

基于 EOF/SVD 的短期气候预测误差 订正方法及其应用^{* 1}

秦正坤^{1,2} 林朝晖² 陈红² 孙照渤¹

QIN Zhengkun^{1,2} LIN Zhaohui² CHEN Hong² SUN Zhaobo¹

1. 南京信息工程大学, 气象灾害省部共建教育部重点实验室, 南京, 210044

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

1. *Jiangsu Key Laboratory of Meteorological Disaster, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China*

2. *Internal Center for Climate and Environment Sciences, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China*

2009-02-02 收稿, 2009-07-14 改回.

Qin Zhengkun, Lin Zhaohui, Chen Hong, Sun Zhaobo. 2011. The bias correction methods based on the EOF/SVD for short-term climate prediction and their applications. *Acta Meteorologica Sinica*, 69(2): 289-296

Abstract Using the 20-year hindcast results by the second generation of the Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences(IAP) Dynamical Climate Prediction system (IAP-DCP II), the bias correction methods based on the Empirical Orthogonal Function (EOF) and the Singular Value Decomposition (SVD) have been proposed and validated for the prediction of precipitation anomalies, furthermore, the efficiency of these two correction methods for the different seasons has been investigated, together with their applicability to the different predictive variables. The verification results show that, both of the methods can significantly improve the prediction skill of precipitation anomalies over China by the IAP-DCP II with about 80% predictions improved obviously and the SVD-based method showing a higher stability compared with the another method. Generally, the EOF-based method is better in summer and winter, with the anomaly correction coefficients (ACC) between the hindcast and the observation improved from -0.07 to 0.25 in summer, and from 0.16 to 0.44 in winter, respectively, while the SVD-based method performs better in spring and autumn season, with the ACCs improved from -0.09 to 0.36 in spring, and from -0.07 to 0.30 in autumn, respectively. In addition, for the sake of real-time application, the summer surface air temperature and the 500 hPa geopotential height are also used to evaluate the efficiency of the two methods. However, for the IAP-DCP II, it is proved that both of the bias correction methods are not applicable for the prediction of the surface air temperature and the 500 hPa geopotential height. The some prime reasons are shown based on the results of two ideal experiments with and without cross-validation respectively.

Key words Short-term climate prediction, Bias correction method, SVD analysis, EOF analysis

摘要 利用中国科学院大气物理研究所第2代短期气候数值预测系统(IAP-DCP II)1980—1999年共20年的集合回报结果,提出了基于经验正交函数(EOF)和奇异值分解(SVD)的模式误差订正方法,并考察了上述订正方法对中国科学院大气物理研究所气候预测系统预测性能提高的季节差异及其稳定性,分析了订正方法对不同预报场的适用范围及其可能原因。结果表明:基于EOF/SVD的订正方法均可显著提高IAP-DCP II东亚地区各个季节降水预测的水平,在这20年的降水订正预

* 资助课题:国家科技支撑计划项目(2007BAC29B03,2008BAC40B02)、国家自然科学基金项目(40821092)及南京信息工程大学科研基金资助项目(20070098)。

作者简介:秦正坤,主要从事短期气候预测研究。E-mail:qzk_0@nuist.edu.cn

报试验中,各季节 80%左右的年份订正预报效果要优于模式原始结果。其中 EOF 订正方法在夏、冬季略优,回报与实测降水之间的距平相关系数(ACC)平均值分别从订正前的 -0.07 和 0.16 提高到 0.25 和 0.44。而 SVD 方法则在春、秋季明显较好,ACC 平均值分别从订正前的 -0.09 和 -0.07 提高到 0.36 和 0.30。两种订正方法多年的 ACC 提高效果比较还表明 SVD 订正结果在各个季节 ACC 为负值的年份明显少于 EOF 方法。因此,对于实际预测而言,SVD 订正方法效果更为稳定。ACC 的方差比较也证明,SVD 订正方法具有相对较好的稳定性。同时针对订正方法实际应用的需要,以夏季降水、地表气温和 500 hPa 高度场这 3 个变量为代表,文中还进一步分析了两种订正方法对夏季不同预报场的订正效果。结果表明,模态订正方法对不同预报场订正效果存在一定差异,对于中国科学院大气物理研究所的气候预测系统,上述方法并不适用于对夏季地表气温和 500 hPa 高度场预报结果的订正。

关键词 短期气候预测, 误差订正方法, 奇异值分解, 经验正交函数分解

中图法分类号 P468.0

1 引言

重大气候灾害对国民经济和人民生活造成了重大的损害。以往的短期气候预测主要依赖于经验统计方法,但是统计方法的预报效果通常不够稳定(陈桂英等,1998),因此基于气候模式的数值预测已成为短期气候预测的发展方向(Goddard, et al, 2001)。但是目前气候模式还不够完善,短期气候数值预测准确度还需进一步提高,以期达到业务应用水平(Ward, et al, 1997; 李维京等, 2005)。因此,在数值预测基础上,充分利用历史回报资料,通过统计方法尽可能消除模式误差,就成了提高气候数值预测水平的重要方法之一(Zeng, et al, 1994; Tennant, 1999; 林朝晖等, 1998; 任宏利, 2005; 丑纪范, 2007)。

