

北半球夏季环流的简化模式季节预报试验*

胡增臻

黄荣辉

(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, 北京 100080)

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100080)

摘 要 本文在对地气耦合非定常距平模式做了一些改进的基础上, 进行了北半球夏季(6~8月)环流的季节预报试验。对1982~1989年6~8月预报结果分析表明: 预报效果优于持续性预报; 但模式预报存在着明显的系统误差, 距平中心向低纬度的漂移严重。用3种不同方法做了消除系统误差的试验, 比较了它们的优劣。此外, 针对距平模式预报的是月平均距平量这一特点, 提出了两种集合预报方案: 一种是用滑动的平均量做出多个5月份初始场; 另一种是采用不同长度的时段平均, 替代5月份初始场; 用上述两种方案做了1987年6~8月的集合预报试验, 结果表明优于或接近于非集合的单个预报的结果。

关键词 地气耦合非定常距平模式 夏季环流 季节预报 系统误差 集合预报

1 引言

近十几年来, 世界范围内的气候异常及造成的气候灾害引起了科学界和各国政府的高度重视, 世界气候研究计划(WCRP)也应运而生。而长期数值预报是WCRP的三个主攻方向之一。根据WCRP的设想, 通过努力可望在本世纪内对季节气候的部分内容(例如月和季的平均温度距平)实现业务性试验预报。最近十几年, 国外在用GCM做月平均环流距平的数值预报方面已有明显进展^[1]。这种进展一方面与模式改进有关, 另一方面也与采用了集合预报技术有关^[1,2]。在季节预报试验方面, 国外做的工作还较少, 国内已有了一定的尝试。邢如楠和巢纪平用三层滤波模式做了季节预报试验^[3]。黄建平和王绍武做了相似-动力模式的季节预报试验, 均表明有一定预报技巧^[4]。曾庆存等^[5]用IAP的CGCM做了两次跨季度气候距平数值预测试验, 其结果是令人鼓舞的。尽管如此, 上述预报距业务预报的要求仍有相当大的距离。从不同途径探索季节预报的可行性是十分必要的。本文在对地气耦合非定常距平模式做了一些改进的基础上, 进行了1982~1989年6~8月的季节预报试验, 并用三种不同方法做了消除模式系统误差的比较试验。最后针对距平模式的特点, 提出了两种集合预报方案, 并用这两种方案做了1987年6~8月的集合预报试验, 结果是令人鼓舞的。

2 模式的改进

模式采用林本达等^[6]建立的地气耦合非定常距平模式。对原模式做了如下改进:

1993-08-31收到, 1996-08-15收到再改稿

* 博士后科学基金和中国科学院联合资助课题

(1) 为了使模式在垂直方向上更协调, 将原模式的 4 层 100、500、900 和 1000 hPa 改为 300、500、700 和 1000 hPa; 各等压面上的平均密度和温度是根据欧洲中期预报中心 (ECMWF) 客观化分析的 2.5×2.5 标准经纬度网格 10 年平均的 5~8 月资料平均求得的。

(2) 采用如下的时间积分方案:

$$Z_{(t+1)} = Z_t + \frac{\Delta t}{2} \left[3 \left(\frac{\partial Z}{\partial t} \right)_t - \left(\frac{\partial Z}{\partial t} \right)_{(t-1)} \right]$$

和平滑

$$\bar{Z}_t = Z_t + \frac{\alpha}{2} (\bar{Z}_{(t-1)} + Z_{(t+1)} - 2Z_t),$$

其中, $\alpha = 0.04$, $\Delta t = 3$ h。模式积分的前 3 步采用滑动起步, 每积分 10 d, 重新滑动起步。每个个例在 Convex-C120 机上 CPU 时间大约需要 40 min。

(3) 边界层顶的涡度 ζ_{0g} 用如下公式近似:

$$\zeta_{0g} = \zeta_{850(i, \beta)} = \frac{\lg 850 - \lg 1000}{\lg 700 - \lg 1000} \zeta_{700(i, \beta)} + \frac{\lg 850 - \lg 700}{\lg 1000 - \lg 700} \zeta_{1000(i, \beta)}.$$

