

距平模式季预报初始场滤波及时间 过滤方案的试验研究*

王允宽

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

林本达

(北京大学地理物理系, 北京 100871)

摘 要 本文用天气耦合非定常距平模式对 1980~1982 年及 1986~1988 年共 6 年的个例进行了距平场的季(3~6 月)预报试验。通过两种方法, 一是在时间积分过程中改变时间过滤公式中的过滤系数 β (分别取为 0.05 和 0.1); 二是对初始场进行滤波和不滤波的比较试验来考察高频扰动及非行星波对距平场月、季预报的影响。试验表明, 行星波和大气长波对距平场的月和季演变有不同的作用。长波对月以内的过程作用较大, 滤掉长波使预报效果变差。而长波对季以上过程的作用较小, 甚至有某种干扰性的“噪声”作用, 滤掉长波使季预报的效果得到改进。

关键词 距平模式 季预报 初始场滤波 时间过滤

1 引言

目前国内外进行月、季尺度业务预报, 仍以统计方法为主。80 年代以来, 用数值方法进行月、季预测试验研究已有了一些进展, 其中一个方向是用 GCM 等大模式及集合预报方法进行延伸的月平均环流的预报。这方面已有一些试验的报道^[1~3], 采用大模式, 物理过程可设置得较为细致复杂, 但需用高速大型计算机, 费用很大, 不可能进行大量的试验, 目前我国这方面的有关工作尚不多^[4]。另一种方向是用简化的动力学模式进行长期数值预报试验, 这种方法比较节省人力、物力, 因而在我国研究进展较快, “距平模式”就属于此种方法, 过去已用这种模式进行了一些月预报试验^[5~9]。近年来又用这种模式进行了一些季预报的试验^[10~13], 试验结果表明, 距平模式对距平场的大形势有一定的月和季的预报能力。虽然, 目前这种模式的(特别是季度)预报水平还不很高, 离真正达到业务使用的目标仍有不小的差距。但是这种方法仍有待进一步改进和挖掘其预报潜力。通过改进模式所包含的物理过程和求解方程所用的数值方法进一步改进距平模式的月季预报效果, 乃是当前的努力方向。预报实践表明, 春季过度季节的大气过程较为复杂预报也较难。为了适应我国汛期旱涝预报的业务要求, 急需从 3 月的初始场做出初夏的形势及降水的预报。本文的目的就是探讨滤波方法对做春到夏的季度距平场预报的影响。

1994-06-29 收到, 1994-11-11 收到修改稿

* 本文研究得到中国科学院“KY85-10”项目的支持

2 数值试验的方案

我们以 5 层垂直差分格式的距平模式作为对大气的原始模式。其位势距平场的预报方程的形式为

$$\begin{cases} \nabla^2 \frac{\partial \phi'_1}{\partial t} + f^2 E_{11} \left(\frac{\partial \phi'_3}{\partial t} - \frac{\partial \phi'_1}{\partial t} \right) = F'_1, \\ \nabla^2 \frac{\partial \phi'_3}{\partial t} f^2 E_{31} \frac{\partial \phi'_1}{\partial t} + f^2 E_{33} \frac{\partial \phi'_3}{\partial t} + f^2 E_{35} \frac{\partial \phi'_5}{\partial t} = F'_3, \\ \nabla^2 \frac{\partial \phi'_5}{\partial t} f^2 E_{55} \left(\frac{\partial \phi'_3}{\partial t} - \frac{\partial \phi'_5}{\partial t} \right) = F'_5, \end{cases} \quad (1)$$

其中 ϕ'_1, ϕ'_3 和 ϕ'_5 分别是 100, 500, 900 hPa 的位势距平场 (月平均对多年月平均即“气候平均”的偏差), 系数 $E_{11}, E_{31}, E_{33}, E_{35}$ 和 E_{55} 是依赖于气压厚度 ΔP 及静力稳定度的参数, F'_1, F'_3 和 F'_5 , 代表造成位势距平场随时间变化的物理过程, 包括平流、摩擦和各种非绝热效应, 系数 E_{ij} 及右边项 F'_i 的具体形式见文献[13]。

