EOF-相似误差订正方案流程图

Fig. 1 Illustration of the scheme for the empirical orthogonal function-analogue correction of errors

## 2 模式预测效果

本文利用以下 5 种夏季风指数,包括 4 个东亚夏季风指数和 1 个印度夏季风指数,目的是重点针对东亚夏季风,并兼顾南亚夏季风状况,评估 BCC-CSM1.1(m) 的季风预测能力,对其预测结果进行 EOF-相似误差订正。

东亚夏季风指数(east Asian summer monsoon index,简称 EASMI)<sup>[22]</sup>,即东亚热带季风槽区(10°~20°N,100°~150°E)与东亚副热带地区(25°~35°N,100°~150°E) 夏季的 850 hPa 风场的纬向风距平差值。

西北太平洋夏季风指数(western-North Pacific summer monsoon index,简称 WNPSMI)<sup>[12]</sup>,即 5°~15°N,100°~130°E 区域的 850 hPa 平均纬向风与 20°~30°N,110°~140°E 区域的 850 hPa 平均纬

向风差值。

东亚季风指数(east Asian monsoon index,简称 EAMI)<sup>[23]</sup>,即 20°~30°N,110°~140°E 区域的夏季 850 hPa 平均经向风距平与 30°~40°N,110°~140°E 区域的夏季 850 hPa 平均经向风距平差值。

印度夏季风指数(Indian summer monsoon index,简称 ISMI)<sup>[24]</sup>,即 5°~15°N,40°~80°E 区域的 850 hPa 平均纬向风与 20°~30°N,70°~90°E 区域的 850 hPa 平均纬向风差值。

通过海陆动力差异定义的东亚夏季风强度指数(east Asian summer monsoon intensity index,简称 EASMII)<sup>[25]</sup>,具体计算方法是取夏季 20°~50°N 范围内 7 个纬带(间隔为 5°) 110°E 与 160°E 的纬向标准化的海平面气压差之和,并将该气压差之和进行标准化处理,得到东亚夏季风强度指数。

表 1 给出了该模式对上述 5 种夏季风指数的预测能力。

表 1 5 种夏季风指数的观测值与预测值之间的距平相关系数

夏季风指数	1991—2010 年	1991—2001 年	2002—2010 年
EASMI	0.63	0.73	0.43
WNPSMI	0.61	0.69	0.46
EAMI	0.33	0.56	-0.03
ISMI	-0.22	0.18	-0.55
EASMII	0.12	-0.13	0.29

由表 1 可知,该模式对 1991—2010 年的 EASMI 及 WNPSMI 预测较好,但相比之下对 EAMI, ISMI 与 EASMII 的预测效果不理想。在前 11 年和后 9 年,模式对 EASMI 与 WNPSMI 的预测技巧一直保持较高水平,但对 ISMI 与 EASMII 的预测效果均不理想。模式在前 11 年对 EAMI 有较高的预测技巧,但在后 9 年失去了预测能力。值得注意的

是,除了 EASMII,相比于前 11 年,模式在后 9 年对夏季风指数的预测能力普遍有所下降。

## 3 统计订正效果

### 3.1 模态预测结果

本文在进行 EOF-相似误差订正时,为了确定

针对哪些模态进行 EOF-相似误差订正方法处理, 表 2 给出了观测场与模式预测场经投影后得到的时

间系数之间的距平相关系数(ACC)。

由表2可知,对于拟进行交叉检验年份,模式对

表 2 5 种夏季风指数观测场时间系数与预测场时间系数的距平相关系数

模态	1991—2010 年	1991—2001 年	2002—2010 年
第 1 模态	0.56	0.67	0.31
第 2 模态	0.26	0.15	0.41
第 3 模态	0.55	0.68	0.25
第 4 模态	0.03	0.34	-0.08
第 5 模态	-0.06	-0.22	0.01