(4) 用多网格法求解模式方程中的位势倾向值。多网格法是一种通用的高精度收敛快的迭代方法。它的优点是: (a) 达到预定精确度所需的计算量仅与未知数的个数 N 成正比, 即 $O(N)$; (b) 在向量机上使用多网格法更为有效; (c) 更容易保持方程中的一些低频信号。其中优点 (c) 对于要做长时间积分的长期数值预报来说是十分有益的。多网格法有两个基本要素组成, 其一是在细网格上松弛, 其二是粗网修正。关于多网格法在本文模式中的具体应用情况, 已另文发表^[7]。此外, 还去掉了原模式中对极值的人为订正。

(5) 所有的外推公式均采用 Lagrange 三点递减外插公式。此外, 一些参数值也做了修改。取值如下: 牛顿冷却系数 $\tau_R = 3 \times 10^6$ s, 强吸收区的辐射扩散系数 $K_R = 0.05$ m^2/s , 大气的湍流导热系数 $K_T = 10$ m^2/s , 海洋中的湍流导温系数 $K_{SS} = 10^{-3}$ m^2/s , 陆地的导温系数 $K_{SL} = 0.5 \times 10^{-6}$ m^2/s 。

3 环流季节 (6~8 月) 预报和消除系统误差试验

3.1 季节 (6~8 月) 预报试验

用上述模式做了 1982~1989 年的夏季 (6~8 月) 季节预报试验。模式的气候平均 (5~8 月) 和距平 (5 月) 初始场和距平实况场 (6~8 月) 平均采用 ECMWF 的客观化分析资料。8 个预报个例的评分情况见表 1。为了与文献[4,6,8]的结果进行比较, 本文评分也采用计算预报和实况的符号一致率。具体的计算方法为 $P = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J n_{ij}$, 其中 $N = I \times J$ 。当预报和实况距平符号相同时, $n_{ij} = 1$; 符号相反时, $n_{ij} = 0$; 均为零时, 也取 $n_{ij} = 1$; 预报和实况仅有一项为零时, 不参加评定。

由表 1 中的数据可以看出, 8 年平均的预报准确率, 除 7、8 月份海平面气压距平 p_{sl} 的预报准确率低于随机预报的准确率 (50%) 外, 其余预报的准确率均高于随机

表 1 北半球 300、500 和 700 hPa 高度距平, 地表温度距平和地面气压距平模式
预报准确率 $F(\%)$ 和持续性预报准确率 $P(\%)$ 及消除系统误差的试验

	6 月	6 月	6 月	6 月	6 月	7 月	7 月	7 月	7 月	7 月	8 月	8 月	8 月	8 月	8 月
	Φ_{300}	Φ_{500}	Φ_{700}	T_s	p_{sl}	Φ_{300}	Φ_{500}	Φ_{700}	T_s	p_{sl}	Φ_{300}	Φ_{500}	Φ_{700}	T_s	p_{sl}
	F/P	F/P	F/P	F/P	F/P	F/P	F/P	F/P	F/P	F/P	F/P	F/P	F/P	F/P	F/P
1982	80/52	80/55	74/64	72/77	56/67	43/52	44/49	51/44	67/72	42/44	52/50	59/50	67/53	61/64	50/64
1983	67/57	68/55	63/54	72/74	40/51	58/49	55/51	53/51	67/71	38/53	64/57	65/55	59/57	62/68	45/43
1984	65/82	64/84	61/85	63/65	41/49	66/58	65/56	61/51	61/62	51/56	69/51	71/55	66/57	60/59	62/66
1985	61/75	60/81	60/84	62/66	41/64	66/57	62/62	57/66	55/57	42/55	69/64	55/64	49/67	53/60	37/59
1986	58/79	60/81	61/84	49/53	79/57	53/55	53/50	50/61	57/60	32/52	63/57	63/58	59/58	61/63	48/58
1987	88/55	84/52	80/53	67/68	61/56	62/55	51/58	48/57	60/65	50/54	65/54	65/55	62/52	54/58	59/49
1988	84/70	76/64	71/57	69/72	43/54	78/70	68/71	67/68	65/65	57/60	71/60	56/54	41/49	62/64	35/53
1989	74/48	57/52	66/63	65/69	49/66	43/59	47/59	39/67	60/64	48/71	61/50	57/51	51/47	55/59	43/49
平均	72/65	68/66	67/68	65/68	51/58	59/57	56/58	53/58	62/65	45/56	64/55	61/55	57/55	58/62	47/55
方案 I	70/65	66/66	67/68	64/68	54/58	60/57	57/58	56/58	61/65	45/56	64/55	61/55	56/55	57/62	48/55
方案 II	70/65	66/66	67/68	64/68	54/58	60/57	57/58	56/58	61/65	45/56	64/55	61/55	56/55	57/62	48/55
方案 III	72/65	68/66	66/68	56/68	51/58	57/57	55/58	54/58	56/65	47/56	65/55	62/55	56/55	52/62	47/55