我们从两方面入手进行试验, 一是在时间积分时改变所使用的时间过滤公式^[14]

$$\bar{F}(t) = (1 - 2\beta)F(t) + \beta[\bar{F}(t-1) + F(t+1)] \quad (2)$$

中的过滤系数 β 的值, 分别取为 0.05 和 0.1。二是对初始场进行滤波 (滤掉 4 波以上的长波) 及不滤波处理。用上述两种方法, 进行了如下 4 个方案的比较试验, 当 $\beta=0.05$, 对初始场不滤波为方案 I, $\beta=0.05$, 对初始场滤波为方案 II。 $\beta=0.1$, 对初始场不滤波方案为 III, $\beta=0.1$, 对初始场滤波为方案 IV。

3 试验结果

我们用 1980~1982 年和 1986~1988 年共 6 年的个例做了 4 种不同方案的春~夏季 (3~6 月) 的月、季预报的比较试验。现将不同方案对 ϕ'_1, ϕ'_3, P'_s 和 T'_s (即分别为 100 hPa, 500 hPa 高度, 海平面气压和地面温度) 各距平场的预报性能及对 500 hPa 高度距平场大形势的季预报结果分别叙述如下。

3.1 4 种方案 (3~6 月) 预报性能的比较试验

我们用该距平模式对 1980~1982 和 1986~1988 共 6 年的 3 月初始场用上述 4 种方案进行了 3 个月的数值积分, 计算了预报的 4、5 和 6 月距平场与实况场之间的同号 (百分) 率和相关系数, 作为检验预报性能的指标。结果表明, 对同一年份用不同方案所做的距平场月-季预报的效果各不相同。

为了便于看出其规律性, 我们将 6 年的结果进行平均再求不同方案之间同号率和相关系数的差值, 从而比较它们预报效果的优劣 (见表 1)。先来考察季预报的结果, 分别从同号率和相关系数两种指标进行分析。由表 1 可看出如下几个特点:

(1) 从同号率看, 季预报 4 种方案 4 个预报场共 16 个指标中, 除了方案 I 的 ϕ'_1 和 ϕ'_3 的预报同号率低于 50% 外, 其余 14 个指标均大于或等于随机同号率。从相关系

表 1 6 年平均各种方案

时 段 场 性能 方 案	3 月~4 月 (30 天)								3 月~5 月			
	Φ_1		Φ_2		P_1		T_1		Φ_1		Φ_2	
	同 号 率 / %	相 关 系 数	同 号 率 / %	相 关 系 数	同 号 率 / %	相 关 系 数	同 号 率 / %	相 关 系 数	同 号 率 / %	相 关 系 数	同 号 率 / %	相 关 系 数
I	51	-0.06	50	-0.09	52	0.00	56	0.07	53	0.14	53	0.01
II	50	-0.08	49	-0.08	50	-0.01	54	0.06	47	0.01	49	-0.02
III	50	0.00	50	-0.07	50	-0.05	55	0.05	55	-0.11	52	0.04
IV	54	0.09	51	-0.07	45	-0.12	52	0.03	53	0.13	50	0.01
II 与 I 差值	-1	-0.02	-1	0.01	-2	-0.01	-2	-0.01	-6	-0.13	-4	-0.03
IV 与 III 差值	4	0.09	1	0.00	-5	-0.07	-3	-0.02	-2	0.02	-2	-0.03
III 与 I 差值	-1	0.06	0	0.02	-2	-0.05	-1	-0.02	2	-0.03	-1	0.03
IV 与 II 差值	4	0.17	2	0.01	-5	-0.11	-2	-0.03	6	0.12	1	0.03

