

国家气候中心海气耦合模式汛期降水预报的一种订正方案及其试验

张礼平¹ 丁一汇² 李清泉² 周筱兰¹

1 武汉中心气象台, 武汉 430074

2 国家气候中心, 北京 100081

摘要 用奇异值分解(SVD)方法, 分析了1983~2003年夏季国家气候中心海气耦合模式500 hPa高度预报场与中国特别是华中区域降水场、1971~2000年夏季NCEP/NCAR 500 hPa高度场与中国特别是华中区域降水场的关系。结果表明: 夏季NCEP/NCAR 500 hPa高度场与中国特别是华中区域降水场关系明显较模式500 hPa高度场密切, 若夏季NCEP/NCAR 500 hPa高度场南、北半球副热带高压较强(弱), 北半球副热带高压主体偏南(北), 则长江流域、东北地区中部及青藏高原东侧将降水偏多(偏少)。对比分析结果, 发现国家气候中心海气耦合模式存在一定程度的预报误差, 如长江流域误差就较为明显。作者提出一种订正方案, 利用SVD从模式500 hPa高度预报场中提取大尺度信号, 借助最优化技术, 合理订正误差, 改进降水场的预报。经试验表明: 订正后降水场预报的距平同号率有可能接近NCEP/NCAR 500 hPa高度场相当的技巧水平。

关键词 奇异值分解 预报误差 最优化技术 订正方案

文章编号 1006-9585 (2005) 02-0209-11 **中图分类号** P456 **文献标识码** A

An Approach and Its Tests to Improve Simulated Summer Rainfall Fields of National Climate Center Coupled Ocean-Atmosphere Model

ZHANG Li-Ping¹, DIN Yi-Hui², and LI Qing-Quan², ZHOU Xiao-Lan¹

1 Wuhan Central Meteorological Observatory, Wuhan 430074

2 National Climate Center, Beijing 100081

Abstract With singular value decomposition (SVD), the relationships between simulated summer 500 hPa height fields of National Climate Center coupled ocean-atmosphere model and rainfall fields over both of China and the middle areas of China during 1983—2003, the relationships between summer NCEP/NCAR 500 hPa height fields and rainfall fields over both of China and the middle areas of China during 1971—2000 have been analyzed. The results indicate that summer NCEP/NCAR 500 hPa height fields have far more close relations with rainfall fields over China than simulated summer 500 hPa height fields of National Climate Center coupled ocean-atmosphere model. When southern and northern hemisphere subtropical high of NCEP/NCAR 500 hPa height is higher (lower), and northern hemisphere subtropical high is located more southward (more northward), heavier (lighter) rainfall will be over the Yangtze River valley, the east side of the Qinghai-Xizang Plateau and the middle of the Northeast China in summer. Comparing the results there are some errors found in coupled-atmosphere model of National Climate Center, for example, the Yangtze River valley has obvious errors. In this paper a project has been

收稿日期 2004-04-06 收到, 2005-04-04 收到修定稿

资助项目 “九五”重中之重“我国短期气候预测系统研究”加强课题和湖北省气象局“华中地区月、季尺度降水场预报技术研究”课题

作者简介 张礼平, 男, 1956年出生, 正研级高工, 主要从事短期气候预测及方法研制。E-mail: zhangliping_wh@yahoo.com.cn

proposed in order to improve the simulated rainfall fields by that large scale signals are extracted from the model out simulated 500 hPa height fields by SVD to reduce errors reasonably with optimization. It has been proved by tests that it is probable that the skill of improved simulated rainfall fields is close to NCEP/NCAR 500 hPa height fields.

Key words singular value decomposition, simulated error, optimization, improving method

1 引言

目前,短期气候预测以统计方法为主,业务水平仍然不高。数值预报及其产品应用已成为世界各国发展天气预报(包括中、短期预报,短期气候预测)的共同方向,而数值预报产品不可避免地存在模式系统和初始场分析等方面的误差。因此,数值预报产品不能直接用于天气预报,只能通过释用技术订正误差。短期气候预测模式产品释用技术可为短期气候预测模式研制与业务应用建立更紧密的联系,从模式产品中提取更多有价值的信息,为模式业务化创造条件。国家气候中心海气耦合模式已准业务化运行^[1],输出有大量预报产品,具有一定的预报能力^[2]。为更好地发挥国家气候中心海气耦合模式的作用,研制其在中国或各大区域的释用技术势在必行。

短期预报模式已较成熟,模式释用技术研究较多。由于目前短期气候预测模式预报误差明显大于短期预报模式,短期气候预测模式高度场距平预报与实况相关系数还未达到 0.5,因而几乎没有模式投入正式业务运行,其模式释用技术研究很少。现有方案主要从两方面进行订正:

(1) 模式输出产品自身的订正

曾庆存等^[3]提出了基于 EOF 的模式输出订正方案,分别将实况场 H_a 与预报场 H_b EOF 展开,

$$H_a = V_a Y_a,$$

$$H_b = V_b Y_b,$$

假设 V_a 与 V_b 相差不大,可用 V_a 取代 V_b ,订正后

$$H'_b = V_a Y_b,$$

V 和 Y 分别为空间函数和时间系数。

张道民等^[4]根据模式(T42L9) 500 hPa 高度存在的纬向系统误差(低纬高度偏低),进行了各纬圈的 500 hPa 高度订正。王会军等^[5]根据模式输出降水总体变化有两年周期的特点,提出了降水距平百分率订正方案。赵彦等^[6]也对模式输出