第 1 模态与第 3 模态预测效果较好,考虑将这两个模态时间系数的预测值作为最终模态的预测值;而在拟进行独立试报的年份,模式对 5 个模态的预测效果均不理想。根据上述结果,在交叉检验中对第 2、第 4、第 5 模态,独立试报时对 5 个模态分别进行线性部分订正与非线性部分订正。

### 3.2 线性部分订正

对于线性部分进行订正,即忽略模式截断误差,对模式预测与观测之间 ACC 不高的模态时间系数进行订正。订正时采用相似分析方法,根据预测的各模态系数寻找相似年,以相似年的预测误差代替该年的预测误差。统计上,相似参数很多,考虑到不同参数的相似性着重点不同,在寻找相似年时,选取 3 种相似参数,分别为相似系数、相似距离和相似高度进行综合分析,最终结果取 3 种参数的集成。

交叉检验结果如图 2 所示,线性部分订正对模

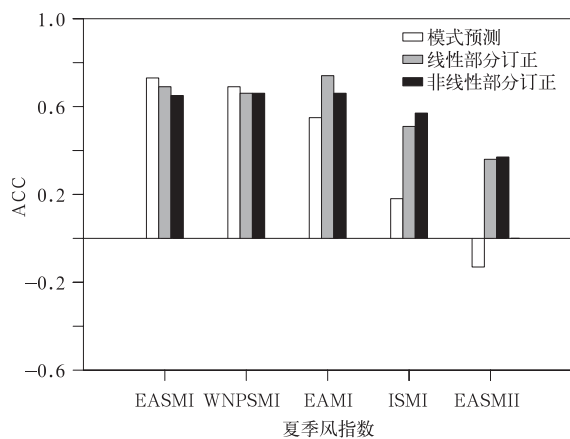


图 2 交叉检验中观测的夏季风指数分别与模式预测、线性部分订正与非线性部分订正的夏季风指数的距平相关系数

Fig. 2 Anomaly correlation coefficients between five monsoon indices of observations and model predictions, linear component correlation and non-linear component correlation for the cross-validation

式预测能力较高的前两种指数订正效果不佳,订正后与观测的 ACC 较订正前略有下降,但仍保持较高水平。而后 3 种夏季风指数经订正后 ACC 明显提高,尤其是 ISMI,模式预测结果与观测的 ACC 仅为 0.18,订正后,ACC 为 0.51,提高了 0.33。

独立试报结果如图 3 所示,与交叉检验结果类

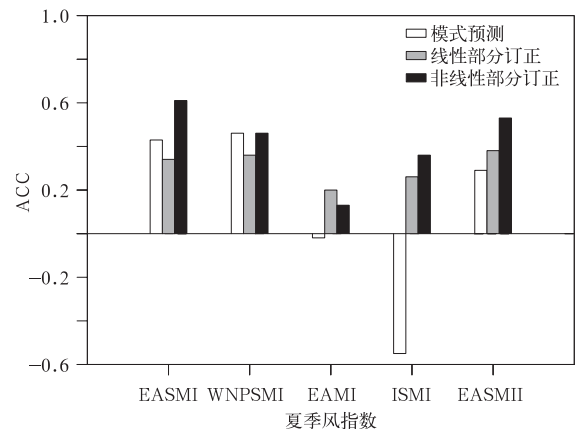


图 3 同图 2,但为独立试报结果  
Fig. 3 The same as in Fig. 2, but for the independent validation

似,前两种夏季风指数订正效果不理想,而对模式预测结果不理想的后 3 种指数,订正后,预测效果均得到不同程度改善。一般来说,模式预报误差较大时,利用统计方法进行订正时效果较好;而模式预报误差较小时,统计订正方法作用并不明显。由于模式对 EASMI 与 WNPSMI 的预测技巧已较高,其误差很难通过寻找统计规律加以订正,因此,利用 EOF-相似误差订正方法对其订正时,利用相似年份的误差信息代替目标年份的误差信息,有可能不起作用,导致订正效果不理想。而对于 EAMI, ISMI 和 EASMII,模式本身的预测技巧偏低,时间系数误差较大且易由统计方法刻画,通过 EOF-相似误差订正,可达到明显提高模式预测技巧的效果。