预报。与持续性预报相比, 环流距平场 (Φ_{300} , Φ_{500} , Φ_{700}) 的预报准确率大部分高于持续性预报的准确率, 平均高约 3%, 其中以 6 月份预报最好, 8 月份预报次之, 7 月份预报最差。说明本模式有一定的环流季节预报能力。但预报准确率的年际变化较大; 此外, 对地表温度 T_s 的预报准确率绝大部分个例低于持续性预报的准确率, 海平面气压距平 p_{sl} 的预报更差一些。这说明地表物理过程的处理是本模式的一个有待于改进的薄弱环节。

3.2 消除系统误差的试验

系统误差, 特别是简化模式的系统误差是十分严重的。本文的模式也不例外。为此本文做了以下 3 种消除系统误差的试验。

(1) 方案 I: 把所有 8 个个例预报的相应距平场的平均近似作为模式的系统误差。

即: $S(i, j) = \sum_{K=1}^N F_K(i, j) / N$, 其中: $S(i, j)$ 为系统误差, N 为预报总个例数, 在本文 $N=8$; $F_K(i, j)$ 为第 K 个个例预报的距平场。然后用每个个例预报的距平场减去上述系统误差, 作为该个例预报的距平场。这种系统误差对每个个例来说是非独立的。用上述方案做的消除系统误差试验表明 (见表 1), 预报结果不但无改进, 反而变得更差。说明方案 I 是不成功的。

(2) 方案 II: 与方案 I 类似, 但是系统误差对每个个例来说是独立的; 即对第 M 个个例来说, 系统误差定义为: $S_{M(i, j)} = \left(\sum_{K=1}^{M-1} F_K(i, j) + \sum_{K=M+1}^N F_K(i, j) \right) / (N-1)$; 用原模式预报结果减去上述 $S_{M(i, j)}$ 得到该个例预报的距平场。用方案 II 做的消除系统误差试验表明 (见表 1), 预报结果也是变得更差。说明方案 II 也是不成功的。

(3) 方案 III: 通过对模式预报结果的分析发现, 预报的距平中心有向低纬度的明显漂移。为此做了将预报的距平场向高纬度平移 5、10、15、20、25 个纬度的试验, 并在低纬度进行适当的平滑; 对比发现将预报的距平场向高纬度平移 20 个纬度时, 效果