降水距平百分率订正进行了研究。Henrik 等^[7]用 SVD 提取的模式输出北美雨季降水场和实况场时间系数,构造线性函数,改进降水场预报。

(2) 从模式输出 500 hPa 高度场估计要素场

李维京等^[8]从大尺度大气动力学方程组出发,推导出月降水与月 500 hPa 高度场的关系,建立了月降水预报方程。利用月动力延伸预报 500 hPa 高度场和实况降水确定方程系数。

考虑到短期气候模式输出的环流场预报较为可靠,且 500 hPa 环流与地面降水等要素场关系密切,本文将探讨国家气候中心海气耦合模式夏季 500 hPa 高度预报场与同期中国特别是华中区域降水场的大尺度关联,并研制其订正方案。

2 资料与方法

国家气候中心海气耦合模式是国家“九五”重中之重科技攻关项目“我国短期气候预测业务系统的研究”的重大成果之一,该模式以国家气象中心中期数值预测模式(T63 版本)动力框架为基础,进行改进后形成的一个有完整物理过程,能描述全球大气运动变化的 3 维大气环流模式^[1]。模式输出包括全球月平均 17 层环流场及地面要素场预报产品。大气初始场利用 1983~2003 年 3 月 11~14 日 00 时和 12 时资料(21 年、每年 8 个时次)的 NCEP/NCAR 再分析资料插值到模式网格上得到;海洋初始场采用国家气候中心海洋资料同化系统制作的 1983~2003 年 2 月 28 日海洋同化资料(包括海温、洋流等物理量)。每一个回报试验中,模式自初始时刻积分到 8 月 31 日。因此文中使用的海气耦合模式回报结果是每年 8 个预报成员集合平均结果。我们由该模式回算和预报的 1983~2003 年 6、7、8 月平均 500 hPa 高度场生成夏季 500 hPa 高度预报场。NCEP/NCAR 全球资料再分析^[9]是美国国家环境预测中心(NCEP)和国家大气研究中心(NCAR)的合作项目,已作为原美国国家气象中心(NMC)气候

资料同化系统 (CDAS) 的重要组成部分。我们用 NCEP/NCAR 全球再分析资料作为 500 hPa 高度历史实况值。

中国夏季降水场资料由国家气候中心中国 160 站 6、7、8 月降水资料生成, 华中区域降水场资料取自 160 站中河南、湖北、湖南、安徽、江西省 27 测站资料。

奇异值分解 (Singular value decomposition) 简称 SVD, 是近年发展起来的分析场与场关系的方法, 由于易于解释说明其意义, 且分析结果与 Barnett 和 Preisendorfer 改进的 CCA 方法类似, 因而被认为最有广泛的应用前景^[10]。

3 夏季模式 500 hPa 高度预报场与同期中国特别是华中区域降水场的关系

3.1 夏季模式 500 hPa 高度预报场与同期中国降水场的关系

取 1983~2003 年夏季模式全球 500 hPa 高度预报场为右场, 同期中国降水场为左场, 首先对两场分别方差标准化, 然后进行 SVD 分析。表 1 给出前 15 对时间系数解释的协方差占两场协方差的百分率 (SCF) 和累积解释协方差占两场协方差的百分率 (CSCF)、相关系数 r , 以及左场时间系数方差贡献和累积方差贡献。第 1 模态可解释

总协方差的 29%, 相关系数达到 0.8。图 1 和图 2 分别为第 1 右场同质相关图 (First right homogeneous correlation map) 和第 1 左场同质相关图 (First left homogeneous correlation map)。由于 SVD 前已方差标准化, 从图 1 和图 2 可以看出, 夏季全球 500 hPa 高度预报场与中国降水场总体上有着某种程度的关联: 若夏季 500 hPa 高度预报场南、北半球副热带高压带较强 (弱), 则夏季中国长江及以北、东北三省降水将偏少 (偏多), 长江以南至东南沿海将偏多 (偏少)。几乎没有信度达到 95% 的成片相关区, 总的来说相关不显著。

3.2 夏季模式 500 hPa 高度预报场与同期华中区域降水场的关系

取 1983~2003 年夏季模式全球 500 hPa 高度预报场为右场, 同期华中区域降水场为左场, 首先对两场分别方差标准化, 然后进行 SVD 分析。表 2 给出前 10 模态的 SCF 和 CSCF、相关系数以及左场时间系数方差贡献和累积方差贡献。第 1 模态可解释总协方差的 27%, 相关系数达到 0.8。图 3 和图 4 分别为第 1 右场和第 1 左场同质相关图。500 hPa 高度预报场最大的相关有 2 处, 均在北极圈内。其次在南太平洋。若夏季 500 hPa 高度预报场北欧、南太平洋偏高 (低), 北美北部偏低 (高), 则华中区域长江以北降水将偏少 (偏多), 长江以南偏多 (偏少)。长江以南有信度达到 95% 的成片相关区, 长江及以北相关不显著。

表 1 夏季气候中心海气耦合模式 500 hPa 高度预报场与中国降水场 SVD 分析结果

Table 1 The results of SVD of NCC model forecast summer 500 hPa height fields and China rainfall fields