### 3.3 非线性部分订正

在 3.2 节的基础上,再对截断误差部分进行订正,即非线性部分订正。由分析交叉检验(图 2)结果可见,考虑了非线性部分后,订正方法对 ISMI 和 EASMI 的订正效果较线性部分订正略有提高,对另外 3 种指数的订正效果不及线性部分订正。而独立试报结果完全不同(图 3),除了对 EAMI 订正效果较线性部分订正差之外,对其余的 4 种夏季风指数,非线性部分订正技巧与线性部分订正相比较,均有明显提高,尤其是对线性部分订正效果不理想的 EASMI,经非线性部分订正后,其与观测的 ACC 达到 0.61,较线性部分订正提高了 0.27,较订正前提高了 0.18。

从上述结果看出,考虑了截断误差后,交叉检验

中非线性部分订正较线性部分订正改进效果并不明显,而在独立试报中,截断误差影响有所体现,非线性部分订正效果总体上较好。

### 3.4 3 种夏季风指数订正结果

总体来看,线性部分订正与非线性部分订正对 EASMI 与 WNPSMI 进行订正时,在交叉检验与独立试报中并未显示出一致的较好改进效果。EAMI 在交叉检验与独立试报中,线性部分订正具有一定效果,且效果好于非线性部分订正,而对于 ISMI 与 EASMI,非线性部分订正的效果较为理想。因此,下面进一步考察了 EAMI(图 4)、ISMI(图 5)、EASMI(图 6)经订正后的预测结果,其中,EAMI 采用线性部分订正结果,ISMI 与 EASMI 采用非线性部分订正的结果。

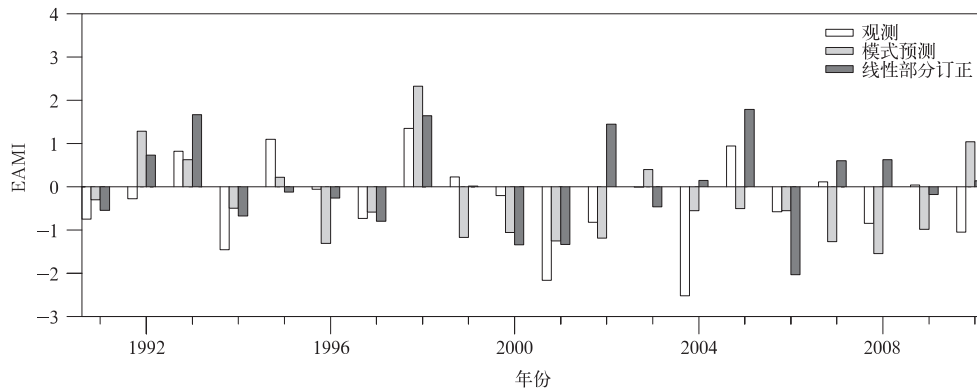


图 4 1991—2010 年 EAMI 的观测值、模式预测值及线性部分订正值

Fig. 4 Observations, model predictions and linear component correction of the east Asian monsoon index from 1991 to 2010