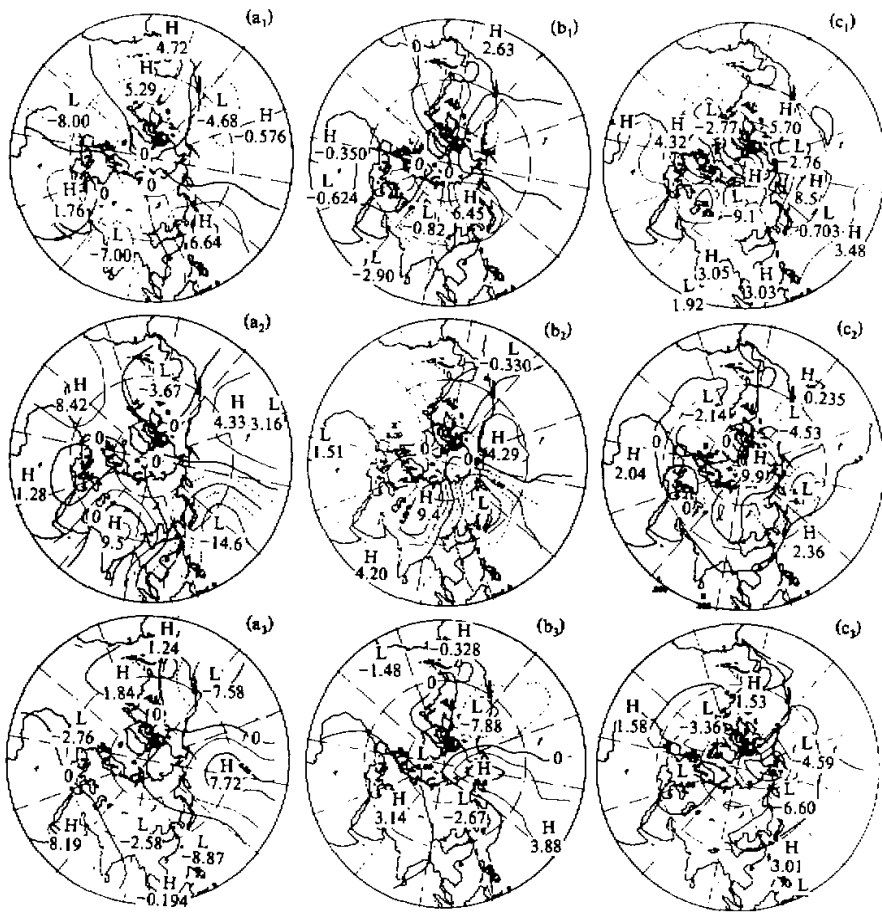


图 1 500 hPa 高度距平场 (等值线间隔 3 位势什米, 虚线为负)

a_1 、 a_2 、 a_3 : 分别是未消除系统误差时预报的 1987 年 6、7、8 月场;

b_1 、 b_2 、 b_3 : 分别是用方案 III 消除系统误差后预报的 1987 年 6、7、8 月场;

c_1 、 c_2 、 c_3 : 分别是 1987 年 6、7、8 月实况场

最好。尽管从表 1 中看到, 做这种平移后, T_s 预报准确率降低, 其余要素预报与实况的符号一致率基本持平。以 1987 年为例来说明做上述试验的必要性。下面仅给出 500 hPa 高度距平场。图 1 中 a_1 、 a_2 和 a_3 指未消除系统误差时预报的 6、7 和 8 月份 500 hPa 高度距平场; b_1 、 b_2 和 b_3 指用方案 III 消除了系统误差后的 6、7 和 8 月份 500 hPa 高度距平场; c_1 、 c_2 和 c_3 是相应的距平实况场。首先, 可以看出, 尽管在模式中采用了不少平滑处理, 但预报的距平场数值仍然与实况相当; 此外, 在本文并未采用像文献[8]中的极值处理方法(“每计算一步环流距平预报场, 均进行一次极值检查, 当距平值超过 10 位势什米时, 便进行适当修正, 即除以该值以 10 为底的对数值, 用以削弱个别不合理极值的影响”), 得到的距平场中心强度仍然是合理的; 这就显示了用多网格法

求解模式方程的优越性。比较图 1 可以看出, a_1 、 a_2 、 a_3 预报的距平中心较实况明显偏向低纬度。经过订正后 (图 $1b_1$ 、 b_2 、 b_3), 预报的距平中心与实况比较接近。在图 $1b_1$ 中, 位于巴尔喀什湖附近和经度为 0 附近的负中心, 位于太平洋西北部和欧洲的中心, 与实况 (图 $1c_1$) 有较好的对应关系; 在图 $1b_2$ 中位于太平洋西北部、欧洲西部和北美的负中心, 位于巴尔喀什湖附近、大西洋北部的中心, 也与实况 (图 $1c_2$) 有较好的对应关系。在图 $1b_3$ 中位于白令海峡的正中心, 也与实况 (图 $1c_2$) 有较好的对应关系。在图 $1b_3$ 中位于白令海峡的正中心与实况 (图 $1c_3$) 有一定的对应关系, 但其余正负距平区的对应关系不太好。