模态 Model	SCF/%	CSCF/%	r	左场方差贡献 Contribution of left fields variance/%	左场方差累积贡献 Cumulative contribution of left fields variance /%
1	29.0278	29.0278	0.829957	6.62937	6.62937
2	14.7631	43.7909	0.830368	9.17803	15.8074
3	11.4066	55.1974	0.886884	8.97008	24.7775
4	9.12647	64.3239	0.871446	7.61637	32.3938
5	7.38058	71.7045	0.877508	5.95801	38.3518
6	6.25821	77.9627	0.856376	8.53575	46.8876
7	3.6016	81.5643	0.916461	4.29961	51.1872
8	3.15356	84.7178	0.9077	5.95704	57.1442
9	2.57959	87.2974	0.857615	5.06529	62.2095
10	2.30683	89.6043	0.909034	4.58386	66.7934
11	2.02046	91.6247	0.905493	3.52756	70.3209
12	1.57468	93.1994	0.901135	4.34527	74.6662
13	1.46976	94.6692	0.922992	3.49913	78.1653
14	1.2306	95.8998	0.901682	3.12864	81.294
15	0.95819	96.858	0.904986	3.66207	84.9561

注: r 为时间系数的相关系数。Note: r is the correlation coefficient of time coefficients.

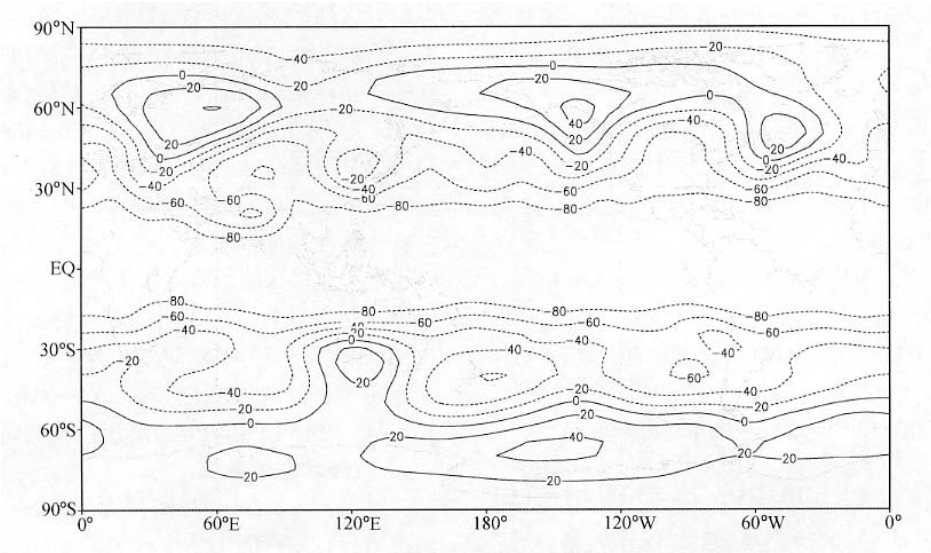


图 1 夏季模式 500 hPa 高度预报场与中国降水场第 1 右场同质相关图 (等值线标值 $\times 100$)
Fig. 1 First right homogeneous correlation map of model forecast summer 500 hPa height fields and China rainfall fields (isoline $\times 100$)

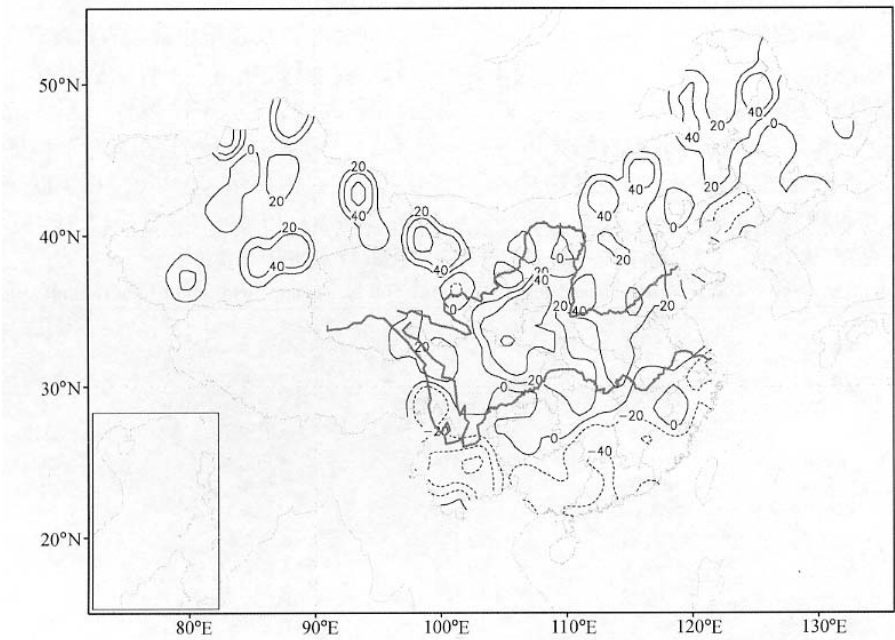


图 2 夏季模式 500 hPa 高度预报场与中国降水场第 1 左场同质相关图 (等值线标值 $\times 100$)
Fig. 2 First left homogeneous correlation map of model forecast summer 500 hPa height fields and China rainfall fields (isoline $\times 100$)