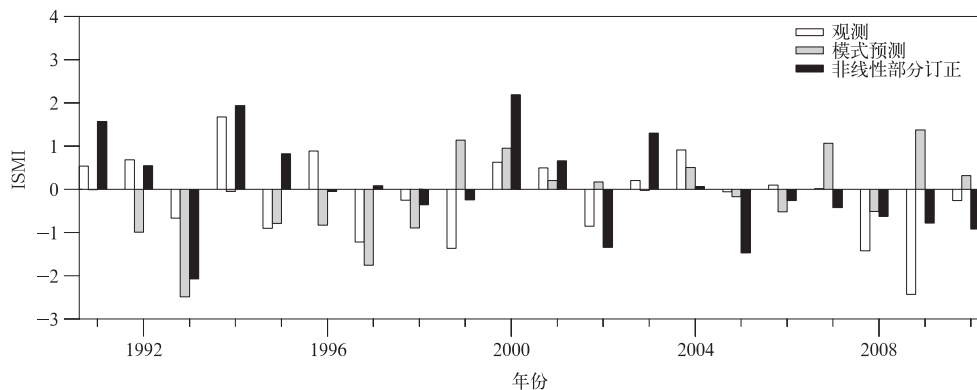


图 5 1991—2010 年 ISMI 的观测值、模式预测值及非线性部分订正值

Fig. 5 Observations, model predictions and non-linear component correction of the Indian summer monsoon index from 1991 to 2010

由图 4 可知,模式对 EAMI 的预测值与观测值正、负相反的年份为 6 年,对线性部分进行订正后,6

年中有 3 年的预测值变为与观测值同号;除此之外,有 6 年模式预测误差经订正后明显减小。由图 5 可

知,订正后模式对 ISMI 的预测误差明显减小的年份有 11 年。进一步分析表明,订正方法对 ISMI 异常偏高和偏低的年份改善效果尤为突出,如 1994 年观测值为较大的正值,而模式预测接近于 0,误差达 1.72,对非线性部分订正后,误差仅为 0.26;而 2009 年观测值为较大的负值,模式预测却为较大的正值,

订正后误差也明显减小。EASMII 结果表明(图 6),订正后模式对 ISMI 的预测误差对比订正前明显减小的年份有 11 年。与 ISMI 的改善特征不同,订正方法对 EASMII 异常高值年与低值年的改善效果不理想,但对观测值不大、预测值却很大的年份改善明显,如 1993 年与 1996 年。

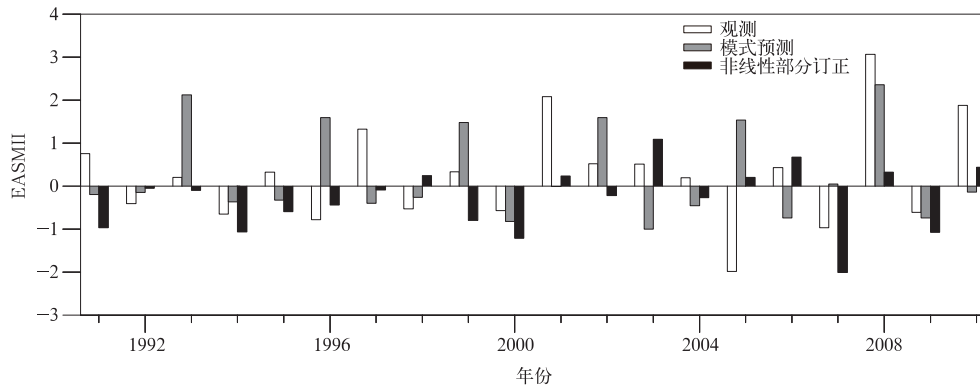


图 6 同图 5, 但为 EASMII

Fig. 6 The same as in Fig. 5, but for the east Asian summer monsoon intensity index

#### 4 小 结

本文针对东亚夏季风指数的气候模式预测效果不稳定问题,发展了一种基于 EOF 分析与相似分析的 EOF-相似误差订正方法。该方法基于相似预报的原理,利用 3 种相似指数得到的相似年份误差场的平均对预测年份进行订正,以减少订正时由于某些年份异常出现的偶然性。通过考察国家气候中心第 2 代季节预测模式 BCC\_CSM1.1(m) 历史回算的 2 月起报的跨季节 5 种夏季风指数的预测效果,并利用 EOF-相似误差订正方法对其进行订正研究并进行预报检验和试验,主要结论如下:

1) 模式 BCC\_CSM1.1(m) 对不同夏季风指数预测能力有所不同,对 2002—2010 年 5 个夏季风指数预测效果相比于 1991—2001 年的大部分有所下降。