有关短期数值气候预测中的误差订正方法已有诸多研究。Zeng 等(1994)系统地提出了一系列误差订正方法,一部分也已在实际气候预测实践中得到应用。Wang 等(2000)根据东亚夏季降水等预报场存在准 2 年周期的特征提出了 WZZM 订正方法。Chen 等(2006)也根据模式对 ENSO 冷、暖位相响应误差的非对称特征,提出了基于 ENSO 循环的分类订正方法。与气候模式的直接预测效果相比,上述订正方法均可在一定程度上提高短期气候预测的技巧。但总的来说上述方法对历史回报资料的信息利用尚且不够充分;且订正均是逐点进行,未能充分考虑误差场的空间相关特征。

有鉴于此,利用观测场及预测场两者经验正交函数(EOF)分解所得的特征向量的相似性,Zeng 等(1994)提出利用 EOF 分解进行预报修正的框架,Yun 等(2005)将基于 EOF 分解的订正方法用于多模式集合中,证明能够明显改进集合预报效果。相

对于 EOF 订正方法主要关注观测场的主要特征而言,奇异值分解(SVD)订正方法则可以考虑观测场和回报结果的协同关系,即通过 SVD 分离出两个场高相关的成对模态和对应的时间系数。利用 SVD 的特性,Feddensen 等(1999)提出了基于 SVD 分解订正预测异常空间特征偏差的订正方案。Kharin 等(2001)的工作则进一步表明,直接利用观测模态代替预测模态的订正结果最优。

上述两种订正方法已在不同地区的降水季度预测中得到了应用,显著改善了模式预测技巧(Benestad, et al, 2002; Feddensen, et al, 2003; Tippett, et al, 2003)。李芳等(2005)将上述模态订正方法应用于中国科学院大气物理研究所的 IAP9L 9 层 AGCM 对东亚季风区夏季降水回报试验中,发现能够明显改善模式对中国夏季降水异常的回报效果,并认为 EOF 订正要明显优于 SVD 订正方法。但是上述模态订正方法效果对不同模式依赖性如何,以及订正方法对不同季节、不同变量预测效果的影响是否存在差异尚需进一步研究。此外,上述订正方法的适用范围也是实际应用中需要考虑的重要方面。因此,本文从中国的实际预测角度出发,利用中国科学院大气物理研究所第 2 代短期气候数值预测系统(IAP-DCP II)的回报数据,基于 EOF/SVD 分解方法,提出了适用于该预测系统的误差订正方法,考察了上述订正方法对中国不同季节降水预测的改进效果,系统地分析了两种订正方法的效果差异,同时还结合实际应用的需要,对这类方法的适用范围进行了分析,并提出了一个判别该类方法对不同预报场适用性的简单方法。

2 预测系统及回报试验数据

本研究中所用的预测模式为中国科学院大气物

理研究所第 2 代短期气候预测系统(IAP-DCP II),该预测系统是在第 1 代短期气候预测系统(曾庆存等,1990;李旭,1992)的基础上,经过一系列的改进和完善而建成的。IAP-DCP II 主要包括 ENSO 预测系统、积分方案和距平耦合技术方案、集合预测技术系统、订正系统以及预测产品和分析系统,其中 ENSO 预测系统中所用的大气环流模式为中国科学院大气物理研究所两层大气环流模式(水平分辨率为 $2^\circ \times 2.5^\circ$),海洋模式的垂直方向分 14 层(其中 9 层在海表至水深 240 m 的水层内),水平分辨率为 2° (经度) $\times 1^\circ$ (纬度)(林朝晖等,1998;曾庆存等,2003)。该预测系统连续多年都较为准确地预测出中国夏季大范围旱涝分布的形势,显示出良好的预测能力,并已经被应用于中国每年的实际预测实践中(林朝晖等,1998,2002,2003;陈红等,2003)。

本研究所用的数据为 IAP-DCP II 系统的 1980—1999 年集合回报试验结果(陈红等,2003)。各个季节的回报试验开始于季节前一个月(例如从 2 月开始,积分 4 个月,后 3 个月结果作为春季预测结果,其他季节类推)。回报试验利用 1980—1999 年观测海温异常场驱动大气模式,取起始月的前一个月逐日 NCEP 再分析的大气场分别作为初始场进行积分,形成了多个集合样本,对所有样本取算术平均作为原始回报结果。以下的订正都是在这个数据基础上进行的。

本文用于比较的降水观测数据主要是气候模式比较和应用计划(CMAP)提供的全球逐月降水资料($2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 网格),地面气温和 500 hPa 高度场资料是利用 NCEP-2 再分析资料($2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 网格)。

3 订正方法简介

3.1 EOF 订正方法

基于 EOF 分解的订正方法是通过 EOF 分解分别提取观测和预测值主要空间特征,并利用观测和预测值主要空间特征及其时间系数的对应关系对预测结果进行订正。其主要步骤可简述如下:

假定已有 n 年预测和观测结果,分别将预测场 X 和观测场 Y 进行 EOF 分析

$$\begin{aligned} X_t &= \sum_{i=1}^k \beta_{i,t} \varphi_i & t &= 1, 2, \dots, n \\ Y_t &= \sum_{i=1}^k \alpha_{i,t} \phi_i & t &= 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (1)$$

其中 ϕ_i, φ_i 分别为观测场和预测场的空间模态, $\alpha_{i,t}, \beta_{i,t}$ 则为对应的时间系数, k 为预先选定用于订正的模态数,在本研究中 k 暂取为 3。 n 年的预测则为 1980—1999 年共 20 年的集合回报结果,观测取为同期的 CMAP 降水资料。

利用多元线性回归方法,可得观测和预测 EOF 分解所得时间系数之间的线性关系。对于任意一个观测时间系数,利用所有预测模态时间系数进行多元线性回归,对于观测第 j 个模态 t 时刻对应的时间系数, $\alpha_{j,t}$ 可以表示为

$$\alpha_{j,t} = \sum_{i=1}^k \lambda_{i,j} \beta_{i,t} + \epsilon_j \quad j = 1, 2, \dots, k; \quad t = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

其中, $\lambda_{i,j}$ 为回归系数, ϵ_j 为回归偏差, $\beta_{i,t}$ 为预测场 EOF 分解所得时间系数。

通过将第 $n+1$ 年预测结果投影到已有模态 φ_i 上,可得新 1 年预测值 EOF 分解时间系数 $\beta_{i,n+1}$,利用式(2)表示的线性关系,可得新 1 年观测值 EOF 分解时间系数估计值为

$$\hat{\alpha}_{j,n+1} = \sum_{i=1}^k \lambda_{i,j} \beta_{i,n+1} + \epsilon_j \quad j = 1, 2, \dots, k \quad (3)$$

结合已有的观测值 EOF 分解模态,则第 $n+1$ 年订正后预测结果可表示为

$$X'_{n+1} = \sum_{i=1}^k \hat{\alpha}_{j,n+1} \phi_j \quad (4)$$

3.2 SVD 订正方法

SVD 订正方法是利用 SVD 分解确定的观测和预测之间成对高相关模态及对应的时间系数来对预测结果进行订正。主要步骤如下:

假定已有 n 年预测和观测结果,首先将已有的 n 年预测场 X 作为左场,观测场 Y 作为右场进行 SVD 分析,分析结果可以表示为

$$\begin{aligned} X_t &= \sum_{i=1}^k \beta_{i,t} \varphi_i & t &= 1, 2, \dots, n \\ Y_t &= \sum_{i=1}^k \alpha_{i,t} \phi_i & t &= 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (5)$$

其中 ϕ_i, φ_i 分别为观测场和预测场的特征向量, $\alpha_{i,t}, \beta_{i,t}$ 则为对应的时间系数, k 为预先选定用于订正的模态数,在本研究中 k 取为 3。

由于 SVD 分解所得的是观测和预测场的高相关模态,因此左、右场各模态对应的时间系数之间存在高的相关性,利用这样的特点,可以用一元线性回

归得到观测场和预测场各对应模态时间系数之间的线性关系,对于观测第 i 个模态 t 时刻对应的时间系数 $\alpha_{i,t}$:

$$\alpha_{i,t} = u_i + v_i \beta_{i,t} + \varepsilon_i$$

$$i = 1, 2 \dots k; t = 1, 2 \dots n \quad (6)$$

其中, u_i 、 v_i 为观测和预测第 i 对时间系数的线性回归系数, $\beta_{i,t}$ 为对应模态的预测场时间系数, ε_i 为回归偏差。

对于第 $n+1$ 年预测结果,通过投影到已有的预测模态 ϕ_i 上,得到各模态新一年时间系数 $\beta_{i,n+1}$,利用上式表示的时间系数线性关系和观测 SVD 分解模态,得到第 $n+1$ 年初步订正的结果为:

$$X'_{n+1} = \sum_{i=1}^k (u_i + v_i \beta_{i,n+1}) \phi_i \quad (7)$$

另外,由于 SVD 分解可能出现重要模态解释方差偏小的情况,因此需要进一步提取高阶模态中的有价值信息,这里根据 Kharin 等(2001)的研究,对上述订正结果进行了另外的处理。第 $n+1$ 年的最后订正结果如下式

$$\hat{X}'_{n+1} = X'_{n+1} + c(X_{n+1} - X'_{n+1})$$

$$c = \frac{\text{Cov}(Y, (X_t - X'_t))}{\text{Var}(X_t - X'_t)}, t = 1, 2 \dots n \quad (8)$$