4 集合预报试验

集合方法是一种有效的消除系统误差, 提高预报准确率的方法, 国外从 80 年代开始一直探讨用集合方法做延伸 (月) 预报, 并取得了明显的进展^[1,2]。国内, 胡增臻等^[9]首先采用十分简单的正压涡度方程谱模式用 Monte-Carlo 方法做了月平均环流的预报试验, 证实了集合预报方案是做月平均环流的一个有希望的方法。结合本模式的特点, 本文提出了两种集合预报方案, 并以 1987 年 6~8 月为例证实了这两种方案对改进季节预报是有意义的。

4.1 方案 I

月是一个有一定人为性的时间尺度, 并不具有严格的天气和气候学上的意义, 因此月平均距平初值也是一个概率事件。为此, 根据做实际预报的需要, 采用滑动平均 (均采用世界时 00 点的场) 建立了 9 个稍有差异的场 (表 2), 并把它们作为 5 月份平均距平初始场; 以 1987 年为例, 做了预报试验。这 9 个初始场的主体形势是一致的, 但差异也明显存在, 这可从表 3 中的数据看出。用这 9 个初始场分别做预报, 最后取这 9 个预报的集合平均作为最后的预报。由于第 2~9 个初始场做出的预报相差不多, 表 4 只给出集合预报的结果, 并把持续性预报和用初始场 1 作出的预报列入, 以便于比较。由表 4 可以看出, 集合预报与用初始场 1 做出的预报相比, 除 T_s 的预报准确率降低外, 其余要素的预报或略有提高或持平。这说明了集合预报的有效性。图 2 给出了集合预报做出的 6~8 月 500 hPa 高度距平场预报。与图 1 比较可以看出, 在 6 月份图上, 对经度为 0 附近的负中心以及位于欧洲的正中心, 图 2a 较图 $1b_1$ 有改善, 在 8 月份图上, 对白令海附近的北正南负偶极式距平分布, 图 2c 较图 $1b_3$ 也有明显改进。对其他地区的改进不大。图 2 中等值线间隔为 1.5 位势什米, 是图 1 中等值线间隔的一半, 而图 1 与图 2 等值线的条数相差不大。这说明采用了集合预报方案 I, 一方面使预报的正负距平中心位置得到改善, 但另一方面也产生了使距平中心强度衰弱的副作用。

4.2 方案 II

月除了起止时间有一定人为性外, 它的长度也有一定的人为性, 也并没有严格的天气和气候学意义, 为此本文设计了集合预报的第 II 个方案。选取以 5 月中为中心的 5、10、15、20 和 25 天的平均替代原来的月平均作为初始场 (表 2), 仍以 1987 年为例, 这 5 个初始场与原来的月平均距平初始场相比, 大形势是一致的, 但差异也明显存在 (表 5)。用这 5 个初始场分别进行预报, 最后取其平均作为集合预报的结果 (表 6)。由