2) 两种相似订正方案,只针对模态时间系数进行的线性部分订正,与含对截断误差进行的非线性部分订正,对不同夏季风指数订正效果有所差异。对于模式预测技巧较高的指数,订正方案效果不佳,而对于模式预测技巧较低的指数,订正方案效果较好。

3) 分析交叉检验结果,线性部分订正多优于非线性部分订正效果,而独立试报的结果表明,非线性部分订正多优于线性部分订正效果,说明截断误差

在订正独立试报年份中影响较大。

EOF-相似误差订正方法是以 EOF 与相似分析方法为基础,对模式预测的 5 种夏季风指数进行订正,表明该方法具有一定的可行性和有效性。但也可看到,对于模式预测较好的夏季风指数经订正后技巧并未得到进一步提高,且个别模式预测能力差的指数经订正后与观测的 ACC 仍不理想,为了改善订正效果,可对该夏季风指数的历年变化进一步分析,寻找相应的外强迫因子,以达到对夏季风指数进行更为有效订正的目的。

#### 参 考 文 献

- [1] 陈隆勋,张博,张瑛. 东亚季风研究的进展. 应用气象学报, 2006, 17(6): 711-724.
- [2] Wang H J, Fan K, Sun J Q, et al. A review of seasonal climate prediction research in China. *Adv Atmos Sci*, 2015, 32(2): 149-168.
- [3] Liu X W, Wu T W, Yang S, et al. Performance of the seasonal forecasting of the Asian summer monsoon by BCC\_CSM1.1(m). *Adv Atmos Sci*, 2015, 32: 1156-1172.
- [4] Goswami B N, Krishnan R. Opportunities and challenges in monsoon prediction in a changing climate. *Clim Dyn*, 2013, 41: 1.
- [5] 郭其蕴. 季风变率与预测研究. 应用气象学报, 1999, 10(2): 132-141.
- [6] 吴统文,宋连春,刘向文,等. 国家气候中心短期气候预测模式

- 系统业务化进展. 应用气象学报, 2013, 24(5): 533-554.
- [7] 李维京, 张培群, 李清泉, 等. 动力气候模式预测系统业务化及其应用. 应用气象学报, 2005, 16(1): 1-11.
- [8] 曾庆存, 袁重光, 王万秋, 等. 跨季度气候距平数值预测试验. 大气科学, 1990, 14(1): 10-25.
- [9] Wang B, Li J Y, Kang I S, et al. How accurately do coupled climate models predict the leading modes of Asian-Australian monsoon interannual variability? *Clim Dyn*, 2008, 30: 605-619.
- [10] Zhou T J, Zou L W. Understanding the predictability of east Asian summer monsoon from the reproduction of land-sea thermal contrast change in AMIP-Type Simulation. *J Climate*, 2010, 23(22): 6009-6026.
- [11] Ma J H, Wang H J. Design and testing of a global climate prediction system based on a coupled climate model. *Science China: Earth Sciences*, 2014, 57: 2417-2427.
- [12] Wang B, Fan Z. Choice of South Asian summer monsoon indices. *Bull Amer Meteor Soc*, 1999, 80: 629-638.
- [13] Webster P J, Yang S. Monsoon and ENSO: Selectively interactive systems. *Quart J Roy Meteor Soc*, 1992, 118: 877-926.
- [14] Goswami B N, Krishnamurthy V, Annmalai H. A broad-scale circulation index for the interannual variability of the Indian summer monsoon. *Quart J Roy Meteor Soc*, 1999, 125: 611-633.
- [15] 任宏利, 丑纪范. 数值模式的预报策略和方法研究进展. 地球科学进展, 2007, 22(4): 376-385.
- [16] Zeng Q C, Zhang B L, Yuan C G, et al. A note on some methods suitable for verifying and correcting the prediction of climate anomaly. *Adv Atmos Sci*, 1994, 11(2): 2-12.
- [17] 李芳, 林中达, 左瑞亭, 等. 基于经验正交函数和奇异值分解对东亚季风区跨季度夏季降水距平的订正方法. 气候与环境研究, 2005, 10(3): 658-668.
- [18] 任宏利, 丑纪范. 动力相似预报的策略和方法研究. 中国科学, 2007, 37(8): 1101-1109.
- [19] 郑志海, 任宏利, 黄建平. 基于季节气候可预报分量的相似误差订正方法和数值实验. 物理学报, 2009, 58(10): 7359-7367.
- [20] 郑志海, 封国林, 丑纪范, 等. 数值预报中自由度的压缩及误差相似性规律. 应用气象学报, 2010, 21(2): 139-148.
- [21] 谭桂容, 段浩, 任宏利. 中高纬度地区 500 hPa 高度场动力预测统计订正. 应用气象学报, 2012, 23(3): 304-311.
- [22] 张庆云, 陶诗言, 陈烈庭. 东亚夏季风指数的年际变化与东亚大气环流. 气象学报, 2003, 61(4): 559-568.
- [23] Wang Y F, Wang B, Oh J H. Impact of the preceding El Niño on the east Asian summer atmosphere circulation. *J Meteor Soc Japan*, 2001, 79(1B): 575-588.
- [24] Wang B, Wu R, Lau K M. Interannual variability of the Asian summer monsoon: Contrasts between the Indian and the western North Pacific-East Asian monsoons. *J Climate*, 2001, 14: 4073-4090.
- [25] 施能, 朱乾根, 吴彬贵. 近 40 年东亚夏季风及我国夏季大尺度天气气候异常. 大气科学, 1996, 20(5): 575-583.