其中 c 为调整系数, $\text{Cov}(Y, (X_t - X'_t))$ 为协方差, $\text{Var}(X_t - X'_t)$ 为方差。

4 结果分析

本文研究的区域主要是覆盖中国大陆的地区 ($10^\circ-60^\circ\text{N}$, $70^\circ-140^\circ\text{E}$),所比较的结果主要是模式原始预报结果、EOF 订正预报结果和 SVD 订正预报结果。需要说明的是所得结果都是在交叉验证 (Barnston, et al, 1993) 的条件下得到的,即作每年订正时都剔除了订正当年的实测值。

4.1 评分结果比较

图 1 是 1980—1999 年不同预测结果的 ACC 评分比较情况,分别给出了各个季节模式原始结果和两种订正结果,图中空心柱体为原始结果,浅色柱体和深色柱体分别为 EOF 和 SVD 订正结果,最后 1 列为这 3 种结果 ACC 评分的 20 年平均值。可以发现订正结果的预测效果与原始结果相比有了显著的改进,原始结果在春、夏和秋季的 ACC 均值都为负值,冬季原始回报效果略好,但 ACC 平均值也只有 0.16;订正后的各个季节 ACC 均值都为正值,其中

EOF 订正结果在冬、夏季节效果较好,ACC 平均值分别从订正前的 0.16 和 -0.07 提高到 0.44 和 0.25;而在春、秋季节则是 SVD 订正效果明显较优,ACC 平均值分别从订正前的 -0.09 和 -0.07 提高到 0.36 和 0.30,其中春季提高最为明显,与原始结果相比 ACC 增量可以达到 0.45。

订正方法对原始预报效果较差的年份改进更为明显,比如 1993 年春季、1985 年夏季等,ACC 评分都是 -0.4 左右提高到 0.4 以上;春季直接预报中有 14 年 ACC 为负值,SVD 订正后只有 1 年 ACC 为负值,EOF 订正结果也只有 4 年 ACC 评分为负值。在 20 年秋季平均降水预报中,SVD 订正结果有 18 年优于直接预报,EOF 订正结果也有 16 年要好于模式原始结果。虽然冬季原始回报水平比其他季节高,但是订正方法对冬季降水回报的改进更为明显,两种订正结果中都有 10 年的 ACC 接近或超过了 0.6。以 ACC 大于零为界,比较可以发现 SVD 订正结果在各个季节 ACC 为负值的年份明显少于 EOF 方法。因此,对于实际预测而言,SVD 订正方法效果更为稳定。

4.2 预测个例分析

利用夏季降水距平百分率空间分布特征的回报效果进一步验证上述订正方法的效果,以 1990 年夏季降水距平为例,给出了观测和订正前后 IAP-DCP II 回报的 1990 年夏季降水距平百分率分布(图 2)。

从 1990 年夏季降水距平百分率空间分布特征的实测结果(图 2a)可以看出,在 1990 年夏季,中国大体为北涝南旱,且呈现多个中心的空间型态。东北、华北和新疆东部为明显的涝区,其中华北多雨超气候平均值达到 40%,四川和云南地区降水也比正常偏多 20%以上,而西部的大部分地区、中国中东部以及东南部基本都是少雨区,两个主要的干旱中心分别位于西藏与新疆交界处和中国东南地区。

从原始回报结果(图 2b)的 ACC 为 -0.35 看出,直接预报也能一定程度上再现观测降水的空间分布特征,主要是中国东北和华北多雨和中国西部少雨现象回报相对较好,但是东北和华北的雨量回报偏弱,而新疆东部降水异常回报明显偏强,在中国东部地区,原始回报效果较差,甚至表现出与观测异常相反的现象。但是订正后的结果(图 2c、2d)能够很好地抓住中国降水的异常分布特征,两者 ACC 分别为 0.31 和 0.47。订正预报的结果很好地再现