表 2 夏季气候中心海气耦合模式 500 hPa 高度预报场与华中区域降水场 SVD 分析结果

Table 2 The results of SVD of NCC model forecast summer 500 hPa height fields and rainfall fields of Middle areas of China

模态 Model	SCF/%	CSCF/%	r	左场方差贡献 Contribution of left fields variance/%	左场方差累积贡献 Cumulative contribution of left fields variance /%
1	27.5889	27.5889	0.828727	23.4141	23.4141
2	22.3541	49.943	0.618574	19.9808	43.395
3	18.6507	68.5937	0.744735	10.2403	53.6353
4	10.8071	79.4008	0.606486	6.38608	60.0213
5	4.85766	84.2585	0.75878	6.50886	66.5302
6	3.70472	87.9632	0.863167	6.08557	72.6158
7	3.01945	90.9826	0.806271	4.86543	77.4812
8	1.90987	92.8925	0.585106	5.24667	82.7279
9	1.65011	94.5426	0.758434	3.88111	86.609
10	1.38059	95.9232	0.804335	2.3498	88.9588

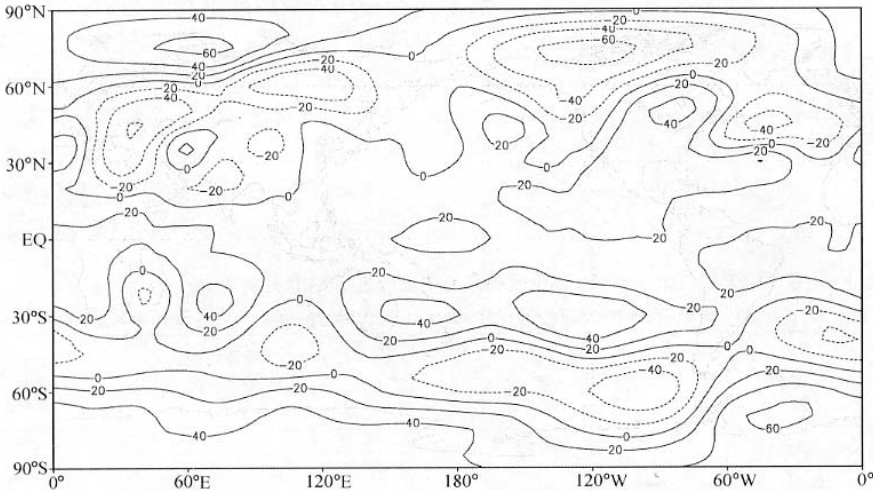


图 3 夏季模式 500 hPa 高度预报场与华中地区降水场第 1 右场同质相关图（等值线标值×100）

Fig. 3 First right homogeneous correlation map of model forecast summer 500 hPa height fields and rainfall fields of middle areas of China (isoline×100)

3.3 夏季 NCEP/NCAR 500 hPa 高度场与同期中国降水场的关系

我们取 1971~2000 年夏季 500 hPa 高度 NCEP/NCAR 全球再分析资料为右场，同期中国降水场为左场，首先对两场分别方差标准化，然后进行 SVD 分析。表 3 给出前 15 模态的 SCF 和 CSCF、相关系数，以及左场时间系数方差贡献和累积方差贡献。第 1 模态可解释总协方差的 44%，相关系数达到 0.9。图 5 和图 6 分别为第 1 右场和第 1 左场同质相关图。夏季 NCEP/NCAR 500

hPa 高度场与长江流域、东北地区中部及青藏高原东侧降水有着较好的相关关系：若夏季 NCEP/NCAR 500 hPa 高度场南、北半球副热带高压较强（弱），北半球副热带高压主体偏南（北），则长江流域、东北地区中部及青藏高原东侧降水偏多（偏少）。长江流域、东北地区中部及青藏高原东侧相关信度达到 95%。其他地区关系不显著。

无论是 SCF、时间系数的相关系数，还是左右场同质相关图，模式预报场与中国降水场等总体上的关系都明显不如 NCEP/NCAR 与中国降水

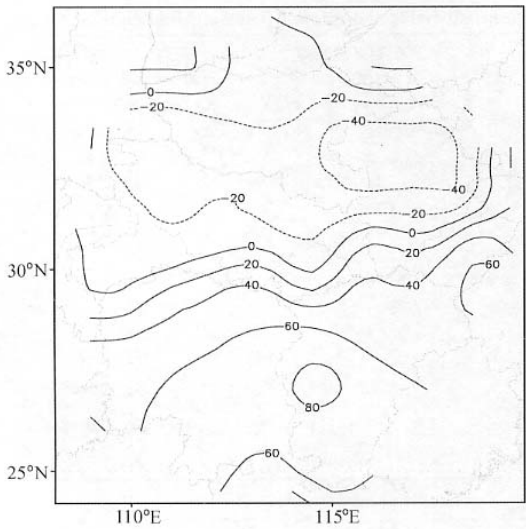


图4 夏季模式 500 hPa 高度预报场与华中地区降水场第 1 左场同质相关图 (等值线标值 $\times 100$)

Fig. 4 First left homogeneous correlation map of model forecast summer 500 hPa fields and rainfall fields of middle areas of China (isoline $\times 100$)