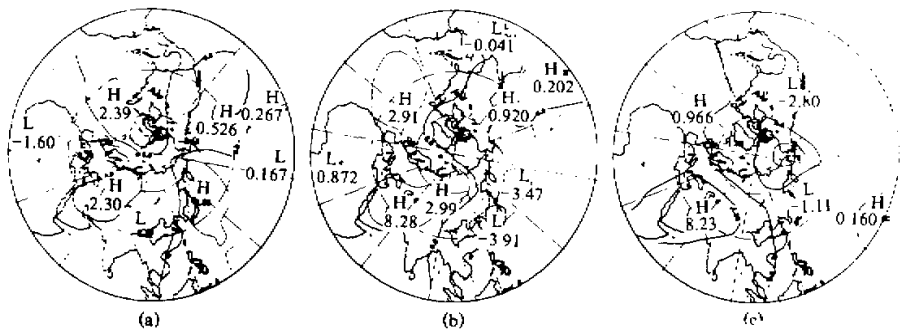


图2 方案I做出的500 hPa高度距平场集合预报
等值线间隔1.5位势什米,虚线为负;(a)、(b)、(c)分别指6、7、8月

表2 集合预报方案I和II的初始场

方案I的初始场	距平初始场的平均时段	方案II的初始场	距平初始场的平均时段	距平初始场求平均长度
1	5月1日~5月31日	1	5月4日~5月28日	25 d
2	4月30日~5月30日	2	5月7日~5月26日	20 d
3	4月29日~5月29日	3	5月9日~5月23日	15 d
4	4月28日~5月28日	4	5月12日~5月21日	10 d
5	4月27日~5月27日	5	5月14日~5月18日	5 d
6	4月26日~5月26日			
7	4月25日~5月25日			
8	4月24日~5月24日			
9	4月23日~5月23日			

表3 表2中方案I的初始场2~9与初始场1(1987年)的相关

要素	初始场1与初始场	2	3	4	5	6	7	8	9
Φ_{300}	符号一致率 P	93%	88%	84%	82%	81%	79%	77%	76%
Φ_{300}	线性相关系数	0.99	0.97	0.93	0.90	0.86	0.82	0.79	0.76
Φ_{500}	符号一致率 P	96%	91%	88%	86%	85%	83%	81%	80%
Φ_{500}	线性相关系数	0.99	0.97	0.93	0.89	0.86	0.82	0.79	0.77
Φ_{700}	符号一致率 P	96%	93%	91%	90%	88%	87%	86%	85%
Φ_{700}	线性相关系数	0.99	0.97	0.94	0.90	0.87	0.83	0.81	0.78
T_s	符号一致率 P	95%	92%	88%	85%	83%	81%	80%	78%
T_s	线性相关系数	0.99	0.96	0.93	0.89	0.85	0.81	0.77	0.73
p_{sl}	符号一致率 P	95%	93%	89%	87%	85%	84%	83%	82%
p_{sl}	线性相关系数	0.99	0.96	0.92	0.88	0.84	0.80	0.76	0.73

表6可以看出,无论初始场平均时段增长或缩短,预报效果无显著差异。集合预报的结果,除 T_s 预报准确率低于以月平均距平为初始场的预报准确率外,其余要素的预报准确率,集合预报略高于以月平均距平为初始场的预报,或二者持平。由图3可以看出,包括距平中心的位置和强度,图3中的a、b、c与图1中的 b_1 、 b_2 、 b_3 均十分相似。这说明采用集合预报方案II作出的预报并没有出现像采用集合预报方案I做出的预报场过于平滑的那种现象。这说明集合预报方案II较集合预报方案I预报的距平中心强度更接近实况;集合预报方案II较集合预报方案I更适合本文的模式。同时,可以看

表 4 用方案 I 做出的集合预报准确率

月份	要素	集合预报	持续性预报	用初始场 I 做出的预报
6 月	Φ_{300}	88%	55%	88%
6 月	Φ_{500}	85%	52%	84%
6 月	Φ_{700}	80%	53%	80%
6 月	T_s	59%	68%	67%
6 月	p_{sl}	63%	56%	61%
7 月	Φ_{300}	62%	55%	62%
7 月	Φ_{500}	55%	58%	51%
7 月	Φ_{700}	48%	57%	48%
7 月	T_s	51%	65%	60%
7 月	p_{sl}	50%	54%	50%
8 月	Φ_{300}	65%	54%	65%
8 月	Φ_{500}	65%	55%	65%
8 月	Φ_{700}	62%	52%	62%
8 月	T_s	46%	58%	54%
8 月	p_{sl}	59%	49%	59%

表 5 表 2 中方案 II 的初始场 1~5 与原来的月平均距平初始场的相关

月平均距平初始场与初始场		1	2	3	4	5
Φ_{300}	符号一致率 P	94%	87%	83%	78%	70%
Φ_{300}	线性相关系数	0.97	0.91	0.87	0.81	0.68
Φ_{500}	符号一致率 P	92%	85%	82%	78%	74%
Φ_{500}	线性相关系数	0.97	0.91	0.86	0.79	0.66
Φ_{700}	符号一致率 P	94%	86%	83%	82%	79%
Φ_{700}	线性相关系数	0.97	0.90	0.84	0.75	0.62
T_s	符号一致率 P	92%	90%	86%	83%	77%
T_s	线性相关系数	0.97	0.92	0.85	0.76	0.69
p_{sl}	符号一致率 P	89%	81%	76%	70%	68%
p_{sl}	线性相关系数	0.93	0.82	0.71	0.61	0.46