数看, 16 个指标中有 3 个为负相关, 其余 13 个为正相关, 可见正相关占绝大多数。总之无论从同号率还是从相关系数看, 均表明模式有一定的季预报效果。

(2) 初始场滤波和不滤波时预报效果的比较

从同号率看, 无论是取 $\beta=0.05$ 还是 $\beta=0.1$ 时, 初始场滤波与不滤波的同号率之差 (II-I) 和 (IV-III) 4 个场中都是正值占 3 个, 负值只有 1 个 (正值表示对初始场滤波优于不滤波, 负值则相反)。表明大多数情况下, 初始场滤波方案比不滤波方案的预报效果更好。由相关系数看, 当 $\beta=0.05$ 时, 初始场滤波减不滤波的相关系数差值有 3 个为正, 1 个为负值。 $\beta=0.1$ 时 4 个场滤波与不滤波的相关系数差值全为正值。

总之, 同号率和相关系数两方面的结果都表明, 对季预报初始场进行滤波方案的季预报效果比不滤波的方案要好。

(3) 过滤系数取不同值时预报效果的比较

从同号率来看, 初始场不滤波时, $\beta=0.1$ 与 $\beta=0.05$ 的同号率差 (方案 III 减方案 I), 4 个场中有 3 个为正值, 1 个为负值。而当对初始场滤波后, $\beta=0.1$ 减 $\beta=0.05$ 的同号率差 (方案 IV 减方案 II), 4 个场中是 3 个为大于等于零, 1 个为负值, 亦表明过滤系数大些相对效果好些。由相关系数看, 初始场不滤波时 $\beta=0.1$ 与 $\beta=0.05$ 的相关系数差值 (III 减 I), 4 个场中 3 个为正, 1 个为负。而对初始场滤波时 (IV 减 II), $\beta=0.1$ 与 $\beta=0.05$ 的相关系数差值正负值各占 2 个。这表明适当加大时间过滤系数 β 值, 多数情况下季预报效果会有改进。

以上分析表明, 不论是通过初始场进行滤波处理 (滤掉长波), 还是通过在时间积分中, 适当加大过滤系数 (消除更多的高频扰动), 都会对季预报效果的改善有帮助。

3.2 不同方案月和季预报效果的比较

现在我们来进一步比较 1 个、2 个和 3 个月不同方案的预报结果。依据表 1, 我们可以统计出对 1 个、2 个和 3 个月不同方案预报性能共 8 个指标 (4 个场各两种指标, 即同号率和相关系数) 之正负差值的个数, 见表 2。

由表 2 可以看到如下几点:

(1) 当 $\beta=0.05$ 时, 对于 1 个和 2 个月的预报, 对初始场滤波 (方案 II) 比不滤波 (方案 I) 预报效果差 (差值为负) 和好 (差值为正) 的个数比, 分别为 7:1 和 6:2。

预报性能及差值

(60 天)				3 月~6 月 (90 天)							
P_s		T_s		Φ_1		Φ_2		P_s		T_s	
同 号 率 / %	相 关 系 数	同 号 率 / %	相 关 系 数	同 号 率 / %	相 关 系 数	同 号 率 / %	相 关 系 数	同 号 率 / %	相 关 系 数	同 号 率 / %	相 关 系 数
50	-0.02	52	-0.01	45	-0.13	48	0.00	56	0.09	50	0.04
48	-0.11	56	0.09	53	0.07	52	0.03	50	-0.01	51	0.04
52	0.06	50	-0.04	51	0.02	50	0.03	51	0.00	51	0.01
53	0.03	55	0.10	53	0.06	53	0.04	53	0.03	50	0.01
-2	-0.09	4	0.10	8	0.20	4	0.03	-6	-0.10	1	0.08
1	-0.03	5	0.14	2	0.04	3	0.01	2	0.03	1	0.00
2	0.08	-2	-0.03	6	0.15	2	0.03	-5	-0.09	1	0.05
5	0.14	-1	0.01	0	-0.01	1	0.01	3	0.04	-1	-0.03

表 2 不同方案 8 个指标差值的正负值个数

时间尺度 差值个数 方案的差	1 个月(3 月~4 月)预报		2 个月(3 月~5 月)预报		3 个月(3 月~6 月)预报	
	负值个数	正值个数	负值个数	正值个数	负值个数	正值个数
II-I	7	1	6	2	2	6
IV-III	4	4	4	4	1	7
III-I	5	3	4	4	2	6
IV-II	4	4	1	7	3	5