场等的关系。对应降水场,模式预报场和 NCEP/NCAR 相关最大的区域都在热带。对应 NCEP/NCAR,降水场高相关区位于长江流域、东北地区中部及青藏高原东侧;对应模式,由于预报误差,降水场没有显著的高相关区。

3.4 夏季 NCEP/NCAR 500 hPa 高度场与同期华中地区降水场的关系

取 1971~2000 年夏季 500 hPa 高度 NCEP/NCAR 全球再分析资料为右场,同期华中地区降水场为左场,首先对两场分别方差标准化,然后进行 SVD 分析。表 4 给出前 10 模态的 SCF 和 CSCF、相关系数,以及左场时间系数方差贡献和累积方差贡献。第 1 模态可解释总协方差的 62%,相关系数达到 0.7。第 1 右场和第 1 左场同质相关图(图略)与左场为中国降水场时相似。夏季 NCEP/NCAR 500 hPa 高度场与华中地区降水有着较好的关联,尤其是长江中游:若 NCEP/NCAR 500 hPa 高度场热带高度偏高(低),或东西伯利亚地区高度偏高(低),则长江中游降水将偏多(偏少)。即夏季北半球副热带高压强度较强且位置偏南,东西伯利亚地区多阻塞形势,长江中游降水将偏多。

表 3 夏季 NCEP/NCAR 500 hPa 高度预报场与中国降水场 SVD 分析结果

Table 3 The results of SVD of NCEP/NCAR summer 500 hPa height fields and China rainfall fields

模态 Model	SCF/%	CSCF/%	r	左场方差贡献 Contribution of left fields variance/%	左场方差累积贡献 Cumulative contribution of left fields variance /%
1	43.7371	43.7371	0.875378	7.80549	7.80549
2	8.81126	52.5483	0.877837	5.94495	13.7504
3	7.13236	59.6807	0.767023	6.06194	19.8124
4	6.6529	66.3336	0.880469	6.69795	26.5103
5	5.53926	71.8729	0.853088	4.04211	30.5524
6	4.41916	76.292	0.791269	7.60177	38.1542
7	3.41244	79.7045	0.85525	5.87277	44.027
8	2.61775	82.3222	0.89309	4.46479	48.4918
9	2.12382	84.446	0.863689	3.758	52.2498
10	1.93856	86.3846	0.838246	3.30765	55.5574
11	1.75344	88.138	0.838866	3.78796	59.3454
12	1.54927	89.6873	0.894568	2.66477	62.0102
13	1.46599	91.1533	0.870315	2.94611	64.9563
14	1.19658	92.3499	0.904739	2.71732	67.6736
15	1.02494	93.3748	0.877506	3.96604	71.6396

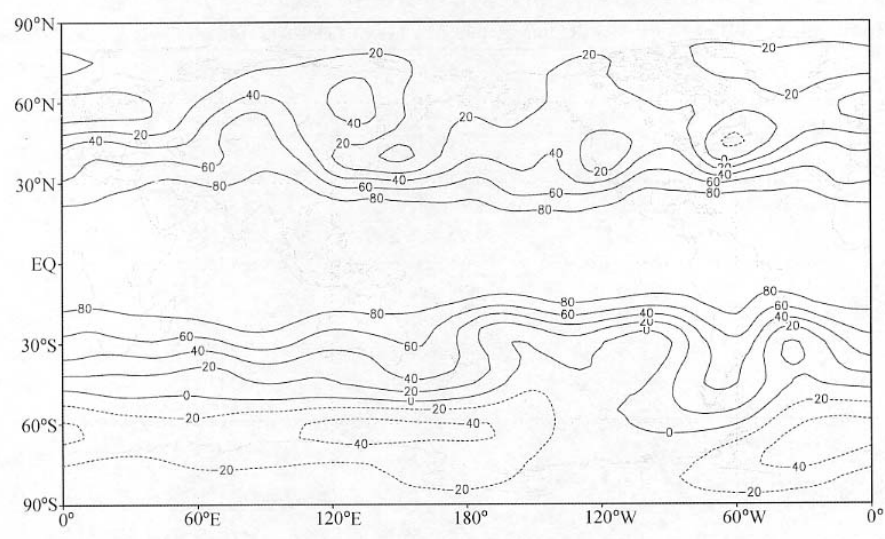


图 5 夏季 NCEP/NCAR 500 hPa 高度场与中国降水场第 1 右场同质相关图（等值线标值×100）

Fig. 5 First right homogeneous correlation map of NCEP/NCAR summer 500 hPa height fields and China rainfall fields (isoline×100)