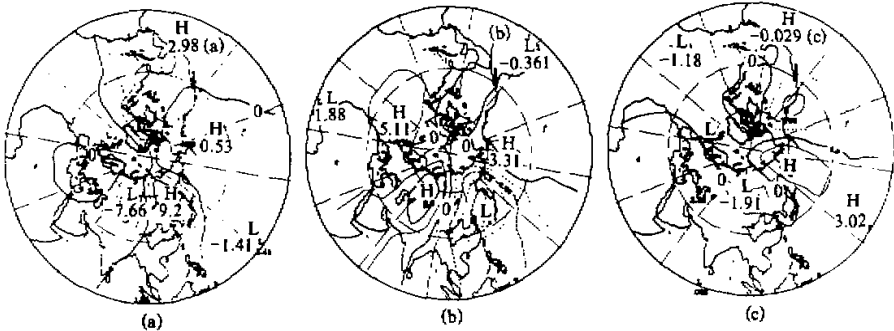


图 3 方案 II 做出的 500 hPa 高度距平集合预报
等值线间隔 3 位势什米，其余同图 2

表 6 用方案 II 做出的集合预报准确率

月份	要素	初始场 1 预报	初始场 2 预报	初始场 3 预报	初始场 4 预报	初始场 5 预报	集合 预报	持续性 预 报	月平均距平 初始场预报
	Φ_{100}	88%	87%	88%	88%	88%	88%	55%	88%
6 月	Φ_{100}	80%	81%	84%	85%	85%	84%	52%	84%
6 月	Φ_{100}	80%	80%	80%	80%	80%	80%	53%	80%
6 月	T_s	66%	67%	63%	60%	56%	62%	68%	67%
6 月	p_{sl}	60%	60%	61%	61%	59%	61%	56%	61%
7 月	Φ_{100}	62%	62%	62%	62%	62%	62%	55%	62%
7 月	Φ_{100}	51%	51%	52%	55%	55%	52%	58%	51%
7 月	Φ_{100}	48%	48%	48%	48%	48%	48%	57%	48%
7 月	T_s	60%	61%	57%	56%	54%	58%	65%	60%
7 月	p_{sl}	51%	51%	51%	50%	50%	50%	54%	50%
8 月	Φ_{100}	65%	65%	65%	65%	65%	65%	54%	65%
8 月	Φ_{100}	65%	65%	65%	65%	65%	65%	55%	65%
8 月	Φ_{100}	62%	62%	62%	62%	62%	62%	52%	62%
8 月	T_s	56%	56%	53%	50%	48%	52%	58%	54%
8 月	p_{sl}	59%	59%	59%	59%	59%	59%	49%	59%

出集合方案 II 较用平均距平初始场提前数天做出下月的预报, 这可以更利于提高模式预报结果的利用率和使模式预报业务化。

5 结论与讨论

对原距平模式改进后, 所做的夏季 (6~8 月) 季节预报试验表明, 模式具有一定的季节预报能力, 但模式存在明显的系统误差, 距平中心向低纬度的漂移严重。采用消除气候漂移的传统做法, 并不能有效的消除本模式的系统误差, 但通过把预报的距平场向北做适当平移, 可使预报效果有明显改善。针对距平模式预报的是月平均距平量这一特点, 提出了两种集合预报方案: 一种用滑动的平均量作出多个 5 月份初始场, 另一个是采用长度不同的时段平均替代 5 月份初始场, 用这两种方案做的 1987 年 6~8 月的集合预报试验结果表明, 都优于或接近于非集合的单个预报的结果; 其中后一种方案预报的距平中心强度更接近实况, 是一种更适合于距平模式特点而且更便于本模式业务化的方案。两种集合方案尚需做多个例试验去检验和比较。