了两个多雨区和两个干旱中心,只是预报异常的量级比观测偏弱约10%。相比而言,EOF订正结果

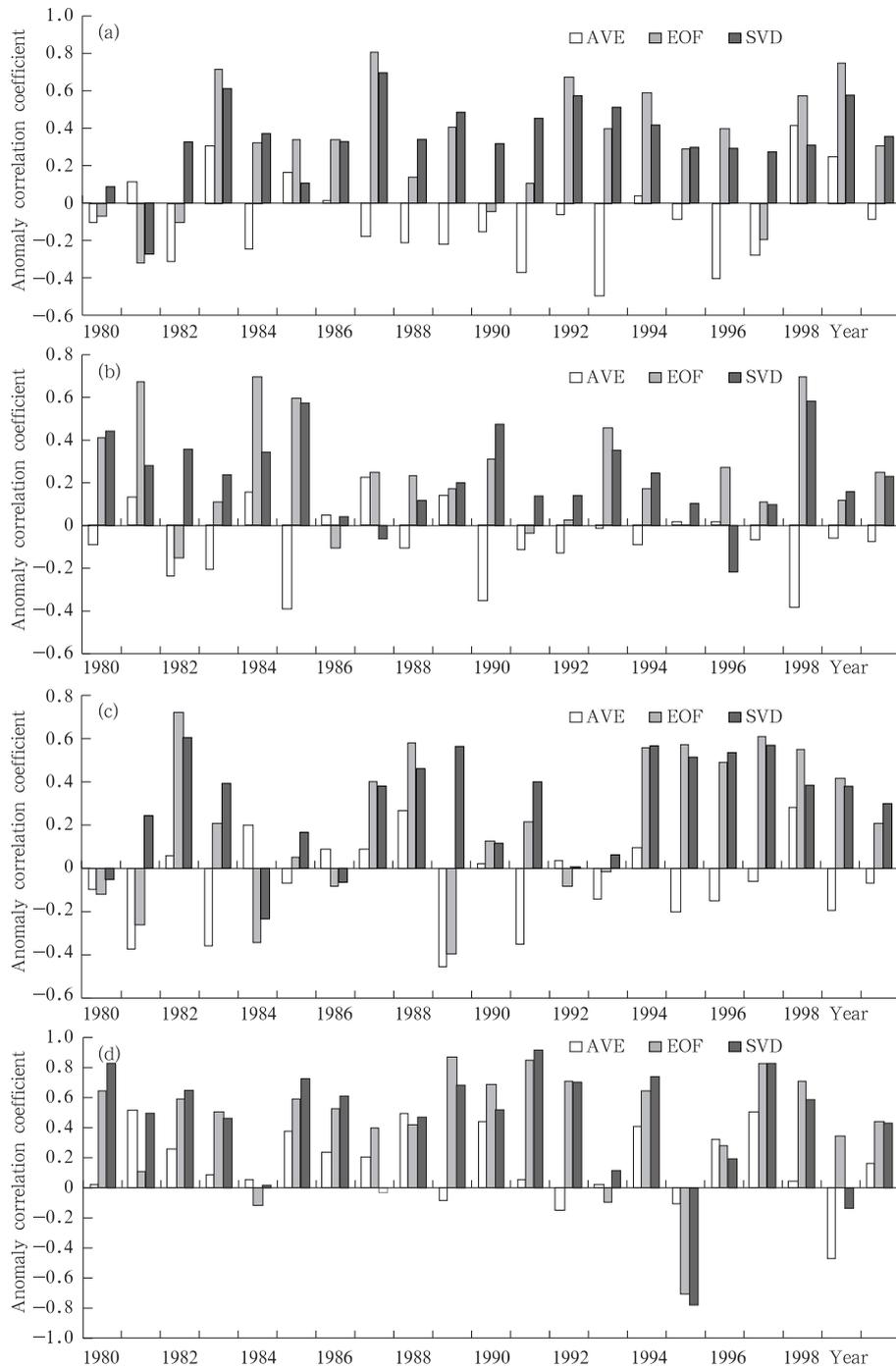


图 1 1980—1999 年季度降水预测 ACC 评分

(a. 春季, b. 夏季, c. 秋季, d. 冬季;白色柱体为原始结果, 浅色柱体和深色柱体分别为 EOF 和 SVD 订正结果)

Fig.1 ACCs between the prediction and the observation of seasonal precipitations for the years of 1980 - 1999

(a. Spring, b. Summer, c. Autumn, and d. Winter; white bars are for the original prediction, thin grey and black bars represent the results corrected by the correction methods based on the EOF and the SVD, respectively)