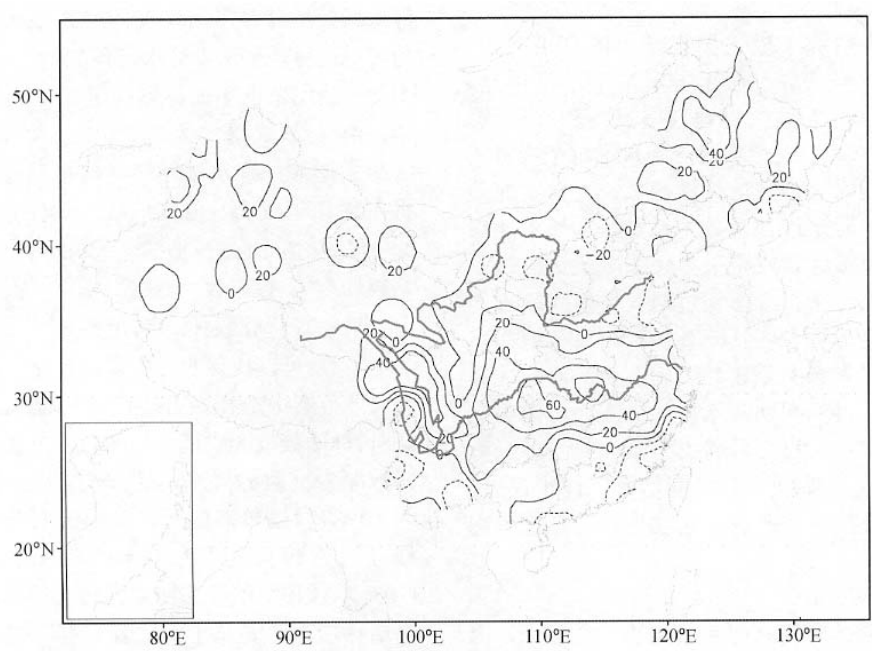


图 6 夏季 NCEP/NCAR 500 hPa 高度场与中国降水场第 1 左场同质相关图（等值线标值×100）

Fig. 6 First left homogeneous correlation map of NCEP/NCAR summer 500 hPa height fields and China rainfall fields (isoline×100)

表 4 夏季 NCEP/NCAR 500 hPa 高度场与华中地区降水场 SVD 分析结果

Table 4 The results of SVD of NCEP/NCAR summer 500 hPa height fields and rainfall fields of middle areas of China

模态 Model	SCF/%	CSCF/%	r	左场方差贡献 Contribution of left fields variance/%	左场方差累积贡献 Cumulative contribution of left fields variance /%
1	62.1794	62.1794	0.711882	23.0014	23.0014
2	9.63291	71.8123	0.713709	19.1539	42.1552
3	7.87432	79.6866	0.810284	7.58023	49.7355
4	5.19211	84.8787	0.747388	10.2776	60.0131
5	3.77119	88.6499	0.667783	5.76297	65.7761
6	2.58439	91.2343	0.762035	4.45968	70.2357
7	2.24825	93.4826	0.779167	4.24923	74.485
8	1.17442	94.657	0.808675	4.86068	79.3457
9	0.973067	95.6301	0.828688	3.59079	82.9364
10	0.822471	96.4525	0.727812	3.44607	86.3825

4 降水场预报订正方案

从上对比夏季模式 500 hPa 高度预报场和 NCEP/NCAR 500 hPa 高度场与中国降水场等 SVD 分析结果, 可发现模式存在一定程度的预报误差。

许多学者研究了模式预报结果的订正问题。王会军等^[5]、赵彦等^[6]订正方案基于单个格点, 没有考虑大尺度误差的影响和格点间相互联系。Henrik 等^[7]SVD 订正方案对于降水场每个格点构造模式预报场时间系数的线性函数, 在与实况差异最小意义下确定线性函数的系数, 显然不能保证距平同号率最大, 或距平相关系数最大。以上方案均为降水订正。考虑到短期气候模式输出的环流场预报更为可靠, 且 500 hPa 环流与地面降水、气温等要素场关系密切, 因此由 500 hPa 高度预报场订正得到同期降水场的方案, 可能更能发挥模式的优势。我们可利用 SVD 的优良特性, 合理综合从模式提取的大尺度信号, 订正误差, 使降水场的预报得到改进。这就是我们订正方案的出发点。

4.1 基本原理

SVD 得到的两场时间系数的协方差较大, 因而可能存在某种关系。考虑到线性函数是最简单的函数形式, 构造时间系数估计公式为

$$\begin{cases} a_1 = c_{01} + c_{11}b_1, \\ a_2 = c_{02} + c_{12}b_2, \\ \vdots \\ a_N = c_{0N} + c_{1N}b_N, \end{cases} \quad (1)$$

$k=1, 2, \dots, N$, a_k 、 b_k 分别为第 k 左场和右场时间系数; c_{0k} 、 c_{1k} 为待定系数^[11]。待定系数可由经典的最小二乘法确定, 确定的系数使得估计的时间系数 a_k 与实况的 a_k 离差平方和最小 (类似 Henrik 等的方案^[7]), 但不能保证整个降水场格点的估计与实况离差平方和最小, 更不能使整个降水场的估计距平与实况同号率最大。预报距平与实况同号率是衡量降水场预测精度的重要指标。为此, 我们依据下面原则确定 c_{0k} 、 c_{1k} : 统计年段内, 由 (1) 式确定的 $a_1, a_2, \dots, a_N$ 与对应空间函数反演的降水场距平与实况同号率最大。即将在统计年段内, 由 (1) 式确定的 $a_1, a_2, \dots, a_N$ 与对应空间函数反演的降水场距平与实况同号的站数 N_0 为目标函数。显然, N_0 是 c_{0k} 、 c_{1k} 的函数。