而对于 3 个月的季预报，两者之比变为 2:6。这表明对 1 和 2 月的预报，因滤掉了初始场中的长波成分，致使预报效果变差。对季预报则相反，因长波对季度时间尺度的过程起某种干扰性的“噪声”作用，滤掉了长波反而使预报效果变好。

(2) 当 $\beta=0.1$ 时，对 1 个月和 2 个月的预报，对初始场滤波（方案 IV）比不滤波（方案 III）预报效果差和好的个数比为 4:4，二者差别不大。但对季预报方案 IV 比 III 差与好的个数比为 1:7，这说明对季预报，对初始场进行滤波比不滤波的预报效果明显变好。

(3) 当对初始场不滤波时，对 1 个月的预报。适当增大 β 值，使预报效果变差（III-I 为负）和变好（III-I 为正）的个数比为 5:3。对两个月的预报两者比为 4:4，差别不大。但对季预报两者比为 2:6。可见适当加大 β 值季预报效果有改进。

(4) 对初始场滤波，适当加大 β 值，对 1 个月预报影响不大（其差与好的个数比为 4:4）。而对两个月和季预报则不然，适当增加 β 值，对改进预报效果有较明显的作用（它们的差与好的个数相比，分别为 1:7 和 3:5）。这说明在初始场滤波后，对 1 个月的预报，相对而言，因时间积分导致的高频分量上升较少，故过滤系数的增大对其预报效果影响不大。但当时间尺度增大为 2 个月和季度时，因时间积分过程变长，随之高频分量亦就不断地积累增大，这时适当加大 β 值，则有助于消除不断增长的高频分量的干扰，从而使预报效果得到明显的改进。

3.3 不同滤波方案距平场大形势季度预报的比较

我们选 1981 年 6 月 500 hPa 距平场为个例，比较 4 种不同方案距平场大形势季预

报的结果。

图 1 为 1981 年 6 月北半球 500 hPa 实况场。其特征是在西北欧与格陵兰高纬地区有一负距平中心。北美大陆中西部为一大片负距平区，中心位在阿拉斯加之南的洋面上。在中纬里海东边及孟加拉湾各有一个范围不大的负距平区。自贝加尔湖经我国东北至日本有一弱的负距平区。在中高纬西起黑海东至堪察加半岛为一东西向带状正距平区，其有两个距平中心。一个在堪察加半岛上，另一个在乌拉尔山附近。在北美北部极圈附近有一带状正距平区，并向东南延伸到英伦三岛西侧。墨西哥北部西岸有一正距平中心，其南部为一负距平区。

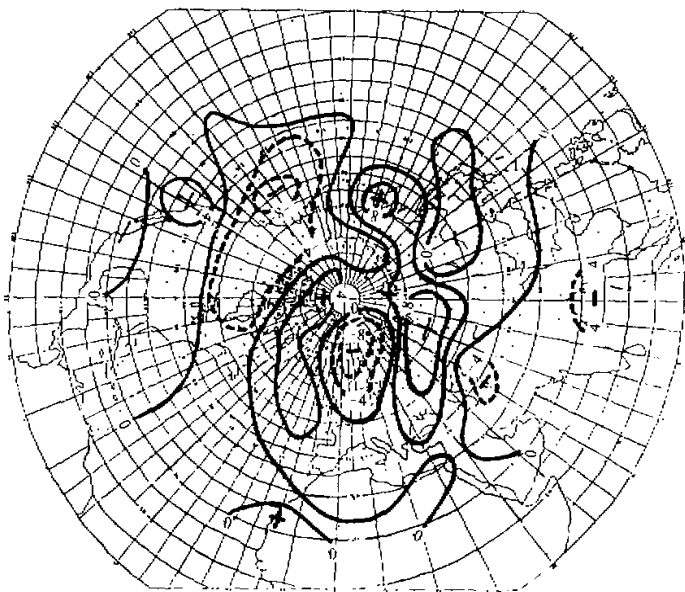


图 1 1981 年 6 月 500 hPa 实况图

图 2 是方案 I 的 ϕ_2 季预报图。将图 2 与图 1 比较可以看到，在格陵兰—西欧一带的负距平报出来了，但其范围向东西扩展得太大，使在北美极区和乌拉尔山附近的正距平区报得偏南。堪察加半岛一带和美国西岸的正距平区也报出来了，但太平洋东北部到加拿大一带的负距平区报错，仅在其南面出现两个小的负距平中心。贝加尔湖—日本及南亚的负距平区范围报得过大。此外图 2 和图 1 相比，图 2 低纬地区小系统报得过多。