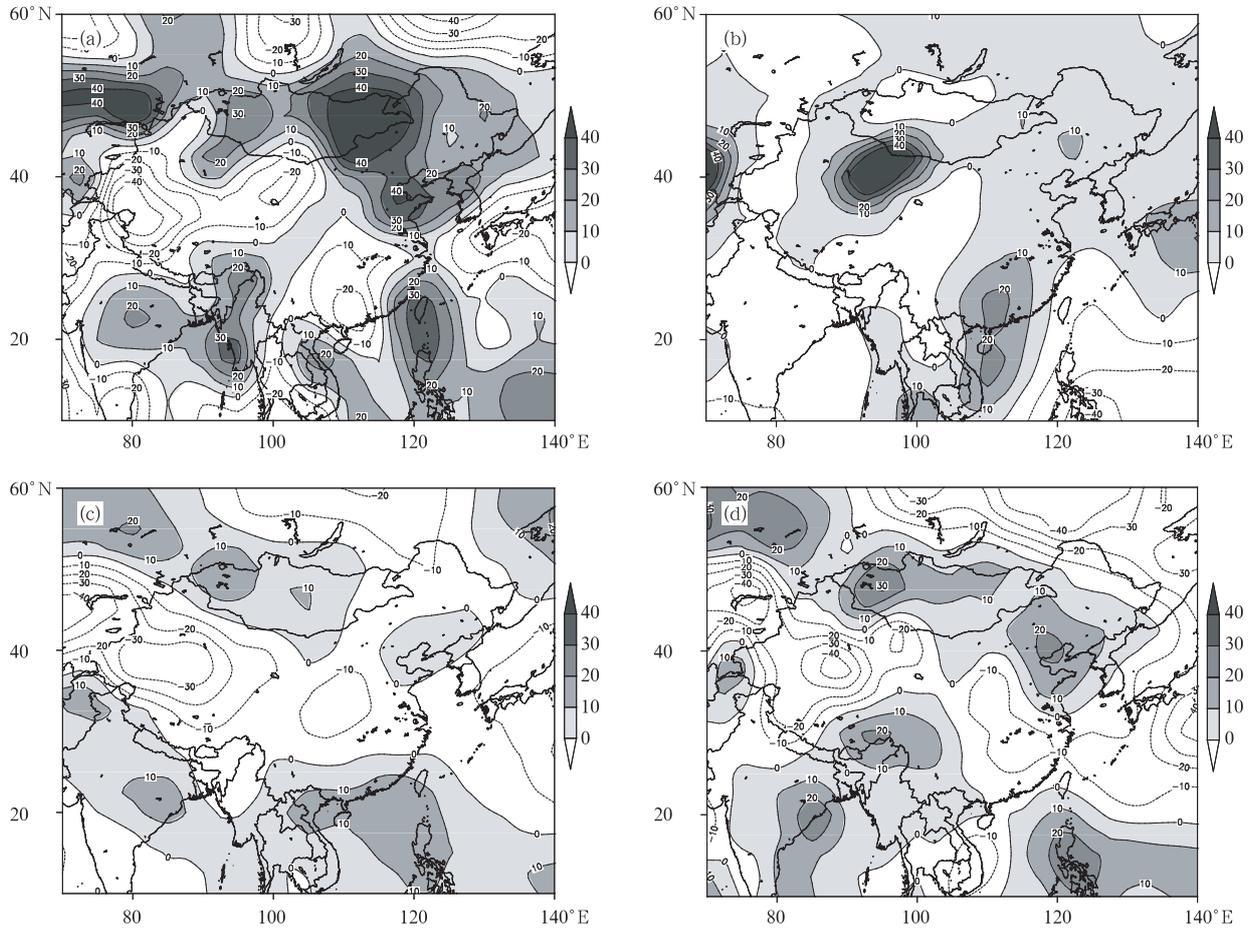


图 2 1990 年夏季平均降水距平百分率

(a. 观测, b. 模式原始结果, c. EOF 订正结果, d. SVD 订正结果)

Fig. 2 Summer rainfall anomaly percentage (%) in 1990

(a. the observation, b. the original prediction, c. the corrected result by the EOF, d. the corrected result by the SVD)

(图 2c)的效果比 SVD 订正结果略差,尤其在我国的东北、华北和西南地区,SVD 订正结果的正异常量级明显高于 EOF 订正方法,也更接近观测结果。从总体上来看,无论是降水距平百分率空间特征还是异常量级,订正结果的效果较原始预报都有明显的提高。

5 订正方法适用范围分析

从上面的分析可以看出,上述订正方法对于降水预测技巧有较好的提高效果。但是,实际预测中还会涉及到不同预报场的订正问题,因此订正方法对不同预报场的订正效果差异也是上述订正方法实际应用中一个值得重视的问题。表 1 给出了两种订正方法对夏季不同预报场的订正效果,这里以夏季降水、地表气温和 500 hPa 高度场这 3 个变量为代

表进行分析,其中降水和地表气温依然是上面所研究的覆盖中国大陆的区域(10°—60°N,70°—140°E),对 500 hPa 高度场订正时选取的区域范围为(0°—60°N,70°E—140°W)。

从表 1 可以明显看出订正方法对降水预报场的订正效果较好,但是对另外两个预报场,订正结果的 ACC 较原始结果并没有提高,而高度场订正结果的 ACC 明显低于原始预报结果。为了探讨这类订正

表 1 夏季不同预报场订正结果 ACC 比较
Table 1 Anomaly correlation coefficient of corrected precipitation, surface air temperature and geopotential height in 500 hPa in Summer

变量	原始结果	EOF 订正结果	SVD 订正结果
降水	-0.07	0.25	0.21
地表气温	0.24	0.19	0.20
500 hPa 高度	0.40	0.22	0.22

方法对不同预报场订正效果差异的原因,这里设计了两组理想试验。

理想试验的做法是将观测值也作为预测值进行订正,也就是在完美预测的条件下进行订正试验。订正方法的效果不仅受到模式对不同变量预报效果的制约,另外订正效果还受到订正方法对不同预报场适用程度的影响。为了分析这两个方面的因素,

更好地说明订正效果存在预报场差异的原因,试验通过假定完美预测的条件滤除了模式性能的影响,着重分析订正方法对不同预报场适用程度的差异。同样以夏季降水、地面气温和 500 hPa 高度场为代表进行分析。图 3 给出了 3 个不同预报场的理想订正结果。由于完美预测条件下 EOF 订正和 SVD 订正是基本一致的,因此这里只分析 SVD 订正的结果。