借助最优化技术, 满足要求的 $c_{01}, c_{11}, \dots, c_{0N}, c_{1N}$ 是可以找到的。所谓最优化技术就是从所有可能方案中选择最合理的一种以达到最优目标 (使目标函数最大或最小) 的数学方法, 这里目标函数即为反演的降水场距平与实况同号的站数。为了求得精度较高的解, 我们选用现代流行的全局寻优遗传算法^[12] (Genetic algorithms, 简称 GA) 取代传统的局部搜索算法 (梯度法、单纯形算法等)。GA 是基于“适者生存”的一种高度并行、随机和自适应的优化算法。它将问题的求解表示为“染色体”的适者生存过程, 通过“染色体”群一代一代进化, 包括复制、交叉和变异等操作, 最后收敛到“最适应环境”的个体, 从而求得问题的最优解。由遗传算法确定了 $c_{01}, c_{11}, \dots, c_{0N}, c_{1N}$ 后, 将 $b_1, b_2, \dots, b_N$ 的实况值代入

(1) 式，计算得到 $a_1, a_2, \dots, a_N$ ，再与对应空间函数线性组合即可得到降水场。

本方案根据要解决的具体问题，借助最优化技术，在距平与实况同号率最大，或距平相关系数最大意义下确定合理的系数，建立估计公式，由 SVD 模式 500 hPa 高度预报场时间系数估计降水场时间系数，同时订正 500 hPa 高度场预报误差、SVD 时间系数估计误差、反演过程分析误差、500 hPa 高度场估计降水误差。截取足够多的时间系数，保证降水的估计场能反映原场主要特征。本方案考虑的是模式 500 hPa 高度预报场对降水场的主要耦合关系（而不是 500 hPa 高度实况场对降水场的关系），重点考虑可预报的大尺度信号，滤去不可预报的小扰动，尽可能使估计降水场距平同号率最大，或距平相关系数最大，从而使订正后的技巧水平得到提高。

4.2 中国或华中地区降水场拟合预报试验

按照上述方法，我们先做 1971~2000 年 NCEP/NCAR 500 hPa 高度场拟合预报中国降水场等试验，也即可准确预报出 500 hPa 高度场时，我们可预报出多少测站降水？同时也为以后模式预报精度提高后使用完全预报法（PP）提供依据。

然后进行 1983~2003 年模式 500 hPa 高度场拟合预报中国降水场等试验。确定的系数 $c_{01}, c_{11}, \dots, c_{0N}, c_{1N}$ ，使得 1971~2000 年，或 1983~2003 年年段内，由（1）式得到的 $a_1, a_2, \dots, a_N$ 与对应空间函数反演的降水场距平与实况同号率最大。从图 1 和图 5 可发现，模式 500 hPa 高度和 NCEP/NCAR 500 hPa 高度热带地区（30°S~30°N）高度均与中国降水场关系明显较其他地区密切，因而我们取这一区域模式、NCEP/NCAR 500 hPa 高度为右场，中国降水场为左场，也进行类似试验。总的试验结果见表 5。“NCEP（全球）预报全国”即表示用 NCEP/NCAR 再分析 500 hPa 高度场全球资料拟合预报中国降水场（160 测站），“NCEP（热带）预报全国”即表示用 NCEP/NCAR 再分析 500 hPa 高度场热带地区资料拟合预报中国降水场（160 测站），其余类推。“截断模态”即为选取的模态总个数，“累积协方差贡献”即为所选模态解释的协方差占总协方差的比重，“降水场累积方差贡献”为降水场对应空间函数和时间系数线性组合反演估计场总方差占原场的比重，“拟合距平符号”为拟合（预报）降水场距平与实况同号率。

表 5 订正方案试验结果
Table 5 The results of tests of improving approach

	NCEP（全球） 预报全国 NCEP (globe) Predict China	NCEP（热带） 预报全国 NCEP (tropical) predict China	气候中心模式 （全球）预报全国 NCC mode (global) predict China	气候中心模式 （热带）预报全国 NCC mode (tropical) predict China	NCEP（全球） 预报华中 NCEP (globe) predict the middle of China	气候中心模式 （全球）预报华中 NCC mode (global) predict the middle of China
分析样本 Training samples/a	30	30	21	21	30	21
试验时间区间 Training period	1971~2000	1971~2000	1983~2003	1983~2003	1971~2000	1983~2003
降水场站数 Number of rainfall fields	160	160	160	160	27	27
截断模态个数 Leading patterns	15	15	11	11	6	6
累积协方差贡献 Contribution of cumulative squared covariance/%	93.4	98.1	91.6	96.3	91.2	88.0
降水场累积方差贡献 Contribution of fainfall cumulative covariance/%	71.6	70.9	70.3	69.9	70.2	72.6
拟合距平符号 Sign anomaly of simulated rainfall according with observation/%	76.6	76.9	59.3	77.3	73.4	77.1

由于分析样本容量 NCEP/NCAR 大于模式, 所以不能单从距平同号率的大小比较技巧水平。试验结果表明: 即使可准确预报出夏季 500 hPa 高度场时, 我们也最多可预报出中国或华中地区 70%~75% 测站降水趋势。尽管经 SVD 分析表明模式 500 hPa 高度与中国或华中地区降水关系一般, 大部地区相关关系并不显著, 与 NCEP/NCAR 还有很大差距, 但我们借助最优化技术, 合理综合从模式提取的大尺度信号, 同时订正多种误差 (模式 500 hPa 高度场预报误差、SVD 时间系数估计误差、反演过程分析误差、500 hPa 高度场预测降水误差等), 实现降水场拟合预报的距平与实况同号率与 NCEP/NCAR 相当。模式 500 hPa 高度场全球范围预报全国降水不理想, 改用关系密切的热带地区后, 明显提高了距平同号率。可能由于已达可预报的上限, NCEP/NCAR 500 hPa 高度场用关系密切的热带地区后, 距平同号率提高并不明显。