图 3 是方案 III 的 ϕ_2 季预报图，这是加大过滤系数 ($\beta=0.1$) 后的预报结果。与图 2 比较可以看到，因 β 值增大，图 3 的小系统比图 2 大为减少，且更符合实际。图 3 与图 2 的大形势相似，但太平洋北部—加拿大一带的大片负距平区报得比图 2 好。相比之下图 3 报的强度偏弱。

图 4 是方案 II ($\beta=0.05$) 的 ϕ_2 季预报图，图 5 是方案 IV ($\beta=0.1$) 的 ϕ_2 季预报图。二者均为对初始场进行过滤的预报距平场。若我们将图 2 或图 3 与图 4 或图 5 比较可以看到对初始场滤波与不滤波距平场的大形势相差较大 (有些地方存在反位相的分布

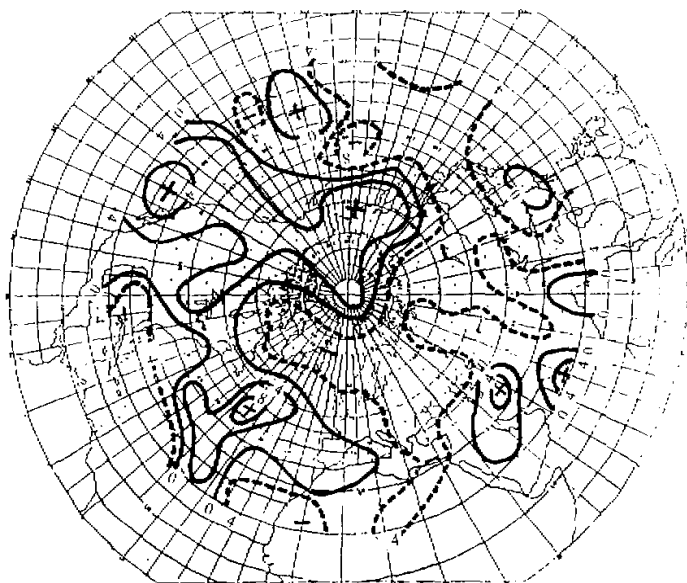


图2 1981年6月500 hPa、方案I距平模式季预报图

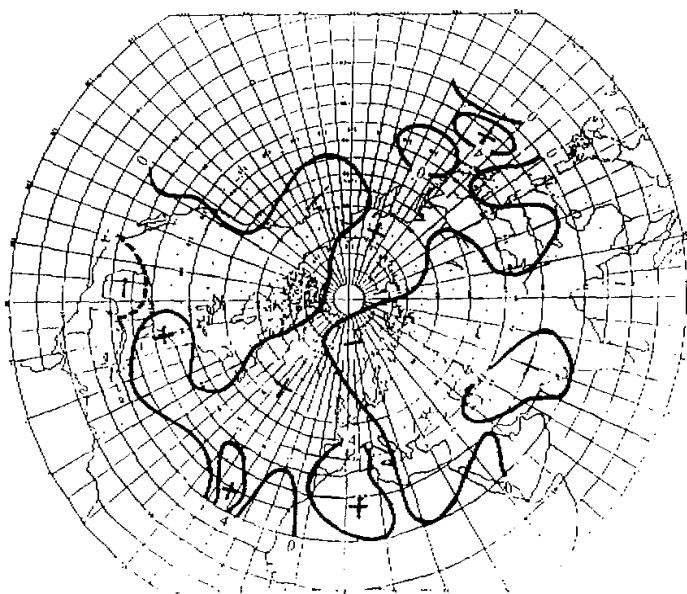


图3 1981年6月500 hPa、方案III距平模式季预报图

特征)。总的来说对初始场滤波(见图4与图5)比不滤波(见图2与图3)预报的大形势要更近于实况。再比较图5与图4可看到图5比图4报得略好。如美洲 40°N 以南他

们报的均与实况相似,但图4北美的负距平区报得偏北。北美北部极圈附近的正距平中心亦未报出来,而图5报出来了,但比实况略偏东了些,另外堪察加附近的正中心报的偏西南了。不足之处,在我国黄河上游负距平中心,图4与图5均未报出来。