通过对模式的改进和预报试验, 发现, 模式对低层变量 (T_s 和 p_{sl}) 的预报能力偏差, 模式预报的距平中心向低纬度有明显偏移。这可能与非绝热加热过程的参数化和下垫面过程的描述需要做进一步改进有关。模式中云、辐射过程参数化过于简单以及没有考虑水汽过程也是一个明显缺陷。数值试验发现, 加入地形后, 模式预报效果并无显著改善。此外, 诊断分析发现在距平模式中, 略去的瞬变项方差很大, 是模式方程中的一个项^[10]。忽略掉模式中瞬变量的作用, 实际上等于减弱了瞬变量的向极输送作用, 这可能是导致预报的距平中心向低纬度漂移的另一个主要原因。消除系统误差方案 III 抓住了产生系统误差的原因, 因此效果较好。而在方案 I 和 II 中, 简单地将预报距平减去一个多个距平预报场的平均, 不能改善预报效果的原因是显而易见的。因此瞬变参数化可能是提高距平模式预报准确率的一个关键因素。

致谢: 在模式移植过程中, 得到北京大学林本达副教授和罗勇博士的热情帮助; 此外, 在模式调试过程中, 作者之一(胡增臻)曾和殷宝玉同志进行过多次有益的讨论, 获益匪浅, 在此一并表示感谢!

参 考 文 献

- 1 胡增臻、黄荣辉, 1993, 长期天气预报业务和方法研究的最新进展, 气象科技, 1, 1~10.
- 2 WMO, 1991, Statement on the status of long-range weather forecasting, WMO. Cg-XI/Doc: 55, Appendix B.
- 3 邢如楠、巢纪平, 1982, 用三层滤波模式做季节预报的试验, 科学通报, 12, 738~740.
- 4 黄建平、王绍武, 1991, 相似一动力模式的季节预报试验, 中国科学 B 辑, 2, 216~224.
- 5 曾庆存等, 1990, 跨季度气候距平数值预测试验, 大气科学, 14 (4), 10~25.
- 6 Lin Benda, Xu Xiaodong and Wang Shaowu, 1988, Preliminary experiments from a nonsteady atmosphere earth surface coupled anomaly model, *Acta Oceanologica Sinica*, 7(3), 369~380.
- 7 余康元、胡增臻, 1996, 多网格法在长期数值天气预报模式中的应用, 大气科学, 20 (6), 763~766.
- 8 陈桂英、李小泉、林本达, 1990, 地气耦合非定常距平模式的准业务预报试验, 应用气象学报, 1 (1), 24~32.
- 9 胡增臻、史久恩、张建中, 1990, 月平均环流的 Monte-Carlo 预报试验, 科学通报, 12, 919~921.
- 10 胡增臻、黄荣辉, 1996, 简化动力学模式季节预报试验及误差分析, 灾害性气候的模拟和预测, 黄荣辉、纪立人、钱正安主编, 气象出版社, 65~75.

Seasonal Forecasting Experiments of Summer Circulation in the Northern Hemisphere with A Similified Model

Hu Zengzhen and Huang Ronghui

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract In this paper, the seasonal forecasting experiments of summer (June~August) circulation in the Northern Hemisphere are done with a nonsteady atmosphere-earth surface coupled anomaly model under the foundation of improving the model. Through analyzing the results of forecast of June~August from 1982 to 1989, it is shown that the forecast effectiveness in this model is superior to the persistence forecast, however, there is serious systematic error in the model that the anomaly center shift seriously to the low latitudes. The experiments of removing systematic error are done with three methods, and the advantage and disadvantage are compared. Two ensemble forecast approaches are put forward based on the special characteristic of forecasting monthly averaged anomaly terms in the model. The first one is that more than one initial fields with May are built up by using smoothing average, and the second one is that the difference period averages are used to replace the initial field with May. Ensemble forecast experiments from June to August in 1987 are carried out using above two methods. The results show that the forecast is better than or similar to the individual forecast.

Key words nonsteady atmosphere-earth surface coupled anomaly model summer circulation
seasonal forecast systematic error ensemble forecast