5 结语

对比夏季 NCEP/NCAR 和模式 500 hPa 高度预报场与中国降水场等 SVD 分析结果, 可发现国家气候中心海气耦合模式存在一定程度的预报误差, 且长江流域预报误差较为明显。本方案根据要解决的具体问题, 借助最优化技术, 在距平同号率最大, 或距平相关系数最大意义下确定合理的线性函数系数, 建立订正公式, 由 SVD 模式 500 hPa 高度预报场时间系数估计降水场时间系数, 同时订正模式 500 hPa 高度场预报误差、SVD 时间系数估计误差、反演过程分析误差、500 hPa 高度场估计降水误差。本方案考虑的是模式 500 hPa 高度预报场对降水场的主要耦合关系 (而不是 500 hPa 高度实况场对降水场的关系), 重点考虑可预报的大尺度信号, 滤去不可预报的小扰动, 尽可能使订正降水场距平同号率最大, 或距平相关系数最大, 从而使订正后技巧水平得到提高。

经预报试验表明: 订正后降水场预报的距平与实况同号率有可能接近 NCEP/NCAR 500 hPa 高度场相当的技巧水平, 可在业务中应用。

本方案考虑的是模式 500 hPa 高度预报场与

降水场的线性关系, 但事实上, 可能还包含一些非线性关系。如何提取模式 500 hPa 高度预报场与降水场的非线性关系, 更有效地订正模式预报, 有待进一步研究。

致谢 国家气候中心王兰宁博士提供海气耦合模式 500 hPa 高度预报场资料, 在此谨表谢意。

参考文献

- [1] 丁一汇、刘一鸣、宋永加, 等. 我国短期气候动力预测模式系统的研究及试验. 气候与环境研究, 2002, 7 (2): 236~246
Ding Yihui, Liu Yiming, Song Yongjia, et al. Research and experiments of the dynamical model system for short-term climate prediction. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2002, 7 (2): 236~246
- [2] 李清泉、丁一汇、张培群. 一个全球海气耦合模式跨季度汛期预测能力的初步检验和评估. 气象学报, 2004, 62 (6): 740~751
Li Qingquan, Din Yihui, Zhang Peiqun. A rough test and assessment of summer prediction over season of the global coupled ocean-atmosphere model. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2004, 62 (6): 740~751
- [3] Zeng Qingcun, Zhang Banglin, Yuan Chongguang, et al. A note on some methods suitable for verifying and correcting the prediction of climatic anomaly. *Advances in Atmospheric Sciences*, 1994, 11 (2): 121~127
- [4] 张道民、纪立人、李金龙. 动力延伸 (月) 预报的季节变化和误差分析. 大气科学, 1997, 21 (2): 141~150
Zhang Daomin, Ji Liren, Li Jinlong. Seasonal variability and systematical error in dynamical extended range forecast experiments with the IAP global spectral model. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 1997, 21 (2): 141~150
- [5] 王会军、周广庆、赵彦. 降水和大气环流距平年际预测的一个高效的修正方案, 应用气象学报, 2000, 11 (增刊): 40~50
Wang Huijun, Zhou Guangqing, Zhao Yan. An effective method for correcting the interannual prediction of summer precipitation and atmospheric general circulation. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), 2000, 11 (suppl.): 40~50
- [6] 赵彦、李旭、袁重光、郭裕福. IAP 短期气候距平预测系统的定量评估及订正技术的改进研究. 气候与环境研究, 1999, 4 (4): 353~364
Zhao Yan, Li Xu, Yuan Chongguang, Guo Yufu. Quantitative assessment and improvement to correction technology

- on prediction system of short-term climate anomaly. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 1999, **4** (4): 353~364
- [7] Henrik Feddersen, Antonio Navarra, and M. Neil Ward, Reduction of model systematic error by statistical correction for dynamical seasonal predictions. *Journal of Climate*, 1999, **12**: 1974~1989
- [8] 李维京、陈丽娟. 动力延伸预报产品释用方法的研究. 气象学报, 1999, **57** (3): 338~345
Li Weijing, Chen Lijuan. Research on reexplanation and reanalysis method of dynamical extended range forecast products. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1999, **57** (3): 338~345
- [9] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NECP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1996, **77** (3): 437~471
- [10] Bretherton C S, Smith C, Wallace J M. An intercomparison of methods for finding coupled patterns in climate data. *Journal of Climate*, 1992, **5** (6): 541~560
- [11] 张礼平、柯怡民、胡江林, 等. SVD 方法及其在场分析和预测中的应用. 热带气象学报, 2002, **11** (3): 133~141
Zhang Liping, Ke Yiming, Hu Jianglin, et al. Singular value decomposition and its application in analysis and forecast of field. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 2002, **11** (3): 133~141
- [12] Keane A J. Genetic algorithm optimization of multi-peak problems; studies in convergence and robustness. *Artificial Intelligence in Engineering*, 1995, **9** (2): 75~83