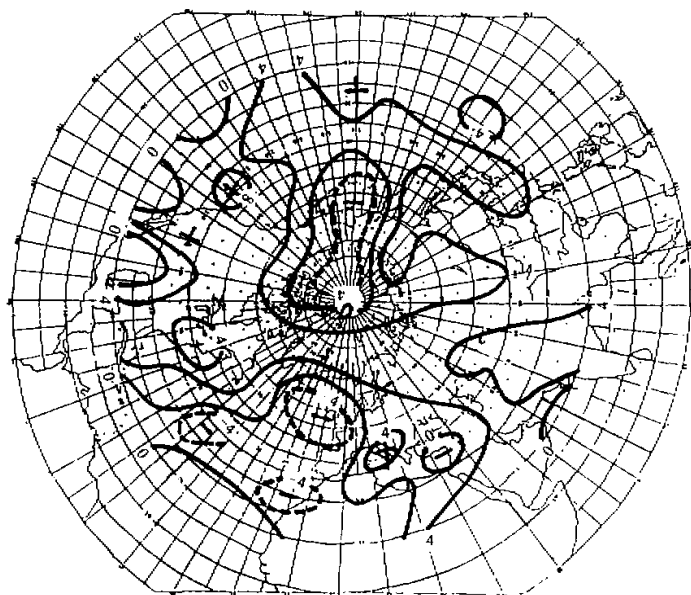


图4 1981年6月500 hPa, 方案II距平模式季预报图

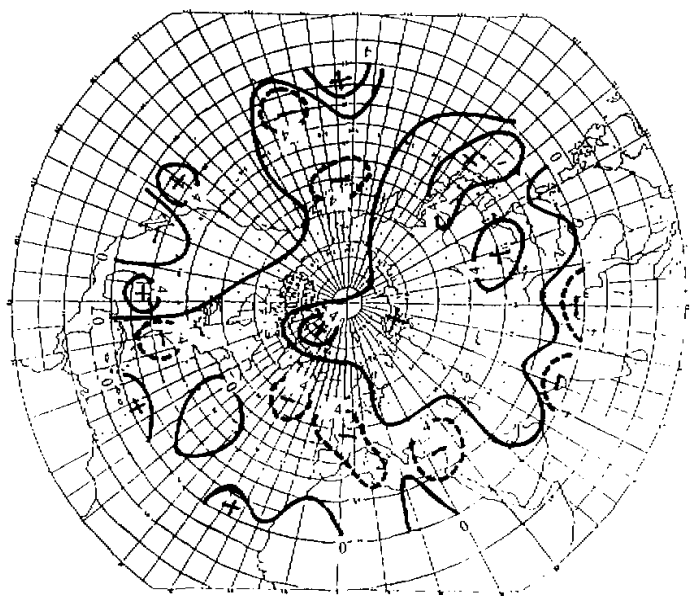


图5 1981年6月500 hPa, 方案IV距平模式季预报图

上述不同滤波方案距平场大形势季预报的比较表明, 加大滤波系数 β 值, 可有效地过滤掉一些小的系统 (即滤掉了高频扰动), 但对距平场大形势的配置影响不大。而对初始场进行滤波, 可影响季预报距平场的大形势分布。本个例分析表明, 对初始场滤波同时适当加大时间过滤系数的数值将会对季预报距平场的大形势有所改善。

4 小结

我们的试验结果表明:

(1) 通过对初始场进行滤波 (滤掉 4 波以上扰动, 只保留行星波扰动) 后, 6 年平均的预报性能 (预报场与实况场的同号率和相关系数) 均有所改进, 但不同年份、不同距平场的预报性能改进状况有所不同。