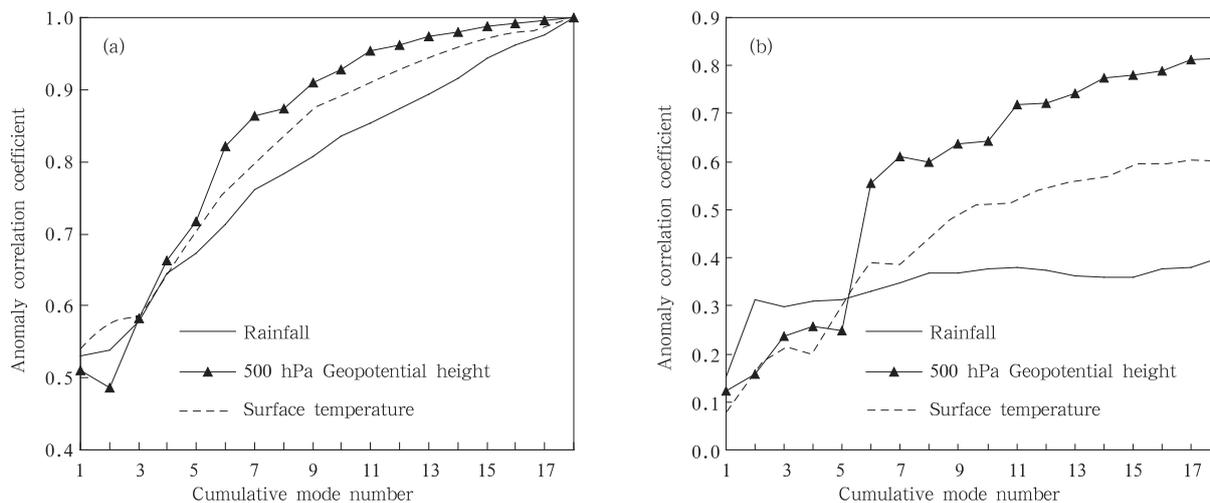


图 3 1980—1999 年夏季平均降水、500 hPa 高度场和地面气温不同累积模态数的理想订正试验结果 ACC 评分均值 (a. 无交叉验证, b. 有交叉验证)

Fig. 3 ACCs of the ideal correction experiments on summer rainfall, surface air temperature and geopotential height in 500 hPa vs. the different number of cumulative modes for the period of 1980 - 1999 (a. Without cross-validation, b. With cross-validation)

订正方法对不同预报场订正效果存在差异可能是由于这类订正方法存在局限性,导致其对某些预报场并不适用;也可能是由于不同变量自身性质差异导致了订正方法一定条件下表现出的效果不同。为了分别考虑这两个方面,这里给出了有和无交叉验证的两组理想订正试验结果。理想试验中 SVD 订正方法效果很大程度上受到变量 SVD 分解提取特征稳定程度的影响,在无交叉验证的条件下,所有变量信息提取程度的特征都处于稳定状态,而从 ACC 评分结果(图 3a)中也可以看出,订正方法对每个预报场的效果基本一致,ACC 均值都是随着模态数目的增加不断上升,只是不同预报场的上升速率略有差异,而且当所取模态足够多时,ACC 均值都是接近为 1.0,但是在有交叉验证的条件下进行的订正试验,各个预报场的订正效果则存在明显的不同。从图 3b 中首先可以看出,在只考虑前 4 个模态的情况下,订正方法对降水预测技巧的提高效果要明显高于高度场和表面温度,降水预报的订正效果

在前两个模态就基本能达到 ACC 的平衡状态,其后随着模态数目的增加,ACC 表现出波动的平衡状态;而 500 hPa 高度场和地面气温的订正效果则是随着模态数目的增多而逐渐提高,只是两个预报场订正后的 ACC 增长速率不同。这说明订正方法中分解方法提取的高阶模态对降水预报技巧的提高作用并不明显,但是高阶模态对另外两个预报场的订正效果则是影响显著。因为模式对高阶模态的预报能力不够,利用高阶模态进行订正就容易引入更大的误差,并导致订正效果降低。所以针对本研究中的预测系统而言,在中国地区,这类订正方法只能利用前 3 个模态进行,从而降水预报技巧能够获得明显提高,但是对高度场和地表温度预报技巧的提高不够。

理想试验的结果表明订正方法效果存在预报场差异是由于对不同预报场的订正效果随模态数目变化而变化的特点不同。理想试验的方法还给出了这类订正方法对不同预报场订正时,模态数的选择和

订正效果的预先估计。

6 结 论

本文基于利用 IAP-DCP II 总共 20 年(1980—1999 年)集合回报的结果,提出了适合于 IAP 短期气候预测系统的、基于 EOF/SVD 的误差订正方法,考察了 EOF/SVD 误差订正方法对中国各个季节降水的订正效果,系统比较了上述订正方法对预报效果提高的季节差异和稳定性,最后对这类订正方法对不同预报场适用程度及其原因作了初步的分析。