## Empirical Orthogonal Function-analogue Correction of Extra-seasonal Dynamical Prediction of East-Asian Summer Monsoon

Cheng Yabei<sup>1)2)</sup> Ren Hongli<sup>2)</sup> Tan Guirong<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> (Key Laboratory of Meteorological Disaster, Ministry of Education (KLME)/Joint International Research Laboratory of Climate and Environment Change (ILCEC)/Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters (CIC-FEMD), Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044)

<sup>2)</sup> (Laboratory for Climate Studies, National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081)

### Abstract

In terms of the dataset of the second generation climate prediction model of Beijing Climate Center, BCC\_CSM1.1(m) hindcasts in February from 1991 to 2010, the model is assessed on its performances in predicting five monsoon indices including the East Asian summer monsoon index (EASMI), the western North Pacific summer monsoon index (WNPSMI), the East Asian monsoon index (EAMI), the Indian summer monsoon index (ISMI) and the East Asian summer monsoon intensity index (EASMII). A correction method based on the empirical orthogonal function (EOF) analysis and the analogue analysis, called the empirical orthogonal function-analogue correction of errors (EOF-ACE) is used to correct the modes which are poorly predicted by the model. Through EOF analysis, the coordinated variation of the five monsoon indices can be reflected by the obtained modes. In addition, according to the principle of ensemble forecast, three similarity indices are used to select the similarity years. The correction process is divided into two parts, which are linear component correction and non-linear component correction.

Assessments indicate that the EASMI and the WNPSMI are predicted well by BCC\_CSM1.1(m). However, the prediction result of EAMI, ISMI and EASMII is poor. Through EOF-ACE correction, the model prediction skill of the monsoon indices originally unreasonable are improved, but it's unsatisfactory for the rest indices. The linear component correction mostly shows higher skill than non-linear component correction in cross-validation. However, for independent validation, the effect of non-linear component correction is mostly better than linear component correction, which displays application prospects.

However, the EOF-ACE has barely effects on indices whose deviations are originally small, and correlation coefficients of some summer monsoon indices between observations and predictions are still not significant through correction. It is necessary to make further analysis on the inter-annual variation of those indices, and look for the relevant external force factors.

**Key words:** summer monsoon indices; dynamical prediction; analogue analysis; statistical correction