(2) 过滤系数 $\beta=0.1$ 时的预报结果比 $\beta=0.05$ 略好, 即适当加大过滤比例, 消去更多高频成分, 对改善季预报也有一定作用。

(3) 对初始场进行滤波处理或者加大时间过滤系数, 对月预报效果的改进要比季预报差。这表明行星尺度的波, 对季以上时间尺度的距平场演变有更大的贡献。而大气长波对时间尺度较短的过程 (如月预报) 仍有较大的影响, 滤掉大气长波, 使月预报效果变差, 但可使季预报性能有所改进。

致谢: 作者对黄荣辉院士给予的帮助表示感谢。

参 考 文 献

- 1 Spar, J., R. Atlas and E. Kuo, 1976, Monthly mean forecast experiments with the GISS model. *Mon. Wea. Rev.*, **104**, 1215~1241.
- 2 Miyakoda, K., J. Sirutis and J. Ploshay, 1986, One-monthly forecast experiments-without anomaly boundary forcings. *Mon. Wea. Rev.*, **114**, 2363~2401.
- 3 Murphy, J. M., 1988, The impact of ensemble forecasts on predictability. *Quart. J. R. Meteor. Soc.*, **114**, 463~493.
- 4 曾庆存等, 1990, 跨季度气候距平数值预测试验, 大气科学, **14**, No.1, 10~25.
- 5 长期数值天气预报研究小组, 1979, 长期数值天气预报的滤波方法, 中国科学, **1**, 75~84.
- 6 Lin Benda, Xu Xiaodong and Wang Shaowu, 1988, Preliminary experiments from nonsteady atmosphere-earth surface coupled anomaly model, *Acta Oceanologica Sinica*, **7**, No.3, 369~380.
- 7 林本达、肖玉华、王绍武, 1992, 距平模式的夏季月预报试验, 长期天气预报论文集, 海洋出版社, 185~197.
- 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**, No.1, 24~32.
- 9 巢纪平、王晓晔等, 1986, 海—气耦合距平滤波模式的月、季数值预报, 气象学报, **44**, No.4, 417~425.
- 10 林本达、王允宽, 1996, 距平模式季预报时间尺度过滤方案的探讨, 灾害性气候的模拟和预测 (KY85-10-3), 北京: 气象出版社, 76~81.
- 11 王允宽、林本达, 1996, 距平模式的季预报试验 I, 灾害性气候的模拟和预测 (KY85-10-3), 北京: 气象出版社, 82~88.
- 12 胡增臻、黄荣辉, 1996, 简化动力学模式季节预报实验及误差分析, 灾害性气候的模拟和预测 (KY85-10-3), 北京: 气象出版社, 65~75.
- 13 王绍武、林本达等著, 1993, 气候预测与模拟研究, 气象出版社.

- 14 R. Asselin, 1972, Frequency filter for time integrations. *Mon. Wea. Rev.*, **100**, No. 6, 487~490.

Experimental Study on the Schemes of Time and Initial Field Filter for the Seasonal Forecasts of an Anomaly Model

Wang Yunkuan

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

Lin Benda

(*Department of Geophysics, Peking University, Beijing 100029*)

Abstract In order to examine the effects of high frequency disturbances and non-planetary waves on monthly and seasonal forecast, a nonsteady atmosphere-earth surface coupled anomaly model is applied to a series of seasonal (from March to June) forecast experiments for the anomaly fields from 1980 to 1982 and from 1986 to 1988. Two methods are used in the experiments: (1) to change the filter coefficient in time filter formula during the time integration, (2) to change the components of the waves involved in initial fields, i.e. to remain or to remove the non-planetary waves. It is found that planetary waves and long waves have different effects on the monthly and seasonal evolution of anomaly field. The long waves is more important to intra-month processes. Filtering long waves will make the results of monthly forecast poor. But, long waves is less important and even is certain interfering "noise" for over-seasonal processes. Filtering out long waves will improve the results of seasonal forecasts.

Key words anomaly model seasonal forecasts initial field filter time filter