结果表明:基于 EOF/SVD 的订正方法能够明显改进东亚地区各个季节降水预测的水平,效果最好的是冬季,ACC 可以从订正前的 0.16 提高到 0.44,即使是夏季,ACC 也可以从订正前的 -0.07 提高到 0.25;其中改进最明显的为春季,订正前后 ACC 的差值可以达到 0.45。两种订正方法效果并不完全一致,就 ACC 均值而言,在冬、夏季,EOF 订正方法效果略好,而在春、秋季节,SVD 订正方法效果则明显好于 EOF 方法。相比而言,SVD 订正效果具有相对较好的稳定性。虽然上述订正方法对夏季平均降水的预报技巧有较好的提高效果,但是由于对不同预报场的订正效果随模态数目变化而变化的特点不同,这类订正方法对夏季 500 hPa 高度场和地面温度预报技巧的提高效果并不明显。

需要指出的是,本研究是基于中国科学院大气物理研究所第 2 代短期气候预测系统所得到的结果,可显著提高 IAP-DCP II 在实时预测中的预报技巧。但总体说来统计订正的效果在很大程度上要取决于预报模式的性能,以及回报的时间长度,因此针对不同的预报模式,需要设计相应的长时间集合回报试验,以期得到对应于不同预报模式的误差订正方案,同时也可进一步检验上述方案对不同模式的适用性。

参考文献

- 陈桂英,赵振国. 1998. 短期气候预测评估方法和业务初估. 应用气象学报, 9(2):178-185
- 陈红,林朝晖,曾庆存. 2003. 年度数值气候预测系统及其系统性评估. 科学通报,48(增刊2):70-74
- 丑纪范. 2007. 数值天气预报的创新之路——从初值问题到反问题. 气象学报, 65(5):673-682
- 李芳,林中达,左瑞亭等. 2005. 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, 10(3):658-668
- 李旭. 1992. 短期气候异常的数值模拟与预测研究. 中国科学院大气物理所,136pp
- 李维京,张培群,李清泉等. 2005. 动力气候模式预测系统业务化及其应用. 应用气象学报, 16(增刊):1-11
- 林朝晖,李旭,赵彦等. 1998. 中国科学院大气物理研究所短期气候预测系统的改进及其对 1998 年全国汛期旱涝形势的预测. 气候与环境研究, 3(4):339-348
- 林朝晖,赵彦,周广庆等. 2002. 2000 年中国夏季降水异常的数值预测. 自然科学进展,12(7):771-774
- 林朝晖,孙建华,卫捷等. 2003. 2002 年夏季气候及汛期实时预测与检验. 气候与环境研究,8(3):241-257
- 任宏利,丑纪范. 2005. 统计-动力相结合的相似误差订正法. 气象学报,2005,63(6):988-993
- 曾庆存,袁重光,王万秋等. 1990. 跨季度气候距平数值预测试验. 大气科学, 14(1): 10-25
- 曾庆存,林朝晖,周广庆. 2003. 跨季度动力气候预测系统 IAP DCP-II. 大气科学, 27(3):289-303
- 张凤,陈红,林朝晖等. 2004. IAP AGCM-I 水平分辨率的提高及其对全球和东亚季风降水的数值模拟. 气候与环境研究, 9:396-408
- Barnston A G, Huug M, Van D D. 1993. A degeneracy in cross-validated skill in regression-based forecasts. J Climate, 6: 963-977
- Benestad R. E., 2002. Empirically downscaled multimodel ensemble temperature and precipitation scenarios for Norway. J Climate, 15: 3008-3026
- Chen Hong, Lin Zhaohui. 2006. A correction method suitable for dynamical climate prediction. Adv Atmos Sci, 23(3): 425-430
- Feddersen H, Navarra A, Ward M N. 1999. Reduction of model systematic error by statistical correction for dynamical seasonal predictions. J Climate, 12: 1974-1989
- Feddersen H. 2003. Predictability of seasonal precipitation in the Nordic region. Tellus, 55A: 385-400
- Goddard L, Mason S J, Zebiak S E, et al. 2001. Current approaches to seasonal to interannual climate predictions. International J Climatol, 21(9): 1111-1152
- Kharin V V, Zwiers F W. 2001. Skill as a function of time scale in ensembles of seasonal hindcasts. Clim Dyn, 17: 127-141
- Tennant Warren. 1999. Numerical forecasting of monthly climate in southern Africa. International J Climatol, 19(12): 1316-1336
- Tippett M. K., Barlow M., Lyon B. 2003. Statistical correction of central southwest Asia winter precipitation simulations. International J Climatol, 23: 1421-1433
- Wang Huijun, Zhou Guangqing, Zhao Yan. 2000. An effective method for correcting the seasonal-interannual prediction of summer climate anomaly. Adv Atmos Sci, 17(2): 234-240
- Ward M N, Navarra A. 1997. Pattern analysis of SST-forced variability in ensemble GCM simulations: Examples over Europe and the tropical Pacific. J Climate, 10: 2210-2220
- Yun W T, Stefanova L, Mitra A K, et al. 2005. Multi-model synthetic superensemble algorithm for seasonal climate prediction using DEMETER forecasts. Tellus, 57A: 280-289
- Zeng Qingcun, Zhang Banglin, Yuan Chongguang, et al. 1994. A note on some methods suitable for verifying and correcting the prediction of climate anomaly. Adv Atmos Sci, 11(2): 121-127